简明机械手册

Tabellenbuch Maschinenbau

【德】乌尔里希·菲舍尔 等著
云忠 杨放琼 译

湖南科学技术出版社

源自**德国**的机械手册
43次重版
经典权威　长销不衰
译成**多国**文字出版
中文版首次推出

关注公众号：机械工程师成长营



责任编辑/徐为　文字编辑/陈一心　整体设计/殷健

建议上架类型/机械类图书
ISBN 978-7-5357-5817-0
9 787535 758170 >
定价：138.00元

关注公众号：机械工程师成长营

简明机械手册

Tabellenbuch Metall

【德】乌尔里希·菲舍尔 等著
云忠 杨放琼 译



经典权威 长销不衰
译成多国文字出版
中文版首次推出

湖南科学技术出版社

关注公众号：机械工程师成长营

《简明机械工程手册》
Original Title: Tabellenbuch Metall
Copyright 2005 (43rd edition)
Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG,
著作权合同登记号：18-2007-084
湖南科学技术出版社获得本书中文简体版全球出版发行权。

图书在版编目(CIP)数据

简明机械手册／【德】乌尔里希·菲舍尔等著；云忠，杨放琼译.
长沙：湖南科学技术出版社，2010.1
ISBN 978-7-5357-5817-0

Ⅰ.简… Ⅱ.①菲… ②云… ③杨… Ⅲ.机械学-手册
Ⅳ.TH11-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 144454 号

简明机械手册
著　　者：【德】乌尔里希·菲舍尔等
译　　者：云　忠　杨放琼
责任编辑：徐　为
文字编辑：陈一心
出版发行：湖南科学技术出版社
社　　址：长沙市湘雅路 276 号
　　http://www.hnstp.com
邮购联系：本社直销科　0731 - 84375808
印　　刷：湖南天闻新华印务有限公司
　　(印装质量问题请直接与本厂联系)
厂　　址：湖南望城·湖南出版科技园
邮　　编：410219
出版日期：2010 年 1 月第 1 版第 1 次
开　　本：710mm×970mm　1/16
印　　张：27.5
插　　页：4
字　　数：860 000
书　　号：ISBN 978-7-5357-5817-0
定　　价：138.00 元
(版权所有·翻印必究)

关注公众号：机械工程师成长营

序　言

德国是一个高度发达的工业化国家，其机械工业水平长期居世界领先水平。德国的年出口额占世界第二位，仅次于美国而高于日本，其中占出口额近50%的为机械工业产品。随着我国经济的发展，机械工业正在成为国民经济增长的重要支柱产业，德国机械工业的先进技术和成功经验对于我国发展机械工业具有很好的指导和借鉴作用。

本书原名为Tabellenbuch Metall，是德国出版的一本优秀的工程技术参考书籍，到2005年已印了43版。其德文版和英文版已在多个国家使用，受到了广大读者的欢迎和支持。

本书特点如下：

1. 全书共分八章，涵盖数学、物理学、技术制图、材料科学、机械零件、生产管理、自动化及信息科技等内容，具有广泛的参考价值。

2. 本书依据德国、欧洲及国际上的最新标准编写，反映了机械工业发展的最新成果。把本书引入我国，有助于我国读者在产品设计过程中，吸收国外的先进技术，掌握国外有关的新材料知识，从而进一步提高机械设计和产品水平。

3. 为适应产品机电一体化发展趋势，本书除介绍种类丰富的机械零部件外，在自动化一章，编入了电路图、气动及液压控制、机器人、数字控制（NC）等实用技术资料，有利于我国工程设计人员进行机电产品开发。

4. 为适应产品购销和贸易需要，本书在生产管理一章，编入了产品质量管理、生产计划、加工工艺、成本核算等相关技术资料。

5. 本书立足于实用，除必要的文字说明外，主要以图表形式进行编排，版式新颖、编排紧凑、简明易查。

作为一本综合性的知识参考书籍，本书非常适合从事工程设计、机器制造和维护、产品购销、工业外贸等相关技术人员使用，也可作为高

关注公众号：机械工程师成长营

等学校机械类及近机械类学生的教学参考。

参加本书翻译工作的有：汤晓燕（第一章），云忠（第二、三、四、五章），彭高明（索引），杨放琼（第六、七、八章）。翻译过程还得到了向镜明、余文芳、杨立军等许多学界前辈和同仁的大力帮助。

本书在编写和出版过程中，得到了中南大学机电工程学院的大力支持及中南大学谭建平教授的悉心指导，在此一一致谢。

本书基本上按照原文翻译，但在叙述方法上按照我国语言的习惯作了某些修改和补充，对原书中一些明显的错误，也做了改正。由于译者水平有限，谬误之处仍在所难免，敬请读者批评指正。

译者

2009 年 5 月

关注公众号：机械工程师成长营

前　言

本书综合性和专业技术性强，适合机械制造和机械维护专业技术人员和技术工人参考。

目标读者：

- 生产和供销人员
- 模具钳工
- 机械师
- 技工
- 绘图人员
- 技术指导教师
- 机械工程学生

使用者注意：

本书的内容包括 8 个章节的表格和公式，还包括目录、主题索引和标准索引。

表格包含其主题范围内最重要的指标、设计、类型、尺寸和标准值。

如果几种单位都可以用，图例中**公式**的单位则不标出。不过，每个公式的计算例子都使用那些在实践中常用的单位。

标注实例包含在所有的标准件、材料和图形标注中，用红色箭头（ = > ）加亮。

本书前面的**目录**在每章之首以分目录的形式详细给出。

本书后面的**主题索引**（第 409 ~ 432 页）按主题词的英文字母顺序编排。

标准索引（第 399 ~ 408 页）列出了书中引用的所有的当前标准和规则。在多数情况下，以前的标准也被列出，以方便从惯用的旧标准转换到新标准。

特别感谢 Magna 技术培训中心为本书的第一个英文译本所作的贡献。他们的协助很有价值。
作者和出版者对任何建议和批评指正表示感谢。

1 数学 9 ~ 32 M
2 物理学 33 ~ 56 P
3 技术制图 57 ~ 114 TD
4 材料科学 115 ~ 200 MS
5 机械零件 201 ~ 272 ME
6 生产管理 273 ~ 344 PE
7 自动化 345 ~ 398 A
8 标准化 399 ~ 408 S

关注公众号：机械工程师成长营

目　录

1 数学 9

1.1 数据表
平方根，圆面积 …… 10
正弦、余弦三角函数值 …… 11
正切、余切三角函数值 …… 12

1.2 三角函数
直角三角形的三角函数 …… 13
斜三角形的三角函数，角度，平行线分线段成比例定理 …… 14

1.3 基础
括号、乘方和开方的运用 …… 15
方程式类型，变换法则 …… 16
10 的乘方和单位因数，利息计算 …… 17
百分比计算，比例计算 …… 18

1.4 符号，单位
公式符号，数学符号 …… 19
SI 量和测量单位 …… 20

1.5 长度
直角三角形中的计算 …… 23
等分长度，弧长，组合长度 …… 24
有效长度，弹簧钢丝长度，毛坯长度 …… 25

1.6 面积
四边形，三角形 …… 26
三角形，多边形，圆 …… 27
扇形，弓形，圆环 …… 28

1.7 体积和表面积
正方体，长方体，圆柱，中空圆柱体，棱锥 …… 29
棱台，圆锥，圆台，球体，球冠 …… 30

1.8 质量
组合体体积，质量计算 …… 31

1.9 形心
线和平面面积的形心 …… 32

2 物理学 33

2.1 运动
匀速和匀加速运动 …… 34
机床速度 …… 35

2.2 力
力的种类 …… 36
扭矩，杠杆，离心力 …… 37

2.3 功，功率，效率
功和能 …… 38
简单机械 …… 39
功率和效率 …… 40

2.4 摩擦
摩擦的种类，摩擦系数 …… 41

2.5 液体和气体压力
压力的类型 …… 42

2.6 材料强度
载荷情况，载荷类型，材料特性，应力极限 …… 43
机械强度性能，许用应力，安全系数 …… 44
拉应力，压应力，表面压力 …… 45
剪切和翘曲应力 …… 46
弯曲和扭转应力 …… 47
强度中的形状因素 …… 48
面积转动惯量和极截面模量 …… 49
各种断面形状比较 …… 50

2.7 热力学
温度变化的影响 …… 51
熔解，汽化，燃烧的热量 …… 52

2.8 电学
电学的量和单位，欧姆定律，电阻 …… 53
电流密度，电阻电路 …… 54
电流的类型 …… 55
电功和功率，变压器 …… 56

关注公众号：机械工程师成长营

3　技术制图　57

3.1　基本几何作图
线段，垂线和角度 …… 58
切线，圆弧，多边形 …… 59
三角形的内切和外接圆，圆心，椭圆，螺线 …… 60
摆线，渐开线，抛物线，双曲线，螺旋 …… 61

3.2　曲线图
直角坐标系 …… 62
极坐标系，面积图 …… 63

3.3　制图元素
字体 …… 64
优先数，半径，比例 …… 65
图纸布置 …… 66
线型 …… 67

3.4　图样表达方法
投影法 …… 69
视图 …… 71
剖视图 …… 73
剖面符号，尺寸标注系统 …… 75

3.5　尺寸输入
图样的尺寸标注 …… 76
尺寸标注的类型 …… 82
图样中的简化表达 …… 83

3.6　机械零件
齿轮类型 …… 84
滚动轴承 …… 85
密封和滚动轴承的表达 …… 86
挡圈，弹簧，花键和锯齿 …… 87

3.7　工艺结构
凸台，工件棱角和棱边 …… 88
螺尾，螺纹退刀槽 …… 89
螺纹和螺纹连接 …… 90
中心孔，滚花 …… 91
退刀槽 …… 92

3.8　焊接和钎焊
焊接和钎焊的符号 …… 93
胶粘、折叠和压制接缝的表达 …… 96

3.9　表面
热处理规范 …… 97
形状偏差和粗糙度参数 …… 98
表面试验，表面粗糙度标注 …… 99
表面粗糙度符号 …… 100
表面粗糙度 …… 101

3.10　公差与配合
极限和配合的 ISO 系统 …… 102
ISO 配合 …… 104
常用公差 …… 110
优先配合及选择 …… 111
滚动轴承配合，形状和位置公差 …… 112
几何尺寸和公差标注 GD&T …… 113

4　材料科学　115

4.1　材料
固体的材料特性 …… 116
固体、液体和气体的材料特性 … 117
元素周期表 …… 118
金属工艺中的化学制品，基团，pH 值 …… 119

4.2　钢的命名系统
钢的定义和分类 …… 120
材料牌号和钢的标记 …… 121
钢的命名系统 …… 122

4.3　钢的类型
概述 …… 126
结构钢 …… 128
表面淬火钢 …… 132
调质钢 …… 133
渗氮钢，火焰加热和感应加热表面淬火钢，易切削钢 …… 134
冷作钢，热作钢，高速钢 …… 135
不锈钢 …… 136
弹簧钢 …… 138

4.4　成品钢
金属板带——分类，概述 …… 139
用于冷加工的冷轧板带 …… 140
冷轧和热轧板 …… 141
机械结构用管，精密钢管 …… 142
热轧钢型材 …… 143
热轧钢 …… 144
光亮棒钢 …… 145
结构 T 型钢，槽钢 …… 146
角钢 …… 147

关注公众号：机械工程师成长营

中等宽和宽工字钢 …… 149
宽工字钢和窄工字钢 …… 150
管 …… 151
质量线密度和质量面密度 …… 152
4.5 热处理
铁碳合金状态图 …… 153
钢的热处理工艺概述 …… 154
工具钢，表面淬火钢 …… 155
火焰加热和感应加热表面淬火钢，调质钢 …… 156
渗氮钢，易切削钢，铝合金 …… 157
4.6 铸铁
命名系统 …… 158
分类 …… 159
片状和球状石墨铸铁 …… 160
可锻铸铁，铸钢 …… 161
4.7 铸造技术
模型，模型设备和型芯盒 …… 162
允许收缩量，尺寸公差，造型和铸造方法 …… 163
4.8 轻合金
铝，铝合金——概述 …… 164
铝，可锻铝合金：标记和材料牌号 …… 165
铝合金，可锻铝合金 …… 166
可锻铝合金 …… 167
铸铝合金 …… 168
铝型材 …… 169
镁和钛合金 …… 172
4.9 重有色金属
概述 …… 173
命名系统 …… 174
铜合金 …… 175
铜和精制锌合金 …… 176
4.10 其他材料
组合材料，陶瓷材料 …… 177
烧结金属 …… 178
4.11 塑料
概述 …… 179
基本聚合物，填料和加强材料 … 180
辨识，明显特征 …… 181
热塑塑料（摘选） …… 182
热塑塑料的标记 …… 183
热固塑料，层压材料 …… 184
弹性体，泡沫材料 …… 185
塑料加工 …… 186
高温塑料、聚合混合物、增强纤维 … 187
4.12 材料试验
材料试验方法——概述 …… 188
拉伸试验，拉伸试样 …… 190
剪切试验，冲击试验，杯突试验 …… 191
布氏硬度试验 …… 192
洛氏，维氏硬度试验 …… 193
马氏硬度试验，硬度值转换 …… 194
塑料试验 …… 195
4.13 腐蚀，防腐
腐蚀 …… 196
4.14 危险品
物质的处置* …… 197
危险品，危险气体* …… 198
危险品，R－短语* …… 199
危险品，S－短语* …… 200

5 机械零件 202

5.1 螺纹
螺纹的种类 …… 202
各国的螺纹标准（摘选） …… 203
英制螺纹 …… 203a
公制螺纹和细牙螺纹 …… 204
公制圆锥螺纹 …… 205
惠氏螺纹，管螺纹 …… 206
梯形和锯齿形螺纹 …… 207
螺纹公差 ……
5.2 螺栓和螺钉
概述 …… 209
概述，标记 …… 210
性能等级，产品等级，通孔，最小旋入长度 …… 211
六角头螺栓 …… 212
圆头内六角螺钉 …… 215
有帽螺钉，沉头螺钉 …… 216
沉头螺钉，半沉头螺钉，自攻螺钉 …… 217

关注公众号：机械工程师成长营

自攻螺钉，滚丝螺钉 …… 218
双头螺柱，吊环螺钉，螺塞 …… 219
紧定螺钉 …… 220
螺纹连接的计算 …… 221
锁紧紧固件 …… 222
扳手开口度，拧螺丝类型 …… 223
5.3 沉孔
沉头螺钉的锥形沉孔 …… 224
有帽螺钉和六角头螺栓的阶梯孔 …… 225
5.4 螺母
概述 …… 226
概述，标记 …… 227
六角螺母 …… 228
六角盖形螺母，锁紧螺母，环形螺母 …… 231
槽形螺母，开口销，焊接螺母，滚花螺母 …… 232
5.5 垫圈
平垫圈，概述 …… 233
平垫圈，钢结构用垫圈 …… 234
高强度螺栓、槽钢和工字钢、U 形夹销用垫圈，锥形弹性垫圈 …… 235
5.6 销和 U 形夹销
概述 …… 236
圆柱销，圆锥销和弹性圆柱销 …… 237
槽销，安全销，U 形夹销 …… 238
5.7 轴－毂连接
键，钩头键 …… 239
普通平键，半圆键 …… 240
花键轴连接和铆钉 …… 241
公制锥度，莫氏锥度，大锥柄 …… 242
刀具支承夹具 …… 243
5.8 弹簧，夹具和工具操作件
圆柱螺旋拉伸弹簧 …… 244
圆柱螺旋压缩弹簧 …… 245
碟形弹簧 …… 246
钻套 …… 247
平头螺钉，推力衬垫，球形把手 …… 248
手柄，定位和固定销 …… 249
T 形槽和附件，球面垫圈，锥面垫圈 …… 250
模柄，凸模，机加工板 …… 251
柱式模架 …… 252
5.9 传动件
V 带，同步齿形带 …… 253
窄 V 带 …… 254
同步齿形带 …… 255
直齿圆柱齿轮 …… 256
斜齿轮、圆柱齿轮的模数系列 …… 257
锥齿轮，蜗杆传动 …… 258
传动比 …… 259
速度曲线图 …… 260
5.10 轴承
滑动轴承，概述 …… 261
抗摩擦轴承，概述 …… 263
抗摩擦轴承，标记 …… 264
球轴承 …… 265
球轴承，滚子轴承 …… 266
滚子轴承 …… 267
滚针轴承，圆螺母 …… 268
挡圈 …… 269
密封元件 …… 270
润滑油 …… 271
润滑脂，固体润滑剂 …… 272

6 生产管理 …… 273

6.1 质量管理
标准 …… 274
术语 …… 275
质量策划，质量控制，质量测试 …… 276
统计分析 …… 277
正态分布 …… 278
统计过程控制 …… 279
过程趋势，验收取样和计划 …… 280
加工和机器能力，质量控制图 …… 281
6.2 生产计划
时间核算 …… 282
成本核算 …… 284
机器小时费率 …… 285
直接成本 …… 286
6.3 机动时间
车削，车螺纹 …… 287
车削 …… 288
钻孔、铰孔、锪孔、刨削成形 …… 289
铣削 …… 290
磨削 …… 291
6.4 加工切削液
金属的加工切削液 …… 292
硬材料的加工及干加工，高速铣，MQCL …… 293
6.5 刀具

关注公众号：机械工程师成长营

刀具材料 …… 294
可转位硬质合金刀片 …… 296
可转位刀片用刀杆的标注 …… 297
6.6 加工切削力及功率
单位切削力，标准值 …… 298
车削和钻孔时的切削力及功率 … 299
端铣时的切削力及功率 …… 300
6.7 切削数据
钻孔 …… 301
铰孔和攻丝 …… 302
车削 …… 303
车锥面 …… 304
铣削 …… 305
钻、车、铣削加工的调试检修 … 306
分度头分度 …… 307
磨削 …… 308
磨料，结合剂 …… 309
砂轮选择 …… 310
金刚石及氮化硼砂轮磨削 …… 311
珩磨 …… 312
6.8 材料蚀除
机动时间和标准值 …… 313
电蚀加工参数 …… 314
6.9 冲裁
冲裁力 …… 315
刀具及工件尺寸 …… 316
模柄位置，材料利用 …… 317
6.10 成形
弯曲 …… 318
拉深 …… 320
6.11 焊接
焊接工艺 …… 322
焊接准备 …… 323
压缩气瓶，气焊条 …… 324
保护气体，电焊条 …… 325
气体保护金属极弧焊标准值、铝焊条 …… 326
电弧焊焊条 …… 327
电焊条，电弧焊焊接设计 …… 328
射流束切割 …… 329
气瓶标记* …… 331
硬钎焊 …… 333
软钎焊 …… 334
钎焊接头 …… 335
6.12 胶接
胶黏剂、胶接前表面处理 …… 336
胶接接头设计、试验方法 …… 337
6.13 车间安全和环境保护
安全颜色、禁止标志* …… 338
警告标志* …… 339
安全标志* …… 340
危险品符号* …… 342
管道标志* …… 343
声音和噪声* …… 344

7 自动化 345

7.1 控制工程
基本术语、代码 …… 346
符号 …… 347
模拟控制器 …… 348
断续及数字控制器 …… 349
二进制逻辑 …… 350
7.2 电路
电路符号 …… 351
电路布置图的标注* …… 353
电路图 …… 354
传感器 …… 355
安全预防* …… 356
7.3 顺序功能图及信号－状态图
顺序功能图 …… 358
信号－状态图 …… 361
7.4 液压与气动
回路符号 …… 363
回路图 …… 365
电－气动控制 …… 366
电液控制 …… 367
液压流体 …… 368
气缸 …… 369
作用力计算 …… 370
速度、功率 …… 371
精密无缝钢管 …… 372
7.5 可编程逻辑控制
程序设计语言 …… 373
PLC 控制起重装置 …… 377
7.6 操作及机器人系统
坐标系及坐标轴 …… 378
机器人设计 …… 379
夹持器，工作安全 …… 380
7.7 数控技术
坐标轴 …… 381
程序结构 …… 382
准备功能、辅助功能 …… 383

关注公众号：机械工程师成长营

辅助功能 …… 384
刀具偏置与刀具补偿 …… 385
加工方式 …… 386
PAL 循环 …… 388
7.8 信息技术
计数制 …… 393
ASCII 码 …… 394
流程图符号 …… 395
MS WORD 文字处理命令 …… 397
EXCEL 电子表格命令 …… 398
8 标准化 399 ~ 408
8.1 国际标准
国际材料标准对照表 …… 400
8.2 DIN、DIN EN、ISO 等标准
引用标准及其他规定索引 …… 404
主题索引 409 ~ 420

关注公众号：机械工程师成长营

标准和其他规则

标准化和标准术语

标准化是为了社会公共利益，对物资和非物质对象，如成分、计算方法、加工流程和服务等，使其达到系统和统一

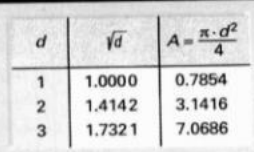
标准术语	实例	解释
标准	DIN7157	标准是已公布的标准化的结果，如：可在 DIN7157 标准中进行某些配合的选择
零件	DIN30910 – 2	具有相同主要参数零件的相关标准。如：DIN30910 – 2 描述用于过滤器的烧结材料，而零件 3、零件 4 描述用于轴承和成形件的烧结材料
附录	DIN55350 附录 1	附录包含标准的相关信息，但是不包括详细的说明。如：DIN55350 附录 1 包含了 DIN55350 中用于质量保证的相关术语定义的综合索引
草图	E DIN EN 10025 – 1	草图标准包含标准化的初步完成结果；这一版本的标准主要用来供大家评论。如：计划中用于结构钢热轧产品交货条件的 DIN EN 10025 – 1 标准于 2000 年 12 月首先以草图 DIN EDIN EN 10025 – 1 的版本向公众推出
初步标准	DIN V 17006 – 100 (1999 – 04)	初步标准包含由于某些附带条件未被 DIN 作为标准发布的标准化结果。如：DIN V 7006 – 100 讨论了钢材命名系统的补充符号
发行日期	DIN 76 – 1 (2004 – 06)	出版日期在 DIN 出版指南上公布；它是指出版生效的日期。如：DIN76 – 1 标准规定了 ISO 公制螺纹的退刀槽，于 2004 年 6 月生效

标准和规则的类型（摘选）

类型	缩写	解释	目的和内容
国际标准（ISO 标准）	ISO	日内瓦国际标准化组织（缩写中 O 和 S 被颠倒）	简化货物和服务的国际交换及在科学、技术和经济领域的国际合作
欧洲标准（EN 标准）	EN	布鲁塞尔欧洲标准化委员会	为了欧盟及欧洲统一市场的进一步发展而进行技术协调、减少贸易壁垒
德国标准（DIN 标准）	DIN	德国标准化协会	制定和发布德国标准，促进在经济、技术、科学、管理和公共关系领域的合理化发展、质量保证和环境保护，并达成共识
	DIN EN	欧洲标准，其德国版本已经达到德国标准	
	DIN ISO	此国际标准已被采用作为德国标准	
	DIN EN ISO	此国际标准已被采用作为欧洲标准，其德国版本已经达到德国标准	
	DIN VDE	已达到德国标准的 VDE 的印刷出版物	
VDI 指导方针	VDI	德国工程师协会	对专题领域的技术现状提供指导报告，如：对在机械或电机工程中进行运算和设计的具体过程进行指导
VDE 印刷出版物	VDE	Frankfurt（法兰克福）德国电机工程师组织	
DGQ 出版物	DGQ	Frankfurt（法兰克福）德国质量协会	提供质量技术领域中的建议
REFA 图表	REFA	Darmstadt（达姆施塔特）机件设计/机件结构[illegible]与发展基金会	提供生产和工作计划领域中的建议

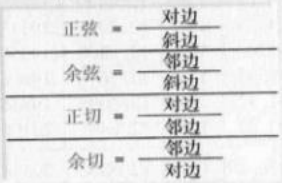
关注公众号：机械工程师成长营

1 数 学



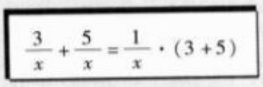
d	$\sqrt{d}$	$A=\frac{\pi \cdot d^2}{4}$
1	1.0000	0.7854
2	1.4142	3.1416
3	1.7321	7.0686

1.1 数据表
平方根，圆面积 …… 10
正弦、余弦三角函数值 …… 11
正切、余切三角函数值 …… 12



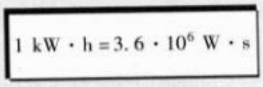
正弦 = 对边 / 斜边
余弦 = 邻边 / 斜边
正切 = 对边 / 邻边
余切 = 邻边 / 对边

1.2 三角函数
直角三角形的三角函数 …… 13
斜三角形的三角函数，角度，平行线分线段成比例定理 …… 14



$$\frac{3}{x}+\frac{5}{x}=\frac{1}{x}\cdot(3+5)$$

1.3 基础
括号、乘方和开方的运用 …… 15
方程式类型，变换法则 …… 16
10 的乘方和单位因数，利息计算 …… 17
百分比计算，比例计算 …… 18

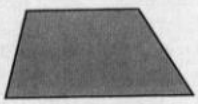


$1\ \mathrm{kW}\cdot\mathrm{h}=3.6\cdot10^{6}\ \mathrm{W}\cdot\mathrm{s}$

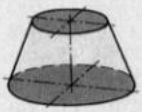
1.4 符号，单位
公式符号，数学符号 …… 19
SI 量和测量单位 …… 20



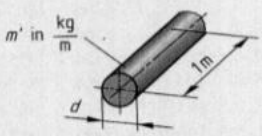
1.5 长度
直角三角形中的计算 …… 23
等分长度，弧长，组合长度 …… 24
有效长度，弹簧钢丝长度，毛坯长度 …… 25



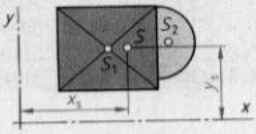
1.6 面积
四边形，三角形 …… 26
三角形，多边形，圆 …… 27
扇形，弓形，圆环 …… 28



1.7 体积和表面积
正方体，长方体，圆柱，中空圆柱体，棱锥 …… 29
棱台，圆锥，圆台，球体，球冠 …… 30



1.8 质量
组合体体积，质量计算 …… 31



1.9 形心
线和平面面积的形心 …… 32

关注公众号：机械工程师成长营

平方根，圆面积

d	$\sqrt{d}$	$A=\frac{\pi \cdot d^2}{4}$	d	$\sqrt{d}$	$A=\frac{\pi \cdot d^2}{4}$	d	$\sqrt{d}$	$A=\frac{\pi \cdot d^2}{4}$	d	$\sqrt{d}$	$A=\frac{\pi \cdot d^2}{4}$
1	1.0000	0.7854	51	7.1414	2042.82	101	10.0499	8011.85	151	12.2882	17907.9
2	1.4142	3.1416	52	7.2111	2123.72	102	10.0995	8171.28	152	12.3288	18145.8
3	1.7321	7.0686	53	7.2801	2206.18	103	10.1489	8332.29	153	12.3693	18385.4
4	2.0000	12.5664	54	7.3485	2290.22	104	10.1980	8494.87	154	12.4097	18626.5
5	2.2361	19.6350	55	7.4162	2375.83	105	10.2470	8659.01	155	12.4499	18869.2
6	2.4495	28.2743	56	7.4833	2463.01	106	10.2956	8824.73	156	12.4900	19113.4
7	2.6458	38.4845	57	7.5498	2551.76	107	10.3441	8992.02	157	12.5300	19359.3
8	2.8284	50.2655	58	7.6158	2642.08	108	10.3923	9160.88	158	12.5698	19606.7
9	3.0000	63.6173	59	7.6811	2733.97	109	10.4403	9331.32	159	12.6095	19855.7
10	3.1623	78.5398	**60**	7.7460	2827.43	**110**	10.4881	9503.32	**160**	12.6491	20106.2
11	3.3166	95.0332	61	7.8102	2922.47	111	10.5357	9676.89	161	12.6886	20358.3
12	3.4641	113.097	62	7.8740	3019.07	112	10.5830	9852.03	162	12.7279	20612.0
13	3.6056	132.732	63	7.9373	3117.25	113	10.6301	10028.7	163	12.7671	20867.2
14	3.7417	153.938	64	8.0000	3216.99	114	10.6771	10207.0	164	12.8062	21124.1
15	3.8730	176.715	65	8.0623	3318.31	115	10.7238	10386.9	165	12.8452	21382.5
16	4.0000	201.062	66	8.1240	3421.19	116	10.7703	10568.3	166	12.8841	21642.4
17	4.1231	226.980	67	8.1854	3525.65	117	10.8167	10751.3	167	12.9228	21904.0
18	4.2426	254.469	68	8.2462	3631.68	118	10.8628	10935.9	168	12.9615	22167.1
19	4.3589	283.529	69	8.3066	3739.28	119	10.9087	11122.0	169	13.0000	22431.8
20	4.4721	314.159	**70**	8.3666	3848.45	**120**	10.9545	11309.7	**170**	13.0384	22698.0
21	4.5826	346.361	71	8.4261	3959.19	121	11.0000	11499.0	171	13.0767	22965.8
22	4.6904	380.133	72	8.4853	4071.50	122	11.0454	11689.9	172	13.1149	23235.2
23	4.7958	415.476	73	8.5440	4185.39	123	11.0905	11882.3	173	13.1529	23506.2
24	4.8990	452.389	74	8.6023	4300.84	124	11.1355	12076.3	174	13.1909	23778.7
25	5.0000	490.874	75	8.6603	4417.86	125	11.1803	12271.8	175	13.2288	24052.8
26	5.0990	530.929	76	8.7178	4536.46	126	11.2250	12469.0	176	13.2665	24328.5
27	5.1962	572.555	77	8.7750	4656.63	127	11.2694	12667.7	177	13.3041	24605.7
28	5.2915	615.752	78	8.8318	4778.36	128	11.3137	12868.0	178	13.3417	24884.6
29	5.3852	660.520	79	8.8882	4901.67	129	11.3578	13069.8	179	13.3791	25164.9
30	5.4772	706.858	**80**	8.9443	5026.55	**130**	11.4018	13273.2	**180**	13.4164	25446.9
31	5.5678	754.768	81	9.0000	5153.00	131	11.4455	13478.2	181	13.4536	25730.4
32	5.6569	804.248	82	9.0554	5281.02	132	11.4891	13684.8	182	13.4907	26015.5
33	5.7446	855.299	83	9.1104	5410.61	133	11.5326	13892.9	183	13.5277	26302.2
34	5.8310	907.920	84	9.1652	5541.77	134	11.5758	14102.6	184	13.5647	26590.4
35	5.9161	962.113	85	9.2195	5674.50	135	11.6190	14313.9	185	13.6015	26880.3
36	6.0000	1017.88	86	9.2736	5808.80	136	11.6619	14526.7	186	13.6382	27171.6
37	6.0828	1075.21	87	9.3274	5944.68	137	11.7047	14741.1	187	13.6748	27464.6
38	6.1644	1134.11	88	9.3808	6082.12	138	11.7473	14957.1	188	13.7113	27759.1
39	6.2450	1194.59	89	9.4340	6221.14	139	11.7898	15174.7	189	13.7477	28055.2
40	6.3246	1256.64	**90**	9.4868	6361.73	**140**	11.8322	15393.8	**190**	13.7840	28352.9
41	6.4031	1320.25	91	9.5394	6503.88	141	11.8743	15614.5	191	13.8203	28652.1
42	6.4807	1385.44	92	9.5917	6647.61	142	11.9164	15836.8	192	13.8564	28952.9
43	6.5574	1452.20	93	9.6437	6792.91	143	11.9583	16060.6	193	13.8924	29255.3
44	6.6332	1520.53	94	9.6954	6939.78	144	12.0000	16286.0	194	13.9284	29559.2
45	6.7082	1590.43	95	9.7468	7088.22	145	12.0416	16513.0	195	13.9642	29864.8
46	6.7823	1661.90	96	9.7980	7238.23	146	12.0830	16741.5	196	14.0000	30171.9
47	6.8557	1734.94	97	9.8489	7389.81	147	12.1244	16971.7	197	14.0357	30480.5
48	6.9282	1809.56	98	9.8995	7542.96	148	12.1655	17203.4	198	14.0712	30790.7
49	7.0000	1885.74	99	9.9499	7697.69	149	12.2066	17436.6	199	14.1067	31102.6
50	7.0711	1963.50	**100**	10.0000	7853.98	**150**	12.2474	17671.5	**200**	14.1421	31415.9

表中$\sqrt{d}$和A的值四舍五入

关注公众号：机械工程师成长营

正弦、余弦三角函数值

度↓	正弦 0° ~ 45°　分 0′	15′	30′	45′	60′		度↓	正弦 45° ~ 90°　分 0′	15′	30′	45′	60′	
0°	0.0000	0.0044	0.0087	0.0131	0.0175	89°	45°	0.7071	0.7102	0.7133	0.7163	0.7193	44°
1°	0.0175	0.0218	0.0262	0.0305	0.0349	88°	46°	0.7193	0.7224	0.7254	0.7284	0.7314	43°
2°	0.0349	0.0393	0.0436	0.0480	0.0523	87°	47°	0.7314	0.7343	0.7373	0.7402	0.7431	42°
3°	0.0523	0.0567	0.0610	0.0654	0.0698	86°	48°	0.7431	0.7461	0.7490	0.7518	0.7547	41°
4°	0.0698	0.0741	0.0785	0.0828	0.0872	85°	49°	0.7547	0.7576	0.7604	0.7632	0.7660	40°
5°	0.0872	0.0915	0.0958	0.1002	0.1045	84°	**50°**	0.7660	0.7688	0.7716	0.7744	0.7771	39°
6°	0.1045	0.1089	0.1132	0.1175	0.1219	83°	51°	0.7771	0.7799	0.7826	0.7853	0.7880	38°
7°	0.1219	0.1262	0.1305	0.1349	0.1392	82°	52°	0.7880	0.7907	0.7934	0.7960	0.7986	37°
8°	0.1392	0.1435	0.1478	0.1521	0.1564	81°	53°	0.7986	0.8013	0.8039	0.8064	0.8090	36°
9°	0.1564	0.1607	0.1650	0.1693	0.1736	**80°**	54°	0.8090	0.8116	0.8141	0.8166	0.8192	35°
10°	0.1736	0.1779	0.1822	0.1865	0.1908	79°	55°	0.8192	0.8216	0.8241	0.8266	0.8290	34°
11°	0.1908	0.1951	0.1994	0.2036	0.2079	78°	56°	0.8290	0.8315	0.8339	0.8363	0.8387	33°
12°	0.2079	0.2122	0.2164	0.2207	0.2250	77°	57°	0.8387	0.8410	0.8434	0.8457	0.8480	32°
13°	0.2250	0.2292	0.2334	0.2377	0.2419	76°	58°	0.8480	0.8504	0.8526	0.8549	0.8572	31°
14°	0.2419	0.2462	0.2504	0.2546	0.2588	75°	59°	0.8572	0.8594	0.8616	0.8638	0.8660	**30°**
15°	0.2588	0.2630	0.2672	0.2714	0.2756	74°	**60°**	0.8660	0.8682	0.8704	0.8725	0.8746	29°
16°	0.2756	0.2798	0.2840	0.2882	0.2924	73°	61°	0.8746	0.8767	0.8788	0.8809	0.8829	28°
17°	0.2924	0.2965	0.3007	0.3049	0.3090	72°	62°	0.8829	0.8850	0.8870	0.8890	0.8910	27°
18°	0.3090	0.3132	0.3173	0.3214	0.3256	71°	63°	0.8910	0.8930	0.8949	0.8969	0.8988	26°
19°	0.3256	0.3297	0.3338	0.3379	0.3420	**70°**	64°	0.8988	0.9007	0.9026	0.9045	0.9063	25°
20°	0.3420	0.3461	0.3502	0.3543	0.3584	69°	65°	0.9063	0.9081	0.9100	0.9118	0.9135	24°
21°	0.3584	0.3624	0.3665	0.3706	0.3746	68°	66°	0.9135	0.9153	0.9171	0.9188	0.9205	23°
22°	0.3746	0.3786	0.3827	0.3867	0.3907	67°	67°	0.9205	0.9222	0.9239	0.9255	0.9272	22°
23°	0.3907	0.3947	0.3987	0.4027	0.4067	66°	68°	0.9272	0.9288	0.9304	0.9320	0.9336	21°
24°	0.4067	0.4107	0.4147	0.4187	0.4226	65°	69°	0.9336	0.9351	0.9367	0.9382	0.9397	**20°**
25°	0.4226	0.4266	0.4305	0.4344	0.4384	64°	**70°**	0.9397	0.9412	0.9426	0.9441	0.9455	19°
26°	0.4384	0.4423	0.4462	0.4501	0.4540	63°	71°	0.9455	0.9469	0.9483	0.9497	0.9511	18°
27°	0.4540	0.4579	0.4617	0.4656	0.4695	62°	72°	0.9511	0.9524	0.9537	0.9550	0.9563	17°
28°	0.4695	0.4733	0.4772	0.4810	0.4848	61°	73°	0.9563	0.9576	0.9588	0.9600	0.9613	16°
29°	0.4848	0.4886	0.4924	0.4962	0.5000	**60°**	74°	0.9613	0.9625	0.9636	0.9648	0.9659	15°
30°	0.5000	0.5038	0.5075	0.5113	0.5150	59°	75°	0.9659	0.9670	0.9681	0.9692	0.9703	14°
31°	0.5150	0.5188	0.5225	0.5262	0.5299	58°	76°	0.9703	0.9713	0.9724	0.9734	0.9744	13°
32°	0.5299	0.5336	0.5373	0.5410	0.5446	57°	77°	0.9744	0.9753	0.9763	0.9772	0.9781	12°
33°	0.5446	0.5483	0.5519	0.5556	0.5592	56°	78°	0.9781	0.9790	0.9799	0.9808	0.9816	11°
34°	0.5592	0.5628	0.5664	0.5700	0.5736	55°	79°	0.9816	0.9825	0.9833	0.9840	0.9848	**10°**
35°	0.5736	0.5771	0.5807	0.5842	0.5878	54°	**80°**	0.9848	0.9856	0.9863	0.9870	0.9877	9°
36°	0.5878	0.5913	0.5948	0.5983	0.6018	53°	81°	0.9877	0.9884	0.9890	0.9897	0.9903	8°
37°	0.6018	0.6053	0.6088	0.6122	0.6157	52°	82°	0.9903	0.9909	0.9914	0.9920	0.9925	7°
38°	0.6157	0.6191	0.6225	0.6259	0.6293	51°	83°	0.9925	0.9931	0.9936	0.9941	0.9945	6°
39°	0.6293	0.6327	0.6361	0.6394	0.6428	**50°**	84°	0.9945	0.9950	0.9954	0.9958	0.9962	5°
40°	0.6428	0.6421	0.6494	0.6528	0.6561	49°	85°	0.9962	0.9966	0.9969	0.9973	0.9976	4°
41°	0.6561	0.6593	0.6626	0.6659	0.6691	48°	86°	0.9976	0.9979	0.9981	0.9984	0.9986	3°
42°	0.6691	0.6724	0.6756	0.6788	0.6820	47°	87°	0.9986	0.9988	0.9990	0.9992	0.9994	2°
43°	0.6820	0.6852	0.6884	0.6915	0.6947	46°	88°	0.9994	0.9995	0.9997	0.9998	0.99985	1°
44°	0.6947	0.6978	0.7009	0.7040	0.7071	45°	89°	0.99985	0.99991	0.99996	0.99999	1.0000	**0°**
	60′	45′	30′	15′	0′	↑ 度		60′	45′	30′	15′	0′	↑ 度
	← 分 余弦 45° ~ 90°							← 分 余弦 0° ~ 45°					

表中三角函数值四舍五入到小数点后 4 位

关注公众号：机械工程师成长营

正切、余切三角函数值

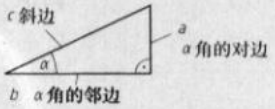
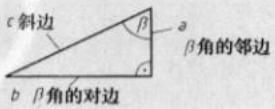
度 ↓	正切 0°～45° 分 0′	15′	30′	45′	60′		度 ↓	正切 45°～90° 分 0′	15′	30′	45′	60′	
0°	0.0000	0.0044	0.0087	0.0131	0.0175	89°	45°	1.0000	1.0088	1.0176	1.0265	1.0355	44°
1°	0.0175	0.0218	0.0262	0.0306	0.0349	88°	46°	1.0355	1.0446	1.0538	1.0630	1.0724	43°
2°	0.0349	0.0393	0.0437	0.0480	0.0524	87°	47°	1.0724	1.0818	1.0913	1.1009	1.1106	42°
3°	0.0524	0.0568	0.0612	0.0655	0.0699	86°	48°	1.1106	1.1204	1.1303	1.1403	1.1504	41°
4°	0.0699	0.0743	0.0787	0.0831	0.0875	85°	49°	1.1504	1.1606	1.1708	1.1812	1.1918	**40°**
5°	0.0875	0.0919	0.0963	0.1007	0.1051	84°	**50°**	1.1918	1.2024	1.2131	1.2239	1.2349	39°
6°	0.1051	0.1095	0.1139	0.1184	0.1228	83°	51°	1.2349	1.2460	1.2572	1.2685	1.2799	38°
7°	0.1228	0.1272	0.1317	0.1361	0.1405	82°	52°	1.2799	1.2915	1.3032	1.3151	1.3270	37°
8°	0.1405	0.1450	0.1495	0.1539	0.1584	81°	53°	1.3270	1.3392	1.3514	1.3638	1.3764	36°
9°	0.1584	0.1629	0.1673	0.1718	0.1763	**80°**	54°	1.3764	1.3891	1.4019	1.4150	1.4281	35°
10°	0.1763	0.1808	0.1853	0.1899	0.1944	79°	55°	1.4281	1.4415	1.4550	1.4687	1.4826	34°
11°	0.1944	0.1989	0.2035	0.2080	0.2126	78°	56°	1.4826	1.4966	1.5108	1.5253	1.5399	33°
12°	0.2126	0.2171	0.2217	0.2263	0.2309	77°	57°	1.5399	1.5547	1.5697	1.5849	1.6003	32°
13°	0.2309	0.2355	0.2401	0.2447	0.2493	76°	58°	1.6003	1.6160	1.6319	1.6479	1.6643	31°
14°	0.2493	0.2540	0.2586	0.2633	0.2679	75°	59°	1.6643	1.6808	1.6977	1.7147	1.7321	**30°**
15°	0.2679	0.2726	0.2773	0.2820	0.2867	74°	**60°**	1.7321	1.7496	1.7675	1.7856	1.8040	29°
16°	0.2867	0.2915	0.2962	0.3010	0.3057	73°	61°	1.8040	1.8228	1.8418	1.8611	1.8807	28°
17°	0.3057	0.3105	0.3153	0.3201	0.3249	72°	62°	1.8807	1.9007	1.9210	1.9416	1.9626	27°
18°	0.3249	0.3298	0.3346	0.3395	0.3443	71°	63°	1.9626	1.9840	2.0057	2.0278	2.0503	26°
19°	0.3443	0.3492	0.3541	0.3590	0.3640	**70°**	64°	2.0503	2.0732	2.0965	2.1203	2.1445	25°
20°	0.3640	0.3689	0.3739	0.3789	0.3839	69°	65°	2.1445	2.1692	2.1943	2.2199	2.2460	24°
21°	0.3839	0.3889	0.3939	0.3990	0.4040	68°	66°	2.2460	2.2727	2.2998	2.3276	2.3559	23°
22°	0.4040	0.4091	0.4142	0.4193	0.4245	67°	67°	2.3559	2.3847	2.4142	2.4443	2.4751	22°
23°	0.4245	0.4296	0.4348	0.4400	0.4452	66°	68°	2.4751	2.5065	2.5386	2.5715	2.6051	21°
24°	0.4452	0.4505	0.4557	0.4610	0.4663	65°	69°	2.6051	2.6395	2.6746	2.7106	2.7475	**20°**
25°	0.4663	0.4716	0.4770	0.4823	0.4877	64°	**70°**	2.7475	2.7852	2.8239	2.8636	2.9042	19°
26°	0.4877	0.4931	0.4986	0.5040	0.5095	63°	71°	2.9042	2.9459	2.9887	3.0326	3.0777	18°
27°	0.5095	0.5150	0.5206	0.5261	0.5317	62°	72°	3.0777	3.1240	3.1716	3.2205	3.2709	17°
28°	0.5317	0.5373	0.5430	0.5486	0.5543	61°	73°	3.2709	3.3226	3.3759	3.4308	3.4874	16°
29°	0.5543	0.5600	0.5658	0.5715	0.5774	**60°**	74°	3.4874	3.5457	3.6059	3.6680	3.7321	15°
30°	0.5774	0.5832	0.5890	0.5949	0.6009	59°	75°	3.7321	3.7983	3.8667	3.9375	4.0108	14°
31°	0.6009	0.6068	0.6128	0.6188	0.6249	58°	76°	4.0108	4.0876	4.1653	4.2468	4.3315	13°
32°	0.6249	0.6310	0.6371	0.6432	0.6494	57°	77°	4.3315	4.4194	4.5107	4.6057	4.7046	12°
33°	0.6494	0.6556	0.6619	0.6682	0.6745	56°	78°	4.7046	4.8077	4.9152	5.0273	5.1446	11°
34°	0.6745	0.6809	0.6873	0.6937	0.7002	55°	79°	5.1446	5.2672	5.3955	5.5301	5.6713	**10°**
35°	0.7002	0.7067	0.7133	0.7199	0.7265	54°	**80°**	5.6713	5.8197	5.9758	6.1402	6.3138	9°
36°	0.7265	0.7332	0.7400	0.7467	0.7536	53°	81°	6.3138	6.4971	6.6912	6.8969	7.1154	8°
37°	0.7536	0.7604	0.7673	0.7743	0.7813	52°	82°	7.1154	7.3479	7.5958	7.8606	8.1443	7°
38°	0.7813	0.7883	0.7954	0.8026	0.8098	51°	83°	8.1443	8.4490	8.7769	9.1309	9.5144	6°
39°	0.8098	0.8170	0.8243	0.8317	0.8391	**50°**	84°	9.5144	9.9310	10.3854	10.8829	11.4301	5°
40°	0.8391	0.8466	0.8541	0.8617	0.8693	49°	85°	11.4301	12.0346	12.7062	13.4566	14.3007	4°
41°	0.8693	0.8770	0.8847	0.8925	0.9004	48°	86°	14.3007	15.2571	16.3499	17.6106	19.0811	3°
42°	0.9004	0.9083	0.9163	0.9244	0.9325	47°	87°	19.0811	20.8188	22.9038	25.4517	28.6363	2°
43°	0.9325	0.9407	0.9490	0.9573	0.9657	46°	88°	28.6363	32.7303	38.1885	45.8294	57.2900	1°
44°	0.9657	0.9742	0.9827	0.9913	1.0000	45°	89°	57.2900	76.3900	114.5887	229.1817	∞	0°
	60′	45′	30′	15′	0′	↑ 度		60′	45′	30′	15′	0′	↑ 度
	分 余切 45°～90°							分 余切 0°～45°					

表中三角函数值四舍五入到小数点后 4 位

关注公众号：机械工程师成长营

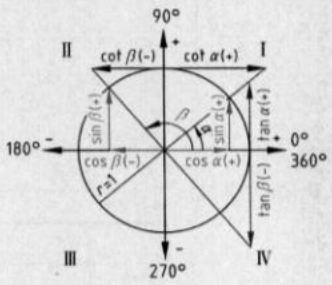
直角三角形的三角函数

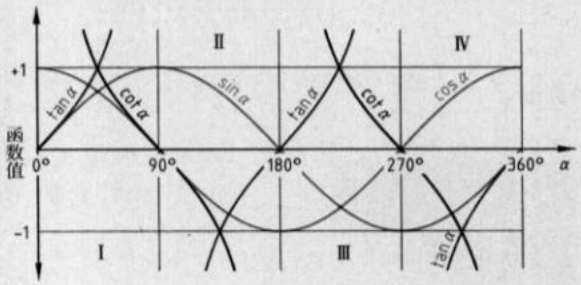
定义

直角三角形中的命名	边比定义	应用 对于∢α	对于∢β
	正弦 = 对边/斜边	$\sin\alpha=\frac{a}{c}$	$\sin\beta=\frac{b}{c}$
	余弦 = 邻边/斜边	$\cos\alpha=\frac{b}{c}$	$\cos\beta=\frac{a}{c}$
	正切 = 对边/斜边	$\tan\alpha=\frac{a}{b}$	$\tan\beta=\frac{b}{a}$
	余切 = 邻边/斜边	$\cot\alpha=\frac{b}{a}$	$\cot\beta=\frac{a}{b}$

0°和360°之间三角函数的曲线图

在单位圆上的表达　　三角函数的曲线图





角度大于90°的三角函数值可由0°和90°间的值推导，然后由表（第11页和第12页）读数。正确的符号可参照三角函数曲线图中的曲线。三角函数的计算器显示函数值和所需角度的符号。

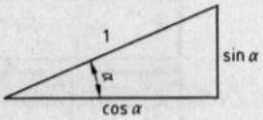
实例：与第Ⅱ象限的关系

关系	实例：角度120°的三角函数值（公式中的α=30°）	
$\sin\alpha\ (90°+\alpha) = +\cos\alpha$ $\cos\alpha\ (90°+\alpha) = -\sin\alpha$ $\tan\alpha\ (90°+\alpha) = -\cot\alpha$	$\sin\ (90°+30°) = \sin120° = +0.8660$ $\cos\ (90°+30°) = \cos120° = -0.5000$ $\tan\ (90°+30°) = \tan120° = -1.7321$	$\cos30° = +0.8660$ $-\sin30° = -0.5000$ $-\cot30° = -1.7321$

所选角度函数值

函数	0°	90°	180°	270°	360°	函数	0°	90°	180°	270°	360°
sin	0	+1	0	−1	0	tan	0	∞	0	∞	0
cos	+1	0	−1	0	+1	cot	∞	0	∞	0	∞

同角三角函数间的关系



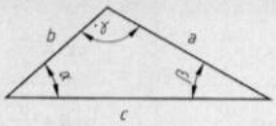
$\sin^2\alpha+\cos^2\alpha=1$	$\tan\alpha\cdot\cot\alpha=1$
$\tan\alpha=\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$	$\cot\alpha=\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$

实例：α=30时，由其正弦、余弦计算正切：
$\tan\alpha=\sin\alpha/\cos\alpha=0.5000/0.8660=0.5774$

关注公众号：机械工程师成长营

斜三角形的三角函数，角度，平行线分线段成比例定理

正弦定理和余弦定理

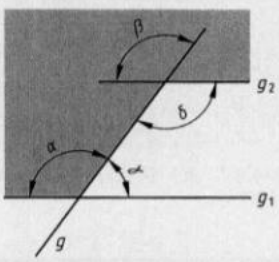


正弦定理	余弦定理
$a:b:c=\sin\alpha:\sin\beta:\sin\gamma$ $\frac{a}{\sin\alpha}=\frac{b}{\sin\beta}=\frac{c}{\sin\gamma}$	$a^2=b^2+c^2-2\cdot b\cdot c\cdot\cos\alpha$ $b^2=a^2+c^2-2\cdot a\cdot c\cdot\cos\beta$ $c^2=a^2+b^2-2\cdot a\cdot b\cdot\cos\gamma$

边和角的计算应用

边的计算		角的计算	
采用正弦定理	采用余弦定理	采用正弦定理	采用余弦定理
$a=\frac{b\cdot\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{c\cdot\sin\alpha}{\sin\gamma}$ $b=\frac{a\cdot\sin\beta}{\sin\alpha}=\frac{c\cdot\sin\beta}{\sin\gamma}$ $c=\frac{a\cdot\sin\gamma}{\sin\alpha}=\frac{b\cdot\sin\gamma}{\sin\beta}$	$a=\sqrt{b^2+c^2-2\cdot b\cdot c\cdot\cos\alpha}$ $b=\sqrt{a^2+c^2-2\cdot a\cdot c\cdot\cos\beta}$ $c=\sqrt{a^2+b^2-2\cdot a\cdot b\cdot\cos\gamma}$	$\sin\alpha=\frac{a\cdot\sin\beta}{b}=\frac{a\cdot\sin\gamma}{c}$ $\sin\beta=\frac{b\cdot\sin\alpha}{a}=\frac{b\cdot\sin\gamma}{c}$ $\sin\gamma=\frac{c\cdot\sin\alpha}{a}=\frac{c\cdot\sin\beta}{b}$	$\cos\alpha=\frac{b^2+c^2-a^2}{2\cdot b\cdot c}$ $\cos\beta=\frac{a^2+c^2-b^2}{2\cdot a\cdot c}$ $\cos\gamma=\frac{a^2+b^2-c^2}{2\cdot a\cdot b}$

角的类型



如果两平行线 g_1 和 g_2 被直线 g 分割，则同位角、对角、错角、邻角之间有几何学的相互关系

同位角

$\alpha=\beta$

对角

$\beta=\delta$

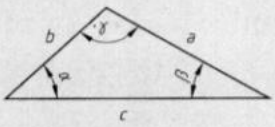
错角

$\alpha=\delta$

邻角

$\alpha+\gamma=180°$

三角形各内角之和

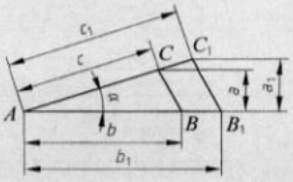


三角形的内角和等于 180°

三角形的内角和

$\alpha+\beta+\gamma=180°$

平行线分线段成比例定理



如果从点 A 延伸的两条线被两平行线 BC、B_1C_1 分割，平行线的线段和从点 A 延伸的射线的对应线段之比相等

平行线分线段成比例定理

$\frac{a}{a_1}=\frac{b}{b_1}=\frac{c}{c_1}$

$\frac{a}{b}=\frac{a_1}{b_1}$　　$\frac{b}{c}=\frac{b_1}{c_1}$

关注公众号：机械工程师成长营

括号、乘方和开方的运用

带括号运算

类型	解释	举例
提出因子	加法和减法中的公因数放到括号前	$3\cdot x+5\cdot x=x\cdot(3+5)=8\cdot x$ $\frac{3}{x}+\frac{5}{x}=\frac{1}{x}\cdot(3+5)$
	分数线像括号一样组合诸项	$\frac{a+b}{2}\cdot h=(a+b)\cdot\frac{h}{2}$
去括号	一括号项乘以一个值（数字，变量，另一括号项），等于括号内各项与此值相乘的结果	$5\cdot(b+c)=5b+5c$ $(a+b)\cdot(c-d)=ac-ad+bc-cd$
	一括号项除一个值（数字，变量，另一括号项），等于括号内各项除这个值	$(a+b):c=a:c+b:c$ $\frac{a-b}{5}=\frac{a}{5}-\frac{b}{5}$
二项式公式	二项式公式是（$a+b$）或（$a-b$）自乘的公式	$(a+b)^2=a^2+2ab+b^2$ $(a-b)^2=a^2-2ab+b^2$ $(a+b)\cdot(a-b)=a^2-b^2$
加、减、乘、除计算	在混合等式中，括号项应该首先计算，然后再作乘、除计算，最后作加、减计算	$a\cdot(3x-5x)-b\cdot(12y-2y)$ $=a\cdot(-2x)-b\cdot 10y$ $=-2ax-10by$

乘方

定义	a 底数；b 指数 y 幂值 相同因子的积	$a^x=y$ $a\cdot a\cdot a\cdot a=a^4$ $4\cdot 4\cdot 4\cdot 4=4^4=256$
加减	相同底数、指数的幂被当作相等的数处理	$3a^3+5a^3-4a^3$ $=a^3\cdot(3+5-4)=4a^3$
乘除	同底数幂乘除，底数不变，指数相加减（相除时，$a\neq 0$）	$a^4\cdot a^2=a\cdot a\cdot a\cdot a\cdot a\cdot a=a^6$ $2^4\cdot 2^2=2^{(4+2)}=2^6=64$ $3^2\div 3^3=3^{(2-3)}=3^{-1}=1/3$
负指数	负指数幂也可写成分数形式。底数配上正指数，置于分母的位置	$m^{-1}=\frac{1}{m^1}=\frac{1}{m}$ $a^{-3}=\frac{1}{a^3}$
分数指数	分数指数幂也可写成根号的形式	$a^{\frac{4}{3}}=\sqrt[3]{a^4}$
零指数	0 指数幂等于 1（$a\neq 0$）	$(m+n)^0=1$ $a^4\div a^4=a^{(4-4)}=a^0=1$ $2^0=1$

开方

定义	x 根指数；a 被开方数；y 根值	$\sqrt[x]{a}=y$ 或 $a^{1/x}=y$
符号	被开方数是正数，开偶次方得正负值；负数开偶次方得一虚数	$\sqrt[2]{9}=\pm 3$ $\sqrt[2]{-9}=+3\mathrm{i}$
	被开方数是正数，开奇次方得正值；负数开奇次方得负数	$\sqrt[3]{8}=2$ $\sqrt[3]{-8}=-2$
加减	同类的根式可加减	$\sqrt{a}+3\sqrt{a}-2\sqrt{a}=2\sqrt{a}$
乘除	相同根指数方根的乘除，可以对被开方数求乘除后再开方	$\sqrt[n]{a}\cdot\sqrt[n]{b}=\sqrt[n]{ab}$ $\frac{\sqrt[3]{a}}{\sqrt[3]{n}}=\sqrt[3]{\frac{a}{n}}$

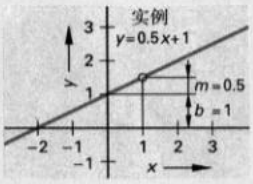
关注公众号：机械工程师成长营

方程式类型，变换法则

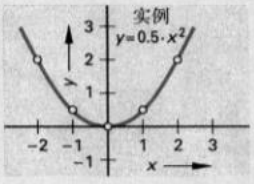
方程式

类　型	解　释	举　例
变量方程	等项（等式项）构成变量间的关系（也可参见：变换法则）	$v=\pi \cdot d \cdot n$ $(a+b)^2=a^2+2ab+b^2$
相容单位方程	结果中的单位、常量直接化为 SI 单位。只在特殊情况下采用，例如：工程参数被指定或为了简化	$P=\frac{M \cdot n}{9550}$；P（kW），如果 n（1/min）和 M（Nm）
单变量方程	计算变量的值	$x+3=8$ $x=8-3=5$
函数方程	指定的函数方程：y 是 x 的函数，x 是自变量，y 为因变量 数值表中的实数对（x，y）形成 xy 坐标系中函数的图形	$y=f(x)$ **R**→实数
	常数函数　图形是与 X 轴平行的一条直线	$y=f(x)=b$
	比例函数　图形是过原点的一条直线	$y=f(x)=mx$ $y=2x$
	一次函数　图形是一条斜率为 m，y 轴截距为 b 的直线（实例如下）	$y=f(x)=mx+b$ $y=0.5x+1$
	二次函数　二次函数的图形是一条抛物线（实例如下）	$y=f(x)=x^2$ $y=a_2x^2+a_1x+a_0$

一次函数



二次函数



变换法则

方程通常经多次变换，从而得到一个未知量单独在等式左边的方程

加减	相同的数可在方程两边同时被加、减 在方程 $x+5=15$ 和 $x+5-5=15-5$ 中，x 的值相同，即两方程式等价	$x+5=15 \quad \vert -5$ $x+5-5=15-5$ $x=10$ $y-c=d \quad \vert +c$ $y-c+c=d+c$ $y=d+c$
乘除	方程式两边可同乘或同除相同的数	$a \cdot x=b \quad \vert \div a$ $\frac{a \cdot x}{a}=\frac{b}{a}$ $x=\frac{b}{a}$
乘方	方程式两边可作相同指数的乘方运算	$\sqrt{x}=a+b \quad \vert ()^2$ $(\sqrt{x})^2=(a+b)^2$ $x=a^2+2ab+b^2$
开方	方程式两边可同时作相同指数的开方运算	$x^2=a+b \quad \vert \sqrt{\ }$ $(\sqrt{x})^2=\sqrt{a+b}$ $x=\pm\sqrt{a+b}$

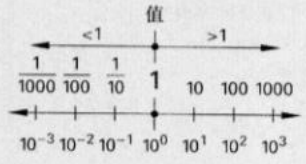
关注公众号：机械工程师成长营

10 的乘方和单位因数，利息计算

10 的乘方和单位因数

cf. DIN 1301－1（2002－10）

数值			SI 单位			
			词头		实例	
10 的乘方	名称	乘数	名称	字符	单位	意义
10^{18}	百万的三次方	1 000 000 000 000 000 000	艾	E	Em	10^{18} 米
10^{15}	千的五次方	1 000 000 000 000 000	拍	P	Pm	10^{15} 米
10^{12}	万亿	1 000 000 000 000	太	T	TV	10^{12} 伏特
10^{9}	十亿	1 000 000 000	吉	G	GW	10^{9} 瓦特
10^{6}	百万	1 000 000	兆	M	MW	10^{6} 瓦特
10^{3}	千	1 000	千	k	kN	10^{3} 牛顿
10^{2}	百	100	百	h	hl	10^{2} 公升
10^{1}	十	10	十	da	dam	10^{1} 米
10^{0}	个	1	—	—	m	10^{0} 米
10^{-1}	十分之一	0.1	分	d	dm	10^{-1} 米
10^{-2}	百分之一	0.01	厘	c	cm	10^{-2} 米
10^{-3}	千分之一	0.001	毫	m	mV	10^{-3} 伏特
10^{-6}	百万分之一	0.000 001	微	μ	μA	10^{-6} 安培
10^{-9}	十亿分之一	0.000 000 001	纳	n	nm	10^{-9} 米
10^{-12}	万亿分之一	0.000 000 000 001	皮	p	pF	10^{-12} 法拉
10^{-15}	千的五次方分之一	0.000 000 000 000 001	飞	f	fF	10^{-15} 法拉
10^{-18}	百万的三次方分之一	0.000 000 000 000 000 001	阿	a	am	10^{-18} 米



大于 1 的数用正指数表示，小于 1 的数用负指数表示

例：$4\,300 = 4.3 \cdot 1\,000 = 4.3 \cdot 10^{3}$

$14\,638 = 1.463\,8 \cdot 10^{4}$

$0.07 = \frac{7}{100} = 7 \cdot 10^{-2}$

简单利息

P 本金　l 利息　t 利息周期中的天数

A 累积数量　r 每年利率

例 1：

$P = \$\ 2\,800.00$；$r = 6\ \frac{\%}{a}$；$r = 1/2a$；$I = ?$

$$I = \frac{\$\ 2\,800.00 \cdot 6\ \frac{\%}{a} \cdot 0.5a}{100\,\%} = \$\ 84.00$$

例 2：

$P = \$\ 4\,800.00$；$r = 5.1\ \frac{\%}{a}$；$t = 50d$；$I = ?$

$$I = \frac{\$\ 4\,800.00 \cdot 5.1\ \frac{\%}{a} \cdot 50d}{100\,\% \cdot 360\ \frac{d}{a}} = \$\ 34.00$$

利息

$$I = \frac{P \cdot r \cdot t}{100\,\% \cdot 360}$$

1 利息年 = 360 天

360 天 = 12 个月

1 利息月 = 30 天

一次性付款复利计算

P 本金　l 利息　n 时间

A 累积数量　r 每年利率　q 复合因数

例：

$P = \$\ 8\,000.00$；$n = 7$ 年；$r = 6.5\,\%$；$A = ?$

$q = 1 + \frac{6.5\,\%}{100\,\%} = 1.065$

$A = P \cdot q^{n} = \$\ 8\,000.00 \cdot 1.065^{7} = \$\ 8\,000.00 \cdot 1.553\,986$

$= \$\ 12\,431.89$

累积数量

$$A = P \cdot q^{n}$$

复合因数

$$q = 1 + \frac{r}{100\,\%}$$

关注公众号：机械工程师成长营

百分比计算、比例计算

百分比计算

百分比是按一百等份均分的基值的百分数。
基值是用来计算百分比的值。
百分值是表示所占基值的百分比的数量。

P_r　百分比　　P_v　百分值　　B_v　基值

百分值

$$P_v = \frac{B_v \cdot P_r}{100\%}$$

百分比

$$P_r = \frac{P_v}{B_v} \cdot 100\%$$

例 1：

工件毛坯重量为 250 kg（基值）；材料损失 2%（百分比）；材料损失的千克数 = ？（百分值）

$$P_v = \frac{B_v \cdot P_r}{100\%} = \frac{250\ \text{kg} \cdot 2\%}{100\%} = 5\ \text{kg}$$

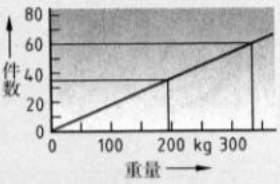
例 2：

铸件毛坯重量为 150 kg；加工后重量为 126 kg；材料损失的重量百分比（%）是多少？

$$P_r = \frac{P_v}{B_v} \cdot 100\% = \frac{150\ \text{kg} - 126\ \text{kg}}{150\ \text{kg}} \cdot 100\% = 16\%$$

比例计算

计算正比例的三步骤



例：

60 根弯管重 330 kg，35 根弯管的重量是多少？

第一步：已知数　60 根弯管重 330 kg

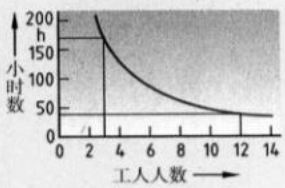
第二步：用除法计算单元体重量

1 根弯管重 $\frac{330\ \text{kg}}{60}$

第三步：用乘法计算总重量

35 根弯管重 $\frac{330\ \text{kg} \cdot 35}{60} = 192.5\ \text{kg}$

计算反比例的三步骤



例：

3 个工人 170 h 处理一份订单。12 个工人需要多少小时处理相同的订单？

已知数　3 个工人需用 170 h

第二步：用乘法计算单元时间

1 个工人需用 170 × 3 h

第三步：用除法计算总时间

12 个工人需用 $\frac{3 \cdot 170\ \text{h}}{12} = 42.5\ \text{h}$

计算正、反比例的三步骤

例：

5 台机器 24 天制造 660 个工件。

9 台机器制造 312 个相同类型的工件需多少时间？

三步骤的第一个应用：

5 台机器 24 天制造 660 个工件

1 台机器制造 660 个工件需 24 × 5 天

9 台机器制造 660 个工件需 $\frac{24 \cdot 5}{9}$ 天

三步骤的第二个应用：

9 台机器制造 660 个工件需 $\frac{24 \cdot 5}{9}$ 天

9 台机器制造 1 个工件需 $\frac{24 \cdot 5}{9 \cdot 660}$ 天

9 台机器制造 312 个工件需 $\frac{24 \cdot 5 \cdot 312}{9 \cdot 660} = 6.3$ 天

关注公众号：机械工程师成长营

公式符号，数学符号

公式符号

cf. DIN 1304 – 1 （1994 – 03）

公式符号	意义	公式符号	意义	公式符号	意义
长度，面积，体积，角度					
l	长	r，R	半径	α，β，γ	平面角度
w	宽	d，D	直径	Ω	立体角度
h	高	A，S	面积，截面面积	λ	波长
s	直线距离	V	体积		
力学					
m	质量	F	力	G	剪切模量
m'	质量线密度	Fw，W	重力，重量	μ，f	摩擦系数
m''	质量面密度	M	转矩	W	截面模量
Q	密度	T	扭矩	I	截面惯性矩
J	惯性矩	Mb	弯矩	W，E	功，能
P	压力	σ	法向应力	Wp，Ep	势能
$Pabs$	绝对压力	τ	剪切应力	Wk，Ek	动能
$Pamb$	外界压力	ε	法向应变	P	功率
Pg	标准压力	E	弹性模量	η	效率
时间					
t	时间，持续时间	f，ν	频率	a	加速度
T	周期	v，u	速度	g	重力加速度
n	旋转频率，速度	ω	角速度	α	角加速度
				Q，V，q_v	体积流量
电学					
Q	电量	L	电感	X	电抗
E	电动力	R	电阻	Z	阻抗
C	电容	ϱ	电阻率	φ	相位差
I	电流	γ，χ	电导率	N	线圈数
热					
T，Θ	热力学温度	Q	热，热量	Φ，Q	热流
ΔT，Δt，$\Delta\vartheta$	温度差	λ	热导率	a	热扩散率
t，ϑ	摄氏温度	α	热转换系数	c	比热
αl，α	线膨胀系数	κ	传热系数	$Hnet$	净发热值
光，电磁辐射					
E	照度	f	焦距	I	发光强度
		n	折射率	Q，W	辐射能
声学					
p	声压	L_p	声压水平	N	噪声
c	声速	I	声强	L_N	噪声水平

数学符号

cf. DIN 1302 （1999 – 12）

数学符号	名称	数学符号	名称	数学符号	名称
$\approx$	近似等于，左右，大约	$\sim$	成比例	log	对数（普通）
$\equiv$	等价于	a^n	a 的 n 次幂	lg	常用对数
$\cdots$	等等	$\sqrt{\ }$	平方根	ln	自然对数
∞	无穷大	$\sqrt[n]{\ }$	n 次方根	e	欧拉常数
$=$	等于	$\lvert x\rvert$	x 的绝对值	sin	正弦
$\neq$	不等于	$\perp$	垂直于	cos	余弦
$\stackrel{\text{def}}{=}$	定义等于	$\parallel$	平行于	tan	正切
$<$	小于	$\uparrow\uparrow$	同方向平行	cot	余切
$\leqslant$	小于或等于	$\uparrow\downarrow$	反方向平行	(),[],{}	小括号，中括号，大括号
$>$	大于	$\sphericalangle$	角度		
$\geqslant$	大于或等于	$\triangle$	三角形	π	Pi（圆周率 = 3.14159）
$+$	正	$\cong$	全等于		
$-$	负	Δx	Delta x（差值）	$\overline{AB}$	线段 AB
$\cdot$	倍，乘以			$\overset{\frown}{AB}$	弧线 AB
$-$，/，:，÷	除，除以，每，比	%	百分数，百分之	a'，a''	带撇号的 a，带双撇号的 a
Σ	总和	‰	千分之	a_1，a_2	a 副 1，a 副 2

关注公众号：机械工程师成长营

SI 量和测量单位

SI[1] 基本量和基本单位

基本量	长	质量	时间	电流	热力学温度	物质的量	发光强度
基本单位	米	千克	秒	安［培］	开	摩尔	坎［德拉］
单位符号	m	kg	s	A	K	mol	cd

测量单位按 SI 国际单位系统定义。它以 7 个基本单位（SI 单位）为基础，其他的单位可由此推导

基本量，导出量和其单位

量	符号	单位 名称	单位 字号	关系	注释 应用举例
长，面积，体积，角度					
长度	l	米	m	1 m = 10 dm = 100 cm = 1 000 mm 1 mm = 1 000 μm 1 km = 1 000 m	1 寸 = 25.4 mm 下面为在航空和航海中的应用： 1 海里 = 1852 m
面积	A，S	平方米 公亩 公顷	m^2 a ha	1 m^2 = 10 000 cm^2 = 1 000 000 mm^2 1 a = 100 m^2 1 ha = 100 a = 10 000 m^2 100 ha = 1 km^2	字母 S 只用来表示截面面积 公亩、公顷只用于陆地
体积	V	立方米 公升	m^3 l，L	1 m^3 = 1 000 dm^3 = 1 000 000 mm^3 1 l = 1 L = 1 dm^3 = 10 dl = 0.001 m^3 1 ml = 1 cm^3	主要用于液体和气体
平面角	$\alpha,\beta,\gamma,\dots$	弧度 度 分 秒	rad ° ′ ″	1 rad = 1 m/m = 57.2957…° = 180°/π 1° = $\frac{\pi}{180}$ rad = 60′ 1′ = 1°/60 = 60″ 1″ = 1′/60 = 1°/3600	两条射线从半径为 1 m 的圆的圆心向圆周射出形成一个夹角，和夹角正对的一段弧若等于 1 m，则此夹角的弧度为 1 在技术计算中用 α = 33.291°较好，不用 α = 33°17′27.6″
立体角	Ω	球面度	sr	1 sr = 1 m^2/m^2	以球心为顶点在球的表面切割等于球半径平方的面积的立体角就叫 1 球面度
力学					
质量	m	千克 克 兆克 吨	kg g Mg t	1 kg = 1 000 g 1 g = 1 000 mg 1 metrict = 1 000 kg = 1 Mg 0.2 g = 1 ct	标度意义上的质量或重量是物体的质量。（单位 kg） 宝石的质量，以克拉为单位（ct）
质量线密度	m'	千克每米	kg/m	1 kg/m = 1 g/mm	计算杆、型材、管的质量
质量面密度	m''	千克每平方米	kg/m^2	1 kg/m^2 = 0.1 g/cm^2	计算金属板材的质量
密度	ρ	千克每立方米	kg/m^3	1 000 kg/m^3 = 1 metric t/m^3 = 1 kg/dm^3 = 1 g/cm^3 = 1 g/mL = 1 mg/mm^3	密度是不依赖于位置的量

关注公众号：机械工程师成长营

SI 量和测量单位

量和单位（续）

量	符号	单位 名称	单位 符号	关系	备注 应用举例
力学					
转动惯量，质量转动惯量	J	千克·平方米	$kg \cdot m^2$	均匀物体的应用如下：$J=\rho \cdot r^2 \cdot V$	转动惯量（质量转动惯量）依赖于物体的质量、形状和旋转轴的位置
力 重量	F F_G G	牛顿	N	$1\ N=1\ \frac{kg \cdot m}{s^2}=1\ J/m$ $1\ MN=10^3\ kN$ $=1\ 000\ 000\ N$	1 N 的力可实现 1 kg 质块以 1 m/s 速度运动 1 s
扭矩 弯矩	M M_b T	牛顿·米	N·m	$1\ N \cdot m=1\ kg \cdot m^2/s^2$	1 N·m 是 1 N 的力，以 1 m 的臂长作用形成的力矩
动量	P	千克·米每秒	kg·m/s	$1\ kg \cdot m/s=1\ N \cdot s$	动量是质量与速度的乘积。其方向为速度方向
压强 机械应力	P σ，r	帕斯卡 牛顿每平方毫米	Pa N/mm^2	$1\ Pa=1\ N/m^2=0.01\ mbar$ $1\ bar=100\ 000\ N/m^2$ $=10\ N/cm^2=10^5\ Pa$ $1\ mbar=1\ hPa$ $1\ N/mm^2=10\ bar=1\ MN/m^2$ $=1\ MPa$ $1\ daN/cm^2=0.1\ N/mm^2$	压强指单位面积上的力。符号 p_g 用来表示标准压强。（DIN 1314）
面积转动惯量	I	4 次方米 4 次方厘米	m^4 cm^4	$1\ m^4=100\ 000\ 000\ cm^4$	以前：几何转动惯量
能，功，热量	E， W	焦耳	J	$1\ J=1\ N \cdot m=1\ W \cdot s$ $=1\ kg \cdot m^2/s^2$	焦耳用于各种形式的能，电能优先用 kWh
功率 热通量	P Φ	瓦特	W	$1\ W=1\ J/s=1\ N \cdot m/s$ $=1\ V \cdot A=1\ m^2 \cdot kg/s^3$	功率指在单位时间内所做的功
时间					
时间，时间间隔，持续时间	t	秒 分 小时 天 年	s min h d a	$1\ min=60\ s$ $1\ h=60\ min=3\ 600\ s$ $1\ d=24\ h=86\ 400\ s$	3^h 意指一时间范围（3 小时），3^h 意指时间整点（3 点钟）。时间点可写成混合形式，如：$3^h\ 24^m\ 10^s$
频率	f，ν	赫兹	Hz	$1Hz=1/s$	1Hz≙1 周每秒
旋转速度 旋转频率	n	1 转每秒 1 转每分钟	r/s r/min	$r/s=60\ r/min=60\ r \cdot min^{-1}$ $r/min=1\ r \cdot min^{-1}=\frac{1}{60}\ r/s$	单位时间的旋转次数为旋转频率，一般为转数每分钟
速度	V	米每秒 米每分 千米每小时	m/s m/min km/h	$1\ m/s=60\ m/min$ $=3.6\ km/h$ $1\ m/min=\frac{1}{60}\ m/s$ $1\ km/h=\frac{1}{3.6}\ m/s$	航海速度（海里/小时） 1 kn = 1.852 km/h 1 英里每小时 = 1 mile/h = 1 mph 1 mph = 1.609 34 km/h
角速度	ω	1 转每秒 弧度每秒	1/s rad/s	$\omega=2\pi \cdot n$	$n=2$ 转每秒的角速度 $\omega=4\ \pi/s$
加速度	a， g	米每秒平方	m/s^2	$1\ m/s^2=\frac{1\ m/s}{1\ s}$	字母 g 只表示重力加速度 $g=9.81\ m/s^2 \approx 10\ m/s^2$

*）r/s 是可与 SI 单位并用的我国法定计量单位——译者注

关注公众号：机械工程师成长营

SI 量和测量单位

量和单位（续）

量	符号	单位 名称	单位 符号	关系	备注 应用举例
电学和磁学					
电流 电动势 电阻 电导	I E R G	安培 伏特 欧姆 西门子（欧姆的倒数）	A V Ω S	1 V = 1 W/1 A = 1 J/C 1 Ω = 1 V/1 A 1 S = 1 A/1 V = 1/Ω	电荷运动称为电流。电动势等于电场内两点的电压差。电阻的倒数称为电导
电阻率 电导率	ρ γ，χ	欧姆·米 西门子每米	Ω·m s/m	10^{-6} Ω·m = 1 Ω·mm²/m	$\rho = \frac{1}{\chi}\left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}\right)$ $\chi = \frac{1}{\rho}\left(\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}\right)$
频率	f	赫兹	Hz	1 Hz = 1/s 1 000 Hz = 1 kHz	公用电频率：欧洲 50Hz，美国/加拿大 60Hz
电能	W	焦耳	J	1 J = 1 W·s = 1 N·m 1 kW·h = 3.6 MJ 1 W·h = 3.6 kJ	原子核子物理中，单位用 eV（电子伏特）
相差位	φ	—	—	对于交流电： $\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I}$	电感性负载或电容性负载中电流和电压间的夹角
电场强度 电荷 电容 电感	E Q C L	伏特每米 库仑 法拉 亨利	V/m C F H	1 C = 1 A·1 s；1 A·h = 3.6 kC 1 F = 1 C/V 1 H = 1 V·s/A	$E = \frac{F}{Q}$，$C = \frac{Q}{U}$，$Q = I \cdot t$
功率 有效功率	P	瓦特	W	1 W = 1 J/s = 1 N·m/s = 1 V·A	电力工程中：视在功率（V·A）
热力学与热传导					
热力学温度 摄氏温度	T，Θ t，ν	开氏温标 摄氏度	K ℃	0 K = −273.15 ℃ 0 ℃ = 273.15 K 0 ℃ = 32 ℉ 0 ℉ = −17.77 ℃	开氏温标（K）和摄氏温度（℃）用于温度和温度差。$t = T - T_0$；T_0 = 273.15 华氏温度（℉）：1.8 °F = 1 ℃
热量	Q	焦耳	J	1 J = 1 W·s = 1 N·m 1 kW·h = 3 600 000 J = 3.6 MJ	1 kcal = 4.186 8 kJ
净发热值	$H_{净}$	焦耳每千克 焦耳每立方米	J/kg J/m³	1 MJ/kg = 1 000 000 J/kg 1 MJ/m³ = 1 000 000 J/m³	每千克燃料释放的热能减去废气所含水蒸发的热能

非 SI 单位

长度	面积	体积	质量	能，功率
1 inch = 25.4 mm 1 foot = 0.3048 m 1 yard = 0.9144 m 1 nautical mile = 1.852 km 1 mile = 1.609 km	1 sq. in = 6.452 cm² 1 sq. ft = 9.29 dm² 1 sq. yd = 0.836 1 m² **压力** 1 bar = 14.5 psi	1 cu. in = 16.39 cm³ 1 cu. ft = 28.32 dm³ 1 cu. yd = 764.6 dm³ 1 US gallon = 3.785 dm³ 1 Imp. gallon = 4.536 dm³ 1 barrel = 158.8 dm³	1 oz = 28.35 g 1 lb = 453.6 g 1 metric t = 1000 kg 1 short ton = 907.2 kg 1 carat = 0.2 g	1 PSh = 0.735 kW·h 1 PS = 735 W 1 kcal = 4186.8 Ws 1 kcal = 1.166 Wh 1 kpm/s = 9.807 W 1 Btu = 1 055 Ws 1 hp = 754.7 W

十进制倍数的词头

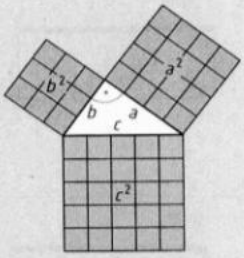
词头	皮	纳	微	毫	厘	分	十	百	千	兆	吉	太
词头符号	P	n	μ	m	c	d	da	h	k	M	G	T
10 的乘方	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^{1}	10^{2}	10^{3}	10^{6}	10^{9}	10^{12}
← 因数							倍数 →					

1 mm = 10^{-3} m = 1/1000 m，　1 km = 1 000 m，　1 kg = 1 000 g，　1 GB（千兆字节）= 1 000 000 000 字节

关注公众号：机械工程师成长营

直角三角形中的计算

勾股定理



直角三角形中，斜边的平方等于两直角边的平方和。

a 直角边 b 直角边 c 斜边

例 1：

$c = 35\ \text{mm}$；$a = 21\ \text{mm}$；$b = ?$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{(35\ \text{mm})^2 - (21\ \text{mm})^2} = 28\ \text{mm}$$

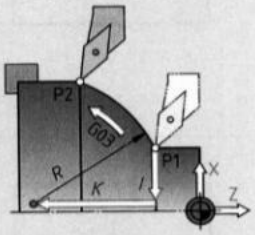
斜边的平方

$$c^2 = a^2 + b^2$$

斜边的长度

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

例 2：



数控加工程序中 $R = 50\ \text{mm}$，$I = 25\ \text{mm}$，$K = ?$

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$R^2 = I^2 + K^2$$

$$K = \sqrt{R^2 - I^2} = \sqrt{(50\ \text{mm})^2 - (25\ \text{mm})^2}$$

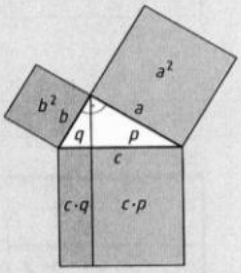
$$K = 43.3\ \text{mm}$$

直角边的长度

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}$$

欧几里得定理（直角边定理）



直角边的平方等于由斜边和相邻的斜边段所构成的矩形的面积。

a，b 直角边

c 斜边

p，q 斜边段

例：

直角三角形中 $c = 6\ \text{cm}$，$p = 3\ \text{cm}$，将其转换为等面积的正方形，正方形的边长 a 为多少？

$$a^2 = c \cdot p$$

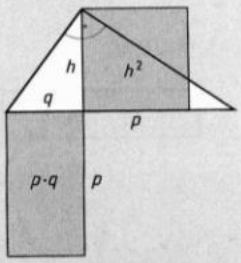
$$a = \sqrt{c \cdot p} = \sqrt{6\ \text{cm} \cdot 3\ \text{cm}} = 4.24\ \text{cm}$$

直角边的平方

$$b^2 = c \cdot q$$

$$a^2 = c \cdot p$$

勾股定理求高



高 h 的平方等于由斜边段 p，q 所构成的矩形的面积。

h 高

p，q 斜边段

例：

直角三角形中

$p = 6\ \text{cm}$；$q = 2\ \text{cm}$；$h = ?$

$$h^2 = p \cdot q$$

$$h = \sqrt{p \cdot q} = \sqrt{6\ \text{cm} \cdot 2\text{cm}} = \sqrt{12\ \text{cm}^2} = 3.46\ \text{cm}$$

高度的平方

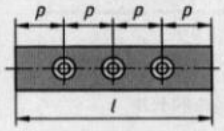
$$h^2 = p \cdot q$$

关注公众号：机械工程师成长营

等分长度，弧长，组合长度

等分长度

边距 = 间距



l 总长　　n 孔数
p 间距
例：

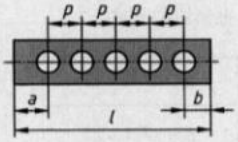
$l = 2$ m；$n = 24$ 孔；$p = ?$

$$p = \frac{l}{n+1} = \frac{2\,000\text{ mm}}{24+1} = 80\text{ mm}$$

间距

$$p = \frac{l}{n+1}$$

边距 ≠ 间距



l 总长　　n 孔数
p 间距　　a，b 边距
例：

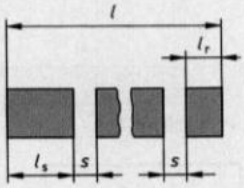
$l = 1950$ mm；$a = 100$ mm；$b = 50$ mm；
$n = 25$ 孔；$p = ?$

$$p = \frac{l-(a+b)}{n-1} = \frac{1\,950\text{ mm} - 150\text{ mm}}{25-1} = 75\text{ mm}$$

间距

$$p = \frac{l-(a+b)}{n-1}$$

细分成件



l 杆长　　s 锯切宽度
z 件数　　l_r 剩余长度
l_s 工作长度
例：

$l = 6\,000$ mm；$l_s = 230$ mm；$s = 1.2$ mm；
$z = ?$　　$l_r = ?$

$$z = \frac{l}{l_s + s} = \frac{6\,000\text{ mm}}{230\text{ mm} + 1.2\text{ mm}} = 25.95 = 25\text{ 件}$$

$$l_r = l - z(l_s + s) = 6\,000\text{ mm} - 25 \cdot (230\text{ mm} + 1.2\text{ mm}) = 220\text{ mm}$$

件数

$$z = \frac{l}{l_s + s}$$

剩余长度

$$l_r = l - z \cdot (l_s + s)$$

弧长

例：扭转弹簧



l_a 弧长　　α 中心角
r 半径　　d 直径
例：

$r = 36$ mm；$\alpha = 120°$；$l_a = ?$

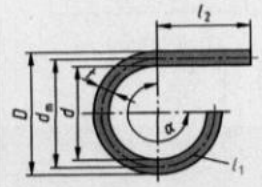
$$l_a = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180°} = \frac{\pi \cdot 36\text{ mm} \cdot 120°}{180°} = 75.36\text{ mm}$$

弧长

$$l_a = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180°}$$

$$l_a = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha}{360°}$$

组合长度



D 外径　　d 内径
d_m 平均直径　　t 厚度
l_1，l_2 部分长度　　L 组合长度　　α 中心角
例（组合长度，左图）：

$D = 360$ mm；$t = 5$ mm；$\alpha = 270°$；$l_2 = 70$ mm；
$d_m = ?$　　$L = ?$

$$d_m = D - t = 360\text{ mm} - 5\text{ mm} = 355\text{ mm}$$

$$L = l_1 + l_2 = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360} + l_2$$

$$= \frac{\pi \cdot 355\text{ mm} \cdot 270°}{360°} + 70\text{ mm} = 906.45\text{ mm}$$

组合长度

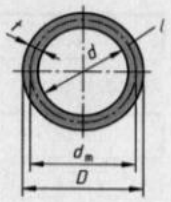
$$L = l_1 + l_2 + \cdots$$

关注公众号：机械工程师成长营

有效长度，弹簧钢丝长度，毛坯长度

有效长度

圆环



D 外径
d 内径
d_m 平均直径
t 厚度
l 有效长度
α 中心角

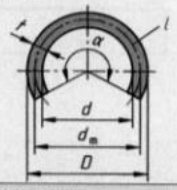
圆环的有效长度

$$l = \pi \cdot d_m$$

部分圆环的有效长度

$$l = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360°}$$

部分圆环



例（部分圆环）：

$D = 36\ \text{mm}$；$t = 4\ \text{mm}$；$\alpha = 240°$；$d_m = ?$　$l = ?$

$$d_m = D - t = 36\ \text{mm} - 4\ \text{mm} = 32\ \text{mm}$$

$$l = \frac{\pi \cdot d_m \cdot \alpha}{360°} = \frac{\pi \cdot 32\ \text{mm} \cdot 240°}{360°} = 67.02\ \text{mm}$$

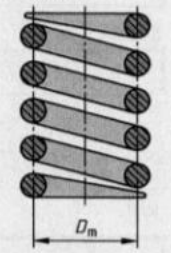
平均直径

$$d_m = D - t$$

$$d_m = d + t$$

弹簧钢丝长度

例：压缩弹簧



l 螺旋线的有效长度
D_m 平均线圈直径
i 有效圈数

例：

$D_m = 16\ \text{mm}$；$i = 8.5$；$l = ?$

$$l = \pi \cdot D_m \cdot i + 2 \cdot \pi \cdot D_m$$

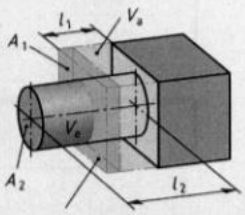
$$= \pi \cdot 16\ \text{mm} \cdot 8.5 + 2 \cdot \pi \cdot 16\ \text{mm} = 528\ \text{mm}$$

螺旋线的有效长度

$$l = \pi \cdot D_m \cdot i + 2 \cdot \pi \cdot D_m$$

$$l = \pi \cdot D_m \cdot (i + 2)$$

锻件和冲压件的毛坯长度



缩放比例损失

成形时若无缩放比例损失，则毛坯的体积与已加工零件的体积相同。如果有缩放比例损失或毛刺边形成，用一个因数乘以已加工零件的体积来补偿。

V_a 毛坯的体积
V_e 已加工零件的体积
q 因缩放比例损失或毛刺损失的附加因数
A_1 毛坯件的断面面积
A_2 锻件成品的断面面积
l_1 被锻部分的初始长度
l_2 实体锻件的长度

例：

在一块 50 mm × 30 mm 的扁平钢板上，冲压 $d = 24\ \text{mm}$ 和 $l_2 = 60\ \text{mm}$ 的圆柱销钉。缩放比例损失为 10%。被锻部分的初始长度为多少？

$$V_a = V_e \cdot (1 + q)$$

$$A_1 \cdot l_1 = A_2 \cdot l_2 \cdot (1 + q)$$

$$l_1 = \frac{A_2 \cdot l_2 \cdot (1 + q)}{A_1}$$

$$= \frac{\pi \cdot (24\ \text{mm})^2 \cdot 60\ \text{mm} \cdot (1 + 0.1)}{4 \cdot 50\ \text{mm} \cdot 30\ \text{mm}} = 20\ \text{mm}$$

无缩放比例损失的体积

$$V_a = V_e$$

有缩放比例损失的体积

$$V_a = V_e + q \cdot V_e$$

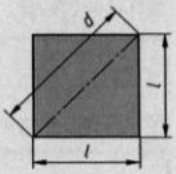
$$V_a = V_e \cdot (1 + q)$$

$$A_1 \cdot l_1 = A_2 \cdot l_2 \cdot (1 + q)$$

关注公众号：机械工程师成长营

四边形，三角形

正方形



A　面积　　d　对角线长度
l　边长
例：

$l=14\ \text{mm}$；$A=?$　$d=?$
$A=l^2=(14\ \text{mm})^2=196\ \text{mm}^2$
$d=\sqrt{2}\cdot l=\sqrt{2}\cdot 14\ \text{mm}=19.8\ \text{mm}$

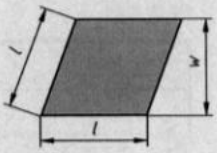
面积

$$A=l^2$$

对角线长度

$$d=\sqrt{2}\cdot l$$

菱形



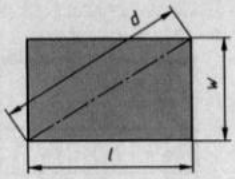
A　面积　　w　宽度
l　边长
例：

$l=9\ \text{mm}$；$w=8.5\ \text{mm}$；$A=?$
$A=l\cdot w=9\ \text{mm}\cdot 8.5\ \text{mm}=76.5\ \text{mm}^2$

面积

$$A=l\cdot w$$

矩形



A　面积　　w　宽度
l　长度　　d　对角线长度
例：

$l=12\ \text{mm}$；$w=11\ \text{mm}$；$A=?$　$d=?$
$A=l\cdot w=12\ \text{mm}\cdot 11\ \text{mm}=132\ \text{mm}^2$
$d=\sqrt{l^2+w^2}=\sqrt{(12\ \text{mm})^2+(11\ \text{mm})^2}=\sqrt{265\ \text{mm}^2}$
$=16.28\ \text{mm}$

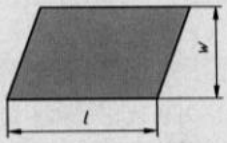
面积

$$A=l\cdot w$$

对角线长度

$$d=\sqrt{l^2+w^2}$$

长菱形（平行四边形）



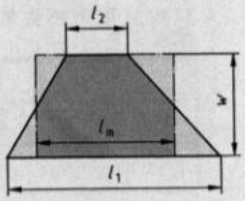
A　面积　　w　宽度
l　长度
例：

$l=36\ \text{mm}$；$w=15\ \text{mm}$；$A=?$
$A=l\cdot w=36\ \text{mm}\cdot 15\ \text{mm}=540\ \text{mm}^2$

面积

$$A=l\cdot w$$

梯形



A　面积　　l_m　平均长度
l_1　长边长度　w　宽度
l_2　短边长度
例：

$l_1=23\ \text{mm}$；$l_2=20\ \text{mm}$；$w=17\ \text{mm}$；$A=?$

$$A=\frac{l_1+l_2}{2}\cdot w=\frac{23\ \text{mm}+20\ \text{mm}}{2}\cdot 17\ \text{mm}$$
$$=365.5\ \text{mm}^2$$

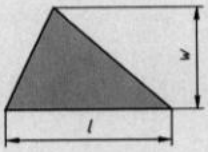
面积

$$A=\frac{l_1+l_2}{2}\cdot w$$

平均长度

$$l_m=\frac{l_1+l_2}{2}$$

三角形



A　面积　　w　宽度
l　边长
例：

$l_1=62\ \text{mm}$；$w=29\ \text{mm}$；$A=?$

$$A=\frac{l_1\cdot w}{2}=\frac{62\ \text{mm}\cdot 29\ \text{mm}}{2}=899\ \text{mm}^2$$

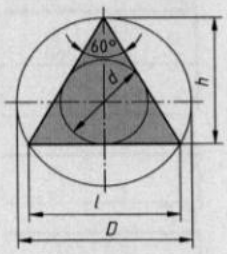
面积

$$A=\frac{l\cdot w}{2}$$

关注公众号：机械工程师成长营

三角形，多边形，圆

等边三角形



A 面积
d 内切圆直径
l 边长
h 高度
D 外接圆直径

例：

$l = 42\ \text{mm}$；$A = ?$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{3} \cdot l^2 = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{3} \cdot (42\ \text{mm})^2 = 763.9\ \text{mm}^2$$

外接圆直径

$$D = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot l = 2 \cdot d$$

面积

$$A = \frac{1}{4} \cdot \sqrt{3} \cdot l^2$$

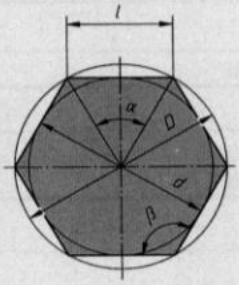
内切圆直径

$$d = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{3} \cdot l = \frac{D}{2}$$

三角形高度

$$h = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{3} \cdot l$$

正多边形



A 面积
l 边长
D 外接圆直径
d 内切圆直径
n 顶点个数
h 高度
α 中心角
β 顶角

例：

六边形 $D = 80\ \text{mm}$；$l = ?$　$d = ?$　$A = ?$

$$l = D \cdot \sin\left(\frac{180°}{n}\right) = 80\ \text{mm} \cdot \sin\left(\frac{180°}{6}\right) = 40\ \text{mm}$$

$$d = \sqrt{D^2 - l^2} = \sqrt{6\,400\ \text{mm}^2 - 1\,600\ \text{mm}^2} = 69.282\ \text{mm}$$

$$A = \frac{n \cdot l \cdot d}{4} = \frac{6 \cdot 40\ \text{mm} \cdot 69.282\ \text{mm}}{4} = 4\,156.92\ \text{mm}^2$$

内切圆直径

$$d = \sqrt{D^2 - l^2}$$

面积

$$A = \frac{n \cdot l \cdot d}{4}$$

外接圆直径

$$D = \sqrt{d^2 + l^2}$$

边长

$$l = D \cdot \sin\left(\frac{180°}{n}\right)$$

中心角

$$\alpha = \frac{360°}{n}$$

顶角

$$\beta = 180° - \alpha$$

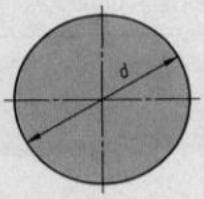
利用表中值计算正多边形

顶点个数 n	面积 $A \approx$			外接圆直径 $D \approx$		内切圆直径 $d \approx$		边长 $l \approx$	
3	$0.325 \cdot D^2$	$1.299 \cdot d^2$	$0.433 \cdot l^2$	$1.154 \cdot l$	$2.000 \cdot d$	$0.578 \cdot l$	$0.500 \cdot D$	$0.867 \cdot D$	$1.732 \cdot d$
4	$0.500 \cdot D^2$	$1.000 \cdot d^2$	$1.000 \cdot l^2$	$1.414 \cdot l$	$1.414 \cdot d$	$1.000 \cdot l$	$0.707 \cdot D$	$0.707 \cdot D$	$1.000 \cdot d$
5	$0.595 \cdot D^2$	$0.908 \cdot d^2$	$1.721 \cdot l^2$	$1.702 \cdot l$	$1.236 \cdot d$	$1.376 \cdot l$	$0.809 \cdot D$	$0.588 \cdot D$	$0.727 \cdot d$
6	$0.649 \cdot D^2$	$0.866 \cdot d^2$	$2.598 \cdot l^2$	$2.000 \cdot l$	$1.155 \cdot d$	$1.732 \cdot l$	$0.866 \cdot D$	$0.500 \cdot D$	$0.577 \cdot d$
8	$0.707 \cdot D^2$	$0.829 \cdot d^2$	$4.828 \cdot l^2$	$2.614 \cdot l$	$1.082 \cdot d$	$2.414 \cdot l$	$0.924 \cdot D$	$0.383 \cdot D$	$0.414 \cdot d$
10	$0.735 \cdot D^2$	$0.812 \cdot d^2$	$7.694 \cdot l^2$	$3.236 \cdot l$	$1.052 \cdot d$	$3.078 \cdot l$	$0.951 \cdot D$	$0.309 \cdot D$	$0.325 \cdot d$
12	$0.750 \cdot D^2$	$0.804 \cdot d^2$	$11.196 \cdot l^2$	$3.864 \cdot l$	$1.035 \cdot d$	$3.732 \cdot l$	$0.966 \cdot D$	$0.259 \cdot D$	$0.268 \cdot d$

例：八边形 $l = 20\ \text{mm}$　$A = ?$　$D = ?$

$A = 4.828 \cdot l^2 = 4.828 \cdot (20\ \text{mm})^2 = 1\,931.2\ \text{mm}^2$；　$D \approx 2.614 \cdot l = 2.614 \cdot 20\ \text{mm} = 52.28\ \text{mm}$

圆



A 面积　　C 周长
d 直径

例：

$d = 60\ \text{mm}$；$A = ?$　$C = ?$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot (60\ \text{mm})^2}{4} = 2\,827\ \text{mm}^2$$

$$C = \pi \cdot d = \pi \cdot 60\ \text{mm} = 188.5\ \text{mm}$$

面积

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

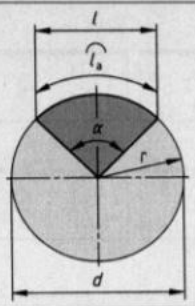
周长

$$C = \pi \cdot d$$

关注公众号：机械工程师成长营

扇形，弓形，圆环

扇形



A　面积　　l　弦长
d　直径　　r　半径
l_a　弧长　　α　中心角

例：

$d = 48\ \text{mm}$；$\alpha = 110°$；$l_a = ?$　$A = ?$

$$l_a = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180°} = \frac{\pi \cdot 24\ \text{mm} \cdot 110°}{180°} = 46.1\ \text{mm}$$

$$A = \frac{l_a \cdot r}{2} = \frac{46.1\ \text{mm} \cdot 24\ \text{mm}}{2} = 553\ \text{mm}^2$$

面积

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{360°}$$

$$A = \frac{l_a \cdot r}{2}$$

弦长

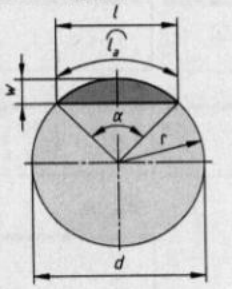
$$l = 2 \cdot r \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$$

弧长

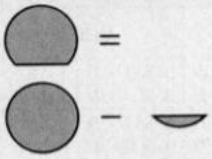
$$l_a = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180°}$$

弓形

α≤180°的弓形



α>180°的弓形



A　面积　　w　弓形宽度
d　直径　　r　半径
l_a　弧长　　α　中心角
l　弦长

例：

$w = 15.1\ \text{mm}$；$l = 52\ \text{mm}$；$l_a = 62.83\ \text{mm}$；
$r = ?$　$A = ?$

$$r = \frac{w}{2} + \frac{l^2}{8 \cdot w} = \frac{15.1\ \text{mm}}{2} + \frac{(52\ \text{mm})^2}{8 \cdot 15.1\ \text{mm}}$$
$$= 29.93\ \text{mm} = 30\ \text{mm}$$

$$A = \frac{l_a \cdot r - l \cdot (r - w)}{2}$$
$$= \frac{(62.83 \cdot 30)\,\text{mm}^2 - 52 \cdot (30 - 15.1)\,\text{mm}^2}{2}$$
$$= 555.1\ \text{mm}^2$$

面积

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\alpha}{360°} - \frac{l \cdot (r - w)}{2}$$

$$A = \frac{l_a \cdot r - l \cdot (r - w)}{2}$$

弦长

$$l = 2 \cdot r \cdot \sin\frac{\alpha}{2}$$

$$l = 2 \cdot \sqrt{w \cdot (2 \cdot r - w)}$$

弓形高度

$$w = \frac{1}{2} \cdot \tan\frac{\alpha}{4}$$

$$w = r - \sqrt{r^2 - \frac{l^2}{4}}$$

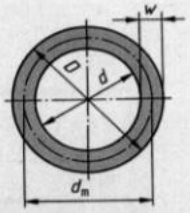
弧长

$$l_a = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180°}$$

半径

$$r = \frac{w}{2} + \frac{l^2}{8 \cdot w}$$

圆环



A　面积　　d_m　平均直径
D　外径
d　内径　　w　宽度

例：

$D = 160\ \text{mm}$；$d = 125\ \text{mm}$；$A = ?$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$
$$= \frac{\pi}{4} \cdot (160^2\ \text{mm}^2 - 125^2\ \text{mm}^2) = 7\,834\ \text{mm}^2$$

面积

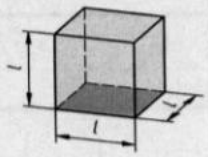
$$A = \pi \cdot d_m \cdot w$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

关注公众号：机械工程师成长营

正方体，长方体，圆柱，中空圆柱体，棱锥

正方体



V 体积　　l 边长
A_s 表面积
例：

$l=20\ \text{mm}$；$V=?$　$A_s=?$
$V=l^3=(20\ \text{mm})^3=8\ 000\ \text{mm}^3$
$A_s=6\cdot l^2=6\cdot(20\ \text{mm})^2=2\ 400\ \text{mm}^2$

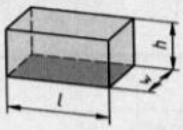
体积

$$V=l^3$$

表面积

$$A_s=6\cdot l^2$$

长方体



V 体积　　h 高度
A_s 表面积　　w 宽度
l 边长
例：

$l=6\ \text{cm}$；$w=3\ \text{cm}$；$h=2\ \text{cm}$；$V=?$
$V=l\cdot w\cdot h=6\ \text{cm}\cdot 3\ \text{cm}\cdot 2\ \text{cm}=36\ \text{cm}^3$

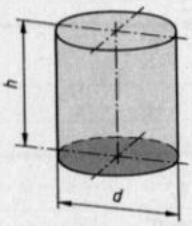
体积

$$V=l\cdot w\cdot h$$

表面积

$$A_s=2\cdot(l\cdot w+l\cdot h+w\cdot h)$$

圆柱



V 体积　　d 直径
A_s 表面积　　h 高度
A_C 圆柱面面积
例：

$d=14\ \text{mm}$；$h=25\ \text{mm}$；$V=?$

$$V=\frac{\pi\cdot d^2}{4}\cdot h$$
$$=\frac{\pi\cdot(14\ \text{mm})^2}{4}\cdot 25\ \text{mm}$$
$$=3\ 848\ \text{mm}^3$$

体积

$$V=\frac{\pi\cdot d^2}{4}\cdot h$$

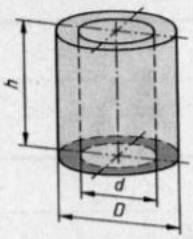
表面积

$$A_s=\pi\cdot d\cdot h+2\cdot\frac{\pi\cdot d^2}{4}$$

圆柱面面积

$$A_C=\pi\cdot d\cdot h$$

中空圆柱体



V 体积　　D,d 直径
A_s 表面积　　h 高度
例：

$D=42\ \text{mm}$；$d=20\ \text{mm}$；$h=80\ \text{mm}$；
$V=?$

$$V=\frac{\pi\cdot h}{4}\cdot(D^2-d^2)$$
$$=\frac{\pi\cdot 80\ \text{mm}}{4}\cdot(42^2\ \text{mm}^2-20^2\ \text{mm}^2)$$
$$=85\ 703\ \text{mm}^3$$

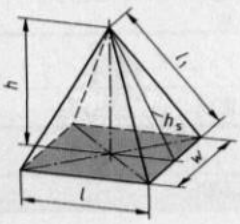
体积

$$V=\frac{\pi\cdot h}{4}\cdot(D^2-d^2)$$

表面积

$$A_s=\pi\cdot(D+d)\cdot\left[\frac{1}{2}\cdot(D-d)+h\right]$$

棱锥



V 体积　　l 底面长
h 高　　l_1 棱长
h_s 斜高　　w 底面宽

例：

$l=16\ \text{mm}$；$w=21\ \text{mm}$；$h=45\ \text{mm}$；$V=?$

$$V=\frac{l\cdot w\cdot h}{3}=\frac{16\ \text{mm}\cdot 21\ \text{mm}\cdot 45\ \text{mm}}{3}$$
$$=5\ 040\ \text{mm}^3$$

体积

$$V=\frac{l\cdot w\cdot h}{3}$$

棱长

$$l_1=\sqrt{h_s^2+\frac{w^2}{4}}$$

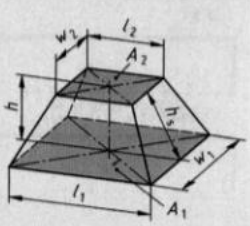
斜高

$$h_s=\sqrt{h^2+\frac{l^2}{4}}$$

关注公众号：机械工程师成长营

棱台，圆锥，圆台，球体，球冠

棱台



V 体积　　A_1 底面面积　　h_s 斜高
l_1，l_2 上下底边长　A_2 顶面面积　h 高　w_1，w_2 宽

例：

$l_1 = 40\ \text{mm}$；$l_2 = 22\ \text{mm}$；$w_1 = 28\ \text{mm}$
$w_2 = 15\ \text{mm}$；$h = 50\ \text{mm}$；$V = ?$

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$
$$= \frac{50\ \text{mm}}{3} \cdot (1\ 120 + 330 + \sqrt{1120 \cdot 330})\ \text{mm}^2$$
$$= 34\ 299\ \text{mm}^3$$

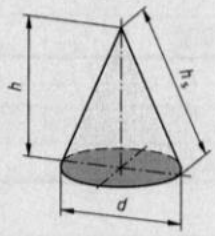
体积

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2})$$

斜高

$$h_s = \sqrt{h^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2}$$

圆锥



V 体积　　h 高
A_c 锥面面积　h_s 斜高
d 直径

例：

$d = 52\ \text{mm}$；$h = 110\ \text{mm}$；$V = ?$

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{h}{3}$$
$$= \frac{\pi \cdot (52\ \text{mm})^2}{4} \cdot \frac{110\ \text{mm}}{3}$$
$$= 77\ 870\ \text{mm}^3$$

体积

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{h}{3}$$

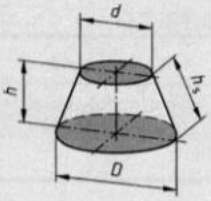
锥面面积

$$A_c = \frac{\pi \cdot d \cdot h_s}{2}$$

斜高

$$h_s = \sqrt{\frac{d^2}{4} + h^2}$$

圆台



V 体积　　d 上底圆直径
A_c 锥面面积　h 高
D 下底圆直径　h_s 斜高

例：

$D = 100\ \text{mm}$；$d = 62\ \text{mm}$；$h = 80\ \text{mm}$；$V = ?$

$$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)$$
$$= \frac{\pi \cdot 80\ \text{mm}}{12} \cdot (100^2 + 62^2 + 100 \cdot 62)\ \text{mm}^2$$
$$= 419\ 800\ \text{mm}^3$$

体积

$$V = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)$$

锥面面积

$$A_c = \frac{\pi \cdot h_s}{2} \cdot (D + d)$$

斜高

$$h_s = \sqrt{h^2 + \left(\frac{D - d}{2}\right)^2}$$

球体



V 体积　　d 球体直径
A_s 表面积

例：

$d = 9\ \text{mm}$；$V = ?$

$$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \frac{\pi \cdot (9\ \text{mm})^3}{6} = 382\ \text{mm}^3$$

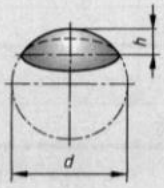
体积

$$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$$

表面积

$$A_s = \pi \cdot d^2$$

球冠



V 体积　　d 球体直径
A_1 侧面积　　h 拱高
A_s 表面积

例：

$d = 8\ \text{mm}$；$h = 6\ \text{mm}$；$V = ?$

$$V = \pi \cdot h^2 \cdot \left(\frac{d}{2} - \frac{h}{3}\right)$$
$$= \pi \cdot 6^2\ \text{mm}^2 \cdot \left(\frac{8\ \text{mm}}{2} - \frac{6\ \text{mm}}{3}\right)$$
$$= 226\ \text{mm}^3$$

体积

$$V = \pi \cdot h^2 \cdot \left(\frac{d}{2} - \frac{h}{3}\right)$$

表面积

$$A_s = \pi \cdot h \cdot (2 \cdot d - h)$$

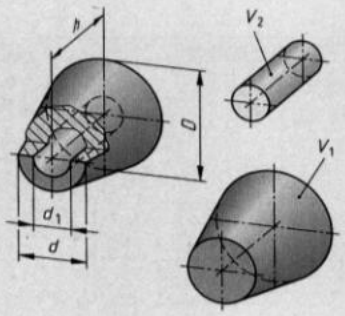
侧面积

$$A_1 = \pi \cdot d \cdot h$$

关注公众号：机械工程师成长营

组合体体积、质量计算

组合体体积



V 总体积
V_1，V_2 部分体积

总体积

$$V = V_1 + V_2 + \cdots - V_3 - V_4$$

例：

锥形轴套：$D = 42\ \text{mm}$；$d = 26\ \text{mm}$；
$d_1 = 16\ \text{mm}$；$h = 45\ \text{mm}$；$V = ?$

$$V_1 = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)$$

$$= \frac{\pi \cdot 45\ \text{mm}}{12} \cdot (42^2 + 26^2 + 42 \cdot 26)\,\text{mm}^2$$

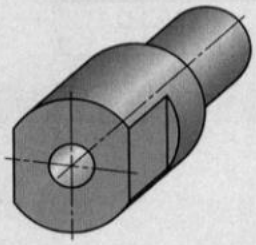
$$= 41\,610\ \text{mm}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot {d_1}^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 16^2\ \text{mm}^2}{4} \cdot 45\ \text{mm} = 9\,048\ \text{mm}^3$$

$$V = V_1 - V_2 = 41\,610\ \text{mm}^3 - 9\,048\ \text{mm}^3 = 32\,562\ \text{mm}^3$$

质量计算

总质量



m 质量　ρ 密度
V 体积

质量

$$m = V \cdot \rho$$

固体、液体、气体的密度值：
参见第 116 页和第 117 页

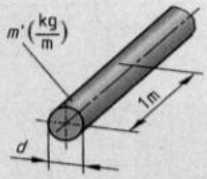
例：

铝制工件：
$V = 6.4\ \text{dm}^3$；$\rho = 2.7\ \text{kg/dm}^3$；$m = ?$

$$m = V \cdot \rho = 6.4\ \text{dm}^3 \cdot 2.7\ \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$= 17.28\ \text{kg}$$

质量线密度



m 质量　l 长度
m' 质量线密度

质量线密度

$$m = m' \cdot l$$

应用：计算型材、管、金属丝等的质量。使用表中 m' 的值

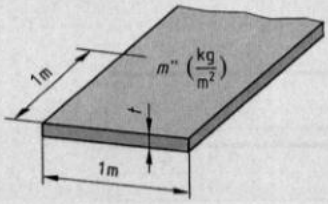
例：

钢杆：$d = 15\ \text{mm}$；
$m' = 1.39\ \text{kg/m}$；$l = 3.86\ \text{m}$；$m = ?$

$$m = m' \cdot l = 1.39\ \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 3.86\ \text{m}$$

$$= 5.37\ \text{kg}$$

质量面密度



m 质量　A 面积
m'' 质量面密度

质量面密度

$$m = m'' \cdot A$$

应用：计算金属板、金属薄片、镀层等的质量。使用表中 m'' 的值

例：

钢板：
$t = 1.5\ \text{mm}$；$m'' = 11.8\ \text{kg/m}^2$；
$A = 7.5\ \text{m}^2$；$m = ?$

$$m = m'' \cdot A = 11.8\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 7.5\ \text{m}^2$$

$$= 88.5\ \text{kg}$$

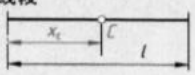
关注公众号：机械工程师成长营

线和平面面积的形心

线的形心

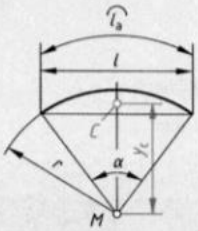
l_1，l_2，l_3 线长　　C_1，C_2，C_3 线的形心
x_C，x_1，x_2 线的形心离 y 轴的水平距离
y_C，y_1，y_2 线的形心离 x 轴的垂直距离

线段



$$x_C = \frac{l}{2}$$

圆弧



l 和 l_a 的计算：参见第 28 页

普通

$$y_C = \frac{r \cdot l}{l_a}$$

$$y_C = \frac{l \cdot 180^\circ}{\pi \cdot \alpha}$$

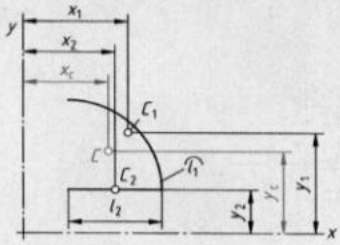
半圆弧

$$y_C \approx 0.636\,6 \cdot r$$

四分之一圆弧

$$y_C \approx 0.900\,3 \cdot r$$

组合连续线



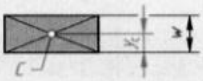
$$x_C = \frac{l \cdot x_1 + l_2 \cdot x_2 + \cdots}{l_1 + l_2 + \cdots}$$

$$y_C = \frac{l_1 \cdot y_1 + l_2 \cdot y_2 + \cdots}{l_1 + l_2 + \cdots}$$

平面面积的形心

A，A_1，A_2 面积　　C，C_1，C_2 面积的形心
x_C，x_1，x_2 面积的形心离 y 轴的水平距离
y_C，y_1，y_2 面积的形心离 x 轴的垂直距离

线段



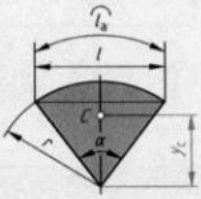
$$y_C = \frac{w}{2}$$

三角形



$$y_C = \frac{w}{3}$$

圆弧



普通

$$y_C = \frac{2 \cdot r \cdot l}{3 \cdot l_a}$$

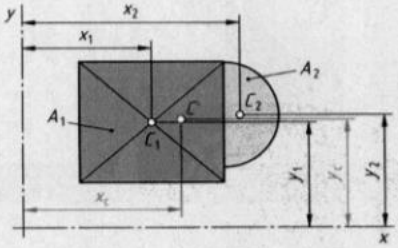
半圆面积

$$y_C \approx 0.424\,4 \cdot r$$

四分之一圆面积

$$y_C \approx 0.600\,2 \cdot r$$

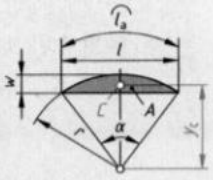
组合面积



$$x_C = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + \cdots}{A_1 + A_2 + \cdots}$$

$$y_C = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + \cdots}{A_1 + A_2 + \cdots}$$

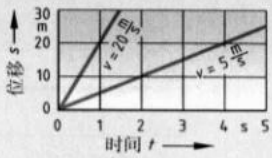
弓形



$$y_C = \frac{l^3}{12 \cdot A}$$

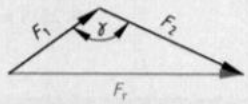
关注公众号：机械工程师成长营

2 物理学



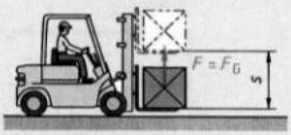
2.1 运动

匀速和匀加速运动 …… 34
机床速度 …… 35



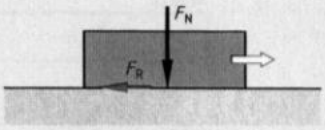
2.2 力

力的种类 …… 36
扭矩，杠杆，离心力 …… 37



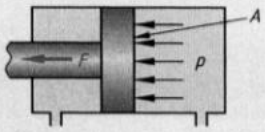
2.3 功，功率，效率

功和能 …… 38
简单机械 …… 39
功率和效率 …… 40



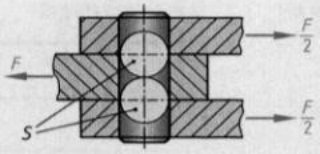
2.4 摩擦

摩擦的种类，摩擦系数 …… 41



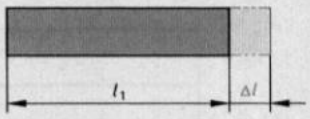
2.5 液体和气体压力

压力的类型 …… 42



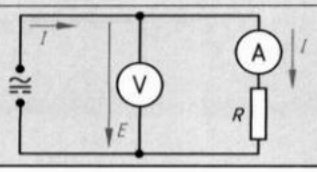
2.6 材料强度

载荷情况，载荷类型，材料特性，应力极限 …… 43
机械强度性能，许用应力，安全系数 …… 44
拉应力，压应力，表面压力 …… 45
剪切和翘曲应力 …… 46
弯曲和扭转应力 …… 47
强度中的形状因素 …… 48
面积转动惯量和极截面模量 …… 49
各种断面形状比较 …… 50



2.7 热力学

温度变化的影响 …… 51
熔解，汽化，燃烧的热量 …… 52



2.8 电学

电的量和单位，欧姆定律，电阻 …… 53
电流密度，电阻电路 …… 54
电流的类型 …… 55
电功和功率，变压器 …… 56

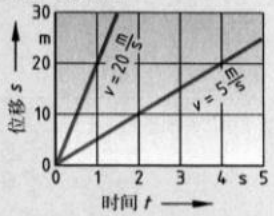
关注公众号：机械工程师成长营

匀速和匀加速运动

匀速运动

直线运动

位移 - 时间图



v 速度　　t 时间
s 位移

例：

$v = 48\ \text{km/h}$；$s = 12\ \text{m}$；$t = ?$

转换：$48\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{48\ 000\ \text{m}}{3\ 600\ \text{s}} = 13.33\ \text{m/s}$

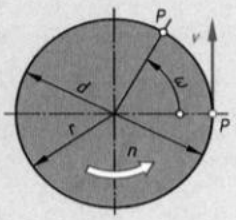
$$t = \frac{s}{v} = \frac{12\ \text{m}}{13.33\ \text{m/s}} = 0.9\ \text{s}$$

速度

$$v = \frac{s}{t}$$

$1\ \text{m/s} = 60\ \text{m/min} = 3.6\ \text{km/h}$
$1\ \text{km/h} = 16.667\ \text{m/min} = 0.2778\ \text{m/s}$

圆周运动



v 圆周速度，切削速度　　n 转速
r 半径　　w 角速度　　d 直径

例：

滑轮，$d = 250\ \text{mm}$；$n = 1\ 400\ \text{r/min}$；

转换：$n = 1\ 400\ \text{r/min} = \frac{1\ 400\ \text{r}}{60\ \text{s}} = 23.33\ \text{r/s}$

$v = \pi \cdot d \cdot n = \pi \cdot 0.25\ \text{m} \cdot 23.33\ \text{s}^{-1} = 18.3\ \text{m/s}$

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 23.33\ \text{s}^{-1} = 146.6\ \text{s}^{-1}$

圆周切削速度见第 35 页。

圆周速度

$$v = \pi \cdot d \cdot n$$
$$v = \omega \cdot r$$

角速度

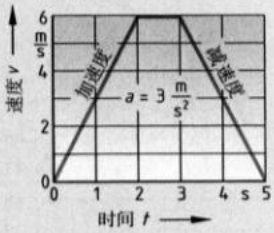
$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$\frac{1}{\text{min}} = \text{min}^{-1} = \frac{1}{60\ \text{s}}$$

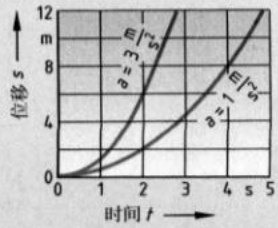
匀加速运动

线加速运动

速度 - 时间图



位移 - 时间图



每秒速度增加称为加速度；每秒速度减少称为减速度。自由落体是物体以重力加速度 g 做匀加速运动。

v 终极速度（加速度）或初速度（减速度）
s 位移　　t 时间
a 加速度　　g 重力加速度

例 1：

物体，从 $s = 3\ \text{m}$ 处自由落体；$v = ?$

$a = g = 9.81\ \text{m/s}^2$

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} = \sqrt{2 \cdot 9.81\ \text{m/s}^2 \cdot 3\ \text{m}} = 7.7\ \text{m/s}$$

例 2：

车辆行驶，$v = 80\ \text{km/h}$；$a = 7\ \text{m/s}^2$；

刹车速度 $s = ?$

转换：$v = 80\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{80\ 000\ \text{m}}{3\ 600\ \text{s}} = 22.22\ \text{m/s}$

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

$$s = \frac{v^2}{2 \cdot a} = \frac{(22.22\ \text{m/s})^2}{2 \cdot 7\ \text{m/s}^2} = 35.3\ \text{m}$$

下面的公式适用于从静止到加速或从减速到静止的情况：

终级速度或初速度

$$v = a \cdot t$$
$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

加速或减速产生的位移：

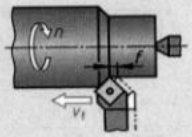
$$s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$$
$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$
$$s = \frac{v^2}{2 \cdot a}$$

关注公众号：机械工程师成长营

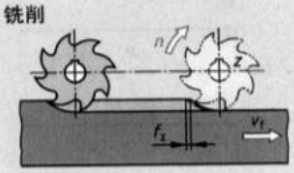
机床速度

进给运动

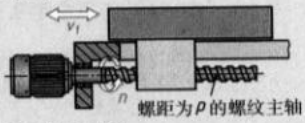
车削



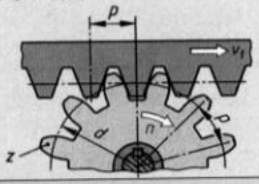
铣削



螺杆驱动



齿条与小齿轮



v_f 进给速度
n 转速
f 走刀量　　f_z 每次切边进给量
N 切边次数，或小齿轮齿数
P 螺距
p 齿条与小齿轮齿距

例 1：

圆柱铣削刀具：$z=8$；$f_z=0.2$ mm；
$n=45$ r/min；$v_f=?$

$$v_f=n\cdot f_z\cdot N=45\frac{1}{\text{min}}\cdot 0.2\text{ mm}\cdot 8=72\text{ mm/min}$$

例 2：

螺纹主轴进给驱动：
$P=5$ mm；$n=112$ r/min；$v_f=?$

$$v_f=n\cdot P=112\frac{1}{\text{min}}\cdot 5\text{ mm}=560\text{ mm/min}$$

例 3：

齿条与小齿轮进给，
$n=80$ r/min；$d=75$ mm；$v_f=?$

$$v_f=\pi\cdot d\cdot n=\pi\cdot 75\text{ mm}\cdot 80\frac{1}{\text{min}}$$
$$=18\,850\frac{\text{mm}}{\text{min}}=18.85\text{ m/min}$$

钻孔，车削的进给速度

$$v_f=n\cdot f$$

铣削的进给速度

$$v_f=n\cdot f_z\cdot N$$

螺杆驱动的进给速度

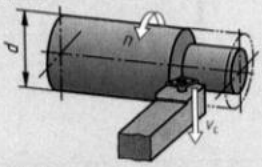
$$v_f=n\cdot P$$

齿条与小齿轮的进给速度

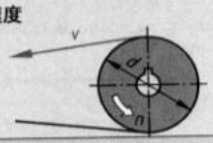
$$v_f=n\cdot N\cdot p$$
$$v_f=\pi\cdot d\cdot n$$

切削速度，圆周速度

切削速度



圆周速度



v_c 切削速度
v 圆周速度
d 直径
n 转速

例：

车削：$n=1\,200$ r/min；$d=35$ mm；$v_c=?$

$$v_c=\pi\cdot d\cdot n=\pi\cdot 0.035\text{ m}\cdot 1\,200\frac{1}{\text{min}}$$
$$=132\text{ m/min}$$

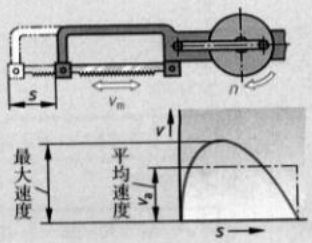
切削速度

$$v_c=\pi\cdot d\cdot n$$

圆周速度

$$v=\pi\cdot d\cdot n$$

曲轴机构的平均速度



v_a 平均速度
n 双冲程数量
s 冲程长度

例：

锯床：
$s=280$ mm；$n=45$ r/min；$v_a=?$

$$v_a=2\cdot s\cdot n=2\cdot 0.28\text{ m}\cdot 45\frac{1}{\text{min}}$$
$$=25.2\text{ m/min}$$

平均速度

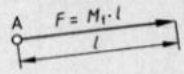
$$v_a=2\cdot s\cdot n$$

关注公众号：机械工程师成长营

力的种类

力的合成与分解

选用下面的实例：
$M_f = 10\ \mathrm{N/mm}$
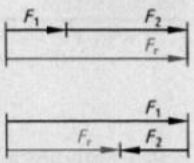


F_1，F_2　分力　l　矢量大小（长度）
F_r　合力　M_f　力的标度

力的表达：
用矢量表示力。
矢量的长度 l 对应于力 F 的大小

矢量大小

$$l = \frac{F}{M_f}$$



同方向作用的共线力相加

例：$F_1 = 80\ \mathrm{N}$；$F_2 = 160\ \mathrm{N}$；$F_r = ?$

$F_r = F_1 + F_2 = 80\ \mathrm{N} + 160\ \mathrm{N} = 240\ \mathrm{N}$

反方向作用的共线力相减

例：$F_1 = 240\ \mathrm{N}$；$F_2 = 90\ \mathrm{N}$；$F_r = ?$

$F_r = F_1 - F_2 = 240\ \mathrm{N} - 90\ \mathrm{N} = 150\ \mathrm{N}$

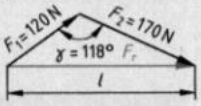
和

$$F_r = F_1 + F_2$$

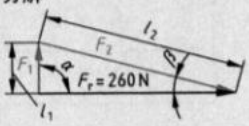
差

$$F_r = F_1 - F_2$$

合成



分解



作用线相交的力的合成和分解

图示相加举例：

$F_1 = 120\ \mathrm{N}$；$F_2 = 170\ \mathrm{N}$；$\gamma = 118°$；
$M_f = 10\ \mathrm{N/mm}$；$F_r = ?$　测得：$l = 25\ \mathrm{mm}$
$F_r = l \cdot M_f = 25\ \mathrm{mm} \cdot 10\ \mathrm{N/mm} = 250\ \mathrm{N}$

图示分解举例：

$F_r = 260\ \mathrm{N}$；$\alpha = 90°$；$\beta = 15°$；$M_f = 10\ \mathrm{N/mm}$；
$F_1 = ?$　$F_2 = ?$　测得：$l_1 = 7\ \mathrm{mm}$；$l_2 = 27\ \mathrm{mm}$
$F_1 = l_1 \cdot M_f = 7\ \mathrm{mm} \cdot 10\ \mathrm{N/mm} = 70\ \mathrm{N}$
$F_2 = l_2 \cdot M_f = 27\ \mathrm{mm} \cdot 10\ \mathrm{N/mm} = 270\ \mathrm{N}$

用合成和分解求作用力示意图（力矢量）

作用力示意图形状	需要的三角函数
带直角的作用力示意图	正弦，余弦，正切
带斜角的作用力示意图	正弦定理，余弦定理

加速力和减速力



用力来加速或减速一个质块
F　加速力　a　加速度
m　质量

例：

$m = 50\ \mathrm{kg}$；$a = 3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$；$F = ?$

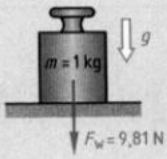
$F = m \cdot a = 50\ \mathrm{kg} \cdot 3\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 150\ \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 150\ \mathrm{N}$

加速力

$$F = m \cdot a$$

$1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

重力



作用在质块上的万有引力形成重力
F_W，W　重力　g 重力加速度
m　质量

例：

工字梁，$m = 1\ 200\ \mathrm{kg}$；$F_W = ?$

$F_W = m \cdot g = 1\ 200\ \mathrm{mg} \cdot 9.81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 11\ 772\ \mathrm{N}$

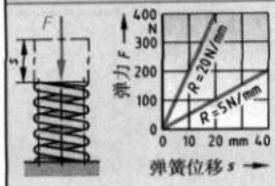
重力

$$F_W = m \cdot g$$

$g = 9.81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \approx 10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

质量的计算：参见第 31 页

弹力（胡克定律）



弹性范围内，力与对应的弹簧线性变形成比例
F　弹力　s　弹簧位移
R　弹力常数

例：

压缩弹簧：$R = 8\ \mathrm{N/mm}$；$s = 12\ \mathrm{mm}$；$F = ?$

$F = R \cdot s = 8\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}} \cdot 12\ \mathrm{mm} = 96\ \mathrm{N}$

弹力

$$F = R \cdot s$$

弹力的改变

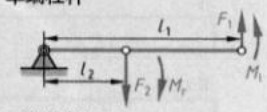
$$\Delta F = R \cdot \Delta s$$

关注公众号：机械工程师成长营

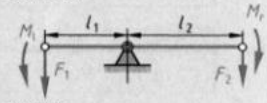
扭矩，杠杆，离心力

扭矩和杠杆

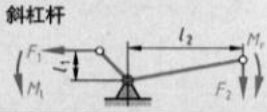
单端杠杆



双端杠杆



斜杠杆



有效杠杆臂是支点到力的作用线的垂直距离。对于盘盖类旋转零件，杠杆臂对应半径 r

M 力矩　　F 力

l 有效杠杆臂

ΣM_l 所有逆时针方向力矩之和

ΣM_r 所有顺时针方向力矩之和

例：

斜杠杆 $F_1 = 30\ \text{N}$；$l_1 = 0.15\ \text{m}$；$l_2 = 0.45\ \text{m}$；$F_2 = ?$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_2} = \frac{30\ \text{N} \cdot 0.15\ \text{m}}{0.45\ \text{m}} = 10\ \text{N}$$

力矩

$$M = F \cdot l$$

杠杆原理

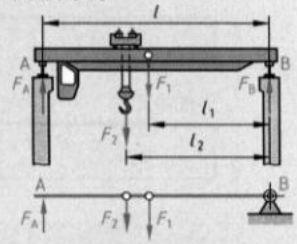
$$\Sigma M_l = \Sigma M_r$$

仅施加 2 个力的杠杆原理

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

承受力

承受力举例



支撑点被视为计算承受力的支点

F_A，F_B 承受力　　l，l_1，l_2 有效杠杆臂

F_1，F_2 力

例：

高架移动式起重机：$F_1 = 40\ \text{kN}$；$F_2 = 15\ \text{kN}$；$l_1 = 6\ \text{m}$；$l_2 = 8\ \text{m}$；$l = 12\ \text{m}$；$F_A = ?$

解：B 点被选作支点，假定承受力 F_A 作用在单端杠杆上。

$$F_A = \frac{F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2}{l} = \frac{40\ \text{kN} \cdot 6\ \text{m} + 15\ \text{kN} \cdot 8\ \text{m}}{12\ \text{m}} = 30\ \text{kN}$$

杠杆原理

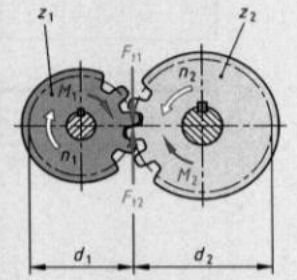
$$\Sigma M_l = \Sigma M_r$$

A 点的承受力

$$F_A = \frac{F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 \cdots}{l}$$

$$F_A + F_B = F_1 + F_2 \cdots$$

齿轮传动的扭矩



齿轮的杠杆臂是其节圆半径。如果两个互相啮合的齿轮其齿数不相同，则产生的扭矩不同

主动齿轮		从动齿轮	
F_{t1}	切向力	F_{t2}	切向力
M_1	扭矩	M_2	扭矩
d_1	分度圆直径	d_2	分度圆直径
Z_1	齿数	Z_2	齿数
n_1	转速	n_2	转速

i 传动比

例：

齿轮：$i = 12$；$M_1 = 60\ \text{N} \cdot \text{m}$；$M_2 = ?$

$M_2 = i \cdot M_1 = 12 \cdot 60\ \text{N} \cdot \text{m} = 720\ \text{N} \cdot \text{m}$

齿轮传动的传动比参见第 259 页

扭矩

$$M_1 = \frac{F_{t1} \cdot d_1}{2}$$

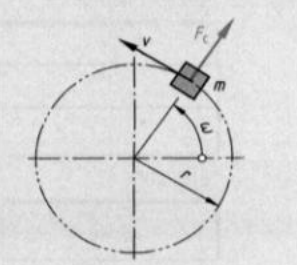
$$M_2 = \frac{F_{t2} \cdot d_2}{2}$$

$$M_2 = i \cdot M_1$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

离心力



当质块沿着曲线轨道（如：圆）运动时产生离心力 F_C

F_C 离心力　　ω 角速度

m 质量　　v 圆周速度

r 半径

例：

涡轮叶片：$m = 160\ \text{g}$；$v = 80\ \text{m/s}$；$d = 400\ \text{mm}$；$F_C = ?$

$$F_C = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{0.16\ \text{kg} \cdot (80\ \text{m/s})^2}{0.2\ \text{m}} = 5\ 120\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 5\ 120\ \text{N}$$

离心力

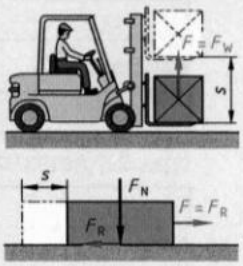
$$F_C = m \cdot r \cdot \omega^2$$

$$F_C = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

关注公众号：机械工程师成长营

功和能

机械功，提升功，摩擦功



功是指力和力的作用点在力的方向上通过的位移的乘积

F　沿移动方向的力　　w　功

F_W，W　重力　　s　力的作用点的位移

F_R　摩擦力　　s，h　提升高度

F_N　法向力　　μ　摩擦系数

例 1：

$F = 300\ \text{N}$；$s = 4\ \text{m}$；$W = ?$

$W = F \cdot s = 300\ \text{N} \cdot 4\ \text{m} = 1200\ \text{N} \cdot \text{m} = 1200\ \text{J}$

例 2：

摩擦功：$F_N = 0.8\ \text{kN}$；$s = 1.2\ \text{m}$；$\mu = 0.4$；$W = ?$

$W = \mu \cdot F_N \cdot s = 0.4\ \text{N} \cdot 800\ \text{N} \cdot 1.2\ \text{m} = 384\ \text{N} \cdot \text{m} = 384\ \text{J}$

功

$$W = F \cdot s$$

提升功

$$W = F_W \cdot h$$

摩擦功

$$W = \mu \cdot F_N \cdot s$$

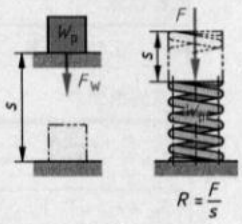
$1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m}$

$= 1\ \text{W} \cdot \text{s} = 1\ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$

$1\ \text{kW} \cdot \text{h} = 3.6\ \text{MJ}$

势能（位能）

重力势能　弹性势能



势能是储存的功（重力势能，弹性势能）

E_p，W_p　势能　　R　弹力常数

F_W，W　重力

F　力　　s，h　位移，升降高度，弹性位移

例：

落锤：$m = 30\ \text{kg}$；$s = 2.6\ \text{m}$；$W_p = ?$

$W_p = F_W \cdot s = 30\ \text{kg} \cdot 9.81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2.6\ \text{m} = 765\ \text{J}$

重力势能

$$W_p = F \cdot s$$

弹性势能

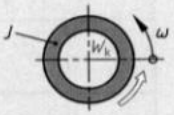
$$W_p = \frac{R \cdot s^2}{2}$$

动能

直线运动



旋转运动（旋转）



动能是运动产生的能量

E_k，W_k　动能或功　　v　速度

ω　角速度　　m　质量

J　质量惯性矩

例：

落锤：$m = 30\ \text{kg}$；$s = 2.6\ \text{m}$；$W_K = ?$

$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot s} = \sqrt{2 \cdot 9.81\ \text{m/s}^2 \cdot 2.6\ \text{m}}$

$= 7.14\ \text{m/s}$

$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{30\ \text{kg} \cdot (7.14\ \text{m/s})^2}{2} = 765\ \text{J}$

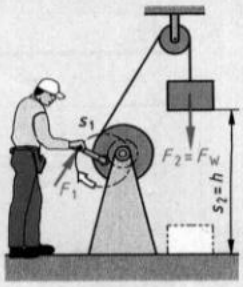
直线运动动能

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

旋转运动动能

$$W_k = \frac{J \cdot \omega^2}{2}$$

机械能守恒定律



“如果没有摩擦力和介质阻力，物体只发生动能和势能的相互转化，机构能总量保持不变。”

W_1　输入功　　W_2　输出功

F_1　输入力　　F_2　输出力

S_1　力 F_1 的位移　　S_2　力 F_2 的位移

F_W，W 重力　　η　效率

例：

提升设备：$F_W = 5\ \text{kN}$；$h = 2\ \text{m}$；$F = 300\ \text{N}$；$s = ?$

$s = \frac{F_W \cdot h}{F} = \frac{5000\ \text{N} \cdot 2\ \text{m}}{300\ \text{N}} = 33.3\ \text{m}$

机械能守恒定律

$$W_1 = W_2$$

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

$$F_1 \cdot s_1 = F_W \cdot h$$

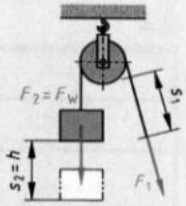
考虑摩擦

$$w_1 = \frac{W_2}{q}$$

关注公众号：机械工程师成长营

简单机械

定滑轮[1)]

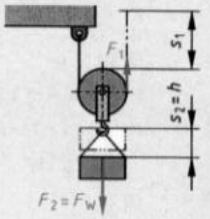


$F_1 = F_W$

$s_1 = h$

$W_2 = F_W \cdot h$

动滑轮[1)]

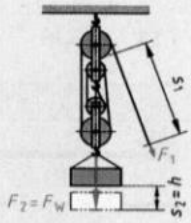


$F_1 = \frac{F_W}{2}$

$s_1 = 2 \cdot h$

$W_2 = F_W \cdot h$

滑轮组[1)]



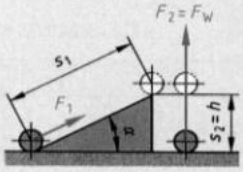
n 承载绳、滑轮数量

$F_1 = \frac{F_W}{n}$

$s_1 = n \cdot h$

$W_2 = F_W \cdot h$

斜面[1)]



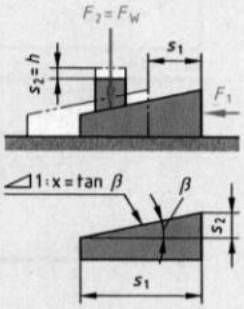
α 倾斜角度

$F_1 \cdot s_1 = F_W \cdot h$

$F_1 = F_W \cdot \sin\alpha$

$W_2 = F_W \cdot h$

楔[1)]



β 倾斜角
$\tan\beta$ 斜率

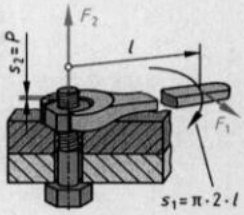
$F_1 \cdot s_1 = n \cdot h$

$F_2 = \frac{F_1}{\tan\beta}$

$s_2 = s_1 \cdot \tan\beta$

$W_2 = F_2 \cdot h$

螺栓[1)]



P 螺距
l 杠杆臂长
扳手拧动一整圈时：

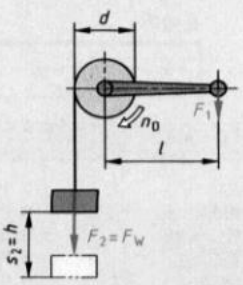
$F_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot l = F_2 \cdot P$

$s_1 = 2 \cdot \pi \cdot l$

$W_1 = F_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot l$

$W_2 = F_2 \cdot P$

提升绞车[1)]



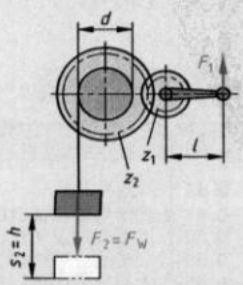
l 曲柄长度
d 滚筒直径
n_D 滚筒转动圈数

$F_1 \cdot l = \frac{F_W \cdot d}{2}$

$h = \pi \cdot d \cdot n_D$

$W_2 = F_W \cdot h$

齿轮传动绞车[1)]



l 曲柄长度
d 滚筒直径
i 传动比

$F_1 \cdot l \cdot i = \frac{F_W \cdot d}{2}$

$i = \frac{z_2}{z_1}$

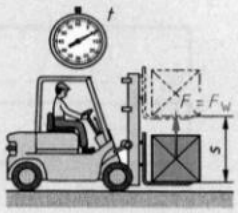
$W_2 = F_W \cdot h$

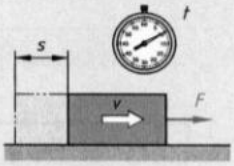
1）公式适用于假定的无摩擦条件，其中输出功 W_1 等于输入功 W_2

关注公众号：机械工程师成长营

功率和效率

直线运动的功率





功率是每单位时间所做的功

P　功率　　s　力的作用点在力方向上的位移

W　功　　v　速度　　t　时间

例 1：

铲车：$F = 15\ \text{kN}$；$v = 25\ \text{m/min}$；$P = ?$

$$P = F \cdot v = 15\,000\ \text{N} \cdot \frac{25\ \text{m}}{60\ \text{s}} = 6250\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 6250\ \text{W} = 6.25\ \text{kW}$$

例 2：

起重机提升一台机器。$m = 1.2\ \text{t}$；$s = 2.5\ \text{m}$；$t = 4.5\ \text{s}$；$P = ?$

$$F_W = m \cdot g = 1200\ \text{kg} \cdot 9.81\ \text{m/s}^2 = 11\,772\ \text{N}$$

$$P = \frac{F_W \cdot s}{t} = \frac{11\,772\ \text{N} \cdot 2.5\ \text{m}}{4.5\ \text{s}} = 6540\ \text{W} = 6.5\ \text{kW}$$

油泵和油缸的功率参见第 371 页

功率

$$P = \frac{W}{t}$$

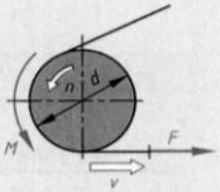
$$P = \frac{F \cdot s}{t}$$

$$P = F \cdot v$$

$$1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1\ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$1\ \text{kW} = 1.36\ \text{PS}$$

圆周运动的功率



P　功率　　s　力的作用点在力方向上的位移

M　扭矩　　t　时间

F　切向力　　n　转速

v　速度　　ω　角速度

例：

皮带传动：

$F = 1.2\ \text{kN}$；$d = 200\ \text{mm}$；$n = 2800\ \text{r/min}$；$P = ?$

$$P = F \cdot \pi \cdot d \cdot n = 1.2\ \text{kN} \cdot \pi \cdot 0.2\ \text{m} \cdot \frac{2800}{60\ \text{s}} = 35.2\ \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 35.2\ \text{kW}$$

数值方程式：

输入：$M(\text{N} \cdot \text{m})$，$n(\text{r/min})$

结果：P（kW）

机床的切削功率参见第 299 页和第 300 页

功率

$$P = F \cdot v$$

$$P = F \cdot \pi \cdot d \cdot n$$

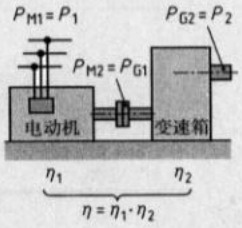
$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$P = M \cdot \omega$$

或：功率

$$P = \frac{M \cdot n}{9550}$$

效率



效率指输出功或功率与输入功或功率的比率

P_1　输入功率　　P_2　输出功率

W_1　输入功　　W_2　输出功

η　总效率　　η_1，η_2　局部效率

例：

皮带传动：$P_1 = 4\ \text{kW}$；$P_2 = 3\ \text{kW}$；$\eta_1 = 85\%$；

$\eta = ?$　$\eta_2 = ?$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{3\ \text{kW}}{4\ \text{kW}} = 0.75;\quad \eta_2 = \frac{\eta}{\eta_1} = \frac{0.75}{0.85} = 0.88$$

效率

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\eta = \frac{W_2}{W_1}$$

总效率

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdots$$

效率 η（近似值）

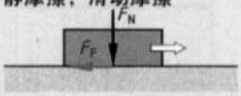
褐煤发电站	0.32	汽油发动机	0.27	螺纹	0.30
煤发电站	0.41	汽车柴油发动机(局部负荷)	0.24	小齿轮	0.97
天然气发电站	0.50	汽车柴油发动机(满负荷)	0.40	蜗轮，$i = 40$	0.65
汽轮机	0.38	大柴油发动机(局部负荷)	0.33	摩擦传动	0.80
蒸汽涡轮机	0.45	大柴油发动机(满负荷)	0.55	链传动	0.90
水涡轮机	0.85	三相交流电动机	0.85	宽 V 带传动	0.85
供热汽轮机	0.75	机床	0.75	液压传动(装置)	0.75

关注公众号：机械工程师成长营

摩擦的种类，摩擦系数

摩擦力

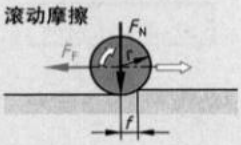
静摩擦，滑动摩擦



静摩擦，滑动摩擦



滚动摩擦



合摩擦力依赖于法向力 F_N 和下列因素

- 摩擦类型，即静、滑动或滚动摩擦
- 摩擦条件（润滑条件）：干、混合或黏滞摩擦
- 表面粗糙度
- 材料配对（材料组合）

在为了确定摩擦系数 μ 而设计的实验方案中，考虑了以上所有影响因素

F_N 法向力　　f 滚动摩擦系数

F_F 摩擦力　　μ 摩擦系数　　r 半径

例 1：

滑动轴承：$F_N = 100\ \text{N}$；$\mu = 0.03$；$F_F = ?$

$F_F = \mu \cdot F_N = 0.03 \cdot 100\ \text{N} = 3\ \text{N}$

例 2：

钢轨上的吊车车轮 $F_N = 45\ \text{kN}$；$d = 320\ \text{mm}$；$f = 0.5\ \text{mm}$；$F_F = ?$

$$F_F = \frac{f \cdot F_N}{r} = \frac{0.5\ \text{mm} \cdot 45\,000\ \text{N}}{160\ \text{mm}} = 140.6\ \text{N}$$

静摩擦和滑动摩擦的摩擦力

$$F_F = \mu \cdot F_N$$

滚动摩擦的摩擦力[1)]

$$F_F = \frac{f \cdot F_N}{r}$$

1）由滚柱和滚动表面间弹性变形产生

摩擦系数（指标值）

材料配对	应用举例	静态摩擦系数 μ		滑动摩擦系数 μ	
		无润滑	有润滑	无润滑	有润滑
钢/钢	虎钳导轨	0.20	0.10	0.15	0.10 ~ 0.05
钢/铸铁	机器导向装置	0.20	0.15	0.18	0.10 ~ 0.08
钢/Cu - Sn 合金	整体滑动轴承中的轴	0.20	0.10	0.10	0.06 ~ 0.03[2)]
钢/Pb - Sn 合金	多层滑动轴承中的轴	0.15	0.10	0.10	0.05 ~ 0.03[2)]
钢/聚酰胺	PA 滑动轴承中的轴	0.30	0.15	0.30	0.12 ~ 0.03[2)]
钢/聚四氟乙烯	低温轴承	0.04	0.04	0.04	0.04[2)]
钢/摩擦衬套	刹车瓦	0.60	0.30	0.55	0.03 ~ 0.02
钢/木材	装配台上的零件	0.55	0.10	0.35	0.05
木材/木材	垫块	0.50	0.20	0.30	0.10
铸铁/Cu - Sn 合金	调整楔	0.28	0.16	0.21	0.20 ~ 0.10
橡胶/铸铁	滑轮上的皮带	0.50	—	—	—
滚动体/钢	减摩轴承[3)]，导轨[3)]	—	—	—	0.003 ~ 0.001

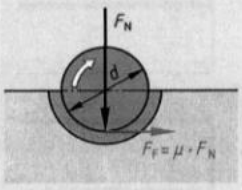
2）随着滑动速度的增加和混合、黏性摩擦的出现，材料配对的重要性在降低

3）因其与静摩擦或滑动摩擦的计算特别相似，尽管是滚动运动也可按同样方法计算

滚动摩擦系数（指标值）

材料配对	应用举例	滚动摩擦系数 f（mm）
钢/钢	导轨上的钢轮	0.05
橡胶/混凝土	混凝土地面上的小角轮	0.15
橡胶/沥青	街面上的车胎	4.5

轴承中摩擦力矩和摩擦功率



M 摩擦力矩　　μ 摩擦系数

F_N 法向力　　d 直径

P 摩擦功率　　n 转速

例：

Cu - Sn 滑动轴承中的钢轴，$\mu = 0.05$；$F_N = 6\ \text{kN}$；$d = 160\ \text{mm}$；$M = ?$

$$M = \frac{\mu \cdot F_N \cdot d}{2} = \frac{0.05 \cdot 6\,000\ \text{N} \cdot 0.16\ \text{m}}{2} = 24\ \text{N} \cdot \text{m}$$

摩擦力矩

$$M = \frac{\mu \cdot F_N \cdot d}{2}$$

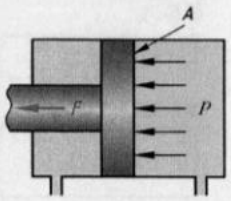
摩擦功率

$$P = \mu \cdot F_N \cdot \pi \cdot d \cdot n$$

关注公众号：机械工程师成长营

压力的类型

压力



p　压力　　A　面积
F　力

例：

$F = 2\ \mathrm{MN}$；活塞 $\Phi\ d = 400\ \mathrm{mm}$；$p = ?$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{2\,000\,000\ \mathrm{N}}{\frac{\pi \cdot (40\ \mathrm{cm})^2}{4}} = 1591\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{cm}^2} = 159.1\ \mathrm{bar}$$

水力和气动压力的计算参见第 370 页

压力

$$p = \frac{F}{A}$$

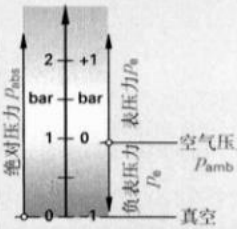
压力的单位

$1\ \mathrm{Pa} = 1\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2} = 0.000\,01\ \mathrm{bar}$

$1\ \mathrm{bar} = 10\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{cm}^2} = 0.1\ \mathrm{N/mm}^2$

$1\ \mathrm{mbar} = 100\ \mathrm{Pa} = 1\ \mathrm{hPa}$

表压力，大气压力，绝对压力



p_e　表压力（超额，过度）
p_{amb}　大气压力（周围，环境）
p_{abs}　绝对压力
表压力为
+，如果 $p_{abs} > p_{amb}$；
−，如果 $p_{abs} < p_{amb}$

例：

车胎：$p_e = 2.2\ \mathrm{bar}$；$p_{amb} = 1\ \mathrm{bar}$；$p_{abs} = ?$

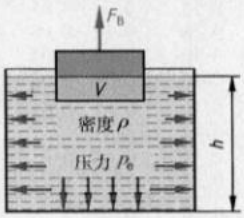
$p_{abs} = p_e + p_{amb} = 2.2\ \mathrm{bar} + 1\ \mathrm{bar} = 3.2\ \mathrm{bar}$

表压力

$$p_e = p_{abs} - p_{amb}$$

$p_{amb} = 1.013\ \mathrm{bar} \approx 1\ \mathrm{bar}$
（标准气压）

流体静压力，浮力



p_e　流体静压，固有压力　　F_B　浮力
ρ　流体密度　　V　排水体积
g　重力加速度　　h　液体深度

例：

水深 10m 处的压力是多少？

$$p_e = g \cdot \rho \cdot h = 9.81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 1\,000\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \cdot 10\ \mathrm{m}$$

$$= 98\,100\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^2} = 98\,100\ \mathrm{Pa} = 1\ \mathrm{bar}$$

流体静压

$$p_e = g \cdot \rho \cdot h$$

浮力

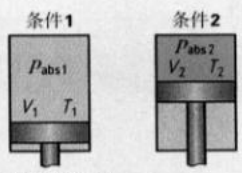
$$p_B = g \cdot \rho \cdot V$$

$g = 9.81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \approx 10\ \mathrm{m/s}^2$

密度值参见第 117 页

气体压力变化

压缩



条件 1

p_{abs1}　绝对压力
V_1　体积
T_1　绝对温度

条件 2

p_{abs2}　绝对压力
V_2　体积
T_2　绝对温度

例：

压缩机在 $p_{abs1} = 1$，$t_1 = 15\ ℃$ 时吸收 $V_1 = 30\mathrm{m}^3$ 的空气，并将其压缩为 $V_2 = 3.5\ \mathrm{m}^3$，$t_2 = 150\ ℃$。
压力 p_{abs2} 是多少？
绝对温度的计算（参见第 51 页）：

$T_1 = t_1 + 273 = (15 + 273)\mathrm{K} = 288\mathrm{K}$

$T_2 = t_2 + 273 = (150 + 273)\mathrm{K} = 423\mathrm{K}$

$$p_{abs2} = \frac{p_{abs1} \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2}$$

$$= \frac{1\ \mathrm{bar} \cdot 30\mathrm{m}^3 \cdot 423\mathrm{K}}{288\mathrm{K} \cdot 3.5\mathrm{m}^3} = 12.6\ \mathrm{bar}$$

理想气体定律

$$\frac{p_{abs1} \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_{abs2} \cdot V_2}{T_2}$$

特殊情况：
等温

$$p_{abs1} \cdot V_1 = p_{abs2} \cdot V_2$$

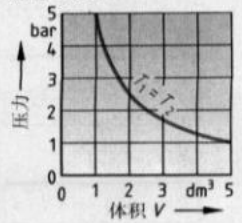
等容

$$\frac{p_{abs1}}{T_1} = \frac{p_{abs2}}{T_2}$$

等压

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

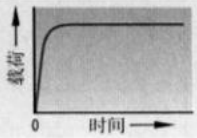
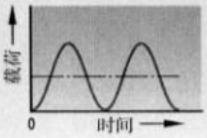
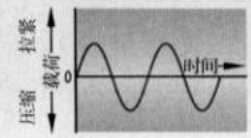
玻意耳定律



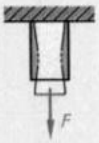
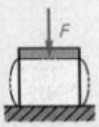
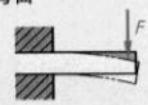
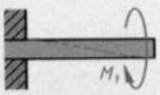
关注公众号：机械工程师成长营

载荷情况，载荷类型，材料特性，应力极限

载荷情况

固定静态载荷	动态载荷	
	脉动	交变
		
载荷情况Ⅰ 载荷的大小和方向保持不变，例：圆柱的重力	**载荷情况Ⅱ** 载荷增加到最大值，然后降到0，如起重电缆和弹簧	**载荷情况Ⅲ** 载荷在相等幅值的最大正负值之间交替变化，如旋转轴

载荷类型，材料特性，应力极限

载荷类型	应力	材料特性			载荷情况的标准应力极限		
		强度	弹性变形极限值	变形	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
拉力 	拉应力 σ_t	抗拉强度 R_m	屈服强度 R_e 0.2%屈服点 $R_{p0.2}$	延伸率 ε 断裂延伸率 A	材料 延性（钢） R_e $R_{p0.2}$ 脆性(铸铁) R_m	脉动拉力疲劳强度 σ_{tpuls}	交变拉力疲劳强度 σ_{tA}
压缩 	压应力 σ_c	抗压强度 σ_{cB}	自然压缩屈服点 σ_{cF} 0.2%偏移屈服点 $\sigma_{c0.2}$	压缩设置 ε_c 压缩失败 ε_{cB}	材料 延性（钢） σ_{cF} $\sigma_{c0.2}$ 脆性(铸铁) σ_{cB}	脉动压缩疲劳强度 σ_{cpuls}	交变压缩疲劳强度 σ_{cA}
弯曲 	弯曲应力 σ_b	弯曲强度 σ_{bB}	弯曲极限 σ_{bF}	偏转 f	弯曲极限 σ_{bF}	脉动弯曲疲劳强度 σ_{bpuls}	交变弯曲疲劳强度 σ_{bA}
剪切 	剪应力 τ_a	剪切强度 τ_{aB}	—	—	剪切强度 τ_{aB}	—	—
扭转 	扭转应力 τ_t	扭转强度 τ_{tB}	扭转极限 τ_{tF}	角度偏转 φ	扭转极限 τ_{tF}	脉动扭转疲劳强度 τ_{tpuls}	交变扭转疲劳强度 τ_{tA}
翘曲 	翘曲应力 σ_{bu}	翘曲强度 σ_{buB}	—	—	翘曲强度 σ_{buB}	—	—

关注公众号：机械工程师成长营

机械强度性能，许用应力，安全系数

静态和动态载荷的机械强度性能[1)]

载荷类型	拉伸，压缩			剪切	弯曲			扭转		
载荷情况	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
应力极限 σ_{lim}	R_e，$R_{t0.2}$ σ_{cF}，$\sigma_{c0.2}$	σ_{tpuls} σ_{cpuls}	σ_{tA} σ_{cA}	τ_{sB}	σ_{bF}	σ_{bpuls}	σ_{bA}	τ_{tF}	τ_{tpuls}	τ_{tA}
材料	应力极限 σ_{lim}（N/mm^2）									
S235	235	235	150	290	330	290	170	140	140	120
S275	275	275	180	340	380	350	200	160	160	140
E295	295	295	210	390	410	410	240	170	170	150
E335	335	335	250	470	470	470	280	190	190	160
E360	365	365	300	550	510	510	330	210	210	190
C15	440	440	330	600	610	610	370	250	250	210
17Cr3	510	510	390	800	710	670	390	290	290	220
16MnCr5	635	635	430	880	890	740	440	360	360	270
20MnCr5	735	735	480	940	1030	920	540	420	420	310
18CrNiMo7－6	835	835	550	960	1170	1040	610	470	470	350
C22E	340	340	220	400	490	410	240	245	245	165
C45E	490	490	280	560	700	520	310	350	350	210
C60E	580	580	325	680	800	600	350	400	480	240
46Cr2	650	630	370	720	910	670	390	455	455	270
41Cr4	800	710	410	800	1120	750	440	560	510	330
50CrMo4	900	760	450	880	1260	820	480	630	560	330
30CrNiMo8	1050	870	510	1000	1470	930	550	735	640	375
GS－38	200	200	160	300	260	260	150	115	115	90
GS－45	230	230	185	360	300	300	180	135	135	105
GS－52	260	260	210	420	340	340	210	150	150	120
GS－60	300	300	240	480	390	390	240	175	175	140
EN－GJS－400	250	240	140	400	350	345	220	200	195	115
EN－GJS－500	300	270	155	500	420	380	240	240	225	130
EN－GJS－600	360	330	199	600	500	470	270	290	275	160
EN－GJS－700	400	355	205	700	560	520	300	320	305	175

1）用 $d \leqslant 16mm$ 的磨光的圆筒样件来确定值。它们适用于正火处理的结构钢；表面淬火和晶粒细化后获得核心强度的表面淬火钢；淬火条件下的热处理钢。
带石墨薄片的铸铁的压缩强度是 $\sigma_{cB} \approx 4R_m$。
用于结构钢工件的数值由 DIN18800 确定。

机器零件（预）校准用许用应力

由于安全原因，零件可只承受部分的应力极限，此应力极限将导致永久变形、破裂或疲劳断裂

σ_{allow} 许用应力 σ_{lim} 依赖于载荷情况和载荷类型的应力极限

v 安全系数（见下表）

例：

如果要求静态载荷的安全系数为 1.5，六角头螺栓 ISO4017－M12×50－10.9 的许用拉应力为多少？

$\sigma_{lim} = R_e = 1\,000\ N/mm^2 \cdot 0.9 = 900\ N/mm^2$；$\sigma_{t,allow} = \frac{\sigma_{lim}}{v} = \frac{900\ N/mm^2}{1.5} = 600 N/mm^2$

许用应力
（初始设计）

$$\sigma_{allow} = \frac{\sigma_{lim}}{v}$$

螺栓的机械强度性能参见第 211 页

用于机器零件（预）校准的安全系数 v

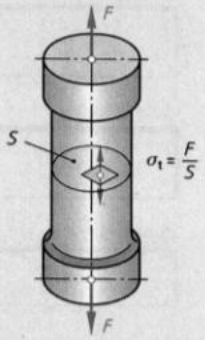
载荷情况	Ⅰ（静态）		Ⅱ和Ⅲ（动态）	
材料类型	易延展的材料 如：钢	易碎的材料 如：铸铁	易延展的材料 如：钢	易碎的材料 如：铸铁
安全系数 v	1.2～1.8	2.0～4.0	3～4[1)]	3～6[1)]

1）相对于应力极限的零件校准的高安全极限，规定用来补偿由于零件形状引起的未知的强度减少的影响。
（形相关强度系数参见第 48 页）

关注公众号：机械工程师成长营

拉应力，压应力，表面压力

拉应力



许用应力的计算只适用于静态载荷（载荷情形 I）。

σ_t	拉应力	R_e	屈服强度
F	拉力	R_m	抗拉强度
S	断面面积	ν	安全系数
$\sigma_{t,allow}$	许用拉应力	F_{allow}	许用拉力

例：

圆钢：$\sigma_{t,allow} = 130\ N/mm^2$（S235JR，$\nu = 1.8$）；$F_{allow} = 13.7\ kN$；$d = ?$

$$S = \frac{F_{allow}}{\sigma_{t,allow}} = \frac{13\,700\ N}{130\ N/mm^2} = 105\ mm^2$$

$c = 12\ mm$（查表，第 10 页）

机械强度性能 R_e 和 R_m 见第 130 ~ 138 页。弹性延伸率的计算参见第 190 页

拉应力

$$\sigma_t = \frac{F}{S}$$

许用拉力

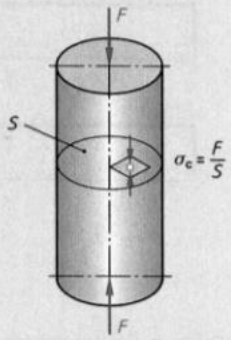
$$F_{allow} = \sigma_{t,allow} \cdot S$$

许用拉应力

对于钢 $\sigma_{t,allow} = \frac{R_e}{\nu}$

对于铸铁 $\sigma_{t,allow} = \frac{R_m}{\nu}$

压应力



许用应力的计算只适用于静态载荷（载荷情形 I）。

σ_{eF}	压缩屈服点	F	压力
σ_c	压应力	F_{allow}	许用压力
$\sigma_{c,allow}$	许用压应力	S	断面面积
ν	安全系数	R_m	抗拉强度

例：

由 EN - GJL - 300 制成的齿条：$S = 2800\ mm^2$；$\nu = 2.5$；$F_{allow} = ?$

$$F_{allow} = \sigma_{c,allow} \cdot S = \frac{4 \cdot R_m}{\nu} \cdot S$$

$$= \frac{4 \cdot 300\ N/mm^2}{2.5} \cdot 2800\ mm^2 = 1344\,000\ N$$

机械强度性能参见第 44 页，第 160 ~ 161 页

压应力

$$\sigma_c = \frac{F}{S}$$

许用压力

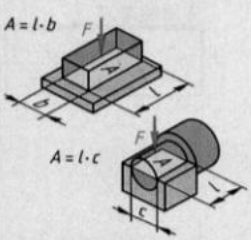
$$F_{allow} = \sigma_{c,allow} \cdot S$$

许用压应力

对于钢 $\sigma_{c,allow} = \frac{\sigma_c F}{\nu}$

对于铸铁 $\sigma_{c,allow} \approx \frac{4 \cdot R_m}{\nu}$

表面压力



F 力　　A 接触表面，投影面积

p 表面压力

例：

两金属板，各厚 8 mm，用 DIN 1445 - 10 h 11 × 16 × 30 的螺栓连接。已知最大许用表面压力为 $280 N/mm^2$，可以施加多大的力？

$$F = p \cdot A = 280\ N/mm^2 \cdot 8\ mm \cdot 10\ mm$$

$$= 22\,400\ N$$

表面压力

$$p = \frac{F}{A}$$

钢制的销和螺栓连接的许用表面压力（标准值）

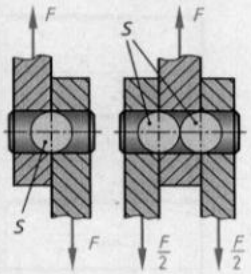
装配类型	压入配合光面销			带槽工件的配合			滑动配合光面螺栓		
载荷情况	I	II	III	I	II	III	I	II	III
零件材料	许用表面压力（N/mm^2）								
S235	100	70	35	70	50	25	30	25	10
E295	105	75	40	75	55	30	30	25	10
铸钢	85	60	30	60	45	20	30	25	10
铸铁	70	50	25	50	35	20	40	30	15
CuSn，CuZn 合金	40	30	15	30	20	10	40	30	15
AlCuMg 合金	65	45	25	45	35	15	20	15	10

各种滑动轴承材料的许用单位负载的参考值见第 261 页

关注公众号：机械工程师成长营

剪切和翘曲应力

剪切应力



单剪切　　双剪切

承载断面不应该被剪切

τ_s	剪应力	F_{allow}	许用剪切力
$\tau_{s,allow}$	许用剪应力	S	断面面积
τ_{sB}	剪切强度	v	安全系数

例：

圆柱销 Φ6mm，单剪切载荷，
E295，$v=3$；$F_{allow}=?$

$$\tau_{s,allow}=\frac{\tau_{sB}}{v}=\frac{390\text{N/mm}^2}{3}=130\ \text{N/mm}^2$$

$$S=\frac{\pi\cdot d^2}{4}=\frac{\pi\cdot(6\text{mm})^2}{4}=28.3\ \text{mm}^2$$

$$F_{allow}=S\cdot\tau_{s,allow}=28.3\text{mm}^2\cdot 130\ \text{N/mm}^2=3\,679\ \text{N}$$

机械强度性能 τ_{sB} 和安全系数参见第 44 页

剪切应力

$$\tau_s=\frac{F}{S}$$

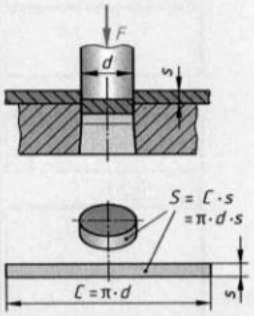
许用剪切应力

$$\tau_{s,allow}=\frac{\tau_{sB}}{v}$$

许用剪切力

$$F_{allow}=S\cdot\tau_{s,allow}$$

材料的切割



承载断面必须被剪切

$\tau_{sB\,max}$	最大剪切强度	S	剪切面积
$R_{m\,max}$	最大抗拉强度	F	切削力

例：

冲压一块 3mm 厚的钢板 S235JR；
$d=16$ mm；$F=?$
$R_{m\,max}=470\ \text{N/mm}^2$（查表，第 130 页）

$$\tau_{sB\,max}\approx 0.8\cdot R_{m\,max}=0.8\cdot 470\ \text{N/mm}^2=376\ \text{N/mm}^2$$

$$S=\pi\cdot d\cdot s=\pi\cdot 16\text{mm}\cdot 3\text{mm}=150.8\text{mm}^2$$

$$F=S\cdot\tau_{sBmax}=150.8\text{mm}^2\cdot 376\text{N/mm}^2=56\,701\text{N}=56.7\text{kN}$$

钢的机械强度性能 $R_{m\,max}$ 参见第 130～138 页

最大剪切强度

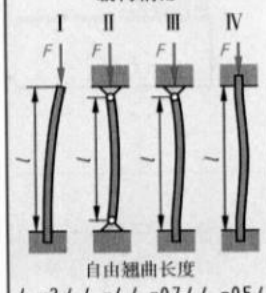
$$\tau_{sBmax}\approx 0.8\cdot R_{m\,max}$$

切削力

$$F=S\cdot\tau_{sBmax}$$

翘曲应力（欧拉梁）

载荷情形和自由翘曲长度（欧拉梁）



欧拉梁的翘曲计算仅适用于薄（定形）零件，且在工件的弹性范围内

$F_{bu,allow}$	许用翘曲力	E	弹性模量
l	长度	I	转动惯量
l_{bu}	自由翘曲长度		
v	安全系数（机器结构中取 3～10）		

例：

梁 IPB200，$l=3.5$m；两端夹紧；
$v=10$；$F_{bu,allow}=?$　$E=210\,000\ \text{N/mm}^2=21\cdot 10^6\ \text{N/cm}^2$（见下表）；$I^{1)}=2000\ \text{cm}^4$

$$F_{bu,allow}=\frac{\pi\cdot E\cdot I}{l_{bu}^2\cdot v}=\frac{\pi\cdot 21\cdot 10^6\ \text{N/cm}^2\cdot 2000\ \text{cm}^4}{(0.5\cdot 350\ \text{cm})^2\cdot 10}=1.35\cdot 10^6\ \text{N}=1.35\ \text{MN}$$

1）面积转动惯量（截面惯性矩）参见第 49 页，第 146～151 页结构钢按 DIN18800 和 DIN4114 制订特别的计算方法

许用翘曲力

$$F_{bu,allow}=\frac{\pi^2\cdot E\cdot I}{l_{bu}^2\cdot v}$$

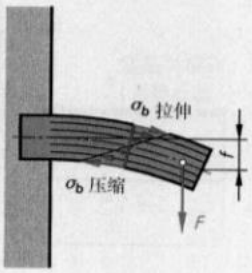
弹性模量 E（kN/mm²）

钢	EN－GJL－150	EN－GJL－300	EN－GJS－400	ES－38	EN－GJMW－350－4	CuZn40	Al 合金	Ti 合金
196～216	80～90	110～140	170～185	210	170	80～100	60～80	112～130

关注公众号：机械工程师成长营

弯曲和扭转应力

弯曲应力



工件弯曲时产生拉应力和压应力。求得的最大应力在工件的边界区域；它们不可超过许用弯曲应力

σ_b 弯曲应力　　F 弯曲力

M_b 弯曲力矩　　f 偏转

W 轴向截面模量

例：

梁 IPE－240，$W = 324\,cm^3$，一端夹紧；

集中载荷 $F = 25\,kN$；$l = 2.6\,m$；$\sigma_b = ?$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{F \cdot l}{W} = \frac{25\,000\ N \cdot 260\ cm}{324\ cm^3}$$

$$= 20\,061\ N/cm^2 = 200\ N/mm^2$$

弯曲应力

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$$

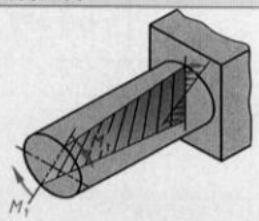
许用弯曲应力 $\sigma_{b\,allow}$ 查第 44 页

梁的弯曲载荷情况

受集中载荷的梁		受均布载荷的梁	
一端固定	$M_b = F \cdot l$ $f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}$	一端固定	$M_b = \frac{F \cdot l}{2}$ $f = \frac{F \cdot l^3}{8 \cdot E \cdot I}$
两端支撑	$M_b = \frac{F \cdot l}{4}$ $f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$	两端支撑	$M_b = \frac{F \cdot l}{8}$ $f = \frac{5 \cdot F \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I}$
两端固定	$M_b = \frac{F \cdot l}{8}$ $f = \frac{F \cdot l^3}{192 \cdot E \cdot I}$	两端固定	$M_b = \frac{F \cdot l}{12}$ $f = \frac{F \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I}$

E 弹性模量；值：第 46 页　I 面积转动惯量；公式：第 49 页；值：第 146～151 页

扭转应力



M_t 扭矩　　τ_t 扭应力

W_p 极截面模量

例：

轴，$d = 32\ cm$；$M_t = 420\ N \cdot m$；$\tau_t = ?$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot (32\ mm)^3}{16} = 6\,434\ mm^3$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} = \frac{420\,000\ N \cdot mm}{6\,434\ mm^3} = \mathbf{65.3\ N/mm^2}$$

扭应力

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p}$$

许用扭应力 $\tau_{t\,allow}$ 查第 44 或第 48 页

极截面模量参见第 49 页和第 151 页

关注公众号：机械工程师成长营

强度中的形状因素

动态载荷的形相关强度和许用应力

形相关强度是受动态载荷作用下工件断面的疲劳强度，它带有一附加允许值以减少零件形状对强度的影响

重要因素包括：

- 零件的形状（应力集中）
- 加工质量（表面粗糙度）
- 标准尺寸（零件厚度）

当对所需的安全系数作补偿时，就产生了许用应力以校验受动态载荷作用下的工件的强度

σ_S　形相关强度　　b_1　表面条件系数

σ_{lim}　无凹口断面的应力极限，如：σ_{bA} 或 τ_{tpuls}（第 44 页）　　b_2　尺寸因数

ν_F　疲劳断裂安全系数　　β_k　应力集中系数

$\sigma\ (\tau)_{allow}$　许用应力

形相关强度（动态载荷）

$$\sigma_S = \frac{\sigma_{lim} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_k}$$

$$\tau_S = \frac{\tau_{lim} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_k}$$

许用应力（动态载荷）

$$\sigma_{allow} = \frac{\sigma_S}{\nu_F}$$

$$\tau_{allow} = \frac{\tau_S}{\nu_F}$$

钢 $\nu_F \approx 1.7$

例：

旋转轴，E335，横向孔，表面粗糙度 $R_Z = 25\ \mu m$，

毛坯直径 $d = 50$ mm，安全系数 $\nu_F = 1.7$；$\sigma_s = ?$　$\sigma_{allow} = ?$

$\sigma_{bW} = 280\ N/mm^2$（第 44 页）；$b_1 = 0.8$（$R_m = 570\ N/mm^2$，见下图）；

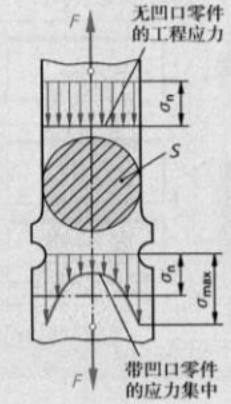
$b_2 = 0.8$（见下图）；$\beta_K = 1.7$（见下表）

$$\sigma_S = \frac{\sigma_{bW} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_K} = \frac{280\ N/mm^2 \cdot 0.8 \cdot 0.8}{1.7} = 105\ N/mm^2$$

$$\sigma_{allow} = \sigma_S/\nu_F = 105\ N/mm^2/1.7 = 62\ N/mm^2$$

应力集中和钢的应力集中系数 β_k

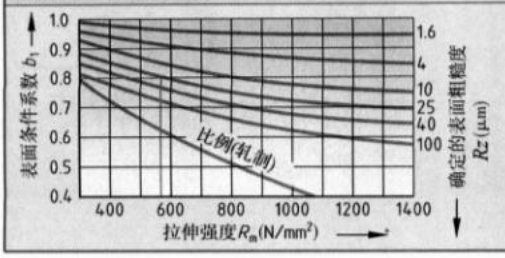
例：拉伸载荷的应力分布

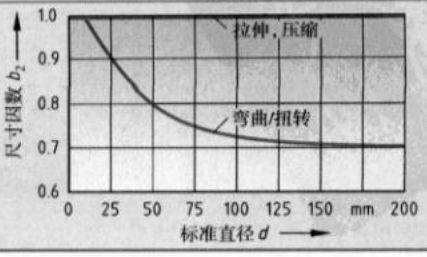


无凹口断面具有不中断的力分布，因此应力分布均匀。断面的改变导致力作用线的集中，并产生应力集中。随之发生的强度降低主要受凹口形状的影响，但也受材料的凹口灵敏度的影响

凹口形状	材料	应力集中系数 β_k	
		弯曲	转矩
带轴肩的轴	S185 – E335	1.5 ~ 2.0	1.3 ~ 1.8
带半圆槽的轴	S185 – E335	1.5 ~ 2.2	1.3 ~ 1.8
带锁紧环状槽的轴	S185 – E335	2.5 ~ 3.0	2.5 ~ 3.0
轴上键槽	S185 – E335	1.8 ~ 1.9	1.5 ~ 1.6
	C45E + QT	1.9 ~ 2.1	1.6 ~ 1.7
	50CrMo4 + QT	2.1 ~ 2.3	1.7 ~ 1.8
轴上半圆槽	S185 – E335	2.0 ~ 3.0	2.0 ~ 3.0
花键轴	S185 – E335	–	1.6 ~ 1.8
轴与毂的滑动配合界面	S185 – E335	2.0	1.5
轴或带横向通孔的轮轴	S185 – E335	1.4 ~ 1.7	1.4 ~ 1.8
带孔的扁钢	S185 – E335	1.3 ~ 1.5	拉伸负载 1.6 ~ 1.8

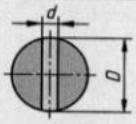
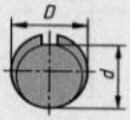
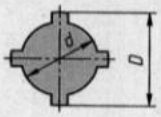
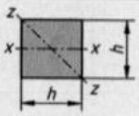
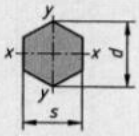
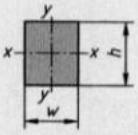
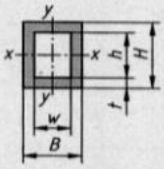
钢的表面条件系数 b_1 和尺寸因数 b_2





关注公众号：机械工程师成长营

面积转动惯量和极截面模量

断面形状	弯曲和翘曲		扭转
	面积转动惯量 I	轴向截面模量 W	极截面模量 W_p
	$I=\frac{\pi \cdot d^4}{64}$	$W=\frac{\pi \cdot d^3}{32}$	$W_p=\frac{\pi \cdot d^3}{16}$
	$I=\frac{\pi \cdot (D^4-d^4)}{64}$	$W=\frac{\pi \cdot (D^4-d^4)}{32 \cdot D}$	$W_p=\frac{\pi \cdot (D^4-d^4)}{16 \cdot D}$
	$I=0.05 \cdot D^4-0.083\ d \cdot D^3$	$W=0.1 \cdot D^3-0.17\ d \cdot D^2$	$W_p=0.2 \cdot D^3-0.34\ d \cdot D^2$
	$I=0.003 \cdot (D+d)^4$	$W=0.012 \cdot (D+d)^3$	$W_p=0.2 \cdot d^3$
 也适用于多键	$I=0.0003 \cdot (D+d)^4$	$W=0.012 \cdot (D+d)^3$	$W_p=0.006 \cdot (D+d)^3$
	$I_x=I_z=\frac{h^4}{12}$	$W_x=\frac{h^3}{6}$ $W_z=\frac{\sqrt{2} \cdot h^3}{12}$	$W_p=0.208 \cdot h^3$
	$I_x=I_y=\frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot s^4}{144}$ $I_x=I_y=\frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot d^4}{256}$	$W_x=\frac{5 \cdot s^3}{48}=\frac{5 \cdot \sqrt{3} \cdot d^3}{128}$ $W_y=\frac{5 \cdot s^3}{24 \cdot \sqrt{3}}=\frac{5 \cdot d^3}{64}$	$W_p=0.188 \cdot s^3$ $W_p=0.123 \cdot d^3$
	$I_x=\frac{w \cdot h^3}{12}$ $I_y=\frac{h \cdot w^3}{12}$	$W_x=\frac{w \cdot h^2}{6}$ $W_y=\frac{h \cdot w^2}{6}$	$W_p=\eta \cdot w^2 \cdot h$ η 的值见下表
	$I_x=\frac{B \cdot H^3-w \cdot h^3}{12}$ $I_y=\frac{H \cdot B^3-h \cdot w^3}{12}$	$W_x=\frac{B \cdot H^3-w \cdot h^3}{6 \cdot H}$ $W_y=\frac{H \cdot B^3-h \cdot w^3}{6 \cdot B}$	$W_p=\frac{t \cdot (H+h) \cdot (B+w)}{2}$

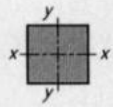
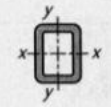
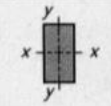
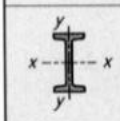
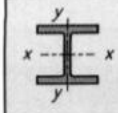
1）型材的截面惯性矩和轴向截面模量参见第 146～151 页

矩形断面的极截面模量的辅助值 η

h/W	1	1.5	2	3	4	6	8	10	∞
η	0.208	0.231	0.246	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333

关注公众号：机械工程师成长营

各种断面形状比较

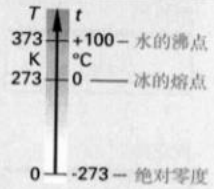
断面		质量线密度		各种载荷的截面模量或静态力矩							
				弯曲				翘曲		扭转	
形状	标准名称	m'		W_x		W_y		I_{min}		W_p	
		kg/m	因数[1]	cm^3	因数[1]	cm^3	因数[1]	cm^3	因数[1]	cm^3	因数[1]
	圆钢 EN 10060 – 100	61.7	1.00	98	1.00	98	1.00	491	1.00	196	1.00
	方钢 EN 10059 – 100	78.5	1.27	167	1.70	167	1.70	833	1.70	208	1.06
	管 EN 10220 – 114.3 ×6.3	16.8	0.27	55	0.56	55	0.56	313	0.64	110	0.56
	空结构截面 EN 10210 – 2 100 ×100 ×6.3	18.3	0.30	67.8	0.69	67.8	0.69	339	0.69	110	0.56
	空结构截面 EN 10210 – 2 120 ×60 ×6.3	16.1	0.26	59	0.60	38.6	0.39	116	0.24	77	0.39
	扁钢 EN 10058 – 100 ×50	39.3	0.64	83	0.85	41.7	0.43	104	0.21	—	—
	T 截面 EN 10055 – T100	16.4	0.27	24.6	0.25	17.7	0.18	88.3	0.18	—	—
	U 形槽截面 EN 1026 – U100	10.6	0.17	41.2	0.42	8.5	0.08	29.3	0.06	—	—
	工字梁截面 DIN 1025 – I100	8.3	0.13	34.2	0.35	4.9	0.05	12.2	0.02	—	—
	工字梁截面 DIN 1025 – IPB100	20.4	0.33	89.9	0.92	33.5	0.34	167	0.34	—	—

1）因数参考圆钢 EN 10060 – 100（表中第一行断面）

关注公众号：机械工程师成长营

温度变化的影响

温度



温度按开氏、摄氏或华氏温标测量。开氏温标原点为最低可能温度，绝对零度；摄氏温标原点为冰的熔点

T 温度（K）（热力学温度）　t 温度（°C）　t_F 温度（°F）

例：

$t = 20°C$；$T = ?$

$T = t + 273 = (20 + 273)\,K = 293\ K$

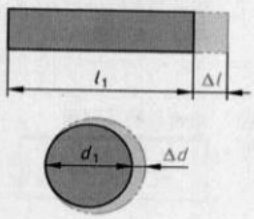
开氏温标温度

$$T = t + 273$$

华氏温度计温度

$$t_F = 1.8 \cdot t + 32$$

线膨胀，直径变化



α_l 线膨胀系数　Δl 线膨胀

Δt，$\Delta\vartheta$ 温度变化　Δd 直径变化

l_1 初始长度

d_1 初始直径

例：

钢板：$l_1 = 120$ mm；$\alpha_l = 0.000\,012\ \frac{1}{°C}$

$\Delta t = 800°C$；$\Delta l = ?$

$\Delta l = \alpha_l \cdot l_1 \cdot \Delta t$

$= 0.000\,012\ \frac{1}{°C} \cdot 120\ mm \cdot 800°C = 1.15\ mm$

线膨胀

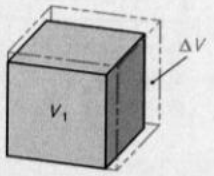
$$\Delta l = \alpha_l \cdot l_1 \cdot \Delta t$$

直径变化

$$\Delta d = \alpha_l \cdot d_1 \cdot \Delta t$$

线膨胀系数参见第116页和第117页

体积变化



α_V 体胀系数　ΔV 体积变化

Δt，$\Delta\vartheta$ 温度变化　V_1 初始体积

例：

汽油：$V_1 = 60\ l$；$\alpha_V = 0.001\ \frac{1}{°C}$　$\Delta t = 32°C$；$\Delta V = ?$

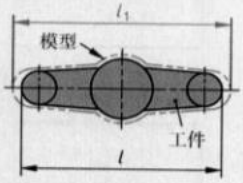
$\Delta V = \alpha_V \cdot V_1 \cdot \Delta t = 0.001\ \frac{1}{°C} \cdot 60\ l \cdot 32°C = 1.9\ l$

体积变化

$$\Delta V = \alpha_V \cdot V_1 \cdot \Delta t$$

对于固体 $\alpha_V = 3\alpha_l$ 体胀系数参见第117页。气体的体胀系数参见第42页

收缩量



S 允许收缩量（%）　l_1 铸模长度

l 工件长度

例：

铝铸件：$l = 680$ mm；$S = 1.2\%$；$l_1 = ?$

$l_1 = \frac{l \cdot 100\%}{100\% - S} = \frac{680\ mm \cdot 100\%}{100\% - 1.2\%}$

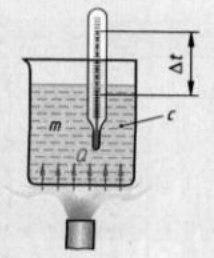
$= 688.2$ mm

铸模长度

$$l_1 = \frac{l \cdot 100\%}{100\% - S}$$

允许收缩量参见第163页

温度变化产生的热量



比热容 c 指1 kg的物质温度升高1 ℃所吸收的热量。冷却过程中也会释放相同的热量

c 比热容　Q 热量

Δt，$\Delta\vartheta$ 温度变化　m 质量

例：

钢轴：$m = 2$ kg；$c = 0.48\ \frac{kJ}{kg \cdot °C}$；

$\Delta t = 800°C$；$Q = ?$

$Q = c \cdot m \cdot \Delta t = 0.48\ \frac{kJ}{kg \cdot °C} \cdot 2\ kg \cdot 800°C = 768\ kJ$

热量

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$$

$1\,kJ = \frac{1\ kW \cdot h}{3600}$

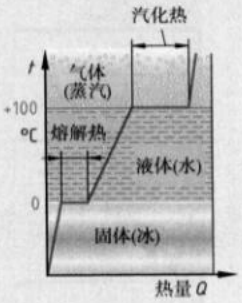
$1\ kW \cdot h = 3.6\,MJ$

比热容：参见第116页和第117页

关注公众号：机械工程师成长营

熔解，汽化，燃烧的热量

熔解热，汽化热



物质从固态变为液态，或从液态变为气态需要吸收热能，称为熔解热或汽化热

Q　熔解热　　r　汽化潜热
　　汽化热
q　熔解潜热　　m　质量

例：

铜：$m = 6.5\ \text{kg}$；$q = 213\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$；$Q = ?$

$Q = q \cdot m = 213\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 6.5\ \text{kg} = 1\,384.5\ \text{kJ} \approx 1.4\ \text{MJ}$

熔解热

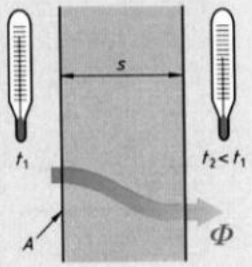
$$Q = q \cdot m$$

汽化热

$$Q = r \cdot m$$

熔解潜热和汽化潜热参见第 116 页和第 117 页

热通量



物质从高温变为低温的过程中会持续产生热通量 Φ。传热系数 k，连同零件的热导率一起，也可补偿零件表面的热传导阻力

Φ　热通量　　Δt，$\Delta\vartheta$　温度差
λ　热导率　　s　零件厚度
k　传热系数　　A　零件面积

例：

热保护玻璃：$k = 1.9\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}}$；$A = 2.8\ \text{m}^2$；

$\Delta t = 32\text{°C}$；$\Phi = ?$

$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t = 1.9\ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} \cdot 2.8\ \text{m}^2 \cdot 32\text{°C} = 170\ \text{W}$

热传导的热通量

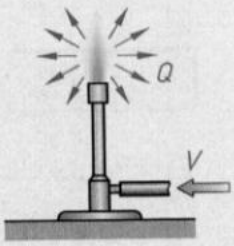
$$\Phi = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta t}{s}$$

热传递的热通量

$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t$$

热导率 λ 值参见第 116 页和第 117 页。传热系数 k 见下表

燃烧热



物质的净发热值 H_{net} 指 1 kg 或 1 m^3 的物质完全燃烧过程中释放的热量

Q　燃烧热
H_{net}，H　净发热值
m　固体和液体燃料的质量
V　气体燃料体积

例：

天然气：$V = 3.8\ \text{m}^3$；$H_{net} = 35\ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$；$Q = ?$

$Q = H_{net} \cdot V = 35\ \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \cdot 3.8\ \text{m}^3 = 133\ \text{MJ}$

固体和液体的燃烧热

$$Q = H_{net} \cdot m$$

气体的燃烧热

$$Q = H_{net} \cdot V$$

燃料的净发热值 H_{net}（H）

固体燃料	Q_{net} MJ/kg	液体燃料	Q_{net} MJ/kg	气体燃料	Q_{net} MJ/kg
木材	15 ~ 17	酒精	27	氢	10
生物燃料(干)	14 ~ 18	苯	40	天然气	34 ~ 36
褐煤	16 ~ 20	汽油	43	乙炔	57
焦炭	30	柴油	41 ~ 43	丙烷	93
沥青煤	30 ~ 34	燃油	40 ~ 43	丁烷	123

建筑材料和零件的传热系数 K

建筑元件	s mm	k W/(m² · °C)
外门，钢	50	5.8
上下推拉窗	12	1.3
砖墙	365	1.1
中间地板	125	3.2
热绝缘板	80	0.39

关注公众号：机械工程师成长营

电学的量和单位，欧姆定律，电阻

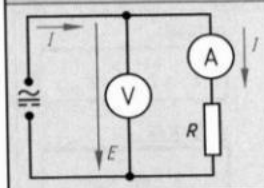
电学的量和单位

量		单位	
名 称	符号	名 称	符号
电 压	E	伏 特	V
电 流	I	安 培	A
电 阻	R	欧 姆	Ω
电 导	G	西门子	S
电功率	P	瓦 特	W

$$1\,\Omega = \frac{1\ \mathrm{V}}{1\ \mathrm{A}}$$

$$1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{V} \cdot 1\ \mathrm{A}$$

欧姆定律



E 电压（V）
I 电流（A）
R 电阻（Ω）

例：

$R = 88\ \Omega$；$E = 230\ \mathrm{V}$；$I = ?$

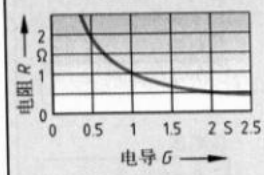
$$I = \frac{E}{R} = \frac{230\ \mathrm{V}}{88\ \Omega} = 2.6\ \mathrm{A}$$

电流

$$I = \frac{E}{R}$$

电路符号参见第351页

电阻和电导



R 电阻（Ω）
G 电导（S）

例：

$R = 20\ \Omega$；$G = ?$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{20\ \Omega} = 0.05\ \mathrm{S}$$

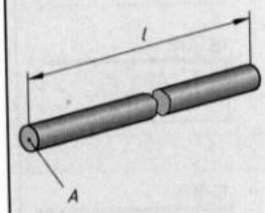
电阻

$$R = \frac{1}{G}$$

电导

$$G = \frac{1}{R}$$

电阻率，电导率，导线电阻



ρ 电阻率（$\Omega \cdot \mathrm{mm}^2/\mathrm{m}$）
γ 电导率（m/mm^2）
R 电阻（Ω）
A 导线截面（mm^2）
L 导线长度（m）

例：

铜电线 $l = 100\ \mathrm{m}$；

$A = 1.5\ \mathrm{mm}^2$；$\rho_{\vartheta} = 0.0179\ \dfrac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$；$R = ?$

$$R = \frac{\rho_{\vartheta} \cdot l}{A} = \frac{0.0179\ \dfrac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot 100\ \mathrm{m}}{1.5\ \mathrm{mm}^2} = 1.19\ \Omega$$

电阻率

$$\rho_{\vartheta} = \frac{1}{\gamma}$$

导线电阻

$$R = \frac{\rho_{\vartheta} \cdot l}{A}$$

电阻率参见第116页和第117页

电阻和温度

材料	T_K 的值（1/K）
铝	0.0040
铅	0.0039
金	0.0037
铜	0.0039
银	0.0038
钨	0.0044
锡	0.0045
锌	0.0042
石墨	−0.0013
铜镍合金	±0.00001

ΔR 电阻变化（Ω）
R_{20} 温度为20 ℃时的电阻
R_t 温度 t 时的电阻
α 温度系数（T_K 值）（1/K）
Δt 温度差

例：

铜的电阻 $R_{20} = 150\ \Omega$；$t = 75°\mathrm{C}$；$R_t = ?$

$\alpha = 0.0039\ 1/\mathrm{K}$；$\Delta t = 75°\mathrm{C} - 20°\mathrm{C} = 55°\mathrm{C} = 55\ \mathrm{K}$

$R_t = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$

$= 150\ \Omega \cdot (1 + 0.0039\ 1/\mathrm{K} \cdot 55\ \mathrm{K}) = 182.2\ \Omega$

电阻变化

$$\Delta R = \alpha \cdot R_{20} \cdot \Delta t$$

温度 t 时的电阻

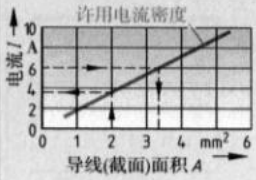
$$R_t = R_{20} + \Delta R$$

$$R_t = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

关注公众号：机械工程师成长营

电流密度，电阻电路

电线中的电流密度



J 电流密度（A/mm²）
I 电流（A）
A 导线截面（mm²）

例：

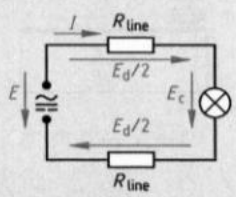
$A = 2.5\ \text{mm}^2$；$I = 4\ \text{A}$；$J = ?$

$$J = \frac{I}{A} = \frac{4\ \text{A}}{2.5\ \text{mm}^2} = 1.6\ \text{A/mm}^2$$

电流密度

$$J = \frac{1}{A}$$

电线中的电压降



E_d 电线中的电压降（V）
E 终端电压（V）
E_c 电压交叉负载（V）
I 电流（A）
R_{line} 流入或回路电阻

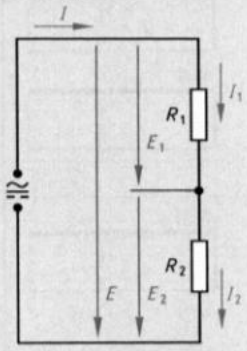
电压降

$$E_d = 2 \cdot I \cdot R_{line}$$

负载电压

$$E_c = E - E_d$$

串联电阻电路



R 总电阻，等价电阻（Ω）
I 总电流（A）
E 总电压（V）
R_1，R_2 单个电阻（Ω）
I_1，I_2 局部电流（A）
E_1，E_2 通过 R_1 和 R_2 的电压降

例：

$R_1 = 10\ \Omega$；$R_2 = 20\ \Omega$；$E = 12\ \text{V}$；$R = ?$　$I = ?$
$E_1 = ?$　$E_2 = ?$

$$R = R_1 + R_2 = 10\ \Omega + 20\ \Omega = 30\ \Omega$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{12\ \text{V}}{30\ \Omega} = 0.4\ \text{A}$$

$$E_1 = R_1 \cdot I = 10\ \Omega \cdot 0.4\ \text{A} = 4\ \text{V}$$

$$E_2 = R_2 \cdot I = 20\ \Omega \cdot 0.4\ \text{A} = 8\ \text{V}$$

总电阻

$$R = R_1 + R_2 + \cdots$$

总电压

$$E = E_1 + E_2 + \cdots$$

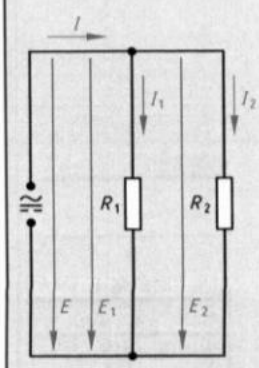
总电流

$$I = I_1 + I_2 + \cdots$$

电压降

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

并联电阻电路



R 总电阻，等价电阻（Ω）
I 总电流（A）
E 总电压（V）
R_1，R_2 单个电阻（Ω）
I_1，I_2 局部电流（A）
E_1，E_2 通过 R_1 和 R_2 的电压降

例：

$R_1 = 15\ \Omega$；$R_2 = 30\ \Omega$；$E = 12\ \text{V}$；$R = ?$　$I = ?$
$I_1 = ?$　$I_2 = ?$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{15\ \Omega \cdot 30\ \Omega}{15\ \Omega + 30\ \Omega} = 10\ \Omega$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{12\ \text{V}}{10\ \Omega} = 1.2\ \text{A}$$

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{12\ \text{V}}{15\ \Omega} = 0.8\ \text{V}; \quad I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{12\ \text{V}}{30\ \Omega} = 0.4\ \text{V}$$

1）电路中若只有两个并联电阻采用此公式

总电阻

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots$$

$$R^{1)} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

总电压

$$E = E_1 + E_2 + \cdots$$

总电流

$$I = I_1 + I_2 + \cdots$$

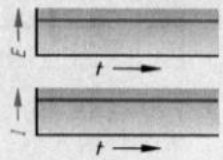
局部电流

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

关注公众号：机械工程师成长营

电流的类型

直流电（DC；字符－），DC 电压



直流电只沿一个方向流动且保持恒定电流。电压也是常量

I 电流（A）

E 电压（V）

t 时间（s）

电流

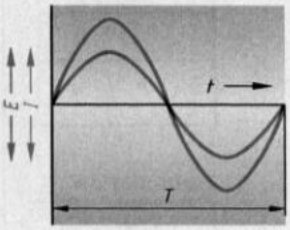
$I = c$（常量）

电压

$E = c$（常量）

交流电（AC；字符～），AC 电压

周期和频率



当电压按正弦曲线连续变化时，自由电子也连续交替改变它们的流向

f 频率（1/s，Hz）

T 周期（s）

ω 角频率（1/s）

I 电流（A）

E 电压（V）

t 时间（s）

例：

频率 50Hz；$T = ?$

$$T = \frac{1}{50\ \frac{1}{s}} = 0.02\ s$$

周期

$$T = \frac{1}{f}$$

频率

$$f = \frac{1}{T}$$

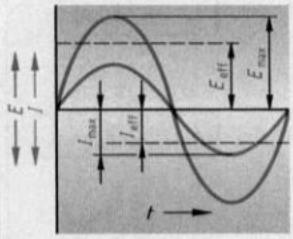
角频率

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

1 Hertz = 1 Hz = 1/s = 每秒 1 个周期

电流和电压的最大值和有效值



I_{max} 电流的最大值（A）

I_{eff} 电流的有效值（A）

E_{max} 电压的最大值（V）

E_{eff} 电压的有效值（V）（能与交流电在相同时间内产生相同热量的直流电的电压）

I 电流（A）

E 电压（V）

t 时间（s）

例：

$E_{eff} = 230\ V$；$E_{max} = ?$

$E_{max} = \sqrt{2} \cdot 230\ V = 325\ V$

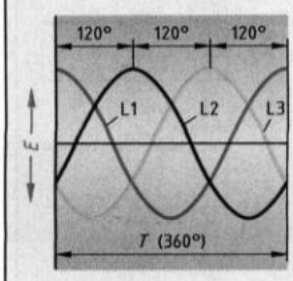
电流的最大值

$$I_{max} = \sqrt{2} \cdot I_{eff}$$

电压的最大值

$$E_{max} = \sqrt{2} \cdot E_{eff}$$

三相电流



三相电流是由三支各差 120° 相位的交流电压产生的

E 电压（V）

T 周期（s）

L1 相位 1

L2 相位 2

L3 相位 3

E_{eff} 相位线和中线间的有效电压 = 230V

E_{eff} 两相位线间的有效电压

最大电压值

$$E_{max} = \sqrt{2} \cdot I_{eff}$$

关注公众号：机械工程师成长营

电功和功率，变压器

电功



W　电功（kW·h）
P　电功率（W）
t　时间（通电时间）（h）

例：

轻便电炉 $P=1.8$ kW；$t=3$ h；
$W=?$ kW·h 和 MJ
$W=P\cdot t=1.8$ kW·3 h $=5.4$ kW·h $=19.44$ MJ

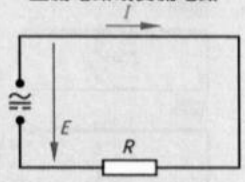
电功

$$W=P\cdot t$$

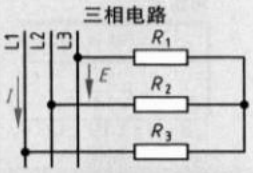
1 kW·h $=3.6$ MJ
$=3\ 600\ 000$ W·s

直流电路和无电抗性负载[1]的交流电路或三相电路中的功率

直流电路或交流电路



三相电路



P　电功率（W）
E　电压（相间电压）（V）
I　电流（A）
R　电阻（Ω）

例 1：

灯泡 $E=6$ V；$I=5$ A；$P=?$　$R=?$
$P=E\cdot I=6$ V·5 A $=30$ W
$R=\dfrac{E}{I}=\dfrac{6\text{ V}}{5\text{ A}}=1.2\ \Omega$

例 2：

退火炉：三相电流 $E=400$ V；$P=12$ kW；$I=?$
$I=\dfrac{P}{\sqrt{3}\cdot E}=\dfrac{12\ 000\text{ W}}{\sqrt{3}\cdot 400}=17.3$ A

直流电或交流电的功率

$$P=E\cdot I$$
$$P=I^2\cdot R$$
$$P=\frac{E^2}{R}$$

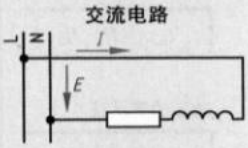
三相电流的功率

$$P=\sqrt{3}\cdot E\cdot I$$

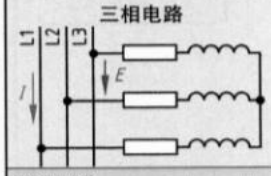
1）即只带加热装置（欧姆电阻）

带电抗性负载成分 I[2]的交流电路和三相电路中的功率

交流电路



三相电路



P　输出电功率（W）
E　电压（相间电压）（V）
I　电流（A）
$\cos\varphi$　功率因数

例：

三相电动机 $E=400$ V；$I=2$ A；
$\cos\varphi=0.85$；$P=?$
$P=\sqrt{3}\cdot E\cdot I\cdot\cos\varphi=\sqrt{3}\cdot 400$ V·2 A·0.85
$=1\ 178$ W ≈ 1.2 kW

交流电输出功率

$$P=E\cdot I\cdot\cos\varphi$$

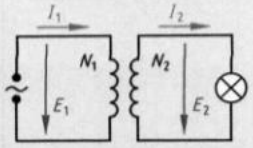
三相电流输出功率

$$P=\sqrt{3}\cdot E\cdot I\cdot\cos\varphi$$

2）即电动机和发电机中

变压器

输入侧（初级线圈）　输出侧（次级线圈）



N_1，N_2　线圈数　　I_1，I_2　电流（A）
E_1，E_2　电压（V）

例：

$N_1=2\ 875$；$N_2=100$；$E_1=230$ V；$I_1=0.25$ A；
$E_2=?$　$I_2=?$
$E_2=\dfrac{E_1\cdot N_2}{N_1}=\dfrac{230\text{ V}\cdot 100}{2\ 875}=8$ V
$I_2=\dfrac{I_1\cdot N_1}{N_2}=\dfrac{0.25\text{ A}\cdot 2\ 875}{100}=7.2$ A

电压

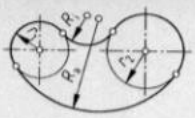
$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

电流

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{N_2}{N_1}$$

关注公众号：机械工程师成长营

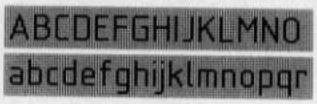
3 技术制图



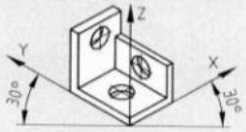
3.1 基本几何作图
线段，垂线和角度 …… 58
切线，圆弧，多边形 …… 59
三角形的内切和外接圆，圆心，椭圆，螺线 …… 60
摆线，渐开线，抛物线，双曲线，螺旋 …… 61



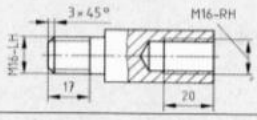
3.2 曲线图
直角坐标系 …… 62
极坐标系，面积图 …… 63



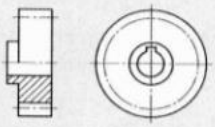
3.3 制图元素
字体 …… 64
优先数，半径，比例 …… 65
图纸布置 …… 66
线型 …… 67



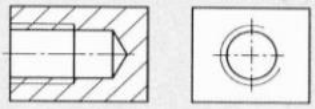
3.4 图样表达方法
投影法 …… 69
视图 …… 71
剖视图 …… 73
剖面符号，尺寸标注系统 …… 75



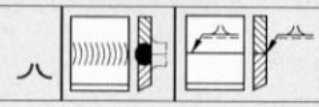
3.5 尺寸输入
图样的尺寸标注 …… 76
尺寸标注的类型 …… 82
图样中的简化表达 …… 83



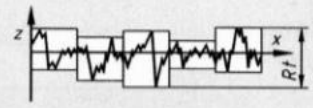
3.6 机械零件
齿轮类型 …… 84
滚动轴承 …… 85
密封和滚动轴承的表达 …… 86
挡圈，弹簧，花键和锯齿 …… 87



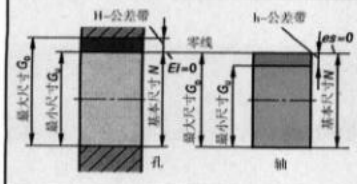
3.7 工艺结构
凸台，工件棱角和棱边 …… 88
螺尾，螺纹退刀槽 …… 89
螺纹和螺纹连接 …… 90
中心孔，滚花 …… 91
退刀槽 …… 92



3.8 焊接和钎焊
焊接和钎焊的符号 …… 93
胶粘、折叠和压制接缝的表达 …… 96



3.9 表面
热处理规范 …… 97
形状偏差和粗糙度参数 …… 98
表面试验，表面粗糙度标注 …… 99
表面粗糙度符号 …… 100
表面粗糙度 …… 101

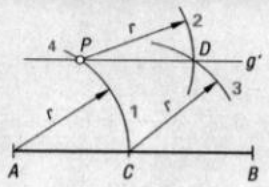


3.10 公差与配合
极限和配合的 ISO 系统 …… 102
ISO 配合 …… 104
常用公差 …… 110
优先配合及选择 …… 111
滚动轴承配合，形状和位置公差 …… 112
几何尺寸和公差标注 GD&T …… 113

关注公众号：机械工程师成长营

线段，垂线和角度

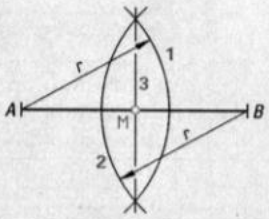
平行于一条线



已知：线段 AB 和想求的平行线 g' 上的 P 点

1. 以 A 为圆心 r 为半径作弧得交点 C
2. 以 P 为圆心 r 为半径作弧
3. 以 C 为圆心 r 为半径作弧得交点 D
4. 连接线段 PD 得 AB 的平行线 g'

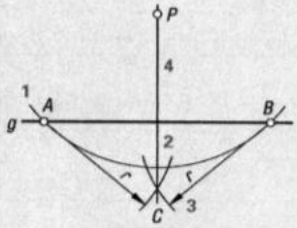
平分一条线



已知：线段 AB

1. 以 A 为圆心 r 为半径作弧 1；$r>\frac{1}{2}AB$
2. 以 B 为圆心相等的半径 r 作弧 2
3. 交点的连线是线段 AB 的中垂线或平分线

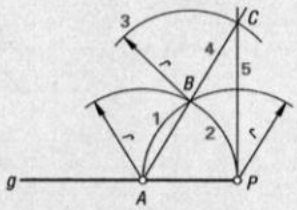
作一条垂线



已知：直线 g 和点 P

1. 以 P 为圆心作任一弧 1 得交点 A 和 B
2. 以 A 为圆心 r 为半径作弧 2
3. 以 B 为圆心相等的半径 r 作弧 3（交点 C）
4. 交点 C 与 P 的连线即为要求的垂线

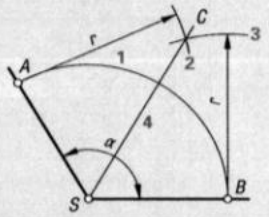
过 P 点作一条竖直线



已知：直线 g 和点 P

1. 以 P 为圆心任一半径 r 作弧 1 得交点 A
2. 以 A 为圆心相同半径 r 作弧 2 得交点 B
3. 以 B 为圆心相同半径 r 作弧 3
4. 过 A、B 点作直线，延长（得交点 C）
5. 过 C、P 点作直线得过 P 点的竖直线

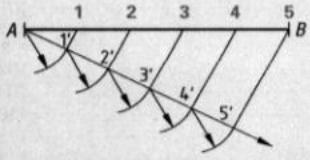
平分一个角度



已知：角度 α

1. 以 S 为圆心，作任一弧 1 得交点 A 和 B
2. 以 A 为圆心，r 为半径作弧 2；$r>\frac{1}{2}AB$
3. 以 B 为圆心相同半径 r 作弧 3 得交点 C
4. C 点和 S 的连线即为要求的角平分线

划分线段

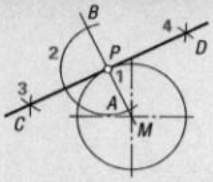


已知：线 AB 要分成 5 等份

1. 过 A 点以任一角度画一条射线
2. 在射线上用圆规从 A 点标记 5 个相等长度
3. 过 5′和 B 点作一直线
4. 过其他的等分点 1′～4′作 5′B 的平行线

关注公众号：机械工程师成长营

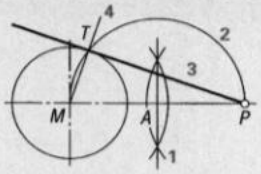
切线，圆弧，多边形



过圆上 P 点的切线

已知：圆和 P 点

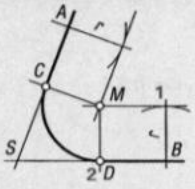
1. 作线段 MP，并延长
2. 以 P 为圆心作弧，得交点 A 和 B
3. 以 A、B 为圆心相同半径作弧，得交点 C 和 D
4. 过 C、D 的直线为 PM 的垂线



过 P 点作圆的切线

已知：圆和 P 点

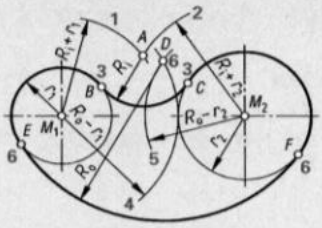
1. 平分 MP，A 为中点
2. 以 A 为圆心，$r=AM$ 为半径作弧得交点 T，T 为切点
3. 连接 T 和 P
4. MT 垂直于 PT



倒圆角（弧与两直线相切）

已知：角 ASB 和半径 r

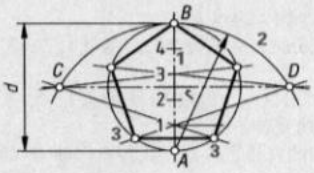
1. 作距离为 r 的 AS 和 BS 的平行线。它们的交点 M 是所要求的半径为 r 的圆弧的中心
2. 从 M 点作线段 AS 和 BS 的垂线，所得交点为弧的过渡点 C 和 D



用弧线连接两圆

已知：圆 1 和圆 2，半径 R_i 和 R_o

1. 以 M_1 为圆心，以 R_i+r_1 为半径作圆
2. 以 M_2 为圆心，以 R_i+r_2 为半径作圆，与 1 相交得交点 A
3. 连接 M_1、A 点和 M_2、A 点，得内半径 R_i 的接触点 B 和 C
4. 以 M_1 为圆心，以 R_o-r_1 为半径作圆
5. 以 M_2 为圆心，以 R_o-r_2 为半径作圆，与第四步结合得交点 D
6. 连接 DM_1 和 DM_2，并延长得外半径 R_o 的接触点 E 和 F

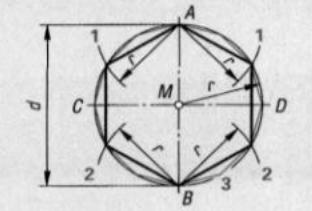


外接于圆的正多边形（如：五边形）

已知：直径为 d 的圆

1. 分 AB 为 5 等份（第 58 页）
2. 以 A 为圆心，以 $r=AB$ 为半径作弧得 C 点和 D 点
3. 从 C 和 D 点向 1，3 等（所有奇数点）作线。它们与圆的交点是要求的五边形的顶点

对于带偶数个角的多边形，C 和 D 点与 2，4，6 等（所有偶数点）相连



外接于圆的六边形，十二边形

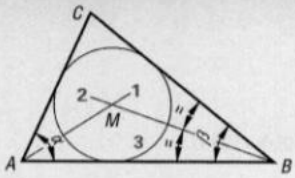
已知：直径为 d 的圆

1. 以 A 为圆心，以 $r=d/2$ 为半径作弧
2. 以 A 和 B 为圆心，以 r 为半径作弧
3. 作线连接各交点，得六边形

对于十二边形，找中点，包括交点 C 和 D

关注公众号：机械工程师成长营

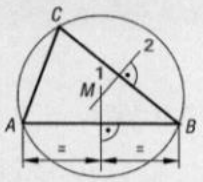
三角形的内切和外接圆，圆心，椭圆，螺线



三角形的内切圆

已知：三角形 A，B，C

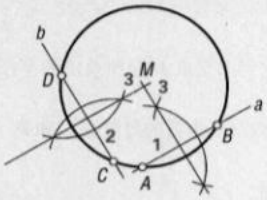
1. 平分角 α
2. 平分角 β（相交于 M 点）
3. 以 M 为圆心作内切圆



三角形的外接圆

已知：三角形 A，B，C

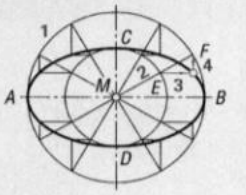
1. 作线段 AB 的中垂线
2. 作线段 BC 的中垂线（相交于 M 点）
3. 以 M 为圆心作外接圆



求圆心

已知：圆

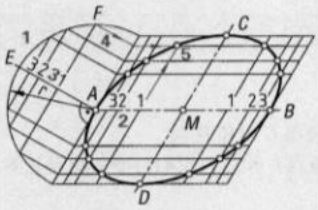
1. 任作一直线 a，交圆于 A 点和 B 点
2. 直线 b（近似垂直于直线 a），交圆于 C 点和 D 点
3. 作线段 AB 和 CD 的中垂线
4. 中垂线的交点即是圆心 M



通过两个圆画椭圆

已知：轴 AB 和 CD

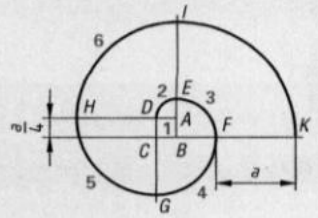
1. 以 M 为圆心，以 AB 和 CD 为直径画圆
2. 过 M 点作几条射线，与两圆相交（E，F）
3. 过 E 点和 F 点作两主轴 AB 和 CD 的平行线。交点是椭圆上的点



平行四边形中作椭圆

已知：平行四边形，轴线 AB 和 CD

1. 以 A 为圆心，以 $r = MC$ 为半径作半圆，得点 E
2. 细分线段 AM（或 BM）为一半，四分之一，八分之一，得点 1，2，3。过这些点画轴 CD 的平行线
3. 细分线段 EA 为一半，四分之一，八分之一，得轴 EA 上的点 1，2，3。过这些点画轴 CD 的平行线，得与圆弧的交点 F 等
4. 过交点 F 等作 AE 的平行线交半圆的直径于各点，从各点作轴 AB 的平行线
5. 两组平行线的相应交点是椭圆上的点



螺线（用圆规近似作图）

已知：升程 a

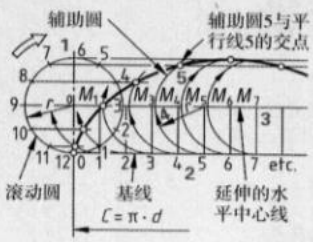
1. 以 $a/4$ 为边长作正方形
2. 以 A 为圆心，以 AD 为半径作四分之一圆弧得点 E
3. 以 B 为圆心，以 BE 为半径作四分之一圆弧得点 F
4. 以 C 为圆心，以 CF 为半径作四分之一圆弧得点 G
5. 以 D 为圆心，以 DG 为半径作四分之一圆弧得点 H
6. 以 A 为圆心，以 AH 为半径作四分之一圆弧得点 I

……

关注公众号：机械工程师成长营

摆线，渐开线，抛物线，双曲线，螺旋

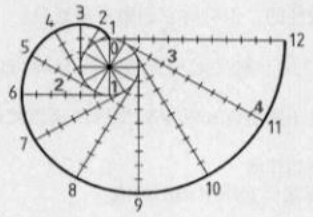
摆线



已知：半径 r 的滚动圆

1. 细分节圆为任一大小相等的几部分，如：12
2. 分基线（＝节圆周长 $=\pi \cdot d$）为相等的几部分，在此例中取 12
3. 从基线上的分割点 1～12 向滚动圆的延长的水平中心线作垂直线得中点 $M_1 - M_{12}$
4. 以 M_1，M_2，…，M_{12} 为圆心，以 r 为半径作辅助圆
5. 这些辅助圆与过滚动圆上相同号码点的平行线的交点是摆线上的点

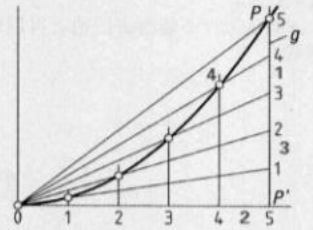
渐开线



已知：圆

1. 细分圆为任一要求数量的大小相等的部分，如：12
2. 过圆上每一分点作切线
3. 在每条切线上，沿其接触点，划分展开后的周长
4. 通过端点的曲线即为渐开线

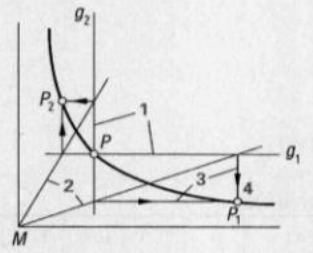
抛物线



已知：抛物线对称轴和抛物线上的点 P

1. 过 P 点作竖直轴的平行线 g，得点 P'
2. 在水平轴上划分距离 OP' 为任一数量的几等分（如：5），作竖直轴的平行线
3. 细分距离 PP' 为相同数量段，并连接至原点
4. 以上直线的相应交点为抛物线上的点

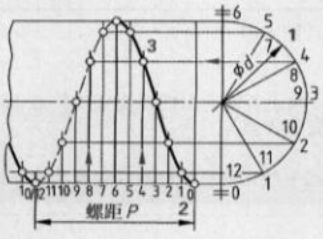
双曲线



已知：过 M 点的水平、垂直渐近线和双曲线上的 P 点

1. 过双曲线上 P 点作渐近线的平行线 g_1 和 g_2
2. 从 M 点作任一要求数量的射线
3. 通过射线与 g_1 和 g_2 的交点，作渐近线的平行线
4. 平行线的交点（P_1，P_2，…）为双曲线上的点

螺旋线（螺旋）

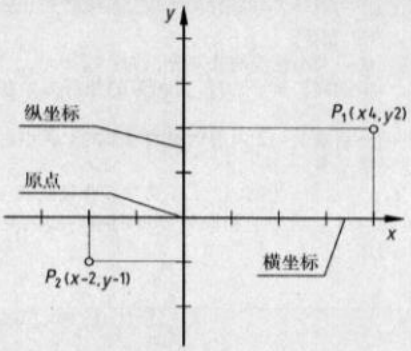


已知：直径为 d 的圆和螺距 P

1. 分半圆为相等的几部分，如：6
2. 分螺距 P 为两倍数量的相等段，如：12
3. 过以上等分点作水平线和竖直线，使之相交。交点为螺旋线上的点

关注公众号：机械工程师成长营

直角坐标系　　cf. DIN461（1973－03）



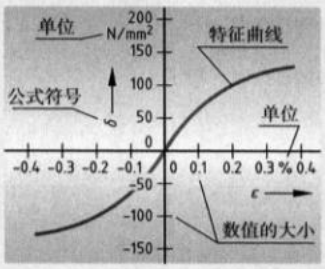
坐标轴
- 横坐标（水平轴；x 轴）
- 纵坐标（竖直轴；y 轴）

绘图的值
- 正：从原点向右，或向上
- 负：从原点向左，或向下

标记轴的正向用
- 轴上的箭头，或
- 与轴平行的箭头

公式符号用斜体字输入，位于
- 横坐标箭头下方
- 纵坐标箭头左侧

比例尺通常是线性的，但有时它们用对数划分

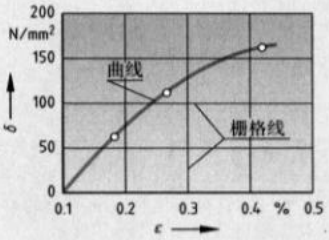


值的大小。它们置于刻度记号旁边。所有的负值有一减号

值的单位置于横坐标和纵坐标最后两正数之间，或公式符号之后

栅格标志简化值的作图

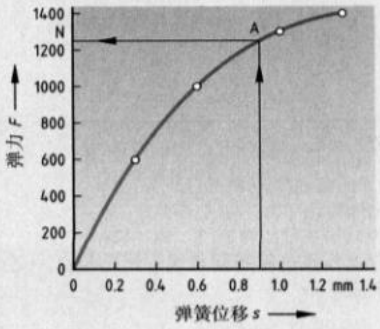
用线（曲线）连接已在图中画出的值



线宽。线按下面的比例绘制：

栅格线：轴：曲线 = 1：2：4

如果沿某一方向从原点不能绘出的值，可以作图形区。原点也可隐藏



例（弹簧特性曲线）：

已知下列碟形弹簧的值

弹簧位移（mm）	0	0.3	0.6	1.0	1.3
弹力（N）	0	600	1000	1300	1400

弹簧位移 $s = 0.9$ mm，弹力为多少？

解：

在曲线图中画出各值，用曲线连接这些点。$s = 0.9$ 的竖线与曲线交于 A 点

借助过 A 点的水平线，从纵坐标可读得弹力 $F = 1250$ N

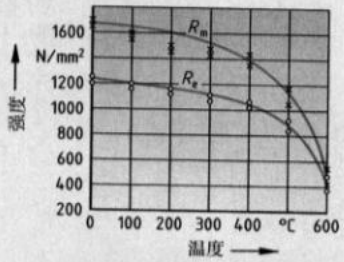
[1] 曲线图用来表达变量间的数值关系

关注公众号：机械工程师成长营

极坐标系，面积图

直角坐标系（续）

cf. DIN461（1973－03）



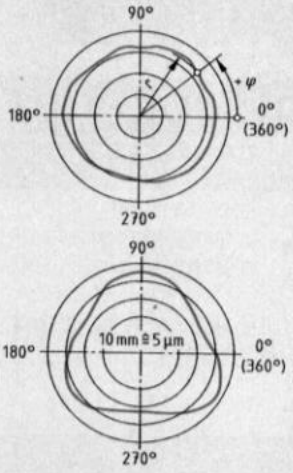
多曲线图

当测量值高度分散时，对于每条曲线可用不同的特殊符号，如：○，×，□

标记曲线：

- 用相同线型时，标名称或变量的公式符号
- 用不同线型

极坐标系



极坐标系有360°划分。

原点（极点）：水平轴和垂直轴的交点

角度的布置：原点向右的水平轴定为角度0°

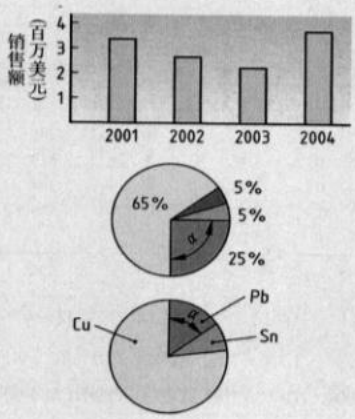
角度方位：正角度按逆时针绘制

半径：半径对应于要画的值的大小。以原点为圆心作同心圆可简化作图

例：

利用测量器械，检测车削衬套的圆度，以看其是否在要求的公差范围内。检测到的不圆度可能是由于卡盘夹衬套太紧所致

面积图



直方图

在直方图中，要表示的量被画成等宽的水平或垂直的柱

饼图 百分比通常用圆形分格统计图表示。图中圆面积的圆周对应100%（=360°）

中心角 要画的百分比决定对应的中心角。

$$\alpha = \frac{360° \cdot x\%}{100\%}$$

例：

合金CuPb15Sn8中铅的百分比对应多大的中心角？

解：$$\alpha = \frac{360° \cdot 15\%}{100\%} = 54°$$

关注公众号：机械工程师成长营

字　体

文字，字体

技术制图中的字体可用 A 型或 B 型。两种字型可写成直体（V）或向右倾斜 15 °的斜体（I）。为了确保好的易读性，字符间的距离应是 2 倍线宽。如果某些字符写在一起，距离可降至 1 倍线宽，如：TA，TV，Tr

字型 B，V（直体）

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz□

1234567890 IVX[(!?:;'-=+±×·:√‰&)]ϕ

字型 B，I（斜体）

ABCDEFGHIJ *abcdefghij* *1234567890* *ϕ□*

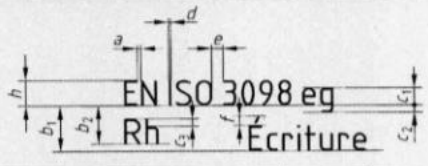
字型 A，V（直体）

ABCD efghijk 123456 ϕ□

字型 A，I（斜体）

ABCD efghijk 123456 ϕ□

尺寸



b_1　带可区别的字符
b_2　不带可区别的字符
b_3　带大写字母和数字

[1] 可区别的 = 用来进一步区别，特别是对于字母

字符高度 h 或大写字母高度（公称尺寸）（mm）	1.8	2.5	3.5	5	7	10	14	20

尺寸与字符高度 h 的比率

字体	a	b_1	b_2	b_3	c_1	c_2	c_3	d	e	f
A	$\frac{2}{14}h$	$\frac{25}{14}h$	$\frac{21}{14}h$	$\frac{17}{14}h$	$\frac{10}{14}h$	$\frac{4}{14}h$	$\frac{4}{14}h$	$\frac{1}{14}h$	$\frac{6}{14}h$	$\frac{5}{14}h$
B	$\frac{2}{10}h$	$\frac{19}{10}h$	$\frac{15}{10}h$	$\frac{13}{10}h$	$\frac{7}{10}h$	$\frac{3}{10}h$	$\frac{3}{10}h$	$\frac{1}{10}h$	$\frac{6}{10}h$	$\frac{4}{10}h$

希腊字母表

A	α	alpha	Z	ζ	zeta	Λ	λ	lambda	Π	π	pi
B	β	beta	H	η	eta	M	μ	mu	P	ρ	rho
Γ	γ	gamma	Θ	θ	theta	N	ν	nu	Σ	σ	sigma
Δ	δ	delta	I	ι	iota	Ξ	ξ	xi	T	τ	tau
∂	ϵ	epsilon	K	κ	kappa	O	o	omicron	Y	υ	upsilon

Φ	φ	phi
X	χ	chi
Ψ	ψ	psi
Ω	ω	omega

罗马数字

Ⅰ = 1	Ⅱ = 2	Ⅲ = 3	Ⅳ = 4	Ⅴ = 5	Ⅵ = 6	Ⅶ = 7	Ⅷ = 8	Ⅸ = 9
Ⅹ = 10	XX = 20	XXX = 30	XL = 40	L = 50	LX = 60	LXX = 70	LXXX = 80	XC = 90
C = 100	CC = 200	CCC = 300	CD = 40	D = 500	DC = 600	DCC = 700	DCCC = 800	CM = 900
M = 1 000	MM = 2 000	例：MDCLXXXVⅡ = 1 687　MCMXCIX = 19 999　MMⅣ = 2 004						

关注公众号：机械工程师成长营

优先数，半径，比例

优先数及其系列[1)]

cf. DIN323－1（1974－08）

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	4.00	4.00	4.00
			1.06				4.25
		1.12	1.12			4.50	4.50
			1.18				4.75
	1.25	1.25	1.25		5.00	5.00	5.00
			1.32				5.30
		1.40	1.40			5.60	5.60
			1.50				6.00
1.60	1.60	1.60	1.60	6.30	6.30	6.30	6.30
			1.70				6.70
		1.80	1.80			7.10	7.10
			1.90				7.50
	2.00	2.00	2.00		8.00	8.00	8.00
			2.12				8.50
		2.24	2.24			9.00	9.00
			2.36				9.50
2.50	2.50	2.50	2.50	10.00	10.00	10.00	10.00
			2.65				
		2.80	2.80				
			3.00				
	3.15	3.15	3.15				
			3.35				
		3.55	3.55				
			3.75				

系列	乘数
R5	$q_5 = \sqrt[5]{10} \approx 1.6$
R10	$q_{10} = \sqrt[10]{10} \approx 1.25$
R20	$q_{20} = \sqrt[20]{10} \approx 1.12$
R40	$q_{40} = \sqrt[40]{10} \approx 1.06$

半径

cf. DIN250（2002－04）

						0.2				0.3		**0.4**		0.5		**0.6**		0.8	
1		1.2		**1.6**		2		**2.5**		3		**4**		5		**6**		8	
10		12		**16**	18	**20**	22	**25**	28	**32**	36	**40**	45	**50**	56	**63**	70	**80**	90
100	110	**125**	140	**160**	180	**200**	表中黑体显示的值为优先值												

比例系数

cf. DIN ISO 5455（1979－12）

实际大小	缩小系数				放大系数		
1:1	1:2	1:20	1:200	1:2 000	2:1	5:1	10:1
	1:5	1:50	1:500	1:5 000	20:1	50:1	
	1:10	1:100	1:1 000	1:10 000			

1）优先数，例：用于长度尺寸和半径。采用优先数系可避免任意分等级。在优先数系（基本系列R5到R40）中，系列的每个数值是通过起始项值乘以该系列的公比而得到的。系列5（R5）优先于R10，R10优先于R20，R20优先于R40，每个系列的数值可与10，100，1000等数相乘，或除以10，100，1000等数

2）对于特别应用，给出的缩小和放大系数可乘以10的整数倍数

关注公众号：机械工程师成长营

图纸布置

图纸幅面（ISO）

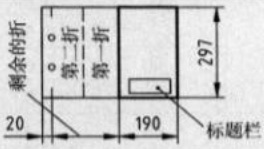
cf. DIN EN ISO 5457（1999－07）和 DIN EN ISO 216（2002－03）

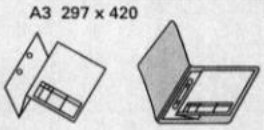
幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6
规格尺寸[1]（mm）	841×1 189	594×841	420×594	297×420	210×297	148×210	105×148
绘图区尺寸	821×1 159	547×811	400×564	277×390	180×277	–	–

1）图纸幅面的高度比为 $1:\sqrt{2}$（=1:1.414）

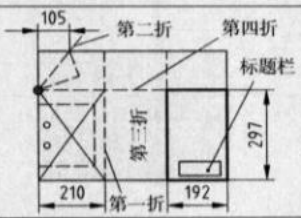
DIN A4 幅面的折叠

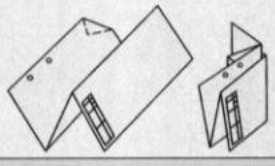
cf. DIN 824（1981－03）





第一折：右侧向后折叠（190mm 宽）
第二折：折叠图纸剩余部分，使第一折的边离图纸左边 20mm





第一折：左侧向右折叠（210mm 宽）
第二折：向左折叠成 297mm 高，105mm 宽的三角形
第三折：右侧向后折叠（192mm 宽）
第四折：向后折叠已叠好的部分，留 297mm 高

标题栏

cf. DIN EN ISO 7200（2004－05），代换 DIN 6771－1

标题栏的宽度是 180mm。单个数据区的尺寸（区域宽和高）没有规定。页面底部的表可参考相关的应用实例
标题栏举例：

部门 11 AB 131	技术参考 12	设计 13	审核 14	15
John Smith 公司[1]		文档类型 9 装配图	文档状态 10 发布	
		标题，附标题 2 圆锯轴，装配有轴承 3	A225－03300－012 4	
			修改 5 A	发布日期 6 2005－01－15
			L. 7	图纸 8 1/3

图样中专用插图编号，例如比例，投影符号，公差，表面规范应该在图纸的标题栏外面简要地说明

标题栏的数据区

区域编号	区域名称	字符最大号	区域名称		区域尺寸	
			必需	可选	宽	高
1	制图负责单位	未指定	是	–	69	27
2	标题（图名）	25	是	–	60	18
3	附标题	25	–	是	60	
4	图样代号	16	是	–	51	9
5	修改符号（图样版本）	2	–	是	7	
6	图样发布日期	10	是	–	25	
7	语言标识符（de＝德语）	4	–	是	10	
8	页码和页编号	4	–	是	9	
9	文档类型	30	是	–	60	
10	文档状态	20	–	是	51	
11	负责部门	10	–	是	25	
12	技术参考	20	–	是	43	
13	设计者	20	是	–	43	
14	审核人	20	是	–	43	
15	分类/关键词	未指定	–	是	19	

关注公众号：机械工程师成长营

线 型

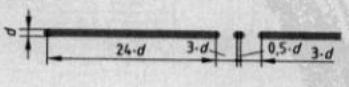
机械工程图中的线

cf. DIN ISO 128－24（1999－12）

编号	名称，表达	应用举例
01.1	细实线	尺寸线和尺寸界线 指引线和参考线 螺纹牙底线 剖面符号 层的定位方向（如：叠片结构） 铰接截面轮廓 短中心线 假想穿透交叉 初始圆和尺寸线终端 表示平面的对角线 取细节 投影线和栅格线 毛坯和加工零件的偏转线 重要要素的表示线 （如：齿轮的齿根线）
	细波浪线[1]	若边界不是对称线或中心线，优先用手绘，以表达局部或断裂视图和断面图的边界
	细双折线[1]	若边界不是对称线或中心线，优先用自动绘图，以表达局部或断裂视图和断面图的边界
01.2	粗实线	可见边和轮廓线 螺纹牙顶 可用的螺纹长度界限 断面箭头线 图样，边和流程图的主要表示法 系统线（钢结构） 视图上的铸件分型线 表面结构（如：滚花）
02.1	细虚线	隐藏边 隐藏轮廓
02.2	粗虚线	确定表面处理的允许面积（如：热处理）
04.1	细点画线（长画）	中心线 对称线 齿轮的部分圆 圆孔
04.2	粗点画线（长画）	标记需（划界的）表面处理的面积（如：热处理） 标记截断面
05.1	细双点画线（长画）	相邻零件轮廓 运动零件的极限位置的轮廓线 重心线 形状轮廓 剖切平面之前的部分 可供选择的设计轮廓 毛坯范围内加工后零件轮廓 框出特殊面积或区域 投影公差带

1）波浪线和双折线不应在同一幅图中使用

线元素长度

线元素	线型编号	长度	线元素	线型编号	长度
长画	04.1 和 05.1	$24 \cdot d$	间隙	02.1，02.2，04.1，04.2 和 05.1	$3 \cdot d$
短画	02.1 和 02.2	$12 \cdot d$	例：线型 04.2		
点	04.1，04.2 和 05.1	$<0.5 \cdot d$			

关注公众号：机械工程师成长营

线　型

线宽和线组

线宽：图样中常用两种线型。它们的线宽比为 1:2

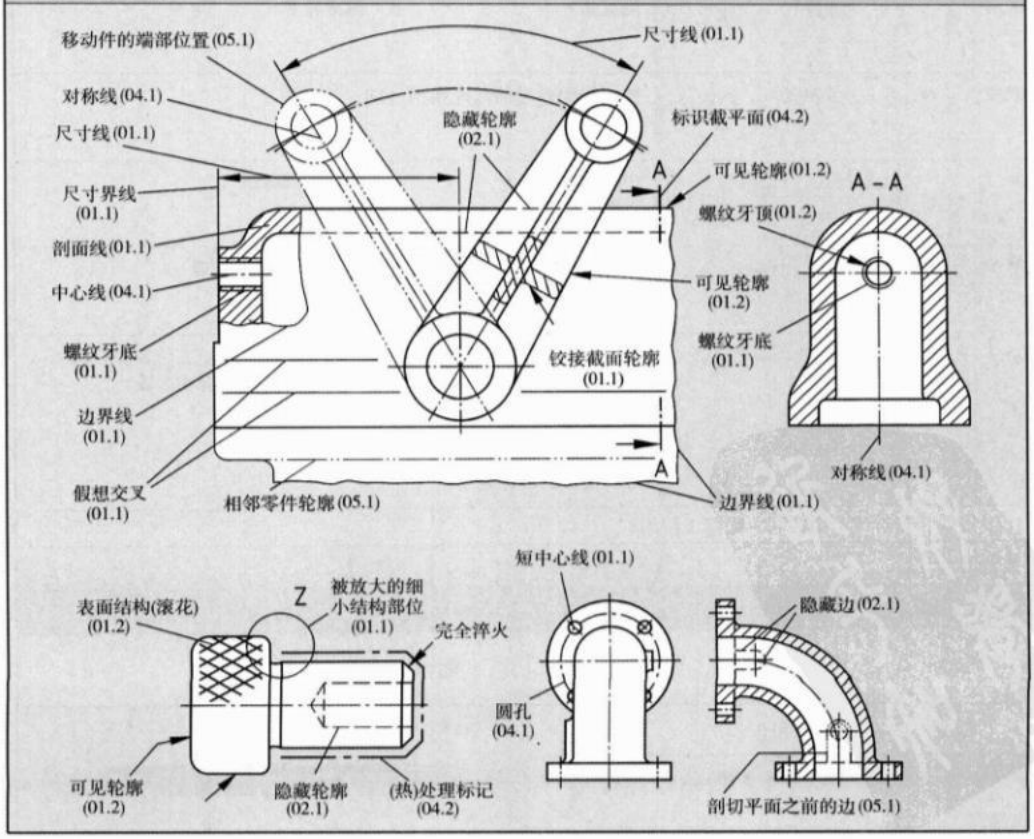
线组：线组按 $1:\sqrt{2}$（≈1:1.4）的比率定制

选择：按照图样的类型和尺寸，以及绘图比例，微胶片制作和/或再制作方法的要求选择线宽和线组

线组	相关线宽［尺寸（mm）］		
	粗线	细线	尺寸和公差 插图的编号，图形符号
0.25	0.25	0.13	0.18
0.35	0.35	0.18	0.25
0.5	0.5	0.25	0.35
0.7	0.7	0.35	0.5
1	1	0.5	0.7
1.4	1.4	0.7	1
2	2	1	1.4

图线应用示例

cf. DIN ISO 128－24（1999－12）



关注公众号：机械工程师成长营

投影法

表达的一般原则

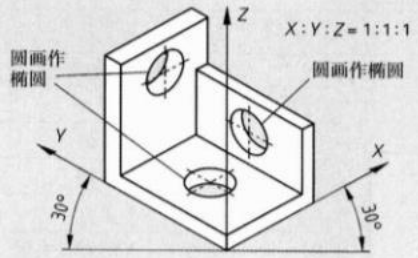
cf. DIN ISO 128－30（2002－05）和 DIN ISO 5456－2（1998－04）

主视图的选择。选作主视图的视图是最能提供形状和尺寸信息的视图
其他视图。如果需要其他视图来清晰表达或补全工件尺寸，应遵守下面的内容：
其他视图的选择应在能完整清晰地表达零件形状结构的基础上选择最必要的几个视图
附加的视图应包含尽可能少的隐藏边和轮廓
其他视图的位置。其他视图的位置依赖于投影法。对于基于第一角和第三角投影法的视图（70 页），应在标题栏中给出投影法符号

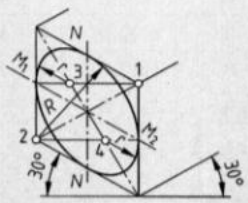
轴测投影[1)]

cf. DIN ISO 5456－3（1998－04）

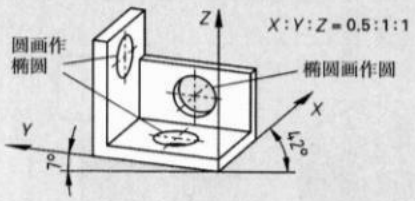
正等测投影



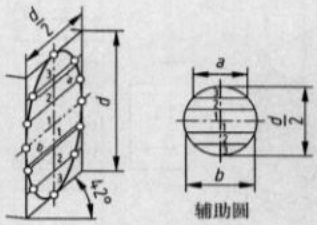
椭圆近似作图：
1. 画一与孔相切的菱形。平分菱形的边，得交点 M_1，M_2 和 N
2. 过 M_1 和 1 点作连接线，过 M_2 和 2 点作连接线，得交点 3 和 4
3. 以 1，2 为圆心，R 为半径作圆弧；以 3，4 为圆心，r 为半径作圆弧



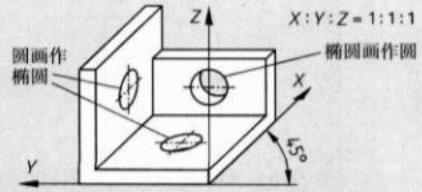
正二测投影



椭圆作图：
1. 以 $r=d/2$ 为半径，画辅助圆
2. 细分高度 d 为相等的几段，画格子
3. 细分辅助圆直径为相同数量的格子
4. 截取辅助圆上的线段长 a，b 等到菱形上

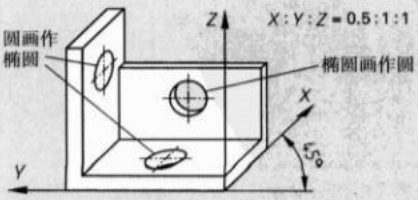


斜等测投影



椭圆作图与 60 页画法相同（平行四边形中画椭圆）

斜二测投影



椭圆作图与正二测投影的画法相同（上面）

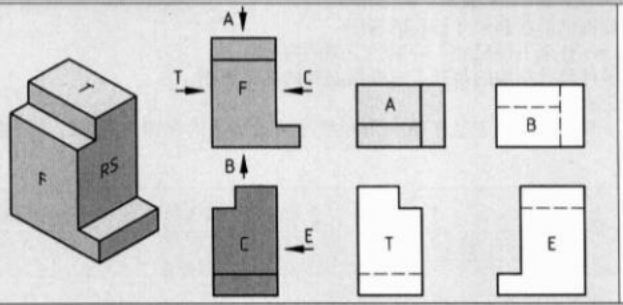
1）轴测表达法：用平行投影法绘制的一种单面投影图表达法

关注公众号：机械工程师成长营

投影法

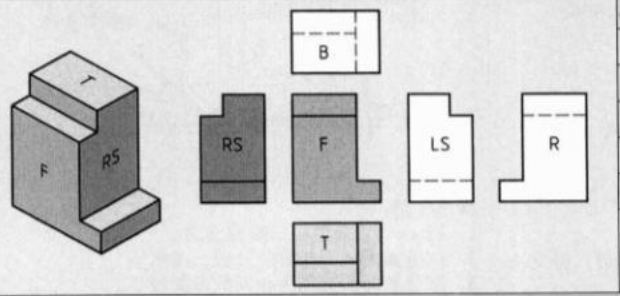
cf DIN ISO 128－30（2002－05）
和 DIN ISO 5456－2（1998－04）

箭头方向投影法



标记观测方向：
用箭头线和大写字母
标记视图：
用大写字母
视图的位置：
相对于主视图的任一位置
大写字母布置：
视图上方
沿读图方向直立
箭头线上方或右侧

第一角投影

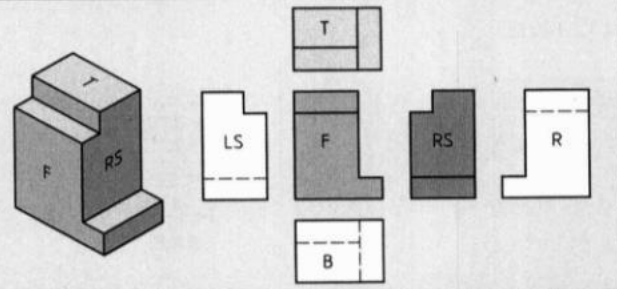


相对于主视图 F 的位置		
T	俯视图	F 下方
LS	左视图	F 右侧
RS	右视图	F 左侧
B	仰视图	F 上方
R	后视图	F 的左或右侧

符号



第三角投影[1)]



相对于主视图 F 的位置		
T	俯视图	F 上方
LS	左视图	F 左侧
RS	右视图	F 右侧
B	仰视图	F 下方
R	后视图	F 的左或右侧

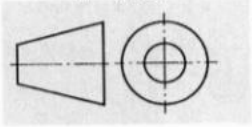
符号



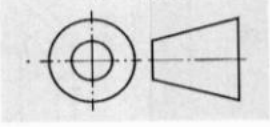
投影法符号

字符[2] 用于

第一角投影



第三角投影

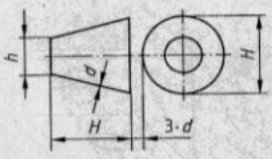


应用在

德国和大多数欧洲国家

说英语的国家，
如：美国/加拿大

第一角投影



h 字体高度（mm）（第 64 页）
$H = 2h$
$d = 0.1\ h$

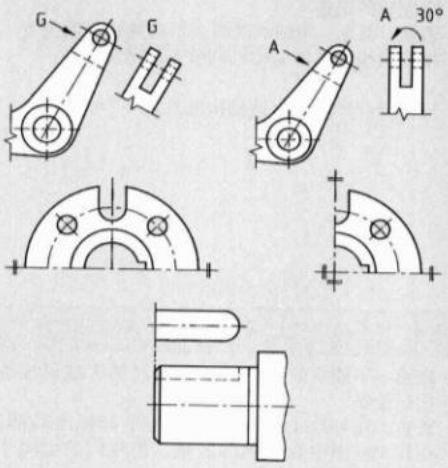
1）不使用第二角投影
2）投影法的符号包括在图样布置中（第 66 页）

关注公众号：机械工程师成长营

视 图

cf. DIN ISO 128 – 30 和 –34（2002 – 05）

局部视图

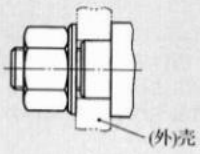


应用。局部视图用来避免不宜的投影或缩小的表达
位置。局部视图按箭头或旋转方向显示。应给出旋转角度
边界。用双折线确定

应用。它足以表达整个工件的一部分，例如当空间有限时
标记。在视图外面，过对称线作两短平行粗实线

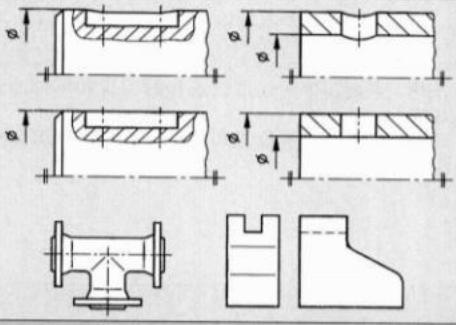
应用。若表达是清楚的，用局部视图就足够，不用全视图
表达。局部视图（第三角投影）通过细点画线与主要视图相关联

相邻零件



应用。如果有助于理解图样，可画出相邻零件
表达。用细双点画线绘制。剖切的相邻零件不画剖面符号

简化相贯

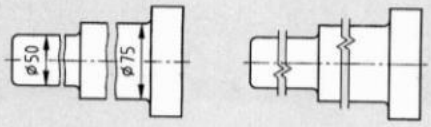


应用。如果图样仍明显可懂，圆形的相贯线可用直线代替

表达。对于轴上的槽和直径明显不等的贯入孔，圆形的相贯线用粗实线绘制

假想相交和圆边的默认相贯线，在会有尖锐边过渡的地方，用细实线绘制
细实线不接触轮廓线

断裂视图



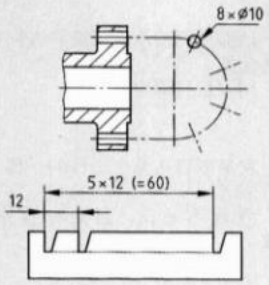
应用。为节省空间，只需画出长工件的重要区域
表达。剩下部分的边界用波浪线或双折线表示。几个部分应画得彼此靠紧

关注公众号：机械工程师成长营

视 图

cf. DIN ISO 128－30 和－34（2002－05）

相同结构



应用。对于有规律分布的若干相同结构，只需画出1个完整的结构
表达。其余，用细点画线表示对称结构的位置
用细实线画出不对称结构分布的区域

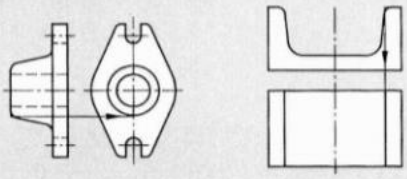
尺寸标注中应给出该结构的总数

放大比例零件（细小结构）



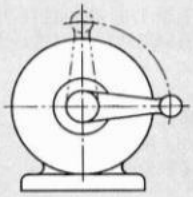
应用。不能清楚表达的工件的局部区域可按放大的比例绘制
表达。用环绕的细实线和大写字母框出局部区域。在放大视图中表达局部区域，用相同的大写字母命名，并给出放大比例

最小斜度



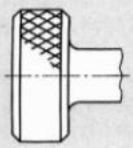
应用。斜坡、圆锥或棱锥上不能清楚显示的最小斜度，不必在相应的投影中画出
表达。仅需用粗实线表达小端部分的投影

运动零件



应用。装配图中描述可供选择的位置和零件的运动极限
表达。在可供选择位置和运动极限位置的部分用双点画线绘制

表面结构



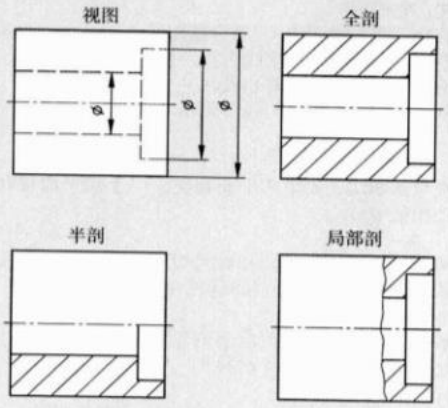
表达。滚花和压纹之类的结构用粗实线绘制。优先采用结构的局部表达

关注公众号：机械工程师成长营

剖视图

cf. DIN ISO 128－40，－44 和－50（2002－05）

剖切类型



剖切。剖切可显示工件的内部结构。工件的前面部分，视图中遮住内部结构的部分，假想被切除

在剖切中，可以表达：

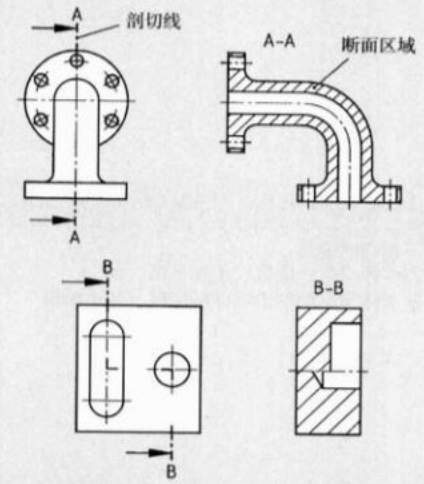
切平面和位于切平面后面的工件的轮廓或仅切平面

全剖。用剖切平面完全地剖开机件所得到的剖视图

半剖。对于对称工件，一半画成视图，另一半画成剖视

局部剖。局部剖仅剖切地显示工件的一部分

定义



切平面。切平面是剖切工件的假想平面。完整的工件也可用两个或更多的切平面表达

断面区域。工件的理论剖切构成截断面区域。用剖面符号标记。（见下面和第 75 页）

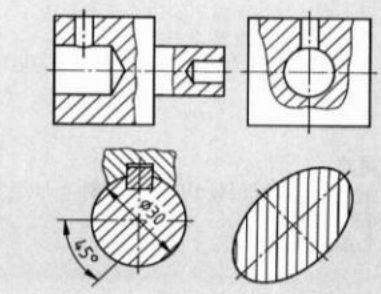
剖切线。它标记切平面的位置；对于两个或多个切平面，它标出剖切路径。剖切线用粗点画线绘制

对于两个或多个切平面，剖切路径应用短粗实线在相应平面的端部加以强调

标记剖切线。用相同的大写字母标记剖切线。带粗实线的箭头表示观测切平面的方向

标记剖视图。剖视图用与剖切线相同的大写字母标记

剖面符号



剖面符号。剖面符号用平行细实线绘制，最好与主要轮廓或中心线成 45°。若中间有字母，剖面符号应断开

剖面符号用于：

单个零件——截断面的所有剖面线的方向要相同，间隔要相等

彼此相邻的零件——不同零件的剖面线应画成不同方向或不同间距

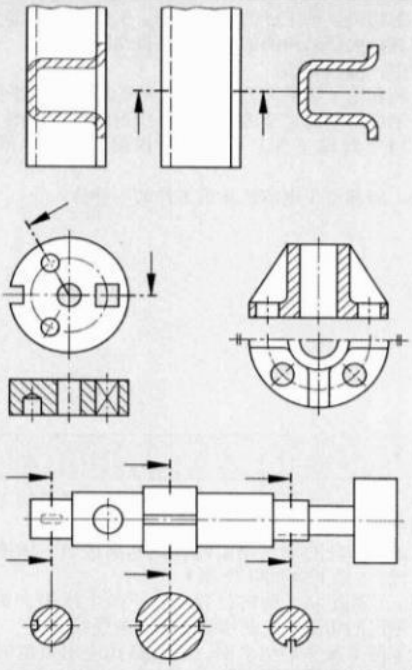
大截断面区域——可只画靠近边界或缘边的剖面线

关注公众号：机械工程师成长营

剖视图

cf. DIN ISO 128－40，－44 和－50（2002－05）

特殊剖切



断面图。它们可

- 旋转后画在视图中。（重合断面）
  断面的轮廓线用细实线表达，且画在零件的内部
- 画在视图的外面（移出断面）
  断面应用细点画线与视图关联

用相交平面剖切。如果两平面相交，一个切平面可在投影面中被旋转

旋转零件的细小结构。没有被截切到的均匀分布的细小结构，如：孔，可以旋转到切平面内

轮廓和边界。位于切平面后面的轮廓和边界，只有当能增加图样的清楚程度时才画出

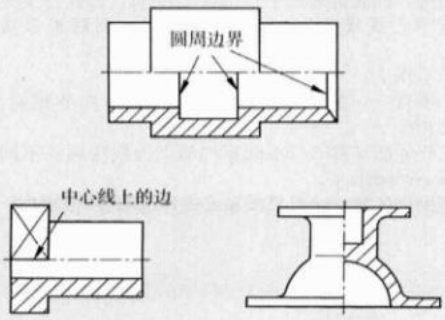
不剖切的零件



沿纵向不剖切的零件：

- 实心零件，如：螺钉，螺栓，销，轴
- 从基本体伸出的单个零件的区域，如：肋板

图样上的注释



切削边

- 圆周边界。由于剖切面露出的边界必须表达
- 隐藏边。在剖切中，隐藏边不表达
- 中心线上的边。如果剖切后边界落在中心线上，应该表达

对称工件的半剖

对称工件的半剖断面最好相对于中心线绘制

- 水平中心线的下方
- 竖直中心线的右边

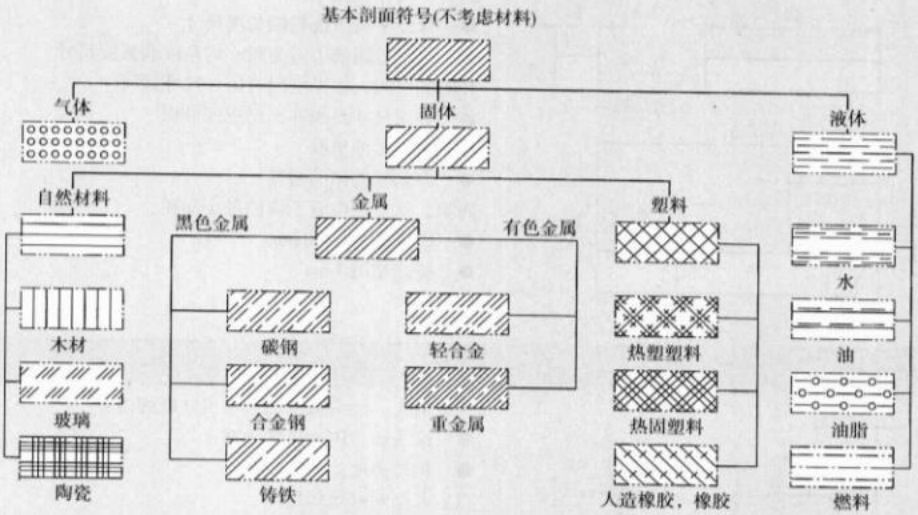
关注公众号：机械工程师成长营

剖面符号，尺寸标注系统

剖面符号

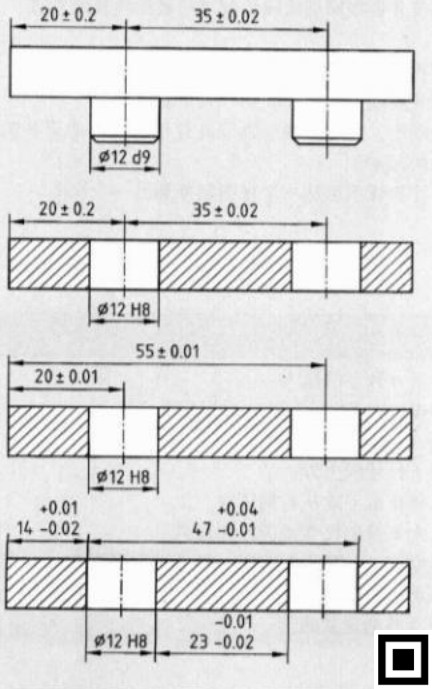
cf. DIN ISO 128－50（2002－05）

若不考虑材料，剖面区域通常用基本剖面符号标识
当需要强调零件的材料时，可用特殊的剖面符号表示



尺寸标注系统

cf. DIN 406－10（1992－12）



工件的尺寸和公差标注可基于

- 功能
- 制造或
- 检验

一张图纸中可以用几个尺寸标注系统

基于功能的尺寸标注
特点：尺寸的选择，输入和公差标注根据设计要求来确定

基于制造的尺寸标注
特点：制造所需的尺寸依据功能尺寸计算

基于检验的尺寸标注
特点：图中的尺寸和公差根据设计的检验标准来输入

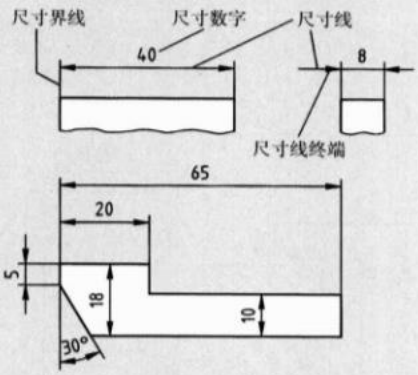
关注公众号：机械工程师成长营

图样的尺寸标注

尺寸线，尺寸线终端，尺寸界线，尺寸数字

cf. DIN 406 - 11 (1992 - 12)

尺寸线



设计。尺寸线用细实线绘制

输入。尺寸线用于：

- 标注平行于线长的长度尺寸
- 以角或弧的中心为圆心的角度和弧线尺寸

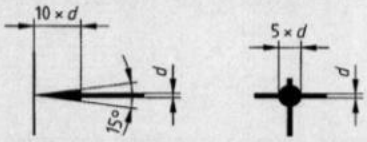
有限的空间。如果空间有限，尺寸线可

- 利用尺寸界线伸出到视图外面
- 画在工件里面
- 画到零件体的边界

间隙。尺寸线应有下面的最小间隙

- 离实体边界 10mm
- 彼此相隔 7mm

尺寸线终端



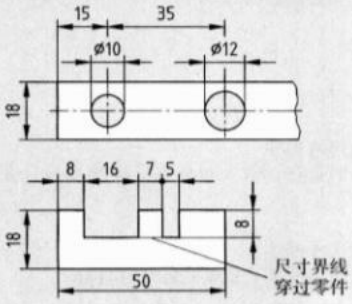
尺寸箭头。箭头通常用来定尺寸线的边界

- 箭头长：10 × 尺寸线宽
- 侧边角度：15°

点。若空间有限就用

- 直径：5 × 尺寸线宽

尺寸界线

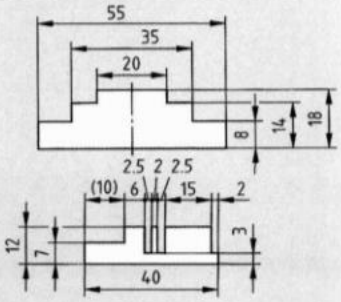


设计。尺寸界线用细实线绘制成与被标注长度垂直

特征：

- 对称元素。对称元素中，中心线可用作尺寸界线
- 尺寸界线可被断开，如：为了输入尺寸
- 视图中，尺寸界线可画至具有相同或类似形状的空间分隔的元素上
- 尺寸界线不可从一个视图延伸到另一个视图

尺寸数字



输入。尺寸数字的输入

- 根据 DIN EN ISO 3098 采用标准字体
- 最小字体尺寸为 3.5mm
- 置于尺寸线上方
- 以便于从下或从右侧读数
- 几个平行的尺寸线应彼此分离

有限的空间。如果空间有限，尺寸数字可写在

- 指引线上
- 尺寸线的延长线上

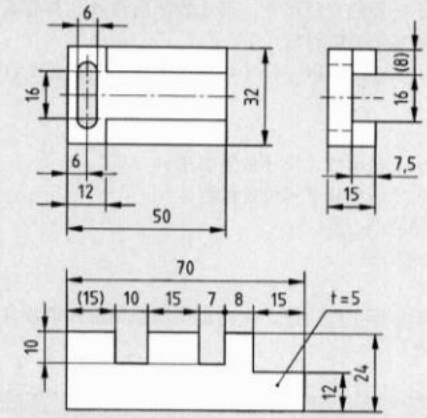
关注公众号：机械工程师成长营

图样的尺寸标注

尺寸标注规则，指引线和参考线，角度尺寸，正方形和扳手开口度

cf. DIN 406 – 11（1992 – 12）和 DIN ISO 128 – 22（1999 – 11）

尺寸标注规则



尺寸输入

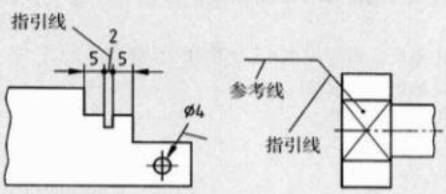
- 每个尺寸只标一次。如果两个图元的尺寸相同，但形状不同，应分别标注
- 如果有几个视图，尺寸应注写在最能反映工件形状的视图上
- 对称工件。中心线的位置不标注

链式尺寸。应避免封闭尺寸链。如果因与制造相关需采用链式尺寸，其中一尺寸应括以括号

扁工件。扁工件只画一个视图，其厚度尺寸用参考字母 t 来输入

- 视图中或
- 视图旁边

指引线和参考线



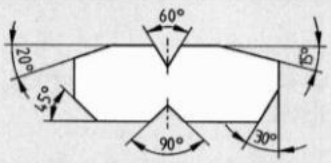
指引线。指引线用细实线绘制

它们的端点

- 用箭头，若指引线指向实体边界或孔
- 用点，若指引线指向表面
- 不作标识，若指引线指向其他线

参考线。参考线沿读图方向用细实线绘制。它们可与指引线相连

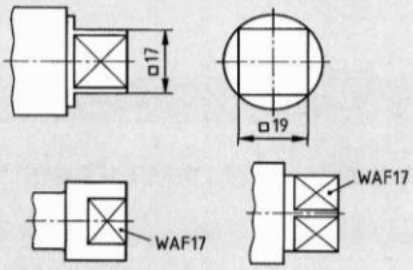
角度尺寸



尺寸界线。尺寸界线指向角度的顶点

尺寸数字。通常它们写成与尺寸线相切，这样当它们位于尺寸线上方时，其下缘指向角度顶点；当它们位于尺寸线下方时，其上缘指向角度顶点

正方形，扳手开口度



正方形

符号。对于正方形元素，符号置于尺寸数字前。符号的大小与小写字母的大小对应

尺寸标注。方形应优先标注在能识别其形状的视图上。只需输入方形一边的长度

扳手开口度

符号。对于扳手开口度，如果平面间的宽度不能标出，则应在尺寸数字前注写大写字母 WAF。

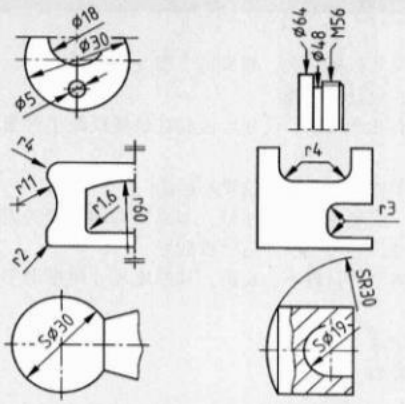
关注公众号：机械工程师成长营

图样的尺寸标注

直径，半径，球，倒角，斜度，锥度，圆弧的标注

cf. DIN 406 – 11 (1992 – 12)

直径，半径，球



直径

字母。对于所有的直径尺寸，尺寸数字前注 Φ。其总高度与尺寸数字的高度对应

有限空间。若空间有限，尺寸可从外侧标注，表达工件特征

半径

符号。对于半径尺寸，尺寸数字前注 r

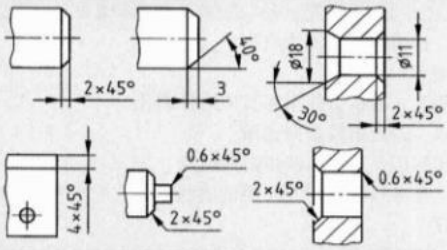
尺寸线。尺寸线应从下列位置绘制

- 从半径的中心或
- 从中点方向

球

符号。对于球形工件特征，应在直径和半径符号前加注大写字母 S

倒角，沉孔

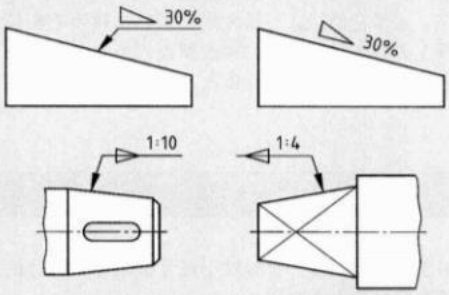


45°倒角和90°沉孔可以用角度和倒角宽度来简单标注。画或未画出的倒角可用延长线标注

其他倒角角度。对于偏离45°的倒角，应标注

- 角度和倒角宽度或
- 角度和倒角直径

斜度，锥度



斜度

符号。尺寸数字前注写符号

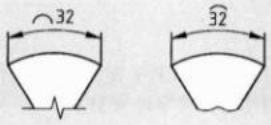
符号方向。符号的斜线方向与工件斜度方向一致。最好用参考线或指引线将符号与斜面相连

锥度

符号。尺寸数字前参考线上画符号

符号方向。符号方向应与工件锥度方向匹配。符号的参考线通过指引线连接到锥面轮廓

圆弧的标注



符号。尺寸数字前注写符号 ⌒

对于手工绘图的弧线，可在尺寸数字上标注类似的符号

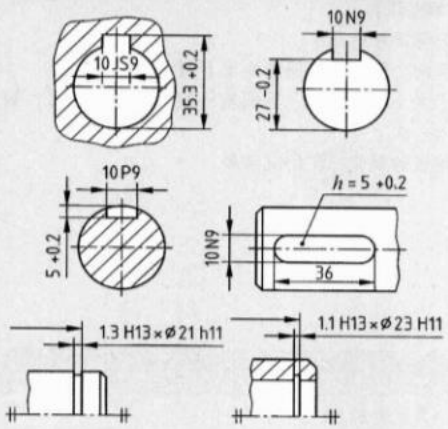
关注公众号：机械工程师成长营

图样的尺寸标注

槽，螺纹，间隙

cf. DIN 406 – 11（1992 – 12）和 DIN ISO 6410 – 1（1993 – 12）

槽



槽深。测量槽深

- 对于密封槽，从槽的侧面量
- 对于开口槽，从反面量

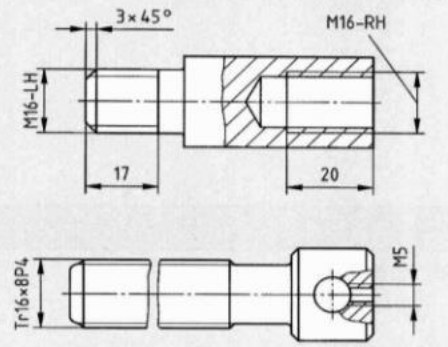
简化的尺寸标注。对于只在俯视图中表达的槽，槽深标注

- 用字母 *h* 或
- 与槽宽组合

带槽的挡圈，槽深也可与槽宽组合标注

楔形块的槽标注参见第 239 页
装配键参见第 240 页
挡圈参见第 269 页

螺纹



代号标注。标准螺纹用代号指定

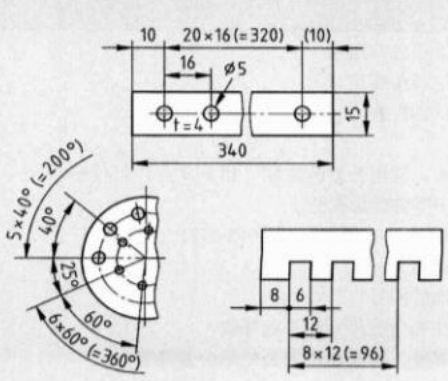
左旋螺纹。左旋螺纹用 LH 标识，如果工件上有左旋和右旋螺纹，右旋螺纹加注 RH

多线螺纹。对于多线螺纹，公称直径后应注写螺距和导程

长度规格。给出有用的螺纹长度。基准孔的长度（第 211 页）通常不标注

倒角。螺纹上的倒角只有当它们的直径与螺纹的内径或外径不对应时才标注

等分



相同设计元素。彼此间有相同间距或角度的相同设计元素应给出下列数据：

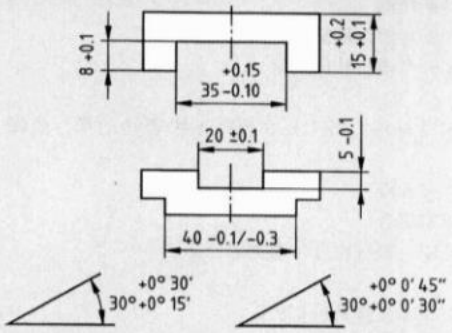
- 元素个数
- 元素间距离
- 总长或总角度（用小括号）

关注公众号：机械工程师成长营

图样的尺寸标注

公差规格 cf. DIN 406 – 12（1992 – 12），DIN ISO 2768 – 1（1991 – 06）和 DIN ISO 2768 – 2（1991 – 04）

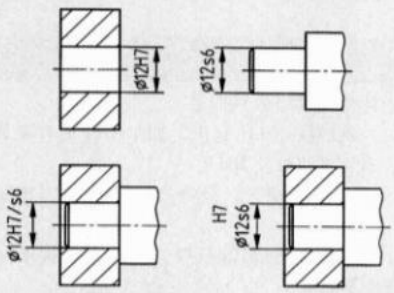
用偏差表示公差规格



输入。偏差注写

- 在公称尺寸后面
- 如有两个偏差，上偏差位于下偏差之上
- 对于大小相等的上、下偏差，数值前标 ± 符号，数值只输入一次
- 用规定的单位标注角度偏差

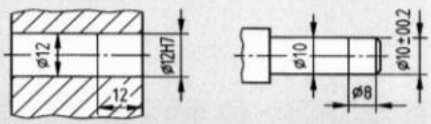
用公差代号表示公差规格



输入。公差代号标注

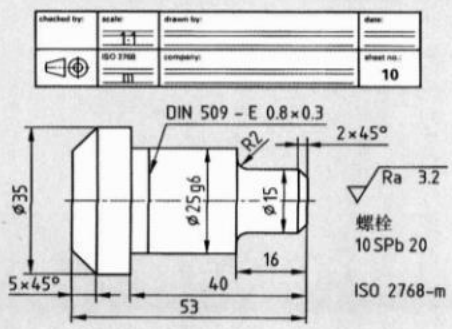
- 单个公称尺寸：置于公称尺寸后
- 显示插入的零件：内部尺寸（孔）的公差代号位于外部尺寸（轴）的公差代号之前或之上

特定区域的公差规格



应用区域。公差应用的区域以细实线为界

常用公差表示公差规格



应用。常用公差用于

- 线性和角度尺寸
- 形状和位置

图样输入。常用公差的注释（第 110 页）可位于

- 单个零件图形附近
- 标题栏中；标题栏按照 DIN 6771（已取消）

输入。给出：

- 标准的图号
- 线性和角度尺寸的公差等级
- 如需要，形状和位置公差的公差等级

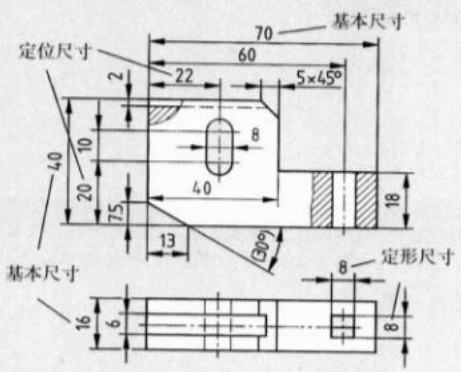
关注公众号：机械工程师成长营

图样的尺寸标注

尺寸

cf. DIN 406 – 10 和 – 11(1992 – 12)

尺寸标注的类型



基本尺寸。工件的基本尺寸是

- 总长
- 总宽
- 总高

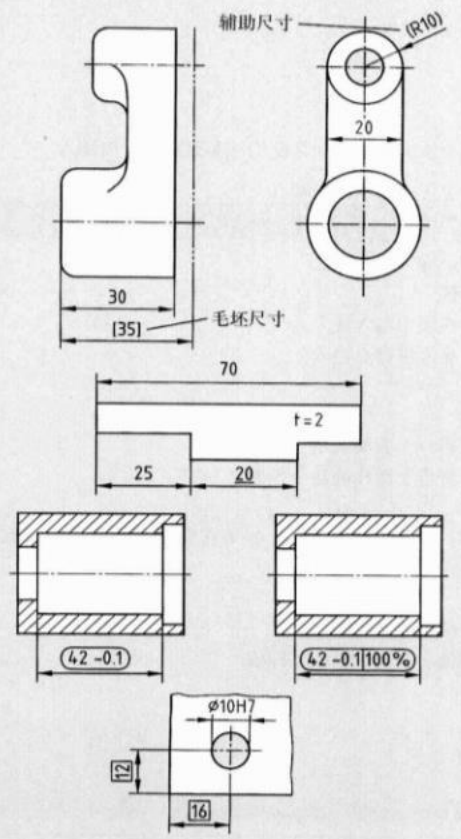
定形尺寸。标注定形尺寸，如：

- 槽的尺寸
- 轴肩尺寸

定位尺寸。用来确定位置

- 孔
- 槽
- 延长孔，等等

特殊尺寸



毛坯尺寸

功能。毛坯尺寸可用来给出有关信息，如，工件机加工前铸件或锻件的尺寸

标注。毛坯尺寸应加上中括号

辅助尺寸

功能。辅助尺寸给出附加信息。它们不需要几何定义工件

标注。辅助尺寸

- 加小括号
- 输入应不带公差

不按比例绘制的尺寸

标注。不按比例绘制的尺寸可用于图样的改变，举例，并且用下画线标识

计算机辅助绘图（CAD）中禁止用带下画线的尺寸

控制尺寸

功能。应该特别指出这些尺寸由买方核对。如有必要，可进行100%的核对

标注。控制尺寸标在圆头的框架内

理论精确尺寸

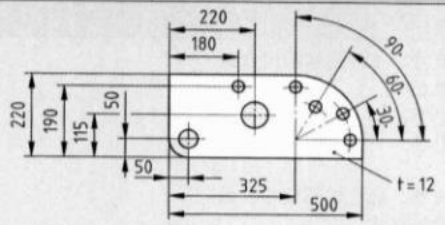
功能。给出设计结构的理想（理论上精确）的几何位置

标注。尺寸置于框内，不带公差规格，但与几何公差对应

关注公众号：机械工程师成长营

尺寸标注的类型

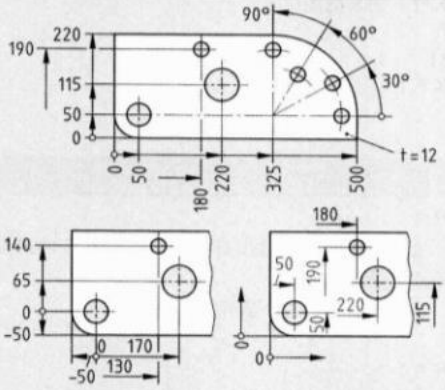
基准型尺寸标注



尺寸线。几条尺寸线一起输入，用于

- 平行线性尺寸
- 同心角度尺寸

连续型尺寸标注



起点。沿三个可能方向之一，从起点外侧尺寸输入。起点用小圆圈表示

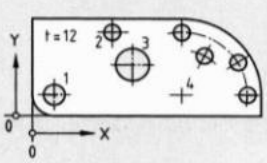
尺寸线。尺寸线输入可采用：

- 通常一个方向只用一条尺寸线
- 如果空间有限，可使用两条或更多的尺寸线。尺寸线也可以断开

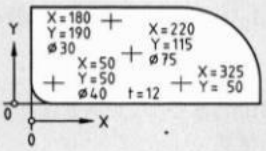
尺寸

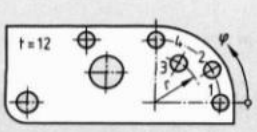
- 应加上负号，如果它们从起点沿反方向输入
- 也可按读图方向输入

坐标型尺寸标注



项目	X	Y	d
1	50	50	ø40
2	180	190	ø30
3	220	115	ø75
4	325	50	–





项目	r	φ	d
1	140	0°	ø30
2	140	30°	ø30
3	100	60°	ø30
4	140	90°	ø30

直角坐标（第 63 页）

坐标值

- 在表中输入或
- 靠近坐标点输入

原点

- 用一小圆圈表示
- 可位于图样的任一位置

尺寸。尺寸应加上负号，如果它们从原点沿负方向到正方向输入

极坐标（第 63 页）

坐标值。在表中输入坐标值

1）基准型尺寸、连续型尺寸和坐标型尺寸可彼此组合

关注公众号：机械工程师成长营

图样中的简化表达

孔的简化表达

cf. DIN 6780(2000－10)

简化表达的孔基础，线宽

真实表达，全尺寸标注	真实表达，简化尺寸标注	简化表达简化尺寸标注
⌀10	⌀10×14U	⌀10×14U
⌀10×14U	⌀10×14U	⌀10×14U

孔基础

如果需要，孔基础的形状用符号表示

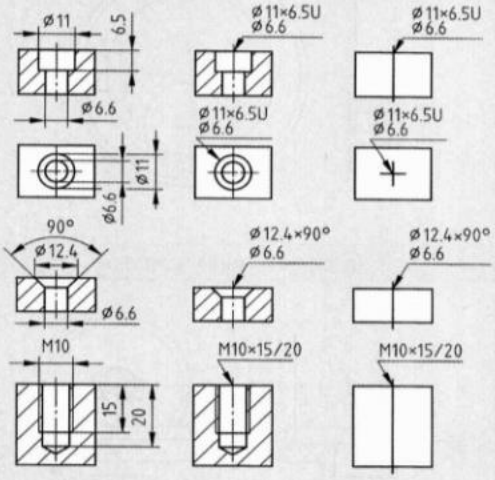
例如符号 U 意指平孔基础（圆柱端钻孔）

线宽

对于简化表达的孔，孔的位置应画成：

- 俯视图中简单的交叉轴
- 孔的位置用粗实线在平行其轴的视图中表达

阶梯孔，锥形沉孔和倒角，内螺纹



阶梯孔

对于两个或多个阶梯的孔，尺寸注写在一起。其中最大的尺寸注写在第一行

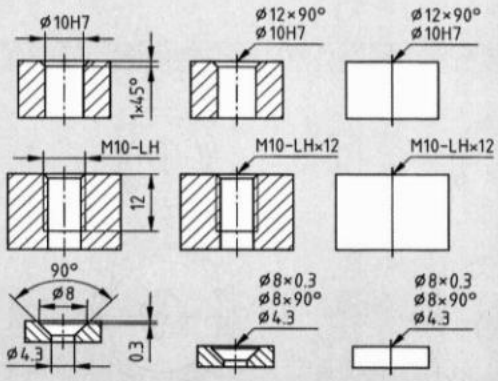
锥形沉孔和倒角

对于锥形沉孔和孔口倒角，应给出最大沉孔直径和角度

内螺纹

螺纹长度和孔深度以刀痕分开。无深度规定的孔钻成通孔

实例



孔 ϕ 10H7
通孔
倒角 1×45°

左旋螺纹 M10
螺纹长度 12mm
中心钻成通孔

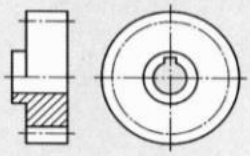
柱形沉孔 ϕ 8
孔深 0.3mm
通孔 ϕ 4.3，带锥形沉孔 90°
沉孔直径 ϕ 8

关注公众号：机械工程师成长营

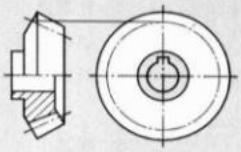
齿轮类型

齿轮的表达 cf. DIN ISO 2203(1976－06)

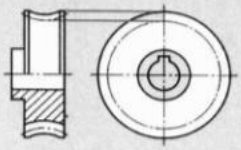
圆柱齿轮



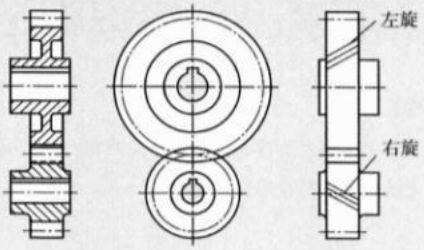
锥齿轮



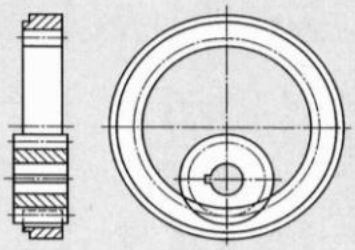
蜗轮



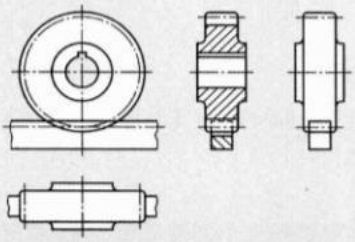
外啮合斜齿轮



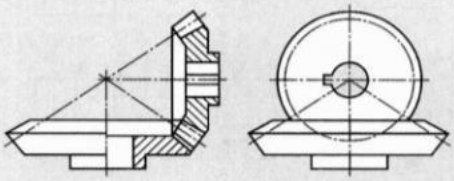
内啮合圆柱齿轮



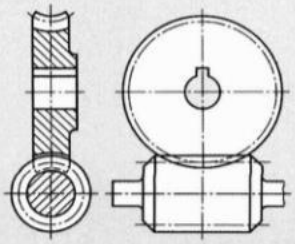
齿条和小齿轮



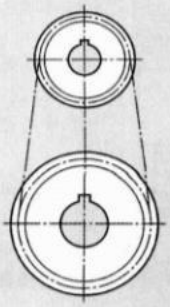
锥齿轮装置（轴间角 90°）



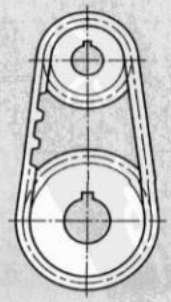
蜗杆和蜗轮



链轮



同步齿形带

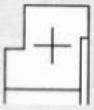
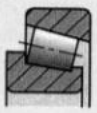


关注公众号：机械工程师成长营

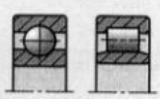
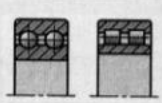
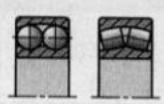
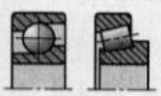
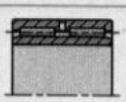
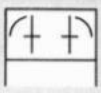
滚动轴承

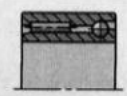
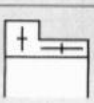
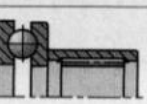
滚动轴承的表达

cf. DIN ISO 8826－1(1990－12)和 DIN ISO 8826－2(1995－10)

表达			元素的细节简化表达	
简化	图形	说明	元素	说明，应用
		通常滚动轴承画成带十字符号的方形或矩形线框		长，直线；用来表达滚动轴承元件的轴，因为轴承不可调节
				长，曲线；用来表达滚动轴承元件的轴，因为轴承可调(自调节轴承)
		如需要，滚动轴承也可用其轮廓和十字符号来表达		短直线；用来表达位置和滚动轴承元件的行数
				圆；用来表达滚动轴承元件(球，滚珠，滚针)，应画成与其轴垂直

滚动轴承的细节简化表达举例

单列滚子轴承的表达			双列滚子轴承的表达		
细节简化	图形	名称	细节简化	图形	名称
		深沟球轴承，圆柱滚子轴承			深沟球轴承，圆柱滚子轴承
		调心滚子轴承（圆筒轴承）			调心滚子轴承，调心球轴承
		角接触球轴承，圆锥滚子轴承			角接触球轴承
		滚针轴承，针滚子装配			滚针轴承，针滚子装配
		推力球轴承，推力滚子轴承			推力球轴承，双效
		推力调心滚子轴承			带球面座的推力球轴承，双效

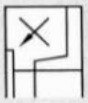
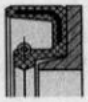
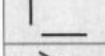
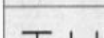
组合球轴承			垂直于滚动元件轴线的表达	
		滚针轴承与角接触球轴承的组合		带各种所需滚动体形状（球，滚子，针）的滚子轴承
		推力球轴承与滚针轴承的组合		

关注公众号：机械工程师成长营

密封和滚动轴承的表达

密封的简化表达

cf. DIN ISO 9222－1(1990－12)和 DIN ISO 9222－2(1991－03)

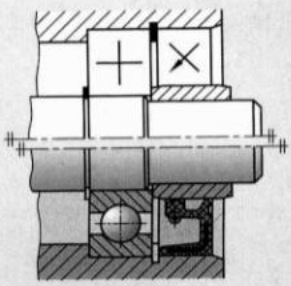
表达			元素的细节简化表达	
简化	图形	说明	元素	说明，应用
		通常密封用正方形或矩形线框和一个对角交叉符号来表达。密封方向可用箭头给出		平行于密封面的长线；用于固定的（静态的）密封元件
				长对角线；对于动态密封元件；如，密封盖。密封方向可用箭头给出
				短对角线；用于挡灰盖密封，刮刀环
		如需要，密封可用轮廓线和一个对角交叉符号来表达		指向符号中间的短线；带 U 形环和 V 形环，填料的静态零件
				指向符号中间的短线；带 U 形环和 V 形环，填料的密封盖
				T 和 U；用于非接触密封

密封的细节简化表达举例

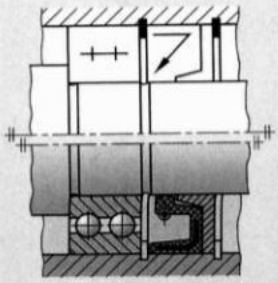
轴密封和活塞杆密封				异形垫圈，填料座，迷宫式密封			
细节简化	图形	用于下列运动的密封结构		细节简化	图形	细节简化	图形
		旋转运动	直线运动				
		不带挡灰盖的轴密封	不带脱模的杆密封				
		带挡灰盖的轴密封	带脱模的杆密封				
		轴密封，双向	杆密封，双向				

密封和滚动轴承的简化表达举例

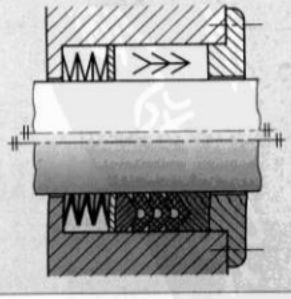
深沟球轴承和带挡灰盖的径向轴密封[1)]



双列深沟球轴承和径向轴密封[2)]



填料装置[2)]

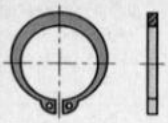
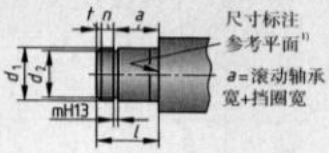
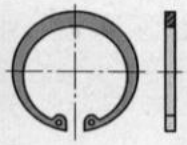
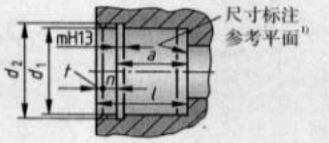


1）上半部：简化表达；下半部：图形表达
2）上半部：细节简化表达；下半部：图形表达

关注公众号：机械工程师成长营

挡圈，弹簧，花键和锯齿

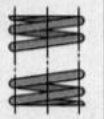
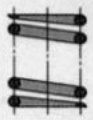
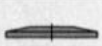
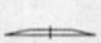
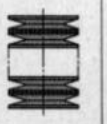
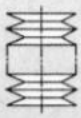
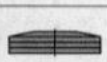
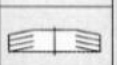
挡圈的表达和挡圈开槽

	表达	装配尺寸	偏差
轴用挡圈（第269页）			d_2 的偏差 上偏差：0（零） 下偏差：负
孔用挡圈（第269页）			d_2 的偏差 上偏差：正 下偏差：0（零） a 的偏差 上偏差：正 下偏差：0（零）

1）因功能原因，槽的尺寸标注参考平面是固定零件的定位面

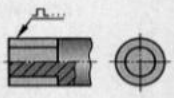
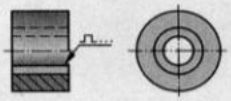
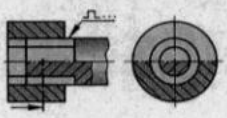
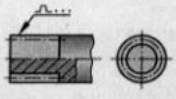
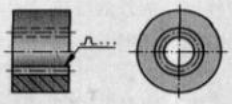
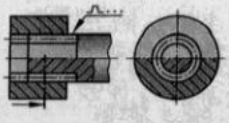
弹簧的表达

cf. DIN ISO 2162－1(1994－08)

名称	表达 视图	表达 断面	符号	名称	表达 视图	表达 断面	符号
圆柱螺旋压缩弹簧（圆形钢丝）				圆柱螺旋拉伸弹簧			
圆柱螺旋扭转弹簧				圆柱螺旋压缩弹簧（方形钢丝）			
碟形弹簧（简单）				碟形弹簧装配（正反向交替层叠）			
碟形弹簧装配（同向层叠）							

花键和锯齿的表达

cf. DIN ISO 6413(1990－03)

	轴	轮毂	连接
带直侧面的花键或多槽轮毂 符号：⎍			
带渐开线齿槽或锯齿的有齿轴或有齿轮毂 符号：⎍			

⇒花键 ISO 14－6×26 f 7×30：依据 ISO14 的直边花键齿形，齿槽数 $N=6$，内直径 $d=26$f 7，外直径 $D=30$（第241页）

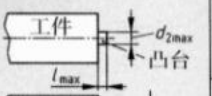
关注公众号：机械工程师成长营

凸台、工件棱角和棱边

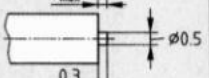
车削零件上的凸台

cf. DIN 6785(1991－11)

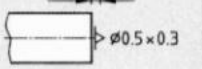
凸台尺寸



举例



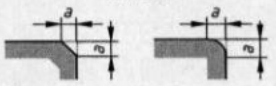
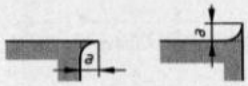
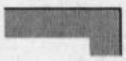
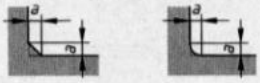
绘图输入

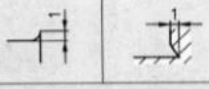


凸台尺寸	加工后零件的最大直径（mm）							
	~3	>3~5	>5~8	>8~12	>12~18	>18~26	>26~40	>40~60
$d_{2\ max}$（mm）	0.3	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.5
l_{max}（mm）	0.2	0.3	0.5	0.6	0.9	1.2	2.0	3.0

工件棱角和棱边

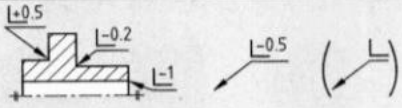
cf. DIN ISO 13715(2000－12)，代换 DIN 6784

棱边或棱角	工件棱角/棱边的待参考理想几何形状		
	内侧	外侧	按面积
外侧棱边 	去材料 	毛边 	尖锐边 
内侧棱边 	去材料 	过渡 	尖锐边 
直径 a（mm）	−0.1；−0.3；−0.5；−1.0；−2.5	+0.1；+0.3；+0.5；+1.0；+2.5	−0.05；−0.02；+0.02；+0.05

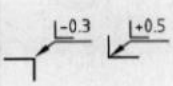
标注工件棱边/棱角的符号	符号元素	表示的意义		毛边和材料去除方向		
		外棱边	内棱边		外棱边	内棱边
输入尺寸的区域 	+	允许毛边，不允许去材料	允许过渡，不允许去材料	虑及规格	毛边	去材料
	−	必要时去除，不允许毛边	必要时去除，不允许过渡	实例 		
	±[1]	允许毛边或过渡	允许去除材料或过渡	意义 		
	1）只允许带尺寸、插图编号					

工件棱角和棱边的标注

统一标注

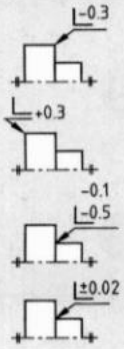


统一标注实用于所有没给出边条件的棱边。对于没有采用统一标注的棱边应在图中标出。例外的应置于统一标注之后，加小括号或用基本符号指出



只对外棱边或内棱边有效的统一标注应给出相应符号

实例



无毛刺的外棱边。允许去除的材料厚度在 0 和 0.3mm 之间

带 0～0.3mm 许用毛刺的外棱边（已规定毛边方向）

带 0.1～0.5mm 许用切除材料的内棱边（未规定材料去除方向）

带 0～0.02mm 许用切除材料或许用过渡达 0.02mm（尖锐边）的内棱边

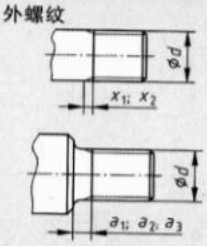
关注公众号：机械工程师成长营

螺尾，螺纹退刀槽

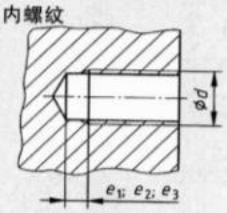
公制 ISO 螺纹的螺尾

cf. DIN76 – 1(2004 – 06)

外螺纹



内螺纹



螺距[1] P	ISO 标准螺纹 d	螺尾[2] x_1 最大	螺尾[2] a_1 最大	螺尾[2] e_1	螺距[1] P	ISO 标准螺纹 d	螺尾[2] x_1 最大	螺尾[2] a_1 最大	螺尾[2] e_1
0.2	–	0.5	0.6	1.3	1.25	M8	3.2	3.75	6.2
0.25	M1	0.6	0.75	1.5	1.5	M10	3.8	4.5	7.3
0.3	–	0.75	0.9	1.8	1.75	M12	4.3	5.25	8.3
0.35	M1.6	0.9	1.05	2.1	2	M16	5	6	9.3
0.4	M2	1	1.2	2.3	2.5	M20	6.3	7.5	11.2
0.45	M2.5	1.1	1.35	2.6	3	M24	7.5	9	13.1
0.5	M3	1.25	1.5	2.8	3.5	M30	9	10.5	15.2
0.6	–	1.5	1.8	3.4	4	M36	10	12	16.8
0.7	M4	1.75	2.1	3.8	4.5	M42	11	13.5	18.4
0.75	–	1.9	2.25	4	5	M48	12.5	15	20.8
0.8	M5	2	2.4	4.2	5.5	M56	14	16.5	22.4
1	M6	2.5	3	5.1	6	M64	15	18	24

1）对于细牙螺纹，螺尾的尺寸根据螺距 P 来选择

2）作为规则；若没有其他输入，就采用

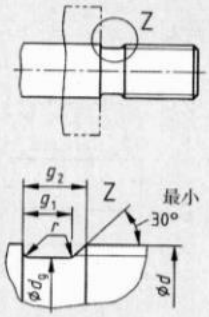
如果需要较短的螺尾，就用：$x_2 \approx 0.5 \cdot x_1$；$a_2 \approx 0.67 \cdot a_1$；$e_2 \approx 0.625 \cdot e_1$

如果需要较长的螺尾，就用：$a_3 \approx 1.3 \cdot a_1$；$e_3 \approx 1.6 \cdot e_1$

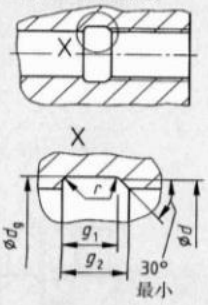
公制 ISO 螺纹的退刀槽

cf. DIN76 – 1(2004 – 06)

A 型和 B 型外螺纹



C 型和 D 型内螺纹



螺距[1] P	ISO 标准螺纹 d	r	外螺纹 d_g h13	外螺纹 A 型[2] g_1 最小	外螺纹 A 型[2] g_2 最大	外螺纹 B 型[3] g_1 最小	外螺纹 B 型[3] g_2 最大	外螺纹 d_g	外螺纹 C 型[2] g_1 最小	外螺纹 C 型[2] g_2 最大	外螺纹 D 型[3] g_1 最小	外螺纹 D 型[3] g_2 最大
0.2	–	0.1	d – 0.3	0.45	0.7	0.25	0.5	d + 0.1	0.8	1.2	0.5	0.9
0.25	M1	0.12	d – 0.4	0.55	0.9	0.25	0.6	d + 0.1	1	1.4	0.6	1
0.3	–	0.16	d – 0.5	0.6	1.05	0.3	0.75	d + 0.1	1.2	1.6	0.75	1.25
0.35	M1.6	0.16	d – 0.6	0.7	1.2	0.4	0.9	d + 0.2	1.4	1.9	0.9	1.4
0.4	M2	0.2	d – 0.7	0.8	1.4	0.5	1	d + 0.2	1.6	2.2	1	1.6
0.45	M2.5	0.2	d – 0.7	1	1.6	0.5	1.1	d + 0.2	1.8	2.4	1.1	1.7
0.5	M3	0.2	d – 0.8	1.1	1.75	0.5	1.25	d + 0.3	2	2.7	1.25	2
0.6	–	0.4	d – 1	1.2	2.1	0.6	1.5	d + 0.3	2.4	3.3	1.5	2.4
0.7	M4	0.4	d – 1.1	1.5	2.45	0.8	1.75	d + 0.3	2.8	3.8	1.75	2.75
0.75	–	0.4	d – 1.2	1.6	2.6	0.9	1.9	d + 0.3	3	4	1.9	2.9
0.8	M5	0.4	d – 1.3	1.7	2.8	0.9	2	d + 0.3	3.2	4.2	2	3
1	M6	0.6	d – 1.6	2.1	3.5	1.1	2.5	d + 0.5	4	5.2	2.5	3.7
1.25	M8	0.6	d – 2	2.7	4.4	1.5	3.2	d + 0.5	5	6.7	3.2	4.9
1.5	M10	0.8	d – 2.3	3.2	5.2	1.8	3.8	d + 0.5	6	7.8	3.8	5.6
1.75	M12	1	d – 2.6	3.9	6.1	2.1	4.3	d + 0.5	7	9.1	4.3	6.4
2	M16	1	d – 3	4.5	7	2.5	5	d + 0.5	8	10.3	5	7.3
2.5	M20	1.2	d – 3.6	5.6	8.7	3.2	6.3	d + 0.5	10	13	6.3	9.3
3	M24	1.6	d – 4.4	6.7	10.5	3.7	7.5	d + 0.5	12	15.2	7.5	10.7
3.5	M30	1.6	d – 5	7.7	12	4.7	9	d + 0.5	14	17.7	9	12.7
4	M36	2	d – 5.7	9	14	5	10	d + 0.5	16	20	10	14
4.5	M42	2	d – 6.4	10.5	16	5.5	11	d + 0.5	18	23	11	16
5	M48	2.5	d – 7	11.5	17.5	6.5	12.5	d + 0.5	20	26	12.5	18.5
5.5	M56	3.2	d – 7.7	12.5	19	7.5	14	d + 0.5	22	28	14	20
6	M64	3.2	d – 8.3	14	21	8	15	d + 0.5	24	30	15	21
⇒	**DIN 76 – C**：C 型螺纹退刀槽											

1）对于细牙螺纹，螺纹退刀槽的尺寸根据螺距 P 来选择

2）作为规则；若没有其他输入，就总是采用

3）只适于要用短螺纹退刀槽的情形

关注公众号：机械工程师成长营

螺纹和螺纹连接

螺纹的表达

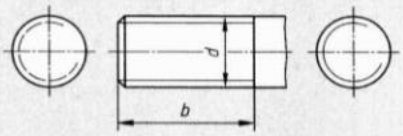
cf. DIN ISO 6410－1(1993－12)

内螺纹

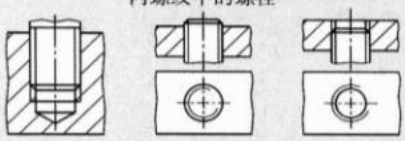


e_1 根据 DIN 76－1．螺尾通常不显示

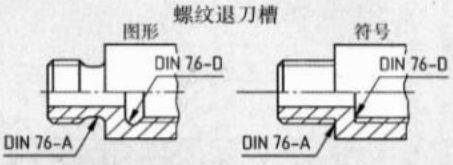
螺栓螺纹



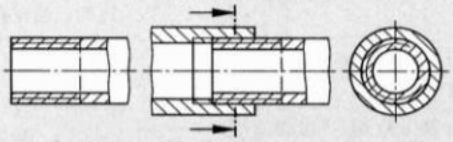
内螺纹中的螺栓



螺纹退刀槽

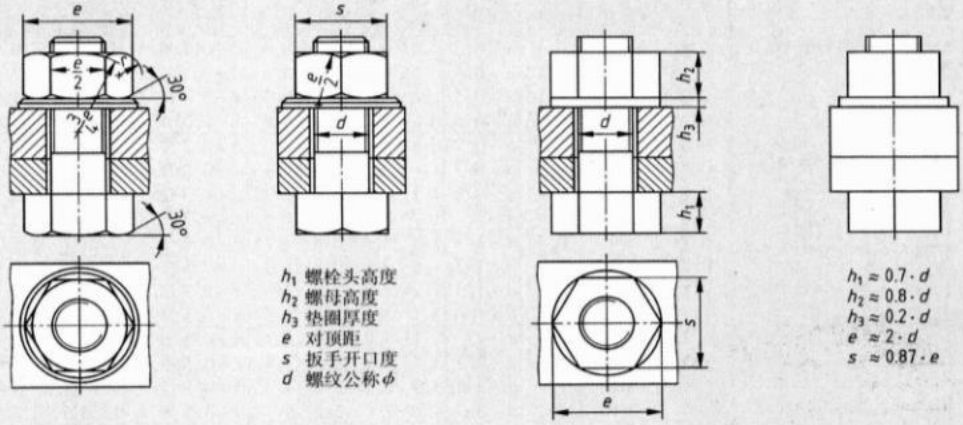


管螺纹和管螺纹连接



螺纹连接的表达

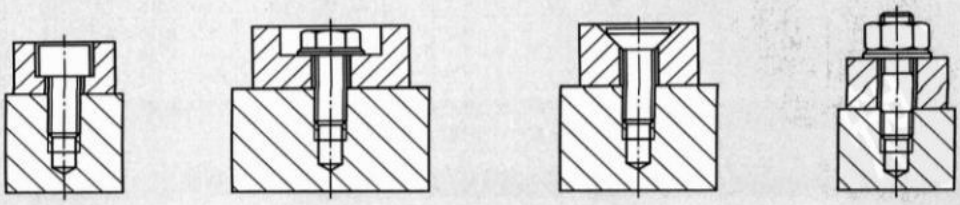
详图　　六角头螺栓和螺母　　简化图



h_1 螺栓头高度
h_2 螺母高度
h_3 垫圈厚度
e 对顶距
s 扳手开口度
d 螺纹公称ϕ

$h_1 \approx 0.7 \cdot d$
$h_2 \approx 0.8 \cdot d$
$h_3 \approx 0.2 \cdot d$
$e \approx 2 \cdot d$
$s \approx 0.87 \cdot e$

带帽螺钉连接　　六角头螺钉连接　　沉头螺钉连接　　螺柱连接

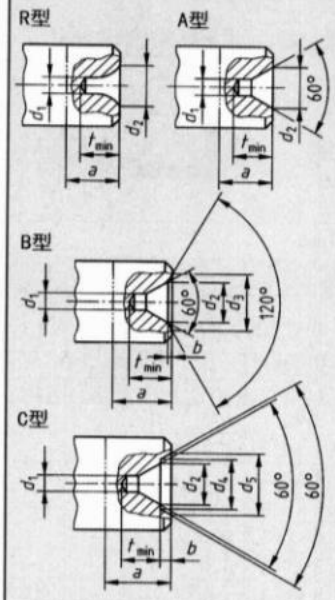


关注公众号：机械工程师成长营

中心孔，滚花

中心孔

cf. DIN 332－1(1986－04)



型号		公称尺寸									
	d_1 d_2	1 2.12	1.25 2.65	1.6 3.35	2 4.25	2.5 5.3	3.15 6.7	4 8.5	5 10.6	6.3 13.2	8 17
R	t_{min}	1.9	2.3	2.9	3.7	4.6	5.8	7.4	9.2	11.4	14.7
	a	3	4	5	6	7	9	11	14	18	22
A	t_{min}	1.9	2.3	2.9	3.7	4.6	5.9	7.4	9.2	11.5	14.8
	a	3	4	5	6	7	9	11	14	18	22
B	t_{min}	2.2	2.7	3.4	4.3	5.4	6.8	8.6	10.8	12.9	16.4
	a	3.5	4.5	5.5	6.6	8.3	10	12.7	15.6	20	25
	b	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.2	1.6	1.4	1.6
	d_3	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	18	22.4
C	t_{min}	1.9	2.3	2.9	3.7	4.6	5.9	7.4	9.2	11.5	14.8
	a	3.5	4.5	5.5	6.6	8.3	10	12.7	15.6	20	25
	b	0.4	0.6	0.7	0.9	0.9	1.1	1.7	1.7	2.3	3
	d_4	4.5	5.3	6.3	7.5	9	11.2	14	18	22.4	28
	d_5	5	6	7.1	8.5	10	12.5	16	20	25	31.5

型号

R：弯曲支承面，无保护性沉孔
A：直支承面，无保护性沉孔
B：直支承面，圆锥形的保护性沉孔
C：直支承面，圆锥台形的保护性沉孔

中心孔的图形编号

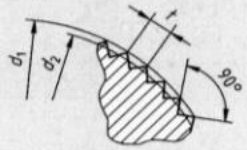
cf. DIN ISO 6411(1997－11)

加工后零件上要求有中心孔	加工后零件上允许有中心孔	加工后零件上不可有中心孔
ISO 6411-A4/8.5	ISO 6411-A4/8.5	ISO 6411-A4/8.5

⇒ **<ISO6411－A4/8.5**：中心孔 ISO6411；加工后零件上要求有中心孔。中心孔的型号和尺寸根据 DIN332；A 型；d_1 =4mm；d_2 =8.5mm

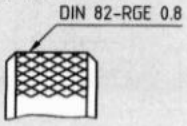
滚花

cf. DIN 82(1973－01)



d_1 公称直径
d_2 初始直径
f 间距
标准间距值
t：0.5；0.6；0.8；1.0；1.2；1.6 mm

图形输入（实例）：



字符	表达	名称	点形状	初始直径
RAA		轴向平行槽滚花	－	$d_2=d_1-0.5\cdot t$
RBR	30°	右旋滚花	－	$d_2=d_1-0.5\cdot t$
RBL	30°	左旋滚花	－	$d_2=d_1-0.5\cdot t$
RGE	30°	左旋/右旋滚花	凸出	$d_2=d_1-0.67\cdot t$
RGV			凹进	$d_2=d_1-0.33\cdot t$
RKE		轴向和周向滚花	凸出	$d_2=d_1-0.67\cdot t$
RKV			凹进	$d_2=d_1-0.33\cdot t$
⇒	**DIN 82－RGE 0.8**：左旋/右旋滚花，凸出点，t=0.8mm			

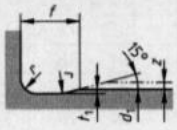
关注公众号：机械工程师成长营

退刀槽

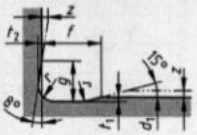
退刀槽[1]

cf. DIN 509(1998－06)

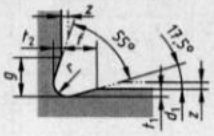
E 型
用于进一步加工圆柱面



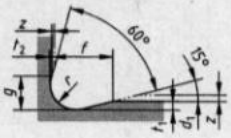
F 型
用于进一步加工轴肩和圆柱面



G 型
用于小过渡（带轻负载）



H 型
用于更多的圆角过渡



z = 加工余量

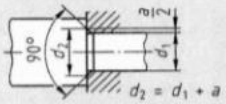
⇒**退刀槽 DIN 509－E0.8×0.3**：E 型，半径 r = 0.8mm，退刀槽深 t_1 = 0.3mm

退刀槽尺寸和沉孔尺寸

型号	r[2] ±0.1 系列		t_1 +0.1	f +0.2	g	t_2 +0.05	与直径 d_1[3] 的相关性 用于工件带		相对工件[4] 上沉孔的最小尺寸 a				
	R1	R2					普通负载	增加的疲劳强度	退刀槽 $r \times t_1$	型号			
										E	F	G	H
E 和 F	–	0.2	0.1	1	(0.9)	0.1	>1～3	–	0.2×0.1	0.2	0	–	–
	0.4	–	0.2	2	(1.1)		>3～18	–	0.4×0.2	0.4	0	–	–
G	0.4	–	0.2	1	(1.2)	0.2	>3～18	–	0.4×0.2	–	–	0	–
E 和 F	–	0.6	0.2	2	(1.4)	0.1	>10～18	–	0.6×0.2	0.8	0.2	–	–
	0.8	–	0.3	2.5	(2.1)	0.2	>18～80	–	0.6×0.3	0.6	0	–	–
					(2.4)			–	0.8×0.3	1.0	0	–	–
H	0.8	–	0.3	2	(1.1)	0.05	>18～80	–	0.8×0.3	–	–	–	0.8
E 和 F	–	1	0.2	2.5	(1.8)	0.1	–	>18～50	1.0×0.2	1.6	0.8	–	–
			0.4	4	(3.2)	0.3	>80	–	1.0×0.4	1.2	0	–	–
	1.2	–	0.2	2.5	(2)	0.1	–	>18～50	1.2×0.2	2.0	0.5	–	–
			0.4	4	(3.4)	0.3	>80	–	1.2×0.4	1.6	0	–	–
H	1.2	–	0.3	2.5	(1.5)	0.05	–	>18～50	1.2×0.3	–	–	–	1.5
E 和 F	1.6	–	0.3	4	(3.1)	0.2	–	>50～80	1.6×0.3	2.6	1.1	–	–
	2.5		0.4	5	(4.8)	0.3		>80～125	2.5×0.4	4.0	1.7	–	–
	4		0.5	7	(6.4)			>125	4.0×0.5	7.0	4.0	–	–

1）所有型号的退刀槽都适用于轴和孔
2）退刀槽的半径值根据 DIN250（第 65 页）优先选用
3）与直径范围的相关性不适于轴肩和薄壁零件。对于不同直径的工件，为所有直径设计相同型号和尺寸的退刀槽是可取的

4）相对工件上沉孔的尺寸 a

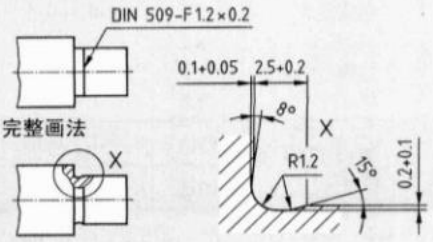


退刀槽的画法

通常退刀槽在图样中用带名称的简化画法来表达。但也可完整画出和标注。

例：退刀槽：DIN 509－F1.2×0.2

简化画法



完整画法

例：退刀槽：DIN 509－E1.2×0.2

简化画法



完整画法



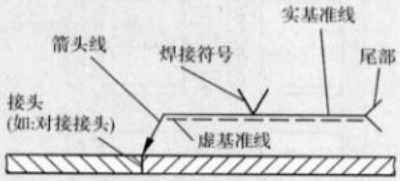
关注公众号：机械工程师成长营

焊接和钎焊的符号

图样中焊接和钎焊符号的位置

cf. DIN EN 22553(1997－03)

基本术语



基准线。包括实基准线和虚基准线。虚基准线平行于实基准线，且位于实基准线上方或下方。对称焊接虚基准线省略

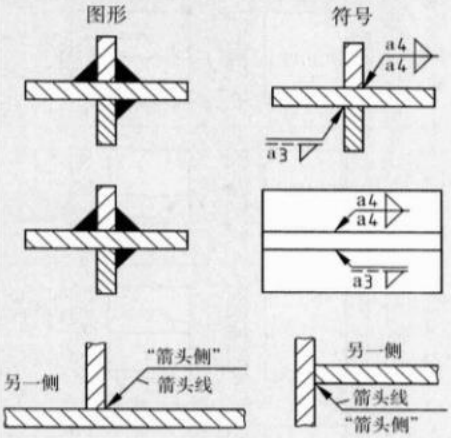
箭头线。连接实基准线和接头

尾部。如果需要，可给出额外的标注：

- 方法，加工
- 工作位置
- 评价组
- 额外的材料

接头。零件彼此连接的方向

焊接信息



符号。符号确定焊接的形式。一般优先置于实基准线上，或若有必要，置于虚基准线上。

焊接符号的布置	
焊接符号的位置	焊接的位置（焊接面）
实基准线	"箭头侧"
虚基准线	"另一侧"

在断面或视图中表达的焊接，符号的位置应与焊接截面一致

箭头侧。箭头侧是箭头线所指接头的一侧

另一侧。接头的另一侧是箭头侧的对面

补充和辅助符号

cf. DIN EN 22553(1997－03)

	围焊缝		焊缝表面凹陷（凹陷型）
	现场符号（焊接在建筑工地进行）		焊缝表面平齐（齐平型）
23	在尾部标注焊接加工信息		焊缝表面凸起（凸起型）
			焊缝表面凹口自由

图样中的表达（基本符号）

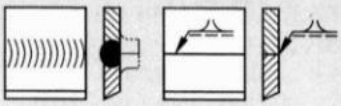
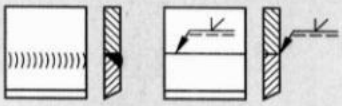
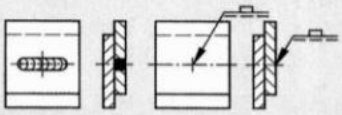
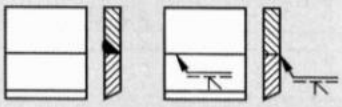
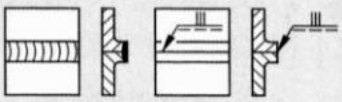
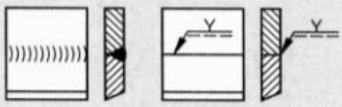
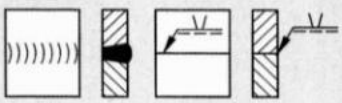
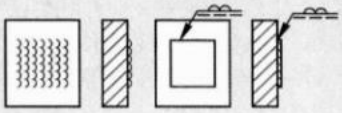
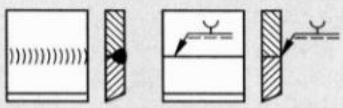
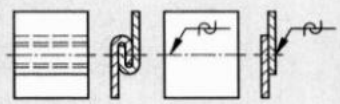
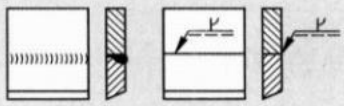
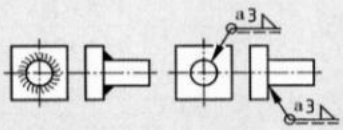
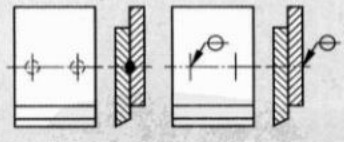
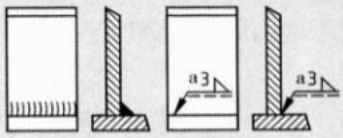
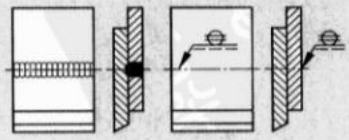
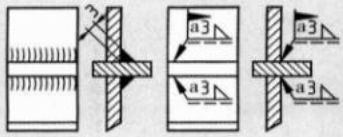
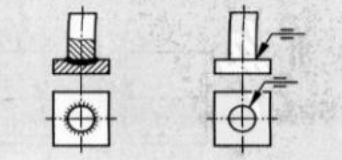
cf. DIN EN 22553(1997－03)

焊接类型/符号	表达 图形	表达 符号	焊接类型/符号	表达 图形	表达 符号
对接I形焊缝 ‖			V形焊缝 V		

关注公众号：机械工程师成长营

焊接和钎焊的符号

图样中的表达（基本符号）　　cf. DIN EN 22553(1997－03)

焊接类型/符号	表达 图形	表达 符号	焊接类型/符号	表达 图形	表达 符号
卷边焊缝			单边V形焊缝		
方形槽焊缝					
前平齐焊缝			带钝边V形焊缝		
陡侧面焊缝			带钝边单边V形焊缝		
堆焊缝			带钝边U形焊缝		
叠焊缝			带钝边J形焊缝		
围焊缝			点焊缝		
角焊缝			缝焊缝		
带3mm厚焊缝的现场焊接			面焊缝		

关注公众号：机械工程师成长营

焊接和钎焊的符号

对称焊接的组合符号[1]（例）

cf. DIN EN 22553(1997－03)

焊接类型	符号	表达	焊接类型	符号	表达
双面V形焊缝（X焊缝）			双面带钝边单边V形焊缝		
双面单边V形焊缝			双面带钝边U形焊缝		
双面带钝边V形焊缝			[1] 符号相对于基线对称定位。例：		图形  符号 

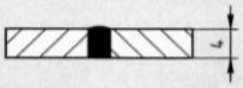
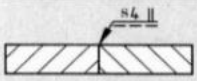
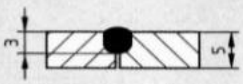
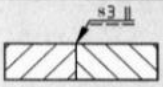
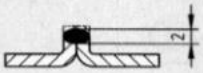
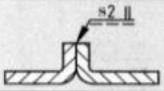
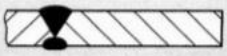
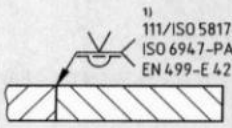
辅助符号应用举例

cf. DIN EN 22553(1997－03)

焊接类型	符号	表达	焊接类型	符号	表达
平面V形焊缝			平面V形再加工焊缝		
凸起双面V形焊缝			封底平面V形焊缝		
封底带钝边V形焊缝			凹陷型角焊缝，无槽口焊缝转接		

尺寸标注举例

cf. DIN EN 22553(1997－03)

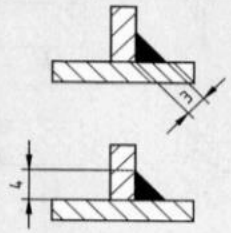
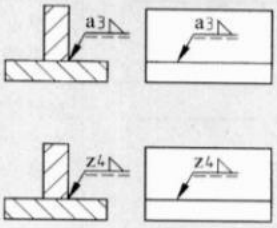
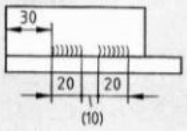
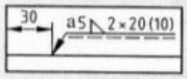
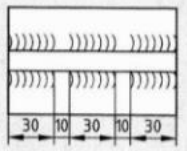
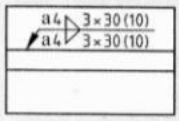
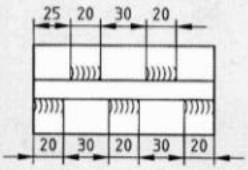
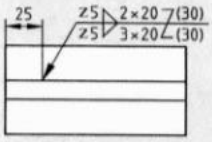
焊接类型	表达和尺寸标注		符号，尺寸输入的含义
	图形	符号	
I形焊缝（穿透）			对接焊缝，穿透，焊缝厚 $s=4$mm
I形焊缝（不穿透）			对接焊缝，未穿透，焊缝厚 $s=3$mm，溢出整个工件
卷边焊缝			卷边焊缝，不完全熔化，焊缝厚 $s=2$mm
封底V形焊缝（穿透焊缝）			封底V形焊缝（穿透焊缝），用手工电弧焊制作（根据DIN EN ISO 4063代码111），根据ISO5817，需要评价组C；根据ISO6947，平面焊接位置PA；根据DIN EN 499，电极E 42 0 RR12

1）在基准线终端的尾部可输入补充要求

关注公众号：机械工程师成长营

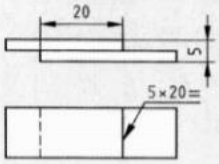
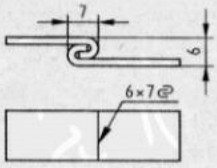
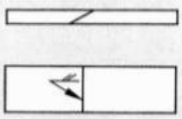
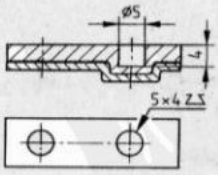
胶粘、折叠和压制接缝的表达

尺寸标注举例（续）

焊接类型	表达和尺寸标注		符号，尺寸输入的含义
	图形	符号	
角焊缝（连续）			角焊缝，焊腿厚度 $a=3$mm（等腰三角形高度） 角焊缝，焊腿厚度 $z=5$mm（等腰三角形侧边长）
角焊缝（断续）			角焊缝（断续） 焊腿厚度 $a=5$mm；2 段焊缝，每段焊缝长 $l=20$mm；焊缝间距 $e=10$mm；末端距离 $v=30$mm
双面角焊缝（断续）			双面角焊缝（断续，对称） 焊腿厚度 $a=4$mm；每段焊缝长 $l=30$mm；焊缝间距 $e=10$mm；无末端距离
双面角焊缝（断续，交错）			双面角焊缝（断续，交错） 焊腿厚度 $z=5$mm；每段焊缝长 $l=20$mm；焊缝间距 $e=30$mm；末端距离 $v=25$mm

胶粘，折叠和压制接缝的表达（举例）

cf. DIN EN ISO 15785(2002－12)

接缝类型	焊接类型/符号	意义/标注示例	接缝类型	焊接类型/符号	意义/标注示例
胶合焊缝	表面焊缝[1]		叠焊缝	叠焊缝	
	斜焊缝[1]		压制焊缝	压制焊缝	

1）胶合焊缝不显示胶粘介质

关注公众号：机械工程师成长营

热处理规范

图样上热处理零件的画法和标记

cf. DIN 6773(2001－04)

热处理规范

材料条件术语	材料条件的可测量参数			可能的附加条件
实例： 淬火和回火 淬火 调质 退火 氮化	硬度值	HRV HV HB	洛氏硬度 维氏硬度 布氏硬度	测量点。图样中用符号（⏚）指示测量点并标注说明
	压痕深度	Eht Nht Rht	表面淬火厚度 渗氮深度 有效淬火深度	热处理图表。简化，通常减少标题栏附近零件的比例表达
	HTA WL		渗碳深度 白色渗氮层厚度	最小拉伸强度或微结构。如果有可能测试同一批热处理零件中的一个
	所有的标注都加上正公差			

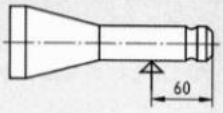
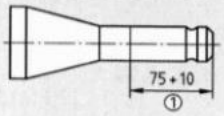
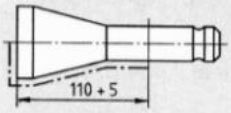
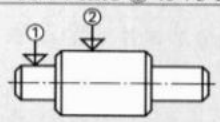
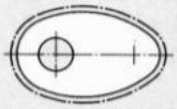
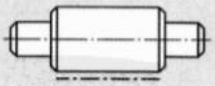
确定进行局部热处理表面的范围


应作热处理的区域


可作热处理的区域


可不作热处理的中间区域

图样中热处理规范（实例）

方法	整个零件的热处理		局部热处理
	同样要求	不同要求	
淬火和回火，淬火，调质	 淬火和回火 350 +50HB 2.5/187.5	 淬火和回火 58 +4 HRC ① 40 +5 HRC	 淬火和整个零件回火 60 +3 HRC
渗氮，表面淬火	 渗氮 ≥900 HV 10 Nht = 0.3 +0.1	 表面淬火和回火 ① 60 +4 HRC Eht = 0.5 +0.3 ② ≤52 HRC	 表面淬火和回火 700 +100 HV 10 Eht = 1.2 +0.5
表面淬火	 表面淬火 620 +120 HV 50 Rht 500 = 0.8 +0.8	 表面淬火和整个零件回火 ① 54 +6 HRC ② ≤35 HRC ③ ≤30 HRC	 表面淬火和回火 61 +4 HRC Rht 600 = 0.8 +0.8

淬火深度和公差（mm）

表面淬火深度 Eht	0.05 +0.03	0.1 +0.1	0.3 +0.2	0.5 +0.3	0.8 +0.4	1.2 +0.5	1.6 +0.6
渗氮深度 Nht	0.05 +0.02	0.1 +0.05	0.15 +0.02	0.2 +0.1	0.25 +0.1	0.3 +0.1	0.35 +0.15
感应加热淬火深度 Rht	0.2 +0.2	0.4 +0.4	0.6 +0.6	0.8 +0.8	1.0 +1.0	1.3 +1.1	1.6 +1.3
激光/电波淬火深度 Rht	0.2 +0.1	0.4 +0.2	0.6 +0.3	0.8 +0.4	1.0 +0.5	1.3 +0.6	1.6 +0.8

在规定淬火深度控制极限硬度

表面淬火深度 Eht	550 HV1
渗氮深度 Nht	核硬度 +50HV0.5
有效淬火深度 Rht	0.8 最小表面硬度，用 HV 计算

关注公众号：机械工程师成长营

形状偏差和粗糙度参数

形状偏差

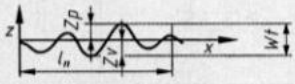
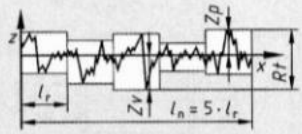
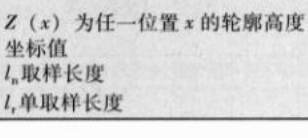
cf. DIN 4760(1982－06)

形状偏差是实际表面（通过测量可确定的表面）与理想几何表面间的偏差，它的标准形状用图样来定义

形状偏差等级（轮廓截面用法向夸大表达）	实例	可能原因
一级：形状偏差 	直线度，圆度偏差	在零件制造，机床操纵中故障或磨损过程中工件或机器的偏斜
二级：波度 	波	零件制造过程中机器的振动，如铣床的偏转或形状偏差
三级：粗糙度 	凹槽	零件制造过程中切削工具的几何形状，切削进给量或深度
四级：粗糙度 	画线，标度，凸缘	碎片成形（如：撕成碎片）顺序，零件制造过程中由于爆破引起的表面变形
第五和第六级：粗糙度不能表示成一个简单轮廓截面	矩阵结构，点阵结构	由于焊接或热加工引起的金属同素异构转变，晶格扭曲，由于化学作用引起的变化，如腐蚀，蚀刻。

表面纹理轮廓和参数

cf. DIN EN ISO 4287(1998－10) 和 DIN EN ISO4288(1998－04)

表面轮廓	参数	说明
原轮廓（实际轮廓，*P* 轮廓） 	**轮廓总高度** *Pt*	原轮廓是计算初始轮廓参数的基础，组成波度和粗糙度轮廓的基础 轮廓总高度 *Pt* 是取样长度 l_n 内轮廓最高峰顶高度 *Zp* 和最低谷底深度 Z_V 的和
波度轮廓 	**轮廓总高度** *Wt*	波度轮廓用低通滤波获得，即通过抑制轮廓的短波长成分 轮廓总高度 *Wt* 是取样长度 l_n 内轮廓最高峰顶高度 *Zp* 和最低谷底深度 Z_V 的和
粗糙度轮廓 	**轮廓总高度** *Rt*	粗糙度轮廓用高通滤波获得，即通过抑制轮廓的长波长成分 轮廓总高度 *Rt* 是取样长度 l_n 内轮廓最高峰顶高度 *Zp* 和最低谷底深度 Z_V 的和
	*Rp*，*Rv*	在单取样长度 l_r 内，轮廓最高峰顶高度 *Zp* 和轮廓最低谷底深度 Z_V
	**轮廓最大高度** *Rz*[1]	轮廓最大高度 *Rz* 是单取样长度 l_r 内轮廓最高峰顶高度 *Zp* 和最低谷底深度 Z_V 的和
	**轮廓算术平均偏差纵坐标** *Ra*[1]	轮廓算术平均偏差纵坐标 *Ra* 是单取样长度 l_r 内所有纵坐标值 *Z*(*x*) 的算术平均值
	轮廓材料比率 *Rmr*	轮廓材料比率表示成一百分数 *Rmr*，是起作用材料长度之和与总取样长度 l_n 的比率
	中心线（*x* 轴） *x*	中心线（*x* 轴）*x* 是与轮廓的长波长成分对应的线，它通过轮廓滤波来抑制

Z（*x*）为任一位置 *x* 的轮廓高度；坐标值
l_n 取样长度
l_r 单取样长度

1）对于定义超出单取样长度的参数，可用 5 个单取样长度（DIN EN ISO4288）的算术平均值来确定

关注公众号：机械工程师成长营

表面试验，表面粗糙度标注

粗糙度的测量部分

cf. DIN EN ISO4288(1998－04)

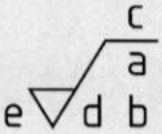
周期性轮廓（如：车削轮廓）	非周期性轮廓（如：磨削和研磨轮廓）		极限波长	单/总取样长度	周期性轮廓（如：车削轮廓）	非周期性轮廓（如：磨削和研磨轮廓）		极限波长	单/总取样长度
槽宽 RSm（mm）	Rz（μm）	Ra（μm）	（μm）	l_r，l_n（mm）	槽宽 RSm（mm）	Rz（μm）	Ra（μm）	（μm）	l_r，l_n（mm）
>0.01～0.04	至0.1	至0.02	0.08	0.08/0.4	>0.13～0.4	>0.5～10	>0.1～2	0.8	0.8/4
>0.04～0.13	>0.1～0.5	>0.02～0.1	0.25	0.25/1.25	>0.4～1.3	>10～50	>2～10	2.5	2.5/12.5

表面粗糙度符号

cf. DIN EN ISO 1302(2002－06)

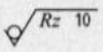
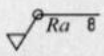
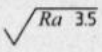
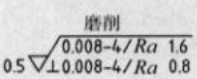
符号	意义
	可用任何制造加工方法获得
	用去除材料的方法，如：车，铣
	用不去除材料的方法获得，或是用于保留原供应状态的表面
	所有轮廓表面具有相同的表面加工要求

附加标识



a 带数值（μm）的表面参数，过渡特征[2]/单取样长度（mm）
b 二级表面加工要求（如a的描述）
c 制造加工要求
d 加工纹理方向符号（查表，第100页）
e 加工余量

实例

符号	意义	符号	意义
	·用不去除材料的方法获得 ·Rz=10μm（上极限） ·标准过渡特征[3] ·标准取样长度[4] ·“16%规则”[5]		·用去除材料的方法获得 ·Ra=8μm（上极限） ·标准过渡特征[3] ·标准取样长度[4] ·“16%规则”[5] ·应用于所有轮廓
	·用任何方法获得 ·标准过渡特征[3] ·Ra=3.5μm（上极限） ·标准取样长度[4] ·“16%规则”[5]		·用去除材料的方法获得 ·Ra=1.6μm（上极限） ·Ra=0.8μm（下极限） ·对于两 Ra 的值： “16%规则”[5] ·过渡特征： ·每个0.008到4mm ·标准取样长度[4] ·加工偏差0.5mm ·表面纹理垂直
	·用去除材料的方法获得 ·Rz=0.5μm（上极限） ·标准过渡特征[3] ·标准取样长度[4] “最大允许值规则”[6]		

1）表面参数，如：Rz 包括轮廓（这里指粗糙度轮廓 R）和参数（这里指 z）
2）过渡特征：短波长滤波 λ_S 和长波长滤波 λ_C 之间的波长范围。长波长滤波范围与单取样长度 l_r 对应。如果没有输入过渡特征，就采用标准过渡特征[3]
3）标准过渡特征：用于粗糙度参数测量的极限波长由粗糙度轮廓决定，其数值由查表决定
4）标准取样长度 l_n=5×单取样长度 l_r
5）“16%规则”：允许实测值中有16%的测量超差
6）“最大允许值规则”（“最高值规则”）：测量的值不可以超出规定的最高值

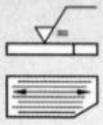
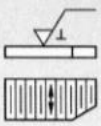
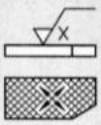
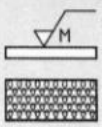
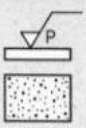
关注公众号：机械工程师成长营

表面粗糙度符号

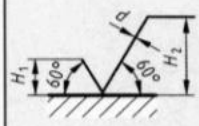
表面粗糙度标注

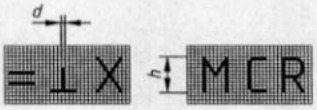
cf. DIN EN ISO 1302(2002－06)

加工纹理方向符号

加工纹理方向的表达							
符号	=	⊥	×	M	C	R	P
加工纹理方向	平行于投影平面	垂直于投影平面	呈两相交的方向	呈多方向	近似同心圆	呈近似放射形	无凹槽表面，无方向或槽

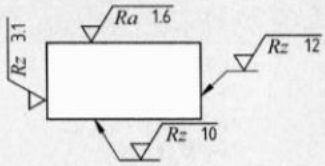
符号的大小



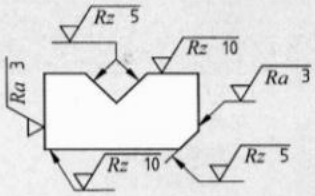


	字符高度（mm）						
	2.5	3.5	5	7	10	14	20
d	0.25	0.35	0.5	0.7	1.0	1.4	2.0
H_1	3.5	5	7	10	14	20	28
H_2	8	11	15	21	30	42	60

图样中符号的布置

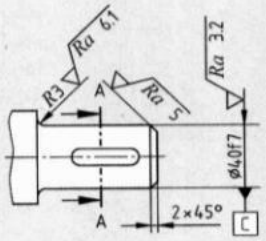


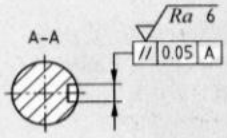
易读性：
从下方或从右侧

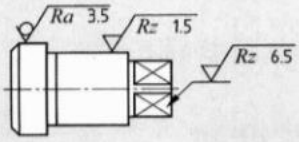


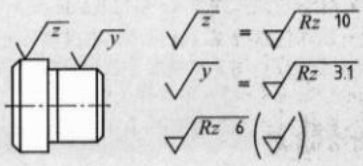
布置：
直接标在表面上，或带参数和指引线

图样标注实例









关注公众号：机械工程师成长营

表面粗糙度

按 ISO 公差规格[1]的粗糙度推荐值

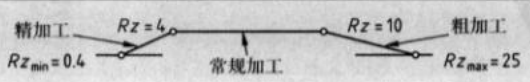
公称尺寸范围（mm）	Rz 和 Ra 的推荐值（μm）	ISO 公差等级						
		5	6	7	8	9	10	11
1～6	Rz	2.5	4	6.3	6.3	10	16	25
	Ra	0.4	0.8	0.8	1.6	1.6	3.2	6.3
6～10	Rz	2.5	4	6.3	10	16	25	40
	Ra	0.4	0.8	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5
10～18	Rz	4	4	6.3	10	16	25	40
	Ra	0.8	0.8	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5
18～80	Rz	4	6.3	10	16	16	40	63
	Ra	0.8	0.8	1.6	3.2	3.2	6.3	12.5
80～250	Rz	6.3	10	16	25	25	40	63
	Ra	0.8	1.6	1.6	3.2	3.2	6.3	12.5
250～500	Rz	6.3	10	16	25	40	63	100
	Ra	0.8	1.6	1.6	3.2	6.3	12.5	25

可达到的表面粗糙度[1]

	制造加工		制造类型的 Rz（μm）			制造类型的 Ra（μm）		
			精密	中等	粗糙	精密	中等	粗糙
初始成形	铸造	压铸	4	10～100	160	–	0.8～30	–
		应模浇铸	10	25～160	250	–	3.2～50	–
		砂型浇铸	25	63～250	1000	–	12.5～50	–
	烧结	烧结整平	–	2.5～10	–	–	0.4～1.6	–
		校准平整	–	1.6～7	–	–	0.3～0.8	–
成形	挤压		4	25～100	400	0.8	3.2～12.5	25
	密闭压模		10	63～400	1000	0.8	2.5～12.5	25
	杆挤压		4	25～100	400	0.8	3.2～12.5	25
	拉深金属板		0.4	4～10	16	0.2	1～3.2	6.3
	轧：辊光		0.1	0.5～6.3	10	0.025	0.06～1.6	2
切削加工	去材料	线材电弧切削	0.8	2.8～10	16	0.1	0.4～1	3.2
		刻模	1.5	5～10	31	0.2	0.45	6.3
	切割加工	氧乙炔焰切割	16	40～100	1000	3.2	8～16	50
		激光切割	–	10～100	–	–	1～10	–
		等离子切割	–	6～280	–	–	1～10	–
		剪切	–	10～63	–	–	1.6～12.5	–
		水射流切割	4	16～100	400	1.6	6.3～25	50
	机器加工	钻削：实体钻孔	16	40～160	250	1.6	6.3～12.5	25
		镗削	0.1	2.5～25	40	0.05	0.4～3.2	12.5
		锪孔	6.3	10～25	40	0.8	1.6～6.3	12.5
		刮钻	0.4	4～10	25	0.2	0.8～2	6.3
		车：纵向车削	1	4～63	250	0.2	0.8～12.5	50
		端面	2.5	10～63	250	0.4	1.6～12.5	50
		铣：圆周，面铣削	1.6	10～63	160	0.4	1.6～12.5	25
		珩磨：超精加工	0.04	0.1～1	2.5	0.006	0.02～0.17	0.34
		长冲程珩磨	0.04	1～11	15	0.006	0.13～0.65	1.6
		研磨	0.04	0.25～1.6	10	0.006	0.025～0.2	0.21
		抛光	–	0.04～0.25	0.4	–	0.005～0.035	0.05
		磨削	0.1	1.6～4	25	0.012	0.2～0.8	6.3

1）粗糙度值，只要它们不包含在 DIN4766－1（已取消）中，就按照工业规范确定

读取举例：
铰孔（用于表面特征 Rz）



关注公众号：机械工程师成长营

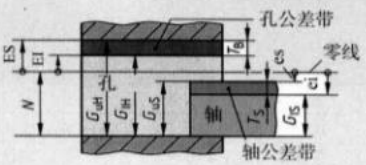
极限和配合的 ISO 系统

术语

cf. DIN ISO 286－1（1990－11）

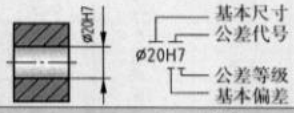
孔

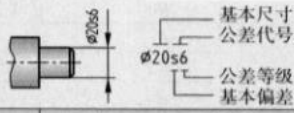
N	基本尺寸
G_{uH}	孔最大尺寸
G_{lH}	孔最小尺寸
ES	孔上偏差
EI	孔下偏差
T_B	孔公差



轴

N	基本尺寸
G_{uS}	轴最大尺寸
G_{lS}	轴最小尺寸
es	轴上偏差
ei	轴下偏差
T_S	轴公差



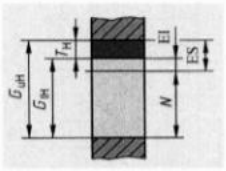


名称	说明	名称	说明
零线	表示基本尺寸，是偏差和公差的参考	**标准公差等级**	分配给相同精度级别的一组容许值，如 IT7
基本偏差	基本偏差决定公差带相对于零线的位置	**公差等级**	标准公差等级数值，如：7，表示标准公差等级 IT7
公差	最大和最小尺寸间或上偏差和下偏差间的差值	**公差代号**	名称表示基本偏差和公差等级的组合，如：H7
标准公差	公差分配了标准公差等级，如：IT7，和基本尺寸范围，如：30～50mm	**配合**	基本尺寸相同，相互结合的孔与轴公差带之间的关系

极限，偏差和公差

cf. DIN ISO 286－1（1990－11）

孔



$G_{uH} = N + ES$

$G_{lH} = N + EI$

$T_H = ES - EI$

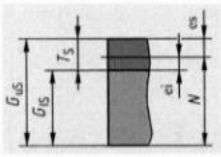
$T_H = G_{uH} - G_{lH}$

例：孔 $\phi 50^{+0.3}_{+0.1}$；$G_{uH} = ?$　$T_H = ?$

$G_{uH} = N + ES = 50mm + 0.3mm = 50.30mm$

$T_S = ES - EI = 0.3mm - 0.1mm = 0.2mm$

轴



$G_{uS} = N + es$

$G_{lS} = N + ei$

$T_S = es - ei$

$T_S = G_{uS} - G_{lS}$

例：轴 $\phi 20e8$；$G_{lS} = ?$　$T_S = ?$

查 ei 和 es 的值见第 107 页。

$ei = -73\mu m = -0.073mm$；$es = -40\mu m = -0.040mm$

$G_{lS} = N - ei = 20mm + (-0.0.73mm) = 19.927mm$

$T_S = es - ei = -40\mu m - (-73\mu m) = 33\mu m$

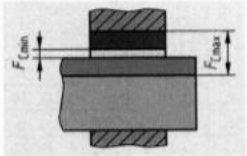
配合

cf. DIN ISO 286－1（1990－11）

间隙配合

F_{Cmax} 最大间隙

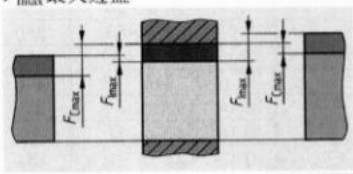
F_{Cmin} 最小间隙



过渡配合

F_{Cmax} 最大间隙

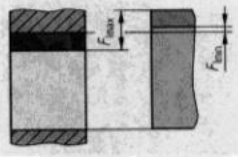
F_{Imax} 最大过盈



过盈配合

F_{Imax} 最大过盈

F_{Imin} 最小过盈



$F_{Cmin} = G_{lH} - G_{uS}$

$F_{Cmax} = G_{uH} - G_{lS}$

$F_{Imax} = G_{lH} - G_{uS}$

$F_{Imin} = G_{uH} - G_{lS}$

例：配合 $\phi 30$ H8/f7；$F_{Cmax} = ?$；$F_{Cmin} = ?$

查 ES，EI，es，ei 的值见第 107 页

$G_{uH} = N + ES = 30\ mm + 0.033\ mm = 30.033\ mm$

$G_{lH} = N + EI = 30\ mm + 0\ mm = 30.000\ mm$

$G_{uH} = N + ES = 30\ mm + (-0.020\ mm) = 29.980\ mm$

$G_{lH} = N + ES = 30\ mm + (-0.041\ mm) = 29.959\ mm$

$F_{Cmax} = G_{uH} - G_{lS} = 30.033\ mm - 29.959\ mm = 0.074\ mm$

$F_{Cmin} = G_{lH} - G_{uS} = 30.000\ mm - 29.980\ mm = 0.02\ mm$

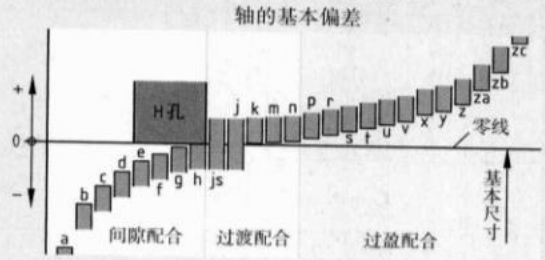
关注公众号：机械工程师成长营

极限和配合的 ISO 系统

配合制度

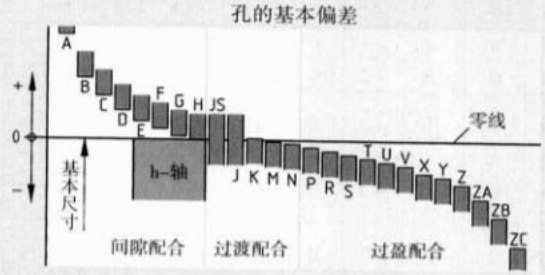
cf. DIN ISO 286－1（1990－11）

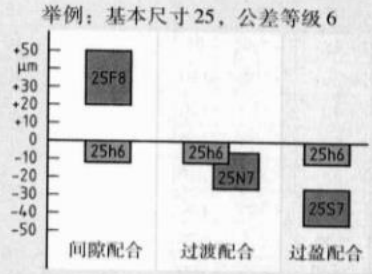
配合制度：基孔制（所有孔尺寸有基本偏差 H）





配合制度：基轴制（所有轴尺寸有基本偏差 h）





标准公差

cf. DIN ISO 286－1（1990－11）

基本尺寸范围（mm）	标准公差等级 IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
	标准公差																	
	（μm）											（mm）						
≤3	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3～6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6～10	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10～18	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18～30	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30～50	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50～80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
80～120	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.4	2.2	3.5	5.4
120～180	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0.4	0.63	1	1.6	2.5	4	6.3
180～250	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.9	4.6	7.2
250～315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0.52	0.81	1.3	2.1	3.2	5.2	8.1
315～400	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0.57	0.89	1.4	2.3	3.6	5.7	8.9
400～500	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.5	4	6.3	9.7
500～630	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0.7	1.1	1.75	2.8	4.4	7	11
630～800	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0.8	1.25	2	3.2	5	8	12.5
800～1000	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0.9	1.4	2.3	3.6	5.6	9	14
1000～1250	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1.05	1.65	2.6	4.2	6.6	10.5	16.5
1250～1600	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1.25	1.95	3.1	5	7.8	12.5	19.5
1600～2000	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1.5	2.3	3.7	6	9.2	15	23
2000～2500	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1.75	2.8	4.4	7	11	17.5	28
2500～3150	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2.1	3.3	5.4	8.6	13.5	21	33

基本偏差为 h，js，H 和 JS 的公差等级的极限偏差可以通过标准公差：**h**：es＝0；ei＝－IT　**js**：es＝＋IT/2；ei＝－IT/2　**H**：ES＝＋IT；EI＝0　**JS**：＝ES＝＋IT/2；EI＝－IT/2 来推导

关注公众号：机械工程师成长营

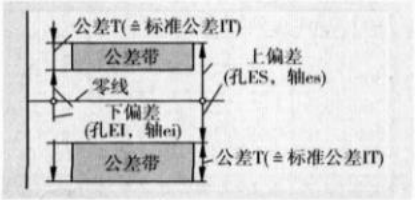
ISO 配合

轴的基本偏差（摘选）

cf. DIN ISO 286－1（1990－11）

基本偏差	a	c	d	e	f	g	h	j	k		m	n	p	r	s
标准公差等级	IT9到IT13	IT8到IT12	IT5到IT13	IT5到IT10	IT3到IT10	IT3到IT10	IT1到IT18	IT5到IT8	IT3到IT13		IT3到IT9	IT3到IT9	IT3 到 IT10		
适用范围	所有标准公差等级							IT7	IT4到IT7	大于IT7	所有标准公差等级				
基本尺寸（mm）	上偏差 es（μm）							下偏差 ei（μm）							
≤3	－270	－60	－20	－14	－6	－2	0	－4	0	0	＋2	＋4	＋6	＋10	＋14
3～6		－70	－30	－20	－10	－4	0	－4	＋1	0	＋4	＋8	＋12	＋15	＋19
6～10	－280	－80	－40	－25	－13	－5	0	－5	＋1	0	＋6	＋10	＋15	＋19	＋23
10～18	－290	－95	－50	－32	－16	－6	0	－6	＋1	0	＋7	＋12	＋18	＋23	＋28
18～30	－300	－110	－65	－40	－20	－7	0	－8	＋2	0	＋8	＋15	＋22	＋28	＋35
30～40	－310	－120	－80	－50	－25	－9	0	－10	＋2	0	＋9	＋17	＋26	＋34	＋43
40～50	－320	－130													
50～65	－340	－140	－100	－60	－30	－10	0	－12	＋2	0	＋11	＋20	＋32	＋41	＋53
65～80	－360	－150												＋43	＋59
80～100	－380	－170	－120	－72	－36	－12	0	－15	＋3	0	＋13	＋23	＋37	＋51	＋71
100～120	－410	－180												＋54	＋79
120～140	－460	－200	－145	－85	－43	－14	0	－18	＋3	0	＋15	＋27	＋43	＋63	＋92
140～160	－520	－210												＋65	＋100
160～180	－580	－230												＋68	＋108
180～200	－660	－240	－170	－100	－50	－15	0	－21	＋4	0	＋17	＋31	＋50	＋77	＋122
200～225	－740	－260												＋80	＋130
225～250	－820	－280												＋84	＋140
250～280	－920	－300	－190	－110	－56	－17	0	－26	＋4	0	＋20	＋34	＋56	＋94	＋158
280～315	－1050	－330												＋98	＋170
315～355	－1200	－360	－210	－125	－62	－18	0	－28	＋4	0	＋21	＋37	＋62	＋108	＋190
355～400	－1350	－400												＋114	＋208
400～450	－1500	－440	－230	－135	－68	－20	0	－32	＋5	0	＋23	＋40	＋68	＋126	＋232
450～500	－1650	－480												＋132	＋252

根据轴（上表）或孔（第 105 页表）的基本偏差和标准公差（第 103 页表）来计算偏差



ES = EI + IT　　EI = ES + IT

es = ei + IT　　ei = es + IT

例 1：轴（外直径）ϕ40g5；es = ?　ei = ?
es（上表）= －9 μm
IT5（第 103 页表）= 11 μm
ei = es － IT = －9 μm － 11 μm = －20 μm

例 2：孔（内直径）ϕ200F7；EI = ?　ES = ?
EI（第 105 页表）= ＋50 μm
IT7（第 103 页表）= 46 μm
ES = EI + IT = 50 μm + 46 μm = 96 μm

例 3：孔（内直径）ϕ100K6；ES = ?　EI = ?
ES(第 105 页表) = －3 μm + Δ = －3 μm + 7 μm = ＋4 μm
（Δ 的值查第 105 页表：7 μm）
IT6（第 103 页表）= 22 μm
EI = ES － IT = 4 μm － 22 μm = －18 μm

关注公众号：机械工程师成长营

ISO 配合

孔的基本偏差（摘选）[1]

cf. DIN ISO 286－1（1990－11）

基本偏差	A	C	D	E	F	G	H	J	K	M	N	P，R，S	P	R	S
标准公差等级	IT9到IT13	IT8到IT13	IT6到IT13	IT5到IT10	IT3到IT10	IT3到IT10	IT1到IT18	IT6到IT8	IT3到IT10	IT3到IT10	IT3到IT11	IT3到IT10			
适用范围	所有标准公差等级							IT8	IT3到IT8			到IT7	IT8到IT10		
基本尺寸（mm）	下偏差 EI（μm）							上偏差 ES（μm）							
≤3	+270	+60	+20	+14	+6	+2	0	+6	0	−2	−4	上偏差ES的值：等于标准公差等级IT8到IT10，加上Δ	−6	−10	−14
3～6		+70	+30	+20	+10	+4	0	+10	−1+Δ	−4+Δ	−8+Δ		−12	−15	−19
6～10	+280	+80	+40	+25	+13	+5	0	+12	−1+Δ	−6+Δ	−10+Δ		−15	−19	−23
10～18	+290	+95	+50	+32	+16	+6	0	+15	−1+Δ	−7+Δ	−12+Δ		−18	−23	−28
18～30	+300	+110	+65	+40	+20	+7	0	+20	−2+Δ	−8+Δ	−15+Δ		−22	−28	−35
30～40	+310	+120	+80	+50	+25	+9	0	+24	−2+Δ	−9+Δ	−17+Δ		−26	−34	−43
40～50	+320	+130													
50～65	+340	+140	+100	+60	+30	+10	0	+28	−2+Δ	−11+Δ	−20+Δ		−32	−41	−53
65～80	+360	+150												−43	−59
80～100	+380	+170	+120	+72	+36	+12	0	+34	−3+Δ	−13+Δ	−23+Δ		−37	−51	−71
100～120	+410	+180												−54	−79
120～140	+460	+200	+145	+85	+43	+14	0	+41	−3+Δ	−15+Δ	−27+Δ		−43	−63	−92
140～160	+520	+210												−65	−100
160～180	+580	+230												−68	−108
180～200	+660	+240	+170	+100	+50	+15	0	+47	−4+Δ	−17+Δ	−31+Δ		−50	−77	−122
200～225	+740	+260												−80	−130
225～250	+820	+280												−84	−140
250～280	+920	+300	+190	+110	+56	+17	0	+55	−4+Δ	−20+Δ	−34+Δ		−56	−94	−158
280～315	+1050	+330												−98	−170
315～355	+1200	+360	+210	+125	+62	+18	0	+60	−4+Δ	−21+Δ	−37+Δ		−62	−108	−190
355～400	+1350	+400												−114	−208
400～450	+1500	+440	+230	+135	+68	+20	0	+66	−5+Δ	−23+Δ	−40+Δ		−68	−126	−232
450～500	+1650	+480												−132	−252

Δ[1]的值（μm）

基本尺寸（mm）												
标准公差等级	3到6	6到10	10到18	18到30	30到50	50到80	80到120	120到180	180到250	250到315	315到400	400到500
IT3	1	1	1	1.5	1.5	2	2	3	3	4	4	5
IT4	1.5	1.5	2	2	3	3	4	4	4	4	5	6
IT5	1	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	7
IT6	3	3	3	4	5	6	7	7	9	9	11	13
IT7	4	6	7	8	9	11	13	15	17	20	21	23
IT8	6	7	9	12	14	16	19	23	26	29	32	34

1）计算实例见第 104 页

关注公众号：机械工程师成长营

ISO 配合

基孔制

cf. DIN ISO 286－2（1990－11）

基本尺寸范围（mm）	用于公差分类的极限偏差															
	孔	轴与H6的孔相配导致					孔	轴与H7的孔相配导致								
		间隙配合	过渡配合			过盈配合		间隙配合			过渡配合				过盈配合	
	H6	h5	j5	k6	n5	r5	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	r6	s6
≤3	+6 0	0 −4	+2	+6 0	+8 +4	+14 +10	+10 0	−6 −16	−2 −8	0 −6	+4 −2	+6 0	+8 +2	+10 +4	+16 +10	+20 +14
3～6	+8 0	0 −5	+3 −2	+9 +1	+13 +8	+20 +15	+12 0	−10 −22	−4 −12	0 −8	+6 −2	+9 +1	+12 +4	+16 +8	+23 +15	+27 +19
6～10	+9 0	0 −6	+4 −2	+10 +1	+16 +10	+25 +19	+15 0	−13 −28	−5 −14	0 −9	+7 −2	+10 +1	+15 +6	+19 +10	+28 +19	+32 +23
10～14	+11 0	0 −8	+5 −3	+12 +1	+20 +12	+31 +23	+18 0	−16 −34	−6 −17	0 −11	+8 −3	+12 +1	+18 +7	+23 +12	+34 +23	+39 +28
14～18																
18～24	+13 0	0 −9	+5 −4	+15 +2	+24 +15	+37 +28	+21 0	−20 −41	−7 −20	0 −13	+9 −4	+15 +2	+21 +8	+28 +15	+41 +28	+48 +35
24～30																
30～40	+16 0	0 −11	+6 −5	+18 +2	+28 +17	+45 +34	+25 0	−25 −50	−9 −25	0 −16	+11 −5	+18 +2	+25 +9	+33 +17	+50 +34	+59 +43
40～50																
50～65	+19 0	0 −13	+6 −7	+21 +2	+33 +20	+54 +41	+30 0	−30 −60	−10 −29	0 −19	+12 −7	+21 +2	+30 +11	+39 +20	+60 +41	+72 +53
65～80						+56 +43									+62 +43	+78 +59
80～100	+22 0	0 −15	+6 −9	+25 +3	+38 +23	+66 +51	+35 0	−36 −71	−12 −34	0 −22	+13 −9	+25 +3	+35 +13	+45 +23	+73 +51	+93 +71
100～120						+69 +54									+76 +54	+101 +79
120～140	+25 0	0 −18	+7 −11	+28 +3	+45 +27	+81 +63	+40 0	−43 −83	−14 −39	0 −25	+14 −11	+28 +3	+40 +15	+52 +27	+88 +63	+117 +92
140～160						+83 +65									+90 +65	+125 +100
160～180						+86 +68									+93 +68	+133 +108
180～200	+29 0	0 −20	+7 −13	+33 +4	+51 +31	+97 +77	+46 0	−50 −96	−15 −44	0 −29	+16 −13	+33 +4	+46 +17	+60 +31	+106 +77	+151 +122
200～225						+100 +80									+109 +80	+159 +130
225～250						+104 +84									+113 +84	+169 +140
250～280	+32 0	0 −23	+7 −16	+36 +4	+57 +34	+117 +94	+52 0	−56 −108	−17 −49	0 −32	+16 −16	+36 +4	+52 +20	+66 +34	+126 +94	+190 +158
280～315						+121 +98									+130 +98	+202 +170
315～355	+36 0	0 −25	+7 −18	+40 +4	+62 +37	+133 +108	+57 0	−62 −119	−18 −54	0 −36	+18 −18	+40 +4	+57 +21	+73 +37	+144 +108	+226 +190
355～400						+139 +114									+150 +114	+244 +208
400～450	+40 0	0 −27	+7 −20	+45 +5	+67 +40	+153 +126	+63 0	−68 −131	−20 −60	0 −40	+20 −20	+45 +5	+63 +23	+80 +40	+166 +126	+272 +232
450～500						+159 +132									+172 +132	+292 +252

1）粗体印刷的公差代号对应 DIN7157 中第 1 行；优先使用

关注公众号：机械工程师成长营

ISO 配合

基孔制 cf. DIN ISO 286－2（1990－11）

基本尺寸范围（mm）	用于公差分类的极限偏差													
	孔	轴与H8的孔相配导致						孔	轴与H11的孔相配导致					
		间隙配合				过盈配合			间隙配合					
	H8	d9	e8	f7	h9	uB[2]	x8[2]	H11	a11	c11	d9	d11	h9	h11
≤3	+14 0	−20 −45	−14 −28	−6 −16	0 −25	+32 +18	+34 +20	+60 0	−270 −330	−60 −120	−20 −45	−20 −80	0 −25	0 −60
3～6	+18 0	−30 −60	−20 −38	−10 −22	0 −30	+41 +23	+46 +28	+75 0	−270 −345	−70 −145	−30 −60	−30 −105	0 −30	0 −75
6～10	+22 0	−40 −76	−25 −47	−13 −28	0 −36	+50 +28	+56 +34	+90 0	−280 −370	−80 −170	−40 −76	−40 −130	0 −36	0 −90
10～14	+27 0	−50 −93	−32 −59	−16 −34	0 −43	+60 +33	+67 +40 +72 +45	+110 0	−290 −400	−95 −205	−50 −93	−50 −160	0 −43	0 −110
14～18														
18～24	+33 0	−65 −117	−40 −73	−20 −41	0 −52	+74 +41 +81 +48	+87 +54 +97 +64	+130 0	−300 −430	−110 −240	−65 −117	−65 −195	0 −52	0 −130
24～30														
30～40	+39 0	−80 −142	−50 −89	−25 −50	0 −62	+99 +60 +109 +70	+119 +80 +136 +97	+160 0	−310 −470 −320 −480	−120 −280 −130 −290	−80 −142	−80 −240	0 −62	0 −160
40～50														
50～65	+46 0	−100 −174	−60 −106	−30 −60	0 −74	+133 +87 +148 +102	+168 +122 +192 +146	+190 0	−340 −530 −360 −550	−140 −330 −150 −340	−100 −174	−100 −290	0 −74	0 −190
65～80														
80～100	+54 0	−120 −207	−72 −126	−36 −71	0 −87	+178 +124 +198 +144	+232 +178 +264 +210	+220 0	−380 −600 −410 −630	−170 −390 −180 −400	−120 −207	−120 −340	0 −87	0 −220
100～120														
120～140	+63 0	−145 −245	−85 −148	−43 −83	0 −100	+233 +170 +253 +190 +273 +210	+311 +248 +343 +280 +373 +310	+250 0	−460 −710 −520 −770 −580 −830	−200 −450 −210 −460 −230 −480	−145 −245	−145 −395	0 −100	0 −250
140～160														
160～180														
180～200	+72 0	−170 −285	−100 −172	−50 −96	0 −115	+308 +236 +330 +258 +356 +284	+422 +350 +457 +385 +497 +425	+290 0	−660 −950 −740 −1030 −820 −1110	−240 −530 −260 −550 −280 −570	−170 −285	−170 −460	0 −115	0 −290
200～225														
225～250														
250～280	+81 0	−190 −320	−110 −191	−56 −108	0 −130	+396 +315 +431 +350	+556 +475 +606 +525	+320 0	−920 −1240 −1050 −1370	−300 −620 −330 −650	−190 −320	−190 −510	0 −130	0 −320
280～315														
315～355	+89 0	−210 −350	−125 −214	−62 −119	0 −140	+479 +390 +524 +435	+679 +590 +749 +660	+360 0	−1200 −1560 −1350 −1710	−360 −720 −400 −760	−210 −350	−210 −570	0 −140	0 −360
355～400														
400～450	+97 0	−230 −385	−135 −232	−68 −131	0 −155	+587 +490 +637 +540	+837 +740 +917 +820	+400 0	−1500 −1900 −1650 −2050	−440 −840 −480 −880	−230 −385	−230 −630	0 −155	0 −400
450～500														

1）粗体印刷的公差代号对应 DIN7157 中第 1 行；优先使用
2）DIN7157 推荐：基本尺寸≤24mm：H8/x8；基本尺寸大于 24mm：H8/u8

关注公众号：机械工程师成长营

ISO 配合

基轴制 cf. DIN ISO 286－2（1990－11）

基本尺寸范围（mm）	用于公差分类的极限偏差															
	轴	孔与 h5 的轴相配导致					轴	孔与 h6 的轴相配导致								
		间隙配合	过渡配合		过盈配合			间隙配合			过渡配合				过盈配合	
	h5	H6	J6	M6	N6	P6	h6	F8	G7	H7	J7	K7	M7	N7	R7	S7
≤3	0 －4	+6 0	+2 －4	－2 －8	－4 －10	－6 －12	0 －6	+20 +6	+12 +2	+10 0	+4 －6	0 －10	－2 －12	－4 －14	－10 －20	－14 －24
3～6	0 －5	+8 0	+5 －3	－1 －9	－5 －13	－9 －17	0 －8	+28 +10	+16 +4	+12 0	+6 －6	+3 －9	0 －12	－4 －16	－11 －23	－15 －27
6～10	0 －6	+9 0	+5 －4	－3 －12	－7 －16	－12 －21	0 －9	+35 +13	+20 +5	+15 0	+8 －7	+5 －10	0 －15	－4 －19	－13 －28	－17 －32
10～18	0 －8	+11 0	+6 －5	－4 －15	－9 －20	－15 －26	0 －11	+43 +16	+24 +6	+18 0	+10 －8	+6 －12	0 －18	－5 －23	－16 －34	－21 －39
18～30	0 －9	+13 0	+8 －5	－4 －17	－11 －24	－18 －31	0 －13	+53 +20	+28 +7	+21 0	+12 －9	+6 －15	0 －21	－7 －28	－20 －41	－27 －48
30～40	0 －11	+16 0	+10 －6	－4 －20	－12 －28	－21 －37	0 －16	+64 +25	+34 +9	+25 0	+14 －11	+7 －18	0 －25	－8 －33	－25 －50	－34 －59
40～50																
50～65	0 －13	+19 0	+13 －6	－5 －24	－14 －33	－26 －45	0 －19	+76 +30	+40 +10	+30 0	+18 －12	+9 －21	0 －30	－9 －39	－30 －60	－42 －72
65～80															－32 －62	－48 －78
80～100	0 －15	+22 0	+16 －6	－6 －28	－16 －38	－30 －52	0 －22	+90 +36	+47 +12	+35 0	+22 －13	+10 －25	0 －35	－10 －45	－38 －73	－58 －93
100～120															－41 －76	－66 －101
120～140	0 －18	+25 0	+18 －7	－8 －33	－20 －45	－36 －61	0 －25	+106 +43	+54 +14	+40 0	+26 －14	+12 －28	0 －40	－12 －52	－48 －88	－77 －117
140～160															－50 －90	－85 －125
160～180															－53 －93	－93 －133
180～200	0 －20	+29 0	+22 －7	－8 －37	－22 －51	－41 －70	0 －29	+122 +50	+61 +15	+46 0	+30 －16	+13 －33	0 －46	－14 －60	－60 －106	－105 －151
200～225															－63 －109	－113 －159
225～250															－67 －113	－123 －169
250～280	0 －23	+32 0	+25 －7	－9 －41	－25 －57	－47 －79	0 －32	+137 +56	+69 +17	+52 0	+36 －16	+16 －36	0 －52	－14 －66	－74 －126	－138 －190
280～315															－78 －130	－150 －202
315～355	0 －25	+36 0	+29 －7	－10 －46	－26 －62	－51 －87	0 －36	+151 +62	+75 +18	+57 0	+39 －18	+17 －40	0 －57	－16 －73	－87 －144	－169 －226
355～400															－93 －150	－187 －244
400～450	0 －27	+40 0	+33 －7	－10 －50	－27 －67	－55 －95	0 －40	+165 +68	+83 +20	+63 0	+43 －20	+18 －45	0 －63	－17 －80	－103 －166	－209 －272
450～500															－109 －172	－229 －292

1）粗体印刷的公差代号对应 DIN7157 中第 1 行；优先使用

关注公众号：机械工程师成长营

ISO 配合

基轴制

cf. DIN ISO 286－2（1990－11）

基本尺寸范围（mm）	用于公差分类的极限偏差[1]												
	轴	孔与h9的轴相配导致							轴	孔与h11的轴相配导致			
		间隙配合					过渡配合			过渡配合			
	h9	C11	D10	E9	F8	H8	H11	J9/JS9[2]	P9	h11	A11	C11	D10	H11
≤3	0 －25	+120 +60	+60 +20	+39 +14	+20 +6	+14 0	+60 0	+12.5 －12.5	－6 －31	0 －60	+330 +270	+120 +60	+60 +20	+60 0
3～6	0 －30	+145 +70	+78 +30	+50 +20	+28 +10	+18 0	+75 0	+15 －15	－12 －42	0 －75	+345 +270	+145 +70	+78 +30	+75 0
6～10	0 －36	+170 +80	+98 +40	+61 +25	+35 +13	+22 0	+90 0	+18 －18	－15 －51	0 －90	+370 +280	+170 +80	+98 +40	+90 0
10～18	0 －43	+205 +95	+120 +50	+75 +32	+43 +16	+27 0	+100 0	+21.5 －21.5	－18 －61	0 －110	+400 +290	+205 +95	+120 +50	+110 0
18～30	0 －52	+240 +110	+149 +65	+92 +40	+53 +20	+33 0	+130 0	+26 －26	－22 －74	0 －130	+430 +300	+240 +110	+149 +65	+130 0
30～40	0 －62	+280 +120	+180 +80	+112 +50	+64 +25	+39 0	+160 0	+31 －31	－26 －88	0 －160	+470 +310	+280 +120	+180 +80	+160 0
40～50		+290 +130									+480 +320	+290 +130		
50～65	0 －74	+330 +140	+220 +100	+134 +60	+76 +30	+46 0	+190 0	+37 －37	－32 －106	0 －190	+530 +340	+330 +140	+220 +100	+190 0
65～80		+340 +150									+550 +360	+340 +150		
80～100	0 －87	+390 +170	+260 +120	+159 +72	+90 +36	+54 0	+220 0	+43.5 －43.5	－37 －124	0 －220	+600 +380	+390 +170	+260 +120	+220 0
100～120		+400 +180									+630 +410	+400 +180		
120～140	0 －100	+450 +200	+305 +145	+185 +85	+106 +43	+63 0	+250 0	+50 －50	－43 －143	0 －250	+710 +460	+450 +200	+305 +145	+250 0
140～160		+460 +210									+770 +520	+460 +210		
160～180		+480 +230									+820 +580	+480 +230		
180～200	0 －115	+530 +240	+355 +170	+215 +100	+122 +50	+72 0	+290 0	+57.5 －57.5	－50 －165	0 －290	+950 +660	+530 +240	+355 +170	+290 0
200～225		+550 +260									+1030 +740	+550 +260		
225～250		+570 +280									+1110 +820	+570 +280		
250～280	0 －130	+620 +300	+400 +190	+240 +110	+137 +56	+81 0	+320 0	+65 －65	－56 －186	0 －320	+1240 +920	+620 +300	+400 +190	+320 0
280～315		+650 +330									+1370 +1050	+650 +330		
315～355	0 －140	+720 +360	+440 +210	+265 +125	+151 +62	+89 0	+360 0	+70 －70	－62 －202	0 －360	+1560 +1200	+720 +360	+440 +210	+360 0
355～400		+760 +400									+1710 +1350	+760 +400		
400～450	0 －155	+840 +230	+480 +230	+290 +135	+165 +68	+97 0	+400 0	+77.5 －77.5	－68 －223	0 －400	+1900 +1500	+840 +440	+480 +230	+400 0
450～500		+880 +480									+2050 +1650	+880 +480		

1）粗体印刷的公差代号对应 DIN7157 中第 1 行；优先使用
2）J9/JS9，110/JS10 等的公差带尺寸相同，且关于零线对称

关注公众号：机械工程师成长营

常用公差

线性和角度尺寸的常用公差

cf. DIN ISO 2768 - 1 (1991 - 06)

公差分类	线性尺寸 公称尺寸范围的极限偏差 (mm)							
	0.5 到3	3 到6	6 到30	30 到120	120 到400	400 到1 000	1 000 到2 000	2 000 到4 000
f (精密级)	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	-
m (中等级)	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2
c (粗糙级)	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4
v (最粗级)	-	±0.5	±1	±1.5	±2.5	±4	±6	±8

公差分类	半径和倒角 公称尺寸范围的极限偏差 (mm)			角度尺寸 公称尺寸范围的极限偏差(度和分)(取形成角度的两边中较长的一边为基准,较短的一边为被测要素)				
	0.5 到3	3 到6	6	到10	10 到50	50 到120	120 到400	400
f (精密级) m (中等级)	±0.2	±0.5	±1	±1°	±0°30′	±0°20′	±0°10′	±0°5′
c (粗糙级)	±0.4	±1	±2	±1°30′	±1°	±0°30′	±0°15′	±0°10′
v (最粗级)				±3°	±2°	±1°	±0°30′	±0°20′

形状和位置公差

cf. DIN ISO 2768 - 2 (1991 - 04)

公差分类	未注公差值 (mm) 直线度和平面度 公称尺寸范围 (mm)						垂直度 公称尺寸范围 (mm) (取形成直角的两边中较长的一边为基准,较短的一边为被测要素)				对称度 公称尺寸范围 (mm) (取较长者为基准,较短者为被测要素)				其他
	≤10	10 到30	30 到100	100 到300	300 到1 000	1 000 到3 000	≤100	100 到300	300 到1 000	1 000 到3 000	≤100	100 到300	300 到1 000	1 000 到3 000	
H	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5				0.1
K	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.4	0.6	0.8	1	0.6		0.8	1	0.2
L	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6	0.6	1	1.5	2	0.6	1	1.5	2	0.5

线性和角度尺寸的常用公差，形状和位置公差

cf. DIN 7168 (1991 - 04)[1)]

- 不用于新设计 -

公差分类	线性尺寸 公称尺寸范围的极限偏差 (mm)								
	0.5 到3	3 到6	6 到30	30 到120	120 到400	400 到1000	1000 到2000	2000 到4000	4000 8000
f (精密级)	±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	-
m (中等级)	±0.1	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3
g (粗糙级)	±0.15	±0.2	±0.5	±0.8	±1.2	±2	±3	±4	±5
sg(最粗级)	-	±0.5	±1	±1.5	±2	±3	±4	±6	±8

公差分类	半径和倒角 公称尺寸范围的极限偏差 (mm)					角度尺寸 公称尺寸范围(取形成角度的两边中较长的一边为基准,较短的一边为被测要素)的极限偏差(度和分)				
	0.5 到3	3 到6	6 到30	30 到120	120 到400	到10	10 到50	50 到120	120 到400	400
f (精密级) m (中等级)	±0.2	±0.5	±1	±2	±4	±1°	±30′	±20′	±10′	±5′
c (粗糙级)	±0.2	±1	±2	±4	±8	±1°30′	±50′	±25′	±15′	±10′
sg(最粗级)						±3°	±2°	±1°	±30′	±20′

公差分类	公差 (mm) 公称尺寸范围内的直线度和平面度							对称度	其他
	≤6	6 到30	30 到120	120 到400	400 到1 000	1 000 到2 000	2 000 到 4 000	取较长者为基准, 较短者为被测要素	
R	0.004	0.01	0.02	0.04	0.07	0.1	-	0.3	0.1
S	0.008	0.02	0.04	0.08	0.15	0.2	0.3	0.5	0.2
T	0.025	0.06	0.12	0.25	0.4	0.6	0.9	1	0.5
U	0.1	0.25	0.5	1	1.5	2.5	3.5	2	1

1) 应用这些标准的目的是为了保持已有图形的综合性和易读性

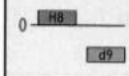
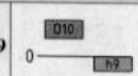
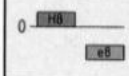
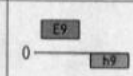
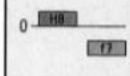
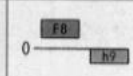
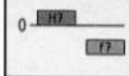
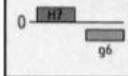
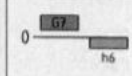
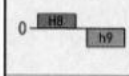
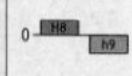
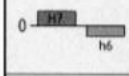
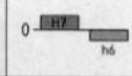
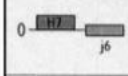
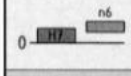
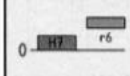
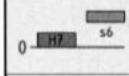
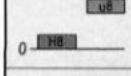
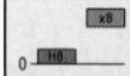
关注公众号：机械工程师成长营

优先配合及选择

优先配合[1] cf. DIN 7157（1966－01）

从第一行	C11/h9，D10/h9，E9/h9，F8/h9，H8/h7，F8/h6，H7/f7，H8/h9，H7/h6，H7/n6，H7/r6，H8/x8 or U8
从第二行	C11/h11，D10/h11，H8/d9，H8/e8，H7/g6，G7/h6，H11/h9，H7/j6，H7/k6，H7/s6

优先配合的选择（举例） cf. DIN 7157（1966－01）

基准孔[2]		特征/应用举例	基准轴[2]	
间隙配合				
	H8/d9	**松转动配合**： 间隙虑及相配零件的松配合 （如：轴上的间隔套）	**D10/h9**	
	H8/e8	**自由转动配合（中等转动配合）**： 考虑足够的间隙使装配容易 （如：轴环）	**E9/h9**	
	**H8/f7**	**间隙不大的转动配合**： 间隙使零件易于用手装配，且保持精确定位 （如：轴上的滑动轴承）	**F8/h9**	
	**H7/f7**	**滑动配合—自由**： 间隙虑及精确定位和运动，包括转动 （如：油缸中的活塞阀）	**F8/h6**	
	H7/g6	**滑动配合—约束**： 间隙虑及较好的位置精度，且仍可滑动或转动 （如：轴上的传动齿轮）	G7/h6	
	**H8/h9**	**最小间隙配合**： 考虑位置精度和非滑动配合的手工装配 （如：间隔套）	**H8/h9**	
	**H7/h6**	**定位间隙配合**： 考虑固定零件的滑动配合，可用手工装配 （如：冲床中的冲杆）	**H7/h6**	
过渡配合				
	H7/j6	**定位过渡配合—间隙**：用于精确定位，允许比过盈配合有更多的间隙 （如：轴上的齿轮）	未指定	
	**H7/n6**	**定位过渡配合—过盈**：精确定位的地方允许过盈 （如：钻模中的钻套）		
过盈配合				
	**H7/r6**	**定位过盈配合**：用于有刚性和对中/精确定位要求的零件，而对内孔无特别要求 （如：机架中的轴衬）	未指定	
	H7/s6	**中等压入配合**：适用于一般钢件，或用于薄壁件的冷缩配合。对于铸铁件来说是可用的最紧配合 （如：滑动轴承套）		
	**H8/u8**	**压入配合**：适用于可承受高压入力或冷缩配合的零件 （如：轴上的轮）		
	**H8/x8**	**极端压入配合**：用于只通过拉伸或冷缩装配的零件 （如：轴上的涡轮叶片）		

1）优先配合的偏差应只在例外情况下产生，如：滚动轴承的安装
2）粗体印刷的配合是根据第一行的公差组合，应优先使用

关注公众号：机械工程师成长营

滚动轴承配合，形状和位置公差

用于滚动轴承安装的公差

cf. DIN 5425 - 1 (1984 - 11)

向心轴承

内圈（轴）

负荷情形	配合	负载	轴的基本偏差	
			球轴承	滚子轴承
切向负荷	要求过渡或过盈配合	低	h,k	k,m
		中	j,k,m	k,m,n,p
		高	m,n	n,p,r
点负荷	允许间隙配合	任意大	j,h,g,f	

外圈（机架）

负荷情形	配合	负载	机架的基本偏差	
			球轴承	滚子轴承
点负荷	允许间隙配合	任意大	J,H,G,F	
切向负荷	要求过渡或过盈配合	低	J	K
		中	K,M	M,N
		高	–	N,P

推力轴承

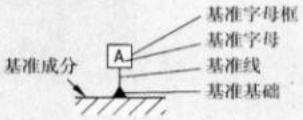
负载类型	轴承结构	轴垫圈(轴)		机架金属板(机架)	
		负载类型	轴的基本偏差	负载类型	机架的基本偏差
组合径向/轴向负荷	角接触球轴承 球形滚子轴承 圆锥滚子轴承	切向负荷	j,k,m	点负荷	H,J
		点负荷	j	切向负荷	K,M
纯轴向负荷	球轴承 滚子轴承	–	h,j,k	–	H,G,E

几何尺寸和公差标注（GD&T）

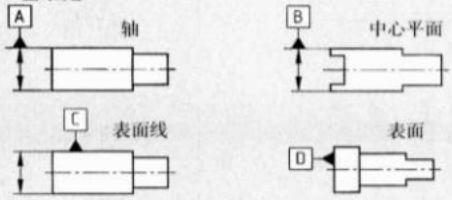
cf. DIN ISO 1101 (1985 - 03)

基准

· 标识

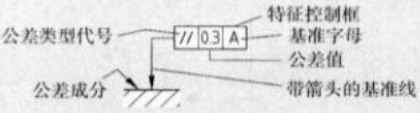


· 基准是

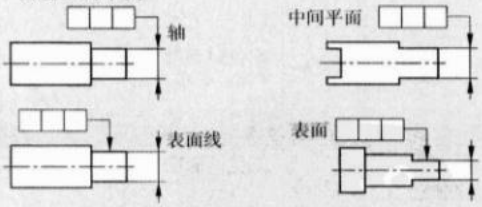


公差成分

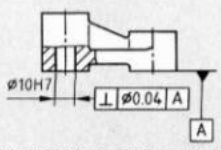
· 标识



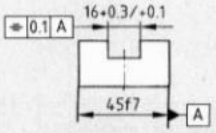
· 公差应用举例



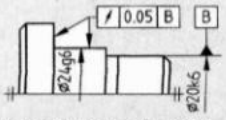
实例



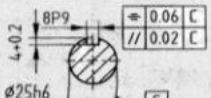
孔的轴线应垂直于基准面（公差值 0.04 mm）



槽的中心平面应对称于外表面的中心面。（公差值 0.1 mm）



圆柱面应共 ϕ20k6 的轴，端面应平坦。（公差值 0.05 mm）

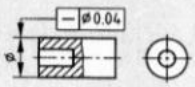
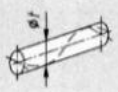
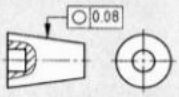
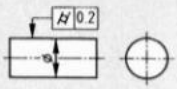
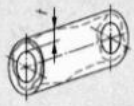
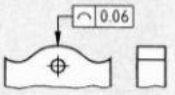
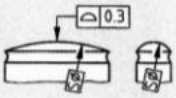
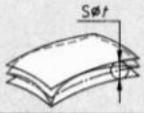
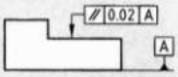
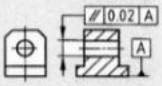
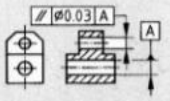
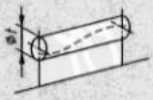
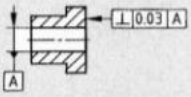
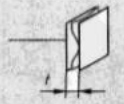
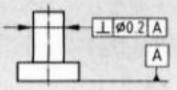
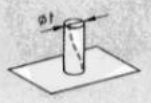


槽位置应对称（公差值 0.06 mm），且平行于 ϕ25h6 的轴（公差值 0.02 mm）

关注公众号：机械工程师成长营

几何尺寸和公差标注 GD&T

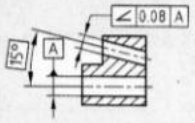
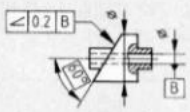
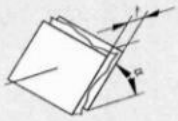
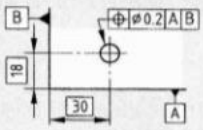
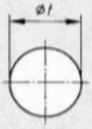
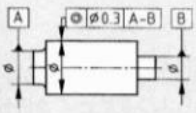
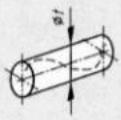
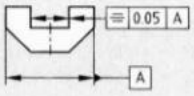
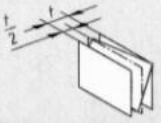
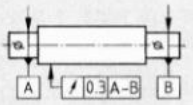
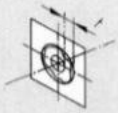
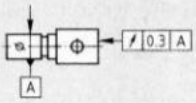
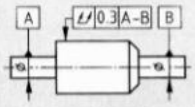
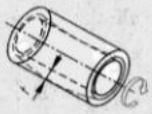
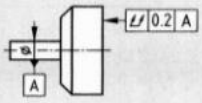
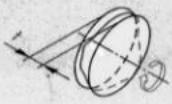
图样上的标注 cf. DIN ISO 1101（1985－03）

公差类型	形位特征代号		图样中的表达	说明	公差带
形状公差	—	直线度		轴的带公差的轴线应位于直径 $t=0.04$ mm 的圆柱内	
	▱	平面度		带公差的表面应位于间距 $t=0.03$ mm 的两平行平面内	
	○	圆度		每一次切削，平面应垂直于轴，带公差的圆周线应在间距为 $t=0.08$ mm 的同心圆内	
	⌭	圆柱度		带公差的圆柱面外形应位于间距为 $t=0.2$ mm 的同心圆柱内	
	⌒	线轮廓度		带公差的轮廓应位于两包络线间，它们的间距用直径 $t=0.06$ mm 的圆来界定。这些圆的中心位于真实轮廓线上	
	⌓	面轮廓度		带公差的轮廓应位于两包络面间，它们的间距用直径 $t=0.3$ mm 的球来界定。球的中心位于真实轮廓线上	
定向公差	//	平行度		带公差的表面应位于平行于基准 A 的两平面间，其间距为 $t=0.02$ mm	
				带公差的轴应位于平行于参考面 A 的两平面间，其间距为 $t=0.02$ mm	
				带公差的轴应位于直径 $t=0.03$ mm 的圆柱内，且与基准轴 A 平行	
	⊥	垂直度		带公差的表面应位于垂直于参考轴 A 的两平面内，其间距为 $t=0.03$ mm	
				圆柱的带公差的轴应位于直径为 $t=0.2$ mm 且与基准面 A 垂直的圆柱内	

关注公众号：机械工程师成长营

几何尺寸和公差标注 GD&T

图样上的标注　　cf. DIN ISO 1101（1985－03）

公差类型	形位特征代号		图样中的表达	说明	公差带
定向公差	∠	倾斜度		带公差的轴应位于间距 $t=0.08$ mm 的两平行线间，它们与基准轴 A 呈 15° 夹角	
				带公差的斜面应位于两平行平面间，它们倾斜于基准轴 B，彼此间距为 $t=0.2$ mm。几何理想角度为倾斜 60°	
定位公差	⌖	位置度		实际孔中心应位于直径为 $t=0.2$ mm 的圆内，圆的中心与点的理论准确位置一致	
	◎	同轴度		轴的带公差部分的轴线应位于与参考轴线 A－B 同轴，直径为 $t=0.3$ mm 的圆柱内	
	=	对称度		槽的带公差的中间平面应位于间距为 $t=0.05$ mm 的两平行平面间，它们相对于两外表面的中间平面对称分布	
圆跳动公差	↗	圆跳动度（径向）		当轴绕着参考轴 A—B 旋转时，每次与轴垂直的被测平面的跳动偏差不可超过 $t=0.3$ mm	
		横向圆跳动度		轴绕着参考轴 A 旋转时，在任一点测量的轴的跳动偏差不可超过 $t=0.3$ mm	
全跳动公差	⌰	全跳动度（径向）		当绕着参考轴 A—B 重复旋转和作轴向移动时，表面上所有的点应位于全跳动公差 $t=0.3$ mm 的范围内	
		横向全跳动度		当绕着参考轴 A 重复旋转和作径向移动时，表面上所有的点应位于全轴向跳动公差 $t=0.2$ mm 的范围内	

关注公众号：机械工程师成长营

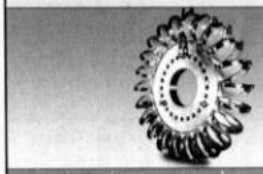
4　材料科学

钨（W）	19.27	3 390
锌（Zn）	7.13	419.5
锡（Sn）	7.29	231.9

碳钢	合金钢	不锈钢

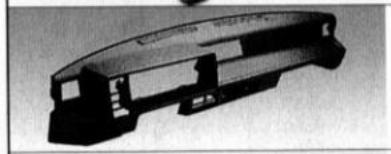
S235	16MnCr5	C60E
31CrMo12	Cf45	35S20
60WCrV8	X12Cr13	38Si7

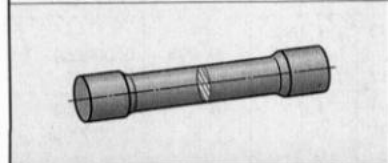














4.1　材料
固体的材料特性…… 116
固体、液体和气体的材料特性…… 117
元素周期表…… 118
金属工艺中的化学制品，基团，pH 值 …… 119

4.2　钢的命名系统
钢的定义和分类…… 120
材料牌号和钢的标记 … 121
钢的命名系统…… 122

4.3　钢的类型
概述…… 126
结构钢…… 128
表面淬火钢…… 132
调质钢…… 133
渗氮钢，火焰加热和感应加热表面淬火钢，易切削钢…… 134
冷作钢，热作钢，高速钢 …… 135
不锈钢…… 136
弹簧钢…… 138

4.4　成品钢
金属板带——分类，概述 …… 139
用于冷加工的冷轧板带 …… 140
冷轧和热轧板…… 141
机械结构用管，精密钢管 …… 142
热轧钢型材…… 143
热轧钢…… 144
光亮钢棒…… 145
结构 T 型钢，槽钢…… 146
角钢…… 147
中等宽和宽工字钢…… 149
宽工字钢和窄工字钢 … 150
管…… 151
质量线密度和质量面密度 …… 152

4.5　热处理
铁碳合金状态图…… 153
钢的热处理工艺概述 … 154
工具钢、表面淬火钢 … 155
火焰加热和感应加热表面淬火钢，调质钢…… 156
渗氮钢，易切削钢，铝合金…… 157

4.6　铸铁
命名系统…… 158
分类…… 159
片状和球状石墨铸铁 … 160
可锻铸铁，铸钢 …… 161

4.7　铸造技术
模型，模型设备和型芯盒 …… 162
允许收缩量，尺寸公差，造型和铸造方法…… 163

4.8　轻合金
铝，铝合金——概述 … 164
铝，可锻铝合金；标记和材料牌号…… 165
铝合金，可锻铝合金 … 166
可锻铝合金…… 167
铸铝合金…… 168
铝型材…… 169
镁和钛合金…… 172

4.9　重有色金属
概述…… 173
命名系统…… 174
铜合金…… 175
铜和精制锌合金…… 176

4.10　其他材料
组合材料，陶瓷材料 … 177
烧结金属 …… 178

4.11　塑料
概述 …… 179
基本聚合物，填料和加强材料 …… 180
辨识，明显特征 …… 181
热塑塑料（摘选）…… 182
热塑塑料的标记 …… 183
热固塑料，层压材料 … 184
弹性体，泡沫材料 … 185
塑料加工 …… 186
高温塑料、聚合混合物、增强纤维 …… 187

4.12　材料试验
材料试验方法——概述 …… 188
拉伸试验，拉伸试样 …… 190
剪切试验，冲击试验，杯突试验 …… 191
布氏硬度试验 …… 192
洛氏、维氏硬度试验 …… 193
马氏硬度试验、硬度值转换 …… 194
塑料试验 …… 195

4.13　腐蚀，防腐
腐蚀 …… 196

4.14　危险品
物质的处置* …… 197
危险品，危险气体* … 198
危险品，R－短语* … 199
危险品，S－短语* … 200

关注公众号：机械工程师成长营

固体的材料特性

固体材料

材料	密度 ρ (kg/dm³)	在1个标准大气压下的熔点 ϑ (℃)	在1个标准大气压下的沸点 ϑ (℃)	在1个标准大气压下的熔解潜热 q (kJ/kg)	温度为20℃时的热导率 λ [W/(m·K)]	温度在0℃~100℃的平均比热容 C [kJ/(kg·K)]	温度为20℃时的电阻率 ρ_{20} (Ω·mm²/m)	温度在0℃~100℃的线膨胀系数 α_l (1/℃或1/K)
铝(Al)，	2.7	659	2467	356	204	0.94	0.028	0.0000238
锑(Sb)，	6.69	630.5	1637	163	22	0.21	0.39	0.0000108
石棉	2.1~2.8	≈1300	–	–	–	0.81	–	–
铍(Be)，	1.85	1280	≈3000	–	165	1.02	0.04	0.0000123
铋(Bi)，	9.8	271	1560	59	8.1	0.12	1.25	0.0000125
镉(Cd)	8.64	321	765	54	91	0.23	0.077	0.00003
碳化物(K 20)，	14.8	>2000	≈4000	–	81.4	0.80	–	0.000005
碳，	3.51	≈3550	–	–	–	0.52	–	0.00000118
铸铁	7.25	1150~1200	2500	125	58	0.50	0.6~1.6	0.0000105
铬(Cr)，	7.2	1903	2642	134	69	0.46	0.13	0.0000084
钴(Co)，	8.9	1493	2880	268	69.1	0.43	0.062	0.0000127
焦炭	1.6~1.9	–	–	–	0.18	0.83	–	–
混凝土，	1.8~2.2	–	–	–	≈1	0.88	–	0.00001
康铜，	8.89	1260	≈2400	–	23	0.41	0.49	0.0000152
铜(Cu)	8.96	1083	≈2595	213	384	0.39	0.0179	0.0000168
软木，	0.1~0.3	–	–	–	0.04~0.06	1.7~2.1	–	–
金刚砂(Al_2O_3)，	3.9~4.0	2050	2700	–	12~23	0.96	–	0.0000065
CuAl 合金	7.4~7.7	1040	2300	–	61	0.44	–	0.0000195
CuSn 合金，	7.4~8.9	900	2300	–	46	0.38	0.02~0.03	0.0000175
CuZn 合金，	8.4~8.7	900~1000	2300	167	105	0.39	0.05~0.07	0.0000185
泡沫乳胶	0.06~0.25	–	–	–	0.04~0.06	–	–	–
玻璃(石英玻璃)，	2.4~2.7	520~550[1]	–	–	0.8~1.0	0.83	10^{18}	0.000009
金(Au)，	19.3	1064	2707	67	310	0.13	0.022	0.0000142
石墨(C)	2.26	≈3550	≈4800	–	168	0.71	–	0.0000078
油脂，	0.92~0.94	30~175	≈300	–	0.21	–	–	–
冰，	0.92	0	100	332	2.3	2.09	–	0.000051
碘(I)	5.0	113.6	183	62	0.44	0.23	–	–
铱(Ir)，	22.4	2443	>4350	135	59	0.13	0.053	0.0000065
氧化铁(铁锈)，	5.1	1570	–	–	0.58(粉末)	0.67	–	–
纯铁(Fe)	7.87	1536	3070	276	81	0.47	0.13	0.000012
铅(Pb)，	11.3	327.4	1751	24.3	34.7	0.13	0.208	0.000029
镁(Mg)，	1.74	650	1120	195	172	1.04	0.044	0.000026
镁合金	≈1.8	≈630	1500	–	46~139	–	–	0.0000245
锰(Mn)，	7.43	1244	2095	251	21	0.48	0.39	0.000023
钼(Mo)，	10.22	2620	4800	287	145	0.26	0.054	0.0000052
镍(Ni)	8.91	1455	2730	306	59	0.45	0.095	0.000013
铌(Nb)	8.55	2468	≈4800	288	53	0.273	0.217	0.0000071
磷，黄(P)	1.82	44	280	21	–	0.80	–	–
沥青煤	1.35	–	–	–	0.24	1.02	–	–
石膏，	2.3	1200	–	–	0.45	1.09	–	–
铂(Pt)，	21.5	1769	4300	113	70	0.13	0.098	0.000009
聚苯乙烯	1.05	–	–	–	0.17	1.3	10^{10}	0.00007
瓷	2.3~2.5	≈1600	–	–	1.6[2]	1.2[2]	10^{12}	0.000004
石英,打火石(SiO_2)	2.1~2.5	1480	2230	–	9.9	0.8	–	0.000008
硒,红(Se)	4.4	220	688	83	0.2	0.33	–	–
硅(Si)，	2.33	1423 温度大于3000℃时裂变为C和Si	2355	1658	83	0.75	$2.3 \cdot 10^9$	0.0000042
金刚砂(SiC)，	2.4				9[1]	1.05[1]	–	–
银(Ag)	10.5	961.5	2180	105	407	0.23	0.015	0.0000193

1) 变换温度 2) 在800℃

关注公众号：机械工程师成长营

固体、液体和气体的材料特性

固体材料

材料	密度 ρ (kg/dm³)	在1个标准大气压下的熔点 ϑ (℃)	在1个标准大气压下的沸点 ϑ (℃)	在1个标准大气压下的熔解潜热 q (KJ/kg)	温度为20℃时的热导率 λ [W/(m·K)]	温度在0℃~100℃的平均比热容 C [kJ/(kg·K)]	温度为20℃时的电阻率 ρ_{20} (Ω·mm²/m)	温度在0℃~100℃的线膨胀系数 α_l (1/℃或1/K)
钠(Na)	0.97	97.8	890	113	126	1.3	0.04	0.000071
碳素钢	7.85	≈1500	2500	205	48~58	0.49	0.14~0.18	0.0000119
合金钢	7.9	≈1500	–	–	14	0.51	0.7	0.0000161
硫磺(S),	2.07	113	344.6	49	0.2	0.70	–	–
钽(Ta),	16.6	2996	5400	172	54	0.14	0.124	0.0000065
锡(Sn)	7.29	231.9	2687	59	65.7	0.24	0.114	0.000023
钛(Ti),	4.5	1670	3280	88	15.5	0.47	0.08	0.0000082
钨(W),	19.27	3390	5500	54	130	0.13	0.055	0.0000045
铀(U)	19.1	1133	≈3800	356	28	0.12	–	–
钒(V)	6.12	1890	≈3380	343	31.4	0.50	0.2	–
木材(风干)	0.20~0.72	–	–	–	0.06~0.17	2.1~2.9	–	≈0.00004[2]
锌(Zn)	7.13	419.5	907	101	113	0.4	0.06	0.000029

液体材料

材料	温度为20℃时的密度 ρ (kg/dm³)	燃点温度 ϑ (℃)	在1个标准大气压下的凝固点 ϑ (℃)	在1个标准大气压下的沸点 ϑ (℃)	汽化[2]潜热 r (kJ/kg)	温度为20℃时的热导率 λ [W/(m·K)]	温度为20℃时的比热容 C [kJ/(kg·K)]	体胀系数 α_v (1/℃或1/K)
酒精95%	0.81	520	-114	78	854	0.17	2.43	0.0011
柴油机燃料	0.81~0.85	220	-30	150~360	628	0.15	2.05	0.00096
乙基醚($C_2H_5)_2O$	0.71	170	-116	35	377	0.13	2.28	0.0016
燃料油	≈0.83	220	-10	>175	628	0.14	2.07	0.00096
汽油	0.72~0.75	220	-30~-50	25~210	419	0.13	2.02	0.0011
机油	0.91	400	-20	>300	–	0.13	2.09	0.00093
汞(Hg)	13.5	–	-39	357	285	10	0.14	0.00018
石油	0.76~0.86	550	-70	>150	314	0.13	2.16	0.001
蒸馏水	1.00[3]	–	0	100	2256	0.60	4.18	0.00018

1)大于1 000℃ 2)在沸点和0.013 bar气压下 3)在4℃

气体材料

材料	在0℃,1个标准大气压下的密度 ρ (kg/dm³)	相对密度[1] ρ/ρ_L	在1个标准大气压下的凝固点 ϑ (℃)	在1个标准大气压下的沸点 ϑ (℃)	温度为20℃时的热导率 λ [W/(m·K)]	相对热导率[2] λ/λ_A	在20℃,1个标准大气压下的比热 C_p[3] [KJ/(kg·K)]	在20℃,1个标准大气压下的比热 C_V[4] [KJ/(kg·K)]
乙炔(C_2H_2)	1.17	0.905	-84	-82	0.021	0.81	1.64	1.33
空气	1.293	1.0	-220	-191	0.026	1.00	1.005	0.716
氨(NH_3)	0.77	0.596	-78	-33	0.024	0.92	2.06	1.56
丁烷(C_4H_{10})	2.70	2.088	-135	-0.5	0.016	0.62	–	–
二氧化碳(CO_2)	1.98	1.531	-57[5]	-78	0.016	0.62	0.82	0.6
一氧化碳(CO)	1.25	0.967	-205	-190	0.025	0.96	1.05	0.75
氟利昂(CF_2Cl_2)	5.51	4.261	-140	-30	0.010	0.39	–	–
氢(H_2)	0.09	0.07	-259	-253	0.180	6.92	14.24	10.10
甲烷(CH_4)	0.72	0.557	-183	-162	0.033	1.27	2.19	1.68
氮(N_2)	1.25	0.967	-210	-196	0.026	1.00	1.04	0.74
氧(O_2)	1.43	1.106	-219	-183	0.026	1.00	0.91	0.65
丙烷(C_3H_8)	2.00	1.547	-190	-43	0.018	0.69	–	–

1)相对密度=气体的密度 ρ 除以空气密度 ρ_A
2)相对热导率=气体的热导率 λ 除以空气的热导率 λ_A
3)在恒压情况 4)在恒定体积情况 5)在5.3 bar气压下

关注公众号：机械工程师成长营

元素周期表

周期	主族 IA	主族 IIA	过渡元素 IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIIIB			IB	IIB	主族 IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1	1 H 氢 1.008																	2 He 氦 4.002
2	3 Li 锂 6.941	4 Be 铍 9.012											5 B 硼 10.811	6 C 碳 12.011	7 N 氮 14.007	8 O 氧 15.999	9 F 氟 18.998	10 Ne 氖 20.179
3	11 Na 钠 22.989	12 Mg 镁 24.305											13 Al 铝 26.982	14 Si 硅 28.086	15 P 磷 30.974	16 S 硫 32.066	17 Cl 氯 35.453	18 Ar 氩 39.948
4	19 K 钾 39.102	20 Ca 钙 40.078	21 Sc 钪 44.950	22 Ti 钛 47.880	23 V 钒 50.942	24 Cr 铬 51.996	25 Mn 锰 54.938	26 Fe 铁 55.847	27 Co 钴 58.933	28 Ni 镍 58.690	29 Cu 铜 63.546	30 Zn 锌 65.390	31 Ga 镓 69.732	32 Ge 锗 75.590	33 As 砷 74.922	34 Se 硒 78.960	35 Br 溴 79.904	36 Kr 氪 83.800
5	37 Rb 铷 85.468	38 Sr 锶 87.620	39 Y 钇 88.906	40 Zr 锆 91.224	41 Nb 铌 92.906	42 Mo 钼 95.940	43 Tc 锝 (98)	44 Ru 钌 101.070	45 Rh 铑 102.906	46 Pd 钯 106.420	47 Ag 银 107.868	48 Cd 镉 112.410	49 In 铟 114.820	50 Sn 锡 118.710	51 Sb 锑 121.750	52 Te 碲 127.600	53 I 碘 126.905	54 Xe 氙 131.290
6	55 Cs 铯 132.905	56 Ba 钡 137.340	71 Lu 镥 174.967	72 Hf 铪 178.490	73 Ta 钽 180.948	74 W 钨 183.850	75 Re 铼 186.207	76 Os 锇 190.200	77 Tr 铱 192.200	78 Pt 铂 195.080	79 Au 金 196.967	80 Hg 汞 200.590	81 Ti 铊 204.383	82 Pb 铅 207.200	83 Bi 铋 208.980	84 Po 钋 210	85 At 砹 210	86 Rn 氡 222
7	87 Fr 钫 223	88 Ra 镭 226.025	103 Lr 铹 (260)	104* Rf 𨧀* (261)	105* Ha 𨨏* (262)	106* Sg 𨭆* (263)	107* Ns 𨨨* (264)	108* Hs 𨭉* (265)	109* Mt 鿏* (266)									

原子序数(=质子数) — 11 Na 钠 22.989 — 字母符号；元素名称；温度为 273 K (0°C)，压强为1个标准大气压的状态

相对原子质量

红色指放射性元素，如 222

圆括号指人造元素，如 (261)

固体：黑色印刷
液体：棕色印刷
气体：蓝色印刷

- 元素 **104**: 也称 Kurtschatovium (**Ku**) 或 Dubnium (**Db**);
- 元素 **105**: 也称 Joliotium; • 元素 **106**: 也称 Unilhexium (**Unh**);
- 元素 **107**: 也称 Bohrium (**Bh**) 或 Unilsptium (**Uns**);
- 元素 **108**: 也称 Hahnium (**Hn**) 或 Uniloctium (**Uno**);
- 元素 **109**: 也称 Unilenneadium (**Une**)

镧系 57–71	57 La 镧 138.906	58 Ce 铈 140.120	59 Pr 镨 140.908	60 Nd 钕 144.240	61 Pm 钷 145	62 Sm 钐 150.360	63 Eu 铕 151.960	64 Gd 钆 157.250	65 Tb 铽 158.925	66 Dy 镝 162.500	67 Ho 钬 164.930	68 Er 铒 167.260	69 Tm 铥 168.934	70 Yb 镱 173.040
锕系 89–103	89 Ac 锕 227.028	90 Th 钍 232.038	91 Pa 镤 231.036	92 U 铀 238.029	93 Np 镎 237	94 Pu 钚 244	95 Am 镅 (243)	96 Cm 锔 (247)	97 Bk 锫 (247)	98 Cf 锎 (251)	99 Es 锿 (252)	100 Fm 镄 (257)	101 Md 钔 (258)	102 No 锘 (260)

非金属
类金属
轻金属
重金属
贵金属
卤 素
惰性气体

关注公众号：机械工程师成长营

金属工艺中的化学制品，基团，pH 值

金属工艺中的重要化学制品

技术名称	化学名称	分子式	性能	应用
丙酮	丙酮	$(CH_3)_2CO$	无色，易燃，易挥发性液体	用作油漆，乙炔和塑料的溶剂
乙炔	乙炔	C_2H_2	高电抗性，无色气体，高爆炸性	用作焊接的燃料，塑料的原材料
水溶清洁剂	各种表面活性剂	—COO— —OSO_3— —SO_3—	各种水溶物质	溶剂，清洗剂，乳化剂和增稠剂
碳酸	二氧化碳	CO_2	水溶解，不燃烧气体，在 -78℃凝固	MAG 焊接用保护气，作为制冷剂的干冰
四氯化碳	四氯化碳	CCl_4	无色，不燃烧液体，对健康有害	用作脂肪，油和油漆的溶剂
清洗剂	有机溶剂	C_nH_{2n+2}	无色，有时轻度燃烧液体	用作脂肪，油和清洗剂的溶剂
硫酸铜	硫酸铜	$CuSO_4$	蓝色，水溶解晶体，中等毒性	电镀浴，病虫害防治，用于画线
金刚砂	氧化铝	Al_2O_3	很硬的无色晶体，熔点为 2 050℃	磨削和抛光剂，氧化物陶瓷材料
普通酒精	普通酒精，变性	C_2H_5OH	无色，轻度燃烧液体，沸点 78℃	溶剂，清洗剂，用于加热目的，燃料添加剂
盐酸	盐酸	HCl	无色，刺激性气味，强酸	金属的蚀刻和酸洗，化学制品的制造
碳酸水	碳酸钠	Na_2CO_3	无色晶体，轻度水溶解，碱性	脱脂和清洗浴，软化水
氨水	氢氧化铵	NH_4OH	无色，刺激性气味液体，弱碱液	清洗剂（脂肪溶解），酸的中和
硫酸	硫酸	H_2SO_4	无色，油性，无臭液体，强酸	金属的酸洗，电镀浴，蓄电池
精制食盐	氯化钠	NaCl	无色，结晶盐，轻度水溶解	调味品，用于冷冻混合物，氯气提取

常见基团

基团		描述	举例	
名称	分子式		名称	分子式
碳化物	═C	碳化合物；某种程度上很硬	金刚砂	SiC
碳酸盐	═CO_3	碳酸化合物，热的附加，产生 CO_2	碳酸钙	$CaCO_3$
氯化物	—Cl	盐酸盐；通常溶解于水	氯化钠	NaCl
氢氧化物	—OH	金属氧化物和水作用产生氢氧化物；为碱性	氢氧化钙	$Ca(OH)_2$
硝酸盐	—NO_3	硝酸盐；通常溶解于水	硝酸钾	KNO_3
氮化物	═N	氮化合物；其中某些很硬	硅氮化物	SiN
氧化物	═O	氧化合物；地球上最常出现的基团	氧化铝	Al_2O_3
硫酸盐	═SO_4	硫酸盐；通常溶解于水	硫酸铜	$CuSO_4$
硫化物	═S	硫化合物；重要矿石，易切削钢中破裂碎片	铁硫化物	FeS

pH 值

水溶液类型	← 酸性增加						中性	碱性增加 →							
pH 值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
H^+ 浓度 (g/l)	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}

关注公众号：机械工程师成长营

钢的定义和分类

cf. DIN EN 10020(2000-07)

钢：含铁合金作为主要成分，且碳含量低于2.0%

微结构：微结构成分，如：铁素体，珠光体，碳化物和晶体结构，如：细晶粒钢，粗晶粒钢，带钢，确定钢的性能，如：强度，韧性，可塑性，可加工性，可焊接性

由此产生影响

钢产品

成分	纯度	脱氧
-碳含量 -合金元素	-非金属包含物 -磷和硫含量	镇边 半脱氧或脱氧 铸造

后续加工

例如：
- **成形**：轧，冲压，拉延，弯曲等
- **热处理**：淬火和回火，表面硬化等
- **退火**：正火，球化处理，完全退火等
- **接缝**：定位焊接，铜焊接等
- **涂层**：镀锌等

分类

碳钢

根据表1，没有一种合金成分达到极限值

合金钢

- 根据表1，至少一种合金成分达极限值
- 钢的种类，不符合不锈钢的定义

不锈钢[1)]

- 铬含量至少10.5%
- 碳含量最大1.2%

根据主要特征分类为：
- 耐蚀钢
- 耐热钢
- 高温钢

分类

优质钢	高级钢

高级钢不同于优质钢，因为：
- 更仔细的生产
- 更高的纯度等级
- 改良的脱氧
- 更精确的成分
- 提高的淬透性

表1　碳钢的极限值

元素	%	元素	%	元素	%
Al	0.30	Mn	1.65	Se	0.10
Bi	0.10	Mo	0.08	Si	0.60
Co	0.30	Nb	0.06	Ti	0.05
Cu	0.40	Ni	0.30	V	0.10
Cr	0.30	Pb	0.40	W	0.30

主要等级

优质碳素钢		优质合金钢	
钢组(摘录)	例	钢组(摘录)	例
碳素结构钢	S235JR	钢轨钢	R0900Mn
调质处理的碳钢	C45	磁钢板带	M390-50E
易切削钢	10S20	有高屈服强度的微合金钢	H400M
细晶粒可焊碳钢	S275N	有高屈服强度的磷合金钢	H180P
压力容器用碳钢	P235GH		

高级碳素钢		高级合金钢	
钢组(摘录)	例	钢组(摘录)	例
调质处理的碳钢	C45E	调质处理的合金钢	42CrMo4
表面淬火碳素钢	C15E	表面淬火合金钢	16MnCr5
碳素工具钢	C45U	渗氮钢	34CrAlNi7
		合金工具钢	X40Cr14
火焰加热和感应加热表面淬火碳素钢	Cf53	高速钢	HS6-5-2-5

1)不锈钢有自己的组别。它们是合金钢，因此没有被分类为优质或高级钢

关注公众号：机械工程师成长营

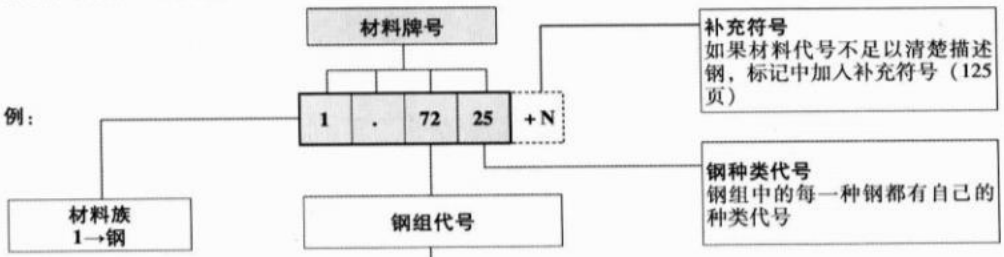
材料牌号和钢的标记

材料牌号 cf. DIN EN 10027－2（1992－09）代换 DIN 17007[1)]

用钢标记（122 页）和材料牌号来确定和区分钢

	标记		材料牌号（带附加符号 + N）
钢的标记（举例）	**42CrMo4 + N**	或	**1.7225 + N**

材料牌号包含 6 个字符数字（5 个数字字符和一个小数点）。它们比标记更适于进行数据处理



碳素钢		合金钢	
钢组代号	钢组[2)]	钢组代号	钢组
优质钢		**优质钢**	
01，91	普通结构钢，R_m < 500N/mm²	08，98	有特殊物理特性的钢
02，92	其他结构钢，没有指定用于热处理，R_m < 500 N/mm²	09，99	各种应用领域用的钢
03，93	C < 0.12%或 R_m < 400 N/mm² 的钢	**高级钢**	
04，94	0.12% ≤ C < 0.25%或 400 N/mm² ≤ R_m < 500 N/mm² 的钢	20～28	合金工具钢
05，95	0.25% ≤ C < 0.55%或 500 N/mm² ≤ R_m < 700 N/mm² 的钢	32	不含钴的高速钢
06，96	C ≥ 0.55%或 R_m ≥ 700 N/mm² 的钢	33	含钴的高速钢
07，97	带高磷和硫含量的钢	35	滚子轴承钢
高级钢		36，37	有特殊磁性的钢
10	有特殊物理特性的钢	38，39	有特殊物理特性的钢
11	C < 0.5%的结构钢，机件钢和容器钢	40～45	不锈钢
12	C ≥ 0.5%的机件钢	46	镍合金，化学稳定，高温
13	带专用要求的结构钢，机件钢和容器钢	47，48	耐热钢
15～18	碳素工具钢	49	高温材料
		50～84	带各种合金化合物的结构钢，机件钢和容器钢
		85	渗氮钢
		87～89	高强度可焊钢

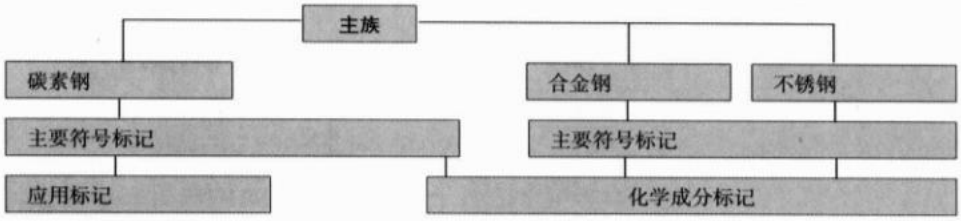
1) 从 DIN17007 到 DIN EN 10027－2 的转换，材料牌号保持不变
2) C 碳，R_m 拉伸强度
拉伸强度 R_m 和碳含量 C 的值为平均值

关注公众号：机械工程师成长营

钢的命名系统

cf. DIN EN 10027－1（1992－09）和 DIN V 17006－100（1993－11）

钢和铸钢的标记包括主要代号（DIN EN 10027－1）和补充代号（DIN V17006－100），它们总是在一起使用。



见此页，123 和 124 页　　见 125 页

应用标记；举例和系统化

应用	主要符号		补充符号		钢产品的补充符号
			组 1	组 2	
钢结构用钢	S	235	J2G3		
机械结构用钢	E	360	G	C	
压力容器结构用钢	P	265	N	H	
高强钢的扁平轧制产品	H	420	M		
冷加工用扁平轧制产品	DX	52	D	–	+Z
包装钢，板带	T	660	–	–	+SE
管道用钢	L	360	N		
混凝土加强钢	B	500	H	–	
预应力钢	Y	1770	C		
磁性钢，板带	M	400	–50A		
钢轨钢	R	0880	Mn		

主要符号		补充符号 组 1	补充符号 组 2	钢产品的附加符号
用于钢组的代码字母	文字数字式字符，如：用来标记机械性能	文字数字式字符，如：用来标记 ——槽口冲击能 ——热处理 ——应用 ——脱氧	文字数字式字符；仅允许与组 1 结合，如：用来标记可使用性	文字数字式字符用一加号（+）与以前的符号划界（124 页）

结构钢

S	最小厚度产品的最小屈服强度 R_e（N/mm^2）	槽口冲击能（J）			测试温度（℃）	C 有特殊冷加工性 D 热浸涂层 E 上釉术 F 锻造 L 用于低温 M 形变热处理 N 正火或标准轧制 O 用于近海（海洋应用） Q 调质 S 用于造船 T 用于管道 W 有气候抵抗力	从表 A，B 和 C，124 页，如：+C +F +H +Z +ZE
		27 J	40 J	60 J			
		JR	KR	LR	+20		
		J0	K0	L0	0		
		J2	K2	L2	–20		
		J3	K3	L3	–30		
		J4	K4	L4	–40		
		J5	K5	L5	–50		
		J6	K6	L6	–60		
		A：沉淀硬化 G1—G4：说明，见机械结构用钢，第 123 页					

⇒　S235J2G3：钢结构钢（S），R_e = 235N/mm^2（235），在 –20 ℃时的槽口冲击能 27J，脱氧铸件（G3，见 123 页）

关注公众号：机械工程师成长营

钢的命名系统

cf. DIN EN 10027－1（1992－09）和 DIN V 17006－100（1993－11）

应用标记（续）

主要符号		补充符号		钢产品的补充符号
字母	性能	组1	组2	
机械结构用钢				
E	最小厚度产品的最小屈服强度 R_e（N/mm^2）	G1 轮缘铸件 G2 半脱氧铸件 G3 脱氧铸件 G4 脱氧铸件和特殊供给条件	C 有特殊冷加工性	查表B，124页，如：+A +QT
⇒	**E360C**：机件钢（E），R_e = 360 N/mm^2（360），有特殊冷加工性（C）			
压力容器结构用钢				
P	最小厚度产品的最小屈服强度 R_e（N/mm^2）	M 形变热处理 N 正火或标准轧制 Q 调质 B 高压气筒 S 简单压力容器	H 高温应用 L 低温应用 R 室温应用 X 高温和低温应用	查表A，B，C 124页，如：+T
⇒	**P265NH**：压力容器用钢（P），R_e = 265 N/mm^2（265），正火或标准轧制（N），适于高温（H）			
高强度钢制的冷轧板				
H	最小屈服强度 R_e（N/mm^2）	M 热变形轧制和冷轧 B 烘焙硬化 P 磷合金 X 双相 Y 无间隙原子钢（IF钢）	D 热浸涂层	查表C，124页，如：+ZE
HT	最小拉伸强度 R_m（N/mm^2）			
⇒ ⇒	**H420M**：高强度钢制的冷轧板（H），R_e = 420 N/mm^2（420），热变形轧制和冷轧（M） **HT560M + ZE**：高强度钢制的冷轧板（H），R_e = 560 N/mm^2（560），热变形轧制和冷轧（M），电镀锌			
冷加工用轧制板料				
D	两字母代号	D 热浸涂层 EK 用于常规上釉术 ED 用于直接上釉术 T 用于管道 专用元素的化学符号，如：Cu	不提供符号	查表B和C，124页，如：+ZE +Z
DC	冷轧，两字母代号			
DD	热轧，两字母代号			
DX	未指定轧制条件，两字母代号			
⇒ ⇒	**DX52D + Z**：冷加工用板料（D），不带轧制规格（X），代号52，用于热浸涂层（D），热浸镀锌（+Z） **DC02 + ZE**：冷加工用板料（D），冷轧（C），代号02，电镀锌（+ZE）			
混凝土加强钢				
B	最小厚度产品的最小屈服强度 R_e（N/mm^2）	N 中等均匀伸长 H 高均匀伸长	不提供符号	查表C，124页
⇒	**B500H**：混凝土加强钢（E），R_e = 500 N/mm^2（500），高均匀伸长（H）			

关注公众号：机械工程师成长营

钢的命名系统

cf. DIN EN 10027－1（1992－09）和 DIN V 17006－100（1993－11）

应用标记（续）

主要符号		补充符号		钢产品的补充符号
字母	性能	组1	组2	
包装钢，板带				
T	双面轧制产品的名义屈服强度 $R_{p0.2}$	不提供符号	不提供符号	查表B和C，见下面， 如：+SE +CE
TH	单面轧制产品的指定平均硬度值			
⇒	**T660 + SE**：锡板，双面轧制（T），$R_{p0.2}$ = 660 N/mm²（660），电镀锡（+SE）			
⇒	**TH52 + CE**：未镀锡的黑钢板（TH），硬度等级52，单面轧制，专用的电镀铬（+CE）			
管道用钢				
L	最小厚度产品的最小屈服强度 R_e（N/mm²）	M 形变热处理 N 正火或标准轧制 Q 调质	要求的等级，如果需要用数字	查表A，B和C，见下面
⇒	**L360N**：管道用钢（L），R_e = 360 N/mm²（360），正火（N）			

钢产品的补充符号

cf. DIN V 17006－100（1993－11）

表A，B和C中，标准DIN V 17006－100提供补充符号
相应钢产品的标准，如：各种板料或管，可包含更多补充符号

表A：对于特殊要求

+C 粗晶粒钢	+F 细晶粒钢	+H 带特殊可淬性
+Z15 在垂直表面区域最小轧制15%	+Z25 在垂直表面区域最小轧制25%	+Z35 在垂直表面区域最小轧制35%

表B：对于处理状态[1)]

+A 球化	+HC 热冷加工	+Q 淬火或硬化
+AC 退火以产生球状碳化物	+LC 轻二次冷拉或轻冷轧道次（表皮光轧）	+QA 空气淬硬
+AT 固溶退火	+M 热变形轧制	+QO 油淬硬
+C 冷作硬化	+N 正火	+QT 调质
+Cnnn 冷作硬化到最小拉伸强度 nnn N/mm²	+NT 正火和回火	+QW 水淬硬
+CR 冷轧		+S 用于冷剪切
		+ST 固溶退火
		+T 回火
		+U 未处理

1）为避免与表A和C中的其他符号混淆，处理状态的补充符号可加前缀字母T
如：+TA

表C：对于涂层类型[2)]

+A 热浸铝涂层	+OC 有机涂层（卷材涂料）	+Z 热浸镀锌
+AR 铝轧制胶粘覆层	+S 热浸涂锡	+ZA Zn－Al合金涂层
+AS Al-Si合金涂层	+SE 电镀锡	+ZE 电镀锌
+AZ Al-Zn合金涂层		
+CE 特殊电镀铬	+T 带Pb-Sn合金（镀铅锡铁板）的热浸镀锌	+ZF Zn涂层的扩散退火
+CU 铜涂层	+TE 带Pb-Sn合金的电镀涂层	+ZN Zn-Ni涂层
+IC 无机涂层		

2）为避免与表A和B中的其他符号混淆，涂层类型的补充符号可加前缀字母S
如：+SA

关注公众号：机械工程师成长营

钢的命名系统

cf. DIN EN 10027－1（1992－09）和 DIN V 17006－100（1993－11）

化学成分的标记，举例和分类

化学成分	主要符号		附加符号	钢产品的附加符号
Mn 含量 <1% 的碳素钢，除易切削钢	C	35	E4	+QT
Mn 含量 >1% 的碳素钢	–	28Mn6	–	
易切削碳素钢	–	11SMn30		
单个合金元素含量小于 5% 的合金钢	–	31CrMo V5－9	–	
合金钢（除了高速钢），至少一种合金元素的平均含量大于 5%	X	5CrNi18－10	–	+AT
高速钢	HS	2－9－1－8	–	

主要符号		附加符号	钢产品的补充符号
钢组的代码字母	文字数字式字符用来标记 －碳含量 －合金元素	文字数字式字符，如：用来标记应用	文字数字式字符，用加（+）号与前缀数字隔开

Mn 含量 <1% 的碳素钢，除易切削钢

C	碳含量代号，代号 = 100 × C 的平均含量	E 指定最大 S 含量[1)] R 指定 S 含量范围[1)] D 用于拔丝	C 有特殊冷加工性 S 用于弹簧 U 用于工具 W 用于焊条	查表 B，124 页，如：+QT +A
		G1～G4：对于解释，见机械结构钢，123 页 1）E 和 R 后的代码 = 硫含量 ×100		
⇒	C35E4 + QT：碳素钢，含碳量 0.35%（C35），最大 S 含量 =0.04%（E4），调质（+QT）			

Mn 含量 >1% 的碳素钢，易切削碳素钢，单个合金元素含量小于 5% 的合金钢（除了高速钢）

–	碳含量代号，代号 = 100 × C 的平均含量	合金元素符号，元素的平均含量的代号，代号 = 平均含量 × 系数	不提供符号	查表 A 和 B，124 页，如：+U +A +N +QT

元素	系数
Cr,Co,Mn,Ni,Si,W	4
Al,Be,Cu,Mo,Nb,Pb,Ta,Ti,V,Zr	10
C,Ce,N,P,S	100
B	1000

⇒	28Mn6 + QT：碳素钢，含碳量 0.28%（28），含 Mn 量 1.5%（6），调质（+QT）

合金钢（除了高速钢），至少一种合金元素的平均含量大于 5%

X	碳含量代号，代号 = 100 × C 的平均含量	合金元素符号，代号表示元素的平均含量，用连字符分隔	不提供符号	查表 A 和 B，124 页，如：+A +AT
⇒	X5CrNi18－10 + A：合金钢，含碳量 0.05%，含铬量 18%，含镍量 10%，球化（+A）			

高速钢

HS	–	用连字符分隔的数字，按下列顺序表示百分含量： 钨－钼－钒－钴	不提供符号	查表 B，124 页，如：+QA
⇒	HS2－9－1－8：高速钢，含 W 量 2%，含 Mo 量 9%，含 V 量 1%，含 Co 量 8%			

关注公众号：机械工程师成长营

概 述							
子群，交货条件	标准	主要特性	应用领域	产品形式[1]			
				S	B	T	W
碳素结构钢，热轧							130 页
钢材和机械结构用钢	DIN EN 10025	• 机械加工性好 • 可焊接，除 S185 • 冷和热加工	钢和机械结构中的焊接结构，简单机械零件	•	•	•	•
机械结构用钢		• 可加工的 • 不能焊接 • 冷和热加工	不带热处理的机械零件，如：通过淬火，调质	•	•	–	•
焊接用细粒结构钢							131 页
正　火	DIN EN 10113 – 1	• 可焊接 • 可热加工	钢和机械结构中的高韧性焊接，抗脆性断裂和老化稳定性	•	•	•	•
热变形轧制	DIN EN 10113 – 2	• 可焊接 • 不能热加工		•	•	–	•
有高屈服强度的调质结构钢							131 页
合金钢	DIN EN 10113 – 1	• 可焊接 • 可热加工	钢和机械结构中的高强度焊接	•	–	–	–
调质钢							133 页
优质碳素钢	DIN EN 10083 – 2	• 在球化条件下，机械加工性好 • 可热加工 • 可硬化（不带合金的优质钢结果不确定）	高强度零件，不能硬化	•	•	–	•
高级碳素钢	DIN EN 10083 – 1		高强度和好韧性的零件	•	•	–	•
合金钢			韧性好的高应力零件	•	•	–	•
表面淬火钢							132 页
碳素钢	DIN EN 10084	• 在球化条件下，机械加工性好 • 可热加工 • 表面渗碳后可表面淬火	带抗磨损表面的小零件	•	•	–	•
合金钢			带抗磨损表面的承受动态应力的零件	•	•	–	•
火焰加热及感应加热表面淬火钢							134 页
碳素钢	DIN 17212	• 在球化条件下，机械加工性好 • 可热加工 • 可直接淬火；可淬硬工件的个别区域如齿面 • 硬化前工件的淬火和回火	带低核心强度的零件，但特殊区域硬化	•	•	–	•
合金钢			带高核心强度的大零件和特殊区域的硬化	•	•	–	•
渗氮钢							134 页
合金钢	DIN EN 10085	• 在球化条件下，机械加工性好 • 通过氮合成元素来硬化，最低淬火变形 • 渗氮前工件的淬火和回火	带增加疲劳强度的零件，零件受磨损，承受温度达 500 ℃	•	•	–	•
弹簧钢							138 页
碳素钢和合金钢	DIN EN 10270 DIN EN 10089	• 冷或热加工 • 高弹性成形性 • 高疲劳强度	板簧，螺旋弹簧，碟形弹簧，扭力杆	–	–	–	•

1）产品形式：S 板料，带材　　B 棒，如：扁钢，方钢和圆钢
W 钢丝　　P 型材，如：槽钢，角钢，T 型钢

关注公众号：机械工程师成长营

概述							
子群，交货条件	标准	主要特性	应用领域	产品形式[1]			
				S	B	P	W
易切削钢							134 页
未热处理钢	DIN EN 10087	• 最佳机械加工性（短碎屑） • 不可焊接 • 对表面硬化或淬火和回火的反应可能不相同	质块制造成低强度要求的回转零件	–	•	–	•
表面淬火的易切削钢	DIN EN 10087		如碳素表面淬火钢；较好的机械加工性	–	•	–	•
调质易切削钢	DIN EN 10087		如碳素调质钢；机械加工性较好，疲劳强度较小	–	•	–	•
工具钢							135 页
冷作钢，碳素	DIN EN ISO 4957	• 在球化条件下，机械加工性好 • 可不切削冷和热加工 • 完全淬火，最大直径达 10 mm	在操作温度达 200℃ 时，用于切削和非切削成形的低应力工具	•	•	•	•
冷作钢，合金	DIN EN ISO 4957	• 在球化条件下可机械加工 • 可热加工 • 比碳素冷作钢有更大的表面淬火深度，更高的强度和抗磨损力	在操作温度大于 200 ℃ 时，用于切削和非切削成形的高应力工具	•	•	–	•
热作钢	DIN EN ISO 4957	• 在球化条件下可机械加工 • 可热加工 • 淬火覆盖整个断面	在操作温度大于200℃时，用于非切削成形的工具	•	•	–	•
高速钢	DIN EN ISO 4957	• 在球化条件下可机械加工 • 可热加工 • 淬火覆盖整个断面	切削工具用切削材料，操作温度达 600 ℃，高应力成形工具	•	•	–	•
不锈钢							136，137 页
铁素体钢	DIN 10022 – 2，DIN EN 10088 – 3	• 可机械加工 • 较好的冷加工性 • 可焊接 • 热处理不增加强度	低应力不锈零件；具有高抗氯诱导应力和抗腐蚀断裂的零件	•	•	•	•
奥氏体钢	DIN 10022 – 2，DIN EN 10088 – 3	• 可机械加工 • 很好的冷加工性 • 可焊接 • 热处理不增加强度	高抗腐蚀性能的不锈零件，在所有不锈钢中应用最广	•	•	•	•
马氏体钢	DIN 10022 – 2，DIN EN 10088 – 3	• 可机械加工 • 球化条件下，可冷加工 • 低含碳量，可焊接 • 可进行热处理	高应力不锈零件，也可进行调质	•	•	•	•

1）产品形式：S 板料，带材　　B 棒，如：扁钢，方钢和圆钢
W 钢丝　　P 型材，如：槽钢，角钢，T 型钢

关注公众号：机械工程师成长营

结构钢

碳素钢

不提供热处理，如：淬火或调质

提供热处理（129 页）

根据应用选择

例：碳素钢（130 页）

最小要求	钢的种类，标记	C（%）	Mn（%）	Si（%）	P_{max}（%）	S_{max}（%）	DO	L
·强度	S185	未指定			未指定		可选	
·强度 ·韧性	E 295，E 335，E 360	未指定			0.045	0.045	FN	
·强度 ·韧性 ·有限可焊接	S235JR	0.17	1.4	–	0.045	0.045	可选	
	S235JRG2	0.17	1.4	–	0.045	0.045	FU	
·强度 ·韧性 ·可焊接	S235JRG2	0.17	1.4	–	0.045	0.045	FN	
	S275JR	0.18	1.5	–	0.045	0.045	FN	
	S355JR	0.24	1.6	0.55	0.045	0.045	FN	
·强度 ·更好的韧性 ·更好的可焊接性	S235J0	0.17	1.4	–	0.040	0.040	FN	–
	S275J0	0.18	1.5	–	0.040	0.040	FN	–
	S355J0	0.20	1.6	0.55	0.040	0.040	FN	含
·强度 ·最高韧性 ·最好的可焊接性	S235J2G3	0.17	1.4	–	0.035	0.035	FF	–
	S275J0	0.18	1.5	–	0.035	0.035	FF	–
	S355J2G3	0.20	1.6	0.55	0.035	0.035	FF	含

根据下列确定主要特征

成分 ·碳（C） ·锰（Mn） ·硅（Si）	纯度 ·磷（P） ·硫（S）	脱氧 DO[1]	微量合金 L[2]

更多钢组，如：

·高强钢制冷轧薄板 ·冷加工用轧制薄板	·压力容器用钢 ·包装用钢板和带材 ·管道用钢	·混凝土加强钢 ·预应力钢 ·磁性钢板

要求的性能没有达到

根据化学成分选择，见 129 页

1）DO 脱氧种类：FU 不脱氧钢；FN 半脱氧钢；
FF 带氮黏合元素的脱氧钢

2）L 附加合金元素，也称为微量合金元素：Cr，Cu，Mo，Ni，Ti，V，Nb

关注公众号：机械工程师成长营

结构钢

碳素钢

提供热处理
如：淬火或调质

是 → 根据碳含量选择

不是 → 128 页 或

根据下列确定主要特征

最小要求	钢组	标记	成分：碳（C）、锰（Mn）、硅（Si）、其他合金元素			纯度：磷（P）、硫（S）		脱氧 DO[2]
			C（%）	Mn（%）	Si（%）	L[1]（%）	P_{max}（%）	S_{max}（%）	DO
热处理	表面淬火钢[3]	C10	0.10	0.45	0.40	–	0.045	0.045	FN
		C15	0.15	0.45		–			FN
	调质钢	C35	0.35	0.65		0.63			FN
		C60	0.60	0.75					FN
带检验值的热处理	表面淬火钢	C10E	0.10	0.45	0.40	–	0.035	0.035	FN
		C15E	0.15	0.45		–			FN
	调质钢	C35E	0.35	0.65		0.63			FN
		C60E	0.60	0.75					FN

更多的要求 → 合金钢

1）L 最大百分比（Cr + Mo + Ni）
2）DO 脱氧种类：FN 半脱氧浇铸
3）钢 C10 和 C15 不再包括在标准表面淬火钢 DIN EN 10084 中。对于经销商，它们仍有用

合金元素的作用（摘选）

合金元素的性能影响	合金元素 Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	Si	Mn	S	P
拉伸强度	●	●	–	●	●	●	●	●	●	–	●
屈服强度	●	●	–	●	●	●	●	●	●	–	●
冲击韧性	○	–	○	–	●	○	●	○	–	○	○
抗磨损	●	○	–	●	●	●	●	○	○	–	–
热加工性	○	●	○	○	●	○	●	○	●	○	–
冷加工性	–	–	–	○	–	○	○	○	○	○	○
机械加工性	–	○	–	○	–	–	○	○	○	●	●
高温强度	●	●	–	●	●	●	●	●	–	–	–
抗腐蚀	●	–	–	–	●	–	–	–	–	○	–
淬火温度	●	–	–	●	●	–	●	●	○	–	–
淬透性，可回火性	●	●	–	●	●	●	●	●	●	–	–
渗氮性能	●	–	●	●	●	–	●	○	●	–	–
可焊接性能	○	○	●	–	●	–	○	–	○	○	○

● 增加　○ 减少　– 无明显作用

例：齿轮，表面淬火，毛坯零件落锤锻造，要求可靠的热处理
需要：合适的钢
答：提供热处理（表面淬火）→表面淬火钢，C≤0.2%
优质和高级碳素钢的性能不足→合金钢
热加工性能增加：Mn，V；淬透性增加：Cr，Ni
钢选择：16MnCr5，20MnCr5，15NiCrl3（132 页）

关注公众号：机械工程师成长营

结构钢

碳素结构钢，热轧

cf. DIN EN 10025（1994－03）

钢种类		DO[1]	槽口冲击能		拉伸强度 R_m[2]（N/mm^2）	屈服强度 R_e（N/mm^2）对于产品厚度（mm）为				断裂延伸率 A[3]（%）	性能，应用
标记	材料牌号		在（℃）	KV（J）		≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80		
结构钢和机械结构钢											
S185	1.0035	–	–	–	290～510	185	175	–	–	18	不可焊接，简单钢结构
S235JR	1.0037	–	20	27	340～470	235	225	–	–	26	钢和机械结构中的焊接，受低应力的杠杆、螺栓、轮轴、轴
S235JRG1	1.0036	FU	20	27							
S235JRG2	1.0038	FN	20	27	340～470	235	225	215	215	26	
S235J0	1.0114	FN	0	27							
S235J2G3	1.0116	FF	－20	27	340～470	235	225	215	215	26	
S235J2G4	1.0117	FF	－20	27							
S275JR	1.0044	FN	20	27	410～560	275	265	255	245	22	
S275J0	1.0143	FN	0	27							
S275J2G3	1.0144	FF	－20	27	410～560	275	265	255	245	22	
S275J2G4	1.0145	FF	－20	27							
S355JR	1.0045	FN	20	27	490～630	355	345	335	325	22	钢、起重机和桥梁结构中的高应力焊接
S355J0	1.0553	FN	0	27							
S355J2G3	1.0570	FF	－20	27							
S355J2G4	1.0577	FF	－20	27	490～630	355	345	335	325	22	
S355K2G4	1.0595	FF	－20	40							
S355K2G4	1.0596	FF	－20	40							
机械结构用钢											
E295	1.0050	FN	–	–	470～610	295	285	275	265	20	轮轴，轴，螺栓
E335	1.0060	FN	–	–	570～710	335	325	315	305	16	磨损零件；小齿轮，蜗杆，心轴
E360	1.0070	FN	–	–	670～830	360	355	345	335	11	

1）DO 脱氧种类：－ 制造商选项　　FU 不脱氧铸钢；
FN 半脱氧铸钢；　　FF 脱氧铸钢
2）值适用于产品厚度从 3 mm～100 mm
3）值适用于纵向测试工件，且材料厚度从 3 mm～40 mm

附加符号 G1 到 G4，交货条件[1]

附加符号	DO[2]	板料，带材，扁形和圆形棒的交货条件	附加符号	DO[2]	交货条件	
					板料，带材	扁形和圆形棒
G1	FU	根据协议	G3	FF	正火	根据协议
G2	FN	根据协议	G4	FF	由制造商选择	

1）若交货条件与合同不一致，则由制造商决定
2）DO 脱氧种类：FU 不脱氧铸造；FN 半脱氧铸造；FF 脱氧铸造

技术性能

焊接性能	热加工性能	冷加工性能
钢组为 JR－J0－J2G3－J2G4－K2G3－K2G4 的钢加工完后可焊接。对于钢 S235JR，优选半脱氧钢类型 S235JRG2。	在正火或标准轧制条件下交货，钢可进行热加工	若定购的钢带有附加符号 C，如：S235JRC，S355J2G3C，保证可进行冷加工（弯曲，折叠，牵引）钢 S185 不可冷加工

关注公众号：机械工程师成长营

结构钢

焊接用细粒结构钢（摘选）

cf. DIN EN 10113（1993－04）

钢种类		DC[1]	槽口冲击能 KV[2]（J）在温度（℃）为			拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 R_e（N/mm²）对于公称厚度（mm）为			断裂延伸率 A（%）	性能，应用
标记	材料牌号		+20	0	−20		≤16	>16 ≤40	>40 ≤63		
优质碳素钢											高韧性，抗脆性断裂和老化；机械、起重机和桥梁结构、汽车制造、输送机中的焊接
S275N	1.0490	N	55	47	40	370～510	275	265	255	24	
S275M	1.8818	M				360～510					
S355N	1.0545	N	55	47	40	470～630	355	345	335	22	
S355M	1.8823	M				450～610					
高级合金钢											
S420N	1.8902	N	55	47	40	520～680	420	400	390	19	
S420M	1.8825	M				500～660					
S460N	1.8901	N	55	47	40	550～720	460	440	430	17	
S460M	1.8827	M				530～720					

1）DC 交货条件：N 正火/标准轧制　　M 热变形轧制

2）值适于 V 形槽纵向测试工件
低温下，槽口冲击能为最小值的所有钢材也可以交货。这种情况下，标记中等级组 N 和 M 用 NL 或 ML 代替，如：275NL，275ML

技术性能

焊接性能	热加工性能	冷加工性能
钢可用常规方法焊接。随着公称厚度和强度的增加可能产生冷裂缝。推荐采用专业计划编制的焊接参数	交货条件 N 下的钢材可进行热加工。交货条件 M 下的热变形轧制钢，不可被热加工	对于公称厚度≤12mm 的钢，如在合同中明确规定，可保证能进行冷加工

有高屈服强度的调质结构钢（摘选）

cf. DIN EN 10137－2（1995－11）

钢种类		槽口冲击能 KV（J）在温度（℃）为			拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 R_e（N/mm²）对于公称厚度（mm）为			断裂处的延伸率 A（%）	性能，应用
标记[1]	材料牌号	0	−20	−40		≤3 ≤50	>50 ≤100	>100 ≤150		
S460Q	1.8908	40	30	−	550～720	460	440	400	17	高韧性，高抗脆性断裂和老化稳定性；机械、起重机和桥梁结构、汽车制造、输送机中的高应力焊接
S460QL	1.8906	50	40	30						
S500Q	1.8924	40	30	−	590～770	500	480	440	17	
S500QL	1.8909	50	40	30						
S620Q	1.8914	40	30	−	700～890	620	580	560	15	
S620QL	1.8927	50	40	30						
S890Q	1.8940	40	30	−	940～1100	890	830	−	11	
S890QL	1.8983	50	40	30						
S960Q	1.8941	40	30	−	980～1150	960	−	−	10	
S960QL	1.8933	50	40	30						

1）Q 调质；QL 调质，保证带槽杆件，在温度达－40℃的最小冲击值

技术性能

焊接性能	热加工性能	冷加工性能
钢可用常规方法焊接。随着公称厚度和强度的增加可能产生冷裂缝。推荐采用专业计划编制的焊接参数	由于消除应力退火，钢在达温度极限时可进行热加工	如在合同中明确规定，可保证冷加工性能

关注公众号：机械工程师成长营

表面淬火钢

表面淬火钢（摘选）

cf. DIN EN 10084（1998－06）

钢种类		交货条件[2]下的硬度 HB		表面淬火[3]后的核心性能			淬火方法[4]		性能，应用
标记[1]	材料牌号	+A	+FP	拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 R_e（N/mm²）	断裂延伸率 A（%）	D	S	
碳素钢									
C10E C10R	1.1121 1.1207	131	90～125	49～640	295	16	●	●	带平均应力的小零件；杠杆、销子、螺栓、滚子、心轴、压制和模压零件
C15E C15R	1.1141 1.1140	143	103～140	590～780	355	–	●	●	
合金钢									
17Cr3 17CrS3	1.7016 1.7014	174	–	700～900	450	11	●	●	带交变应力的零件如：变速箱、齿轮、锥齿轮和齿圈、驱动小齿轮、轴、推进器轴
28Cr4 28CrS4	1.7030 1.7036	217	156～207	≥700	–	–	●	●	
16MnCr5 16MnCrS5	1.7131 1.7139	207	140～187	780～1080 780～1080	590 590	10 10	○	●	
16NiCr4 16NiCrS4	1.5714 1.5715	217	156～207	≥900	–	–	–	●	
18CrMo4 18CrMoS4	1.7243 1.7244	207	140～187	≥900	–	–	○	●	
20MoCr3 20MoCrS3	1.7320 1.7319	217	145～185	≥900	–	–	●	–	
20MoCr4 20MoCrS4	1.7321 1.7323	207	140～187	880～1180	590	10	●	–	
17CrNi6－6 22CrMoS3－3	1.5918 1.7333	229 217	156～207 152～201	≥1100 –	– –	– –	– ○	● ●	
15NiCr13 10NiCr5－4	1.5752 1.5805	229 192	166～207 137～187	920～1230 ≥900	785 –	10 –	– –	● ●	带高交变应力的零件，如：变速箱、齿轮、锥齿轮和齿圈、驱动小齿轮、轴、推进器轴
20NiCrMo2－2 20NiCrMoS2－2	1.6523 1.6526	212	149～194	780～1080	590	10	●	●	
17NiCrMo6－4 17NiCrMoS6－4 20NiCrMoS6－4	1.6566 1.6569 1.6571	229	149～201 149～201 154～207	≥1000 ≥1000 ≥1000	– – –	– – –	– –	● ●	
20MnCr5 20MnCrS5	1.7147 1.7149	217	152～201	980～1270	685	8	●	●	大尺寸零件，小齿轮轴、齿轮、齿圈
18NiCr5－4 14NiCrMo13－4 18CrNiMo7－6	1.5810 1.6657 1.6687	223 241 229	156～207 166～217 159～207	≥1100 1030～1390 1060～1320	– – 785	– 10 8	– – –	● ● ●	

1）带附加硫的钢种类，如：16MnCrS5，有改善的机械加工性
2）交货条件：+A 球化；+FP 精制用于铁素体－珠光体微结构和硬度范围
3）强度值对于公称直径为 30 mm 的测试工件有效
4）淬火方法：
D 直接淬火：工件从渗碳温度直接被淬火
S 简单淬火：工件在渗碳后，通常在室温下冷却。要淬火时，它们被重新加热
● 很适合　○ 有条件地适合　– 不适合

对于表面淬火钢的热处理，见 155 页

关注公众号：机械工程师成长营

调质钢

调质钢（摘选）

cf. DIN EN 10083（1996－10）

钢种类		T[1]	轧制直径 d(mm)时的强度值						性能，应用
			拉伸强度 R_m（N/mm²）		屈服强度 R_e（N/mm²）		断裂延伸率 EL（%）		
标记	材料牌号		>16 ≤40	>40 ≤100	>16 ≤40	>40 ≤100	>16 ≤40	>40 ≤100	
碳素钢[2]									
C22	1.0402	+N +QT	410 470～620	410 –	210 290	210 –	25 22	25 –	零件受较低应力，小的调质直径；螺钉、螺栓、轮轴、轴、齿轮
C22E	1.1151								
C25	1.0406	+N +QT	440 500～650	440 –	230 320	230 –	23 21	23 –	
C25E	1.1158								
C35	1.0501	+N +QT	520 600～750	520 550～700	270 380	270 320	19 19	19 20	
C35E	1.1181								
C45	1.0503	+N +QT	580 650～800	580 630～780	305 430	305 370	16 16	16 17	
C45E	1.1191								
C60	1.0601	+N +QT	670 800～950	670 750～900	340 520	340 450	11 13	11 14	
C60E	1.1221								
28Mn6	1.1170	+N +QT	600 700～850	600 650～800	310 490	310 440	18 15	18 16	
合金钢									
38Cr2 38CrS2	1.7003 1.7023	+QT	700～850	600～750	450	350	15	17	零件受较高应力，较大的调质直径；驱动轴、蜗杆、齿轮
46Cr2 46Cr2	1.7006 1.7025	+QT	800～950	650～800	550	400	14	15	
34Cr4 34CrS4	1.7033 1.7037	+QT	800～950	700～850	590	460	14	15	
37Cr4 34CrS4	1.7034 1.7038	+QT	850～1000	750～900	630	510	13	14	
25CrMo4 25CrMoS4	1.7218 1.7213	+QT	800～950	700～850	600	450	14	15	
41Cr4 41CrS4	1.7035 1.7039	+QT	900～1100	800～950	660	560	12	14	零件受高应力，较大的调质直径；轴，齿轮，较大的锻件
34CrMo4 34CrMoS4	1.7220 1.7226	+QT	900～1100	800～950	650	550	12	14	
42CrMo4 42CrMoS4	1.7225 1.7227	+QT	1000～1200	900～1100	750	650	11	12	
50CrMo4 51CrV4	1.7228 1.8159	+QT	1000～1200	900～1100	780 800	700 700	10	12	
36CrNiMo4 34CrNiMo6	1.6511 1.6582	+QT	1000～1200 1100～1300	900～1100 1000～1200	800 900	700 800	11 10	12 11	零件受最高应力，大的调质直径
30NiCrMo8 36NiCrMo16	1.6580 1.6773	+QT	1250～1450	1100～1300	1150	900	9	10	

1）T 处理状态：+N 正火；+QT 调质
对于碳素调质钢，处理状态 +N 和 +QT 也适用于优质和高等级钢

2）碳素钢 C22，C25，C35，C45 和 C60 是优质钢，其他所有类型被制成高等级钢
对于调质钢的热处理，见 156 页

关注公众号：机械工程师成长营

渗氮钢，火焰加热和感应加热表面淬火钢，易切削钢

渗氮钢（摘选）

cf. DIN EN 10085（2001－07），代换 DIN 17211

钢种类		球化硬度 HB	拉伸强度[1] R_m（N/mm²）	屈服强度[1] R_e（N/mm²）	断裂[1]延伸率 EL（%）	性能，应用
标记	材料牌号					
31CrMo12	1.8515	248	980～1180	785	11	厚度达 250 mm 的耐磨零件
31CrMoV9	1.8519	248	1000～1200	800	10	厚度达 100 mm 的耐磨零件
34CrAlMo5－10	1.8507	248	800～1000	600	14	厚度达 80 mm 的耐磨零件
40CrAlMo7－10	1.8509	248	900～1100	720	13	达 500 ℃的高温耐磨零件
34CrAlNi7－10	1.8550	248	850～1050	650	12	大零件；活塞杆，心轴

1）强度值：拉伸强度 R_m，屈服强度 R_e，断裂延伸率 EL 的值适于，调质处理状态下厚度为：40～100 mm的材料

对于渗氮钢的热处理，见 157 页

火焰加热和感应加热表面淬火钢（摘选）

cf. DIN 17212（1972－08）

钢种类		球化硬度 HB	T[1]	拉伸强度[1] R_m（N/mm²）	屈服强度 R_e（N/mm²）对于公称厚度（mm）为			断裂延伸率 EL（%）	性能，应用
标记	材料牌号				≤16	>16 ≤40	>40 ≤100		
Cf45	1.1193	207	+N	590～740	–	330	330	17	带高核心强度和好韧性的耐磨损零件；曲轴、驱动轴、凸轮轴、蜗杆、齿轮
			+QT	660～800	480	410	370	16	
45Cr2	1.7005	207	+QT	780～930	640	540	440	14	
38Cr4	1.7043	217	+QT	830～980	740	630	510	13	
42Cr4	1.7045	217	+QT	880～1080	780	670	560	12	
41CrMo4	1.7223	217	+QT	980～1180	880	760	640	11	

1）T 处理状态：+N 正火；+QT 调质

火焰加热和感应加热表面淬火钢的热处理，见 156 页

易切削钢（摘选）

cf. DIN EN 10087（1999－01）

钢种类		T[2]	对于产品厚度从 16～40 mm				性能，应用
标记[1]	材料牌号		硬度 HB	拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 R_e（N/mm²）	断裂延伸率 EL（%）	
11SMn30	1.0715	+U	112～169	380～570	–	–	·钢不适于热处理 受低应力的小零件；杠杆，销子
11SMnPb30	1.0718						
11SMn37	1.0736	+U	112～169	380～570	–	–	
11SMnPb37	1.0737						
10S20	1.0721	+U	107～156	360～530	–	–	·表面淬火钢 抗磨损小零件；轴、螺栓、销
10SPb20	1.0722						
15SMn13	1.0725	+U	128～178	430～600	–	–	
35S20	1.0726	+U	154～201	520～680	–	–	·调质钢 受较高应力的大零件；心轴、轴、齿轮
		+QT	–	600～750	380	16	
35SPb20	1.0756						
44SMn28	1.0762	+U	187～238	630～800	–	–	
		+QT	–	700～850	420	16	
44SMnPb28	1.0763						
46S20	1.0727	+U	175～225	590～760	–	–	
		+QT	–	650～800	430	13	
46SPb20	1.0757						

1）带石墨添加剂的钢种类，如：11SMnPb30，有较好的机械加工性

2）T 处理状态 +U 未处理；+QT 调质处理

所有的易切削钢都是碳素优质钢。不可能保证对表面淬火或调质处理有统一的反应。易切削钢的热处理，见 157 页

关注公众号：机械工程师成长营

冷作钢，热作钢，高速钢

工具钢（摘选） cf. DIN EN ISO 4957（2001－02），代换 DIN 17350

钢种类		硬度 HB[1] 最大值	淬火温度（℃）	QM[2]	回火温度（℃）	应用举例，性能
标记	材料牌号					
冷作钢，碳素						
C45U	1.1730	190	800～830	O	180～830	用于工具的未淬火安装零件、螺丝起子、凿子、刀
C70U	1.1520	190	790～820	O	180～300	定心销、小冲模、老虎钳口、切边冲压机
C80U	1.1525	190	780～810	W	180～300	带扁平腔的模、凿子、冷挤压模、刀
C105U	1.1545	213	770～800	W	180～300	简单切削工具、铸模、画线器、穿孔插销、麻花钻
冷作钢，合金						
21MnCr5	1.2162	215	810～840	O	150～180	用于塑料的复杂表面淬火冲压成形；易磨光
60WCrV8	1.2550	230	890～930	O	180～300	钢板厚度为 6～15 mm 的切割机、冷冲孔模、凿子、中心冲床
90MnCrV8	1.2842	220	790～820	O	150～250	切削模、压印、塑料冲压模、铰刀、测量工具
102Cr 6	1.2067	230	820～850	O	100～180	钻床、铣刀、铰刀、小切削模、车床的转向中心
X38CrMo16	1.2316	250	1000～1040	O	650～700	用于加工化学侵蚀性热塑塑料的工具
40CrMnNiMo8－6－4	1.2738	235	840～870	O	180～220	所有类型的塑料模
45NiCrMo16	1.2767	260	840～870	O，A	160～250	弯曲和压花工具、厚材料用的剪切刀片
X153CrMov12	1.2379	250	1020～1050	O，A	180～250	易断的切削工具、铣刀、拉刀、剪切刀片
X210CrW12	1.2436	255	950～980	O，A	180～250	高性能切削刀具、拉刀、冲压工具
热作钢						
55NiCrMoV7	1.2714	250	840～870	O	400～650	塑料模、小和中等尺寸模、热剪切刀片
X37CrMoV5－1	1.2343	235	1020～1050	O，A	550～650	用于轻合金的钢型铸模、挤压工具
32CrMoV12－28	1.2365	230	1020～1050	O，A	500～670	用于重有色金属的钢型铸模和所有金属的挤压工具
X38CrMoV5－3	1.2367	235	1030～1080	O，A	600～700	高质量模，用于加工螺纹的高应力工具
高速钢						
HS6－5－2C	1.3343	250	1190～1230	O，A	540～560	麻花钻、铰刀、铣刀、螺纹加工刀、圆形锯片
HS6－5－2－5	1.3243	270	1210～1250	O，A	550～570	高应力麻花钻、铣刀、有高韧性的粗加工工具
HS10－4－3－10	1.3207	270	1210～1250	O，A	550～570	用于自动加工的车床工具、高切削力
HS2－9－2	1.3348	250	1190～1230	O，A	540～580	铣刀、麻花钻和螺纹加工刀，高切削硬度，高温强度，韧性

1）交货条件：退火　　2）QM 淬火介质；W 水；O 油；A 空气

工具钢的标记见 125 页；工具钢的热处理见 155 页

关注公众号：机械工程师成长营

不锈钢

不锈钢（摘选）

cf. DIN EN 10088（1995－08）

钢种类		D[1]		DC[2]	厚度 d (mm)	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL(%)	性能，应用
标记	材料牌号	S	B						
奥氏体钢									
X10CrNi18－8	1.4310	●		C	≤ 6	600～950	250	40	温度达300℃的弹簧，汽车制造
			●	–	≤40	500～750	195	40	
X2CrNi18－9	1.4307	●		C	≤ 6	520～670	220	45	家用容器，化学和食品工业
		●		P	≤75	500～650	200		
			●	–	≤160	450～680	175	45	
X2CrNiN19－11	1.4306	●		C	≤ 6	520～670	220	45	暴露在有机酸和果酸中的设备和零件
		●		P	≤75	500～650	200		
			●	–	≤160	460～680	180	45	
X2CrNi18－10	1.4311	●		C	≤ 6	550～750	290	40	奶制品和酿酒工业用设备，压力容器
		●		P	≤75	550～750	270		
			●	–	≤160	550～760	270	40	
X5CrNi18－10	1.4301	●		C	≤ 6	540～750	230	45	食品工业中的拉深部件，易于抛光
		●		P	≤75	520～720	210		
			●	–	≤160	500～700	190	45	
X8CrNiS18－9	1.4305	●		P	≤75	500～700	190	35	食品和奶制品工业中的零件
			●	–	≤160	500～750	190	35	
X6CrNiTi18－10	1.4541	●		C	≤ 6	520～720	220	40	家用生活消费品，照相工业中零件
		●		P	≤75	500～700	200		
			●	–	≤160	500～700	190	40	
X4CrNi18－12	1.4303	●		C	≤ 6	500～650	220	45	化学工业；螺栓，螺母
			●	–	≤160	500～700	190	45	
X5CrNiMo17－12－2	1.4401	●		C	≤ 6	530～680	240	40	油漆，油和纺织工业中的零件
		●		P	≤75	520～670	220	45	
			●	–	≤160	500～700	200	40	
X6CrNiMoTi17－12－2	1.4571	●		C	≤ 6	540～690	240	40	纺织，合成树脂和橡胶工业中的零件
		●		P	≤75	520～670	220		
			●	–	≤160	500～700	200	40	
X2CrNiMo18－14－3	1.4435	●		C	≤ 6	550～700	240	40	纸浆工业中改良化学稳定性的零件
		●		P	≤75	520～670	220	45	
			●	–	≤160	500～700	200	40	
X2CrNiMoN17－13－3	1.4429	●		C	≤ 6	580～780	300	35	带增强化学稳定性的压力容器
		●		P	≤75		280	40	
			●	–	≤160	580～800	280	40	
X2CrNiMoN17－13－5	1.4439	●		C	≤ 6	580～780	290	35	抗氯腐蚀和高温；化学工业
		●		P	≤75		270	40	
			●	–	≤160	580～800	280	35	
X1NiCrMoCu25－20－5	1.4539	●		C	≤ 6	530～730	240	35	抗磷、硫和盐酸；化学工业
		●		P	≤75	520～720	220		
			●	–	≤160	530～730	230	35	

1）D 交货形式：S 板料，带材；B 棒，型材
2）DC 交货条件：C 冷轧带材；P 热轧板

关注公众号：机械工程师成长营

不锈钢

不锈钢（续）

cf. DIN EN 10088（1995－08）

钢种类		D[1]		DC[2]	厚度 d (mm)	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL(%)	性能，应用
标记	材料牌号	S	B						
铁素体钢									
X2CrNi12	1.4003	●		C	≤ 6	450～650	280	20	汽车和容器制造，输送机
		●		P	≤25		250	18	
			●	–	≤100	450～600	260	20	
X6Cr13	1.4000	●		C	≤ 6	400～600	240	19	抗水和蒸汽；家用设备，装置
		●		P	≤25		220		
			●	–	≤25	400～630	230	20	
X6Cr17	1.4016	●		C	≤ 6	450～600	260	20	冷加工性好，可被抛光；扁平的餐具，缓冲器
		●		P	≤25	430～630	240		
			●	–	≤100	400～630	240	20	
X2CrTi12	1.4512	●		C	≤ 6	380～560	210	25	催化式排气净化器
X6CrMo17－1	1.4113	●		C	≤ 6	450～630	260	18	汽车制造；修整，毂盖
			●	–	≤100	440～660	280	18	
X3CrTi17	1.4510	●		C	≤ 6	450～600	260	20	食品工业中的焊接零件
				C	≤12	430～630	240		
X2CrMoTi18－2	1.4521	●		C	≤ 6	420～640	300	20	螺栓，螺母，加热器
		●		P	≤12	420～620	280		

1）D 交货形式；S 板料，带材；B 棒，型材
2）MF 精铣：C 冷轧带材；P 热轧板

马氏体钢

钢种类		D[1]		DC[2]	厚度 d (mm)	H[3]	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL(%)	性能，应用
标记	材料牌号	S	B							
X12Cr13	1.4006	●		C	≤ 6	A	≤600	–	20	抗水和蒸汽，食品工业
		●		P	≤75	QT650	650～850	450	12	
			●	–	≤160	QT650	650～850	450	15	
X20Cr13	1.4021	●		C	≤ 6	A	≤700	–	15	轮轴、轴、泵零件、推进器
		●		P	≤75	QT750	750～950	550	10	
			●	–	≤160	QT800	800～950	600	12	
X30Cr13	1.4028	●		C	≤ 6	A	≤740	–	15	螺栓、螺母、弹簧、活塞杆
		●		P	≤75	QT800	800～1000	600	10	
			●	–	≤160	QT850	850～1000	650	10	
X46Cr13	1.4034	●		C	≤ 6	A	≤780	245	12	可淬火，餐刀和机床刀具
			●	–	–	A	≤800	245	–	
X39CrMo 17－1	1.4122	●		C	≤ 6	A	≤900	280	12	轴、心轴、温度达 600 ℃ 的电枢
			●	–	≤60	QT750	750～950	550	12	
X3CrNiMo 13－4	1.4313	●		P	≤75	QT900	900～1100	800	11	高韧性；泵、涡轮、反应堆结构
			●	–	≤160	A	760～960	550	16	
			●			QT900	900～1100	800	12	

1）D 交货形式；S 板料，带材；B 棒，型材
2）DC 交货条件；C 冷轧带材；P 热轧板
3）H 热处理状态；A 固溶退火；QT750→调质至最小拉伸强度 R_m = 750 N/mm²

关注公众号：机械工程师成长营

弹簧钢

弹簧钢丝，铅淬火冷拉制　　cf. DIN EN 10270－1（2001－12），代换 DIN 17223

钢丝类型	公称直径为 d（mm）的最小拉伸强度 R_m（N/mm²）															
	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.4	4.0	4.5	5.0	6.0	8.0	10.0	15.0	20.0
SL	–	–	1720	1600	1510	1460	1410	1370	1320	1290	1260	1210	1120	1060	–	–
SM	2200	2050	1980	1850	1740	1690	1630	1590	1530	1500	1460	1400	1310	1240	1110	1020
SH	2480	2310	2330	2090	1970	1900	1840	1790	1740	1690	1660	1590	1490	1410	1270	1160
DM	2200	2050	1980	1850	1740	1690	1630	1590	1530	1500	1460	1400	1310	1240	1110	1020
DH	2480	2310	2230	2090	1970	1900	1840	1790	1740	1690	1660	1590	1490	1410	1270	1160

钢丝直径 d（mm）（摘选）

所有类型，除 SL[1]	0.30－0.32－0.34－0.36－0.38－0.40－0.43－0.48－0.50－0.53－0.56－0.60－0.63－0.65－0.70－0.75－0.80－0.90－1.00－1.10－1.20－1.25－1.30－1.40－1.50－1.60－1.70－1.80－1.90－2.00－2.10－2.25－2.40－2.50－2.60－2.80－3.00－3.20－3.40－3.60－3.80－4.00－4.25－4.50－4.75－5.00－5.30－5.60－6.00－6.30－6.50－7.00－7.50－8.00－8.50－9.00－9.50－10.00

1）只提供直径 d 为 1 ～10 mm 的 SL 型钢丝

操作条件，应用

钢丝类型	适用于弹簧，其承受的负载为：	应用
SL	低静态负载	设备和机械结构中的拉伸弹簧，压缩弹簧，扭转弹簧，钢丝类型 DH 也适于成形弹簧
SM	中等静态或时间不太长的动态负载	
SH	高静态或低动态负载	
DM	中等动态负载	
DH	高静态或正常的动态负载	

钢丝涂层，交货形式

标记	钢丝表面	字母符号	钢丝表面	交货形式
ph	磷酸盐处理	Z	带锌涂层	• 成卷或缠绕在线轴上 • 成捆的伸直杆
cu	铜涂层	ZA	带锌/铝涂层	
⇒	**弹簧钢丝 EN 10270－1 DM 3,4ph**：弹簧类型 DM，d = 3,4 mm，磷酸盐处理表面（ph）			

调质弹簧用热轧钢　　cf. DIN EN 10089（2003－04），代换 DIN 17221

钢种类		热轧硬度 HB	球化+A硬度 HB	调质条件（+QT）[1]			性能，应用
标记	材料牌号			拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	断裂延伸率 EL（%）	
38Si7	1.5023	240	217	1300～1600	1150	8	弹簧螺旋锁
46Si7	1.5024	270	248	1400～1700	1250	7	板簧，螺旋弹簧
55Cr3	1.7176	>310	248	1400～1700	1250	3	较大的拉伸和压缩弹簧
54SiCr6	1.7102	310	248	1450～1750	1300	6	弹簧钢丝
61SiCr7	1.7108	310	248	1550～1850	1400	5.5	板簧，螺旋弹簧
51CrV4	1.8159	>310	248	1400～1700	1200	6	高应力弹簧
说明	1）强度值适用于直径 d = 10mm 的测试零件						
⇒	**圆钢 EN 10089－20×8000－51CrV4＋A**：杆直径 d = 20 mm，杆长 l = 8000 mm，钢类型 51CrV4，交货条件球化处理（+A）						

钢丝直径 d（mm）（摘选）	交货形式
5.0－5.5－6.0－6.5－7.0－7.5－8.0－8.5－9.0－9.5－10.0－10.5－11.0－11.5－12.0－19.0－19.5－20.0－21.0－22.0－23.0－27.0－28.0－29.0－30.0	• 方向杆 • 线卷

关注公众号：机械工程师成长营

金属板带——分类，概述

分类根据

交货形式

类型	商业规格
板 	常规矩形板 小规格：$w \times l = 1\,000\ mm \times 2\,000\ mm$ 中等规格：$w \times l = 1\,250\ mm \times 2\,500\ mm$ 大规格：$w \times l = 1\,500\ mm \times 3\,000\ mm$ 板厚：$s = 0.14 \sim 250mm$
带 	轧制（成卷）连续板，板厚 $s = 0.14 \sim$ 约 10 mm 板宽 w 达 2000 mm 卷直径达 2400 mm • 用作汽车制造厂的原料或二次加工的金属板坯

制造方法

加工	注释
热轧	板厚达 250 mm 左右，轧制或酸洗表面
冷轧	板厚达 10 mm 左右，光滑表面，紧加工公差
带表面精加工的冷轧	• 抗腐蚀性较强，如：镀锌，有机涂层 • 用于装饰目的，如：带塑料涂层 • 加工性很好，如：网纹表面

金属板料种类—概述（摘选）

主要特征	标记，钢的种类	标准	交货形式[1] Sh	St	厚度范围
冷轧板带					
• 可冷加工（拉深） • 可焊接 • 表面可油漆	软钢制的扁平轧制产品	DIN EN 10130	●	●	0.35 ~ 3 mm
	软钢制的冷板	DIN EN 10207	–	●	≤10 mm
	微量合金钢制的有高屈服强度的扁平产品	DIN EN 10268	●	●	≤3 mm
	上釉的扁平产品	DIN EN 10209	●	●	≤3 mm
带表面精加工的冷轧板带					
• 较高抗腐蚀力 • 有较好的加工性	热浸精加工板带	DIN EN 10143	●	●	≤3 mm
	用于冷加工的钢制电镀锌扁平产品	DIN EN 10152	●	●	0.35 ~ 3 mm
	钢制有机涂层扁平产品	DIN EN 10169 – 1	●	●	≤3 mm
用于包装的冷轧板带					
• 抗腐蚀 • 可冷加工 • 可焊接	用来制造锡板的黑金属板料	DIN EN 10205	●	●	0.14 ~ 0.49 mm
	电解镀锡或镀铬钢制的包装金属板料	DIN EN 10202	●	●	0.14 ~ 0.49 mm
热轧板带					
与相应的钢组有相同的特性（126，127 页）	碳素钢和合金钢制板带 如：按照 DIN EN 10025 的结构钢，按照 DIN EN 10113 的细晶粒结构钢，按照 DIN EN 10084 的表面淬火钢，按照 DIN EN 10083 的调质钢，按照 DIN EN 10088 的不锈钢	DIN EN 10051	●	●	板厚达 25 mm 带厚达 10 mm
• 高屈服强度	结构钢制金属板料，有较高的屈服强度，调质处理	DIN EN 1037 – 2	●	–	3 ~ 150 mm
• 冷加工性	高屈服强度的钢制扁平产品	DIN EN 10149 – 1	●	●	板厚达 20 mm

1）交货形式：Sh 板；St 带

关注公众号：机械工程师成长营

用于冷加工的冷轧板带

软钢制的冷轧板带

cf. DIN EN 10130（1999－02）

钢种类		表面类型	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 R_e (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	无流线[1]	性能，应用
标记	材料牌号						
DC01	1.0330	A B	270～410	140 280	28	－ 3月	可冷加工，如：通过拉深，可焊接，表面上油漆；汽车、通用机械和设备制造以及建筑工业中的加工板料零件
DC03	1.0347	A B	270～370	140 240	34	6月	
DC04	1.0338	A B	270～350	140 210	38	6月	
DC05	1.0312	A B	270～330	140 180	40	6月	
DC06	1.0873	A B	270～350	120 180	38	不限时间	
交货形式（标准值）	板厚：0.25－0.35－0.4－0.5－0.6－0.7－0.8－0.9－1.0－1.2－1.5－2.0－2.5－3.0 mm 金属板料尺寸：1 000 mm×2 000 mm，1 250 mm×2 500 mm，1 500 mm×3 000 mm，2 000 mm×6 000 mm 带（卷）宽度达 2 000 mm 左右						
说明	1）在后续非切削加工中，如：拉深，在给定周期内不出现流线。周期从商定的交货日期开始						

表面类型		表面加工		
标记	表面描述	标记	加工	平均粗糙度 Ra
A	缺陷，如：小孔，画线，可能不会影响加工性和表面涂层的黏着	b g	很光滑 光滑	$Ra \leqslant 0.4\ \mu m$ $Ra \leqslant 0.9\ \mu m$
B	板的一面应无缺陷，这样表面加工将不影响上高级油漆	m r	表面无光泽 粗糙	$0.6\ \mu m < Ra \leqslant 1.9\ \mu m$ $Ra > 1.6\ \mu m$
⇒	**板 EN 10130－DC06－B－g**：DC06 材料制金属板料，表面类型 B，光滑表面			

微合金钢制冷轧板带

cf. DIN EN 10268（1999－02）

钢种类		表面类型	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 R_e (N/mm²)	断裂延伸率 EL(%)	无流线[1]	性能，应用
标记	材料牌号						
H240LA H280LA	1.0480 1.0489	A	340 370	240～310 280～360	27 24	不限时间	可冷加工，焊接，表面上油漆；带高负载的未加工金属薄板零件
H320LA H360LA H400LA	1.0548 1.0550 1.0556	A	400 430 460	320～410 360～460 400～500	22 20 18	不限时间	
交货形式（标准值）	板厚：0.25－0.35－0.4－0.5－0.6－0.7－0.8－0.9－1.0－1.2－1.5－2.0－2.5－3.0 mm 金属板料尺寸：1 000 mm×2 000 mm，1 250 mm×2 500 mm，1 500 mm×3 000 mm，2 000 mm×6 000 mm 带（卷）宽度达 2 000 mm 左右						
说明	1）在后续加工中，如：拉深，在给定周期内不出现流线。时间周期从商定的交货日期开始						

轧制宽度 >600 mm 的表面加工

标记	加工	平均粗糙度 Ra	标记	加工	平均粗糙度 Ra
b g	很光滑 光滑	$Ra \leqslant 0.4\ \mu m$ $Ra \leqslant 0.9\ \mu m$	m r	表面无光泽 粗糙	$Ra = 0.6 \sim 1.9\ \mu m$ $Ra > 1.6\ \mu m$
⇒	**板 EN 10268－H360LA－g**：微量合金钢（H，LA→低合金）制金属板料，$R_{e\,min} = 360\ N/mm^2$，光滑表面				

关注公众号：机械工程师成长营

冷轧和热轧板

用于冷加工的软钢制热浸镀锌板带

cf. DIN EN 10142（2000－07）

钢种类		保证强度值[1]	拉伸强度 R_m (N/mm^2)	屈服强度 R_e (N/mm^2)	断裂延伸率 EL（%）	无流线[2]	冷加工等级
标记	材料牌号						
DX51D＋Z DX51D＋ZF	1.0226＋Z 1.0226＋ZF	8 天	270～500	－	22	1 月	机械接缝质量
DX52D＋Z DX52D＋ZF	1.0350＋Z 1.0350＋ZF	8 天	270～420	140～300	26	1 月	拉丝等级
DX53D＋Z DX53D＋ZF	1.0355＋Z 1.0355＋ZF	6 月	270～380	140～260	30	6 月	拉深等级
DX54D＋Z DX54D＋ZF	1.0306＋Z 1.0306＋ZF	6 月	270～350	140～220	36 34	6 月	特佳的拉深等级
DX56D＋Z DX56D＋ZF	1.0322＋Z 1.0322＋ZF	6 月	270～350	120～180	39 37	6 月	特殊拉深等级
交货形式（标准值）	板厚：0.25－0.35－0.4－0.5－0.6－0.7－0.8－0.9－1.0－1.2－1.5－2.0－2.5－3.0 mm 金属板料尺寸：1 000 mm×2 000 mm，1 250 mm×2 500 mm，1 500 mm×3 000 mm，2 000 mm×6 000 mm 带卷宽度达 2 000 mm 左右						
说明	1）只是在给定周期内能保证拉伸强度 R_m，屈服强度 R_e 和断裂延伸率 EL。时间周期从商定的交货日期开始 2）在后续加工中，如：拉深，在给定周期内不出现流线。时间周期从商定的交货日期开始						

涂层的成分，特性和结构

标记	组成，特性	标记	结构
＋Z	纯锌涂层，发光花纹表面，防空气腐蚀	N M	不同尺寸的普通锌花，小锌花
＋ZF	锌铁合金的抗磨损涂层，均匀的无光泽灰色表面，抗腐蚀如＋Z	R	均匀的无光泽灰色表面（织构信息仅与涂层＋ZF 组合）

表面类型

标记	意义
A	不允许表面缺陷，如：点，斑纹
B	与 A 比较，改良的表面
C	最佳表面，板的一面应保证上高质量油漆
⇒	**板 EN 10142－DX53D＋ZF100－R－B**：DX53D 材料制板料，带 100 g/m^2 铁锌合金的涂层，均匀无光泽灰色（R）和改良（B）表面

热轧板带

cf. DIN EN 10051（1997－11）

材料	按 DIN EN 10051 的热轧板带是用不同材料组的钢制的，例如：			对于个别钢，钢的特性和应用在指定页码给出
	钢组，标记	标准	页码	
	结构钢 表面淬火钢 调质钢	DIN EN 10025 DIN EN 10084 DIN EN 10083	130 132 133	
	可焊接细晶粒钢 可热处理结构钢，高屈服强度	DIN EN 10113 DIN EN 10137	131 131	
	不锈钢 压力容器用钢	DIN EN 10088 DIN EN 10028	136 －	
交货形式（标准值）	板厚：0.5－1.0－1.5－2.0－2.5－3.0－3.5－4.0－4.5－5.0－6.0－8.0－10.0－12.0－15.0－18.0－20.0－25.0 mm。板带尺寸见 DIN EN 10142			
⇒	**板 EN 10051－2.0×1200×2500**：板厚 2.0 mm，板尺寸 1 200 mm×2 500 mm **钢 EN 10083－1－34Cr4**：碳素调质钢 34Cr4			

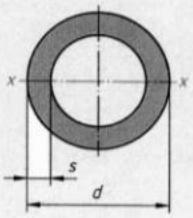
关注公众号：机械工程师成长营

机械结构用管，精密钢管

机械结构用无缝管（摘选）

cf. DIN EN 10297－1（2003－06）

d 外径
s 壁厚
S 截面面积
m' 质量线密度
W_x 轴向截面模量
I_x 轴向几何惯性力矩



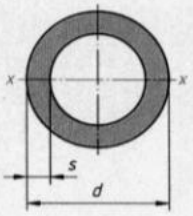
$d \times s$	S (cm²)	m' (kg/m)	W_x (cm³)	I_x (cm⁴)	$d \times s$	S (cm²)	m' (kg/m)	W_x (cm³)	I_x (cm⁴)
26.9×2.3	1.78	1.40	1.01	1.36	54×5.0	7.70	6.04	8.64	23.34
26.9×2.6	1.98	1.55	1.10	1.48	54×8.0	11.56	9.07	11.67	31.50
26.9×3.2	2.38	1.87	1.27	1.70	54×10.0	13.82	10.85	13.03	35.18
35×2.6	2.65	2.08	2.00	3.50	60.3×8	13.14	10.31	15.25	45.99
35×4.0	3.90	3.06	2.72	4.76	60.3×10	15.80	12.40	17.23	51.95
35×6.3	5.68	4.46	3.50	6.13	60.3×12.5	18.77	14.73	19.00	57.28
40×4	4.52	3.55	3.71	7.42	70×8	15.58	12.23	21.75	76.12
40×5	5.50	4.32	4.30	8.59	70×12.5	22.58	17.73	27.92	97.73
40×8	8.04	6.31	5.47	10.94	70×16	27.14	21.30	30.75	107.6
44.5×4	5.09	4.00	4.74	10.54	82.5×8	18.72	14.70	31.85	131.4
44.5×5	6.20	4.87	5.53	12.29	82.5×12.5	27.49	21.58	42.12	173.7
44.5×8	9.17	7.20	7.20	16.01	82.5×20	39.27	30.83	51.24	211.4
51×5	7.23	5.68	7.58	19.34	88.9×10	24.79	19.46	44.09	196.0
51×8	10.81	8.49	10.13	25.84	88.9×16	36.64	28.76	57.40	255.2
51×10	12.88	10.11	11.25	28.68	88.9×20	43.29	33.98	62.66	278.6

材料，退火条件	钢组	钢种类，例	退火条件[1]
	机械结构钢　碳素	E235，E275，E315	+AR 或 +N
	合金	E355K2，E420J2	+N
	调质钢　碳素	C22E，C45E，C60E	+N 或 +QT
	合金	41Cr4，42CrMo2	+QT
	表面淬火钢，碳素，合金	C10E，C15E，16MnCr5	+A 或 +N
	钢的特性和应用，见 126 和 127 页		

冷拉无缝精密钢管（摘选）

cf. DIN EN 10305－1（2003－02）

d 外径
s 壁厚
S 截面面积
m' 质量线密度
W_x 轴向截面模量
I_x 轴向几何惯性力矩

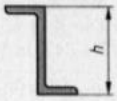
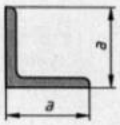
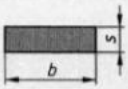
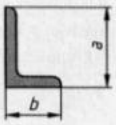
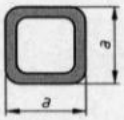
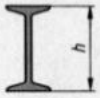
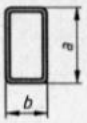
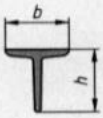
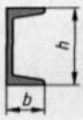


$d \times s$	S (cm²)	m' (kg/m)	W_x (cm³)	I_x (cm⁴)	$d \times s$	S (cm²)	m' (kg/m)	W_x (cm³)	I_x (cm⁴)
10×1	0.28	0.22	0.06	0.03	35×3	3.02	2.37	2.23	3.89
10×1.5	0.40	0.31	0.07	0.04	35×5	4.71	3.70	3.11	5.45
10×2	0.50	0.39	0.09	0.04	35×8	5.53	4.34	2.53	3.79
12×1	0.35	0.27	0.09	0.05	40×4	4.52	3.55	3.71	7.42
12×1.5	0.49	0.38	0.12	0.07	40×5	5.50	4.32	4.30	8.59
12×2	0.63	0.49	0.14	0.08	40×8	8.04	6.31	5.47	10.94
15×2	0.82	0.64	0.24	0.18	50×5	7.07	5.55	7.25	18.11
15×2.5	0.98	0.77	0.27	0.20	50×8	10.56	8.29	9.65	24.12
15×3	1.13	0.89	0.29	0.22	50×10	12.57	9.87	10.68	16.70
20×2.5	1.37	1.08	0.54	0.54	60×5	8.64	6.78	10.98	32.94
20×4	2.01	1.58	0.68	0.68	60×8	13.07	10.26	15.07	45.22
20×5	2.36	1.85	0.74	0.74	60×10	15.71	12.33	17.02	51.05
25×2.5	1.77	1.39	0.91	1.13	70×5	10.21	8.01	15.50	54.24
25×5	3.14	2.46	1.34	1.67	70×10	18.85	14.80	24.91	87.18
25×6	3.58	2.81	1.42	1.78	70×12	21.87	17.17	27.39	95.88
30×3	2.54	1.99	1.56	2.35	80×8	18.10	14.21	29.68	118.7
30×5	3.93	3.08	2.13	3.19	80×10	21.99	17.26	34.36	137.4
30×6	4.52	3.55	2.31	3.46	80×16	32.17	25.25	43.75	175.0

材料，表面，退火条件	钢组	表面	退火条件[1]
	碳素结构钢，易切削钢，调质钢	带光滑内、外表面的管，表面粗糙度 $Ra \leqslant 0.4\ \mu m$	+C 或 +A 或 +N
	钢的特性和应用，见 126 和 127 页		
说明	1）+A 球化　+AR 热加工后的情形 +C 冷轧　+N 正火　+QT 调质		

关注公众号：机械工程师成长营

热轧钢型材

截面	名称，尺寸	标准，页码	截面	名称，尺寸	标准，页码
	圆钢 $d = 8 \sim 200$	DIN EN 10060 144 页		Z 型钢 $h = 30 \sim 200$	DIN 1027
	方钢 $a = 8 \sim 120$	DIN EN 10059 144 页		等边角钢 $a = 20 \sim 250$	DIN EN 10056 – 1 148 页
	扁钢 $b \times s =$ $(10 \times 5) \sim (150 \times 60)$	DIN EN 10058 144 页		不等边角钢 $a \times b =$ $(30 \times 20) \sim (200 \times 150)$	DIN EN 10056 – 1 147 页
	方形管 $a = 40 \sim 400$	DIN EN 10210 – 2 151 页		窄工字钢 I 系列 $h = 80 \sim 160$	DIN 1025 – 1 150 页
	矩形管 $a \times b =$ $(50 \times 25) \sim (500 \times 300)$	DIN 10210 – 2 151 页		中等宽工字钢 IPE 系列 $h = 80 \sim 600$	DIN 1025 – 5 149 页
	圆形管 $D \times s =$ $(21.3 \times 2.3) \sim (1219 \times 25)$	DIN EN 10210 – 1		宽工字钢 IPB 系列[1] $h = 100 \sim 1000$	DIN 1025 – 2 149 页
	等腰 T 型钢 $b = h = 30 \sim 140$	DIN EN 10055 146 页		宽工字钢 IPBl 系列[1] $h = 100 \sim 1000$	DIN 1025 – 3
	槽钢 $h = 30 \sim 400$	DIN EN 1026 – 1 146 页		宽工字钢 IPBv 系列[1] $h = 100 \sim 1000$	DIN 1025 – 4

1）根据 EURONORM53 – 62：IPB = HE 到 B，IPBl = HE 到 A，IPBv = HE 到 M

关注公众号：机械工程师成长营

热轧钢

热轧圆钢

cf. DIN EN 10060（2004－02），代换 DIN 1013－1



材料：按 DIN 10025 的碳素结构钢或按 DIN 10083 的调质钢
交货类型：制造长度（M）大于等于 3 m 小于 13 m
公称长度（F）≤13 m ± 100 mm
精确长度（E）<6 m ± 25 mm，大于等于 6 m 小于 13 m ± 50 mm

直径 d（mm）	10－12－13－14－15－16－18－19－20－22－24－25－26－27－28－30－32－35－36－38－40－42－45－48－50－52－55－60－63－65－70－73－75－80－85－90－95－100－105－110－115－120－125－130－135－140－145－150－155－160－165－170－175－180－190－200－220－250

直径 d（mm）	极限偏差（mm）	直径 d（mm）	极限偏差（mm）	直径 d（mm）	极限偏差（mm）	直径 d（mm）	极限偏差（mm）
10～15	±0.4	36～50	±0.8	105～120	±1.5	220	±3.0
16～25	±0.5	52～80	±1.0	125～160	±2.0	250	±4.0
26～35	±0.6	85～100	±1.3	165～200	±2.5		

⇒ **圆钢 EN 10060－40×6 000 钢 EN 100025－S235JR**：热轧圆钢，
d = 40mm，公称长度 6 000mm，S235JR 制

热轧方钢

cf. DIN EN 10059（2004－02），代换 DIN 1014－1



材料：按 DIN 10025 的碳素结构钢
交货类型：制造长度（M）大于等于 3 m 小于 13 m
公称长度（F）≤13 m ± 100 mm
精确长度（E）<6 m ± 25 mm，大于等于 6 m 小于 13 m ± 50 mm

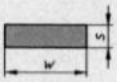
边长 a（mm）	8－10－12－13－14－15－16－18－20－22－24－25－26－28－30－32－35－40－45－50－55－60－65－70－75－80－90－100－110－120－130－140－150

边长 a（mm）	极限偏差（mm）	边长 a（mm）	极限偏差（mm）	边长 a（mm）	极限偏差（mm）	边长 a（mm）	极限偏差（mm）
8～14	±0.4	26～35	±0.6	55～90	±1.0	110～120	±1.5
15～25	±0.5	40～50	±0.8	100	±1.3	130～150	±1.8

⇒ **方钢 EN 10059－60×6000F 钢 EN 10025－S235JR**：热轧方钢，
a = 2.36 mm，公称长度 6 000mm，S235JR 制

热轧扁钢

cf. DIN EN 10058（2004－02），代换 DIN 1017－1



材料：按 DIN 10025 的碳素结构钢
交货类型：制造长度（M）大于等于 3 m 小于 13 m
公称长度（F）≤13 m ± 100 mm
精确长度（E）<6 m ± 25 mm，大于等于 6 m 小于 13 m ± 50 mm

公称宽度 w（mm）	10－12－15－16－20－25－30－35－40－45－50－60－70－80－90－100－120－150
公称厚度 s（mm）	5－6－8－10－12－15－20－25－30－35－40－50－60－80

公称宽度 w 的允许偏差

公称宽度 w（mm）	极限偏差（mm）	公称宽度 w（mm）	极限偏差（mm）	公称宽度 w（mm）	极限偏差（mm）
10～40	±0.75	85～100	±1.5	150	±2.5
45～80	±1.0	120	±2.0		

公称厚度 s 的允许偏差

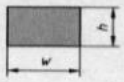
公称厚度 s（mm）	极限偏差（mm）	公称厚度 s（mm）	极限偏差（mm）	公称厚度 s（mm）	极限偏差（mm）
5～20	±0.5	25～40	±1.0	50～80	±1.5

⇒ **扁钢 EN 10058－20×5×6000F 钢 EN 10025－S235JR**：热轧扁钢，
b = 20 mm，s = 5 mm，公称长度 6 000 mm，S235JR 制

关注公众号：机械工程师成长营

光亮棒钢

光亮棒钢的共同尺寸（摘选）

标记	公称尺寸											
扁钢 	宽度 w，高度 h（mm）											
	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h	w	h
	5	2～3	12	2～10	18	2～12	28	2～20	45	2～32	70	4～40
	6	2～4	14	2～10	20	2～16	32	2～25	50	2～32	80	5～25
	8	2～6	15	2～12	22	2～12	36	2～20	56	3～32	90	5～25
	10	2～8	16	2～12	25	2～20	40	2～32	63	3～40	100	5～25
	公称厚度 h（mm）：2－2.5－3－4－5－6－8－10－12－15－16－20－25－30－32－35－40											
方钢 	边长 a（mm）											
	4	6	9	12	16	22	36	50	80			
	4.5	7	10	13	18	25	40	63	100			
	5	8	11	14	20	28	45	70				
六角钢 	边长 s（mm）											
	2	4	7	12	17	27	41	65				
	2.5	4.5	8	13	19	30	46	70	90			
	3	5	9	14	21	32	50	75	95			
	3.2	5.5	10	15	22	36	55	80	100			
	3.5	6	11	16	24	38	60	85				
圆钢 	直径 d（mm）											
	2.5	6.5	11	19	27	38	58	90	160			
	3	7	12	20	28	40	60	100	180			
	3.5	7.5	13	21	29	42	63	110	200			
	4	8	14	22	30	45	65	120				
	4.5	8.5	15	23	32	48	70	125				
	5	9	16	24	34	50	75	130				
	5.5	9.5	17	25	35	52	80	140				
	6	10	18	26	36	55	85	150				

抛光圆钢				
共同交货直径	1 mm～13 mm	>13 mm～25 mm	>25 mm～50 mm
共同直径等级	0.5 mm	1 mm	5 mm

cf. DIN EN 10278（1999－12）



代码	+C	+SH	+SL	+PL
加工条件	冷拉	剥皮	磨碎	抛光

材料组和指定的交货条件

cf. DIN EN 10277（1999－10）

材料组	交货条件							
	+SH	+C	+C+QT	+QT+C	+A+SH	+A+C	+FP+SH	+FP+C
常规工程用钢	●	●						
易切削钢	●	●						
易切削表面淬火钢	●	●						
易切削调质钢	●	●	●	●				
表面淬火碳素钢	●	●			●	●		
表面淬火合金钢					●	●	●	●
调质碳素钢	●	●	●	●				
调质合金钢			●	●	●	●		

1）说明：见 124 和 125 页

长度类型和长度极限偏差

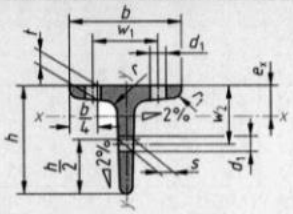
cf. DIN EN 10278（1999－12）

长度类型	长度（mm）	极限偏差（mm）	定购信息
制造长度	3 000～9 000	±500	长度
铣削长度	3 000～6 000	0/+200	如：铣削长度 6 000
精确长度	一直到 9 000	依协议，但最小 ±5	长度和极限偏差

关注公众号：机械工程师成长营

结构 T 型钢，槽钢

等腰 T 型钢，热轧　　cf. DIN EN 10055（1995－12）



S 截面面积　　W 轴向截面模量
I 截面惯性矩　　m' 质量线密度

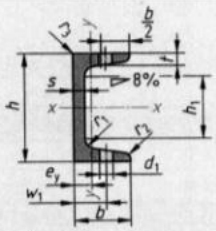
材料：碳素结构钢 DIN EN 10025，如：S235JR
交货类型：定购长度带一般极限偏差
±100 mm 或缩小的极限偏差 ±50 mm，±25 mm，±10 mm

$r = S$　　$r_1 = \frac{S}{2}$

标记 T	尺寸（mm）		S（cm^2）	m'（kg/m）	离 x 轴的距离 e_x（cm）	对于弯曲轴				按 DIN 997 的画线尺寸		
						$x-x$		$y-y$				
	$b=h$	$s=t$				I_x（cm^4）	W_x（cm^3）	I_y（cm^4）	W_y（cm^3）	w_1（mm）	w_2（mm）	d_1（mm）
30	30	4	2.26	1.77	0.85	1.72	0.80	0.87	0.58	17	17	4.3
35	35	4.5	2.97	2.33	0.99	3.10	1.23	1.04	0.90	19	19	4.3
40	40	5	3.77	2.96	1.12	5.28	1.84	2.58	1.29	21	22	6.4
50	50	6	5.66	4.44	1.39	12.1	3.36	6.06	2.42	30	30	6.4
60	60	7	7.94	6.23	1.66	23.8	5.48	12.2	4.07	34	35	8.4
70	70	8	10.6	8.23	1.94	44.4	8.79	22.1	6.32	38	40	11
80	80	9	13.6	10.7	2.22	73.7	12.8	37.0	9.25	45	45	11
100	100	11	20.9	16.4	2.74	179	24.6	88.3	17.7	60	60	13
120	120	13	29.6	23.2	3.28	366	42.0	179	29.7	70	70	17
140	140	15	39.9	31.3	3.80	660	64.7	330	47.2	80	75	21

⇒　**T 型钢 EN 10055－T50－S235JR**：T 型结构钢 $h = 50$ mm，S235JR 制

槽钢，热轧　　cf. DIN 1026－1（2000－03）



S　截面面积　　W　轴向截面模量
I　截面惯性矩　　m'　质量线密度

材料：碳素结构钢 DIN EN 10025，如：S235J0
交货类型：制造长度 3m～15m；公称长度达 15m ±50mm；在 h≤300mm 时斜度：8%；h＞300mm 时斜度：5%

$r_1 = t$　　$r_2 \approx \frac{t}{2}$　　$r_3 \leqslant 0,\ 3 \cdot t$

标记 U	尺寸（mm）					S（cm^2）	m'（kg/m）	离 y 轴的距离 e_y（cm）	对于弯曲轴				按 DIN 997 的画线尺寸	
									$x-x$		$y-y$			
	h	b	s	t	h_1				I_x（cm^4）	W_x（cm^3）	I_y（cm^4）	W_y（cm^3）	W_1（mm）	d_1（mm）
30×15	30	15	4	4.5	12	2.21	1.74	0.52	2.53	1.69	0.38	0.39	10	4.3
30	30	33	5	7	10	5.44	4.27	1.31	6.39	4.26	5.33	2.68	20	8.4
40×20	40	20	5	5.5	18	3.66	2.87	0.67	7.58	3.97	1.14	0.86	11	6.4
40	40	35	5	7	11	6.21	4.87	1.33	14.1	7.05	6.68	3.08	20	8.4
50×25	50	25	5	6	25	4.92	3.86	0.81	16.8	6.73	2.49	1.48	16	8.4
50	50	38	5	7	20	7.12	5.59	1.37	26.4	10.6	9.12	3.75	20	11
60	60	30	6	6	35	6.46	5.07	0.91	31.6	10.5	4.51	2.16	18	8.4
80	80	45	6	8	46	11.0	8.64	1.45	106	26.5	19.4	6.36	25	13
100	100	50	6	8.5	64	13.5	10.6	1.55	206	41.2	29.3	8.49	30	13
120	120	55	7	9	82	17.0	13.4	1.60	364	60.7	43.2	11.1	30	17
160	160	65	7.5	10.5	115	24.0	18.8	1.84	925	116	85.3	18.3	35	21
200	200	75	8.5	11.5	151	32.2	25.3	2.01	1910	191	148	27.0	40	23
260	260	90	10	14	200	48.3	37.9	2.36	4820	371	317	47.7	50	25
300	300	100	10	16	232	58.8	46.2	2.70	8030	535	495	67.8	55	28
350	350	100	14	17.5	276	77.3	60.6	2.40	12840	734	570	75.0	58	28
400	400	110	14	18	324	91.5	71.8	2.65	20350	1020	846	102	60	28

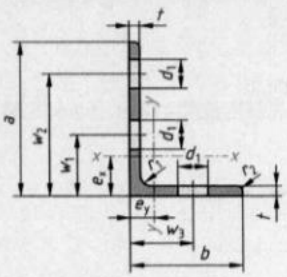
⇒　**槽钢 DIN 1026－U100－S235J0**：槽钢：$h = 100$ mm　S235J0 制

关注公众号：机械工程师成长营

角 钢

不等边角钢，热轧

cf. DIN EN 10056－1（1998－10）



S 截面面积　　W 轴向截面模量
I 截面惯性矩　　m' 质量线密度

材料：碳素结构钢 DIN EN 10025，如：S235J0
交货类型：从 30 × 20 × 3 到 200 × 150 × 15，6 m ≤ 制造长度 < 12 m，6 m ≤ 公称长度 < 12 m ± 100 mm

$r_1 \approx t$　　$r_2 \approx \frac{t}{2}$

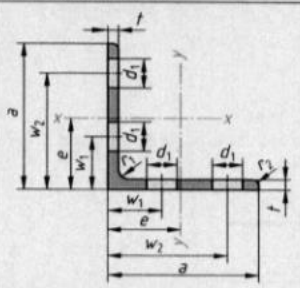
标记 L	尺寸（mm）			S	m'	离轴的距离		对于弯曲轴				按 DIN 997 的画线尺寸			
								$x-x$		$y-y$					
	a	b	t	(cm^2)	(kg/m)	e_x (cm)	e_y (cm)	I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	w_1 (mm)	w_2 (mm)	w_3 (mm)	d_1 (mm)
30 × 20 × 3	30	20	3	1.43	1.12	0.99	0.50	1.25	0.62	0.44	0.29	17	–	12	8.4
30 × 20 × 4	30	20	4	1.86	1.46	1.03	0.54	1.59	0.81	0.55	0.38	17	–	12	8.4
40 × 20 × 4	40	20	4	2.26	1.77	1.47	0.48	3.59	1.42	0.60	0.39	22	–	12	11
40 × 25 × 4	40	25	4	2.46	1.93	1.36	0.62	3.89	1.47	1.16	0.69	22	–	15	11
45 × 30 × 4	45	30	4	2.87	2.25	1.48	0.74	5.78	1.91	2.05	0.91	25	–	17	13
50 × 30 × 5	50	30	5	3.78	2.96	1.73	0.74	9.36	2.86	2.51	1.11	30	–	17	13
60 × 30 × 5	60	30	5	4.28	3.36	2.17	0.68	15.6	4.07	2.63	1.14	35	–	17	17
60 × 40 × 5	60	40	5	4.79	3.76	1.96	0.97	17.2	4.25	6.11	2.02	35	–	22	17
60 × 40 × 6	60	40	6	5.68	4.46	2.00	1.01	20.1	5.03	7.12	2.38	35	–	22	17
65 × 50 × 5	65	50	5	5.54	4.35	1.99	1.25	23.2	5.14	11.9	3.19	35	–	30	21
70 × 50 × 6	70	50	6	6.89	5.41	2.23	1.25	33.4	7.01	14.2	3.78	40	–	30	21
75 × 50 × 6	75	50	6	7.19	5.65	2.44	1.21	40.5	8.01	14.4	3.81	40	–	30	21
75 × 50 × 8	75	50	8	9.41	7.39	2.52	1.29	52.0	10.4	18.4	4.95	40	–	30	23
80 × 40 × 6	80	40	6	6.89	5.41	2.85	0.88	44.9	8.73	7.59	2.44	45	–	22	23
80 × 40 × 8	80	40	8	9.01	7.07	2.94	0.96	57.6	11.4	9.61	3.16	45	–	22	23
80 × 60 × 7	80	60	7	9.38	7.36	2.51	1.52	59.0	10.7	28.4	6.34	45	–	35	23
100 × 50 × 6	100	50	6	8.71	6.84	3.51	1.05	89.9	13.8	15.4	3.89	55	–	30	25
100 × 50 × 8	100	50	8	11.4	8.97	3.60	1.13	116	18.2	19.7	5.08	55	–	30	25
100 × 65 × 7	100	65	7	11.2	8.77	3.23	1.51	113	16.6	37.6	7.53	55	–	35	25
100 × 65 × 8	100	65	8	12.7	9.94	3.27	1.55	127	18.9	42.2	8.54	55	–	35	25
100 × 65 × 10	100	65	10	15.6	12.3	3.36	1.63	154	23.2	51.0	10.5	55	–	35	25
100 × 75 × 8	100	75	8	13.5	10.6	3.10	1.87	133	19.3	64.1	11.4	55	–	40	25
100 × 75 × 10	100	75	10	16.6	13.0	3.19	1.95	162	23.8	77.6	14.0	55	–	40	25
100 × 75 × 12	100	75	12	19.7	15.4	3.27	2.03	189	28.0	90.2	16.5	55	–	40	25
120 × 80 × 8	120	80	8	15.5	12.2	3.83	1.87	226	27.6	80.8	13.2	50	80	45	25
120 × 80 × 10	120	80	10	19.1	15.0	3.92	1.95	276	34.1	98.1	16.2	50	80	45	25
120 × 80 × 12	120	80	12	22.7	17.8	4.00	2.03	323	40.4	114	19.1	50	80	45	25
125 × 75 × 8	125	75	8	15.5	12.2	4.14	1.68	247	29.6	67.6	11.6	50	–	40	25
125 × 75 × 10	125	75	10	19.1	15.0	4.23	1.76	302	36.5	82.1	14.3	50	–	40	25
125 × 75 × 12	125	75	12	22.7	17.8	4.31	1.84	354	43.2	95.5	16.9	50	–	40	25
135 × 65 × 8	135	65	8	15.5	12.2	4.78	1.34	291	33.4	45.2	8.75	50	–	35	25
135 × 65 × 10	135	65	10	19.1	15.0	4.88	1.42	356	41.3	54.7	10.8	50	–	35	25
150 × 75 × 9	150	75	9	19.6	15.4	5.26	1.57	455	46.7	77.9	13.1	60	105	40	28
150 × 75 × 10	150	75	10	21.7	17.0	5.30	1.61	501	51.6	85.6	14.5	60	105	40	28
150 × 75 × 12	150	75	12	25.7	20.2	5.40	1.69	588	61.3	99.6	17.1	60	105	40	28
150 × 75 × 15	150	75	15	31.7	24.8	5.52	1.81	713	75.2	119	21.0	60	105	40	28
⇒	**角钢 EN 1056－1－65 × 50 × 5－S235J0** 不等边角钢，a = 65 mm，b = 50 mm，t = 5 mm，S235J0 制														

关注公众号：机械工程师成长营

角　钢

等边角钢，热轧

cf. DIN EN 10056－1（1998－10）



S 截面面积　　W 轴向截面模量
I 截面惯性矩　　m' 质量线密度

材料：碳素结构钢 DIN EN 10025，如：S235J0
交货类型：从 20×20×3 到 200×250×35，制造长度＜12 m，6 m≤公称长度＜12 m ± 100 mm

$r_1 \approx t$　　$r_2 \approx \frac{t}{2}$

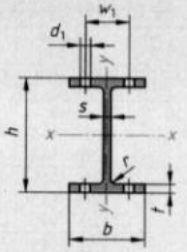
标记 L	尺寸（mm）		S	m'	离轴的距离	对于弯曲轴 $x-x$ 和 $y-y$		按 DIN 997 的画线尺寸		
	a	t	（cm^2）	（kg/m）	e（cm）	$I_x = I_y$（cm^4）	$W_x = W_y$（cm^3）	w_1（mm）	w_2（mm）	d_1（mm）
20×20×3	20	3	1.12	0.882	0.598	0.39	0.28	12	–	4.3
25×25×3	25	3	1.42	1.12	0.723	0.80	0.45	15	–	6.4
25×25×4	25	4	1.85	1.45	0.762	1.02	0.59	15	–	6.5
30×30×3	30	3	1.74	1.36	0.835	1.40	0.65	17	–	8.4
30×30×4	30	4	2.27	1.78	0.878	1.80	0.85	17	–	8.4
35×35×4	35	4	2.67	2.09	1.00	2.95	1.18	18	–	11
40×40×4	40	4	3.08	2.42	1.12	4.47	1.55	22	–	11
40×40×5	40	5	3.79	2.97	1.16	5.43	1.91	22	–	11
45×45×4.5	45	4.5	3.90	3.06	1.25	7.14	2.20	25	–	13
50×50×4	50	4	3.89	3.06	1.36	8.97	2.46	30	–	13
50×50×5	50	5	4.80	3.77	1.40	11.0	3.05	30	–	13
50×50×6	50	6	5.69	4.47	1.45	12.8	3.61	30	–	13
60×60×5	60	5	5.82	4.57	1.64	19.4	4.45	35	–	17
60×60×6	60	6	6.91	5.42	1.69	22.8	5.29	35	–	17
60×60×8	60	8	9.03	7.09	1.77	29.2	6.89	35	–	17
65×65×7	65	7	8.70	6.83	1.85	33.4	7.18	35	–	21
70×70×6	70	6	8.13	6.38	1.93	36.9	7.27	40	–	21
70×70×7	70	7	9.40	7.38	1.97	42.3	8.41	40	–	21
75×75×6	75	6	8.73	6.85	2.05	45.8	8.41	40	–	23
75×75×8	75	8	11.4	8.99	2.14	59.1	11.0	40	–	23
80×80×8	80	8	12.3	9.63	2.26	72.2	12.6	45	–	23
80×80×10	80	10	15.1	11.9	2.34	87.5	15.4	45	–	23
90×90×7	90	7	12.2	9.61	2.45	92.6	14.1	50	–	25
90×90×8	90	8	13.9	10.9	2.50	104	16.1	50	–	25
90×90×9	90	9	15.5	12.2	2.54	116	17.9	50	–	25
90×90×10	90	10	17.1	13.4	2.58	127	19.8	50	–	25
100×100×8	100	8	15.5	12.2	2.74	145	19.9	55	–	25
100×100×10	100	10	19.2	15.0	2.82	177	24.6	55	–	25
100×100×12	100	12	22.7	17.8	2.90	207	29.1	55	–	25
120×120×10	120	10	23.2	18.2	3.31	313	36.0	50	80	25
120×120×12	120	12	27.5	21.6	3.40	368	42.7	50	80	25
130×130×12	130	12	30.0	23.6	3.64	472	50.4	50	90	25
150×150×10	150	10	29.3	23.0	4.03	624	56.9	60	105	28
150×150×12	150	12	34.8	27.3	4.12	737	67.7	60	105	28
150×150×15	150	15	43.0	33.8	4.25	898	83.5	60	105	28
⇒	**角钢 EN 10056－1－70×70×7－S235J0**：等边角钢，a＝70 mm，t＝7 mm，S235J0 制									

关注公众号：机械工程师成长营

中等宽和宽工字钢

中等宽工字钢（IPE），带平行凸缘表面，热轧

cf. DIN 1025－5（1995－03）



S 截面面积　　W 轴向截面模量
I 截面惯性矩　　m' 质量线密度

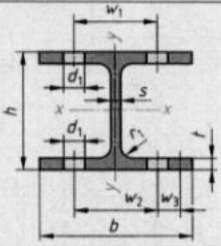
材料：碳素结构钢 DIN EN 10025，如：S235JR
交货类型：标准长度（8 m～16 m）±50 mm，$h<300$ mm，
（8 m～18 m）±50 mm，$h\geqslant 300$ mm

标记 IPE	尺寸（mm）					S (cm^2)	m' (kg/m)	对于弯曲轴				按 DIN 997 的画线尺寸	
								x－x		y－y			
	h	b	s	t	r			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	w_1 (mm)	d_1 (mm)
80	80	46	3.8	5.2	5	7.64	6.0	80.1	20.0	8.5	3.7	26	6.4
100	100	55	4.1	5.7	7	10.3	8.1	171	34.2	15.9	5.8	30	8.4
120	120	64	4.4	6.3	7	13.2	10.4	318	53.0	27.7	8.7	36	8.4
140	140	73	4.7	6.9	7	16.4	12.9	541	77.3	44.9	12.3	40	11
160	160	82	5.0	7.4	9	20.1	15.8	869	109	68.3	16.7	44	13
180	180	91	5.3	8.0	9	23.9	18.8	1320	146	101	22.2	50	13
200	200	100	5.6	8.5	12	28.5	22.4	1940	194	142	28.5	56	13
220	220	110	5.9	9.2	12	33.4	26.2	2770	252	205	37.3	60	17
240	240	120	6.2	9.8	15	39.1	30.7	3890	324	284	47.3	68	17
270	270	135	6.6	10.2	15	45.9	36.1	5790	429	420	62.2	72	21
300	300	150	7.1	10.7	15	53.8	42.2	8360	557	604	80.5	80	23
330	330	160	7.5	11.5	18	62.6	49.1	11770	713	788	98.5	86	25
360	360	170	8.0	12.7	18	72.7	57.1	16270	904	1040	123	90	25
400	400	180	8.6	13.5	21	84.5	66.3	23130	1160	1320	146	96	28
450	450	190	9.4	14.6	21	98.8	77.6	33740	1500	1680	176	106	28
500	500	200	10.2	16.0	21	116	90.7	48200	1930	2140	214	110	28
550	550	210	11.1	17.2	24	134	106	67120	2440	2670	254	120	28
600	600	220	12.0	19.0	24	156	122	92080	3070	3390	308	120	28

⇒ **工字钢（IPE）DIN 1025－IPE300－S235JR**：
中等宽工字钢，带平行凸缘表面，$h=300$ mm，S235JR 制

宽工字钢（IPE），带平行凸缘表面，热轧

cf. DIN 1025－2（1995－11）



S 截面面积　　W 轴向截面模量
I 截面惯性矩　　m' 质量线密度

材料：碳素结构钢 DIN EN 10025，如：S235JR
交货类型：标准长度（8 m～16 m）±50 mm，$h<300$ mm，
（8 m～18 m）±50 mm，$h\geqslant 300$ mm

$r_1 \approx 2 \cdot s$

标记 IPB	尺寸（mm）				S (cm^2)	m' (kg/m)	对于弯曲轴				按 DIN 997 的画线尺寸	
							x－x		y－y			
	h	b	s	t			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	w_1 (mm)	d_1 (mm)
100	100	100	6	10	26.0	20.4	450	89.9	167	33.5	56	13
120	120	120	6.5	11	34.0	26.7	864	144	318	52.9	66	17
140	140	140	7	12	43.0	33.7	1510	216	550	78.5	76	21
160	160	160	8	13	54.3	42.6	2490	311	889	111	86	23
180	180	180	8.5	14	65.3	51.2	3830	426	1360	151	100	25
200	200	200	9	15	78.1	61.3	5700	570	2000	200	110	25

表的续页见 150 页

关注公众号：机械工程师成长营

宽工字钢和窄工字钢

宽工字钢（IPB），带平行凸缘表面，热轧（续）

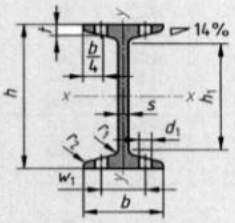
cf. DIN 1025－2（1995－11）

标记 IPB	尺寸（mm）				S (cm^2)	m' (kg/m)	对于弯曲轴				按 DIN 997 的画线尺寸			
							$x-x$		$y-y$		单行	双行		
	h	b	s	t			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	w_1	w_2	w_3	d_1
220	220	220	9.5	16	91	71.5	8090	736	2840	258	120	–	–	25
240	240	240	10	17	106	83.2	11260	938	3920	327	–	96	35	25
260	260	260	10	17.5	118	93.0	14920	1150	5130	395	–	106	40	25
280	280	280	10.5	18	131	103	19270	1380	6590	471	–	110	45	25
300	300	300	11	19	149	117	25170	1680	8560	571	–	120	45	28
320	320	300	11.5	20.5	161	127	30820	1930	9240	616	–	120	45	28
340	340	300	12	21.5	171	134	36660	2160	9690	646	–	120	45	28
360	360	300	12.5	22.5	181	142	43190	2400	10140	676	–	120	45	28
400	400	300	13.5	24	198	155	57680	2880	10820	721	–	120	45	28
450	450	300	14	26	218	171	78890	3550	11720	781	–	120	45	28
500	500	300	14.5	28	239	187	107200	4290	12620	842	–	120	45	28
550	550	300	15	29	254	199	136700	4970	13080	872	–	120	45	28
600	600	300	15.5	30	270	212	171000	5700	13530	902	–	120	45	28
650	650	300	16	31	286	225	210600	6480	13980	932	–	120	45	28
700	700	300	17	32	306	241	256900	7340	14440	963	–	126	45	28
800	800	300	17.5	33	334	262	359100	8980	14900	994	–	130	40	28
900	900	300	18.5	35	371	291	494100	10980	15820	1050	–	130	40	28
1000	1000	300	19	36	400	314	644700	12890	16280	1090	–	130	40	28

⇒ **工字钢 DIN 1025－IPB 240－S235JR**：宽工字钢，带平行凸缘表面，h＝240 mm，S235JR 制
根据 EURONORM 53－62 的标记：HE240B

窄工字钢，热轧

cf. DIN 1025－1（1995－05）



S 截面面积　　W 轴向截面模量
I 截面惯性矩　　m' 质量线密度

材料：碳素结构钢 DIN EN 10025，如：S235JR
交货类型：标准长度（8 m～16 m）±50 mm，h＜300 mm，
（8 m～18 m）±50 mm，h≥300 mm

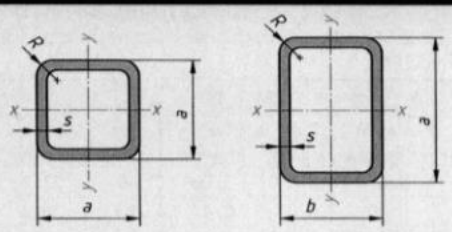
$r_1 = s$　　$r_2 \approx 0.6 \cdot s$

标记 I	尺寸（mm）					S (cm^2)	m' (kg/m)	对于弯曲轴				按 DIN 997 的画线尺寸	
								$x-x$		$y-y$			
	h	b	s	t	h_1			I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	w_1 (mm)	d_1 (mm)
80	80	42	3.9	5.9	59	7.57	5.94	77.8	19.5	6.29	3.00	22	6.4
100	100	50	4.5	6.8	75	10.6	8.34	171	34.2	12.2	4.88	28	6.4
120	120	58	5.1	7.7	92	14.2	11.1	328	54.7	21.5	7.41	32	8.4
140	140	66	5.7	8.6	109	18.2	14.3	573	81.9	35.2	10.7	34	11
160	160	74	6.3	9.5	125	22.8	17.9	935	117	54.7	14.8	40	11
180	180	82	6.9	10.4	142	27.9	21.9	1450	161	83.3	19.8	44	13
200	200	90	7.5	11.3	159	33.4	26.2	2140	214	117	26.0	48	13
220	220	98	8.1	12.2	175	39.5	31.1	3060	278	162	33.1	52	13
240	240	106	8.7	13.1	192	46.1	36.2	4250	354	221	41.7	56	17
260	260	113	9.4	14.1	208	53.3	41.9	5740	442	288	51.0	60	17
280	280	119	10.1	15.2	225	61.0	47.9	7590	542	364	61.2	60	17
300	300	125	10.8	16.2	241	69.0	54.2	9800	653	451	72.2	64	21
320	320	131	11.5	17.3	257	77.7	61.0	12510	782	555	84.7	70	21
340	340	137	12.2	18.3	274	86.7	68.0	15700	923	674	98.4	74	21
360	360	143	13.0	19.5	290	97.0	76.1	19610	1090	818	114	76	23
380	380	149	13.7	20.5	306	107	84.0	24010	1260	975	131	82	23
400	400	155	14.4	21.6	322	118	92.4	29210	1460	1160	149	82	23
450	450	170	16.2	24.3	363	147	115	45850	2040	1730	203	94	25
500	500	185	18.0	27.0	404	179	141	68740	2750	2480	268	100	28
550	550	200	19.0	30.0	445	212	166	99180	3610	3490	349	110	28

⇒ **工字钢 DIN 1025－I 180－S235JR**：窄工字钢 h＝180 mm，S235JR 制

关注公众号：机械工程师成长营

管



材料：碳素结构钢 DIN EN 10025 或细晶粒结构钢 DIN EN 10113

交货类型：DIN EN 10210－2
制造长度 4 m～16 m，断面尺寸 $a \times a = 20 \times 20$ 到 400×400
DIN EN 10219－2
制造长度 4 m～16 m，断面尺寸 $a \times a = 20 \times 20$ 到 400×400
连同方形和矩形管一起，DIN EN 10210 和 DIN EN 10219 也包括圆形管

热加工方形和矩形管

cf. DIN EN 10210－2（1997－11）

公称尺寸 $a \times a$ $a \times a$ (mm)	壁厚 s (mm)	质量线密度 m' (kg/m)	截面 S (cm^2)	截面惯性矩和截面模量					
				对于弯曲轴				对于扭转	
				$x-x$		$y-y$			
				I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	I_p (cm^4)	W_p (cm^3)
40×40	3.0	3.41	4.34	9.78	4.89	9.78	4.89	15.7	7.10
	4.0	4.39	5.59	11.8	5.91	11.8	5.91	19.5	8.54
50×50	2.5	3.68	4.68	17.5	6.99	17.5	6.99	27.5	10.2
	3.0	4.35	5.54	20.2	8.08	20.2	8.08	32.1	11.8
60×60	3.0	5.29	6.74	36.2	12.1	36.2	12.1	56.9	17.7
	4.0	6.90	8.79	45.4	15.1	45.4	15.1	72.5	22.0
	5.0	8.42	10.7	53.3	17.8	53.3	17.8	86.4	25.7
50×30	3.0	3.41	4.34	13.6	5.43	5.94	3.96	13.5	6.51
	4.0	4.39	5.59	16.5	6.60	7.08	4.72	16.6	7.77
60×40	3.0	4.35	5.54	26.5	8.82	13.9	6.95	29.2	11.2
	4.0	5.64	7.19	32.8	10.9	17.0	8.52	36.7	13.7
80×40	4.0	6.90	8.79	68.2	17.1	22.2	11.1	55.2	18.9
	5.0	8.42	10.7	80.3	20.1	25.7	12.9	65.1	21.9
	6.0	9.87	12.6	90.5	22.6	28.5	14.2	73.4	24.2
100×50	4.0	8.78	11.2	140	27.9	46.2	18.5	113	31.4
	5.0	10.8	13.7	167	33.3	54.3	21.7	135	36.9
⇒	**管 DIN EN 10210－60×60×5－S355J0**：方形管，a=60 mm，s=5 mm，S355J0 制								

冷加工、焊接，方形和矩形管

cf. DIN EN 10219－2（1997－11）

公称尺寸 $a \times a$ $a \times a$ (mm)	壁厚 s (mm)	质量线密度 m' (kg/m)	截面 S (cm^2)	截面惯性矩和截面模量					
				对于弯曲轴				对于扭转	
				$x-x$		$y-y$			
				I_x (cm^4)	W_x (cm^3)	I_y (cm^4)	W_y (cm^3)	I_p (cm^4)	W_p (cm^3)
30×30	2.0	1.68	2.14	2.72	1.81	2.72	1.81	4.54	2.75
	2.5	2.03	2.59	3.16	2.10	3.16	2.10	5.40	3.20
	3.0	2.36	3.01	3.50	2.34	3.50	2.34	6.15	3.58
40×40	2.0	2.31	2.94	6.94	3.47	6.94	3.47	11.3	5.23
	2.5	2.82	3.59	8.22	4.11	8.22	4.11	13.6	6.21
	3.0	3.30	4.21	9.32	4.66	9.32	4.66	15.8	7.07
	4.0	4.20	5.35	11.1	5.54	11.1	5.54	19.4	8.48
80×80	3.0	7.07	9.01	87.8	22.0	87.8	22.0	140	33.0
	4.0	9.22	11.7	111	27.8	111	27.8	180	41.8
	5.0	11.3	14.4	131	32.9	131	32.9	218	49.7
40×20	2.0	1.68	2.14	4.05	2.02	1.34	1.34	3.45	2.36
	2.5	2.03	2.59	4.69	2.35	1.54	1.54	4.06	2.72
	3.0	2.36	3.01	5.21	2.60	1.68	1.68	4.57	3.00
60×40	3.0	4.25	5.41	25.4	8.46	13.4	6.72	29.3	11.2
	4.0	5.45	6.95	31.0	10.3	16.3	8.14	36.7	13.7
	5.0	6.56	8.36	35.3	11.8	18.4	9.21	42.8	15.6
80×40	3.0	5.19	6.61	52.3	13.1	17.6	8.78	43.9	15.3
	4.0	6.71	8.55	64.8	16.2	21.5	10.7	55.2	18.8
	5.0	8.13	10.4	75.1	18.8	24.6	12.3	65.0	21.7
100×40	3.0	6.13	7.81	92.3	18.5	21.7	10.8	59.0	19.4
	4.0	7.97	10.1	116	23.1	26.7	13.3	74.5	24.0
	5.0	9.70	12.4	136	27.1	30.8	15.4	87.9	27.9
⇒	**管 DIN EN 10219－60×40×4－S355J0**：矩形管，a=60 mm，b=40 mm，s=4 mm，S355J0 制								

关注公众号：机械工程师成长营

质量线密度和质量面密度

质量线密度[1]（密度为 $\rho = 7.85\ kg/dm^3$ 的钢的列表值）

d 直径　　m' 质量线密度　　a 边长　　SW 扳手开口度

钢　丝

d (mm)	m' (kg/1000 m)	d (mm)	m' (kg/1000 m)	d (mm)	m' (kg/1000 m)
0.10	0.062	0.55	1.87	1.1	7.46
0.16	0.158	0.60	2.22	1.2	8.88
0.20	0.247	0.65	2.60	1.3	10.4
0.25	0.385	0.70	3.02	1.4	12.1
0.30	0.555	0.75	3.47	1.5	13.9
0.35	0.755	0.80	3.95	1.6	15.8
0.40	0.986	0.85	4.45	1.7	17.8
0.45	1.25	0.90	4.99	1.8	20.0
0.50	1.54	1.0	6.17	2.0	24.7

圆　钢

d (mm)	m' (kg/m)	d (mm)	m' (kg/m)	d (mm)	m' (kg/m)
3	0.055	18	2.00	60	22.2
4	0.099	20	2.47	70	30.2
5	0.154	25	3.85	80	39.5
6	0.222	30	5.55	100	61.7
8	0.395	35	7.55	120	88.8
10	0.617	40	9.86	140	121
12	0.888	45	12.5	150	139
15	1.39	50	15.4	160	158
16	1.58	55	18.7	200	247

扁　钢

a (mm)	m' (kg/m)	a (mm)	m' (kg/m)	a (mm)	m' (kg/m)
6	0.283	20	3.14	40	12.6
8	0.502	22	3.80	50	19.6
10	0.785	25	4.91	60	28.3
12	1.13	28	6.15	70	38.5
14	1.54	30	7.07	80	50.2
16	2.01	32	8.04	90	63.6
18	2.54	35	9.62	100	78.5

六角钢

SW (mm)	m' (kg/m)	SW (mm)	m' (kg/m)	SW (mm)	m' (kg/m)
6	0.245	20	2.72	40	10.9
8	0.435	22	3.29	50	17.0
10	0.680	25	4.25	60	24.5
12	0.979	28	5.33	70	33.3
14	1.33	30	6.12	80	43.5
16	1.74	32	6.96	90	55.1
18	2.20	35	8.33	100	68.0

特殊型材的质量线密度

型　材		页	型　材		页
T 型钢	EN 10055	146	管	EN 10210 – 2	151
角钢，等边	EN 10056 – 1	148	管	EN 10219 – 2	151
角钢，不等边	EN 10056 – 1	147	圆铝棒	DIN 1798	169
槽钢	DIN 1026 – 1	146	方铝棒	DIN 1796	169
工字钢 IPE	DIN 1025 – 5	149	扁铝棒	DIN 1769	170
工字钢 IPB	DIN 1025 – 2	149	圆形铝管	DIN 1795	171
工字钢，窄	DIN 1025 – 1	150	槽铝型材	DIN 9713	171

质量面密度[1]（密度为 $\rho = 7.85\ kg/dm^3$ 的钢的列表值）

板

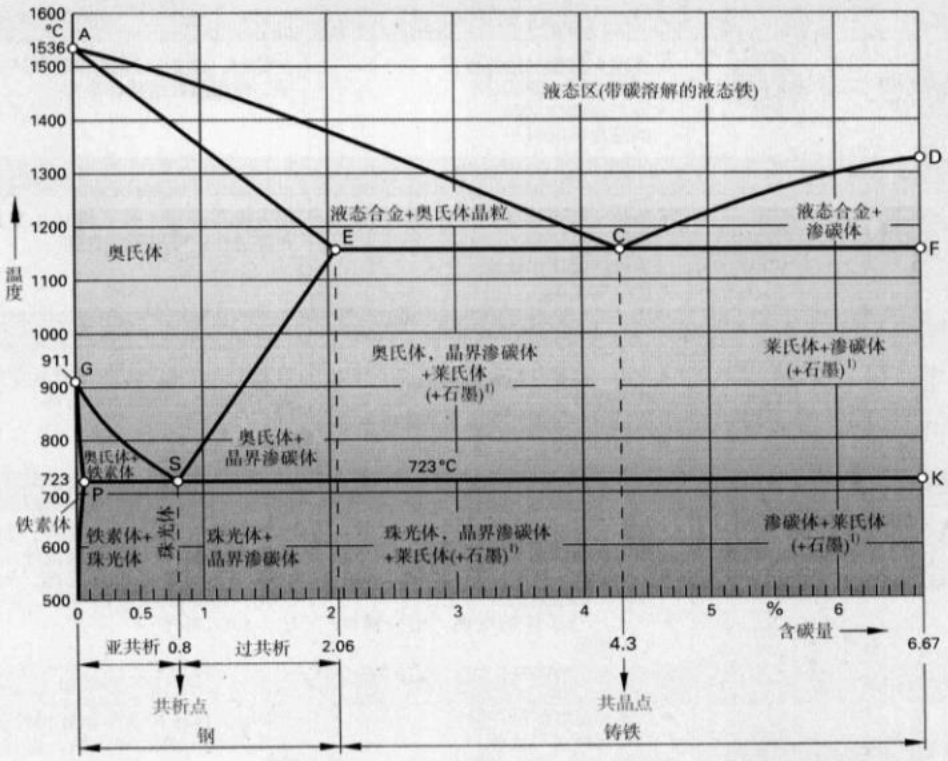
s 板厚　　m'' 质量面密度

s (mm)	m'' (kg/m²)	s (mm)	m'' (kg/m²)	s (mm)	m'' (kg/m²)	s (mm)	m'' (kg/m²)	s (mm)	m'' (kg/m²)	s (mm)	m'' (kg/m²)
0.35	2.75	0.70	5.50	1.2	9.42	3.0	23.6	4.75	37.3	10.0	78.5
0.40	3.14	0.80	6.28	1.5	11.8	3.5	27.5	5.0	39.3	12.0	94.2
0.50	3.93	0.90	7.07	2.0	15.7	4.0	31.4	6.0	47.2	14.0	110
0.60	4.71	1.0	7.85	2.5	19.6	4.5	35.3	8.0	62.8	15.0	118

1）对于不同材料，其值可通过此材料的密度与钢的密度（$7.85\ kg/dm^3$）的比率来计算
例：$s = 4.0$ mm 的金属板料，AlMg3Mn 制（密度 $2.66 kg/dm^3$）。查表：对于钢 $m'' = 31.4$ $AlMg_3Mn$：$m'' = 31.4\ kg/m^2 \cdot 2.66\ kg/dm^3 / 7.85\ kg/dm^3 = 10.64\ kg/m^2$

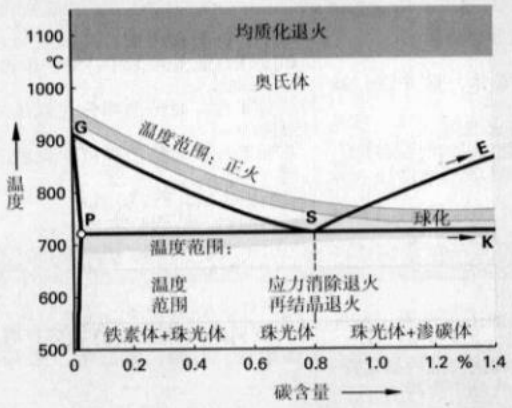
关注公众号：机械工程师成长营

铁碳合金状态图



1) 对于 C 含量大于 2.06%（铸铁）和有附加 Si 含量的铁类型，一部分碳沉淀为石墨形式

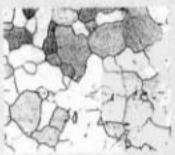
钢的热处理



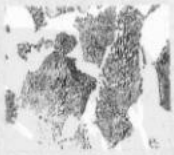
碳素钢的微组织

碳含量和晶体结构

蚀刻剂：3% 硝酸/酒精溶液　放大倍率约 500:1



0.1% C
铁素体



0.45% C
铁素体+珠光体



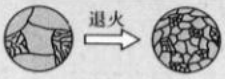
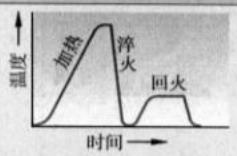
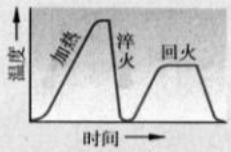
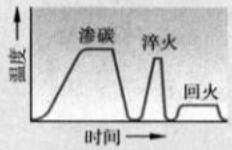
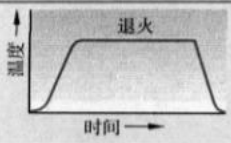
0.8% C
珠光体



1.3% C
珠光体+晶界渗碳体

关注公众号：机械工程师成长营

钢的热处理工艺概述

插图	简短描述	应用，信息[1]
正火		
	• 在退火温度加热并保持 结构变换（奥氏体） • 控制冷却到室温 细晶粒标准组织	在轧制、铸造、焊接和锻制产品中，使粗晶粒结构标准化
球化处理		
	• 加热至退火温度，保持在此温度或循环退火 渗碳体的球化处理 • 冷却至室温	用来提高冷加工性、机械加工性和淬透性；可用于所有钢
去应力退火		
	• 在退火温度（低于结构转变）下加热并保持 通过工件的塑性变形来消除应力 • 冷却至室温	用来减少焊接、铸造和锻制零件的内部应力；可用于所有钢
淬火处理		
	• 在淬火温度加热并保持 结构变换（奥氏体） • 在油、水、空气中淬火 脆硬，微细结构（马氏体） • 回火　马氏体的变换，更高韧性，加工硬度	用于承受磨损应力的零件，如：工具、弹簧、导轨、冲压型材 C > 0.3% 的钢适于热处理，如：C70U，102Cr6，C45E，HS6 - 5 - 2C，X38CrMoV5 - 3
淬火和回火		
	• 在淬火温度加热并保持 结构变换（奥氏体） • 在油、水、空气中淬火 硬，脆，细晶粒结构（马氏体），用于较大尺寸的细芯结构（贝氏体） • 回火，其温度比淬火处理温度高 马氏体减少，微细结构，带好韧性的高强度	经常用于具有高强度和好韧性的动态负载工件，如：轴、齿轮、螺钉 调质钢，见 133 页 渗氮钢，见 134 页 火焰加热和感应加热表面淬火钢，见 134 页 可热处理弹簧钢，见 138 页
表面淬火		
	• 在机加工工件表面层渗碳 • 冷却至室温 标准结构（铁素体，珠光体，碳化物） • 淬火（过程见淬火处理） 表面淬火：加热至表面淬火温度 芯轴淬火：核心区域加热至淬火处理温度	用于有抗磨损表面，高疲劳强度和好核心强度的工件，如：齿轮、轴、螺栓 表面淬火：高抗磨损性，低核心强度 芯轴淬火：高核心强度，硬脆表面 表面淬火钢，见 132 页 易切削钢，见 134 页
渗氮		
	• 退火　通常将精加工工件置于氮气中 形成硬、抗磨损和抗高温的氮化物 • 在静态空气或氮气流中冷却	用于有抗磨损表面，高疲劳强度和好的抗高温性的工件，如：阀、活塞杆、心轴；渗氮钢，见 134 页

1）对于退火和回火温度，淬火介质和可达到的硬度值，见 155 ~ 157 页

关注公众号：机械工程师成长营

工具钢，表面淬火钢

冷加工碳素钢的热处理

cf. DIN EN ISO 4957（2001－02）

钢种类		热加工温度（℃）	球化处理		淬火处理				表面硬度（HRC）≈			
									淬火处理后	在下列温度的回火处理后[2]		
标记	材料牌号		温度（℃）	硬度HB最大	温度（℃）	冷却介质	表面淬火深度[1]（mm）	完全淬火 ≤Φmm		100 ℃	200 ℃	300 ℃
C45U	1.1730	1000～800	680～710	207	800～820	水	3.5	15	58	58	54	48
C70U	1.1520			183	790～810		3.0	10	64	63	60	53
C80U	1.1525	1050～800	680～710	192	780～800	水	3.0	10	64	64	60	54
C90U	1.1535	1050～800		207	770～790				64	64	61	54
C105U	1.1545	1000～800		212	770～790				65	64	62	56

1）对于30mm的直径
2）根据应用和需要的加工硬度来确定回火温度。交货的钢通常作球化处理

合金冷作钢、热作钢和高速钢的热处理

cf. DIN EN ISO 4957（2001－02）

钢种类		热加工温度（℃）	球化处理		淬火处理		表面硬度（HRC）≈				
							淬火处理后	在下列温度的回火处理后[2]			
标记	材料牌号		温度（℃）	硬度HB最大	温度（℃）[1]	冷却介质		200 ℃	300 ℃	400 ℃	500 ℃	550 ℃
105V	1.2834	1050～850	710～750	212	780～800	水	68	64	56	48	40	36
X153CrMoV12	1.2379		800～850	255	1010～1030	空气	63	61	59	58	58	56
X210CrW12	1.2436	1050～850	800～840	255	96～980	油	64	62	60	58	56	52
90MnCrV8	1.2842		680～720	229	780～800		65	62	56	50	42	40
102Cr6	1.2067		710～750	223	830～850		65	62	57	50	43	40
60WCrV8	1.2550	1050～850	710～750	229	900～920	油	62	60	58	53	48	46
X37CrMoV5－1	1.2343	1100～900	750～800	229	1010～1030		53	52	52	53	54	52
HS6－5－2C	1.3343	1100～900	770～840	269	1200～1220	油	64	62	62	62	65	65
HS10－4－3－10	1.3207			302	1220～1240	热浸	66	61	61	62	66	67
HS2－9－1－8	1.3247			277	1180～1200	空气	66	62	62	61	68	69

1）奥氏体化的时间是在淬火温度下保持的时间，对于冷作钢大约为25分钟，高速钢大约为3分钟。加热分阶段进行
2）在540 ℃～570 ℃，高速钢至少回火两次。此温度下的保持时间至少60分钟

表面淬火钢的热处理

cf. DIN EN 10084（1998－06）

钢种类[1]		渗碳温度（℃）	淬火处理		回火处理（℃）	淬火介质	端淬试验				
							温度（℃）	下列距离值对应的硬度值HRC			
标记	材料牌号		核心淬火温度（℃）	表面淬火温度（℃）				最大[2]	3 mm	5 mm	7 mm
C10E	1.1121	880～980	880～920	780～820	150～200	水	–	–	–	–	–
C15E	1.1141						–	–	–	–	–
17Cr3	1.7016		860～900			油	880	47	44	40	33
16MnCr5	1.7131						870	47	46	44	41
20MnCr5	1.7147						870	49	49	48	46
20MoCr4	1.7321						910	49	47	44	41
17CrNi6－6	1.5918		830～870				870	47	47	46	45
15NiCr13	1.5752		840～880				880	48	48	48	47
20NiCrMo2－2	1.6523		860～900				920	49	48	45	42
18CrNiMo7－6	1.6587		830～870				860	48	48	48	48

1）同样的值适用于含控制硫含量的钢，如：C10R，20MnCrS5
2）用于带常规淬透性（+H）的钢，离端面距离1.5mm

关注公众号：机械工程师成长营

火焰加热和感应加热表面淬火钢，调质钢

火焰加热和感应加热表面淬火钢的热处理

cf. DIN 17212（1972－08）

钢种类[1]		热加工（℃）	球化处理（℃）	正火处理（℃）	淬火和回火			表面淬火	
					淬火		回火（℃）		
标记	材料牌号				在水中(℃)	在油中(℃)		在水中（℃）	硬度 HRC 最小
Cf35	1.1183	1100～850	650～700	860～890	840～870	850～880	550～660	850～930	51
Cf45	1.1193	1100～850		840～870	820～850	830～860		820～900	55
Cf53	1.1213	1050～850		830～860	805～835	815～845		805～885	57
Cf70	1.1249	1000～800		820～850	790～820	–		790～870	60
45Cr2	1.7005	1100～850	650～700	840～870	820～850	830～860	550～660	820～900	55
38Cr4	1.7043	1050～850	680～720	845～885	825～855	835～865	540～680	825～905	53
42Cr4	1.7045	1050～850	680～720	840～880	820～850	830～860	540～680	820～900	54
41CrMo4	1.7223	1050～850	680～720	840～880	820～850	830～860	540～680	820～900	54
49CrMo4	1.7238								56

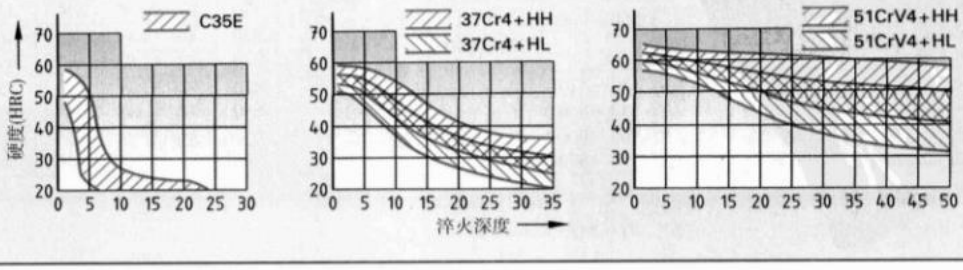
调质钢的热处理

cf. DIN EN 10083（1996－10）

钢种类[1]		正火（℃）	最终淬火测试				淬火和回火		
			℃	表淬透性[2]的硬度 HRC			淬火处理[3]（℃）	淬火介质	回火处理[4]（℃）
标记	材料牌号			+H	+HH	+HL			
C22	1.0402	880～920	–	–	–	–	860～900	水	550～660
C25	1.0406	880～920					860～900		
C30	1.0528	870～910					850～890		
C35	1.0501	860～900	870	48～58	51～58	48～55	840～880	水或油	550～660
C40	1.0511	850～890	870	51～60	54～60	51～57	830～870		
C45	1.0503	840～880	850	55～62	57～62	55～60	820～860		
C50	1.0540	830～870	850	56～63	58～63	56～61	810～850	油或水	550～660
C55	1.0535	825～865	830	58～65	60～65	58～63	805～845		
C60	1.0601	820～860	830	60～67	62～67	60～65	800～840		
28Mn6	1.1170	850～890	850	45～54	48～54	45～51	830～870	水或油	540～680
38Cr2	1.7003	–		51～59	54～59	51～56	830～870	油或水	
46Cr2	1.7006	–		54～63	57～63	54～60	820～860	油或水	
34Cr4	1.7033	–	850	49～57	52～57	49～54	830～870	水或油	540～680
37Cr4	1.7034	–		51～59	54～59	51～56	825～865	油或水	
41Cr4	1.7035	–		53～61	55～61	53～58	820～860	油或水	
25CrMo4	1.7218	–	850	44～52	47～52	44～49	840～880	水或油	540～680
34CrMo4	1.7220	–		49～57	52～57	49～54	830～870	油或水	
42CrMo4	1.7225	–		53～61	56～61	53～58	820～860	油或水	
50CrMo4	1.7228	–	850	58～65	60～65	58～63	820～860	油	540～680
51CrV4	1.8159	–		57～65	60～65	57～62	820～860	油	
36CrNiMo4	1.6511	–		51～59	54～59	51～56	820～850	油或水	
34CrNiMo6	1.6582	–	850	50～58	53～58	50～55	830～860	油	540～660
30CrNiMo8	1.6580	–		48～56	51～56	48～53	830～860	油	540～660
36NiCrMo16	1.6773	–		50～57	52～57	50～55	865～885	空气或油	550～650

1）相同的值适于高等级碳素钢，如：C22E；也适于含控制硫含量的钢，如：C35R，25CrMoS4
2）淬透性要求：+H 常规淬透；+HH，+HL：淬透性值的有限分布
3）较低温度范围适于水中淬火，较高温度范围适于油中淬火
4）回火时间至少 60 分钟

调质钢的淬透性和淬火深度（射线能谱）



关注公众号：机械工程师成长营

渗氮钢，易切削钢，铝合金

渗氮钢的热处理

cf. DIN EN 10085（2001－01）

钢种类		渗氮前的热处理				渗氮处理[1]		
标记	材料牌号	球化温度（℃）	淬火和回火					
			淬火		（气体渗氮回火温度[3][4]）（℃）	气体渗氮	硝基渗碳	硬度[5] HV1
			温度[2]（℃）	淬火介质				
24CrMo13－6	1.8516	650～700	870～970	油或水	580～700	500～600	570～650	–
31CrMo12	1.8515	650～700	870～930					800
32CrAlMo7－10	1.8505	650～750	870～930					–
31CrMoV9	1.8519	680～720	870～930					800
33CrMoV12－9	1.8522	680～720	870～970					–
34CrAlNi7－10	1.8550	650～700	870～930					950
41CrAlMo7－10	1.8509	650～750	870～930					950
40CrMoV13－9	1.8523	680～720	870～970					–
34CrAlMo5－10	1.8507	650～750	870～930					950

1）渗氮时间是渗氮淬硬深度的函数
2）奥氏体化时间至少 0.5 小时
3）回火时间至少 1 小时
4）回火温度不应小于渗氮温度之上 50 ℃
5）氮化表面硬度

易切削钢的热处理

cf. DIN EN 10087（1999－01）

易切削表面淬火钢

钢种类		渗碳温度（℃）	核心淬火温度（℃）	表面淬火温度（℃）	淬火介质[1]	回火温度[2]（℃）
标记	材料牌号					
10S20 10SPb20 15SMn13	1.0721 1.0722 1.0725	880～980	880～920	780～820	水，油，乳状液	150～200

易切削调质钢

钢种类		淬火温度（℃）	淬火介质[1]	调质温度（℃）	调质处理[3]		
标记	材料牌号				R_e（N/mm²）	R_m（N/mm²）	A（%）
35S20 35SPb20	1.0726 1.0756	860～890	水或油	540～680	430	630～780	15
36SMn14 36SMnPb14	1.0764 1.0765	850～880			460	700～850	14
38SMn28 38SMnPb28	1.0760 1.0761	850～880	油或水		460		15
44SMn28 44SMnPb28	1.0762 1.0763	840～870			480		16
46S20	1.0757				490		12

1）淬火介质的选择依赖于工件的形状
2）回火时间至少 1 小时
3）值适用于直径 $10 < d \leqslant 16$

铝合金的淬火

合金 EN AW－		时效强化[2]类型	固溶退火温度（℃）	人工时效		自然时效时间（天）	时效强化	
标记	材料牌号			温度（℃）	保持时间（小时）		R_m（N/mm²）	A（%）
Al Cu4MgSi Al Cu4SiMg	2017 2014	T4 T6	500	480～540	8～24	5～8	390	12
						–	420	8
Al MgSi Al MgSi1 MgMn	6060 6082	T4 T6	525			5～8	130	15
						–	280	6
Al Zn4，5Mg1 Al Zn5，5 MgCu	7020 7075	T6 T6	470			–	210	12
						–	545	8
Al Si7Mg[1]	42000[1]	T4	525			4	250	1

1）铸铝合金 EN AC－Al Si7Mg 或 EN AC 42000
2）T4 固溶退火和自然时效；T6 固溶退火和人工时效

关注公众号：机械工程师成长营

命名系统

标记和材料牌号

cf. DIN EN 1560（1997－08）

通过标记或材料牌号来确定不同的铸铁材料

例：

带片状石墨的铸铁，拉伸强度 $R_m = 300 N/mm^2$

标记	材料牌号
EN－GJL－300	EN－JL1050

材料标记

材料标记至多可使用6个不带间隙的字符，以EN（欧洲标准）和GJ（铸铁；I铁）开头

标记举例：

EN · GJ	L		·	350		带片状石墨的铸铁
EN · GJ	L		·	HB155		带片状石墨的铸铁
EN · GJ	S		·	350－22U		带球状石墨的铸铁（韧铁）
EN · GJ	M	B	·	450－6		可锻铸铁－黑心
EN · GJ	M	W	·	360－12	W	可锻铸铁－白心
EN · GJ	M		·	HV600（XCr14）		抗磨损铸铁
EN · GJ	L	A	·	XNiCuCr15－6－2		奥氏体铸铁

石墨结构（字母）

L	片状石墨
S	球状石墨
M	回火碳
V	蠕虫状石墨
N	无石墨
Y	特殊结构

微结构或宏结构（字母）

A	奥氏体
F	铁素体
P	珠光体
M	马氏体
L	莱氏体
Q	淬火
T	调质
B	未脱碳
W	脱碳

机械特性或化学成分（数字/字母）

机械特性

350 最小拉伸强度 R_m（N/mm^2）

350－22 附加断裂延伸率 EL（%）

S 测试样品 分别铸造

U 浇铸中

C 从铸模中取出

HB155 最大硬度

化学成分

数据基于钢的标记，见125页

附加要求

D	铸件毛坯
H	热处理铸件
W	可焊接
Z	附加要求

材料牌号

材料牌号有不带间隙的7个字符，以EN（欧洲标准）和J（铁；I铁）开头

标记举例：

EN · J	L	2	04	7	片状石墨铸铁，硬度特性如球状石墨
EN · J	S	1	02	2	带铸造测试样品的石墨铸件，特性 R_m
EN · J	M	1	13	0	无特殊要求的可锻铸铁，特性 R_m

石墨结构（字母）

L	片状石墨
S	球状石墨
M	回火碳
V	蠕虫状石墨
N	无石墨
Y	特殊结构

主要特性（数字）

1	拉伸强度
2	硬度
3	化学成分

材料特性代号

每一种铸铁材料都分配有一个两位数字

较大的数字表示较高的强度

材料要求（数字）

0	无特殊要求
1	分离的铸造测试样品
2	铸造中的测试样品
3	从铸模中取出的测试样品
4	室温下的韧性
5	低温下的韧性
6	指定的可焊接性
7	铸件毛坯
8	热处理铸件
9	附加要求

关注公众号：机械工程师成长营

分类					
类型	标准	举例/材料牌号	拉伸强度 R_m (N/mm^2)	特性	应用举例
铸铁					
带片状石墨（灰口铸铁）	DIN EN 1561	EN - GJL - 150 (GG - 15)[1] EN - JL 1020	100 ~ 450	很好的可铸性，好的压缩强度、吸震能力、紧急运行特性、好的抗腐蚀性	用于各种轮廓的复杂工件；应用很广。机器框架、齿轮箱
带球状石墨	DIN EN 1563	EN - GJS - 400 (GGG - 40)[1] EN - JS1030	350 ~ 900	很好的可铸性，高强度（即使有动态负载，表面可淬火）	磨损应力工件；离合器零件、附件、发动机/电动机制造
带蠕虫状石墨	DIN EN 1560	EN - GJV - 200	200 ~ 600	很好的可铸性，高强度且不带贵的合金附加成分	汽车零件、发动机/电动机制造、齿轮箱
贝氏体铸铁	DIN EN 1564	EN - GJS - 800 - 8 EN - JS1100	800 ~ 1400	热处理和可控冷却生成贝氏体和奥氏体，以获得高强度和高韧性	高应力零件，如：轮毂、齿圈、ADI 铸件[2]
抗磨损铸件，白口铸铁	DIN EN 12513	EN - GJN - HV350 EN - JN2019	> 1000	由于含马氏体和碳化物而抗磨损，也与 Cr 和 Ni 组成合金	抗磨损铸铁，如：修整滚轮、疏浚铲、泵叶轮
可锻铸铁					
脱碳（白心）	DIN EN 1562	EN - GJMW - 350 (GTW - 35)[1] EN - JM 1010	270 ~ 570	通过回火进行表面脱碳。高强度和韧性，延展性	精确成型，薄壁，冲击载荷零件；杠杆、制动鼓
未脱碳（黑心）	DIN EN 1562	EN - GJMB - 450 (GTS - 45)[1] EN - JM1140	300 ~ 800	由于可锻化退火，整个断面呈层串石墨。较大壁厚时具有高强度和韧性	精确成型、厚壁、冲击应力零件；杠杆、万向架
铸钢					
作一般应用	DIN 1681[3]	GS - 45 1.0446	380 ~ 600	作一般应用的非合金和低合金铸钢	从 - 10℃ 到 300℃ 的最小机械性能值
带改良的可焊接性	DIN 17182[3]	GS - 20Mn5 1.1120	430 ~ 650	较低碳含量，含锰和微量合金	焊接装配件制造，带大壁厚的细晶粒结构钢
用于压力容器	DIN EN 10213	GP280GH 1.0625	420 ~ 960	在低温和高温下具有高强度和韧性的类型	装热介质或冷介质的压力容器，抗高温和耐低温；防尘
调质铸钢	DIN EN 17205[3]	G30CrMoV6 - 4 1.7725	500 ~ 1250	带高韧性的细晶粒调质结构	链，电镀
不锈	DIN EN 10283	GX6CrNiN26 - 7 1.4347	450 ~ 1100	抗化学攻击和腐蚀	酸中的泵叶轮，双炼钢
抗热	DIN EN 10295	GX25CrNiSi18 - 9 1.4825	400 ~ 550	抗腐蚀性气体	涡轮零件，工业炉

1）以前的标记
2）ADI→奥氏体回火韧铁
3）当 DIN EN 10293（草拟）公布时，引用的标准将被撤回

关注公众号：机械工程师成长营

片状和球状石墨铸铁

片状石墨铸铁（灰口铸铁） cf. DIN EN 1561（1997－08）

拉伸强度 R_m 作为辨识特性

类型[1]		壁厚（mm）	拉伸强度 R_m（N/mm²）
标记	材料牌号		
EN－GJL－100（GG－10）	EN－JL 1010（0.6010）	5～40	100～200
EN－GJL－150（GG－15）	EN－JL 1020（0.6015）	2.5～300	150～250
EN－GJL－200（GG－20）	EN－JL－1030（0.6020）	2.5～300	200～300
EN－GJL－250（GG－25）	EN－JL 1040（0.6025）	5～300	250～350
EN－GJL－300（GG－30）	EN－JL 1050（0.6030）	10～300	300～400
EN－GJL－350	EN－JL 1060	10～300	350～450

⇒**EN－GJL－100**：带片状石墨（灰口铁）的铸铁，最小拉伸强度 R_m = 100 N/mm²

硬度值 HB 作为辨识特性

类型		壁厚（mm）	布氏硬度 HB30
标记	材料牌号		
EN－GJL－HB155（GG－150 HB）	EN－JL2010（0.6012）	40～80	最大 155
EN－GJL－HB175（GG－170 HB）	EN－JL2020（0.6017）	40～80	100～175
EN－GJL－HB195（GG－190 HB）	EN－JL2030（0.6022）	40～80	120～195
EN－GJL－HB215（GG－220 HB）	EN－JL2040（0.6027）	40～80	145～215
EN－GJL－HB235（GG－240 HB）	EN－JL2050（0.6032）	40～80	165～235
EN－GJL－HB255	EN－JL2060	40～80	185～255

⇒**EN－GJL－HB215**：带片状石墨（灰口铁）的铸铁，最大布氏硬度 = 215 HB

特性和应用：
优良的可铸性和机械加工性，振动衰减，抗腐蚀，高压缩强度，优良的滑动特性
机器框架、轴承箱、滑动轴承、抗压零件、涡轮箱，作为特性的硬度值，提供机械加工性方面的信息

球状石墨（球墨）铸铁 cf. DIN EN 1563（2003－02）

拉伸强度 R_m 作为辨识特性

类型		拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	延伸率 EL（%）	特性，应用举例
标记	材料牌号				
EN－GJS－350－22（GGG－35.3）	EN－JS1010（0.7033）	350	220	22	
EN－GJS－400－18	EN－JS1020	400	250	18	机械加工性好，抗磨损性能差；机架
EN－GJS－400－15（GGG－40）	EN－JS1030（0.7040）	400	250	15	
EN－GJS－450－10	EN－JS1040	450	310	10	
EN－GJS－500－7（GGG－50）	EN－JS1050（0.7050）	500	320	7	机械加工性好，抗磨损性能一般；附件、压榨机框架
EN－GJS－600－3	EN－JS1060	600	370	3	
EN－GJS－700－2	EN－JS1070	700	420	2	
EN－GJS－800－2	EN－JS1080	800	480	2	好的表面硬度；齿轮、操纵部件和离合器零件、链
EN－GJS－900－2	EN－JS1090	900	600	2	

⇒**EN－GJS－400－18**：带球状石墨（球墨）的铸铁，最小拉伸强度 R_m = 400 N/mm²；断裂延伸率 EL = 18%

硬度值 HB 作为辨识特性

类型		拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	布氏硬度 HB	特性，应用举例
标记	材料牌号				
EN－GJS－HB130	EN－JS2010	350	220	<160	通过指定硬度值，买方可以更好地使加工参数适应铸件的机加工应用如上
EN－GJS－HB150	EN－JS2020	400	250	130～175	
EN－GJS－HB200	EN－JS2050	500	320	170～230	
EN－GJS－HB230	EN－JS2060	600	370	190～270	
EN－GJS－HB265	EN－JS2070	700	420	225～305	
EN－GJS－HB300	EN－JS2080	800	480	245～335	
EN－GJS－HB330	EN－JS2090	900	600	270～360	

⇒ **EN－GJS－HB130**：带球状石墨（球墨）的铸铁，布氏硬度 HB 130，最大硬度 HB 160

1）（ ）以前的标记；选择

关注公众号：机械工程师成长营

可锻铸铁，铸钢

可锻铸铁[1]

cf. DIN EN 1562（1997－08）

类型		拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	布氏硬度 HB	特性，应用举例
标记	材料牌号					
脱碳退火可锻铸铁（白心可锻铸铁）						
EN－GJMW－350－4	EN－JM1010	350	–	4	230	所有的类型都具有好的可铸性和机械加工性 薄壁工件，如：杠杆、链连接
EN－GJMW－400－5	EN－JM1030	400	220	5	220	
EN－GJMW－450－7	EN－JM1040	450	260	7	250	
EN－GJMW－550－4	EN－JM1050	550	340	4	250	
EN－GJMW－360－12	EN－JM1020	360	190	12	200	特别适于焊接
⇒ **EN－GJMW－350－4**：白心可锻铸铁，R_m = 350 N/mm²，A = 4%						
未脱碳退火可锻铸铁（黑心可锻铸铁）						
EN－GJMB－300－6	EN－JM1110	300	–	6	~150	高压力应用
EN－GJMB－350－10	EN－JM1130	350	200	10	~150	所有的类型都具有好的可铸性和机械加工性 厚壁工件，如：机架、万向架、活塞
EN－GJMB－450－6	EN－JM1140	450	270	6	150~200	
EN－GJMB－500－5	EN－JM1150	500	300	5	165~215	
EN－GJMB－550－4	EN－JM1160	550	340	4	180~230	
EN－GJMB－600－3	EN－JM1170	600	390	3	195~245	
EN－GJMB－650－2	EN－JM1180	650	430	2	210~260	
EN－GJMB－700－2	EN－JM1190	700	530	2	240~290	
EN－GJMB－800－1	EN－JM1200	800	600	1	270~320	
⇒**EN－GJMW－350－10**：未脱碳退火可锻铸铁，R_m = 350 N/mm²，EL = 10%						

1）以前的标记：159 页

一般应用的铸钢

cf. DIN 1681（1985－06）

类型		拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	碳含量 (%)	特性，应用举例
标记	材料牌号					
GS－38	1.0420	380	200	25	≈0.15	用于带平均动载荷和冲击载荷的工件，如：带轮三脚架、杠杆
GS－45	1.0446	450	230	22	≈0.25	
GS－52	1.0552	520	260	18	≈0.35	
GS－60	1.0558	600	300	15	≈0.45	

带改良焊接性和韧性的铸钢

cf. DIN 17182（1992－05）

类型		拉伸强度[1] R_m (N/mm²)	屈服强度[1] $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	槽口冲击能 K_v (J)	特性，应用举例
标记	材料牌号					
GS－16Mn5N[2]	1.1131	430	200	25	65	焊接装配件制造
GS－20Mn5N	1.1120	500	300	22	55	
GS－20Mn5V[3]	1.1120	500	360	24	75	

1）该值适用于壁厚至多为40mm的工件　2）正火　3）调质

压力容器用铸钢

cf. DIN EN 10213（2004－03）

类型		拉伸强度[1] R_m (N/mm²)	屈服强度[1] $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	槽口冲击能 K_v (J)	特性，应用举例
标记	材料牌号					
GP240GH	1.0619	420	240	22	27	适于高温和低温，如：蒸汽涡轮、高温蒸汽电枢，也具有抗腐蚀性
G17CrMo5－5	1.7357	490	315	20	27	
GX8CrNi12	1.4107	540	355	18	45	
GX4CrNiMo16－5－1	1.4405	760	540	15	60	

1）该值适用于壁厚至多为40 mm的工件

关注公众号：机械工程师成长营

模型，模型设备和型芯盒 cf. DIN EN 12890（2000－06）

材料和等级

特征	材料		
	木材	塑料	金属
材料种类	胶合板，粒子木板或多层夹板，硬木和软木	带填充剂的环氧树脂或聚亚胺酯	Cu，Sn，Zn 合金，Al 合金，铸铁或钢
应用	反复使用的单件和小批量生产，低精度要求；通常手工造型	带较高精度要求的单件小批量生产和大批量生产；手工和机器造型	带高精度要求的中等到大批量生产；机器造型
造型用最大成批生产量	大约 750	大约 10000	大约 150000
质量等级[1]	W1[2]，W2，H3	P1[2]，P2	M1[2]，M2
表面质量	砂纸 60～80 粗砂	Ra = 12.5 μm	Ra = 3.2～6.3 μm

1）根据应用、质量和使用寿命，对产品和模型使用、模型设备和型芯盒进行分类的系统
2）最好等级

砂型铸造的拔模斜度

高度 h（mm）	拔模斜度 T（mm）					
	小斜度面			大斜度面		
	手工造型		机器造型	手工造型		机器造型
	型砂黏土结合	型砂化学结合		型砂黏土结合	型砂化学结合	
～30	1.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0
>30～80	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	2.0
>80～180	3.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0
>180～250	3.5	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0
>250～1000	+1.0 mm 每 250 mm					
>1000～4000	+2.0 mm 每 1000 mm					

模型上的油漆和颜色代号

表面或部分表面	铸钢	球墨铸铁	灰口铸铁	可锻铁	重金属铸件	轻合金铸件
铸件上不进行机械加工区域的基本颜色	蓝色	紫色	红色	灰色	黄色	绿色
铸件上被机械加工的区域	黄色带	黄色带	黄色带	黄色带	红色带	黄色带
不牢固零件和其附件的定位	黑色框					
激冷板的定位	红色	红色	蓝色	红色	蓝色	蓝色
型芯记号	黑色					
冒口	黄色带					

关注公众号：机械工程师成长营

允许收缩量、尺寸公差、造型和铸造方法

允许收缩量

cf. DIN EN 12890（2000－06）

铸　铁	允许收缩量（%）	其他铸造材料	允许收缩量（%）
带片状石墨	1.0	铸铁	2.0
带球状石墨，退火	0.5	奥氏体的含锰铸钢	2.3
带球状石墨，未退火	1.2	Al，Mg，CuZn 合金	1.2
奥氏体的	2.5	CuSnZn，Zn 合金	1.3
可锻铸铁，脱碳退火	1.6	CuSn 合金	1.5
可锻铸铁，未脱碳退火	0.5	Cu	1.9

尺寸公差和机械加工余量，RMA

cf. DIN ISO 8062（1998－08）

图样中的公差规范举例：

1. ISO 8062－CT12－RMA6（H）公差等级 12，材料余量 6mm
2. 尺寸后直接给出单个公差和机加工余量

R	铸件毛坯－公称尺寸
F	修整后的尺寸
CT	铸件公差等级
T	总铸件尺寸公差
RMA	机械加工的材料余量

$$R = F + 2 \cdot RMA + T/2$$

铸件尺寸公差

公称尺寸（mm）	对应铸件公差等级 *CT* 的总铸件尺寸公差 *T*（mm）															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
~10	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.74	1.0	1.5	2.0	2.8	4.2	–	–	–	–
>10~16	0.10	0.14	0.20	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1	1.6	2.2	3.0	4.4	–	–	–	–
>16~25	0.11	0.15	0.22	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10	12
>25~40	0.12	0.17	0.24	0.32	0.46	0.64	0.9	1.3	1.8	2.6	3.6	5	7	9	11	14
>40~63	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	10	12	16
>63~100	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	11	14	18
>100~160	0.15	0.22	0.30	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8	2.5	3.6	5	7	10	12	16	20
>160~250	–	0.24	0.34	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	11	14	18	22
>250~400	–	–	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.2	9	12	16	20	25
>400~630	–	–	–	0.64	0.90	1.2	1.8	2.6	3.6	5	7	10	14	18	22	28
>630~1000	–	–	–	–	1.0	1.4	2.0	2.8	4	6	8	11	16	20	25	32

造型和铸造方法

方法	应用	优点和缺点	铸造材料	相对尺寸精度[1]（mm/mm）	可达到的粗糙度 Ra（μm）
手工造型	大铸件，小批量	所有尺寸，贵，低尺寸精度	GJL，GJS，GS，GJM，Al 和 Cu 合金	0.00~0.10	40~320
机器造型	小到中等尺寸零件，大批量	尺寸精确，好表面	GJL，GJS，GS，GJM，Al 合金	0.00~0.06	20~160
真空造型	中等到大尺寸零件，大批量	尺寸精确，好表面，高投资成本	GJL，GJS，GS，GJM，Al 和 Cu 合金	0.00~0.08	40~160
壳造型	小零件，大批量	尺寸精确，高造型成本	GJL，GS，Al 和 Cu 合金	0.00~0.06	20~160
熔模铸造	小零件，大批量	复杂零件，高造型成本	GS，Al 合金	0.00~0.04	10~80
压模铸造	小到中等尺寸零件，大批量	尺寸精确（即使是薄壁），细晶粒结构，高投资成本	热腔：Zn，Pb，Sn，Mg 冷腔：Cu，Al	0.00~0.04	10~40

1）最大相对偏差与公称尺寸的比被称为相对尺寸精度

关注公众号：机械工程师成长营

铝，铝合金——概述

合金组	材料牌号	主要特性	主要应用范围	产品形状[1] S	R	T
纯铝						166 页
Al（Al 含量 >99%）	AW－1000 到 AW－1990（1000 系列）	· 很好的冷加工性 · 可定位焊接和铜焊 · 很难进行切削加工 · 抗腐蚀 · 用于装饰的阳极氧化	食品和化学工业用容器、管道和设备；汽车制造中的电导体、反射镜、饰件、牌照	·	·	·
铝，可锻铝合金，不可热处理（摘选）						166 页
AlMn	AW－3000 到 AW－3990（3000 系列）	· 可冷加工 · 可定位焊接和软焊 · 冷作加工条件下有好的机械加工性 相对于 1000 系列： · 较高强度 · 改良的碱液电阻率	建筑工业中的屋面板、侧壁和支撑结构，汽车制造中的散热器和空调用零件，包装工业中的饮料和食品罐头	·	·	·
AlMg	AW－5000 到 AW－5990（5000 系列）	· 带高加工硬化率的好的冷加工性 · 有限可焊接性 · 冷作加工条件下有好的机械加工性且带有较高的合金含量 · 能抵抗恶劣气候和盐水的侵蚀	商用车辆上部结构用轻材料、罐和筒仓卡车、金属标牌、交通标志、旋转百叶窗和门；建筑工业用窗、门和五金器具、机器框架、夹具、固定设备和铸型制造中的零件	·	·	·
AlMgMn		· 带高加工硬化率的好的冷加工性 · 好的可焊接性 · 好的切削加工性 · 能抵抗盐水的侵蚀				
铝，可锻铝合金，可热处理（摘选）						167 页
AlMgSi	AW－6000 到 AW－6990（6000 系列）	· 好的冷加工性和热加工性 · 抗腐蚀 · 好的可焊接性 · 热处理状态下有好的切削加工性	建筑工业中的承载结构、窗、门、机架、水力和气动零件；含 Pn，Sn 或 Bi 的附件；有很好可切削性能的易切削钢	·[2]	·[2]	·[2]
AlCuMg	AW－2000 到 AW－2990（2000 系列）	· 高强度值 · 好的高温强度 · 有限抗腐蚀 · 有限可焊接性 · 热处理状态下有好的切削加工性	汽车和飞机制造中的轻材料；含 Pn，Sn 或 Bi 的附件；有很好可切削性能的易切削钢	·[2]	·[2]	·[2]
AlZnMgCu	AW－7000 到 AW－7990（7000 系列）	· 所有铝合金的最高强度 · 在人工时效条件下有最好的抗腐蚀性 · 有限可焊接性 · 热处理状态下有好的切削加工性	航空工业，机器制造中的高强轻材料，塑料成型用的工具和模子，螺钉，挤压零件	·	·	·

1）产品形式：S 板材；B 杆；T 管
2）易切削合金只以棒或管材形式交货

关注公众号：机械工程师成长营

铝，可锻铝合金：标记和材料牌号

铝和可锻铝合金的标记

cf. DIN EN 573－2（1994－12）

标记适用于可锻产品，如：板材、棒、管、线和可锻零件

标记举例：

EN AW－Al 99.98
EN AW－Al Mg1SiCu－H111

EN 欧洲标准 AW 可锻铝产品	化学成分，纯度	
	Al 99.98	→ 纯铝，纯度为99.98%的铝
	Mg1SiCu	→ 1% Mg，低百分含量的Si和Cu

材料状态（摘录）

cf. DIN EN 515（1993－12）

状态	符号	符号的意义	材料状态的意义
制造状态	F	可锻产品在没有指定机械性能极限的条件下制造，如：拉伸强度、屈服强度、断裂延伸率	无二次加工的可锻产品
球化	O O1 O2	球化处理可用热加工取代 固溶退火，缓慢冷却到室温 热力学成形加工，最高可加工性	冷加工后修复可加工性
加工硬化	H12 到 H18	带下列硬度等级的加工硬化： H12 H14 H16 H18 1/4 硬 1/2 硬 3/4 硬 4/4 硬	确保机械性能值，如：拉伸强度，屈服强度
	H111 H112	带后续轻微加工硬化的退火 轻微加工硬化	
热处理	T1 T2 T3	固溶退火，消除应力和自然时效强化，未矫正 如T1样淬火，冷加工和自然时效 固溶热处理，冷加工和自然时效强化	增加拉伸强度、屈服强度和硬度，减少冷加工性
	T3510 T3511	固溶退火，消除应力和自然时效 如T3510，矫正以控制极限偏差	
	T4 T4510	固溶退火，自然时效强化 固溶退火，消除应力和自然时效强化，未矫正	
	T6 T6510	固溶退火，人工时效 固溶退火，消除应力和人工时效，未矫正	
	T8 T9	固溶退火，冷加工，人工时效 固溶退火，人工时效，冷加工	

铝和可锻铝合金的材料牌号

cf. DIN EN 573－1（1994－12）

材料牌号适用于可锻产品，如：板材、棒、管、线和可锻零件

标记举例：

EN AW－1050A
EN AW－5154

EN 欧洲标准 AW 可锻铝产品	表示国家规定的偏离原合金的具体限制

合金组

代号	组	代号	组
1	纯铝	5	AlMg
2	AlCu	6	AlMgSi
3	AlMn	7	AlZn
4	AlSi	8	其他

合金修正

0 → 原合金
1～9 → 偏离原合金的合金

类型代号

在一个合金组中，如：AlMgSi，每一类型都分配有自己的代号

关注公众号：机械工程师成长营

铝合金，可锻铝合金

铝合金，可锻铝合金，不可热处理（摘选）

cf. DIN EN 485－2（1995－03），DIN EN 754－2，755－2（1997－08）

标记（材料牌号）[1]	交货形式[2] R	交货形式[2] S	DC[3]	材料状态[4]	厚度/直径（mm）	拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	断裂延伸率 EL（%）	应用，举例
Al 99.5（1050A）	·	–	p	F，H112	≤200	≥60	≥20	25	设备制造，压力容器、标牌、包装、饰件
			z	O，H111	≤80	60～95	–	25	
			z	H14	≤40	100～135	≥70	6	
	–	·	w	O，H111	0.5～1.4	65～95	≥20	22	
					1.5～2.9	65～95	≥20	26	
					3.0～5.9	65～95	≥20	29	
Al Mn 1（3103）	·	–	p	F，H112	≤200	≥95	≥35	25	设备制造，挤压零件、车辆上部结构、热交换器
			z	O，H111	≤60	95～130	≥35	25	
			z	H14	≤10	130～165	≥110	6	
	–	·	w	O，H111	0.5～1.4	90～130	≥35	19	
					1.5～2.9	90～130	≥35	21	
					3.0～5.9	90～130	≥35	24	
Al Mn 1Cu（3003）	·	–	p	F，H112	≤200	≥95	≥35	25	屋面板、外墙板、金属机件的承载结构
			z	O，H111	≤80	95～130	≥35	25	
			z	H14	≤40	130～165	≥110	6	
	–	·	w	O，H111	0.5～1.4	95～135	≥35	17	
					1.5～2.9	95～135	≥35	20	
					3.0～5.9	95～135	≥35	23	
Al Mg1（5005）	·	–	p	F，H112	≤200	≥100	≥40	18	屋面板、外墙板、窗、门、五金器具
			z	O，H111	≤80	100～145	≥40	18	
			z	H14	≤40	≥140	≥110	6	
	–	·	w	O，H111	0.5～1.49	100～145	≥35	19	
					1.5～2.9	100～145	≥35	20	
					3.0～5.9	100～145	≥35	22	
Al Mg2（5251）	·	–	p	F，H112	≤200	≥160	≥60	16	食品工业用装置和设备
			z	O，H111	≤80	150～200	≥60	17	
			z	H14	≤30	200～240	≥160	5	
	–	·	w	O，H111	0.5～1.4	160～200	≥60	14	
					1.5～2.9	160～200	≥60	16	
					3.0～5.9	160～200	≥60	18	
Al Mg3（5754）	·	–	p	F，H112	≤150	≥180	≥80	14	设备制造，航空工业，车体零件，铸模制造
			z	O，H111	≤80	180～250	≥80	16	
			z	H14	≤25	240～290	≥180	4	
	–	·	w	O，H111	0.5～1.4	190～240	≥80	14	
					1.5～2.9	190～240	≥80	16	
					3.0～5.9	190～240	≥80	18	
Al Mg5（5019）	·	–	p	F，H112	≤200	≥250	≥110	14	光学设备，包装
			z	O，H111	≤80	250～320	≥110	16	
			z	H14	≤40	270～350	≥180	8	
Al Mg3Mn（5454）	·	–	p	F，H112	≤200	≥200	≥85	10	容器结构，包括压力容器、管道、罐和筒仓卡车
				O，H111		200～275	≥85	18	
	–	·	w	O，H111	0.5～1.4	215～275	≥85	13	
					1.5～2.9	215～275	≥85	15	
					3.0～5.9	215～275	≥85	17	
Al Mg4，5Mn0，7（5083）	·	–	p	F，H111	≤200	≥270	≥110	12	铸模制造和夹具、固定设备、机器框架的结构
			z	O，H111	≤80	270～350	≥110	16	
			z	H12	≤30	≥280	≥200	6	

1）为了简化，所有标记和材料牌号写成不带附加符号“EN AW－”
2）交货形式：R 圆棒；S 板，带
3）DC 交货条件：p 挤压；z 拉制；w 冷轧
4）材料状态，见 165 页

关注公众号：机械工程师成长营

可锻铝合金

可锻铝合金，可热处理（摘选）

cf. DIN EN 485－2（1995－03），DIN EN 754－2，755－2（1997－08）

标记（材料牌号）[1]	交货形式[2] R	交货形式[2] S	DC[3]	材料状态[4]	厚度/直径（mm）	拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	断裂延伸率 EL（%）	应用，举例
Al CuPb MgMn (2007)	·	–	p	T4，T4510	≤80	≥370	≥250	8	易切削合金，在高加工产量时也有好的机械加工性，如：对于车削零件，铣削零件
			z	T3	≤30	≥370	≥240	7	
			z	T3	30～80	≥340	≥220	6	
Al Cu4PbMg (2030)	·	–	p	T4，T4510	≤80	≥370	≥250	8	
			z	T3	≤30	≥370	≥240	7	
			z	T3	30～80	≥340	≥220	6	
Al MgSiPb (6012)	·	–	p	T5，T6510	≤150	≥310	≥260	8	
			z	T3	≤80	≥200	≥100	10	
			z	T6	≤80	≥310	≥260	8	
Al Cu4SiMg (2014)	·	–	p	O，H111	≤200	≤250	≤135	12	液压、气动零件，汽车和飞机制造，金属加工中的承载零件
			z	T3	≤80	≥380	≥290	8	
			z	T4	≤80	≥380	≥220	12	
	–	·	w	O	0.5～1.4	≤220	≤140	12	
					1.5～2.9	≤220	≤140	13	
					3.0～5.9	≤220	≤140	16	
Al Cu4Mg1 (2024)	·	–	p	O，H111	≤200	≤250	≤150	12	汽车和飞机制造中的零件，金属加工中的承载零件
			z	T3	10～80	≥425	≥290	9	
			z	T6	≤80	≥425	≥315	5	
	–	·	w	O	0.5～1.4	≤220	≤140	12	
					1.5～2.9	≤220	≤140	13	
					3.0～5.9	≤220	≤140	13	
Al MgSi (6060)	·	–	p	T4	≤150	≤120	≤60	16	窗、门、车辆上部结构，机架，光学设备
			z	T4	≤80	≥130	≥65	15	
			z	T6	≤80	≥215	≥160	12	
Al Si1MgMn (6082)	·	–	p	O，H111	≤200	≤160	≤110	14	金属器具，模具、夹具及固定装置制造中的零件，机床，食品工业用装置
			z	T4	≤80	≥205	≥110	14	
			z	T6	≤80	≥310	≥255	10	
	–	·	w	O	0.5～1.4	≤150	≤85	14	
					1.5～2.9	≤150	≤85	16	
					3.0～5.9	≤150	≤85	18	
Al Zn4，5Mg1 (7020)	·	–	p	T6	≤50	≥350	≥290	10	汽车和飞机制造中的零件，机架，轨道车的上部结构
			z	T6	≤80	≥350	≥280	10	
	–	·	w	O	0.5～1.4	≤220	≤140	12	
					1.5～2.9	≤220	≤140	13	
					3.0～5.9	≤220	≤140	15	
Al Zn5Mg3Cu (7022)	·	–	p	T6，T6510	≤80	≥490	≥420	7	液压、气动零件，飞机制造，螺钉
			z	T6	≤80	≥460	≥380	8	
	–	·	w	T6	3.0～12	≥450	≥370	8	
					12.5～24	≥450	≥370	8	
					25～50	≥450	≥370	7	
Al Zn5，5MgCu (7075)	·	–	p	O，H111	≤200	≤275	≤165	10	汽车和飞机制造中的零件，铸模制造，夹具、固定装置、螺钉的制造
			z	T6	≤80	≥540	≥485	7	
			z	T73	≤80	≥455	≥385	10	
	–	·	w	O	0.4～0.75	≥275	≥145	10	
					0.8～1.45	≥275	≥145	10	
					1.5～2.9	≥275	≥145	10	

1）为了简化，所有标记和材料牌号写成不带附加符号“EN AW－”
2）交货形式：R 圆棒；S 板，带
3）DC 交货条件：p 挤压；z 拉制；w 冷轧
4）材料状态，见 165 页

关注公众号：机械工程师成长营

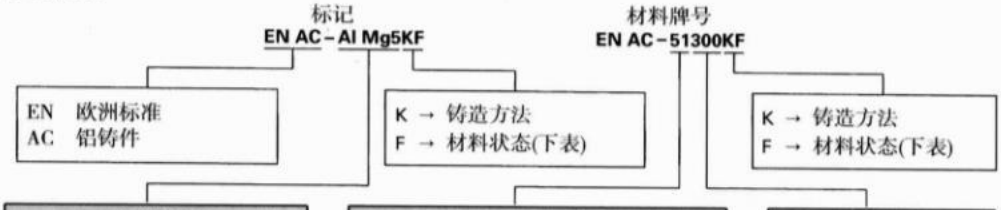
铸铝合金

铝铸件的标记

cf. DIN EN 1780－1...3（2003－01），DIN EN 1706（1998－06）

铝铸件用标记或材料牌号来确定

标记举例：



化学组成	
例	合金百分比
AlMg5	5%Mg
AlSi6Cu	6%Si，4%Cu
AlCu4MgTi	4%Cu，一定百分比的 Mg 和 Ti

合金组			
代号	组	代号	组
21	AlCu	46	AlSi9Cu
41	AlSiMgTi	47	AlSi（Cu）
42	AlSi7Mg	51	AlMg
44	AlSi	71	AlZnMg

类型代号

在一个合金组中，每种类型都有自己的代号

铸造方法	
字母	铸造方法
S	砂模铸造
K	金属铸模铸造
D	压力铸造
L	熔模铸造

材料状态	
字母	铸造方法
F	铸造条件，无后续加工
O	球化
T1	浇铸后可控冷却，自然时效
T4	固溶退火和自然时效
T5	浇铸后可控冷却，人工时效
T6	固溶退火和人工时效

铸铝合金

cf. DIN EN 1706（1998－03）

标记（材料牌号）[1]	C[2]	M[3]	铸造条件下的强度值（F）				特性[4]			
			硬度 HB	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL（%）	C	P	M	应用
AC－AlMg3 (AC－51000)	S	F	50	140	70	3	–	–	·	抗腐蚀，可磨光，装饰用阳极电镀；配件，家用电器，造船，化学工业
	K	F	50	150	70	5				
AC－AlMg5 (AC－51300)	S	F	55	160	90	3	–	–	·	
	K	F	60	180	100	4				
AC－AlMg5(Si) (AC－51400)	S	F	60	160	100	3	–	–	·	
	K	F	65	180	110	3				
AC－AlSi 12 (AC－44100)	S	F	50	150	70	4	·	·	○	抵抗恶劣天气影响，用于复杂、薄壁和气密性零件；泵和电动机机架，汽缸盖，飞机制造中的零件
	K	F	55	170	80	5				
	L	F	60	160	80	1				
AC－AlSi7Mg (AC－42000)	S	T6	75	220	180	2	○	·	○	
	K	T6	90	260	220	1				
	L	T6	75	240	190	1				
AC－AlSi 12(Cu) (AC－47000)	S	F	50	150	80	1	·	·	–	
	K	F	55	170	90	2				
AC－AlCu4Ti (AC－21100)	S	T6	95	300	200	3	–	–	·	最高强度值，抗振和抗高温；简单铸件
	K	T6	95	330	220	7				

1）为了简化，所有的标记和材料牌号写成不带“EN”，如：AC－AlMg3 而不是 EN AC－AlMg3，AC－51000 而不是 EN AC－51000

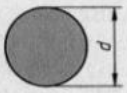
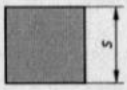
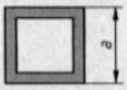
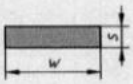
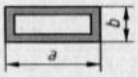
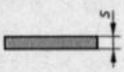
2）C 铸造方法（上表）　　3）M 材料状态（上表）

4）C 可铸性，P 气密性，M 可机械加工性；· 很好　○ 好　– 有条件的好

关注公众号：机械工程师成长营

铝型材

铝材断面，概述

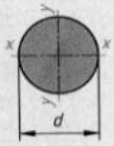
插图	制造，尺寸	标准	插图	制造，尺寸	标准
圆棒			**圆管**		
	挤压 $d = 3 \sim 100$mm	DIN EN 755 – 3		无缝挤压 $d = 20 \sim 250$mm	DIN EN 755 – 7
	拉制 $d = 8 \sim 320$mm	DIN EN 754 – 3		无缝冷拉 $d = 3 \sim 270$mm	DIN EN 754 – 7
方棒			**方管**		
	挤压 $s = 10 \sim 220$mm	DIN EN 755 – 4		挤压 $a = 15 \sim 100$mm	DIN EN 754 – 4
	拉制 $s = 3 \sim 100$mm	DIN EN 754 – 4			
扁条			**扁管**		
	挤压 $w = 10 \sim 600$mm $s = 2 \sim 240$mm	DIN EN 755 – 4		无缝挤压 $a = 15 \sim 250$mm $b = 10 \sim 100$mm	DIN EN 755 – 7
	拉制 $w = 5 \sim 200$mm $s = 2 \sim 60$mm	DIN EN 754 – 4		无缝冷拉 $a = 15 \sim 250$mm $b = 10 \sim 100$mm	DIN EN 754 – 7
板和带			**L 铝型材**		
	轧制 $s = 0.4 \sim 15$mm	DIN EN 485		尖角或圆角 $h = 10 \sim 200$mm	DIN 1771[1]
槽铝型材			**T 铝型材**		
	尖角或圆角 $h = 10 \sim 160$mm	DIN 9713[1]		尖角或圆角 $h = 15 \sim 100$mm	DIN 9714[1]

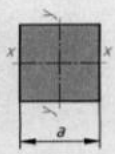
1）标准被无替代地撤销

圆棒，扁条，拉制

cf. DIN EN 754 – 3，754 – 4（1996 – 01），DIN 1798[1]，DIN 1796[1]

S 截面面积
m' 质量线密度
W 轴向截面模量
I 轴向惯性矩





d，a (mm)	S (cm²)		m' (kg/m)		$W_x = W_y$ (cm³)		$I_x = I_y$ (cm⁴)	
	●	■	●	■	●	■	●	■
10	0.79	1.00	0.21	0.27	0.10	0.17	0.05	0.08
12	1.13	1.44	0.31	0.39	0.17	0.29	0.10	0.17
16	2.01	2.56	0.54	0.69	0.40	0.68	0.32	0.55
20	3.14	4.00	0.85	1.08	0.79	1.33	0.79	1.33
25	4.91	6.25	1.33	1.69	1.53	2.60	1.77	3.26
30	7.07	9.00	1.91	2.43	2.65	4.50	3.98	6.75
35	9.62	12.25	2.60	3.31	4.21	7.15	7.37	12.51
40	12.57	16.00	3.40	4.32	6.28	10.68	12.57	21.33
45	15.90	20.25	4.30	5.47	8.95	15.19	20.13	34.17
50	19.64	25.00	5.30	6.75	12.28	20.83	30.69	52.08
55	23.76	30.25	6.42	8.17	16.33	27.73	44.98	76.26
60	28.27	36.00	7.63	9.72	21.21	36.00	63.62	108.00
材料	可锻铝合金，见 166 页和 167 页							

1）DIN 1796 和 DIN 1798 用 DIN EN 754 – 3 或 DIN EN 754 – 4 来代替 DIN EN 标准不含尺寸。但是，经销商仍继续提供 DIN 1798 和 DIN 1796 的圆棒和方棒

● 圆棒 ■ 方棒

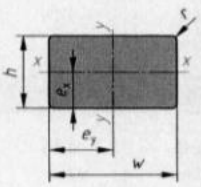
关注公众号：机械工程师成长营

铝型材

扁条，拉制（摘选）

cf. DIN EN 754 - 5（1996 - 01）代换 DIN 1769[1)]

S 截面面积
m' 质量线密度
e 离边缘的距离
W 轴向截面模量
I 轴向惯性矩



$w \times h$ (mm)	S (cm^2)	m' (kg/m)	e_x (cm)	e_y (cm)	W_x (cm^3)	I_x (cm^4)	Wv_y (cm^3)	I_y (cm^4)
10 × 3	0.30	0.08	0.15	0.5	0.015	0.0007	0.033	0.016
10 × 6	0.60	0.16	0.3	0.5	0.060	0.018	0.100	0.050
10 × 8	0.80	0.22	0.4	0.5	0.106	0.042	0.133	0.066
15 × 3	0.45	0.12	0.15	0.75	0.022	0.003	0.112	0.084
15 × 5	0.75	0.24	0.25	0.75	0.090	0.027	0.225	0.168
15 × 8	1.20	0.32	0.4	0.75	0.230	0.064	0.300	0.225
20 × 5	1.00	0.27	0.25	1.0	0.083	0.020	0.333	0.333
20 × 8	1.60	0.43	0.4	1.0	0.213	0.085	0.533	0.533
20 × 10	2.00	0.54	0.5	1.0	0.333	0.166	0.666	0.666
20 × 15	3.00	0.81	0.75	1.0	0.750	0.562	1.000	1.000
25 × 5	1.25	0.34	0.25	1.25	0.104	0.026	0.520	0.651
25 × 8	2.00	0.54	0.4	1.25	0.266	0.106	0.833	1.041
25 × 10	2.50	0.67	0.5	1.25	0.416	0.208	1.041	1.302
25 × 15	3.75	1.01	0.75	1.25	0.937	0.703	1.562	1.953
25 × 20	5.00	1.35	1.0	1.25	1.666	1.666	2.083	2.604
30 × 10	3.00	0.81	0.5	1.5	0.500	0.250	1.500	2.250
30 × 15	4.50	1.22	0.75	1.5	1.125	0.843	2.250	3.375
30 × 20	6.00	1.62	1.0	1.5	2.000	2.000	3.000	4.500
40 × 10	4.00	1.08	0.5	2.0	0.666	0.333	2.666	5.333
40 × 15	6.00	1.62	0.75	2.0	1.500	1.125	4.000	8.000
40 × 20	8.00	2.16	1.0	2.0	2.666	2.666	5.333	10.666
40 × 25	10.00	2.70	1.25	2.0	4.166	5.208	6.666	13.333
40 × 30	12.00	3.24	1.5	2.0	6.000	9.000	8.000	16.000
40 × 35	14.00	3.78	1.75	2.0	8.166	14.291	9.333	18.666
50 × 10	5.00	1.35	0.5	2.5	0.833	0.416	4.166	10.416
50 × 15	7.50	2.03	0.75	2.5	1.875	1.406	6.250	15.625
50 × 20	10.00	2.70	1.0	2.5	3.333	3.333	8.333	20.833
50 × 25	12.50	3.37	1.25	2.5	5.208	6.510	10.416	26.041
50 × 30	15.00	4.05	1.5	2.5	7.500	11.250	12.500	31.250
50 × 35	17.50	4.73	1.75	2.5	10.208	17.864	14.583	36.458
50 × 40	20.00	5.40	2.0	2.5	13.333	26.666	16.666	41.668
60 × 10	6.00	1.62	0.5	3.0	1.000	0.500	6.000	18.000
60 × 15	9.00	2.43	0.75	3.0	2.250	1.687	9.000	27.000
60 × 20	12.00	3.24	1.0	3.0	4.000	4.000	12.000	36.000
60 × 25	15.00	4.05	1.25	3.0	6.250	7.812	15.000	45.000
60 × 30	18.00	4.86	1.5	3.0	9.000	13.500	18.000	54.000
60 × 35	21.00	5.67	1.75	3.0	12.250	21.437	21.000	63.000
60 × 40	24.00	6.48	2.0	3.0	16.000	32.000	24.000	72.000
80 × 10	8.00	2.16	0.5	4.0	1.333	0.666	10.666	42.666
80 × 15	12.00	3.24	0.75	4.0	3.000	2.250	16.000	64.000
80 × 20	16.00	4.52	1.0	4.0	5.433	5.333	21.333	85.333
80 × 25	20.00	5.40	1.25	4.0	8.333	10.416	26.666	106.66
80 × 30	24.00	6.48	1.5	4.0	12.000	18.000	32.000	128.00
80 × 35	28.00	7.56	1.75	4.0	16.333	28.583	37.333	149.33
80 × 40	32.00	8.64	2.0	4.0	21.333	42.666	42.666	170.66
100 × 20	20.00	5.40	1.0	5.0	6.666	3.666	33.333	166.66
100 × 30	30.00	8.10	1.5	5.0	15.000	22.500	50.000	250.00
100 × 40	40.00	10.8	2.0	5.0	26.666	53.333	66.666	333.33

边缘半径 r	
h (mm)	r_{max} (mm)
≤10	0.6
>10 ~ 30	1.0
>30 ~ 60	2.0

材料：可锻铝合金，见 166 页和 167 页

1）DIN EN 754 - 5 不含尺寸。专业经销商仍按 DIN 1769 的尺寸提供扁条

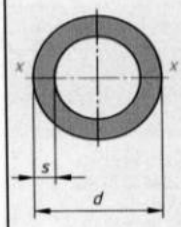
关注公众号：机械工程师成长营

铝型材

冷拉无缝圆管（摘选）

cf. DIN EN 754 -7（1998 -10）代换 DIN 1795[1)]

d 外径
s 壁厚
S 截面面积
m' 质量线密度
W 轴向截面模量
I 轴向惯性矩



$d \times s$ (mm)	S (cm^2)	m' (kg/m)	W_x (cm^3)	I_x (cm^4)	$d \times s$ (mm)	S (cm^2)	m' (kg/m)	W_x (cm^3)	I_x (cm^4)
10×1	0.281	0.076	0.058	0.029	35×3	3.016	0.814	2.225	3.894
10×1.5	0.401	0.108	0.075	0.037	35×5	4.712	1.272	3.114	5.449
10×2	0.503	0.136	0.085	0.043	35×10	7.854	2.121	4.067	7.118
12×1	0.346	0.093	0.088	0.053	40×3	3.487	0.942	3.003	6.007
12×1.5	0.495	0.134	0.116	0.070	40×5	5.498	1.484	4.295	8.590
12×2	0.628	0.170	0.136	0.082	40×10	9.425	2.545	5.890	11.781
16×1	0.471	0.127	0.133	0.133	50×3	4.430	1.196	4.912	12.281
16×2	0.880	0.238	0.220	0.220	50×5	7.069	1.909	7.245	18.113
16×3	1.225	0.331	0.273	0.273	50×10	12.566	3.393	10.681	26.704
20×1.5	0.872	0.235	0.375	0.375	55×3	4.901	1.323	6.044	16.201
20×3	1.602	0.433	0.597	0.597	55×5	7.854	2.110	9.014	24.789
20×5	2.356	0.636	0.736	0.736	55×10	14.137	3.817	13.655	37.552
25×2	1.445	0.390	0.770	0.963	60×5	8.639	2.333	10.979	32.938
25×3	2.073	0.560	1.022	1.278	60×10	15.708	4.241	17.017	51.051
25×5	3.142	0.848	1.335	1.669	60×16	22.117	4.890	20.200	60.600
30×2	1.759	0.475	1.155	1.733	70×5	10.210	2.757	15.498	54.242
30×4	3.267	0.882	1.884	2.826	70×10	18.850	5.089	24.908	87.179
30×6	4.524	1.220	2.307	3.461	70×16	27.143	7.331	30.750	107.62

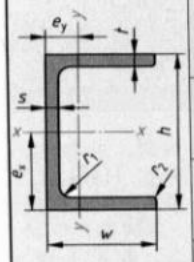
材料	如：铝合金，不可热处理，见 166 页 铝合金，可热处理，见 167 页

1）DIN EN 754 -7 不含尺寸。专业经销商仍按 DIN 1795 的尺寸提供圆管

挤压槽铝型材断面（摘选）

cf. DIN 9713（1981 -09）[1)]

w 宽度
h 高度
S 截面面积
m' 质量线密度
W 轴向截面模量
I 轴向惯性矩



$w \times h \times s \times t$ (mm)	S (cm^2)	m' (kg/m)	e_x (cm)	e_y (cm)	W_x (cm^3)	I_x (cm^4)	W_y (cm^3)	I_y (cm^4)
20×20×3×3	1.62	0.437	1.00	0.780	0.945	0.945	0.805	0.628
30×30×3×3	2.52	0.687	1.50	1.10	2.43	3.64	2.06	2.29
35×35×3×3	2.97	0.802	1.75	1.28	3.44	6.02	2.91	3.73
40×15×3×3	1.92	0.518	2.0	0.431	2.04	4.07	0.810	0.349
40×20×3×3	2.25	0.608	2.0	0.610	2.59	5.17	1.30	0.795
40×30×3×3	2.85	0.770	2.0	3.62	7.24	2.49	2.49	2.52
40×30×4×4	3.71	1.00	2.0	1.05	4.49	8.97	3.03	3.17
40×40×4×4	4.51	1.22	2.0	1.49	5.80	11.6	4.80	7.12
40×40×5×5	5.57	1.50	2.0	1.52	6.80	13.6	5.64	8.59
50×30×3×3	3.15	0.851	2.5	0.929	4.88	12.2	2.91	2.70
50×30×4×4	4.91	1.33	2.5	1.38	7.83	19.6	5.65	7.80
50×40×5×5	6.07	1.64	2.5	1.42	9.32	23.3	6.54	9.26
60×30×4×4	4.51	1.22	3.0	0.896	7.90	23.7	4.12	3.69
60×40×4×4	5.31	1.43	3.0	1.29	10.1	30.3	6.35	8.20
60×40×5×5	6.57	1.77	3.0	1.33	12.0	36.0	7.47	9.94
80×40×6×6	8.95	2.42	4.0	1.22	20.6	82.4	10.6	20.6
80×45×6×8	11.2	3.02	4.0	1.57	27.1	108	13.9	21.8
100×40×6×6	10.1	2.74	5.0	1.11	28.3	142	12.5	13.8
100×50×6×9	14.1	3.80	5.0	1.72	43.4	217	19.9	34.3
120×55×7×9	17.2	4.64	6.0	1.74	61.9	295	28.2	49.1
140×60×4×6	12.35	3.35	7.0	1.83	56.4	350	24.7	45.2

r_1 和 r_2

t (mm)	r_1 (mm)	r_2 (mm)
3，4	2.5	0.4
5，6	4	0.6
8，9	6	0.6

材料	AlMgSiO，5；AlMgSi1；AlZn4，5Mg1

1）DIN 9713 被无替代撤销。专业经销商仍按此标准提供槽铝型材

关注公众号：机械工程师成长营

镁和钛合金

锻镁合金（摘选）

cf. DIN 9715（1982－08）

标记	材料牌号	交货形式[1] R	T	D	M[2]	棒直径 (mm)	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	特性，应用
MgMn2	3.3520	·	·	·	F20	≤80	200	145	15	抗腐蚀，可焊接和冷加工；覆层，容器
MgAl3Zn	3.5312				F24	≤80	240	155	10	
MgAl6Zn	3.5612	·	·	·	F27	≤80	270	195	10	较高强度，有限可焊接性；汽车、机器和飞机制造中的轻材料
MgAl8Zn	3.5812	·	·	·	F29	≤80	290	205	10	
					F31	≤80	310	215	6	

1）交货条件：B 棒，如：圆棒；T 管；D 冲压零件

2）M 材料状态 F20 → $R_m = 10 \cdot 20 = 200$ N/mm²

铸镁合金（摘选）

cf. DIN EN 1753（1997－08）

标记[1]	材料牌号[1]	M[2]	材料状态[3]	硬度 HB	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	特性，应用
MCMgAl8Zn1	MC21110	S	F	50～65	160	90	2	很好的可铸性，可承受动态负载，可焊接；齿轮和电动机机架
			T6	50～65	240	90	8	
		K	F	50～65	160	90	2	
		K	T4	50～65	160	90	8	
		D	F	60～85	200～250	140～160	≤7	
MCMgAl9Zn1	MC21120	S	F	55～70	160	90	6	高强度，好的滑动特性，可焊接；汽车和飞机制造，电枢
			T6	60～90	240	150	2	
		K	F	55～70	160	110	2	
		K	T6	60～90	240	150	2	
		D	F	65～85	200～260	140～170	1～6	
MCMgAl6Mn	MC21230	D	F	55～70	190～250	120～150	4～14	抗疲劳，可承受动态负载，抗高温，齿轮和电动机机架
MCMgAl7Mn	MC21240	D	F	60～75	200～260	130～160	3～10	
MCMgAl4Si	MC21320	D	F	55～80	200～250	120～150	3～12	

1）为了简化，标记和材料牌号写成不带前缀“EN－”。如：MCMgAlBZn1 而不是 EN－ MCMgAl8Zn1

2）M 铸造方法；S 砂模铸造；K 金属铸模铸造；D 压力铸造

3）材料状态，见铸铝合金标记，168 页

钛，钛合金（摘选）

cf. DIN 17860（1990－11）

标记	材料牌号	交货形式[1] S	R	T	板厚度 s (mm)	硬度 HB	拉伸强度 R_m (N/mm²)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	断裂延伸率 EL (%)	特性，应用
Ti1	3.7025	·	·	·	0.4～35	120	290～410	180	30	可熔焊、可软焊，可胶合，机械加工，冷和热加工，抗疲劳，抗腐蚀；机器制造，电子工程，精密工程，光学和医疗技术，食品工业，飞机制造中的重量减轻设计
Ti2	3.7035					150	390～540	250	22	
Ti3	3.7055					170	460～590	320	18	
Ti1Pd	3.7225	·	·	·	0.4～35	120	290～410	180	30	
Ti2Pd	3.7235					150	390～540	250	22	
TiAl6V6Sn2	3.7175	·	·	·	<6	320	≥1070	1000	10	
					6～50	320	≥1000	950	8	
TiAl6V4	3.7165	·	·	·	<6	310	≥920	870	8	
					6～100	310	≥900	830	8	
TiAl4Mo4Sn2	3.7185	·	·	·	6～65	350	≥1050	1050	9	

1）交货形式：S 板和带；B 棒，如：圆棒；T 管

关注公众号：机械工程师成长营

概 述

重有色金属的密度 $\rho > 5kg/dm^3$
- 机器和车间建造中的结构材料：铜，锡，锌，镍，铅及其合金
- 用于合金的金属：铬，钒，钴（合金的作用，见 129 页）
- 贵金属：金，银，铂

纯金属：相似结构；低强度，不如结构材料重要；通常基于材料典型特性来使用，如：好的电传导性

重有色合金：相比基金属有改良的特性，如：更高的强度、硬度，更好的机械加工性和抗腐蚀性，各种用途的结构材料。根据制造可分为可锻合金和铸造合金

普通重有色金属和合金的概述

金属，合金组	主要特性	应用举例
铜（Cu）	高的电传导率和热传导率，抑制细菌、病毒和霉菌，抗腐蚀，外观好，易重复利用	加热和管道设备中的管子、冷却和加热线圈、导电配线、电气零件、炊具、建筑外墙板
CuZn（黄铜）	抗磨损，抗腐蚀，好的热和冷加工性，好的机械加工性，可磨光，金黄色光泽，中等强度	· 可锻合金：深拉零件、螺钉、弹簧、管、仪表零件 · 铸造合金：电枢机架、滑动轴承、精密机器零件
CuZnPb	很好的机械加工性，有限的冷加工性，很好的热加工性	自动车床零件、精密机器零件、配件、热压零件
CuZn 多合金	好的热加工性，高强度，抗磨损，抗恶劣天气	电枢机架、滑动轴承、法兰盘、阀零件、水箱
CuSn（青铜）	非常抗腐蚀，好的滑动特性，好的抗磨损性，由冷加工产生的强度是非常易变的	· 可锻合金：五金器具、螺钉、弹簧、金属软管 · 铸造合金：心轴螺母、蜗轮、实心滑动轴承
CuAl	高强度和韧性，非常抗腐蚀，抗盐水侵蚀，抗热，高度抗气穴性	· 可锻合金：高应力锁紧螺母、棘齿轮 · 铸造合金：化学工业中用电枢；泵体、螺旋桨
CuNi(Zn)	非常抗腐蚀，银白色外观，好的机械加工性，可磨光，冷加工	硬币、电阻器、热交换器、泵、盐水冷却系统中的阀、造船
锌（Zn）	抗空气腐蚀	钢零件的腐蚀保护
ZnTi	好的加工性，用软焊可连接	屋面板、水槽、溜槽
ZnAlCu	很好的可铸性	薄壁，精密铰接压力铸造
Tin（Sn）	好的抗化学性，无毒	钢板涂层
SnPb	低黏性	软焊接
SnSb	好的干运行特性	小精密尺寸拉模铸造，受平均负载的滑动轴承
镍币（Ni）	抗腐蚀，抗高温	钢零件表层的腐蚀保护
NiCu	非常抗腐蚀和抗高温	设备、冷凝器、热交换器
NiCr	非常抗腐蚀和抗极高温，无氧化皮，如：可时效强化	化学装置，加热管，电厂的锅炉内部，燃气涡轮
铅（Pb）	防 X 射线和 γ 射线，抗腐蚀，有毒	屏蔽，电缆罩子，化学设备用管子
PbSn	低黏性，软，好的干运行特性	软焊接，滑动鞘
PbSbSn	低黏性，抗腐蚀，好的运行和滑动特性（低摩擦）	滑动轴承，小精密尺寸压力铸造，如：钟摆、测量设备用零件、仪表

关注公众号：机械工程师成长营

命名系统

命名系统（摘录） cf. DIN 1700（1954－07）[1)]

例：NiCu30Fe F45 / GD－Sn80Sb

制造，应用	
E	电工材料
G	砂模铸造
GC	连续铸造
GD	压力铸造
GK	金属铸模铸造
GZ	离心铸造
L	软焊
S	焊接填料合金

化学成分	
例	注　释
NiCu30Fe	Ni－Cu 合金，30% Cu，痕量铁
Sn80Sb	Sn－Sb 合金，80% Sn，约 20% Sb

特殊性能	
F45	最小拉伸强度 $R_m = 10 \cdot 45 N/mm^2 = 450\ N/mm^2$
a	时效强化
g	退火
h	硬化
ka	自然时效
ku	冷加工
ta	局部时效强化
wa	人工时效
wu	热加工
zh	拉制硬化

1) 标准已撤除。但材料牌号在单个标准中仍然被使用

铜合金的标记系统 cf. DIN EN 1982（1998－12）和 1173（1995－11）

例：CuZn31Si / CuZn38Pb2 / CuSn11Pb2－C－GS－R620

化学成分	
例	意　义
CuZn31Si	Cu 合金，31% Zn，痕量 Si
CuZn38Pb2	Cu 合金，38% Zn，2% Pb
CuSn11Pb2	Cu 合金，11% Sn，2% Pb

铸造方法	
GS 砂模铸造	GM 金属铸模铸造
GZ 离心铸造	GC 连续铸造
GP 压力铸造	

产品形式	
C	铸件形式的材料可锻合金（无代码字母）

材料状态			
例子	意　义	例子	意　义
A007	断裂延伸率 $EL = 7\%$	Y450	屈服强度 $R_P = 450 N/mm^2$
D	拉制，无特殊机械性能	M	制造条件，无特殊机械性能
H160	维氏硬度 HV = 160	R620	最小拉伸强度 $R_m = 620 N/mm^2$

铜和铜合金的材料牌号 cf. DIN EN 1412（1995－12）

例：C W 024 A

- C 铜材料
- C 铸造材料 / B 锭铁材料 / W 可锻材料
- 在 000 和 999 间的代号无特殊意义（顺序代号）

材料组的代码字母			
字母	材料组	字母	材料组
A 或 B	铜	H	铜－镍合金
C 或 D	铜合金，合金成分百分比 <5%	J K	铜－锌合金 铜－锡合金
E 或 F	铜合金，合金成分百分比 ≥5%	L 或 M N 或 P	铜－锌二元合金 铜－锌－铅合金
G	铜铝合金	R 或 S	铜－锌多元合金

铝合金铸件的材料牌号 cf. DIN EN 12844（1999－01）

例：Z P 04 1 0

- Z 锌合金
- P 铸件
- Al 含量 04 ≙ 4% 铝
- Cu 含量 1 ≙ 1% 铜
- 下一个较高合金成分的含量 0 = 下一个较高合金成分 <1%

关注公众号：机械工程师成长营

铜合金

可锻铜合金

标记，材料牌号[1]	C[2]	棒 D[3]（mm）	硬度 HB	拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	断裂延伸率 EL（%）	特性，应用举例
铜－锌合金							cf. DIN EN 12163（1998－04）
CuZn28（CW504L）	R310	4～80	—	310	120	27	很好的冷加工性，好的热加工性，可机械加工，很容易磨光，仪表零件、衬套
	R460	4～10	—	460	420	—	
	H085	4～80	85～115	—	—	—	
	H145	4～10	≥145	—	—	—	
CuZn37（CW508L）	R310	2～80	—	310	120	30	很好的冷加工性，好的热加工性，可机械加工，很容易磨光，深拉零件、螺钉、弹簧、压力辊子
	R440	2～10	—	440	400	—	
	H070	4～80	70～100	—	—	—	
	H140	4～10	≥140	—	—	—	
CuZn40（CW509L）	R340	2～80	–	340	260	25	很好的热加工性，可机械加工；铆钉，螺钉
	H080		≥80	—	—	—	
铜－锌合金（多元合金）							cf. DIN EN 12163（1998－04）
CuZn31Si（CW708R）	R460	5～40	—	460	250	22	好的冷加工性；可热加工，机械加工，好的滑动特性；滑动零件、轴承衬套、导轨
	R530	5～14	—	530	330	12	
	H115	5～40	115～145	—	—	—	
	H140	5～14	≥140	—	—	—	
CuZn38Mn1Al（CW716R）	R490	5～40	—	490	210	18	好的热加工性，可冷加工，可机械加工，具滑动特性，抗恶劣天气；滑动元件、导轨
	R550	5～14	—	550	280	10	
	H120	5～40	120～150	—	—	—	
	H150	5～14	≥150	—	—	—	
CuZn40Mn2Fe1（CW723R）	R460	5～40	—	460	270	20	好的热加工性，可冷加工，可机械加工，具平均强度，抗恶劣天气；设备制造、建筑
	R540	5～14	—	540	320	8	
	H110	5～40	110～140	—	—	—	
	H150	5～14	≥150	—	—	—	
铜－锌－铅合金							cf. DIN EN 12164（2000－09）
CuZn36Pb3（CW603N）	R340	40～80	90	340	160	20	极好的机械加工性，有限冷加工性；自动车床零件
	R550	2～4	150	550	450	—	
CuZn38Pb2（CW608N）	R360	40～80	90	360	150	25	极好的机械加工性，好的冷加工性和热加工性；螺丝车床零件
	R550	2～6	150	550	420	—	
CuZn40Pb2（CW617N）	R360	40～80	90	360	150	20	极好的机械加工性，好的热加工性；冲压毛坯、齿轮
	R550	2～4	150	550	420	—	
铜－锡合金							cf. DIN EN 12163（1998－04）
CuSn6（CW452K）	R340	2～60	—	340	230	45	高抗化学性，相当的强度；弹簧、金属软管、管道和悬挂体用轴衬
	R550	2～6	—	550	500	—	
	H085	2～60	85～115	—	—	—	
	H180	2～6	≥180	—	—	—	
CuSn8（CW453K）	R390	2～60	—	390	260	45	高抗化学性，高强度，优良的滑动特性；滑动轴承、滚动轴承衬套，接触弹簧
	R620	2～6	—	620	550	—	
	H090	2～60	90～120	—	—	—	
	H185	2～6	≥185	—	—	—	
CuSn8P（CW459K）	R390	2～60	—	390	260	45	极好的滑动特性，高抗磨损性，具耐久强度；汽车和机器制造中的高应力滑动轴承
	R620	2～6	—	620	550	—	
	H090	2～60	90～120	—	—	—	
	H185	2～6	≥185	—	—	—	

1）根据 DIN EN 1412 的材料牌号，见 174 页
2）C 根据 DIN EN 1173 的材料状态，见 174 页。在制造条件为 M 的情形，所有能交货的合金直径达 $D=80$mm
3）D 圆棒的直径；方棒和六角棒的扳手开口度，扁条的厚度

关注公众号：机械工程师成长营

铜和精制锌合金

标记，材料牌号[1]	C[2]	棒 D[3]（mm）	硬度 HB	拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	断裂延伸率 EL（%）	特性，应用举例
铜－铝合金							cf. DIN EN 12163（1998－04）
CuAl10Fe3Mn2（CW306G）	R590	10～80	—	590	330	12	抗腐蚀，抗磨损，抗疲劳，抗高温；螺钉、轴、齿轮、蜗轮、阀座
	R690	10～50	—	690	510	6	
	H140	10～80	140～180	—	—	—	
	H170	10～50	≥170	—	—	—	
CuAl10Ni5Fe4（CW307G）	R680	10～80	—	680	480	10	抗腐蚀，抗磨损，无氧化皮，抗疲劳，抗高温；电容基极，水力控制零件
	R740		—	740	530	8	
	H170	10～80	170～210	—	—	—	
	H200		≥200	—	—	—	
铜－镍－锌合金							cf. DIN EN 12163（1998－04）
CuNi12Zn24（CW430J）	R380	2～50	—	380	270	38	极好的冷加工性，可机械加工，易磨光；深拉零件，扁平的餐具，实用艺术品，建筑，弹簧接触
	R640	2～4	—	640	550	—	
	H090	2～50	90～130	—	—	—	
	H190	2～4	≥190	—	—	—	
CuNi18Zn20（CW409J）	R400	2～50	—	400	280	35	好的冷加工性，可机械加工，不变色，易磨光；隔膜，弹簧接触；扁平的餐具
	R650	2～4	—	650	580	—	
	H100	2～50	100～140	—	—	—	
	H200	2～4	≥200	—	—	—	

1）根据 DIN EN 1412 的材料牌号，见 174 页
2）C 根据 DIN EN 1173 的材料状态，见 174 页
3）D 圆棒的直径，方棒和六角棒的扳手开口度，扁条的厚度

铸造铜合金

cf. DIN EN 1982（1998－12）

标记，材料牌号[1]	拉伸强度 R_m（N/mm²）	屈服强度 $R_{p0.2}$（N/mm²）	断裂延伸率 A（%）	硬度 HB	特性，应用
CuZn15As－C（CC760S）	160	70	20	45	极好的软焊接性和硬焊接性，抗盐水侵蚀；凸缘
CuZn32Pb2－C（CC750S）	180	70	12	45	优良的机械加工性，抗温度达 90℃ 的工业水，电枢
CuZn25Al5Mn4Fe－C（CC762S）	750	450	8	180	很高的强度和硬度，好的机械加工性；滑动轴承
CuSn12－C（CC483K）	260	140	7	80	高抗磨损性；心轴螺母、蜗轮
CuSn11Pb2－C（CC482K）	240	130	5	80	抗磨损，好的干运行特性；滑动轴承
CuAl10Fe2－C（CC331G）	500	180	18	100	机械应力零件；杠杆、机架、锥齿轮
CuAl10Ni3Fe2－C（CC332G）	500	180	18	130	腐蚀应力零件；电枢、推进器
CuAl10Fe5Ni5－C（CC333G）	600	250	13	140	强度和腐蚀应力零件；泵

1）根据 DIN EN 1412 的材料牌号，见 174 页。用于滑动轴承的更多的铸铜合金，见 261 页
适于各种砂模铸造测试样品的强度值

高级铸造锌合金

cf. DIN EN 12844（1999－01）

ZP3（ZP0400）	280	200	10	83	很好的可铸性；拉模铸造用优选合金
ZP5（ZP0410）	330	250	5	92	
ZP2（ZP0430）	335	270	5	102	好的可铸性；很好的机械加工性，广泛应用于注塑模、吹模和深拉模，金属板料加工工具
ZP8（ZP0810）	370	220	8	100	
ZP12（ZP1110）	400	300	5	100	
ZP27（ZP2720）	425	300	2.5	120	

关注公众号：机械工程师成长营

组合材料，陶瓷材料

组合材料

组合材料	基础材料[1]	纤维含量（%）	密度 ρ（g/cm^3）	拉伸强度 σ_B（N/mm^2）	断裂延伸率 ε_R（%）	弹性模量 E（N/mm^2）	工作温度达（℃）	应用举例
FRP（纤维玻璃加强塑料）	EP	60	—	365	3.5	—	—	轴、接头、连杆、船体、动叶片
	UP	35	1.5	130	3.5	10800	50	容器、罐、管、圆屋顶灯、机身零件
	PA 66	35	1.4	160[2]	5[3]	5000	190	大面积，刚性机架零件，电源插头
	PC	30	1.42	90[2]	3.5[3]	6000	145	打印机、计算机、电视机用机架
	PPS	30	1.56	140	3.5	11200	260	电气设备中灯座和线圈
	PAI	30	1.56	205	7	11700	280	轴承、气门座圈、密封件、活塞环
	PEEK	30	1.44	155	2.2	10300	315	航空应用中的轻结构材料，金属替代品
CFRP（碳素纤维加强塑料）	PPS	30	1.45	190	2.5	17150	260	如 FRP－PPS
	PAI	30	1.42	205	6	11700	180	如 FRP－PAI
	PEEK	30	1.44	210	1.3	13000	315	如 FRP－PEEK

1）EP 环氧化物　UP 不饱和聚酯　PA 66 聚酰胺 66，半结晶　PC 聚碳酸酯
PPS 聚亚苯基硫化物　PAI 聚酰胺酰亚胺　PEEK 聚醚醚酮
2）σ_y 屈服应力　3）ε_S 屈服应力处延伸率

陶瓷材料

材料 名称	材料 标记	密度 ρ（g/cm^3）	弯曲强度 σ_b（N/mm^2）	弹性模量 E（N/mm^2）	线膨胀系数 α（1/K）	特性，应用举例
铝硅酸盐	C130	2.5	160	100000	0.000005	硬，抗磨损，抗化学性和抗热，高绝缘电阻；绝缘体、催化式排气净化器、耐火机架
铝氧化物	C799	3.7	300	300000	0.000007	硬，抗磨损，抗化学性和抗热；陶瓷嵌入物，拔丝硬模，生物医学
锆氧化物	ZrO_2	5.5	800	210000	0.000010	高稳定性，高强度，抗热和抗化学性，抗磨损；拉模，挤压模
硅碳化物	SiC	3.1	600	440000	0.000005	硬，抗磨损，抗热冲击，即使在高温也抗腐蚀；研磨剂、阀、轴承、燃烧室
硅氮化物	Si_3N_4	3.2	900	330000	0.000004	高稳定性，抗热冲击，高强度；陶瓷刀具、气涡轮用导轨和主动轮叶
铝氮化物	AlN	3.0	200	300000	0.000005	高导热性，高电绝缘特性；半导体、机架、散热片、绝缘零件

关注公众号：机械工程师成长营

烧结金属

烧结金属的标记系统

cf. DIN 30910－1（1990－10）

标记举例：Sint－A　1　0　sintered smooth

- Sint：烧结金属
- A：表材料等级的代码字母
- 1：1. 第一个数字表化学成分
- 0：2. 第二个数字用来进一步区别未分类的材料

表材料等级的代码字母

代码字母	体积比 R_x(%)	应用领域
AF	<73	滤波器
A	75±2.5	滑动轴承
B	80±2.5	滑动轴承，带滑动特性的成形零件
C	85±2.5	滑动轴承，成形零件
D	90±2.5	成形零件
E	94±1.5	成形零件
F	>95.5	烧结锻压成形零件

1. 第一个数字表化学成分

数字	化学成分　质量分数%
0	烧结铁，烧结钢，Cu<1%，含C或不含C
1	烧结钢，1%～5%Cu，含C或不含C
2	烧结钢，Cu>5%，含C或不含C
3	烧结钢，含或不含Cu或C，其他合金元素<6%，如Ni
4	烧结钢，含或不含Cu或C，其他合金元素>6%，如Ni，Cr
5	烧结合金，Cu>60%，如：烧结CuSn
6	烧结有色重金属，除第5号材料外
7	烧结轻合金，如：烧结铝
8，9	备用数字

处理状态

材料的处理状态		表面的处理状态	
·烧结	·蒸气处理	·烧结修匀	·机加工
·校准	·烧结锻制	·校准研磨	·表面处理
·热处理	·均衡压制	·涂胶和精压修正	

烧结金属（摘选，不包括软磁性烧结金属）

cf. DIN 30910－2－6（1990－10）

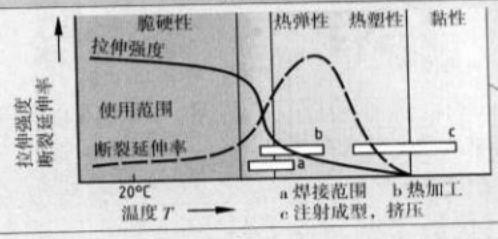
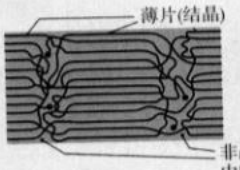
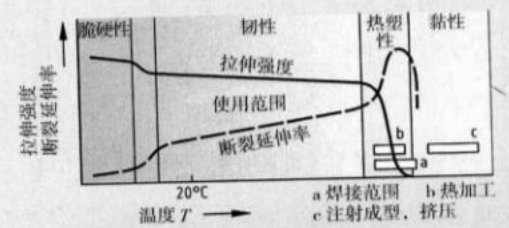
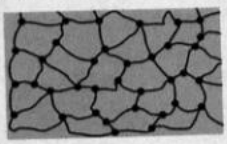
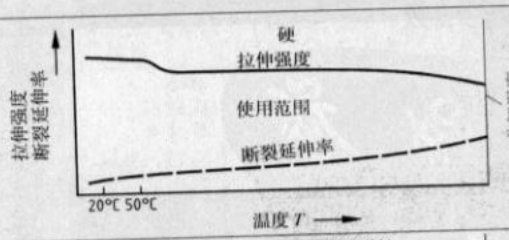
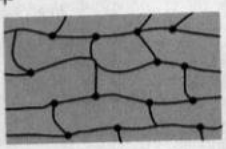
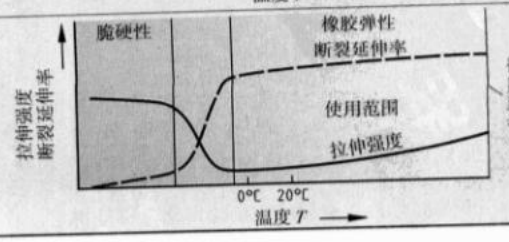
标记	硬度 HB_{min}	拉伸强度 R_m(N/mm²)	化学组成	特性，应用举例
Sint－AF40	—	80～200	烧结钢，Cr 16%～19%，Ni 10%～14%	气体和液体用过滤零件
Sint－AF50	—	40～160	烧结青铜，Sn 9%～11%，其余Cu	
Sint－A00	>25	>60	烧结铁，C<0.3%，Cu<1%	轴承材料，具异常大毛孔容积，适于最紧急运行特性；轴承衬垫、轴承衬套
Sint－A20	>40	>150	烧结钢，C<0.3%，Cu>5%	
Sint－A50	>25	>70	烧结青铜，C<0.2%，Sn 9%～11%，其余Cu	
Sint－A51	>18	>60	烧结青铜，C 0.2%～22%，Sn 9%～11%，其余Cu	
Sint－B00	>30	>80	烧结铁，C<0.3%，Cu<1%	有很好干运行特性的滑动轴承，低应力成形零件
Sint－B10	>40	>150	烧结钢，C<0.2%，Cu 1%～5%	
Sint－B50	>25	>90	烧结青铜，C<0.2%，Sn 9%～11%，其余Cu	
Sint－C00	>45	>150	烧结铁，C<0.3%，Cu<1%	滑动轴承，具平均应力和优良滑动特性的成形零件；汽车零件、杠杆、离合器零件
Sint－C20	>60	>200	烧结钢，C<0.3%，Cu>5%	
Sint－C40	>100	>300	烧结铁，Cr 16%～19%，Ni 10%～14%，Mo 2%	
Sint－C50	>30	>140	烧结青铜，C<0.2%，Sn 9%～11%，其余Cu	
Sint－D00	>50	>250	烧结铁，C<0.3%，Cu<1%	用于较高应力的成形零件；抗磨损泵零件，齿轮，某些抗腐蚀件
Sint－D10	>80	>300	烧结钢，C<0.3%，Cu 1%～5%	
Sint－D30	>110	>550	烧结钢，C<0.3%，Cu 1%～5%，Ni 1%～5%	
Sint－D40	>100	>450	烧结铁，Cr 16%～19%，Ni 10%～14%，Mo 2%	
Sint－E02	>55	>200	烧结铁，C<0.1%	用于精密工程、家用电器和电机工业的成形零件
Sint－E10	>100	>350	烧结钢，C<0.3%，Cu 1%～5%	
Sint－E73	>55	>200	烧结铝 Cu 4%～6%	
Sint－F00	>140	>600	烧结锻制钢，含C和Mn	密封环，消声器系统用法兰盘
Sint－F31	>180	>770	烧结锻制钢，含C，Ni，Mn，Mo	

关注公众号：机械工程师成长营

概 述

特性概括	优点：	缺点：
	· 低密度 · 电绝缘 · 吸热和吸声 · 装饰表面 · 经济成形 · 抗恶劣气候和耐化学性	· 相对金属强度低和抗热性差 · 有些易燃 · 有些不抵抗溶解 · 材料回收利用有限

分类	热塑塑料	热固塑料	弹性体
加工	可热加工 可焊接 通常可胶合 可机械加工	不可加工 不可焊接 可胶合 可机械加工	不可加工 不可焊接 可胶合 低温时可机械加工
制造	注射成型 注坯吹塑 挤压	压制 传递模塑法 注射成型，模塑	压制 注射成型 挤压
再循环	易再循环使用	不可再循环使用 可再使用如填料	不可再循环使用

结 构	温度效应
非晶体热塑塑料  丝状大分子 无交叉连接	
半晶体热塑塑料  结晶区域有很大的黏着力	
丝状热固塑料  带许多交叉连接的大分子	
丝状弹性体  在任意条件下，带极少交叉连接的大分子	

关注公众号：机械工程师成长营

基本聚合物，填料和加强材料

基本聚合物的标记

cf. DIN EN ISO 1043－1（2002－06）

标记	意义	类型[1]	标记	意义	类型[1]	标记	意义	类型[1]
ABS	丙烯腈－丁二烯－苯乙烯	T	PAK	聚丙烯酸酯	T	PTFE	聚四氟乙烯	T
			PAN	聚丙烯腈	T	PUR	聚亚胺酯	D
AMMA	丙烯腈－甲基－丙烯盐酸	T	PB	聚丁烯	T	PVAC	多乙酸乙烯酯	T
			PBT	聚丁烯对苯二酸盐	T	PVB	聚乙烯醇缩丁醛	T
ASA	丙烯腈－苯乙烯－丙烯酸盐	T	PC	聚碳酸酯	T	PVC	聚氯乙烯	T
		T	PCTFE	多氯三氟乙烯	T	PVDC	聚偏二氯乙烯	T
CA	纤维素醋酸盐	T	PE	聚乙烯	T	PVF	聚偏二氟乙烯	T
CAB	纤维素醋酸盐丁酸盐	D	PET	聚乙烯对苯二酸盐	T	PVFM	甲醛乙烯聚合物	T
		MNM			D	PVK	聚N乙烯基氰	T
CF	甲酚甲醛		PF	苯酚甲醛				
CMC	羧甲基纤维素							
CN	纤维素硝酸盐	MNM	PIB	聚异丁烯	T	SAN	苯乙烯－丙烯腈	T
CP	纤维素丙酸盐	T	PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯	T	SB	苯乙烯－丁二烯	T
EC	乙基纤维素	MNM			T	SI	硅树脂	D
EP	环氧化物	D	POM	聚甲醛		SMS	苯乙烯－α－甲基苯乙烯	T
EVAC	乙烯－醋酸乙烯	E	PP	聚丙烯	T	UF	尿素甲醛	D
MF	三聚氰胺甲醛	D	PS	聚苯乙烯	T	UP	不饱和聚酯	D
PA	聚酰胺	T	PSU	聚砜	T	VCE	乙烯基氯化物－乙烯	T

1）MNM 改进的自然材料；E 弹性体；D 热固塑料；T 热塑塑料

标记特殊性能的代码字母

cf. DIN EN ISO1043－1（2002－06）

CL[1]	特殊性能	CL[1]	特殊性能	CL[1]	特殊性能	CL[1]	特殊性能
B	嵌段，溴化	F	软质；液态	N	标准；酚醛清漆	T	温度
C	氯化；晶态	H	高；均一	O	定向	U	超（细），无增塑剂
D	密度	I	冲击韧性	P	增塑		
E	泡沫；弹性体	L	线性，低	R	凸起的；可溶性酚醛树脂；硬质	V	极
		M	中分子			W	量
				S	饱和；磺化	X	已交联，可交联

⇒ **PVC－P**：聚乙烯基氯化物，可塑；**PE－LLD**：线性聚乙烯，低密度

1）代码字母

表示填料和加强材料的代码字母和缩写

cf. DIN ISO 1043－2（2002－04）

材料[1]的缩写

标记	材料	标记	材料	标记	材料	标记	材料
B	硼	G	玻璃	P	云母	T	滑石
C	碳	K	碳酸钙	Q	硅酸盐	W	木材
D	氢氧化铝	L	纤维素	R	芳族聚酸胺	X	未指定
E	黏土	M	矿物，金属[2]	S	合成材料	Z	其他

表示形状和结构的缩写

标记	形状，结构	标记	形状，结构	标记	形状，结构	标记	形状，结构
B	珍珠，球，珠子	G	碾磨的材料	N	非纺织的（薄）	VV	胶合板
C	碎片，刨花	H	晶须	P	纸	W	机织织物
D	粉末	K	针织品	R	粗纱	X	未指定
F	纤维	L	层压	S	剥皮，薄片	Y	纱线
		M	缠结的，厚	T	短纤纱，绳索	Z	其他

⇒ **GF**：玻璃纤维；**CH**：碳化晶须；**MD**：矿物粉

1）材料可进一步指定，如：通过化学符号或依据相关国际标准的其他符号
2）对于金属（M），金属的类型应用化学符号指定

关注公众号：机械工程师成长营

辨识，明显特征

辨识塑料的方法

漂浮测试		溶剂的溶解性	目视测试		加热时的特性
漂浮测试（g/cm^3）	塑料漂浮		样品的外观是		
			透明	乳浊状	
0.9～1.0	PB，PE，PIB，PP	热固材料和PTFE是不可溶的 其他热塑塑料在某些溶剂中可溶解：如：PS在苯或丙酮中可溶解	CA，CAB，CP，EP，PC，PS，PMMA，PVC，SAN	ABS，ASA，PA，PE，POM，PP，PTFE	·热塑塑料软化和熔化 ·不含软化处理的热固塑料和人造橡胶的分解
1.0～1.2	ABS，ASA，CAB，CP，PA，PC，PMMA，PS，SAN，SB				
1.2～1.5	CA，PBT，PET，POM，PSU，PUR		触觉		燃烧测试
1.5～1.8	有机充填成型材料		触摸柔软光滑：PE、PTFE、POM、PP		·火焰颜色 ·烧制特点 ·烟灰生成
1.8～2.2	PTFE				

塑料的明显特征

标记[1]	密度（g/cm^3）	烧制特点	其他特征
ABS	≈1.05	黄色火焰，有浓烟，煤气味	坚韧有弹性，不能被四氯化碳溶解，敲击时声音呆滞
CA	1.31	黄色，溅射火焰，燃烧时熔融滴落，有如蒸馏醋和燃烧纸的气味	触摸舒适，敲击时声音呆滞
CAB	1.19	黄色，溅射火焰，燃烧时熔融滴落，腐臭的黄油味	敲击时声音呆滞
MF	1.50	很易燃，烧焦带白边，氨水味	很脆，敲击时发出咔嗒的声音（对比UF）
PA	≈1.10	带黄色边的蓝色火焰，纤维熔融滴落，燃烧的牛角味	坚韧有弹性，不脆，敲击时声音呆滞
PC	1.20	黄色火焰，离开火焰后即熄灭，冒烟，苯酚味	韧硬，不脆，敲击时发出咔嗒的声音
PE	0.92	带蓝芯的发光火焰，燃烧时熔融滴落，石蜡味，几乎看不见烟（对比PP）	表面如蜡，可用手指甲刮、擦，不脆，工作温度>230℃
PF	1.40	易燃，黄色火焰，烧焦，有如苯酚和焦木味	很脆，敲击时发出咔嗒的声音
PMMA	1.18	明亮的火焰，果味，噼啪响，燃烧时熔融滴落	未着色时清晰光亮，敲击时声音呆滞
POM	1.42	带蓝色的火焰，燃烧时熔融滴落，甲醛味	不脆，敲击时发出咔嗒的声音
PP	0.91	带蓝芯的发光火焰，燃烧时熔融滴落，石蜡味，几乎看不见烟（对比PE）	不能用手指甲作标记，不脆
PS	1.05	黄色火焰，有浓烟，煤气味，燃烧时熔融滴落	脆，声音像锡金属，可被其他材料中的四氯化碳溶解
PTFE	2.20	不可燃，加热变红时气味重	光滑表面
PUR	1.26	黄色火焰，气味很重	聚亚胺酯，橡胶弹性体
	≈0.05		聚亚胺酯泡沫
PVC－U	1.38	易燃，离开火焰后即熄灭，盐酸味，烧焦	敲击时发出咔嗒的声音（U＝硬）
PVC－P	1.20～1.35	可能比PVC－U更易燃，取决于增塑剂，盐酸味，烧焦	橡胶似的柔韧，无声音（P＝软）
SAN	1.08	黄色火焰，有浓烟，煤气味，燃烧时熔融滴落	坚韧有弹性，不能被四氯化碳溶解
SB	1.05	黄色火焰，烟灰重，煤气和橡胶味，燃烧时熔融滴落	不如PS脆，可被其他材料中的四氯化碳溶解
UF	1.50	易燃，烧焦带白色边，氨水味	很脆，敲击时发出咔嗒的声音（对比MF）
UP	2.00	明亮的火焰，烧焦，冒烟，苯乙烯味，玻璃纤维滤渣	很脆，敲击时发出咔嗒的声音

1）比较180页

关注公众号：机械工程师成长营

热塑塑料（摘选）

缩写	名称	商品名	密度 (g/cm^3)	拉伸强度[1] (N/mm^2)	冲击韧性 (mJ/mm^2)	工作温度，长时间[2] (℃)	应用举例
ABS	丙烯腈－丁二烯－苯乙烯	Terluran, Novodur	≈1.05	35～56	80～n. f.[3]	85～100	电话机外壳，仪器面板，冲浪板
PA 6	聚酰胺 6	Durethan, Maranyl, Resistane, Ultramid, Rilsan	1.14	43	n. f.[3]	80～100	齿轮，滑动轴承，螺钉，电缆，机架
PA 66	聚酰胺 66		1.14	57	21[4]	80～100	
PE－HD	聚乙烯，高密度	Hostalen, Lupolen, Vestolen A	0.96	20～30	n. f.[3]	80～100	电池盒，燃料容器，垃圾罐，管道，电缆绝缘，胶卷，瓶子
PE－LD	聚乙烯，低密度		0.92	8～10	n. f.[3]	60～80	
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯	Plexiglas, Degalan, Lucryl	1.18	70～76	18	70～100	光学透镜，警戒灯，刻度盘，发光的字母
POM	聚甲醛	Delrin, Hostaform, Ultraform	1.42	50～70	100	95	齿轮，滑动轴承，阀体，机架零件
PP	聚丙烯	Hostalen PP, Novolen, Procom, Vestolen P	0.91	21～37	n. f.[3]	100～110	加热管，洗衣机零件，配件，泵壳体
PS	聚苯乙烯	Styropor, Polystyrol, Vestyron	1.05	40～65	13～20	55～85	包装材料，餐具，胶卷，绝缘板
PTFE	聚四氟乙烯	Hostaflon, Teflon, Fluon	2.20	15～35	n. f.[3]	280	免维护轴承，活塞环，密封件，泵
PVC－P	聚氯乙烯，可塑	Hostalit, Vinoflex, Vestolit, Vinnolit, Solvic	1.20～1.35	20～29	2[4]	60～80	软管，密封件，电缆罩子，管，配件，容器
PVC－U	聚氯乙烯，无增塑剂		1.38	35～60	n. f.[3]	<60	
SAN	苯乙烯－丙烯腈－共聚物	Luran, Vestyron, Lustran	1.08	78	23～25	85	标度盘，电池盒，投射灯壳
SB	苯乙烯－丁二烯－共聚物	Vestyron, Styrolux	1.05	22～50	40～n. f.[3]	55～75	电视机壳，包装材料，挂衣架，配电箱

1）值依据温度和测试速度
2）工作温度的持续时间有明显影响
3）n. f. △样品无破裂
4）冲击韧性

关注公众号：机械工程师成长营

热塑塑料的标记

聚乙烯 PE　　cf. DIN EN ISO 1872－1（1999－10）
聚丙烯 PP　　cf. DIN EN ISO 1873－1（1995－12）

标记系统

名称	标准	数据块 1	数据块 2	数据块 3	数据块 4	数据块 5[1]
块	代号块					
例						
热塑塑料	ISO 1873－	PP－R	EL	06－16－003	,,[2]	ISO 8773

数据块 1

在数据块 1 中，造型材料用连字号后的缩写 PE 或 PP 来标记。对于聚丙烯，附加信息如下：PP－H 丙烯均聚物，PP－B 热塑塑料，冲击韧性 PP（所谓共聚块）；PP－R 热塑塑料，丙烯静态共聚物

数据块 2

PE 和 PP 的计划应用和/或加工方法

符号	位置 1	符号	位置 1
B	吹塑法	L	单纤丝，挤压
C	压延	M	注射成形
E	挤压	Q	冲压
F	挤压（薄膜）	R	旋转成形
C	一般使用	S	粉末烧结
H	涂层	X	未指定
K	电缆绝缘	Y	纤维产品[3]

PE 和 PP 的重要特性，添加剂和色彩

符号	位置 2 到 8	符号	位置 2 到 8
A	加工稳定剂	L	轻稳定剂
B	抗阻塞剂	N	自然颜色
C	人工色素	P	冲击韧性
D	粉末	R	脱模剂
E	发酵剂	S	滑动和润滑剂
F	灭火器	T	增加的透明度
C	小球	X	可交联
H	热时效稳定剂	Y	增加的电传导性
		Z	静态抑制剂

数据块 3

PE 的密度（kg/m^3）

符号	大于～到～
00	～901
03	901～906
08	906～911
13	911～916
18	916～921
23	921～925
27	925～930
33	930～936
40	936～942
45	942～948
50	948～954
57	954～960
62	960

PP 的弹性模量 MPa（N/mm^2）

符号	大于～到～
02	～400
06	400～800
10	800～1200
16	1200～2000
28	2000～3500
40	3500

PP 的冲击韧性（kJ/m^2）

符号	大于～到～
02	～3
05	3～6
09	6～12
15	12～20
25	20～30
35	30

熔化的质量流速（g/10min）

PE 的条件	温度（℃）	载荷（kg）
E	190	0.325
D	190	2.16
T	190	5.00
G	190	21.6

符号	对于 PP 和 PE 大于～到～
000	～0.1
001	0.1～0.2
003	0.2～0.4
006	0.4～0.8
012	0.8～1.5
022	1.5～3.0
0,45	3.0～6.0
090	6～12
200	12～25
400	25～50
700	50

PE 和 PP 的数据块 4

位置 1：表示填充/加强等级的符号

符号	材料	符号	材料
B	硼	S	合成的有机的滑石
C	碳		
G	玻璃	T	
K	粉笔	W	木材
L	纤维素	X	未指定
M	矿物，金属	Z	其他

位置 2：表示外形的符号

符号	材料	符号	材料
B	珍珠，球	S	薄层薄片
D	粉末		
F	纤维	X	未指定
G	碾磨的材料	Z	其他
H	晶须		

位置 3：填充材料的质量百分比

⇒ **热塑塑料 ISO 1873－PP－H，M 40－02－045，TD40**：聚丙烯成形材料，均聚物，用注射模塑法制造，弹性模量 3500MPa；冲击韧性 $3kJ/m^2$

1）数据块 5　附加要求的任意选择项　2）2 个逗号——缺数据块　3）只用于 PP

关注公众号：机械工程师成长营

热固塑料，层压材料

热固塑料的标记和特性（可硬化）

类型	成分		弯曲强度 (N/mm^2)	冲击韧性 (kJ/m^2)	热变形温度 (℃)	水吸收最大 (mg)	应用，特性
	树脂	填料					
酚醛成形材料的类型（PF）							cf. DIN 7708－2（1975－10）
31	PF	锯屑	70	6	125	150	一般应用
85		锯屑/纸浆	70	5	125	200	增加冲击韧性
51		纤维素和其他	60	5	125	300	
83		短棉纤维	60	5	125	180	
71		棉纤维和其他	60	6	125	250	
84		棉织物	60	6	125	150	
74		棉织物	60	12	125	300	
75		人造丝挤压	60	14	125	300	
12		石棉纤维[1]	50	3.5	150	60	加热条件下，改良尺寸稳定性，含石棉纤维，能承受高机械应力
15			50	5	150	130	
16		石棉绳索[1]	70	15	150	90	
11.5		石粉	50	3.5	150	45	改良电特性，电阻率 10^{11} Ω·cm
13		云母	50	3	150	20	
13.9		云母	50	3	150	20	其他附加特性，免受氨水影响
51.5		纤维素	60	5	125	300	
⇒	**成形材料类型** 31 DIN 7708：酚醛成形材料类型 31						
氨基塑料成形材料的类型（UF，MF，MP）							cf. DIN 7708－3（1975－10）
131	UF	纤维素	80	6.5	100	300	一般应用（卫生装置零件，家用电器）；UF 不能作食用和饮用器具
150	MF	锯屑	70	6	120	250	
180	MP	锯屑	80	6	120	180	
153	MF	棉纤维	60	5	125	300	增加冲击韧性
154	MF	棉织物	60	6	125	300	
155	MF	矿石粉	40	2.5	130	200	加热条件下，改良尺寸稳定性
156	MF	石棉纤维[1]	50	3.5	140	200	
131.5	UF	纤维素	80	6.5	100	300	改良电特性（电子和安装材料）
183	MP	纤维素/矿石粉	70	5	120	120	
152.7	MF	纤维素	80	7	120	200	特别要求；用作器皿和饮用器具

层压材料[2]

cf. DIN EN 60893－3－1（2004－09）

树脂类型		加强材料类型	
树脂类型	标　记	缩写	标　记
EP	环氧树脂	CC	棉织物
MF	三聚氰胺－甲醛树脂	CP	纤维素纸
PF	苯酚－甲醛树脂	CR	组合的加强材料
UP	不饱和聚酯树脂	GC	玻璃纤维织物
SI	有机硅树脂	GM	玻璃纤维材料
PI	聚酰胺树脂	PC	聚酯玻璃纤维
—	—	WV	胶合板
⇒	**层压材料** PF CP 204：树脂类型：苯酚－甲醛树脂，加强材料：纤维素纸，国际电工技术委员会（IEC）的系列代号＝204		

1）石棉因是致癌物质而被排除在外。它的使用在许多国家法律上是禁止的

2）层压制件因其优良的机械性能和电绝缘性，主要以盘子或管的形式在电气设备中使用。例如：在机器制造中，它被用来制造轴承衬、滚子和齿轮

关注公众号：机械工程师成长营

弹性体，泡沫材料

弹性体（橡胶）

缩写[1]	名称	密度（g/cm^3）	拉伸强度[2]（N/mm^2）	断裂延伸率（%）	工作温度（℃）	特性，应用举例
BR	聚丁橡胶	0.94	2（18）	450	-60 ~ +90	高抗磨损性；轮胎、带、V形带
CO	表氯醇橡胶	1.27 ~ 1.36	5（15）	250	-30 ~ +120 -10 ~ +120	减振，耐油和汽油；密封件、耐热阻尼器
CR	氯丁二烯橡胶	1.25	11（25）	400	-30 ~ +110	耐油耐酸，易燃，密封件、软管、V形带
CSM	氯磺化聚乙烯	1.25	18（20）	300	-30 ~ +120	抗老化和恶劣天气，耐油；绝缘材料、模制商品、胶卷
EPDM	乙烯基丙烯橡胶	0.86	4（25）	500	-50 ~ +120	好的电绝缘体，不耐油和汽油；密封件、形材、缓冲器、冷水软管
FKM	氟橡胶	1.85	2（15）	450	-10 ~ +190	抗磨损，最好的热变电阻；航空和汽车工业；旋转轴密封，O形密封圈
IIR	异丁烯-异戊二烯橡胶	0.93	5（21）	600	-30 ~ +120	抗恶劣天气和臭氧；电缆绝缘，汽车软管
IR	异戊二烯橡胶	0.93	1（24）	500	-60 ~ +60	低抗油性、高强度；卡车轮胎，弹簧元件
NBR	丙烯腈-丁二烯橡胶	1.00	6（25）	450	-20 ~ +110	抗磨损，耐油和汽油；电导体、O形密封圈、液压软管、旋转轴密封件、轴密封件
NR	自然橡胶异戊二烯橡胶	0.93	22（27）	600	-60 ~ +70	低耐油性，高强度；卡车轮胎、弹簧元件
PUR	聚亚胺酯橡胶	1.25	20（30）	450	-30 ~ +100	弹性，抗磨损；定时带、密封件、联轴器
SIR	苯乙烯-异戊二烯橡胶	1.25	1（8）	250	-80 ~ +180	好的电绝缘体，防水O形圈、火花塞帽、汽缸盖和连接密封件
SBR	苯乙烯-丁二烯橡胶	0.94	5（25）	500	-30 ~ +80	耐油和汽油性差；轮胎、软管、电缆罩子

1）cf. DIN ISO 1629（1992-03） 2）圆括号内的值=含添加剂或填充加强弹性体

泡沫材料

泡沫材料包括开放气室、密封气室或其混合。它们的原始密度低于结构物质的密度。在硬、中等硬、软、弹性、软弹性和整体泡沫材料间构成差别

刚度，硬度	泡沫材料的原材料基础	气室结构	密度（kg/m^3）	最高工作温度（℃）[1]	热导率［W/（K·m）］	7天的水吸收量（%）
硬	聚苯乙烯	主要为密封气室	15 ~ 30	75（100）	0.035	2 ~ 3
	聚氯乙烯		50 ~ 130	60（80）	0.038	<1
	聚醚砜		45 ~ 55	180（210）	0.05	15
	聚亚胺酯		20 ~ 100	80（150）	0.021	1 ~ 4
	酚醛树脂	开放气室	40 ~ 100	130（250）	0.025	7 ~ 10
	尿素-甲醛树脂		5 ~ 15	90（100）	0.03	20
中等硬到软弹性	聚乙烯	主要为密封气室	25 ~ 40	≤100	0.036	1 ~ 2
	聚氯乙烯		50 ~ 70	-60 ~ +50	0.036	1 ~ 4
	三聚氰胺树脂		10.5 ~ 11.5	≤150	0.033	大约1
	聚亚胺酯聚酯类型	开放气室	20 ~ 45	-40 ~ +100	0.045	—
	聚亚胺酯聚酯类型					

1）长期工作温度，圆括号内为短期

关注公众号：机械工程师成长营

塑料加工

注射模塑和挤压

缩写	注射模塑温度（℃）		注射压力（bar）	挤压加工温度（℃）	收缩量（%）	公差组[1]		
	物质	模子				常用公差	带偏差的尺寸	
							系列1[2]	系列2[2]
PE	160～300	20～70	500	190～230	1.5～3.5	150	140	130
PP	170～300	20～100	1200	235～270	0.8～2[3]	150	140	130
PVC，硬	170～210[4]	30～60	1000～1800	170～190	0.2～0.5	130	120	110
PVC，软	170～200[4]	20～60	300	150～200	1～2.5	—	—	—
PS	180～250	30～60	—	180～220	0.3～0.7	130	120	110
SB	180～250	20～70	—	180～220	0.4～0.7	130	120	110
SAN	200～260	40～80	—	180～200	0.5～0.6	130	120	110
ABS	200～240	40～85	800～1800	180～220	0.4～0.7	130	120	110
PMMA	200～250	50～90	400～1200	180～250	0.3～0.8	130	120	110
PA	210～290	80～120	700～1200	230～275	1～2	130	120	110
POM	180～230[4]	50～120	800～1700	180～220	1～3.5	140	130	120
PC	280～320[4]	80～120	>800	240～290	0.7～0.8	130	120	110
PF[5]	90～110[4]	170～190	800～2500	—	0.5～1.5[3]	140	130	120
MF[6]	95～110[4]	160～180	1500～2500	—	0.6～1.7[3]	130	120	110
UF[5]	95～110	150～160	1500～2500	—	0.4～0.6	140	130	120

1）见下表 2）系列1：不需要高精加工，系列2：要求高精加工 3）横向或纵向收缩率可能不同 4）含螺纹注射模塑机 5）含有机填充材料 6）含无机填充材料

可塑模制零件的公差

cf. DIN 16901（1982－11）

公差组查上表	代码字母[1]	公称尺寸范围 大于～到～（mm）												
		0～1	1～3	3～6	6～10	10～15	15～22	22～30	30～40	40～53	53～70	70～90	90～120	120～160
常用公差														
150	A	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38	±0.43	±0.49	±0.57	±0.68	±0.81	±0.97	±1.20
	B	±0.13	±0.15	±0.17	±0.20	±0.24	±0.28	±0.33	±0.39	±0.47	±0.58	±0.71	±0.87	±1.10
140	A	±0.20	±0.21	±0.22	±0.24	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38	±0.43	±0.50	±0.60	±0.70	±0.85
	B	±0.10	±0.11	±0.12	±0.14	±0.17	±0.20	±0.24	±0.28	±0.33	±0.40	±0.50	±0.60	±0.75
130	A	±0.18	±0.19	±0.20	±0.21	±0.23	±0.25	±0.27	±0.30	±0.34	±0.38	±0.44	±0.51	±0.60
	B	±0.08	±0.09	±0.10	±0.11	±0.13	±0.15	±0.17	±0.20	±0.24	±0.28	±0.34	±0.41	±0.50
带偏差尺寸的公差														
140	A	0.40	0.42	0.44	0.48	0.54	0.60	0.68	0.76	0.86	1.00	1.20	1.40	1.70
	B	0.20	0.22	0.24	0.28	0.34	0.40	0.48	0.56	0.66	0.80	1.00	1.20	1.50
130	A	0.36	0.38	0.40	0.42	0.46	0.50	0.54	0.60	0.68	0.76	0.88	1.02	1.20
	B	0.16	0.18	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34	0.40	0.48	0.56	0.68	0.82	1.00
120	A	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	0.46	0.50	0.54	0.60	0.68	0.78	0.90
	B	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34	0.40	0.48	0.58	0.70
110	A	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.36	0.40	0.44	0.50	0.58
	B	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.26	0.30	0.34	0.40	0.48

1）A 用于不依赖模子尺寸的尺寸；B 用于依赖模子尺寸的尺寸

关注公众号：机械工程师成长营

高温塑料、聚合混合物、增强纤维

高温塑料

缩写	名称	抗拉强度（N/mm^2）	工作温度	特性	应用举例
PTFE	聚四氟乙烯，商品名“特氟隆”	10	-20℃～260℃，短期至300℃	耐高温，化学稳定性好，低强度、硬度及摩擦系数	轴承、密封、涂层、高频电缆、化学装置
PEEK	聚醚醚酮	97	-65℃～250℃，短期至300℃	耐高温，化学稳定性好，滑动性能好	轴承、齿轮、密封，航空飞行（替代金属）
PPS	聚苯硫化物	70	-220℃～220℃，短期至260℃	强度、硬度及刚性都很高，化学稳定性、耐温性、耐辐射性好	泵罩、轴承衬套、航空飞行、核电站
PSU	聚砜	140～240	-40℃～150℃，短期至200℃	高强度、硬度、刚度，化学稳定性、耐辐射性好，清洁	微波天线、绕线轴、电路板、油面高度计、滚针轴承保持架
PI	聚酰亚胺，商品名“Vespel”	75～100	-240℃～360℃，短期至400℃	在大温度范围仍具高强度，耐辐射，深色、不透明	喷气式发动机、机首、活塞环、阀座、密封、电连接元件

聚合混合物

聚合混合物（也称“混合物”）是不同热塑性材料的混合。这些聚合物的特性来源于原始材料特性的可能组合

缩写	名称	成分	特性	应用举例
S/B	苯乙烯/丁二烯	90%聚苯乙烯、10%丁二烯橡胶	脆硬，低温下无冲击韧性	储藏盒、电扇罩、收音机外壳
ABS	丙烯腈/丁二烯/苯乙烯	90%苯乙烯－丙烯腈、10%氮化物橡胶	脆硬，低温下冲击韧性不变	电话、仪表板、毂盖
PPE + PS	改性聚苯醚 + 聚苯乙烯	多种成分；可以用30%的玻璃纤维增强	高硬度，低温冲击韧性达到-40℃，对生理无害	散热器护栅、计算机零件、医疗设备、太阳能电池板、特列姆尼龙假捻丝
PC + ABS	聚碳酸酯 + 丙烯腈/丁二烯/苯乙烯	多种成分	高的强度、硬度及韧性，在高热、冲击下尺寸稳定，抗冲击	仪器座、保险杠、办公仪器、机罩、摩托车灯罩
PC + PET	聚碳酸酯 + 聚酯	不同成分	超强的冲击韧性和耐冲击性	摩托车头盔、汽车零件

增强纤维

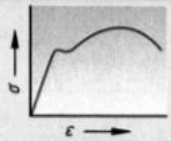
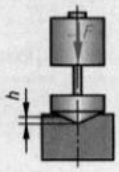
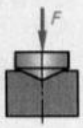
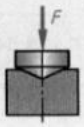
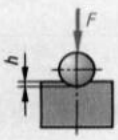
名称	密度（kg/dm^3）	抗拉强度（N/mm^2）	断裂延伸率（%）	特征	应用举列
玻璃纤维 GF	2.52	3400	4.5	各向同性[1]，高强度、高温强度，便宜	机体零件、飞机制造、帆船
芳族聚酰胺纤维 AF[3]	1.45	3400～3800	2.0～4.0	最轻的强化纤维，延伸性好，断裂韧度好，各向异性大[1]，雷达可穿透	高应力轻零件、安全帽、防弹背心
碳纤维 CF	1.6～2.0	1750～5000[2]	0.35～2.1[2]	各向异性极大[1]，高强度，轻，耐腐蚀，导电性好	赛车零件、赛艇帆、宇航应用

热固塑料（如UP及EP树脂）和具有高作业温度的热塑塑料（如PSU，PPE，PPS，PEEK，PI）被用作预埋材料（也叫基底）

1）各向同性＝在各个方向有相同的材料特性；各向异性＝沿纤维方向材料特性与纤维的横向不同
2）主要取决于制造过程中纤维缺陷的位置
3）商品名“Kevlar”

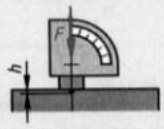
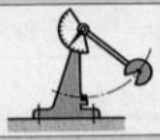
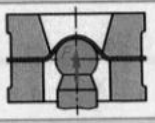
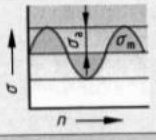
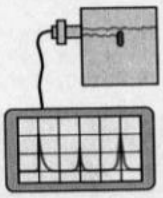
关注公众号：机械工程师成长营

材料试验方法——概述

图解	方法	应用信息
拉伸试验		第 190 页
	标准拉伸试验样本被拉至断裂 拉伸力变化及变形被测量并绘制图形，然后转换成应力 – 应变图	材料特性值的确定，例如： ——静载荷强度计算 ——成形性能预测 ——获取机械加工数据
布氏硬度 HB 试验		第 192 页
	· 在球形压头上施加标准载荷 F ——试验载荷取决于球的直径 D 及试样材料 ——载荷度，见第 192 页 · 测得压痕直径 d · 硬度测定基于试验载荷和压痕表面积	硬度测试，如：钢材、铸铁、有色金属等，均为： ——未淬火 ——金属光亮试验表面 ——软，硬度值小于 650HB
洛氏硬度试验		第 193 页
	· 压头（金刚石圆锥体，硬质合金球）被施加初载荷——测量基线 · 施加主载荷 ——试样产生永久变形 · 卸除主载荷 · 硬度直接显示在试验装置上，并基于压痕深度 h	不同方法的硬度试验，如对于钢材及有色金属 ——软材料或表面淬火材料 ——厚度小 **HRA，HRC 方法：** 表面淬火及高强度金属 **HRB，HRF 方法：** 软钢，有色金属
维氏硬度试验		第 193 页
	· 金刚石棱锥体上施加变化载荷 ——试验载荷为参数函数，如试样厚度或基体结构粒度 · 压痕对角线长度被测量 · 硬度测定基于试验载荷和压痕表面积	普遍测试方法 ——软材料及表面淬火材料 ——薄层 ——金属独立的微结构单元
压痕测试硬度试验（马氏硬度）		第 194 页
	· 金刚石棱锥体上施加变化载荷 ——试验载荷基于参数，如试样厚度或粒度 · 载荷作为压痕深度的函数被连续记录 · 马氏硬度在加载过程中被测定	各种材料的测试方法，如 ——软材料和表面淬火材料 ——薄层，硬质合金涂层及喷漆涂层 ——独立微结构单元 ——陶瓷，硬材料，等等
球压测试硬度试验		第 195 页
	· 试验球被施加初载荷 ——测量基线 · 施加规定试验载荷 ——试验载荷必须产生 0.15 ~ 0.35 mm 的压痕深度 · 在 30 秒保持时间后，压痕深度被测量 · 球压硬度被测定	塑料及硬橡胶的测试 球压硬度为研究、发展及质量控制提供比较值

关注公众号：机械工程师成长营

材料试验方法——概述

图解	方法	应用注释
肖氏硬度试验		第 195 页
	· 试验装置（硬度计）以接触压力 F 加压于试样 · 弹性加载压头在试样上压出压痕 · 保持时间 15 秒 · 肖氏硬度直接显示在装置上	塑料（弹性体）试验 从肖氏硬度很难得出与其他材料的性质关系
剪切试验		第 191 页
	· 圆柱试样在标准装置上加载，直至由于剪切而断裂 · 断裂强度由最大剪切力及试样截面积确定	用于确定剪切强度 τ_{aB}，如： ——剪切载荷零件的强度计算，例如：销 ——成形加工切削力估计
缺口梁冲击弯曲试验		第 191 页
	· 缺口试样受摆锤的弯曲载荷并断裂 · 冲击韧度 = 试样变形及断裂需要的能量	——测试金属材料在弯曲冲击载荷下的性能 ——检测热处理结果，如：调质处理 ——测试钢材的温度特性
埃里克森杯突试验		第 191 页
	· 金属板料在各边被固定并通过球形压头产生变形直至出现裂纹 · 裂纹出现时的变形深度为深拉性能测量	——金属板带的深拉性能测试 ——板料表面在冷加工时变化的估计
疲劳试验		
	· 抛光表面圆柱试样以恒幅循环应力加载，应力平均值为 σ_m，应力幅为 σ_A，直至断裂。试验系列的图形表示则为 $S-N$ 曲线	用于确定动载荷时的材料性质，如： ——疲劳强度、循环应力下的疲劳强度 ——疲劳极限
超声波试验		
	· 换能器发出超声信号并通过工件 超声波被前墙、后墙及一定大小的缺陷反射 · 试验装置的屏幕显示出反射波 · 试验频率决定可检测的缺陷尺寸大小，它受试样的粒度大小限定	——零件的非破坏性试验，如裂纹、孔洞、气孔、夹渣、未熔合、微组织的差异 ——确定缺陷种类、缺陷的大小及位置 ——测量墙及层的厚度
金相照片		
	侵蚀法金相试样（微组织）显示了可在金相显微镜下观察的微结构 试样制备： 取样——防止组织变化 镶嵌——获得清晰边界的形状 磨制——去除变形层 抛光——获得高表面质量 侵蚀——显现微组织	——检查晶体结构 ——监视热处理、成形及连接过程 ——确定粒度分布及大小 ——缺陷检测

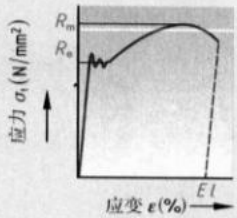
关注公众号：机械工程师成长营

拉伸试验，拉伸试样

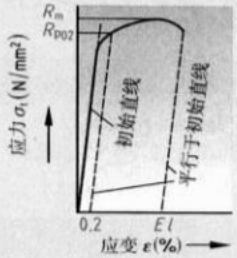
拉伸试验

cf. DIN EN 10002－1（2001－12）

带明显屈服点的应力－应变图，如：软钢



不带明显屈服点的应力－应变图，如：调质钢



F　拉伸力
F_m　最大拉伸力
L_0　试样原始标距长度
L_u　试样拉断后标距长度
d_0　试样原始直径
S_0　试样原始截面积
S_u　试样断裂后缩颈处最小截面积

ε　名义应变
EL　断裂延伸率
Z　断面收缩率
σ_t　拉伸应力
R_m　拉伸强度
R_e　屈服强度
$R_{p0.2}$　0.2%应变时的屈服强度
E　弹性模量
V_s　屈强比

拉伸试样
常为圆形标准试棒，原始标距长度 $L_0 = 5 \cdot d_0$
未加工试样允许为：
——均匀截面，如：金属板料试样、型材、线材
——铸件试样，如：铸铁材料或有色金属、铸造合金

屈强比：$V_s = R_e\ (R_{p0.2})\ / R_m$
钢的热处理状况信息如下：

正火：　$V_s \approx 0.5 \sim 0.7$
调质处理：　$V_s \approx 0.7 \sim 0.95$

弹性模量 E
为确定弹性模量，必须在试样的弹性范围内通过引伸计测量延伸率

拉伸应力

$$\sigma_t = \frac{F}{S_0}$$

拉伸强度

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

应变

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

断裂延伸率

$$EL = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100\%$$

断面收缩率

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100\%$$

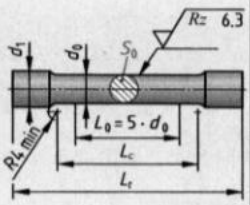
弹性模量

$$E = \frac{\sigma_t}{\varepsilon} \cdot 100\%$$

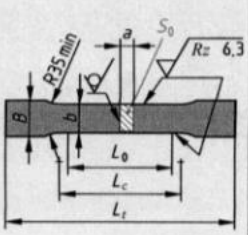
拉伸试样

cf. DIN 50125（2004－01）

A 型



E 型



带光滑圆柱端的圆形拉伸试样，A 型及 B 型

	d_0	4	5	6	8	10	12	14	形状应用
	L_0	20	25	30	40	50	60	70	**A 型**：已加工试样夹持在拉紧楔子上 **B 型**：带螺纹头的已加工试样产生更精确的拉伸测量值
	L_c	24	30	36	48	60	72	84	
A 型	d_1	5	6	8	10	12	15	17	
	L_t	65	80	95	115	140	160	185	
B 型	d_1	M6	M8	M10	M12	M16	M18	M20	
	L_t	40	50	60	75	90	110	125	

拉伸试样，其他形状

	a	3	4	5	6	7	8	10	形状应用
E 型	b	8	10	10	20	22	25	25	扁平试样带有用于拉紧楔子的头部 条状、板状、扁平棒及型材试样
	L_0	30	35	40	60	70	80	90	
	B	12	15	15	27	29	33	33	
	L_c	38	45	50	80	90	105	115	
	L_t	115	135	140	210	230	260	270	

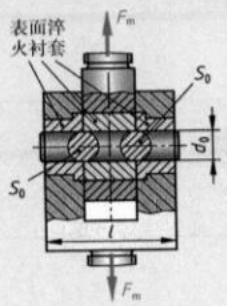
C 型	带轴肩端的已加工圆形试样
D 型	带圆锥端的已加工圆形试样
F 型	圆棒的未加工截面
G 型	扁平棒及型材的未加工截面
H 型	扁平试样板料厚度在 0.1～3mm 之间
⇒	**拉伸试样 DIN 50125－A10×50**：A 型，$d_0 = 10$mm，$L_0 = 50$mm

关注公众号：机械工程师成长营

剪切试验，冲击试验，杯突试验

剪切试验

cf. DIN 50141（1982－12）



F_m 最大剪切力　S_0 试样原始截面积
d_0 试样原始直径　τ_{sB} 剪切强度
l 试样长度

剪切强度

$$\tau_{sB}=\frac{F_m}{2\cdot S_0}$$

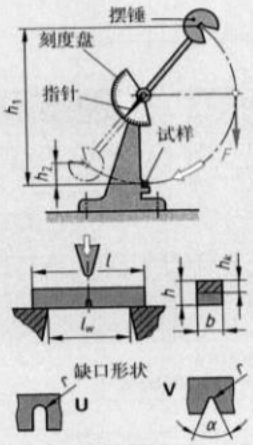
试验在带标准剪切装置的拉伸试验机上进行

剪切试样

d_0	3	4	5	6	8	10	12	16
极限偏差	−0.020 −0.370	−0.020 −0.370	−0.030 −0.390	−0.030 −0.345	−0.040 −0.370	−0.013 −0.186	−0.016 −0.193	−0.016 −0.193
l	50	50	50	50	50	110	110	110

摆锤式冲击试验

cf. DIN EN 10045（1991－04）



KU U形缺口试样冲击能量（J）
KV V形缺口试样冲击能量（J）

试样

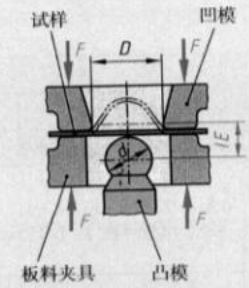
试样必须完全加工。试样的制造应当尽可能少地改变材料的微组织
缺口在肉眼下不可见，缺口根部平行于缺口轴线

缺口冲击试样

标注	缺口形状	试样尺寸［mm或（°）］						
		l	l_w	h	b	h_k	r	α
标准试样	U	55	40	10	10	5	1.0	—
标准试样	V	55	40	10	10	8	0.25	45°
DVM试样[1)]	U	55	40	10	10	7	1.0	—
解释		1）德国材料试验协会（Deutscher Verband für Materialprüfung）						
⇒		KU＝115J：带U形缺口标准试样，缺口冲击能量115J，摆锤冲击试验机工作能力为300J KV150＝85J：带V形缺口标准试样，缺口冲击能量85J，摆锤冲击试验机工作能力为150J						

埃里克森杯突试验

cf. DIN EN ISO 20482（2003－12）代换 DIN 50101 及 50102



IE 埃里克森杯突深度值（mm）
F 板料夹紧力（KN）
l 试样长度
D 凹模孔径
d 冲头直径
t 试样厚度
w 试样宽度

试样

试样必须扁平并没有凹凸不平。夹紧前，板料要用石墨润滑剂稍作润滑

工具及试样尺寸

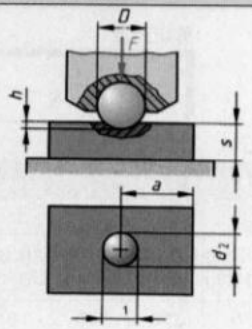
缩写	工具尺寸			试样尺寸			应用
	D（mm）	d（mm）	F（kN）	l（mm）	w（mm）	t（mm）	
IE	27	20	10	≥90	≥90	0.2～2	标准试验
IE_{40}	40	20	10	≥90	≥90	2～3	在较厚或较窄的板带上进行试验
IE_{21}	21	15	10	≥w	55～90	0.2～2	
IE_{11}	11	8	10	≥b	30～55	0.1～1	
⇒	IE＝12 mm：埃里克森杯突深度＝12mm，标准试验						

关注公众号：机械工程师成长营

布氏硬度试验

布氏硬度试验

cf. DIN 6506－1（1999－10）　代换 DIN EN 10003



F　试验载荷（N）
D　压头直径（mm）
d　压痕直径（mm）
d_1，d_2　压痕直径的单独测量值（mm）
h　压痕深度（mm）
s　试样最小厚度（mm）
a　压痕中心到试样边界距离（mm）

试验条件
压痕直径
$0.24 \cdot D \leqslant d \leqslant 0.6 \cdot D$
最小试样厚度 $s \geqslant 8 \cdot h$
压痕中心到试样边界距离 $a \geqslant 3 \cdot d$
试样表面：金属光亮

压痕直径

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

布氏硬度

$$HBW = \frac{0.204 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

标注举例：

180 HBW 2.5 / 62.5
600 HBW　1 / 30　/ 25

硬度值	压头	压头直径	试验载荷 F	载荷保持时间
布氏硬度：180 布氏硬度：600	W：硬质合金球	2.5mm 1mm	62.5·9.80665 N=612.9 N 30·9.80665 N=294.2 N	未规定：10～15秒 标准值：25秒

加载度，压头直径，试验载荷和试验材料

加载度	试验载荷 F（N） 压头直径 D[1]（mm） 1	2	2.5	5	10	试验零件材料（样本）
30	294.2	1177	1830	7355	29420	钢，镍及钛合金≤650HBW 铸铁≥140HBW，铜合金＞200HBW
15	—	—	—	—	14710	铝合金≥35HBW
10	98.1	392.3	612.9	2452	9807	铸铁＜140HBW，铜合金35～200HBW，铝合金≥35HBW
5	49	196.1	306.5	1226	4903	铜合金＜35HBW，铝合金35～80HBW
2.5	24.5	98.1	153.2	612.9	2452	铝合金＜35HBW
1	9.8	39.2	61.3	245.2	980.7	铅，锌

1）对于细粒材料、薄试样或外层硬度试验的压头直径。对于铸铁的硬度试验，压头直径 D 必须大于2.5 mm仅仅在相同加载度情况下，硬度值可以比较

试样最小厚度 s

压头直径 D（mm）	对于压痕直径的 d[1]（mm）的试样最小厚度 s（mm） 0.25	0.35	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.3	1.5	2.0	2.4	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
1	0.13	0.25	0.54	0.8														
2			0.23	0.37	0.67	1.07	1.6											
2.5				0.29	0.53	0.83	1.23	1.46	2.0									
5							0.58	0.69	0.92	1.67	2.45	4.0						
10											1.17	1.84	2.53	3.34	4.28	5.36	6.59	8.0

举例： $D = 2.5$ mm，$d = 1.2$mm →最小试样厚度 $s = 1.23$ mm

1）表中的空白表示不符合试验条件 $0.24 \cdot D \leqslant d \leqslant 0.6 \cdot D$

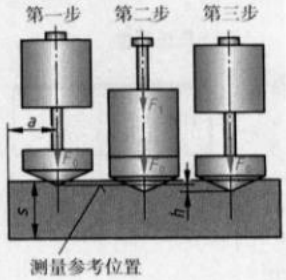
关注公众号：机械工程师成长营

洛氏，维氏硬度试验

洛氏硬度试验

cf. DIN EN ISO 6508－1（1999－10）

硬度试验



F_0 初载荷（N）
F_1 主载荷（N）
h 两次加载压痕深度之差（mm）
s 试样厚度
a 压痕中心到试样边界距离

试验条件
试样磨削后表面粗糙度为 $Ra = 0.8 \sim 1.6$ μm。试样加工不得使其微组织发生改变。压痕中心到试样边界距离 $a \geqslant 1$ mm

标注举例：

65 HRC
70 HRBW — 洛氏硬度

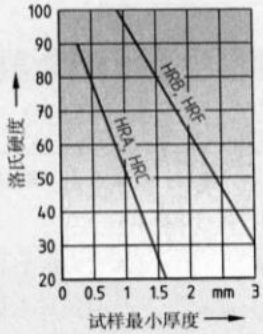
硬度值	试验方法	
65 70	HRC 洛氏硬度－C 金刚石锥体	HRBW 洛氏硬度－B 硬质合金球

洛氏硬度 HRA，HRC

$$HRA,\ HRC = 100 - \frac{h}{0.002\ mm}$$

洛氏硬度 HRB，HRF

$$HRB,\ HRF = 130 - \frac{h}{0.002\ mm}$$

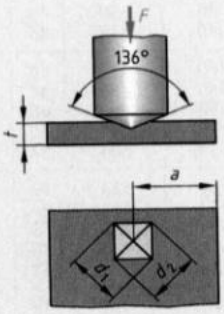


试验方法，应用（摘选）

方法	压头	F_0（N）	F_1（N）	测量范围	应用
HRA	金刚石圆锥体 顶角 120°	98	490.3	20～88 HRA	淬火钢 高强度金属
HRC		98	1373	20～70 HRC	
HRB	硬质合金球（W） 直径 1.5785 mm	98	882.6	20～100 HRB	软钢 有色金属
HRF		98	490.3	20～100 HRF	

维氏硬度试验

cf. DIN EN ISO 6507－1（1990－01）



F 试验载荷（N）
d 压痕对角线长度（mm）
s 试样厚度
a 压痕中心到试样边界距离

试验条件
试样磨削后表面粗糙度为 $Ra = 0.4 \sim 0.8$ μm。试样加工不得使其微结构发生改变。压痕中心到试样边界距离 $a \geqslant 2.5 \cdot d$。

标注举例：

540 HV 1 / 20
650 HV 5

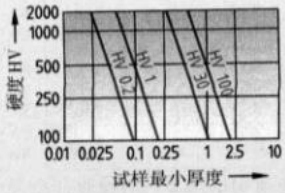
硬度值	试验载荷 F	保持时间
维氏硬度 540 维氏硬度 650	1 · 9.80665 N = 9.807 N 5 · 9.80665 N = 49.03 N	标准值 20 秒 未规定 10～15 秒

压痕对角线长度

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

维氏硬度

$$HV = 0.1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$



维氏硬度试验的试验条件和施加载荷

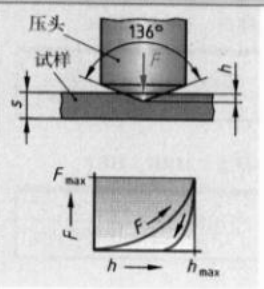
试验条件	HV100	HV50	HV30	HV20	HV10	HV5
施加载荷（N）	980.7	490.3	294.2	196.1	98.07	49.03
试验条件	HV3	HV2	HV1	HV0.5	HV0.3	HV0.2
施加载荷（N）	29.42	19.61	9.807	4.903	2.942	1.961

关注公众号：机械工程师成长营

马氏硬度试验，硬度值转换

马氏硬度试验

cf. DIN EN ISO 14577（2003－05）



F　试验载荷（N）
h　压痕深度（mm）
s　试样厚度（mm）

试样表面			
材料	不同载荷下的平均粗糙度		
	0.1 N	2 N	100 N
铝	0.13	0.55	4.00
钢	0.08	0.30	2.20
硬质合金	0.03	0.10	0.80

马氏硬度

$$HM = \frac{F}{26.43 \cdot h^2}$$

HM 0.5 / 20 / 20 = 5700 N/mm²

试验方法	试验载荷 F	试验持续时间	载荷保持时间	马氏硬度值
马氏硬度	0.5 N	20 秒	20 秒以内	5700 N/mm²

试验范围	条件	应用
大范围	2 N≤F≤30 kN	一般的硬度试验：所有金属、塑料、硬质合金、陶瓷材料 微米及纳米范围：薄层测量、微组织单元
微米范围	F<2 N 或 H>0.2 μm	
纳米范围	h≤0.2 μm	

硬度及抗拉强度转换表[1]

cf. DIN EN ISO 18265（2003－11）

抗拉强度 R_m (N/mm²)	维氏硬度 HV (F≥98 N)	布氏硬度 HB30	洛氏硬度				抗拉强度 R_m (N/mm²)	维氏硬度 HV (F≥98 N)	布氏硬度 HB30	洛氏硬度	
			HRC	HRA	HRB[2]	HRF[2]				HRC	HRA
255	80	76	–	–	–	–	1155	360	342	37	69
285	90	86	–	–	48	83	1220	380	361	39	70
320	100	95	–	–	56	87	1290	400	380	41	71
350	110	105	–	–	62	91	1350	420	399	43	72
385	120	114	–	–	67	94	1420	440	418	45	73
415	130	124	–	–	71	96	1485	460	437	46	74
450	140	133	–	–	75	99	1555	480	456	48	75
480	150	143	–	–	79	(101)	1595	490	466	48	75
510	160	152	–	–	82	(104)	1665	510	485	50	76
545	170	162	–	–	85	(106)	1740	530	504	51	76
575	180	171	–	–	87	(107)	1810	550	523	52	77
610	190	181	–	–	90	(109)	1880	570	542	54	78
640	200	190	–	–	92	(110)	1955	590	561	55	78
675	210	199	–	–	94	(111)	2030	610	580	56	79
705	220	209	–	–	95	(112)	2105	630	599	57	80
740	230	219	–	–	97	(113)	2180	650	618	58	80
770	240	228	20	61	98	(114)	–	670	–	59	81
800	250	238	22	62	100	(115)	–	690	–	60	81
835	260	247	24	62	(101)	–	–	720	–	61	82
865	270	257	26	63	(102)	–	–	760	–	63	83
900	280	266	27	64	(104)	–	–	800	–	64	83
930	290	276	29	65	(105)	–	–	840	–	65	84
965	300	285	30	65	–	–	–	880	–	66	85
1030	320	304	32	66	–	–	–	920	–	68	85
1095	340	323	34	68	–	–	–	940	–	68	86

1）用于碳钢、低合金钢和铸铁。该标准的特殊表格用于调质钢、冷作钢、高速钢以及不同的硬质合金类型。对于高合金和/或加工硬化钢有较大偏差
2）括号内数值在测量范围之外

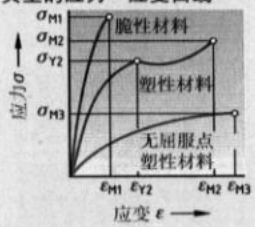
关注公众号：机械工程师成长营

塑料试验

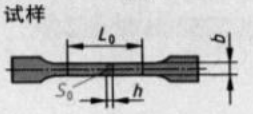
塑料拉伸性质的确定

cf. DIN EN ISO 527（1996－04）

典型的应力－应变曲线



试样



F_M 最大载荷
F_Y 屈服应力
ΔL_{FM} 最大载荷时长度改变
ΔL_{FY} 屈服强度时长度改变
L_0 标距长度
S_0 原始横截面积
σ_M 抗拉强度
σ_Y 屈服强度
ε_M 最大延伸率
ε_Y 屈服应变

试样

对于每种性质，如抗拉强度、屈服强度、屈服应变，至少必须试验五个试样

应用

—— 热塑性注塑成形及挤压成形材料
—— 热塑性厚板及薄膜
—— 热塑性成形材料
—— 热塑性厚板
—— 纤维增强复合材料、热塑和热固塑料

抗拉强度

$$\sigma_M = \frac{F_M}{S_0}$$

屈服强度

$$\sigma_Y = \frac{F_Y}{S_0}$$

最大延伸率

$$\varepsilon_M = \frac{\Delta L_{FM}}{L_0} \cdot 100\%$$

屈服应变

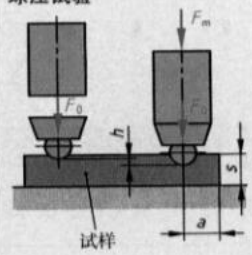
$$\varepsilon_Y = \frac{\Delta L_{FY}}{L_0} \cdot 100\%$$

试验速度					试样根据								
					用于成形材料					用于薄膜			
试验速度（mm/min）				公差	类型	1A	1B	5A	5B	2	4	5	
					L_0（mm）	50±0.5	50±0.5	20±0.5	10±0.2	50±0.5	50±0.5	25±0.25	
1	2	5	10	±20%	h（mm）	4±0.2	4±0.2	≥2	≥1	≤1	≤1	≤1	
20	50	100	200	±10%	b（mm）	10±0.2	10±0.2	4±0.1	2±0.1	10～25	25.4±0.1	6±0.4	
⇒	拉伸试验 **ISO 527－2/1A/50**：拉伸试验，根据 ISO527－2；试验类型 1A；试验速度 50 mm/min												

塑料硬度试验

cf. DIN EN ISO 2039－1（2003－06）

球压试验



F_0 初载荷 9.8 N
F_m 试验载荷
h 压痕深度
a 压痕中心到试样边界距离
s 试样厚度

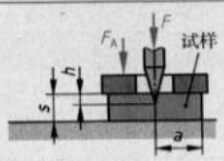
试样

压痕中心到试样边界距离 $a \geq 10$ mm，试样最小厚度 $s \geq 4$ mm

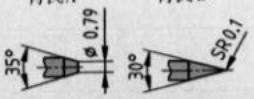
试验载荷 F_m（N）	压痕深度为 h（mm）时对应的球压硬度 H（N/mm²）									
	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34
49	22	19	16	15	13	12	11	10	9	9
132	59	51	44	39	35	32	30	27	25	24
358	160	137	120	106	96	87	80	74	68	64
961	430	370	320	290	260	234	214	198	184	171
⇒	球压硬度 **ISO 2039－1 H 132**：H=31 N/mm²，F_m=132 N									

塑料的肖氏硬度试验

cf. DIN EN ISO 868（2003－06）



压头用于



F_A 接触压力（N）
F 试验载荷
h 压痕深度
a 压痕中心到试样边界距离
s 试样厚度

试样

压痕中心到试样边界距离 $a \geq 9$ mm，最小试样厚度 $s \geq 4$ mm

对于肖氏 A 及肖氏 D 方法的试验条件

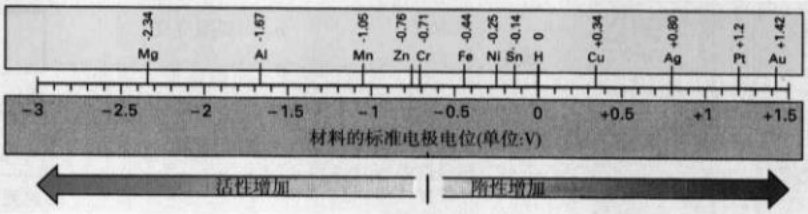
试验方法	F_{max}（N）	F_A（N）	应用
A	7.30	10	如果肖氏 D 型硬度 <20
D	40.05	50	如果肖氏 A 型硬度 >90
⇒	**85 肖氏 A**：硬度值 85；试验方法：肖氏 A		

关注公众号：机械工程师成长营

腐　蚀

金属的电化学序列

电化学腐蚀与贱金属被腐蚀的电元素作用过程相同。两种不同金属在导电液（电解液）的作用下产生的电压可从电化学系列的标准电极电位得到。标准电位指浸入氢中的电极材料与铂极之间产生的电压
钝化作用（保护层的形成）改变了元素之间的电压



举例：铜的标准电位 Cu = +0.34 V 及铝的标准电位 Al = −1.67 V，在 Cu 与 Al 之间产生电压 U = +0.34 V −(−1.67 V) = 2.01 V

金属材料的腐蚀行为

材料	腐蚀行为	下列环境的耐腐蚀性				
		干燥空气	乡村空气	工业空气	海洋空气	盐水
碳钢及合金钢	仅在干燥环境下耐腐蚀	●	◕	◕	○	○
不锈钢	耐腐蚀，但侵蚀性化学品除外	●	●	◐	◐	◐
铝及铝合金	耐腐蚀，但含铜铝合金除外	●	◐	◐	◐	● ~ ◕
铜及铜合金	耐腐蚀，尤其是含镍铜合金	●	●	◐	◐	● ~ ◕

● 耐腐蚀性　◐ 耐一定腐蚀　◕ 不耐腐蚀　○ 不可用

防腐

涂镀前金属表面的处理

处理步骤	目　的	方　法
机械清洗，为黏附建立好的表面	去除所有鳞皮、锈迹和污物	磨削、洗刷，用含二氧化矽砂的水喷射
化学清洗，形成理想的精细表面	去除所有鳞皮、锈迹和油脂残留物 弄粗或光滑表面	酸或碱水腐蚀 用溶剂去除油污 化学或电化学抛光

防腐措施

措施	举例
选择适合材料	造纸时采用不锈钢零件
设计时的防腐原则	在接触点采用相同材料，零件之间加绝缘层，避免间隙
保护层：· 保护油或润滑剂 · 化学表面处理 · 保护漆	润滑滑轨及测量工具 磷化处理，抛光 涂漆，可以在磷化处理后
金属涂层	热浸镀锌 金属镀层，如镀铬
阴极防腐保护法	需要保护的零件，如将船的螺旋桨与牺牲阳极相连
铝材的阳极氧化	在零件上形成永久防腐氧化层，如轮缘

关注公众号：机械工程师成长营

物质的处置*

废弃品管理法规 cf. 封闭物质循环及废弃品管理法规（2001－10）

循环管理的重要原则
- 避免废弃品，如室内循环管理或低废弃品生产设计
- 废物利用，如从废物中回收原材料（衍生原材料）
- 利用废物进行能源回收（能源利用），如采用可替代原料
- 废弃品必须适当循环，对公共利益无不利影响

废弃品处置受有关机构（通常为行政区）的监督，尤其是危害健康、空气或水的废物、爆炸品、可燃物尤其需要监督

废弃品生产者必须对适当处置和处置所依据的证明文件负责

在机械加工工业，需要特别监管的废弃品（危险品）举例[1)]

处理代码	废弃物种类的描述	外表，描述，来源	特别介绍，措施
150199D1	封装的危险品	桶、容器、提桶及罐子等含有油漆、清漆、溶剂、清洁剂、防锈剂、除锈剂、除硅剂等 含残留物的喷雾瓶	空的、不滴落、用刷子或刮刀清洁不是废弃品需要的特别监管。它们在零售包装考虑之列。采用双重系统或利用废弃品管理公司的金属桶进行处置。干油漆桶类似于家庭商业废物 如可能，喷雾瓶应尽量避免；它们必须按危险品处置
160602	镍镉电池	充电电池，如用于电钻及电动起子等	所有含污染物的电池都贴有标签。销售商必须免费回收 顾客必须返回给销售商或公共回收中心
160603	水银干电池	纽扣电池，包括单电池的水银电池	
160604	碱性电池	原电池	
060404	含废物水银	荧光灯（也叫“霓虹灯”）	可以循环利用。返回给销售商废弃品处置部门 不要放入玻璃回收类别
120106	已用加工油，含卤素，不含乳剂	不含水的钻孔、车削、磨削及切削油，也称“冷却润滑液”	尽可能避免冷却润滑液，如采用： - 干加工 - 最少量冷却润滑液 不同的冷却润滑液、乳化剂、溶解液分开收集。询问供应商关于预处理或燃烧（能量循环）的方法
120107	已用加工油，不含卤素，乳剂	不含水油 珩磨油	
110	合成加工油	从合成油提取的冷却润滑剂，如：脂基	
130202	非氯化齿轮油及润滑油	已用油和齿轮油、液压油，从空压机来的压缩油	通过供应商或注册的水处理机构回收 已知来源的已用油可通过二次提炼或能量循环重新利用 不要与其他物品混合
150299D1	吸尘及过滤材料、抹布、带危险污染物的防护服	例如：用过的抹布、清洁布，被油或蜡污染的刷子、油黏结剂、油罐及润滑罐	对于清洁布，采用租赁服务
130505	其他乳化剂	从压缩机来的浓缩水	采用去乳化性质的压缩油；咨询关于无油压缩机的选择
140102	其他卤化溶剂及溶剂混合物	过（－氯乙烷） 三（－氯乙烯） 混合溶剂	通过供应商回收或试验用含水清洁剂替代

1）需要特别监管的废弃品控制法规——BestbüAbfV（1999－01），附录1：欧洲废弃品名录（EAK废物）考虑到有特别危险的废弃品。附录2：需要特别监测的EAK废弃品以及不在EAK名录的废弃品类型（字母“D”为处置代码）

*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

危险品，危险气体*

危险品（TRK 及 MAK 值）

cf. TRGS 900[1]（2003－11）

根据§3危险品法规（GefStoffV），在车间以下阈值有所差别（室内空气污染阈值）
- 致癌物及致突变物的阈值（TLV）（Technische Richtkonzentration-TRK）是指车间空气的致癌物及潜在致癌物的浓度。遵守TRK可减少对健康不利影响的危险，但不能完全排除
- 车间阈值极限（车间最高浓度 MAK）是车间空气化学物质的最高浓度，通常对工人健康无不利影响

室内空气污染物的阈值是一个平均值。假定工人每天暴露在危险品中的时间为8小时或每周约40小时

物质	MAK/TRK[2] mL/m³	MAK/TRK[2] mg/m³	EF[3]	备注[4]	物质	MAK/TRK[2] mL/m³	MAK/TRK[2] mg/m³	EF[3]	备注[4]
丙酮	500	1200	1.5	–	铅	–	0.1	4	RE1，RF3
丙烯腈	3	7	4.0	H，TRK；K2	水银	–	0.1	4	–
氨	50	35	=1=	Y	矿物纤维	5)	–	–	TRK，K3
石棉	–	–	–	K1	钼化合物	–	5	4	–
苯	1	3.25	4	H，TRK；K1，M2	镍	–	0.5	4	K3
铍	–	0.002	4	TRK，K2	尼古丁	0.07	0.47	4	H
镉	–	0.015	4	TRK，K2	臭氧	0.1	0.2	=1=	K3
二氧化碳	5000	9100	4	–	苯酚	5	19	=1=	H；M3
一氧化碳	30	35	2	RE1	丙烷	1000	1800	4	–
铬化合物（焊接烟雾）	–	0.1	4	TRK，K2	苯乙烯	20	86	4	Y
					二氧化硫	0.5	1.3	1	Y
冷却润滑液	–	10	–	–	四氯乙烷（过）	50	345	4	H；K3；RE3
铜	–	1	4	–	三氯乙烷（三）	50	270	4	Y；K2；M3
氢氟酸（HF）	3	2.5	=1=	H					

1）危险品技术法规（选自《德国联邦劳动报》），以及欧盟法规67/548/EWG
2）通常给出MAK值；TRK值仅在“备注”提及时给出
3）EF短期暴露值的超过系数；=1=阈值，不能超过
4）H皮肤吸收物。容易通过皮肤进入人体，危害健康。避免皮肤接触此类物质（cf. R21，R24，R27）
K 致癌；种类1：被人类证明；种类2：动物试验证明；种类3：怀疑
M 致突变；种类1至3与K相同
RF 对生殖和生育有不利影响；种类1至3与K相同
RE 致畸；对胎儿发育有害；种类1至3与K相同
Y 致畸；如果MAK值被观测则安全
5）250000 纤维/m³

危险气体的特性

气体	对空气的密度比	燃点	最低燃烧极限（空气中含气体体积（%））	最高燃烧极限（空气中含气体体积（%））	其他信息
乙炔	0.91	305 ℃	1.5	82	带有压力 $Pe>2\times10^5$ Pa，自身分解和爆炸
氩	1.38	不可燃	–	–	呼吸丧失；窒息危险
丁烷	2.11	365℃	1.5	8.5	麻醉作用；窒息作用
二氧化碳	1.53	不可燃	–	–	液态 CO_2 和干冰导致严重的冻伤
一氧化碳	0.97	605℃	12.5	74	潜在的血液中毒；视觉、肺、肝、肾及听觉损害
氢	0.07	570℃	4	75.6	自燃，泄漏速度快；与空气、O_2 及Cl形成爆炸性混合物
氮	0.97	不可燃	–	–	在封闭空间可窒息 窒息危险
氧	1.1	不可燃	–	–	脂和油与氧发生爆炸性反应；氧化性气体
丙烷	1.55	470℃	2.1	9.5	窒息；液态丙烷对皮肤和眼睛造成损害

*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

危险品，R－短语*

危险品对安全及人类健康造成不利影响并危害环境。它们必须特别标记（见第342页）。以下R－短语[1]都是标准短语，指出了处置危险品时其特别的危险。每种危险品的特别安全数据说明书包含更多广泛的信息

R－短语：特别危险标记 cf. RL 67/548/EWG[2]（2004－04）

R－短语[3]	含义
R 1	干燥时爆炸
R 2	遇火或点火、摇动、摩擦会发生爆炸
R 3	遇火或点火、摇动、摩擦会有极大的危险
R 4	形成极易敏感的金属化合物
R 5	加热会引起爆炸
R 6	接触或不接触空气会爆炸
R 7	易燃
R 8	遇可燃物会着火
R 10	可燃
R 11	高度可燃
R 12	极其可燃
R 13	极其可燃的液化气体
R 14	与水反应猛烈
R 15	遇水放出高度可燃性气体
R 16	与氧化剂混合发生爆炸
R 17	在空气里自燃
R 18	使用时会产生可燃或爆炸性蒸气与空气的混合物
R 19	可能生成爆炸性的过氧化物
R 20	吸入时有害
R 21	接触皮肤有害
R 22	吞食有害
R 23	吸入有毒
R 24	接触皮肤有毒
R 25	吞食有毒
R 26	吸入有剧毒
R 27	接触皮肤有剧毒
R 28	吞食有剧毒
R 29	遇水释放出有毒气体
R 30	使用时会变得高度可燃
R 31	遇酸放出有毒气体
R 32	遇酸放出剧毒气体
R 33	有积累效用的危险物
R 34	会引起燃烧
R 35	引起强烈燃烧
R 36	灼伤眼睛
R 37	灼伤呼吸系统
R 38	灼伤皮肤
R 39	非常严重的不可逆性危险
R 40	可能有不可逆反应的危险
R 41	对眼睛严重损伤的危险
R 42	吸入可引起过敏
R 43	可引起皮肤过敏
R 44	封闭加热有爆炸危险
R 45	可以致癌
R 46	可引起遗传性损伤
R 48	有慢性损伤的危险
R 49	吞食可致癌
R 50	对水生物有剧毒
R 51	对水生物有毒
R 52	对水生物有害
R 53	在水生环境下可产生长期不利影响
R 54	对植物有毒
R 55	对动物有毒
R 56	对土壤生物有毒
R 57	对蜂类有毒
R 58	在此环境下可产生长期不良影响
R 59	对臭氧层有损害
R 60	可削弱生育能力
R 61	对胎儿有损伤
R 62	可能有削弱生育能力的危险
R 63	可能对胎儿有损伤的危险
R 64	可对哺乳期婴儿产生损伤
R 65	如果吞食可引起肺损伤
R 66	重复性接触可引起皮肤干燥或开裂
R 67	气体可引起困倦和头晕
R 68	可能有不可逆的损害

1）R＝危险　2）欧盟法规，附录Ⅲ
3）R－短语可以组合；如R 23/24：吸入及接触皮肤有毒
*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

危险品，S－短语*

下列标准化推荐的安全措施（S－短语）[1]在处置危险品及制备时必须遵守。这样的话危险可以避免或减少

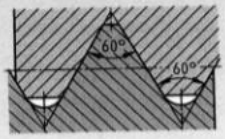
S（安全）－短语：推荐的安全措施 cf. RL 67/548/EWG[2]（2004－04）

S－短语[3]	含义
S 1	上锁
S 2	勿让儿童触及
S 3	冷处保存
S 4	远离居民区
S 5	内容物在……（由制造商指定的特定液体）中保存
S 6	在……（由制造商指定的惰性气体）中保存
S 7	保持容器密封
S 8	保持容器干燥
S 9	保持容器置于良好通风处
S 12	不要将容器密封
S 13	远离食品、饮料及动物饲料
S 14	远离……（制造商指定的物质）
S 15	远离热源
S 16	远离火源－禁止吸烟
S 17	远离易燃物
S 18	小心开启并操作内容物
S 20	使用时勿进食或饮水
S 21	使用时勿吸烟
S 22	请勿吸入烟尘
S 23	请勿吸入气体/烟雾/蒸气/喷雾（由制造商指定措辞）
S 24	避免与皮肤接触
S 25	避免与眼睛接触
S 26	若溅入眼睛，立即用大量水冲洗并寻求医生治疗
S 27	立即脱去所有受污染衣物
S 28	若溅到皮肤，立即用大量……（由制造商指定）冲洗
S 29	不要倒入下水道
S 30	切勿加水
S 33	采取预防静电措施
S 35	该物质及其容器需小心安置
S 36	穿戴必要的防护服
S 37	穿戴必要的手套
S 38	若通风不良，需戴必要的防毒面具
S 39	戴护目镜或面具
S 40	使用……（制造商指定）清理污染的地板和其他被污染的地方
S 41	若起火或爆炸，不要吸入烟雾
S 42	冒烟或喷雾时，请戴好防毒面具（制造商指定适当措辞）
S 43	若燃烧，用……（制造商指定材料，若禁止用水要特别注明）灭火
S 45	若遇事故或感不适，立即就医（若有可能，出示标签）
S 46	若吞食，立即就医并出示容器或标签
S 47	保持温度不超过……℃（由制造商指定）
S 48	用……物质（由制造商指定适当物料）保湿
S 49	只能由原装容器保存
S 50	不能与……（由制造商指定）混合
S 51	仅在通风良好场所使用
S 52	建议不在表面积大的区域内部使用
S 53	避免接触[4]，使用前获得特别指示说明
S 56	在危险废物或特殊废物收集点处置该物料及其容器
S 57	使用适当容器，避免[5]环境污染
S 59	参考制造商/供货商提供的回收/再生利用信息
S 60	该物质及其容器必须作为危险废物处置
S 61	避免释放至环境，参考特别说明/安全数据说明书
S 62	若吞食，不要催吐 立即就医并出示容器或标签
S 63	若吸入引起事故，将受害者移至新鲜空气处休息
S 64	若吞食，用水冲洗口腔（仅当患者清醒时）

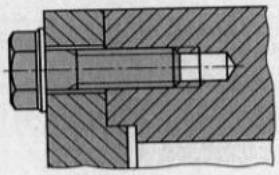
1）S＝安全　2）欧盟法规，附录Ⅳ
3）S－短语可以组合；如 S20/21：使用时勿进食、饮水或吸烟
4）如：不要使自己遭受该危险　5）污染，侵扰
*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

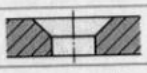
5 机械零件



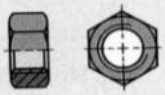
5.1 螺纹
螺纹的种类 …… 202
各国的螺纹标准（摘选） …… 203
英制螺纹 …… 203a
公制螺纹和细牙螺纹 …… 204
公制圆锥螺纹 …… 205
惠氏螺纹，管螺纹 …… 206
梯形和锯齿形螺纹 …… 207
螺纹公差 …… 208



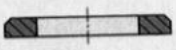
5.2 螺栓和螺钉
概述 …… 209
概述，标记 …… 210
性能等级，产品等级，通孔，最小旋入长度 …… 211
六角头螺栓 …… 212
圆头内六角螺钉 …… 215
有帽螺钉，沉头螺钉 …… 216
沉头螺钉，半沉头螺钉，自攻螺钉 …… 217
自攻螺钉，滚丝螺钉 …… 218
双头螺柱，吊环螺钉，螺塞 …… 219
紧定螺钉 …… 220
螺纹连接的计算 …… 221
锁紧紧固件 …… 222
扳手开口度，拧螺丝类型 …… 223



5.3 沉孔
沉头螺钉的锥形沉孔 …… 224
有帽螺钉和六角头螺栓的阶梯孔 …… 225



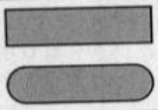
5.4 螺母
概述 …… 226
概述，标记 …… 227
六角螺母 …… 228
六角盖形螺母，锁紧螺母，环形螺母 …… 231
槽形螺母，开口销，焊接螺母，滚花螺母 …… 232



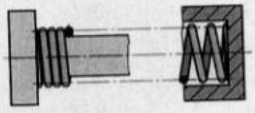
5.5 垫圈
平垫圈，概述 …… 233
平垫圈，钢结构用垫圈 …… 234
高强度螺栓、槽钢和工字钢、U 形夹销用垫圈，锥形弹性垫圈 …… 235



5.6 销和 U 形夹销
概述 …… 236
圆柱销，圆锥销和弹性圆柱销 …… 237
槽销，安全销，U 形夹销 …… 238



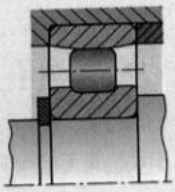
5.7 轴－毂连接
键，钩头键 …… 239
普通平键，半圆键 …… 240
花键轴连接和铆钉 …… 241
公制锥度，莫氏锥度，大锥柄 …… 242
刀具支承夹具 …… 243



5.8 弹簧，夹具和工具操作件
圆柱螺旋拉伸弹簧 …… 244
圆柱螺旋压缩弹簧 …… 245
碟形弹簧 …… 246
钻套 …… 247
平头螺钉，推力衬垫，球形把手 …… 248
手柄，定位和固定销 …… 249
T 形槽和附件，球面垫圈，锥面垫圈 …… 250
模柄，凸模，机加工板 …… 251
柱式模架 …… 252



5.9 传动件
V 带，同步齿形带 …… 253
窄 V 带 …… 254
同步齿形带 …… 255
直齿圆柱齿轮 …… 256
斜齿轮、圆柱齿轮的模数系列 …… 257
锥齿轮，蜗杆传动 …… 258
传动比 …… 259
速度曲线图 …… 260

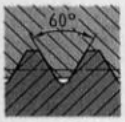
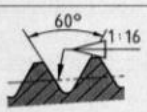


5.10 轴承
滑动轴承，概述 …… 261
抗摩擦轴承，概述 …… 263
抗摩擦轴承，标记 …… 264
球轴承 …… 265
球轴承，滚子轴承 …… 266
滚子轴承 …… 267
滚针轴承，圆螺母 …… 268
挡圈 …… 269
密封元件 …… 270
润滑油 …… 271
润滑脂，固体润滑剂 …… 272

关注公众号：机械工程师成长营

螺纹的种类 cf. DIN 202（1999－11）

右旋螺纹，单线

螺纹名称	螺纹牙型	字母代号	标记举例	公称尺寸	应用
公制螺纹 ISO 螺纹		M	DIN 14－M 08	0.3～0.9 mm	时钟，精密机器
			DIN 13－M 30	1～68 mm	一般目的（粗牙螺纹）
			DIN 13－M 20×1	1～1000 mm	一般目的（细牙螺纹）
大间隙公制螺纹			DIN 2510－M 36	12～180 mm	腰状杆螺栓/螺钉
公制直牙内螺纹			DIN 158－M 30×2	6～60 mm	螺塞和油嘴
公制圆锥外螺纹		M	DIN 158－M 30×2 keg	6～60 mm	螺塞和油嘴
管螺纹，直牙		G	DIN ISO 228－G 3/2(内) DIN ISO 228－G 1/2(外)	1/8～6 英寸	螺纹没有密封
平行管螺纹（内螺纹）		Rp	DIN 2999－Rp 1/2	1/16～6 英寸	管螺纹，螺纹密封；用于螺纹管，配合，螺纹管接头
			DIN 3858－Rp 1/8	1/8～3/2 英寸	
锥形管螺纹（外螺纹）		R	DIN 2999－R 1/2	1/16～6 英寸	
			DIN 3858－R 1/8－1	1/8～3/2 英寸	
公制 ISO 梯形螺纹		Tr	DIN 103－Tr 40×7	8～300 mm	一般目的，如传动螺纹
锯齿螺纹		S	DIN 513－S 48×8	10～640 mm	一般目的，如传动螺纹
圆螺纹		Rd	DIN 405－Rd 40×1/6	8～200 mm	一般目的
			DIN 20400－Rd 40×5	10～300 mm	带大螺纹搭接的圆螺纹
丝锥螺纹		ST	ISO 1478－ST 3，5	1.5～9.5 mm	用于自攻螺钉

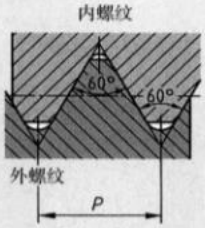
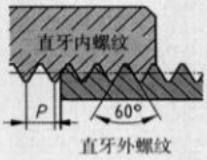
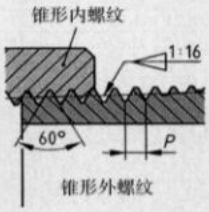
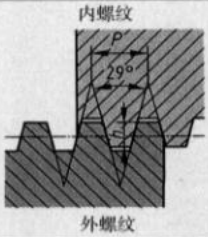
左旋和多线螺纹的标记 cf. DIN ISO 965－1（1999－11）

螺纹种类	说明	代号标注（举例）
左旋螺纹	代号“LH”置于完全螺纹标注之后（LH＝左旋）	M 30－LH Tr 40×7－LH
多线右旋螺纹	导程 P_h 和螺距 P 标在螺纹代号和直径之后	M 16×P_h 3 P 1.5 或 M 16×P_h 3 P 1.5（双线）
多线左旋螺纹	“LH”置于多线螺纹标注之后[1]	M 14×P_h 6 P 2－LH 或 M 14×P_h 6 P 2（三线）－LH

1）对于右旋和左旋螺纹的零件，“RH”（右旋）置于右旋螺纹标注之后，“LH”（左旋）置于左旋螺纹标注之后。多线螺纹的线数可通过后式求得：**线数＝导程 P_h/螺距 P**

关注公众号：机械工程师成长营

各国的螺纹标准（摘选）[1]

螺纹名称	螺纹牙型	代号	标注举例	意义	国家[2]
粗牙普通螺纹		UNC	1/4 – 20 UNC – 2A	ISO – UNC 螺纹，公称直径 1/4 英寸，每英寸牙数为 20，精度等级为 2A	ARG(阿根廷)，AUS(澳大利亚)，CAN(加拿大)，GBR(英国)，IND(印度)，JPN(日本)，NOR(挪威)，PAK(朝鲜)，SWE(瑞典)和其他
细牙普通螺纹		UNF	1/4 – 28 UNC – 3A	ISO – UNF 螺纹，公称直径 1/4 英寸，每英寸牙数为 28，精度等级为 3A	ARG(阿根廷)，AUS(澳大利亚)，CAN(加拿大)，GBR(英国)，IND(印度)，JPN(日本)，NOR(挪威)，PAK(朝鲜)，SWE(瑞典)和其他
特细牙普通螺纹		UNEF	1/4 – 32 UNEF – 3A	ISO – UNEF 螺纹，公称直径 1/4 英寸，每英寸牙数为 32，精度等级为 3A	ARG（阿根廷），AUS（澳大利亚），CAN（加拿大），IND（印度），NOR（挪威），PAK（朝鲜），SWE（瑞典）和其他
特殊螺纹，特殊直径/导程组合		UNS	1/4 – 27 UNS	UNS 螺纹，公称直径 1/4 英寸，每英寸牙数为 27	ARG（阿根廷），AUS（澳大利亚），CAN（加拿大），NZL（新西兰），USA（美国）
用于机械连接的直牙管螺纹		NPSM	1/2 – 14 NPSM	NPSM 螺纹，公称直径 1/2 英寸，每英寸牙数为 14	USA（美国），CAN（加拿大）
美制圆锥管螺纹		NPT	3/8 – 18 NPT	NPT 螺纹，公称直径 3/8 英寸，每英寸牙数为 18	BRA（巴西），CAN（加拿大），FRA（法国），USA（美国）和其他
美制圆锥管螺纹，细牙		NPTF	1/2 – 14 NPTF（干密封）	NPTF 螺纹，公称直径 1/2 英寸，每英寸牙数为 14（干密封）	BRA（巴西），CAN（加拿大），USA（美国）
美制梯形螺纹 $h=0.5\cdot P$		Acme	7/4 – 4 Acme – 2G	Acme 螺纹，公称直径 7/4 英寸，每英寸牙数为 4，精度等级为 2G	AUS（澳大利亚），CAN（加拿大），GBR（英国），NZL（新西兰），USA（美国）
美制短牙梯形螺纹 $h=0.3\cdot P$		Stub Acme	1/2 – 20 Stub Acme	短粗 Acme 螺纹，公称直径 1/2 英寸，每英寸牙数为 20	CAN（加拿大），USA（美国）

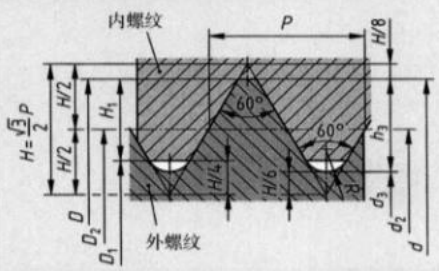
1）各国螺纹标准指南，DIN，2000
2）国家名称三字母代码，cf. DIN EN ISO 3166 – 1（1998 – 04）

关注公众号：机械工程师成长营

公制螺纹和细牙螺纹

作普通用途的公制 ISO 螺纹，基本牙型

cf. DIN 13－19（1999－11）



大径	$d = D$
螺距	P
外螺纹深度	$h_3 = 0.6134 \cdot P$
内螺纹深度	$H_1 = 0.5413 \cdot P$
牙底半径	$R = 0.1443 \cdot P$
中径	$d_2 = D_2 = d - 0.6495 \cdot P$
外螺纹小径	$d_3 = d - 1.2269 \cdot P$
内螺纹小径	$D_1 = d - 1.0825 \cdot P$
螺纹底孔钻	$= d - P$
牙型角	60°
应力面积	$S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2$

粗牙螺纹系列 1[1] 的基本尺寸［尺寸（mm）］

cf. DIN 13－1（1999－11）

螺纹标记	螺距	中径	小径		螺纹深度		圆弧牙底	应力面积	螺纹底孔[2]	六角头扳手
			外螺纹	内螺纹	外螺纹	内螺纹			钻头	开口度[3]
$d = D$	P	$d_2 = D_2$	d_3	D_1	h_3	H_1	R	S（mm^2）	$\varnothing$	
M 1	0.25	0.84	0.69	0.73	0.15	0.14	0.04	0.46	0.75	—
M 1.2	0.25	1.04	0.89	0.93	0.15	0.14	0.04	0.73	0.95	—
M 1.6	0.35	1.38	1.17	1.22	0.22	0.19	0.05	1.27	1.25	3.2
M 2	0.4	1.74	1.51	1.57	0.25	0.22	0.06	2.07	1.6	4
M 2.5	0.45	2.21	1.95	2.01	0.28	0.24	0.07	3.39	2.05	5
M 3	0.5	2.68	2.39	2.46	0.31	0.27	0.07	5.03	2.5	5.5
M 4	0.7	3.55	3.14	3.24	0.43	0.38	0.10	8.78	3.3	7
M 5	0.8	4.48	4.02	4.13	0.49	0.43	0.12	14.2	4.2	8
M 6	1	5.35	4.77	4.92	0.61	0.54	0.14	20.1	5.0	10
M 8	1.25	7.19	6.47	6.65	0.77	0.68	0.18	36.6	6.8	13
M 10	1.5	9.03	8.16	8.38	0.92	0.81	0.22	58.0	8.5	16
M 12	1.75	10.86	9.85	10.11	1.07	0.95	0.25	84.3	10.2	18
M 16	2	14.70	13.55	13.84	1.23	1.08	0.29	157	14	24
M 20	2.5	18.38	16.93	17.29	1.53	1.35	0.36	245	17.5	30
M 24	3	22.05	20.32	20.75	1.84	1.62	0.43	353	21	36
M 30	3.5	27.73	25.71	26.21	2.15	1.89	0.51	561	26.5	46
M 36	4	33.40	31.09	31.67	2.45	2.17	0.58	817	32	55
M 42	4.5	39.08	36.48	37.13	2.76	2.44	0.65	1121	37.5	65
M 48	5	44.75	41.87	42.59	3.07	2.71	0.72	1473	43	75
M 56	5.5	52.43	49.25	50.05	3.37	2.98	0.79	2030	50.5	85
M 64	6	60.10	56.64	57.51	3.68	3.25	0.87	2676	58	95

细牙螺纹的基本尺寸［尺寸（mm）］

cf. DIN 13－2－10（1999－11）

螺纹标记	中径	小径		螺纹标记	中径	小径		螺纹标记	中径	小径	
		外螺纹	内螺纹			外螺纹	内螺纹			外螺纹	内螺纹
$d \times P$	$d_2 = D_2$	d_3	D_1	$d \times P$	$d_2 = D_2$	d_3	D_1	$d \times P$	$d_2 = D_2$	d_3	D_1
M 2×0.25	1.84	1.69	1.73	M 10×0.25	9.84	9.69	9.73	M 24×2	22.70	21.55	21.84
M 3×0.25	2.84	2.69	2.73	M 10×0.5	9.68	9.39	9.46	M 30×1.5	29.03	28.16	28.38
M 4×0.2	3.87	3.76	3.78	M 10×1	9.35	8.77	8.92	M 30×2	28.70	27.55	27.84
M 4×0.35	3.77	3.57	3.62	M 12×0.35	11.77	11.57	11.62	M 36×1.5	35.03	34.16	34.38
M 5×0.25	4.84	4.69	4.73	M 12×0.5	11.68	11.39	11.46	M 36×2	34.70	33.55	33.84
M 5×0.5	4.68	4.39	4.46	M 12×1	11.35	10.77	10.92	M 42×1.5	41.03	40.16	40.38
M 6×0.25	5.84	5.69	5.73	M 16×0.5	15.68	15.39	15.46	M 42×2	40.70	39.55	39.84
M 6×0.5	5.68	5.39	5.46	M 16×1	15.35	14.77	14.92	M 48×1.5	47.03	46.16	46.38
M 6×0.75	5.51	5.08	5.19	M 16×1.5	15.03	14.16	14.38	M 48×2	46.70	45.55	45.84
M 8×0.25	7.84	7.69	7.73	M 20×1	19.35	18.77	18.92	M 56×1.5	55.03	54.16	54.38
M 8×0.5	7.68	7.39	7.46	M 20×1.5	19.03	18.16	18.38	M 56×2	54.70	53.55	53.84
M 8×1	7.35	6.77	6.92	M 24×1.5	23.03	22.16	22.38	M 64×2	62.70	61.55	61.84

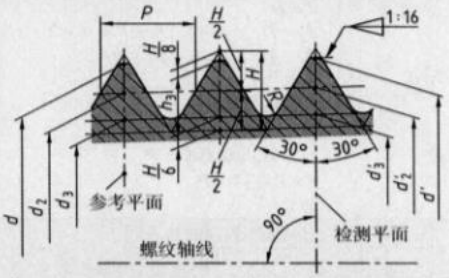
1）系列 2 和系列 3 也有中间尺寸（如：M7，M9，M14）
2）cf. DIN 336（2003－07）　3）cf. DIN ISO 272（1979－10）

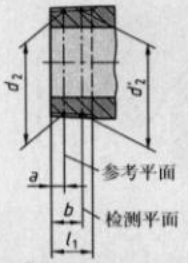
关注公众号：机械工程师成长营

公制圆锥螺纹

公制圆锥外螺纹和相配的内直牙螺纹（标准设计）[1]

cf. DIN 158 – 1（1997 – 06）





外螺纹尺寸

中径	$d_2 = d - 0.650 \cdot P$
小径	$d_3 = d - 1.23 \cdot P$
高	$H_1 = 0.866 \cdot P$
螺纹深度	$h_3 = 0.613 \cdot P$
牙底半径	$R = 0.144 \cdot P$

螺纹尺寸			参考平面尺寸				检测平面尺寸			
螺纹标记 $d \times P$	螺纹长度 l_1	螺纹深度 h_3 最大	距离 a	螺纹尺寸 $d = D^{2)}$	$d_2 = D_2{}^{3)}$	d_3	距离 b	螺纹尺寸 d'	d'_2	d'_3
M 5 keg	5	0.52	2	5	4.48	4.02	2.8	5.05	4.5	4.07
M 6 keg	5.5	0.66	2.5	6	5.35	4.77	3.5	6.06	5.4	4.84
M 8 ×1 keg				8	7.35	6.77		8.06	7.4	6.84
M 10 ×1 keg				10	9.35	8.77		10.06	9.4	8.84
M 12 ×1 keg				12	11.35	10.77		12.06	11.4	10.84
M 10 ×1.25 keg	7	0.82	3	10	9.19	8.47	5	10.13	9.3	8.59
M 12 × 1.25keg				12	11.19	10.47		12.13	11.3	10.59
M 12 ×1.5 keg	8.5	0.98	3.5	12	11.03	10.16	6.5	12.19	11.2	10.35
M 14 ×1.5 keg				14	13.03	12.16		14.19	13.2	12.35
M 16 ×1.5 keg				16	15.03	14.16		16.19	15.2	14.35
M 18 ×1.5 keg				18	17.03	16.16		18.19	17.2	16.35
M 20 ×1.5 keg				20	19.03	18.16		20.19	19.2	18.35
M 22 ×1.5 keg				22	21.03	20.16		22.19	21.2	20.35
M 24 ×1.5 keg				24	23.03	22.16		24.19	23.2	22.35
M 26 ×1.5 keg				26	25.03	24.16		26.19	25.2	24.35
M 30 ×1.5 keg	10.5	1.01	4.5	30	29.03	28.16	8	30.19	29.2	28.35
M 36 ×1.5 keg				36	35.03	34.16		36.22	35.2	34.38
M 38 ×1.5 keg				38	37.03	36.16		38.22	37.2	36.38
M 42 ×1.5 keg				42	41.03	40.16		42.22	41.2	40.38
M 45 ×1.5 keg				45	44.03	43.16		45.22	44.2	43.38
M 48 ×1.5 keg				48	47.03	46.16		48.22	47.2	46.38
M 52 ×1.5 keg				52	51.03	50.16		52.22	51.2	50.38
M 27 ×2 keg	12	1.32	5	27	25.70	24.55	9	27.25	25.9	24.80
M 30 ×2 keg				30	28.70	27.55		30.25	28.9	27.80
M 33 ×2 keg				33	31.70	30.55		33.25	31.9	30.80
M 36 ×2 keg	13	1.34	6	36	34.70	33.55	10	36.25	34.9	33.80
M 39 ×2 keg				39	37.70	36.55		39.25	37.9	36.80
M 42 ×2 keg				42	40.70	39.55		42.25	40.9	39.80
M 45 ×2 keg				45	43.70	42.55		45.25	43.9	42.80
M 48 ×2 keg				48	46.70	45.55		48.25	46.9	45.80
M 52 ×2 keg				52	50.70	49.55		52.25	50.9	49.80
M 56 ×2 keg				56	54.70	53.55		56.25	54.9	53.80
M 60 ×2 keg				60	58.70	57.55		60.25	58.9	57.80

⇒ **螺纹 DIN 158 – M30 ×2keg**：公制圆锥外螺纹，$d = 30$ mm，$P = 2$ mm，标准设计

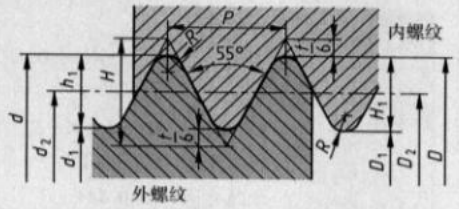
1）用于自密封连接（如：螺塞，油嘴）。对于大公称直径，推荐使用螺纹中复合有密封的连接
2）D 内螺纹大径 3）D_2 内螺纹中径

关注公众号：机械工程师成长营

惠氏螺纹，管螺纹

惠氏螺纹

（非标准）



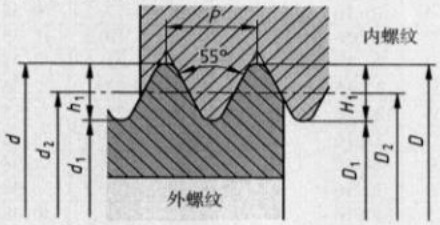
大径	$d = D$
小径	$d_1 = D_1 = d - 1.28 \cdot P = d - 2 \cdot t_1$
中径	$d_2 = D_2 = d - 0.640 \cdot P$
每英寸牙数	N
螺距	$P = \frac{25.4\ \text{mm}}{N}$
螺纹深度	$h_1 = H_1 = 0.640 \cdot P$
半径	$R = 0.137 \cdot P$
牙型角	55°

螺纹标记 d	外螺纹和内螺纹尺寸						螺纹标记 d	外螺纹和内螺纹尺寸					
	大径 $d=D$	小径 $d_1=D_1$	中径 $d_2=D_2$	每英寸牙数 N	螺纹深度 $h_1=H_1$	中心断面（mm^2）		大径 $d=D$	小径 $d_1=D_1$	中径 $d_2=D_2$	每英寸牙数 N	螺纹深度 $h_1=H_1$	中心断面（mm^2）
1/4″	6.35	4.72	5.54	20	0.81	17.5	1 1/4″	31.75	27.10	29.43	7	2.32	577
5/16″	7.94	6.13	7.03	18	0.90	29.5	1 1/2″	38.10	32.68	35.39	6	2.71	839
3/8″	9.53	7.49	8.51	16	1.02	44.1	1 3/4″	44.45	37.95	41.20	5	3.25	1 131
1/2″	12.70	9.99	11.35	12	1.36	78.4	2″	50.80	43.57	47.19	4.5	3.61	1 491
5/8″	15.88	12.92	14.40	11	1.48	131	2 1/4″	57.15	49.02	53.09	4	4.07	1 886
3/4″	19.05	15.80	17.42	10	1.63	196	2 1/2″	63.50	55.37	59.44	4	4.07	2 408
7/8″	22.23	18.61	20.42	9	1.81	272	3″	76.20	66.91	72.56	3.5	4.65	3 516
1″	25.40	21.34	23.37	8	2.03	358	3 1/2″	88.90	78.89	83.89	3.25	5.00	4 888

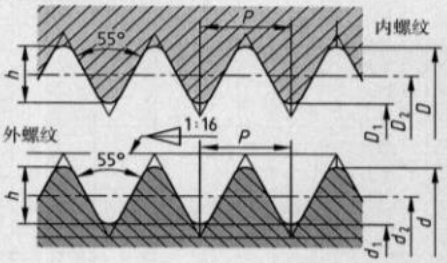
管螺纹

cf. DIN ISO 228－1(2003－05)，DIN EN 10226－1(2004－10)

管螺纹 DIN ISO 228－1
用于不带螺纹密封的连接
直牙内螺纹和直牙外螺纹



英制管螺纹 DIN EN 10226－1
螺纹密封
直牙内螺纹；圆锥外螺纹



cf. 美国圆锥标准管螺纹 NPT. 第 203 页

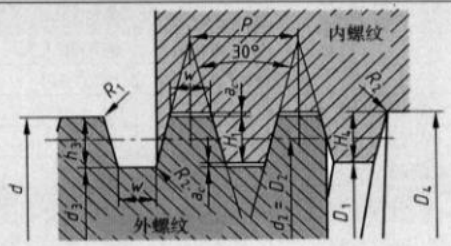
螺纹标记			大径	中径	小径	螺距	每英寸牙数	牙型高度	外螺纹的可用长度
DIN ISO 228－1	DIN EN 10226－1								
外螺纹和内螺纹	外螺纹	内螺纹	$d=D$	$d_2=D_2$	$d_1=D_1$	P	N	$h=h_1=H_1$	≥
G1/16	R1/16	Rp1/16	7.72	7.14	6.56	0.91	28	0.58	6.5
G1/8	R1/8	Rp1/8	9.73	9.15	8.57	0.91	28	0.58	6.5
G1/4	R1/4	Rp1/4	13.16	12.30	11.45	1.34	19	0.86	9.7
G3/8	R3/8	Rp3/8	16.66	15.81	14.95	1.34	19	0.86	10.1
G1/2	R1/2	Rp1/2	20.96	19.79	18.63	1.81	14	1.16	13.2
G3/4	R3/4	Rp3/4	26.44	25.28	24.12	1.81	14	1.16	14.5
G1	R1	Rp1	33.25	31.77	30.29	2.31	11	1.48	16.8
G1 1/4	R1 1/4	Rp1 1/4	41.91	40.43	38.95	2.31	11	1.48	19.1
G1 1/2	R1 1/2	Rp1 1/2	47.80	46.32	44.85	2.31	11	1.48	19.1
G2	R2	Rp2	59.61	58.14	56.66	2.31	11	1.48	23.4
G2 1/2	R2 1/2	Rp2 1/2	75.18	73.71	72.23	2.31	11	1.48	26.7
G3	R3	Rp3	87.88	86.41	84.93	2.31	11	1.48	29.8
G4	R4	Rp4	113.03	111.55	110.07	2.31	11	1.48	35.8
G5	R5	Rp5	138.43	136.95	135.37	2.31	11	1.48	40.1
G6	R6	Rp6	163.83	162.35	160.87	2.31	11	1.48	40.1

关注公众号：机械工程师成长营

梯形和锯齿形螺纹

公制 ISO 梯形螺纹

cf. DIN 103－1（1977－04）



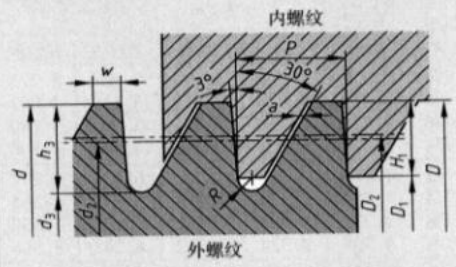
尺寸	对于螺距 P（mm）			
	1.5	2～5	6～12	14～44
a_c	0.15	0.25	0.5	1
R_1	0.075	0.125	0.25	0.5
R_2	0.15	0.25	0.5	1

公称直径	d
单线螺距和多线导程	P
多线螺距	P_h
螺纹线数	$n=P_h:P$
外螺纹小径	$d_3=d-(P+2\cdot a_c)$
内螺纹大径	$D_4=d+2\cdot a_c$
内螺纹小径	$D_1=d-P$
中径	$d_2=D_2=d-0.5\cdot P$
螺纹深度	$h_3=H_4=0.5\cdot P+a_c$
螺纹重叠	$H_1=0.5\cdot P$
牙顶间隙	a_c
半径	R_1 和 R_2
牙顶宽	$w=0.366\cdot P-0.54\cdot a_c$
牙型角	30°

螺纹标记 $d\times P$	螺纹尺寸（mm）						螺纹标记 $d\times P$	螺纹尺寸（mm）					
	中径	小径		大径	螺纹深度	牙顶宽		中径	小径		大径	螺纹深度	牙顶宽
		外螺纹	内螺纹						外螺纹	内螺纹			
	$d_2=D_2$	d_3	D_1	D_4	$h_3=H_4$	w		$d_2=D_2$	d_3	D_1	D_4	$h_3=H_4$	w
Tr 10×2	9	7.5	8	10.5	1.25	0.60	Tr 40×7	36.5	32	33	41	4	2.29
Tr 12×3	10.5	8.5	9	12.5	1.75	0.96	Tr 44×7	40.5	36	37	45	4	2.29
Tr 16×4	14	11.5	12	16.5	2.25	1.33	Tr 48×8	44	39	40	49	4.5	2.66
Tr 20×4	18	15.5	16	20.5	2.25	1.33	Tr 52×8	48	43	44	53	4.5	2.66
Tr 24×5	21.5	18.5	19	24.5	2.75	1.70	Tr 60×9	55.5	50	51	61	5	3.02
Tr 28×5	25.5	22.5	23	28.5	2.75	1.70	Tr 70×10	65	59	60	71	5.5	3.39
Tr 32×6	29	25	26	33	3.5	1.93	Tr 80×10	75	69	70	81	5.5	3.39
Tr 36×3	34.5	32.5	33	36.5	2.0	0.83	Tr 90×12	84	77	78	91	6.5	4.12
Tr 36×6	33	29	30	37	3.5	1.93	Tr 100×12	94	87	88	101	6.5	4.12
Tr 36×10	31	25	26	37	5.5	3.39	Tr 140×14	133	124	126	142	8	4.58

公制锯齿形螺纹

cf. DIN 513（1985－04）



螺纹公称直径	$d=D$
螺距	P
外螺纹小径	$d_3=d-1.736\cdot P$
内螺纹小径	$D_1=d-1.5\cdot P$
外螺纹中径	$d_2=d-0.75\cdot P$
内螺纹中径	$D_2=d-0.75\cdot P+3.176\cdot a$
轴向间距	$a=0.1\cdot\sqrt{P}$
外螺纹深	$h_3=0.8678\cdot P$
内螺纹深	$H_1=0.75\cdot P$
半径	$R=0.124\cdot P$
大径上的牙顶宽	$w=0.264\cdot P$
牙型角	33°

螺纹标记 $d\times P$	外螺纹				中径 d_2	螺纹标记 $d\times P$	外螺纹				中径 d_2
	小径 d_3	螺纹深度 h_3	小径 D_1	螺纹深度 H_1			小径 d_3	螺纹深度 h_3	小径 D_1	螺纹深度 H_1	
S 12×3	6.79	2.60	7.5	2.25	9.75	S 44×7	31.85	6.07	33.5	5.25	38.75
S 16×4	9.06	3.47	10.0	3.00	13.00	S 48×8	34.12	6.94	36	6.00	42.00
S 20×4	13.06	3.47	14.0	3.00	17.00	S 52×8	38.11	6.94	40	6.00	46.00
S 24×5	15.32	4.34	16.5	3.75	20.25	S 60×9	44.38	7.81	46.5	6.75	53.25
S 28×5	19.32	4.34	20.5	3.75	24.25	S 70×10	52.64	8.68	55	7.50	62.50
S 32×6	21.58	5.21	23.0	4.50	27.50	S 80×10	62.64	8.68	65	7.50	72.50
S 36×6	25.59	5.21	27.0	4.50	31.50	S 90×12	69.17	10.41	72	9.00	81.00
S 40×7	27.85	6.07	29.5	5.25	34.75	S 100×12	79.17	10.41	82	9.00	91.00

关注公众号：机械工程师成长营

螺纹公差

公制 ISO 螺纹的公差种类

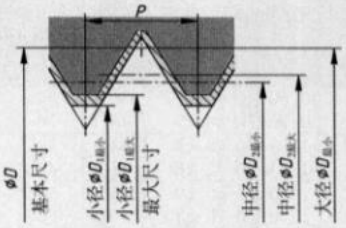
cf. DIN ISO 965 – 1（1999 – 11）

螺纹公差用来保证内、外螺纹的功能和互换性。它们依赖于标准中直径的公差设置、螺距和牙型角的精度
公差种类（精密，中等和粗糙）也依赖于螺纹的表面光洁度。厚的电镀保护涂层表面比亮的或磷化表面（公差种类 5H）需要更多的间隙（例：公差种类 6G）

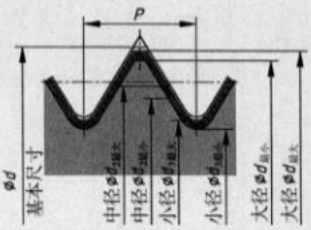
螺纹公差	内螺纹	外螺纹
应用于	螺距和小径	螺距和大径
标注用	大写字母	小写字母
公差种类（实例）	5H	6g
公差等级（公差大小）	5	6
公差带（零线的位置）	H	g

标记举例	说明
M12 × 1 – 5g 6g	细牙外螺纹，公称直径 ø12mm，螺距 1mm；5g——中径公差带代号；6g——大径公差带代号
M12 – 6g	粗牙外螺纹，公称直径 ø12mm；6g——中径和大径公差带代号
M24 – 6G/6e	粗牙螺纹的螺纹配合，公称直径 ø24mm，6G——内螺纹的公差带代号，6e——外螺纹的公差带代号
M16	中等公差等级 6H/6g 适用于不带公差标注的螺纹

公差种类 6H/6g 在 DIN ISO 965 – 1 中被指定为“中等”（一般目的）公差等级和“中等”旋合长度（见下表）



内螺纹，公差带位置 H



外螺纹，公差带位置 g

外、内螺纹的极限（摘选）

cf. DIN ISO 965 – 2（1999 – 11）

螺纹	内螺纹——公差种类 6H					外螺纹——公差种类 6g					
	大径 ϕD	中径 ϕD_2		小径 ϕD_1		大径 ϕd		中径 ϕd_2		小径 ϕ[1] d_3	
	最小	最小	最大	最小	最大	最大	最小	最大	最小	最大	最小
M3	3.0	2.675	2.775	2.459	2.599	2.980	2.874	2.655	2.580	2.367	2.273
M4	4.0	3.545	3.663	3.242	3.422	3.978	3.838	3.523	3.433	3.119	2.002
M5	5.0	4.480	4.605	4.134	4.334	4.976	4.826	4.456	4.361	3.995	3.869
M6	6.0	5.350	5.500	4.917	5.135	5.974	5.794	5.324	5.212	4.747	4.596
M8	8.0	7.188	7.348	6.647	6.912	7.972	7.760	7.160	7.042	6.438	6.272
M8 × 1	8.0	7.350	7.500	6.917	7.153	7.974	7.794	7.324	7.212	6.747	6.563
M10	10.0	9.026	9.206	8.376	8.676	9.968	9.732	8.994	8.862	8.128	7.838
M10 × 1	10.0	9.350	9.500	8.917	9.153	9.974	9.794	9.324	9.212	8.747	8.596
M12	12.0	10.863	11.063	10.106	10.441	11.966	11.701	10.829	10.679	9.819	9.602
M12 × 1	12.0	11.350	11.510	10.917	11.153	11.974	11.794	11.324	11.206	10.747	10.590
M16	16.0	14.701	14.913	13.835	14.210	15.962	15.682	14.663	14.503	13.508	13.204
M16 × 1	16.0	15.350	15.510	14.917	15.153	15.974	15.794	15.324	15.206	14.747	14.590
M20	20.0	18.376	18.600	17.294	17.744	19.958	19.623	18.334	18.164	16.891	16.625
M20 × 1	20.0	19.350	19.510	18.917	19.153	19.974	19.794	19.324	19.206	18.747	18.590
M24	24.0	22.051	22.316	20.752	21.252	23.952	23.577	22.003	21.803	20.271	19.955
M24 × 1	24.0	23.350	23.520	22.917	23.153	23.974	23.794	23.324	23.199	22.747	22.583
M30	30.0	27.727	28.007	26.211	26.771	29.947	29.522	27.674	27.462	25.653	25.306
M30 × 2	30.0	28.701	28.925	27.835	28.210	29.962	29.682	28.663	28.493	27.508	27.261
M36	36.0	33.402	33.702	31.670	32.270	35.940	35.465	33.342	33.118	31.033	30.655
M36 × 2	36.0	34.701	34.925	33.835	34.210	35.962	35.682	34.663	34.493	33.508	32.261

1）cf. DIN 13 – 20（2000 – 08）和 DIN 13 – 21（1983 – 10）

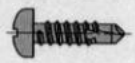
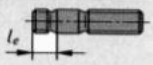
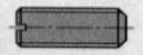
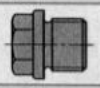
关注公众号：机械工程师成长营

概 述

图例	设计	标准范围	标准	应用，特性
六角头螺栓和螺钉				**第 212 ~ 214 页**
	螺杆上部分制出螺纹，粗牙螺纹	M1.6 ~ M64	DIN EN ISO 4014	机械，设备和汽车工业中最常用的螺栓/螺钉 **全螺纹类型** 较高的疲劳强度
	螺杆上全部制出螺纹，细牙螺纹	M1.6 ~ M64	DIN EN ISO 4017	
	螺杆上部分制出螺纹，细牙螺纹	M8 × 1 ~ M64 ×4	DIN EN ISO 8765	**与粗牙螺纹对比** 较小的螺纹深度和螺距，较高的承载能力，较大的最小旋合长度 l_e
	螺杆上全部制出螺纹，细牙螺纹	M8 × 1 ~ M64 ×4	DIN EN ISO 8676	
	缩杆	M3 ~ M20	DIN EN ISO 24015	腰形螺栓；用于动态载荷，正确安装时不需要螺母保持力
	配合螺栓	M8 ~ M48	DIN 609	零件定位，防止运动，配合杆传递横向载荷
用于钢结构的六角头螺栓和螺钉				**第 214 页**
	大扳手开口度	M12 ~ M36	DIN 6914	钢结构：摩擦夹紧（FG）连接，剪切/承压应力连接
	大扳手开口度的配合螺栓	M12 ~ M30	DIN 7999	钢结构：摩擦夹紧（FG）连接，剪切/承压应力连接
有帽螺钉				**第 215 ~ 216 页**
	圆头内六角，粗牙螺纹	M1.6 ~ M64	DIN EN ISO 4762	机械、设备和汽车工业；低间隙要求，头可下沉 带不明显头部：小高度，低应力 开槽螺栓/螺钉：小螺钉，低应力 细牙螺纹：较小的螺纹深度，较高的承载力，较大的最小旋合长度 l_e
	圆头内六角，细牙螺纹	M8 × 1 ~ M64 ×4	DIN EN ISO 21269	
	扁头内六角	M3 ~ M24	DIN 7984	
	开槽	M1.6 ~ M10	DIN EN ISO 1207	
沉头螺钉				**第 216 ~ 217 页**
	开槽	M1.6 ~ M10	DIN EN ISO 2009	在机械、设备和汽车工业中有多种应用 内六角螺钉：有更大的承载能力 开十字凹槽螺钉：相当于开槽螺钉，能确保拧紧和防松
	内六角	M3 ~ M20	DIN EN ISO 10642	
	开槽半沉头	M1.6 ~ M10	DIN EN ISO 2010	
	十字槽半沉头	M1.6 ~ M10	DIN EN ISO 7047	
金属板材用自攻螺钉				**第 217 ~ 218 页**
	圆头螺钉	ST2.2 ~ ST9.5	DIN ISO 7049	车辆车身和金属板制造 被连接的板材有攻丝孔。其螺纹由螺钉旋入形成。只是薄板才需要防松连接件
	沉头螺钉	ST2.2 ~ ST6.3	DIN ISO 7050	
	半沉头螺钉	ST2.2 ~ ST9.9	DIN ISO 7051	

关注公众号：机械工程师成长营

概述，标记

图例	设计	标准范围	标准	应用，特性
带攻丝螺纹的自攻螺钉				
	十字凹槽平头	ST2.2 ~ ST6.3	DIN EN ISO 15481	车辆车身和金属板制造 当被拧入时，钻孔螺钉钻出塞孔，并形成螺纹
	十字凹槽半沉头	ST2.2 ~ ST6.3	DIN EN ISO 15483	
双头螺柱				第 219 页
	$l_e \approx 2 \cdot d$ $l_e \approx 1.25 \cdot d$ $l_e \approx 1 \cdot d$	M4 ~ M24 M4 ~ M48 M4 ~ M48	DIN 835 DIN 939 DIN 938	用于铝合金 用于铸铁材料 用于钢
紧定螺钉				第 220 页
	开槽圆柱端	M1.6 ~ M12	DIN EN 27435	可受压缩负载螺钉，用来确保零件的位置，如：杠杆，轴承衬套，轮毂 紧定螺钉不适于转矩的动力传动，如：用于轴和轮毂的连接
	内六角圆柱端	M1.6 ~ M24	DIN EN ISO 4028	
	开槽锥端	M1.6 ~ M12	DIN EN 27434	
	内六角锥端	M1.6 ~ M24	DIN EN ISO 4027	
	开槽平端	M1.6 ~ M12	DIN EN 24766	
	内六角平端	M1.6 ~ M24	DIN EN ISO 4026	
螺塞				第 219 页
	带内六角槽或六角头的重型螺塞	M10 × 1 ~ M52 × 1.5	DIN 908 DIN 910	变速箱制造：齿轮油的填充，溢流和排出的调节；支座面需要铣削
滚丝螺钉				第 218 页
	各种形式的螺钉头，如：六角头，圆头	M2 ~ M10	DIN 7500 -1	用于可延展材料的低负载情形，如：S235，DC01 ~ DC04，有色金属；不带锁紧连接件时使用
吊环螺钉				第 219 页
	粗牙螺纹	M8 ~ M100 × 6	DIN 580	机器上的传送吊环，应力依赖于外加负载的角度，支座面需要铣削

螺栓和螺钉的标记

cf. DIN 962（2001 - 11）

例：

六角头螺钉 ISO 4017 - M12 x 80 - A2 - 70
螺塞 DIN 910 - M24 x 1.5 - St
有帽螺钉 ISO 4762 - M10 x 55 - 8.8

- 种类
- 参考标准，如：ISO，DIN，EN；标准代号[1)]
- 公称数据，如：M—公制螺纹；12—公称直径 d；80—有效长度 l
- 性能等级，如：8.8，10.9，A2 - 70，A4 - 70；材料，如：St 钢，CuZn 铜锌合金

1）根据 ISO，DIN EN 或 DIN EN ISO 标准化的螺栓和螺钉在标记中用缩写 ISO。根据 DIN 标准化的螺栓和螺钉在标记中用缩写 DIN

关注公众号：机械工程师成长营

性能等级，产品等级，通孔，最小旋入长度

螺钉和螺栓的性能等级

cf. DIN EN ISO 898－1（1999－11），DIN EN ISO 3506－1（1998－03）

例：

碳钢和合金钢 DIN EN ISO 898－1：**9.8**

拉伸强度 R_m	屈服强度 R_e
$R_m = 9 \cdot 100\ N/mm^2 = 900\ N/mm^2$	$R_e = 9 \cdot 8 \cdot 10\ N/mm^2 = 720\ N/mm^2$

不锈钢 DIN EN ISO 3506－1：**A2－70**

钢微结构	钢组	拉伸强度 R_m
A 奥氏体 F 铁素体	2 Cr，Ni 合金 4 Cr，Ni，Mo 合金	$R_m = 70 \cdot 10\ N/mm^2 = 700\ N/mm^2$

性能等级和材料特性

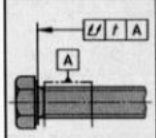


材料特性	由碳钢和合金钢制成的螺栓和螺钉的性能等级								
	碳钢和合金钢						不锈钢[1]		
	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	A2－50	A4－50	A2－70
拉伸强度 R_m（N/mm^2）	500	600	800	900	1000	1200	500	500	700
屈服强度 R_e（N/mm^2）	400	480	640	720	900	1080	210	210	450
断裂延伸率 EL（%）	10	8	12	10	9	8	20	20	13

1）材料特性适用于 ≤M20 的螺纹

螺栓和螺母的产品等级

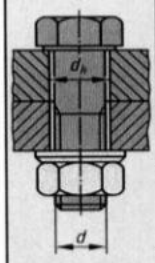
cf. DIN EN ISO 4759－1（2001－04）



产品等级	公差	说明，应用
A	精密	带 ISO 标准螺纹的螺栓和螺母的尺寸和形位公差在公差等级 A，B，C 中有详细说明
B	中等	
C	粗糙	

螺栓用通孔

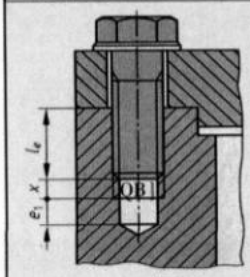
cf. DIN EN 20273（1990－02）



螺纹 d	通孔 d_h[1] 系列			螺纹 d	通孔 d_h[1] 系列			螺纹 d	通孔 d_h[1] 系列		
	精密	中等	粗糙		精密	中等	粗糙		精密	中等	粗糙
M1	1.1	1.2	1.3	M5	5.3	5.5	5.8	M24	25	26	28
M1.2	1.3	1.4	1.5	M6	6.4	6.6	7	M30	31	33	35
M1.6	1.7	1.8	2	M8	8.4	9	10	M36	37	39	42
M2	2.2	2.4	2.6	M10	10.5	11	12	M42	43	45	48
M2.5	2.7	2.9	3.1	M12	13	13.5	14.5	M48	50	52	56
M3	3.2	3.4	3.6	M16	17	17.5	18.5	M56	58	62	66
M4	4.3	4.5	4.8	M20	21	22	24	M64	66	70	74

1）d_h 的公差等级；精密系列：H12；中等系列：H13；粗糙系列：H14

盲孔的最小旋入长度



$x \approx 3 \cdot P$（螺距）

e_1 根据 DIN 76，见第 89 页

应用范围		粗牙螺纹和性能等级对应的最小旋合长度 l_e[-1]			
		3.6，4.6	4.8～6.8	8.8	10.9
结构钢	$R_m \leqslant 400\ N/mm^2$	$0.8 \cdot d$	$1.2 \cdot d$	—	—
	$R_m = 400 \sim 600\ N/mm^2$	$0.8 \cdot d$	$1.2 \cdot d$	$1.2 \cdot d$	—
	$R_m > 600 \sim 800\ N/mm^2$	$0.8 \cdot d$	$1.2 \cdot d$	$1.2 \cdot d$	$1.2 \cdot d$
	$R_m > 800\ N/mm^2$	$0.8 \cdot d$	$1.2 \cdot d$	$1.0 \cdot d$	$1.0 \cdot d$
铸铁材料		$1.3 \cdot d$	$1.5 \cdot d$	$1.5 \cdot d$	—
铜合金		$1.3 \cdot d$	$1.3 \cdot d$	—	—
铸铝合金		$1.6 \cdot d$	$2.2 \cdot d$	—	—
铝合金，时效硬化		$0.8 \cdot d$	$1.2 \cdot d$	$1.6 \cdot d$	—
铝合金，无时效硬化		$1.2 \cdot d$	$1.6 \cdot d$	—	—
塑料		$2.5 \cdot d$	—	—	—

1）细牙螺纹的旋合长度 $l_e = 1.25 \cdot$ 粗牙螺纹的旋合长度

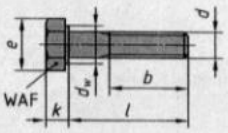
关注公众号：机械工程师成长营

六角头螺栓

带粗牙螺纹的六角头螺栓，部分螺纹

cf. DIN EN ISO 4014（2001－03）

有效标准 DIN EN ISO	代换 DIN EN	代换 DIN
4014	24014	931



1）用于 $l<125$ mm
2）用于 $l=125\sim200$ mm
3）用于 $l>200$ mm

d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
WAF	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16
k_{max}	1.1	1.4	1.7	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4
d_w	2.3	3.1	4.1	4.6	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6
e	3.4	4.3	5.5	6	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8
b	9	10	11	12	14	16	18	22	26
l 从	12	16	16	20	25	25	30	40	45
到	16	20	25	30	40	50	60	80	100
性能等级	5.6，8.8，9.8，10.9，A2－70，A4－70								

d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
WAF	18	24	30	36	46	55	65	75	85
k_{max}	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30	35
d_w	16.6	22	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	20	26.2	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
$b^{1)}$	30	38	46	54	66	—	—	—	—
$b^{2)}$	—	44	52	60	72	84	96	108	—
$b^{3)}$	—	—	—	73	85	97	109	121	137
l 从	50	65	80	90	110	140	160	180	220
到	120	160	200	240	300	360	440	500	500
性能等级	5.6，8.8，9.8，10.9						按照协议		
	A2－70，A4－70				A2－50，A4－50				

产品等级（第211页）		
螺纹 d	l（mm）	等级
≤M12	所有规格	A
M16～M24	$l\leqslant150$	A
	$l\geqslant160$	A
≥M30	所有规格	B

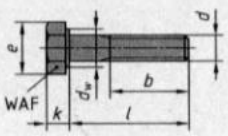
公称长度 l：12，16，20，25，30，35～60，65，70，80，90～140，150，160，180，200～460，480，500 mm

⇒ **六角头螺栓 ISO 4014－M10×60－8.8**；
$d=M10$，$l=60$ mm，性能等级 8.8

带粗牙螺纹的六角头螺栓，全螺纹

cf. DIN EN ISO 4017（2001－03）

有效标准 DIN EN ISO	代换 DIN EN	代换 DIN
4017	24017	933



d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
WAF	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16
k_{max}	1.1	1.4	1.7	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4
d_w	2.3	3.1	4.1	4.6	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6
e	3.4	4.3	5.5	6	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8
l 从	2	4	5	6	8	10	12	16	20
到	16	20	25	30	40	50	60	80	100
性能等级	5.6，8.8，9.8，10.9，A2－70，A4－70								

d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
WAF	18	24	30	36	46	55	65	75	85
k_{max}	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30	35
d_w	16.6	22	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	20	26.2	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
l 从	25	30	40	50	60	70	80	100	110
到	120	200	200	200	200	200	200	200	200
性能等级	5.6，8.8，9.8，10.9						按照协议		
	A2－70，A4－70				A2－50，A4－50				

产品等级（第211页）		
螺纹 d	l（mm）	等级
≤M12	所有规格	A
M16～M24	$l\leqslant150$	A
	$l\geqslant160$	B
≥M30	所有规格	B

公称长度 l：2，3，4，5，6，8，10，12，16，20，25，30，35～60，65，70，80，90～140，150，160，180，200 mm

⇒ **六角头螺栓 ISO 4017－M8×40－A4－50**；
$d=M8$，$l=40$ mm，性能等级 A4－50

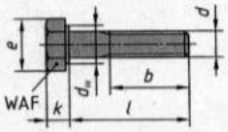
关注公众号：机械工程师成长营

六角头螺栓

带细牙螺纹的六角头螺栓，部分螺纹

cf. DIN EN ISO 8765（2001－03）

有效标准	代换	
	DIN EN	DIN
8765	28765	960



产品等级（第211页）		
螺纹 d	l（mm）	等级
≤M12×1.5	所有规格	A
M16×1.5	≤150	A
M24×2	>150	B
≥M30×2	所有规格	B

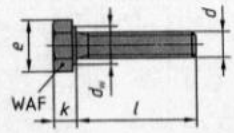
d	M8 ×1	M10 ×1	M12 ×1.5	M16 ×1.5	M20 ×1.5	M24 ×2	M30 ×2	M36 ×3	M42 ×3	M48 ×3	M56 ×4
WAF	13	16	18	24	30	36	46	55	65	75	85
k	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30	35
d_w	11.6	14.6	16.6	22.5	28.2	33.6	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	14.4	17.8	20	26.2	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
$b^{1)}$	22	26	30	38	46	54	66	—	—	—	—
$b^{2)}$	—	—	—	44	52	60	72	84	96	108	—
$b^{3)}$	—	—	—	—	—	73	85	97	109	121	137
l 从	40	45	50	65	80	100	120	140	160	200	220
l 到	80	100	120	160	200	240	300	360	440	480	500

公称长度 l	40，45，50，55，60，65，70，80，90～140，150，160，180，200，220～460，480，500 mm
性能等级	$d \leqslant$ M24×2：5.6，8.8，10.9，A2－70，A4－70 $d =$ M30×2～M36×2：5.6，8.8，10.9，A2－50，A4－50 $d \geqslant$ M42×3：按照协议
说明	1）用于 $l <$ 125 mm　2）用于 $l =$ 125～200 mm　3）用于 $l >$ 200 mm
⇒	**六角头螺栓：ISO 8765－M20×1.5×120－5.6：** $d =$ M20×1.5，$l =$ 120 mm，性能等级 5.6

带细牙螺纹的六角头螺栓，全螺纹

cf. DIN EN ISO8676（2001－03）

有效标准	代换	
	DIN EN	DIN
8676	28676	961



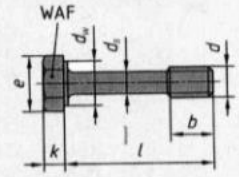
根据 DIN EN ISO 8765 的产品等级

d	M8 ×1	M10 ×1	M12 ×1.5	M16 ×1.5	M20 ×1.5	M24 ×2	M30 ×2	M36 ×3	M42 ×3	M48 ×3	M56 ×4
WAF	13	16	18	24	30	36	46	55	65	75	85
k	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	18.7	22.5	26	30	35
d_w	11.6	14.6	16.6	22.5	28.2	33.6	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	14.4	17.8	20	26.2	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
l 从	16	20	25	35	40	40	40	40	90	100	120
l 到	80	100	120	160	200	200	200	200	420	480	500

公称长度 l	16，20，25，30，35～60，65，70，80，90～140，150，160，180，200，220～460，480，500 mm
性能等级	$d \leqslant$ M24×2：5.6，8.8，10.9，A2－70，A4－70 $d \leqslant$ M30×2～M36×2：5.6，8.8，10.9，A2－50，A4－50 $d \geqslant$ M42×3：按照协议
⇒	**六角头螺栓：ISO 8676－M8×1.5×55－8.8：** $d =$ M8×1.5，$l =$ 55 mm，性能等级 8.8

带缩杆的六角头螺栓

cf. DIN EN 24015（1991－12）



产品等级（第211页）		
螺纹 d	l（mm）	等级
≤M20	所有规格	B

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
WAF	5.5	7	8	10	13	16	18	24	30
k	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4	7.5	10	12.5
d_w	4.4	5.7	6.7	8.7	11.4	14.4	16.4	22	27.7
d_s	2.6	3.5	4.4	5.3	7.1	8.9	10.7	14.5	18.2
e	6	7.5	8.7	10.9	14.2	17.6	19.9	26.2	33
$b^{1)}$	12	14	16	18	22	26	30	38	46
$b^{2)}$	—	—	—	—	28	32	36	44	52
l 从	20	20	25	25	30	40	45	55	65
l 到	30	40	50	60	80	100	120	150	150

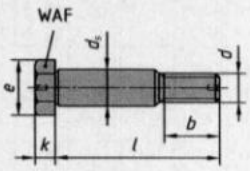
公称长度 l	20，25，30～65，70，75，80，90，100～130，140，150 mm
性能等级	5.8，6.8，8.8，A2～70
说明	1）用于 $l \leqslant$ 120 mm　2）用于 $l >$ 125 mm
⇒	**六角头螺栓：ISO 4015－M8×45－8.8：** $d =$ M8，$l =$ 45 mm，性能等级 8.8

关注公众号：机械工程师成长营

六角头螺栓

六角头长螺杆配合螺栓

cf. DIN 609（1995－02）



d	M8 M8 ×1	M10 M10 ×1	M12 M12 ×1.5	M16 M16 ×1.5	M20 M20 ×1.5	M24 M24 ×2	M30 M30 ×2	M36 M36 ×3	M42 M42 ×3	M48 M48 ×3
WAF	13	16	18	24	30	36	46	55	65	75
k	5.3	6.4	7.5	10	12.5	15	19	22	26	30
d_s k6	9	11	13	17	21	25	32	38	44	50
e	14.4	17.8	19.9	26.2	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6
$b^{1)}$	14.5	17.5	20.5	25	28.5	—	—	—	—	—
$b^{2)}$	16.5	19.5	22.5	27	30.5	36.5	43	49	56	63
$b^{3)}$	—	—	—	32	35.5	41.5	48	54	61	68
l 从	25	30	32	38	45	55	65	70	80	85
l 到	80	100	120	150	150	150	200	200	200	200
公称长度 l	25,28,30,32,35,38,40,42,45,48,50,55,60～150,160～220 mm									
性能等级	8.8									按照协议
	A2－70					A2－50				
说明	1)用于 $l \leqslant 150$ mm　2)用于 $l = 50 \sim 150$ mm　3)用于 $l > 150$ mm									
⇒	**配合螺栓：DIN 609－M16×1.5×125－A2－70；** d = M16×1.5，l = 125 mm，性能等级 A2－70									

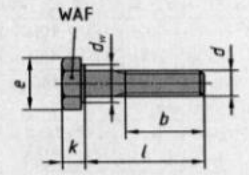
产品等级（第211页）

d（mm）	l（mm）	等级
≤10	所有规格	A
≥12	所有规格	B

高强度六角头螺栓（大扳手开口度）

钢结构中的高强度摩擦夹紧（HV）螺栓

cf. DIN 6914（1989－10）

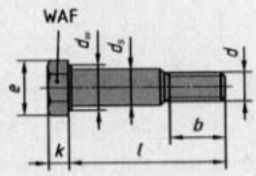


d	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
WAF	22	27	32	36	41	46	50	60
k	8	10	13	14	15	17	19	23
d_w	20	25	30	34	39	43.5	47.5	57
e	23.9	29.6	35	39.6	45.2	50.9	55.4	66.4
b	21	26	31	32	34	37	40	48
l 从	30	40	45	50	60	70	75	85
l 到	95	130	155	165	195	200	200	200
公称长度 l	30,35,40,45,50,55～185,190,195,200 mm							
性能等级	所有螺栓：性能等级 10.9							
⇒	**六角头螺栓：DIN 6914－M12×65；** d = M12，l = 65 mm，性能等级 10.9							

产品等级 C

高强度六角头配合螺栓（大扳手开口度）

cf. DIN 7999（1983－12）



d	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
WAF	21	27	34	36	41	46	50
k	8	10	13	14	15	17	19
d_w	19	25	32	34	39	43.5	47.5
d_s b11	13	17	21	23	25	28	31
e	22.8	29.6	37.3	39.6	45.2	50.9	55.4
b	18.5	22	26	28	29.5	32.5	35
l 从	40	45	50	55	55	60	65
l 到	120	160	180	200	200	200	200
公称长度 l	40,45,50,55,60,65～180,185,190,195,200 mm						
性能等级	所有螺栓：性能等级 10.9						
⇒	**六角头螺栓：DIN 7999－M24×165；** d = M24，l = 165 mm，性能等级 10.9						

产品等级 C

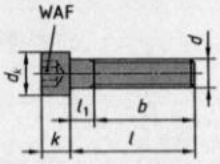
关注公众号：机械工程师成长营

圆头内六角螺钉

带粗牙螺纹的圆头内六角螺钉

cf. DIN EN ISO 4762（2004－06）

有效标准	代换
4762	912



d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
WAF	1.5	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
k	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10
d_k	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
b	—	16	17	18	20	22	24	28	32
用于 l	—	20	25	≥25	≥30	≥30	≥35	≥40	≥45
l_1	1.1	1.2	1.4	1.5	2.1	2.4	3	3.8	4.5
用于 l	≤16	≤16	≤20	≤20	≤25	≤25	≤30	≤35	≤40
l 从	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16
l 到	16	20	25	30	40	50	60	80	100
性能等级	依协议			8.8，10.9，12.9					
	不锈钢 A2－70，A4－70								

d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
WAF	10	14	17	19	22	27	32	36	41
k	12	16	20	24	30	36	42	48	56
d_k	18	24	30	36	45	54	63	72	84
b	36	44	52	60	72	84	96	108	124
用于 l	≥55	≥65	≥80	≥90	≥110	≥120	≥140	≥160	≥180
l_1	5.3	6	7.5	9	10.5	12	13.5	15	16.5
用于 l	≤50	≤60	≤70	≤80	≤100	≤110	≤130	≤150	≤160
l 从	20	25	30	40	45	45	60	70	80
l 到	120	160	200	200	200	200	300	300	300
性能等级	8.8，10.9，12.9						按照协议		
	A2－70，A4－70				A2－50，A4－50				

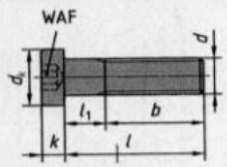
产品等级（第 211 页）

螺纹 d	等级
M1.6～M56	A

公称长度 l	2.5，3，4，5，6，8，10，12，16，20，25，30～65，70，80～150，160，180，200，220，240，260，280，300 mm
⇒	**有帽螺钉：ISO 4762－M10×55－10.9：** d＝M10，l＝55 mm，性能等级 10.9

扁头内六角螺钉

cf. DIN 7984（2002－12）



d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
WAF	2	2.5	3	4	5	7	8	12	14	17
k	2	2.8	3.5	4	5	6	7	9	11	13
d_k	5.5	7	8.5	10	13	16	18	24	30	36
b	12	14	16	18	22	26	30	38	44	46
用于 l	≥20	≥25	≥30	≥30	≥35	≥40	≥50	≥60	≥70	≥90
l_1	1.5	2.1	2.4	3	3.8	4.5	5.3	6	7.5	9
用于 l	≤16	≤20	≤25	≤25	≤30	≤35	≤45	≤50	≤60	≤80
l 从	5	6	8	10	12	16	20	30	40	50
l 到	20	25	30	40	80	100	80	80	100	100

产品等级（第 211 页）

螺纹 d	等级
M3～M24	A

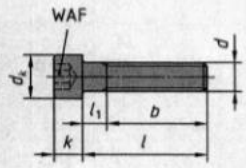
公称长度 l	5，6，8，10，12，16，20，25，30，35，40，45，50，60，70，80，90，100 mm
性能等级	8.8，A2－70，A4－70
⇒	**六角头螺栓：DIN 7984－M12×50－A2－70：** d＝M12，l＝50 mm，性能等级 A2－70

关注公众号：机械工程师成长营

有帽螺钉，沉头螺钉

带细牙螺纹的圆头内六角螺钉

cf. DIN EN ISO 21269（2004－06）

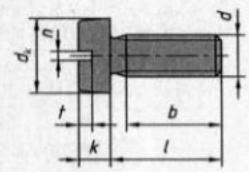


d	M8 ×1	M10 ×1	M12 ×1.5	M16 ×1.5	M20 ×1.5	M24 ×2	M30 ×2	M36 ×3	M42 ×3	M48 ×3	M56 ×4
WAF	6	8	10	14	17	19	22	27	32	36	41
k	8	10	12	16	20	24	30	36	42	48	56
d_k	13	16	18	24	30	36	45	54	63	72	84
b	28	32	36	44	52	60	72	84	96	108	124
用于 l	≥40	≥45	≥55	≥65	≥80	≥90	≥110	≥120	≥140	≥160	≥180
l_1	3	3	4.5	4.5	4.5	6	6	9	9	9	9
用于 l	≤35	≤40	≤50	≤60	≤70	≤70	≤100	≤110	≤130	≤150	≤160
l 从	12	20	20	25	30	40	45	55	60	70	80
到	80	100	120	160	200	200	200	200	300	300	300
公称长度 l	12,16,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,80,90,100,110,120,130,140,150,160,180,200,220,240,260,280,300 mm										
性能等级	8.8，10.9，12.9										按照协议
	A2－70，A4－70						1）				
说明	1）性能等级 A2－50，A4－50（不锈钢）										
⇒	**六角头螺栓：ISO 21269－M20×1.5×12－10.9；** d = M20×1.5，l = 120 mm，性能等级 10.9										

产品等级（第 211 页）

开槽圆头螺钉

cf. DIN EN ISO 1207（1994－10）

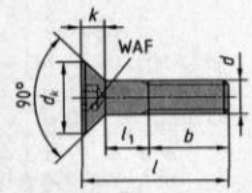


d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
d_k	3	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
k	1.1	1.4	1.8	2	2.6	3.3	3.9	5	9
n	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
t	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2	2.4
l 从	2	3	3	4	5	6	8	10	12
到	16	20	25	30	40	50	60	80	80
b	用于 l < 45 mm→螺纹靠近头部 用于 l ≥ 45 mm→b = 38 mm								
公称长度 l	2,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25～45,50,60,70,80 mm								
性能等级	4.8，5.8，A2－50，A4－50								
⇒	**圆头螺钉：ISO 1207－M6×25－5.8；** d = M6，l = 25 mm，性能等级 5.8								

产品等级 A（第 211 页）

内六角沉头螺钉

cf. DIN EN ISO 10642（2004－06）代换 DIN 7991



d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
WAF	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
d_k	5.5	7.5	9.4	11.3	15.2	19.2	23.1	29	36
k	1.9	2.5	3.1	3.7	5	6.2	7.4	8.8	10.2
b	18	20	22	24	28	32	36	44	52
用于 l	≥30	≥30	≥35	≥40	≥50	≥55	≥65	≥80	≥100
l_1	1.5	2.1	2.4	3	3.8	4.5	5.3	6	7.5
用于 l	≤25	≤25	≤30	≤35	≤45	≤50	≤60	≤70	≤90
l 从	8	8	8	8	10	12	20	30	35
到	30	40	50	60	80	100	100	100	100
性能等级	8.8，10.9，12.9								
公称长度 l	8,10,12,16,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,80,90,100 mm								
⇒	**沉头螺钉：ISO 10642－M5×30－8.8；** d = M5，l = 30 mm，性能等级 8.8								

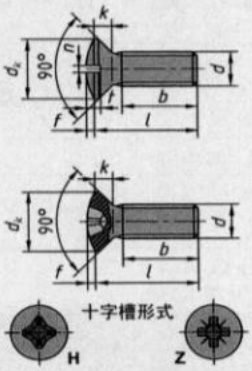
产品等级 A（第 211 页）

关注公众号：机械工程师成长营

沉头螺钉，半沉头螺钉，自攻螺钉

开槽半沉头螺钉 十字槽半沉头螺钉

cf. DIN EN ISO 2010（1994－10）
cf. DIN EN ISO 7047（1994－10）

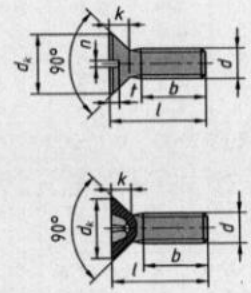


产品等级 A（第 211 页）

d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
d_k	3	3.8	4.7	5.5	8.4	9.3	11.3	15.8	18.3
k	1	1.2	1.5	1.7	2.7	2.7	3.3	4.7	5
n	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
f	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.4	2	2.3
t	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.4	3.2	3.8
C[1]	0		1		2		3	4	
l 从	2.5	3	4	5	6	8	8	10	12
到	16	20	25	30	40	50	60	80	80
b	对于 $l<45$ mm→$b\approx l$；对于 $l\geqslant 45$ mm→$b=38$ mm								
性能等级	DIN EN ISO 2010：4.8，5.8，A2－50，A2－70 DIN EN ISO 7047：4.8，A2－50，A2－70								
长度系列	2.5,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25～45,50,60,70,80 mm								
说明	1）C 十字槽尺寸，H 型和 Z 型								
⇒	**沉头螺钉：ISO 7047－M3×20－4.8－H：** $d=$M3，$l=20$ mm，性能等级 5.8，H 型十字槽								

开槽沉头螺钉 十字槽沉头螺钉

cf. DIN EN ISO 2009（1994－10）
cf. DIN EN ISO 7046－1（1994－10）

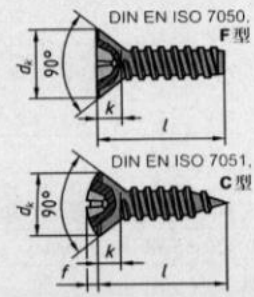


产品等级 A（第 211 页）

d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
d_k	3	3.8	4.7	5.5	8.4	9.3	11.3	15.8	18.3
k	1	1.2	1.5	1.7	2.7	2.7	3.3	4.7	5
n	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
t	0.5	0.6	0.8	0.9	1.3	1.4	1.6	2.3	2.6
C[1]	0		1		2		3	4	
l 从	2.5	3	4	5	6	8	8	10	12
到	16	20	25	30	40	50	60	80	80
b	用于 $l<45$ mm→$b\approx l$；用于 $l\geqslant 45$ mm→$b=38$ mm								
性能等级	DIN EN ISO 2009：4.8，5.8，A2－50，A2－70 DIN EN ISO 7046-1：4.8，A2－50，A2－70								
长度系列	2.5,3,4,5,6,8,10,12,16,20,25～45,50,60,70,80 mm								
说明	1）C 十字槽尺寸，H 型和 Z 型								
⇒	**沉头螺钉：ISO 7046－1－M5×40－4.8－H：** $d=$M3，$l=40$ mm，性能等级 4.8，H 型十字槽								

沉头自攻螺钉 半沉头自攻螺钉

cf. DIN EN ISO 7050（1990－08）
cf. DIN EN ISO 7051（1990－08）



产品等级 A（第 211 页）

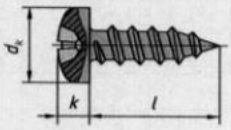
d	ST2.2	ST2.9	ST3.5	ST4.2	ST4.8	ST5.5	ST6.3
d_k	3.8	5.5	7.3	8.4	9.3	10.3	11.3
k	1.1	1.7	2.4	2.6	2.8	3	3.2
f	0.5	0.7	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
l 从	4.5	6.5	9.5	9.5	9.5	13	13
到	16	19	25	32	32	38	38
C[1]	0	1	2			3	
长度系列	4.5,6.5,9.5,13,16,19,22,25,32,38 mm						
型式	C 型锥端，F 型圆柱端						
说明	1）C 十字槽尺寸，H 型和 Z 型						
⇒	**自攻螺钉：ISO 7050－ST4.8×32－F－Z：** $d=$ST4.8，$l=32$ mm，F 型、Z 型十字槽						

关注公众号：机械工程师成长营

自攻螺钉，滚丝螺钉

盘头自攻螺钉

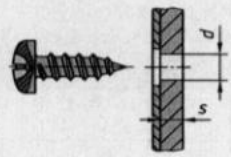
cf. DIN EN ISO 7049（1990－08）



d	ST2.2	ST2.9	ST3.5	ST4.2	ST4.8	ST5.5	ST6.3
d_k	4	5.6	7	8	9.5	11	13
k	1.6	2.4	2.6	3.1	3.7	4	4.6
l 从	4.5	6.5	9.5	9.5	9.5	13	13
到	16	19	25	32	32	38	38
C[1]	0	1	2			3	
长度系列 l	4.5,6.5,9.5,13,16,19,22,25,32,38 mm						
型式	C 型锥端，F 型圆柱端						
说明	C 十字槽尺寸，H 型和 Z 型						
⇒	**自攻螺钉：ISO 7049－ST2.9×13－C－H；** d=ST2.9，l=13 mm，C 型、H 型十字槽						

产品等级 A（第 211 页）

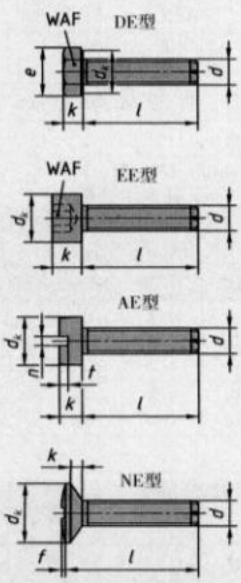
自攻螺钉用螺纹底孔直径（摘选）



金属板料厚 s（mm）从～到～	螺纹攻丝用螺纹底孔直径						
	ST2.2	ST2.9	ST3.5	ST4.2	ST4.8	ST5.5	ST6.3
0～0.5	1.6	2.2	2.6	—	—	—	—
0.6～0.8	1.7	2.3	2.7	3.2	3.7	—	—
0.9～1.1	1.8	2.4	2.8	3.2	3.7	4.9	6.4
1.2～1.4	1.8	2.4	2.8	3.3	3.9	4.9	6.4
1.5～1.7	—	2.5	2.9	3.5	3.9	5.0	6.5
1.8～2.0	—	2.6	3.0	3.5	4.0	5.2	6.7
2.0～2.5	—	—	3.0	3.5	4.0	5.3	6.8
2.6～3.0	—	—	3.0	3.8	4.1	5.3	6.8
3.1～3.5	—	—	—	3.9	4.3	5.8	7.2

滚丝螺钉

cf. DIN 7500－1（2000－07）



型式 d		M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
DE	WAF	4	5	5.5	7	8	10	13	16
	k	1.4	1.7	2	2.8	3.5	4	5.3	6.4
	d_k	3.1	4.1	4.6	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6
	e	4.3	5.5	6.0	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8
EE	WAF	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8
	k	2	2.5	3	4	5	6	8	10
	d_k	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
AE	d_k	3.8	4.5	5.5	7	8.5	10	13	16
	k	1.4	1.8	2	2.6	3.3	3.9	5	8
	n	0.4	0.5	0.8	1.2	1.2	1.6	2	2.5
	t	0.5	0.6	0.9	1.1	1.3	1.6	2	2.4
NE	d_k	3.8	4.7	5.5	8.4	9.3	11.3	15.8	18.3
	k	1.2	1.5	1.7	2.7	2.7	3.3	4.7	5
	f	0.4	0.5	1	1.2	1.4	1.4	2	2.3
C[1]		0	1		2		3	4	
l 从		3	4	4	6	8	8	10	12
到		16	20	25	30	40	50	60	80
长度系列 l		3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30～50,55,60,70,80 mm							
说明		1）C 十字槽尺寸，H 型和 Z 型							
⇒		**螺钉：DIN 7500－DE－M8×25－St；** 六角头，d=M8，l=25 mm，材料：钢							

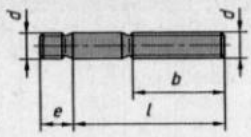
产品等级（第 211 页）

关注公众号：机械工程师成长营

双头螺柱，吊环螺钉，螺塞

双头螺柱

cf. DIN 835，938，939（1995－02）



产品等级 A（第211页）

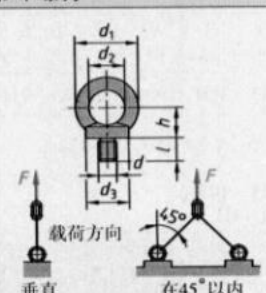
应用	
DIN	用于旋入
835	铝合金
938	钢
939	铸铁

d	M3	M4	M5	M6	M8 M8×1	M10 M10×1.25	M12 M12×1.25	M16 M16×1.5	M20 M20×1.5	M24 M24×2
b 用于 $l<125$	12	14	16	18	22	26	30	38	46	54
$125<l<200$	18	20	22	24	28	32	36	44	52	60
e DIN 835	—	8	10	12	16	20	24	32	40	48
e DIN 938	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24
e DIN 939	—	5	6.5	7.5	10	12	15	20	25	30
l 从	20	20	25	25	30	35	40	50	60	70
l 到	30	40	50	60	80	100	120	170	200	200

性能等级	5.6，8.8，10.9
长度系列 l	20，25，30～75，80，90～180，190，200 mm
⇒	**双头螺柱：ISO 939－M10×65－8.8**； d = M10，l = 65 mm，性能等级 8.8

吊环螺钉

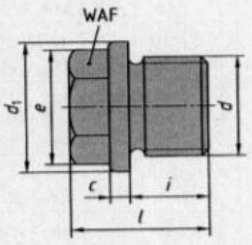
cf. DIN 580（2003－08）



d	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
h	18	22.5	26	30.5	35	45	55	65	75	85	95
d_1	36	45	54	63	72	90	108	126	144	166	184
d_2	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
d_3	20	25	30	35	40	50	65	75	85	100	110
l	13	17	20.5	27	30	36	45	54	63	68	78
材料	表面淬火钢 C15E，A2，A3，A4，A5										
垂直且在45°以内	沿载荷方向的承载能力										
	0.14	0.23	0.34	0.70	1.20	1.80	3.20	4.60	6.30	8.60	11.5
	0.10	0.17	0.24	0.50	0.86	1.29	2.30	3.30	4.50	6.10	8.20
⇒	**吊环螺钉：DIN 580－M20－C15E**；d = M20，材料 C15E										

六角头螺塞

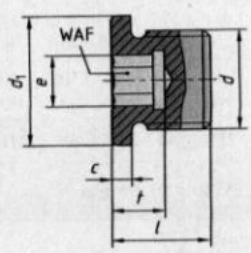
cf. DIN 910（1992－01）



d	M10×1	M12×1.5	M16×1.5	M20×1.5	M24×1.5	M30×1.5	M36×1.5	M42×1.5	M48×1.5	M52×1.5
d_1	14	17	21	25	29	36	42	49	55	60
l	17	21	21	26	27	30	32	33	33	33
i	8	12	12	14	14	16	16	16	16	16
c	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5
WAF	10	13	17	19	22	24	27	30	30	30
e	10.9	14.2	18.7	20.9	23.9	26.1	29.6	33	33	33
材料	St 钢，Al 铝合金，CuZn 铜锌合金									
⇒	**螺塞：DIN 910－M24×1.5－St**； d = M24×1.5，材料：钢									

内六角螺塞

cf. DIN 908（1992－01）



d	M10×1	M12×1.5	M16×1.5	M20×1.5	M24×1.5	M30×1.5	M36×1.5	M42×1.5	M48×1.5	M52×1.5
d_1	14	17	21	25	29	36	42	49	55	60
l	11	15	15	18	18	20	21	21	21	21
c	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5
WAF	5	6	8	10	12	17	19	22	24	24
t	5	7	7.5	7.5	7.5	9	10.5	10.5	10.5	10.5
e	5.7	6.9	9.2	11.4	13.7	19.4	21.7	25.2	27.4	27.4
材料	St 钢，Al 铝合金，CuZn 铜锌合金									
⇒	**螺塞：DIN 908－M20×1.5－CuZn**； d = M24×1.5，材料：铜锌合金									

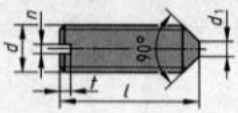
关注公众号：机械工程师成长营

紧定螺钉

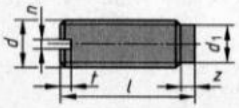
开槽紧定螺钉

cf. DIN EN 27434，27435，24766（全部 1992－12）

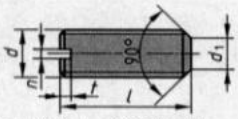
锥端



圆柱端



平端



产品等级 A（第 211 页）

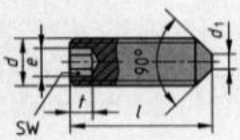
有效标准	代换
DIN EN 27434	DIN 553
DIN EN 27435	DIN 417
DIN EN 24766	DIN 551

		d	M1.2	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
DIN EN 27434	d_1		0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	1.5	2	2.5	3.6
	n		0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2
	t		0.5	0.7	0.8	1	1.1	1.4	1.6	2	2.5	3	3
	l	从	2	2	3	3	4	6	8	5	10	12	16
		到	6	8	10	12	16	25	30	35	40	55	60
DIN EN 27435	d_1		—	0.8	1	1.5	2	2.5	3.5	4.3	5.5	7	8.5
	z		—	1.1	1.3	1.5	1.8	2.3	2.8	3.3	4.3	5.3	6.3
	n		—	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2
	t		—	0.7	0.8	1	1.1	1.4	1.6	2	2.5	3	3
	l	从	—	2.5	3	4	5	6	8	8	10	12	16
		到	—	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60
DIN EN 24766	d_1		0.6	0.8	1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5
	n		0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.6	2
	t		0.5	0.7	0.8	1	1.1	1.4	1.6	2	2.5	3	3.6
	l	从	2	2	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
		到	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60
性能等级			45H，A1－12H，A2－21H，A3－21H，A4－21H，A5－21H										
长度系列 l			2，2.5，3，4，5，6，8，10，12，16，20，25，30～50，55，60 mm										
⇒			**紧定螺钉：ISO 7435－M6×25－14H；** d＝M6，l＝25 mm，性能等级 14H										

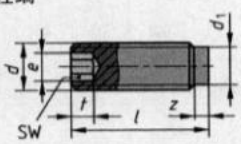
内六角紧定螺钉

cf. DIN EN ISO 4026，4027，4028（2003－05）

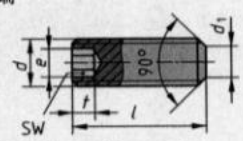
锥端



圆柱端



平端



产品等级 A（第 211 页）

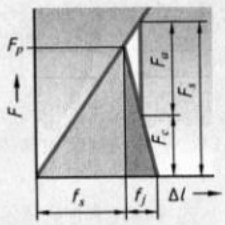
有效标准	代换
DIN EN ISO 4026	DIN 913
DIN EN ISO 4027	DIN 914
DIN EN ISO 4028	DIN 915

		d	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
DIN EN ISO 4027	d_1		0.5	0.7	0.8	1	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5
	WAF		0.9	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
	e		1	1.5	1.7	2.3	2.9	3.4	4.6	5.7	6.9	9.1	11.4
	t		0.8	1.2	1.2	1.5	2	2	3	4	4.8	6.4	8
	l	从	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20
		到	10	12	16	20	25	30	40	50	60	60	60
DIN EN ISO 4028	d_1		1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5	12	15
	z		1.3	1.5	1.8	2.3	2.8	3.3	4.3	5.3	6.3	8.4	10.4
	WAF		0.9	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
	e		1	1.5	1.7	2.3	2.9	3.4	4.6	5.7	6.9	9.1	11.4
	t		0.8	1.2	1.2	1.5	2	2	3	4	4.8	6.4	8
	l	从	2.5	3	4	5	6	8	8	20	12	16	20
		到	10	12	16	20	25	30	40	50	60	60	60
DIN EN ISO 4026	d_1		1	1.5	2	2.5	3.5	4	5.5	7	8.5	12	15
	WAF		0.9	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10
	e		1	1.5	1.7	2.3	2.9	3.4	4.6	5.7	6.9	9.2	11.4
	t		0.8	1.2	1.2	1.5	2	2	3	4	4.8	6.4	8
	l	从	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20
		到	10	12	16	20	25	30	40	50	60	60	60
性能等级			45H，A1－12H，A2－21H，A3－21H，A4－21H，A5－21H										
长度系列 l			2，2.5，3，4，5，6，8，10，12，16，20，25，30～50，60 mm										
⇒			**紧定螺钉：ISO 4026－M6×25－A5－21H；** d＝M6，l＝25 mm，A5 不锈钢，性能等级 21H										

关注公众号：机械工程师成长营

螺纹连接的计算

连接图



F_p 预载
F_a 外加力
F_c 连接夹紧力
F_s 总螺栓负载
f_s 螺栓伸长
f_j 连接压缩

用于柄式螺栓预选的标准值

负载		每个螺栓的外加力 F_a[1]（kN）							
静态		2.5	4	6.3	10	16	25	40	63
动态		1.6	2.5	4	6.3	10	16	25	40
性能等级	4.8,5.6	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30
	5.8,6.8	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24
	8.8	M5	M6	M8	M8	M10	M16	M16	M20
	10.9	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M16
	12.9	M4	M5	M5	M8	M8	M10	M12	M16

1）对于腰形螺栓，选择更高的外加力水平

预载和拧紧力矩

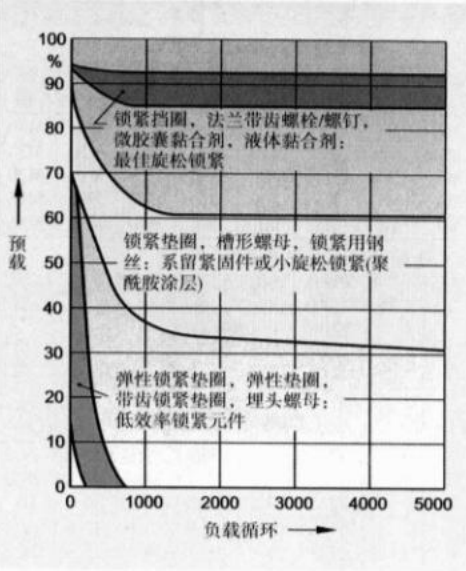
螺纹	F[3]	柄式螺栓 A_s[1]（mm^2）	柄式螺栓 预载 F_p（kN） 总摩擦系数 μ[4] 0.08	0.12	0.14	柄式螺栓 拧紧力矩 Mt（N·m） 总摩擦系数 μ[4] 0.08	0.12	0.14	腰形螺栓 A_w[2]（mm^2）	腰形螺栓 预载 F_p（kN） 总摩擦系数 μ[4] 0.08	0.12	0.14	腰形螺栓 拧紧力矩 Mt（N·m） 总摩擦系数 μ[4] 0.08	0.12	0.14
M8	8.8	36.6	18.6	17.2	16.5	17.9	23.1	25.3	26.6	12.9	11.8	11.2	13.6	17.6	19.2
	10.9		27.1	25.2	24.2	26.2	34	37.2		19	17.3	16.4	20	25.8	28.2
	12.9		31.9	29.5	28.3	30.7	39.6	43.6		22.2	20.2	19.2	23.4	30.2	33
M8×1	8.8	39.2	20.3	18.8	18.1	18.8	24.8	27.3	29.2	14.6	13.4	12.7	13.6	17.6	19.2
	10.9		29.7	27.7	26.6	27.7	36.4	40.1		21.5	19.6	18.7	20	25.8	28.2
	12.9		34.8	32.4	31.1	32.4	42.6	47.1		25.1	23	21.9	23.4	30.2	33
M10	8.8	58.0	29.5	27.3	26.2	36	46	51	42.4	20.7	18.9	17.9	25	32	35
	10.9		43.3	40.2	38.5	53	68	75		30.4	27.7	26.4	37	47	51
	12.9		50.7	47	45	61	80	88		35.6	32.4	30.8	43	55	60
M10×1.25	8.8	61.2	31.5	29.4	28.3	37	49	54	45.6	22.7	20.9	19.9	27	35	38
	10.9		46.5	43.2	41.5	55	72	80		33.5	30.6	29.2	40	51	56
	12.9		54.4	50.6	48.6	64	84	93		39.2	35.9	34.4	46	60	65
M12	8.8	84.3	43	39.9	38.3	61	80	87	61.7	30.3	27.6	26.3	43	55	60
	10.9		63	58.5	56.2	90	117	128		44.6	40.6	38.6	63	81	88
	12.9		73.9	68.5	65.8	105	137	150		52.1	47.7	45.2	74	95	103
M12×1.5	8.8	88.1	48.2	45	43.2	65	87	96	65.8	35	32.6	31	48	63	69
	10.9		70.8	66	63.5	96	128	141		52	47.8	45.7	71	93	102
	12.9		82.7	72.3	74.3	112	150	165		61	56	53.4	83	108	119
M16	8.8	157	81	75.3	72.4	147	194	214	117	58.4	53.4	51	106	137	150
	10.9		119	111	106	216	285	314		85.8	78.5	74.8	156	202	221
	12.9		140	130	124	253	333	367		100	91.8	87.5	182	236	258
M16×1.5	8.8	167	88	82.2	79.2	154	207	229	128	65.5	60.2	57.4	115	151	166
	10.9		129	121	116	227	304	336		96.2	88.4	84.5	169	222	244
	12.9		151	141	136	265	355	394		113	104	99	197	260	285
M20	8.8	245	131	121	117	297	391	430	182	92	86	82	215	278	304
	10.9		186	173	166	423	557	615		134	123	117	306	395	432
	12.9		218	202	194	495	653	720		157	144	137	358	462	505
M20×1.5	8.8	272	149	138	134	320	433	482	210	113	104	100	242	322	355
	10.9		212	200	190	455	618	685		160	148	142	345	460	508
	12.9		247	231	225	533	721	802		188	173	166	402	540	594
M24	8.8	353	188	175	168	512	675	743	262	136	124	118	370	480	523
	10.9		268	250	238	730	960	1060		193	177	168	527	682	745
	12.9		313	291	280	855	1125	1240		225	207	196	617	800	871
M24×2	8.8	384	210	196	189	545	735	816	295	158	145	139	410	543	600
	10.9		300	280	268	776	1046	1160		224	207	198	582	775	852
	12.9		350	327	315	908	1224	1360		263	242	230	682	905	998

当用拧紧力矩 M_t 进行装配时，大约90%的螺栓材料的屈服强度被使用

1）A_s 应力面积
2）A_w 腰部截面
3）F 螺栓的性能等级
4）$\mu=0.08$，螺栓 MoS_2 润滑
$\mu=0.12$，螺栓加轻油
$\mu=0.14$，螺栓用微胶囊塑胶定位

关注公众号：机械工程师成长营

锁紧紧固件



在各种锁紧元件上作振动测试 DIN 65151

螺栓在承受横向负载的情况下，螺纹连接锁紧特性的测试

ISO 4014 – M10

对于足够尺寸和可靠安装的螺纹连接，通常不需要锁紧紧固件。夹紧力可防止被连接件的滑动或螺栓和螺母的松开。实际应用中，由于下列原因还是有可能丧失夹紧力

- **螺纹连接的松散**：由能引起塑性变形（所谓固定）的高表面接触应力产生，且减少了螺纹连接的预载荷
- **螺纹连接的旋松**：对于承受与螺栓轴线垂直的动态负荷的连接，可能产生自行旋松

这可以通过锁紧元件来补救。根据它们的效率不同，分为三组

低效率锁紧元件（如：弹性锁紧垫圈和带齿锁紧垫圈）

系留紧固件：它允许部分的旋松，但能防止螺纹连接完全松开

螺纹锁紧（如：螺纹锁固胶黏剂或锁紧螺钉）：预载近似为常数。螺母或螺栓不会自行旋松（最好的锁紧方法）

锁紧紧固件概述

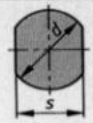
连接	锁紧元件	标准	类型，性能
合负载，弹簧负载	弹性锁紧垫圈 弹性垫圈 带齿锁紧垫圈 锯齿锁紧垫圈	撤销 撤销 撤销 撤销	低效率 低效率 低效率 低效率
联锁	锁紧垫圈 带开口销的槽形螺母 锁紧用钢丝	撤销 DIN 935 – 1 +2 —	系留紧固件 系留紧固件 系留紧固件
力配合（夹紧）	锁紧螺母	—	低效率，可能松开
	螺栓和螺母 带夹紧、聚酰胺涂层	DIN 267 – 28 ISO 2320	系留紧固件或轻微防转动锁紧
闭锁（力配合和联锁）	法兰带齿螺栓	—	防转动锁紧，不适于硬化零件
	挡圈 凹形垫圈 自锁成对垫圈	— —	防转动锁紧，不适于硬化零件
胶黏	螺纹用微胶囊黏合剂	DIN 267 – 27	防转动锁紧，密封连接；温度范围 – 50℃ ~ 150℃
	液体黏合剂	—	防转动锁紧

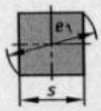
关注公众号：机械工程师成长营

扳手开口度，拧螺丝类型

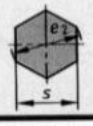
螺栓、螺钉、阀门及配件用扳手开口度

cf. DIN 475 – 1 (1984 – 01)





$e_1 = 1.4142 \cdot s$
$s = 0.7071 \cdot e_1$



$e_2 = 1.1547 \cdot s$
$s = 0.8660 \cdot e_2$



$e_3 = 1.0824 \cdot s$
$s = 0.9239 \cdot e_3$

扳手开口度(WAF)公称尺寸 s	对角线长度 扁圆形 d	正方形 e_1	六边形 e_2 [1]
3.2	3.7	4.5	3.5
3.5	4	4.9	3.8
4	4.5	5.7	4.4
4.5	5	6.4	4.9
5	6	7.1	5.5
5.5	7	7.8	6.0
6	7	8.5	6.6
7	8	9.9	7.7
8	9	11.3	8.8
9	10	12.7	9.9
10	12	14.1	11.1
11	13	15.6	12.1
12	14	17.0	13.3
13	15	18.4	14.4
14	16	19.8	15.5
15	17	21.2	16.6
16	18	22.6	17.8
17	19	24.0	18.9
18	21	25.4	20.0
19	22	26.9	21.1
20	23	28.3	22.2

扳手开口度(WAF)公称尺寸 s	对角线长度 扁圆形 d	正方形 e_1	六边形 e_2 [1]	八边形 e_3
21	24	29.7	23.4	22.7
22	25	31.1	24.5	23.8
23	26	32.5	25.6	24.9
24	28	33.9	26.8	26.0
25	29	35.5	27.9	27.0
26	31	36.8	29.0	28.1
27	32	38.2	30.1	29.1
28	33	39.6	31.3	30.2
30	35	42.4	33.5	32.5
32	38	45.3	35.7	34.6
34	40	48.0	37.7	36.7
36	42	50.9	40.0	39.0
41	48	58.0	45.6	44.4
46	52	65.1	51.3	49.8
50	58	70.7	55.8	54.1
55	65	77.8	61.3	59.5
60	70	84.8	67.0	64.9
65	75	91.9	72.6	70.3
70	82	99.0	78.3	75.7
75	88	106	83.9	81.2
80	92	113	89.6	86.6

⇒ **DIN 475 – WAF 16**：扳手开口度公称尺寸 $s = 16$ mm

1）在 DIN 475 中，对角线长度比对应的六边形棱边之和小。这些较小的尺寸适用于精加工压制的六边形产品。对角线长度可用公式 $e_2 = 1.1547 \cdot s$

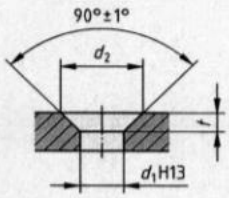
拧螺丝系统

类型	特性	类型	特性
六角头	高扭矩传动，无轴向力要求，相对经济，螺栓和螺母可用相同工具，多种规格，工具相对大	内梅花头驱动	比六角头有更高的扭矩传动
内六角头	除扭矩传动外，如六角头一样较轻，工具所需的空间更小	外梅花头驱动	很好的扭矩传动，工具所需的空间很小
防随意拆卸型六角头驱动	安全螺钉，只能用专用工具松开，特别适于保护，以防破坏和偷窃，但仍有好的扭矩传动	防随意拆卸型梅花头驱动	安全螺钉，只能用专用工具松开，特别适于保护，以防破坏和偷窃，但仍有好的扭矩传动
一字槽驱动	不贵且受欢迎，但很难对中工具，低扭矩传动，在受载驱动面有高接触压力	十字槽驱动	比开槽螺栓及螺钉需更高扭矩，工具对中较好，低接触压力，无对角槽和带 H 型十字槽都可用

关注公众号：机械工程师成长营

沉头螺钉的锥形沉孔

根据 DIN ISO 7721 统一标准头部的沉头螺钉的锥形沉孔 cf. DIN 66 (1990 - 04)



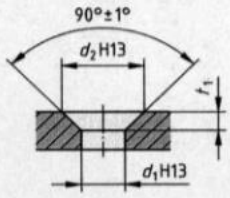
图形表达，见第 83 页

公称尺寸	1.6	2	2.5	3	3.5	4	5	5.5
公制螺钉	M1.6	M2	M2.5	M3	M3.5	M4	M5	—
自攻螺钉	—	ST2.2	—	ST2.9	ST3.5	ST4.2	ST4.8	ST5.5
d_1 H13 (中等)	1.8	2.4	2.9	3.4	3.9	4.5	5.5	6
d_2	3.6	4.4	5.5	6.3	8.2	9.4	10.4	11.5
d_2 的极限偏差	+0.1/0			+0.2/0			+0.25/0	
t_1 ≈	1.0	1.1	1.4	1.6	2.3	2.6	2.6	2.9
公称尺寸	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**18**	**20**
公制螺钉	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
自攻螺钉	ST6.3	ST8	ST9.5	—	—	—	—	—
d_1 H13(中等)[1]	6.6	9	11	13.5	15.5	17.5	20	22
d_2	12.6	17.3	20	24	28	32	36	40
d_2 的极限偏差	+0.25/0			+0.3/0			+0.4/0	
t_1 ≈	3.1	4.3	4.7	5.4	6.4	7.5	8.2	9.2
⇒	锥形沉孔 DIN66-8：公称尺寸 8(公制螺纹 M8 或自攻螺钉螺纹 ST8)							

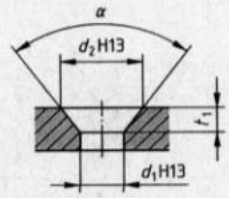
螺钉的应用	
开槽沉头螺钉	DIN EN ISO 2009
十字槽沉头螺钉	DIN EN ISO 7046 - 1
开槽半沉头螺钉	DIN EN ISO 2010
十字槽半沉头螺钉	DIN EN ISO 7047
开槽沉头自攻螺钉	DIN ISO 1482
十字槽沉头自攻螺钉	DIN ISO 7050
开槽半沉头自攻螺钉	DIN ISO 1483
十字槽半沉头自攻螺钉	DIN ISO 7051
切削螺纹螺钉	DIN 7513 + DIN 7516
滚丝螺钉	DIN 7500

沉头螺钉的锥形沉孔

cf. DIN 74 (2003 - 04)



A 型和 F 型



E 型

图形表达，见第 83 页

B，C 和 D 型不再被标准化

	螺纹 ϕ	1.6	2	2.5	3	4	4.5	5	6	7	8
A 型	d_1 H13[1]	1.8	2.4	2.9	3.4	4.5	5	5.5	6.6	7.6	9
	d_2 H13	3.7	4.6	5.7	6.5	8.6	9.5	10.4	12.4	14.4	16.4
	t_1 1/2	0.9	1.1	1.4	1.6	2.1	2.3	2.5	2.9	3.3	3.7
⇒		锥形沉孔 **DIN 74 - A4**：A 型，螺纹直径 4 mm									
A 型的应用		沉头木螺钉 DIN 97 和 DIN 7997 半沉头木螺钉 DIN 95 和 DIN 7995									

	螺纹 ϕ	10	12	16	20	22	24
E 型	d_1 H13[1]	10.5	13	17	21	23	25
	d_2 H13	19	24	31	34	37	40
	t_1 ≈	5.5	7	9	11.5	12	13
	α	75° ±1°			60° ±1°		
⇒		锥形沉孔 **DIN 74 - E12**：E 型，螺纹直径 12 mm					
E 型的应用		用于钢结构的沉头螺钉 DIN 7969					

	螺纹 ϕ	3	4	5	6	8	10	12	14	16	20
F 型	d_1 H13[1]	3.4	4.5	5.5	6.6	9	11	13.5	15.5	17.5	22
	d_2 H13	6.9	9.2	11.5	13.7	18.3	22.7	27.2	31.2	34.0	40.7
	t_1 ≈	1.8	2.3	3.0	3.6	4.6	5.9	6.9	7.8	8.2	9.4
⇒		锥形沉孔 **DIN 74 - F12**：F 型，螺纹直径 12 mm									
F 型的应用		内六角沉头螺钉 DIN EN ISO 10642 (代换 DIN 7991)									

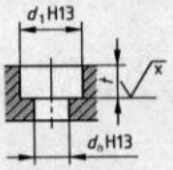
1) 根据 DIN EN 20273 的中等尺寸通孔，第 211 页

关注公众号：机械工程师成长营

有帽螺钉和六角头螺栓的阶梯孔

有帽螺钉的阶梯孔

cf. DIN 974 – 1 (1991 – 05)



$\sqrt{x} = \sqrt{Ra\ 3.2}$

d		3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	27	30	36
d_h H13[1]		3.4	4.5	5.5	6.6	9	11	13.5	17.5	22	26	30	33	39
d_1H13	系列 1	6.5	8	10	11	15	18	20	26	33	40	46	50	58
	系列 2	7	9	11	13	18	24	—	—	—	—	—	—	—
	系列 3	6.5	8	10	11	15	18	20	26	33	40	46	50	58
	系列 4	7	9	11	13	16	20	24	30	36	43	46	54	63
	系列 5	9	10	13	15	18	24	26	33	40	48	54	61	69
	系列 6	8	10	13	15	20	24	33	43	48	58	63	73	–
t[2]	ISO 1207	2.4	3.0	3.7	4.3	5.6	6.6	—	—	—	—	—	—	—
	ISO 4762	3.4	4.4	5.4	6.4	8.6	10.6	12.6	16.6	20.6	24.8	31.0	34.0	37.0
	DIN 7984	2.4	3.2	3.9	4.4	5.4	6.4	7.6	9.6	11.6	13.8	—	—	—

⇒ DIN 974 为阶梯孔提供无代码标记

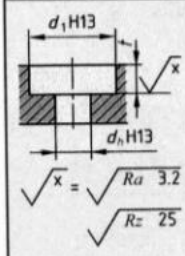
系列	无垫圈元件的有帽螺钉	
1	螺钉（螺栓）ISO 1207，ISO 4762，DIN 6912，DIN 7984	
2	螺钉（螺栓）ISO 1580，DIN 7985	
	有帽螺钉和下列垫圈元件	
3	带弹性锁紧垫圈 DIN 7980[3] 的螺钉（螺栓）ISO 1207，ISO 4762，DIN 7984	
4	垫圈 DIN EN ISO 7092 弹性垫圈 DIN 137 A[3] 型 弹性锁紧垫圈 DIN 128 + DIN 6905[3]	带齿锁紧垫圈 DIN 6797[3] 锯齿锁紧垫圈 DIN 6798[3] 锯齿锁紧垫圈 DIN 6907[3]
5	垫圈 DIN EN ISO 7090 垫圈 DIN 6902 A[3] 型	弹性垫圈 DIN 137 B[3] 型 弹性垫圈 DIN 6904[3]
6	锥形弹性垫圈 DIN 6796	

图形表达，见第 83 页

1）通孔，根据 DIN EN ISO 273，中等系列，第 211 页
2）用于不带垫圈元件的螺钉/螺栓　3）标准撤销

六角头螺栓/螺钉的阶梯孔和六角螺母

cf. DIN 974 – 2 (1991 – 05)



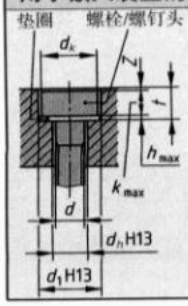
d		4	5	6	8	10	12	14	16	20	24	27	30	33	36	42
s		7	8	10	13	16	18	21	24	30	36	41	46	50	55	65
d_h H13[1]		4.5	5.5	6.6	9	11	13.5	15.5	17.5	22	26	30	33	36	39	45
d_1H13	系列 1	13	15	18	24	28	33	36	40	46	58	61	73	76	82	98
	系列 2	15	18	20	26	33	36	43	46	54	73	73	82	89	93	107
	系列 3	10	11	13	18	22	26	30	33	40	48	54	61	69	73	82
t[1]	六角头螺栓	3.2	3.9	4.4	5.7	6.8	8.1	—	10.6	13.1	15.8	—	19.7	23.5	—	—

⇒ DIN 974 为阶梯孔提供无代码标记

系列 1：用套筒扳手 DIN 659，DIN896，DIN3112 或套管 DIN 3124
系列 2：用套筒扳手 DIN 838，DIN897 或套管 DIN 3129
系列 3：用于狭小空间条件下的凹处（不适于锥形弹性垫圈）
1）用于不带垫圈元件的六角头螺栓/螺钉 ISO 4014，ISO 4017，ISO 8765，ISO 8676

图形表达，见第 83 页

用于嵌入装置的阶梯孔深度计算（用于 DIN 974 – 1 和 DIN 974 – 2）



确定余量 Z

螺纹公称直径 ϕd	$1 \leqslant d \leqslant 1.4$	$1.4 < d \leqslant 6$	$6 < d \leqslant 20$	$20 < d \leqslant 27$	$27 < d \leqslant 100$
余量 Z	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0

t　阶梯孔深
k_{max}　螺钉/螺栓头最大高度
h_{max}　垫圈最大高度
Z　基于螺纹公称直径的余量（见表）

阶梯孔深[1]

$$t = k_{max} + h_{max} + Z$$

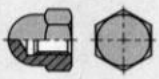
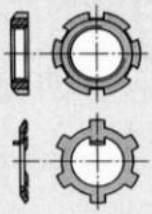
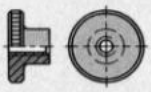
1）若 k_{max} 和 h_{max} 的值无效，可用 k 和 h 的值作近似

关注公众号：机械工程师成长营

概 述				
图例	设计	标准范围	标准	应用，特性
六角螺母，类型 1				第 228 页
	粗牙	M1.6 ~ M64	DIN EN ISO 4032	最常用的螺母，与达相同性能等级的螺母一起使用 **细牙螺纹**：比粗牙螺纹有更大的传动力
	细牙	M8 × 1 ~ M64 × 4	DIN EN ISO 8673	
六角螺母，类型 2				第 229 页
	粗牙	M5 ~ M36	DIN EN ISO 4033	螺母高度 m 比 1 型螺母大约高 10%，与达相同性能等级的螺母一起使用 **细牙螺纹**：比粗牙螺纹有更大的传动力
	细牙	M8 × 1 ~ M36 × 3	DIN EN ISO 8674	
扁六角螺母				第 229 ~ 230 页
	粗牙	M1.6 ~ M64	DIN EN ISO 4035	在小安装高度和低应力的情况下使用 **细牙螺纹**：比粗牙螺纹有更大的传动力
	细牙	M8 × 1 ~ M64 × 4	DIN EN ISO 8675	
预置扭矩型带垫圈六角螺母				第 230 页
	粗牙	M3 ~ M36	DIN EN ISO 7040	带全负载能力和非金属嵌件的自锁螺母，达 120℃的作业温度 **细牙螺纹**：比粗牙螺纹有更大的传动力
	细牙	M8 × 1 ~ M36 × 3	DIN EN ISO 10512	
	粗牙	M5 ~ M36	DIN EN ISO 7719	带全负载能力的全金属自锁螺母 **细牙螺纹**：比粗牙螺纹有更大的传动力
	细牙	M8 × 1 ~ M36 × 3	DIN EN ISO 10513	
六角螺母，其他				第 230、第 232 页
	大扳手开口度，粗牙	M12 ~ M36	DIN 6915	用于钢结构 HV 连接（高强预载），与六角头螺栓 DIN 6914 一起使用
	带法兰，粗牙	M5 ~ M20	DIN EN 1661	可用于大的通孔或减小接触应力
	焊接螺母，粗牙	M3 ~ M16 M8 × 1 ~ M16 × 1.5	DIN 929	用于金属板材结构；螺母通常用凸出焊接与金属板连接
槽形螺母，开口销				第 232 页
	厚，粗牙或细牙	M4 ~ M100 M8 × 1 ~ M100 × 4	DIN 935	可用于安全接头中轴承、轮毂的轴向安装（车辆的控制部位） 用穿过螺栓孔的开口销锁紧。螺栓全载，性能等级高于 8.8 时，开口销被折断
	扁，粗牙或细牙	M6 ~ M48 M8 × 1 ~ M48 × 3	DIN 979	
	开口销	0.6 × 12 ~ 20 × 280	DIN EN ISO 1234	

关注公众号：机械工程师成长营

概述，标记

图例	设计	标准范围	标准	应用，特性
盖形螺母				第 231 页
	厚，粗牙或细牙	M4 ~ M36 M8 × 1 ~ M24 × 2	DIN 1587	装饰和密封用外连接罩，保护螺纹，避免损伤
	扁，粗牙或细牙	M4 ~ M48 M8 × 1 ~ M48 × 3	DIN 917	
环形螺母，吊环螺栓				第 231 页
	环形螺母，粗牙或细牙	M8 ~ M100 × 6 M20 × 2 ~ M100 × 4	DIN 582	机器和装备的输送环；应力依赖于外加载荷的角度，支座面需要铣削
锁紧螺母，锁紧垫圈				第 231 页
	带细牙螺纹的锁紧螺母	M10 × 1 ~ M200 × 1.5	DIN 70852	用于轴向定位，如：带小安装高度和低应力的轮毂的安装，锁紧垫圈的锁紧
	锁紧垫圈	10 ~ 200	DIN 70952	
	带细牙螺纹的锁紧螺母	M10 × 0.75 ~ M115 × 2 (KM0 ~ KM23)	DIN 981	用于滚动轴承的轴向定位，轴承间隙的调整，如：用锁紧垫圈锁紧的锥形滚动轴承
	锁紧垫圈	10 ~ 115 (MB0 ~ MB23)	DIN 5406	
滚花螺母				第 232 页
	厚，粗牙	M1 ~ M10	DIN 466	用于经常拆卸的连接，如：在夹具和固定设备的制造中，控制柜中
	扁，粗牙	M1 ~ M10	DIN 467	
六角套筒螺母				
	粗牙	M6 ~ M30	DIN 1479	用于连接和调节，如：带左旋和右旋螺纹的螺杆和连接杆；用止动螺母锁紧

螺母标记 cf. DIN 962 (2001 - 11)

例：

六角螺母 ISO 4032 - M12 - 8
槽形螺母 DIN 929 - M8 x 1 - St
六角螺母 EN 1661 - M12 - 10

- 种类
- 参考标准，如：ISO，DIN，EN；标准代号[1)]
- 公称数据，如：M——公制螺纹；8——公称直径 d；1——细牙螺纹螺距
- 性能等级，如：05，8，10；材料，如：St 钢，GT 可锻铸铁

1) 根据 ISO 或 DIN EN ISO 标准化的螺母，其标记有代号 ISO
2) 根据 DIN 标准化的螺母，其标记有代号 DIN
根据 DIN EN 标准化的螺母，其标记有代号 EN

关注公众号：机械工程师成长营

六角螺母

螺母的性能等级

cf. DIN EN 20898 – 2 (1994 – 02)
DIN EN ISO 3506 – 2 (1998 – 03)

例：

碳钢和合金钢 DIN EN 29898 – 2		不锈钢 DIN EN ISO 3506 – 2	
螺母高度 $m \geq 0.8 \cdot d$:	8	螺母高度 $m \geq 0.8 \cdot d$:	A 2 – 70
螺母高度 $m < 0.8 \cdot d$:	04	螺母高度 $m < 0.8 \cdot d$:	A 4 – 035

代号	钢的微结构	钢组合	代号
8 性能等级 9 扁螺母，测试负载 $=4 \cdot 100 N/mm^2$	A 奥氏体 F 铁素体	1 快削合金 2 与 Cr，Ni 合金 3 与 Cr，Ni，Mo 合金	70 弹性极限应力 $=70 \cdot 10\ N/mm^2$ 035 扁螺母， 弹性极限应力 $=35 \cdot 10\ N/mm^2$

螺栓和螺母的允许组合

cf. DIN EN 20898 – 2 (1994 – 02)





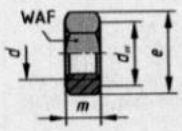
螺母的性能等级	达性能等级的可用螺栓										
	碳钢和合金钢							不锈钢			
	4.8	5.8	6.8	8.8	9.8	10.0	12.9	A2 – 50	A2 – 70	A4 – 50	A4 – 70
4											
5											
6											
8											
9											
10											
12											
A2 – 50											
A2 – 70											
A4 – 50											
A4 – 70											
04，05 A2 – 025， A4 – 025	扁螺母的性能等级。它们被设计用于较小负载情形。相同材料组的螺栓和螺母，如：不锈钢，可彼此结合										

螺栓和螺母的达性能等级的允许组合

带粗牙螺纹的六角螺母，类型[1)]

cf. DIN EN ISO 4032 (2001 – 03)

有效标准	代换	
	DIN EN	DIN
4032	24032	934



d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
WAF	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16
d_w	2.4	3.1	4.1	4.6	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6
e	3.4	4.3	5.5	6	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8
m	1.3	1.6	2	2.4	3.2	4.7	5.2	6.8	8.4
性能等级	按照协议			6，8，10					
				A2 – 70，A4 – 70					

d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
WAF	18	24	30	36	46	55	65	75	85
d_w	16.6	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	20	26.8	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
m	10.8	14.8	18	21.5	25.6	31	34	38	45
性能等级	6，8，10						按照协议		
	A2 – 70，A4 – 70				A2 – 50，A4 – 50		—		

产品等级（第 211 页）	
螺纹 d	等级
M1.6 ~ M16	A
M20 ~ M64	B

说明 1）类型 1：螺母高度 $m \geq 0.8 \cdot d$

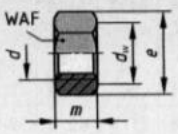
⇒ **六角螺母 ISO 4032 – M10 – 10**：d = M10，性能等级 10

关注公众号：机械工程师成长营

六角螺母

带粗牙螺纹的六角螺母，类型 2[1)]

cf. DIN EN ISO 4033（2001－03）代换 DIN EN 24033

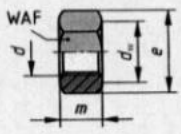


d	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
WAF	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55
d_w	6.9	8.9	11.6	14.8	14.6	22.5	27.7	33.2	42.7	51.1
e	8.8	11.1	14.4	17.8	20	26.8	33	39.6	50.9	60.8
m	5.1	5.7	7.5	9.3	12	16.4	20.3	23.9	28.6	34.7
性能等级	9，12									
说明	1）2 型六角螺母比 1 型螺母大约高 10%									
⇒	**六角螺母 ISO 4033－M24－9**：d = M24，性能等级 9									

产品等级（第 211 页）	
螺纹 d	等级
M1.6 ~ M16	A
M20 ~ M64	B

带细牙螺纹的六角螺母，类型 1 和类型 2[1)]

cf. DIN EN ISO 8673 和 8674（2001－03）



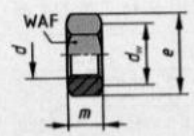
有效标准	代换	
	DIN EN	DIN
8673	28673	934
8674	28674	971

d		M8×1	M10×1	M12×1.5	M16×1.5	M20×1.5	M24×2	M30×2	M36×3	M42×3	M48×3	M56×4
WAF		13	16	18	24	30	36	46	55	65	75	85
d_w		11.6	14.6	16.6	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	78.6
e		14.4	17.8	20	26.8	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
m_1[1)]		6.8	8.4	10.8	14.8	18	21.5	25.6	31	34	38	45
m_2[1)]		7.5	9.3	12	16.4	20.3	23.9	28.6	34.7	—	—	—
性能等级	1 型	6，8								按照协议		
		A2－70，A4－70						A2－50，A4－50				
	2 型	8，10，12				10				—		
说明		1）1 型六角螺母：DIN EN ISO 8673，螺母高 $m_1 \geqslant 0.8 \cdot d$ 2 型六角螺母：DIN EN ISO 8674，螺母高度 m_2 比 1 型螺母大约高 10%										
⇒		**六角螺母 ISO 8673－M8×1－6**：d = M8×1，性能等级 6										

产品等级（第 211 页）	
螺纹 d	等级
M8×1 ~ M16×1.5	A
M20×1.5 ~ M64×3	B

带粗牙螺纹的扁六角螺母[1)]

cf. DIN EN ISO 4035（2001－03）



有效标准 DIN EN ISO	代换 DIN EN
4035	24035

d	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
WAF	3.2	4	5	5.5	7	8	10	13	16
d_w	2.4	3.1	4.1	4.6	5.9	6.9	8.9	11.6	14.6
e	3.4	4.3	5.5	6	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8
m	1	1.2	1.6	1.8	2.2	2.7	3.2	4	5
性能等级	按照协议			04，05					
	A2－035，A4－035								

d	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
WAF	18	24	30	36	46	55	65	75	85
d_w	16.6	22.5	27.7	33.2	42.8	51.1	60	69.5	78.7
e	20	26.8	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
m	6	8	10	12	15	18	21	24	28
性能等级	04，05						按照协议		
	A2－035，A4－035				A2－025，A4－025		—		
说明	1）扁六角螺母（螺母高度 $m < 0.8 \cdot d$）如 1 型螺母，负载能力较小								
⇒	**六角螺母 ISO 4035－M16－A2－035**： d = M16，性能等级 A2－035								

产品等级（第 211 页）	
螺纹 d	等级
M1.6 ~ M16	A
M20 ~ M36	B

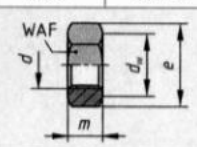
关注公众号：机械工程师成长营

六角螺母

带细牙螺纹的扁六角螺母[1)]

cf. DIN EN ISO 8675（2001－03）

有效标准 DIN EN ISO	代换 DIN EN
8675	28675



产品等级（第211页）

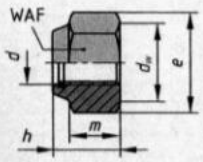
螺纹 d	等级
M8×1～M16×1.5	A
M20×1.5～M64×3	B

d	M8 ×1	M10 ×1	M12 ×1.5	M16 ×1.5	M20 ×1.5	M24 ×2	M30 ×2	M36 ×3	M42 ×3	M48 ×4	M56 ×4
WAF	13	16	18	24	30	36	46	55	65	75	85
d_w	11.6	14.6	16.6	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1	60	69.5	76.7
e	14.4	17.8	20	26.8	33	39.6	50.9	60.8	71.3	82.6	93.6
m	4	5	6	8	10	12	15	18	21	24	28
性能等级	0.4，0.5								按照协议		
	A2－035，A4－035						2)				
说明	1）扁六角螺母（螺母高度 $m<0.8\cdot d$）负载能力比1型螺母更小 2）不锈钢性能等级										
⇒	**六角螺母 ISO 8675－M20×1.5－A2－035**： d＝M20×1.5，性能等级 A2－035										

带垫圈六角螺母，类型1[1)]

cf. DIN EN ISO 7040 和 10512（2001－03）

有效标准 DIN EN ISO	代换 DIN EN	代换 DIN
7040	27040	982
10512		

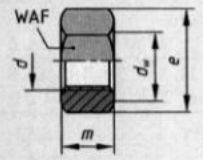


产品等级见 DIN EN ISO 4032

d	M4 —	M5 —	M6 —	M8 M8 ×1	M10 M10 ×1	M12 M12 ×1.5	M16 M16 ×1.5	M20 M20 ×1.5	M24 M24 ×2	M30 M30 ×2	M36 M36 ×3
WAF	7	8	10	13	16	18	24	30	36	46	55
d_w	5.9	8.9	8.9	11.6	14.6	16.6	22.5	27.7	33.3	42.8	51.1
e	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8	20	26.8	33	39.6	50.9	60.8
h	6	6.8	8	9.5	11.9	14.9	19.1	22.8	27.1	32.6	38.9
m	2.9	4.4	4.9	6.4	8	10.4	14.1	16.9	20.2	24.3	29.4
性能等级	for DIN EN ISO 7040：5，8，10　for DIN EN ISO 10512：6，8，10										
说明	1）1型六角螺母（螺母高 $m\geqslant 0.8\cdot d$） DIN EN ISO 7040：粗牙螺母 DIN EN ISO 10512：细牙螺母										
⇒	**六角螺母 ISO 7040－M16－10**：d＝M10，性能等级 10										

高强度六角螺母[1)]（大扳手开口度）

cf. DIN 6915（1999－12）

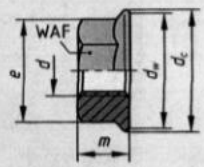


产品等级 B

d	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
WAF	22	27	32	36	41	46	50	60
d_w	20	25	30	34	39	43.5	47.5	57
e	23.9	29.6	35	39.6	45.2	50.9	55.4	66.4
m	10	13	16	18	20	22	24	29
性能等级	10（设计中不要求）							
说明	1）钢结构中 HV 连接（高强预载）用六角螺母 DIN 6914（第214页）							
⇒	**六角螺母 DIN 6915－M24**：d＝M24，性能等级 10							

六角法兰锁紧螺母

cf. DIN EN 1661（1998－02）



产品等级见 DIN EN ISO 4032

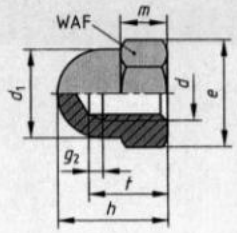
d	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
WAF	8	10	13	16	18	24	30
d_w	9.8	12.2	15.8	19.6	23.8	31.9	39.9
d_c	11.8	14.2	17.9	21.8	26	34.5	42.8
e	8.8	11.1	14.4	17.8	20	26.8	33
m	5	6	8	10	12	16	20
性能等级	8，10，A2－70						
⇒	**六角螺母 EN 1661－M16－8**：d＝M16，性能等级 8						

关注公众号：机械工程师成长营

六角盖形螺母，锁紧螺母，环形螺母

六角盖形厚螺母

cf. DIN 1587（2000－10）

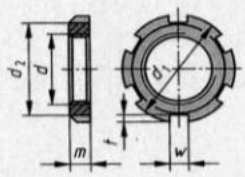


产品等级 A 或 B 由制造商选择

d	M4 —	M5 —	M6 —	M8 M8 ×1	M10 M10 ×1	M12 M12 ×1.5	M16 M16 ×1.5	M20 M20 ×2	M24 M24 ×2
WAF	7	8	10	13	16	18	24	30	36
d_1	6.5	7.5	9.5	12.5	15	17	23	28	34
m	3.2	4	5	6.5	8	10	13	16	19
e	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8	20	26.8	33.5	40
h	8	10	12	15	18	22	28	34	42
t	5.3	7.2	7.8	10.7	13.3	16.3	20.6	25.6	30.5
g_2	$g \approx 2 \cdot P$（P 螺距）					螺纹退刀槽 DIN 76－D			
性能等级	6，A1－50								
⇒	**盖形螺母 DIN 1587－M20－6**：d = M20，性能等级 6								

锁紧螺母

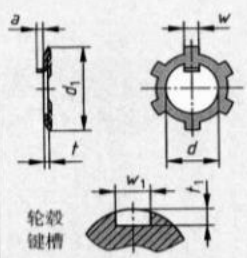
cf. DIN 70852（1989－03）



d	M12 ×1.5	M16 ×1.5	M20 ×1.5	M24 ×1.5	M30 ×1.5	M35 ×1.5	M40 ×1.5	M48 ×1.5	M55 ×1.5	M60 ×1.5	M65 ×1.5
d_1	22	28	32	38	44	50	56	65	75	80	85
d_2	18	23	27	32	38	43	49	57	67	71	76
m	6	6	6	7	7	8	8	8	8	9	9
w	4.5	5.5	5.5	6.5	6.5	7	7	8	8	11	11
t	1.8	2.3	2.3	2.8	2.8	3.3	3.3	3.8	3.8	4.3	4.3
材料	St（钢）										
⇒	**锁紧螺母 DIN 70852－M16×1.5－St**：d = M16×1.5，材料钢										

锁紧垫圈

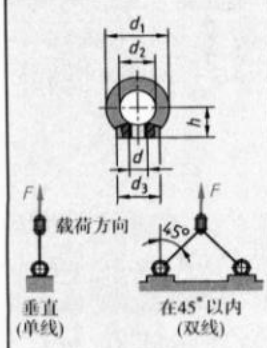
cf. DIN 70952（1976－05）



d	12	16	20	24	30	35	40	48	55	60	65
d_1	24	29	35	40	48	53	59	67	79	83	88
t	0.75	1	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5
a	3	3	4	4	5	5	5	5	6	6	6
w	4	5	5	6	7	7	8	8	10	10	10
w_1 C11	4	5	5	6	7	7	8	8	10	10	10
t_1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2
材料	St（钢板）										
⇒	**锁紧垫圈 DIN 70952－16－St**：d = 16 mm，材料钢										

环形螺母

cf. DIN 582（2003－08）



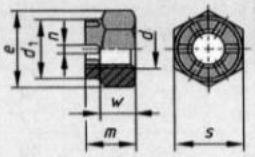
d	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42	M48	M56
h	18	22.5	26	30.5	35	45	55	65	75	85	95
d_1	36	45	54	63	72	90	108	126	144	166	184
d_2	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
d_3	20	25	30	35	40	50	65	75	85	100	110
	沿加载方向的承载能力[1]（t）										
垂直且在45°以内	0.14	0.23	0.34	0.70	1.20	1.80	3.20	4.60	6.30	8.60	11.5
	0.10	0.17	0.24	0.50	0.86	1.29	2.30	3.30	4.50	6.10	8.20
材料	表面淬火钢 C15，A2，A3，A4，A5										
说明	1）值包括安全系数 v = 6，基于最后载荷										
⇒	**环形螺母 DIN 582－M36－C15E**：d = M36×3，材料 C15E										

关注公众号：机械工程师成长营

槽形螺母，开口销，焊接螺母，滚花螺母

槽形厚螺母

cf. DIN 935 – 1（2000 – 10）



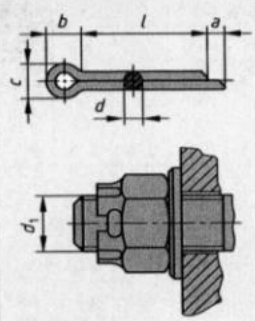
产品等级（第 211 页）

螺纹 d	等级
M1.6 ~ M16	A
M20 ~ M100	B

d	M4 —	M5 —	M6 —	M8 M8 ×1	M10 M10 ×1	M12 M12 ×1.5	M16 M16 ×1.5	M20 M20 ×2	M24 M24 ×2	M30 M30 ×2
s	7	8	10	13	16	18	24	30	36	46
e	7.7	8.8	11.1	14.4	17.8	20	26.8	33	39.6	50.9
m	5	6	7.5	9.5	12	15	19	22	27	33
d_1	无圆柱轴肩					15.6	21.5	27.7	33.2	42.7
n	1.2	1.4	2	2.5	2.8	3.5	4.5	4.5	5.5	7
w	3.2	4	5	6.5	8	10	13	16	19	24
性能等级	6，8，10									
	A2 – 70								A2 – 50	
⇒	**槽形螺母 DIN 935 – M20 – 8**：d = M20，性能等级 8									

开口销

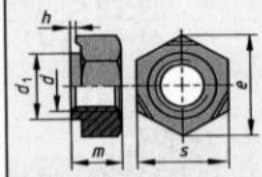
cf. DIN EN ISO 1234（1998 – 02）



d[1]	1	1.2	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8
b	3	3	3.2	4	5	6.4	8	10	12.6	16
c	1.6	2	2.8	3.6	4.6	5.8	7.4	9.2	11.8	15
a	1.6	2.5	2.5	2.5	2.5	3.2	4	4	4	4
l 从	6	8	8	10	12	14	18	22	28	36
到	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160
d_1[2] 大于	3.5	4.5	5.5	7	9	11	14	20	27	39
到	4.5	5.5	7	9	11	14	20	27	39	56
公称长度	6，8，10，12，14，16，18，20，22，25，28，32，36，40，45，50，56，63，71，80，90，100，112，125，140，160 mm									
说明	1）d 公称直径 = 开口销孔径 2）d_1 适用的螺栓直径									
⇒	**开口销 ISO 1234 – 2.5 × 32 – St**：d = 2.5 mm，l = 32 mm，材料钢									

六角焊接螺母

cf. DIN 929（2000 – 01）

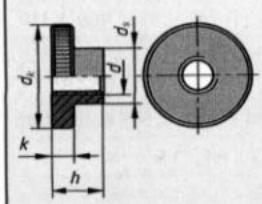


产品等级 A

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16
s	7.5	9	10	11	14	17	19	24
d_1	4.5	6	7	8	10.5	12.5	14.8	18.8
e	8.2	9.8	11	12	15.4	18.7	20.9	26.5
m	3	3.5	4	5	6.5	8	10	13
h	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8
材料	St 最大含碳量为 0.25% 的钢							
⇒	**焊接螺母 DIN 929 – M16 – St**：d = M16，材料钢							

滚花螺母

cf. DIN 466 和 467（1986 – 09）



d	M1.2	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
d_k	6	7.5	9	11	12	16	20	24	30	36
d_s	3	3.8	4.5	5	6	8	10	12	16	20
k	1.5	2	2	2.5	2.5	3.5	4	5	8	8
h[1]	4	5	5.3	6.5	7.5	9.5	11.5	15	18	23
h[2]	2	2.5	2.5	3	3	4	5	6	8	10
性能等级	5，A1 – 50									
说明	1）DIN 466 厚螺母高度 2）DIN 467 扁螺母高度									
⇒	**滚花螺母 DIN 467 – M6 – A1 – 50**：d = M6，性能等级 A1 – 50									

关注公众号：机械工程师成长营

平垫圈，概述

标记举例：

垫圈 ISO 7090 – 8 – 300 HV – A2[1)]

名称	标准	公称尺寸（螺纹公称直径 ϕ）	硬度等级	材料
垫圈	ISO 7090	8	300 HV	A2

1）不锈钢，钢组 A2

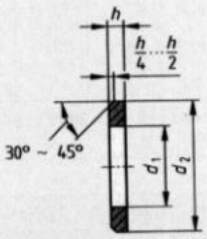
概述

图例	设计标准范围	M[1)]	标准	图例	设计标准范围	M[1)]	标准
	带倒角平垫圈，产品等级 A[2)] M5 ~ M64 下表	钢，不锈钢	DIN EN ISO 7090		垫圈，圆形，用于高强度螺栓 M12 ~ M30 第 235 页	钢	DIN 6916
	平垫圈小系列，产品等级 A[2)] M1.6 ~ M36 第 234 页	钢，不锈钢	DIN EN ISO 7092		垫圈，方形，用于槽钢和工字梁 M8 ~ M27 第 235 页	钢	DIN 434 DIN 435
	平垫圈标准系列，产品等级 C[2)] M1.6 ~ M64 第 234 页	钢	DIN EN ISO 7091		销轴用平垫圈，产品等级 A[2)] d = 3 ~ 100 mm 第 235 页	钢	DIN EN 28738
	钢结构垫圈系列，产品等级 A[2)]，C[2)] M10 ~ M30 第 234 页	钢	DIN 7989 – 1		用于螺纹连接的锥形弹性垫圈 d = 2 ~ 30 mm 第 235 页	弹簧钢	DIN 6796

1）材料是有相应硬度等级的钢（如：200HV，300HV）；其他材料依照协议
2）产品等级通过公差和制造加工来区别

带倒角平垫圈，标准系列

cf. DIN EN ISO 7090（2000 – 11）代换 DIN 125 – 1 + 2



用于螺纹	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
公称尺寸	5	6	8	10	12	16	20
d_1 最小[1)]	5.3	6.4	8.4	10.5	13.0	17.0	21.0
d_2 最大[1)]	10.0	12.0	16.0	20.0	24.0	30.0	37.0
h[1)]	1	1.6	1.6	2	2.5	3	3
用于螺纹	**M24**	**M30**	**M36**	**M42**	**M48**	**M56**	**M64**
公称尺寸	24	30	36	42	48	56	64
d_1 最小[1)]	25.0	31.0	37.0	45.0	52.0	62.0	70.0
d_2 最大[1)]	44.0	56.0	66.0	78.0	92.0	105.0	115.0
h[1)]	4	4	5	8	8	10	10

材料[2)]	钢		不锈钢
类型	—	—	A2，A4，F1，C1，C4（ISO 3506）[3)]
硬度等级	200 HV	300 HV（调质）	200 HV
⇒	垫圈 ISO 7090 – 20 – 200 HV：公称尺寸（= 螺纹公称直径 ϕ）= 20 mm，硬度等级 200 HV，钢		

硬度等级 200 HV 适于
- 性能等级 ≤ 8.8 或 ≤ 8（螺母）的六角头螺栓和螺母
- 不锈钢六角头螺栓和螺母

硬度等级 300 HV 适于
- 性能等级 ≤ 10.9 或 ≤ 10（螺母）的六角头螺栓和螺母

1）均为公称尺寸
2）有色金属和其他材料依照协议确定
3）对照第 211 页

关注公众号：机械工程师成长营

平垫圈，钢结构用垫圈

平垫圈，小系列

cf. DIN EN ISO 7092（2000－11）代换 DIN 433－1＋2



硬度等级 200 HV 适于
- 性能等级≤8.8 或不锈钢的有帽螺钉
- 性能等级≤8.8 或不锈钢的圆头内六角螺钉

硬度等级 300 HV 适于
- 性能等级≤10.9 的圆头内六角螺钉

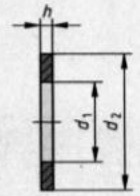
用于螺纹	M1.6	M2	M2.5	M3	M4	M5	M6	M8
公称尺寸	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8
d_1 最小[1]	1.7	2.2	2.7	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4
d_2 最大[1]	3.5	4.5	5	6	8	9	11	15
h_{max}	0.35	0.35	0.55	0.55	0.55	1.1	1.8	1.8
用于螺纹	**M10**	**M12**	**M14[2]**	**M16**	**M20**	**M24**	**M30**	**M36**
公称尺寸	10	12	14	16	20	24	30	36
d_1 最小[1]	10.5	13.0	15.0	17.0	21.0	25.0	31.0	37.0
d_2 最大[1]	18.0	20.0	24.0	28.0	34.0	39.0	50.0	60.0
h_{max}	1.8	2.2	2.7	2.7	3.3	4.3	4.3	5.6

材料[3]	钢		不锈钢
类型	—	—	A2，A4，F1，C1，C4（ISO 3506）[4]
硬度等级	200 HV	300 HV（调质）	200 HV
⇒	**垫圈 ISO 7092－8－200 HV－A2**：公称尺寸（＝螺纹公称直径 ϕ）＝8 mm，小系列，硬度等级 200 HV，不锈钢 A2		

1）均为公称尺寸
2）如果可能，避免这些尺寸
3）有色金属和其他材料依照协议确定
4）对照第 211 页

平垫圈，标准系列

cf. DIN EN ISO 7091（2000－11）代换 DIN 126



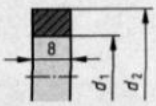
硬度等级 100 HV 适于
- 性能等级≤6.8，产品等级为 C 的六角头螺栓/螺钉
- 性能等级≤6，产品等级为 C 的六角螺母

用于螺纹	M2	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12
公称尺寸	2	3	4	5	6	8	10	12
d_1 最小[1]	2.4	3.4	4.5	5.5	6.6	9.0	11.0	13.5
d_2 最大[1]	5.0	7.0	9.0	10.0	12.0	16.0	20.0	24.0
h[1]	0.3	0.5	0.8	1.0	1.6	1.6	2	2.5
用于螺纹	**M16**	**M20**	**M24**	**M30**	**M36**	**M42**	**M48**	**M64**
公称尺寸	16	20	24	30	36	42	48	64
d_1 最小[1]	17.5	22.0	26.0	33.0	39.0	45.0	52.0	70.0
d_2 最大[1]	30.0	37.0	44.0	56.0	66.0	78.0	92.0	115.0
h[1]	3	3	4	4	5	8	8	10
⇒	**垫圈 ISO 7091－12－100 HV**：公称尺寸（＝螺纹公称直径 ϕ）d＝12 mm，硬度等级 100 HV							

1）均为公称尺寸

钢结构用垫圈

cf. DIN 7989－1 和 DIN 7989－2（2000－04）



适于 DIN 7968，DIN7 969，DIN 7990 的螺栓与 ISO 4032，ISO 4034 的螺母的连接

用于螺纹[1]	M10	M12	M16	M20	M24	M27	M30
d_1 最小	11.0	13.5	17.5	22.0	26.0	30.0	33.0
d_2 最大	20.0	24.0	30.0	37.0	44.0	50.0	56.0
⇒	**垫圈 DIN 7989－16－C－100 HV**：螺纹公称直径 ϕ，d＝16 mm，产品等级 C，硬度等级 100						

型号：产品等级 C（冲压型）厚 h＝（8±1.2）mm
　　产品等级 A（车削型）厚 h＝（8±1）mm

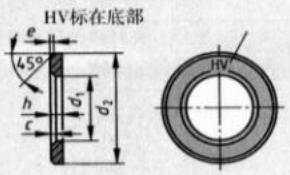
1）公称尺寸

关注公众号：机械工程师成长营

高强度螺栓、槽钢和工字钢、U形夹销用垫圈，锥形弹性垫圈

钢结构高强度螺栓用垫圈

cf. DIN 6916（1989－10）

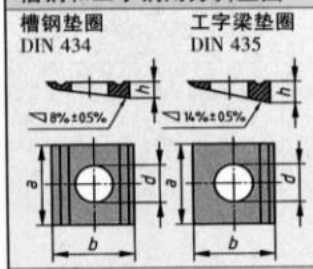


螺纹	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
d_1 最小[1]	13	17	21	23	25	28	31
d_2 最大[1]	24	30	37	39	44	50	56
h	3	4	4	4	4	5	5
⇒	垫圈 DIN 6916－7：公称尺寸 d_1 = 17 mm						

材料：钢，调质 295 HV 10 到 350 HV 10（如：C45）
1）公称直径

槽钢和工字钢用方斜垫圈

cf. DIN 434（2000－04），DIN 435（2000－01）

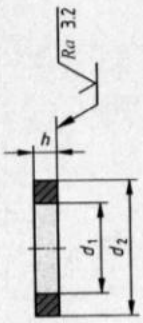


螺纹	M8	M10	M12	M16	M20	M22	M24
d_1 最小[1]	9	11	13.5	17.5	22	24	26
a	22	22	26	32	40	44	56
b	22	22	30	36	44	50	56
h DIN 434	3.8	3.8	4.9	5.8	7	8	8.5
h DIN 435	4.6	4.6	6.2	7.5	9.2	10	10.8
⇒	I型垫圈 DIN 435－13.5：公称尺寸 d_1 = 13.5 mm						

材料：钢，硬度 100 HV10 到 250 HV 10
1）公称直径

U形夹销用垫圈，产品等级 A[1]

cf. DIN EN 28738（1992－10）

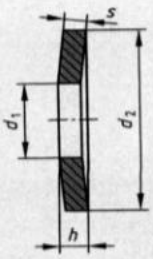


d_1 最小[2]	3	4	5	6	8	10	12
d_2 最大	6	8	10	12	15	18	20
h	0.8		1	1.6	2	2.5	3
d_1 最小[2]	14	16	18	20	22	24	27
d_2 最大	22	24	28	30	34	37	39
h	3		4				5
d_1 最小[2]	30	36	40	50	60	80	100
d_2 最大	44	50	56	66	78	98	120
h	5	6		8	10	12	
⇒	垫圈 ISO 8738－14－160 HV：d_1 最小 = 14 mm，硬度等级 160 HV						

材料：钢，硬度 160 到 250 HV
应用：用于U形夹销，根据 ISO 2340 和 ISO2341（第 238 页），只用于开口销端部
1）产品等级通过公差和制造加工来区别
2）公称尺寸

用于螺纹连接的锥形弹性垫圈

cf. DIN 6796（1987－10）



螺纹	M2	M3	M4	M5	M6	M8	M10
d_1 H14	2.2	3.2	4.3	5.3	6.4	8.4	10.5
d_2 h14	5	7	9	11	14	18	23
h 最大	0.6	0.85	1.3	1.55	2	2.6	3.2
s	0.4	0.6	1	1.2	1.5	2	2.5
螺纹	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
d_1 H14	13	17	21	23	25	28	31
d_2 h14	29	39	45	49	56	60	70
h 最大	3.95	5.25	6.4	7.05	7.75	8.35	9.2
s	3	4	5	5.5	6	6.5	7
⇒	锥形弹性垫圈 DIN 6796－10－FSt：用于螺纹 M10，弹簧钢						

材料：弹簧钢（FSt），根据 DIN 267－26
应用：锥形弹性垫圈应能阻碍螺纹连接的松散。它不适用于横向交替载荷。因此其应用主要限于轴向载荷，性能等级为 8.8 到 10.9 的短螺栓/螺钉

关注公众号：机械工程师成长营

概　述

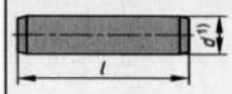
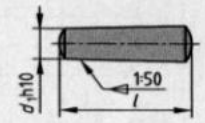
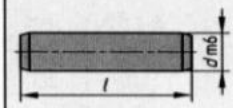
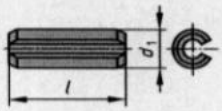
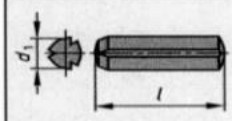
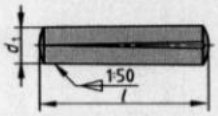
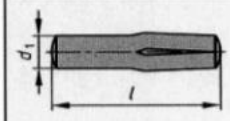
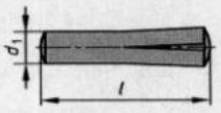
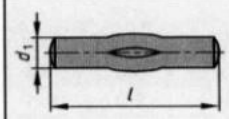
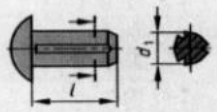
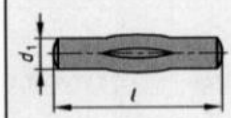
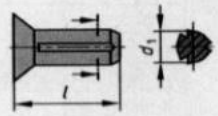
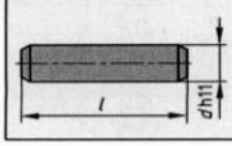
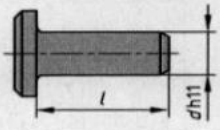
标记举例：

圆锥销 ISO 2339 – A – 10x40 – St

名称	标准	形式或类型[1]	公称 ϕ × 公称长度	材料

例：St = 钢
不锈钢：
A1 = 奥氏体
C1 = 马氏体

带 DIN – EN 主要数字的销用 ISO 数字标记
ISO 数字 = DIN – EN 数字 – 20000；例：DIN EN22338 = ISO 2338
1）若有效

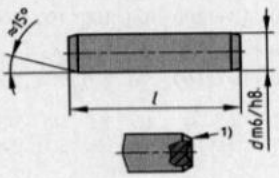
图例	标记，标准范围	标准	图例	标记，标准范围	标准
销					
 1）公差 m6 或 h8	圆柱销，未淬火 d = 1 ~ 50 mm	DIN EN ISO 2338		圆锥销 d_1 = 0.6 ~ 50 mm	DIN EN 22339
	圆柱销，淬火 d = 0.8 ~ 20 mm	DIN EN ISO 8734		弹性圆柱销（夹紧套）开槽 d_1 = 1 ~ 50 mm	DIN EN ISO 8752 DIN EN ISO 13337
槽销，安全销					
	带倒角的直槽销 d_1 = 1.5 ~ 25 mm	DIN EN ISO 8740		锥形槽销 d_1 = 1.5 ~ 25 mm	DIN EN ISO 8744
	半长倒锥槽销 d_1 = 1.5 ~ 25 mm	DIN EN ISO 8741		半长锥槽销 d_1 = 1.2 ~ 25 mm	DIN EN ISO 8745
	中部三分之一长槽销 d_1 = 1.2 ~ 25 mm	DIN EN ISO 8742		圆头槽销 d_1 = 1.4 ~ 20 mm	DIN EN ISO 8746
	中部长槽销 d_1 = 1.2 ~ 25 mm	DIN EN ISO 8743		沉头槽销 d_1 = 1.4 ~ 20 mm	DIN EN ISO 8747
U 形夹销					
	无头 U 形夹销 A 型无开口销孔 B 型带 d = 3 ~ 100 mm	DIN EN 22340		有头 U 形夹销 A 型无开口销孔 B 型带 d = 3 ~ 100 mm	DIN EN 22341

关注公众号：机械工程师成长营

圆柱销，圆锥销和弹性圆柱销

未淬火钢和奥氏体不锈钢制的圆柱销

cf. DIN EN ISO 2338（1998－02）



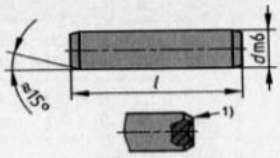
1）半径，销的端部允许空心

d m6/h8[2]	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4	5
l 从	2	2	4	4	4	6	6	8	8	10
到	6	8	10	12	16	20	24	30	40	50
d m6/h8[2]	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50
l 从	12	14	18	22	26	35	50	60	80	95
到	60	80	95	140	180	200	200	200	200	200
公称长度 l	2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40～95,100,120,140,160,180,200 mm									
⇒	**圆柱销 ISO 2338－6 m6×30－St**：d=6 mm，公差等级 m6，l=30 mm，钢制									

2）在公差等级 m6 和 h8 间有效

圆柱销，淬火

cf. DIN EN ISO 8734（1998－03）

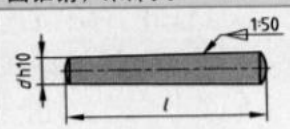


1）半径，销的端部允许空心

d m6	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20
l 从	3	4	5	6	8	10	12	14	18	22	26	40	50
到	10	16	20	24	30	40	50	60	80	100			
公称长度 l	3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100 mm												
材料	·钢：A 型销完全淬火，B 型表面淬火 ·不锈钢 C1 型												
⇒	**圆柱销 ISO 8734－6×30－C1**：d=6 mm，l=30 mm，C1 型不锈钢制												

圆锥销，未淬火

cf. DIN EN 22339（1992－10）

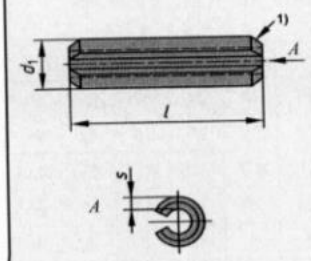


A 型磨削，Ra=0.8 μm
B 型车削，Ra=3.2 μm

d h10	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30
l 从	6	10	12	14	18	22	22	26	32	40	45	50	55
到	10	35	45	55	60	90	120	160	180	200			
公称长度 l	2,3,4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40,45～95,100,120～180,200 mm												
⇒	**圆锥销 ISO 2339－A－10×40－St**：A 型，d=10 mm，l=40 mm，钢制												

弹性圆柱销（夹紧套），开槽，重载荷
弹性圆柱销（夹紧套），开槽，轻载荷

cf. DIN EN ISO 8752（1998－03）
cf. DIN EN ISO 13337（1998－02）



1）对于公称直径 $d_1 \geq 10$ mm 的弹性圆柱销只允许一个倒角

公称 ϕ d_1	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12
d_1 最大	2.4	2.9	3.5	4.6	5.6	6.7	8.8	10.8	12.8
s ISO 8752	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5
s ISO 13337	0.2	0.25	0.3	0.5	0.5	0.75	0.75	1	1
l 从	4	4	4	4	5	10	10	10	10
到	20	30	40	50	80	100	120	160	180

公称 ϕ d_1	14	16	20	25	30	35	40	45	50
d_1 最大	14.8	16.8	20.9	25.9	30.9	35.9	40.9	45.9	50.9
s ISO 8752	3	3	4	5	6	7	7.5	8.5	9.5
s ISO 13337	1.5	1.5	2	2	2.5	3.5	4	4	5
l 从	10			14		20			
到	200			200		200			
公称长度 l	4,5,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,35,40,45～90,100,120,140,160,180,200 mm								
材料	·钢：调质 420 HV 30～520 HV 30 ·不锈钢：A 型或 C 型								
应用	定位孔的直径（公差等级 H12）应与配合销的公称直径相等。把销装入最小接收孔后，槽不应完全封闭								
⇒	**弹性圆柱销 ISO 8752－6×30－St**：d_1=6 mm，l=30 mm，钢制								

关注公众号：机械工程师成长营

槽销，安全销，U 形夹销

槽销，安全销

cf. DIN EN ISO 8740 – 8747 (1998 – 03)

	d_1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
带倒角全长直槽销 ISO 8740	l 从	8	8	10	10	10	14	14	14	14	18	22	26	26
	到	20	30	30	40	60	60	80	100	100	100	100	100	100
半长倒锥槽销 ISO 8741	l 从	8	8	8	8	10	10	12	14	18	26	26	26	26
	到	20	30	30	40	60	60	80	100	160	200	200	200	200
中部 1/3 ~ 1/2 长槽销 ISO 8742 + 8743	l 从	8	12	12	12	18	18	22	26	32	40	45	45	45
	到	20	30	30	40	60	60	80	100	160	200	200	200	200
锥形槽销 ISO 8744	l 从	8	8	8	8	8	8	10	12	14	14	24	26	26
	到	20	30	30	40	60	60	80	100	120	120	120	120	120
全长锥槽销 ISO 8745	l 从	8	8	8	8	10	10	10	14	14	18	26	26	26
	到	20	30	30	40	60	60	80	100	200	200	200	200	200

	d_1	1.4	1.6	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20
圆头槽销 ISO 8746	l 从	3	3	3	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
	到	6	8	10	12	16	20	25	30	40	40	40	40	40
沉头槽销 ISO 8747	l 从	3	3	4	4	5	6	8	8	10	12	16	20	25
	到	6	8	10	12	16	20	25	30	40	40	40	40	40

公称长度 l：销：8，10 ~ 30，32，35，40 ~ 100，120，140 ~ 180，200 mm
螺柱：3，4，5，6，8，10，12，16，20，25，30，35，40 mm

⇒ **槽销 ISO 8740 – 6 × 50 – St**：d_1 = 6 mm，l = 50 mm，钢制

有头和无头 U 形夹销

cf. DIN EN 22340，22341 (1992 – 10)

无头 U 形夹销 ISO 2340

有头 U 形夹销 ISO 2341

无开口销孔 A 型
有开口销孔 B 型

d h11	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
d_1 H13	0.8	1	1.2	1.6	2	3.2	3.2	4	4	5	5	5	6.3
d_k h14	5	6	8	10	14	18	20	22	25	28	30	33	36
k js14	1	1	1.6	2	3	4	4	4	4.5	5	5	5.5	6
l_e	1.6	2.2	2.9	3.2	3.5	4.5	5.5	6	6	7	8	9	9
l 从	6	8	10	12	16	20	24	28	30	35	40	45	50
到	30	40	50	60	80	100	120	140	160	180	200	200	200

公称长度 l：6，8，10 ~ 30，32，35，40 ~ 95，100，120，140 ~ 180，200 mm

⇒ **U 形夹销 ISO 2340 – B – 20 × 100 – St**：B 型，d = 20 mm，l = 100 mm，易切削钢制

有头和螺纹端的 U 形夹销

cf. DIN 1445 (1977 – 02)

1）夹紧长度

d_1 h11	8	10	12	14	16	18	20	24	30	40	50
b 最小	11	14	17	20	20	20	25	29	36	42	49
d_2	M6	M8	M10	M12	M12	M12	M16	M20	M24	M30	M36
d_3 h14	14	18	20	22	25	28	30	36	44	55	66
k js14	3	4	4	4	4.5	5	5	6	8	8	9
s	11	13	17	19	22	24	27	32	36	50	60

公称长度 l_2：16，20，25，30，35 ~ 125，130，140，150 ~ 190，200 mm

⇒ **U 形夹销 DIN 1445 – 12h11 × 30 × 50 – St**：d_1 = 12 mm，公差等级 h11，l_1 = 30 mm，l_2 = 50 mm，9SMnPb28 (St) 制

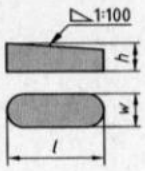
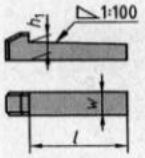
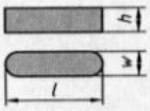
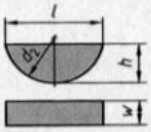
关注公众号：机械工程师成长营

键，钩头键

标记举例：

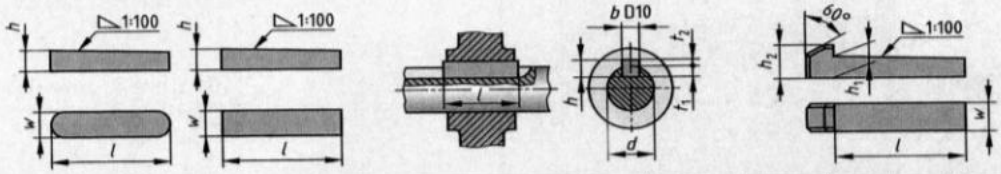
普通平键 DIN 6885 – A – 12x8x56 – E295

名称	标准	型式或类型	宽 × 高 × 长	材料，如：钢

图例	标记，标准范围	标准	图例	标记，标准范围	标准
楔键概述					下表
	普通楔键 $w \times h =$ 2 × 2 ~ 100 × 50	DIN 6886 A 型 嵌入键 B 型： 驱动键		钩头楔键 $w \times h =$ 4 × 4 ~ 100 × 50	DIN 6887
平键概述					240 页
A 型 	普通平键 $w \times h =$ 2 × 2 ~ 100 × 50	DIN 6885 A – J 型		半圆键 $w \times h =$ 2.5 × 3.7 ~ 10 × 16	DIN 6888

普通楔键，钩头楔键 cf. DIN 6886（1967 – 12）或 DIN 6887（1968 – 04）

A 型（嵌入键） B 型（驱动键） 钩头楔键



轴直径 d	大于	10	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95
	到	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95	110
普通楔键	w D10	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28
	h	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	14	16
钩头楔键	h_1	4.1	5.1	6.1	7.2	8.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	14.2	14.2	16.2
	h_2	7	8	10	11	12	12	14	16	18	20	22	22	25
轴上键槽深度	t_1	2.5	3	3.5	4	5	5	5.5	6	7	7.5	9	9	10
毂上键槽深度	t_2	1.2	1.7	2.2	2.4	2.4	2.4	2.9	3.4	3.4	3.9	4.4	4.4	5.4
允许偏差	t_1，t_2	+0.1			+0.2									
键长 l	从	10[1]	12[1]	16	20	25	32	40	45	50	56	63	70	80
	到	45	56	70	90	110	140	160	180	200	220	250	280	320
公称长度 l		6，8 ~ 20，22，25，28，32，40，45，50，56，63，70，80 ~ 100，110，125，140，160 ~ 200，220，250，280，320，360，400 mm												
长度公差 l		键长 l，从 ~ 到			6 ~ 28			32 ~ 80			90 ~ 400			
公差用于		键长			−0.2			−0.3			−0.5			
		键槽长（嵌入键）			+0.2			+0.3			+0.5			

1）钩头键长从 14 mm 起

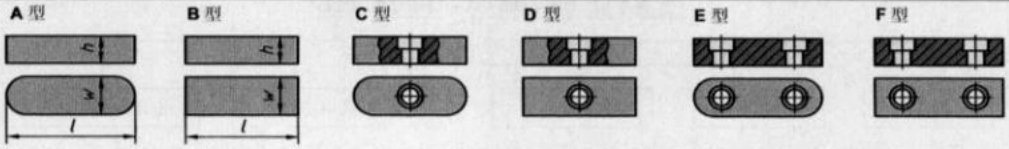
关注公众号：机械工程师成长营

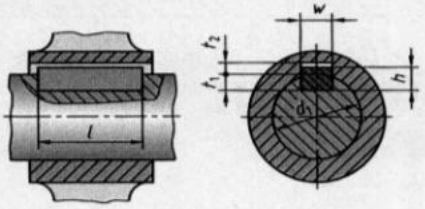
普通平键，半圆键

普通平键（高型）

cf. DIN 6885－1（1968－08）

A 型　B 型　C 型　D 型　E 型　F 型



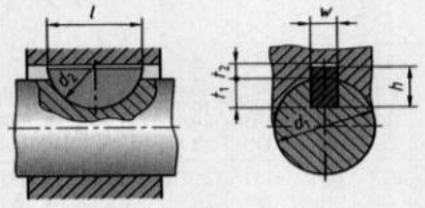


平键的公差			
轴上键槽宽度 w	过盈配合 标准配合		P 9 N 9
毂上键槽宽度 w	过盈配合 标准配合		P 9 JS 9
d_1 的允许偏差	≤22	≤130	>130
轴上键槽深度 t_1 毂上键槽深度 t_2	+0.1 +0.1	+0.2 +0.2	+0.3 +0.3
长度 l 的允许偏差	6～28	32～80	90～400
长度公差 用于 键	−0.2	−0.3	−0.5
长度公差 用于 键槽	+0.2	+0.3	+0.5

d_1 大于 到	6 8	8 10	10 12	12 17	17 22	22 30	30 38	38 44	44 50	50 58	58 65	65 75	75 85	85 95	95 110	110 130
w	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32
h	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	14	16	18
t_1	1.2	1.8	2.5	3	3.5	4	5	5	5.5	6	7	7.5	9	9	10	11
t_2	1	1.4	1.8	2.3	2.8	3.3	3.3	3.3	3.8	4.3	4.4	4.9	5.4	5.4	6.4	7.4
l 从 到	6 20	6 36	8 45	10 56	14 70	18 90	20 110	28 140	36 160	45 180	50 200	56 220	63 250	70 280	80 320	90 360
公称长度 l	6,8,10,12,14,16,18,20,22,25,28,32,36,40,45,50,56,63,70,80,90,100,110,125,140,160,180,200,220,250,280,320 mm															
⇒	平键 **DIN 6885－A－12×8×56**：A 型，b=12 mm，h=8 mm，l=56 mm															

半圆键

cf. DIN 6888（1956－08）



半圆键的公差						
轴上键槽宽度 w	过盈配合 标准配合			P 9（P 8）[1] N 9（N 8）[1]		
毂上键槽宽度 w	过盈配合 标准配合			P 9（P 8）[1] J 9（J 8）[1]		
w 和 h 的允许偏差	≤5 ≤7.5	5 >7.5	6 ≤9	6 >9	8 —	10 —
轴上键槽深度 t_1 毂上键槽深度 t_2	+0.1 +0.1	+0.2 +0.1	+0.1 +0.1	+0.2 +0.1	+0.2 +0.1	+0.2 +0.2

d_1 大于 到	8 10				10 12			12 17			17 22			22 30			30 38		
w h9	2.5	3			4			5			6			8			10		
h h12	3.7	3.7	5	6.5	5	6.5	7.5	6.5	7.5	9	7.5	9	11	9	11	13	11	13	16
d_2	10	10	13	16	13	16	19	16	19	22	19	22	28	22	28	32	28	32	45
t_1	2.9	2.5	3.8	5.3	3.5	5	6	4.5	5.5	7	5.1	6.6	8.6	6.2	8.2	10.2	7.8	9.8	12.8
t_2	1	1.4			1.7			2.2			2.6			3			3.4		
l≈	9.7	9.7	12.7	15.7	12.7	15.7	18.6	15.7	18.6	21.6	18.6	21.6	27.4	21.6	27.4	31.4	27.4	31.4	43.1
⇒	半圆键 **DIN 6888－6×9**：w=6 mm，h=9 mm																		

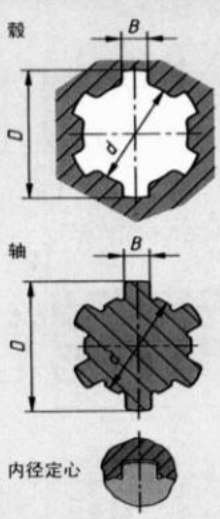
1）拉削键槽的公差等级

关注公众号：机械工程师成长营

花键轴连接和铆钉

内径定心的直边花键轴连接

cf. DIN ISO 14（1986－12）



d	轻系列			中等系列			d	轻系列			中等系列		
	$N^{1)}$	D	B	$N^{1)}$	D	B		$N^{1)}$	D	B	$N^{1)}$	D	B
11	—	—	—	6	14	3	42	8	46	8	8	48	8
13	—	—	—	6	16	3.5	46	8	50	9	8	54	9
16	—	—	—	6	20	4	52	8	58	10	8	60	10
18	—	—	—	6	22	5	56	8	62	10	8	65	10
21	—	—	—	6	25	5	62	8	68	12	8	72	12
23	6	26	6	6	28	6	72	10	78	12	10	82	12
26	6	30	6	6	32	6	82	10	88	12	10	92	12
28	6	32	7	6	34	7	92	10	98	14	10	102	14
32	8	36	6	8	38	6	102	10	108	16	10	112	16
36	8	40	7	8	42	7	112	10	120	18	10	125	18

毂的公差等级

未热处理尺寸			热处理尺寸		
B	D	d	B	D	d
H9	H10	H7	H11	H10	H7

轴的公差等级

尺寸	配合种类		
	滑动配合	过渡配合	压装配合
B	d10	f9	h10
D	a11	a11	a11
d	f7	g7	h7

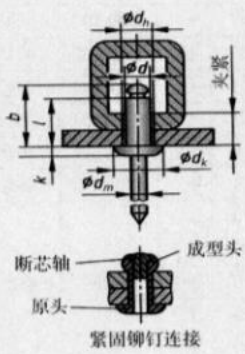
⇒ **轴（或毂）DIN ISO 14－6×23×26**；$N=6$，$d=23$ mm，$D=26$ mm

1）花键数

开口型平头抽芯铆钉
开口型沉头抽芯铆钉

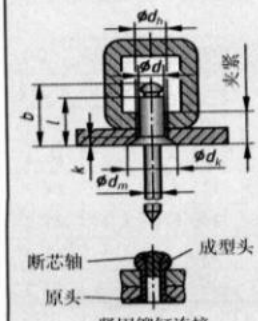
cf. DIN EN ISO 15977（2003－04）
cf. DIN EN ISO 15978（2003－08）

平头铆钉



紧固铆钉连接

沉头铆钉



紧固铆钉连接

铆钉 ϕd（公称尺寸）	3	4	5	$6^{1)}$
头部 ϕd_k 最大	6.3	8.4	10.5	12.6
头部高度 k	1.3	1.7	2.1	2.5
铆钉芯轴 ϕd_m 最大	2	2.45	2.95	3.4
铆钉孔 ϕd_{h1} 最小 最大	3.1 3.2	4.1 4.2	5.1 5.2	6.1 6.2
配合长度 b	$l_{max}+3.5$	$l_{max}+4$	$l_{max}+4.5$	$l_{max}+5$

轴长 l		推荐夹紧范围			
最小	最大				
4	5	0.5～1.5$^{1)}$	—	—	—
6	7	2.0～3.5 1.5～3.5$^{1)}$	1～3$^{1)}$	1.5～2.5$^{1)}$	—
8	9	3.5～5.0	2～5 3～5$^{1)}$	2.5～4.0	2～3
10	11	5～7	5.0～6.5	4～6	3～5
12	13	7～9	6.5～8.5	6～8	5～7
16	17	9～13	8.5～12.5	8～12	7～11
20	21	13～17	12.5～16.5	12～15	11～15
25	26	17～22	16.5～21.0	15～20	15～20
30	31	—	—	20～25	20～25

性能等级	L（低）和 H（高）通过铆钉的最小剪切力和最小拉伸力来区别
材料$^{2)}$	铝合金（AlA）铆钉体 钢铆钉芯轴
⇒	**铆钉 ISO 15977－4×12－AlA/St－L**：平头铆钉；$d=4$ mm，$l=12$ mm，铝合金铆钉体，钢铆钉芯轴，性能等级 L（低）

1）仅用于平头铆钉 ISO 15977
2）用于铆钉体/芯轴的其他标准化的材料组合包括：St/St，AlA/AlA，A2/A2，Cu/St，NiCu/St 等

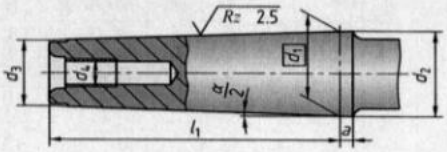
关注公众号：机械工程师成长营

公制锥度，莫氏锥度，大锥柄

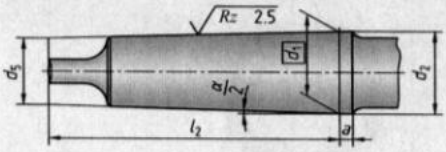
莫氏锥度和公制锥度

cf. DIN 228－1（1987－05）

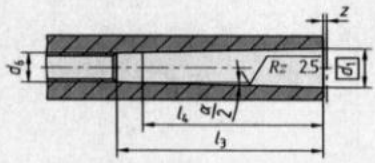
A 型：带拉紧螺纹的锥柄



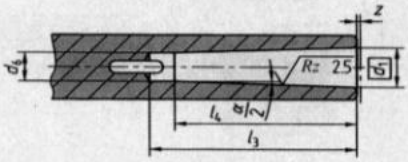
B 型：带柄脚的锥柄



C 型：带内拉螺纹的锥柄用锥套



D 型：带柄脚的锥柄用锥套



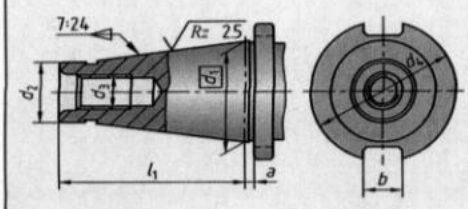
AK，BK，CK 和 DK 型，每一种都有加冷却润滑剂的供给口

锥度的类型	尺寸	锥柄								锥柄				锥度	
		d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	l_1	a	l_2	d_6 H11	l_3	l_4	$z^{1)}$	锥度比	$\frac{\alpha}{2}$
公制锥度（ME）	4	4	4.1	2.9	—	—	23	2	—	3	25	20	0.5	1:20	1.432°
	6	6	6.2	4.4	—	—	32	3	—	4.6	34	28	0.5		
莫氏锥度（MT）	0	9.045	9.2	6.4	—	6.1	50	3	56.5	6.7	52	45	1	1:19.212	1.491°
	1	12.065	12.2	9.4	M6	9	53.5	3.5	62	9.7	56	47	1	1:20.047	1.429°
	2	17.780	18.0	14.6	M10	14	64	5	75	14.9	67	58	1	1:20.020	1.431°
	3	23.825	24.1	19.8	M12	19.1	81	5	94	20.2	84	72	1	1:19.922	1.438°
	4	31.267	31.6	25.9	M16	25.2	102.5	6.5	117.5	26.5	107	92	1	1:19.254	1.488°
	5	44.399	44.7	37.6	M20	36.5	129.5	6.5	149.5	38.2	135	118	1	1:19.002	1.507°
	6	63.348	63.8	53.9	M24	52.4	182	8	210	54.8	188	164	1	1:19.180	1.493°
公制锥度（MT）	80	80	80.4	70.2	M30	69	196	8	220	71.5	202	170	1.5	1:20	1.432°
	100	100	100.5	88.4	M36	87	232	10	260	90	240	200	1.5		
	120	120	120.6	106.6	M36	105	268	12	300	108.5	276	230	1.5		
	160	160	160.8	143	M48	141	340	16	380	145.5	350	290	2		
	200	200	201.0	179.4	M48	177	412	20	460	182.5	424	350	2		
⇒	**锥柄 DIN 228－ME－B 80 AT6**：公制锥柄，B 型。尺寸 80，锥形角公差性质 AT6														

1）控制尺寸 d_1 可位于锥形套之前的最大距离 z

用于工具和卡盘的大锥柄 A 型

cf. DIN 2080－1（1978－12）

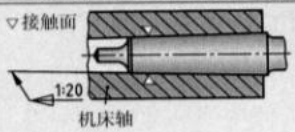
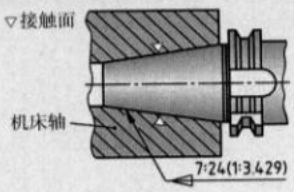
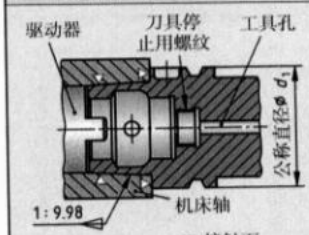
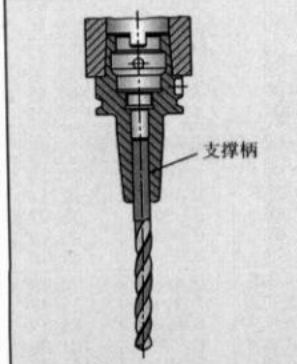


No.	d_1	d_2 a10	d_3	d_4 −0.4	l_1	a ±0.2	b H12
30	31.75	17.4	M12	50	68.4	1.6	16.1
40	44.45	25.3	M16	63	93.4	1.6	16.1
50	69.85	39.6	M24	97.5	126.8	3.2	25.7
60	107.95	60.2	M30	156	206.8	3.2	25.7
70	165.1	92	M36	230	296	4	32.4
80	254	140	M48	350	469	6	40.5
⇒	**大锥柄 DIN 2080－A 40 AT4**：A 型，No. 40，锥形角公差性质 AT4						

关注公众号：机械工程师成长营

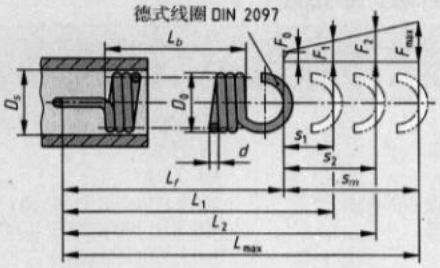
刀具支承夹具

刀具支承夹具连接刀具和机床轴。它们传递扭矩，并保证精确的同心运转

设计类型	功能，优势（+）和劣势（-）	应用，尺寸
公制锥体（ME）和莫氏锥体（MT） cf. DIN 228－1 和－2（1987－05）		
 公制锥度 1:20 莫氏锥度 1:19.002 到 1:20.047	扭矩传递： · 圆锥表面上的力配合 + 卡套与不同直径的锥体的配合 - 不适于自动更换刀具	常规钻削和铣削用夹紧装置 锥柄号码： · ME 4；6 · MT 0；1；2；3；4；5；6 · ME 80；100；120；（140）；160；（180）；200
大锥柄（SK） cf. DIN 2080－1（1978－12）和－2（1979－09）和 DIN 69871－1（1995－10）		
 机床轴中的紧固： A 型：带内拉杆 B 型：通过前面的紧固件 锥度 7:24(1:3.429)根据 DIN 254	扭矩传递： · 锥体边的槽能产生自锁。大锥不是用来传递力，只是对中工件。轴向锁紧通过螺纹或环形槽来实现 + DIN 69871－1 适于自动更换刀具 - 大重量，因此不太适于有高轴向反复夹紧精度的快速刀具变换和高转速的情形	用于电脑数控机床，特别是机器对中；不太适于高速切削（HSC）情形 大锥号码： · DIN 2080－1（A 型）：30；40；45；50；55；60；65；70；75；80 · DIN 69871－1：30；40；45；50；60
空心锥柄（标记 HSK） cf. DIN 69893－1 和－2（2003－05）		
	扭矩传递： · 利用锥面和接触表面的力配合 · 轴端的驱动槽能产生自锁 + 小重量，因此有如下特性 + 高静态和动态刚度 + 高反复夹紧精度（3 μm） + 高旋转速度 - 价格比大锥高	高速切削时使用更安全 公称尺寸：d_1 = 32；40；50；63；80；100；125；160 mm **A 型**：带轴肩和夹紧键槽，用于自动刀具变换 **C 型**：只允许手动变换
钻夹头		
 与 HSK 或大锥一起有效	如 HSK 一样传递扭矩 通过支撑柄在收缩卡盘中的快速感应加热（大约 340℃）来夹紧工件。收缩缝是连接和冷却后，由工具的加大尺寸形成的（3～7 μm） + 高力矩的传递 + 高径向刚度 + 可能达到的较高切削值 + 较短切削时间 + 安全的径向跳动 + 运转更平稳 + 较好的表面质量 + 可靠的工具变换 - 价格相对较高 - 需要附加感应和冷却设备	通常用于带大锥或空心柄工具支撑的机床中；适于带 HSS 或碳化物的柱柄的工具 柄直径：6；8；10；12；14；16；18；20；25 mm

关注公众号：机械工程师成长营

圆柱螺旋拉伸弹簧



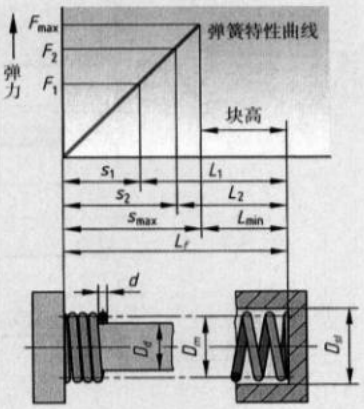
d　簧丝直径（mm）
D_0　外径
D_s　最小套筒直径（mm）
L_f　弹簧在未受载状态下的自由长度（mm）
L_b　未受载时弹簧体的长度（mm）
L_{max}　最大弹簧长度
F_0　内部预加应力（N）
F_{max}　最大允许弹力（N）
R　弹簧刚度（N/mm）
s_m　F_{max}的最大允许弹性位移（mm）

d	D_0	D_s	L_f	L_b	F_0	F_{max}	R	s_m
铅淬火冷拉制非合金钢丝拉伸弹簧						cf. DIN EN 10270－1（2001－12）		
0.20	3.00	3.50	8.6	4.35	0.06	1.26	0.036	33.37
0.25	5.00	5.70	10.0	2.63	0.03	1.46	0.039	36.51
0.32	5.50	6.30	10.0	2.08	0.08	2.71	0.140	18.85
0.36	6.00	6.90	11.0	2.34	0.16	3.50	0.173	19.23
0.40	7.00	8.00	12.7	2.60	0.16	4.06	0.165	23.67
0.45	7.50	8.60	13.7	3.04	0.25	5.31	0.207	24.41
0.50	10.00	11.10	20.0	5.25	0.02	5.40	0.078	68.79
0.55	6.00	7.10	13.9	5.78	0.88	11.66	0.606	17.78
0.63	8.60	9.90	19.9	7.88	0.79	12.13	0.276	41.15
0.70	10.00	11.40	23.6	9.63	0.83	14.13	0.239	55.78
0.80	10.80	12.30	25.1	10.20	1.22	19.10	0.355	50.36
0.90	10.00	11.70	23.0	9.45	1.99	28.59	0.934	28.49
1.00	13.50	15.40	31.4	12.50	1.77	28.63	0.454	59.22
1.10	12.00	14.00	27.8	11.83	2.99	41.95	1.181	32.98
1.25	17.20	19.50	39.8	15.63	2.77	42.35	0.533	74.25
1.30	11.30	13.50	134.0	118.95	5.771	70.59	0.322	201.60
1.40	15.00	17.50	34.9	15.05	5.44	66.08	1.596	38.00
1.50	20.00	22.70	48.9	21.75	3.99	60.54	0.603	93.72
1.60	21.60	24.50	50.2	20.00	3.99	67.40	0.726	87.38
1.80	20.00	23.20	46.0	19.35	6.88	100.90	1.819	51.70
2.00	27.00	30.50	62.8	25.00	6.88	101.20	0.907	104.00
2.20	24.00	27.80	55.6	23.10	9.81	148.00	2.425	57.02
2.50	34.50	38.90	79.7	31.25	9.88	148.50	1.056	131.33
2.80	30.00	34.70	69.8	29.40	17.77	233.40	3.257	65.85
3.00	40.00	45.10	140.0	86.25	11.50	214.20	0.587	345.31
3.20	43.20	46.60	100.0	40.00	11.88	238.40	1.451	156.13
3.60	40.00	46.00	92.1	37.80	19.60	357.10	3.735	90.38
4.00	44.00	50.60	117.0	58.00	24.50	436.30	3.019	136.43
4.50	50.00	57.60	194.0	128.25	28.00	532.30	1.613	312.74
5.00	50.00	58.30	207.0	142.50	47.00	707.90	2.541	260.12
5.50	60.00	69.30	236.0	156.75	38.00	774.50	2.094	351.72
6.30	70.00	80.00	272.0	179.55	45.00	968.50	2.258	429.00
7.00	80.00	92.00	306.0	199.50	70.00	1132.00	2.286	464.83
8.00	80.00	94.00	330.0	228.00	120.00	1627.00	4.065	370.91
采用不锈钢弹簧钢丝的拉伸弹簧[1]						cf. DIN EN 10270－3（2001－08）		
0.20	3.00	3.50	8.60	4.35	0.05	0.99	0.031	30.54
0.40	7.00	8.00	12.70	2.60	0.121	3.251	0.142	22.11
0.63	8.60	9.90	19.90	7.88	0.631	9.861	0.237	38.97
0.80	10.80	12.30	25.1	10.20	0.971	15.67	0.305	48.19
1.00	13.50	15.40	31.4	12.50	1.411	23.77	0.390	57.40
1.25	17.20	19.50	39.8	15.63	2.211	35.50	0.458	72.73
1.40	15.00	17.50	34.9	15.05	4.351	55.72	1.371	37.48
1.60	21.60	24.50	50.2	20.00	3.211	56.93	0.623	86.19
2.00	27.00	30.50	62.8	25.00	5.501	84.86	0.779	101.86
4.00	44.00	50.60	117.0	58.00	19.600	366.50	2.593	133.83

1）除了列出的弹簧，对于每一种簧丝直径，不同外径和长度的其他弹簧在市场上均可买到

关注公众号：机械工程师成长营

圆柱螺旋压缩弹簧 cf. DIN 2098－1（1968－10）和－2（1970－08）



d	簧丝直径（mm）
D_m	中径
D_d	内径
D_{sl}	套筒直径
L_f	自由长度，未受载弹簧
L_1，L_2	弹簧受载为 F_1，F_2 时的长度
L_{min}	弹簧的最小允许测试长度
F_1，F_2	L_1，L_2 时的弹力
F_{max}	s_{max} 时的最大允许弹力
s_1，s_2	F_1，F_2 时的弹性位移
s_{max}	F_{max} 的最大允许弹性位移
i_a	有效圈数
i_t	总圈数（端部磨平）
R	弹簧刚度（N/mm）

总圈数

$i_t = i_a + 2$

⇒ **压缩弹簧 DIN 2098－2×20×94：**
$d = 2$ mm，$D_m = 20$ mm 和 $L_f = 94$ mm

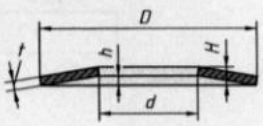
d	D_m	D_d 最大	D_{sl} 最小	F_{max} (N)	$i_a = 3.5$			$i_a = 5.5$			$i_a = 8.5$			$i_a = 12.5$		
					L_f	s_{max}	R	L_f	s_{max}	R	L_f	s_{max}	R	L_f	s_{max}	R
0.2	2.5	2.0	3.1	1.00	5.4	3.8	0.26	8.2	6.0	0.17	12.4	9.3	0.11	17.9	13.7	0.07
	2	1.5	2.6	1.24	4.0	2.4	0.51	5.9	3.8	0.33	8.7	5.9	0.21	12.6	8.6	0.15
	1.6	1.1	2.1	1.50	3.0	1.5	1.0	4.4	2.4	0.65	6.4	3.6	0.42	9.2	5.4	0.28
0.5	6.3	5.3	7.5	6.6	13.5	9.2	0.73	20.0	14.0	0.46	30.0	21.3	0.30	44.0	31.8	0.21
	4	3.1	5.0	9.3	7.0	3.3	2.84	10.0	4.9	1.81	15.0	7.9	1.17	21.5	11.7	0.79
	2.5	1.7	3.4	10.4	4.4	0.9	11.6	6.1	1.4	7.45	8.7	2.2	4.80	12.0	3.0	3.27
1	12.5	10.8	14.4	22	24.0	14.6	1.49	36.5	23.1	0.95	55.5	36.1	0.61	80.5	53.1	0.41
	8	6.5	9.6	33.2	13.0	5.7	5.68	19.0	8.9	3.61	28.5	14.2	2.33	40.5	20.6	1.59
	5	3.6	6.5	43.8	8.5	1.9	23.2	12.0	3.0	14.8	17.0	4.4	9.57	24.0	6.6	6.51
1.6	20	17.5	22.6	84.9	48.0	35.6	2.38	73.5	55.9	1.52	110	84.5	0.99	165	129	0.67
	12.5	10.3	14.7	135	24.0	14.0	9.76	36.0	21.9	6.23	53.5	33.4	4.0	78.0	50.0	2.73
	8	5.9	10.1	212	14.5	5.5	37.3	21.5	8.9	23.7	31.5	13.6	15.4	45.0	20.2	10.4
2	25	22.0	28.0	128	58.0	43.0	2.98	88.5	67.1	1.90	135	104	1.23	195	151	0.83
	16	13.4	18.6	198	30.0	17.5	11.4	45.0	27.3	7.24	68.0	42.5	4.69	98	62.1	3.19
	10	7.5	12.5	318	18.0	6.8	46.6	26.5	10.9	29.7	38.5	16.5	19.2	55	24.4	13.0
2.5	32	28.3	36.0	182	71.5	52.2	3.48	110	82.1	2.22	170	129	1.43	245	187	0.97
	25	21.6	28.4	233	49.0	32.2	7.29	74.5	50.5	4.64	115	80.2	3.0	165	116	2.04
	20	16.8	23.2	292	36.0	20.5	14.2	54.0	32.1	9.05	81.5	50.0	5.86	120	75.7	3.98
	16	12.9	19.1	365	27.5	12.9	27.8	41.0	20.5	17.7	61.0	31.7	11.5	88.0	49.9	7.78
3.2	40	35.6	44.6	288	82.0	60.8	4.76	125	95.3	3.03	190	148	1.96	275	216	1.33
	32	27.6	36.5	361	58.5	38.7	9.3	88.5	61.1	5.92	135	96.2	3.82	190	136	2.61
	25	21.1	28.9	461	42.5	23.4	19.4	63.5	37.2	12.4	94.5	57.4	8.0	135	83.4	5.45
	20	16.1	23.9	577	33.5	15.0	38.2	49.5	23.6	24.2	74.0	36.9	15.7	105	53.4	10.7
4	50	44.0	56.0	427	99.0	71.6	5.95	150	111	3.79	230	175	2.45	335	257	1.65
	40	34.8	45.2	533	71.0	45.8	11.7	105	69.9	7.41	160	110	4.79	235	165	3.26
	32	27.0	37.0	666	53.5	29.5	22.8	79.5	46.2	14.4	120	72.8	9.35	170	104	6.36
	25	20.3	29.7	852	41.0	18.1	47.7	60.5	28.3	30.3	89.5	43.4	19.6	130	65.5	13.3
5	63	56.0	70.0	623	120	87.7	7.27	180	135	4.63	275	210	2.99	395	304	2.03
	50	43.0	57.0	785	85.0	54.1	14.5	130	86.8	9.25	195	133	5.98	280	194	4.07
	40	34.0	46.0	981	64.0	34.4	28.4	95.5	54.5	18.1	140	81.6	11.7	205	124	7.95
	32	26.0	38.0	1226	51.0	22.3	55.4	75.0	34.8	35.3	110	52.5	22.9	160	79.5	15.5
6.3	80	71.0	89.0	932	145	103	8.96	220	160	5.70	335	250	3.69	490	370	2.51
	63	55.0	71.5	1177	105	65.0	18.3	155	99.0	11.7	235	155	7.55	340	277	5.13
	50	42.0	58.0	1481	80.0	42.0	36.7	115	62.0	23.3	175	100	15.1	250	145	10.3
	40	32.6	47.5	1854	60.0	24.0	71.7	90.0	39.7	45.6	135	63.2	29.5	195	95.0	20.1
8	100	89.0	111	1413	170	118	11.9	260	187	7.58	390	286	4.9	570	423	3.34
	80	69.0	91.0	1766	125	76.0	23.2	180	111	14.8	285	186	9.58	410	271	6.51
	63	53.0	73.0	2237	95.0	48.0	47.0	140	74.0	30.3	205	112	19.6	300	169	13.3
	50	40.5	60.0	2825	75.0	30.0	95.4	110	46.8	60.8	160	70.0	39.2	230	103	26.7

关注公众号：机械工程师成长营

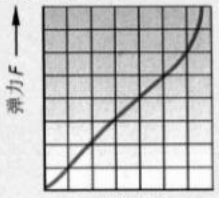
碟形弹簧

cf. DIN 2093（1992－01）

单片弹簧　$h \approx H + t$

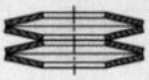


弹簧特性曲线



D	外径	
d	内径	
t	单片碟形弹簧厚度	
t'	带接触表面碟形弹簧的减少厚度	
h	弹簧高度（对平位置的理论弹性位移）	
H	不受载单片弹簧的总高度	
s	单片弹簧的弹性偏差	
$s_{总}$	碟形弹簧组的弹性偏差	
F	单片碟形弹簧产生的负载	
$F_{总}$	碟形弹簧组产生的总负载	
L_0	未受载弹簧组的长度	
n	并联碟形弹簧数量	
i	串联碟形弹簧数量	

串联组



弹力　$F_{总} = F$

弹性偏差　$s_{总} = i \cdot s$

弹簧长度　$L_0 = i \cdot H$

并联组



弹力　$F_{总} = n \cdot F$

弹性偏差　$s_{总} = s$

弹簧长度　$L_0 = H + (n-1) \cdot t$

组	D h12	d H12	系列 A：硬弹簧 $D/t \approx 18$；$h/t \approx 0.4$					系列 B：中等硬度弹簧 $D/t \approx 28$；$h/t \approx 0.75$					系列 C：软弹簧 $D/t \approx 40$；$h/t \approx 1.3$				
			t	t'	H	F (kN)[1]	s[2]	t	t'	H	F (kN)[1]	s[2]	t	t'	H	F (kN)[1]	s[2]
组1：t<1.25 mm	8	4.2	0.4	—	0.6	0.21	0.15	0.3	—	0.55	0.12	0.19	0.2	—	0.45	0.04	0.19
	10	5.2	0.5	—	0.75	0.33	0.19	0.4	—	0.7	0.21	0.23	0.25	—	0.55	0.06	0.23
	14	7.2	0.8	—	1.1	0.81	0.23	0.5	—	0.9	0.28	0.30	0.35	—	0.8	0.12	0.34
	16	8.2	0.9	—	1.25	1.00	0.25	0.6	—	1.05	0.41	0.34	0.4	—	0.9	0.16	0.38
	20	10.2	1.1	—	1.55	1.53	0.34	0.8	—	1.35	0.75	0.41	0.5	—	1.15	0.25	0.49
	25	12.2	—	—	—	—	—	0.9	—	1.6	0.87	0.53	0.7	—	1.6	0.60	0.68
	28	14.2	—	—	—	—	—	1.0	—	1.8	1.11	0.60	0.8	—	1.8	0.80	0.75
	40	20.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	2.3	1.02	0.98
组2：t=1.25~6 mm	25	12.2	1.5	—	2.05	2.91	0.41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	28	14.2	1.5	—	2.15	2.85	0.49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	40	20.4	2.2	—	3.15	6.54	0.68	1.5	—	2.6	2.62	0.86	—	—	—	—	—
	45	22.4	2.5	—	4.1	7.72	0.75	1.7	—	3.0	3.66	0.98	1.25	—	2.85	1.89	1.20
	50	25.4	3	—	4.3	12.0	0.83	2	—	3.4	4.76	1.05	1.25	—	2.85	1.55	1.20
	56	28.5	3	—	4.9	11.4	0.98	2	—	3.6	4.44	1.20	1.5	—	3.45	2.62	1.46
	63	31	3.5	—	5.6	15.0	1.05	2.5	—	4.2	7.18	1.31	1.8	—	4.15	4.24	1.76
	71	36	4	—	6.7	20.5	1.20	2.5	—	4.5	6.73	1.50	2	—	4.6	5.14	1.95
	80	41	5	—	7	33.7	1.28	3	—	5.3	10.5	1.73	2.25	—	5.2	6.61	2.21
	90	46	5	—	8.2	31.4	1.50	3.5	—	6	14.2	1.88	2.5	—	5.7	7.68	2.40
	100	51	6	—	8.5	48.0	1.65	3.5	—	6.3	13.1	2.10	2.7	—	6.2	8.61	2.63
	125	64	—	—	—	—	—	5	—	8.5	30.0	2.63	3.5	—	8	15.4	3.38
	140	72	—	—	—	—	—	5	—	9	27.9	3.00	3.8	—	8.7	17.2	3.68
	160	82	—	—	—	—	—	6	—	10.5	41.1	3.38	4.3	—	9.9	21.8	4.20
	180	92	—	—	—	—	—	6	—	11.1	37.5	3.83	4.8	—	11	26.4	4.65
组3：t>6~14 mm	125	64	8	7.5	10.6	85.9	1.95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	140	72	8	7.5	11.2	85.3	2.40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	160	82	10	9.4	13.5	139	2.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	180	92	10	9.4	14	125	3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	200	102	12	11.25	16.2	183	3.15	8	7.5	13.6	76.4	4.20	—	—	—	—	—
	225	112	12	11.25	17	171	3.75	8	7.5	14.5	70.8	4.88	6.5	6.2	13.6	44.6	5.33
	250	127	14	13.1	19.6	249	4.20	10	9.4	17	119	5.25	7	6.7	14.8	50.5	5.85

⇒　弹簧 **DIN 2093－A 16**：系列 A，D=16 mm，t=0.9 mm

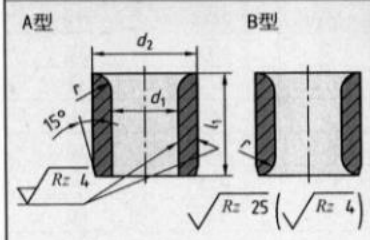
1）弹性偏差为 $s \approx 0.75 \cdot h$ 的单片碟形弹簧的弹力　2）$s \approx 0.75 \cdot h$

关注公众号：机械工程师成长营

钻 套

压装配合钻套

cf. DIN 179 (1992-11)



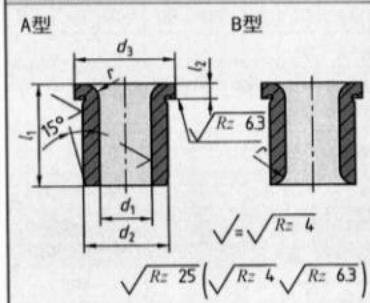
硬度 780 +80 HV 10

d_1 F7 大于		1	1.8	2.6	3.3	4	5	6	8	10	12	15	18	22	26
到		1.8	2.6	3.3	4	5	6	8	10	12	15	18	22	26	30
l_1	短	6		8			10		12		16		20		25
	中等	9		12			16		20		28		36		45
	长	—		16			20		25		36		45		56
d_2 n6		4	5	6	7	8	10	12	15	18	22	26	30	35	42
r		1		1			1.5		2				3		

⇒ 钻套 **DIN 179 – A 18 ×16**：A 型，d_1 = 18 mm，l_1 = 16 mm

带台钻套

cf. DIN 172 (1992-11)



硬度 780 +80 HV 10

d_1 F7 大于		1	1.8	2.6	3.3	4	5	6	8	10	12	15	18	22	26
到		1.8	2.6	3.3	4	5	6	8	10	12	15	18	22	26	30
l_1	短	6		8			10		12		16		20		25
	中等	9		12			16		20		28		36		45
	长	—		16			20		25		36		45		56
d_2 n6		4	5	6	7	8	10	12	15	18	22	26	30	35	42
d_3		7	8	9	10	11	13	15	18	22	26	30	34	39	46
l_2		2		2.5			3			4			5		
r		1		1			1.5		2				3		

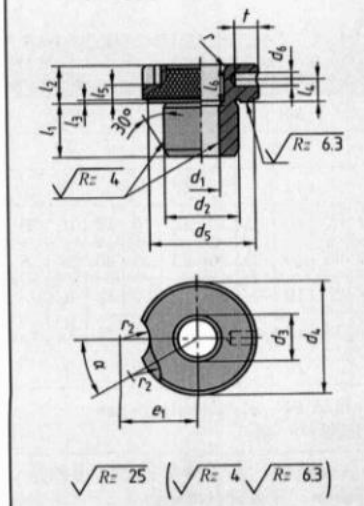
⇒ 钻套 **DIN 172 – A 22 ×36**：A 型，d_1 = 22 mm，l_1 = 36 mm

插入式钻套

cf. DIN 173 – 1 (1992-11)

K 型 用于右手切削工具的快速更换衬套

L 型 可移动衬套（尺寸同 K 型）



硬度 780 +80 HV 10

d_1 F7 大于		4	6	8	10	12	15	18	22	26	30	35	42	48
到		6	8	10	12	15	18	22	26	30	35	42	48	55
d_2 m6		10	12	15	18	22	26	30	35	42	48	55	62	70
l_1	短	12		17		20		25		30			35	
	中等	20		28		36		45		56			67	
	长	25		36		45		56		67			78	
d_3		6.5	8.5	10.5	12.5	15.5	19	23	27	31	36	43	50	57
d_4		18	22	26	30	34	39	46	52	59	66	74	82	90
d_5		15	18	22	26	30	35	42	46	53	60	68	76	84
d_6 H7		2.5		3			5			6			8	
l_2		8		10			12				16			
α		65°	60°		50°		35°		30°			25°		
l_3		1							1.5		2			
l_4		4.25		6			7				9		8	
l_5		3		4			5.5				7			
l_6	中等	8		12		16		20		26			32	
	长	13		20		25		31		37			43	
t		4		5	6	7		8		9	10	12		14
r_1		2				3						3.5		
r_2		7		8.5		10.5					12.5			
e_1		13	16.5	18	20	23.5	26	29.5	32.5	36	41.5	45.5	49	53

⇒ 钻套 **DIN 173 – K 15 ×22 ×36**：K 型，d_1 = 15 mm，d_2 = 22 mm，l_1 = 36 mm

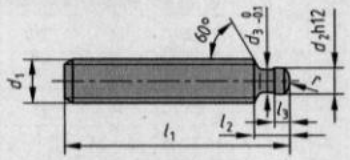
关注公众号：机械工程师成长营

平头螺钉，推力衬垫，球形把手

带推力点的平头螺钉

cf. DIN 6332（2003－04）

S 型（M6 ~ M20）



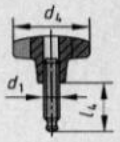
d_1	M6		M8		M10		M12			M16		
d_2	4.8		6		8		8			12		
d_3	4		5.4		7.2		7.2			11		
r	3		5		6		6			9		
l_2	6		7.5		9		10			12		
l_3	2.5		3		4.5		4.5			5		
d_4	32		40		50		63			80		
d_5	24		30		36		—			—		
e	33		39		51		65			73		
l_1	30	50	40	60	60	80	60	80	100	80	100	125
l_4	20	40	27	47	44	64	40	60	80	—	—	—
l_5	22	42	30	50	48	68	—	—	—	—	—	—

⇒ **平头螺钉 DIN 6332 – S M 12 ×60**：S 型带螺纹，d_1 = M12，l_1 = 60 mm

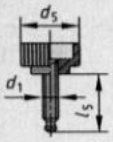
1）或星形手柄 DIN 6336 M6 ~ M16

作为夹紧螺钉的应用举例

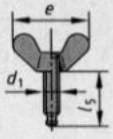
带十字手柄[1] DIN 6335 M6 ~ M20



带滚花螺母 DIN 6303 M6 ~ M10



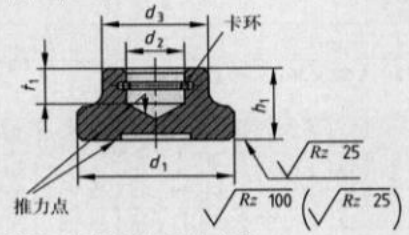
带蝶形螺母 DIN 315 M6 ~ M10



推力衬垫

cf. DIN 6311（2002－06）

带卡环 S 型



EHT（450 HV1）0.3 +0.2 mm，表面硬度 550 +100 HV 10

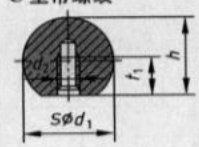
d_1	d_2 H12	d_3	h_1	t_1	卡环 DIN 7993	平头螺钉 DIN 6332
12	4.6	10	7	4	—	M6
16	6.1	12	9	5	—	M8
20	8.1	15	11	6	8	M10
25	8.1	18	13	7	8	M12
32	12.1	22	15	7.5	12	M16
40	15.6	28	16	8	16	M20

⇒ **推力衬垫 DIN 6311 – S 40**：S 型，d_1 = 40 mm，带插入卡环

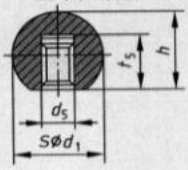
球形把手

cf. DIN 319（2002－04）

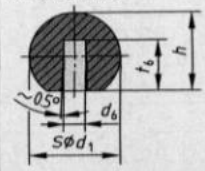
C 型带螺纹



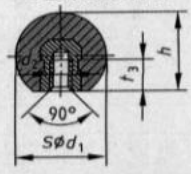
L 型带夹紧套



M 型带锥孔



E 型带螺纹衬套



其他型式不再标准化

d_1	16	20	25			32			40			50		
d_2	M4	M5	M6			M8			M10			M12		
t_1	7	9	11			14.5			18			21		
t_3	6	7.5	9			12			15			18		
d_5	4	5	6	8	10	8	10	12	10	12	16	12	16	20
t_5	11	13	16	15	15	15	20	20	20	23	23	20	23	28
d_6	4	5	6	8	—	8	10	—	10	12	—	12	16	—
t_6	9	12	15	15	—	15	15	—	20	20	—	22	22	—
h	15	18	22.5			29			37			46		

⇒ **球形把手 DIN 319 – E 25 PF**：E 型，d_1 = 25 mm，酚醛模塑料 PF（热固塑料）制

材料：酚醛模塑料 PF（热固塑料）制的球形把手；由制造商选择的钢制螺纹衬套；其他材料依协议

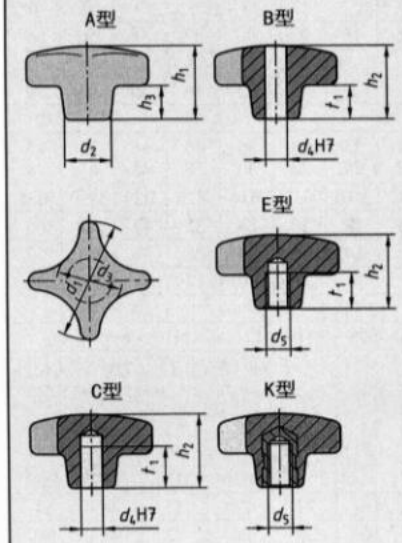
颜色：黑

关注公众号：机械工程师成长营

手柄，定位和固定销

十字手柄

cf. DIN 6335（1996－01）



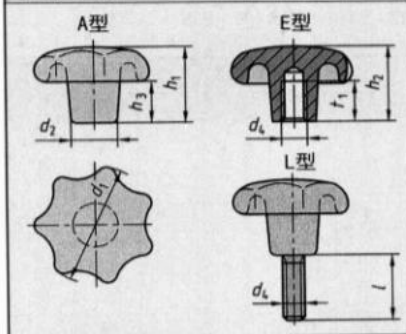
d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	h_1	h_2	h_3	t_1
32	12	18	6	M6	21	20	10	12
40	14	21	8	M8	26	25	14	15
50	18	25	10	M10	34	32	20	18
63	20	32	12	M12	42	40	25	22
80	25	40	16	M16	52	50	30	28
100[1)]	32	48	20	M20	65	60	38	36

型式	描述
A 到 E	金属手柄
A	金属毛坯
B	带通孔 d_4
C	带盲孔 d_4
D	带贯通螺纹孔 d_5
E	带盲螺纹孔 d_5
K[2)]	带螺纹衬套 d_5（金属制）的成形材料（塑料）
L[2)]	带螺纹销 d_5（金属制）的成形材料（塑料）
⇒	**十字手柄 DIN 6335－A 50 AL**：A 型，d_1 =50 mm，铝制

1）该尺寸不适用于成形材料
2）有时带些不重要的其他尺寸；具体的如：星形手柄 DIN 6336

星形手柄

cf. DIN 6336（1996－01）



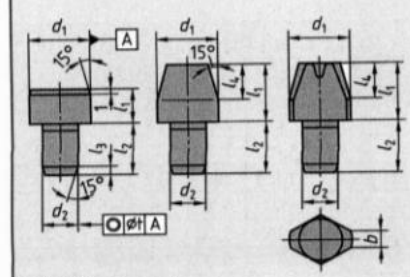
d_1	d_2	d_4	h_1	h_2	h_3	t_1	l	
32	12	M6	21	20	10	12	20	30
40	14	M8	26	25	13	15	20	30
50	18	M10	34	32	17	18	25	30
63	20	M12	42	40	21	22	30	40
80	25	M16	52	50	25	28	30	40
⇒	**星形手柄 DIN 6336－L 40×30**：L 型（型材），d_1 =40 mm，l =30 mm							

A 到 E 型（金属手柄），以及 K 和 L 型（型材手柄）与十字手柄 DIN 6335 对应
材料：铸铁，铝，模塑化合物（PF 31 N RAL 9005 DIN 7708－2）

定位和固定销

cf. DIN 6321（2002－10）

A 型 固定销　**B 型** 圆柱定位销　**C 型** 截锥形定位销



d_1 g6	l_1 A 型 h9	l_1 B 和 C 型 短	l_1 B 和 C 型 长	b	d_2[1)] n6	l_2	l_3	l_4	t
6	5	7	12	1	4	6	1.2	4	0.02
8	—	10	16	1.6	6	9	1.6	6	
10	6		18	2.5					
12	—								
16	8	13	22	3.5	8	12	2	8	0.04
20	—	15	25	5	12	18	2.5	9	
25	10								
⇒	**U 形夹销 DIN 6321－C 20×25**：C 型，d_1 =20 mm，l_1 =25 mm								

1）适当的孔公差：H7

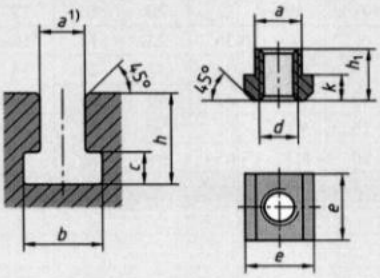
淬硬 53 +6 HRC

关注公众号：机械工程师成长营

T 形槽和附件，球面垫圈，锥面垫圈

T 形槽和 T 形槽用螺母

cf. DIN 650（1989－10）和 508（2002－06）

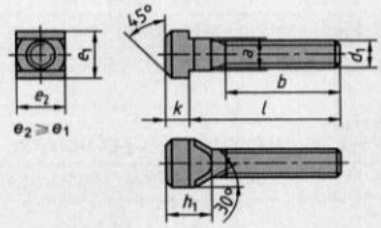


1）用于导向 T 形槽和夹紧槽的公差等级 H8；用于夹紧槽的 H12

宽 a	8	10	12	14	18	22	28	36	42
离 a 的偏差	−0.3/−0.5			−0.3/−0.6				−0.4/−0.7	
b	14.5	16	19	23	30	37	46	56	68
离 b 的偏差	1.5/0		+2/0			+3/0		+4/0	
c	7	7	8	9	12	16	20	25	32
离 c 的偏差	+1/0			+2/0				+3/0	
h 最大	18	21	25	28	36	45	56	71	85
h 最小	15	17	20	23	30	38	48	61	74
螺纹 d	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
e	13	15	18	22	28	35	44	54	65
h_1	10	12	14	16	20	28	36	44	52
k	6	6	7	8	10	14	18	22	26
离 k 的偏差	0/−0.5					0/−1			
⇒	螺母 **DIN 508 − M10 × 12**；d = M10，a = 12 mm								

T 形槽用螺栓

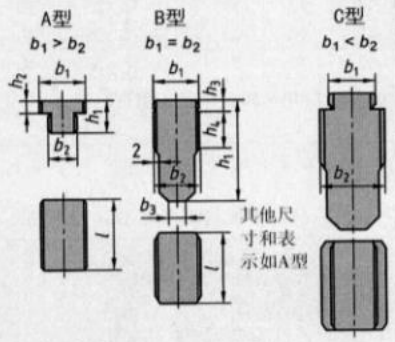
cf. DIN 787（2002－06）



a	8	10	12	14	18	22	28	36
b 从	22	30	35	35	45	55	70	80
b 到	50	60	120	120	150	190	240	300
d_1	M8	M10	M12		M16	M20	M24	M30
e_1	13	15	18	22	28	35	44	54
h_1	12	14	16	20	24	32	41	50
k	6	6	7	8	10	14	18	22
公称长度 l	25,32,40,50,63,80,100,125,160,200,250,315,400,500 mm							
⇒	螺栓 **DIN 787 − M10 × 10 × 100 − 8.8**；d_1 = M10，a = 10 mm，l = 100 mm，性能等级 8.8							

滑键

vgl. DIN 6323（2003－08）

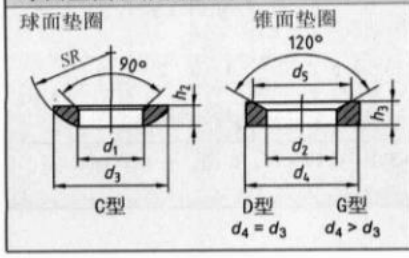


淬硬，硬度 650 + 100 HV10

b_1 h6	b_2 h6	型号	b_3	h_1	h_2	h_3	h_4	l
12	6	A	—	12	3.6	—	—	20
	8							
	10							
	12	B	5	28.6	—	5.5	9	20
20	12	A	—	14	5.5	—	—	32
	14							
	18							
	22	C	9	50.5	—	7	18	40
	28		12	61.5			24	
	36		16	76.5			30	50
	42		19	90.5			36	
⇒	滑键 **DIN 6323 − C 20 × 28**：C 型，b_1 = 20 mm，b_2 = 28 mm							

球面垫圈和锥面垫圈

cf. DIN 6319（2001－10）



d_1 H13	d_2 H13	d_3	d_4 型 D	d_4 型 G	d_5	h_2	h_3 型 D	h_3 型 G	R 球
6.4	7.1	12	12	17	11	2.3	2.8	4	9
8.4	9.6	17	17	24	14.5	3.2	3.5	5	12
10.5	12	21	21	30	18.5	4	4.2	5	15
13	14.2	24	24	36	20	4.6	5	6	17
17	19	30	30	44	26	5.3	6.2	7	22
21	23.2	36	36	50	31	6.3	7.5	8	27
⇒	球面垫圈 **DIN 6319 − C 17**：C 型，d_1 = 17 mm								

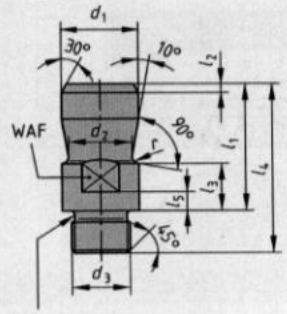
关注公众号：机械工程师成长营

模柄，凸模，机加工板

模柄 A 型[1]

cf. DIN ISO 10242 – 1 和 – 2 (2000 – 03)

A 型



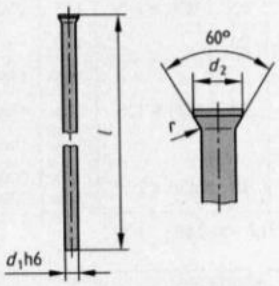
螺纹退刀槽 DIN 76 – A

d_1 f 9	d_2	d_3	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	WAF
20	15	M16 × 1.5	40	2	12	58	4	17
25	20	M16 × 1.5 M20 × 1.5	45	2.5	16	68	6	21
32	25	M20 × 1.5 M24 × 1.5	56	3	16	79	6	27
40	32	M24 × 1.5 M27 × 2 M30 × 2	70	4	26	93	12	36
50	42	M30 × 2	80	5	26	108	12	41
⇒	模柄 **ISO 10242 – 1 A – 40 × M30 × 2**：A 型，d_1 = 40 mm，d_3 = M30 × 2							

1) C 型带安装凸缘，无螺纹

圆形凸模 D 型[1]

cf. DIN 9861 – 1 (1992 – 07)



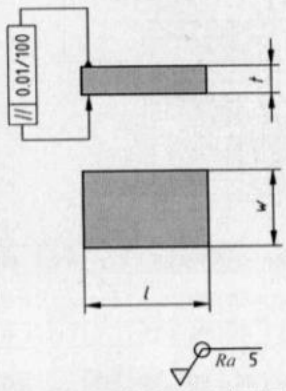
$d_2 \approx (1.1 \sim 1.8) \cdot d_1$
(依据 ϕd_1)

d_1 h6 从 ~ 到 ~	分度	l 0/ +0.5			材料	硬度 柄	硬度 头
0.5 ~ 0.95	0.05	71	80	—	WS[2]	62 ± 2 HRC	45 ± 5 HRC
1.0 ~ 2.9	0.1				HWS[3]		
3.0 ~ 6.4	0.1	71	80	100	HSS[4]	64 ± 2 HRC	50 ± 5 HRC
6.5 – 20	0.5						
⇒	冲头 **DIN 9861 D – 5.6 × 71 HWS**：D 型，d_1 = 5.6 mm，l = 71 mm，高合金冷作钢						

1) DA 型，头下部允许放大
2) WS 合金冷作钢
3) HWS 高合金冷作钢
4) HSS 高速钢

冲压工具及夹具用机加工板

cf. DIN ISO 6753 – 1 (2000 – 03)



标释：这些表面粗糙度值只适用于铣削面板

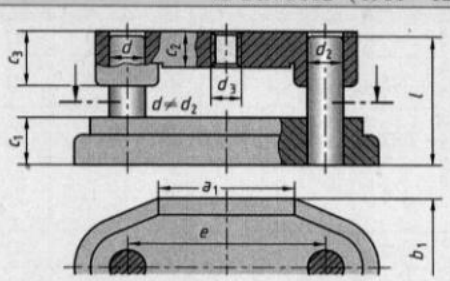
l	对应板尺寸 w 的板厚 t									
	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
160	20，25，32				—	—	—	—	—	—
200	—	25，32，40				—	—	—	—	—
250	—	—	25，32，40				—	—	—	—
315	—	—	—	32，40，50				—	—	—
400	—	—	—	—	32，40，50				—	—
500	—	—	—	—	—	32，40，50				—
630	—	—	—	—	—	—	32，40，50，63			
⇒	机加工板 **ISO 6753 – 1 1 – 315 × 200 × 32**：焰切割制造 (1)，l_1 = 315 mm，w = 200 mm，t = 32 mm									

代号	制造方法	长 l 和宽 w 的公差 ($l \leqslant 630$ mm)	厚度公差
1	焰切割 射束切割	+4 +1	±2
2	铣削	+0.4 +0.2	±2

关注公众号：机械工程师成长营

柱式模架

带矩形工作面的柱式模架 C 型和 CG 型[1]
cf. DIN 9812（1981－12）

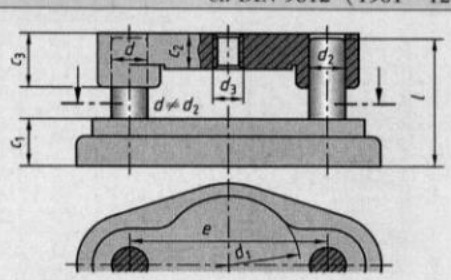


$a_1 \times b_1$	c_1	c_2	c_3	d_2	d_3	e	l
80×63 100×63	50	30	80	19	M20×1.5	125 145	160
100×80 160×80	50	30	80	25	M20×1.5	155 215	160
125×100 250×100	50	40	90	25 32	M24×1.5	180 315	170 180
160×125 315×125	56	40	90	32	M24×1.5	225 380	180
200×160 315×160	56 63	50	100	32 40	M30×2	265 395	200 220
250×200 315×250	63	50	100	40	M30×2	330 395	220

⇒ 中间导柱模架 **DIN 9812－C 100×80**：C 型，$a_1 \times b_1$ = 100 mm × 80 mm

1）C 型不带螺纹，CG 型带螺纹 d_3

带圆形工作面的柱式模架 D 型和 DG 型[2]
cf. DIN 9812（1981－12）

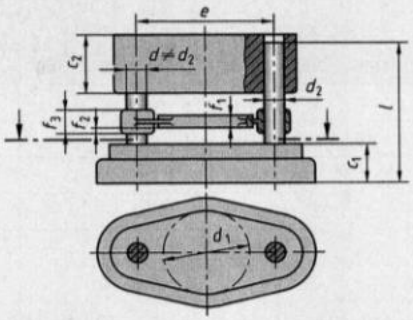


d_1	c_1	c_2	c_3	d_2	d_3	e	l
50 63	40	25	65	16	M16×1.5	80 95	125 140
80	50	30	80	19	M20×1.5	125	160
100				25		155	
125				25		180	
160	56	40	90	32	M24×1.5	225	180
180						245	180
200						265	190
250 315	56 63	50	100	40	M30×2	330 395	200 220

⇒ 柱式模架 **DIN 9812－D 160**：D 型，d = 160 mm

2）D 型不带螺纹，DG 型带螺纹 d_3

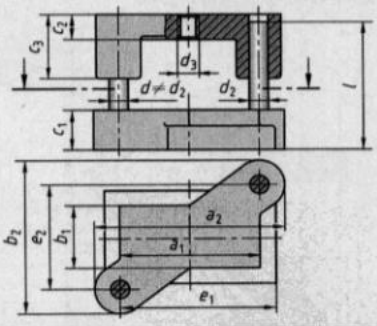
带中间立式导柱和厚的柱导板的柱式模架，DF 型
cf. DIN 9816（1981－12）



d_1	c_1	c_2	d_2	e	f_1	f_2	f_3	l
80	50	80	19	125	16	10	36	170
100	50	85	25	155	18	11	40	180
125		90		180				190
160	56	100	32	225	23	11	45	220
200		110		265				240

⇒ 柱式模架 **DIN 9816－DF 100 GG**：DF 型，d_1 = 100 mm，铸铁滑动导向

带对角导柱的柱式模架，C 和 CG 型[3]
cf. DIN 9819（1981－12）



$a_1 \times b_1$	a_2	b_2	c_1	c_2	c_3	d_2	e_1	e_2	l
80×63	135	180	50	30	80	19	75	103	160
125×80	190	215				25	120	128	
125×100		235		40	90	25		148	170
250×100	325	255	56	40	90	32	245	158	180
160×125	235	280					155	183	
315×125	390						310		

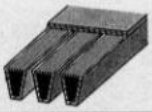
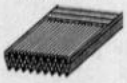
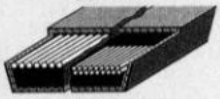
⇒ 柱式模架 **DIN 9819－C 160×80 GG**：C 型，a_1 = 160 mm，b_1 = 80 mm，铸铁

3）C 型不带螺纹，CG 型带螺纹 d_3

关注公众号：机械工程师成长营

V带，同步齿形带

设计类型

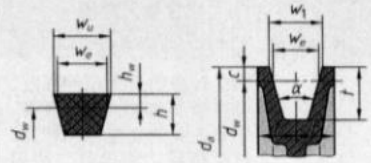
标记 皮带标准	尺寸范围 $h^{1)}$ (mm) 滑轮标准	$L^{2)}$ (mm)	速度范围 v_{max} (m/s)	功率范围 P'_{max} (kW)$^{3)}$	性能，应用
普通V带  DIN 2215，ISO 4184	4～25	185～19000 DIN 2217，ISO 4183	30	65	用于较高的最大拉伸强度，可靠牵引功率；施工设备，采矿工业的变速传动装置，农业机器，输送机，通用机器结构
窄V带  DIN 7753，ISO 4184	8～18	630～12500 DIN 2211，ISO 4183	40	70	动力传动性能好，功率为相同带宽的普通V带的两倍；变速箱制造，机床，HVAC
齿形V带  DIN 2215，DIN 7753	4～25	800～3150 DIN 2211，DIN 2217	50	70	低延伸率，小滑轮直径，从－30℃到＋80℃的耐高温性，自动交流发电机驱动，传动设计，泵，HVAC
联组V带 （功率带）  DIN 2211，DIN 2217	10～26	1250～15000 DIN 2211，DIN 2217	30	65	对振动或冲击不敏感，滑轮中的单根带无扭曲，绝对均匀的力分布，高拉伸强度，用于轴间的长距离；造纸机
多楔带 （加肋带）  DIN 7867	3～17	600～15000 DIN 7867	60	20	可实现大传动比，低振动运行状态；自动交流发电机驱动，HVAC，小机器中的压缩机驱动
宽V带  DIN 7719	6～18	468～2500 DIN 7719	30	85	极好的横向强度，很高的拉伸强度，灵活；速度控制传动装置，机床，纺织机，打印机，农用机械
双面V带 （六角带）  DIN 7722，ISO 5289	10～25	2000～6900 DIN 2217	30	20	对于多滑轮驱动，交替方向的旋转有好的动力传动，比普通V带效率低10%；农用机械，纺织机，通用机器制造
同步齿形带  DIN 7721，DIN ISO 5296	0.7～5.0	100～3620 DIN ISO 5294	40～80	0.5～900	效率 $\eta_{max} \geq 0.98$，同步运行，低预应力，因此低承载力；精密机器驱动，办公用计算机驱动，自动化工业，CNC（电脑数控）轴驱动

1）带高（第254～255页） 2）带长 3）每根皮带的传输功率

关注公众号：机械工程师成长营

窄 V 带

窄 V 带 DIN 7753 – 1(1988 – 01)　窄 V 带滑轮 DIN 2211 – 1(1984 – 03)



有效直径　$d_e = d_a - 2 \cdot c$

⇒ **窄 V 带 DIN 7753 – XPZ 710**：窄 V 带，齿形轮廓，参考长度 710 mm

标记		窄 V 带，V 带滑轮			
带齿形（ISO 标记代码）		SPZ	SPA	SPB	SPC
w_u	上部带宽	9.7	12.7	16.3	22
w_e	有效宽度	8.5	11	14	19
h	带高	8	10	13	18
h_w	距离	2	2.8	3.5	4.8
d_{min}	最小许用有效 ϕ	63	90	140	224
w_1	上部槽宽	9.7	12.7	16.3	22
c	有效 ϕ 到外径 ϕ 的距离	2	2.8	3.5	4.8
t	最小许用槽深	11	13.8	17.5	23.8
e	多槽滑轮的槽间隙	12	15	19	25.5
f	离外缘的槽间隙	8	10	12.5	17
α	有效直径 ≤ 列表值时取 34°	80	118	190	315
	有效直径 > 列表值时取 38°	80	118	190	315



包角系数 c_1	1	1.02	1.05	1.08	1.12	1.16	1.22	1.28	1.37	1.47
包角 β	180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°

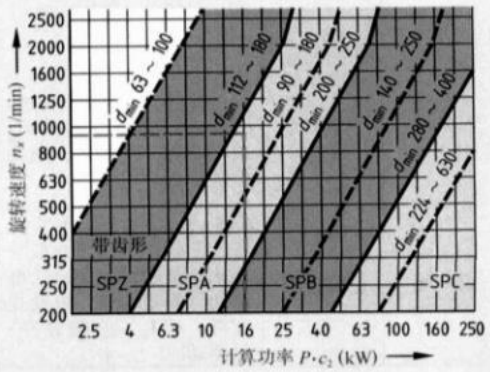
安全系数 c_2

每天运行时间（小时）			从动机械（举例）
≤10	10 ~ 16	> 16	
1.0 1.1	1.1 1.2	1.2 1.3	离心泵、鼓风机、用于轻材料的传送带、机床、压机、金属板材剪切机、打印机
1.2 1.3	1.3 1.4	1.4 1.5	磨齿机、活塞泵、纺织机和造纸机、碎石器、搅拌器、绞盘、起重机、开凿机

窄 V 带的效率值　cf. DIN 7753 – 2（1976 – 04）

带的齿形	SPZ			SPA			SPB			SPC		
小滑轮 d_{min}	63	100	180	90	160	250	140	250	400	224	400	630
小滑轮 n_s	每根皮带的额定功率 P(kW)											
400	0.35	0.79	1.71	0.75	2.04	3.62	1.92	4.86	8.64	5.19	12.56	21.42
700	0.54	1.28	2.81	1.17	3.30	5.88	3.02	7.84	13.82	8.13	19.79	32.37
950	0.68	1.66	3.65	1.48	4.27	7.60	8.83	10.04	17.39	10.19	24.52	37.37
1450	0.93	2.36	5.19	2.02	6.01	10.53	5.19	13.66	22.02	13.22	29.46	31.74
2000	1.17	3.05	6.63	2.49	7.60	12.85	6.31	16.19	22.07	14.58	25.81	—
2800	1.45	3.90	8.20	3.00	9.24	14.13	7.15	16.44	9.37	11.89	—	—

窄 V 带齿形选择



P　传输功率
$P_{额定}$　每根皮带的额定功率
N　皮带数
c_1　包角系数
c_2　安全系数

皮带数

$$N = \frac{P \cdot c_1 \cdot c_2}{P_{额定}}$$

例：

传动参数 $P = 12$ kW 带 $c_1 = 1.12$；$c_2 = 1.4$；$d_{min} = 160$ mm，$n_s = 950$ mm；$\beta_s = ?$，$N = ?$

1. $P \cdot c_2 = 12$ kW $\cdot$ 1.4 = 16.8 kW
2. 从图中查 $n_s = 950$ mm 和 $P \cdot c_2 = 16.8$ kW → 齿形 SPA
3. 从表中查得 $P_{额定} = 4.27$ kW
4. $N = \dfrac{P \cdot c_1 \cdot c_2}{P_{额定}} = \dfrac{12\text{ kW} \cdot 1.12 \cdot 1.4}{4.27\text{ kW}} = 4.4$
5. 选：$N = 5$ 根皮带

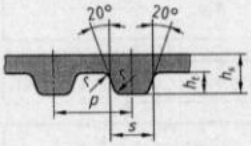
关注公众号：机械工程师成长营

同步齿形带

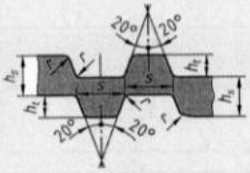
同步齿形带（同步带）

cf. DIN 7721 – 1（1989 – 06）

单侧



双侧



非标准齿形



HT 齿形　　LAHN 齿形

齿间隙		齿大小			公称厚度	同步齿形带宽 w			
代号	p	s	h_t	r	h_s				
T2.5	2.5	1.5	0.7	0.2	1.3	—	4	6	10
T5	5	2.7	1.2	0.4	2.2	6	10	16	25
T10	10	5.3	2.5	0.6	4.5	16	26	32	50

有效长度[1]	适用齿数 T2.5	适用齿数 T5	有效长度[1]	适用齿数 T2.5	适用齿数 T5	有效长度[1]	适用齿数 T10
120	48	—	530	—	53	1010	101
150	—	30	560	112	56	1080	108
160	64	—	610	122	61	1150	115
200	80	40	630	126	63	1210	121
245	98	49	660	—	66	1250	125
270	—	54	700	—	70	1320	132
285	114	—	720	144	72	1390	139
305	—	61	780	156	78	1460	146
330	132	66	840	168	84	1560	156
390	—	78	880	—	88	1610	161
420	168	84	900	180	—	1780	178
455	—	91	920	184	92	1880	188
480	192	96	960	—	96	1960	196
500	200	100	990	198	—	2250	225

⇒ 带 **DIN 7721 – 6 T2.5 × 480**：w = 6 mm，间距 p = 2.5 mm，有效长度 = 480 mm，单侧

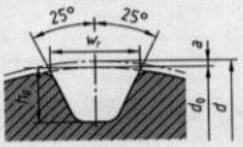
加上代号字母 D 表示双侧同步齿形带

1）有效长度从 100 ~ 3620 mm，定做的产品达 25000 mm

同步皮带轮

cf. DIN 7721 – 1（1989 – 06）

滑轮槽尺寸



滑轮槽	适用滑轮外径 d_0 T2.5	T5	T10	滑轮槽	适用滑轮外径 d_0 T2.5	T5	T10	滑轮槽	适用滑轮外径 d_0 T2.5	T5	T10
10	7.4	15.0	—	17	13.0	26.2	52.2	32	24.9	50.1	100.0
11	8.2	16.6	—	18	13.8	27.8	55.4	36	28.1	56.4	112.7
12	9.0	18.2	36.3	19	14.6	29.4	58.6	40	31.3	62.8	125.4
13	9.8	19.8	39.5	20	15.4	31.0	61.8	48	37.7	75.5	150.9
14	10.6	21.4	42.7	22	17.0	34.1	68.2	60	47.2	94.6	189.1
15	11.4	23.0	45.9	25	19.3	38.9	77.7	72	56.8	113.7	227.3
16	12.2	24.6	49.1	28	21.7	43.7	87.2	84	66.3	132.9	265.5

有效直径

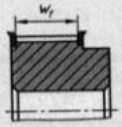
$$d = d_0 + 2 \cdot a$$

1）SE 型，用于≤20 槽

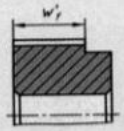
2）N 型，用于 >20 槽

代号	滑轮槽尺寸 槽宽 SE[1] 型	槽宽 N[2] 型	槽高 SE[1] 型	槽高 N[2] 型	2 a
T2.5	1.75	1.83	0.75	1	0.6
T5	2.96	3.32	1.25	1.95	1
T10	6.02	6.57	2.6	3.4	2

滑轮尺寸



有滑轮凸缘



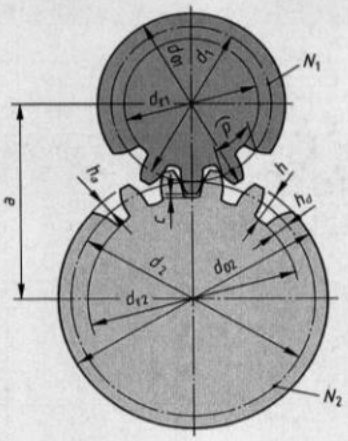
无滑轮凸缘

字符	带宽 w	滑轮宽 有凸缘 w_f	滑轮宽 无凸缘 w'_f
T2.5	4	5.5	8
	6	7.5	10
	10	11.5	14
T5	6	7.5	10
	10	11.5	14
	16	17.5	20
	25	26.5	29
T10	16	18	21
	25	27	30
	32	34	37
	50	52	55

关注公众号：机械工程师成长营

直齿圆柱齿轮

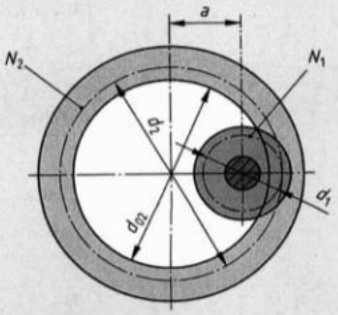
未修正的直齿圆柱齿轮



m	模数	N, N_1, N_2	齿数
p	齿距	d, d_1, d_2	分度圆直径
c	间隙	d_0, d_{01}, d_{02}	齿顶圆直径
h	齿高	d_r, d_{r1}, d_{r2}	齿根圆直径
h_a	齿顶高		
h_d	齿根高		
a	中心距		

例：

外圆柱齿轮，
$m=2\ \text{mm}; N=32; c=0.167 \cdot m; d=?;$
$d_0=?; h=?$
$d=m \cdot N=2\ \text{mm} \cdot 32=64\ \text{mm}$
$d_0=d+2 \cdot m=64\ \text{mm}+2 \cdot 2\ \text{mm}=68\ \text{mm}$
$h=2 \cdot m+c=2 \cdot 2\ \text{mm}+0.167 \cdot 2\ \text{mm}$
$=4.33\ \text{mm}$



外啮合齿

齿数	$N=\frac{d}{m}=\frac{d_0-2 \cdot m}{m}$
齿顶圆直径	$d_0=d+2 \cdot m=m \cdot (N+2)$
齿根圆直径	$d_r=d-2 \cdot (M+c)$
中心距	$a=\frac{d_1+d_2}{2}=\frac{m \cdot (N_1+N_2)}{2}$

外啮合齿和内啮合齿

模数	$m=\frac{p}{\pi}=\frac{d}{N}$
齿距	$p=\pi \cdot m$
分度圆直径	$d=m \cdot N$
间隙	$c=0.1 \cdot m \sim 0.3 \cdot m$ 通常 $c=0.167 \cdot m$
齿顶高	$h_a=m$
齿根高	$h_d=m+c$
齿高	$h=2 \cdot m+c$

内啮合齿

齿数	$N=\frac{d}{m}=\frac{d_0+2 \cdot m}{m}$
齿顶圆直径	$d_0=d+2 \cdot m=m \cdot (N+2)$
齿根圆直径	$d_r=d-2 \cdot (m+c)$
中心距	$a=\frac{d_2-d_1}{2}=\frac{m \cdot (N_2-N_1)}{2}$

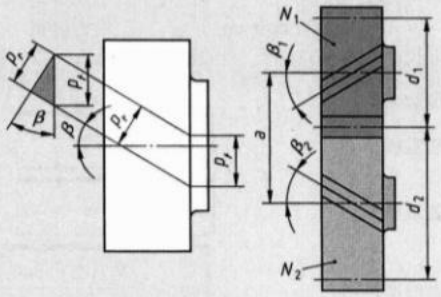
例：

内圆柱齿轮，$m=1.5\ \text{mm}; N=80;$
$c=0.167 \cdot m; d=?; d_0=?; h=?$
$d=m \cdot N=1.5\ \text{mm} \cdot 80=120\ \text{mm}$
$d_0=d-2 \cdot m=120\ \text{mm}-2 \cdot 1.5\ \text{mm}=117\ \text{mm}$
$h=2 \cdot m+c=2 \cdot 1.5\ \text{mm}+0.167 \cdot 1.5\ \text{mm}=3.25\ \text{mm}$

关注公众号：机械工程师成长营

斜齿轮，圆柱齿轮的模数系列

未修正的斜齿轮



斜齿轮中，圆柱轮上的轮齿运行呈螺旋形。制造圆柱齿轮和斜齿轮的工具与法向模数一致。在平行轴的情况，两齿轮有相同的螺旋角，但旋转方向相反，即一个齿轮为右旋，则另一齿轮为左旋（$\beta_1 = -\beta_2$）

m_t	端面模数
m_r	法向模数
p_t	端面齿距
p_r	法向齿距
β	螺旋角（通常 $\beta = 8° \sim 25°$）
N，N_1，N_2	齿数
d，d_1，d_2	分度圆直径
d_0	齿顶圆直径
a	中心距

端面模数 $m_t = \dfrac{m_r}{\cos\beta} = \dfrac{p_t}{\pi}$

端面齿距 $p_t = \dfrac{p_r}{\cos\beta} = \dfrac{\pi \cdot m_t}{\cos\beta}$

分度圆直径 $d = m_t \cdot N = \dfrac{N \cdot m_r}{\cos\beta}$

齿数 $N = \dfrac{d}{m_t} = \dfrac{\pi \cdot d}{p_t}$

法向模数 $m_r = \dfrac{p_r}{\pi} = m_t \cdot \cos\beta$

法向齿距 $p_r = \pi \cdot m_r = p_t \cdot \cos\beta$

齿顶圆直径 $d_0 = d + 2 \cdot m_r$

中心距 $a = \dfrac{d_1 + d_2}{2}$

齿高、齿顶高、齿根高、间隙、齿根圆直径的计算与直齿圆柱齿轮的相应参数计算相同（第 256 页）。公式中模数 m 用法向模数 m_r 代替

例：

斜齿轮，$N = 32$；$m_r = 1.5$ mm；
$\beta = 19.5°$；$c = 0.167 \cdot m$；$m_t = ?$；$d_0 = ?$；
$d = ?$；$h = ?$

$$m_t = \frac{m_r}{\cos\beta} = \frac{1.5\text{ mm}}{\cos 19.5°} = 1.591\text{ mm}$$

$d_0 = d + 2 \cdot m_r = 50.9\text{ mm} + 2 \cdot 1.5\text{ mm} = 53.9\text{ mm}$

$d = m_t \cdot N = 1.591\text{ mm} \cdot 32 = 50.9\text{ mm}$

$h = 2 \cdot m_r + c = 2 \cdot 1.5\text{ mm} + 0.167 \cdot 1.5\text{ mm} = 3.25\text{ mm}$

圆柱齿轮的模数系列（系列 I） cf. DIN 780 – 1 和 – 2(1977 – 05)

模数	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.25
齿距	0.628	0.785	0.943	1.257	1.571	1.885	2.199	2.513	2.827	3.142	3.927
模数	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0	12.0	16.0
齿距	4.712	6.283	7.854	9.425	12.566	15.708	18.850	25.132	31.416	37.699	50.265

有 8 种模数侧铣刀具（$m \leqslant 9$mm）的工具箱分类[1)]

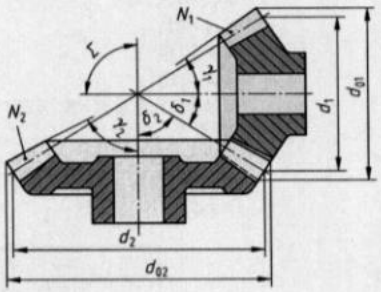
刀具号码	1	2	3	4	5	6	7	8
齿数	12 ~ 13	14 ~ 16	17 ~ 20	21 ~ 25	26 ~ 34	35 ~ 54	55 ~ 134	135 到有齿齿条

1）带侧铣刀具的齿轮加工不是渐开线加工，只是在齿缘生成一个近似的渐开线形状。因此这种制造加工只适于二级齿轮。对于 $m > 9$mm 的齿轮，使用有 15 种模数侧铣刀具的工具箱

关注公众号：机械工程师成长营

锥齿轮，蜗杆传动

未修正的直齿锥齿轮



除给出的外缘尺寸外，轮齿的中心和内缘的尺寸对于制造也很重要

例：

锥齿轮传动，$m=2$ mm；$N_1=30$；$N_2=120$；$\sum=90°$，计算加工主动锥齿轮的尺寸

$$\tan\delta_1=\frac{N_1}{N_2}=\frac{30}{120}=0.2500;\quad \delta_1=14.4°$$

$$d_1=m\cdot N_1=2\text{ mm}\cdot 30=60\text{ mm}$$

$$d_{01}=d_1+2\cdot m\cdot\cos\delta_1$$

$$=60\text{ mm}+2\cdot 2\text{ mm}\cdot\cos 14.04°=63.88\text{ mm}$$

$$\tan\gamma_1=\frac{N_1+2\cdot\cos\delta_1}{N_2-2\cdot\sin\delta_1}=\frac{30+2\cdot\cos 14.04°}{120-2\cdot\sin 14.04°}=0.267$$

$$\gamma_1=14.95°$$

m	模数	N，N_1，N_2	齿数
d，d_1，d_2	分度圆直径	δ，δ_1，δ_2	分锥角
$\sum$	轴间角（通常 90°）	γ_1，γ_2	顶锥角

齿距和齿高向锥顶点缩小，因此沿齿宽的每一点，锥齿轮有不同的模数，齿顶圆直径，等等。大端模数与标准模数对应

分度圆直径

$$d=m\cdot N$$

齿顶圆直径

$$d_0=d+2\cdot m\cdot\cos\delta$$

齿轮 1 的顶锥角

$$\tan\gamma_1=\frac{N_1+2\cdot\cos\delta_1}{N_2-2\cdot\sin\delta_1}$$

齿轮 2 的顶锥角

$$\tan\gamma_2=\frac{N_2+2\cdot\cos\delta_2}{N_1-2\cdot\sin\delta_2}$$

齿轮 1 的分锥角

$$\tan\delta_1=\frac{d_1}{d_2}=\frac{N_1}{N_2}=\frac{1}{i}$$

齿轮 2 的分锥角

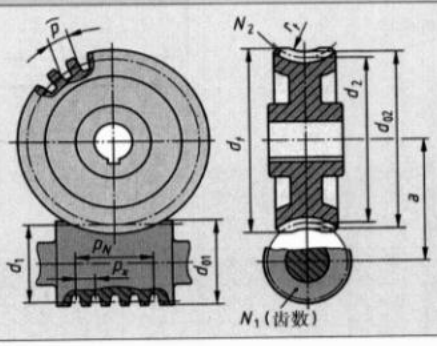
$$\tan\delta_2=\frac{d_2}{d_1}=\frac{N_2}{N_1}=i$$

轴间角

$$\sum=\delta_1+\delta_2$$

齿高、齿顶高、间隙等的计算与直齿圆柱齿轮的相应参数计算相同（第 256 页）

蜗杆传动



m	模数	N_1，N_2	齿数
d，d_1，d_2	分度圆直径	p_n	导程
d_0，d_{01}，d_{02}	齿顶圆直径	p_x，p	（轴向）齿距
r_1	齿顶圆弧半径	d_1	外圆直径 φ

蜗杆

分度圆直径

$$d_1=\text{公称尺寸}$$

（轴向）齿距 - 蜗杆

$$p_x=\pi\cdot m$$

齿顶圆直径

$$d_{01}=d_1+2\cdot m$$

导程

$$p_n=p_x\cdot N_1=\pi\cdot m\cdot N_1$$

蜗轮

分度圆直径

$$d_2=m\cdot N_2$$

齿距

$$p=\pi\cdot m$$

齿顶圆直径

$$d_{02}=d_2+2\cdot m$$

外圆直径

$$d_1\approx d_{02}+m$$

齿顶圆弧半径

$$r_1=\frac{d_1}{2}-m$$

间隙、齿高、齿顶高、齿根高和中心距如圆柱齿轮（第 256 页）

例：

蜗杆传动，$m=2.5$ mm；$N_1=2$；$d_1=40$ mm；$N_2=40$；$d_{01}=?$；$d_2=?$；$d_1=?$；$r_1=?$；$a=?$

$$d_{01}=d_1+2\cdot m=40\text{ mm}+2\cdot 2.5\text{ mm}=45\text{ mm}$$

$$d_2=m\cdot N_2=2.5\text{ mm}\cdot 40=100\text{ mm}$$

$$d_{02}=d_2+2\cdot m=100\text{ mm}+2\cdot 2.5\text{ mm}=105\text{ mm}$$

$$d_1\approx d_{02}+m=105\text{ mm}+2.5\text{ mm}=107.5\text{ mm}$$

$$r_1=\frac{d_1}{2}-m=\frac{40\text{ mm}}{2}-2.5\text{ mm}=17.5\text{ mm}$$

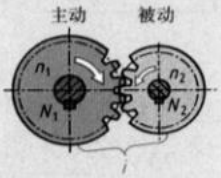
$$a=\frac{d_1+d_2}{2}=\frac{40\text{ mm}+100\text{ mm}}{2}=70\text{ mm}$$

关注公众号：机械工程师成长营

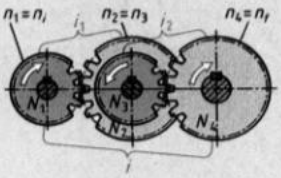
传动比

齿轮传动

单级传动比



多级传动比



N_1，N_3，$N_5\cdots$ 齿数；n_1，n_3，$n_5\cdots$ 速度 } 主动齿轮

N_2，N_4，$N_6\cdots$ 齿数；n_2，n_4，$n_6\cdots$ 速度 } 从动齿轮

n_i 初始速度

n_f 最终速度

i 总传动比

i_1，i_2，$i_3\cdots$ 单传动比

例：

$i=0.4$；$n_1=180\text{r/min}$；$N_2=24$；$n_2=?$；$N_1=?$

$$n_2=\frac{n_1}{i}=\frac{180\text{r/min}}{0.4}=450\text{r/min}$$

$$N_1\frac{n_2\cdot N_2}{n_1}=\frac{450\text{r/min}\cdot 24}{180\text{r/min}}=60$$

齿轮扭矩，第 37 页

传动公式

$$n_1\cdot N_1=n_2\cdot N_2$$

齿轮传动比

$$i=\frac{N_2}{N_1}=\frac{n_1}{N_2}=\frac{n_i}{n_f}$$

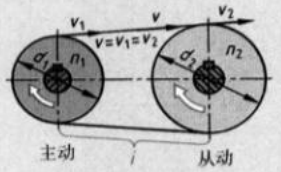
总传动比

$$i=\frac{N_2\cdot N_4\cdot N_6\cdots}{N_1\cdot N_3\cdot N_5\cdots}$$

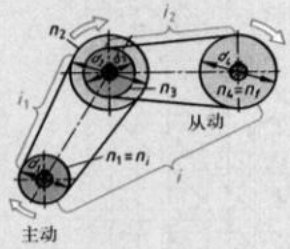
$$i=i_1\cdot i_2\cdot i_3\cdots$$

皮带传动

单级传动比



多级传动比



d_1，d_3，$d_5\cdots$ 直径；n_1，n_3，$n_5\cdots$ 速度 } 主动滑轮

d_2，d_4，$d_6\cdots$ 直径；n_2，n_4，$n_6\cdots$ 速度 } 从动滑轮

n_i 初始速度

n_f 最终速度

i 总传动比

i_1，i_2，$i_3\cdots$ 单传动比

v，v_1，v_2 圆周速度

例：

$n_1=600\text{r/min}$；$n_2=400\text{r/min}$；

$d_1=240\text{ mm}$；$i=?$；$d_2=?$

$$i=\frac{n_1}{n_2}=\frac{600\text{r/min}}{400\text{r/min}}=\frac{1.5}{1}=1.5$$

$$d_2=\frac{n_1\cdot d_1}{n_2}=\frac{600\text{r/min}\cdot 240\text{ mm}}{400\text{r/min}}=360\text{ mm}$$

速度

$$v=v_1=v_2$$

传动公式

$$n_1\cdot d_1=n_2\cdot d_2$$

传动比

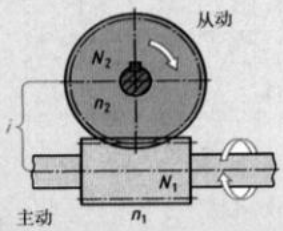
$$i=\frac{d_2}{d_1}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{n_i}{n_f}$$

总传动比

$$i=\frac{d_2\cdot d_4\cdot d_6\cdots}{d_1\cdot d_3\cdot d_5\cdots}$$

$$i=i_1\cdot i_2\cdot i_3\cdots$$

蜗杆传动



N_1 蜗杆的齿数（螺纹线数）

n_1 蜗杆的速度

N_2 蜗轮的齿数

n_2 蜗轮的速度

i 传动比

例：

$i=25$；$n_1=1500\text{r/min}$；$N_1=3$；$n_2=?$

$$n_2=\frac{n_1}{i}=\frac{1500\text{r/min}}{25}=60\text{r/min}$$

传动公式

$$n_1\cdot N_1=n_2\cdot N_2$$

传动比

$$i=\frac{n_1}{n_2}=\frac{N_2}{N_1}$$

关注公众号：机械工程师成长营

速度曲线图

加工工件的机床速度 n 或工具直径 d 和选择的切削速度 V_c 可以通过下列方式来确定：

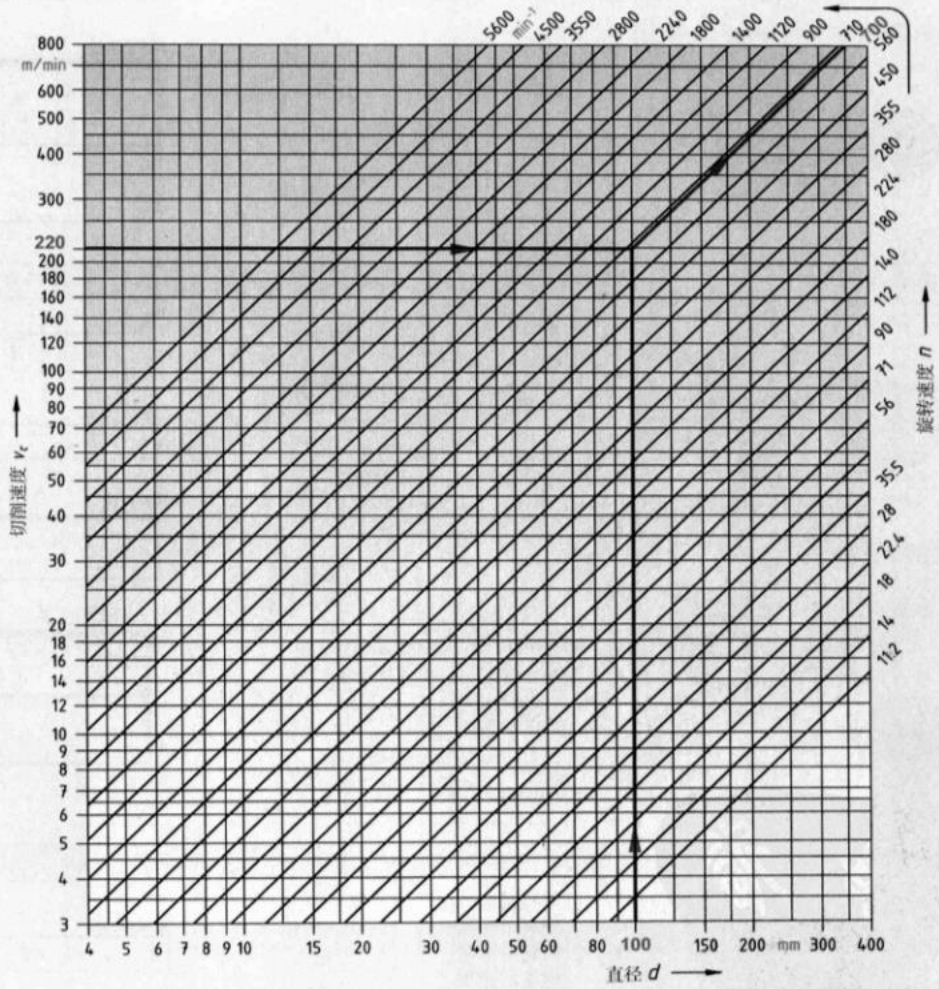
- 利用公式通过电脑/计算器，或
- 利用速度曲线图图解

速度曲线图有施加在机器上的载荷的对应速度。它们被几何分段。对于无级变速传动，可精确地设置计算速度

速度

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

采用对数比例坐标的速度曲线图



例：$d = 100$ mm；$v_c = 220$ m/min；$n = ?$

计算：$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{220 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{\pi \cdot 0.1\ \text{m}} = 700.3\ \text{r/min}$；从上面速度曲线图查得：$n \approx 700$ r/min

关注公众号：机械工程师成长营

滑动轴承，概述

滑动轴承[1]（根据润滑类型来选择）

流体动力滑动轴承



适于

——低磨损连续运转
——高速度
——高冲击载荷

应用范围

——主要的和大的端轴承
——变速箱
——电动机
——涡轮、压缩机
——起重装置、农机

流体静压滑动轴承



适于

——无磨损连续运转
——低摩擦损失
——可能的低速

应用范围

——精密轴承
——太空望远镜和天线
——机床
——大作用力推力轴承

干运行滑动轴承



适于

——免维护或低维护运转
——带或不带润滑

应用范围

——施工设备
——电枢和设备
——包装机
——喷气发动机
——家用电器

1) 其他滑动轴承：空气或气体和水润滑滑动轴承，磁轴承

抗摩擦材料性能

标记，材料编号	屈服极限 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	许用单位负载 p_L[1] (N/mm²)	轴最小硬度	滑动性能	滑动速度	紧急运行行为	性能，应用
铅锡铸合金							cf. DIN ISO 4381(2001-02)
G-PbSb15Sn10[2] 2.3391	43	7	160 HB	◕	◐	◕	中等负载 所有用途的滑动轴承
G-SnSb12Cu6Pb 2.3790	61	10	160 HB	●	●	◕	好的冲击载荷；涡轮、压缩机、电机
铸铜合金和可锻铜合金							cf. DIN ISO 4382-1 和 -2(1992-11)
CuSn8Pb2-C 2.1810	130	21	280 HB	◕	◕	◐	低到中等负载，足够的润滑
CuZn31Si1 2.1831	250	58	55 HRC				高负载，高的垂直和水平冲击载荷
CuPb10Sn10-C[2] 2.1816	80	18	250 HB	◕	◕	◐	高表面压力；车辆轴承、热轧机中轴承
CuPb20Sn5-C 2.1818	60	11	150 HB	●	●	●	适于水润滑；抗硫酸
热塑塑料							cf. DIN ISO 6691(2001-05)
PA6 (聚酰胺)	—	12	50 HRC	●	○	●	抗冲击和磨损；农机中轴承
POM (聚甲醛)	—	18	50 HRC				比 PA 更硬，更能受压；精密机械中轴承，适于干运行

1) 基于投影支承面的轴承力
2) 根据 DIN ISO 4383，用于薄壁滑动轴承的组合材料

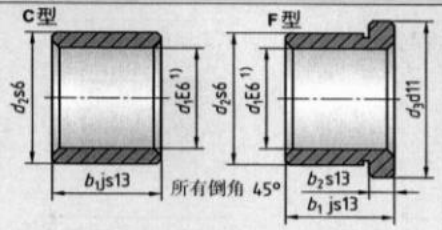
● 很好　◕ 好　◐ 中等
◔ 有限　○ 差

关注公众号：机械工程师成长营

滑动轴承，概述

铜合金制轴套

cf. DIN ISO 4379（1995－10）



1）压入配合产生公差等级 H8

用于安装尺寸的推荐公差等级	
定位孔	H7
轴	e7 或 g7（依赖应用）

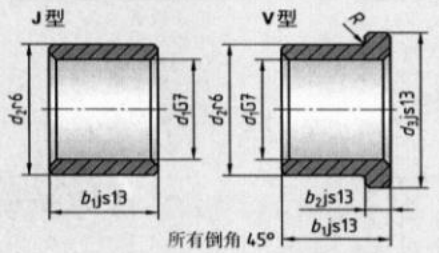
d_1	C型 d_2			F型 系列1 d_2	d_3	b_2	F型 系列2 d_2	d_3	b_2	长度 b_1		
10	12	14	16	12	14	1	16	20	3	—	10	—
12	14	16	18	14	16	1	18	22	3	10	15	20
15	17	19	21	17	19	1	21	27	3	10	15	20
18	20	22	24	20	22	1	24	30	3	12	20	30
20	23	24	26	23	26	1.5	26	32	3	15	20	30
22	25	26	28	25	28	1.5	28	34	3	15	20	30
25	28	30	32	28	31	1.5	32	38	4	20	30	40
30	34	36	38	34	38	2	38	44	4	20	30	40
35	39	41	45	39	43	2	45	50	5	30	40	50
40	44	48	50	44	48	2	50	58	5	30	40	60

直径范围 d_1：6～200

⇒ **轴套 4379－F22×25×30－CuSn8P**：F型，d_1 = 22 mm，d_2 = 25 mm，b_1 = 30 mm，材料为 CuSn8P

烧结金属制轴套

cf. DIN 1850－3（1998－07）



用于安装尺寸的推荐公差等级	
定位孔	H7
轴	—

d_1	J型 d_2		V型 d_2	d_3	b_2	$R_{最大}$	长度 b_1		
10	16	14	16	22	2	0.6	8	10	16
12	18	16	18	24	3	0.6	8	12	20
15	21	19	21	27	3	0.6	10	15	25
18	24	22	24	30	3	0.6	12	18	30
20	26	25	26	32	3	0.6	15	20	25
22	28	27	28	34	3	0.6	15	20	25
25	32	30	32	39	3.5	0.8	20	25	30
30	38	35	38	46	4	0.8	20	25	30
35	45	41	45	55	5	0.8	25	35	40
40	50	46	50	60	5	0.8	30	40	50

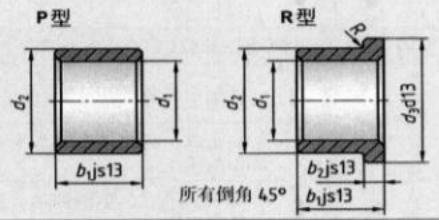
直径范围 d_1：1～60

⇒ **轴套 DIN 1850－V18×24×18－Sint－B50**：d_1 = 18 mm，d_2 = 24 mm，b_1 = 18 mm，烧结青铜 Sint－B50

热固塑料和热塑塑料制轴套

cf. DIN 1850－5 和－6（1998－07）

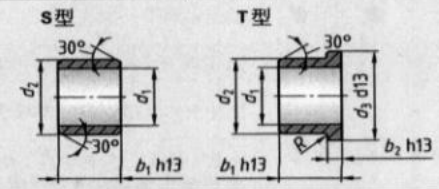
热固塑料



d_1	d_2	d_3	b_2	$R_{最大}$	长度 b_1		
10	16	20	3	0.3	6	10	—
12	18	22	3	0.5	10	15	20
15	21	27	3	0.5	10	15	20
18	24	30	3	0.5	12	20	30
20	26	32	3	0.5	15	20	30
22	28	34	3	0.5	15	20	30
25	32	38	4	0.5	20	30	40
30	38	44	4	0.5	20	30	40
35	45	50	5	0.8	30	40	50

⇒ 热固塑料的直径范围：3～250
对于热塑塑料：6～200

热塑塑料



热塑塑料制轴套的公差等级 *A* 和 *B* 的极限偏差 d_2 和 d_1

从	d_2 10 14	15 18	20 25	28 32	35 40	42 55	制造方法	压入配合导致的公差等级 d_1
A	+0.21 +0.07	+0.2 0	+0.4 +0.1	+0.6 +0.2	+0.69 +0.23	+0.90 +0.30	注射模法	D12
B	公差等级 zb11						机加工	C11

热固塑料制衬套的附加代码

W	外直径 d_2 上的圆形槽	Y	安装斜角 15°（代替 45°）
		Z	代替半径 *R* 的退刀槽

用于安装尺寸的推荐公差等级	热固塑料	热塑塑料
定位孔	H7	H7
轴	h7	h9

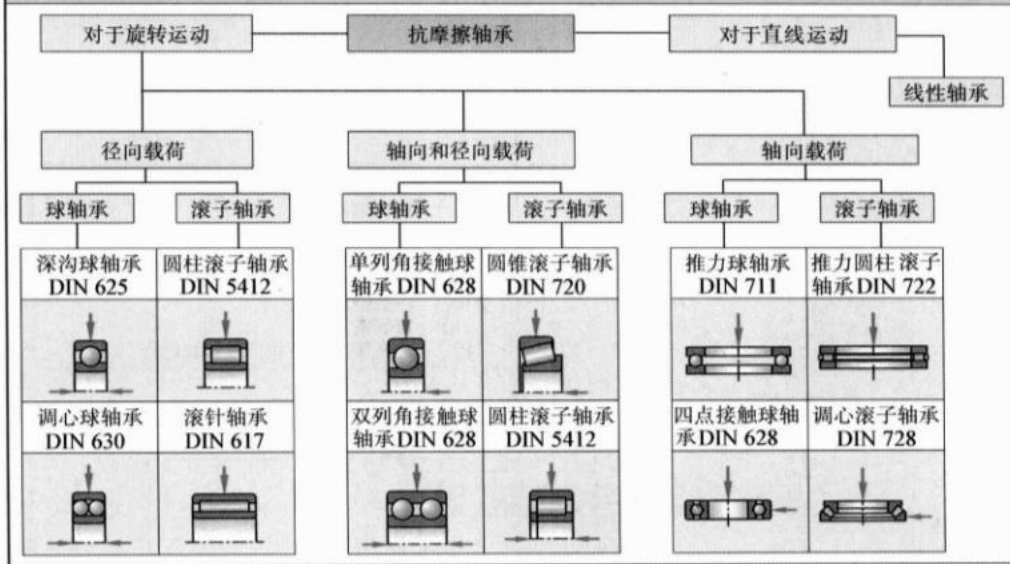
⇒ **轴套 DIN 1850－S20 A20－PA 6**：S型；d_1 = 20 mm，公差等级 A，b_1 = 20 mm，聚酰胺 6

其他标准设计：有包装的轴套 DIN 1494；内张力轴套 DIN 1498，外张力轴套 DIN 1499

关注公众号：机械工程师成长营

抗摩擦轴承，概述

滚子轴承（摘选）



滚子轴承性能

轴承设计[1]	内径 φd	径向载荷	轴向载荷	高速	高负载	无噪运行	应用
球轴承							
深沟球轴承	1.5～600	◕	◐	●	◐	●	机器和汽车制造中通用轴承
调心球轴承	5～120	◕	◴	◕	◴	◴	可补偿不同心度和轴挠度造成的误差
单列角接触球轴承	10～170	◕	◕	●[2]	◕[3]	◕	只成对使用，大作用力，汽车制造
双列角接触球轴承	10～110	◕	◕	◐	◕	◴	有限空间条件下的大作用力，汽车制造
推力球轴承	8～360	○	◕	◐	◐	◴	能承受很高轴向力：钻轴、尾架中心
四点接触球轴承	20～240	◴	◕	◴	◐	◴	狭小工作空间，锭子轴承设计，齿轮和滚子轴承安装
滚子轴承							
圆柱滚子轴承（N 型）	17～240	●	○	●	◕	◐	能承受很大的径向力，滚子轴承安装，传动
圆柱滚子轴承（NUP 型）	15～240	●	◐	◕	◕	◴	如 N 型，带凸缘的轮，且承受轴向力
滚针轴承	90～360	●	○	◴	●	◐	狭小安装空间下，高承载能力
圆锥滚子轴承	15～360	●	●	◐[2]	●[3]	◴	通常成对安装，汽车中的轮轴轴承、锭子轴承
推力圆柱滚子轴承	15～600	○	●	◴	◕	○	刚性轴承，需要最小的轴向间隙，耐摩擦
调心滚子轴承	60～1060	◴	●	◴	◕	○	角位移推力轴承，起重机中的推力轴承

1）对于所有径向轴承，前缀“径向”省略
2）成对安装会降低适宜性
3）成对安装

适宜性级别：
● 很好　◕ 好　◐ 中等
◴ 有限　○ 不适合

关注公众号：机械工程师成长营

抗摩擦轴承，标记

抗摩擦轴承的标记　　cf. DIN 623－1(1993－05)

例：圆锥滚子轴承 DIN 720－S 30208 P2

名称 | 标准 | 前缀字符 | 基本代号 | 后缀字符

前缀字符	
K	滚子保持架
L	挡油环
R	滚子套圈
S	不锈钢

后缀字符（摘选）	
K	带锥形孔轴承
Z	一侧带护罩轴承
2Z	双侧带护罩轴承
E	加固设计
RS	一侧密封轴承
2RS	双侧密封轴承
P2	最高精度：尺寸，型号和运行

基本代号举例：3 0 2 08

轴承系列 302

宽度系列 0 | 直径系列 2

轴承类型 3 | 尺寸系列 02 | 孔代号 08

轴承类型	设计
0	角接触球轴承，双列
1	调心球轴承
2	圆筒和调心滚子轴承
3	圆锥滚子轴承
4	深沟球轴承，双列
5	推力球轴承
6	深沟球轴承，单列
7	角接触球轴承，单列
8	推力圆柱滚子轴承
NA	滚针轴承
OJ	4 点接触球轴承
N,NJ,NJP,NN,NNU,NU,NUP	圆柱滚子轴承

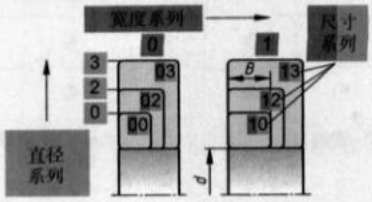
孔代号	孔径 φd	孔代号	孔径 φd
00	10	12	60
01	12	13	65
02	15	14	70
03	17	15	75
04	20	16	80
05	25	17	85
06	30	18	90
07	35	19	95
08	40	20	100
09	45	21	105
10	50	22	110
11	55	23	115

尺寸系列（摘选）　　cf. DIN 616(1994－06)

说明	尺寸系列的构成	例：圆锥滚子轴承[1]

DIN 616的尺寸设计包含直径系列，其中每一轴承孔 d（＝轴径）的公称直径被分配一号码：

- 外径和
- 宽度系列（用于径向轴承）或
- 高度系列（用于轴向轴承）



尺寸系列 02

孔代号	孔径 φd	D	B
07	35	72	17
08	40	80	18
09	45	85	19
10	50	90	20

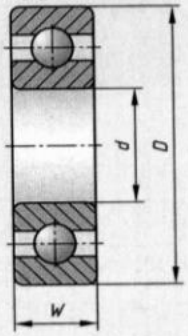
1) 其他尺寸，见第267 页

关注公众号：机械工程师成长营

球轴承

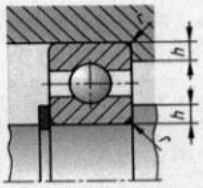
深沟球轴承

cf. DIN 625－1(1989－04)



d 从 1.5～600 mm

根据 DIN 5418 的安装尺寸

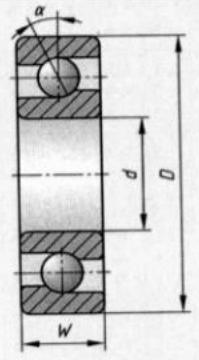


d	轴承系列 60					轴承系列 62					轴承系列 63				
	D	W	r 最大	h 最小	基本代号	D	W	r 最大	h 最小	基本代号	D	W	r 最大	h 最小	基本代号
10	26	8	0.3	1	6000	30	9	0.6	2.1	6200	35	11	0.6	2.1	6300
12	28	8	0.3	1	6001	32	10	0.6	2.1	6201	37	12	1	2.8	6301
15	32	9	0.3	1	6002	35	11	0.6	2.1	6202	42	13	1	2.8	6302
17	35	10	0.3	1	6003	40	12	0.6	2.1	6203	47	14	1	2.8	6303
20	42	12	0.6	1.6	6004	47	14	1	2	6204	52	15	1	3.5	6304
25	47	12	0.6	1.6	6005	52	15	1	2	6205	62	17	1	3.5	6305
30	55	13	1	2.3	6006	62	16	1	2	6206	72	19	1	3.5	6306
35	62	14	1	2.3	6007	72	17	1	2	6207	80	21	1.5	4.5	6307
40	68	15	1	2.3	6008	80	18	1	3.5	6208	90	23	1.5	4.5	6308
45	75	16	1	2.3	6009	85	19	1	3.5	6209	100	25	1.5	4.5	6309
50	80	16	1	2.3	6010	90	20	1	3.5	6210	110	27	2	5.5	6310
55	90	18	1	3	6011	100	21	1.5	4.5	6211	120	29	2	5.5	6311
60	95	18	1	3	6012	110	22	1.5	4.5	6212	130	31	2.1	6	6312
65	100	18	1	3	6013	120	23	1.5	4.5	6213	140	33	2.1	6	6313
70	110	20	1	3	6014	125	24	1.5	4.5	6214	150	35	2.1	6	6314
75	115	20	1	3	6015	130	25	2	5.5	6215	160	37	2.1	6	6315
80	125	22	1	3	6016	140	26	2	5.5	6216	170	39	2.5	7	6316
85	130	22	1.5	3.5	6017	150	28	2.1	6	6217	180	41	2.5	7	6317
90	140	24	1.5	3.5	6018	160	30	2.1	6	6218	190	43	2.5	7	6318
95	145	24	1.5	3.5	6019	170	32	2.1	6	6219	200	45	2.5	7	6319
100	150	24	1.5	3.5	6020	180	34	2.1	6	6220	215	47	2.5	7	6320

⇒ **深沟球轴承 DIN 625－6208－2Z－P2**：深沟球轴承（轴承类型 6），宽度系列 0[1]，直径系列 2，孔代号 08（$d=8\cdot5\text{mm}=40\text{mm}$），设计带 2 个护罩，用润滑脂 K2E－50 润滑

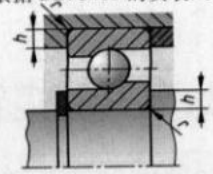
角接触球轴承

cf. DIN 628－1 和－3(1993－12)



d 从 10～170 mm

根据 DIN 5418 的安装尺寸



d	轴承系列 72					轴承系列 73					轴承系列 33（双列）				
	D	W	r 最大	h 最小	基本代号[2]	D	W	r 最大	h 最小	基本代号[2]	D	W	r 最大	h 最小	基本代号[3]
15	35	11	0.6	2.1	7202B	42	13	1	2.8	7302B	42	19	1	2.8	3302
17	40	12	0.6	2.1	7203B	47	14	1	2.8	7303B	47	22.2	1	2.8	3303
20	47	14	1	2.8	7204B	52	15	1	3.5	7304B	52	22.2	1	3.5	3304
25	52	15	1	2.8	7205B	62	17	1	3.5	7305B	62	25.4	1	3.5	3305
30	62	16	1	2.8	7206B	72	19	1	3.5	7306B	72	30.2	1	3.5	3306
35	72	17	1	3.5	7207B	80	21	1.5	4.5	7307B	80	34.9	1.5	4.5	3307
40	80	18	1	3.5	7208B	90	23	1.5	4.5	7308B	90	36.5	1.5	4.5	3308
45	85	19	1	3.5	7209B	100	25	1.5	4.5	7309B	100	39.7	1.5	4.5	3309
50	90	20	1	3.5	7210B	110	27	2	5.5	7310B	110	44.4	2	5.5	3310
55	100	21	1.5	4.5	7211B	120	29	2	5.5	7311B	120	49.2	2	5.5	3311
60	110	22	1.5	4.5	7212B	130	31	2.1	6	7312B	130	54	2.1	6	3312
65	120	23	1.5	4.5	7213B	140	33	2.1	6	7313B	140	58.7	2.1	6	3313
70	125	24	1.5	4.5	7214B	150	35	2.1	6	7314B	150	63.5	2.1	6	3314
75	130	25	1.5	4.5	7215B	160	37	2.1	6	7315B	160	68.3	2.1	6	3315
80	140	26	2	5.5	7216B	170	39	2.1	6	7316B	170	68.3	2.1	6	3316
85	150	28	2	5.5	7217B	180	41	2.5	7	7317B	180	73	2.5	7	3317
90	160	30	2	5.5	7218B	190	43	2.5	7	7318B	190	73	2.5	7	3318
95	170	32	2.1	6	7219B	200	45	2.5	7	7319B	200	77.8	2.5	7	3319
100	180	34	2.1	6	7220B	215	47	2.5	7	7320B	215	82.6	2.5	7	3320

⇒ **角接触球轴承 DIN 628－7309B**：角接触球轴承（轴承类型 7），宽度系列 0[1]，直径系列 3，孔代号 09（孔直径 $d=9\cdot5\text{mm}=45\text{mm}$），接触角 $\alpha=40°$（B）

1）在深沟球轴承和角接触球轴承的标记中，根据 DIN623－1，宽度系列代号 0 有时可省略

2）接触角 $\alpha=40°$

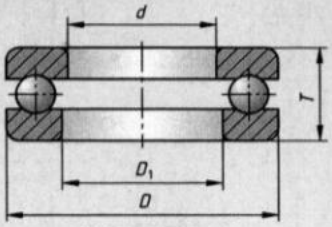
3）接触角未标准化

关注公众号：机械工程师成长营

球轴承，滚子轴承

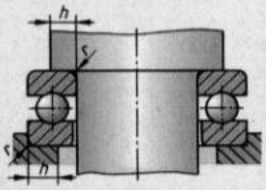
推力球轴承

cf. DIN 711（1988－02）



d 从 8～360 mm

根据 DIN 5418 的安装尺寸

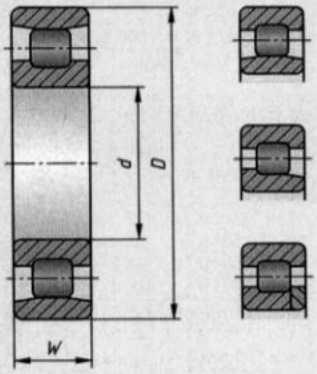


d	D_1	轴承系列 512 D	T	r 最大	h 最小	基本代号	轴承系列 513 D	T	r 最大	h 最小	基本代号
25	27	47	15	0.6	6	51205	52	18	1	7	51305
30	32	52	16	0.6	6	51206	60	21	1	8	51306
35	37	62	18	1	7	51207	68	24	1	9	51307
40	42	68	19	1	7	51208	78	26	1	10	51308
45	47	73	20	1	7	51209	85	28	1	10	51309
50	52	78	22	1	7	51210	95	31	1	12	51310
55	57	90	25	1	9	51211	105	35	1	13	51311
50	62	95	26	1	9	51212	110	35	1	13	51312
65	67	100	27	1	9	51213	115	36	1	13	51313
70	72	105	27	1	9	51214	125	40	1	14	51314
75	77	110	27	1	9	51215	135	44	1.5	15	51315
80	82	115	28	1	9	51216	140	44	1.5	15	51316

⇒ **推力球轴承 DIN 711－51210**：轴承系列为 512 的推力球轴承，轴承类型 5，宽度系列 1，直径系列 2 和孔代号 10

圆柱滚子轴承

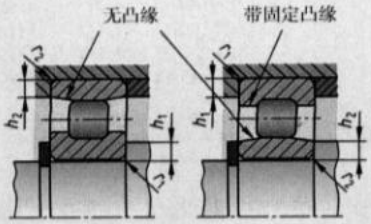
cf. DIN 5412－1（2000－04）



d 从 15～150 mm

根据 DIN 5418 的安装尺寸

N 型　　NU 型



d	轴承系列 N2，NU2，NJ2，NUP2 D	W	r_1 最大	h_1 最小	r_2 最大	h_2 最小	轴承系列 N3，NU3，NJ3，NUP3 D	W	r_1 最大	h_1 最小	r_2 最大	h_2 最小	孔代号
17	40	12	0.6	2.1	0.3	1.2	47	14	1	2.8	1	2.8	03
20	47	14	1	2.8	0.6	2.1	52	15	1.1	3.5	1	2.8	04
25	52	15	1	2.8	0.6	2.1	62	17	1.1	3.5	1	2.8	05
30	62	16	1	2.8	0.6	2.1	72	19	1.1	3.5	1	2.8	06
35	72	17	1	3.5	0.6	2.1	80	21	1.5	4.5	1	2.8	07
40	80	18	1	3.5	1	3.5	90	23	1.5	4.5	2	5.5	08
45	85	19	1	3.5	1	3.5	100	25	1.5	4.5	2	5.5	09
50	90	20	1	3.5	1	3.5	110	27	2	5.5	2	5.5	10
55	100	21	1.5	4.5	1	3.5	120	29	2	5.5	2	5.5	11
60	110	22	1.5	4.5	1.5	4.5	130	31	2.1	6	2	5.5	12
65	120	23	1.5	4.5	1.5	4.5	140	33	2.1	6	2	5.5	13
70	125	24	1.5	4.5	1.5	4.5	150	35	2.1	6	2	5.5	14
75	130	25	1.5	4.5	1.5	4.5	160	37	2.1	6	2	5.5	15
80	140	26	2	5.5	2	5.5	170	39	2.1	6	2	5.5	16
85	150	28	2	5.5	2	5.5	180	41	3	7	3	7	17
90	160	30	2	5.5	2	5.5	190	43	3	7	3	7	18
95	170	32	2.1	6	2.1	6	200	45	3	7	3	7	19
100	180	34	2.1	6	2.1	6	215	47	3	7	3	7	20
105	—	—	—	—	—	—	225	49	3	7	3	7	21
110	200	38	2.1	6	2.1	6	240	50	3	7	3	7	22
120	215	40	2.1	6	2.1	6	260	55	3	7	3	7	24

⇒ **圆柱滚子轴承 DIN5412－NUP312E**：轴承系列为 NUP3 的圆柱滚子轴承，轴承类型 NUP，宽度系列 0，直径系列 3 和孔代号 12，加强设计

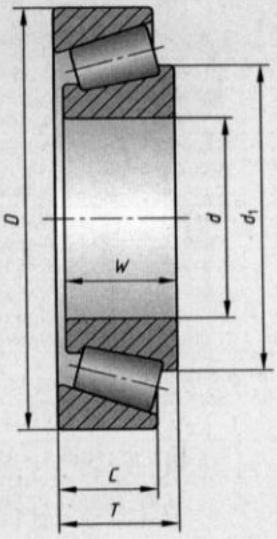
尺寸系列为 02，22，03 和 23 的正规设计已经从标准中无替代地删除，就用加强设计代替（后缀字符 E）

关注公众号：机械工程师成长营

滚子轴承

圆锥滚子轴承

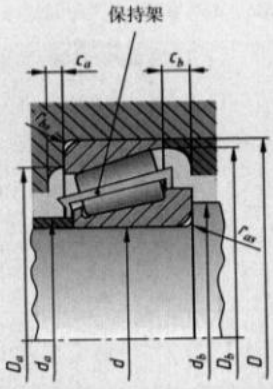
cf. DIN 720（1979－02）和 DIN 5418（1993－02）



轴承系列 302

尺寸						安装尺寸								
d	D	W	C	T	d_1	d_a 最大	d_b 最小	D_a 最小	D_a 最大	D_b 最小	c_a 最小	c_b 最小	r_{as} 最大	r_{bs} 最大	基本代号
20	47	14	12	15.25	33.2	27	26	40	41	43	2	3	1	1	30204
25	52	15	13	16.25	37.4	31	31	44	46	48	2	2	1	1	30205
30	62	16	14	17.25	44.6	37	36	53	56	57	2	3	1	1	30206
35	72	17	15	18.15	51.8	44	42	62	65	67	3	3	1.5	1.5	30207
40	80	18	16	19.75	57.5	49	47	69	73	74	3	3.5	1.5	1.5	30208
45	85	19	16	20.75	63	54	52	74	78	80	3	4.5	1.5	1.5	30209
50	90	20	17	21.75	67.9	58	57	79	83	85	3	4.5	1.5	1.5	30210
55	100	21	18	22.75	74.6	64	64	88	91	94	4	4.5	2	1.5	30211
60	110	22	19	23.75	81.5	70	69	96	101	103	4	4.5	2	1.5	30212
65	120	23	20	24.75	89	77	74	106	111	113	4	4.5	2	1.5	30213
70	125	24	21	26.25	93.9	81	79	110	116	118	4	5	2	1.5	30214
75	130	25	22	27.25	99.2	86	84	115	121	124	4	5	2	1.5	30215
80	140	26	22	28.25	105	91	90	124	130	132	4	6	2.5	2	30216
85	150	28	24	30.5	112	97	95	132	140	141	5	6.5	2.5	2	30217
90	160	30	26	32.5	118	103	100	140	150	150	5	6.5	2.5	2	30218
95	170	32	27	34.5	126	110	107	149	158	159	5	7.5	3	2.5	30219
100	180	34	29	37	133	116	112	157	168	168	5	8	3	2.5	30220
105	190	36	30	39	141	122	117	165	178	177	6	9	3	2.5	30221
110	200	38	32	41	148	129	122	174	188	187	6	9	3	2.5	30222
120	215	40	34	43.5	161	140	132	187	203	201	6	9.5	3	2.5	30224

根据 DIN 5418 的安装尺寸



在圆锥滚子轴承中，保持架超出外圈侧面
应保留 DIN 5418 的安装尺寸，以使保持架不与其他零件摩擦

轴承系列 303

尺寸						安装尺寸								
d	D	W	C	T	d_1	d_a 最大	d_b 最小	D_a 最小	D_a 最大	D_b 最小	c_a 最小	c_b 最小	r_{as} 最大	r_{bs} 最大	基本代号
20	52	15	13	16.25	34.3	28	27	44	45	47	2	3	1.5	1.5	30304
25	62	17	15	18.25	41.5	34	32	54	55	57	2	3	1.5	1.5	30305
30	72	19	16	20.75	44.8	40	37	62	65	66	3	4.5	1.5	1.5	30306
35	80	21	18	22.75	54.5	45	44	70	71	74	3	4.5	2	1.5	30307
40	90	23	20	25.25	62.5	52	49	77	81	82	3	5	2	1.5	30308
45	100	25	22	27.25	70.1	59	54	86	91	92	3	5	2	1.5	30309
50	110	27	23	29.25	77.2	65	60	95	100	102	4	6	2.5	2	30310
55	120	29	25	31.5	84	71	65	104	110	111	4	6.5	2.5	2	30311
60	130	31	26	33.5	91.9	77	72	112	118	120	5	7.5	3	2.5	30312
65	140	33	28	36	98.6	83	77	122	128	130	5	8	3	2.5	30313
70	150	35	30	38	105	89	82	120	138	140	5	8	3	2.5	30314
75	160	37	31	40	112	95	87	139	148	149	5	9	3	2.5	30315
80	170	39	33	42.5	120	102	92	148	158	159	5	9.5	3	2.5	30316
85	180	41	34	44.5	126	107	99	156	166	167	6	10.5	4	3	30317
90	190	43	36	46.5	132	113	104	165	176	176	6	10.5	4	3	30318
95	200	45	38	49.5	139	118	109	172	186	184	6	11.5	4	3	30319
100	215	47	39	51.5	148	127	114	184	201	197	6	12.5	4	3	30320
105	225	49	41	53.5	155	132	119	193	211	206	7	12.5	4	3	30321
110	240	50	42	54.5	165	141	124	206	226	220	8	12.5	4	3	30322
120	260	55	46	59.5	178	152	134	221	246	237	8	13.5	4	3	30324

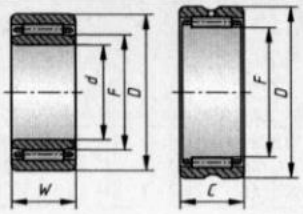
⇒ **圆锥滚子轴承 DIN 720－30212**：轴承系列 302 的圆锥滚子轴承，轴承类型 3，宽度系列 0，直径系列 2，孔代号 12

关注公众号：机械工程师成长营

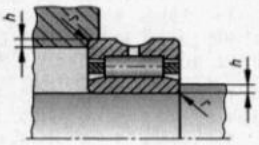
滚针轴承，圆螺母

滚针轴承（摘选）

cf. DIN 617(1993－04)



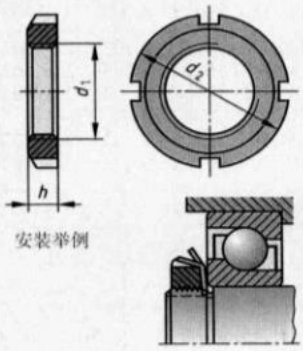
根据 DIN 5418 的安装尺寸



d	D	F	r 最大	h 最小	轴承系列 NA49 W	轴承系列 NA49 基本代号	轴承系列 NA69 W	轴承系列 NA69 基本代号
20	37	25	0.3	1	17	NA4904	30	NA6904
25	42	28	0.3	1	17	NA4905	30	NA6905
30	47	30	0.3	1	17	NA4906	30	NA6906
35	55	42	0.6	1.6	20	NA4907	36	NA6907
40	62	48	0.6	1.6	22	NA4908	40	NA6908
45	68	52	0.6	1.6	22	NA4909	40	NA6909
50	72	58	0.6	1.6	22	NA4910	40	NA6910
55	80	63	1	2.3	25	NA4911	45	NA6911
60	85	68	1	2.3	25	NA4912	45	NA6912
65	90	72	1	2.3	25	NA4913	45	NA6913
70	100	80	1	2.3	30	NA4914	54	NA6914
75	105	85	1	2.3	30	NA4915	54	NA6915
⇒	**滚针轴承 DIN 617－NA4909**：轴承系列为 NA49 的滚针轴承，轴承类型 NA，宽度系列 4，直径系列 9，孔代号 09						NA6907 及以上编号：双列	

圆螺母（摘选）

cf. DIN 981(1993－02)



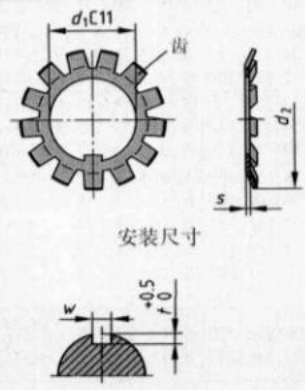
安装举例

d_1 从 M10～M200

d_1	d_2	h	代号	d_1	d_2	h	代号
M10×0.75	18	4	KM0	M60×2	80	11	KM12
M12×1	22	4	KM1	M65×2	85	12	KM13
M15×1	25	5	KM2	M70×2	92	12	KM14
M17×1	28	5	KM3	M75×2	98	13	KM15
M20×1	32	6	KM4	M80×2	105	15	KM16
M25×1.5	38	7	KM5	M85×2	110	16	KM17
M30×1.5	45	7	KM6	M90×2	120	16	KM18
M35×1.5	52	8	KM7	M95×2	125	17	KM19
M40×1.5	58	9	KM8	M100×2	130	18	KM20
M45×1.5	65	10	KM9	M105×2	140	18	KM21
M50×1.5	70	11	KM10	M110×2	145	19	KM22
M55×2	75	11	KM11	M115×2	150	19	KM23
⇒	**圆螺母 DIN 981－KM6**：d_1 = M30×1.5 的圆螺母						

锥形锁紧垫圈（摘选）

cf. DIN 5406(1993－02)



安装尺寸

d_1 从 10～200 mm

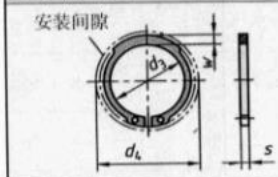
d_1	d_2	s	w H11	t	代号	d_1	d_2	s	w H11	t	代号
10	21	1	4	2	MB0	60	86	1.5	9	4	MB12
12	25	1	4	2	MB1	65	92	1.5	9	4	MB13
15	28	1	5	2	MB2	70	98	1.5	9	5	MB14
17	32	1	5	2	MB3	75	104	1.5	9	5	MB15
20	36	1	5	2	MB4	80	112	1.7	11	5	MB16
25	42	1.2	6	3	MB5	85	119	1.7	11	5	MB17
30	49	1.2	6	4	MB6	90	126	1.7	11	5	MB18
35	57	1.2	7	4	MB7	95	133	1.7	11	5	MB19
40	62	1.2	7	4	MB8	100	142	1.7	14	6	MB20
45	69	1.2	7	4	MB9	105	145	1.7	14	6	MB21
50	74	1.2	7	4	MB10	110	154	1.7	14	6	MB22
55	81	1.5	9	4	MB11	115	159	2	14	6	MB23
⇒	**锥形锁紧垫圈 DIN5406－MB6**：d_1 = 30 mm 的锁紧垫圈										

关注公众号：机械工程师成长营

挡 圈

内挡圈和外挡圈（标准设计）[1]

对于轴（外） cf. DIN 471(1981－09)

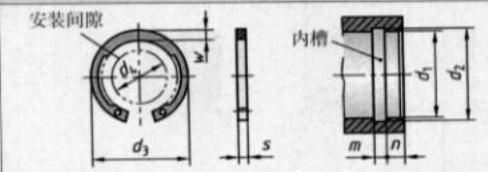


公称尺寸 d_1(mm)	圈				槽		
	s	d_3	d_4	w ≈	d_2	m H13	n 最小
10	1	9.3	17	1.8	9.6	1.1	0.6
12	1	11	19	1.8	11.5	1.1	0.8
15	1	13.8	22.6	2.2	14.3	1.1	1.1
18	1.2	16.5	26.2	2.4	17	1.3	1.5
20	1.2	18.5	28.4	2.6	19	1.3	1.5
22	1.2	20.5	30.8	2.8	21	1.3	1.5
25	1.2	23.2	34.2	3	23.9	1.3	1.7
28	1.5	25.9	37.9	3.2	26.6	1.6	2.1
30	1.5	27.9	40.5	3.5	28.6	1.6	2.1
32	1.5	29.6	43	3.6	30.3	1.6	2.6
35	1.5	32.2	46.8	3.9	33	1.6	3
38	1.75	35.2	50.2	4.2	36	1.85	3
40	1.75	36.5	52.6	4.4	37.5	1.85	3.8
42	1.75	38.5	55.7	4.5	39.5	1.85	3.8
45	1.75	41.5	59.1	4.7	42.5	1.85	3.8
48	1.75	44.5	62.5	5	45.5	1.85	3.8
50	2.0	45.8	64.5	5.1	47.0	2.15	4.5
60	2.0	55.8	75.6	5.8	57.0	2.15	4.5
65	2.5	60.8	81.4	6.3	62.0	2.65	4.5
70	2.5	65.5	87	6.6	67.0	2.65	4.5
75	2.5	70.5	92.7	7.0	72.0	2.65	4.5
80	2.5	74.5	98.1	7.4	76.5	2.65	5.3
90	3.0	84.5	108.5	8.2	86.5	3.15	5.3
100	3.0	94.5	120.2	9	96.5	3.15	5.3
⇒	挡圈 **DIN471－40×1.75**：d_1=40 mm，s=1.75 mm						

d_2 的公差等级

d_1（mm）	3～10	12～22	24～100
d_2	h10	h11	h12

对于孔（内） cf. DIN 472(1981－09)



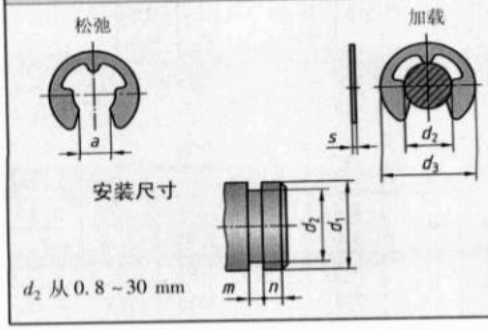
公称尺寸 d_1(mm)	圈				槽		
	s	d_3	d_4	w ≈	d_2	m H13	n 最小
10	1	10.8	3.3	1.4	10.4	1.1	0.6
12	1	13	4.9	1.7	12.5	1.1	0.8
15	1	16.2	7.2	2	15.7	1.1	1.1
18	1	19.5	9.4	2.2	19	1.1	1.5
20	1	21.5	11.2	2.3	21	1.1	1.5
22	1	23.5	13.2	2.5	23	1.1	1.5
25	1.2	26.9	15.5	2.7	26.2	1.3	1.8
28	1.2	30.1	17.9	2.9	29.4	1.3	2.1
30	1.2	32.1	19.9	3	31.4	1.3	2.1
32	1.2	34.4	20.6	3.2	33.7	1.3	2.6
35	1.5	37.8	23.6	3.4	37	1.6	3
38	1.5	40.8	26.4	3.7	40	1.6	3
40	1.75	43.5	27.8	3.9	42.5	1.85	3.8
42	1.75	45.5	29.6	4.1	44.5	1.85	3.8
45	1.75	48.5	32	4.3	47.5	1.85	3.8
48	1.75	51.5	34.5	4.5	50.5	1.85	3.8
50	2.0	54.2	36.3	4.6	53.0	2.15	4.5
60	2.0	64.2	44.7	5.4	63.0	2.15	4.5
65	2.5	69.2	49.0	5.8	68.0	2.65	4.5
72	2.5	76.5	55.6	6.4	75.0	2.65	4.5
75	2.5	79.5	58.6	6.6	78.0	2.65	4.5
80	2.5	85.5	62.1	7.0	83.5	2.65	5.3
90	3.0	95.5	71.9	7.6	93.5	3.15	5.3
100	3.0	105.5	80.6	8.4	103.5	3.15	5.3
⇒	挡圈 **DIN 472－80×2.5**：d_1=80 mm，s=2.5 mm						

d_2 的公差等级

d_1（mm）	8～22	24～100	100～300
d_2	H11	H12	H13

1）标准设计：d_1 从 3～300mm　重载设计：d_1 从 15～100mm

开口挡圈 cf. DIN 6799(1981－09)



d_2 从 0.8～30 mm

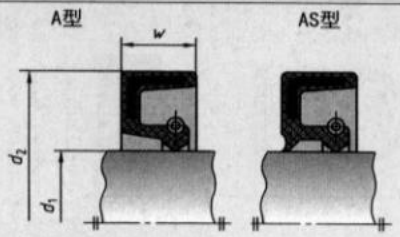
开口挡圈 d_2 h11	d_3 加载	a	s	轴 d_1	m		n 最小
6	12.3	5.26	0.7	7～9	0.74	+0.05 0	1.2
7	14.3	5.84	0.9	8～11	0.94		1.5
8	16.3	6.52	1	9～12	1.05		1.8
9	18.8	7.63	1.1	10～14	1.15	+0.08 0	2
10	20.4	8.32	1.2	11～15	1.25		2
12	23.4	10.45	1.3	13～18	1.35		2.5
15	29.4	12.61	1.5	16～24	1.55		3
19	37.6	15.92	1.75	20～31	1.80		3.5
24	44.6	21.88	2	25～38	2.05		4
⇒	开口挡圈 **DIN 6799－15**：d_2=15 mm						

关注公众号：机械工程师成长营

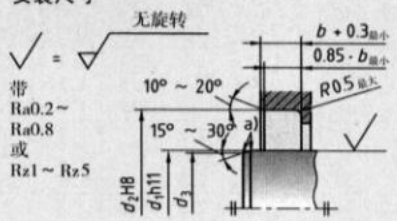
密封元件

旋转轴唇形密封圈

vgl. DIN 3760（1996－09）



安装尺寸



d_1 从6～500 mm

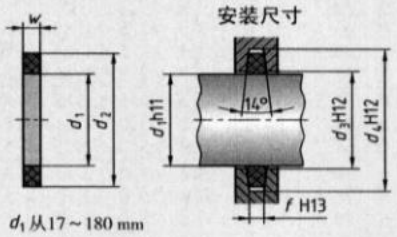
a) =棱边倒圆

d_1	d_2		w	d_3	d_1	d_2		w	d_3	d_1	d_2		w	d_3
10	22	26	7	8.5	28	40	52	7	25.5	50	65	72	8	46.5
	25	—				47	—				68	—		
12	22	30	7	10	30	40	47	8	27.5	55	70	80	8	51
	25	—				42	52				72	—		
14	24	30	7	12	32	45	52	8	29	60	75	85	8	56
15	26	35	7	13		47	—				80	—		
	30	—			35	47	52	8	32	65	85	90	10	61
16	30	35	7	14		50	55	8	35	70	90	95	10	66
18	30	35	7	16	38	55	62			75	95	100	10	70.5
20	30	40	7	18	40	52	62	8	37	80	100	110	10	75.5
	35	—				55	—	8	38.5	85	110	120	12	80.5
22	35	47	7	19.5	42	55	62			90	110	120	12	85.5
	40	—			45	60	65	8	41.5	95	120	125	12	90.5
25	35	47	7	22.5		62	—		44.5	100	120	130	12	94.5
	40	52			48	62	—				125	—		

⇒ **RWDR DIN 3760－A25×40×7－NB**：A型旋转轴唇形密封圈（RWDR），d_1=25mm，d_2=40mm 和 w=7mm，丁腈橡胶制弹性体（NBR）

方形圈

cf. DIN 5419（1959－09）



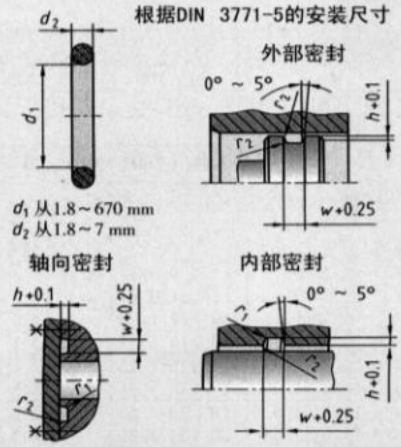
d_1 从17～180 mm

尺寸			安装尺寸			尺寸			安装尺寸		
d_1	d_2	w	d_3	d_4	f	d_1	d_2	w	d_3	d_4	f
20	30	4	21	31	3	60	76	6.5	61.5	77	5
25	37	5	26	38	4	65	81	6.5	66.5	82	5
30	42	5	31	43	4	70	88	7.5	71.5	89	6
35	47	5	36	48	4	75	93	7.5	76.5	94	6
40	52	5	41	53	4	80	99	7.5	81.5	99	6
45	57	5	46	58	4	85	103	7.5	86.5	104	6
50	66	6.5	51	67	5	90	110	9.5	92	111	7
55	71	6.5	56	72	5	100	124	10	102	125	8

⇒ **方形圈 DIN 5419 M5－40**：方形圈 d_1=40 mm，毛毡硬度 M5

O形圈

cf. DIN 3771－1（1984－12）和－5（1993－11）



d_1 从1.8～670 mm
d_2 从1.8～7 mm

d_1	d_2		d_1	d_2		d_1	d_2		d_1	d_2	
5	1.8		18	2.65	3.55	56	3.55	5.3	85	3.55	5.3
6			20			58			90		
8			25			60			95		
9			28			63			100		
10			30			67			103		
14			40			69			106		
15			45			71			109		
16	1.8	2.65	50	3.55	5.3	75			112		
17			53			80			115		

静态载荷安装尺寸

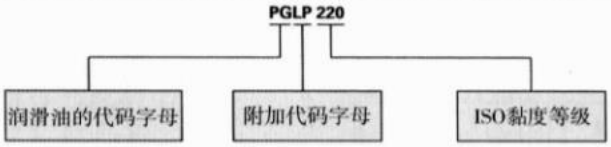
d_2	r_1	r_2	内部及外部密封			轴向密封	
			w	内部	外部	w	h
				h			
1.8	0.3	0.2	2.4	1.4	1.3	2.6	1.3
2.65			3.6	2.1	1.95	3.8	2
3.55	0.6	0.2	4.8	2.85	2.65	5	2.75
5.3			7.1	4.3	4.15	7.3	4.25

关注公众号：机械工程师成长营

润滑油

润滑油的标记 cf. DIN 51502(1990－08)

用代码字母标记	用符号标记



⇒ 润滑油 DIN 51517－CL 100：基于润滑油（C）的循环矿物油，增强的抗腐蚀和抗老化性能（L），ISO 黏度等级 VG100(100)

⇒ 润滑油 DIN 51517－PGLP220：聚乙二醇油（PG），增强的抗腐蚀和抗老化性能（L），增强的防磨损性能（P），ISO 黏度等级 VG 220(220)

润滑油类型 cf. DIN 51502(1990－08)

代码字母	润滑剂类型和性能	标准	应用
矿物油			
AN	不带添加剂的普通润滑油	DIN 51501	一旦流通，在温度≤50℃时循环润滑
B	含高黏着润滑油的沥青	DIN 51513	手动，连续流动和油洗润滑，主要用于敞开的润滑点
C	不带添加剂的循环润滑油	DIN 51517	滑动轴承、抗摩擦轴承、齿轮
CG	带减少磨损的活性成分的滑轨油	DIN 8659T2	用于滑道和导轨的混合摩擦运转，用于蜗轮
合成液体			
E	黏性特小变化的酯油	—	在宽温度范围内工作的轴承
PG	高抗老化性的聚乙二醇油	—	频繁混合摩擦条件的轴承
SI	高抗老化性的硅油	—	很高和低温用轴承，绝对防水

附加代码字母 cf. DIN 51502(1990－08)

附加代码字母	应用和说明
E	用于与水混合的润滑剂，如：冷却润滑剂 SE
F	用于含固体润滑添加剂的润滑剂，如：石墨、硫化钼
L	用于含活性成分的润滑剂，以提高抗腐蚀和/或抗老化性能
P	用于含活性成分的润滑剂，能在混合摩擦区域减少摩擦和磨损，和/或增加承载能力

流体工业润滑剂的 ISO 黏度等级 cf. DIN 51519(1998－08)

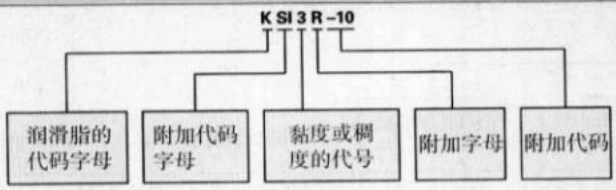
黏度等级	运动黏度（mm^2/s）在			黏度等级	运动黏度（mm^2/s）在			黏度等级	运动黏度（mm^2/s）在		
	20℃	40℃	50℃		20℃	40℃	50℃		20℃	40℃	50℃
ISO VG 2	3.3	2.2	1.3	ISO VG 22	—	22	15	ISO VG 220	—	220	130
ISO VG 3	5	3.2	2.7	ISO VG 32	—	32	20	ISO VG 320	—	320	180
ISO VG 5	8	4.6	3.7	ISO VG 46	—	46	30	ISO VG 460	—	460	250
ISO VG 7	13	6.8	5.2	ISO VG 68	—	68	40	ISO VG 680	—	680	360
ISO VG 10	21	10	7	ISO VG 100	—	100	60	ISO VG 1000	—	1000	510
ISO VG 15	34	15	11	ISO VG 150	—	150	90	ISO VG 1500	—	1500	740

关注公众号：机械工程师成长营

润滑脂，固体润滑剂 cf. DIN 51502(1990－08)

润滑脂的标记

用代码字母标记	用符号标记



⇒ 润滑脂 DIN51517－K3N－20：耐摩擦和普通轴承（K）用矿物油基润滑脂，NLGI 等级 3（3），上限工作温度 +140℃（N），下限工作温度 －20℃（－20）

⇒ 润滑脂 DIN51517－KSI3R－10：耐摩擦和普通轴承（K）用硅基润滑脂（SI），NLGI 等级 3（3），上限工作温度 +180℃（N），下限工作温度 －10℃（－10）

润滑脂

代码字母	应用/添加剂	代码字母	应用
K	常规：耐摩擦轴承，普通轴承，滑移表面	G	密闭式齿轮
KP	如 K，但带减小摩擦的添加剂	OG	敞开式齿轮（无沥青的胶黏润滑剂）
KF	如 K，但带固体润滑添加剂	M	用于普通轴承和密封（低要求）

润滑脂的稠度[1]分类

NLGI 稠度等级[3]	工作针入度[2]	NLGI 稠度等级[3]	工作针入度[2]	NLGI 稠度等级[3]	工作针入度[2]
000	445～475（很软）	1	310～340	4	175～205
00	400～430	2	365～295	5	130～160
0	355～385	3	220～250	6	85～115（很坚硬）

1）黏弹性代号
2）在揉捏了（处理过）的油脂中，用标准测试球测量渗透深度
3）标准润滑油脂协会（NLGI）

润滑脂的附加字母

附加字母[1]	上限工作温度（℃）	等级[2]	附加字母[1]	上限工作温度（℃）	等级[2]	附加字母[1]	上限工作温度（℃）	等级[2]
C	+60	0 或 1	G	+100	0 或 1	N	+140	按照协议
D	+60	2 或 3	H	+100	2 或 3	P	+160	
						R	+180	
E	+80	0 或 1	K	+120	0 或 1	S	+200	
F	+80	2 或 3	M	+120	2 或 3	T	+220	
						U	+220	

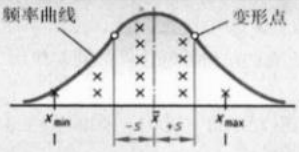
1）表示下限工作温度的数值可添加一附加代码字母，如：－20 表示 －20℃ 2）抗水淋性能等级，cf. DIN 51807－1:0：无变化；1：小变化；2：中等变化；3：大变化

固体润滑剂

润滑剂	代码	工作温度	应用
石墨	C	－18℃～+450℃	如粉末或油膏，作为润滑油和润滑脂的添加剂，不用在氧气、氮气和真空环境中
钼	MoS_2	－180℃～+400℃	如矿物无油膏，润滑漆涂层，或作为润滑油硫化物和润滑脂的添加剂，适于很大的表面应力
聚四氟乙烯	PTFE	－250℃～+260℃	如润滑漆涂层和合成润滑脂中的粉末，作为轴承材料，有很小的滑动摩擦系数 $\mu = 0.04 \sim 0.09$

关注公众号：机械工程师成长营

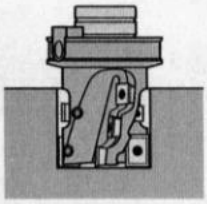
6. 生产管理



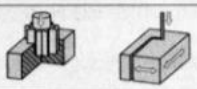
6.1 质量管理
标准 …… 274
术语 …… 275
质量策划，质量控制，质量测试 …… 276
统计分析 …… 277
正态分布 …… 278
统计过程控制 … 279
过程趋势，验收取样和计划 …… 280
加工和机器能力，质量控制图 …… 281

物料管理费用
占物料直接成本的百分比，如：购买成本，仓库储存费等

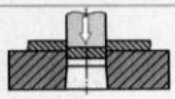
6.2 生产计划
时间核算 …… 282
成本核算 …… 284
机器小时费率 … 285
直接成本 …… 286



6.3 机动时间
车削，车螺纹 … 287
车削 …… 288
钻孔、铰孔、锪孔、刨削成形 …… 289
铣削 …… 290
磨削 …… 291
6.4 加工切削液
金属的加工切削液 … 292
硬材料的加工及干加工，高速铣，MQCL … 293
6.5 刀具
刀具材料 …… 294
可转位硬质合金刀片 … 296
可转位刀片用刀杆的标注 …… 297
6.6 加工切削力及功率
单位切削力、标准值 … 298
车削和钻孔时的切削力及功率 …… 299
端铣时的切削力及功率 … 300
6.7 切削数据
钻孔 …… 301
铰孔和攻丝 …… 302
车削 …… 303
车锥面 …… 304
铣削 …… 305
钻、车、铣削加工的调试检修 …… 306
分度头分度 …… 307
磨削 …… 308
磨料，结合剂 … 309
砂轮选择 …… 310
金刚石及氮化硼砂轮磨削 …… 311
珩磨 …… 312



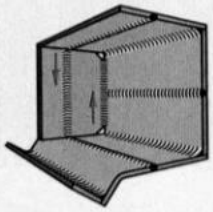
6.8 材料蚀除
机动时间和标准值 …… 313
电蚀加工参数 …… 314



6.9 冲裁
冲裁力 …… 315
刀具及工件尺寸 …… 316
模柄位置，材料利用 …… 317



6.10 成形
弯曲 …… 318
拉深 …… 320



6.11 焊接
焊接工艺 …… 322
焊接准备 …… 323
压缩气瓶、气焊条 … 324
保护气体、电焊条* … 325
气体保护金属极弧焊标准植、铝焊条 … 326
电弧焊焊条 …… 327
电焊条、电弧焊焊接设计 …… 328
射流束切割 …… 329
气瓶标记* …… 331
硬钎焊 …… 333
软钎焊 …… 334
钎焊接头 …… 335
6.12 胶接
胶黏剂、胶接前表面处理 …… 336
胶接接头设计、试验方法 …… 337



6.13 车间安全和环境保护
安全颜色、禁止标志* …… 338
警告标志* …… 339
安全标志* …… 340
危险品符号* …… 342
管道标志* …… 343
声音和噪声* …… 344

关注公众号：机械工程师成长营

标 准

标准 ISO 9000 – 9004

ISO9000 族标准能帮助各种类型和大小的组织执行质量管理系统，与已有的质量管理体系共同起作用，并且促进国内和国际贸易中的相互理解

质量管理标准 cf. DIN EN ISO 9000，9001，9004(2000 – 12)

标准	说明，内容
DIN EN ISO 9000	**质量管理体系基础**
	质量管理原则 · 以顾客为中心 · 领导作用 · 全员参与 · 过程方法 · 管理的系统方法 · 持续改进 · 基于事实的决策 · 与供方互利的关系 **质量管理体系基本原理（QM 系统）** · 质量管理体系的作用 · 质量管理体系要求和产品要求 · 质量管理体系的逐步执行 · 过程定向评价 · 质量方针和目标 · 最高管理者在质量管理体系中的作用 · 文件；优势和种类 · 质量管理体系评价 · 持续改进 · 统计技术的作用 · 质量管理体系作为总体管理体系的一部分 · 质量管理体系的要求和组织优秀管理模式的比较评价
	质量管理体系的术语
	定义的选择和术语的解释，见第 275 页
DIN EN ISO 9001[1)]	**质量管理体系的要求**
	不管提供的产品，国际标准适用于任何工业组织或业务部门。它在 ISO 9000 的基本框架的基础上建立质量管理系统要求，条件为组织： · 应证实具有提供满足顾客要求和适用法律法规要求的产品的能力 · 努力提高顾客满意度，包括此体系的持续改进过程 特殊要求可用于： · 组织的内部应用 · 认证目的 · 合同目的 标准是基于过程定向评价，如：那些使用资源，将其由输入转变为结果的每一次业务活动或活动序列被当做一个过程 **要求** 组织应该： · 认可质量管理体系的所有必要过程和它们在组织中的使用 · 建立这些过程的流程和互相联系 · 建立标准和确保执行的方法及过程控制 · 保证过程的资料和信息的有效性 · 监控、测量和分析这些过程 · 对这些过程的持续改进采取必要的行动 · 完成质量管理体系的文件要求 · 遵守文件控制的规则
	1）此标准也代换以前的标准 9002 和 9003
DIN EN ISO 9004	**评定质量管理体系的总体性能，效力和效率的指南**
	此标准的目的是改进组织和提高顾客和其他相关方的满意度。它不用于认证或合同目的

关注公众号：机械工程师成长营

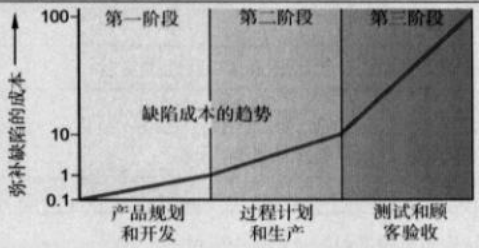
术 语	
术语（摘选）	定义与说明 cf. DIN EN ISO 9000(2000－12)
有关质量的术语	
质量	满足产品要求的一组固有特性
要求	明示的或必须履行的对单元特性的需求，如：公称值，公差，功能性或安全
顾客满意	顾客对其要求已被满足的程度的感受
能力	组织、体系或过程提供产品，并使其满足产品质量要求的本领
有关特性和合格的术语	
质量特性	确定产品或过程的特征，以在基于特殊质量要求的质量评定中应用 ·量(可变）特性： 离散特性（整数），如：孔数、工件计数 连续特性（测量值），如：长、位置、质量 ·质特性： 顺序特性（分等级）：如：淡蓝－蓝－深蓝 公称特性（不分等级），如：好－坏，蓝－黄 确定产品、过程或体系与要求有关的固有特性
合格	满足指定要求，如：尺寸公差
缺陷	未满足指定要求，如：与要求的尺寸公差或表面质量不一致
返工	使有缺陷产品符合要求而对其所采取的措施
有关过程和产品的术语	
过程	一组将输入转化为输出的相互关联或相互作用的资源和活动。一些资源举例，如：职员、财力、设备和制造方法
方法	为进行某项活动或过程所规定的方式。书面形式上也称为过程指导
产品	过程的结果，如：零件、装配、服务、加工项目、认识、概念、文件、合同、污染物
有关组织的术语	
组织	职责、权限和相互关系得到安排的一组人员及设施
顾客	接受产品的组织或个人
供方	提供产品的组织或个人
有关管理的术语	
质量管理体系	组织和组织结构，为实施质量管理所需的方法和操作过程
质量管理	在质量方面指挥和控制组织的所有协调的活动： ·建立质量方针 ·质量控制 ·设定质量目标 ·质量保证 ·质量策划 ·质量改进
质量策划	致力于制定质量目标的活动，并规定必要的运行过程和相关资料以实现质量目标
质量控制	尽管有不可避免的质量变化，仍不断满足要求的工作活动和技术。主要包括过程监控和弱点排除
质量保证	履行和产生与质量管理体系相关的所有活动的所需文件，目的在于为顾客和在内部创造质量要求会得到满足的信任气氛
质量改进	在整个组织内所采取的措施，以增强满足质量要求的能力
质量手册	描述组织的质量方针、质量目标和质量管理体系的文件

关注公众号：机械工程师成长营

质量策划，质量控制，质量测试

质量策划

比例分配法（用于成本）

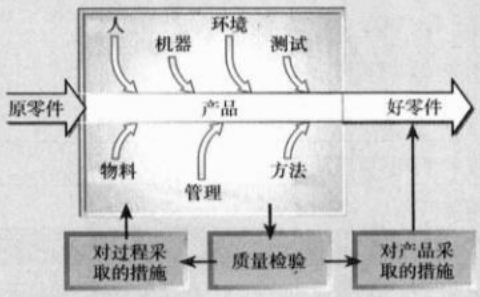


用来消除缺陷的成本或由于缺陷产生的成本，按产品生命周期中各个阶段的 10 的比例因子增加

例：单个零件的公差误差可以在可忽略成本增加的设计阶段被修正。如果缺陷在生产过程中才被首次注意到，将导致更大的成本。如果缺陷导致装配问题或对成品的功能有不利的影响或者甚至导致产品召回，将招致巨大的成本

质量控制

质量控制循环



产生质量变化的因数

因数	举　例
人	资格，动机，利用程度
机器	机器刚度，位置精度，磨损条件
物料	偏差，物料特性，物料变化
方法	工作步骤，生产过程，试验条件
环境	温度，振动，光，噪声，粉尘
管理	低质量目标或方针
可测性	测量错误

质量测试

vgl. DIN 55350－17（1988－08）

概念	解释
质量测试	确定单个工件满足指定质量要求的程度
试验计划 试验指导	定义和描述测试的种类和范围，如：测量和监控设备，测试频率，试验员，测试位置
完全测试	对单个工件所有指定质量特性的测试，如：对单个工件的所有要求的全面检验
100％测试	对试验抽中的所有工件的测试，如：所有交付零件的视觉检验
统计测试 （取样试验）	有统计方法帮助的质量测试，如：通过分析许多抽样零件来对大批量零件作评价
试验抽签 （取样试验）	被测试的所有工件，如：含 5000 个相同工件的一批产品
样品	从总体或样本中取出的一个或多个工件。如：从 400 个零件的日产量中取 50 个零件

概率（缺陷的概率）

在规定总数的零件中有缺陷零件的可能性

P　概率（％）　　m　零件总数

n　有缺陷零件的数量

例：

箱中有 $m=400$ 个零件，其中 $n=10$ 个零件有尺寸缺陷。当从箱中取出一个零件时，拿到缺陷零件的概率是多少？

概率 $P=\frac{n}{m}\cdot 100\%=\frac{10}{400}\cdot 100\%=2.5\%$

概率

$$P=\frac{n}{m}\cdot 100\%$$

关注公众号：机械工程师成长营

统计分析

连续特性的统计分析

vgl. DIN 53804 - 1 (2002 - 04)

试验数据表达

原始数据表

原始数据是按发生的顺序从试验抽签或样品中获得的所有观测值的文件

实例

样品数量：40 个零件
试验特性：零件直径 $d = 8 \pm 0.05$ mm

被测量零件的直径 d (mm)										
零件 1 ~ 10	7.98	7.96	7.99	8.01	8.02	7.96	8.03	7.99	7.99	8.01
零件 11 ~ 20	7.96	7.99	8.00	8.02	8.02	7.99	8.02	8.00	8.01	8.01
零件 21 ~ 30	7.99	8.05	8.03	8.00	8.03	7.99	7.98	7.99	8.01	8.02
零件 31 ~ 40	8.02	8.01	8.05	7.94	7.98	8.00	8.01	8.01	8.02	8.00

计数单

计数单提供观测值的清晰表达，并分配成有明确间隔大小的等级（极差）

n 单值的数量
k 等级数
i 等级间隔
R 极差（第 278 页）
n_j 频数
h_j 频率（%）

等级数	测量值 ⩾	测量值 <	计数单	n_j	h_j (%)
1	7.94	9.96	𝍸	1	2.5
2	7.96	7.98	𝍸𝍸	3	7.5
3	7.98	8.00	𝍸𝍸𝍸	11	27.5
4	8.00	8.02	𝍸𝍸𝍸	13	32.5
5	8.02	8.04	𝍸𝍸	10	25
6	8.04	8.06	𝍸	2	5
$c = \sqrt{n} = \sqrt{40} = 6.3 \approx 6$			$\Sigma =$	40	100

$$i = \frac{R}{c} = \frac{0.11 \text{ mm}}{6} = 0.018 \text{ mm} \approx 0.02 \text{ mm}$$

等级数

$$k \approx \sqrt{n}$$

等级间隔大小

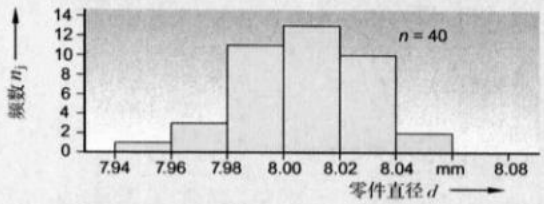
$$i \approx \frac{R}{K}$$

频率

$$h_j = \frac{n_j}{n} \cdot 100\%$$

直方图

直方图是条线图，用来肉眼观察单个试验数据的分布



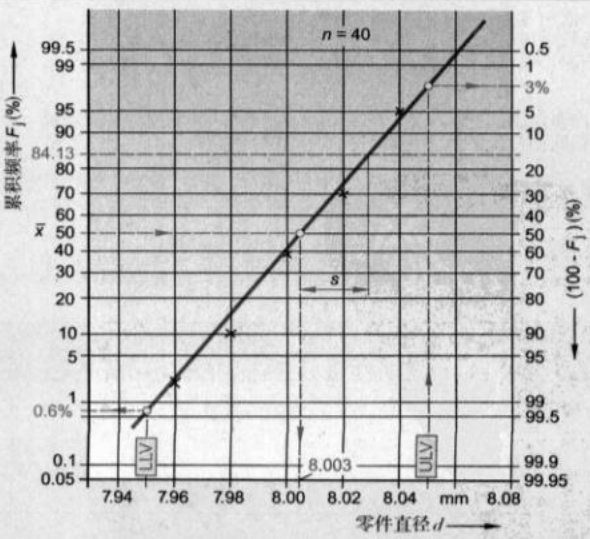
概率系统中的累积频率曲线

概率系统中的累积频率曲线是用来核验正态分布存在的一种简单、清晰的图解方法（第 278 页）。
如果在概率系统中，累积频率近似为一条直线，则可以假定单值呈正态分布，如：可按 DIN 53804 - 1 作进一步估价（第 278 页）

在这种情况下，具体值可根据样品来补充确定

用图表解决问题的实例

算术平均值 $\bar{x}$（对于 $F_j = 50\%$）和标准偏差 s（$F_j = 50\%$ 和 84.13% 间的差值为 68.26% ÷ 2）：
$\bar{x} \approx 8.003$ mm；$s \approx 0.02$ mm
整个抽样中不合格零件的百分比预期：
0.6% 零件太薄
3% 零件太厚

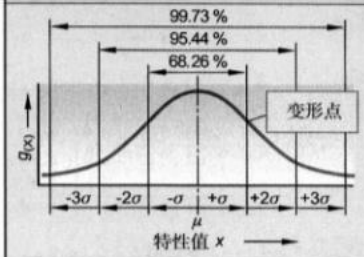


LLV 下极限值；ULV 上极限值

关注公众号：机械工程师成长营

正态分布

高斯分布

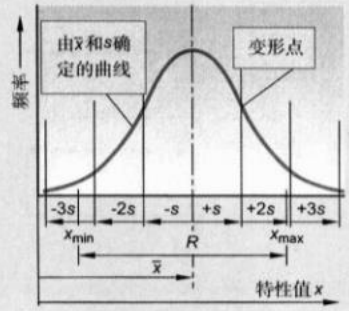


连续数值的分布经常呈现出特性，算术上可近似地用高斯分布模型表示。对于无限多的值，正态分布的概率密度生成典型钟形曲线。这一对称、连续的分布曲线用下列参数可清晰描述：

平均值 μ 位于曲线最大位置处，且能辨识分布位置
标准偏差 σ 是变化的量度标准，如：值如何偏离平均值

取样中的正态分布

cf. DIN 53804－1（2002－04）或 DGQ 16－31（1990）



n 单值的数量（样品数量）
x_i 可测量特性的值，如：单值
x_{max} 最大测量值
x_{min} 最小测量值
$\bar{x}$ 算术平均值
$\tilde{x}$ 中值[1]，按大小顺序排列的测量值的中间值
s 标准偏差
R 极差
D 模式（在试验系列中经常出现的测量值）
$g(x)$ 概率密度

算术平均值[2]

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

标准偏差

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

极差

$$R = x_{max} - x_{min}$$

当评价几件样品时

m 样品数
$\bar{x}$ 总平均值
$\bar{R}$ 平均极差
$\bar{s}$ 标准偏差平均值

平均极差

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \cdots + R_m}{m}$$

总平均值

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \cdots + \bar{x}_m}{m}$$

标准偏差的平均值

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \cdots + s_m}{m}$$

例：样品值的评估，查第 277 页

$\bar{x} = 8.00225$ mm　$R = 0.11$ mm　$\tilde{x} = 8.005$ mm　$s = 0.02348$　$D = 7.99$ mm

1）中值用于
奇数个单值　例如：x_1；x_2；x_3；x_4；x_5：　$\tilde{x} = x_3$
偶数个单值　例如：x_1；x_2；x_3；x_4；x_5；x_6：　$\tilde{x} = (x_3 + x_4)/2$

2）许多便携式计算器有用来计算平均值和标准偏差的特殊功能
相同测量值的重复出现可用一个适当系数表示

检验抽签中的正态分布

总体参数采用基于样品特征值的取样方法（验证性统计）来估计。为了从总体参数清楚地区别取样特性，可采用其他标记。给这些估计值加一^符号，以区别于 100％检验（描述性统计）的计算过程值

样品	由样品确定的群体	100％检验的群体
值的数量 n	值的数量 N	值的数量 N
算术平均值 x	估计过程平均值 $\hat{\mu}$（期望值）	过程平均值 μ
标准偏差 s	估计过程标准偏差 $\hat{\sigma}$（也 σ^{n-1}）	过程标准偏差 σ（也 σ^n）

关注公众号：机械工程师成长营

统计过程控制

质量控制图

过程控制图

过程控制图用来监控相对于目标值或以前的过程值的变化过程。干涉和警戒限由总体的过程估计值或初始运行值来确定

验收控制图

验收控制图用来监控关于设置规格界限（极限值）的过程。这一控制极限由公差极限来推算。这里只是估计测量值的分布，不是离差

量特性的过程控制图［休哈特（Shewhart）控制图］[1)]

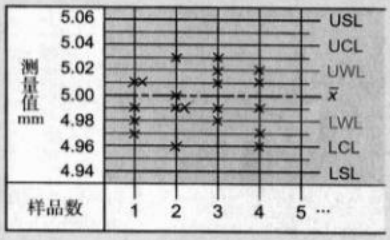
原始数据图

原始数据图是在图上直接输入所有测量值的文件。它呈现为一近似的正态分布过程，因输入次数而相对复杂

控制极限

$\bar{x}$ 特征平均值
UWL 上警戒限
LWL 下警戒限
UCL 上控制限
LCL 下控制限
USL 上规格界限
LSL 下规格界限

例：每一样品的 5 个单值

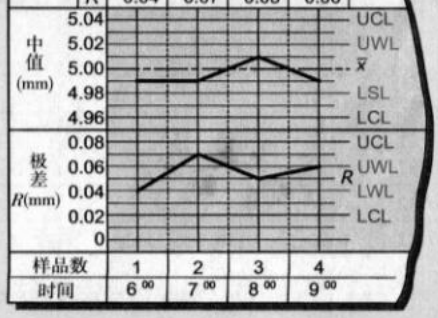


中值极差图表（$\tilde{x}$ – R – 图）

这些图表可在不需大量计算的情况下，清楚地表达产品的扩散性。它们适于手工控制图管理

例：

检验特性：直径			控制尺寸 5 ± 0.05		
样品数量 $n = 5$			控制间隔 60 mm		
测量值 mm	$\tilde{x}_1$	4.98	4.96	5.03	4.97
	$\tilde{x}_2$	4.97	4.99	5.01	4.96
	$\tilde{x}_3$	4.99	5.03	5.02	5.01
	$\tilde{x}_4$	5.01	4.99	4.99	4.99
	$\tilde{x}_5$	5.01	5.00	4.98	5.02
	$\bar{Y}x$	24.96	24.97	25.03	24.95
	$\bar{\tilde{x}}$	4.99	4.99	5.01	4.99
	R	0.04	0.07	0.05	0.06
样品数		1	2	3	4
时间		6 00	7 00	8 00	9 00

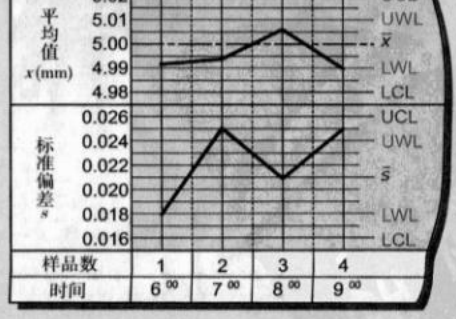


平均标准偏差图表（$\bar{x}$ – s – 图）

这些图表用来显示平均值的趋势，且比 $\bar{\tilde{x}}$ – R – 图更灵敏。它们需要计算机辅助控制图管理

例：

检验特性：直径			控制尺寸 5 ± 0.05		
样品数量 $n = 5$			控制间隔 60 mm		
测量值 mm	$\tilde{x}_1$	4.98	4.96	5.03	4.97
	$\tilde{x}_2$	4.97	4.99	5.01	4.96
	$\tilde{x}_3$	4.99	5.03	5.02	5.01
	$\tilde{x}_4$	5.01	4.99	4.99	4.99
	$\tilde{x}_5$	5.01	5.00	4.98	5.02
	$\bar{\tilde{x}}$	4.992	4.994	5.006	4.990
	s	0.018	0.025	0.021	0.025
样品数		1	2	3	4
时间		6 00	7 00	8 00	9 00

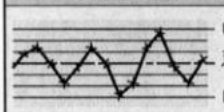
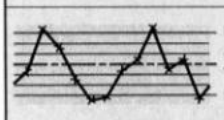
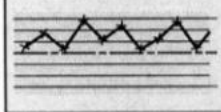
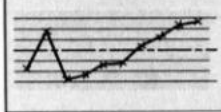
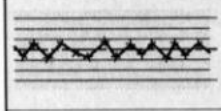
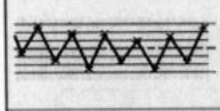


1) Walter Andrew Shewhart（1891 ~ 1967），美国科学家

关注公众号：机械工程师成长营

过程趋势，验收取样和计划

过程趋势

过程趋势	标记/观测	可能原因→措施
	**自然运行** 所有值的2/3位于±标准偏差 s 的范围内和所有值位于控制限内	过程在控制中，且能不中断连续运行
	**超过控制限** 值位于控制限之外	过度调整机器，不同物料，被损坏的或旧的设备 →停止过程，100%检验最后一次取样后的零件
	**运行（连续的）** 7个或更多的连续值位于平均线的一侧	工具磨损，其他物料费用，新工具，新人员 →加严过程观测
	**趋势** 7个或更多的连续值显示增长或减少趋势	工具、设备或测量装置的磨损，操作员疲劳 →停止过程以确定调整原因
	**中间的三分之一** 至少15个相邻值位于±标准偏差 s 的范围内	改良产品，较好的监督，纠正试验结果 →决定如何改良过程或核对试验结果
	**循环的** 值周期性地穿过平均值	不同的测量装置，数据的系统展开 →检查受影响的制造过程

验收取样（属性验收抽样）

cf. DIN ISO 2859－1（2004－01）

属性检验是一种验收取样检验，其中检验抽样的可接受性由单次取样中有缺陷零件本身或缺陷来决定。不合格零件的百分比或每一百个抽样零件的缺陷数可确定质量水平。可接受质量水平是为连续抽样定义的质量标准；在大多数情况下，它是由顾客规定的质量标准。在控制表中总结了相关的取样说明

作为正规检验的单取样检验用的验收取样计划（摘至控制表）

抽样数量	验收质量水平 AQL（优选值）									
	0.04	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5
2～8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
9～15	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	8 0	5 0
16～25	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	13 0	8 0	5 0
26～50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	20 0	13 0	8 0	5 0
51～90	↓	↓	↓	↓	50 0	32 0	20 0	13 0	8 0	20 1
91～150	↓	↓	↓	80 0	50 0	32 0	20 0	13 0	32 1	20 1
151～280	↓	↓	125 0	80 0	50 0	32 0	20 0	50 1	32 1	32 2
281～500	↓	200 0	125 0	80 0	50 0	32 0	80 1	50 1	50 2	50 3
501～1200	315 0	200 0	125 0	80 0	50 0	125 1	80 1	80 2	80 3	80 5

说明： ↓ 50 2

使用此栏的第一个取样指示。如果样品数量大于或等于批量；执行100%检验

第二个数：验收数＝接收的已交付的有缺陷工件的数量

第三个数：样品数量＝被检验工件的数量

关注公众号：机械工程师成长营

加工和机器能力，质量控制图

能力，质量控制图

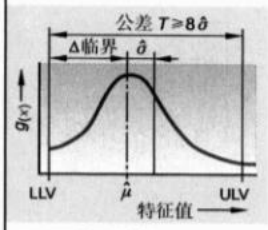
cf. DGQ 16－33（1990）

凭借能力特性（能力指数）规程，作与质量相关能力的评价时，短期能力（机器能力）和长期能力（加工能力）之间应该有区别

机器能力是对机器的评价，即正态分布条件下，机器对于某些特殊要求的可适用性

如果 $C_m \geqslant 1.33$ 和 $C_{mk} \geqslant 1.33$，这意味着99.994%（极差 $\pm 4\hat{\sigma}$）的质量特性位于界限内，平均值 $\hat{\mu}$ 至少位于离公差极限为 $3\hat{\sigma}$ 远的位置

加工能力是对制造加工的评定，即：假设其为正态波动，制造加工能满足规定要求的可适用性



LLV 下极限值　　Δ 临界平均值和公差极限间的最小间隔

ULV 上极限值　　C_m，C_{mk} 机器能力指数

$\hat{\sigma}$ 估计标准偏差　　C_p，C_{pk} 加工能力指数

$\hat{\mu}$ 估计平均值

例：

对产品尺寸为 80 ±0.05 的机器能力的检查

初始运行值：

$$C_m = \frac{T}{6 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{0.1\ \text{mm}}{6 \cdot 0.012\ \text{mm}} = 1.388;\quad C_{mk} = \frac{\Delta\ \text{临界}}{3 \cdot \hat{\sigma}} = \frac{0.04\ \text{mm}}{3 \cdot 0.012\ \text{mm}} = 1.11$$

机器能力低于要求

机器能力指数

$$C_m = \frac{T}{6 \cdot \hat{\sigma}}$$

$$C_{mk} = \frac{\Delta\ \text{临界}}{3 \cdot \hat{\sigma}}$$

机器能力被常规验证，如果

- $C_m \geqslant 1.33$ 和
- $C_{mk} \geqslant 1.33$

北美标准

$C_m \geqslant 1.67$ 和 $C_{mk} \geqslant 1.67$

加工能力指数

$$C_p = \frac{T}{6 \cdot \hat{\sigma}}$$

$$C_{pk} = \frac{\Delta\ \text{临界}}{3 \cdot \hat{\sigma}}$$

加工能力被验证，如果

- $C_p \geqslant 1.33$ 和
- $C_{pk} \geqslant 1.33$

北美标准：

$C_p \geqslant 1.67$ 和 $C_{pk} \geqslant 1.67$

表示质特性的质量控制图

cf. DGQ 16－33（1990）；DGQ11－19（1994）

缺陷图

缺陷图记录有缺陷的工件、缺陷类型和在取样中的出现频率

从图中查 F3 的例子： $n = 9 \cdot 50 = 450$

误差（%）

$$= \frac{\sum i_j}{n} \cdot 100\%$$

$$= \frac{3}{450} \cdot 100\% = 0.66\%$$

例：

零件：盖	样品数量 n=50									试验间隔时间：60分钟		
缺陷类型	缺陷频率 i_j									$\sum i_j$	%	总百分比
油漆损害	F1		1				1			2	0.44	
凹痕	F2	1	2		2	1	2	2	2	14	3.11	
腐蚀	F3		1			1			1	3	0.66	
翘曲	F4	1								1	0.22	
破裂	F5		1							1	0.22	
夹角误差	F6	2		3	1		3	1		2	12	2.66
弯曲	F7					1					1	0.22
螺纹滤漏	F8		1								1	0.22
每个样品的缺陷		4	6	3	3	3	5	4	3	4	35	
样品数		1	2	3	4	5	6	7	8	9		

Pareto 排列图[1)]

Pareto 排列图根据类型和频率对标准分等级，因此它在分析标准和建立优先权中很重要

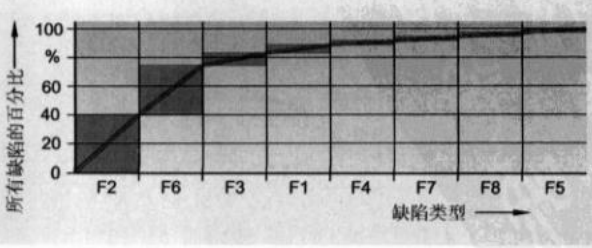
例如对于 F_2

总缺陷的百分比

$$= \frac{14}{35} \cdot 100\% = 40\%$$

1）Pareto——意大利社会学家

例：

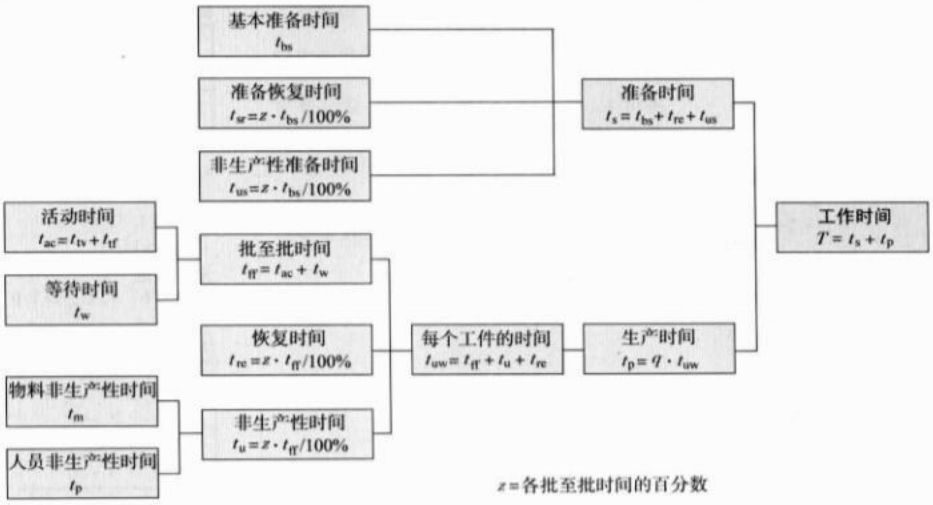


图形表达举例：凹痕（F2）和角度误差（F6）一起约占总误差的74%

关注公众号：机械工程师成长营

时间核算[1)]

工人的时间类型结构



符号	标记	举例说明
T	工作时间	批量制造产品的允许时间
t_s	准备时间	整个工作的准备 • 基本准备时间 t_{bs}→机器转动 • 准备恢复时间 t_{sr}→生产方法、装备等的完全改变后的恢复时间 • 准备的非生产性时间 t_{us}→简单机器故障的修理
t_p	生产时间	批量生产的允许时间（无准备时间）
t_{re}	恢复时间	为减少与工作相关的疲劳，人员的间断休息时间
t_u	非生产性时间	• 与工作相关的中断时间 t_m→无法预料的磨快工具的时间 • 人员中断时间 t_p→检查工作时间，安全生产需要
t_{ac}	活动时间	实际工作进行时间 • 可变时间 t_{tv}→装配或清理毛刺工作 • 固定时间 t_{tf}→CNC 程序的周期
t_w	等待时间	连续生产流程中等待下一个工件
q	作业量	一次作业（批量）生产工件的数量

例：在车床上车削三根轴

准备时间：		分钟	生产时间：		分钟
准备工作		= 4.50	活动时间	t_{ac}	= 14.70
机器准备		= 10.00	等待时间	t_w	= 3.75
工具准备		= 12.50	批至批时间	$t_{ff}=t_{ac}+t_w$	= 18.45
基本准备时间	t_{bs}	= 27.00	恢复时间	t_{re}补偿 t_w	–
准备恢复时间	$t_{sr}=4\%\cdot t_{bs}$	= 1.08	非生产性时间	$t_u=8\%\cdot t_{ff}$	= 1.48
非生产性准备时间	$t_{us}=14\%\cdot t_{bs}$	= 3.78	每个工件的时间	$t_{uw}+t_{ff}+t_{re}+t_u$	= 19.93
准备时间	$t_s=t_{bs}+t_{sr}+t_{us}$	= 31.86	生产时间	$t_p=q\cdot t_{uw}$	= 59.79

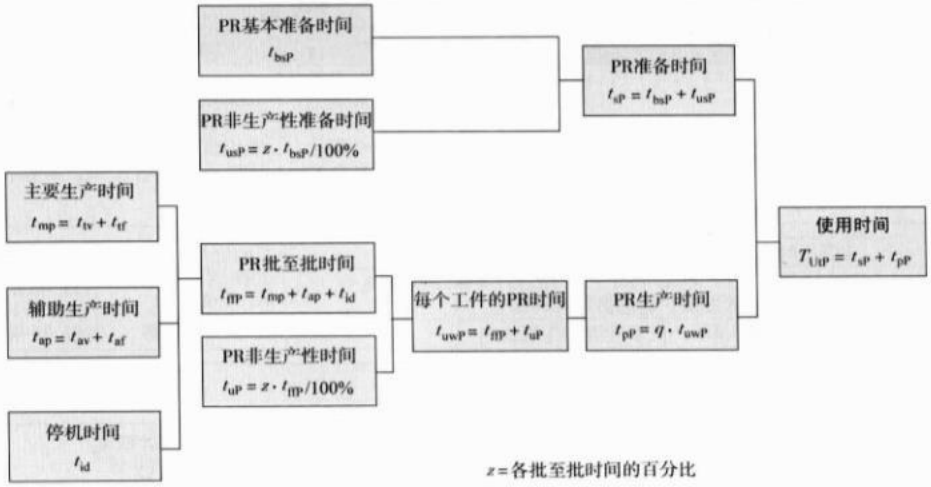
工作时间 $T=t_s+t_p\approx 32\ \text{min}+60\ \text{min}=92\ \text{min}$（$=1.53\ \text{h}$）

1)按 REFA 机件设计国际协会，企业组织与发展基金会

关注公众号：机械工程师成长营

时间核算[1)]

生产资源（PR）所用时间类型结构



符号	标记	举例说明
T_{Utp}	使用时间	批量制造用生产资源的允许使用时间
t_{sP}	生产资源准备时间	完成整个工作的生产资源准备 • PR 基本准备时间 t_{bsP}→机器上夹紧设备 • 非生产性准备时间 t_{sP}→CNC 程序优化
t_{pP}	生产资源所用生产时间	批量生产的允许时间（无准备时间）
t_{uP}	生产资源中断时间	生产资源不被使用或另外被使用的时间；动力储运损耗，非计划修理工作等
T_{mp}	主要生产时间	按计划加工工件的时间 • 可变时间 t_{tv}→手动训练 • 固定时间 t_{tf}→CNC 程序周期
t_{ap}	辅助生产时间	为主要生产时间段准备、加载或卸载生产资源 • 可变时间 t_{av}→手动夹紧 • 固定时间 t_{af}→自动工件转换
T_{id}	停机时间	过程或恢复相关的停机时间，如：库房的供应
q	作业量	一次作业（批量）生产工件的数量

例：利用立式铣床铣削 20 个机座的接触面

准备时间：		分钟	生产时间：			分钟
作业指令和读图		= 4.54	铣削主要生产时间	t_{mp}	=	3.52
准备和储备面铣刀		= 3.65	夹紧工件辅助生产时间	t_{ap}	=	4.00
夹紧和松开刀具		= 3.10	传送工件停机时间	t_{id}	=	1.20
机器准备		= 2.84	生产资源批至批时间	$t_{fP} = t_{mP} + t_{ap} + t_{id}$		8.72
生产资源基本准备时间	t_{bsP}	= 14.13	生产资源非生产性时间	$t_{uP} = 10\% \cdot t_{fP}$	=	0.87
生产资源非生产性准备时间	$t_{usP} = 10\% \cdot t_{bsP}$	= 1.41	每个工件的生产资源时间	$t_{uwP} = t_{fP} + t_{uP}$	=	9.59
生产资源准备时间	$t_{sP} = t_{bsP} + t_{usP}$	= 15.54	生产资源所用生产时间	$t_{pP} = q \cdot t_{uwP}$	=	191.80

使用时间 $T_{Utp} = t_{sP} + t_{pP} \approx 16\ \text{min} + 192\ \text{min} = 208\ \text{min}$（$= 3.47\ \text{h}$）

1)按 REFA 机件设计国际协会，企业组织与发展基金会

关注公众号：机械工程师成长营

成本核算

简单计算（算例）

	直接成本[1] 可直接归于特殊产品		管理费用[1]		
			不可直接归于特殊产品		工资成本百分比中的额外费用
成本类型[1]	物料成本 劳动力成本	80000.00美元 120000.00美元	折旧 薪水（包括管理薪水） 利息 其他成本	50000.00 美元 80000.00 美元 40000.00 美元 50000.00 美元	$\frac{220000.00 \cdot 100\%}{120000.00} = 183.33\%$ 额外费用四舍五入为185%，它适用于每小时工资，以包括管理成本
			管理费合计	220000.00 元	

成本计算			
	工资小时数 = 10000 h　劳动力成本/h = 12.00 美元/h	定购物料成本	124.75 美元
	每小时费用 = 12.00 美元/h（1 + 185%）= 34.2 美元/h （用于独立契约发票；管理费用 = 利润）	工作时间 5 h × 34.20 美元/h	171.00 美元
	1）对于每一个操作，成本应周期性地确定	无 VAT 的价格	295.75 美元

扩充计算（示意性的）

物料成本
+
直接生产成本
归于单件产品的生产工资
+
生产管理费用[1]
机器成本
折旧、利息、运行、能耗和维护成本
剩余管理费用
生产工资的百分数，如：额外福利、控制机器、操作物料等
↓
生产成本
+
产品的特殊直接成本
↓
制造成本
+
管理和销售费用
制造成本的百分数
↓
主要成本
+
利润
主要成本的百分数
↓
原材料价格
+
佣金、折扣、回扣
销售价格的百分数
↓
无 VAT 的销售价格

物料直接成本
采购成本
+
物料管理费用
物料直接成本的百分数
如：购买成本，储藏成本等
↓
物料成本

1）机器小时费率已被包括在生产管理费中，且增加了额外费用。如果不计算它，管理的额外费用根据操作核算单来计算

设计成本
薪水等
+
设备成本
钻孔设备模子等
+
特殊工具
特殊钻头等
+
室外加工
热处理等
↓
产品的特殊直接成本

例：

物料直接成本	$ 1 255.00
物料管理费用 5%	$ 61.25
生产工资 10 h × 15.00 $/h	$ 150.00
机器成本 8 h × 30.00 $/h	$ 240.00
剩余管理费用　生产工资的 200%	$ 300.00
特殊工具	$ 125.00
制造成本	**$ 2 101.25**
管理和销售费用 制造成本的 12%	$ 252.15
主要成本	**$ 2 353.40**
附加利润　主要成本的 10%	$ 235.34
原材料价格	**$ 2 588.74**
佣金　销售价的 5%	$ 136.25
VAT 前的销售价格	**$ 2 724.99**

关注公众号：机械工程师成长营

机器小时费率

机器小时费率的计算

平均生产管理费用没有考虑归因于一件特定产品的各种机器成本。这种类型的成本核算令人误解如果从生产管理费用中取出机器成本，并将其转变为使用机器的小时数，这就产生了机器小时费率

编制机器成本

机器成本是：

- **计算的折旧**
  相对于置换成本，机器在整个服务周期价值的线性损失
- **计算的利息**
  投资于机器的资金的平均利息
- **土地使用成本**
  由机器占地和运输空间所引起的成本
- **能源成本**
  由电、天然气、蒸气或汽油的消耗产生的成本
- **维护成本**
  修理和常规服务的成本
- **其他类型的成本**
  工具磨损、保险费、冷却剂和润滑剂处理等成本

机器运行时间，机器小时费率

根据 **VDI** 定向 3258

T_{RT} 机器运行时间（小时/周期）
T_T 总的理论机器时间（小时/周期）
T_{ST} 停机时间，如：工作休息日，工作中断等，通常为 T_T 的%
T_{SM} 用于服务和维修的时间，通常为 T_T 的%
C_M 每个周期的机器成本之和（通常每年）
C_{Mhr} 每小时机器成本；机器小时费率
C_f 每年机器的固定成本，如：折旧
$C_{v/h}$ 每小时的机器变化成本，如：电消耗

机器运行时间

$$T_{RT} = T_T - T_{ST} - T_{SM}$$

机器小时费率

$$C_{Mhr} = \frac{C_f}{T_{RT}} + Cv/h$$

机器小时费率的计算（实例）

工具机：

折旧费 160000.00 美元
能量消耗 8kW
土地使用成本 10.00 美元/m^2 × 月
附加维护费 5.00 美元/h

服务寿命 10 年
每 kWh 成本 0.15 美元
需要空间 15m^2
正常使用
T_{RT} = 1200 h/年（100%）

假定利率 8%
基本费用 20.00 美元/日
维护费 8000.00 美元/年
实际使用 80%

正常使用和 80% 的使用情况下，机器的小时费率各是多少

成本类型	计　算	固定成本（美元/年）	可变成本（美元/h）
计算折旧	$\frac{\text{折旧费}}{\text{服务寿命（年）}} = \frac{160000.00\text{ 美元}}{10\text{ 年}}$	16000.00	
计算利息	$\frac{\frac{1}{2}\text{折旧费（美元）} \times \text{利息}}{100\%} = \frac{80000\text{ 美元} \times 8\%}{100\%}$	6400.00	
维护成本	维护系数 × 折旧——如：0.5 × 16000.00 美元 维护费根据使用情况定	8000.00	5.00
能源成本	供能基本费用 20.00 美元/月 × 12 月 能量消耗 × 能源成本 8kW × 0.15 美元/kWh	24.00	1.20
相应的土地使用成本	空间成本费 × 需要空间 = 10.00 美元/m^2 × 月 × 15 m^2 × 12 月	1800.00	
	总机器成本（CM）	**32440.00**	**6.20**

100% 使用的机器小时费率 $= \frac{C_f}{T_{RT}} + C_v/h = \frac{32440.00\text{ 美元}}{1200\text{ h}} + 6.20\text{ 美元/h} = 33.23\text{ 美元/h}$

80% 使用的机器小时费率 $= \frac{C_f}{0.8 \cdot T_{RT}} + C_v/h = \frac{32440.00\text{ 美元}}{0.8 \cdot 1200\text{ h}} + 6.20\text{ 美元/h} = 40.00\text{ 美元/h}$ 机器的小时费率

不包括请操作员的成本

关注公众号：机械工程师成长营

直接成本[1]

边际成本计算法（带算例）

边际成本计算法考虑产品的市场价。市场价应至少包括可变成本（下限价）。剩下的是边际收益。所有产品的边际收益包括待运状态的成本

R/件	市场价；每件收益	C_f	固定成本
R	产品收益（销售）	C_v	可变成本
CM	产品边际收益	P	利润或增益
CM/件	每件边际收益	B_p	盈亏平衡点

边际收益

$$\frac{CM}{\text{件}}=\frac{R}{\text{件}}-\frac{C_v}{\text{件}}$$

$$CM=\frac{CM}{\text{件}}\cdot \text{量}$$

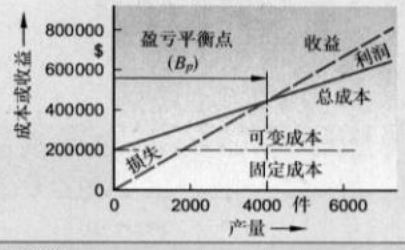
利润

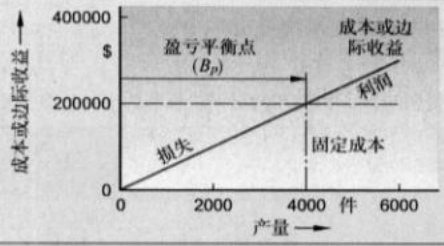
$$P=CM-C_f$$

	可变成本（C_v）[2] 依赖产量		固定成本（C_f） 不依赖产量		边际收益（CM） $CM=R/\text{件}-C_v/\text{件}$
成本类型	物料成本 劳动力成本 能源成本	30.00 美元/件 20.00 美元/件 10.00 美元/件	折旧 工资 利息 其他 C_f	50000.00 美元 80000.00 美元 40000.00 美元 30000.00 美元	110.00 美元/件的收益应首先包括所有可变成本。剩余的用来包含总体固定成本和利润
	Σ可变成本	60.00 美元/件	Σ固定成本	200000.00 美元	
成本计算	生产的工件数　5000 件		边际收益 110.00 美元 − 60.00 美元 =50.00 美元/件		
	总边际收益 5000 件 · 50.00 美元/件 = 250000.00 美元 Σ 固定成本　200000.00 美元 利润　50000.00 美元 盈亏平衡点 $B_p=\frac{C_f}{CM/\text{件}}=\frac{200000.00\text{ 美元}}{50.00\text{ 美元/件}}=4000$ 件				

盈亏平衡点

$$B_p=\frac{C_f}{CM/\text{件}}$$





成本比较法

在成本比较法中，对于给定产量，应选择导致最低成本的机器和设备

5000 件举例：

机器 1：$C_{f1}=100000.00$ 美元/年；$C_{v1}=75.00$ 美元/件

100000.00 美元/年 + 75 美元/件 × 5000 件 = 475000 美元

机器 2：$C_{f2}=200000.00$ 美元/年；$C_{v2}=50.00$ 美元/件

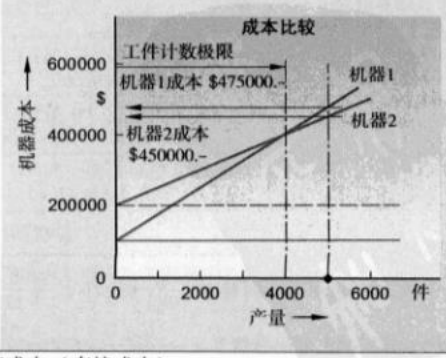
200000.00 美元/年 + 50.00 美元/件 × 5000 件 = 450000 美元

机器 1 成本 > 机器 2 成本

工件计数极限 $M_{lim}=\frac{C_{f2}-C_{f1}}{C_{v1}/\text{件}-C_{v2}/\text{件}}$

$M_{lim}=\frac{200000.00\text{ 美元}-100000.00\text{ 美元}}{75.00\text{ 美元/件}-50.00\text{ 美元/件}}=4000$ 件

当产量大于 4000 件时，机器 2 更经济



1）直接成本法把成本分成固定成本（操作准备成本）和可变成本（直接成本）

2）每次作业要计算可变成本，并与收益比较

关注公众号：机械工程师成长营

车削，车螺纹

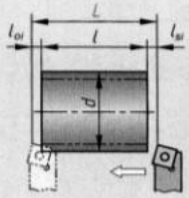
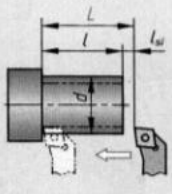
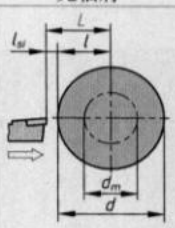
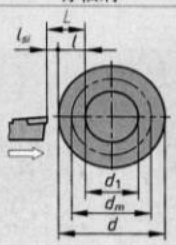
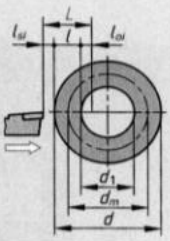
匀速车外圆及车端面

t_p 机动时间
d 外径
d_1 内径
d_m 平均直径[1)]
l 工件长度
l_{si} 切入长度
l_{oi} 切出长度
L 行程
f 每转进给量
n 转速
i 走刀次数
v_c 切削速度

机动时间

$$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$

行程 L、平均直径 d_m、转速 n 的计算

车外圆		车端面		
		实心圆柱		
无轴肩	有轴肩	无轴肩	有轴肩	空心圆柱
				
$L = l + l_{si} + l_{oi}$	$L = l + l_{si}$	$L = \frac{d}{2} + l_{si}$	$L = \frac{d - d_1}{2} + l_{si}$	$L = \frac{d - d_1}{2} + l_{si} + l_{oi}$
$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$		$d_m = \frac{d}{2}$；$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d_m}$		$d_m = \frac{d + d_1}{2}$；$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d_m}$

1)采用平均直径 d_m 导致较高的切削速度，这对于小直径（内部区域）保证了合适的切削条件

举例：

无轴肩外圆车削，$l = 1240$ mm；$l_{si} = l_{oi} = 2$ mm；
$f = 0.6$ mm；$v_c = 120$ m/min；$l = 2$；$d = 160$；$L = ?$；
$n = ?$（对于无级调速）
$t_p = ?$

$$L = l + l_{si} + l_{oi} = 1240 \text{ mm} + 2 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 1244 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{\text{min}}{\pi \cdot 0.16 \text{ m}} \approx 239 \text{ r/min}$$

$$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{1244 \text{ mm} \cdot 2}{239 \frac{1}{\text{min}} \cdot 0.6 \text{ mm}} \approx 17.4 \text{ min}$$

车螺纹

t_p 机动时间
L 螺纹切削刀具的总行程
l 螺纹长度
l_{si} 切入长度
l_{oi} 切出长度
i 走刀次数
P 螺距
n 转速
s 线数
h 螺纹深度
a 切削深度
v_c 切削速度

机动时间

$$t_p = \frac{L \cdot i \cdot s}{P \cdot n}$$

走刀次数

$$i = \frac{h}{a}$$

举例：

M 24 的螺纹；$l = 76$；$l_{si} = l_{oi} = 2$ mm；
$f = 0.6$ mm；$v_c = 6$ m/min；$i = 2$；$a = 0.15$ mm；
$h = 1.84$ mm；$P = 3$ mm；$s = 1$；
$L = ?$；$n = ?$；$i = ?$；$t_p = ?$

$$L = l + l_{si} + l_{oi} = 76 \text{ mm} + 2 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$i = \frac{h}{a} = \frac{1.84 \text{ mm}}{0.15 \text{ mm}} = 12.2 \approx 13$$

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{6 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{\pi \cdot 0.024 \text{ m}} \approx 80 \text{ r/min}$$

$$t_p = \frac{L \cdot i \cdot s}{P \cdot n} = \frac{80 \text{ mm} \cdot 13 \cdot 1}{3 \text{ mm} \cdot 80 \text{ r/min}} = 4.3 \text{ min}$$

关注公众号：机械工程师成长营

车　削

匀速车外圆及车端面

如果由于安全原因，输入转速必须限制在 n_{lim} 之内，则在匀速车削时，车削直径 d < 临界直径 d_1（第 287 页）

d_1　临界直径
v_c　切削速度
n_{lim}　极限转速
t_p　机动时间
d_e　有效直径
L　行程
f　进给量
i　走刀次数
d　外径
d_1　内径
a　切削深度
l_{si}　切入长度
l_{oi}　切出长度

临界直径

$$d_1 = \frac{v_c}{\pi \cdot n_{lim}}$$

机动时间

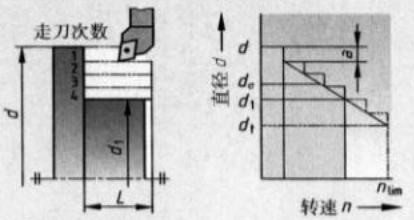
$$t_p = \frac{\pi \cdot d_e \cdot L \cdot i}{v_c \cdot f}$$

车外圆走刀次数

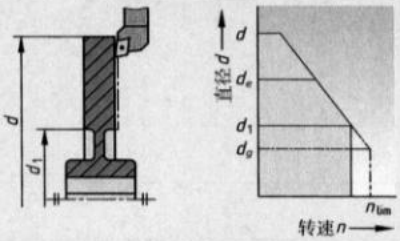
$$i = \frac{d - d_1}{2 \cdot a}$$

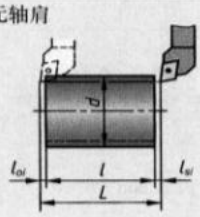
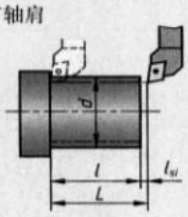
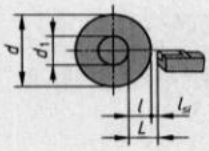
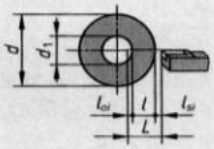
行程 L 及有效直径 d_e 的计算

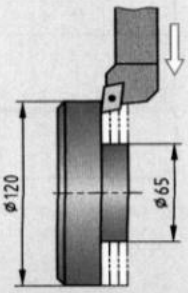
车外圆



车端面



无轴肩	有轴肩	带轴肩实心圆柱	空心圆柱
			
$L = l + l_{si} + l_{oi}$	$L = l + l_{si}$	$L = \frac{d - d_1}{2} + l_{si}$	$L = \frac{d - d_1}{2} + l_{si} + l_{oi}$
$d_e = d - a \cdot (i + 1)$		$d_e = \frac{d + d_1}{2} + l_{si}$	$d_e = \frac{d + d_1}{2} + l_{si} - l_{oi}$



举例：

车端面；$l_{si} = 1.5$ mm；$v_c = 220$ m/min；$f = 0.2$ mm；$i = 2$；$n_{lim} = 3000$/min；$d_1 = ?$；$L = ?$；$d_e = ?$；$t_p = ?$

$$d_1 = \frac{v_c}{\pi \cdot n_{lim}} = \frac{220000 \frac{mm}{min}}{\pi \cdot 3000 \frac{1}{min}} = 23.3 \text{ mm} \quad (d_1 > d_t)$$

$$L = \frac{d - d_1}{2} + l_{si} = \frac{120 \text{ mm} - 65 \text{ mm}}{2} + 1.5 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$$

$$d_e = \frac{d + d_1}{2} + l_{si} = \frac{120 \text{ mm} + 65 \text{ mm}}{2} + 1.5 \text{ mm} = 94 \text{ mm}$$

$$t_p = \frac{\pi \cdot d_e \cdot L \cdot i}{v_c \cdot f} = \frac{\pi \cdot 94 \text{ mm} \cdot 29 \text{ mm} \cdot 2}{220000 \frac{mm}{min} \cdot 0.2 \text{ mm}} = 0.39 \text{ min}$$

关注公众号：机械工程师成长营

钻孔、铰孔、锪孔、刨削成形

钻孔、铰孔、锪孔

切削长度 l_c	
σ	l_c
80°	$0.6 \cdot d$
118°	$0.3 \cdot d$
130°	$0.23 \cdot d$
140°	$0.18 \cdot d$

t_p 机动时间
d 刀具直径
l 钻孔深度
l_{si} 切入长度
l_{oi} 切出长度
l_c 切削长度

L 行程
f 进给量/转
n 转速
v_c 切削速度
i 走刀次数
σ 顶角

机动时间

$$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$

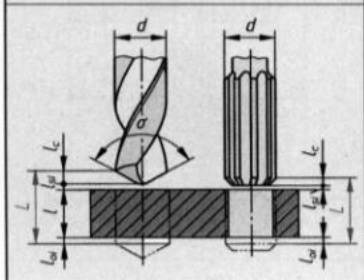
转速

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d}$$

行程 L 的计算

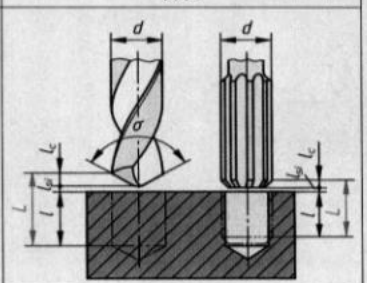
钻孔和铰孔

通孔



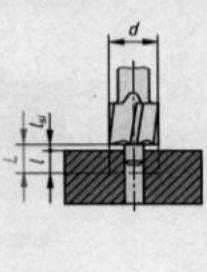
$$L = l + l_c + l_{si} + l_{oi}$$

盲孔



$$L = l + l_c + l_{si}$$

锪孔



$$L = l + l_{si}$$

举例：

$d = 30$ mm 的盲孔，
$l = 90$ mm；$f = 0.15$ mm；
$n = 450$ r/min；$i = 15$；$l_{si} = 1$ mm；
$\sigma = 130°$；$L = ?$；$t_p = ?$

$$L = l + l_c + l_{si} = 90\ \text{mm} + 0.23 \cdot 30\ \text{mm} + 1\ \text{mm} = 98\ \text{mm}$$

$$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{98\ \text{mm} \cdot 15}{450\ \frac{1}{\text{min}} \cdot 0.15\ \text{mm}} = 21.78\ \text{min}$$

刨削成形

t_p 机动时间
l 工件长度
l_{si} 切入长度
l_{oi} 切出长度
L 行程
w 工件宽度
w_a 切入宽度

w_o 切出宽度
n 往返行程次数/分钟
v_c 切削速度，切入速度
v_r 返回速度
W 总刨削宽度
f 每次往返进给量
i 走刀次数

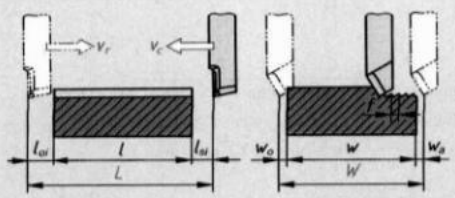
机动时间

$$t_p = \frac{W \cdot i}{n \cdot f}$$

$$t_p = \left(\frac{L}{v_c} + \frac{L}{v_r}\right) \cdot \frac{W \cdot i}{f}$$

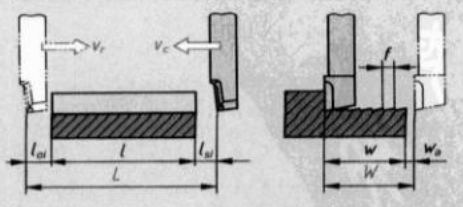
行程 L 和总刨削宽度 W 的计算

工件无轴肩



$$L = l + l_{si} + l_{oi} \qquad W = w + w_a + w_o$$

工件有轴肩



$$L = l + l_{si} + l_{oi} \qquad W = w + w_a$$

关注公众号：机械工程师成长营

铣削

t_p　机动时间
l　工件长度
l_{si}　切入长度
l_{oi}　切出长度
l_c　刀刃长度
L　行程
f_t　每齿进给量
v_c　切削速度
d　铣刀直径

N　齿数
v_f　进给速度
i　走刀次数
w　工件宽度
n　转速
a　铣削深度
t　槽深
f　进给量/转

进给速度

$$v_f = n \cdot f$$
$$v_f = n \cdot f_t \cdot N$$

进给量/转

$$f = f_t \cdot N$$

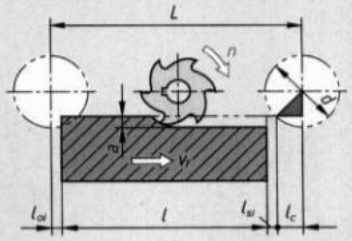
机动时间

$$t_p = \frac{L \cdot i}{v_f}$$
$$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$

行程 L 的计算

周铣

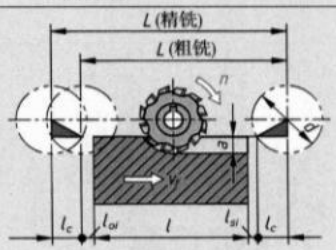
圆柱平面铣刀



粗铣或精铣
$L = l + l_c + l_{si} + l_{oi}$
$l_c = \sqrt{d \cdot a - a^2}$；$l_{si} = l_{oi}$

铣侧面

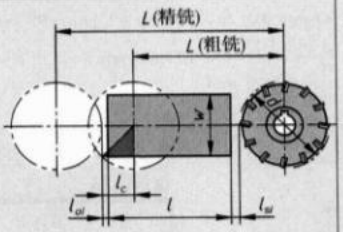
侧面刃铣刀
端铣刀



粗铣	精铣
$L = l + l_c + l_{si} + l_{oi}$	$L = l + 2 \cdot l_c + l_{si} + l_{oi}$
$l_c = \sqrt{d \cdot a - a^2}$；$l_{si} = l_{oi}$	

端铣

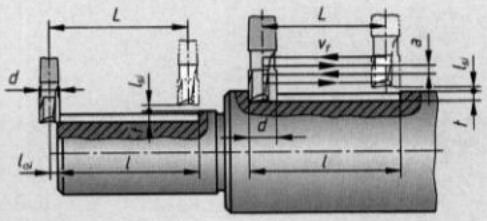
端铣刀



粗铣	精铣
$L = l + \frac{d}{2} - l_c + l_{si} + l_{oi}$	$L = l + d + l_{si} + l_{oi}$
$l_c = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{d^2 - w^2}$	–
$l_{si} = l_{oi} \approx 1.5$ mm	

铣槽

立铣刀



开口式	封闭式
$L = l - \frac{d}{2} + l_{oi}$	$L = l - d$
$i = \frac{t + l_{si}}{a}$	
$l_{oi} = l_{si} \approx 1.5$ mm	

举例：

周铣，$l = 176$ mm；
$l_{si} = l_{oi} = 1.5$ mm；$d = 100$；$N = 8$；$n = 640/\text{min}$；
$f_t = 0.1$ mm；$a = 8$ mm；$i = 1$；
$L = ?$；$f = ?$；$v_f = ?$；$t_p = ?$

$$f = f_t \cdot N = 0.1 \text{ mm} \cdot 8 = 0.8 \text{ mm}$$

$$L = l + l_c + l_{si} + l_u$$
$$= 176 \text{ mm} + \sqrt{100 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} - (8 \text{ mm})^2} + 2 \cdot 1.5 \text{ mm}$$
$$= 206 \text{ mm}$$

$$v_f = n \cdot f = 640 \frac{1}{\text{min}} \cdot 0.8 \text{ mm} = 512 \text{ mm/min}$$

$$t_p = \frac{L \cdot i}{v_f} = \frac{206 \text{ mm} \cdot 1}{512 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = 0.4 \text{ min}$$

关注公众号：机械工程师成长营

磨 削

t_p 机动时间
L 行程
i 走刀次数
n 工件转速
f 工件进给量/转
v_f 进给速度
d_1 工件内径
d 工件最终直径
a 磨削深度，横向进给
l 工件长度
w_g 砂轮宽度
l_{oi} 切出长度
t 磨削余量

机动时间

$$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f}$$

工件转速

$$n = \frac{v_f}{\pi \cdot d_1}$$

走刀次数

外圆磨

$$i = \frac{d_1 - d}{2 \cdot a} + 2^{1)}$$

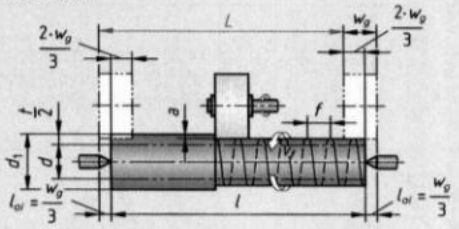
内圆磨

$$i = \frac{d - d_1}{2 \cdot a} + 2^{1)}$$

1)2 次光磨，对于较低数值的公差等级，需要更多的磨削次数

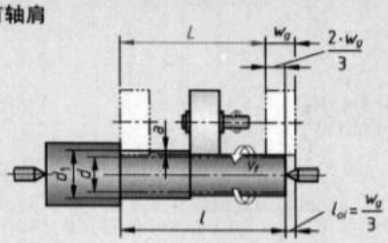
行程 L 的计算

工件无轴肩



$$L = l - \frac{1}{3} \cdot w_g$$

工件有轴肩



$$L = l - \frac{2}{3} \cdot w_g$$

粗磨进给量 $f = 2/3 \cdot w_g \sim 3/4 \cdot w_g$；精磨进给量 $f = 1/4 \cdot w_g \sim 1/2 \cdot w_g$

平面磨削

t_p 机动时间
l 工件长度
l_i 切入长度
L 行程
w 工件宽度
w_o 切出长度
W 磨削宽度
f 每往复横向进给量
n 行程次数/分钟
v_f 进给速度
i 走刀次数
t 磨削余量
w_g 砂轮宽度
a 切削深度，横向进给

走刀次数

$$i = \frac{t}{a} + 2^{1)}$$

1)2 次光磨

行程次数

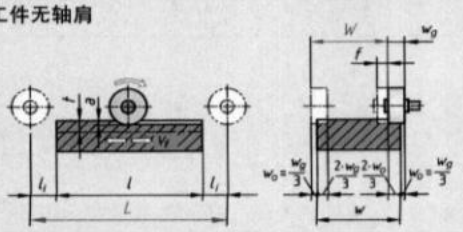
$$n = \frac{v_f}{L}$$

机动时间

$$t_p = \frac{i}{n} \cdot \left(\frac{W}{f} + 1 \right)$$

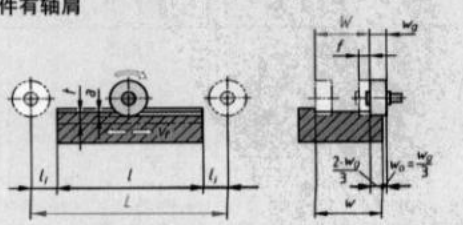
行程 L 及磨削宽度 W 的计算

工件无轴肩



$$L = l + 2 \cdot l_i \qquad W = w - \frac{1}{3} \cdot w_g$$

工件有轴肩



$$L = l + 2 \cdot l_i \qquad W = w - \frac{2}{3} \cdot w_g$$

粗磨横向进给量 $f = 2/3 \cdot w_g \sim 4/5 \cdot w_g$；精磨横向进给量 $f = 1/2 \cdot w_g \sim 2/3 \cdot w_g$

关注公众号：机械工程师成长营

金属的加工切削液

加工切削液[1]的术语及应用

cf. DIN 51385（1991－06）

加工切削液种类	效果	举例		
		组别	组成	应用
SESW 加工切削液	冷却效果提高；润滑效果提高	水溶液/悬浮液	非有机材料水溶液	磨削
			有机合成材料水溶液	高速加工
SEMW 加工切削液（水包油）		乳化液	2%～20%的乳化剂（可溶）加入水中	冷却效果好，润滑性差，如：高速、易加工材料的加工（车、铣、钻）。工作温度高，易受细菌或真菌的侵蚀
SN 加工切削液 非水溶性		切削油	矿物油＋极压添加剂（润滑油或合成油脂）或EP添加剂[2]以提高润滑性能	难加工材料的低速加工，较好的表面质量。润滑性好，防腐蚀

1）加工切削液可能对健康有害（第198页），故仅限于少量使用
2）EP＝极限压力；用于提高切屑与刀具之间压力允许值的添加剂

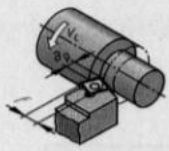
切削液选用指南

加工方法		钢	铸铁 可锻铸铁	铜 铜合金	铝 铝合金	镁合金
车	粗车	乳化液 水溶液	干切削	干切削	乳化液 切削油	干切削 切削油
	精车	乳化液 切削油	乳化液 切削油	干切削 乳化液	干切削 切削油	干切削 切削油
铣		乳化液 水溶液 切削油	干切削 乳化液	干切削 乳化液 切削油	切削油 乳化液	干切削 切削油
钻		乳化液 切削油	干切削 乳化液	干切削 切削油 乳化液	切削油 乳化液	干切削 切削油
铰		切削油 乳化液	干切削 切削油	干切削 切削油	切削油	切削油
锯		乳化液	干切削 乳化液	干切削 切削油	切削油 乳化液	干切削 切削油
拉削		切削油 乳化液	乳化液	切削油	切削油	切削油
滚齿 齿轮成形		切削油	切削油 乳化液	—	—	—
螺纹切割		切削油	切削油 乳化液	切削油	切削油 乳化液	切削油 干切削
磨削		乳化液 水溶液 切削油	水溶液 乳化液	乳化液 水溶液	乳化液	—
珩磨 研磨		切削油	切削油	—	—	—

关注公众号：机械工程师成长营

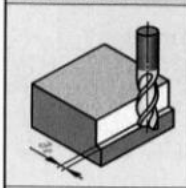
硬材料的加工及干加工，高速铣，MQCL

立方氮化硼（CBN）车削硬材料



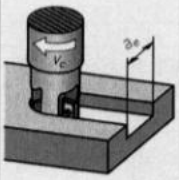
车削方法	材料淬火钢 HRC	切削速度 v_c（m/min）	进给速度 f（mm/r）	切削深度 a_p（mm）
外圆车削	45～58	60～220	0.05～0.3	0.05～0.5
内圆车削		60～180	0.05～0.2	0.05～0.2
外圆车削	>58～65	50～190	0.05～0.25	0.05～0.4
内圆车削		50～150	0.05～0.2	0.05～0.2

涂层硬质合金刀具（VHM）铣削硬材料



材料淬火钢 HRC	切削速度 v_c（m/min）	背吃刀量 $a_{e\,max}$（mm）	对于铣刀直径 d（mm）的每齿进给量 f_t（mm）		
			2～8	>8～12	>12～20
≤35	80～90	0.05·d	0.04	0.05	0.06
36～45	60～70	0.05·d			
46～54	50～60	0.05·d	0.03	0.04	0.05

采用 PCD 进行高速铣削（HSC）

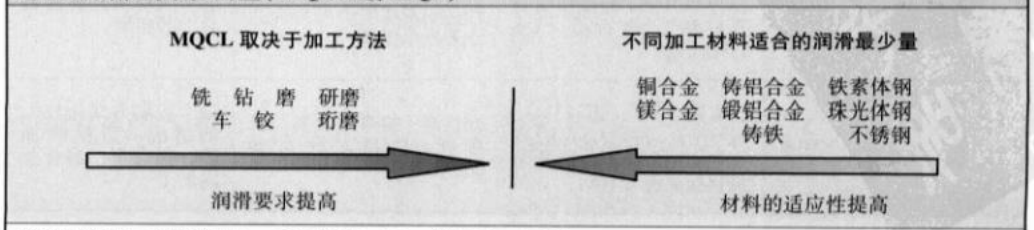


材料组别	切削速度	铣刀直径 d（mm）			
		10		20	
		a_e（mm）	f_t（mm）	a_e（mm）	f_t（mm）
钢 R_m 850～1100	280～360	0.25	0.09～0.13	0.40	0.13～0.18
>1100～1400	210～270				
淬火钢 48～55 HRC	90～240	0.25	0.09～0.13	0.40	0.13～0.18
>55～67 HRC	75～120	0.20		0.35	
EN－GJS>180HB	300～360	0.25	0.09～0.13	0.40	0.13～0.18
钛合金	90～270	0.20～0.25	0.09～0.13	0.35～0.40	0.13～0.18
铜合金	90～140	0.20	0.09～0.13	0.35	0.13～0.18

干加工

加工方法	不同加工材料的刀具材料及切削液				
	铁				铝
	调质钢	高合金钢	铸铁	铸造合金	锻造合金
钻孔	TiN，干加工	TiAlN[1]，MQCL	TiN，干加工	TiAlN，MQCL	TiAlN，MQCL
铰孔	PC，MQCL	—[2]	PCD，MQCL	TiAlN，PCD，MQCL	TiAlN，MQCL
铣削	TiN，干加工	TiAlN，MQCL	TiN，干加工	TiAlN，干加工	TiAlN，MQCL
锯削	MQCL	MQCL	—[2]	TiAlN，MQCL	TiAlN，MQCL

加工切削液的最少用量（MQCL 或 MQL）[3]



1）渗氮钛铝（超硬涂层） 2）不常见 3）一般 0.01～3 L/h

关注公众号：机械工程师成长营

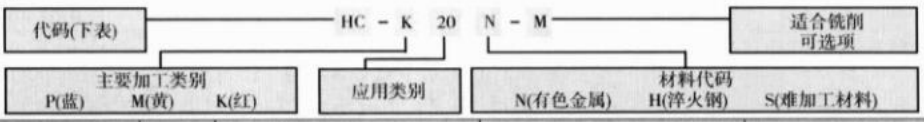
刀具材料

切削刀具材料标注

cf. E-DIN ISO 513（2004－07）及 DIN 6599（1998－06）

DIN ISO 513 定义了对于不同加工材料的硬刀具材料的标注及应用。它根据加工材料的不同而分为不同的应用类别
DIN 6599 是 DIN ISO 513 的补充，包括加工材料的信息、硬刀具材料的韧性和性能值

举例：



切削刀具	C[1]	成分	性质	应用
 硬质合金	HW	无涂镀碳化钨（WC）硬质合金，细晶粒碳化物（粒度 <2.5μm）	热硬性高，达到 1000 ℃，耐磨性好，抗压强度、振动阻尼高	钻、车及铣削的可转位刀具，硬质合金刀具
	HT	无涂镀碳化钛（TiC）、氮化钛（TiN）硬金属，或两者都有，也称金属陶瓷（陶瓷合金）	与 HW 相似，并有高的切削韧稳定性及化学稳定性	高速精加工时车床及铣床的可转位刀具
	HC	碳氮化钛（TiCN）涂镀的 HW 及 HT	在韧性不减少的情况下，耐磨性提高	逐渐取代无涂镀硬质合金
 切削陶瓷	CA	氧化陶瓷，主要为氧化铝（Al_2O_3）	硬度高，热硬度好，达到 1200 ℃，对剧烈的温度变化敏感	切削铸铁，通常不使用切削液
	CM	氧化铝（Al_2O_3）及其他氧化物基混合陶瓷	比纯陶瓷韧性好，对温度骤变有较好的耐受性	淬火钢的精密车削；高速切削
	CN	氮化陶瓷，主要为氮化硅（Si_3N_4）	高韧性，高切削韧稳定性	铸铁的高速切削
	CC	切削陶瓷，如 CA、CM 和 CN，并为碳氮化钛（TiCN）涂镀	在韧性不减少的情况下，耐磨性提高	逐渐取代无涂镀切削陶瓷
 氮化硼	BN	多晶体立方氮化硼，也标注为 CBN 或 PCB，或“超硬切削刀具材料”	很高的硬度及热硬度，达到 2000℃，耐磨性高，化学稳定性高	要求高表面质量的硬材料（HRC > 48）的修整
 金刚石	DP	多晶体人造金刚石，也标注为 PCD 或“超硬切削刀具材料”，由石墨（C）转化而成	耐磨性高，很脆，热稳定性达到 600 ℃，可与合金元素发生反应	非金属材料及高硅铝合金的切削
 工具钢[2]	HSS	含有钨（W）、钼（Mo）、钒（V）、钴（Co）的高性能高速合金钢，通常为氮化钛涂镀（TiN）	韧性高，抗弯强度高，低硬度，热稳定性达到 600 ℃	用于切削力变化较大的情况，塑料的加工，铝合金、铜合金的加工

1）代码字母根据 E－DIN ISO 513　　2）工具钢不包括在 E－DIN ISO 513 或 DIN 6599 中

关注公众号：机械工程师成长营

刀具材料

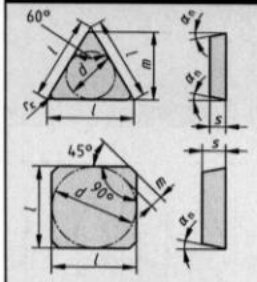
切削刀具材料的主要加工类别和应用类别

cf. E－DIN ISO 513（2004－07）

主要类别颜色代码	加工应用类别				
	代码标注	材料	加工方法和切削条件	切削刀具材料性质	加工性能
P 蓝	长切屑钢材和铸铁材料				
	P01	钢、铸钢	精车和钻孔，切削速度高，切削面积小	耐磨性提高 韧性提高	切削速度提高 切削损耗加大
	P10	钢、铸钢，长切屑可锻铸铁	车、铣、螺纹切削，切削速度高，切削面积小到中等		
	P20	钢、铸钢，长切屑可锻铸钢	低速车削，切削面积大		
	P30	钢、带空腔的铸钢	车、仿形加工、铣，中等切削速度及切削面积		
	P40	钢、带空腔的铸钢	在不利的切屑条件下加工，可以有较大的切削角度		
	P50	钢、带空腔及夹砂的中等强度铸钢	在不利的切屑条件下加工，刀具材料必须有韧性，可以在低速下采用较大的切削速度和切削面积		
M 黄	长或短切屑钢材、铸铁、有色金属				
	M10	钢、铸钢、铸铁、高锰钢	车削，中等切削速度及切削面积	耐磨性提高 韧性提高	切削速度提高 切削损耗加大
	M20	钢、铸钢、铸铁、奥氏体钢	车、铣，中等切削速度及切削面积		
	M30	钢、铸铁、耐高温合金	车、铣，中到大的切削速度及切削面积		
	M40	易切削钢、重有色金属、轻合金	车、铸锭分离，尤其在自动机床上		
K 红	短切屑钢材、铸铁、有色金属、非金属				
	K01	硬铸铁、铝硅合金、热固性材料	车、剥离、铣、刮研	耐磨性提高 韧性提高	切削速度提高 切削损耗加大
	K10	HB≥220 的铸铁、石材、陶瓷	车、铣、钻、钻孔、拉削、刮削		
	K20	HB≥220 的铸铁、有色金属	车、铣、内圆车削；切削刀具材料要求高韧性		
	K30	钢、低硬度铸铁	车、铣、开槽，可以有较大的切削角度		
	K40	有色金属、木材	采用大的切削角度进行加工		

关注公众号：机械工程师成长营

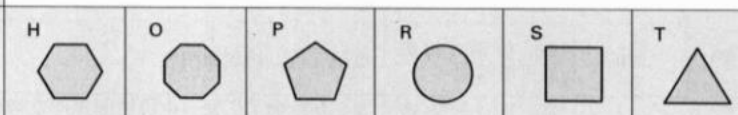
可转位硬质合金刀片　　cf. DIN 4987（1987－03）



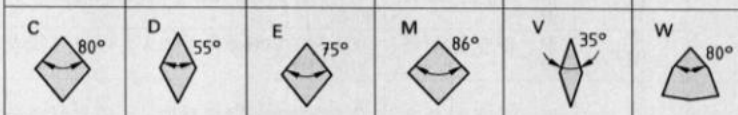
标注举例：
无安装孔、带圆角的可转位硬质合金刀片（DIN 4968）

刀片 DIN	4898	–	T	N	G	N	16	03	08	T	–	P20
平面刃硬质合金可转位刀片(DIN 9590)												
刀片 DIN	6590	–	S	P	E	N	15	04	ED	R	–	P10
标准号			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

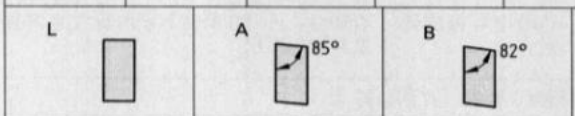
①基本形状
等边、等角



等边、不等角



不等边、L 等角
A、B、K 不等角



除标准形状外，许多公司还有其他的具体形状

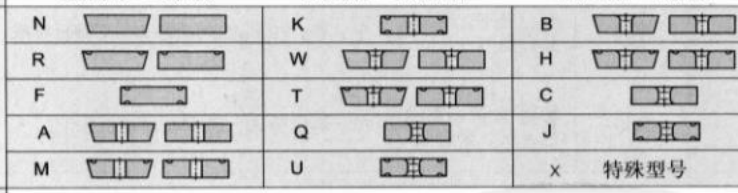
②法向后角 α_n

A	B	C	D	E	F	G	N	P	O
3°	5°	7°	15°	20°	25°	30°	0°	11°	特殊值

③公差等级

允许偏差		
控制尺寸 d	控制尺寸 m	刀片厚度 s
±0.013 ~ ±0.05	±0.005 ~ ±0.025	±0.025 ~ ±0.13

④刀面及夹紧结构



⑤刀片尺寸

对于不等边刀片，切削刃长度是较长的切削边，对于圆形刀片是其直径

⑥刀片厚度

刀片厚度单位为 mm，无小数位

⑦刃口型式

代号乘以系数 0.1 = 刀尖圆角半径 r_ε

1. 主刀刃主偏角 χ_r 代号

A	D	E	F	P
45°	60°	75°	85°	90°

2. 平面刃（倒角）后角 α'_n 代号

A	B	C	D	E	F	G	N	P
3°	5°	7°	15°	20°	25°	30°	0°	11°

⑧刀尖形状

F 尖角	E 圆角	T 倒角	S 倒角圆角	K 两侧倒角	P 两侧倒角圆角

⑨切削方向

R 右切削	L 左切削	N 右切削及左切削

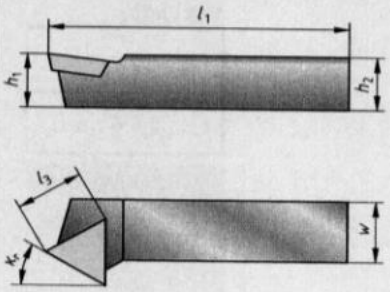
⑩刀具材料

按加工应用分组的硬质合金或陶瓷

关注公众号：机械工程师成长营

可转位刀片用刀杆的标注

cf. DIN 4983（2004－07）



1）指可转位刀片，见第296页

标注举例

刀杆 DIN 4984 – C T W N R 32 25 M 16

- 刀杆标准号
- 夹固方法
- 刀片形状[1]
- 刀杆设计
- 法向后角[1] α_n
- 刀杆型式
- 切削刃高度 $h_1 = h_2$ (mm)
- 刀柄宽度 w (mm)
- 刀杆长度 l_1 (mm)
- 可转位刀片尺寸[1]

标注	型式												
刀片夹固	字母代号	C			M			P			S		
	可转位刀片的夹固	从上部夹紧			从上部和孔中夹紧			从孔中夹紧			利用沉孔和螺钉夹紧		
刀杆设计	字母代号	A	B	D	E	M	N	V	G	H	J	R	T
直头	主偏角 κ_r	90°	75°	45°	60°	50°	63°	72.5°	90°	107.5°	93°	75°	60°
	刀杆型式	直头							偏头				
偏头	字母代号	C	F	K	S	U	W	Y					
	主偏角 κ_r	90°	90°	75°	45°	93°	60°	85°	带圆角可转位刀片的基本型R及D型、S型				
	刀杆型式	直头	偏头										
刀杆类型	字母代号	R	右偏刀杆			L	左偏刀杆			N	直头		
刀杆长度	字母代号	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
	l_1（mm）	32	40	50	60	70	80	90	100	110	125	140	150
	字母代号	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
	l_1（mm）	160	170	180	200	250	300	350	400	450	定制长度		500
⇒	**刀杆 DIN 4984 – CTWNR 3225 M16**：方柄刀杆，从上部夹固（C），三角形可转位刀片（T），$k_r = 60°$（W），$\alpha_n = 0°$（N），右切削（R），$h_1 = h_2 = 32$ mm，$b = 25$ mm，$l_1 = 150$mm（M），$l_3 = 16.5$mm（16）												

关注公众号：机械工程师成长营

单位切削力，标准值

单位切削力

k_c　单位切削力（N/mm^2）
k　单位切削力的查表值（N/mm^2）
$k_{c1.1}$　单位主切削力（N/mm^2）
m_c　材料常数
h　切削厚度
C_1　切削速度修正系数
C_2　加工方法修正系数
v_c　切削速度（m/min）

举例：

车削 C45 的轴，切削速度 $v_c = 75$ m/min，$h = 0.31$ mm。
求：修正系数 C_1、C_2，单位切削力 k_c。
解：修正系数表：$C_1 = 1.1$，$C_2 = 1.0$
表：$k = 1990$ N/mm^2

$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2 = 1990\ N/mm^2 \cdot 1.1 \cdot 1.0 = 2189\ N/mm^2$$ 或

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}} \cdot C_1 \cdot C_2 = \frac{1450\ \frac{N}{mm^2}}{0.31^{0.27}} \cdot 1.1 \cdot 1.0 = 2188.2\ N/mm^2$$

单位切削力

$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2$$

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{m_c}} \cdot C_1 \cdot C_2$$

修正系数	
切削速度 v_c（m/min）	C_1
10 ~ 30	1.3
31 ~ 80	1.1
81 ~ 400	1.0
>400	0.9
加工方法	C_2
铣	0.8
车	1.0
钻	1.2

单位切削力，标准值

材料	$K_{c1.1}$（N/mm^2）	m_c	切削厚度为 h（mm）的单位切削力（N/mm^2）								
			0.08	0.1	0.16	0.2	0.31	0.5	0.8	1.0	1.6
E295	1500	0.3	3200	2995	2600	2430	2130	1845	1605	1500	1305
C35，C45	1450	0.27	2870	2700	2380	2240	1990	1750	1540	1450	1275
C60	1690	0.22	2945	2805	2530	2410	2185	1970	1775	1690	1525
9S20	1390	0.18	2190	2105	1935	1855	1715	1575	1445	1390	1275
9SMn28	1310	0.18	2065	1985	1820	1750	1615	1485	1365	1310	1205
35S20	1420	0.17	2180	2100	1940	1865	1735	1600	1475	1420	1310
16MnCr5	1400	0.30	2985	2795	2425	2270	1990	1725	1495	1400	1215
18CrNi8	1450	0.27	2870	2700	2380	2240	1990	1750	1540	1450	1275
20MnCr5	1465	0.26	2825	2665	2360	2225	1985	1755	1555	1465	1295
34CrMo4	1550	0.28	3145	2955	2590	2430	2150	1880	1650	1550	1360
37MnSi5	1580	0.25	2970	2810	2500	2365	2115	1880	1670	1580	1405
40Mn4	1600	0.26	3085	2910	2575	2430	2170	1915	1695	1600	1415
42CrMo4	1565	0.26	3020	2850	2520	2380	2120	1875	1660	1565	1385
50CrV4	1585	0.27	3135	2950	2600	2450	2175	1910	1685	1585	1395
X210Cr12	1720	0.26	3315	3130	2770	2615	2330	2060	1825	1720	1520
EN - GJL - 200	825	0.33	1900	1765	1510	1405	1215	1035	890	825	705
EN - GJL - 300	900	0.42	2600	2365	1945	1740	1470	1205	990	900	740
CuZn37	1180	0.15	1725	1665	1555	1500	1405	1310	1220	1180	1100
CuZn36Pb1.5	835	0.15	1220	1180	1100	1065	995	925	865	835	780
CuZn40Pb2	500	0.32	1120	1045	900	835	725	625	535	500	430

切削力 $k_{c1.1}$、k 及 k_c 的含义

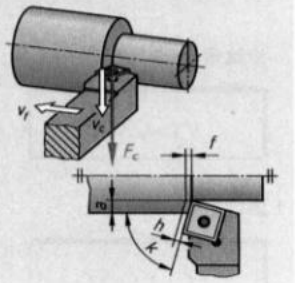
数值	在下列条件下对应切削面积 $A = 1$ mm^2 时的切削力 F_c
$k_{c1.1}$	切削宽度 $w = 1$ mm，切削厚度 $h = 1$ mm
k	切削厚度 h 由生产规划确定
k_c	与加工方法、切削速度有关的单位切削力 k

1）加工不同材料时硬质合金刀具切削角度的标准值：
$\gamma_0 = +6°$　加工钢材
$\gamma_0 = +2°$　加工铸铁
$\gamma_0 = +8°$　加工铜合金

关注公众号：机械工程师成长营

车削和钻孔时的切削力及功率

车削



F_c 切削力（N）
A 切削面积（mm^2）
a 切削深度（mm）
f 进给量（mm）
κ 主偏角（°）
h 切削厚度（mm）
v_c 切削速度（mm/min）
k_c 单位切削力（N/mm^2，第298页）
Q 材料去除率（mm^3/min）
P_c 切削功率（kW）

切削面积

$$A = a \cdot f$$

切削力

$$F_c = A \cdot k_c$$

切削厚度

$$h = f \cdot \sin \kappa$$

材料去除率

$$Q = A \cdot v_c = a \cdot f \cdot v_c$$

切削功率

$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

举例：

对材料为16MnCr5的轴进行加工，已知：$a = 5$ mm，$f = 0.32$mm，$\kappa = 75°$，$v_c = 160$ m/min。

求： h，k_c，A，F_c，P_c。

解： $h = f \cdot \sin\kappa = 0.32 \text{ mm} \cdot \sin 75° = 0.31 \text{ mm}$

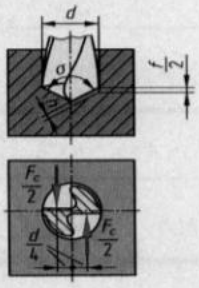
$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2$；$k = 1990 \text{ N/mm}^2$（见第298页）

$$= 1990 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 1990 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c = a \cdot f \cdot k_c = 5 \text{ mm} \cdot 0.32 \text{ mm} \cdot 1990 \text{ N/mm}^2 = 3184 \text{ N}$$

$$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{3184 \text{ N} \cdot 160 \text{ m}}{60 \text{ s}} = 8491 \text{ W} = 8.49 \text{ kW}$$

钻孔



F_c 切削力（N）
A 切削面积（mm^2）
d 钻孔直径（mm）
f 进给量（mm）
σ 顶角（°）
h 切削厚度（mm）
v_c 切削速度（mm/min）
k_c 单位切削力（N/mm^2，第298页）
M_c 切削扭矩（N·m）
Q 材料去除率（mm^3/min）
P_c 切削功率（kW）

切削厚度

$$h = \frac{f}{2} \cdot \sin \frac{\sigma}{2}$$

切削面积

$$A = \frac{d \cdot f}{2}$$

切削力

$$F_c = A \cdot k_c$$

切削扭矩

$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{4}$$

材料去除率

$$Q = \frac{A \cdot v_c}{2}$$

切削功率

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2} = Q \cdot k_c$$

举例：

工件材料为37MnSi5，钻孔直径：$d = 16$ mm，$v_c = 12$ m/min，$f = 0.18$mm，$\sigma = 118°$。

求： h，k_c，F_c，M_c。

解： $h = \frac{f}{2} \cdot \sin \frac{\sigma}{2} = \frac{0.18 \text{ mm}}{2} \cdot \sin 59° = 0.08 \text{ mm}$

$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2$（见第298页）$= 2790 \frac{\text{N}}{mm^2} \cdot 1.3 \cdot 1.2 = 4633 \text{ N/mm}^2$

$$A = \frac{d \cdot f}{2} \cdot \frac{16 \text{ mm} \cdot 0.18 \text{ mm}}{2} = 1.44 \text{ mm}^2$$

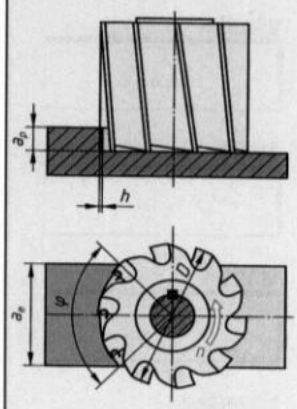
$$F_c = A \cdot k_c = 1.44 \text{ mm}^2 \cdot 4633 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 6672 \text{ N}$$

$$M_c = \frac{F_c \cdot d}{4} \cdot \frac{6672 \text{ N} \cdot 0.016 \text{ m}}{4} = 26.7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

关注公众号：机械工程师成长营

端铣时的切削力及功率

端铣



F_c	切削力（N）
A	切削面积（mm^2）
k_c	单位切削力（N/mm^2，第298页）
a_p	铣削深度（mm）
a_e	吃刀量（铣削宽度，mm）
v_c	铣削速度（m/min）
v_f	进给速度（mm/min）
n	转速（转/min）
D	铣刀直径（mm）
T	齿数
f	每转进给量（mm）
f_t	每齿进给量（mm）
h	切削厚度（mm）
T_e	有效工作齿数
φ_s	铣刀切入及切出之间的角度（°）
Q	材料去除率（mm^3/min）
P_c	铣削功率（kW）

进给量

$$f = f_t \cdot T$$

进给速度

$$v_f = f_t \cdot T \cdot n = f \cdot n$$

切削厚度

$$h \approx 0.9 \cdot f_t$$

压力角

$$\sin\frac{\varphi_s}{2} = \frac{a_e}{D}$$

有效齿数

$$T_e = \frac{\varphi_s \cdot T}{360°}$$

切削面积

$$A = a_p \cdot h \cdot T_e$$

切削力

$$F_c = A \cdot k_c$$

材料去除率

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

切削功率

$$P_c = F_c \cdot v_c = Q \cdot k_c$$

举例：

工件材料为16MnCr5，$D=160$ mm，$T=12$，$a_e=120$ mm，$a_p=6$ mm，$f_t=0.2$ mm，$v_c=85$ m/min。

求：n，v_f，φ_s，T_e，h；A，k_c，F_c，Q，P_c。

解：

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d} = \frac{85\ \frac{m}{min}}{\pi \cdot 0.16\ m} = 169/min$$

$$v_f = f_t \cdot T \cdot n = 0.2\ mm \cdot 12 \cdot 169/min = 406\ mm/min$$

$$\sin\frac{\varphi_s}{2} = \frac{a_e}{D} = \frac{120\ mm}{160\ mm} = 0.75;\ \varphi_s = 97.2°$$

$$T_e = \frac{\varphi_s \cdot T}{360°} = \frac{97.2° \cdot 12}{360°} = 3.24$$

$$h \approx 0.9 \cdot f_t = 0.9 \cdot 0.2\ mm = 0.18\ mm$$

$$A = a_p \cdot h \cdot T_e = 6\ mm \cdot 0.18\ mm \cdot 3.24 = 3.5\ mm^2$$

$$k_c = k \cdot C_1 \cdot C_2$$

$k = 2348\ N/mm^2$（平均值，见第298页）

$$k_c = 2348\ N/mm^2 \cdot 0.8 \cdot 1 = 1879\ N/mm^2$$

$$F_c = A \cdot k_c = 3.5\ mm^2 \cdot 1879\ \frac{N}{mm^2} = 6577\ N$$

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f = 6\ mm \cdot 120\ mm \cdot 405.6\ \frac{mm}{min} = 292\ cm^3/min$$

$$P_c = F_c \cdot v_c = \frac{6577\ N \cdot 85\ m}{60\ s} = 9317\ W = 9.3\ kW$$

或

$$P_c = Q \cdot k_c = \frac{292\ cm^3 \cdot 187900\ \frac{N}{cm^2}}{60\ s} = 914447\ N \cdot cm/s$$

$$= 9.1\ kW$$

关注公众号：机械工程师成长营

钻 孔

高速钢麻花钻(HSS)

cf. D/N 1414 - 1(1998 - 06)



类型[1]	应用	螺旋角[2]	顶角[3]
N	广泛应用于 $R_m \approx 1000 N/mm^2$ 的各种材料，如结构钢、表面淬火钢、淬硬钢及回火钢	30° ~ 40°	118°
H	脆性材料、短切屑、有色金属及塑料的钻孔，如铜锌合金及胶质玻璃	13° ~ 19°	118°
W	塑性材料，长切屑，有色金属及塑料的钻孔，如铝镁合金、PA(尼龙)及 PVC 材料	40° ~ 47°	130°

1) 对于 HSS 刀具的刀具应用组别依照 DIN 1853 而定
2) 取决于钻头直径和螺距
3) 标准形式

HSS 麻花钻钻孔的标准值[1]

工件材料		切削速度[2] v_c (m/min)	钻孔直径 d (mm)				
材料组别	抗拉强度 R_m (N/mm^2)或硬度 HB		2 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 12	>12 ~ 25	>25 ~ 50
			进给量 f (mm/r)				
低强度钢	$R_m \leqslant 800$	40	0.05	0.10	0.15	0.25	0.35
高强度钢	$R_m > 800$	20	0.04	0.08	0.10	0.15	0.20
不锈钢	$R_m \leqslant 800$	12	0.03	0.06	0.08	0.12	0.18
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	20	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60
铝合金	$R_m \leqslant 350$	45	0.10	0.20	0.30	0.40	0.60
铜合金	$R_m \leqslant 500$	60	0.10	0.15	0.30	0.40	0.60
热塑塑料	—	50	0.10	0.15	0.30	0.40	0.60
热固塑料	—	25	0.05	0.10	0.18	0.27	0.35

硬质合金钻头钻孔标准值[1]

工件材料		切削速度[2] v_c (m/min)	钻孔直径 d (mm)				
材料组别	抗拉强度 R_m (N/mm^2)或硬度 HB		2 ~ 3	>3 ~ 6	>6 ~ 12	>12 ~ 25	>25 ~ 50
			进给量 f (mm/r)				
低强度钢	$R_m \leqslant 800$	90	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40
高强度钢	$R_m > 800$	80	0.08	0.13	0.20	0.30	0.40
不锈钢	$R_m \leqslant 800$	40	0.08	0.13	0.20	0.30	0.40
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	100	0.10	0.15	0.30	0.45	0.70
铝合金	$R_m \leqslant 350$	180	0.15	0.25	0.40	0.60	0.80
铜合金	$R_m \leqslant 500$	200	0.12	0.16	0.30	0.45	0.60
热塑塑料	—	80	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40
热固塑料	—	80	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40

变化条件下的标准值

对于中等使用条件下，切削速度和进给量可变时的标准值
· 刀具寿命接近 30 分钟 · 材料的平均强度 · 孔深 $< 5d$ · 浅孔钻
标准值：· 在有利的情况下增大 · 在不利的情况下减小

1) 冷却润滑油，见第 292 及第 293 页 2) 对于涂层钻头的值

关注公众号：机械工程师成长营

铰孔和攻丝

HSS 铰刀铰孔标准值[1)]

工件材料		切削速度 v_c（m/min）	刀具直径 d（mm）					相对于 d（mm）的铰削余量	
材料组别	抗拉强度 R_m（N/mm²）或硬度 HB		2～3	>3～6	>6～12	>12～25	>25～50	≤20	>20～50
			进给量（mm/r）						
低强度钢	R_m≤800	15	0.06	0.12	0.18	0.32	0.50	0.20	0.30
高强度钢	R_m>800	10	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
不锈钢	R_m≤800	8	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	15	0.06	0.12	0.18	0.32	0.50		
铝合金	R_m≤350	26	0.10	0.18	0.30	0.50	0.80		
铜合金	R_m≤500	26	0.10	0.18	0.30	0.50	0.80	0.30	0.60
热塑塑料	—	14	0.12	0.20	0.35	0.60	1.00		
热固塑料	—	14	0.12	0.20	0.35	0.60	1.00		

硬质合金刀具铰孔标准值[1)]

工件材料		切削速度 v_c（m/min）	刀具直径 d（mm）					相对于 d（mm）的铰削余量	
材料组别	抗拉强度 R_m（N/mm²）或硬度 HB		2～3	>3～6	>6～12	>12～25	>25～50	≤20	>20～50
			进给量（mm/r）						
低强度钢	R_m≤800	15	0.06	0.12	0.18	0.32	0.50	0.20	0.30
高强度钢	R_m>800	10	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
不锈钢	R_m≤800	10	0.05	0.10	0.15	0.25	0.40		
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	25	0.10	0.18	0.28	0.50	0.80		
铝合金	R_m≤350	30	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00		
铜合金	R_m≤500	30	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00	0.30	0.60
热塑塑料	—	20	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00		
热固塑料	—	30	0.12	0.20	0.35	0.50	1.00		

攻丝和螺纹成形加工标准值[1)]

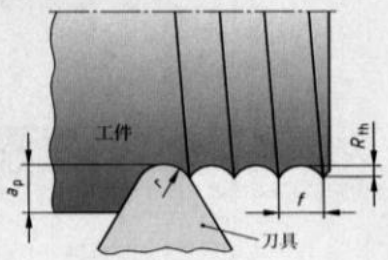
工件材料		HSS 刀具		硬质合金刀具	
材料组别	抗拉强度 R_m（N/mm²）或硬度 HB	攻丝[2)]	螺纹成形加工[2)]	攻丝[2)]	螺纹成形加工[2)]
		切削速度 v_c（m/min）		切削速度 v_c（m/min）	
低强度钢	R_m≤800	40～50	40～50	—	40～60
高强度钢	R_m>800	20～30	15～20	—	20～30
不锈钢	R_m≤800	8～12	10～20	—	20～30
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	15～20	—	25～35	—
铝合金	R_m≤350	20～40	30～50	60～80	60～80
铜合金	R_m≤500	30～40	25～35	30～40	50～70
热塑塑料	—	20～30	—	50～70	—
热固塑料	—	10～15	—	25～35	—

1）冷却润滑液，见第 292、第 293 页
2）上限值：用于低强度材料组别，短螺纹；下限值：用于高强度材料组别，长螺纹

关注公众号：机械工程师成长营

车 削

残留面积高度取决于刀尖圆弧半径和进给量



R_{th} 理论残留面积高度　r 刀尖圆弧半径　f 进给量　a_p 切削深度

理论残留面积高度

$$R_{th} \approx \frac{f^2}{8 \cdot r}$$

$R_{th} \approx R_z$

举例

$R_{th} = 25\ \mu m;\ r = 1.2;\ f = ?$

$$f = \sqrt{8 \cdot r \cdot R_{th}}$$

$$= \sqrt{8 \cdot 1.2\ mm \cdot 0.025\ mm} \approx 0.5\ mm$$

残留面积高度 R_{th} (μm)	刀尖圆弧半径 (mm)			
	0.4	0.8	1.2	1.6
	进给量			
1.6	0.07	0.10	0.12	0.14
4	0.11	0.15	0.19	0.22
10	0.17	0.24	0.29	0.34
16	0.22	0.30	0.37	0.43
25	0.27	0.38	0.47	0.54

HSS 刀具车削标准值[1)2)]

工件材料		切削速度 v_c (m/min)	进给量 f (mm)	切削深度 a_p (mm)
材料组别	抗拉强度 R_m (N/mm²) 或硬度 HB			
低强度钢	$R_m \leqslant 800$	40 ~ 80	0.1 ~ 0.5	0.5 ~ 4.0
高强度钢	$R_m > 800$	30 ~ 60		
不锈钢	$R_m \leqslant 800$	30 ~ 60		
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	20 ~ 35		
铝合金	$R_m \leqslant 350$	120 ~ 180		
铜合金	$R_m \leqslant 500$	100 ~ 125		
热塑塑料	—	100 ~ 500		
热固塑料	—	80 ~ 400		

涂镀硬质合金刀具车削标准值[2)]

工件材料		切削速度 v_c (m/min)	进给量 f (mm)	切削深度 a_p (mm)
材料组别	抗拉强度 R_m (N/mm²) 或硬度 HB			
低强度钢	$R_m \leqslant 800$	200 ~ 350	0.1 ~ 0.5	0.3 ~ 5.0
高强度钢	$R_m > 800$	100 ~ 200		
不锈钢	$R_m \leqslant 800$	80 ~ 200		
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	100 ~ 300		
铝合金	$R_m \leqslant 350$	400 ~ 800		
铜合金	$R_m \leqslant 500$	150 ~ 300		
热塑塑料	—	500 ~ 2000		
热固塑料	—	400 ~ 1000		

切削数据极值的应用

举例：硬质合金刀具车削低强度钢标准值

上限值	应用	下限值	应用
$v_c = 350$ m/min	· 最终加工（精加工） · 稳定的刀具或工件	$v_c = 200$ m/min	· 初加工（粗加工） · 不稳定的刀具或工件
$f = 0.5$ mm $a_p = 5.0$ mm	· 初加工（粗加工） · 稳定的刀具或工件	$f = 0.1$ mm $a_p = 0.3$ mm	· 最终加工（精加工） · 不稳定的刀具或工件

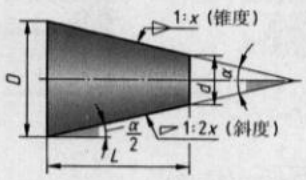
1) HSS 车刀大部分被硬质合金可转位刀具代替　2) 加工切削液，见第 292 ~ 293 页

关注公众号：机械工程师成长营

车锥面

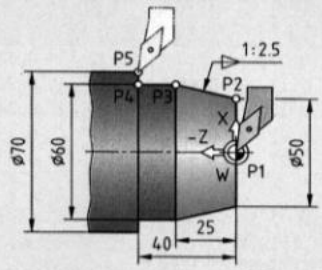
圆锥术语

cf. DIN ISO 3040（1991－09）



D　大端直径
d　小端直径
L　圆锥长度
α　圆锥角
$\frac{\alpha}{2}$　斜角（转动角度）
C　锥度
$\frac{C}{2}$　斜度
1:x 圆锥：长度为 x 的圆锥，两端直径相差 1 mm

CNC 数控车床车锥面

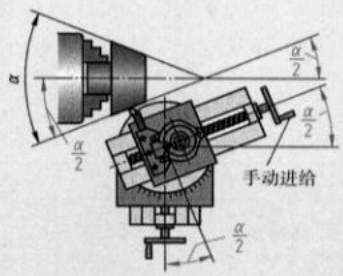


根据 DIN 66025[1] 进行数控编程加工带圆锥工件（见图）

N10	G00	×0	Z2		快进
N20	G01	×0	Z0	F0.15	直线切削进给到 P1
N30	G01	×50			直线切削进给到 P2
N40	G01	×60	Z－25		直线切削进给到 P3
N50	G01		Z－40		直线切削进给到 P4
N60	G01	×72			直线切削进给到 P5，完成
N70	G00	×100	2150		退刀

1）与第 387 页比较

转动小刀架法车锥面



举例

$D=225$ mm，$d=150$ mm，$L=100$ mm；

$\frac{\alpha}{2}=?$；$C=?$

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2\cdot L}=\frac{(225-150)\ \text{mm}}{2\cdot 100\ \text{mm}}=0.375$$

$$\frac{\alpha}{2}=20.556^\circ=20^\circ33'22''$$

$$C=\frac{D-d}{L}=\frac{(225-150)\ \text{mm}}{100\ \text{mm}}=0.75=1:1.33$$

转动角度

$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{C}{2}$$

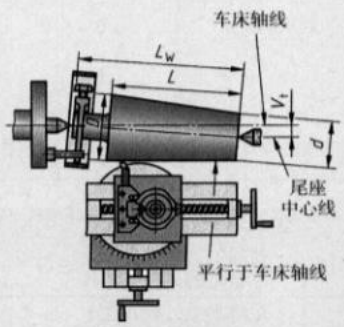
$$\tan\frac{\alpha}{2}=\frac{D-d}{2\cdot L}$$

锥度

$$C=\frac{D-d}{L}$$

$$C=1:x$$

偏移尾座法车锥面



V_T　尾座偏移量
$V_{T\,max}$　允许最大尾座偏移量
L_W　工件长度

举例

$D=20$ mm；　$D=18$ mm；
$L=80$ mm；　$L_W=100$ mm
$V_T=?$；$V_{T\,max}=?$

$$V_T=\frac{D-d}{2}\cdot\frac{L_W}{L}=\frac{(20-18)\ \text{mm}}{2}\cdot\frac{100\ \text{mm}}{80\ \text{mm}}=1.25\ \text{mm}$$

$$V_{T\,max}\leqslant\frac{L_W}{50}=\frac{100\ \text{mm}}{50}=2\ \text{mm}$$

尾座偏移量

$$V_T=\frac{C}{2}\cdot L_W$$

$$V_T=\frac{D-d}{2}\cdot\frac{L_W}{L}$$

允许最大尾座偏移量[1]

$$V_{T\,max}\leqslant\frac{L_W}{50}$$

1）如果尾座偏移过大，工件将不能保证在两顶尖之间

关注公众号：机械工程师成长营

铣 削

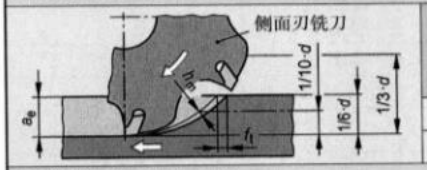
HSS 铣刀铣削标准值

工件材料		切削速度 v_c (m/min)	进给量 f_t (mm)			
材料组别	抗拉强度 R_m (N/mm²) 或硬度 HB		铣刀（立铣刀除外）	立铣刀直径 d (mm)		
				6	12	20
低强度钢	$R_m \leqslant 800$	50 ~ 100	0.05 ~ 0.15	0.06	0.08	0.10
高强度钢	$R_m > 800$	30 ~ 60				
不锈钢	$R_m \leqslant 800$	15 ~ 30				
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	25 ~ 40				
铝合金	$R_m \leqslant 350$	50 ~ 150				
铜合金	$R_m \leqslant 500$	50 ~ 100				
热塑塑料	—	100 ~ 400	0.10 ~ 0.20	0.10	0.15	0.20
热固塑料	—	100 ~ 400				

涂镀硬质合金刀具铣削标准值

工件材料		切削速度 v_c (m/min)	进给量 f_t (mm)			
材料组别	抗拉强度 R_m (N/mm²) 或硬度 HB		铣刀（立铣刀除外）	立铣刀直径 d (mm)		
				6	12	20
低强度钢	$R_m \leqslant 800$	200 ~ 400	0.05 ~ 0.15	0.06	0.08	0.10
高强度钢	$R_m > 800$	150 ~ 300				
不锈钢	$R_m \leqslant 800$	150 ~ 300				
铸铁，可锻铸铁	≤250 HB	150 ~ 300				
铝合金	$R_m \leqslant 350$	400 ~ 800				
铜合金	$R_m \leqslant 500$	200 ~ 400				
热塑塑料	—	500 ~ 1500	0.10 ~ 0.20	0.10	0.15	0.20
热固塑料	—	400 ~ 1000				

采用侧面刃铣刀铣槽时增加推荐的每齿进给量 f_t



每齿进给量	铣刀直径 d 时的切削深度 a_e			
	1/3 · d	1/6 · d	1/10 · d	1/20 · d
增加	1 · f_t	1.5 · f_t	1.45 · f_t	2 · f_t
调整值	0.25 mm	0.29 mm	0.36 mm	0.50 mm

切削数据极值的含义

举例：HSS 铣刀铣削低强度钢的标准值

上限值	应用	下限值	应用
$v_c = 100$ m/min	终加工（精加工）硬质刀具或工件	$v_c = 50$ m/min	初加工（粗加工）低硬度刀具或工件
$f_t = 0.15$ mm	初加工（粗加工）硬质刀具或工件	$f_t = 0.05$ mm	终加工（精加工）低硬度刀具或工件

进给速度计算

v_f 进给速度 (m/min)　　n 铣刀头转速 (r/min)

f_t 每齿进给量 (mm)　　N 齿数

举例

$v_c = 100$ m/min；$d = 40$ mm；$f_t = 0.12$ mm；$N = 10$

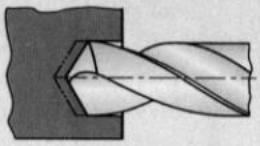
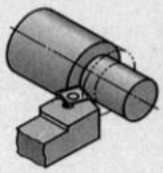
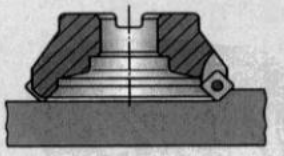
$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{v_c}{\pi \cdot 0.04\ \text{m}} = 796\ \text{r/min}；\ v_f = n \cdot f_t \cdot N = 796\ \text{r/min} \cdot 0.12\ \text{mm} \cdot 10 = 955\ \text{mm/min}$$

进给速度

$$v_f = n \cdot f_t \cdot N$$

关注公众号：机械工程师成长营

钻、车、铣削加工的调试检修

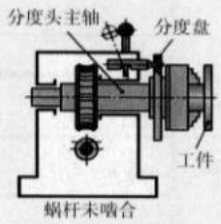
加工方法及问题[1]								可能的修正方法
钻孔								
钻头损坏	外径磨损	孔太大	切屑黏附在屑槽	刀刃剥落	非圆孔	刀具寿命短	振动	
•	•	•		•				检查切削几何参数
			•			•		增加润滑
		⇓	⇓		⇓		⇓	减少进给量 f
			⇑	⇑				提高切削速度 v_c
•	•		•			•	•	减小钻头伸出长度
•	•	•	•			•	•	检查切削参数
•	•			•		•		检查硬质合金的类型
车削								
前刀面磨损	刀刃变形	刀刃磨损	垂直于刀刃的裂纹	刀刃剥落	可转位刀片的断裂	长螺卷屑	振动	
⇓	⇓	⇑		⇑			⇓	改变切削速度 v_c
					⇓	⇑	⇑	改变进给量 f
					⇓		⇓	减少切削深度
•	•							选择更耐磨的硬质合金类刀具
			•	•	•			选择韧性更好的硬质合金类刀具
•		•		•			•	选择合理的切削几何参数
铣削								
前刀面磨损	刀刃变形	刀刃磨损	垂直于刀刃的裂纹	刀刃剥落	可转位刀片的断裂	表面质量差	振动	
⇓	⇓	⇑	⇓	⇑				改变切削速度 v_c
⇑		⇑		⇑	⇓	⇓	⇑	改变进给量 f_z
	•					•		选择更耐磨的硬质合金类刀具
			•	•	•			选择韧性更好的硬质合金类刀具
							•	采用宽间距的铣刀
						•	•	改变铣刀位置
		•	•	•				干铣削

1）• 要解决的问题 ⇑ 切削几何参数值增大 ⇓ 切削几何参数值减小

关注公众号：机械工程师成长营

分度头分度

直接分度



在直接分度中，分度头主轴及分度盘和工件，转动到所需的分度步长。蜗杆与蜗轮不啮合

D 等分数

n_1 分度盘孔数

n_i 分度步长；需要分度的孔距数

举例

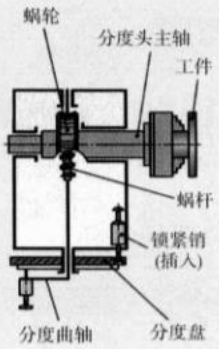
$n_h=24$；$D=8$；$n_i=?$ $\quad n_i=\dfrac{n_h}{D}=\dfrac{24}{8}=3$

分度步长

$$n_i=\frac{n_h}{D}$$

$$n_i=\frac{\alpha\cdot n_h}{360^\circ}$$

间接分度



在间接分度中，分度头主轴由蜗轮蜗杆传动

D 等分数 $\quad \alpha$ 等分角度

i 蜗轮蜗杆传动比

n_c 分度步长；每次分度时，分度手柄旋转角度

例 1

$D=68$；$i=40$；$n_c=?$ $\quad n_c=\dfrac{i}{D}=\dfrac{40}{68}=\dfrac{10}{17}$

例 2

$\alpha=37.2^\circ$；$i=40$；$n_c=?$

$$n_c=\frac{i\cdot\alpha}{360^\circ}=\frac{40\cdot 37.2^\circ}{360^\circ}=\frac{37.2}{9}=\frac{186}{9\cdot 5}=4\frac{2}{15}$$

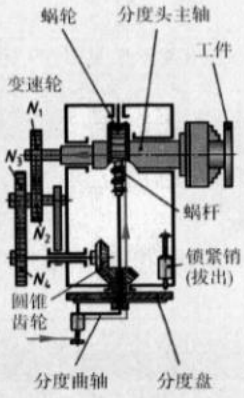
分度步长

$$n_c=\frac{i}{D}$$

$$n_c=\frac{i\cdot\alpha}{360^\circ}$$

分度盘上各圈孔数					
15	16	17	18	19	20
21	23	27	29	31	33
37	39	41	43	47	49
或					
17	19	23	24	26	27
28	29	30	31	33	37
39	41	42	43	47	49
51	53	57	59	61	63

差分分度



在差分分度中，分度头主轴的传动类似于间接分度，由蜗轮蜗杆传动。同时，采用变速轮驱动分度盘

D 等分数 $\quad \alpha$ 等分角度

D' 辅助分度数 $\quad i$ 蜗轮蜗杆传动比

n_c 分度步长；每次分度时，分度手柄旋转角度

N_{dg} 主动轮齿数（N_1，N_3）

N_{dn} 从动轮齿数（N_2，N_4）

采用下列方法选择 D'：

$D'>D$ 分度手柄与分度盘同方向旋转

$D'<D$ 分度手柄与分度盘反方向旋转

旋转方向由惰轮实现

举例

$i=40$；$D=97$；$n_c=?$ $\quad \dfrac{N_{dg}}{N_{dn}}=?$ $\quad D'$取值为 $=100$

（分度手柄与分度盘必须同方向旋转）

$$n_c=\frac{i}{D'}=\frac{40}{100}=\frac{8}{20}$$

$$\frac{N_{dg}}{N_{dn}}=\frac{i}{D'}\cdot(D'-D)=\frac{40}{100}\cdot(100-97)=\frac{2}{5}\cdot 3=\frac{6}{5}=\frac{48}{40}$$

分度步长

$$n_c=\frac{i}{D'}$$

变速轮齿数

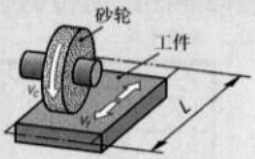
$$\frac{N_{dg}}{N_{dn}}=\frac{i}{D'}\cdot(D'-D)$$

变速轮齿数			
24	24	28	32
36	40	44	48
56	64	72	80
84	86	96	100

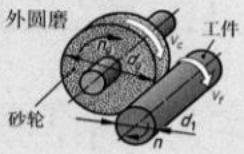
关注公众号：机械工程师成长营

磨　削

平面磨



外圆磨



v_c：切削速度
d_g：砂轮直径
n_g：砂轮转速
v_f：进给速度
L：行程
n_s行程次数
d_1：工件直径
n：工件转速
q：速比

举例：

$v_c = 30\ m/s; v_f = 20\ m/min; q = ?$

$$q = \frac{v_c}{v_f} = \frac{30\ m/s \cdot 60\ s/min}{20\ m/min} = \frac{1800\ m/min}{20\ m/min} = 90$$

切削速度

$$v_c = \pi \cdot d_g \cdot n_g$$

进给速度

平面磨　$v_f = L \cdot n_g$

外圆磨　$v_f = \pi \cdot d_1 \cdot n$

速比

$$q = \frac{v_c}{v_f}$$

切削速度 v_c、进给速度 v_f、速比 q 的标准值

材料	平面磨削						圆柱磨削					
	周磨			端磨			外圆磨			内圆磨		
	v_c (m/s)	v_f (m/min)	q	v_c (m/s)	v_f (m/min)	q	v_c (m/s)	v_f (m/min)	q	v_c (m/s)	v_f (m/min)	q
钢	30	10～35	80	25	6～25	50	35	10	125	25	19～23	80
铸铁	30	10～35	65	25	6～30	40	25	11	100	25	23	65
硬质合金	10	4	115	8	4	115	8	4	100	8	8	60
铝合金	18	15～40	30	18	24～45	20	18	24～30	50	16	30～40	30
铜合金	25	15～40	50	18	20～45	30	30	16	80	25	25	50

采用刚玉或碳化硅砂轮切削钢和铸铁的切削数据

加工方法	粒度	磨削余量	磨削深度(mm)	Rz (μm)
粗磨	30～46	0.5～0.2	0.02～0.1	3～10
精磨	46～80	0.02～0.1	0.005～0.05	1～5
精密磨削	80～120	0.005～0.02	0.002～0.008	1.6～3

砂轮最大线速度

cf. DIN EN 12413(1999－06)

砂轮形状	磨床类型	操纵方式[1]	不同类型结合剂[2]的砂轮最大线速度[2] V_c(m/s)							
			B	BF	E	M	R	RF	PL	V
平形砂轮	固定式	pd 或 ho	50	63	40	25	50	—	50	40
	手动磨床	pd	50	80	—	—	50	80	50	—
切断砂轮	固定式	Pd 或 ho	80	100	63	—	63	80	—	—
	手动磨床	全手动	—	80	—	—	—	—	—	—

1) pd：强制驱动；自动进给；ho：手动；手动进给　全手动：磨床完全由手工操纵；2) 结合剂种类，见第 309 页

磨削刀具的使用限制[3]*

cf. BGV D12[4] (2001－10)

VE	含义	VE	含义
VE1	不允许全手动或手动磨削	VE6	不允许端磨
		VE7	不允许全手动磨削
VE2	不允许全手动研磨切断	VE8	不允许使用垫板
VE3	不允许湿磨	VE10	不允许干磨
VE4	不允许封闭式的工作范围	VE11	不允许全手动或手动研磨切断
VE5	不允许无真空抽空		

3) 如果未给出限定条件，磨削刀具适合各种使用情况

最大允许线速度 >50m/s 的色条*

cf. BGV D12[4] (2001－10)

色条	蓝	黄	红	绿	蓝与黄	蓝与红	蓝与绿
v_{cmax} (m/s)	50	63	80	100	125	140	160
色条	黄与红	黄与绿	红与绿	蓝与蓝	黄与黄	红与红	绿与绿
v_{cmax} (m/s)	180	200	225	250	280	320	360

4) BGV：使用者责任保险协会条款　　*) 根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

磨料，结合剂

磨料

cf. DIN ISO 525（2000－08）

代号	磨料	化学成分	努普硬度	应用范围
A	棕刚玉	Al_2O_3 + 添加剂	18000	碳钢、未淬火钢、铸铁、可锻铸铁
	白刚玉	Al_2O_3 晶体	21000	高/低合金钢、淬火钢、表面淬火钢、工具钢、钛
Z	锆刚玉	Al_2O_3 + ZrO_2	—	不锈钢
C	碳化硅	SiC + 添加剂	24800	硬材料：硬质合金、铸铁、HSS、陶瓷、玻璃 软材料：铜、铝、塑料
BK	碳化硼	B_4C 晶体	47000	研磨、抛光硬质合金及淬火钢
CBN	氮化硼	BN 晶体	60000	高速钢、冷作钢、热作钢
D	金刚石	C 晶体	70000	硬质合金、铸铁、玻璃、陶瓷、石材、有色金属；不用于钢材、砂轮的修整

硬度等级

cf. DIN ISO 525（2000－08）

名称	硬度等级	应用	名称	硬度等级	应用
极软 很软	A B C D E F G	硬材料的深磨和端磨	硬 很硬 极硬	P Q R S T U V W X Y Z	外圆磨削；软材料
软 中	H I J K L M N O	一般金属的磨削			

粒度

cf. DIN ISO 525（2000－08）

磨料的粒度标注

粒度范围	粗	中	细	很细
粒度标注	F4，F5，F4～F26	F30，F36，F46～F60	F70，F80，F90～F220	F230～F1 200
可达到的 R_a 值(μm)	≈10～5	≈5～2.5	≈2.5～1.0	≈1.0～0.4

组织

代码	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14，…，30	
组织	← 紧密(不疏松)	开式(疏松) →

结合剂

cf. DIN ISO 525(2000－008)及 VDI 3411(2000－08)

代号	结合剂种类	性质	应用范围
V	陶瓷结合剂	疏松，易脆，对水、油、热不敏感	采用刚玉或碳化硅砂轮时，钢的粗精磨
B BF	合成树脂结合剂 强化纤维	疏松或不疏松，弹性好 耐油，冷磨削	金刚石或氮化硼砂轮的粗磨，切断、成形磨，高压力磨削
M	金属结合剂	疏松或不疏松，韧性好 对压力及温度不敏感	金刚石或氮化硼砂轮的成形磨，刀具刃磨、湿磨
G	电镀结合剂	磨粒突出，结合紧密	硬质合金的内圆磨、手工磨
R RF	橡胶结合剂 强化纤维	弹性好，冷却磨削温度 对油，热敏感	切断
E	虫胶结合剂	对温度敏感，有韧性及弹性，抗冲击	锯齿磨、成形磨、无心磨时砂轮的控制
MG	镁结合剂	软，有弹性，对水敏感	干磨、刃具磨
⇒	**砂轮 ISO 603－1 1 N－300×50×76.2－A/F 36 L 5 V－50**：型式 1（平形砂轮），砂轮表面 N，外径 300 mm，宽度 50 mm，孔径 76.2 mm，磨料 A（电刚玉），粒度 F38（中），硬度等级 L（中），组织 5，陶瓷结合剂（V），最高线速度 50 m/s		

关注公众号：机械工程师成长营

砂轮选择

砂轮选择标准值（不包括金刚石及氮化硼砂轮）

外圆磨

材料	磨料	粗磨		精磨		砂轮直径		最终精磨	
				≤500mm		>500mm			
		粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度
未淬火钢	A	54	M－N	80	M－N	60	L－M	180	L－M
淬火钢、纯金属、合金	A	46	L－M	80	K－L	60	J－K	240－500	H－N
淬火钢、高合金钢	A，C	80	M－N	80	N－O	60	M－N	240－500	H－N
硬质合金、陶瓷	C	60	K	80	K	60	K	240－500	H－N
铸铁	A，C	60	L	80	L	60	L	100	M
有色金属，如 Al、Cu、CuZn	C	46	K	60	K	60	K	—	—

内圆磨

材料	磨料	砂轮直径（mm）							
		≤20		20～40		40～80		>80	
		粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度
未淬火钢	A	80	M	60	L－M	54	L－M	46	K
淬火钢、纯金属、合金	A	80	K－L	120	M－N	80	M－N	80	L
淬火钢、高合金钢	A，C	80	J－K	100	K	80	K	60	J
硬质合金、陶瓷	C	80	G	120	H	120	H	80	G
铸铁	A	80	L－M	80	K－L	60	M	46	M
有色金属，如 Al、Cu、CuZn	C	80	I－J	120	K	60	J－K	54	J

周磨

材料	磨料	杯形砂轮 $D<300$ mm		平形砂轮				砂瓦	
				$D\leqslant 300$ mm		$D>300$ mm			
		粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度
未淬火钢	A	46	J	46	J	36	J	24	J
淬火钢、纯金属、合金	A	46	J	60	J	46	J	36	J
淬火钢、高合金钢	A	46	H－J	60	I－J	46	I－J	36	I－J
硬质合金、陶瓷	C	46	J	60	J	60	J	46	J
铸铁	A	46	J	46	J	46	J	24	J
有色金属，如 Al、Cu、CuZn	C	46	J	60	J	60	J	36	J

刀具刃磨

材料	磨料	平形砂轮			碟形砂轮			杯形砂轮	
		$D\leqslant 225$ 粒度	$D>225$ 硬度	粒度	$D\leqslant 100$ 硬度	$D>100$ 粒度	硬度	粒度	硬度
工具钢	A	80	60	M	80	60	M	46	K
高速钢	A	60	46	K	60	46	K	46	H
硬质合金	C	80	54	K	80	54	K	46	H

在机床上切断

材料	磨料	切断砂轮 $v_c\leqslant 80$ m/s				切断砂轮 $v_c\leqslant 100$ m/s			
		$D\leqslant 200$ mm		$D>200$ mm		$D\leqslant 500$ mm		$D>500$ mm	
		粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度
未淬火钢	A	80	Q－R	46	Q－R	24	U	20	Q－R
铸铁	A	60	Q－R	46	Q－R	24	U－V	20	U－V
有色金属，如 Al、Cu、CuZn	A	60	Q－R	46	Q－R	30	S	24	S

手工磨及切断

材料	磨料	切断砂轮 $v_c\leqslant 80$ m/s		粗磨砂轮				手工磨头	
				$v_c\leqslant 45$ m/s		$v_c\leqslant 80$ m/s			
		粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度	粒度	硬度
未淬火钢	A	30	T	24	M	24	R	36	Q－R
抗腐蚀钢	A	30	R	16	M	24	R	36	S
铸铁	A，C	30	T	20	R	24	R	30	T
有色金属，如 Al、Cu、CuZn	A，C	30	R	20	R	—	—	—	—

关注公众号：机械工程师成长营

金刚石及氮化硼砂轮磨削

粒度标注

cf. DIN ISO 848(1998－03)

应用范围	粗磨	精磨	精密磨削	研磨
粒度　金刚石	D251～D151	D126～D76	D64,D54,D46	D20,D15,D7
标注[1]　氮化硼	B251～B151	B126～B76	B64,B54,B46	B30,B6
可获得的 Ra（μm）	≈0.55～0.50	≈0.45～0.33	≈0.18～0.15	≈0.05～0.025

1）采用筛分法的粒度（单位：μm）

切削速度标准值

加工方法	磨料	不同结合剂[1]的磨削速度 v_c（mm/s）							
		B		M		G		V	
		干磨	湿磨	干磨	湿磨	干磨	湿磨	干磨	湿磨
平面磨	CBN	—	30～50	—	30～60	—	30～60	—	30～60
	D	—	22～50	—	22～27	20～30	22～50	—	25～50
外圆磨[2]	CBN	—	30～50	—	30～60	—	30～60	—	30～60
	D	—	22～40	—	20～30	20～30	22～40	—	25～50
内圆磨	CBN	27～35	30～60	—	30～60	24～40	30～50	—	30～50
	D	12～18	15～30	8～15	18～27	12～20	18～40	—	25～50
刀具磨	CBN	27～35	30～50	22～30	30～40	27～35	30～50	—	30～50
	D	15～22	22～50	15～22	15～27	15～30	22～35	—	—
切断	CBN	27～35	30～50	—	30～60	27～40	30～60	—	—
	D	12～18	22～35	—	22～27	18～30	22～40	—	—

1）结合剂种类，见第 309 页　2）高速磨（HSG）时约为该值的 4 倍

金刚石砂轮切深和进给量标准值

加工方法	不同粒度砂轮每行程切深（mm）			进给量（m/min）	相对于砂轮宽度 w 的横向进给量
	D181	D126	D64		
平面磨[1]	0.02～0.04	0.01～0.02	0.005～0.01	10～15	1/4～1/2·w
外圆磨[1]	0.01～0.03	0.0～0.02	0.005～0.01	0.3～2.0	—
内圆磨	0.002～0.007	0.002～0.005	0.001～0.003	0.5～2.0	—
刀具磨	0.01～0.03	0.005～0.015	0.002～0.005	0.3～0.4	—
切入磨	—	1.0～5.0	0.5～3.0	0.01～2.0	—

1）高速磨削（HSG）时约为该值的 3 倍

CBN 砂轮切深和进给量标准值

加工方法	不同粒度砂轮每行程切深（mm）			进给量（m/min）	相对于砂轮宽度 w 的横向进给量
	D252/B151	B151/B126	B91/B76		
平面磨[1]	0.03～0.05	0.02～0.04	0.01～0.015	20～30	1/4～1/3·w
外圆磨[1]	0.02～0.04	0.02～0.03	0.015～0.02	0.5～2.0	—
内圆磨	0.005～0.015	0.005～0.01	0.002～0.005	0.5～2.0	—
刀具磨	0.002～0.1	0.01～0.005	0.005～0.015	0.5～4.0	—
切入磨	1.0～10	1.0～5.0	0.5～3.0	0.01～2.0	—

CBN 砂轮的高性能磨削

cf. VDI 3411(2000－08)

通过提高切削速度（>80 m/s）和适当的切削液，采用特殊的机床和刀具可使磨削加工获得极高的材料去除率。在端面磨及外圆磨时用得最多

砂轮的制备（修整）

修整步骤	修整		清洁
	修型	修锐	
措施	去除磨料和结合剂	减少结合剂	对磨料层无影响
目的	建立砂轮的同心度和轮廓	创建砂轮表面结构	去除孔隙中的切屑

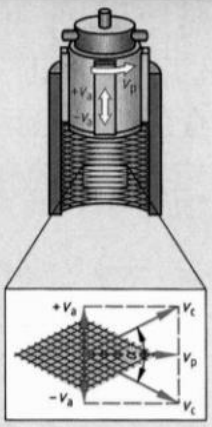
高性能磨削的最大允许线速度

结合剂类型[1]	B	V	M	G
最大允许线速度（m/s）	140	200	180	280

1）结合剂类型，见第 309 页

关注公众号：机械工程师成长营

珩　磨



v_c　磨削速度
v_a　轴向速度
v_p　线速度
α　珩磨痕迹交叉角
p　接触压力
A　磨条接触面积
F_r　径向进给
n　磨条数
w　磨条宽度
l　磨条长度

磨削速度

$$v_c = \sqrt{v_a^2 + v_p^2}$$

珩磨痕迹交叉角

$$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{v_a}{v_p}$$

接触压力

$$p = \frac{F_r}{A}$$

$$p = \frac{F_r}{n \cdot w \cdot l}$$

举例

淬火钢，精珩，$v_p = ?$；$v_a = ?$；$v_c = ?$
由表可得：$v_p = 25$ m/min；$v_a = 12$ m/min

$$v_c = \sqrt{v_a^2 + v_p^2} = \sqrt{\left(12\frac{\text{m}}{\text{min}}\right)^2 + \left(25\frac{\text{m}}{\text{min}}\right)^2} \approx 28 \text{ m/min}$$

$$\tan\frac{\alpha}{2} = \frac{v_a}{v_p} = \frac{12 \text{ m/min}}{25 \text{ m/min}} = 0.48;\quad \alpha = 51.3°$$

磨削速度及加工余量

材料	线速度 v_p (m/mim)		轴向速度 v_a (m/mim)		不同孔径（mm）时的加工余量（mm）		
	粗磨	精磨	粗磨	精磨	2～15	15～100	100～500
未淬火钢	18～40	20～40	9～20	10～20	0.02～0.05	0.03～0.15	0.06～0.3
淬火钢	14～40	15～40	5～20	6～20	0.01～0.03	0.02～0.05	0.03～0.1
合金钢	23～40	25～40	10～20	11～20	0.02～0.05	0.03～0.15	0.06～0.3
铸铁	23～40	25～40	10～20	11～20			
铝合金	22～40	24～40	9～20	10～20			

金刚石砂轮珩磨 $v_p \leqslant 40$（mm/s），$v_a \leqslant 60$（mm/s）；$\alpha = 60° \sim 90°$

珩磨刀具接触压力

珩磨工序	接触压力 p（N/cm^2）			
	陶瓷磨条	合成树脂结合剂	金刚石磨条	氮化硼磨条
粗珩	50～250	200～400	300～700	200～400
精珩	20～100	40～250	100～300	100～200

刚玉、碳化硅、CBN 及金刚石磨条的选择

材料	抗拉强度（N/mm^2）	工序	粗糙度 Rz（μm）	磨条制成					
				刚玉及碳化硅[2]					CBN 或金刚石
				磨料	粒度	硬度	结合剂	组织	粒度
钢	<500（未淬火）	粗珩	8～12	A	700	R	B	1	D126
		半精珩	2～5		400	R		5	D54
		精珩	0.5～1.5		1200	M		2	D15
	500～700（未淬火）	粗珩	5～10	A	80	R	B	3	B76
		半精珩	2～3		400	O		5	B54
		精珩	0.5～2		700	N		3	B30
铸铁	—	粗珩	5～8	C	80	M	V	3	D91
		精珩	2～3		120	K		7	D46
		平顶珩[1]	3～6		900	H		8	D25
有色金属	—	粗珩	6～10	A	80	O	V	3	D64
		半精珩	2～3	A	400	O		1	D35
		精珩	0.5～1	C	1000	N		5	D15

1）平顶珩磨时，材料表面的凸峰被去除　2）见第 309 页

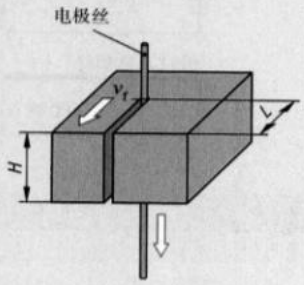
金刚石及立方氮化硼（CBN）磨条的选择

磨料	天然金刚石	人造金刚石	CBN
材料	钢、硬质合金	铸铁、渗氮钢、有色金属、玻璃、陶瓷	淬火钢

关注公众号：机械工程师成长营

机动时间和标准值

电火花加工（EDM 线切割）



t_p 机动时间（min）
v_f 进给速度（mm/min）
L 行程，切割长度（mm）
H 切割高度（mm）
T 几何公差（μm）

机动时间

$$t_p = \frac{L}{v_f}$$

举例：

材料：钢，$H = 30$ mm；$L = 320$ mm；
$T = 30$ μm；$v_f = ?$；$t_p = ?$
$v_f = 1.8$ mm/min（见表）

$$t_p = \frac{L}{v_f} = \frac{320\ \text{mm}}{1.8\ \text{mm/min}} = 178\ \text{min}$$

进给速度 v_f（标准值）[1)]

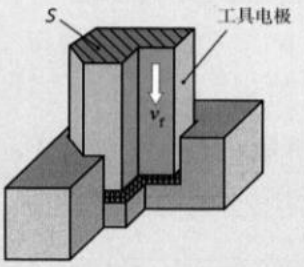
切割高度 H（mm）	进给速度 v_f（mm/min）										
	电蚀钢					电蚀铜			电蚀硬质合金		
	理想几何公差 T（μm）										
	60	40	30	20	10	40	20	10	80	20	10
10	9.0	8.5	4.0	3.9	2.1	7.5	3.5	2.0	4.5	0.7	0.6
20	5.1	5.5	2.5	2.5	1.5	4.7	2.4	1.5	3.1	0.3	0.3
30	3.7	4.0	1.8	1.8	1.1	4.0	1.9	1.1	2.3	0.2	0.2
50	2.5	2.5	1.2	1.2	0.8	2.6	1.4	0.7	1.4	0.2	0.2

1）该标准值为第一次切割时的平均值，后续切割主要是达到要求的几何公差。若工作液喷洒条件不理想，进给速度大大降低

普通电极丝的特性及应用

电极丝材料	导电率 [m/(Ω·mm²)]	抗拉强度 (N/mm²)	典型电极丝直径（mm）	应用
铜锌合金	13.5	400～900	0.2～0.33	广泛
钼	18.5	1900	0.025～0.125	几何公差小的切割
钨	18.2	2500	0.025～0.125	窄槽，小圆角半径

电火花加工（EDM 成形加工）



t_p 机动时间（min）
S 电极面积（mm²）
V 材料蚀除体积（mm³）
V_W 材料蚀除率（mm³/min）

机动时间

$$t_p = \frac{V}{V_W}$$

举例：

钢的粗加工，石墨电极，
$S = 150$ mm²；$V = 3060$ mm³；$V_w = ?$；$t_p = ?$
$V_w = 31$ mm³/min（见表）

$$t_p = \frac{V}{V_W} = \frac{3060\ \text{mm}^3}{31\ \text{mm}^3/\text{min}} = 99\ \text{min}$$

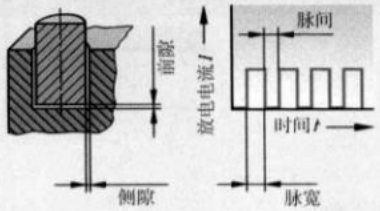
蚀除率 V_w（标准值）[1)]

工件材料	工具电极	蚀除率 V_w（mm³/min）										
		粗加工 电极面积 S（mm²）						精加工 理想表面粗糙度 Rz（μm）				
		10～50	50～100	100～200	200～300	300～400	400～600	2～3	3～4	4～6	6～8	8～10
钢	石墨	7.0	18	31	62	81	105	—	—	—	2	5
	铜	13.3	22	28	51	85	105	0.1	0.5	1.9	3.8	5
硬质合金	铜	6.0	15	18	28	30	33	—	0.1	0.5	2.2	5.2

1）由于不同的加工方法，实际值将有很大变动。参考第 314 页

关注公众号：机械工程师成长营

电蚀加工参数



V_w　材料蚀除率（mm^3/min）
V　材料蚀除体积（mm^3）
t　蚀除时间（min）
V_E　绝对工具损耗（mm^3）
V_{rel}　相对工具损耗（%）

蚀除率

$$V_w = \frac{V}{t}$$

相对工具损耗

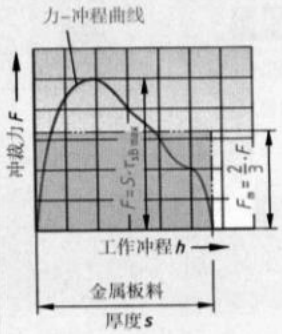
$$V_{rel} = \frac{V_E}{V} \cdot 100\%$$

参数		注释、特性及应用
电极材料	电解液铜	普遍应用；损耗低，材料蚀除率高。用于精、粗加工，电极难于机械加工的；高的热膨胀性；刀刃无裂纹；易变形
	各种粒度的石墨	普遍应用；工具损耗很低；电流密度比铜高；电极重量轻；易于机械加工；不变形；热膨胀少；通过选用较细粒度的石墨可加工更精细的电极；不适合硬质合金的加工
	钨－铜	精细电极；工具损耗很低；在大的电流密度时仍有很高的材料蚀除率及相对低的放电电流；加工尺寸有限制，电极重量大
	铜－石墨	特殊应用；包括要求小的电极尺寸及高的电极强度；在这些特殊应用中，损耗及材料蚀除率起次要作用
不导电工作液	合成油（根据机械加工进行过滤及冷却）	对工作液的要求： · 对连续放电有低而稳定的导电率 · 低黏度便于过滤及在很小间隙时的击穿能力 · 气化率低，减少危险气体 · 高燃点，避免火灾 · 热导率高，冷却效果好 · 对操作者的危害极低
冲洗	不导电工作液的替代物（在电蚀现场） 冲走间隙中的屑末	根据要求及可选择的条件，采用不同的冲洗方法来保证连续的电蚀加工 · 浸渍（常用方法，同时有热损耗） · 通过空心电极或电极附近进行压力冲洗 · 通过空心电极或电极附近进行真空冲洗 · 通过回收电极间断冲洗 · 通过工件和电极的相对运动冲洗，不中断电蚀循环
极性	正极	电极为正极，用于粗加工、电极损耗率低且脉冲间隔长和频率低的场合
	负极	电极为负极，用于脉冲间隔短和频率高的场合
间隙	前面	在进给时保持常数（由放电电压控制） 控制灵敏度设置过高：电极脉冲开、关过频，不可能放电 控制灵敏度设置过低：不正常的放电增加，或者放电间隙太大
	侧面	主要由脉冲间隔和大小确定，取决于材料的匹配和空载电压
放电电流	低	材料蚀除率低，对于铜电极，工具损耗低；对于石墨电极，工具损耗高
	高	材料蚀除率高，对于铜电极，工具损耗高；对于石墨电极，工具损耗低
脉冲间隔	短	正极性电极的损耗大，材料蚀除率低
	长	正极性电极的损耗小，材料蚀除率高

关注公众号：机械工程师成长营

冲裁力

冲裁力、冲裁功



F	冲裁力
F_n	计算冲裁力
S	剪切面积
$R_{m\,max}$	最大抗拉强度
$\tau_{sB\,max}$	最大剪切强度
W	冲裁功
s	金属板料厚度

冲裁力

$$F=S\cdot\tau_{sB\,max}$$

最大剪切强度

$$\tau_{sB\,max}\approx 0.8\cdot R_{m\,max}$$

冲裁功

$$W=\frac{2}{3}\cdot F\cdot s$$

举例：

$S=236\ mm^2$；$s=2.5\ mm$；$R_{m\,max}=510\ N/mm^2$

求：$\tau_{sB\,max}$；F；W

解：$\tau_{sB\,max}=0.8\cdot R_{m\,max}$

$=0.8\cdot 510\ N/mm^2=408\ N/mm^2$

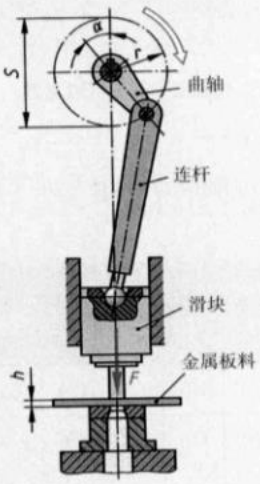
$F=S\cdot\tau_{sB\,max}=236\ mm^2\cdot 408\ N/mm^2$

$=96288\ N=96.288\ kN$

$W=\frac{2}{3}\cdot F\cdot s=\frac{2}{3}\cdot 96.288\ kN\cdot 2.5\ mm$

$=160\ kN\cdot mm=160\ N\cdot m$

偏心曲轴冲床工作条件



名义冲裁力设计为在曲轴角 $\alpha=30°$ 方向施加，以驱动冲床

机器的操作可以不间断，即连续冲模；或在每一个周期停止，即简单冲模。对于可调冲程的冲床，允许冲裁力小于名义冲裁力

连续冲模时的做功

$$W_c=\frac{F_n\cdot S}{15}$$

简单冲模时的做功

$$W_s=2\cdot W_c$$

F	冲裁力，成形力
F_n	名义冲裁力
F_{allow}	可调冲程的允许冲裁力
S	冲程，可调冲程的最大冲程
S_a	可调冲程
h	工作距离（金属板料厚度 s）
α	曲轴角
W	冲裁功，成形功
W_c	连续冲模时的做功
W_s	简单冲模时的做功

工作条件
固定冲程
$F\leqslant F_n$ $W\leqslant W_c$ 或 $W\leqslant W_s$
可调冲程
$F\leqslant F_{allow}$ $F_{allow}=\frac{F_n\cdot S}{4\cdot\sqrt{S_a\cdot h-h^2}}$ $W\leqslant W_c$ 或 $W\leqslant W_s$

举例：

固定冲程的偏心冲床 $F_n=250\ kN$；$S=30\ mm$；

$F=207\ kN$；$s=4\ mm$

求：冲床能否采用连续冲模？

解：$W=\frac{2}{3}\cdot F\cdot s=\frac{2}{3}\cdot 207kN\cdot 4\ mm=552\ kN\cdot mm=552\ N\cdot m$

$W_c=\frac{F_n\cdot S}{15}=\frac{250\ kN\cdot 30\ mm}{15}=500\ kN=500\ N\cdot m$

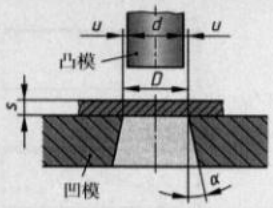
$F<F_n$，但 $W>W_c$，对此工件，冲床不能采用连续冲模

关注公众号：机械工程师成长营

刀具及工件尺寸

凸模及凹模尺寸

cf. VDI 3368（1982－05）



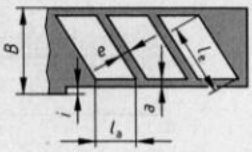
d 凸模尺寸
D 凹模尺寸
u 冲裁间隙
s 金属板料厚度
α 锥度角

工序	冲孔	落料
工作件形状		
控制指定尺寸	凸模尺寸 d	凹模尺寸 D
对应模尺寸	凹模尺寸 $D=d+2\cdot u$	凸模尺寸 $d=D-2\cdot u$

冲裁间隙 u 作为材料和金属板料厚度的函数

金属板料厚度 s（mm）	带锥度角 α 的模膛 剪切强度 τ_{sB}（N/mm²）				带锥度角 α 的模膛 剪切强度 τ_{sB}（N/mm²）			
	<250	251～400	401～600	>600	<250	251～400	401～600	>600
	冲裁间隙 u（mm）				冲裁间隙 u（mm）			
0.4～0.6	0.01	0.015	0.02	0.025	0.015	0.02	0.025	0.03
0.7～0.8	0.015	0.02	0.03	0.04	0.025	0.03	0.04	0.05
0.9～1	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.04	0.05	0.05
1.5～2	0.03	0.05	0.06	0.08	0.05	0.07	0.09	0.11
2.5～3	0.04	0.07	0.10	0.12	0.08	0.11	0.14	0.17
3.5～4	0.06	0.09	0.12	0.16	0.11	0.15	0.19	0.23

金属板料的工件间搭边、沿边搭边、切边浪费



多边形工件

a 沿边搭边
e 工件间搭边
l_a 工件长
l_e 工件宽
B 条料宽度
i 切边浪费（下料浪费）

多边形工件：
工件的长或宽中较大的边用于确定搭边宽度

圆形工件：
对于所有直径值，均采用多边形工件 $l_a=l_e=$ 10 mm 时的搭边宽度

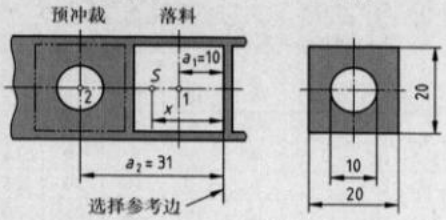
条料宽度 B（mm）	工件宽 l_e 工件长 l_a（mm）	工件间搭边 e 沿边搭边 a	金属板料厚度 s（mm） 0.1	0.3	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0
≤100 mm	≤10	e	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	1.6	1.9	2.1
		a	1.0	0.9	0.9								
	11～15	e	1.6	1.2	0.9	1.0	1.1	1.4	1.4	1.6	1.7	2.0	2.3
		a	1.9	1.5	1.0								
	51～100	e	1.8	1.4	1.0	1.2	1.3	1.6	1.6	1.8	1.9	2.2	2.5
		a	2.2	1.7	1.2								
	>100	e	2.0	1.6	1.2	1.4	1.5	1.8	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7
		a	2.4	1.9	1.5								
	切边浪费 i		1.5					1.8	2.2	2.5	3.0	3.5	4.5
>100 mm ～200 mm	≤10	e	0.9	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.4	1.6	1.7	2.0	2.3
		a	1.2	1.1	1.1								
	11～15	e	1.8	1.4	1.0	1.2	1.3	1.6	1.6	1.8	1.9	2.2	2.5
		a	2.2	1.7	1.2								
	51～100	e	2.0	1.6	1.2	1.4	1.5	1.8	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7
		a	2.4	1.9	1.5								
	101～200	e	2.2	1.8	1.4	1.6	1.7	2.0	2.0	2.2	2.3	2.6	2.9
		a	2.7	2.2	1.7								
	切边浪费 i		1.5				1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0

关注公众号：机械工程师成长营

模柄位置，材料利用

已知重心凸模的模柄位置

冲裁布局　　工件



C_1，C_2，C_3，…　单个凸模的周长
a_1，a_2，a_3，…　单个凸模重心到选择参考边的距离
x　选择参考边到压力中心 S 的距离

压力中心距离

$$x=\frac{C_1\cdot a_1+C_2\cdot a_2+C_3\cdot a_3+\cdots}{C_1+C_2+C_3+\cdots}$$

举例：

基于左图，计算压力中心 S 的距离 x

解：

以凸模的周边作为参考边

冲孔：$C_1=4\cdot 20\ \text{mm}=80\ \text{mm}$；$a_1=10\ \text{mm}$

落料：$C_2=\pi\cdot 10\ \text{mm}=31.4\ \text{mm}$；$a_2=31\ \text{mm}$

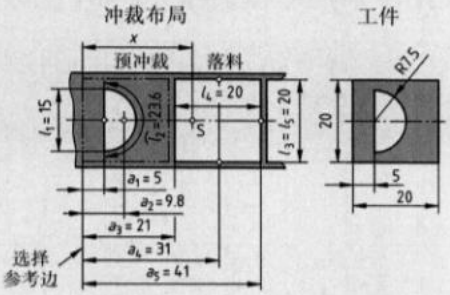
$$x=\frac{C_1\cdot a_1+C_2\cdot a_2}{C_1+C_2}$$

$$x=\frac{80\ \text{mm}\cdot 10\ \text{mm}+31.4\ \text{mm}\cdot 31\ \text{mm}}{80\ \text{mm}+31.4\ \text{mm}}\approx 16\ \text{mm}$$

未知重心凸模的模柄位置

对应于所有切削边线形心[1]的受力中心

冲裁布局　　工件



l_1，l_2，l_3 到 l_n　切削边长度
a_1，a_2，a_3 到 a_n　切削边形心到选择参考边的距离
x　选择参考边到压力中心的距离
n　单独切削边的数量

1）对于线的形心，见第 32 页

压力中心距离

$$x=\frac{l_1\cdot a_1+l_2\cdot a_2+l_3\cdot a_3+\cdots}{l_1+l_2+l_3+\cdots}$$

$$x=\frac{\sum l_n\cdot a_n}{\sum l_n}$$

举例：

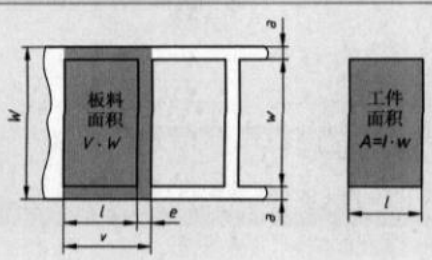
计算连续冲模时模柄的位置，工件如左图所示

解：

n	l_n（mm）	a_n（mm）	$l_n\cdot a_n$（mm^2）
1	15	5	75
2	23.6	9.8	231.28
3	20	21	420
4	2·20	31	1240
5	20	41	820
Σ	118.6	—	2786.28

$$x=\frac{\sum l_n\cdot a_n}{\sum l_n}=\frac{2786.28\ \text{mm}^2}{118.6\ \text{mm}}=23.5\ \text{mm}$$

单行冲裁时板料的利用



l　工件长度
w　工件宽度
W　板料宽度
a　沿边搭边
e　工件间搭边
v　板料进给
A　工件面积（包括孔）
R　行数
η　材料利用率

板料宽度

$$W=w+2\cdot a$$

板料进给

$$v=l+e$$

材料利用率

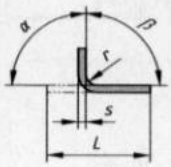
$$\eta=\frac{R}{v}\cdot\frac{A}{W}$$

关注公众号：机械工程师成长营

弯　曲

有色金属弯曲件的最小允许弯曲半径

cf. DIN 5520（2002－07）



材料	材料处理	厚度 s（mm）							
		0.8	1	1.5	2	3	4	5	6
		最小允许弯曲半径 $r^{1)}$（mm）							
AlMg3－01	球化处理	0.6	1	2	3	4	6	8	10
AlMg3－H14	冷作硬化	1.6	2.5	4	6	10	14	18	—
AlMg3－H111	冷作硬化及退火	1	1.5	3	4.5	6	8	10	—
AlMg4.5Mn－H112	球化处理矫直	1	1.5	2.5	4	6	8	10	14
AlMg4.5Mn－H111	冷作硬化及退火	1.6	2.5	4	6	10	16	20	25
AlMgSi1－T6	退火人工时效	4	5	8	12	16	23	28	36
CuZn37－R600	硬化	2.5	4	5	8	10	12	18	24

1）对于弯曲角度 $\alpha=90°$，不考虑轧制流线方向

冷弯钢的最小允许弯曲半径

cf. DIN 6935（1975－10）

最小抗拉强度 R_m（N/mm²）	冷弯钢厚度为 s（mm）时的最小弯曲半径[1] r														
	1	1.5	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
≤390	1	1.6	2.6	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40
390～490	1.2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45
490～640	1.6	2.5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50

1）该值适用于弯曲角 $\alpha\leqslant120°$ 及弯曲线与坯料轧制流线方向垂直。若弯曲线与轧制流线方向一致，应选择较厚的板料

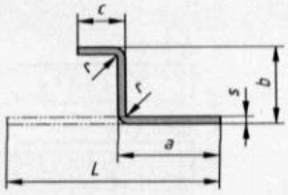
弯曲角度 $\alpha=90°$ 时的弯曲余量

cf. 对 DIN 6935（1983－02）的补充 2

弯曲半径 r（mm）	板料厚度为 s（mm）的每次弯曲余量 v（mm）														
	0.4	0.6	0.8	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	8	10
1	1.0	1.3	1.7	1.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.6	1.3	1.6	1.8	2.1	2.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	1.6	2.0	2.2	2.4	3.2	4.0	4.8	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	2.5	2.8	3.0	3.7	4.5	5.2	6.0	6.9	—	—	—	—	—	—
6	—	—	3.4	3.8	4.5	5.2	5.9	6.7	7.5	8.3	9.0	9.9	—	—	—
10	—	—	—	5.5	6.1	6.7	7.4	8.1	8.9	9.6	10.4	11.2	12.7	—	—
16	—	—	—	8.1	8.7	9.3	9.9	10.5	11.2	11.9	12.6	13.3	14.8	17.8	21.0
20	—	—	—	9.8	10.4	11.0	11.6	12.2	12.8	13.4	14.1	14.9	16.3	19.3	22.3
25	—	—	—	11.9	12.6	13.2	13.8	14.4	15.0	15.6	16.2	16.8	18.2	21.1	24.1
32	—	—	—	15.0	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0	18.6	19.2	19.8	21.0	23.8	26.7
40	—	—	—	18.4	19.0	19.6	20.2	20.8	21.4	22.0	22.6	23.2	24.5	26.9	29.7
50	—	—	—	22.7	23.3	23.9	24.5	25.1	25.7	26.3	26.9	27.5	28.8	31.2	33.6

90°弯曲件的下料计算

cf. DIN 6935（1975－10）



L　展开长度[1]
a,b,c　弯曲边长度
s　厚度
r　弯曲半径
n　弯曲次数
v　弯曲余量

展开长度[2]

$$L=a+b+c+\cdots-n\cdot v$$

2）计算展开长度应四舍五入到整数 mm 值

举例（见图）：

$a=25$ mm；$b=20$ mm；$c=15$ mm；$n=2$；$t=2$ mm；
$r=4$ mm；材料 S235JR；$v=?$；$L=?$
$v=4.5$ mm（从上表）
$L=a+b+c-n\cdot v=(25+20+15-2\cdot4.5)$ mm $=51$ mm

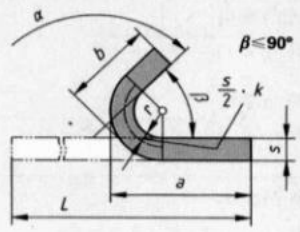
1）如果比率 $r/s>5$，可采用展开长度公式（第 24 页）

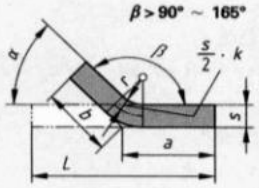
关注公众号：机械工程师成长营

弯 曲

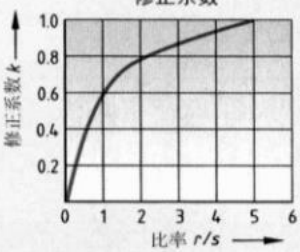
任意弯曲角度零件的坯料尺寸计算

cf. DIN 6935 (1975-10)





修正系数



L 展开长度　s 板料厚度
a, b 弯曲边长度　r 弯曲半径
v 弯曲余量　β 张角
k 修正系数

展开长度[1]

$$L = a + b - v$$

β =0° ~ 90°时的弯曲余量

$$v = 2 \cdot (r+s) - \pi \cdot \left(\frac{180° - \beta}{180°}\right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot k\right)$$

β =90° ~ 165°时的弯曲余量

$$v = 2 \cdot (r+s) \cdot \tan\frac{180° - \beta}{2} - \pi \cdot \left(\frac{180° - \beta}{180°}\right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot k\right)$$

β =165° ~ 180°时的弯曲余量

$v \approx 0$（忽略）

修正系数

$$k = 0.65 + 0.5 \cdot \log\frac{r}{s}$$

举例：

弯曲件 $\beta = 60°, a = 16\ \text{mm}, b = 21\ \text{mm}, r = 6\text{mm}$,
$s = 5\ \text{mm}; k = ?; v = ?; L = ?;$

$\frac{r}{s} = \frac{6\ \text{mm}}{5\ \text{mm}} = 1.2; k = 0.7$（见图）;

$k = 0.689$（通过公式计算）

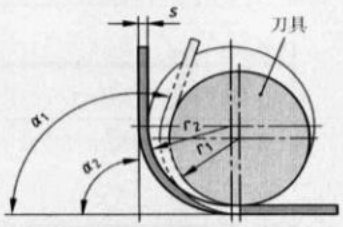
$$v = 2 \cdot (r+s) - \pi \cdot \left(\frac{180° - \beta}{180°}\right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot k\right)$$

$$= 2 \cdot (6+5)\text{mm} - \pi \cdot \left(\frac{180° - 60°}{180°}\right) \cdot \left(6 + \frac{5}{2} \cdot 0.7\right)\text{mm} = 5.77\ \text{mm}$$

$$L = a + b - v = 16\ \text{mm} + 21\ \text{mm} - 5.77\ \text{mm} = 32\ \text{mm}$$

1）对于 $r/s > 5$，展开长度（第 24 页）的计算足够精确

弯曲回弹



α_1 回弹前的弯曲角度（刀具角度）
α_2 回弹后的弯曲角度
r_1 刀具半径
r_2 工件的弯曲半径
k_R 回弹系数
s 板料厚度

刀具半径

$$r_1 = k_R \cdot (r_2 + 0.5 \cdot s) - 0.5 \cdot s$$

回弹前的弯曲角度

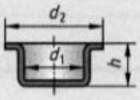
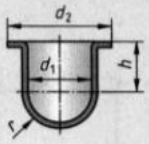
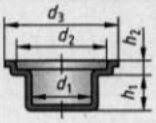
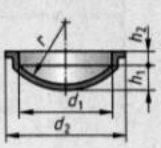
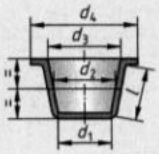
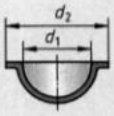
$$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{k_R}$$

弯曲件材料	对于比率 r_2/s 的回弹系数 k_R										
	1	1.6	2.5	4	6.3	10	16	25	40	63	100
DC04	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.94	0.91	0.87	0.83
DC01	0.99	0.99	0.99	0.97	0.96	0.96	0.93	0.90	0.85	0.77	0.66
X12CrNi18-8	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.89	0.84	0.76	0.63	—	—
E-Cu-R20	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.93	0.90	0.85	0.79	0.72	0.60
CuZn33-R29	0.97	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.89	0.86	0.83	0.77	0.73
CuNi18Zn20	—	—	—	0.97	0.96	0.95	0.92	0.87	0.82	0.72	—
EN AW-Al99.0	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.93
EN AW-AlCuMg1	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91	0.87
EN AW-AlSiMgMn	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93	0.90	0.86	0.82	0.76	0.72

关注公众号：机械工程师成长营

拉　深

板料直径计算

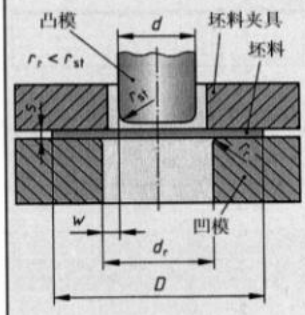
拉深件	板料直径 D	拉深件	板料直径 D
	无凸缘 d_2 $D=\sqrt{d_1^2+4\cdot d_1\cdot h}$ 有凸缘 d_2 $D=\sqrt{d_2^2+4\cdot d_1\cdot h}$		无凸缘 d_2 $D=\sqrt{2\cdot d_1^2+4\cdot d_1\cdot h}$ 有凸缘 d_2 $D=\sqrt{d_1^2+4\cdot d_1\cdot h+(d_2^2-d_1^2)}$
	无凸缘 d_3 $D=\sqrt{d_2^2+4\cdot(d_1\cdot h_1+d_2\cdot h_2)}$ 有凸缘 d_3 $D=\sqrt{d_3^2+4\cdot(d_1\cdot h_1+d_2\cdot h_2)}$		无凸缘 d_2 $D=\sqrt{d_1^2+4\cdot h_1^2+4\cdot d_1\cdot h_2}$ 有凸缘 d_2 $D=\sqrt{d_1^2+4\cdot h_1^2+4\cdot d_1\cdot h_2+(d_2^2-d_1^2)}$
	无凸缘 d_4 $D=\sqrt{d_1^2+4\cdot d_1\cdot l}$ 有凸缘 d_4 $D=\sqrt{d_2^2+4\cdot d_1\cdot l+(d_4^2-d_3^2)}$		无凸缘 d_2 $D=\sqrt{2\cdot d_1^2}=1.414\cdot d$ 有凸缘 d_2 $D=\sqrt{d_1^2+d_2^2}$

举例：

无凸缘 d_2 圆柱拉深件（见图，左上），$d_1=50$ mm，$h=30$ mm；$D=?$

$D=\sqrt{d_1^2+4\cdot d_1\cdot h}=\sqrt{50^2\ \text{mm}^2+4.5\ \text{mm}\cdot 30\ \text{mm}}=92.2$ mm

凹模及凸模间的拉深间隙及半径



w	拉深间隙
s	板料厚度
k	材料系数
r_r	凹模半径
r_{st}	凸模半径
D	坯料直径
d	凸模直径
d_r	凹模直径

拉深间隙（mm）

$$w=s+k\cdot\sqrt{10\cdot s}$$

凹模半径（mm）

$$r_r=0.035[50+(D-d)]\cdot\sqrt{s}$$

对每次再拉深，凹模半径应减小 20%～40%

拉深间隙

$$w=\frac{d_r-d}{2}$$

凸模半径（mm）

$$r_{st}=(4\sim5)\cdot s$$

材料系数 k	
钢	0.07
铝	0.02
其他有色金属	0.04

举例：

钢板：$D=51$ mm；$d=25$ mm；$s=2$ mm；$w=?$；$r_r=?$；$r_{st}=?$

$k=0.07$（见表）

$w=s+k\cdot\sqrt{10\cdot s}=2+0.07\cdot\sqrt{10\cdot 2}=2.3$ mm

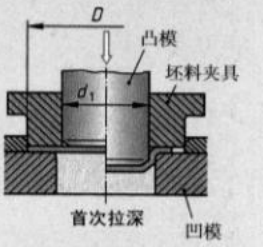
$r_r=0.035\cdot[50+(D-d)]\cdot\sqrt{s}=0.035\cdot[50+(51-25)]\cdot\sqrt{2}=3.8$ mm

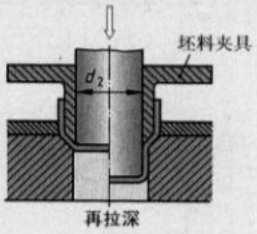
$r_{st}=4.5\cdot s=4.5\cdot 2$ mm $=9$ mm

关注公众号：机械工程师成长营

拉 深

拉深步骤和拉深率





D 坯料直径
d 最终拉深件内径
d_1 首次拉深凸模直径
d_2 第二次拉深凸模直径
d_n 第 n 次拉深凸模直径
β_1 首次拉深率
β_2 第二次拉深率
β_{tot} 总拉深率
s 板料厚度

举例：

材料为 DC04（St 14）的无凸缘杯，$d=50\text{mm}$，$h=60\text{mm}$；$D=?$；$\beta_1=?$；$\beta_2=?$；$d_1=?$；$d_2=?$

$$D=\sqrt{d^2+4\cdot d\cdot h}=\sqrt{(50\text{mm})^2+4.50\ \text{mm}\cdot 60\ \text{mm}}\approx 120\text{mm}$$

$\beta_1=2.0$；$\beta_2=1.3$；（下表）

$$d_1=\frac{D}{\beta_1}=\frac{120\ \text{mm}}{2.0}=60\ \text{mm}$$

$$d_2=\frac{d_1}{\beta_2}=\frac{60\text{mm}}{1.3}=46\text{mm}$$

由于 $d_2<d$，两次拉深足够

拉深率

首次拉深

$$\beta_1=\frac{D}{d_1}$$

第二次拉深

$$\beta_2=\frac{d_1}{d_2}$$

总拉深率

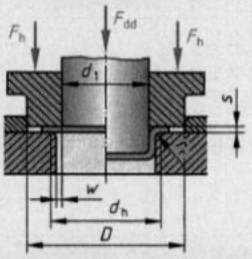
$$\beta_{tot}=\beta_1\cdot\beta_2\cdot\cdots$$

$$\beta_{tot}=\frac{D}{d_n}$$

材料	最大拉深率[1] β_1	最大拉深率[1] β_2	R_m[2] (N/mm²)	材料	最大拉深率[1] β_1	最大拉深率[1] β_2	R_m[2] (N/mm²)	材料	最大拉深率[1] β_1	最大拉深率[1] β_2	R_m[2] (N/mm²)
DC01（St12）	1.8	1.2	410	CuZn30 – R270	2.1	1.3	270	Al99.5H111	2.1	1.6	95
DC03（St13）	1.9	1.3	370	CuZn37 – R300	2.1	1.4	300	AlMg1H111	1.9	1.3	145
DC04（St14）	2.0	1.3	350	CuZn37 – R410	1.9	1.2	410	AlCu4Mg1T4	2.0	1.5	425
X10CrNi18 – 8	1.8	1.2	750	CuSn6 – R350	1.5	1.2	350	AlSi1MgMnT6	2.1	1.4	310

1）d_1：$s\leqslant 300$ 时可采用的值；在 $d_1=100\text{mm}$ 及 $s=1\text{mm}$ 时确定。对于其他板料厚度和凸模直径，值的改变可忽略　2）最大抗拉强度

撕裂力、拉深力、坯料夹紧力



单位压边力 p (N/mm²)	
钢	2.5
铜合金	2.0 ~ 2.4
铝合金	1.2 ~ 1.5

F_t 撕裂力
F_{dd} 拉深力
d_1 凸模直径
s 板料厚度
R_m 抗拉强度
β 拉深率
β_{max} 最大可能拉深率
F_h 压边力
D 坯料直径
d_h 压边力支撑直径
p 单位压边力
r_r 凹模半径
w 拉深间隙

撕裂力

$$F_t=\pi\cdot(d_1+s)\cdot s\cdot R_m$$

拉深力

$$F_{dd}=\pi\cdot(d_1+s)\cdot s\cdot R_m\cdot 1.2\cdot\frac{\beta-1}{\beta_{max}-1}$$

压边力

$$F_h=\frac{\pi}{4}\cdot(D^2-d_h^2)\cdot p$$

压边力支撑直径

$$d_h=d_1+2\cdot(r_r+w)$$

举例：

$D=210\ \text{mm}$；$d_1=140\ \text{mm}$；$s=1\text{mm}$；$R_m=380\text{N/mm}^2$；$\beta=1.5$；$\beta_{max}=1.9$；$F_{dd}=?$

$$F_{dd}=\pi\cdot(d_1+s)\cdot s\cdot R_m\cdot 1.2\cdot\frac{\beta-1}{\beta_{max}-1}=\pi\cdot(140\text{mm}+1\text{mm})\cdot 1\text{mm}\cdot 380\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\cdot 1.2\cdot\frac{1.5-1}{1.9-1}=112218\ \text{N}$$

关注公众号：机械工程师成长营

焊接工艺

气焊、气割、钎焊及相应工艺

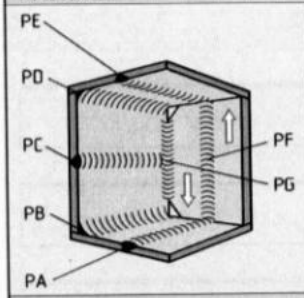
cf. DIN EN ISO 4063（2000－04）

N[1)]	方法，工艺	N[1)]	方法，工艺	N[1)]	方法，工艺
1	**电弧焊**	24 25	闪光对焊 对焊	**7**	**其他焊接方法**
101 111	金属极电弧焊 有保护金属极电弧焊	**3**	**气焊**	73 74	气电焊 感应焊
11	无保护气体金属极电弧焊	311	氧乙炔焊	75 753	光束焊 红外焊
12 13	埋弧焊 气体保护金属极电弧焊	312	氧/丙烷焰气焊	78 788	电栓焊 摩擦电栓焊
131 135	气体保护焊 熔化极活性气体保护焊（MAG）	**4**	**压力焊**	**8**	**气割**
136	活性气体保护药芯焊丝电弧焊	41 42	超声波焊 摩擦焊	81 82	氧割 电弧割
137	惰性气体保护药芯焊丝电弧焊	45 47	扩散焊 加压气体焊	83 84	等离子切割 激光切割
14 141	钨极气体保护焊 气体保护钨极电弧焊	**5**	**射束焊**	**9**	**硬钎焊，软钎焊**
15 151	等离子弧焊 等离子 TIG 弧焊	51 52	电子束焊 激光焊	91 912	硬钎焊 火焰钎焊
2	**电阻焊**	511	真空电子束焊	914 924	金属浴硬钎焊 真空钎焊
21 22	点焊 缝焊	521	固态激光焊	94 944	软钎焊 金属浴软钎焊
225 23	缝对焊 凸焊	522	气态激光焊	946 952	感应钎焊 烙铁钎焊
⇒	**工艺 ISO 4063—111**：指定焊接工艺→手工电弧焊（111）				

1）N：工程图中标注方法及工艺的参考数字代号、操作步骤及数据处理

焊接位置

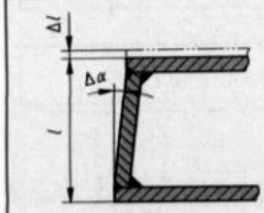
cf. DIN EN ISO 6947（1997－05）



代码	名称	主要位置，描述
PA	平焊位置	焊接轴线垂直，水平工作，最终焊道在上方
PB	水平位置	水平工作，最终焊道在上方
PC	横焊位置	焊接轴线水平，水平工作方向
PD	水平仰焊位置	水平工作方向，仰焊，最终焊道在下方
PE	仰焊位置	水平工作方向，焊接轴线垂直，最终焊道在下方
PF	向上立焊位置	向上工作方向
PG	向下立焊位置	向下工作方向

焊接件常用公差

cf. DIN EN ISO 13920（1996－11）



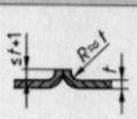
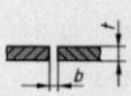
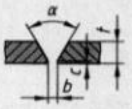
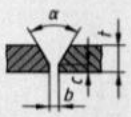
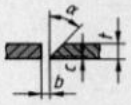
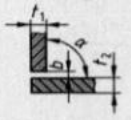
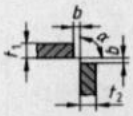
1）l 较短边

	允许偏差								
	对于长度尺寸 Δl（mm）名义尺寸 l 范围[1)]						对于角度尺寸 $\Delta\alpha$（°）名义尺寸 l 范围[1)]		
精度等级	≤ 30	> 30 ~ 20	> 120 ~ 400	> 400 ~ 1000	> 1000 ~ 2000	> 2000 ~ 4000	≤ 400	> 400 ~ 1000	> 1000
A	±1	±1	±1	±2	±3	±4	±20′	±15′	±10′
B	±1	±2	±2	±3	±4	±6	±45′	±30′	±20′
C	±1	±3	±4	±6	±8	±11	±1°	±45′	±30′

关注公众号：机械工程师成长营

焊接准备

cf. DIN EN 29692（1994－04）

名称 焊接符号 焊缝 93～95 页	工件厚度 t（mm）	D[1]	焊接准备 坡口形式	尺寸 间隙 b（mm）	钝边 c（mm）	角度 α（°）	优先焊接方法[2]	备注
卷边焊缝 八	0～2	s		—	—	—	3，111，141，131，135	薄板焊接，不需填充材料
I 形焊缝 ‖	0～4	s		≈t	—	—	3，111，141	很少填充材料，不需焊接准备
	0～8	d		≈t/2	—	—	111，141	
				≤t/2	—	—	131，135	
V 形焊缝 V	3～10	s		≤4	c≤2	40°～60°	3	—
	3～40	d		≤3	c≤2	≈60°	111，141	有打底焊道
						40°～60°	131，135	
带钝边 V 形焊缝 Y	5～40	s		1～4	2～4	≈60°	111，131，135，141	—
	>10	d		1～3	2～4	≈60°	111，141	有钝边，打底焊道
						40°～60°	131，135	
双边 V 形焊缝 X	>10	d		1～3	c≤2	≈60°	111，141	对称坡口形式 $h=t/2$
						40°～60°	131，135	
单边 V 形焊缝 V	3～10	s		2～4	1～2	35°～60°	111，131，135，141	—
	3～30	d		1～4	c≤2	35°～60°	111，131，135，141	有打底焊道
K 形焊缝 K	10	d		1～4	c≤2	35°～60°	111，131，135，141	对称坡口形式 $h=t/2$
角焊缝 △	>2	s		≤2	—	70°～100°	3，111，131，135，141	T 形接头
	>3	d		≤2	—	70°～110°	3，111，131，135，141	双面角焊缝，角接

1）D（设计）：s：单面 V 形焊缝；d：双面 V 形焊缝
2）焊接方法，见第 322 页

关注公众号：机械工程师成长营

压缩气瓶，气焊条

压缩气瓶*

cf. DIN EN 1089（2004－06）



气体种类	颜色代码[1]) 摘自 DIN ED 1089－3 瓶体	瓶肩	以前	连接螺纹	容积 v（L）	填充压力 p_F（Pa）	填充量
氧气	蓝	白	蓝	R3/4	40 50	150×10^5 200×10^5	$6m^3$ $10m^3$
乙炔	栗棕	栗棕	黄	快速接头	40 50	19×10^5 19×10^5	8kg 10kg
氢气	红	红	红	W21.80×1/14	10 50	200×10^5 200×10^5	$2m^3$ $10m^3$
氩气	灰	深绿	灰	W21.80×1/14	10 50	200×10^5 200×10^5	$2m^3$ $10m^3$
氮气	灰	棕	灰	W21.80×1/14	10 50	200×10^5 200×10^5	$2m^3$ $10m^3$
氩气－二氧化碳混合气体	灰	荧光绿	灰	W21.80×1/14	20 50	200×10^5 200×10^5	$4m^3$ $10m^3$
二氧化碳	灰	灰	灰	W21.80×1/14	10 50	58×10^5 58×10^5	7.5kg 20kg
氮气	灰	黑	深绿	W24.32×1/14	40 50	150×10^5 200×10^5	$6m^3$ $10m^3$

1）2006 年 7 月 1 日前应完成颜色代码的更改。在过渡时期，危险品标签（第 331 页）是唯一有法律效力的标志

*）根据欧洲标准

钢焊接用气焊条

cf. DIN EN 12536（2000－08），代换 DIN 8554－1

分类，熔敷金属分析，焊接行为

标注 新的	以前的	熔敷金属分析（标准值 %） C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	焊接行为 流动性	飞溅	气孔倾向
O I	G I	<0.1	<0.20	<0.65	—	—	—	好	高	有
O II	G II	<0.2	<0.25	<1.20	—	—	—	较好	低	有
O III	G III	<0.15	<0.25	<1.25	—	<0.80	—	中等	无	无
O IV	G IV	<0.15	<0.25	<1.20	<0.65	—	<1.20	中等	无	无
O V	G V	<0.10	<0.25	<1.20	<0.65	—	<1.20	中等	无	无

应用范围，机械性能

应用范围	钢材种类	焊条代码	T[1])	屈服强度 R_e（N/mm^2）	抗拉强度 R_m（N/mm^2）	裂纹延伸 A（%）	NI[2]) K_v（J）
板料，管材	S235，S275	O I	U	>260	360～410	>20	>30
容器，管道	S235，S275，P235GH，P265GH	O II	U	>300	390～440	>20	>47
	S235，S275，P235GH，P265GH	O III	U	>310	400～460	>22	>47
锅炉、管道；耐热性达到 530℃	S235，S355，S275，P235，P235GH，P265GH，P295GH，16Mo3	O IV	U	>260	440～490	>22	>47
锅炉、管道；耐热性达到 570℃	13CrMo4－5，16CrMo3	O V	T	>315	490～590	>18	>47
⇒	焊条 EN 12536－O IV：Ⅳ级气焊条						

1）焊接的处理状况：U：未处理（焊接条件）；T：回火

2）20℃时的 V 形槽冲击能量，由 ISO－V 试验样本确定

关注公众号：机械工程师成长营

保护气体，电焊条*

钢材电弧焊的保护气体

cf. DIN EN 439（1995－05）

代码	成分[1]	气体种类，效果	焊接方法	材料，应用
R1 R2	H_2 <15%，平衡 Ar 或 He (15～35)% H_2，平衡 Ar 或 He	还原气体	TIG，等离子焊	高合金钢 镍，镍合金
I1 I2 I3	100% Ar 100% He He <95%，平衡 Ar	惰性气体（中性）	MIG，TIG，等离子焊	铝，铝合金 铜，铜合金
M11 M12 M13	CO_2 ≤5%，H_2 <5%，平衡 Ar 或 He (3～10)% CO_2，平衡 Ar 或 He O_2 ≤3%，平衡 Ar	气体混合物弱氧化	MAG 焊	Cr－Ni 合金钢 主要不锈钢及耐酸钢
M21 M22 M23	(5～25)% CO_2，平衡 Ar 或 He (3～10)% CO_2，平衡 Ar 或 He CO_2 ≤5%，(3～10)% O，平衡 Ar 或 He	气体混合物弱氧化	MAG 焊	低合金钢 中合金钢
M31 M32 M33	(25～50)% CO_2，平衡 Ar 或 He (10～15)% CO_2，平衡 Ar 或 He (5～50)% CO_2，(8～15)% O_2，平衡 Ar 或 He	混合气体中等氧化性	MAG 焊	纯金属及低合金钢
C1 C2	100% CO_2 O_2 ≤30%，平衡 CO_2	强氧化性气体	MAG 焊	碳钢
⇒	保护气体 EN 439－13：惰性气体，含 < 95%的氮，平衡氩			

1）Ar：氩　He：氦　O_2：氧　CO_2：二氧化碳　H_2：氢

纯金属及细粒结构钢气体保护电弧焊焊条

cf. DIN EN 440（1994－11）

标注举例（熔敷金属）：

EN 440 － G 46 3 M G3Si1

- EN 440：标准号
- G：气体保护电弧焊
- 46：熔敷金属的力学性能代号（327 页）
- 3：焊接金属的 V 形冲击能量代号（327 页）
- M：保护气体标注

保护气体标注	
代码	保护气体 DIN 439
M	M21，M22，M23，M24
C	C1

电焊条化学成分（举例）

标注	主要合金元素	标注	主要合金元素
G0	化学成分按合同要求而定	G2Ti	0.5%～0.8% Si，0.9%～1.4% Mn，0.05%～0.25% Ti
G3Si1	0.7%～1.0% Si，1.3%～1.6% Mn	G2Ni2	0.4%～0.8% Si，0.8%～1.4% Mn，2.1%～2.7% Ni
⇒	**EN 440－G 46 4 M G3Si1**：熔敷金属的屈服强度：中等 R_e =460N/mm²，－40℃时 V 形冲击能量 = 47J，混合气体 M21～M24，焊条含 0.7%～1.0%的硅，1.3%～1.6%的锰		

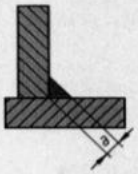
焊条（摘选）

标注摘自 DIN EN440	焊接方法	保护气体	可用于钢材举例	应用、性质、举例
G 46 4 M G3Si1	MAG	M21～M24，C1	S185－S355，E295，E335，P235－P355，GP240R，1210－1360	连接，堆焊
G 50 4 M G4Si1	MAG	M21～M24，C1		与 G3Si1 相似，更高的机械强度
G 46 M G2Ni2	MAG	M21	12Ni14，13MnNi6－3，S（P）275－S（P）420	细粒结构钢及低温韧度钢

*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

气体保护金属极弧焊标准值、铝焊条

焊接设计				设置				效率值	
焊缝形式	焊接厚度 a (mm)	焊丝直径 (mm)	焊道数	电压 (V)	电流 (A)	焊丝进给率[1] (m/min)	保护气体流量 (l/min)	填充金属 (g/m)	机动时间 (min/m)
MAG 焊接，碳结构钢焊条标准值									
焊接位置：PB	焊条 DIN EN 440 – G 46 4 M G3Si1					保护气体 DIN EN 439 – M21			
	2 3 4	0.8 1.0 1.0	1	20 22 23	105 215 220	7 11 11	10	45 90 140	1.5 1.4 2.1
	5 6 7	1.0 1.0 1.2	1 1 3	30	300	10	15	215 300 390	2.6 3.5 4.6
	8 10	1.2	3 4	30	300	10	15	545 805	6.4 9.5
MIG 焊接，铝合金焊条标准值									
焊接位置：PA	焊条 DIN EN 1732 – SG – AlMg5					保护气体 DIN EN 439 – I1			
	4 5 6	1.2 1.6 1.6	1	23 25 26	180 200 230	3 4 7	12 18 18	30 77 147	2.9 3.3 3.9
	5 6 8	1.6	1 2 2	22 22 26	160 170 220	6 6 7	18	126 147 183	4.2 4.6 5.0
1）对于 MIG 焊接：指焊接速度									
TIG 焊接，铝合金焊条标准值									
焊接位置：PA	焊条 DIN EN 1732 – SG – AlMg5					保护气体 DIN EN 439 – I1			
	1 1.5	3.0	1	—	75 90	0.3 0.2	5	19 22	3.8 4.3
	2 3	3.0	1	—	110 125	0.2	6	28	1.8 5.9
	4 5 6	3.0	1	—	160 185 210	0.2 0.1 0.1	8 10 10	38 47 47	6.7 7.1 12
	5	4.0	第一层 第二层	—	165	0.1 0.2	12	105	13
	6	4.0	第一层 第二层	—	165	0.1 0.2	12	190	16

铝及铝合金焊条 cf. DIN 1732 (1988 – 06)

型号[1]	材料牌号	采用母材（型号未加上 EN AW）
SG – Al99.8 (EL – Al99.8)	3.0286	Al99.7，Al99.5
SG – Al99.5Ti (EL – Al99.5Ti)	3.0805	Al99.0，Al99.5
SG – AlMn1 (EL – ALMn1)	3.0516	AlMn1，AlMn1Cu
SG – AlMg3	3.3536	AlMg1 (C)，AlMg3
SG – AlMg5	3.3556	AlMg3，AlMg4，AlMg5，AlSi1MgMn，AlMg1SiCu，AlZn4.5Mg1，G – ALMg5，G – ALMgSi，G – ALMg3，G – ALMg3Si
SG – AlMg4.5Mn	3.3548	AlMg4，AlMg5，AlSi1MgMn，AlMg1SiCu，AlZn4.5Mg1，G – ALMg5，G – ALMgSi
SG – AlSi5 (EL – AlSi5)	3.2245	AlMgSi1Cu，AlZn4.5Mg1
SG – AlSi12 (EL – AlSi12)	3.2585	G – AlSi1Cu，G – AlSi9Mg，G – AlSi7Mg，G – AlSi5Mg

1）SG：无药皮金属焊条；EL：药皮焊条

关注公众号：机械工程师成长营

电弧焊焊条

碳钢及细粒钢药皮焊条

cf. DIN EN 499（1995－01）

标注举例：

标准号 EN 499 － E 46 3 B 5 4 H5

H 氢含量
5→5 mL/100g
熔敷金属

药皮焊条代码

熔敷金属力学性能号码

号码	最小屈服强度（N/mm^2）	抗拉强度（N/mm^2）	最小裂纹延伸 A_5（%）
35	355	440～570	22
38	380	470～600	20
42	420	500～640	20
46	460	530～680	20
50	500	560～720	18

焊接位置代码

号码	焊接位置
1	全位置
2	全位置，除向下立焊
3	对接平焊，角接平焊及水平位置
4	对接、角接平焊
5	向下立焊以及同号码 3

熔敷金属 V 形冲击能量代码

代码/号码	最小 V 形冲击能量 47 J 时的温度（℃）
Z	无要求
A	+20
0	0
2	－20
3	－30
4	－40

效率及电流类型号码

号码	效率（%）	电流类型
1	>105	AC 及 DC
2	>105	DC
3	>105≤125	AC 及 DC
4	>105≤125	DC
5	>105≤160	AC 及 DC
6	>125≤160	DC
7	>160	AC 及 DC
8	>160	DC

药皮类型代码

代码	药皮类型	焊接特性，应用范围
A	酸性	较小颗粒过渡，焊缝平滑，受焊接位置约束，应用有限
B	碱性	焊缝金属有高的 V 形冲击能，冷却裂纹敏感性低
C	纤维素型	最适用于向下立焊
R	金红石	薄板焊接，除向下立焊外的全位置焊接
RA	金红石酸性	熔滴过渡好，焊缝光滑，除向下立焊外的全位置焊接
RB	金红石碱性	熔敷金属有高的 V 形冲击能，抗裂纹
RC	金红石纤维素型	中等颗粒过渡，适用于向下立焊
RR	厚药金红石	应用多样，焊接表面质量好，引弧好

⇒ **EN 499－E 42 A RR 12**：熔敷金属特性：最小屈服强度 =420N/mm^2（42），20℃时的 V 形冲击能 =47J（A），药皮类型：厚药金红石（RR），效率 >105%（1），除向下立焊外的全位置焊接（2）

关注公众号：机械工程师成长营

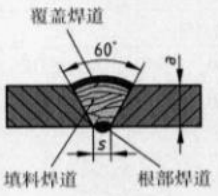
电焊条，电弧焊焊接设计

碳钢电焊条（摘选）

型号自 DIN EN 499 起[1]	用于钢材（举例）	应用，特性（举例）
E 35 Z A 13	S185 – S275，DC01，DC03，DC04	薄板焊接，如：车体加工、间隙填充
E 35 2 C 25	S235，S275，P235，P355 L210 – L360	管道环形焊接；适应于根部焊道、填料焊道及最终焊道
E 35 A R 12	S185 – S235，P235，P235GH – P265GH	薄板焊接，易引弧，易去除熔渣
E 38 0 RC 11	S185 – S355，P235，P265，GP240R	普通焊条，焊缝光滑，无 V 形刻痕过渡
E 42 0 RC 11	S185 – S355，P235GH，P265GH，P235 – P355	普通焊条，焊缝光滑，无 V 形刻痕过渡，熔渣有时会自动松解
E 42 A RR 12	S185 – S355，P235GH，P265GH，P235	板材及型材焊接，焊缝光滑，无 V 形刻痕过渡
E 38 2 RB 12	S185 – S355，P235，P265，P235GH – P295GH，GP240R	管道及容器的制作，焊缝清洁，无 V 形刻痕过渡，易引弧
E 38 2 RA 73	S185 – S355，P235GH，P265GH，P295GH	高性能焊条，焊缝非常光滑，无 V 形刻痕过渡，易去除熔渣
E 42 0 RR 53	S185 – S355，P235GH，P265GH，P295GH，GP240R	对头焊接，角焊接用高性能焊条，焊缝光滑，无 V 形刻痕过渡
E 42 5 B 42 H 10	S185 – S355，E295，E355，P25 – P295，L210 – L360	无裂纹及坚韧连接，包括含碳量 <0.4% 的钢材
E 42 3 B 42 H 10	S185 – S355，P235GH，P265GH，P295GH，P235 – P355	无裂纹及坚韧连接，包括含碳量 >0.4% 的钢材；抗老化

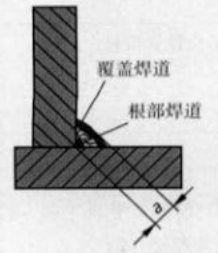
1）电焊条制造商对 DIN EN 499 提供了几种类型的电焊条，它们的成分及应用范围有所不同

V 形焊缝电弧焊焊接设计



工件厚度 a（mm）	间隙 s（mm）	焊道数及类型[1]	焊条尺寸 $d \times l$（mm）	单位长度焊条消耗 z_s（条/m）	焊缝重量 每道 m_s（g/m）	焊缝重量 全部 m（g/m）
4	1	1R 1C	3.2×450 4×450	3 2	75 80	155
5	1.5	1R 1C	3.2×450 4×450	4 2.9	100 110	210
6	2	1R 2C	3.2×450 4×450	4 4.7	100 185	285
8	2	1R 1F 1C	3.2×450 4×450 5×450	4 3.7 3.5	100 145 215	460
10	2	1R 1F 1C	3.2×450 4×450 5×450	4 4 6.2	100 195 380	675

角焊缝电弧焊焊接设计



3 4	— —	1 1	3.2×450 4×450	3.2 3.6	80 140	80 140
5 6	— —	3 3	3.2×450 4×450	8.6 8	215 310	215 310
8	—	1R 2C	4×450 5×450	3 7	120 430	550
10	—	1R 4C	4×450 5×450	3 12.3	120 745	865
12	—	1R 4C	4×450 5×450	3 18.5	120 1125	1245

1）R：根部焊道；F：填料焊道；C：覆盖焊道

关注公众号：机械工程师成长营

射流束切割

切割加工应用范围



氧－乙炔切割标准值

材料：碳结构钢；可燃气体：乙炔

板料厚度 s（mm）	喷嘴（mm）	切缝宽度（mm）	氧气压力		乙炔压力（Pa）	全部氧气消耗量（m^3/h）	乙炔消耗量（m^3/h）	切割速度	
			切割（Pa）	加热（Pa）				优质切割（m/min）	标准切割（m/min）
5	3～10	1.5	2.0×10^5	2.0×10^5	0.2×10^5	1.67	0.27	0.69	0.84
8			2.5×10^5			1.92	0.32	0.64	0.78
10			3.0×10^5			2.14	0.34	0.60	0.74
10	10～25	1.8	2.5×10^5	2.5×10^5	0.2×10^5	2.46	0.36	0.62	0.75
15			3.0×10^5			2.67	0.37	0.52	0.69
20			3.5×10^5			2.98	0.38	0.45	0.64
25	25～40	2.0	4.0×10^5	2.5×10^5	0.2×10^5	3.20	0.40	0.41	0.60
30			4.3×10^5			3.42	0.42	0.38	0.57
35			4.5×10^5			3.54	0.44	0.36	0.55

等离子切割标准值[1)]

	材料：高合金结构钢 切割方法：氧－氢							材料：铝 切割方法：氩－氢					
板料厚度 s（mm）	电流强度		切割速度		消耗量			电流强度		切割速度		消耗量	
	优质切割（A）	标准切割（A）	优质切割（m/min）	标准切割（m/min）	氩（m^3/h）	氢（m^3/h）	氮（m^3/h）	优质切割（A）	标准切割（A）	优质切割（m/min）	标准切割（m/min）	氩（m^3/h）	氢（m^3/h）
4	70	120	1.4	2.4	0.6	—	1.2	70	120	3.6	6.0	1.2	0.5
5			1.1	2.0	0.6	—	1.2			1.9	5.0		
10			0.65	0.95	1.2	0.24	—			1.1	1.6		
15	70	120	0.35	0.6	1.2	0.24	—	70	120	0.6	1.3	1.2	0.5
20			0.25	0.45	1.2	0.24	—			0.35	0.75		
25			0.35	0.35	1.5	0.48	—			0.2	0.5		

1）采用弧功率约为 12 kW，喷嘴直径 1.2 mm 时的标准值

关注公众号：机械工程师成长营

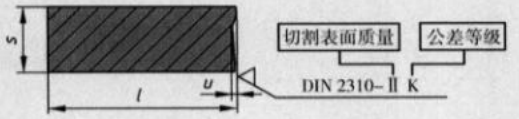
射流束切割

激光切割标准值[1)]

M[2)]	板料厚度 s (mm)	切割速度 v (m/min)	切割气体	切割气体压力 p (Pa)	切割速度 v (m/min)	切割气体	切割气体压力 p (Pa)	切割速度 v (m/min)	切割气体	切割气体压力 p (Pa)
		激光功率 1 kW			激光功率 1.5 kW			激光功率 2 kW		
碳钢	1 1.5	5.0 ~ 8.0 4.0 ~ 7.0	O_2	(1.5 ~ 3.5) × 10^5	7.0 ~ 10 5.5 ~ 7.5	O_2	(1.5 ~ 3.5) × 10^5	7.0 ~ 10 5.6 ~ 7.4	O_2	(1.5 ~ 3.5) × 10^5
	2 2.5	4.0 ~ 6.0 3.5 ~ 5.0			4.8 ~ 6.2 4.2 ~ 5.0			4.8 ~ 6.1 4.2 ~ 5.0		
	3 4	3.5 ~ 4.0 2.5 ~ 3.0			3.5 ~ 4.2 2.8 ~ 3.3			3.6 ~ 2.8 2.8 ~ 3.4		
	5 6	1.8 ~ 2.3 1.3 ~ 1.6			2.3 ~ 2.7 1.9 ~ 2.2			2.5 ~ 3.0 2.1 ~ 2.5		
不锈钢	1 1.5	4.0 ~ 5.5 2.8 ~ 3.6	N_2	8 × 10^5 10 × 10^5	5.0 ~ 7.0 3.5 ~ 5.2	N_2	6 × 10^5 10 × 10^5	4.5 ~ 9.0 3.8 ~ 6.6	N_2	12 × 10^5 13 × 10^5
	2 2.5	2.2 ~ 2.8 1.6 ~ 2.0		14 × 10^5	2.0 ~ 4.0 1.9 ~ 3.2		10 × 10^5 14 × 10^5	3.4 ~ 5.3 2.7 ~ 3.8		14 × 10^5
	3 4	1.3 ~ 1.4 —		15 × 10^5 —	1.8 ~ 2.4 1.0 ~ 1.1		14 × 10^5 15 × 10^5	2.2 ~ 2.7 1.4 ~ 1.8		14 × 10^5 16 × 10^5

1) 透镜焦距长度 f = 127 mm (5")，切缝宽度 w = 0.15 mm 时的标准值
2) M：材料组别

激光切割的质量及尺寸公差



l	公称长度
s	工件厚度
u	垂直度公差
Ⅰ，Ⅱ	切割表面质量
A，B，…	公差等级
Rz	表面粗糙度
Δl	极限偏差

切割表面质量	垂直度公差 u (mm)	表面粗糙度 Rz (μm)	公差等级	工件厚度 s (mm)	公称长度 l (mm) 的极限偏差 Δl			
					l 范围	l 范围	l 范围	l 范围
氧 - 乙炔切割								cf. DIN 2310 - 1 (1987 - 11)
Ⅰ	$u < (0.4 + 0.01 \cdot s)$	$Rz < (70 + 1.2 \cdot s)$			35 ~ <315	315 ~ <1000	1000 ~ <2000	2000 ~ <4000
			A	3 ~ 12	±1.0	±1.5	±2.0	±3.0
			B		±2.0	±3.5	±4.5	±5.0
Ⅱ	$u < (1 + 0.015 \cdot s)$	$Rz < (110 + 1.8 \cdot s)$	A	12 ~ 50	±0.5	±1.0	±1.5	±2.0
			B		±1.5	±2.5	±3.0	±3.5
			A	>50 ~ 100	±1.0	±2.0	±2.5	±3.0
			B		±2.5	±3.5	±4.0	±4.5
激光切割								cf. DIN 2310 - 5 (1990 - 12)
Ⅰ	$u < (0.1 + 0.015 \cdot s)$	$Rz < (10 + 2 \cdot s)$			>10 ~ 30	>30 ~ 120	>120 ~ 315	>315 ~ 1000
			K	>1 ~ 3	±0.12	±0.15	±0.2	±0.25
			L		±0.4	±0.5	±0.6	±0.7
Ⅱ	$u < (0.25 + 0.025 \cdot s)$	$Rz < (60 + 4 \cdot s)$	K	>3 ~ 6	±0.25	±0.3	±0.35	±0.45
			L		±0.6	±0.8	±1.0	±1.2
			K	>6 ~ 10	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7
			L		±0.8	±1.0	±1.2	±1.6

举例：激光切割，表面切割质量Ⅰ，公差等级 K，s = 6 mm，l = 250 mm，求：u，Rz，Δl
$u < (0.1 + 0.015 \cdot s) < (0.1 + 0.015 \cdot 6) < 0.19$ mm，$Rz < (10 + 2 \cdot s) < (10 + 2.6) < 22$ μm，$\Delta l = \pm 0.2$ mm

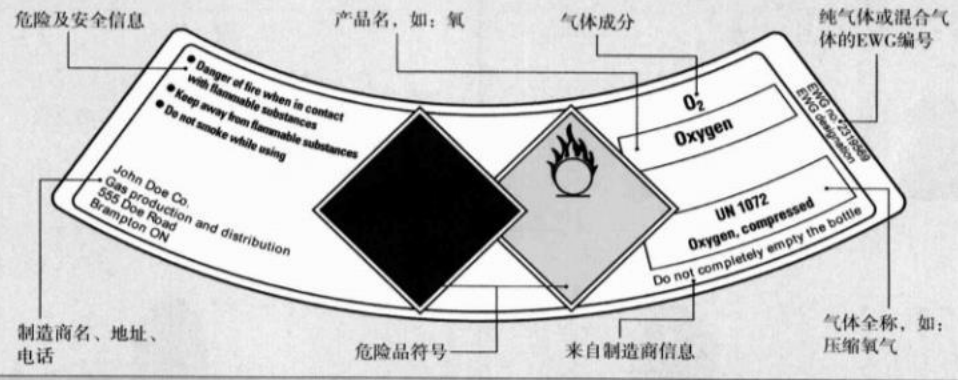
关注公众号：机械工程师成长营

气瓶标记*

危险品标签

cf. DIN EN 1089－2（2002－11）

气瓶容纳物的唯一合法有约束力的标志是危险品标签
它最好放在瓶肩或其正下方



危险品符号

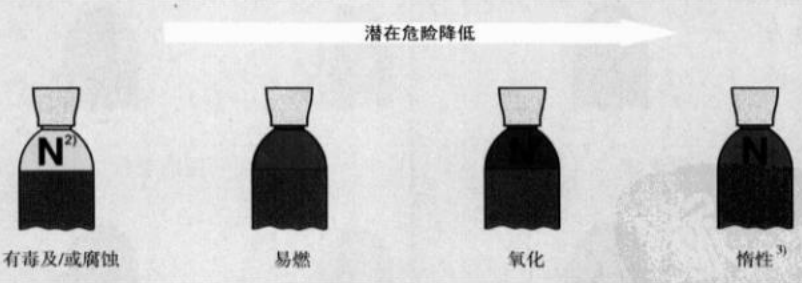


颜色标记

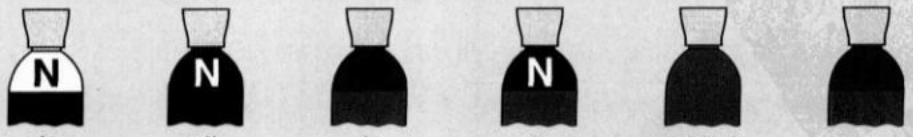
气瓶的颜色标记应作为气体特征的附加信息使用，当危险品标签在远处无法辨别时，采用颜色标记很容易区分。颜色标记不能用于液化气

一般颜色标记

cf. DIN EN 1089－3（2004－06）



特殊气体颜色标记



1）不可燃及无毒　2）N：新的　3）无毒、无腐蚀、不可燃、无氧化性
*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

气瓶标记*

工业用纯净气体及混合气体色标式样（举例） cf. 信息图表摘自工业气体协会

标记 旧	标记 新[1)2)]
氧	
蓝 蓝	N 白 蓝
乙炔	
黄 黄（黑）	N 栗棕 栗棕
氩	
灰 灰	深绿 灰
氮	
深绿 深绿	N 黑 灰
二氧化碳	
灰 灰	灰 灰
氦	
灰 灰	棕 灰

标记 旧	标记 新[1)2)]
氙、氪、氖	
灰 灰（黑）	N 荧光绿 灰
氢	
红 红	红 红
混合气体（氮/氢混合）	
红 红（深绿）	N 红 灰
氩/二氧化碳混合气	
灰 灰	N 荧光绿 灰
压缩空气	
灰 灰	N 荧光绿 灰

1）气瓶色标根据 DIN EN 1089，字母“N”（新）必须在瓶肩两边都有（相对两边）。气瓶色标不变时，“N”不必标出

2）瓶体可为不同颜色，但它必须保证不会导致对气瓶容纳物的危险性的混淆

*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

硬钎焊

硬钎焊重金属

cf. DIN EN 1044(1999－07)

银基钎料

钎料			标注 DIN 8513	熔化温度（℃）	使用情况		
组别	标注[1]	材料号			钎焊接头[2]	钎料供给[3]	母材
AgCuCdZn	AG 301	2.5143	L－Ag50Cd	640	G	f，l	贵金属、钢、铜合金
	AG 302	2.5146	L－Ag45Cd	620	G	f，l	
	AG 304	2.5141	L－Ag40Cd	610	G	f，l	钢、可锻铸铁、铜、铜合金、镍、镍合金
	AG 309	2.1215	L－Ag20Cd	750	G，V	f，l	
AgCuZn(Sn)	AG 104	2.5158	L－Ag45Sn	670	G	f，l	钢、可锻铸铁、铜、铜合金、镍、镍合金
	AG 106	2.5157	L－Ag34Sn	710	G	f，l	
	AG 203	2.5147	L－Ag44	730	G	f，l	
	AG 205	2.1216	L－Ag25	780	G	f，l	
含银量＜20%	AG 207	2.1207	L－Ag12	830	G	f，l	钢、可锻铸铁、铜、铜合金、镍、镍合金
	AG 208	2.1205	L－Ag5	860	G，V	f，l	
	GP 102	2.1210	L－Ag15P	710	G，V	f，l	铜及铜合金（不含镍），不适合含铁或镍的材料
	GP 104	2.1466	L－Ag5P	710	G，V	f，l	
	GP 105	2.1467	L－Ag2P	710	G，V	f，l	
特殊钎料	AG 351	2.5160	L－Ag50CdNi	660	G	f，l	铜合金
	AG 403	2.5162	L－Ag56InNi	730	G	f，l	铬、铬镍合金
	AG 502	2.5156	L－Ag49	690	G	f，l	硬质合金 钨、钼金属材料

铜基钎料

CU 104	2.0091	L－SFCu	1100	G	l	钢
CU 201	2.1021	L－CuSn6	1040	G	l	铁和镍
CU 202	2.1055	L－CuSn12	990	G	l	
CU 301	2.0367	L－CuZn40	900	G，V	f，l	钢、可锻铸铁、铜、镍、铜镍合金
CU 305	2.0711	L－CuNi10Zn42	910	G，V	f，l	钢、可锻铸铁、镍、镍合金
				V	f	铸铁
CP 202	2.1463	L－CuP7	720	G	f，l	铜、不含铁、镍的铜合金

高温钎焊镍基钎料

NI 101	2.4140	L－Ni1	[4]	[4]	[4]	镍、钴镍合金、钴合金碳钢及合金钢
NI 103	2.4143	L－Ni3				
NI 105	2.4148	L－Ni5				
NI 107	2.4150	L－Ni7				

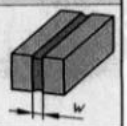
铝基钎料

AL 102	3.2280	L－AlSi7.5	610	G	f，l	铝及铝合金 AlMn，AlMgMn，G－AlSi；尤其对于铝合金，含镁量＜2%的 AlMg，AlMgSi
AL 103	3.2282	L－AlSi10	600	G	f，l	
AL 104	3.2285	L－AlSi12	595	G	f，l	

1）两个字母表示合金组别，三位数为依次增加的纯数字
2）G：适合间隙钎焊；V：适合 V 形接头钎焊
3）f：填充钎焊；l：搭接钎焊
4）参考制造商数据

钎焊接头

间隙钎焊：
w <0.25 mm
V 形接头钎焊：
w >0.3 mm



关注公众号：机械工程师成长营

软钎焊

软钎料 cf. DIN EN 29453(1994－02)

合金组别[1]	合金号[2]	合金标注	原先标注 DIN 1707	工作温度(℃)	应用举例
锡－铅	1	S－Sn63Pb37	L－Sn63Pb	183	精密机械
	1a	S－Sn63Pb37E	L－Sn63Pb	183	电子工业、印刷电路板
	2	S－Sn60Pb40	L－Sn60Pb	183～190	印刷电路板、高级钢
	3	S－Pb50Sn50	L－Sn50Pb	183～215	电子工业、镀锡
	5	S－Pb60Sn40	L－PbSn40	183～235	薄板封装、金属制品水管作业、锌、锌合金散热器制造
	7	S－Pb70Sn30	—	183～255	
	10	S－Pb98Sn2	L－PbSn2	320～325	
含锑锡－铅	11	S－Sn63Pb37Sb	—	183	精密机械
	12	S－Sn60Pb40Sb	L－Sn60Pb(Sb)	183～190	精密机械、电子工业
	14	S－Pb58Sn40Sb2	L－PbSn40Sb	185～231	散热器制造、拭接钎焊
	16	S－Pb74Sn25Sb1	L－PbSn25Sb	185～263	拭接钎焊，钎焊料
锡－铅铋	19	S－Sn69Pb38Bi2	—	180～185	精密钎焊
	21	S－Bi57Sn43	—	138	低温钎焊、安全保险丝
锡－铅镉	22	S－Sn50Pb32Cd18	L－SnPbCd18	145	热熔断器、电缆接头
锡－铅铜	24	S－Sn97Cu3	L－SnPbCu3	230～250	电子装置、精密机械
	25	S－Sn60Pb38Cu2	L－Sn60Cu	183～190	
	26	S－Sn50Pb49Cu1	L－Sn50PbCu	183～215	
锡－铅银	28	S－Sn96Ag4	—	221	铜管安装、高级钢
	31	S－Sn60Pb36Ag4	L－Sn60PbAg	178～180	电子装置、印刷电路板
	33	S－Pb95Ag5	L－PbAg5	304～365	高作业温度
	34	S－Pb93Sn5Ag2	—	296～301	电动马达、电装置

1）钎料包含镉和锌，DIN EN 29453 中，钎料不再包括铝
2）合金号代替 DIN 1707 的材料牌号

软钎焊钎剂 cf. DIN EN 29454(1994－02)

主要构成名称				根据影响分类		
				标注		
钎剂种类	主要成分	催化剂	钎剂形式	DIN EN	DIN 8511	残渣影响
1 松香	1 松脂 2 无松脂	1 无催化剂 2 卤素催化剂 3 无卤素催化剂	A 液体 B 固体 C 糊状	3.2.2... 3.1.1...	F－SW11 F－SW12	很强 腐蚀性
2 有机物	1 水溶性 2 非水溶性			3.2.1... 3.1.1...	F－SW13 F－SW21	有腐蚀性
3 无机物	1 盐	1 含氯化氨 2 无氯化氨		2.1.3... 2.1.2... 1.2.2...	F－SW23 F－SW25 F－SW28	
	2 酸	1 磷酸 2 其他酸				
	3 碱	1 胺 和/或氨		1.1.1... 1.2.3...	F－SW31 F－SW33	无腐蚀性
⇒	钎剂 ISO 9454—1.2.2.C：钎剂种类：松香（1），无松脂基（2），卤素催化（2），糊状（C）					

硬钎焊钎剂 cf. DIN EN 1045(1997－08)

钎剂	活化温度	使用说明
FH10	550℃～800℃	多用途钎剂，残渣可冲洗或化学剥除
FH11	550℃～800℃	Cu－Al 合金；残渣可冲洗或化学剥除
FH12	550℃～850℃	不锈钢及高合金钢；硬质合金；残渣可冲洗或化学剥除
FH20	700℃～1000℃	多用途钎剂，残渣可冲洗或化学剥除
FH21	750℃～1100℃	多用途钎剂，残渣可机械剥除或化学剥除
FH30	>1000℃	用于铜及镍钎焊，残渣可机械剥除
FH40	650℃～1000℃	不含硼钎剂，残渣可冲洗或化学剥除
FL10	400℃～700℃	轻合金，残渣可冲洗或化学剥除
FL20	400℃～700℃	轻合金，残渣无腐蚀性，但需防潮

关注公众号：机械工程师成长营

钎焊接头

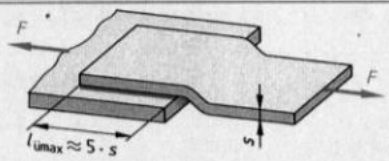
软钎焊及硬钎焊焊接工艺分类

特性区别	软钎焊及硬钎焊工艺		
	软钎焊	硬钎焊	高温硬钎焊
工作温度	<450 ℃	>450℃	>900℃
能量源	烙铁、熔融盐浴、电阻	火焰、熔炉	火焰、激光束、电感
母材	铜，银，铝合金，不锈钢，钢，铜，镍合金	钢，硬质合金刀片	钢，硬质合金
钎料	锡，铅合金	铜，银合金	Ni－Cr 合金，Ag－Au－Pd 合金
补充材料	钎剂	钎剂、真空	真空，保护气体

钎焊间隙宽度标准值

母材	钎焊间隙宽度（mm）			
	软钎焊	硬钎焊钎料主要为		
		铜	黄铜	银
碳钢	0.05～0.2	0.05～0.15	0.1～0.3	0.05～0.2
合金钢	0.1～0.25	0.1～0.2	0.1～0.35	0.1～0.25
铜，铜合金	0.05～0.2	—	—	0.05～0.25
硬质合金	—	0.3～0.5	—	0.3～0.5

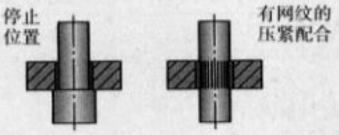
软钎焊接头设计原则



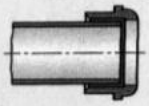
受剪切载荷的钎焊接头



采用折叠焊缝使钎焊接头的载荷减小



加工工艺简化



钎焊管道安装

先决条件

- 钎焊间隙需足够大以便焊剂及焊料能通过毛细管作用填充间隙（上表）
- 钎焊两表面必须平行
- 加工表面粗糙度，对于铜钎焊可为 $Rz = 10 \sim 16\ \mu m$，对于银钎焊，$Rz = 25\ \mu m$

载荷转移

- 在所有可能情况下，施加在钎焊接头上的载荷应为剪切力（横向力）。特别地，焊缝不应施加拉力或剥离力
- 如果钎焊间隙深度 $l_u > 5 \cdot s$，则不能可靠地用焊料填充，因此当钎焊间隙深度加大时，承载能力不能提高
- 通过类似于折叠结构的设计可提高承载能力

加工工艺简化

- 在钎焊时，采用适当的定位方法使零件连接，如通过零件的形状或有网纹的压紧配合

应用举例

- 管道及安装
- 金属板状零件
- 带钎焊硬质合金刀片的刀具

关注公众号：机械工程师成长营

胶黏剂、胶接前表面处理

胶黏剂的性质及使用条件[1)]

胶黏剂	商品名	固化条件		最高工作温度（℃）	结合面抗拉及抗剪强度 τ_B（N/mm²）	弹性	应用及特性
		温度（℃）	时间				
丙烯酸类松脂	Agomet M, Acronal, Stabilit-Express	20	24 h	120	6～30	低	金属、热固性材料、陶瓷、玻璃
环氧基树脂（EP）	Araldit, Metallon, Uhu-Plus	20～200	1～12h	50～200	10～35	低	金属、热固性材料、玻璃、陶瓷、混凝土、木材；注意：固化时间长
酚醛树脂（PF）	Porodur, Pertinax, Bakelite	120～200	60 s	140	20	低	金属、热固性材料、玻璃、弹性体、木材、陶瓷
聚氯乙烯（PVC）	Hostalit, Isodur, Macroplast	20	>24 h	60	60	低	金属、热固性材料、玻璃、弹性体、木材、陶瓷
聚氨酯（PUR）	Desmocoll, Delopur, Baydur	50	24 h	40	50	现有值	金属、弹性体、玻璃、木材、某些热塑性材料
聚酯松脂（UP）	Fibron, Leguval, Verstopal	25	1 h	170	60	低	金属、热固性材料、陶瓷、玻璃
聚氯丁烯（CR）	Baypren, Contitec, Fastbond	50	1 h	110	5	现有值	金属及塑料用黏接剂
丙烯酸酯	Perma-bond, Sicomet77	20	40 s	85	20～25	低	用于金属、塑料、弹性物质的快速固化胶黏剂
热胶	Jet-Melt, Ecomelt, Vesta-Melt	20	>30 s	50	2～5	现有值	各类材料，通过冷却产生胶接作用

1）由于胶黏剂化学成分的变化，给出值仅为近似值。详细信息请参考由制造商提供的信息

胶接接头零件的预处理 cf. VDI 2229(1979－06)

材料	处理顺序[1)] 对于不同载荷程度[2)]			材料	处理顺序[1)] 对于不同载荷程度[2)]		
	低	中	高		低	中	高
铝合金 镁合金 锑合金	1-2-3-4	1-6-5-3-4 1-6-2-3-4 1-6-2-3-4	1-2-7-8-3-4 1-7-2-9-3-4 1-2-10-3-4	光亮钢 镀锌钢 磷化钢	1-2-3-5	1-6-2-3-4 1-2-3-4 1-2-3-4	1-7-2-3-4 1-2-3-4 1-6-2-3-4
铜合金	1-2-3-4	1-6-2-3-4	1-7-2-3-4	其他金属	1-2-3-4	1-6-2-3-4	1-7-2-3-4

1）处理方式代码

1 清洁灰尘、表层、锈蚀
2 采用有机溶剂或含水清洁剂去除油污
3 用清水冲洗
4 在<65℃的热空气中干燥
5 用腐蚀金属方法去除油污
6 采用磨削或刮刷进行机械打毛
7 采用喷砂进行机械打毛
8 在60℃、27.5%的硫酸溶液中腐蚀30分钟
9 在20℃、20%的硝酸溶液中腐蚀1分钟
10 在20℃、15%的盐硝酸溶液中腐蚀3分钟

2）胶接接头载荷程度

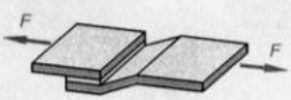
低：抗拉、剪切强度<5 N/mm²，干燥环境，用于精密机械、电子装置
中：抗拉、剪切强度<10 N/mm²，潮湿环境，接触油，用于机械及汽车制造
高：抗拉、剪切强度<10 N/mm²，直接接触液体，用于飞机、船舶及容器的制造

关注公众号：机械工程师成长营

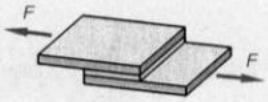
胶接接头设计，试验方法

设计举例

对接/搭接接头

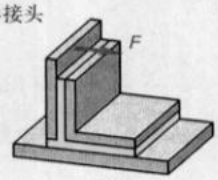


好

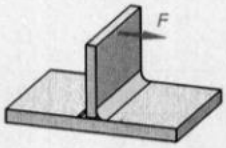


不好

T形接头

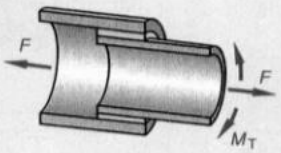


好

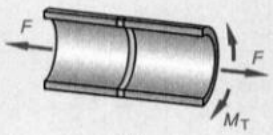


不好

管材接头



好



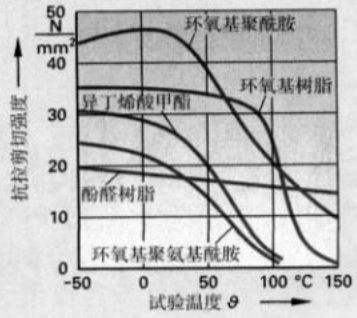
不好

试验方法

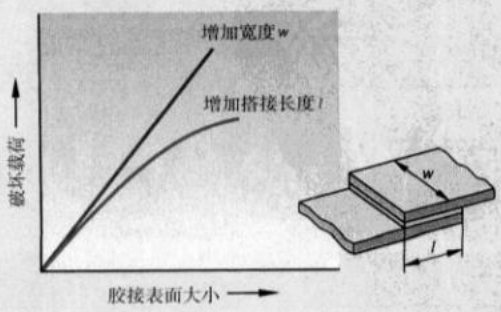
试验方法 标准	内容
弯曲剥离试验 DIN 54461	试验接头的抗剥离力
拉伸剪切试验 DIN EN 1465	试验高强度搭接接头的抗拉剪切强度
蠕变试验 DIN EN 53284	试验胶黏剂的疲劳性质
拉伸试验 DIN EN 26922	试验垂直于胶接表面的对接接头的抗拉强度
浮辊剥离试验 DIN EN 1464	试验耐剥离力的大小
抗压剪切试验 DIN 54452	试验剪切强度，主要对于厌氧[1]胶黏剂

1）排除空气

胶黏剂性能作为温度和胶接表面大小的函数



搭接接头的抗拉剪切强度



胶接表面大小对破坏载荷的影响

关注公众号：机械工程师成长营

安全颜色、禁止标志*

安全颜色

cf. DIN 4844－1(2002－11) 及 BGV A8[1] (2002－04)

颜色	红	黄	绿	蓝
意义	停止， 禁止	警告！ 潜在危险品	安全 急救	指令标志， 注意
衬底色	白	黑	白	白
图形符号颜色	黑	黑	白	白
应用举例（见 340 及 341 页）	停止标志， 紧急停止 禁止标志， 消防装置	注意危险（如：火、爆炸、辐射）； 注意障碍（如：高速撞击、孔）	救护车标志及紧急出口； 急救和紧急救助站	需要穿戴个人防护装备（PPE）； 电话位置

禁止标志

cf. DIN 4844－2(2002－02) 及 BGV A8[1] (2002－04)



1）德国使用者责任保险协会—事故预防法规 BGV A8（代换 VGB 125）
*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

警告标志*

警告标志					cf. DIN 4844－2(2001－11)及 BGV A8[1](2002－04)
					
注意安全	当心火灾 易燃物质	当心爆炸 爆炸性物质	当心中毒	当心腐蚀	当心电离辐射
					
当心吊物	当心叉车	当心触电	当心光辐射	当心激光	当心氧化物
					
当心非离子辐射	当心强磁场	当心摔倒	当心坠落	当心生物危险	当心极冷
					
当心有害健康	当心气瓶	当心电池	当心易爆空气	当心花键铣刀	当心挤压
					
当心滚动倾斜	当心自动运转	当心热表面	当心手受伤	当心滑倒	当心履带运动

1) 德国使用者责任保险协会—事故预防法规 BGV A8(代换 VGB 125)
*) 根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

安全标志*

cf. DIN 4844－2(2001－02)
及 BGV A8[1](2002－04)

指令标志



逃生路线和紧急出口救援标志



消防标志和附加标志



1）德国使用者责任保险协会—事故预防法规 BGV A8
2）仅与其他逃生路线和救援标志一起使用
*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

安全标志*

cf. DIN 4844－2(2001－02)
及 BGV A8[1](2002－04)

告知标志

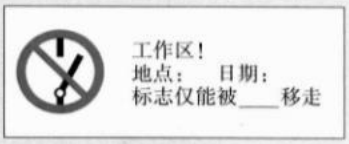








组合标志



禁止连接



高压警告

组合标志：带箭头指示的逃生路线和紧急出口









急救站







急救站　禁止！屋顶禁止行走　救火用消防毯　有毒气体危险

1) 德国使用者责任保险协会—事故预防法规 BGV A8(代换 VGB 125)
*) 根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

危险品符号*					RL 67/548/EWG (2004－04)[1]
代码、危险品符号和危险性描述	危险程度	代码、危险品符号和危险性描述	危险程度	代码、危险品符号和危险性描述	危险程度
T +  剧毒物品	很少量服用将导致死亡或对健康造成急、慢性损伤 T = 有毒	Xi  刺激性物品	接触皮肤或黏膜可引起炎症 X = X 形十字 i = 刺激	F  易燃	遇火可燃的固体材料。液体材料燃点 < 21℃ F = 易燃
T  有毒物品	少量服用将导致死亡或对健康造成急、慢性损伤 T = 有毒	E  爆炸性物品	遇冲击、摩擦、火或其他引爆物引起爆炸的危险 E = 爆炸	N  环境危险物品	可改变水、土壤、空气、气候、动物、植物的物质，在这种情况下对环境有危害 N = 有害（危害）
Xn  有害物品	服用可导致死亡或对健康造成急、慢性损伤 X = X 形十字 n = 有害	O  氧化性物品	由于产生氧，有火灾隐患的物质 O = 氧化性	T. R45 等级  有毒物品	通过吸入、吞食、接触皮肤而可能致癌的物质 R45：可能致癌 T = 有毒
C  腐蚀性物品	组织器官由于接触而损伤 C = 腐蚀	F +  极易燃物品	燃点 < 0℃、沸点 < 35℃ 的液体物质；遇空气可燃烧的气体 F = 易燃	T，R46 等级  有毒物品	可对人体产生突变的物质 R46：可引起遗传基因损伤 T = 有毒
Xn，R40 等级  有害物品	可能使人体产生突变而需引起注意的物质。但没有足够的信息给出令人信服的证明 X = X 形十字 n = 有害 R40 = 不可逆损害的可能（第 199 页）	T，R60、R61 等级  有毒物品	对生育能力有损害的物质 T = 有毒 R60 = 损害生育能力 R61 = 对胎儿有损伤	Xn，R62、R63 等级  有害物品	可能对人的生育能力有损害而需引起注意的物质 X = X 形十字 n = 有害 R62 = 可能削弱生育能力 R63 = 可能损伤胎儿

1）欧盟法规，附录Ⅱ　　*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

管道标志*

按流质区分的管道标志

cf. DIN 2403(1984－03)

目的：明确标出管道并注明流质对安全、救火及适当的维护修理是必须的

管道标志包括：
- 表示流质名称、分子式、代号的标志或表示流质组别颜色的标志
- 涂上组别颜色的色环或
- 对整个管道涂上组别颜色

采用标志标注

根据 DIN 825－1，标志的大小已标准化。标志的尖点指示流动方向。输送水蒸气可按下列表达方法的任一种进行标注：

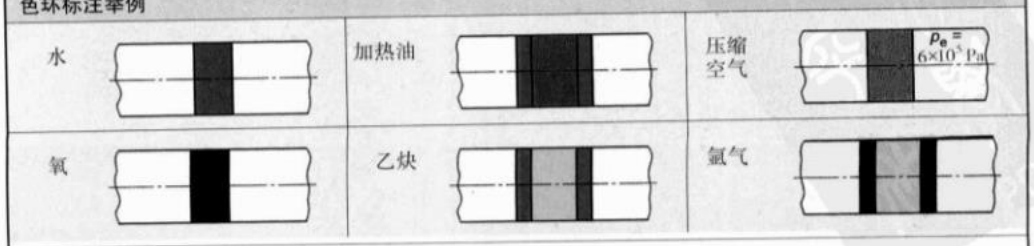


采用颜色及代号标注

颜色规定					物质种类规定（举例）	
流质	组别	组别颜色	颜色样本 RAL	字母颜色	代号	物质种类
水	1	绿	6108	白	组 1	水
水蒸气	2	红	3000	白	1.0	饮用水
空气	3	灰	7001	黑	1.1	未处理水
可燃气体	4	黄或带 AC[1] 红黄	1021 3000	黑	1.2	工业废水
					1.3	处理水
不可燃气体	5	黄、AC[1] 黑或黑	1021 9005 9005	黑 白	1.4	蒸馏水，液化物
					1.5	动力水，密封水
酸	6	橘黄	2003	黑	1.6	循环水
碱水	7	紫	4001	白	1.7	重水
可燃液体	8	棕或带 AC[1] 红棕	8001 8001 3000	白	1.9	污水
					组 2	水蒸气
不可燃液体	9	棕、AC[1] 黑或黑	8001 9005 9005	白 白	2.0	低压水蒸气（$<1.5\times10^5$ Pa）
					2.2	高压水蒸气
					2.3	高压超热水蒸气
氧	10	蓝	5015	白	2.6	循环水蒸气

1）AC = 附加颜色

色环标注举例



*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

声音和噪声*

声学术语

声音	声音产生于机械振动。它可在气体、液体和固体中传播
频率	每秒钟的振动数。单位：1 赫兹 = 1Hz = 1/s。音高随频率而增加。人听觉的频率范围：16～20000Hz
声强	声音强度（声能）的度量
噪声	不舒服的、讨厌的或使人痛苦的声波；它的危害取决于承受的强度、时间、频率及均匀度。对于85dB（A）及更高的声强，可造成永久的听力损害
分贝（dB）	声级的标准单位
dB（A）	由于人耳感觉到的不同高度（频率）的声调有着不同的声强而实际上声强相同，因此对于某一频率噪声必须采用滤波器进行衰减。采用滤波器A的频率计权曲线进行补偿并表示出主观听觉的影响。3 dB（A）的差别大约相当于声强的一倍（或一半）

声级

声音种类	dB（A）	声音种类	dB（A）	声音种类	dB（A）
听阈	4	1m处的正常演讲	70	强烈冲压	95～110
30cm处的呼吸	10	机械工具	75～90	角磨机	95～115
树叶的轻微沙沙声	20	1m处的高声谈话	80	5m处的汽车喇叭	100
耳语	30	焊接灯，车床	85	迪斯科音乐	100～115
撕纸声	40	风钻，摩托车	90	榔头和铁砧	110
安静谈话	50～60	引擎试验台	90～110	喷气式引擎	120～130

噪声预防法规

cf. 关于“噪声”的事故预防法规 BGV B3(1997－01)

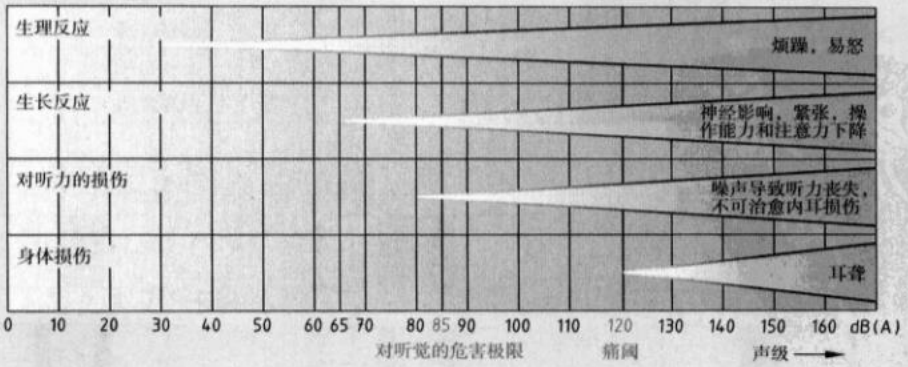
噪声控制的事故预防法规

- 噪声在90 dB(A)及以上必须有防护措施
- 噪声大于85 dB(A)时，必须有噪声保护装置；大于90 dB(A)时，必须使用噪声保护装置
- 由于噪声使事故危险性增加时，必须采取适当的措施
- 常规的预防医学检查必须强制进行
- 必须采用新的作业装置以最大限度减小噪声

§15 车间法规

噪声限定值	最大dB（A）
明显的金属行为	55
简单、明显的机械行为	70
所有其他行为（值可能超出5dB）	85
休息室、准备室和急救室	55

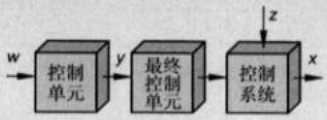
噪声对健康的危害



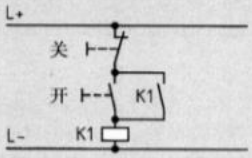
*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

7. 自动化



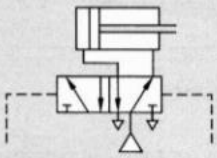
7.1 控制工程
基本术语、代码 …… 346
符号 …… 347
模拟控制器 …… 348
断续及数字控制器 …… 349
二进制逻辑 …… 350



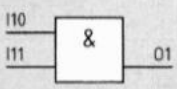
7.2 电路
电路符号 …… 351
电路布置图的标注* …… 353
电路图 …… 354
传感器 …… 355
安全预防* …… 356



7.3 顺序功能图及信号－状态图
顺序功能图 …… 358
信号－状态图 …… 361



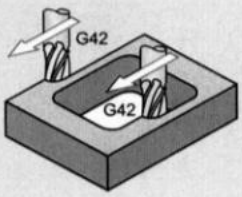
7.4 液压与气动
回路符号 …… 363
回路图 …… 365
电－气动控制 …… 366
电液控制 …… 367
液压流体 …… 368
气缸 …… 369
作用力计算 …… 370
速度、功率 …… 371
精密无缝钢管 …… 372



7.5 可编程逻辑控制
程序设计语言 …… 373
PLC 控制起重装置 …… 377



7.6 操作及机器人系统
坐标系及坐标轴 …… 378
机器人设计 …… 379
夹持器，工作安全 …… 380



7.7 数控技术
坐标轴 …… 381
程序结构 …… 382
准备功能、辅助功能 …… 383
辅助功能 …… 384
刀具偏置与刀具补偿 …… 385
加工方式 …… 386
PAL 循环 …… 388



7.8 信息技术
计数制 …… 393
ASCII 码 …… 394
流程图符号 …… 395
MS WORD 文字处理命令 …… 397
EXCEL 电子表格命令 …… 398

关注公众号：机械工程师成长营

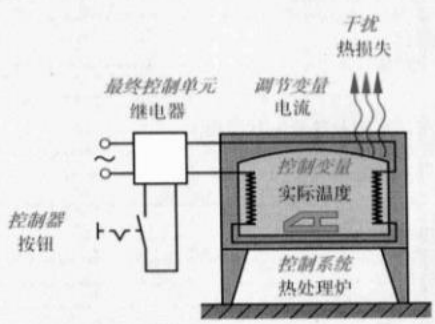
基本术语、代码

基本术语　　cf. DIN 19226－1 ~ －5(1994－02)

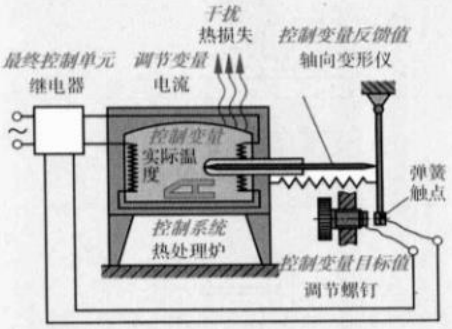
开环控制	闭环控制
对于开环控制，其输出变量，如热处理炉的温度，受输入变量，如加热管电流的影响。输出变量对输入变量没有影响。开环控制为一开环作用流程	对于闭环控制，其控制变量，如热处理炉的实际温度，被连续监测并与目标温度（参考变量）比较。如果有偏差，则调节参考输入变量。闭环控制为一闭环作用流程

举例：热处理炉

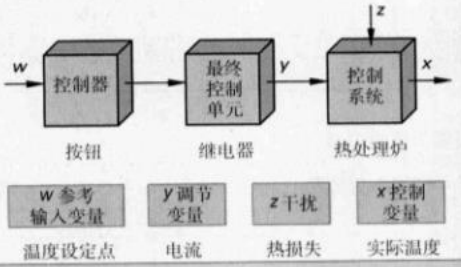
示意图



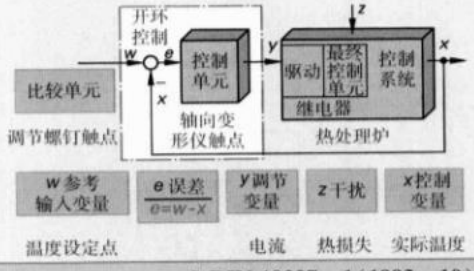
示意图



开环控制系统方块图



闭环控制系统简化方块图



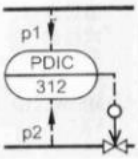
基于应用的代码　　cf. DIN 19227－1(1993－10)

标注举例：

PDIC

首字母	补充字母	后继字母
D　密度	D　差分	A　错误指示
E　电参数	F　比率	C　自动闭环控制
F　流量，通过量	J　控制点询问	H　上限值
G　距离，位置，长度	Q　求和，积分	I　显示
H　手动输入/干预		L　下限值
K　时间		R　读数，记录
L　状态（如：标高）		
M　湿度		
P　压力		
Q　质量参数		
R　辐射参数		
S　速度，转速		
T　温度		
W　重量，质量		

举例：差分压力闭环控制



解释：P　压力
D　差分
I　显示
C　自动闭环控制

简而言之：带压力差分显示的闭环控制系统

关注公众号：机械工程师成长营

符 号

cf. DIN 19227.1(1993－10)

输出位置与用户控制

局部控制，一般符号

过程控制室

局部控制台

局部控制，由过程控制系统实现

局部控制，由过程计算机实现

对控制系统的影响

伺服电动机，一般符号

伺服电动机：最小质量流或能量流在功率损失过程中设定

伺服电动机：最大质量流或能量流在功率损失过程中设定

伺服电动机：在功率损失过程中保持最近的设定

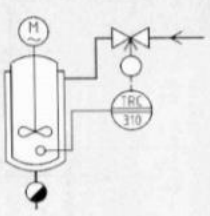
测量点、控制点

参考线

测量点传感器

最终控制单元，控制点

举例



温度 T
读数 R
自动闭环控制 C

温度控制和读数局部控制台测量点 310

装置图形符号

cf. DIN 19227－2(1991－02)

传感器

T 或 T — 温度传感器，一般符号

P — 压力传感器

L — 带浮标液面传感器

W — 刻度指示重量传感器

控制器

控制器，一般符号

PID — 带开关输出及 PID 调节的两点控制器

带开关输出的三点控制器

最终控制与用户控制单元

M — 电动阀

电磁阀

电信号调节器

适配器

P/A — 带气动信号输出压力转换器

信号标志

电信号
气动信号
模拟信号
数字信号

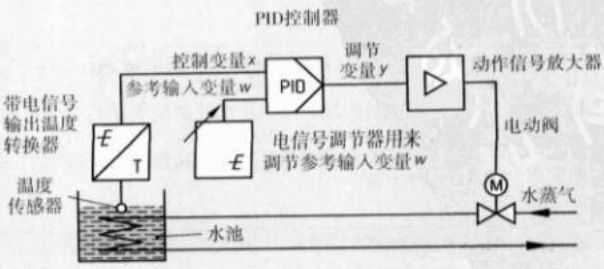
输出装置

基本符号，一般显示

6 — 打印机，模拟，信道号

监视器

举例：温度控制器

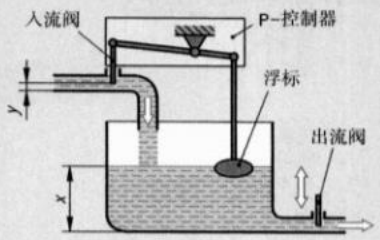
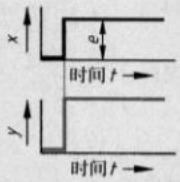
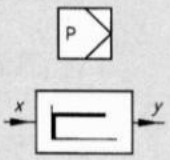
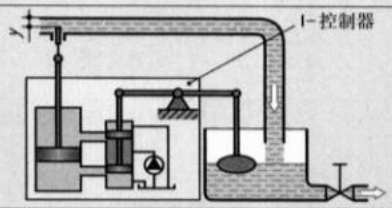
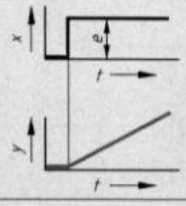
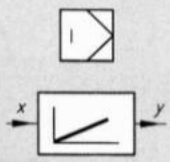
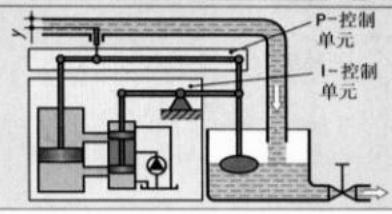
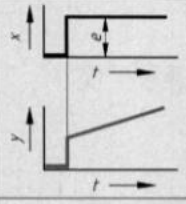
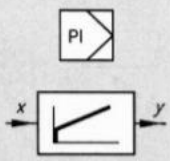
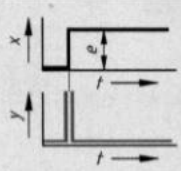
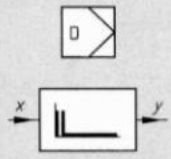
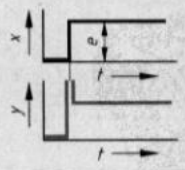
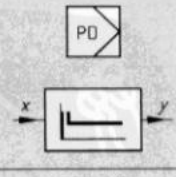
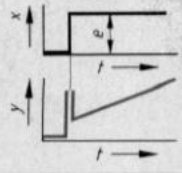
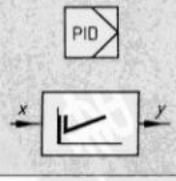


关注公众号：机械工程师成长营

模拟控制器

模拟（连续）控制器　　**cf. DIN 19225（1981－12）及 DIN 19226－2（1994－02）**

对于模拟控制器，调节变量 y 在控制范围内可为任意适当值

控制器设计	液面控制举例，描述	转换函数	符号[1] 方块表示[2]
P－控制器 比例控制器 输出变量与输入变量成比例。P－控制器有稳定的状态误差		x 控制变量——阶跃函数[3] y 调节变量——阶跃响应[4] e 误差 	
I－控制器 积分控制器 I－控制器比 P－控制器作用慢，但消除了所有误差			
PI－控制器 比例积分控制器 在 PI－控制器中，P－控制器和 I－控制器并联			
D－控制器 微分控制器	D－控制器系统需要与 P－或 PI－控制器一起使用。带连续误差的单纯 D－控制器不能提供调节变量，因此无闭环控制		
PD－控制器 比例微分控制器	当 P－控制器与 D－控制器并联时，形成 PD－控制器。 D 单元以与输入变量的变化率成比例的关系来改变输出变量。P 单元以与输入变量成比例的关系来改变输出变量。PD－控制器作用很快		
PID－控制器 比例积分微分控制器	将 P、I 及 D－控制器并联则形成 PID－控制器。 在开始阶段，P 单元对控制信号进行较大的改变，然后，改变量减少，趋近于 D 单元的大小，最后，I 单元起作用使反应线性上升		

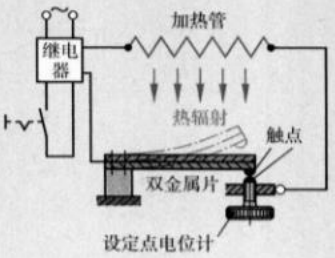
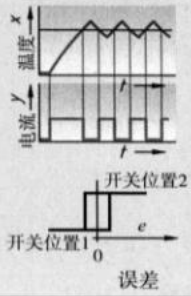
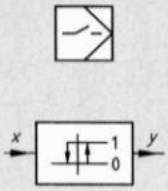
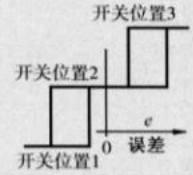
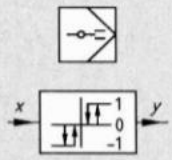
1）符号摘自 DIN19227－2
2）方块表示摘自 DIN19226－2
3）控制系统输入信号曲线
4）控制系统输出信号曲线

关注公众号：机械工程师成长营

断续及数字控制器

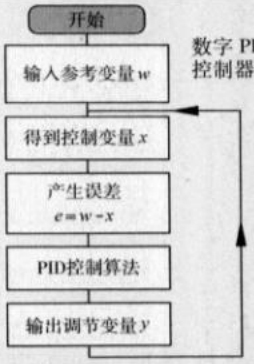
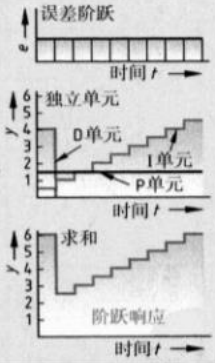
开关（断续）控制器 cf. DIN 19225(1981－12) 及 DIN 19226－2(1994－02)

开关控制器通过几个步骤断续地改变调节变量 y

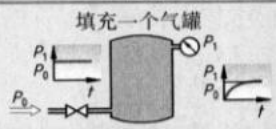
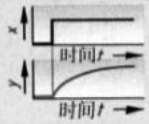
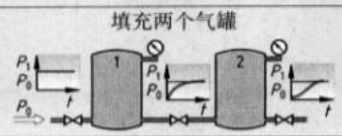
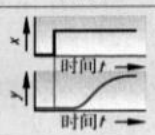
控制器设计	举例，描述	转换函数 开关特性	符号 方块表示法
两点控制器			
三点控制器	**空调系统** 在空调系统中，三个温度范围对应三个开关位置： —制热 开 —制热/制冷 关 —制冷 开		

数字控制器（软件控制器） cf. DIN 19225(1981－12) 及 DIN 19226－2(1994－02)

数字控制器的操作模式是执行计算机程序

控制器设计	举例（简化）	转换函数	解释
计算机 **可编程控制器（PLC）** **微控制器** **微处理器**			计算机程序有如下任务： —产生误差 e —计算基于程序控制算法的调节变量 y 在阶跃响应中，对所有 P、D 及 I 单元求和 对模拟信号采样并转换为数字信号。 内部程序流引起控制器变量 x 的时间延时（类似于 T－控制系统）

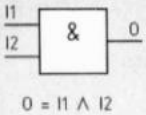
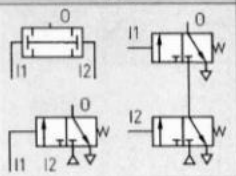
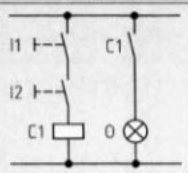
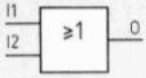
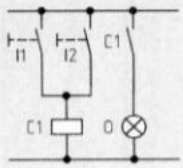
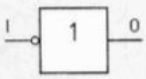
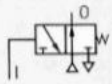
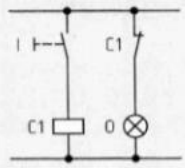
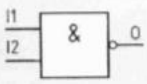
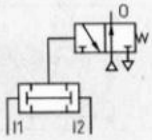
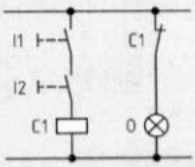
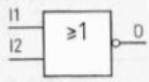
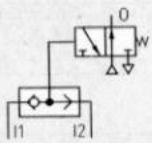
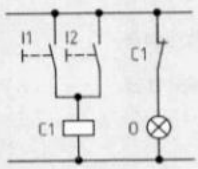
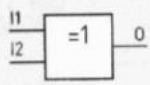
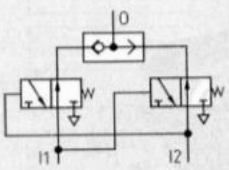
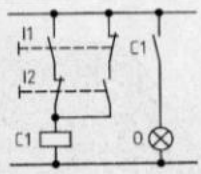
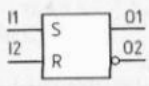
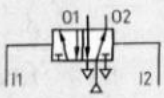
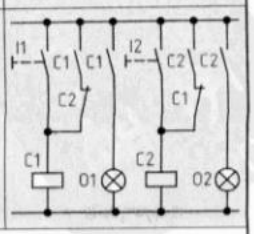
带时间延时的 P－控制器（T 单元） cf. DIN 19226－2(1994－02)

控制器设计	举例	转换函数	解释
带一次延时的 P－控制系统 （P－T_1 控制系统）			当高压容器被气流填充，容器的压力 p1 逐渐达到气流压力
带二次延时的 P－控制系统 （P－T_2 控制系统）			当两个容器串联，第二个容器的压力增加比第一个要慢

关注公众号：机械工程师成长营

二进制逻辑

cf. DIN EN 60617 – 12 (1999 – 04)

函数	电路符号 逻辑式	真值表	技术实现 气动	技术实现 电
与	 O = I1 ∧ I2	I1 I2 O 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1		
或	 O = I1 ∨ I2	I1 I2 O 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1		
非	 O = $\overline{I}$	I1 O 0 1 1 0		
与非 (NAND)	 O = $\overline{I1 \wedge I2}$	I1 I2 O 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0		
或非 (NOR)	 O = $\overline{I1 \vee I2}$	I1 I2 O 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 0		
异或 (XOR)	 O = (I1 ∧ $\overline{I2}$) ∨ ($\overline{I1}$ ∧ I2)	I1 I2 O 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0		
存储器 (RS 触发器)	 S 置位 R 复位	I1 I2 O1 O2 0 0 · · 1 0 1 0 1 1 □ □ · 不变状态 □ 不定状态		

I = 输入　　O = 输出　　C = 继电器，接触器

关注公众号：机械工程师成长营

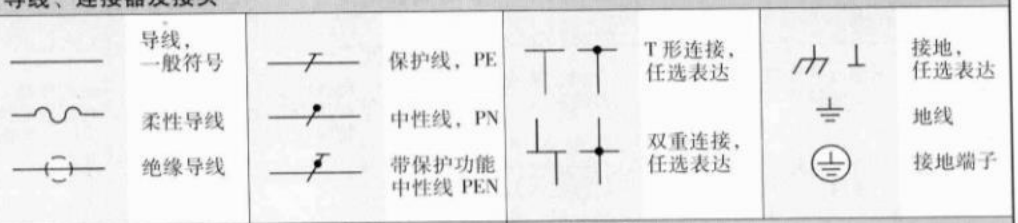
电路符号

cf. DIN EN 60617 - 1 至 12(1999 - 04)

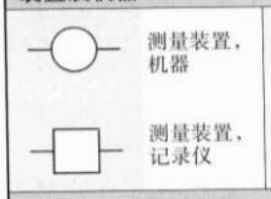
基本电路符号



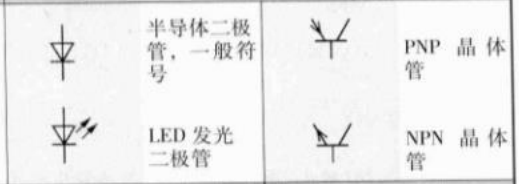
导线、连接器及接头



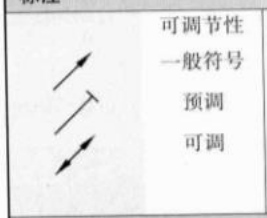
装置及机器



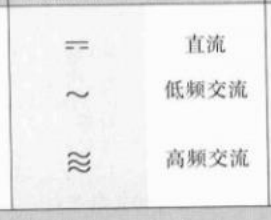
半导体元件



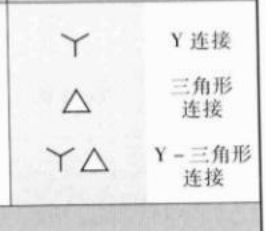
标注



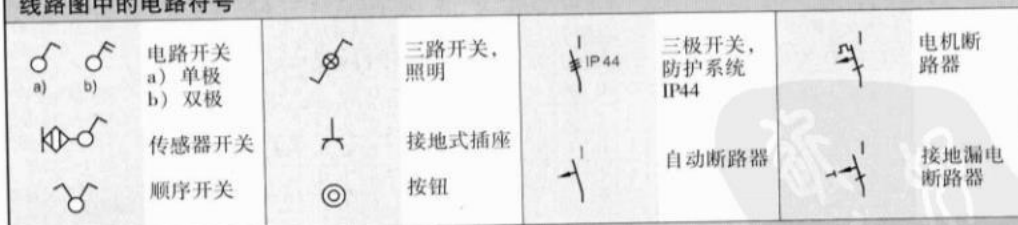
电流种类



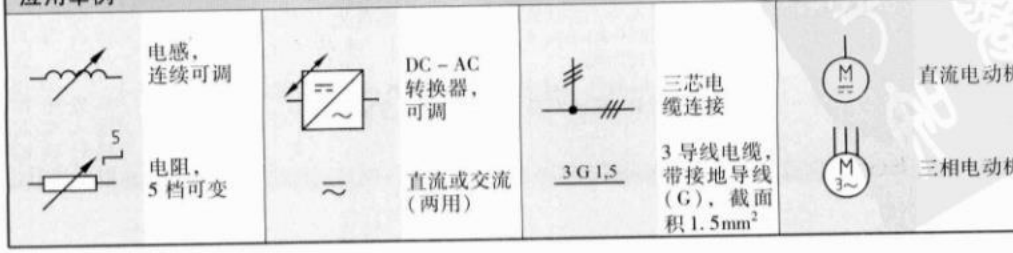
连接类型



线路图中的电路符号



应用举例

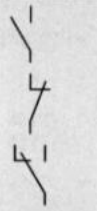


关注公众号：机械工程师成长营

电路符号

cf. DIN EN 60617 - 1 至 12(1999 - 04)

继电器触头

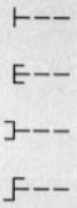


NO 触点 常开

NC 触点 常闭

单极双掷

控制类型

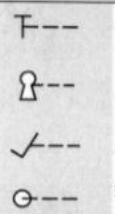


手动，一般符号

压式

拉式

旋转式



倾斜式

钥匙式

脚踏式

线圈式



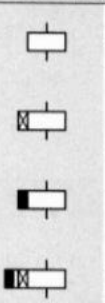
压能式

接近式

接触式

双金属片式（热敏）

机电式继电器



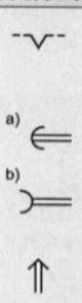
继电器线圈一般符号

计时器开延时

计时器关延时

计时器开关延时

开关方式



自锁，防止自动复位

a)

延时动作（运动方向从圆弧指向圆心时，动作被延时）

b)

a）向右

b）向左

“启动状态”符号

传感器



电容传感器，对所有邻近物质有反应

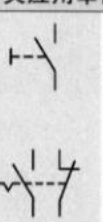
电感传感器，对邻近金属有反应



磁传感器，对邻近磁体反应（舌簧开关）

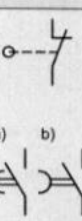
光学传感器，对红外线反射有反应

开关应用举例



NO 触点，手动

双极单掷



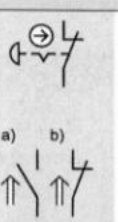
滚轮启动式 NC 触点

a) b)

NO 触点

a）闭合

b）启动时延时开



紧急制动按钮

a) b)

a）NC 触点

b）NO 触点

启动状态



带 NO 触点和永久磁铁控制的接近开关

电磁控制阀

触发器单元

R - S[1] 触发器



真值表[2]

I1	I2	O1	O2
0	0	•	•
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	□	□

触发器为存储了信号状态的集成电路

1）R = 复位
S = 置位

2）• 不变状态
□ 不定状态

R - S 触发器置位优先

真值表

I1	I2	O1	O2
0	0	•	•
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	0

R - S 触发器复位优先



真值表

I1	I2	O1	O2
0	0	•	•
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1

R 或 S 端输入为 1 表示该输入的逻辑状态优先
如果信号同时作用于输入端 I1 及 I2（I1 = 1 及 I2 = 1），采用下列原则：
输入不为 1 的端口（对于置位优先为 R 端，复位优先为 S 端的 R - S 触发器）总是被置为逻辑状态 0

延时单元

上升延时



输出端 O 从“0”到“1”的转换发生在输入端同样转换延时 t_1 之后

断开延时



输出端 O 从“1”到“0”的转换发生在输入端同样转换延时 t_2 之后

关注公众号：机械工程师成长营

电路布置图的标注*

电路图中组件的标注

cf. DIN EN 61082-1 (1995-05)

举例

S 2 E

- S：装置种类
- 2：顺序号
- E：装置功能

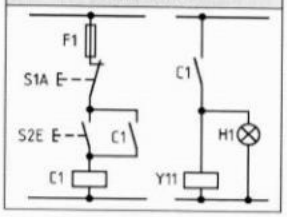
类型代码（摘选）

B	传感器
D	二进制单元
F	熔断器
H	信号灯
C	继电器
R	电阻
S	开关，行程开关
Y	电磁阀

功能代码（摘选）

A	功能关
B	运动方向
E	功能开
G	测试
K	缓慢操作
R	复位
S	存储，置位

电路图举例



电线及连接的标注

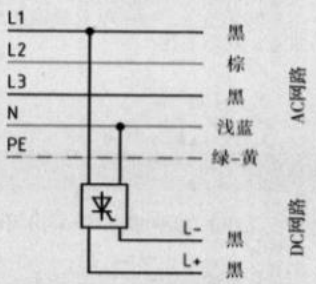
cf. DIN EN 60446 (1999-10) 及 DIN EN 60445 (2000-08)

绝缘电线

电线种类		代码	标注 电线颜色	标注 符号
DC 网路	正	L+	黑[1]	+
	负	L-	黑[1]	-
	中性	M	浅蓝	
AC 网路	相导线 1	L1	黑[1]	
	相导线 2	L2	黑[1]	
	相导线 3	L3	黑[1]	
	中性线	N	浅蓝	
地线		PE	绿－黄	⏚
PEN 电线（带接地功能的中性线）		PEN	绿－黄[2]	
地线		E	黑[1]	⏚

举例

整流电路

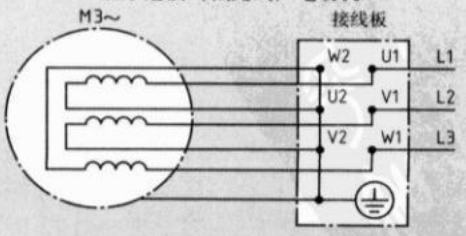


组件连接

连接	标注
相导线 1	U
相导线 2	V
相导线 3	W

举例

星形连接（鼠笼式）电动机



1）为未加规定的颜色。黑色推荐使用，棕色用于区分，绿－黄可不用

2）PEN 电线带连续的绿－黄导线颜色。为避免与 PE 电线混淆，PEN 电线在其端部用浅蓝作附加标记，如用线夹或胶带标记

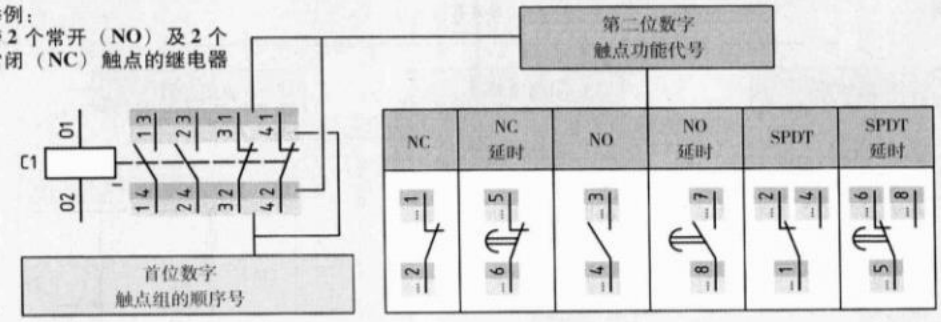
*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

电路图 cf. DIN EN 61082（1998－09）

继电器上带标号的连接器

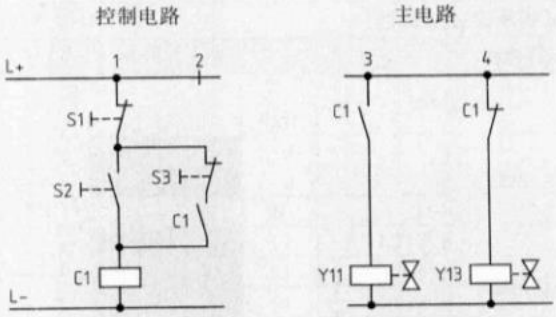
举例：
带 2 个常开（NO）及 2 个常闭（NC）触点的继电器



电路图设计

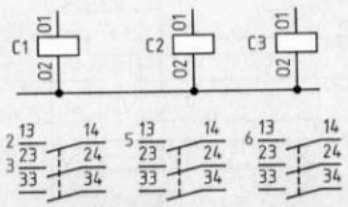
电流节点及电路分布

- 不管实际的空间布局，每一组件按垂直方向分布，并带一个电流节点
- 电流节点由左向右顺序编号
- 控制电路包括信号输入及信号处理组件
- 主电路包括工作元件的最终控制单元
- 空间共用组件，如继电器线圈及继电器触点，均不表达

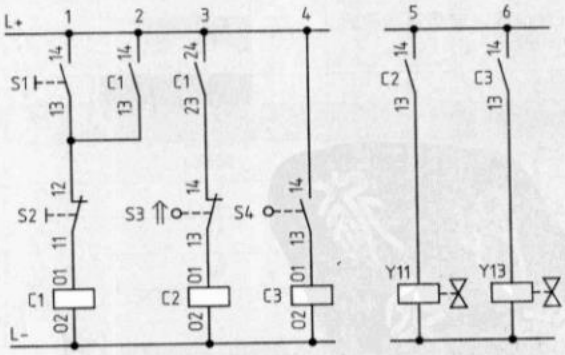


组件标注

- 触点及相关的继电器线圈采用相同的代码标记
  例如：电流节点 1、2 及 3
- 2 个 NO 触点属于继电器线圈 C1，它们均标记为 C1，用于锁紧继电器线圈
- 所有继电器触点记为一个完整继电器触点组或继电器电路下方的表格。两者均表示触点所在的电流节点



触点组表示



触点 C1	节点
13－14	2
23－24	3

触点 C2	节点
13－14	5

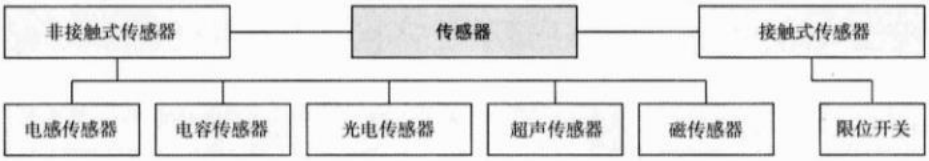
触点 C3	节点
13－14	6

表格表示

关注公众号：机械工程师成长营

传感器

传感器（摘选）



传感器特性

类型	符号	原理	优点	缺点	量程
电感式		若被测物体干涉传感器磁场则触发	高等级防护（IP67），开关点精度很高	仅适用于金属或石墨等材料，金属屑堆积时不适应	1 ~ 150 mm
电容式		若被测物体干涉传感器电场则触发	高等级防护（IP67），能探测所有材料，容许脏物	小物体检测，量程比电感式要大	20 ~ 40 mm
光电式		若被测物体反射传感器红外线则触发	能探测所有材料，量程大	对污物及光的次级反射敏感，需辅助电源	约 2 m
超声式		计算超声脉冲的反射时间以确定对被测物体的距离	容许脏物、灰尘及光，在大测量范围内能检测很小物体	反应慢，不适于超压或减压的情况，或有爆炸危险的区域	60 mm ~ 6 m
磁铁式		永久磁铁启动接近开关（舌簧触点）并采用两个接触弹簧	适用于恶劣环境，寿命长，适用于高频电路的开关	触点接合的危险，抑制 RC 系数的电流峰值	—
机械式		通过手动启动或杠杆系统触发	低价格，稳定，体积小，不易受干扰，不需辅助电源	接触抖动，不能用于食品和化学工业	—

非接触式传感器

cf. DIN EN 60947 – 5（2000 – 12）

举例：

U 1 A30 A F 2 N

类型	机械安装方式	设计及尺寸	电元件功能	输出形式	连接形式	NAMUR功能
I 电感式 C 电容式 U 超声式 D 光电漫反射光束 M 磁铁式 R 光电反射光束 T 光电直接光束	1 可平镶安装 2 不可平镶安装 3 未指定	形式 A 圆柱螺纹套 B 光滑圆柱套 C 带方形截面的矩形 D 带矩形截面的方形 尺寸（2 位数字） 表示直径或边长	A NO 触点 B NC 触点 C 单极双掷 P 用户可编程 S 其他	P PNP 输出，3 ~ 4 个 DC 连接 N NPN 输出，3 ~ 4 个 DC 连接 D 2 个 DC 连接[2)] F 2 个 AC 连接[2)] U 2 个 AC 或 DC 连接 S 其他	1 集成连接线 2 插头连接 3 螺纹连接 4 ⋮ 8 不用 9 其他类型连接	N NAMUR[3)] 功能 注：NAMUR 传感器为连接外部开关放大器的 2 线传感器

1) DC = 直流
2) AC = 交流
3) NAMUR = Normenarbeitsgemeinschaft fur Mess und Regelungstechnik（测量与控制标准化协会）

关注公众号：机械工程师成长营

安全预防*

电击安全防护

cf. DIN VED 0 100 – 410 (2003 – 06)

对直接和间接接触的保护

通过以下措施：
—安全极低电压（SELV）
—保护极低电压（PELV）
—功能极低电压（FELV）

电击防护
正常情况下：直接接触

通过以下措施：
—有源端的绝缘保护，如：电缆
—绝缘层，如：电力装置的防护罩
—保持距离，如防护套，机器屏幕罩
—设置障碍，如保护屏，外壳

电击防护
漏电情况下：间接接触

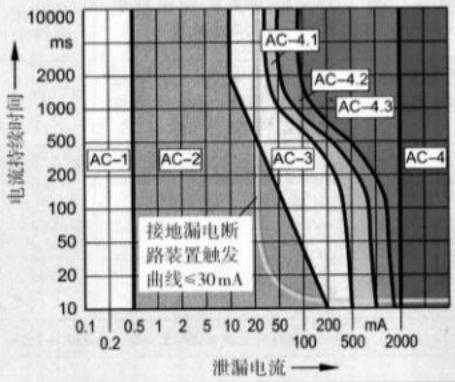
通过以下措施：
—自动断电或报警，如残余电流保护装置
—电位平衡
—不导电场所，如绝缘保护层
—绝缘保护，如带绝缘材料的密封罩

通过残余电流断电器 GFI 附加保护：
接地漏电断路器

交流电影响

vgl. IEC 60479 – 1 (1994)

成人手 – 手之间或手 – 足之间的 50Hz 交流电流安全曲线



区间	身体影响
AC – 1	一般无影响
AC – 2	一般无损伤身体影响
AC – 3	通常无组织器官损坏，呼吸困难（> 2 s）肌肉痉挛。
AC – 4. 1	5 % 可能性的心肌纤维颤动
AC – 4. 2	小于 50 % 可能性的心肌纤维颤动
AC – 4. 3	大于 50 % 可能性的心肌纤维颤动
AC – 4	心脏、呼吸停止，极度灼伤（随电流持续时间和电流强度而增加）

自动熔断器和电线截面积

cf. DIN VDE 0 1000 – 430 (1991 – 11)

熔断器额定电流 I_n (A)	熔断器颜色	不同敷设方法铜线的最小截面积 (mm^2)							
		A1		B1		B2		C	
		负载电线数							
		2	3	3	3	2	3	2	3
10 (13)	红	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
16	灰	1.5	2.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
20	蓝	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.5	2.5
25	黄	4	4	2.5	4	4	4	2.5	2.5
35	黑	6	6	6	6	6	6	4	4
50	白	10	16	10	10	10	10	10	10

电缆和绝缘电线敷设方法

cf. DIN VDE 0 298 – 4 (2003 – 08)

A1		敷设在处于热绝缘墙内的电线管中	B2		敷设在电线管中、墙内、电缆槽中或踢脚板后
B1		敷设在墙内的电线管中、墙内或电缆槽中	C		直接装在墙上或墙内

*）根据欧洲标准

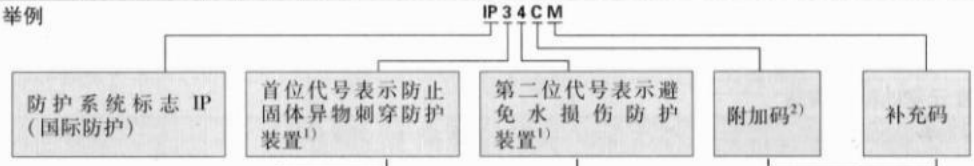
关注公众号：机械工程师成长营

安全预防*

电装置的防护系统

cf. DIN EN 60529（2000－09）

举例



代号	首位代号		
	意外接触防护	异物防护	
0	无防护	无防护	
1	能防止手背接触	能防止直径 $d \geq 50$ mm 的异物刺穿	
2	能防止手指或直径 $d = 12$ mm 的物体接触	防止直径 $d \geq 12.5$ mm 的异物刺穿	
3	能防止直径 $d = 2.5$ mm 的工具接触	能防止直径 $d \geq 2.5$ mm 的异物刺穿	
4	能防止直径 $d = 1$ mm 的电线接触	能防止直径 $d \geq 1$ mm 的异物刺穿	
5	能防止直径 $d = 1$ mm 的电线接触	怕尘	符号
6	能防止直径 $d = 1$ mm 的电线接触	防尘	

代号	第二位代号	
	防水	符号
0	无防护	无
1	能防止垂直滴水	
2	装置倾斜 15°时能防止滴水	
3	能防止与垂直线成 60°方向的淋水	
4	能防止任何方向的溅水	
5	能防止任何方向的喷水	
6	能防止任何方向的强烈喷水	
7	暂时浸水的防护	
8	长期潜水的防护	...kPa

附加码	
A	能防止手背接触
B	能防止手指接触（或直径 $d = 12$ mm，长 80 mm 的物体）
C	能防止与工具接触（直径 $d = 2.5$ mm，长 100 mm）
D	能防止与电线接触（直径 $d = 1$ mm，长 100 mm）

补充码	
H	高压装置
M	运行时机器的进水口试验
S	停机时机器的进水口试验
W	适应特定气候条件

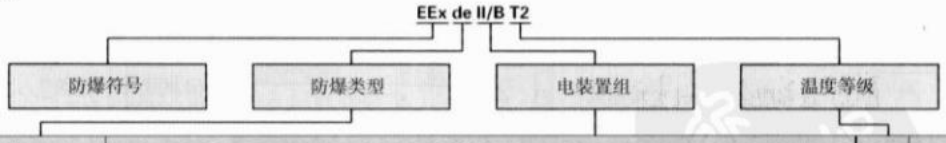
1）如果代号未给出，用字母 X 代替。如 IP X6 或 IP 3X

2）仅在防护级别大于首位代号时给出

易爆炸区域的电装置

cf. DIN EN 13237（2003－01）

举例



代码	类型	组 II			代码	表面温度
		A	B	C		
o	油浸	遇到下列气体的爆炸危险			T1	450 ℃
p	高压密封	甲烷、丙烷、丁烷、丙烯、苯、甲苯、萘、松油、石油、汽油、燃油、柴油、一氧化碳、甲醇、聚乙醛、丙酮、酸、氯化物	乙烯、丙烯（醛基）亚硝酸盐、氰化氢、二甲醚、氧化丙烯、炼焦炉气体	氢、乙炔、二硫化碳、乙基亚硝酸盐	T2	300 ℃
q	填砂				T3	200 ℃
d	防火罩				T4	135 ℃
e	增强安全				T5	100 ℃
i	内在安全				T6	85 ℃

*）根据欧洲标准

关注公众号：机械工程师成长营

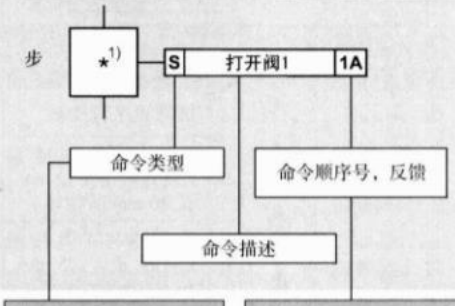
顺序功能图

cf. DIN EN 60848（2002－12）
DIN40719－6（1992－02）

DIN EN 60848 及 DIN40719－6 可一起使用
DIN40719－6 于 2005 年 4 月 1 日失效
顺序功能图是循环控制的图形设计语言。但它没有表示所用装置的类型、管线的方向及设备的安装

语言元素的图形表达

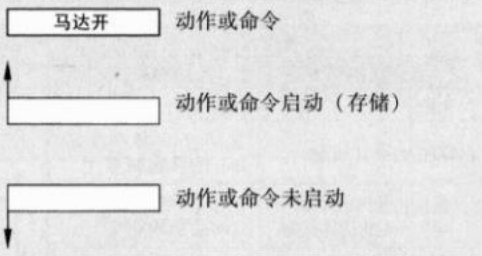
DIN 40719 动作符号



命令类型		反馈
S 保存 D 延时 L 限时 P 脉冲	C 条件 F 释放条件 N 不存储	A 发出命令 R 获得命令结果 X 未获得错误命令结果

1）对应于步名称的位置保持器

DIN EN 60848 动作符号

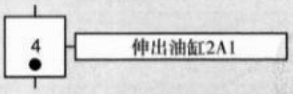
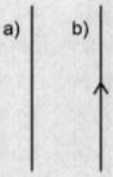
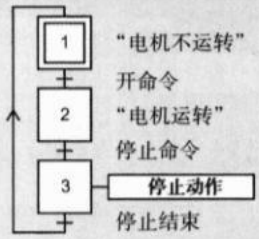


附加符号



包含步（包括几个其他步）　包含初始步　宏步

DIN EN 60848 及 DIN40719－6 命令符号

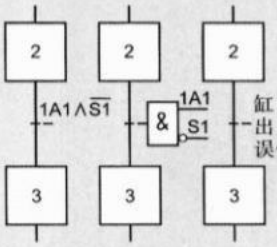
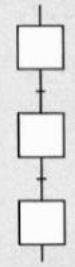
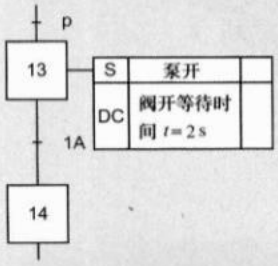
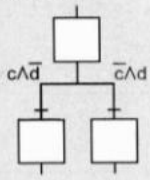
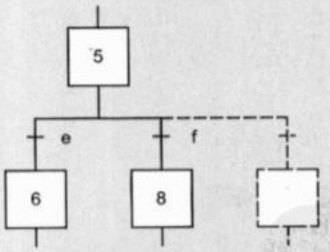
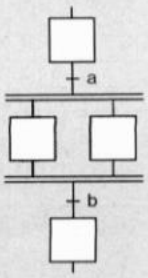
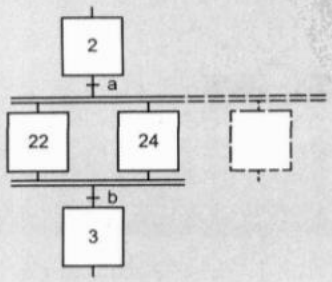
符号	说明	举例	说明
步			
	一般步		步号为 5 的步
	确认初始控制条件的初始步		初始步 1
	过程限定条件设置步显示		步 4 的命令设定为：“伸出油缸 2A1”
流程线			
	流程线 a）由上向下 b）由下向上		电动机的操作模式为： 第 3 步后流程返回到初始步 1

关注公众号：机械工程师成长营

顺序功能图

cf. DIN EN 60848（2002－12）
DIN40719－6（1992－02）

链接的基本设计

符号	说明	举例	说明
转换条件			
	转换条件符号 设置下一步的先决条件： • 前一步必须设定 • 转换条件必须满足		转换条件可由以下表示： 文本语句 布尔运算 图形符号 直到缸1A1已伸出且无错误信息（$\overline{S1}$）存在，才执行步3
顺序串（顺序操作）			
	单流程由一系列步首尾相接构成，步和转换交替进行。每一个转换由步释放		泵通过信号p打开 压力建立两秒后，相关的阀被打开 信号1A到来，两个动作结束，触发步14
选择分支（交替操作）			
举例： 选择分支 	选择分支中，一个步骤链分支出几个指令系列区分： • 选择分支 • 选择联接		选择分支： 步5设置为： a）转换条件“e”满足，分支到步6（e＝1）或 b）转换条件“f”满足，分支到步8（f＝1）
并行分支（并行操作）			
	指令被分支到多个同时进行的指令系列，相互之间独立运行 只有当所有分支完成后，才执行下一步		只有满足以下条件，从步2到步22，24等可以发生 a）步2被设置 及 b）共同转换条件“a”满足（a＝1）

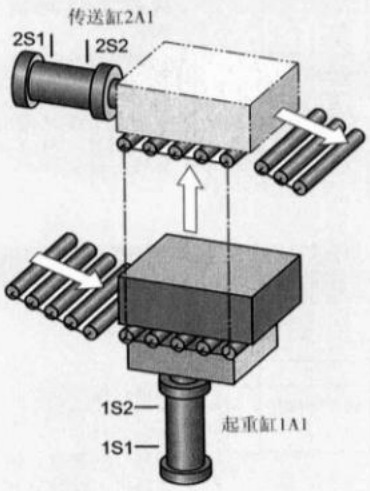
关注公众号：机械工程师成长营

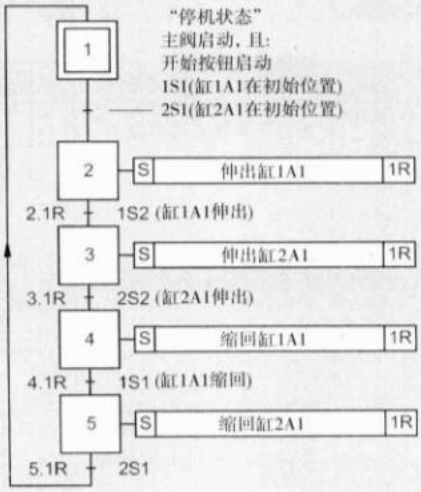
顺序功能图

cf. DIN EN 60848（2002－12）
DIN40719－6（1992－02）

举例：起重装置

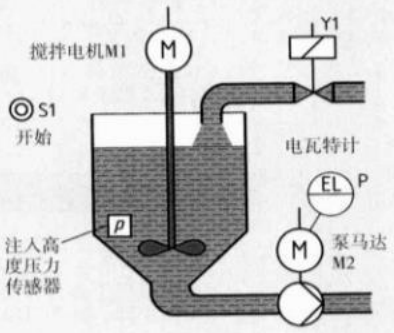
工件由起重缸举起并通过传送缸推送到滚轴输送机
启动主阀，启动按钮使起重缸 1A1 伸出，提升工件并在最终位置启动行程开关 1S2，使传送缸 2A1 伸出，将工件推上滚轴输送机并启动行程开关 2S2，缸 1A1 返回至初始位置，启动 1S1 使缸 2A1 缩回

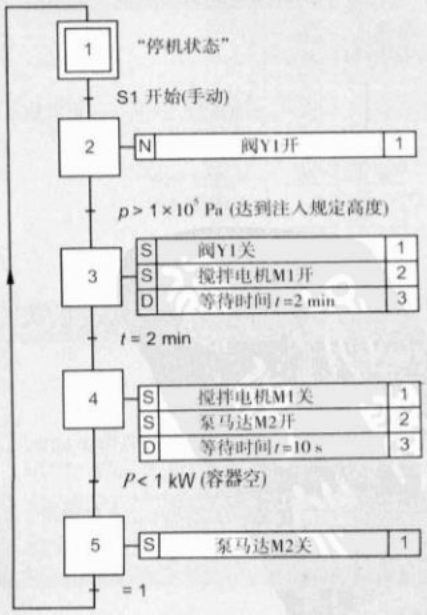




举例：搅拌机控制

颜料流入搅拌箱搅拌，再用泵抽出
打开阀 Y1 使颜料流入，直到注入至规定高度
然后打开电动机 M1，颜料搅拌 2 分钟。关闭电动机 M1 启动泵马达 M2（运行时间至少 10 s），容器被抽干。泵马达 M2 的关闭标准是马达功率的下降在 1 kW 以下（容器空）





关注公众号：机械工程师成长营

信号－状态图

机器及生产设备的状态及状态改变是采用信号－状态图的图形表达。它们又分为路径图和状态图
路径图用符号表示工作单元的路径
状态图提供了一个或多个工作单元的功能序列的二维表达以及控制系统部件之间的逻辑关系。部件的状态沿垂直轴线表示，控制系列的时间或步骤沿水平轴线表示

信号－状态图符号

运动及功能

路径及运动	功能线	路径及运动界限
直线 工作运动	部件的停机和初始位置	路径界限 一般符号
直线 空载运动	停机或初始位置与其他条件下位置的偏差	使用信号单元的路径界限

信号单元

手动控制	机械控制	液压或气动控制
开	行程开关在最终位置启动	p 6×10^5 Pa 压力开关设置为 6×10^5 Pa
关	行程开关在通过较长路径后启动	t 2 s 定时器单元设置为 2 s
开/关		

信号组合

信号线开始于信号输出，终止于状态改变点	信号分支以点作为标记	与状态 信号合并以粗短斜线标记

设计一个信号－状态图

油（气）缸	带两个开关的位置阀	手动控制信号单元
步骤1：从初始位置1移动至位置2 步骤2：保持位置不变 步骤3：从位置2移动至初始位置1	步骤1：从初始位置b转换至位置a 步骤2及3：保持位置不变 步骤4：从位置a转换至初始位置b	步骤2：开关开；控制单元由b转换至a

举例：机械控制最终控制单元

步骤

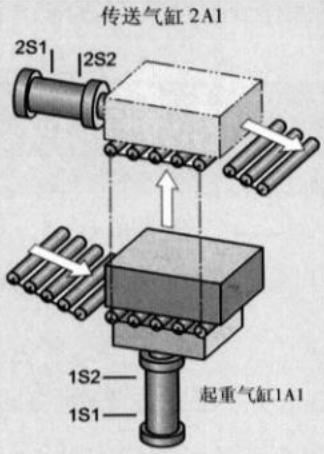
步骤1：最终控制单元将方向控制阀由b转换至a，使油（气）缸1A1伸出
步骤2：油（气）缸启动信号单元1S1
信号单元1S1控制计时器
计时器停止计时（2 s）
步骤3：计时器控制方向控制阀由a转换至b，油（气）缸1A1缩回到初始位置

关注公众号：机械工程师成长营

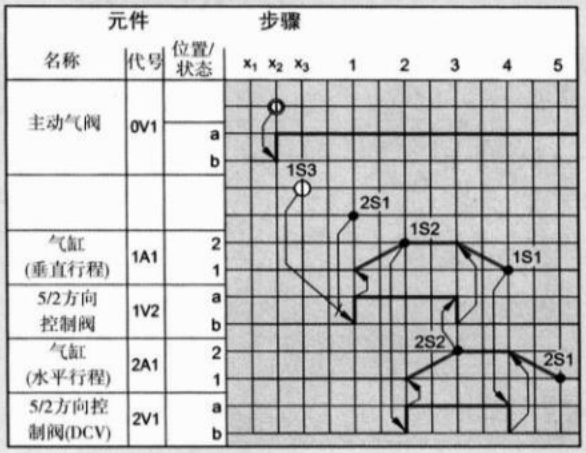
信号－状态图

举例：气动控制起重装置

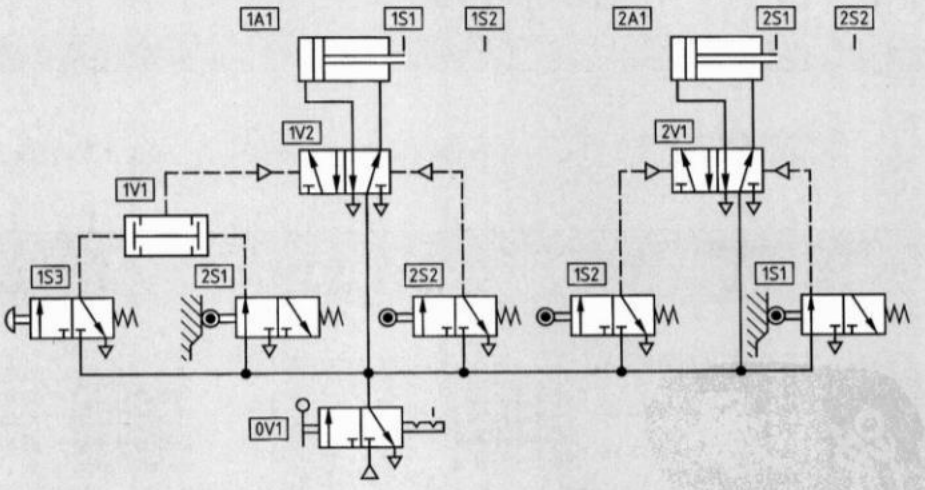
示意图



信号－状态图



气动回路图



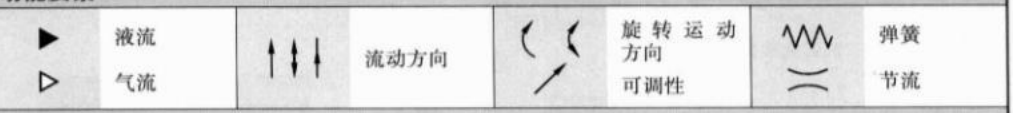
元件表

标注	名称	标注	名称
1A1	双作用缸	1S1	二位三通（3/2）换向阀，滚轮式
2A1	双作用缸	1S2	二位三通（3/2）换向阀，滚轮式
0V1	二位三通（3/2）换向阀，带锁定装置手动	1S3	二位三通（3/2）换向阀，按钮式
1V1	双压阀	2S1	二位三通（3/2）换向阀，滚轮式
1V2	二位五通（5/2）换向阀，气控	2S2	二位三通（3/2）换向阀，滚轮式
2V1	二位五通（5/2）换向阀，气控		

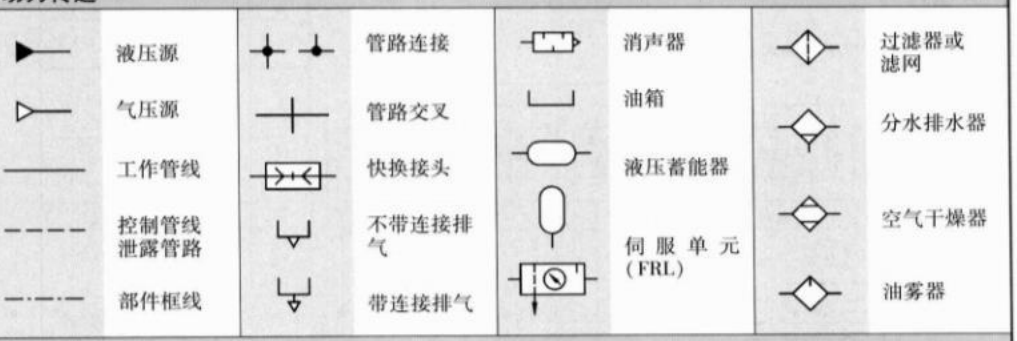
关注公众号：机械工程师成长营

回路符号 cf. DIN ISO 1219－1（1996－03）

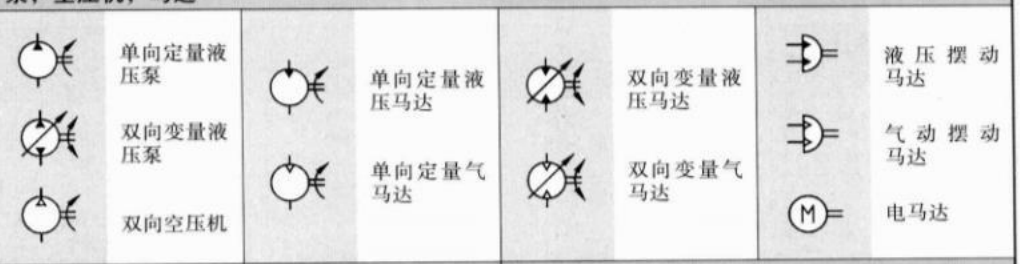
功能要素



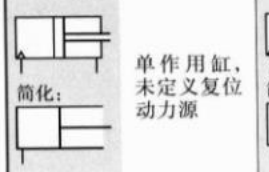
动力传送



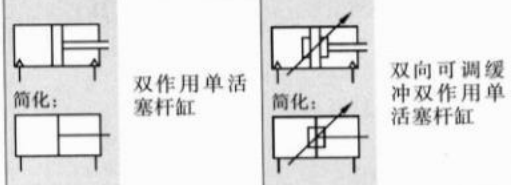
泵，空压机，马达



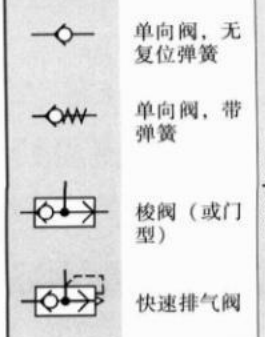
单作用缸



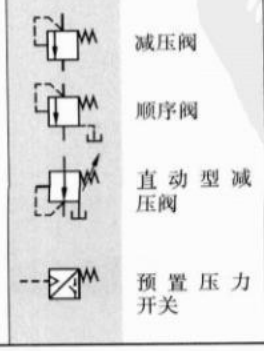
双作用缸



单向控制阀



压力控制阀



流量控制阀



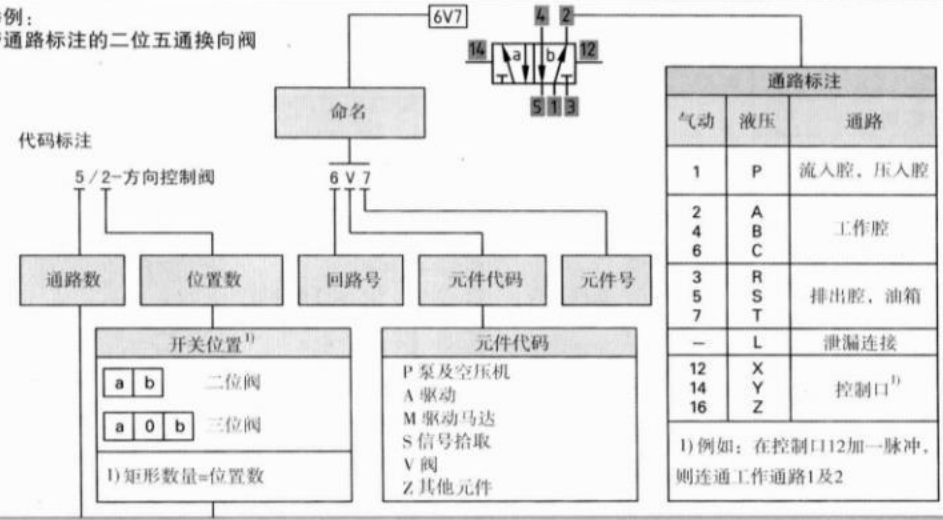
关注公众号：机械工程师成长营

回路符号

方向控制阀通路标注及代码

cf. DIN ISO 1219－1（1996－03）

举例：
带通路标注的二位五通换向阀

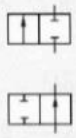


通路标注		
气动	液压	通路
1	P	流入腔，压入腔
2 4 6	A B C	工作腔
3 5 7	R S T	排出腔，油箱
–	L	泄漏连接
12 14 16	X Y Z	控制口1)

1) 例如：在控制口12加一脉冲，则连通工作通路1及2

方向控制阀设计

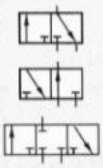
二通阀



二位二通（2/2）换向阀 常闭

二位二通（2/2）换向阀 常开

三通阀

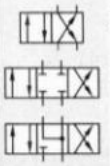


二位三通（3/2）换向阀 常闭

二位三通（3/2）换向阀 常开

三位三通（3/3）换向阀 常闭（中间位置）

四通阀

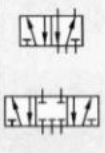


二位四通（4/2）换向阀

三位四通（4/3）换向阀 常闭（中间位置）

三位三通（3/3）换向阀带浮标（中间位置）

五通阀



二位五通（5/2）换向阀

三位五通（5/3）换向阀 常闭（中间位置）

阀芯机能



阀内单通

阀内封闭通道

双通

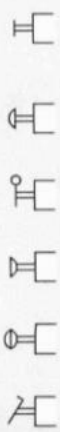
双通带一封闭腔

PABO 连接（H 型）

PO 连接（M 型）

换向阀控制方式

手动



一般符号，未指定控制方式

按钮式

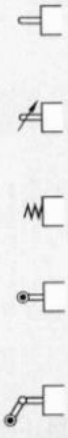
手柄式

拉钮式

按－拉式

踏板式

机控



顶杆式

可变行程控制式

弹簧控制式

滚轮式

单向滚轮式

压力控制



直接控制

先导控制

电控



电磁式

电机式

复合控制



先导电磁控制

机械元件



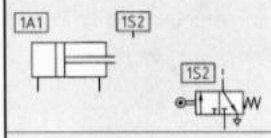
定位装置

关注公众号：机械工程师成长营

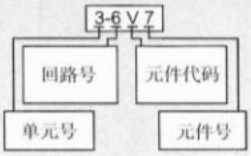
回路图 cf. DIN ISO 1219-2（1996-11）

回路图设计

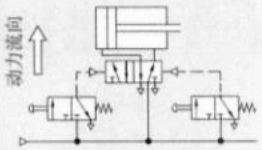
回路1 回路2



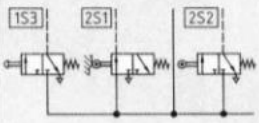
回路被细分为带相应控制单元的下级回路
未考虑元件实际的空间布置



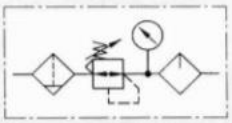
回路图如由几个单元组成，则单元号需给出，从1开始编号



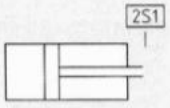
元件按动力流向由下至上并由左至右排列



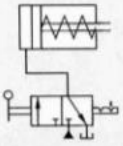
相似元件或组件在同一回路中按相同高度表示



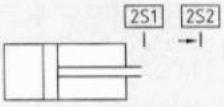
部件，例如单向节流阀或伺服单元（FRL）之类，用点划线框上



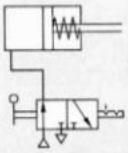
启动控制装置，例如限位开关之类，在其启动位置用一虚线表示



液压元件在加压前按其初始位置表示



用于单向滚轮式控制阀，方向箭头指向虚线

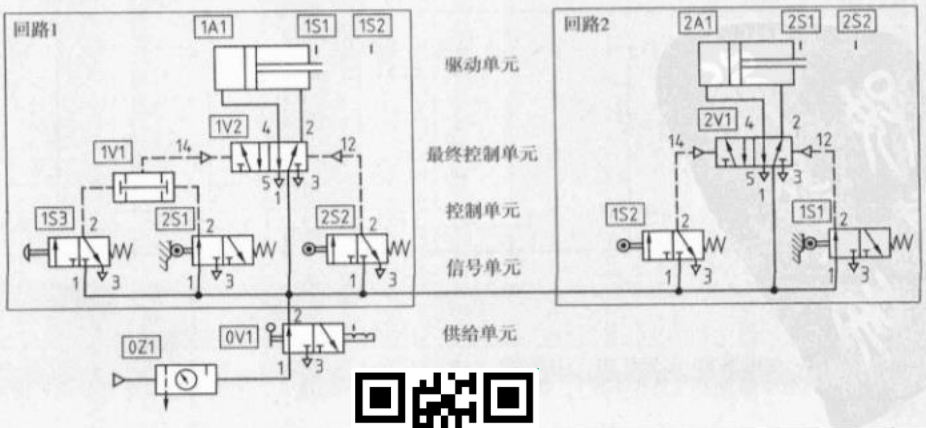


气动元件在加压前按其初始位置表示

回路元件

驱动单元	马达，缸，阀
启动器	控制阀
控制单元	信号组合阀
信号单元	用于触发开关动作的单元
供给单元	伺服单元（FRL），主阀

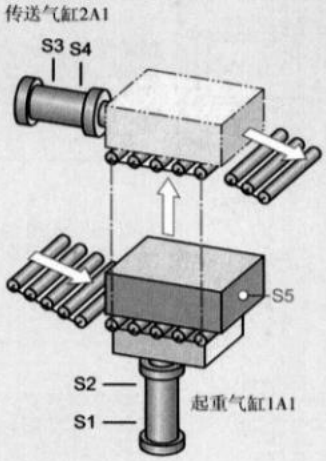
带两气缸的气路图（起重装置）



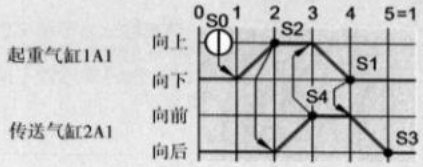
关注公众号：机械工程师成长营

电 – 气动控制

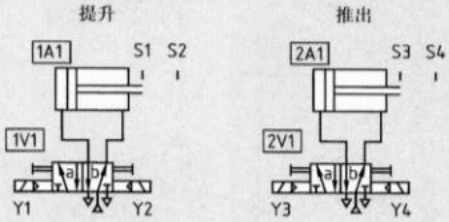
示意图



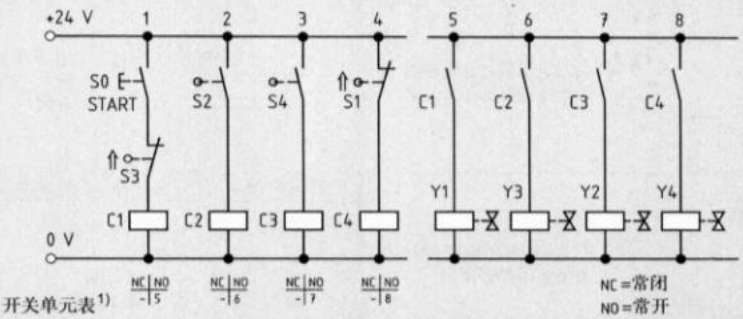
信号 – 状态图



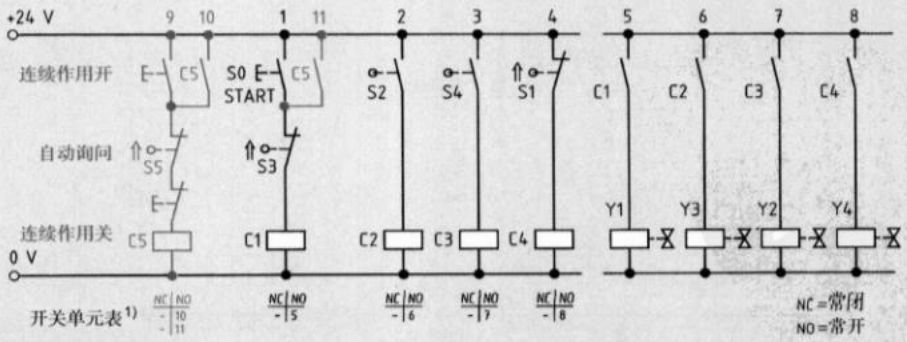
气路图



电路图



带附加功能电路图 – 自动询问及连续作用



举例 继电器 K5：继电器 K5 在节点 10、11 分别有一常开开关

1）开关单元表类似于触点表（第 354 页），在实际中常用到，但未标准化。图表列出了节点处常开或常闭继电器触点

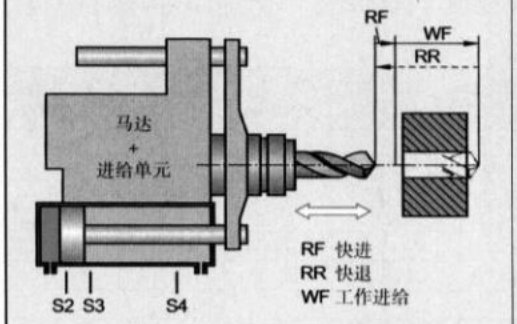
关注公众号：机械工程师成长营

电液控制

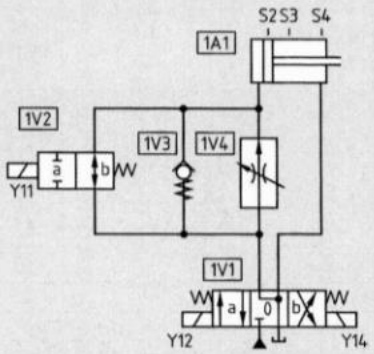
举例：电液控制进给单元

快速进给（RF）时，液压缸移动，并由开关 S3 转换为工作进给（WF）。在完全伸出位置延时 4 s 后，开关 S4 转为快速返回（RR）。工作进给速度由可调流量控制阀（1V4）确定

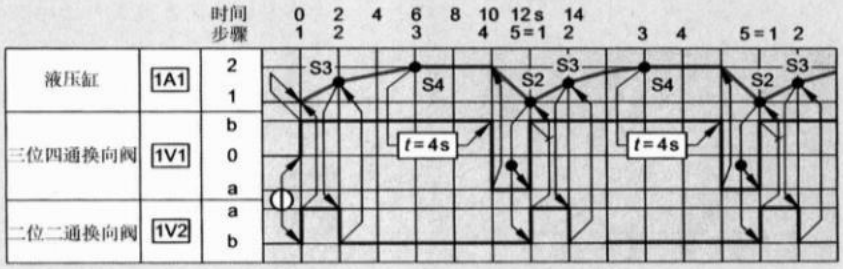
示意图



液压回路图

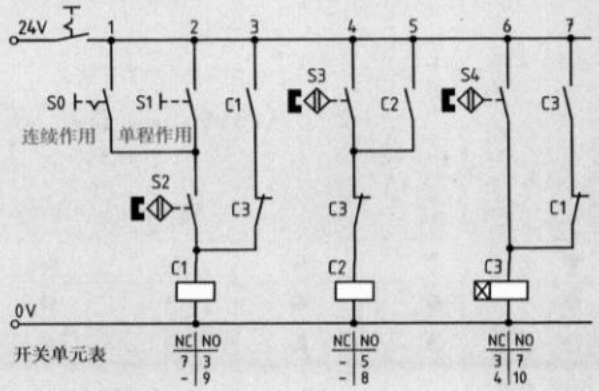


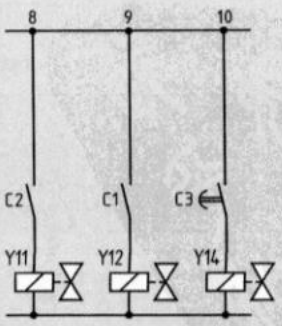
信号 - 状态图（连续作用）



电路图

系统开/关





继电器 C3 操作延时设置为 $t = 4$ s

关注公众号：机械工程师成长营

液压流体

矿物油基液压油

cf. DIN 51524 – 1 至 – 3

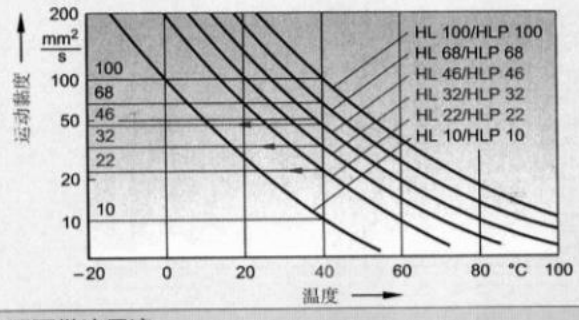
种类	标准	成分影响		应用
HL	DIN 51524 – 1 (1985 – 06)	增强防腐性 + 增强抗老化性	–	高温条件下液压力 ≤ 200 × 10^5 Pa
HLP	DIN 51524 – 2 (1985 – 06)		+ 减小在混合摩擦区由于擦伤造成的磨损	高温条件下，液压泵及液压马达的液压力 > 200 × 10^5 Pa
HVLP	DIN 51524 – 3 (1985 – 08)		+ 减小在混合摩擦区由于擦伤造成的磨损 + 提高黏 – 温性	

性质		HL 10 HLP 10	HL 22 HLP 22	HL 32 HLP 32	HL 46 HLP 46	HL 68 HLP 68	HL 100 HLP 100
运动黏度 (mm^2/s)	– 20 ℃	600	—	—	—	—	—
	0 ℃	90	300	420	780	1400	2560
	40 ℃	10	22	32	46	68	100
	100 ℃	2.4	4.1	5.0	6.1	7.8	9.9
倾点[1] 等于或低于		30 ℃	– 21 ℃	– 18 ℃	– 15 ℃	– 12 ℃	– 12 ℃
闪点大于		125 ℃	165 ℃	175 ℃	185 ℃	195 ℃	205 ℃

1）倾点指在重力作用下还能流动的最低温度

⇒ **液压油 DIN 51524 – HLP 46**：HLP 类型液压油，40 ℃时运动黏度 = 46mm^2/s

HL 及 HLP 液压油黏 – 温图



读图举例

齿轮油泵工作于 40 ℃的平均作业温度。液压油运动黏度允许在 20 ~ 50 mm^2/s 变动

由图可知，满足条件的有如下 6 种液压油：

- **HL 22/HLP 22**
- **HL 32/HLP 32**
- **HL 46/HLP 46**

不可燃液压液

种类	ISO 黏度等级	适合温度（℃）	特性	应用
HFC	15，22，32，46，68，100	– 20 ~ + 60	含水单分子体及聚合物溶液，耐磨性好	采矿，印刷机械，焊接机械，锻压机
HFD		– 20 ~ + 150	不含水合成液，抗老化性及润滑性好，可在较宽温度范围工作	高作业温度的液压装置

可降解液压液

cf. VDMA 24569（1994 – 03）

液压液	适应性及性质						
	低温流动性	高温抗氧化性	防锈	与内部涂层的兼容性	密封兼容性	成本效果	流体寿命
不饱和脂	◐	◐	●	◔	◕	◐	◕
饱和脂	●	●	●	◕	◕	◔	●
聚二醇油	●	●	◔	◔	◕	◐	◕

适应性：● 很好 ◕ 好 ◐ 一般 ◔ 有限/不足

关注公众号：机械工程师成长营

气 缸

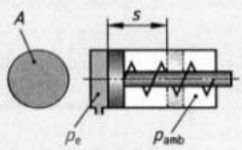
尺寸及活塞杆作用力

活塞直径		12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200
活塞杆直径（mm）		6	8	8	10	12	16	20	20	25	25	32	40	40
连接螺纹		M5	M5	G1/8	G1/8	G1/8	G1/8	G1/4	G3/8	G3/8	G1/2	G1/2	G3/4	G3/4
$pe = 6 \times 10^5$ Pa 时的推力[1]（N）	单作用缸[2]	50	96	151	241	375	644	968	1560	2530	4010	—	—	—
	双作用缸	58	106	164	259	422	665	1040	1650	2660	4150	6480	10600	16600
$pe = 6 \times 10^5$ Pa 时的推力[1]（N）	双作用缸	54	79	137	216	364	560	870	1480	2400	3890	6060	9960	15900
行程（mm）	单作用缸	10，25，50					25，50，80，100					—		
	双作用缸	~160	~200	~320	10，25，50，80，100，160，200，250，320，400，500									

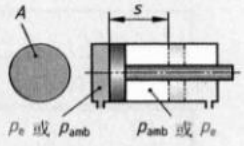
1）单个气缸效率 $\eta = 0.88$　　2）考虑弹簧反作用力

耗气量的计算

单作用缸



双作用缸



（返回时）　（返回时）

Q 耗气量　　A 活塞面积
p_e 计示压力　　q 每厘米行程单位耗气量
p_{amb} 气缸背压
n 行程数　　s 活塞行程

举例：

单作用缸 $d = 50$ mm；
$s = 100$ mm；$p_e = 6 \times 10^5$ Pa；$n = 120$/min；
$p_{amb} = 1 \times 10^5$ Pa；求耗气量 Q（单位：L/min）？

$$Q = A \cdot s \cdot n \cdot \frac{p_e + p_{amb}}{p_{amb}}$$

$$= \frac{\pi \cdot (5\ \text{cm})^2}{4} \cdot 10\ \text{cm} \cdot 120 \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{(6+1) \times 10^5\ \text{Pa}}{1 \times 10^5\ \text{Pa}}$$

$$= 164934\ \text{cm}^3/\text{min} \approx 165\ \text{L/min}$$

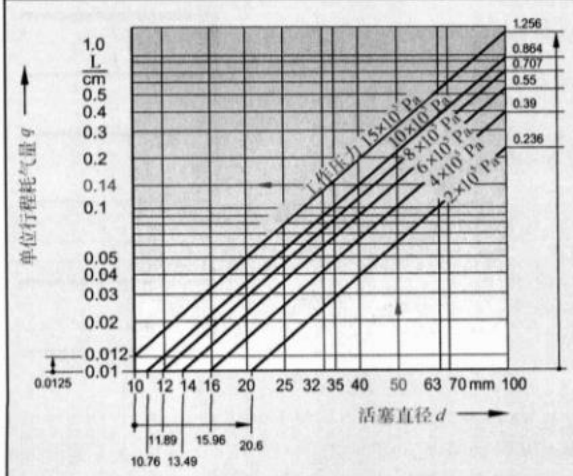
单作用缸耗气量[1]

$$Q = A \cdot s \cdot n \cdot \frac{p_e + p_{amb}}{p_{amb}}$$

双作用缸耗气量[2]

$$Q \approx 2 \cdot A \cdot s \cdot n \cdot \frac{p_e + p_{amb}}{p_{amb}}$$

耗气量图解计算法



单作用缸耗气量[1]

$$Q = q \cdot s \cdot n$$

双作用缸耗气量[1]

$$Q \approx 2 \cdot q \cdot s \cdot n$$

举例：

计算单作用缸耗气量，$d = 50$ mm，$s = 100$ mm，$n = 120$/min，由图可得，$p_e = 6 \times 10^5$ Pa 时的单位行程耗气量为：

$q = 0.14$ L/cm.

$Q = q \cdot s \cdot n$

$= 0.14$ L/cm $\cdot$ 10 cm $\cdot$ 120/min

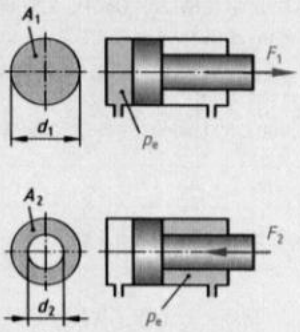
$= 168$ L/min

1）当存在死区时，实际耗气量将多出 25 %。死区包括活塞终点位置时的缓冲区域以及气缸与换向阀之间的压缩空气管路。活塞杆截面积未考虑

关注公众号：机械工程师成长营

作用力计算

活塞作用力



p_e 计示压力　　d_1 活塞直径
A_1，A_2 活塞面积　　d_2 活塞杆直径
F_1 伸出时作用力　　η 效率
F_2 缩回时作用力

举例：

液压缸 $d_1 = 100$ mm，$d_2 = 70$ mm，$\eta = 0.85$，$p_e = 60 \times 10^5$ Pa，问活塞有效作用力是多少？

伸出时：

$$F_1 = p_e \cdot A_1 \cdot \eta = 600 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (10\ \text{cm})^2}{4} \cdot 0.85$$
$$= 40055\ \text{N}$$

缩回时：

$$F_2 = p_e \cdot A_2 \cdot \eta = 600 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\pi \cdot [(10\ \text{cm})^2 - (7\ \text{cm})^2]}{4} \cdot 0.85$$
$$= 20428\ \text{N}$$

有效作用力

$$F = p_e \cdot A \cdot \eta$$

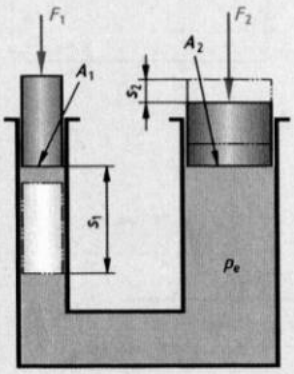
压力单位

$1\ \text{Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5}\ \text{bar}$

$1\ \text{bar} = 10\ \text{N/cm}^2 = 0.1\ \text{N/mm}^2$

$1\ \text{mbar} = 100\ \text{Pa} = 1\ \text{hPa}$

液压机



在一定液体或气体内，压力在各个方向等值分布

F_1 施压活塞上的作用力
F_2 工作活塞上的作用力
A_1 施压活塞面积
A_2 工作活塞面积
s_1 施压活塞行程
s_2 工作活塞行程
i 液力传递比

举例：

$F_1 = 200$ N；$A_1 = 5\ \text{cm}^2$；$A_2 = 500\ \text{cm}^2$；
$s_2 = 30$ mm；$F_2 = ?$；$s_1 = ?$；$i = ?$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot A_2}{A_1} = \frac{200\ \text{N} \cdot 500\ \text{cm}^2}{5\ \text{cm}^2} = 20000\ \text{N} = 20\ \text{kN}$$

$$s_1 = \frac{s_2 \cdot A_2}{A_1} = \frac{30\ \text{cm} \cdot 500\ \text{cm}^2}{5\ \text{cm}^2} = 3000\ \text{mm}$$

$$i = \frac{F_1}{F_2} = \frac{200\ \text{N}}{20000\ \text{N}} = \frac{1}{100}$$

排出体积

$$A_1 \cdot s_1 = A_2 \cdot s_2$$

两个活塞上的做功

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

力、面积、行程比

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{s_1}{s_2}$$

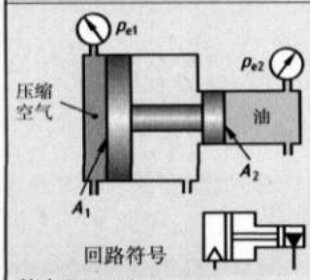
传递比

$$i = \frac{F_1}{F_2}$$

$$i = \frac{s_2}{s_1}$$

$$i = \frac{A_1}{A_2}$$

增压器



回路符号

摘自 DIN ISO 1219－1

A_1，A_2 活塞面积
p_{e1} 活塞面积 A_1 的计示压力
p_{e2} 活塞面积 A_2 的计示压力
η 增压器效率

举例：

$A_1 = 200\ \text{cm}^2$；$A_2 = 5\ \text{cm}^2$；$\eta = 0.88$；
$p_{e1} = 7 \times 10^5\ \text{Pa} = 70\ \text{N/cm}^2$；$p_{e2} = ?$

$$p_{e2} = p_{e1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \eta = 70 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{200\ \text{cm}^2}{5\ \text{cm}^2} \cdot 0.88$$
$$= 2464\ \text{N/cm}^2 = 2.464 \times 10^7\ \text{Pa}$$

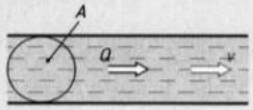
计示压力

$$p_{e2} = p_{e1} \cdot \frac{A_1}{A_2} \cdot \eta$$

关注公众号：机械工程师成长营

速度、功率

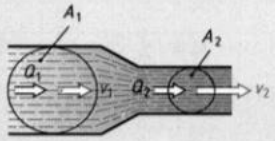
流速



Q，Q_1，Q_2 流量
A，A_1，A_2 面积
v，v_1，v_2 流速

连续性方程
在不等截面管道中时间 t 内，流体流过所有截面的流量 Q 连续

举例：



管道 $A_1=19.6\ \text{cm}^2$；$A_2=8.04\ \text{cm}^2$；
$Q=120\ \text{L/min}$；$v_1=?$；$v_2=?$

$$v_1=\frac{Q}{A_1}=\frac{120000\ \text{cm}^3/\text{min}}{19.6\ \text{cm}^2}=6122\ \text{cm/min}$$
$$=1.02\ \text{m/s}$$

$$v_2=\frac{v_1\cdot A_1}{A_2}=\frac{1.02\ \text{m/s}\cdot 19.6\ \text{cm}^2}{8.04\ \text{cm}^2}=2.49\ \text{m/s}$$

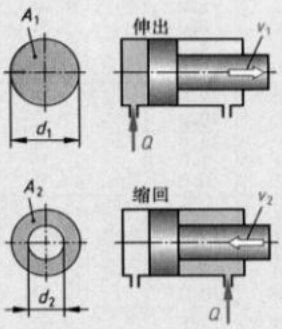
流量

$$Q=A\cdot v$$
$$Q_1=Q_2$$

流速比

$$\frac{v_1}{v_2}=\frac{A_2}{A_1}$$

活塞速度



Q 流量
A_1，A_2 有效活塞面积
v_1，v_2 活塞速度

举例：

活塞直径 $d_1=50\ \text{mm}$ 的液压缸，活塞杆直径 $d_2=32\ \text{mm}$，$Q=12\ \text{L/min}$。求活塞速度。

伸出：

$$v_1=\frac{Q}{A_1}=\frac{12000\ \text{cm}^3/\text{min}}{\frac{\pi\cdot(5\ \text{cm})^2}{4}}=611\ \text{cm/min}$$
$$=6.11\ \text{m/min}$$

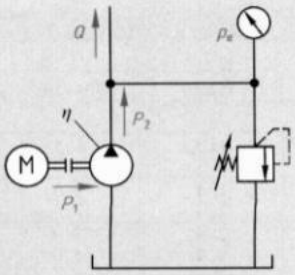
缩回：

$$v_2=\frac{Q}{A_2}=\frac{12000\ \text{cm}^3/\text{min}}{\frac{\pi\cdot(5\ \text{cm})^2}{4}-\frac{\pi\cdot(3.2\ \text{cm})^2}{4}}$$
$$=1035\ \text{cm/min}=10.35\ \text{m/min}$$

活塞速度

$$v=\frac{Q}{A}$$

泵及液压缸的功率



P_1 泵的输入功率
P_2 泵的输出功率
Q 流量
p_e 计示压力
η 效率
M 扭矩
n 转速
9550 转换系数
60000000 转换系数

举例：

泵 $Q=40\ \text{L/min}$；$p_e=125\times10^5\ \text{Pa}$；$\eta=0.84$；
$P_1=?$；$P_2=?$

$$P_2=\frac{Q\cdot p_e}{60000000}=\frac{40\cdot 125\times10^5}{60000000}\ \text{kW}=8.333\ \text{kW}$$

$$P_1=\frac{P_2}{\eta}=\frac{8.333}{0.84}=9.920\ \text{kW}$$

输入功率

$$P_1=\frac{M\cdot n}{9550}$$

输出功率

$$P_2=\frac{Q\cdot p_e}{60000000}$$

效率

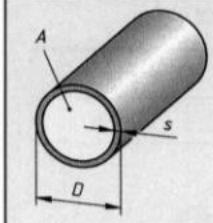
$$\eta=\frac{P_2}{P_1}$$

输入、输出功率公式的单位为：
P：kW，M：N·m，
n：r/min，
Q：L/min，p_e：Pa

关注公众号：机械工程师成长营

精密无缝钢管

液压及气动用精密无缝钢管



材料	E235（St37.4），E355（St52.4）摘自 DIN 1630			
机械性能	材料	抗拉强度 R_m (N/mm^2)	屈服强度 R_e (N/mm^2)	断裂延伸率 EL (%)
	E235	340～480	235	25
	E355	490～630	355	22
	冷加工性好，表面磷化或电镀及镀铬			
应用	用于最大额定压力≤500×10^5 Pa 的液压或气动管路			

输送类型：正常加工长度：6 m，标准化。管子表面粗糙度 $Ra\leqslant4$ μm

⇒ **管子 HPL－E235－NBK－20×2**：液压及气动用精密无缝钢管，材料为 E235，标准化，光亮拉拔，外径 20 mm，壁厚 2 mm。

外径 D (m)	壁厚 s (mm)	过流面积 A (cm^2)	外径 D (m)	壁厚 s (mm)	过流面积 A (cm^2)	外径 D (m)	壁厚 s (mm)	过流面积 A (cm^2)
4	0.8	0.05	20	2.0	2.01	38	2.5	8.55
4	1.0	0.01	20	2.5	1.77	38	4.0	7.07
5	0.8	0.10	20	3.0	1.54	38	5.0	6.16
5	1.0	0.07	20	4.0	1.13	38	7.0	4.52
6	1.0	0.13	22	1.0	3.14	38	10.0	2.55
6	1.5	0.07	22	2.0	2.54	42	2.0	11.34
8	1.0	0.28	22	3.0	2.01	42	5.0	8.04
8	1.5	0.20	22	3.5	1.77	42	8.0	5.31
8	2.0	0.13	25	1.5	3.80	50	4.0	13.85
10	1.0	0.50	25	2.5	3.14	50	5.0	12.57
10	1.5	0.39	25	3.0	2.84	50	8.0	9.08
10	2.0	0.28	25	3.5	2.55	50	10.0	7.07
12	1.0	0.79	25	4.5	2.01	50	13.0	4.52
12	1.5	0.64	25	6.0	1.33	55	4.0	17.35
12	2.0	0.50	28	1.5	4.91	55	6.0	14.52
14	1.0	1.13	28	2.0	4.52	55	8.0	11.95
14	1.5	0.95	28	3.0	3.80	55	10.0	9.62
14	2.0	0.79	28	3.5	3.46	60	5.0	19.64
15	1.0	1.33	28	4.0	3.14	60	8.0	15.21
15	1.5	1.13	30	2.0	5.31	60	10.0	12.57
15	2.5	0.79	30	2.5	4.91	60	12.5	9.62
16	1.0	1.54	30	3.0	4.52	70	5.0	28.27
16	2.0	1.13	30	5.0	3.14	70	8.0	22.90
16	3.0	0.79	30	6.0	2.55	70	10.0	19.64
16	3.5	0.64	35	2.5	7.07	70	12.5	15.90
18	1.0	2.01	35	3.5	6.16	80	6.0	36.32
18	1.5	1.77	35	4.0	5.73	80	8.0	32.17
18	2.0	1.54	35	5.0	4.91	80	10.0	28.27
18	3.0	1.13	35	6.0	4.16	80	12.5	23.76

不同壁厚的额定压力

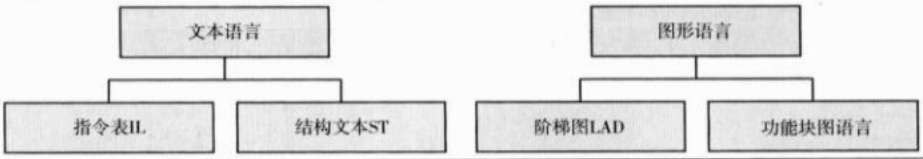
外径 D (mm)	额定压力 p (Pa)					
	64×10^5	100×10^5	160×10^5	250×10^5	320×10^5	400×10^5
	壁厚 s (mm)					
6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5
8	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0
10	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0
12	1.0	1.0	1.5	2.0	2.0	2.5
16	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0
20	1.5	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
25	2.0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
30	2.5	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
38	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
50	4.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0

关注公众号：机械工程师成长营

程序设计语言

PLC 程序设计语言（概述）

cf. DIN EN 61131(2003－12)



PLC 语言公共元素（摘选）

定界符（摘选）

cf. DIN EN 61131(2003－12)

符号	用法	符号	用法
(**)	注释的开始及结尾	:	步名称及变量/类型分隔符 语句标签分隔符（ST） 网络标签分隔符（LAD 及 FBL）
+	十进制数前缀、加法运算符（ST）		
－	十进制数前缀 年－月－日分隔符 减、负运算符（ST） 水平线（LAD 及 FBL）	()	指令表限定词/运算符（ST） 函数自变量（ST） FBL 输入列表定界符（ST）
:=	初始化操作符 赋值操作符（ST）	;	类型声明分隔符 语句分隔符（ST）
#	基数及时间字面值分隔符	"	域分隔符 CASE 域分隔符（ST）
'	字符串开始及结尾	,	列表、初值和索引分隔符 操作数列表、函数自变量列表，CASE 值列表分隔符（ST）
$	字符串中特殊字符的开始	%	直接表达前缀[1]
.	整数/分数分隔符，分级地址和结构元素分隔符	| 或!	垂直线（LD）
e 或 E	实指数定界符		

存储位置的独立元素变量

变量	含义	变量	含义	举例（AWL）
I	存储位置输入	B	字节大小（8 位）	**ST % QB5**[1] 以字节大小存储当前结果，输出存储位置 5
Q	存储位置输出	W	文字大小（16 位）	
M	存储位置标签	D	双精度文字大小（32 位）	
X	（独立）位大小	L	长文字大小（64 位）	

操作符

名称	符号	含义
ADD	+	加
SUB	－	减
MUL	*	乘
DIV	/	除
AND	&	布尔与
OR	≥1[2]	布尔或
XOR	=1	布尔异或
NOT	⊐	非
S	___[3]	置逻辑操作为“1”
R	___[3]	置逻辑操作为“0”
GT	>	比较：大于
GE	> =	比较：大于或等于
EQ	=	比较：等于
NE	< >	比较：不等于
LE	< =	比较：小于或等于
LT	<	比较：小于

基本数据类型

关键词	数据类型	位数
BOOL	布尔数	1
SINT	短整型	8
INT	整型	16
DINT	双精度整型	32
LINT	长整型	64
REAL	实型	32
LREAL	长实型	64
STRING	变量长字符串	-[4]
TIME	时间	-[4]
DATE	日期	-[4]
BYTE	8 位字节	8
WORD	16 位字	16
DWORD	32 位双字	32
LWORD	64 位长字	64

1）独立元素变量的直接表达在前面加符号%
2）操作符在文本语言中时，该符号不允许使用
3）无符号
4）制造商规定

关注公众号：机械工程师成长营

程序设计语言

阶梯图（LD）　　cf. DIN EN 61131（2003－12）

阶梯图表示在机电继电器系统中的流程

符号	描述	符号	描述	符号	描述
直线及方块		触点		线圈	
	水平线 垂直线	... 1)	常开触点 逻辑状态“1”	... 1)	线圈输出激励
	连接线			... 1)	线圈输出断开
	交叉线	... 1)	常闭触点 逻辑状态“0”	... 1)	置位线圈 存储一个操作
... 1)	带连接线的块	... 1)	上升沿检测触点 信号从“0”到“1”	... 1)	复位线圈
	左电源母线	... 1)	下降沿检测触点 信号从“1”到“0”	... 1)	上升沿检测线圈 信号从“0”到“1”
	右电源母线			... 1)	下降沿检测线圈 信号从“1”到“0”

1）元件表示

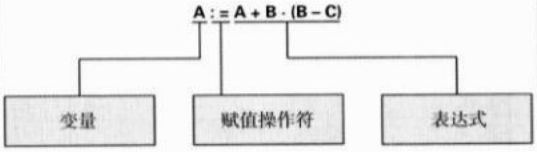
功能块图语言（FBL）　　cf. DIN EN 61131（2003－12）

功能块图语言包含统计数据的独立功能块，在执行频繁的循环功能时用到

符号	描述	符号	描述
	元素为矩形或正方形。输入参数置于左边，输出参数置于右边	AND OR OR	元素必须由水平或垂直的信号线连接
FB 1.2 ADD	块的功能用一个置于块内的名称或符号表示。块标记号位于块的上方		布尔信号的求反用一小圆圈在输入或输出端表示

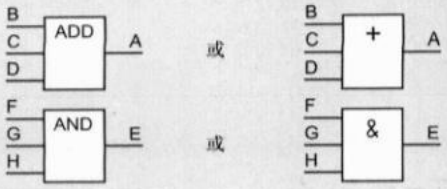
结构文本（ST）　　cf. DIN EN 61131（2003－12）

结构文本为高级语言，建立在 ISO－PASCAL 句法基础上



语句	类型
:=	赋值
IF	条件语句
CASE	选择语句
FOR	循环语句
WHILE	循环语句
REPEAT	循环语句
EXIT	退出循环语句

功能块图语言与结构文本的比较

功能块图（举例）	结构文本（举例）
	A:= ADD(B, C, D) 或 A:= B + C + D E:= AND(F, G, H) 或 E:= F & G & H

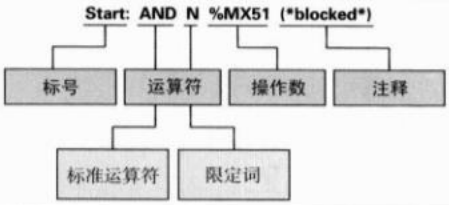
关注公众号：机械工程师成长营

程序设计语言

指令表（IL） cf. DIN EN 61131(2003－12)

指令表为面向机器的文本程序设计语言，类似于汇编语言

指令结构



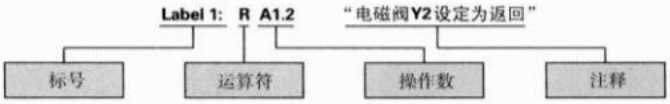
限定词	
N	操作数取反
C	求值结果为“1”时，语句执行
,	多重分隔
(	求值操作延续至“)”出现

标准运算符

运算符	限定词	含义
LD	N	将操作数加载到累加器中
ST	N	将累加器数值加载到操作数中
S	—	置逻辑操作为“1”
R	—	置逻辑操作为“0”
AND	N，(	逻辑与
&	N，(	逻辑与
OR	N，(	逻辑或
XOR	N，(	逻辑异或
ADD	(	加
SUB	(	减
MUL	(	乘
DIV	(	除
GT	(	比较：>
GE	(	比较：>=
EQ	(	比较：=
NE	(	比较：<>
LE	(	比较：<=
LT	(	比较：<
JMP	C，N	转移到标号
CAL	C，N	调用函数块
RET	C，N	返回
)	—	延后运算的处理

信息列表（IL），依据 VDI[1] cf. VDI 2880(1985－09)

指令结构



结构运算符	
L	装入
(	左括弧
)	右括弧
NOP	空操作
SP	无条件转移
SPB	条件转移
BA	调用块
BAB	条件调用块
BE	块结束
"	注释开始
"	注释结束
PE	程序结束

信号处理运算符	
U	与操作
O	或操作
N	非
UN	与非操作
ON	或非操作
=	赋值
ADD	加
SUB	减
MUL	乘
DIV	除
S	置位
R	复位

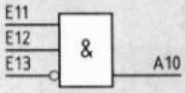
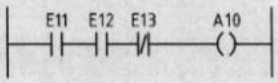
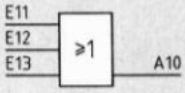
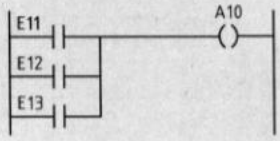
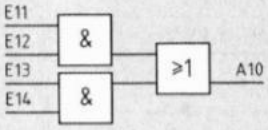
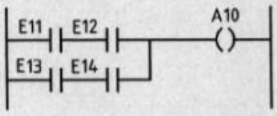
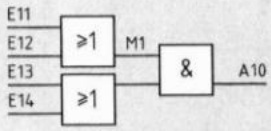
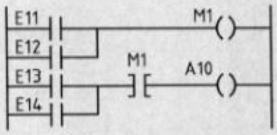
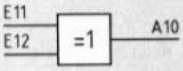
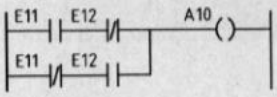
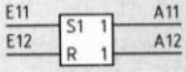
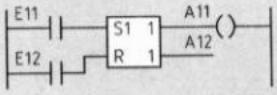
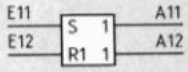
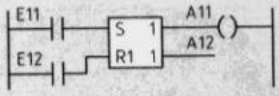
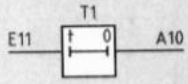
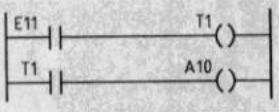
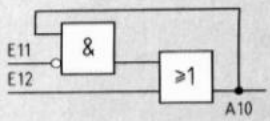
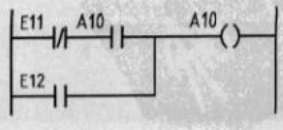
运算符	
ZV	向前计数
ZR	向后计数
XO	异或
运算元	
E	输入
A	输出
M	标志
K	常数
T	计时器
Z	计数器
P	程序块
F	函数块

1）实际上，还有许多根据 VDI 的 PLC 控制语言

关注公众号：机械工程师成长营

程序设计语言

各种最常使用的 PLC 程序设计语言比较

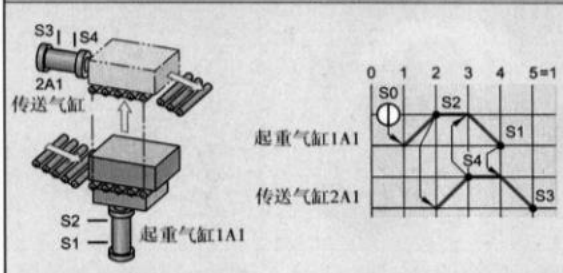
程序组件功能	依据 VDI 的指令表（IL）	功能块图语言（FBL）	阶梯图（LD）
与 带 3 输入	U　E11 U　E12 UN　E13 =　A10		
或 带 3 输入	U　E11 O　E12 O　E13 =　A10		
与或	U　E11 U　E12 O U　E13 U　E14 =　A10		
或与 带标志	U　E11 O　E12 =　M1 U　E13 O　E14 U　M1 =　A10		
异或	U　E11 UN　E12 O　(UN　E11 U　E12) =　A10		
RS 触发器 置位优先	U　E12[1)] R　A11 U　E11 S　A11		
RS 触发器 复位优先	U　E11[1)] S　A11 U　E12 R　A11		
打开 延时	U　E11 =　T1 U　T1 =　A10		
锁存器 开（E12） 优先	U　E12 O　A10 UN　E11 =　A10		

1）触发器采用下列原则：若 S = 1 及 R = 1，指令表中最后的指令有优先权

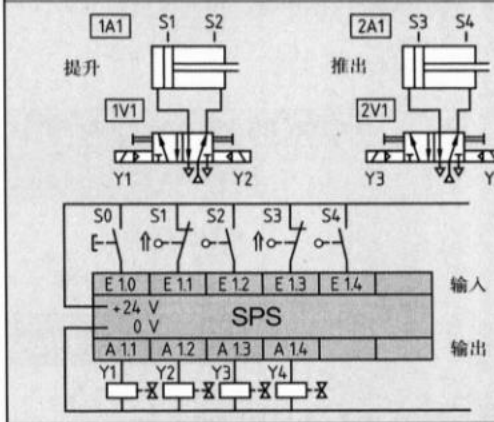
关注公众号：机械工程师成长营

PLC 控制起重装置

示意图 信号－状态图



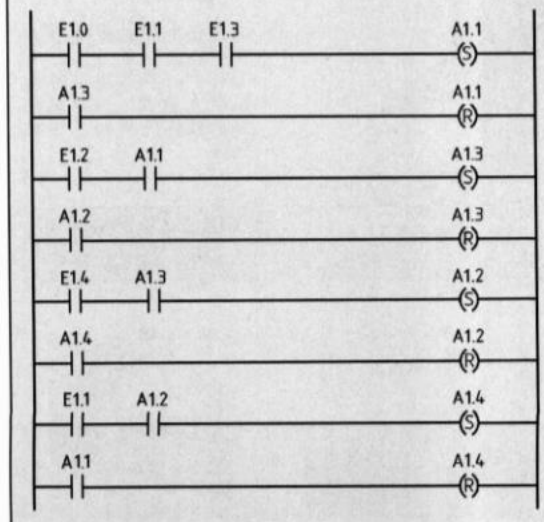
回路图



PLC 地址分配表

标注	信号单元 电磁阀	输入 输出
开始按钮 S0	S0	E1.0
行程开关 S1 气缸 1A1 缩回	S1	E1.1
行程开关 S2 气缸 2A1 伸出	S2	E1.2
行程开关 S3 气缸 2A1 缩回	S3	E1.3
行程开关 S4 气缸 2A1 伸出	S4	E1.4
电磁阀 Y1 气缸 1A1 伸出	Y1	A1.1
电磁阀 Y2 气缸 1A1 缩回	Y2	A1.2
电磁阀 Y3 气缸 2A1 伸出	Y3	A1.3
电磁阀 Y4 气缸 2A1 缩回	Y4	A1.4

阶梯图（LD）



指令表（IL）

```
U   E1.0    “开始按钮 S0 动作”
U   E1.1    “行程开关 S1 动作”
U   E1.3    “行程开关 S3 动作”
S   A1.1    “电磁阀 Y1 置位”
U   A1.3    “电磁阀 Y3 动作”
R   A1.1    “电磁阀 Y1 复位”

U   E1.2    “行程开关 S2 动作”
U   A1.1    “电磁阀 Y1 动作”
S   A1.3    “电磁阀 Y3 置位”
U   A1.2    “电磁阀 Y2 动作”
R   A1.3    “电磁阀 Y3 复位”

U   E1.4    “行程开关 S4 动作”
U   A1.3    “电磁阀 Y3 动作”
S   A1.3    “电磁阀 Y2 置位”
U   A1.4    “电磁阀 Y4 动作”
R   A1.2    “电磁阀 Y2 复位”

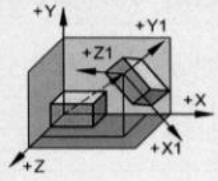
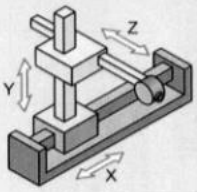
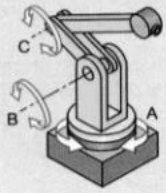
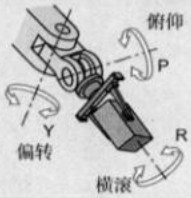
U   E1.1    “行程开关 S1 动作”
U   A1.2    “电磁阀 Y2 动作”
S   A1.4    “电磁阀 Y4 置位”
U   A1.1    “电磁阀 Y1 动作”
R   A1.4    “电磁阀 Y4 复位”
PE          “程序结束”
```

关注公众号：机械工程师成长营

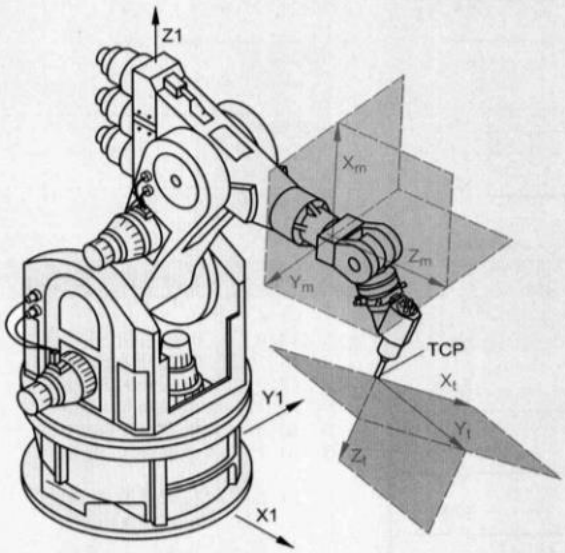
坐标系及坐标轴

cf. DIN EN ISO 9787(2000－07)

机器人坐标轴

坐标系	机器人定位主轴		机器人定向次轴
			
为了在空间操纵工件或刀具，以下条件必须满足： ·3 自由度用于定位 ·3 自由度用于定向	为达到空间理想点位置，必须有 3 根主轴		机器人的 3 根次轴用于空间定向 ·R(横滚) ·P(俯仰) ·Y(偏转)
	笛卡儿坐标机器人	关节臂式机器人	
	3 根平移轴（T 轴）标注为 X、Y 及 Z	3 根旋转轴（R 轴）标注为 A、B 及 C	

坐标系　　cf. DIN EN ISO 9787(2000－07)



底座坐标系

底座坐标系指
·安装平面为 X－Y 面
·机器人中心为 Z 轴

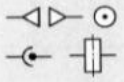
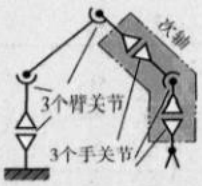
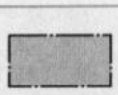
法兰坐标系

法兰坐标系指机器人主轴末端表面

刀具坐标系

刀具坐标系的原点在刀具中心点 TCP
刀具中心点速度被称为机器人速度；刀具运动路径被称为机器人运动轨迹

表达机器人符号（摘选）　　cf. VDI 2861(1998－06)

名称	符号	名称	符号	举例：RRR 机器人
平移轴（T 轴）[1] 平移对齐（伸缩） 平移不对齐		旋转轴（R 轴）[2] 旋转对齐 旋转不对齐		
夹持器		次轴（如：用于横滚、俯仰、偏转）		

1）平移＝直线运动　2）旋转＝旋转运动

关注公众号：机械工程师成长营

机器人设计

cf. DIN EN ISO 9787（2000-07）

机械结构[1]	运动[2]及工作空间	举例	特性及应用范围
笛卡儿坐标机器人	TTT 运动		主轴： ·3 个平移 应用范围： ·工作范围大，常为龙门式 ·刀具及工件以加工单元方式进给 ·板料的激光加工及射流水切割 ·甲板装载
柱面坐标机器人	RTT 运动		主轴： ·1 个旋转 ·2 个平移 应用范围： ·适合于大质量 ·重锻造件或铸件的装卸 ·集装箱及工具箱的搬运 ·上下料
极坐标机器人 1	RRT 运动		主轴： ·2 个旋转 ·1 个平移 应用范围： ·轴 3 为伸缩型，连续较深的工作空间 ·点及简单路径焊接 如：车身焊接 ·模铸造机器的上下料
极坐标机器人 2 类型：SCARA[3]机器人	RRT 运动		主轴： ·2 个水平旋转关节的旋转 ·1 个平移 应用范围： ·主要用于垂直装配 ·点焊及简单路径焊接 ·上下料
关节式机器人	RRR 运动		主轴： ·3 个旋转 应用范围： ·装卸及装配领域 ·复杂路径焊接 ·胶接 ·空间需求低，工作空间大

1）轴的号码标注，轴 1 指第一运动轴
2）R = 旋转轴；T = 平移轴（标注“R”及“T”未标准化）
3）SCARA = 可选柔性装配机械臂

关注公众号：机械工程师成长营

夹持器，工作安全

夹持器

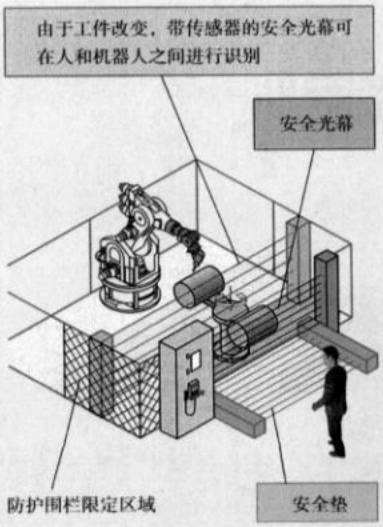
cf. DIN EN ISO 14539（2002－12）及 VDI 2740（1995－04）

夹持器

- 机械式
  - 手爪夹持器
    - 直线式（特性：1 自由度运动）
    - 平面式（特性：3 自由度运动）
    - 空间式（特性：6 自由度运动）
  - 鄂爪夹持器
    - 剪刀式（特性：两个钳爪均绕一个固定轴旋转 频繁使用的夹持器）
    - 平移式（特性：两个钳爪相对平移，夹持箱形工件）
- 气吸式
  - 吸盘
  - 活动手指
- 磁吸式
  - 电磁铁
  - 永久磁铁
  - 钳夹夹持器
    - 弹簧式（特性：夹持力通过弹簧施加 通过施加压力打开夹持器）
    - 重力式（特性：夹持力通过被夹持物体自身重量施加 通过施加压力打开夹持器）
- 黏接式
  - 维可牢尼龙搭扣
  - 针形夹持器（用于纺织工业，通过锥形插销将四个钉盘插入织物中）

工作安全及机器人系统*

cf. DIN EN 775（1993－08）及 VDI 2854（1991－06）



概念	解释
最大空间	包括： · 机器人移动部分 · 刀具法兰 · 工件
限制空间	以免机器人系统最终崩溃的不能进入的最大空间的一部分
分离保护	护栏、防护罩、固定外壳、锁紧装置（DIN EN 1088）
无接触触发保护系统	危险区安全措施：光帘和光栅 区域监视：激光扫描 接近安全措施：光幕和光栅

安全相关重要标准	
DIN EN 292	机器的安全标准、基本术语
DIN EN 61496	机器的安全标准、安全系统无接触触发
DIN EN 418	机器、紧急制动的安全标准
DIN EN 294	机器安全范围，安全距离
DIN EN 457	危害听觉信号
CSA Z 434－03	工业机器人及机器人系统
ANSI R15. 06	工业机器人美国标准

*）根据欧洲标准

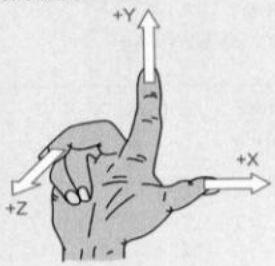
关注公众号：机械工程师成长营

坐标轴

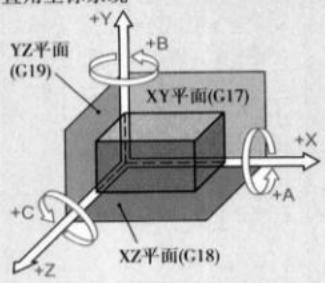
cf. DIN 66217(1975－12)

坐标系统

右手法则



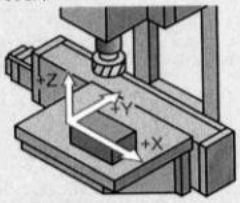
直角坐标系统



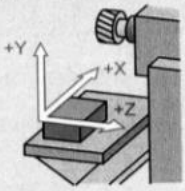
坐标轴 X、Y 及 Z 相互垂直
这种关系可由右手大拇指、食指和中指表示
回转坐标轴 A、B 及 C 分别对应于坐标轴 X、Y 及 Z
当沿轴线正方向看时，正转方向为顺时针方向

编程坐标轴

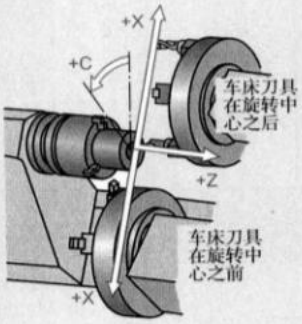
立式铣床



卧式铣床



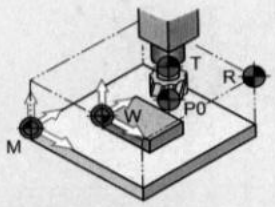
车床

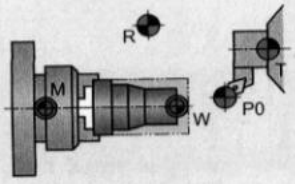


举例：
主轴可编程双刀架车床

坐标轴及运动方向与数控机床的主溜板对齐。它们与含工件原点的工件相对关系非常重要
溜板的正方向移动总是使工件坐标值增大
Z 轴总是位于主轴的方向
为简化编程，假定工件不动，仅仅刀具移动

参考点





M	**机床原点 M** 机床坐标系的原点，由生产厂家确定
P0	**编程原点 P0** 程序开始前，刀具位置点的坐标
R	**参考点 R** 测量系统增量位置原点。相对于机床原点有一定距离，由生产厂家确定
T[1)]	**刀架参考点 T** 位于刀架界面中心。对于铣床为刀具主轴对接面，对于车床，位于旋转刀架的对接面 1）未标准化
W	**工件原点 W** 工件坐标系统原点。在工艺原则基础上由编程人员确定

关注公众号：机械工程师成长营

程序结构

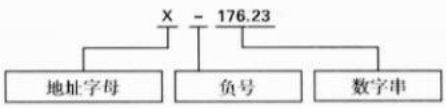
地址码及特殊符号

cf. DIN 66025 – 1(1993 – 01)

地址码（摘选）				特殊符号	
A B C	绕 X 轴旋转 绕 Y 轴旋转 绕 Z 轴旋转	O S	未指定（用户可利用） 主轴速度，恒切割速度	%	程序开始 程序复位时无条件停止
D[1)] E[1)] F	刀具偏置存储 辅助进给 进给	T U[1)]	刀具 平行于 X 轴的相对运动	( )	注释开始 注释结束
G H	准备功能 未指定（用户可利用）	V[1)]	平行于 Y 轴的相对运动	+ –	加 减
I	平行于 X 轴的插补参数及螺纹螺距	W[1)]	平行于 Z 轴的相对运动	, .	逗号 小数点
J	平行于 Y 轴的插补参数及螺纹螺距	X	X 轴方向运动	/ :	任意行跳过 参考行
K	平行于 Z 轴的插补参数及螺纹螺距	Y	Y 轴方向运动	1）这些地址码的意义可以为某些特殊用途修改	
L M N	用户选择 辅助功能 行号	Z	Z 轴方向运动		

控制程序的结构

程序字结构

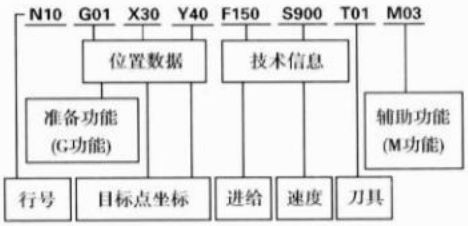


无符号数字串为正值

程序字解释（举例）

X – 176. 23　目标点坐标为 – X 轴方向 176. 23 mm
T0207　换 02 号刀具，补偿号 07
L3403　调用子程序，程序号 34，调用 3 次

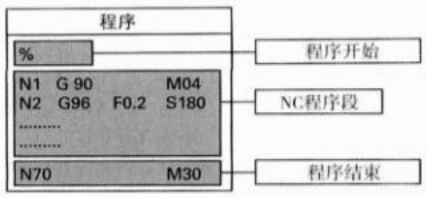
程序段结构



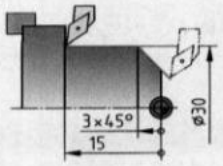
程序段解释

N10　行号
G01　进给，直线插补
X30　目标点 X 方向坐标
Y40　目标点 Y 方向坐标
F150　进给速度 150 mm/min
S900　主轴转速 900/min
T01　换 01 号刀具
M03　主轴正转

程序结构



举例



CNC 程序

```
%01
N1   G90          M04
N2   G96   F0. 2  S180
N3   G00   X20    Z2
N4   G01   X30    Z – 3
N5                Z15
N6   G00   X200   Z200
N7                M30
```

关注公众号：机械工程师成长营

准备功能、辅助功能

cf. DIN 66025 - 2 (1988 - 09)

准备功能

准备功能	特性	含义	准备功能	特性	含义
G00	●	快速点定位	G53	●	选择机床坐标系
G01	●	直线插补	G54 ~ G59	●	工件坐标系 1 ~ 工件坐标系 6
G02	●	顺时针圆弧			
G03	●	逆时针圆弧	G74	●	接近参考点
G04	●	暂停	G80	●	取消固定循环
G09	●	精确停止	G81 ~ G89	●	固定循环 1 ~ 固定循环 9
G17	●	XY 平面选择			
G18	●	ZX 平面选择	G90	●	绝对方式
G19	●	YZ 平面选择	G91	●	增量方式
G33	●	螺纹切割，不变螺距	G94	●	每分钟进给（mm/min）
G40	●	取消刀具偏置	G95	●	每转进给（mm/r）
G41	●	刀具补偿，左	G96	●	恒切削速度
G42	●	刀具补偿，右	G97	●	主轴转速（r/min）

辅助功能分类

等级	应用范围	等级	应用范围
0	一般辅助功能（对于所有等级）	5[1]	优化、自适应控制（AC）
1	铣床、钻床、钻模钻床、加工中心	6	多刀架、多主轴及相应控制装置机床
2	车床及车床加工中心	7	冲床、剪床
3	磨床	8[1]	用户可使用
4	火焰切割、激光切割及射流水切割机床，电火花线切割	9[1]	扩展预留

1）在目前的标准化程度下，划归为该等级是不够恰当的

辅助功能

辅助功能	特性	含义	辅助功能	特性	含义
一般辅助功能					
M00	● ●	程序停止	M30	● ●	程序结束并复位
M02	● ●	程序结束	M48	● ●	注销 M49
M06	●	换刀	M49	● ○	进给率修正旁路
M10	●	夹紧	M60	● ●	换工件
M11	●	松开			

●模态[2]；●非模态[3]；○立即[4]；●稍后[5]

2）准备功能或辅助功能均为模态指令，在相似类型的功能或条件改写前保持有效
3）准备功能或辅助功能仅在当前运行程序段有效
4）辅助功能与程序段其余部分同时运行
5）辅助功能在执行程序段其余信息后运行

关注公众号：机械工程师成长营

辅助功能

cf. DIN 66025 - 2(1988 - 09)

辅助功能	特性	含义	辅助功能	特性	含义
铣床及钻床、钻模钻床、加工中心的辅助功能（等级1）					
M03	○ ●	主轴正转	M19	● ●	主轴定向停止
M04	○ ●	主轴反转	M34	○ ●	夹紧力正常
M05	● ●	主轴停止	M35	○ ●	夹紧力减小
M07	○ ●	2号冷却开	M40	○ ●	齿轮换挡
M08	○ ●	1号冷却开	M41 ~ M45	○ ●	挡位1 ~ 挡位5
M09	● ●	冷却关			
车床及车床加工中心的辅助功能（等级2）					
M03	○ ●	主轴正转	M54	○ ●	尾座轴后退
M04	○ ●	主轴反转	M55	○ ●	尾座轴前进
M05	● ●	主轴停止	M56	○ ●	尾座联动关
M07	○ ●	2号冷却润滑开	M57	○ ●	尾座联动开
M08	○ ●	1号冷却润滑开	M58	○ ●	恒主轴速度关
M09	● ●	冷却润滑关	M59	○ ●	恒主轴速度开
M19	● ●	主轴定向停止	M80	○ ●	中心架1打开
M34	○ ●	夹紧力正常	M81	○ ●	中心架1关闭
M35	○ ●	夹紧力减小	M82	○ ●	中心架2打开
M40	○ ●	齿轮换挡	M83	○ ●	中心架2关闭
M41 - - M42	○ ●	减速挡1 ~ 减速挡5	M84	○ ●	中心架联动关
			M85	○ ●	中心架联动开
火焰、等离子、射流水切割及电火花线切割机床的辅助功能（等级4）					
M03	● ●	切割关	M23	○ ●	左倾斜火焰 开
M04	○ ●	切割开	M24	● ●	右倾斜火焰 关
M14[1)]	● ●	高度调整关	M25	○ ●	右倾斜火焰 开
M15[2)]	○ ●	高度调整开	M26	● ●	中焰 关
M16	● ●	切割头返回	M27	○ ●	中焰 开
M17	● ●	喷粉划线 关	M33	● ●	时间功能单元延时
M18	● ●	划线装置 关	M63	○ ●	辅助气体：空气
M19	○ ●	划线装置 开	M64	○ ●	辅助气体：氧气
M20	● ●	等离子火焰 关			
M21	○ ●	等离子火焰 开			
M22	● ●	左倾斜火焰 关			

1）撤销高度控制，使火焰或切割头停留在最终位置
2）激活高度控制，切割头移动一预设的距离

●模态[3)] ●非模态[4)] ○立即[5)] ●稍后[6)]

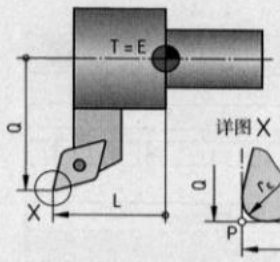
3）准备功能或辅助功能均为模态指令，在被相似类型的功能或条件改写前保持有效
4）准备功能或辅助功能仅在当前运行程序段有效
5）辅助功能与程序段其余部分同时运行
6）辅助功能在执行程序段其余信息后运行

关注公众号：机械工程师成长营

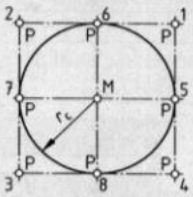
刀具偏置与刀具补偿

车削

刀具偏置



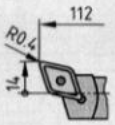
刀具切削点 P 相对于切削半径 r_ε 中心 M 的位置代码[1)]



Q	X 轴横向偏置	E	刀具参考点
L	Z 轴纵向偏置	M	切削半径 r_ε 中心
r_ε	刀刃半径	P	刀具切削点
1 ~ 8	位置代码数		1）未标准化
T	刀架参考点		



偏置存储	
Q	72
L	53
r_ε	0.8
位置代码	2



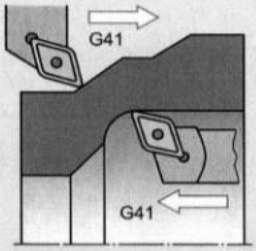
偏置存储	
Q	14
L	112
r_ε	0.4
位置代码	2



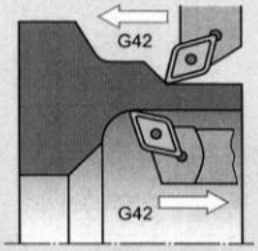
偏置存储	
Z	126
R	10

刀具补偿

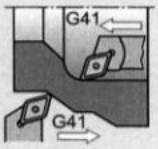
G41 车刀补偿偏左

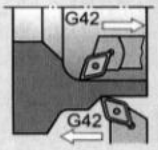


G42 车刀补偿偏右



车刀在主轴前面



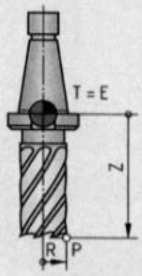


根据 DIN66217，车刀在主轴前面的布置：
由于在 X－Z 平面的不同视角，用户向下看工件或编程时，刀具补偿是相反的

对于 G40 功能，刀具补偿 G41 及 G42 可取消

铣削

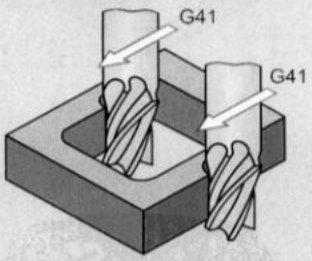
刀具偏置



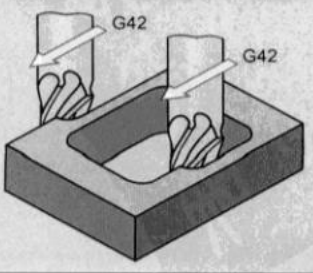
Z	刀具长度	E	刀具参考点
R	刀具半径	P	刀具切削点
T	刀架参考点		

刀具补偿

G41 铣刀补偿偏左



G42 铣刀补偿偏右

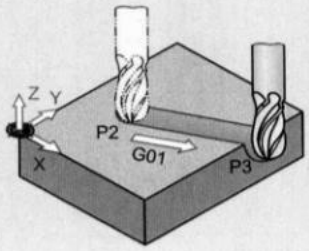


关注公众号：机械工程师成长营

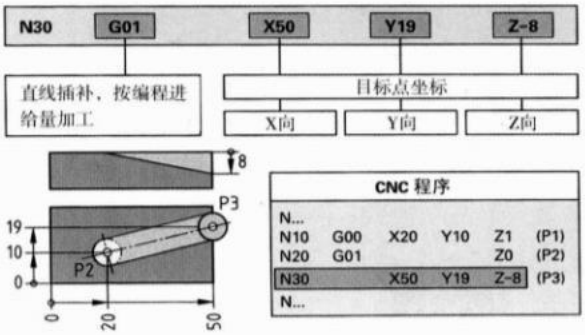
加工方式

立式铣床的加工方式　　cf. DIN 66025－2(1983－01)

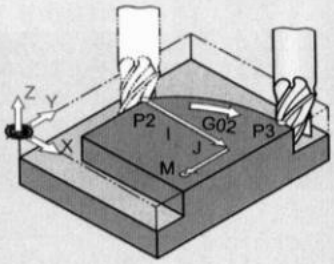
G01　直线插补



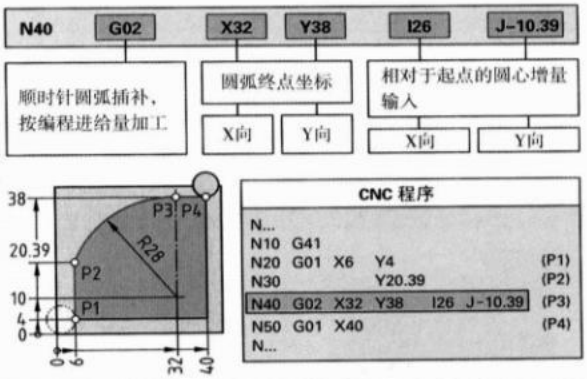
标注及加工举例：



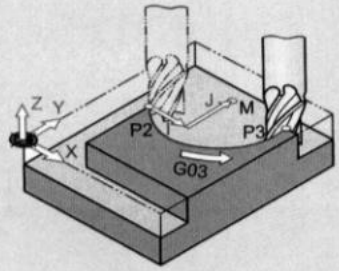
G02　顺时针圆弧插补



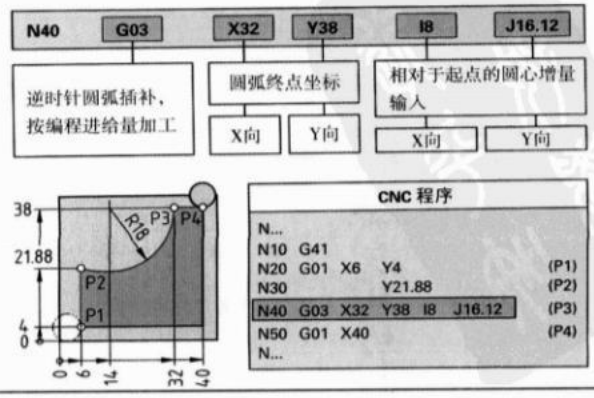
标注及加工举例：



G03　逆时针圆弧插补



标注及加工举例：

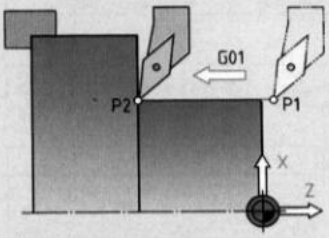


关注公众号：机械工程师成长营

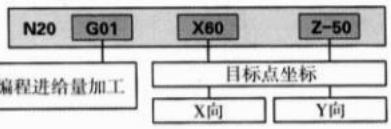
加工方式

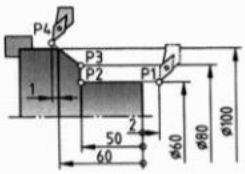
车床的加工方式 cf. DIN 66025 – 2(1983 – 01)

G01 直线插补



标注及加工举例：

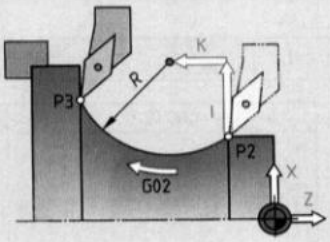




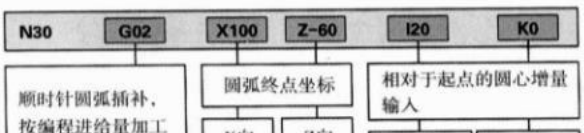
CNC 程序

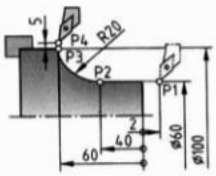
```
N...
N10   G00   X60    Z2      (P1)
N20   G01          Z-50    (P2)
N30          X 80          (P3)
N40          X102   Z-61    (P4)
N...
```

G02 顺时针圆弧插补



标注及加工举例：

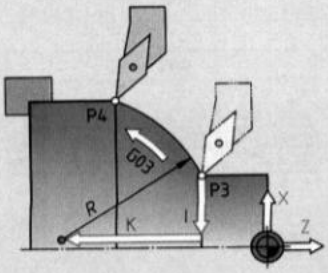




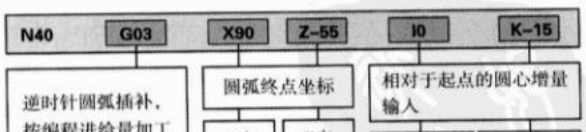
CNC 程序

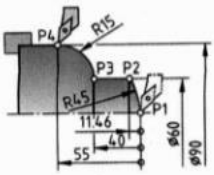
```
N...
N10   G00   X60    Z2          (P1)
N20   G01          Z-40        (P2)
N30   G02   X100   Z-60  I20  K0   (P3)
N40   G01   X110                (P4)
N...
```

G03 逆时针圆弧插补



标注及加工举例：





CNC 程序

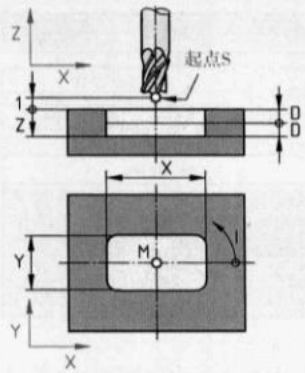
```
N...
N10   G01   X0    Z0                  (P1)
N20   G03   X60   Z-11.46  I0  K-45   (P2)
N30   G01          Z-40                (P3)
N40   G03   X90   Z-55     I0  K-15   (P4)
N...
```

关注公众号：机械工程师成长营

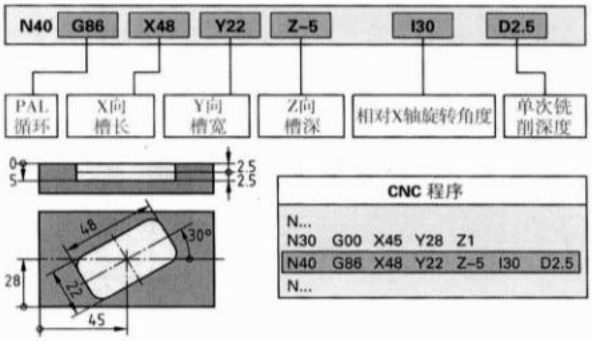
PAL 循环

铣床的 PAL[1] 循环

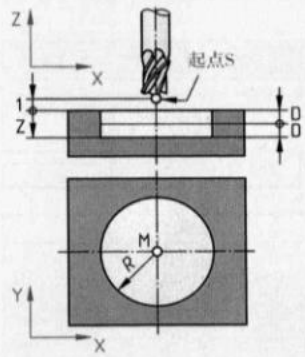
G86 铣槽循环



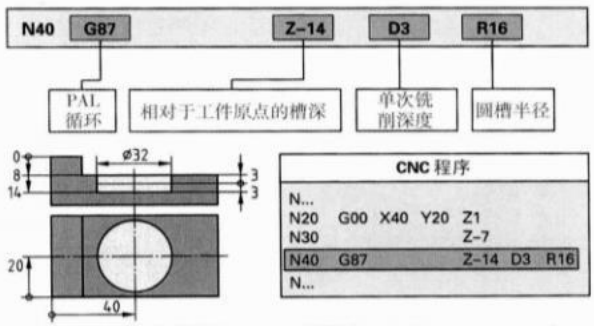
标注及加工举例：



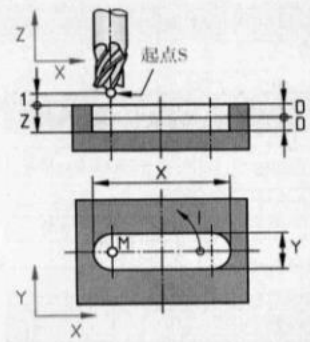
G87 铣圆槽循环



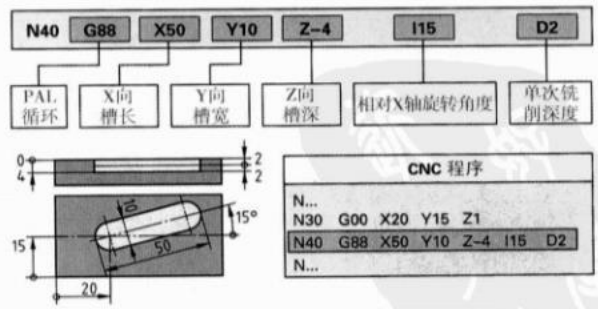
标注及加工举例：



G88 铣键槽循环



标注及加工举例：



以下用于铣循环 G86、G87 及 G88：

起点位置及终点位置为：
- XY 平面中心 M
- 加工平面沿 Z 轴上方 1mm

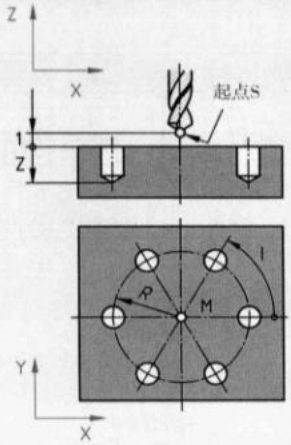
1）（训练及材料试验发展学会）Prüfung-Aufgaben-und Lehrmittelentwicklungsstelle

关注公众号：机械工程师成长营

PAL 循环

铣床的 PAL 循环

G85 沿节距圆周分布钻孔循环

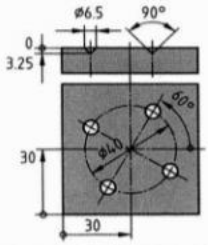


PAL 循环 G85 仅允许孔在节距圆周上均匀分布

标注及加工举例：用定心钻确定节距圆周圆心



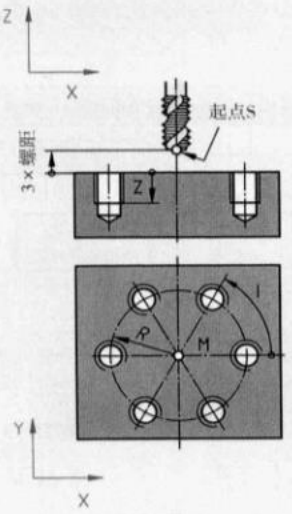
起点位置及终点位置 S 为：
- XY 平面中心 M
- 加工平面沿 Z 轴上方 1 mm



CNC 程序

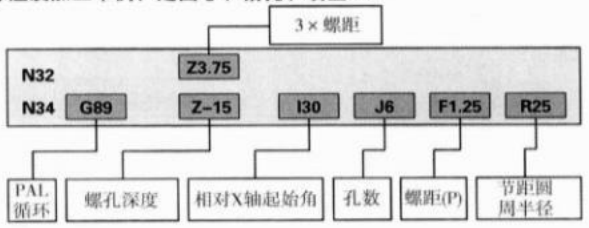
```
N...
N30  G00  X30  Y30  Z1  F100  S1450  M03
N40  G85            Z-3.25  I60  J4  R20
N...
```

G89 沿节距圆周分布钻螺孔循环

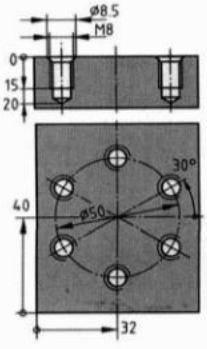


PAL 循环 G89 仅允许孔在节距圆周上均匀分布
对 R 输入 0 及 1，对 J 输入 1，攻单线螺纹

标注及加工举例：定圆心、钻孔、攻丝 M8



起点位置及终点位置 S 为：
- XY 平面中心 M 及
- 加工平面沿 Z 轴上方距离 3×螺距



CNC 程序

```
N...      (定圆心及锪钻)
N12  G00  X32  Y40        F100      S1150
N14                Z1
N16  G85           Z-4.25  I30  J6  R25
:
:    (钻孔⌀6.8)
N20  G00  X32  Y40        F150      S1400
N22                Z1
N24  G85           Z-20    I30  J6  R25
:
:    (攻丝 M8)
N30  G00  X32  Y40
N32                Z3.75
N34  G89           Z-15    I30  J6  F1.25  R25
:
```

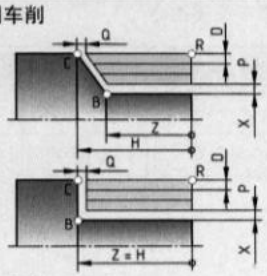
关注公众号：机械工程师成长营

PAL 循环

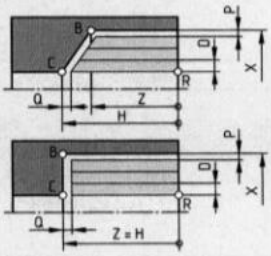
车床的 PAL 循环

G81　纵向加工循环，X 向深度

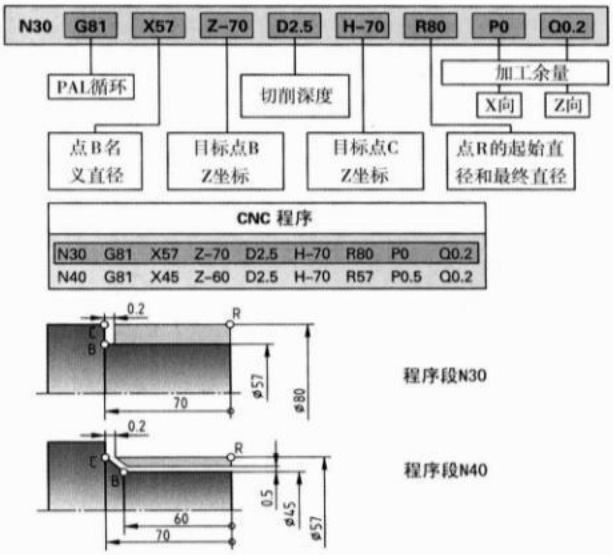
外圆车削



内圆车削

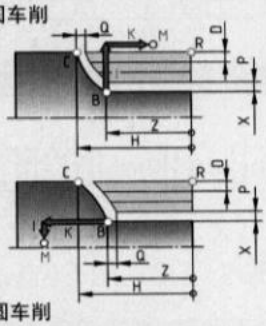


标注及加工举例：外圆车削

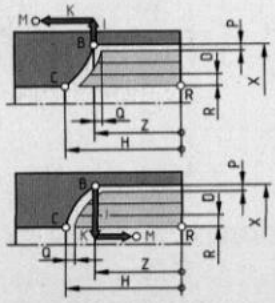


G82　纵向加工循环，退刀半径和 X 向深度

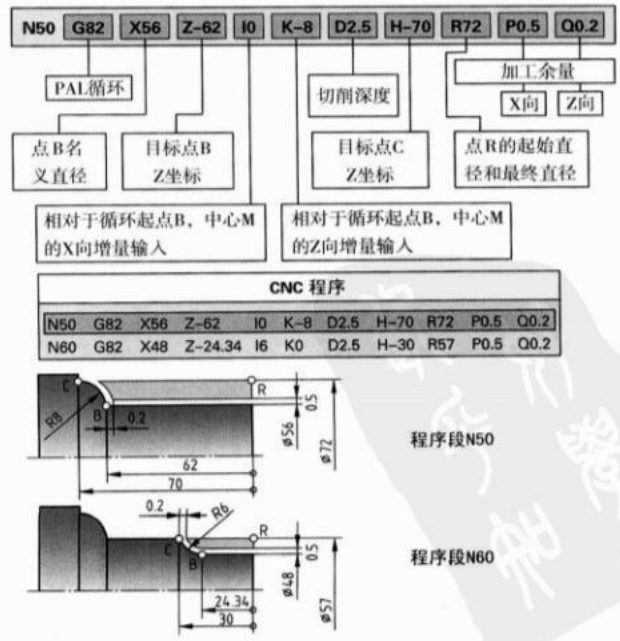
外圆车削



内圆车削



标注及加工举例：外圆车削



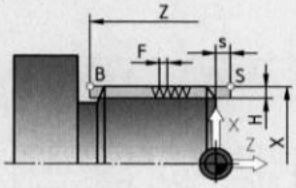
关注公众号：机械工程师成长营

PAL 循环

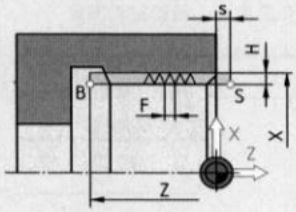
车床的 PAL 循环

G83 | 纵向螺纹循环，X 向深度

外螺纹

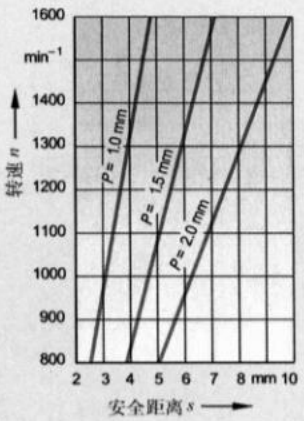


内螺纹



安全距离 s 的图表

基于机器参数 $K = 333\ \text{min}^{-1}$

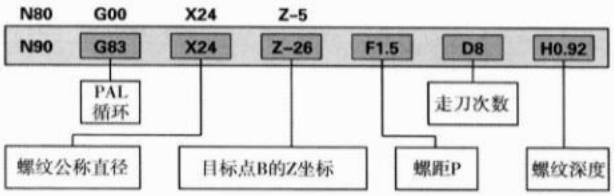


安全距离为以下要素确定：

- 螺距 P
- 转速 n 及
- 机器参数 K

考虑到刀架溜板的质量，因为它需要减速或加速。每台机器的参数 K 不同，由试验确定

标注举例



对于 PAL 螺纹循环 G83，起点和终点 S 的坐标在前面程序段输入

P	螺距
H	螺纹深度
K	机器参数
a	切削深度
d	公称直径
i	走刀次数
s	安全距离
n	转速

公制 ISO 螺纹深度

内螺纹	外螺纹
$H = 0.5413 \cdot P$	$H = 0.6134 \cdot P$

走刀次数	安全距离 s
$i = \frac{H}{a}$	$s = \frac{P \cdot n}{K}$

举例：外螺纹 M24 × 1.5，$K = 333\ \text{min}^{-1}$

$H = 0.6134 \cdot 1.5\ \text{mm} = 0.92\ \text{mm}$ ⇒CNC N90 行程序字：**H0.92**

$i = \frac{0.92\ \text{mm}}{0.12\ \text{mm}} = 7.66$ ⇒选择：8 次走刀

⇒CNC N90 行程序字：**D8**

$s = \frac{1.5\ \text{mm} \cdot 1500\ \text{min}^{-1}}{333\ \text{min}^{-1}} = 6.75\ \text{mm}$ 或从图表选择：

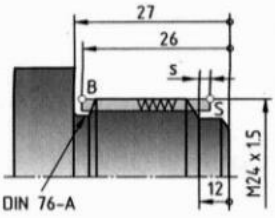
$s = 7\text{mm}$

起点和终点 S 的 Z 坐标：

$Z = -12\ \text{mm} + 7\ \text{mm} = -5\ \text{mm}$

螺纹起点 Z 坐标 + 安全距离 s

⇒CNC N80 行程序字：**Z-5**



CNC 程序

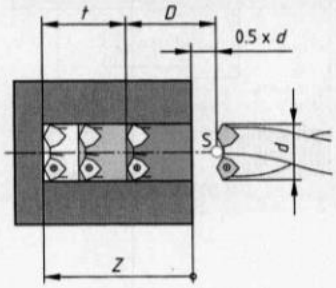
```
N...
N70 G97              S1500    M03
N80 G00 X24 Z-5
N90 G83 X24 Z-26 F1.5  D8  H0.92
N...
```

关注公众号：机械工程师成长营

PAL 循环

车床的 PAL 循环

G84　去除切屑的钻孔循环

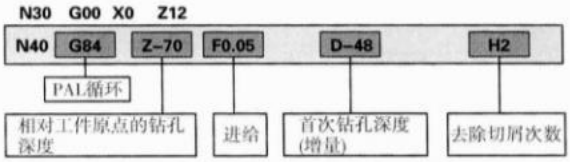


首次钻孔深度为 2 × 钻孔直径，并相对于起点及终点进行增量输入

延续钻孔深度，除最后一次，与钻孔直径 d 有关。最后钻孔深度由 CNC 控制计算

标注及加工举例：钻孔循环：

N30　G00　X0　Z12



对于 PAL 钻孔循环 G84，起点和终点 S 的坐标在前面程序段输入

Z　总钻孔深度
D　首次钻孔深度
H　去除切屑次数
d　钻孔直径
t　延续钻孔深度

首次钻孔深度　$D = 2 \cdot d$

延续钻孔深度　$t = Z + 0.5 \cdot d - D$

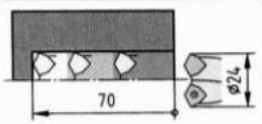
去除切屑次数　$H = \frac{t}{d}$

举例：

$D = 2 \cdot 24\ \text{mm} = 48\ \text{mm}$　⇒CNC N40 行程序字：**D－48**

$t = 70\ \text{mm} + 0.5 \cdot 24\ \text{mm} - 48\ \text{mm} = 34\ \text{mm}$

$H = \frac{34\ \text{mm}}{24\ \text{mm}} = 1.4$；取值 2⇒N40 行程序字：**H2**

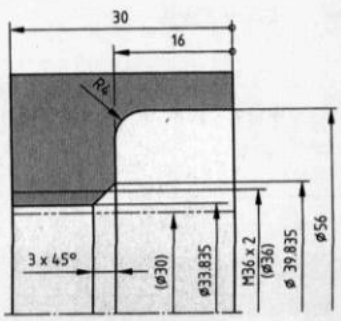


CNC 程序

```
N...
N20  G97          S2500 M03
N30  G00 X0 Z12
N40  G84     Z-70 F0.05 D-48 H2
```

车削加工举例

采用车刀		
端面车刀 $r_\varepsilon = 0.8$ 端面车刀 $r_\varepsilon = 0.4$	T0707 T0909	
螺纹车刀	T1111	



硬质合金钻头 Φ30 钻底孔

```
N...                          (采用端面车刀粗车 T0707)
N20                             T0707
N30  G96  G41          F0.2  S180  M04
N40  G00  X30  Z1
N50  G80  X48  Z-16                  D1.5  H-16  R30  P0.5  Q0.1
N60  G82  X56  Z-12 I-14  K0   D1.5  H-16  R48  P0.5  Q0.1
N...
N...                          (采用端面车刀精车 T0909)
N120                            T0909
N130  G96  G41          F0.1  S240  M04
N140  G00  X56  Z1
N150  G01       Z-12
N160  G03  X48  Z-16 I-4  K0
N170  G01  X39.835
N180       X33.935      Z-19
N190                    Z-32
N...
N...                          (采用螺纹车刀车螺纹 T1111)
N220                            T1111
N230  G97                       S800  M03
N240  G00  X33.835
N250                Z-11
N260  G83  X36      Z-36  F2  D9     H1.083
N...
N...                                        M30
```

关注公众号：机械工程师成长营

计数制

十进制

基数 10　　数码：0，1，2，3，4，5，6，7，8，9

十进制数 n_{10}　205

位值	$10^2=100$	$10^1=10$	$10^0=1$	
值	$2\cdot100=200$	$0\cdot10=0$	$5\cdot1=5$	
总值 n_{10}（十进制）	200	+ 0	+ 5	= 205

二进制

基数 2　　数码：0，1

二进制数 n_2　1010

位值	$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$	
值	$1\cdot8=8$	$0\cdot4=0$	$1\cdot2=2$	$0\cdot1=0$	
总值 n_{10}（十进制）	8	+ 0	+ 2	+ 0	= 10

十六进制

基数 16　　数码：0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B，C，D，E，F

十进制值：0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，10，11，12，13，14，15

转化为十进制数：

A 2 F

位值	$16^2=256$	$16^1=16$	$16^0=1$	
值	$10\cdot256=2560$	$2\cdot16=32$	$15\cdot1=15$	
总值 n_{10}（十进制）	2560	+ 32	+ 15	= 2607

转化为二进制数：

每位数字代表一个 4 位二进制数

A 2 F

数值	10	2	15
四位一组（四位二进制）	1010	0010	1111
二进制数 n_2	= 1010 0010 1111		

255 以内十进制数 n_{10} 的二进制数 n_2 及十六进制数 n_{16}

百位																
b_8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
b_7	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
b_6	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
b_5	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

b_8	b_7	b_6	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	进制	位式样（二进制数） 十进制数及十六进制数															
高四位				低四位																				
				0	0	0	0	n_{10}	0	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240
								n_{16}	00	10	20	30	40	50	60	70	80	90	A0	B0	C0	D0	E0	F0
				0	0	0	1	n_{10}	1	17	33	49	65	81	97	113	129	145	161	177	193	209	225	241
								n_{16}	01	11	21	31	41	51	61	71	81	91	A1	B1	C1	D1	E1	F1
				0	0	1	0	n_{10}	2	18	34	50	66	82	98	114	130	146	162	178	194	210	226	242
								n_{16}	02	12	22	32	42	52	62	72	82	92	A2	B2	C2	D2	E2	F2
				0	0	1	1	n_{10}	3	19	35	51	67	83	99	115	131	147	163	179	195	211	227	243
								n_{16}	03	13	23	33	43	53	63	73	83	93	A3	B3	C3	D3	E3	F3
				0	1	0	0	n_{10}	4	20	36	52	68	84	100	116	132	148	164	180	196	212	228	244
								n_{16}	04	14	24	34	44	54	64	74	84	94	A4	B4	C4	D4	E4	F4
				0	1	0	1	n_{10}	5	21	37	53	69	85	101	117	133	149	165	181	197	213	229	245
								n_{16}	05	15	25	35	45	55	65	75	85	95	A5	B5	C5	D5	E5	F5
				0	1	1	0	n_{10}	6	22	38	54	70	86	102	118	134	150	166	182	198	214	230	246
								n_{16}	06	16	26	36	46	56	66	76	86	96	A6	B6	C6	D6	E6	F6
				0	1	1	1	n_{10}	7	23	39	55	71	87	103	119	135	151	167	183	199	215	231	247
								n_{16}	07	17	27	37	47	57	67	77	87	97	A7	B7	C7	D7	E7	F7
				1	0	0	0	n_{10}	8	24	40	56	72	88	104	120	136	152	168	184	200	246	232	248
								n_{16}	08	18	28	38	48	58	68	78	88	98	A8	B8	C8	D8	E8	F8
				1	0	0	1	n_{10}	9	25	41	57	73	89	105	121	137	153	169	185	201	217	233	249
								n_{16}	09	19	29	39	49	59	69	79	89	99	A9	B9	C9	D9	E9	F9
				1	0	1	0	n_{10}	10	26	42	58	74	90	106	122	138	154	170	186	202	218	234	250
								n_{16}	0A	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	AA	BA	CA	DA	EA	FA
				1	0	1	1	n_{10}	11	27	43	59	75	91	107	123	139	155	171	187	203	219	235	251
								n_{16}	0B	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	AB	BB	CB	DB	EB	FB
				1	1	0	0	n_{10}	12	28	44	60	76	92	108	124	140	156	172	188	204	220	236	252
								n_{16}	0C	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	AC	BC	CC	DC	EC	FC
				1	1	0	1	n_{10}	13	29	45	61	77	93	109	125	141	157	173	189	205	221	237	253
								n_{16}	0D	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	8D	9D	AD	BD	CD	DD	ED	FD
				1	1	1	0	n_{10}	14	30	46	62	78	94	110	126	142	158	174	190	206	222	238	254
								n_{16}	0E	1E	2E	3E	4E	5E	6E	7E	8E	9E	AE	BE	CE	DE	EE	FE
				1	1	1	1	n_{10}	15	31	47	63	79	95	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255
								n_{16}	0F	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	8F	9F	AF	BF	CF	DF	EF	FF

查表举例：二进制数 $n_2=10110010$，相应的十进制数 $n_{10}=178$ 或十六进制数 $n_{16}=$ **B2**

关注公众号：机械工程师成长营

ASCII 码[1)]

7 位 ASCII 码

十进制	十六进制	字符	十进制	十六进制	字符	十进制	十六进制	字符	十进制	十六进制	字符	十进制	十六进制	字符	十进制	十六进制	字符	十进制	十六进制	字符	十进制	十六进制	字符
0	0	NUL	16	10	DLE	32	20	SP	48	30	0	64	40	@	80	50	P	96	60	`	112	70	p
1	1	SOH	17	11	DC1	33	21	!	49	31	1	65	41	A	81	51	Q	97	61	a	113	71	q
2	2	STX	18	12	DC2	34	22	"	50	32	2	66	42	B	82	52	R	98	62	b	114	72	r
3	3	ETX	19	13	DC3	35	23	#	51	33	3	67	43	C	83	53	S	99	63	c	115	73	s
4	4	EOT	20	14	DC4	36	24	$	52	34	4	68	44	D	84	54	T	100	64	d	116	74	t
5	5	ENQ	21	15	NAK	37	25	%	53	35	5	69	45	E	85	55	U	101	65	e	117	75	u
6	6	ACK	22	16	SYN	38	26	&	54	36	6	70	46	F	86	56	V	102	66	f	118	76	v
7	7	BEL	23	17	ETB	39	27	'	55	37	7	71	47	G	87	57	W	103	67	g	119	77	w
8	8	BS	24	18	CAN	40	28	(	56	38	8	72	48	H	88	58	X	104	68	h	120	78	x
9	9	HT	25	19	EM	41	29	)	57	39	9	73	49	I	89	59	Y	105	69	i	121	79	y
10	A	LF	26	1A	SUB	42	2A	*	58	3A	:	74	4A	J	90	5A	Z	106	6A	j	122	7A	z
11	B	VT	27	1B	ESC	43	2B	+	59	3B	;	75	4B	K	91	5B	[	107	6B	k	123	7B	|
12	C	FF	28	1C	FS	44	2C	'	60	3C	<	76	4C	L	92	5C	\	108	6C	l	124	7C	|
13	D	CR	29	1D	QS	45	2D	−	61	3D	=	77	4D	M	93	5D	]	109	6D	m	125	7D	|
14	E	SO	30	1E	RS	46	2E	.	62	3E	>	78	4E	N	94	5E	^	110	6E	n	126	7E	~
15	F	SI	31	1F	US	47	2F	/	63	3F	?	79	4F	O	95	5F	−	111	6F	o	127	7F	DEL

控制符含义

十进制	字符	名称	十进制	字符	名称
0	NUL	空字符	17	DC1	设备控制 1
1	SOH	标题开始	18	DC2	设备控制 2
2	STX	正文开始	19	DC3	设备控制 3
3	ETX	正文结束	20	DC4	设备控制 4
4	EOT	传输结束	21	NAK	反确认
5	ENQ	请求	22	SYN	同步空闲
6	ACK	收到通知	23	ETB	传输块结束
7	BEL	响铃			
8	BS	退格	24	CAN	取消
9	HT	水平制表符	25	EM	媒体结束
			26	SUB	替换
10	LF	换行	27	ESC	转义
11	VT	垂直制表符	28	FS	文件分隔符
12	FF	换页	29	GS	组分隔符
13	CR	回车	30	RS	记录分隔符
14	SO	移入			
15	SI	移出	31	US	单元分隔符
16	DLE	数据链路转义	32	SP	空格
			127	DEL	删除

特殊字符含义（国际参考版本）

十进制	字符	名称	十进制	字符	名称	十进制	字符	名称
32		空格	43	+	加号	64	@	单价
33	!	感叹号	44	,	逗号	91	[	左方括号
34	"	引号	45	−	减号，破折号	92	\	反斜线
35	#	数字符号	46	.	句号，小数点	93	]	右方括号
36	$	货币符号	47	/	向前斜线	94	^	音调符号
37	%	百分号	58	:	冒号	95	−	下划线
38	&	商用“和”	59	;	分号	96	`	抑音符号
39	'	撇号	60	<	小于	123	|	左大括号
40	(	左圆括号	61	=	等于	124	|	垂直线
41	)	右圆括号	62	>	大于	125	|	右大括号
42	*	星号	63	?	问号	126	~	代字号、否定号

控制符号（十进制数 0～32 及 127）不能在显示器或打印机上显示，它们用于转换系统命令
数字 128～255（十进制）位于扩展 ASCII 码，它们也像 0～127 一样被编码。用于特殊符号（草书符号、图形符号、用户定义码）。例如：数字 128 为欧元符号€

1）ASCII = 美国信息交换标准码

关注公众号：机械工程师成长营

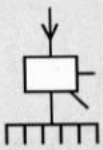
流程图符号

程序流程图符号

cf. DIN 66001（1983－12）

符号	名称、注释	符号	名称、注释	符号	名称、注释
	处理，如：加、减 处理单元，如：个人计算机		一般数据 一般数据存储器		主存储器数据 主存储器
	手工处理，如：读、写 手工处理单元		处理数据 处理数据存储器		光或声音数据 如：照片、声光或声音输出设备。如：显示器、扩音器
	转移，如：判断选择装置，如：开关		手工处理数据 手工存储，如：卡片文件、档案		手动、光或声音数据输入设备。如：键盘、麦克风
	循环开始 循环程序段的开始		纸上数据，如文件；输入/输出装置，如：文件读入装置、打印机		处理顺序 进入路径
	循环结束 循环程序段的结束		卡片数据，如打孔卡片、读卡机、打孔器		数据传输路径
	同步处理 同步装置		纸带数据，读带机、打孔器		环境界面， 如：开始
	返回调用		设备数据：仅按顺序获得存储器，如：磁带		连接器、连接图形显示
	不返回调用				细化，放大或缩放
	外部中断		设备数据：可直接获得存储器，如：磁盘或硬盘		插入注释 解释性文本
	外部控制				

连接线的表示



直接作用

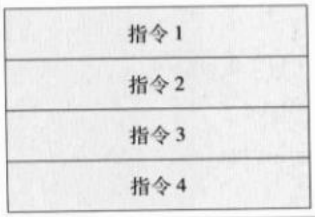
在符号处连接

扇状扩大

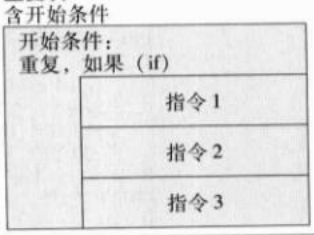
Nassi－Shneiderman 框图符号

cf. DIN 66261（1985－11）

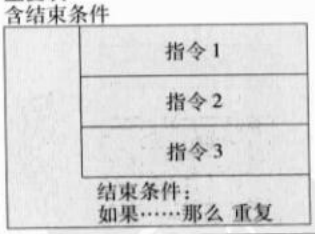
连续块



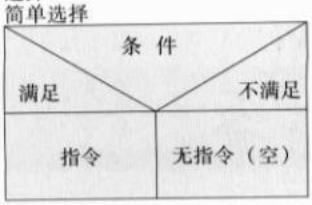
重复块
含开始条件



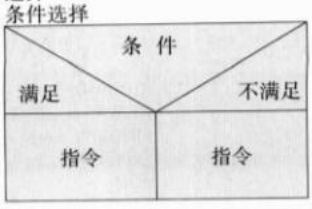
重复块
含结束条件



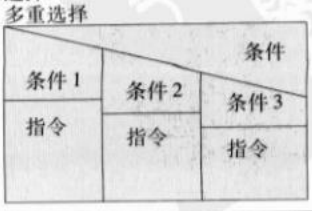
选择
简单选择



选择
条件选择



选择
多重选择

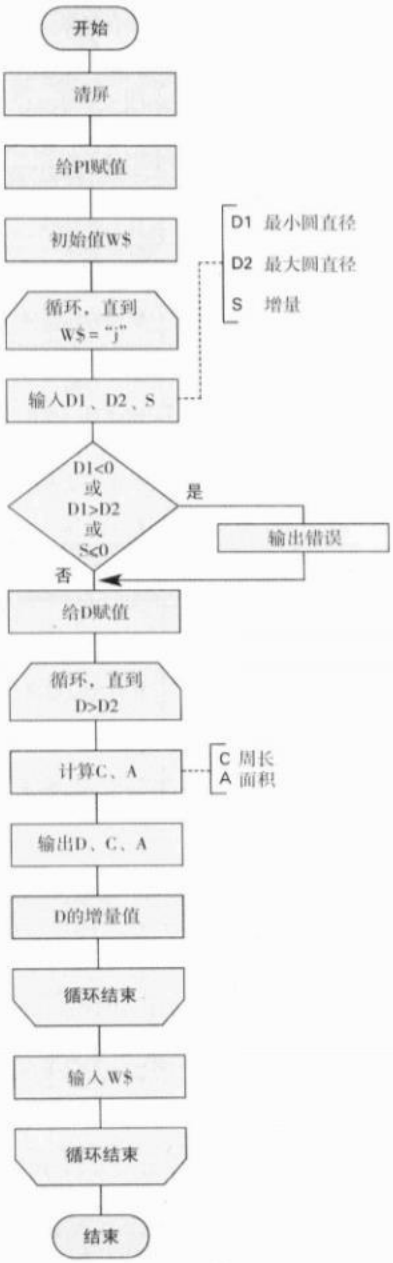


关注公众号：机械工程师成长营

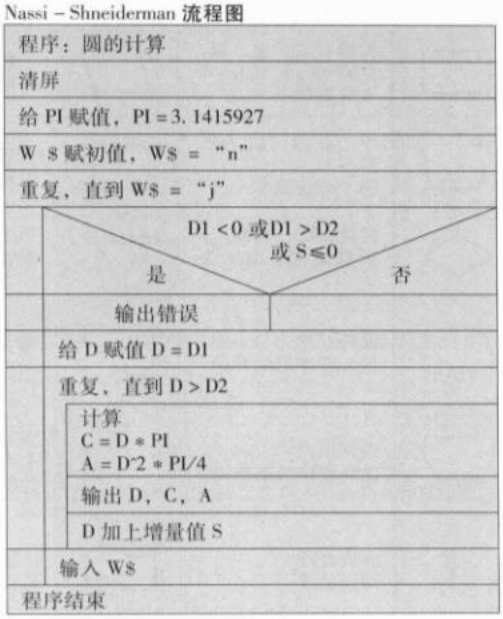
流程图符号

程序流程图和 Nassi – Shneiderman 框图

举例：圆周长及面积计算程序流程图



Nassi – Shneiderman 流程图



BASIC 程序

```
REM    * * * Circle Calculation Program * * *
REM    * * * for circumference and area of circle * * *
CLS
PRINT
CONST PI = 3.1415927#
W$ = " n"
REM    * * * Input value * * *
DO UNTIL W $ = " j"
  INPUT D1
  PRINT " Diameter end value:";
  INPUT D2
  PRINT " Increment:";
  INPUT S
        IF D1 < 0 OR D1 > D2 Or S < = 0
        THEN
        PRINT " Invalid input"
        END IF
  REM * * * Processing and Output * * *
  PRINT " D","  C","  A"
  D = D1
        DO UNTIL D > D2
          C = D * PI
          A = D^2 * PI/4
          PRINT D, C, A
          D = D + S
       LOOP
  REM * * * End * * *
  PRINT " End program? (y/n)";
  INPUT W$
LOOP
END
```

关注公众号：机械工程师成长营

MS WORD 文字处理命令

命令	解释
文件菜单	
新建	新建文档
打开	打开当前文档
关闭	关闭当前文档
保存	保存当前文档
另存为	赋名保存当前文档
页面设置	设置页边距、方向、纸张大小、纸张来源
打印预览	显示文档的打印图形
打印	设置打印机并打印
退出	退出 MS－Word
编辑菜单	
撤销	撤销键入
重做	重复键入
剪切	删除所选文本并存放到剪贴板中
复制	所选文本或图形存放到剪贴板中
粘贴	插入剪贴板内容
全选	选择全部文档
查找	查找文本或格式
替换	查找替换文本或格式
定位	跳至文本中某点或指定页
视图菜单	
普通	创建文档普通视图
页面	显示文档打印布局
大纲	显示文档大纲
工具栏	显示/隐藏工具栏
标尺	显示/隐藏标尺
页眉和页脚	在页的顶部或底部插入文本
显示比例	放大或缩小屏幕显示
格式菜单	
字体	定义字体及字符设置
段落	配置段落设置
项目符号和编号	配置项目符号和编号
边框和底纹	设置边框形式和加底纹
制表位	设置制表位位置
文字方向	将文字方向由水平改为垂直

命令	解释
插入菜单	
分隔符	设置分页符或分栏符
页码	确定页码位置及格式
自动图文集	插入预定义文本
符号	从字符集中插入特殊字符
索引和目录	选择索引文本，创建图表目录
图片	插入图形
文本框	插入文本框
文件	插入文件
对象	插入公式、图表等
超链接	插入链接到 URL URL＝统一资源定位器
窗口菜单	
新建窗口	用当前窗口内容开一新窗口
全部重排	重排所有打开文档
拆分	将文档拆分为两个窗口
1 文档 1	打开窗口列表
工具菜单	
拼写和语法	检查文档拼写及语法错误
语言	设置语言
信函与邮件	将文档连接到控制文档数据（数据库）
宏	将单独命令合并为一个操作
自定义	设置屏幕布局
选项	定义 MS－Word 设置
表格菜单	
绘制表格	创建一个表格
插入	插入一个独立单元（行、列）
删除	删除一个独立单元（行、列）
选择	选择一个独立单元（行、列）
合并单元格	将多个单元格合并为一个
拆分单元格	将一个单元格拆分为多个
转换	将表格转换成文本或相反
表格属性	定义单元格高度、列宽及表格布局

关注公众号：机械工程师成长营

EXCEL 电子表格命令

命令	解释
文件菜单	
新建	新建工作簿、图表或宏模板。当打开一个图表时，菜单栏里的命令改变
打开	打开工作簿
关闭	关闭当前工作簿
保存	保存当前工作簿
另存为	以新文件名和格式保存当前工作簿
页面设置	设置页边距、方向纸张大小和页眉/页脚
打印区域	设定打印区域
打印预览	显示工作簿的打印预览
打印	配置打印机并打印
退出	退出 Excel
编辑菜单	
撤销	撤销键入
重复	重复键入
剪切	删除工作表所选区域并存放到剪贴板
复制	所选文本或图形存放到剪贴板中
粘贴	从剪贴板插入文本或图形
填充	向上、向下、向左、向右复制所选单元格内容
删除工作表	删除一个工作簿的工作表
移动或复制工作表	在一个工作簿中移动或复制工作表
查找	查找文本或格式
替换	查找和替换文本或格式
数据菜单	
排序	表格区域按字母顺序排序
导入外部数据	从外部数据库导入图表或文本
视图菜单	
分页预览	在一页或多页中显示表格的扩展
工具栏	工具栏的打开及关闭
标尺	打开和关闭标尺
页眉和页脚	在所有页的顶部及底部插入文本
显示比例	放大或缩小屏幕显示

命令	解释
插入菜单	
单元格	插入独立单元格
行	插入整行
列	插入整列
工作表	在工作簿中插入新的工作表
图表	在工作簿中插入图表
分页符	设置分页和/或分栏符
函数	插入用于计算的函数式
图片	插入图片
对象	插入公式、表、图表等
超链接	URL = 统一资源定位器（因特网地址）
窗口菜单	
新建窗口	用当前窗口内容开一新窗口
重排窗口	重排打开工作簿的窗口布局
拆分	将工作簿拆分为两个窗口
冻结窗格	在屏幕视图中冻结一个工作表
1 工作簿 1	打开工作簿列表
工具菜单	
拼写检查	检查表格拼写错误
共享工作区	使多用户同时在一工作簿工作
保护	保护工作簿或独立工作表以免未经许可进入
公式审核	查找函数及前后对照错误
宏	将单独命令合并为一个操作
自定义	设置屏幕布局
选项	定义 Excel 设置
格式菜单	
单元格	设置数字格式、对齐、字体和图框
行	设置行高
列	设置列宽
工作表	设置工作表名称
条件格式	指定条件为真时，使用单元格格式

关注公众号：机械工程师成长营

国际材料标准对照表

表 I

德国		美国	英国	法国	日本	瑞典
标准						
DIN，DIN EN	材料号	AISI/SAE	BS	AFNOR	JIS	SS
结构钢						
S185	1.0035	A 283（A）	1449 15 HR；HS	A 33	—	1300
S235JR	1.0037	1015，A 283	Fe 360 B	E24－2	STKM 12 A；C	1311
S235JRG1	1.0036	A 283（C）	Fe 360 B 4360－40 B	—	—	1311，1312
S235JRG2	1.0038	A550.36	Fe 360 B；6323－ERW 3；CEW 3	E 24－2 NE	STKM 12A；C	1312
S235J0	1.0114	—	4360－40 C	E24－3，E 24－4	—	—
S235J2G3	1.0116	A 515（55）	Fe 360 D 1 FF	E 24－3，E24－4	—	1312，1313
S235J2G4	1.0117	1513	A 2	E 36－4	—	—
S275JR	1.0044	1020	Fe 430 B FU	E 28－2	SN 400 B；C；SN 490 B；C	1412
S275J0	1.0143	A 572（42）	4360－43 C	E 28－3，E 28－4	—	1414－01
S275J2G3	1.0144	A 500（A；B；D）	Fe 430 D1 FF	E 28－3，E 28－4	SM 400 A；B；C	1411，1412，1414
S355JR	1.0045	—	4360－50 B	E 36－2	STK 400	2172
S355J0	1.0553	A 678（C）	A 3	320－560 M	—	1606
S355J2G3	1.0570	1024；1524	1449 50/35 HR；HS	E 36－3，E 36－4	STK 500	2132－2134，2174
S355J2G4	1.0577	A 738（A；C）	Fe 510 D2 FF	A 52 FP	—	2174
S355K2G3	1.0595	A 678（C）	224－430	—	—	—
S355K2G4	1.0596	A 678（C）	224－430	—	—	—
E295	1.0050	A 570（50）	Fe 490－2 FN	A 50－2	SS 490	1550，2172
E355	1.0060	A 572（65）	Fe 590－2 FN	A 60－2	SM 570	1650
E360	1.0070	—	Fe 590－2 FN	SM 570	1650	—
优质碳钢						
S275N	1.0490	A 516（60）	—	—	—	—
S275M	1.8818	A 715（7）	—	—	—	—
S355N	1.0545	A 714（Ⅲ）	4360－50 E	E 355 R	—	2334－01，2134－01
S355M	1.8823	A 715（7）	—	—	—	—
高合金钢						
S420N	1.8902	A 633 m	—	E 420 R	—	—
S420M	1.8825	—	—	—	—	—
S460N	1.8901	A 633 m	—	E 460 R	—	—
S460M	1.8827	A 734（B）	—	—	—	—
高屈服强度调质钢						
S460QL	1.8906	—	4360－55 F	S 460 Q，T	SM 520 B，C	2143
S500QL	1.8909	—	—	S 500 T	—	—
S620QL	1.8927	—	—	S 620 T	—	—
S960QL	1.8933	—	—	S 960 T	—	—
碳钢－表面淬火钢						
C10E	1.1121	1010	040 A 10，045 M 10	C 10，CX 10	S 9 CK，S 10 C	1265
C10R	1.1207	1011	—	E 355 C	—	—
C15E	1.1141	1015	040 A 15，080 M 15	XC 12	S 15，S 15 CK	1370
C15R	1.1140	1016	080 A 20	—	—	—
合金钢－表面淬火钢						
16MnCr5	1.7131	5115	527 M 17	16 MC 5，16 Mn Cr 5	—	2173
16MnCrS5	1.7139	5115	620－440	16 MC 5	—	2127
18CrMo4	1.7243	5120/5120 H	527 M 20	20 MC 5	Scr 420 M	2523
18CrMoS4	1.7244	5120/5120 H	527 M 20	20 MC 5	Scr 420 M	2523
20MoCr4	1.7321	K 12220	—	—	—	—
20MoCrS4	1.7323	K 12220	—	—	—	—
15NiCr13	1.5752	3310	655 H 13	12 NC 15	SNC 815（H）	—
20NiCrMo2－2	1.6523	8620 H	805 H 20	20 NCD 2	SNCM 220 H	2506
20NiCrMoS2－2	1.6526	8620/8620 H	—	20 NCD 2	SNCM 220 M	2506
17NiCrMo6－4	1.6566	—	815 M 17	18 NCD 6	—	2523

关注公众号：机械工程师成长营

国际材料标准对照表

表 II

德国		美国	英国	法国	日本	瑞典
标准						
DIN, DIN EN	材料号	AISI/SAE	BS	AFNOR	JIS	SS
17NiCrMoS6－4	1.6569	4718/47 18 H	—	—	—	—
20MnCr5	1.7147	5120	527 M 20	20 MC 5	SMn C 420 H	—
20MnCrS5	1.7149	5120/5120 H	527 M 20	20 MC 5	Scr 420 M	2523
14NiCrMo 13－4	1.6657	9310	832 M 13	16 NCD 13	—	—
18CrNiMo7－8	1.6687	—	—	18 NCD 6	—	—
碳钢－调质钢						
C22	1.0402	1020	055 M 15	AF 42 C 20	S 20 C, S 22 C	1450
C22E	1.1151	1023	055 M 15	2 C 22, XC 18, XC 25	S 20 C	1450
C25	1.0406	1025	070 M 26	1 C 25	—	—
C25E	1.1158	1025	(070 M 26)	2 C 25, XC 25	S 25 C, S 28 C	1450
C35	1.0501	1035	060 A 35	C 35, 1 C 35	S 35 C, S 35 CM	1572, 1550
C35E	1.1181	1035	080 A 35	C 35	S 35 C	1550, 1572
C45	1.0503	1045	080 A 46	C 45	S 45 C, S 45 CM	1672, 1650
C45E	1.1191	1042, 1045	080 M 46	XC 42 H 1	S 45 C	1672
C60	1.0601	1060	060 A 62	C 60	S 58 C	—
C60E	1.1221	1064	060 A 62, 070 M 60	2 C 60	S 58 C, S 60 CM, S 65 CM	1665, 1678
C30	1.0528	G 10300	080 A 30	XC 32	S 30 C	—
C35	1.0501	1035	060 A 35	—	—	—
C40	1.0511	1040	080 M 40	AF 60 C 40	—	F. 114A
C50	1.0540	G 10500	080 M 50	XC 50	S 50 C	—
C55	1.0535	1055	070 M 55, 5770－50	C 54; 1 C 55	S 55 C, S 55 CM	1655
合金钢－调质钢						
38Cr2	1.7003	—	120 M 36	38 C 2, 38 Cr 2	—	—
38CrS2	1.7023	5140	530 A 40	42 C 4	Scr 440 M	2245
46Cr2	1.7006	5045	—	42 C 2, 46 Cr 2	—	—
46CrS2	1.7025	A 768 (95)	—	—	SNB 5	—
34Cr4	1.7033	5132	530 A 32	32 C 4, 34 Cr 4	SCr 430 (H)	—
34CrS4	1.7037	4340/4340 H	818 M 40	35 NCD 6	SNCM 439	—
37Cr4	1.7034	5135	530 A 36	37 Cr4, 38 C 4	Scr 435 (H) (M)	—
37CrS4	1.7038	5135/5135 H	—	38 Cr 4	Scr 435 H	—
25CrMo4	1.7218	4118	708 M 25	25 CD 4	SCM 420	2225
24CrMoS4	1.7213	4130/4130 H	CDS 110	30 CD 4	SCM 430 M	2223－01
41Cr4	1.7035	5140	530 A 40	41 Cr 4, 42 C 4	Scr 440 (H) (M)	—
41CrS4	1.7039	L 1	524 A 14	—	—	2092
34CrMo4	1.7220	4137	708 A 37	35 CD 4	SCM 432	2234
42CrMo4	1.7225	4140	708 M 40	42 CD 4	SCM 440 (H)	2244
50CrMo4	1.7228	4150, 4147	708 A 47	50 Cr Mo 4	SCM 4454 (H)	2512
51CrV4	1.8159	6150	735 A 50	50 CV 4	SUP 10	2230
36CrNiMo4	1.6511	9840	817 M 37	36 CrNiMo 4, 35 NCD 5, 40 NCD 3	—	—
34CrNiMoS4	1.6582	4337, 4240	816 M 40, 817 M 40	34 CrNiMo 8	SNCM 447	2541
30NiCrMo8	1.6580		823 M 30	30 CrNiMo 8	SNCM 431	—
36NiCrMo16	1.6773	5135/5135 H	—	38 Cr 4	Scr 435 M	—
渗氮钢						
31CrMo12	1.8515	—	722 M 24	30 CD 12	—	2240
34CrAlMo5－10	1.8507	A 355 Cl. D	—	30 CAD 6. 12	—	—
40CrAlMo7－10	1.8509	E 7140	905 M 39, En 41 B	40 CAD 6. 12	SACM 1, SACM 645	2940
40CrMoV13－9	1.8523	—	897 M 39	—	—	—
火焰及感应加热表面淬火钢						
Cf45	1.1193	1045	060 A 47, 080 M 46	XC 42 H 1 TS	S 45 C, S 45 CM	1672
42Cr4	1.7045	5140	530 A 40	42 C 4 TS	Scr 440	2245
41CrMo4	1.7223	4142	708 M 40, 3111－5/1	42 CD 4 TS	SNB 22, SCM 440	2244
Cf35	1.1183	1035	080 A 35	XC 38 H 1 TS	S 35 C, S 35 CM	1572

关注公众号：机械工程师成长营

国际材料标准对照表

表Ⅲ

德国		美国	英国	法国	日本	瑞典
标准						
DIN，DIN EN	材料号	AISI/SAE	BS	AFNOR	JIS	SS
Cf53	1.1213	1050	070 M 55	XC 48 H 1 TS	S 50 C，S 50 CM	1674
Cf70	1.1249	—	—	—	—	—
易切削钢						
11SMn30	1.0715	1213	230 M 07	S 250	SUM 22	1912
11SMnPb30	1.0718	12 L 13	—	S 250 Pb	SUM 23 L	1914
11SMn37	1.0736	1215	—	S 300	SUM 25	—
11SMnPb37	1.0737	12 L 14	—	S 300 Pb	—	1926
10S20	1.0721	1108，1109	(210 M 15)	10 F 2	—	—
10SPb20	1.0722	—	—	10 Pb F 2	—	—
35S20	1.0726	1140	212 M 36	35 MF 6	—	1957
46S20	1.0727	1146	En 8 DM	45 MF 4	SUM 43	—
冷作钢						
C80U	1.1525	W 108	—	C 80 E 2 U，Y_1 80	—	—
C105U	1.1545	W 1	BW 1 A	Y 105	SK 3	1880
冷作合金钢						
45WCrV7	1.2542	S 1	BS 1	45 WCrV 8	S 1	2710
60WCrV8	1.2550	S 1	BS 1	55 WC 20	—	—
100MnCrW4	1.2510	O 1	BO 1	90 MnWCrV 5	SKS 3	—
90MnCrV8	1.2842	O 2	BO 2	90 Mn V 8，90 MV 8	—	—
X210Cr12	1.2080	P 3	BD 3	Z 200 C 12	SKD 12	2710
102Cr6	1.2067	L 3	(BL 3)	100 Cr 6，Y 100 C 6	SUJ 2	—
45NiCrMo16	1.2767	—	BP 30	Y 35 NCD 16	—	—
X153CrMoV12	1.2379	D 2	BD 2	Z 160 CDV 12	SKD 12	2260
X100CrMoV51	1.2363	A 2	BA 2	Z 100 CDV 5	SKD 12	2260
X40CrMoV51	1.2344	H 13	BH 13	Z 40 CDV 5	SKD 61	2242
X210CrW12	1.2436	D4 (D6)	BD 6	Z 210 CW 12－01	SKD 2	2312
热作钢						
55NiCrMoV7	1.2714	—	—	—	SKS 51	—
X37CrMoV5－1	1.2343	H 11	BH 11	Z 38 CDV 5	SKD 6	—
32CrMoV12－28	1.2365	H 10	BH 10	32 CDV 12－28	—	—
高速钢						
HS6－5－2C	1.3343	M 2	BM 2	HS 6－5	SKH 51	2722
HS6－5－2－5	1.3243	M 35	BM 35	Z 85 WDKCV 06－05－04－02	SKH 55	2723
HS 10－4－3－10	1.3207	—	BT 42	HS 10－4－3－10	SKH 57	—
HS2－9－2	1.3348	M 7	—	HS 2－9－2，Z 100 DCWV 09－04－02－02	—	2782
HS2－9－1－8	1.3247	M 42	BM 42	HS 2－9－1－8	SKH 59	2716
S2－9－2－8	1.3249	M 42	BM 34	—	—	—
奥氏体不锈钢						
X10CrNi18－8	1.4310	301	301 S 21/22	Z 12 CN 18－09	SUS 301	2331
X2CrNi18－9	1.4307	F 304 L	304 L	—	SUS F 304 L	—
X5CrNi18 9	1.4350	304	304 S 31	Z 5 CN 18.09	SUS 304	2332
X2CrNiN19－11	1.4306	304 L	304/305 S 11	Z 2 CN 18－10	SCS 19，SUS 304 L	2352
X2CrNi18－10	1.4311	304 LN	304 S 61	Z 3 CN 18－07 Az	SUS 304 LN	2371
X5CrNi18－10	1.4301	304	304 S 17	Z 5 CN 17－08	SUS 304	2332，2333
X8CrNiS18－9	1.4305	303	303 S 22/31	Z 8 CNF 18－09	SUS 303	2346
X6CrNiTi18－10	1.4541	321	321 S 31/51	Z 6 CNT 18－10	SUS 321	2337
X4CrNi18－12	1.4303	305/308	305 S 17，305 S 19	Z 5 CN 18－11 FF	SUS 305 J1，SUS 305	—
X5CrNiMo17－12－2	1.4401	316	316 S 13/17/19	Z 3 CND 17－11－01	SUS 316	2347
X6CrNiMoTi17－12－2	1.4571	316 Ti	320 S 18/31	Z 6 CNDT 17－12	SUS 316 Ti	2350
X2CrNiMo18－14－3	1.4435	316 L	316 S 11/13/14	Z 3 CND 17－12－03/Z 3 CND 18－14－03	SUS 316 L	2353

关注公众号：机械工程师成长营

国际材料标准对照表

表Ⅳ

德国		美国	英国	法国	日本	瑞典
标准						
DIN，DIN EN	材料号	AISI/SAE	BS	AFNOR	JIS	SS
X2CrNiMoN17－13－3	1.4429	316 LN	326 S 63	Z 3 CND 17－12 Az	(SUS 316 LN)	2375
X2CrNiMoN17－13－5	1.4439	316 L	316 S 11	Z 2 CND 17－12	SUSF 316 L	2348
X1NiCrMoCu25－20－5	1.4539	USN N 08904	—	Z 2 NCDU 25－20	—	2562
铁素体不锈钢						
X2CrNi12	1.4003	A 268	—	—	—	—
X6Cr13	1.4000	403	403 S 17	Z 8 C 12，Z 8 C 13 FF	SUS 403	2301
X6Cr17	1.4016	430	430 S 15	Z 8 C 17	SUS 430	2320
X2CrTi12	1.4512	409	409 S 19	Z 3 CT 12	SUH 409	—
X6CrMo17－1	1.4113	434	434 S 17	Z 8 CD 17.01	SUS 434	—
X2CrMoTi18－2	1.4521	443/444	—	—	SUS 444	2326
马氏体不锈钢						
X12CrS13	1.4005	416	416 S 21 Z 11 CF 13	SUS 416	—	2380
X12Cr13	1.4006	410	410 S 21	Z 10 C 13	SUS 410	2302
X20Cr13	1.4021	420	420 S 37	Z 20 C 13	SUS 420 J 1	2303
X30Cr13	1.4028	420 F	420 S 45	Z 30 C 13	SUS 420 J 2	2304
X46Cr13	1.4034	—	(420 S 45)	Z 44 C 14，Z 38 C 13 M	SUS 420 J2	2304
X39CrMo17－1	1.4122	5925	—	—	—	—
X3CrNiMo 13－4	1.4313	CA 6－NM	425 C 11	Z 4 CND 13.4 M	SCS 5，SCS 6	2384
热轧弹簧钢						
38Si7	1.5023	—	—	41 Si 7	—	—
46Si7	1.5024	9255	—	51 S 7，51 Si 7	—	2090
55Cr3	1.7176	5155	525 A 58	55 Cr 3，55 C 3	SUP 9（A）（M）	2253
61SiCr7	1.7108	9261，9262	—	61 SC 7	—	—
51CrV4	1.8159	6150	735 A 50	55 Cr V 4	SUP 10	2230
冷轧钢带和钢板						
DC03	1.0347	A 619	1449 3 CR	E	CR 2	1146
DC04	1.0338	A 620（1008）	1449 2 CR；3 CR	ES	SPCE；HR 4	1147
片状石墨铸铁（灰口铸铁）						
EN－GJL－100	EN－JL－1010	A 48 20 B	1452 等级 100	Ft 10 D	G 5501 FC 10	0110－00
EN－GJL－150	EN－JL－1020	A 48 25 B	1452 等级 150	A 32－101 FGL 150；FT 15 D	G 5501 FC 15	0115－00
EN－GJL－200	EN－JL－1030	A 48 30 B	1452 等级 220	A 32－101 FGL 200；FT 20 D	G 5501 FC 20	0120－00
EN－GJL－250	EN－JL－1040	A 48 40 B	1452 等级 250/260	A 32－101 FGL 250；FT 25 D	G 5501 FC 25	0125－00
EN－GJL－300	EN－JL－1050	A 48 45 B	1452 等级 300	A 32－101 FGL 300；FT 30 D	G 5501 FC 30	0130－00
EN－GJL－350	EN－JL－1060	A 48 50 B	1452 等级 350	A 32－101 FGL 350；FT 35 D	G 5501 FC 35	0135－00
球状石墨铸铁（球墨铸铁）						
EN－GJS－350－22	EN－JS－1010	—	—	—	—	0717－15
EN－GJS－500－7	EN－JS－1050	A 536 60－45－12	2789 等级 500/7	A 32－201 FGS 500－7	G 5502 FCD 500	0727－02
EN－GJS－600－3	EN－JS－1060	A 536 80－55－06	2789 等级 600/3	A 32－201 FGS 600－3	G 5502 FCD 600	0732－03
EN－GJS－700－2	EN－JS－1070	A 536 100－70－03	2789 等级 700－2	A 32－201 FGS 700－2	G 5502 FCD 700	0737－01
可锻铸铁						
EN－GJMW－350－4	EN－JM 1010	—	86681 W 35－04	A 32－701 MB 35－7	G 5703 FCMW 330	—
EN－GJMW－400－5	EN－JM 1030	—	6681 W 40－05	A 32－701 MB 40－05	G 5703 FCMW 370	—
EN－GJMW－450－7	EN－JM 1040	—	6681 45－07	A 32－701 MB 450－7	G 5703 FCMWP 440	—
EN－GJMB－350－10	EN－JM 1130	A 47 等级 22010＋32510	310 B 340/12	A 32－702 MN 350－10	G 5703 FCMB 340	0815－00
EN－GJMB－450－6	EN－JM 1140	—	6681 P 45－06	A 32－703 MP 50－5	—	0854－00
EN－GJMB－550－4	EN－JM 1160	—	6681 P 55－04	A 32－703 MP 60－3	G 5703 FCMP 540	0856－00
EN－GJMB－650－2	EN－JM 1180	—	6681 P 65－02	—	—	0862－03
EN－GJMB－700－2	EN－JM 1190	A220 等级 70003	6681 P 70－02	A 32－703 MP 70－2	G 5703 FCMP 690	0862－03

关注公众号：机械工程师成长营

国际材料标准对照表

表 V

德国		美国	英国	法国	日本	瑞典
标准						
DIN，DIN EN	材料号	AISI/SAE	BS	AFNOR	JIS	SS
一般用途铸钢						
GS－38	1.0420	—	—	—	SC 360	—
GS－45	1.0446	A 27	—	—	SC 450	—
压力容器用铸钢						
GP240GH	1.0619	A 216 等级 WCC	1504－161 Gr. B	—	—	—
G17CrMo5－5	1.7357	A 217 等级 WC 6	—	—	—	—
铝及锻铝合金						
			旧 新	旧 新		
Al 99.5	1050 A	1050 A	1 B 1050 A	A－5 1050 A	A 1050	4007
Al Mn 1	3103	3103	N 3 3103	—	—	4054
Al Mn1Cu	3003	3003	(3103)	A－M 1 3003	A 3003	—
Al Mg1	5005 A	5005 A	N 41 5005	A－G 0.6 5005	A 5005	4106
Al Mg2	5251	5251	N 4 5251	A－G 2 M 5251	—	—
Al Mg3	5754	5754	—	A－G 3 M 5754	—	4125
Al Mg5	5019/5119	5019/5119	—	A－G 5	—	—
Al Mg3Mn	5454	5454	N 51 5454	A－G 3 MC 5454	A 5454	—
Al Mg4.5Mn0.7	5083	5083	N 8 5083	A－G 4.5 MC	A 5083	4140
AlCuPbMgMn	2007	2007	—	A－U 4 PB	—	4335
Al Cu4PbMg	2030	2030	—	—	—	—
Al MgSiPb	6012	6012	—	A－SGPB	—	—
Al Cu4SiMg	2014	2014	H 15 (2014 A)	A－U 4 SG	—	—
Al Cu4MgSi	2017	2017	—	A－U 4 G	A 2017	—
Al Cu4Mg1	2024	2024	2 L 97/9 2024	A－U 4 G1 2024	A 2024	—
Al MgSi	6060	6060	H 9 (6063)	A－GS 6060	A 6063	4103
Al Si1MgMn	6082	6082	H 30 6082	A－SGM 0.7 6082	—	4212
Al Zn4.5Mg1	7020	7020	H 17 7020	A－Z 5 G 7020	(A 7 N 01)	4425
Al Zn5Mg3Cu	7022	7022	—	A－Z 4 GU	—	—
Al Zn5.5MgCu	7075	7075	2 L 95/96 7075	A－Z 5 GU 7075	A 7075	—
铸铝合金						
AC－AlSi7Mg	AC－42000	A 356	L M 25	A－S 7 g	—	—
镁合金、钛、钛合金						
MgMn2	3.3520	M 1 A	MAG－E－101	G－M 2	—	—
MgAl3Zn	3.5312	AZ 31 B	MAG－E－111	G－A 3 Z 1	—	—
MgAl6Zn	3.5612	AZ 61 A	MAG－E－121	G－A 6 Z 1	—	—
MgAl8Zn	3.5812	AZ 80 A	—	G－A 7 Z 1	—	—
Ti1	3.7025	—	T A 1	—	—	—
Ti2	3.7035	—	T A 2	—	—	—
TiAl6V4	3.7165	—	T A 10－13，28，56	—	—	—
TiAlMo4Sn2	3.7185	—	T A 45－51，57	—	—	—

出版者及分支机构已留心收集以上数据。但是，对于任何使用上述数据者，本书的任何内容、陈述或省略可能造成的损失或损害，出版者及分支机构仍不负责

关注公众号：机械工程师成长营

引用标准及其他规定索引

标准号	标准类型及简明标题	页码	标准号	标准类型及简明标题	页码
DIN			DIN		
13	公制 ISO 螺纹	204	820	标准化	8
66	锥形沉孔	224	824	图纸折叠	66
74	锥形沉孔	224	835	螺柱	219
76	螺尾	89	908	螺塞	219
82	滚花	91	910	螺塞	219
103	公制 ISO 梯形螺纹	207	929	六角焊接螺母	232
125[1)]	平垫圈	233	935	槽形螺母	232
126[1)]	平垫圈	234	938	螺柱	219
158	圆锥螺纹	205	939	螺柱	219
172	带台钻套	247	962	螺栓及螺钉标注	210
173	插入式钻套	247	962	螺母标注	227
179	钻套	247	974	阶样孔	225
202	螺纹种类，概述	202	981	圆螺母	268
228	莫式锥度，公制锥度	242，243	1013[1)]	热轧圆钢	144
250	半径	65	1014[1)]	热轧方钢	144
319	球形把手	248	1017[1)]	热轧扁钢	144
323	优先数	65	1025	工字钢	149，150
332	中心孔	91	1026	槽钢	146
336	光孔钻头直径	204	1301	测量单位	17，20～22
406	尺寸标注	75～82	1302	数学符号	19
433[1)]	平垫圈	234	1304	数学符号	19
434	槽钢用方斜垫圈	235	1414	麻花钻	301
435	工字钢用方斜垫圈	235	1445	螺柱端 U 形夹销	238
461	坐标系	62，63	1587	盖形厚螺母	231
466	滚花厚螺母	232	1651[1)]	易切削钢	134
467	滚花扁螺母	232	1681	铸钢	161
471	轴用挡圈	269	1700[1)]	重金属，标记	174
472	孔用挡圈	269	1707[1)]	钎料	334
475	扳手开口度	223	1732	铅及铅合金焊条	326
508	T 形槽用螺母	250	1850	滑动轴承套	262
509	退刀槽	92	2080	锥柄	242，243
513	公制锯齿形螺纹	207	2093	碟形弹簧	246
580	吊环螺钉	219	2098	压缩弹簧	245
582	吊环螺母	231	2211	V 带轮	254
609	六角头螺栓及螺纹	214	2215	普通 V 带	253
616	滚子轴承尺寸系列	264	2215	齿形 V 带	253
617	滚针轴承	268	2403	管道，标志	343
623	滚子轴承，标注	264	3760	旋转轴唇形密封圈	270
625	深沟球轴承	265	3771	O 形圈	270
628	角接触球轴承	265	4760	形状误差	98
650	T 形槽	250	4844	安全标志	338～341
711	推力球轴承	266	4983	刀杆，标注	297
720	圆锥滚子轴承	267	4987	可转位刀片，标注	296
780	齿轮模数系列	257	5406	锥形锁紧垫圈	268
787	T 形槽用螺栓及螺钉	250	5412	圆柱滚子轴承	266

1）该标准已被取消。代换标准在指定页给出

关注公众号：机械工程师成长营

引用标准及其他规定索引

标准号	标准类型及简明标题	页码
DIN		
5418	滚动轴承，安装尺寸	265～267
5419	方形圈	270
5425	滚动轴承安装公差	112
5520	弯曲半径，有色金属	318
6311	压垫	248
6319	球面垫圈及锥面垫圈	250
6321	定位销	240
6323	滑键	250
6332	带推力点的平头螺钉	248
6335	十字手柄	249
6336	星形手柄	249
6599	切削刀具材料，标注	294
6771[1)]	标题栏	66
6773	工程图的硬度标注	97
6780	孔，简化表达	83
6784[1)]	工件棱边	88
6785	车削零件端部凸台	88
6796	锥形弹性垫圈	235
6799	开口挡圈	269
6885	普通平键	240
6886	普通楔键	239
6887	钩头楔键	239
6888	半圆键	240
6914	六角头螺栓	214
6915	六角螺母，高强度	230
6916	钢结构用高强度垫圈	235
6935	弯曲半径，钢材	318，319
7157	优先配合	111
7168[1)]	常用公差	110
7500	滚丝螺钉	218
7708	PF、UF、MF、MP 成形材料	184
7719	宽 V 带	253
7721	同步齿形带	253，255
7722	双面 V 带	253
7726	泡沫材料	185
7753	窄 V 带	253，254
7867	多楔带	253
7984	内六角圆头螺钉	215
7989	钢结构用垫圈	234
7991	沉头螺钉	216
7999	六角头配合螺栓	214
8513[1)]	钎料	333
8554[1)]	气焊条	324
9713[1)]	槽铝型材	171
9715	可锻镁合金	172
9812	柱式冲床	252
9816	柱式冲床	252
9819	柱式冲床	252
9861	凸模	251
16901	塑性成形零件，公差	186
17006	钢材，标记系统	122～125
17182	铸钢	161
17211[1)]	渗氮钢	134
17212	火焰加热及感应加热表面淬火钢	134，156
17221[1)]	弹簧钢	138
17223[1)]	弹簧钢丝	138
17350[1)]	工具钢	135
19225	控制器	347～349
19226	控制工程基本术语	346～349
19227	代码、符号	346，347
30910	烧结金属	178
40719	顺序功能图	358～360
50101[1)]	杯突试验	191
50102[1)]	杯突试验	191
51385	加工冷却液	292
51502	润滑油，标记	271，272
51519	ISO 黏度等级	271
51524	液压油	368
53804	统计分析	277，278
55350	质量监控及测试	276
66001	程序流程图，符号	395
66025	计算机数控机床，程序结构	382～387
66217	计算机数控机床，坐标	381
66261	Nassi-Shneiderman 图，符号	395
69871	锥柄	243
69893	空心锥柄	243
70852	锁紧螺母	231
70952	锁紧垫圈	231
DIN EN		
439	惰性气体	325
440	电极丝	325
485	可锻铝合金	166，167
499	电焊条	327
515	铝合金材料处理	165
573	铝合金标记	165
754	可锻铝合金	166，167
754	铝圆棒材和方棒材	169，170
755	可锻铝合金	166，167

1）该标准已被取消。代换标准在指定页给出

关注公众号：机械工程师成长营

引用标准及其他规定索引

标准号	标准类型及简明标题	页码	标准号	标准类型及简明标题	页码
DIN			DIN		
775	机器人工作安全	380	10270	拉伸弹簧用钢丝	244
1044	硬钎焊	333	10277	交货条件，光亮钢	145
1045	硬钎焊钎剂	334	10278	光亮钢产品	145
1089	压缩气瓶	324	10297	机械结构用钢管	142
1089	气瓶，标记	331，332	10305	精密钢管	142
1173	铜合金，材料处理	174	12163	铜锌合金	175
			12164	铜锌铅合金	175
1412	铜合金，材料代号	174			
1560	铸铁标注	158	12413	磨削，砂轮最大线速度	308
1561	灰口铸铁	160	12536	气焊条	324
1562	可锻铸铁	161	12844	高等级铸锌合金	176
1563	球墨铸铁	160	12890	模型	162，163
			13237	易爆炸区域的电装置	357
1661	六角法兰锁紧螺母	230			
1706	铸铝合金	168	17860	钛、钛合金	172
1753	铸镁合金	172	20273	螺栓用通孔	211
1780	铸铝合金标记	168	20898	螺母性能等级	228
1982	铜合金标记	174，176	22339	圆锥销	237
			22340	无头 U 形夹销	238
6506	布氏硬度试验	192			
10002	拉伸试验	190	22341	带头 U 形夹销	238
10003[1)]	布氏硬度试验	192	22553	焊接符号	93～95
10020	钢材，分类	120	24015	六角头螺栓	213
10025	碳素结构钢	130	24033[1)]	六角螺母	229
			24766	开槽紧定螺钉	220
10027	钢材，命名系统	121～125			
10045	冲击韧度试验	191	27434	开槽紧定螺钉	220
10051	热轧钢板	141	27435	开槽紧定螺钉	220
10055	等腰 T 形钢	146	28738	U 形夹销用平垫圈	235
10056	角钢	147，148	29453	软钎料	334
			29454	软钎焊钎剂	334
10058	热轧扁钢	144			
10059	热轧方钢	144	29692	焊接，焊接准备	323
10060	热轧圆钢	144	50125	拉伸试验样本	190
10083	调质钢	133，156	50141	剪切试验	191
10084	表面淬火钢	132，155	60445	电装置	353
			60446	电线及连接	353
10085	渗氮钢	134，157			
10087	易切削钢	134，157	60529	防护系统	357
10088	不锈钢	136，137	60617	二进制逻辑，电路符号	350～352
10089	弹簧钢	138	60848	顺序功能图	358～360
10113	细晶粒结构钢	131	60893	层压材料	184
			60947	非接触式传感器	355
10130	冷轧板材	140			
10137	调质结构钢	131	61082	电路图	353，354
			61131	PLC（可编程逻辑控制）	373～375
10142	电镀板材	141			
10210	热轧管材	151			
10213	压力容器用铸钢	161			
10219	冷轧管材	151			
10226	惠氏（标准）管螺纹	206			
10268	冷轧板材	140			
10270	弹簧钢丝	138			

1）该标准已被取消。代换标准在指定页给出

关注公众号：机械工程师成长营

引用标准及其他规定索引

标准号	标准类型及简明标题	页码	标准号	标准类型及简明标题	页码
DIN			DIN		
216	图纸格式	66	7050	沉头自攻螺钉	217
527	塑料的拉伸性能	195	7051	半沉头自攻螺钉	217
868	肖氏硬度试验	195	7090	平垫圈	233
898	螺栓和螺钉性能等级	211	7091	平垫圈	234
1043	基本聚合物	180	7092	平垫圈	234
1207	开槽圆头螺钉	216	7200	标题栏	66
1234	开口销	232	8673	六角螺母，细牙	229
1302	表面粗糙度的标注	99，100	8674	六角螺母，细牙	229
1872	PE 成形化合物	183	8675	六角扁螺母	230
1873	PP 成形化合物	183	8676	六角头螺栓	213
2009	开槽沉头螺钉	217	8734	圆柱销，表面淬火	237
2010	开槽半沉头螺钉	217	8740	槽销	238
2039	塑料硬度试验	195	8741	槽销	238
2338	圆柱销	237	8742	槽销	238
3098	字体	64	8743	槽销	238
3166	国家名称三字母代码	203	8744	槽销	238
3506	螺栓和螺钉性能等级	211	8745	槽销	238
3506	螺母性能等级	228	8746	圆头安全销	238
4014	六角头螺栓	212	8747	沉头安全销	238
4017	六角头螺栓	212	8752	弹性圆柱销，重载	237
4026	内六角紧定螺钉	220	8765	六角头螺栓	213
4027	内六角紧定螺钉	220	9000	质量管理	274，275
4028	内六角紧定螺钉	220	9001	质量管理	274
4032	六角螺母，粗牙	228	9004	质量管理	274
4033	六角螺母，粗牙	229	9787	工业机器人	378，379
4035	六角扁螺母	229	10512	带垫圈六角螺母	230
4063	焊接及相应工艺，标记	322	10642	内六角沉头螺钉	216
4287	表面加工	98	13337	弹性圆柱销，轻载	237
4288	表面粗糙度	98，99	13920	焊接，常用公差	322
4759	螺栓和螺纹产品等级	211	14539	夹持器	380
4762	内六角圆头螺钉	215	14577	马氏硬度	194
4957	工具钢	135，155	15785	胶接，表达方法	96
5457	图纸尺寸	66	15977	铆钉（平头）	241
6507	维氏硬度试验	193	15978	铆钉（沉头）	241
6508	洛氏硬度试验	193	18265	硬度值转换表	194
6947	焊接位置	322	20482	杯突试验	191
7040	带垫圈六角螺母	230	21269	内六角圆头螺钉	216
7046	十字槽沉头螺钉	217			
7047	十字槽半沉头螺钉	217			
7049	盘头自攻螺钉	218			

关注公众号：机械工程师成长营

引用标准及其他规定索引

标准号	标准类型及简明标题	页码
DIN		
14	花键连接	241
128	线型	67～75
228	管螺纹	206
273	螺栓用通孔	225
286	ISO 配合	102～109
513	切削刀具材料标注	294，295
525	磨料	309
848	粒度标注	311
965	多线螺纹，标注	202
965	螺纹公差等级	208
1101	形位公差	112～114
1219	液压回路符号	363～365
2162	弹簧表达	87
2203	齿轮表达	84
2768	基本公差	80，110
2859	验收取样	280
3040	圆锥术语	304
4379	滑动轴承轴套	262
4381	滑动轴承材料	261
4382	滑动轴承材料	261
5455	比例	65
5456	投影方法	69，70
6410	螺纹，表达方法	79，90
6411	中心孔，表达方法	91
6413	花键连接表达方法	87
6691	滑动轴承材料	261
6753	冲压工具及夹具用机加工板	251
8062	铸件尺寸公差	163
8826	滚动轴承，简化表达	85
9222	密封，简化表达	86
10242	模柄	251
13715	工件棱边	88
DIN VDE		
0100－410	电击安全防护	356
0100－430	自动熔断器	356
封闭物质循环及废弃品管理法规		
	需要特别监管的废弃品管理法规	197

标准号	标准类型及简明标题	页码
DIN		
A8	安全标志	338～341
B3	噪声预防法规（德国）	344
D12	磨削刀具的使用限制	308
DGQ		
11－19	质量科学，绪论	281
16－31	随机抽样的正态分布	278
16－33	质量和加工能力	281
EWG 指南		
67/548	R－短语，S－短语	199，200
67/548	危险品符号	342
IEC		
60479	交流电（AC）影响	356
TRGS		
900	危险品	198
VDI		
2229	胶接，胶接前表面处理	336
2740	夹持器	380
2854	机器人工作安全	380
2880	PLC 应用，信息列表（IL）	375
3258	机器运行时间	285
3368	凸模尺寸	316
3411	磨料结合剂	309，311
VDMA		
24569	可降解液压液	368

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

A

Abrasives ····· 309	磨料
ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers) ····· 181, 182	ABS（丙烯腈－丁二烯－苯乙烯共聚合物）
Acceleration ····· 34	加速度
Acceleration due to gravity ····· 36	重力加速度
Acceleration force ····· 36	加速力
Acceptance quality level (AQL) ····· 280	验收质量水平（AQL）
Acceptance sampling ····· 280	验收取样
Accident prevention regulations with regard to noise protection ····· 344	噪声控制的事故预防法规
Acetylene cylinders, color coding ····· 332	乙炔气瓶，颜色标记
Acme screw threads ····· 203	（美制）梯形螺纹
Acrylonitrile butadiene rubber (NBR) ····· 185	丙烯腈丁二烯橡胶（NBR）
Address codes, CNC controls ····· 382	地址代码，CNC 控制
Adhesive bonding ····· 336	胶接
Adhesives, microencapsulated ····· 222	胶黏剂，微胶囊
Air consumption of pneumatic cylinders ····· 369	气缸的耗气量
Air pressure ····· 42	气压
Aluminum alloys, heat treatment ····· 157	铝合金，热处理
Aluminum casting alloys ····· 168	铸铝合金
Aluminum castings, designation ····· 168	铸铝，标记
Aluminum profiles ····· 169－171	铝型材
Aluminum profiles, overview ····· 169	铝型材，概述
Aluminum tubes ····· 171	铝管
Aluminum, Aluminum alloys, overview ····· 164	铝，铝合金，概述
Aluminum, welding fillers ····· 326	铝，焊接填料
Amino plastic molding materials ····· 184	氨基塑性成形材料
Analog controllers ····· 348	模拟控制器
AND operation ····· 350, 375	与运算
Angular-contact ball bearings ····· 265	角接触球轴承
Anti-rotation lock for screws ····· 222	防转动锁紧螺钉
Aramide fibers ····· 187	芳族聚酰胺纤维
Arc length, dimensioning ····· 78	弧长，尺寸标注
Arc welding ····· 327, 328	电弧焊
Arc welding, weld design ····· 328	电弧焊，焊接设计
Area graphs ····· 63	面积图
Argon cylinders, color coding ····· 332	氩气瓶，颜色标记
Arrow projection method ····· 70	箭头方向投影法
ASCII code ····· 394	ASCII 码
Austenite ····· 153	奥氏体
Austenitic steels ····· 136	奥氏体钢
Automation ····· 345－398	自动化
Auxiliary dimensions ····· 81	辅助尺寸
Average speed of crank mechanism ····· 35	曲柄机构的平均速度
Axial deep groove ball bearings ····· 266	推力球轴承
Axonometric representation ····· 69	轴测投影

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

B

Ball bearings ····· 265, 266	球轴承
Ball knobs ····· 248	球形把手
Basic dimensions ····· 81	基本尺寸
Basic geometrical constructions ····· 58 – 61	基本几何作图
Basic hole ····· 103	基准孔
Basic polymers ····· 180	基本聚合物
Basic quantities ····· 20	基本量
Basic shaft ····· 103	基准轴
Basic units ····· 20	基本单位
Beam cutting ····· 328, 329	射流束切割
Beam cutting, areas of application ····· 329	射流束切割，应用范围
Bearing forces ····· 37	承受力
Belt drive, transmission ratio ····· 259	带传动，传动比
Bending ····· 318, 319	弯曲
Bending load ····· 47	弯曲载荷
Bending stress ····· 47	弯曲应力
Bending, bending radius ····· 318	弯曲，弯曲半径
Bending, calculation of blanks ····· 318, 319	弯曲，下料计算
Bending, spring back ····· 319	弯曲，回弹
Bevel gears, calculation ····· 258	圆锥齿轮，计算
Binary logic ····· 350	二进制逻辑
Binary number system ····· 393	二进制
Binomial formula ····· 15	二项式
Blind rivet ····· 241	铆钉
Block and tackle ····· 39	滑轮装置（组）
Boiling temperature ····· 116, 117	沸点
Bolt thread as inclined plane ····· 39	螺纹斜面
Bolts and screws ····· 209 – 221	螺栓和螺钉
Bolts and screws for T-slots ····· 250	T 形槽用螺栓和螺钉
Bolts and screws, designation ····· 210	螺栓和螺钉，标记
Bolts and screws, head styles ····· 223	螺栓和螺钉，头部形式
Bolts and screws, overview ····· 209, 210	螺栓和螺钉，概述
Bolts, tightening torques ····· 221	螺栓，拧紧力矩
Bonded joints, preparation ····· 336	胶接，表面处理
Bonded joints, representation ····· 96	胶接，表达方法
Bonded joints, testing ····· 337	胶接，试验
Bonded joints, types ····· 337	胶接，种类
Bosses on turned parts ····· 88	车端面时所留凸台
BR (butadiene rubber) ····· 185	BR（丁二烯橡胶）
Brazing materials ····· 333	钎料
Breakeven point ····· 286	收支平衡点
Brinell hardness test ····· 192	布氏硬度试验
Buckling, load ····· 46	翘曲，载荷
Buoyant force ····· 42	浮力
Buttress threads ····· 207	锯齿形螺纹

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

C

Cabinet projection	69	斜二测投影
Calculations with brackets	15	带括号运算
Captive fastener	222	系留紧固件
Carbon dioxide cylinders, color coding	332	二氧化碳气瓶，颜色标记
Carbon fibers	187	碳纤维
Cartesian coordinate system	62	直角坐标系
Case hardening steels	132	表面淬火钢
Case hardening steels, heat treatment	155	表面淬火钢，热处理
Case-hardening	154	表面淬火
Cast copper alloys	176	铸铜合金
Cast iron with flake graphite	159, 160	灰口铸铁
Cast iron with spheroidal graphite	159, 160	球墨铸铁
Cast iron, bainitic	159	铸铁，贝氏体
Cast iron, designation system	158	铸铁，标记系统
Cast iron, dimensional tolerances	163	铸铁，尺寸公差
Cast steel	159, 161	铸钢
Casting tolerance grade	163	铸件公差等级
Castle nuts	232	槽形螺母
Cavalier projection	69	斜等测投影
Cellulose acetate plastics (CA)	181	醋酸纤维塑料（CA）
Cellulose acetobutyrate plastics (CAB)	181	醋酸－丁酸纤维塑料（CAB）
Centrifugal force	37	离心力
Centroids, lines	32	线的形心
Centroids, plane areas	32	平面形心
Ceramic materials	177	陶瓷材料
Chamfers, dimensioning	78	倒角，尺寸标注
Change in volume	51	体积变化
Character sizes	64	字母高度
Character types	64	字母类型
Chemicals used in metal technology	119	金属工艺中的化学制品
Chlorepoxypropane rubber (CO)	185	氯化环氧丙烷橡胶
Circle, area	10, 27	圆，面积
Circle, circumference	27	圆，周长
Circle, finding the center of	60	圆，求圆心
Circlips	269	开口挡圈
Circuit diagrams	354	电路图
Circuit diagrams, hydraulic	365, 367	回路图，液压
Circuit diagrams, pneumatic	365, 366	回路图，气动
Circuits, electrical	351－354	回路图，电
Circular movements of CNC machines	386, 387	CNC 数控机床圆弧插补
Circular ring (annulus), area	28	圆环（环形），面积
Circular sector, area	28	扇形，面积
Circular segment, area	28	弓形，面积
Circumferential velocity, calculating	34, 35	圆周速度，计算
Clearance fit	102	间隙配合
Clearance holes for bolts	211	螺栓用通孔
Clevis pins	238	U 形夹销
Closed loop control, general terms	346	闭环控制，基本术语
Closed Substance Cycle and Waste Management Act	197	物质封闭循环和废弃品管理法规
Coarse threads	204	粗牙螺纹

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Coefficient of linear expansion ····· 116, 117	线膨胀系数
Coefficient of thermal conductivity ····· 117	热导率
Coefficient of volumetric expansion ····· 116, 117	体胀系数
Coefficients of friction ····· 41	摩擦系数
Cold work steels ····· 135	冷作钢
Cold work steels, heat treatment ····· 155	冷作钢，热处理
Combination signs ····· 341	组合标志
Combined dimensioning ····· 82	组合尺寸标注
Composite materials ····· 177	复合材料
Compressed-gas cylinders ····· 324	压缩气瓶
Compressed-gas cylinders, color coding ····· 332	压缩气瓶，颜色标记
Compression springs ····· 245	压缩弹簧
Compressive load ····· 45	压缩载荷
Compressive stress ····· 45	压应力
Conductor resistance ····· 53	电阻
Cone, surface area and volume ····· 30	圆锥，表面积和体积
Conical seats ····· 250	锥面垫圈
Conical spring washers ····· 235	锥形弹性垫圈
Continuous controllers ····· 348	连续控制器
Contribution margin ····· 286	分布区域
Control characters of computers ····· 394	计算机控制符
Control dimensions ····· 81	控制尺寸
Controlled systems ····· 349	控制系统
Controllers ····· 348, 349	控制器
Coordinate dimensioning ····· 82	坐标型尺寸标注
Coordinate systems of CNC machines ····· 381	CNC 数控机床坐标系统
Copper-tin alloys ····· 175	铜 - 锡合金
Copper-zinc alloys ····· 175	铜 - 锌合金
Corrosion ····· 196	腐蚀
Corrosion protection ····· 196	防腐
Cosine ····· 11, 13	余弦
Cost accounting ····· 284	成本核算
Cost calculation ····· 284	成本计算
Cost comparison method ····· 286	成本比较方法
Cotangent ····· 12, 13	余切
Cotter pins ····· 232	开口销
Counter nut ····· 222	埋头螺母
Countersink depth, calculating ····· 225	沉孔深度，计算
Countersinking, productive time ····· 289	锪孔，机动时间
Countersinks for screws ····· 224, 225	螺钉用沉孔
Countersunk head screws, slotted ····· 217	开槽沉头螺钉
Countersunk screws, hexagon socket ····· 216	内六角沉头螺钉
CR (chloroprene rubber) ····· 185	CR（氯丁橡胶）
Cross-section area ····· 73	断面区域
CSM (chlorosulfonated polyethylene elastomers) ····· 185	CSM（氯硫化聚乙烯合成橡胶）
Cube root ····· 15	立方根
Current density ····· 54	电流密度
Currents ····· 356	电流
Cutting data, drilling ····· 301	切削数据，钻孔
Cutting data, grinding ····· 308, 311	切削数据，磨削

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Cutting data, honing ····· 312 切削数据，珩磨
Cutting data, milling ····· 305 切削数据，铣削
Cutting data, reaming ····· 302 切削数据，铰孔
Cutting data, tapping ····· 302 切削数据，攻丝
Cutting data, turning ····· 303 切削数据，车削
Cutting force ····· 46 切削力
Cutting force, drilling ····· 299 切削力，钻孔
Cutting force, face milling ····· 300 切削力，端铣
Cutting force, specific ····· 298 单位切削力
Cutting force, turning ····· 299 切削力，车削
Cutting power in face milling ····· 300 端铣切削功率
Cutting power, drilling ····· 299 切削功率，钻孔
Cutting power, turning ····· 299 切削功率，车削
Cutting speed, calculating ····· 35 切削速度，计算
Cutting tool materials ····· 294, 295 切削刀具材料

D

D-controllers ····· 348 D－控制器
Danger criteria ····· 342 危险程度
Danger symbols ····· 342 危险品符号
Data processing, graphical symbols ····· 395, 396 数据处理，流程图符号
Deceleration force ····· 36 减速力
Decimal system ····· 393 十进制
Deep drawing force ····· 321 拉深力
Deep drawing, blank diameters ····· 320 拉深，坯料直径
Deep drawing, deep drawing force ····· 321 拉深，拉深力
Deep drawing, drawing gap ····· 320 拉深，拉深间隙
Deep drawing, drawing ratio ····· 321 拉深，拉深率
Deep drawing, drawing steps ····· 321 拉深，拉深步骤
Deep drawing, tool radii ····· 320 拉深，刀具半径
Deep groove ball bearings ····· 265 深沟球轴承
Deep-drawing, hold-down force ····· 321 拉深，坯料夹紧力
Defect chart ····· 281 缺陷图
Deflection ····· 47 弯曲变形
Density, values ····· 116, 117 密度，值
Description of hazards ····· 342 危险性描述
Detent edged ring ····· 222 挡圈
Deviations ····· 102 偏差
Diameter, dimensioning ····· 78 直径，尺寸标注
Diametric projection ····· 69 正二测投影
Die clearance ····· 316 凹模间隙
Die dimensions ····· 316 凹模尺寸
Differential indexing ····· 307 差分分度
Digital controllers ····· 349 数字控制器
Dimension lines ····· 76 尺寸线
Dimension numbers ····· 76 尺寸数字
Dimensioning rules ····· 77 尺寸标注规则

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Dimensioning systems ····· 75 尺寸标注系统
Direct costing ····· 286 直接成本核算
Direct costs ····· 284 直接成本
Direct Current (DC) ····· 55 直流电 (DC)
Direct indexing ····· 307 直接分度
Discontinuous controllers ····· 349 断续控制器
Disk springs ····· 246 碟形弹簧
Disposal of substances ····· 197 物质的处置
Dividing head ····· 307 分度头
Divisions, dimensioning ····· 79 等分，尺寸标注
Drain plugs ····· 219 螺塞
Drill bushings ····· 247 钻套
Drilling cycles ····· 389, 392 钻孔循环
Drilling screws ····· 210 自攻螺纹
Drilling, cutting data ····· 301 钻孔，切削数据
Drilling, cutting force and cutting power ····· 299 钻孔，切削力及切削功率
Drilling, problems ····· 306 钻孔，问题
Drilling, productive time ····· 289 钻孔，机动时间
Dry machining ····· 293 干加工

E

EC Directive on Hazardous Substances ····· 199 关于危险品的欧盟法规
Developed length of bent parts ····· 318, 319 弯曲件展开长度
Elastomers ····· 179, 185 弹性体（橡胶）
Electric current ····· 53, 54 电流
Electrical circuit symbols ····· 351, 352 电路符号
Electrical circuits ····· 351 – 357 电路
Electrical conductance ····· 53 电导
Electrical engineering, fundamentals ····· 53 – 55 电工，基础
Electricity, quantities and units ····· 22 电学，量及单位
Electrochemical series ····· 196 电化学序列
Electrohydraulic controls ····· 367 电液控制
Electropneumatic controls ····· 366 电 – 气动控制
Ellipse, constructing ····· 60 椭圆，作图
Embedding materials (matrix) for plastics ····· 187 塑料的预埋材料（基底）
Energy of position ····· 38 位能
Energy, kinetic ····· 38 动能
Energy, potential ····· 38 势能
EPR (ethylene propylene rubber, EPDM) ····· 185 EPR（乙烯丙烯橡胶，EPDM）
Equations, solving ····· 15 方程，求解
Equipment, electrical ····· 353 电装置
Erichsen cupping test ····· 191 埃里克森杯突试验
Escape route and rescue signs ····· 340 逃生路线及救援标志
Euclidean theorem ····· 23 欧几里得定理
Eutectic ····· 153 共析
Eutectoid ····· 153 共析钢
EXCEL, commands ····· 398 EXCEL，命令
Extension lines ····· 76 尺寸界线
Eye bolts ····· 219 吊环螺钉
Eye nuts ····· 231 吊环螺母

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

F

Face milling, cutting force and cutting power	300	端铣，切削力及切削功率
Fatigue test	189	疲劳试验
Feather keys	240	平键
Feed rate, calculating	35	进给速度，计算
Felt rings	270	方形圈
Ferrite	153	铁素体
Ferritic steels	137	铁素体钢
Fiberglass	187	玻璃纤维
Filler metals	334	钎料
Fillers and reinforcing materials for plastics	180	塑料用填料及增强材料
Fine threads	204	细牙螺纹
Fire protection symbols	340	消防标志
Fits, ISO system	102	配合，ISO 系统
Fits, recommended	111	优先配合
Fixed costs	286	固定成本
Flame-cutting, dimensional tolerances	330	火焰切割，尺寸公差
Flame-cutting, standard values	329	火焰切割，标准值
Flat head countersunk screws, cross recessed	217	十字槽沉头螺钉
Flat head countersunk tapping screw	217	沉头自攻螺钉
Flat steel bar, bright	145	扁钢，拉光
Flat steel bar, hot-rolled	144	扁钢，热轧
Flip-flop elements	350, 352	触发器单元
Flow rates	371	流速
Fluorocaoutchouc (FKM)	185	氟橡胶（FKM）
Fluted knobs	249	星形手柄
Flux for brazing	334	硬钎焊钎剂
Flux for soldering	334	软钎焊钎剂
Foam materials	185	泡沫材料
Folded joints, representation	96	折叠连接，表达方法
Fonts	64	字体
Force diagram, calculation	36	受力图，计算
Forces	36	力
Forces, adding and resolving	36	力，合成和分解
Forces, representation	36	力，表达方法
Form and positional tolerances	112 – 114	形位公差
Form deviations	98	形状误差
Forming gas (IC) cylinders, color coding	332	混合气体（IC）气瓶，颜色标记
Foundry technology	162, 163	铸造技术
Free cutting steels	134	易切削钢
Free cutting steels, heat treatment	157	易切削钢，热处理
Freezing temperature	117	凝固温度
Frequency, relative	277	频率，相对
Friction	41	摩擦
Friction power	41	摩擦功率
Frictional moment	41	摩擦运动
Frictional work	38	摩擦功

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Function block language (FBL)	374	功能块图语言（FBL）
Function charts	358 – 360	顺序功能图
Function diagrams	361, 362	信号 – 状态图
Fundamental deviations	102	基本偏差
Fundamental deviations for holes	105	孔的基本偏差
Fundamental deviations for shafts	104	轴的基本偏差
Fundamental tolerance grades	102, 103	标准公差等级
Fundamental tolerances	103	标准公差
Fuses	356	熔断器
G		
Gage pressure	42	计示压力
Gas cylinders, color coding	331	气瓶，颜色编码
Gas cylinders, identification	331	气瓶，标记
Gas shielded metal arc welding	325, 326	气体保护金属极弧焊
Gas welding rods	324	气焊条
Gaseous materials, characteristics	117	气体物质，特性
Gear winch	39	齿轮传动绞车
General tolerances	110	常用公差
General tolerances, weldments	322	常用公差，焊接件
Geometrical areas, calculating	26 – 28	几何面积，计算
Geometrical areas, centroid	32	几何图形，形心
Geometrical areas, units	20	几何图形，单位
Gib-head keys	239	钩头楔键
Golden Rule of Mechanics	38, 39	机械能守恒原理
Graphical symbols for data processing	395, 396	数据处理流程图符号
Graphs	62, 63	图表
Greek alphabet	64	希腊字母
Grinding	308 – 311	磨削
Grinding wheels, selection	310	砂轮选择
Grinding, cutting data	308, 311	磨削，切削数据
Grinding, maximum allowable peripheral velocity	308	磨削，最大允许线速度
Grinding, productive time	291	磨削，机动时间
Grippers	380	夹持器
Grooved drive studs	238	安全销
Grooved pins	238	槽销
Grub screws with thrust point	248	带推力点的平头螺钉
H		
Hard milling	293	硬材料的铣削
Hard turning	293	硬材料的车削
Hardening	153, 154	表面淬火
Hardness limits	97	硬度极限
Hardness penetration depth	97	压痕深度
Hardness specifications in drawings	97	图样上的硬度标注
Hardness test	192 – 195	硬度试验
Hardness values, conversion table	194	硬度值，转换表
Hatching, representation	73	剖面符号，表达方法
Hatchings, material dependent	75	剖面符号，不同材料
Hazardous gases and substances	198	危险气体及危险品
Hazardous substances	198 – 200	危险品
Hazardous waste	197	危险废弃品
Headed drill bushings	247	钻套

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Heat flux ····· 52 热通量
Heat of combustion ····· 52 燃烧热
Heat of fusion ····· 52 熔解热
Heat of vaporization ····· 52 汽化热
Heat transfer ····· 22 热传导
Heat transmission ····· 52 传热（热传导）
Heat transmission coefficient ····· 52 传热系数
Heat treatment ····· 154 – 157 热处理
Heat treatment information ····· 97 热处理信息
Heat treatment of steels ····· 153 – 157 钢的热处理
Helical line, constructing ····· 61 螺旋线，作图
Helium cylinders, color coding ····· 332 氦气瓶，颜色标记
Hexadecimal number ····· 393 十六进制数
Hexadecimal numbering system ····· 393 十六进制
Hexagon head bolts & screws ····· 212 – 214 六角头螺栓
Hexagon head bolts with reduced shank ····· 213 六角头螺栓，缩杆
Hexagon head bolts, heavy ····· 214 六角头螺栓，高强度
Hexagon nuts ····· 228 – 231 六角螺母
Hexagon, constructing ····· 59 正六边形，作图
Hexagonal acorn nuts ····· 231 盖形螺母
Hexagonal fit bolts with long threaded stem ····· 214 六角头长螺杆配合螺栓
Hexagonal fit bolts, heavy ····· 214 六角头配合螺栓，高强度
Hexagonal steel bars, bright ····· 145 六角钢，光亮
High-grade cast zinc alloys ····· 176 高等级铸锌合金
High-performance grinding ····· 311 高性能磨削
High-speed machining ····· 293 高速加工
High-speed steels ····· 135 高速钢
High-speed steels, heat treatment ····· 155 高速钢，热处理
High-temperature plastics ····· 187 高温塑料
Histogram ····· 277 直方图
Hoisting winch ····· 39 提升绞车
Hold-down force in deep drawing operations ····· 321 拉深加工时的夹紧力
Hollow cylinder, surface area and volume ····· 29 中空圆柱体，表面积及体积
Hollow taper shanks ····· 243 空心锥柄
Homogenizing anneal ····· 153 均质化退火
Honing, cutting values ····· 312 珩磨，切削值
Honing, productive time ····· 289 珩磨，机动时间
Honing, selection of honing stones ····· 312 珩磨，磨条选择
Hooke's law ····· 36 胡克定律
Hot work steels ····· 135 热作钢
Hot work steels, heat treatment ····· 155 热作钢，热处理
HSC (High speed cutting) ····· 293 HSC（高速切割）
Hydraulic circuit symbols ····· 363, 364 液压回路符号
Hydraulic fluids ····· 368 液压流体
Hydraulic oils ····· 368 液压油
Hydraulic press ····· 370 液压机
Hydraulics ····· 363 – 372 液压
Hydrostatic pressure ····· 42 流体静压力
Hyperbola, constructing ····· 61 双曲线，作图

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

I, J

I-beams, medium width	149	工字钢，中等宽度
I-beams, narrow	150	工字钢，窄型
I-beams, wide	149	工字钢，宽型
I-controller	348	I－控制器
Ideal gas law	42	理想气体定律
Imperial threads	203	英制螺纹
Incline, dimensioning	78	斜度，尺寸标注
Inclined plane	39	斜面
Indexing	307	分度
Industrial robots	378, 379	工业机器人
Inert gas	325	惰性气体
Information signs	341	告知标志
Information technology	393－398	信息技术
Instruction List IL	373, 375	指令表 IL
Interference fit	102	过盈配合
Intersection line, representation	73	剖面线，表达方法
Involute curve, constructing	61	渐开线，作图
IR (isoprene rubber)	185	IR（异戊二烯橡胶）
Iron-Carbon phase diagram	153	铁碳合金状态图
ISO fits	104－109	ISO 配合
Isobutene-isoprene rubber	185	异丁烷－异戊二烯橡胶
Isometric projection	69	正等侧投影
Job time acc. to REFA (German association for work time studies)	282	根据REFA（德国企业组织与发展基金会）的工作时间
Jointing, productive time	289	连接，机动时间

K

Keys, feather keys, woodruff keys	239	键，平键，半圆键
Kinetic energy	38	动能
Knurled nuts	232	滚花螺母
Knurls	91	滚花
Krypton cylinders, color coding	332	氪气瓶，颜色标记

L

Labels for hazardous goods	331	危险品标签
Ladder diagram LAD	374	阶梯图 LAD
Laminate materials	184	层压材料
Laser beam cutting, dimensional tolerances	330	激光切割，尺寸公差
Laser beam cutting, standard values	330	激光切割，标准值
Latent heat of fusion	116, 117	熔解潜热
Law of cosines	14	余弦定律
Law of sines	14	正弦定律
Leader lines	77	指引线
Ledeburite	153	莱氏体

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Left-hand threads	202	左旋螺纹
Length, calculating	24, 25	长度，计算
Length, effective	25	有效长度
Length, units	20	长度，单位
Lever	37	杠杆
Lever principle	37	杠杆原理
Lifting work	38	提升功
Limit dimensions for threads	208	螺纹极限尺寸
Limits	102	极限
Linear expansion	51	线膨胀
Linear function	16	一次函数
Linear movements of CNC machines	386, 387	CNC 数控机床直线插补
Lines in technical drawings	67, 68	工程图中的线型
Lines, centroid	32	线，形心
Liquid materials, characteristics	117	液体，特性
Load cases	43	载荷情况
Load types	43	载荷类型
Lock nuts	231	锁紧螺母
Lock nuts for roller bearings	268	圆螺母
Lock washers for bolts and screws	222	螺栓用锁紧垫圈
Lock washers for roller bearing slotted nuts	268	锥形锁紧垫圈
Lock washers, slotted nuts	231	锁紧垫圈，锁紧螺母
Lock wire for screws	222	锁紧用钢丝
Locking edge washer	222	止动垫圈
Locking fasteners	222	锁紧紧固件
Lubricants	272	润滑
Lubricating greases	272	润滑脂
Lubricating oils	271	润滑油

M

Machine capability	281	机器能力
Machine hourly rates	285	机器小时费率
Machining coolants	292	加工冷却液
MAG (Metal active gas) welding, standard values	326	MAG（金属焊条活性气体）焊，标准值
Magnesium, cast alloys	172	铸镁合金
Magnesium, wrought alloys	172	锻镁合金
Magnetism	22	磁学
Malleable cast iron	159, 161	可锻铸铁
Mandatory signs	340	指示标志
Manufacturing costs	284	制造成本
Martens hardness	194	马氏硬度
Martensitic steels	137	马氏体钢
Mass moment of inertia	38	质量惯性矩
Mass, calculation	31	质量，计算
Mass, linear mass density and area mass density	31, 152	质量，线密度和面密度
Material characteristics	116, 117	材料特性

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Material removal processes, productive time ····· 313	蚀除材料加工，机动时间
Material removal rate, standard values ····· 313	材料蚀除率，标准值
Material science ····· 115 – 200	材料科学
Material testing ····· 188 – 195	材料试验
Material testing, overview ····· 188 – 189	材料试验，概述
Mathematical symbols ····· 19	数学符号
Mathematics ····· 9 – 32	数学
Matrix materials for plastics ····· 187	塑料用基底材料
Maximum clearance ····· 102	最大间隙
Maximum dimension ····· 102	最大尺寸
Maximum interference ····· 102	最大过盈
Mean value, arithmetical ····· 278	算术平均值
Mean value, standard deviation chart ····· 279	平均值，标准偏差图
Mechanical strength properties ····· 44, 45	机械强度性能
Mechanics, quantities and units ····· 20, 21	力学，计量单位
Melamine phenolic formaldehyde molding materials ····· 184	三聚氰胺酚醛成形材料
Melting temperature ····· 116, 117	熔点
Memory (Flip-flop) ····· 350, 352	存储器（触发器）
Metric ISO screw threads ····· 204	公制 ISO 螺纹
Metric tapers ····· 242, 243	公制锥度
MF (melamine formaldehyde) resin ····· 181	MF（三聚氰胺甲醛）树脂
MF molding materials ····· 184	MF 成形材料
Microstructures of carbon steel ····· 153	碳钢的微组织
MIG (Metal-inert-gas) welding, standards ····· 326	MIG（惰性气体保护熔化极）焊，标准值
Milling, cutting data ····· 305	铣削，切削数据
Milling, cycles acc. to PAL (German association) ····· 388, 389	铣削，PAL（德国协会）循环
Milling, problems ····· 306	铣削，问题
Milling, productive time ····· 290	铣削，机动时间
Minimum clearance ····· 102	最小间隙
Minimum dimension ····· 102	最小尺寸
Minimum engagement depth for screws ····· 211	螺钉最小旋入长度
Minimum interference ····· 102	最小过盈
Minimum quantity of machining coolant ····· 293	加工冷却液最小量
Module series for spur gears ····· 257	直齿圆柱齿轮模数系列
Modulus of elasticity ····· 46, 190	弹性模量
Molding materials, thermoplastic ····· 183	成形材料，热塑性
Molding materials, thermosetting ····· 184	成形材料，热固性
Molecular groups ····· 119	基团
Morse taper ····· 242, 243	莫氏锥度
Motion, accelerated ····· 34	加速运动
Motion, circular ····· 34	圆周运动
Motion, uniform ····· 34	匀速运动
Multiple start threads ····· 202	多线螺纹

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

N

NAND operation ····· 350 与非运算
Narrow V-belts ····· 254 窄 V 带
Nassi-Shneiderman diagrams ····· 395 Nassi – Shneiderman 框图
Needle bearings ····· 268 滚针轴承
Neon gas cylinders, color coding ····· 332 氖气瓶，颜色标记
Net calorific value ····· 52 净发热值
Nitriding ····· 154 渗氮
Nitriding steels ····· 134 渗氮钢
Nitriding steels, heat treatment ····· 157 渗氮钢，热处理
Noise ····· 344 噪声
Noise Protection Regulations (German) ····· 344 噪声预防法规（德国）
Noise, damages to health ····· 344 噪声，对健康的危害
Nominal dimensions ····· 102 公称尺寸
Non-ferrous metals ····· 164 – 176 有色金属
Non-ferrous metals, material numbers ····· 165, 174 有色金属，材料牌号
Non-ferrous metals, systematic designation ····· 165, 174 有色金属，系统标记
NOR operation ····· 350 或非运算
Normal distribution ····· 278 正态分布
Normalizing ····· 153, 154 正火
NOT operation ····· 350 非运算
Notched-bar impact bending test ····· 191 冲击弯曲试验
NPSM threads ····· 203 NPSM 螺纹
NPT threads ····· 203 NPT 螺纹
NPTF threads ····· 203 NPTF 螺纹
NR (natural rubber) ····· 185 NR（天然橡胶）
Numerical control technology ····· 381 – 392 数字控制技术
Nuts ····· 226 – 232 螺母
Nuts for T-slots ····· 250 T 形槽用螺母
Nuts, designation ····· 227 螺母，标注
Nuts, overview ····· 226, 227 螺母，概述
Nuts, property classes ····· 228 螺母，性能等级

O

O-rings ····· 270 O 形圈
Ohm's law ····· 53 欧姆定律
Open loop control, general terms ····· 346, 347 开环控制，基本术语
OR operation ····· 350 或运算
Orientation tolerance ····· 113 定向公差
Overhead ····· 284 管理费用
Oxygen cylinders, color coding ····· 332 氧气瓶，颜色标记

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

P

PA (polyamide) plastics ····· 180 – 182	PA（聚酰胺）塑料
PAL drilling cycles (German association) ····· 389, 392	PAL 钻孔循环（德国协会）
PAL milling cycles (German association) ····· 388	PAL 铣削循环（德国协会）
PAL turning cycles (German association) ····· 390 – 392	PAL 车削循环（德国协会）
Parabola, constructing ····· 61	抛物线，作图
Parallel circuit ····· 54	并联电路
Parallel dimensioning ····· 82	基准型尺寸标注
Parallelogram area ····· 26	平行四边形面积
Pareto diagram ····· 281	Pareto 图
Partial views in drawings ····· 71	局部视图
Path correction in CNC machining ····· 385	CNC 数控加工时的刀具补偿
Patterns, color coding ····· 162	模型，颜色标记
PC (polycarbonate) plastics ····· 180, 181	PC（聚碳酸酯）塑料
PD controller ····· 348	PD 控制器
PE (polyethylene) plastics ····· 180 – 182	PE（聚乙烯）塑料
PE molding materials ····· 183	PE 成形材料
Pearlite ····· 153	珠光体
Percentage, calculating ····· 18	百分比，计算
Periodic table of the elements ····· 118	元素周期表
PF (phenol formaldehyde) resin ····· 181	PF（酚醛）树脂
PF molding materials ····· 184	PF 成形材料
pH value ····· 119	pH 值
Phenolic molding materials ····· 184	酚醛成形材料
Physics ····· 33 – 56	物理
PI (Proportional-integral) controller ····· 348	PI（比例 – 积分）控制器
PID (Proportional-integral-differential) controller ····· 348	PID（比例 – 积分 – 微分）控制器
Pillar presses ····· 252	柱式冲床
Pins ····· 236 – 238	销
Pins, locating ····· 249	定位销
Pins, overview ····· 236	销，概述
Pins, seating ····· 249	固定销
Pipe lines, identification ····· 343	管道，标志
Piston speeds ····· 371	活塞速度
Plain bearing ····· 261 – 263	滑动轴承
Plain bearing bushings ····· 362	滑动轴承轴套
Plain bearing materials ····· 261	滑动轴承材料
Plasma cutting, standard values ····· 329	等离子切割，标准值
Plastic processing, settings ····· 186	塑料加工，参数设置
Plastic processing, tolerances ····· 186	塑料加工，公差
Plastics ····· 179 – 187	塑料
Plastics testing ····· 195	塑料试验
Plastics, cutting ····· 301 – 305	塑性切削加工
Plastics, distinguishing characteristics ····· 181	塑料，明显特征
Plastics, hardness test ····· 195	塑料，硬度试验
Plastics, identification ····· 181	塑料，辨识
Plastics, material testing ····· 195	塑料，材料试验
Plastics, tensile load ····· 195	塑料，拉伸载荷
Plastics, thermal behavior ····· 179	塑料，温度效应
Plateau honing ····· 312	平顶珩磨
Plates for pillar presses ····· 251	柱式冲床用加工板

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

PLC, controls ····· 373 – 377	PLC，控制
PLC, programming ····· 373 – 376	PLC，程序设计
PLC, programming languages ····· 373 – 376	PLC，程序设计语言
PMMA (polymethylmethacrylate) plastics ····· 181, 182	PMMA 塑料（有机玻璃）
Pneumatic circuit symbols ····· 363, 364	气路图
Pneumatic cylinders, air consumption ····· 369	气缸，耗气量
Pneumatic cylinders, dimensions ····· 369	气缸，尺寸
Pneumatic cylinders, piston forces ····· 369	气缸，活塞力
Pneumatics ····· 363 – 371	气动
Polar coordinate system ····· 63	极坐标系
Polar coordinates in drawings ····· 82	极坐标
Polyblends ····· 187	聚合混合物
Polyetheretherketone (PEEK) ····· 187	聚醚醚酮（PEEK）
Polygon, constructing ····· 59	多边形，作图
Polygon, irregular ····· 27	多边形，不规则
Polygon, regular ····· 27	多边形，规则
Polyimide (PI) resin ····· 187	聚酰亚胺（PI）树脂
Polymers, letter symbols ····· 180	聚合物，字母符号
Polyoxidemethylene (POM, polyacetal) resin ····· 181, 182	聚甲醛（POM，聚醛）树脂
Polyphenylene sulfide (PPS) plastics ····· 187	聚苯硫化物（PPS）塑料
Polystyrene plastics ····· 181, 182	聚苯乙烯塑料
Polysulfone (PSU) plastics ····· 187	聚砜（PSU）塑料
Position tolerances ····· 114	定位公差
Positional dimensions in drawings ····· 81	制图中的定位尺寸
Positional tolerances ····· 113, 114	位置公差
Potential energy ····· 38	势能
Pour point ····· 368	倾点
Power factor ····· 56	功率因数
Power, electrical ····· 56	电功率
Power, mechanical ····· 40	机械功率
Powers (exponentiation) ····· 15	乘方（指数）
PP (polypropylene) plastics ····· 181, 182	PP（聚丙烯）塑料
PP molding materials ····· 183	PP 成形材料
Precision steel tubes for hydraulic and pneumatic applications ····· 372	液压及气动用精密钢管
Precision steel tubes, seamless ····· 142	精密钢管，无缝
Preferred numbers ····· 65	优先数
Pressed joints, representation ····· 96	压制接缝，表达方法
Pressure ····· 42	压力
Pressure intensifier ····· 370	增压器
Pressure units ····· 42	压力单位
Primary profile (P profile) ····· 98	原轮廓（P 轮廓）
Prime cost ····· 284	主要成本
Probability ····· 276	概率
Probability network ····· 277	概率系统
Process capability ····· 281	加工能力
Process steps ····· 280	生产步骤
Production costs ····· 284	生产成本
Production engineering ····· 273 – 344	生产管理

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Productive time, countersinking	289	机动时间，锪孔
Productive time, drilling	289	机动时间，钻孔
Productive time, grinding	291	机动时间，磨削
Productive time, honing	289	机动时间，珩磨
Productive time, material removal processes	313	机动时间，蚀除材料加工
Productive time, milling	290	机动时间，铣削
Productive time, reaming	289	机动时间，铰孔
Productive time, thread cutting	287	机动时间，螺纹切割
Productive time, turning	287	机动时间，车削
Productive time, turning with v = const	288	机动时间，匀速车削
Program flow chart	396	程序流程图
Program structure of CNC machines	382 – 392	CNC 数控机床程序结构
Programmable logic control (PLC)	373 – 377	可编程逻辑控制（PLC）
Prohibitive signs	338	禁止标志
Projection methods	69, 70	投影法
Property classes of bolts and screws	211	螺栓及螺钉性能等级
Proportion, calculating	18	比例，计算
Proportional controller	348	比例控制
Protective measures against dangerous currents	356	对危险电流的安全防护
Proximity sensors	355	非接触式传感器
PTFE	181, 187	PTFE
Pulley, fixed	39	定滑轮
Pulley, movable	39	动滑轮
Pumping capacity	371	泵流量
Punch dimensions	316	凸模尺寸
Punch holder shanks	251	模柄
Punch holder shanks, location	317	模柄位置
Punches	251	凸模
PUR (polyurethane) foam	185	PUR（聚氨基甲酸酯）泡沫
PUR (polyurethane) plastics	181	PUR（聚氨基甲酸酯）塑料
Pure aluminum	164, 166	纯铝
PVC (polyvinyl chloride) plastics	181, 182	PVC（聚氯乙烯）塑料
Pyramid, slant height	29	棱锥，斜高
Pyramid, volume	29	棱锥，体积
Pythagorean theorem	23	勾股定理
Pythagorean theorem of height	23	勾股定理求高

Q

Quadratic function	16	二次函数
Quality and process capability	281	质量和加工能力
Quality control	276	质量控制
Quality control chart	279	质量控制图
Quality control circle	276	质量控制循环
Quality inspection and testing	276	质量检验和测试
Quality management	274 – 281	质量管理
Quality management, definitions	275	质量管理，定义
Quality management, standards	274	质量管理，标准
Quality planning	276	质量策划
Quantity of heat	51	热量
Quenched and tempered steels	133	调质钢
Quenched and tempered steels, heat treatment	156	调质钢，热处理
Quenching and tempering	154	调质

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

R

R-Phrases Informatory notes on possible hazards and risks, acc. to the German Hazardous Substances Regulations (GefStoffV)	199	根据德国危险品法规（GefStoffV）关于可能危险信息提示的 R－短语
Radial seals (rotary shaft seals)	270	唇形密封圈（骨架式旋转轴）
Radius	65	半径
Radius, dimensioning	78	半径，尺寸标注
Raised head countersunk screws	217	半沉头螺钉
Raised head countersunk tapping screws	217	半沉头自攻螺钉
Raised head tapping screws	218	盘头自攻螺钉
Random sample tests, attribute testing	280	随机取样试验，质量分类试验
Random samples	278	随机取样
Range (of samples)	278	范围（样本的）
Raw data	277	原始数据
Raw data chart	279	原始数据表
Reaming, cutting data	302	铰孔，切削数据
Reaming, productive time	289	铰孔，机动时间
Recommended safety measures	200	推荐安全措施
Recrystallization annealing	153	再结晶退火
Rectangle, area	26	矩形，面积
Reference lines	77	参考线
Reference points of CNC machines	381	CNC 数控机床参考点
Retaining rings	269	挡圈
Retaining rings, representation	87	挡圈，表达方法
Rhomboid, area	26	平行四边形，面积
Rhombus, area	26	菱形，面积
Robot axes	378	机器人坐标轴
Rockwell hardness test	193	洛氏硬度试验
Rod electrodes, designation	327	电焊条，标记
Roller bearing fits	112	滚动轴承配合
Roller bearings	263－268	滚动轴承
Roller bearings, designation	264	滚动轴承，标注
Roller bearings, dimension series	264	滚动轴承，尺寸系列
Roller bearings, overview	263	滚动轴承，概述
Roller bearings, representation	85	滚动轴承，表达方法
Roller bearings, selection	263	滚动轴承，摘选
Rolling friction	41	滚动摩擦
Roman numerals	64	罗马数字
Roots, extracting	15	开方，求根
Rotation, kinetic energy	38	旋转，动能
Rough dimensions in drawings	81	毛坯尺寸
Roughness depth in turning operations	303	车削加工的残留面积高度
Roughness parameters	98	粗糙度参数
Roughness profile (R-profile)	98	粗糙度轮廓（R－轮廓）
Round bar steels, bright	145	圆钢，银亮
Round bar steels, polished	145	圆钢，抛光
Round steel bar, hot-rolled	144	圆钢，热轧
RS flip-flop	350, 352	RS 触发器
Rubbers	185	橡胶
Rule-of-ten (for costs)	276	比例分配法（用于成本）
Run-out tolerances	114	跳动公差
Running dimensioning	82	连续型尺寸标注

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

S

Safety colors	338	安全颜色
Safety factors	44	安全系数
Safety measures for robot systems	380	机器人系统的安全措施
Safety signs	338 – 341	安全标志
Sales price	284	售出价
SAN (styrene-acrylonitrile) copolymers	181, 182	SAN（苯乙烯 – 丙烯腈）共聚合物
SB (styrene-butadiene) copolymers	181, 182	SB（苯乙烯 – 丁二烯）共聚合物
SBR (styrene-butadiene) rubber	185	SBR（苯乙烯 – 丁二烯）橡胶
Scales	65	比例
SCARA robots	379	SCARA 机器人
Screw joints, calculation	221	螺纹连接，计算
Screw joints, representation	90	螺纹连接，表达方法
Screw thread standards of various countries	203	各国的螺纹标准
Screw threads	202 – 208	螺纹
Seals, representation	86	密封，表达方法
Second moment of inertia	49	截面惯性矩
Sectional views	73, 74	剖视图
Sections, comparison of load capacity	50	截面，承载能力比较
Selection of fits	111	配合选择
Sensors	355	传感器
Series circuit	54	串联电路
Serrated lock washers	222	锯齿锁紧垫圈
Serrations, representation	87	锯齿形花键，表达方法
Set screws, hexagon socket	220	内六角紧定螺钉
Set screws, slotted	220	开槽紧定螺钉
Shape dimensions	81	定形尺寸
Shear cutting force	315	冲裁力
Shear cutting work	315	冲裁功
Shear load	46	剪切载荷
Shear strength	46	剪切强度
Shear stress	46	剪切应力
Shear test	191	剪切试验
Shearing	316, 317	冲裁
Shearing, design of press	315	冲裁，冲床设计
Shearing, die dimensions	316	冲裁，凹模尺寸
Shearing, edge width	316	冲裁，沿边搭边
Shearing, location of clamping pin	317	冲裁，模柄位置
Shearing, punch dimensions	316	冲裁，凸模尺寸
Shearing, utilization of strip stock	317	冲裁，板料利用
Shearing, web width	316	冲裁，工件间搭边
Sheet and strip metal, overview	139	金属板带，概述
Sheet metal, cold-rolled	140	金属板料，冷轧
Sheet metal, hot-dip galvanized	141	金属板料，热镀锌
Sheet metal, hot-rolled	141	金属板料，热轧
Shewhart quality control chart	279	Shewhart 质量控制图
Shore hardness test	195	肖氏硬度试验
Shrinkage	51	收缩

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Shrinkage allowances	163	允许收缩量
Shrinkage chucks	243	钻夹头
SI quantities and units	20	SI 量及单位
Silicone rubber (SIR)	185	硅橡胶（SIR）
Silicone rubber, Q type	185	硅橡胶，Q 型
Simple indexing	307	简单分度
Sine	11, 13	正弦
Sintered metals	178	烧结金属
Size factor	48	尺寸系数
Sliding friction	41	滑动摩擦
Slip type jig bushing	247	插入式钻套
Slot tenons	250	滑键
Slots, dimensioning	79	槽，尺寸标注
Software controllers	349	软件控制器
Soldering	335	软钎焊
Solders	333, 334	软钎料
Solid lubricants	272	固体润滑剂
Solids, characteristics	116, 117	固体，特性
Sound level	344	声级
Sound, definitions	344	声音，定义
SPC (statistical process control)	279	SPC（统计过程控制）
Special characters, CNC machines	382	特殊字符，CNC 数控机床
Special characters, computers	394	特殊字符，计算机
Specific cutting force standard values	295	单位切削力标准值
Specific heat	116, 117	比热
Speed graph	260	速度图
Speeds of machines	35	机床速度
Sphere, dimensioning	78	球体，尺寸标注
Sphere, surface area and volume	30	球体，表面积和体积
Spherical segment, surface area and volume	30	球冠，表面积和体积
Spherical washers	250	球面垫圈
Spiral, construction	60	渐开线，作图
Splined shaft joints	241	花键连接
Splines, representation	87	花键，表达方法
Spreadsheets	398	电子表格
Spring back in bending	319	弯曲时的回弹
Spring force	36	弹力
Spring lock washers	222	弹性锁紧垫圈
Spring pins	237	弹性圆柱销
Spring rate	244, 245	弹簧刚度
Spring steel wire	138	弹簧钢丝
Spring steel, hot-rolled	138	弹簧钢，热轧
Spring washers	222	弹性垫圈
Springs, representation	87	弹簧，表达方法
Springs: tension, compression, disk	244 – 246	弹簧：拉伸，压缩，碟形
Sprockets, representation	84	链轮，表达方法
Spur gears, calculating	256, 257	直齿圆柱齿轮，计算
Square prism, area	29	直四棱柱，表面积
Square prism, volume	29	直四棱柱，体积
Square root	10, 15	平方根
Square steel bar, hot-rolled	144	方钢，热轧
Square, area	26	正方形，面积
Square, dimensioning	77	正方形，尺寸标注

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Stainless steels ····· 136, 137	不锈钢
Standard deviation ····· 278	标准偏差
Standardization, regulation body ····· 8	标准化，规则
Star knob ····· 249	十字手柄
Static friction ····· 41	静摩擦
Statistical analysis ····· 277	统计分析
Statistical process control ····· 279	统计过程控制
Steel bars, bright ····· 145	钢棒，光亮
Steel bars, hot-rolled ····· 144	钢棒，热轧
Steel channel ····· 146	型钢
Steel sections, hot-rolled ····· 143	钢材截面，热轧
Steel sheet ····· 139 – 141	钢板
Steel tubes ····· 142, 372	钢管
Steel tubes, hot-rolled ····· 151	钢管，热轧
Steel tubes, seamless ····· 142, 372	钢管，无缝
Steel tubes, welded ····· 151	钢管，焊接
Steel wire for springs, patented drawn ····· 138	弹簧钢丝，铅淬火冷拉制
Steels for flame and induction hardening ····· 134	火焰及感应加热表面淬火钢
Steels, alloying elements ····· 129	钢，合金元素
Steels, classification ····· 120	钢，分类
Steels, identification codes ····· 122 – 125	钢，标记代码
Steels, numbering system ····· 121	钢，编号系统
Steels, overview ····· 126, 127	钢，概述
Steep taper shanks ····· 242	椎柄
Strength of materials ····· 43 – 50	材料强度
Stress concentration ····· 48	应力集中
Stress limits ····· 43	应力极限
Stress relief anneal ····· 153, 154	消除应力退火
Stress, allowable ····· 41, 48	应力，许用
Strip steel, cold-rolled ····· 139, 140	钢带，冷轧
Strip stock utilization in shearing ····· 317	剪切时的板料利用率
Structural steels, carbon ····· 130	碳素结构钢
Structural steels, quenched and tempered ····· 131	调质结构钢
Structural steels, selecting ····· 128, 129	结构钢，选择
Structural tee steel, equal legs ····· 146	等腰 T 型钢
Structured text (ST) ····· 374	结构文本（ST）
Stub-Acme screw threads ····· 203	美制短牙梯形螺纹
Studs ····· 219	螺柱
Sub-dividing lengths ····· 24	等分长度
Surface profile ····· 98	表面轮廓
Surface areas, calculation ····· 29, 30	表面积，计算
Surface condition factor ····· 48	表面质量系数
Surface finish ····· 99	表面粗糙度
Surface indications ····· 99, 100	表面粗糙度标注
Surface pressure ····· 45	表面压力
Surface protection ····· 196	表面防护
Surface roughness, attainable ····· 101	表面粗糙度，可获得的
Switching controllers ····· 349	开关控制器
Symbols, mathematical ····· 19 – 22	数学符号
Synchronous belts ····· 255	同步齿形带
Synchronous pulleys ····· 255	同步齿形带轮
Systems for fits ····· 103	配合制度

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

T

T-slots	250	T 形槽
Tally sheet	277	计数单
Tangent	12	正切
Tap hole diameter for tapping screws	218	自攻螺钉用螺纹底孔直径
Taper pins	237	圆锥销
Taper turning	304	车锥面
Tapered keys	239	普通楔键
Tapered roller bearings	267	圆锥滚子轴承
Tapered threads	205	圆锥螺纹
Tapers, dimensioning	78	锥度，尺寸标注
Tapers, nomenclature	304	圆锥，术语
Tapping drill holes, diameter	204	螺纹底孔钻，直径
Tapping screw threads	202	自攻螺钉用螺纹
Tapping screws	217, 218	自攻螺钉
Technical drawing	57 – 114	技术制图
Temperature	51	温度
Theorem of intersecting lines	14	平行线分线段成比例定理
Thermal conduction	52	热传导
Thermal conductivity, definition	52	热导率，定义
Thermal conductivity, values	116, 117	热导率，值
Thermodynamic temperature (Kelvin)	51	热力学温度（开氏）
Thermodynamics	22, 51, 52	热力学
Thermoplastics	179, 182	热塑塑料
Thermoplastics, amorphous	179	热塑塑料，非晶体
Thermoplastics, semi-crystalline	179	热塑塑料，半晶体
Thermoset plastics	179	热固塑料
Thread cutting, productive time	287	螺纹车削，机动时间
Thread forming screws	218	自攻螺钉
Thread molding, cutting data	302	螺纹成形，切削数据
Thread runouts	89	螺尾
Thread tapping, cutting data	302	攻丝，切削数据
Thread tolerance	208	螺纹公差
Thread types, overview	202, 203	螺纹种类，综述
Thread undercuts	89	螺纹退刀槽
Threads, dimensioning	79	螺纹，尺寸标注
Threads, multiple start	202	螺纹，多线
Threads, representation	90	螺纹，表达方法
Three steps for direct proportions	18	正比例法的三步骤
Three-phase current	55	三相电流
Three-phase power	56	三相功率
Three-point controller	349	三点控制器
Threshold limit values at work places (German)	198	车间阈值（德国）
Threshold limit values of carcinogenic and mutagenic substances (TLV)	198	致癌物及致突变物的阈值（TLV）
Thresholds for indoor airborne contaminants	198	室内空气污染物的阈值
Thrust pads	248	推力衬垫
Title block in drawings	66	标题栏

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

TLV (Threshold limit values of carcinogenic and mutagenic substances) ····· 198	TLV（致癌物及突变物的阈值）
Tolerance class ····· 102	公差代号
Tolerance grade ····· 102	公差等级
Tolerance indications in drawings ····· 80	图样中的公差标注
Tolerances of form ····· 113	形状公差
Tolerances, dimensioning ····· 80	公差，尺寸标注
Tolerances, ISO system ····· 103	公差，ISO 制度
Tool holders for indexable inserts ····· 297	可转位刀片用刀杆
Torque ····· 37	扭矩
Torsion, loading ····· 47	扭转，载荷
Total run-out tolerances ····· 114	全跳动公差
Transformers ····· 56	变压器
Transition fit ····· 102	过渡配合
Transmission ratios ····· 259	传动比
Trapezoid, area ····· 26	梯形，面积
Trapezoidal screw threads ····· 207	梯形螺纹
Triangle, area ····· 26	三角形，面积
Triangle, constructing circumscribed circle ····· 60	三角形，外接圆作图
Triangle, constructing inscribed circle ····· 60	三角形，内切圆作图
Triangle, equilateral ····· 27	三角形，等边
Truncated cone, surface area and volume ····· 30	圆台，表面积和体积
Truncated pyramid, volume ····· 30	棱台，体积
Tubes ····· 142, 151	管道
Turning cycles ····· 390 – 392	车削循环
Turning with v = const., productive time ····· 288	匀速车削，机动时间
Turning, cutting data ····· 303	车削，切削数据
Turning, cutting force and cutting power ····· 299	车削，切削力及切削功率
Turning, cycles acc. to PAL (German association) ····· 390 – 392	车削，根据 PAL 循环（德国协会）
Turning, problems ····· 306	车削，问题
Turning, productive time ····· 287	车削，机动时间
Turning, roughness depth ····· 303	车削，残留面积高度
Types of adhesives ····· 336	胶黏剂种类

U

UF (urea formaldehyde) resin ····· 180, 181	UF（尿素甲醛）树脂
UF molding materials ····· 184	UF 成形材料
UNC screw threads ····· 203	UNC 螺纹
Undercuts ····· 92	退刀槽
UNEF screw threads ····· 203	UNEF 螺纹
UNF screw threads ····· 203	UNF 螺纹
Unit prefixes ····· 17, 22	单位词头及符号
Units of measurement ····· 20	测量单位
UNS screw threads ····· 203	UNS 螺纹
UP (unsaturated polyester resin) ····· 181	UP（不饱和聚酯树脂）
UPVC (unplasticized polyvinyl chloride) ····· 181, 182	UPVC（未增强聚氯乙烯）
Utilization time acc. to REFA (German association for work time studies) ····· 283	根据REFA（德国企业组织与发展基金会）的利用时间

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

V

V-belt	253, 254	V 带
V-belt pulleys	254	V 带轮
Variable costs	286	可变成本
Velocity	34, 308	速度
Vibration test	222	振动试验
Vickers hardness test	193	维氏硬度试验
Views in drawings	71, 72	视图
Viscosity grade	271	黏度等级
Viscosity, kinematic	368	运动黏度
Voltage	53, 54	电压
Voltage drop	54	电压降
Volume of compound solids	31	组合体体积
Volume, calculating	31	体积，计算
Volume, units	20	体积，单位

W

Warning signs	339	警告标志
Washers	233 – 235	垫圈
Washers for cap screws	234	平垫圈
Washers for channels and I-beams	235	方斜垫圈
Washers for clevis pins	235	U 形夹销用垫圈
Washers for hexagonal nuts	233, 234	六角螺母用垫圈
Washers for steel structures	234, 235	钢结构用垫圈
Waste Disposal Act (German)	197	废弃品处理法规（德国）
Web width in shear cutting	316	工件间搭边
Wedge as an inclined plane	39	楔形块
Weight	36	重量
Weld design for arc welding	328	电弧焊焊接设计
Weld nuts, hexagonal	232	焊接螺母，六角形
Weld preparation	323	焊接准备
Weldable fine-grain structural steels	131	焊接用细粒结构钢
Welding	322 – 330	焊接
Welding and soldering, dimensioning	95, 96	焊接及钎焊，尺寸标注
Welding and soldering, graphical symbols	93 – 95	焊接及钎焊，图形符号
Welding and soldering, representation	93 – 95	焊接及钎焊，表达方法
Welding fillers for aluminum	326	铝及铝合金焊条
Welding methods	322	焊接方法
Welding positions	322	焊接位置
Welding, general tolerances	322	焊接，常用公差
White cast iron	159	白口铸铁

关注公众号：机械工程师成长营

主题索引

Widths across flats, dimension series ····· 223 扳手开口度，尺寸序列
Widths across flats, dimensioning ····· 77 扳手开口度，尺寸标注
Wire electrodes ····· 325 电焊条
Wire, electrical ····· 353 电线
Woodruff keys ····· 240 钩头楔键
Word processing ····· 397 文字处理
Work, electrical ····· 56 电功
Work, mechanical ····· 38 机械功
Worm drive, calculating ····· 258 蜗杆传动，计算
Worm drive, transmission ratio ····· 259 蜗杆传动，传动比
Wrought aluminum alloys, designation ····· 165 可锻铝合金，标注
Wrought aluminum alloys, heat treatable ····· 167 可锻铝合金，可热处理
Wrought aluminum alloys, material codes ····· 165 可锻铝合金，材料代码
Wrought aluminum alloys, non-heat treatable ····· 166 可锻铝合金，不可热处理
Wrought copper-aluminum alloys ····· 176 可锻铜铝合金
Wrought copper-nickel-zinc alloys ····· 176 可锻铜镍锌合金
Wrought titanium alloys ····· 172 可锻钛合金

X

Xenon cylinders, color coding ····· 332 氙气瓶，颜色标记

关注公众号：机械工程师成长营