实用冲压模具设计手册

郑可锃　主编

郑可锃　张　弘　编著

实用冲压模具设计手册

宇航出版社

2-62
1

http://shop62964869.taobao.com/

实用冲压模具设计手册

郑可锃　主编

郑可锃　张　弘　编著

宇航出版社

http://shop62964869.taobao.com/

内 容 简 介

本手册围绕冲压工艺设计和冲模设计，分别阐述了材料和成形性能、冲压工序特点和工艺计算、冲模零件与结构设计、冲模结构示例、冲压零件工艺性和工艺过程的制订、多工位级进模、聚氨酯冲模和锌基合金冲模、覆盖件拉深以及冷挤与温挤等方面内容。此外，还选编了冲模设计过程中常用的冲模标准件和制图、公差等方面设计资料。目的是使读者在设计模具过程中不致涉猎过宽而不得要领。

本手册可供从事冲压工艺和冲模设计技术人员使用，亦作为冲模设计短训班以及中专、大专以上有关专业冲模设计课程的参考书。

EY68/23

实用冲压模具设计手册

郑可锃　主编

郑可锃　张　弘　编著

责任编辑：郑济民

★

宇 航 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

中国科学院印刷厂印刷

★

开本：787×1092　1/16　印张：24　字数：599 千字

1990 年 5 月第 1 版第 1 次印刷　印数：1—9 000 册

ISBN 7-80034-321-9/TH・006　定价：11.00 元

http://shop62964869.taobao.com/

前　言

冷冲压以其生产率高、操作简便，适于大批量生产等优点，在航天、航空、汽车、电子、仪表以及轻工产品生产等部门得到广泛的采用。本手册主要是介绍冲压工艺设计和模具设计方面的实用知识。手册连附录共十二章，主要包括材料和成形性能、冲压工序特点和工艺计算、冲模零件与结构设计、冲模结构示例和冲压零件工艺性和工艺过程的制订等；此外，还编入了冲模设计常用的资料。为广泛适应多方面读者的要求，手册中还编进了多工位级进模、聚氨酯冲模、锌基合金冲模、硬质合金冲模、覆盖件拉深和冷挤与温挤等内容。在编写过程中，力求编入较新和较完整的冲模设计资料，以期对读者有切实的帮助。

本书第二、四、五、七、八和九各章由郑可锟编写；第一、十一章和附录由张弘编写；第三、六和十章以郑可锟为主由两人编写。最后由郑可锟对全书作增删、修订和统一等工作。在编写过程中，全国锻压学会理事胡世光教授曾在审阅后提出很多宝贵意见，责任编辑郑济民同志在编写内容及体例安排上也曾提出不少有益的意见，一并在此表示感谢。由于编者水平有限，挂漏谬误之处热忱欢迎读者批评指正。

http://shop62964869.taobao.com/

目　录

第一章　一般设计资料…… 1
一、冲压件的一般公差
（摘自 HB5800—82）…… 1
（一）　冷冲压件…… 1
（二）　管子弯曲件…… 6
二、钣金零件的尺寸要素标准(摘录)…… 7
（一）　板材最小弯曲半径
（摘自 HB 0—10—83）…… 7
（二）　加强槽(摘自 HB 0—11—83）…… 8
（三）　金属结构减轻孔
（摘自 HB 0—12—83）…… 9
（四）　加强窝(摘自 HB 0—13—83）……10
（五）　弯边减轻孔(摘自 HB 0—14—83）…11
（六）　橡胶压制的 60° 弯边减轻孔
（摘自 HB 0—15—83）……12
（七）　直角减轻孔(摘自 HB 0—16—83）…13
（八）　橡胶压制凸弯边的高度(摘自
HB 0—17—83）……14
（九）　橡胶压制凹弯边的高度(摘自
HB 0—18—83）……15
三、冲压常用材料……16
（一）　常用材料的机械性能……16
（二）　冷冲压常用材料的规格及其公差……20
（三）　常用钢铁材料硬度值和极限抗拉强
度对照……25
四、弹簧的选用与计算……27
（一）　圆柱螺旋压缩弹簧……27
（二）　碟形弹簧……33
五、橡皮和聚氨酯的选用与计算……34
（一）　橡皮的选用与计算……34
（二）　聚氨酯弹性体尺寸及其压缩量与工
作负荷关系……36
第二章　薄板冲压材料和成形性能……37
一、冲压用主要材料……37
二、冲压材料的成形性能……38
三、成形性能的分析方法……41
第三章　冲压工艺特点和工艺计算……44
一、冲压工艺的分类……44
二、冲裁……44
（一）　冲裁的变形过程……44
（二）　冲裁间隙……49
（三）　冲裁力计算与降低冲裁力方法……50
（四）　卸料力、推件力和顶件力的确定 ……53
（五）　冲裁时压力中心的确定……54
（六）　材料的排样……55
（七）　提高冲裁质量的几种工艺……58
（八）　精密冲裁……58
三、弯曲……61
（一）　弯曲变形的现象……61
（二）　弯曲件展开尺寸及其辅助计算
公式……62
1.中性层曲率半径的确定……62
2.弯曲件展开尺寸的确定……62
3.铰链式弯曲件毛坯尺寸的计算……63
4.棒料弯曲件毛坯尺寸的计算……63
5.弯曲部分展开长度的计算辅助公式……63
6.无圆角半径或圆角半径 $r<t/2$ 时，
弯曲毛坯尺寸的计算……63
7.90° 角弯曲部分的中性层弧长 ……63
8.弯曲 90° 角，毛坯长度计算的差
值 K……66
（三）　弯曲力的计算……66
（四）　弯曲卸载后的回弹……67
1.回弹值的确定……68
2.减少回弹的措施……70
四、拉深……72
（一）　拉深的基本原理……72
（二）　拉深时的受力与变形分析……73
（三）　拉深件毛坯展开尺寸与形状……74
1.拉深件修边余量值的确定……74
2.形状简单的旋转体拉深件毛坯直
径的计算……74
3.形状复杂的旋转体拉深件毛坯直
径的计算……76
（四）　圆筒形拉深件的拉深系数和拉
深次数的计算……80
1.变形程度和拉深系数……80
2.无凸缘圆筒形件的拉深系数及其
拉深次数的计算……87
3.有凸缘圆筒形件的拉深系数及其

http://shop62964869.taobao.com/

拉深次数的计算…… 90
（五） 反拉深…… 95
（六） 阶梯圆筒形件拉深…… 96
（七） 球形、抛物面形及锥形件的拉深 … 97
（八） 带料级进拉深…… 101
（九） 矩形件拉深…… 108
1.矩形件的变形特点和分区…… 108
2.计算矩形件的毛坯尺寸…… 109
3.矩形件的拉深系数、拉深次数及
工序尺寸的计算…… 113
（十） 变薄拉深…… 118
（十一） 压边力、拉深力和拉深功的
计算…… 121
五、翻孔与翻边…… 124
（一） 翻孔…… 124
（二） 翻边…… 127
六、胀形…… 128
（一） 胀形的特点…… 128
（二） 工艺计算…… 129
1.平板局部胀形…… 129
2.圆筒形毛坯胀形…… 130
七、缩口…… 132
八、校平、整形和压印 …… 135
第四章 冲模零件与结构设计…… 138
一、冲模分类…… 138
二、冲模零件分类…… 142
三、工作零件…… 142
（一） 冲裁模工作零件…… 142
1.冲裁凸模…… 142
（1）凸模长度…… 142
（2）凸模强度校核…… 143
（3）凸模设计中其它要求…… 144
2.冲裁凹模…… 144
（1）刃口孔型…… 144
（2）凹模厚度和宽度…… 144
（3）冲裁轮廓线与凹模边线的距离… 145
（4）凹模上螺孔、销孔位置尺寸
和螺钉尺寸…… 146
3.凸、凹模的镶拼结构…… 146
（1）镶拼方式…… 146
（2）设计镶拼结构的一般原则…… 146
4.凸模与凹模的固定…… 148
（1）用机械方法固定…… 148
（2）用低熔点合金浇注固定…… 150
（3）用环氧树脂粘结固定…… 150
（4）用无机粘结剂固定…… 152
5.冲裁凸、凹模工作部分尺寸的确定 … 152
（1）确定冲裁凸、凹模工作部分
尺寸的原则…… 152
（2）凸、凹模分别加工时，其工作
部分尺寸的计算公式…… 152
（3）凸、凹模配合加工时，其工作
部分尺寸的计算公式…… 153
6.制件或废料的漏料孔和排出槽…… 157
7.精冲工作零件…… 157
（1）凸、凹模工作部分的刃口圆角 … 157
（2）凸、凹模工作部分尺寸的确定 … 157
（二） 弯曲模工作零件…… 158
1.影响弯曲模工作零件形状的因素…… 158
2.弯曲凸、凹模圆角半径和凹模工
作深度…… 159
3.弯曲凸、凹模的间隙 …… 160
4.弯曲凸、凹模工作部分尺寸的计算 … 162
（三） 拉深模主要工作零件…… 162
1.拉深凸模与凹模的结构形式…… 162
2.拉深凸模与凹模的圆角半径…… 163
3.拉深凸、凹模间隙 …… 165
4.拉深凸、凹模工作部分尺寸的计算 … 166
四、定位零件…… 167
（一） 导料板（导尺）、导料销 …… 167
（二） 挡料销…… 168
（三） 导正销…… 170
（四） 定距侧刃…… 171
（五） 定位板（销）…… 172
五、卸料、压料和推、顶件装置…… 173
（一） 卸料装置…… 173
1.卸料装置的形式…… 173
2.固定卸料板的型孔与凸模间的间隙… 174
3.弹压卸料板的型孔与凸模间的间
隙及台阶高度…… 175
（二） 压料装置…… 175
1.精冲时的齿圈压板…… 175
2.拉深模的压边圈…… 176
（1）采用压边圈的条件…… 176
（2）压边圈的类型…… 176
（3）压边圈形式…… 176
（4）压边圈的定距限位装置…… 177
（三） 推、顶件装置 …… 178
六、导向零件…… 178
七、固定与支承零件…… 179
（一） 上、下模座 …… 179
（二） 固定板…… 179

http://shop62964869.taobao.com/

（三） 垫板…… 179
（四） 模柄…… 180
（五） 限位柱(块)…… 180
八、斜楔机构…… 181
（一） 斜楔与滑块在运动上的配合…… 181
（二） 斜楔机构的结构尺寸…… 182
（三） 斜楔机构上的作用力…… 183
（四） 复位弹簧的计算…… 184
九、冲模零件的常用材料…… 184
（一） 冲模工作部分零件常用材料的选用及热处理…… 184
（二） 冲模辅助零件常用材料的选用及热处理…… 186
（三） 冲模常用材料的许用应力…… 186
十、冲模零件表面粗糙度…… 187
第五章 冲模结构示例…… 188
一、冲裁模…… 188
（一） 简单落料模…… 188
（二） 冲孔和落料复合模…… 189
（三） 侧刃送料的冲孔、切口和切断级进模…… 189
（四） 用自动送料装置的冲裁级进模…… 190
（五） 精冲模…… 190
二、弯曲模…… 191
（一） U形件简单弯曲模…… 191
（二） 双折角弯曲模…… 191
（三） 各种弯曲模结构示意图…… 193
三、拉深模…… 194
（一） 首次拉深模…… 194
（二） 以后各道工序拉深模…… 195
（三） 落料和拉深复合模…… 196
（四） 级进拉深模…… 197
四、翻孔模…… 198
五、胀形模…… 198
第六章 冲压零件工艺性和工艺过程的制订… 199
一、冲压零件的工艺性…… 199
（一） 冲裁件的工艺性…… 199
1.冲裁件的形状和尺寸…… 199
（1）冲裁件的形状…… 202
（2）冲裁件圆角半径的最小值…… 202
（3）冲裁件上的一些极限尺寸…… 202
（4）零件端头圆弧尺寸 *R*…… 202
（5）成形件上冲孔时的位置尺寸…… 202
2.冲裁件的精度和剪断面的表面粗糙度…… 202
（二） 精冲零件的工艺性…… 205
1.精冲件的结构因素…… 205
2.精冲件的尺寸精度和几何精度…… 210
（三） 弯曲件的工艺性…… 211
1.弯曲件的结构…… 211
（1）弯曲件的最小圆角半径…… 211
（2）弯曲件的直边高度…… 211
（3）弯曲件上孔与弯曲线的距离…… 212
（4）增添工艺孔、槽和转移弯曲线位置…… 212
2.弯曲件的精度…… 213
（1）提高弯曲件冲压精度的措施…… 213
（2）弯曲件所能达到的各项精度…… 213
（四） 拉深件的工艺性…… 214
1.拉深件的形状与尺寸…… 214
（1）拉深形状的确定…… 214
（2）拉深件的尺寸参数…… 215
2.拉深件的精度…… 217
二、冲压工艺方案的制订…… 217
（一） 工序的性质、数量和顺序 …… 218
（二） 工序的组合…… 220
（三） 制订工艺方案的其它方面内容…… 220
（四） 压力机的选用…… 221
三、工艺制订与冲模设计举例…… 230
第七章 多工位级进模…… 238
一、多工位级进模分类…… 238
二、多工位级进模的特点…… 238
（一） 冲压工艺的设计…… 238
（二） 模具零部件和结构的设计…… 240
三、多工位级进模的设计步骤…… 244
第八章 聚氨酯冲模、锌基合金冲模和硬质合金冲模…… 248
一、聚氨酯冲模…… 248
（一） 概述…… 248
（二） 聚氨酯的性能和硬度选择…… 250
（三） 聚氨酯冲裁模…… 251
（四） 聚氨酯弯曲模…… 255
（五） 聚氨酯拉深模…… 256
二、锌基合金冲模…… 257
（一） 锌基合金冲模特点…… 257
（二） 锌基合金成分、性能和熔炼 …… 258
1.锌基合金的成分和性能…… 258
2.锌基合金中各主要元素的作用…… 258
3.锌基合金的熔炼…… 259
（三） 锌合金冲裁模…… 260
（四） 锌合金成形模和拉深模…… 261
1.锌合金成形模和拉深模的结构…… 261

http://shop62964869.taobao.com/

2.锌合金成形模和拉深模的制模方法… 261
三、硬质合金冲模…… 263
（一） 硬质合金的主要特点…… 263
（二） 硬质合金的选用…… 263
（三） 采用硬质合金时，对工艺设计等方面的要求…… 264
第九章 覆盖件拉深…… 266
一、覆盖件拉深工艺的主要特点…… 266
二、覆盖件的拉深工艺性…… 267
三、覆盖件拉深模应考虑的工艺因素…… 268
四、覆盖件拉澡横…… 275
第十章 冷挤与温挤…… 277
一、冷挤压的概念…… 277
（一） 冷挤压的分类…… 277
（二） 冷挤压的优点…… 278
（三） 适于采用冷挤压工艺的条件…… 278
（四） 冷挤压的主要技术问题…… 279
二、冷挤压的变形程度…… 280
（一） 变形程度的计算…… 280
（二） 许用变形程度…… 283
三、冷挤压的压力…… 284
（一） 影响挤压力的主要因素…… 285
（二） 冷挤压力的计算…… 285
1.计算冷挤压力的经验公式…… 285
2.黑色金属冷挤压力的图算法…… 287
3.有色金属冷挤压力的图算法…… 290
四、冷挤压零件的工艺性与制订工艺时注意要点…… 290
（一） 冷挤压零件的工艺性…… 290
1.零件的形状…… 290
2.零件的尺寸公差…… 291
（二） 制订冷挤压工艺时注意要点…… 293
五、冷挤压毛坯…… 294
（一） 毛坯的形状…… 294
（二） 毛坯尺寸的计算…… 295
（三） 冷挤压毛坯的软化处理…… 298
六、冷挤压毛坯的表面处理与润滑…… 298
（一） 碳钢与低合金钢的表面处理与润滑…… 299
（二） 不锈钢的表面处理与润滑…… 299
（三） 铝与硬铝的表面处理与润滑…… 300
（四） 铜与铜合金的表面处理与润滑…… 301
七、冷挤压模具与主要零件的设计…… 301
（一） 冷挤压典型模具结构…… 301
（二） 冷挤压凹模设计…… 301
1.冷挤压凹模的结构形式…… 301
（1） 整体凹模…… 302
（2） 组合凹模…… 303
2.组合凹模的设计…… 305
（1） 组合凹模的近似设计…… 305
（2） 组合凹模的最佳设计…… 305
（3） 组合凹模的装配工艺…… 308
（三） 冷挤压凸模设计…… 309
1.冷挤压凸模设计注意要点…… 309
2.冷挤压凸模的结构因素和尺寸…… 309
（四） 冷挤压凸、凹模的制造尺寸 …… 310
（五） 冷挤压模具材料及其热处理…… 312
八、冷挤压设备特性及其选择…… 312
九、温热挤压…… 315
（一） 温度的选择…… 315
（二） 变形力计算…… 316
（三） 润滑剂的选择…… 317
（四） 温挤模具设计…… 317
第十一章 冲模零件标准选编…… 319
一、冲模主要零部件…… 319
（一） 工作零件…… 319
（二） 定位零件…… 321
（三） 卸料、压料和顶、推零件…… 325
（四） 导向零件…… 328
（五） 模架与模座…… 331
（六） 模柄…… 343
（七） 紧固连接件…… 347
（八） 冲模上螺钉、圆柱销以及相应孔的尺寸…… 350
二、冲模零部件主要技术条件…… 351
（一） 冲模零件技术要求…… 351
（二） 模架技术要求…… 353
附录…… 355
一、常用法定计量单位和单位换算…… 355
（一） 常用法定计量单位…… 355
1.法定计量单位名称及符号…… 355
2.法定单位用于构成十进倍数和分数单位的词头…… 356
（二） 常用单位换算…… 356
二、图纸规格与图形比例…… 358
三、公差和配合…… 359
（一） 新旧国家标准公差等级对照…… 359
（二） 标准公差数值…… 360
（三） 未注公差尺寸的极限偏差…… 362
（四） 部分基本尺寸 1～500mm 基孔制配合轴和基轴制配合孔新旧国标对照…… 264

http://shop62964869.taobao.com/

（五） 部分旧国标与新国标极限偏差
值对照表…… 366
四、形状和位置公差…… 370
五、表面粗糙度…… 373
（一） 表面粗糙度与孔、轴公差等级
的对应关系…… 373
（二） 各级表面粗糙度的加工方法及
应用举例…… 374
主要参考文献

http://shop62964869.taobao.com/

第一章　一般设计资料

一、冲压件的一般公差(摘自 HB[①]5800—82)

(一) 冷冲压件

1. 圆孔 d、圆板 D 及长度 L(见图 1-1)的极限偏差按表 1-1 规定。

表 1-1　圆孔 d、圆板 D 及长度 L 的极限偏差　(mm)

基本尺寸	圆孔 d(H14、15)			圆板 D (h14、15)			长度 L(Js15)
	下偏差	上偏差		上偏差	下偏差		极限偏差
		H14	H15		h14	h15	
≤3	0	+0.25	+0.40	0	−0.25	−0.40	±0.20
>3 ～ 6		+0.30	+0.48		−0.30	−0.48	±0.24
>6 ～ 10		+0.36	+0.58		−0.36	−0.58	±0.29
>10 ～ 18		+0.43	+0.70		−0.43	−0.70	±0.35
>18 ～ 30		+0.52	+0.84		−0.52	−0.84	±0.42
>30 ～ 50		+0.62	+1.00		−0.62	−1.00	±0.50
>50 ～ 80		+0.74	+1.20		−0.74	−1.20	±0.60
>80 ～ 120		+0.87	+1.40		−0.87	−1.40	±0.70
>120 ～ 180		+1.00	+1.60		−1.00	−1.60	±0.80
>180 ～ 250		+1.15	+1.85		−1.15	−1.85	±0.92
>250 ～ 315		+1.30	+2.10		−1.30	−2.10	±1.05
>315 ～ 400		+1.40	+2.30		−1.40	−2.30	±1.15
>400 ～ 500		+1.55	+2.50		−1.55	−2.50	±1.25
>500 ～ 630		+1.75	+2.8		−1.75	−2.8	±1.4
>630 ～ 800		+2.00	+3.2		−2.00	−3.2	±1.6
>800 ～1000		+2.30	+3.6		−2.30	−3.6	±1.8
>1000～1250		+2.60	+4.2		−2.60	−4.2	±2.1
>1250～1600		+3.10	+5.0		−3.10	−5.0	±2.5
>1600～2000		+3.70	+6.0		−3.70	−6.0	±3.0
>2000～2500		+4.40	+7.0		−4.40	−7.0	±3.5
>2500～3150		+5.40	+8.6		−5.40	−8.6	±4.3

编者注：1.为与本手册符号一致，表内符号 d、D 系原标准的 D、d，圆板原为圆轴。
2.此表系针对航空工业零件，精度偏低，对其它工业方面零件按需要另订。对不同料厚冲裁件尺寸所能达到的经济精度见表 6-4。

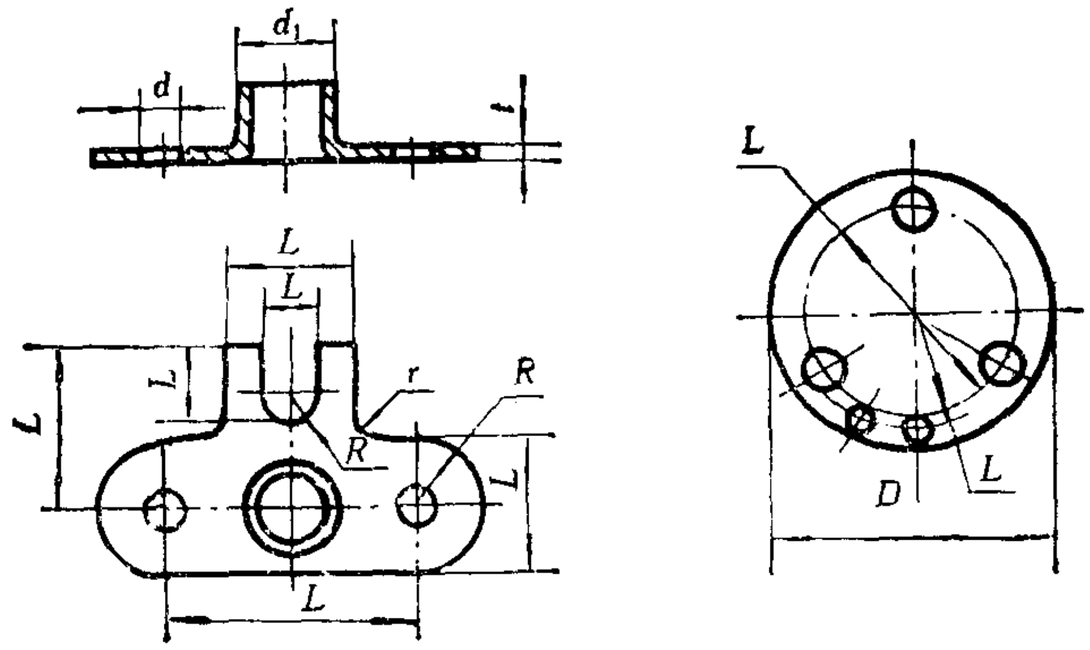
2. 冲切

(1) 冲切转接半径 r (见图 1-1)的极限偏差按表 1-2 规定。

(2) 冲切非转接半径 R(见图 1-1)的极限偏差按表 1-3 规定。

① 航空部标准。

http://shop62964869.taobao.com/



(a)　　(b)

图 1-1　图例

表 1-2　冲切转接半径 r 的极限偏差

转接半径 r 或倒角 c (mm)	0.2	0.3～0.5	>0.5～1	>1～3	>3～6	>6～30	>30～120
r 或 c 极限偏差(mm)	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5	±1.0	±2.0	+3.0
45° 角的极限偏差	±10°				±5°		

表 1-3　冲切非转接半径 R 的极限偏差　(mm)

非转接半径 R		≤6	>6～18	>18～50	>50～120	>120～250	>250～500	>500～800	>800
极限偏差	凹 R	+0.4 0	+0.6 0	+0.8 0	+1.2 0	+1.6 0	+2.2 0	+2.8 0	+3.5 0
	凸 R	0 −0.4	0 −0.6	0 −0.8	0 −1.2	0 −1.6	0 −2.2	0 −2.8	0 −3.5

注：当宽度 L 为双向偏差时，相切半径 R (图 1-1) 的极限偏差按表 1-6 公差值之半冠以正负号，连接处应圆滑过渡。

(3) 两冲切面构成的内部和外部圆角，图样上未注明要求时(见图 1-2)，按表 1-4 制成圆角。

表 1-4　两冲切面构成的内部和外部圆角　(mm)

材料基本厚度 t	≤1	>1～2	>2～3	>3
圆角半径 r	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤0.75t

(4) 冲切角度(包括未注明的 90° 和等边多边形的角度)的极限偏差按表 1-5 规定。

(5) 冲切环状零件的同轴度公差等于较大直径 D (见图 1-3) 的尺寸公差值。

(6) 冲切形成的要素的对称度公差等于构成对称要素中较大尺寸 L、M (见图 1-4) 的尺寸公差值。

http://shop62964869.taobao.com/

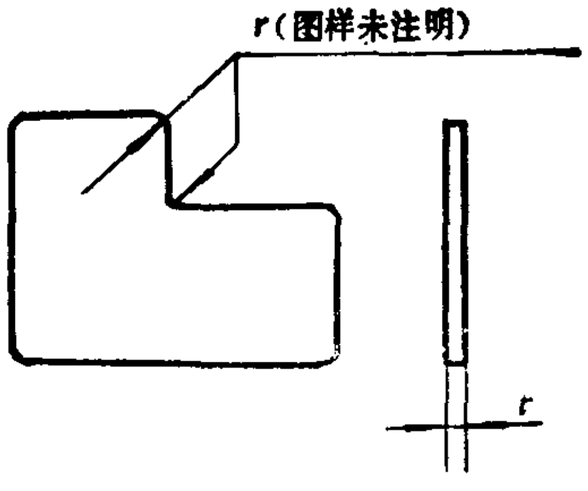


图 1-2　图例

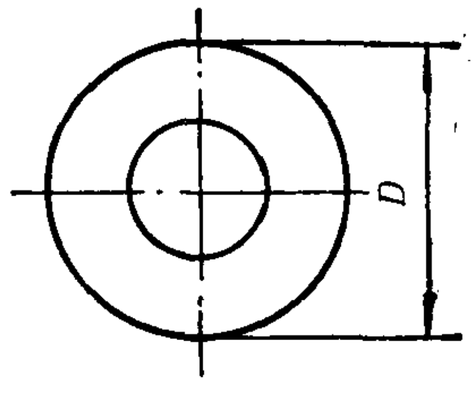


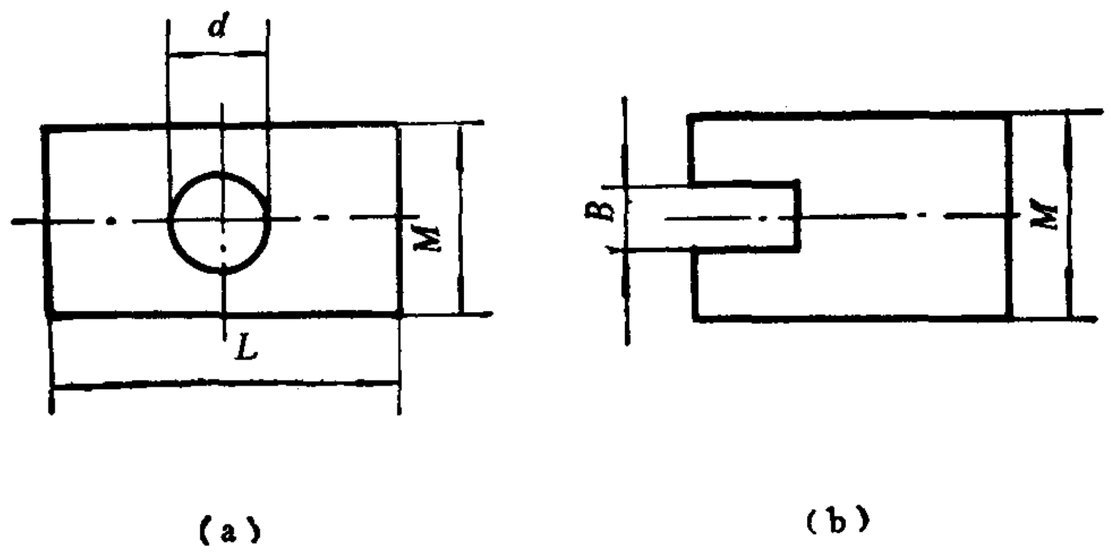
图 1-3　图例

表 1-5　冲切角度的极限偏差

角度短边长度 L(mm)		≤10	>10～50	>50～120	>120～400	>400
极限偏差	角度值	±1°30′	±1°	±30	±15	±10′
	线性值(mm)	±0.0262L	±0.0175L	±0.0087L	±0.0044L	±0.0029L

编者注：较详细的冲切角度极限偏差数据参阅表 6-8。

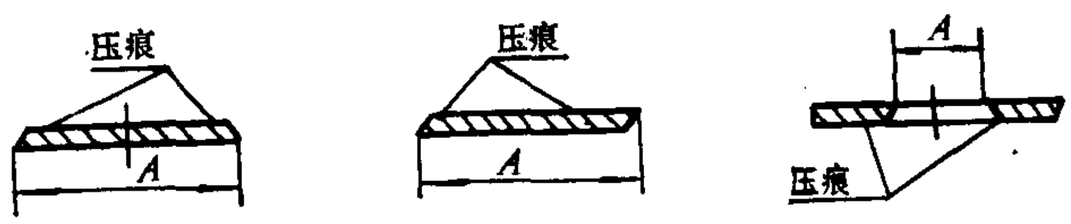
对称度应以较长的要素作基准。



(a)　　(b)

图 1-4　图例

(7) 冲切表面未经精加工时，冲切边缘允许有斜切边和压痕，外表面斜切边包括在图示尺寸 A 之内，内表面则不包括(见图 1-5)。



(a)　　(b)　　(c)

图 1-5　图例

3. 弯曲、下陷和拉深

(1) 弯曲(图 1-6)、下陷(图 1-7)、拉深(图 1-9)、翻边(图 1-9、图 1-10)、加强窝和加强槽(图 1-11)的转接半径 r 的极限偏差按表 1-6 规定。

(2) 弯曲长度 l (图 1-6)的极限偏差按表 1-1 长度 L 极限偏差规定(考虑弯曲长度和料

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-6　弯曲、下陷、拉深、翻边、加强窝、加强槽的转接半径 r 的极限偏差　　(mm)

连接半径 r	≤3	>3～6	>6～10	>10～18	>18
极限偏差	+1 0	+2 0	+3 0	+4 0	+5 0

厚，实际所能达到精度，参见表 6-14——编者注)。

(3) 弯边高度 h (图 1-6)的极限偏差按表 1-7 规定(模具工作方式对偏差的影响，参见表 6-16)。

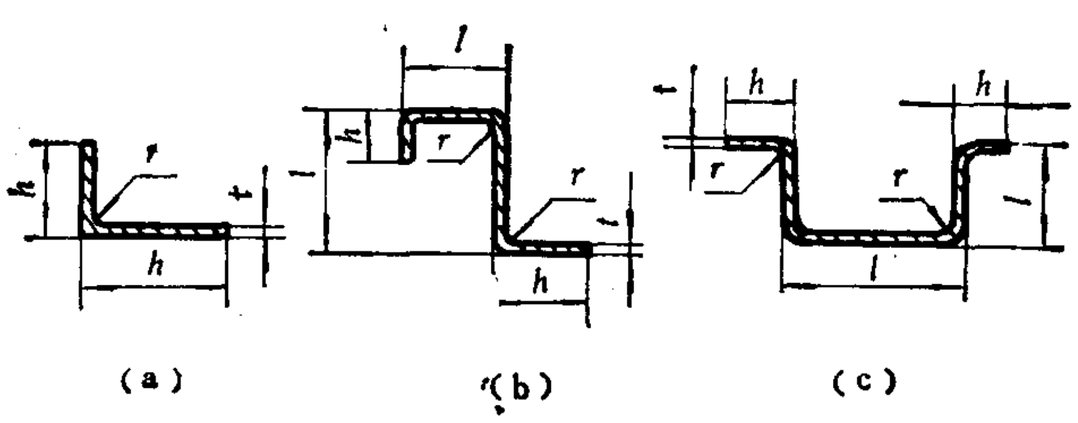


图 1-6　图例

表 1-7　弯边高度 h 的极限偏差　　(mm)

弯边高度 h			≤10	>10～18	>18～30	>30～50	>50～120	>120～250	>250
极限偏差	材料厚度	≤2	+0.6 −0.4	+0.8 −0.5	+1.0 −0.6	+1.3 −0.7	+1.6 −0.8	+1.9 −1.0	+2.2 −1.2
		>2	+0.8 −0.5	+1.0 −0.6	+1.3 −0.7	+1.6 −0.8	+1.9 −1.0	+2.2 −1.2	+2.5 −1.4

(4) 弯曲角度(包括未注明的 90° 和等边多边形的角度)的极限偏差按表 1-8 规定。

表 1-8　弯曲角度的极限偏差

角度短边长度 L (mm)		≤30	>30～50	>50～80	>80～120	>120
极限偏差	角度值	±2°	±1°45	±1°30	±1°15	±1°
	线性值 (mm)	±0.0349L	±0.0305L	±0.0262L	±0.0218L	±0.0175L

(5) 下陷深度 h (图 1-7) 的极限偏差按表 1-9 规定。

表 1-9　下陷深度 h 的极限偏差　　(mm)

下陷深度 h	≤3	>3
极限偏差	+0.3 0	+0.5 0

注：当图样上未注明“下陷”时，其尺寸 h 按弯曲长度尺寸处理。

(6) 下陷过渡区长度 l (图 1-7) 的极限偏差，根据下陷深度 h 按表 1-10 规定。

http://shop62964869.taobao.com/

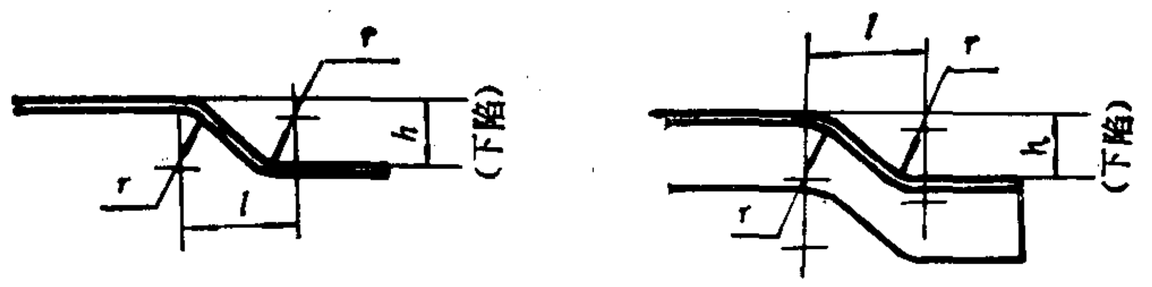


图 1-7　图例

表 1-10　下陷过渡区长度 l 的极限偏差　　(mm)

下陷深度 h	≤2	>2
过渡区长度 l 极限偏差	+1 0	+2 0

(7) 弯曲、下陷平面 A 与 B 的平行度公差分别等于弯曲长度 l 或下陷深度 h 的公差值(见图 1-8)。

平行度应以两平行要素中较长的要素作基准；若两者长度相同时，可任选一个作基准(其中一个合格即为合格)。

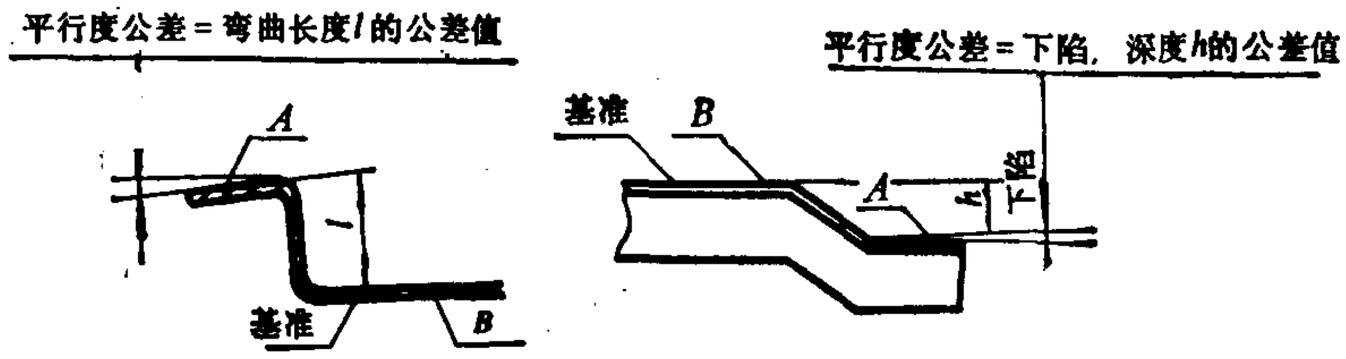


图 1-8　图例
(a) 弯曲　(b) 下陷

(8) 拉深零件的高度 H(见图 1-9)的极限偏差按表 1-11 的规定。

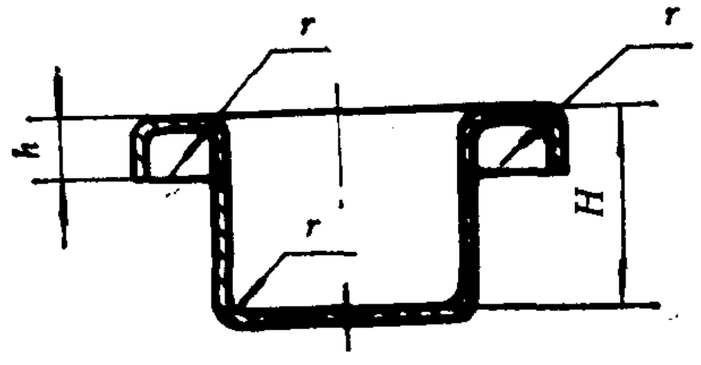


图 1-9　图例

表 1-11　有凸缘圆筒形拉深件的高度 H 的极限偏差　　(mm)

高度 H	≤10	>10～80	>80～250	>250～500
极限偏差	±0.4	±0.8	±1.2	±1.6

注：不同料厚对拉深件高度极限偏差的影响见表 6-21。

(9) 翻边高度 h(图 1-9、图 1-10)和加强槽(窝)高度 h(图 1-11)的极限偏差按表 1-12

http://shop62964869.taobao.com/

规定。

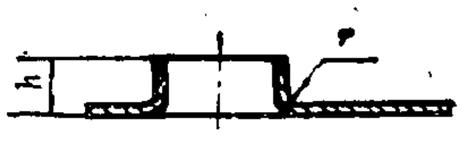


图 1-10　图例

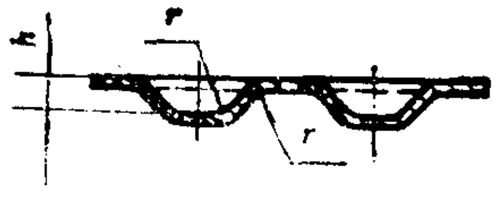


图 1-11　图例

表 1-12　翻边高度 h、加强槽高度 h 的极限偏差　　(mm)

翻边、加强槽(窝)高度 h	≤6	>6～10	>10～18	>18
极限偏差	+1.0 −0.5	+1.5 −1.0	+2.0 −1.0	+3.0 −1.0

(10) 拉深、弯曲时，变薄的最小厚度如下规定。

$$t_{min} = t - \Delta - 0.2t = 0.8t - \Delta$$

式中 Δ——板材厚度下偏差的绝对值 (mm)；

t——板材基本厚度 (mm)。

变厚尺寸不作规定。

4. 冷冲压零件的平面度、直线度公差等于有关表面最大轮廓尺寸的 0.5%。

5. 对加工后易变形而在装配时能重新恢复正确几何形状的筒形零件，其圆度公差不作规定；自由状态下实际尺寸允许超出极限尺寸，但撑圆状态下实际尺寸应在其极限尺寸范围内。

6. 冷冲压零件应无毛刺。

(二) 管子弯曲件

1. 管子弯曲半径 R (图 1-12) 的极限偏差按表 1-13 规定。

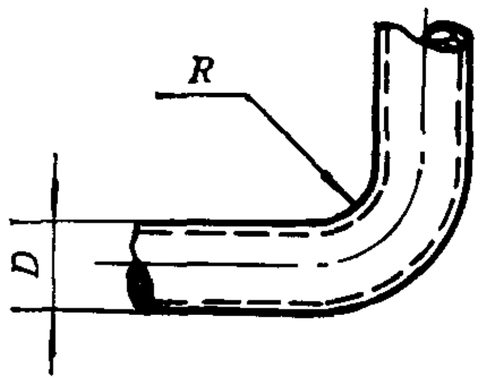


图 1-12　图例

表 1-13　管子弯曲半径 R 的极限偏差　　(mm)

弯曲半径 R		管子外径 D			
		≤10	>10～18	>18～30	>30
极限偏差	≤30	±1	±2	—	—
	>30～80	±2	±3	±4	—
	>80～180	±3	±4	±5	±6
	>180～250	±4	±5	±6	±8
	>250	±5	±6	±8	±10

2. 管子弯曲处的圆度公差按表 1-14 规定。

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-14　管子弯曲处的圆度公差　　(mm)

管子外径 D		管子弯曲半径 R	
		$\leqslant 3D$	$>3D$
圆度公差	>10	0.6	0.4
	$<10\sim18$	1.0	0.6
	$>18\sim30$	1.6	1.0
	>30	2.5	1.6

注：圆度采用两点法检测，直径差不大于表中数值的两倍。

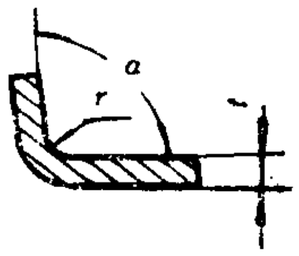
3. 管子弯曲角度(包括未注明的 90° 角度)的极限偏差按表 1-8 规定。

二、钣金零件的尺寸要素标准

(一) 板材最小弯曲半径(摘自 HB 0—10—83)

本标准为板材最小弯曲半径(见表 1-15)

表 1-15　板材最小弯曲半径

材料牌号与状态	边缘状态	α 弯曲角度* (°)								
		150	135	120	105	90	75	60	45	30
	边缘									
		最小弯曲半径 $r=it$								
LY12—M LC4—M	修光 不修光	1.2t 3t	1.3t 3.2t	1.4t 3.3t	1.5t 3.5t	1.6t 3.7t	1.7t 3.8t	1.8t 4t	1.8t 4.1t	1.9t 4.3t
LY12-CZ	修光 不修光	1.8t 3.5t	1.9t 3.8t	2.1t 4.3t	2.2t 4.6t	2.3t 4.9t	2.4t 5t	2.5t 5t	2.5t 5t	2.5t 5t
LC4-CZ	修光 不修光	2.8t 3.5t	3t 3.8t	3.2t 4.3t	3.3t 4.6t	3.5t 4.9t	3.7t 5t	3.8t 5t	3.9t 5t	4t 5t
MB1	光	4t	—	5t	—	6t	—	7t	—	8t
MB8	修光	4t	—	4t	—	4t	—	5t	—	6t
HPb59—1、H62、H68		0.8t								
T2,T3,T4		0.5t								
20 钢	修光 不修光	0.7t 0.7t	0.7t 1t	0.7t 1.3t	0.7t 1.6t	0.8t 1.8t	0.8t 2.1t	0.8t 2.4t	0.8t 2.7t	0.9t 3t
30CrMnSiA	修光 不修光	0.7t 2.6t	0.8t 2.9t	0.8t 3.2t	0.9t 3.5t	0.9t 3.8t	1t 4t	1t 4.5t	1.1t 4.6t	1.2t 4.8t
1Cr18Ni9Ti Cr20Ni80Ti	修光 不修光	1.1t	1.2t	1.3t	1t 1.4t	1.4t	1.5t	1.5t	1.5t	1.5t

注：1.i——系数，取决于材料性质。　2.*——当弯曲角度为中间值时，其最小弯曲半径，应选靠近它的较大值。表中所给的弯曲半径值除 LC4 铝合金为热弯曲的，其余均为冷弯曲时的半径值。

编者注：不同情况下实际最小弯曲半径 r_{min}/t 值参见表 6-13。

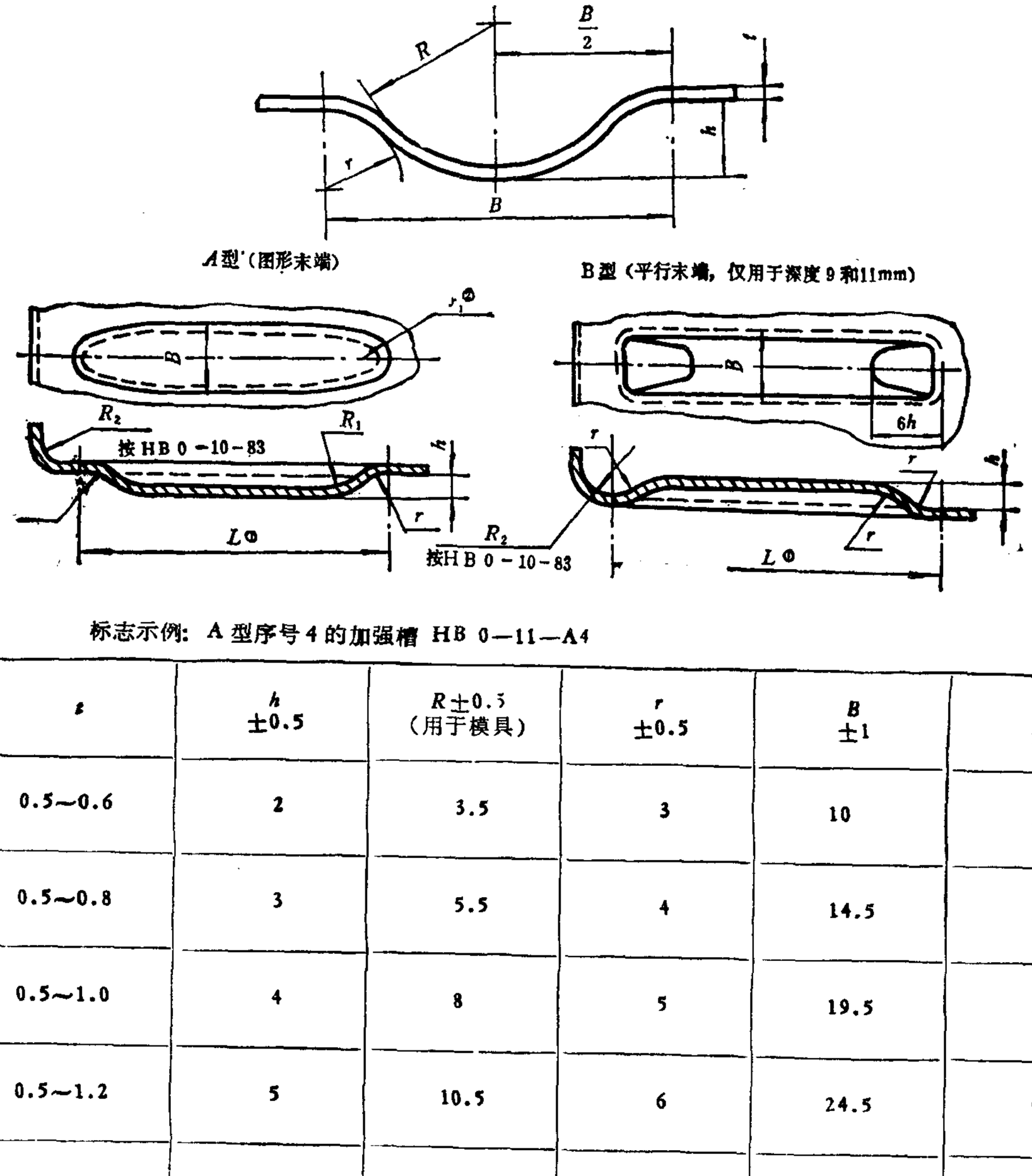
http://shop62964869.taobao.com/

（二）加强槽(摘自 HB 0—11—83)

本标准规定了在铝合金和镁合金件上制加强槽的形式和尺寸(见表 1-16)。

表 1-16 加 强 槽

加强槽型面



标志示例：A 型序号 4 的加强槽 HB 0—11—A4

序号	s	h ±0.5	R ±0.5 (用于模具)	r ±0.5	B ±1	R_1 ±2
1	0.5～0.6	2	3.5	3	10	25
2	0.5～0.8	3	5.5	4	14.5	35
3	0.5～1.0	4	8	5	19.5	45
4	0.5～1.2	5	10.5	6	24.5	55
5	0.8～1.5	7	13.5	8	33	70
6	1.0～1.8	9	17	10	42	85
7	1.2～2.0	11	21.5	12	51	100

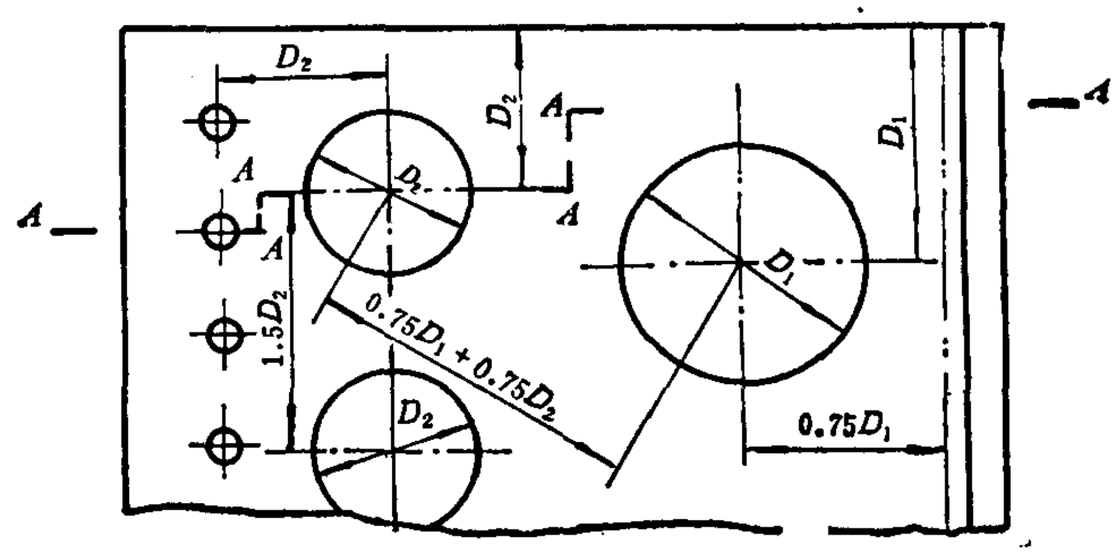
① 尺寸 L 由设计员确定。
② 尺寸 r_1 不规定。

http://shop62964869.taobao.com/

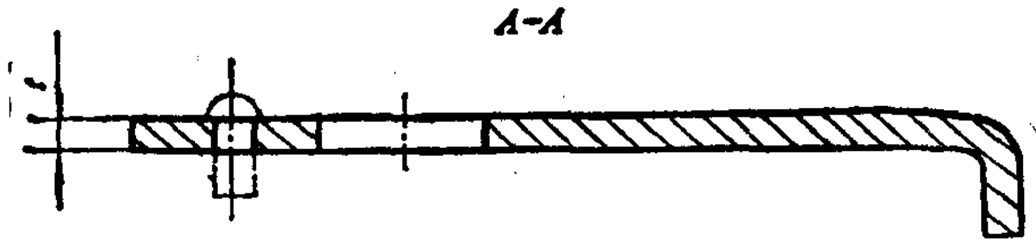
（三）金属结构减轻孔（摘自 HB 0—12—83）

本标准适用于金属结构减轻孔（见表 1-17）。

表 1-17　金属结构减轻孔



A-A



(mm)

D_1或D_2 \ t	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.5	2.8	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	10	0.75 D_1或 0.75D_2
8																				6
10																				8
12																				9
14																				10
16																				12
18																				13
20																				15
25							选													18
30																				22
35									用											26
40																				30
45											范									34
50																				38
55																				42
60													围							45
70																				52
80																				60
90																				68
100																				75
110																				85
120																				90
140																				105

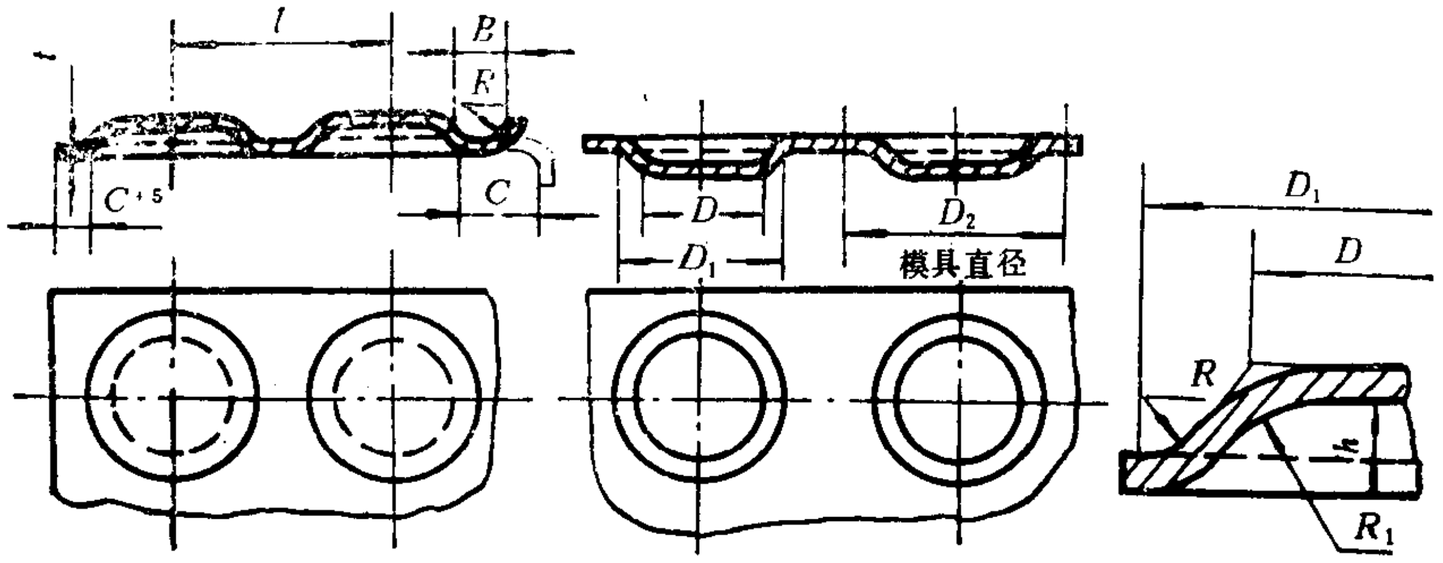
注：1.直径尺寸应在粗线范围内选用。
2.图中所注的边距和间距尺寸是最小尺寸。

http://shop62964869.taobao.com/

（四）加强窝(摘自 HB 0—13—83)

本标准适用于铝合金和 20 钢的钣金件（见表 1-18）。

表 1-18 加 强 窝



标志示例：$D=48$ 的加强窝 HB 0—13—48

(mm)

D	D_1	D_2	l 最小	h	$R;R_1$	最小		t						
						B	C	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2
15	19	23	26	2	1	10	15							
18	22	26	28	2	1	10	15							
24	28	38	33	2	1	10	15							
31	37	47	43	3	1.5	10	15							
36	42	52	48	3	1.5	10	15							
43	51	63	58	4	2	10	15							
48	56	68	63	4	2	10	15							
55	65	79	74	5	2.5	15	25							
60	70	86	80	5	2.5	15	25							
65	75	91	85	5	2.5	15	25							
72	84	104	96	6	3	15	25							
77	89	113	103	6	3	20	35							
82	94	122	110	6	3	20	35							
94	108	144	128	7	3.5	20	35							
106	122	162	145	8	4	20	35							
116	132	172	155	8	4	20	35							
128	146	186	169	9	4.5	20	35							
140	160	200	183	10	5	25	40							
162	184	228	210	11	5.5	25	40							
184	208	252	234	12	6	25	40							
208	236	280	262	14	7	25	40							
230	260	304	286	15	7.5	25	40							

选用范围

注：1.推荐选用在粗线范围内的加强窝。当用橡胶模压制时，上限必须按虚线选用，下限仅为推荐。

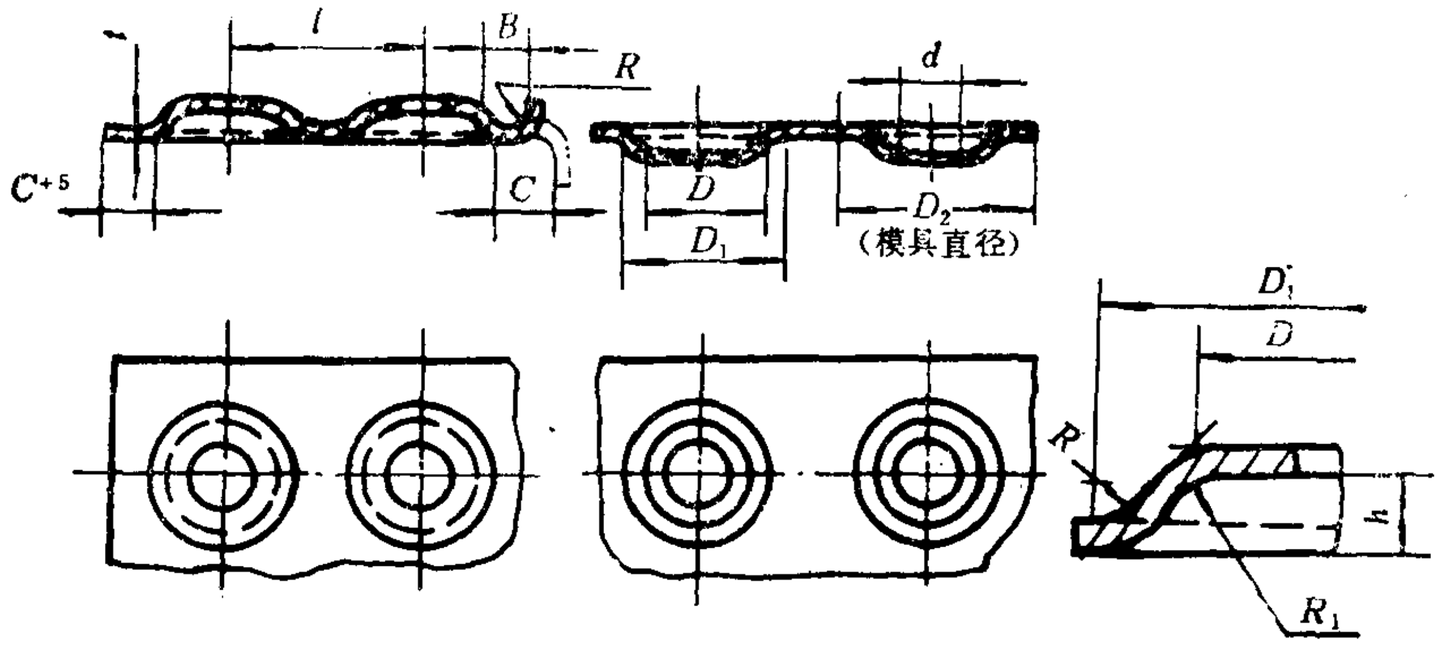
2.用橡胶模压制时，R 和 R_1 按板材厚度确定为：$R=3t$，$R_1=9t$。

http://shop62964869.taobao.com/

（五）弯边减轻孔(摘自 HB 0—14—83)

本标准适用于铝合金和20钢的钣金件(见表1-19)。

表1-19 弯边减轻孔



标志示例：$d = 40$ 的减轻孔 HB 0—14—40

(mm)

d 弯边前	d 弯边后	D	D_1	D_2	l 最小	h	R R_1	最小 B	最小 C	t 0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	2
15	16	18	22	25	28	2	1	10	15							
20	21	24	28	38	33	2	1	10	15							
25	26	31	37	47	43	3	1.5	10	15							
30	32	36	42	52	48	3	1.5	10	15							
35	37	43	51	63	58	4	2	10	15							
40	42	48	56	68	63	4	2	10	15		选					
45	47	55	65	79	74	5	2.5	10	15							
50	53	60	70	86	80	5	2.5	10	15			用				
55	58	65	75	91	85	5	2.5	15	25							
60	63	72	84	104	96	6	3	15	25				范			
65	68	77	89	113	103	6	3	15	25							
70	74	82	94	122	110	6	3	15	25					围		
80	84	94	108	144	128	7	3.5	15	25							
90	94	106	122	162	145	8	4	15	25							
100	105	116	132	172	155	8	4	20	35							
110	115	128	146	186	169	9	4.5	20	35							
120	125	140	160	200	183	10	5	20	35							
140	146	162	184	228	210	11	5.5	20	35							
160	166	184	208	252	234	12	6	20	35							
180	187	208	236	280	262	14	7	20	35							
200	208	230	260	304	286	15	7.5	20	35							

注：1.推荐选用在粗线范围内的减轻孔。当用橡胶模压制时，上限必须按虚线选用，下限仅为推荐。

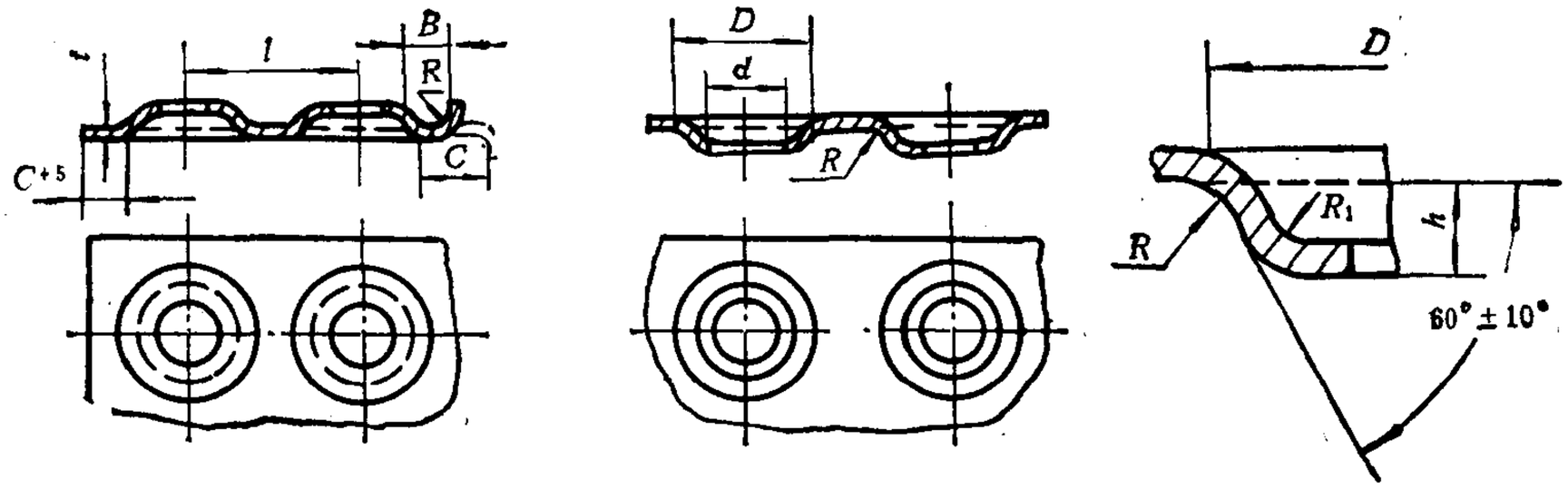
2.用橡胶模压制时，R和R_1按板材厚度确定为：$R = 3t$，$R_1 = 6t$。

http://shop62964869.taobao.com/

（六）橡胶压制的60°弯边减轻孔(摘自 HB 0—15—83)

本标准适用于橡胶压制的铝合金和镁合金的钣金件(见表1-20)。

表1-20　用橡胶模压制的60°弯边减轻孔



标志示例：$d=30$ 的减轻孔　HB 0—15—30

(mm)

d(H12)	D	h	l 最小	最小		t								
				B	C	0.3	0.5	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2	2.5
20	28	3.5±1	43	10	15									
25	33	3.5±1	48	10	15									
30	38	3.5±1	53	10	15									
35	43	3.5±1	58	10	15									
40	48	3.5±1	63	10	15									
45	56	5±1.5	71	10	15									
50	61	5±1.5	76	10	15									
55	66	5±1.5	86	15	25									
60	74	6±1.5	94	15	25									
65	79	6±1.5	99	15	25									
70	87	7±1.5	107	15	25									
80	97	7±1.5	117	15	25									
90	107	7±1.5	127	15	25									
100	122	9±2	142	20	35									
110	132	9±2	157	20	35									
120	142	9±2	167	20	35									
140	162	9±2	187	20	35									
160	182	10±2	207	20	35									
180	202	10±2	227	25	40									
200	222	10±2	247	25	40									
R						1	2	3	3	4	5	6	6	8

选用范围

注：1.选用在粗线范围内的减轻孔，其上限必须遵守，下限仅为推荐。

2.d 为弯边前孔的直径。

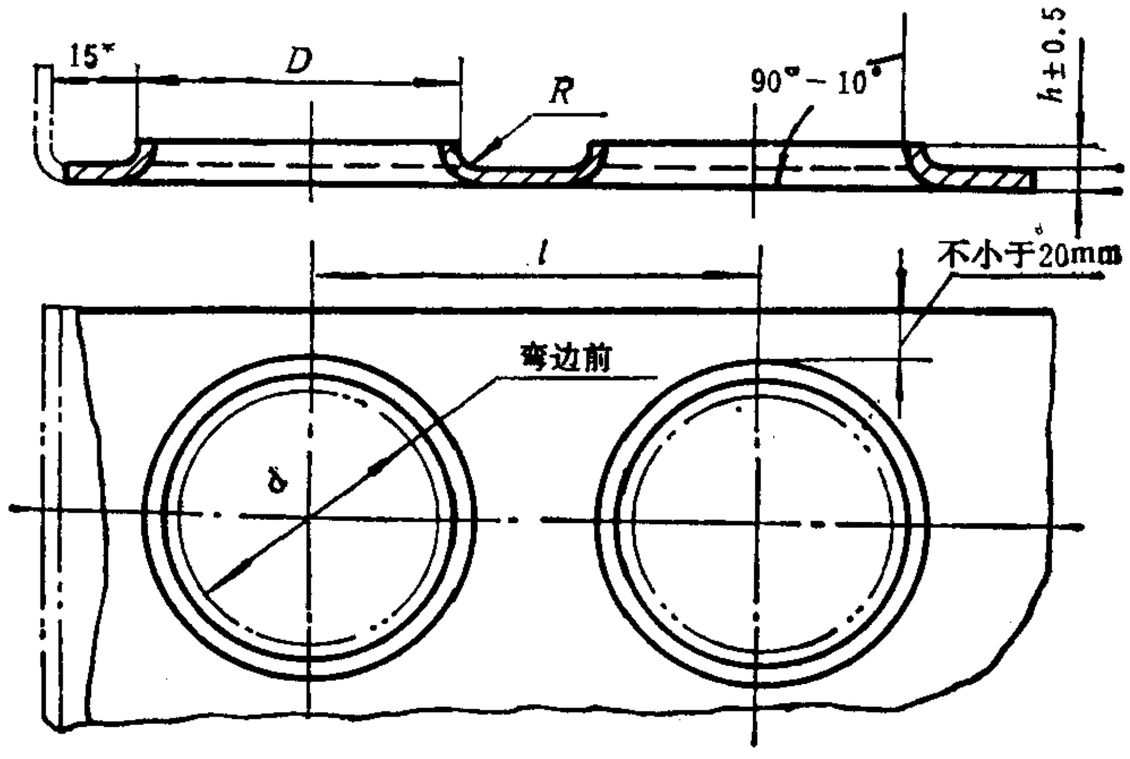
3.R_1 由模具保证。

http://shop62964869.taobao.com/

（七）直角减轻孔(摘自 HB 0—16—83)

本标准适用于铝合金和20钢的钣金件(见表 1-21)。

表 1-21　直角减轻孔



标志示例：$D=40$ 的减轻孔　HB 0—16—40

(mm)

D −1.0	d	t								l 最小	t										l 最小
		0.5		0.6		0.8		1.0			1.2		1.5		1.8		2.0		2.5		
		R	h	R	h	R	h	R	h		R	h	R	h	R	h	R	h	R	h	
25	20									40											
30	25									45											
35	30		4		4		4		4	50											
40	35	3		3		3		3		55											
45	40									60											
53	45									70											75
58	50		5.5		5.5		5.5		5.5	75		7		7		7		7		7	80
63	55									85											90
70	60									90											95
75	65									95	6		6		6		6		6		100
80	70					4*	7	4	7	100		8		8		8		8		8	105
90	80									110											115
100	90									120											125
115	100																				140
125	110																				150
135	120																				160
155	140											10.5		10.5		10.5		10.5		10.5	185
175	160																				205
195	180																				230
215	200																				250

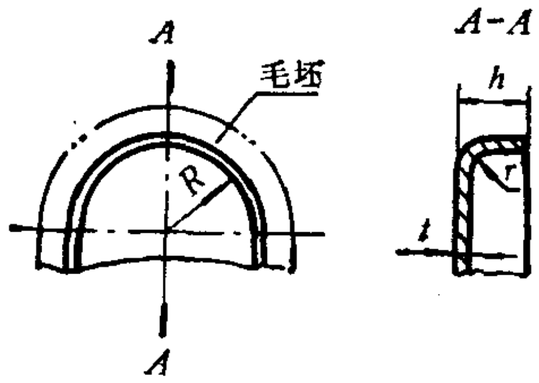
* 用橡胶模压制时的最小距离。

http://shop62964869.taobao.com/

（八）橡胶压制凸弯边的高度(摘自 HB 0—17—83)

橡胶压制凸弯边的高度(见表 1-22)。

表 1-22　橡胶压制凸弯边的高度



标志示例： $h=8$ 的凸弯边高度 HB 0—17—8

(mm)

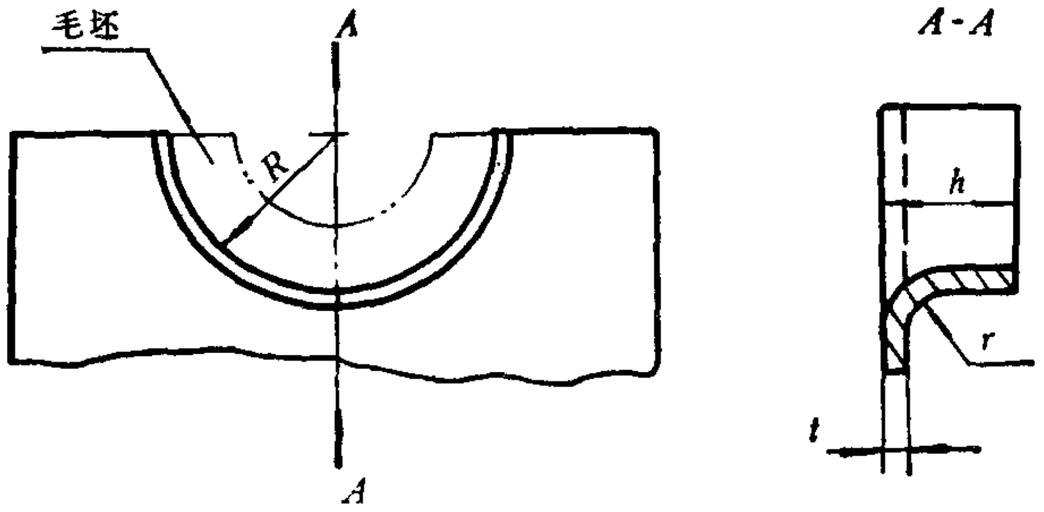
材料	LY12-M, LC4-M, MB8-M									LF21-M, LF2-M							
厚度 t	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	0.5 0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3
弯曲半径 r	1.5	2	2.5	3	3.5	4.5	6	7.5	9	1.5	2	3	3.5	4.5	6	7.5	9
弯边高度																	
h	允差	不经手工修整的凸弯边最小半径 R 值															
3	±0.5	30	30								20	20						
4		70	60	50	50						50	50	40	40				
5		120	110	110	100	100					80	70	70	70	70			
6		200	180	170	160	150	150				120	110	100	90	80	80	80	80
8		300	270	250	230	220	210	200			200	170	150	130	110	100	100	100
10		450	400	360	320	300	280	260	240		280	240	200	170	160	160	150	150
12		600	550	420	390	360	340	330	320		360	300	260	240	220	220	210	210
15	±1		800	600	550	480	440	420	400	380		360	320	300	280	270	260	260
20					1000	800	600	550	500	450			400	380	360	350	330	320
25						1000	770	700	650	600				480	440	420	400	380
30							1000	900	850	800					500	480	460	440
40								1200	1150	1100						500	500	500
		经手工修整的凸弯边最小半径 R 值																
8	±1	60	50	40	40													
10		80	60	50	50	40												
12		100	80	60	60	50												
15		130	100	80	70	60												
20		180	130	100	85	70												
25		225	165	135	110	100	90	80										
30		260	200	160	130	110	100	90	80									
40		340	270	210	170	150	130	110	90									

http://shop62964869.taobao.com/

（九）橡胶压制凹弯边的高度(摘自 HB 0—18—83)

橡胶压制凹弯边的高度(见表 1-23)。

表 1-23　橡胶压制凹弯边的高度



标志示例：$h=8$ 的凹弯边高度 HB 0—18—8

(mm)

材　　料	LY12-M, LC4-M, MB8-M									LF21-M, LF2-M							
厚　度　t	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	0.5 0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3
弯曲半径 r	1.5	2	2.5	3	3.5	4.5	6	7.5	9	1	1	1	1.2	1.5	2	2.5	3
弯曲高度	不修光零件边缘的凹弯边最小半径 R 值																
h	偏　差																
4	±0.5	60	60	50	50						30	30	20					
6		90	90	80	80	80					50	50	50					
8		120	110	100	100	90	80				80	75	70	65	60			
10	±1	150	140	130	120	110	90				100	90	80	70	65			
12		170	160	150	140	130	110	100			120	105	95	85	75			
15		210	200	180	170	160	140	140			140	120	105	100	90	85		
20		260	250	230	220	210	200	190			180	150	140	130	115	100		
25		330	310	290	280	270	260	250	250		260	230	200	170	140	130	120	110
30	±1.5	450	430	400	360	350	330	320	320		340	300	270	240	180	170	160	150
40		700	670	630	600	570	550	520	500	500	500	460	430	400	360	340	320	300
	修光零件边缘的凹弯边最小半径 R 值																	
3	±0.5	20									15							
4		30	25								20	15						
5		40	35	30							25	20	20					
6		55	50	45	40						35	30	30	20				
8		70	60	55	50	45					40	35	35	30	30			
10		80	70	60	55	55	55				50	40	40	35	35	35		
12		90	80	75	70	70	70	70			60	50	50	45	45	45	40	40
15		110	100	90	85	80	80	80	80		70	60	60	55	55	55	55	55
20	±1	140	130	120	120	115	110	110	110	110	90	85	80	75	70	70	70	70
25		170	165	150	140	135	130	130	130	130	130	120	110	100	90	90	90	90
30		240	230	220	220	200	190	180	180	180	200	160	140	130	120	120	120	120
40		400	400	380	360	340	320	300	300	300	300	280	260	240	220	210	200	200

http://shop62964869.taobao.com/

三、冲压常用材料

（一）常用材料的机械性能

1. 常用黑色金属的机械性能见表 1-24 和表 1-25。

表 1-24　黑色金属的机械性能

材料名称	牌　号	材料状态	机械性能				
			抗剪强度 τ(MPa)	抗拉强度 σ_b(MPa)	屈服强度 σ_s(MPa)	延伸率② δ_{10}(%)	弹性模数 E (10^3MPa)
电工用工业纯铁 C<0.025	DT1、DT2、DT3	退火	177	225		26	
电工硅钢	D11、D12、D21、D31、D32、D41～43 D310～340、	退火	450				
		未退火	560				
普通碳素钢	A0	未退火	255～373	314～461	186	18～22	
	A1		255～314	314～392		28～33	
	A2		265～333	333～412	216	26～31	
	A3		304～373	432～461	253	21～25	
	A4		333～412	481～511	255	19～23	
	A5		392～490	569～608	275	15～19	
碳素结构钢	05	退火	196	225		28	
	05F		206～294	255～373		32	
	08F		216～304	275～383	177	32	
	08		255～353	324～441	196	32	186
	10F		216～333	275～412	186	30	
	10		255～333	294～432	206	29	194
	15F		245～363	314～451		28	
	15		265～373	333～471	225	26	198
	20F		275～383	333～471	225	26	196
	20		275～392	353～500	245	25	206
	25		314～432	392～539	275	24	198
	30		353～471	441～588	294	22	197
	35		392～511	490～637	314	20	197
	40		412～530	511～657	333	18	209

http://shop62964869.taobao.com/

续表 1-24

材料名称	牌号		材料状态	机械性能				
				抗剪强度 τ(MPa)	抗拉强度 σ_b(MPa)	屈服强度 σ_s(MPa)	延伸率② δ_{10}(%)	弹性模数 E (10^3MPa)
碳素结构钢	45		退火	432～549	539～686	353	16	200
	50			432～569	539～716	373	14	216
	55		正火	539	≥657	383	14	
	60			539	≥686	402	13	204
	65			588	≥716	412	12	
	70			588	≥745	422	11	206
冷轧深拉深钢	08Al—ZF①		退火		255～324	196	44	
	08Al—HF①				255～334	206	42	
	08Al—F①	$t>1.2$			255～343	216	39	
		$t=1.2$			255～343	216	42	
		$t<1.2$			255～343	235	42	
碳素工具钢	T7～T12 T7A～T12A		退火	588	736			
	T13，T13A			706	883			
	T8A，T9A		冷作硬化	588～932	736～1177			
优质碳素钢	10Mn2		退火	314～451	392～569	225	22	207
	65Mn			588	736	392	12	207
合金结构钢	25CrMnSiA 25CrMnSi		低温退火	392～549	490～686		18	
	30CrMnSiA 30CrMnSi			432～588	539～736		16	
优质弹簧钢	60Si2Mn 60Si2MnA 65Si2WA		低温退火	706	883		10	196
			冷作硬化	628～941	785～1177		10	
不锈钢	1Cr13		退火	314～373	392～461	412	21	206
	2Cr13			314～392	392～490	441	20	206
	3Cr13			392～471	490～588	471	18	206
	4Cr13			392～471	490～588	490	15	206
	1Cr18Ni9Ti		经热处理	451～511	569～628	196	35	196

① 按拉深用途分三级：ZF，用于拉深最复杂的零件；HF，用于拉深很复杂的零件；F，用于拉深复杂的零件。

② 延伸率 δ_{10} 为 10% 时机械性能。

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-25　钢在加热状态的抗剪强度 τ　　(MPa)

	加热温度 (℃)				
	500	600	700	800	900
A1、A2、10、15	320	200	110	60	30
A3、A4、20、25	450	240	130	90	60
A5、30、35	520	330	160	90	60
A6、40、45、50	570	380	190	90	60

注：1.在厚板冲裁，当压力机吨位不足时采用。

2.表中温度指相当冲裁时温度，最好范围在 700～900℃ 之间，应避开 500℃ 左右蓝脆范围。

2. 常用有色金属的机械性能见表 1-26。

表 1-26　有色金属的机械性能

材料名称	牌号	材料的状态	机械性能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_b(MPa)	屈服强度 σ_s(MPa)	延伸率 δ_{10}(%)	弹性模数 E (10^3MPa)
铝	L2，L3 L5，L7	已退火的	78	74～108	49～78	25	71
		冷作硬化	98	118～147		4	
铝锰合金	LF21	已退火的	69～98	108～142	49	19	70
		半冷作硬化的	98～137	152～196	127	13	
铝镁合金 铝铜镁合金	LF2	已退火的	127～158	177～225	98		69
		半冷作硬化的	158～196	225～275	206		
高强度的 铝镁铜合金	LC4	已退火的	167	245			
		淬硬并经人工时效	343	490	451		69
镁锰合金	MB1	已退火的	118～235	167～186	96	3～5	43
	MB8	已退火的	167～186	216～225	137	12～14	39
		冷作硬化的	186～196	235～245	157	8～10	
硬铝(杜拉铝)	LY12	已退火的	103～147	147～211		12	
		淬硬并经自然时效	275～304	392～432	361	15	71
		淬硬后冷作硬化	275～314	392～451	333	10	
紫铜	T1，T2 T3	软的	157	196	69	30	106
		硬的	235	294		3	127
黄铜	H62	软的	255	294		35	98
		半硬的	294	373	196	20	
		硬的	412	412		10	
	H68	软的	235	294	98	40	108
		半硬的	275	343		25	

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-26（续）

材料名称	牌　号	材料的状态	机械性能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_b(MPa)	屈服强度 σ_s(MPa)	延伸率 e_{10}(%)	弹性模数 E (10^3MPa)
黄铜	H68	硬　的	392	392	245	15	113
铅黄铜	HPb59-1	软　的	294	343	142	25	91
		硬　的	392	441	412	5	103
锰黄铜	HMn58-2	软　的	333	383	167	25	98
		半硬的	392	441		15	
		硬　的	511	588		5	
锡磷青铜	QSn4-4-2.5	软　的	255	294	137	38	98
		硬　的	471	539		3～5	
锡锌青铜	QSn4-3	特硬的	490	637	535	1～2	122
铝青铜	QA17	退火的	511	588	182	10	
		不退火的	549	637	245	5	113～127
铝锰青铜	QA19-2	软　的	353	441	294	18	90
		硬　的	471	588	490	5	
硅锰青铜	QSi3-1	软　的	275～294	343～373	234	40～45	118
		硬　的	471～511	588～637	530	3～5	
		特硬的	549～588	686～736		1～2	
铍青铜	QBe2	软　的	235～471	294～588	245～343	30	115
		硬　的	511	647		2	129～138
钛合金	TA2	退火的	353～471	441～588		25～30	
	TA3		432～588	539～736		20～25	
	TA5		628～667	785～834		15	102
镁锰合金	MB1	冷　态	118～137	167～186	118	3～5	39
	MB8		147～177	225～235	216	14～15	40
	MB1	预热 300℃	29～49	29～49		50～52	39
	MB8		49～69	49～69		58～62	40

http://shop62964869.taobao.com/

3. 冷冲压中常用非金属材料及机械性能见表 1-27。

表 1-27　非金属材料的抗剪强度 τ　　(MPa)

材料名称	凸模刃口型式		材料名称	凸模刃口型式	
	尖刃	平刃		尖刃	平刃
纸胶板、布胶板	90～130	120～200	桦木胶合板	200	
玻璃布胶板	120～140	160～220	松木胶合板	100	
玻璃纤维丝胶板	100～110	140～160	马粪纸	20～34	30～60
石棉纤维塑料	80～90	120～180	硬马粪纸	70	60～100
有机玻璃	70～80	90～100	绝缘纸板	40～70	60～100
石棉橡胶	40		红纸板		140～200
石棉板	40～50		纸	20～50	20～40
硬橡胶	40～80		漆布	30～60	
云母	50～80	60～100			

（二）冷冲压常用材料的规格及其公差

1. 轧制薄钢板的厚度、宽度和长度尺寸见表 1-28。

表 1-28　轧制薄钢板的厚度、宽度和长度尺寸（GB708—65）　　(mm)

厚度	宽度												
	500	600	710	750	800	850	900	950	1000	1100	1250	1400	1500
	长度												
热轧钢板													
0.35、0.40、0.45、0.50、0.55、0.60、0.70、0.75	1000 1500 2000	1200 1500 1800 2000	1000 1420 2000	1000 1500 1800 2000	1500 2000	1700 2000	1500 1800 2000	1500 1900 2000	1500 2000				
0.80、0.90	1000 1500	1200 1420	1420 2000	1500 1800 2000	1500 2000	1500 1700 2000	1500 1800 2000	1500 1900 2000	1500 2000				
1.0、1.1、1.2、1.25、1.4、1.5、1.6、1.8	1000 1500 2000	1200 1420 2000	1000 1420 2000	1000 1500 1800 2000	1500 2000	1500 1700 2000	1000 1500 1800 2000	1500 1900 2000	1500 2000				
2.0、2.2、2.5、2.8	500 1000 1500	600 1200 1500	1000 1420 2000	1500 1800 2000	1600 2000	1500 1700 2000	1000 1500 1800 2000	1500 1900 2000	1500 2000 3000	2200 3000 4000	2500 3000 4000	2800 3000 4000	3000 4000
3.0、3.2、3.5、3.8、4.0	500 1000	600 1200	1420 2000	1000 1500 1800 2000	1500 2000	1500 1700 2000	1000 1500 1800 2000	1500 1900 2000	2000 3000 4000	2200 3000 4000	2500 3000 4000	2800 3000 3500 4000	3000 3500 4000
冷轧钢板													
0.2、0.25、0.3、0.4	1000 1500	1200 1800 2000	1420 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800		1500 2000				

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-28 续

厚度	宽度												
	500	600	710	750	800	850	900	950	1000	1100	1250	1400	1500
	长度												
冷轧钢板													
0.5、0.55、0.6	1000 1500	1200 1800 2000	1420 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800		1500 2000				
0.70、0.75	1000 1500	1200 1800 2000	1420 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800		1500 2000				
0.8、0.9	1000 1500	1200 1800 2000	1420 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000		1500 2000	2000 2200	2000 2500		
1.0、1.1、1.2、1.4、1.5、1.6、1.8、2	1000 1500 2000	1200 1800 2000	1420 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1800 2000		2000	2000 2200	2000 2500	2800 3000 3500	2800 3000 3500
2.2、2.5、2.8、3.0、3.2、3.5、3.8、4.0	500 1000 1500 2000	600 1200 1800 2000	1420 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1500 1800 2000	1800		2000				

2. 轧制薄钢板厚度允许偏差见表 1-29。

表 1-29 普通碳素钢冷轧与热轧薄板的厚度偏差（GB708—65） (mm)

钢板厚度	A 高级精度	B 较高精度	C 普通精度	
	冷轧优质钢板	普通和优质钢板		
		冷轧和热轧	热轧	
	全部宽度		宽度<1000	宽度≥1000
0.2、0.25、0.30、0.35、0.40	±0.03	±0.04	±0.06	±0.06
0.45、0.50	±0.04	±0.05	±0.07	±0.07
0.55、0.60	±0.05	±0.06	±0.08	±0.08
0.65、0.70、0.75	±0.06	±0.07	±0.09	±0.09
0.80、0.90	±0.06	±0.08	±0.10	±0.10
1.0、1.1	±0.07	±0.09	±0.12	±0.12
1.2	±0.09	±0.11	±0.13	±0.13
1.25、1.30、1.40	±0.10	±0.12	±0.15	±0.15
1.5	±0.11	±0.12	±0.15	±0.15
1.6、1.8	±0.12	±0.14	±0.16	±0.16
2.0	±0.13	±0.15	+0.15 −0.18	±0.18
2.2	±0.14	±0.16	+0.15 −0.19	±0.19
2.5	±0.15	±0.17	+0.16 −0.20	±0.20
2.8、3.0	±0.16	±0.18	+0.17 −0.22	±0.22
3.2、3.5	±0.18	±0.20	+0.18 −0.25	±0.25
3.8、4.0	±0.20	±0.22	+0.20 −0.30	±0.30

http://shop62964869.taobao.com/

3. 低碳钢冷轧钢带的厚度、宽度及允许偏差见表 1-30 和表 1-31。

表 1-30　低碳钢冷轧钢带的厚度及允许偏差（GB3526—83）　　（mm）

公称厚度	允许偏差		
	普通精度 P	较高精度 H	高精度 J
0.05、0.06、0.08	−0.015	−0.01	
0.10、0.12、0.15	−0.02	−0.015	−0.010
0.18、0.20、0.22、0.25	−0.03	−0.02	−0.015
0.28、0.30、0.35、0.40	−0.04	−0.03	−0.020
0.45、0.50、0.55、0.60、0.65、0.70	−0.05	−0.04	−0.025
0.75、0.80、0.85、0.95	−0.07	−0.05	−0.030
1.00、1.05、1.10、1.15、1.20、1.25、1.30、1.35	−0.09	−0.06	−0.040
1.40、1.45、1.50、1.55、1.60、1.65、1.70、1.75	−0.11	−0.08	−0.050
1.80、1.85、1.90、1.95、2.00、2.10、2.20、2.30	−0.13	−0.10	−0.060
2.40、2.50、2.60、2.70、2.80、2.90、3.00	−0.16	−0.12	−0.080
3.10、3.20、3.30、3.40、3.50、3.60	−0.20	−0.16	−0.100

表 1-31　低碳钢冷轧钢带的宽度及允许偏差（GB3526—83）　　（mm）

公称宽度	允许偏差					
	厚度0.05～0.50		厚度0.55～1.00		厚度＞1.00	
	普通精度	较高精度	普通精度	较高精度	普通精度	较高精度
4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、22、24、26、28、30、32、34、36、38、40、43、46、50、53、56、60、63、66、70、73、76、80、83、86、90、93、96、100	−0.30	−0.15	−0.40	−0.25	−0.50	−0.30
105、110、115、120、125、130、135、140、145、150、155、160、165、170、175、180、185、190、195、200、205、210、215、220、225、230、235、240、245、250、260、270、280、290、300	−0.5	−0.25	−0.60	−0.35	−0.70	−0.50

http://shop62964869.taobao.com/

4. 优质碳素结构钢冷轧钢带厚度的允许偏差见表 1-32。

表 1-32　优质碳素结构钢冷轧钢带的尺寸及允许偏差（GB3522—83）　　（mm）

厚度				宽度				
公称尺寸	允许偏差			切边钢带			不切边钢带	
	普通精度 P	较高精度 H	高精度 J	公称尺寸	允许偏差 普通精度 P	允许偏差 较高精度 K	公称尺寸	允许偏差
0.10～0.15	−0.020	−0.015	−0.010	4～120	−0.3	−0.2	≤50	+2 −1
>0.15～0.25	−0.030	−0.020	−0.015					
>0.25～0.40	−0.040	−0.030	−0.020	6～200				
>0.40～0.50	−0.050	−0.040	−0.025					
>0.50～0.70	−0.050	−0.040	−0.025	10～200	−0.4	−0.3		
>0.70～0.95	−0.070	−0.050	−0.030					
>0.95～1.00	−0.090	−0.060	−0.040					
>1.00～1.35	−0.090	−0.060	−0.040	18～200	−0.6	−0.4	>50	+3 −2
>1.35～1.75	−0.110	−0.080	−0.050					
>1.75～2.30	−0.130	−0.100	−0.060					
>2.30～3.00	−0.160	−0.120	−0.080					
>3.00～4.00	−0.200	−0.160	−0.100					

5. 深拉深用冷轧钢板和钢带厚度的允许偏差见表 1-33。

表 1-33　深拉深冷轧钢板的厚度允许偏差（GB5213—85）　　（mm）

公称厚度	厚度允许偏差		公称厚度	厚度允许偏差	
	A 级精度	B 级精度		A 级精度	B 级精度
0.50	±0.03	±0.04	1.40	±0.08	±0.10
0.55～0.60	±0.04	±0.05	1.50	±0.09	±0.11
0.70～0.75	±0.05	±0.06	1.60～1.80	±0.09	±0.12
0.80～0.90	±0.05	±0.06	2.00	±0.10	±0.13
1.00～1.10	±0.06	±0.07	2.20	±0.11	±0.14
1.20	±0.07	±0.09	2.50	±0.12	±0.15
1.30	±0.08	±0.10	2.80～3.00	±0.14	±0.16

注：表中厚度允许偏差系限宽度小于 2000mm。

http://shop62964869.taobao.com/

6. 铝及铝合金板的厚度和允许偏差见表 1-34。

表 1-34　铝及铝合金板的厚度和允许偏差（GB3194—82）

公称厚度	宽度									
	400～600	800	1000	1200	1500	1600	1800	2000	2200	2400
	厚度允许偏差									
0.3	−0.05	−0.08	±0.05	±0.06						
0.4	−0.05	−0.08	±0.05	±0.06						
0.5	−0.05	−0.08	−0.10	−0.12	−0.13					
0.6	−0.05	−0.10	−0.12	−0.12	−0.14	−0.14				
0.7	−0.07	−0.11	−0.12	−0.13	−0.14	−0.14				
0.8	−0.08	−0.12	−0.12	−0.13	−0.14	−0.14	−0.18			
0.9	−0.09	−0.13	−0.14	−0.15	−0.16	−0.17	−0.19			
1.0	−0.10	−0.15	−0.15	−0.16	−0.17	−0.17	−0.20	−0.20		
1.2	−0.10	−0.15	−0.15	−0.16	−0.17	−0.17	−0.20	−0.22		
1.5	−0.15	−0.20	−0.20	−0.22	−0.25	−0.25	−0.27	−0.27	−0.29	
1.8	−0.15	−0.20	−0.20	−0.22	−0.25	−0.25	−0.27	−0.27	−0.29	−0.30
2.0	−0.15	−0.20	−0.20	−0.24	−0.26	−0.26	−0.28	−0.28	−0.30	−0.30
2.3	−0.20	−0.22	−0.23	−0.26	−0.28	−0.28	−0.29	−0.29	−0.30	−0.30
2.5	−0.20	−0.25	−0.25	−0.28	−0.29	−0.29	−0.30	−0.30	−0.32	−0.32
3.0	−0.25	−0.30	−0.30	−0.33	−0.34	−0.34	−0.35	−0.35	−0.36	−0.36
3.5	−0.25	−0.30	−0.30	−0.34	−0.35	−0.35	−0.36	−0.36	−0.37	−0.37
4.0	−0.25	−0.30	−0.30	−0.35	−0.36	−0.36	−0.37	−0.37	−0.38	−0.38

注：1. 厚板系列为 5.0、6.0、7.0、8.0、9.0、10、12、14、15、16、18、20、22、25、30、35、40～150(间隔 10)。

2. 板材长度为 2000～6000 (间隔 500)，6000～10000 (间隔 1000)。

3. 铝及铝合金热轧板的牌号 (GB3193—82) 为 LG4、LG3、LG2、LG1、L1、L2、L3、L4、L5、L6、LF2、LF3、LF5、LF6、LF11、LF21、LD2、LD10、LY6、LY11、LY12、LY16、LC4、LC9。

7. 冷轧铜板厚度及允许偏差见表 1-35。

表 1-35　冷轧铜板厚度及允许偏差（GB2040—80）　　(mm)

公称厚度	宽度					
	200～400	>400～600	>600～800	>800～1000	1100～1500	1600～2000
	厚度允许偏差					
0.2	−0.06					
0.3	−0.06					
0.4	−0.07	−0.07	−0.10			
0.5	−0.07	−0.07	−0.10			
0.6	−0.07	−0.08	−0.11			
0.7	−0.08	−0.08	−0.11			
0.8	−0.08	−0.10	−0.12	−0.15		
0.9	−0.09	−0.10	−0.14	−0.17		
1.0	−0.09	−0.12	−0.14	−0.17		
1.1	−0.10	−0.12	−0.14	−0.18		
1.2	−0.10	−0.14	−0.16	−0.18		
1.3	−0.10	−0.14	−0.16	−0.18		
1.5	−0.10	−0.16	−0.18	−0.21		
1.6	−0.12	−0.16	−0.18	−0.21		
1.8	−0.12	−0.16	−0.18	−0.21		
2.0	−0.12	−0.18	−0.20	−0.21		
2.2	−0.12	−0.18	−0.20	−0.24		
2.5	−0.12	−0.18	−0.22	−0.24		
2.8	−0.14	−0.20	−0.24	−0.24		
3.0	−0.14	−0.20	−0.24	−0.24	−0.35	−0.45
3.5	−0.16	−0.23	−0.27	−0.30	−0.40	−0.50
4.0	−0.18	−0.23	−0.27	−0.30	−0.40	−0.50

注：1. 冷轧厚板的系列为 4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、9.0、10.0。

2. 冷轧铜板牌号为 T2、T3、T4、TUP，材料供应状态有软 (M)，硬 (Y)。

http://shop62964869.taobao.com/

8. 冷轧黄铜板厚度及允许偏差见表 1-36。

表 1-36　冷轧黄铜板厚度及允许偏差（GB2041—80）　　（mm）

公称厚度	宽度						
	200～400		>400～600	>600～800	>800～1000	>1000～1500	>1500～2000
	一般精度	较高精度					
	厚度允许偏差						
0.20、0.25、0.30	−0.06	−0.05	−0.07	−0.12	−0.18	−0.35	−0.45
0.35	−0.07	−0.06					
0.40、0.45、0.50、0.55、0.60							
0.70	−0.08	−0.07	−0.08				
0.80			−0.09				
0.90	−0.09	−0.08	−0.10				
1.00			−0.11	−0.14			
1.10	−0.10	−0.09	−0.12		−0.21		
1.20				−0.16			
1.35			−0.14				
1.50				−0.18			
1.65、1.80	−0.12	−0.10	−0.15				
2.00				−0.20			
2.25			−0.16				
2.50				−0.22	−0.24		
2.75、3.00	−0.14	−0.12		−0.24			
3.50	−0.16		−0.20	−0.27	−0.30	−0.40	−0.50
4.00	−0.18						

注：1. 冷轧厚板的系列为 4.5、5.0、5.5、6.0、6.5、7.0、7.5、8.0、9.0、10.0。

2. 牌号为 H59、H62、H65、H68、H80、H90、H96、HPb59-1、HSn62-1、HMn58-2，材料供应状态有软（M）、半硬（Y_2）、硬（Y）或特硬（T）。

（三）常用钢铁材料硬度值和极限抗拉强度对照

金属的硬度与其它强度指标之间在理论上并无严格的相互关系，但根据大量试验可以获得粗略的换算公式或换算值。黑色金属硬度与抗拉强度换算见表 1-37 和表 1-38。

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-37　低碳钢硬度与强度换算表

硬度							抗拉强度 (MPa)
HRB	HR15T	HR30T	HR45T	HV	$HB10D^2$	d(mm);10/1000	
100.0	91.5	81.7	71.7	233			787
99.0	91.2	81.0	70.7	227			768
98.0	90.9	80.4	69.6	222			748
97.0	90.6	79.8	68.6	216			730
96.0	90.4	79.1	67.6	211			712
95.0	90.1	78.5	66.5	206			694
94.0	89.8	77.8	65.5	201			678
93.0	89.5	77.2	64.5	196			662
92.0	89.3	76.6	63.4	191			646
91.0	89.0	75.9	62.4	187			632
90.0	88.7	75.3	61.4	183			617
89.0	88.4	74.6	60.3	178			602
88.0	88.1	74.0	59.3	174			589
87.0	87.9	73.4	58.3	170			576
86.0	87.6	72.7	57.2	166			564
85.0	87.3	72.1	56.2	163			551
84.0	87.0	71.4	55.2	159			539
83.0	86.8	70.8	54.1	156			529
82.0	86.5	70.2	53.1	152	138	3.00	518
81.0	86.2	69.5	52.1	149	136	3.02	508
80.0	85.9	68.9	51.0	146	133	3.06	498
79.0	85.6	68.2	50.0	143	130	3.09	488
78.0	85.4	67.2	49.0	140	128	3.11	480
77.0	85.1	67.0	47.9	138	126	3.14	471
76.0	84.8	66.3	46.9	135	124	3.16	461
75.0	84.5	65.7	45.9	132	122	3.19	455
74.0	84.3	65.1	44.8	130	120	3.21	447
73.0	84.0	64.4	43.8	128	118	3.24	440
72.0	83.7	63.8	42.8	125	116	3.27	433
71.0	83.4	63.1	41.7	123	115	3.29	427
70.0	83.2	62.5	40.7	121	113	3.31	421
69.0	82.9	61.9	39.7	119	112	3.33	415
68.0	82.6	61.2	38.6	117	110	3.35	410
67.0	82.3	60.6	37.6	115	109	3.37	404
66.0	82.1	59.9	36.6	114	108	3.39	399
65.0	81.8	59.3	35.5	112	107	3.40	395
64.0	81.5	58.7	34.5	110	106	3.42	390
63.0	81.2	58.0	33.5	109	105	3.43	386
62.0	80.9	57.4	32.4	108	104	3.45	383
61.0	80.7	56.7	31.4	106	103	3.46	379
60.0	80.4	56.1	30.4	105	102	3.48	376

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-38　碳素钢、合金钢(不包括碳钢)硬度与强度换算表

硬度								抗拉强度 (MPa)
HRC	HRA	HR15N	HR30N	HR45N	HV	HB30D²	d(mm); 10/3000	
70	86.6				1037			
68	85.5				959			
66	84.4				889			
64	83.3	91.9	80.6	70.6	825			
62	82.2	91.4	79.0	68.4	766			
60	81.2	90.6	77.3	66.2	713			2556
58	80.1	89.8	75.6	63.9	664			2345
56	79.0	88.9	73.9	61.7	620			2158
54	77.9	87.9	72.2	59.4	579			1995
52	76.9	86.8	70.4	57.3	543			1848
50	75.8	85.7	68.6	54.7	509	488	2.77	1719
48	74.7	84.6	66.8	52.4	478	461	2.85	1603
46	73.7	83.5	65.0	50.1	449	436	2.92	1499
44	72.6	82.3	63.0	47.7	423	413	3.01	1406
42	71.6	81.1	61.3	45.4	399	391	3.09	1321
40	70.5	79.9	59.5	43.0	377	370	3.17	1243
38		78.7	57.6	40.6	357	350	3.25	1174
36		77.5	55.8	38.2	338	332	3.34	1109
34		76.4	53.9	35.9	320	314	3.43	1049
32		75.2	52.0	33.5	304	298	3.52	995
30		74.1	50.2	31.1	289	283	3.61	945
28		73.0	48.3	28.7	274	269	3.70	899
26		71.9	46.4	26.3	261	257	3.78	857
24		70.8	44.5	23.9	249	245	3.87	819
22		69.8	42.6	21.5	237	234	3.95	783
20		68.8	40.7	19.2	226	225	4.03	752

四、弹簧的选用与计算

(一) 圆柱螺旋压缩弹簧

工厂冲压模具上通常用的圆柱螺旋压缩弹簧是用 65Mn 或 60Si2Mn 等弹簧钢丝卷制而成，热处理硬度为 HRC40 ～ 48，弹簧两端并紧并需磨平。圆柱螺旋压缩弹簧的特性曲线和规格见图 1-13 和表 1-39。方钢丝螺旋压缩弹簧规格见表 1-40。

http://shop62964869.taobao.com/

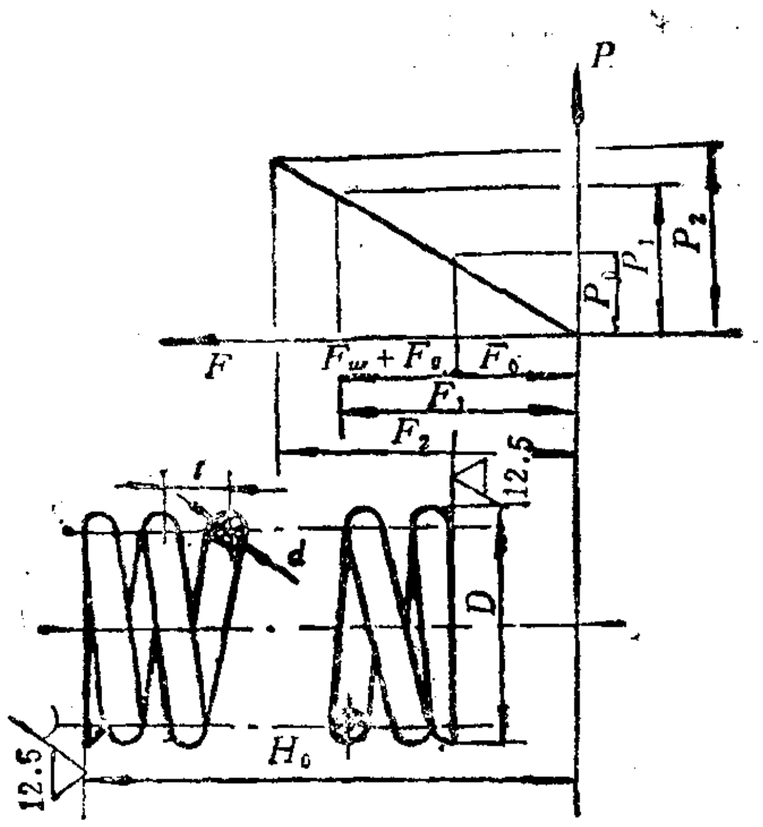


图 1-13　圆柱螺旋压缩弹簧特性曲线

表 1-39　圆钢丝螺旋压缩弹簧规格

表中符号：

D——弹簧外径（mm）；
d——钢丝直径（mm）；
H_0——弹簧自由高度（mm）；
t——节距（mm）；
F_2——最大工作负荷下的总变形量（mm）；
f——最大工作负荷下的单圈变形量（mm）；
P_2——最大工作负荷（N）；
n——有效圈数(圈)。

序号	D	d	H_0	t	F_2	f	P_2	n	序号	D	d	H_0	t	F_2	f	P_2	n
1	10	1	20	3.5	8.6	1.59	22	5.4	25	25	5	55	6.6	11.7	1.57	1200	7.5
2			30		13.2			8.3	26			65		14.1			9
3	12	2	25	3.3	6.6	0.98	156	7	27			75		16.6			10.6
4			35		9.8			10	28			80		17.7			11.3
5	15	3	45	4.1	9.4	0.94	440	10	29	30	4	85	8.0	33.9	3.32	480	10.1
6			50		10.3			11	30			100		39.8			12
7			55		11.8			12.7	31			120		48.1			14.5
8			65		14.1			15	32			140		56.4			17
9			75		16.4			17.5	33	30	5	50	7.6	14.4	2.45	950	5.9
10	18	2	55	5.7	23.2	2.5	98	9.3	34			60		17.6			7.2
11			65		27.5			11	35			70		20.8			8.5
12			75		32			12.8	36	30	6	60	7.8	13.1	1.88	1700	7
13	20	4	45	5.3	9.4	1.23	780	7.7	37			70		15.4			8.2
14			55		11.8			9.6	38			80		17.9			9.5
15			65		14.1			11.5	39	35	5	60	8.9	18.2	2.94	800	6.2
16			70		15.2			12.4	40			70		21.4			7.3
17	22	4	45	5.7	11.4	1.59	700	7.2	41			80		24.7			8.4
18			55		14.1			8.9	42			100		31.2			10.6
19			65		17			10.7	43	40	6	60	9.9	20.4	3.79	1200	5.4
20			75		18.2			11.5	44			70		24.2			6.4
21	25	4	45	6.4	13.8	2.16	590	6.4	45			80		28			7.4
22			55		17			7.9	46			110		39.8			10.5
23			65		20.5			9.5	47			170		62.5			16.5
24			75		23.7			11									

http://shop62964869.taobao.com/

续表 1-39

序号	D	d	H_0	t	F_2	f	P_2	n	序号	D	d	H_0	t	F_2	f	P_2	n
48			65		13.9			5.5	61			85		35.1			5.3
49			75		16.3			6.5	62			100		41.7			6.3
50			85		18.8			7.5	63			120		51			7.7
51	40	8	95	10.2	21.3	2.51	3100	8.5	64	60	8	160	14.5	68.9	6.63	1900	10.4
52			110		25.1			10	65			200		87.5			13.2
53			130		30			11.9	66			250		110			16.7
54			150		34.9			13.9	67			110		32.8			6.7
55			80		25.9			6	68			140		40.7			8.3
56			90		29.4			6.8	69	60	10	180	15.6	53.4	4.9	3900	10.9
57			120		40.2			9.3	70			240		72			14.7
58	50	8	160	12	54.7	4.32	2300	12.7	71			160		65.4			6.8
59			200		69.1			16	72	80	10	200	21.9	33.6	9.62	2800	8.7
60			240		82			19	73			260		109.6			11.4

注：1.设最大工作负荷 P_2 等于表 1-41 中的容许极限工作负荷 P_n。
2.材料 65Mn，$[\tau]=500\text{MPa}$、$G=80000\text{MPa}$。

表 1-40　方钢丝螺旋压缩弹簧规格

序号	外径 D (mm)	钢丝剖面边宽 a (mm)	节距 t (mm)	最大工作负荷 P_2 (N)	最大负荷下单圈变形量 f (mm)	序号	外径 D (mm)	钢丝剖面边宽 a (mm)	节距 t (mm)	最大工作负荷 P_2 (N)	最大负荷下单圈变形量 f (mm)
1	11	2	2.8	190	0.60	10	24	5	9	1370	1.05
2	12	2.5	3.2	310	0.64	11	25	6	7.2	2360	0.87
3	13	3	3.7	560	0.49	12	27	6	7.5	2140	1.07
4	15	3	4	470	0.70	13	28	6	10	2050	1.17
5	17	4	4.9	1030	0.62	14	29	7	8.4	3240	1.01
6	19	4	5.1	890	0.82	15	32	7	8.8	2850	1.30
7	20	4	8	840	0.94	16	35	8	9.9	3940	1.32
8	21	5	6	1630	0.74	17	40	8	10.6	3320	1.86
9	23	5	6.3	1450	0.95	18	50	10	14	4160	3.64

注：同表 1-39 注。

1. 卸料弹簧的选用与计算

(1) 根据总卸料力 P_x 和拟用的弹簧个数 n，算出每个弹簧所应承受的预压力 P_0。

即
$$P_0=\frac{P_x}{n}\quad(\text{N}) \tag{1-1}$$

(2) 根据 P_0 的大小，可从表 1-39 初选弹簧规格，使选用的弹簧的最大工作负荷 P_2 大于 P_0 值较多(如约大 70～90%)。

(3) 根据弹簧压力与其压缩量成正比的特性，由所选某号弹簧的最大工作负荷 P_2、最大工作负荷下的总变形量 F_2 以及每个弹簧的预压力 P_0，可求出该弹簧的预压缩量为

$$F_0=\frac{P_0F_2}{P_2}\quad(\text{N}) \tag{1-2}$$

(4) 检查弹簧最大工作负荷下的总变形量 F_2，如果满足下列条件，则弹簧选得合适(参见图 1-13)，即

http://shop62964869.taobao.com/

$$F_2 \geqslant F_1 = F_0 + F_w + F_g \tag{1-3}$$

式中 F_1——弹簧实际所需最大压缩量；

F_0——弹簧预压缩量；

F_w——卸料板工作行程，一般取料厚加 1mm；

F_g——凸、凹模修磨量，一般取 4～10mm。

如

$$F_2 < F_0 + F_w + F_g \tag{1-4}$$

必须重新选择弹簧。

[例] 已知冲裁模的制件料厚 $t = 1$mm，卸料力 $P_x = 2000$N，求选定钢丝螺旋弹簧尺寸和规格。

1）用表 1-39 选用 65Mn 圆钢丝弹簧

设从模具结构考虑，安装 6 个弹簧，则每个弹簧的卸料力 P_0 为

$$P_0 = P_x/6 = 2000/6 = 340\text{N}$$

设选用 24 号规格圆钢丝弹簧(见表 1-39)，得 $D = 25$mm，$d = 4$mm，$t = 6.4$mm，$P_2 = 590$N，$F_2 = 23.7$mm，$H_0 = 75$mm。则弹簧预压缩量 F_0 应为

$$F_0 = \frac{P_0 F_2}{P_2} = \frac{340(23.7)}{590} = 13.7\text{mm}$$

因卸料板工作行程 $F_w = 1 + t = 2$mm，取凸、凹模修磨量 $F_g = 5$mm，则弹簧实际所需最大压缩量 F_1 为

$$F_1 = F_0 + F_w + F_g = 13.7 + 2 + 5 = 20.7 < 23.7(F_2)$$

所以所选弹簧基本满足要求。

2）用表 1-40 选用方钢丝弹簧

因表中无一定自由长度的弹簧规格可供选用，所以要先假定一自由长度，然后进行计算。设选 8 个自由高度 $H_0 = 120$mm 的 4 号规格弹簧，得 $D = 15$mm，$a = 3$mm，$t = 4$mm，$P_2 = 470$N，$f = 0.70$mm，则最大工作负荷下的总变形量 F_2 为

$$F_2 = \frac{H_0 f}{t} = \frac{120}{4} \times 0.70 = 21\text{mm}$$

弹簧预压量 F_0 应为

$$F_0 = \frac{P_0 F_2}{P_2} = \frac{(2000/8)21}{470} = 11.1\text{mm}$$

弹簧实际最大压缩量 F_1 为

$$F_1 = F_0 + F_w + F_g = 11.1 + 2 + 5 = 18.1 < 21(F_2)$$

因此，所选方钢丝弹簧也基本满足要求。弹簧选用有相当灵活性，可变化 n、D、d、H_0……等值，而与模具结构又相互影响，因而有时要反复计算，才能选定一较合适弹簧。

从表 1-39 和 1-40 以及从上例可知，方钢丝弹簧的刚性较强，f 值较小，适用于外界负荷较大而安装弹簧个数有限的场合，如厚板冲裁等。对一般薄料冲裁，较多采用圆钢丝弹簧或聚氨酯橡胶等合适。

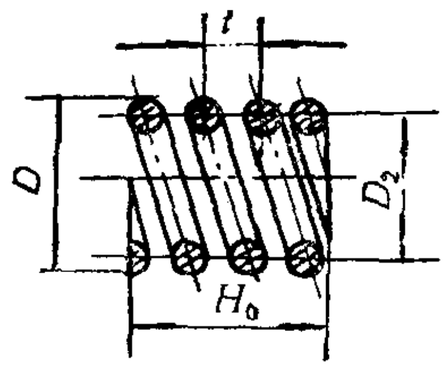
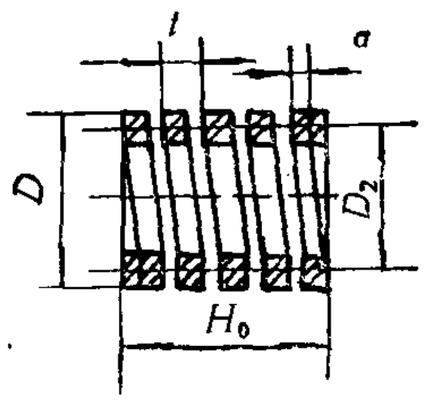
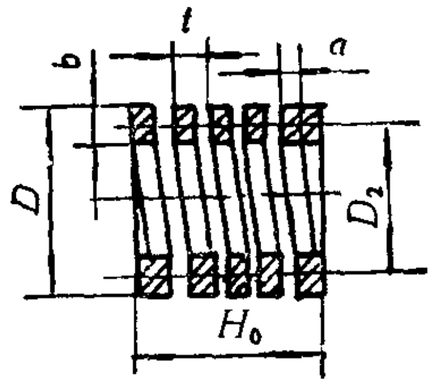
2. 当选用非标准规格弹簧时，圆柱螺旋弹簧可按表 1-41 所列公式计算。

3. 组合弹簧

当需要大的负荷，而安装位置受到限制时，可采用内外相套的组合弹簧。为保持各弹簧的同心度，弹簧一个为右旋，另一个为左旋。各个弹簧的压缩量、并紧高度以及旋绕比 $C(D_1/d)$

http://shop62964869.taobao.com/

表 1-41　圆柱螺旋压缩弹簧计算公式

计算项目 \ 弹簧简图	1.圆钢丝	2.方钢丝	3.扁方钢丝
			
容许极限工作负荷 P(N)	$P=\frac{\pi d^3}{8D_2}[\tau]=0.392\frac{d^3}{D_2}[\tau]$	$P=0.416\frac{a^3}{D_2}[\tau]$	$P=\frac{2Kba^2}{D_2}[\tau]$
钢丝截面（mm）	$d=\sqrt[3]{\frac{PD_2}{0.392[\tau]}}$ 或 $d=1.6\sqrt{\frac{PC}{[\tau]}}$	$a=\sqrt[3]{\frac{PD_2}{0.416[\tau]}}$	$b=\frac{PD_2}{2Kn^2[\tau]}$ $a=\sqrt{\frac{PD_2}{2Kb[\tau]}}$
总变形量（轴向挠度）F(mm)	$F=\frac{8PD_2^3n}{Gd^4}$	$F=\frac{5.5949PD_2^3n}{Ga^4}$	$F=\frac{PD_2^3n}{Ga^4}K_1$
有效工作圈数 n	$n=\frac{FGd^4}{8PD_2^3}$	$n=\frac{FGa^4}{5.5949PD_2^3}$	$n=\frac{FGa^4}{K_1PD_2^3}$
总圈数 n_1	$n_1=n+2$	$n_1=n+2$	
节距 t(mm)	$t=d+(1.1\sim1.2)\frac{F}{n}$	$t=a+(1.1\sim1.2)\frac{F}{n}$	
容许极限工作负荷下弹簧高度 H_1(mm)	$H_1=(n_1-0.5)d$	$H_1=(n_1-0.5)a$	
弹簧自由高度 H_0(mm)	$H_0=H_1+n(t-d)=nt+1.5d$	$H_0=H_1+n(t-a)$	
外径 D(mm)	$D=D_2+d$	$D=D_2+a$	$D=D_2+b$
钢丝展开长度 L(mm)	$L=\pi D_2n_1$		

注：1.表中 D_2——弹簧中径（mm）；$[\tau]$——容许扭转剪应力（MPa），65Mn 材料，$[\tau]=500$MPa，60Si2Mn 材料，$[\tau]=750$MPa；G——剪切弹性系数，为 80000MPa；K、K_1——系数，其值见表 1-42，旋绕比 $C=D_2/d$。

2.表中总圈数 n_1 计算系设两端圈并紧磨平，每端支承圈为 1 圈。

表 1-42　换算系数 K、K_1 值

$\frac{b}{a}$	K	K_1	$\frac{b}{a}$	K	K_1	$\frac{b}{a}$	K	K_1
1.0	0.203	5.567	2.0	0.246	1.713	4.0	0.282	0.698
1.5	0.231	2.67	2.5	0.258	1.256	5.0	0.299	0.439
1.75	0.239	2.086	3.0	0.267	0.995	10.0	0.312	0.252

应相等。如设组合弹簧为由内外两个弹簧所组成，两者径向间隙 δ_r 一般取为 $(d_1-d_2)/2$（d_1、d_2 为外、内弹簧的圆钢丝直径），而两个内外弹簧有如下关系

http://shop62964869.taobao.com/

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{D_{21}}{D_{22}}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{C}{C-2}=\sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \tag{1-5}$$

组合弹簧的最大工作总负荷 P_2 为

$$P_2=P_{21}+P_{22} \tag{1-6}$$

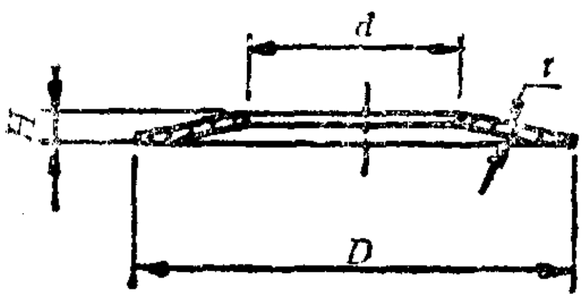
式中 D_{21}、D_{22}——外、内弹簧的中径（mm）；

n_1、n_2——外、内弹簧的有效圈数；

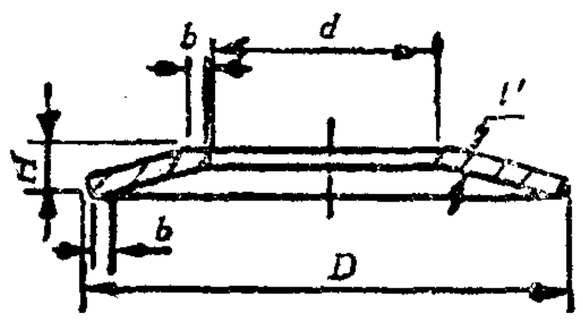
P_{21}、P_{22}——外、内弹簧的最大工作负荷（N）；

C——旋绕比，等于 D_{21}/d_1 或 D_{22}/d_2。

表 1-43　碟形弹簧的尺寸和参数（GB 1972—80）



A型——无支承面



B型——有支承面

碟簧外径 D (mm)	碟簧内径 d (mm)	碟簧厚度 t(mm)			减薄碟簧厚度 t' (mm)			A型碟簧的极限行程 h_0(mm)			自由高度 H(mm)			$P_1=0.75h_0$ (N)		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
8	4.2	0.4	0.3	0.2				0.2	0.25	0.25	0.6	0.55	0.45	210	118	39
10	5.2	0.5	0.4	0.25				0.25	0.3	0.3	0.75	0.7	0.55	324	206	59
12.5	6.2	0.7	0.5	0.35				0.3	0.35	0.45	1	0.85	0.8	658	294	147
14	7.2	0.8	0.5	0.35				0.3	0.4	0.45	1.1	0.9	0.8	795	275	128
16	8.2	0.9	0.6	0.4				0.35	0.45	0.5	1.25	1.05	0.9	1010	412	157
18	9.2	1	0.7	0.5				0.4	0.5	0.6	1.4	1.2	1.1	1256	569	284
20	10.2	1.1	0.8	0.5				0.45	0.55	0.65	1.55	1.35	1.15	1521	746	255
22.5	11.2	1.25	0.8	0.6				0.5	0.65	0.8	1.75	1.45	1.4	1923	706	422
25	12.2	1.5	0.9	0.7				0.55	0.7	0.9	2.05	1.6	1.6	2923	863	598
28	14.2	1.5	1	0.8				0.65	0.8	1	2.15	1.8	1.8	2845	1108	804
31.5	16.3	1.75	1.25	0.8				0.7	0.9	1.05	2.45	2.15	1.85	3865	1903	686
35.5	18.3	2	1.25	0.9				0.8	1	1.15	2.8	2.25	2.05	5180	1697	834
40	20.4	2.2	1.5	1				0.9	1.15	1.3	3.1	2.65	2.3	6092	2619	1020
45	22.4	2.5	1.75	1.25				1	1.3	1.6	3.5	3.05	2.85	7740	3659	1893
50	25.4	3	2	1.25				1.1	1.4	1.6	4.1	3.4	2.85	11968	4168	1550
56	28.5	3	2	1.5				1.3	1.6	1.95	4.3	3.6	3.45	11478	4654	2629
63	32.5	3.5	2.5	1.8	3.34			1.4	1.75	2.35	4.9	4.25	4.15	15401	7387	4346
71	35.5	4	2.5	2	3.82			1.6	2	2.6	5.6	4.5	4.6	20405	6611	5101
80	40.6	5	3	2.2	4.8			1.7	2.3	2.9	6.7	5.3	5.1	33354	1050	6063
90	45.6	5	3.5	2.5	4.8	3.3		2	2.5	3.2	7	6	5.7	31196	14126	7652
100	50.8	6	3.5	2.7	5.74	3.28		2.2	2.8	3.5	8.2	6.3	6.2	47873	13047	8583

注： 1. 碟簧按 D/t、h_0/t 值分成三个系列：

I——系列一，$D/t\approx18$，$h_0/t\approx0.4$；II——系列二，$D/t\approx28$，$h_0/t\approx0.75$；III——系列三，$D/t\approx40$，$h_0/t\approx1.3$。

2. 表中同规格的 A、B 型碟簧，在施加相同变形量 $f=0.75h_0$ 时，弹簧负荷相等。

3. $P_1=0.75h_0$ 表示 $f=0.75h_0$ 时碟簧的负荷。

4. 碟簧内外径公差：1 级精度—内径 H13，外径 h13；2 级精度—内径 H14，外径 h13。

5. 碟簧采用 50CrVA（或 60Si2MnA）的带、板材或锻造坯料制造，硬度 HRC42～52，碟簧全部进行强压处理。

http://shop62964869.taobao.com/

（二）碟形弹簧

碟形弹簧能以很小变形承受很大载荷，并有缓冲吸振力强、结构紧凑等优点，所以在冷冲模中日渐得到广泛应用。蝶形弹簧的尺寸和参数见表 1-43。

碟形弹簧的组合形式见图 1-14，其计算公式见表 1-44。

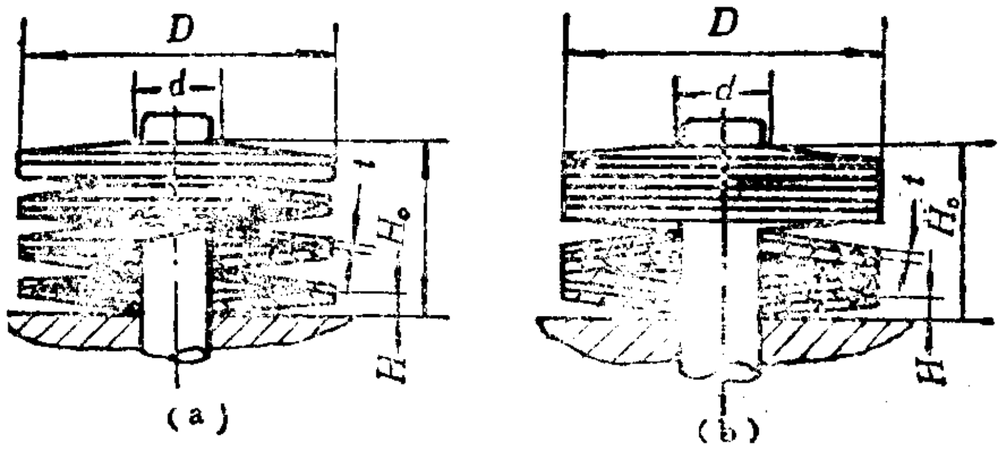


图 1-14　碟形弹簧与组合形式

(a) 单片叠合式　(b) 多片叠合式

表 1-44　碟形弹簧的主要计算公式

计　算　项　目	单片叠合式(图 1-14a)	多片叠合式(图 1-14b)
单片碟簧允许载荷 (N)①	$p=\frac{ft^2}{\alpha D}\left[\left(\frac{h_0}{t}-\frac{f}{t}\right)\left(\frac{h_0}{t}-0.5\frac{f}{t}\right)+1\right]$	
整个弹簧允许载荷 (N)	$P=p$	$P=zp$
单片碟簧设计最大压缩量 (mm)	$0.65h_0$	
整个弹簧设计最大压缩量 (mm)	$f_1=0.65nh_0$	$f_1=0.65\frac{n}{z}h_0$
弹簧预压缩量 (mm)	$f_0=(0.15\sim0.20)nh_0$	$f_0=(0.15\sim0.20)\frac{n}{z}h_0$
弹簧工作行程 (mm)	$f_w=f_1-f_0$	
保证规定行程所需碟片总数	$n=\frac{f_w}{0.5h_0}$	$n=\frac{f_wz}{0.5h_0}$
弹簧自由高度 (mm)	$H_0=nH$	$H_0=\frac{n}{z}[H+t(z-1)]$

① 单片碟簧在压缩量 f 等于 $0.65h_0$ 时的最大允许载荷，近似地可按表 1-43 中的 P_1 值乘以 0.86。

表 1-44 中符号：

f——单片碟簧的压缩量 (mm)；

D——碟片外径 (mm)；

t——碟片厚度 (mm)；

h_0——加载前碟片内锥高度 (mm)；

α——系数，其值为

http://shop62964869.taobao.com/

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \frac{\left(\frac{C-1}{C}\right)^2}{\left(\frac{C+1}{C-1}\right) - \frac{2}{\ln C}} \frac{1-\mu^2}{4E} \tag{1-7}$$

C——碟片外径与内径之比，$C = D/d$；

E——弹性模量，对钢，$E = 2.1 \times 10^5$MPa；

μ——泊松比，对钢，$\mu = 0.3$；

n——装置中碟片总数；

z——多片叠合式安装时，每叠的碟片数（如图 1-14b）；

H_0——弹簧的自由高度（mm）；

H——单片碟簧的自由高度（mm）。

五、橡胶和聚氨酯的选用与计算

（一）橡胶的选用与计算

由于橡胶允许承受较大负荷，而且安装调整比较方便，所以是冲模中弹性卸料、顶件及压边装置常用的弹性元件。但应注意不能与油类接触以免腐蚀损坏。

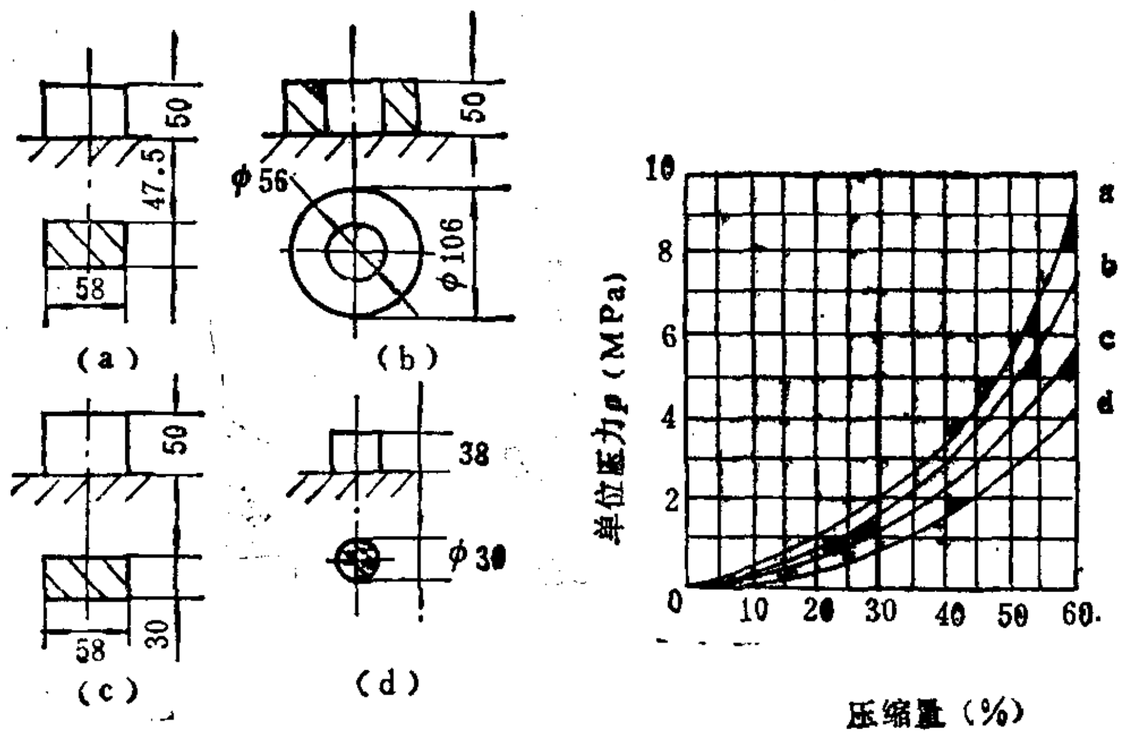


图 1-15　橡胶形状及特性曲线

表 1-45　橡胶压缩量和单位压力

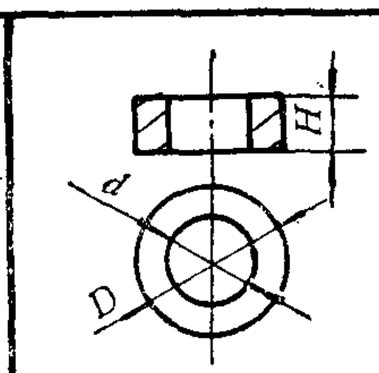
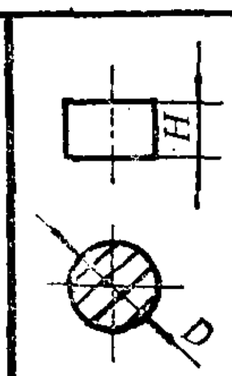
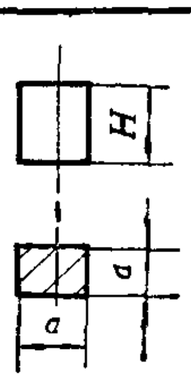
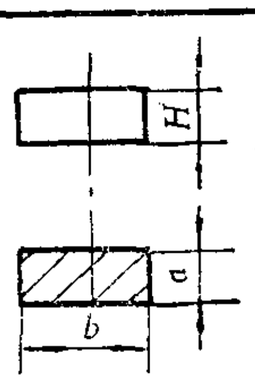
橡胶压缩量(%)	单位压力 p(MPa)
10	0.26
15	0.50
20	0.70
25	1.06
30	1.52
35	2.10

http://shop62964869.taobao.com/

1. 橡胶缓冲器的形状、尺寸及其压缩变形的特性曲线如图 1-15，橡胶压缩量和单位压力见表 1-45。

2. 各种橡胶的截面尺寸及其计算见表 1-46。

表 1-46　橡胶的截面尺寸

橡皮垫型式					
计算项目（mm）	d	D	D	a	a	b
计算公式	按结构选用	$\sqrt{d^2+1.27\frac{P}{p}}$	$\sqrt{1.27\frac{P}{p}}$	$\sqrt{\frac{P}{p}}$	$\frac{P}{bp}$	$\frac{P}{ap}$

注：P—所需工作压力（N）。

p—压缩10～35%时的单位压力（MPa）。

3. 橡胶选用原则

（1）为使橡胶不致过早地失去弹性而损坏，其允许最大压缩量应不超过其自由高度H的45%，一般取

$$F_{max} = (0.35 \sim 0.45)H \tag{1-8}$$

橡胶的预压缩量 F_0 一般取自由高度的 10～15%，即

$$F_0 = (0.10 \sim 0.15)H \tag{1-9}$$

因而工作行程 F_w 为

$$F_w = F_{max} - F_0 = (0.25 \sim 0.30)H \tag{1-10}$$

由所需工作行程，可按下式求出橡胶高度

$$H = \frac{F_w}{(0.25 \sim 0.30)} \tag{1-11}$$

式中　H——橡胶自由状态下高度（mm）；

F_w——所需工作行程（mm）。

（2）橡胶所产生的压力 P 为

$$P = Fp(\mathrm{N}) \tag{1-12}$$

式中　F——胶皮横截面积（mm^2）

p——与橡胶压缩量有关的单位压力(MPa)，由表 1-46 和图 1-15 查得。

（3）对橡胶高度与直径之比按下式进行核算

$$0.5 \leqslant \frac{H}{D} \leqslant 1.5 \tag{1-13}$$

这里，H、D——橡胶自由高度与直径（mm）。

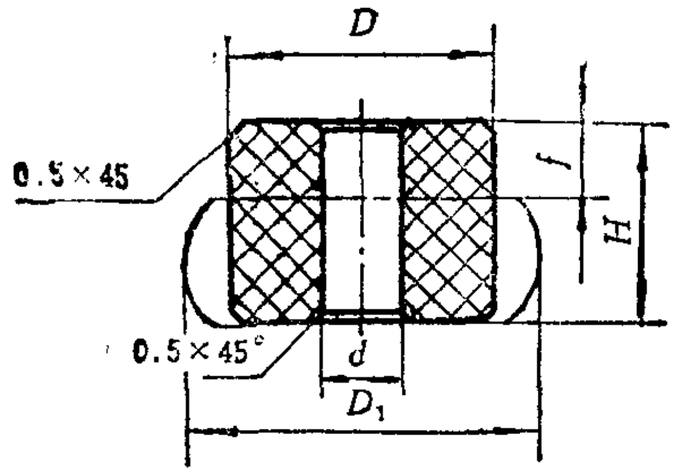
如果 $(H/D) > 1.5$ 应适当将橡胶分成若干块，在其间垫以钢垫圈。

http://shop62964869.taobao.com/

（二）聚氨酯弹性体尺寸及其压缩量与工作负荷关系

1. 聚氨酯弹性体尺寸见表 1-47。

表 1-47　聚氨酯弹性体的尺寸（GB2867.3—81）　　（mm）



D	16	20	25			32			45				60			
d	6.5	8.5				10.5			12.5				16.5			
H	12		16	20		16	20	25	20	25	32	40	20	25	32	40	50
D_1	21	26	36			42			58				78			

注：1. D_1 为 $f=0.3H$ 时的参考尺寸。
2. 弹性体的尺寸按 GB1084—79IT15 级精度制造。

2. 聚氨酯弹性体压缩量与工作负荷的关系见表 1-48。

表 1-48　聚氨酯弹性体压缩量与工作负荷的关系

压缩量 f (mm)	聚氨酯弹性体直径 D (mm)																
	16	20	25			32			45				60				
	工作负荷 (N)																
$0.1H$	167	294	500	441	461	824	726	686	1785	1687	1598	1648	3560	2922	2824	3648	2648
$0.2H$	392	608	1098	1000	1039	1798	1275	1687	3805	3648	3511	3511	7580	7120	6394	6394	5933
$0.3H$	677	1059	1932	1804	1755	3158	2981	2883	6816	6391	6080	5894	14102	12464	11503	10954	10591
$0.35H$	863	1853	2481	2314	2245	4040	3824	3726	8728	8198	7777	7531	18073	15975	14749	14063	13562

注：表中数值按聚氨酯橡胶硬度邵氏 A80±5 确定。其他硬度的聚氨酯橡胶工作负荷用修正系数乘以表中数值。修正系数的值如下：

硬度邵氏A	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
修正系数	0.843	0.873	0.903	0.934	0.996	1.000	1.035	1.074	1.116	1.212	1.270

http://shop62964869.taobao.com/

第二章　薄板冲压材料和成形性能

冲压生产中使用的材料相当广泛，从不同产品的使用性能出发，对材料的机械性能、物理性能等提出了各种要求，譬如：

1）机械强度、刚度和冲击韧性(所有机械和仪器制造等零件)；

2）耐腐蚀性(化学和医疗仪器零件)；

3）传热和耐热性能(仪表、厨房容器、飞机和宇航等方面零件)；

4）导电和导磁性(电子、电器零件)；

5）表面质量(汽车、飞机和宇航等零件)；

6）耐磨和耐久性(运输和农业机械等零件)。

而从冲压工艺本身出发，又对冲压材料提出冲压性能方面的要求。因此，从产品使用性能和冲压工艺两方面要求，考虑选用合适的冲压材料已成为生产合格冲压件的关键。

一、冲压用主要材料

供冲压使用的不同钢号，其工艺选择的品类可见表 2-1，其中 08Al、08F、08、10、15 和 20 钢是最常用的冷轧薄钢板。它们按表面质量和拉深性能又划分了几级，可根据工艺要求对其

表 2-1　国产冲压用不同钢号可供工艺选择的品类

类别与国标	代表钢号		保证条件	厚度（mm）	轧制状态	可供工艺选择的品类
普通碳素结构钢板 GB760—79	甲类	A1、A2、A3	机械性能	4～60	热	钢板品种、规格
				4 以下	热、冷	
	乙类	B1、B2…B7	化学成分	以下	热、冷	
	特类	C1、C2…C7	机械性能 化学成分	4 以下	热、冷	
优质碳素结构钢板 GB3275—82	08、08F、10、10F、15、15F、20、20F、25、30、35、40、45、50		机械性能 化学成分 拉深或弯曲性能	4～14	热	1.品种、规格 2.拉深或弯曲性能分：S——深拉深、P——普通拉深、W——冷弯成形
GB710—65	08F、10F、15F、20F 08b 08、10、15、20…50		机械性能 化学成分 拉深性能	4 以下	冷	1.品种、规格 2.表面质量分：特别高级(I)、高级(II)、较高级(III)、普通(IV)。 3.拉深性能分：Z——最深拉深、S——深拉深、P——普通拉深
冷轧深拉深用钢板 GB5213—85	08Al		机械性能 化学成分 拉深性能	0.5～3.0	冷	1.品种、规格 2.表面质量分：特别高级(I)、高级(II)、较高级(III)。 3.拉深性能分：ZF——最复杂拉深、HF——很复杂拉深、F——复杂拉深

注：不同类别钢号的机械性能见表 1-24。薄钢板规格见表 1-28。

http://shop62964869.taobao.com/

选用。

工厂对进厂钢板应按国标[GB]、冶标[YB]定货协议或合同进行复验，其内容有：

1）外观检验

主要检验板材表面有无缺陷，如裂纹、麻点、划痕、结疤、气泡、黑膜、波纹，折线和锈蚀；同时检验外观尺寸和厚度偏差是否合格。

2）化学和金相分析

主要分析钢中的碳、硅、锰、硫、磷等元素的含量；判定晶粒度大小和均匀程度；判定游离渗碳体和带状组织级别，观察有无缩孔和杂质等。

3）机械性能检验

主要测定 σ_b、σ_s、e_b 和硬度值等。

4）成形性能检验

目前我国已规定试验方法仅有：冷弯试验（GB232—82）、杯突试验（GB4156—84）两种。近来，对板料的厚向异性指数 r 值试验和加工硬化指数（n 值）试验，已制订了标准（GB 5027—85）和（GB5028—85），有少数工厂开展了这方面测定工作。

对于深拉深冷轧薄钢板铁素体晶粒度的级别可参见表 2-2。

表 2-2　深拉深冷轧薄钢板铁素体晶粒级别

钢板状态	钢号和拉深级别				
	ZF,HF	F	Z		S
	08Al		05F,08F10F	08b,15F20F,08,10,15,20	05F,08F,10F,15F,20F,08b08,10,15,20
冷轧	6,7,8 或“薄饼形”	6,7,8,9 或“薄饼形”	6,7,8	5,7,8,9	5,6,7,8,9

注：1. ZF,HF,F,Z 级钢板的晶粒不均匀性允许在二个相邻号码范围内，5 级允许在三个相邻号码内。
2. 薄饼形为铁素体晶粒形状的一种。

冲压常用有色金属的牌号和性能见表 1-26。

二、冲压材料的成形性能

了解冲压材料的成形性能，有利于选用合适的板料，以得到合格冲压件和保证生产的稳定。由于影响因素较多和较复杂，还不可能找到一个全面评定板料成形性能的统一指标，但以下一些指标比较重要。

1. 厚向异性指数 r 值(或称塑性应变比或即称应变比)

它是板料单向拉伸试验中，宽度方向的真实应变与板厚方向的真实应变之比。即

$$r = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_t} \tag{2-1}$$

由于厚度方向应变不易测准，根据体积不变条件：$\varepsilon_t + \varepsilon_b + \varepsilon_l = 0$，上式也可改写为

$$r = -\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_l + \varepsilon_b} = -\frac{\ln(b/b_0)}{\ln(l/l_0) + \ln(b/b_0)} \tag{2-2}$$

http://shop62964869.taobao.com/

式中 l_0、l、b_0、b、t_0、t——分别为变形前后板料试样的长度、宽度和厚度；

ε_l、ε_b 和 ε_t——长度、宽度和厚度方向的真实应变(即对数应变)。

以上 ε_l、ε_b 和 ε_t 值一般取自均匀伸长为 15% 左右时的数值。

因 r 值有方向性，所以通常取其平均值，即

$$\bar{r} = (r_0 + 2r_{45} + r_{90})/4 \tag{2-3}$$

式中 0、45 和 90 分别表示单拉试件的轴向与板材轧制方向的夹角。

$\bar{r}$ 值高，表示厚度方向更难于变形，则板料成形时，塑性流动易于在板面范围内发展，而不易于发生厚度的变化，受拉时也就不易因局部过度变薄而破裂，所以 $\bar{r}$ 值高，标志板料拉深性能好，一般金属材料的 $\bar{r}$ 值参见表 2-3。

表 2-3　典型板材特性

材　　料	$\bar{r}$	n	m
低碳沸腾钢板	1.0～1.4	0.20～0.25	0.01～0.015
低碳镇静钢板	1.4～1.8	0.22～0.26	0.015
	1.8～2.5	0.3	0.015
高强度低合金钢	0.9～1.2	0.10～0.18	0.005～0.01
铁素体不锈钢	1.0～1.2	0.16～0.23	0.01～0.015
奥氏体不锈钢	0.9～1.0	0.40～0.55	0.01～0.015
铜	0.6～0.9	0.35～0.50	0.005
黄铜(70-30)	0.8～0.9	0.45～0.60	0.0～0.005
铝合金	0.6～0.8	0.20～0.30	−0.005～0.005
锌合金	0.4～0.6	0.05～0.15	0.05～0.08
α钛合金	3.0～5.0	0.05	0.01～0.02

注：1.由于成分、辗制和热处理条件的变化，可能实际值高于或低于上面表内数值。

2.$\bar{r}$ 为厚向异性指数 r 的平均值；n 为加工硬化指数；m 为应变率硬化指数。

2. 平面异性系数 Δr 值

平面各向异性与厚向异性密切相关，而以后者不同方向的差值 Δr 来表示，最常用的表达公式为

$$\Delta r = (r_0 + r_{90} - 2r_{45})/2 \tag{2-4}$$

Δr 与拉深容器口部产生凸耳有关；$\Delta r > 0$ 时，0°、90° 方向产生凸耳，$\Delta r < 0$ 时，45° 方向产生凸耳。凸耳的最高峰总是位于 r 值最大的方向。

凸耳除受材料内部组织和纹路方向影响外，还受变形程度和模具几何参数等的影响。变形程度愈大，凸耳愈显著；在模具间隙小于板厚部分，凸耳较高。由于拉深后工件有凸耳产生，所以拉深后经常要进行修边。$\bar{r}$ 值和 Δr 值的测定可详见 GB5027—85。

3. 加工硬化指数 n 值

较多材料的真实应力-应变关系可近似地表达为

$$\sigma = K\varepsilon^n \tag{2-5}$$

式中 n——加工硬化指数；

K——硬化系数。

这加工硬化指数 n 是表示金属变形时应变均化能力的指标。板材的 n 值越大，则成形时越易强化，塑性应变可在较广范围内扩散均化，也就是说，n 值大，有减少应变梯度，增大极限变形的作用，反映出材料有较好的拉胀性能。

http://shop62964869.taobao.com/

加工硬化指数可从最大载荷出发定为

$$n = \varepsilon_u = \ln(1 + e_u) \tag{2-6}$$

式中 ε_u、e_u——材料试样达到最大载荷时的真实应变(对数应变)和工程应变(相对延伸率)。

其余更精确确定 n 值的方法可参看 GB5028—85。一般金属材料的 n 值参见表 2-3。

4. 应变率硬化指数 m 值

真实应力除受应变影响外，还受应变速度($\dot{\varepsilon}$)的影响，所以应力应变关系又可表为

$$\sigma = K_1 \varepsilon^n \dot{\varepsilon}^m \tag{2-7}$$

式中 m——应变率硬化指数；

K_1——硬化系数。

包括钢在内，很多金属的拉伸性能随应变率而改变；大多数钢的 m 值为正，这样有利于提高冲击强度和抵抗产生凹坑的能力。

m 值对应变分布的影响有似 n 值，正的 m 值可延缓局部集中应变的产生，因而材料就有较多的均匀变形；相反，负的 m 值将加速应变的局部化而产生严重的应变集中，因此 m 值的符号和数值都较重要。

m 值对材料在拉伸变形时，最大载荷后的后继变形起较大作用。m 值在金属材料超塑性成形中是一很重要的指数。一般金属材料的 m 值参见表 2-3。

除以上几个重要成形性能指数外，从单向拉伸试验还能得到以下一些其它数据。它们对成形性能也有较大影响。简知：

1) 屈服强度 σ_s

对在拉伸曲线上无明显屈服点的材料，可取 0.5% 延伸率时的应力值作为屈服强度值($\sigma_{0.5}$)。成形用低碳钢的屈服强度值约 140～240MPa；低于 140MPa，由于强度较弱将影响产品质量，而高于 225MPa，则回弹和翘曲将较严重。

2) 抗拉强度 σ_b

成形用低碳钢的抗拉强度约 280～350MPa，而沸腾钢常比铝镇静钢强度较低一些。若($\sigma_b - \sigma_s$)较大，则成形性好。

3) 屈强比 σ_s/σ_b

σ_s/σ_b 小，则成形性好，对复杂成形，σ_s/σ_b 不要大于 0.65。

4) 屈服点伸长量 e_{yp}

e_{yp} 大，零件表面目视质量差，因一般低碳沸腾钢板经拉伸试验，在应力应变曲线上有一段不连续的屈服现象(见图 2-1)。用这类钢板拉深成形将在工件表面出现滑移线痕迹。为此，生产上对这类钢板常在冲压以前先经表面轻度平整轧制，减薄率约 0.5%，以消除这不连续屈服现象。一般钢材板料的 e_{yp} 值超过 1.5%，就应经上述处理。

5) 极限延伸率 e_b 和均匀延伸率 e_u

极限延伸率 e_b(或总的伸长量 Δl_b)是材料成形性重要指标。除低碳、低强度钢以外，有广泛的不同金属用作冲压件材料，它们在材料均匀延伸以后，又有不同的后继伸长量。这后继伸长量的多少，对拉胀、弯曲、翻孔等工序的变形有较重要影响，而它与应变率硬化指数 m 和材料的杂质情况有关。目前已认为以 Δl_b 或 e_b 评价成形性比用 e_u 为合理。

为评价板料成形性能，还有各种模拟成形工艺的试验方法和测定指标，其中最常见的是杯突试验和由此测得的杯突试验值 I_E 值。以下仅就此作一说明。

图2-2所示为一杯突试验装置。它用平面压边圈压住板料四周，以球形面凸模手动加压，

http://shop62964869.taobao.com/

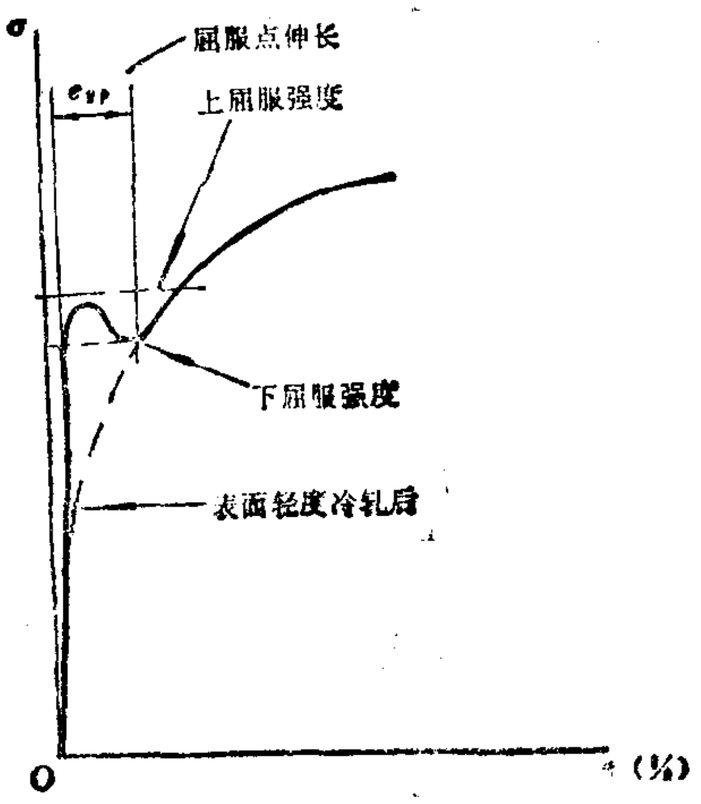


图 2-1　低碳钢的屈服强度

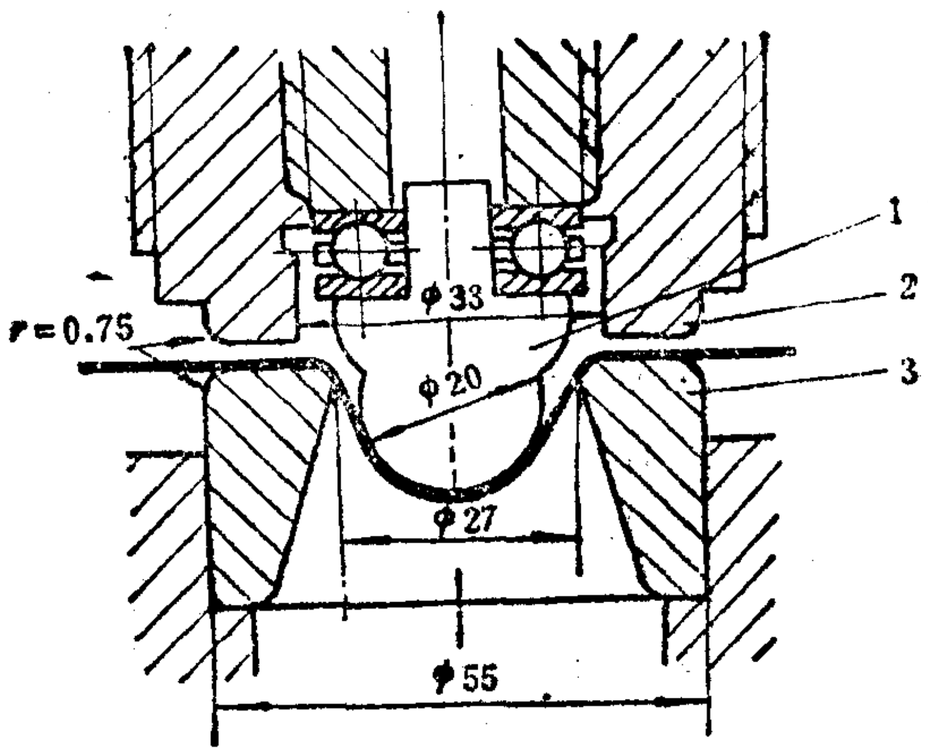


图 2-2　杯突试验装置

1—凸模　2—压边圈　3—凹模

以产生破裂时的深度 h 作为杯突试验值，或称爱利克辛（Erichsen）值 I_{E0}。有规定以固定间隙压料，即压边圈与凹模面之间在压料后，留 0.05mm 间隙；也有规定压边圈以 10kN 常值压力压料；前者为 $I_E(A)$ 值，后者为 $I_E(B)$ 值。我国规定用的是 $I_E(B)$ 值（GB4156—84）。以此测定的主要是反映材料的拉胀性能。

I_E 值受板厚影响较大，厚度公差、润滑条件以及用目测确定板料破裂均会带来 I_E 值的偏差。

三、成形性能的分析方法

这是利用图 2-3 所示的成形极限图（FLD）[1] 对毛坯的成形结果，进行验证性的网格法分析。它主要用在覆盖件一类复杂制件的成形。

1. 用网格法计算应变

网格法是用电化学腐蚀法（腐蚀深度约 0.001～0.002mm），在板料上作出密集的小圆（如

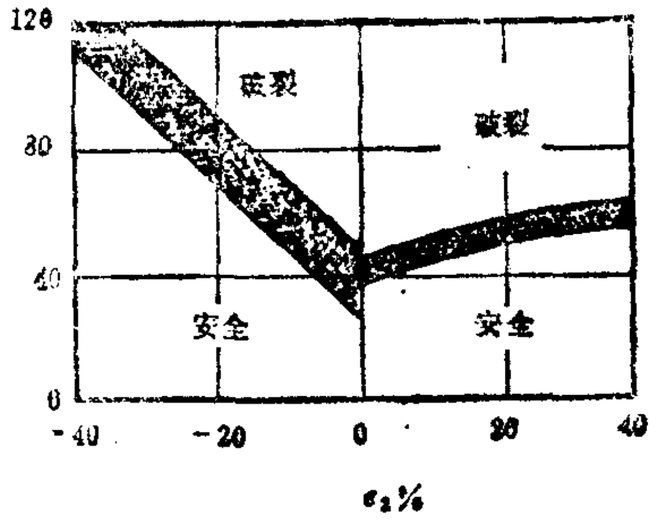


图 2-3　成形极限图

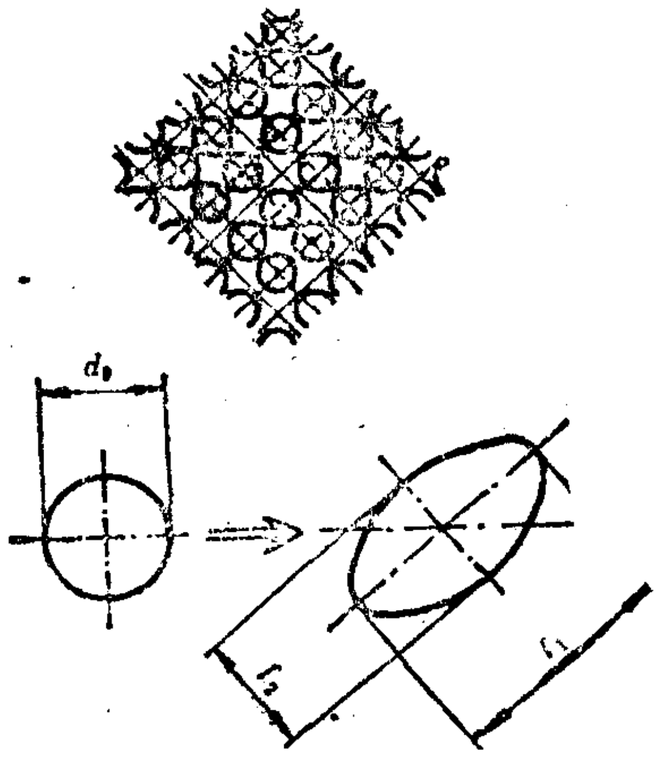


图 2-4　圆形网格变成椭圆示意图

[1] 为 forming limit diagram 的缩写。

http://shop62964869.taobao.com/

ϕ2.5mm）或方形网格。板料变形后，圆形网格将变成椭圆（见图 2-4）；可用投影仪或工具显微镜等工具量测，然后按下列公式计算应变

$$\text{最大主应变（长轴）}\ e_1 = \frac{l_1 - d_0}{d_0} \times 100\%$$

$$\text{最小主应变（短轴）}\ e_2 = \frac{l_2 - d_0}{d_0} \times 100\%$$

式中 l_1、l_2——椭圆长轴与短轴长；

d_0——原始小圆网格直径。

2. 成形极限曲线的建立

成形极限曲线标志板料上局部产生集中颈缩或接近破裂时，这相应各点的最大主应变 e_1 和最小主应变 e_2 在 $e_1 - e_2$ 坐标图上的表示。

成形极限曲线可以试验作出。最常用方法是用不同宽度的一定厚度板料试样，在改变试样与凸模间的润滑条件下，进行胀形试验。图 2-3 的右半部（拉-拉区）用改变润滑的方法取得试验点，图2-3的左半部（拉-压区）用改变试件宽度的办法取得试验点。具体步骤如下：

1）在板料试样上用电化学腐蚀法（或其它方法），作出密集的小圆形坐标网格；

2）考虑润滑条件后，将试样牢固地压紧在有凸筋的凹模平面上，如凹模直径取为 100 mm，凹模圆角半径取大于 5 倍料厚；

3）用刚性半球形凸模加压，使试样胀形以至破裂或出现颈缩时为止；

4）测定最靠近中央开裂椭圆的那个未破椭圆（或与裂纹最接近，但不包含颈缩的椭圆）的长、短轴尺寸，计算出最大主应变 e_1（长轴）和 e_2 最小主应变（短轴）；

5）将不同宽度试样在不同润滑条件下，得到的一些应变值，绘在以 e_1、e_2 为坐标轴的纸上，就得到了该一定厚度材料的成形极限曲线图。为作出这些曲线，一般需要取得 6～8 个点的应变值，但最简便的近似成形极限曲线的作法，可只取 4 个点。这几个点的工程应变 e_1、e_2 值，相应于图 2-4 中主应变 e_1 轴（$e_2 = 0$）的左、右两边各个曲线的靠近其线端上的点。从经验上为得到左边曲线上的两个点，所用试样尺寸一为 250 × 200mm，一为 140 × 200mm。对应于右边曲线上两个点的试样尺寸，都可取为 200 × 200mm，但试验条件不同，一为干摩擦条件下进行胀形，一为垫 1～2mm 厚聚氨酯垫片，并在涂润滑油条件下进行胀形。以上所得结果，实际是以直线代替曲线，得到近似的成形极限曲线。

3. 影响成形极限曲线的因素

（1）网格大小

圆形网格增大，成形极限曲线则往下移；

（2）板料试样方向相对于轧制方向的位置

平行于轧制方向的试样，其成形极限曲线将比垂直于轧制方向的往上移；

（3）润滑条件

改善润滑条件，成形极限曲线则往上移；

（4）板厚

厚板的成形极限曲线将比薄板的往上移；

（5）应变历史

图 2-3 所示的成形极限曲线是无应变历史改变的情况，即如相当生产中的单调变形，如单纯单向拉伸或单纯张拉变形等。如果毛坯先单向拉伸（或拉深）接着双向张拉成形，这种应变

http://shop62964869.taobao.com/

历史的改变，使板料可得到较大的最大主应变 e_1 值，也相当其成形极限曲线被提高到一较高的应变值。反之，如先双向张拉成形而后单向拉伸(或拉深)，则最大主应变 e_1 值将降低，即相当其成形极限曲线被往下移到一较小的应变值。

4. 成形极限图的应用

将绘制小圆网格的板料毛坯，在模拟或生产工具上成形，然后测出邻近破坏线的集中应变，与该厚度板料的成形极限曲线进行比较。从这些测得数据的应变值在曲线之上或之下以及与曲线的接近程度，就可判断这冲压成形过程是否能保证安全地稳定生产。从这些应变数值和 e_1/e_2 的比值，也可得出冲压成形后，制件上不同区域不同变形方式的信息。因此，利用成形极限曲线进行网格法分析，可为分析板料冲压成形过程中各主要参数的影响，和采取各种措施(如修改模具、改进润滑、调整压边力及修改毛坯形状与尺寸等)，解决生产中复杂冲压件的成形缺陷问题，提供最有效的手段，这种方法也可用在产品设计之前，以判定产品设计的可靠性，以便必要时修改设计。但这种网格分析方法只在确定成形极限曲线的试验方法与实际生产情况可以相比较时，才能有效地来解决生产问题。为此，除对成形极限曲线的作出和各种影响因素有一全面了解外，还应有一定冲压生产知识和经验，这样才能便于分析和得出符合实际的判断。

http://shop62964869.taobao.com/

第三章　冲压工艺特点和工艺计算

一、冲压工艺的分类

冷冲压工艺可分薄板冲压和体积冲压。按变形性质，前者属平面应力状态，后者属立体应力状态；前者材料受拉则伸长，极限变形为断裂，受压则缩短，极限变形为起皱或翘曲，而在不均匀的双向拉伸条件下，也会产生起皱；后者如冷挤压等，其极限变形，在很大范围内决定于模具的最大承受负荷能力，有时工艺参数不合理，也会产生内孔或表面裂纹等缺陷。

冷冲压工艺又可分为分离工序、成形工序两大类，或分为剪切、弯曲、拉深、成形和体积成形五类，每类又包括若干不同的工序，见表 3-1。

二、冲裁

（一）　冲裁的变形过程

冲裁是利用冲模使板料分离的一种冲压工艺方法。它是切断、落料、冲孔、修边、剖切、切舌等工序的总称，而通常又仅指落料和冲孔两工序。

根据冲裁所得工件精度的不同，分为一般冲裁和精密冲裁。

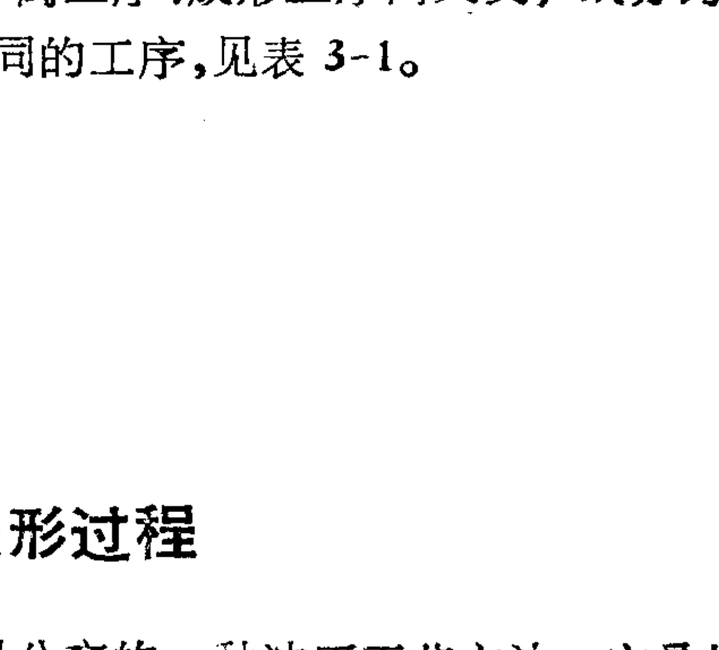
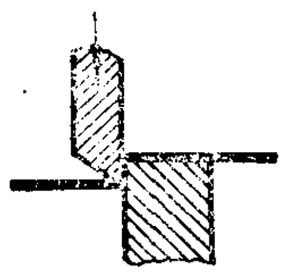
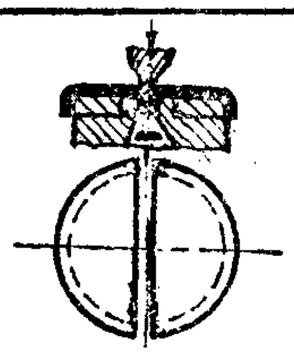
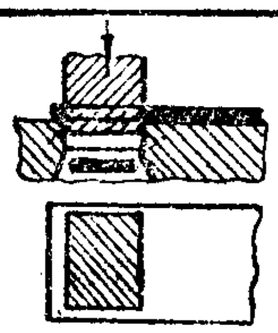
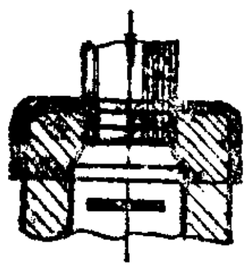
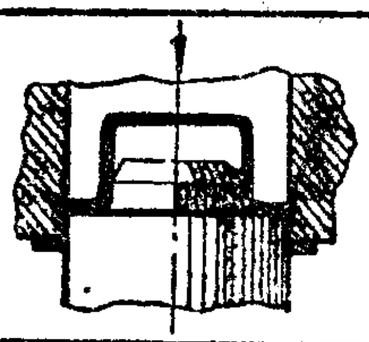
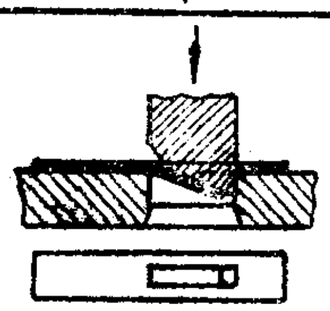
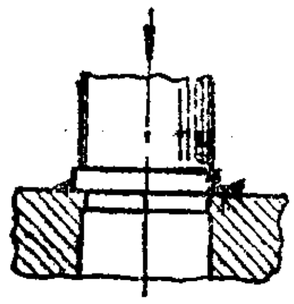


图 3-1　冲裁时作用于板料上的力
1—凸模　2—板料　3—凹模

图 3-1 为通常冲裁时板料受力情况。冲裁力作用于上下刃口较窄范围，其压应力分布很不均匀。上、下刃口端面的垂直作用力形成一力矩 M，使板料产生弯曲，而上、下刃口对板料的

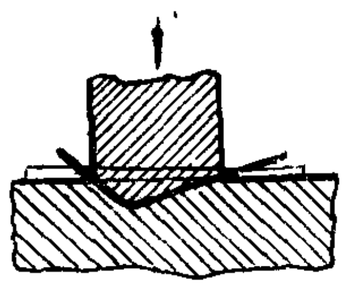
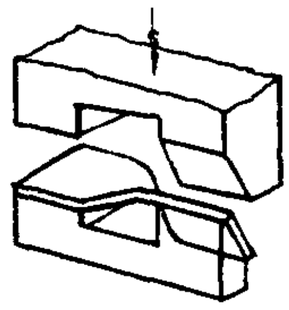
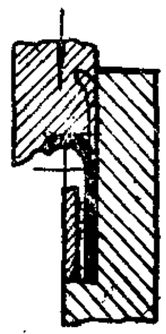
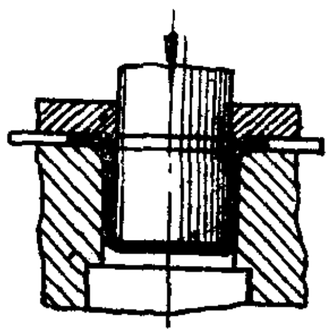
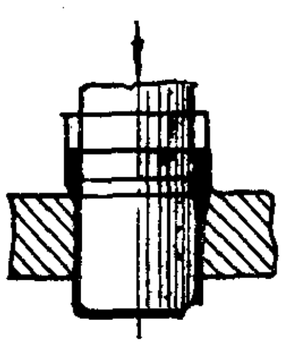
http://shop62964869.taobao.com/

表3-1　冷冲压工艺分类

类别	工序	简图	特点
分离切	切断		沿不封闭轮廓将板料分离为两部分
	剖切		沿不封闭轮廓将半成品制件切开为两件或多件
	落料		沿封闭轮廓从板料上切下毛坯或制件
	冲孔		沿封闭轮廓从板料或半成品制件上切去废料
	修边		从成形件边缘切去多余的材料
	切口		沿不封闭轮廓将部分板料切开并使下弯
	整修		为提高尺寸精度和改善剪切面的粗糙度， 沿制件外缘或内孔切削去一层工艺余料

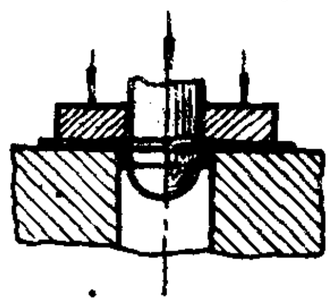
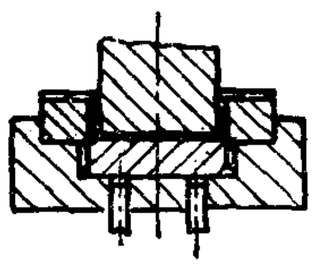
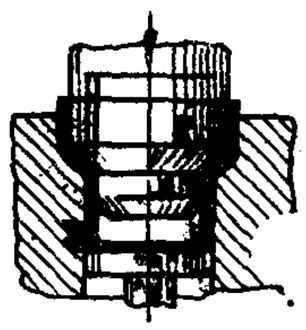
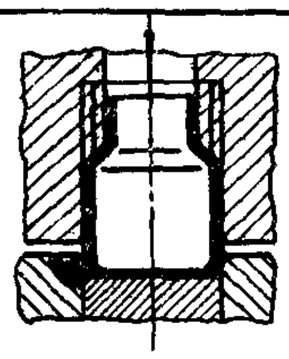
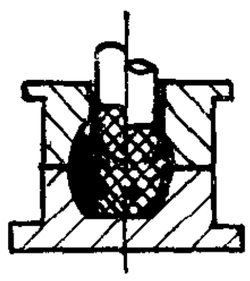
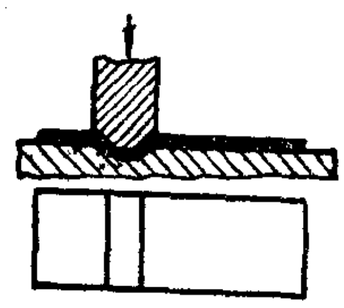
http://shop62964869.taobao.com/

表3-1(续)

弯曲	弯曲		使部分毛坯形成或改变一角度或使它有一曲线形状
	扭转		沿纵向轴线将部分平板毛坯扭转一角度
	卷圆		将板料的端部或拉深件的边缘卷成圆边
拉深	拉深		将毛坯拉压成空心件或把已拉出空心件再拉成外形更小的空心件，而板厚基本无明显变化
	变薄拉深		通过凸、凹模间隙将空心筒形件壁厚减少，以得到厚底薄壁的制件

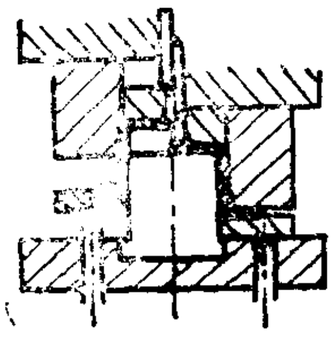
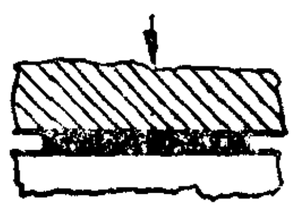
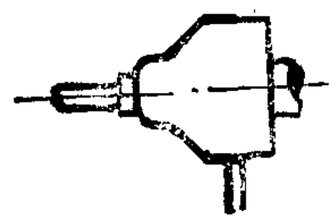
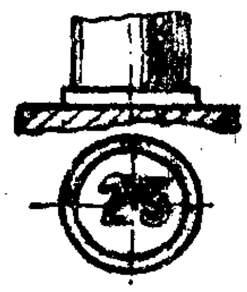
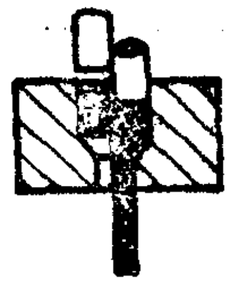
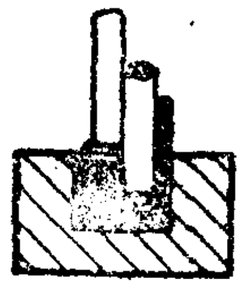
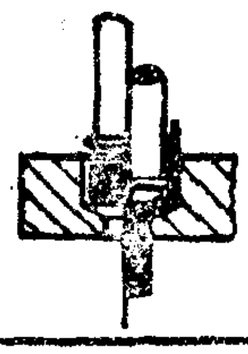
http://shop62964869.taobao.com/

表3-1(续)

成形	翻孔		将板料或制件上有孔的边缘（或无预制孔）翻成竖立的边
	翻边		沿毛坯或半成品制件外缘按曲线或圆弧翻起竖立的边
	扩口		将筒形件（或管件）的口部扩大
	缩口		将筒形件（或管件）的口部缩小
	胀形		在双向拉应力作用下，使材料形成一空间曲面形状
	起伏		在板料或零件表面以局部成形压出筋条

http://shop62964869.taobao.com/

表3-1(续)

	整形		将成形件的形状压准确或将其圆角缩小
	校平		消除毛坯或制件平面的不平整部分
	旋压		利用赶棒或滚轮将毛坯在旋转状态下逐步成形
	压印		以改变材料厚度，在制件表面上压出文字或花纹
体积成形	正挤压		在凸模工作压力下，模腔中金属沿与凸模运动相同的方向由凹模孔挤出
	反挤压		在凸模工作压力下，模腔中金属由凸、凹模间空隙挤出，其流动方向与凸模运动方向相反
	复合挤压		正挤压与反挤压的结合

http://shop62964869.taobao.com/

侧压力则形成了一反力矩。板料的分离过程分为三个阶段，如图 3-2 所示。

1. 弹性变形阶段(图 3-2a)

毛坯在凸模的压力下，产生弹性压缩，又受弯矩作用而弯曲；此时，板料与凸模、凹模接触处只形成很小的圆角。

2. 塑性变形阶段(图 3-2b)

凸模继续下压，材料内应力达到了屈服极限，较前有较多金属被挤入凹模洞口，形成圆角部分，接着产生塑剪变形，形成光亮带。在凹模刃口部分材料，除受塑剪变形外，还受弯曲和拉伸作用，因而裂纹将首先在凹模刃口处开始。

3. 断裂阶段(图 3-2c)

随着凸模继续下压，由凹模刃口产生的材料上裂纹的前端附近又产生微小裂纹，这些微小裂纹的根部汇成主裂纹，直到主裂纹成长到与凸模侧边产生裂纹会合而使材料断裂。

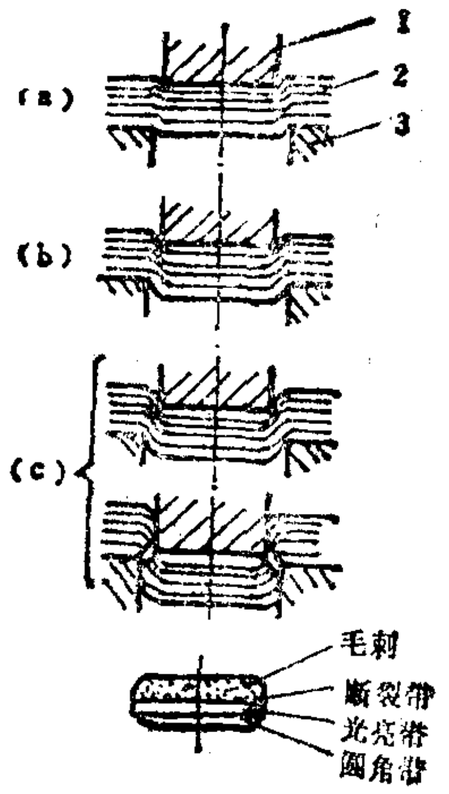


图 3-2 冲裁过程及冲裁后断面
1—凸模 2—板料 3—凹模

冲裁断面形成的塌角、剪切面(光亮带)、断裂面和毛刺，在整个断面上所占的大小比例并非一成不变，它将随着材料的机械性能，凸凹模间隙，模具结构不同而变化。

毛刺的产生是冲裁过程本身所决定，要完全避免较为困难。然而毛刺的大小受凸、凹模间隙的大小、刃口利钝和材料机械性能等因素的影响，间隙过大、过小，刃口磨损或材料抗拉强度低都会使制件毛刺增大，所以选择适当的间隙，长时间保持锋利刃口极为重要。现在工厂中绝大多数冲压制件上毛刺，可通过滚筒加工或砂带磨削等方法去除。

(二) 冲裁间隙

凸、凹模之间的冲裁间隙是冲裁过程的重要工艺参数。它对冲裁件断面质量、尺寸精度、模具寿命以及冲裁力、卸料力、推件力等都有较大影响，但严格说来，不存在一个同时满足所有理想要求的合理间隙值。

冲裁间隙数值主要按制件质量要求，根据经验数值来选用。电子、电器、仪表等行业对制件断面质量和尺寸精度要求较高，可选用较小间隙值，见表 3-2。汽车、拖拉机等行业，其制件尺寸公差较大，可采用较大间隙值，见表 3-3。

冲裁间隙值的选用，还可根据不同情况，灵活掌握。譬如：冲小孔而凸模导向又较差时，为防止凸模受力大而折断，间隙可取大一些，但这时废料易带出凹模表面，所以凸模上应装上弹性顶销或采取以压缩空气从凸模端部小孔吹出等措施。凹模孔口形式为锥形时，其间隙应比圆柱形小。电火花加工时，凹模型孔有锥度，其间隙应比磨削加工时小(1～4)%t。采用弹顶装置向上出件时，其间隙值可比下落出件大 50% 左右。高速冲压时，模具温度增高，间隙应增大，如每分钟行程超过 200 次，间隙值可约增 10%。硬质合金冲模由于热膨胀系数小，其间隙值可比钢模大 30%。在同样条件下，非圆形应比圆形的间隙大，冲孔所取间隙可比落料略大。

对于制件精度低于 IT14 级，断面无特殊要求的制件，还可采用大的间隙(见表 3-4)，以利于提高冲模寿命。

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-2　金属材料冲裁模刃口间隙　　(mm)

材料厚度 t	软铝				紫铜、黄铜、软钢 (0.08～0.2%C)				硬铝、硅钢片、中等硬度钢 (0.3～0.4%C)				硬钢 (0.5～0.6%C)			
	初始间隙值 Z															
	最小		最大		最小		最大		最小		最大		最小		最大	
	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面
0.2	4	0.008	6	0.012	5	0.010	7	0.014	6	0.012	8	0.016	7	0.014	9	0.018
0.3		0.012		0.018		0.015		0.021		0.018		0.024		0.021		0.027
0.4		0.016		0.024		0.020		0.028		0.024		0.032		0.028		0.036
0.5		0.020		0.030		0.025		0.035		0.030		0.040		0.035		0.045
0.6		0.024		0.036		0.030		0.042		0.036		0.048		0.042		0.054
0.7		0.028		0.042		0.035		0.049		0.042		0.056		0.049		0.063
0.8		0.032		0.048		0.040		0.056		0.048		0.064		0.056		0.072
0.9		0.036		0.054		0.045		0.063		0.054		0.072		0.063		0.081
1.0		0.040		0.060		0.050		0.070		0.060		0.080		0.070		0.090
1.2	5	0.060	7	0.084	6	0.072	8	0.096	7	0.034	9	0.108	8	0.096	10	0.120
1.5		0.075		0.105		0.090		0.120		0.105		0.135		0.120		0.150
1.8		0.090		0.126		0.108		0.144		0.126		0.162		0.144		0.180
2.0		0.100		0.140		0.120		0.160		0.140		0.180		0.160		0.200
2.2	6	0.132	8	0.176	7	0.154	9	0.198	8	0.176	10	0.220	9	0.198	11	0.242
2.5		0.150		0.200		0.175		0.225		0.200		0.250		0.225		0.275
2.8		0.168		0.224		0.196		0.252		0.224		0.280		0.252		0.308
3.0		0.180		0.240		0.210		0.270		0.240		0.300		0.270		0.330
3.5	7	0.245	9	0.315	8	0.280	10	0.350	9	0.315	11	0.385	10	0.350	12	0.420
4.0		0.280		0.360		0.320		0.400		0.360		0.440		0.400		0.480
4.5		0.315		0.405		0.360		0.450		0.405		0.495		0.450		0.540
5.0		0.350		0.450		0.400		0.500		0.450		0.550		0.500		0.600
6.0	8	0.480	10	0.600	9	0.540	11	0.660	10	0.600	12	0.720	11	0.660	13	0.780
7.0		0.560		0.700		0.630		0.770		0.700		0.840		0.770		0.910
8.0	9	0.720	11	0.880	10	0.800	12	0.960	11	0.880	13	1.040	12	0.960	14	1.120
9.0		0.810		0.990		0.900		1.080		0.990		1.170		1.080		1.260
10.0		0.900		1.100		1.000		1.200		1.100		1.300		1.200		1.400

注：1.初始间隙的最小值，相当于间隙的公称数值。

2.初始间隙的最大值，是考虑到凸模和凹模的制造公差所增加的数值。

（三）冲裁力计算与降低冲裁力方法

1.平刃冲模冲裁力计算

用平刃冲模冲裁时，其理论冲裁力 P_0 为

$$P_0 = Lt\tau \quad (\mathrm{N}) \tag{3-1}$$

式中　L——冲裁件周长（mm）；

t——料厚（mm）；

τ——材料抗剪强度（MPa）。

选择设备吨位时，考虑刃口磨损和材料厚度及机械性能波动，实际冲裁力可能增大，所以应取

$$P = 1.3P_0 = 1.3Lt\tau \approx Lt\sigma_b \quad (\mathrm{N}) \tag{3-2}$$

式中　P——最大可能冲裁力（或简称冲裁力）

http://shop62964869.taobao.com/

表3-3　冲裁模刃口间隙　　(mm)

材料厚度 t	08、10、35、09Mn、A3、B3				16Mn				40、50Mn				65Mn			
	最小初始间隙		最大初始间隙		最小初始间隙		最大初始间隙		最小初始间隙		最大初始间隙		最小初始间隙		最大初始间隙	
	z%	双面	z%	双面	z%	双面	z%	双面	z%	双面	z%	双面	z%	双面	z%	双面
0.5以下	极小间隙															
0.5 0.6	8	0.040 0.048	12	0.060 0.072	8	0.040 0.048	12	0.060 0.072	8	0.040 0.048	12	0.060 0.072	8	0.040 0.048	12	0.060 0.072
0.7 0.8	9	0.063 0.072	13	0.091 0.104	9	0.063 0.072	13	0.091 0.104	9	0.063 0.072	13	0.091 0.104	9	0.063 0.072	13	0.091 0.104
0.9 1	10	0.090 0.100	14	0.126 0.140	10	0.090 0.100	14	0.126 0.140	10	0.090 0.100	14	0.126 0.140	10	0.090 0.100	14	0.126 0.140
1.2 1.5	11	0.132 0.170	15	0.180 0.230	11	0.132 0.170	15	0.180 0.230	11	0.132 0.170	15	0.180 0.230				
1.75 2 2.1	12	0.220 0.240 0.260	18	0.320 0.360 0.380	13	0.220 0.260 0.280	19	0.320 0.380 0.400	13	0.220 0.260 0.280	19	0.320 0.380 0.400				
2.5 2.75	14	0.350 0.400	20	0.500 0.550	15	0.380 0.420	21	0.530 0.600	15	0.380 0.420	21	0.530 0.600				
3 3.5	15	0.450 0.530	21	0.640 0.740	16	0.480 0.570	22	0.660 0.780	16	0.480 0.570	22	0.660 0.780				
4 4.5	16	0.640 0.720	22	0.880 1.00	17	0.680	23	0.920 0.960	17	0.680 0.780	23	0.920 1.040				
5 5.5	17	0.850 0.940	23	1.150 1.280	15	0.780 0.750 0.770	21	1.05 1.10	18	0.900 0.980	24	1.200 1.320				
6	18	1.080	24	1.440	14	0.840 0.910	20	1.20 1.30	19	1.140	25	1.500				
6.5 8 12					15 11	1.20 1.32	21 15	1.68 1.80								

注：皮革、石棉和纸板的间隙取08号钢的25%。

表3-4　制件精度低于IT14级，推荐用的冲裁大间隙(双面)

材料 / 间隙 z (t%) / 料厚 (mm)	软料 08、10、20、A3	中硬料 45、LY12 1Cr18NiTi、4Cr13	硬料 T8A、T10A、65Mn
0.2～1	12～18	15～20	18～24
>1～3	15～20	18～24	22～28
>3～6	18～24	20～26	24～30
>6～10	20～26	24～30	26～32

σ_b——材料抗拉强度（MPa）。

在实际冲裁时，若还要克服气垫或弹簧等力，则选择设备吨位时也要把这些力考虑进去。

http://shop62964869.taobao.com/

2. 降低冲裁力方法

(1) 斜刃冲模冲裁

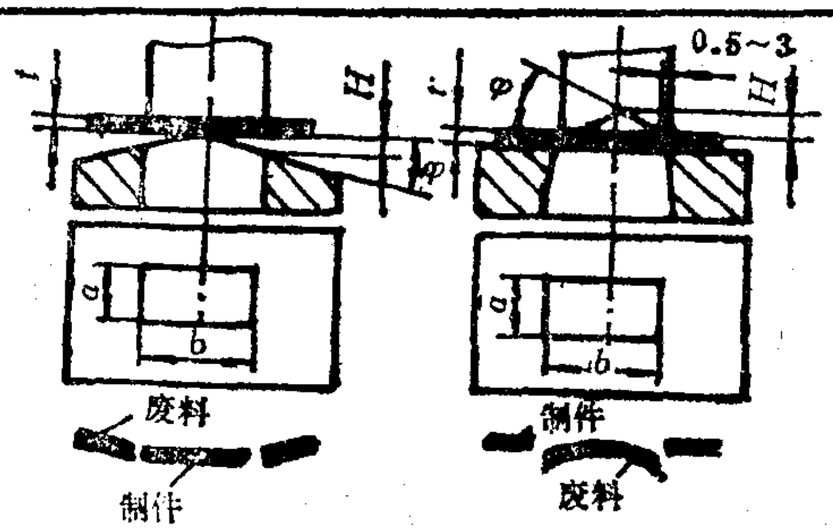
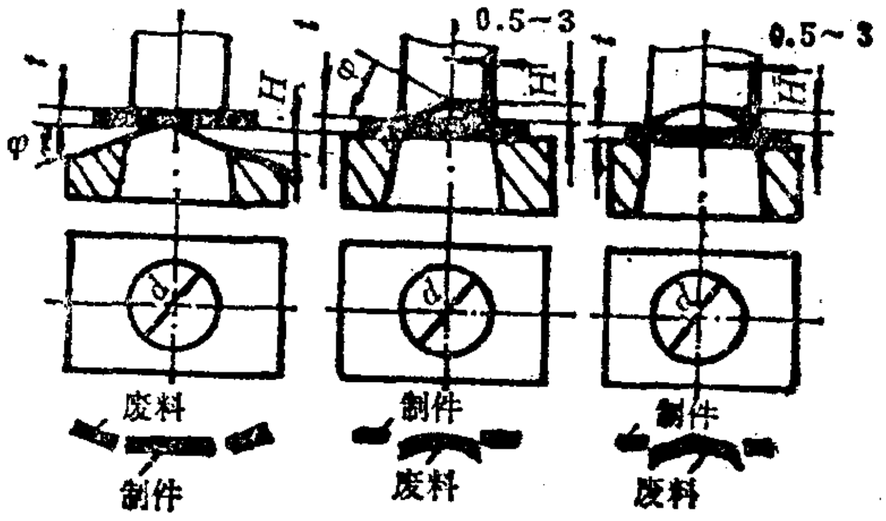
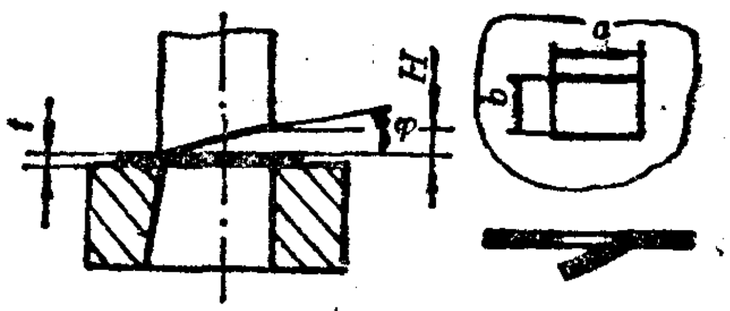
如压力机吨位不足时，为降低冲裁力，常采用斜刃冲裁或阶梯形布置凸模的方法。斜刃冲裁时冲裁力的计算公式见表 3-5。斜刃凸、凹模的结构参数见表 3-6。

(2) 阶梯凸模

多凸模冲裁，凸模作阶梯形布置时，料厚小于 3mm，凸模间高度差取等于料厚；大于 3mm，取等于 0.5料厚。一般小凸模放在后冲，以防折断。

将材料加热和增大冲裁间隙也是行之有效的降低冲裁力方法。

表 3-5　用斜刃模时，求冲裁力的近似公式

简图	计算公式
	当$H>t$时　$P_0=2\pi(a+b\frac{0.5t}{H})$ 当$H=t$时　$P_0=2\pi(a+0.5b)$
	当$H=t$时　$P_0=\frac{2}{3}\pi dt\tau$ 当$H>0.5t$至$H=t$时 $P_0=2dt\tau\arccos\frac{H-0.5t}{H}$
	当$H>t$时　$P_0=t\tau(a+b\frac{t}{H})$ 当$H=t$时　$P_0=t\tau(a+b)$
一般情形(但不包括上述切矩形口)	简化的公式　$P_0=Lt\tau K$ 系数，对L在200 mm以下： 当$H=t$时，$K=0.4\sim0.6$ 当$H=2t$时，$K=0.2\sim0.4$

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-6　斜刃凸模和凹模的主要参数

材料厚度 t (mm)	斜刃高度 H (mm)	斜刃倾角 φ	平均冲裁力为平刃的%
<3	$2t$	<5°	30～40
3～10	t	<8°	60～65

（四）卸料力、推件力和顶件力的确定

1. 卸料力的确定

为退下紧箍在凸模上的废料(或制件)所需的力，叫卸料力。

卸料力不仅是设计卸料板时的重要参数，它还是冲小孔时，影响凸模使用寿命的一个主要因素。合理地确定卸料力可使模具结构紧凑和保证冲裁生产过程的稳定。

影响卸料力的因素较多，其中最主要为：相对冲裁间隙 z/t、冲裁件的形状和尺寸，其次为：材料机械性质、料厚、搭边情况、润滑和粘附情况等。材料抗拉强度高、厚度大、搭边大，都将使卸料力增大；冲裁间隙增大，卸料力趋向减少，当 z/t 达 17%时，卸料力最小，当 z/t 再增加时，则卸料力又将回升。就冲裁件形状尺寸而论，方形的比圆形的卸料力小，用级进模冲孔落料和用多个冲头冲孔，其相应卸料力比单个冲裁的卸料力又大出较多。用机油润滑，因粘性大，卸料力反比不润滑大，用冷却剂润滑，卸料力可降低 15～30%，因它既可防止材料粘附于凸模，又起润滑作用。为了减少粘附，凸模不必加工得很光，抛光还不如车削，但如冲裁时冷却和润滑条件好，还是以表面加工较光为合理。

生产上常以经验公式来估算卸料力 P_x。即

$$P_x = K_x P(\mathrm{N}) \tag{3-3}$$

式中　P——冲裁力 (N)；

K_x——卸料力系数，见表 3-7。

表 3-7　卸料力、推件力及顶件力的系数

材料厚度 (mm)	K_x②			K_e	K_h
	单个凸模冲裁	级进模冲孔落料	多凸模冲孔		
<1	0.02～0.06	0.05～0.08	0.10～0.12	0.05～0.10①	0.07～0.14①
1～5	0.06～0.08	0.10～0.12	0.12～0.15		
5	0.08～0.10	0.12～0.15	0.15～0.20		

① 小间隙和薄料取大值。

② 这里 K_x 值相当表 3-2 间隙时情况，对较大间隙(如表 3-3、3-4)，此值可酌减，在 $z=20\%t$ 时，可减至表值的 30%。

2. 推件力的确定

这是顺着冲裁力方向，从凹模腔中推出制件(或废料)所需的力，叫推件力。

除了搭边宽度外，其它影响卸料力的各种因素也都影响推件力，推件力 P_t 常按下式估算

$$P_t = nK_t P \quad (\mathrm{N}) \tag{3-4}$$

式中　P——冲裁力 (N)；

http://shop62964869.taobao.com/

n——长在凹模洞口内制件(或废料)数，$n = h/t$；

h——凹模圆柱形洞口高度（mm)；

t——材料厚度（mm)；

K_c——推件力系数，见表 3-7。

3. 顶件力的确定

这是逆着冲裁力方向，从凹模腔中顶出制件(废料)所需的力，叫顶件力。

顶件力 P_k 常按下式估算

$$P_k = K_k P \quad (\mathrm{N}) \tag{3-5}$$

式中 P——冲裁力（N)；

K_k——顶件力系数，见表 3-7。

（五）冲裁时压力中心的确定

要使模具能平衡地工作，须使冲裁时的压力中心与模具的模柄中心相重合，否则模柄将发生歪斜，间隙不均匀，导向磨损、刃口迅速变钝和导致模具的损坏。确定压力中心的工作，主要是针对复杂冲裁模、多凸模的冲孔模和级进模。

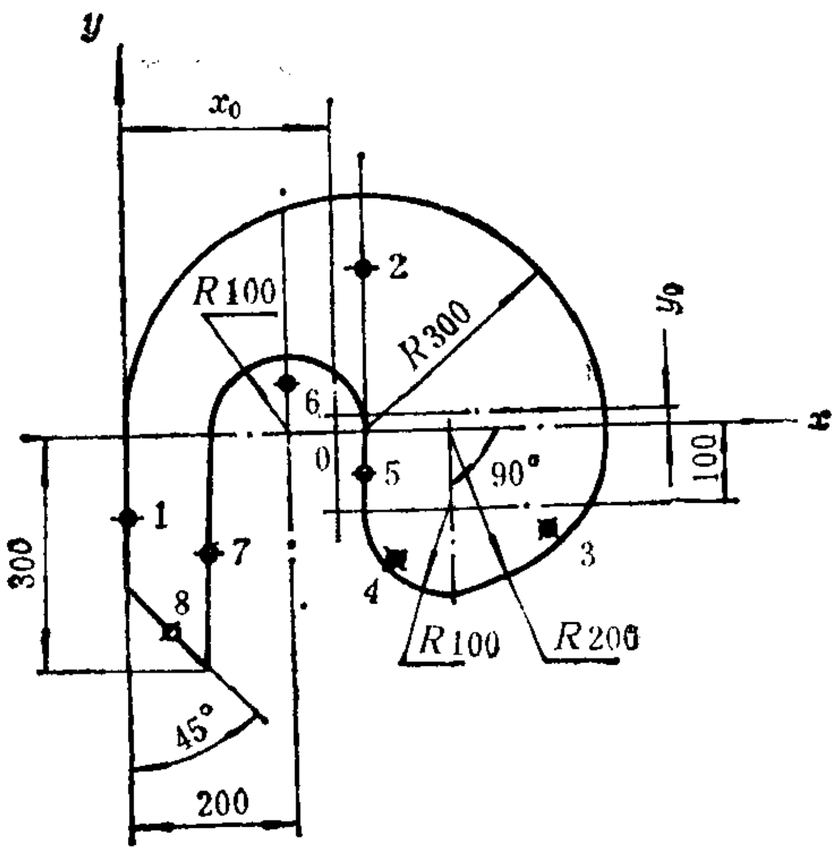


图 3-3 单个落料时压力中心

求压力中心有两种方法(即解析法和图解法)，现在一般采用解析法(抗剪力矩法)较多，以下举例说明。

[例 1] 求单件落料时的压力中心(图 3-3)。

计算程序如下：

1）按比例绘出凸模工作部分外形；

2）任意选定坐标轴 x-x，y-y，为方便起见将该两坐标轴置于在零件某一带有基准的位置上；

3）将其外形分成若干个单元，分别找出各个单元的重心为 1,2,3,4,5,6,7,8。其各个单元的坐标位置为：$x_1 = 0$，$y_1 = -100$；$x_2 = 300$，$y_2 = 191$；$x_3 = 527$，$y_3 = -127$；$x_4 = 336$，$y_4 = -164$；$x_5 = 300$，$y_5 = -50$；$x_6 = 200$，$y_6 = 63.7$；$x_7 = 100$，$y_7 = -150$；$x_8 = 50$，$y_8 = -250$；

4）计算出各单元冲裁的长度，分别为：$L_1 = 200$，$L_2 = 942.5$，$L_3 = 314.1$，$L_4 = 157.1$，$L_5 = 100$，$L_6 = 314.1$，$L_7 = 300$，$L_8 = 141.4$；

5）然后按下式确定模具压力中心的坐标 x_0、y_0。

$$x_0 = \frac{L_1x_1 + L_2x_2 + \cdots + L_nx_n}{L_1 + L_2 + \cdots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_ix_i}{\sum_{i=1}^{n} L_i} \tag{3-6}$$

http://shop62964869.taobao.com/

$$y_0 = \frac{L_1y_1 + L_2y_2 + \cdots + L_ny_n}{L_1 + L_2 + \cdots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_iy_i}{\sum_{i=1}^{n} L_i} \tag{3-7}$$

将前面计算所得的 x_i、y_i 和 L_i 数值代入公式(3-6)、(3-7)可得

$$x_0 \approx 256; y_0 \approx 20$$

[例2] 多冲头冲裁时的压力中心

在图 3-4 中表示了同时冲裁多孔(或外形)时压力中心的确定。

计算程序如下：

1) 任意选定坐标轴 $x-x$, $y-y$，为了计算方便起见，坐标轴选定通过一基准孔（ϕ200）的圆心上；

2) 确定每一个孔的重心位置和它的坐标为 x_1、$x_2\cdots x_n$, y_1、$y_2\cdots y_n$；

3) 计算出每一孔的周长为 L_1、$L_2\cdots L_n$；

4) 将各计算数值代入压力中心的坐标公式中。即

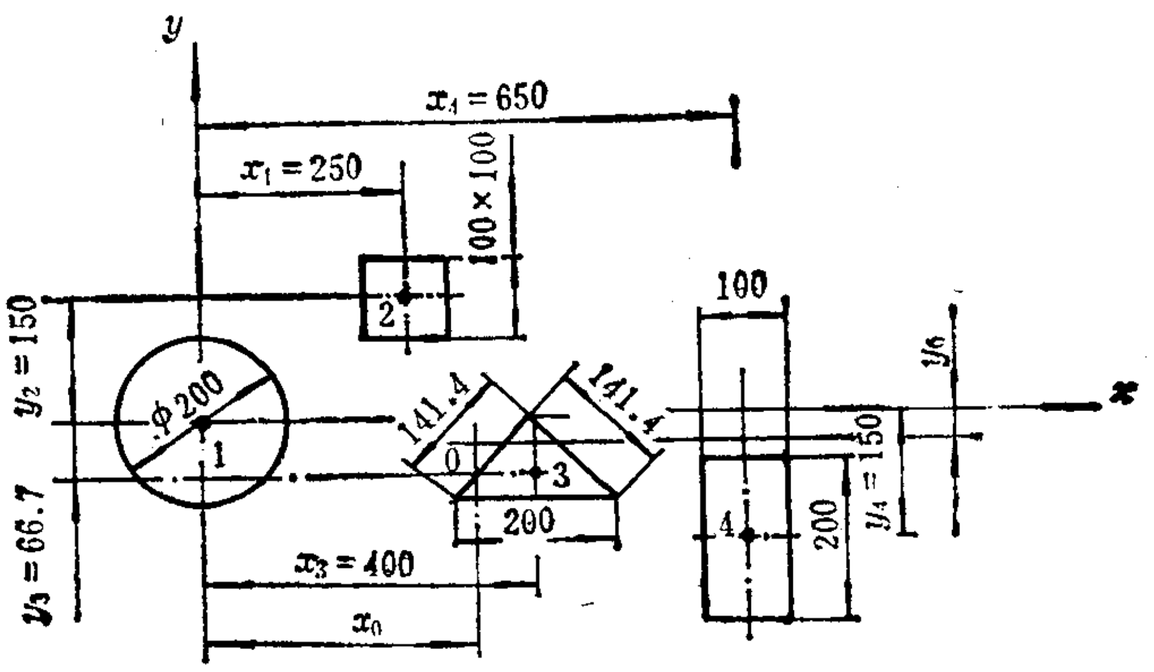


图 3-4 多孔冲裁时压力中心

$$x_0 = \frac{L_2x_2 + L_3x_3 + \cdots + L_nx_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_n}$$

$$y_0 = \frac{L_2y_2 + L_3y_3 + \cdots + L_ny_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_n}$$

将图中计算值代入上式，可得

$$x_0 \approx 330, \quad y_0 \approx -32.7$$

（六）材料的排样

在冲压中，节约金属和减少废料具有非常重要的意义，特别是在大批量生产中，较好地确定制件形状尺寸和合理排样是降低成本的有效措施之一。

1. 冲裁件的排样

排样是指制件在条料、带料或板料上布置的方法。制件的合理布置(即材料的经济利用)，与制件的外形有很大关系。

根据不同几何形状的制件，可得出其相适合的排样类型，而根据排样的类型又可分为少或无工艺余料的排样与有工艺余料的排样两种，其具体情况见表 3-8。

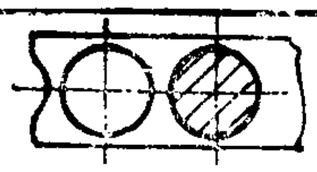
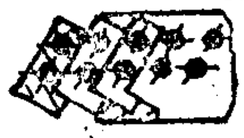
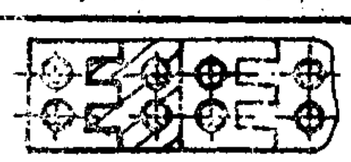
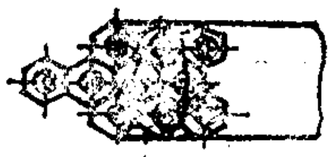
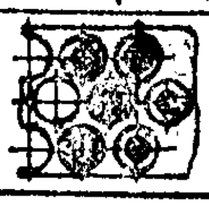
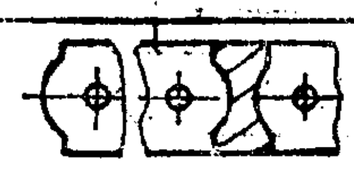
2. 材料利用率

衡量材料经济利用的指标是材料利用率。

一个进距内的材料利用率 η 为

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-8　冲裁件排样的基本形式

少或无工艺余料的排样方式		有工艺余料的排样方式	
直排		直排	
斜排		斜排	
对排		对排	
混合排		混合排	
多排		多排	
冲裁搭边		冲裁搭边	

$$\eta = \frac{nF}{Bh} \times 100\% \tag{3-8}$$

式中　F——冲裁件面积(包括冲出小孔在内)，(mm^2)；

n——一个进距内冲件数目；

B——条料宽度（mm)；

h——进距（mm)。

一张板料上总的材料利用率 η_Σ 为

$$\eta_\Sigma = \frac{NF}{AL} \times 100\% \tag{3-9}$$

式中　N——一张板料上冲件总数目；

L——板料长度（mm)；

A——板料宽度（mm)。

3. 搭边

排样时，制件之间以及制件与条料侧边之间留下的余料叫搭边。它的作用是补偿定位误差，保证冲出合格的制件，还为保证条料有一定刚度，便于送料。

搭边数值取决于以下因素：

1）制件的尺寸和形状；

2）材料的硬度和厚度；

3）排样的形式(直排、斜排、对排等)；

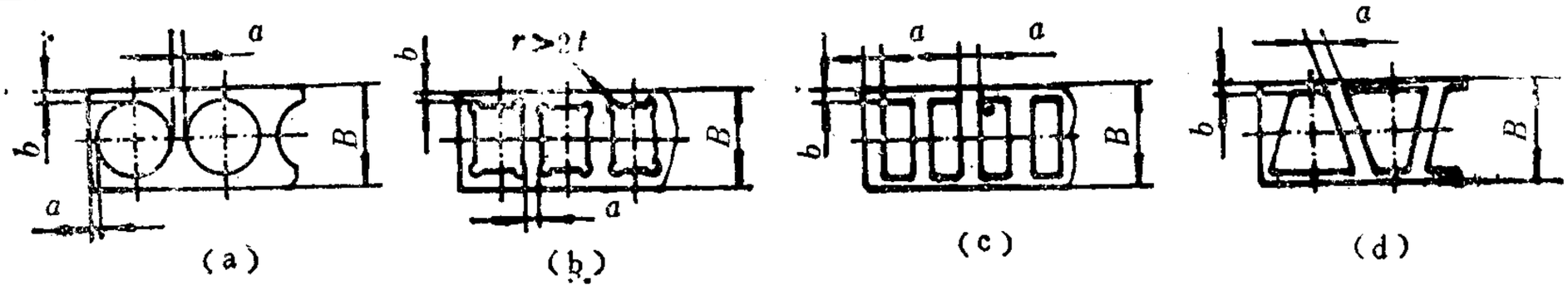
4）条料的送料方法(是否有侧压板)；

5）挡料装置的形式(包括挡料销、导料销和定距侧刃等的形式)。

表 3-9 为冲裁时的最小搭边值，主要用于电子、仪表、航空工业，表 3-10 主要用于拖拉机、汽车等工业。

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-9　冲裁的搭边值　(mm)



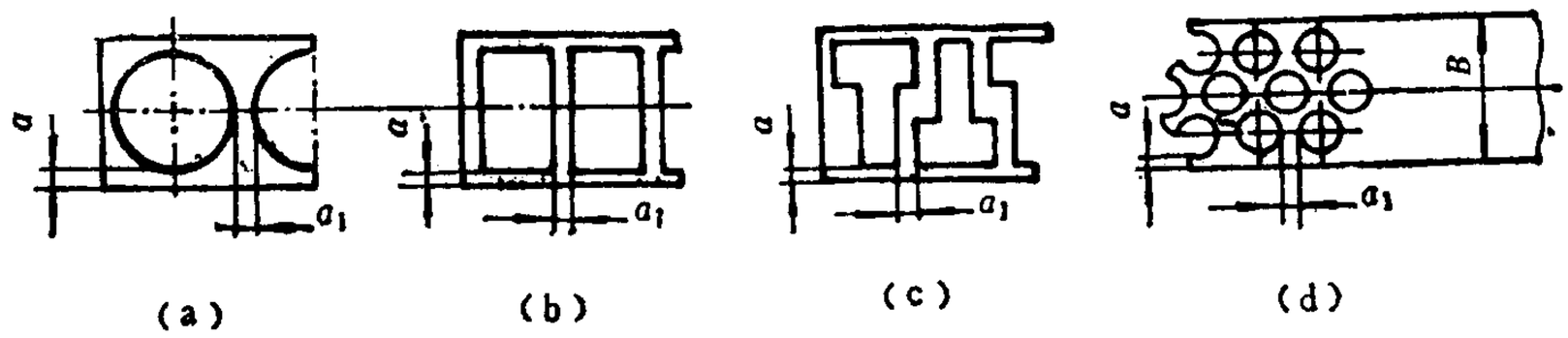
卸料板型式	条料厚度 t	搭边值					
		图 a、b，$r>2t$		图 c、d，$L\leqslant 50$		图 c、d，$L>50$	
		a	b	a	b	a	b
弹压卸料板	~0.25	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5～2.5	1.8～2.6
	>0.25～0.5	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2～2.2	1.5～2.5
	>0.5～1.0	0.8	1.0	1.0	1.2	1.5～2.5	1.8～2.6
	>1.0～1.5	1.0	1.3	1.2	1.5	1.8～2.8	2.2～3.2
	>1.5～2.0	1.2	1.5	1.5	1.8	2.0～3.0	2.4～3.4
	>2.0～2.5	1.5	1.9	1.8	2.2	2.2～3.2	2.7～3.7
	>2.5～3.0	1.8	2.2	2.0	2.4	2.5～3.5	3.0～4.0
	>3.0～3.5	2.0	2.5	2.2	2.7	2.8～3.8	3.3～4.3
	>3.5～4.0	2.2	2.7	2.5	3.0	3.0～4.0	3.5～4.5
	>4.0～5.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5～4.5	4.0～5.0
	>5.0～12	0.5t	0.6t	0.6t	0.7t	0.7～0.9t	0.8～1t
固定卸料板	>0.25～0.5	1.0	1.2	1.5	2.0	2.0～3.0	
	>0.5～1.0	0.8	1.0	1.2	1.5	1.5～2.5	
	>1.0～1.5	1.0	1.2	1.2	1.8	1.8～2.8	
	>1.5～2.0	1.2	1.5	1.5	2.0	2.0～3.0	
	>2.0～2.5	1.5	1.8	1.8	2.2	2.2～3.2	
	>2.5～3.0	1.8	2.0	2.2	2.5	2.5～3.5	
	>3.0～3.5	2.0	2.2	2.5	2.8	2.8～3.8	
	>3.5～4.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.0～4.0	
	>4.0～5.0	2.5	2.8	3.0	3.5	3.5～4.5	
	>5.0～12	0.5t	0.6t	0.6t	0.7t	0.75～0.9t	

注：1. 图 c、d，边长 L 在 50～100mm 内，a 取较小值；L 在 100～200mm 内，a 取中间值；L 在 200～300mm 内，a 取较大值。

2. 对于图 d，B 大于 50mm 时，a 取较大值。

3. 对非金属材料及自动送料的冲裁件，可按表中数值乘以 1.3 倍确定搭边。

表 3-10　冲裁金属材料的搭边值　(mm)



材料厚度 t	手工送料						自动送料	
	圆形		非圆形		往复送料			
	a	a_1	a	a_1	a	a_1	a	a_1
~1	1.5	1.5	2	1.5	3	2		
大于1～2	2	1.5	2.5	2	3.5	2.5	3	2
大于2～3	2.5	2	3	2.5	4	3.5		
大于3～4	3	2.5	3.5	3	5	4	4	3
大于4～5	4	3	5	4	6	5	5	4
大于5～6	5	4	6	5	7	6	6	5
大于6～8	6	5	7	6	8	7	7	6
8以上	7	6	8	7	9	8	8	7

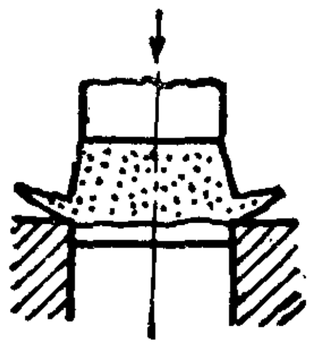
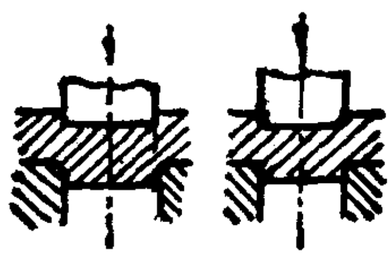
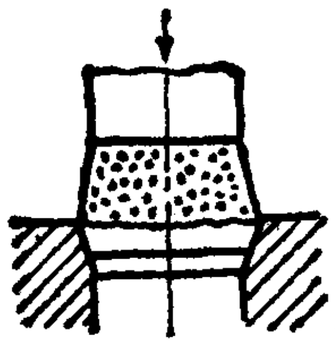
注：1. 冲非金属材料(皮革、纸板、石绵板等)时，搭边值应乘1.5～2。　2. 用有侧刃的模具，搭边 $a_1=0.75a$。

http://shop62964869.taobao.com/

（七）提高冲裁质量的几种冲压工艺

当用一般冲裁不能满足对冲裁质量的较高要求时，在一般压力机上可采用表 3-11 所示的几种冲压工艺。

表 3-11　一般压力机上提高冲裁质量的几种冲压工艺

工艺名称	简　图	工艺特点	主要优缺点
整修		切去冲裁毛坯的断裂面，小间隙0.006～0.01mm，按料厚和形状确定整修余量(1次约0.05～0.1t)和次数	精度和光洁度高，塌角和毛刺小，垂直度好，能适用于广泛材料。 需要前道工序，自动化比较困难
光洁冲裁		用零间隙或负间隙(0.05～0.3)t，在刃口上做成圆角(0.05～0.1)t和15～30°倒角，防止发生龟裂	塌角大、弯曲大、有锥度，质量低于整修和精冲，只适用于软料
小间隙圆角凹模冲裁		间隙小于0.02mm。 落料：凹模刃口圆角(0.1～0.25)t，厚料取小值； 冲孔：凸模刃口圆角(0.1～0.25)t，厚料取小值	光洁度较高，塌角和毛刺较大，只适用于软料

注：表中所述均系指双面间隙值。

（八）精密冲裁

目前采用齿圈压板的精冲方法日渐广泛使用，图 3-5 所示为精冲过程，图中由 *A*、*B*···至 *G* 其先后次序如下：

1）材料送入模具；

2）模具闭合，V 形齿圈压入材料；

3）制件已被落料——V 形齿圈保持压力，冲裁压力和顶件反压力作用于制件；

4）模具开始打开；

5）废料从上凸模推出；

6）制件被顶板压力顶出；

7）制件和废料被从模具移走——准备重复下一次精冲过程。

1. 精冲的主要特点

精冲主要由V形齿圈、顶件板、凸模和凹模组成。它取较小间隙（0.01mm）和较小凹模圆角（0.05～0.1mm）。由于材料是在强烈三向压应力状态下进行精冲的，这样就提高了材料

http://shop62964869.taobao.com/

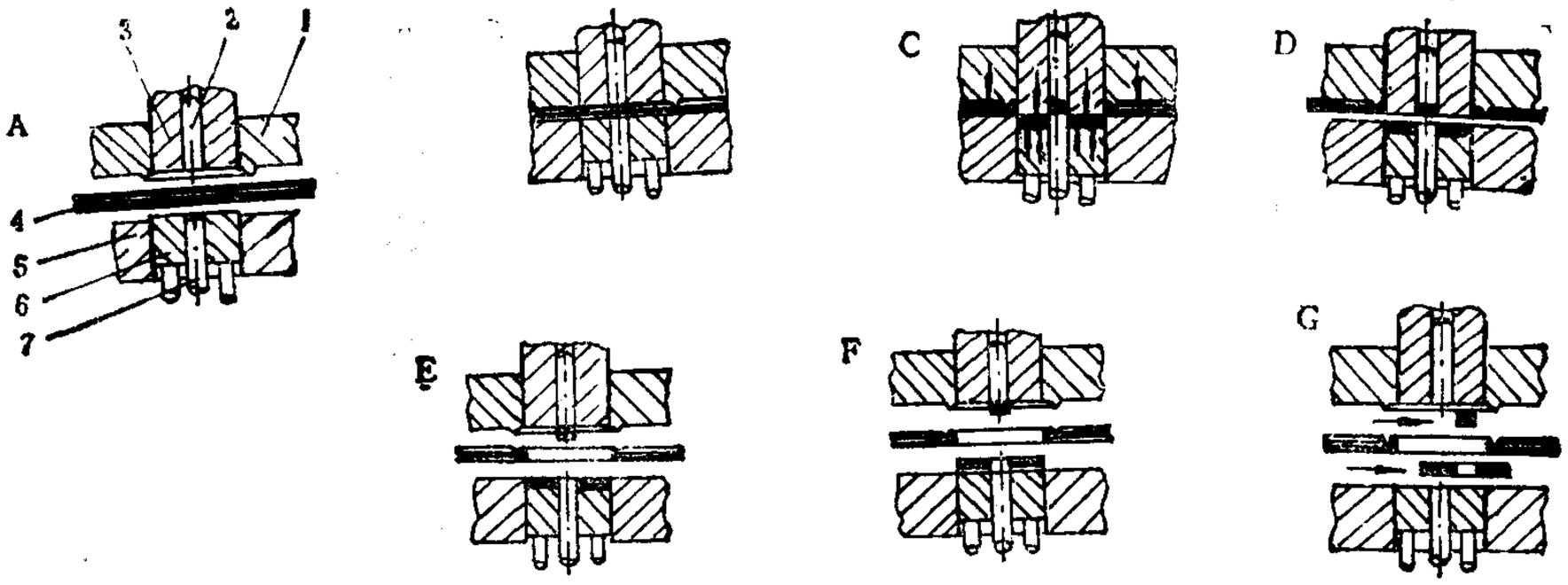


图3-5　精冲过程

1—V形齿圈　2—废料推杆　3—凸凹模　4—材料　5—凹模　6—顶件板　7—冲孔凸模

的塑性，抑制了剪切过程中裂纹的产生，使得冲裁件的断面质量和尺寸精度都有较大提高。

精冲时，几乎整个材料厚度都是剪切面；精冲所得的精度决定于材料厚度和拉伸强度，以及所冲制的轮廓形状，对低碳钢薄件其公差可达 ±0.03mm，较厚件可达 ±0.08mm。

剪切面可垂直于制件平面，其高度在 1mm 内，偏差不超过 0.03mm，而表面粗糙度 Ra 约为 0.8μm。

所能精冲的孔径或槽宽可比普通冲裁小，如冲低碳钢约可小 50%。精冲还可与弯曲、起伏和压印等组合在同一工序。

很多材料均可精冲，包括低碳钢、中碳钢、合金钢和不锈钢等黑色金属及铜、黄铜和铝合金等有色金属。实际上任何适用于冷成形的金属材料均能精冲。

用于精冲的非合金钢，最好是低碳钢，一般来说，含碳量最多不能超过 0.70%。合金钢必须屈服强度较低，而对高弹性和脆性材料精冲则效果较差。一般对含碳量大于 0.35%的钢，可通过热处理，使渗碳体球化以得到光洁度较好的剪切面。用于精冲的材料，其抗拉强度不应超过 586MPa。

精冲需要有三动专用压力机，但一般压力机经过改装和配备专用模具，也可以进行精冲。模具工作部分的润滑对保持最佳精冲效果和提高模具寿命十分重要。对润滑剂的要求是要有高的耐压力、良好的抗高温性能、中性的化学性能。

精冲最适于用在原先在普通冲裁以后，为改善剪切断面质量需要再一次进行整修的制件。

精冲制件尺寸和材料厚度因受压力机吨位和安装模具所需的工作台面积的限制，所以精冲件厚度通常在 4mm 以下；为代替切削加工，精冲用于较厚材料（如约 15mm）现在也日趋增多。

精冲件切断面的塌角部分高度一般约为料厚的 10—25%，毛刺高度不大于 0.25mm。毛刺可通过滚光或磨削去除。

2. 精冲力

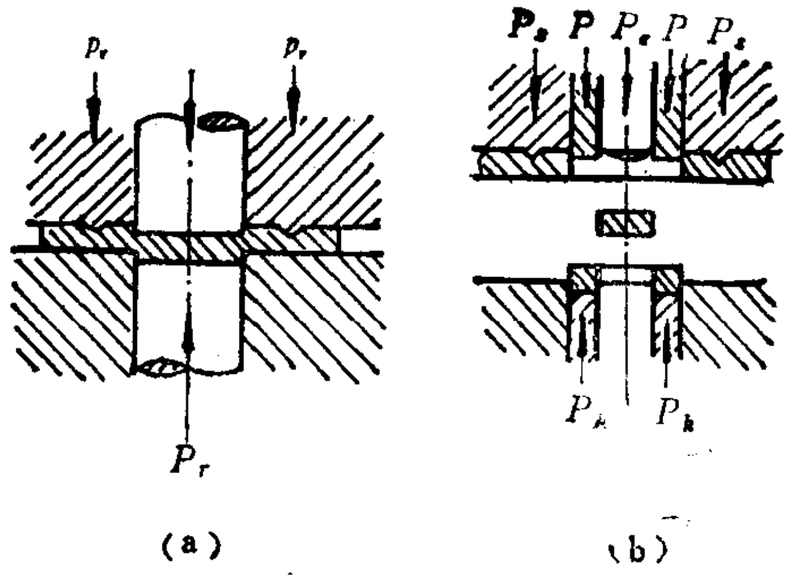


图3-6　精冲时作用力示意图

P—冲裁力　P_r—齿圈压力　P_r—反向压力

P_x—卸料力　P_A—顶件力　P_t—推件力

http://shop62964869.taobao.com/

精冲时所作用的力，见图 3-6。

(1) 冲裁力 P

$$P = Lt\tau_{cp} \quad (\mathrm{N}) \tag{3-10}$$

式中 L——冲裁周边长度（mm）；

t——材料厚度（mm）；

τ_{cp}——材料抗剪强度，其值可取 $\tau_{cp} = 0.9\sigma_b$ 或取

$$\tau_{cp} = \left(m\frac{t}{d} + 0.75\right)\sigma_b \approx \left(5\frac{t}{d} + 1.25\right)\sigma_s \tag{3-11}$$

式中 m——系数，当间隙 $z = 0.005t$，$m = 3.0$；当 $z = 0.01t$，$m = 2.85$；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）；

σ_s——材料屈服强度（MPa）；

d——制件直径（mm）。

通常，精冲冲裁力 P 值约为普通冲裁时的 1.5～3 倍。

(2) 齿圈压力 P_z

$$P_z = 4Lh\sigma_b \quad (\mathrm{N})$$

式中 L——制件周长（mm）；

h——齿圈高度（mm）

也可按下式近似选取

$$P_z = (0.4 \sim 0.6)P \quad (\mathrm{N})$$

式中 P——冲裁力（N）。

(3) 顶板反压力 P_f

$$P_f = Fp \quad (\mathrm{N})$$

式中 F——制件的受压面积（mm^2）；

p——制件的单位反压力，$p = 30 \sim 70(\mathrm{MPa})$；若压印时，则 $p = 100 \sim 150(\mathrm{MPa})$。

亦可取

$$P_f = (0.1 \sim 0.25)P \quad (\mathrm{N})$$

(4) 精冲总压力 P_Σ

$$P_\Sigma = P + P_z + P_f \quad (\mathrm{N})$$

选用压床时，如用精冲专用压力机，则以 P 为依据，若用普通压力机，则以 P_Σ 为依据。

(5) 卸料力 P_x、顶件力 P_k 和推件力 P_e

$$P_x = (0.1 \sim 0.15)P \quad (\mathrm{N})$$

$$P_k = P_e = (0.1 \sim 0.15)P \quad (\mathrm{N})$$

齿圈压力和顶板反压力通过试冲调整。在满足精冲要求的条件下取最小值。

3. 精冲时的排样和搭边

因有齿圈压板，所以搭边值应增加，一般侧面和送进方向搭边，约为冲裁时的 2～3 倍。

精冲件的工艺性见第六章，精冲模工作部分设计见第四章。

http://shop62964869.taobao.com/

三、弯曲

（一）弯曲变形的现象

弯曲是将平直的毛坯或半成品，用模具或其它的工具弯曲成具有一定角度或一定形状制件的冲压方法。它可分为工具作直线运动的压弯和工具作旋转运动的卷弯及滚压三类。这里将主要介绍在压力机上的压弯。

图 3-7 为材料在U形和V形模中弯曲时受力情况，作用力与反力间形成的弯矩，使材料逐渐弯曲成形；但变形区只是在与凸模接触的制件圆角部分。在弯矩的作用下，如图 3-8 所示，在

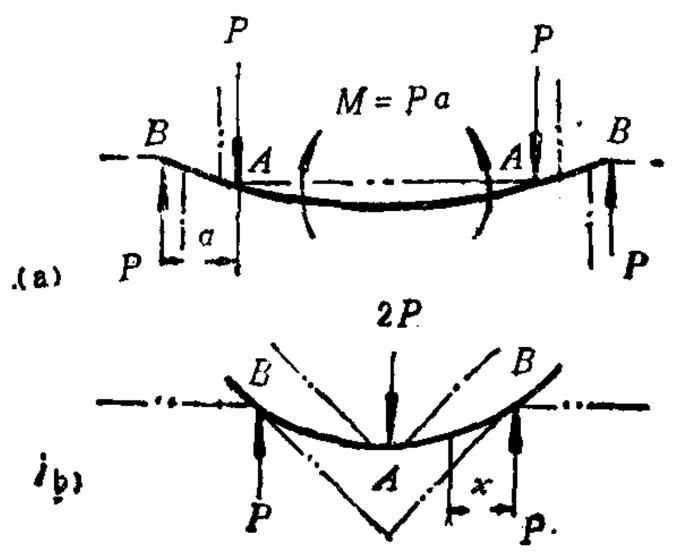


图 3-7　U形模和V形模中弯曲示意图
(a) U形模中弯曲　(b) V形模中弯曲

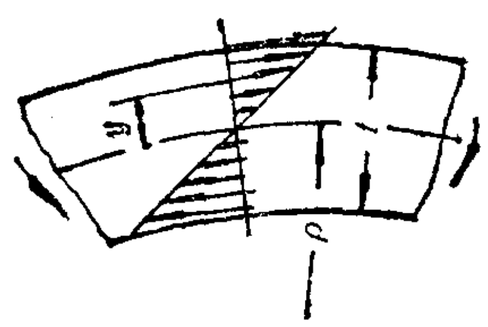


图 3-8　弯曲变形

外侧产生拉应变，在内侧产生压应变，其中材料上应变为零的面，称为中性面或中性层。如图 3-8 所示，设中性层的曲率半径为 ρ，则距中性面 y 处的切向应变为 y/ρ。

图 3-9 为弯矩作用下，在材料外侧和内侧产生的纵向拉应力和纵向压应力，及由此引起的

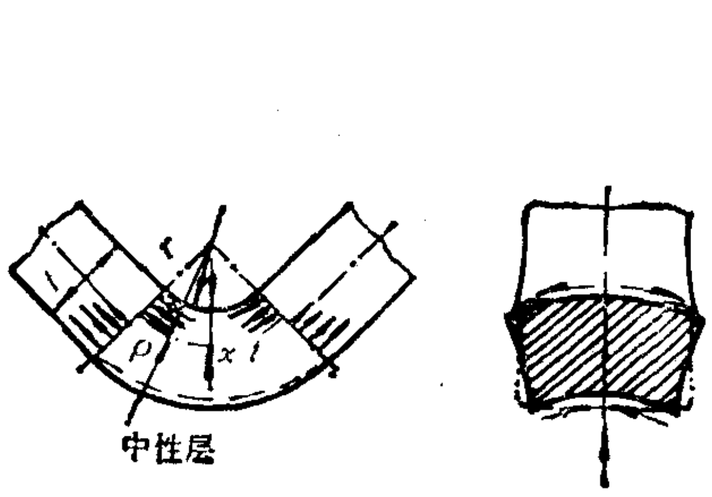


图 3-9　弯曲时断面的变化

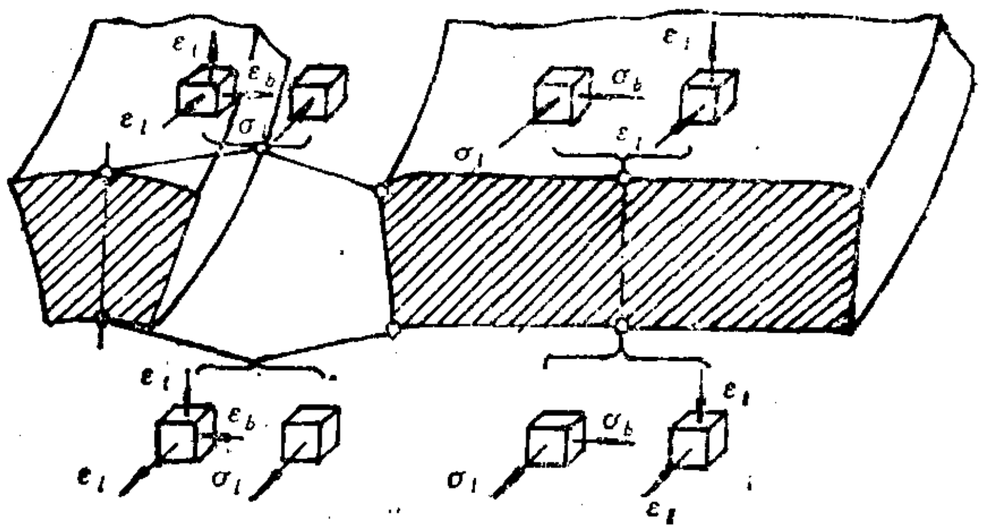


图 3-10　弯曲制件外侧和内侧的应力和应变状态

断面变化情况。实际上，窄板弯曲时为立体应变状态和平面应力状态；宽板弯曲时为平面应变状态和立体应力状态。

http://shop62964869.taobao.com/

图 3-10 表示了厚宽板弯曲时，内、外表面的应力和应变状态。在弯曲过程中剖面除产生图 3-10 所示的翘曲外；还因弯曲作用剖面变薄，如 r/t 比值愈少，变形区材料厚度的变薄愈厉害；当 r/t 相当小时，对有些材料将在制件外侧发生开裂现象。这 r/t 的最小值（见表 6-13）就是弯曲变形的极限尺寸。

（二）弯曲件展开尺寸及其辅助计算公式

1. 中性层曲率半径的确定

制件弯曲时，材料外层的纤维被拉伸，内层的纤维被压缩，而中性层的长度不变。在压弯的过程中，中性层由材料厚度的中间向制件内侧方向移动，若移动后的中性层与板的最内层纤维的距离以 Kt 表示(见图3-11)，则中性层的曲率半径 ρ 即为

$$\rho = r + Kt \tag{3-12}$$

式中 K——位移系数，见表 3-12。

表 3-12 中性层位移系数 K 值

抗拉强度 σ_b(MPa)	r/t											
	0.1	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
<400	0.25	0.3	0.32	0.34	0.36	0.37	0.38	0.40	0.41	0.42	0.44	0.45
>400									0.35	0.36	0.37	0.38

抗拉强度 σ_b(MPa)	r/t												
	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
<400	0.46	0.47	0.48	0.49		0.5							
>400	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47		0.48		0.49		

2. 弯曲件展开尺寸的确定

弯曲件展开尺寸等于各直边长度 l_i 和各弯曲部分中性层长度 l_b 之和。即

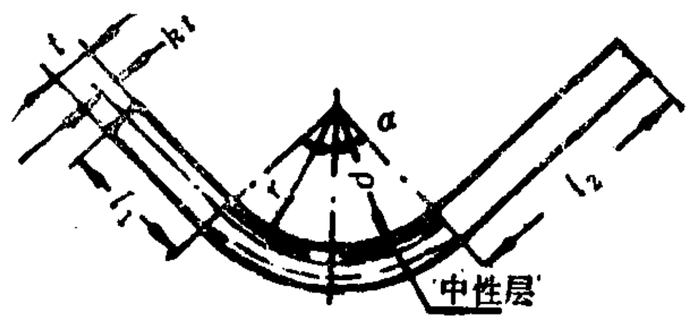


图 3-11 中性层长度尺寸的确定

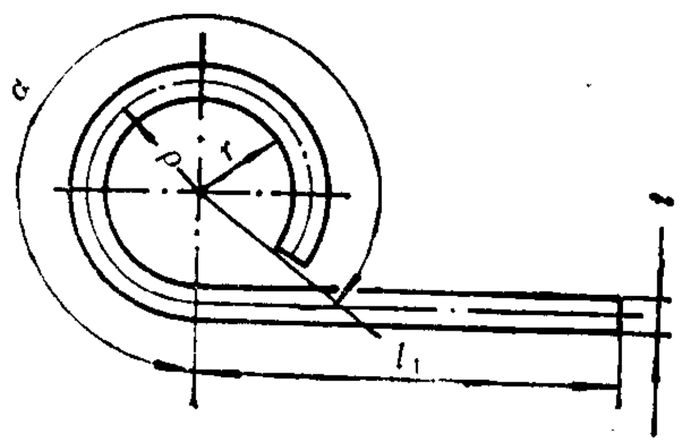


图 3-12 铰链式弯曲

$$L = \sum l_i + \sum l_b \tag{3-13}$$

这样，则图 3-11 所示弯曲件的展开尺寸为

$$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi\rho\alpha}{180^\circ}$$

$$= l_1 + l_2 + \frac{\alpha}{57.3}(r + Kt) \tag{3-14}$$

http://shop62964869.taobao.com/

3. 铰链式弯曲件毛坯尺寸的计算，如图 3-12 所示。

毛坯展开尺寸为

$$L = \left(\frac{\pi\rho}{180^\circ}\alpha\right) + l_1 \tag{3-15}$$

式中 $\rho = r + K_1 t$；

K_1 值可查表 3-13。

表 3-13 铰链弯曲时中性层位移系数 K_1 值

r/t	>0.5～0.6	>0.6～0.8	>0.8～1	>1～1.2	>1.2～1.5	>1.5～1.8	>1.8～2.0	>2～2.2	>2.2
K_1	0.76	0.73	0.7	0.67	0.64	0.61	0.58	0.54	0.5

4. 棒料弯曲件毛坯尺寸的计算(如图 3-13)。

棒料弯曲时，当弯曲半径 $r \geqslant 1.5d$ 时，弯曲部分横截面几乎没有变化，中性层位移系数 K_2 近似为 0.5。当 $r < 1.5d$ 时，弯曲部分横截面发生了畸变，中性层外移，毛坯长度可按下列公式计算

$$L = l_1 + l_2 + \pi(r + K_2 d) \tag{3-16}$$

式中 K_2 值见表 3-14。

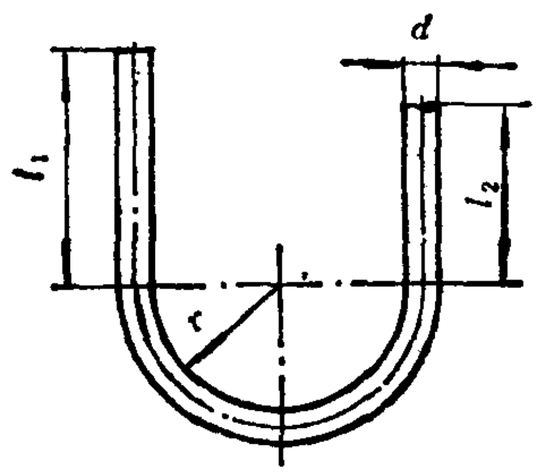


图 3-13 棒料弯曲件

5. 弯曲部分展开长度的计算辅助公式(见表 3-15)。

6. 无圆角半径或圆角半径 $r < t/2$ 时，弯曲件毛坯尺寸的计算

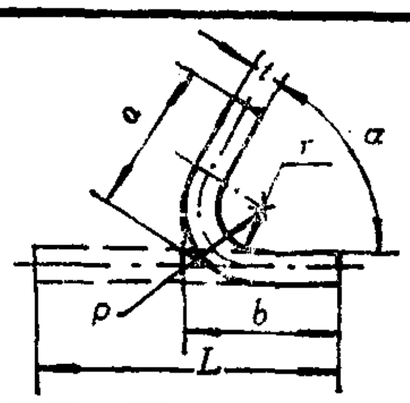
表 3-14 圆棒料弯曲时中性层位移系数 K_2 值

r/d	≥1.5	1	0.5	0.25
K_2	0.5	0.51	0.53	0.55

根据弯曲前后材料体积不变原则，并考虑弯曲材料有变薄现象，其 $r < 0.5t$ 的弯曲件毛坯尺寸计算公式见表 3-16

7. 90°角弯曲部分的中性层弧长(见表 3-17)。

表 3-15 弯曲部分展开长度的辅助公式

序号	计算条件	弯曲部分草图	公式
1	尺寸给在外形的切线上		$L = a + b + \frac{\pi(180^\circ - \alpha)}{180^\circ}\rho - 2(r+t)$

http://shop62964869.taobao.com/

续表 3-15

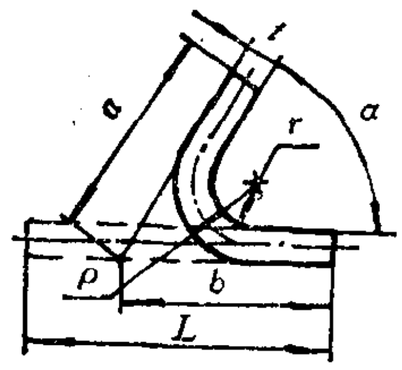
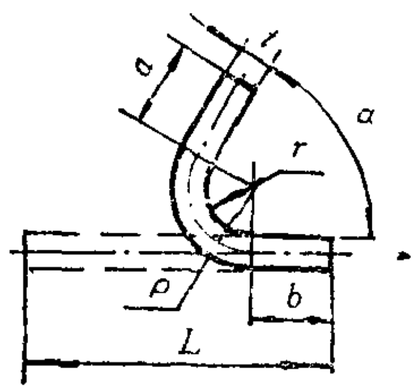
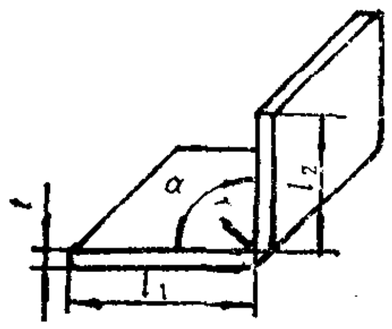
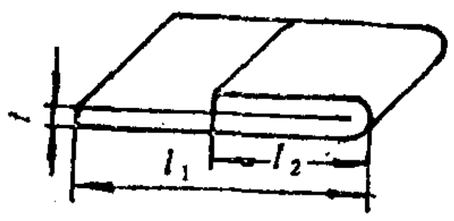
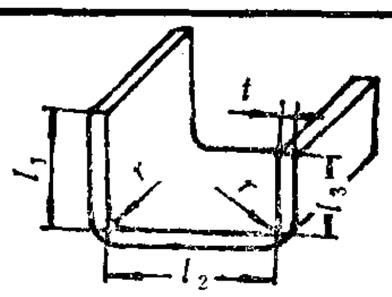
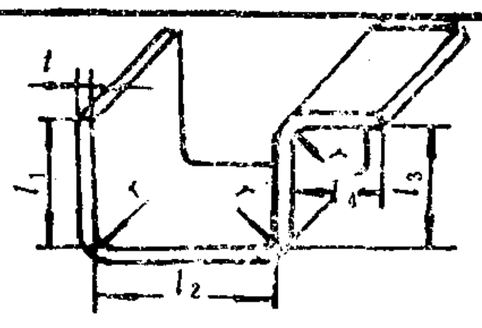
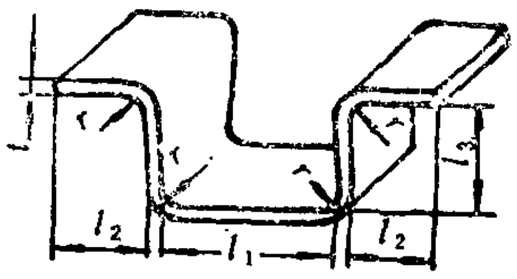
序号	计算条件	弯曲部分草图	公式
2	尺寸给在外表面之交点上		$L=a+b+\frac{\pi\ (180°-\alpha)}{180°}\rho$ $-2\ \mathrm{ctg}\frac{\alpha}{2}(r+t)$
3	尺寸给在半径中心		$L=a+b+\frac{\pi\ (180°-\alpha)}{180°}\rho$

表 3-16　$r<0.5t$ 的弯曲件毛坯尺寸计算表

序号	弯曲特征	简图	公式
1	弯曲一个角		$L=l_1+l_2+0.4t$
2	弯曲一个角		$L=l_1+l_2-0.43t$
3	一次同时弯曲两个角		$L=l_1+l_2+l_3+0.6t$
4	一次同时弯曲三个角		$L=l_1+l_2+l_3+l_4+0.75t$
5	一次同时弯曲二个角，第二次弯曲另一个角		$L=l_1+l_2+l_3+l_4+t$
6	一次同时弯曲四个角		$L=l_1+2l_2+2l_3+t$
	分为两次弯曲四个角		$L=l_1+2l_2+2l_3+1.2t$

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-17　90°角弯曲部分的中性层弧长　　(mm)

r \ t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.5	3	3.5	4	5
0.2	0.39	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.75	0.83	0.93	0.98	1.08	1.12	1.19	1.26	—	—	—	—	—
0.3	0.55	0.61	0.67	0.73	0.78	0.83	0.93	1.03	1.13	1.16	1.25	1.31	1.40	1.50	1.70	1.88	—	—	—
0.4	0.70	0.77	0.83	0.89	0.95	1.00	1.11	1.21	1.30	1.35	1.46	1.48	1.58	1.67	1.90	2.14	2.36	2.52	—
0.5	0.86	0.93	1.00	1.06	1.12	1.17	1.28	1.38	1.48	1.54	1.63	1.68	1.78	1.85	2.10	2.30	2.54	2.80	3.14
0.6	1.02	1.09	1.16	1.22	1.28	1.34	1.45	1.56	1.66	1.71	1.81	1.85	1.95	2.06	2.30	2.50	2.75	3.00	3.46
0.8	1.33	1.41	1.47	1.54	1.61	1.67	1.78	1.90	2.00	2.06	2.16	2.21	2.31	2.42	2.67	2.92	3.15	3.35	3.80
1.0	1.65	1.73	1.79	1.86	1.93	1.99	2.11	2.23	2.35	2.40	2.51	2.56	2.68	2.76	3.02	3.26	3.51	3.77	4.20
1.5	2.43	2.51	2.58	2.65	2.73	2.79	2.93	3.06	3.17	3.23	3.35	3.41	3.51	3.63	3.89	4.15	4.41	4.65	5.14
2.0	3.22	3.30	3.37	3.44	3.52	3.59	3.73	3.86	3.99	4.05	4.17	4.22	4.34	4.46	4.74	5.00	5.27	5.53	6.05
2.5	4.01	4.08	4.16	4.23	4.30	4.37	4.52	4.66	4.79	4.85	4.99	5.05	5.17	5.28	5.58	5.86	6.13	6.40	6.91
3.0	4.79	4.87	4.95	5.02	5.09	5.16	5.31	5.45	5.59	5.66	5.78	5.85	5.98	6.11	6.39	6.69	6.98	7.26	7.78
3.5	5.58	5.65	5.73	5.80	5.88	5.95	6.10	6.24	6.38	6.45	6.59	6.65	6.78	6.91	7.51	7.51	7.81	8.11	8.64
4.4	6.36	6.44	6.51	6.60	6.66	6.74	6.88	7.03	7.17	7.24	7.38	7.45	7.59	7.71	8.04	8.34	8.63	8.92	9.48
4.5	7.15	7.23	7.30	7.38	7.45	7.52	7.67	7.82	7.96	8.03	8.18	8.25	8.38	8.52	8.84	9.17	9.44	9.74	10.34
5.0	7.93	8.01	8.09	8.16	8.24	8.31	8.46	8.62	8.75	8.82	8.97	9.04	9.18	9.32	9.64	9.97	10.27	10.56	11.15
6	9.50	9.58	9.66	9.73	9.81	9.90	10.03	10.18	10.32	10.40	10.54	10.61	10.76	10.90	11.25	11.57	11.90	12.23	12.78
7	11.07	11.15	11.23	11.31	11.38	11.45	11.61	11.80	11.90	11.97	12.12	12.19	12.33	12.48	12.83	13.18	13.50	13.83	14.45
8	12.64	12.72	12.80	12.88	12.95	13.03	13.20	13.33	13.47	13.55	13.69	13.77	13.91	14.06	14.42	14.76	15.11	15.43	16.08
9	14.22	14.29	14.37	14.45	14.53	14.60	14.75	14.90	15.05	15.12	15.27	15.34	15.49	15.68	16.00	16.35	16.69	17.05	17.69
10	15.79	15.87	15.94	16.02	16.10	16.17	16.32	16.50	16.62	16.69	16.84	16.92	17.09	17.29	17.59	17.93	18.29	18.63	19.28
11	17.36	17.44	17.51	17.59	17.67	17.75	17.90	18.04	18.19	18.27	18.41	18.49	18.64	18.78	19.15	19.51	19.86	20.22	20.90
12	18.93	19.01	19.09	19.16	19.24	19.32	19.47	19.62	19.77	19.84	19.99	20.06	20.21	20.36	20.72	21.09	21.44	21.80	22.49
13	20.50	20.58	20.66	20.73	20.81	20.89	21.04	21.19	21.34	21.41	21.56	21.63	21.78	21.93	22.30	22.66	23.02	23.38	24.09
14	22.07	22.15	22.23	22.31	22.38	22.46	22.61	22.76	22.91	22.99	23.13	23.21	23.35	21.50	23.87	24.26	24.60	24.96	25.67
15	23.63	23.70	23.77	23.84	23.90	24.03	24.18	24.33	24.48	24.57	24.70	24.76	24.91	25.06	25.47	25.86	26.18	26.55	27.25

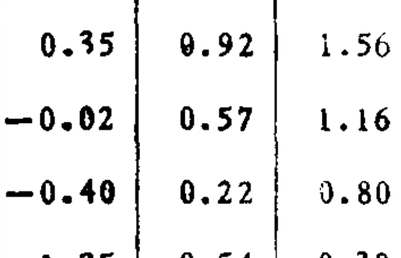
注：表内数值适用于10、20号钢。

http://shop62964869.taobao.com/

8. 弯曲 90° 角，毛坯长度计算的差值 K（见表 3-18）

表 3-18　弯曲90°角，毛坯长度计算的差值 K　　(mm)

r \ t	0.3	0.4	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
0.1	0.125	0.18	0.22	0.37	0.46	0.56						
0.2	0.10	0.15	0.20	0.35	0.45	0.55	0.68	0.92				
0.3	0.07	0.12	0.18	0.33	0.43	0.53	0.67	0.91	1.16	1.39		
0.4	0.035	0.09	0.15	0.31	0.41	0.51	0.66	0.99	1.15	1.38	1.85	2.34
0.5	0	0.09	0.12	0.28	0.38	0.48	0.63	0.88	1.13	1.36	1.83	2.30
0.8	−0.125	−0.06	0	0.18	0.30	0.40	0.56	0.81	1.07	1.32	1.79	2.26
1.0	−0.21	−0.14	−0.07	0.11	0.23	0.35	0.50	0.76	1.01	1.26	1.77	2.24
1.2	−0.3	−0.22	−0.16	0.06	0.15	0.25	0.45	0.70	0.96	1.20	1.71	2.22
1.5	−0.42	−0.35	−0.28	−0.07	0.05	0.15	0.35	0.63	0.88	1.13	1.64	2.18
2.0	−0.64	−0.56	−0.48	−0.30	−0.14	−0.01	0.15	0.46	0.75	1.00	1.51	2.07
2.5	−0.85	−0.78	−0.70	−0.50	−0.35	−0.23	−0.02	0.28	0.57	0.87	1.39	1.91
3.0	−1.05	−1.00	−0.90	−0.70	−0.57	−0.45	−0.21	0.09	0.39	0.69	1.25	1.77
4.0	−1.50	−1.10	−1.34	−1.12	−0.96	−0.82	−0.62	−0.27	0.05	0.35	0.92	1.56
5.0	−1.90	−1.84	−1.75	−1.51	−1.38	−1.25	−1.02	−0.68	−0.35	−0.02	0.57	1.16
6.0	−2.36	−2.25	−2.20	−1.96	−1.82	−1.67	−1.47	−1.10	−0.75	−0.40	0.22	0.80
8.0	−3.20	−3.40	−3.00	−2.80	−2.66	−2.52	−2.30	−1.93	−1.60	−1.25	−0.54	0.38
10	−4.01	−4.00	−3.90	−3.66	−3.50	−3.38	−3.12	−2.78	−2.45	−2.10	−1.36	−0.70



注：1. 表内数值适用于10、20号钢。
2. 毛坯长度 $L = A + B + K$(mm)

（三）弯曲力的计算

1. 自由弯曲力的计算

对于V形件(见图 3-14a)

$$P_f = \frac{0.6KBt^2\sigma_b}{r+t} \quad (\mathrm{N}) \tag{3-17}$$

对于U形件(见图 3-14b)

$$P_f = \frac{0.7KBt^2\sigma_b}{r+t} \quad (\mathrm{N}) \tag{3-18}$$

式中　P_f——材料在冲压行程结束时的自由弯曲力（N）；

B——弯曲件的宽度（mm）；

t——弯曲件的厚度（mm）；

r——弯曲件的内弯曲半径（mm）；

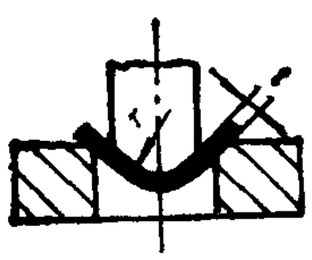
σ_b——材料的抗拉强度（MPa）；

K——安全系数，一般取 $K = 1.3$。

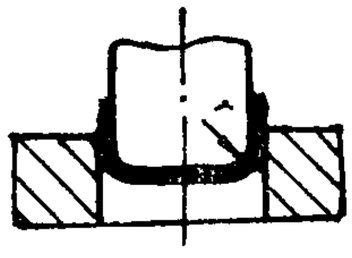
http://shop62964869.taobao.com/

2. 校正弯曲力 P_c 的计算

如果弯曲件在冲压行程结束时受到模具的校正(如图3-15),则校正力 P_c 按下式近似计算

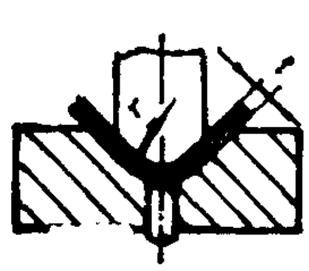


(a)

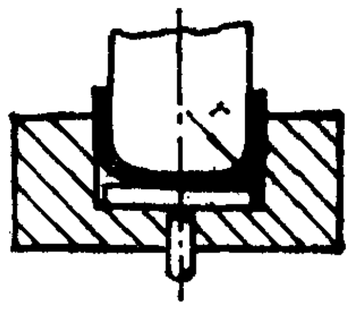


(b)

图 3-14 自由弯曲示意图
(a) V形件 (b) U形件



(a)



(b)

图 3-15 校正弯曲示意图

$$P_c = Fq \quad (N)$$

式中 F——校正部分投影面积 (mm^2);

q——单位校正力 (MPa),其值查表 3-19。

表 3-19 单位校正力 q 的数值 (MPa)

材 料	料厚 $t<3mm$	$t=3\sim10mm$
铝	30～40	50～60
黄 铜	60～80	80～100
10～20号钢	80～100	100～120
25～35号钢	100～120	120～150
钛合金(BT1)	160～180	180～210
(BT2)	160～200	200～260

3. 顶件力 Q 的确定

在图 3-15b 所示,当顶板未与底部靠紧的非校正弯曲时情况,其顶件力(即压料力)Q值可近似地取为自由弯曲力 P_f 的(0.3～0.6)。此时弯曲U形件所需总的弯曲力 P 为

$$P = P_f + Q = (1.3 \sim 1.6)P_f \quad (N)$$

若平板毛坯一端在凹模平面上压住,另一端用凸模进行L形的90°弯曲(即相当弯U形件的一半),则所需总的弯曲力 P 为弯U形件的一半。即

$$P = \frac{1}{2}(1.3 \sim 1.6)P_f = (0.65 \sim 0.80)P_f \quad (N)$$

(四) 弯曲卸载后的回弹

弯曲过程常是弹性、塑性兼有的变形过程。在弯曲过程中,由于材料存在着弹性变形,所以弯曲后从模具取出的制件形状与模具型腔的形状不一样,即是所谓制件的回弹作用。因此,在设计弯曲模具时,必须考虑到材料的回弹值(见图 3-16)

回弹值一般以角度的变化量——回弹角 $\Delta\alpha$ 来表示,即等于弯曲后制件实际角度 α 与凸模角度 α_p 之差(见图 3-16)。

回弹角的数值因以下两种情况而有所不同:

1) 在自由弯曲中,弹性回弹值视材料的机械性能,在弯曲中的变形程度 (r/t),弯曲角

http://shop62964869.taobao.com/

及弯曲方式（V形或U形)而定。

2）在有挡底的V形弯曲中，材料受到了校正作用，弹性回弹不仅与 r/t、l/t 有关，还与压床的调整及金属材料的冷作硬化程度有关，当在凸模圆角半径较小（$r/t < 0.2 \sim 0.3$)时，往往产生负回弹，即弯曲后制件实际角度反小于凸模角度。

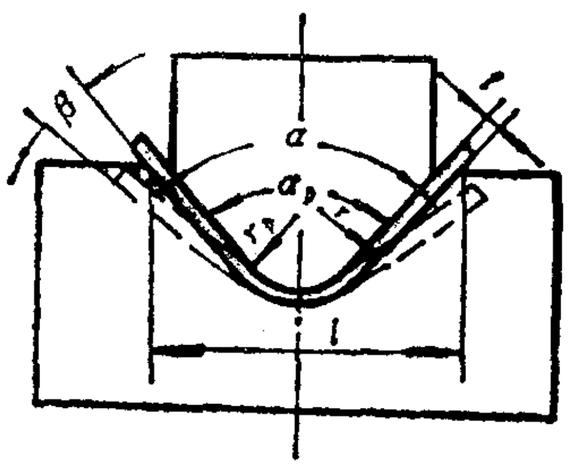


图3-16 弹性回弹而引起的角度变化

1. 回弹值的确定

回弹值一般是按表格查出经验数值或按计算法求出回弹角后，再在生产实践中试模修正。

（1）公式计算法

对于V形件校正弯曲时回弹角的计算，可参考表3-20的实验所得经验公式。

在弯曲大半径（$r/t > 10$）的制件时，回弹值很大，在这种情况下，为求出回弹角，需求出弯曲后半径的弹性变化。此时，回弹角 $\Delta\alpha$ 可按下式计算

表3-20 V形件校正弯曲时回弹角 $\Delta\alpha$ 的经验计算公式

弯曲角 α	不同含碳量钢板			
	0.8、10	15、20	25、30	35
30°	$0.75\frac{r}{t}-0.39$	$0.69\frac{r}{t}-0.23$	$1.59\frac{r}{t}-1.03$	$1.51\frac{r}{t}-1.48$
60°	$0.58\frac{r}{t}-0.80$	$0.64\frac{r}{t}-0.65$	$0.95\frac{r}{t}-0.94$	$0.84\frac{r}{t}-0.76$
90°	$0.43\frac{r}{t}-0.61$	$0.434\frac{r}{t}-0.36$	$0.78\frac{r}{t}-0.79$	$0.79\frac{r}{t}-1.62$
120°	$0.36\frac{r}{t}-1.26$	$0.37\frac{r}{t}-0.58$	$0.46\frac{r}{t}-1.36$	$0.51\frac{r}{t}-1.71$

注：1. $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_p = 2\beta$（$\beta$——单侧回弹角）。

2. 在自由弯曲时，回弹角将比表值增大20～25%。

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_p = (180 - \alpha)\left(\frac{r}{r_p} - 1\right) \tag{3-19}$$

式中 α——弯曲件要求的角度；

α_p——凸模角度；

r——回弹后弯曲件的半径（mm)；

r_p——回弹前弯曲件的半径(即凸模圆角半径）（mm)；

$$r_p = \frac{r}{1 + \frac{3\sigma_s}{E}\frac{r}{t}} = \frac{1}{\frac{1}{r} + \frac{3\sigma_s}{Et}} \tag{3-20}$$

σ_s——材料屈服强度（MPa)；

E——材料弹性模量（MPa)；

t——材料厚度（mm)。

（2）查表法

1）V形件自由弯曲时的回弹角，见表3-21。

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-21　V 形件自由弯曲时的回弹角

材料的牌号及状态	$\frac{r}{t}$	弯曲角 α				
		150°	120°	90°	60°	30°
		回弹角 $\Delta\alpha$				
LY12C (Д16T)	2	2°	3°30′	4°30	6°	7°30′
	3	3°	4°	6°	7°30	9°
	4	3°30	5°	7°30	9°	10°30
	5	4°30	6°30	8°30	10°	11°30′
	6	5°30′	7°30	9°30	11°30	13°30′
	8	7°30	10°	12°	14°	16°
	10	9°30	12°	14°	16°	18°
	12	11°30′	14°	16°30	18°30	21°
LY12M (Д16M)	2	30′	1°30′	2°	2°30′	3°
	3	1°	2°	2°30	3°	4°30
	4	1°30	2°	3°	4°30	5°
	5	1°30′	2°30	4°	5°	6°
	6	2°30	3°30	4°30	5°30	6°30′
	8	3°	4°30	5°30	6°30	7°30′
	10	4°	5°	6°30	8°	9°
	12	4°30′	6°	7°30	9°	11°
LC4C (B95T)	3	5°	7°	8°30	9°	11°30′
	4	6°	8°	9°	12°	14°
	5	7°	8°30	11°30	13°30	16°
	6	7°30	10°	13°30	15°30′	18°
	8	10°30′	13°30	16°30	19°	21°
	10	12°	16°	19°	22°	25°
	12	14°	18°	21°30	25°	28°
LC4M (B95M)	2	1°	1°30′	2°30′	3°	3°30′
	3	1°30′	2°30′	3°	3°30′	4°
	4	2°	3°	3°30	4°	4°30′
	5	2°30′	3°30	4°	5°	6°
	6	3°	4°	5°	6°	7°
	8	3°30′	5°	6°	7°	8°
	10	4°	5°30′	7°	8°	9°
	12	5°	6°30′	8°	9°	11°
20钢 (退火)	1	30′	1°	1°30′	2°	2°30′
	2	30′	1°30′	2°	3°	3°30′
	3	1°	2°	2°30	3°30′	4°
	4	1°	2°	3°	4°	5°
	5	1°30′	2°30′	3°30	4°30′	5°30′
	6	1°30′	2°30′	4°	5°	6°
	8	2°	3°30′	5°	6°	7°
	10	3°	4°30′	5°30′	7°	8°
	12	3°30′	5°	7°	8°	9°
30CrMnSiA (退火)	1	30′	1°	2°	2°30′	3°
	2	30′	1°30′	2°30′	3°30′	4°30′
	3	1°	2°	3°	4°	5°30′
	4	1°30′	3°	4°	5°	6°30′
	5	2°	3°	4°30′	5°30′	7°
	6	2°30′	4°	5°30′	6°30′	8°
	8	3°30′	5°	6°30′	8°	9°30′
	10	4°	6°	8°	9°30′	11°30′
	12	5°30′	7°	9°30′	11°	13°30′

表 3-22　单角 90°校正弯曲时的回弹角 $\Delta\alpha$

材料	r/t		
	≤1	>1～2	>2～3
A2、A3	−1°～1°30′	0°～2°	1°30′～2°30′
紫铜、铝、黄铜	0°～1°30′	0°～3°	2°～4°

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-23　弯曲 U 形件自由弯曲时的回弹角

材料的牌号及状态	$\frac{r}{t}$	间隙 Z						
		$0.8t$	$0.9t$	t	$1.1t$	$1.2t$	$1.3t$	$1.4t$
		回弹角 $\Delta\alpha$						
LY12C (Д16T)	2	−2°	0°	2°30′	5°	7°30′	10°	12°
	3	−1°	1°30′	4°	6°30′	9°30′	12°	14°
	4	0°	3°	5°30′	8°30′	11°30′	14°	16°30′
	5	1°	4°	7°	10°	12°30′	15°	18°
	6	2°	5°	8°	11°	13°30′	16°30′	19°30′
LY12M (Д16M)	2	−1°30′	0°	1°30′	3°	5°	7°	8°30′
	3	−1°30′	30′	2°30′	4°	6°	8°	9°30′
	4	−1°	1°	3°	4°30′	6°30′	9°	10°30′
	5	−1°	1°	3°	5°	7°	9°30′	11°
	6	−30′	1°30′	3°30′	6°	8°	10°	12°
LC4C (B95T)	3	3°	7°	10°	12°30′	14°	16°	17°
	4	4°	8°	11°	13°30′	15°	17°	18°
	5	5°	9°	12°	14°	16°	18°	20°
	6	6°	10°	13°	15°	17°	20°	23°
	8	8°	13°30′	16°	19°	21°	23°	26°
LC4M (B95M)	2	−3°	−2°	0°	3°	5°	6°30′	8°
	3	−2°	−1°30′	2°	5°	6°30′	8°	9°
	4	−1°30′	−1°	2°30′	4°30′	7°	8°30′	10°
	5	−1°	−1°	3°	5°30′	8°	9°	11°
	6	0°	−30′	3°30′	6°30′	8°30′	10°	12°
20钢 (退火)	1	−2°30′	−1°	30′	1°30′	3°	4°	5°
	2	−2°	−30′	1°	2°	3°30′	5°	6°
	3	−1°30′	0°	1°30′	3°	4°30′	6°	7°30′
	4	−1°	30′	2°30′	4°	5°30′	7°	9°
	5	−30′	1°30′	3°	5°	6°30′	8°	10°
	6	30′	2°	4°	6°	7°30′	9°	11°
30CrMnSiA (退火)	1	−1°	−30′	0°	1°	2°	4°	5°
	2	−2°	−1°	1°	2°	4°	5°30′	7°
	3	−1°30′	0°	2°	3°30′	5°	6°30′	8°30′
	4	−30′	1°	3°	5°	6°30′	8°30′	10°
	5	0′	1°30′	4°	6°	8°	10°	11°
	6	30′	2°	5°	7°	9°	11°	13°

注：制件在模具中无镦弯时的回弹角。

2）V 形件单角 90°校正弯曲时的回弹角，见表 3-22。

3）U 形件自由弯曲时回弹角，见表 3-23。

4）对弯曲大半径（$r/t > 10$）的制件，除按式(3-19)、(3-20)计算回弹角 $\Delta\alpha$ 和凸模圆角半径 r_p 外，也可利用图 3-17、图 3-18 查线求得。

2. 减少回弹的措施

工厂生产常采用以下一些措施来减少或补偿制件的回弹。

http://shop62964869.taobao.com/

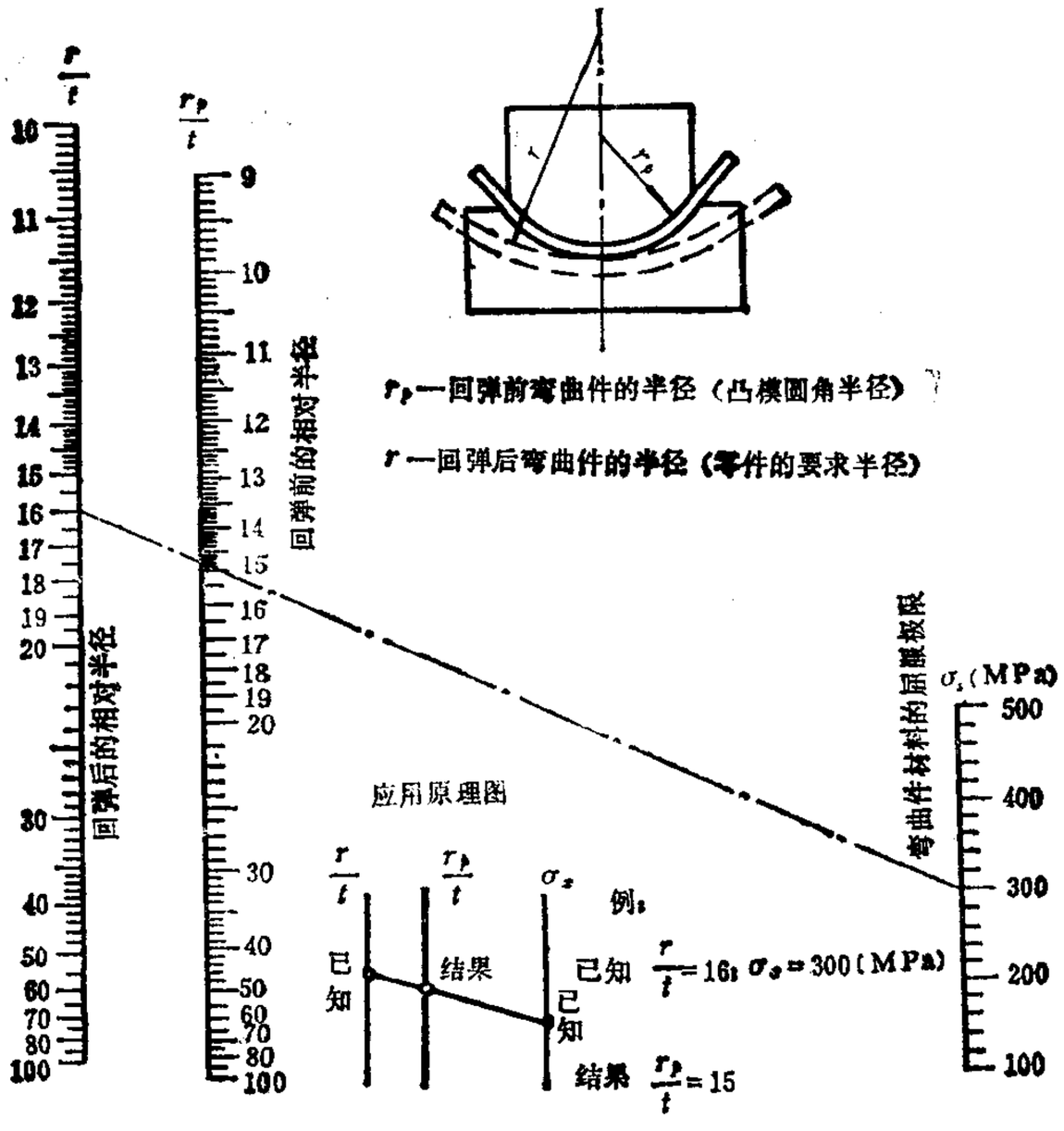


图3-17　在弯曲大半径制件时，决定回弹前凸模圆角半径的线示图

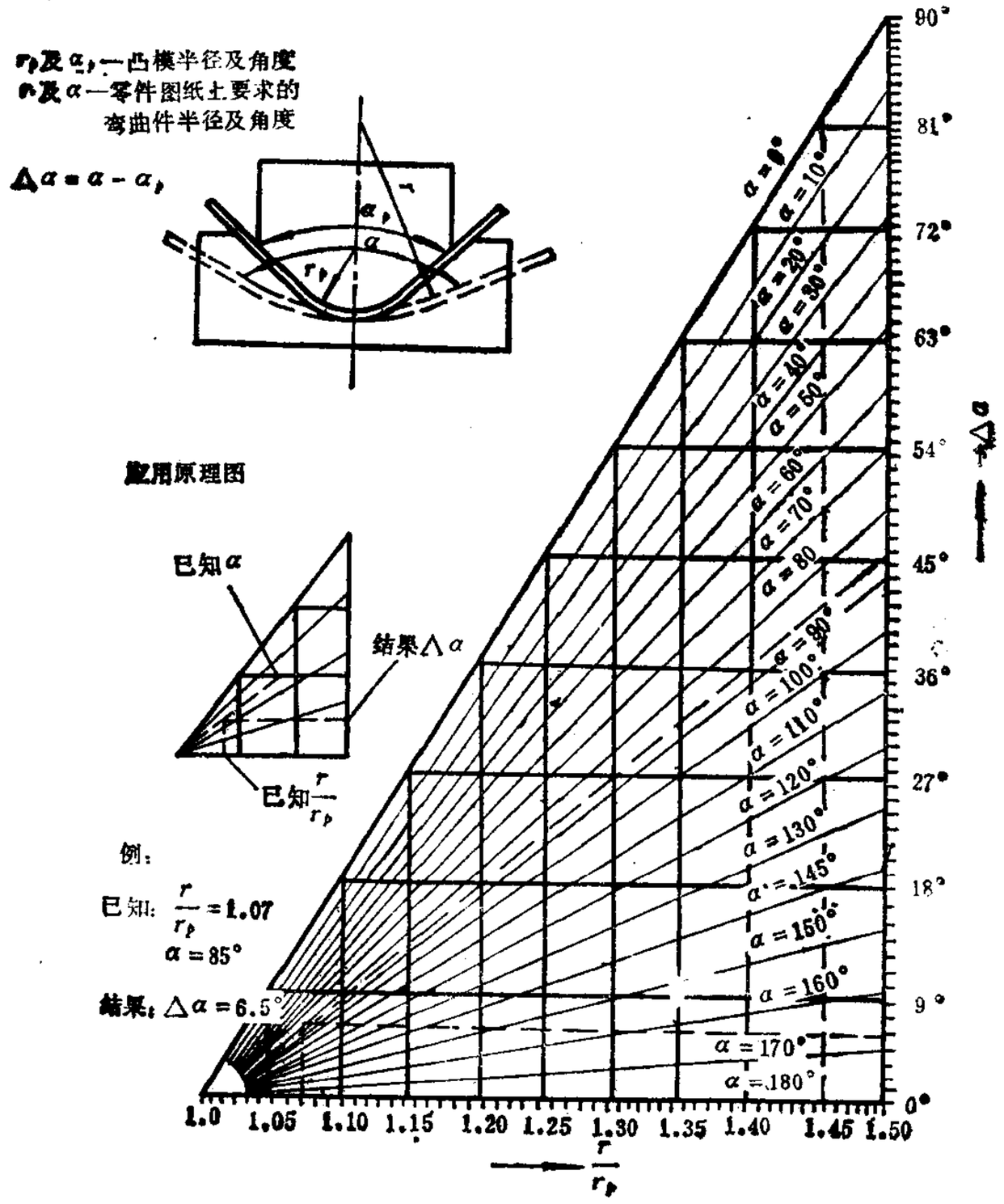


图3-18　在弯曲大半径制件时，决定角度回弹量的线示图

http://shop62964869.taobao.com/

(1) 对制件结构设计和材料选用上的考虑

如在弯曲件的弯曲区，压制加强筋。在许可的条件下，选用弹性模数大、屈服强度小而机械性能又比较稳定的材料。

(2) 工艺上可采取的措施

1) 用校正弯曲代替自由弯曲，在操作时进行多次镦压。

2) 对U形件弯曲，可用改变背压(顶板压力)的方法来减少回弹。

3) 在允许情况下，采用加热弯曲。

4) 对弯曲半径很大，回弹不易消除的弯曲件，可采用拉弯工艺。

(3) 模具设计上可采取的措施

1) 制件在双角弯曲时，可将凸模的两侧，制出等于回弹角的补偿角(见图 3-19a)，并同时可考虑缩小其间隙值。

2) 将顶板、凸模制成弧形面，使制件下部平面成局部弯曲。当制件弯曲后，由于曲面部分伸直，而补偿两侧壁回弹(见图 3-19 b)。

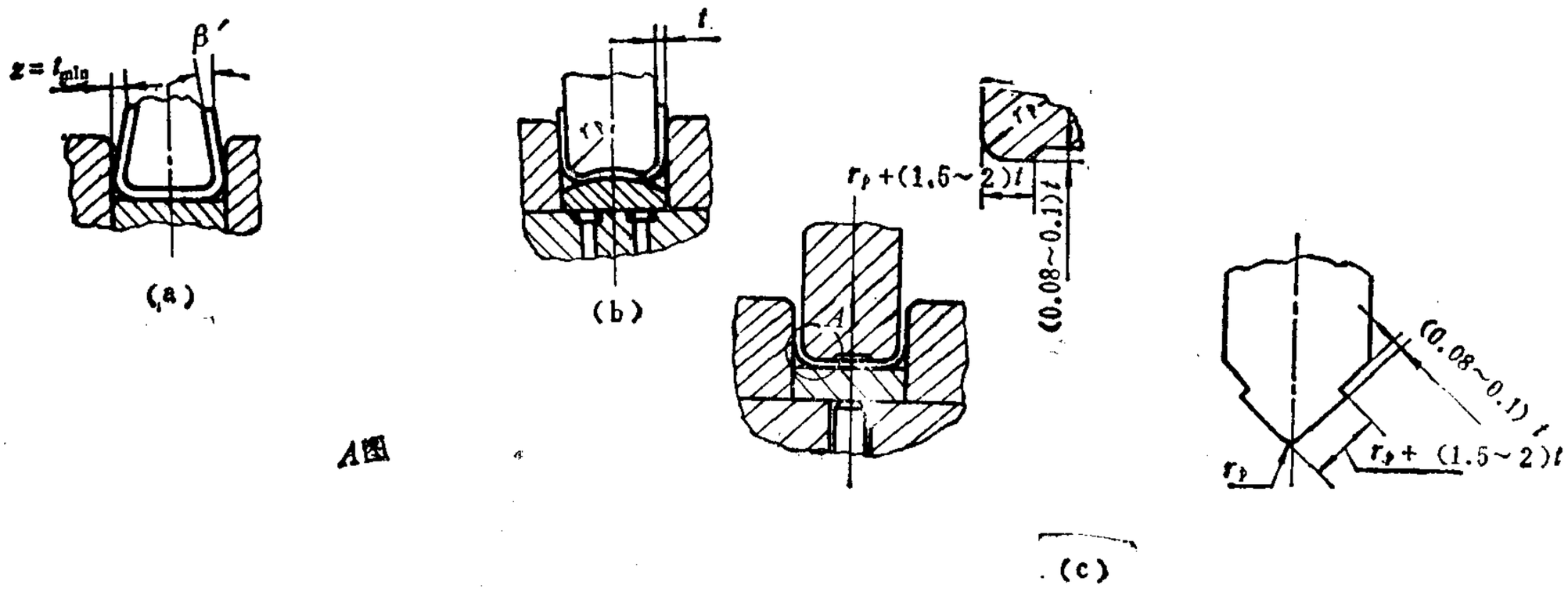


图3-19 回弹角的补偿方法

(a) 凸模两侧制出补偿角 (b) 凸模、顶板制出弧形面 (c) U形和V形凸模形式

3) 当材料厚度 $t > 0.8 \sim 1$mm 的塑性材料弯成V形和U形件时，凸模可制出如图 3-19^{c} 的形状。

4) 缩小凸、凹模间隙，其值可考虑比材料公称厚度 t 降低 3～5%。

5) 采用聚氨酯橡胶弯曲模。

四、拉深

(一) 拉深的基本原理

拉深是以平板毛坯(或拉深半成品)通过模具制成圆筒形或其他断面形状空心件的冲压工艺方法。

http://shop62964869.taobao.com/

1. 拉深件的基本类型

拉深件的基本类型见图 3-20。

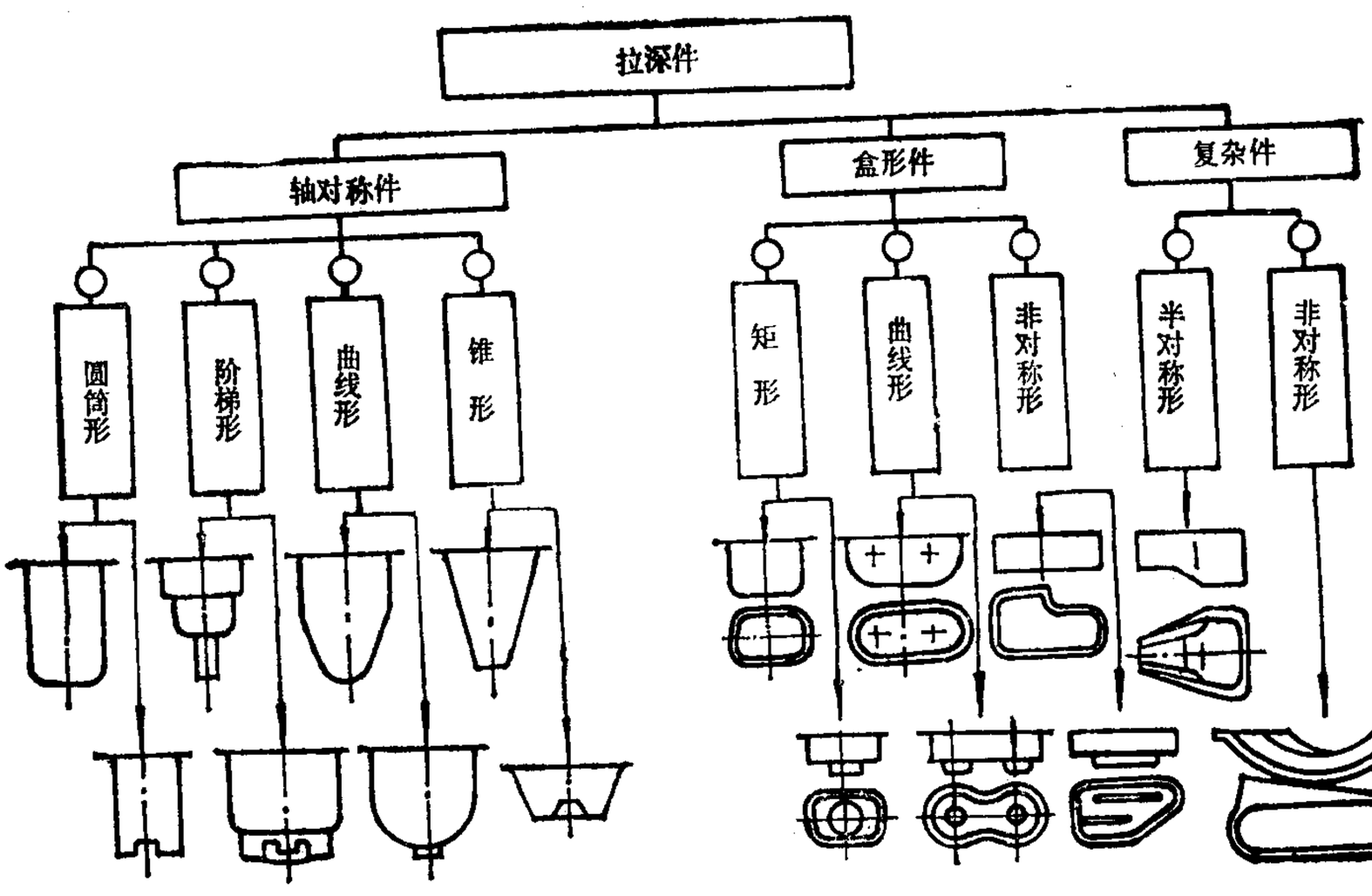


图3-20　拉深件的基本类型

2. 拉深工艺的特点

图 3-21 表示了平板毛坯拉制成圆筒形件的变形原理。图 3-21a 左边表示毛坯未变形时情况，右边为拉深中情况。图 3-21b 表示平板毛坯。图 3-21c 表示拉深后制件。通常将居于压边圈和凹模之间的毛坯材料，称为拉深过程中的凸缘部分材料。图 3-21b 中以 b 表示这凸缘部分的所有三角形部分材料，这常统称为“多余三角形”材料。在图 3-21c 中高度 H 大于 $(D-d_1)/2$，这说明侧壁上 $(H-h)$ 高度上材料是来自如图 3-21b 中“多余三角形”材料的转移。所以拉深的主要工艺特点是凸缘部分材料的流动，形成了侧壁高度。

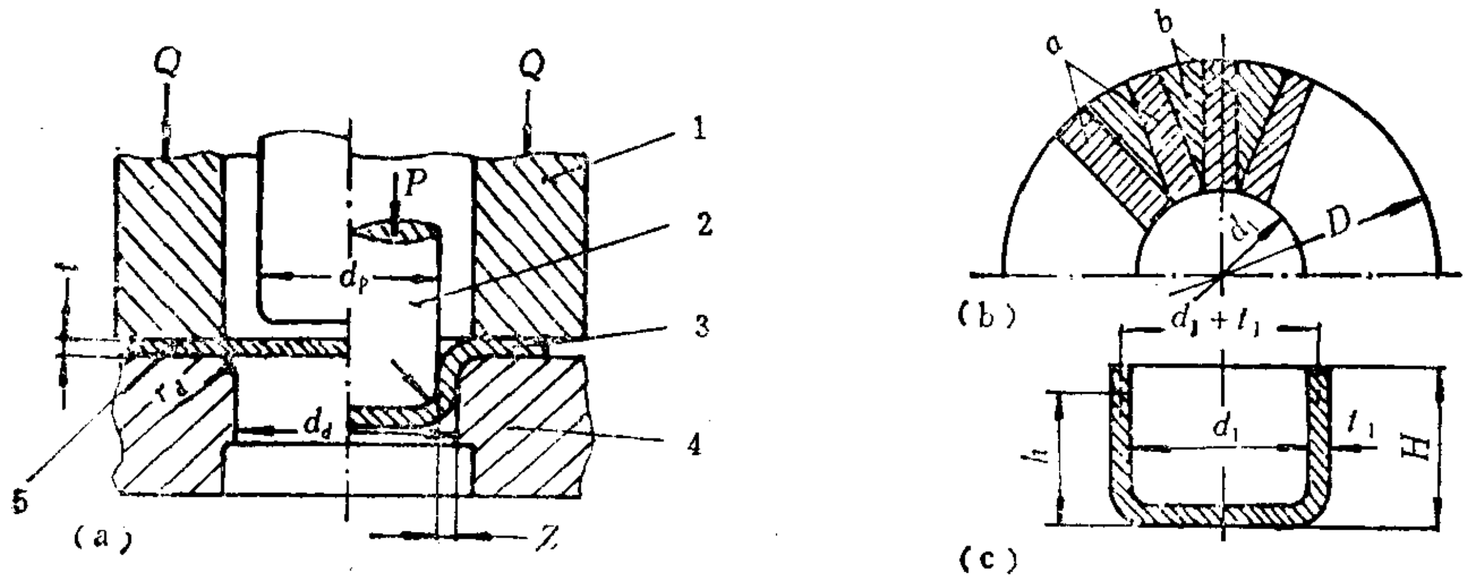


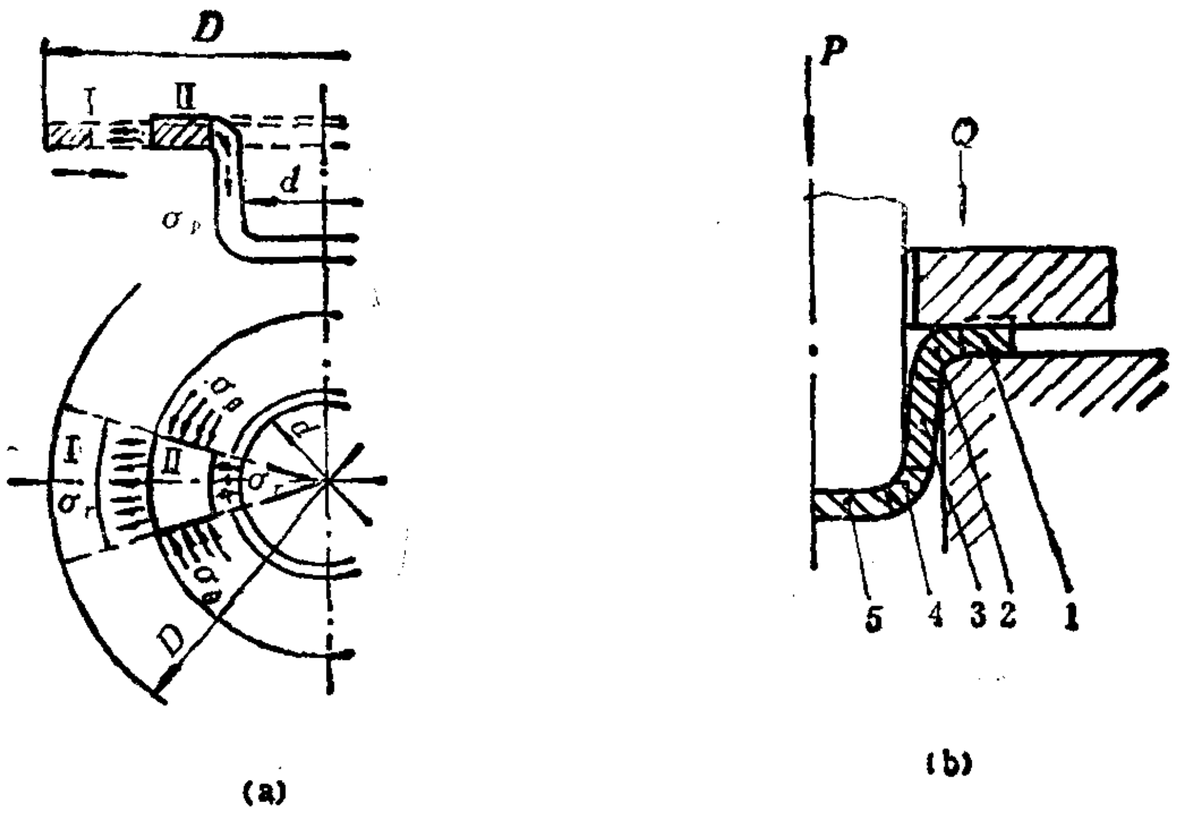
图 3-21　平板毛坯拉深为圆筒形件的变形过程

1—压边圈　2—凸模　3—拉深件　4—凹模　5—平板毛坯

（二）拉深时的受力与变形分析

拉深时的受力与变形分析见图 3-22。

http://shop62964869.taobao.com/



(a) (b)

图 3-22 拉深过程中受力与变形分析
1—凸缘部分 2—凹模圆角部分 3—筒壁部分 4—凸模圆角部分 5—拉深件底部

1. 凸缘变形区部分材料处于切向受压，径向受拉的应力状态。切向压应力过大，则凸缘失去稳定，发生皱折，如图 3-23 所示。

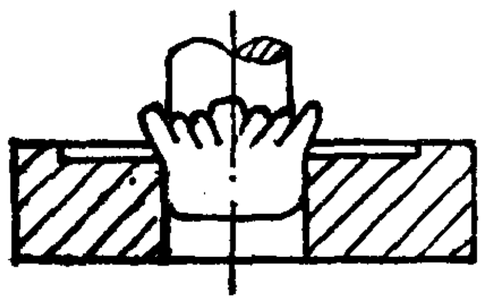


图 3-23 拉深件的起皱现象

如毛坯的相对厚度 t/D 愈大，平面的稳定性愈好，不易起皱，反之则易起皱。

2. 凹模圆角部分是一过渡区，材料变形比较复杂，除切向受压，径向受拉外，还由于承受到凹模圆角的压力和弯曲作用而产生压应力。

3. 筒壁部分材料是传力区，受到单向拉应力作用，料厚变薄。但由于凸缘上材料在流动时的增厚，所以形成了圆筒件筒壁的上端材料变厚而下端变薄。

4. 凸模圆角部分也是一过渡区，材料承受筒壁传来的拉应力，并受到凸模压力和弯曲作用。在凸模圆角稍靠上处，材料变薄最多，是危险断面，在实际生产中，常在此处开裂而造成废品。

5. 拉深件底部材料受到平面双向拉伸，变形也是双向伸长，但受到凸模摩擦力的阻止，故变薄较小。

（三）拉深件毛坯展开尺寸与形状

1. 拉深件修边余量值的确定

在拉深过程中，常因材料平面各向异性、模具间隙不匀、板厚变化、摩擦阻力不等及定位不准等的影响，而使拉深件口部或凸缘周边不齐，所以必须进行修边。在计算毛坯尺寸时，应以加上修边余量后的拉深件尺寸进行展开计算。

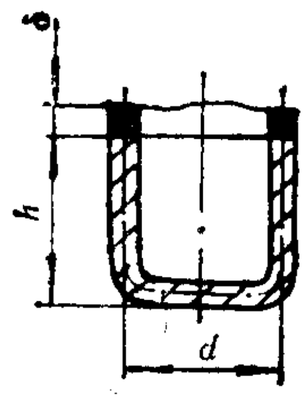
修边余量的数值可分别查表 3-24 和表 3-25。

2. 形状简单的旋转体拉深件毛坯直径的计算

形状简单的旋转体拉深件，由简单几何形状表面所组成，所以拉深件的毛坯面积等于各个

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-24　无凸缘拉深件的修边余量 δ　　(mm)

工件高度 h	工件的相对高度 h/d 或 h/B				附　图
	>0.5～0.8	>0.8～1.6	>1.6～2.5	>2.5～4	
10	1.0	1.2	1.5	2	
20	1.2	1.6	2	2.5	
50	2	2.5	3.3	4	
100	3	3.8	5	6	
150	4	5	6.5	8	
200	5	6.3	8	10	
250	6	7.5	9	11	
300	7	8.5	10	12	

注：1．矩形件可按表中数值取，或按下值取

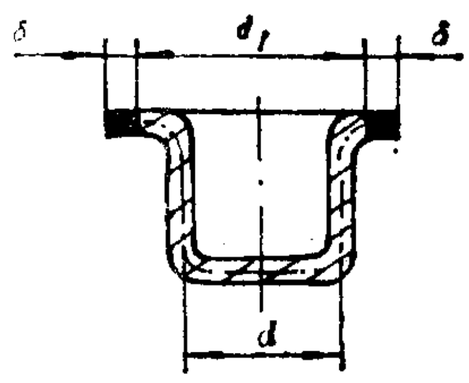
即：当 $h/r = 3 \sim 25$时，$\delta = (0.03 \sim 0.06)h$；

当 $h/r = 25 \sim 100$时，$\delta = (0.06 \sim 0.10)h$

（B——矩形件短边宽度，r——矩形件壁与壁间角部半径）。

2．当板厚 1mm 以下材料，拉深系数大于 0.7 和 3～4mm 材料，拉深系数大于 0.75～0.8 时，均可不考虑修边余量。

表 3-25　有凸缘圆筒拉深件的修边余量 δ　　(mm)

凸缘直径 d_f	凸缘的相对直径 d_f/d 或 B_f/B				附　图
	1.5 以下	>1.5～2	>2～2.5	>2.5	
25	1.6	1.4	1.2	1.0	
50	2.5	2.0	1.8	1.6	
100	3.5	3.0	2.5	2.2	
150	4.3	3.6	3.0	2.5	
200	5.0	4.2	3.5	2.7	
250	5.5	4.6	3.8	2.8	
300	6	5	4	3	

注：1．B_f——矩形件短边凸缘宽度，B——矩形件短边宽度。

2．拉深较浅的制件可不考虑修边余量。

简单几何形状表面的面积（加上修边余量）之和。即

$$F = \frac{\pi}{4}D^2 = f_1 + f_2 + \cdots + f_n = \sum f$$

$$\therefore D = \sqrt{\frac{4}{\pi}F} = \sqrt{\frac{4}{\pi}\sum f} \qquad (3\text{-}21)$$

式中　D——拉深件毛坯直径（mm）；

F——拉深件表面面积（mm^2）；

f——拉深件分解为简单几何形状的表面积（mm^2），参见表 3-26。

在上式中，如设 $\sum Y = \frac{4}{\pi}\sum f$

则

$$D = \sqrt{\sum Y} \qquad (3\text{-}22)$$

http://shop62964869.taobao.com/

式中　$Y = Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_n$，各简单几何形状表面的 Y 值，见表 3-26。

利用公式(3-22)可求得与公式(3-21)同样的结果。

对于常用拉深件，其毛坯计算公式可查表 3-27。以上均未考虑拉深后制件厚度的变薄，在个别情况要求拉深后不再修边，达到所需高度，则公式 3-21 或 3-22 应变为

$$D = \sqrt{\left(\frac{4}{\pi}\sum f\right)a} \tag{3-21a}$$

或

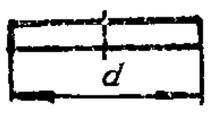
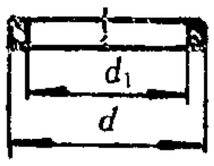
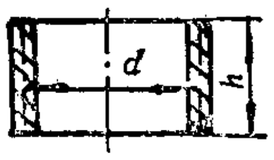
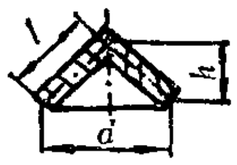
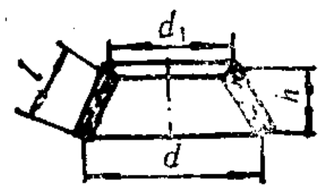
$$D = \sqrt{(\sum Y)a} \tag{3-22a}$$

式中　a——材料拉深后变薄系数，其值等于 0.9～1.0，由经验确定。

3. 形状复杂的旋转体拉深件毛坯直径的计算

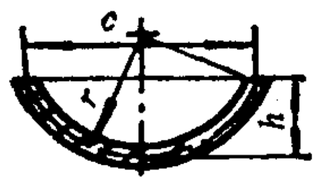
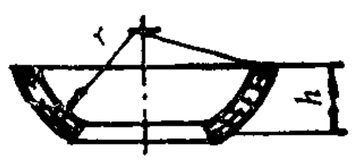
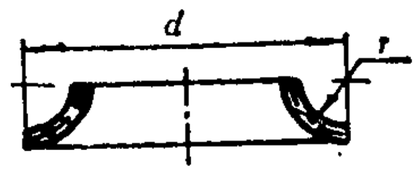
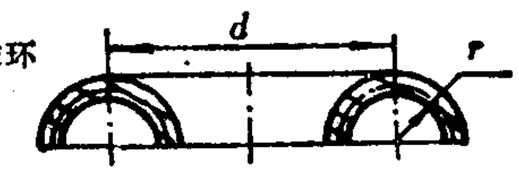
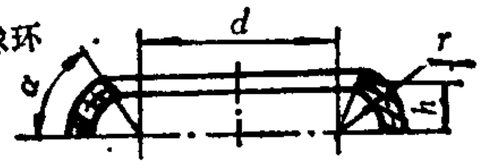
形状复杂的旋转体拉深件毛坯直径的计算可以利用久里金法则，即任何形状的母线 AB

表 3-26　简单几何形状表面的面积和系数 Y 值

序号	形状	面积 f	系数 $Y=\frac{4}{\pi}f$
1	圆 	$\frac{\pi}{4}d^2$	d^2
2	圆环 	$\frac{\pi}{4}(d^2-d_1^2)$	$d^2-d_1^2$
3	圆筒 	$\frac{\pi}{4}4dh$	$4dh$
4	斜圆筒	$\frac{\pi}{4}2d(h+h_1)$	$2d(h+h_1)$
5	锥形 	$\frac{\pi}{4}2dl$ 式中：$l=\sqrt{h^2+\frac{d^2}{4}}$	$2dl$
6	截头锥形 	$\frac{\pi}{4}2l(d+d_1)$ 式中：$l=\sqrt{h^2+\frac{(d-d_1)^2}{4}}$	$2-l(d+d_1)$
7	半球面	$\frac{\pi}{4}8r^2$	$8r^2$

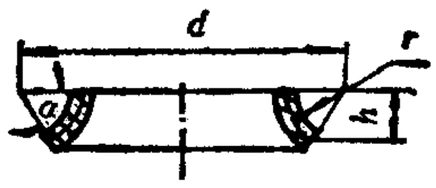
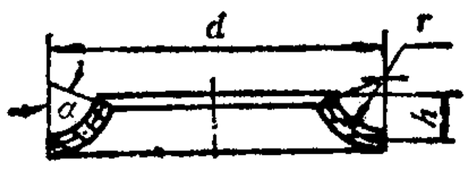
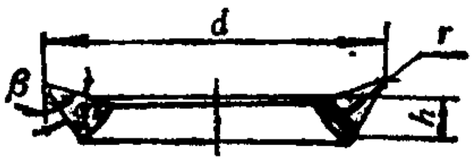
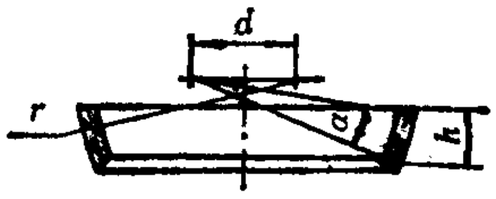
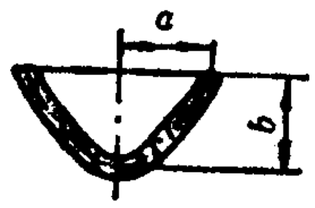
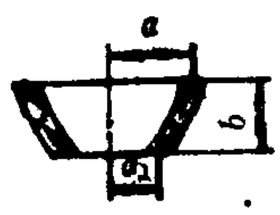
http://shop62964869.taobao.com/

表 3-26 （续）

序号	形状	面积f	系数$Y=\frac{4}{\pi}f$
8	球缺面 	$\frac{\pi}{4}8rh=\frac{\pi}{4}(4h^2+c^2)$	$(4h^2+c^2)$
9	球带 	$\frac{\pi}{4}8rh$	$8rh$
10	$\frac{1}{1}$凸球带	$\frac{\pi}{4}(2\pi rd+8r^2)$	$(2\pi rd+8r^2)$
11	$\frac{1}{4}$凹球带 	$\frac{\pi}{4}(2\pi rd-8r^2)$	$(2\pi rd-8r^2)$
12	半圆球环 	$\frac{\pi}{4}4\pi rd$	$4\pi rd$
13	凸形球环 	$\frac{\pi}{4}8r\left(d\frac{\pi\alpha}{360^\circ}+h\right)$ 式中：$\frac{\pi\alpha}{360^\circ}=0.0087\alpha$	$8r\left(d\frac{\pi\alpha}{360^\circ}+h\right)$
14	凸形球环		
15	凸形球环		

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-26（续）

序号	形状	面积 f	系数 $Y=\frac{4}{\pi}f$
16	凹形球环 	$\frac{\pi}{4}8r\ (d\frac{\pi\alpha}{360^\circ}-h)$ 式中，$\frac{\pi\alpha}{360^\circ}=0.0087\alpha$	$8r\ (d\frac{\pi\alpha}{360^\circ}-h)$
17	凹形球环 		
18	凹形球环 		
19	凸形球环 	$\frac{\pi}{4}8r\ (h-d\frac{\pi\alpha}{180^\circ})$ 式中，$\frac{\pi\alpha}{180^\circ}=0.0174\alpha$	$8r\ (h-d\frac{\pi\alpha}{180^\circ})$
20	抛物线形 	$\frac{\pi}{4}\ \frac{8}{3R}\ [\sqrt{(R^2+a^2)^3}-R^3]$ 式中，$R=\frac{a^2}{2b}$	$\frac{8}{3R}\ [\sqrt{(R^2+a^2)^3}-R^3\ ]$
21	抛物线环形 	$\frac{\pi}{4}\ \frac{8}{3P}\ [\sqrt{(R^2+a^2)^3}-\sqrt{(R^2+a_1^2)^3}]$ 式中：$R=\frac{a^2}{2b}$	$\frac{8}{3P}\ [\sqrt{(R^2+a^2)^3}-\sqrt{(R^2+a_1^2)^3}]$

绕轴线 YY 旋转，所得到的旋转体面积等于母线长度 L 与其重心绕轴线旋转所得周长 $2\pi X$ 的乘积(见图 3-24)。

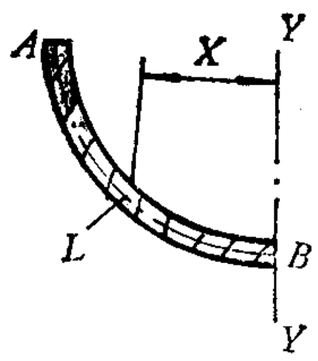


图 3-24 单元母线的重心绕轴线回转

旋转体面积 $F=2\pi LX=\frac{\pi}{4}D^2$

所以毛坯直径 $D=\sqrt{8LX}$

$$=\sqrt{8(L_1X_1+L_2X_2+L_3X_3+\cdots+L_nX_n}\qquad(3\text{-}23)$$

这样，为求拉深件的毛坯直径，可按如下方法进行：

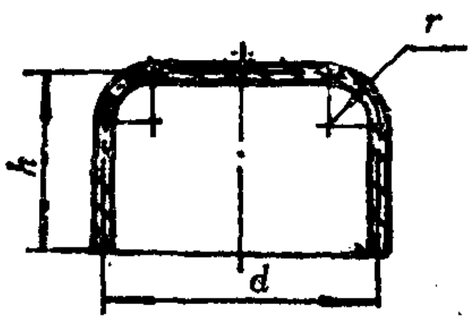
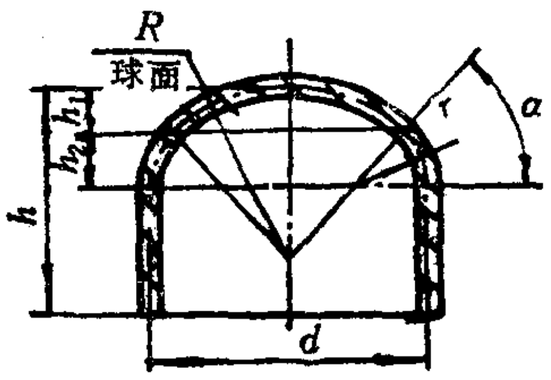
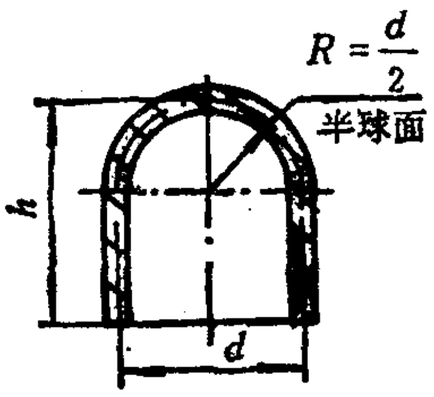
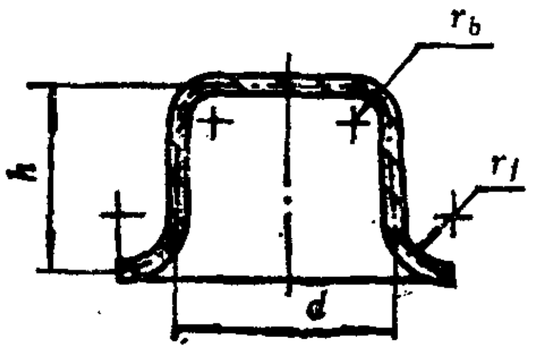
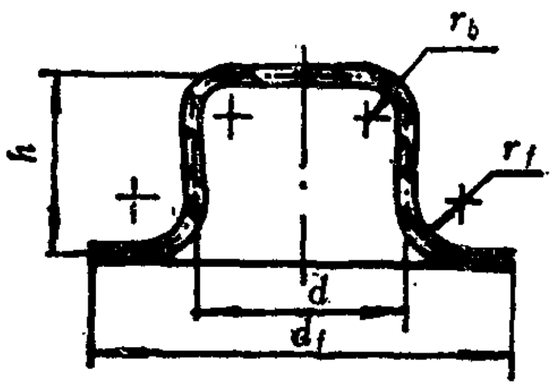
如图 3-25，将拉深件的母线分成简单的直线和圆弧的单元线段 1、2、3…n，算出各单元线段的长度 L_1、L_2、$L_3\cdots L_n$（弧线可查表 3-28、3-29），再求出各单元线段重心到回转轴线的距离 X_1、X_2、$X_3\cdots X_n$，（必要时可利用表 3-30 和表 3-31 数值进行计算），将其代入公式(3-23)即可求出毛坯直径。同样可根据 LX 查毛坯直径(见表 3-32)。

[例]：计算图3-26所示，料厚 $t=1$mm 的旋转体拉深件的毛坯直径。

此例可按列表方法进行计算较为方便，详见表 3-33。

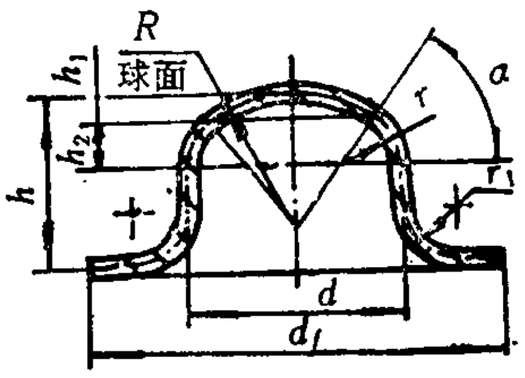
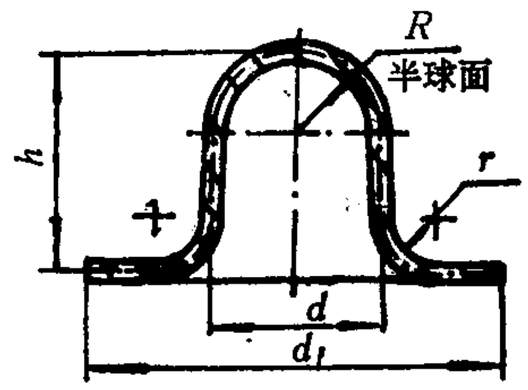
http://shop62964869.taobao.com/

表 3-27　形状简单的旋转体拉深件的毛坯直径

序号	拉深件形状	毛坯直径D
1		$\sqrt{d^2-1.72dr-0.56r^2+4dh}$
2		$\sqrt{4h_1(2R-d)+(d-2r)(0.0696r\alpha-4h_2)+4dh}$ $\sin\alpha=\dfrac{\sqrt{R^2-r(2R-d)-0.25d^2}}{R-r}$ $h_1=R(1-\sin\alpha)$ $h_2=r\sin\alpha$
3		$2\sqrt{dh}$
4		$\sqrt{d^2-1.72dr_b-0.56r_b^2+4dh+2.28dr_f+4.56r_f^2}$ 在$r_b=r_f=r$时 $\sqrt{d^2+0.56dr+4r^2+4dh}$
5		$\sqrt{d_f^2-1.72d(r_b+r_f)-0.56(r_b^2-r_f^2)+4dh}$ 在$r_b=r_f=r$时 $\sqrt{d_f^2-3.44dr+4dh}$

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-27 （续）

序号	拉深件形状	毛坯直径D
6		$\sqrt{4h_1(2R-d)+(d-2r)(0.0696r\alpha-4h_2)+4d(h-0.43r_1)+0.56r_1^2+d_1^2+d^2}$ $\sin\alpha=\dfrac{\sqrt{R^2-r(2R-d)-0.25d^2}}{R-r}$ $h_1=R(1-\sin\alpha)$ $h_2=r\sin\alpha$
7		$\sqrt{8R^2+4dh-4dR-1.72dr+0.56r^2+d_1^2-d^2}$

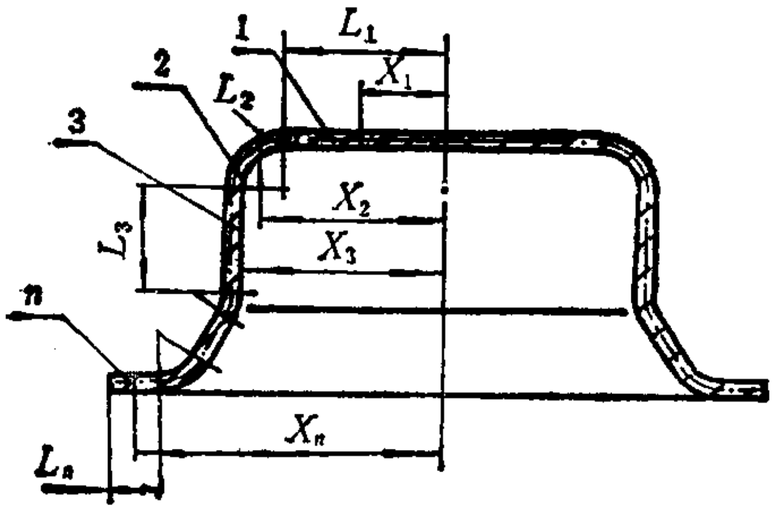


图 3-25 凸缘旋转体拉深件

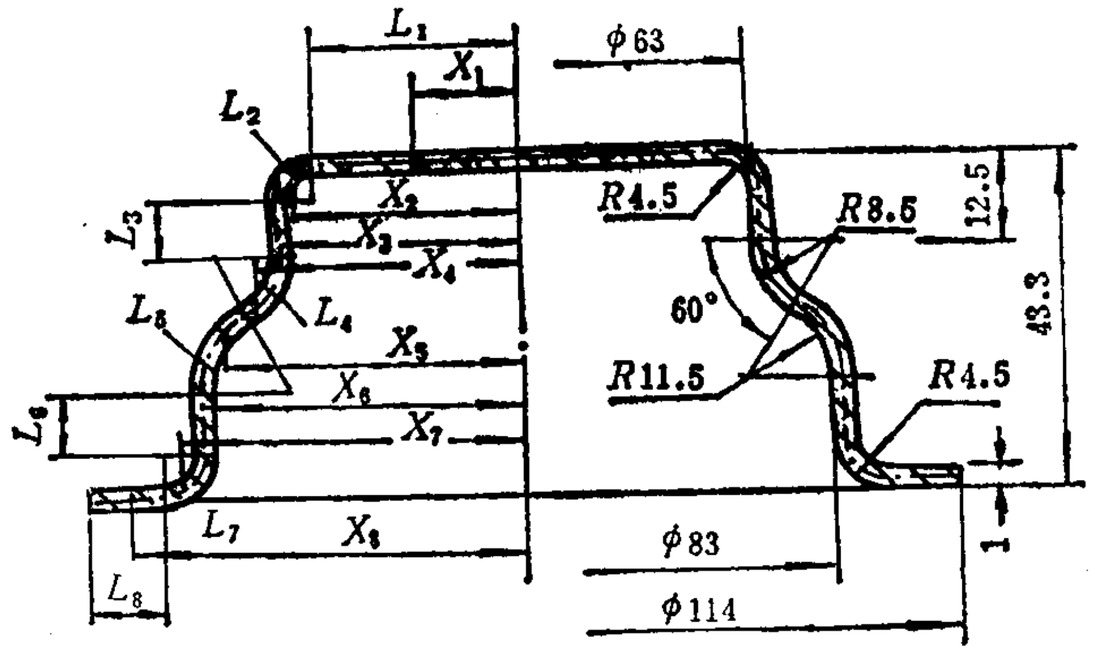


图 3-26 凸缘旋转体拉深件计算示例

（四）圆筒形拉深件的拉深系数和拉深次数的计算

1. 变形程度和拉深系数

拉深时变形程度的标志，最常用的是拉深系数或拉深比。

拉深系数（m）是指拉深后制件直径 d 与毛坯直径 D 的比值（$m=d/D$）。多次拉深时，则为拉深后筒部直径与拉深前筒部直径的比值。即

$$m_n=d_n/d_{n-1} \tag{3-24}$$

式中 m_n——第 n 次拉深工序的拉深系数；

d_{n-1}——第 n 次工序拉深前的筒形件直径；

d_n——第 n 次工序拉深后的筒形件直径。

m 是小于 1 的系数。当 m 越小时，说明拉深时变形程度越大，拉深比 k 为拉深系数的倒数，

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-28　中心角 $\alpha<90°$，$R=1$ 时的弧长 L　　(mm)

α（度）						α（分）			
$\alpha°$	L	$\alpha°$	L	$\alpha°$	L	α'	L	α'	L
		30	0.524	60	1.047			30	0.009
1	0.017	31	0.541	61	1.064	1	—	31	0.009
2	0.035	32	0.558	62	1.082	2	—	32	0.009
3	0.052	33	0.576	63	1.099	3	0.001	33	0.010
4	0.070	34	0.593	64	1.117	4	0.001	34	0.010
5	0.087	35	0.611	65	1.134	5	0.001	35	0.010
6	0.105	36	0.628	66	1.152	6	0.002	36	0.011
7	0.122	37	0.646	67	1.169	7	0.002	37	0.011
8	0.140	38	0.663	68	1.187	8	0.002	38	0.011
9	0.157	39	0.681	69	1.204	9	0.002	39	0.011
10	0.175	40	0.698	70	1.222	10	0.003	40	0.012
11	0.192	41	0.715	71	1.239	11	0.003	41	0.012
12	0.209	42	0.733	72	1.256	12	0.003	42	0.012
13	0.227	43	0.750	73	1.274	13	0.004	43	0.013
14	0.244	44	0.768	74	1.291	14	0.004	44	0.013
15	0.262	45	0.785	75	1.309	15	0.004	45	0.013
16	0.279	46	0.803	76	1 326	16	0.005	46	0.014
17	0.297	47	0.820	77	1.344	17	0.005	47	0.014
18	0.314	48	0.838	78	1.361	18	0.005	48	0.014
19	0.332	49	0.855	79	1.379	19	0.005	49	0.014
20	0.349	50	0.873	80	1.396	20	0.006	50	0.015
21	0.366	51	0.890	81	1.413	21	0.006	51	0.015
22	0.384	52	0.907	82	1.431	22	0.006	52	0.015
23	0.401	53	0.925	83	1.448	23	0.007	53	0.016
24	0.419	54	0.942	84	1.466	24	0.007	54	0.016
25	0.436	55	0.960	85	1.483	25	0.007	55	0.016
26	0.454	56	0.977	86	1.501	26	0.008	56	0.017
27	0.471	57	0.995	87	1.518	27	0.008	57	0.017
28	0.489	58	1.012	88	1.536	28	0.008	58	0.017
29	0.506	59	1.030	89	1.553	29	0.008	59	0.017

http://shop62964869.taobao.com/

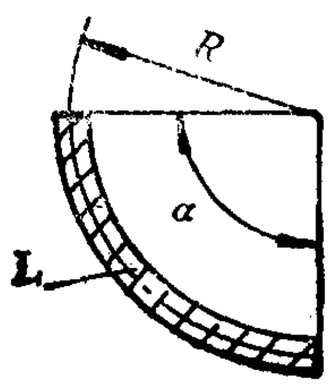
表 3-29　中心角 $\alpha = 90°$，$R<100$ 时的弧长 L　　(mm)

R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
				20	31.42	40	62.83	60	94.25	80	125.66
0.01	0.02	1	1.57	21	32.99	41	64.40	61	95.82	81	127.23
0.02	0.03	2	3.14	22	34.56	42	65.97	62	97.39	82	128.81
0.03	0.05	3	4.71	23	36.13	43	67.54	63	98.96	83	130.38
0.04	0.06	4	6.28	24	37.70	44	69.12	64	100.53	84	131.95
0.05	0.08	5	7.85	25	39.27	45	70.69	65	102.10	85	133.52
0.06	0.09	6	9.42	26	40.84	46	72.26	66	103.67	86	135.09
0.07	0.11	7	11.00	27	42.41	47	73.83	67	105.24	87	136.66
0.08	0.12	8	12.57	28	43.98	48	75.40	68	106.81	88	138.23
0.09	0.14	9	14.14	29	45.55	49	76.97	69	108.39	89	139.80
		10	15.71	30	47.12	50	78.54	70	109.96	90	141.37
0.1	0.16	11	17.28	31	48.69	51	80.11	71	111.53	91	142.94
0.2	0.31	12	18.85	32	50.27	52	81.68	72	113.10	92	144.51
0.3	0.47	13	20.42	33	51.84	53	83.25	73	114.67	93	146.08
0.4	0.63	14	21.99	34	53.41	54	84.82	74	116.24	94	147.66
0.5	0.79	15	23.56	35	54.98	55	86.39	75	117.81	95	149.23
0.6	0.94	16	25.13	36	56.55	56	87.96	76	119.38	96	150.80
0.7	1.10	17	26.70	37	58.12	57	89.54	77	120.95	97	152.37
0.8	1.26	18	28.27	38	59.69	58	91.11	78	122.52	98	153.94
0.9	1.41	19	29.85	39	61.26	59	92.68	79	124.09	99	155.51

注：应用举例：

[例]　$R = 41.25$ 时求 L

R	L
41	64.40
0.2	0.31
0.05	0.08
41.25	64.79



http://shop62964869.taobao.com/

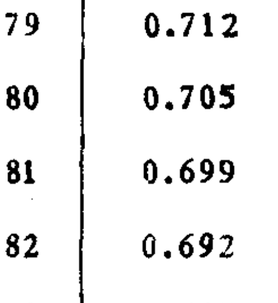
表 3-30　中心角 $\alpha<90°$，$R=1$ 时弧的重心到 Y-Y 轴的距离 X_0　　(mm)

表 A

$\alpha°$	X_0	$\alpha°$	X_0	$\alpha°$	X_0
		30	0.995	60	0.827
1	1.000	31	0.952	61	0.822
2	1.000	32	0.949	62	0.816
3	1.000	33	0.946	63	0.810
4	0.999	34	0.942	64	0.805
5	0.999	35	0.939	65	0.799
6	0.998	36	0.936	66	0.793
7	0.998	37	0.932	67	0.787
8	0.997	38	0.929	68	0.781
9	0.996	39	0.925	69	0.775
10	0.995	40	0.921	70	0.769
11	0.994	41	0.917	71	0.763
12	0.993	42	0.913	72	0.757
13	0.992	43	0.909	73	0.750
14	0.990	44	0.905	74	0.744
15	0.989	45	0.901	75	0.738
16	0.987	46	0.896	76	0.731
17	0.985	47	0.891	77	0.725
18	0.984	48	0.887	78	0.719
19	0.982	49	0.883	79	0.712
20	0.980	50	0.879	80	0.705
21	0.978	51	0.873	81	0.699
22	0.976	52	0.868	82	0.692
23	0.974	53	0.864	83	0.685
24	0.972	54	0.858	84	0.678
25	0.969	55	0.853	85	0.671
26	0.966	56	0.848	86	0.665
27	0.963	57	0.843	87	0.658
28	0.960	58	0.838	88	0.651
29	0.958	59	0.832	89	0.644

注：1．右图中 X 的计算公式

$$X=R\frac{180°\sin\alpha}{\pi\alpha}$$



2．表 3-30A 应用举例：

[例]　$R=20$，$\alpha=25°$ 时

求 X

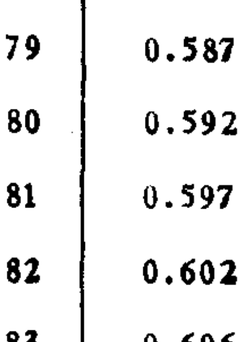
$X=RX_0=20\times0.969=19.38$

表 B

$\alpha°$	X_0	$\alpha°$	X_0	$\alpha°$	X_0
		30	0.256	60	0.478
1	0.009	31	0.264	61	0.484
2	0.017	32	0.272	62	0.490
3	0.026	33	0.280	63	0.497
4	0.035	34	0.288	64	0.503
5	0.043	35	0.296	65	0.509
6	0.052	36	0.304	66	0.515
7	0.061	37	0.312	67	0.521
8	0.070	38	0.320	68	0.527
9	0.078	39	0.327	69	0.533
10	0.087	40	0.335	70	0.538
11	0.095	41	0.343	71	0.544
12	0.104	42	0.350	72	0.550
13	0.113	43	0.358	73	0.555
14	0.122	44	0.366	74	0.561
15	0.130	45	0.373	75	0.566
16	0.139	46	0.380	76	0.572
17	0.147	47	0.398	77	0.577
18	0.156	48	0.395	78	0.582
19	0.164	49	0.402	79	0.587
20	0.173	50	0.409	80	0.592
21	0.181	51	0.416	81	0.597
22	0.190	52	0.423	82	0.602
23	0.198	53	0.430	83	0.606
24	0.206	54	0.437	84	0.611
25	0.215	55	0.444	85	0.615
26	0.223	56	0.451	86	0.620
27	0.231	57	0.458	87	0.624
28	0.240	58	0.464	88	0.628
29	0.248	59	0.471	89	0.633

注：1．右图中 X 的计算公式

$$X=R\frac{180°(1-\cos\alpha)}{\pi\alpha}$$



2．表 3-30B 应用举例：

[例]　$R=25$，$\alpha=38°$ 时

求 X

$X=RX_0=25\times0.320=8$

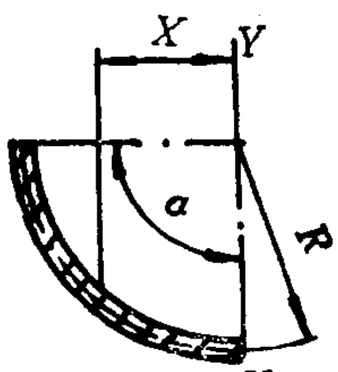
http://shop62964869.taobao.com/

表 3-31　中心角 $\alpha = 90°$，$R<100$ 时弧的重心到 Y-Y 轴的距离 X　　(mm)

R	X	R	X	R	X	R	X	R	X	R	X
				20	12.74	40	25.48	60	38.21	80	50.95
0.01	0.01	1	0.64	21	13.37	41	26.11	61	38.25	81	51.59
0.02	0.01	2	1.27	22	14.01	42	26.75	62	39.49	82	52.23
0.03	0.02	3	1.91	23	14.65	43	27.39	63	40.12	83	52.86
0.04	0.03	4	2.55	24	15.29	44	28.02	64	40.76	84	53.50
0.05	0.03	5	3.18	25	15.92	45	28.66	65	41.40	85	54.13
0.06	0.04	6	3.82	26	16.56	46	29.30	66	42.04	86	54.77
0.07	0.05	7	4.46	27	17.20	47	29.93	67	42.67	87	55.41
0.08	0.05	8	5.10	28	17.83	48	30.57	68	43.31	88	56.05
0.09	0.06	9	5.73	29	18.47	49	31.21	69	43.95	89	56.68
		10	6.37	30	19.11	50	31.84	70	44.58	90	57.33
0.1	0.06	11	7.01	31	19.74	51	32.48	71	45.22	91	57.96
0.2	0.13	12	7.64	32	20.38	52	33.12	72	45.86	92	58.59
0.3	0.19	13	8.28	33	21.02	53	33.76	73	46.49	93	59.23
0.4	0.25	14	8.92	34	21.65	54	34.39	74	47.13	94	59.87
0.5	0.32	15	9.55	35	22.29	55	35.03	75	47.77	95	60.51
0.6	0.38	16	10.19	36	22.93	56	35.67	76	48.41	96	61.15
0.7	0.45	17	10.83	37	23.57	57	36.30	77	49.05	97	61.79
0.8	0.51	18	11.46	38	24.20	58	36.94	78	49.69	98	62.43
0.9	0.57	19	12.10	39	24.84	59	37.58	79	50.32	99	63.06

注：1.右图中 X 的计算公式。

$$X = \frac{2}{\pi} R$$



2. 上表应用举例：

[例]　$R = 52.37$ 时求 X

R	X
52	33.12
0.3	0.19
0.07	0.05
52.37	33.36

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-32　根据 LX 查毛坯直径 $D(D=\sqrt{8LX})$　　(mm)

D	LX	D	LX	D	LX	D	LX	D	LX	D	LX
20	50	51	325	82	840.5	113	1596	144	2592	175	3828
21	55	52	338	83	861	114	1624	145	2628	176	3872
22	60.5	53	351	84	882	115	1653	146	2664	177	3916
23	66	54	364.5	85	903	116	1682	147	2701	178	3960
24	72	55	378	86	924.5	117	1711	148	2738	179	4005
25	78	56	392	87	946	118	1740	149	2775	180	4050
26	84.5	57	406	88	968	119	1770	150	2812	181	4095
27	91	58	420.5	89	990	120	1800	151	2850	182	4140
28	98	59	435	90	1012.5	121	1830	152	2888	183	4186
29	105	60	450	91	1035	122	1860	153	2926	184	4232
30	112.5	61	465	92	1058	123	1891	154	2964	185	4278
31	120	62	480.5	93	1181	124	1922	155	3003	186	4324
32	128	63	496	94	1104.5	125	1953	156	3042	187	4371
33	136	64	512	95	1128	126	1984	157	3081	188	4418
34	144.5	65	528	96	1152	127	2016	158	3120	189	4465
35	155.5	66	544.5	97	1170	128	2048	159	3160	190	4512
36	162	67	561	98	1200	129	2080	160	3200	191	4560
37	171	68	578	99	1225	130	2112	161	3240	192	4608
38	180.5	69	595	100	1250	131	2145	162	3280	193	4656
39	190	70	612.5	101	1275	132	2178	163	3321	194	4704
40	200	71	630	102	1300	133	2211	164	3362	195	4753
41	210	72	648	103	1326	134	2244	165	3403	196	4802
42	220.5	73	666	104	1352	135	2278	166	3444	197	4851
43	231	74	684.5	105	1378	136	2312	167	3486	198	4900
44	242	75	703	106	1404	137	2346	168	3528	199	4950
45	253	76	722	107	1431	138	2380	169	3570	200	5000
46	264.5	77	741	108	1458	139	2415	170	3612	201	5050
47	276	78	760.5	109	1485	140	2450	171	3655	202	5100
48	288	79	780	110	1512	141	2485	172	3698	203	5151
49	300	80	800	111	1540	142	2520	173	3741	204	5202
50	312.5	81	820	112	1568	143	2556	174	3784	205	5253

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-32 （续）

D	LX	D	LX	D	LX	D	LX	D	LX	D	LX
206	5304	235	6903	264	8712	293	10731	410	21012	555	38503
207	5356	236	6962	265	8778	294	10804	415	21528	560	39200
208	5408	237	7021	266	8844	295	10878	420	22050	565	39903
209	5460	238	7080	267	8911	296	10952	425	22578	570	40612
210	5512	239	7140	268	8978	297	11026	430	23112	575	41328
211	5565	240	7200	269	9045	298	11100	435	23653	580	42050
212	5618	241	7260	270	9112	299	11175	440	24200	585	42778
213	5671	242	7320	271	9180	300	11250	445	24753	590	43512
214	5724	243	7381	272	9248	305	11628	450	25312	595	44253
215	5778	244	7442	273	9316	310	12012	455	25878	600	45000
216	5832	245	7503	274	9384	315	12403	460	26450	605	45753
217	5886	246	7564	275	9453	320	12800	465	27028	610	46512
218	5940	247	7626	276	9522	325	13203	470	27612	615	47278
219	5995	248	7688	277	9591	330	13612	475	28203	620	48050
220	6050	249	7750	278	9660	335	14028	480	28800	625	48828
221	6105	250	7812	279	9730	340	14450	485	29403	630	49612
222	6166	251	7875	280	9800	345	14878	490	30012	635	50403
223	6216	252	7938	281	9870	350	15312	495	30628	640	51200
224	6272	253	8001	282	9940	355	15753	500	31250	645	52003
225	6328	254	8064	283	10011	360	16200	505	31878	650	52812
226	6384	255	8128	284	10082	365	16653	510	32512	655	53628
227	6441	256	8192	285	10153	370	17112	515	33153	660	54450
228	6485	257	8256	286	10224	375	17578	520	33800	665	55278
229	6555	258	8320	287	10296	380	18050	525	34453	670	56112
230	6612	259	8385	288	10368	385	18528	530	35112	675	56953
231	6670	260	8450	289	10440	390	19012	535	35778	680	57800
232	6715	261	8515	290	10512	395	19503	540	36450	685	58653
233	6786	262	8580	291	10585	400	20000	545	37128	690	59512
234	6844	263	8646	292	10658	405	20503	550	37812	695	60378

即

$$k = D/d \text{ 或 } d_{n-1}/d_n \tag{3-25}$$

通常影响拉深系数的因素主要有：

1）材料的塑性和厚向异性指数 r 值

材料的塑性和 r 值对拉深系数的影响最大，材料的塑性好，r 值大，其拉深系数就可取小些。

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-33　旋转体拉深件毛坯直径的列表计算示例

母线线段编号	线段长 L_i	线段重心与回转轴距离 X_i	L_iX_i
1	$(63-9)/2=27$	$27/2=13.5$	364.5
2	$(\pi/2)5=7.85$	$27+3.18②=30.18$	236.9
3	$12.5-5=7.5$	$(63+1)/2=32$	240.0
4	$8\times1.047①=8.38$	$32+8-(8\times0.827③)=33.38$	293.7
5	$12\times1.047=12.56$	$(83-23)/2+(12\times0.827)=39.92$	501.4
6	$43.3-12.5-8\sin60°-12\sin60°-5.5=8$	$(83+1)/2=42$	336.0
7	7.85	$42+5-3.18=43.82$	344.0
8	$(114-83-2-9)/2=10$	$(114/2)-5=52$	520.0
		$LX=$	2836.5
		$D=\sqrt{8LX}=$	150.6④

① 查表 3-28 得到。
② 查表 3-31 得到。
③ 查表 3-30 得到。
④ 毛坯直径 D 也可由 LX 值查表 3-32 得到。

2）材料的相对厚度 t/D

t/D 值较大时，拉深过程中不易起皱，拉深系数可取小些。

3）拉深方式（用或不用压边圈）

采用压边圈时，可防止起皱，所以 m 值可取较小些，但当压边力过大，将反而引起拉裂。

4）拉深凹模和凸模圆角半径

凹模圆角半径较大时，材料易于流动，拉深系数可减小，但对具体制件尺寸，以不产生起皱为限度。凸模圆角半径不如凹模圆角半径影响显著，但也不宜太小，以免制件在危险断面处拉裂。

5）拉深凹模工作部分的表面粗糙度

在润滑剂粘度低的情况下，凹模表面粗糙度值愈小，进料阻力愈小，可使拉深系数减小；若使用高粘度润滑剂，模具工作表面粗糙度 R_a 值在 3～5μm 的范围，其润滑效果最好，拉深系数可减小。

6）拉深时的润滑

凹模面上的适当润滑，可减少阻力，有利于材料的流动，可使 m 值减小；但对凸模圆角部分进行润滑是不利的。

7）材料表面质量

对表面有锈的板料，其拉深系数将增大，表面光洁、平整的板料，拉深系数可减小。

2. 无凸缘圆筒形件的拉深系数及其拉深次数的计算

图 3-27 所示为圆筒形件毛坯和逐次拉深后的形状和尺寸。表 3-34 为其用压边圈时的极限拉深系数。

从前面所知：　$m_1=d_1/D$，$m_2=d_2/d_1$，$m_3=d_n/d_{n-1}$

因而拉深的各次直径为

$$d_1=m_1D,\ d_2=m_2d_1,\cdots d_n=m_nd_{n-1}$$

按照表 3-34 内的极限拉深系数，可选用较大一些的

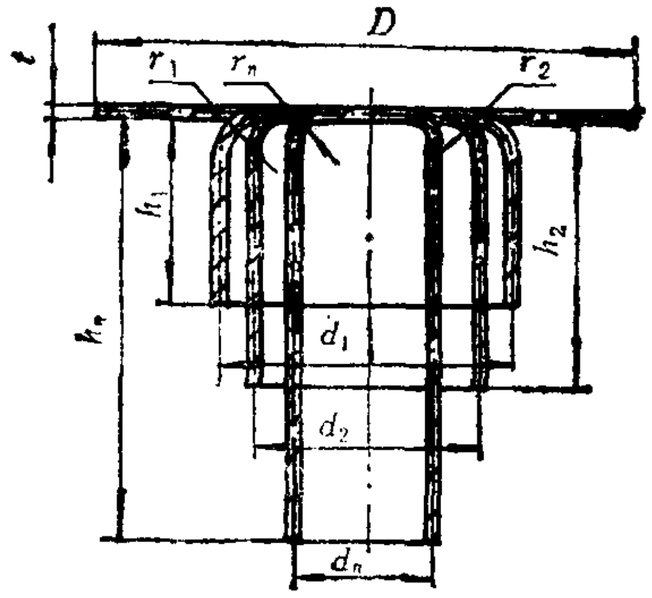


图 3-27　无凸缘圆筒形件的拉深

http://shop62964869.taobao.com/

$m_1, m_2 \cdots\cdots$ 值，从第一次拉深工序开始逐渐向后推算，必要时可稍加调整，即可求得所需要的拉深工序数目和中间毛坯尺寸。

表 3-34　无凸缘圆筒形件用压边圈时的极限拉深系数

拉深系数 m	毛坯相对厚度 $(t/D)\times100(\%)$				
	>0.06～0.2	>0.2～0.5	>0.5～1	>1～1.5	>1.5
m_1	0.58～0.60	0.55～0.58	0.53～0.56	0.50～0.53	0.46～0.50
m_2	0.78～0.80	0.76～0.78	0.74～0.76	0.72～0.74	0.70～0.72
m_3	0.80～0.82	0.78～0.80	0.76～0.78	0.74～0.76	0.72～0.74
m_4	0.82～0.84	0.80～0.82	0.78～0.80	0.76～0.78	0.74～0.76

注：1．表中的数据适用于08、10、15Mn 钢、软黄铜 H62、H68 和相似合金材料；拉深塑性较差材料(如 20、25、A2、A3 钢、硬铝、黄铜等)应取比表中数值稍大 1.5～2%，对塑性更为较好的材料(如 05、08 和软铝等)可比表中数值小 1.5～2%，如中间退火，可取比表中值小 3～5%。

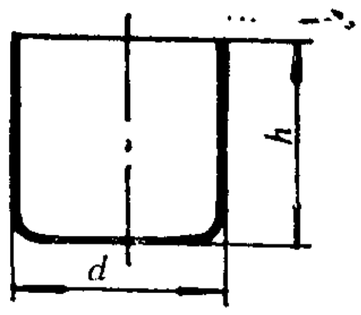
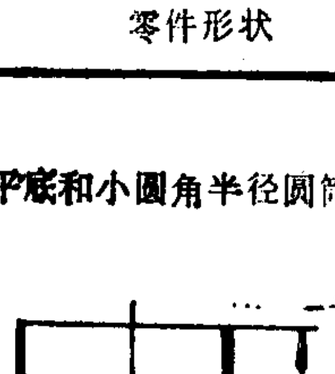
2．表中较小值，用于厚向异性指数 $r\approx1.5\sim1.7$；大值用于 $r\approx1.0\sim1.2$。

拉深过程中间半成品高度可按表 3-35 计算。

[例]　计算材料为 08 钢，料厚 $t=2$mm 拉深件(见图 3-28)的拉深系数和拉深次数。

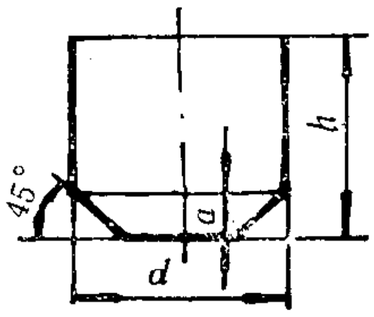
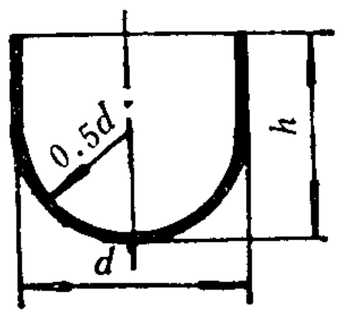
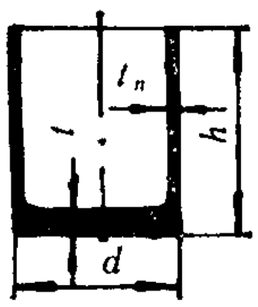
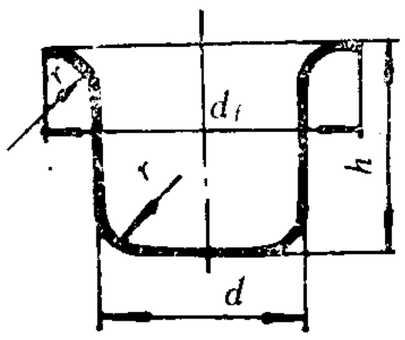
解：　按表 3-27，序号 1 公式

表 3-35　圆筒形件中间过程半成品拉深高度计算公式

序号	零件形状	拉伸序次	计算公式
1	平底和小圆角半径圆筒形 	1	$h_1=0.25\left(\frac{D}{m_1}-d_1\right)$
		2	$h_2=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2}-d_2\right)$
		第 n 次	$h_n=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2\cdots m_n}-d_n\right)$
2	大圆角半径圆筒形 	1	$h_1=0.25\left(\frac{D}{m_1}-d_1\right)+0.43\frac{r_1}{d_1}(d_1+0.32r_1)$
		2	$h_2=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2}-d_2\right)+0.43\frac{r_2}{d_2}(d_2+0.32r_2)$
		第几次	$h_n=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2\cdots m_n}-d_n\right)+0.43\frac{r_n}{d_n}(d_n+0.32r_n)$

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-35 （续）

序号	零件形状	拉深序次	计算公式
3	底面倒角圆筒形 	1	$h_1=0.25\left(\frac{D}{m_1}-d_1\right)+0.57\frac{a_1}{d_1}(d_1+0.86a_1)$
		2	$h_2=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2}-d_2\right)+0.57\frac{a_2}{d_2}(d_2+0.86a_2)$
		第 n 次	$h_n=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2\cdots m_n}-d_n\right)+0.57\frac{a_n}{d_n}(d_n+0.86a_n)$
4	球底圆筒形 		$h_1=0.25\frac{D}{m_1}$
		2	$h_2=0.25\frac{D}{m_1m_2}$
		第 n 次	$h_n=0.25\frac{D}{m_1m_2\cdots m_n}$
5	壁变薄圆筒形 	1	$h_1=0.25\left(\frac{D}{m_1}-d_1\right)\frac{t}{t_1}+t$
		2	$h_2=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2}-d_2\right)\frac{t}{t_2}+t$
		第 n 次	$h_n=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2\cdots m_n}\right)\frac{t}{t_n}+t$
6	宽凸缘圆筒形 	1	$h_1=0.25\left(\frac{D}{m_1}-\frac{d_f^2}{d_1}+3.44r_1\right)$
		2	$h_2=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2}-\frac{d_f^2}{d_2}+3.44r_n\right)$
		第 n 次	$h_n=0.25\left(\frac{D}{m_1m_2\cdots m_n}-\frac{d_f^2}{d_n}+3.44r_n\right)$

http://shop62964869.taobao.com/

$$D = \sqrt{d^2 - 1.72dr - 0.56r + 4dh}$$

$$= \sqrt{90^2 - 1.72 \times 90 \times 3 - 0.56 \times 3^2 + 4 \times 90 \times 216}$$

$$= 292$$

$$\frac{t}{D} \times 100 = 0.69$$

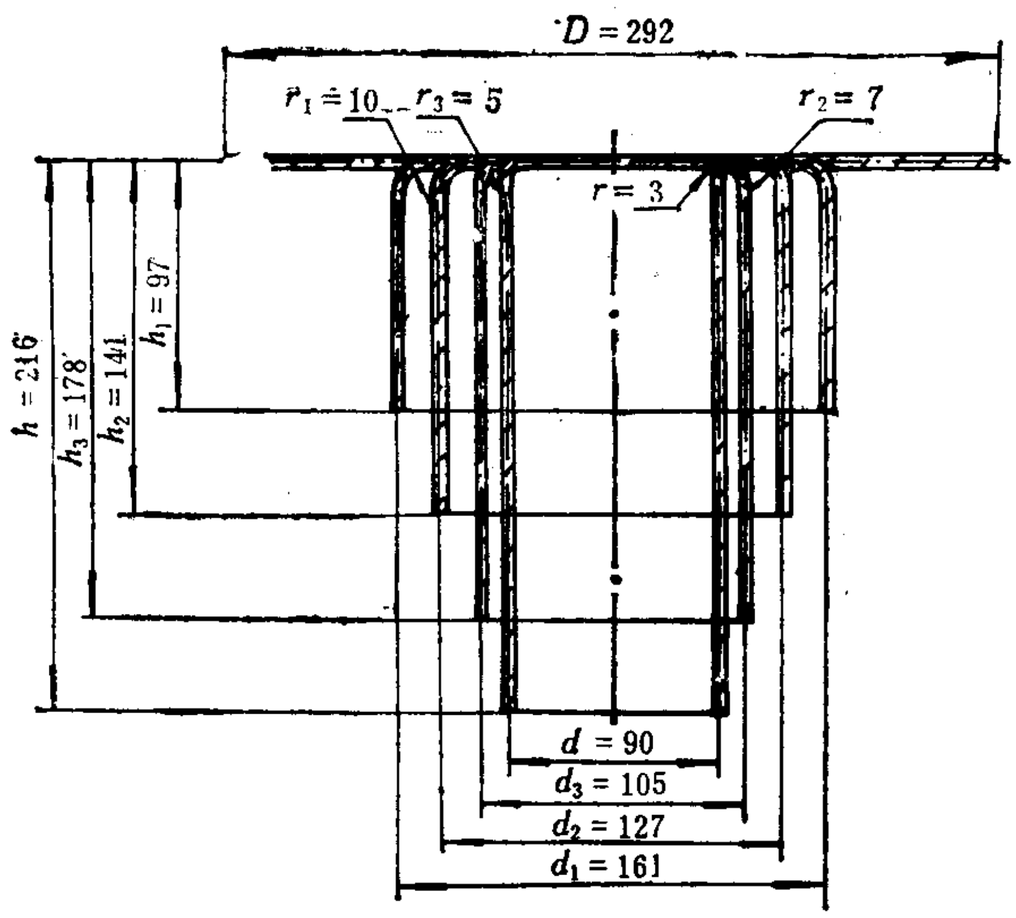


图 3-28　无凸缘圆筒形件拉深计算示例

从表 3-34，各次拉深系数先取为

$m_1 = 0.56$，$m_2 = 0.76$，

$m_3 = 0.78$，$m_4 = 0.80$

计算各次拉深直径

$d_1 = m_1 D = 163$，

$d_2 = m_2 d_1 = 123$

$d_3 = m_3 d_2 = 96$，

$d_4 = m_4 d_3 = 76$

从计算说明，三次拉深不出来，四次拉深又多了一些，那么就采用四次拉深，再考虑对拉深系数作适当修正。

修正后的拉深系数

$m_1 = 0.55$，$m_2 = 0.79$，

$m_3 = 0.83$，$m_4 = 0.85$

计算各次拉深直径

$d_1 = m_1 D = 161$，$d_2 = m_2 d_1 = 127$　$d_3 = m_3 d_2 = 105$，$d_4 = m_4 d_3 = 90$

选取各次拉深的圆角半径：$r_1 = 10$，$r_2 = 7$，$r_3 = 5$

计算各次拉深高度(按表 3-35 中序号 2 公式)

$$h_1 = 0.25\left(\frac{D}{m_1} - d_1\right) + 0.43\frac{r_1}{d_1}(d_1 + 0.32r_1) = 97$$

$$h_2 = 0.25\left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2\right) + 0.43\frac{r_2}{d_2}(d_2 + 0.32r_2) = 141$$

$$h_3 = 0.25\left(\frac{D}{m_1 m_2 m_3} - d_3\right) + 0.43\frac{r_3}{d_3}(d_3 + 0.32r_3) = 178$$

3. 有凸缘圆筒形件的拉深系数及其拉深次数的计算如图 3-29 所示。

(1)　窄凸缘圆筒形件 $[(h/d) > 1, (d_f/d) = 1.1 \sim 1.4]$ 的拉深

第一次拉深可按一般无凸缘件进行拉深的方法拉出筒形件；以后逐次工序，可在锥形压边圈帮助下转变成锥形凸缘，然后在最后一次工序将凸缘校平。

(2)　宽凸缘圆筒形件 $(d_f/d > 1.4)$ 的拉深

根据制件的形状和料厚的不同有两种拉深方法：

1)　第一次拉深出适当高度后，以后制件高度基本不变，而仅逐次减小圆筒部分直径和圆角半径(见图 3-30a)，它适于毛坯相对厚度 $[(t/D) \times 100]$ 较大，圆筒部分直径和深度相近的大中型制件。

2)　逐渐缩小圆筒部分直径和增加其高度(见图 3-30b)，它适用于毛坯相对厚度 $[(t/D) \times 100]$ 较小，拉深深度比直径大的中小型制件。

http://shop62964869.taobao.com/

用前一种方法得到的制件，表面光滑平整，厚度均匀，不存在中间拉深工序中，圆筒部分的弯曲和局部变薄的痕迹；用后一种方法，则表面质量较差，有中间过渡工序中形成的痕迹，所以最后要加一道校形工序。当制件圆角半径要求较小或对凸缘有不平度要求时，则以上两种方法都需要一道最终校形工序。

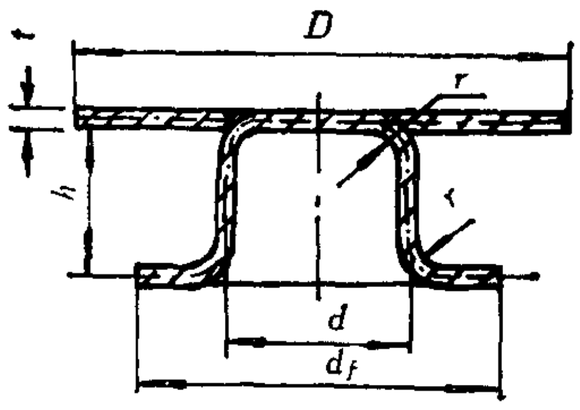


图 3-29　有凸缘圆筒形件

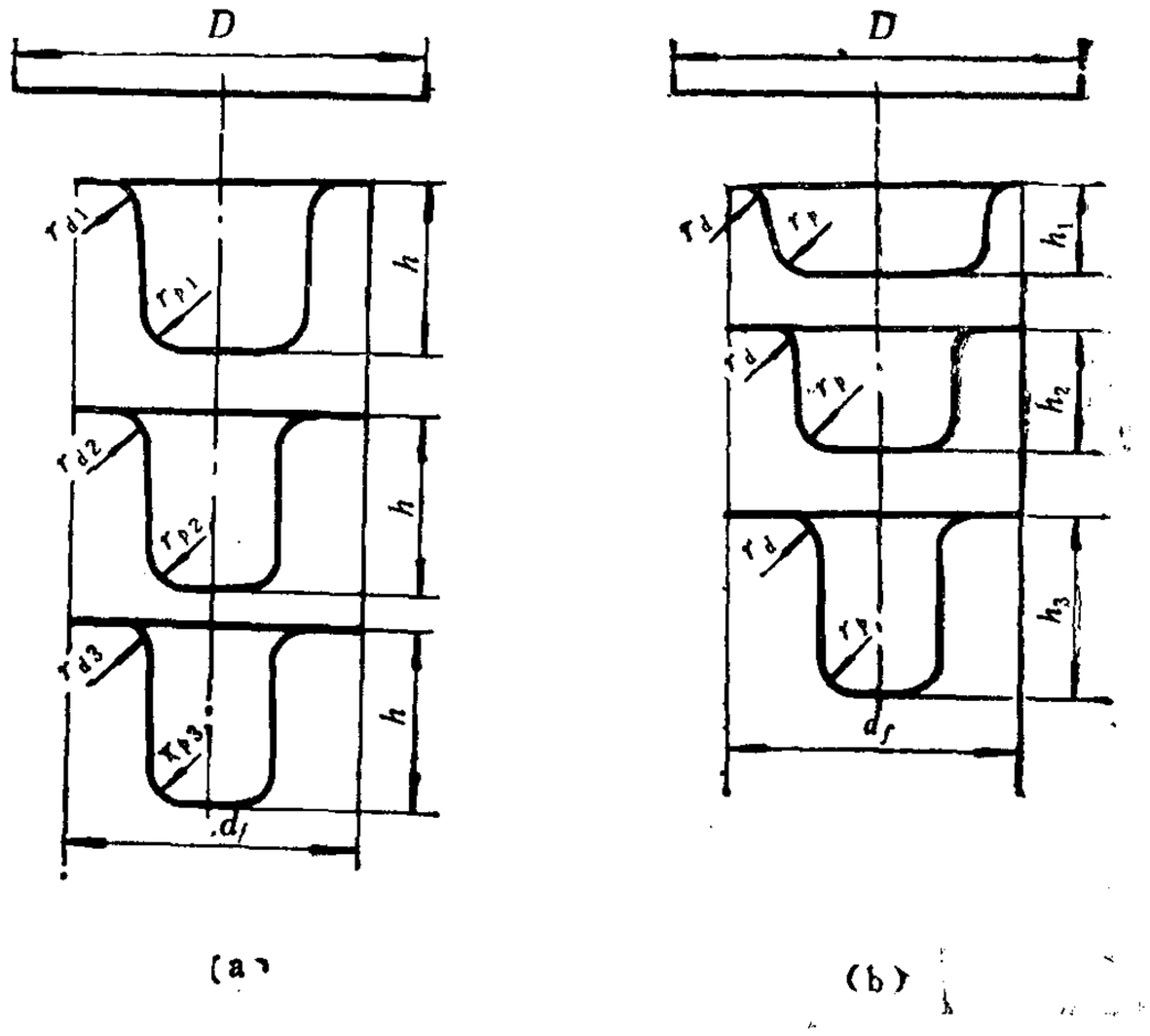


图 3-30　宽凸缘圆筒形件的拉深
(a) 高度不变：逐次减小 r_d、r_p 和缩小直径
(b) r_d、r_p 不变：逐次缩小直径和增加高度

这两种方法的共同要求是第一次拉深就拉到图纸所要求的凸缘直径(包括修边余量)，以后，凸缘就不应因尺寸缩小而受到拉应力。为保证做到这一点，通常把第一次拉入凹模的毛坯面积比最终拉深件所需要的面积加大 3～5%；而在随后，逐次将 1～3% 材料表面积挤回到凸缘上，因此凸缘上有起伏波纹，即使校平后也能看到痕迹。为此，也有主张第一次拉深拉入凹模的材料只能是形成最终制件所需的材料，以保证凸缘表面质量。

确定能否一次拉深成制件，可利用表 3-36 或表 3-37。

表 3-36　有凸缘圆筒形件的第一次拉深的最大拉深相对高度 $\frac{h_1}{d_1}$（材料：08、10）

凸缘相对直径 $\frac{d_f}{d_1}$	毛坯相对厚度 $(t/D)\times100$ (%)				
	>0.06～0.2	>0.2～0.5	>0.5～1	>1～1.5	>1.5～2
≤1.1	0.45～0.52	0.5～0.62	0.57～0.70	0.6～0.8	0.75～0.90
1.3	0.4～0.47	0.45～0.53	0.50～0.60	0.56～0.72	0.65～0.80
1.5	0.35～0.42	0.4～0.48	0.45～0.53	0.5～0.63	0.58～0.70
1.8	0.29～0.35	0.34～0.39	0.37～0.44	0.42～0.53	0.48～0.58
2.0	0.25～0.30	0.29～0.34	0.32～0.38	0.36～0.46	0.42～0.51
2.2	0.22～0.26	0.25～0.29	0.27～0.33	0.31～0.40	0.35～0.45
2.5	0.17～0.21	0.2～0.23	0.22～0.27	0.25～0.32	0.28～0.35
2.8	0.13～0.16	0.15～0.18	0.17～0.21	0.19～0.24	0.22～0.27

注：表中较大值相当圆筒形拉深件凸缘和底部的圆角半径 r_f、r_b，在 $(t/D)\times100$ 为 2～1.5，取为(10～12)t，到 $(t/D)\times100$ 为 0.06～0.2，增大为(20～25)t 时的情况；表中较小值相当 r_f、r_b 为(4～8) t 时情况。

若已知制件 $(t/D)\times100$ 和 d_f/d，设 $d=d_1$，则从表 3-36 可查得 h_1/d_1 值，如此值大

http://shop62964869.taobao.com/

于制件的实际 h/d，则可以一次拉出，否则需要多次拉深。

利用表 3-37，可初步确定 m_1 值和 d_1 值，以后各次拉深的 m_2、m_3、···、m_n 值可利用表 3-38，按无凸缘圆筒形件拉深系数选用，这样就可确定各次拉深直径。一般在试算后要经过调整才最终确定各次拉深系数和直径，在此同时，拉深圆角半径还应逐次减少。

表 3-37　有凸缘圆筒形件的第一次极限拉深系数 m_1（材料：08、10）

凸缘相对直径 $\frac{d_f}{d_1}$	毛坯相对厚度 $(t/D)\times100$ (%)				
	>0.06～0.2	>0.2～0.5	>0.5～1	>1～1.5	>1.5～2
≤1.1	0.59	0.57	0.55	0.53	0.5
1.3	0.55	0.54	0.53	0.51	0.49
1.5	0.52	0.51	0.5	0.49	0.47
1.8	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45
2.0	0.45	0.45	0.44	0.43	0.42
2.2	0.42	0.42	0.42	0.41	0.4
2.5	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37
2.8	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33

表3-38　凸缘件以后各次的拉深系数（材料：08、10）

拉深系数	毛坯的相对厚度 $(t/D)\times100$ (%)				
	>0.15～0.3	>0.3～0.6	>0.6～1.0	>1.0～1.5	>1.5～2
m_2	0.80	0.78	0.76	0.75	0.73
m_3	0.82	0.80	0.79	0.78	0.75
m_4	0.84	0.83	0.82	0.80	0.78
m_5	0.86	0.85	0.84	0.82	0.80

注：在应用中间退火的情况下，可以将以后各次的拉深系数减小 5～8%。

凸缘拉深件每次拉深工序后的半成品拉深高度，可根据变形前后金属体积或表面积相等，按毛坯中间厚度计算得到。若设凸缘处圆角半径和底部圆角半径相等，可得表 3-35 序号 6 中公式，而也可改写为

对第一次拉深

$$h_1 = \frac{D^2 - d_f^2}{4d_1} + 0.86r_1 \tag{3-26}$$

对以后各次拉深

$$h_n = \frac{D^2 - d_f^2}{4d_n} + 0.86r_n \tag{3-27}$$

式中　$h_1, h_2 \cdots h_n$——各次拉深从底部到凸缘顶面的制件拉深高度。

若每一工序拉入凹模相等的面积，可从已知前一次拉深高度，得出后一次圆筒形拉深的高度。即

$$h_2 = \frac{h_1 - 0.86r_1}{m_2} + 0.86r_2 \tag{3-28}$$

除 $n = 1$ 以外，其余各次拉深高度为

http://shop62964869.taobao.com/

$$h_n = \frac{h_{n-1} - 0.86r_{n-1}}{m_n} + 0.86r_n \tag{3-29}$$

以上公式是从凸缘与底部圆角半径相等条件得出的；如两者不等，则应按以下公式计算

$$h_1 = \frac{D^2 - d_f^2}{4d_1} - (r_{1f} + r_{1b})\left[0.14\left(\frac{r_{1f} - r_{1b}}{d_1}\right) - 0.43\right] \tag{3-30}$$

$$h_n = \frac{D^2 - d_f^2}{4d_n} - (r_{nf} + r_{nb})\left[0.14\left(\frac{r_{nf} - r_{nb}}{d_n}\right) - 0.43\right] \tag{3-31}$$

式中 r_{1f}、r_{1b}——为首次拉深件凸缘或底部的圆角半径；

r_{nf}、r_{nb}——为首次以后各次拉深件凸缘或底部的圆角半径。

对半球形、锥形等宽凸缘较复杂形状拉深件的拉深高度，可利用久里金方法，即母线单元按回转轴回转一周，就可得到这回转体单元的表面积的方法来进行计算。

[例] 制件的材料为 08 钢，厚度 $t = 2$mm，尺寸如图 3-31a 所示，求各次拉深半成品尺寸。

解： 由于制件材料厚度较大，所以均按中线尺寸计算

1）先计算制件的 h/d、d_f/d、t/D 及总拉深系数 m_Σ

由图 3-31 可知，$d_f = 76$mm，$d = 28$mm

$$\therefore \quad \frac{df}{d} = \frac{76}{28} = 2.7$$

查表 3-25，取修边余量 2mm，故实际凸缘的直径 d_f 为

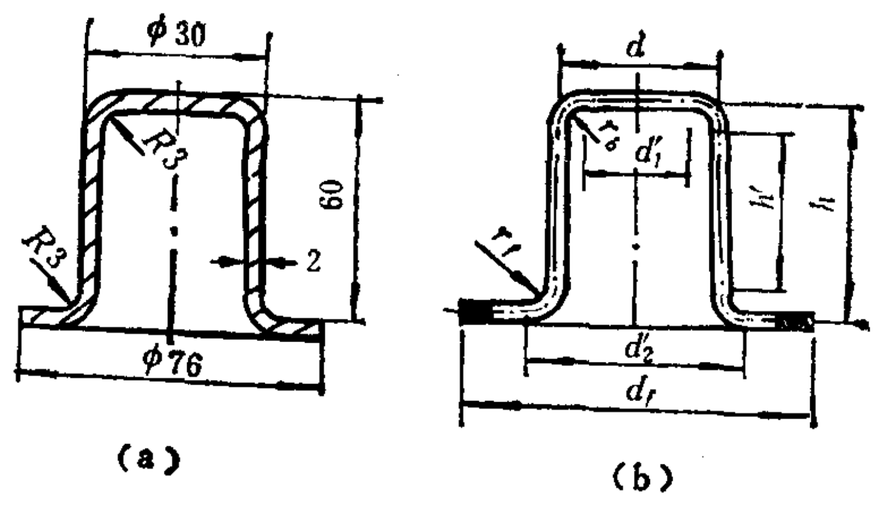


图 3-31 凸缘拉深件计算示例

$$d_f = 76 + 4 = 80\text{mm}$$

按表 3-27 序号 5 所列公式，初步算出毛坯的直径为

$$D = \sqrt{d_f^2 - 3.44dr + 4dh}$$

$$= \sqrt{80^2 - 3.44 \times 28 \times 4 + 4 \times 28 \times 60}$$

$$= \sqrt{6400 - 385.3 + 6720}$$

$$= \sqrt{12734}$$

$$\approx 113\text{mm}$$

计算

$$\frac{h}{d} = \frac{60}{28} = 2.14$$

$$\frac{t}{D} \times 100 = \frac{2}{113} \times 100 = 1.77$$

$$\frac{d_f}{d} = \frac{80}{28} = 2.86$$

制件的总拉深系数为

$$m_\Sigma = \frac{d}{D} = \frac{28}{113} = 0.25$$

2）查表 3-37，在相同情况下极限拉深系数为 0.33 大于 0.25，故该制件不能一次拉出。

http://shop62964869.taobao.com/

若查表 3-36，得 $h_1/d_1 = 0.22$，更小于制件的 $h/d = 2.14$，故同样说明制件不能一次拉深出来。

初选 $d_1/d_1 = 1.1$，查表 3-37 得极限拉深系数

$$m_1 = 0.50$$

今实际选取 $m_1 = 0.51$

则

$$d_1 = m_1 D = 0.51 \times 113 = 58\text{mm}$$

3）确定 r_p、r_d，计算第一次拉深高度 h_1

取 $r_{p1} = r_{d1} = 8.8\text{mm}$

为了在拉深过程中不使凸缘部分再受拉，故取第一次拉入凹模的材料比原制件相应部分表面积多拉入 5%，故毛坯直径应修正为

$$D = \sqrt{[12734 - (80^2 - 36^2)] \times 1.05 + (80^2 - 36^2)}$$

$$= \sqrt{7630 \times 1.05 + 5104}$$

$$= 115\text{mm}$$

则按式 3-26，第一次拉深高度为

$$h_1 = \frac{(D^2 - d_1^2)}{4d_1} + 0.86r_1 = \frac{(115^2 - 80^2)}{4 \times 58} + 0.86 \times 9.8 = 37.9\text{mm}$$

4）验算 m_1 选得是否正确

第一次拉深相对高度

$$\frac{h_1}{d_1} = \frac{37.9}{58} = 0.65$$

查表 3-36，当 $\frac{d_1}{d_1} = \frac{80}{58} = 1.38$ 时，

则

$$\frac{h_1}{d_1} = 0.69 > 0.65$$

故上述计算是恰当的。

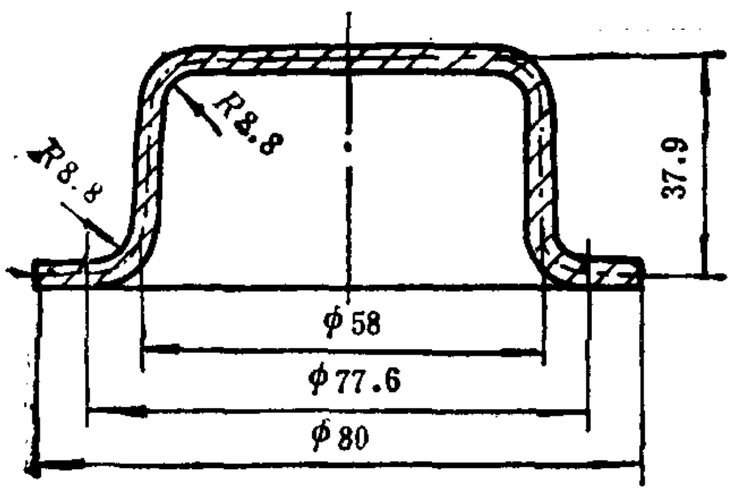


图 3-32 第一次拉深后的半成品尺寸

第一次拉深后的半成品尺寸如图 3-32 所示。

5）求以后各次的拉深半成品尺寸

查表 3-38，取

$$m_2 = 0.74,\ m_3 = 0.77,\ m_4 = 0.79$$

则

$$d_2 = m_2 d_1 = 0.74 \times 58 = 42.9\text{mm}$$

$$d_3 = m_3 d_2 = 0.77 \times 42.9 = 33\text{mm}$$

因 $d_4 = m_4 d_3 = 0.79 \times 33 = 26.1\text{mm} < 28\text{ mm}$

（制件直径 d）

故需将各次拉深系数调整如下

取 $m_2 = 0.75$ $m_3 = 0.78$ $m_4 = 0.83$

这时，各次拉深直径为

$$d_2 = m_2 d_1 = 0.75 \times 58 = 43.5\text{ mm}$$

http://shop62964869.taobao.com/

$$d_3 = m_3 d_2 = 0.78 \times 43.5 = 33.9 \text{ mm}$$

$d_4 = m_4 d_3 = 0.83 \times 33.9 = 28$ mm = 制件直径 d，这说明拉深系数调整恰当。

求以后各次拉深的模具圆角半径

取

$$r_{p2} = r_{d2} = 4.4 \text{ mm}$$

$$r_{p3} = r_{d3} = 3.6 \text{ mm}$$

$$r_{p4} = r_{d4} = 3 \text{ mm}$$

(最后一次拉深的模具圆角半径尺寸应取与制件一致)。

设第二次拉深时多拉入 3% 的材料(其余 2% 的材料返回到凸缘上)。为了计算方便，先求出其假想的毛坯直径

$$D' = \sqrt{7630 \times 103\% + 5104} = \sqrt{7859 + 5104} = 114 \text{ mm}$$

$$h_2 = \frac{1}{4 \times 43.5}(114^2 - 80^2) + 0.86(5.4) = 42.5\text{mm}$$

设第三次拉深多拉入 1.5% 的材料，则假想毛坯直径为

$$D' = \sqrt{7630 \times 101.5\% + 5104} = \sqrt{7745 + 5104} = 113 \text{ mm}$$

$$h_3 = \frac{1}{4 \times 33.9}(113^2 - 80^2) + 0.86(4.6) = 51 \text{ mm}$$

$$h_4 = 60 \text{ mm}$$

计算的结果见表 3-39

表 3-39　各次拉深半成品尺寸

拉深次数	拉深直径(外径) (mm)	拉深高度 h (mm)	凸、凹模圆角半径 (mm)	
			r_p	r_d
1	60	37.9	8.8	8.8
2	45.5	42.5	4.4	4.4
3	35.9	51	3.6	3.6
4	30	60	3.0	3.0

拉深有凸缘圆筒形件的凸、凹模结构是与用压边圈拉深无凸缘圆筒形件时一样。

(五) 反拉深

反拉深(见图 3-33)是区别于一般正向拉深的一种拉深方法，它如图所示，是从筒形件毛坯的底部反向压下，使毛坯内表面变为外表面，它适用于薄料进行第二次和以后各次的拉深。由于它可以增大径向拉力和避免起皱，所以不仅可用于圆筒形件拉深，还较广泛用于半球形件、抛物线形件和锥形件等特殊形状制件的拉深。再者，它还可比正拉深显著地降低拉深的工序次数。

从毛坯的应力状态和变形特点来看，反拉深与正拉深无本质差别，但反拉深时，毛坯侧壁

http://shop62964869.taobao.com/

反复弯曲的次数少，材料硬化程度稍低，残余应力也较小。反拉深时，凹模圆角半径 r_d 要受到制件尺寸的限制，其最大值不能超过 $(d_1 - d_2)/4$，一般取最小 r_d 为

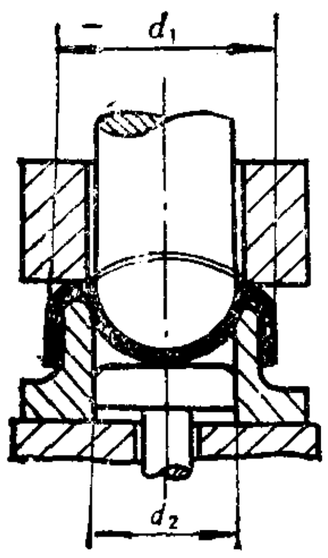


图 3-33　反拉深

$$r_d > (2 \sim 6)t$$

式中，厚料取小值，薄料取大值。

反拉深时，最小圆筒直径约为

$$d = (30 \sim 60)t$$

由上可知，反拉深法不适于拉深直径小而厚度大的制件。

因毛坯相对厚度不同，反拉深时，有用压边圈和不用压边圈两种形式。

反拉深的拉深系数可比正拉深小 10%，但一般取 0.75。反拉深的拉深力比正拉深约大 20% 左右。

（六）阶梯圆筒形件拉深

阶梯圆筒形件拉深变形特点，基本上与圆筒形拉深相同，但由于各个阶梯圆筒尺寸上的变化，拉深次数和拉深方法有所不同。

1. 如大、小直径差值小，高度又不大，阶梯仅 2～3 个，一般可一次拉成。

2. 如各个相邻两阶梯直径的比值 d_n/d_{n-1}，均大于相应的圆筒形件的极限拉深系数，则可每一工序拉出一个阶梯，由大阶梯到小阶梯依次拉出。

3. 如某相邻的两个阶梯直径比值，小于圆筒形件的极限拉深系数，则这个阶梯的成形，应按宽凸缘制件的拉深方法，先拉出小阶梯，再拉大阶梯部分。如图 3-34 中，d_2/d_1 小于相应的极限拉深系数，故在 d_2 拉出后，再用工序Ⅴ拉出 d_1。

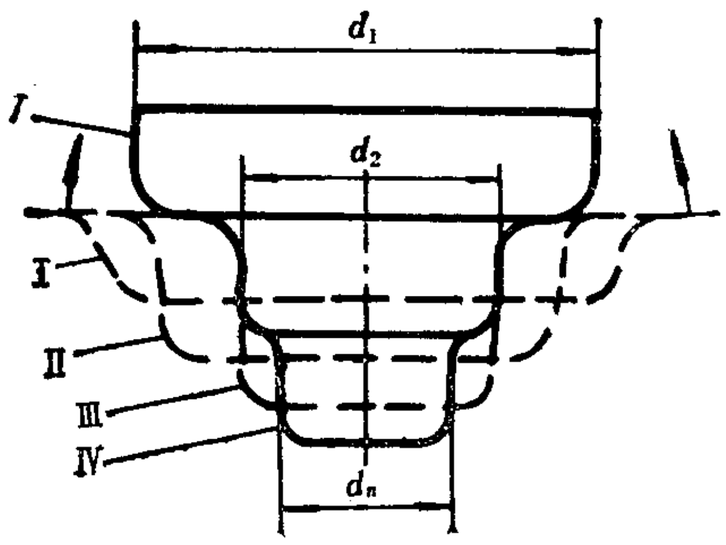


图 3-34　拉深顺序

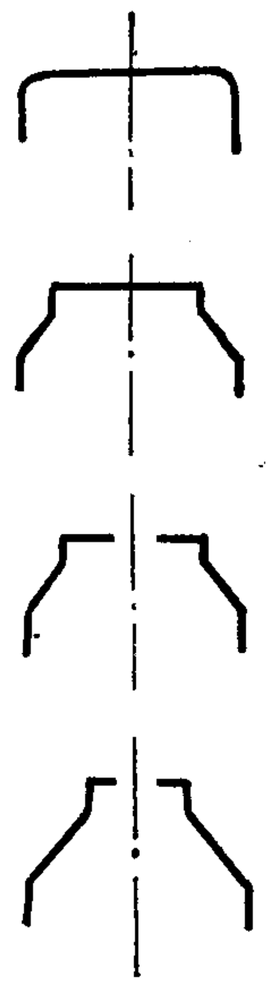


图 3-35　阶梯部分带锥形制件

4. 大、小直径差值大，阶梯部分带锥形的制件，可以一次或多次工序先拉出大直径，然后在拉深小直径过程中拉出侧壁锥形，最后再经整形。如小直径阶梯头部有孔，则利用预冲工艺孔

http://shop62964869.taobao.com/

可减少工序(如图 3-35)。

5. 对阶梯大、小直径差值大,其大或小直径阶梯也较深的制件:

1) 当小直径阶梯较深,一般采用宽凸缘成形法,先成形小直径部分,然后拉深外形 (见图 3-36)。

2) 当大直径阶梯较深,先拉深大直径,将其头部拉成曲面锥形,利用有多余的材料, 再拉成小直径部分,或采用反拉深法,拉成小直径。

(七) 球形、抛物线形及锥形件的拉深

这几种形状制件拉深的共同特点是拉深开始时,凸模只与毛坯中心小部分材料接触,因而

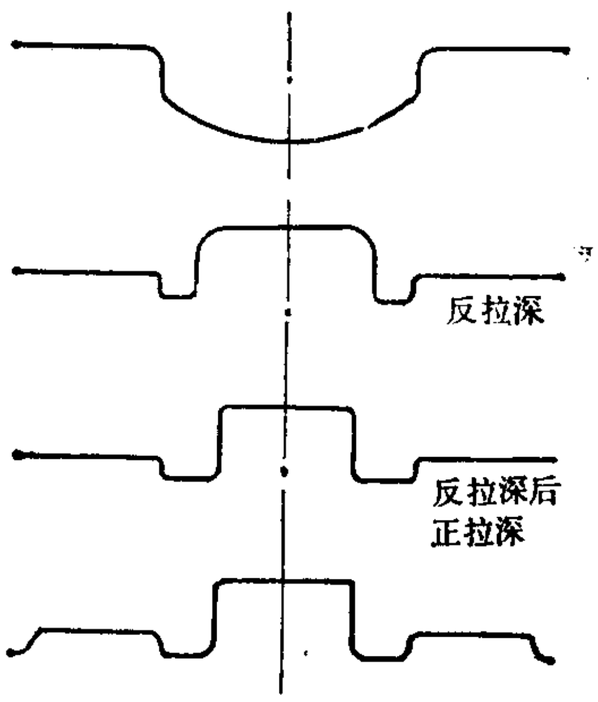


图 3-36 大、小直径差别大的制件

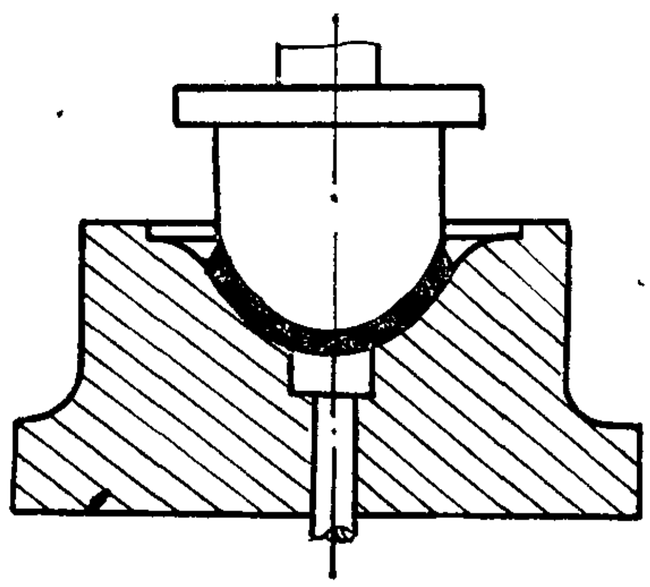


图 3-37 半球形件带校正拉深

这部分材料受到双向拉应力,容易有较多的变薄;再者,因压边圈压住毛坯面积不多,所以极易起皱。

1. 球形件拉深

对于半球形件的拉深,其拉深系数 m 值为

$$m = \frac{d}{D} = \frac{d}{\sqrt{2}\,d} = 0.71 = 常数$$

所以不能以拉深系数作为制订工艺的依据。由于其较易起皱, 因而可根据毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$ 数值的变化来考虑拉深工艺的安排。

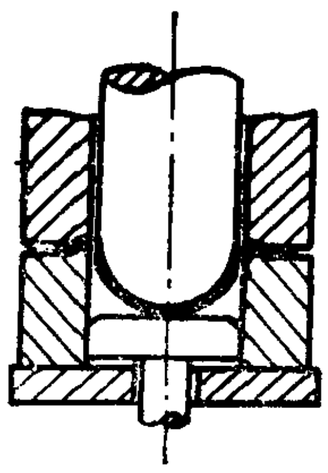


图 3-38 球形件采用拉深筋拉深

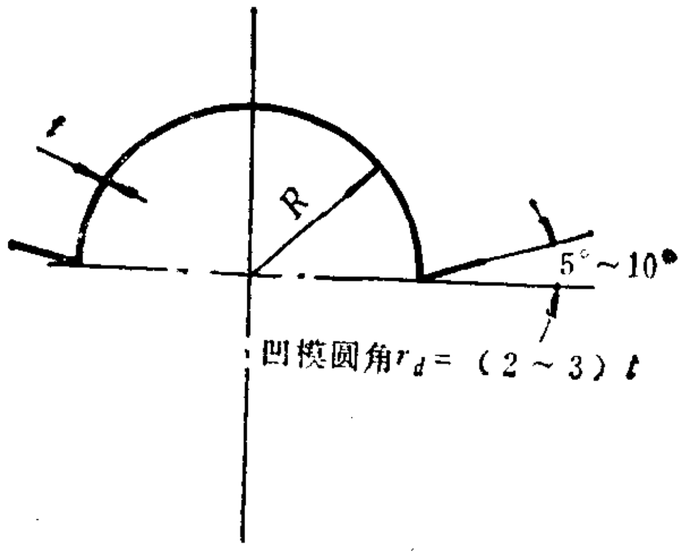


图 3-39 用反锥压紧方式拉深得到的球形件

http://shop62964869.taobao.com/

(1) 当 $(t/D) \times 100 > 3$ 时，可不用压边一次拉成，但需用球底凹模，进行镦压校形（见图 3-37），为此，以采用摩擦压力机为好。

(2) 当 $(t/D) \times 100 = 0.5 \sim 3$ 时，需采用压边或反向拉深（见图 3-33）。

(3) 当 $(t/D) \times 100 < 0.5$ 时，需采用拉深筋（见图 3-38）或反锥压紧方式（见图 3-39）或反拉深或先拉出一过渡形状（见图 3-40）。

(4) 对于尺寸大而料薄的球形件，也采用图 3-41 所示的两次弯曲的拉深方法。

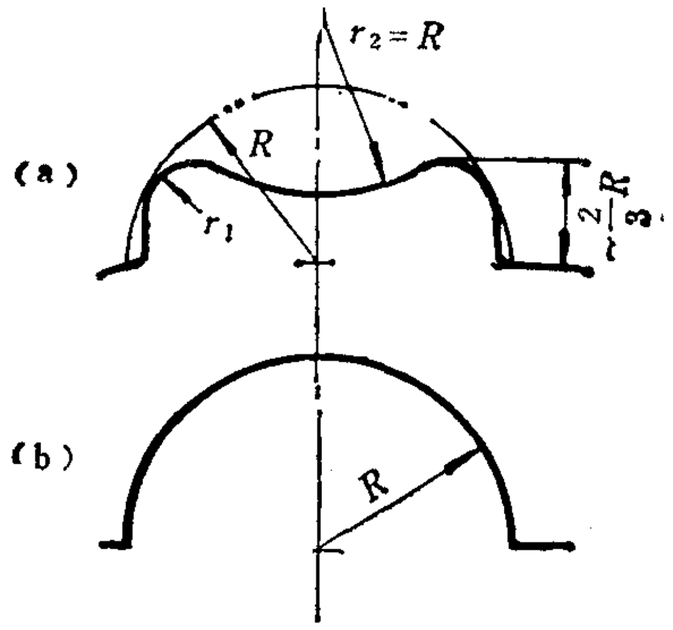


图 3-40 球形件通过过渡形状成形
(a) 过渡形状 (b) 球形件

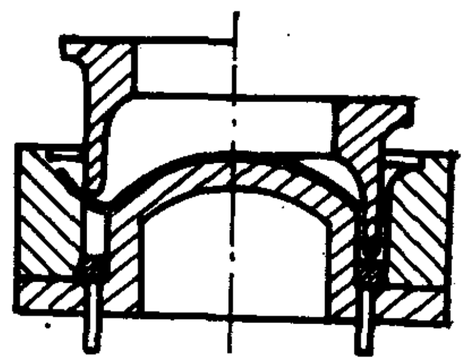


图 3-41 两次弯曲的拉深方式

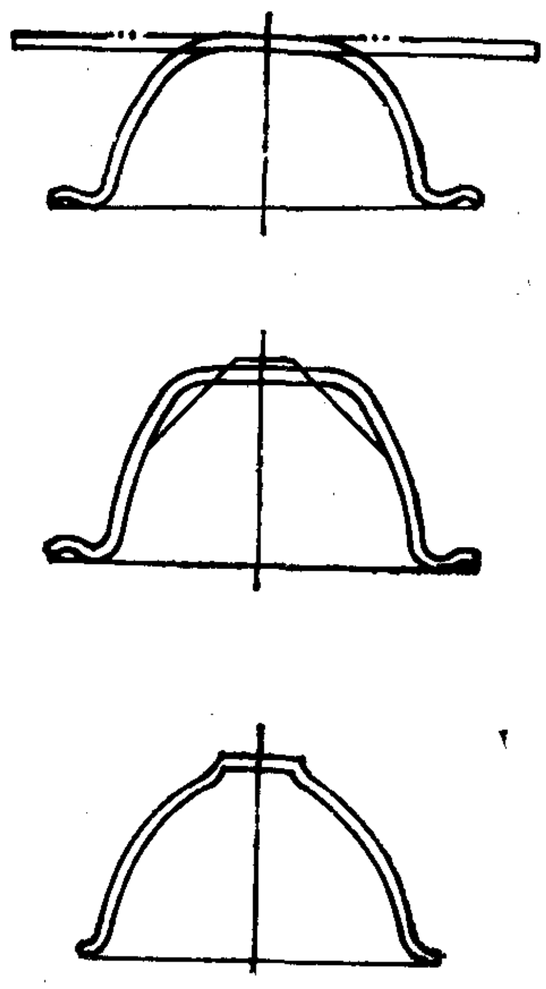


图 3-42 直接正拉深法

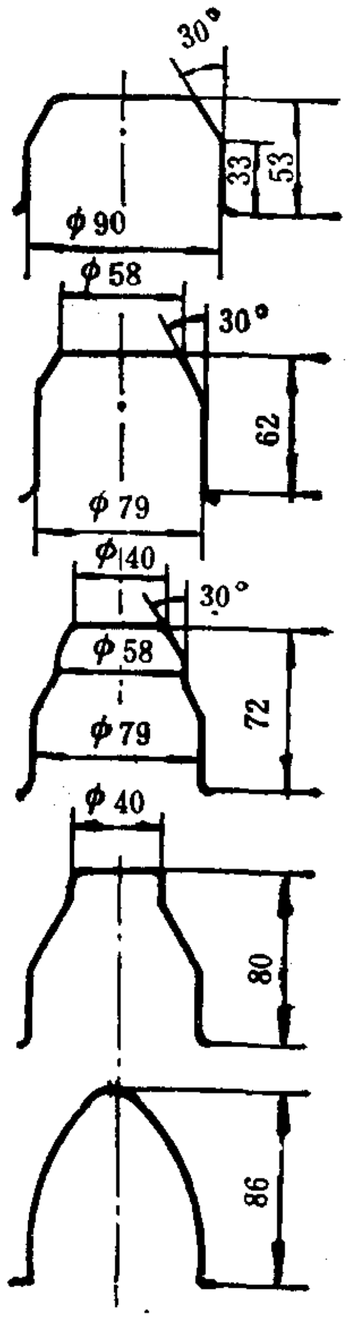


图 3-43 阶梯拉深法

2. 抛物面形件拉深

http://shop62964869.taobao.com/

抛物面形件的拉深方法与半球形件类似。它根据 (h/d) 和 $(t/D)\times 100$ 比值，可采用不同的拉深方法。

(1) 较浅的抛物面形制件 $(h/d=0.5\sim 0.7)$

当 $(t/D)\times 100>3$ 时，采用直接正拉深法，一般可以先使下部形状按制件要求尺寸拉深成近似形状，然后在再拉深过程中，使制件上部接近图纸尺寸，最后全部拉深成形(如图 3-42)。

(2) 较深的抛物面形制件 $(h/d>0.7)$

较深的抛物面形制件的成形可采用下列方法：

1) 阶梯拉深法(图 3-43)

用多次拉深拉到大直径，保持大直径不变，拉成近似形状的阶梯圆筒形件，最后以胀形成形。

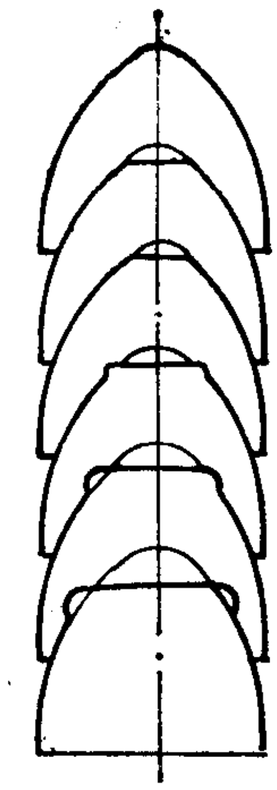


图 3-44　曲面增大法

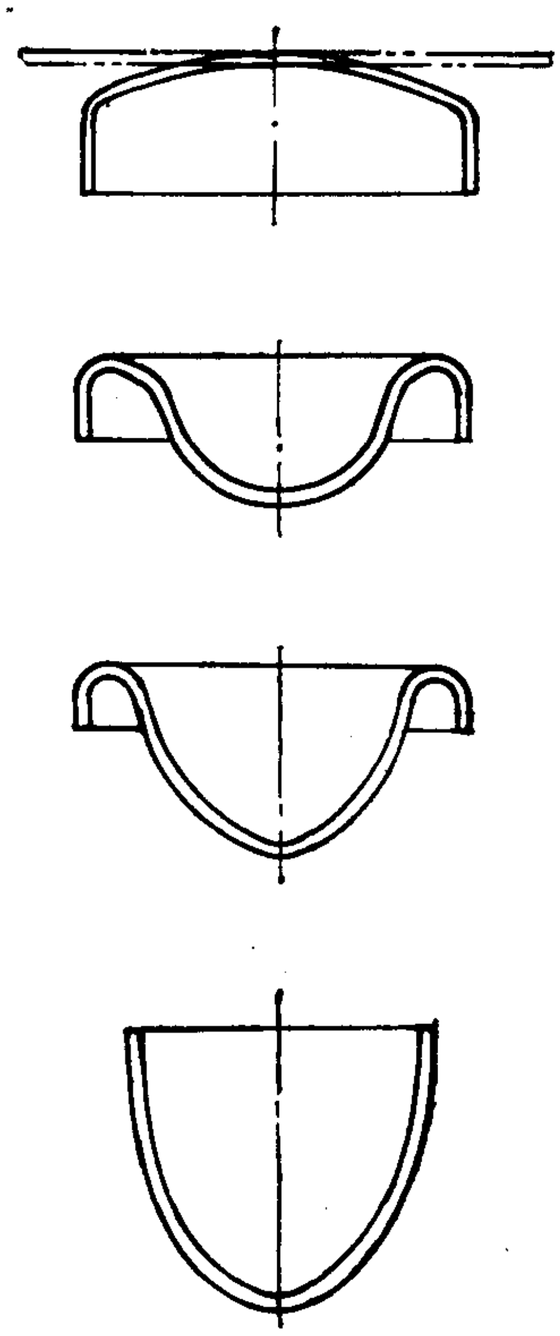


图 3-45　反拉深法

2) 曲面增大法(图 3-44)

逐渐增加深度，扩大曲线表面的同时，减少顶部的圆角半径。

3) 反拉深法(图 3-45)

用多次拉深使拉深直径减小，制成反拉深所需的圆筒形尺寸；然后用反拉深，最后用胀形成形。如制件较深，则要经多次反拉深，最后用胀形成形。

3. 锥形件拉深

由于锥形件各部分尺寸比例关系的不同，其冲压成形的难易程度和方法也有很大差别。根据锥形件的相对高度 h/d、锥角 α 和毛坯相对厚度 $(t/D)\times 100$ (图 3-46)，拉深方法大体可分以下几类：

http://shop62964869.taobao.com/

(1) 低锥形件 ($h/d < 0.2, \alpha = 50 \sim 135°$) (见图 3-47)

这类制件的拉深变形程度不大,可一次拉成;但为克服材料回弹,必须给以足够的拉力,如采用拉深筋或反锥度压紧方式。制件若无凸缘,可先拉出凸缘,然后再切去。

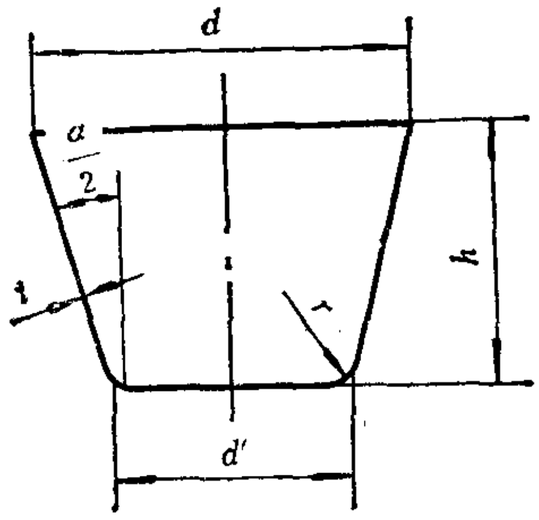


图 3-46 锥形件尺寸

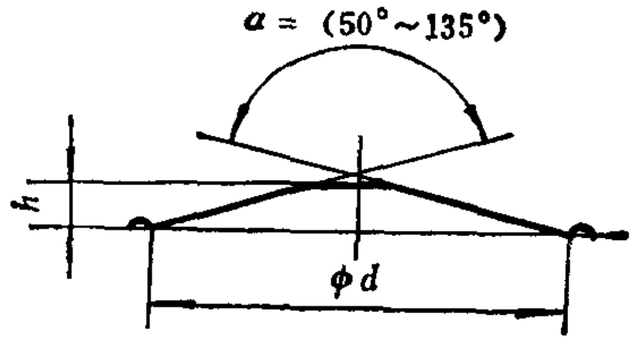


图 3-47 低锥形件

(2) 中锥形件 ($h/d = 0.3 \sim 0.5, \alpha = 25 \sim 45°$)

1) 当 $\frac{t}{D} \times 100 > 2.5$, 可一次拉成,不用压边,但应镦死整形。

2) 当 $\frac{t}{D} \times 100 = 1.5 \sim 2$, 可一次拉成,但为防止起皱,应采用强压边。

3) 当 $(t/D) \times 100 < 1$, $d'/d \leqslant 0.5$ (见图 3-46) 或有凸缘时,需要几次拉深,一般可先拉成面积相等的简单过渡形状(见图 3-48),然后拉成所需要的形状。

(3) 截头高锥形件 ($h/d > 0.5, \alpha \leqslant 10°$)

这类制件多数是截头锥体,大小直径相差很小,可采用筒形过渡到锥形的方法。即在前面的各次工序拉深成筒形件,而在最后一次拉深成锥形件。最后一次的拉深系数 m_n 为

$$m_n = \frac{d_{nm}}{d_{n-1}}$$

式中 d_{nm}——锥形件平均直径,

$$d_{nm} = \frac{d + d'}{2};$$

d、d'——锥形件的大、小直径。

不同毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$ 的 m_n 值见表 3-40。

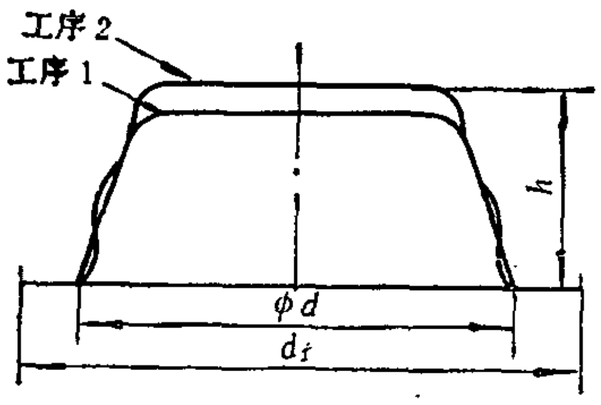


图 3-48 中锥形件

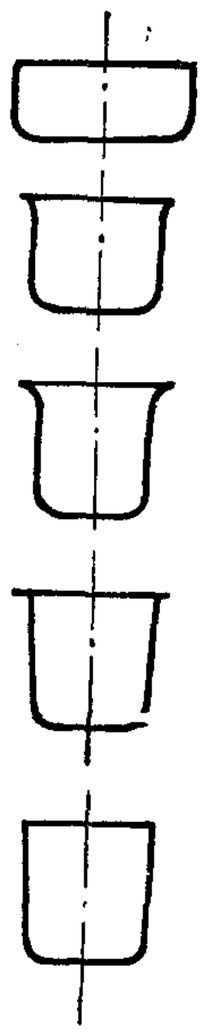


图 3-49 截头高锥形件正拉深成形

截头高锥形件选用正拉深或反拉深方法的条件为:

1) 当 $(t/D) \times 100 > 1$ 时,较多用正拉深(见图 3-49)。

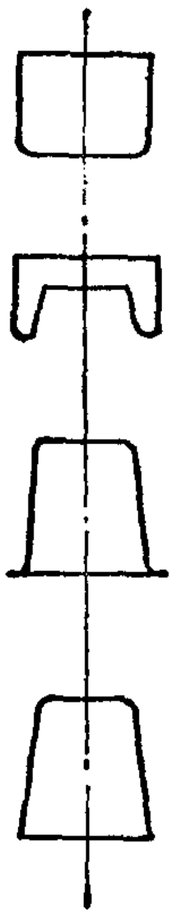
http://shop62964869.taobao.com/

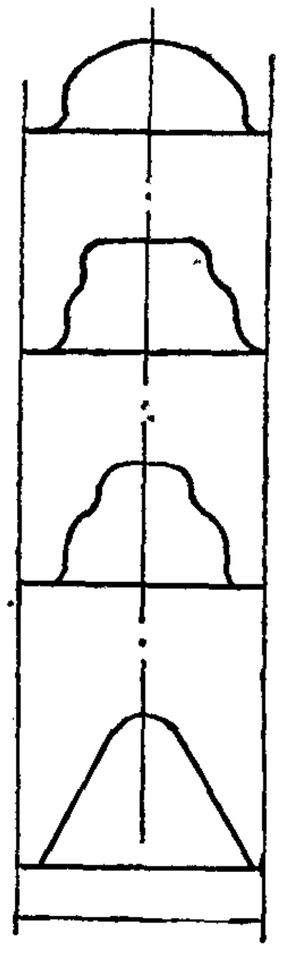
表 3-40　高锥形件拉深系数

毛坯相对厚度 $(t/D)\times100(\%)$	0.5	1.0	1.5	2.0
拉深系数 m_n	0.85	0.8	0.75	0.7

2）当 $(t/D)\times100<1$ 时，较多用反拉深(见图 3-50)。

(4) 尖头高锥形件 $(h/d>0.5,\alpha\leqslant45°)$





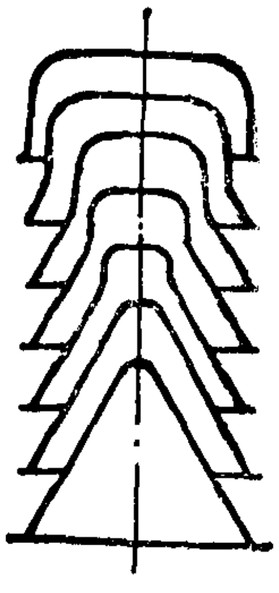


图 3-50　截头高锥形件反拉深成形　图 3-51　尖头高锥形件阶梯式成形法　图 3-52　尖头高锥形件锥面增大法

这类制件多数是尖头锥体，或者大小直径相差很大，需要多次拉深，拉深方法通常有两种：

1）阶梯式法(见图 3-51)

阶梯式法是先拉成具有大圆角半径过渡的阶梯形的中间毛坯，然后经整形成锥形。缺点是制件表面留有痕迹。

2）锥面增大法(见图 3-52)

锥面增大法是根据逐渐拉大锥形表面而得出制件。该方法采用较多，表面质量较好。

（八）带料级进拉深

带料级进拉深(或称带料连续拉深)的工艺计算包括：选择冲压方法(单行或多行，有、无工艺切口)，决定拉深工步次数、各次拉深直径和各工步多拉入凹模的材料百分比等。由计算结果可得出级进拉深的工艺简图，接着就可进行冲模结构的设计。

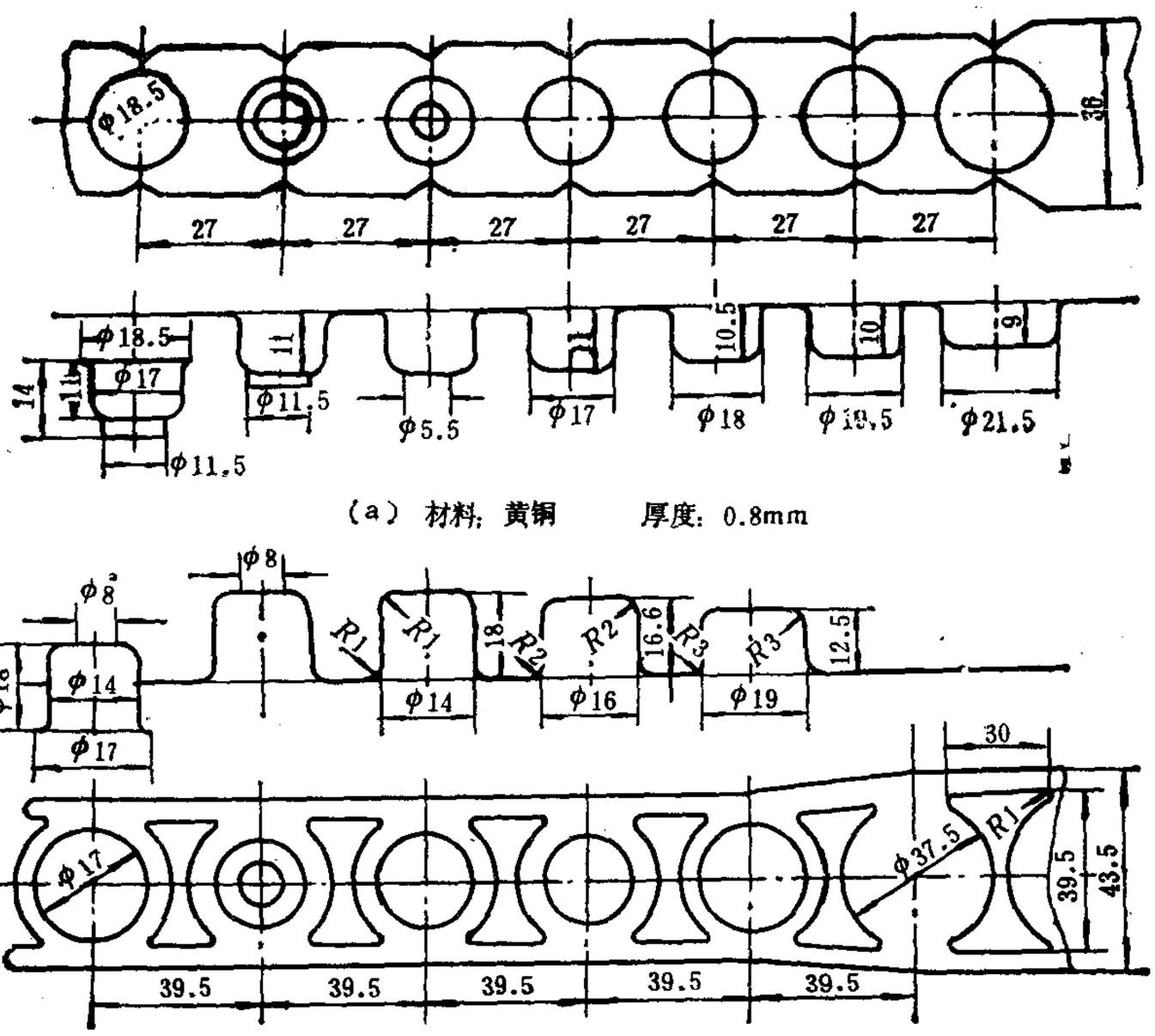
1. 分类和应用范围

带料级进拉深有，无工艺切口的级进拉深和有工艺切口的级进拉深两种(见图3-53)，其应用特点见表 3-41。

2. 料宽和进距计算

带料进行级进拉深时，料宽和进距计算见表 3-42。

http://shop62964869.taobao.com/



（a） 材料：黄铜　　厚度：0.8mm

（b）材料：08号钢　厚度：1.2mm

图 3-53　带料级进拉深简图

（a）无工艺切口　（b）有工艺切口

表 3-41　带料级进拉深有、无工艺切口的应用特点

分　类	大致应用尺寸范围	应用上特点
无工艺切口	相对厚度大的窄凸缘件： $t \geqslant 0.05d$ $d_f = (1.1 \sim 1.2)d$	主要用于尺寸不大的圆筒形件的多行拉深；比较省料。
有工艺切口	相对厚度小的宽凸缘件： $t < 0.05d$ $d_f > 1.2d$	较广泛适用于圆筒形件，锥形件，矩形件等复杂形状；比较费料。

如利用侧刃送进带料(一般用手工操作)，则在计算料宽时，还应加上侧刃切口宽度(见表3-45)。

3. 带料级进拉深的拉深系数和相对拉深高度

(1) 带料上无工艺切口的拉深

带料上无工艺切口的第一次拉深的名义拉深系数（$m_1 = d_1/D_1$）见表 3-46；其相应第一次拉深时的最大拉深相对高度 h_1/d_1 见表3-47。

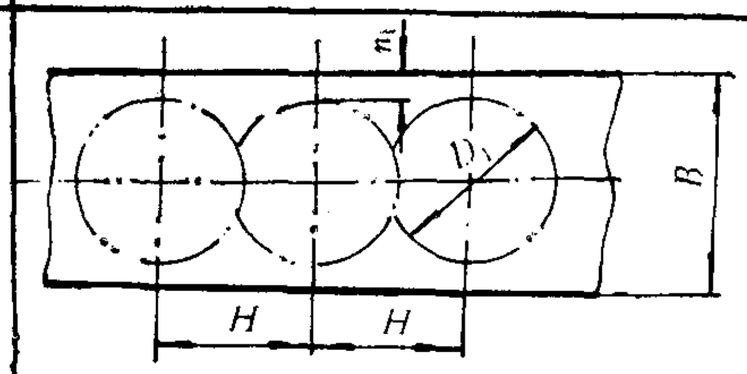
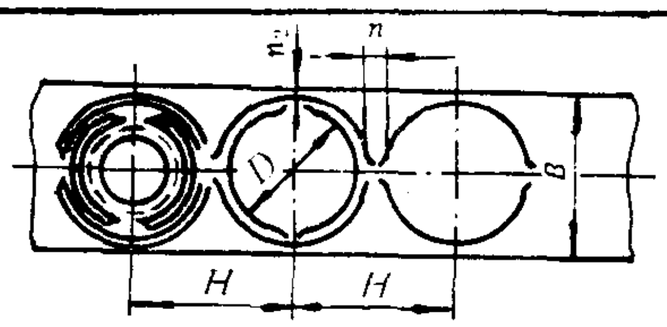
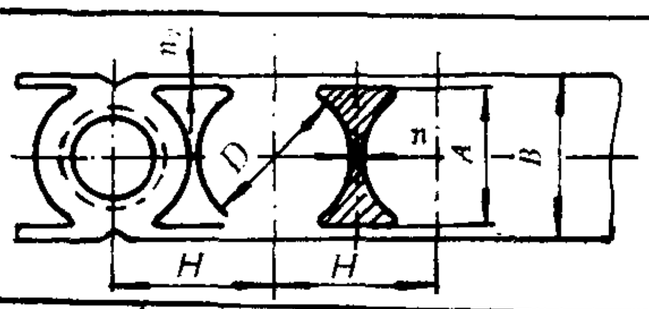
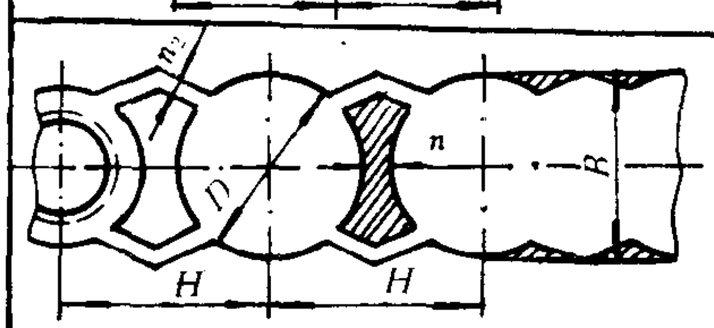
无切口的带料级进拉深，由于相邻两个拉深件变形时相互牵制，变形比较困难，所以其拉深系数要取得大一些。以后各次的拉深系数见表 3-48。

(2) 带料上有工艺切口的拉深

对有凸缘圆筒形件的第一次拉深的极限拉深系数见表 3-49，其相应第一次拉深时的相对高度 h_1/d_1 见表 3-50。带料上有工艺切口的以后各次拉深时的拉深系数可参照表 3-51。

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-42　带料级进拉深时的料宽和进距

拉深方法	图示	料宽计算公式	进距计算公式
无工艺切口		$B = D_1 + 2n_1$ $= 1.1D_0 + 2n_1$	$H = D_1 = 1.1D_0$
有工艺切口		$B = D + 4n_2$	$H = D + n$
		$B = A + 2n_2$ $= (1 \sim 1.05)(D_0 + b) + 2n_2$	$H = D + n$
		$B = D = D_0 + b$	$H = D + n$

注：1．B——带料宽度（mm），H——进距（mm）。
2．D_0——未考虑修边余量的计算毛坯直径（mm）。
3．D——考虑直径上修边余量后的实际毛坯直径（mm），$D = D_0 + b$。
4．D_1——名义毛坯直径（mm），$D_1 = 1.1D_0$。
5．b——直径方向的修边余量（mm）见表 3-43。
6．n、n_1、n_2——相邻工艺切口间搭边宽度和侧搭边宽度（mm），见表 3-44。
7．A——工艺切口宽度（mm），$A = (1 \sim 1.05)D_0$。

表 3-43　直径方向的修边余量 b　　（mm）

名义毛坯直径 D_1	带料厚度 t										
	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
<10	1.2	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	—	—	—	—	—
10～30	1.2	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	—	—	—
30～60	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.5	4	5
>60	—	—	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5	6

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-44　带料级进拉深时搭边　　(mm)

料　　厚	相邻工艺切口间搭边宽度	侧搭边宽度	
	n	无工艺切口 n_1	有工艺切口 n_2
≤0.5	1.5	1.5	1.5
0.5～1.5	1.8	1.75	2.0
>1.5	3.0	2.0	2.5

表 3-45　进距侧刃切口宽度　　(mm)

料　　厚	侧刃切口宽度
<0.5	0.6～1.0
0.5～1.5	1.0～1.5
1.5～2.5	1.5～2.0
2.5～3.5	2.0～2.5

表 3-46　第一次拉深的名义拉深系数 m_1 值

凸缘相对直径 d_f/d_1	毛坯相对厚度 $(t/D_0)\times100$ (%)		
	0.5～1.0	1.0～1.5	1.5～2.0
<1.1	0.55	0.53	0.50
1.5	0.60	0.58	0.56
2.0	0.66	0.64	0.62
2.5	0.73	0.70	0.68

表 3-47　无切口第一次拉深时的最大拉深相对高度 h_1/d_1

凸缘相对直径 d_f/d_1	毛坯相对厚度 $(t/D_0)\times100$ (%)		
	0.5～1.0	1.0～2.0	>2.0
1.3	0.35	0.40	0.45
1.5	0.32	0.36	0.40
2.0	0.30	0.32	0.35

表 3-48　无工艺切口拉深时的以后各次拉深系数(钢 10)

拉　深　系　数	毛坯相对厚度 $(t/D_0)\times100$(%)		
	0.5～1.0	1.0～2.0	>2.0
m_2	0.85	0.82	0.80
m_3	0.87	0.84	0.82
m_4	0.90	0.87	0.85
m_5	0.92	0.89	0.87

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-49　有工艺切口拉深时第一次拉深的极限拉深系数 m_1

凸缘相对直径 d_f/d_1	毛坯相对厚度 $(t/D_0)\times100$ (%)		
	0.5～1.0	1.0～1.5	1.5～2.0
1.1	0.55	0.53	0.5i
1.5	0.50	0.49	0.47
2.0	0.44	0.43	0.42
2.5	0.38	0.38	0.37

表 3-50　有工艺切口第一次拉深时的最大拉深相对高度 h_1/d_1

凸缘相对直径 d_f/d_1	毛坯相对厚度 $(t/D_0)\times100$ (%)		
	0.5～1.0	1.0～1.5	1.5～2.0
1.1	0.56	0.65	0.75
1.5	0.45	0.50	0.58
2.0	0.32	0.36	0.42
2.5	0.22	0.25	0.28

表 3-51　有工艺切口拉深时的以后各次拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度 $(t/D_0)\times100$ (%)		
	0.5～1.0	1.0～1.5	1.5～2.0
m_2	0.76	0.75	0.73
m_3	0.79	0.78	0.75
m_4	0.82	0.80	0.78
m_5	0.84	0.82	0.80

在进行以上工艺计算时，有以下几点应予注意：

1）带料上有工艺切口拉深时，在得到所需凸缘尺寸后，其尺寸在以后工步应保持不变或稍有增加。

2）毛坯表面的大部分应拉入第一次拉深的凹模中，有时在第一次拉深过程中，仅在毛坯平面部分留修边用的余量和相连接的搭边。

3）当毛坯的相对厚度 $\left(\frac{t}{D}\times100\right)$大于 2 时，第一次拉入凹模的材料应比计算的多 3～5%。

4）对带料级进拉深，不必力求减少拉深次数，因它并不反映提高生产率。在大部情况下，常需调整拉深系数或增多一些工步，这要预先考虑到的。

5）带料级进拉深与宽凸缘拉深相似，在各次工步计算半成品尺寸时，应以材料的中间厚度(中径)为依据，并应根据各工步的毛坯体积或表面积不变的原则。

http://shop62964869.taobao.com/

若已知圆筒形件各工步拉深直径和圆角半径，求各次拉深高度，则在凸缘圆角和制件底部圆角相等时：

第一次拉深：$h_1 = 0.25(D^2 - d_1^2)/d_1 + 0.86r_1$

第 n 次拉深：$h_n = 0.25(D^2 - d_1^2)/d_n + 0.86r_n$

对复杂形状拉深件的计算可利用久里金方法(即母线单元按回转轴回转一周，就可得到这回转体单元的表面积)。

影响圆筒形拉深高度的因素主要有拉深直径和圆角半径，在不改变直径而仅减少数值上相等的凸缘圆角和底部圆角时，则可减少的拉深高度 Δh 为

$$\Delta h = 0.86(r_1 - r_2) \qquad (3\text{-}32a)$$

若只改变其中一个圆角半径，则

$$\Delta h = 0.43(r_1 - r_2) \qquad (3\text{-}32b)$$

式中 r_1——原先凸模或凹模的圆角半径(即相当原先拉深件上底部圆角或凸缘圆角的半径)。

r_2——减少后的凸模或凹模的圆角半径。

若同时减少直径和圆角半径，其拉深高度计算见前面宽凸缘拉深公式(3-30)和(3-31)。

带料级进拉深时的凸、凹模圆角半径可比一般拉深取小一些，其数值见表 3-52。

表 3-52 带料级进拉深时的凹模和凸模圆角半径

拉深工步	毛坯相对厚度 $(t/D_0)\times100$ (%)		
	0.5—1.0	1.0—2.0	>2.0
第一次拉深	$(5-6)t$	$(4-5)t$	$(3-4)t$
以后各次拉深	$(0.7-0.8)r_{n-1}$	$(0.65-0.7)r_{n-1}$	$(0.6-0.7)r_{n-1}$

凹模圆角半径随工步进行应逐渐减少，有时在小制件拉深时，从第二道工步以后，均采用同一凹模圆角半径值，而在最后加一整形工序。一般通过整形工序可减少原来圆角半径的1/5～1/2。

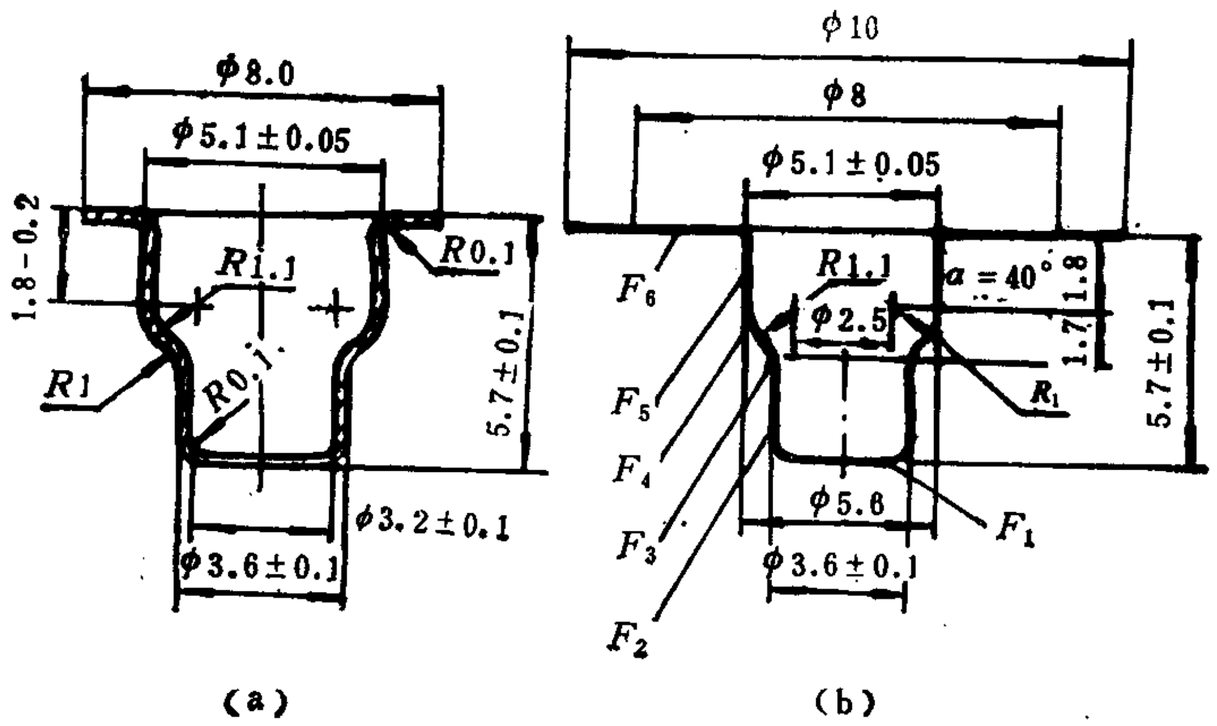


图 3-54 带料级进拉深件
(a) 制件 (b) 制件单元的划分

http://shop62964869.taobao.com/

凸模圆角半径，对中等尺寸的制件，取与凹模圆角半径相等，而对小制件可比凹模圆角半径稍大一些。

[例] 带料级进拉深如图 3-54a 所示的制件，材料为镍带，料厚 $t = 0.2$mm，求级进拉深程序。

计算步骤：

1）确定拉深方法

因属于宽凸缘，所以用有工艺切口拉深。

2）确定凸缘直径上修边余量，由表 3-43，$b = 1.2$ 现取 $b = 2$mm，所以凸缘工艺直径 $d = 8 + 2 = 10$ mm。

3）计算毛坯尺寸

如图 3-54b，将制件划分 F_1、$F_2 \cdots F_6$ 六个简单表面形状，按材料中间厚度计算其面积：

$$F_1 = 9.07\text{mm}^2, \quad F_2 = 22.43\text{mm}^2,$$
$$F_3 = 9.8\text{mm}^2, \quad F_4 = 15.16\text{mm}^2,$$
$$F_5 = 27.7\text{mm}^2, \quad F_6 = 58.09\text{mm}^2$$

总的表面积 $\sum F = F_1 + F_2 + \cdots + F_6 = 142.24$mm。

毛坯直径 $D = 1.13\sqrt{142} = 13.52 \approx 13.6$ mm。

4）计算带料宽度

取单行排样，由表 3-44 侧搭边宽度为 1.5mm，因考虑料薄，搭边可少，所以料宽取 16 mm。

5）确定各工步拉深系数

由于材料薄，对拉深过程有可靠保证，经调整后拉深系数和拉深直径见表 3-53。

表 3-53 调整后的拉深系数和拉深直径

工 步	拉深系数	拉深直径（mm）
1	$m_1 = 0.59$	$d_1 = 13.6 \times 0.59 = 8$
2	$m_2 = 0.78$	$d_2 = 8 \times 0.78 = 6.2$
3	$m_3 = 0.82$	$d_3 = 6.2 \times 0.82 = 5.1$
4	$m_4 = 0.84$	$d_4 = 5.1 \times 0.84 = 4.3$
5(整形)	$m_5 = 0.84$	$d_5 = 4.3 \times 0.84 = 3.6$

6）确定凸、凹模圆角半径（r_d、r_p）

凸、凹模圆角半径见表 3-54。

表 3-54 凸、凹模圆角半径

工 步	凸、凹模圆角半径(mm)
1～3	$r_d = r_p = 5t = 5 \times 0.2 = 1$
4	$r_d = r_p = 0.5$
5	$r_d = r_p = 0.1$（按图纸要求）

http://shop62964869.taobao.com/

7）计算各工步拉深高度

计算各工步拉深高度见图 3-55 和表 3-55。

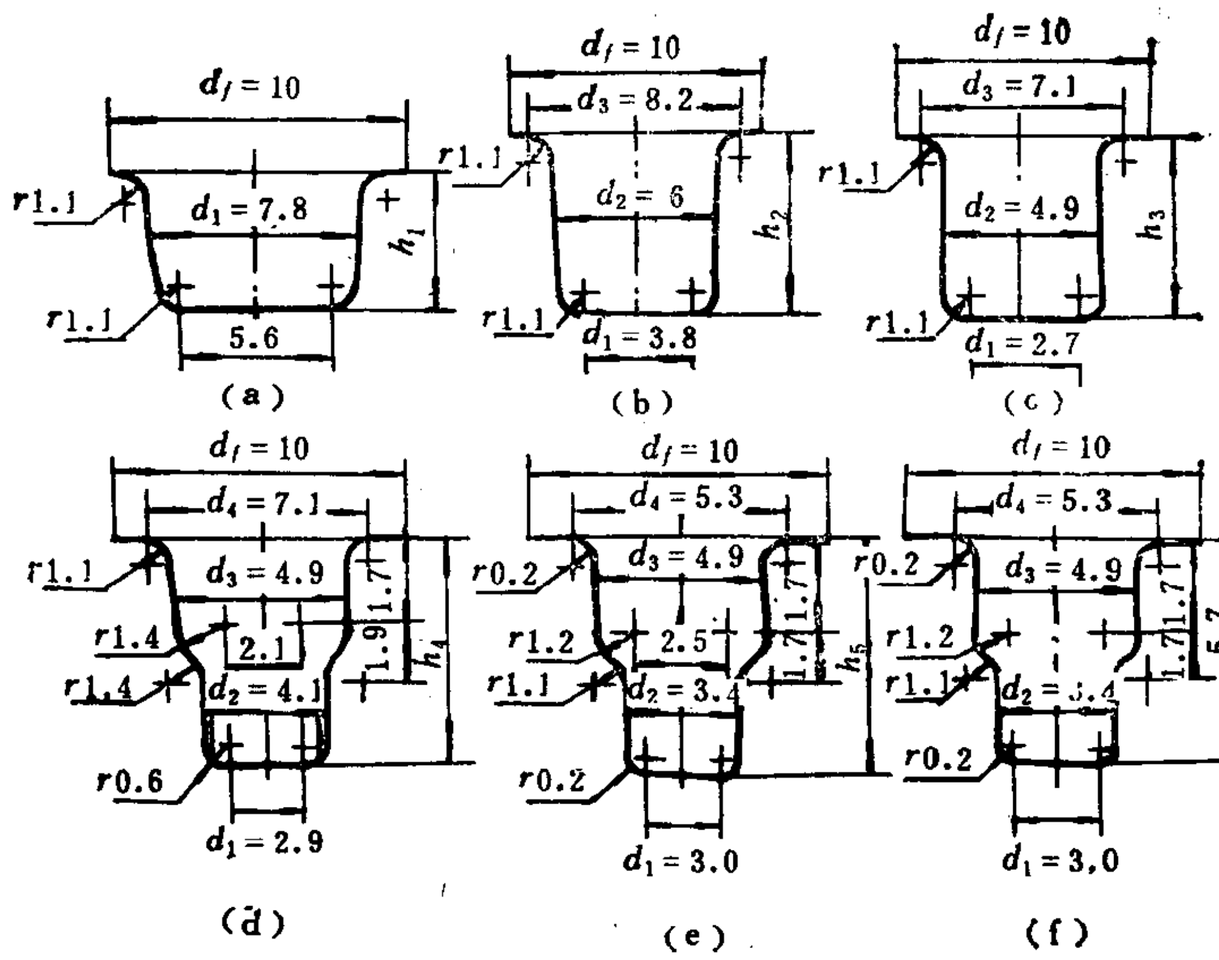


图 3-55　各工步拉深高度的确定

(a) 第一次拉深　(b) 第二次拉深　(c) 第三次拉深　(d) 第四次拉深

(e) 整形　(f) 切底

表 3-55　宽凸缘制件高度计算(参见图 3-55)

拉深工步	已知尺寸 (mm)				拉深高度 (mm)	
	D	d_f	d_n	r_n	h_{nt}①	总高度 $h_n = h_{nt} + t$
1	13.6	10	7.8	1.1	3.67	3.9
2	13.6	10	6.0	1.1	4.5	4.7
3	13.6	10	4.9	1.1	5.3	5.5
4	13.6	10	4.1	$r_p = 0.6$　$r_d = 1.1$		5.8②
5 (整形)	13.6	10	3.4	0.2		6.0②

① $h_{nt} = 0.25(D^2 - d_f^2)/d_n + 0.85r_n$

② 因制件为台阶形，高度尺寸要按久里金方法得到。

薄壁件切底冲内孔，从实际经验制件高度会减少，因而可保证至少得 5.8mm 高度，最后工步经切边后得凸缘直径 8mm。

图 3-56 为设计级进模具所拟订的带料排样和各工步简图。

对厚料和精度要求稍低的制件，其工艺计算和上例是一样的，但容许将计算值圆整到 0.5 mm，对较大制件可圆整到 1mm。

上例计算的级进模具结构见第五章图 5-12。

（九）矩形件拉深

1. 矩形件的变形特点和分区

http://shop62964869.taobao.com/

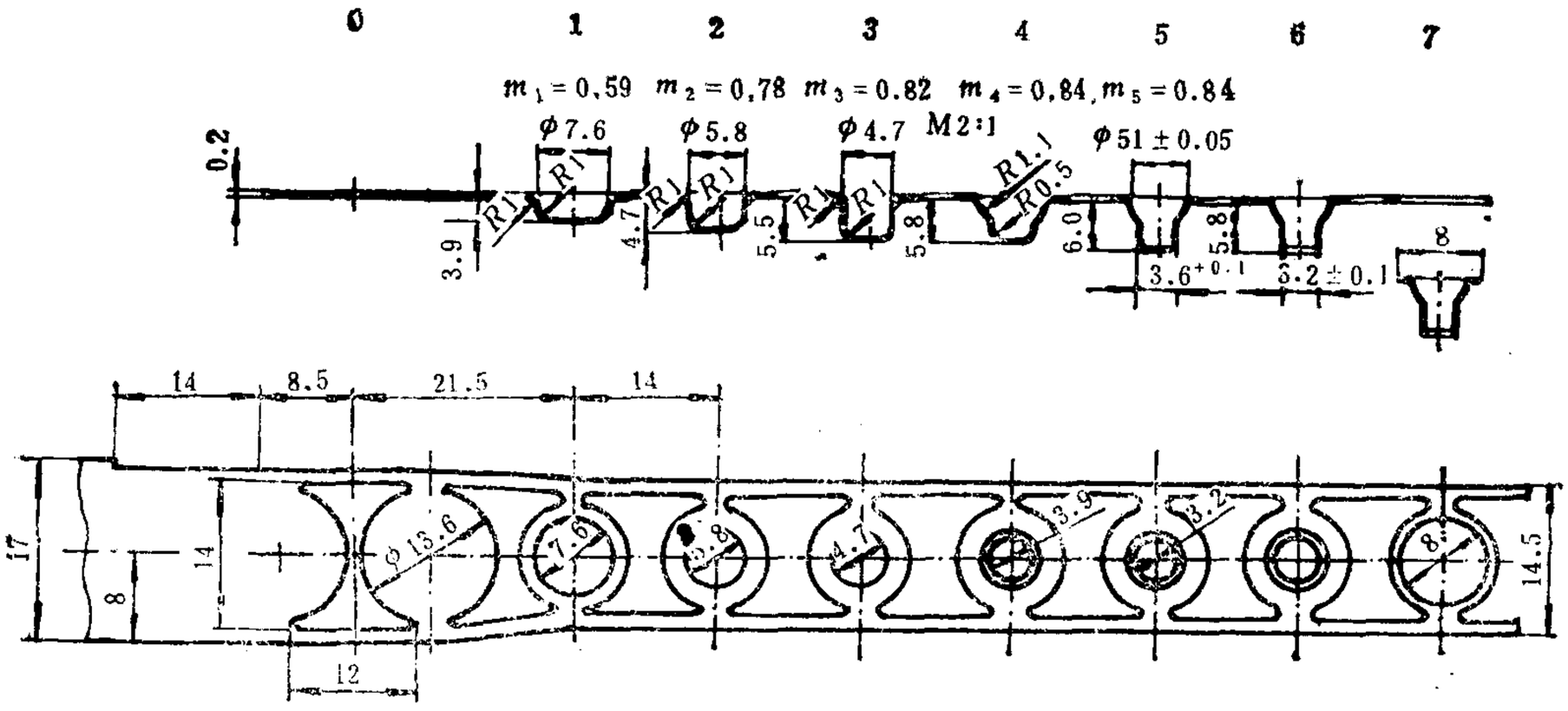


图 3-56　带料级进拉深的排样和各工步简图

0—切口　1—第一次拉深　2—第二次拉深　3—第三次拉深　4—第四次拉深

5—整形　6—切底　7—落料

矩形件拉深过程中的应力和变形比较复杂，应力沿周边分布不均匀，角部的径向拉应力和切向压应力均最大，然后向直边部分逐渐减少；由于直边的存在，使拉裂和起皱可能性都有所减少。就变形来说，它的不均匀程度随相对高度（H/B）和壁与壁间角部的相对圆角半径（r/B）的大小而变化，而 r，B（短边宽度）两者对圆角部分材料向侧壁转移起很大影响。

图 3-57 中以曲线 1 和 2 表示毛坯相对厚度 $(t/D)\times100=2$ 和 $(t/D)\times100=0.6$ 时，r/B 对 H/B 的影响，并由此划分了矩形件需多次和一次拉深的不同区域。

位于界限线 1 以上为需多次拉深的区域（I_a、I_b、I_c），而线 2 以下为只需一次拉深的区域，后者又按角部材料转移到侧壁的程度，分为 II_a、II_b、II_c 三个区域。

2. 计算矩形件的毛坯尺寸

（1）矩形件的修边余量(见表 3-56)。

（2）需一次拉深的矩形件的毛坯计算

1）壁与壁间角部有较小圆角半径的低矩形件 $\left(\dfrac{r}{B-H}\leqslant0.22\right)$——图3-57的 II_a 区

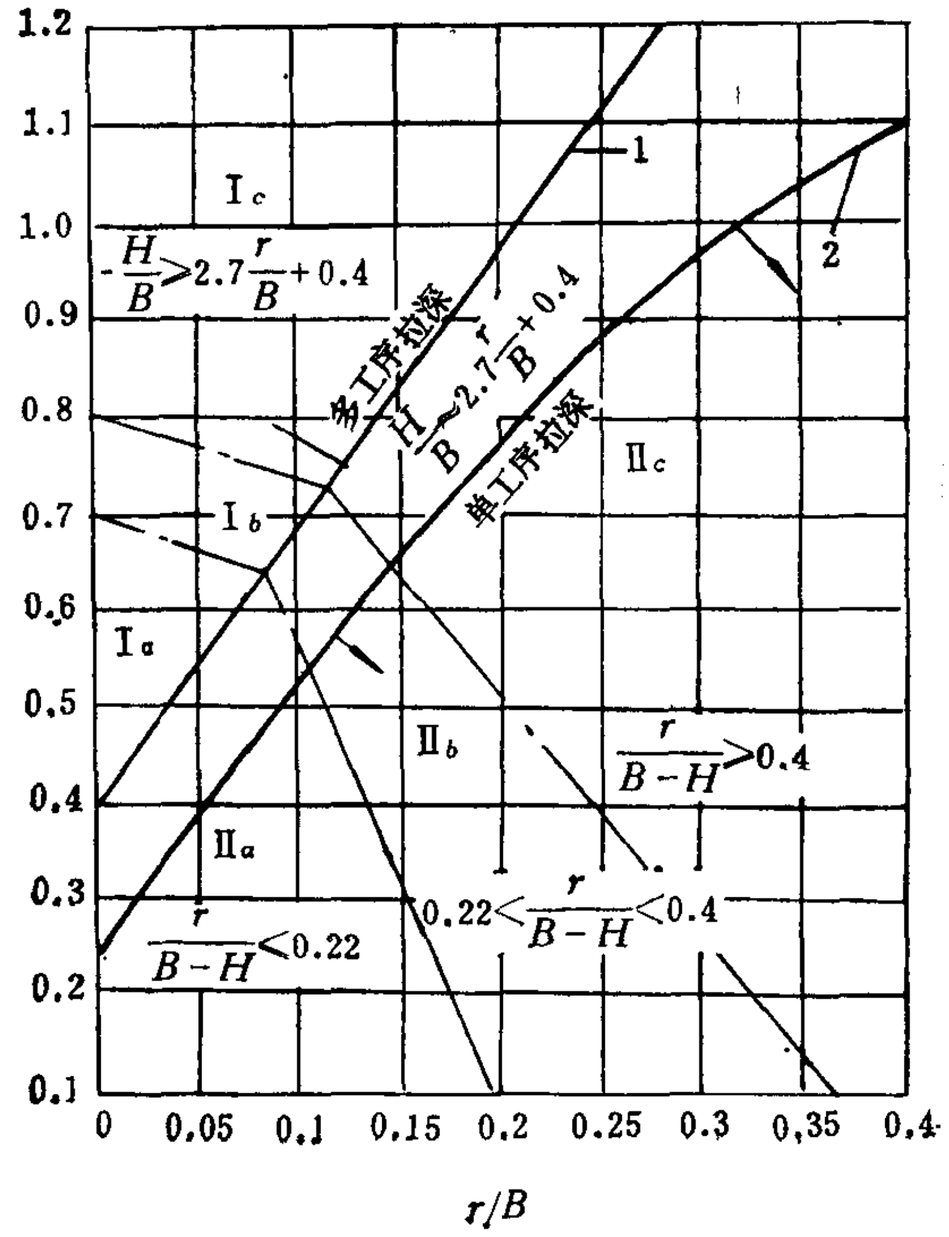


图 3-57　矩形件计入修边余量后的不同拉深情况分区图

图中符号：H——高度，B——短边宽度

r——壁与壁间的圆角半径

这时仅有少量材料从圆角转移到侧壁，其毛坯尺寸的计算和作图程序如下(按毛坯中间厚度计算)：

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-56　无凸缘矩形件修边余量

工序次数	修边余量 ΔH_0(mm)
1	$(0.03\sim0.05)H_0$
2	$(0.04\sim0.06)H_0$
3	$(0.05\sim0.08)H_0$
4	$(0.06\sim0.10)H_0$

注：H_0—图纸要求的矩形件高度。

① 求出弯曲部分(包括底部圆角)的展开长度 l（参见图 3-58）

$$l = H + 0.57r_b \tag{3-33}$$

式中 $H = H_0 + \Delta H_0$

H_0——制件修边后的高度；

ΔH_0——修边余量，见表 3-56。

② 按拉深计算角部毛坯半径 R

如 $r = r_b$，则 $R = \sqrt{2rH} = \sqrt{dH}$ (3-34a)

如 $r \fallingdotseq r_b$，则 $R = \sqrt{r^2 + 2rH - 0.86r_b(r + 0.16r_b)}$ (3-34b)

③ 按以上 l、R 值，如图所示作直线和圆弧，作出过渡形毛坯。

④ 从 ab 线段的中点作 R 圆弧的切线。

⑤ 在切线与直线之间，用半径 R 圆弧光滑连接，即得到毛坯外形。

如图 3-58 所示，这种作图法的意图是使图中的 $+f$ 与 $-f$ 近似相等，如遇其它尺寸情况即按此方法圆顺毛坯外形即可。

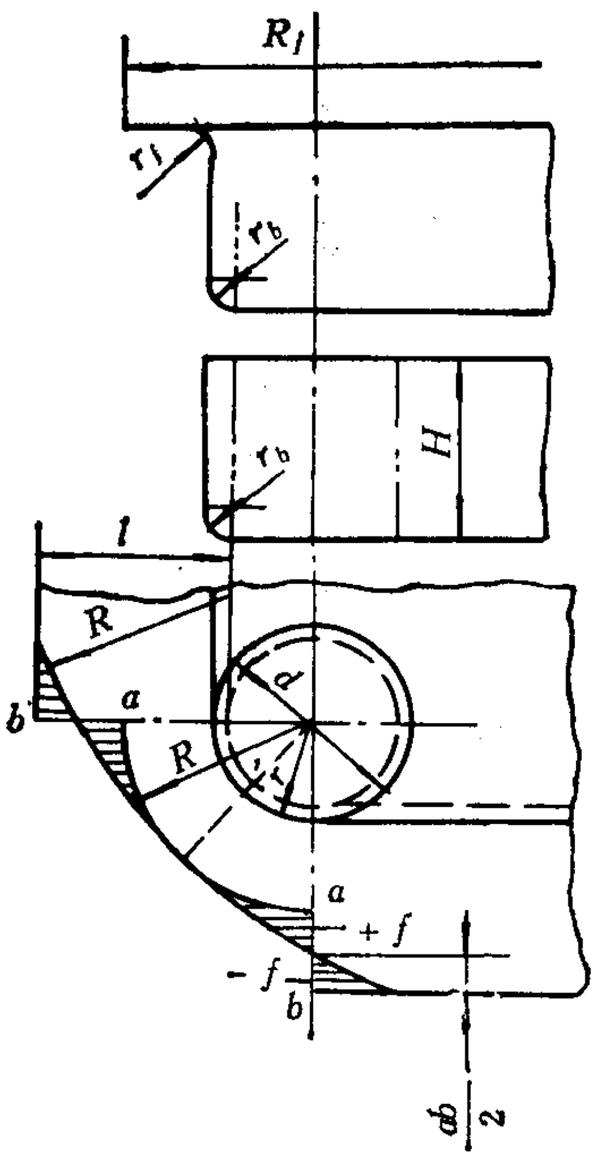


图 3-58　低矩形件的毛坯作图法

式中　y 值由表 3-57 查得。

2）壁与壁间角部有较大圆角半径的低矩形件 $(0.22 < r/(8 - H) < 0.4)$——图 3-57 的 II_b 区

这时有较多材料从圆角转移到侧壁而增加了侧壁高度，其毛坯尺寸的计算和作图程序如下：

① 按以上公式 3-33 和 3-34，求出弯曲部分的长度 l 和角部的毛坯半径 R。

② 作出从圆角到直壁有阶梯变化的过渡形状毛坯(如图 3-59)。

③ 确定为补偿直壁部分材料而加大的角部半径 R_1

$$R_1 = xR$$

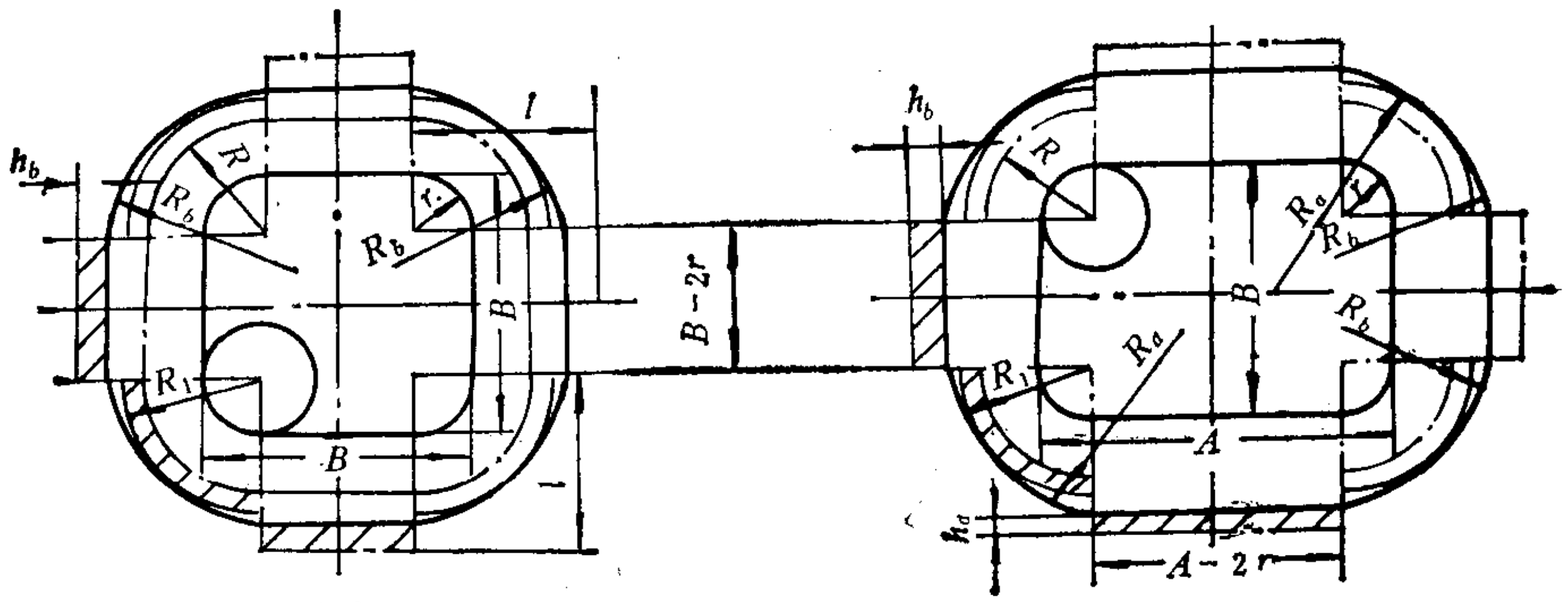
式中　$x \approx 0.074(R/2r)^2 + 0.982$ 或查表 3-57 得到。

④ 因直壁能从角部转移的材料得到补充，需计算直壁展开尺寸中应减去的 h_a 和 h_b：

$$h_a = y\frac{R^2}{A - 2r}$$

$$h_b = y\frac{R^2}{B - 2r}$$

http://shop62964869.taobao.com/



(a) (b)

图 3-59 壁与壁间角部有较大圆角半径的低矩形拉深件的作图法
(a) 方形件 (b) 矩形件

表 3-57 计算矩形件毛坯尺寸用的系数 x 及 y 值

壁与壁间相对圆角半径 r/B	相对高度 H/B							
	0.3		0.4		0.5		0.6	
	x	y	x	y	x	y	x	y
0.10	—	—	1.09	0.15	1.12	0.20	1.16	0.27
0.15	1.05	0.08	1.07	0.11	1.10	0.17	1.12	0.20
0.20	1.04	0.06	1.06	0.10	1.08	0.12	1.10	0.17
0.25	1.035	0.05	1.05	0.08	1.06	0.10	1.08	0.12
0.30	1.03	0.04	1.04	0.06	1.05	0.08	—	—

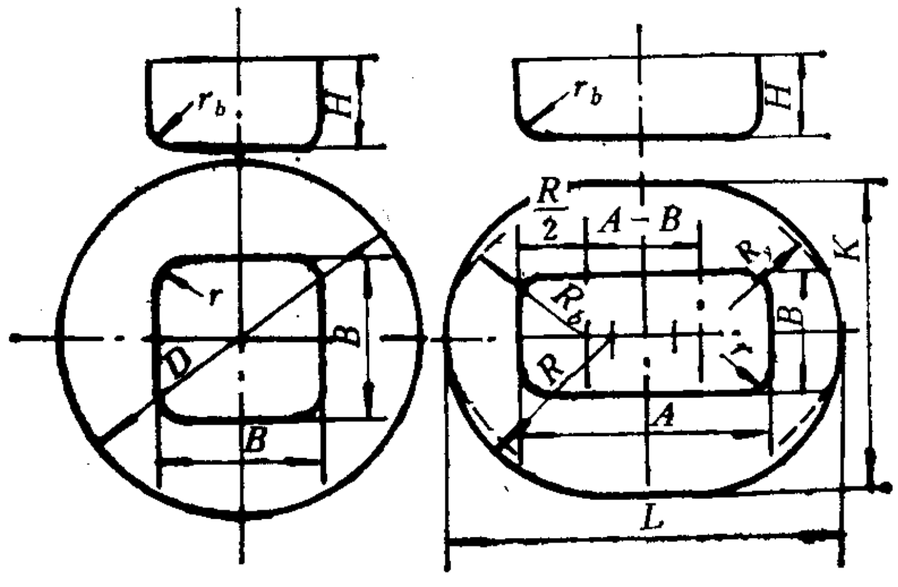
⑤ 将过渡形状毛坯修正，半径增大到 R_1，将长度减少 h_a 和 h_b。

⑥ 按修正后的宽度、长度和圆角半径，再用半径为 R_a 和 R_b 的圆弧连成光滑的外形，即得所需的毛坯形状和尺寸。

上法适于 $A/B = 1.5 \sim 2$ 的短矩形件，如该制件需修边，则形状可稍加大和简化。

3）壁与壁间角部有大圆角半径的较高矩形件 $(r/(B-H) \geqslant 0.4)$——图 3-57 的 II_c 区

这时有大量材料从圆角转移到侧壁，将显著增加侧壁高度，这类矩形件的毛坯形状近似为圆或带圆弧形的椭圆，可不用几何作图法而直接用计算方法求得尺寸。



(a) (b)

图 3-60 壁与壁间角部有大圆角半径的较高矩形件毛坯形状
(a) 方形件 (b) 矩形件

① 方形件

对于方形件可用圆形毛坯(见图 3-60a)，其毛坯直径 D 为

当 $r = r_b$ 时，

$$D = 1.13\sqrt{B^2 + 4B(H - 0.43r) - 1.72r(H + 033r)} \qquad (3\text{-}35a)$$

当 $r \neq r_b$ 时，

http://shop62964869.taobao.com/

$$D = 1.13\sqrt{B^2 + 4B(H - 0.43r_b) - 1.72r(H + 0.5r) - 4r_b(0.11r_b - 0.18r)} \quad (3\text{-}35b)$$

② 不等边的矩形件

对于尺寸 $A \times B$ 的矩形件，看作由两个宽度为 B 的半正方形和中间部分 $(A - B)$连接所组成。这时毛坯的外形将由半径为 R 的两个半圆弧和两个平行边所组成的椭圆形(见图 3-60b)，长圆形毛坯的长度 L 为

$$L = D + (A - B) \quad (3\text{-}36)$$

长圆形毛坯的宽度 K 为

$$K = \frac{D(B - 2r) + [B + 2(H - 0.43r)](A - B)}{A - 2r} \quad (3\text{-}37)$$

式中 $D = 2R_b$——根据前面公式(3-35)，求 $B \times B$ 正方形件所得到的毛坯直径；

$A - B$——矩形件长与宽之差。

在大多数情况下，$K < L$ 而毛坯为长圆形，当 $K \approx L$，毛坯为圆形，长圆形短边方向的毛坯圆弧半径为 $R = 0.5K$（见图 3-60b)。

当 $A/B < 1.3$ 而 $H/B < 0.8$ 时，可取 $K = 2R_b = D$。

(3) 需多次拉深的矩形件的毛坯计算

根据毛坯形状及其确定方法的特点，多次拉深区可分为 I_a 和 I_c 两个区域，I_b 是 I_a 和 I_c 之间的过渡区域。

1) 壁与壁间角部具有小圆角半径的较为不高矩形件 $(H/B \leqslant 0.7 \sim 0.8)$——图 3-57 的 I_a 区

由于该区制件相对高度不大，相对圆角半径较小，若采用一次拉深，因局部变形较大，而底部容易破裂，故需采用两次拉深。第二次拉深近似整形，主要目的是用来减小壁与壁间角部和底部圆角，而外形基本不变，因此求毛坯尺寸的方法与 II_a 相同(见图 3-58)。

因考虑到制件圆角部分要两次拉深，同时材料有向侧壁流动情况，故可将展开圆角半径 R 加大 10～20%。

当 $r = r_b$ 时，$R = (1.1 \sim 1.2)\sqrt{2rH}$

两次拉深的相互关系(如图 3-61)应符合以下要求：

① 两次拉深的角部圆角半径中心不同；

② 第二次拉深可不用压边圈，故工序间的壁间距 b 和角部间隙 x 不宜太大，建议采用：

$$b = (4 \sim 5)t$$

$$x \leqslant 0.4b = 0.5 \sim 2.5\text{mm}$$

③ 第二次拉深高度的增量

$$\Delta H = b - 0.43(r_{b1} - r_{b2})$$

式中 r_{b1}、r_{b2} 分别为首次和第二次拉深的底角半径。

如果 $b = 0.43(r_{b1} - r_{b2})$ 则 $\Delta H = 0$，即两次拉深高度不变。

2) 高矩形件 $(H/B \geqslant 0.7 \sim 0.8)$——图 3-57 的 I_c 区

高盒形件毛坯尺寸是根据制件表面和与毛坯表面积相等的原则求得，与 II_a 区制件的毛坯求法相同。毛坯外形可为窄边由半径 R_b，宽边由半径 R_a 所构成的椭圆形(如图 3-62b)或由半径为 $R = 0.5K$ 的两个半圆和两条平行边所构成的长圆形(如图 3-62c)。

L 和 K 可根据上述公式(3-36)和(3-37)计算。

http://shop62964869.taobao.com/

椭圆宽边的圆弧半径

$$R_a = \frac{0.25(L^2 + K^2) - LR_b}{K - 2R_b}$$

当矩形件的尺寸 A 与 B 相差不大，且有很大的相对高度时，可直接采用圆形毛坯。

3. 矩形件的拉深系数、拉深次数及工序尺寸的计算

(1) 低矩形件的工艺计算

低矩形件包括一次拉成的矩形件(如图 3-57 中的 II_a、II_b 和 II_c 区域)和虽经两次拉深，但第一次拉深是主要的，而第二次拉深属于整形性质的 I_a 区域矩形件。

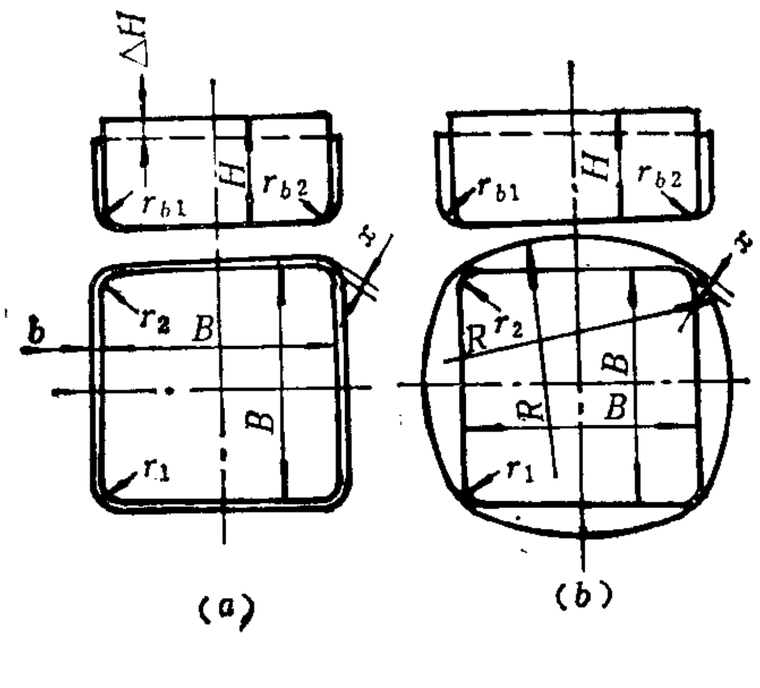


图 3-61 角部圆角整形的方形件

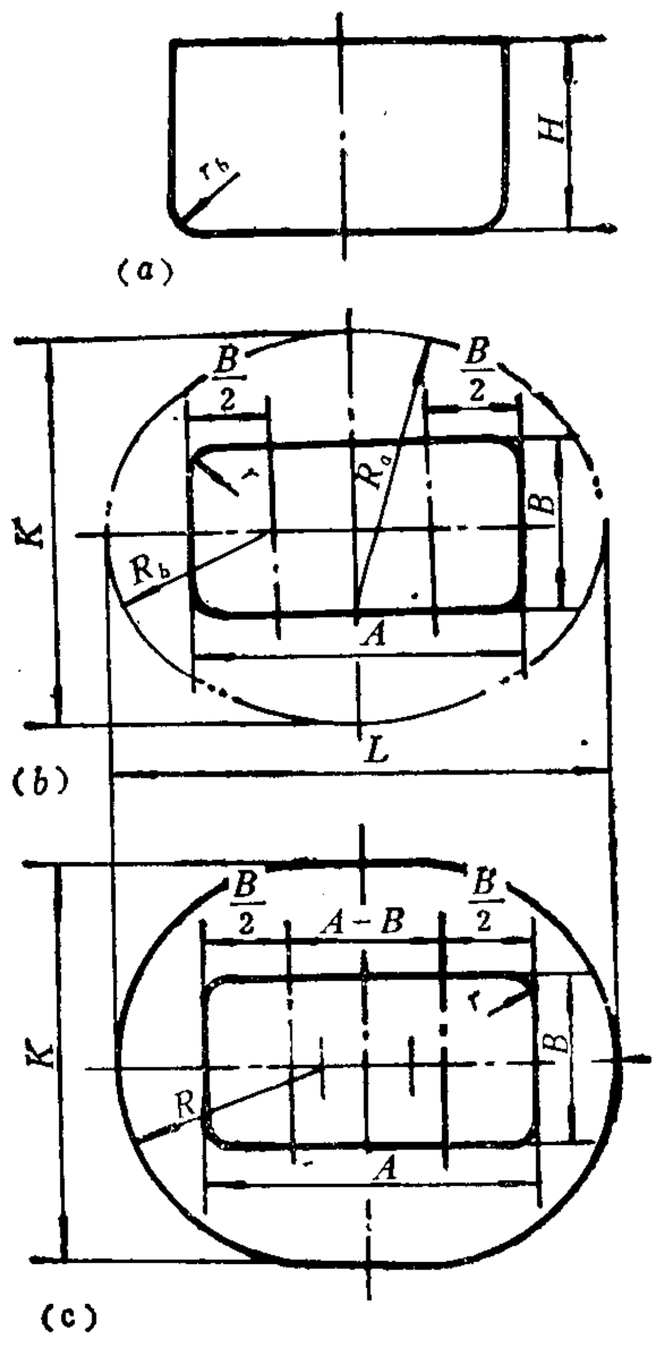


图 3-62 矩形件多工序拉深的毛坯形状

低矩形件工艺计算步骤如下：

1) 确定能否一次拉成；

2) 确定平毛坯轮廓形状和尺寸；

3) 按拉深系数核算圆角部分变形程度。

计算矩形件相对高度 H/B，可与表 3-58 中相应值作比较，如小于表中数值，则可一次拉成，否则，需要二次或二次以上。

确定矩形件毛坯形状和尺寸已见前所述。

确定圆角部分拉深系数 m

$$m = \frac{r}{R_y} \tag{3-38}$$

式中 r——壁与壁间圆角半径；

R_y——毛坯圆角部分的假想半径(见图 3-58，R_y 即图中 R)。

若 m 大于或等于表 3-59 中的 m_1 值，则可一次拉成，反之则不行。

当 $r = r_b$ 时，拉深系数也可用比值 $\frac{H}{r}$ 表示，即

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-58　一次工序所能拉出的矩形件相对高度 H/B（材料：08、10）（mm）

相对圆角半径 r/B	毛坯相对厚度 $(t/D)\times100(\%)$			
	0.2～0.5	0.5～1.0	1.0～1.5	1.5～2.0
0.02	0.25～0.35	0.30～0.40	0.35～0.45	0.40～0.50
0.05	0.35～0.55	0.40～0.55	0.45～0.60	0.50～0.70
0.10	0.45～0.60	0.50～0.65	0.55～0.70	0.60～0.80
0.15	0.60～0.70	0.65～0.75	0.70～0.80	0.75～0.90
0.20	0.70～0.80	0.70～0.85	0.82～0.90	0.90～1.0
0.30	0.85～0.90	0.90～1.0	0.95～1.1	1.0～1.2

注：1. 影响因素除 r/B 和 t/D 外，还与矩形件绝对尺寸有关，表中大值相当尺寸不大（$B<100$mm）的矩形件，而小值相当大矩形件。

2. 上表数值对比 10 号钢塑性好或差者应乘以修正系数，例如：对 1Cr18Ni9Ti 和铝乘以 1.1～1.15，对20－25钢乘以 0.85－0.9。

表 3-59　矩形件角部的第一次拉深系数 m_1（材料：08、10）

$\frac{r}{B_1}$	毛坯相对厚度 $(t/D)\times100$ (%)							
	0.3～0.6		0.6～1.0		1.0～1.5		1.5～2.0	
	矩形	方形	矩形	方形	矩形	方形	矩形	方形
0.025	0.31		0.30		0.29		0.28	
0.05	0.32		0.31		0.30		0.29	
0.10	0.33		0.32		0.31		0.30	
0.15	0.35		0.34		0.33		0.32	
0.20	0.36	0.38	0.35	0.36	0.34	0.35	0.33	0.34
0.30	0.40	0.42	0.38	0.40	0.37	0.39	0.36	0.38
0.40	0.44	0.48	0.42	0.45	0.41	0.43	0.40	0.42

表 3-60　矩形件第一次拉深许可的最大比值 $\frac{H}{r}$（材料：10）

$\frac{r}{B_1}$	方形盒			矩形盒		
	毛坯相对厚度 $(t/D)\times100$ (%)					
	0.3～0.6	0.6～1	1～2	0.3～0.6	0.6～1	1～2
0.4	2.2	2.5	2.8	2.5	2.8	3.1
0.3	2.8	3.2	3.5	3.2	3.5	3.8
0.2	3.5	3.8	4.2	3.8	4.2	4.6
0.1	4.5	5.0	5.5	4.5	5.0	5.5
0.05	5.0	5.5	6.0	5.0	5.5	6.0

注：对塑性较差的金属拉深时，$\frac{H}{r_1}$ 的数值取比表值减小 5～7%，对塑性更大的金属拉深时，取比表中数值大 5～7%。

http://shop62964869.taobao.com/

$$m = \frac{d}{D} = \frac{2r}{\sqrt{2rH}} = \frac{1}{\sqrt{2\frac{H}{r}}}$$

所以，矩形件 H/r 值如小于表 3-60 中的相应值时，可一次拉成。

(2) 高矩形件的工艺计算

1) 拉深次数的确定：

从圆筒件的拉深系数：$m_1 = d_1/D = \pi d_1/\pi D$，$m_n = d_n/d_{n-1} = \pi d_n/\pi d_{n-1}$，说明直径的比值可变化为前后工序间制件或毛坯轮廓周界的比值。那么高盒形件总的拉深系数就可引用这概念来近似地进行计算：

① 直径 D 的圆毛坯拉深成（$B \times B$）方形件，其总拉深系数为

$$m_\Sigma = \frac{4B}{\pi D} = 1.27B/D$$

② 直径 D 圆毛坯拉深成（$A \times B$）矩形件，其总拉深系数为

$$m_\Sigma = \frac{2(A+B)}{\pi D} = 1.27\frac{A+B}{2D}$$

③ 椭圆形毛坯拉深成（$A \times B$）矩形件，其总拉深系数为

$$m_\Sigma = \frac{2(A+B)}{0.5\pi(L+K)} = 1.27\frac{A+B}{L+K}$$

根据总拉深系数可由表 3-61 查出矩形件的拉深次数。

表 3-61　根据总拉深系数定矩形件的拉深次数

拉深次数	毛坯相对厚度 $(t/D)\times100$ 或 $\frac{t}{(L+K)}\times200$ 时的总拉深系数 m_Σ			
	2.0～1.5	1.5～1.0	1.0～0.5	0.5～0.2
2	0.40～0.45	0.43～0.48	0.45～0.50	0.47～0.58
3	0.32～0.39	0.34～0.42	0.36～0.44	0.38～0.46
4	0.25～0.30	0.27～0.32	0.38～0.34	0.30～0.36
5	0.20～0.24	0.22～0.26	0.24～0.27	0.25～0.29

2) 确定各工序间半成品形状和尺寸

应从倒数第二道（$n-1$ 次）拉深的半成品形状，逐渐往前反推。

由于角部变形最多，直边中间变形最少，所以取平均拉深系数 m_b 为

$$m_b = \frac{B - 0.43r}{0.5\pi R_{b(n-1)}}$$

由此可化为

$$R_{b(n-1)} = \frac{B - 0.43r}{1.57m_b}$$

所以前后两次拉深工序间的壁间距 b_n 为

$$b_n = R_{b(n-1)} - 0.5B = \frac{\left(1 - 0.785m_b - 0.43\frac{r}{B}\right)B}{1.57m_b}$$

http://shop62964869.taobao.com/

b_n 值与 r/B 及各次预拉深次数关系见图 3-63。

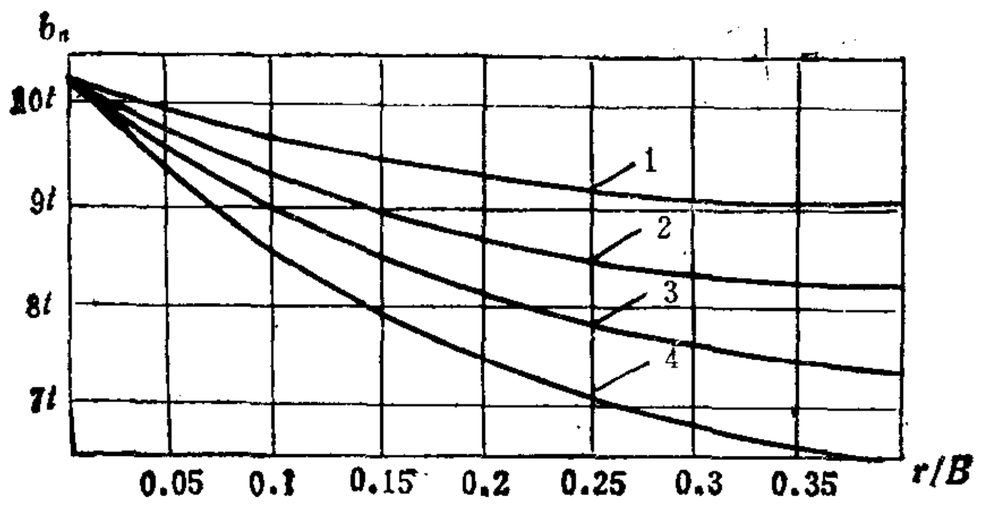


图 3-63 b_n 与 r/B 及预拉深次数(1～4)的关系

最后一次拉深的平均拉深系数 m_b，对方形件为 0.90～0.93；对矩形件为 0.91～0.95。

① 高方形件的多工序拉深

如图 3-64 所示，根据制件具体情况不同，有两种形状过渡方法。即(图 a——第 $n-1$ 次仍为圆形；图 b——第 $n-1$ 次，有时甚至第 $n-2$ 次为角部圆角较大的方形)。这两种方法的应用条件及其工序尺寸的计算有关公式见表 3-62。

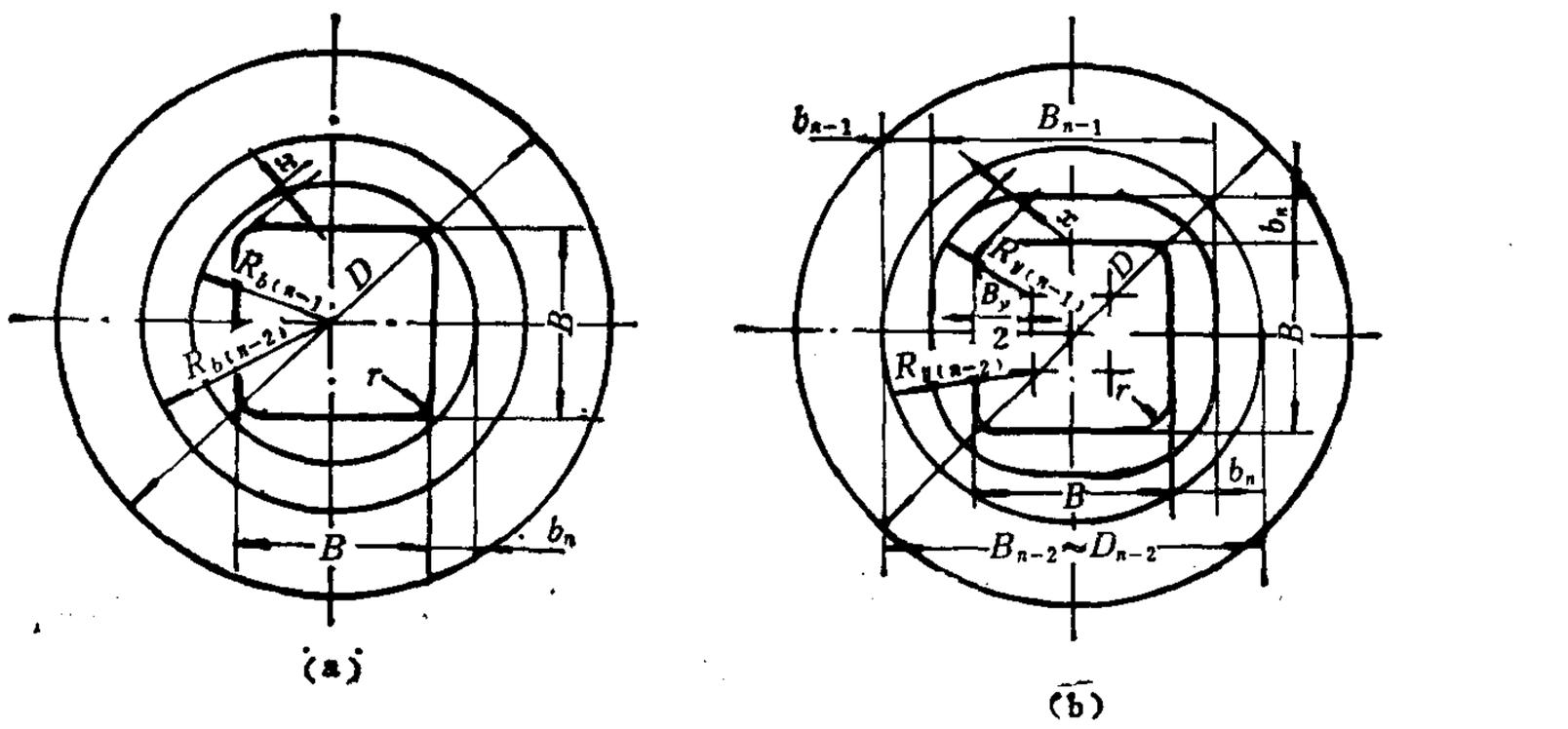


图 3-64 不同 t/B 值时，多工序拉深方形件的各道工序尺寸的变化
(a) 当 $B\leqslant 50t$ (b) 当 $B>50t$

② 高矩形件的多工序拉深

对于矩形件多工序拉深时的毛坯形状，在 $A/B \geqslant 1.2$ 时，可用椭圆形；当 $A/B < 1.15$，

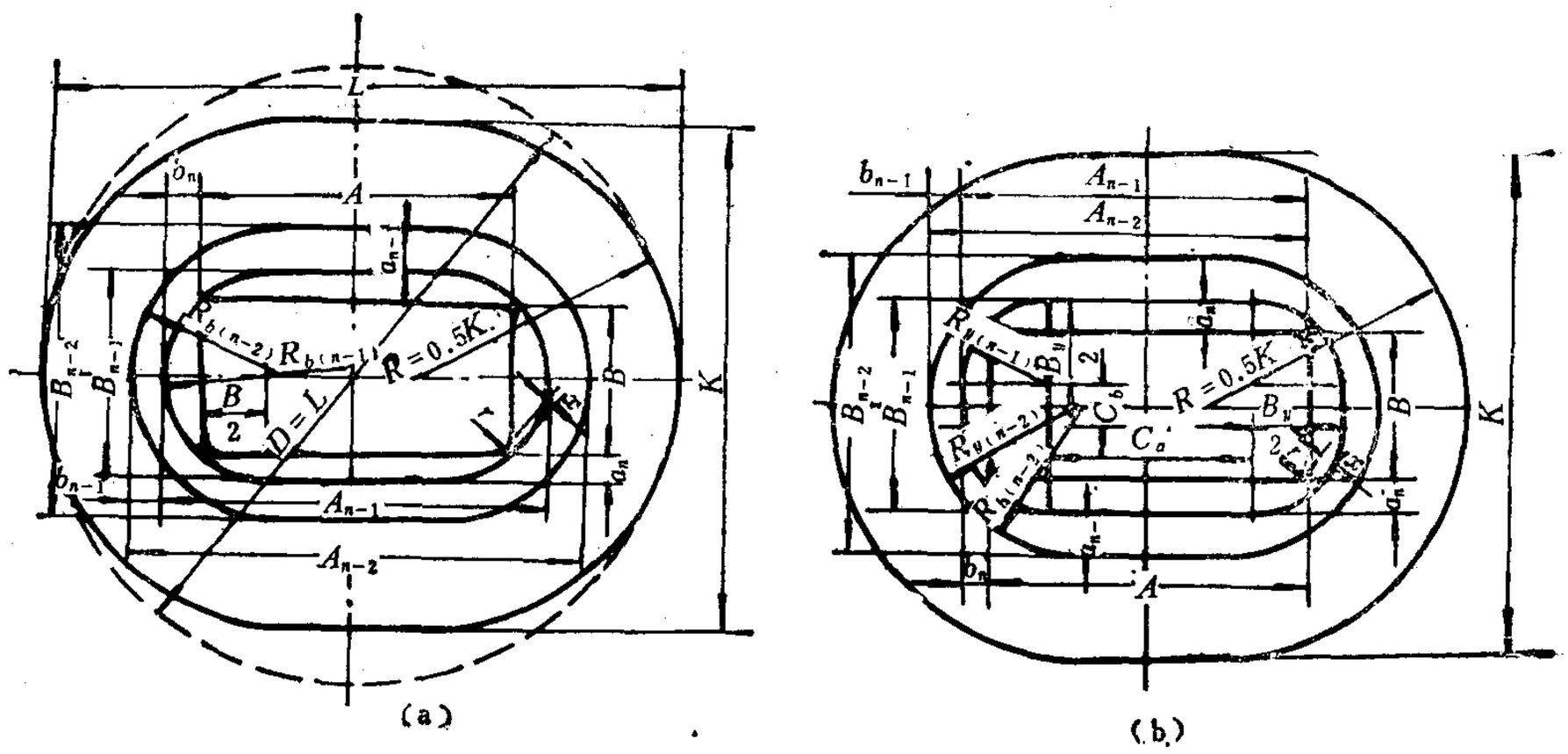


图 3-65 不同 t/B 值时，多工序矩形件的各道工序尺寸的变化
(a) 当 $B\leqslant 50t$ (b) 当 $B>50t$

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-62　高方形件多工序拉深的计算程序和公式

待确定的值		计算程序和公式	
		第一种方法(见图 3-64a)	第二种方法(见图 3-64b)
相对厚度		$(t/D)\times100\geqslant2;B<50t$	$(t/D)\times100<2;B>50t$
毛坯直径	$r=r_b$	$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r)-1.72r(H+0.33r)}$	
	$r\neq r_b$	$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r_b)-1.72r(H+0.5r)-4r_b(0.11r_b-0.18r)}$	
角部计算尺寸 $B_y<B$		—	$B_y\approx50t$
n 道工序壁间距（工序间距离）		$b_n\leqslant10t$	
$(n-1)$ 道工序(倒数第二道)半径		$R_{b(n-1)}=0.5B+b_n$	$R_{y(n-1)}=0.5B_y+b_n$
$(n-1)$ 道工序宽度		—	$B_{n-1}=B+2b_n$
角部间隙(包括 t 在内)		$x=b_n+0.41r-0.207B$	$x=b_n+0.41r-0.207B_y$
$(n-2)$ 道工序半径		$R_{b(n-2)}=R_{b(n-1)}/m_2=0.5Dm_1$	$R_{y(n-2)}=R_{y(n-1)}/m_{n-1}$
$(n-1)$ 道工序壁间距(工序间距离)		—	$b_{n-1}=R_{y(n-2)}-R_{y(n-1)}$
$(n-2)$ 道工序宽度(当 $n=4$)		—	$B_{n-2}=B_{n-3}+2b_{n-1}$
$(n-2)$ 道工序直径(三道工序时)		—	$D_{n-2}=2[R_{y(n-1)}/m_{n-1}+0.7(B-B_y)]$
方形件高度		$H=(1.05\sim1.10)H_0$	H_0——图纸上的高度
$(n-1)$ 道工序(倒数第二道)高度		$H_{n-1}\approx0.88H$	$H_{n-1}\approx0.88H$
第一次拉深 [$(n-2)$ 或 $(n-3)$ 道工序]高度		$H_1=H_{n-2}=0.25\left(\frac{D}{m_1}-d_1\right)+0.43\frac{r_1}{d_1}(d_1+0.32r)$	

注：1. 尺寸 b_n 根据 r/B（第一种方法)或 r/B_y（第二种方法)及拉深次数(参见图 3-67)确定。

2. 系数 $m_1,m_2,\cdots,m_{n-1}$ 按表 3-34 选取。

3. 上列方法也适用于毛坯相对厚度大于表中数值的情况。

4. 在各道工序作图时，容许对计算值作些修正。

或相当高度很大需三次以上拉深时，可用圆形。至于由毛坯到矩形件间各工序半成品的过渡形状，重要的是要考虑 t/B 比值。

图 3-65 所示为不同 t/B 值时，分别有两种方法以确定矩形件各工序间的过渡形状。图 a，到第 $n-1$ 次仍为椭圆形；图 b，第 $n-1$ 次，有时甚至第 $n-2$ 次为大圆角的矩形(在 $A/B<1.15$ 时，第 1 次拉深可为圆形)。上述两种方法的应用条件及其工序尺寸计算的有关公式见表 3-63。

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-63　高矩形件的多工序拉深的计算程序和公式

待确定的值		计算方法和公式	
		第一种方法(图 3-69a)	第二种方法(图 3-69b)
相对厚度		$(t/D)\times100\geqslant2;B\leqslant50t$	$(t/D)\times100<2;B>50t$
假想的毛坯直径	$r=r_b$	$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r)-1.72r(H+0.33r)}$	
	$r\neq r_b$	$D=1.13\sqrt{B^2+4B(H-0.43r_b)-1.72r(H+0.5r)-4r_b(0.11r_b-0.18r)}$	
毛坯长度		$L=D+(A-B)$	
毛坯宽度		$K=D\frac{B-2r}{A-2r}+[B+2(H-0.43r)]\frac{A-B}{A-2r}$	
毛坯半径		$R=0.5K$	
工序比例系数		$x_1=(K-B)/(L-A)$	
n 道工序壁间距（工序间距离）		$b_n=a_n<10t$	
角部计算尺寸 $B_y<B$		—	$B_y\approx50t$
$(n-1)$ 道工序半径		$R_{b(n-1)}=0.5B+b_n$	$R_{y(n-1)}=0.5B_y+b_n$
角部间隙(包括 t 在内)		$x=b_n+0.41r-0.207B$	$x=b_n+0.41r-0.207B_y$
$(n-1)$ 道工序尺寸		$B_{n-1}=2R_{b(n-1)};A_{n-1}=A+2b_n$	$B_{n-1}=B+2a_n;A_{n-1}=A+2b_n$
$(n-2)$ 道工序半径		$R_{b(n-1)}=R_{b(n-1)}/m_{n-1}$	$R_{y(n-2)}=R_{y(n-1)}/m_{n-1}$ $R_{b(n-2)}=B_{n-2}/2$
$(n-1)$ 道工序壁间距(工序间距离)		$b_{n-1}=\frac{R_{b(n-2)}-R_{b(n-1)}}{x_1}$ $a_{n-1}=R_{b(n-2)}-R_{b(n-1)}$	$b_{n-1}=R_{y(n-2)}-R_{y(n-1)};$ $a_{n-1}=xb_{n-1}$
$(n-2)$ 道工序尺寸		$B_{n-2}=2R_{b(n-2)}$ $A_{n-2}=A+2(b_n+b_{n-1})$	$B_{n-2}=B+2(a_n+a_{n-1})$ $A_{n-2}=A+2(b_n+b_{n-1})$
矩形件高度		$H=(1.05\sim1.1)H_0$	H_0——图纸上高度
工序高度		$H_{n-1}\approx0.88H$	$H_{n-2}\approx0.86H_{n-1}$

注：参看表 3-62 注。

（十）变薄拉深

1. 变形特点

变薄拉深是用凸模推顶半成品毛坯(拉深或反挤压后的圆筒形件)底部，通过向内收缩的圆锥形凹模，减少壁厚以得到光洁度较高和精度较好制件的一种工艺(见图 3-66)。

http://shop62964869.taobao.com/

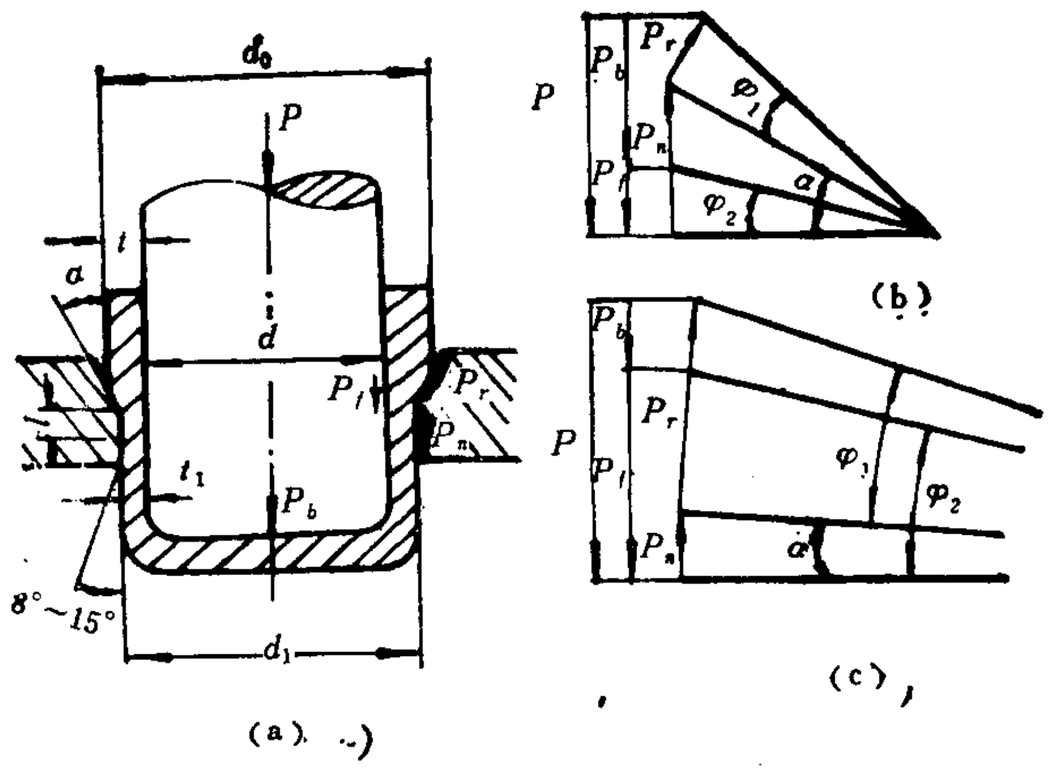


图 3-66　变薄拉深简图

生产中采用的变薄拉深主要形式是壁厚变薄而直径不显著缩小；其他还有如直接从平板毛坯拉深时即变薄，以及直径和壁厚又同时变薄的方法，但后两方法因变形量不能太大，所以采用较少。

如图 3-66 所示，凹模与毛坯接触面上的摩擦力有凹模锥形面上的 P_r 和直壁面上的 P_n，为阻止毛坯下行，P_r 的轴向分力和 P_n 的方向是与凸模运动方向相反的。相应于凸模上的摩擦力 P_f，为阻止金属向上流动，其方向是与凸模运动方向一致的。这凸、凹模面上的不同摩擦力方向是变薄拉深工艺的一个特点，以此区别与其它拉拔工艺。

图中 α 为凹模半锥角，φ_1 和 φ_2 为相应于凹模与凸模上摩擦系数 μ_1 和 μ_2 的摩擦角(即 $\mu_1 = \operatorname{tg}\varphi_1$，$\mu_2 = \operatorname{tg}\varphi_2$)。

凸模上的变薄拉深力 P 为

$$P = P_f + P_b \quad (\mathrm{N})$$

式中　P_f——凸模作用于金属的摩擦力；

P_b——凸模作用于制件底部的压力。

如图所示，在适当减少 α 值(一般取8°～15°)的同时，如减小 μ_1 和增大 μ_2，即相应在图中减少 φ_1 和增加 φ_2，对减少 P_b 有利，这也就可以增加变薄拉深的变形程度。

变薄拉深工艺还有如下特点：

1）可用较少工序得到壁薄底厚，有明显高度的制件，如采用多模串联进行级进变薄拉深，在一次压力机行程可得到很大的变形程度。

2）经冷作硬化，使晶粒细化，强度增加，表面粗糙度 R_a 可小于 0.20μm，壁厚偏差可以在 ±0.01mm 范围之内。

3）由于在拉深过程中摩擦严重，故对润滑和模具材料要求较高。

2. 变薄拉深毛坯尺寸计算

如果用不变薄拉深所得筒形件，作为变薄拉深的半成品毛坯，则拉深件的毛坯直径为

$$D = 1.13\sqrt{V/t} = 1.13\sqrt{KV_1/t}$$

式中　V——毛坯体积，$V = KV_1$；

V_1——制件体积；

K——考虑修边余量和退火损耗及料厚负偏差等，通常取 $K = 1.15 \sim 1.20$，相对高度 H/d 大，K 值亦大。

http://shop62964869.taobao.com/

t——毛坯厚度，即制件底厚。

3. 工艺计算

(1) 变形程度与极限值

变薄拉深时的变形程度通常以断面缩减率 ε 表示

$$\varepsilon = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}}$$

式中 F_{n-1}、F_n——在（$n-1$）和 n 次变薄拉深后的制件横断面上的面积。

因变形前后制件内径基本不变，所以上式又可近似地表示

$$\varepsilon = \frac{t_{n-1} - t_n}{t_{n-1}} = 1 - \frac{t_n}{t_{n-1}} = 1 - m_{i(n)} \qquad (3\text{-}39)$$

式中 $m_{i(n)} = t_n / t_{n-1}$，第 n 次的变薄系数；

t_n、t_{n-1}——第 n 次、（$n-1$）次变薄拉深后的制件壁厚。

目前常用材料的平均变形程度和变薄系数见表 3-64

表 3-64 变薄拉深时的平均变形程度 ε 和变薄系数 m_i

材料	首次变薄拉深		以后各次变薄拉深	
	ε%	m_i	ε%	m_i
软钢	55～60	0.45～0.40	35～45	0.65～0.55
中等硬度钢	35～40	0.45～0.60	25～30	0.75～0.70
黄铜	60～70	0.40～0.30	50～60	0.50～0.40
铝	60～65	0.40～0.35	40～50	0.60～0.50

在采用多模串联进行级进变薄拉深(最多凹模数为 4～6 个)时，在合理模具参数以及较好润滑和工作条件下，根据工厂经验，采用四个凹模一次行程的总变形程度 ε_Σ 可达 85%，这对比表 3-64 中数值，显然效率提高不少。这里所谓较好润滑和工作条件，是指材料与凹模之间摩擦系数最小(如利用动液润滑等)而材料与凸模之间不需润滑，以便利用摩擦力促进金属流动。在变薄拉深钢材时，与冷挤压相同，制件表面应采用磷酸盐涂层处理。

(2) 各道工序壁厚

各道工序壁厚为

$$t_1 = m_{i(1)} t; \quad t_2 = m_{i(2)} t_1 \cdots$$

$$t_n = m_{i(n)} t_{n-1}$$

多模串联变薄拉深时，各道壁厚变薄率的选取，根据情况可适当灵活处理。如在进入第一道工序前，坯件对中定位较好，则第一道工序的变薄率可最大，否则第一道工序的变薄率可稍小于第二道工序；其它以后中间工序可再小一些。在最后一道工序，金属已有较大硬化，为了减少模具磨损，应取较小变薄率为好。而制件具体尺寸和壁厚应按产品要求来确定。

(3) 各道变薄拉深的制件内径

为了便于套入上道工序的半成品毛坯内径，凸模直径应比毛坯内径小 1～3%(开始变薄取大值，以后逐次取小值，壁厚取大值，壁薄取小值)，计算方法是从最后一道向前推。

$$d_{n-1} = d_n(0.97 \sim 0.99)$$

http://shop62964869.taobao.com/

$$d_{n-2} = d_{n-1}(0.97 \sim 0.99)$$

$$\cdots$$

$$d_1 = d_2(0.97 \sim 0.99)$$

式中 d_n——制件内径；

$d_{n-1}, d_{n-2}, \cdots, d_1$——各工序半成品毛坯内径(即相应各工序凸模直径)。

(4) 各道工序坯料的高度

工序间坯料高度的确定可按体积不变原则进行计算，如不考虑变薄拉深件的底部圆角，则

$$h_n = \frac{t(D^2 - d_0^2)}{2t_n(d_0 + d_i)} \tag{3-40}$$

式中 D——平毛坯直径；

t——毛坯料厚；

d_0——该道工序的制件外径；

d_i——该道工序的制件内径；

t_n——该道工序的制件壁厚；

h_n——该道工序的制件高度(不包括底厚 t)

总高度为

$$H_n = h_n + t_n \tag{3-41}$$

(十一) 压边力、拉深力和拉深功的计算

1. 压边力的计算

压边圈所加压力过大，影响拉深力也要增加，因而会使制件拉裂；若压力过小，则不能防止制件边壁或凸缘起皱，所以选择压边力必须适当。

压边力的计算公式见表 3-65

表 3-65 计算压边力的公式 (N)

拉深情况	公式
任何形状拉深件	$Q = Fq$
筒形件第一次拉深	$Q = \frac{\pi}{4}[D^2 - (d_1 + 2r_d)^2 q]$
筒形件以后各次拉深	$Q_n = \frac{\pi}{4}[d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_d)^2 q]$

注：F—压边的面积 (mm^2)；q— 单位压边力 (MPa)；$d_1 \cdots\cdots d_n$—拉深件直径 (mm)；r_d—凹模圆角半径(mm)。

单位压边力 q 的近似值见表 3-66。

钛合金的单位压边力为

$$q_{Ti} = Cq_1 \quad (MPa)$$

式中 C——材料厚度系数，见表 3-67；

q_1——钛合金 BT1 的名义单位压边力，见表 3-68。

2. 拉深力的计算

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-66　拉深时单位压边力的近似值

材　　料	单位压边力 q(MPa)
铝	0.8～1.2
铜、硬铝(已退火的)	1.2～1.8
黄铜	1.5～2.0
青铜	2～2.5
08、10、20 钢 ($t>0.5$)	2～2.5
08、10、20 钢 ($t<0.5$)	2.5～3
耐热钢(退火状态)	2.8～3.5
高合金钢、高锰钢、不锈钢	3～4.5

表 3-67　钛合金材料厚度系数

料厚 t	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
系数 C	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7

表 3-68　钛合金 BT1 的名义单位压边力 q_1　(MPa)

拉深系数 m	加热温度 ℃				
	20	200	300	400	500
0.6～0.66	2.5	1.9	1.4	1.0	0.7
0.5～0.6	3	2.3	1.6	1.2	0.8
0.45～0.5	3.2	2.4	1.8	1.3	0.9
0.4～0.45	3.4	2.5	1.9	1.4	1.0

注：钛合金 BT5 的 q_1 值，应按上表数据增加 30～40%

实用上计算拉深力，可采用表 3-69 内公式。

表 3-69　计算拉深力的实用公式　(N)

拉深形式	工序序次	公　式
圆筒形件拉深	第 1 次 第 2 次及以后各次	$P=\pi d_1 t\sigma_b k_1$ $P=\pi d_2 t\sigma_b k_2$
矩形件拉深		$P=Lt\sigma_b k_3$
圆筒形件变薄拉深		$P=\pi d_n(t_{n-1}-t_n)\sigma_b k_4$

表 3-69 中公式符号：

P——拉深力 (N)；

d_1、d_2——圆筒形件的第一次和第二次工序直径，根据料厚中线计算 (mm)；

t——材料厚度 (mm)；

http://shop62964869.taobao.com/

L——矩形件横断截面的周边长度（mm）；

t_{n-1}、t_n——$(n-1)$次及 n 次变薄拉深工序后的壁厚（mm）；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）；

k_1、k_2——修正系数，见表 3-70；

k_3——修正系数，取 0.8；

k_4——考虑材料硬化影响，对钢取 1.8～2.25；对黄铜取 1.6～1.8。

表 3-70　修正系数 k_1 和 k_2

拉深系数 m_1	0.55	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80
修正系数 k_1	1.00	0.93	0.86	0.79	0.72	0.66	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
拉深系数 m_2	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80	0.85	0.90	0.95			
修正系数 k_2	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70	0.60	0.50			

3. 拉深功的计算

如图 3-67 所示，拉深力在拉深过程中是变化的（对变薄拉深，则在凸模工作行程的较大区间保持基本不变），图中曲线上面积即为实际拉深功，实用上可按表 3-71 内公式计算。

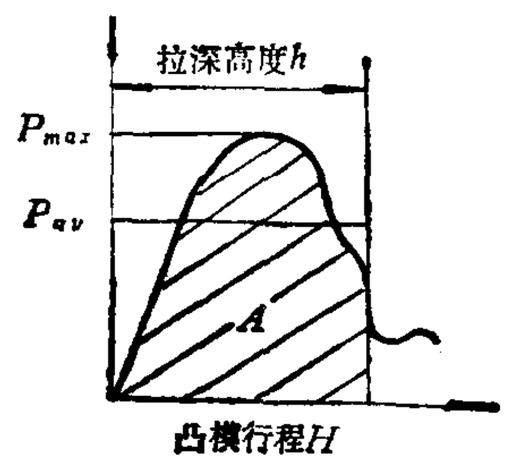


图 3-67　拉深力－行程图

表中 1.2 为安全系数，考虑变薄拉深过程中摩擦所增加的能量消耗。

表 3-71 中符号：

P_{max}——最大拉深力，见表 3-69 中 P 值；

P——变薄拉深力，见表 3-69；

h——拉深深度（mm）；

c——系数，见表 3-72。

表 3-71　计算拉深功的实用公式

拉深形式	公式
拉深	$A = cP_{max}h \times 10^{-3}$(J)
变薄拉深	$A = Ph \times 1.2 \times 10^{-3}$(J)

表 3-72　系数 c 与拉深系数的关系

拉深系数 m	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
系数 c	0.8	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64

http://shop62964869.taobao.com/

五、翻孔与翻边

翻孔与翻边是为了加强制件的刚度或便于连接其它制件。它在冲压工艺上有广泛应用。

翻孔是在毛坯上预先加工孔(或不预先加工孔)，使孔的周围材料弯曲而竖起凸缘的冲压方法(见图 3-68a)；翻边是使材料沿不封闭的外凸或内凹曲线、弯曲而竖起直边的方法(见图 3-68b)。 如沿外凸曲线翻边，其变形性质与拉深类似，则变形极限是竖边上材料因切向压应力失稳起皱；如沿内凹曲线翻边，其变形性质与翻孔类似，则变形极限是竖边上材料受切向拉应力变薄而开裂。

(a)　　(b)

图 3-68　翻孔与翻边
(a) 翻孔　(b) 翻边

(一) 翻孔

1. 翻孔系数

翻孔系数通常以毛坯上预留孔与翻孔后直径的比值，来表示翻孔的变形程度，即

$$K = \frac{d}{d_1} \tag{3-42}$$

式中　K——翻孔系数(查表 3-73)；

d——毛坯上预留孔直径；

d_1——翻孔后孔的直径(按中径)；

K 愈小，孔边缘变薄愈严重。翻孔后孔边缘壁厚与原始料厚之间有以下近似关系：

$$t_1 = \sqrt{K}\, t \tag{3-43a}$$

其极限值为

$$t_1 = \sqrt{K_{min}}\, t \tag{3-43b}$$

式中　t——翻孔前原始料厚；

t_1——翻孔后孔边缘壁厚；

K、K_{min}——容许与极限翻孔系数。

http://shop62964869.taobao.com/

2. 影响翻孔系数的因素

(1) 孔的边缘状况

翻孔前孔边表面质量高(无撕裂、无毛刺)并无加工硬化层时有利于翻边成形，K_{min} 可小些。所以有时先钻孔再翻边、或整修冲孔边缘修去约 5～10% 后再翻边，或使翻孔方向与冲孔方向相反，以减少毛刺影响。采用锋利刃口和大于料厚的间隙，可使剪断面近似拉伸断裂，因加工硬化与损伤都较少，也有利于翻边，但采用大间隙，孔的直壁部分将有减少(见图 3-69)。

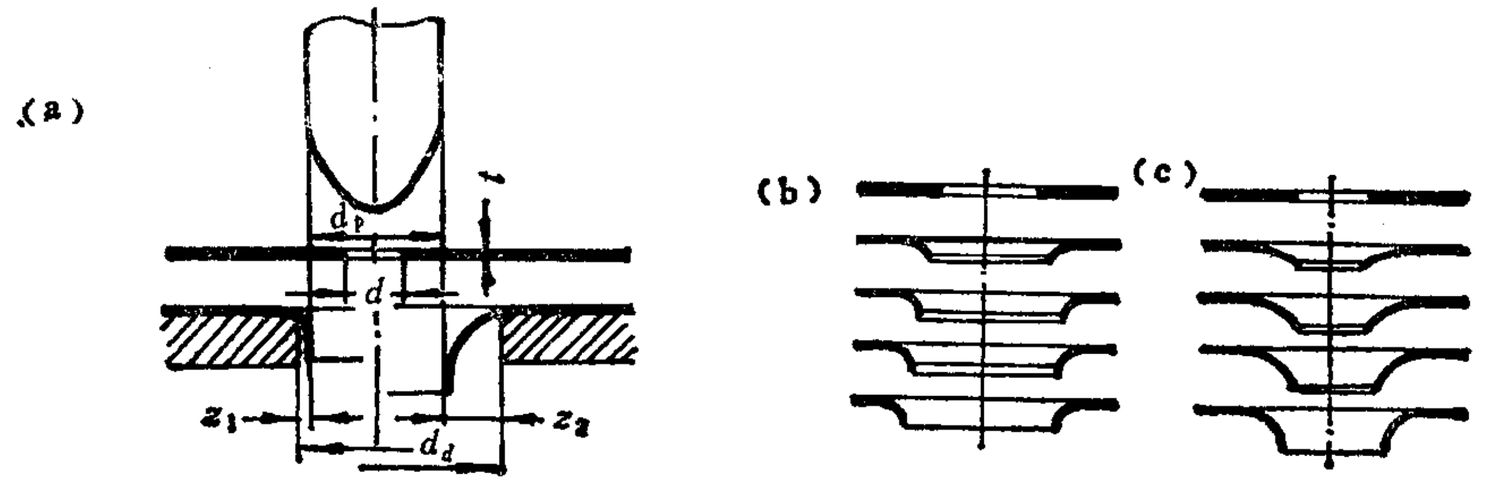


图 3-69 小间隙与大间隙翻孔
(a) 翻孔前后情况 (b) 小间隙翻孔 (c) 大间隙翻孔

(2) 材料种类和机械性能

塑性好，K_{min} 可小，因极限翻孔系数与拉伸试验的断面延伸率有较好相应关系，所以两者也可近似表达为

$$K_{min} = \frac{1}{1+\varepsilon} = 1 - \psi \tag{3-44}$$

式中 ε、ψ——材料的延伸率和断面缩减率。

(3) 材料相对厚度 (t/d)

一般来说，t/d 值较大，则断裂前材料的绝对伸长量可以大些，所以 K_{min} 可小。

(4) 凸模工作部分形状

球形(抛物线形或锥形)比平底凸模对翻边有利。

各种材料的容许与极限翻孔系数见表 3-73。

3. 工艺计算

翻孔时可根据制件尺寸 d_1，来计算其预冲孔直径 d，并核算其最大允许翻边高度H(见图 3-70)。按弯曲件中性层长度不变原则可得

$$\begin{aligned} d &= D_1 - \left[\pi\left(r + \frac{t}{2}\right) + 2h\right] \\ &= d_1 - 2(H - 0.43r - 0.72t) \end{aligned} \tag{3-45}$$

经尺寸变换可得

$$\begin{aligned} H &= \frac{d_1}{2}\left(1 - \frac{d}{d_1}\right) + 0.43r + 0.72t \\ &= \frac{d_1}{2}(1 - K) + 0.43r + 0.72t \end{aligned} \tag{3-46}$$

式中符号意义见图 3-70。

上式中，如以 K_{min} 代替 K，即可得最大翻孔高度 H_{max}。

当翻孔高度较高，用平毛坯不能直接翻出所要求高度时，可先拉深到一定深度，然后在底

http://shop62964869.taobao.com/

表 3-73　各种材料翻孔系数

未加工硬化的材料		容许翻孔系数 K	极限翻孔系数 K_{min}
白 铁 皮		0.70	0.65
软钢	$t=(0.25\sim2)$mm	0.72	0.68
	$t=(3\sim6)$mm	0.78	0.75
黄铜 H62，$t=(0.5\sim6)$mm		0.68	0.62
铝 $t=(0.5\sim5)$mm		0.70	0.64
硬　　铝		0.89	0.80
钛合金	BT1（冷态）	0.64～0.68	0.55
	BT1(300～400℃)	0.40～0.50	—
	BT5（冷态）	0.85～0.90	0.75
	BT5(500～600℃)	0.70～0.85	0.55
不锈钢、高温合金		0.69～0.65	0.61～0.57

面上冲孔，再进行翻孔(见图 3-71)。这时预冲孔直径 d 为

$$d = d_1 + 1.14r - 2h \tag{3-47}$$

拉深高度 h_1 为

$$h_1 = H - h + r + t \tag{3-48}$$

式中符号见图 3-71。

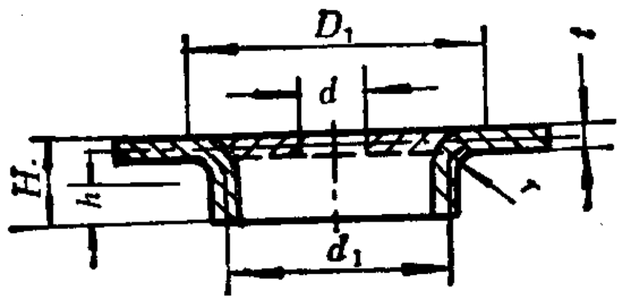


图 3-70　翻孔前后尺寸和形状

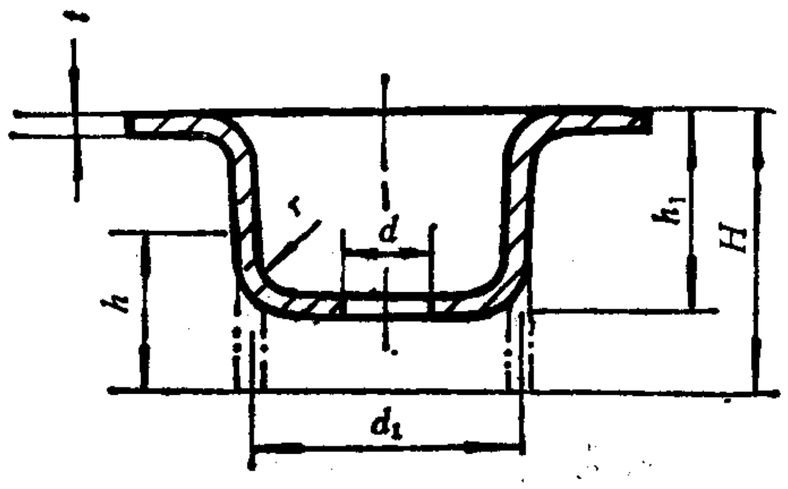


图 3-71　拉深后冲孔和翻孔

如制件上为加工小螺孔需要，翻孔的高度又较高，则可采用圆弧尖锥形凸模，用间隙小于料厚的工艺方法，进行变薄翻边。

4. 翻孔力的计算

用圆柱形凸模翻圆孔时，翻孔力 P 为

$$P = 1.1\pi(d_1 - d)t\sigma_s$$
$$\approx (1.5\sim2)\pi(d_1 - d)t\sigma_b \quad (\text{N}) \tag{3-49}$$

式中　d——翻边前冲孔直径（mm）；

d_1——翻孔后直径(按中径)（mm）；

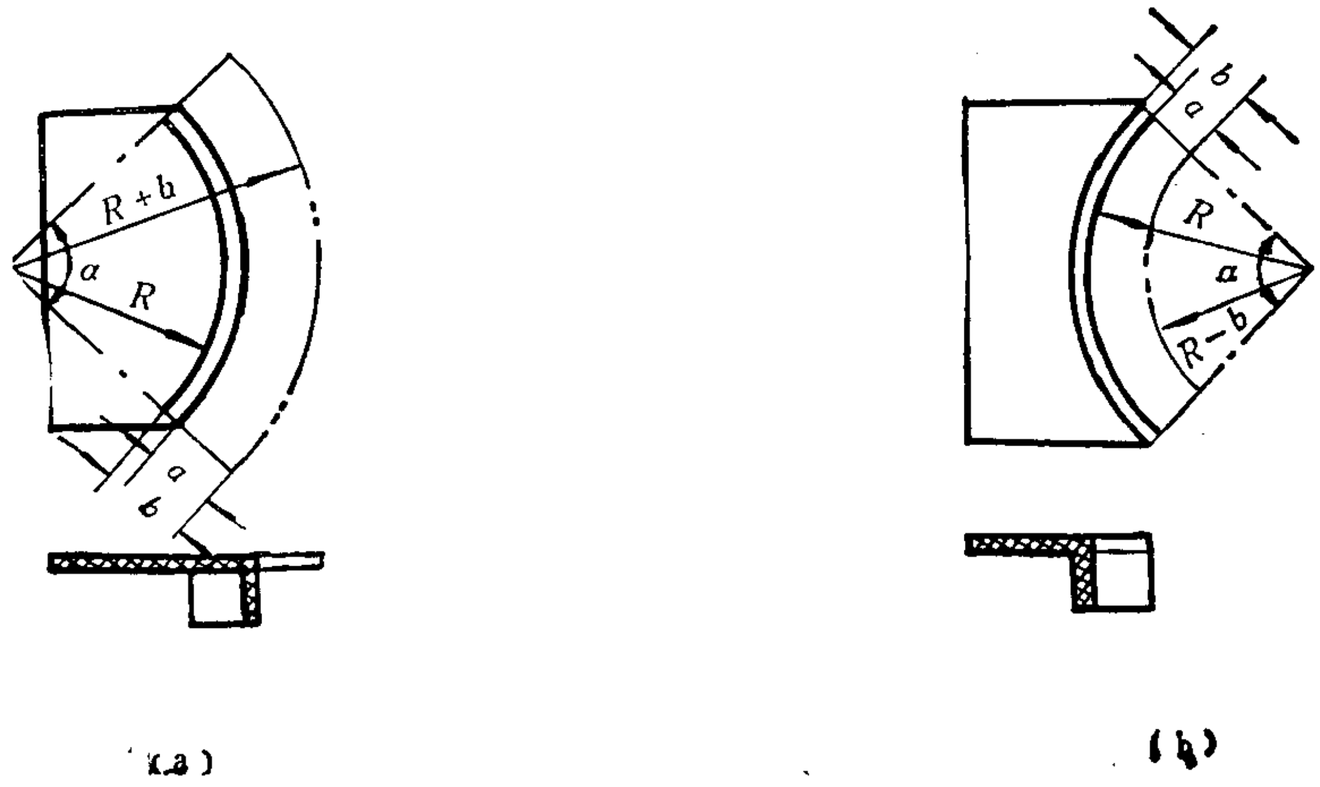
σ_s——材料屈服强度（MPa）；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）。

http://shop62964869.taobao.com/

（二）翻边

图 3-72 所示为外凸曲线与内凹曲线翻边。



(a)　　(b)

图 3-72　翻边

(a) 外凸曲线翻边　(b) 内凹曲线翻边

表 3-74　翻边允许的极限变形程度

材料名称及牌号		ε_0(%)		ε_1(%)	
		橡皮成形	硬模成形	橡皮成形	硬模成形
铝合金	L4M	25	30	6	40
	L4Y1	5	8	3	12
	LF21M	23	30	6	40
	LF21Y1	5	8	3	12
	LF2M	20	25	6	35
	LF3Y1	5	8	3	12
	LY12M	14	20	6	30
	LY12Y	6	8	0.5	9
	LY11M	14	20	4	30
	LY11Y	5	6	0	0
黄铜	H62 软	30	40	8	45
	H62 半硬	10	14	4	16
	H68 软	35	45	8	55
	H68 半硬	10	14	4	16
钢	10	—	38	—	10
	120	—	22	—	10
	1Cr18Ni9 软	—	15	—	10
	1Cr18Ni9 硬	—	40	—	10
	2Cr18Ni9	—	40	—	10

外凸曲线翻边的变形程度 ε_0 为

$$\varepsilon_0 = \frac{b}{R+b} \tag{3-50}$$

http://shop62964869.taobao.com/

内凹曲线翻边的变形程度 ε_i 为

$$\varepsilon_i = \frac{b}{R-b} \tag{3-51}$$

翻边的极限变形程度可参见表 3-74。

当把不封闭的翻边作为带有压边的单边弯曲时，翻边力 P 可按下式计算：

$$P = Lt\sigma_b k + Q \approx 1.25Lt\sigma_b k \quad (\mathrm{N}) \tag{3-52}$$

式中 L——弯曲线长度（mm）；

t——材料厚度（mm）；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）；

Q——压边力，$Q = (0.25 \sim 0.3)Lt\sigma_b k$ （N）；

k——系数，近似等于 0.2～0.3。

六、胀形

胀形是冲压生产中广泛应用的一种工艺。它主要包括：平毛坯压鼓包、加强筋或图案文字及标记的局部成形，圆筒形坯件和管坯上成形凸肚或起伏波纹，与弯曲结合一起的较大区域范围的拉形以及与拉深结合一起的复合成形。

（一）胀形的特点

胀形可在制件或大或小范围内进行。它在拉应力(主要是双向拉应力，在个别扩径情况，材料只受切向拉应力)作用下，变形区域内的材料表面积增加而厚度减小。如图 3-73 成形极限图所示，在单向拉伸，e_1 的极限值约为 0.6，而厚度方向上的最大变薄应变 e_3(设板料厚向异性指数 $r=1$，故 $e_2=e_3$) 约为−0.3。若在双向等拉应力下胀形，拉应变 e_1 和 e_2 均可达 0.5 左右。因按体积不变：$e_1+e_2+e_3=0$，所以厚度方向上的最大变薄应变 e_3 可达 −1，为单向拉伸时 3 倍以上。这说明胀形可比单向拉伸得到较多的变形量。

胀形的极限变形程度主要取决于变形的均匀性和材料的塑性。塑性好，极限胀形深度可提高；材料的加工硬化指数 n 值大，变形均匀，对胀形有利。平板局部胀形时，形状因素起较大作用，圆形比方形或其他形状都好；而模具工作部分表面粗糙度值小、圆滑无棱以及良好的润滑，都可使材料变形趋于均匀，因此可以提高胀形的深度。

在如上所述的较好胀形条件下，变形区内毛坯不会失稳起皱，加工好的制件表面光滑，质量较好；又因在一定拉应力下成形，故回弹量也少，制件形状稳定性好，精度高。目前国外在专用胀形工艺装备条件下，最大胀形制件直径有 $4m$，直径公差约为 ±0.1%。

胀形可分刚性分瓣模胀形和软模胀形(利用液体、气体或聚胺酯)。前者，制件上易有小块平面痕迹，毛坯变形均匀性差，不便加工复杂的形状；后者，制件上无痕迹，毛坯变形比较均匀，便于加工复杂的形状。

也有采用钢球和砂子作为填充物来进行胀形，再胀形也可采用旋压方法。

http://shop62964869.taobao.com/

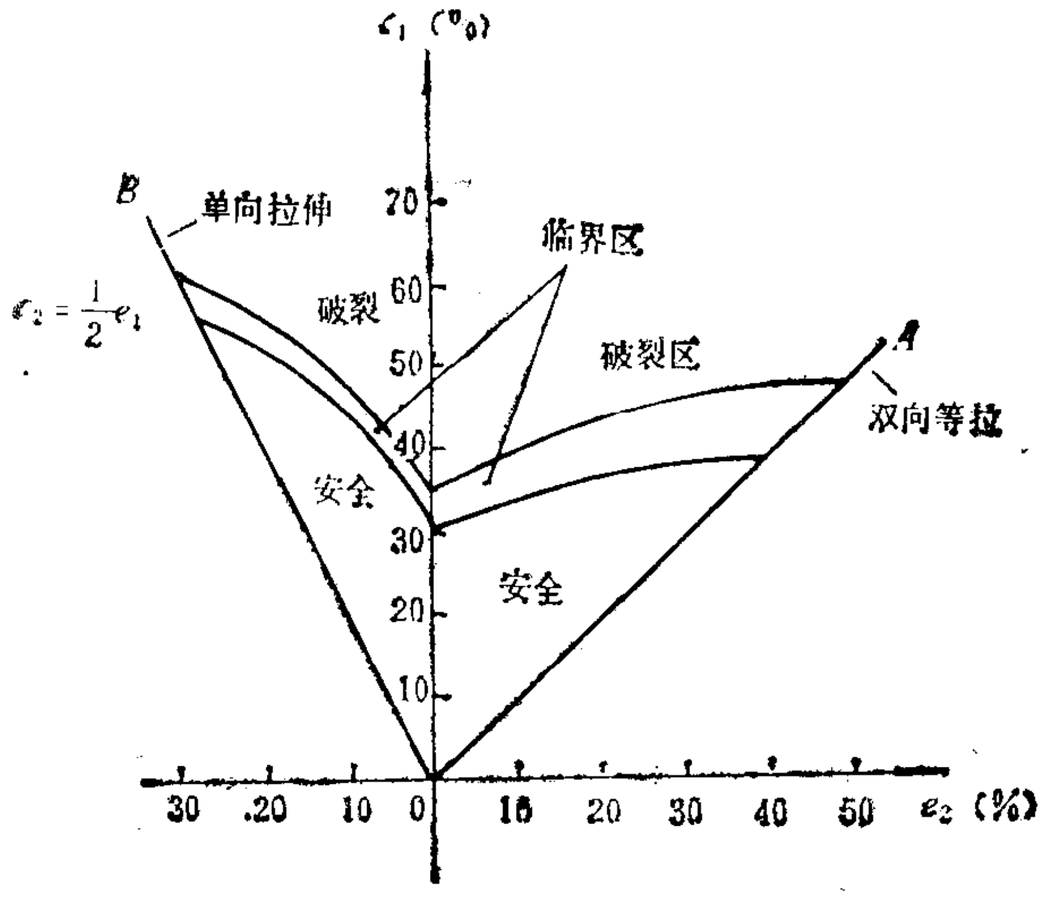


图 3-73　低碳钢成形极限图

（二）工艺计算

1. 平板局部胀形

（1）极限变形程度：

用球形凸模 $\left(r = \frac{d}{2}\right)$ 对低碳钢、软铝等局部胀形时，可达到极限胀形深度，h 约等于 $d/3$。用平端面凸模胀形可能达到的深度决定于凸模的圆角半径，其数值见表 3-75。

表 3-75　平板毛坯胀形深度

软　　钢	$h \leqslant (0.15 \sim 0.20)d$
铝	$h \leqslant (0.10 \sim 0.15)d$
黄　　铜	$h \leqslant (0.15 \sim 0.22)d$

如汽车车门胀形，其深度较大而底部允许冲孔，则可在变形过程的适当时间，冲切一工艺口，使金属易于流动，以达到所需胀形深度的要求。如局部胀形深度超过极限值，也可先用球形凸模胀形，得到最终所需的表面积材料，再在以后工序采用正向或反向冲压，得到所需较大的胀形深度（见图 3-74）。

（2）胀形力

1）刚性凸模，平板毛坯压筋或包的胀形力 P

$$P = KLt\sigma_b \quad (\mathrm{N}) \tag{3-53}$$

式中　L——胀形区周边长度（mm）；

t——材料厚度（mm）；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）；

http://shop62964869.taobao.com/

K——考虑变形程度大小的系数，取 0.7～1。

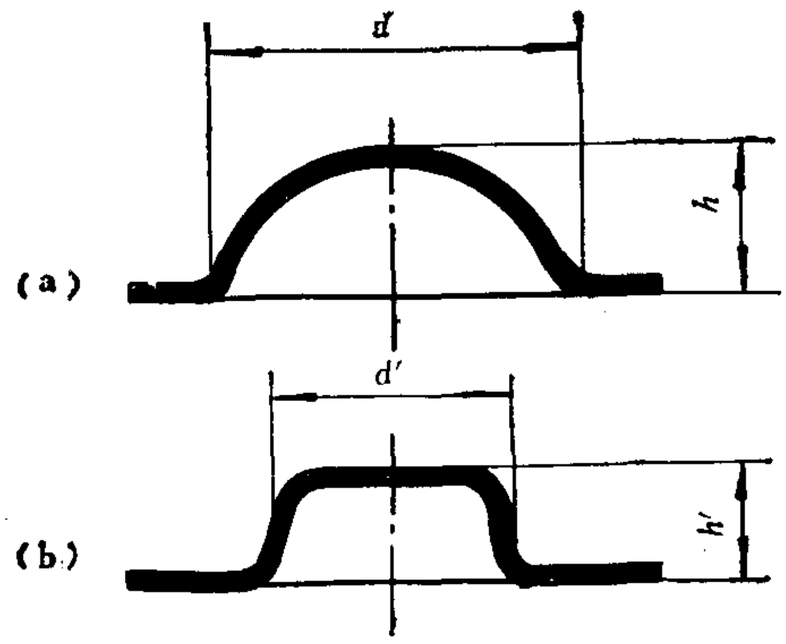


图 3-74　深度较大的局部胀形法
(a) 先压球面轮廓　(b) 最终胀形形状

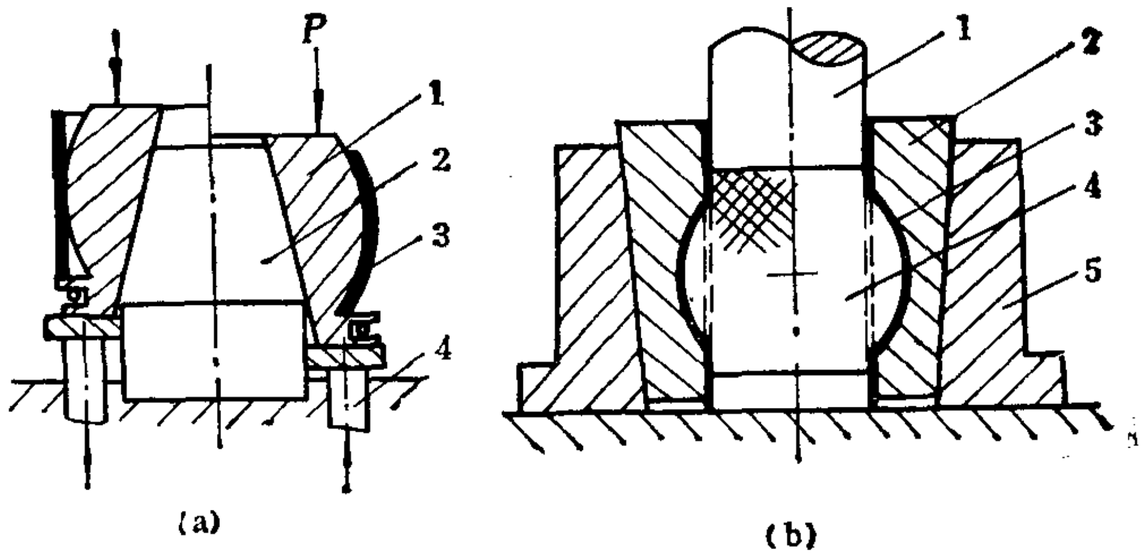


图 3-75　胀形
(a) 刚模胀形
1—凸模分块；　2—锥形心轴；　3—制件；　4—托杆。
(b) 软模胀形
1—凸模；　2—对开凹模；　3—制件；　4—聚胺酯；　5—模座。

2）软模胀形的胀形力 P

$$P = pF \quad (N)$$

式中　p——胀形单位压力（MPa）：

a.　压球面形状

$$p = \frac{2t}{R}\sigma_s(\text{MPa}) \tag{3-54}$$

b.　压筋

$$p = \frac{t}{R}\sigma_s(\text{MPa}) \tag{3-55}$$

R——球半径或筋的圆弧半径（mm）；

σ_s——材料屈服强度（MPa）；

t——材料厚度（mm）；

F——胀形面积（mm^2）。

2. 圆筒形毛坯胀形

刚模胀形与软模胀形的形式见图 3-75。

（1）极限变形程度

圆筒形制件胀形后的变形程度 E 应符合：

$$E = \frac{d_{max} - d}{d} \leqslant 0.8[e] \tag{3-56}$$

式中　$[e]$——材料在圆周方向的容许延伸率(%)；

d_{max}——胀形后制件最大直径（mm）；

d——圆筒形毛坯直径（mm）。

如取 d_{max}/d 的比值为胀形系数 K，则由上式得

$$K = 1 + 0.8[e] \tag{3-57}$$

胀形系数 K 的近似值见表 3-76

液压胀形时一些材料的极限胀形系数 K 值和圆周方向的最大容许延伸率 e_{max} 的试验值

http://shop62964869.taobao.com/

见表 3-77。

表 3-76　圆筒形胀形时，胀形系数 K 的近似值

材　料	毛坯相对厚度 $(t/d)\times100(\%)$			
	0.45～0.35		0.32～0.28	
	未退火	退火	未退火	退火
10　钢	1.10	1.2	1.05	1.15
铝	1.2	1.25	1.15	1.2

表 3-77　极限胀形系数 K 和圆周方向最大容许延伸率 $[e_{max}]$

材　料	厚度（mm）	K	$[e_{max}\%]$
高塑性铝合金，纯铝等	0.5	1.25	25
	1.0	1.28	28
	1.5	1.32	32
	2.0	1.32	32
黄铜 H62 H68	0.5～1.0	1.35	35
	1.5～2.0	1.40	40
低碳钢(10.20)	0.5	1.20	20
	1.0	1.24	24
不锈钢 (1Cr18Ni9Ti)	0.5	1.26	26
	1.0	1.28	28

表 3-78　胀形系数 K 值

胀　形　方　法	胀　形　系　数　K
用橡皮简单胀形	1.2～1.25
橡皮胀形并轴向加压	1.6～1.70
胀形时局部加热到 200～250℃	2.0～2.1
加热到约 300℃ 用锥形凸模端部胀形	3.0

如在毛坯内部加压的同时，在轴向也加压力，则胀形的变形程度还可增加。对毛坯变形区局部加热，也可提高胀形的变形程度。从对铝管坯胀形实验结果，得到的胀形系数 K 值见表 3-78。

(2) 胀形力

1) 机械分瓣模胀形所需压力 P（见图 3-76）

$$P = 2\pi H t \sigma_b \frac{\mu + \operatorname{tg}\beta}{1 - \mu^2 - 2\mu\operatorname{tg}\beta} \quad (\mathrm{N}) \tag{3-58}$$

式中　H——胀形高度（mm）；

t——材料厚度（mm）；

http://shop62964869.taobao.com/

σ_b——材料抗拉强度（MPa）；

μ——摩擦系数，一般 $\mu = 0.15 \sim 0.20$；

β——心轴半锥角，一般 $\beta = 8°, 10°, 12°$或 $15°$。

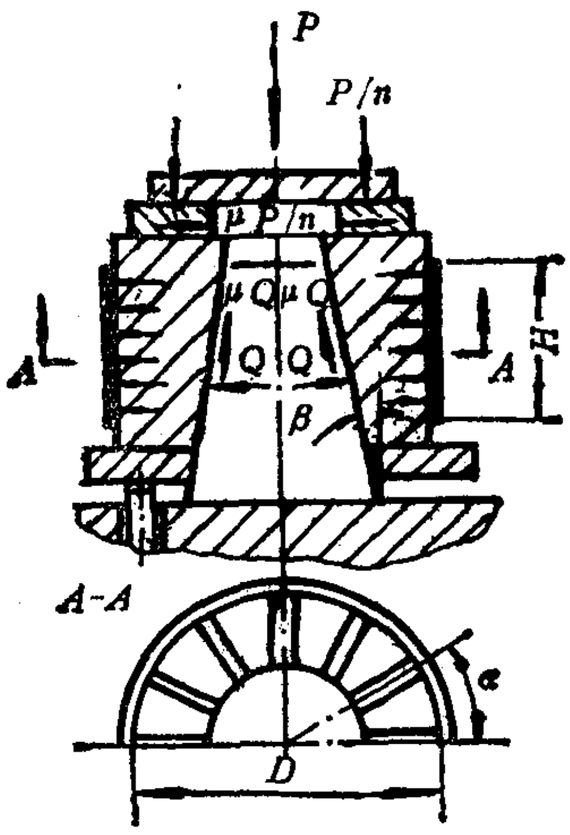


图 3-76　机械分瓣胀形

2）液压胀形的单位胀形力 p

① 当胀形毛坯两端不固定，允许自由收缩时

$$p = \frac{t}{r}\sigma_s \quad (\text{MPa}) \tag{3-59}$$

② 当胀形毛坯两端固定，不允许产生轴向收缩时

$$p = \left(\frac{t}{r} + \frac{t}{R}\right)\sigma_s \quad (\text{MPa}) \tag{3-60}$$

式中　r、R ——胀形后制件最大半径和胀形区的曲率半径。

如制件壁上压出凸筋，则所需压力应按以下经验公式计算：

$$p = \eta\frac{t}{R} \times 10^2 \quad (\text{MPa}) \tag{3-61}$$

式中　R——凸筋的曲率半径；

η——经验系数，其值随材料和筋的深度与宽度比值 h/b 而定（见表 3-79）。

表 3-79　系数 η 值

h/b	材料			
	铝锰合金	铝镁合金	20　钢	1Cr18Ni9Ti
0.1	0.55	0.75	1.5	2.0
0.2	0.80	1.18	3.0	3.65
0.3	1.00	1.37	4.2	5.0
0.4	1.15	1.50	5.0	6.2
0.5	1.22	1.56	6.0	6.95

七、缩口

缩口是将拉深好的无凸缘空心件或管坯的开口端，直径缩小的一种冲压方法（见图 3-77）。

制件缩口前、后端部直径变化不宜过大，否则，端部材料会因受压缩变化激烈而起皱。因此，较大直径缩成较小直径的颈口，一般需多次缩口。

（一）缩口变形程度的计算

1. 总的缩口系数 K_{z}

http://shop62964869.taobao.com/

$$K_{nr}=\frac{d_n}{D} \tag{3-62}$$

式中 d_n——制件开口端要求缩小的最后直径；

D——空心毛坯直径。

2. 每一工序的平均缩口系数

$$K_r=\frac{d_1}{D}=\frac{d_2}{d_1}=\cdots\cdots=\frac{d_n}{d_{n-1}}$$

式中 $d_1,d_2\cdots\cdots d_n$ 分别为第 1 次，第 2 次，第 n 次缩口外径。

3. 缩口次数

因

$$K_{nr}=\frac{d_n}{D}=\frac{d_1}{D}\cdot\frac{d_2}{d_1}\cdot\frac{d_3}{d_2}\cdots\frac{d_n}{d_{n-1}}=(K_r)^n$$

所以缩口次数 n 为

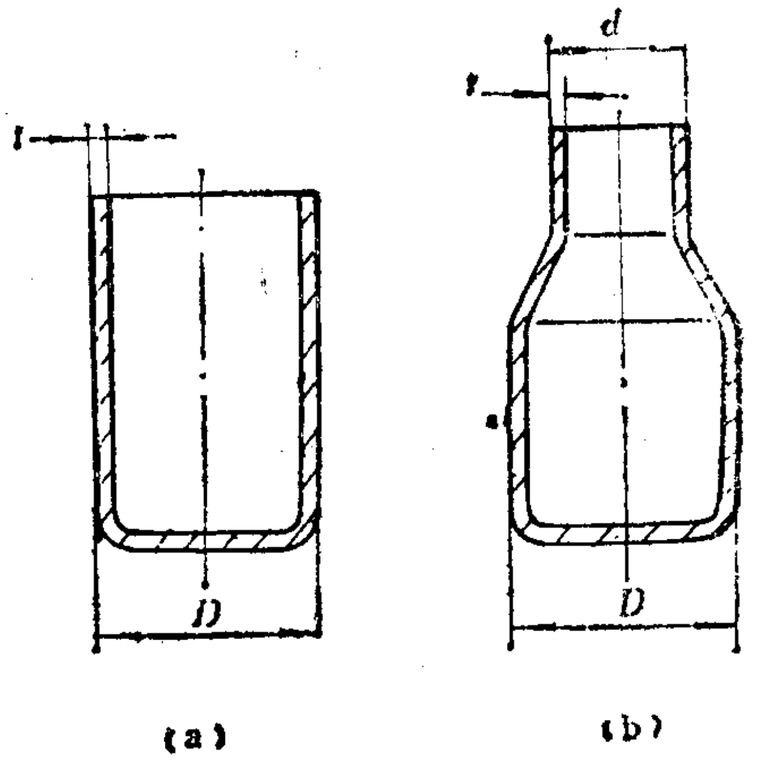


图 3-77 空心件的缩口
(a) 空心毛坯 (b) 缩口后制件

$$n=\frac{\lg\left(\frac{d_n}{D}\right)}{\lg K_r}=\frac{\lg d_n-\lg D}{\lg K_r} \tag{3-63}$$

缩口系数与模具的结构形式关系很大，还与材料的厚度和种类有关。材料厚度愈小，则系数要相应增大。例如，无心柱式模具，材料为黄铜板，其厚度在 0.5mm 以下者，K_r 取 0.85，厚度在 0.5～1mm 者，K_r 取 0.8～0.7；厚度在 0.5mm 以下的软钢，平均缩口系数按 0.8 计算。不同材料和不同模具形式的平均缩口系数见表 3-80。

表 3-80 平均缩口系数 K_r

材料名称	模具形式		
	无支承	外部支承	内外支承
软钢	0.70～0.75	0.55～0.60	0.30～0.35
黄铜 H62、H68	0.65～0.70	0.50～0.55	0.27～0.32
铝	0.68～0.72	0.53～0.57	0.27～0.32
硬铝(退火)	0.73～0.80	0.60～0.63	0.35～0.40
硬铝(淬火)	0.75～0.80	0.68～0.72	0.40～0.43

一般第一次工序的缩口系数 K_1 为

$$K_1=0.9K_r$$

以后各次工序的缩口系数 K_n 为

$$K_n=(1.05\sim1.1)K_r$$

（二）缩口后材料厚度的变化

缩口时制件的颈口略有增厚，一般不予考虑。若要精确计算，可按下式

$$t_1=t\sqrt{\frac{D}{d_1}}$$

http://shop62964869.taobao.com/

$$t_n = t_{n-1}\sqrt{\frac{d_{n-1}}{d_n}} \tag{3-64}$$

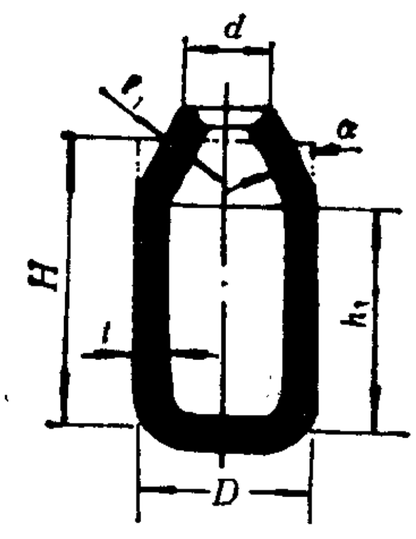
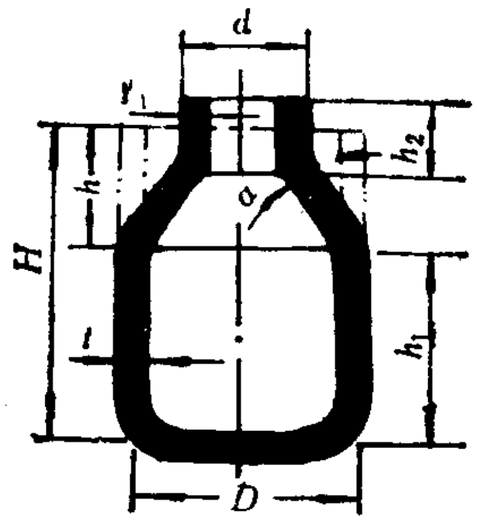
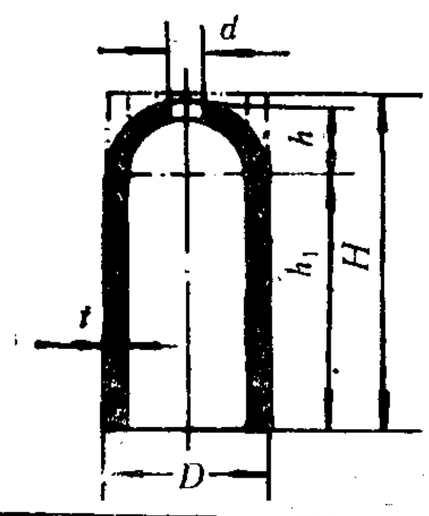
式中　t、t_1 和 t_{n-1}、t_n——分列为第 1 次和第 n 次缩口前、后的材料厚度。

在缩口过程中，一般制件比缩口模基本尺寸大 0.5～0.8% 的回弹量。

（三）缩口毛坯的计算

缩口后，制件高度有变化。不同缩口型式的毛坯高度 H 可按表 3-81 中公式计算。

表 3-81　缩口毛坯高度 H 值

缩口型式	公式
	$H = 1.05\left[h_1 + \frac{D^2 - d^2}{8DSin\alpha}\left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}}\right)\right]$
	$H = 1.05\left[h_1 + h\sqrt{\frac{d}{D}} + \frac{D^2 - d^2}{8DSin\alpha}\left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}}\right)\right]$ h——毛坯压缩部分高度 $h = H - h_1$
	$H = h_1 + \frac{1}{4}\left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}}\right)\sqrt{D^2 - d^2}$

http://shop62964869.taobao.com/

（四）缩口力的计算

缩口力P可按下式计算：

$$P = K\left[1.1\pi Dt\sigma_s\left(1-\frac{d}{D}\right)(1+\mu\mathrm{ctg}\alpha)/\cos\alpha\right] \quad (\mathrm{N}) \qquad (3\text{-}65)$$

式中 t——毛坯材料厚度(按厚度不变计算)（mm）；

D——毛坯直径(中径)（mm）；

d——缩口部分直径(中径)（mm）；

μ——凹模与毛坯接触面的摩擦系数；

σ_s——假定的材料屈服强度（$\sigma_s \approx \sigma_b$)(MPa)；

α——凹模圆锥半锥角；

K——速度系数，在曲柄压力机上工作时，$K = 1.15$。

八、校平、整形和压印

（一）校平

校平工序是将毛坯或制件的不平面，放在两个平光面或带有齿形刻纹的表面之间校平的一种工艺方法。

平板制件的校平可用光面校平模或齿面校平模。

用光面模校平对改变毛坯内应力状态的作用不大，被校平的毛坯或制件在卸载后仍有较大的回弹，校平效果不太显著。因此它多用于料薄较软，表面不允许有压痕和平直度要求不高的制件。

对于要求较高而表面允许存在一定压痕的制件，可采用齿形校平模(见图 3-78)，齿形校平模可分为细齿校平模和粗齿校平模。细齿校平是将齿尖挤压进入毛坯表面一定的深度，使毛坯或制件处于三向受压的状态，所以毛坯在模具压力下的平直状态在卸载后比较稳定，从而达到较高的平直度。但由于细齿校平制件表面压痕较深，而且又易粘在模板上，造成操作上的困难，因此细齿校平多用于板料较厚，强度高，表面允许有压痕的制件；而厚度较小或青铜、黄铜、铝等制件多采用粗齿校平模。安装齿形校平模时，要把上、下齿形错开，才能得到较理想的效果。

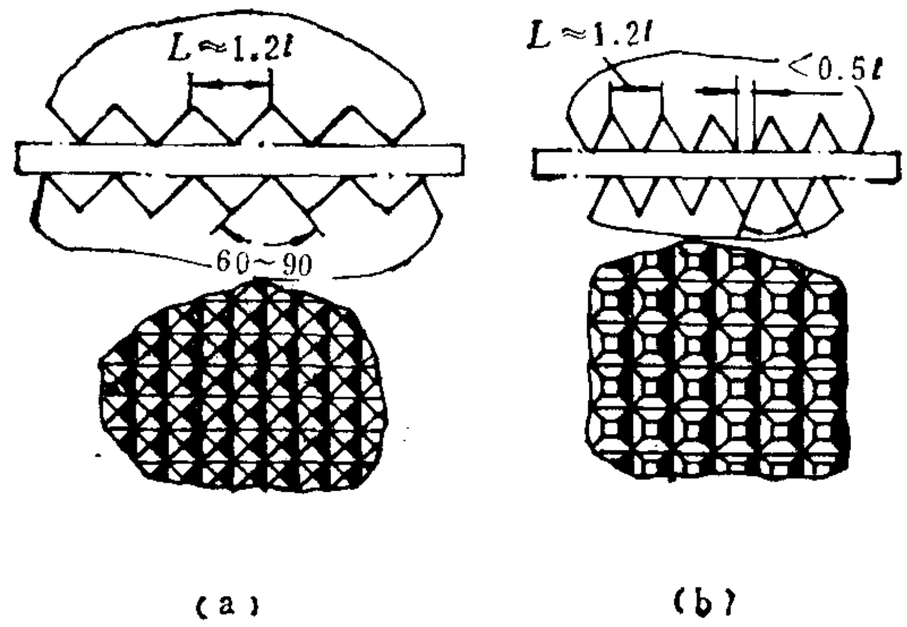


图 3-78 校平模齿形
(a) 细齿 (b) 粗齿

影响校平的因素较多，如材料的机械性能，毛坯本身的瓢曲度，压力机滑块与台面的平行

http://shop62964869.taobao.com/

度和导轨间隙、模具上下模座的平行度等均影响到校平的效果。

校平力 P 可用下式计算

$$P = Fq \quad (N)$$

式中 F——校平面积 (mm^2)；

q——校平单位压力，查表 3-82。

表 3-82 校平和整形单位压力 (MPa)

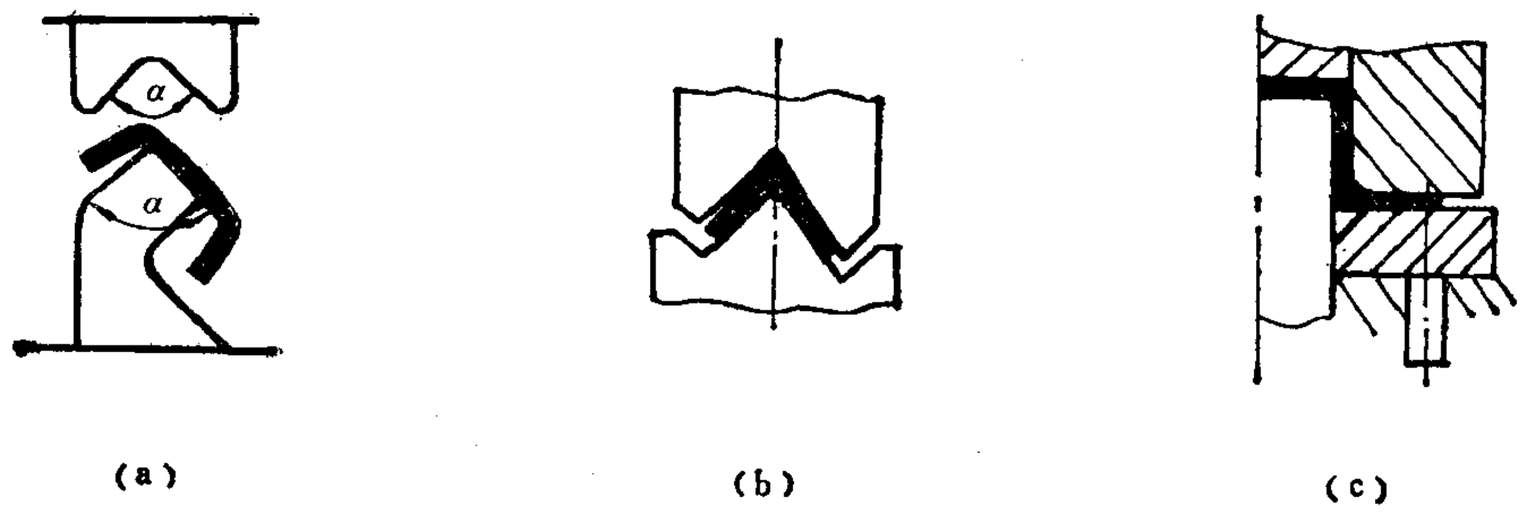
方 法	单位压力 q	附 注
光面校平模校平	80～100	用于薄料
细齿校平模校平	100～200	用于厚料，表面允许有细痕
粗齿校平模校平	200～300	用于厚料，表面不允许有深痕
敞开形制件剖面整形	50～100	用于薄料
拉深件减小圆角及整形	150～200	

(二) 整形

整形用于弯曲、拉深或其他成形的制件，使其减少圆角半径，改变某些形状和尺寸，以达到产品图纸的要求。

1. 弯曲件整形

弯曲件整形主要是改变圆角或角度，改善弯曲面的平度和消除长度方向的挠曲度。图 3-79a 是在弯曲件板厚方向加压，图 3-79b 是使板面和板厚方向均受压，以得较好整形效果。在选定弯曲件在整形模中正确位置时，应尽量使两侧的水平分力接近平衡，同时也要使整形单位压力的分布比较均匀。



(a) (b) (c)

图 3-79 整形

2. 拉深件整形(见图 3-80c)

拉深件整形包括减少凸缘和底部圆角半径，改善凸缘平面的平度和侧壁的平直度。当把圆角整小时，需要从邻近区域得到材料补充，因此，拉深高度有减少或凸缘尺寸有变动。最好，材料的补充有所不足，而使制件整形所及部分有(2～5)%的伸长。这样，整形后制件尺寸可比较稳定。

对于直筒形拉深件筒体的整形，可在最后一道拉深工序时进行，取间隙为 $(0.9\sim0.95)t$，使材料稍变薄，同时也可适当减少底部圆角半径。

整形常在压力机下死点对制件“压死”，因而压力机应有较大刚度。在调节压力机行程时，

http://shop62964869.taobao.com/

应特别小心，以免损坏设备。

整形力 P 可按下式计算：

$$P = Fq(\mathrm{N})$$

式中 F——整形面投影面积，(mm^2)；

q——单位整形力，见表 3-82。

（三）压印

压印工序是使材料厚度发生变化，使制件表面上压起花纹或字样。

压印在多数情况下是在封闭模内进行，避免金属被挤到型腔外面(见图 3-80a)。对于尺寸较大或形状特殊需要切边的制件，则可采用敞开式模具的表面压印(见图 3-80b)。

压印广泛用于制造硬币、纪念章以及在餐具和钟表零件上压出标记或花纹。设计压印模时应注意花纹的凸起宽度不要高而窄，更要避免尖角。图 3-81 为压花纹时模具成形部分尺寸。

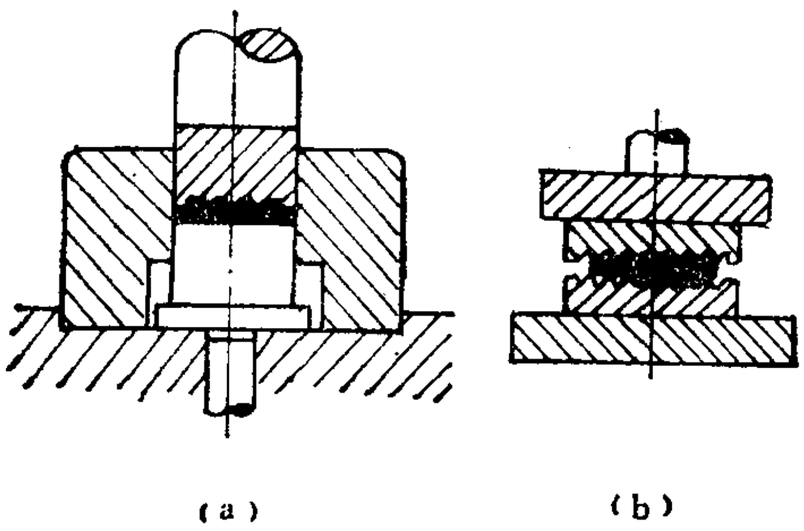


图 3-80 压印模简图
(a) 封闭式 (b) 敞开式

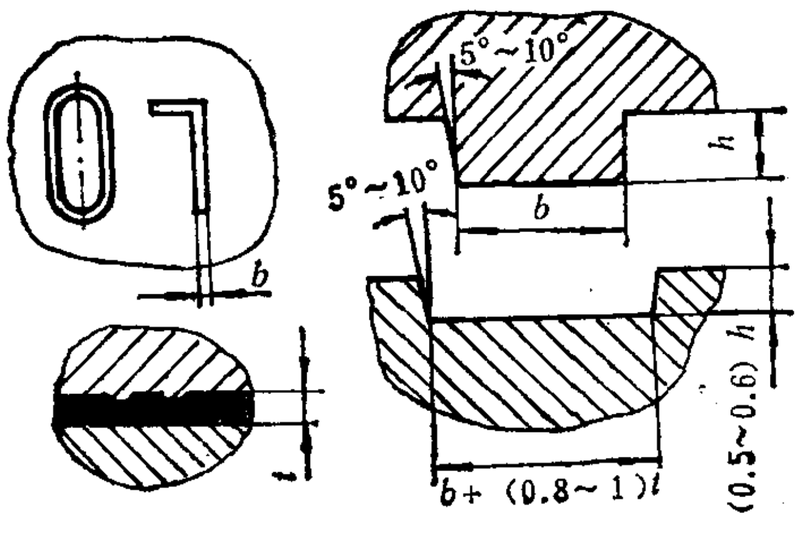


图 3-81 压印花纹时，模具成形部分尺寸

在压印加工过程中，虽然金属的位移不会太大，但为了得到理想清晰的花纹则需要相当大的单位压力，压印力 P 可按以下的经验公式计算：

$$P = qF(\mathrm{N})$$

式中 F——制件校平面的投影面积 (mm^2)；

q——单位压力，其试验值见表 3-83。

表 3-83 压印时单位压力的试验值

工 作 性 质	单位压力 (MPa)
在黄铜板上敞开压凸纹	200～500
在 t<1.8 毫米的黄铜板上压凸凹图案	800～900
用淬得很硬的阳模，在阴模上压制轮廓	1000～1100
在 t<0.4 毫米的薄黄铜板上压印单面花纹	2500～3000
不锈钢上压印花纹	2500～3000

http://shop62964869.taobao.com/

第四章　冲模零件与结构设计

一、冲模分类

（一）按工艺特点区分

1. 简单模(单一工序模)——在压力机一次行程和一个工位，完成一个或若干个相同工序的模具。

2. 复合模——在压力机一次行程和在一个工位，完成若干个不同工序的模具。

3. 级进模——又称连续模或跳步模，是在压力机一次行程和在几个不同工位上，完成两个以上工序的模具。

表 4-1 是一些常见的简单模、复合模和级进模的典型结构工作部分示意图。

（二）按冲模使用的通用程度区分

1. 专用冲模——模具上零件只为冲制某一制件，或同时冲制几个不同制件使用。

2. 组合冲模——模具上零件经拆装后，可组成不同冲模，供不同工序或不同制件冲压时使用。

3. 通用冲模——用于同类工序，经改变或调整冲模上零件，可适应冲压不同形状或尺寸的毛坯或制件。

（三）按工序性质区分

1. 冲裁模——包括落料模、冲孔模、切断模、剖切模和修边模等。

2. 弯曲模——包括压弯模、卷边模和扭曲模等。

3. 拉深模——包括拉深模和变薄拉深模。

4. 成形模——包括翻孔模、翻边模、胀形模、缩口模和整形模等。

（四）按有、无导向装置区分

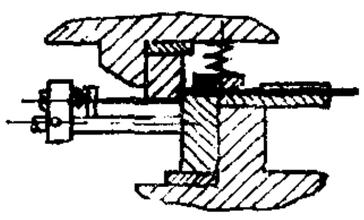
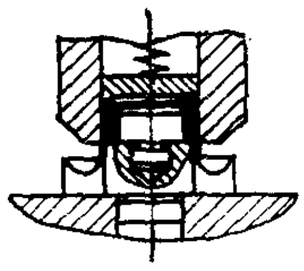
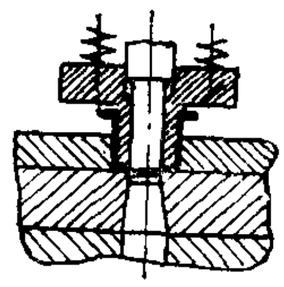
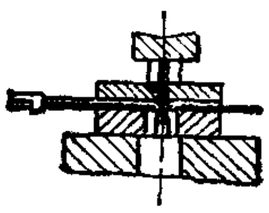
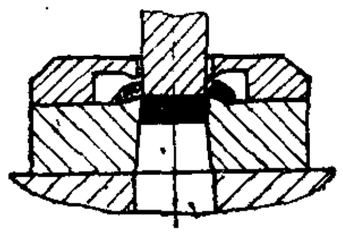
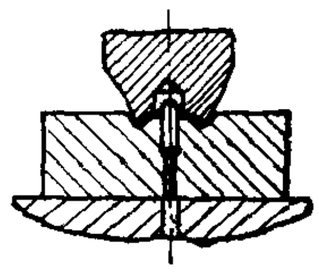
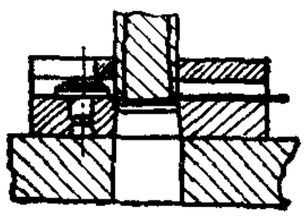
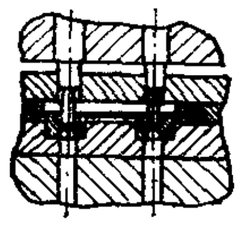
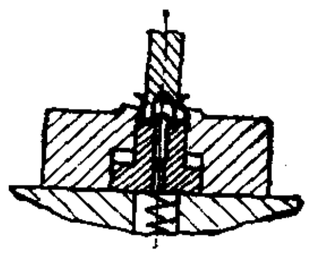
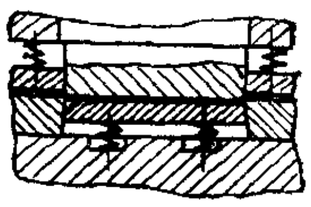
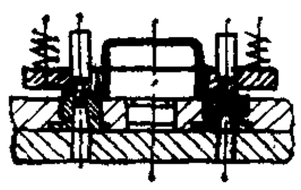
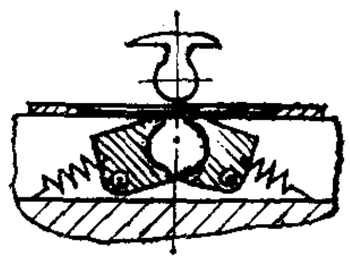
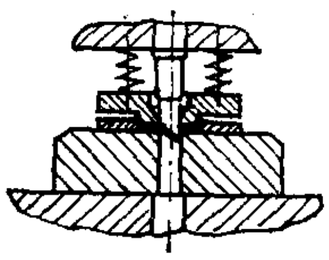
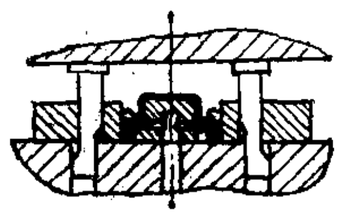
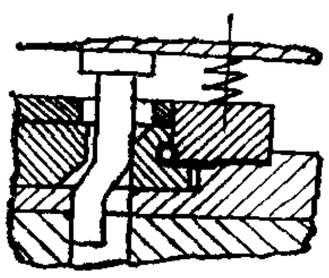
1. 无导向的开式模。

2. 有导向的导柱模、导板模和导筒模。

此外，按出件方式可有下出件、上出件和打料出件的模具；按送料方式可有手工送料和自动送料的模具。

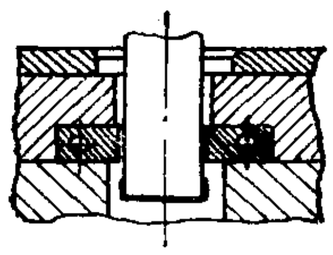
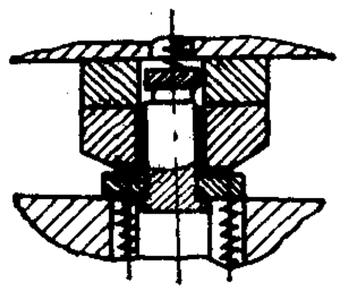
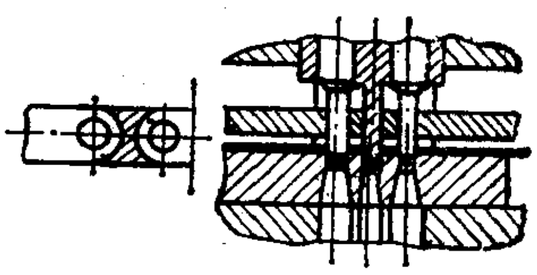
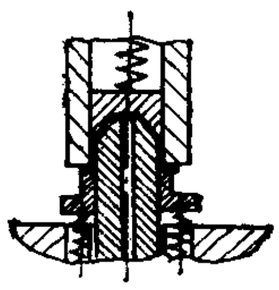
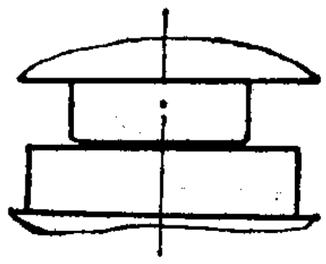
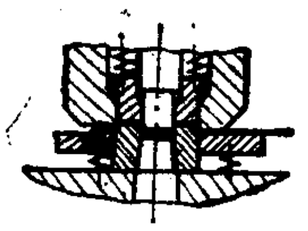
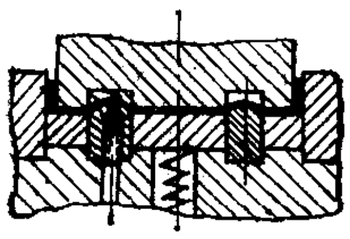
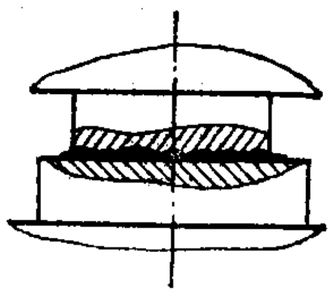
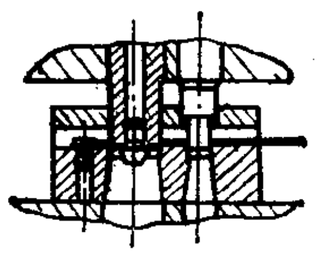
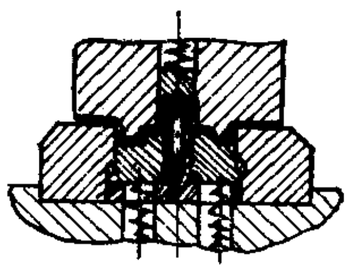
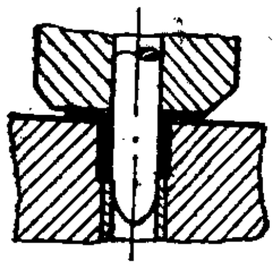
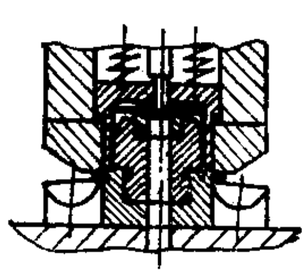
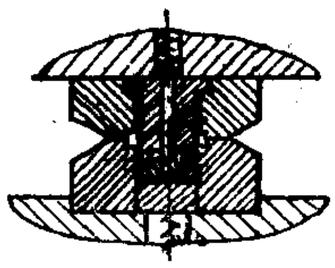
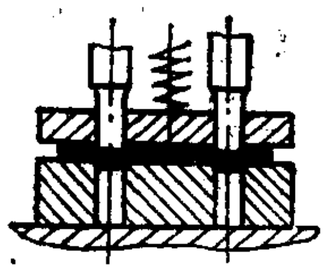
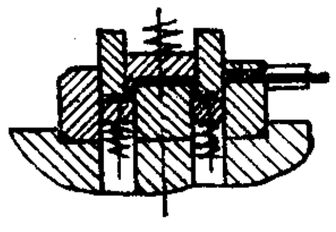
http://shop62964869.taobao.com/

表 4-1　冲模典型结构工作部分示意图

冲模　式与简图	冲模形式与简图	冲模形式与简图
1.无废料切断 	6.修边 	11.圆筒件底部冲孔 
2.有废料切断 	7.整修 	12.自由弯曲 
3.下出件落料 	8.平毛坯上冲孔 	13.有背压弯曲 
4.上出件落料 	9.凸缘上冲孔 	14.复杂件一次弯曲成形 
5.切舌 	10.用斜楔冲孔 	15.铰链卷圆 

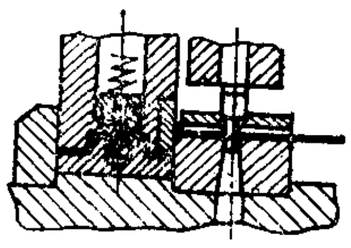
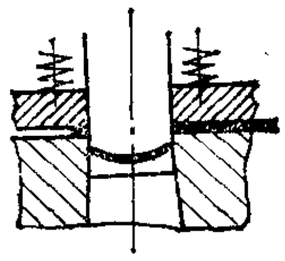
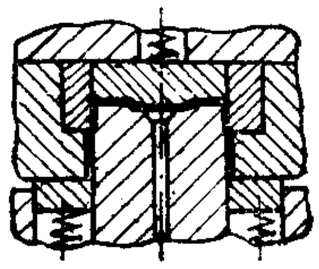
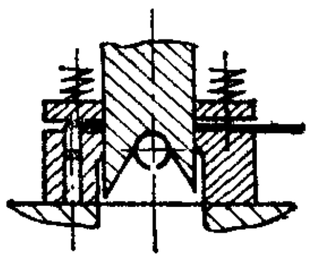
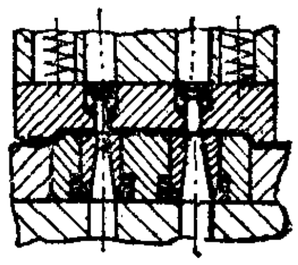
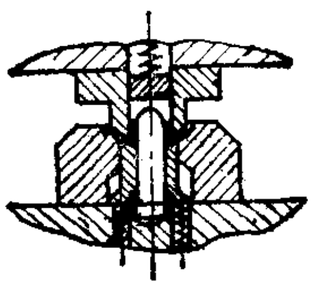
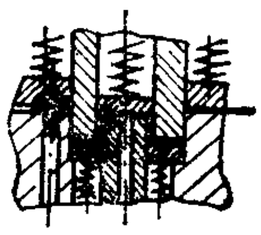
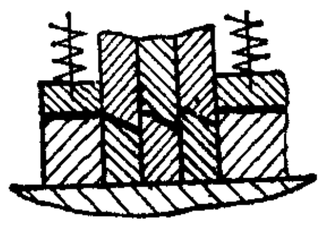
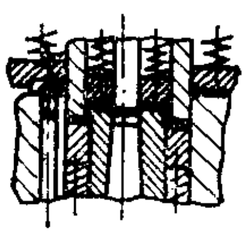
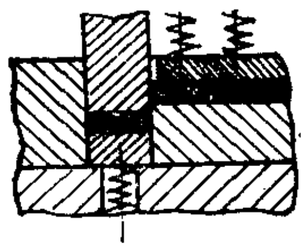
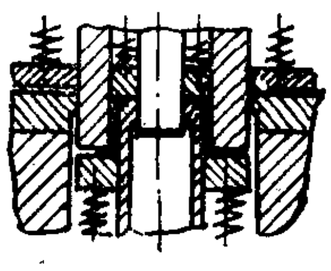
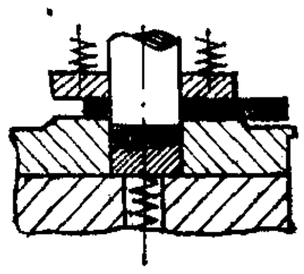
http://shop62964869.taobao.com/

续4-1（续）

冲模形式与简图	冲模形式与简图	冲模形式与简图
16.无压边圈拉深 	21.翻底孔 	26.冲孔与切形 
17.有压边圈拉深 	22.校平 	27.复合模冲孔、落料 
18.压加强筋 	23.压印 	28.级进模冲孔、落料 
19.回转件成形 	24.精整 	29.冲孔、修边 
20.局部胀形 	25.压坑 	30.切断、弯曲 

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-1（续）

冲模形式与简图	冲模形式与简图	冲模形式与简图
31.冲孔、切断和弯曲 	36.成形与落料 	41.凸缘翻边与成形 
32.落料与卷圆 	37.成形与冲孔 	42.翻孔与成形 
33.落料与拉深 	38.切舌与成形 	
34.落料、拉深与冲孔 	39.切断与压印 	
35.落料、拉深、冲孔与翻孔 	40.落料与压印 	

http://shop62964869.taobao.com/

二、冲模零件分类

组成冲模的全部零件，按其功用可分为两大类：工艺结构件和辅助结构件。

（一）工艺结构件

它们对完成工艺过程起主要作用，按其工作性质又可分：

1）工作零件——如凸模、凹模、凸凹模等。

2）定位零件——如导料板(导尺)、导料销、档料销、定位销(定位板)、侧压板、定距侧刃等。

3）卸料、压料及推、顶件装置零部件——卸料板、压边圈、顶件器、废料切刀以及与模具安装一起的送料、送件装置等。

（二）辅助结构件

它们对完成工艺过程起辅助作用，按其工作性质可分为：，

1）导向零件——导柱、导套、导板、导筒等。

2）固定与支承零件——上、下模座、模柄、凸、凹模固定板、垫板、限位柱(块)等。

3）紧固及其它零件——螺钉、销钉、键等。

4）传动与改变工作运动方向的零件——侧楔、凸轮、滑板、铰链接头等。

三、工作零件

（一）冲裁模工作零件

1. 冲裁凸模

凸模形式常见的以圆形为多。为了避免应力集中和有较好强度、刚度，圆形凸模常做成台阶形并以较大圆角圆滑过渡。对冲孔直径接近料厚的凸模，为增加抗纵向弯曲能力，常采用护套结构(参见图 4-1)。

(1) 凸模长度

凸模的长度一般根据结构上需要确定。在采用固定卸料板和导尺时，其长度如图 4-2 所示为

$$L = h_1 + h_2 + h_3 + h$$

式中　L——凸模长度 (mm)；

http://shop62964869.taobao.com/

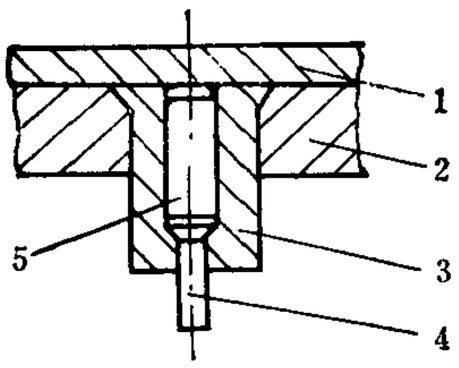


图 4-1　小凸模的简单护套结构
1—垫板　2—固定板　3—护套　4—凸模　5—心柱

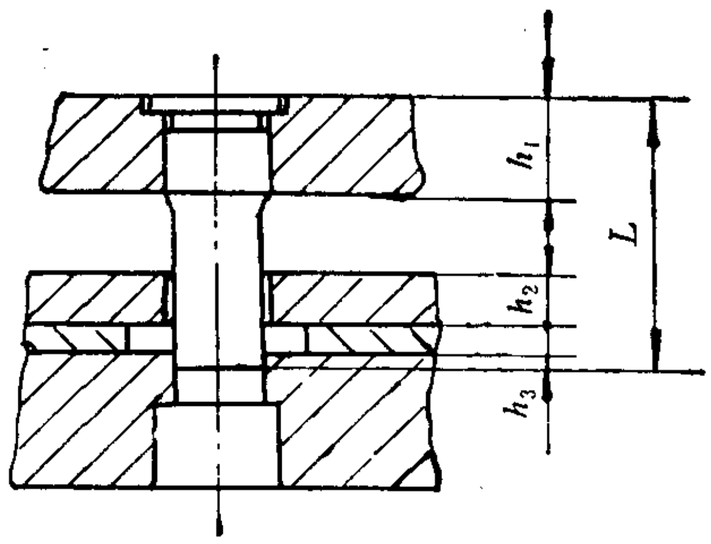


图 4-2　凸模长度的确定

h_1——凸模固定板的厚度(mm),一般取 $h_1 \geqslant 1.5d$(d——凸模压入部分直径);

h_2——卸料板厚度 (mm)。卸料板厚度或刚度不够，易造成因卸料力过大而弯曲变形，影响生产,通常凭经验确定;

h_3——导尺厚度 (mm)，参见表 4-41 中的H值;

h——附加长度 (mm)。它包括凸模的修磨量,凸模进入凹模的深度和凸模固定板与卸料板间的安全距离等。通常取 $h = 15 \sim 20$mm。

(2) 凸模强度校核

凸模承受很大压应力,而在卸料时又承受拉应力。对特别细长的凸模,应进行承压能力和抗纵向弯曲能力的校核。

1) 承压能力校核

小凸模冲裁厚料时,应对凸模进行抗压强度计算,即

$$F_{\min} \geqslant \frac{P}{[\sigma_c]} \text{ (mm}^2\text{)} \tag{4-1}$$

因而对圆形凸模为

$$d_{\min} \geqslant \frac{4t\tau}{[\sigma_c]} \text{ (mm)} \tag{4-2}$$

式中　$F_{\min}$——凸模上最小截面积 (mm²);

P——冲裁力 (N);

$[\sigma_c]$——凸模材料的许用应力 (MPa)，对一般工具钢,凸模淬火硬度 HRC 为 58～62 时,取1000～1600MPa; 如有良好导向,可取 2000～3000MPa;

$d_{\min}$——凸模最小直径 (mm);

t——材料厚度 (mm);

τ——材料抗剪强度 (MPa)。

表 4-2 是按 $[\sigma_c] = 1000 \sim 1600$MPa 和按理论冲裁力计算所得到凸模允许的最小相对直径 $(d/t)_{\min}$ 值。

2) 抗纵向弯曲能力校核

凸模不发生失稳弯曲的最大长度,根据欧拉公式可表达为

$$L_{\max} \leqslant \pi\sqrt{\frac{\alpha EJ}{P}} \text{ (mm)} \tag{4-3}$$

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-2　凸模允许的最小相对直径 $(d/t)_{min}$

冲压材料	抗剪强度 τ(MPa)	$(d/t)_{min}$
低碳钢	300	0.75～1.20
中碳钢	450	1.13～1.80
不锈钢	500	1.25～2.00
电工硅钢	190	0.48～0.76
软黄铜	260	0.65～1.04

注：若考虑实际冲裁力，表中 $(d/t)_{min}$ 值应增大 30%。

式中　E——凸模材料的弹性模数，一般模具钢为 2.2×10^5MPa；

P——冲裁力（N）；

L_{max}——凸模上可能发生失稳弯曲部分长度 L 的最大值，如图 4-3 所示；

α——凸模前端导向情况的系数，无导向，$\alpha = 1$，有导向，$\alpha = 2$；

J——凸模最小横断面的惯性矩（mm⁴）；

圆形凸模：$J = \dfrac{\pi d^4}{64}$

矩形凸模：$J = \dfrac{b \cdot h^3}{12}$

（3）凸模设计中其它要求

1）在倾斜面上冲孔时，当倾斜度在 15° 以下，凸模端面可作成平面，超过 15° 时，凸模端面应有剪切角；

2）对于冲孔-落料级进模，如冲孔凸模面积较小，落料凸模应比冲孔凸模高约 $1.5t$，以保证模具工作时，先落料后冲孔，避免冲孔凸模折断；

3）为避免冲裁后制件贴在凸模上，必要时在凸模中心装弹簧顶针，装橡胶柱或在凸模中心留凹坑(或开孔)，也可从凸模的中心孔，喷射压缩空气卸去制件。

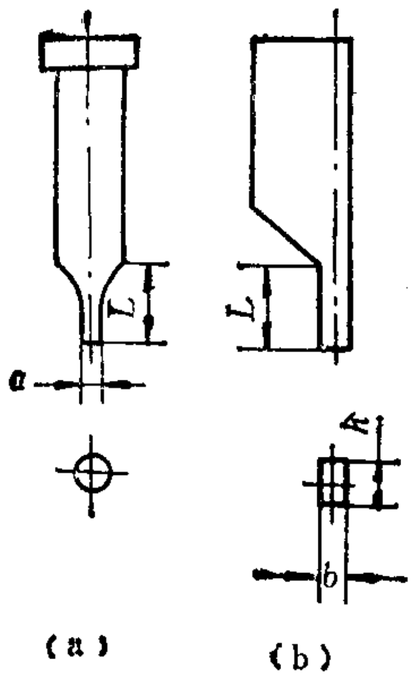


图 4-3　凸模弯曲失稳部分的长度
(a) 圆形　(b) 矩形

2. 冲裁凹模

（1）刃口孔型

凹模刃口孔型见表 4-3。表内孔型参数 α、β 和 h 见表 4-4。

（2）凹模厚度和宽度

整体凹模的厚度 H 可按以下经验公式计算

$$H = k_1 k_2 \sqrt[3]{P}/10 \ (\text{mm}) \qquad (4\text{-}4)$$

式中　P——冲裁力（N）；

k_1——冲裁轮廓长度修正系数，见表 4-5；

k_2——凹模材料修正系数，见表 4-6。

H 的最小值为 7.5mm，但如凹模表面积大于 55mm²，则最小值为 10.5mm，在大批量生产条件，凹模厚度还应加刃磨量。

凹模宽度 B 可为

$$B = b + (3 \sim 4)H$$

式中　b——凹模孔的最大宽度（mm）；

http://shop62964869.taobao.com/

H——凹模厚度，见表 4-5。

表 4-3　凹模刃口孔型

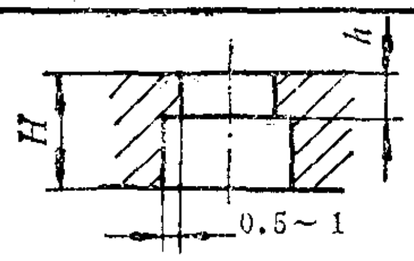
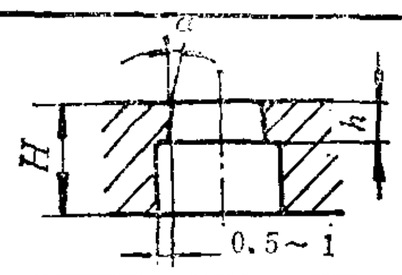
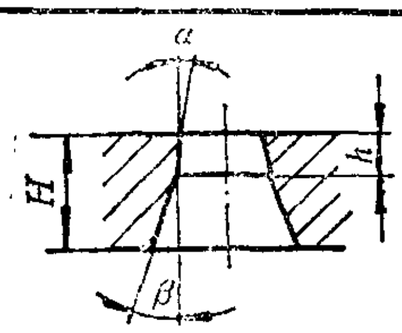
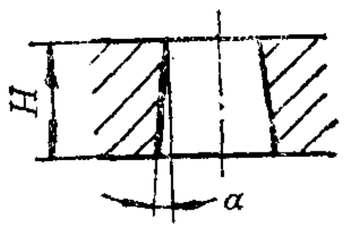
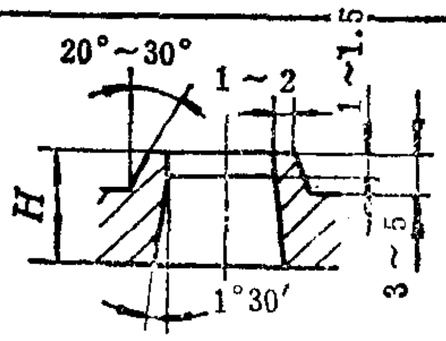
序号	简图	特　　点	应用范围
1		刃口强度较好，刃口尺寸不随修磨刃口而增大 易积冲裁件或废料，孔壁磨损和压力较大，修磨时刃口磨去的尺寸较多	向上（下）顶出零件或废料的模具；形状复杂或精度较高的零件；直径 $d<5$ 时的冲裁等
2		刃口强度较差，刃口尺寸随修磨而增大 不易积冲裁件或废料，对孔壁的摩擦及压力较小	零件或废料向下落的模具；形状简单或精度较低的零件
3			同序号 2，但冲件形状较复杂
4			同序号 2，但冲裁材料和凹模的厚度较薄
5		淬火硬度HRC35～40，可用锤打斜面的方法来调整间隙，直到试出合格的冲裁件时为止	冲裁材料厚度在0.3mm以下

表 4-4　表 4-3 中不同料厚时的 α、β 和 h 值

主要参数 / 材料厚度 t	α	β	h	附　　注
<0.5	15	2°	≥4	表中 α、β 值仅适用钳工加工。电火花加工时：$\alpha=4'\sim20'$（复杂模具取小值），$\beta=20'\sim50'$。带斜度装置的线切割时：$\beta=1°\sim1.5°$
>0.5～1			≥5	
>1～2.5			≥6	
>2.5～6	30	3°	≥8	
>6			—	

表 4-5　凹模冲裁轮廓长度修正系数 k_1

轮廓长度（mm）	<50	50～75	75～150	150～300	300～500	>500
修正系数 k_1	1	1.12	1.25	1.37	1.50	1.6

（3）冲裁轮廓线与凹模边线的距离（见图 4-4）

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-6　凹模材料修正系数 k_2

凹模材料	合金工具钢	碳素工具钢
修正系数 k_2	1	1.3

1）轮廓线为平滑曲线时：$W_1 \geqslant 1.2H$

2）轮廓线为直线时：$W_2 \geqslant 1.5H$

3）轮廓形状复杂和有尖角时：$W_2 \geqslant 2.0H$

(4) 凹模上螺孔、销孔位置尺寸和螺钉尺寸

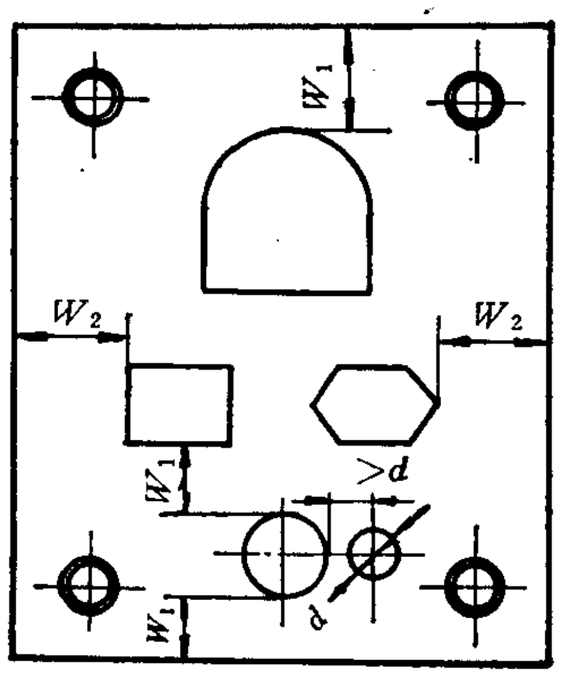


图 4-4　冲裁轮廓线与凹模边线的距离

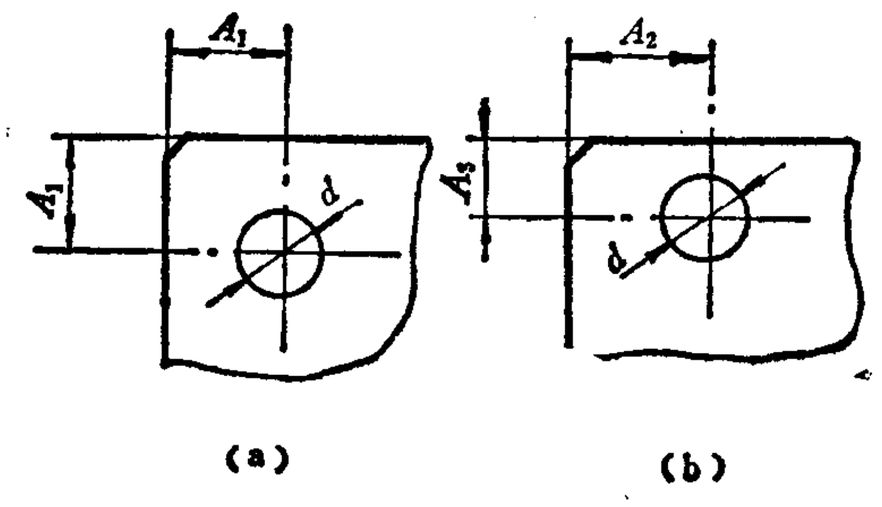


图 4-5　凹模外缘到螺孔的尺寸

(a) 孔与外缘等距　(b) 孔与外缘不等距

1）从凹模外缘到螺孔的尺寸(图 4-5)

标准尺寸：$A_1 = (1.7 \sim 2.0)d$

最小允许尺寸见表 4-7。

表 4-7　凹模外缘到螺孔的最小允许尺寸

凹模材料状况	等距时 A_1	螺孔与外缘不等距时	
		A_2	A_3
未经淬火	$1.13d$	$1.5d$	$1d$
经淬火	$1.25d$	$1.5d$	$1.13d$

2）从凹模外缘到圆柱销孔中心距离

其最小允许尺寸见表 4-8。

表 4-8　凹模外缘到圆柱销孔中心的最小允许尺寸 (mm)

圆柱销孔径	3	4	5	6	8	10	12	16	20
最小允许尺寸	6	7	8	9	11	12	15	16	20

3）螺孔到凹模孔间距和螺孔到销孔间距(图 4-6)

标准尺寸：$F > 2d$

最小允许尺寸：$F_{min} = 1d$（凹模材料未经淬火）

$F_{min} = 1.3d$（凹模材料经淬火）

http://shop62964869.taobao.com/

4）螺孔间距离(见表 4-9)

5）凹模厚度与紧固螺钉尺寸(见表 4-10)

3. 凸、凹模的镶拼结构

镶拼结构常用于中、大型冲模或小型冲模的形状复杂或细长的刃口，以解决加工或热处理的困难和节约原材料。

(1) 镶拼方式

根据凸、凹模形状和料厚可采用各种镶拼方式，如：

1）平面式：只靠螺钉、圆柱销固定，仅用于料厚 1.5mm 以下受力较小情况；

2）斜楔压紧式，如图 4-7 a 所示；

3）压圈紧固(或热套配合)式：如图 4-7 b 所示，压圈内孔和镶块外圆有一（1°～3°）锥度的配磨面，冷压紧固一起，也可采用热套，但互换性差。

4）止推键支撑式：如图 4-7 c 所示，由止推键承担侧向力。

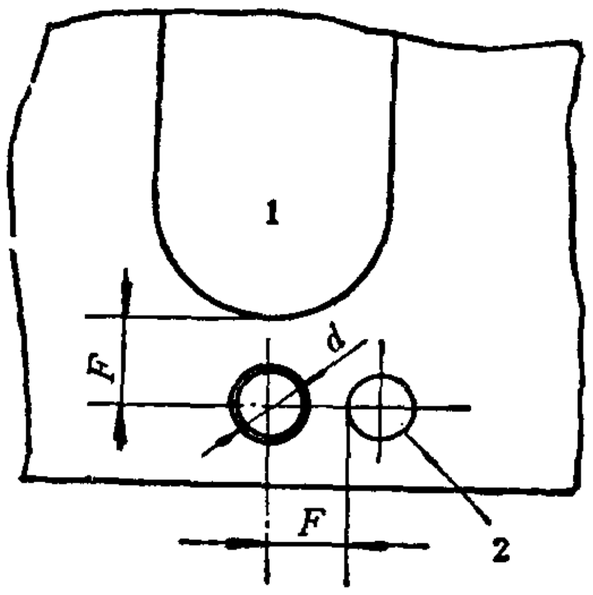


图 4-6 螺孔到凹模孔间距和螺孔到销孔间距
1—凹模孔 2—定位销

(2) 设计镶拼结构的一般原则

表 4-9 螺孔间距离(mm)

使用螺栓尺寸	最小间距	最大间距	凹模厚度
M5	15	50	10～18
M6	25	70	15～25
M8	40	90	22～32
M10	60	115	27～38
M12	80	150	>35

注：表内尺寸系指用于固定凸模固定板或凹模镶块。

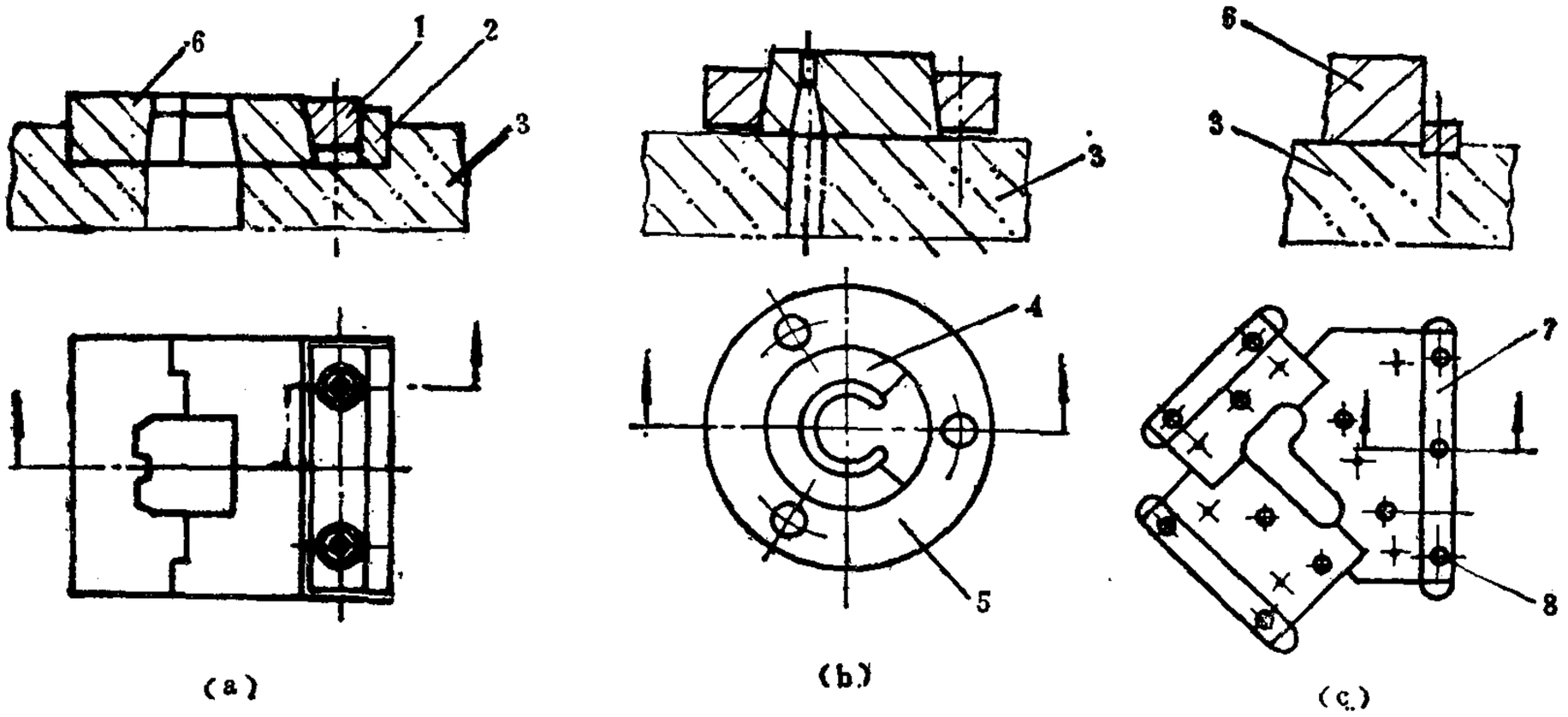


图 4-7 凸凹模镶拼方式
(a) 斜楔压紧式 (b) 压圈紧固式 (c) 止推键支撑式
1—斜楔 2—塞铁 3—模座 4—径向分块 5—压圈 6—镶块 7—止推键 8—定位销

1）应根据制件形状、料厚和镶块内壁的承受胀力情况，选用镶块结构方式和镶块的数量。

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-10　不同凹模厚度的紧固螺钉尺寸选用

凹模厚度（mm）	<13	13～19	19～25	25～32	>32
使用紧固螺钉	M4，M5	M5，M6	M6，M8	M8，M10	M10，M12

注：选择所使用的螺钉，要与凹模表面积的大小成比例。

镶块必须能准确地定位和固定。须能准确地测定尺寸精度。

2）镶拼结构的分块应考虑的问题

① 便于加工和热处理，应将内形加工变为外形加工，镶块角度避免锐角，见图 4-8。

② 复杂或易磨损部位应单独分块；圆弧部分应单独分块，分块线应在直线部分，一般离直线与圆弧相切处 4～5mm，见图 4-9。

③ 如凸、凹模均是镶拼结构，则其分块线不应重合，应错开 5mm 以上以免产生毛刺。

④ 外形为圆形的凹模，应按径向线分割以便按同一方法加工各镶块，见图 4-10。

⑤ 对孔中心距要求较高的镶块，可采用中间分块，通过研磨拼合来达到，见图 4-11。

3）镶块之间应以凹、凸槽相嵌或通过矩形键相配，以防止镶块在冲压时错移。

4）大型冲模镶块采用螺钉固定时，应以两个销钉定位；销钉应远离刃口，相对距离要大，螺钉要靠近刃口，作参差排列，见图 4-12。为防止镶块错移，料厚在 1.5～2.5mm 时应埋入方键（见图 4-13a），料厚＞ 2.5mm 时，镶块本身应嵌入模座（见图 4-13b）。

5）为镶块便于配合和减少磨削量，两镶块间接合面应适当减少，见图 4-14。

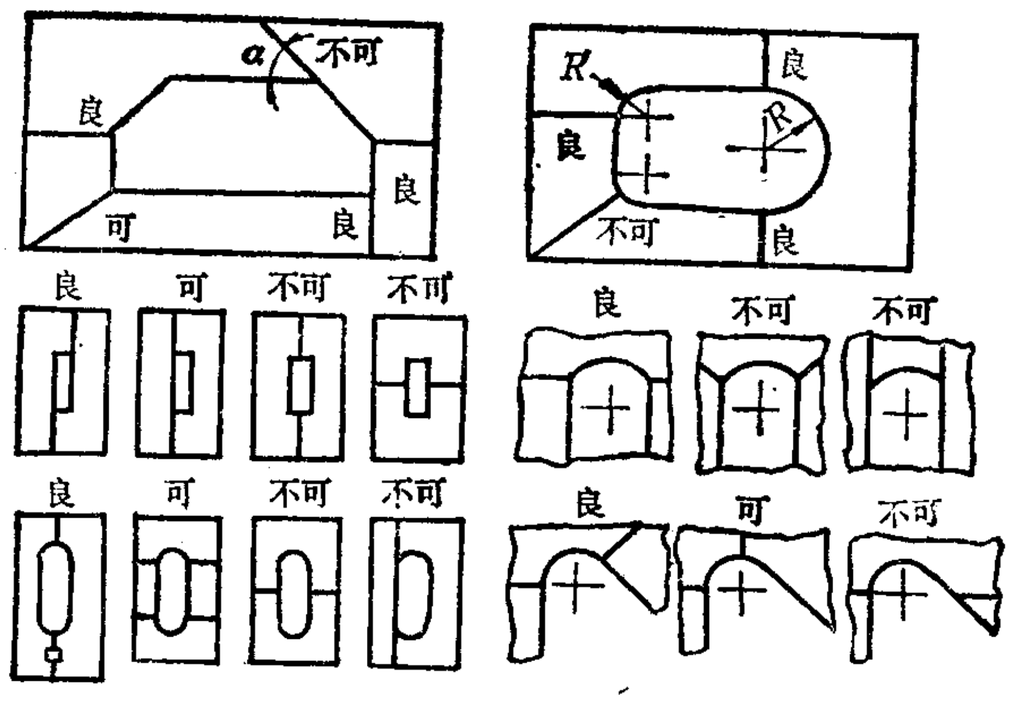


图 4-8　镶块上角度情况

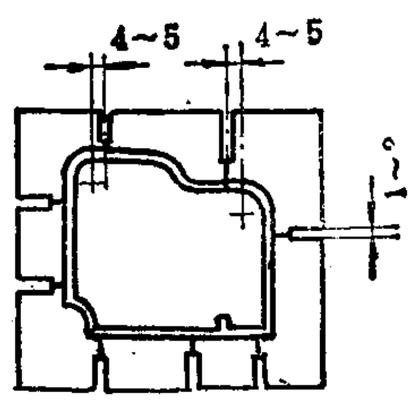


图 4-9　分块线的位置

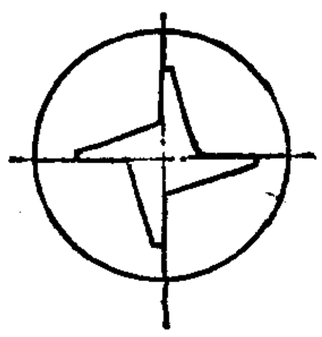


图 4-10　镶块沿径向线分割

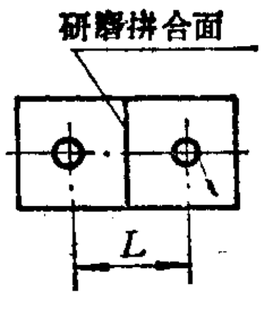


图 4-11　高精度孔距的镶拼

4. 凸模与凹模的固定

（1）用机械方法固定

它主要指采用螺钉固定或用过盈配合方法，把凸模或凹模直接固定于模座，或先固定于固

http://shop62964869.taobao.com/

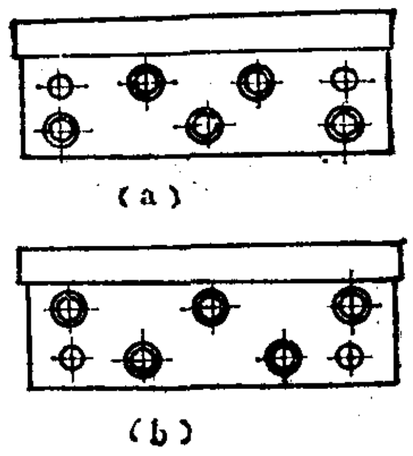


图 4-12　镶块的螺钉和销钉位置
(a) 不正确　(b) 正确

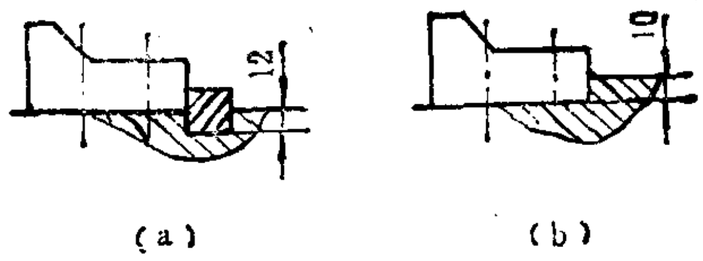


图 4-13　防止镶块错移方法
(a) 用方键　(b)　镶块嵌入模座

定板，然后由固定板再与模座固定。

图 4-15 是几种凸模机械固定方法。图中 (a)、(b) 用于少量生产，是直接固定于模座；图中 (c)、(d) 均采用 H7/m6 与固定板配合。(c) 适于圆形凸模，因它顶上有台阶，压入固定板后应一起磨平。(d) 适于用线切割或成型磨削的非圆形凸模，它压入带 45° 倒角的固定板孔内，再铆合后一起磨平。(c)、(d) 两种方法应用较为普遍。(e) 是钢珠锁紧方式，它与 (a)、(g) 一般用于需经常更换凸模的场合。(f) 用楔和螺钉固定矩形凸模，拆装较为方便。(h) 形式为固定硬质合金凸模较多。(i) 形式为用螺钉固定，好处是当模具再修磨时，凸模调整高度方便。小凸模的固定见前面图 4-1。

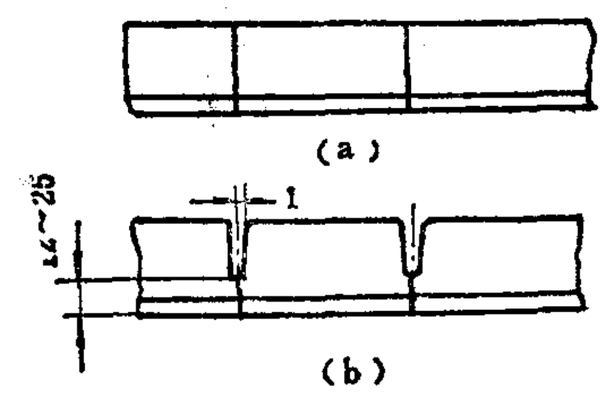


图 4-14　减少接合面的镶拼
(a) 过多接合面　(b) 减少接合面

对于工作部分断面为非圆形，而固定部分为圆形的凸模，还须防止凸模转动，如图 4-16 所示。这对凹模也同样适用。

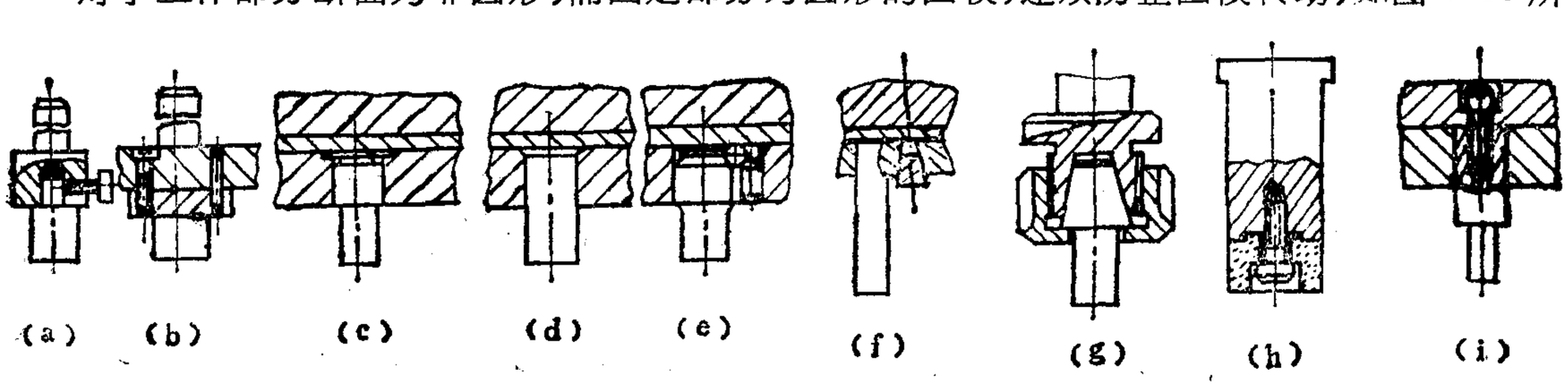


图 4-15　凸模用机械方法固定

图 4-17 是凹模用机械固定的几种方法。图中 (a) 用螺钉固定在模座上，一般用于少量生产。图中 (b) 用螺钉、圆柱销直接固定在模座上，常用于批量生产。图中 (c) 采用 H7/m6 配合，然后与固定板一起磨平底面。图中 (d) 采用快换小形凹模固定于模座。图中 (e)、(f) 和 (g) 均用于硬质合金凹模，其中 (e) 以楔和螺钉固定于模座，(f) 以冷压方法固定于模座，过盈量取直径尺寸的 $(0.15\sim0.25)d$，孔的斜度为 1°30′。(g) 为热套固定，热套加热温度一般在500～600℃，

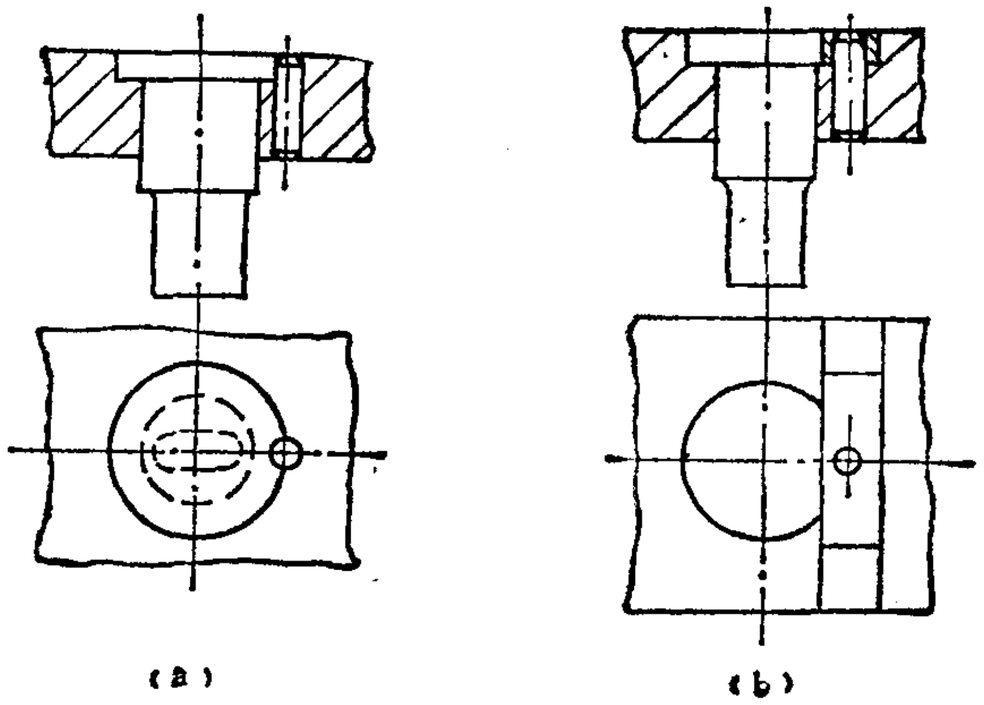


图 4-16　凸模防转方式
(a) 销钉防转　(b) 键防转

http://shop62964869.taobao.com/

热套过盈量常取直径尺寸的（0.6～1.0）%。

（2）用低熔点合金浇注固定

它是利用低熔点合金冷却膨胀的原理，使凸模或凹模与固定板之间，获得有一定强度的联

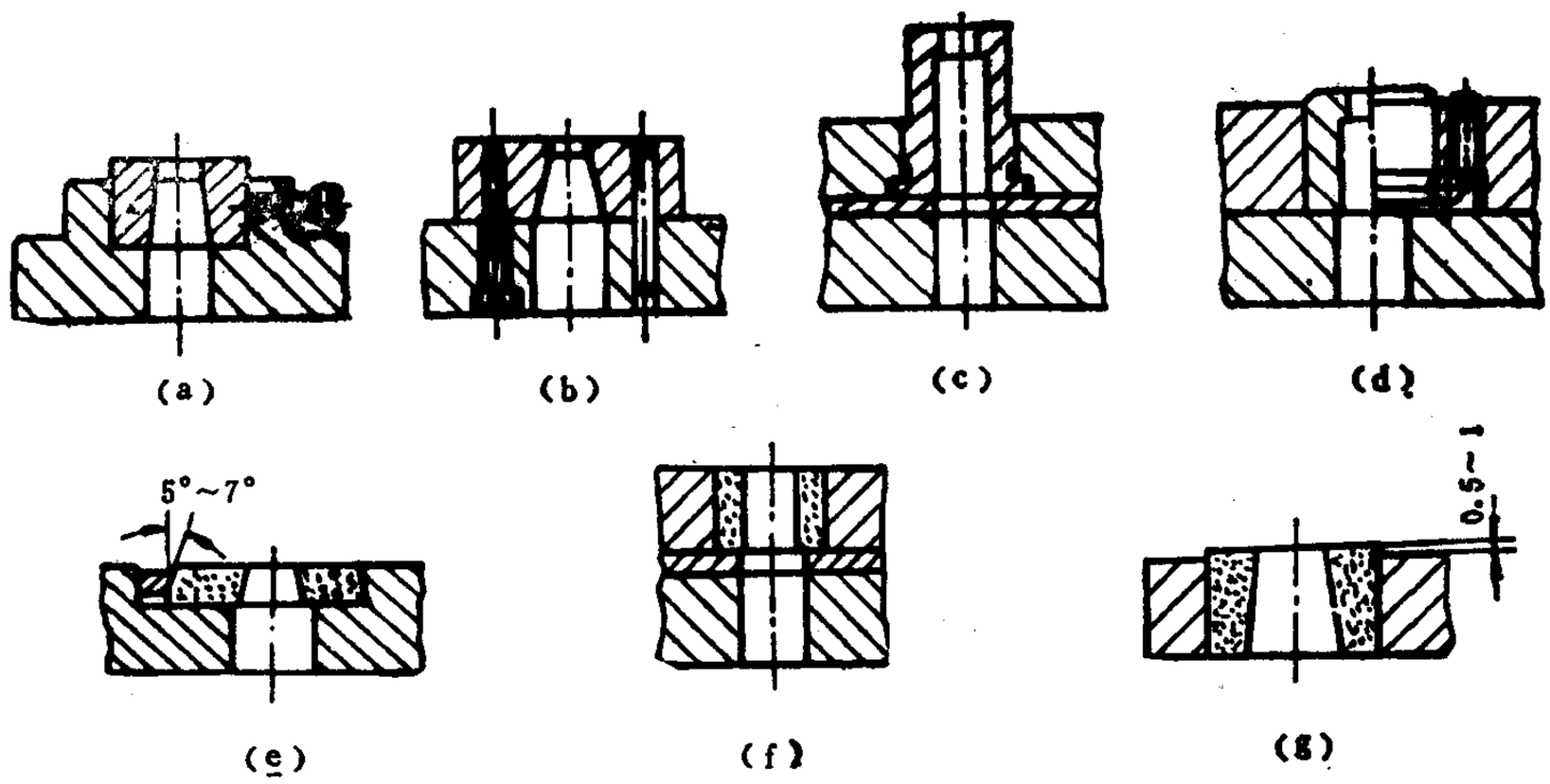


图 4-17　凹模用机械方法固定

结，但常以冲裁板厚 2mm 以下为限。常见形式如图 4-18 所示。

低熔点合金的配方见表 4-11，按第一种配方，熔化温度为 150～170℃，浇注时固定板预热至 150～200℃。主要技术性能：抗拉强度 91MPa，抗压强度 112MPa，冷胀率 0.2%，密度

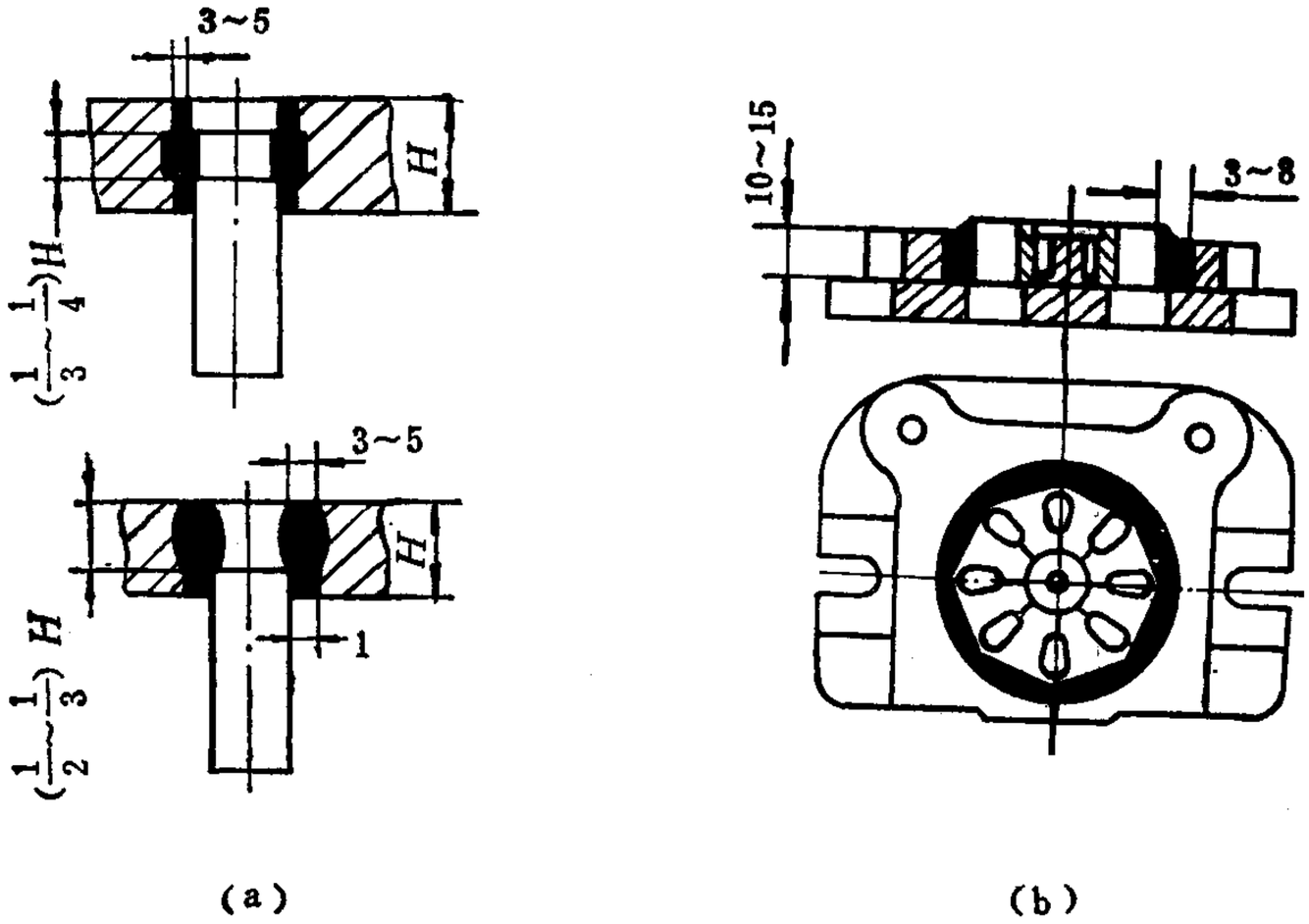


图 4-18　低熔点合金浇注固定

（a）凸模固定结构　（b）镶块凹模固定结构

为9.04g/cm³。第二种配方与第一种配方制成的合金性质相近，浇注后至少放置 12～14h，才能使用。

（3）用环氧树脂粘结固定

用环氧树脂固定的结构形式如图 4-19 所示。

http://shop62964869.taobao.com/

表4-11　低熔点合金配方表(按重量百分比)

元素 / 密度(g/cm³) / 熔点(℃) / 合金配方 按重量%	锑	铅	铋	锡	合金的熔点 ℃	浇注温度 ℃
	6.69	11.34	9.8	7.28		
	630	327	271	232		
1	9.0	28.5	48.0	14.5	120	150～200
2	5.0	35	45.0	15.0	100	120～150

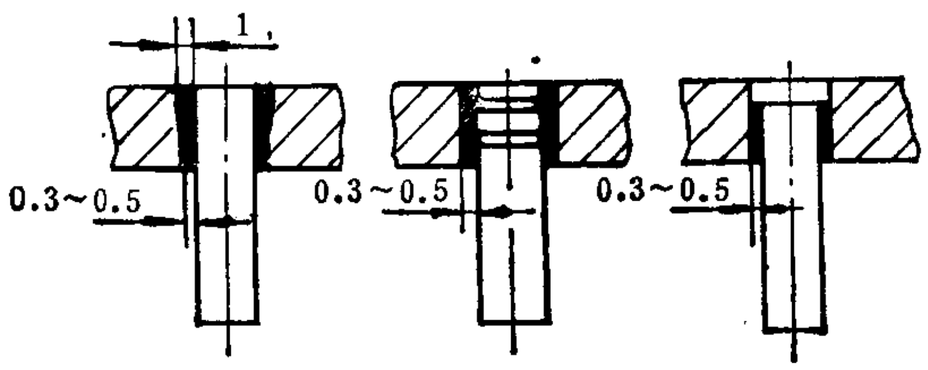


图 4-19　凸模用环氧树脂粘结剂固定

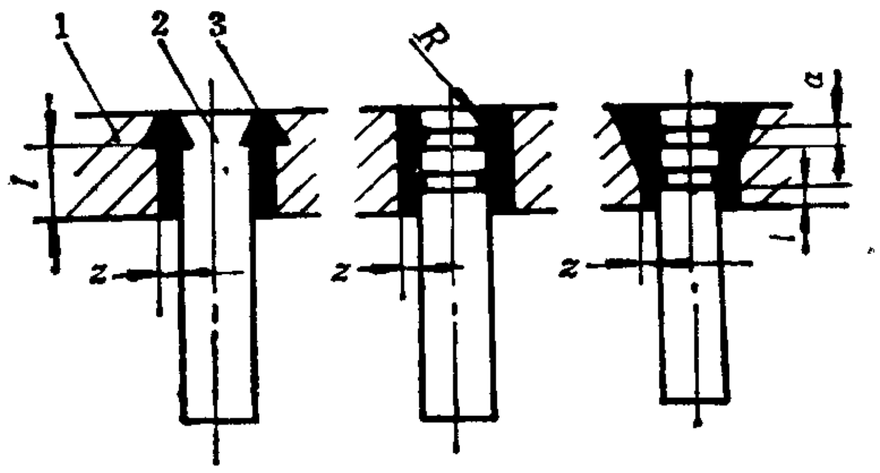


图 4-20　凸模的无机粘结剂固定
$z=0.2\sim0.3$，$a=2\sim3$，$l=5\sim8$，$R=2\sim3$
1—凸模固定板　2—凸模　3—粘结剂

表4-12　环氧树脂粘结剂配方表

组成成分	名　　称	配方(按重量百分比)③			
		一	二	三	四
粘结剂	环氧树脂 6101	100	100	100	100
填充剂	铁粉200～300目 石英粉200目	250	250	20	20
增塑剂	磷苯二甲酸二丁酸	15～20	15～20	10～12	15
固化剂	乙二胺② 二乙烯 间本二胺① 磷苯二甲酸酐①②	8～10	14～16	35～38	10

① 需热固化。
② 磷苯二甲酸酐和乙二胺有毒，注意戴防护镜和口罩。
③ 第一种配方最常用，第三、四种配方用来浇注卸料板型孔。

环氧树脂粘结剂常用配方见表 4-12。

环氧树脂粘结剂配方一的配制过程说明如下：

1）用热水间接加热环氧树脂至 60～80℃，以增加其流动性。

2）加入磷苯二甲酸丁酯，并搅拌均匀。

3）加入已烘干(200℃左右)并冷却至 80℃ 以下的铁粉填充剂，搅拌均匀。

http://shop62964869.taobao.com/

4）待以上混和物降温到30℃左右，再逐渐加入乙二胺固化剂，缓慢搅拌，使气泡逸出后即可进行浇注。粘结前固定板或卸料板需适当加温，以提高树脂流动性，使易于充满型腔。

对不需粘结的地方应涂上脱模剂，如黄油、有机硅树脂、二硫化钼油脂等，但不易过多，否则影响强度。

环氧树脂粘结强度高于无机粘结。

（4）用无机粘结剂固定

用无机粘结剂固定的结构形式如图4-20所示。

无机粘结剂的成分为：

1）氧化铜 CuO，300～400 目，纯度86%以上，要求保持干燥，硫、磷杂质应尽量少。

2）磷酸 H_3PO_4，纯度85%以上，比重为1.78，使用时加热至200～250℃，可浓缩至比重为1.98，这可提高粘结强度，但固化时间稍长。

3）氢氧化铝 $Al(OH)_3$，作为缓冲剂，以延长固化时间。

无机粘结剂的配方比 R 为

$$R = \frac{\text{氧化铜}}{\text{磷酸}} = 3\sim4.5\text{g/ml}$$

R 值越大，粘结强度越好，凝固速度也越快，但 R 值不宜大于5，否则凝固过快。冬天常取 $R = 4\sim4.5$，夏天常取 $R = 3\sim3.5$。

制取氢氧化铝磷酸溶液可取4～8g氢氧化铝先与10ml 的磷酸调匀，再倒入 90ml 磷酸，加热不断搅拌，约升温到230℃左右，自然冷却后即可使用。氢氧化铝用量，天热多加，天冷少加；天气干燥多加，天气潮湿少加。

5. 冲裁凸、凹模工作部分尺寸的确定

（1）确定冲裁凸、凹模工作部分尺寸的原则

1）考虑落料和冲孔的区别：落料件的尺寸取决于凹模，因此落料模应先决定凹模尺寸，用减小凸模尺寸来保证合理间隙；冲孔件的尺寸取决于凸模，因此冲孔模应先决定凸模尺寸，用增大凹模尺寸来保证合理间隙。

2）考虑刃口的磨损对制件尺寸的影响：刃口磨损后尺寸变大，其刃口的基本尺寸应接近或等于制件的最小极限尺寸；刃口磨损后尺寸减小，应取接近或等于制件的最大极限尺寸。

3）考虑制件精度与模具精度间的关系：在选择模具制造公差时，既要保证制件的精度要求，又要保证有合理的间隙值。一般冲模精度较制件精度高2～3级。

（2）凸、凹模分别加工时，其工作部分尺寸的计算公式（见表4-13）

表4-13 凸、凹模分别加工时，其工作部分尺寸的计算公式

工序性质	制件尺寸	凸模尺寸	凹模尺寸
落　料	$D^0_{-\Delta}$	$D_p = (D - x\Delta - z_{min})^0_{-\delta_p}$	$D_d = (D - x\Delta)^{+\delta}_0 d$
冲　孔	$d^{+\Delta}_0$	$d_p = (d + x\Delta)^0_{-\delta_p}$	$D_d = (d + x\Delta + z_{min})^{+\delta}_0 d$

注：计算时，先将制件尺寸化成 $D^0_{-\Delta}$，$d^{+\Delta}_0$ 的形式

表4-13中 D_p、D_d——分别为落料凸、凹模的刃口尺寸（mm）；

d_p、d_d——分别为冲孔凸、凹模的刃口尺寸（mm）；

D、d——分别为落料件外径和冲孔件孔径的基本尺寸（mm）；

http://shop62964869.taobao.com/

δ_p、δ_d——分别为凸、凹模的制造公差，凸模按 IT6、凹模按 IT7，也可按表 4-14 选取，

或取 $\delta_p = \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}\right)\Delta$，$\delta_d = \frac{1}{4}\Delta$；

Δ——制件的公差（mm）；

z_{min}——最小合理间隙（mm）

为了保证新冲模的间隙小于最大合理间隙（z_{max}），凸模和凹模制造公差必须保证

$$|\delta_p| + |\delta_d| \leqslant z_{max} - z_{min}$$

x——磨损系数，其值在 0.5～1 之间，按表 4-15 选取。

[例] 如图 4-21 所示垫圈，材料为 08，料厚 3mm，试计算凸模与凹模刃口尺寸及制造公差。

解：由第三章表 3-3 查得

$$z_{max} = 0.64$$

$$z_{min} = 0.45$$

则 $$z_{max} - z_{min} = 0.64 - 0.45 = 0.19$$

对落料尺寸 $\phi 40.2_{-0.39}$ 的凹、凸模偏差查表 4-14 得

$$\delta_d = +0.030$$

$$\delta_p = -0.020$$

则 $$|\delta_d| + |\delta_p| = 0.05 < z_{max} - z_{min}$$

由表 4-15 查得磨损系数 $x = 0.5$

对冲孔尺寸 $\phi 13.9^{+0.27}$ 的凸、凹模偏差查表 4-14

得

$$\delta_p = -0.020$$

$$\delta_d = +0.020$$

则 $$|\delta_p| + |\delta_d| = 0.04 < z_{max} - z_{min}$$

由表 4-15 查得磨损系数 $x = 0.5$

具体尺寸计算见表 4-16。

(3) 凸、凹模配合加工时，其工作部分尺寸的计算公式

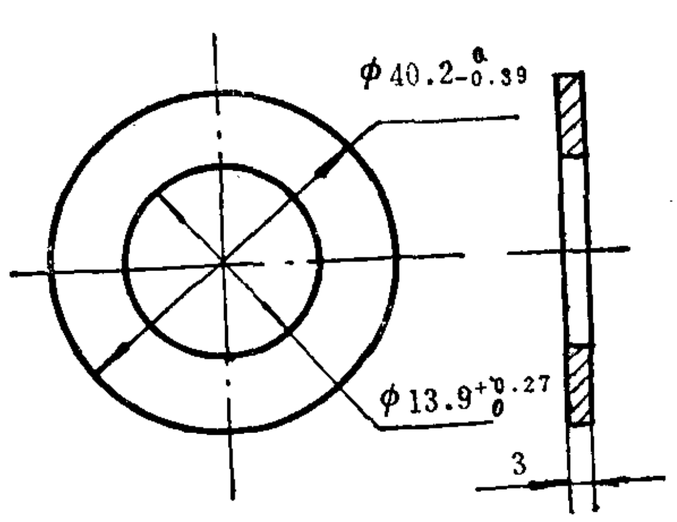


图 4-21 垫圈

表 4-14 规则形状(圆形、方形)冲裁凸模、凹模的制造偏差 (mm)

基本尺寸	凸模偏差 δ_p	凹模偏差 δ_d
≤18	−0.020	+0.020
>18～30		+0.025
>30～80		+0.030
>80～120	−0.025	+0.035
>120～180	−0.030	+0.040
>180～260		+0.045
>260～360	−0.035	+0.050
>360～500	−0.040	+0.060
>500	−0.050	+0.070

注：当 $|\delta_p| + |\delta_d| > z_{max} - z_{min}$ 时，图纸只在凸模或凹模一个零件上标注偏差，而另一件则注明配作间隙。

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-15　磨损系数 x

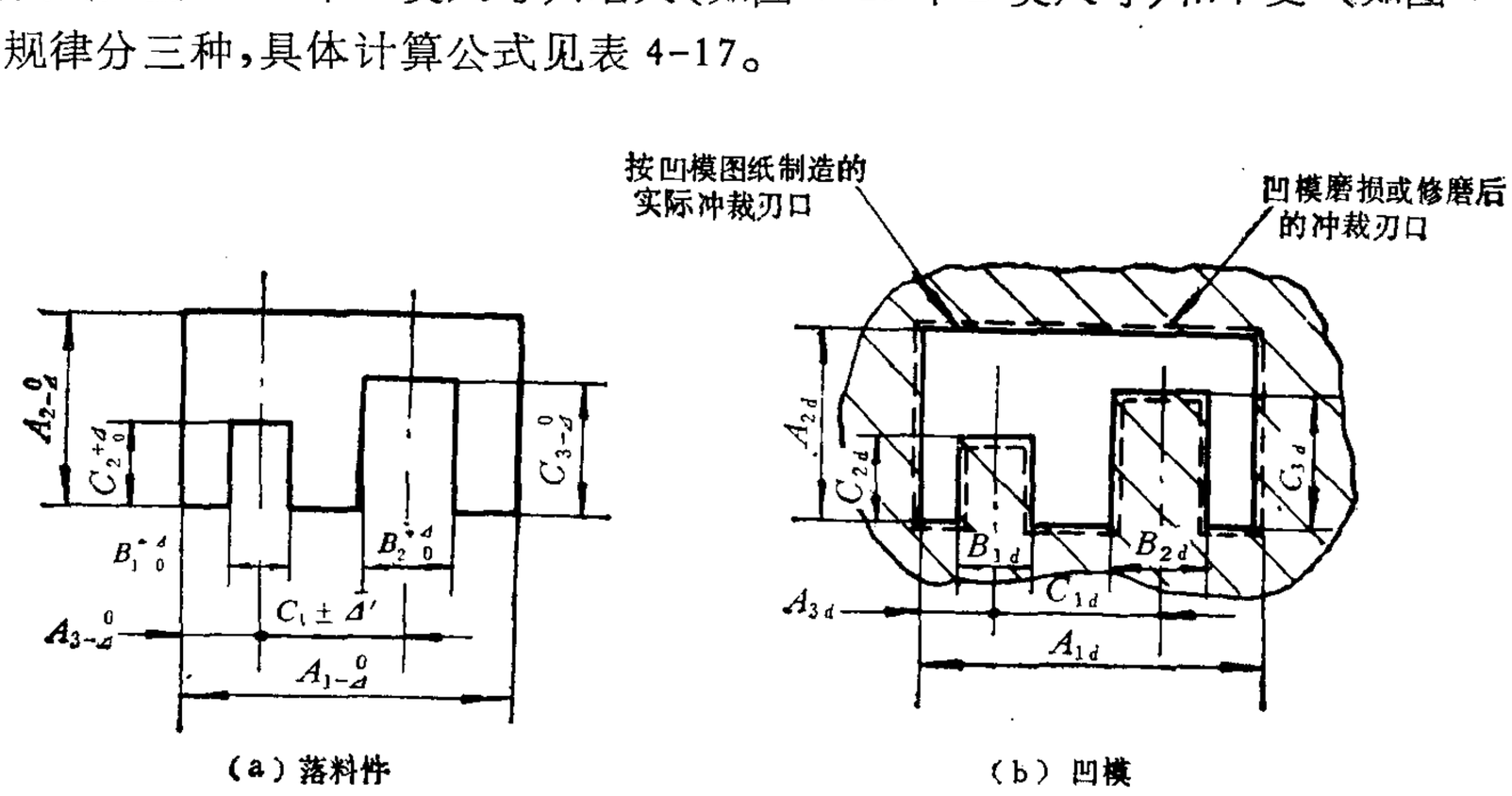
材料厚度 t (mm)	非圆形			圆形	
	1	0.75	0.5	0.75	0.5
	制件公差 Δ(mm)				
~1	<0.16	0.17~0.35	≥0.36	<0.16	≥0.16
1~2	<0.20	0.21~0.41	≥0.42	<0.20	≥0.20
2~4	<0.24	0.25~0.49	≥0.50	<0.24	≥0.24
>4	<0.30	0.31~0.59	≥0.60	<0.30	≥0.30

表 4-16　凸、凹模尺寸计算

冲裁种类	制件尺寸	凸模尺寸	凹模尺寸
落料	$D_{-\Delta}^{0}=40.2_{-0.39}^{0}$	$D_p=(D-x\Delta-z_{\min})_{-\delta_p}^{0}$ $=(40.2-0.5\times0.39-0.45)_{-0.02}^{0}$ $=39.56_{-0.02}^{0}$	$D_d=(D-x\Delta)_{0}^{+\delta_d}$ $=(40.2-0.5\times0.39)_{0}^{+0.03}$ $=40.01_{0}^{+0.03}$
冲孔	$d_{0}^{+\Delta}=13.9_{0}^{+0.27}$	$d_p=(d+x\Delta)_{-\delta_p}^{0}$ $=(13.9+0.5\times0.27)_{-0.02}^{0}$ $=14.04_{-0.02}^{0}$	$d_d=(d+x\Delta+z_{\min})_{0}^{+\delta_d}$ $=(13.9+0.5\times0.27+0.45)_{0}^{+0.02}$ $=14.49_{0}^{+0.02}$

对于冲制复杂形状制件的模具或单件生产的模具，其凸、凹模常采用配合加工方法。

凸、凹模工作部分尺寸计算：其落料件按凹模磨损后尺寸增大（如图 4-22 中 A 类尺寸）、减小(如图 4-22 中 B 类尺寸)和不变(如图 4-22 中 C 类尺寸)的规律分三种；冲孔件按凸模磨损后尺寸减小(如图 4-23 中 A 类尺寸)、增大(如图 4-23 中 B 类尺寸)和不变（如图 4-23 中 C 类尺寸)的规律分三种，具体计算公式见表 4-17。



（a）落料件　　（b）凹模

图 4-22　落料件和凹模尺寸

曲线形状的冲裁凸、凹模制造公差见表 4-18。

制件为非圆形时，冲裁凸、凹模的制造公差，见表 4-19。

[例]　冲制变压器铁芯片制件，材料为 D42 硅钢片，料厚为 0.35 ± 0.04，尺寸如图 4-24 所示，确定落料凹、凸模刃口尺寸及制造公差。

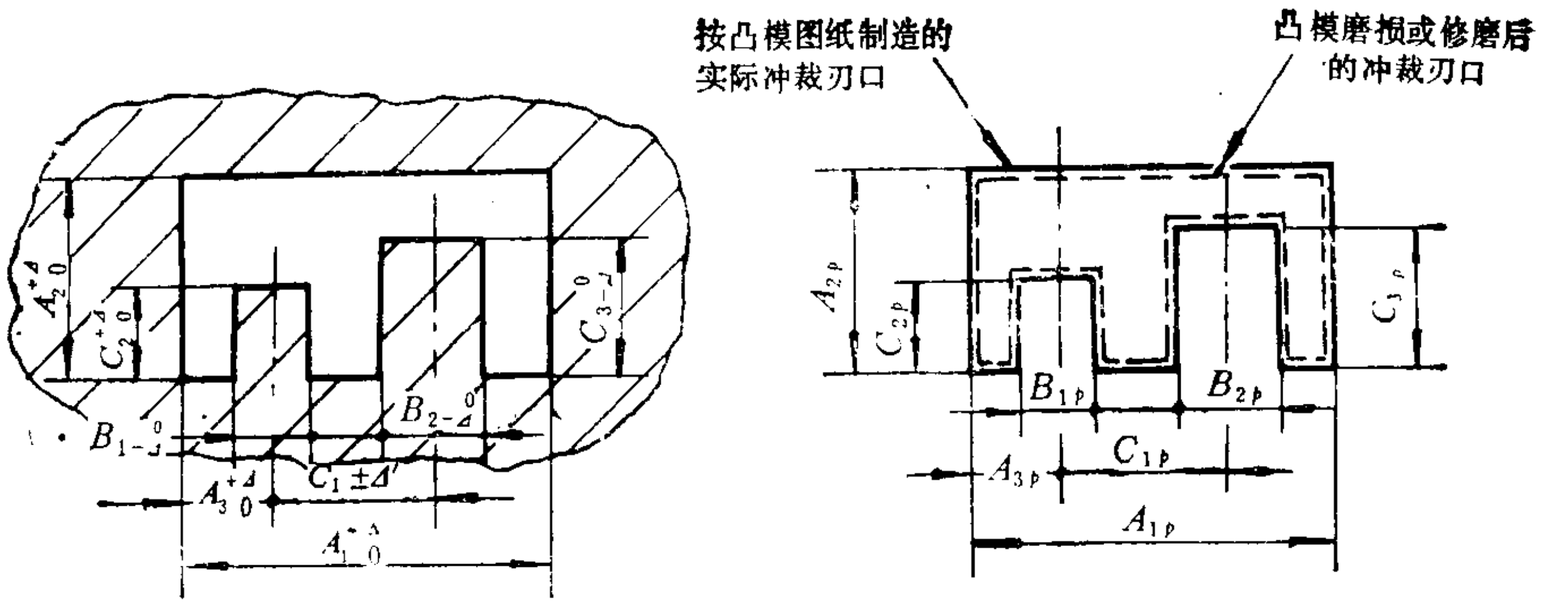
根据零件的形状，凹模磨损后其尺寸变化有三种情况。

第一类：凹模磨损后尺寸增大的是图中的 A_1、A_2、A_3、A_4。

由表 4-15 查得：$x_1=0.5$，$x_2=0.75$，$x_3=0.5$

http://shop62964869.taobao.com/

由表 4-17 中公式得



（a） 冲孔件　　（b） 凸模

图 4-23　冲孔件和凸模尺寸

表 4-17　配合加工时，凸、凹模尺寸的计算公式

工序性质	制件尺寸（图4-22）（图4-23）		凸模尺寸	凹模尺寸
落　料	$A_{-\Delta}^{0}$		按凹模尺寸配制，其双面间隙为 $z_{min}\sim z_{max}$	$A_d=(A-x\Delta)_{0}^{+\delta_d}$
	$B_{0}^{+\Delta}$			$B_d=(B+x\Delta)_{-\delta_d}^{0}$
	C	$C_{0}^{+\Delta}$		$C_d=(C+0.5\Delta)\pm\delta_d$
		$C_{-\Delta}^{0}$		$C_d=(C-0.5\Delta)\pm\delta_d$
		$C\pm\Delta'$		$C_d=C\pm\delta_d$
冲　孔	$A_{0}^{+\Delta}$		$A_p=(A+x\Delta)_{-\delta_p}^{0}$	按凸模尺寸配制，其双面间隙 $z_{min}\sim z_{max}$
	$B_{-\Delta}^{0}$		$B_p=(B-x\Delta)_{0}^{+\delta_p}$	
	C	$C_{0}^{+\Delta}$	$C_p=(C+0.5\Delta)\pm\delta_p$	
		$C_{-\Delta}^{0}$	$C_p=(C-0.5\Delta)\pm\delta_p$	
		$C\pm\Delta'$	$C_p=C\pm\delta_p$	

表中 A_p、B_p、C_p——凸模刃口尺寸（mm）；

A_d、B_d、C_d——凹模刃口尺寸（mm）；

A、B、C——工件基本尺寸（mm）；

Δ——工件公差（mm）；

Δ'——工件的偏差，对称偏差时 $\Delta'=\frac{1}{2}\Delta$(mm)；

δ_p、δ_d——凸、凹模制造公差（mm）

当标注形式为 $+\delta_d$（或 $-\delta_p$）时 $\delta_p=\delta_d=\frac{\Delta}{4}$；

当标注形式为 $\pm\delta_d$(或 $\pm\delta_p$）时，$\delta_p=\delta_d=\frac{\Delta}{8}=\frac{\Delta}{4}$；

x——磨损系数，其值见表 4-15

$$A_{1d}=(40-0.5\times 0.39)_{0}^{+\frac{1}{4}\times 0.39}=39.81_{0}^{+0.1}$$

$$A_{2d}=(10-0.75\times 0.27)_{0}^{+\frac{1}{4}\times 0.27}=9.8_{0}^{+0.07}$$

尺寸 A_3 为 30 ± 0.39 化成为 $30.39_{-0.78}^{0}$

http://shop62964869.taobao.com/

则　$A_{3d}=(30.39-0.5\times0.78)_{0}^{+\frac{1}{4}\times0.39}=30_{0}^{+0.1}$

A_{4d} 在确定 A_1、A_2 与 B 的尺寸之后即可确定，故不必另行计算。

表 4-18　曲线形状的冲裁凸、凹模的制造公差　　(mm)

工作要求	工作部分最大尺寸		
	≤150	>150～500	>500
普通精度	0.2	0.35	0.5
高精度	0.1	0.2	0.3

注：1.本表所列公差，只在凸模或凹模一个零件上标注，而另一件则注明配作间隙。
2.本表适用于汽车拖拉机行业。

表 4-19　工件为非圆形时，冲裁凸、凹模的制造偏差　　(mm)

工件基本尺寸及公差等级		Δ	$x\Delta$	制造偏差		工件基本尺寸及公差等级		Δ	$x\Delta$	制造偏差	
IT10	IT11	(+或−)	(+或−)	凸模 −	凹模 +	IT13	IT14	(+或−)	(+或−)	凸模 −	凹模 +
1～3		0.040	0.040	0.010		1～3		0.140	0.105	0.030	
3～6		0.048	0.048	0.012		3～6		0.180	0.135	0.040	
6～10		0.058	0.058	0.014		6～10		0.220	0.160	0.050	
	1～3	0.060	0.045	0.015		10～18		0.270	0.200	0.060	
10～18		0.070	0.070	0.018			1～3	0.250	0.130	0.060	
	3～6	0.075	0.050	0.020		18～30		0.330	0.250	0.070	
18～30		0.084	0.080	0.021			3～6	0.300	0.150	0.075	
30～50		0.100	0.100	0.023		30～50		0.390	0.290	0.085	
	6～10	0.090	0.060	0.025			6～10	0.360	0.180	0.090	
50～80		0.120	0.120	0.030		50～80		0.460	0.340	0.100	
	10～18	0.110	0.080	0.035			10～18	0.430	0.220	0.110	
80～120		0.140	0.140	0.040		80～120		0.540	0.400	0.115	
	18～30	0.130	0.090	0.042			18～30	0.520	0.260	0.130	
120～180		0.160	0.160	0.046		120～180		0.630	0.470	0.130	
	30～50	0.160	0.120	0.050		180～250		0.720	0.540	0.150	
180～250		0.185	0.185	0.054			30～50	0.620	0.310	0.150	
	50～80	0.190	0.140	0.057		250～315		0.810	0.600	0.170	
250～315		0.210	0.210	0.062			50～80	0.740	0.370	0.185	
	80～120	0.220	0.170	0.065		315～400		0.890	0.660	0.190	
315～400		0.230	0.230	0.075			80～120	0.870	0.440	0.210	
	120～180	0.250	0.180	0.085			120～180	1.000	0.500	0.250	
	180～250	0.290	0.210	0.095			180～250	1.150	0.570	0.290	
	250～315	0.320	0.240				250～315	1.300	0.650	0.340	
	315～400	0.360	0.270				315～400	1.400	0.700	0.350	

注：本表适用于电器仪表行业。

第二类：凹模磨损后尺寸减小是图中的尺寸 B。

查表 4-15：$x=0.75$

由表 4-17 公式得

$$B_d=(10+0.75\times0.22)_{0}^{-\frac{1}{4}\times0.22}=10.17_{-0.05}^{0}$$

第三类：磨损后尺寸没有增减的是 C（图中 C 为正偏差）。

http://shop62964869.taobao.com/

$$C_d = (25 + 0.5 \times 0.33) \pm \frac{1}{8} \times 0.33 = 25.17 \pm 0.04$$

冲裁凸模刃口各部分尺寸按上述凹模的相应部分尺寸配制，保证双面间隙值 $z_{min} \sim z_{max} = 0.021 \sim 0.028$（查表 3-2 得到）。

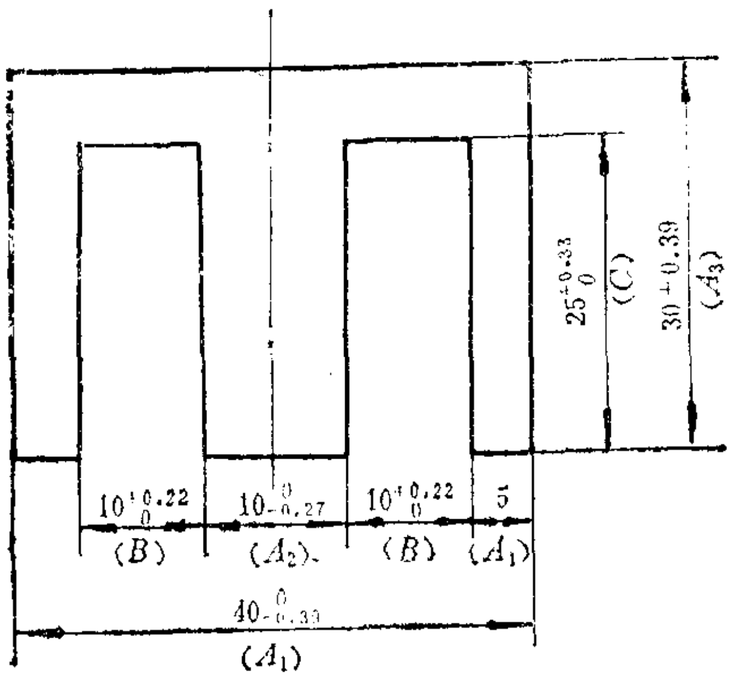


图 4-24　变压器铁芯片

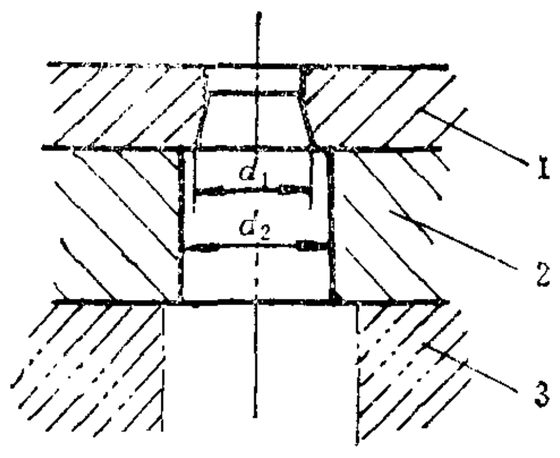


图 4-25　漏料孔
1—凹模　2—下模座　3—压力机工作台

6. 制件或废料的漏料孔和排出槽

(1) 漏料孔

冲下的制件或废料从凹模下面漏下时，则应在冲模的下模座上作一个漏料孔，如图 4-25 所示。

(2) 排出槽

排出槽的形式很多，若凹模上落下工件或废料的漏料孔紧靠着凹模的边缘，则可在下模座的相应位置开一倾斜的排出槽漏料，如图 4-26 所示。其尺寸可参考表 4-20 的数值确定。

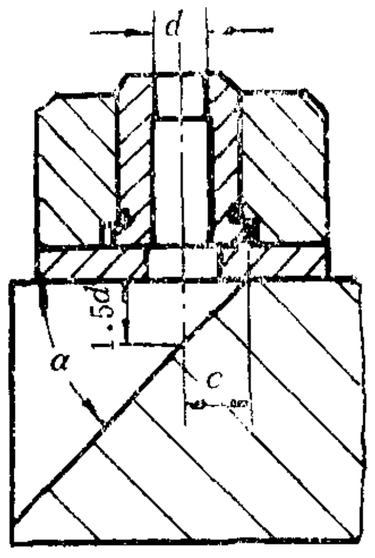


图 4-26　倾斜排出槽

7. 精冲工作零件

(1) 凸、凹模工作部分的刃口圆角

当板厚 $t < 3$mm 时，刃口圆角可取 0.05～0.1mm。试冲时可先采用最小值，如增加齿圈压力仍不能得到光洁切断面时，可逐步增大圆角值，但圆角太大，将使制件上塌角增加。

(2) 凸、凹模工作部分尺寸的确定

考虑精冲后制件的外形或内孔均有微量收缩（0.005～0.01 mm），所以精冲凸、凹模工作部分尺寸，可按如下分式进行计算

表 4-20　倾斜排出槽尺寸

α	30°	35°	40°	45°
c（近似值）	$2.6d$	$2.2d$	$1.8d$	$1.5d$

1）落料

$$D_d = \left(D_{min} + \frac{1}{4}\Delta \right)^{+\frac{1}{4}\Delta}_{0} \qquad (4\text{-}5)$$

http://shop62964869.taobao.com/

2）冲孔

$$d_p = \left(d_{\max} - \frac{1}{4}\Delta \right)_{-\frac{1}{4}\Delta}^{0} \tag{4-6}$$

3）中心距

$$C_d = \left(C_{min} + \frac{1}{2}\Delta \right) \pm \frac{1}{3}\Delta \tag{4-7}$$

式中 D_d、d_p——凹、凸模尺寸；

C_d——凹模孔中心距尺寸；

$D_{\min}$、$d_{\max}$——制件最小极限外径和最大极限孔径；

$C_{\min}$——制件孔中心距最小极限尺寸；

Δ——制件公差。

落料凸模尺寸(或冲孔凹模尺寸)应按落料凹模尺寸(或冲孔时凸模尺寸)配制，保证双面间隙值 z(见表 4-21)。

表 4-21 精冲凸、凹模双面间隙 z (t%)

料厚 mm	外形	内形		
		$d < t$	$d = (1\sim5)t$	$d > 5t$
0.5	1	2.5	2	1
1	1	2.5	2	1
2	1	2.5	1	0.5
3	1	2	1	0.5
4	1	1.7	0.75	0.5
6	1	1.7	0.5	0.5
10	1	1.5	0.5	0.5
15	1	1	0.5	0.5

（二）弯曲模工作零件

1. 影响弯曲模工作零件形状的因素

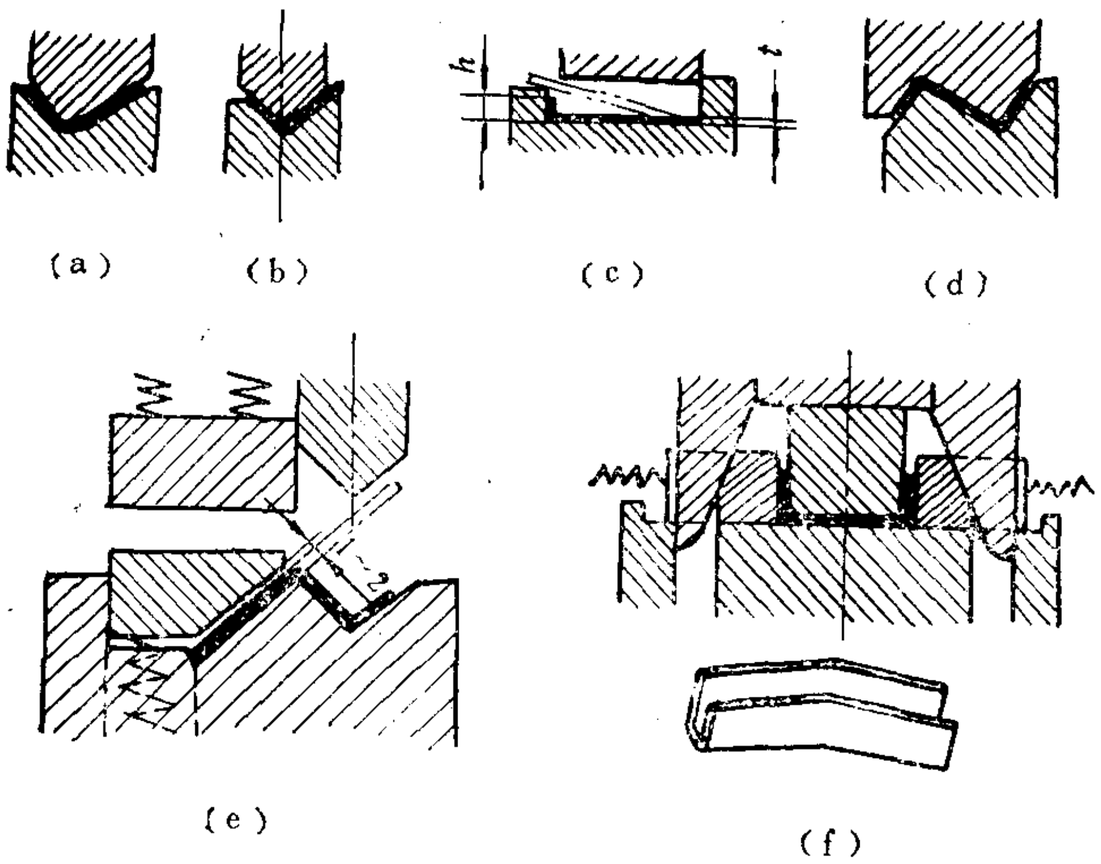


图 4-27 典型弯曲件形状及模具工作部分结构

弯曲模工作零件的形状决定于弯曲件形状和弯曲顺序的安排以及对其它结构上的考虑；而后两者又与弯曲件的精度要求和生产批量密切相关。图 4-27 表示一些典型弯曲件形状和模具工作部分结构原理图。

图 (a) 为不等臂长的V形件弯曲，如工作零件形状设计成图(b)所示，将不能得到合格制件。图 (c) 为矮臂直角件，因有侧向力，弯曲开始前，凸模应有如图所示的侧支承。图 (d)、(e) 为一次弯曲Z形件。图

http://shop62964869.taobao.com/

(f) 为不等宽的或曲折形的U形件，应采用斜楔弯曲。

图 4-28 表示同一形状，不同直径的环形件应采用不同的弯曲(卷圆)方法。图 (a)、(b) 适于圆环直径在 10mm 以下，图 (a) 用三道工序卷圆，图 (b) 一道卷圆，前者质量优于后者。图 (c) 适用于直径在 10～40mm，厚约 1mm 左右圆环，一次卷圆。图 (d) 为卷圆大于 40mm 的圆环，以两道工序成形。由上可知，这些不同的制件形状，尺寸和质量要求等将影响模具结构和工作零件的形状。

2. 弯曲凸、凹模圆角半径和凹模工作深度

弯曲凸、凹模工作部分的结构如图 4-29 所示。

(1) 凸模圆角半径 r_p

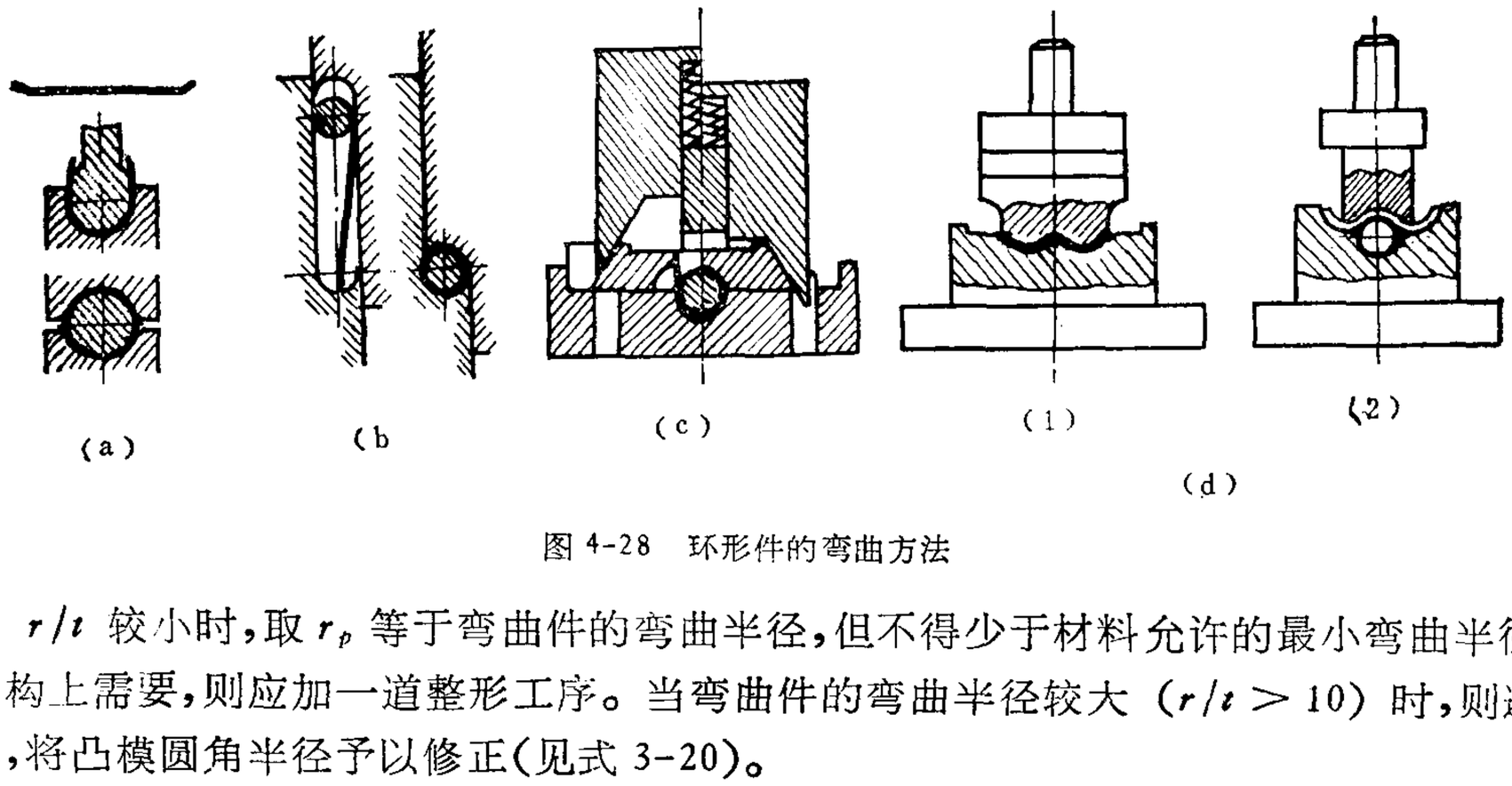


图 4-28 环形件的弯曲方法

当 r/t 较小时，取 r_p 等于弯曲件的弯曲半径，但不得少于材料允许的最小弯曲半径 r_{min}；如遇结构上需要，则应加一道整形工序。当弯曲件的弯曲半径较大 ($r/t > 10$) 时，则还应考虑回弹，将凸模圆角半径予以修正(见式 3-20)。

(2) 凹模圆角半径 r_d

通常取：$r_d = (2 \sim 4)t$

厚、硬材料，取值可偏小；薄、软材料，取值可偏大；对厚料为防止坯料滑动，对薄料为防止坯料划伤。

V形件弯曲凹模底部可开槽或取圆角半径 $R = (0.6 \sim 0.8)(r_p + t)$ (见图 4-29a)。

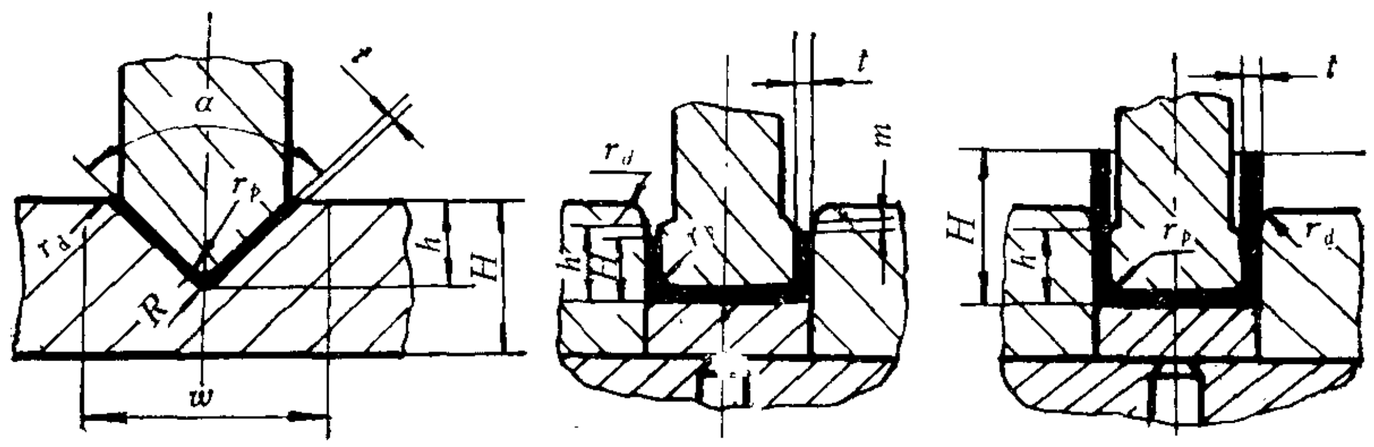


图 4-29 弯曲凸、凹模工作部分结构
(a) V 形件 (b) 矮边或曲线U形件 (c) 一般U形件

弯曲较厚板料，凹模进口处可制成 30° 倒角。并给出两个圆角半径：$r_{d_1} = (0.5 \sim 2)t$，$r_{d_2} = (2 \sim 4)t$ (见图 4-30)。

(3) 制件进模深度 m 和凹模工作深度 h (见图 4-29)

http://shop62964869.taobao.com/

适当的 m 和 h 值对保证弯曲件质量和减少回弹极为重要，其经验数据见后。

V形件的弯曲凹模结构尺寸可参见表 4-22。

矮边或曲线U形件的弯曲凹模结构尺寸可参见表 4-23。

一般U形件弯曲凹模的结构尺寸见表 4-24。

3. 弯曲凸、凹模的间隙

对于U形弯曲，须考虑凸、凹模间隙；间隙过大，影响制件精度，间隙过小，将使弯曲力增大，制件直边变薄，降低模具寿命。

对于有色金属和黑色金属进行U形弯曲，其单边间隙可采用如下公式计算：

对有色金属

$$z = t_{\min} + ct$$

表 4-22　V 形件弯曲凹模结构尺寸(参见图 4-29a)　　(mm)

尺寸 \ 料厚	≤1	>1～2	>2～3	>3～4	>4～5	>5～6	>6～7	>7～8	>8～10
r_d	3	5	7	9	10	11	12	13	15
h	4	7	11	15	18	22	25	28	32～36
$H_{\min}$	20	30	40	45	55	65	70	80	90
w	视 r_p/t 由小到大变化，w 约$(5\sim12)t$，标准值 $w=8t$。								

表 4-23　矮边或曲线 U 形件弯曲凹模的结构尺寸(参见图 4-29b)　　(mm)

尺寸 \ 料厚		≤1	>1～2	>2～3	>3～4	>4～5	>5～6	>6～7	>7～8	>8～10
r_d		3	5	7	9	10	11	12	13	15
m	矮边直线弯曲	3	4	5	6	8	10	15	20	25
	曲线弯曲	5	8	11	15	21	26	32	40	50

注：m 为矮边 U 形件的侧壁上端到凹模圆角中心的距离。

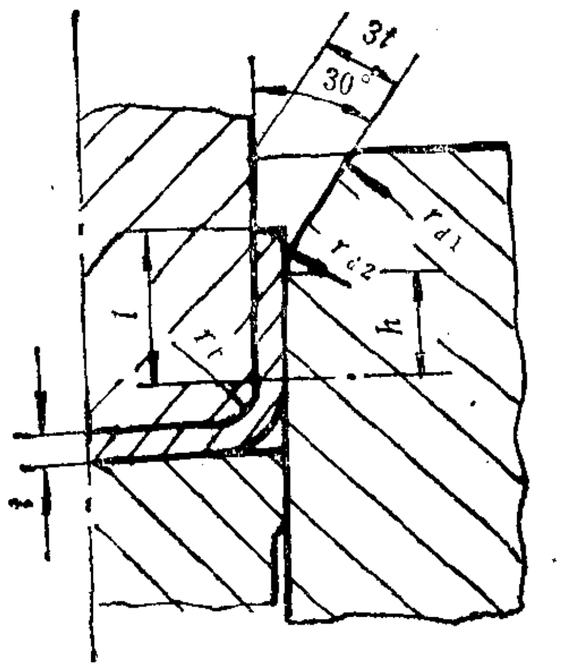


图 4-30　较厚板料的弯曲模结构

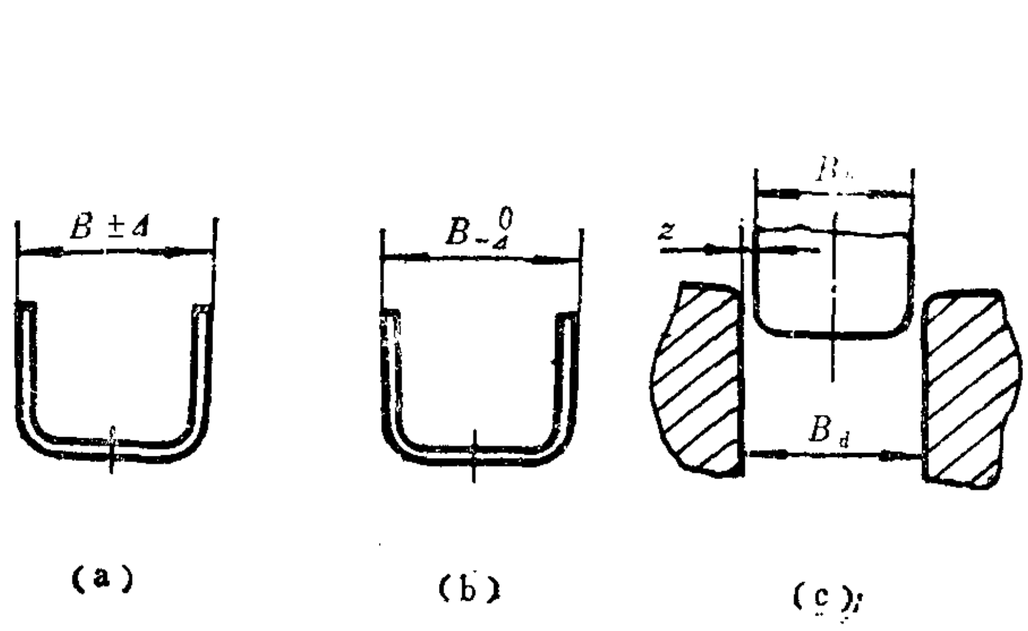


图 4-31　按外形尺寸标注制件的凸、凹模尺寸

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-24　一般 U 形件弯曲凹模的结构尺寸(参见图 4-29c)　　(mm)

制件高 H ＼ 料厚 ／尺寸		≤1	>1～2	>2～3	>3～4	>4～5	>5～6	>6～7	>7～8	>8～10
	r_d	3	5	7	9	10	11	12	13	15
20～25		15	20	25	25	—	—	—	—	—
50～75		20	25	30	30	35	35	—	—	—
75～100	h	25	30	35	35	40	40	40	40	—
100～150		30	35	40	40	50	50	50	50	60
150～200		40	45	55	55	60	65	65	65	80

对黑色金属

$$z = t + c$$

式中　z——弯曲模凸、凹模单边间隙（mm）；

t——材料厚度的公称尺寸（mm）；

t_{min}——材料最小厚度（mm）；

c——间隙系数，见表 4-25。

表 4-25　间隙系数 c

弯曲件高度 H(mm)	材料厚度 t (mm)								
	<0.5	0.6～2	2.1～4	4.5～5	<0.5	0.6～2	2.1～4	4.1～7.5	7.6～12
	$b \leqslant 2H$				$b > 2H$				
10	0.05	0.05	0.04	—	0.10	0.10	0.08	—	—
20	0.05	0.05	0.04	0.03	0.10	0.10	0.08	0.06	0.06
35	0.07	0.05	0.04	0.03	0.15	0.10	0.08	0.06	0.06
50	0.10	0.07	0.05	0.04	0.20	0.15	0.10	0.06	0.06
75	0.10	0.07	0.05	0.05	0.20	0.15	0.10	0.10	0.08
100	—	0.07	0.05	0.05	—	0.15	0.10	0.10	0.08
150	—	0.10	0.07	0.05	—	0.20	0.15	0.10	0.10
200	—	0.10	0.07	0.07	—	0.20	0.15	0.15	0.10

注：表中 H 指 U 形弯曲件高度，b 指弯曲线长度。

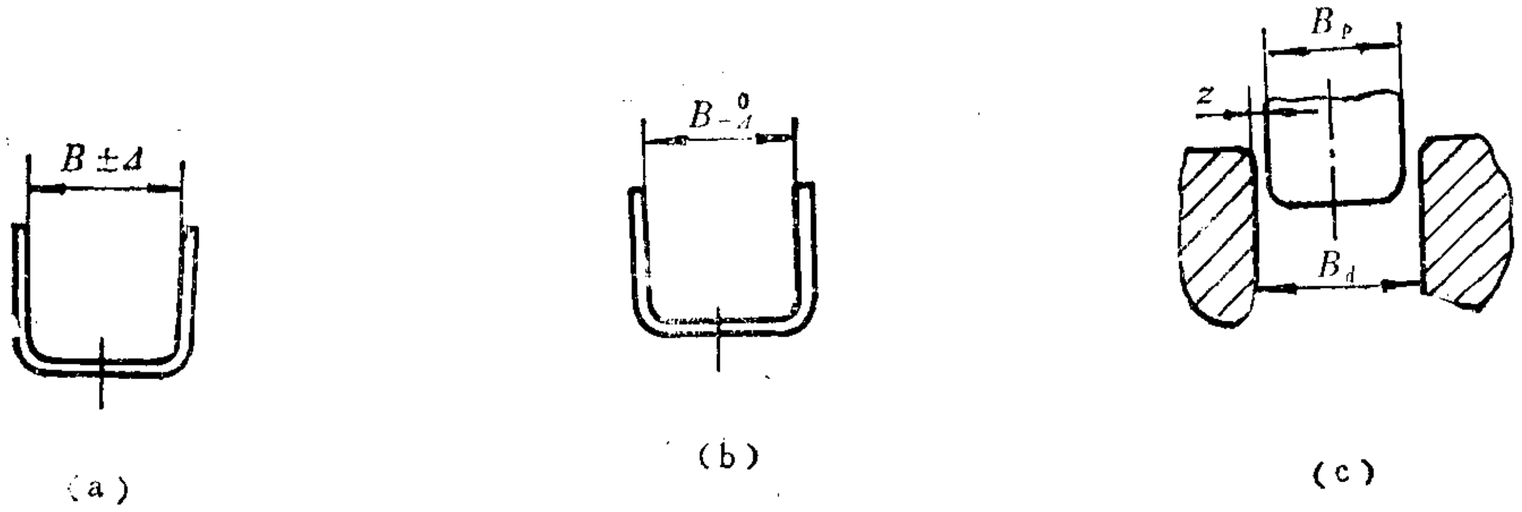


图 4-32　按内形尺寸标注制件的凸、凹模尺寸

当制件精度要求较高时，其间隙值可取：

http://shop62964869.taobao.com/

$$z = t_{min} \quad 或 \quad z = t$$

4. 弯曲凸、凹模工作部分尺寸的计算

根据制件尺寸标注方式(参见图 4-31(a)、(b) 和图 4-32(a)、(b) 的不同，弯曲凸、凹模工作部分尺寸(参见图 4-31(c) 和图 4-32(c)) 可按表 4-26 中公式进行计算。

表 4-26　弯曲凸、凹模工作部分尺寸的计算公式

制件尺寸标注方式	制件公差标注方式	凹模尺寸	凸模尺寸
用外形尺寸标注	制件为双向公差 (图4-31a) 制件为单向公差 (图4-31b)	$B_d = (B - 0.5\Delta)_0^{+\delta d}$ (图4-31c) $B_d = (B - 0.75\Delta)_0^{+\delta d}$ (图4-31c)	$B_p = (B_d - 2z)_{-\delta_p}^{0}$ (图4-31c)
用内形尺寸标注	制件为双向公差 (图4-32a) 制件为单向公差 (图4-32b)	$B_d = (B_p + 2z)_0^{+\delta d}$ (图4-32c)	$B_p = (B + 0.5\Delta)_{-\delta_p}^{0}$ (图4-32c) $B_p = (B + 0.75\Delta)_{-\delta_p}^{0}$ (图4-32c)

注：B_p、B_d——弯曲凸、凹模宽度 (mm)；

B——弯曲件外形或内形宽度的基本尺寸 (mm)；

Δ——弯曲件宽度的尺寸偏差 (mm)；

z——弯曲凸、凹模单边间隙 (mm)；

δ_p、δ_d——弯曲凸、凹模的制造公差，采用 IT7～IT9 级。

(三) 拉深模主要工作零件

拉深模主要工作零件包括凸、凹模和压边圈；但压边圈有时并不需要，而它与卸料、顶件等装置在结构上有共同之处，所以把压边圈放在以后与卸料、顶件装置等一起叙述。

1. 拉深凸模与凹模的结构形式

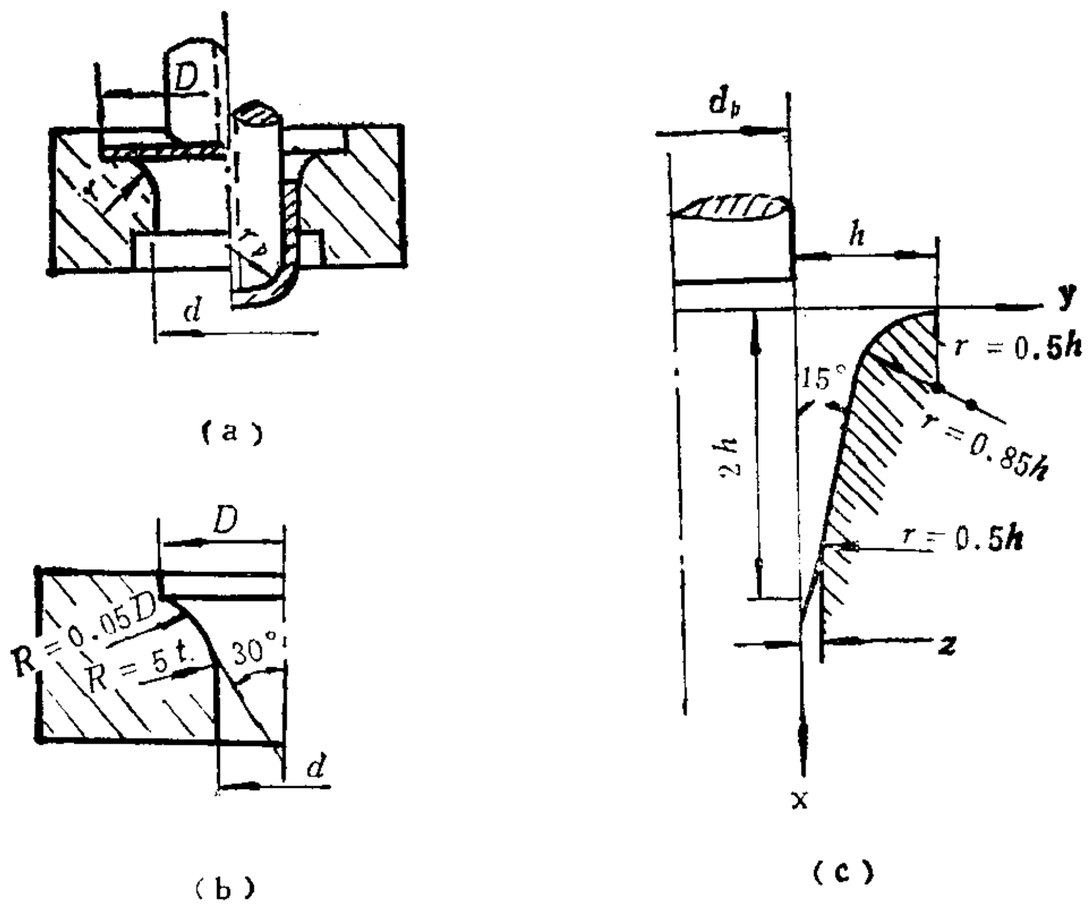


图 4-33　不用压边圈的拉深凹模结构
(a)圆弧形　(b)锥形　(c)拉曳形(近似曲面)

http://shop62964869.taobao.com/

拉深凸模与凹模结构形式决定于制件形状和大小、拉深方法和拉深次数，以及所采用设备条件和其它工序配合的要求等。

对于不用压边圈的初次拉深凹模可按图 4-33 几种形式选用。

锥形凹模(图 4-33 b) 比常见的平端面圆弧形凹模(图 4-33 a) 拉深性好，它允许用相对厚度 (t/D) 较小的毛坯拉深而不易起皱；而拉曳形凹模 (图 4-33 c) 比锥形凹模拉深又可有较大变形而不起皱 (对软钢拉深能达到 $m_{min} = 0.36$)，拉曳形凹模的缺点是需要较长的工作行程。所以它常与变薄拉深工序串联在一起，作为后者的制坯工序。

对于初次拉深之后，各次不用压边圈的拉深凹模洞口形状，基本与图 4-33 a、b 相似，唯一不同的是取用的圆角半径稍有减少。

对于用压边圈多次拉深时，凸、凹模结构形式见图 4-34。图 a 用于拉深件直径 $d > 100mm$ 时的多次拉深，而图 b 用于拉深件直径 $d \leqslant 100mm$ 时的多次拉深。图 a 的斜角结构可减轻毛坯反复弯曲变形，有利于提高拉深件侧壁质量。采用多次拉深时，应如图所示，注意到前后工序中的工作零件间的形状和尺寸关系，如压边圈与毛坯内表面所接触的部分，其

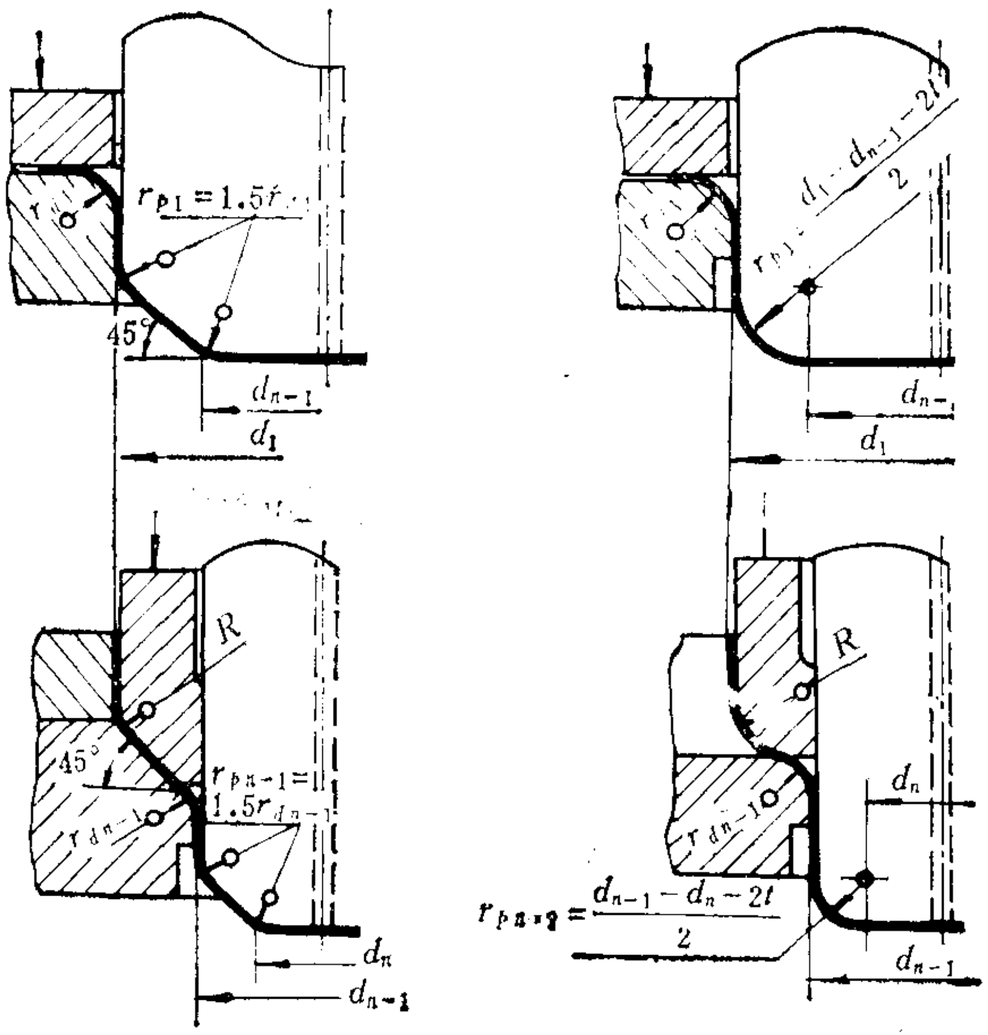


图 4-34　用压边圈多次拉深时，凸模与凹模的结构形式
(a)锥角结构　(b)圆角结构

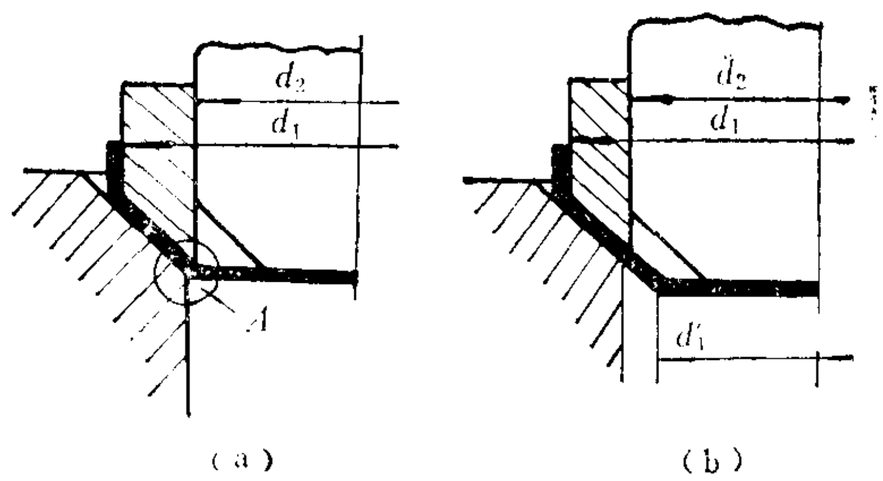


图 4-35　斜角尺寸的确定

形状和圆角半径等尺寸应与前道工序的凸模的相应部分相同。后一工序凹模锥面的角度也应与前道工序凸模的斜角相等。再者，为减轻毛坯在拉深时的反复弯曲变形，提高制件的质量，应取前道工序凸模链顶的直径小于后续工序凹模的直径，即应使图 4-35 中，$d_1' < d_2$，而如 $d_1' = d_2$，则在图 4-35 a 中 A 处将产生不必要的反复弯曲。在最后一道拉深工序中，为保证制件底部平整，需按图 4-36 所示的尺寸关系进行设计。

2. 拉深凸模与凹模的圆角半径

(1) 拉深凹模圆角半径

拉深凹模的圆角半径对拉深过程有很大影响。毛坯进入凹模内要经过弯曲和重新又被拉

http://shop62964869.taobao.com/

直的过程;若凹模圆角过小,将增加弯曲抗力而导至破裂的可能。若凹模圆角过大，将会因毛坯在压边圈下面积的减少和毛坯外缘过早离开压边圈而产生皱折。当这皱折部分进入凸、凹模的间隙,就将会造成毛坯的破裂。

对于宽凸缘拉深,由于在拉深过程中凸缘一直被压边圈压住,所以凹模圆角可以大一些。

表 4-27　计算凹模圆角半径时的 K 值

材料厚度 t(mm)					
<0.6	>0.6～1	>1～2	>2～4	>4～6	>6～10
1.0	0.9	0.85	0.8	0.7	0.6

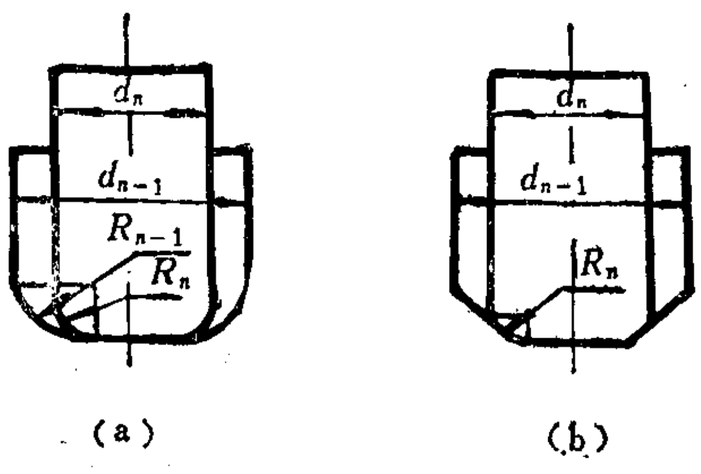


图 4-36　最后拉深工序中毛坯底部尺寸的变化

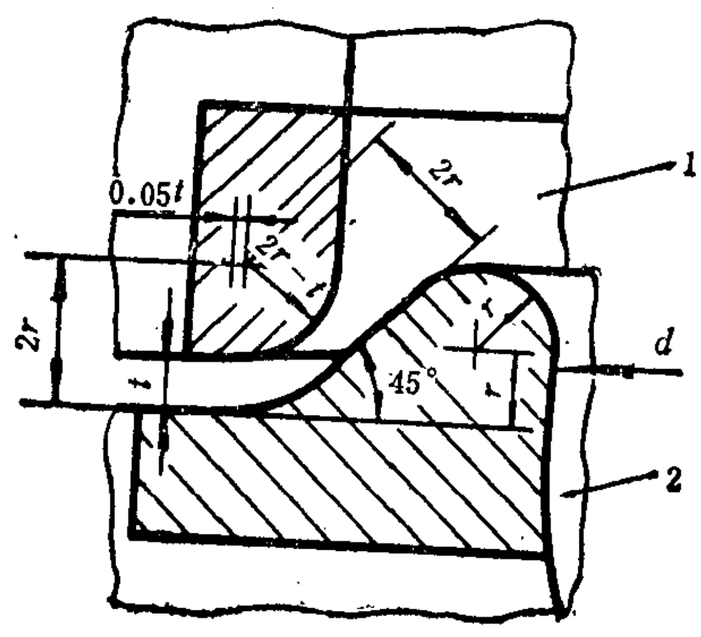


图 4-37　拉深筋以及所相关的尺寸

1—压边圈　2—凹模

凹模圆角半径的平均值 r_d 可按下式计算

$$r_d = K\sqrt{(D-d)t} \tag{4-8}$$

式中　K——系数,见表 4-27;

D——平毛坯或前一次拉深直径（mm);

d——凹模内径（mm);

t——材料厚度（mm)。

为使用上方便,可按表 4-28 选用凹模圆角半径数值。

表 4-28 所列数值适用于拉深系数适中的一般拉深。在浅拉深中,如果 m 值相当大，凹模圆角半径应取较小值。

表 4-28　按毛坯相对厚度确定的凹模圆角半径值　（mm）

拉深方式	毛坯的相对厚度 $(t/D)\times100$（%）		
	2.0～1.0	1.0～0.3	0.3～0.1
无凸缘	(6～8)t	(8～10)t	(10～15)t
有凸缘	(10～15)t	(15～20)t	(20～30)t
有拉深筋	(4～6)t	(6～8)t	(8～10)t

注：用于有色金属取小值,对于钢件取大值。

不用压边圈的浅拉深件,其圆角半径可取 (2～4)t。

在单次拉深宽凸缘制件时,凹模圆角半径应等于成品件相应的圆角半径尺寸,但其圆角半

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-29　按毛坯材料种类与厚度确定的凹模圆角半径值

材　料	厚度 t (mm)	r_d	材　料	厚度 t (mm)	r_d
钢	<3	$(6\sim10)t$	铝、黄铜、铜	<3	$(5\sim8)t$
	3～6	$(4\sim6)t$		3～6	$(3\sim5)t$
	>6	$(2\sim4)t$		>6	$(1.5\sim3)t$

径不得小于$(5\sim8)t$，否则应增加一道校正工序。

拉深凹模圆角半径也可以按拉深件材料的种类与厚度来确定(见表 4-29)。

对以后各次拉深，凹模圆角半径 r_d 值应逐渐减小，其关系为

$$r_{dn} = (0.6\sim0.8)r_{dn-1}$$

式中 r_{dn-1}、r_{dn}——前后工序中凹模的圆角半径。

拉深浅锥形件和球形件时，应采用带拉深筋的凹模，此时凹模圆角半径应适当减小。图 4-37 所示为带凹模圆角的拉深筋以及所相关的尺寸。图中右面的凹模圆角半径简化以 r（实质即为 r_d）表示，其值为

$$r = 0.05d\sqrt{t}$$

式中　d——凹模内径（mm）；

t——材料厚度（mm）。

(2) 拉深凸模圆角半径

拉深凸模圆角半径的影响不似凹模圆角半径那样显著。如过小，则会降低邻近直壁与底交接部分的强度，多次拉深时会在制件侧壁上留下弯曲的环形圈痕迹，影响制件的外观质量。如过大，由于拉深初始阶段不与模具表面接触的毛坯宽度加大，这部分毛坯就易起皱。

一般首次拉深取：$r_p = (0.7\sim1.0)r_d$

多次拉深的以后各次：$r_{pn-1} = (d_{n-1} - d_n - 2t)/2$

式中　d_{n-1}、d_n——前后工序中毛坯的过渡直径。

拉深凸模圆角半径不得小于$(2\sim3)t$，如制件上有要求，则应最后通过整形获得。

对于图 4-34(a) 所示的有斜角的凸模，其圆角半径应增大，取 $r_p = (1.5\sim2.0)r_d$。后续工序的压边圈上的圆角半径 R，宜取稍小数值，以增大压边力，取 $R = r_{dn-1}$。

3. 拉深凸、凹模间隙

拉深间隙是指单边间隙，即凹模和凸模直径之差的一半。拉深间隙的大小，对拉深力、制件质量和模具寿命都有影响。间隙过大，容易起皱；过小，则筒壁变薄严重，甚至拉断，同时也降低模具寿命。确定间隙时须考虑板料本身公差，圆筒形件口部的增厚以及拉深件的精度要求。

下式为初次拉深时的间隙计算值

$$z = t + a\sqrt{10t}$$

式中　t——板厚；

a——系数(钢为 0.07，铝为 0.02，有色金属为 0.04，高温合金为 0.2)。

拉深间隙一般不考虑材料差异，而只考虑板厚和上面所说的增厚现象以及精度要求。表 4-30 为通常圆筒形件拉深时的间隙值。

如用压边圈多次拉深，最后将经精整的圆筒形件，其所取单边间隙值见表 4-32。

在不用压边圈拉深时，应考虑可能起皱，其单边间隙值，可按表 4-32 中取最大值。

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-30　圆筒形件拉深时的单边间隙值

拉深工序序次	按制件精度要求的间隙值	
	IT9、10	IT12、13、14
第一次拉深	$z = t + \delta + a$	$z = t + \delta + (1.5\sim2)a$
中间工序拉深	$z = t + \delta + 2a$	$z = t + \delta + (2.5\sim3)a$
最后一次拉深	$z = t + \delta$	$z = t + \delta + 2a$

注：z——单边间隙（mm）；　t——材料厚度（mm）；

δ——材料厚度上偏差（mm）；

a——额外增加值，见表 4-31。

表中括号内系数，毛坯相对厚度大的取最小值，相对厚度小的［$(t/D) \times 100 = 1\sim0.2$］取最大值。

表 4-31　额外增加值 a　　（mm）

料　厚	0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
a	0.05	0.10	0.12	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.25	0.30	0.35	0.40

对于拉深矩形盒件，凸模与凹模之间的间隙，在直边部分可参考U形件压弯模的间隙来确定，在圆角部分由于材料复原，故其间隙应比直边部分间隙大 $0.1t$。

在多次拉深工序中，除最后一次拉深外，间隙的取向是没有规定的。

对于最后一次拉深工序：

表 4-32　多次拉深，最后将经精整的圆筒形件，单边间隙值

材　料	间　隙　值		
	第一次拉深	中间各次拉深	最后一次拉深
软　钢	$(1.3\sim1.5)t$	$(1.2\sim1.3)t$	$(1.0\sim1.1)t$
黄铜、铝	$(1.3\sim1.4)t$	$(1.15\sim1.2)t$	$(1.0\sim1.1)t$

1）尺寸标注在外径的拉深件，以凹模为准，间隙取在凸模上，即减小凸模尺寸以得到间隙

2）尺寸标注在内径的拉深件，以凸模为准，即增加凹模尺寸以得到间隙。

4. 拉深凸、凹模工作部分尺寸的计算

确定凸、凹模工作部分尺寸时，应考虑模具的磨损和拉深件的回弹，其尺寸公差可在最后一道工序考虑。

最后一道工序凸、凹模工作部分尺寸，应根据拉深件尺寸标注方式的不同，由表 4-33 所列公式进行计算。

对于多次拉深的中间过渡拉深，凸模或凹模的尺寸只要取等于过渡毛坯的基本尺寸即可。若以凹模为基准，则凹模尺寸为

$$D_d = D_0^{+\delta_d} \tag{4-9}$$

凸模尺寸为

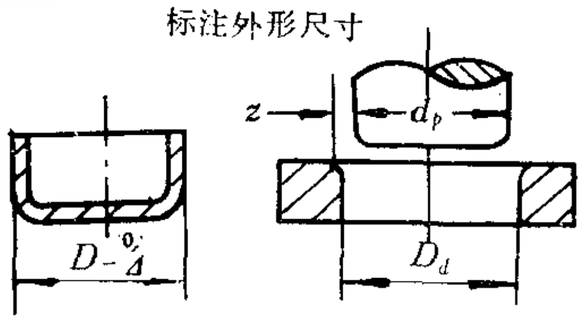
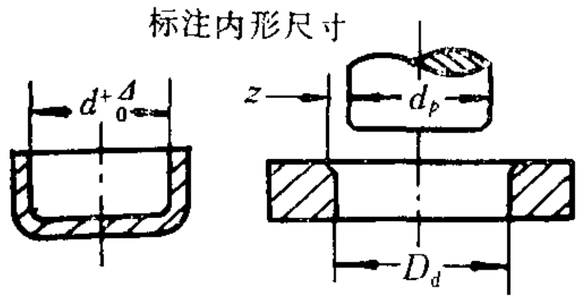
$$D_p = (D - 2z)_{-\delta_p}^{0} \tag{4-10}$$

式中　D——拉深件外径（mm）；

z——凸、凹模间的单边间隙。

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-33　拉深模工作部分尺寸计算公式

尺寸标注方式	凹模尺寸D_d	凸模尺寸d_p
标注外形尺寸 	$D_d=(D-0.75\Delta)^{+\delta d}_{0}$	$d_p=(D-0.75\Delta-2z)^{0}_{-\delta p}$
标注内形尺寸 	$D_d=d+0.4\Delta+2z)^{+\delta d}_{0}$	$d_p=(d+0.4\Delta)^{0}_{-\delta p}$

注：d_p、D_d——凸模、凹模尺寸（mm）；

D、d——拉深件外形和内形的基本尺寸（mm）；

z——凸、凹模间的单边间隙（mm）；

δ_p、δ_d——凸模和凹模制造公差。若拉深件精度在 IT12 级以上，制造公差可采用 IT6～IT8；拉深件精度在 IT14 级以下，制造公差可采用 IT10。也可查表4-34。

表 4-34　拉深凸、凹模制造公差　　(mm)

材料厚度	拉深件直径					
	≤20		20～100		>100	
	δ_d	δ_p	δ_d	δ_p	δ_d	δ_p
≤0.5	0.02	0.01	0.03	0.02	—	—
>0.5～1.5	0.04	0.02	0.05	0.03	0.08	0.05
>1.5	0.06	0.04	0.08	0.05	0.10	0.06

四、定位零件

定位零件的作用是使条(带)料(或毛坯)置于冲模中正确位置，以保证冲出合格的制件。用作条(带)料定位的有：导料板(销)、档料销、导正销和定距侧刃等；用作毛坯定位的有定位板(销)。在级进模中还有提升板(销)，为将带料提升到一定高度，便于送料；从性质上来说，也是属于定位零件。

(一) 导料板(导尺)、导料销

导料板(销)的作用是导正材料的送进方向。导料板有时还靠其一侧定位，将条料送进。

图 4-38 所示为几种导料形式。导料板较多用在不能用导料销的场合，如材料两侧边要冲出缺口。

http://shop62964869.taobao.com/

为保证条料紧靠导料板一侧，常采用侧压装置。图 4-39 为簧片式，用于 1mm 以下薄料。图 4-40 为推板式，图中：a = 最大料宽 b + (0.1～1)mm，h = (0.5～1)t 对薄料应注意弹簧力不能太大。图 4-41 为压板式，侧压力大而均匀，使用可靠，常装在进料口一端，在装侧刃定位的级进模中使用。料厚小于 3mm 和用滚轴自动送料装置时，都不宜采用侧压。

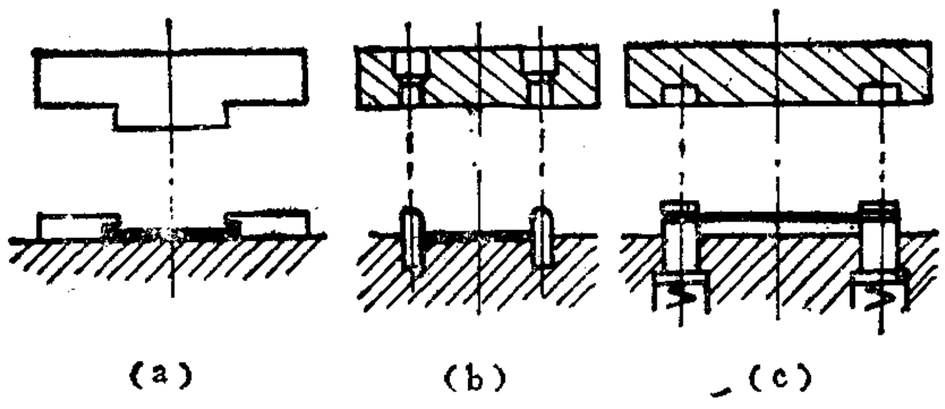


图 4-38　导料形式
(a) 导料板　(b) 导料销　(c) 兼作上升带料用的导料销

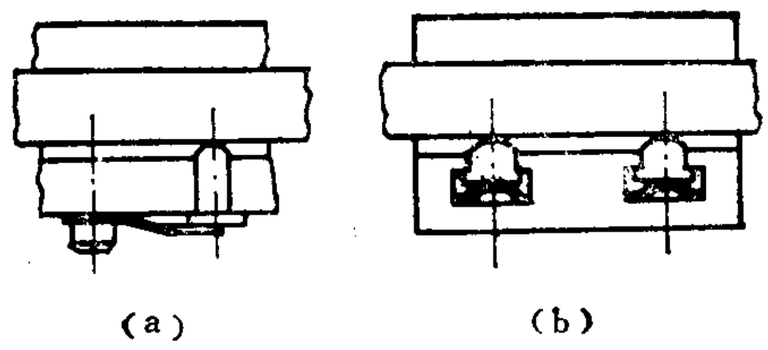


图 4-39　簧片式侧压装置

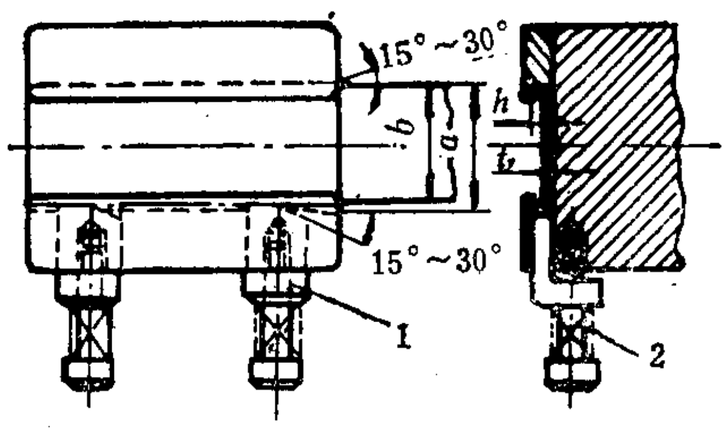


图 4-40　弹簧推板式侧压装置
1—推板　2—弹簧

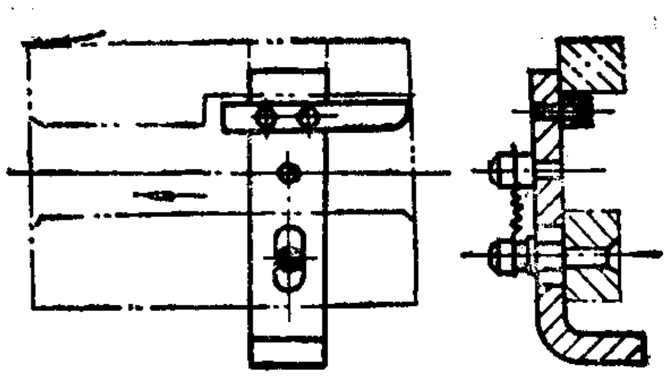


图 4-41　压板式侧压装置

(二) 挡料销

1. 挡料销的形式

挡料销形式较多，它与条料的进料边一端或与条料上搭边相接触，限定条料在送进方向的移动距离，主要起定位作用。图 4-42 是固定挡料销。图 4-43 是活动挡料销，根据外界条件，

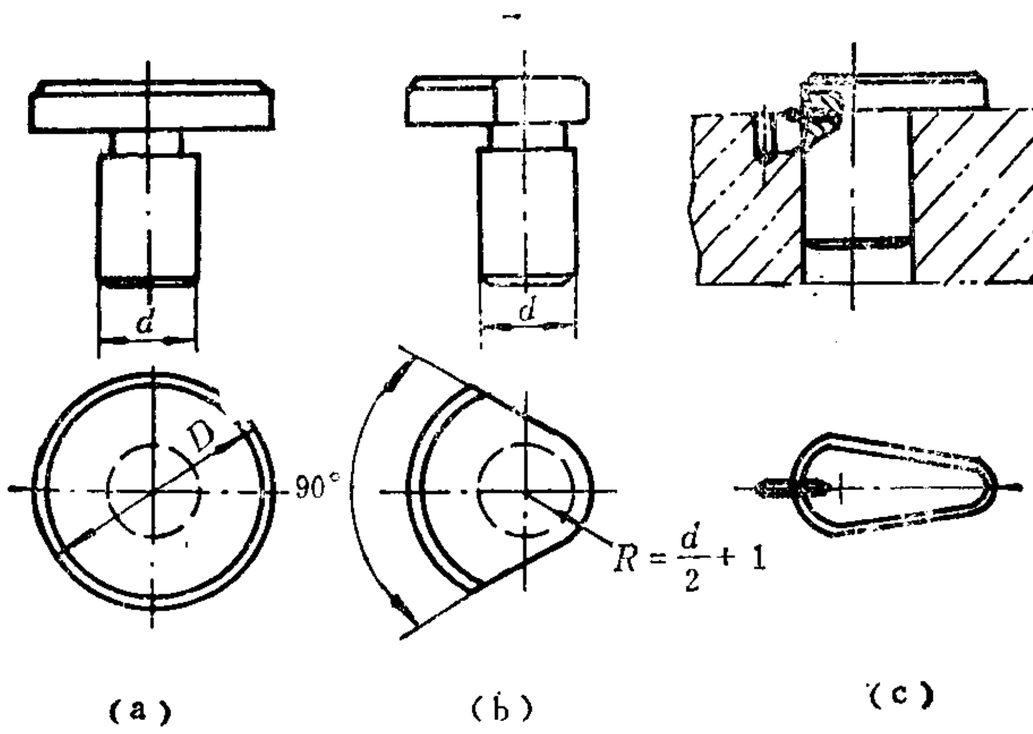


图 4-42　固定挡料销
(a) 圆头形　(b)、(c) 钩形

http://shop62964869.taobao.com/

能自由伸缩，较常用于弹压卸料板。图 4-44 是始用挡料销，它主要在级进模起始进料时用。图 4-45 为一种自动挡料销结构。图中所示为挡料时情况。当上模下行冲压时，上模上的撞杆 2 把挡料销 1 的右端压下，因联杆作用使其左端(即挡料的一端)提起；当上模开始上行，挡料销

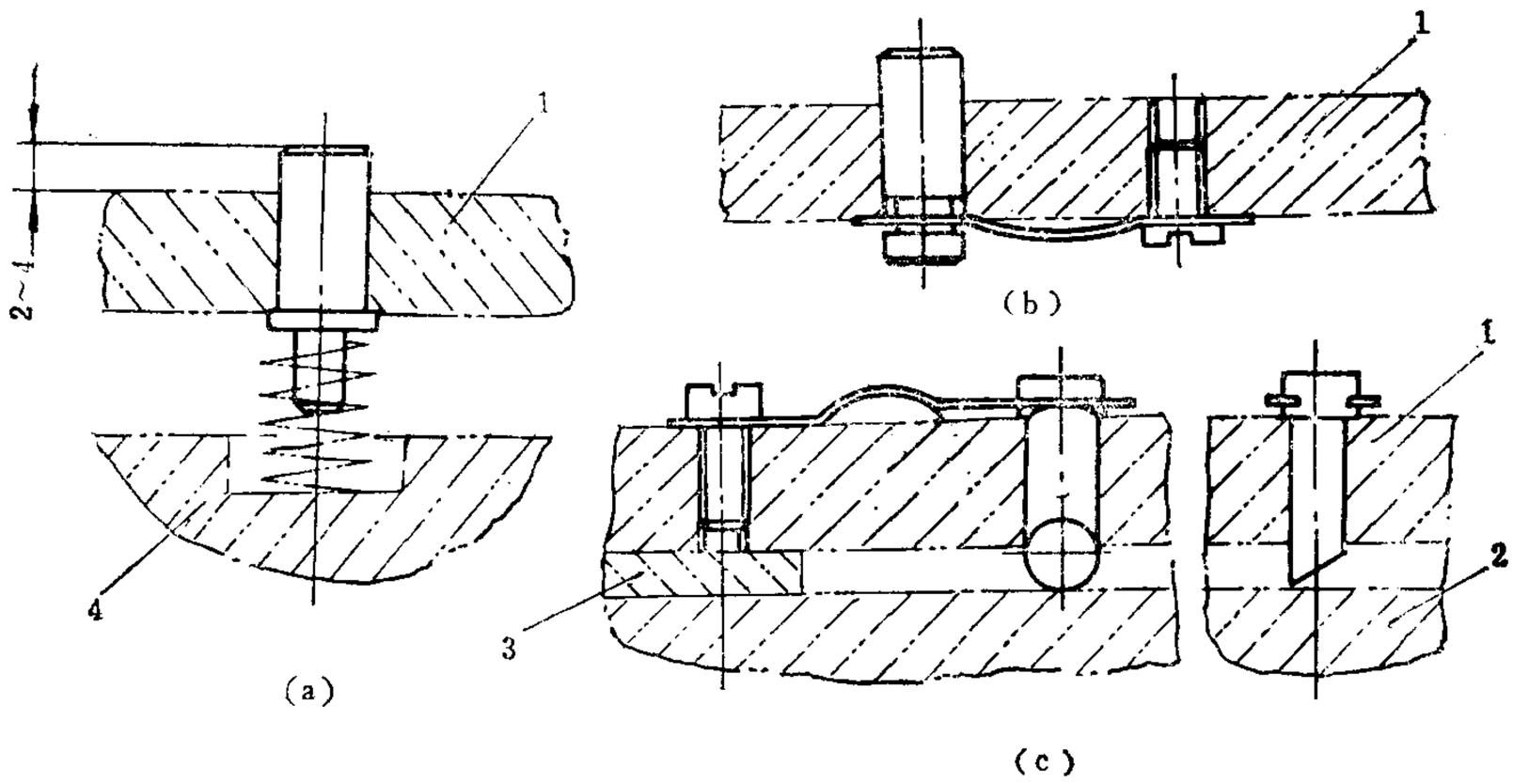
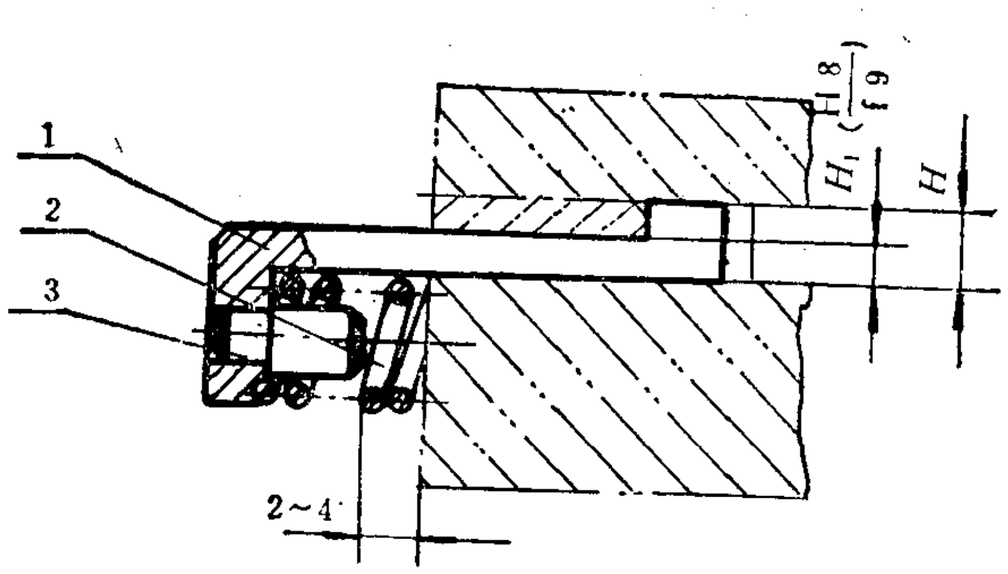
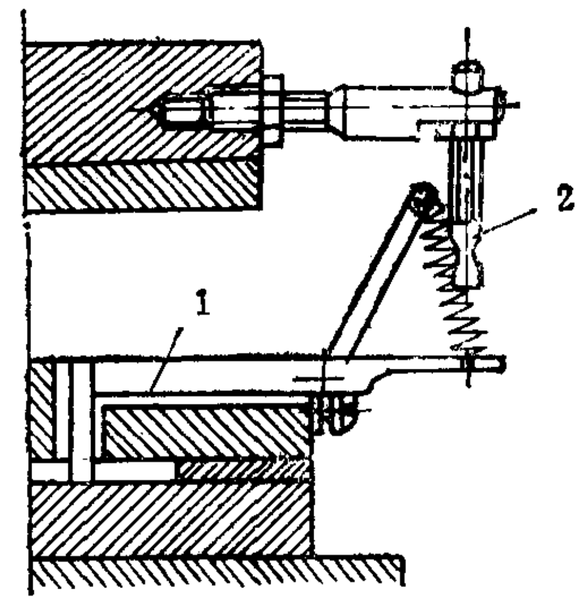
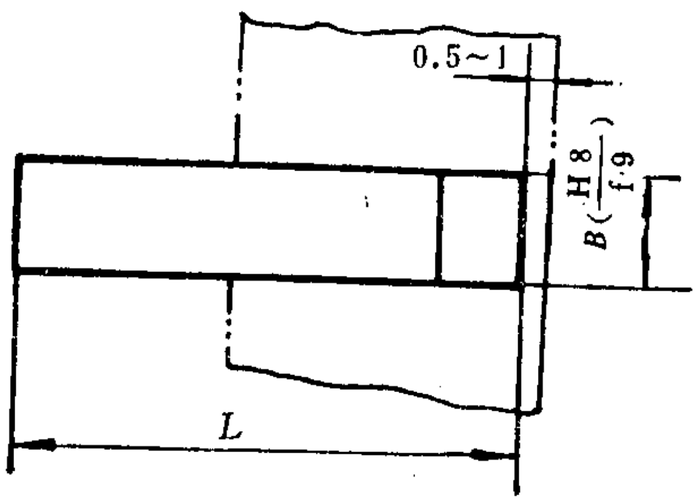


图 4-43　活动挡料销
(a)圆柱弹簧作用　(b)、(c) 片簧作用
1—卸料板　2—凹模　3—侧面导板(导尺)　4—固定板







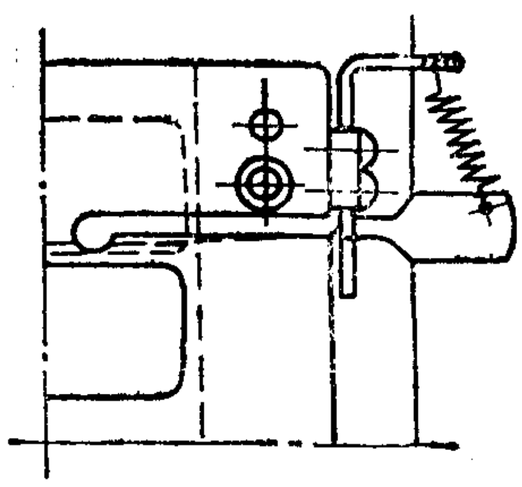


图 4-44　始用挡料销
1—挡料销　2—芯轴　3—弹簧

图 4-45　自动挡料销
1—挡料销　2—撞杆

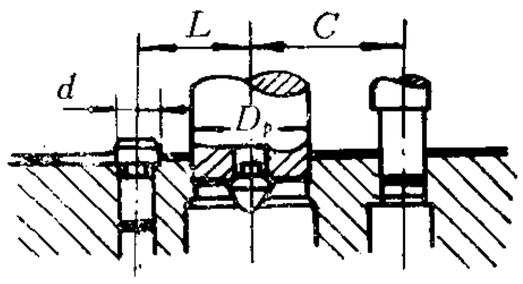
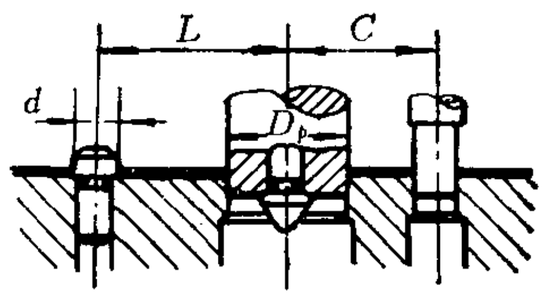
在弹簧作用下，其挡料一端即转一角度，越过条料上搭边后落下。所以操作者只往前送进方向推料，条料即被自动挡住。

2. 级进模中挡料销位置尺寸的确定

带有导正销的级进模中，其挡料销位置尺寸的确定，见表 4-35。

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-35　级进模挡料销的位置尺寸　　(mm)

带有导正销的级进模简图	推送形式	推拉形式
		
挡料位置	$L=C-(\frac{D_p-d}{2})+0.1$	$L=C+(\frac{D_p-d}{2})-0.1$

注：D_p——凸模尺寸；　d——挡料销大端尺寸。

（三）导正销

导正销用于级进模中，装在第二工位以后的凸模上；冲裁时，它先插入已冲好的孔中，以保证带料送进位置和步距的准确性。

图 4-46 所示为几种导正销的结构形式。图中（a）、(b)、(c)、(d) 为固定导正销，(e) 为活动导正销，能在一定程度上起保护作用。导正销由导入和定位两部分组成，前者以 30° 圆锥面或圆弧面构成，后者为圆柱面。

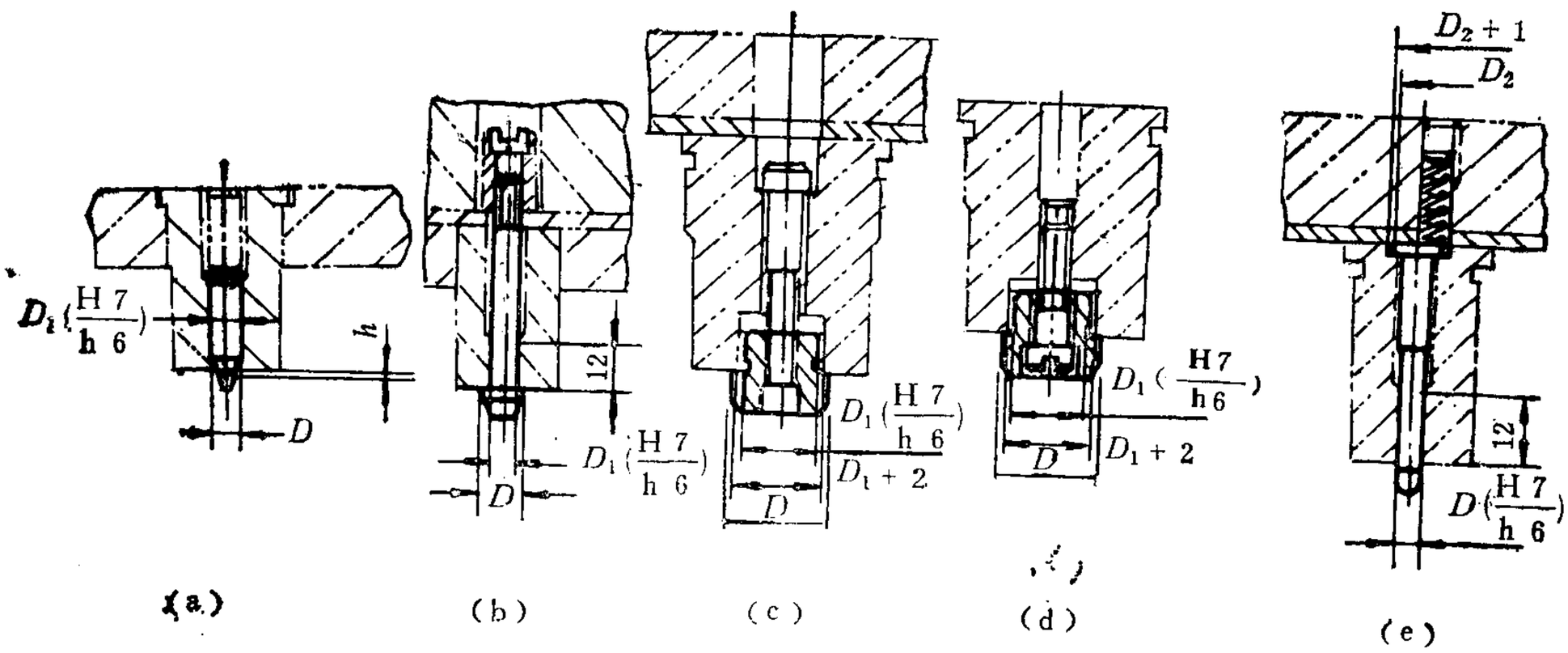


图 4-46　导正销的结构形式
(a)、(b)、(c)、(d) 固定导正销　(e) 浮动导正销

导正销的直径按基孔制间隙配合 h9，但考虑到冲孔后弹性变形收缩，因此导正销直径的基本尺寸 D 比冲孔凸模直径小一数值 $2a$。即

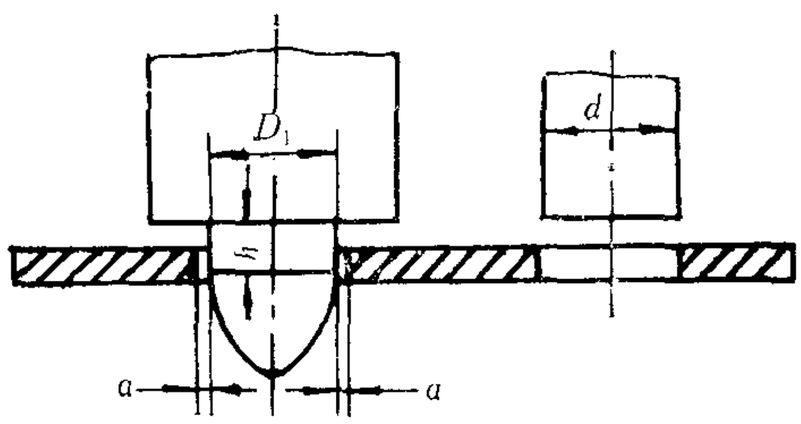
$$D=d-2a$$

http://shop62964869.taobao.com/

式中 d——冲孔凸模直径（mm）；

$2a$——导正销与冲孔孔径两边的间隙，其数值见表 4-36。

表 4-36 $2a$ 数值 （mm）



条料厚度 t	冲孔凸模直径 d						
	1.5～6	>6～10	>10～16	>16～24	>24～32	>32～42	>42～60
<1.5	0.04	0.06	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12
>1.5～3	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16
>3～5	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.18	0.20

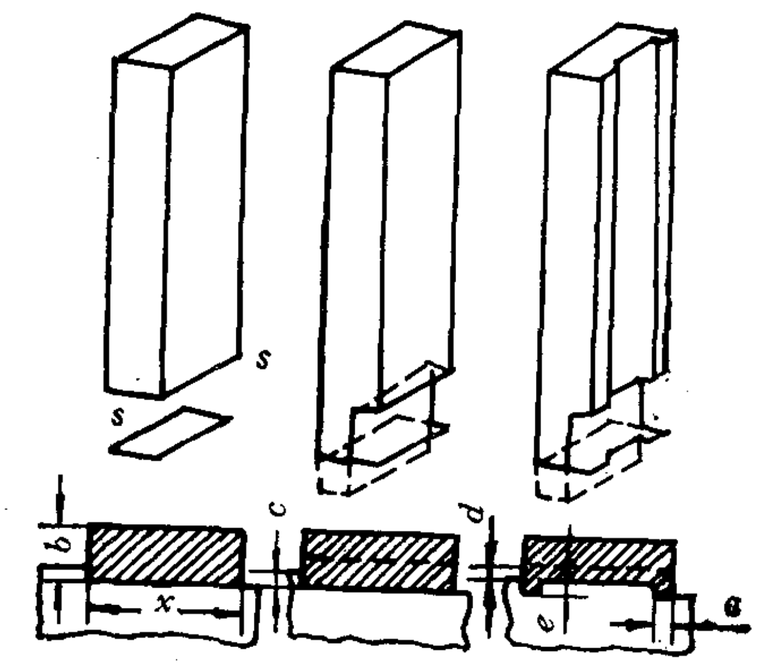
导正销圆柱高度 h，见表 4-37。

表 4-37 导正销圆柱高度 h （mm）

条料厚度 t	冲件尺寸		
	1.5～10	>10～25	>25～50
<1.5	1	1.2	1.5
>1.5～3	$0.6t$	$0.8t$	t
>3～5	$0.5t$	$0.6t$	$0.8t$

（四）定距侧刃

定距侧刃用于级进模中，它切去条料侧面少量材料而达到挡料的目的。侧刃形式和其断面形状见图 4-47。图中（a）式较为简单；(b) 式在侧刃端部伸出一长舌，进入侧刃凹模孔，在冲压过程中可只上下运动而不离开(如在行程可调的压力机上工作)，因而比(a) 式保证有较好剪冲质量；(c) 式比 (b) 式在侧刃上增加了两个凸起，可避免脏物影响，因而条料的送料进距有了更好保证。



(a) (b) (c)

图 4-47 定距侧刃形状

图中的侧刃长度 x 为用侧刃送进带料的步距。它比实际所需的步距，多一导正销的校正量 δ 值(见表 4-38)，后者为供导正销导正带料，将带料推回到实际所需的准确位置。侧刃宽度 b 为 6～10mm，d 视侧刃尺寸约为 2～5mm，挡料的凸起尺寸 c 见表 4-39，e 取为 $0.5c$。

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-38　导正销的校正量 δ 值　　(mm)

导正销直径 \ 板厚	0.2	0.4	0.8	1.5	2.0
ϕ3.0	0.05	0.08	0.13	—	—
ϕ5.0	0.08	0.13	0.20	0.25	—
ϕ6.0	0.10	0.20	0.25	0.35	—
ϕ8.0	0.12	0.20	0.25	0.40	0.65
ϕ10.0	0.13	0.20	0.30	0.50	0.75
ϕ13.0	0.15	0.25	0.38	0.75	0.80
ϕ19.0	0.15	0.25	0.40	0.80	1.00

表 4-39　侧刃档块的档料凸起 c 值　　(mm)

材　料	钢、黄铜			青　铜		铜、锌			铝
料　厚	0.2～0.4	0.4～0.6	0.6～1.0	1.0～1.5	>1.5	0.2～0.5	0.5～1.0	1.0～1.5	>1.5
c　值	2.5	1.5	2.0	0.5	1.5t	4.0	3.0	3.5	2t

（五）定位板(销)

定位板(销)用于单个毛坯的定位，常以外缘(外形)或内孔(内边)作为定位基准，以保证前后工序相对位置的精度。

定位板(销)的形式见图 4-48，它与毛坯间的配合一般取 H9。定位板或定位销销头高度可按表 4-40 选用。

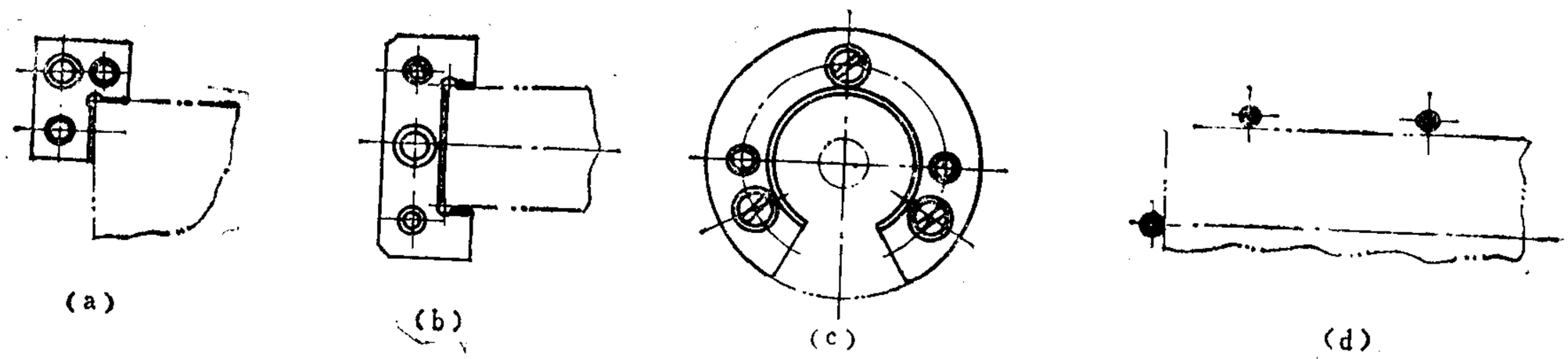


图 4-48　定位板(销)形式

表4-40　定位板或定位销销头的高度　　(mm)

材料厚度 t	<1	1～3	>3～5
定位板或定位销销头高度 h	$t+2$	$t+1$	t

http://shop62964869.taobao.com/

五、卸料、压料和推、顶件装置

（一）卸料装置

1. 卸料装置的形式

卸料装置的形式较多，它包括固定卸料板、活动卸料板、弹压卸料板和废料切刀等。卸料板除把板料从凸模上卸下外，有时也起压料或为凸模导向的作用。因此，在大批量生产用的模具上，要用淬硬的卸料板。因冲裁薄料时易翘曲，所以固定卸料板常用于冲大于 0.8mm 的板料，见图 4-49 (a)、(b)。 有限活动卸料板常用于不便装固定卸料板的冲孔模等（如图 4-49 c)。

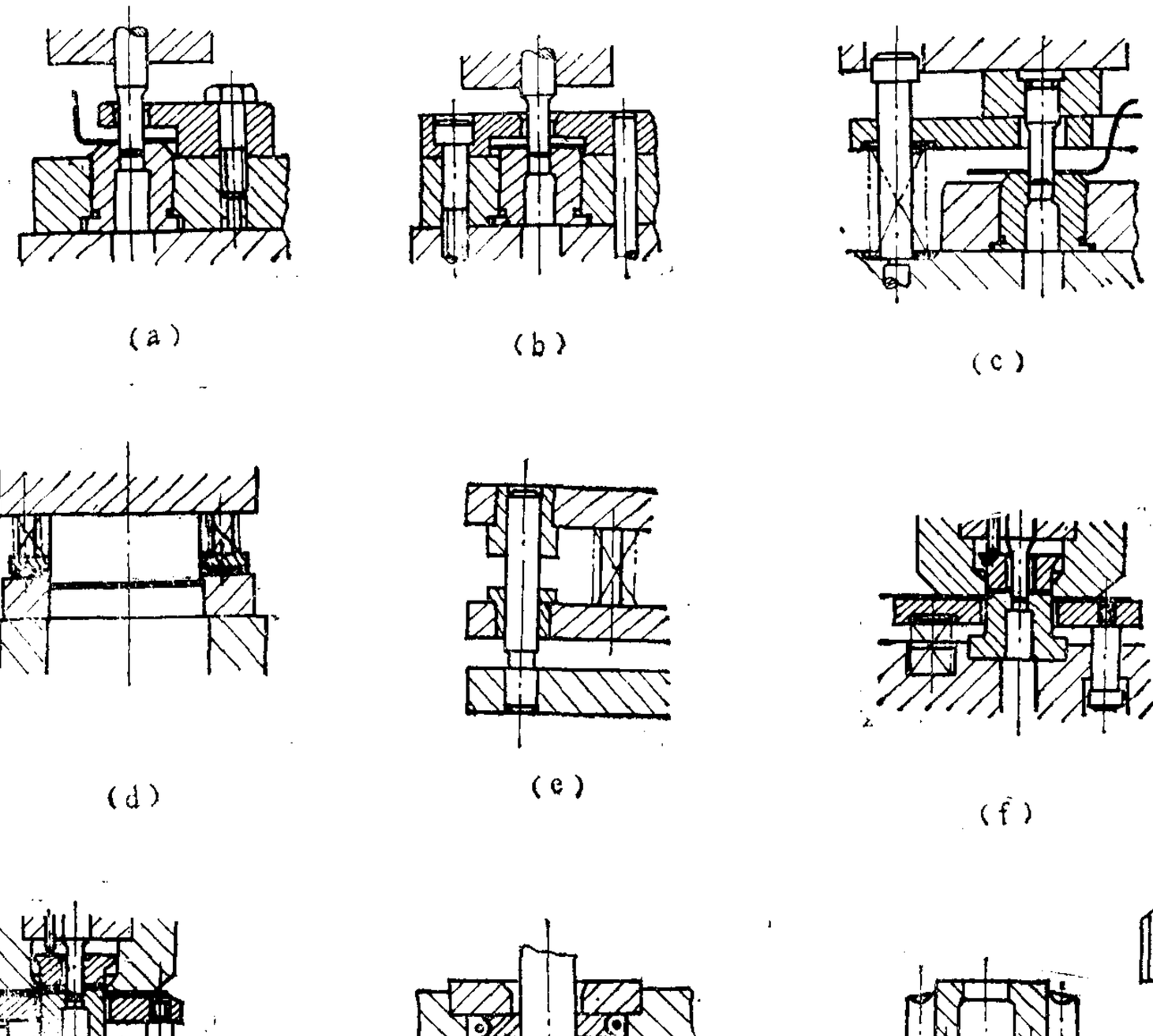
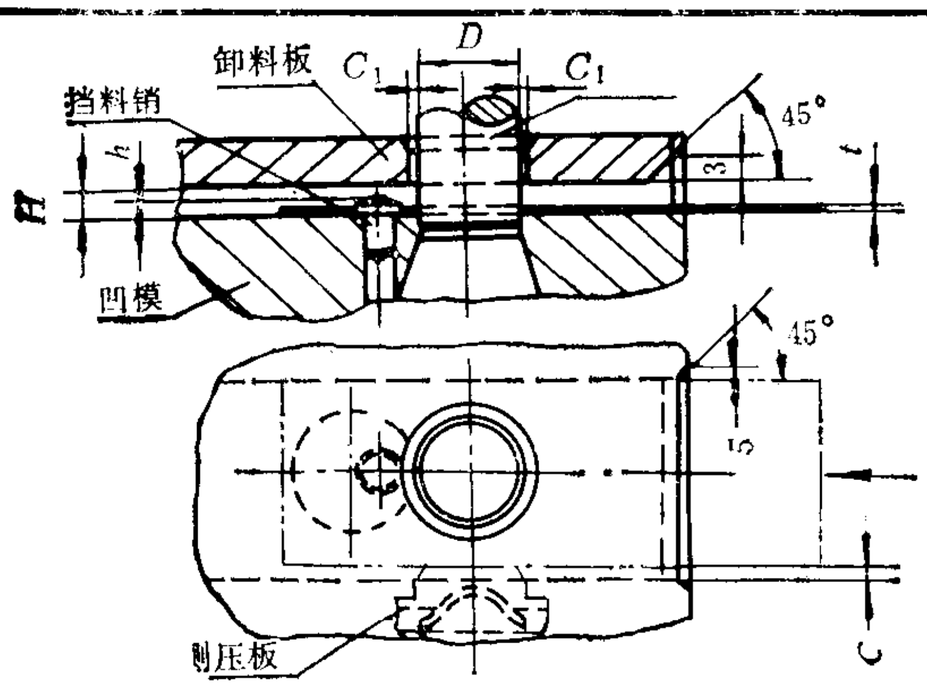


图 4-49　卸料装置

弹压卸料板见图 4-49 d、e、f。它可根据不同情况装于上模或下模，其卸料力由弹簧或橡皮得到，有时也利用压力机工作台下气垫得到。 图中（e）为有导向的弹压卸料板，它常兼有压料和凸模导向的作用，因而也被称叫弹压导板，一般用于多工位级进模或在厚板上冲小孔。图中（f）适用于小件冲孔、落料复合模。图 4-49 g 多用于大件冲孔、落料模、落料、拉深复合模，其所用弹顶装置结构参看后面压料装置一节。 图 4-49 h 是几件组合的弹性卸料

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-41　固定卸料板的型孔与凸模间的间隙值　　(mm)



图中：t——材料厚度

H——卸料板与凹模间的距离(即导尺厚度)

h——档料销头部的高度

C——导料板与被冲材料间的间隙

C_1——在有导柱的冲模中，凸模与卸料板的单面间隙。

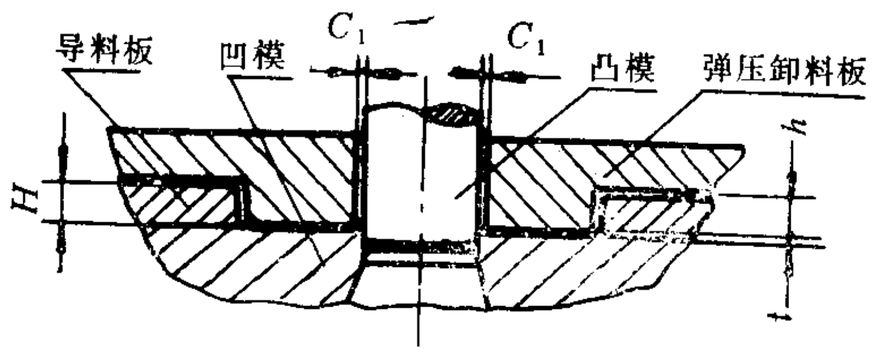
冲裁材料厚度 t	h	H				C_1	C
		用挡料销挡料的冲模的长度		用侧刃或用自动挡料销的冲模的长度			
		<200	>200	<200	>200		
<1	2	4	6	3	4	0.2	—
1～2	3	6	8	4	6	0.3	2
2～3		8	10	6			
3～4	4	10	12	8	8	0.5	3
4～6		12	14	10	10		

注：1. 当 $t \geqslant 1$mm 时应采用侧压板；

2. C_1 不小于 0.05mm；

3. 在无导柱的冲模中，用卸料板的孔作凸模导向时，凸模与卸料板孔的配合按 H7/h6 配合。

表 4-42　弹压卸料板的型孔与凸模间的间隙值及台阶高度　　(mm)



台阶高度 $h = H - t + (0.1 \sim 0.3)t$

材料厚度 t	<0.5	>0.5～1	>1
单面间隙 C_1	0.05	0.10	0.15

注：1. 当弹压卸料板用来作凸模导向时，凸模与卸料板的配合按 H7/h6 的配合。

2. 对于级进模中特别小的冲孔凸模与卸料板孔的单面间隙值，应比表中数值适当加大一些。

3. 上式中系数(0.1～0.3)——薄料用 $0.3t$，厚料 (1mm 以上)用 $0.1t$。

环，多用于拉深模。图 4-49 i 是用于切边卸料时的废料切刀。

2. 固定卸料板的型孔与凸模间的间隙

固定卸料板与凸模间的间隙应当是：在卸料力的作用下，不使制件或废料拉进间隙内为准，其关系见表 4-41。

http://shop62964869.taobao.com/

3. 弹压卸料板的型孔与凸模间的间隙及台阶高度见表 4—42。

（二）压料装置

压料装置主要作用是防止材料在冲压前移动位置，在拉深时防止凸缘起皱。

不少情况下（如冲裁、翻孔）的压料装置，既起压料作用又起卸料（卸件）作用。关于卸料装置前已叙述，所以这里主要讨论精冲时的齿圈压板和拉深时的压料装置（或称压边装置，有时也就简称为压边圈）。

1. 精冲时的齿圈压板

冲小孔时，压边圈上一般不需做出V形齿，孔径在 30～40mm，在顶出器上加工V形齿（用于固定凸模式模具）。齿圈形状应与制件轮廓形状相一致，制件形状复杂时，除特殊要求部位（指制件上易产生大塌角的部位）取与制件轮廓外形类似外，而其它部位可简化或近似地做出（如图 4-50）。板厚超过 4mm，应采用双面齿圈，即除一般齿圈压板外，还应在凹模上刃口附近有V形齿圈。为保证材料在V形齿压入后有足够强度，上、下V形齿可错开稍许。

图 4-51 表示设计齿圈时的一些有关参数。图 a 用于单面齿圈，具体数据见表 4-43。图 b 属于双面齿圈，数据见表 4-44。

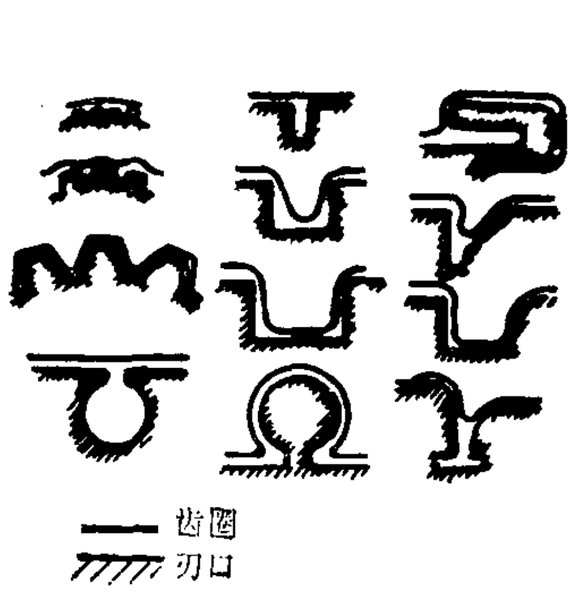


图 4-50 齿圈与刃口形状

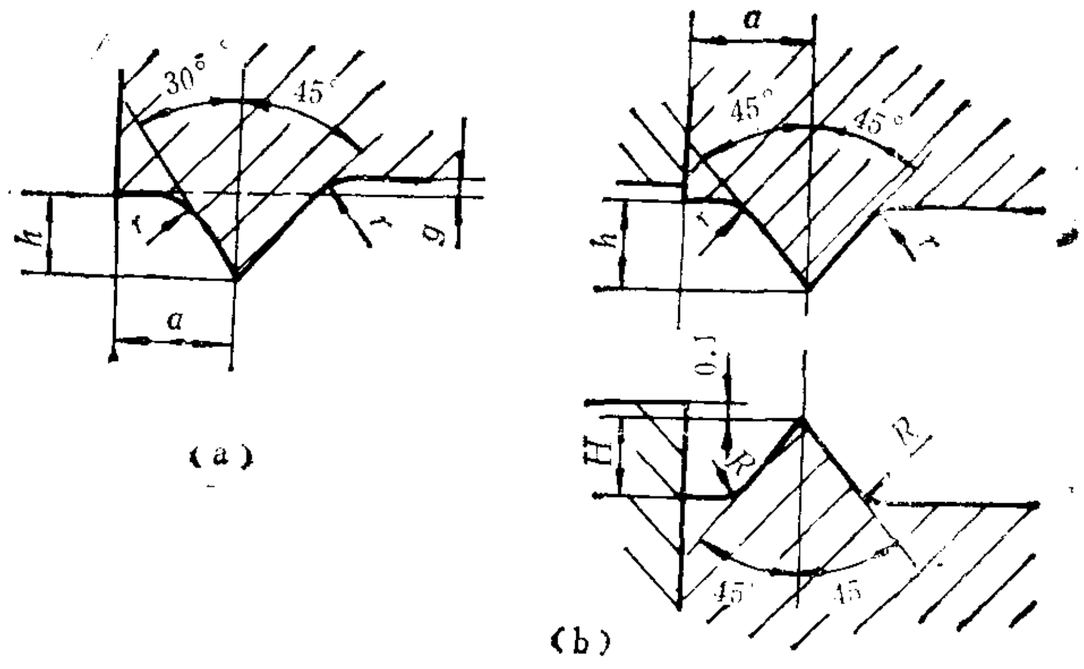


图 4-51 单面齿圈与双面齿圈
(a) 单面齿圈 (b) 双面齿圈

表 4-43 单面齿圈尺寸（图 4-51 a） (mm)

料厚 t	a	h	g	r
0.5	0.5	0.20	0.05	0.1
1	0.7	0.30	0.05	0.2
2	1.4	0.40	0.05	0.2
3	2.1	0.45	0.05	0.2
4	2.8	0.50	0.05	0.2

2. 拉深模的压边圈

(1) 采用压边圈的条件

制件拉深时起皱，主要决定于变形程度（拉深系数）、毛坯相对厚度（t/D）和凹模工作部

http://shop62964869.taobao.com/

表 4-44　双面齿圈尺寸(图 4-51b)　　(mm)

料厚 t	a	h	H	r	R
4.5	2.5	0.5	0.8	0.2	0.8
5.0	3	0.6	0.9	0.2	1
6.0	3.5	0.7	1.0	0.2	1
8.0	4	0.8	1.2	0.2	1.2
10.0	4.5	1.0	1.5	0.5	1.5
12.0	5.5	1.2	1.8	0.5	2
15.0	7	1.6	2.2	0.5	3

分的几何形状等。

毛坯失稳，导致起皱的近似条件为

$$(t/D) \times 100 \leqslant 4.5(1 - m_1) \tag{4-11}$$

式中　m_1——首次拉深的拉深系数。

毛坯采用压边圈和不采用压边圈的极限拉深系数见表 4-45。

表 4-45　极限拉深系数

拉深方法	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100(\%)$	拉深系数	
		首次拉深 m_1	以后各次拉深 m_2
用压边圈	2～0.05	0.46～0.6	0.70～0.8
不用压边圈	>3～1.0	0.60～0.8	0.78～0.9

采用锥形或曲线形状凹模较不易起皱，其极限拉深系数见表 4-46。

表 4-46　锥形凹模不起皱的极限拉深系数

相对比值 d_2/d_1	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100(\%)$				
	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
0.6	0.50	0.52	0.54	0.56	0.58
0.7	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66
0.8	0.66	0.68	0.70	0.72	0.75

注：d_2、d_1——锥形凹模底径与顶径。

(2) 压边圈的类型

拉深压边圈有刚性和弹性两大类。刚性压边圈广泛用于大型覆盖件拉深，因它装在双动压力机的外滑块上，可得到较大压边力并保持不变。刚性压边圈在中小件拉深较少采用，因要靠螺钉等来临时固定，对调节和操作都带来不便。弹性压边圈是通过气垫、液压垫、弹簧垫和橡胶垫等弹顶装置来施加压力，见如图 4-52 所示。

图 4-53 为采用不同方式弹顶装置时，其压边力变化的曲线。

(3) 压边圈形式

首次拉深的压边圈形式见如图 4-54 所示，(a)为平面压边圈，工厂应用较多；(b)为带凸边的压边圈，用于薄料和具有小凸缘和较大圆角半径的制件；c 为锥面压边圈，用于锥面凹模，为首次拉深得到较小的拉深系数 ($m_1 = 0.42 \sim 0.46$，而一般为 0.52～0.56)。

为了增加压边力(拉应力)或使凸缘上某部分材料不致进入凹模洞口，可采用带拉深筋的

http://shop62964869.taobao.com/

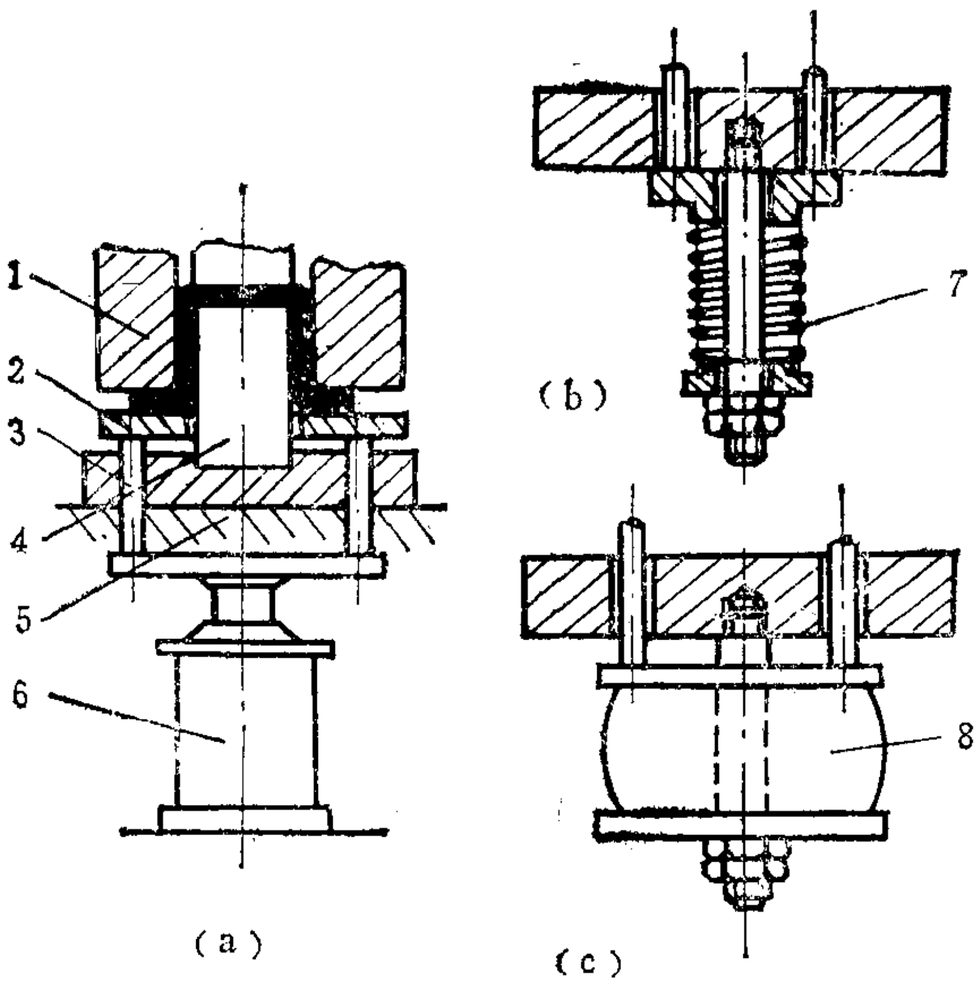


图 4-52　弹性压边的方式
(a) 气垫或液压垫　(b) 弹簧垫　(c) 橡皮垫
1—凹模　2—压边圈　3—下模座　4—凸模　5—工作台
6—气垫　7—弹簧　8—橡胶垫

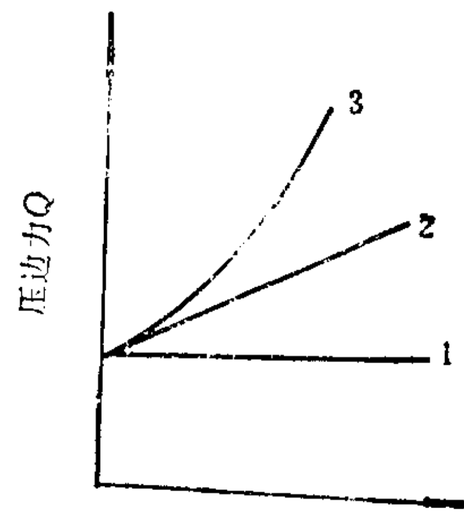


图 4-53　不同弹顶装置的压边力变化曲线
1—气垫　2—弹簧垫　3—橡胶垫

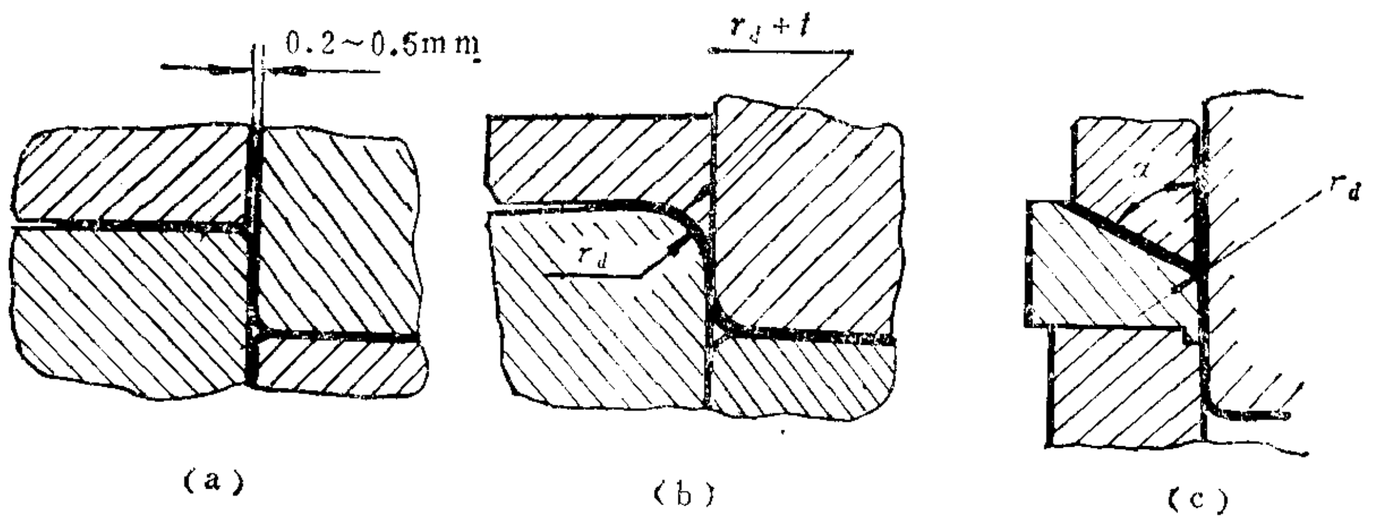


图 4-54　压边圈形式
(a) 平面压边圈　(b) 带凸边的压边圈　(c) 锥面压边圈

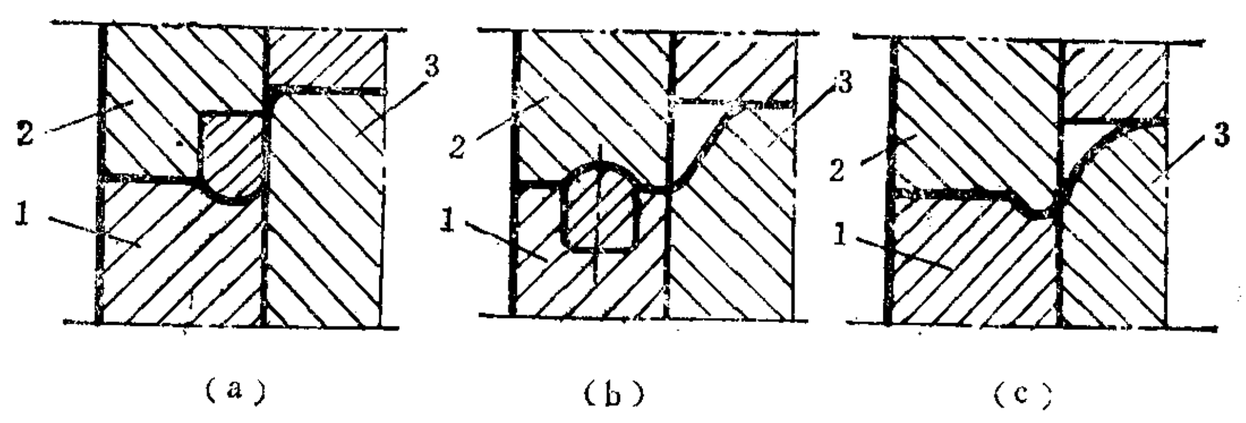


图 4-55　带拉深筋的压边圈
1—压边圈　2—凹模　3—凸模

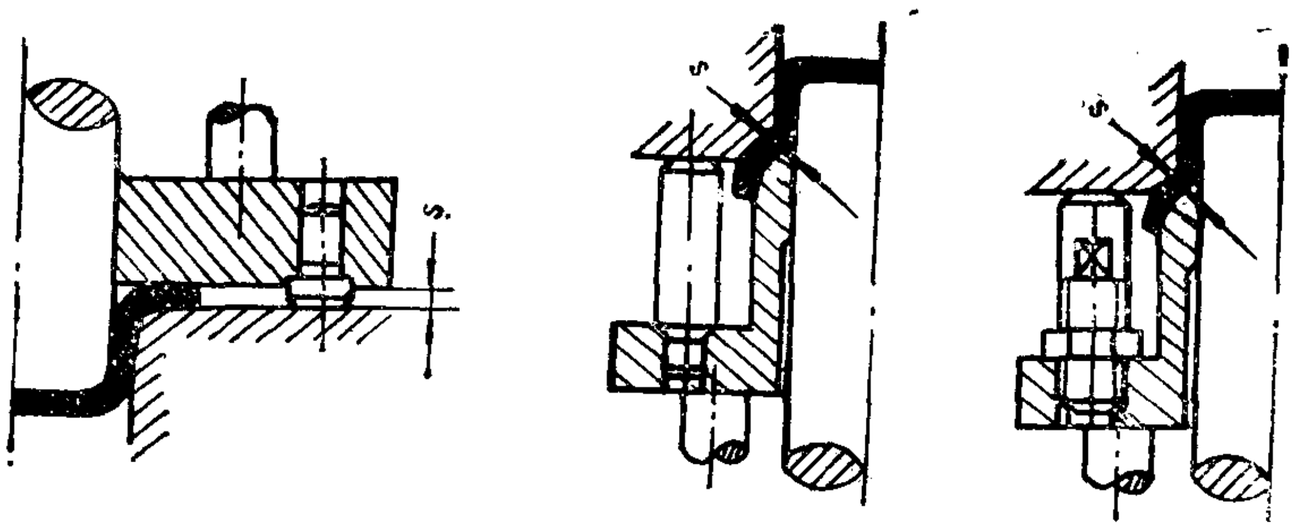
压边圈(见图 4-55)。

(4) 压边圈的定距限位装置

在采用弹簧或橡胶压边时，为防止把毛坯压得过紧，可采用图 4-56 所示的定距限位装置，使压边圈与凹模之间始终保持一定距离 s。当拉深铝合金件时，取 $s = 1.1t$；当拉深钢件时，

http://shop62964869.taobao.com/

$s = 1.2t$；拉深带凸缘制件时，$s = t + (0.05 \sim 0.1)$mm。

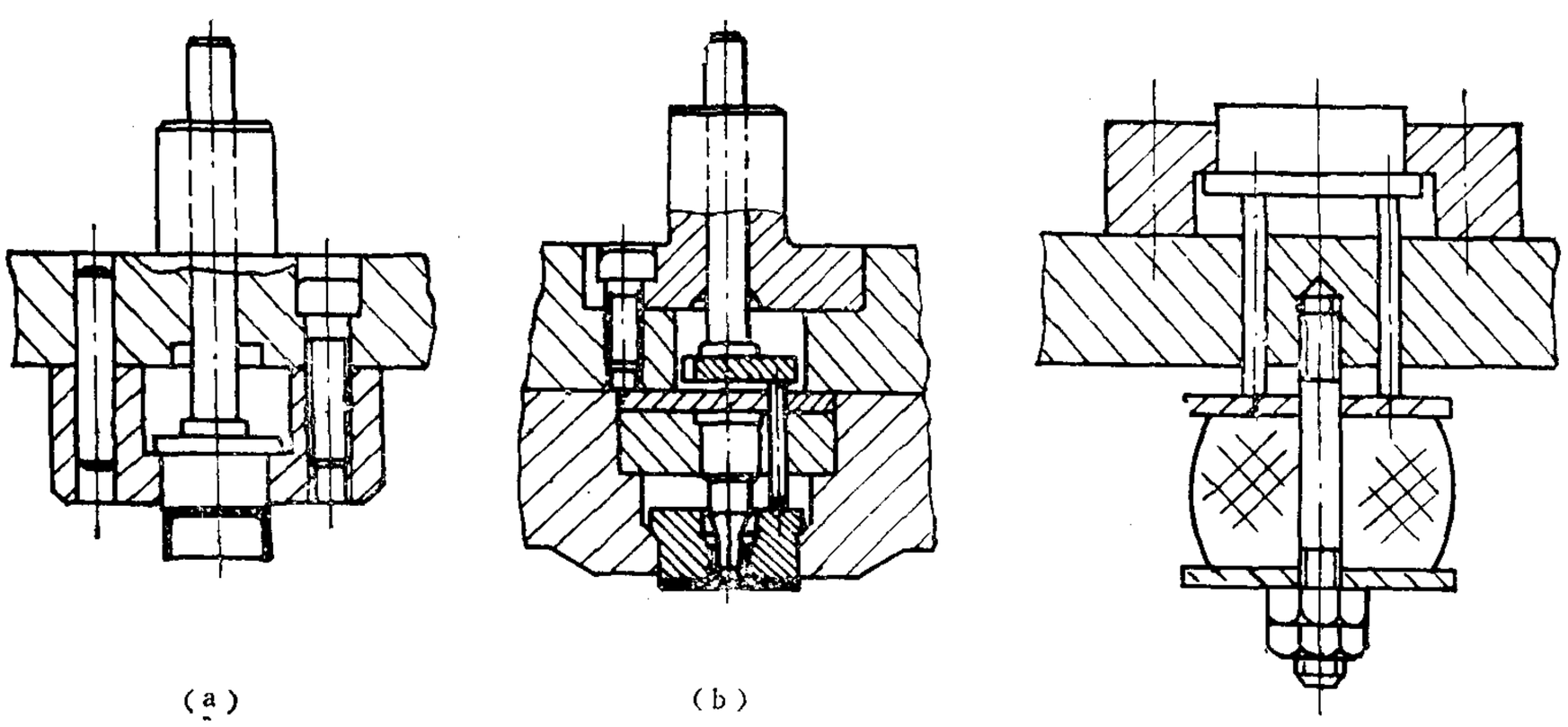


(a)　　(b)

图 4-56　有限位装置的压边
(a) 固定式，首次拉深用　(b) 固定式与可调式，以后各次拉深用

（三）推、顶件装置

将制件(或废料)从上模推下称为推件。将制件(或废料)从下模顶出称为顶件。推件装置的推力可来自上模内安装的弹簧或橡胶等，或利用压力机上的打杆得到。图 4-57a、b 为两种利用打杆推件装置。图 4-57c 为利用橡胶、弹簧或气垫顶件的弹顶装置。它的结构原理是与拉深时压边所采用装置是一致的(见图 4-52)。



(a)　　(b)　　(c)

图 4-57　推、顶件装置
(a)、(b) 推件装置　(c) 顶件的弹顶装置

六、导向零件

导向零件是为了保证模具冲压时，上、下模有一精确的位置关系。在中、小型模具中最广

http://shop62964869.taobao.com/

泛采用的导向零件是导柱和导套。

导柱(导套)常用两个。对中型冲模或制件精度要求高的自动化冲模,则采用四个导柱。在安装圆形制件等一类无方向性的冲模时,为避免装错,对对角模架和中间模架的两导柱,可做成直径不等的各一个;对四导柱的模架,可做成前后导柱的间距不同的模座。对可能产生侧向推力时,要设置止推块,使导柱不承受弯曲力。

一般导柱安装在下模座,导套安装在上模座,分别采用过盈配合(详见第十一章)。小型模具的导柱、导套也有采用环氧树脂或厌氧胶等材料浇注固定的。导柱、导套还可用螺钉固定,后面图 7-7 是一个例子。高速冲裁、精密冲裁或硬质合金冲裁模具,要求采用滚珠导向结构。导柱、导套和滚珠导向结构已标准化,可参见第十一章。

七、固定与支承零件

(一) 上、下模座

上、下模座要承受和传递冲压力,所以应有足够强度和刚度。刚度不足,将影响冲模寿命。因此模座应有足够厚度,铸造模座需经时效处理,下模座外形尺寸每边应至少超过压力机台面孔边约 50mm。

模座分带导柱和不带导柱两种。带导柱一种已标准化(参见第十一章)。一般根据凹模、定位和卸料装置等的平面布置,来选择模座的形状和尺寸。模座形状可选圆形或矩形的。模座外形尺寸应比凹模相应尺寸大 40～70mm。模座厚度一般取凹模厚度的 1～1.5 倍。

(二) 固定板

固定板外形有圆形和矩形两种,主要用于固定小型凸模和凹模。凸模固定板厚度约取凸模固定部分直径的 1～1.5 倍。它与凸模采用过渡配合 (H7/m6),压装后端面磨平。至于凹模固定板厚度,则根据冲模结构来确定。

(三) 垫板

垫板的作用是直接承受和扩散凸模传递的压力。以降低模座所受的单位压力,避免压出陷痕。此外,当利用压力机打杆推件时,因上模座局部被挖空,也需采用垫板支承。

确定冲裁凸模是否需加垫板,可用下式进行核算压应力 σ_c

$$\sigma_c = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma_c] \quad (\text{MPa}) \tag{4-12}$$

式中 P——冲裁力 (N);

F——凸模支承端面积 (mm^2);

$[\sigma_c]$——许用压应力 (MPa),对铸铁 HT25-47 模板为 90～140 (MPa);对铸钢 ZG45

http://shop62964869.taobao.com/

模板为 110～150 (MPa)；对 A1、A2、A3 钢为 120～160 (MPa)。

如不满足上式，则需加经淬硬磨平的垫板。垫板厚度一般取 4～12mm，但当采用螺钉固定凸模时(见图 4-15i)，应适当加厚。外形尺寸与固定板相同。材料选用 45 钢、低碳钢渗碳或 T7A，硬度按受力情况设计时自定(参见表 4-49)。

(四) 模柄

中、小型冲模通过模柄将上模固定在压力机的滑块上，外径按 H11/d11 配合。

模柄的结构形式较多，主要有：

1) 旋入式 (见图 4-58 a)，通过螺纹与上模板联接，并在螺纹孔的骑缝处加一个防转螺钉。它多用于有导柱的冲模。

2) 压入式(见图 4-58 b)，它与上模座孔采用 H7/m6 过渡配合，并加销钉防止转动。它要求上模板厚度较大。

3) 凸缘式(见图 4-58 c)，它有较大凸缘，用 3～4 个螺钉固定于上模板。它适用于较大冲模，及不便采用其它形式模柄时情况。

4) 浮动式 (见图 4-58 d)，它允许模柄少许倾斜，可减少滑块误差对冲模导向精度的影响。一般用于带有导向装置的高精度冲模。缺点是安装时冲模中心较难对正滑块中心，不能纠正滑块与模柄轴心线之间的偏差。

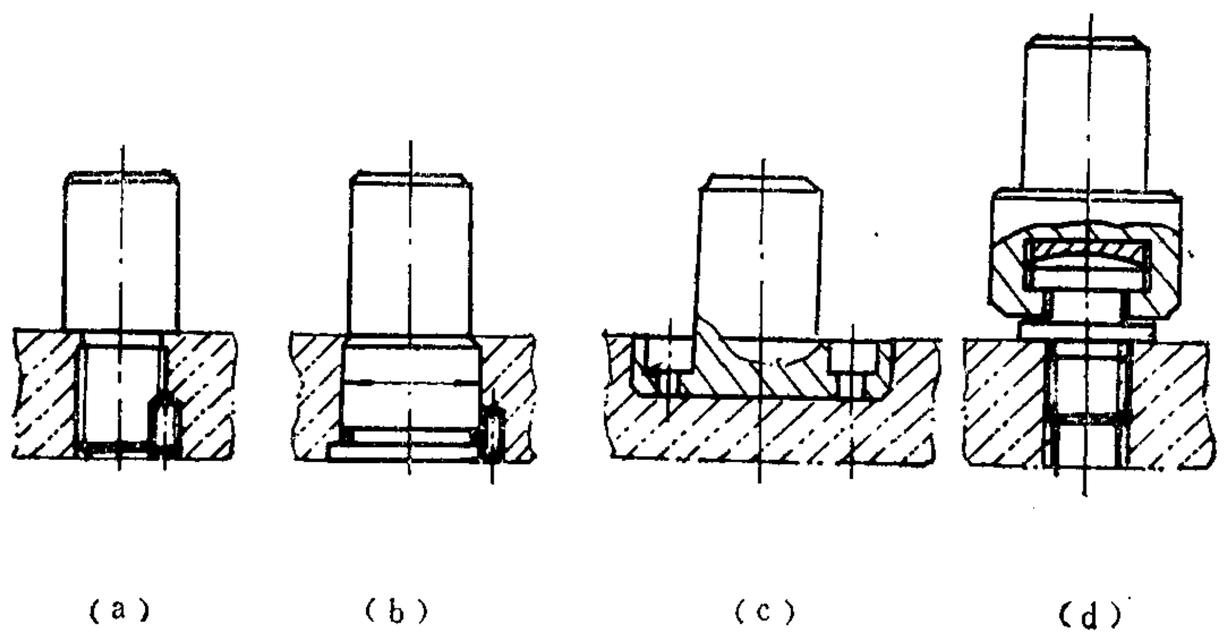


图 4-58 模柄结构形式
(a) 旋入式 (b) 压入式 (c) 螺钉固定式 (d) 浮动式

模柄形式与尺寸规格，参见第十一章。

(五) 限位柱(块)

限位柱(块)的作用，主要是在调整上模时，以其作为限定冲压行程的极限标志，有时也为在模具存放时，免得将上模重量压在下模的弹簧上。它不太常用，若需要使用，其形状和尺寸规格，参见国家冷冲模标准。

http://shop62964869.taobao.com/

八、斜楔机构

斜楔机构的作用是将压力机滑块的垂直运动转变为凸模水平或倾斜方向的运动，以进行该方向的冲孔、压凹坑、切边和弯曲等工序。

图 4-59 为一水平方向运动的斜楔机构，若改变图中 γ 角度从 90° 改为小于或大于 90° 时，则滑块的运动方向就从水平方向变为倾斜方向。

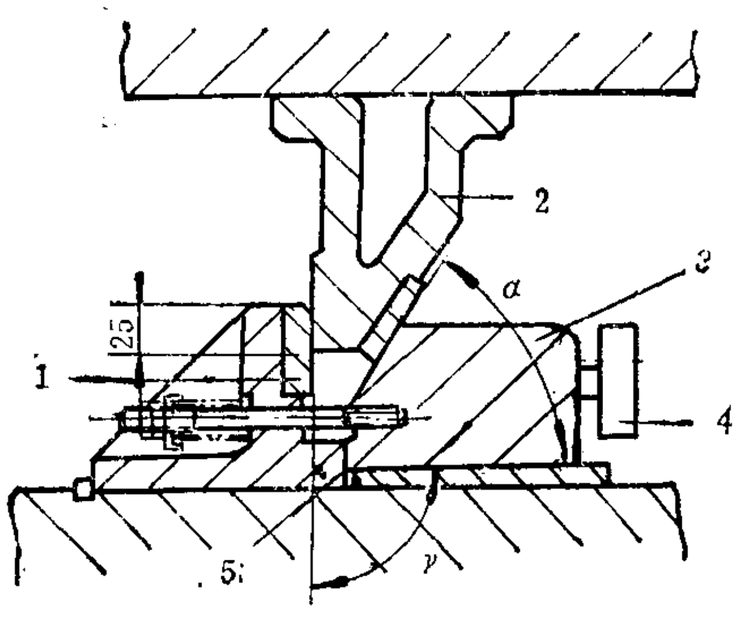


图 4-59　水平运动的斜楔机构
1—后挡块　2—斜楔　3—滑块　4—压料板　5—限位块

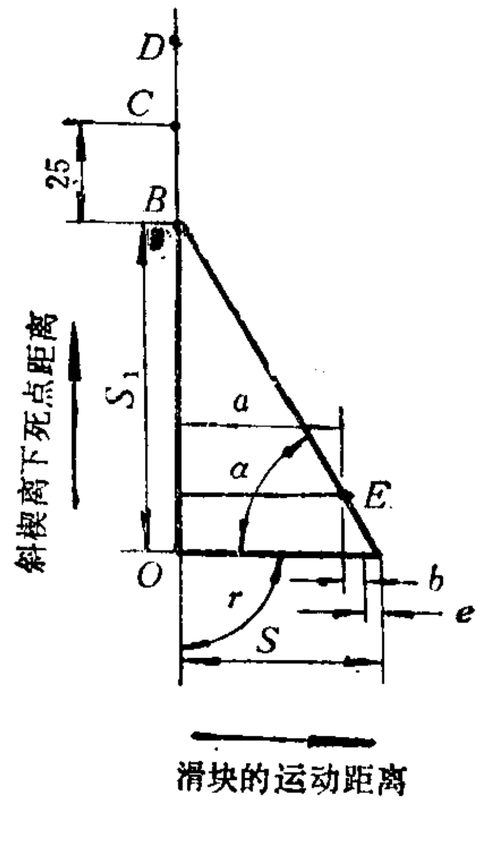


图 4-60　斜楔与滑块在运动上的配合

（一）斜楔与滑块在运动上的配合（见图 4-60）

对于滑块行程应考虑以下三方面要求：

1）预留空间行程 a 是为考虑取出或放入制件时所需预留空间，以及考虑模具上其它相关件的工作需要；

2）考虑压料板（卸料板）凸出于凸模工作面的距离 b；

3）考虑凸模所需加工行程 e。

所以滑块行程 S 应为

$$S = a + b + e$$

图 4-60 表示从水平运动的滑块行程 S，求斜楔起始作用时距下死点的距离 S_1，以及其它相关的点。

斜楔起始作用时，距下死点的距离 S_1 应为

$$S_1 = S\operatorname{tg}\alpha \quad 或 \quad S = S_1/\operatorname{tg}\alpha$$

式中　α——斜楔角，一般取 $50° \leqslant \alpha \leqslant 60°$，如当行程不够大时，也可取 $\alpha = 45°$，此时 S_1 即等于 S。

图 4-60 中，O 点表示冲压结束；B 点表示斜楔起始作用点，C 点表示当水平或倾斜方向的冲压力较大，为平衡侧向力，斜楔先与后挡块接触的点；D 点表示上、下模导向部件的开始接触

http://shop62964869.taobao.com/

点；E 点表示压料板(卸料板)开始压住毛坯的点。

当需滑块在倾斜方向运动时，如图 4-61 所示，将图 4-59 中的 γ 角从 90° 改为大于或小于 90°，在图 4-61 a 中，$\gamma < 90°$，可得到滑块向下倾斜方向的运动。图 4-61 a 中，1、2 和 3 分别表示下模底座、上模上斜楔和下模上滑块。当斜楔 2 从开始与滑块 3 接触，垂直下行一段 S_1 距离时，则将推动滑块 3 沿接触面 a，移动一段 S' 距离；在此同时，滑块 3 也就沿接触面 b，在向下倾斜方向移动一段 S 距离。图 4-61 b 即表示这 S_1、S' 和 S 之间的关系，若利用正弦定律可得

$$\frac{S}{S_1} = \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} \quad 或 \quad \frac{S}{S_1} = \frac{\sin\beta}{\sin(\beta+\gamma)}$$

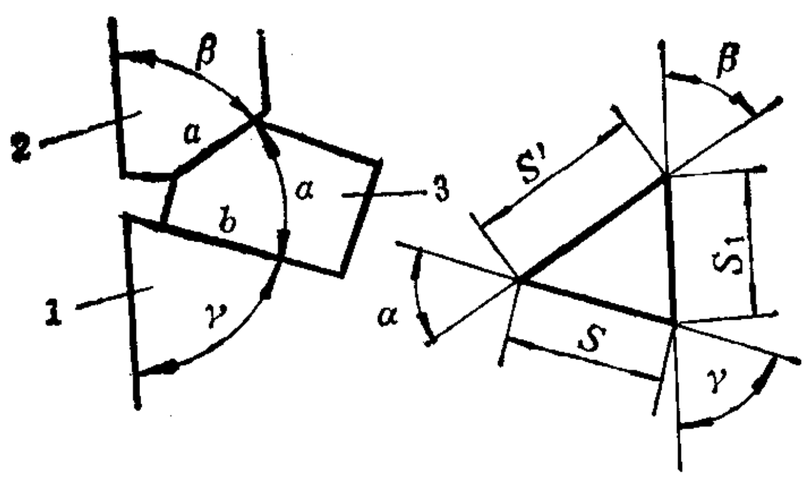


图 4-61　滑块在斜向运动的示意图
(a) 滑块工作时　(b) 滑块运动结束
1—底座　2—斜楔　3—滑块
S_1——斜楔行程　S——滑块行程

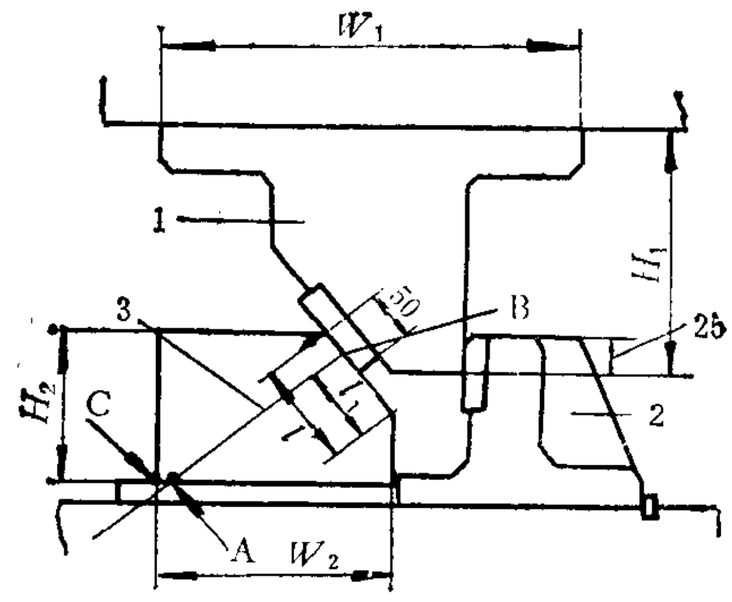


图 4-62　斜楔和滑块开始动作前的状态
1—斜楔　2—后挡块　3—作用于滑块上的力作用线

(二) 斜楔机构的结构尺寸

图 4-62 表示斜楔和滑块开始动作前状态。为保证斜楔机构运动平稳，斜楔机构在开始动作时，斜楔和滑块斜面的接触长度最小应在 50mm 以上(见图)，而接触工作长度 l_1 应占工作面全长 l 的 2/3 以上(即图中 $l_1 \geqslant (2/3)l$)。通常考虑斜楔结构尺寸要求为：

1) 斜楔行程应大于滑块行程

2) 滑块长度 W_2 (见图 4-62) 要满足：使接触面中点 B 的合力作用线与滑块滑动面的交点 A，落于图中 C 点的内侧；

3) 滑块高度 H_2 与长度 W_2 的比值以在 1:(1.5～2.0) 为好；

4) 当滑块垂直于纸面的底面宽度 L_2 必须比长度 W_2 大时，应增加长度 W_2，以增强

表 4-47　不同滑块宽度所需相应斜楔宽度和数量

滑块底面宽度 L_2 (mm)	斜楔的宽度 L_1 (mm)	斜楔数量
<300	70～120	1
300～600	70～120	2
>600	100～150	2～3

注：L_1、L_2 均指图 4-62 中垂直于纸面的相应尺寸。

http://shop62964869.taobao.com/

滑块的稳定性；

5）斜楔长度 W_1，在不用键克服侧向力和不用后挡块支撑时，可取 $W_1 \geqslant 1.5H_1$（H_1 为图示的斜楔高度）；

6）对不同滑块底面宽度 L_2，所需斜楔宽度和数量可参考表 4-47。

（三）斜楔机构上的作用力

以下力的计算均忽略摩擦效应。

1. 滑块工作时所需力 F

F ＝ 冲裁或成形力＋推件力(只在冲裁时有)＋复位弹簧力

2. 滑块防磨板上所承受的垂直压力 Q

1）作水平运动的滑块(图 4-63)

$$Q = \frac{F}{\cos\theta_1}$$

$$V = F\,\mathrm{tg}\,\theta_1$$

2）作向下倾斜运动的滑块(图 4-64)

$$Q = \frac{F}{\cos(\theta_1 - \theta_2)}$$

$$V = F\,\mathrm{tg}(\theta_1 - \theta_2)$$

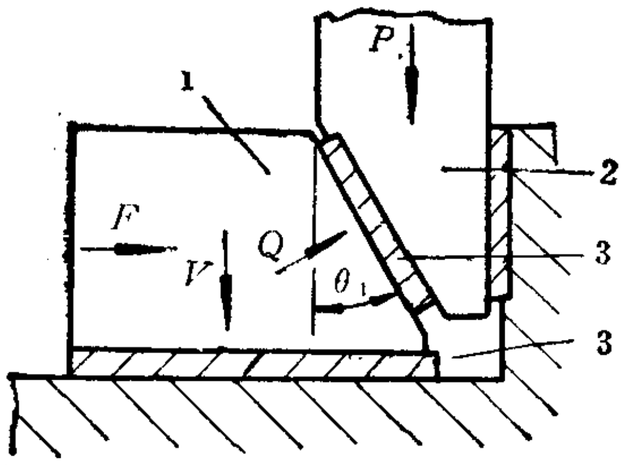


图 4-63　作水平运动的滑块
1—滑块　2—斜楔　3—防磨板

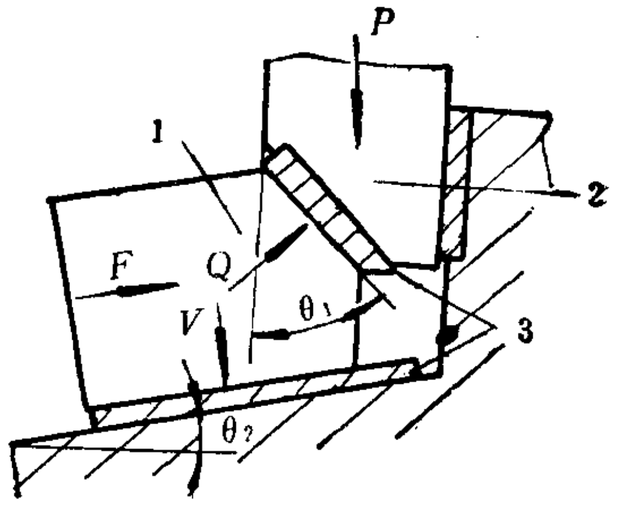


图 4-64　作向下倾斜运动的滑块
1—滑块　2—斜楔　3—防磨板

3）作向上倾斜运动的滑块(图 4-65)

$$Q = \frac{F}{\cos(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$V = F\,\mathrm{tg}(\theta_1 + \theta_2)$$

以上各式中　F——滑块上的作用力；

Q——斜楔和滑块间的垂直分力；

V——滑块和下模防磨板间的垂直分力；

θ_1，θ_2——倾斜角(见图示)

滑动接触面的载荷，如铸铁对铸铁要小于 5MPa；超过此值，应使用防磨板。

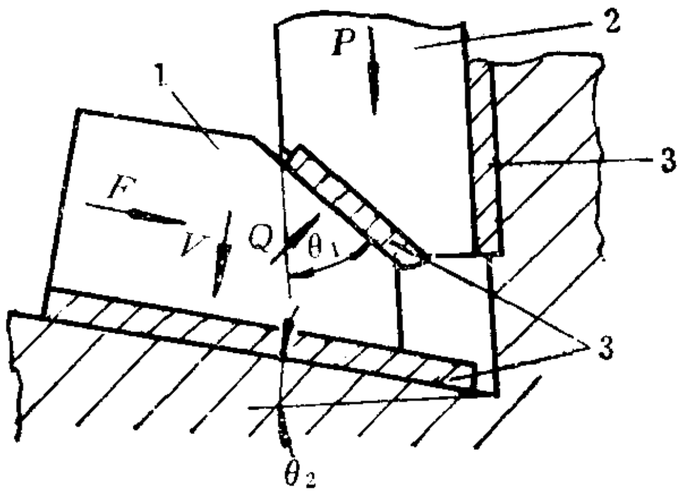


图 4-65　作向上倾斜运动的滑块
1—滑块　2—斜楔　3—防磨板

http://shop62964869.taobao.com/

（四）复位弹簧的计算

为了克服滑块在滑动接触面上的摩擦力，并考虑还可能有卸料力和接触面加工精度不够等因素，粗略地估算复位弹簧的设计负荷为

$$P = Kf \quad (\mathrm{N}) \tag{4-13}$$

式中 K——安全系数，$K = 3 \sim 5$；

f——克服摩擦，计算复位弹簧移动滑块所需的力，当

a. 滑块水平方向移动

$$f = \mu W$$

b. 滑块在斜面上向上移动

$$f = \mu W \cos\theta + W \sin\theta$$

c. 滑块在斜面上向下移动

$$f = \mu W \cos\theta - W \sin\theta$$

μ——滑块与滑动面间的摩擦系数，$\mu = 0.4$；

W——滑块重；

θ——滑动斜面与水平面所成倾斜角。

九、冲模零件的常用材料

冲模经常在频繁冲击状态下工作，因此，冲模零件应具有足够的强度和韧性；而冲模工作部分零件，不但要求有足够的强度和韧性，还要有高的硬度、耐磨性、耐冲击性和淬火后变形小等特性。正确地选用冲模材料，对于产品质量、冲模寿命和成本都有直接影响。在选用冲模材料时，应考虑下列因素：

1） 冲压制件生产批量的大小；

2） 冲压材料的性能、工序种类及冲模零件的工作条件；

3） 我国冲模材料的生产和供应情况以及本厂现有条件，力求减少材料牌号和规格。

（一）冲模工作部分零件常用材料（即凸模、凹模及凸凹模材料）的选用及热处理（见表 4-48）。

表 4-48 凸、凹模常用材料及其热处理

模具类型	冲压工作情况	材料	热处理硬度 HRC	
			凸模	凹模
	$t \leqslant 3$mm，形状简单	T8A、T10A、9Mn2V	58～60	60～62
	$t \leqslant 3$mm，形状复杂	CrWMn、Cr12、Cr12MoV、Cr6WV	58～60	60～62
	$t > 3$mm，高强度材料冲裁	Cr6WV、CrWMn、9CrSi 65Cr4W3Mo2VNb(65Nb)	54～56 56～58	56～58 58～60

http://shop62964869.taobao.com/

表4-48 续

模具类型	冲压工作情况	材料	热处理硬度 HRC	
			凸模	凹模
冲裁模	硅钢板冲裁	Cr12MoV、Cr4W2MoV GT35、GT33 YG15、YG20	60～62 66～68 —	61～63 66～68 —
	特大批量($t \leqslant 2$)	GT35、GT33 YG15、YG20	66～68 —	66～68 —
	细长凸模	T10A、Cr6WV 9Mn2V、Cr12、Cr12MoV	56～60，尾部回火 40～50 58～62，尾部回火 40～50	
	精密冲裁	Cr12MoV、W18Cr4V	58～60	62～64
	大型模镶块	T10A、9Mn2V Cr12MoV	58～60 60～62	
	加热冲裁	3Cr2W8V、5CrNiMo 6Cr4Mo3Ni2WV (CG-2)	48～52 51～53	
	厚钢板、棒料剪切	5CrW2Si、6CrW2Si	55～58	
弯曲模	凸、凹模简单形状	T8A、T10A	56～60	
	凸、凹模复杂形状或要求耐磨	CrWMn、Cr12、Cr12MoV	58～62	60～64
	加热弯曲或加热成形	5CrNiMo、5CrMnMo	54～58	58～60
成形模	有色金属型材或管材弯曲	45	40～45	
	黑色金属型材或管材弯曲	T8A、T10A	56～58	
	压型模上弯曲	45、HT20～40 塑料、精制层板	钢零件的压型及形状复杂的零件应考虑淬火	
	拉弯模上弯曲	ZG15、45、HT20～40 塑料、精制层板	—	
拉深模	一般拉深	T8A、T10A	58～60	60～62
	级进拉深	T10A、CrWMn	58～60	60～62
	拉深不锈钢(凸模)	W18Cr4V	58～60	
	拉深不锈钢(凹模)	YG15、YG8	—	
	变薄拉深(凸模)	T10A	58～60	
	变薄拉深(凹模)	Cr12、Cr12MoV YG15、YG8	62～64	
	加热拉深	5CrNiMo、5CrMnMo	56～58	
	蒙皮拉形模胎	木、塑料、铸钢、铸铁	—	

http://shop62964869.taobao.com/

（二）冲模辅助零件常用材料的选用及热处理(见表 4-49)

表 4-49　模具各种零件的材料选用及热处理

零件名称	选　用　材　料	热处理	硬度 HRC
压边圈、拉深用顶板	T8A	淬火	54～5
顶板	A3、45		
弯曲模、成形模及顶件器	T8A、CrWMn	淬火	56～60
废料切刀	T8A	淬火	54～58
定距侧刃	T8A	淬火	58～62
上模座、下模座	HT20～40、HT25～47、ZG25、ZG35A3、A5		
模柄	A3、A5		
凸模固定板、凸、凹模固定板	A3、A5		
卸料板、导板	A3、A5		
侧面导板(导尺)	45	淬火	43～48
导柱	20	渗碳0.8～1	58～62
导套(滑动)	20	淬火	56～60
导套(滚动)	GCr15	淬火	62～66
导正销、定位销	T7、T8	淬火	52～56
挡料板、挡料销、限位柱	45	淬火	45～43
楔块、滑块	T8A、T10A	淬火	58～62
垫板、定位板	45、T7A	淬火	43～48
螺母、垫圈、螺塞	A3		
固定螺钉、螺栓	A3、45		
销钉	45	淬火	45～48
顶杆、推杆	45	淬火	43～48
键	45		
弹簧	65Mn、60Si2Mn	淬火	43～48
碟形弹簧	60Si2MnA、65Mn	淬火、回火	48～52

（三）冲模常用材料的许用应力(见表 4-50)

表 4-50　冲模主要材料的许用应力

材料名称及牌号	许　用　应　力　(MPa)			
	拉　伸	压　缩	弯　曲	剪　切
A2、A3、25	108～147	118～157	127～157	98～137
A5、40、50	127～157	137～167	167～177	118～147
铸钢　ZG35、ZG45	—	108～147	118～147	88～118
铸铁　HT20—40、HT25—47	—	88～137	34～44	25～34
T7A　硬度 HRC54～58	—	539～785	353～490	—
T8A,T10A Cr12MoV,GCr15 硬度 HRC52～60	245	981～1569①	294～490	—
A7　硬度 HRC52～60	—	294～392	196～275	—
20(表面渗碳) 硬度 HS86～92	—	245～294	—	—
65Mn 硬度 HRC43～48	—	—	490～785	—

① 对小直径有导向的凸模此值可取 2000～3000(MPa)。

http://shop62964869.taobao.com/

十、冲模零件表面粗糙度

冲模零件由于工作条件和相互联结上的要求不同，需要不同的制造精度和表面粗糙度。表4-51 列举了加工冲模不同零件工作表面时所推荐的表面粗糙度值，供设计冲模时参考。

表 4-51　冲模零件表面粗糙度

序　号	冲　模　零　件　表　面	原光洁度等级	表　面　粗　糙　度	
			R_a	R_z
1	不需要精加工的表面(下模座的漏料孔)	∇_3	[>10～20(12.5)]	>40～80(50)
2	不与其它零件接触的零件表面以及钻孔后的表面	∇_4	[>5～10(6.3)]	>20～40(25)
3	无特殊要求的支承面(模柄凸缘顶面等)	∇_5	[>2.5～5(3.2)]	>10～20(12.5)
4	一般精度模座的支承面，凸、凹模固定板，凸模固定板上压入带台凸模孔的底面	∇_6	[>1.25～2.5(1.6)]	>6.3～10
5	IT7 的孔表面，定位销、挡料销、导柱、导套的过盈部分	∇_7	>0.63～1.25(0.8)	[>3.2～6.3]
6	导柱、导套的滑块部分，IT6 的工作表面，大部分冲裁模和弯曲模的工作表面，拉深凸模表面	∇_8	>0.32～0.63(0.4)	[>1.60～3.2]
7	拉深凹模和压料圈工作表面，精密冲裁模的刃口表面，冷挤模的工作表面，IT5 的导柱、导向表面，IT6 的导套、导向孔表面	∇_{10}	>0.08～0.16(0.1)	[>0.32～0.8]
	精密冲模，特别是滚珠导向的导柱导向面，成形模有高精度要求的工作表面	∇_{11}	>0.04～0.08(0.050)	[>0.16～0.32]

注：1. 表中 R_a——轮廓的算术平均偏差，R_z——不平度十点平均高度。

2. ∇_3～∇_5 和 ∇_6～∇_{11} 分别各以 R_z 和 R_a 表示为合理。方括号中数值为 R_a 和 R_z 两者间的参考对应值．圆括号中数值为对应原表面光洁度等级的粗糙度系列范围中的表达值。

http://shop62964869.taobao.com/

第五章　冲模结构示例

本章就少数比较典型的不同形式的冲模作一介绍，以便对冲模的总体结构有一全面了解。

一、冲裁模

（一）简单落料模

图 5-1 是一凸模在上，凹模在下的正装式简单落料模。模具的卸料、顶件均采用弹顶装置，因毛坯在压紧状态下冲裁，冲出制件平整，可用于冲裁厚度较薄中小尺寸的制件。模具采用导柱、导套导向，冲裁质量高，适于大批量生产。

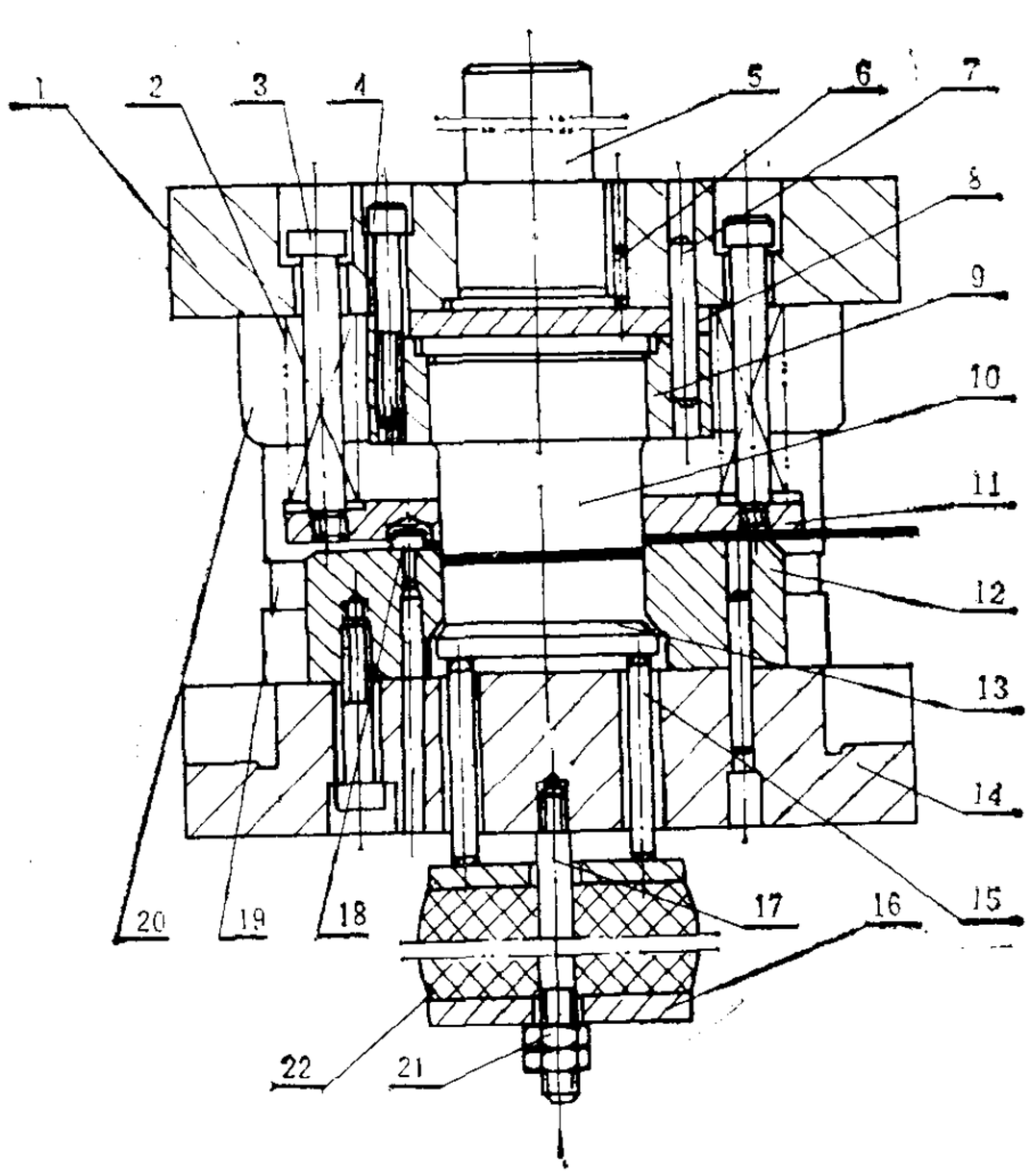


图 5-1　简单落料模

1—上模板　2—弹簧　3—卸料螺钉　4—内六角螺钉　5—模柄　6、7—圆柱销　8—垫板　9—固定板　10—凸模　11—卸料板　12—凹模　13—顶出器　14—下模座　15—顶杆　16—圆板　17—螺栓　18—挡料销　19—导柱　20—导套　21—螺帽　22—橡胶(或聚胺酯)

http://shop62964869.taobao.com/

（二）冲孔和落料复合模

图 5-2 是一落料凹模在上，凸凹模在下的倒装式复合模。 凸凹模既是落料凸模又是冲孔凹模。因落料与冲孔在同一工位进行，不受条料定位影响，冲裁精度比级进模高，生产率也高。但模具结构较复杂，制造精度要求高，所以较多用于冲制精度要求高，批量较大的冲裁件。

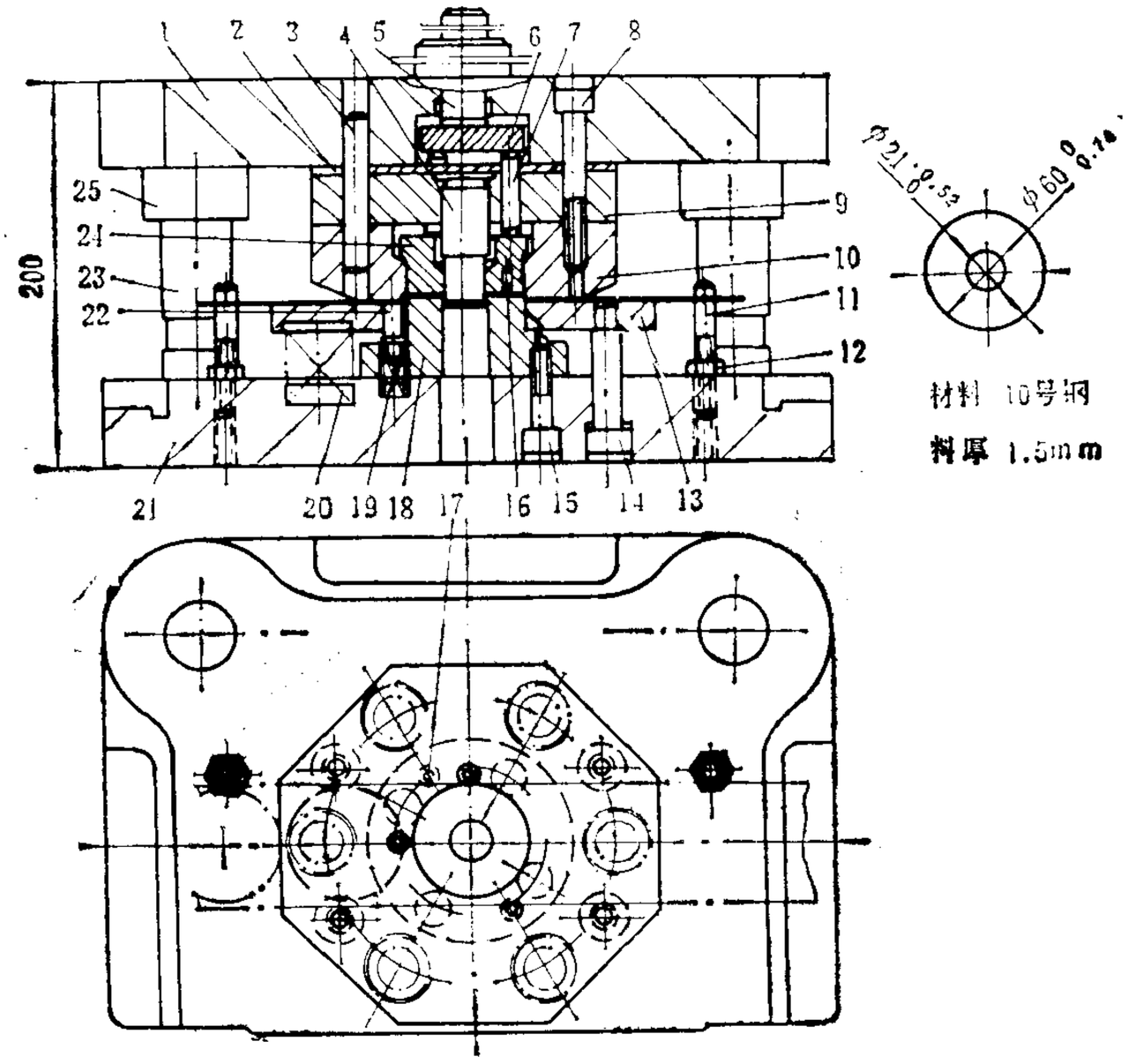


图 5-2 冲孔和落料复合模

1—上模座 2—垫板 3—圆柱销 4—凸模 5—推杆 6—推板 7—顶杆 8—内六角螺钉 9—固定板 10—落料凹模 11—导料螺栓 12—螺母 13—卸料板 14—卸料螺钉 15—内六角螺钉 16—顶件钉 17—圆柱销 18—凸凹模 19、20—弹簧 21—下模座 22—活动挡料销 23—导柱 24—推出器 25—导套

（三）侧刃送料的冲孔、切口和切断级进模

图 5-3 是一利用定距侧刃控制送料进距的导板式级进模。采用双排平行排样一次冲出两个制件。

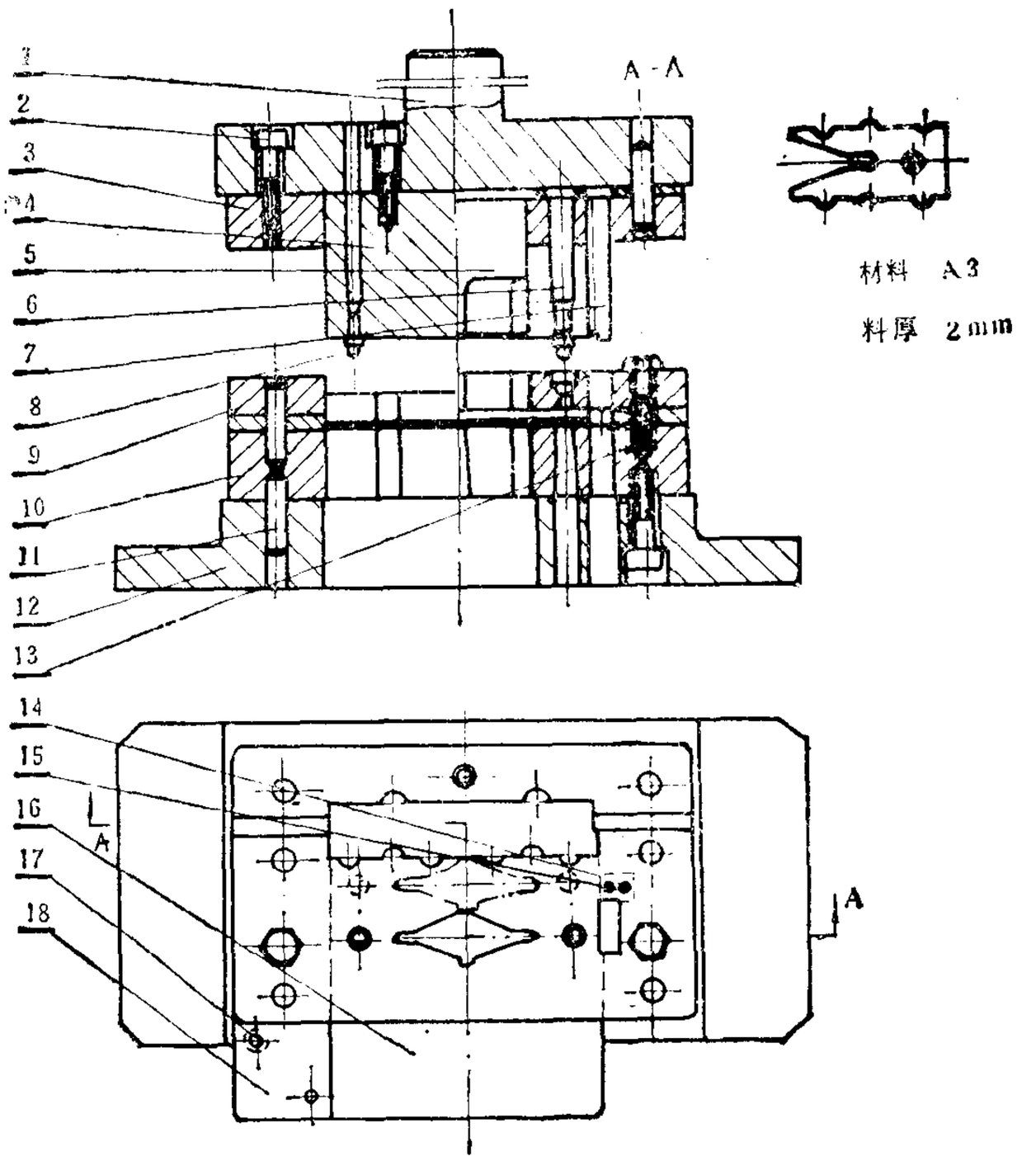
条料靠着导尺 18 送抵侧刃挡块 14， 第一工步由凸模 6、5 冲出 2 个圆孔和制件上缺口。第二工步为空位。第三工步由凸模 4 切断，并排落下两个制件。 如图所示，凸模 6、5 比凸模 4 稍矮(约差 1～1.5 料厚)，以免后者在单面冲切时影响前两者的稳定性。

利用侧刃控制送料，定位精度高，操作方便，生产效率高，缺点是材料的消耗有所增加。

采用导板(也作为固定卸料板)导向，结构简单，冲模体积小，卸料可靠，操作安全， 但要使用行程小且可调节的偏心压力机，以使凸模不脱离导板。

用侧刃送料的导板式级进模适于冲裁精度要求较高、形状比较简单、尺寸不大的制件。

http://shop62964869.taobao.com/



材料　A3

料厚　2mm

图 5-3　利用侧刃送料的冲孔、切口和切断级进模

1—上模座　2—内六角螺钉　3—固定板　4—凸模 III　5—凸模 II　6—凸模 I　7—侧刃　8—导正销　9—导板　10—凹模　11—圆柱销　12—下模座　13—六角夹螺栓　14—侧刃挡块　15—圆柱销　16—承料板　17—圆柱头螺钉　18—导尺

（四）用自动送料装置的冲裁级进模

图 5-4 是在装有自动送料装置压力机上大量冲制垫圈用的冲裁级进模。带料送进的准确位置由导正销 6 校正。为简化结构，采用了固定卸料板 10 卸料。图中限位柱 11 为限制上模行程的最下位置。

如不采用自动送料，则应在图中 A 处装始用挡料销，在 B 处装固定挡料销，并在卸料板 10 上的相应位置开孔，以能看到挡料销是否已把料挡住。

（五）精冲模

图 5-5 是一装在通用压力机上的固定凸模式精冲模。通过上、下蝶簧得到压紧制件压力和齿圈压力。为便于推出制件和防止制件在上模回程时重新被压回带料，该模有一由橡胶圈 22、球面接头 28、调节垫 29 和上蝶簧 19 组成的推件滞后机构。当上模上行时，橡胶圈 22

http://shop62964869.taobao.com/

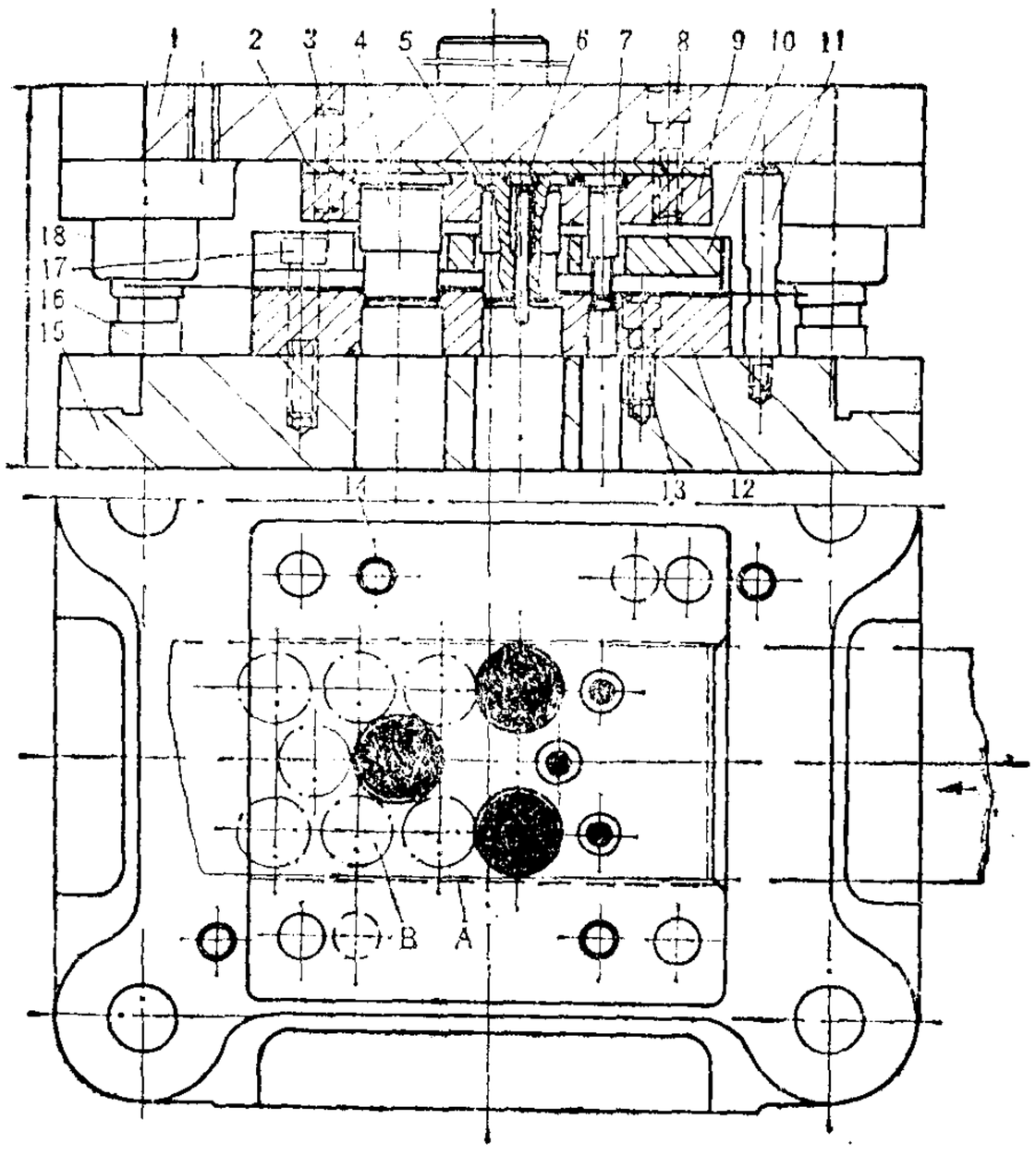


图 5-4　用自动送料装置的冲裁级进模

1—上模座　2—垫板　3—圆柱销　4—凸模 III　5—凸模 II　6—导正销　7—凸模 I　8—内六角螺钉　9—固定板　10—固定卸料板　11—限位柱　12—凹模　13—内六角螺钉　14—圆柱销　15—下模座　16—导柱　17—内六角螺钉　18—导套

把上模座 32 下推，使蝶簧 19 放松，推出器 14 不动。上模继续上行，通过打杆 25 的作用使推出器动作，推出制件。使用这种机构需严格控制上模的对模深度及打杆作用后所移动的距离，否则会损坏有关零件。

二、弯曲模

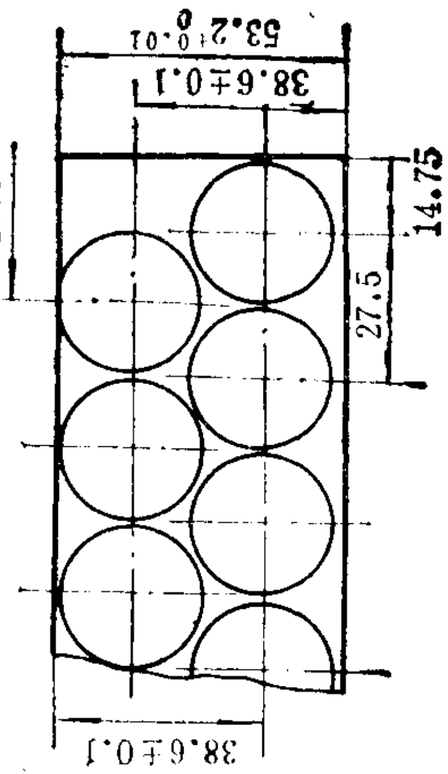
（一）U 形件简单弯曲模

图 5-6 是弯曲 U 形件的简单弯曲模。用手钳放入毛坯。凹模装镶块。适于小批量弯曲料较厚的制件。

（二）双折角弯曲模

图 5-7 是弯双折角制件的弯曲模。特点是用冲孔后毛坯，利用定位板和孔定位或用孔导正，适用于一般生产。

http://shop62964869.taobao.com/



24—模柄　25—打料销　26—螺钉　27—螺钉　28—螺钉　29—螺钉　30—螺钉　31—螺钉　32—螺钉　33—螺钉　34—螺钉　35—螺钉　36—螺钉　37—螺钉　38—螺钉　39—螺钉　40—螺钉　41—螺钉　42—螺钉　43—螺钉　44—螺钉　45—螺钉　46—螺钉　47—螺钉　48—螺钉　49—螺钉

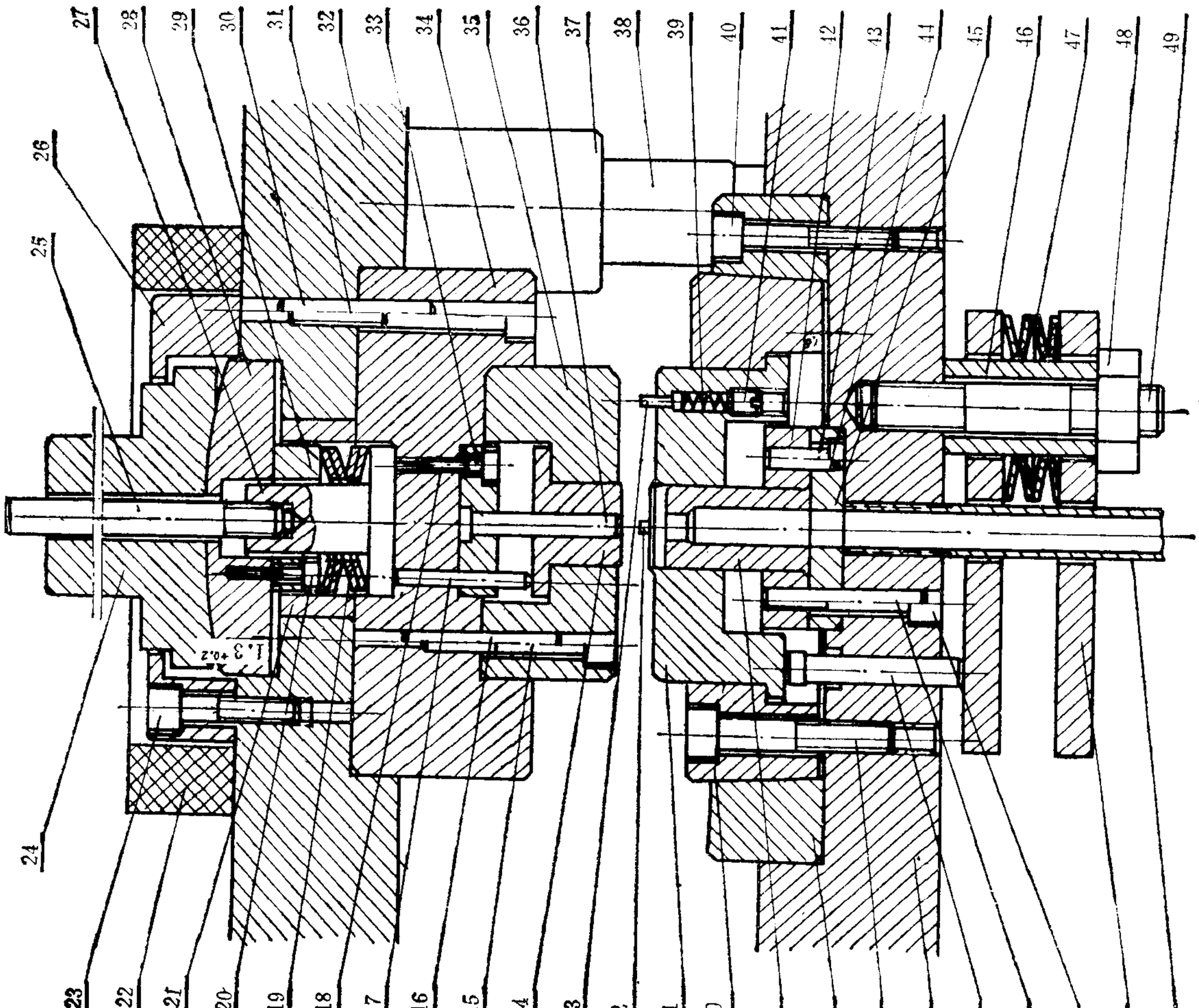


图 5-5　通用压力机上使用的精冲模

1—顶杆　2—下模座　3—挡料销　4—推出器　5—凸凹模　6—凹模　7—齿圈压板　8—齿圈套　9—凸凹模　10—齿圈压板　11—齿圈套　12—定料销　13—推杆　14—推出器　15—凸凹模　16—凹模　17—凸凹模固定板　18—凸凹模　19—螺柱　20—球面接头　21—调节垫　22—上模座　23—上固定板　24—模柄　25—打料销　26—螺钉　27—螺钉　28—螺钉　29—螺钉　30—螺钉　31—螺钉　32—螺钉　33—螺钉　34—凹模固定座　35—凹模　36—冲孔凸模　37—螺钉　38—螺钉　39—螺钉　40—螺钉　41—螺钉　42—凸凹模固定板　43—螺钉　44—螺钉　45—螺钉　46—螺钉　47—螺钉　48—螺钉　49—螺钉

制件图

齿形放大 M10:1

材料 T8A 料厚0.6mm

http://shop62964869.taobao.com/

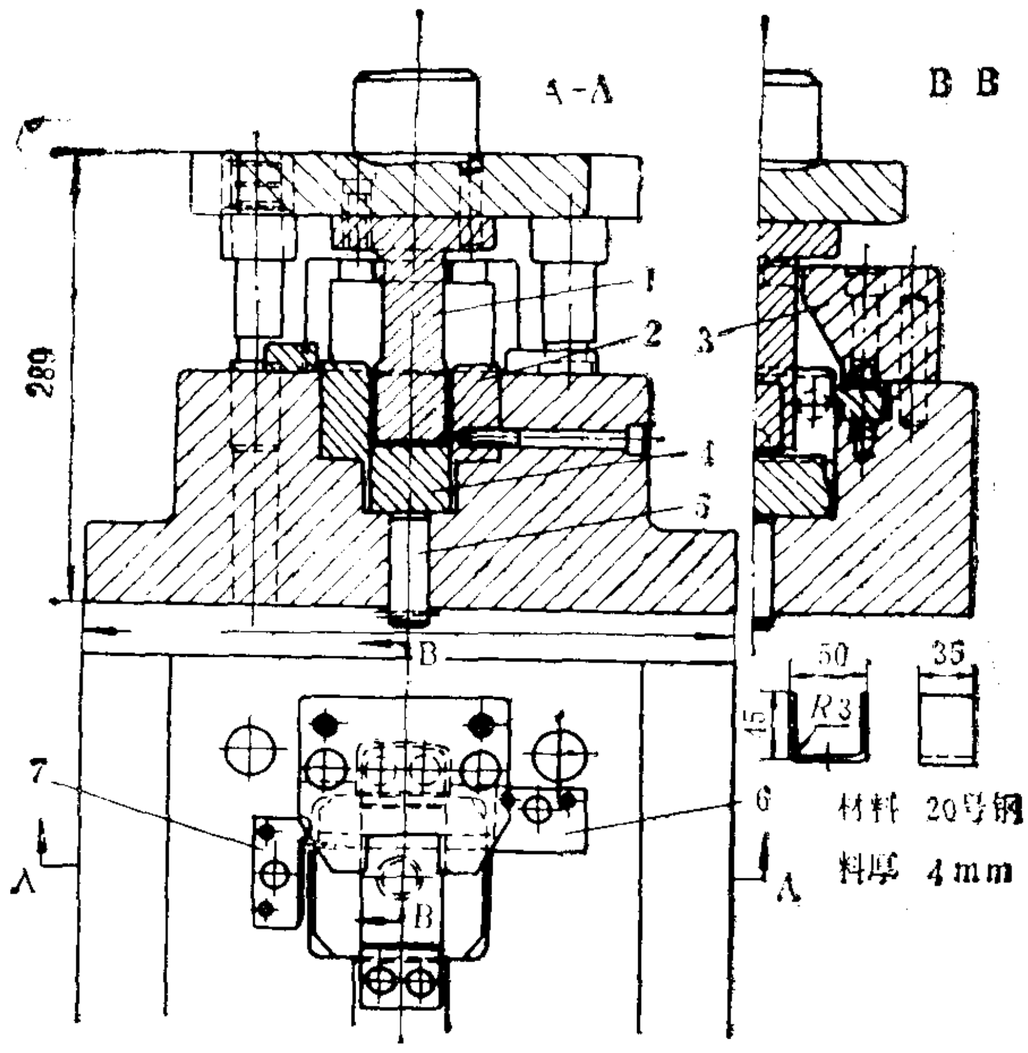


图5-6　U形件弯曲模

1—凸模　2—凹模镶块　3—卸料板　4—顶板　5—顶杆　6、7—定位板

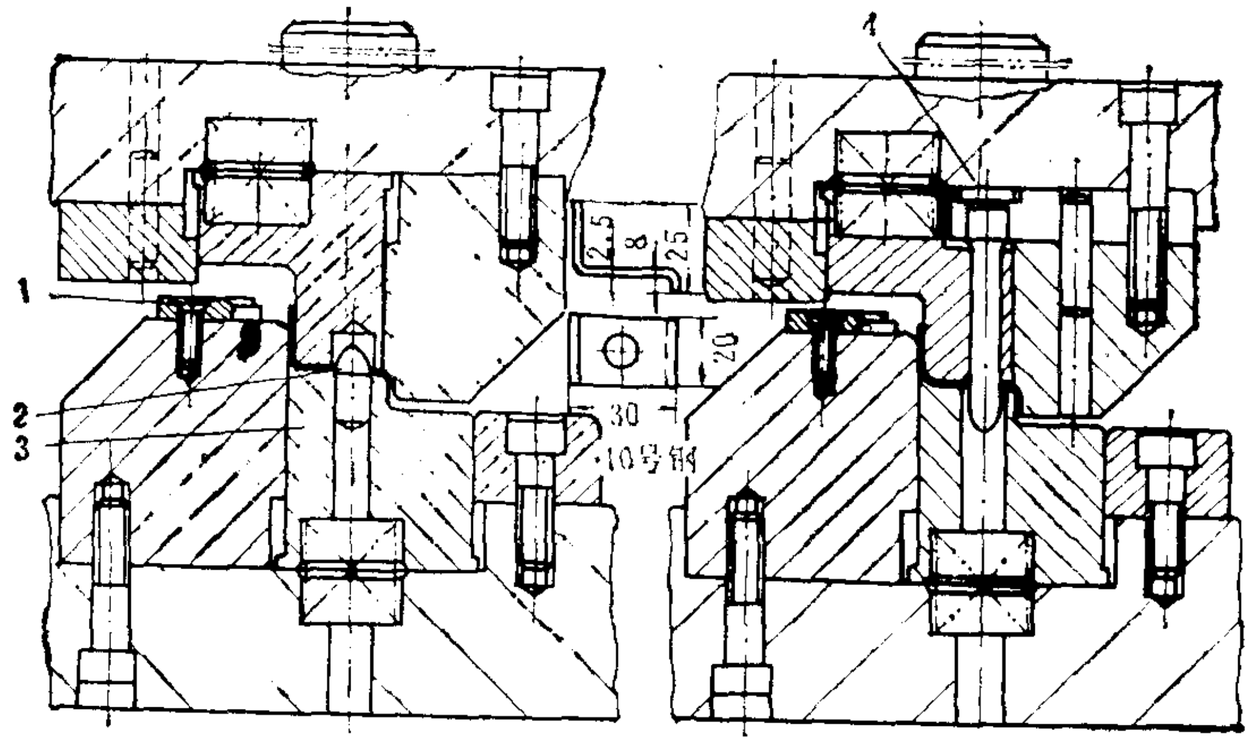


图5-7　双折角弯曲模

(a) 用定位板和定位销　(b) 用定位板和导正销

1—定位板　2—定位销　3—压料板　4—导正销

(三) 各种弯曲模结构示意图

由于弯曲制件形状繁多，除上述图5-6、图5-7较常见的简单结构外，还广泛采用斜楔、滑块、摆动块和滚轮等各种组合，以达到弯曲成形的目的。图5-8表示了一部分弯曲模的结构示意图，供读者参阅。

http://shop62964869.taobao.com/

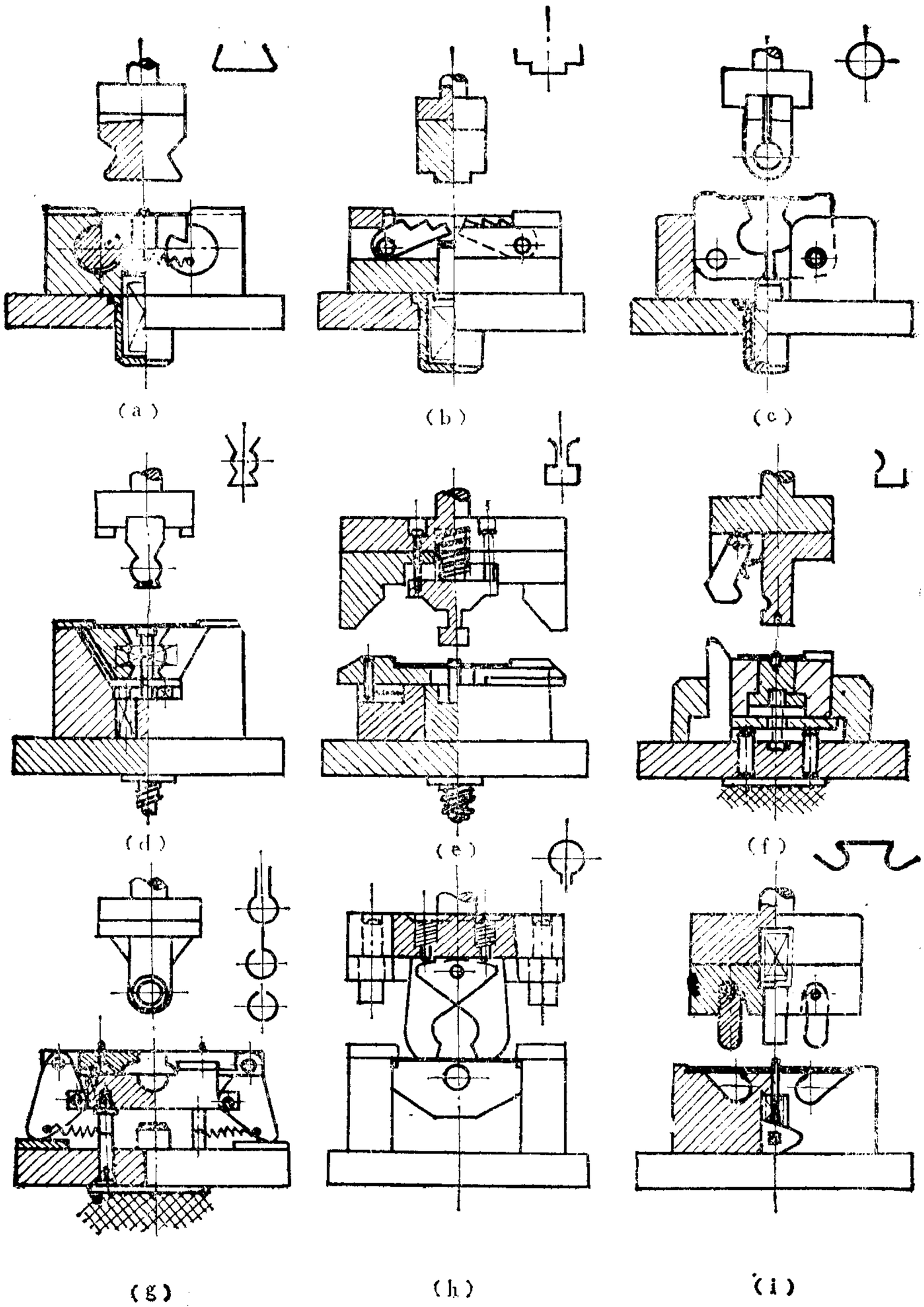


图 5-8　各种弯曲模结构示意图

三、拉深模

（一）首次拉深模

图 5-9 是一倒装式首次拉深模，利用落料后圆形毛坯进行拉深。 毛坯在压边圈 4 上圆坑

http://shop62964869.taobao.com/

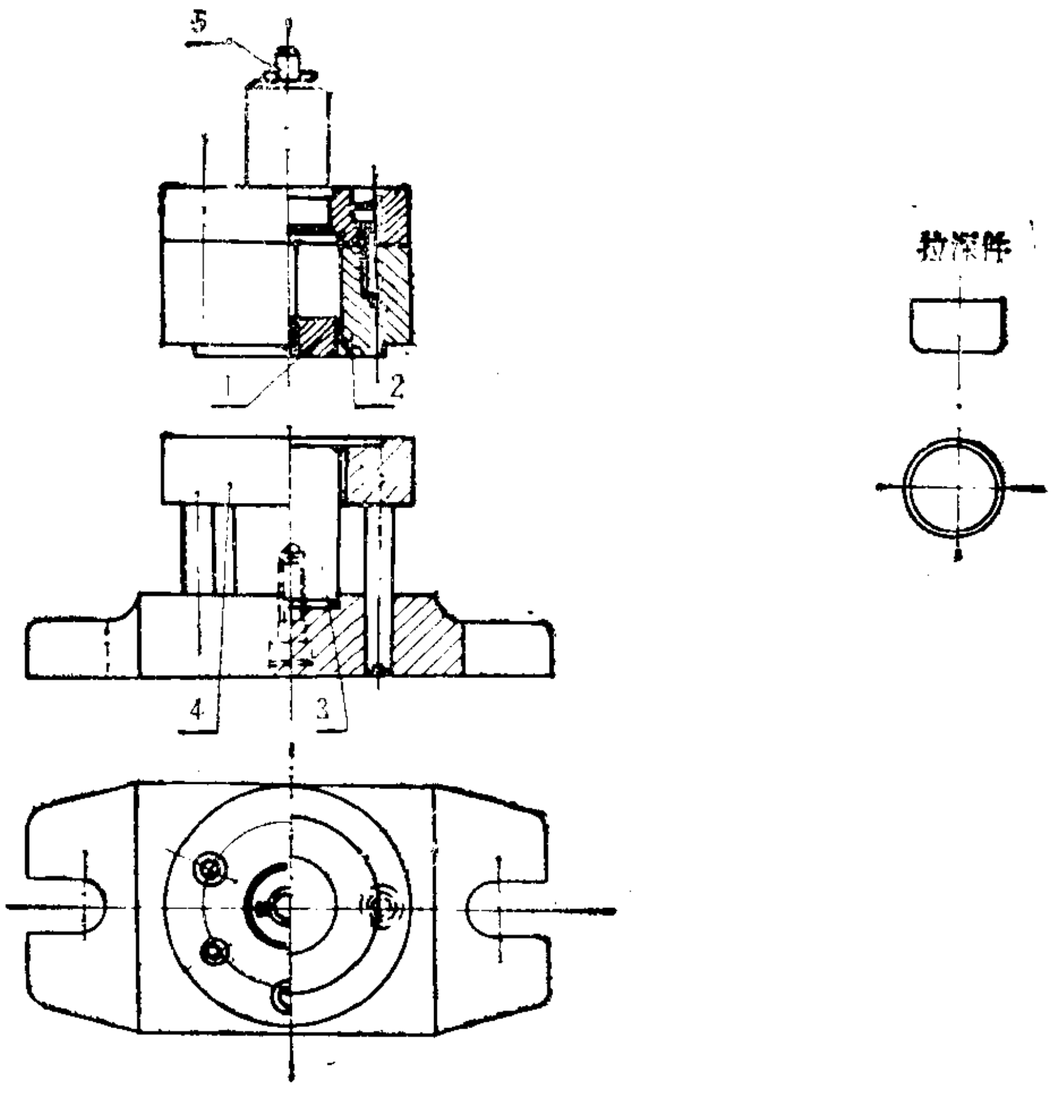


图 5-9　首次拉深模

1—推件板　2—凹模　3—凸模　4—压边圈　5—打杆

中定位，压边圈的加压装置见前面图 4-52。模具结构简单，适于中小件的小批量生产。

（二）以后各道工序拉深模

图 5-10a 是以后各道工序拉深模的结构，它和图 5-9 相似，但主要有两处不同，一是圆筒

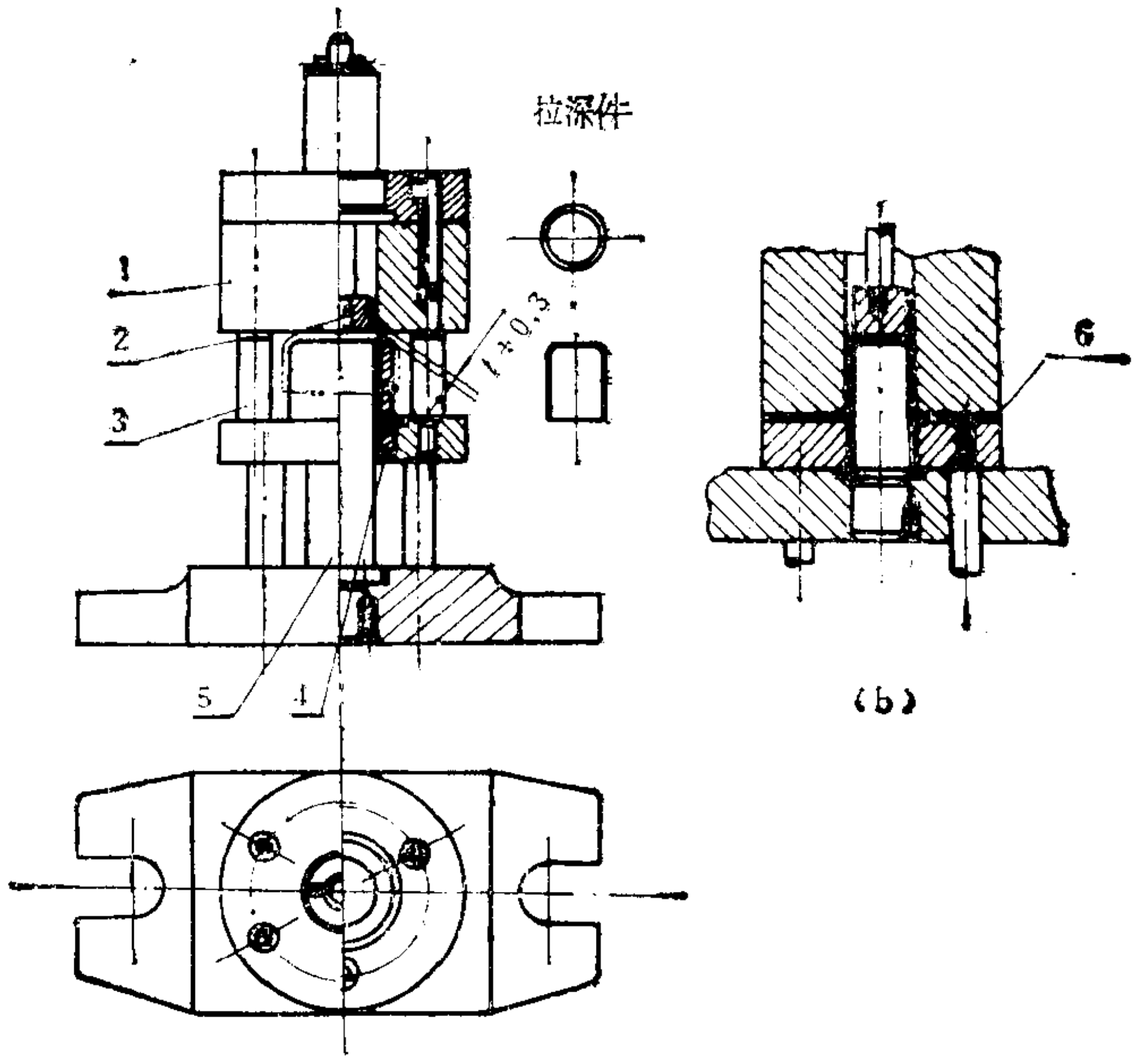


图 5-10　以后各道工序拉深模及凸缘拉深件整形模

（a）拉深工序　（b）整形工序

1—凹模　2—推件板　3—支柱销　4—压边圈　5—凸模　6—整形底板

http://shop62964869.taobao.com/

毛坯的定位方式，一是多了三根等间分布的支柱销 3，以防止开始拉深时，因压边力过大，把制件拉裂。图 5-10 b 表示凸缘拉深件的整形模结构，用以将圆角整形或凸缘校平。

（三）落料和拉深复合模

图 5-11 是一最常见的落料拉深复合模，适用于批量生产。图中压边圈系通过顶杆 6 利用气垫加压，也可改用图 4-52 的其它弹性压边方式。

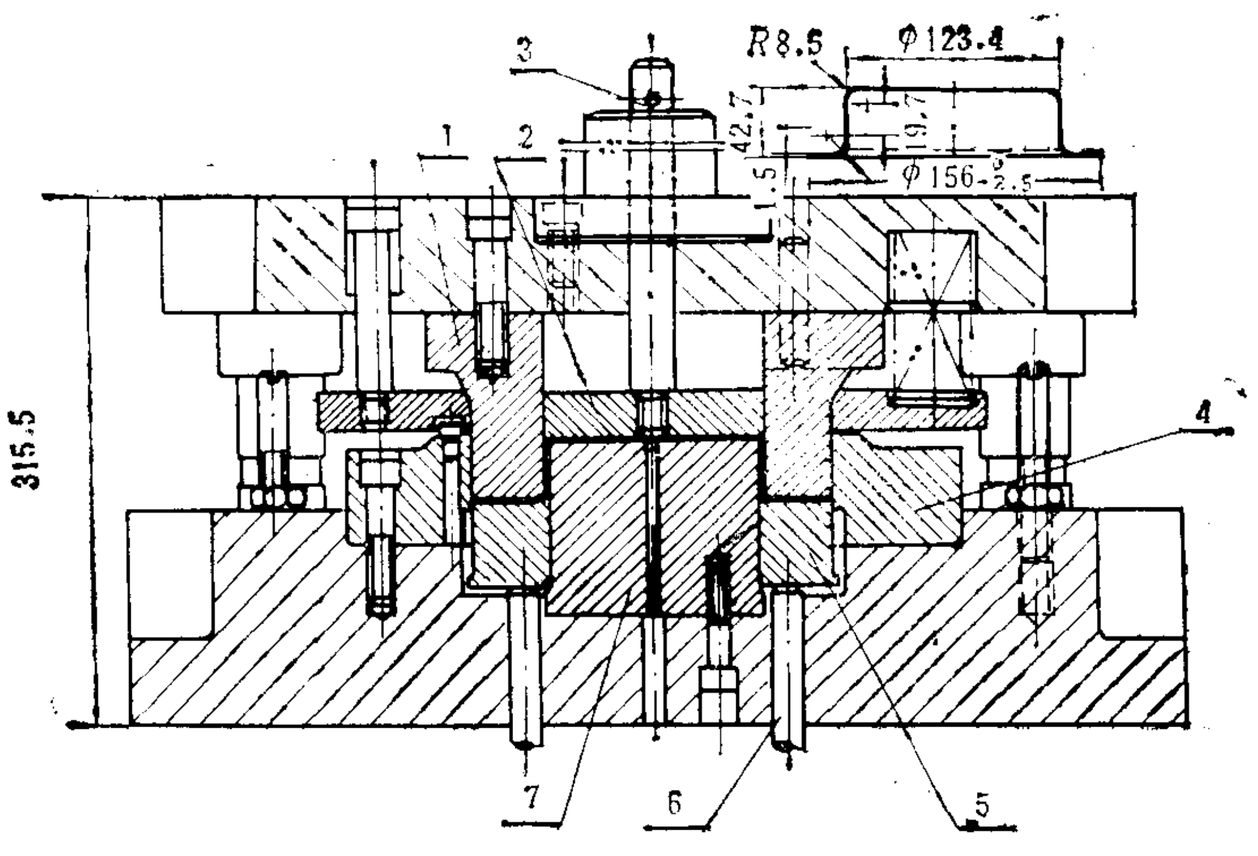


图 5-11　落料拉深复合模

1—凸凹模　2—推件板　3—打杆　4—落料凹模　5—压边圈　6—顶杆　7—拉深凸模

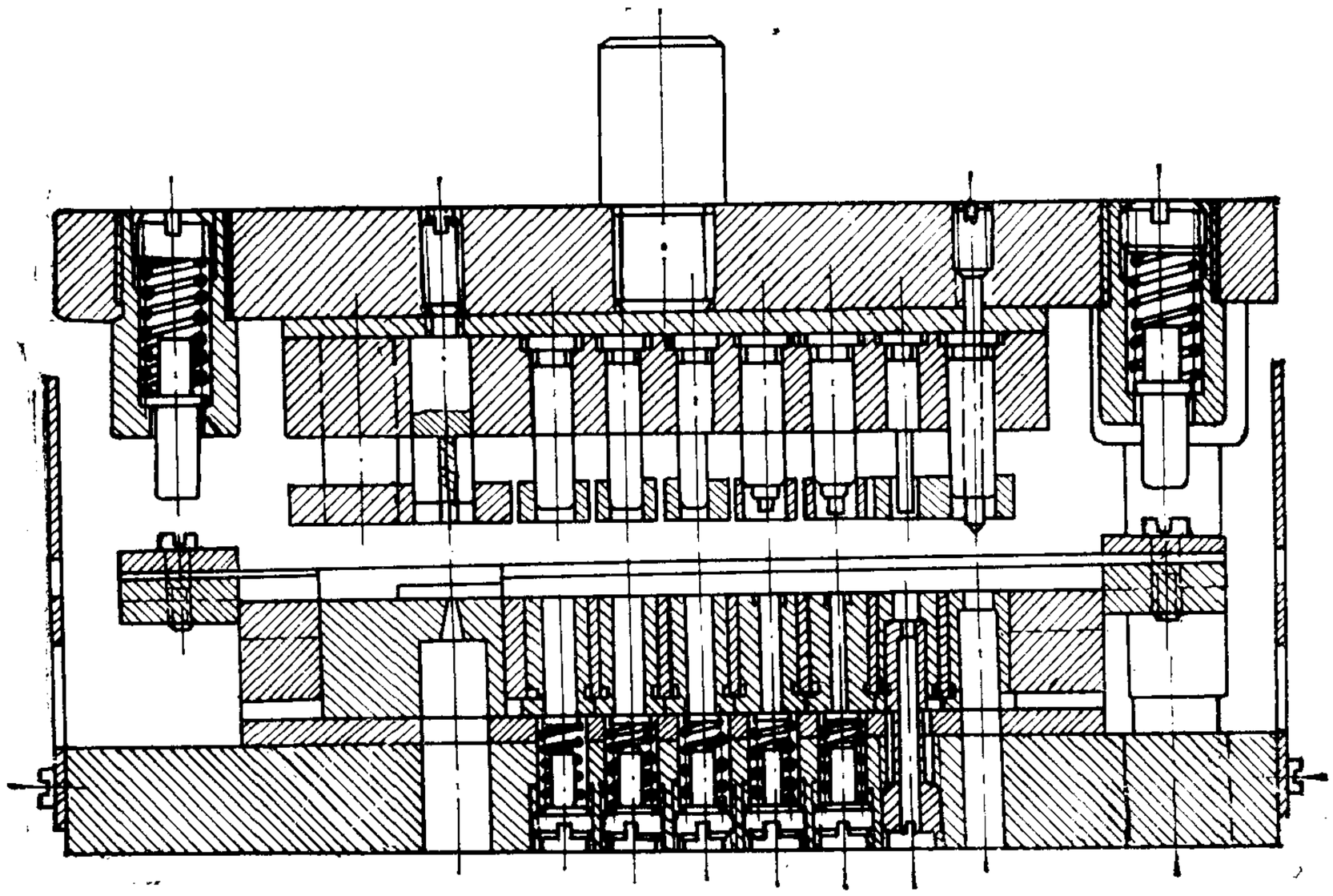


图 5-12　级进拉深模

http://shop62964869.taobao.com/

（四）级进拉深模

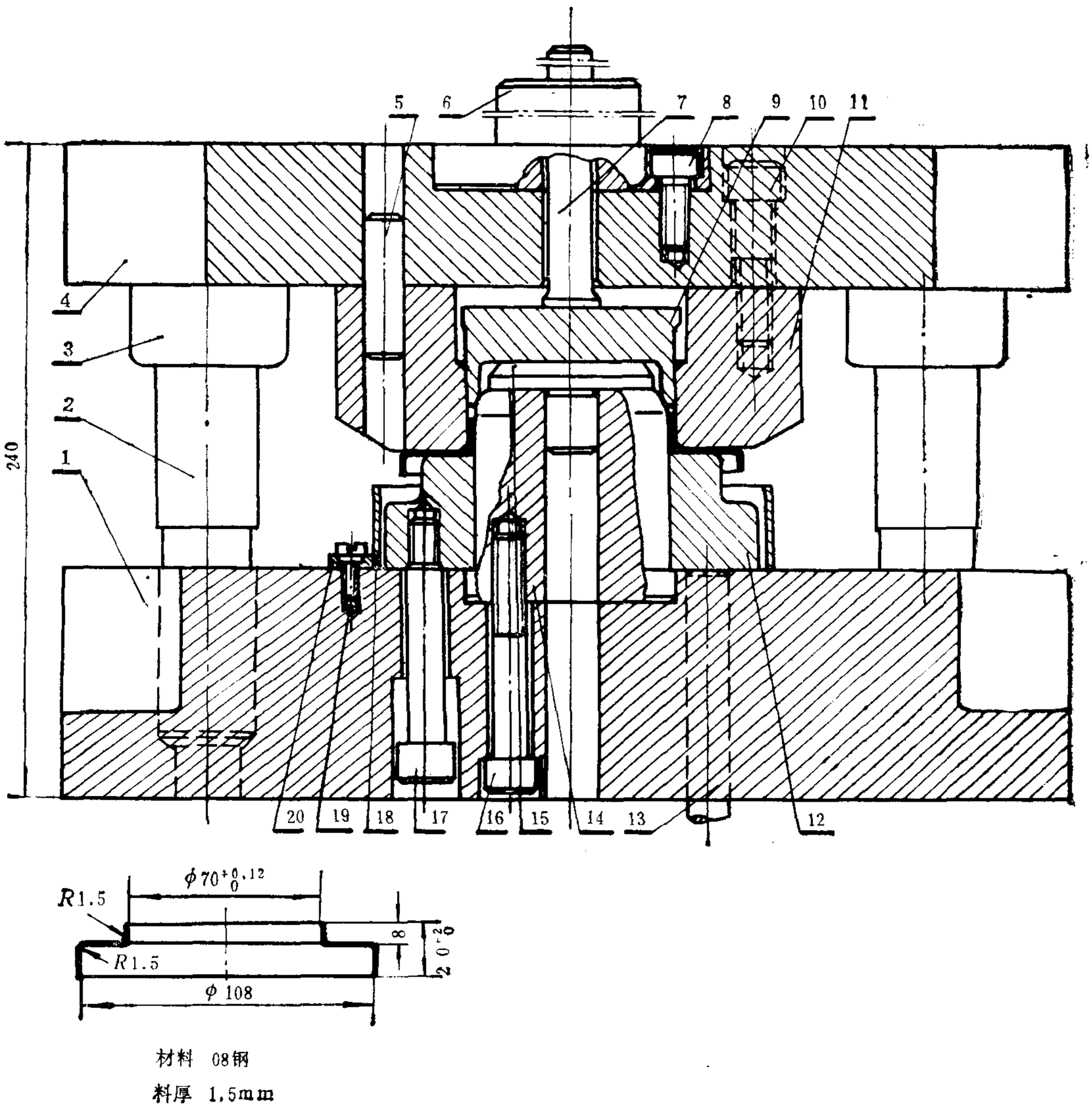
图 5-12 是前面图 3-60 所分析的级进拉深零件的模具图。

级进拉深模主要特点有：

1） 采用自动送料或利用侧刃送料，每一行程，带料被送进一步距。

2） 一般先在带料上切口，以防止带料在各工位成形时相互影响，而制件必在最后工序落料。

3） 导料板要能上能下，上为便于带料送进，下为便于进行冲压工序，而在导料板上顶时，带料上半成品制件也必须从凹模中顶出。



材料 08钢

料厚 1.5mm

图 5-13 翻孔模

1—下模座 2—导柱 3—导套 4—上模座 6—模柄 7—推杆 9—推出器 11—凹模 12—压料圈 13—托杆 14—凸模 15—定位器

http://shop62964869.taobao.com/

4) 因圆筒形毛坯容易对中入模，所以上模上也可免装导料销，但凸模上应装导正销。

级进拉深模适于中小尺寸拉深件的较大批量生产。

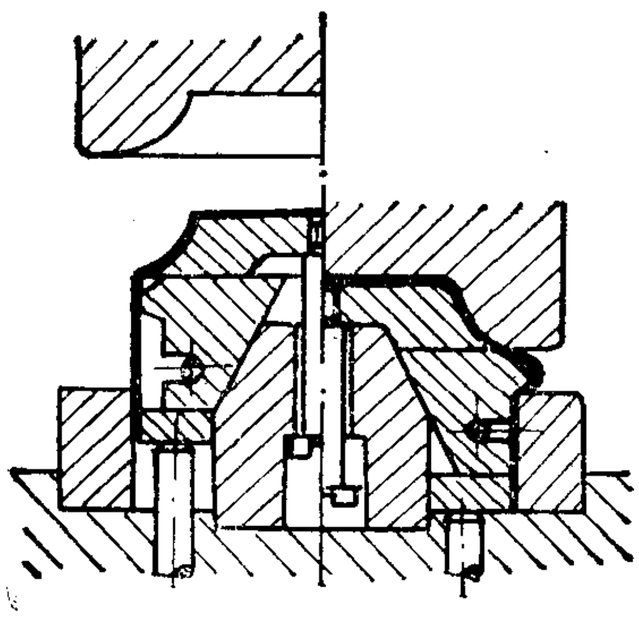
按图示模具结构，带料由左方送入，切口后，依次经五道拉深工序和一道冲孔工序，最后落料。

四、翻孔模

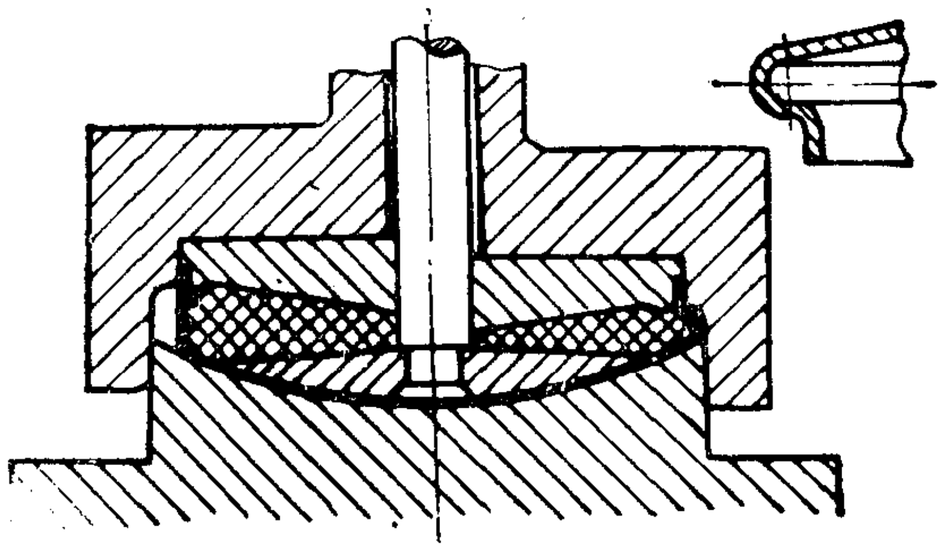
图 5-13 是一典型翻孔模结构。它由气垫得到向上的压料力。

五、胀形模

图 5-14 是表示两种胀形模的工作部分结构示意图。图（a）是由分块凸模构成的机械胀形模，当上模下压时，由中间锥形芯块将凸模外顶而成形，各分块凸模靠其槽内的一圈螺旋弹簧而收拢。这种胀形的缺点是在制件圆周表面不够圆滑而留有小痕迹。图（b）是橡胶(或聚胺酯)胀形模。它以橡胶作凸模，在压力作用下，橡胶变形而使制件沿凹模胀出所需的形状。



(a)



(b)

图 5-14 胀形模示意图

(a) 分块式机械胀形 (b) 橡胶胀形

http://shop62964869.taobao.com/

第六章　冲压零件工艺性和工艺过程的制订

一、冲压零件的工艺性

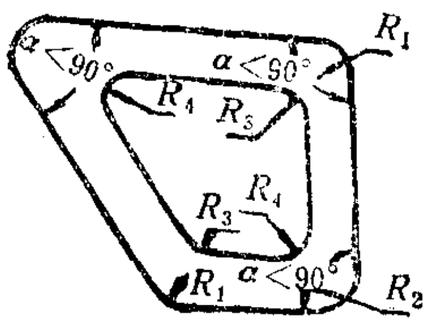
保证零件有较好工艺性，使产品在满足使用条件下，生产工艺过程简便易行，是提高经济效益的一个重要环节。在进行工艺性分析时，首先要掌握好两点：一是全局观点，二是从实际出发。所谓全局观点也就是说不光从单个冲压零件来评价，还应从相关件的关系来考虑。譬如，从原先组合件改为单个冲压件，或者，从原先复杂的冲压件改为简单冲压件构成的焊接组合件，究竟哪个有利？只有从总体上来分析，才能确切评价其经济合理性。所谓从客观实际出发，除了分析零件图，了解零件使用要求、生产批量外，还应对原材料规格、性能和供应情况以及车间可供选用的冲压设备规格等客观条件有一清楚了解。切实掌握好了以上两点，才可能评定现有冲压件产品图纸是否适于冷冲压和是否经济合理以及能否保持质量稳定，并由此作出最后决断。

以下从冲裁、弯曲和拉深各不同工艺来讨论零件的工艺性。

（一）冲裁件的工艺性

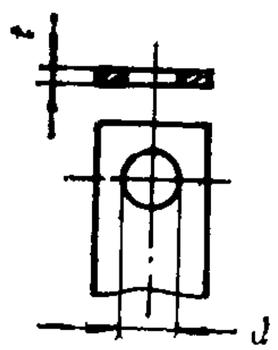
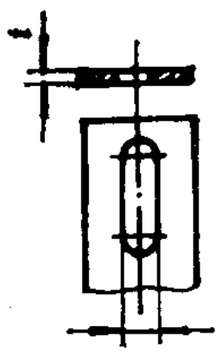
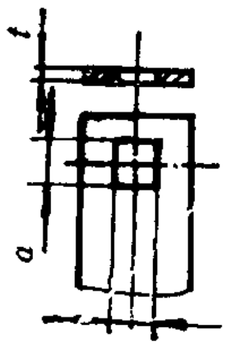
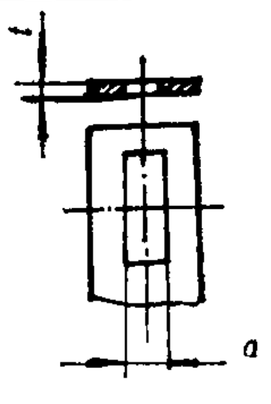
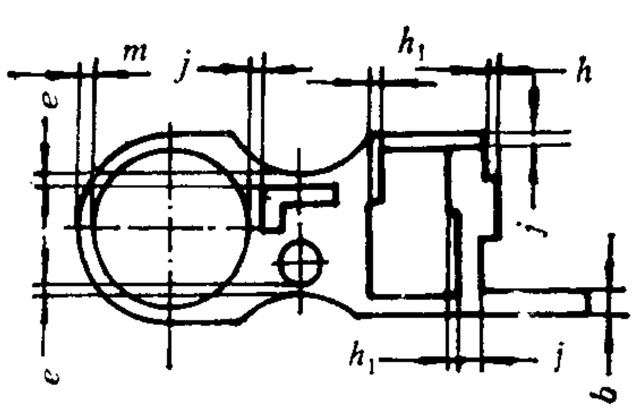
1. 冲裁件的形状和尺寸

表 6-1　冲裁件圆角半径最小值

简　图	冲裁材料		冲裁时的温度状态	冲裁外形（mm）		冲裁内孔（mm）	
				$\alpha\geqslant90°$	$\alpha<90°$	$\alpha\geqslant90°$	$\alpha<90°$
	一般材料		室温	$R_1\geqslant0.25t$	$R_2\geqslant0.5t$	$R_3\geqslant0.3t$	$R_4\geqslant0.6t$
	镁合金	MB1、MB3、MB8	室　温	$R_1\geqslant0.4t$	$R_2\geqslant0.6t$	$R_3\geqslant0.5t$	$R_4\geqslant0.7t$
		MB1、MB3、MB8	260～320℃	$R_1\geqslant0.3t$	$R_2\geqslant0.5t$	$R_3\geqslant0.4t$	$R_4\geqslant0.6t$
	钛合金	TA2、TA3、TC1	室　温	$R_1\geqslant0.7t$	$R_2\geqslant0.9t$	$R_3\geqslant0.8t$	$R_4\geqslant t$
		TC2、TA6、TC3		$R_1\geqslant1.5t$	$R_2\geqslant2t$	$R_3\geqslant1.7t$	$R_4\geqslant2.2t$
		全部钛合金	300～400℃	$R_1\geqslant0.5t$	$R_2\geqslant0.7t$	$R_3\geqslant0.6t$	$R_4\geqslant0.8t$

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-2　冲裁件的极限尺寸

类型	凸模所处的状态	冲裁材料		冲裁时的温度状态										
					d	a			b	h	h_1 | j	m	e	
单工序冲裁时	无导向护套	钢 $\tau>700$ MPa		室温	$\geqslant 1.5t$	$\geqslant 1.35t$	$\geqslant 1.1t$	$\geqslant 1.2t$	$\geqslant 1.9t$	$1.6t$	$\geqslant 1.4t$	$\geqslant 1.2t$	$\geqslant 1.1t$	
		钢 $\tau=400\sim700$MPa			$\geqslant 1.3t$	$\geqslant 1.2t$	$\geqslant 0.9t$	$\geqslant t$	$\geqslant 1.7t$	$1.4t$	$\geqslant 1.2t$	$\geqslant t$	$\geqslant 0.9t$	
		钢 $\tau<400$ MPa			$\geqslant t$	$\geqslant 0.9t$	$\geqslant 0.7t$	$\geqslant 0.8t$	$\geqslant 1.5t$	$1.2t$	$\geqslant t$	$\geqslant 0.8t$	$\geqslant 0.7t$	
		黄铜、铜			$\geqslant 0.9t$	$\geqslant 0.8t$	$\geqslant 0.6t$	$\geqslant 0.7t$	$\geqslant 1.3t$	$\geqslant t$	$\geqslant 0.8t$	$\geqslant 0.6t$	$\geqslant 0.5t$	
		铝、锌			$\geqslant 0.8t$	$\geqslant 0.7t$	$\geqslant 0.5t$	$\geqslant 0.6t$						
		纸胶板、布胶板			$\geqslant 0.7t$	$\geqslant 0.6t$	$\geqslant 0.4t$	$\geqslant 0.5t$	$\geqslant 1.1t$	$\geqslant 0.8t$	$\geqslant 0.6t$	$\geqslant 0.4t$	$\geqslant 0.3t$	
		硬纸、纸			$\geqslant 0.6t$	$\geqslant 0.5t$	$\geqslant 0.3t$	$\geqslant 0.4t$						
		镁合金	MB1、MB8		$\geqslant 0.75t$	—								
			MB1、MB8	260～320℃	$\geqslant 0.25\sim0.5t$	—								
		钛合金	TA2、TA3、TC1	室温	$\geqslant t$	$\geqslant 1.2t$								
			TC2、TA6、TC3		$\geqslant 1.75t$	$\geqslant 2t$								
			全部钛合金	300～400℃	$\geqslant 0.75t$	$\geqslant t$								

注：冲小孔时，为避免凸模断裂，凸模与凹模间的间隙 z（见第三章第二节）应乘以系数 K：

当 d 或 $a=(1.5\sim2.0)t$ 时，系数 $K=1.2$

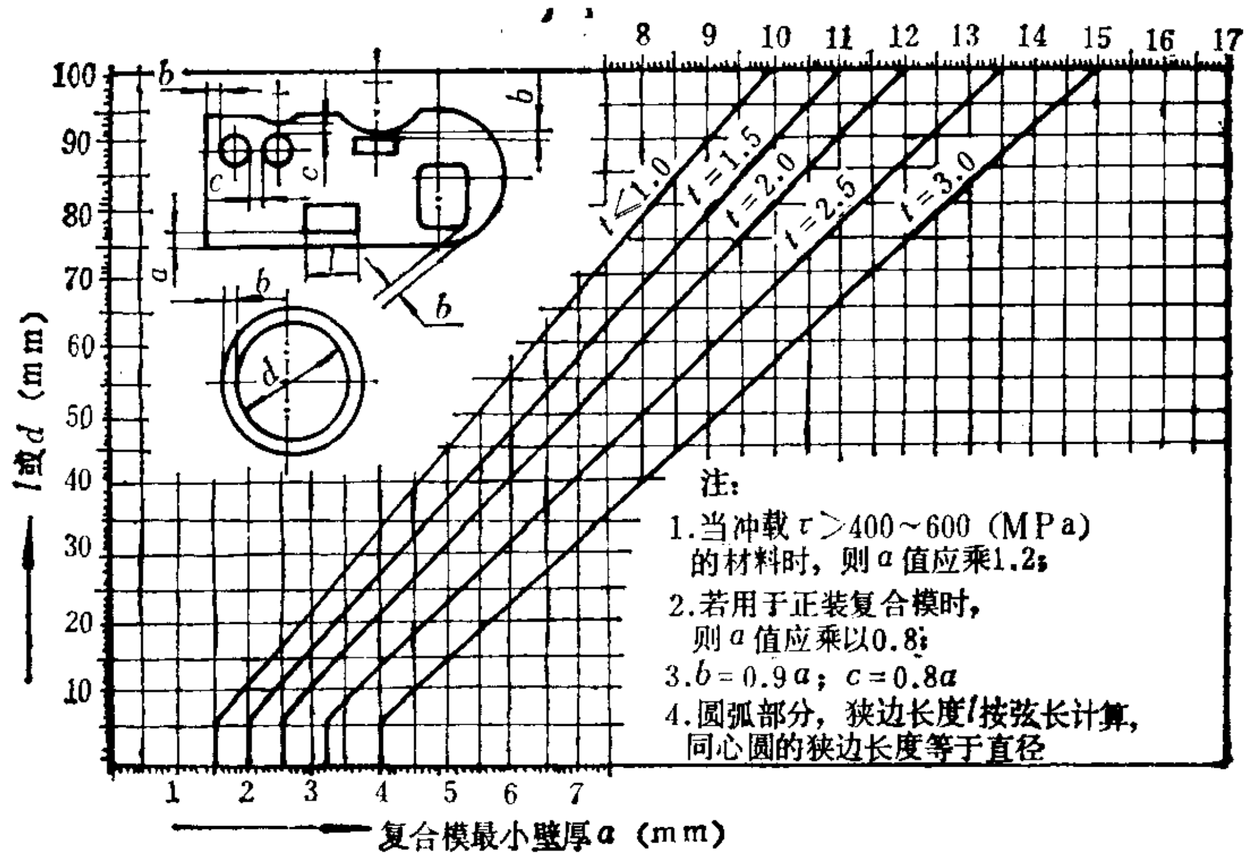
当 d 或 $a<1.5t$ 时，系数 $K=1.4$。

http://shop62964869.taobao.com/

	有导向护套	硬钢	室温	≥0.5t	≥0.4t
		软钢、黄铜		≥0.35t	≥0.3t
		铝、锌		≥0.3t	≥0.28t
		夹纸、夹布胶板		≥0.3t	≥0.25t

复合工序

冲裁时



注：

1. 当冲载 τ＞400～600 (MPa) 的材料时，则 a 值应乘1.2；
2. 若用于正装复合模时，则 a 值应乘以0.8；
3. $b=0.9a$；$c=0.8a$
4. 圆弧部分，狭边长度 l 按弦长计算，同心圆的狭边长度等于直径

http://shop62964869.taobao.com/

(1) 冲裁件的形状

应尽量简单、对称，并考虑其有无采用少废料或无废料排样的可能(见图 6-1)。

图 6-1　少废料冲裁排样

(2) 冲裁件圆角半径的最小值

在用有废料排样进行冲裁时，应考虑冲裁件外形（或内孔)的圆角过渡，避免尖角，还应避免悬臂和窄槽，以便于模具加工和提高寿命。表 6-1 为冲裁件圆角半径最小值。

(3) 冲裁件上的一些极限尺寸

单工序冲裁时，零件上凸出悬壁和凹槽尺寸、最小冲孔尺寸以及用复合工序冲裁时的极限尺寸及最小壁厚见表 6-2。

冲圆孔的最小孔径，一般来说，对冲裁延展性较好软质材料，取与板厚相等；对硬钢和不锈钢等硬质材料，可取板厚的两倍。

(4) 零件端头圆弧尺寸 R(见图 6-2a)

在有废料冲裁时，为便于加工凹模，以取等于废料宽的 1/2 为好；但若采用两侧无废料排样，为考虑材料宽度上偏差，以取大于料宽的 3/4 为好(见图 6-2b)。

(5) 成形件上冲孔时的位置尺寸

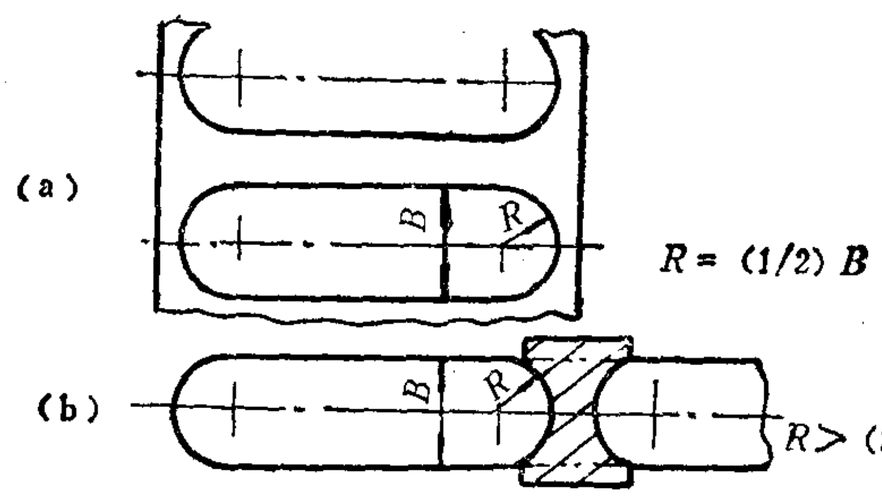


图 6-2　冲压件端头圆弧尺寸

(a) 有废料冲裁时，$R = B/2$　(b) 两侧无废料冲裁时，$R>(3/4)B$

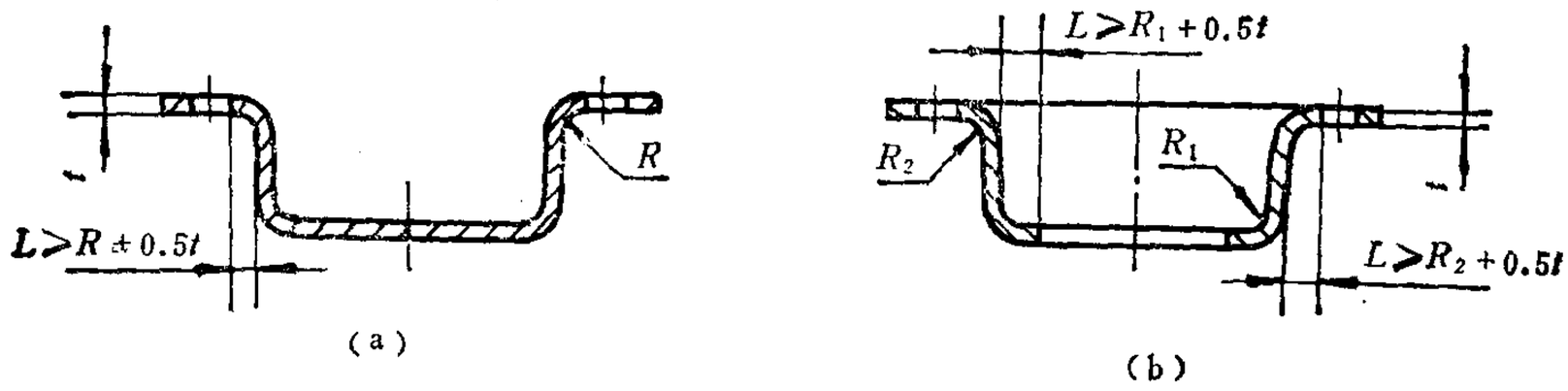


图 6-3　在成形件上冲孔的边距尺寸

(a) 弯曲件上冲孔　(b) 拉深件上冲孔

在成形件(弯曲件、拉深件等)上冲孔时，其孔到边缘的距离尺寸，应符合图 6-3 所示。

2. 冲裁件的精度和剪断面的表面粗糙度

冲裁件精度与冲模制造精度间关系见表 6-3。一般冲裁件内、外形所能达到的经济精度见表 6-4。

冲裁件外径尺寸的极限偏差("－"值)、冲孔尺寸的极限偏差("＋"值)、孔间距离的极限偏

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-3　冲裁件精度与冲模制造精度间关系

模具精度	材料厚度 t(mm)											
	0.5	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
IT6～7	IT8	IT8	IT9	IT10	IT12	—	—	—	—	—	—	—
IT7～8	—	IT9	IT10	IT10	IT12	IT12	IT12	—	—	—	—	—
IT9	—	—	—	IT12	IT12	IT12	IT12	IT12	IT14	IT14	IT14	IT14

表 6-4　冲裁件内外形所能达到的经济精度

材料厚度 t(mm) ＼ 公称尺寸(mm)	≤3	3～6	6～10	10～18	18～500
≤1	IT12、IT13			IT11	
1～2	IT14	IT12、IT13			IT11
2～3	IT14			IT12、IT13	
3～5		IT14			IT12、13

表 6-5　冲裁件外径尺寸的极限偏差　(mm)

材料厚度	一般冲模冲裁				高级冲模冲裁				冲裁后整修		
	冲裁件外形尺寸										
	<10	10～50	50～150	150～200	<10	10～50	50～150	150～200	<10	10～50	50～100
0.2～0.5	0.08	0.10	0.14	0.20	0.025	0.03	0.05	0.08	—	—	—
0.5～1.0	0.12	0.16	0.22	0.30	0.03	0.04	0.06	0.10	0.012	0.015	0.025
1.0～2.0	0.18	0.22	0.30	0.50	0.04	0.06	0.08	0.12	0.015	0.02	0.03
2.0～4.0	0.24	0.28	0.40	0.70	0.06	0.08	0.10	0.15	0.025	0.03	0.04
4.0～6.0	0.30	0.35	0.50	1.00	0.10	0.12	0.15	0.20	0.04	0.05	0.06

注：一般冲模指冲模精度为 IT8 级，高级冲模指冲模精度 IT6～7 级。

表 6-6　冲孔尺寸的极限偏差　(mm)

材料厚度	一般冲模冲裁			高级冲模冲裁			冲裁后整修	
	孔径尺寸							
	<10	10～50	50～150	<10	10～50	50～150	<10	10～50
0.2～1	0.05	0.08	0.12	0.02	0.04	0.08	0.01	0.015
1～2	0.06	0.10	0.16	0.03	0.06	0.10	0.015	0.02
2～4	0.08	0.12	0.20	0.04	0.08	0.12	0.025	0.03
4～6	0.10	0.15	0.25	0.06	0.10	0.15	0.04	0.05

注：同表 6-5 注。

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-7　孔间距离的极限偏差　　(mm)

材料厚度	一般冲模冲裁			高级冲模冲裁		
	中心距离尺寸					
	<50	50～150	150～300	<50	50～150	150～300
<1	±0.1	±0.15	±0.2	±0.03	±0.05	±0.06
1～2	±0.12	±0.20	±0.3	±0.04	±0.06	±0.10
2～4	±0.15	±0.25	±0.35	±0.06	±0.08	±0.12
4～6	±0.2	±0.30	±0.4	±0.08	±0.10	±0.15

注：1．本表数值适用于所指的孔应同时冲出的情况。
2．同表 6-5 注。

表 6-8　冲裁件的角度偏差

冲模精度等级	冲裁件上角度的短边长度（mm）												
	1～3	>3～6	>6～10	>10～18	>18～30	>30～50	>50～80	>80～120	>120～180	>180～260	>260～360	>360～500	>500
	±Δα												
IT6～7	2°30′	2°	1°30′	1°15′	1°	50′	40′	30′	25′	20′	15′	12′	10′
IT8	4°	3°	2°30′	2°	1°30′	1°15′	1°	50′	40′	30′	25′	20′	15′

差以及冲裁件角度偏差等见表 6-5、表 6-6、表 6-7 和表 6-8。

普通金属一般冲裁件剪裂断面的近似表面粗糙度见表 6-9。

表 6-9　冲裁件剪断面的近似表面粗糙度

材料厚度（mm）	～1	>1～2	>2～3	>3～4	>4～5
表面粗糙度 R_a(μm)	3.2	6.3	12.5	25	50
对应旧国标表面光洁度	△5	▽4	▽3	▽2	▽1

按冲裁件的材料性质，经修整后所能达到的表面粗糙度，见表 6-10。

表 6-10　冲裁件整修后所能达到的表面粗糙度

材料名称	黄　铜	软　钢	硬　钢
表面粗糙度 R_a(μm)	0.4	0.4 ～ 0.8	0.8 ～ 1.6
对应旧国标表面光洁度	▽8	▽8～▽7	▽7～▽6

http://shop62964869.taobao.com/

（二）精冲零件的工艺性

1. 精冲件的结构因素

精冲件的结构因素——最小圆角半径、壁厚、边宽，最小冲孔尺寸，冲齿模数等与零件形状、尺寸、材料厚度，材料种类及其机械性能等有关。它直接影响剪切表面质量，零件精度和模具寿命。

按各结构因素和材料厚度，把精冲加工难度分为 S_1、S_2 和 S_3 三类。S_1 为形状简单，可用于精冲抗拉强度约 680MPa 的材料(相当 45 号钢)；S_2 为形状中等的复杂程度，可用于精冲抗拉强度约 520MPa 的材料(相当 20 号钢)；S_3 是形状复杂的，可用于精冲抗拉强度约 420MPa 以下的材料(相当 10 号钢)。

以下以一些图例说明精冲件的结构因素选用方面问题。

(1) 圆角半径

精冲零件应力求避免凸出尖角。因过小的圆角半径会使零件剪切表面上产生撕裂和使模具相应部位因应力集中而严重磨损。

圆角半径大小一般取(参见图 6-4)

$$R_1 = r_1 \qquad R_2 = r_2$$

$$R_2 = 0.6R_1 \qquad r_2 = 0.6r_1$$

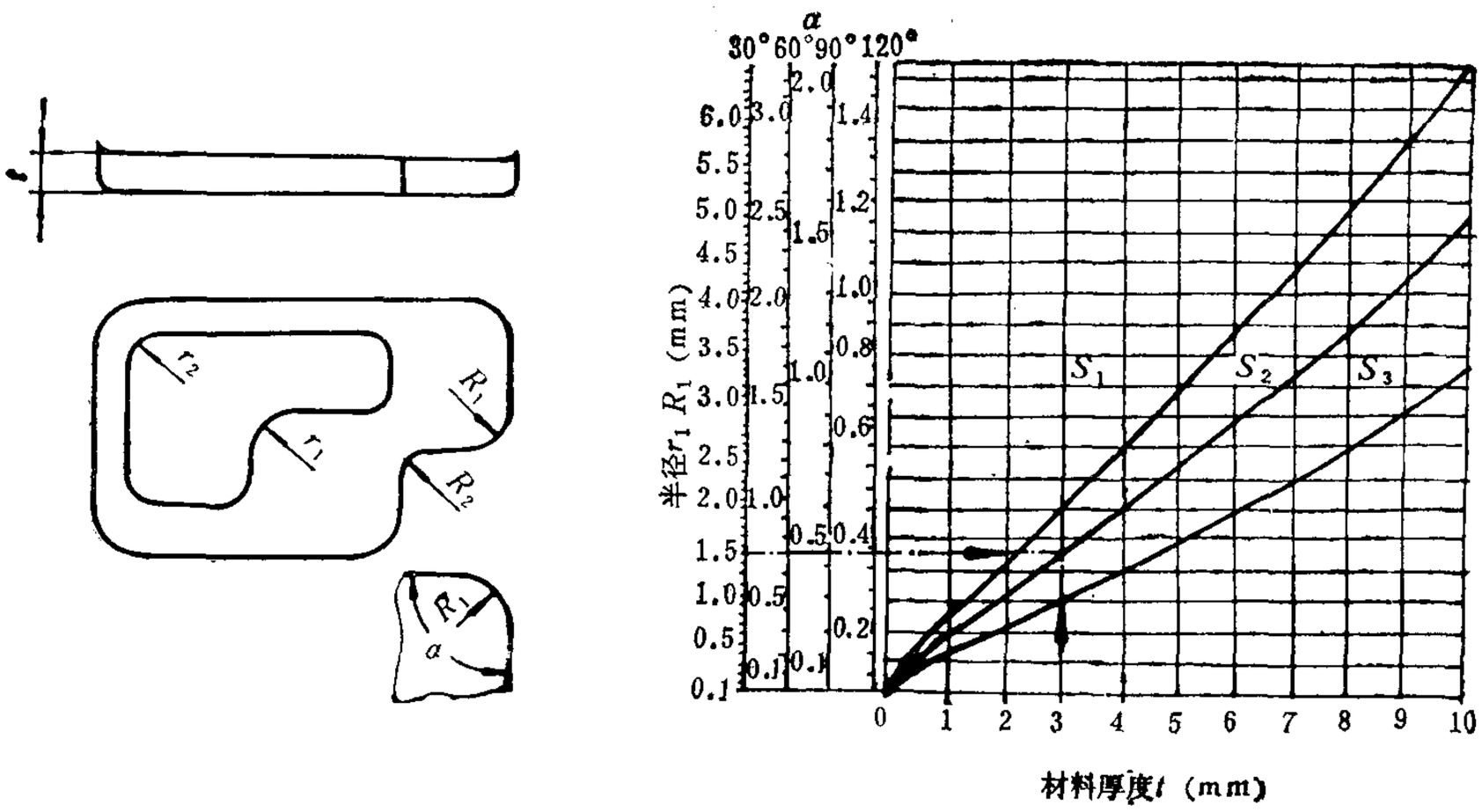


图 6-4　精冲件的圆角半径

利用图 6-4 可核查在一定材料厚度下所选用的圆角半径是否合理，或从已知圆角半径看所选材料是否合理。

阅图示例：已知料厚 $t = 3$mm，制件角度 $\alpha = 30°$，$R_{1\min} = 1.45$

图算结果：制件的加工难度介于 S_2 至 S_3 之间，因而这圆角半径 $R_{1\min}$ 值，如用在 10 号钢（420MPa），则是安全的，如用在 20 号钢最好加大一些。

(2) 环形件壁厚

环形件壁厚一般取 $a = 0.6t$（见图 6-5）。

http://shop62964869.taobao.com/

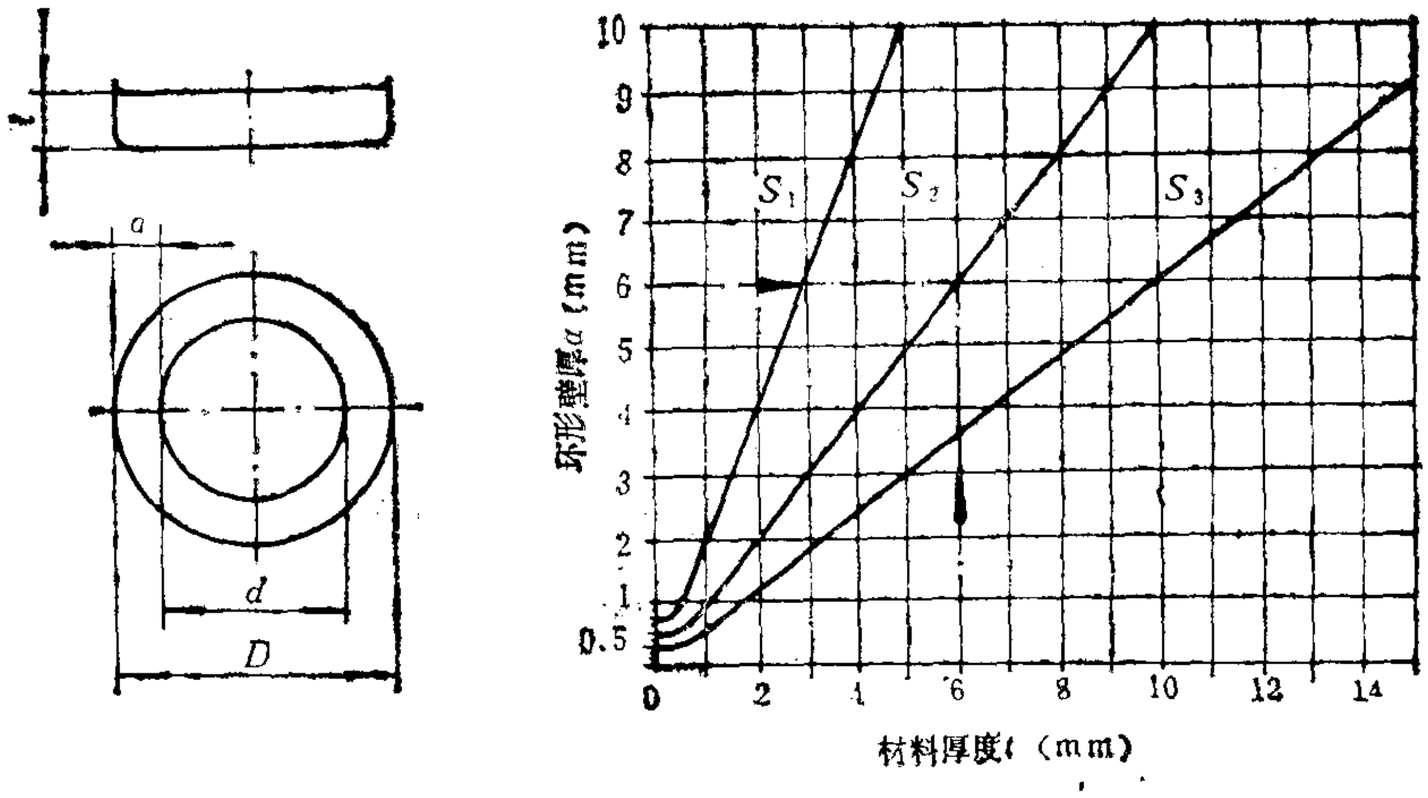


图 6-5　精冲环形件壁厚

阅图示例：已知 $t = 6\text{mm}, a = 6\text{mm}$

图算结果：零件加工难度介于 $S_2 \sim S_3$ 之间，如冲 10 号钢，a 值是可以的，冲 20 号钢则嫌小一些。

(3) 孔径与孔边距

最小孔径一般取 $d = 0.6t$，孔边距 $a = 0.6t$（见图 6-6）。

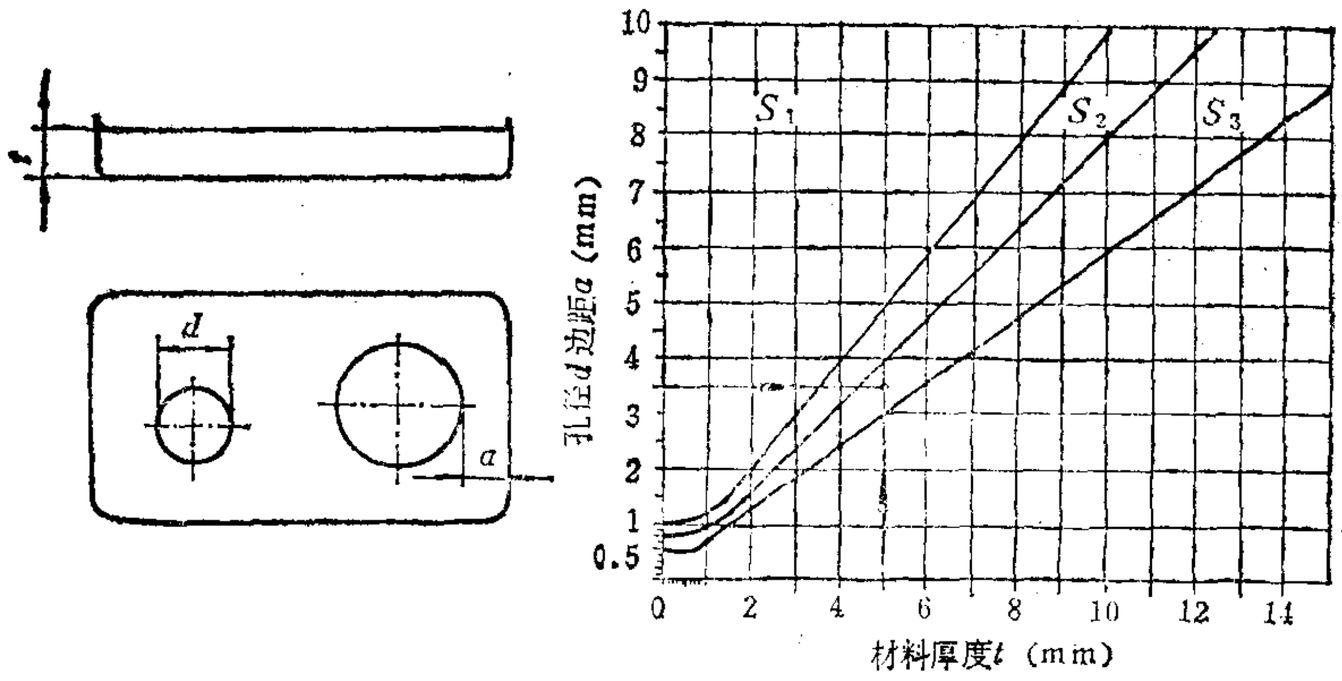


图 6-6　精冲件孔径及孔边距

阅图示例：已知 $t = 5\text{mm}$，最小孔径 $d_{\min} = 3.5\text{mm}$，最小孔边距 $a_{\min} = 3.5\text{mm}$。

图算结果：在 S_3 难度，所以只适用于 10 号钢精冲。

最小孔径的理论计算可参照式(4-2)，由冲孔凸模上允许承受的最大压应力来校核，可得

$$\frac{d}{t} = \frac{4\tau}{[\sigma_c]} \tag{6-1}$$

式中　τ——抗剪强度，可取 $\tau = 0.9\sigma_b$

$[\sigma_c]$——凸模材料的许用压应力，精冲模有良好导向，$[\sigma_c]$ 可取 2000～3000MPa

[例]　精冲材料为 10 号或 20 号钢，板厚 t 为 5mm，求最小孔径的理论值。

查表 1-24，10 号钢和20号钢的 σ_b 为 350 和 430MPa，$[\sigma_c]$ 取为 2000MPa，则精冲最小孔径 d 各为

http://shop62964869.taobao.com/

$$d_{10} = \frac{4t(0.9\sigma_b)}{[\sigma_c]} = \frac{3.6(5)(350)}{2000} = 3.2\text{mm}$$

$$d_{20} = \frac{4t(0.9\sigma_b)}{[\sigma_c]} = \frac{3.6(5)(430)}{2000} = 3.9\text{mm}$$

所以冲 3.5mm 孔，对 10 号钢偏安全而对 20 号钢则不够安全。

(4) 槽宽及槽边距

最小槽宽度尺寸一般取 $a_{\min} = 0.6t$，$b_{\min} = 0.6t$（见图 6-7）。

阅图示例：已知 $t = 5\text{mm}$，a 或 $b = 4\text{mm}$，$l_{\max} = 48\text{mm}$。

图算结果：零件加工难度为 S_3，即只适用于精冲 10 号钢。

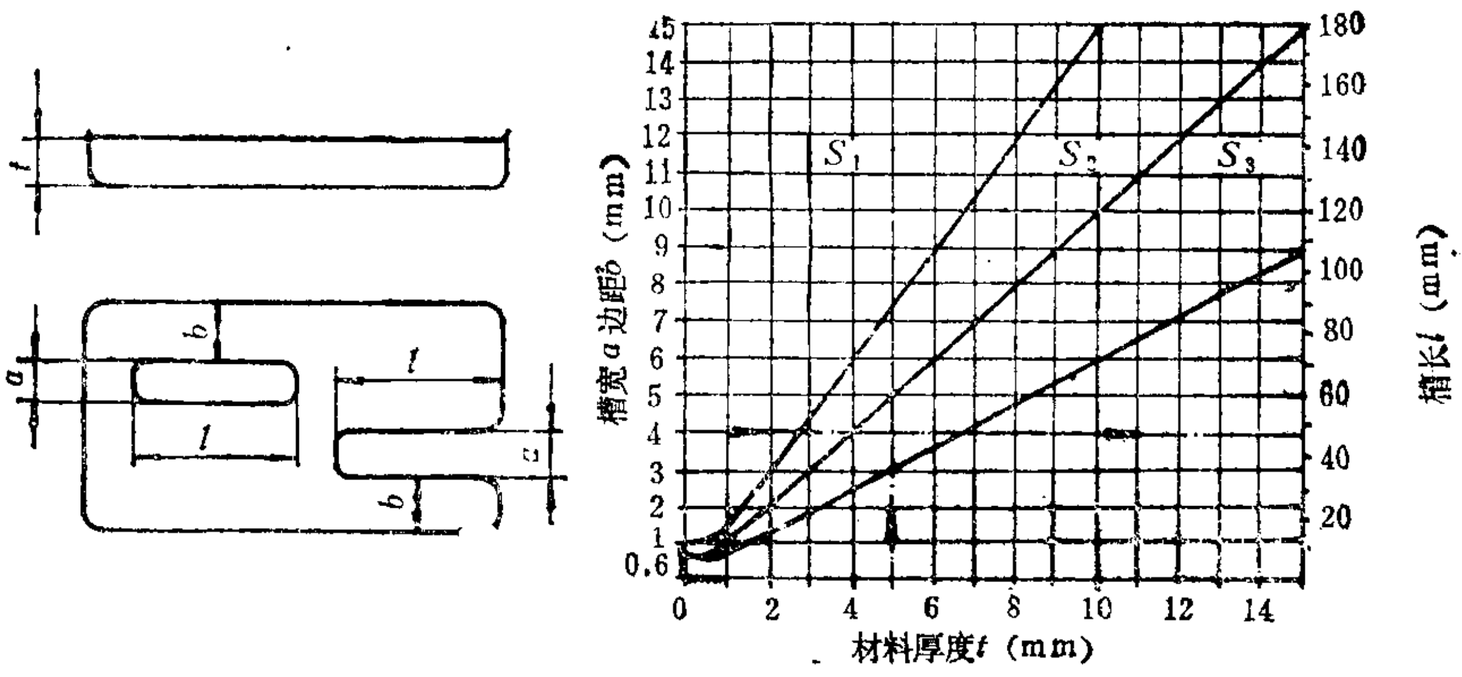


图 6-7　精冲件槽宽及槽边宽

按冲圆孔的计算方法进行理论核算，这里因冲槽凸模上应力分布较冲圆孔更为不利，所以许用压应力适当取较低值（$[\sigma_c] = 1200 \sim 1400\text{MPa}$）

$$[\sigma_c] = \frac{P}{F} = \frac{2lt\tau + 2at\tau}{l_a} = \frac{2t\tau(l+a)}{la}$$

即

$$\frac{a}{t} = \frac{2\tau(l+a)}{[\sigma_c]l} \tag{6-2a}$$

若 $l \gg a$ 时，$\frac{l+a}{l} \approx 1$，则上式可简化为

$$\frac{a}{t} \approx \frac{2\tau}{[\sigma_c]} \tag{6-2b}$$

式中　l——槽长（mm）；

a——槽宽。

其余符号意义同上。

图算法与按式 6-26 估算结果比较，则图算法较偏安全。

(5) 齿模数

用精冲法冲制齿轮时，若节圆上齿厚小于料厚，则凸模齿上承受很高的压应力。因此，对尺寸特别小的齿，凸模上的平均许用压应力 $[\sigma_c]$ 不应超过 1200MPa。同时，还必须考虑弯曲应力对凸模齿的影响，而在极限情况下，可能造成齿根的折断。图 6-8 为精冲齿的一些尺寸参数。

http://shop62964869.taobao.com/

精冲齿形的最小模数m可计算如下

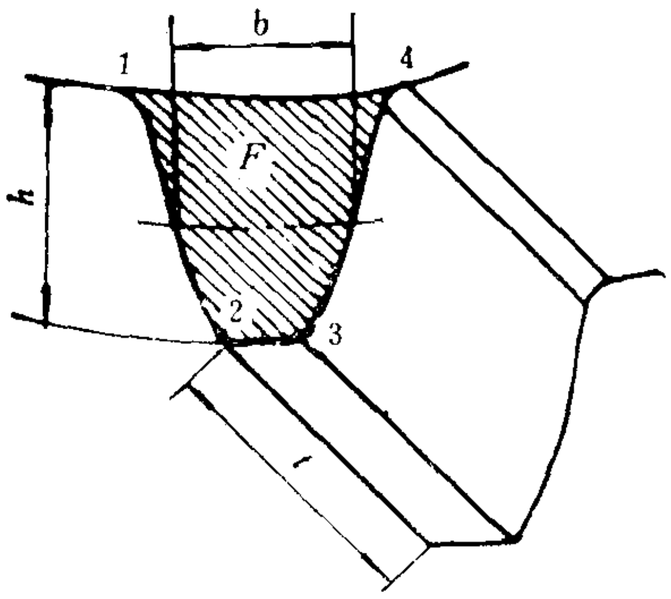


图 6-8　精冲齿的齿形尺寸参数

因 $[\sigma_c] = \dfrac{P}{F} = \dfrac{(2h+b)t\tau}{hb}$

$$= \frac{\left(2 \times 2.16m + \dfrac{\pi m}{2}\right)t\tau}{2.16m\ \dfrac{\pi m}{2}}$$

$$= 1.74\ \frac{t\tau}{m}$$

所以

$$m = 1.74\ \frac{t\tau}{[\sigma_c]} \tag{6-3}$$

式中　P——每个齿上的冲裁力（N）

F——齿形面积，$(F = hb)$(mm^2)；

m——齿轮模数（mm）；

b——齿厚，$\left(b = \dfrac{\pi m}{2}\right)$（mm）；

h——齿高，$h = 2.16m$(mm)

t——材料厚度（mm）；

τ——抗剪强度（MPa），取 $\tau = 0.9\sigma_b$ 或按式(3-11)计算。

利用图 6-9 所示的图示法，也可估计冲制一定材料和厚度的齿形时的最小模数或从最小模数判断材料的选用。

阅图示例：已知 $t = 4.5$mm，最小模数 $m = 1.3$

图算结果：S_3 难度，可精冲 10 号钢。

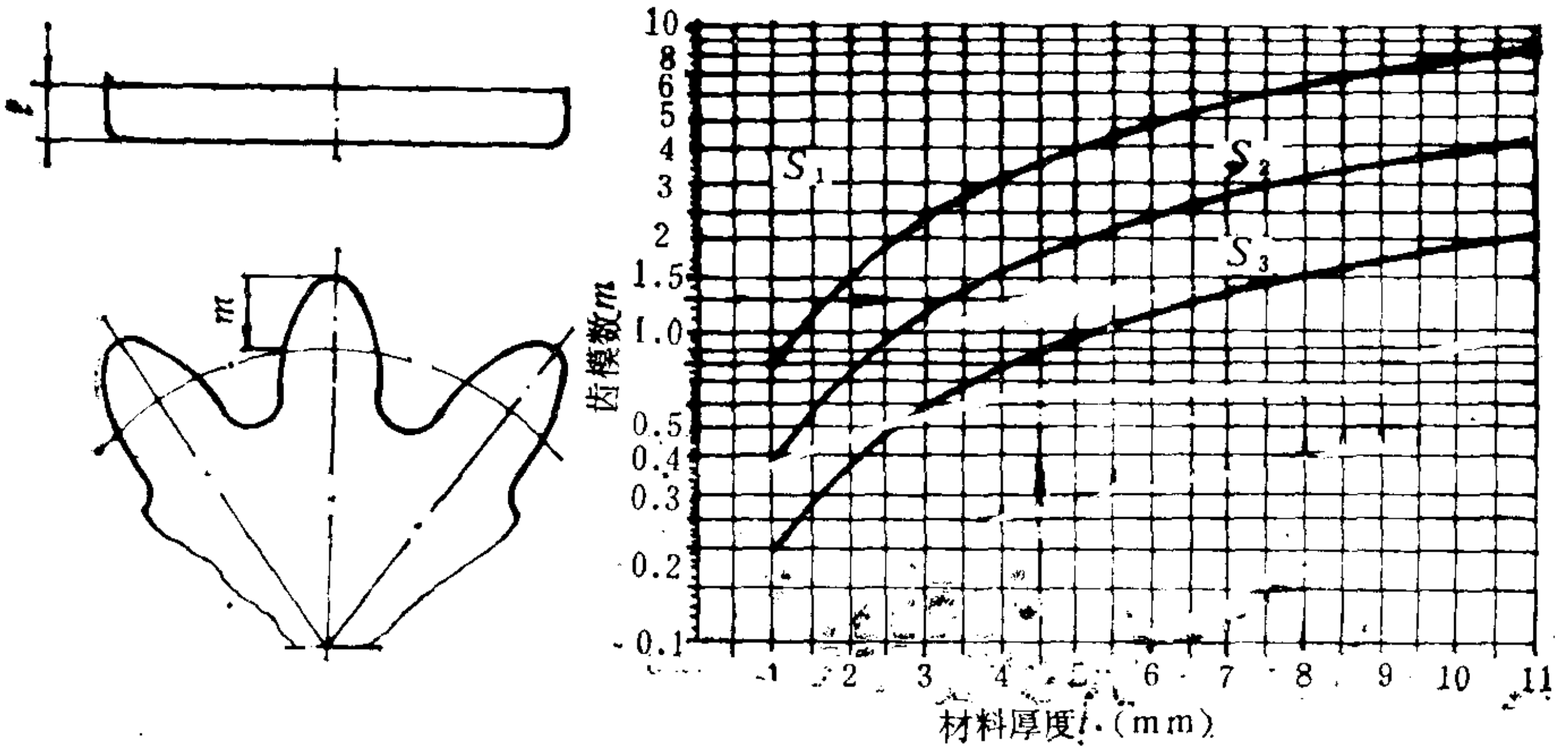


图 6-9　精冲齿形

(6) 悬臂和凸耳

悬臂可按（图 6-7）的最小槽宽确定，但应增大 30～40%，因悬臂在精冲时使凸模受较高侧向应力，影响其寿命。

http://shop62964869.taobao.com/

零件上的凸耳，主要指短而宽的凸起，但突出长度不超过平均宽度的三倍，故与冲齿形相似，其最小宽度的极限值可由图 6-9 中模数 m 计算齿厚 b $\left(b=\frac{\pi m}{2}\right)$ 来选取。

(7) 形状的过渡

精冲件的形状过度应尽可能和缓，如图 6-10 所示。

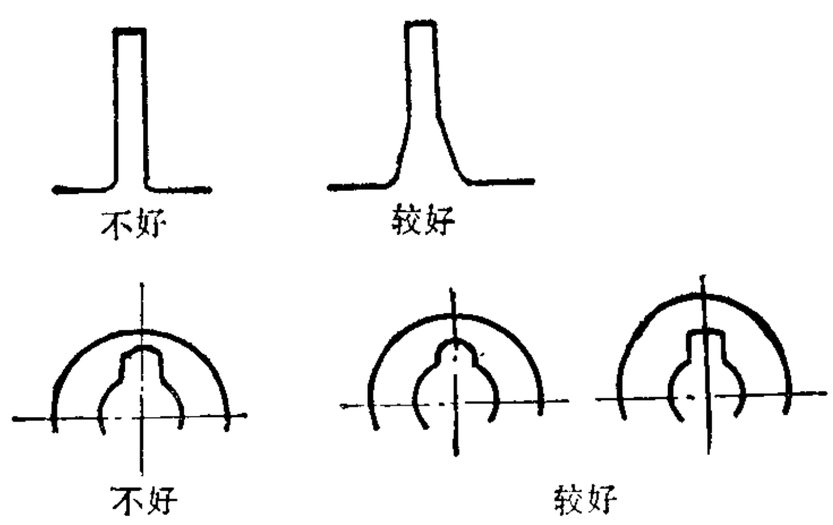


图 6-10　精冲件的过渡形状

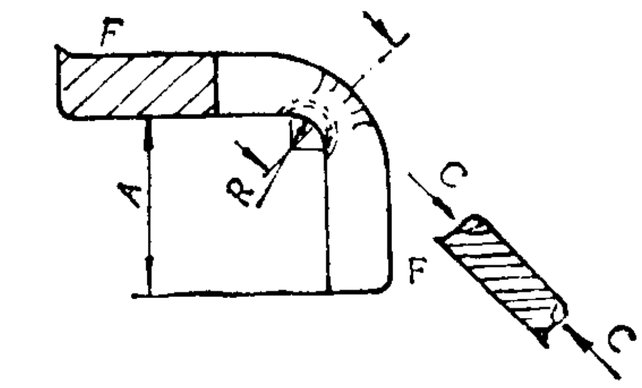


图 6-11　精冲弯曲件

(8) 弯曲

为得到图 6-11 所示的弯曲件，要求在级进模中先进行切口，然后弯曲和落料。

(9) 折弯

如图 6-12 所示，目前一次冲压可得到最大弯形角 $\alpha_{max}=75°$，最大料厚为 6mm，当 $a<t$ 时，仅在凸模和顶件板上制成与折弯零件相适应的形状，而当 $a>t$ 时，凹模和压边圈上也应制成相适应的形状。

图 6-12　折弯件

(10) 沉头孔

除沉孔深度不大外(如 15%t)，一般在级进模进行。视沉头孔的形状和深度，可先压印后冲孔或先冲孔后压印，再精冲孔和落料。

表 6-11　是冲不同锥角 α 沉孔时的极限深度。

(11) 半冲孔

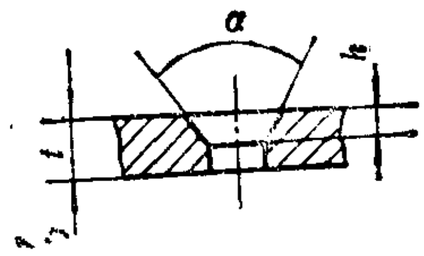
用精冲法半冲孔(见图 6-13)时，材料不在剪切区发生破坏，而是向另一方向流动，压出凸台、凸柱或焊点形状；目的系用以定距、定心或用于铆接、焊接。其中，凹坑与外凸的形状相同，最易成形；凹坑与外凸的形状不同，只在必要时才采用。

(12) 压印

压印可和精冲复合进行。如在塌角面上压印符号、标记和浮雕，则沟槽可取在顶件板上；当在毛刺面压印标记，沟槽可制在凸模或其镶件上。

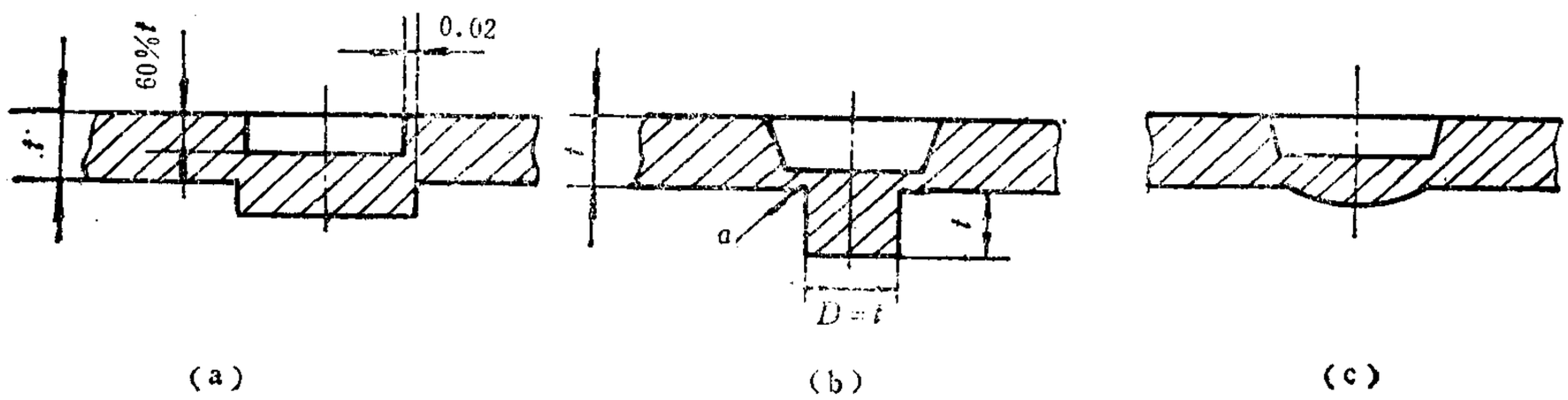
http://shop62964869.taobao.com/

表 6-11　冲不同锥角 α 沉孔时的极限深度

沉孔角度 α	材料抗拉强度 σ_b(MPa)	沉孔深度 h	
90°	600	0.2t	
90°	450	0.3t	
90°	300	0.4t	

注：1．α 角度小于 90° 时，沉孔深度 h 可酌增，α 大于 90° 时 h 可酌减。

2．双面沉孔时用级进模，其深度取单面沉孔的 1/2。



(a)　(b)　(c)

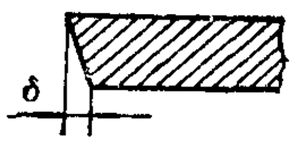
图 6-13　半冲孔

(a) 冲凸台　(b) 冲凸柱　(c) 冲凸焊点

2. 精冲件的尺寸精度和几何精度

精冲件的尺寸精度与零件形状、模具精度和工作状况、料厚、材料的机械性能及其金相组织、润滑条件、设备精度等因素有关。表 6-12 为正常情况下，精冲件的尺寸精度和几何精度

表 6-12　精冲件尺寸精度和几何精度

料厚 t (mm)	公差等级 $\sigma_b \leqslant 500$MPa		公差等级 $\sigma_b > 500$MPa		孔间距 (mm)	100mm 长度上的不平度 (mm)	剪切面倾斜值 δ (mm) 
	内形	外形	内形	外形			
0.5～1	IT6～IT7	IT6	IT7	IT7	±0.01	0.13～0.06	0～0.01
1～2	IT7	IT6	IT7～IT8	IT7	±0.015	0.12～0.055	0～0.014
2～3	IT7	IT6	IT7～IT8	IT7	±0.02	0.11～0.045	0.001～0.018
3～4	IT7	IT7	IT8	IT9	±0.02	0.10～0.04	0.003～0.022
4～5	IT7～IT8	IT7	IT8	IT9	±0.03	0.09～0.04	0.005～0.026
5～6	IT8	IT9	IT8～IT9	IT9	±0.03	0.085～0.035	0.007～0.030
6～7	IT8	IT9	IT8～IT9	IT9	±0.03	0.08～0.035	0.009～0.034
7～8	IT8	IT9	IT9	IT9	±0.03	0.07～0.03	0.011～0.038
8～9	IT8	IT9	IT9	IT9～IT10	±0.03	0.065～0.03	0.013～0.042
9～10	IT8～IT9	IT9	IT9	IT10	±0.035	0.065～0.025	0.015～0.046

注：1．表中 δ 系指外形剪切面的倾斜值，内形的倾斜值小于表中数值。

2．精冲件剪切的表面粗糙度一般可达 1.6▽～0.2▽，精冲件仍有塌角和毛刺，但比一般冲裁件小。

http://shop62964869.taobao.com/

（三）弯曲件的工艺性

弯曲件的结构，应具有良好的工艺性，这样可以大大简化工艺过程，亦可提高弯曲件的精度。

1. 弯曲件的结构

(1) 弯曲件的最小圆角半径

在弯曲过程中，材料的外层纤维受到拉伸应力，当材料厚度一定时，弯曲半径过小；易使弯曲件外层材料出现裂纹，所以弯曲件弯曲半径应选用大一些，最小弯曲半径只在结构上必需时才选用，其值应不小于表 6-13

表 6-13　最小弯曲半径 r_{min}/t 值

材　　料	退火或正火		冷作硬化	
	弯曲线位置			
	与轧纹垂直	与轧纹平行	与轧纹垂直	与轧纹平行
铝	0.1	0.3	0.5	0.8
铜	0.1	0.3	1.0	2.0
黄铜	0.1	0.35	0.4	0.8
08、10	0.1	0.4	0.4	0.8
15、20	0.1	0.5	0.5	1.0
25、30	0.2	0.6	0.6	1.2
35、40	0.3	0.8	0.8	1.5
45、50	0.5	1.0	1.0	1.7
55、60	0.7	1.3	1.3	2.0
不锈钢 Cr18Ni9Ti	1	2	3	4
软性拉铝	1.0	1.5	1.5	2.5
硬性拉铝	2.0	3.0	3.0	4.0
镁合金	加热到 300℃		冷　　态	
MB1	2	3	6	8
MB8	1.5	2	5	6
钛合金				
BT1	1.5	2	3	4
BT5	3	4	5	6
铝合金（$t \leqslant 2$mm）	加热到400～500℃		冷　　态	
	2	3	4	5

注：1. 当弯曲线与纤维轧纹方向成一定角度时，可采用垂直和平行轧纹方向二者的中间值。
2. 在冲裁或剪切后没有退火的毛坯弯曲时，应作为硬化的金属选用。
3. 弯曲时应使有毛刺的一边处于弯角的内侧。
4. 在弯曲超过(8～10)mm 的厚板时，应采用较大弯曲半径。
5. 在弯曲 (1000～2000)mm 宽板时，应比表中值增大 1.5～2 倍，以免产生裂纹。

(2) 弯曲件的直边高度

当弯曲 90° 角时，为了保证工件的弯曲质量，必须使弯曲件的直边高度 H 满足：$H > 2t$。

http://shop62964869.taobao.com/

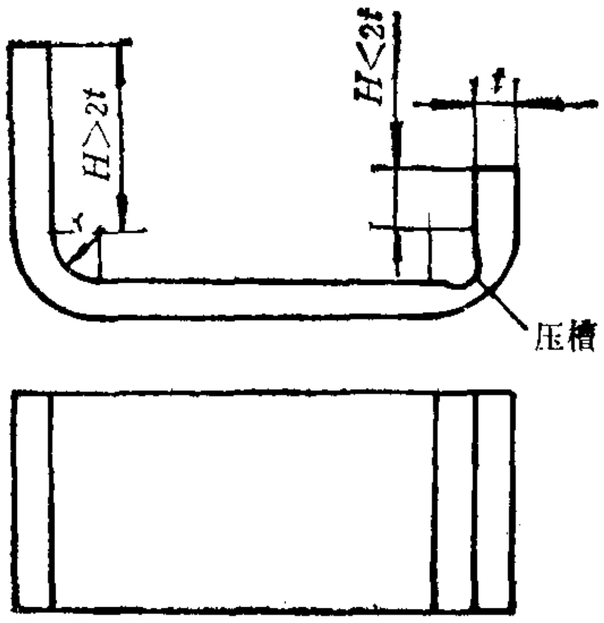


图 6-14　弯曲件的直边高度

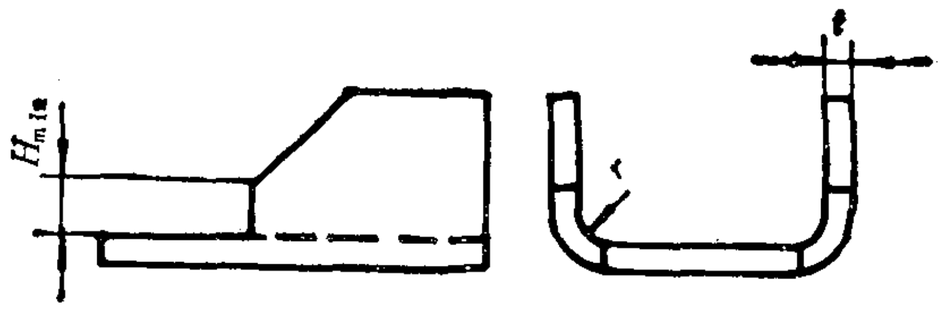


图 6-15　弯曲件侧边的最小高度

若 $H < 2t$（图 6-14），则须预先压槽或加高直边，弯曲后再切掉多余的部分。

当弯曲侧边带有斜角的弯曲件时（图 6-15），侧边的最小高度 H_{min} 为

$$H_{min} = (2 \sim 4)t \text{ 或 } (1.5t + r)$$

（3）弯曲件上孔与弯曲线的距离

当弯曲有孔的毛坯时，如果孔位于弯曲线附近，则弯曲时孔的形状会发生畸变，为此必须使孔处于变形区之外（如图 6-16a），从孔边到弯曲半径 r 中心的距离 L 取为

当 $t < 2\text{mm}$ 时，$L \geqslant t$

当 $t \geqslant 2\text{mm}$ 时，$L \geqslant 2t$

如果孔边至弯曲半径 r 中心的距离过小而不能满足上述条件时，可在弯曲线上冲工艺孔（图 6-16b）以防止满足精度要求的孔在弯曲时变形。

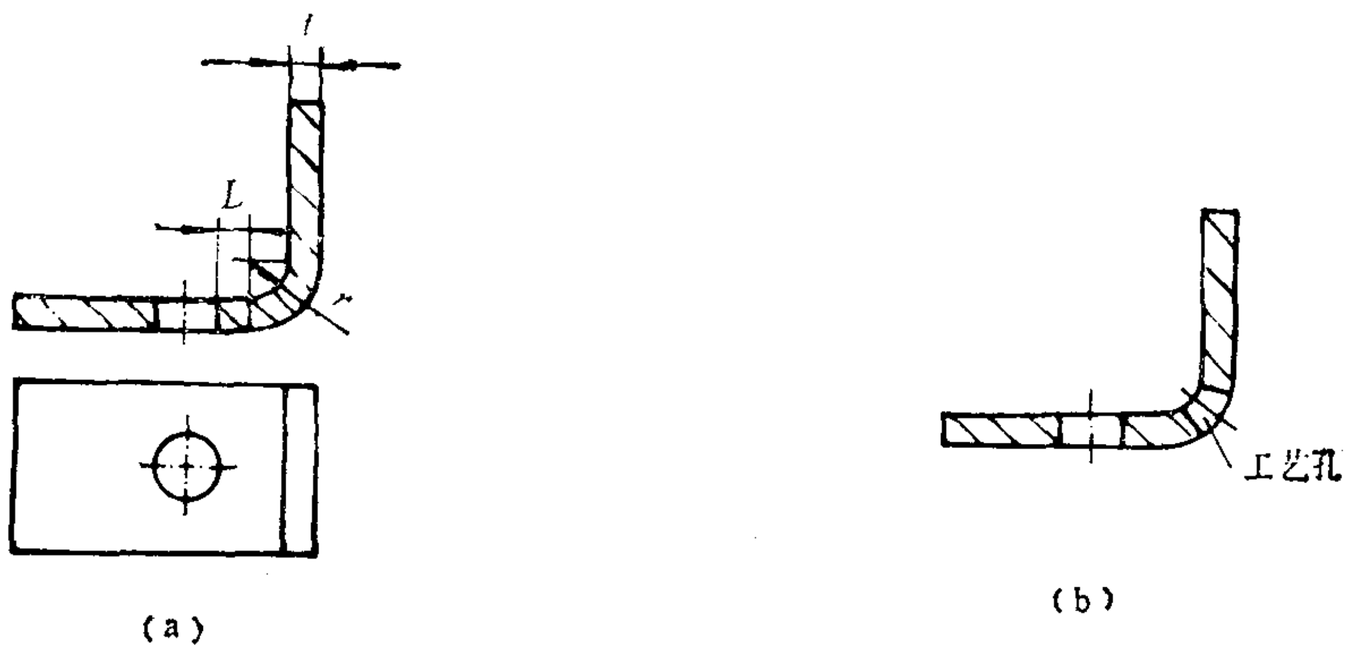


图 6-16　弯曲件上孔与弯曲线的距离

（a）有最小距离 L　（b）因距离过小，在弯曲线上冲工艺孔

（4）增添工艺孔、槽和转移弯曲线位置

如图 6-17 所示的情况，对于局部弯曲某一段边缘时，为了防止尖角处应力集中而产生撕裂，可将开始作圆弧弯曲的弯曲线移动一距离，以使其退出弯曲变形区之外（图 6-17a）或开工艺槽（图 6-17b）或增漆工艺孔（如图 6-17c）。

在图 6-17 中：

弯曲线移动的距离 $b \geqslant r$

http://shop62964869.taobao.com/

工艺槽的宽度 $R = 1.5t$

工艺槽的深度 $L \geqslant t + r + R/2$

工艺孔的直径 $d \geqslant t$

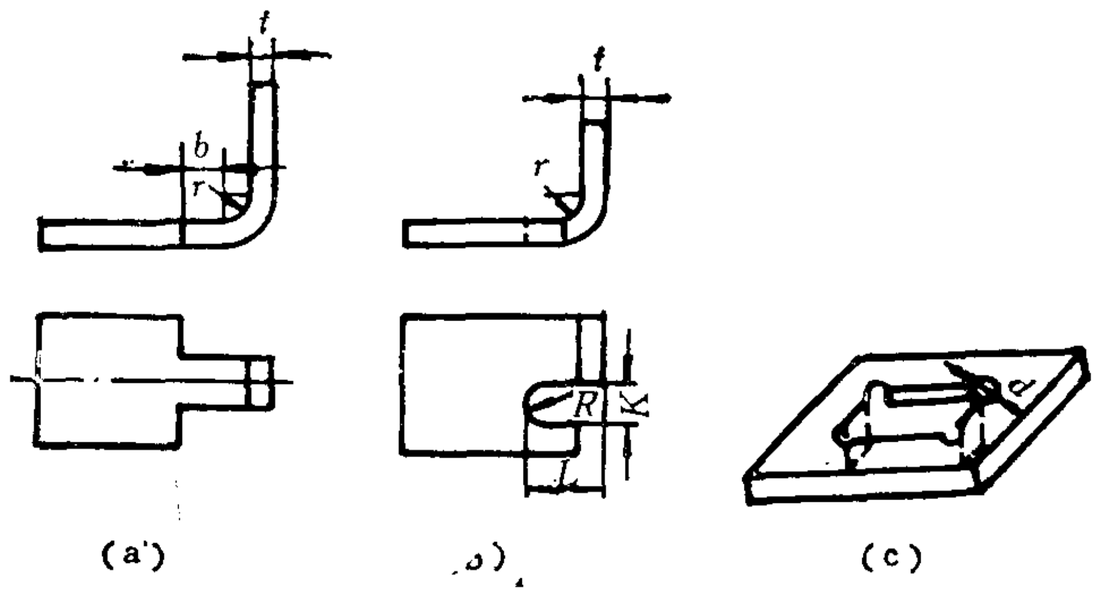


图 6-17 防止尖角撕裂的措施

(a) 弯曲线移动一距离 (b) 开工艺槽 (c) 增添工艺孔

2. 弯曲件的精度

(1) 提高弯曲件冲压精度的措施

为提高冲压件精度应考虑:

1) 合理制订工艺使毛坯在弯曲过程中的定位精度得到保持,或不致产生畸变。

图 6-18 所示为保证弯曲件定位精度的一个示例。

图 6-19 所示说明工序先后对弯曲件精度常有较大影响,该有缺口的弯曲件必须先弯后冲缺口,反之,弯曲时会出现畸变现象,不能保证工件质量。

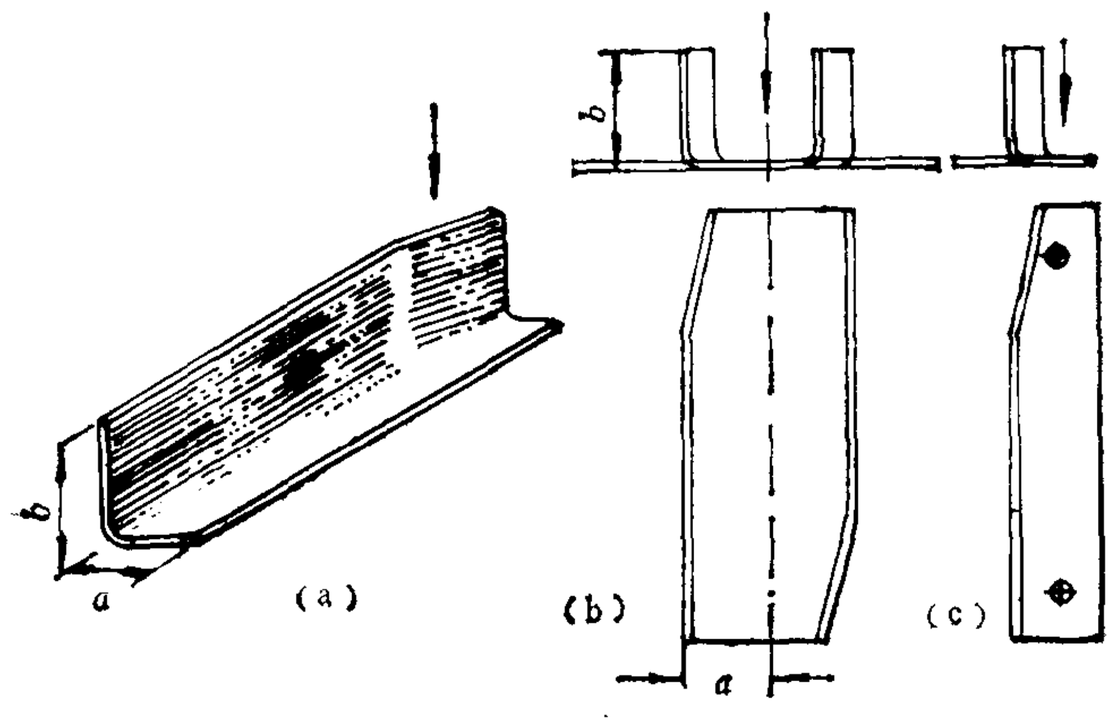


图 6-18 保证弯曲件定位精度示例

(a)弯曲件 (b)成双弯曲 (c)单件弯曲时预冲定位用工艺孔

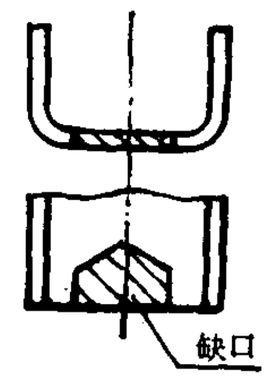


图 6-19 底面有缺口的 U 形弯曲件

先弯后冲缺口

增加弯曲工序数或增加一道整形工序有利于提高弯曲件精度。

2) 防止回弹或对回弹采取补偿(参见第三章)。

3) 合理设计、制造模具,并保持模具精度。

(2) 弯曲件所能达到的各项精度

弯曲件弯曲部分的直线尺寸或直线距离所能达到的精度见表 6-14。

弯曲件圆角半径小于板厚时,角度公差所能达到的精度,见表 6-15。

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-14　弯曲件弯曲部分直线尺寸或直线距离的精度等级

弯曲件直边尺寸 (mm)	料厚（mm）		
	≤1	1～3	3～6
≤100	IT12～13	IT14	IT15
100～200	IT14	IT14	IT15
200～400	IT14	IT15	IT16
400～700	IT15	IT15	IT16

表 6-15　圆角半径小于板厚时弯曲角度的公差

弯曲种类 \ 模具精度	一般	高精度
直角弯曲	±2°	±1°
其他弯曲	±3°	±1.5°

表 6-16　弯曲件直边高度的偏差　　(mm)

模具工作方式	偏　差
无压料板	(0.3～0.4)t
用弹性压料板	(0.05～0.1)t
小件用中心冲头定位	(0.1～0.15)t
大件用孔定位	(0.1～0.20)t

弯曲件直边高度的偏差见表 6-16。

（四）拉深件的工艺性

1. 拉深件的形状与尺寸

（1）拉深形状的确定

设计拉深件时，在满足使用要求下，应尽量形状简单、对称，以利于拉深成形。对半敞开和

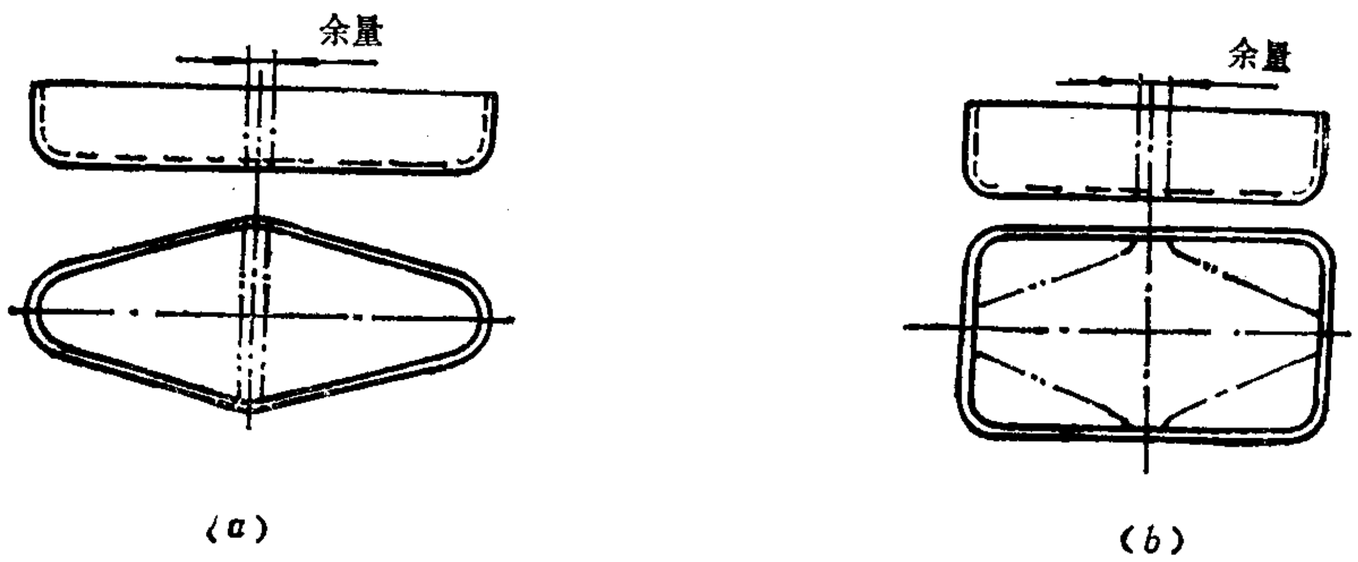


图 6-20　半敞开非完全对称空心件的成形

(a) 对称拉深后切为同样两个制件　(b) 对称拉深后切为四个同样制件

http://shop62964869.taobao.com/

不完全对称的空心件，应预先考虑能否设计成对称拉深，然后将其切开成两个或更多个零件（见图 6-20），以改善成形时受力条件和较易成形。

遇上工件形状比较复杂，有时采用拉深后切离，再焊成一体，较为简便和合理（见图 6-21）。

（2）拉深件的尺寸参数

为减少拉深工序和便于成形，在设计拉深件和制订工艺时，应注意拉深件的一些尺寸参数。

1）无凸缘圆筒形拉深件的 h/d

为能一次拉成，圆筒形件的高度 h 应最好小于或等于（0.5～0.7）d（d 为圆筒部直径）。表 6-17 为几种金属材料无凸缘圆筒形件一次拉深所允许的最大相对拉深深度 h/d。当 h/d 大于表中所列数值时，就应采用多次拉深工序来进行。

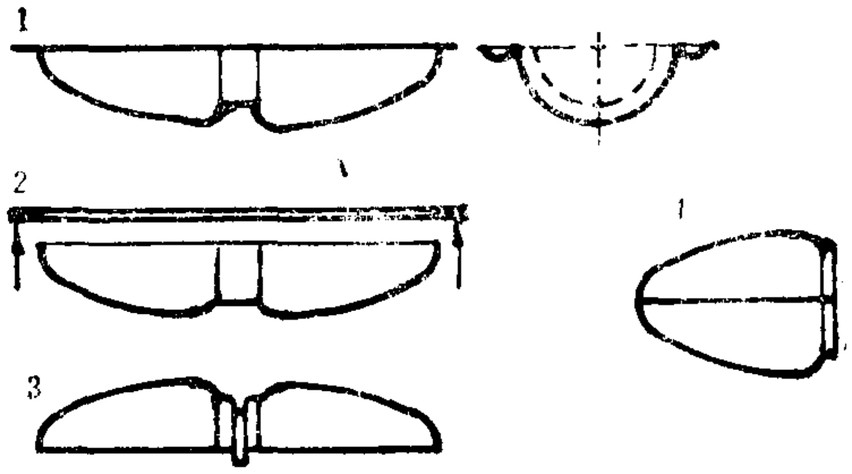


图 6-21　复杂成形件拉深后切离，再焊成一体
1—拉深 2—切边 3—切离 4—焊接

表 6-17　几种金属材料无凸缘圆筒形件一次拉深的相对深度

材料名称	相对拉深深度 h/d
铝	0.73～0.75
硬铝	0.60～0.65
黄铜	0.75～0.80
软钢	0.68～0.72

2）有凸缘圆筒形拉深件的 h/d 和 d_f/d

由有凸缘圆筒形件（见图 3-33）拉深系数的表达式

$$m = \frac{d}{D} = \frac{d}{\sqrt{d_f^2 + 4dh - 3.44dr}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d_f}{d}\right)^2 + 4\frac{h}{d} - 3.44\frac{r}{d}}} \tag{6-4}$$

可知：拉深系数 m 与凸缘的相对直径 d_f/d 零件相对高度 h/d 和相对圆角半径 r/d 有关。其中，d_f/d 的影响最大，r/d 的影响最小。d_f/d 和 h/d 越大，则变形区宽度越大，拉深难度越大。当 d_f/d 和 h/d 值超过某一界限时，便需多次拉深。第一次拉深可能达到的 d_f/d 和 h/d 值，可由图 6-22 左边的曲线查出。如果由零件的 h/d 与和 d_f/d 所决定的点位于曲线下侧，则可一次拉深成形；如位于曲线上侧，则需多次拉深。图中曲线，系假定 $r = 0$ 得出，如 r 较大时，则由图中曲线所示的成形限度还可适当放宽。

3）矩形盒件的 r/B

由 r/B 比值的不同，矩形盒件一次拉深的最大深度 H_{max} 见表 6-18。

4）拉深件的圆角半径

拉深件最好采用较大的圆角半径，以有利于成形和减少拉深次数，且可无需增加整形工序。

http://shop62964869.taobao.com/

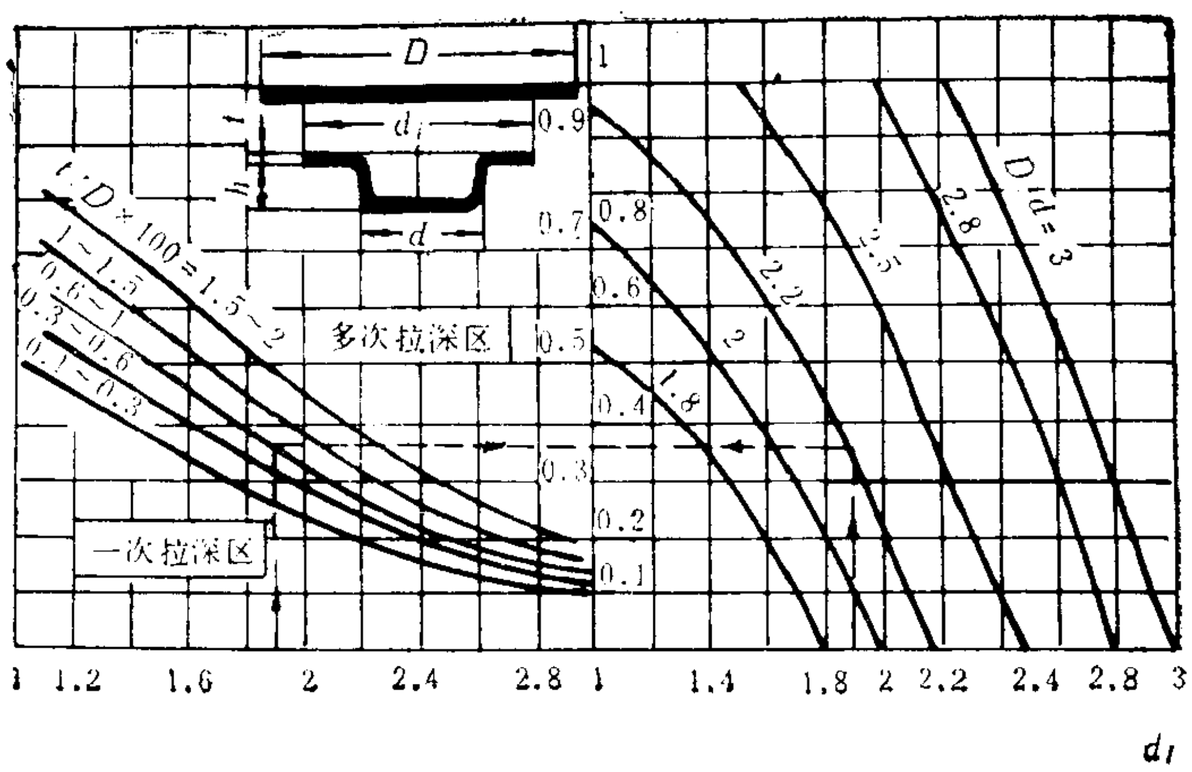


图 6-22　有凸缘圆筒形件拉深用计算曲线

表 6-18　矩形盒件一次拉深的最大深度 H_{max}　　(mm)

r/B	H_{max}
≤0.05	(0.4～0.6)B
0.1～0.2	(0.8～0.9)B
0.2～0.3	(0.9～1.0)B

注：1．表内符号：　r——壁与壁间的圆角半径；　B——短边宽度。

2．表中数值系对 0.8～1mm 厚 10 号钢等软钢而言。

拉深件凸缘与壁间的圆角半径 r_d、底与壁间底角半径 r_b 以及矩形盒件壁与壁间的圆角半径 r 应满足(见图 6-23)

$r_d \geqslant 2t$；　$r_b \geqslant t$；$r \geqslant 3t$

一般取：　$r_d = (5\sim10)t$

$r_b = (3\sim5)t$

而尽可能取：$r > (1/5)h$，以便能一次拉成。若不能满足 $r_d \geqslant 2t$，$r_b \geqslant t$ 和 $r \geqslant 3t$ 条

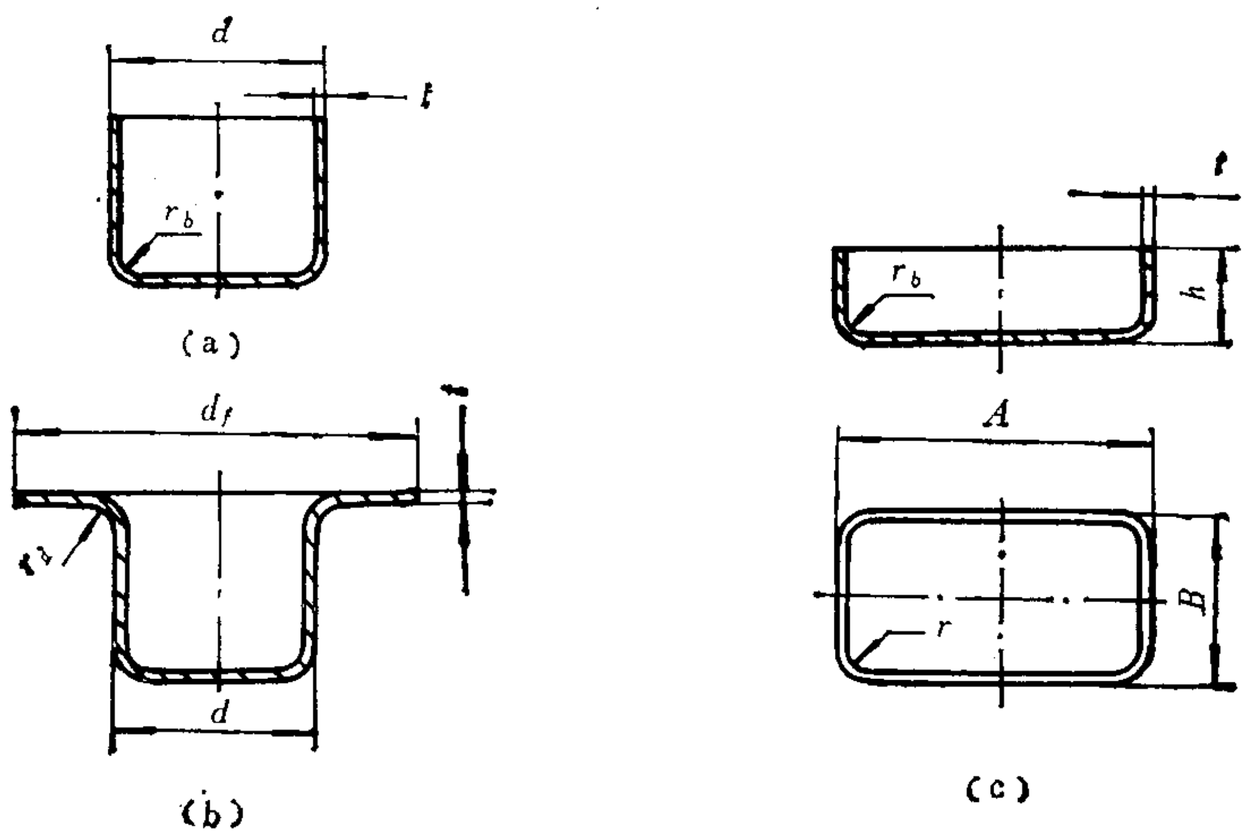


图 6-23　拉深件的圆角半径

http://shop62964869.taobao.com/

件，则要增加整形工序。

2. 拉深件的精度

对拉深件的尺寸精度不宜要求过高。表6-19为用一般精度拉深模，无凸缘圆筒形拉深件直径的极限偏差，对有凸缘圆筒形拉深件因回弹量减少，约为表内右面整形后数值。表 6-20 为无凸缘圆筒形拉深件高度的极限偏差。表 6-21 为有凸缘圆筒形拉深件高度的极限偏差。在一般情况下，设计拉深件的精度不宜超过这些表内所列数值。

表 6-19　无凸缘圆筒形拉深件直径的极限偏差（$\%d$）

拉深系数	当 $(t/D)\times100(\%)$ 首次拉深			当 $(t/D)\times100(\%)$ 整形		
	0.1～0.3	0.3～1.0	1.0～2.0	0.1～0.3	0.3～1.0	1.0～2.0
0.5	—	0.7	0.6	—	0.3	0.25
0.6	0.7	0.6	0.5	0.3	0.25	0.20
0.7	0.6	0.5	0.4	0.25	0.20	0.16
0.8	0.5	0.4	0.3	0.2	0.16	0.12

表 6-20　无凸缘圆筒形拉深件高度的极限偏差　（mm）

材料厚度	拉深件高度						
	<18	18～30	30～50	50～80	80～120	120～180	180～200
<1	±0.5	±0.6	±0.8	±1.0	±1.2	±1.5	±1.8
1～2	±0.6	±0.8	±1.0	±1.2	±1.5	±1.8	±2.0
2～4	±0.8	±1.0	±1.2	±1.5	±1.8	±2.0	±2.5
4～6	±1.0	±1.2	±1.5	±1.8	±2.0	±2.5	±3.0

表 6-21　有凸缘圆筒形拉深件高度的极限偏差　（mm）

材料厚度	拉深件高度						
	<18	18～30	30～50	50～80	80～120	120～180	180～200
<1	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.8	±1.0	±1.2
1～2	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.9	±1.2	±1.4
2～4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8	±1.0	±1.4	±1.6
4～6	±0.6	±0.7	±0.8	±0.9	±1.2	±1.6	±1.8

拉深件由于各处变形不均匀，上下壁厚变化可达 $1.2t$ 至 $0.75t$，上部壁厚增厚，下部接近圆角半径处减薄。如要求壁厚较严，对于无凸缘圆筒形拉深件，可加一道变薄拉深工序。

多次拉深的制件内外壁上或带凸缘拉深件的凸缘表面，应允许有拉深过程中所产生的印痕。只有在必要条件下，才用旋压等方法来消除这些印痕。

二、冲压工艺方案的制订

冲压工艺方案与模具设计关系极为密切。切合实际的工艺方案是设计合理模具的必要前

http://shop62964869.taobao.com/

提;而良好的模具结构设计,又是实现工艺方案的可靠保证。工艺方案的不大改动,往往造成模具的返工或甚至报废。为此,制订工艺方案时必须细致考虑和多作比较;可参考过去相似零件的工艺,必要时要先进行一些模拟试验和测定一些数据,以使工艺的制订建立在可靠的基础上。表 4-1 和第五章给出了一些典型模具结构,可供制订工艺方案时参考。

在拟订工艺方案过程中,根据需要进行一些必要的工艺计算,如确定毛坯展开形状和尺寸,确定拉深时是否需要压边,计算拉深次数和半成品的过渡形状和尺寸等。

从冲压件的形状、尺寸和质量要求出发,根据各工序冲压工艺的变形特点和其变形程度,又考虑到生产批量和车间条件,可提出若干不同的工艺方案。这包括工序的性质、工序的先后顺序、工序的次数和工序的组合等。然后将这些方案进行比较,从中选择一适合该生产批量和车间具体条件的最佳工艺方案。一般来说,最佳方案应是零件成本最低,最合乎经济观点的。

(一) 工序的性质、数量和顺序

工序的性质主要决定于该冲压件的几何形状和轮廓尺寸,它的表面状态(是光面还是带有凸筋或凹坑的),有无切口和孔等。有时为节约材料、改善冲压条件和简化模具结构,可将有废料的冲裁工序改为冲孔、切口和切断等工序组成的无废料或有废料的冲裁工序。有时为了定位方便或为材料变形需要,因而加了冲孔工序。

由于冲压件的多种多样,确定工序的性质、数量和顺序也要具体条件,具体分析,但以下几点值得注意:

1. 按压力加工中的最小阻力规律,毛坯尺寸参数的改变,变形的强区和弱区也是可以转化的。例如图 6-24 所示,环形片由于 D/d_1 和 d/d_1 在坐标图上所在不同区域的变化,可得到四

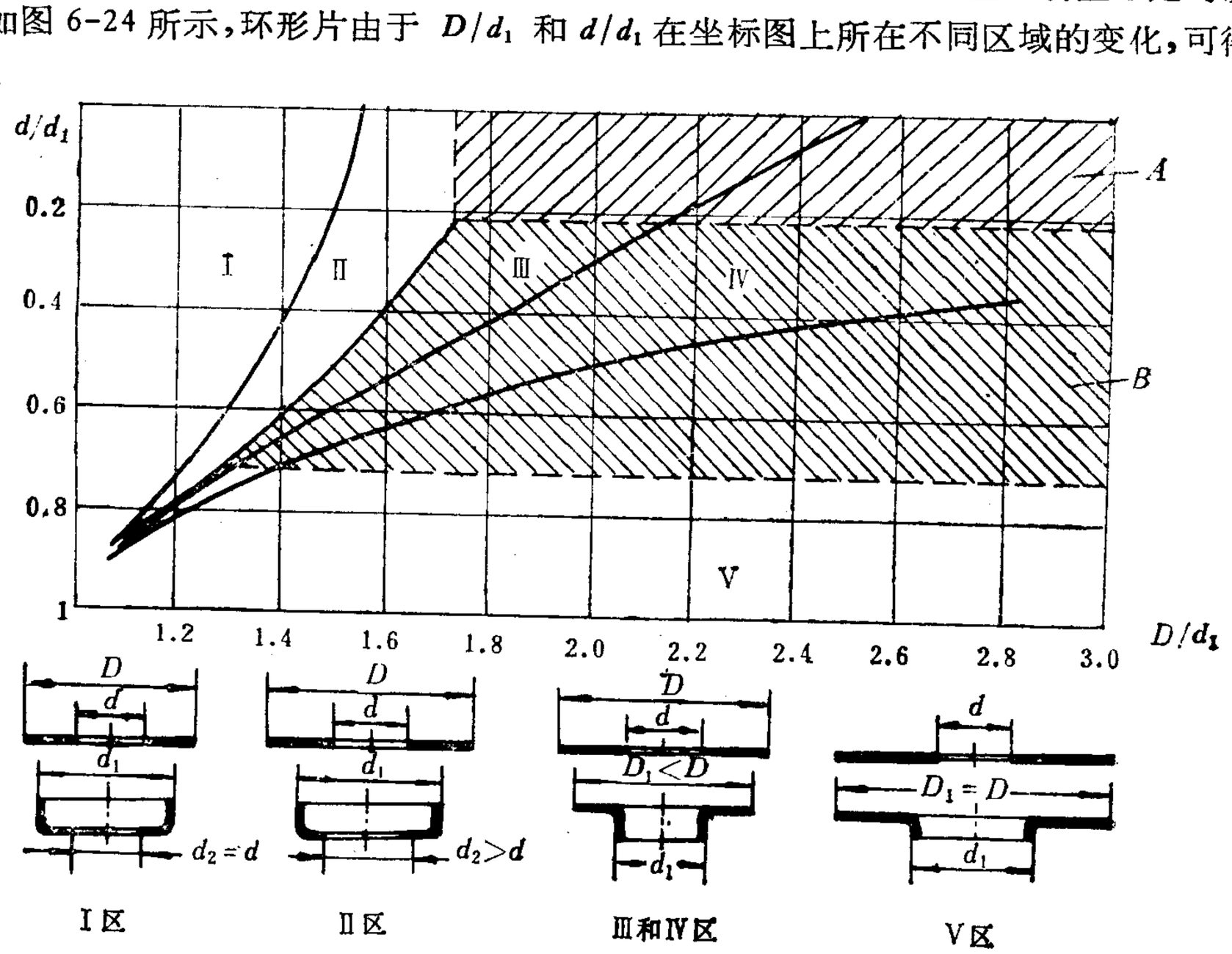


图 6-24 环形片由于 D/d_1 和 d/d_1 的变化,得到不同的成形结果

D—毛坯直径 d_1—拉深或翻边后直径 d—预冲孔直径 d_2—d 扩大后直径

http://shop62964869.taobao.com/

种不同的成形结果：拉深不扩孔（I 区），拉深又扩孔（II 区），毛坯直径缩小又翻孔（III 和 IV 区）以及毛坯直径不变而翻孔（V 区）。在这里，弱区先变形的原则是共同的。确定工艺方案和工序顺序都必须考虑这一因素。

2. 前面工序要为后续工序的变形过程创造条件（如考虑定位基准等）；后续工序要不破坏前面工序所需要保持的已成形部位（如宽凸缘拉深，后续工序要不改变已拉成的凸缘直径或稍变大而不能变小，以免制件上危险剖面拉裂）。

3. 必要时在拉深件底部先冲孔（即建立弱区条件）后拉深，这样，制件成形时包括了拉深和孔扩大两部分变形，因此可增加极限拉深深度和减少工序次数。宽凸缘拉深，从实验结果得到以下预冲孔 d 尺寸与制件其它尺寸关系的经验公式

$$d = \frac{d_2 K d_1}{h\varepsilon_d} \tag{6-5}$$

式中 d——拉深前制件底预冲孔直径；

d_2——拉深前原预冲孔尺寸 d 扩大后尺寸（相应于制件上的孔在拉深后所需要的直径）；

d_1——拉深直径；

h——相对毛坯高度，$h = \frac{H}{t}$；

表 6-22　系数 K

制件底部预冲孔与拉深直径的比值	变形程度 $\varepsilon_d = (D - d_1)/D = 1 - m$				
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
	相对拉深高度 H/t				

d/d_1	4	8	12	18	4	8	12	4	6	9	4	6	3	5
0.1	0.033	0.064	0.095	0.140	0.049	0.091	—	0.073	0.101	—	0.095	0.12	0.13	0.17
0.15			0.092	0.135	0.048	0.088	0.12	0.071	0.1	—		0.105		
0.2						0.084	0.11	0.068	0.091	0.104	0.096		0.12	0.16
0.25		0.063	0.090	0.132			0.103		0.088	0.088	0.097	0.104		
0.3		0.062	0.080	0.11		0.081	0.093	0.067	0.081	0.083	0.098	0.102	0.117	0.15
0.35	0.032	0.061	0.078		0.047	0.080	0.079	0.066	0.080	0.084	0.092	0.098		
0.4		0.059	0.068			0.072	0.078		0.079	0.086	0.091	0.1	0.118	
0.45		0.055	0.064		0.046		0.077		0.081	0.091		0.102	0.12	
0.5			0.062			0.068				0.096	0.092	0.104	0.124	
0.55	0.031	0.052	0.061		0.045			0.065	0.084	0.102	0.094	0.108	0.128	
0.6		0.051				0.069		0.064						

注：1. d 为成形加工前预冲孔的直径；

2. 表中 H/t 系相当 d/d_1 和变形程度 ε_d 时的极限值，超过此值：a) $d/d_1 \leqslant 0.5$ 时，孔边材料开裂，b) $d/d_1 \geqslant 0.5$ 破坏制件底部平面性和将不是拉深而是扩孔。

3. 在宽凸缘局部成形时，变形程度 ε_d 等于 0.8。

4. 表中数值 K 系按08钢实验取得，其凹模半径 r_d 系按式(4-8)计算采用。

http://shop62964869.taobao.com/

H——按料厚中心计算的拉深件高度；

t——材料厚度；

ε_d——变形程度，$\varepsilon_d = \dfrac{D - d_1}{D} = 1 - m$；

D——毛坯直径；

m——拉深系数；

K——系数(见表 6-22)。

4. 各工序顺序的安排主要决定于制件形状尺寸、冲压变形规律和零件的质量要求。如果工序顺序的变更并不影响零件的质量，则应当根据操作、定位及模具结构等因素确定。

（二）工序的组合

工序的分散或集中决定于需要和可能。这里所谓分散的是指用单一工序的简单模，而集中是指用复合模或级进模(或称连续模、跳步模)。

一般来说生产量较小，则用简单模，生产批量大，用级进模或复合模。有时，在小零件冲制需较多工序，为了操作安全，采用了级进模或复合模。但在冲制大零件时，往往采用复合模比多个单一工序冲模的制模费用低，而又可节省冲模存放面积。

工序的组合方式可采用复合模或级进模，两者各有优缺点，表 6-23 是两者的比较。

表 6-23　采用复合模和级进模比较

指　　标	用复合模	用级进模
冲压精度	较高和中等 (IT9～11)	中等和较低 (IT12～15)
冲裁零件质量	无翘曲，毛刺在同一方向	有翘曲，有时需校平；毛刺在不同方向
冲压生产率	由于制件掉在模具表面，要用手或机械方法移走，生产率低	由于可用自动送料装置并可自动移走制件，生产率高
采用高速压力机的可能性	由于可能用弹顶器，高速有限度	可在 400～1500r/min 高速压力机上工作
操作安全性	由于手在冲模工作区，不安全，需采用技术安全措施	较安全
制造冲模的劳动量和费用	对复杂轮廓形状的冲裁件，比级进模成本低	对简易轮廓形状的冲裁件，比复合模成本低

注：一般而论，精度要求高的大、中件应采用复合模，精度要求不高的中、小件应采用级进模。

比较起来，能采用复合模将工序组合的范围不如级进模广泛，一般复合的工序不超过三种，常见的复合工序有：落料和冲孔；冲孔和修边；切断和弯曲；切断、弯曲和冲孔；落料和拉深；落料、拉深和冲孔等。

（三）制订工艺方案的其它方面内容

在分析、比较和选用工艺方案基础上，应可确定：

1）各工序草图，表示各工序所得出的半成品制件形状和尺寸；

http://shop62964869.taobao.com/

2）冲模结构类型，采用单一工序的简单模、复合或级进模；

3）采用复合模时，同一工位完成的工序数；采用级进模时，同时完成各工序的方法；

4）一次压力机行程，同时冲压的零件数，由此，也决定了排样方式；

5）选用设备类型和规格。

（四）压力机的选用

压力机的选用是制订冲压工艺方案中的一项重要内容。

压力机的选用包括这几方面的内容：类型、公称压力和其容许负荷、功能的核算、行程和行程次数，最大装模高度和台面尺寸等。

1. 压力机类型的选用

生产上从提高生产率考虑以采用偏心或曲柄式机械压力机为多。肘杆式结构的压力机较多用在精压和冷挤压。液压机以其行程可以较大，不会超载损坏和运动比较平稳等特点，较多用于弯曲、拉深、变薄拉深、校平和冷挤压等工作。

压力机类型的选择主要从工序性质、制件的大小和材料厚度以及生产率要求等方面考虑而决定。

2. 压力机公称压力和其容许负荷

曲柄压力机的公称压力是指滑块在离下死点前某一特定距离（即公称压力行程 h_a）或曲轴某一特定转角（即公称压力角 α_a）时，滑块上所容许的最大负荷。一般曲柄压力机的公称压力行程 h_a 约为（0.05～0.07）H（H——滑块行程）。（滑块在上死点与下死点间距离，为曲柄半径的两倍）

而公称压力角 α_a 约为 20°～30°。

如图 6-25 所示，压力机曲轴转矩 M

$$M = P\frac{H}{2}\sin\alpha = Pb \qquad (\mathrm{N\cdot m}) \tag{6-6}$$

式中 P——冲压力（kN）

H——滑块行程（mm）；

α——曲轴工作压力角；

b——力臂，$b = \sqrt{(H-h_a)h_a}$（mm）；

h_a——公称压力行程（mm）；

而当 $\alpha_a = 30°$ 时，最大转矩 M_{max} 为

$$M_{max} = 0.25P_{max}H \qquad (\mathrm{N\cdot m}) \tag{6-7}$$

压力机的容许负荷曲线由压力机制造厂说明书提供，如果没有，可近似地如图 6-25(b) 所示绘图作出。

对于加载行程小于 5% 压力机行程的工序，可直接按压力机公称压力选用。进行冲裁工序时为考虑压力机刚度较差而影响模具寿命，一般取公称压力的 70～80%，在高速压力机最好取 10～15%。对于加载行程较大的拉深制件，特别是当采用落料、拉深复合工艺时，不能简单地将落料力、压边力和拉深力相加来选择压力机，因压力机公称压力是指接近下死点时的压力机压力。因此，有必要了解和核对压力机的容许负荷曲线，否则有可能由于过早出现最大冲压力而使压力机超载损坏（见图 6-26）。但通常在单动压力机进行拉深制件，可近似地取：

http://shop62964869.taobao.com/

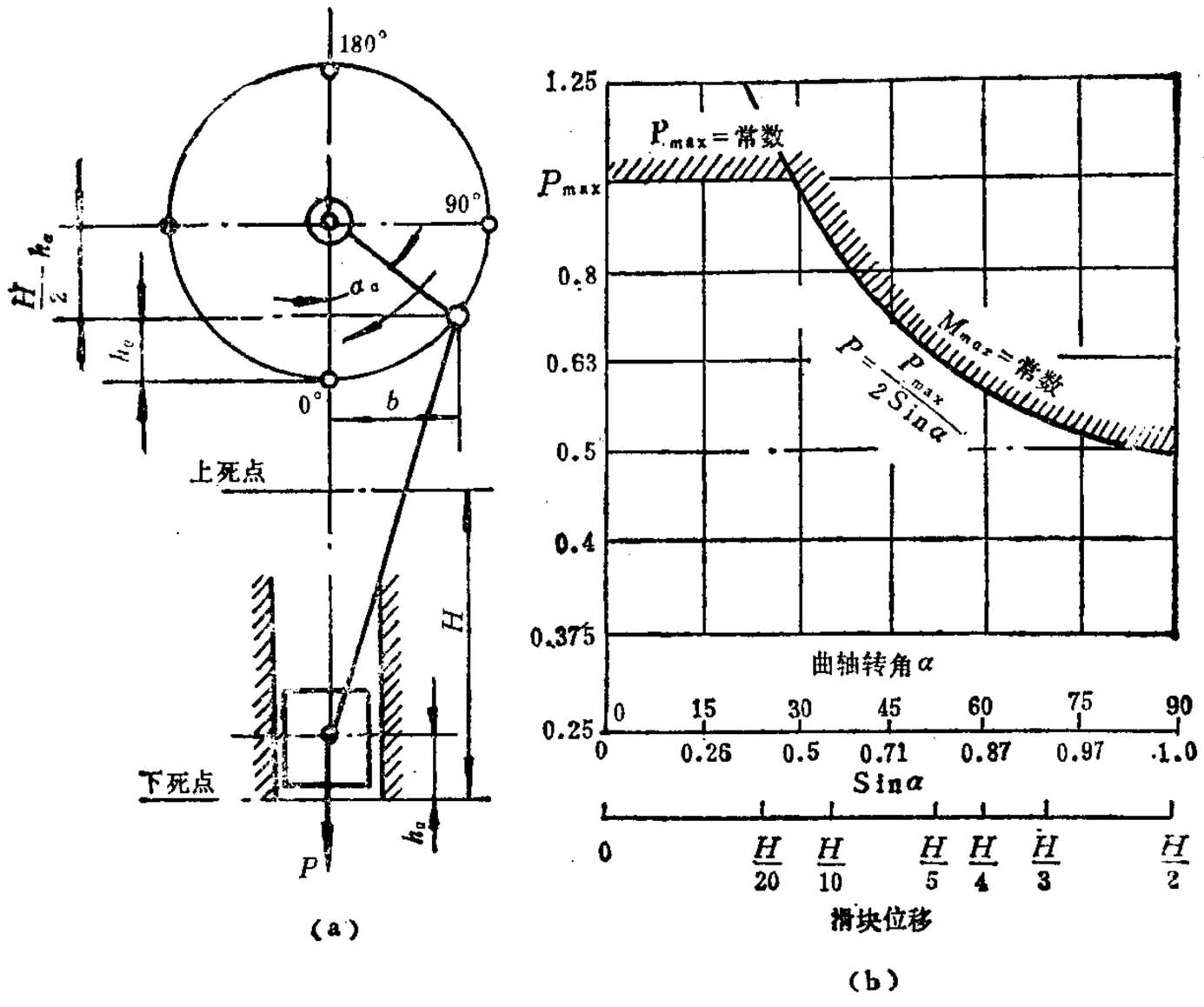


图 6-25　压力机的容许负荷曲线[9]

(a) 机构运动简图　(b) 近似的容许负荷曲线

对浅拉深，取最大拉深力≤(0.7～0.8)曲柄压力机公称压力；

对深拉深，取最大拉深力≤(0.5～0.6)曲柄压力机公称压力。

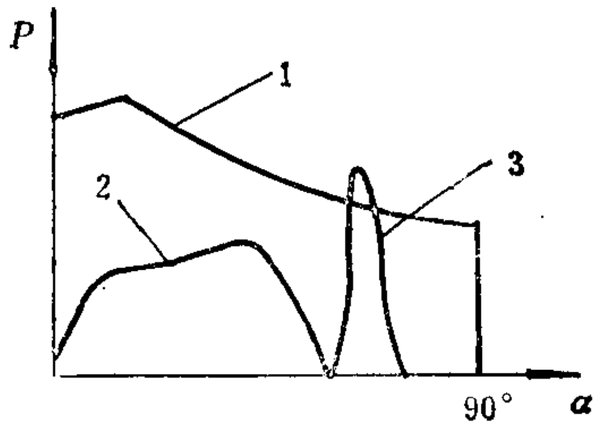


图 6-26　冲裁、拉深复合工序时的可能负荷曲线与压力机的容许负荷曲线

1—压力机容许负荷曲线

2—拉深力　3—落料力

3. 压力机功率的核算

冲压时所需的总功为变形功 A 和压缩弹顶装置所需的功 A_b 之和，而压力机一个行程所产生的功 A_p 应大于前两者之和。

即
$$A_p \geqslant A + A_b$$

压力机的功表现为飞轮的有效能量和一小部分损失于摩擦和床身弹性的能量之和。电机所给的能量，主要在克服这有害的消耗和恢复飞轮在冲压后降低的速度。压力机为完成冲压加工所需的能量等于飞轮降低速度所给出的有效能量，它近似地为

$$A = \frac{n_0^2 - n_1^2}{710} GD^2(\mathrm{J}) \qquad (6\text{-}8)$$

式中 G——飞轮的重力（N）

D——飞轮的惯量直径(近似为飞轮外径（m)；

n_0——飞轮的额定转数(r/min)；

n_1——飞轮允许的最少转数（r/min)。

生产上由于缺少具体数据，按以上计算并不是很方便的，表 6-24 给出了曲柄压力机有效功与其公称压力的近似关系的数据，可作为大致参考。

4. 滑块行程和行程次数

进行弯曲和拉深常需要较大的滑块行程。拉深时为便于安放毛坯和取出制件，其行程一

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-24　压力机有效功及最大冲裁厚度与压力机公称压力 P 的关系

压力机形式	压力机行程数	有效功（N·m）		最大冲裁厚度（mm）	
		单行程	连续行程	单行程	连续行程
快行程	$450/\sqrt[4]{P}$	$0.1\sqrt{P^3}$	$0.05\sqrt{P^3}$	$0.2\sqrt{P}$	$0.1\sqrt{P}$
标准行程	$340/\sqrt[4]{P}$	$0.14\sqrt{P^3}$	$0.07\sqrt{P^3}$	$0.28\sqrt{P}$	$0.14\sqrt{P}$
慢行程	$250/\sqrt[4]{P}$	$0.2\sqrt{P^3}$	$0.1\sqrt{P^3}$	$0.4\sqrt{P}$	$0.2\sqrt{P}$

注：1．压力机公称压力 P 以 kN 为单位。
2．快行程是比较而言，因还有更快行程的压力机。

表 6-25　压力机的技术规格

符　　号	主要数据	度量单位
P	公称压力	kN
h	滑块行程	mm
n	行程次数	r/min
M	装模高度调节量(即封闭高度调节量)	mm
H_{max}	压力机的最大装模高度(即最大封闭高度)	mm
L	台面到导轨的距离	mm
R	滑块中心到机身距离	mm
$A_1 \times B_1$	工作台尺寸	mm
$a \times b$	工作台孔尺寸	mm
$A \times B$	垫板尺寸	mm
H_1	垫板厚度	mm
D	垫板孔径	mm
$K \times S$	滑块底面尺寸	mm
F	滑块方孔尺寸	mm
l	滑块方孔深度	mm
N	顶件横梁到滑块下表面之间的距离	mm
C	顶件横梁行程	mm
H_{min}	压力机的最小装模高度（$H_{max}-M$）	mm

表 6-26　我国锻压机械的分类和代号

类　　别	代　　号	类　　别	代　　号
机械压力机	J	锻机	D
液压压力机	Y	剪切机	Q
自动锻压机	Z	弯曲校正机	W
锤	C	其它	

般为拉深件高度 2.5 倍。

压力机的行程也有做成可调的形式。如前面式(6-6)所示，压力机行程的减少可使压力机

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-27　开式压力机技术参数

公称压力			kN(t)	40(4)	63(6.3)	100(10)	160 (16)	250(25)	400(40)	630(63)	800(80)	1000 (100)	1250 (125)	1600 (160)	2000 (200)	2500 (250)	3150 (315)	4000 (400)
发生公称压力时滑块离下死点距离			mm	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	10	12	12	13	13	15
滑块行程	固定行程		mm	40	50	60	70	80	100	120	130	140	140	160	160	200	200	250
	调节行程		mm	40/6	50/6	60/8	70/8	80/10	100/10	120/12	130/12	140/16	140/16	160/20	—	—	—	—
标准行程次数(不小于)			r/min	200	160	130	115	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	25
快速型	发生公称压力时滑块离下死点距离		mm	1	1	1.5	1.5	2	2	2.5	2.5	3	—	—	—	—	—	—
	滑块行程		mm	20	20	30	30	40	40	50	50	60	—	—	—	—	—	—
	行程次数(不小于)		r/min	400	350	300	250	200	200	150	150	120	—	—	—	—	—	—
最大封闭高度	固定台和可倾式		mm	160	170	180	220	250	300	360	380	400	430	450	450	500	500	550
	活动台位置	最低	mm	—	—	—	300	360	400	460	480	500	—	—	—	—	—	—
		最高	mm	—	—	—	160	180	200	220	240	260	—	—	—	—	—	—
封闭高度调节量			mm	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170

http://shop62964869.taobao.com/

续 表

标准型	滑块中心到机身距离(喉深)		mm	100	110	130	160	190	220	260	290	320	350	380	380	425	425	480
	工作台尺寸	左右	mm	280	315	360	450	560	630	710	800	900	970	1120	1120	1250	1250	1400
		前后	mm	180	200	240	300	360	420	480	540	600	650	710	710	800	800	900
	工作台孔尺寸	左右	mm	130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700
		前后	mm	60	70	90	110	130	150	180	210	230	250	300	300	350	350	400
		直径	mm	100	110	130	160	180	200	230	260	300	340	400	400	460	460	530
	立柱间距离(不小于)		mm	130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700
• 加大型	滑块中心到机身距离(喉深)		mm	—	—	—	—	290	—	350	—	425	—	480	—	—	—	—
	工作台尺寸	左右	mm	—	—	—	—	800	—	970	—	1250	—	1400	—	—	—	—
		前后	mm	—	—	—	—	540	—	650	—	800	—	900	—	—	—	—
	工作台孔尺寸	左右	mm	—	—	—	—	380	—	460	—	650	—	700	—	—	—	—
		前后	mm	—	—	—	—	210	—	250	—	350	—	400	—	—	—	—
		直径	mm	—	—	—	—	260	—	340	—	460	—	530	—	—	—	—
	立柱间距离(不小于)		mm	—	—	—	—	380	—	460	—	650	—	700	—	—	—	—
模柄孔尺寸(直径×深度)			mm	⌀30×50				⌀50×70			⌀60×75			⌀70×80		T型槽		
工作台板厚度			mm	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170

http://shop62964869.taobao.com/

能承受较大的负荷，但不可能超过压力机所容许的最大公称压力 P_{max}。

5. 最大装模高度和台面尺寸

压力机封闭高度和装模高度是常常容易搞混的概念。前者是指滑块在下死点时，由压力机床身台面（包括垫板厚度）到滑块底平面间的距离，而后者是指在同一情况，从垫板上平面开始（即不包括垫板厚度）到滑块底平面间的距离，因此前、后两者之间差一垫板厚度数值。

最大装模高度是指连杆调节到最短距离（在可调行程压力机，行程也调至最小）时，由压力机垫板上平面到滑块底平面的距离。

压力机最大装模高度与模具闭合高度（在最低工作位置时的模具高度）间的关系大致（见图 6-27）为

$$H_{max} - 5 \geqslant H_d \tag{6-9}$$

式中 H_{max}——压力机最大装模高度（mm）；

H_d——模具闭合高度（mm）。

为了避免连杆在过长条件下工作，一般模具的闭合高度，以接近压力机最大装模高度来设计如式(6-9)所示。如模具闭合高度过小，则可在压力机台面上加放垫板。

压力机台面尺寸应足以安放模具和便于安放压板固定。表 6-25 所列，为进行模具设计所

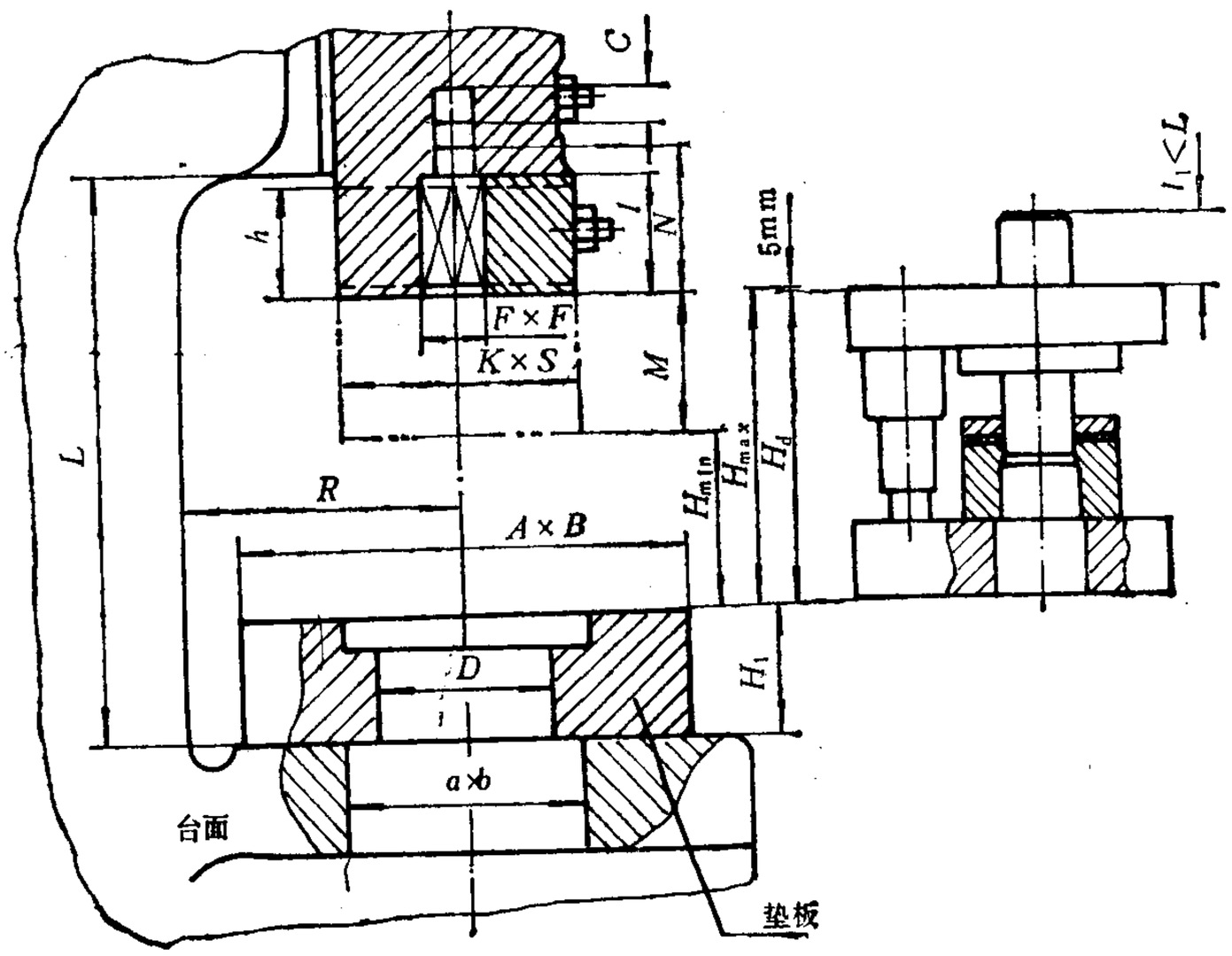


图 6-27　模具闭合高度及压力机的装模高度

需压力机技术规格的主要数据。

压力机的选用有时还要考虑该压力机有无气垫等弹顶装置，有无自动送料装置，工作台孔的大小是否适于出料等等。

表 6-26 至表 6-33 为我国的压力机械分类和代号以及各种压力机等锻压设备的技术参数。

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-28 闭式单点压力机技术参数

公称压力		公称压力行程(mm)	滑块行程(mm)		滑块行程次数(r/min)		最大装模高度	装模高度调节量	导轨间距离	滑块底面前后尺寸	工作台板尺寸(mm)	
(kN)	(t)		I 型	II 型	I 型	II 型	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	左右	前后
1600	160	13	250	200	20	32	450	200	880	700	800	800
2000	200	13	250	200	20	32	450	200	980	800	900	900
2500	250	13	315	250	20	28	500	250	1080	900	1000	1000
3150	315	13	400	250	16	28	500	250	1200	1020	1120	1120
4000	400	13	400	315	16	25	550	250	1330	1150	1250	1250
5000	500	13	400		12		550	250	1480	1300	1400	1400
6300	630	13	500		12		700	315	1580	1400	1500	1500
8000	800	13	500		10		700	315	1680	1500	1600	1600
10000	1000	13	500		10		850	400	1680	1500	1600	1600
12500	1250	13	500		8		850	400	1880	1700	1800	1800
16000	1600	13	500		8		950	400	1880	1700	1800	1800
20000	2000	13	500		8		950	400	1880	1700	1800	1800

表 6-29 闭式双点压力机技术参数

公称压力		公称压力行程(mm)	滑块行程(mm)	滑块行程次数(r/min)	最大装模高度(mm)	装模高度调节量(mm)	导轨间距离①(mm)	滑块底面前后尺寸(mm)	工作台板尺寸（mm）	
(kN)	(t)								左右①	前后
1600	160	13	400	18	600	250	1980	1020	1900	1120
2000	200	13	400	18	600	250	2430	1150	2350	1250
2500	250	13	400	18	700	315	2430	1150	2350	1250
3150	315	13	500	14	700	315	2880	1400	2800	1500
4000	400	13	500	14	800	400	2880	1400	2800	1500
5000	500	13	500	12	800	400	3230	1500	3150	1600
6300	630	13	500	12	950	500	3230	1500	3150	1600
8000	800	13	630	10	1250	600	$\frac{3230}{4080}$	1700	$\frac{3150}{4000}$	1800
10000	1000	13	630	10	1250	600	$\frac{3230}{4080}$	1700	$\frac{3150}{4000}$	1800
12500	1250	13	500	10	950	400	$\frac{3230}{4080}$	1700	$\frac{3150}{4000}$	1800
16000	1600	13	500	10	950	400	$\frac{5080}{6080}$	1700	$\frac{5000}{6000}$	1800
20000	2000	13	500	8	950	400	$\frac{5080}{7580}$	1700	$\frac{5000}{7500}$	1800
25000	2500	13	500	8	950	400	7580	1700	7500	1800
31500	3150	13	500	8	950	400	$\frac{7580}{10080}$	1900	$\frac{7500}{10000}$	2000
40000	4000	13	500	8	950	400	10080	1900	10000	2000

注：分母数为大规格尺寸。

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-30　闭式上传动双动拉深压力机技术参数

技术参数名称 \ 压力机型号			JB46-315	JA45-200	JA45-375	J45-315
总公称压力		kN	6300	3250	6300	6300
内滑块公称压力		kN	3150	2000	3750	3150
内滑块公称压力行程		mm	40	25	41	30
外滑块公称压力		kN	3150	1250	2550	3150
内滑块行程		mm	850	670	850	850
外滑块行程		mm	530	425	530	530
行程次数		r/min	10	8	5.5	5.5～9
低速行程次数		r/min	1			
内滑块最大装模高度		mm	1550	930	1240	1120
外滑块最大装模高度		mm	1250	825	1160	1070
内滑块装模高度调节量		mm	500	165	300	300
外滑块装模高度调节量		mm	500			300
最大拉延深度		mm	390	315	400	400
立柱间距		mm	3150	1620	1840	1930
内滑块尺寸	左右	mm	2500	960	1000	1000
	前后	mm	1300	900	1000	1000
外滑块尺寸	左右	mm	3150	1420	1780	1550
	前后	mm	1900	1350	1800	1600
垫板尺寸	左右	mm	3150	1540	1820	1800
	前后	mm	1900	1400	1600	1600
	厚	mm	250	160	220	220
气垫压力(压紧力/顶出力)		kN		500/80	1000/160	1000/120
气垫行程		mm	440	315		400
气垫行程调节量		mm	300			
主电动机功率		kW	100	40		75

表 6-31　精压机技术参数

公称压力 (kN)	公称压力 (t)	滑块行程 (mm)	公称压力行程 (mm)	滑块行程次数 (r/min)	最大装模高度 (mm)	装模高度调节量 (mm)	导轨间距离 (mm)	滑块底面尺寸前后×左右 (mm)	工作台板尺寸前后×左右 (mm)
4000	400	130	2	50	400	15	660	400×620	660×640
8000	800	125	1.5	26	340	15	600	410×715	800×720
12500	1250	120	2	25	400	15	780	640×750	1010×980
20000	2000	200	3	18	620	15	1030	850×900	1300×1280

http://shop62964869.taobao.com/

表 6-32　机械式金属挤压机技术参数

型号	公称压力		滑块行程	行程次数	最大封闭高度	封闭高度调节量	顶出力		顶出行程	垫板尺寸 前后×左右×厚度	备注
	(kN)	(t)	(mm)	(r/min)	(mm)	(mm)	(kN)	(t)	(mm)	(mm)	(均需压缩空气)
J88-100	1000	100	60	60	265	30	60	6	30	405×640	开式
J88-160	1600	160	70	80	265	30				600×430×110	闭式
J87-160A	1600	160	180	40	500	60	160	16	90	600×530	闭式
J87-250	2500	250	200	32	560	80	250	25	100	750×600	闭式
J87-300	3000	300	300	30	550	70	300	30	30	630×700	闭式
J87-400	4000	400	250	25	670	80	400	40	125	850×670	闭式
J89-1000	10000	1000	400	12	700	100	500	50	150	—	闭式
JA88-200	2000	200	273	65	480	12	—		—	—	卧式（用于有色金属）
JA88-315	3150	315	400	55	715	15	320	32	150	—	同上
JA88-500	5000	500	420	16	835	15	500	50	150	—	同上
J_2-014D	8000	800	300	30	600	15	600	60	—	—	卧式专用设备
J_2-013D	12500	1250	1250	25	650	15	1000	100	—	—	同上

表 6-33　四柱万能液压机技术参数

型号	技术参数									
	公称压力		滑块行程	顶出力		工作台尺寸 前后×左右×距地面高 (mm)	工作行程速度 (mm/s)	活动横梁至工作台最大距离 (mm)	液体工作压力	
	(kN)	(t)	(mm)	(kN)	(t)				(MPa)	(kg·f/cm²)
Y32-50	500	50	400	75	7.5	490×520×800	16	600	20	200
YB32-63	630	63	400	95	9.5	490×520×800	6	600	25	250
Y32-100A	1000	100	600	165	16.5	600×600×700	20	850	21	210
Y32-200	2000	200	700	300	30	760×710×900	6	1100	20	200
Y32-300	3000	300	800	300	30	1140×1210×700	4.3	1240	20	200
YA32-315	3150	315	800	630	63	1160×1260	8	1250	25	250
Y32-500	5000	500	900	1000	100	1400×1400	10	1500	25	250
Y32-2000	20000	2000	1200	1000	100	2400×2000	5	800～2000	26	260

http://shop62964869.taobao.com/

三、工艺制订与冲模设计举例

[例] 试拟订机油滤清器外壳(见图 6-28)的冲压工艺方案,并设计模具。材料与料厚见

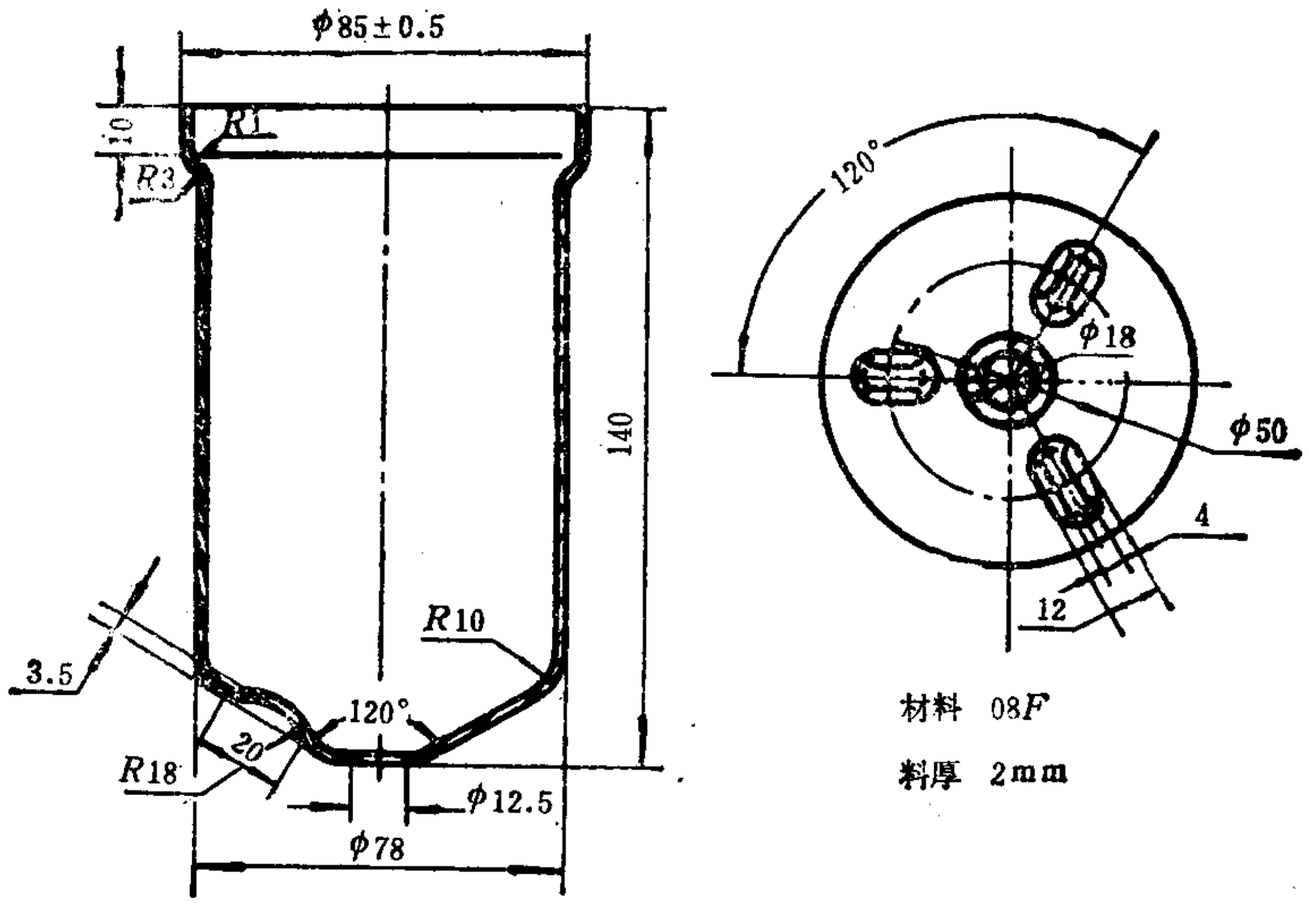


图 6-28 机油滤清器外壳

图所示,为中批量生产。

(一) 分析零件的工艺性

该零件选用 08 或 08F 冷轧钢板进行拉深是合宜的,厚度为 2mm 暂不变。$\phi85$ 与 $\phi78$ 两圆筒连接部位以 $R1$ 过渡,半径太小,不可能在拉深过程中形成,故需拉深以后加一道整形工序。由于拉深过程中板材的各向异性,将有突耳产生;为使筒形件口部严整,又必须在拉深工序以后,再加一道修边工序。筒底上三个凸台为支承相关件且有增加零件刚度作用,它可以用局部成形得到。

从冲压工艺性分析,如 $R1$、$R3$ 加大,且 $\phi85$ 也容许适当放大,这虽可免去整形工序,但增加了毛坯尺寸,也有可能影响拉深工序的次数。再加一道整形工序对提高零件刚度有利,所以 $R1$ 和 $R3$ 尺寸也暂不予改变。底面三个凸台则最好为球冠状,这既可改善冲压工艺性,也有利于模具制造。

从以上分析可大体知道该零件的基本冲压工序为:落料、多次拉深、整形、修边、压凸台和冲小孔。

该零件为中批量生产,制订工艺应考虑零件生产的经济性。

(二) 计算毛坯尺寸

1. 图 6-29(a) 表示了制件母线的各单元划分,图 6-29(b) 表示为求顶部圆角部分 α 值而作的局部简图。由图 6-29(b) 几何关系

http://shop62964869.taobao.com/

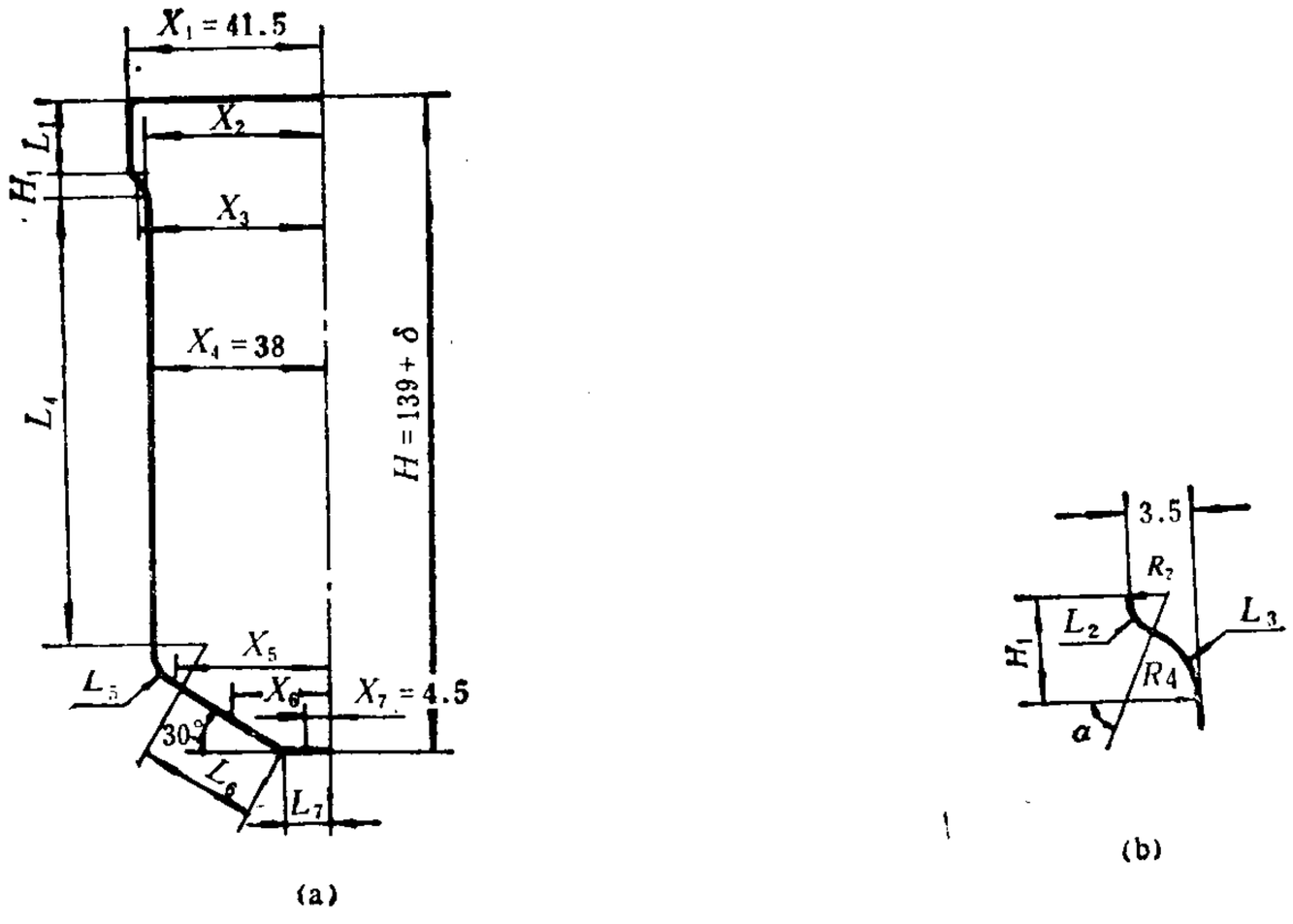


图 6-29　毛坯尺寸计算简图

$$R2(1 - \cos\alpha) + (4 - 3.5) = R4\cos\alpha$$

$$\alpha = 65.4°$$

得

2. 根据久里金法则计算毛坯尺寸

$$D = \sqrt{8LX} = \sqrt{8(L_1X_1 + L_2X_2 + \cdots + L_7X_7)}$$

现列表计算见表 6-34。

表 6-34　机油滤清器外壳毛坯计算(参见图 6-28 和 6-29a)

母线线段编号	线段长 L_i	线段重心与迴转轴距离 X_i	L_iX_i
1	$10 + \delta = 10 + 6.5 = 16.5$ (修边量$\delta = 6.5$,查表 3-24)	41.5	684.75
2	$\frac{\pi\alpha}{180}(2) = \frac{\pi(65.4)}{180}(2) = 2.28$	$41.5 + 2\left(\frac{180\sin\alpha}{\pi\alpha} - 1\right) = 41.07$ (利用表3—30 A)	93.64
3	$\frac{\pi\alpha}{180}(4) = 4.56$	$38 + 4\left(1 - \frac{180\sin\alpha}{\pi\alpha}\right) = 38.81$(利用表3—30 B)	176.97
4	$H - L_1 - H_1 - 11\sin60° - L_6\sin30°$ $= 145.5 - 16.5 - 6\sin\alpha - 9.52$ $- 27.1\sin30° = 100$	38	3800
5	$\frac{\pi(60)}{18}(11) = 11.52$	$38 + 11\left(\frac{180\sin60°}{\pi\times60} - 1\right) = 36.1$	415.87
6	$\frac{38 + 11(\cos60° - 1) - L_7}{\sin60°} = 27.1$	$\frac{38 + 11(\cos60° - 1) + L_7}{2} = 20.75$	563.16
7	9	4.5	40.5

$$LX = 5774.89$$

$$D = \sqrt{8LX} = 215\text{mm}$$

（三）确定拉深次数、拉深系数和各次拉深直径

1. 估算拉深次数

http://shop62964869.taobao.com/

根据：$h/d = 145.5/76 = 1.91$

$(t/D) \times 100 = (2/215)100 = 0.93$

因 1 次拉深最大的 h/d 值为 0.7 (见本章表 6-17)，远小于上面 1.91 值，所以拟初步估算拉深 3 次。

2. 确定各次拉深系数

(1) 按表 3-34 初选：$m_1 = 0.54$，$m_2 = 0.78$，$m_3 = 0.795$。

总的拉深系数 m_Σ 为

$$m_\Sigma = \frac{d}{D} = \frac{76}{215} = 0.354$$

今

$$m_1 m_2 m_3 = 0.335 < m_\Sigma$$

所以需调整各次拉深系数，使更为合理。

(2) 改取：$m_1 = 0.56$，$m_2 = 0.79$，$m_3 = 0.80$

则

$$m_1 m_2 m_3 = 0.354 = m_\Sigma$$

3. 确定各次拉深直径

$$d_1 = m_1 D = 0.56(215) = 120\text{mm}$$

$$d_2 = m_2 d_1 = 0.79(120) = 95\text{mm}$$

$$d_3 = m_3 d_2 = 0.80(95) = 76\text{mm}$$

（四）确定工序顺序和工艺方案

1. 确定基本工序为

落料、首次拉深、第二次拉深、第三次拉深、整形、修边、压凸台和冲小孔。

2. 确定工艺方案

采用单个工序工艺以及在机床上修边，对中批生产来说，效率较低，所以可能进行比较的方案有如图 6-30 所示三种。

A 方案工序较少，但 ϕ12.5mm 小孔易变形；B 方案需 6 套模具，零件要求较易达到，口部质量比 C 方案好；C 方案与 B 方案相比，缺点在于口部较为锋利，所以比较之下，以取 B 方案较好，其各工序为：落料拉深、第二次拉深、第三次拉深、整形、修边压凸台和翻边冲孔。

（五）计算各次拉深后制件高度

1. 落料和首次拉深后制件高度(见图 6-31)

如忽略 $R13$ 圆弧影响，而以尖角处理，则按久里金方法(见式 3-23)计算得

$$215^2 = 8\left[60H_1' + 40 \times 20 + \frac{20 \times 50}{\cos 30^\circ}\right]$$

解上式得

$$H_1' = 63.72$$

故得

$$H_1 = H_1' + 20\,\mathrm{tg}\,30^\circ = 75.3 \text{ 取 } 76\text{mm}$$

2. 第二次拉深后制件高度(见图 6-32)

http://shop62964869.taobao.com/

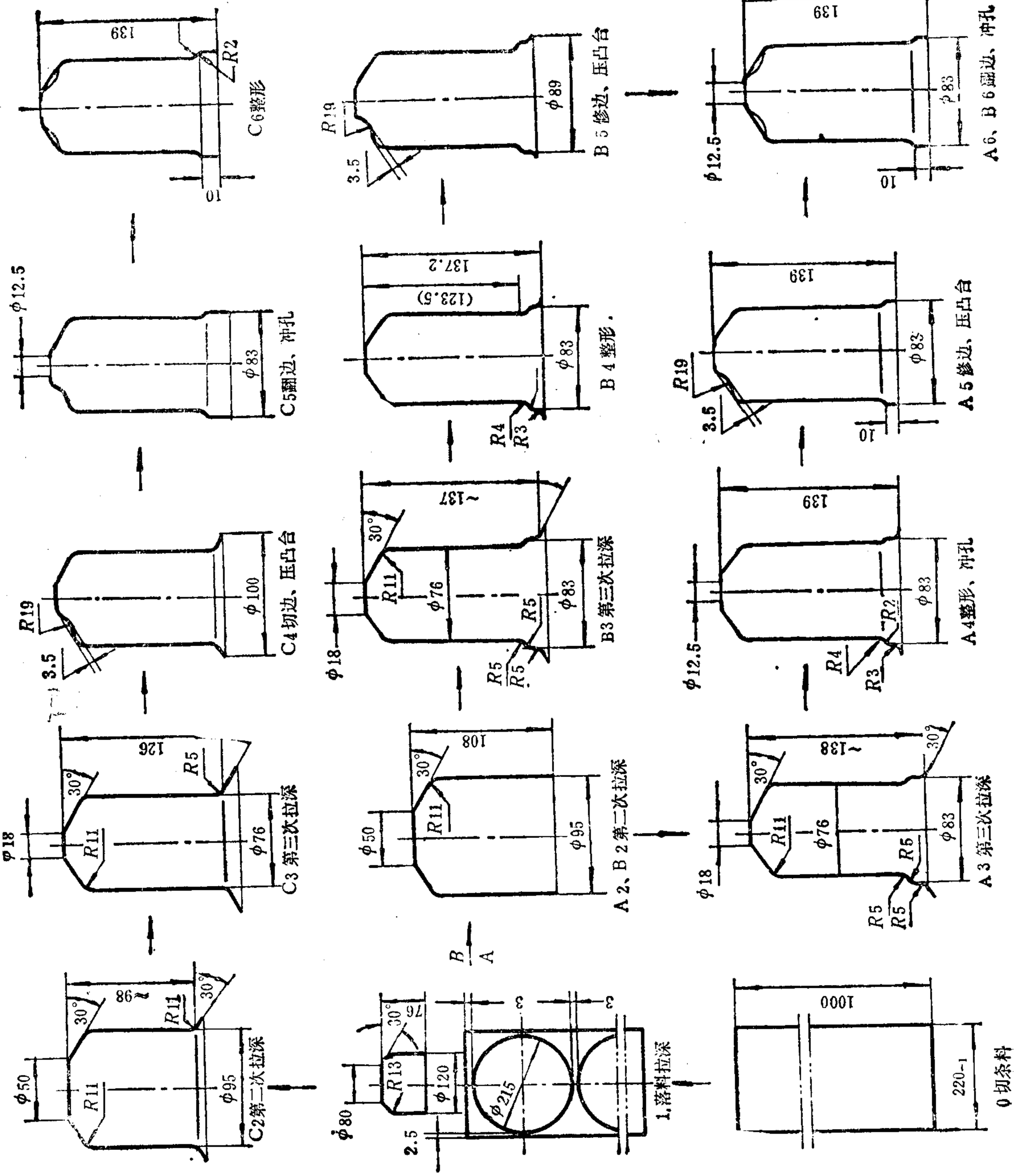


图 6-30　三种冲压方案

http://shop62964869.taobao.com/

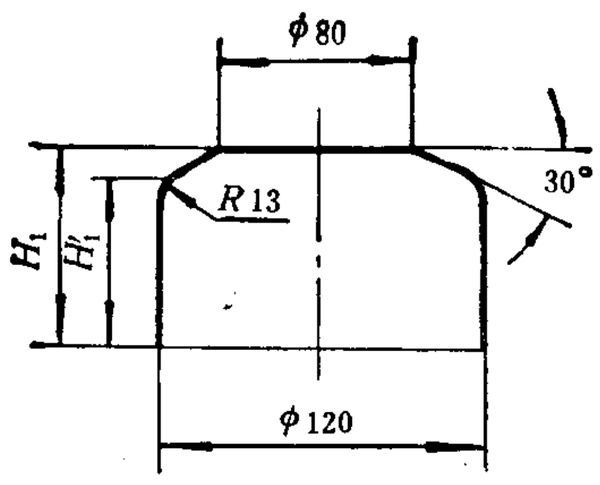


图 6-31　落料、拉深后制件高度

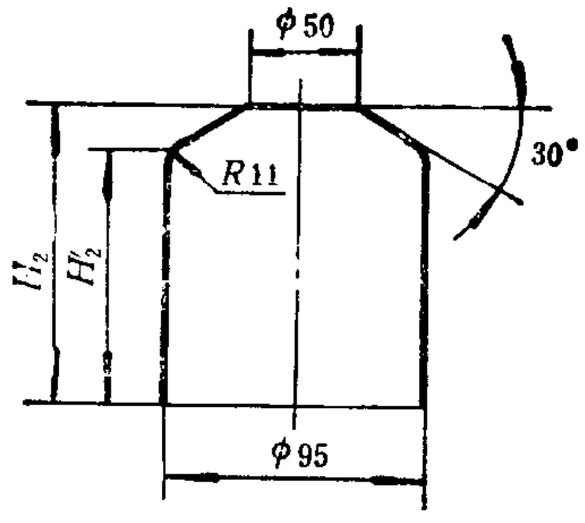


图 6-32　第二次拉深后制件高度

同上法

$$215^2 = 8\left[47.5H_2' + \frac{25^2}{2} + \frac{(47.5^2-25^2)}{2}\sin 60°\right]$$

解得

$$H_2' = 95$$

故得

$$H_2 = H_2' + 22.5\,\mathrm{tg}\,30° \approx 108\mathrm{mm}$$

3. 第三次拉深后制件高度(见图 6-33(a))

由于计算不便和拉深时料厚有变化，所以可近似地取整形后制件高度尺寸为第三次拉深后高度，确切高度可待调模时确定。图 6-33 中，(a) 表示第三次拉深后高度，(b) 表示整形并修边后高度，(c) 表示图 (b) 凸缘边的局部放大图。

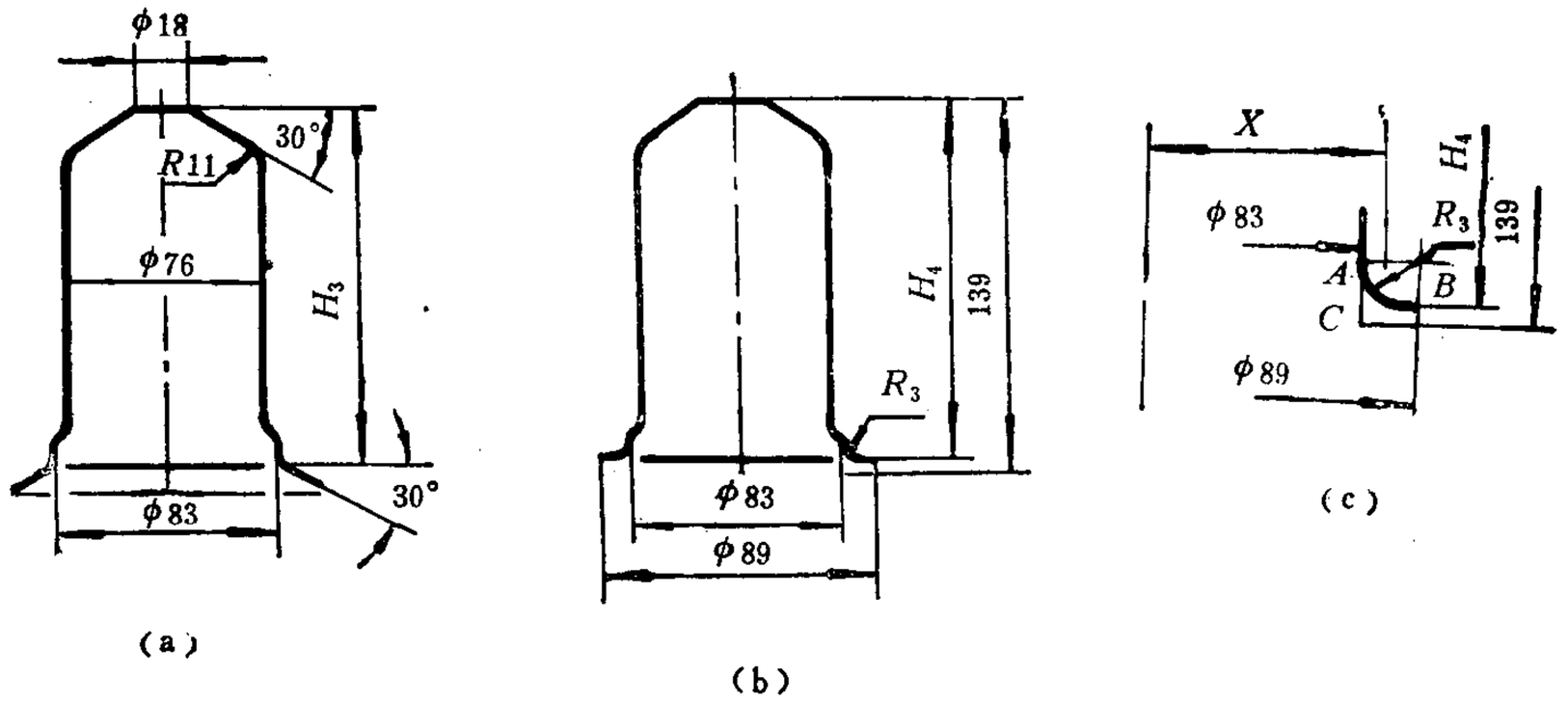


图 6-33　第三次拉深与整形后制件高度

4. 整形后制件高度(见图 6-33b)

制件如整形后并在 $\phi 89$ 修边，则得如图 6-33(b) 所示。由局部放大图 6-33c 可得

$$AC = 139 - H_4 + 3$$

这里，H_4 为整形后高度；139 为制件要求高度。

按翻边前后体积相等，得

$$\frac{\pi}{2}(3)\left[(3)\left(1-\frac{2}{\pi}\right)+41.5\right] = (139 - H_4 + 3)(41.5)$$

解得

$$H_4 = 137.2\mathrm{mm}$$

http://shop62964869.taobao.com/

（六）排样和裁板方案(见图 6-34)

1. 选取搭边值

查表3-10取，$a = 2.5$，$a_1 = 2$，则

进距　　$h = D + a_1 = 215 + 2 = 217\text{mm}$

条料宽　　$B = D + 2a = 215 + 2(2.5) = 220\text{mm}$

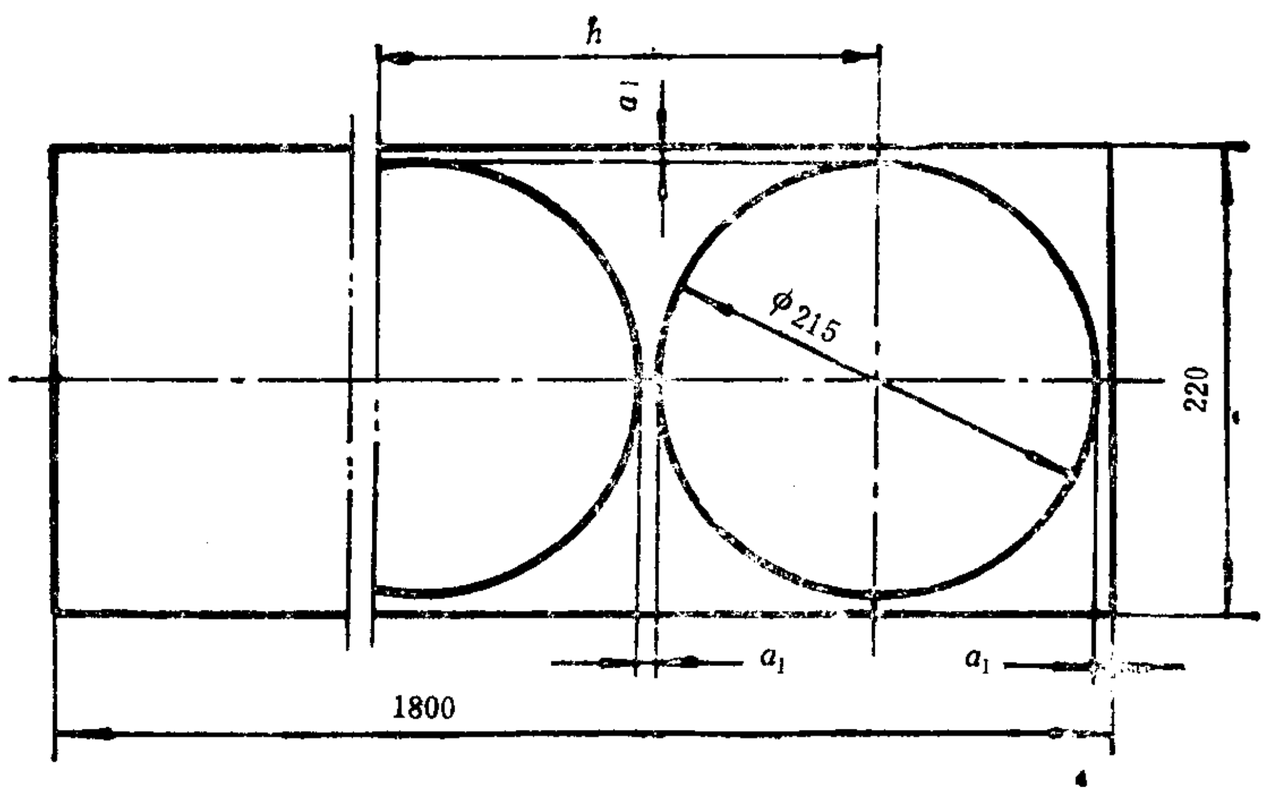


图 6-34　排样简图

选用宽度×长度（$A \times L$）为 900 × 1800 的 08F 冷轧钢板

采用纵裁：裁板条数　$n_1 = \dfrac{A}{B} = \dfrac{900}{220} = 4$ 条。余 2mm

$$\text{每条个数 } n_2 = \frac{L - a_1}{h} = \frac{1800 - 2}{217} = 8 \text{ 个。余 } 62\text{mm}$$

板的材料利用率

$$\eta_\Sigma = \frac{n_\Sigma \times \frac{\pi}{4}(215)^2}{A \times B} \times 100\%$$

$$= \frac{32 \times \frac{\pi}{4}(215)^2}{900 \times 1800} \times 100\% = 71.7\%$$

如先纵切 60mm 再纵裁，则可有余料 60 × 900 的一块。

采用横裁，可裁条料 8 条，每条可冲 4 个毛坯，也共得 32 个毛坯；所以板的材料利用率与纵裁相同(计算从略)，但两者余料不一样，横裁有余料 40 × 1800 一块，不如纵裁的好利用，但横裁料短，操作稍方便。

如选用 2 × 1000 × 2000 板料，则材料利用率将降为 62%。

http://shop62964869.taobao.com/

（七）计算各工序冲压力与压力机吨位选择

1. 落料、拉深工序

(1) 落料力

$$P_b = 1.3\pi Dt\tau = 1.3\pi(215)(2)(300) = 527\text{kN}$$

式中 $\tau = 300\text{MPa}$，由表 1-24 查得。

(2) 卸料力

$$P_x = K_x P = 0.04 \times 527 = 21\text{kN}$$

式中 $K_x = 0.04$，由表 3-7 查得。

(3) 拉深力

$$P_{d1} = \pi d_1 t\sigma_b k_1 = \pi(120)(2)(400)(0.9) = 271\text{kN}$$

式中 $\sigma_b = 400\text{MPa}$，由表 1-24 查得；$k_1 = 0.9$，由表 3-70 查得

(4) 压料力

$$Q = \frac{\pi}{4}[D^2 - (d^2 + 2r_d)^2]q = \frac{\pi}{4}[215^2 - (122 + 2 \times 14)^2] \times 2.5$$

$$= 47\text{kN}$$

式中 $q = 2.5\text{MPa}$，由表 3-66 查得。

(5) 压力机吨位选择

由于采用刚性卸料，则压力机所需最大吨位为

$$P_\Sigma = P_b + Q = 527 + 47 = 574\text{kN}$$

根据车间设备吨位和有无气垫情况，可选用大于上值的 630、800、1000 或 1600kN 压力机。

2. 第二次和第三次拉深力计算(略)

3. 整形力计算

$$P = Fq = \frac{\pi}{4}(101^2 - 78^2)(200) = 647\text{kN}$$

式中 $q = 200\text{MPa}$，见表 3-82。

因整形时调整不慎易超载，故应选用吨位较大的压力机。

4. 修边、压凸台冲压力

由于使用废料切刀，故无需计算卸料力。

(1) 修边力

$$P = \pi D' t\sigma_b = \pi(89)(2)(400) = 224\text{kN}$$

(2) 压 3 个凸台

按式(3-53)

$$P = KLt\sigma_b = 0.7[2(20 - 12) + 12\pi](2)(400) = 30\text{kN}$$

(3) 所需压力机吨位

$$P_\Sigma = 224 + 30 = 254\text{kN}$$

可选 400kN 压力机。

5. 翻边、冲孔力

http://shop62964869.taobao.com/

(1) 翻边力

$$P = kLt\sigma_b = (0.5)\pi(83)(2)(400) = 104\text{kN}$$

这里参考式(3-52)，不考虑压边力，因系封闭轮廓翻边，所以 k 值比原来 0.3 稍增大。

(1) 冲孔力

$$P = 1.3\pi Dt\tau = 1.3\pi(12.5)(2)(300) = 30\text{kN}$$

（八）各工序模具结构

落料、拉深模结构总图见图 6-35。

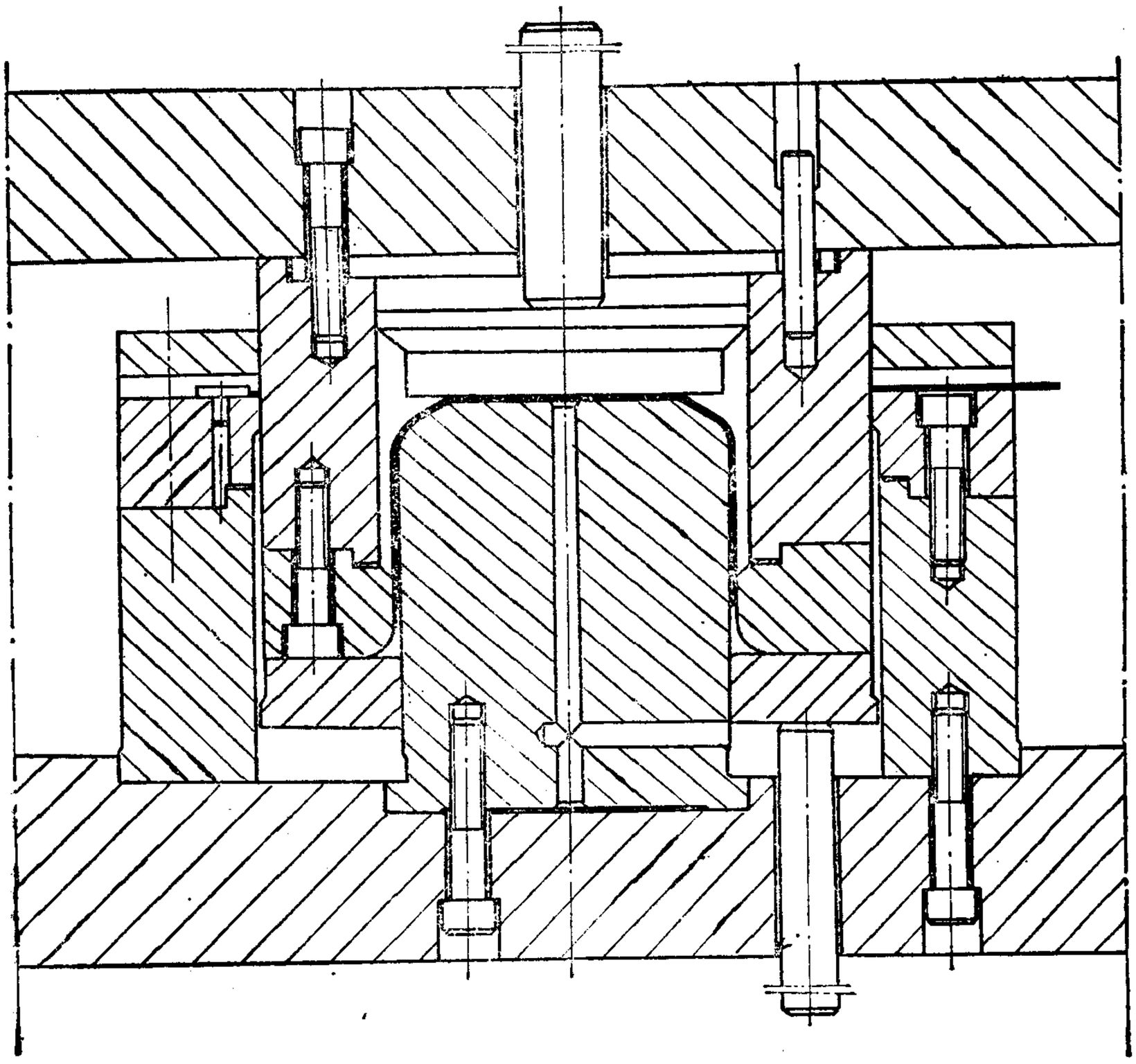


图 6-35　落料、拉深结构总图

http://shop62964869.taobao.com/

第七章　多工位级进模

一、多工位级进模分类

多工位级进模可分为：

1. 冲裁多工位级进模(前已有讨论)：

1）冲落形式级进模　包括冲孔等冲裁工位而最后落料，如工位不多的冲孔落料级进模。

2）切断形式级进模　包括冲孔等冲裁工位而最后切断，如图 5-3 冲孔、切口和切断级进模。

2. 成形工序多工位级进模：

1）拉深多工位级进模　对其工艺在第三章已有讨论，而深级进模结构见图 5-12。

2）有弯曲等成形工序的多工位级进模　这在前面还未提及，将在本章讨论。

二、多工位级进模的特点

为适应当前电子、计算机等超小冲压零件的大批量生产，通常较多采用高速压力机，而对模具则要求高精度、高寿命、安全可靠和便于调整和维修。因此，多工位级进模冲压工艺和模具结构的设计有如下一些特点。

（一）冲压工艺的设计

1. 为消除或减少带料在各工位变形时所产生的相互影响，常在进行成形工序以前，在带料上先切槽(或切缝)，或切去毛坯(约相当于制件的展开尺寸)周围大部分废料，而特意留一小部分材料，供运载毛坯之用。这种运载毛坯的材料，称之为载体。根据制件形状、变形性质以及料厚等情况，载体可有各种不同的形式，如：

(1) 整料载体(图 7-1)

它是在带料上相应的制件毛坯周围切缝而带料宽度上不预先切槽。如圆筒形浅拉深件的级进冲压。

(2) 中部留料载体(图 7-2)

它是沿带料上制件毛坯四周切离大部分，只在带宽的中部留少量材料。 如弯曲件的级进冲压。

(3) 双侧留料载体(图 7-3)

它是在带料两侧留少量材料。如料薄而较长(即需较宽带料)制件的级进冲压。

(4) 单侧留料载体(图 7-4)

它是只在带料一侧留少量材料。如料厚在 0.3mm 以上或料虽薄但较短(即需较窄带料)

http://shop62964869.taobao.com/

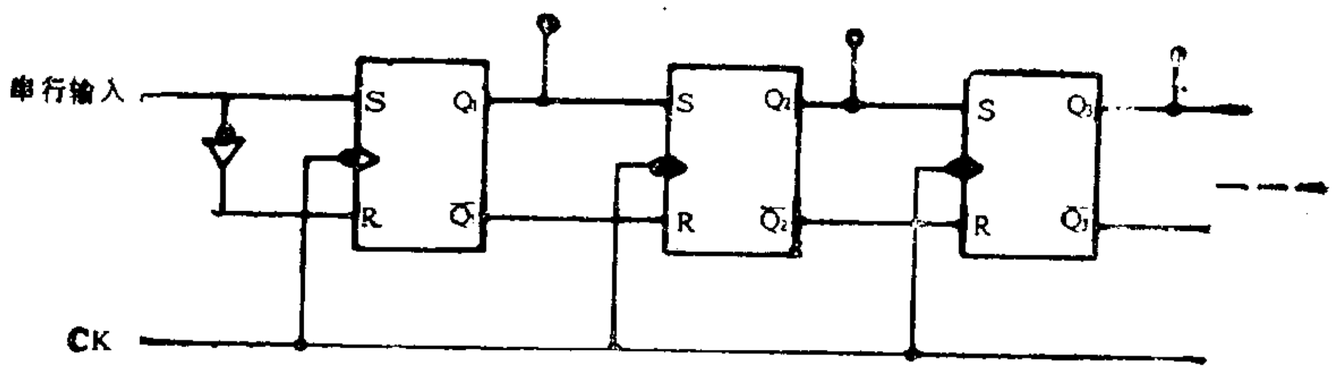


图 7-1　整料载体

1—冲孔　2—导正、切缝　3—导正、拉深

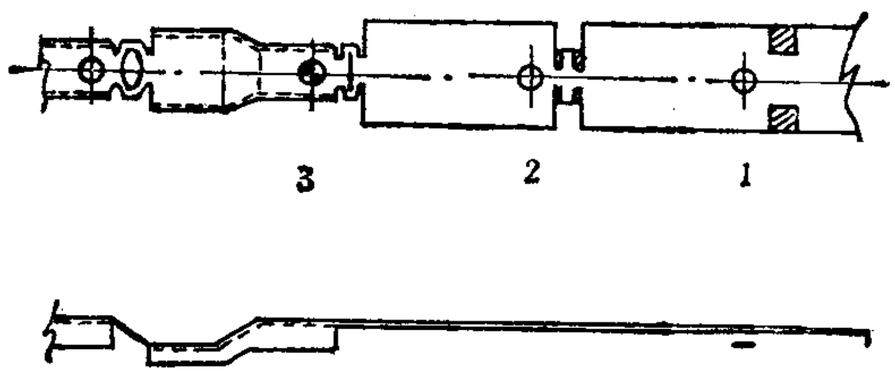


图 7-2　中部留料载体

1—切槽、冲孔　2—导正、切槽　3—导正、冲孔、成形与弯边

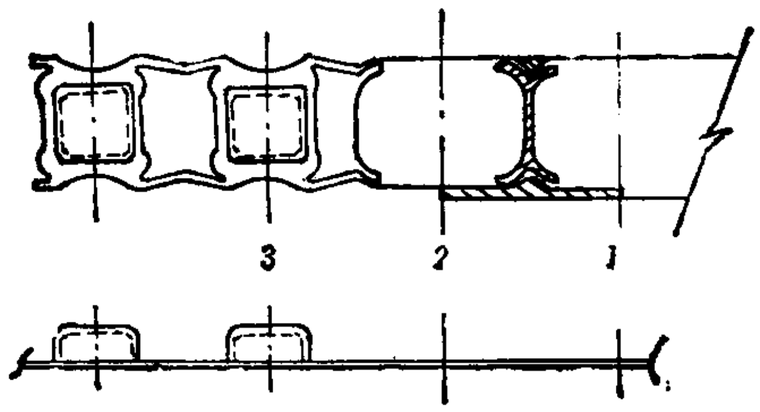


图 7-3　双侧留料载体

1—冲槽　2—空位　3—拉深

制件的级进冲压。

2. 常在第一工位冲孔(制件本身上的孔或带料上专用的工艺孔)，而在以后各工位用导正

http://shop62964869.taobao.com/

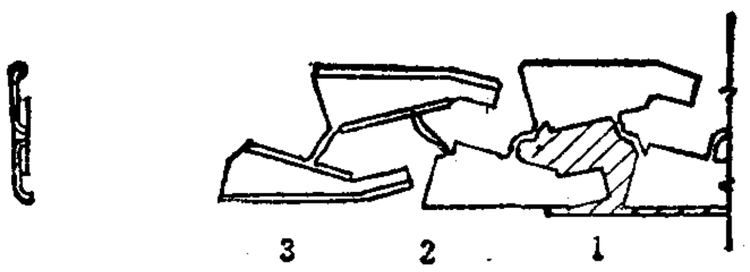


图 7-4　单侧留料载体

1—切口　2—弯边　3—弯边

销插入这预冲孔内，以保证送进步距的精度。在用侧刃或自动送料装置送进时，常使带料送进步距比实际所需多送进一校正量 δ（见表 4-38），而由导正销使带料退回到准确位置。

3. 有些成形工序的变形量，可比常规单工序成形时适当降低，而工位数则稍多一、两个，以保证安全生产和冲模调整时变动的需要。

4. 制件上精度要求较高的相关连部位，尽可能考虑一次同时冲出。

5. 在多个凸模同时冲裁时，要考虑卸料力应有较多的富裕，如相当 30% 左右的冲裁力。

6. 模具实际压力中心，离模架柄中心的最大距离，不应大于 $L/6$（L 为凹模长度）。

7. 选用压力机以只用其 60% 公称压力为好。

8. 为缩短行程距离和减少回弹量，在弯 90° 单角（或U形）时，常先弯 45°，而在随后工位再把它弯成 90°。

9. 象图 7-5 所示的弯边，带料的弯曲基线，将或上或下变动其位置，应使位置变动的一半垂直距离，居乎凹模平面之上，而另一半在凹模平面之下。目的在使作用于带料，将其拉离工位位置的力减至最小。

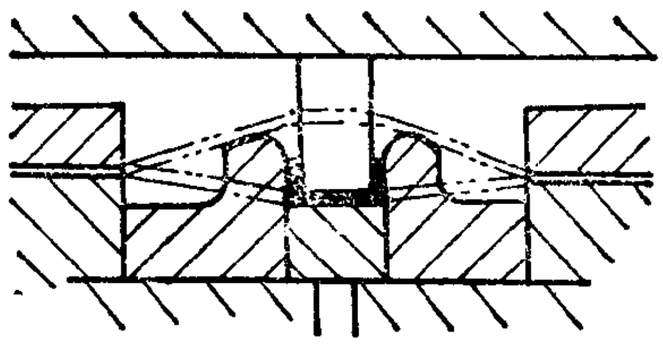


图 7-5　对弯曲基线位置的考虑

（二）模具零部件和结构的设计

1. 模架结构

为提高模具整体动态刚性和精度，对高精度级进模常采用滚珠导套与导柱（参见第十一章表 11-17 至表 11-19；滚珠 ϕ 3～5，要求严格选配：　直径公差小于 0.002mm，椭圆度小于

http://shop62964869.taobao.com/

0.0015mm，以保证均匀接触)的模架。图 7-6 是一种导板式标准模架。这里，下模座 8 与弹压导板 6（卸料板)用导柱 4、导套 5 导向。 上模上凸模与凸模固定板有较大间隙，可作水平方向浮动，但它与弹压导板上的相应孔有较好的滑配关系。这是通过在导板孔（它比凸模直径约大 2～3mm）中浇注环氧树脂等材料①（为此，凸模与导板孔先以丙酮清洗，停 10～15min 后，凸模涂脱模剂，导板孔不涂，待 12h 固化后，才能进行浇注)来达到，以保证有 0.005～0.01 mm 的双边间隙。采用以上方法既保证了模具精度又显著地降低了加工要求，但从导板式模架导向要求，凸模在工作时必须不离开导板，并至少保留约 10mm 在导板孔中。

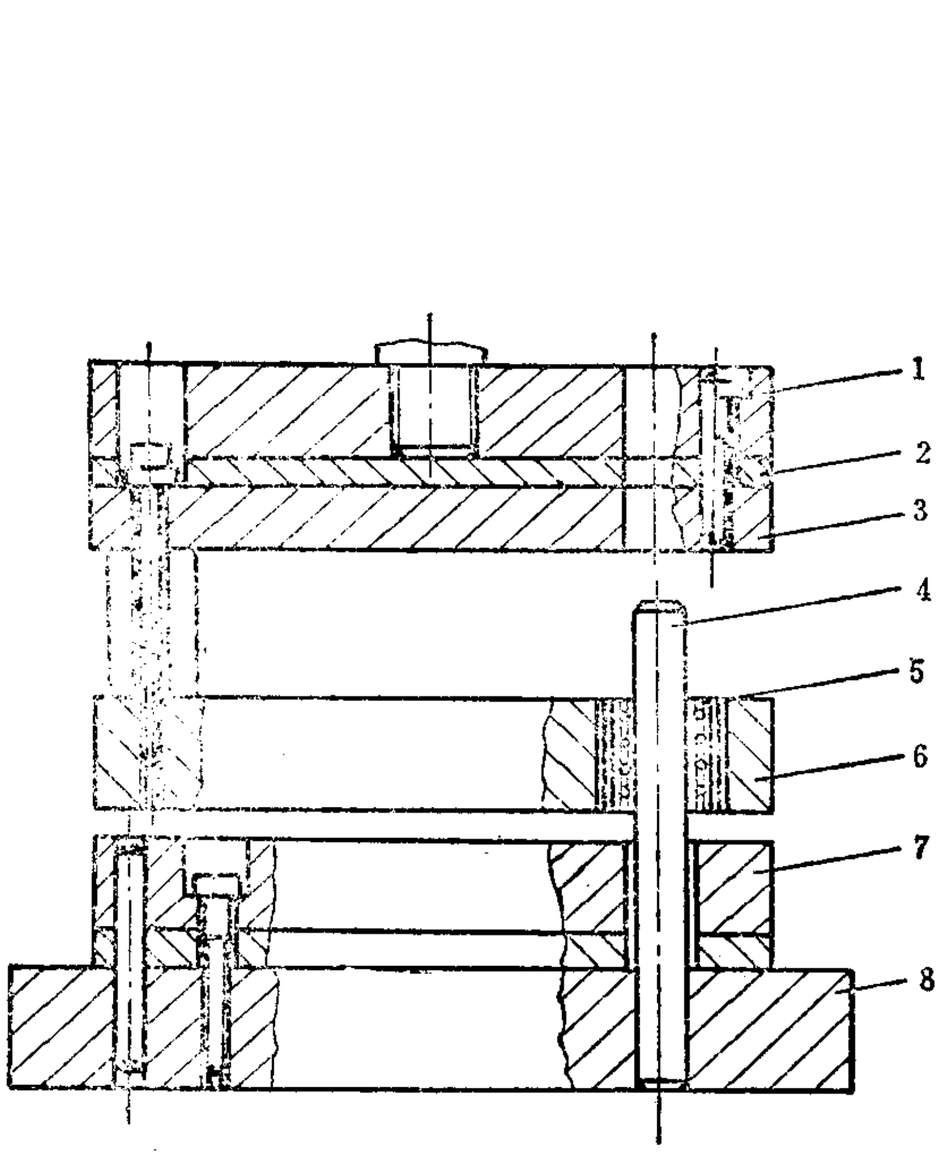


图 7-6　导板式标准模架

1—上模座　2—垫板　3—凸模固定板　4—导柱　5—滚珠导套　6—弹压导板　7—凹模固定板　8—下模座

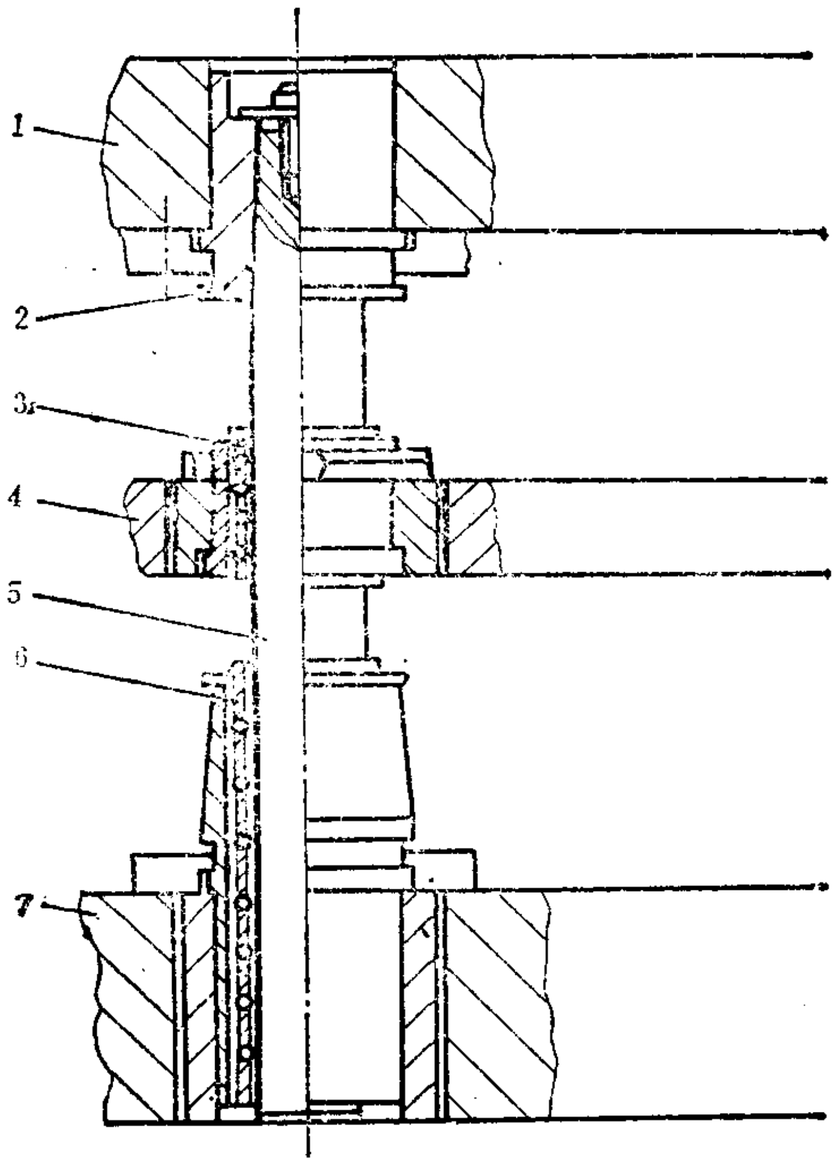


图 7-7　导柱式标准模架

1—上模座　2—固定套　3—滚珠导套　4—弹压导板　5—导柱　6—滚珠导套　7—下模座

图 7-7 是一种导柱式标准模架，导柱 5 是通过固定套 2 固定于上模座 1，使上模座和弹压导板 4 及下模座 7 均有导向关系，这种模架精度较高，加工比导板式费时。以上两种模架的导套均可采用环氧树脂或无机粘接剂浇注固定，或与模座取 H6/m5 或 H6/n5 配合(不宜用过盈配合，以免导套外圈变形反而影响导向精度。

2. 托料装置

托料装置的主要作用是在每次冲压行程以后，把在各工位的带料从工作位置托起到送料线高度的最上位置。一般来说，模具上送料线高度位置的波动，不宜超过压力机行程的 1/3，否则定位困难，影响制件精度。

图 7-8 表示托料位置的几种不同形式。图 (a) 为圆柱式托料钉，它成对地配置在带料两边，由两托料钉上槽(槽宽约 1.5～2 倍料厚)的底部来把带料托起。图 (b) 为板式托料装置。

① 国产有 EMC 胶粘剂，树脂与硬化剂比为 10:1，详见《模具工业》1987 年第 11 期祝创业"环氧树脂浇注工艺在级进模中的应用"一文。

http://shop62964869.taobao.com/

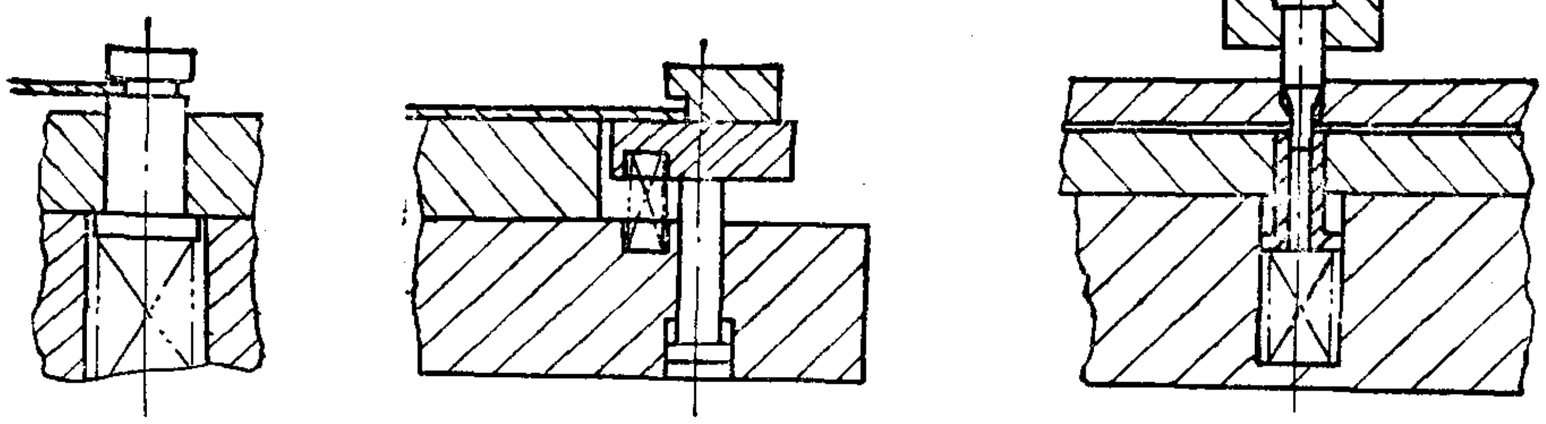


图 7-8　托料装置

（a）圆柱式托料钉　（b）板式托料装置　（c）利用导正销管轴的托料装置

图（c）是利用导正销管轴的托料装置。

为配合托料装置，凹模中常设计有顶出器，以把半成品从凹模中顶出。

3. 导正销与有卸料套的导正销

导正销的作用为纠正送料的进距误差或使外轮廓与内孔有一定尺寸关系。为前一目的，需导正销 2 只，以 H7/K6 配合装于凸模固定板，其位置是在垂直于进料方向的一直线上，其导向部分直径比所冲工艺孔径小 0.02mm，作用时并高出弹压导板约 1 个料厚。为后一目的，导正销则装于凸模孔中，其导向部分直径与上同，并比凸模工作平面高出也约 1 个料厚。（导正销的形式可参见第十一章）。根据具体情况还应穿插安装一定数量带有卸料套的导正销(见图 7-9)，对于不便安置卸料套情况，则可装弹顶销，以防带料跟着固定板上带。

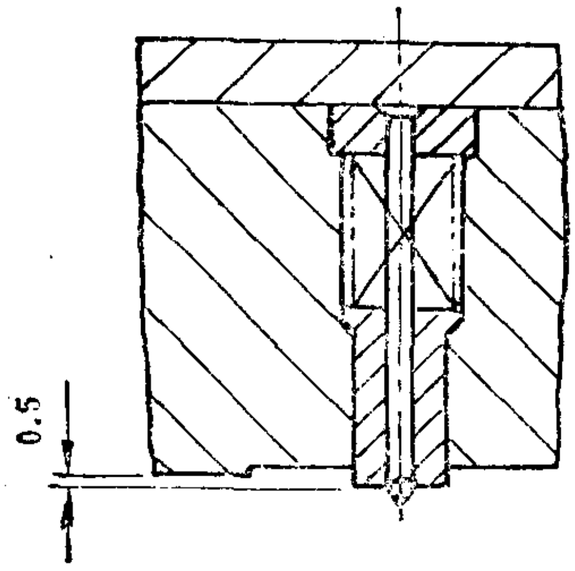


图 7-9　带有卸料套的导正销

4. 凸模高度微调机构(见图 7-10)

在调整模具时或在冲裁凸模刃磨后，常需对弯曲、压坑等凸模的高度位置作微调。图中斜楔端部开有 T 形槽，可放入调节螺杆头的肩部，因此转动螺杆，斜楔即能移动而使凸模下调。

5. 间隙微调机构(图 7-11)

为保证制件回弹后的弯曲精度，有时需对弯曲凸模作水平微调，以调整间隙量。图中（a）、(b）分别为上凸模与下凸模的微调机构(视模具结构，选用其中一种)。图中螺杆 5 左端为一偏心的圆柱头，它与斜楔 6 上的长槽啮合，所以转动螺杆，即能使斜楔上下移动，使弯曲凸模 1 或 8 作水平移动，得微调间隙量。

6. 反向垂直加压机构

如图 7-12 所示，通过机构使压力机由上向下垂直加压转变为由下向上的反向垂直加压。它用于向上压弯、翻孔等工作。

7. 检测装置

为保证安全，常装有送料失误检测等装置。图 7-13 表示，以浮动导正销用作检测元件，当导正销不能正常地插入所要导正的孔中时，则导正销上斜锥部分即推动触发销向左移动，触发低压(12～24V)微动开关，使设备自动停车。在工位较多时，不直接利用导正销，可通过一些杆件和盖板等间接地推动触发销。

http://shop62964869.taobao.com/

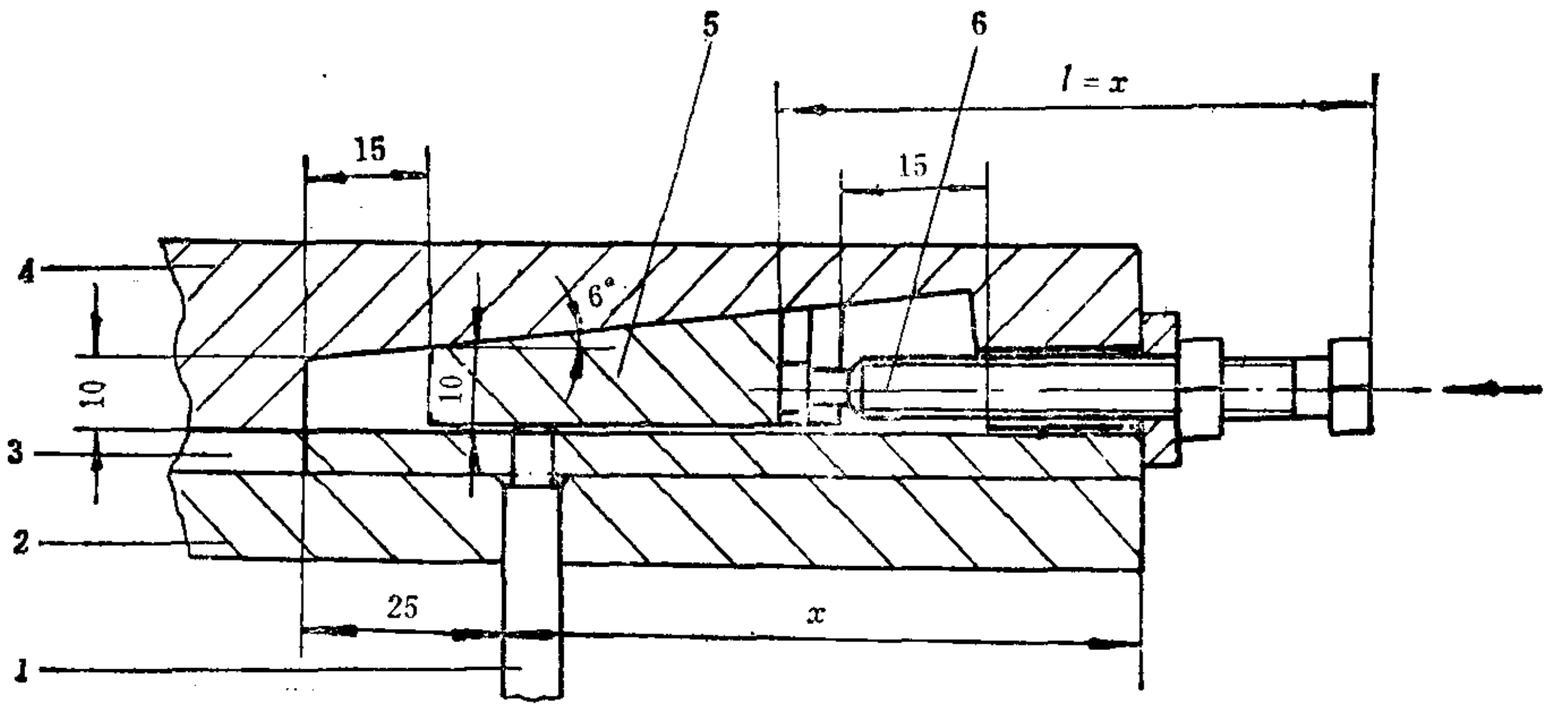


图 7-10　凸模高度微调机构

1—凸模　2—凸模固定板　3—垫板　4—上模座　5—斜楔　6—调节螺杆

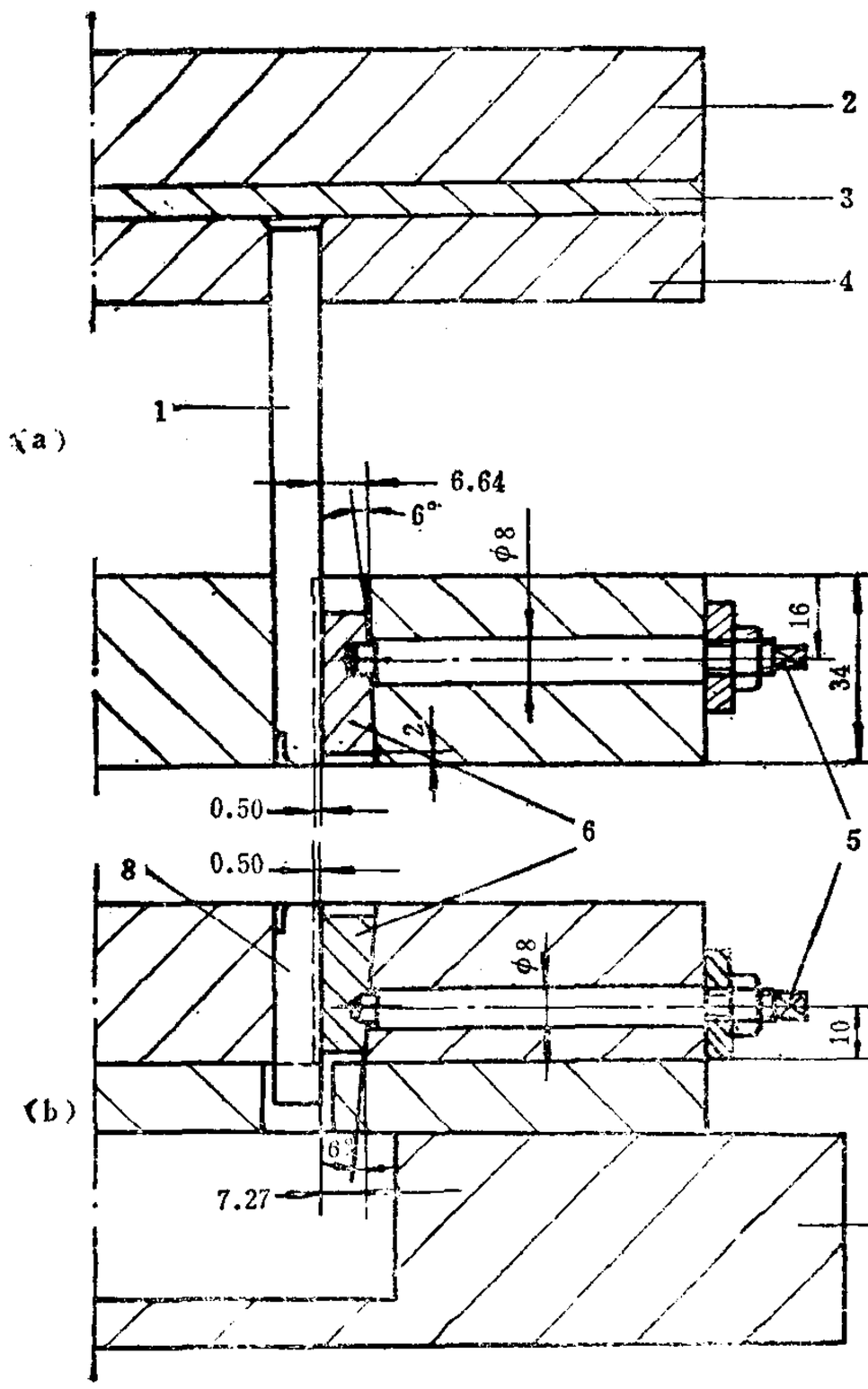


图 7-11　间隙微调机构

(a) 上凸模微调机构　(b) 下凸模微调机构

1—上凸模　2—上模座　3—垫板　4—凸模固定板

5—调节螺杆　6—斜楔　7—下模座　8—下凸模

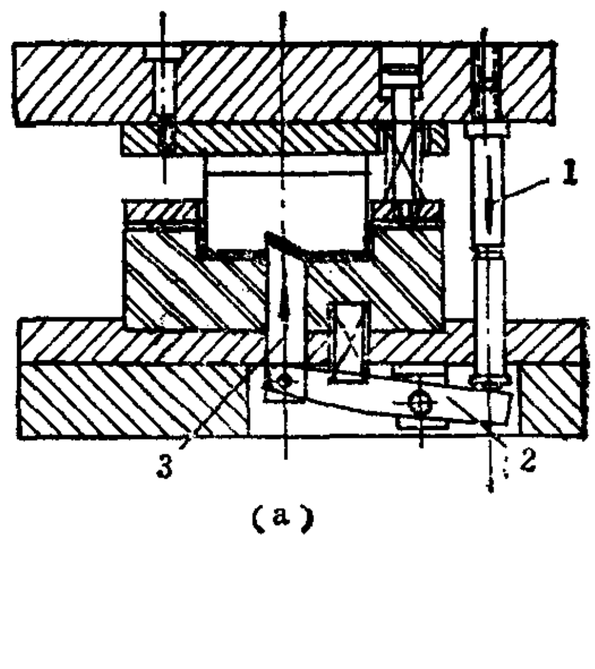


图 7-12　反向垂直加压机构

(a) 摆杆机构　(b) 转板机构

1—压杆　2—摆杆　3—反压凸模　4—转板

8. 其它一些要求

(1) 为提高模具寿命

http://shop62964869.taobao.com/

1）合理选择凸、凹模具材料和加工精度，如凸模用 9CrWMn、W6Mo5Cr4V2 等，凸模用 Cr12MoV 或硬质合金等，刃口粗糙度 R_a 值取约小于 0.4μm，尺寸公差为 0.005 或 0.01mm；

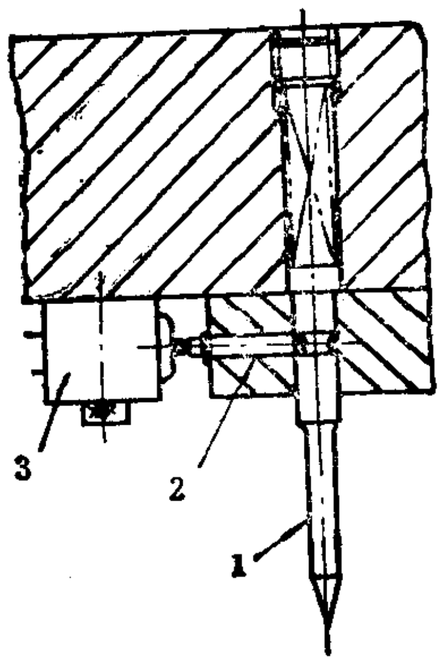


图 7-13　利用浮动导正销的送料失误检测装置
1—浮动导正销　2—触发销　3—低压微动开关

2）减轻上模质量，以减少惯性力、振动和发热现象；

3）适当增加下模座厚度，以提高刚性减少模座上零件变形；

4）避免弹压导板等零件受力偏载；

5）合理润滑。

（2）为便于维修

1）凹模零件做成镶套或镶块；

2）考虑冲裁凹模刃磨后，其它工位的成形凹模也应降低相应量，所以常在成形凹模下面垫上一衬板，备以后按调整需要把衬板磨去相应的量。

三、多工序级进模的设计步骤

（一）对制件的分析

了解材料的性质和厚度、关键孔的尺寸(大小和位置)、关键的表面、冲压件形状、尺寸与精度要求、设计和工艺上对材料纤维方向要求如何、有无指定毛刺方向、哪是制件的基准面等等。根据制件使用要求，分析其冲压工艺性。

（二）对设计冲模的客观条件的分析

1. 制件的生产纲领——每月、每年的需要量。

2. 可供使用的压力机设备——公称额定吨位、每分钟行程数、行程长度和可调节范围、装模柄的孔径和深度、滑块尺寸(左右×前后)、工作台垫板尺寸(左右×前后)、滑块和垫板上 T 形槽位置和尺寸、工作台垫板上漏料孔形状和尺寸、气垫的顶杆孔直径和位置、气垫压力、送料装置种类、送料方向、送料线高度与可调节量等。

（三）绘制件展开图

如图 7-14 所示，图中表示了完整的制件和它展开后的毛坯板料形状以及它中间成形过渡阶段的位置情况。

先描出准确的制件图，而后，用细的双点划线绘上展开后各个成形部位起始冲压的位置，绘出各垂直中心线和水平中心线。图中还表示了运料载体(在绘带料排样图之前，如有可能预见时，则表示之)。有时，还可用蜡、橡皮泥或塑料片等做一些模型来帮助设计。绘出制件展开图后应检查一遍，看是否无误。

http://shop62964869.taobao.com/

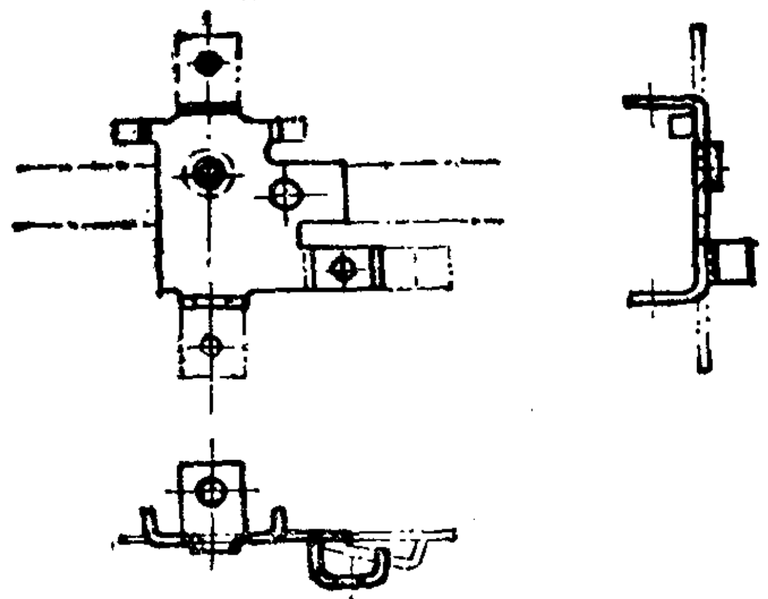


图 7-14　制件展开图

（四）作出带料排样图

由级进模的带料排样图标志出一系列设想的制件冲压过程的位置，表示出模具在每一工位所要进行的冲压工序。

带料排样图可采用以下步骤得到：

1）确定制件的正确冲压工艺流程。

2）确定制件在带料上的排样方式：单排、双排或多排。

3）设想制件在该每一工位冲压后应有的形状和尺寸，将其表示在一系列的单个平面图上。然后，把这些平面图，通过以水平线为基准，用胶带贴在图板上。

4）用透明胶带俯贴在这些图样上，以便以后把它们一起从图板上掀下时，它们都能连在

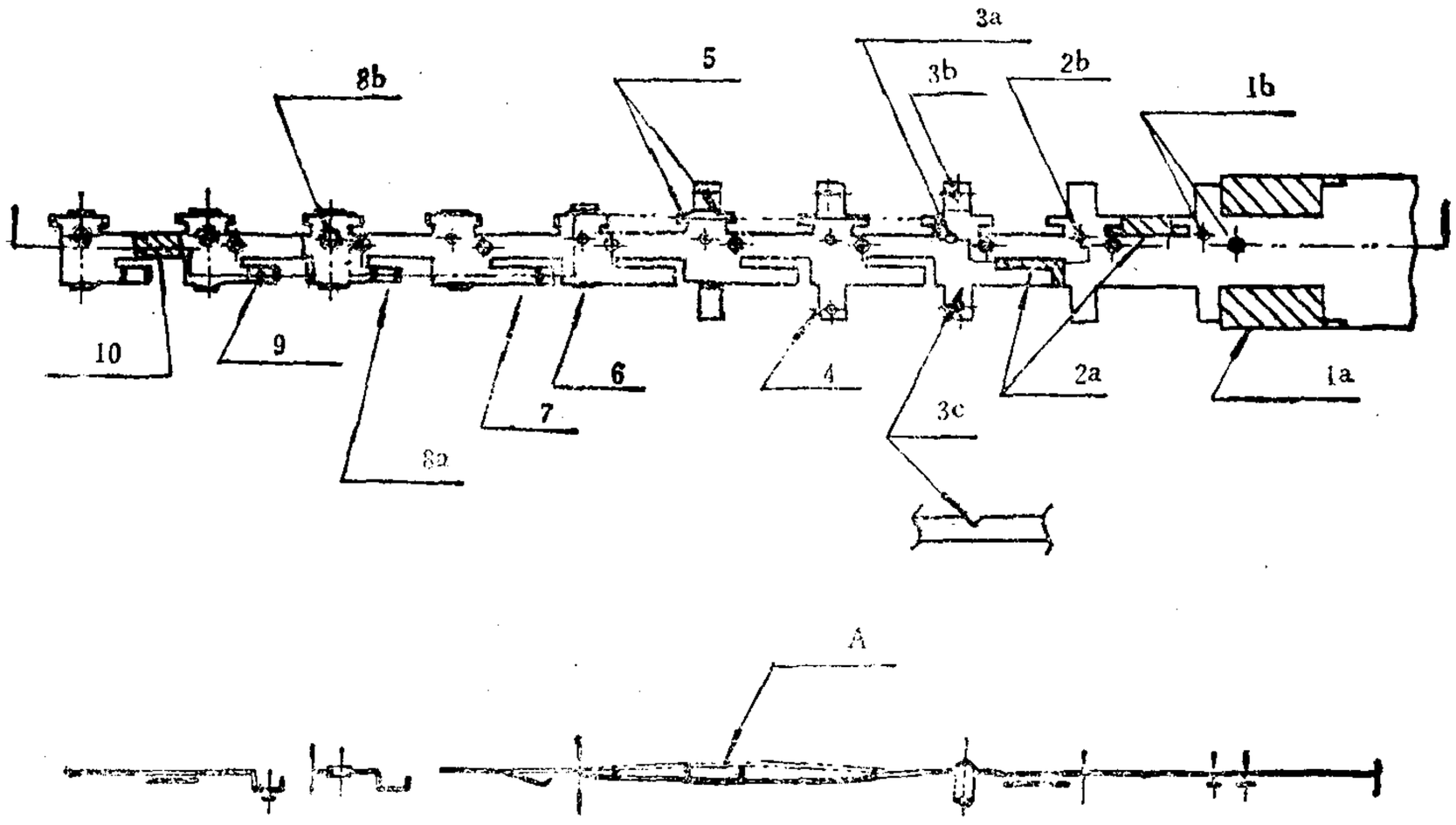


图 7-15　带料排样图

3a 进距侧刃切口　1b 冲孔　2a 切口　2b 整修孔　3a 压坑　3b 冲孔　3c 压痕　4 空位　5 向上弯边　6 空位　7 初次成形　8a 终成形　8b 挤压孔　9 冲孔　10 切断

A 弯曲基线，等距离波动于凹模平面上下

http://shop62964869.taobao.com/

一起。

5）在每一工位上用色笔表示所将进行的工序种类，如用红色表示剪切工序，用蓝色或绿色表示成形工序。

6）直接在图上标出工序名称及初步设想。

图 7-15 是一制件的带料排样图的简图。它根据制件形状，采用了中部留料载体方式。图中共有十个工位，其中 4、6 两工位是空位。

（五）对以上初步排样图进行复查和修改

1. 哪些工位没有必要或可与其它工位合并？

2. 是否有下列原因要添加一些空工位

（1）凹模的形状复杂，工作条件差；

（2）对一些成形工序把握不大，留一些伸缩余地；

（3）在制件上材料不允许受较大拉伸时，留一工位以缓冲。

3. 制件上没有合适的孔可在第一工位冲出，供以后导正销定位用，则应考虑冲工艺孔，最好在所有后继工位均配备有导正销。

4. 如可能，最好装起始档料销，以免在第一次冲压时用目测定位。

5. 如可能，安排进距侧刃，以保持送料有恰当进距；在采用自动送料装置时，可不用侧刃，但必须配备有导正销。

6. 带料提升装置的位置是否设计得当？

7. 从孔的尺寸和位置精度判断是否要求在成形工序以后冲孔，以免尺寸改变？

8. 用一覆盖的纸片作为假想的带料，通过“模具”，检查每一道工序是否有任何冲下的废料可能留在“模具”上？

（六）其它设计步骤

1. 将所考虑的初步带料排样图审定，以能再次消除差错。

2. 从审定后的带料排样图绘出正式的带料排样图（也用 1:1 比例）。这排样图即表示了凹模平面图。

3. 在凹模平面图的基础上，在图的上方以 2:1 比例，绘制凸模的仰视平面图。

4. 补充必要的视图。

5. 在凹模（或凸模）平面图上，按加工制造要求，在图面左方合适位置（如某一基准孔处），规定为“0”位坐标，从“0”位坐标开始，标注各工位位置和所需尺寸。我国引进西德工厂资料，有用表 7-1 中的简化标注方法来表示实际尺寸精度。

6. 加法技术条件和说明，以便进行制造。

7. 对以下问题作最后一次审查

（1）带料的托起、定位和控制（如导正销等）；

（2）弹压导板的行程；

（3）制件、废料的顶出和废料的排除；

http://shop62964869.taobao.com/

表 7-1　图上尺寸简化标注方法

类　　别	图上所注尺寸	实际代表意义
1	15	15±0.3
2	15.0	15±0.1
3	15.00	15±0.01
4	15.000	15±0.001

注：一般外形尺寸或非配合尺寸取 1 类；紧固件孔距或非主要尺寸取 2 类；关键尺寸或型孔等主要尺寸取 3 类；对特别需要精密的尺寸取 4 类。

(4) 工作条件差的凹模的情况；

(5) 冲模是否与压力机情况相适应？

(6) 冲模是否与生产量要求相适应？

8. 对这初步设计请求批准。

9. 进行总图设计。

10. 如有需要，绘制零件图。

以上设计步骤只是根据一些文献和工厂经验编写的，仅作设计者参考。

http://shop62964869.taobao.com/

第八章　聚氨酯冲模、锌基合金冲模和硬质合金冲模

为适应新产品的试制和小批量生产，应有各种形式的简易模。它们的优点是制造周期短，制造费用较低，并且有时制件的质量也不比常规钢模差，所以它们在一定范围内得到较多采用。以下将介绍其中几种简易模，但在冲压件生产量较大时，较广泛采用硬质合金模，所以对其也作一简单说明。

一、聚氨酯冲模

（一）概述

一般聚氨酯冲模是指冲模的工作零件（指凸、凹模）之一采用了聚氨酯。聚氨酯是一种聚氨基甲酸酯为主链的弹性体，它是一种高分子材料。它按加工方法不同可分为浇注型、热塑型以及混炼型三类。按主要原料的不同可分为聚酯型、聚醚型以及聚酰胺型三类。目前用于冲压模具的一般是浇注聚酯型聚氨酯。它比天然橡胶有以下优点：

1）能产生较高单位压力和剪切力，耐冲击强度也较高，在较大弹性压缩量下，产生的永久变形也较小。

2）耐磨、耐油、耐老化以及抗撕裂性能较好。耐磨性约为天然橡胶的5～10倍，耐油性约为天然橡胶的5～6倍。

3）硬度可比橡胶高，切削性能较好。

当然，聚氨酯也有它的局限性，如温度敏感性强，耐高温与低温性能差，耐水解性能也较差。

聚氨酯冲模特点有：

1）常规冲模中，凸模必须与相应的凹模匹配，但聚氨酯冲模，一件为刚性材料，而另一相应件为有一定柔性的材料（即聚氨酯），两者无需满足一定的匹配要求，所以聚氨酯冲模结构简单，制造容易，对冲裁薄料（如箔）尤有突出优点。

2）因聚氨酯能紧贴毛坯逐步成形，所以对金属表面不会刮伤，并且成品制件的回弹量也小。

3）用一套冲模可得到厚度不同的制件，遇各种不同冲压要求，它的应变能力也较强。

4）用聚氨酯冲裁的缺点是所需搭边比常规钢模大很多（一般为4～5mm），所需冲裁力为常规钢模的6～10倍，生产率不高，对冲小孔也有以下限制

$$d>\frac{4\tau t}{q}\approx\frac{3t\sigma_b}{q}$$

式中　d——圆孔直径（或方孔边长，长方孔短边长）；

http://shop62964869.taobao.com/

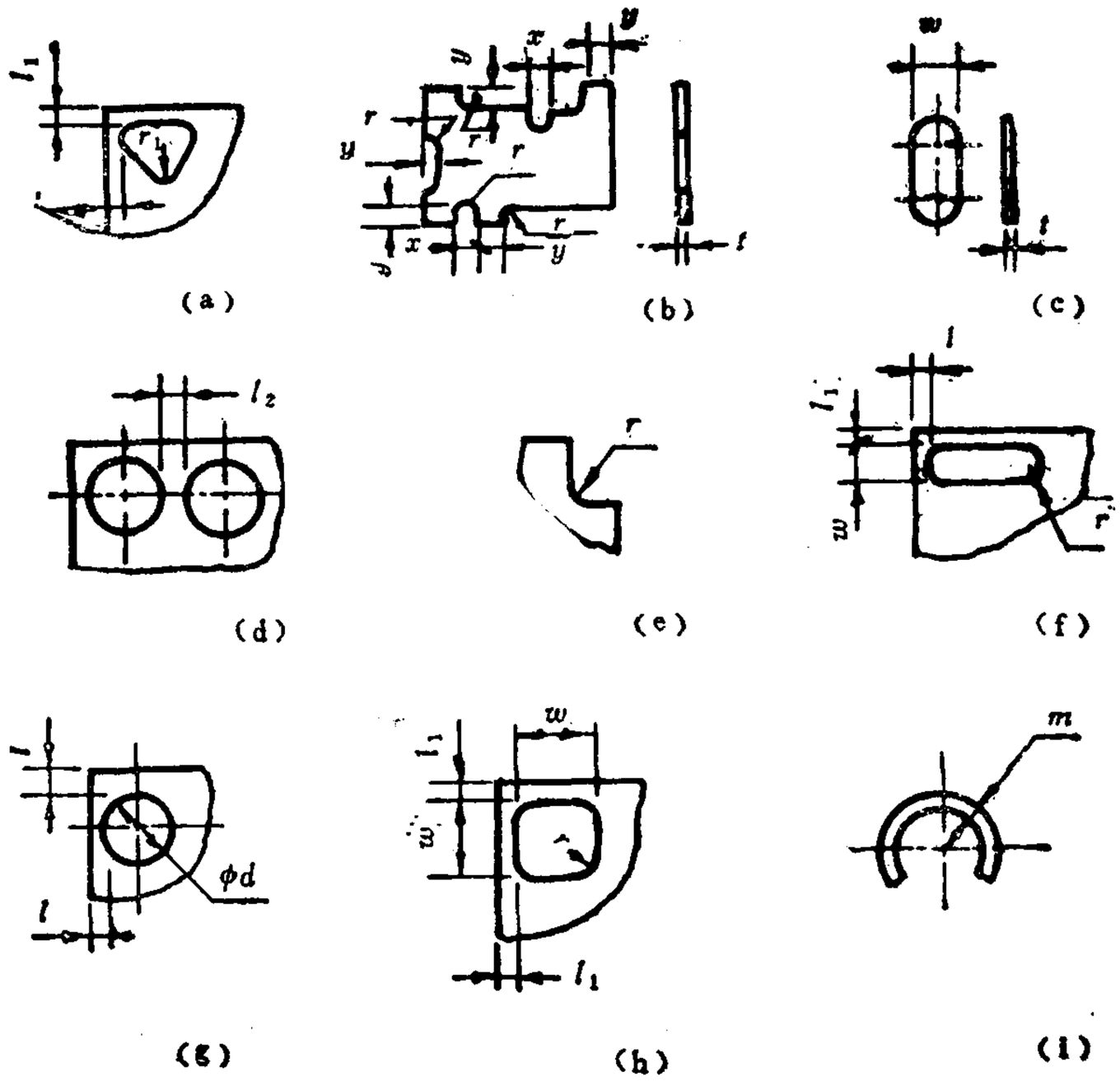


图 8-1　冲裁零件的结构要素

表 8-1　冲裁零件结构要素尺寸的最小值

冲裁零件结构要素	图中标记	毛坯材料	
		高塑性的	低塑性的
		LY12M, LF21M, T1, T2, T3, 1Cr19Ni9Ti 钢 3, 钢 10	LY12 TC1, TC2
1. 零件宽度(图 8-1c)	w	$5t$	$3t$
2. 零件局部外凸宽度(图 8-1b)	y	$(3\sim4)t$	$2t$
3. 圆或三角形孔边缘至外缘距离(图 8-1a、g)	l	$4t$	$3t$
4. 矩形孔与外缘的平行距离(图 8-1a、f、h)	l_1	$(5\sim6)t$	$4t$
5. 尺寸差别不大的两孔间距(图 8-1d)	l_2	$(4\sim5)t$	$(3\sim4)t$
6. 圆环宽(图 8-1i)	m	$(4\sim5)t$	$(4\sim5)t$
7. 正方形、矩形孔角部圆角半径和零件边框过渡处的圆角半径(图 8-1b、e、f、h)	r	$(0.5\sim1.0)t$	$(0.5\sim1.0)t$
8. 三角形孔角部圆角半径(图 8-1a)	r_1	$(1.0\sim1.5)t$	$(1.0\sim1.5)t$

http://shop62964869.taobao.com/

τ、σ_b——冲压材料的抗剪强度和抗拉强度；

q——聚氨酯的最大容许单位压力，与聚氨酯的硬度和压缩量有关，由生产工厂提供图表得到。

5）制件的结构要素尺寸(见图 8-1)要按表 8-1 进行校核。

（二）聚氨酯的性能和硬度选择

表 8-2　国产浇注型聚氨酯橡胶的性能

性能项目 \ 统一标号	A6 (8260)*	A7 (8270)*	A8 (8280)*	A9 (8290、8295)*
硬度(邵氏 A)	63±5	73±5	83±5	90～98
300%定伸抗拉强度 (MPa)	2.5	5.0	10	13～15
抗拉强度 (MPa)	30	40	45	45
撕裂强度 (MPa)	5	7	8	9～10
扯断伸长率(%)	550	500	450	400～450
断裂永久变形(%)	8	8	12	15～18
冲击回弹(%)	15～30			
脆性温度(℃)	−50			−40
阿克隆磨耗 (cm^3/1.6km)	0.1			
老化系数 (100℃,72h)	≥9			
耐油性(煤油、室温、72 h 的增重率%)	≤4			≤3

注：* 号为南京橡胶厂生产的老牌号。

表 8-3　聚氨酯模具元件的硬度

冲压工艺	模具元件名称	肖氏硬度范围	备　注
冲　裁	凹模 顶件器、卸料器	90～95A 70～90A	
弯　曲	型腔式凹模 容框式凹模 顶件器	90～95A 80A 70～80A	
折弯机上弯曲	凹　模	70A	
滚　弯	弯曲垫板 滚轴	70～80A	
拉　深	型腔式凹模 容框式凹模 凸模 压边圈	80A 70～80A 70～80A 70～80A	大值用于浅拉深 深拉深
翻　边	衬垫 压边圈	90～95A 90～95A	大值用于浅翻边
胀　形	凸　模	80A	
局部成形	上　模	90～95A	

注：薄料和软料可取表中小值。

http://shop62964869.taobao.com/

国产浇注型聚氨酯性能见表 8-2。

一般情况下各种冲模所用聚氨酯元件的大致硬度范围见表 8-3。

（三）聚氨酯冲裁模

聚氨酯冲裁过程，从容框中的聚氨酯压紧毛坯开始，随压力机继续下行，由聚氨酯被压缩所产生的压力，将搭边（或所冲孔的冲肉材料）绕切割模板或凸模（或凹模）弯曲和拉伸，后在刃口处形成裂纹而分离。

用聚氨酯进行冲裁，冲制铝合金和铜合金料厚可达 2～2.5mm，合金钢和碳钢可达 1～1.5mm，钛合金可达 0.8～1mm，也可冲裁 4mm 厚料，但制件表面质量降低，压力机所需负荷将增加较多。对冲裁薄料则无限制，甚至可冲裁 0.02～0.05mm 铝、铜箔而毫无毛刺。

用聚氨酯能进行单个工序的冲裁外，还可进行复合工序，如落料和冲孔或压筋、压坑等。

按所用毛坯形式的不同有两类冲裁模即简易冲裁模和常规冲裁模。

1. 使用块状毛坯的聚氨酯简易冲裁模

图 8-2 为聚氨酯简易冲裁模的示意图。这种模子较多用于航空等工业的小批量生产。图 8-3 为该模上所用切割模板的示例。

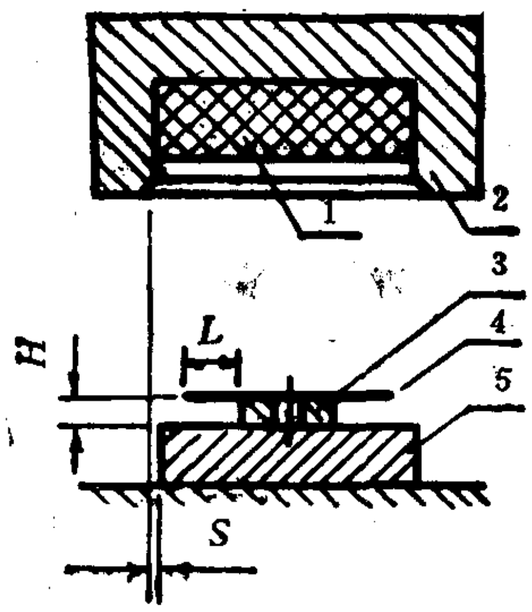


图 8-2　聚氨酯简易冲裁模示意图

1—聚氨酯模垫　2—容框　3—切割模板　4—毛坯　5—底板

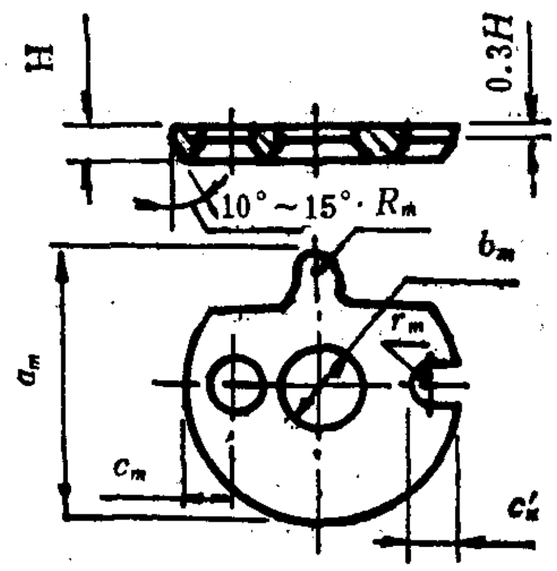


图 8-3　切割模板

图中切割模板高度 H 可取为

$$H = 3(1 + e)t \tag{8-1}$$

式中　e——材料的相对延伸率；

t——材料厚度。

切割模板上有关尺寸（见图 8-3）可按以下公式计算。

对于轴类尺寸

$$a_m = (a - \delta - x\Delta_a)^0_{-\delta_p} \tag{8-2}$$

对于孔（槽）类尺寸

$$b_m = (b + \delta + x\Delta_b)^{+\delta_d}_0 \tag{8-3}$$

对于由零件边缘至孔（槽）中心距离

$$c_m = \left(c - \frac{\delta}{2}\right) \pm \delta_1 \tag{8-4}$$

对于外凸或内凹部分的圆角半径

http://shop62964869.taobao.com/

$$R_m = \left(R - \frac{\delta}{2}\right) \pm \delta_2 \tag{8-5}$$

$$r_m = \left(r + \frac{\delta}{2}\right) \pm \delta_3 \tag{8-6}$$

(8-2)～(8-6)式中 a_m、b_m、c_m、R_m 和 r_m——模板上刃口尺寸；

a——零件上轴类尺寸的最大尺寸；

b——零件上孔类尺寸的最小尺寸；

c——零件边缘至孔中心尺寸；

R、r——零件上外凸或内凹部分的圆角半径；

Δ_a、Δ_b——零件尺寸 a、b 的公差；

x——磨损系数，对薄料取 0.5；

δ_p、δ_d、δ_1、δ_2、δ_3——有关尺寸的制造公差；

δ——考虑聚氨酯冲裁特点，制件上平面尺寸与切割模板相应的实际尺寸间的偏差值（见图 8-4 及表 8-4）。

表 8-4　不同料厚的偏差值 δ　　(mm)

料 厚 t	0.1	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
偏差值 δ	0.05	0.1	0.15	0.3	0.4	0.5	0.65	0.8

注：表中数值适应于延伸率为 10～25% 材料，当延伸率 >25% 时，应按上值加 30%，延伸率 <10% 时，应减 30%。

切割模板的材料，对形状简单的可用 T8A、T10A；形状较复杂可用 Cr12MoV 等，热处理 HRC 58～60。对铝等软料，可用 45 号钢，热处理 HRC 37～40，如数量不多，可不经热处理。

图 8-2 中毛坯大于切割模板外轮廓的 L 值，约为 $(2.5～3)H$。

图 8-2 中容柜与底板间的间隙值 S，一般取 0.2～0.3mm，间隙太大而单位压力大时，聚氨酯会沿模板刃口外流并沿轮廓发生破坏；当间隙过小，则制造和使用时也不方便，且易使聚氨酯过早损坏。

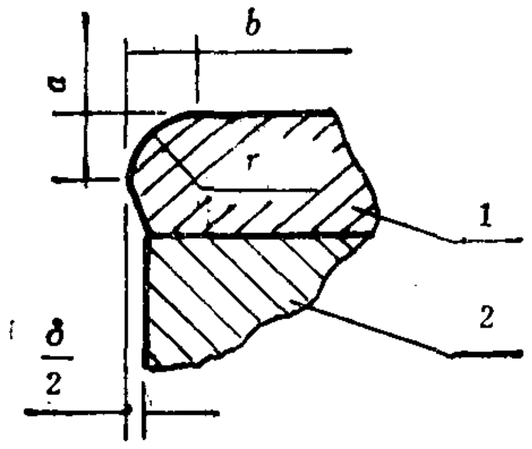


图 8-4　聚氨酯冲裁的断面形状

1—制件　2—切割模板

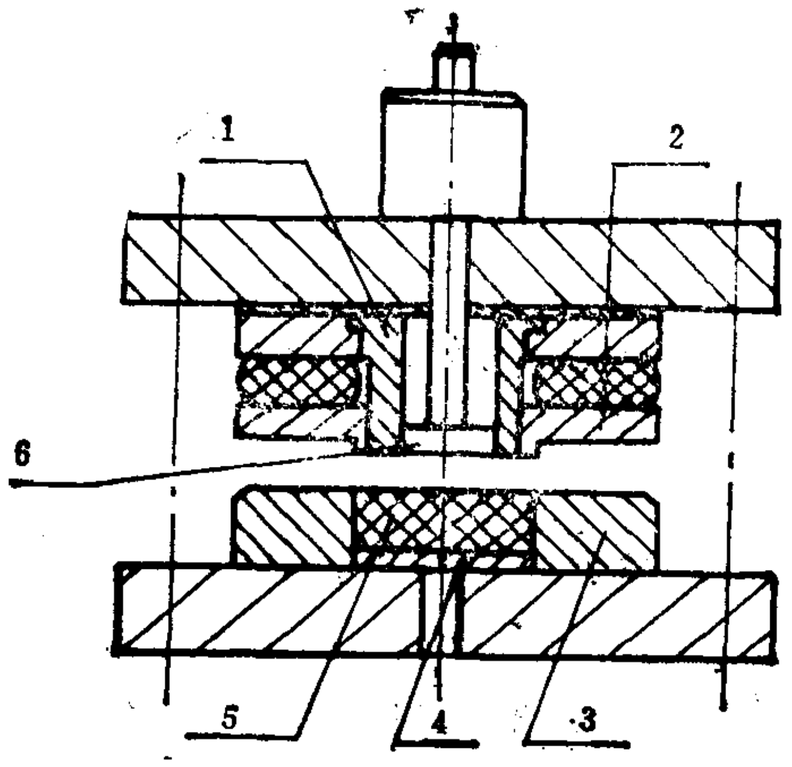


图 8-5　典型聚氨酯冲裁复合模

1—凸凹模　2—卸料板　3—容框　4—垫板
5—聚氨酯模垫(95A)　6—推杆

http://shop62964869.taobao.com/

用聚氨酯简易冲裁模时，其冲裁力 P 可按下式进行计算

$$P = FKK' \frac{t\sigma_b}{H} \text{ (MPa)} \tag{8-7}$$

式中 F——聚氨酯模垫面积（mm^2）；

K——安全系数，取 1.2～1.4；

K'——形状系数，对直线轮廓形状，$K' = 1$；对曲线轮廓形状，

$$K' = \frac{R}{R \pm 0.5H}$$（落料取“+”号，冲孔取“−”号）；

R——曲线轮廓半径（mm）；

H——切割模板高度（mm）；

t——材料厚度（mm）；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）。

2. 使用条料的聚氨酯常规冲裁模

图 8-5 为一典型聚氨酯冲裁复合模。设计时主要考虑的零件有凸模和凹模、顶杆、卸料板、聚氨酯模垫和容框等。

（1）凸模和凹模尺寸

图 8-5 中凸凹模的刃口尺寸可按上面式(8-2)、(8-3)计算，如一般制件精度要求不高，即可按以下方法进行简化计算。

落料时的钢凸模尺寸

$$D_p = (D - x\Delta)^{0}_{-\delta_p} \tag{8-8}$$

冲孔(槽)时的钢凹模尺寸

$$d_d = (d + x\Delta)^{+\delta_d}_{0} \tag{8-9}$$

(8-8)、(8-9)式中 D_p、d_d——凸模或凹模尺寸；

D——零件外形的最大尺寸；

d——零件内孔的最小尺寸；

δ_p、δ_d——凸模或凹模的制造公差；

Δ——零件公差

x——磨损系数；对薄料可取 0.5。

凸、凹模的刃口均为直角刃口，刃口必须锋利以便制件能从板料中分离。

（2）顶杆与推杆设计

顶杆与推杆不仅起顶出废料的作用，更重要是改变材料的应力状态，从而提高制件冲裁质量，并同时能控制和调整聚氨酯的变形程度，提高其使用寿命。顶杆与推杆的端部形状，按孔的大小分三种（见图 8-6），其相应参数值见表 8-5。顶杆应高出凹模、凸模上平面 0.2～0.3 mm，以获得预压力防板料滑动。

（3）卸料板结构

卸料板的功用与顶杆相似。它与容框中聚氨酯相接触的一面除平面形式外还常做成台肩形式(见图 8-7)，台肩外形视制件形状取为圆形或矩形，最小处宽度约 1.5～3mm。台肩部分其它几何尺寸可参考顶杆的参数(见表 8-5)。

（4）聚氨酯模垫与容框设计

冲裁可选用硬度为肖氏 90～95A 的聚氨酯，模垫厚度取 15～20mm，压缩量不宜超过

http://shop62964869.taobao.com/

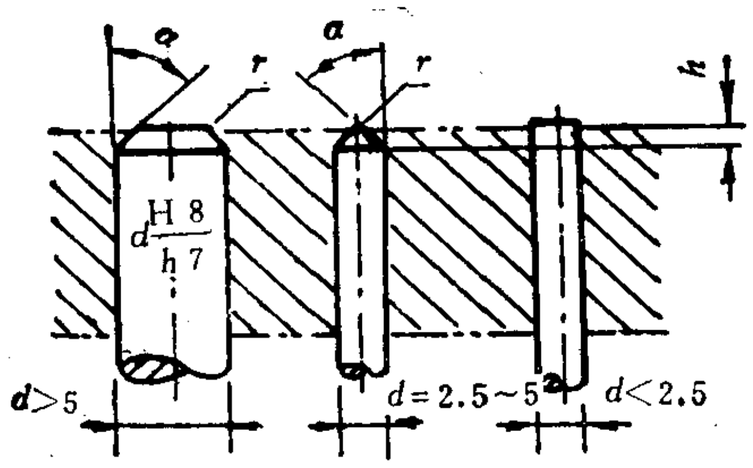


图 8-6　顶杆与推杆的结构形式

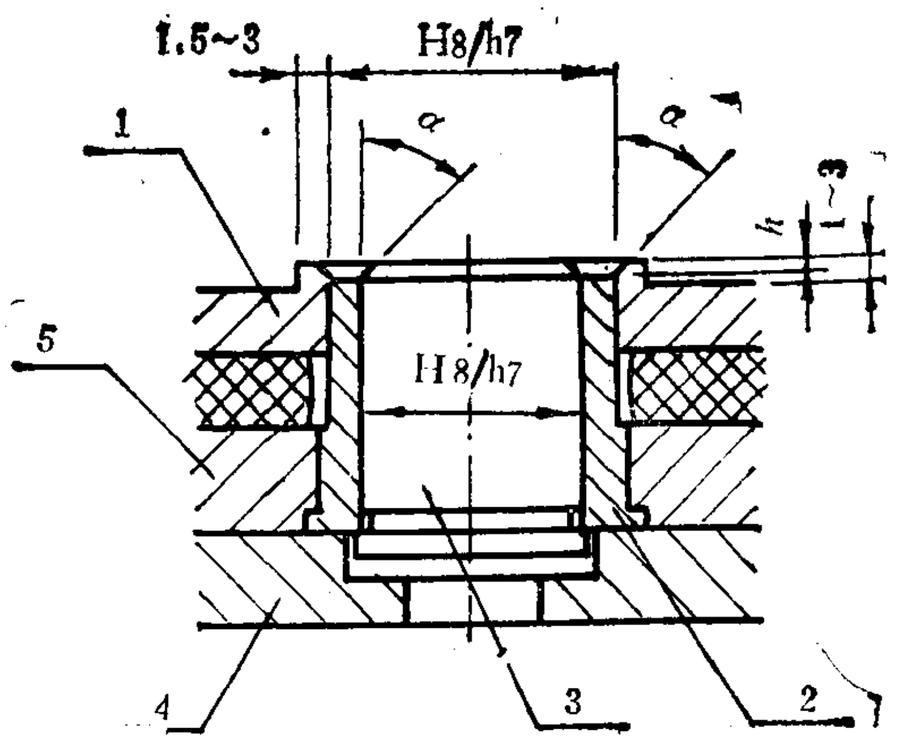


图 8-7　卸料板结构

1—卸料板　2—凸凹模　3—顶出器　4—垫板　5—固定板

表 8-5　顶杆与推杆端部的几何参数(mm)

几何参数 / 制件厚度	h	α	r
<0.1	0.4～0.6	45°～55°	0.5
0.1～0.3	0.6～1.0	55°～65°	0.5
0.3～0.5	1.2	65°～70°	0.5

30%，几何形状与卸料板台肩部分外形（或压边圈）一致。模垫压入容框的单边过盈量为 0.2～0.3mm。它最好高出容框约 0.5mm。

容框受力较大，应有足够强度，对于圆形容框的强度设计可参见第十章。一般容框壁厚不小于 35～45mm，当单位压力不大时，容框用 45 号钢制造，热处理硬度 HRC40～45；若单位压力较大时则采用 30CrMnSiA 等合金钢。

容框与卸料板台肩部分外轮廓间的间隙取约 0.2～0.3mm。

容框内底部有垫板，为便于通过模柄上孔将聚氨酯模垫顶出和掉换。

用聚氨酯常规冲裁模时，落料力仍可按式(8-7)计算，唯此时式中 H 改为冲压深度。

冲圆孔时的冲裁力 P

$$P = FK\frac{3t\sigma_b}{d}\ (\mathrm{N}) \tag{8-10}$$

冲长槽时的冲裁力 P

$$P = FK\frac{1.4t(a+b)\sigma_b}{ab}\ (\mathrm{N}) \tag{8-11}$$

(8-10)～(8-11)式中 F——聚氨酯模垫面积（mm^2）；

d——冲孔直径（mm）；

a、b——分别为槽长和宽（mm）；

K——安全系数，取 1.2～1.4。

t——材料厚度（mm）；

http://shop62964869.taobao.com/

σ_b——材料抗拉强度（MPa）。

（四）聚氨酯弯曲模

利用聚氨酯进行弯曲，即采用钢制凸模和聚氨酯作为凹模。它的好处是回弹量和最小弯曲半径可以减少，还可弯曲“⊔”形的闭斜角零件。

弯曲时凸模进入聚氨酯模垫的冲压深度，决定于毛坯材料和厚度以及制件的形状和尺寸。总的冲压深度H包括为使板料与凸模贴合的贴模深度h_1和为减少回弹，在贴模后凸模继续下行的校形深度h_2两部分。后者对回弹影响较大，通常取聚氨酯的10%以上的压缩量。

对V形弯曲，冲压深度H为

$$H = (5 \sim 10)t$$

对于硬铝，在$H = 10t$时，回弹角约接近于零。

对平底U形弯曲，冲压深度H约为

$$H = 4t + (5 \sim 10)$$

对半圆底U形弯曲，冲压深度H约为

$$H = 4t + r$$

式中 r——U形件底部圆半径（mm）；

t——材料厚度（mm）。

在弯曲弧形零件时，制件上弯曲圆弧半径因回弹而改变，可利用以下公式，对凸模半径r进行初次估算，经试验后再予修正。

当相对弯曲半径较小$\left(\frac{r_0}{t} < 10\right)$时

$$r = \frac{1}{\frac{1}{r_0 + \frac{1}{2}} + \frac{3\sigma_b}{Et}} - \frac{t}{2} \tag{8-12}$$

当$\frac{r_0}{t} > 10$时

$$r = \left(r_0 + \frac{t}{2}\right)\left[1 - \frac{3K}{(2+n)E}\left(\frac{2r_0}{t} + 1\right)^{1-n}\right] - \frac{t}{2} \tag{8-13}$$

(8-12)～(8-13)式中 r_0——零件所需要的半径(mm)；

E——零件材料的弹性模数（MPa）；

K, n——零件材料的硬化系数和加工硬化指数；

t——材料厚度（mm）；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）。

用聚氨酯所能弯曲的最小侧壁高度h_{min}为

$$h_{min} = \sqrt{\frac{\sigma_b t^2}{2q}} + r_0 + t \quad \text{(mm)} \tag{8-14}$$

式中 q——聚氨酯单位工作压力（MPa）；

余同上。

http://shop62964869.taobao.com/

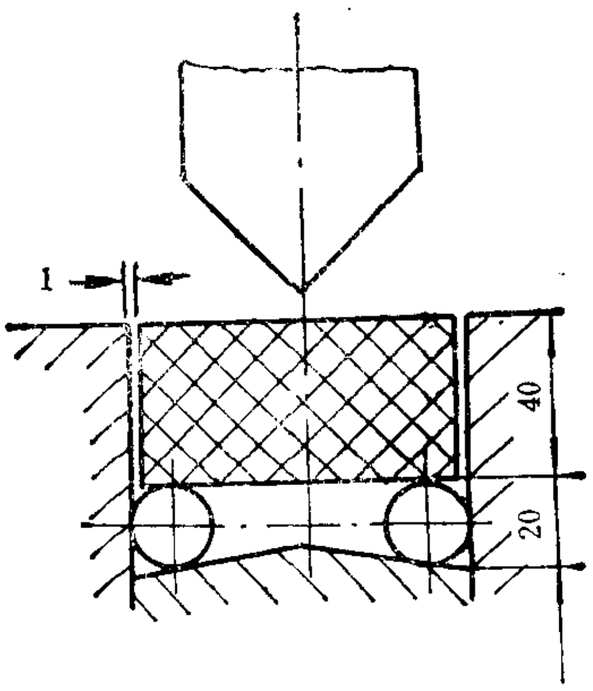


图 8-8　带成形棒的敞开成形弯曲模

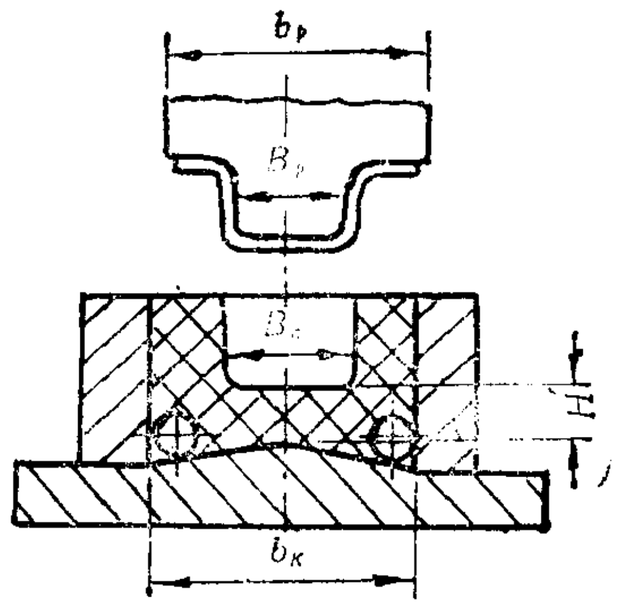


图 8-9　带型腔的封闭成形弯曲模

敞开成形的弯曲模的容框结构有两种，一种是聚氨酯模垫与容框底部平面接触，与容框侧面有 1～3mm 间隙；另一种是聚氨酯模垫与容框底部之间安置两根成形棒，架出一成形空间（见图 8-8），以此降低弯曲力并增大聚氨酯模垫对制件的侧压力。

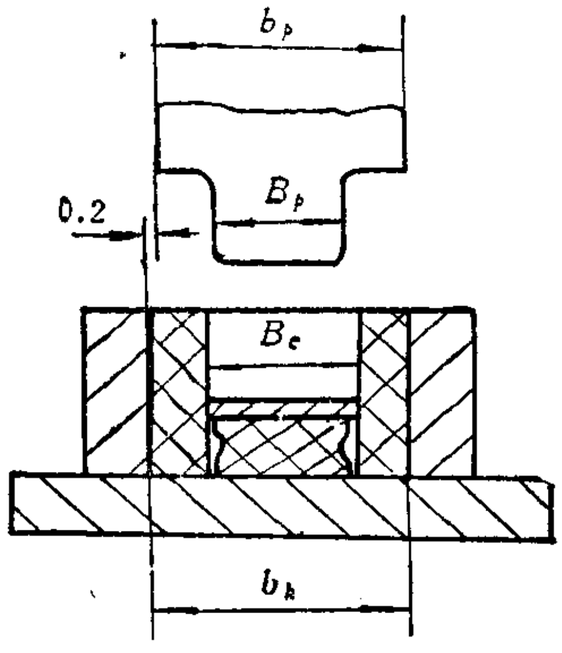


图 8-10　组合式聚氨酯模垫的弯曲模

弯曲帽形和U形等零件，当弯边高度较大时，应采用图 8-9 所示带型腔的封闭成形弯曲模。图中容框型腔的宽度 b_k 约比凸模顶部的宽度 b_p 大 0.2～0.4mm 即可。设有U形件，其内形与其它零件有配合要求，则模垫型腔的宽度 B_c 为

$$B_c = B_p + 2t \qquad (mm)$$

式中 B_p——凸模宽度，$B_p = \left(B + \frac{3}{4}\Delta\right)^{0}_{-\delta_p}$；

t——材料厚度（mm）；

B——U形制件的内形宽度（mm）；

Δ——U形制件的单向正偏差（mm）；

δ_p——凸模制造公差（mm）。

除图 8-9 的整体模垫形式外，还可采用组合式模垫（见图 8-10），它由两侧和底部的聚氨酯块及金属垫板组成，优点是通用性强。

弯曲零件的其它形状，通过改变凸模和聚氨酯模垫的型腔形状，也均可方便地制得。

（五）聚氨酯拉深模

利用聚氨酯代替常规钢模中的凸模或凹模进行拉深，主要有以下优点：

1）对制件表面不会刮伤，回弹量少，壁厚也较均匀；

2）模具结构简单，成本低；

3）对复杂形状如锥形件、半球形件等，适于用聚氨酯进行拉深。对不对称形状的制件尤有独特优点；

4）能同时进行拉深、成形和冲孔。

缺点是需要设备吨位较大。又因需要慢速进行，以免聚氨酯过分发热，所以相对而言，其

http://shop62964869.taobao.com/

生产率较低。

聚氨酯拉深模可分为两类，即聚氨酯凸模拉深模和聚氨酯凹模拉深模。

1. 聚氨酯凸模拉深模

如图8-11所示，利用聚氨酯凸模拉深，一般只用于浅拉深件。为使制件能较好贴模，钢制凹模上应开通气孔。

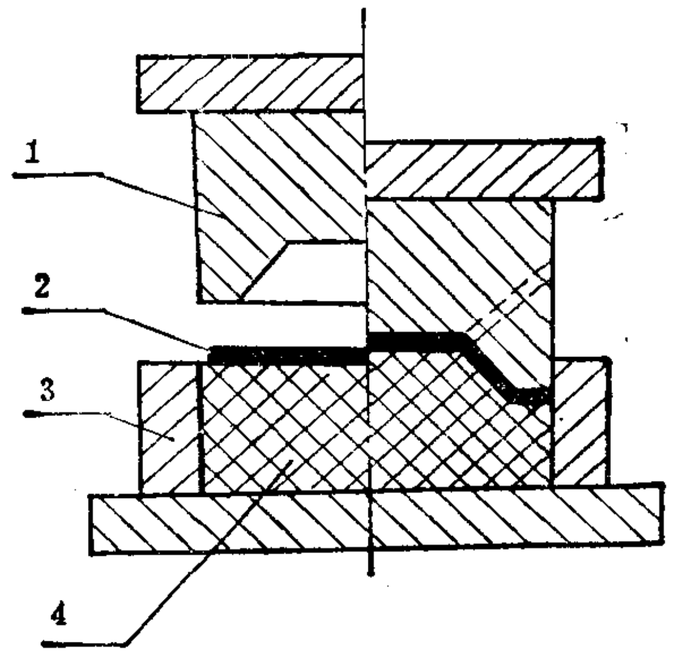


图 8-11　聚氨酯凸模拉深模

1—凹模　2—毛坯　3—容框　4—聚氨酯

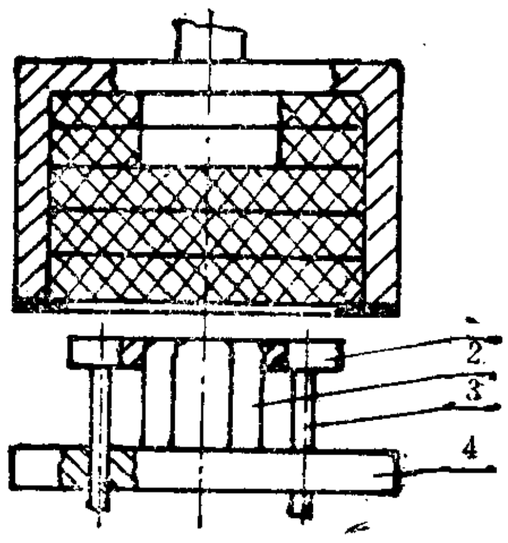


图 8-12　聚氨酯凹模拉深模

1—压边圈　2—凸模　3—托杆　4—下模座

2. 聚氨酯凹模拉深模

图 8-12 是一有压边圈的容框式凹模拉深模。聚氨酯采用了几块叠成的整体，上面两块还开了与制件相应的孔，使聚氨酯易于变形又保持足够压力，保证制件成形和贴模。压边圈下顶杆外接一常规弹顶装置，因而压边力的调节受一定限制。这里，容框内深度 H，一般取

$$H = 50\sqrt{h} \quad (\text{mm})$$

式中 h——凸模最大高度（mm）。

容框内边与凸模间距离应不超过 $1.5h$。容框中聚氨酯肖氏（A 级）硬度 S 可近似取

$$S = \frac{1.5t\sigma_b}{Hh}$$

式中　t——材料厚度（mm）；

σ_b——材料抗拉强度（MPa）；

H——容框深度（mm）；

h——凸模最大高度（mm）。

图 8-12 中凸模可用铸造铝合金、锌铝合金等强度低和易加工的材料制造。这一结构模具可拉深复杂形状制件，而压边力最好由液压装置进行调节，如采用弹簧或橡胶（见图 4-52），则在拉深深度上有较大限制。

聚氨酯还可用在翻边模、胀形模和局部成形模。

二、锌基合金冲模

（一）锌基合金冲模特点

锌基合金冲模的特点有：

http://shop62964869.taobao.com/

1）结构简单，制造周期短，铸后模腔无需再机械加工和钳工研磨，只要稍加打磨即可使用，模具工作部分也无需热处理，因而生产周期可缩短约六倍左右。

2）模具设计简单，维修方便，成本低，失效后模具可重熔再制。与钢模相比，成本只为其1/5～1/10。

3）锌基合金模具有抗粘结和自润性能，因而用于冲压成形不会划伤制件。用于冲裁，开始时钢凸模与锌基合金凹模为无间隙配合，随冲裁厚度不同能自动调整，保持间隙均匀，比钢模调整修配间隙简单。

4）能广泛适应于冲裁和成形等工序并具有一定使用寿命。以冲裁1mm低碳钢板为例，刃磨冲击次数约在1万件左右(毛刺 <0.1mm)，拉深摩托车零件，寿命约2～6万件。

（二）锌基合金成分、性能和熔炼

1. 锌基合金的成分和性能

表8-6为我国与ZAS（日）、Kirksite（美）锌基合金中主要成分，表8-7为其主要性能。

表 8-6 锌基合金成分

元素	合金元素(%)				不纯物(%)			
	铝	铜	镁	锌	铅	镉	铁	锡
锌基合金标准成分	3.9～4.2	2.85～3.35	0.05～0.08	其余	<0.003	<0.001	<0.02	微量
中国	3.96	2.96	0.034	其余		<0.002	<0.01	微量
ZAS(日)	4.10	3.02	0.049	其余	<0.0015	<0.0007	<0.009	微量
Kirksite（美）	3.95	3.09	0.049	其余	<0.0018	<0.0011	<0.02	<0.001

表 8-7 锌基合金的主要性能

性能 / 类别	密度 g/cm³	熔点℃	凝固收缩率%	热膨胀系数 1/℃	热传导率 W/(m·K)	抗拉强度 MPa	抗压强度 MPa	抗剪强度 MPa	布氏硬度 HB	延伸率 %
中国	6.7	380	1.1～1.2	—	—	240～300	500～600	—	120～130	2.5
ZAS	6.7	380	1.1～1.2	26×10^{-6}	100	240～290	550～600	240	100～115	1.2～3.4
Kirksite	6.7	380	0.7～1.2	27×10^{-6}	100	240～265	420～530	245	100	3.0

一般模具用锌合金采用纯度为99.995%以上(特一号)的锌，99.7%(特一号)的铝，99.95%(一号)的电解铜和99.95%(一号)的镁按比例配制而成。使用这样高纯度的材料，对提高锌合金的机械性能起到良好的作用。

2. 锌基合金中各主要元素的作用

铝能细化晶粒，提高合金的强度和硬度，并可提高其流动性、减少熔融的锌对黑色金属的腐蚀。当铝含量低于2%时，合金流动性明显降低，并增加热裂倾向，凝固时，铸件收缩量也会增加。当含量超过4.5%时，机械性能不再显著提高，所以铝含量一般控制在3.9～4.3%的范围内。

http://shop62964869.taobao.com/

铜有显著抑制晶粒间腐蚀的作用，含量在 1.25% 以上时能提高锌合金的硬度和抗拉强度。含铜量对铸件尺寸的变化影响很大，所以铜含量一般为 2.85～3.35%，以控制铸件尺寸变化较小。

镁能细化晶粒，增加锌合金的抗拉强度和硬度，还可抑制其它有害杂质元素的影响，防止晶粒间腐蚀。但过量的镁则导致液态合金流动性降低，也会引起热脆性，反而促进了晶粒间腐蚀，所以镁含量控制在 0.03～0.06%。

3. 锌基合金的熔炼

锌合金熔炼方法常用有两种，直接熔炼与中间合金熔炼法。

(1) 直接熔炼法

它用于所需合金量不多时，各元素炉料重量可按下式计算

$$Q = \frac{AM}{1-E} \tag{8-15}$$

式中 M——所需锌合金炉料重量，$M = (1 + C)W_0$；

W_0——所需熔炼模具用锌合金重量；

C——锌合金计算熔耗量，一般取 8～10%；

A——锌合金各元素成分(%)；

E——锌合金各元素烧耗量，经验确定，表 8-8 为参考数据。

可先将铜熔化，在铜溶液中放入 200～300℃ 预热的铝并搅拌均匀。降温，待温度下降至 700℃以下，铝全部熔化后，再放入锌块，锌全部熔化后，再用钟罩将 200～250℃ 预热的镁块压入合金溶液底部使其熔化。对合金溶液进行搅拌使其成分均匀。然后用合金重量 0.1～0.3% 的干燥氯化锌进行精炼排气除渣，即可直接铸模。

表 8-8 锌合金熔炼时各元素的熔耗量(%)

元素与中间合金 / 熔炼方法	锌	铝	铜	镁	铜、铝中间合金
直接熔炼(电阻炉或坩埚炉)	1～3	1.0～1.5	0.5～1.0	10～20	—
通过中间合金熔炼	3～5	—	—	5～10	1～2

(2) 中间合金熔炼法

为了减少合金元素的氧化、挥发和烧损，便于控制合金的成份，可将金属合金先熔炼成中间合金，再由中间合金熔炼成锌基合金。

常用的中间合金为铝、铜各占 50% 重量的铝铜合金。熔炼时，先将 10～15% 的铝和全部铜装入已经预热和加入覆盖剂的坩埚内熔化；随着铜的逐步熔化，分批将预热的铝锭加入到熔池深处，并不断搅拌，直到全部熔完；然后用钟罩压入重量为中间合金总重 0.2% 的氯化锌进行精炼排气除渣，并浇注成锭。

(3) 熔炼时注意事项

1) 全部合金原材料必须清洁，无油，使用前必须预热，并防止铁屑、铅、锡杂质混入。

2) 所使用与锌合金溶液接触的工具，用前必须去除表面铁锈和残余熔料，并涂刷一层膨润土防止铁污染，还应加热到 300～600℃ 预热干燥。

3) 精炼时所用氯化锌必须干燥，不能潮湿，否则会引起溅爆。

http://shop62964869.taobao.com/

（三）锌合金冲裁模

锌合金冲裁模最适用于冲压小批量复杂形状的零件。通常不论落料或冲孔，凸模用钢，凹模用锌合金，但在冲孔直径大于50mm，生产批量接近或大于2000件时，从尺寸精度上考虑，以采用凹模用钢，凸模用锌合金为好。

较多采用的是利用已淬硬（HRC＞40）并加工好的凸模来浇注锌合金凹模。对于20kg以下锌合金凹模，可采用在模架内直接浇注，称为模内浇注法。如质量再大，适于在平板上单独浇注，称为模外浇注法。

图8-13为拆去卸料板和卸料橡胶后采用模内浇注法的锌合金模具。为此，要在凸模正下方放上漏料孔芯(砂芯或砖芯等)，在模框外侧四周用湿沙填实，防锌合金溶液泄漏，然后预热凸模(150～200℃)，当达到温度，即可将经扒渣和除气处理的熔化合金浇入模框内(浇注温度应控制在420～450℃，浇注方向应避开凸模)。凹模冷却到200℃以下或室温，即可分模。然后，加工凹模上平面和螺孔、销孔，将凹模装回模架，并安上卸料板、卸料橡胶后，即可待用。

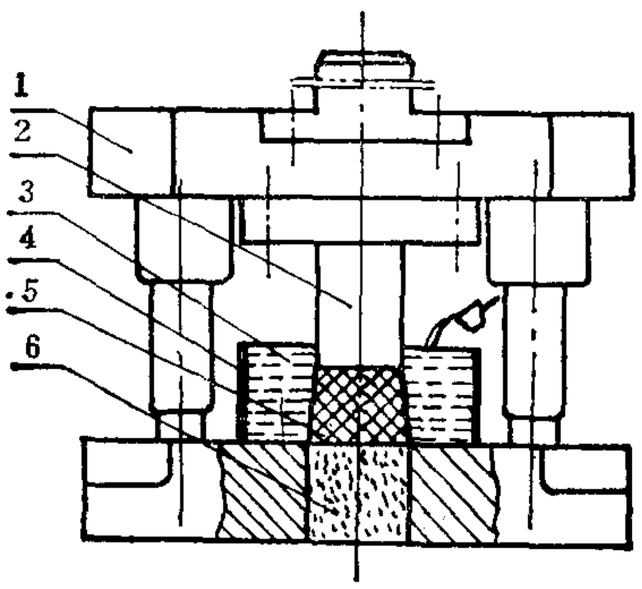


图8-13　锌合金模具的模内浇注法

1—上模座　2—凸模　3—锌合金
4—围框　5—漏料孔芯　6—干砂

在浇注凹模时还应注意如下事项：

1）凸模、围框、型芯和平板应预热到200℃左右；

2）浇注温度应控制在450℃左右；

3）防止掺入铁屑、铁锈；

4）浇注过程中轻微搅动，切勿在合金半凝固状态移动模具，合金凹模要一次浇成，浇注速度要均衡；

5）一般在上述预热温度和浇注温度，对淬火后凸模硬度的下降影响不大，所以可采用凸模先淬火。当遇复杂轮廓零件，需提高浇注温度到480℃而凸模预热达250℃，此时凸模可先浇注，后淬火；

6）如刃口处出现浇不足、裂纹等缺陷，可用氧气枪局部熔焊修补。

使用锌合金冲裁模应注意：

1）模具安装时应把凸模伸入凹模的深度，调整得比常规钢模深一些；表8-9为伸入凹模深度和凹模工作部分总高度。

表8-9　凸模伸入锌合金凹模深度和凹模总高度　(mm)

板厚 t	≤1	≤2	≤t	≤4
凸模伸入凹模深度 h_1	＞3～5	＞4～6	＞5～8	＞7～10
凹模工作刃口部分总高度 h	3～5	8～11	12～15	15～20

2）因凹模冷缩后有微量过盈，所以型腔内面可能产生凸边，应予修整。又工作中如遇间隙不匀或过大，可用手锤挤捻凹模洞口。

http://shop62964869.taobao.com/

3）冲裁时搭边值，对抗剪强度为 350MPa 以下材料，可按常规钢模设计值乘以 1.0～1.3 系数，对 350MPa 以上材料，系数取 1.3～2。

（四）锌合金成形模和拉深模

由于锌合金材料具有抗粘结和自润性能，适于作成形模和拉深模，并能保证制件有较好表面质量，因而国内外都有用锌合金模来压制小批量的汽车覆盖件。 但锌合金有一定的凝固收缩量，机械性能比不上合金钢，因而在形状、尺寸精度和寿命方面，它还有一定的弱点。

1. 锌合金成形模和拉深模的结构

它们的结构形式基本上与钢模一致(见图 8-14)。 为减少磨损和提高寿命，图中凹模 4 也可装钢制镶块或完全由钢制成，以适应批量生产。

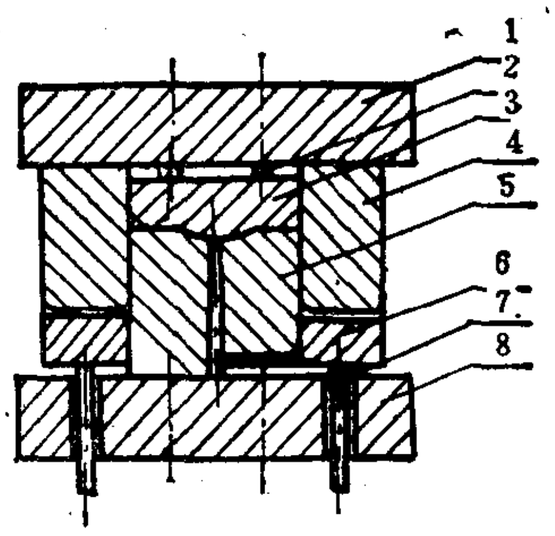


图 8-14　锌合金组合拉深模

1—上模座　2—打杆　3—锌合金衬板　4—锌合金凹模　5—锌合金凸模　6—锌合金压边圈　7—托杆　8—下模座

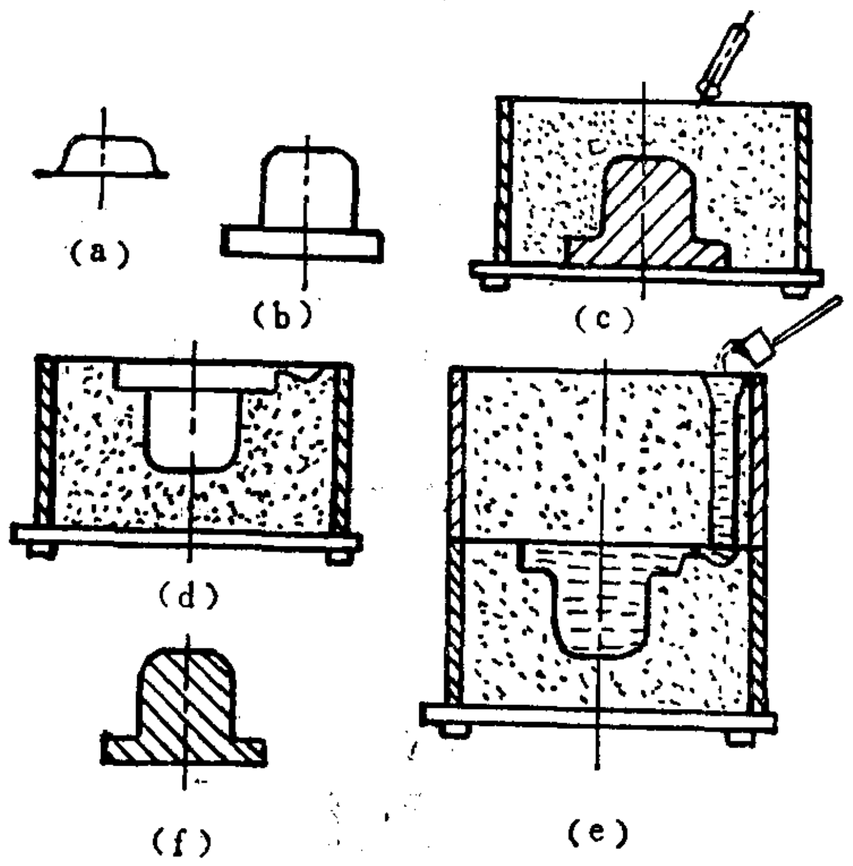


图 8-15　用砂型铸造凸模

(a) 拉深零件　(b) 凸模模型　(c) 砂箱造型　(d) 翻箱、起模、开横浇口　(e) 合箱、浇注　(f) 除去浇口后锌基合金凸模

2. 锌合金成形模和拉深模的制模方法

就锌合金成形模和拉深模的制模方法而言，有砂型制模法和石膏型制模法。 以下主要介绍最为常用的砂型制模法。它利用模型(木模、石膏过渡模、金属样件、粘土等)制造砂型，将熔化的合金浇注到型腔中，得到所需锌合金凸模或凹模。它适用于大、中型制件。造型工艺和一般有色金属铸造基本相同。图 8-15 是利用木模进行砂型铸造锌合金凸模的示意图

模型外型尺寸要考虑锌合金的收缩率，一般按模具投影面积来取，投影面积在 $0.5m^2$ 以下取 10‰，在 $0.5m^2$ 以上取 7～10‰。铸造凸模在外形尺寸上尚可加大1mm，以便手工修整。模型应有 1°～2° 拔模斜度，以能从砂型取出、铸造最小圆角半径取 1.5～2mm。模型表面应相当光滑，木模应涂蜡或喷漆处理，以兼得防潮效果。木料要干燥，以免变形和开裂。

采用膨胀石膏作模型，如膨胀系数与锌合金相当接近，就可弥补铸造时的收缩量，简化制模工艺。膨胀石膏成分重量比为在熟石膏 $\left(CaSO_4 \cdot \frac{1}{2}H_2O\right)$ 中加入 15～80% 的钒土水泥，再加入以上两种重量 50% 的水。

http://shop62964869.taobao.com/

为得到较小的铸件表面粗糙度值，一般常用南京细红砂做面砂，其它用粘土砂，添加1%左右的膨润土，使砂型具有足够的强度。一般来说，砂型比常规铸件所用的应稍坚硬一些。对一吨以上锌合金铸件以用二氧化碳自硬砂为宜。

目前湿型或干型浇注都有采用，但为防止浇注不足，采用干型为好。因锌合金吸收气体少，所以砂型透气性要好，并在铸件的适当部位设置通气孔。

砂箱应有足够强度和刚度，并防止"涨箱"，使铸件精度有所保证。为保证铸件质量，除浇注温度控制在420～450℃外，对铸件的凝固的控制很重要。这包括：

1）用细小流量，较长时间进行浇注。

2）合理选择补缩冒口尺寸和位置，并采用保温冒口和加发热剂等措施，使冒口最后凝固。一般冒口质量不少于1/3铸件质量。

冒口设置的原则是

① 制件断面积大，应在壁厚有变化和筋交叉的地方安置冒口。

② 冒口要有足够高度，约比补缩位置高出10～15cm，另在壁厚变化大的地方，可以多设几个冒口。

3）采用间断浇注法(或称二次浇注法)，即在锌合金充满型面后，停止片刻（至少30～60s)，然后再继续浇满。这是为防止铸件在浇注过程中变形所采用的一种较简单有效方法。

浇注中要保证顺序凝固，即确保型面最先凝固，然后按顺序向冒口推移，冒口最后凝固。

图8-16是用样件作为模型铸造锌合金凸模的示意图。样件可选用已有产品，并加一定尺寸凸缘改制，或以与制件等厚的金属板料制成，但均应有足够强度和刚度。

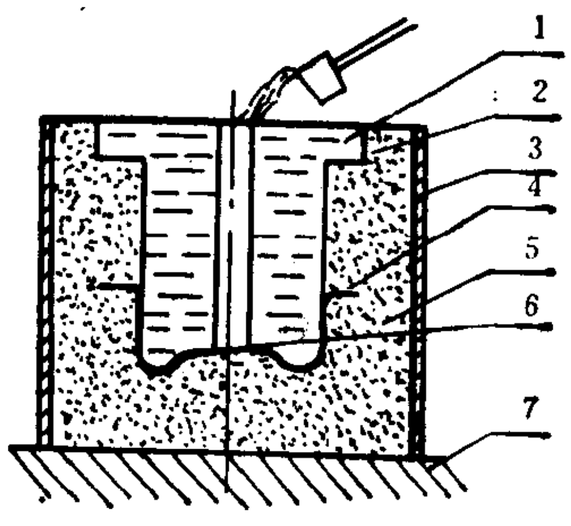


图8-10 用样件作为模型铸造凸模

1—锌合金凸模 2—围框 3—砂箱 4—样件 5—型砂 6—压铁 7—平台

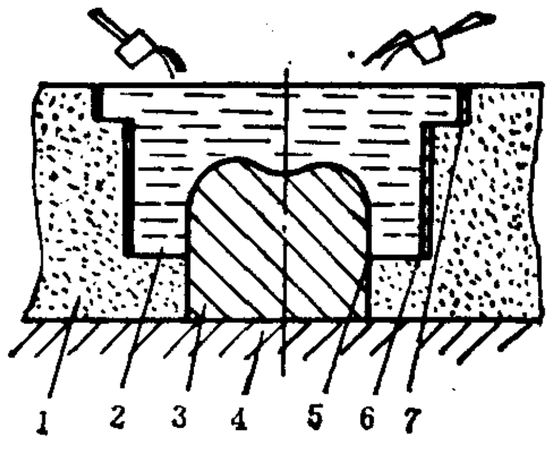


图8-17 直接铸造凹模

1—型砂 2—锌合金熔液 3—锌合金凸模 4—平台 5—间隙层 6—内模框 7—外框

锌合金凹模的制造，可将凸模模型贴上一层相当拉深间隙厚的材料，浇注石膏过渡型，待石膏凝固后分模，并烘干石膏过渡型(最高烘干温度为170～200℃，时间大于24h)，然后与铸造凸模一样，以石膏过渡型作为模型在砂箱内造型，经起模、修型、开浇注系统和浇注合金等工序后制得。

此外，可不通过石膏过渡型，在锌合金凸模外面先涂敷一层以石墨为基加适量膨润土的隔热涂料层，而后再敷上铝钒土与水玻璃(重量比1.2:1)混合浆料烤干(每涂0.3～0.5mm烤干一次)的间隙层(相当料厚)，以此作为模型，直接浇注合金凹模。图8-17系用锌合金凸模直接铸造凹模的示意图。如利用钢和铸铁凸模，则无需隔热层。

http://shop62964869.taobao.com/

三、硬质合金冲模

（一）硬质合金的主要特点

硬质合金具有较高硬度（HRC68～72）、高抗压强度(约为工具钢的 2 倍)、耐磨损、耐腐蚀、耐高温和膨胀系数小等优点。 因此硬质合金冲模可比一般冲模提高寿命 20～30 倍以上；可减少压力机停车时间，提高冲裁速度；可改善冲件质量；有抗粘结性能，适于冲裁、冷挤压等工艺。

硬质合金的主要弱点是质地较脆，抗压而不抗拉，抗弯曲强度差，易崩烈刃口。 此外模具加工常需要一些特殊加工工艺，不如钢料方便，而模具制造成本也比一般钢模高 3～4 倍，但用于大量生产仍较合算。

（二）硬质合金的选用

硬质合金材料的形状、尺寸，可按制件和所拟设计模具的需要情况向生产厂家定货。

表 8-10　钨钴类硬质合金牌号、成分和性能

牌　号	化学成分%		机械性能		耐冲击性	耐磨性
	碳化钨	钴	抗弯强度不少于 (MPa)	硬度不少于 (HRA)		
YG6	94	6	1500	89	减↑	增↑
YG8	92	8	1700	88		
YG11	89	11	1700	87		
YG15	85	15	1750	86		
YG20	80	20				
YG25	75	25				
YG30	70	30			增↓	减↓

注：表中机械性能均指中颗粒而言。对细颗粒，硬度将稍增，对粗颗粒，硬度将稍减。

表 8-11　不同使用条件下推荐的硬质合金牌号

冲模种类	所冲材料	小型尺寸模具		中大型尺寸模具	
		凹模	凸模	凹模	凸模
1. 冲裁模					
1）切断模	<0.5mm 的电工硅钢板	YG8	YG8	YG15	YG15
2）冲孔模和盒形件落料模	<0.5mm 的电工硅钢板	YG11	YG15	—	—
	<4mm 的 45 号钢板等	YG20	YG25	—	—
3）复杂形状落料模	<0.5mm 的电工硅钢板	YG15	YG20	YG20	YG25
	<4mm 的45号钢板等	YG20	YG25	YG25	YG30
2. 弯曲模		YG11	YG11	YG15	YG15
3. 拉深模		YG8	YG8	YG11	YG11
4. 冷挤模		YG25、30	YG15、20	—	—
5. 冷镦模		YG15、20	YG25、30	—	—

http://shop62964869.taobao.com/

我国所生产的冲模用钨钴类硬质合金的牌号、成分和性能见表 8-10。如表所示，随含钴量增加，硬度降低而抗弯强度增高。这说明硬度和韧性之间存在着矛盾关系。表 8-11 列出了不同使用条件(冲击和载荷大小、工艺要求)下各种模具推荐选用的硬质合金牌号。

（三）采用硬质合金时，对工艺设计等方面的要求

1. 制件冲压工艺性和冲压工艺设计要求

对制件冲压工艺性要求与钢制零件相同，对冲裁件应避免 $r < 0.3$mm 尖角，一般圆角可选料厚的一半。

冲压负荷应平衡，避免单边受力使刃口崩裂。为此，尽量采用卷料（因用条料可能只冲半个制件)，注意侧刃位置的安排以及排样是否恰当。

应保证正常搭边值，以免搭边断裂后嵌入间隙，崩裂刃口。

2. 模具结构要求

(1) 模架要有足够刚度，适当增加上、下模座板厚(约在通常的 1.5 倍)或采用 45 号钢，热处理 HRC25～30。

(2) 要有较高模具制造精度。中、大型模具应有四根较粗导柱，导向精度要高，最好采用滚珠导柱导套结构。为消除压力机精度不高影响，可采用浮动模柄，模柄中心应与压力中心一致。

(3) 硬质合金的固定要可靠，它所采用固定方法与一般冲裁模相同。圆件采用热套时，采用圆柱形直壁表面，过盈量取直径尺寸的 (0.6～1.0)%；冷压时，采用 1.5°～3° 的圆锥形表面，过盈量取直径尺寸的 0.15～0.25%。冷挤模采用多层预应力圈冷压时，硬质合金镶套和内圈间的过盈量可取配合直径的 0.5%(此时，内圈和中圈间过盈量可取直径的 0.45%，中圈和外圈间过盈量可取直径的 0.4%)。

(4) 冲裁用硬质合金凹模的厚度，必须大于表 8-12 中数值，其下垫板厚度应约为硬质合金凹模厚度的四倍，两者应紧密贴合，垫板应热处理。表 8-13 为一般硬质合金凹模镶套尺寸。

表 8-12　硬质合金凹模的最小厚度　(mm)

料厚 \ 冲裁轮廓长度	<75	75～150	150～300
<0.5	10	12	15
0.5～1	15	18	22
1～2	20	25	30

(5) 因钢与硬质合金的膨胀系数不同，冲裁时所取间隙应为钢模时的 130～150%，还应保持间隙均匀。

(6) 行程次数超过 300 次/分时，应采用弹性卸料板，并以此导向凸模；卸料板应有四个导套导向，不使卸料板倾斜；较多设置强力弹簧，以使各处受力均匀；应保证卸料板不会直接撞击硬质合金表面。

(7) 防止偏心载荷，从模架中心到各负荷的力矩总和应设计为零。当模具较大时，因其重量不平衡，也会产生偏载，所以重量的平衡也要仔细计算，各负荷点上还应包含卸料板上的弹

http://shop62964869.taobao.com/

表 8-13　硬质合金凹模镶套尺寸　　(mm)

镶套内径	最小镶套外径	最小镶套高度	最小过盈量	镶套内径	最小镶套外径	最小镶套高度	最小过盈量
<4	10	10	0.02	18～20	30	15	0.04
4～6	12	10	0.02	20～22	32	15	0.04
6～8	15	10	0.02	22～25	35	15	0.05
10～12	20	10	0.03	25～28	40	15	0.05
12～14	22	10	0.03	28～32	45	15	0.05
14～16	25	10	0.03	32～36	50	15	0.06
16～18	28	15	0.04				

注：1．如镶套做成有一凸缘，则镶套外径增大，凸缘宽也要放大。
2．镶套高度还应加上两面磨量。
3．用在拉深工艺时，过盈量应取表中的 1.5～2.0 倍。

簧力。

(8) 应有安全保险装置，在发生叠冲或误冲时压力机能在一冲次之内停车。

(9) 模具精度上要求：a. 直线尺寸公差为 0.005～0.01mm；b. 角度公差为±(5～10)″；c. 刃口圆角公差为 ±4～5 μm；d. 粗糙度 Ra 为 (0.1～0.2μm)，冷挤模粗糙度 Ra 值愈小(如 0.025μm)，则耐疲劳性愈好，并注意抛光方向要与金属流动方向一致。

(10) 为避免应力集中，硬质合金镶套有时可采用剖分结构。对于大尺寸硬质合金落料模，最好是镶块组合结构。

3. 对压力机要求

滑块导向精度要高，它和导轨间间隙，在冲切小于 1.5mm 厚板料时，要小于 0.3mm；大于 1.5mm 板料，要小于 0.5mm。

对于级进模送料精度要高，误送板料时要停车迅速。此外，工作台刚性也要好。

http://shop62964869.taobao.com/

第九章　覆盖件拉深

覆盖件主要指汽车、拖拉机车身部位的大型拉深件。这类零件具有形状复杂，较多为立体曲面、轮廓尺寸大、表面质量要求光滑、美观和刚性好等特点。在变形性质上，往往不是单纯拉深而是拉深和胀形，甚至是拉深、胀形、弯曲和拉伸等各种变形的组合。它的制造过程要经过板料的切断或局部切角、拉深、修边、翻边(或又有冲孔)等多道工序才能完成。

一、覆盖件拉深工艺的主要特点

覆盖件拉深与一般中小件拉深有较大的不同，有如下一些特点：

1）覆盖件不论其形状如何复杂，常采用一次拉深成形，得到全部空间曲面形状，包括表面的棱线、筋条和鼓包等。

2）由于覆盖件几何形状不规则，将引起变形不均匀。为此，常采取拉深时加工艺补充面以及在凹模面上加拉深筋等控制变形的措施。

3）对大型覆盖件拉深，需要较大和较稳定的压边力。为此，广泛采用双动压力机，除可得到约为主滑块拉深力 60% 以上的压边力外，还可根据需要在压边圈四角，对压边力进行调节。

4）为易于拉深成形，常选用如 08 钢等含碳量低的塑性好、表面质量好和尺寸精度高的材料。覆盖件的趋向大型化，使对材料的成形性能要求更严。

5）制订拉深工艺和设计模具所依据的，不只是覆盖件零件图，还需要尺寸为 1:1 的主模型——覆盖件表面样件。

为了解覆盖件零件图和主模型如何得到，有必要对覆盖件的设计作一简单说明。

车身覆盖件的设计过程，要经历初步设计和正式设计两个阶段。初步设计的工作有：

1）根据汽车总布置方案，设计出不同视角的彩色车型图和做出缩小比例的模型，以供选型用。

2）按选定模型，设计缩小比例的覆盖件总图和绘制覆盖件主要剖面的结构图。

3）按以上缩小比例的图，在有坐标线(一般取 200mm 间距)的黑板上，绘出 1:1 轮廓图和主要剖面图。

4）按黑板图作出 1:1 油泥模型，并修改外形。

5）审查并商讨覆盖件的分块方案，分块主要考虑汽车车身外形美观和合理解决冲压和焊接工艺上的矛盾。总起来看，除必需的设计分离面外，最好不分块或少分块，以减少所需的冲压模具和焊接、装配的工作量，也可保证有较好的表面质量。

随后，进行正式设计：

1）参考油泥模型上取下的样板，绘制 1:1 主图板。一般在喷有白漆的铝板上，利用划有

http://shop62964869.taobao.com/

间距 200mm 的坐标线（规定有“0”线），用（4～6）H 的铅笔绘出全部覆盖件图的三个投影和必要的剖面图和视向图。

2）由主图板复制出覆盖零件图的图形和可能标出的尺寸，在零件图上所标注的尺寸也是以主图板上相同的坐标线为基准的。

3）以主图板、主样板（按主图板上的车身剖面曲线形状制造的切面样板）和覆盖件图纸为依据，制造立体主模型。主模型按车身覆盖件分块。按车身覆盖件的外表面或内表面，分别取制外主模型或内主模型。

4）试制样车，进行试验，根据试验结果进一步改进结构，经成批试制和定型 。

5）确定定型后的主模型，相当于覆盖零件图的立体图。这样，主模型和覆盖零件图一起就作为设计冲模、焊接夹具和检验夹具等工艺装备的依据。

二、覆盖件的拉深工艺性

为便于拉深，较经济地得到质量较好的覆盖件，应注意的方面有

1. 覆盖件的深度

由于是一次成形，覆盖件曲面形状在拉深方向的实际深度应浅一些，各处深度均匀一些，深、浅不同部位转接的圆角半径又最好大一些，变化平缓一些。

2. 拉深工序与其它后继工序的配合

拉深工序要为随后的修边和翻边工序准备定位和冲压的条件（见图 9-1）。

3. 覆盖件上装饰棱线、筋条、凹凸平台等的成形

对这筋条等采取加大圆角和使其侧壁改为倾斜，则一般靠局部材料变薄，能将其在拉深时同时压出。但如这局部变形量过大，也可预先冲孔或在拉深阶段末了冲出轮廓半封闭的工艺切口，以改善材料的流动情况，避免局部开裂。

4. 对称件一次冲压

对如汽车发动机罩的左右边板等尺寸不大的左右对称的覆盖件，可采取左、右件在一起成双冲压成形，而在以后将其切为两件。

5. 合理的毛坯形状和尺寸

它对覆盖件成形有较大影响。选用标准板料尺寸时，应核算并对比其材料利用率。

6. 对成形可能性的判断

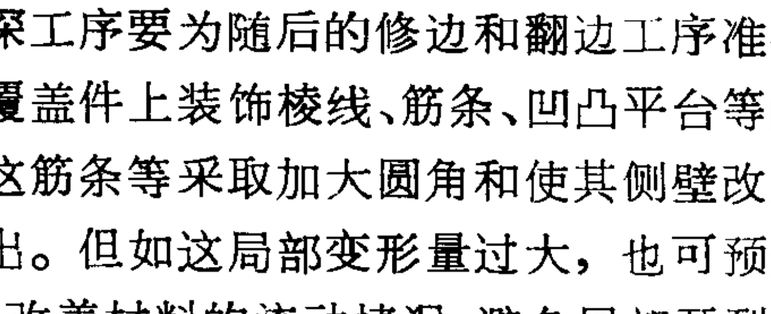


图 9-1　拉深工序与后继工序的配合
(a) 未考虑拉深后修边如何定位
(b) 考虑了拉深后修边如何定位
1—修边线　2—定位件

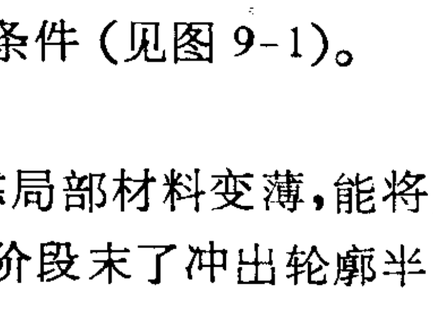


图 9-2　覆盖件横断面上变形前后长度

http://shop62964869.taobao.com/

这可根据过去拉深相似零件的经验或利用网格分析法(见第二章)对钢板进行试压。作为粗略估计,可如图 9-2 所示,由覆盖件横断面（包括最深拉深部分，断面间距为 50～100mm）变形前后的长度 l 与 l_1，计算延伸率 e（$e = l_1/l - 1$）将其值与表 9-1 中的判断值相比，可粗略判断成形的难易。

表 9-1　不规则形状大型覆盖件的成形难易判断值

e 判断值	用计算 e 值对比后的判断
2%	e 的全部平均值不超过该值时,要获得良好的固定形状是困难的
5%	50～100 间距上相邻纵向断面的 e 值之差超过该值时,容易产生皱折
5%	e 的全部平均值超过此值时,只用胀形是困难的,必须还用拉深成形
10%	e 的最大值超过此值时,只用胀形是困难的,必须还用拉深成形

注：这些判断数据适用于图 9-2 所示的纵断面形状(如汽车的挡泥板),对于汽车顶盖及车门那样零件，随着凸模端部变得平而浅时,则只取表列数据的 2/3～1/2。

三、覆盖件拉深模应考虑的工艺因素

1. 拉深方向

选定拉深方向,就是确定制件在模具中的坐标位置。它应:

1）保证能将制件一次拉成,不应有凸模接触不到的死角或死区，一般要求制件侧边与冲压方向构成的斜角 >10°。图 9-3 表示由制件底部鼓包的反成形而确定的拉深方向。

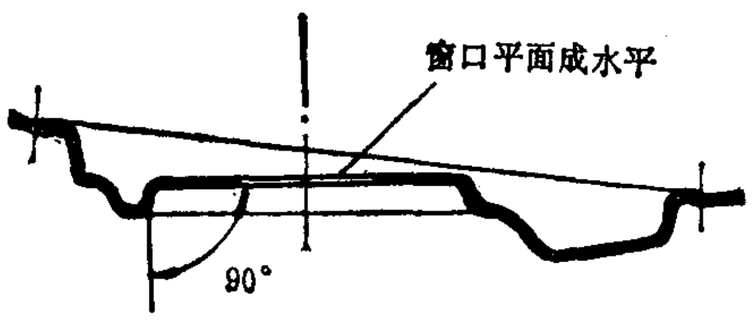


图 9-3　由覆盖件上鼓包的反成形所确定的拉深方向

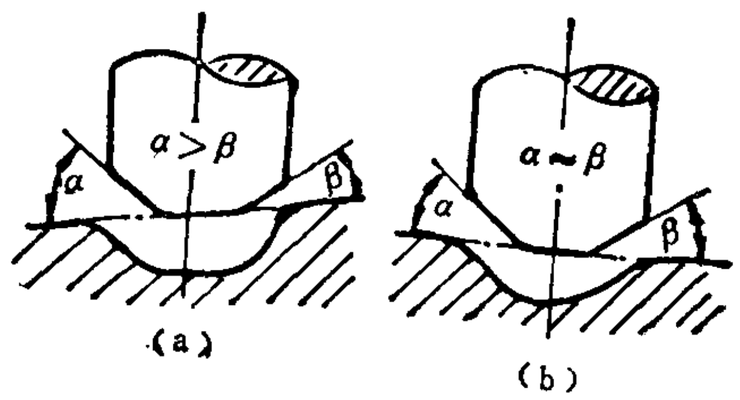


图 9-4　凸模与毛坯接触状态
(a) 不好　(b) 好

2）如图 9-4 所示,拉深开始时，凸模两侧的包角尽可能作到基本一致（$\alpha \approx \beta$），即凸模的开始接触点应处在凸模的中心点附近，这使两侧流入凹模的材料保持均匀。凸模表面同时接触毛坯的点要多而分散,并尽可能分布均匀,防止毛坯窜动,因接触面积小而集中,易造成材料局部开裂。

3）从考虑后继修边、冲孔等工序确定拉深方向。

4）不致因侧壁与拉深方向所成角度过小或过大,使在制件上产生材料滑动的线状痕迹。

2. 工艺补充面

除制件上内部孔洞外,凡临时增添而以后又将切去的部分,称为制件的工艺补充面。如图 9-5 所示,工艺补充面又可分为工艺延伸面和压边面两部分。

（1）工艺延伸面

http://shop62964869.taobao.com/

工艺延伸面的主要作用在使制件容易成形如：建立形状较单纯的外形侧壁；增加局部侧壁高度，使制件各处拉深深度较为均匀；使凹模面形状较为单纯（见图 9-6）；使材料同步地变形，以防产生“颤动线”和“偏移线”等（见图 9-7）。所谓“颤动线”是指成形初期由于凹模圆角部分静摩擦状态的拉伸弯曲作用，使料厚减少和这部分刚性的增加，致使在成形后的侧壁部分留下线状痕迹。所谓“偏移线”是指在成形终了以前，当作用于毛坯上两侧的力不均衡时，毛坯上由凸模底面压出的棱线，可能向一侧窜动，从而在制件加工面上留下了初始棱线的残迹。

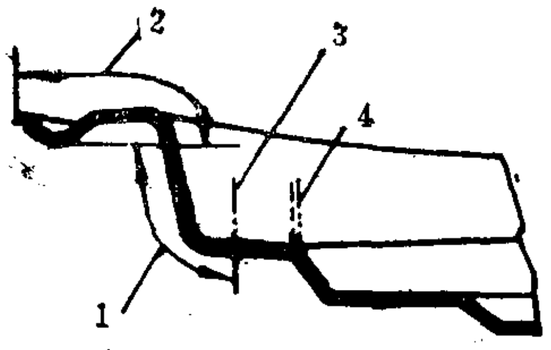


图 9-5　工艺补充面

1—工艺延伸面　2—压边面
3—修边线　4—翻边线

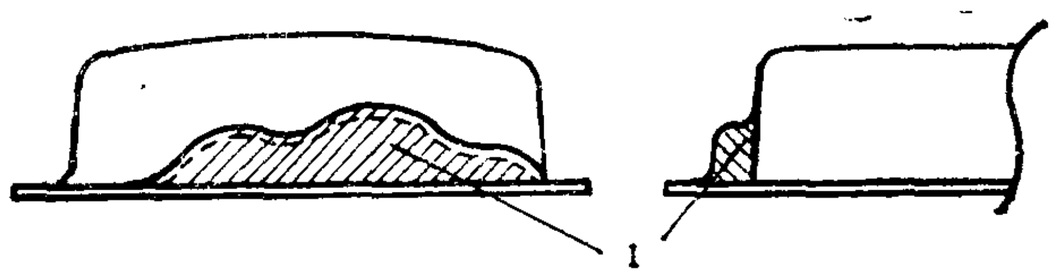


图 9-6　使凹模面形状趋向单纯化

1—工艺补充面材料

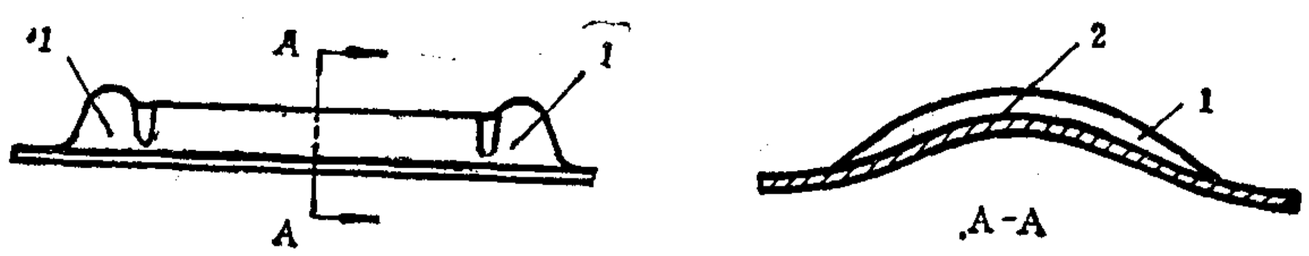


图 9-7　使材料同步地变形

1—工艺补充面材料　2—防止在此面上产生颤动线

(2) 压边面

压边面可为制件本体一部分组成，或由工艺补充部分组成，在拉深后切除。

设置压边面应考虑：

1) 压边面应为平面、单曲面或曲率很小的双曲面（见图 9-8），不允许有局部的起伏或折棱，当毛坯被压紧时，不应产生褶皱或扭曲现象，阻碍材料向凹模内流动。

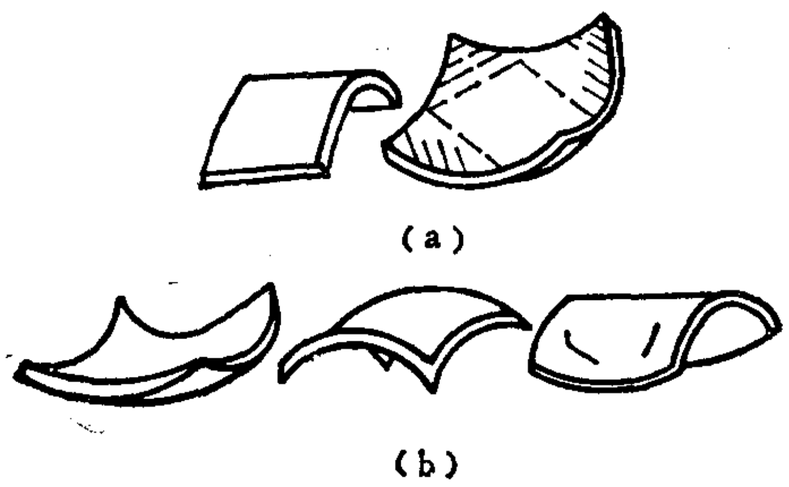


图 9-8　合理的压边面形状

(a) 单曲面　(b) 双曲面

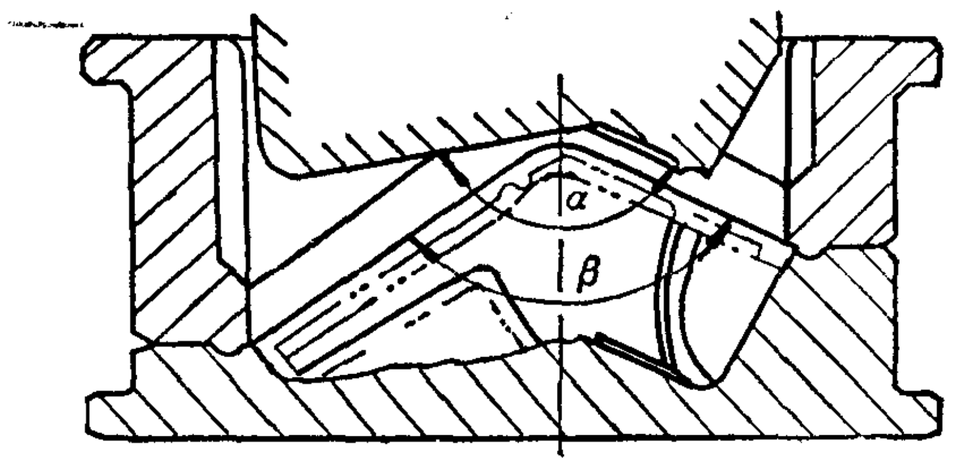


图 9-9　压边面与拉深凸模的几何关系

2) 压边面与拉深凸模的形状应保持一定的几何关系，保证在拉深过程中，毛坯常处于张紧状态，并能平稳地、渐次地紧贴凸模，以免产生皱纹。为此，必须满足如下关系(见图 9-9)

$$L > L_1;\ \alpha < \beta$$

式中　L、L_1——凸模与压边面的展开长度；

http://shop62964869.taobao.com/

α、β——凸模与压边面的仰角。

当 $L < L_1$，$\alpha > \beta$ 时，则压边面下会产生多余材料，这部分多余材料拉入凹模腔后，将由于延展不开而形成皱纹。

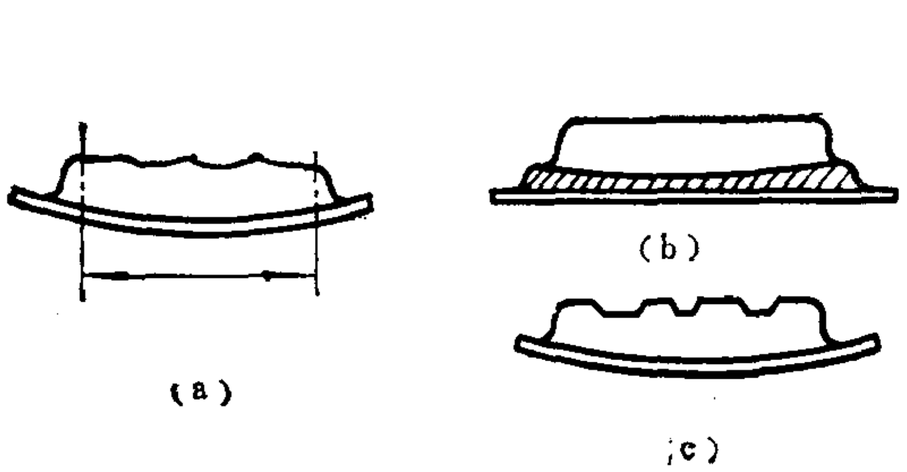


图 9-10　压边面下材料多于凸模所需而产生皱折及其消除方法
(a) 表面起皱折　(b) 采用阶梯拉深　(c) 采用压工艺鼓包

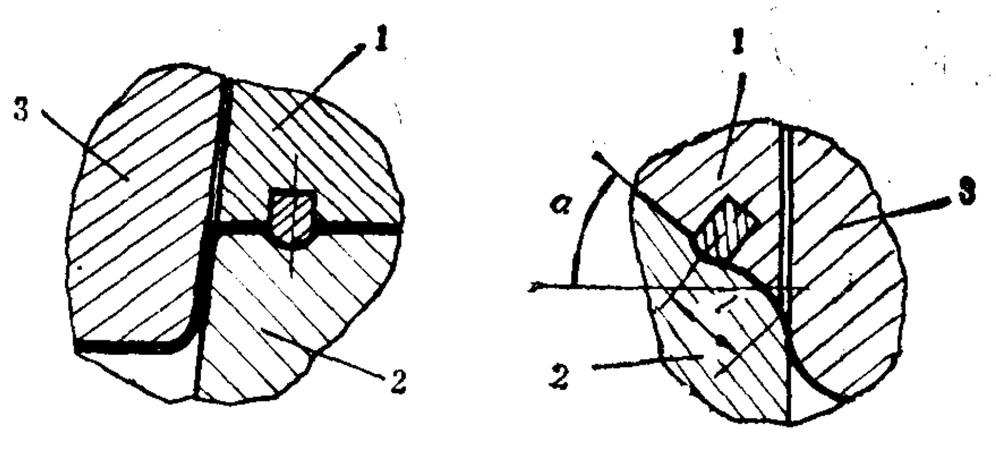


图 9-11　压边面与拉深方向的相对位置
(a) 水平位置　(b) $\alpha \leqslant 40° \sim 45°$
1—压边圈　2—凹模　3—凸模

图 9-10a 表示压边面下材料多于凸模所需，因而在制件上产生皱折。图 9-10b，采用平面压边面和阶梯拉深，控制材料流动；图 9-10c，采用在制件上压出工艺鼓包，以吸收多余材料。通常，希望材料经凸模表面变形后，能有 3～5% 的延伸率，以避免产生皱折和刚度不够。

3）为压边可靠，应合理选择压边面与拉深方向的相对位置。图 9-11 中，图 (a) 水平位置最理想；图 (b)，倾角 $\alpha \leqslant 40° \sim 45°$ 也可以，过大则压边圈角部极易损坏。压边圈倾角 α 增大时，则凹模边缘至拉深筋中心线的距离 l 亦须相应增加(见表 9-2)。

表 9-2　凹模边缘至拉深筋中心线的距离（见图 9-11b）

压边圈倾角 $\alpha°$	<20	20～25	25～30	30～35	35～40
凹模边缘至拉深筋中心线的距离 l(mm)	30	35	40	45	50

4）压边面形状还要考虑到毛坯定位的稳定、可靠和送料、取件的方便。

5）在满足压边面合理条件的基础上，应尽量减少工艺补充面，以降低材料消耗。

(3) 工艺补充部分结构设计

工艺补充部分结构组成见图 9-12，其各部分的作用和尺寸见表 9-3。

3. 工艺切口

在制件上压出深度较大的局部突起或鼓包；而又不易从外部得到足够材料补充时，可考虑冲工艺切口(或孔)，以从变形区内部得到材料补充，同时，也可免除局部开裂。

工艺切口的冲制：

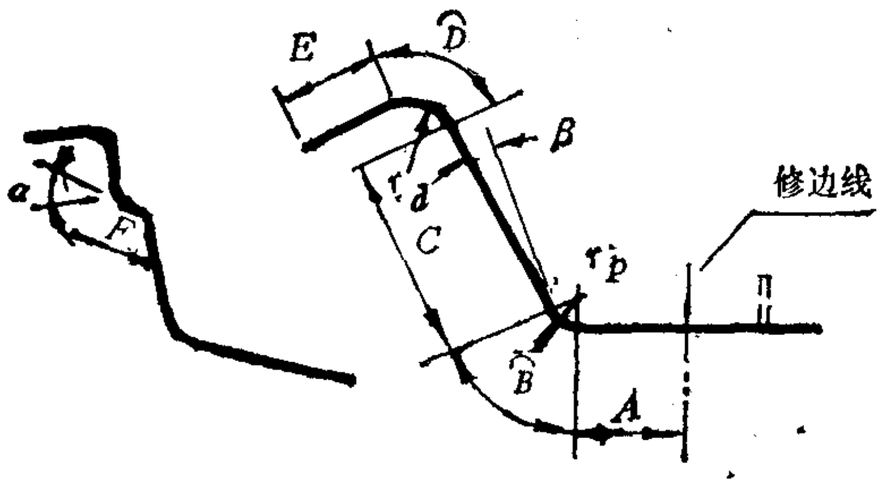


图 9-12　工艺补充部分结构示意

1）落料时冲出。用于较浅的局部成形。

http://shop62964869.taobao.com/

表 9-3　工艺补充部分结构设计

（参见图 9-12）

名称	性　　质	作　　用	尺寸（mm）
底面 A	从制件修边线到凸模圆角	1.调整时，不致因凸模圆角调大而影响制件尺寸 2.保证修边模有足够强度 3.满足定位结构要求	用拉深栏定位时：$A \geqslant 8$ 用侧壁定位时：$A \geqslant 5$
凸模圆角面 B	凸模圆角 r_p 处的弧面	降低变形阻力	一般形状 $r_p = (4 \sim 8)t$ 复杂形状 $r_p \geqslant 10t$
侧壁面 C	使拉深件沿凹模周边形成一定的深度	1.使制件表面有足够拉应力，减少皱纹形成 2.调节深度，配置较好的压边面 3.满足定位和取件要求 4.满足修边刃口强度要求	$C = 10 \sim 20$ $\beta = 6° \sim 10°$
凹模圆角面 D	凹模圆角 r_d 处的弧面	降低变形阻力	$r_d = (4 \sim 10)t$ 料厚或深度大时，取大值允许在调整中变化
凸缘面 E	压边面	1.控制变形阻力 2.布置拉深筋（栏）和定位	$E = 40 \sim 50$
棱台面 F		使水平修边改为垂直修边，简化冲模结构	

2）拉深过程中冲出。这较常用，冲切口的时间、位置、大小、数量和形状要按覆盖件情况在调整拉深模时试验确定。

因拉深模的导向精度不高，切口的刃口间隙不稳定，刃口容易啃坏，并易有碎屑落到凹模表面而影响制件表面质量；再者，把切口模装在拉深模内，装配、维修都较困难；所以应尽可能在产品结构上改进鼓包设计，避免拉深时冲制工艺切口。

4. 拉深筋（槛）的设置

设置拉深筋（槛）的主要目的在于增加材料变形阻力，使压边面以内的材料有足够的变形，增加制件刚度，减少回弹和减少产生“颤动痕”和“偏移线”等缺陷的可能性。再者，调节进料阻力，控制材料流入，以防止毛坯起皱。

（1）拉深筋

拉深筋的剖面呈半圆弧形状。它一般装在压边圈上，而在凹模压边面上开出相应的槽。由于拉深筋比拉深槛在采用的数量上、形式上都比较灵活，所以它应用比较广泛，但其阻力作用不如拉深槛大。拉深筋的结构如图 9-13 所示，其尺寸参数见表 9-4。

（2）拉深槛（槛式拉深筋）

拉深槛的剖面呈梯形，类似门槛，安装于凹模的洞口。它增加进料阻力的作用比拉深筋大，主要用于曲率特别大、平坦的和拉深深度浅的制件。它的结构及尺寸见图 9-14 所示，其中图 9-14(a) 可适用于拉深深度为 25mm 左右的制件；图 9-14(b) 则用于局部火焰淬火的整体凹模。

http://shop62964869.taobao.com/

表 9-4　拉深筋结构尺寸　　(mm)

序号	应用范围	*A*	*H*	*B*	*C*	*h*	*R*
1	中小型拉深件	14	6	25～32	25～30	5	7
2	大中型拉深件	16	7	28～35	28～32	6	8
3	大型拉深件	20	8	32～38	32～38	7	10

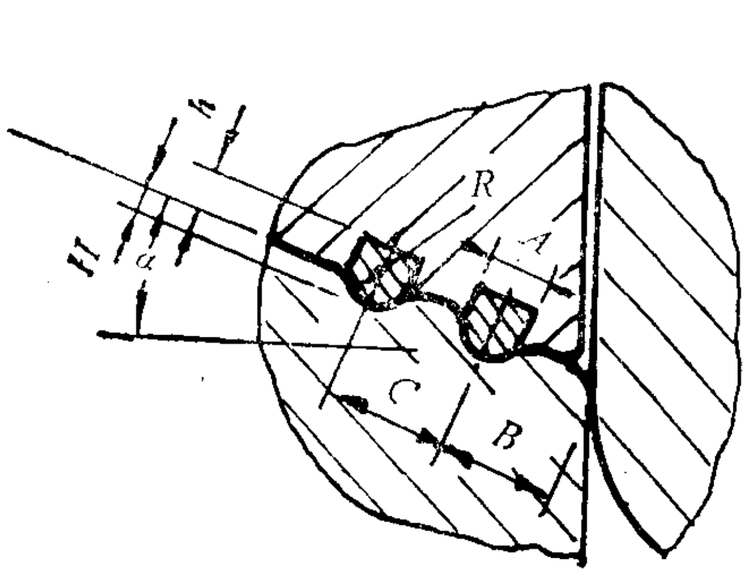


图 9-13　拉深筋的结构

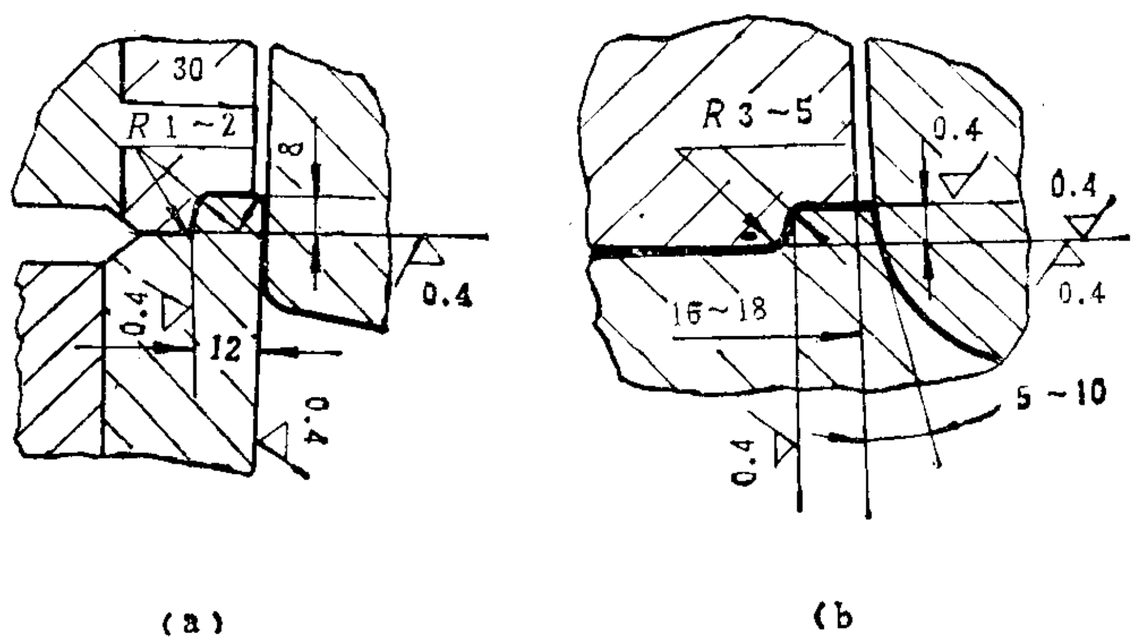


图 9-14　拉深槛

(a) 用于较大批量生产　(b) 用于小批量生产

(3) 拉深筋(槛)的布置

拉深筋的数目及位置须视制件外形和其近似的变形性质以及拉深深度而定，而通过拉深模试调，又可以有所变化。

按拉深筋的作用，其布置原则见表 9-5。

根据凹模口几何形状的不同，拉深筋的具体布置示例见图 9-15 及表 9-6。筋条位置一定要保证与毛坯流动方向垂直。

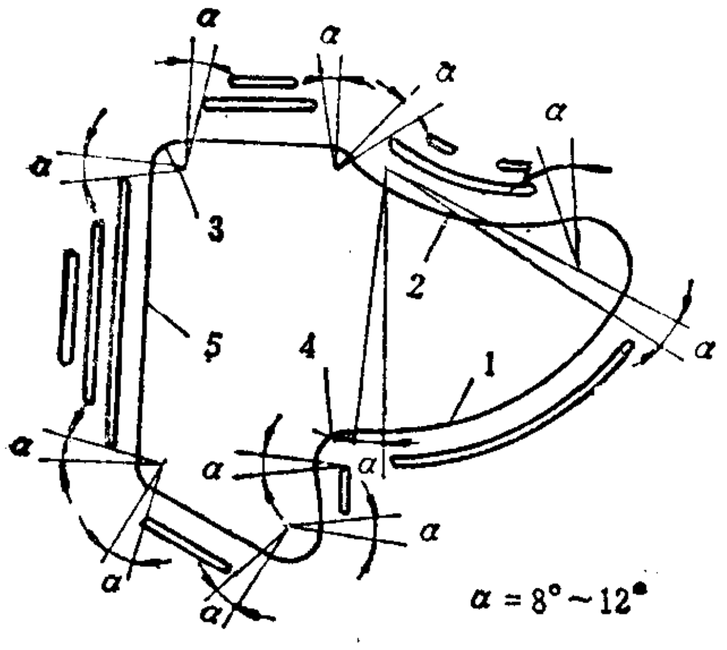


图 9-15　凹模口形状及拉深筋的布置方法

5. 后续工序的定位

制订覆盖件拉深工艺时，应为后续工序考虑安排定位的方法。常用定位形式有

(1) 用制件的外表面或内表面侧壁定位，即用凹形或凸形的定位装置控制拉深件在以后工序中的位置。由于一般凸形定位装置高出送料线，送料和出件都要提高一段高度，操作不如凹形定位(制件口朝上)方便，所以以尽量采用外表面侧壁定位为好。

表 9-5　拉深筋的布置原则

序　号	要　　求	布　置　原　则
1	增加进料阻力，提高材料变形程度	放整圈的或间断的 1 条拉深槛或1～3米拉深筋
2	增加径向拉应力，降低切向压应力，防止毛坯起皱	在容易起皱的部位设置局部的短筋
3	调整进料阻力和控制进料量	1. 拉深深度大的直线部位，放 1～3 条拉深筋，拉深深度大的圆弧部位，不放拉深筋 2. 拉深深度相差较大时，在深的部位不设拉深筋，浅的部位设筋

http://shop62964869.taobao.com/

表 9-6　按凹模口形状布置拉深筋的方法

图 9-15 中位置序号	形　　状	要　　求	布　置　方　法
1	大外凸圆弧	补偿变形阻力不足	设置 1 条长筋
2	大内凹圆弧	1.补偿变形阻力不足 2.避免拉深时,材料从相邻两侧凸圆弧部分挤过来而形成皱纹	设置 1 条长筋和 2 条短筋
3	小外凸圆弧	塑流阻力大,应让材料有可能向直线区段挤流	1.不设拉深筋 2.相邻筋的位置应与凸圆弧保持 8°～12° 夹角关系
4	小内凹圆弧	将两相邻侧面挤过来的多余材料延展开,保证压边面下的毛坯处于良好状态	1.沿凹模口不设筋 2.在离凹模口较远处设置两段短筋
5	直　　线	补偿变形阻力不足,控制进料量过多	根据直线长短设置 1～3 条拉深筋（长者多设,并呈塔形分布;短者少设）

(2) 拉深时冲制或穿刺工艺孔定位(图 9-16)

图 9-16a 是在拉深工序已完成，压力机内滑块开始上升时，拉深模上装置在冲制(或穿刺)孔时情况;图 9-16b 表示穿刺冲子形状和穿刺出孔所形成的特殊孔边周界。图 9-16c 为以穿刺孔定位时情况。这种穿刺孔的方法用的较多,优点是无废料，且定位接触面积较大;但操作麻烦,所以只在拉深件侧壁定位有困难时,才考虑采用。

采用工艺孔定位,必须是两个工艺孔,直径可取 10～15mm，孔距越远,定位将越可靠。工艺孔一般布置在工艺补充面上,以后切掉。

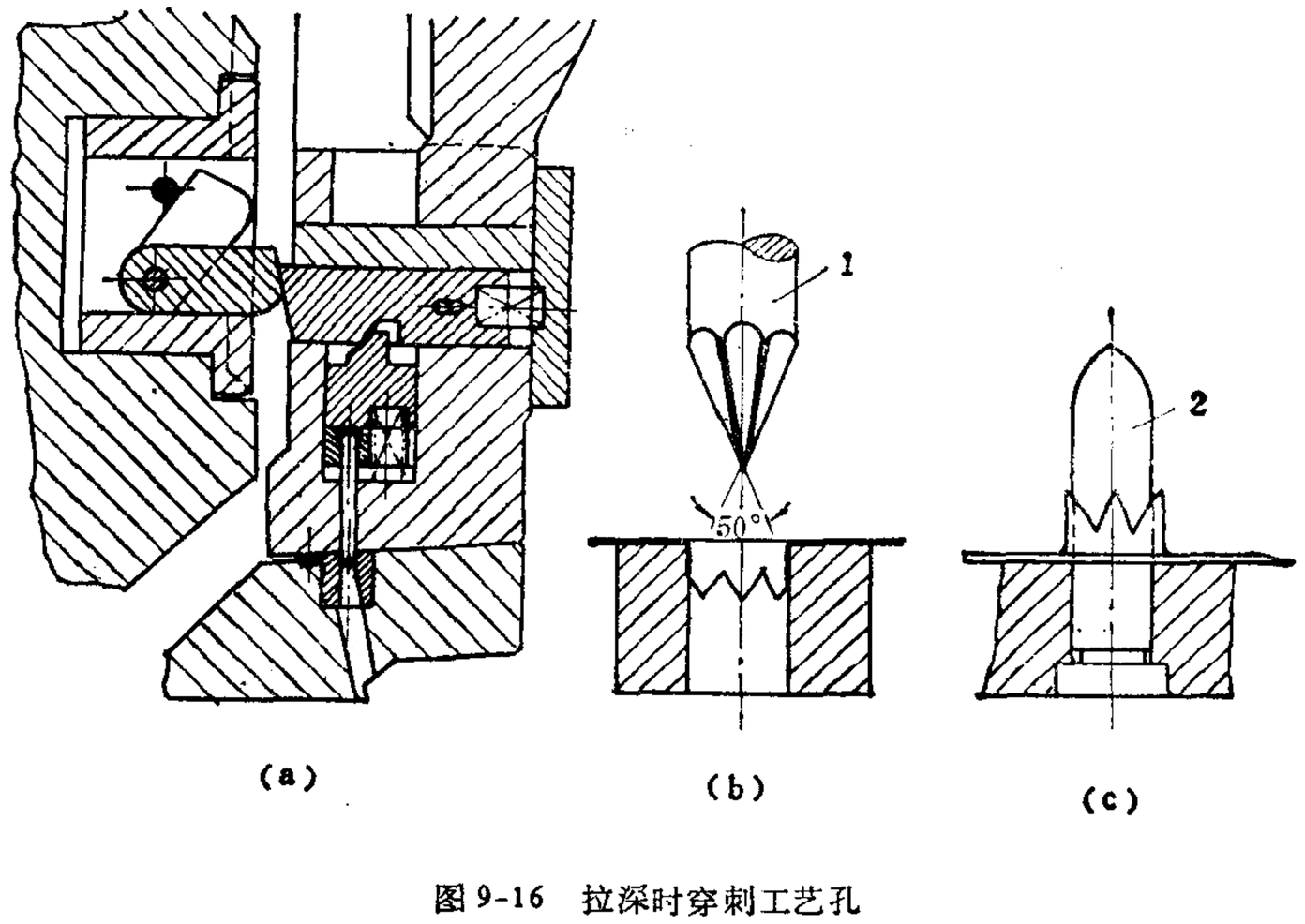


图 9-16　拉深时穿刺工艺孔
1—穿孔凸模　2—定位销

6. 设计通气孔

(1) 为防止拉入凹模的拉深件,在滑块回程时被凹模内经压缩的空气顶瘪,应在凹模非工作表面上钻制通气孔,并相应地在凹模底面和其它地方铣槽,以与孔沟通，使拉深时空气可以排走。

http://shop62964869.taobao.com/

(2) 为防止发生真空现象，使拉深件紧箍在凸模上，随凸模上带而受损；凸模上也应钻制通气孔，并使与凸模固定座或模座立筋上所钻出或铸出的孔相通，使空气能自由出入。

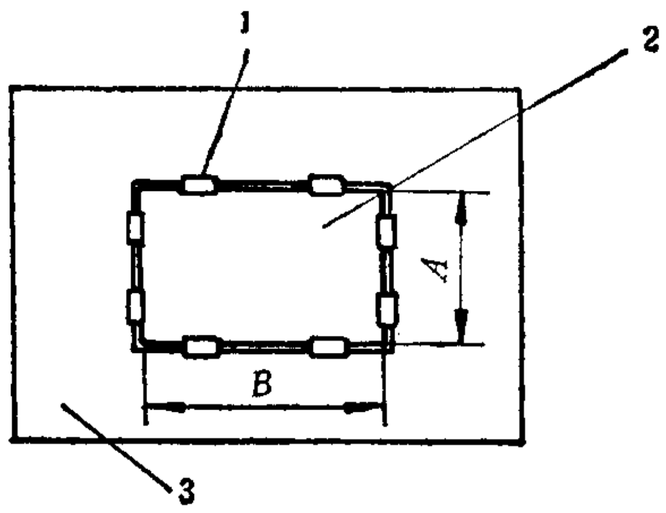


图 9-17 凸模与压边圈间的导向滑板
(双动压力机上用模具)
1—内导板(滑板) 2—凸模 3—压边圈

7. 导向机构

覆盖模上导向机构是用于建立工作零件如：凸模和压边圈、凹模和压边圈或凸模和凹模及压边圈之间的导向关系的。一般要通过滑板、导板或背靠块等零件，在凸、凹模并非与上模或下模铸为一体时，还要间接通过模座本体。图 9-17 所示，为表示用对称布置于凸模与压边圈四周的内导板(或称之为滑板)以建立凸模与压边圈之间的导向关系。滑板成对地分别固定于凸模与压边圈上，以单面导向。在 700mm 长度范围内可布置两对，大于 700mm 布置四对，总的滑板宽度约占导向区域宽度的 1/4。

图 9-18 表示用导板建立上模上的凹模和下模上的压边圈间的导向关系。如图所示，导板可三面导向。

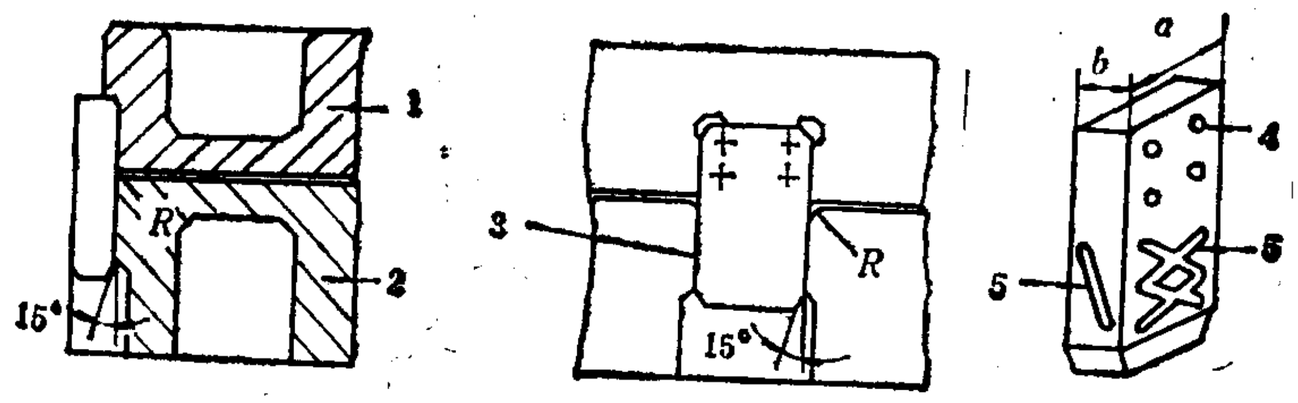
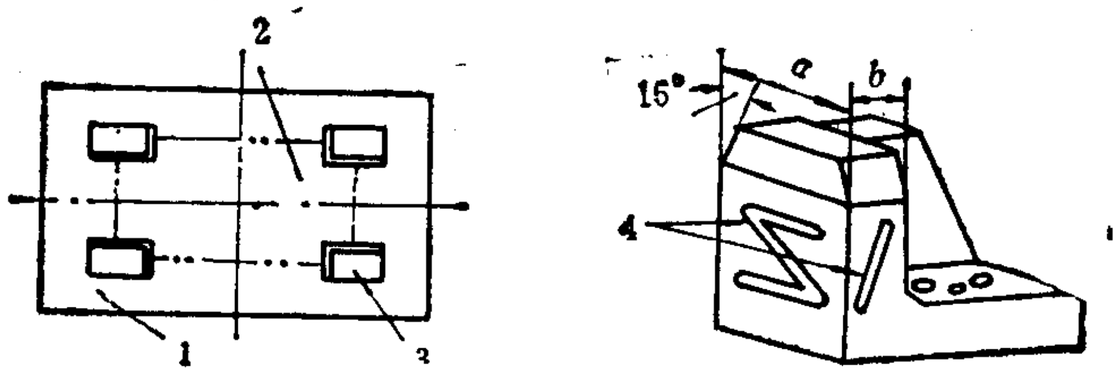


图 9-18 凹模与压边圈间的导板导向
(单动压力机上用模具)
1—凹模 2—压边圈 3—导板 4—装螺钉孔 5—油槽

图 9-19 表示上、下模导向用的导块。它根据结构上需要可两面或三面导向。在单动压力机上工作，用导块可同时导向压边圈和上模上凹模。



(a) (b)

图 9-19 导块导向
(a) 四角设导板，两面导向 (b) 导块立体视图
1—下模座 2—压边圈 3—导块 4—油槽

此外，还可直接利用模座本体作为支承面，在其上固定防磨板来进行导向(见图 9-21)。这种导向暂称之为背靠块导向。它较比能承受较大侧向力。一般拉深模对精度要求不太高，可

http://shop62964869.taobao.com/

不用导柱，而用导板、导块或背靠块导向，但如拉深同时还要进行冲孔等工作，则最好背靠块与导柱并用。

四、覆盖件拉深模

（一）拉深模结构

图 9-20 为一装在单动压力机上，利用气垫进行拉深的拉深模结构示意图。图中只表示了主要构件，而对拉深筋和导向结构等次要结构都有省略。它主要用在拉深中型覆盖件。图中表示了冲工艺切口的示意结构。

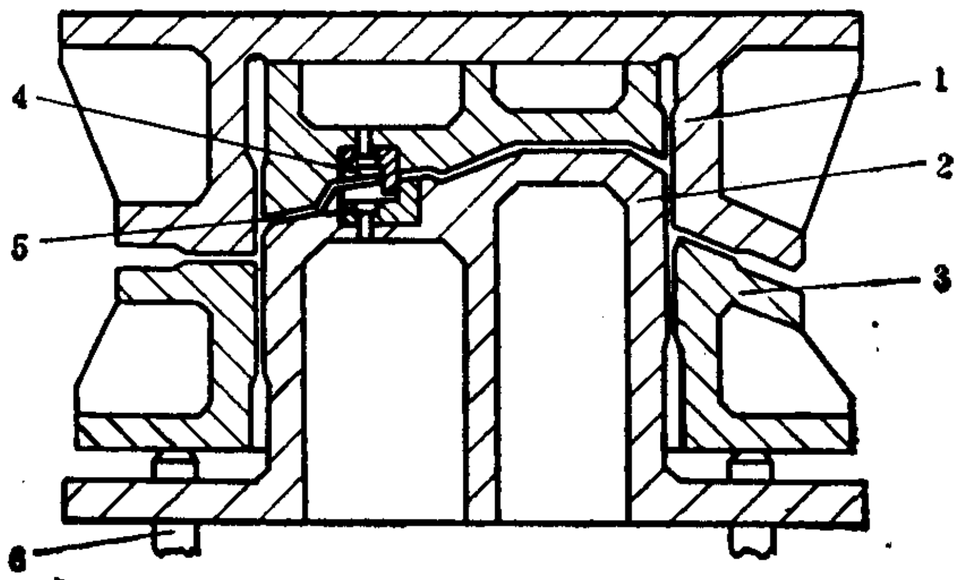


图 9-20　单动压力机上覆盖件拉深模

1—凹模　2—凸模　3—压边圈　4—冲切口凸模
5—冲切口凹模　6-托杆

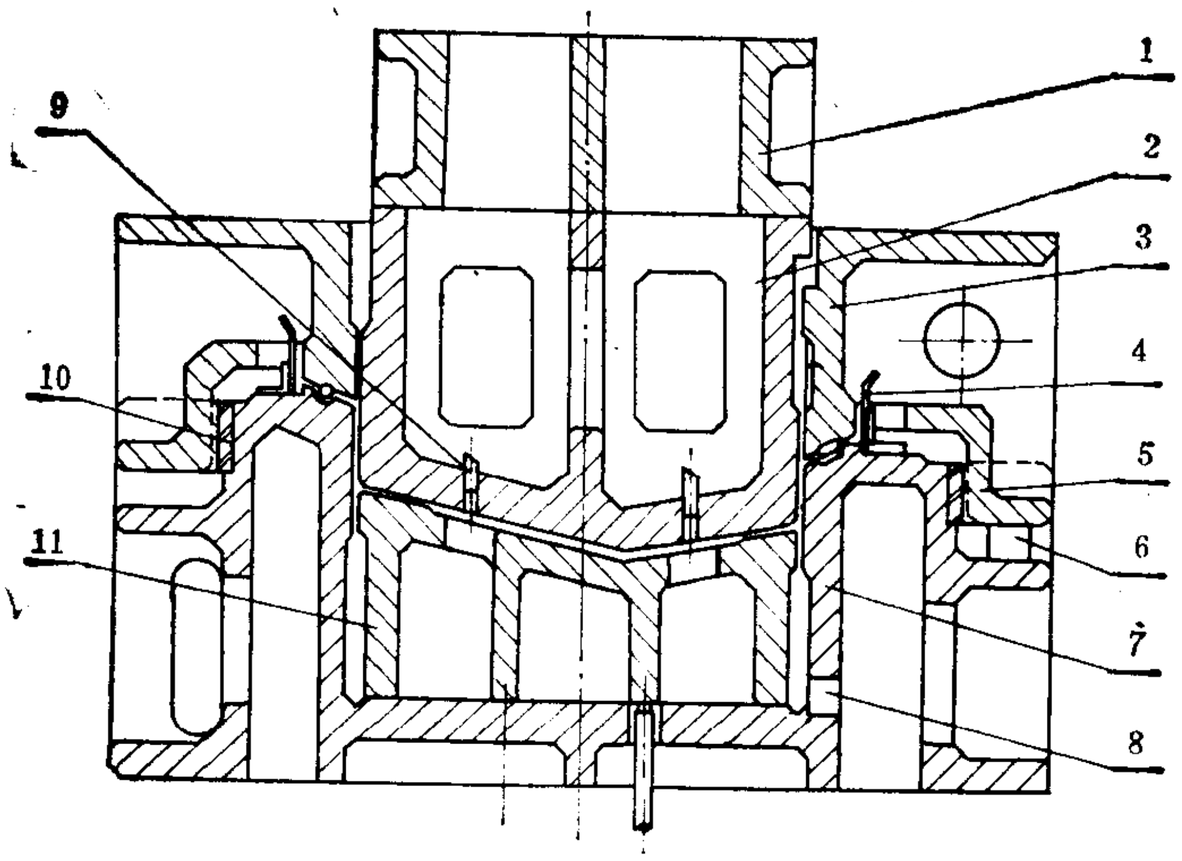


图 9-21　双动压力机上覆盖件拉深模

1—凸模接座　2—凸模　3—压边圈　4—挡料块　5—压边圈底脚导板　6—行程控制块　7—凹模　8—排泄孔　9—通气孔　10—背靠块(防磨板)　11—顶出座垫

http://shop62964869.taobao.com/

图 9-21 为双动压力机上使用的覆盖件拉深模结构示意图。 这里凹模顶出垫座是另行装入的，所以凹模为直通式结构。压边圈与凹模间通过背靠块导向，图中对凸模与压边圈间导向未予表示。

（二）拉深模材料

拉深模的凸模、凹模和压边圈，尺寸大和形状复杂，所以只能用铸件。使用上要求耐磨性能好，制造上要求容易加工，并能进行局部表面火焰淬火。一般均采用合金铸铁，如镍铬铸铁和钼钒铸铁等。前者比较耐磨又不易拉毛是比较理想的材料，表面火焰淬火后，空冷可达 HRC38～48；后者，经生产试用，性能与前者相似，经局部表面淬火，空冷可达 HRC 45～50。在试制和小量生产，凸、凹模也可采用锌基铝合金。

http://shop62964869.taobao.com/

第十章　冷挤与温挤

一、冷挤压的概念

冷挤压是一种无切屑加工工艺。它是在相当大的压力（2000～2500MPa）下，使金属毛坯在模具型腔中塑性变形，并从模具型腔中挤出制件的一种塑性成形方法。

（一）冷挤压的分类

根据挤压时金属流动方向和凸模运动方向的关系主要可分以下三种：

1）正挤压——金属流动方向和凸模运动方向相同（见图 10-1）。

2）反挤压——金属流动方向和凸模运动方向相反（见图 10-2）

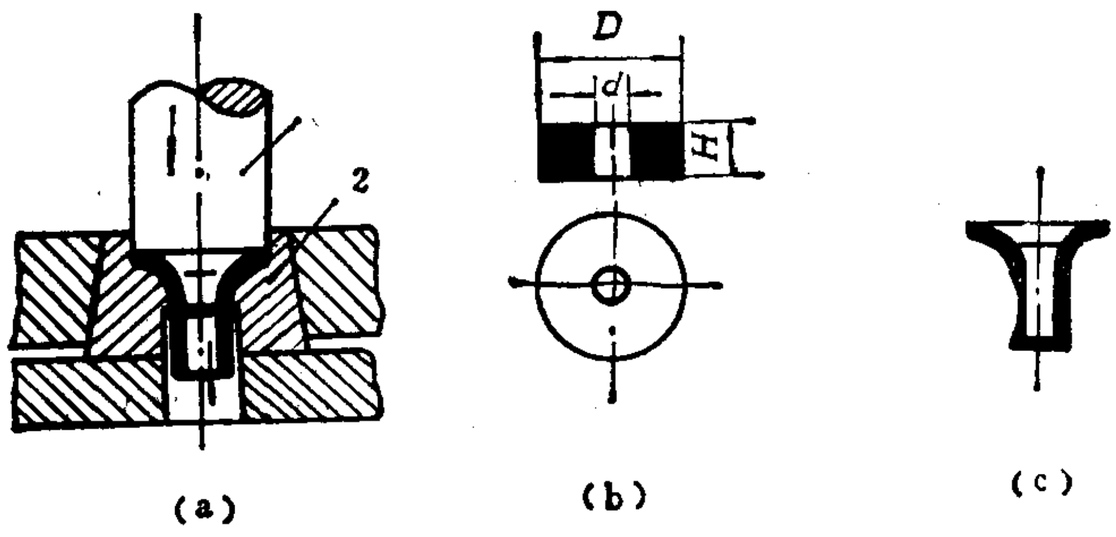


图 10-1　正挤压

(a) 挤压示意图　(b) 毛坯　(c) 挤压制件

1—凸模　2—凹模

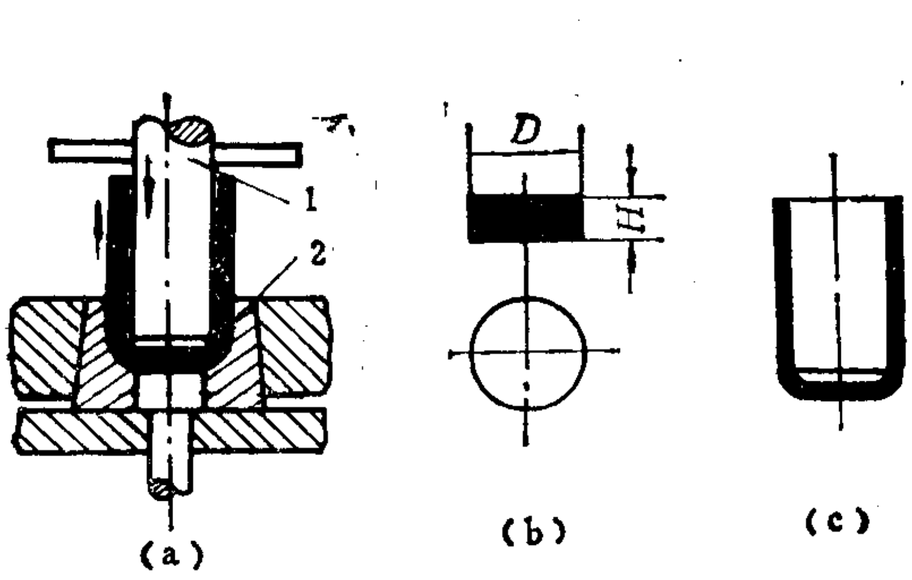


图 10-2　反挤压

(a) 挤压示意图　(b) 毛坯　(c) 挤压制件

1—凸模　2—凹模

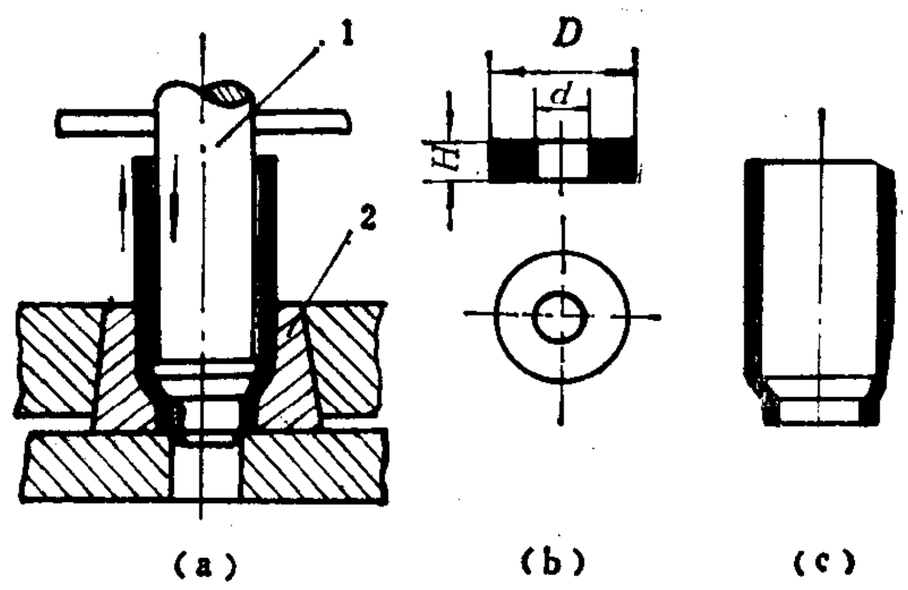


图 10-3　复合挤压

(a) 挤压示意图　(b) 毛坯　(c) 挤压制件

1--凸模　2—凹模

http://shop62964869.taobao.com/

3）复合挤压——在一次挤压过程中，正挤和反挤同时进行，一部分金属与凸模运动方向相同，一部分则相反(见图 10-3)。

此外，还有称之为径向挤压或横向挤压，它是正挤压的一种变换形式，这时金属从凹模口挤出的流动方向是径向(横向)的，通常即和凸模运动方向成 —90° 角。

在机械加工生产中，常见到正、反挤压复合进行或和其它变形方式复合进行，而尤以正、反挤压和镦粗复合为多，常以此法制造切削加工零件的毛坯。此种情况，似以冷锻来称呼更为确切。

（二）冷挤压的优点

冷挤压优点有：

1）可制成用其它方法难以制造的形状复杂的零件；

2）可以获得理想的表面粗糙度（一般可达 R_a 值为 0.8～1.6μm，最小可达 0.2～0.4μm）及尺寸较精确的零件(一般零件直径公差在 IT8 以上，个别情况可达 IT7)

3）在冷挤压过程中金属处于三向压应力状态，使材料组织缜密，具有连续的纤维流向，提高了疲劳强度。冷挤压后由于金属材料的冷作硬化，提高了零件机械性能，这就可以用低强度高塑性材料(纯铝、低碳钢)来代替高强度低塑性的材料(硬铝，中碳钢或某些合金钢)。

4）减少成本费用　　由于节省原材料，减少或免去了后续加工以及提高生产率等的结果，使制件成本费用大为减少。

（三）适于采用冷挤压工艺的条件

1. 生产批量

由于冷挤压要在毛坯准备(包括清洗、表面处理、润滑和退火等)、挤压设备和模具上要花较多资金；因此，从经济上考虑，冷挤压的生产批量不能太低。根据国外资料，对于大件，合理产量为每月 1～5 万件，小件为 10 万件；但如挤压与其它工序结合，在多工位自动冷成形机上生产，并配备有快换模具装置，则生产批量可小一些，如 45kg 以上的大件可为 1 千件，0.1～0.45kg 的小件可为 2 万件。

2. 制件形状与尺寸

冷挤压最多采用于生产实心或空心的对称制件，对于非圆形的和有部分复杂形状的其它轮廓形状的制件也可挤压，但成本较高。当零件剖面的非对称性严重时，由于作用压力不等，易造成模具破裂。

冷挤压件的长度一般约为直径的几倍，实际上轴类冷挤压件的生产约占总冷挤件产量的 80%。冷镦常与冷挤压结合以生产有凸缘的制件。挤压圆筒形件是最常见的，还可挤压包括内部或外部有筋的，方形的，六角形的，椭圆形的和带锥变的其它轮廓形状件。

一端封闭的制件底部可以是平的、锥形的、半球形或其它形状，还可以在底面有凸起或凹坑，侧壁上可有纵向凸出或凹入的筋、槽、齿等，只要不是直径太小或太深，轴向孔也可挤出。

直齿或伞形齿制件虽可挤出，但对螺旋角大于 15° 的螺旋齿则挤出有困难。

生产上也常冷挤压多台阶直径的制件，其中有一问题值得注意。即在毛坯一次大的缩减量之后，紧跟着一次较小的缩减量时，常易在制件内部产生中心破裂缺陷。如遇到这种情况，则

http://shop62964869.taobao.com/

可以从改变凹模锥顶角或缩减量来解决。凹模锥顶角和断面缩减率与产生中心破裂的关系，见图 10-4。

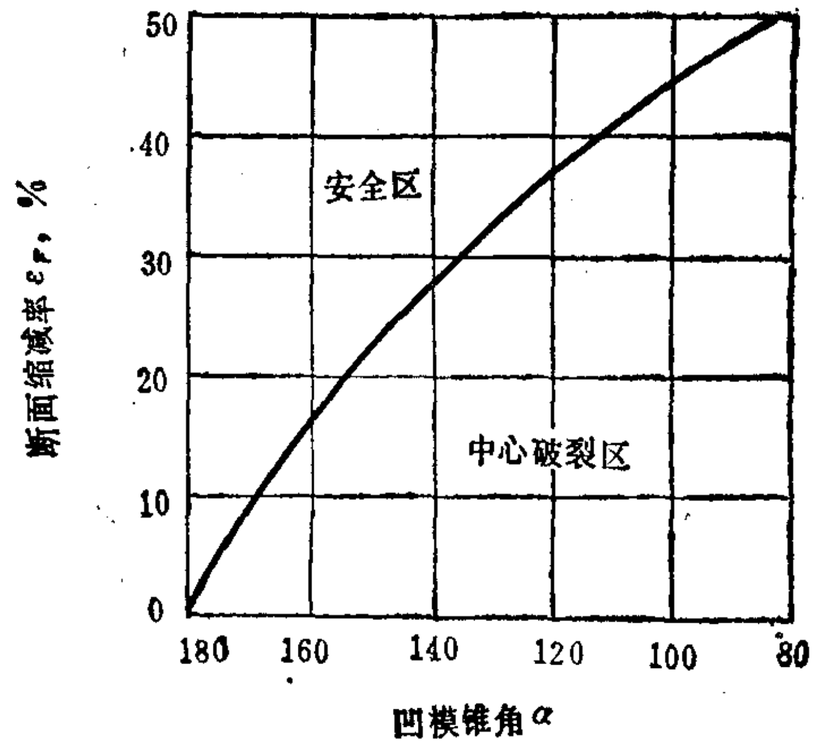


图 10-4　凹模锥角、断面缩减率和产生中心破裂的关系

虽然大部分冷挤压件属小件或中件，但国外也曾冷挤压 45kg 大件。大部分冷挤压件在 0.45～23kg。

3. 冷挤压的材料

如果所加的压力超过材料的屈服强度而模具有足够的承受能力，则大部分金属都可以冷挤压。对冷挤压件材料的选择要考虑：能满足挤压件所需的性能、屈服强度远少于抗拉强度、尚有一定延展性、有相应吨位的设备可供选用、模具能承受所需的压力以及冷挤件生产的经济性。

对于钢来说，最多选用的是含碳较低的碳素结构钢，但也可挤压含碳量 (0.5～0.7)% 的中碳、高碳钢。由于希望零件有较高强度和较轻重量，所以合金钢的冷挤压也日见增多，如 16Mn、45Mn、20MnV、15Cr、20Cr、40Cr、16Mo、15CrMo、20CrMo、30CrMo、42CrMo 和 GCr9、GCr15 轴承钢等。

1Cr13、2Cr13、1Cr18Ni9Ti 等很多不锈钢也可以冷挤压。

铝、铅、镁和铜等有色合金和其合金都适于冷挤压。

4. 钢的化学成分的影响

碳钢含碳量增加所需挤压力也增，所以冷态反挤压的含碳量不宜超过 0.35% 而对于正挤压含碳量可到 0.6% 或还稍高。

碳钢含硅量限于 0.35% 以下，因较高含硅量将增加塑性流动阻力和加工硬化率。

锰的影响不如硅那样强烈，含锰 1.5% 以下的钢也曾冷挤压过。

含硫量常限于 0.05% 以下，含硫的易切削钢曾少量挤压过，但一般来说，不宜推荐用于冷挤压。磷的含量超过 0.04%，将显著地提高所需挤压力。

钢中合金含量的增加使挤压较为困难。为顺利和经济地进行挤压，镍的含量限于 1.00% 以下，铬限于 0.90% 以下，钼限于 0.50% 以下。对于含碳 0.20～0.30% 的钢，锰的含量不应超过 0.90%，但如含碳量较低 (<0.12%)，含锰可高达 1.35%。

硼处理钢日渐广泛用于冷挤压。硼的加入改善了钢的可硬性，使得可挤含硼的低碳钢以代替含碳量高的钢，这样减少了挤压力并提高了模具寿命。

（四）冷挤压的主要技术问题

为冷挤压工艺的顺利进行，必须合理解决挤压时，金属需要相当大的变形力和模具承担能力方面的矛盾。为此，有以下一些主要技术问题应于注意：

1. 合理地选择冷挤压材料，其强度和硬度不宜过高，应进行退火或淬火软化热处理以降低材料硬度和变形抗力；

2. 为降低变形过程中摩擦阻力和避免在变形热效应下，金属和模具的粘结，应选用良好的润滑剂。此外，毛坯还常经表面处理，使与模具间有一良好吸附润滑剂的隔离层；

http://shop62964869.taobao.com/

3. 选用合理的变形程度，避免引起过高的负荷；

4. 正确设计模具结构，并较多采用组合式凹模结构以加强模具承受能力，避免开裂；

5. 合理选用模具材料和进行热加工与热处理；

6. 选用刚度较好，吨位足够，导向好和配置有过载安全装置的锻压设备。

此外，还应充分考虑操作时的安全，譬如，挤压时模具与操作者之间应有较厚的有机玻璃防护板(或钢板)隔开，以免引起工伤事故。

二、冷挤压的变形程度

（一）变形程度的计算

计算变形程度的方法有以下几种：

1）断面缩减率(相对变形程度) ε_F

$$\varepsilon_F = \frac{F - F_1}{F} \times 100\% \qquad (10\text{-}1)$$

2）挤压比 R

$$R = \frac{F}{F_1} \qquad (10\text{-}2)$$

3）对数变形程度 ϕ

$$\phi = \ln \frac{F}{F_1} \qquad (10\text{-}3)$$

式中 F——毛坯的横断面积（mm^2）（见图 10-5）；

F_1——制件的横断面积，正挤为小端横断面；反挤为空心制件壁部横断面（mm^2），（见图 10-5）。

以上以断面缩减率 ε_F 应用最多，而 ε_F 与 R 或 ϕ 之间关系为

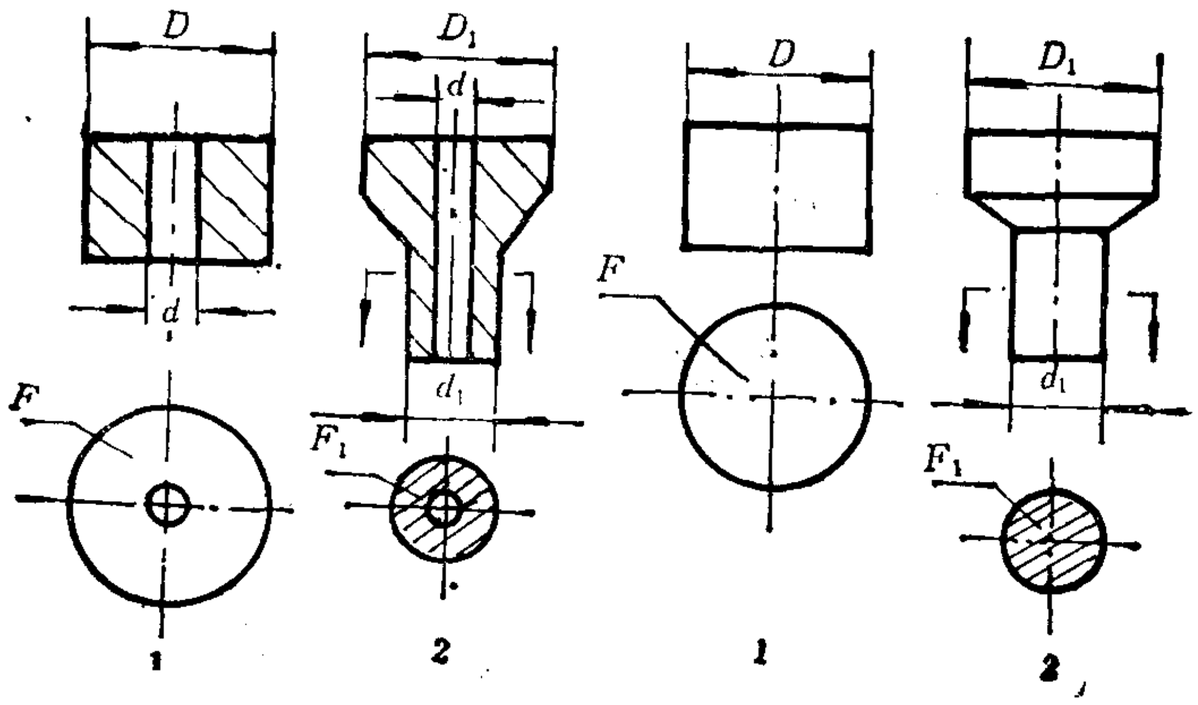


图 10-5　相对变形程度表示法

1—毛坯　2—制件

http://shop62964869.taobao.com/

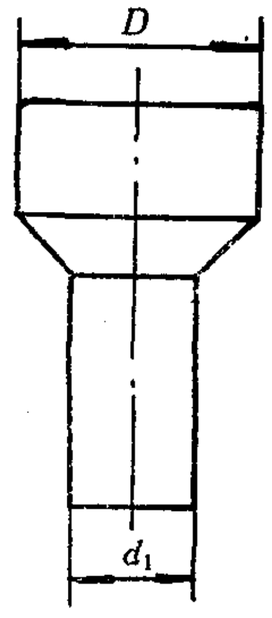
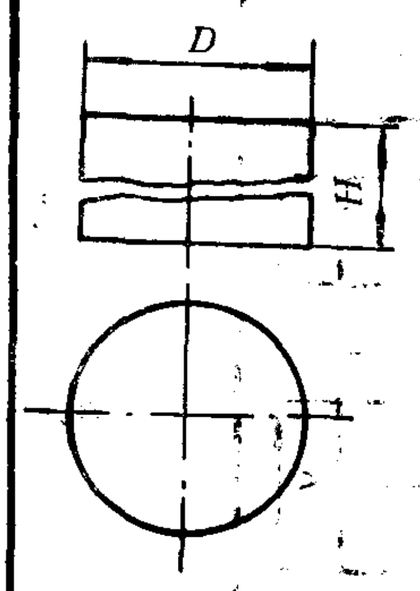
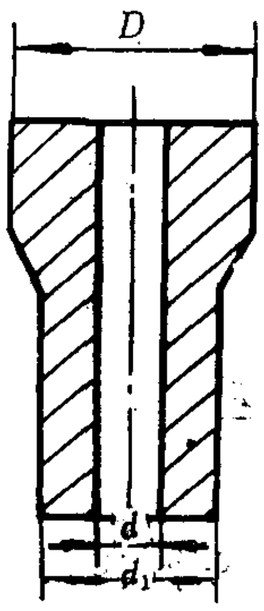
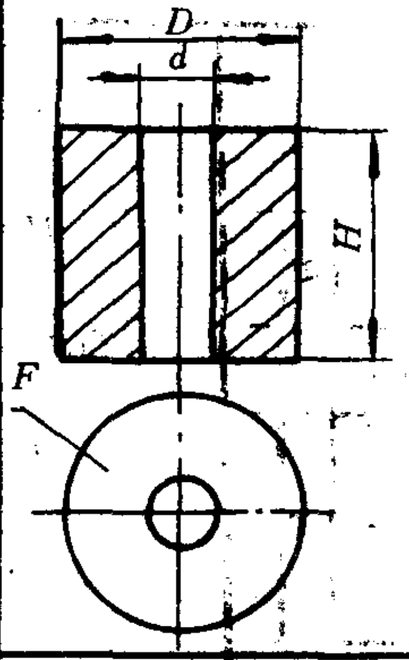
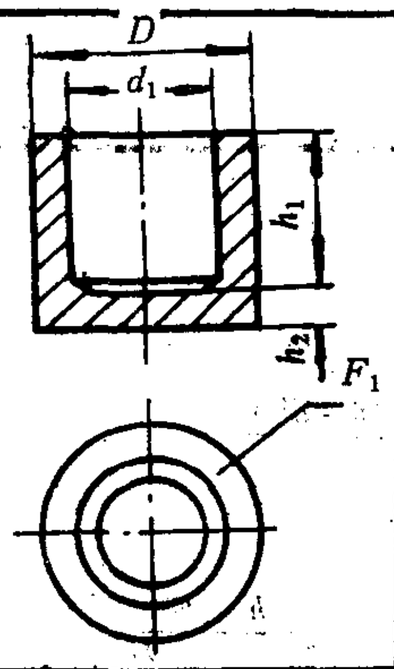
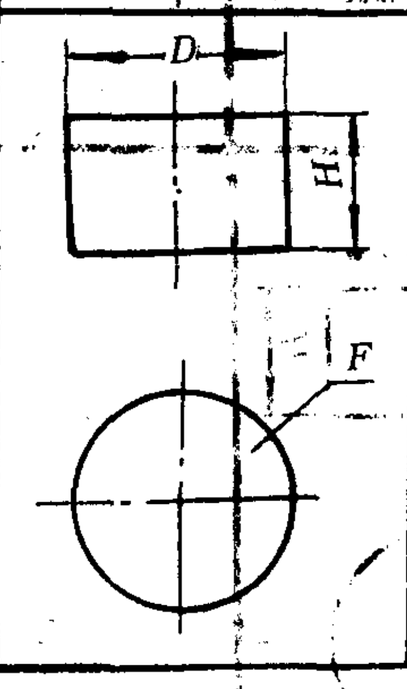
$$\varepsilon_F = \left(1 - \frac{1}{R}\right) \times 100\% \tag{10-4}$$

或

$$\varepsilon_F = \left(1 - \frac{1}{\psi^c}\right) \times 100\% \tag{10-5}$$

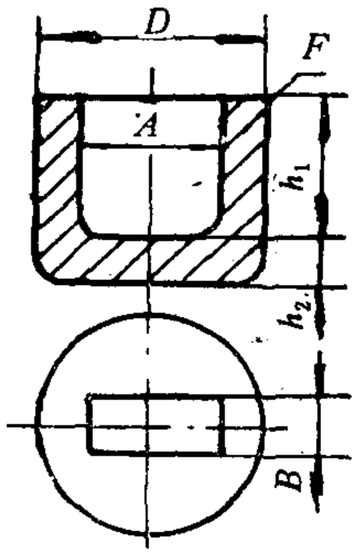
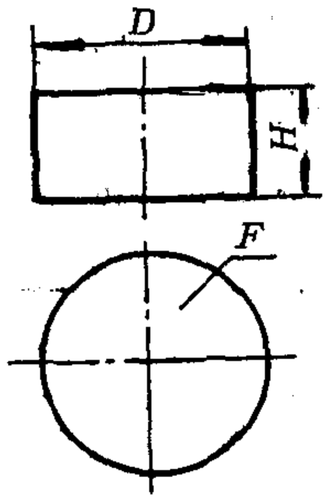
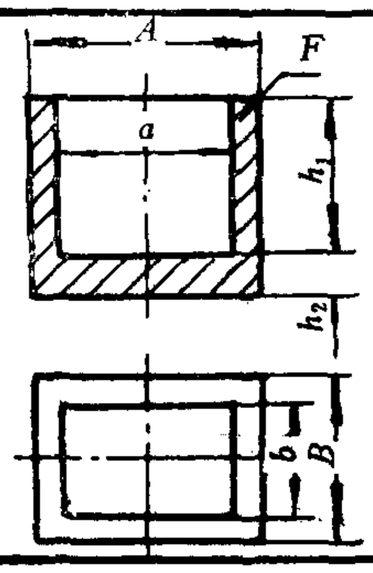
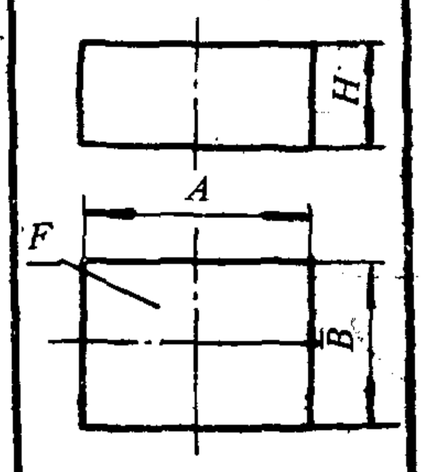
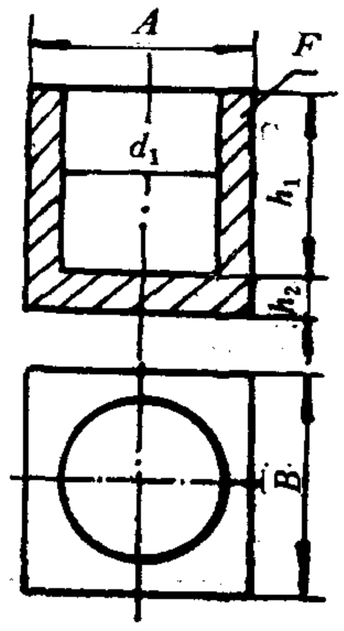
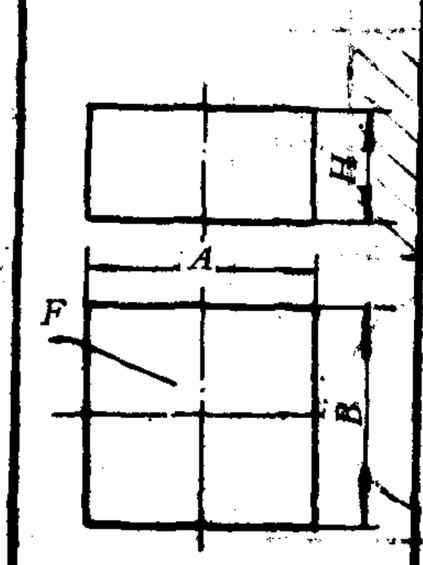
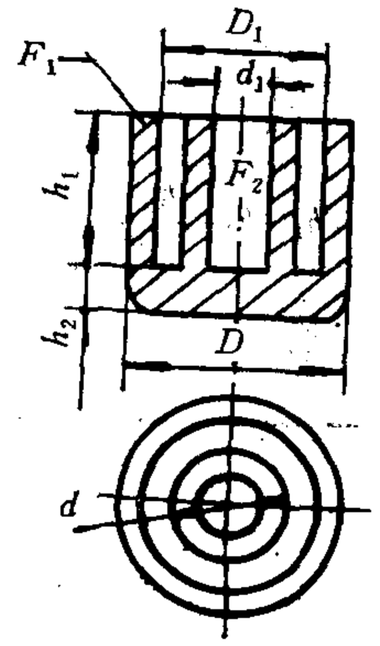
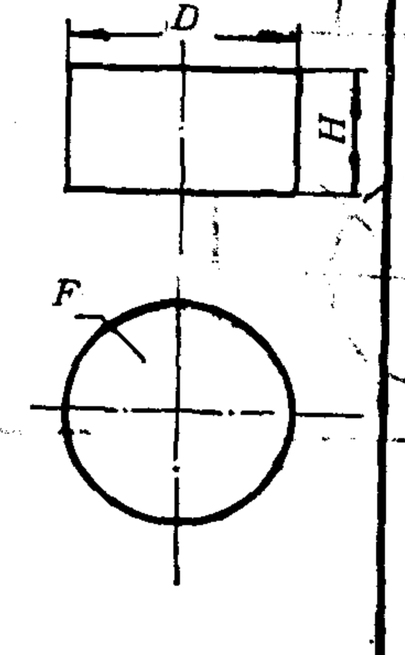
表 10-1 列出了典型冷挤压制件的断面缩减率。

表 10-1　典型冷挤压制件断面缩减率和毛坯高度计算公式

序号	制件图	毛坯图	断面缩减率ε_F和毛坯高度H
1			$\varepsilon_F = \frac{D^2 - d_1^2}{D^2}$ $H = \frac{4V}{\pi D^2}$ V—毛坯体积
2			$e_F = \frac{D^2 - d_1^2}{D^2 - d^2}$ $H = \frac{4V}{\pi (D^2 - d^2)}$
3			$e_F = \frac{F - F_1}{F}$ 或 $e_F = \frac{d_1^2}{D^2}$ $H = h_1 + h_2 - \frac{d_1^2 \times h_1}{D^2}$ $H = \frac{V}{F}$

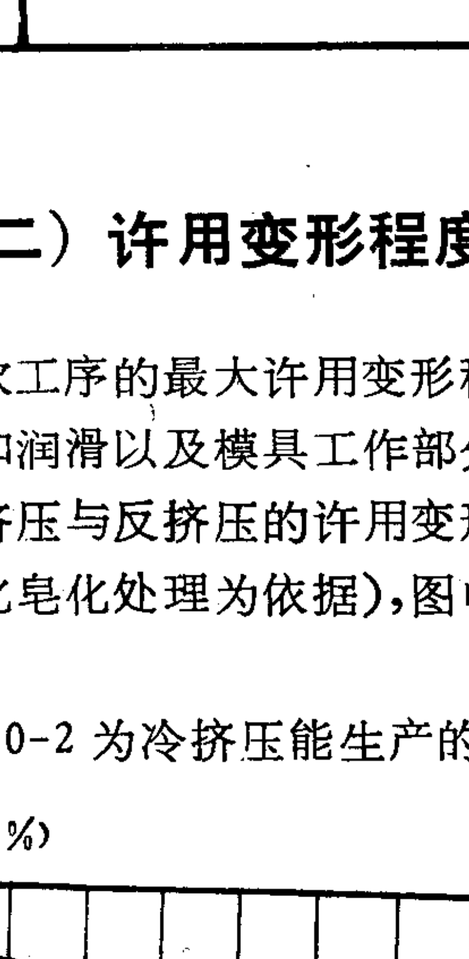
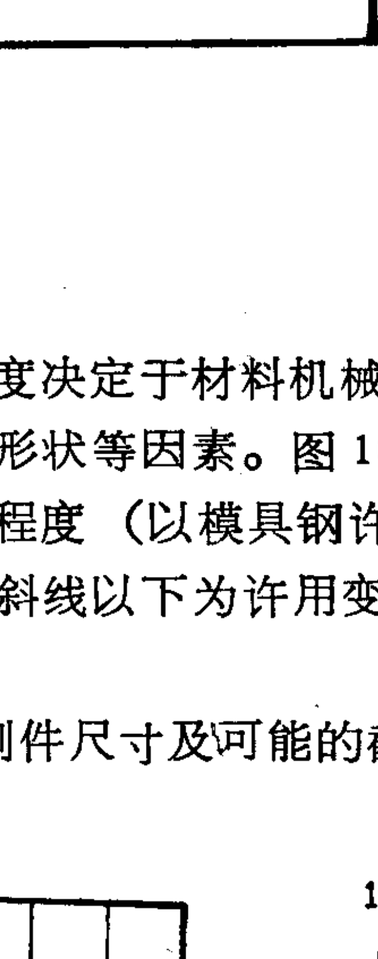
http://shop62964869.taobao.com/

表 10-1（续）

序号	制件图	毛坯图	断面缩减率 e_F 和毛坯高度 H
4			$e_F=\frac{A+B}{0.785D^2}$ $H=h_1+h_2-\frac{A\times B\times h_1}{0.785D^2}$ 当 $A=B$ 时 $e_F=\frac{A^2}{0.785D^2}$ $H=h_1+h_2-\frac{A^2\times h_1}{0.785D^2}$
5			$e_F=\frac{a\times b}{A\times B}$ $H=h_1+h_2-\frac{a\times b\times h_1}{A\times B}$ 当 $A=B$ 或 $a=b$ 时 $e_F=\frac{a^2}{A^2}$ $H=h_1+h_2-\frac{a^2h_1}{A^2}$
6			$e_F=\frac{0.785d_1^2}{A\times B}$ $H=h_1+h_2-0.785\frac{d_1^2\ h_1}{A^2}$ 当 $A=B$ 时： $e_F=\frac{0.785d_1^2}{A^2}$ $H=h_1+h_2-0.785\frac{d_1^2h_1}{A\times B}$
7			$e_F=\frac{D_1^2-d^2+d_1^2}{D^2}$ $H=h_1+h_2-\frac{h_1(D_1^2-d^2+d_1^2)}{D^2}$

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-1（续）

序号	制件图	毛坯图	断面缩减率 e_F 和毛坯高度 H
8			$e_F = \frac{D_1^2 - d^2}{D^2 - d^2}$ $e_{F1} = \frac{D^2 - d_1^2}{D^2 - d^2}$ $H = h_2 + \frac{h_1 (D^2 - D_1^2) + h_3 (d_1^2 - d^2)}{D^2 - d^2}$

（二）许用变形程度

一次工序的最大许用变形程度决定于材料机械性能、模具强度、冷挤压变形方式、毛坯表面处理和润滑以及模具工作部分形状等因素。图 10-6、图 10-7 和图 10-8 表达不同含碳量的碳钢正挤压与反挤压的许用变形程度（以模具钢许用单位压力为 2500MPa 和毛坯经软化退火和磷化皂化处理为依据），图中斜线以下为许用变形区域，中间为过渡区域，斜线以上为待发展区。

表 10-2 为冷挤压能生产的制件尺寸及可能的截面变化或壁厚变化参考值。

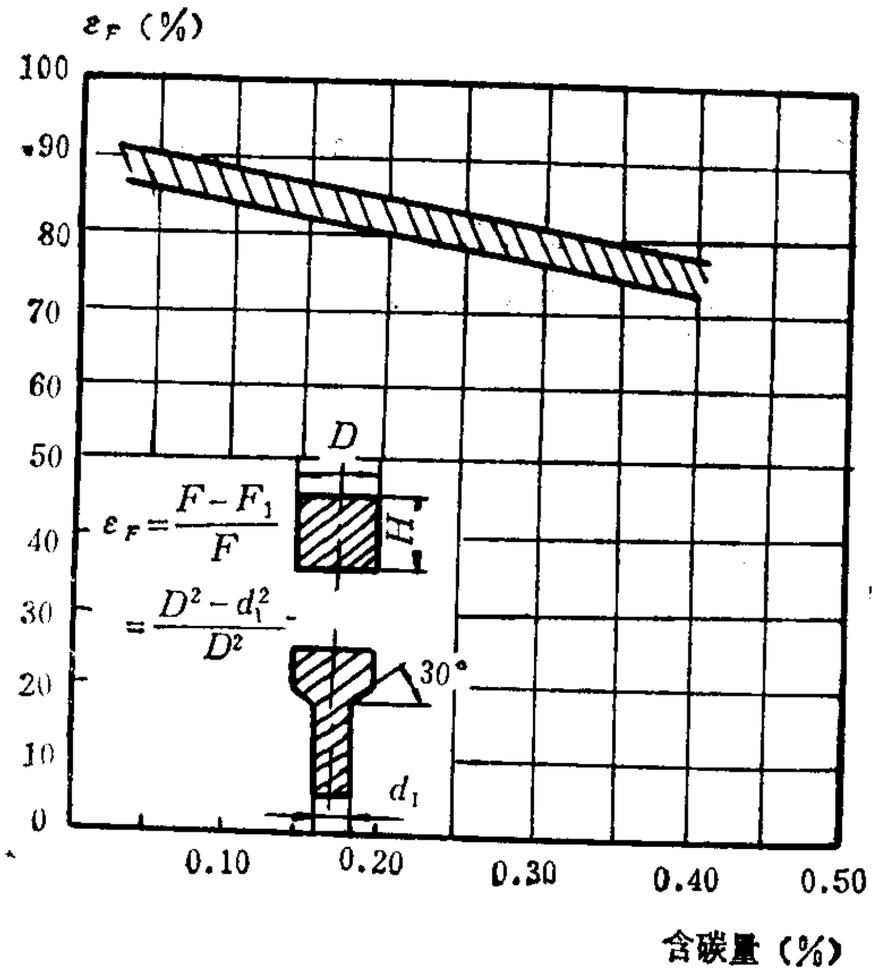


图 10-6　含碳量对碳钢正挤实心件许用变形程度的影响

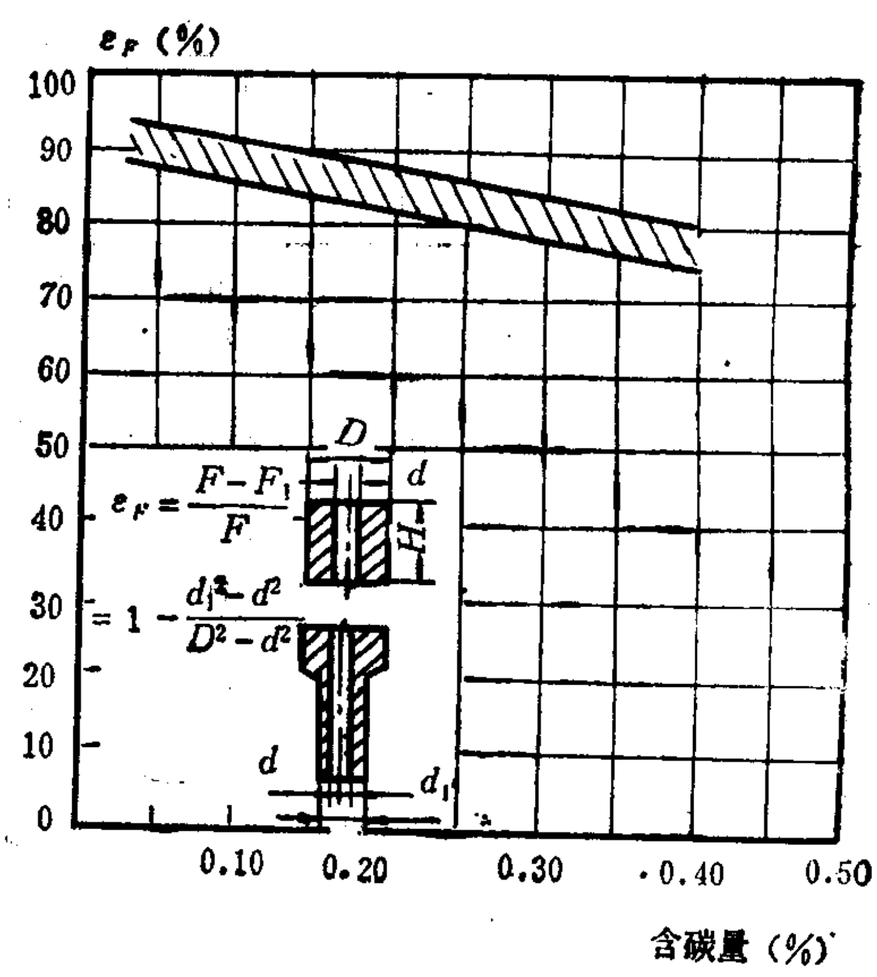


图 10-7　含碳量对碳钢正挤空心件许用变形程度的影响

http://shop62964869.taobao.com/

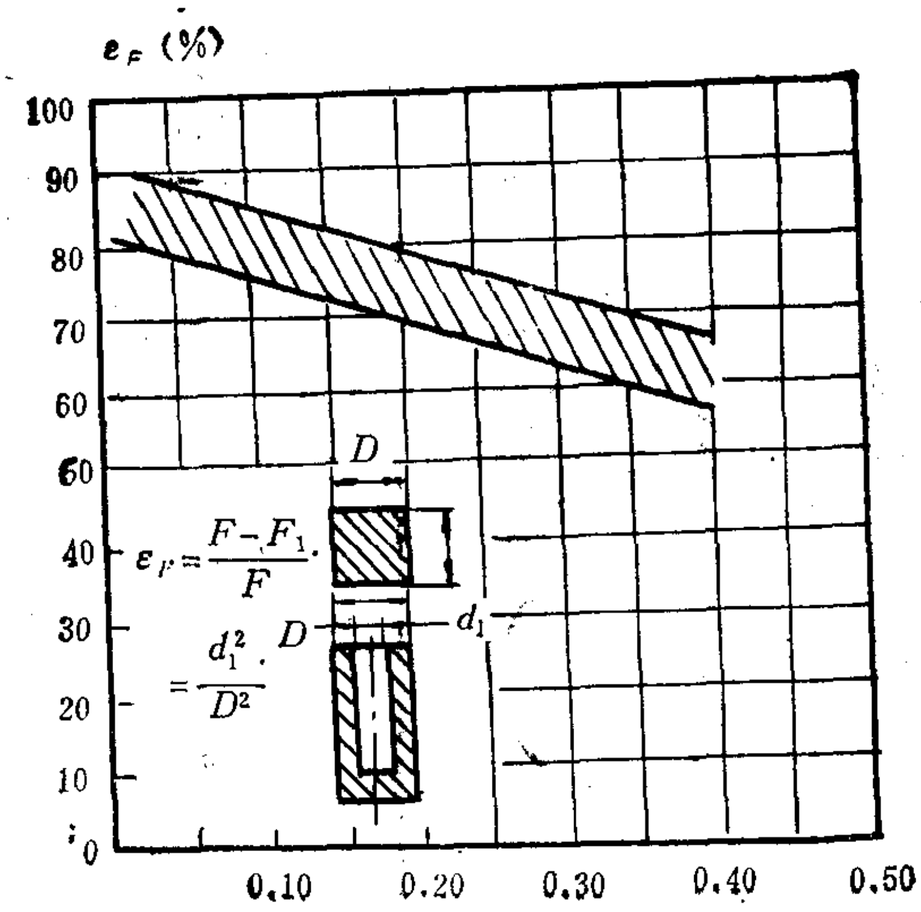


图 10-8　含碳量对碳钢反挤压许用变形程度的影响

表 10-2　冷挤压能生产的制件尺寸及可能的截面变化或壁厚变化参考值

材　料	实心与空心件正挤压					筒形件反挤压					
	D_{max}① (mm)	$\left(\frac{F}{F_1}\right)_{max}$	$\varepsilon_{F_{max}}$ (%)	$\frac{t_1}{t}$③	$\left(\frac{H}{D}\right)_{max}$	D_{max}② (mm)	$\left(\frac{F}{F_1}\right)_{max}$	$\varepsilon_{F_{max}}$ (%)	$\frac{t_{1min}}{D}$	$\frac{t_{1max}}{D}$	$\left(\frac{H_1}{D_1}\right)_{max}$
铝 (Al 99.5) 铝,锌	300～500	50	95～98④	≥0.05	—	300～500	50	98	≥0.01	≤0.4	5
铜	200～350	5	80	≥0.15	—	200～350	5	75	≥0.03	≤0.35	3.5
黄铜	150～300	4	75	≥0.20	—	150～300	3.3	70	≥0.05	≤0.3	2.5
易变形钢 10.15 钢	125～250	3.3	70	≥0.20	3～8	125～250	2.9	65	≥0.04	≤0.3	2.5～3
不易变形钢 15CrMn, 35 钢	110～220	2.2	55	≥0.30	2.5～6	110～220	2.5	60	≥0.07	≤0.25	2
难变形钢 35CrMo 45 钢	100～200	2.0	50	≥0.40	2～4	100～200	2.2	55	≥0.09	≤0.22	1.5

注：1.① 从最小对数变形程度 ($\psi = 0.4$) 到最大变形程度的容许变形的毛坯直径(变形力 25MN)。

② 从 $t_1/D = 0.15$ 到 t_{1min}/D。

③ 空心正挤压时壁厚比。

④ 表中 95% 指空心正挤压，98% 指实心正挤压。

2.表中符号：

F、D、H、t——挤压前毛坯的横断面积、直径、高度和壁厚；

F_1、D_1、H_1、t_1——挤压后制件的横断面积、直径、高度和壁厚。

三、冷挤压的压力

确定冷挤压力有两方面的意义：

http://shop62964869.taobao.com/

1）决定具体零件冷挤压各道工序的单位挤压力，考核单位挤压力是否超过了目前模具钢所能承受的极限载荷（2500 MPa）。若超过时则应采取具体措施（选用较软的代用材料进行挤压，或改变工具形状使金属流动容易从而降低单位挤压力，或增加变形工艺次数，使每道工序的变形程度减小，从而使单位挤压力降低……）以保证冷挤压工序的顺利进行。

2）决定冷挤压工艺所需的压力机吨位。

（一）影响挤压力的主要因素

在挤压过程中影响单位挤压力的主要因素有以下几点：

1）被挤压材料的机械性能和软化处理后硬度

材料的机械性能对单位挤压力影响很大，是决定单位挤压力大小的重要因素。材料强度愈高，或其冷作硬化敏感性愈大，则所需单位挤压力也就愈大。软化处理后硬度降低也将使所需挤压力减小。

2）冷挤压的方式

因冷挤压方式不同，挤压时毛坯在模腔内的摩擦条件、约束条件和直接受压面积等也不一样，在其它条件相同情况下，反挤压的单位挤压力最大，正挤压次之，复合挤压最小。

3）冷挤压的变形程度

正挤压时，单位挤压力随变形程度增加而增加；反挤压时，约在 ε_F 等于（40～50）%，有一单位挤压力的低值区，当 ε_F 大于 50%，单位挤压力随变形程度增加而增加，当 ε_F 小于 40% 时，对一般锥形凸模，则随变形程度减少而增加。再者，反挤压在挤压过程开始时的压力约比开始挤出后，维持塑性流动所需的大 30%。

4）相对毛坯高度（H/D）

在正挤压中，单位挤压力随相对毛坯高度增加而增加；在反挤压中，虽也如此，但当相对毛坯高度大于 1 时，它不再增加。

5）模具的几何形状与工作部分的加工表面质量

合理的几何形状和较小的表面粗糙度 R_a 值（如小于 0.1μm），有利于减少摩擦和金属流动阻力，因而即有利于金属塑性变形和降低单位挤压力。

此外，零件与毛坯的形状和尺寸，变形速度以及表面处理和润滑条件等对单位挤压力也有一定影响。

（二）冷挤压力的计算

1. 计算冷挤压力的经验公式

正挤压钢材时的最大单位挤压力 p_{max} 为

$$p_{max} = aH^m\left(\frac{F}{F_1}\right)^n \quad (\text{MPa}) \tag{10-6}$$

式中 H——毛坯极限硬度（HB）；

F、F_1——毛坯与制件横断面积（mm^2）；

a、m、n——系数，对于 HB＝80～240，F/F_1 ＝ 1.1～6.5，毛坯直径 D ＝ 10～75mm，毛坯长径比 H/D ＝ 1，凹模锥角 α ＝ 60～180°，经磷化皂化处理的钢材，

http://shop62964869.taobao.com/

其值见表 10-3。

总挤压力 P 为

$$P = p_{max}F$$

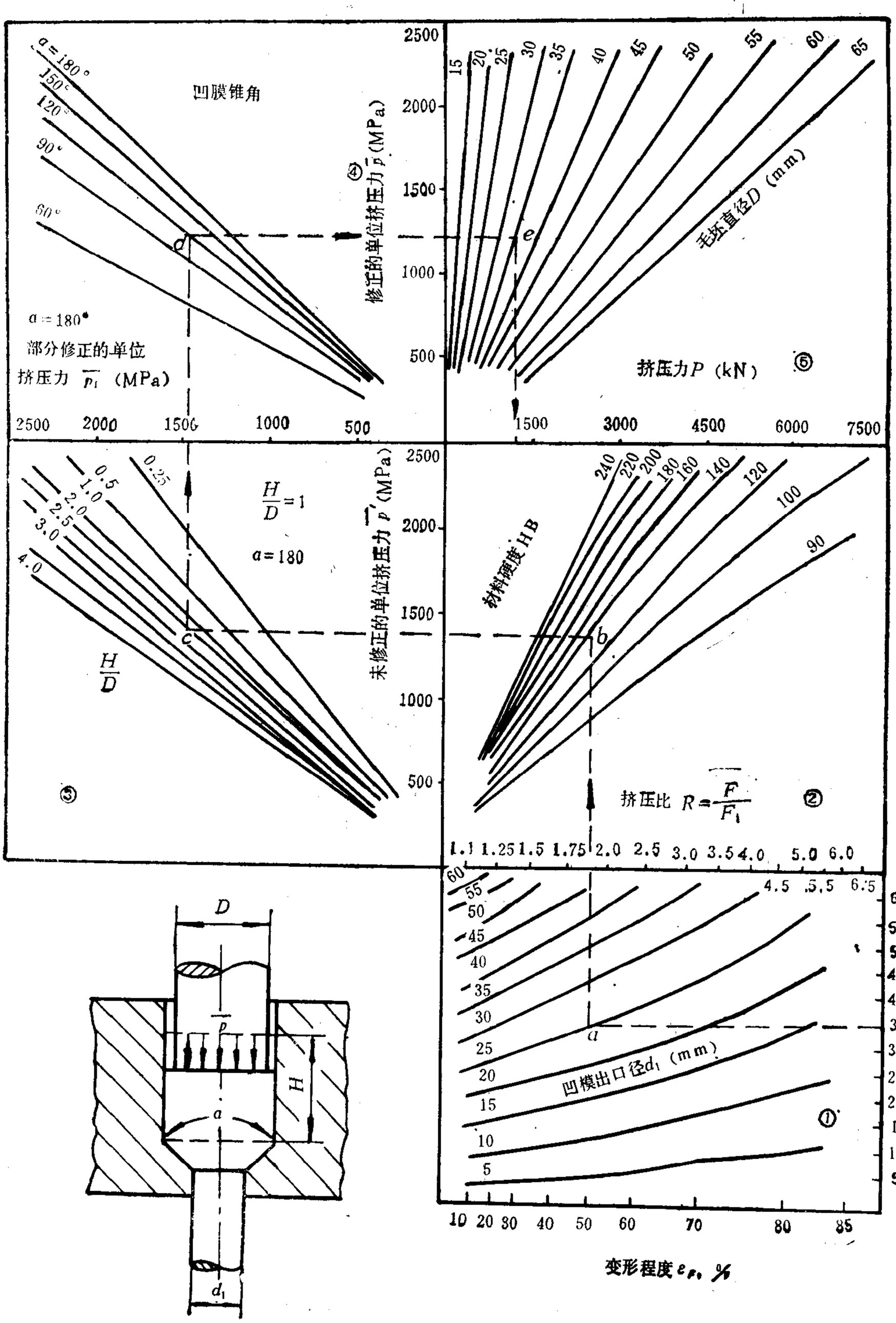


图 10-9　正挤压实心件挤压力计算图

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-3 系数 a、m、n

	a	m	n
正挤实心件	47	0.75	0.8
正挤空心件	59.6	0.66	0.78①

① 此值并不完全确切。

2. 黑色金属冷挤压力的图算法

以下图算法都系以圆柱形钢坯正挤圆柱形实心件或空心件以及圆筒形反挤压件为其应用范围。

(1) 图算法 I (国际冷锻协会 ICFG)

图 10-9 是正挤实心件的挤压力计算图。挤压力根据挤压比 R、毛坯布氏硬度 HB 和凹模锥角 α 等查得。图中虚线表示毛坯直径 $D_1 = 35$mm，凹模出口直径 $d_1 = 25$mm，毛坯硬度 HB = 140，毛坯长径比 $H/D = 2$，凹模锥角 $\alpha = 120°$ 时计算单位挤压力 $\bar{p}$ 和挤压力 P 的例子。

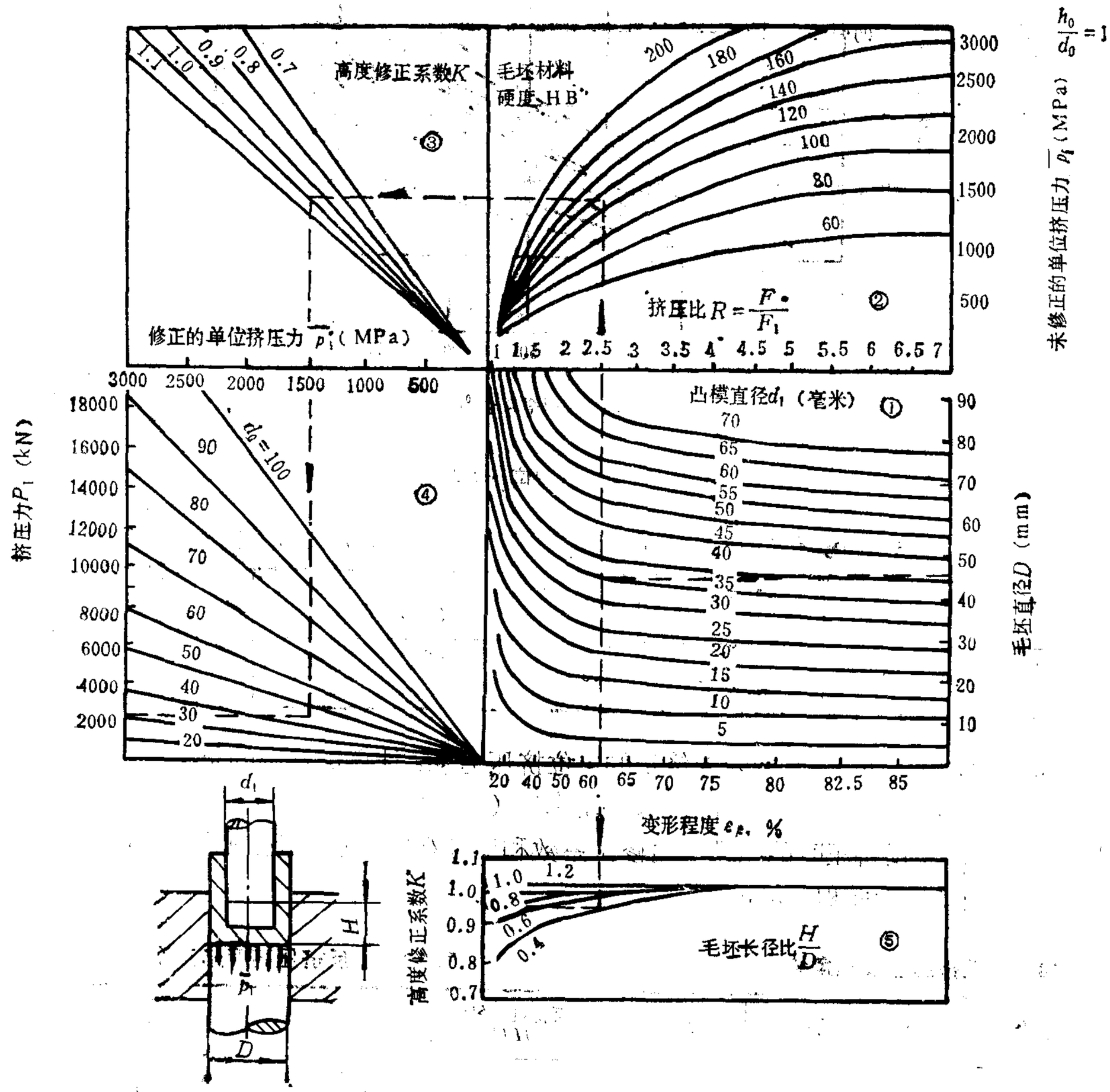


图 10-10 反挤压挤压力计算图

http://shop62964869.taobao.com/

图 10-10 是反挤空心件的挤压力计算图。图中虚线表示毛坯直径 $D = 45$mm，凸模外径 $d_1 = 35$mm、毛坯硬度 HB = 140、$H/D = 0.6$（此时高度修正系数 $K = 1$）时计算单位挤压力 $\bar{p}_1$ 和挤压力 P_1 的例子。

(2) 图算法 II

图 10-11 和图 10-12 是国内一些单位由试验得到的正挤压和反挤压单位挤压力曲线。

正挤压实心件时，可由图 10-11 查得不同断面缩减率的单位挤压力 $\bar{p}'$，计算正挤压的总挤压力 P 为

$$P = K_\alpha K_h \bar{p}' F \quad (\text{MPa}) \tag{10-7}$$

式中 K_α、K_h——正挤压时的凹模修正系数和毛坯高度修正系数，见表 10-4 和表 10-5；

F——凸横横断面积（mm²）。

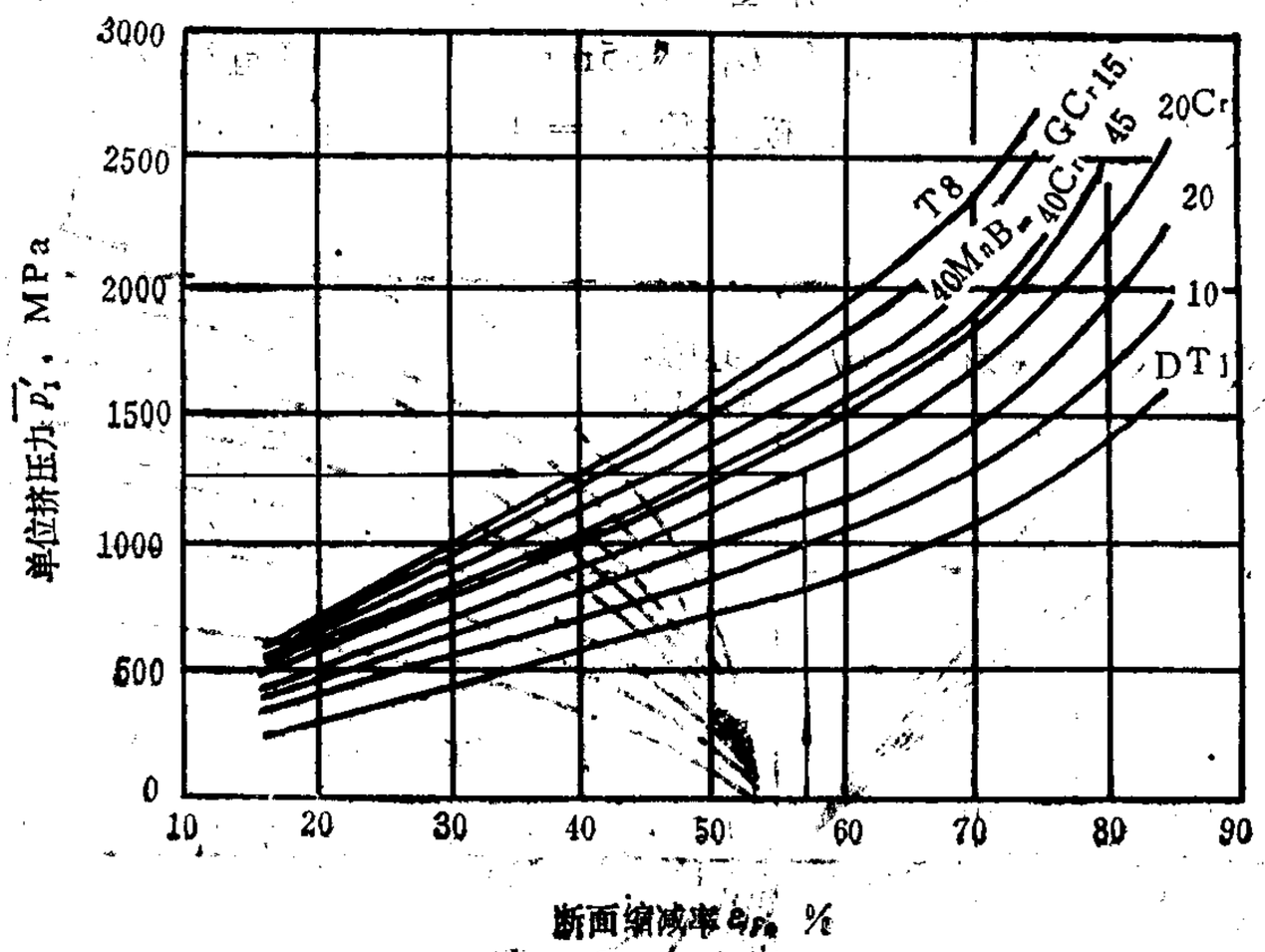


图 10-11 正挤压单位挤压力曲线

表 10-4 正挤压凹模锥角修正系数 K_α

凹模锥角 α (°)	60	90	120	150	180
K_α	0.75	0.85	1.0	1.1	1.3

表 10-5 正挤压高度修正系数 K_h

毛坯长径比 H/D	1	2	3	4
K_h	1	1.1	1.15	1.2

反挤压时，由图 10-12 查得未经修正的单位挤压力 $\bar{p}'_1$，计算反挤压的总挤压力 P_1 为

$$P_1 = K_{\alpha 1} K_{h1} \bar{p}'_1 F \quad (\text{MPa}) \tag{10-8}$$

式中 $K_{\alpha 1}$、K_{h1}——反挤压时的凸模锥角修正系数和毛坯高度修正系数，见表 10-6 和表 10-7；

F——凸模横断面积（mm²）。

表 10-6 反挤压凸模锥角修正系数 $K_{\alpha 1}$

凸模锥角 α (°)	120	150	180
$K_{\alpha 1}$	0.95	1.0	1.07

表 10-7 反挤压高度修正系数 K_{h1}

毛坯长径比 H/D	0.3	0.5	0.8	1.0
K_{h1}	0.92	0.96	0.98	1.0

http://shop62964869.taobao.com/

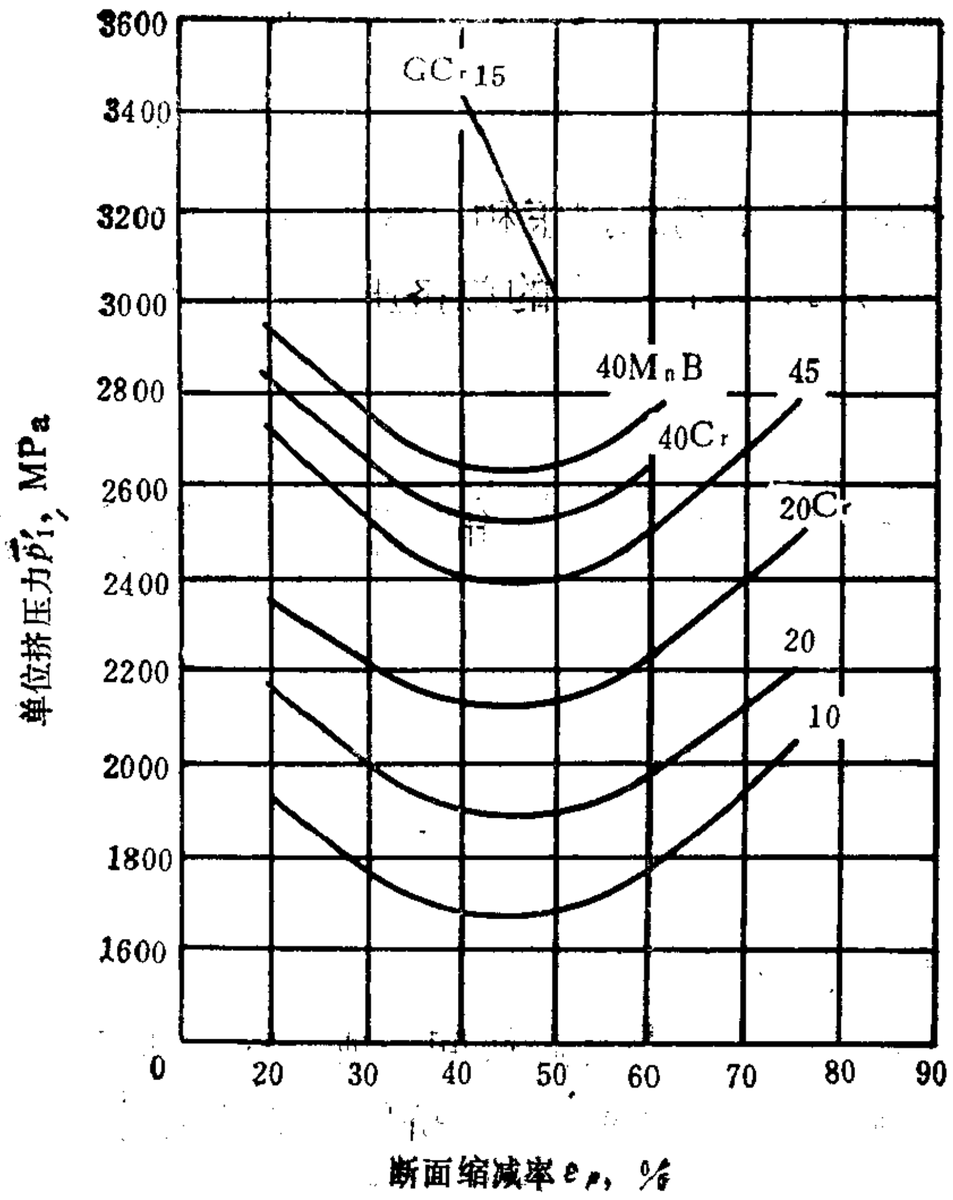


图 10-12　反挤压单位挤压力曲线

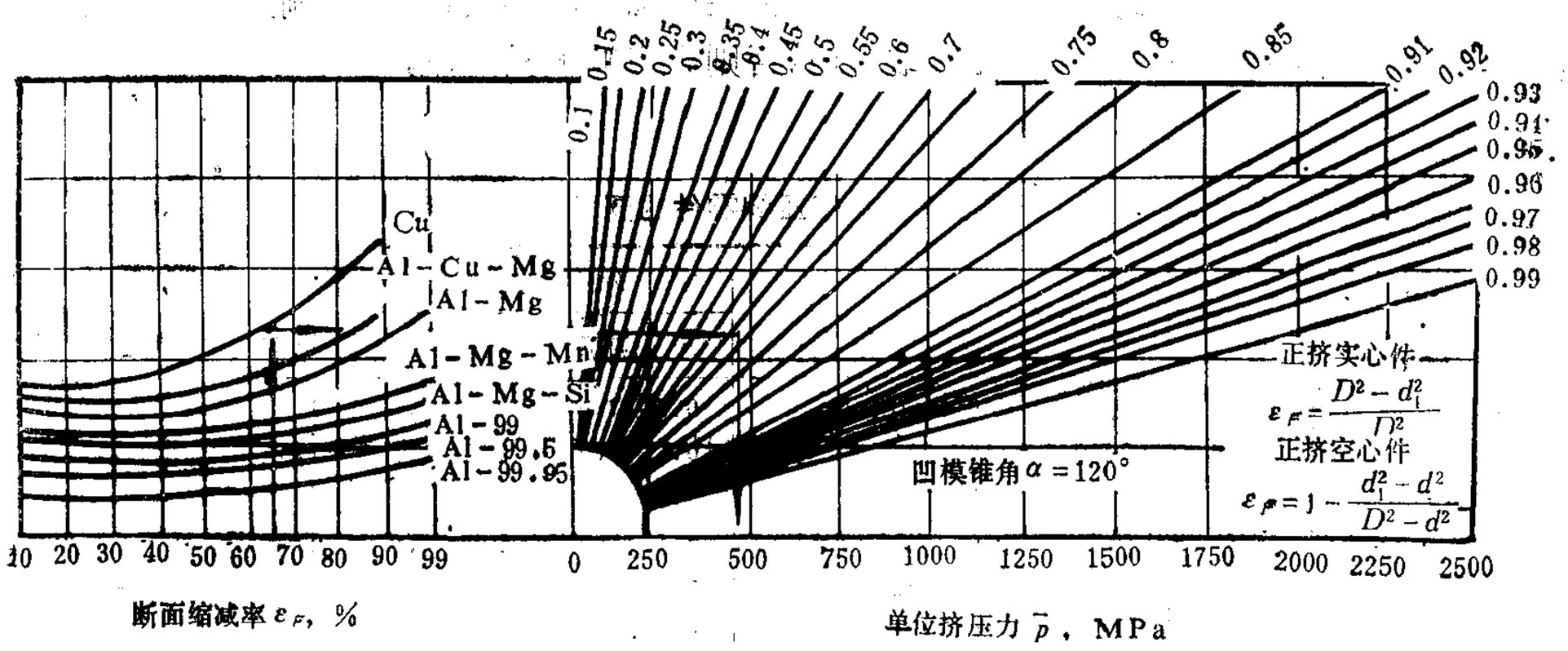


图 10-13　有色金属正挤压单位挤压力图表

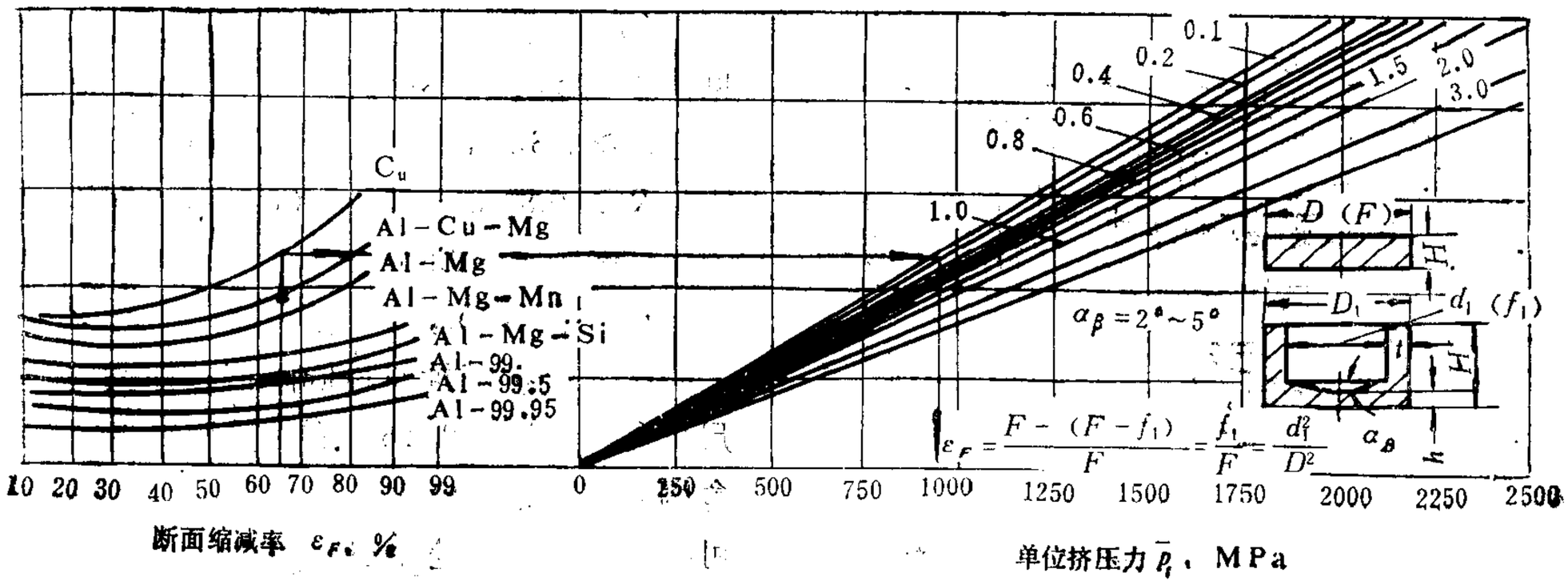


图 10-14　有色金属反挤压单位挤压力图表

http://shop62964869.taobao.com/

3. 有色金属冷挤压力的图算法

图 10-13 和图 10-14 分别为有色金属正挤压和反挤压时单位挤压力的计算图表。由图查得 $\bar{p}$ 或 $\bar{p}_1$ 后，与上述图算法一样，可计算冷挤压的总挤压力 P 或 P_1。

四、冷挤压零件的工艺性与制订工艺时注意要点

（一）冷挤压零件的工艺性

1. 零件的形状

对冷挤压零件尺寸及形状的要求：

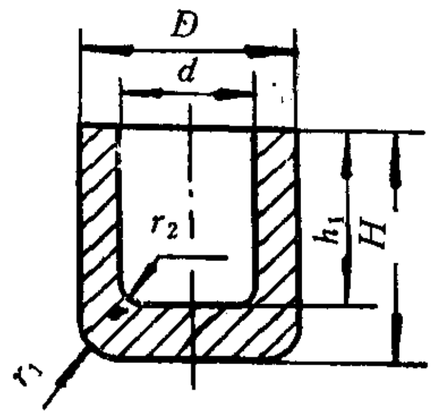
（1）冷挤压件横断面要对称，侧面不得有局部凹进或凸出，也不宜挤压窄而高的筋和幅板，在目前情况下，除挤压铝或铜合金等软质金属外，挤压钢的不对称零件尚有困难。

（2）用反挤法冷挤的零件，底面允许有 α 角度的斜度，厚度等于或大于零件壁厚；在不影响零件使用情况下，底部可制成几条凸筋。

（3）挤压件横断面必须逐步变化，过渡部分用圆弧光滑连接，应避免剧烈的断面变化。

（4）冷挤压钢零件的圆角半径应取大值，否则会影响模具寿命，合理圆角半径见表 10-8 所列。

表 10-8　冷挤压钢零件的圆角半径　(mm)



直径 D 或 d 高度 H 或 h_1	外角半径 r_1		内角半径 r_2	
	正常加工	精细加工	正常加工	精细加工
0～10	0.5～2.0	0.3～1.0	1.0～3.0	0.5～1.5
10～25	0.7～2.0	0.5～1.5	1.5～4.0	0.7～2.0
25～50	1.0～3.0	0.7～2.0	2.0～5.0	1.0～3.0
50～80	1.5～5.0	1.0～3.0	2.5～7.0	1.5～5.0
80～120	2.0～6.0	1.5～5.0	3.0～9.0	2.0～7.0
120～160	3.0～9.0	2.0～8.0	4.0～10.0	3.0～9.0

（5）钢零件有直径小于 10mm 的孔，特别是小而深孔（$h > 1.5d$）不宜用冷挤压加工。

（6）冷挤压矩形零件部分几何形状参数见图 10-15，其尺寸为：

$r \geqslant 0.3$mm　　$r_1 \geqslant 1.5$mm

$R \geqslant 0.8$mm　　$l = (0.3 \sim 0.5)L$

$l_1 = (0.3 \sim 0.5)L_1$，

$t_1 = (1 \sim 2)t$，尽量取 $2t$。

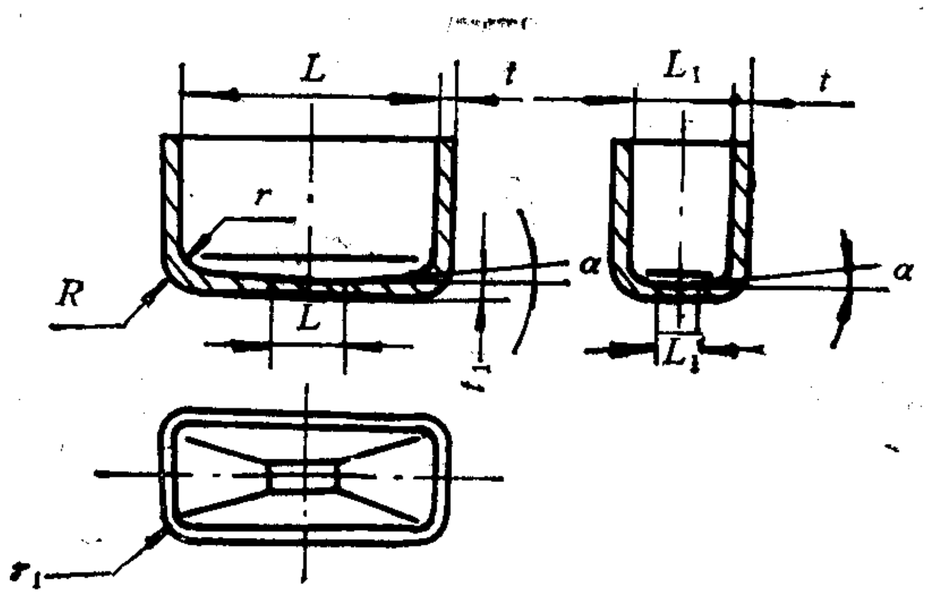


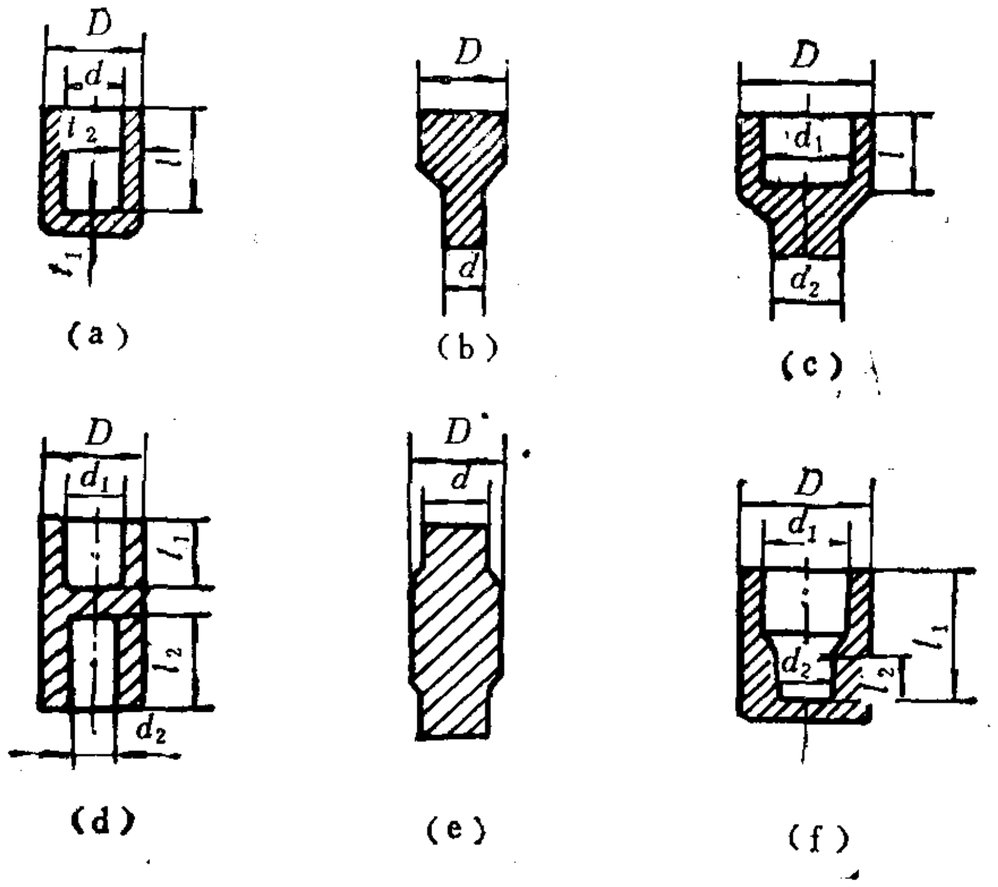
图 10-15　冷挤压矩形件的几何形状参数

（7）冷挤压轴对称低碳钢零件的较合理尺寸参数见图 10-16。零件壁厚愈薄，冷挤愈困难，其最小壁厚见表 10-9，个别情况也可挤出 0.1mm 壁厚空心钢零件。

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-9　冷挤钢零件的最小壁厚　　(mm)

零件直径	最小壁厚
9～19	0.5
25	0.6
75	1.0
>75	2.0



反挤压

图 10-16　低碳钢挤压件尺寸参数

(a) 反挤杯形件　$d \leqslant 0.86D$, $t_1 \geqslant t_2$, $t_2 \geqslant d/5$, $l \leqslant 3d$
(b) 实心正挤　$d \geqslant 0.45D$
(c) 杯-杆复合挤　$d_1 \leqslant 0.86D$, $l \leqslant 3d_1$, $d_2 \geqslant 0.4D$
(d) 杯-杯复合挤　$d_1 \leqslant 0.86D$, $d_2 \leqslant 0.86D$, $l_1 \leqslant 3d_1$, $l_2 \leqslant 3d_2$
(e) 杆件缩径　$d \geqslant 0.85D$
(f) 两段内径杯件反挤压　$d_1 \leqslant 0.86D$, $l_1 \leqslant 3d_1$, $l_2 \leqslant d_2$

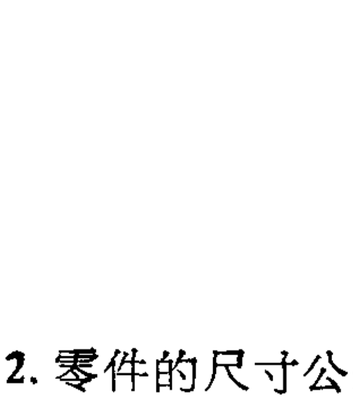
2. 零件的尺寸公差

冷挤压零件的尺寸精度与下列因素有关：零件尺寸的大小、工艺规程的确定、模具制造精度、模具工作部分的磨损、材料性质的一致性、压力机的精度和形式以及挤压速度等。

(1) 钢零件的尺寸公差

钢零件的尺寸公差见表 10-10 至表 10-12。

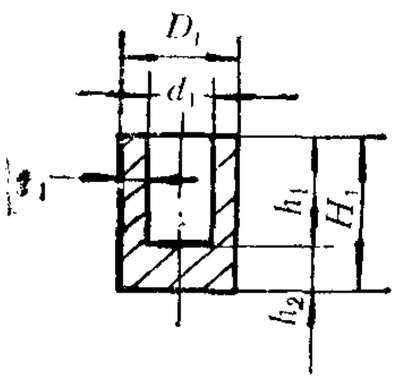
表 10-10　冷挤实心钢零件的尺寸公差　　(mm)



直径 d_1			高度 h	
基本尺寸	公差		基本尺寸	偏挠值 w
	正常的	用附加工序的		
从 10～18	±0.11		100 以下	0.02～0.15
>18～30	±0.13	±0.052	>100～200	0.05～0.25
>30～50	±0.16	±0.062	>200～500	0.10～0.50
>50～80	±0.19	±0.074	>500～700	0.20～1.50
>80～100	±0.22	±0.087	>700～1200	0.50～2.00

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-11　冷挤空心杯形钢零件的尺寸公差　（mm）



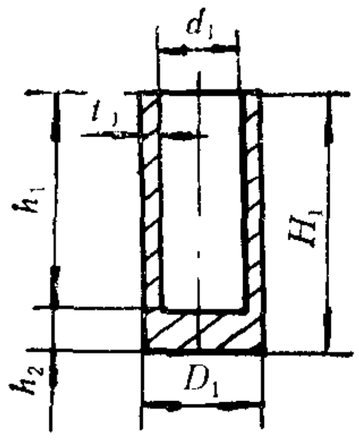
$H_1/D_1 \leqslant 1.2$，壁厚 $t_1 = 2 \sim 15$mm

外径 D_1			内径 d_1	
基本尺寸	公差		公差	
	正常的	用附加工序的	正常的	用附加工序的
<10	±0.08	±0.05	±0.10	±0.05
>10～30	±0.10	±0.06	±0.10～±0.20	±0.05～±0.10
>30～40	±0.12	±0.07	±0.15～±0.25	±0.10～±0.15
>40～50	±0.15	±0.10	±0.20～±0.25	±0.10～±0.15
>50～60	±0.20	±0.12	±0.20～±0.30	±0.12～±0.20
>60～70	±0.22	±0.15	±0.20～±0.30	±0.15～±0.25
>70～80	±0.25	±0.17	±0.20～±0.35	±0.15～±0.25
>80～90	±0.30	±0.20	±0.25～±0.40	±0.20～±0.30
>90～100	±0.35	±0.22	±0.30～±0.45	±0.25～±0.35
>100～120	±0.40	±0.25	±0.35～±0.50	±0.30～±0.40

壁厚 t_1		
基本尺寸	公差	
	正常的	用附加工序的
<2	±0.10	±0.05
>2～10	±0.15	±0.10
>10～15	±0.20	±0.15

底厚 h_2		
基本尺寸	公差	
	正常的	用附加工序的
<2	±0.15～±0.20	±0.10
>2～10	±0.20～±0.30	±0.15
>10～15	±0.25～±0.30	±0.20
>15～25	±0.30～±0.40	±0.25
>25～40	±0.40～±0.50	±0.35

表 10-12　冷挤空心杯形钢零件的尺寸公差　（mm）



$H_1/D_1 \geqslant 1.2$，壁厚 $t_1 = 0.5 \sim 6$mm

外径 D_1			内径 d_1	
基本尺寸	公差		公差	
	正常的	用附加工序的	正常的	用附加工序的
<10	±0.1	±0.020	±0.05	±0.02
>10～30		±0.020	±0.05～±0.07	±0.02～±0.04
>30～40		±0.020	±0.08～±0.10	±0.02～±0.04
>40～50		±0.025	±0.10～±0.12	±0.025～±0.04
>50～60		±0.030	±0.12～±0.14	±0.03～±0.05
>60～70		±0.035	±0.15～±0.18	±0.035～±0.05
>70～80	±0.2～±0.3	±0.040	±0.18～±0.20	±0.04～±0.05
>80～90		±0.050	±0.20～±0.24	±0.05～±0.08
>90～100		±0.060	±0.25～±0.30	±0.06～±0.09
>100～120	±0.3	±0.080	±0.30～±0.40	±0.08～±0.10
>120～140	±0.4	±0.120	±0.40～±0.50	±0.10～±0.12

壁厚 t_1		
基本尺寸	公差	
	正常的	用附加工序的
<0.6	±0.05～±0.10	±0.020
>0.8～1.2	±0.07～±0.10	±0.020
>1.2～2.0	±0.10～±0.12	±0.025
>2.0～3.5	±0.12～±0.15	±0.030
>3.5～6.0	±0.15～±0.20	±0.040

底厚 h_2		
基本尺寸	公差	
	正常的	用附加工序的
<2	±0.15	±0.10
> 2～10	±0.20～±0.30	±0.12
>10～15	±0.25～±0.35	±0.15
>15～25	±0.30～±0.40	±0.20
>25～40	±0.35～±0.50	±0.25
>40～50	±0.40～±0.50	±0.30
>50～70	±0.45～±0.60	±0.35

http://shop62964869.taobao.com/

表中列出了正常的冷挤压工序及附加精整工序后所能达到的精度范围。但应尽量不用附加的精整工序。

冷挤空心钢零件，其内径 d 与外径 D 的同轴度，可按外径 D 尺寸的 0.15～1.2% 确定。而径向的椭圆度则可按内径 d（或外径 D）的 0.2～0.6%。

如能采用特殊精度高的压力机或寿命高的硬质合金模具，则精度亦可提高。

(2) 有色金属零件的尺寸公差

冷挤有色金属零件的尺寸公差见表 10-13 和表 10-14。

表 10-13 冷正挤有色金属零件的尺寸公差 (mm)

名称	铅、锡、锌、铝		硬铝、紫铜、黄铜		公差
	自	到	自	到	
直径(圆柱件)	3	100	2	100	±(0.03～0.05)
断面(矩形件)	2×4	70×80	3×5	70×80	±(0.03～0.05)
壁厚	0.05	0.1 以上	0.3（紫铜） 0.5（黄铜）	1.0 以上	±(0.03～0.075)
凸缘厚度	0.2～0.3	0.5 以上	等于壁厚	大于壁厚	±(0.05～1.0)
零件长度	最大比例 $H/d \leqslant 40:1$（铝） $H/d \leqslant 20:1$（紫铜及黄铜）				±(1～5)

表 10-14 冷反挤有色金属零件的尺寸公差 (mm)

名称	铅、锡、锌、铝		硬铝、紫铜、黄铜		公差
	自	到	自	到	
直径(圆柱形)	8	100	10	40	±(0.03～0.05)
断面(矩形件)	5×7	70×80	6×9	20×40	±(0.03～0.05)
壁厚	0.08	0.23 以上	0.5（紫铜） 1.0（黄铜）	1.0 以上	±(0.03～0.075)
底部厚度	0.25～0.3	0.5 以上	等于壁厚	大于壁厚	±(0.1～0.2)
零件长度	最大比例 $H/d \leqslant 8:1$（铝） $H/d \leqslant 4:1$（紫铜及黄铜）				±(1～3)

（二）制订冷挤压工艺时注意要点

1. 制订挤压工序时应对变形程度进行校核，确定其是否已超过许可变形程度。对钢来说，一次断面缩减率虽然可达到 85%，但一般第一道工序最好小于 60% 而以后工序约 40%。缩减率高于 65% 只限于硬度 HRB＜60 的钢。如硬度超过 HRB100 应进行工序间退火。铝、镁合金的断面缩减率不宜超过 90%，否则挤压力显著增加。

2. 反挤压的制件底厚不宜少于壁厚，否则挤压力急增。

3. 挤压阶梯形轴类零件时，可从直径小的一头顺序正挤，遇被挤件头部与轴部直径相差过大，一次正挤有困难时，可先正挤然后再镦粗头部。

http://shop62964869.taobao.com/

4. 厚底薄壁凸缘不大的圆筒件可采用反挤、正挤或正挤后再经变薄拉深。

5. 对厚底薄壁凸缘较大的圆筒件可采用反挤、正挤、镦口工序，但应保证镦口部分高度与壁厚之比小于或等于（1.8～2）。

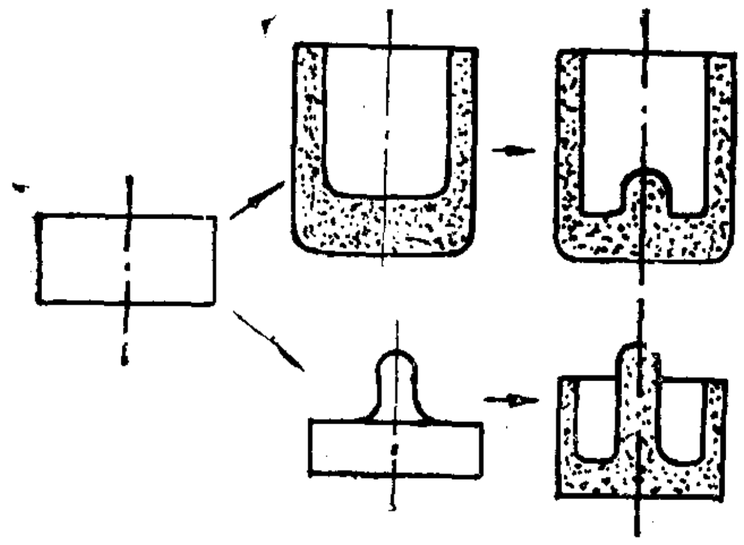


图 10-17　有中轴的圆筒件挤压

6. 具有阶梯孔零件，当直径差较大，和小孔的高度大于其直径时，为避免凸模受过大弯曲力，以采用两道反挤压为好。

7. 在挤压和压印同时加工时，压印部位易裂，以分两道工序为好，挤压后再压印。

8. 挤压具有圆筒和中轴的零件，可在第一道工序只挤出圆筒或中轴的一部分，而在第二道工序同时进行挤压（见图 10-17）。

9. 挤压无底圆筒件时，一般应先反挤，再冲孔，最后正挤成形（见图 10-18）

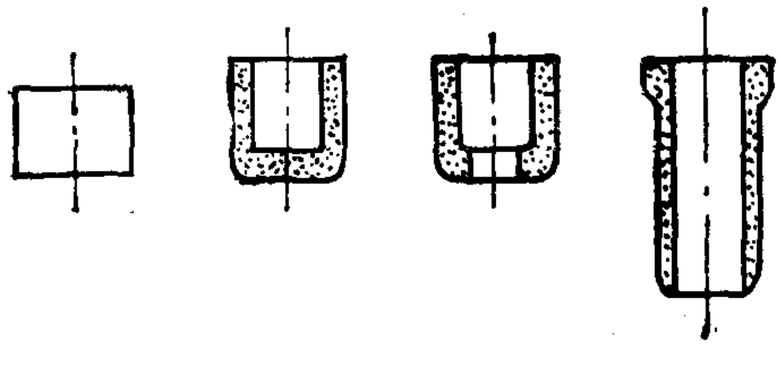


图 10-18　无反圆筒件挤压

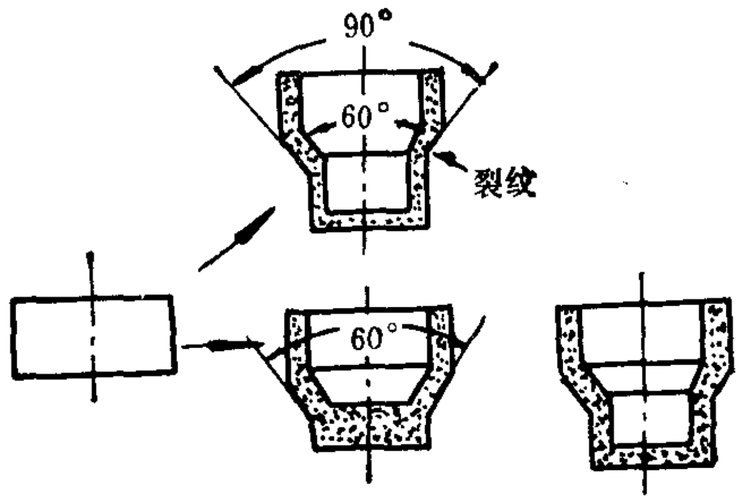


图 10-19　有内外锥度的复合挤压件

10. 对于内外壁均有锥度的复合挤压件，其内外壁的锥度应取为一致，以避免由于锥度不一致造成斜面产生裂纹（见图 11-19）

五、冷挤压毛坯

（一）毛坯的形状

1. 正挤压毛坯的形状

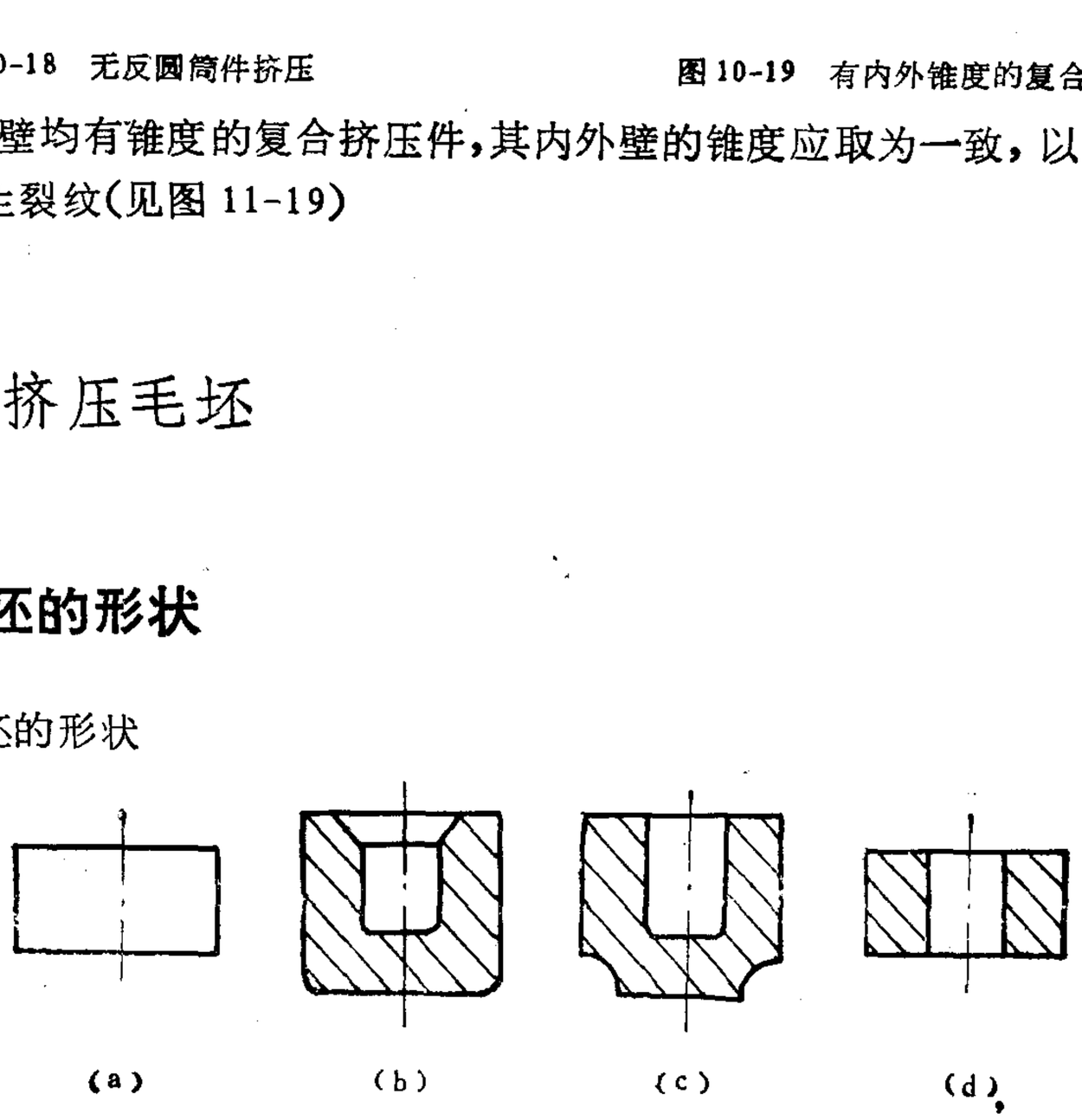


图 10-20　毛坯形状

(a) 实心毛坯　(b)、(c)、(d) 空心毛坯

http://shop62964869.taobao.com/

正挤压采用如图 10-20 所示四种毛坯。实心毛坯见图 10-20a 用以挤压实心件；空心毛坯见图 10-20b、c、d 用以挤压空心件。

2. 反挤压毛坯的形状

反挤压毛坯采用实心或空心的都有，它的形状如图 10-20 a、d 形状。

（二）毛坯尺寸的计算

1. 毛坯的体积

冷挤零件的毛坯尺寸是根据毛坯体积等于零件体积的原则来计算即

$$V_0 = V + V'$$

式中 V_0——毛坯体积（mm^3）；

V——零件体积（mm^3）；

V'——修边体积，约取零件体积的 3～5%；对初次试挤，也可按零件高度选取修边余量 Δh（见表 10-15）来算。

表 10-15　修边余量 Δh 值　　(mm)

零件高度	10	>10～20	>20～30	>30～40	>40～60	>60～80	>80～100
Δh	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5

注：1. 零件高度大于 100mm 时，修边余量应为零件高度的 6%；
2. 在复合挤压时，因材料上下流动不均，修边余量应适当增大；
3. 矩形件按表内数值加倍；
4. 表内数值系用于批量不大的薄壁零件试挤。

对于有实物的挤压零件，可称取重量，再加上估算修边量后，可按下式计算毛坯体积：

$$V = \frac{G}{\gamma}$$

式中 G——毛坯质量（包含修边量）；

γ——零件材料的密度，低碳钢 7.85、紫铜 8.9、62 黄铜 8.5、硬铝 2.85、纯铝 2.7（g/cm^3）。

2. 毛坯的直径

（1）毛坯外径应能放入凹模模腔，而凹模模腔等于零件外径尺寸，所以毛坯外径 D 应为

$$D = D_{max} - z$$

式中 D_{max}——冷挤零件外径的最大尺寸；

z——毛坯与模腔间间隙。正挤时，等于（0.1～0.2）mm；反挤时，对薄壁有色金属等于（0.01～0.05）mm。

冷挤空心件时，毛坯内孔应大于零件上孔径 d_{max}，也即要大于凸模的芯杆直径，所以毛坯内孔直径 d 为：

对一般精度　　$d = d_{max} + (0.1 \sim 0.3)$

对精度要求高时　$d = d_{max} + (0.01 \sim 0.05)$

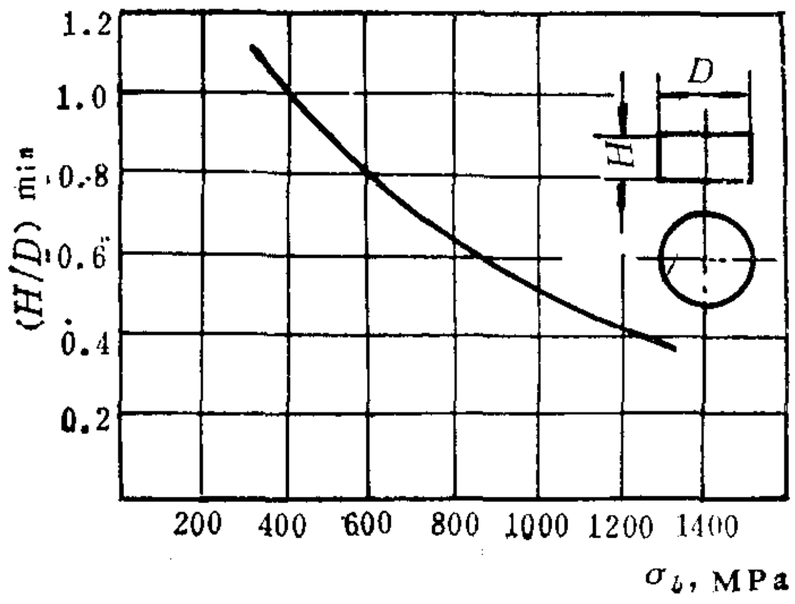
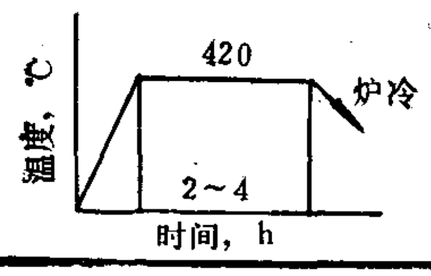
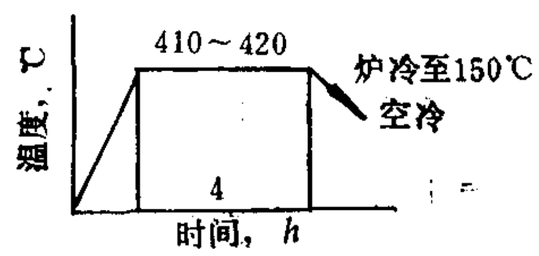
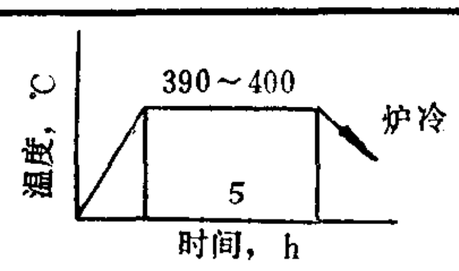
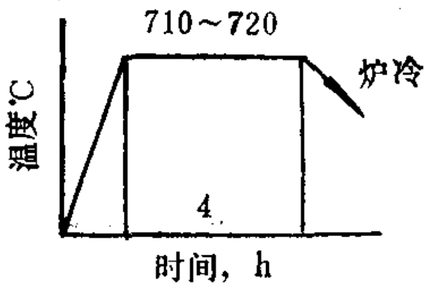
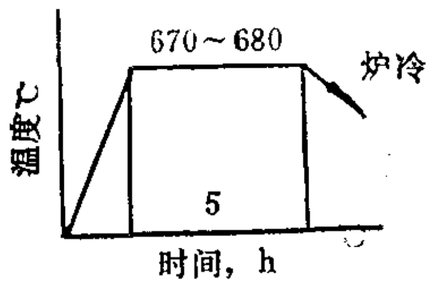
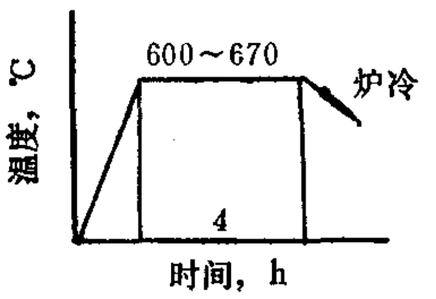
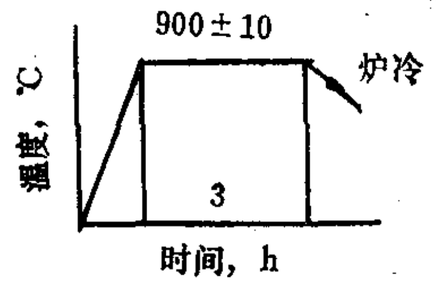
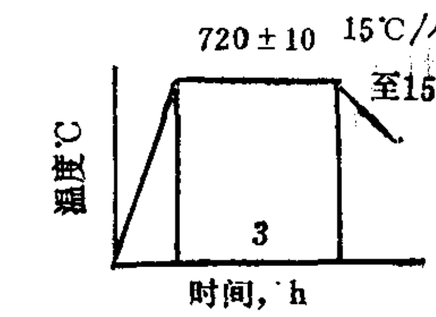


图 10-21　材料强度与最小剪断长度的关系

（2）当毛坯的相对高度 H/D 小于允许值（见图 10-21）时，可用小于零件直径的棒料制

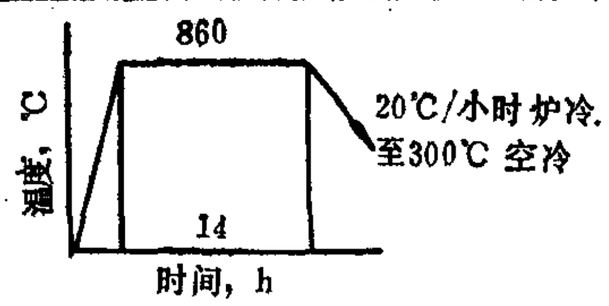
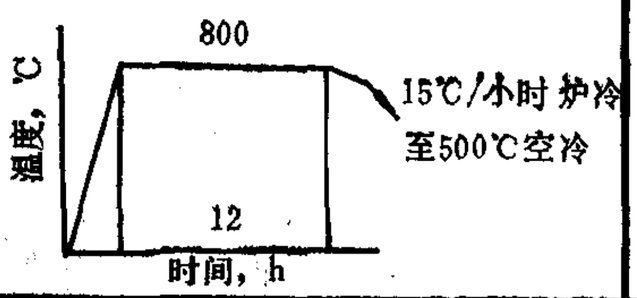
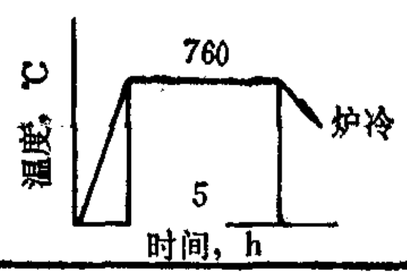
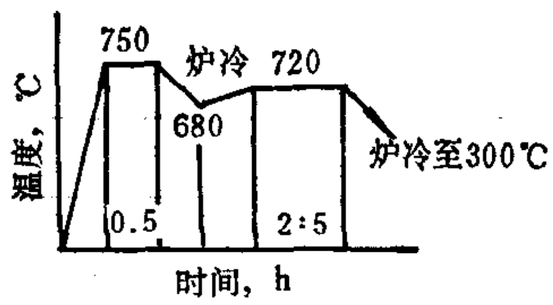
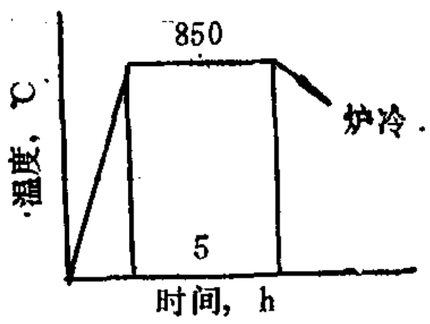
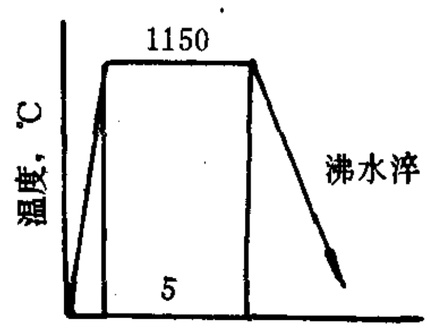
http://shop62964869.taobao.com/

表 10-16 常用材料的软化处理规范

材料		软化处理规范	处理前硬度（HB）	处理后硬度（HB）	备注
铝及铝合金	L1～L5			15～19	
铝及铝合金	LY11、LY12		105	53.5～55 55～60	
铝及铝合金	LF2～LF5			38～39	
铜及铜合金	T_1～T_4		110	38～42	也可采用水淬软化处理
铜及铜合金	H62		150	50～55	亦可用700～750℃水淬
铜及铜合金	H_{68}			45～55	亦可用700±10°C水淬
纯铁	DT_1			60～80	
碳素钢	10钢 15钢 20钢 30钢 45钢		107～179	107～118 109～121 121～131 138～145 154～163	防止脱碳

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-16（续）

材料		软化处理规范	处理前硬度（HB）	处理后硬度（HB）	备注
合金结构钢	15Cr			113～120	
	20Cr		170～217	120～130	
	40Cr			150～163	
	16Mr		170	130	
碳素工具钢	T8A		HV 195	HV 160～165	
轴承钢	GCr 15			174～192	
不锈钢	1Cr18Ni9Ti		220	130～140	

取毛坯(仍按体积相等原则)，预镦成所需要的毛坯直径。在反挤毛坯如剪切下料端面粗糙，端面与中心轴线垂直度误差大时，也常用小于零件直径的棒料镦平端面，以免挤压时凸模折弯。

3. 毛坯的高度

典型零件的毛坯高度计算公式见前面表 10-1。

http://shop62964869.taobao.com/

（三）冷挤压毛坯的软化处理

为了降低材料的硬度，提高塑性，消除内应力和得到良好的金相组织，以降低单位挤压力和提高模具寿命，必须对冷挤压毛坯进行软化处理。常用冷挤压材料采用的软化处理规范见表 10-16。

六、冷挤压毛坯的表面处理与润滑

为了降低冷挤压时的单位挤压力，提高零件的表面质量，延长模具的使用寿命，需要对冷挤压毛坯进行合理的表面处理与润滑。

表 10-17　碳钢和低合金钢的表面处理与润滑程序

工艺程序	处　　理　　液	处理温度(℃)	处理时间(min)
1.除油	氢氧化钠 NaOH 60～100g/l 碳酸钠 Na_2CO_3 60～80g/l 磷酸钠 Na_3PO_4 25～80g/l 水玻璃 Na_2SiO_3 10～15g/l	≥85	15～25
2.冷水洗	流动水		
3.热水洗	流动水	80～100	
4.酸洗	(1) 硫酸 H_2SO_4 120～180g/l	50～70	5～10
	(2) 盐酸 HCl 150～200g/l	室　温	2～5
5.冷水洗	流动水		
6.热水洗	流动水	80～100	
7.磷化	(1) 氧化锌 ZnO 20～30g/l 磷酸 H_3PO_4 30～40g/l 硝酸 HNO_3 30～40g/l 总酸度　50～70 点 游离酸度　3～5 点	75～80	20～30
	(2) 酸式磷酸锰 $xFe(H_2PO_4)_2 \cdot yMn(H_2PO_4)_2$ 30～40g/l 硝酸锌 $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 60～80g/l 亚硝酸钠 $Na_2(HNO_3)$ 2～4g/l 总酸度 60～80 点 游离酸度 3～5 点	70～80	20～30
8.冷水洗	流动水		
9.热水洗	流动水	70～80	
10.中和	肥皂 20～40g/l	60～80	1～3
11.皂化	(1) 硬脂酸钠　5～9g/l	60～70	10～20
	(2) 工业肥皂　200～220g/l	50～60	10～20
12.干燥		75～110	干透为止

http://shop62964869.taobao.com/

（一）碳钢与低合金钢的表面处理与润滑

碳钢和低合金钢的表面处理与润滑程序见表 10-17。

磷化处理为在钢材毛坯表面产生磷酸盐薄层，它与基体金属有很强结合力，能牢固附着而不易剥落，并以作为润滑支承层。其主要作用是防止加工中金属和模具工作部分的直接接触，防止擦伤和粘结。由磷化和皂化两者的作用，可降低摩擦系数和挤压力。

磷化处理液游离酸的含量应经常保持在一定的数值，太低则形成的磷酸盐处理层不够理想，太高则难以形成所需要的磷化膜。

配制磷化液时，首先配制母液，然后用水稀释母液配制所需要的磷化溶液。母液配制过程是：

1）将氧化锌在单独的容器内用水稀释成浆糊状；

2）在耐酸的容器内先放入少量水，再将需要量的硝酸和磷酸分别加入，然后再将糊状氧化锌分批加入，每加入一批充分搅拌至溶解后，再加入下一批，直至氧化锌全部溶解为止。加氧化锌过程中，容器必须进行冷却，以防反应热量过大，酸份蒸发过多。

3）待溶液冷至室温后，把需要的碳酸钠加入，搅拌至全部溶解，使母液表面产生的红色气泡消失为止。

4）再用水稀释至需要体积，加入亚硝酸钠，贮存一小时，当有部分沉淀时即可使用。

对于开始使用或已使用多时的磷化液，要进行游离酸和总酸度分析，可按以下步骤：

1）取配制好的磷化液 10ml，置于 250ml 三角烧瓶中，加水 100ml 和甲基橙指示剂 2～3 滴；

2）用 0.1mol/L 氢氧化钠标准液滴定到溶液由红色变为橙色即为终点，记下耗去的标准液毫升数，即为游离酸度的点数；

3）加入酚酞指示剂 6～8 滴，继续用氢氧化钠标准液滴定溶液，由浅黄色变为浅红色即为终点，记下第二次滴定耗去标准液毫升数，即为总酸度的点数。

（二）不锈钢的表面处理与润滑

不锈钢的表面处理与润滑程序见表 10-18。

表 10-18　不锈钢的表面处理与润滑程序

工艺程序	处　　理　　液	处理温度(℃)	处理时间 (min)
1.除油	同表 10-16		
2.冷水洗	流动水		
3.热水洗	流动水		
4.酸洗	盐酸 HCl 40%，硝酸 HNO_3 40%，水20%		5
5.冷水洗			

http://shop62964869.taobao.com/

续表 10-18

工艺程序	处　　理　　液	处理温度(℃)	处理时间（min）
6.热水洗			
7.草酸液处理	草酸 $H_2C_2O_4$ 50g/l 氯化钠 NaCl 25g/l 氟化氢钠 $NaHF_2$ 10g/l 亚硝酸钠 $NaNO_2$ 3g/l	80～90	10
8.水洗	流动水	室温	
9.润滑	氯化石蜡 85% 二硫化钼 15%		

（三）铝与硬铝的表面处理与润滑

硬铝的表面处理与润滑程序见表 10-19。

表 10-19　硬铝的表面处理与润滑程序

工艺程序	处　　理　　液	处理温度(℃)	处理时间（min）
1.除油	(1) 汽油 (2) 碱性净化剂	20～60	1～3
2.冷水洗	流动水		
3.热水洗	流动水	60～100	
4.酸洗	工业硝酸 400g/l	室温	1～3
5.冷水洗	流动水		
6.热水洗	流动水		
7.被膜处理	(1) 磷化 磷酸锌 $ZnHPO_4$ 28g/l 磷酸 H_3PO_4 (75%) 25g/l 铬酸 CrO_3 10g/l	55～60	5～10
	(2) 氟硅化 氟硅酸钠　27.9g/l 氟化锌　2.1g/l	90～沸点	1～5
	(3) 氧化 氢氧化钠 NaOH 40～60g/l	50～60	1～5
8.热水洗	流动水		
9.冷水洗	流动水		
10.皂化	工业肥皂 150～200g/l	50～70	10～20
11.干燥		75～110	干透为止

注：如不用皂化，则可用粉状硬脂酸锌、豆油或菜油润滑。

http://shop62964869.taobao.com/

纯铝无需被膜处理，可用粉状硬脂酸锌、猪油、豆油(或菜油)、蓖麻油润滑。

（四）铜与铜合金的表面处理与润滑

铜与铜合金的表面处理与润滑程序见表 10-20。

表 10-20　铜与铜合金的表面处理与润滑程序

工艺程序	处　　理　　液	处理温度(℃)	处理时间 (min)
1.除油	(1) 汽油 (2) 碱性净化剂	60～70	5～10
2.冷水洗	流动水		
3.热水洗	流动水	60～100	
4.钝化	铬酐　200～300g/l 硫酸　8～16g/l 硝酸　30～50g/l	20	5～10s
5.冷水洗	流动水		
6.热水洗	流动水	60～100	
7.皂化	硬脂酸钠　5～9g/l	60～80	3～5
8.干燥		75～110	干燥为止

注：如不用皂化，可用粉状硬脂酸锌润滑。

七、冷挤压模具与主要零件的设计

（一）冷挤压典型模具结构

图 10-22 为硬质合金组合凹模结构的典型反挤压模。

图 10-23 为硬质合金组合凹模结构的典型正挤压模。

图 10-24 为采用通用模架的反挤压模。

冷挤压模具结构，在很大程度上取决于压力机的装模空间。模具结构型式上的差异，主要表现在模座形式、凸、凹模的紧固方法和卸料及顶件等结构上，而工作部分的结构则大同小异。由于冷挤压模受力较大，要求：

1）模具结构简单和牢固，模座应有足够厚度，尽可能采用通用模架结构；

2）为分散压力，在凸模背面和凹模底面应垫入扩大支承面的垫板；

3）对刚性较差的压力机，适当扩大模座底面尺寸，并尽可能使受力面接近机架；

4）易损部件要有互换性，要便于更换和固定。

（二）冷挤压凹模设计

1. 冷挤压凹模的结构形式

http://shop62964869.taobao.com/

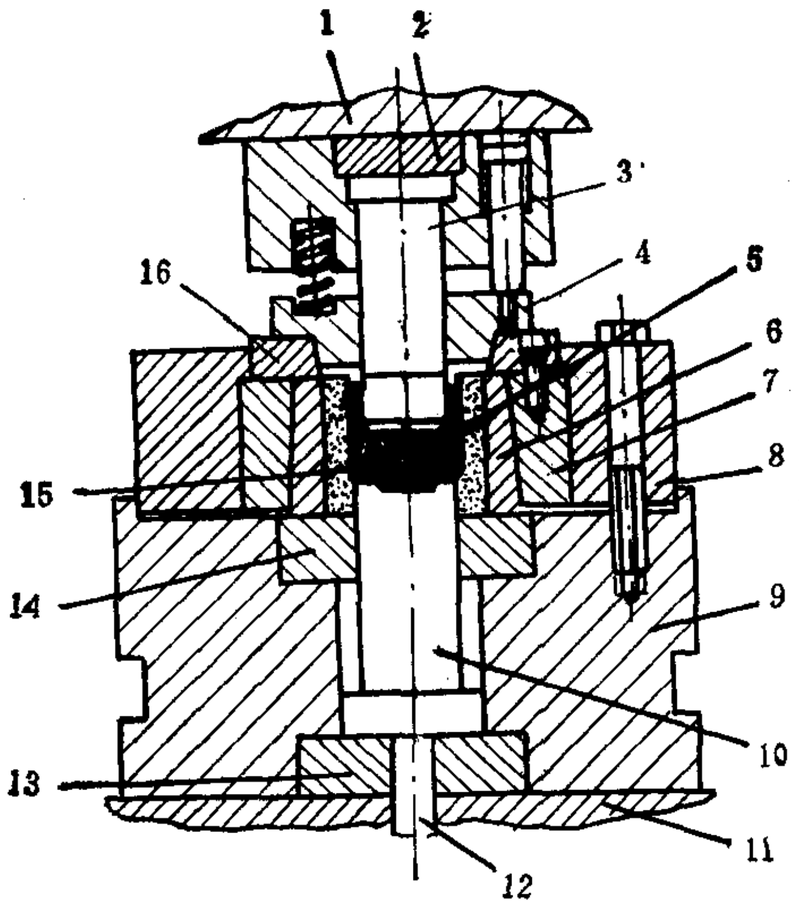


图 10-22　典型反挤压模

1—上模座　2、13、14—垫板　3—凸模　4—卸料板　5—镶套　6—内圈　7—中圈　8—外圈　9—下模座　10—反向凸模　11—下模板　12—顶杆　15—制件　16—定位圈

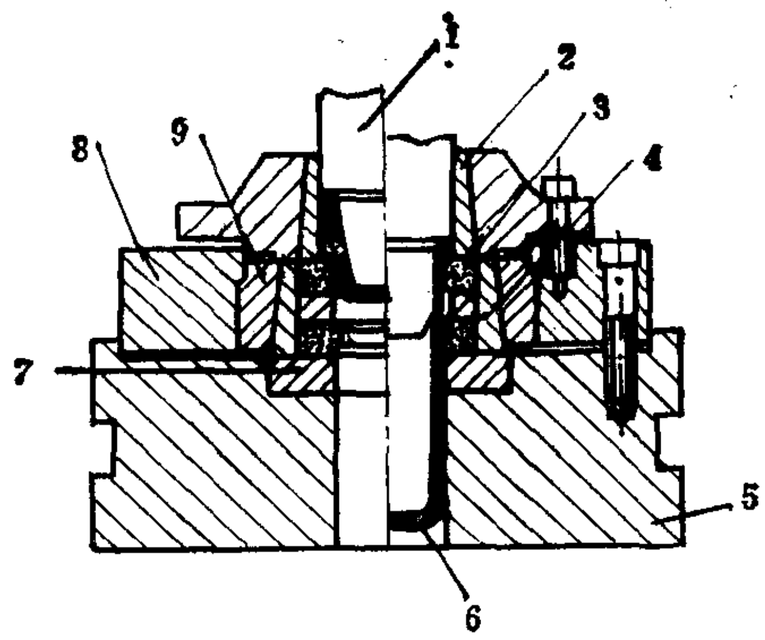


图 10-23　典型正挤压模

1—凸模　2—导向套　3—镶套　4—内圈　5—下模座　6—制件　7—垫板　8—外圈　9—中圈

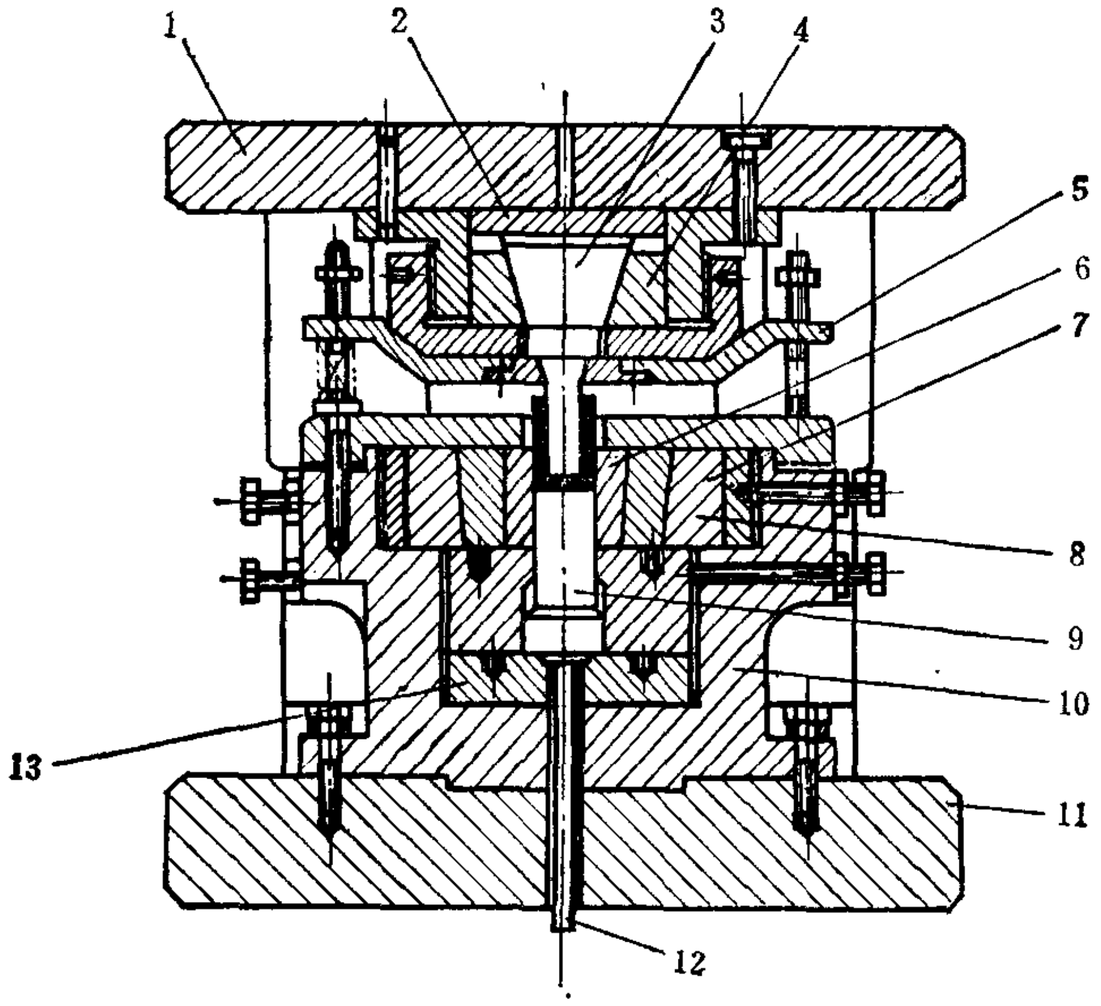


图 10-24　采用通用模架的反挤压模

1—上模座　2、13—垫板　3—凸模　4—紧圈　5—卸料板　6—凹模　7—中圈　8—外圈　9—反顶凸模　10—下模座　11—下模板　12—顶杆

冷挤压凹模有整体凹模和组合凹模之分，而组合凹模又有预应力圈组合和剖分组合。预应力圈组合是在凹模外壁加上一层或多层预应力圈，解决单个凹模强度不足问题。剖分组合是将凹模本身剖分为两件或若干件，解决凹模局部地方因应力集中而开裂问题，但有时又为便于加工。较多场合是既是剖分组合，又加预应力圈。

(1) 整体凹模

http://shop62964869.taobao.com/

主要用于有色金属冷挤压。图 10-25 为反挤压整体凹模。图中尺寸的参考值为

$D_2 = 3D_1$；　$h = (2/3)H$；　$h_1 = H + (3\sim5)\text{mm}$；　$H_2 \geqslant 3h$；　$R > 0.5\text{mm}$。

这里 D_1——零件外径；　H——毛坯高度。

图 10-26 为正挤压整体凹模。图中尺寸的参考值为

$D' = D + (0.1\sim0.2)$；　$D_2 = D_1 + (0.1\sim0.2)$；　$D_3 = (3\sim3.5)D$；

$H_1 = H + (3\sim5)\text{mm}$；　$H_3 \leqslant (1.1\sim1.2)D$；

$H_2 = 0.6\sim2\text{mm}$（纯铝，小值用于小件）；

$H_2 = 1\sim3\text{mm}$（硬铝、紫铜、黄铜）；

$R_1 < (D - D_1)/2$，但不少于 2～3mm；

$R = 0.3\sim1\text{mm}$。

这里 D——毛坯直径；　D_1——零件外径；　H——毛坯高度。

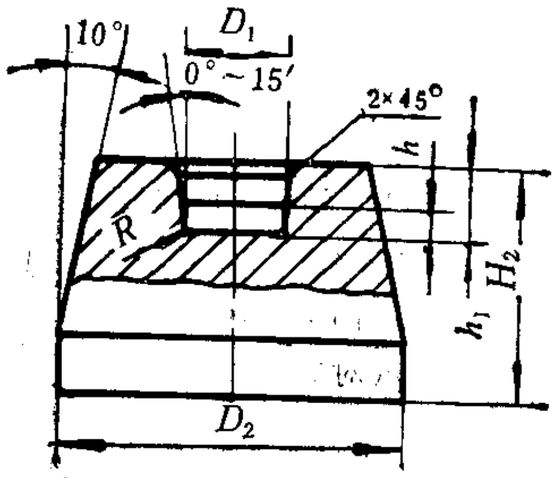


图 10-25　反挤压整体凹模

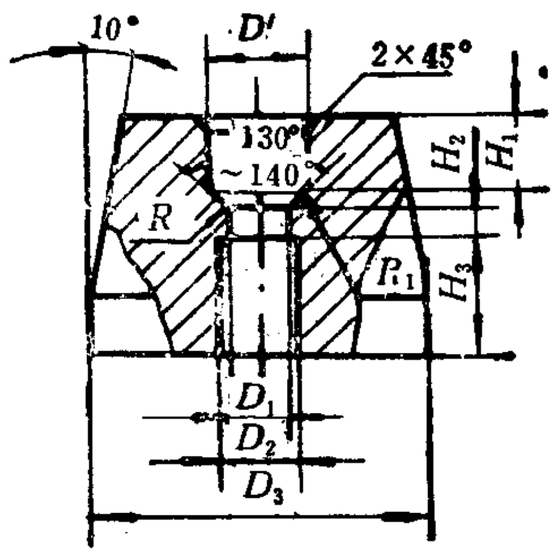


图 10-26　正挤压整体凹模

(2) 组合凹模

图 10-27 为单层预应力圈的反挤压组合凹模。图中尺寸参考值为

$H_2 = H + R_1 + (5\sim10)\text{mm}$；

$H_1 = (1\sim2)D_2$，当 $R_1 = 0$，$D_2 = D_1$ 时，可取 $H_1 = 1.5D_2$；

$D_3 = (3.5\sim4)D_1$；　$R \geqslant 2\text{mm}$。

这里 D_1——零件外径；　H——毛坯高度。

图 10-28 为剖分式反挤压凹模

图中 D_1——挤压筒直径；

D_2——凹模底圈内径，$D_2 = D_1 + \delta_1$；

δ_1——挤压筒 1 工作时径向变形量；

δ——凹模镶套 7 工作时轴向变形量

图 10-29 为正挤压凹模的整体模腔和剖分模腔。

对于杆件过长或形状复杂的制件，又常把凹模的型腔剖分为盛料部分、成形部分和矫正部分三段，而其中矫正部分也可不至一件，由几个重叠的矫正圈组成。图 10-30 所示为剖分为三段的正挤压凹模。成形部分是沿圆角半径 R_1 中心以上约 (2～3)mm 处进行剖分，矫正部分沿过渡锥面处进行剖分。各个剖分面以环形面保持接触。图中尺寸参考值为

$D' = D + (0.1\sim0.2)\text{mm}$；

$D_2 = D_1 + 0.3\text{mm}$（或 $1.008D_1$）；　$D_3 = D_1 + 0.1\text{mm}$（或 $1.004D_1$）；

$H_1 = H + (3\sim5)\text{mm}$；　$H_2 = 3\sim5\text{mm}$；　$H_3 = (1\sim1.5)D_1$；

http://shop62964869.taobao.com/

$R_1 = 3 \sim 5\text{mm}$；$R = 0.5 \sim 1.5\text{mm}$；$\alpha = 90° \sim 130°$；

$\beta = 3° \sim 5°$

这里 D——毛坯直径；D_1——零件外径；H——毛坯高度。

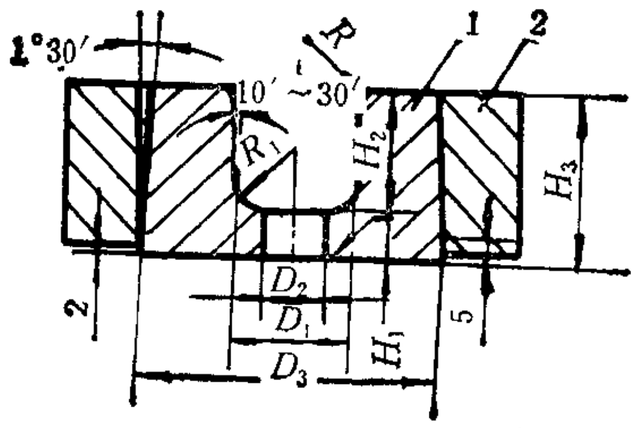


图 10-27　单层预应力圈反挤压组合凹模

1—凹模　2—预应力圈

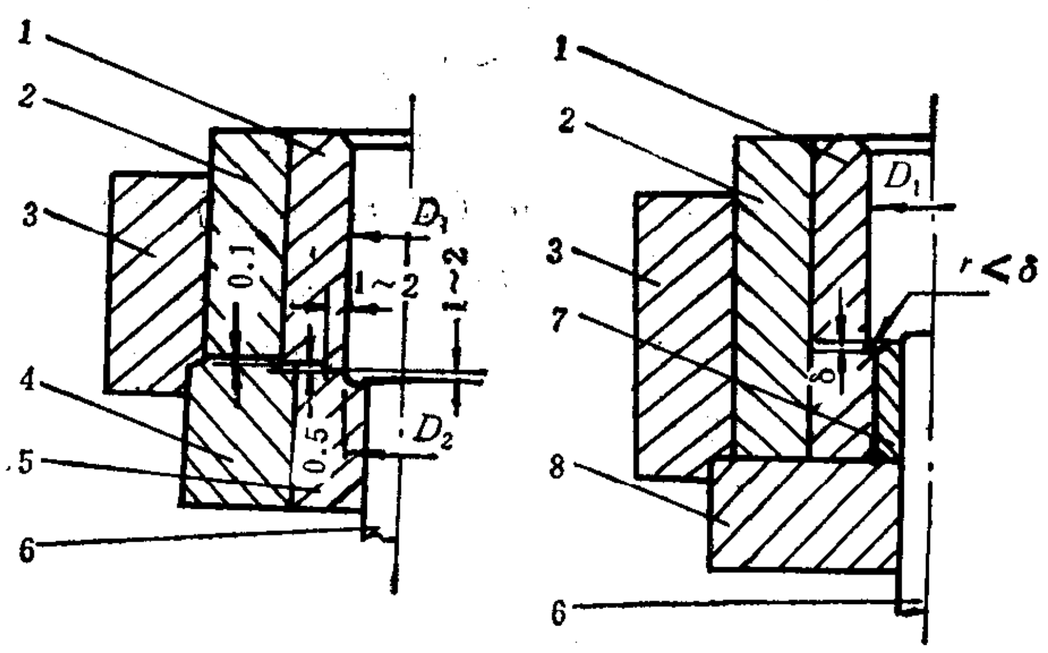


图 10-28　剖分式反挤压凹模

(a) 横向剖分　(b) 纵向剖分

1—挤压筒(凹模)　2—中圈　3—外圈　4—预应力圈　5—凹模底圈　6—预杆(对向凸模)　7—镶套　7—垫板

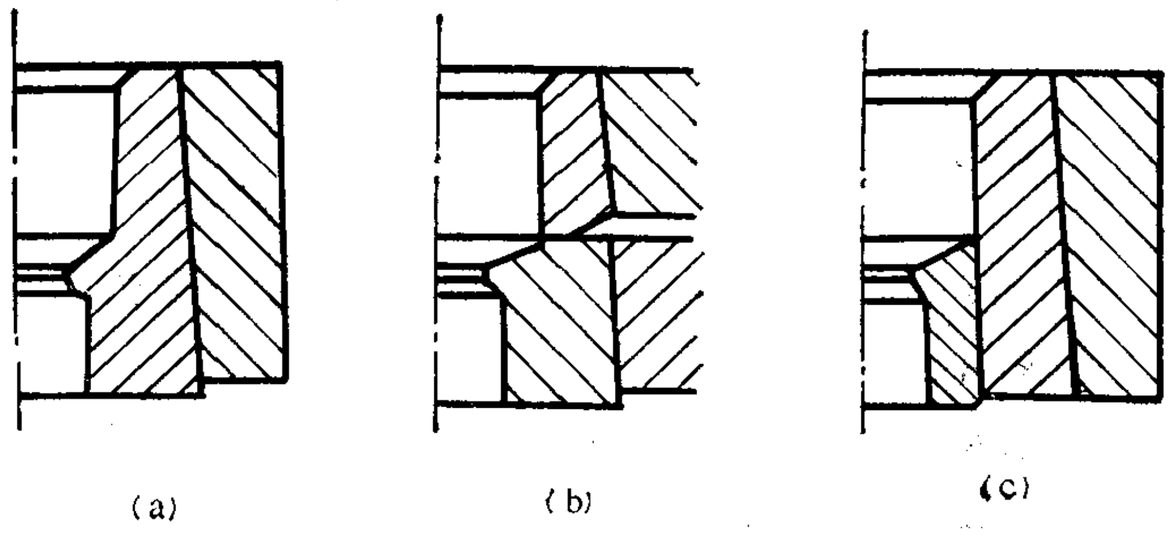


图 10-29　正挤压凹模

(a) 整体模腔　(b) 横向剖分　(c) 纵向剖分

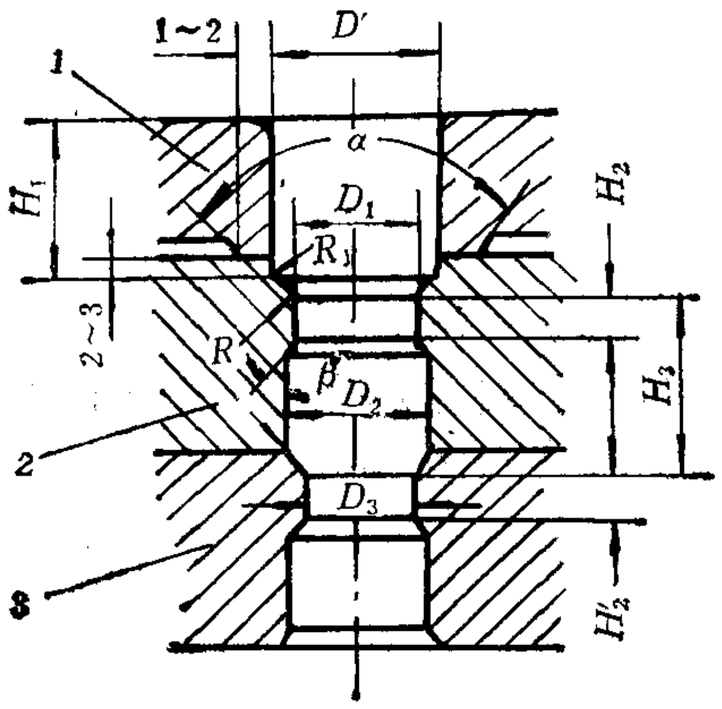


图 10-30　剖分为三段的正挤压凹模

1—盛料部分　2—成形部分　3—矫正部分

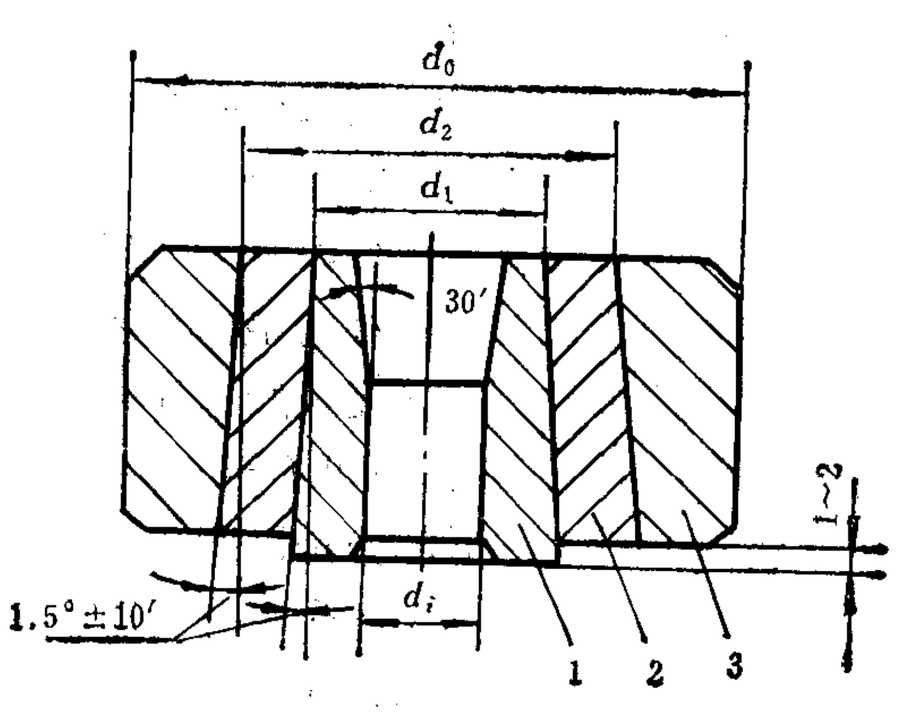


图 10-31　两个预应力圈的组合凹模

1—凹模　2—中圈　3—外圈

http://shop62964869.taobao.com/

2. 组合凹模的设计

(1) 组合凹模的近似设计

组合凹模的近似设计见表 10-21。表中符号意义见图 10-31。

表 10-21 组合凹模各层预应力圈尺寸的近似设计

凹模内壁压力 p_i (MPa)	预应力圈需要量	直径比 d_0/d_i	配合面直径的近似值
<1000	0	4～5	—
1000～1600	1	4～6	$d_1 \approx 0.9\sqrt{d_0 d_i}$
1600～2000	2	4～6	$d_i : d_1 : d_2 : d_0 \approx 1 :$ (1.6～1.8):(2.5～3.2):(4～6)

编者注：1. 上表系针对工具钢内圈凹模而言，对有两个预应力圈的硬质合金凹模：$d_i : d_1 : d_2 : d_0 \approx 1 : (2.2～2.3) : (4～4.5) : (6～8)$。

2. 表中 p_i 值即为式 (10-6) 中的 p_{max} 或式 (10-7)、式 (10-8) 中的 $\bar{p}'$、$\bar{p}_i'$ 或图算法中的 $\bar{p}$、$\bar{p}_i$。

各层之间的过盈量，可按配合直径的千分之四到千分之八近似选取。公盈数值的大小决定于凹模内壁压力及零件变形程度的大小。当采用硬质合金作凹模镶套时，可取配合直径千分之五到千分之十。

(2) 组合凹模的最佳设计

设凹模和预应力圈有同一弹性模数并同时达屈服值，现已知以下数据：

凹模内壁压力　p_i（参见表 10-21 注 2）

凹模、中圈和外圈的屈服强度　$\sigma_{s,1}$、$\sigma_{s,2}$、$\sigma_{s,3}$

凹模内径　d_i

弹性模数　E

凹模内壁压力与其屈服强度比 p'　$p' = p_i/\sigma_{s,1}$

屈服强度比 k_1　$k_1 = \sigma_{s,1}/\sigma_{s,2}$

屈服强度比 k_2　$k_2 = \sigma_{s,1}/\sigma_{s,3}$

则图 10-31 中的 d_1、d_2、d_0 值和在凹模与中圈间的过盈量 u_1 以及中圈与外圈间的过盈量 u_2，按凹模内壁是否容易出现拉应力，分两种情况进行计算。

1) 凹模内壁容许出现拉应力

单层预应力圈	双层预应力圈
$d_1 = d_i/Q_1$	$d_1 = d_i/Q_1$
$d_0 = d_i/Q$	$d_2 = d_1/Q_2$
	$d_0 = d_i/Q$

这里

$$Q_1 = \sqrt{\frac{1}{2}\left(1+\frac{1}{k_1}\right)-p'} \qquad Q_1 = \sqrt{\frac{1}{3}\left(1+\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}-2p'\right)}$$

$$Q_2 = Q_1\sqrt{k_1} \qquad Q_2 = Q_1\sqrt{k_1}$$

$$Q = Q_1Q_2 \qquad Q_3 = Q_1\sqrt{k_2}$$

$$Q = Q_1Q_2Q_3$$

过盈量为

$$u_1 = \frac{d_1\sigma_{s,1}}{E}\left(\frac{1}{k_1}-Q_1^2\right) \qquad (10\text{-}9)$$

$$u_1 = \frac{d_1\sigma_{s,1}}{E}\frac{(2p'+Q^2-1)}{1-Q_2^2Q_3^2} \qquad (10\text{-}10)$$

http://shop62964869.taobao.com/

$$u_2 = \frac{d_2\sigma_{s,1}}{E}\left(\frac{1}{k_2} - Q_1^2\right) \qquad (10\text{-}11)$$

对于双层预应力圈的组合凹模，凹模内壁无内压之处，可能因收缩而应力过大，所以要验算：$p' < 1 - Q^2$。如该条件不能满足，则在过盈压配后将超过凹模内壁所能承受的应力。这样，应改换材料以有较大 k_1 和(或) k_2 值，再重新进行计算。

以上各个直径和过盈量的计算也可利用图算法，见图 (10-32) 和 (10-33)。

2) 凹模内壁不容许出现拉应力

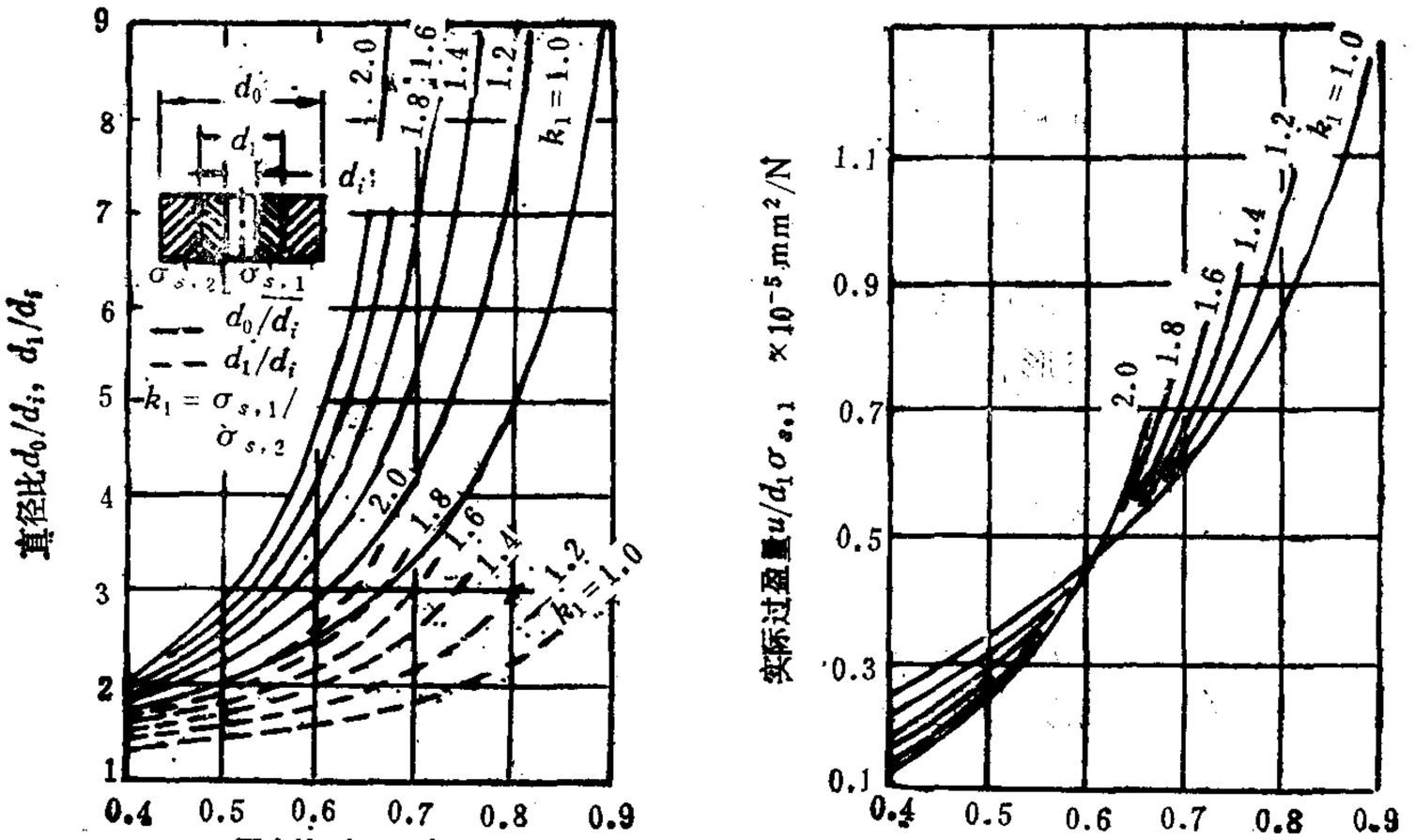


图 10-32　单层预应力圈组合凹模最佳设计的图算法

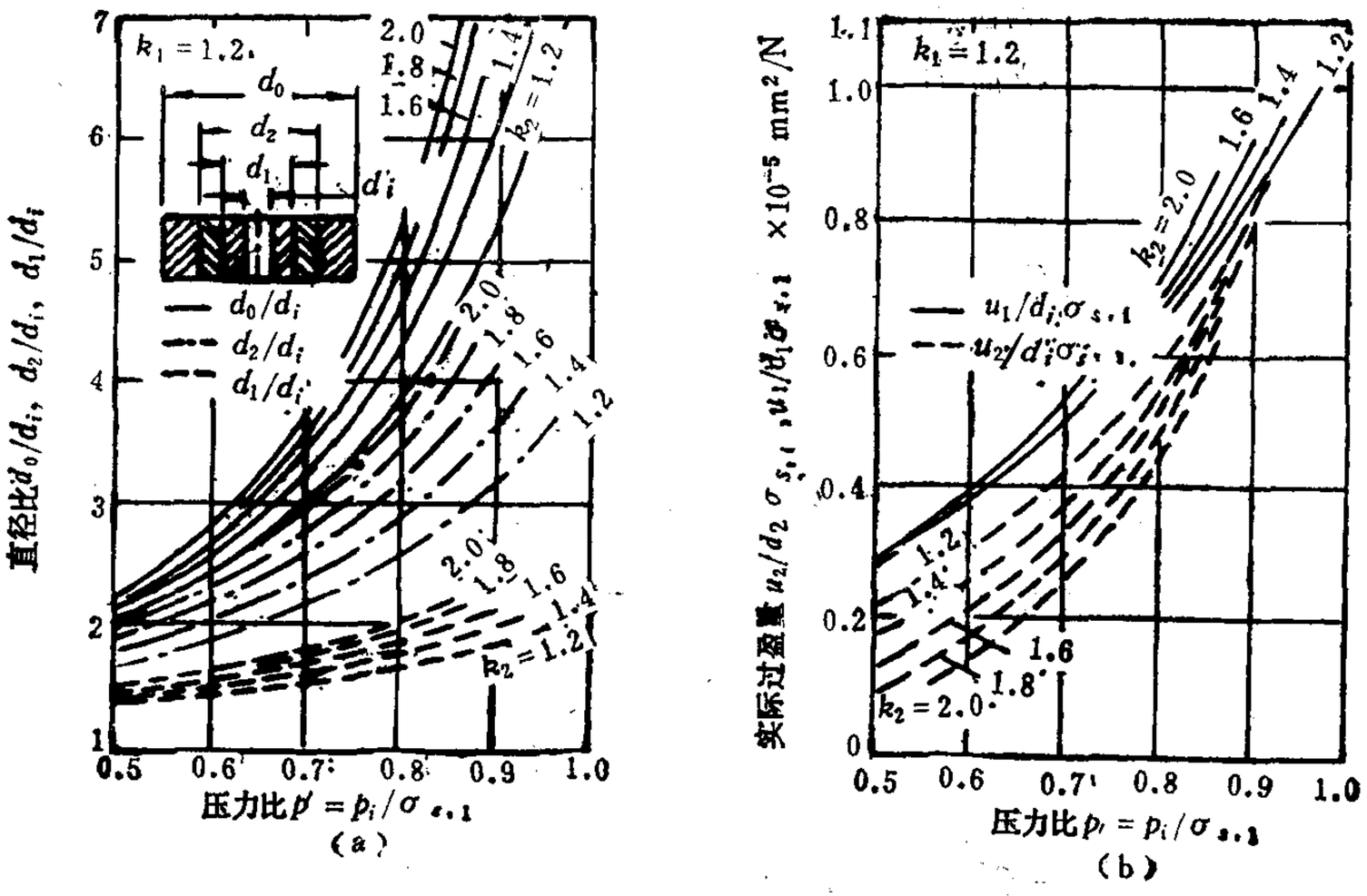


图 10-33　双层预应力圈组合凹模最佳设计的图算法

http://shop62964869.taobao.com/

单层预应力圈	双层预应力圈
$d_1 = d_i/Q_1$	$d_1 = d_i/Q_1$
$d_0 = d_i/Q$	$d_2 = d_1/Q_2$
	$d_0 = d_i/Q$

这里

$$Q_1 = \sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{k_1 p'} - 1\right)} \qquad Q_1 = \sqrt{\frac{1}{3}\left(\frac{1/k_1 + 1/k_2}{p'} - 1\right)}$$

$$Q_2 = Q_1\sqrt{k_1 p'} \qquad Q_2 = Q_1\sqrt{k_1 p'}$$

$$Q = Q_1 Q_2 \qquad Q_3 = Q_1\sqrt{k_2 p'}$$

$$Q = Q_1 Q_2 Q_3$$

过盈量为

$$u_1 = \frac{d_1\sigma_{s,1}}{E}\,\frac{1+Q^2}{1-Q_2^2}\,p' \qquad (10\text{-}12)$$

$$u_1 = \frac{d_1\sigma_{s,1}}{E}\,\frac{1+Q^2}{1-Q_2^2Q_3^2}\,p' \qquad (10\text{-}13)$$

$$u_2 = \frac{d_2\sigma_{s,1}}{E}\left(\frac{1}{k_2} - p'Q_1^2\right) \qquad (10\text{-}14)$$

因最大的过盈量不能使凹模内壁的预应力超过材料的许用压应力，所以要验算：$p' < (1-Q^2)/(1+Q^2)$。如该条件不能满足，则应改换材料，变动 k_1 和(或) k_2 值，再重新进行计算。

如凹模采用硬质合金或其它材料，其弹性模量为 E_1，泊桑比为 μ_1，则以上计算过盈量 u_1 的公式改为

$$u_1 = \frac{d_1 p_i(1+Q^2)(1-Q_1^2)}{2Q_1(1-Q)^2}\left[\frac{1}{E_1}\left(\frac{1+Q_1^2}{1-Q_1^2} - \mu_1\right) + \frac{1}{E}\left(\frac{1+Q_2^2Q_3^2}{1-Q_2^2Q_3^2} + \mu\right)\right] \qquad (10\text{-}15)$$

式中 μ、E——中圈材料的泊桑比和弹性模量；

其余符号同前。

这里组合凹模计算中的屈服强度 σ_s 值参见本节(五)。

关于预应力压配两件采用的公差，内件用 IT6，外件用 IT7。

[例] 给出 $p_i = 1450\text{MPa}$，$d_i = 30\text{mm}$，$\sigma_{s,1} = 2000\text{MPa}$，$\sigma_{s,2} = 1600\text{MPa}$，$\sigma_{s,3} = 1300\text{MPa}$，要求凹模内壁不出现拉应力，设计组合凹模。

计算各比值

$$p' = \frac{p_i}{\sigma_{s,1}} = \frac{1450}{2000} = 0.725$$

$$k_1 = \frac{\sigma_{s,1}}{\sigma_{s,2}} = \frac{2000}{1600} = 1.25$$

$$k_2 = \frac{\sigma_{s,1}}{\sigma_{s,2}} = \frac{2000}{1300} = 1.54$$

故得

$$Q_1 = \sqrt{\frac{1}{3}\left(\frac{1/k_1 + 1/k_2}{p'} - 1\right)} = \sqrt{\frac{1}{3}\left(\frac{1/1.25 + 1/1.54}{0.725} - 1\right)}$$

$$= 0.577$$

$$Q_2 = Q_1\sqrt{k_1 p'} = 0.577\sqrt{1.25(0.725)} = 0.549$$

http://shop62964869.taobao.com/

$$Q_3 = Q_1\sqrt{k_2 p'} = 0.577\sqrt{1.54(0.725)} = 0.61$$

$$Q = Q_1 Q_2 Q_3 = 0.193$$

$$d_1 = \frac{d_i}{Q_1} = \frac{30}{0.577} = 52\text{mm}$$

$$d_2 = \frac{d_1}{Q_2} = \frac{52}{0.549} = 94.7\text{mm}$$

$$d_0 = \frac{d_i}{Q} = \frac{30}{0.193} = 155.4\text{mm}$$

$$u_1 = \frac{d_1\sigma_{s,1}}{E}\frac{1+Q^2}{1-Q_2^2Q_3^2}p'$$

$$= \frac{52(2000)}{2.1\times10^5}\frac{1+(0.193)^2}{1-(0.549)^2(0.61)^2}(0.725) = 0.419\text{mm}$$

$$\frac{d_2\sigma_{s,2}}{E}\left(\frac{1}{k_2}-p'Q_1^2\right)$$

$$= \frac{94.7(2000)}{2.1\times10^5}\left[\frac{1}{1.54}-0.725(0.577)^2\right] = 0.368\text{mm}$$

(3) 组合凹模的装配工艺

各圈配合面的压合方法，在 $u/d < 0.4\%$ 时，采用小锥度(一般用 1°30′) 圆锥面冷压法或用圆柱面红套法(中温预热法，见后)均可。前者，加工精度要求高(配合面锥度一致，要保证接触面不少于 3/4，表面粗糙度 R_a 值应 $\leqslant 0.8\mu m$)；后者，加热麻烦，所以各有不便。在 $u/d >$ 0.4% 时，以采用两者结合为好，即既有小锥度，又采用红套。又为便于压合，不论冷压法或红套法均应将装配部位的尖棱倒成圆角(见图 10-34)。

红套法(中温预热法)是将配合中的外面一件加热至 450℃ 以下，保温 1～2 小时，充分均透，然后在油压机上压装。加热温度可按下式确定：

$$t = \frac{u}{\alpha} \tag{10-16}$$

式中 u——相对过盈量；

α——钢的线胀系数。

压合时，各圈的压合次序是由外向内，就是先将中圈压入外圈，最后将凹模压入中、外圈。压出时，则次序相反，先压出凹模，再压出中圈。对于硬质合金镶套，则常采用由内向外依次压装较为安全。

为了便于压装，压入件的压入端应做成圆角，还应计算压圈的轴向压合量，即图 10-34 中的 C 值，由图可知

$$C = \frac{u}{2\,\mathrm{tg}\,\gamma}$$

式中 u——过盈量，

γ——内外两件配合面间的半锥角。

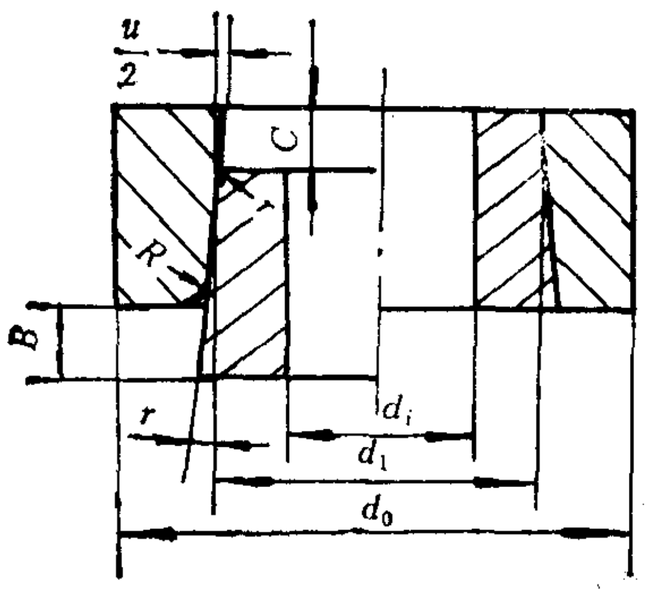


图 10-34　压配过盈量控制

图中 B 值，一般比 C 大 (0.5～1)mm，压装前应检查 B 值是否合适。各圈压合时，应在油压机外档上较厚的有机玻璃板，以确保人身安全。

http://shop62964869.taobao.com/

压合后，凹模内径有可能缩小直径的 0.5～1.0%；必要时进行修正。

凹模高度从考虑挤压时实际内压作用区域及其上下非作用区的影响、凸模导向和出件要求以及模具结构和封闭高度而定。预应力圈应比凹模矮 1～2mm，以保证凹模底面落在支承面上(见图 10-27)。外圈的形状按需要而定，有时在其上作出一台阶为固定压板，或作出一锥度，供与相关件配合用。

（三）冷挤压凸模设计

1. 冷挤压凸模设计注意要点

设计时注意要点有：

1）长度尽可能短，以减少纵向弯曲；

2）避免阶梯形和断面的急剧变化，以减少应力集中，在断面变化部位应有大圆角；

3）断面变化较大时，可设计成组合结构(见后面图 10-36)；

4）支承面应足够大，以使载荷分布较广，支承面应完全垂直于挤压加工轴线；

5）选择合适材料，合理加工工艺和热处理规范；

6）对细而长的凸模，要用凸模套加以保护；

7）毛坯要经改锻，以保证碳化物偏析在 3 级以下；

8）工作端面不允许留顶尖孔。

2. 冷挤压凸模的结构因素和尺寸

(1) 反挤压凸模

合理的凸模端面形状对便利金属流动，减少挤压力和保持较好润滑条件都起很大作用。通常凸模工作端面做成稍稍隆起或有一较小斜角，但在反挤压件有中心芯子时，端面就无此斜角。在反挤压有色金属时，为提高凸模的纵向稳定性，可在工作端面作出十字形、田字形或同心圆的工艺凹槽。它们必须对称于凸模中心，保持良好的同心度，否则反而会使凸模折断。工艺凹槽约 0.3～0.8mm 宽，0.3～0.6mm 深，槽的顶尖处用圆弧相连。反挤压黑色金属时，凸模工作端面则不容许开工艺凹槽。

除了端面形状外，工作带高度也对金属流动有较大影响。因此，按制件形状和所挤材料的不同，常在工作端面的斜角和工作带的高度上有所变化，以控制金属的流动。

图 10-35 为一典型的反挤压凸模。图中尺寸的参考值为

$$d_1 = (0.5\sim0.7)d; \qquad d_2 = d-(0.1\sim0.3);$$

$$d_3 = (1\sim1.3)d; \qquad d_4 = (1.3\sim1.5)d;$$

h、h_1 和 α_1 值对不同材料见表 10-22。

表 10-22　h 和 h_1 值

	低碳钢	有色金属		
		纯铝	紫铜	黄铜
h(mm)	(2—3)	0.5～1.5	1～2	1～2
h_1	$<2.5d$	$(7\sim10)d$	$(5\sim6)d$	$(4\sim6)d$
α_1	5°～7°	12°～25°		

$$h_2 = 0.5d_3; \qquad h_3 = (0.5\sim1)d_4;$$

http://shop62964869.taobao.com/

$\beta = 3° \sim 5°$；　　$\alpha = 5° \sim 15°$；

$R = 0.2 \sim 0.5\text{mm}$；　$R_2 = (0.2 \sim 0.4)d_0$

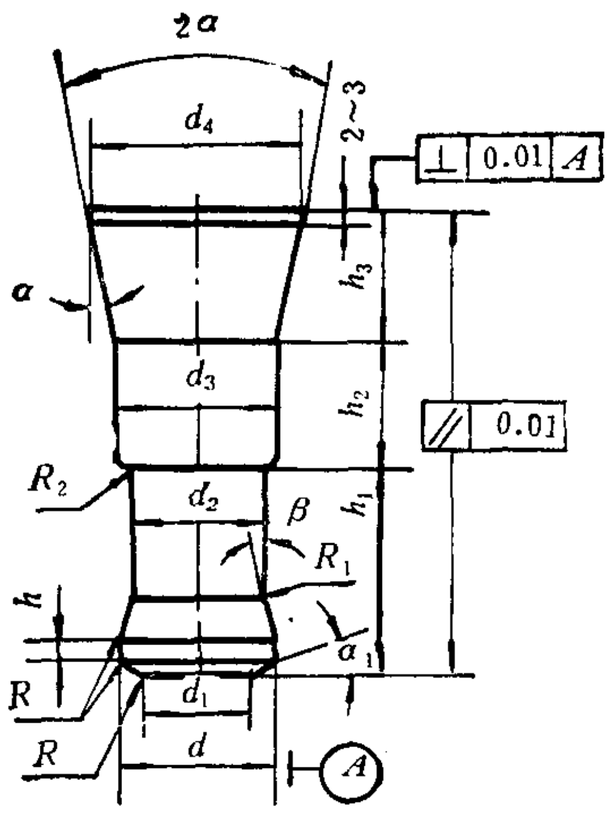


图 10-35　典型反挤压凸模

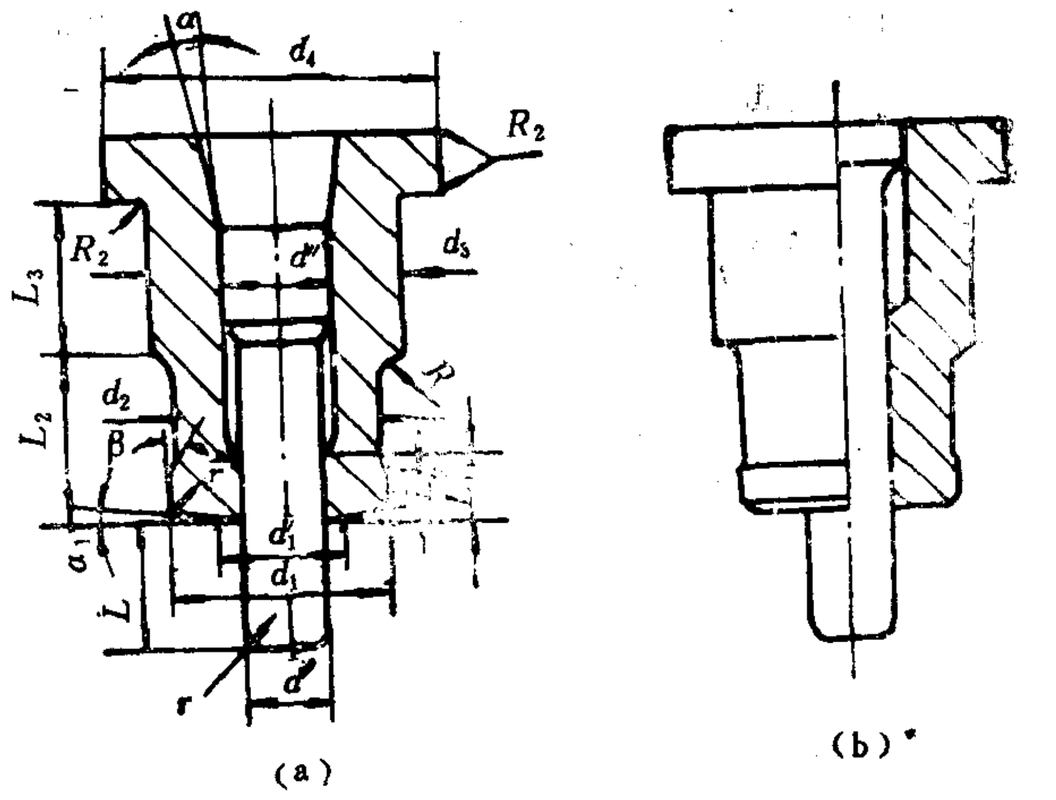


图 10-36　空心挤压件正挤压凸模

(a) 固定芯杆　(b) 活动芯杆

(2) 正挤压凸模

图 10-36 是空心挤压件正挤压凸模的组合结构。图 (a) 是固定芯杆结构，凸模与芯杆之间采用 H7/h7 配合，芯杆与凸模本体之间没有相对滑动。由于芯杆在挤压过程中受到由摩擦力产生的较大拉应力，因而它只适用于芯杆直径较大和挤压较软材料时情况。图 (b) 是活动芯杆结构，用于挤压黑色金属杯形空心件。图中芯杆伸出凸模端面的长度应比毛坯内孔深度多 (1～2)mm，过短则会造成侧壁起皱，过长则变成变薄拉深，对变形不利。在芯杆中心应开出气孔，以使其能顺利地插到杯形件底部，也有利于从凸模上卸件。

对于正挤压没有底的筒形空心件，则在图 (b) 结构中最好加装压缩弹簧，以免把芯杆拉断。

图中尺寸的参考值为

$d' = d - 0.2$；　　$d'' = d' + 0.5$；

$d_1 = D' - 0.02$；　　$d_1' = d_1/2$；

$d_2 = d_1 - 0.004d_1$；　　$d_3 = 1.3d_2$

$d_4 = 1.6d_2$；

$L_1 = 10 \sim 20\text{mm}$；　　$L_2 < 6d$；

$L_3 = d_3/2$；　　$L_0 = 3 \sim 5\text{mm}$；

$\alpha_1 = 1° \sim 3°$；　　$\alpha = 10°$；

$R = (d_3 - d_2)/2$；　　$\beta = 3°$；$R_2 = 1.5 \sim 2\text{mm}$

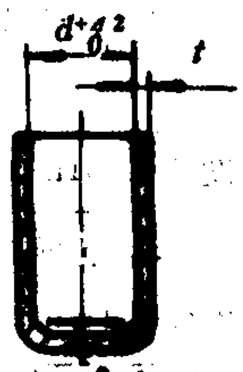
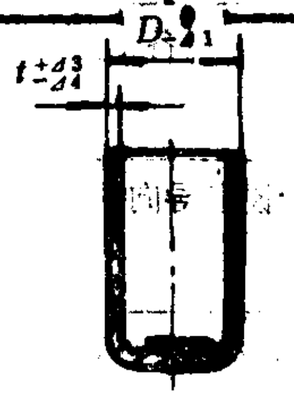
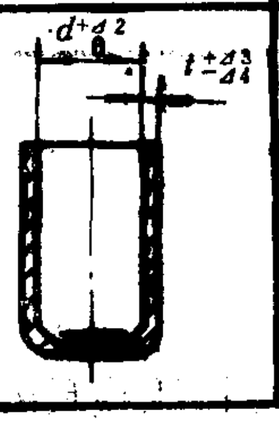
以上，D'——凹模腔直径；d——毛坯孔径。

（四）冷挤压凸、凹模的制造尺寸

冷挤压凸、凹模制造尺寸的计算见表 10-23。

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-23　冷挤压凸、凹模制造尺寸的计算公式

尺寸基准	零件示意图	计算公式
要求外形尺寸		$D_d=\left(D-\frac{3}{4}\Delta 1\right)^{+\delta d}_{0}$ $d_p=\left(D-\frac{3}{4}\Delta 1-2t\right)^{0}_{-\delta p}$ $\delta_d=\delta_p=\frac{1}{5}\Delta 1$
要求内形尺寸		$d_p=\left(d+\frac{1}{2}\Delta 2\right)^{0}_{-\delta p}$ $D_d=\left(d+\frac{1}{2}\Delta 2+2t\right)^{+\delta d}_{0}$ $\delta_p=\delta_d=\frac{1}{5}\Delta$
要求外形尺寸、壁厚		$d_p=[D-\Delta 1+e-2(t-\Delta_4)-2K]^{0}_{-\delta p}$ $D_d=(D-\Delta_1+e)^{+\delta d}_{0}$ 当$\Delta_1>\Delta_3+\Delta_4$时：$\delta_d=\delta_p=\frac{1}{5}(\Delta_3+\Delta_4)$ 当$\Delta_1<\Delta_3+\Delta_4$时：$\delta_d=\frac{1}{5}\Delta_1$，$\delta_p=\frac{1}{5}(\Delta_3+\Delta_4)$
要求内形尺寸，壁厚		$d_p=(d+\Delta_2+e)^{0}_{-\delta p}$ $D_d=[d+\Delta_2+e+2(t-\Delta_4)+2K]^{+\delta d}_{0}$ 当$\Delta_2>\Delta_3+\Delta_4$时：$\delta_p=\delta_d=\frac{1}{5}(\Delta_3+\Delta_4)$ 当$\Delta_2<\Delta_3+\Delta_4$时：$\delta_p=\frac{1}{5}\Delta_2$，$\delta_d=\frac{1}{5}(\Delta_3+\Delta_4)$

表中符号：

D——冷挤零件外形基本尺寸（mm）；

d——冷挤零件内形基本尺寸（mm）；

D_d——凹模的制造基本尺寸（mm）；

d_p——凸模的制造基本尺寸（mm）；

δ_d——凹模制造公差（mm）；

δ_p——凸模制造公差（mm）；

ε——冷挤零件的收缩率（mm）；

K——冷挤模在工作时凸、凹模的同轴度，它与模具精度和设备条件有关，见表 10-24。

当零件壁厚精度要求高时，制造尺寸计算公式中应考虑冷挤后壁厚的收缩率，以及上、下模偏心对壁厚的影响，其数值根据经验所得。

冷挤后的收缩率 ε（在室温情况下）一般为

铝件当 $d<10$ 时，　　ε 为 0.03～0.04mm

http://shop62964869.taobao.com/

$d \geqslant 10 \sim 60$ 时，　ε 为 0.05～0.06mm

钢件当 $d < 10$ 时，　ε 为 0.04～0.05mm

$d \geqslant 10 \sim 60$ 时，　ε 为 0.06～0.07mm

表 10-24　K 的经验数值

序号	工　　作　　条　　件	K
1	在专用冷挤压设备上正常的挤压工艺条件下，模具各方面都能达到应有的要求（如表面粗糙度、对称性、平行度、垂直度和配合等）的情况下进行冷挤压	0.03
2	在一般“C”形偏心或曲轴压力机上，模具为无导向的，模具工作部分达到设计要求，在正常的工艺条件下，进行冷挤压	0.05
3	在上述条件下，采用导柱式固定模架进行冷挤压，模具同心度为 0.01mm	0.03
4	在“Π”形双柱式压力机上，模具本身的同心度不超过 0.01mm，且导向十分可靠、稳定、准确。工作部分及配合部分都能达到质量要求。在正常的工艺条件下进行冷挤压	0.03
5	用可调节的导柱模在专用挤压设备上，或在高精度的立柱式冲压设备上并加有导头导向。（该种情况只适用于挤压底部有孔的零件）	0.01
6	在一切均为正常的条件下，模具自身有准确的导向装置而不受设备导向的影响。如将用导筒模进行冷挤压，而导筒模的同心度不超过 0.01mm	0.01
7	在正常的工艺条件下，在高精度立柱式冲压设备上，模具有很粗大的导柱、导套作为导向（有时可用四个导柱）。模具本身的同心度不超过 0.01mm	0.01～0.02

（五）冷挤压模具材料及其热处理

1. 冷挤压工艺对模具材料的要求

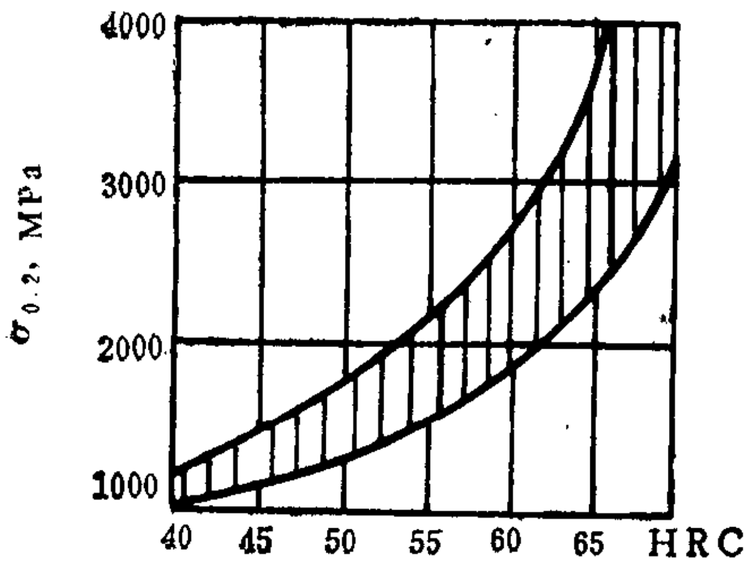


图 10-37　各种工具钢不同硬度下的屈服强度

在挤压时冷挤压模具要承受很高的单位压力（有时达 2500MPa），同时受金属流动的强烈冲击，变形过程中的温升也高（约 300℃）。因此，要求材料在较高温度下有高的强度、硬度、耐疲劳性能、韧性和耐磨性，同时也要易于锻造和切削加工。

2. 冷挤压模具常用材料

冷挤压模具常用材料见表 10-25。这些材料的许用应力还缺乏确定数据，一般是参考热处理后硬度来定（参见图 10-37）。表 10-25 也有少数数据可供参考。

八、冷挤压设备特性及其选择

冷（温）挤压可在机械压力机（曲轴或偏心式及肘杆式压力机）、液压机以及锻锻机和单工

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-25　冷挤压模具常用材料

模具零件	要求屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	材料牌号	硬度 HRC	硬度 HB	附注
凸模	2100	W6Mo5Cr4V2	62～64		可以 W18Cr4V 代用
	2000	Cr12MoV	60～62		
		9CrWMn	60～62		
	1600	5CrW2Si	56～58		
凹模镶套		Cr12MoV	60～62		$[\sigma_c]=2150$MPa
		W6Mo5Cr4V2	60～64		$[\sigma_c]=2350$MPa
		YG15			
		YG20			
		YG25			
垫板（凸模垫块）（凹模支承板）	≥2000	Cr6WV	58～62		如用在反挤压时
	1700	Cr12MoV	58～62		
		Cr12	58～62		
		9CrWMn	58～61		
	1400	4Cr5MoSiV	50～54		
		9CrWMn	50～54		
	1100	9CrVMn	40～44		
		40CrNiMo		270～330	
		42CrMo		270～330	
空心件正挤压用心棒		65Nb	62～64		用于应力特高心棒
		6W6Mo5Cr4V	62～64		同上
		W6Mo5Cr4V2	62～64		
		Cr12MoV	58～62		
		Cr6WV	58～62		
		4Cr5MoSiV	52～56		
对向凸模与顶杆		W6Mo5Cr4V2	62～64		a
		Cr12MoV	60～62		a
		Cr6WV	60～62		a
		9CrWMn	60～62		a，b
		5CrW2Si	56～58		b
预应力圈	1400	4Cr5MoSiV		470～530	或以 5CrNiMo，5CrMnMo，5CrW2Si 代用
	1200	4Cr5MoSiV		440～510	
	900	4Cr5MoSiV		330～390	
		40CrNiMo		330～390	$[\sigma_t]=900$MPa
	700	40CrNiMo		270～330	或以 40Cr 代用
		42CrMo		270～330	$[\sigma_t]=700$MPa

注：1. a 用于对向凸模，b 用于顶杆。

2. $[\sigma_c]$、$[\sigma_t]$ 为容许压缩应力与拉应力。

位或多工位自动机上进行。压力机的选择主要决定于挤压制件的形状和尺寸，材料，变形程度以及所需生产率和生产量、精度要求等。

1. 设备负荷容量

由于受模具所能承受压力（1500～3000MPa）的限制，所以如已知挤压制件最大加压面的投影面积 A（mm^2），则模具所能加的最大负荷 P 大致为

$$P=(1500\sim3000)A\ (N)$$

http://shop62964869.taobao.com/

式中括号内数字，用硬质合金模具时取 2500～3000MPa，用高速钢模具时取 2000～2500MPa，用合金钢模具时取 1500～2000MPa。由于挤压加工时最大负荷发生在行程初期，所以还必须从压力机容许负荷曲线(参见图 6-26) 核对该行程位置时的压力机吨位，因为公称吨位只是相应于下死点到 (0.1～0.2) 行程的范围之内。

2. 滑块行程

不仅考虑加工需要，还要考虑便于取走从凹模顶出的制件。

3. 能量

一道工序中的加工能量必须在压力机一次行程中充分供给，特别在挤长的制件时，它比同样吨位的其它用途的压力机所需的能量要大。

4. 速度特性

对不同压力机在一个行程中速度变化的不同形式，还没有定论以何者为好。在变形量小，要压出细致的浮雕加工时，最终速度的变化以缓慢为好。

5. 闭合高度

冷挤模具因外形较大，必须有足够的闭合高度。

6. 精度和刚度

这对模具寿命和加压方向的制件精度有较大影响。由于大负荷的集中作用，对滑块和工作台的刚性要求比一般压力机高。 要求框架为闭式结构，滑块导轨要长，滑块间隙保持在 0.03mm 左右。

7. 顶料机构

滑块和工作台上要有推、顶料机构，顶料负荷容量约为加工负荷的 10%。不能忽略顶料机构的能量计算，顶料动作时间应便于调整。

8. 安全装置

除一般的安全装置外，冷挤时由于模具破裂飞散的危险性大，必须装有防护板。压力机须

表 10-26　我国冷挤压压力机主要参数

型式 / 型号 / 名称	开式挤压机			齿轮偏心式挤压机				立式肘杆式挤压机		卧式曲轴挤压机			卧式肘杆式挤压机				立式曲轴挤压机
				J87-1600	J87-2500	J87-3000	J87-4000	J88-1600	J88-10000					JA88-2000	JA88-3150	JA88-5000	
公称压力 (kN)	1000	1600	2000	1600	2500	300	4000	1600	10000	2500	8000	12500	1600	2000	3150	5000	630
滑块行程 (mm)	60	120	160	180 230 280	200	300	250	70 120	400	260	800	1250	300	273	400	420	320
工作行程 (mm)	4	4	4	31 25 20	32	40	40	4	17		2.5	3	20	5	55	60	50
行程次数 (次/分)	60		30	34	32	33	25	80	13	46	30	25	30	65	16	16	16
用途	开式下传动行程小，行程次数高适宜短零件的冷挤压。如：精压、压印、精冲等			闭式下传动行程大，主要用于长零件的冷挤压				与开式冷挤压相同		挤压专用设备	轴承环专用挤压设备		有色金属挤压设备		挤压全自动化专用设备		立式上传动适于长零件冷挤压

http://shop62964869.taobao.com/

有过载自动停车装置并要求在滑块或拉杆上配置过载安全装置。

对于设备的选择，液压机适于挤压行程较大的制件，机械压力机以闭式框架为好，“C”型压力机刚度太差以不选用为宜。笼统地说，任何压力机都可进行冷挤压，但模具寿命、制件尺寸精度，生产效率和能量消耗则随设备而异。

表 10-26 为我国冷挤压压力机主要参数，供选择设备时参考。

九、温热挤压

温热挤压是将毛坯加热到金属再结晶温度以下进行挤压，它可兼得冷挤和热挤的优点而避免了两者的缺点，它比冷挤可减少挤压力，扩大加工材料范围，提高模具寿命，免去了预先软化退火(如在 650～800℃ 温挤)和表面处理，并有利于组织连续生产。温挤的这些优点使它日益广泛应用和得到发展。目前有待进一步完善和解决的是润滑剂的选择、合理温度范围的确定、模具的设计以及快速加热等。

(一) 温度的选择

挤压温度是温挤的重要参数，应遵循下列原则：

1) 选择在金属变形抗力有显著下降的范围；

2) 选择金属塑性有明显改善的范围；

3) 选择在金属开始有强烈氧化的温度之前；

4) 选择在变形金属与相应的润滑剂之间具有最小摩擦系数的范围。

表 10-27 为一些资料推荐的挤压温度可作为参考。

表 10-27　几种材料的温挤挤压温度

材料名称	挤压温度℃	材料名称	挤压温度℃
10、15、20、35、40、45、50	650～800	1Cr13、2Cr13、4Cr13、Cr17Ni2	700～850
40Cr、45Cr、30CrMnSi、12CrNi3	650～800	1Cr18Ni9Ti	260～350 或 800～900
38CrA	600～800		
18Cr2Ni4WA	670±20	铝、铝合金	<250
T8、T12、Cr12MoV、W6Mo5Cr4V2	700～800	铜、铜合金	<350
GCr15	700～800	镁、镁合金	175～390

表 10-28　几种不锈钢开始强烈氧化的温度

钢号	开始强烈氧化温度℃	钢号	开始强烈氧化温度℃
0Cr13	800	1Cr17Ni2	750～800
1Cr13	700～750	Cr18Ni9	800～870
2Cr13	750	Cr18Ni9Ti、Cr18Ni10Ti	800～850
4Cr13	650	4Cr18Ni35Si2	1100

表 10-27 中推荐温度范围主要从降低变形抗力上考虑，也有从产品性能考虑，如

http://shop62964869.taobao.com/

1Cr18Ni9Ti 避开了晶间腐蚀最剧烈的温度区。实际挤压温度选用视变形程度、尺寸精度和表面粗糙度以及设备条件等而定。

表 10-28 为几种不锈钢开始强烈氧化的温度。

（二）变形力计算

温热挤压与冷挤压的挤压力一样，其变形力与毛坯的机械性能、挤压方式、变形程度、零件形状以及润滑剂有关，此外，还与毛坯加热温度有很大关系。

从温热反挤压实验得到以下适用于黑色金属 200～600℃ 温度范围的温挤变形力经验计算公式

$$p = 15.44(76C + 1.3Ni - 0.08Cr - 0.1T + 0.36\varepsilon_F + 143) \qquad (11\text{-}17)$$

式中 p——凸模上最大单位挤压力（MPa）；

C——含碳量(%)；

Ni——含镍量(%)；

Cr——含铬量(%)；

T——毛坯加热温度(℃)；

ε_F——断面缩减率(%)；

公式中 15.44 系从原公式 Ton/in² 折算为 MPa 的折算系数。

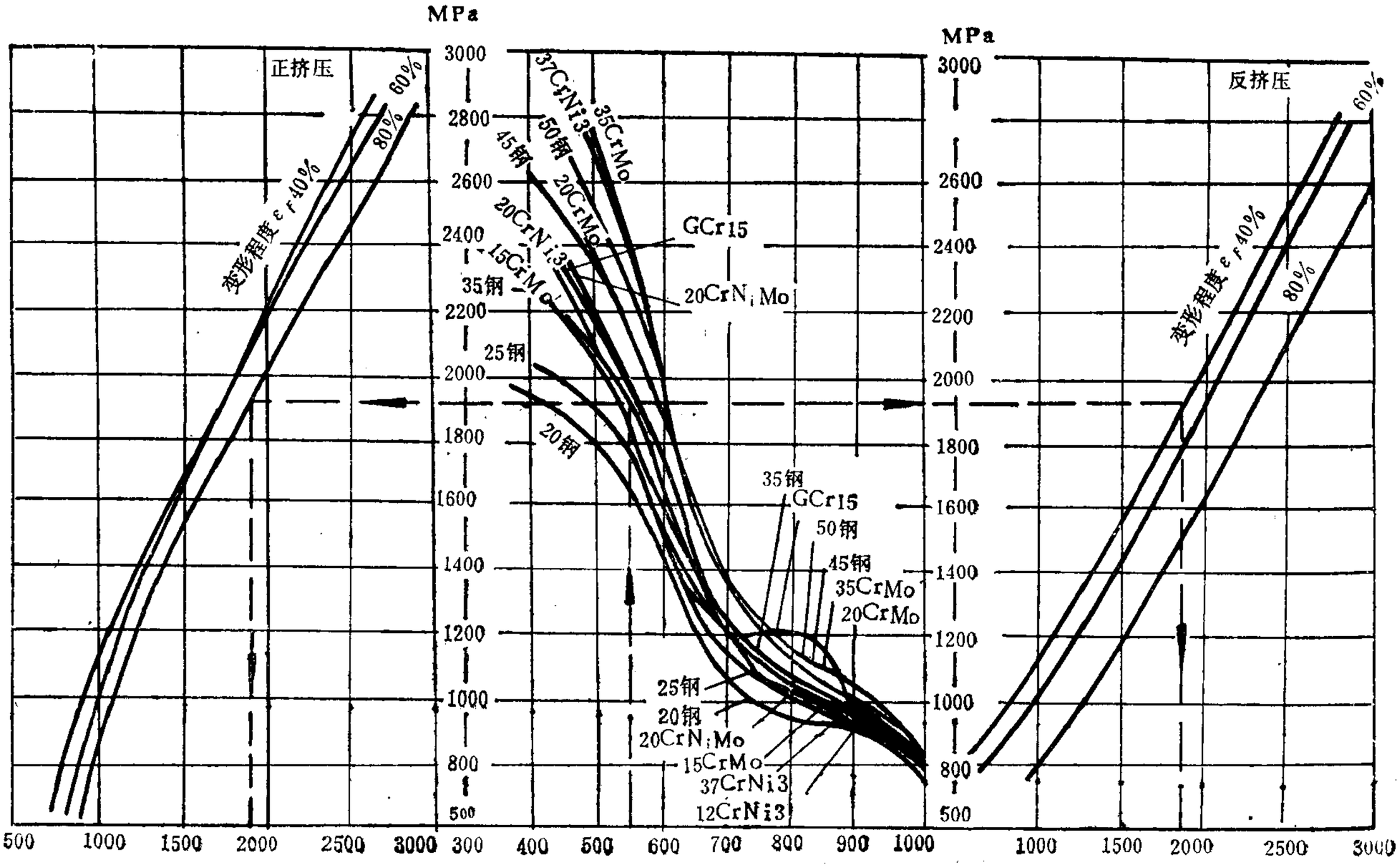


图 10-38 钢的温热挤压单位压力图算表

http://shop62964869.taobao.com/

图 10-38 是钢的温热挤压单位压力图算表。图中虚线上的箭头指示了查图方法。例如，当在 550℃ 挤压 35 号钢时，可沿图中 550℃ 向上虚线交到 35 号钢的曲线上，然后箭头向左标到正挤压断面缩减率 80% 曲线上的一点，这一点在水平轴上的投影数据为 1900MPa。这就是 35 号钢在 550℃ 作 80% 正挤压变形时的单位挤压力。如果是反挤压，按箭头所示的方向向右，同样可查得某一断面缩减率时的单位挤压力数据。图中断面缩减率 40% 与 60% 的曲线相当接近，说明在 60% 以下，断面缩减率的大小对单位挤压力的影响不太显著。图中轴承钢 GCr15 的曲线比较特殊，它在 700～800℃ 温热挤压时单位挤压力几乎保持不变，只有到大于 850℃ 以后，单位挤压力有所下降。图中曲线是在正挤凹模锥角为 120°，反挤压凸模锥角为 176° 时试验所得。模具预热 60～100℃，油与石墨的混合剂作润滑。加工温度 600℃ 以下者，毛坯作磷化处理，600℃ 以上者，毛坯预先不作磷化处理。

如通过锻压设备上安置测力装置，则可准确得到实际总挤压力 P。这时，凹、凸模单位挤压力（p_d 或 p_p）与总挤压力可有如下关系：

正挤压：最大凹模单位挤压力

$$p_d = \frac{P}{\frac{\pi}{4}(d_0^2 - d_1^2)} \quad (\text{MPa})$$

反挤压：最大凸模单位挤压力

$$p_p = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d^2} \quad (\text{MPa})$$

式中 d_0——凹模内径（mm）；

d_1——凹模挤出孔直径（mm）；

d——凸模直径（mm）。

就 45 号钢反挤压试验（变形程度 71%）表明：以上经验公式计算法与图算法约比实际小 10%。

（三）润滑剂的选择

对温热挤压润滑剂的要求有：

1）能耐 2000MPa 以上的单位压力；

2）在约 800℃ 以下的温度范围应具有足够的热稳定性，仍然保持良好的润滑效果。

3）在温挤温度范围内有足够粘度和附着性能，并能复盖挤压时大片新生表面，防止金属质点与模具粘结；

4）应具有一定的绝热作用，使毛坯的温度降低和模具的温度升高速度减慢；

5）摩擦系数较低。

目前温挤所用润滑剂见表 10-29。

（四）温挤模具设计

模具结构与冷挤压基本相同，但应考虑以下几点：

1）由于温挤时较易产生局部磨损，所以模具以做成镶块形式，便于维修调换。

http://shop62964869.taobao.com/

表 10-29　温热挤压生产中使用的润滑剂

编号	成　　分	使用方法	润滑性能		备　　注
			非不锈钢	不锈钢	
1	低温玻璃粉，二硫化钼油剂	*B* + *A*	满　　意 （手续较繁杂） 650～800℃	满　　意 （手续较繁杂） 700～800℃	润滑剂用酸洗去除。如盐酸：硫酸＝1:4的混合液，也可用切削方法
2	草酸盐处理覆盖层，85% 氯化石蜡，加 15% 二硫化钼	*C*	—	很满意 200～350℃	
3	磷酸盐处理覆盖层，加热的猪油拌二硫化钼	*C*	很满意 200～300℃	—	
4	油酸 57%，二硫化钼 17%，石墨 26%	*A*	满　　意 （有烟味） 650～850℃	—	在含 15～20% 铬酸和 5% $NaNO_3$ 的水溶液中洗 1～3 分钟，或用喷吵法去除润滑剂。
5	石墨油剂或水剂石墨与油体积比为 1:2	*A*	满　　意	—	
6	以石灰为基体的润滑剂中加入 13% 的胶体石墨	*A*、*B*	满　　意 500～600℃	不满意	
7	胶体石墨	*A*、*B*	低碳钢 400℃ 满　　意	—	
8	硼砂（$Na_2B_4O_7$）加 10%（重量）Bi_2O_3 粉末复合润滑剂	*B* 加热到 900℃	满　　意 500～700℃	—	

注　1.表中符号 *A*、*B*、*C* 意义如下：

A——采用刷涂或喷涂方法，将润滑剂施加于凸、凹模上；

B——在加热前，将润滑剂刷涂或喷涂在毛坯表面上；

C——毛坯加热前进行表面处理，加热后毛坯浸入液状润滑剂中。

2.在 600℃ 以下温挤，包括碳钢、合金结构钢、模具钢和高速工具钢，毛坯均应经磷化处理较好。

3.温挤有色金属可用石墨或用油调和的铝合金粉。

2）对于组合凹模，由于预应力圈和凹模尺寸变化的不同而可能降低预应力圈的加强效果。

3）模具和制件的热胀冷缩对制件径向尺寸的影响。为此，一般凹模内径应比制件外径大 0.6～1.0%，而反挤时凸模有效工作部分外径应比制件相应内径尺寸大 0.4～0.6%。

4）模具必须预热。凸模和凹模锻套可用回火温度较高的 W6Mo5Cr4V2 或 W18Cr4V，预应力外圈可用 5CrNiMo、4Cr5MoSiV 等。

5）在模具结构上既要考虑便于预热又要控制冷却模具工作部分，使不致温度太高，还要保证顶件器动作灵活和便于润滑剂残渣的去除。

http://shop62964869.taobao.com/

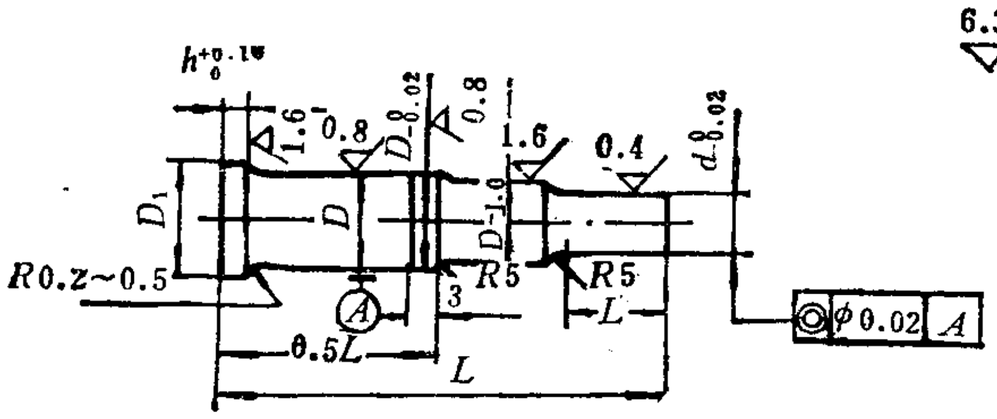
第十一章　冲模零件标准选编

一、冲模主要零部件

（一）工作零件

1. 圆形凸模型式和尺寸，见表 11-1。

表 11-1　圆形凸模型式和尺寸　　(mm)



A型 (GB 2863.1-81)　　B型 (GB 2863.2-81)

A型	d		1～2	>2～3	>3～4	>4～6	>6～8	>8～9	>9～11
	D (m6)	基本尺寸	4	5	6	8	10	12	14
		极限偏差	+0.012 +0.004			+0.015 +0.006		+0.018 +0.007	
	D_1		7	8	9	11	13	15	17
	l		5～6	8	10～12	12($L\leqslant 50$)、15($L>50$)			
	h	I	3						
		II				5			
	L		30～50	30～58	36～60	40～70			45～80
A型	d		>11～13	>13～15	>15～18	>18～20	>20～24	>24～26	>26～30
	D (m6)	基本尺寸	16	18	20	22	25	30	32
		极限偏差	+0.018 +0.007		+0.021 +0.008				+0.025 +0.009
	D_1		19	22	24	26	30	35	38
	l			14($L\leqslant 55$)、18($L>55$)		15($L\leqslant 55$)、20($L\leqslant 80$)、30($L>80$)			
	h	I	3						
		II	6						
	L		45～80	45～90		52～100			
B型	d		3～4	>4～6	>6～8	>8～9	>9～11	>11～13	
	D (m6)	基本尺寸	6	8	10	12	14	16	
		极限偏差	+0.012 +0.004	+0.015 +0.006		+0.018 +0.007			
	D_1		9	11	13	15	17	19	
	h	I	3						
		II	5					6	
	L		36～50	40～55					

http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-1

B型	d		>13～15	>15～18	>18～20	>20～24	>24～26	>26～30
	D (m6)	基本尺寸	18	20	22	25	30	32
		极限偏差	+0.018 +0.007	+0.021 +0.008				+0.025 +0.009
	D_1		22	24	26	30	35	38
	h	I	3					
		II	6					
	L		40～70	50～70				

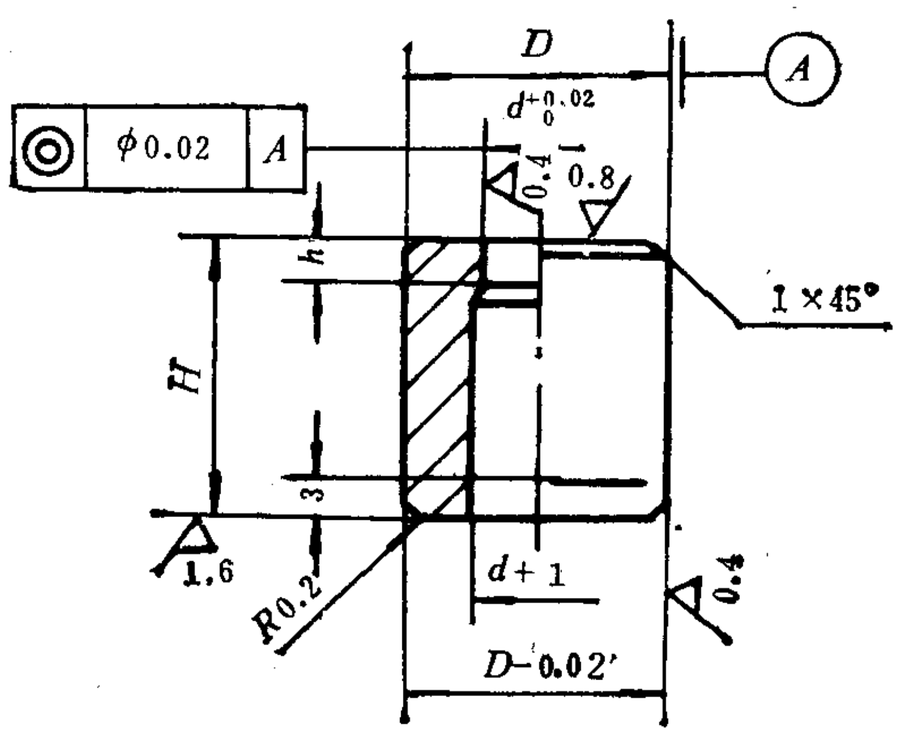
注：1.材料：T10A、9Mn2V、Cr12MoV、Cr12、Cr6WV。

2.热处理：9Mn2V、Cr12 MoV、Cr12 硬度 HRC 58～62，尾部回火 HRC40～50。

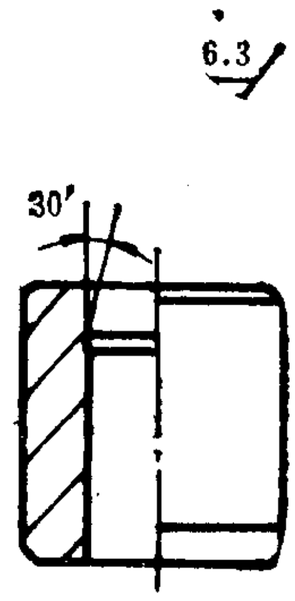
T10A、Cr6WV 硬度 HRC 56～60，尾部回火 HRC 40～50。

2. 圆形凹模型式和尺寸，见表 11-2。

表 11-2 圆凹模型式和尺寸(GB2863.4—81) (mm)



A型



B型

d		1～2	>2～4	>4～6	>6～8	>8～10	>10～12	>12～15	>15～18	>18～22	>22～28
D (m6)	基本尺寸	8	12	14	16	20	22	25	30	35	40
	极限偏差	+0.015 +0.006	+0.018 +0.007			+0.021 +0.008			+0.025 +0.009		
h	I	3			4		6		8		
	II	5			6		8		10		
H 范围		14、16	14～22	14～28	16～35	20～35		22～35	25～35	28～35	
H 系列		14、16、18、20、22、25、28、30、35									

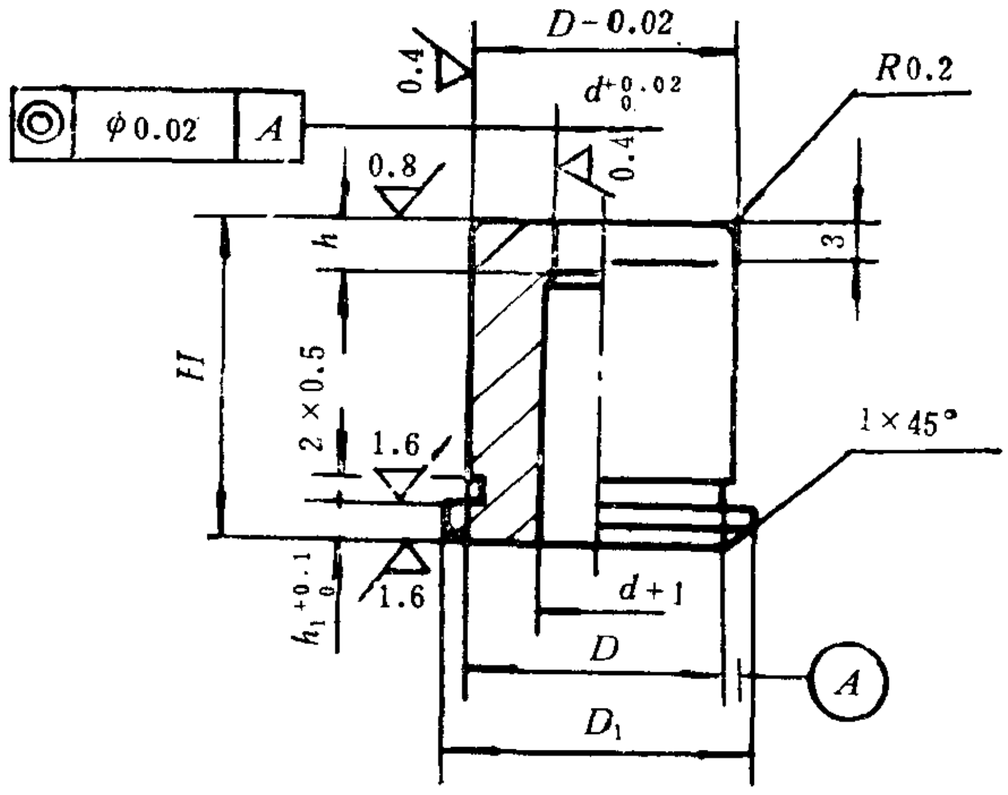
注：1.材料：9Mn2V、T10A、Cr6WV、Cr12。

2.热处理：淬火硬度 HRC 58～62。

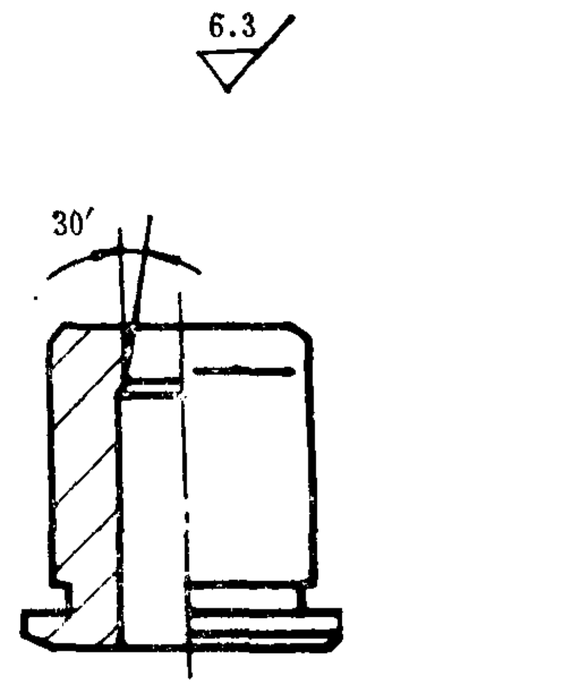
3. 带肩圆凹模型式和尺寸，见表 11-3。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-3　带肩圆凹模型式和尺寸（GB 2863.5—81）　　（mm）



A 型



B 型

d		1～2	>2～4	>4～6	>6～8	>8～10	>10～12	>12～15	>15～18	>18～22	>22～28
D (m6)	基本尺寸	8	12	14	16	20	22	25	30	35	40
	极限偏差	+0.015 +0.006	+0.018 +0.007			+0.021 +0.008			+0.025 +0.009		
D_1		11	16	18	20	25	27	30	35	40	45
I	h	3			4		6		8		
	h_1	3									
II	h	5			6		8		10		
	h_1	5			6						
H 范围		14～18	16～22	16～28	18～35	20～35			28～35		
H 系列		14、16、18、20、22、25、28、30、35									

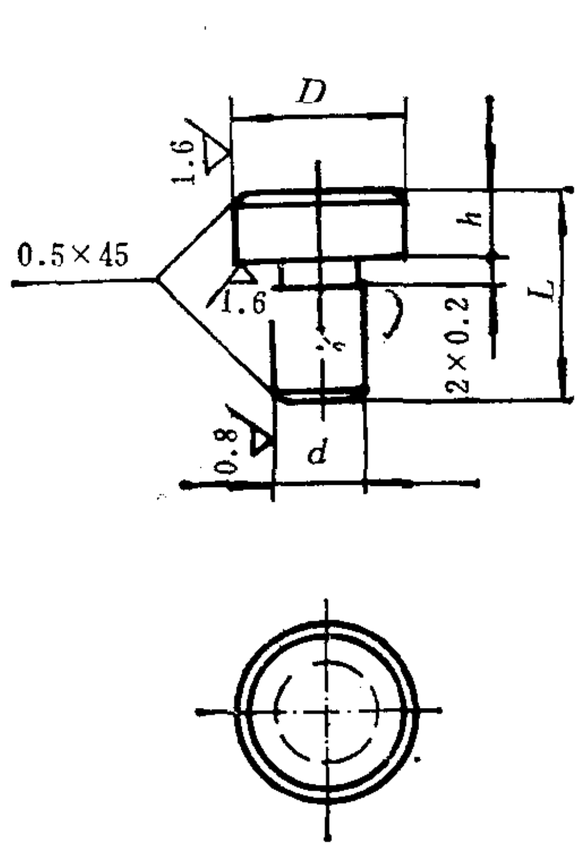
注：1.材料：9Mn2V、T10A、Cr6WV、Cr12。

2.热处理：淬火硬度 HRC58～62

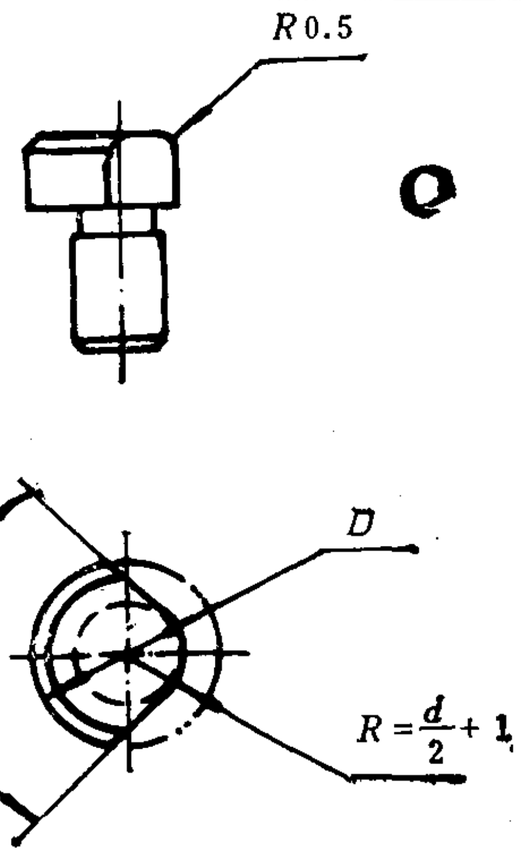
（二）定位零件

1. 固定挡料销的型式和尺寸，见表 11-4。

表 11-4　固定挡料销型式和尺寸（GB2866.11—81）　　（mm）



A 型



B 型
D>6

http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-4

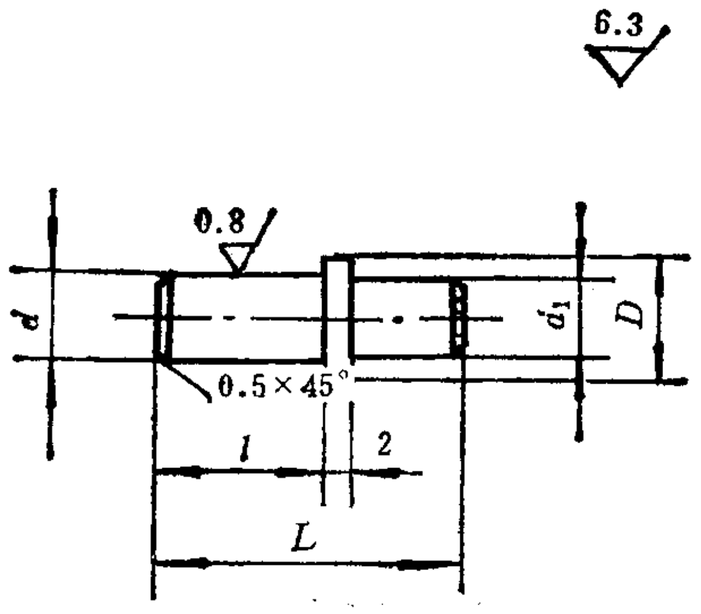
D (h11)	基本尺寸	4	6	8	10	12							
	极限偏差	0 −0.075		0 −0.090		0 −0.110							
d (m6)	尺　寸	3	4		6				8				
	偏　差	+0.008 +0.002	+0.012 +0.004						+0.015 +0.006				
h		2		3	2	3		3		5		3	5
L		8		10		14							

D (h11)	基本尺寸	15			18			20			25		
	极限偏差	0 −0.110						0 −0.130					
d (m6)	尺　寸	8		10		12		10	14		12		18
	偏　差	+0.015 +0.006				+0.018 +0.007		+0.015 +0.006	+0.018 +0.007				
h		3	6	3	6			8					
L		18						20			22		

注：1.材料：45 钢。
2.热处理：硬度 HRC43～48。

2. 弹簧弹顶挡料销尺寸，见表 11-5。

表 11-5　弹簧弹顶挡料销尺寸（GB2866.5—81）　　（mm）



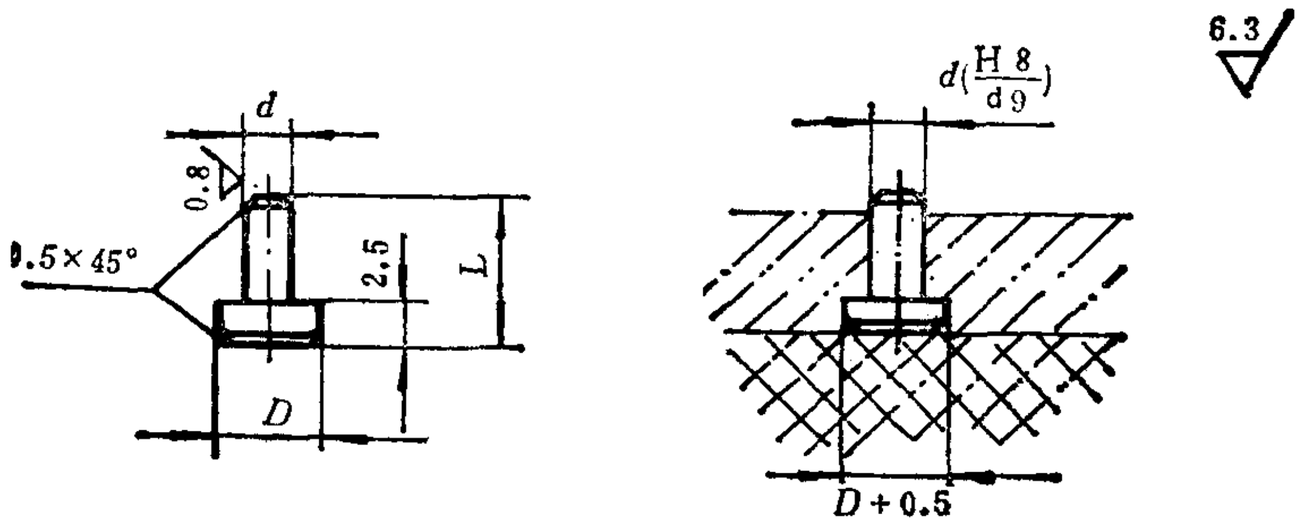
d (d9)	基本尺寸	4		6				8				10				12			16			20		
	极限偏差	−0.030 −0.060						−0.040 −0.076								−0.050 −0.093						−0.065 −0.117		
D		6		8				10				12				14			18			23		
d_1		3.5		5.5				7				8				10			14			15		
l		10	12	10	12	14	16	12	14	16	18	14	16	18	20	22	24	28	24	28	35	35	40	45
l		18	20	20	22	24	26	24	26	28	30	26	28	30	32	34	36	40	36	40	50	50	55	60

注：材料：45 钢；
热处理：硬度 HRC 43～48。

http://shop62964869.taobao.com/

3. 橡胶垫弹顶挡料销尺寸，见表 11-6。

表 11-6　橡胶垫弹顶挡料销尺寸（GB2866.7—81）　　(mm)

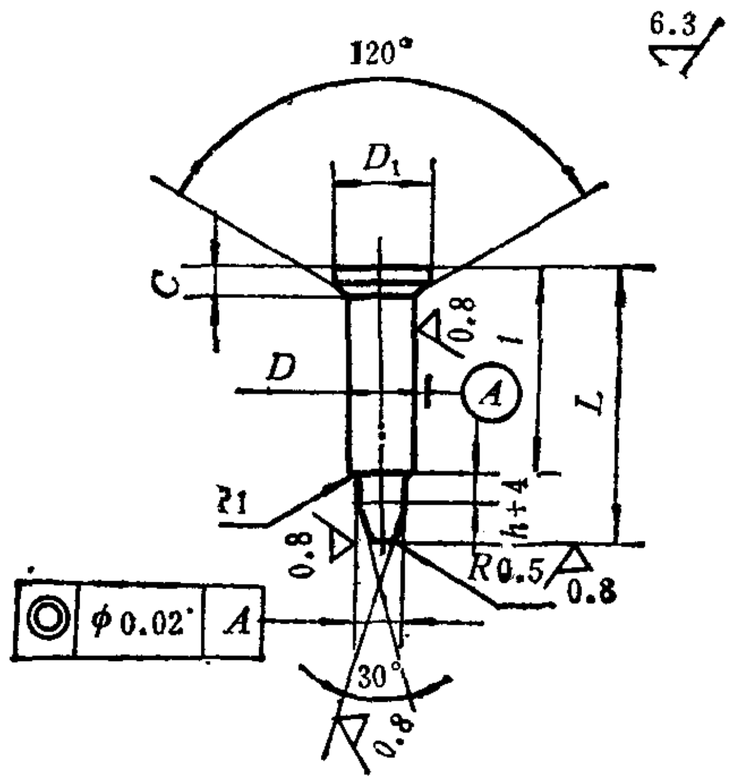


d (d9)	基本尺寸	3	4	6	8	10
	极限偏差	−0.020 −0.045	−0.030 −0.060		−0.040 −0.076	
D		5	6	8	10	13
L		8、10、12、14、16	8、10、12、14、16、18	8、12、14、16、18、20	10、16、18、20、22、24	16、20

注：材料：45 钢。
热处理：硬度 HRC 43～48。

4. 导正销。A、B、C、D 型导正销的尺寸，分别见表 11-7 至表 11-10。

表 11-7　A 型导正销尺寸（GB 2864.1—81）　　(mm)

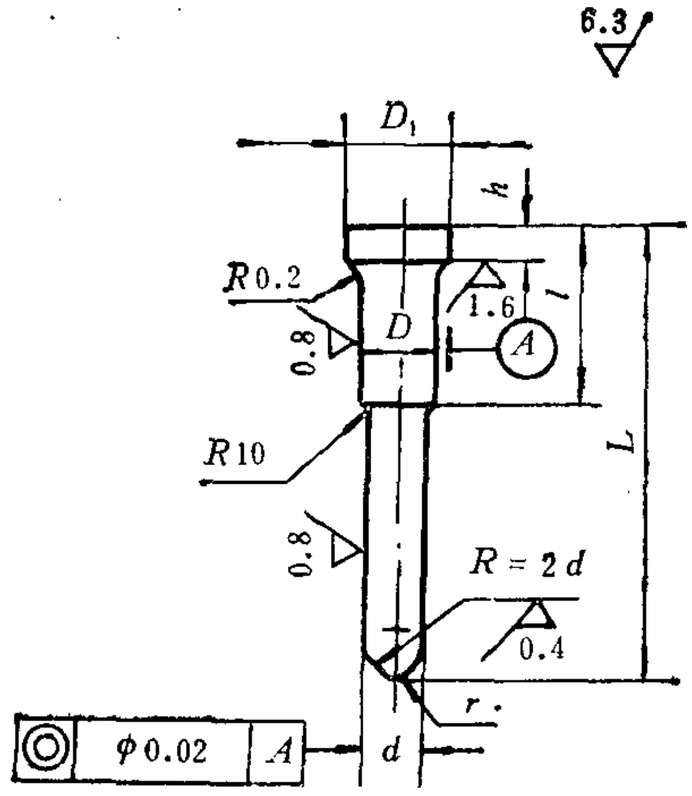


d (h6)	基本尺寸	～3	>3～6	>6～8	>8～10	>10～12
	极限偏差	0 −0.006	0 −0.008	0 −0.009		0 −0.011
D (h6)	基本尺寸	5	7	9	11	13
	极限偏差	0 −0.008	0 −0.009		0 −0.011	
D_1		8	10	12	14	16
l		14	18	20	22	24
L		24	28	32	34	36
C		2			3	
h		设　计　确　定				

注：1. 材料：T8A。
2. 热处理：淬火硬度 HRC50～54。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-8　B 型导正销尺寸（GB2864.2—81）　（mm）

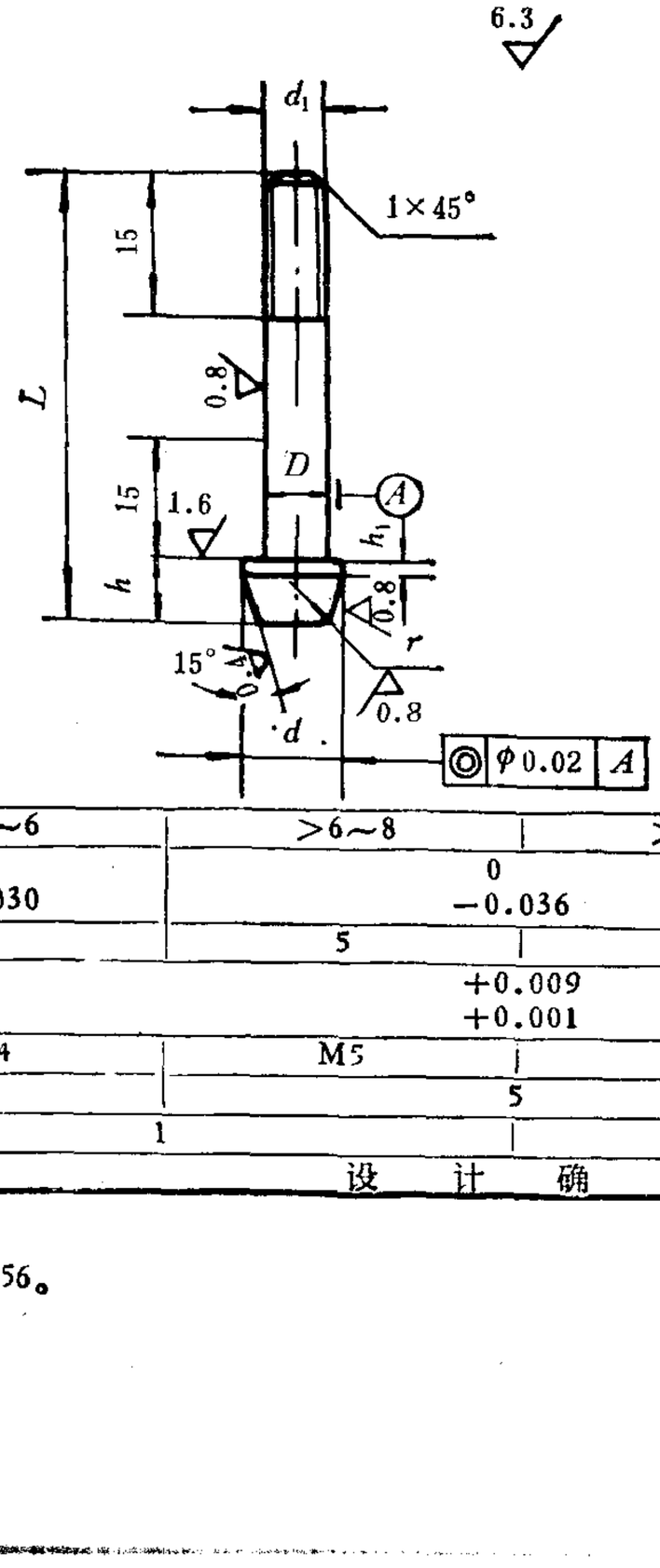


d (h6)	基本尺寸	~3	>3~6	>6~7	>7~8	>8~9	>9~10
	极限偏差	0 −0.006	0 −0.008	0 −0.009			
D (h6)	基本尺寸	4	6	8		10	
	极限偏差	0 −0.008		0 −0.009			
D_1		7	9	12		14	
r		0.5				1	
L、l、h		设　计　确　定					

注：1.材料：9Mn2V、Cr12。

2.热处理：淬火硬度 HRC52—56。

表 11-9　C 型导正销尺寸（GB2864.3—81）　（mm）



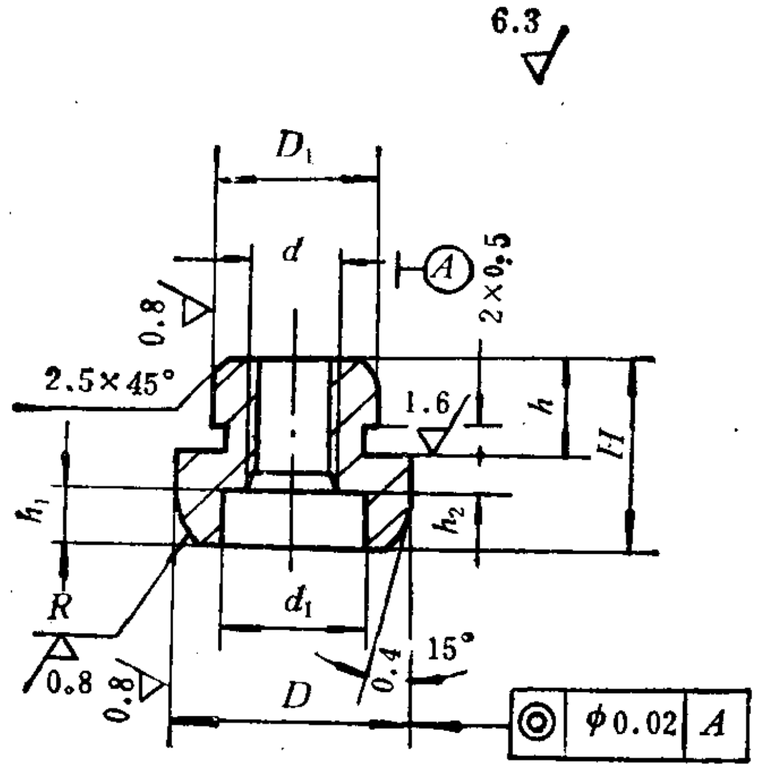
d (h9)	基本尺寸	>4~6	>6~8	>8~10	>10~12	
	极限偏差	0 −0.030	0 −0.036		0 −0.043	
D (k6)	基本尺寸	4	5	6		
	极限偏差	+0.009 +0.001				
d_1		M4	M5	M6		
h		4	5		6	
r		1		2		
L、h_1		设　计　确　定				

注：1.材料：9Mn2V、Cr12。

2.热处理：淬火硬度 HRC52~56。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-10　D 型导正销尺寸（GB2864.4—81）　　（mm）



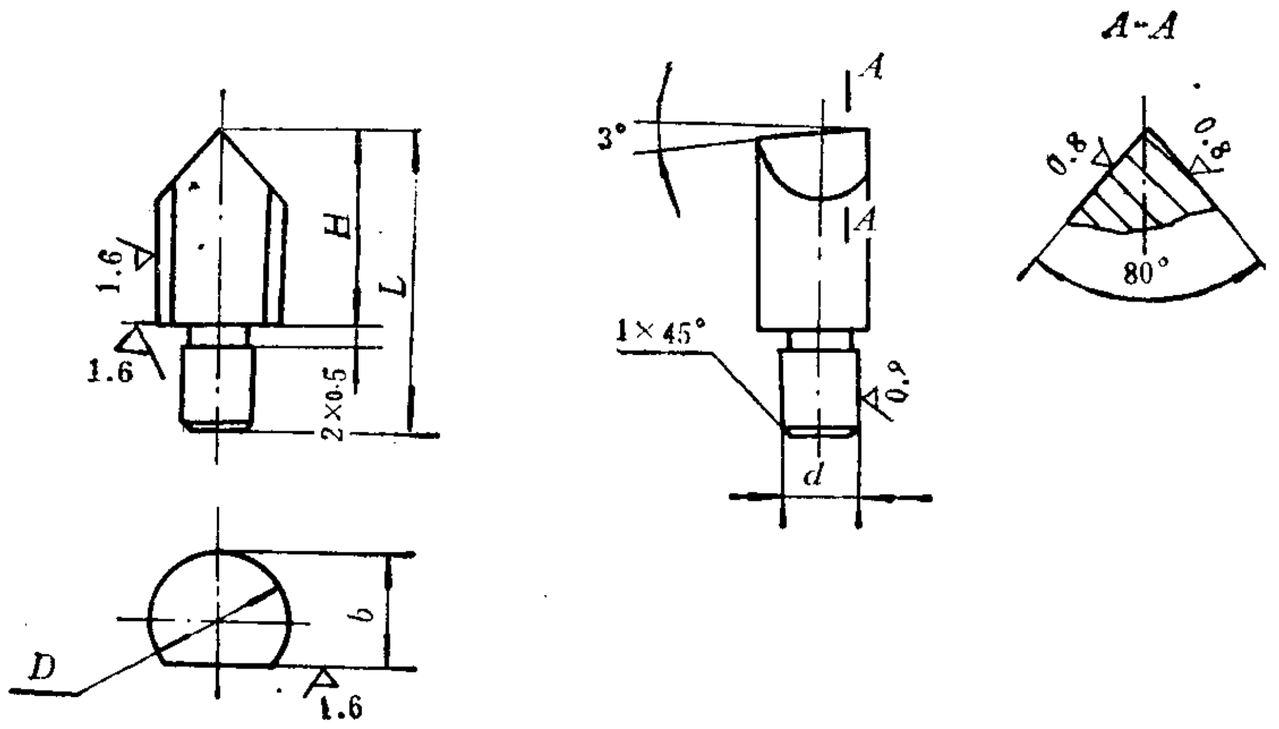
D (h9)	基本尺寸	12～14	>14～18	>18～22	>22～26	>26～30	>30～40	>40～50
	极限偏差	0 −0.043		0 −0.052			0 −0.062	
D_1 (h6)	基本尺寸	10	12	14	16	18	22	26
	极限偏差	0 −0.009	0 −0.011				0 −0.013	
d		M6	M8		M10	M12		
d_1		7	9		16	19		
H		14	16		20	22	26	28
h		8			10	12		
h_1		4	6		7	8		
R		2				3		
h_2		设　计　确　定						

注：1.导正销的结构型式按第四章图 4-46。
2.材料：9Mn2V、Cr12。
3.热处理：淬火硬度 HRC52～56。

（三）卸料、压料和顶、推零件

1. 圆形和方形废料切刀的尺寸，见表 11-11 和表 11-12。

表 11-11　圆废料切刀尺寸（GB2868.1—81）　　（mm）



http://shop62964869.taobao.com/

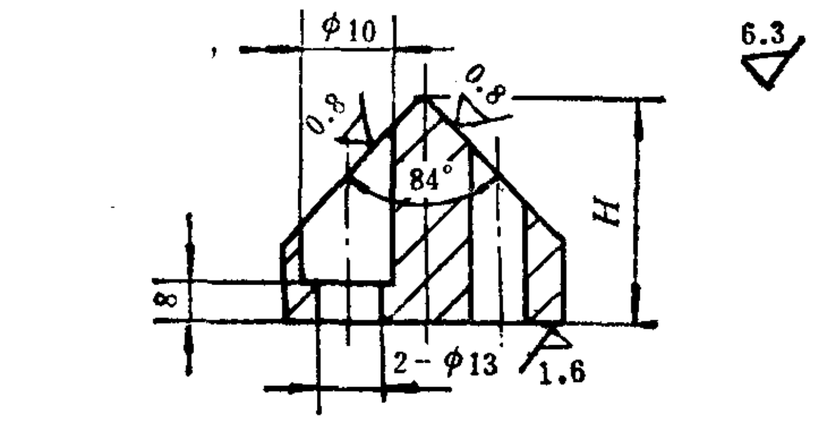
续表 11-11

D		14				20				24				30			
d (r6)	基本尺寸	8				12				16				20			
	极限偏差	+0.028 +0.019				+0.034 +0.023								+0.045 +0.028			
H		18	20	22	26	24	26	28	32	28	30	32	36	28	32	36	40
L		30	32	34	38	38	40	42	46	46	48	50	54	53	57	61	65
b		12				18				22				27			

注：1.材料：T10A。

2.热处理：硬度 HRC56～60。

表 11-12　方废料切刀尺寸（GB2868.2—81）　（mm）



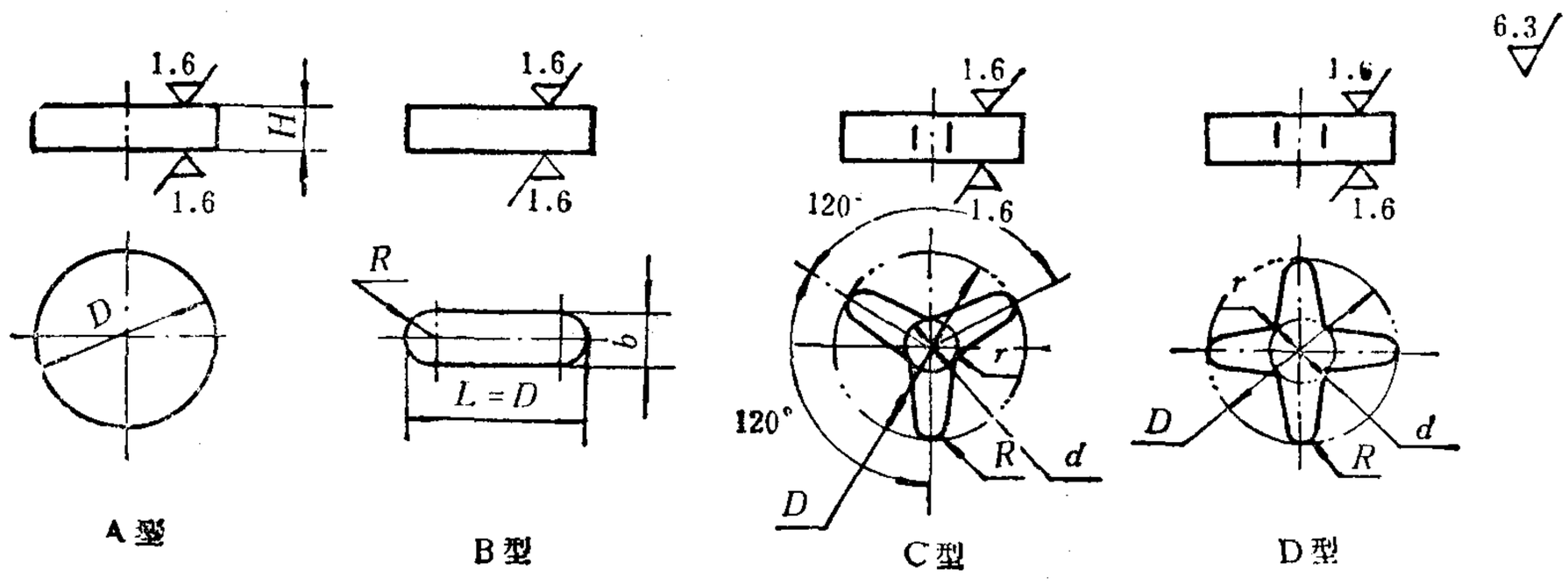
H 系 列	45、50、55、60、65

注：1.材料：T10A。

2.热处理：硬度 HRC56～60。

2. 顶板的型式和尺寸，见表 11-13。

表 11-13　顶板型式和尺寸（GB2867.4—81）　（mm）



http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-13

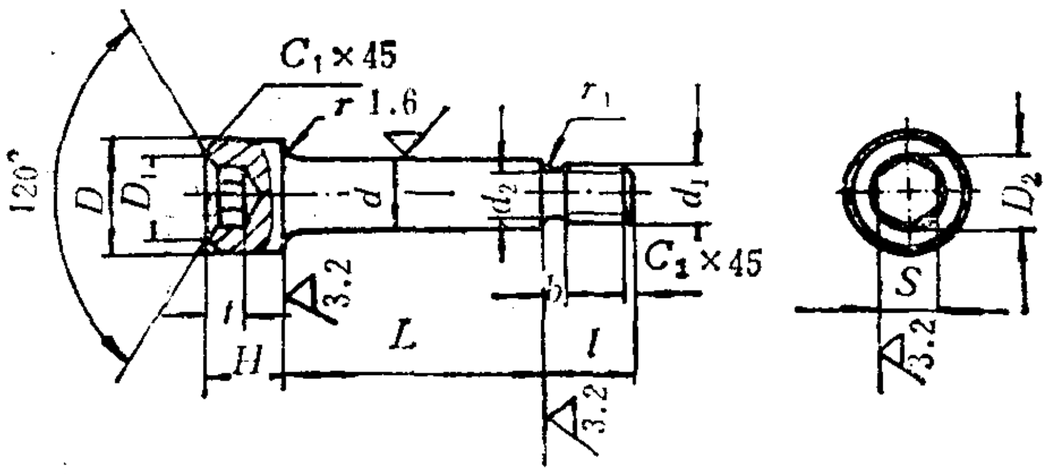
D	20	25	30	35	40	50	60	70	80	95	110	120	140	160	180	210
d		15	16	18	20	25		30		32	35	42	45	55		70
R		4			5	6				8		9		11		12
r		3			4	5				6		7		8		9
H	4		5		6	7		9		12		14		18		
b	8				10	12				16		18		22		24

注：1.材料：45钢。

2.热处理：硬度 HRC43～48。

3. 圆柱头内六角卸料螺钉的尺寸见表 11-14。

表 11-14　圆柱头内六角卸料螺钉尺寸（GB2867.6—81）　　(mm)



d	8	10	12	16	20	24
L	35～70	40～80	45～100	50～100	50～150	50～200
d_1	M6	M8	M10	M12	M16	M20
l	7	10	12	16	24	30
D	12.5	15	18	24	30	36
H	8	10	12	16	20	24
d_2	4.5	6.2	7.8	9.5	13	16.5
D_1	7.5	9.8	12	14.5	17	20.5
D_2	6.9	9.2	11.5	13.8	16.2	19.6
s	6	8	10	12	14	17
t	4	5	6	8	10	12
b	2		3		4	5
c	1	1.2	1.5	1.8	2	2.5
C_1	0.3	0.5			1	
r	～0.4	～0.5			～1	
r_1	～0.5		～1		～1.2	～1.5
L系列	35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180、200					

注：1. L的偏差为 h_{8}。

2. $d=20$ 和 $d=24$ 时，L 系列中无 55、65、75 三种规格。

3.材料：45 钢。

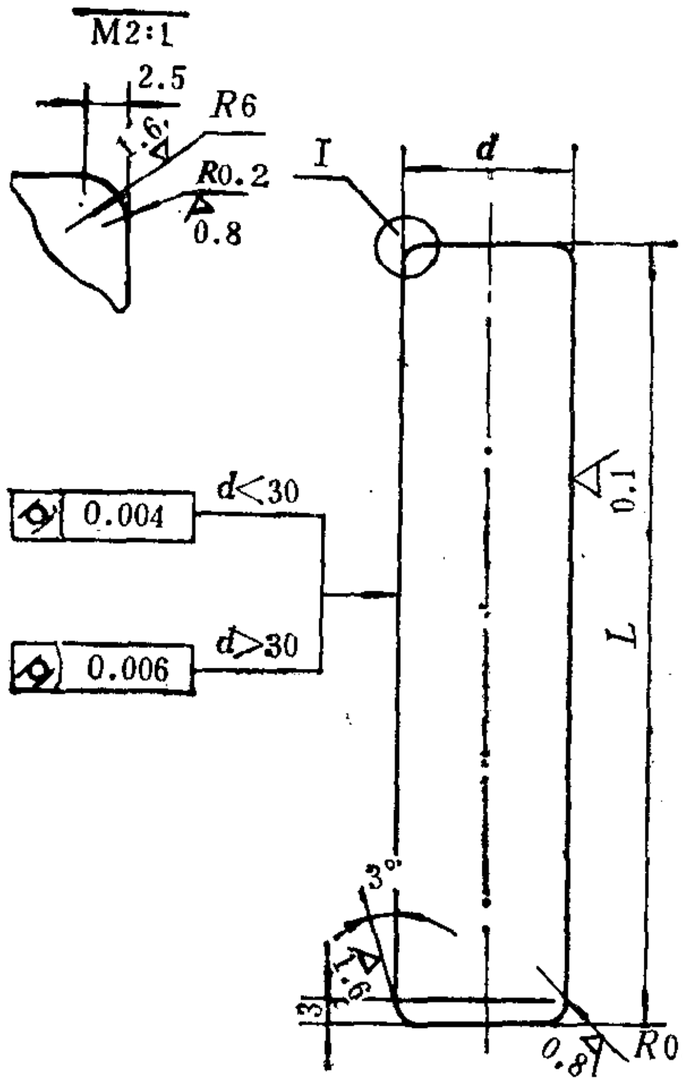
5.热处理：淬火硬度 HRC35～40。

http://shop62964869.taobao.com/

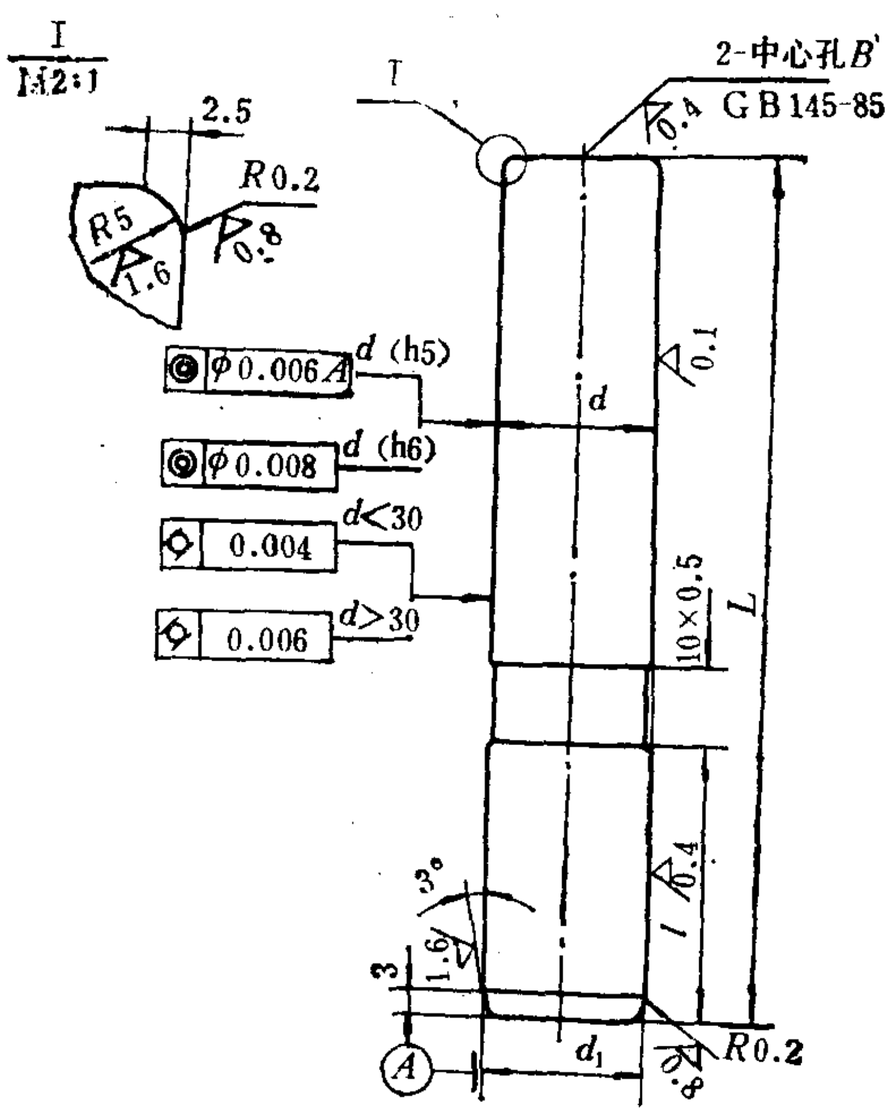
（四）导向零件

1. 滑动导柱、导套。滑动导柱的型式和尺寸见表 11-15，滑动导套的型式和尺寸见表 11-16。

表 11-15　滑动导柱型式和尺寸　　(mm)



A型



B型

			A型												
d	基本尺寸		16	18	20	22	25	28	32	35	40	45	50	55	60
	极限偏差	h5	20 −0.008		0 −0.009				0 −0.011					0 −0.013	
		h6	0 −0.011		0 −0.013				0 −0.016					0 −0.019	
L			90～110	90～130	100～130	100～150	110～180	130～200	150～210	160～230	180～260	200～290	200～300	220～320	250～320
			B型												
d	基本尺寸		16	18	20	22	25	28	32	35	40	45	50	55	60
	极限偏差	h5	0 −0.008		0 −0.009				0 −0.011					0 −0.013	
		h6	0 −0.011		0 −0.013				0 −0.016					0 −0.019	
d_1 (r6)	基本尺寸		16	18	20	22	25	28	32	35	40	45	50	55	60
	极限偏差		+0.034 +0.023		+0.041 +0.028				+0.050 +0.034					+0.060 +0.041	
L			90～110	90～130	100～130	100～150	110～180	130～200	150～210	160～230	180～260	200～290	200～300	220～320	250～320
l			25、30	25、30、40	30、35、40	30、35、40、45	35、40、45、50	40、45、50、55	45、50、55、60	50、55、60、65	55、60、65、70	60、65、70、75	60、65、70、75、80	65、70、75、80、90	70、90

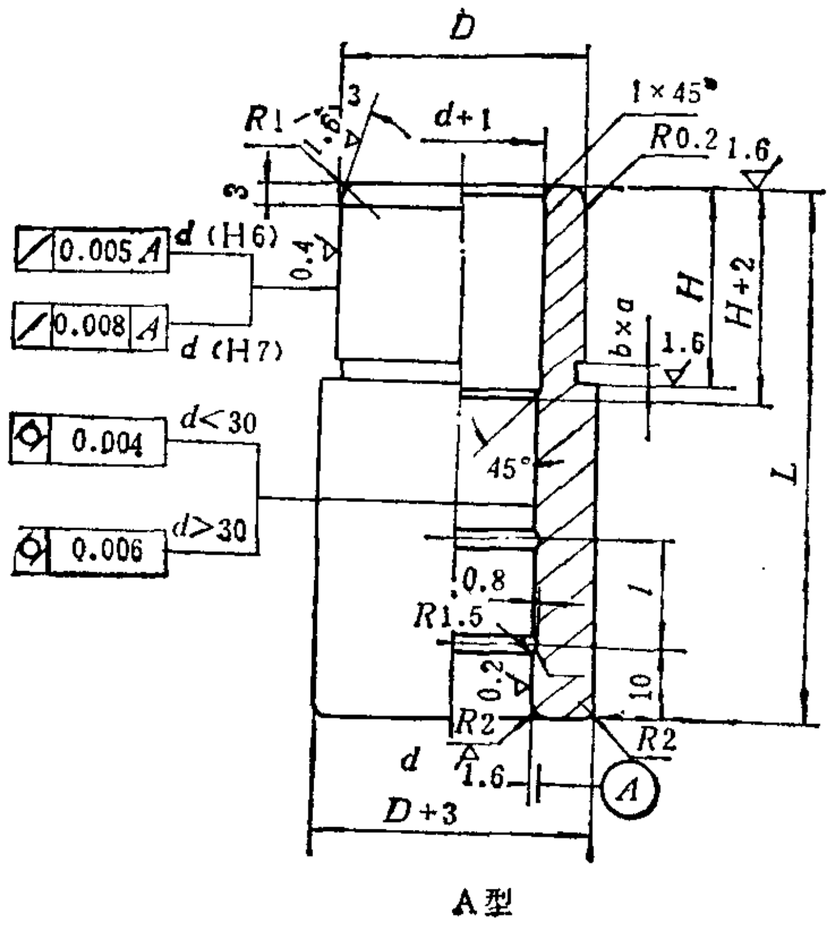
注：1. 导柱直径偏差为 h_6 时，表面粗糙度可为 1.6（▽6）。

2. 材料：20 钢

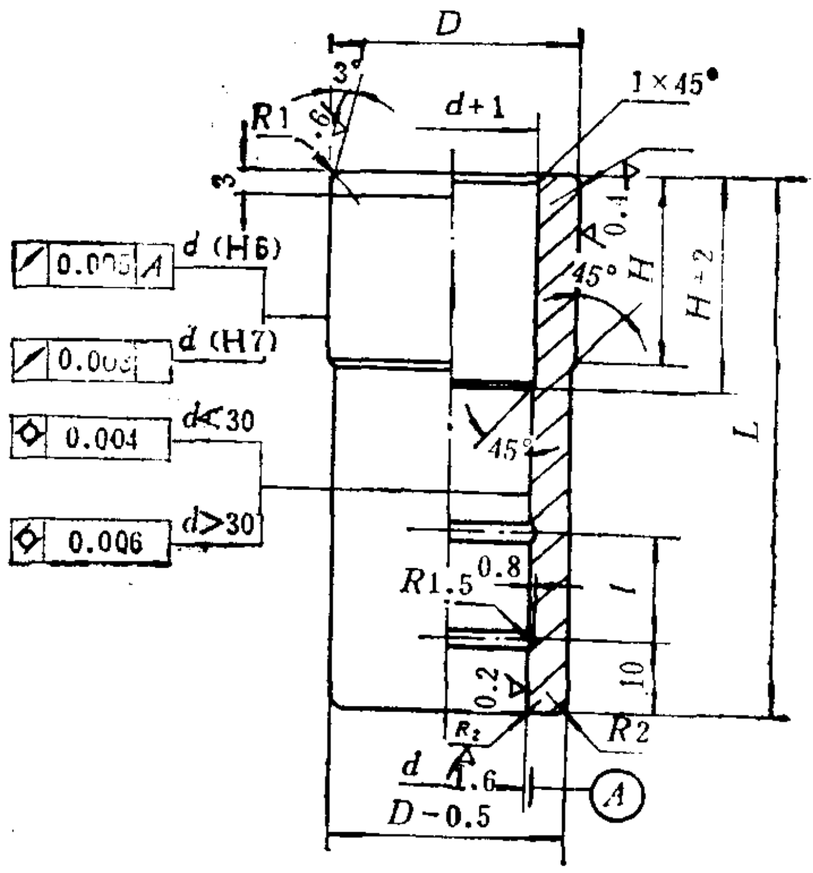
3. 热处理：渗碳深度 0.8～1.2，硬度 HRC 58～62。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-16　滑动导套型式和尺寸　(mm)



A型



B型

A型(GB2861.6—81)　　B型(GB2861.7—81)

基本尺寸			16	18	20	22	25	28	32	35	40	45	50	55	60
d	极限偏差	H_6	+0.011 0		+0.013 0				+0.016 0					+0.019 0	
		H_7	+0.018 0		+0.021 0				+0.025 0					+0.030 0	

基本尺寸		25	28	32	35	38	42	45	50	55	60	65	70	76
D (r6)	极限偏差	+0.041 +0.028		+0.050 +0.034						+0.060 +0.041			+0.062 +0.043	
L	A 型	60、65	60～70	65、70	65～85	80～95	85～110	100～115	105～125	115～140	125～150	125～160	150～170	160、170
	B 型	40～65	40～70	45～70	50～85	55～95	60～110	65～115	70～125	115～140	125～150	125～160	150～170	160、170
H	A 型	18、23	18～28	23、28	23～33	28～38	33～43	38～48	43、48	43～53	48～58	48～63	53～73	58、73
	B 型	18、23	18～28	23～28	25～38	27～38	30～43	30～48	33～48	43～53	48～58	48～63	53～73	58、73

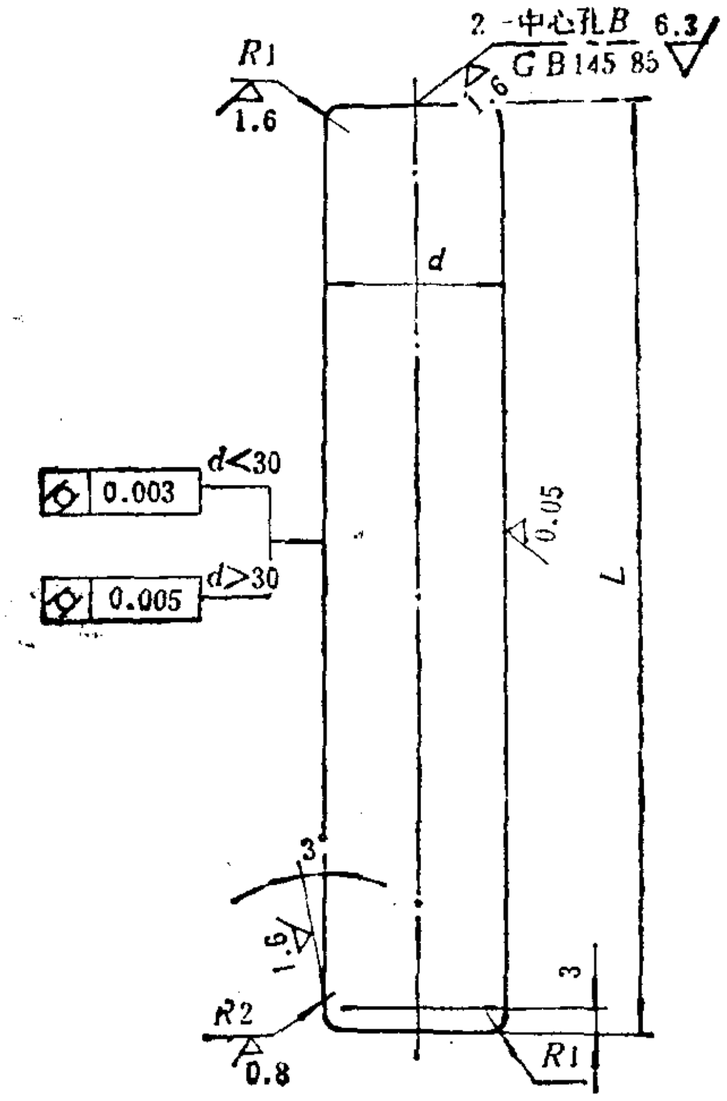
注：1.较大的 L 对应较大的 H，$l=8\sim25$，$b=2\sim4$，$a=0.5\sim1$，油槽数 2～3。
2.材料：20 钢。
3.热处理：渗碳深度 0.8～1.2，硬度 HRC58～62。

2. 滚动导柱、导套及钢球保持圈。滚动导柱和导套的尺寸见表 11-17 和表 11-18。钢球保持圈的尺寸见表 11-19。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-17　滚动导柱尺寸（GB2861.3—81）

（mm）



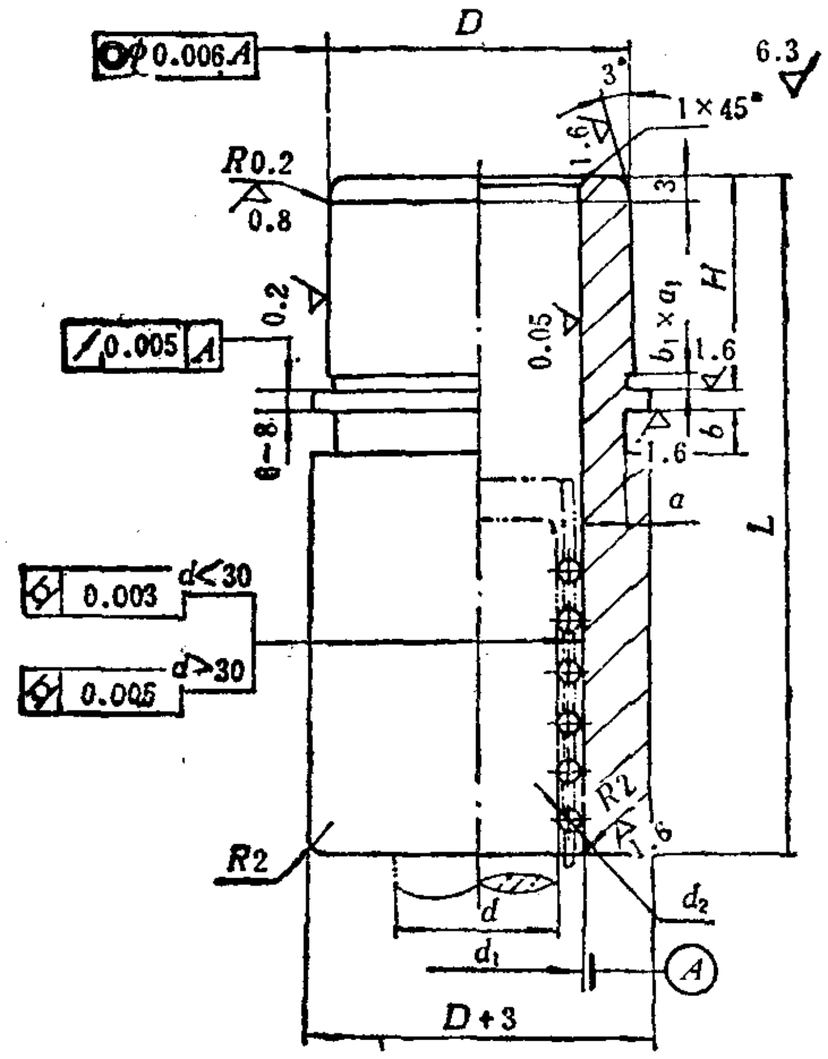
d (h5)	基本尺寸	18	20	22	25		28				32	35
	极限偏差	0 −0.009									0 −0.011	
L		160	155	160	190	195	155	160	190	195	215	195	215	195	215

注：1.材料：GCr15。

2.热处理：硬度 HRC62～66。

表 11-18　滚动导套尺寸（GB2861.8—81）

（mm）



http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-18

d		18	20	22	25		28				32				35	
L		100			120	100	105	125	100	105	120	125	145	120	125	145	150	120	150
H		33			38				43			48	43		48				
d_1		24	26	28	31	33			36				40					43	
d_2		3			4														
D (m5)	基本尺寸	38	40	42	45	48			50				55					58	
	极限偏差	+0.020 +0.009											+0.024 +0.011						

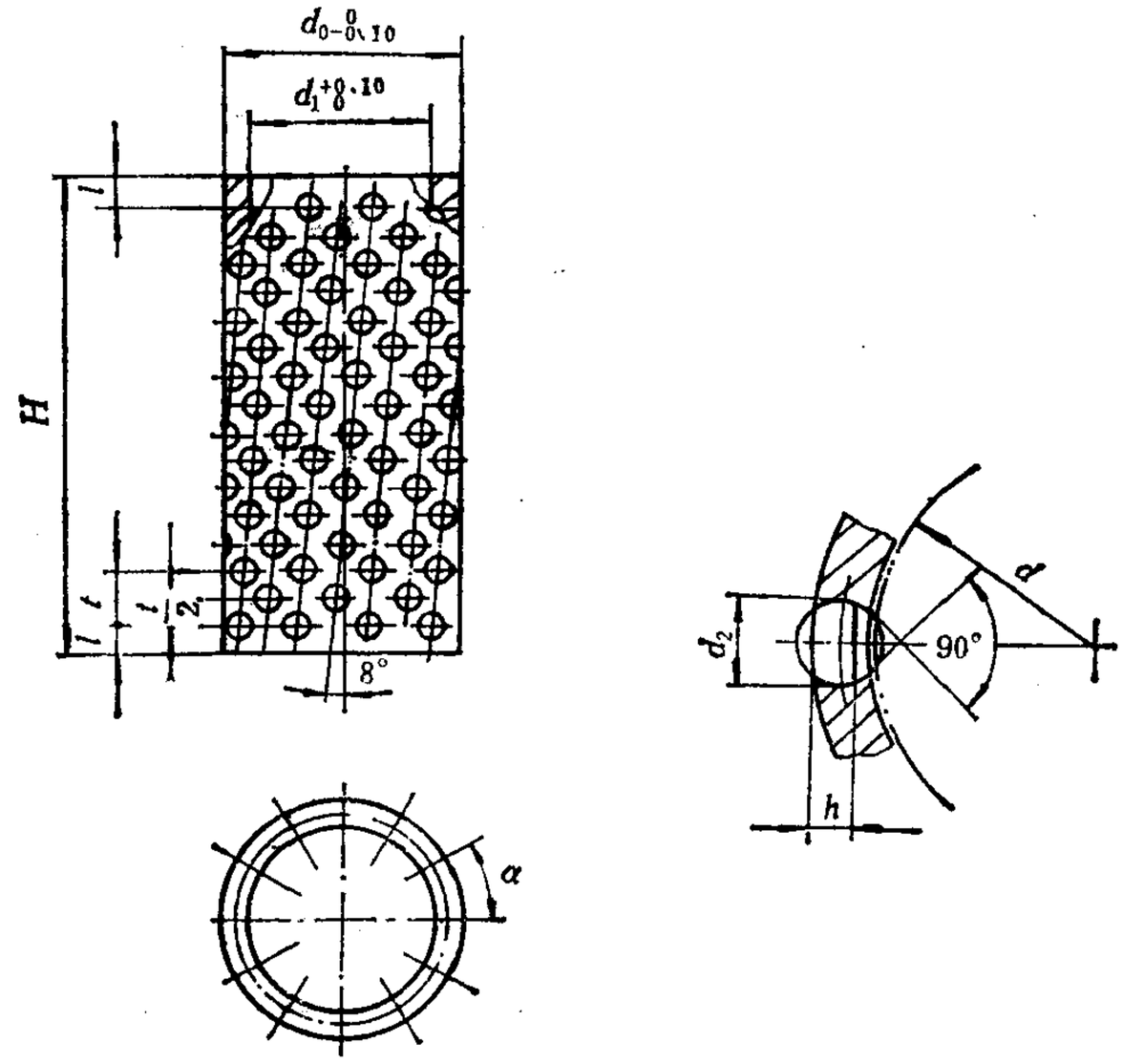
注：1. d_1 的配合要求应保证滚动导柱、钢球组装后具有 0.01～0.02 mm 的径向过盈量。

2. $b_1 = 3 \sim 4$，$a_1 = 1$，$b = 5 \sim 6$，$a = 3 \sim 3.5$。

3. 材料：GCr15。

4. 热处理：硬度 HRC62～66。

表 11-19　钢球保持圈尺寸（GB2861.10—81）　　(mm)



d	18	20	22	25		28			32		35	
d_0	23.5	25.5	27.5	30.5	32.5	35.5			39.5		42	
d_1	18.5	20.5	22.5	25.5		28.5			32.5		35.5	
H	64			76		64	76	84	76	84	76	84
α	40°	36°	30°	40°		36°			30°			
d_2	3.1			4.1								
l	3.5			4								
t	6			8								
h	1.8			2.5								

注：材料：LY11、H62。

（五）模架与模座

1. 滑动导向的中间、后侧及对角导柱模架结构型式和规格，分别见图 11-1 和表 11-20。又其下模座的轮廓尺寸见表 11-21～11-24（符号对照图 11-1）。

http://shop62964869.taobao.com/

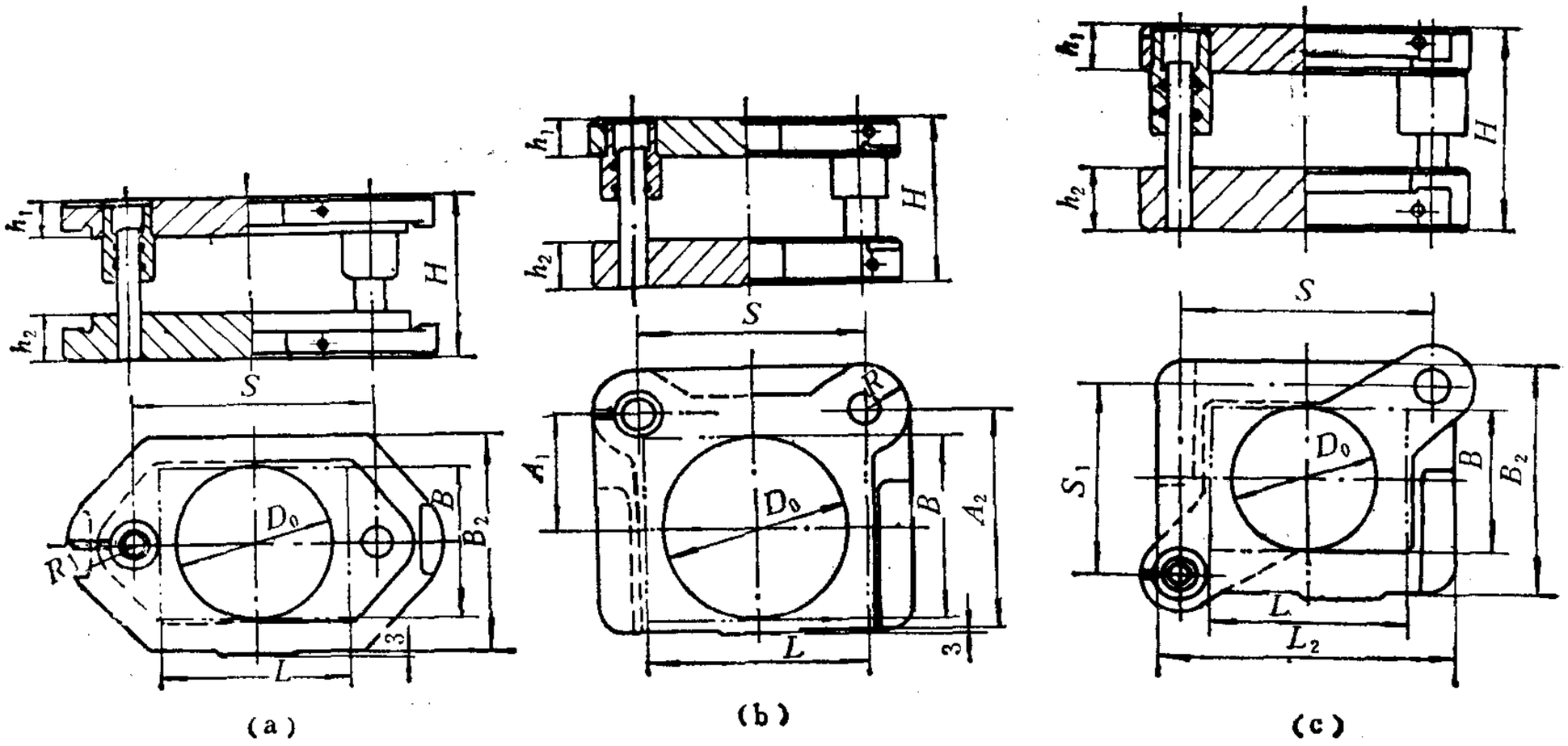


图 11-1　滑动导向模架结构型式

a）中间导柱模架（GB 2851.5—81）

b）后侧导柱模架（GB 2851.3—81）

c）对角导柱模架（A 型 GB 2851.1—81，B 型 GB 2851.2—81）

表 11-20　中间、后侧及对角导柱的模架规格　　(mm)

L		63				63				80				100			
B		50				63											
D_0						63											
H	最大	115	125	130	140	115	125	130	140	130	150	145	165	130	150	145	165
	最小	100	110	110	120	100	110	110	120	110	130	120	140	110	130	120	140
h_1		20		25		20		25		25		30		25		30	
h_2		25		30		25		30		30		40		30		40	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A 型																
	B 型																

L		80				100				125				(140)			
B		80															
D_0		80															
H	最大	130	150	145	165	130	150	145	165	130	150	145	165	150	165	170	190
	最小	110	130	120	140	110	130	120	140	110	130	120	140	120	140	140	160
h_1		25		30		25		30		25		30		30		35	
h_2		30		40		30		40		30		40		35		45	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A 型																
	B 型																

http://shop62964869.taobao.com/

续表 19-20

L		100				125				(140)				160			
B		100															
D_0		100															
H	最大	130	150	145	165	150	165	170	190	150	165	170	190	170	190	195	225
	最小	110	130	120	140	120	140	140	160	120	140	140	160	140	160	160	190
h_1		25		30		30		35		30		35		35		40	
h_2		30		40		35		45		35		45		40		50	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A 型																
	B 型																

L		200				125				(140)				160			
B		100				125											
D_0						125											
H	最大	170	190	195	225	150	165	170	190	170	190	195	225	170	190	205	225
	最小	140	160	160	190	120	140	140	160	140	160	160	190	140	160	170	190
h_1		35		40		30		35		35		40		35		40	
h_2		40		50		35		45		40		50		40		50	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A 型																
	B 型																

L		200				250				(140)				160			
B		125								(140)							
D_0										(140)							
H	最大	170	190	205	225	200	220	235	255	170	190	205	225	170	190	205	225
	最小	140	160	170	190	160	180	190	210	140	160	170	190	140	160	170	190
h_1		35		40		40		45		35		40		35		40	
h_2		40		50		45		55		40		50		40		50	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A 型																
	B 型																

http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-20

L		200				250				160				200			
B		(140)								160							
D_0										160							
H	最大	200	220	235	255	200	220	235	255	200	220	235	255	200	220	235	255
	最小	160	180	190	210	160	180	190	210	160	180	190	210	160	180	190	210
h_1		40		45		40		45		40		45		40		45	
h_2		45		55		45		55		45		55		45		55	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A型																
	B型																

L		250				(280)				200				250			
B		160								200							
D_0										200							
H	最大	210	240	245	265	210	240	245	265	210	240	245	265	210	240	245	265
	最小	170	200	200	220	170	200	200	220	170	200	200	220	170	200	200	220
h_1		45		50		45		50		45		50		45		50	
h_2		50		60		50		60		50		60		50		60	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A型																
	B型																

L		(280)				315				250				(280)			
B		200								250							
D_0										250							
H	最大	230	260	255	285	230	260	255	285	230	260	255	285	230	260	255	285
	最小	190	220	210	240	190	220	210	240	190	220	210	240	190	220	210	240
h_1		45		50		45		50		45		50		45		50	
h_2		55		65		55		65		55		65		55		65	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A型																
	B型																

http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-20

L		315				400				(280)				315			
B		250								(280)							
D_0										(280)							
H	最大	250	280	290	320	250	280	290	320	250	280	290	320	250	280	290	320
	最小	215	245	245	275	215	245	245	275	215	245	245	275	215	245	245	275
h_1		50		55		50		55		50		55		50		55	
h_2		60		70		60		70		60		70		60		70	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A 型																
	B 型																

L		400				315				400				500			
B		(280)				315											
D_0						315											
H	最大	250	280	290	320	250	280	290	320	290	315	320	350	290	315	320	350
	最小	215	245	245	275	215	245	245	275	245	275	275	305	245	275	275	305
h_1		50		55		50		55		55		60		55		60	
h_2		60		70		60		70		65		75		65		75	
中间导柱																	
后侧导柱																	
对角导柱	A 型																
	B 型																

L		400				630				500			
B		400								500			
D_0		400								500			
H	最大	290	315	320	350	280	305	310	340	300	325	330	360
	最小	245	275	275	305	240	270	270	300	260	290	290	320
h_1		55		60		55		65		55		65	
h_2		65		75		65		80		65		80	
中间导柱													
后侧导柱													
对角导柱	A 型												
	B 型												

注：横线表示有此规格。括号内的尺寸不推荐使用。A 型对角导柱模架中心距大于 B 型中心距。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-21　中间导柱模架下模座轮廓尺寸（GB2855.10—81）　　（mm）

L	63	63	80	100	80	100	125	(140)	100	125	(140)	160	200	125
B	50	63			80				100					125
S	100	100	120	140	125	145	170	185	145	170	185	210	250	170
R_1	44		55		60			68	60	68		75		68
B_2	92	102	116		140			150	160	170		176		190
L	(140)	160	200	250	(140)	160	200	250	160	200	250	(280)	200	250
B	125				(140)				160				200	
S	190	210	250	305	190	210	255	305	215	255	310	340	260	310
R_1	75			80	75		80			85				
B_2	196			200	216		220		240				280	
L	(280)	315	250	(280)	315	400	(280)	315	400	315	400	500	400	630	500
B	200		250				(280)			315			400		500
S	345	380	315	345	385	470	350	385	470	390	475	575	475	710	580
R_1	95				105					115				125	
B_2	290		340		350		380			425			510	520	620

注　表 1-233～1-239 的模座材料为 HT 20-40、ZG 45、QT 40-17。

表 11-22　后侧导柱模架下模座轮廓尺寸（GB2855.6—81）　　（mm）

L	63	63	80	100	80	100	125	(140)	100	125	(140)	160	200	125	(140)	160	200	250
B	50	63			80				100					125				
S	70	70	94	116	94	116	130	150	116	130	150	170	210	130	150	170	210	250
R	25		28		32			35	32	35		38		35	38			42
A_1	45	50			65				75					85				
A_2	75	85			110				130					150				
L	(140)	160	200	250	160	200	250	(280)	200	250	(280)	315	250	(280)	315	400	(280)	315	400
B	(140)				160				200				250				(280)		
S	150	170	210	250	170	210	250	280	210	250	280	305	250	280	305	390	280	305	390
R	38		42			45			50				55						
A_1	95				110				130				160				175		
A_1	170				195				235				290				320		

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-23　A 型对角导柱模架下模座轮廓尺寸（GB2855.2—81）　　（mm）

L	63	63	80	100	80	100	125	(140)	100	125	(140)	160	200	125
B	50	63			80				100					125
L_2	125	130	130	170	150	170	200	220	180	200	220	240	280	200
B_2	110	120	130		150				180					200
S	100		120	140	125	145	170	185	145	170	185	210	250	170
S_1	85	95	105		125			130	145			150		175

L	(140)	160	200	250	(140)	160	200	250	160	200	250	(280)	200	250
B	125				(140)				160				200	
L_2	220	250	290	340	230	250	290	340	270	310	360	390	320	370
B_2	200				230				270				320	
S	190	210	250	305	190	210	255	305	215	255	310	340	260	310
S_1	175			180	190		195		215		220		260	

L	(280)	315	250	(280)	315	400	(280)	315	400	315	400	500	400	630	500
B	200		250				(280)			315			400		500
L_2	400	435	380	410	455	540	420	455	540	465	550	655	560	785	655
B_2	320		380				420			465			560	570	670
S	345	380	315	345	385	470	350	385	470	390	475	575	475	710	580
S_1	265		315		320		350			390			475	480	580

表 11-24　B 型对角导柱模架下模座轮廓尺寸（GB2855.4—81）　　（mm）

L	63	63	80	100	80	100	125	(140)	100	125	(140)	160	200
B	50	63			80				100				
L_2	115		140	160	150	170	190	215	170	195	215	240	280
B_2	100	120			140				170				
S	63	63	80	100	80	100	125	140	100	125	140	160	200
S_1	85	95	105		125				145			150	

L	125	(140)	160	200	250	(140)	160	200	250	160	200	250	(280)
B	125					(140)				160			
L_2	195	220	240	280	340	220	240	290	340	250	290	350	380
B_2	190					210				240			
S	125	140	160	200	250	140	160	200	250	160	200	250	280
S_1	170	175			180	190		195		215		220	

http://shop62964869.taobao.com/

2. 后侧导柱窄形模架见图 11-2 和表 11-25。

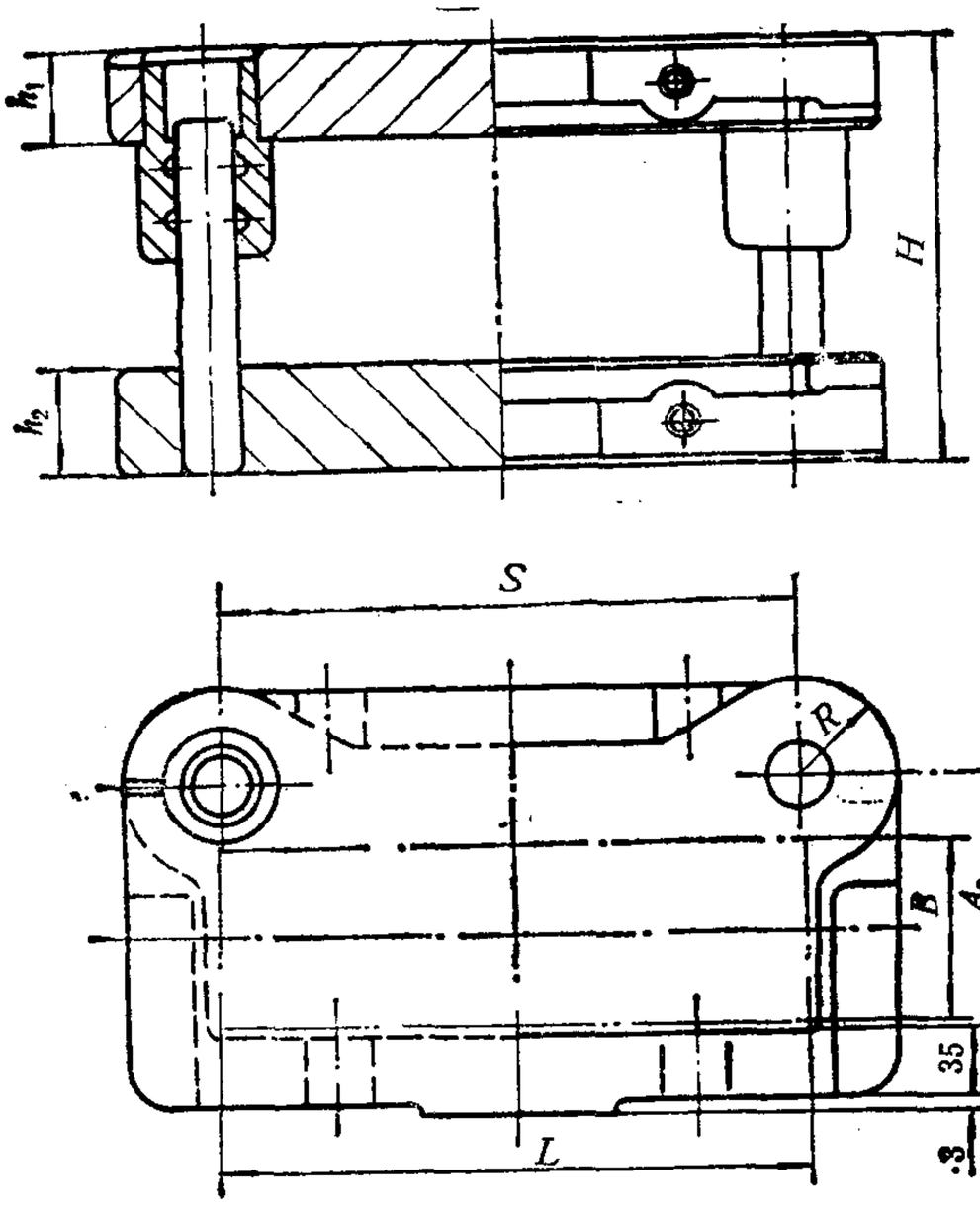


图 11-2　后侧导柱窄形模架

表 11-25　后侧导柱窄形模架规格（GB2851.4—81）　(mm)

GB2851.4—81	L		250		315		315		400		355		500	
	B		80				100				125			
	H	最大	210	240	210	240	245	265	245	265	245	265	255	285
		最小	170	200	170	200	200	220	200	220	200	220	210	240
	h_1		45				45		50		50			
	h_2		50				55		60		60		65	
GB2855.8—81	S		240		305		305		380		345		480	
	R		45		50				55				60	
	A_2		115		120		135		140		160		165	
GB2851.4—81	L		450		560		500		710		630		800	
	B		(140)				160				200			
	H	最大	255	285	255	285	290	320	290	320	320	350	320	350
		最小	210	240	210	240	245	275	245	275	275	305	275	305
	h_1		50				55				60			
	h_2		65				70				75			
GB2855.8—81	S		430		540		480		680		610		770	
	R		60				65				70			
	A_2		185				205				250			

http://shop62964869.taobao.com/

3. 四导柱模架见图 11-3 和表 11-26。

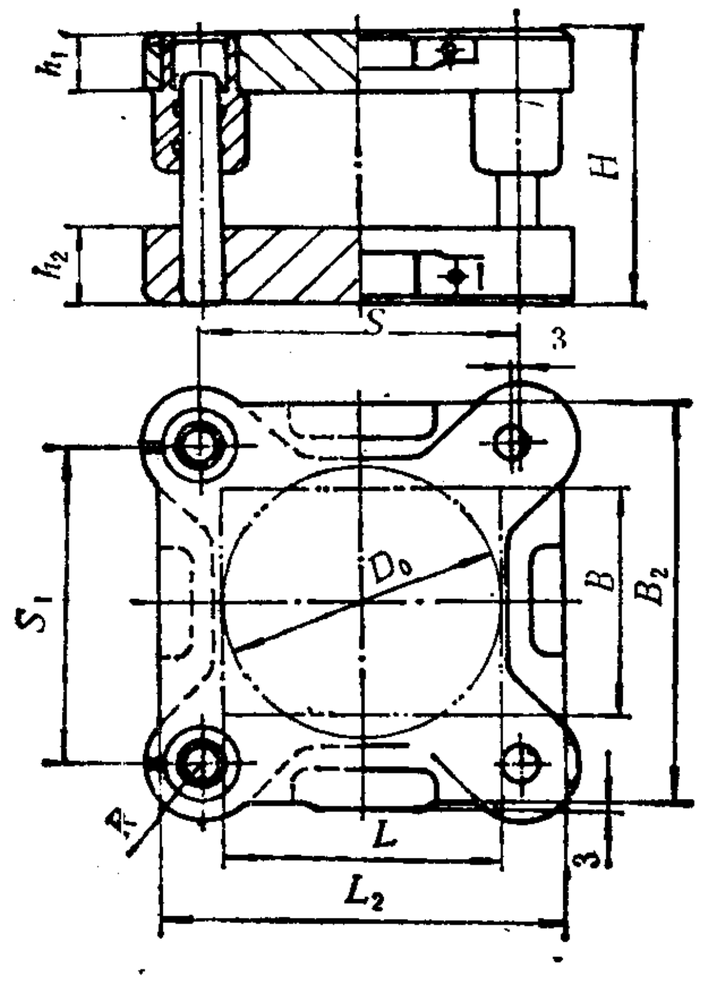


图 11-3　四导柱模架

表 11-26　四导柱模架规格（GB2851.7—81）　(mm)

GB2851.7—81	L		160				200								250		
	B		(140)								160						
	D_0		160								200						
	H	最大	170	190	205	225	200	220	235	255	200	220	235	255	210	240	245	265
		最小	140	160	170	190	160	180	190	210	160	180	190	210	170	200	200	220
	h_1		35		40		40		45		40		45		45		50	
	h_2		40		50		45		55		45		55		50		60	
GB2855.14—81	L_2		240				290								340		
	B_2		250								280						
	S		175				220								265		
	S_1		190								215						
	R		38				42								45		

http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-26

GB2851.7—81	L		250				(280)						315					
	B		200				250											
	D_0		250				(280)											
	H	最大	210	240	245	265	230	260	255	285	230	260	255	285	250	280	290	320
		最小	170	200	200	220	190	220	210	240	190	220	210	240	215	245	245	275
	h_1		45		50		45		50		45		50		50		55	
	h_2		50	60			55	65			55	65			60	70		
GB2855.14—81	L_2		340				380						425					
	B_2		330				400											
	S		265				300						340					
	S_1		260				315											
	R		45				50						55					
GB2851.7—81	L		400				315				400				500			
	B		250				(280)											
	D_0						315											
	H	最大	250	280	290	320	250	280	290	320	250	280	290	320	290	315	320	350
		最小	215	245	245	275	215	245	245	275	215	245	245	275	245	275	275	305
	h_1		50		55		50		55		50		55		55		60	
	h_2		60		70		60		70		60		70		65		75	
GB2855.14—81	L_2		500				425				500				610			
	B_2		400				440											
	S		410				340				410				510			
	S_1		315				350											
	R		55												60			

http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-26

GB2851.7—81	L		400				500				630				500				630			
	B		315												400							
	D_0																					
	H	最大	290	315	320	350	290	315	320	350	300	325	330	360	300	325	330	360	300	325	330	360
		最小	245	275	275	305	245	275	275	305	260	290	290	320	260	290	290	320	260	290	290	320
	h_1		55		60		55		60		55		65		55		65		55		65	
	h_2		65	75			65	75			65	80			65	80			65	80		
GB2855.14—81	L_2		510				610				750				620				750			
	B_2		495												590							
	S		410				510				640				510				640			
	S_1		390												480							
	R		60								65											

注：后侧导柱中心距为 $(S-3)$ mm。

4. 滚动导向中间导柱模架见图 11-14 和表 11-27。

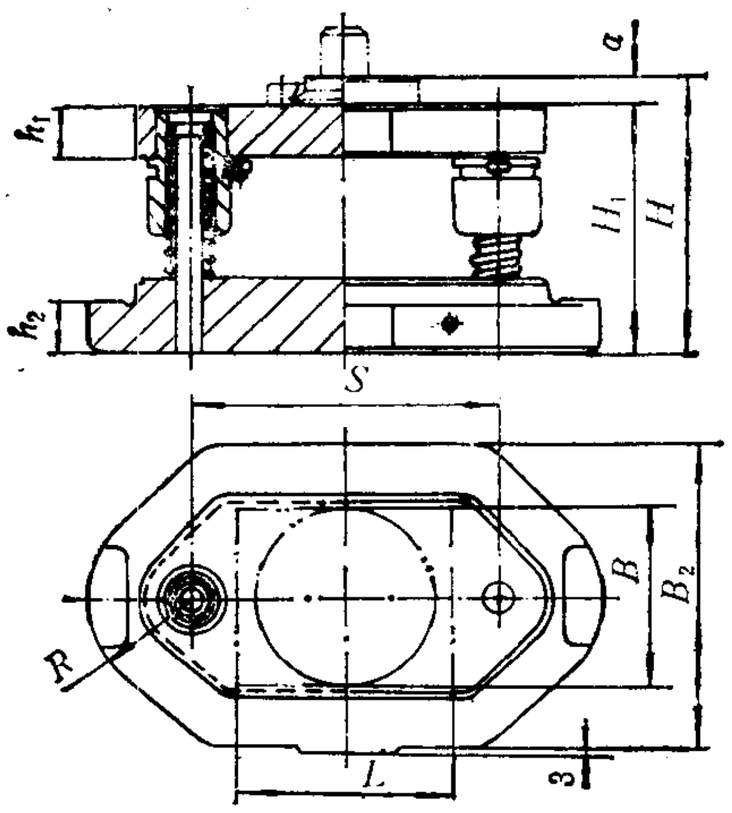


图 11-4　滚动导向中间导柱模架

表 11-27　滚动导向中间导柱模架规格（GB2852.1—81）　(mm)

L	80	100	125	(140)		160		200		250	
B	63	80	100	125		(140)		160		200	
S	80				100	80	100		120	100	120
H_1	165				200	165	200		220	200	230
a	15				15～20	15	15～20				
h_1	35		35	40		40	40	45		50	
h_2	40		45	45		40	50	55		60	

http://shop62964869.taobao.com/

5. 滚动导向四导柱模架见图 11-5 和表 11-28。

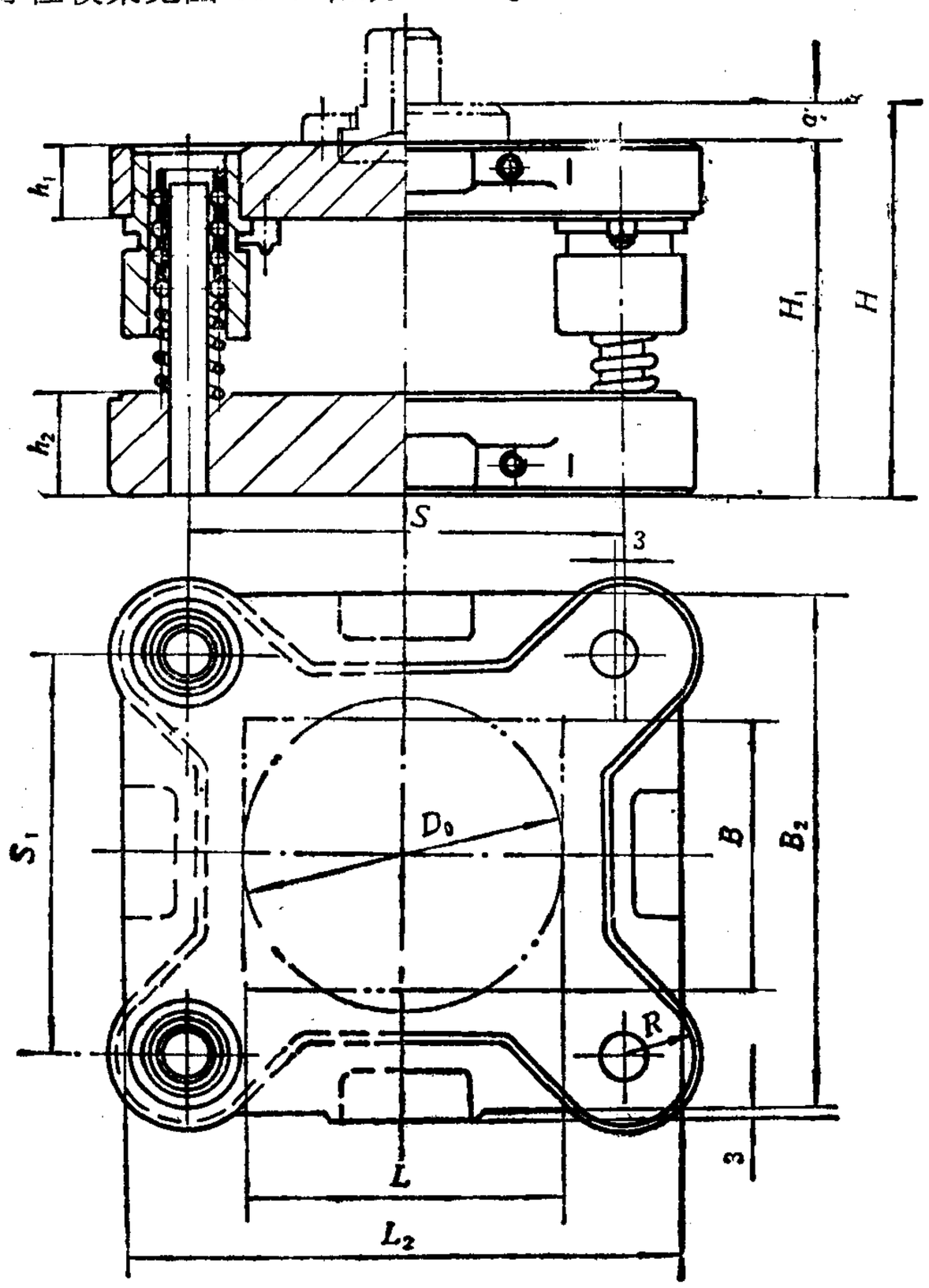


图 11-5　滚动导向四导柱模架

表 11-28　滚动导向四导柱模架规格（GB2852.3—81）　（mm）

GB2852.3—81	L	(140)		160		200			250				(280)			
	B	125				(140)			160				200			
	D_0	(140)				160			200				250			
	S_m	80	100	80	100	80	100	120	100	120	100	120	100	120	100	120
	H_1	165	200	165	200	165	200	220	200	220	200	230	200	230	200	230
	a	15	15～20	15	15～20	15	15～20									
	h_1	40				45			50							
	h_2	45		50		45		50	55				60			
GB2856.6—81	L_2	230		250		305			360				390			
	B_2	230			260	275		295	310			350				
	S	185				230			280				310			
	S_1	180			195	200		220	230			270				
	R	40				45			50							

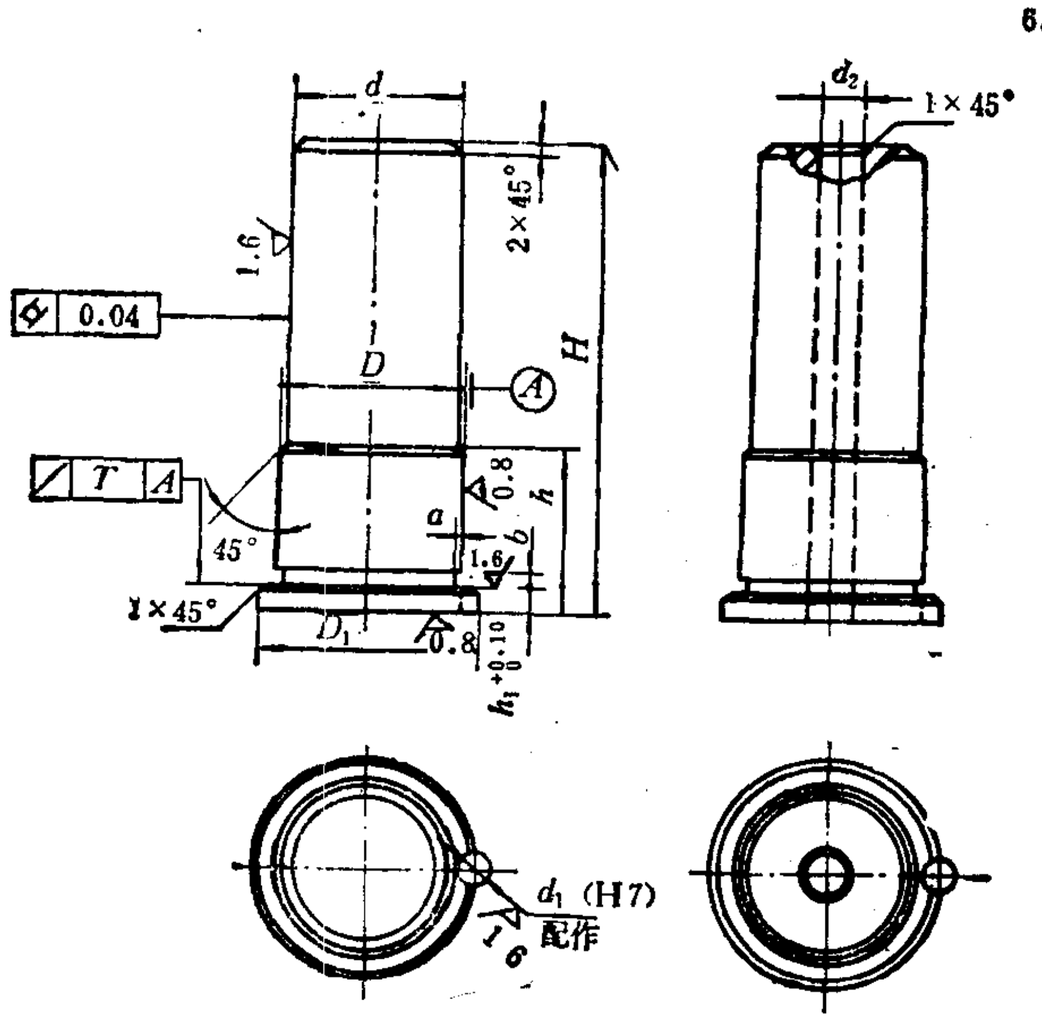
注：1.后侧导柱中心距为（$S-3$）mm。　2．S_m 为模架许可最大冲压行程。

http://shop62964869.taobao.com/

（六）模柄

1. 压入式模柄型式和尺寸见表 11-29

表 11-29　压入式模柄型式和尺寸（GB2862.1—81）　　（mm）



		A型							B型									
d (d11)	基本尺寸	20			25				30				32				35	
	极限偏差	−0.065 −0.195											−0.080 −0.240					
D (m6)	基本尺寸	22			26				32				34				38	
	极限偏差	+0.021 +0.008							+0.025 +0.009									
D_1		29			33				39				42				46	
H		68	73	78	68	73	78	83	73	78	83	88	73	78	83	88	85	90
h		20	25	30	20	25	30	35	25	30	35	40	25	30	35	40	25	30
h_1		4							5								6	
b		2											3					
a		0.5											1					
d_1		6																
d_2		7							11								13	

d (d11)	基本尺寸	35			38				40				50					
	极限偏差	−0.080 −0.240																
D (m6)	基本尺寸	38			40				42				52					
	极限偏差	+0.025 +0.009											+0.030 +0.011					
D_1		46			48				50				61					
H		95	100	105	90	95	100	105	110	90	95	100	105	110	95	100	105	110
h		35	40	45	30	35	40	45	50	30	35	40	45	50	35	40	45	50
h_1		6													8			
b		3																
a		1																
d_1		6													8			
d_2		13													17			

http://shop62964869.taobao.com/

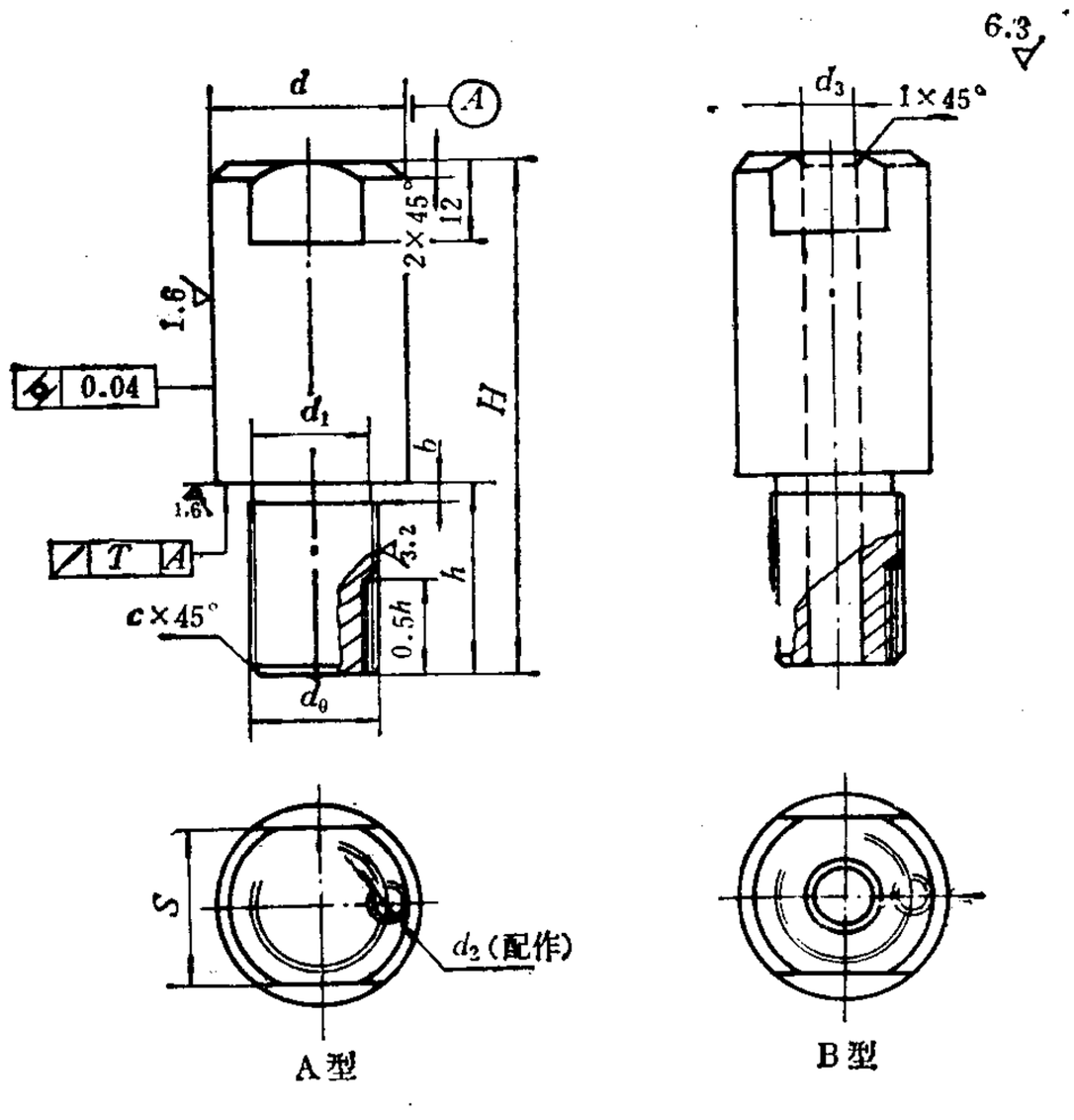
续表 11-29

d (d11)	基本尺寸	50	60							76									
	极限偏差	−0.080 −0.240	−0.100 −0.290																
D (m6)	基本尺寸	52	62							78									
	极限偏差	+0.030 +0.011																	
D_1		61	71							89									
H		115	120	110	115	120	125	130	135	140	123	128	133	138	143	148	153	158	
h		55	60	40	45	50	55	60	65	70	45	50	55	60	65	70	75	80	
h_1		8									10								
b		3	4																
a		1																	
d_1		8									10								
d_2		17									21								

注：材料：A3、A5。

2. 旋入式模柄型式和尺寸见表 11-30。

表 11-30　旋入式模柄模式和尺寸（GB2862.2—81）　　（mm）



d (d11)	基本尺寸	20	25		30			32			35							38	
	极限偏差	−0.065 −0.195						−0.080 −0.240											
d_0		M18 × 1.5			M20 × 1.5						M24 × 2								
H		64	68	73	68	73	78	73	78	83	73	78	83	85	90	95	100	90	
h		16	20	25	20	25	30	25	30	35	25	30	35	25	30	35	40	30	
s (h13)	基本尺寸	17			19			24			27			30					
	极限偏差	0 −0.270			0 −0.330														
d_1		16.5			18.5						21.5								
d_3		7			11						13								
d_2		M6																	
b		2.5									3.5								
c		1									1.5								

http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-30

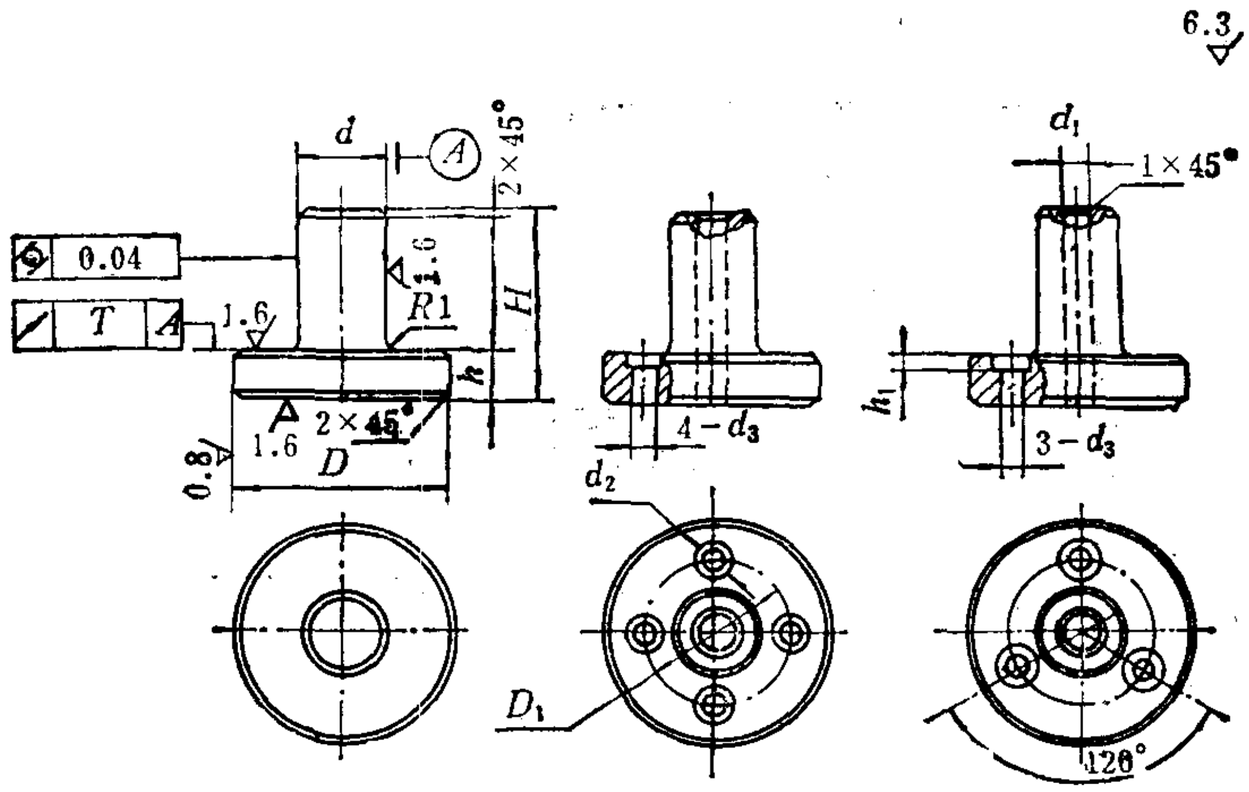
d (d11)	基本尺寸	38			40				50				60			
	极限偏差	−0.080 −0.240											−0.100 −0.290			
d_0		M30 × 2							M42 × 3							
H		95	100	105	90	95	100	105	95	100	105	110	110	115	120	125	130
h		35	40	45	30	35	40	45	35	40	45	50	40	45	50	55	60
s (h13)	基本尺寸	32							41				50				
	极限偏差	0 −0.390															
d_1		27.5							38.5								
d_3		13							17								
d_2		M6							M8								
b		3.5							4.5								
c		1.5							2								

注：1. 螺纹基本尺寸按 GB196-81《普通螺纹基本尺寸》，公差按 GB197-81《普通螺纹螺纹公差》II 级精度。

2. 材料： A3、A5。

3. 凸缘式模柄型式和尺寸见表 11-31。

表 11-31 凸缘式模柄型式和尺寸 (GB2862.3—81) (mm,



(A) (B) (C)

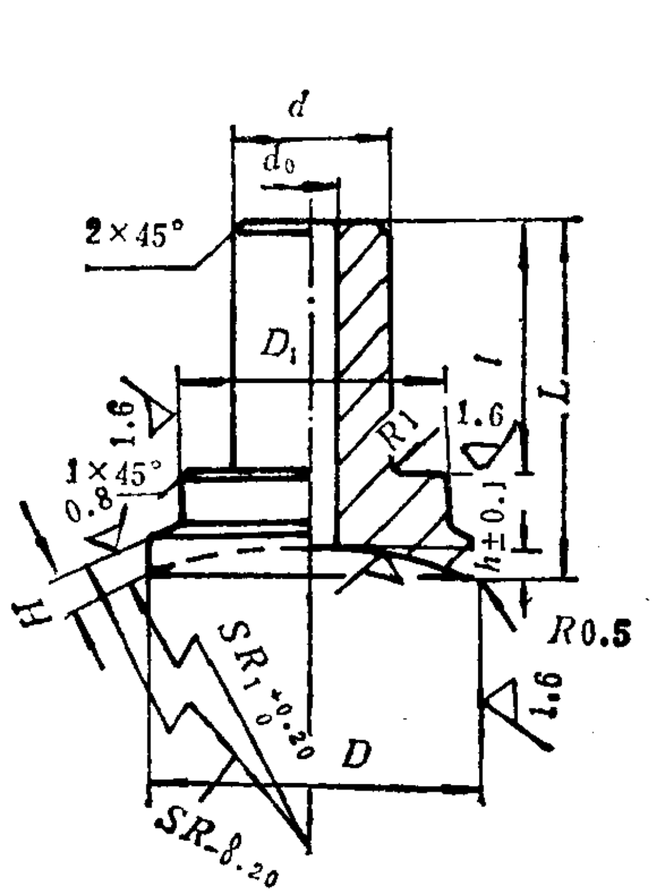
d (d11)	基本尺寸	30	40	50	60	70	
	极限偏差	−0.065 −0.195	−0.080 −0.240		−0.100 −0.290		
D (h6)	基本尺寸	75	85	100	115	136	
	极限偏差	0 −0.019	0 −0.022			0 −0.025	
H		64	78		90	98	
h		16	18		20	22	
d_1		11	13	17		21	
D_1		52	62	72	87	102	
d_3		9	11		13.5		
d_2		15	18		22		
h_1		9	11		13		

注：材料： A3、A5。

http://shop62964869.taobao.com/

4. 凹球面模柄尺寸(浮动模柄组件之一)见表 11-32。

表 11-32　凹球面模柄尺寸 (GB2862.6—81)　　(mm)

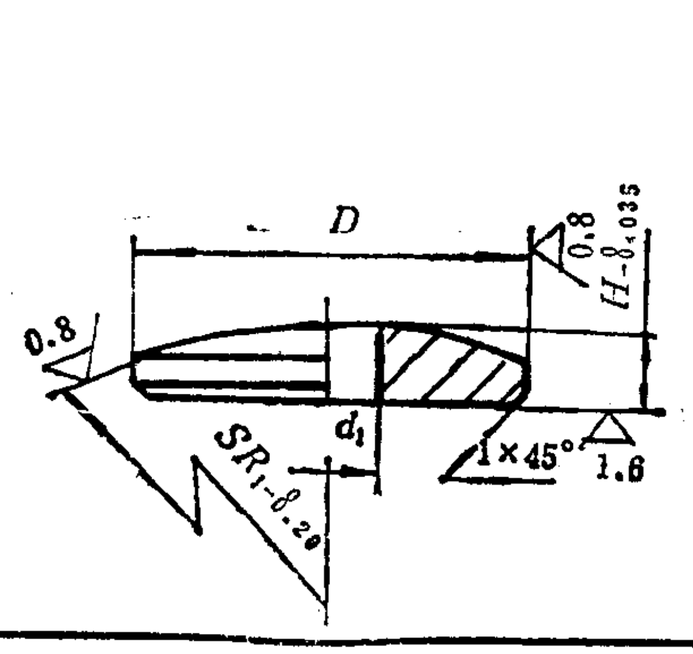


d (d11)	基本尺寸	25		30				40					50					
	极限偏差	0.065 0.195						0.080 0.240										
D		44	48	53	63	73	83	63	73	83	93	103	83	93	103	113	118	128
D_1		34	36	41	51	61	67	51	61	67	77	87	67	77	87	97	98	108
L		64		67		68	69	79	80	81		83	81		83		85	
l		48						60										
h		3.5		4	4.5	5.5	6	4.5	5.5	6	6.5	7.5	6	6.5	7.5	8	8.5	9
球 R_1		69	74	82	102	122	135	102	122	135	155	170	135	155	170	190	193	213
球 R		75	80	90	110	130	145	110	130	145	165	180	145	165	180	200	205	225
H		6		8			10	8		10							12	
d_0		7		11				13					17					

注：1. 球 R_1 与凸球面垫块在摇摆旋转时，吻合面不小于 80%。
2. 材料：45 钢。
3. 热处理：淬火硬度 HRC 43～48。

5. 凸球面垫块尺寸(浮动模柄组件之一)见表 11-33。

表 11-33　凸球面垫块尺寸 (GB2862.6—81)　　(mm)



http://shop62964869.taobao.com/

续表 11-33

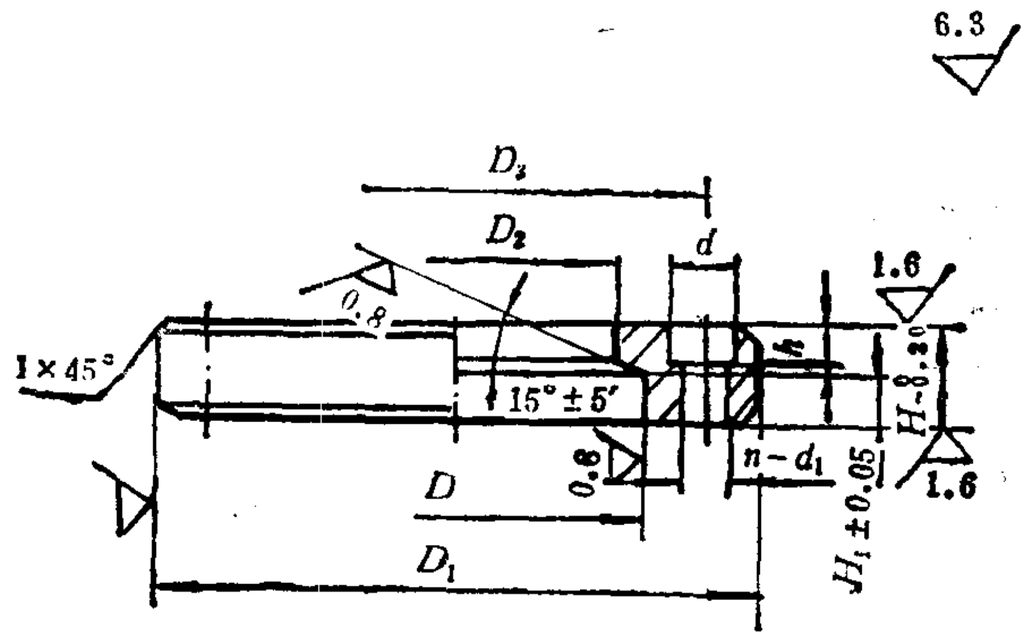
D (g6)	基本尺寸	46	50	55	65	75	85	95	105	115	120	130
	极限偏差	−0.009 −0.025		−0.010 −0.029			−0.012 −0.034					−0.014 −0.039
H		9	9.5	10	10.5	11	12	12.5	13.5	14	15	15.5
球 R_1		69	74	82	102	122	135	155	170	190	193	213
d_1		10		14			16			20		

注：1.材料：45 钢。

2.热处理：淬火硬度 HRC 43～48。

6. 锥面压圈尺寸(浮动模柄组件之一)见表 11-34。

表 11-34　锥面压圈尺寸（GB2862.6—81）　　(mm)



D_1 (j7)	基本尺寸	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	极限偏差	+0.018 −0.012		+0.020 −0.015			+0.022 −0.018						
H		16		20			22		24			26	
D (H7)	基本尺寸	46	50	55	65	75	85	95	105	115	120	130	
	极限偏差	+0.025 0		+0.030 0			+0.035 0					+0.040 0	
H_1		8.5	8.3	10.9	10.7	10.6	12.8	12.6	12.8	12.7	15.2	15.1	
D_2		36	38	43	53	63	69	79	89	99	100	110	
D_3		55	65	72	82	92	102	107	117	127	137	145	155
d_1		6.6		9			11				13.5		
d		12		15			18				22		
h		7		9			11				13		
n		4		6									

注：1.材料：45 钢。

2.热处理：淬火硬度 HRC 43～48。

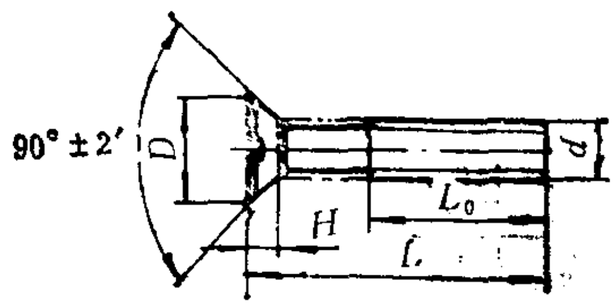
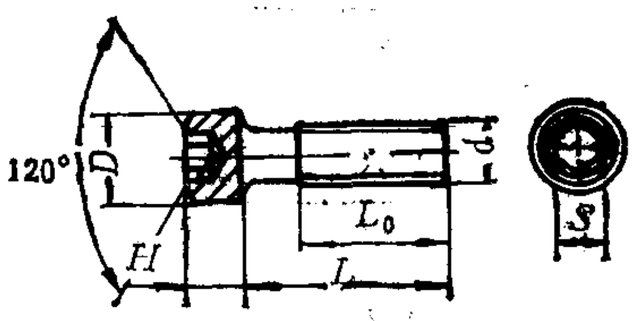
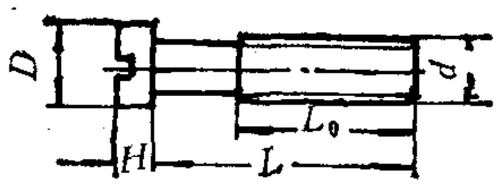
（七）紧固连接件

1. 螺钉的主要结构尺寸见表 11-35。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-35　螺钉的主要结构尺寸

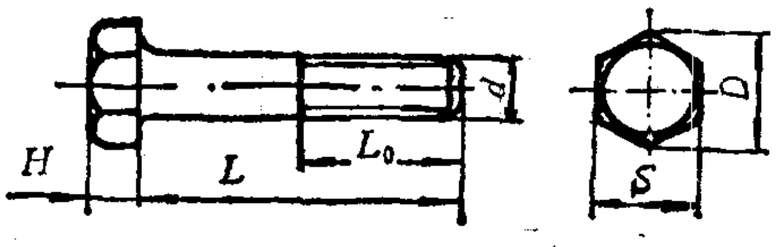
(mm)

类型	简图	主要尺寸						常用长度系列
圆柱头螺钉 (GB 65—76)		d	3	4	5	6	8	3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30,35
		D	5	7	8.5	10	12.5	
		H	1.9	2.5	3	3.5	5	
		$\frac{L}{L_0}$ (包括螺尾)	$\frac{3\sim22}{L_0=L}$ $\frac{25\sim80}{20}$	$\frac{4\sim25}{L_0=L}$ $\frac{28\sim80}{20}$	$\frac{5\sim28}{L_0=L}$ $\frac{30\sim80}{25}$	$\frac{8\sim30}{L_0=L}$ $\frac{32\sim80}{25}$	$\frac{10\sim32}{L_0=L}$ $\frac{35\sim80}{30}$	
沉头螺钉 (GB 68—76)		d	3	4	5	6	8	3,4,5,6,8,10,12,16,20,25,30,35
		D	6	7.5	9	11	15	
		H	1.7	2	2.5	3	4	
		$\frac{L}{L_0}$ (包括螺尾)	$\frac{4\sim22}{L_0=L}$ $\frac{25\sim28}{20}$	$\frac{6\sim25}{L_0=L}$ $\frac{28\sim80}{20}$	$\frac{8\sim28}{L_0=L}$ $\frac{30\sim80}{25}$	$\frac{10\sim30}{L_0=L}$ $\frac{32\sim80}{25}$	$\frac{14\sim32}{L_0=L}$ $\frac{35\sim80}{30}$	
圆柱头内六角螺钉 (GB 70—76)		d	4	5	6	8	10	8,10,12,16,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100
		D	7	8.5	10	12.5	15	
		H	4	5	6	8	10	
		S	3	4	5	6	8	
		$\frac{L}{L_0}$ (包括螺尾)	$\frac{8\sim16}{L_0=L}$ $\frac{18\sim40}{12}$	$\frac{10\sim16}{L_0=L}$ $\frac{18\sim50}{14}$	$\frac{10\sim18}{L_0=L}$ $\frac{20\sim60}{16}$	$\frac{12\sim22}{L_0=L}$ $\frac{25\sim80}{20}$	$\frac{14\sim28}{L_0=L}$ $\frac{30\sim100}{25}$	
		d	12	16	20	24	30	
		D	18	24	30	36	42	
		H	12	16	20	24	30	
		S	10	12	14	17	19	
		$\frac{L}{L_0}$ (包括螺尾)	$\frac{16\sim35}{L_0=L}$ $\frac{40\sim130}{30}$	$\frac{22\sim45}{L_0=L}$ $\frac{50\sim160}{40}$	$\frac{25\sim55}{L_0=L}$ $\frac{60\sim220}{50}$	$\frac{28\sim65}{L_0=L}$ $\frac{70\sim250}{60}$	$\frac{45\sim75}{L_0=L}$ $\frac{75\sim300}{70}$	

注：放入内六角螺钉的沉孔和通过孔尺寸见表 11-39。

http://shop62964869.taobao.com/

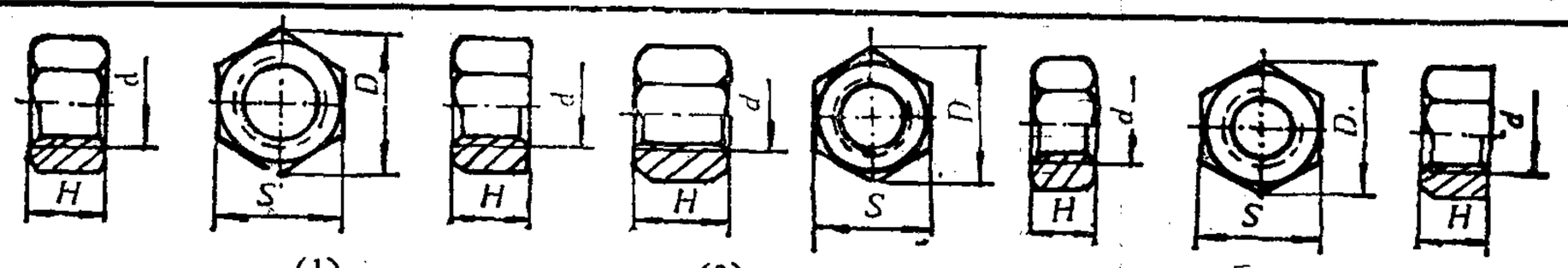
2. 螺栓的主要结构尺寸见表 11-36。

表 11-36　螺栓的主要结构尺寸　　(mm)

类型	简图	主要尺寸						常用长度系列
六角头螺栓 (GB 30—76)		d	4	5	6	8	10	5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100
		S	7	8	10	14	17	
		H	2.8	3.5	4	5.5	7	
		D	8.1	9.2	11.5	16.2	19.6	
		$\frac{L}{L_0}$ (包括螺尾)	$\frac{5\sim14}{L_0=L}$ $\frac{16\sim40}{12}$	$\frac{6\sim16}{L_0=L}$ $\frac{18\sim50}{14}$	$\frac{8\sim18}{L_0=L}$ $\frac{20\sim75}{16}$	$\frac{10\sim22}{L_0=L}$ $\frac{25\sim85}{20}$	$\frac{12\sim28}{L_0=L}$ $\frac{30\sim180}{25}$	
		d	12	16	20	24	30	
		S	19	24	30	36	46	
		H	8	10	13	15	19	
		D	21.9	27.7	34.6	41.6	53.1	
		$\frac{L}{L_0}$ (包括螺尾)	$\frac{14\sim35}{L_0=L}$ $\frac{38\sim220}{30}$	$\frac{18\sim45}{L_0=L}$ $\frac{50\sim220}{40}$	$\frac{25\sim35}{L_0=L}$ $\frac{60\sim240}{50}$	$\frac{32\sim65}{L_0=L}$ $\frac{70\sim260}{60}$	$\frac{40\sim75}{L_0=L}$ $\frac{80\sim260}{70}$	

3. 螺母尺寸见表 11-37。

表 11-37　螺母的尺寸　　(mm)



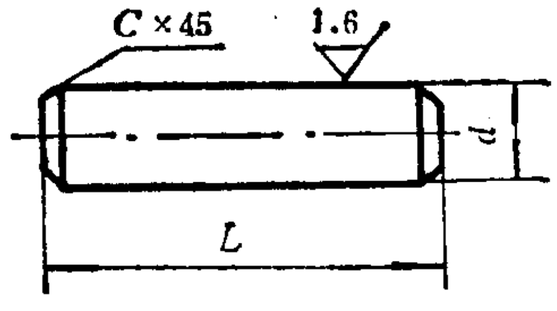
d	S		D		H			
	六角、六角扁、六角厚、六角特厚	小六角 小六角扁	六角、六角扁、六角厚、六角特厚	小六角 小六角扁	六角 小六角	六角扁 小六角扁	六角厚	六角特厚
4	7		8.1		3.2	2.5	5	
5	8		9.2		4	3	6	
6	10		11.5		5	4	7.5	
8	14	12	16.2	13.8	6	5	9	
10	17	14	19.6	16.2	8	6	11	
12	19	17	21.9	19.6	10	7	14	
16	24	22	27.7	25.4	13	8	18	25
20	30	27	34.6	31.2	16	9	22	32
24	36	32	41.6	36.9	19	10	26	38
30	46	41	53.1	47.3	24	12	32	48
36	55	50	63.5	57.7	28	14	38	55

注：1. 六角螺母 (GB 52—76)；六角扁螺母 (GB 54—76)。
2. 六角厚螺母 (GB 55—76)；六角特厚螺母 (GB 56—76)。
3. 小六角螺母 (GB 51—76)；小六角扁螺母 (GB 53—76)。

http://shop62964869.taobao.com/

4. 圆柱销尺寸见表 11-38。

表 11-38　圆柱销尺寸（GB119—76）　　(mm)



其余6.3

d		1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20
C		0.3			0.5		1			1.5			3
L		限用长度											
公称尺寸	偏差												
3	±0.13	3	3										
4	±0.15	4	4	4									
5		5	5	5	5								
6		6	6	6	6	6							
8	±0.18	8	8	8	8	8	8	8					
10		10	10	10	10	10	10	10	10				
12	±0.22	12	12	12	12	12	12	12	12	12			
14		14	14	14	14	14	14	14	14	14			
16		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18		
20	±0.26		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
22			22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
25			25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
30			30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
35	±0.31			35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
40				40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
45					45	45	45	45	45	45	45	45	45
50					50	50	50	50	50	50	50	50	50
55	±0.37				55	55	55	55	55	55	55	55	55
60					60	60	60	60	60	60	60	60	60
70							70	70	70	70	70	70	70
80							80	80	80	80	80	80	80
90	±0.44							90	90	90	90	90	90
100								100	100	100	100	100	100
110									110	110	110	110	110
120									120	120	120	120	120
130	±0.50								130	130	130	130	130
140									140	140	140	140	140
150										150	150	150	150
160										160	160	160	160
180										180	180	180	180
200	±0.58										200	200	200

1. 材料：45 钢，按 GB 699—65。
2. 热处理：淬火 HRC 35～40。
3. 技术条件按 GB 121—76。

（八）冲模上螺钉、圆柱销以及相应孔的尺寸

1. 螺钉尺寸的确定

按螺钉所需力与所能承担力相等条件，可近似计算螺钉直径，即

$$d=\sqrt{\frac{0.1P}{(0.1\sim0.15)\pi\sigma_b}}\approx\sqrt{\frac{P}{n\pi\sigma_b}}$$

式中　P——冲裁力（N）；

　　n——螺钉数，一般取偶数；

http://shop62964869.taobao.com/

σ_b——螺钉材料的极限强度（MPa）；

d——螺钉计算直径，实际可按标准螺纹尺寸选用（mm）。

2. 螺钉与圆柱销孔尺寸，见图 11-6 和表 11-39。

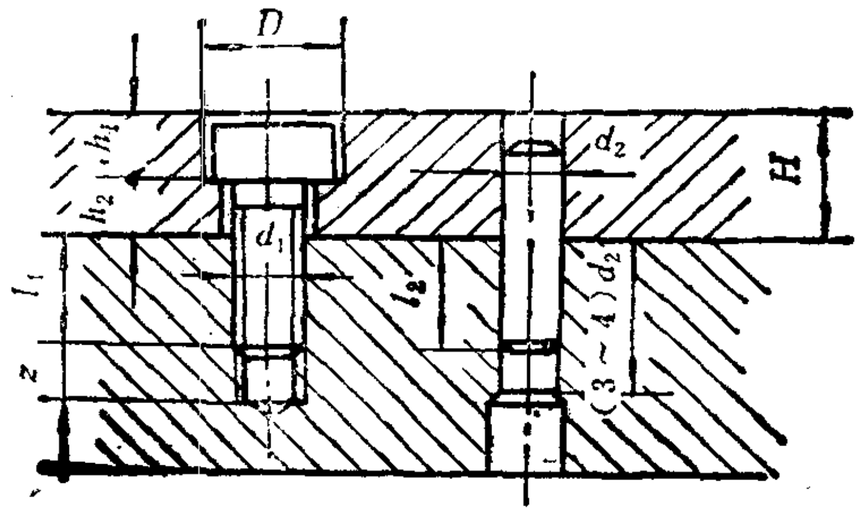


图 11-6　螺钉与圆柱销孔尺寸示图

表 11-39　内六角螺钉通过孔的尺寸　（mm）

通过孔等有关尺寸	螺钉 d						
	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20
d_1	7	9	11.5	13.5	15.5	17.5	21.5
D	11	13.5	16.5	19.5		25.5	31.5
H_{min} 零件淬火	12	15	18	20	25	30	35
H_{min} 零件不淬火	10	13	16	19	22	25	30
h_{2min} 零件淬火	4	6	7	8	10	12	15
h_{2min} 零件不淬火	3	4	5	6	7	8	10
h_{1min}	7	9	11	13	15	17	21

螺钉旋入部分的最小长度 $l_1 = (1.5 \sim 2)d$；

圆柱销直径 $d_2 = d$

圆柱销与相关件配合的最小长度 $l_2 = (1.5 \sim 2)d_2$。

二、冲模零部件主要技术条件

（一）冲模零件技术要求

1. 零件的尺寸、精度、表面粗糙度和热处理等应符合有关零件标准的技术要求和本技术条件的规定

2. 零件的材料除按有关零件标准规定的使用材料外，允许以它料代用，但代用材料的机械性能不得低于原规定材料。

3. 零件图上未注公差尺寸的极限偏差按 GB 1804—79《公差与配合、未注公差尺寸的极限偏差》规定的 IT 14 级精度。孔尺寸为 H 14、轴尺寸为 h 14、长度尺寸为 Js 14。

4. 锻件不应有过热、过烧的内部组织和机械加工不能去除的裂纹、夹层及凹坑。

5. 铸造模座加工前应进行时效处理，要求高的铸造模座在粗加工后应再进行一次消除内应力的时效处理。

6. 零件加工后的表面，不允许有影响使用的砂眼、缩孔、裂纹和机械损伤等缺陷。

http://shop62964869.taobao.com/

7. 热处理后的零件,不允许有影响使用的裂纹、软点和脱碳区,并清除氧化皮,脏物和油污。

8. 表面渗碳淬火的零件,其要求渗碳层为成品加工后的渗碳厚度。

9. 钢制零件的非工作表面及非配合表面应进行表面发黑处理。

10. 所有的模座、凹模板、模板、垫板及单凸模固定板和单凸模垫板的两平面的平行度公差应符合表 11-40 规定:

表 11-40 平行度公差 (mm)

基本尺寸	公差等级	
	4	5
	公差值 T	
>40～63	0.008	0.012
>63～100	0.010	0.015
>100～160	0.012	0.020
>160～250	0.015	0.025
>250～400	0.020	0.030
>400～630	0.025	0.040
>630～1000	0.030	0.050
>1000～1600	0.040	0.060

注: 1. 基本尺寸是指被测表面的最大长度尺寸或最大宽度尺寸。
2. 滚动导柱模架的模座平行度公差采用公差等级 4 级。
3. 滑动导柱模架的模座、通用模座、模板,凹模板,垫板等零件平行度公差采用等级 5 级。

11. 矩形(圆形)凹模板,矩形(圆形)模板的直角面垂直度公差应符合表 11-41。

表 11-41 直角面垂直度公差值 (mm)

基本尺寸	公差等级
	5
	公差值
>40～63	0.012
>63～100	0.015
>100～160	0.020
>160～250	0.025

注: 1. 基本尺寸是指被测零件的短边长度。
2. 垂直度公差是指以长边为基准对短边的垂直度最大允许值。

12. 各种模柄(包括带柄上模座)的圆跳动公差应按表 11-42。

表 11-42 模柄圆跳动公差 (mm)

基本尺寸	公差等级
	8
	公差值 T
>18～30	0.025
>30～50	0.030
>50～120	0.040
>120～250	0.050

注: 1. 基本尺寸是指模柄(包括带柄上模座)零件图上标明的被测部位的最大尺寸。
2. 公差等级: 按 GB 1184—80 «形状和位置公差 未注公差的规定»。

http://shop62964869.taobao.com/

13. 上、下模座的导柱，导套安装孔的轴心线应与基准面垂直，其垂直度公差按如下规定：

安装滑动导柱或导套的模座为 100:0.01 mm。

安装滚动导柱或导套的模座为 100:0.005 mm。

14. 各种铸件模座(包括通用模座)的非加工表面清理后涂漆。

15. 导柱和导套的压入端圆角与圆柱面交接处的 $R = 0.2$ mm 的小圆角应在精磨后用油石修出。

16. 滑动和滚动的可卸导柱与导套的锥度配合面，其吻合长度和吻合面积均应在 80% 以上。

17. 铆合在钢球保持圈上的钢球应在孔内自由转动而不脱落。

（二）模架技术要求

1. 组成模架的各零件的材料、尺寸、精度、表面粗糙度和热处理等均须符合各零件的标准要求和本技术条件的规定。

2. 装入模架的每对导柱和导套装配前需经选择配合，其配合要求应符合表 11-43 的规定。

表 11-43　导柱与导套的配合要求　(mm)

配合形式	导柱直径	配合精度		配合后的过盈
		H6/h5	H7/h6	
		配合后的间隙值		
滑动配合	≤18	0.003～0.010	0.005～0.015	—
	>18～28	0.004～0.011	0.006～0.018	
	>28～50	0.005～0.013	0.007～0.022	
	>50～80	0.005～0.015	0.008～0.025	
	>80～100	0.006～0.018	0.009～0.028	
滚动配合	>18～35	—	—	0.01～0.02

3. 装配成套的滑动导柱模架，按表 11-44 技术指标分级，装配成套的滚动导柱模架，按表 11-45 技术指标分级。任何一级模架必须同时符合 *A*、*B*、*C* 三项技术指标，不符合上表规定的模架，不预列入等级标准。

表 11-44　滑动导向模架分级技术指标

项	检查项目	被测尺寸 (mm)	精度等级		
			I 级	II 级	III 级
			公差等级		
A	上模座上平面对下模座下平面的平行度	≤400	6	7	8
		>400	7	8	9
B	导柱轴心线对下模座下平面的垂直度	≤160	4	5	6
		>160	5	6	7
C	导套孔轴心线对上模座上平面的垂直度	≤160	4	5	6
		>160	5	6	7

注：1. 被测尺寸是指：*A*、上模座的最大长度尺寸或最大宽度尺寸；*B*、下模座上平面的导柱高度；*C*、导套孔延长芯棒的高度。

2. 公差等级：按 GB 1184—80 《形状和位置公差未注公差的规定》。

http://shop62964869.taobao.com/

表 11-45　滚动导向模架分级技术指标　　(mm)

项	检查项目	被测尺寸 (mm)	精度等级	
			0级	0I级
			公差等级	
A	上模座上平面对下模座下平面的平行度	≤400	5	5
		>400		6
B	导柱轴心线对下模座下平面的垂直度	≤160	3	4
		>160	4	5
C	导套孔轴心线对上模座上平面的垂直度	≤160	3	4
		>160	4	5

注：1.被测尺寸是指：*A*、上模座的最大长度尺寸或最大宽度尺寸；*B*、下模座上平面的导柱高度；*C*、导套孔延长芯棒的高度。

2.公差等级：按 GB1184—80。

4. 装配后的模架，其导柱固定端端面应低于下模座底面有 0.5～1 mm。

5. 装配后的模架，其上模座沿导柱上、下移动应平稳和无滞住现象。

6. 模架的各零件工作表面不允许有影响使用的划痕，凹痕、浮锈、毛刺，飞边和微小砂眼和缩孔等缺陷。

7. 在保证使用质量的情况下，允许用新工艺方法固定导套。

8. 成套模架一般不装配模柄。

9. 模柄的装配要求应符合如下规定：

1）压入式模柄孔的公差配合为 H7/m6。

2）除浮动模柄外，其它模柄装入模座后模柄的轴心线对上模座上平面的垂直度公差，在全长范围内不大于 0.05 mm。

http://shop62964869.taobao.com/

附　　录

一、常用法定计量单位和单位换算

（一）常用法定计量单位

1. 法定计量单位名称及符号

附表 1　法定计量单位名称及符号

量	法定计量单位		备注
	名称	符号	
长　度	米	m	
面　积	平方米	m^2	
体　积	立方米,升	m^3, L(l)	
速　度	米每秒	m/s	
力，重力	牛[顿]	$N = kg \cdot m/s^2$	
力　矩	牛[顿]米	$N \cdot m$	
压力;压力,压强	帕[斯卡]	$Pa = N/m^2$	
功；能	焦[耳]	$J = N \cdot m$	
导热率	瓦[特]每米开[尔文]	$W/(m \cdot K)$	
功　率	瓦[特]	$W = J/s$	
温　度	开[尔文] 摄氏度	K ℃	表示温度间隔时，1℃ = 1K 表示温度数值时，℃=K − 273.15
时　间	小时 分 秒	h min s	
质　量	千克(公斤)	kg	
密　度	千克每立方米	kg/m^3	
平面角	弧度 度 [角]分 [角]秒	rad ° ′ ″	1rad = 180°/π = 57°17′44.8″ 1° = 60′ = (π/180) rad 1′ = 60″ = (π/10800) rad 1″ = (π/648000) rad
转　速	转每分 每秒	r/min s^{-1}	1r/min = (1/60)s^{-1} 1s^{-1} = 60r/min

注：1. 方括号内的字，是在不致混淆的情况下，可以省略的字。
2. 圆括号内的字为前者的同义语。
3. 角度单位度分秒的符号不处于数字后时，用括号。
4. r 为"转"的符号。

http://shop62964869.taobao.com/

2. 法定单位用于构成十进倍数和分数单位的词头

附表 2　用于构成十进倍数和分数单位的词头

因　数	名　称	符　号	例
10^6	兆	M	兆帕[斯卡] MPa
10^3	千	k	千瓦 kW
10^{-1}	分	d	分米 dm
10^{-2}	厘	c	厘米 cm
10^{-3}	毫	m	毫米 mm
10^{-6}	微	μ	微米 μm(0.001mm)

（二）常用单位换算

见附表 3 至 11。

附表 3　长度单位换算表

米 m	厘米 cm	毫米 mm	码 yd	英尺 ft	英寸 in
1	10^2	10^3	1.094	3.281	39.37
10^{-2}	1	10	0.011	0.033	0.394
10^{-3}	10^{-1}	1	0.001	0.003	0.039
0.914	91.44	914.4	1	3	36
0.305	30.48	304.8	0.333	1	12
0.025	2.54	25.4	0.028	0.083	1

注：1. 1 微米（μm 或 μ）$= 10^{-6}$m。
2. 1 微英寸（micro-in）$= 10^{-6}$in。
3. 1 埃（Å）$= 10^{-4}$μm。
4. 工厂中常用“丝”或“道”，1 丝 = 1 道 = 0.01 mm = 10 μm。
5. 1 千米（km）= 1000 m。

附表 4　面积单位换算表

平方米 m^2	平方厘米 cm^2	平方毫米 mm^2	平方英尺 ft^2	平方英寸 in^2
1	10^4	10^6	10.764	1550
10^4	1	10^2	0.001	0.155
10^6	10^2	1		0.001
0.093	929	92900	1	144
	6.452	645.2	0.007	1

注：1. 1 平方千米（km^2）$= 10^2$ 平方百米（hm^2）或称公顷（ha）$= 10^4$ 平方十米（dam^2）或称公亩（a）$= 10^6 m^2$。
2. 1 英亩 = 0.4047公顷。

附表 5　体积单位换算表

立方米 m^3	立方分米(升) dm^3(l,L)	立方厘米 cm^3 (c. c.)(ml)	立方英尺 ft^3	立方英寸 in^3	(英)加仑 gal(UK)	(美)加仑 gal(US)
1	10^3	10^6	35.31	61023	220	264.2
10^{-3}	1	10^3	0.035	61.02	0.22	0.264
10^{-6}	10^{-3}	1		0.061		
	28.32		1	1728	6.230	7.481
	0.016	16.39		1		
	4.546	4546	0.161	277.4	1	1.201
	3.785	3785	0.134	231	0.833	1

http://shop62964869.taobao.com/

附表6　质量单位换算表

吨 t	千克(公斤) kg	克 g	英吨 ton	美吨 shton	磅 lb	英两 oz
1	10^3	10^6	0.984	1.102	2205	
10^{-3}	1	10^3	9.842×10^{-4}	11.02×10^{-4}	2.205	35.27
10^{-6}	10^{-3}	1				0.0353
1.016	1016		1	1.12	2240	35840
0.9072	907.2		0.893	1	2000	32000
	0.4536	453.6	4.464×10^{-4}	5.000×10^{-4}	1	16
	0.0284	28.35			0.0625	1

注：1 英担(cwt)在英国为 112 lb，在美国为 100 lb。

附表7　力的单位换算表

牛顿 N	达因 dyn	千克力 kgf	百牛 0.1kN	千牛 kN	磅力 lbs
1	10^5	$0.102\approx10^{-1}$	10^{-2}	10^{-3}	0.2248
10^{-5}	1	$0.102\times10^{-5}\approx10^{-6}$	10^{-7}	10^{-8}	7.233×10^{-5}
$9.807\approx10$	$9.807\times10^5\approx10^6$	1	$9.807\times10^{-2}\approx10^{-1}$	$9.807\times10^{-3}\approx10^{-2}$	7.093×10^{-2}
10^2	10^7	$0.102\times10^2\approx10$	1	10^{-1}	0.248×10^{-3}
10^3	10^8	$0.102\times10^3\approx10^2$	10	1	0.248×10^{-4}
4.448	4.448×10^5	0.4536	4.448×10^{-2}	4.448×10^{-3}	1

附表8　压力与应力单位换算表

帕 $Pa=N/m^2$	巴 bar	标准大气压 atm	千克力/厘米² (工程大气压) kgf/cm^2(at)	牛/毫米²=兆帕 $N/mm^2=MPa$	磅力/英寸² lbf/in^2
1	10^{-5}	$9.869\times10^{-6}\approx10^{-5}$	$10.2\times10^{-6}\approx10^{-5}$	10^{-6}	0.145×10^{-3}
10^5	1	$0.987\approx1$	$1.02\approx1$	10^{-1}	14.50
1.013×10^5	$1.013\approx1$	1	$1.033\approx1$	$1.1013\approx1$	14.70
$9.81\times10^4\approx10^5$	$0.981\approx1$	$0.968\approx1$	1	$9.81\times10^{-2}\approx10^{-1}$	14.22
10^6	10	$9.868\approx10$	$10.2\approx10$	1	1.45×10^{-10}
6894.76	0.069	0.068	0.0703	6.89×10^{-3}	1

附表9　功、能和热量单位换算表

焦耳=瓦·秒=牛顿·米 $J=W\cdot s=N\cdot m$	千克力·米 $kgf\cdot m$	千瓦小时 kWh	公制马力小时 hph	英制马力小时 Hph	千　卡 kcal	英热单位 BTU
1	0.102	2.778×10^{-7}	3.778×10^{-7}	3.723×10^{-7}	2.389×10^{-4}	9.48×10^{-4}
9.807	1	2.724×10^{-6}	3.704×10^{-6}	3.65×10^{-6}	2.342×10^{-3}	9.29×10^{-3}
3.6×10^6	3.67×10^5	1	1.36	1.34	859.9	3412
2.648×10^6	2.702×10^5	0.7355	1	0.986	632.5	2509
2.686×10^6	2.741×10^5	0.746	1.014	1	641.6	2546
4.186×10^3	426.9	1.163×10^{-3}	1.581×10^{-3}	1.558×10^{-3}	1	3966
1055	107.6	2.93×10^{-4}	3.984×10^{-4}	3.929×10^{-4}	0.252	1

注：力矩、扭矩和弯矩的单位应以牛顿米表示，不能用焦耳，虽两者数值上是相等的。

http://shop62964869.taobao.com/

附表 10　功率单位换算表

瓦 W	千　瓦 kW	公制马力 法 ch 德 PS	英制马力 HP	千克力·米/秒 kgf·m/s	英尺磅/秒 ft-lb/s	千卡/秒 kcal/s	英热单位/小时 BTU/h
1	10^{3}	1.36×10^{-3}	1.341×10^{-3}	0.102	0.737	2.388×10^{-4}	3.413
10^{-3}	1	1.36	1.34	102	737	0.239	3413
735.5	0.736	1	0.986	75	542.5	0.176	2509.4
745.7	0.746	1.014	1	76.04	550	0.178	2545
9.807	9.81×10^{-3}	1.33×10^{-2}	1.315×10^{-2}	1	7.233	2.343×10^{-3}	33.47
1.356	1.356×10^{-3}	1.843×10^{-3}	1.818×10^{-3}	0.138	1	3.24×10^{-4}	4.628
4187	4.187	5.692	5.613	426.9	3088	1	1.429×10^{-2}
0.293	2.93×10^{-4}	3.984×10^{-4}	3.929×10^{-4}	2.987×10^{-2}	0.2161	7×10^{-5}	1

附表 11　其它非法定计量单位与法定计量单位的换算

量	非法定计量单位		法定计量单位		单　位　换　算
	名　称	符　号	名　称	符　号	
转速	转每分	min^{-1}, rpm	每　秒 转每分	s^{-1} r/min	1 rpm = 1 r/min = (1/60) s^{-1}
速度	英尺每秒 英寸每秒	ft/s in/s	米每秒 米每分	m/s m/min	1 ft/s = 0.3048 m/s 1 in/s = 0.0254 m/s
加速度	英尺每二次方秒	ft/s^2	米每二次方秒	m/s^2	1 ft/s^2 = 0.3048 m/s^2
密度	磅每立方英尺 磅每立方英寸	lb/ft^3 lb/in^3	千克每立方米	kg/m^3	1 lb/ft^3 = 16.0185 kg/m^3 1 lb/in^3 = 37979.9 kg/m^3
力矩	千克力米 磅力英尺	kgf·m lbf·ft	牛顿米	N·m	1 kgf·m = 9.807 N·m 1 lbs·ft = 1.356 N·m
导热率	卡每厘米秒摄氏度	cal/(cm·s·℃)	瓦特每米开尔文	W/(m·K)	1 cal(cm·s·℃) = 418.68 W/(m·K)

二、图纸规格和图形比例

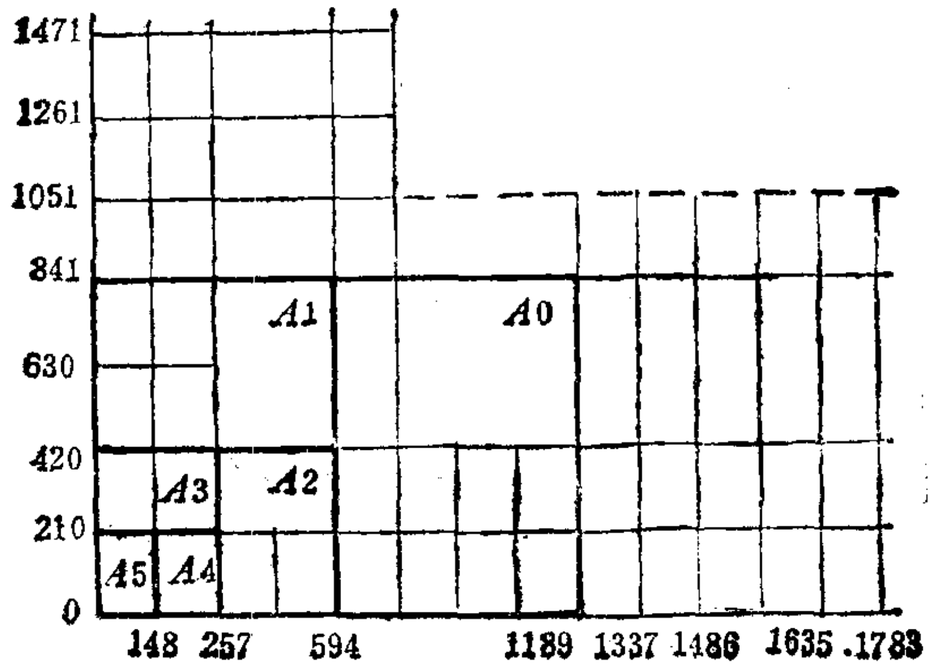
1. 图纸规格（见附表 12）

附表 12　图纸规格　　(mm)

	幅面代号	0	1	2	3	4	5
图纸幅面	国家标准	841×1189	594×841	420×594	297×420	210×297	148×210 (少用)
	市场规格	一整张	对　开	4　开	8　开	16　开	32开(少用)
图框	a(装订边)	25					
	c(其它三边)	10			5		

注：当标准幅面不够大时，可按 5 号幅面横应边的尺寸成整数倍增加，见附图 1。

http://shop62964869.taobao.com/



附图1　图纸幅面

2. 比例（见附表13）

附表13　图形比例

与实物相同	1:1
缩小的比例	1:1.5　1:2　1:2.5　1:3　1:4　1:5　$1:10^n$ $1:1.5\times10^n$　$1:2\times10^n$　$1:2.5\times10^n$　$1:5\times10^n$
放大的比例	2:1　2.5:1　4:1　5:1　$(10\times n):1$

注：n 为正整数。

三、公差和配合

（一）新、旧国家标准公差等级对照

附表14　新旧国家标准公差等级对照

新国标		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4
旧国标		无　相　应　等　级					

新国标		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10
旧国标	基准轴	1	2	3	3至4	4	5
	基准孔		1	2	3		

新国标	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
旧国标	6	7	7	8	9	10	11	12

http://shop62964869.taobao.com/

（二）标准公差数值

附表 15　标　准

基本尺寸 mm		公差								
		IT01	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7
大于	至	μm								
—	3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10
3	6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12
6	10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15
10	18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18
18	30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21
30	50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25
50	80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30
80	120	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35
120	180	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40
180	250	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46
250	315	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63
500	630	4.5	6	9	11	16	22	30	44	70
630	800	5	7	10	13	18	25	35	50	80
800	1000	5.5	8	11	15	21	29	40	56	90
1000	1250	6.5	9	13	18	24	34	46	66	105
1250	1600	8	11	15	21	29	40	54	78	125
1600	2000	9	13	18	25	35	48	65	92	150
2000	2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175
2500	3150	13	18	26	36	50	69	93	135	210

注：1．基本尺寸小于 1 mm 时，无 IT 14 至 IT 18。
2．IT 14、15 用于冲裁件生产，IT 16 用于弯曲件、拉深件生产。

http://shop62964869.taobao.com/

公 差 数 值 (GB1800—79)

等级											
IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	IT18
				mm						
14	25	40	60	0.10	0.14	0.25	0.40	0.60	1.0	1.4
18	30	48	75	0.12	0.18	0.30	0.48	0.75	1.2	1.8
22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.90	1.5	2.2
27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.70	1.10	1.8	2.7
33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.30	2.1	3.3
39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1.00	1.60	2.5	3.9
46	74	120	190	0.30	0.46	0.74	1.20	1.90	3.0	4.6
54	87	140	220	0.35	0.54	0.87	1.40	2.20	3.5	5.4
63	100	160	250	0.40	0.63	1.00	1.60	2.50	4.0	6.3
72	115	185	290	0.46	0.72	1.15	1.85	2.90	4.6	7.2
81	130	210	320	0.52	0.81	1.30	2.10	3.20	5.2	8.1
89	140	230	360	0.57	0.89	1.40	2.30	3.60	5.7	8.9
97	155	250	400	0.63	0.97	1.55	2.50	4.00	6.3	9.7
110	175	280	440	0.70	1.10	1.75	2.8	4.4	7.0	11.0
125	200	320	500	0.80	1.25	2.00	3.2	5.0	8.0	12.5
140	230	360	560	0.90	1.40	2.30	3.6	5.6	9.0	14.0
165	260	420	660	1.05	1.65	2.60	4.2	6.6	10.5	16.5
195	310	500	780	1.25	1.95	3.10	5.0	7.8	12.5	19.5
230	370	600	920	1.50	2.30	3.70	6.0	9.2	15.0	23.0
280	440	700	1100	1.75	2.80	4.40	7.0	11.0	17.5	28.0
330	540	860	1300	2.10	3.30	5.40	8.6	13.5	21.0	33.0

http://shop62964869.taobao.com/

（三）未注公差尺寸的极限偏差

附表 16　未　注　公　差　尺

基本尺寸		公								
大于	至	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	h12	h13
—	3	+0.10 0	+0.14 0	+0.25 0	+0.40 0	+0.60 0	+1.0 0	+1.4 0	0 −0.10	0 −0.14
3	6	+0.12 0	+0.18 0	+0.30 0	+0.48 0	+0.75 0	+1.2 0	+1.8 0	0 −0.12	0 −0.18
6	10	+0.15 0	+0.22 0	+0.36 0	+0.58 0	+0.90 0	+1.5 0	+2.2 0	0 −0.15	0 −0.22
10	18	+0.18 0	+0.27 0	+0.43 0	+0.70 0	+1.10 0	+1.8 0	+2.7 0	0 −0.18	0 −0.27
18	30	+0.21 0	+0.33 0	+0.52 0	+0.84 0	+1.30 0	+2.1 0	+3.3 0	0 −0.21	0 −0.33
30	50	+0.25 0	+0.39 0	+0.62 0	+1.00 0	+1.60 0	+2.5 0	+3.9 0	0 −0.25	0 −0.39
50	80	+0.30 0	+0.46 0	+0.74 0	+1.20 0	+1.90 0	+3.0 0	+4.6 0	0 −0.30	0 −0.46
80	120	+0.35 0	+0.54 0	+0.87 0	+1.40 0	+2.20 0	+3.5 0	+5.4 0	0 −0.35	0 −0.54
120	180	+0.40 0	+0.63 0	+1.00 0	+1.60 0	+2.50 0	+4.0 0	+6.3 0	0 −0.40	0 −0.63
180	250	+0.46 0	+0.72 0	+1.15 0	+1.85 0	+2.90 0	+4.6 0	+7.2 0	0 −0.46	0 −0.72
250	315	+0.52 0	+0.81 0	+1.30 0	+2.10 0	+3.20 0	+5.2 0	+8.1 0	0 −0.52	0 −0.81
315	400	+0.57 0	+0.89 0	+1.40 0	+2.30 0	+3.60 0	+5.7 0	+8.9 0	0 −0.57	0 −0.89
400	500	+0.63 0	+0.97 0	+1.55 0	+2.50 0	+4.00 0	+6.3 0	+9.7 0	0 −0.63	0 −0.97
500	630	+0.70 0	+1.10 0	+1.75 0	+2.8 0	+4.4 0	+7.0 0	+11.0 0	0 −0.70	0 −1.10
630	800	+0.80 0	+1.25 0	+2.00 0	+3.2 0	+5.0 0	+8.0 0	+12.5 0	0 −0.80	0 −1.25
800	1000	+0.90 0	+1.40 0	+2.30 0	+3.6 0	+5.6 0	+9.0 0	+14.0 0	0 −0.90	0 −1.40
1000	1250	+1.05 0	+1.65 0	+2.60 0	+4.2 0	+6.6 0	+10.5 0	+16.5 0	0 −1.05	0 −1.65
1250	1600	+1.25 0	+1.95 0	+3.10 0	+5.0 0	+7.8 0	+12.5 0	+19.5 0	0 −1.25	0 −1.95
1600	2000	+1.50 0	+2.30 0	+3.70 0	+6.0 0	+9.2 0	+15.0 0	+23.0 0	0 −1.50	0 −2.30
2000	2500	+1.75 0	+2.80 0	+4.40 0	+7.0 0	+11.0 0	+17.5 0	+28.0 0	0 −1.75	0 −2.80
2500	3150	+2.10 0	+3.30 0	+5.40 0	+8.6 0	+13.5 0	+21.0 0	+33.0 0	0 −2.10	0 −3.30

注：基本尺寸小于 1 mm 时，H 14 至 H 18、h 14 至 h 18 和 Js 14（js 14）至 Js 18（js 18）均不采用。

http://shop62964869.taobao.com/

寸 的 极 限 偏 差 (GB1804—79)

(mm)

差					带						
h14	h15	h16	h17	h18	Js12 (js12)	Js13 (js13)	Js14 (js14)	Js15 (js15)	Js16 (js16)	Js17 (js17)	Js18 (js18)
0 −0.25	0 −0.40	0 −0.60	0 −1.0	0 −1.4	±0.05	±0.07	±0.125	±0.20	±0.30	±0.5	±0.7
0 −0.30	0 −0.48	0 −0.75	0 −1.2	0 −1.8	±0.06	±0.09	±0.15	±0.24	±0.375	±0.6	±0.9
0 −0.36	0 −0.58	0 −0.90	0 −1.5	0 −2.2	±0.075	±0.11	±0.18	±0.29	±0.45	±0.75	±1.1
0 −0.43	0 −0.70	0 −1.10	0 −1.8	0 −2.7	±0.09	±0.135	±0.215	±0.35	±0.55	±0.9	±1.35
0 −0.52	0 −0.84	0 −1.30	0 −2.1	0 −3.3	±0.105	±0.165	±0.26	±0.42	±0.65	±1.05	±1.65
0 −0.62	0 −1.00	0 −1.60	0 −2.5	0 −3.9	±0.125	±0.195	±0.31	±0.50	±0.80	±1.25	±1.95
0 −0.74	0 −1.20	0 −1.90	0 −3.0	0 −4.6	±0.15	±0.23	±0.37	±0.60	±0.95	±1.5	±2.3
0 −0.87	0 −1.40	0 −2.20	0 −3.5	0 −5.4	±0.175	±0.27	±0.435	±0.70	±1.10	±1.75	±2.7
0 −1.00	0 −1.60	0 −2.50	0 −4.0	0 −6.3	±0.20	±0.315	±0.50	±0.80	±1.25	±2.0	±3.15
0 −1.15	0 −1.85	0 −2.90	0 −4.6	0 −7.2	±0.23	±0.36	±0.575	±0.925	±1.45	±2.3	±3.6
0 −1.30	0 −2.10	0 −3.20	0 −5.2	0 −8.1	±0.26	±0.405	±0.65	±1.05	±1.60	±2.6	±4.05
0 −1.40	0 −2.30	0 −3.60	0 −5.7	0 −8.9	±0.285	±0.445	±0.70	±1.15	±1.80	±2.85	±4.45
0 −1.55	0 −2.50	0 −4.00	0 −6.3	0 −9.7	±0.315	±0.485	±0.775	±1.25	±2.00	±3.15	±4.85
0 −1.75	0 −2.8	0 −4.4	0 −7.0	0 −11.0	±0.35	±0.55	±0.875	±1.4	±2.2	±3.5	±5.5
0 −2.00	0 −3.2	0 −5.0	0 −8.0	0 −12.5	±0.40	±0.625	±1.00	±1.6	±2.5	±4.0	±6.25
0 −2.30	0 −3.6	0 −5.6	0 −9.0	0 −14.0	±0.45	±0.70	±1.15	±1.8	±2.8	±4.5	±7.0
0 −2.60	0 −4.2	0 −6.6	0 −10.5	0 −16.5	±0.525	±0.825	±1.30	±2.1	±3.3	±5.25	±8.25
0 −3.10	0 −5.0	0 −7.8	0 −12.5	0 −19.5	±0.625	±0.975	±1.55	±2.5	±3.9	±6.25	±9.75
0 −3.70	0 −6.0	0 −9.2	0 −15.0	0 −23.0	±0.75	±1.15	±1.85	±3.0	±4.6	±7.5	±11.5
0 −4.40	0 −7.0	0 −11.0	0 −17.5	0 −28.0	±0.875	±1.40	±2.20	±3.5	±5.5	±8.75	±14.0
0 −5.40	0 −8.6	0 −13.5	0 −21.0	0 −33.0	±1.05	±1.65	±2.70	±4.3	±6.75	±10.5	±16.5

http://shop62964869.taobao.com/

（四）部分基本尺寸 1～500 mm 基孔制配合轴和基轴制配合孔新旧国标对照

附表 17　部分基本尺寸 1～500 mm 基孔制配

基孔制的轴					
间隙配合			过渡配合		
旧国标	新国标	备注	旧国标	新国标	备注
d1	h5		ga1	n5	p5①
db1	g5	g6①	gb1	m5	n5①
dc1	f5、f6	②	gc1	k5	m4①
d	h6		gd1	j5、js5	②
db	g6		ga	n5	p6①
dc	f7		gb	m6	n6①
dd	e8		gc	k6	
de	d8		gd	js6	
df	c8		ga3	n7	p7①
d3	h7		gb3	m7	
dc3	f8		gc3	k7	
d4	h8、h9	③	gd3	j7、js7	②
dc4	f9				
de4	d9、d10				
			过盈配合		
			旧国标	新国标	备注
			jb1	s5	s6①
d5	h10		jc1	r5	r6①
d6	h11		jd	s7、u5～6	②
dc6	d11		je	r6、s6	②
dd6	b11、c10、c11	②	jf	r6	
de6	a11、b11	②	jb3	u8	
d7	h12～13	②	jc3	s7	
dc7	b12、c12～13	②			

①仅 1～3 mm 尺寸段使用。
②不同尺寸段分别与不同的新国标符号相近似。
③介于两者之间。
④没有适当的相近的符号。

http://shop62964869.taobao.com/

合轴和基轴制配合的孔新、旧国标对照

基轴制的孔					
间隙配合			过渡配合		
旧国标	新国标	备注	旧国标	新国标	备注
D1	H6		Ga1	N6	
Db1	G6		Gb1	M6	
Dc1	F7		Gc1	K6	
D	H7		Gd1	J6、Js6	②
Db	G7		Ga	N7	
Dc	F8		Gb	M7	K7①
Dd	E8、E9	②	Gc	K7	Js7①
De	D8、D9	②	Gd	J7	
D3	H8		Ga3	N8	
D4	H8、H9	③	Gb3	M8	
Dc4	F9		Gc3	K8	
De4	D9、D10	③	Gd3	J8	
D5	H10				
D6	H11		过盈配合		
			旧国标	新国标	备注
			Jd	U7、S7	②
Dc6	D11		Je	R7、R8	②
Dd6	B11、C11	②	Jb3	U8	
De6	A11、B11	②			
D7	H12～13	③			
Dc7		④			

http://shop62964869.taobao.com/

（五）部分旧国标与新国标极限偏差值对照表

附表 18　部　分　旧　国　标　与　新

基本尺寸 mm		配合																			
		基准孔	间隙配合	基准孔	过盈配合						过渡										
		配合																			
旧国标	新国标	D 1	H6	d 1	h 5	D	H7	jd	u 6		je	r 6		jf	r 6		ga	n 6		g b	m 6	
自1～3	≤3	+6 0	+6 0	0 −4	0 −4	+10 0	+10 0	+27 +17	u 7	+28 +18	+18 +12	+16 +10		+16 +10	+16 +10		+13 +6	p6	+12 +6	+10 +4	n6	+10 +4
>3～6		+8 0	+8 0	0 −5	0 −5	+13 0	+12 0	+33 +20		+31 +19	+23 +15	+23 +15		+21 +13	+23 +15		+16 +8		+16 +8	+13 +5		+12 +4
>6～10		+9 0	+9 0	0 −6	0 −6	+16 0	+15 0	+39 +23	s 7	+38 +23	+28 +18	+28 +19		+26 +16	+28 +19		+20 +10		+19 +10	+16 +6		+15 +6
>10～18		+11 0	+11 0	0 −8	0 −8	+19 0	+18 0	+48 +29		+46 +28	+34 +22	+34 +23		+32 +20	+34 +23		+24 +12		+23 +12	+19 +7		+18 +7
>18～24		+13 0	+13 0	0 −9	0 −9	+23 0	+21 0	+62 +39	u 7	+62 +41	+42 +28	+41 +28		+39 +25	+41 +28		+30 +15		+28 +15	+23 +8		+21 +8
>24～30										+62 +41											
>30～40		+15 0	+16 0	0 −11	0 −11	+27 0	+25 0	+77 +50	t 7	+73 +48	+52 +35	+50 +34		+47 +30	+50 +34		+35 +18		+33 +17	+27 +9		+25 +9
>40～50								+87 +60		+79 +54											
>50～65		+18 0	+19 0	0 −13	0 −13	+30 0	+30 0	+105 +75		+106 +87	+65 +45	+60 +41		+55 +35	+60 +41		+40 +20		+39 +20	+30 +10		+30 +11
>65～80								+120 +90		+121 +102		+62 +43			+62 +43						
>80～100		+21 0	+22 0	0 −15	8 −15	+35 0	+35 0	+140 +105		+146 +124	+85 +60	+73 +51		+70 +45	+73 +51		+45 +23		+45 +23	+35 +12		+35 +13
>100～120								+160 +125	u 5	+159 +144	+95 +70	+101 +79			+76 +54						
>120～140		+24 0	+25 0	0 −18	0 −18	+40 0	+40 0	+190 +150		+188 +170	+110 +80	+117 +92		+85 +58	+88 +63		+52		+52	+40		+40
>140～150										+215 +190		+125 +100	s 6		+90 +65						
>150～160								+220 +180			+125 +95										
>160～180									u 5	+228 +210		+133 +108			+93 +68		+25		+27	+13		+15
>180～220	>180～200	+27 0	+29 0	0 −20	0 −20	+45 0	+46 0	+260 +215		+265 +236	+145 +115	+151 +122		+105 +75	+106 +77		+60		+60	+45		+46
	>200～225									+287 +258		+159 +130			+109 +80						
>220～260	>225～250							+300 +255		+304 +284	+165 +135	+169 +140			+113 +84				+31	+15		+17
	>250～280									+338 +315		+190 +158			+126 +94		+30		+66			+52
>260～310								+350 +300		+373 +350	+195 +160				+130 +98		+70		+50			
	>280～315	+30 0	+32 0	0 −22	0 −23	+50 0	+52 0	+400 +350		+382 +350		+202 +170	s 6	+135 +100	+144 +108				+34			+20
>310～360										+415 +390	+220 +185	+226 +190					+35		+73	+15		+57
	>315～355		+36 0		0 −25		+57 0	+475 +415	u s	+460 +435		+244 +208			+150 +114		+80		+37	±60		+21
>360～440	>355～400										+260 +220				+166 +126				+80			+63
	>400～450	+35 0	+40 0	0 −25	0 −27	+60 0	+63 0	+545 +485		+517 +490		+272 +232		+170 +130								
>440～500	>450～500									+567 +540	+300 +260	+292 +252			+172 +132		+40		+40	+20		+23

http://shop62964869.taobao.com/

国标极限偏差数值对照表

(μm)

名称																			
配合	间隙配合										基准孔	过盈配合				过渡配合			
符号																			
	k6		js6		h6		g6		f7		e8		H8		u8		s7		n7
gc		gd		d		db		dc		dd		D3		jb3		jc3		ga3	
+7	+6	±3	±3	0	0	−3	−2	−8	−6	−12	−14	+14	+14	+32	+32	+24	+24	+15	p7 +16
+1	+0			−6	−6	−9	−8	−18	−16	−25	c7 −24	0	0	+18	+18	+15	+14	+6	+6
+9	+9	±4	±4	0	0	−4	−4	−10	−10	−17	−20	+18	+18	+41	+41	+31	+31	+20	+20
+1	+1			−8	−8	−12	−12	−22	−22	−35	−32	0	0	+23	+23	+19	+19	+8	+8
+12	+10	±5	+4.5	0	0	−5	−5	−13	−13	−23	−25	+22	+22	+50	+50	+38	+38	+25	+25
+2	+1			−10	−9	−15	−14	−27	−28	−45	−47	0	0	+28	+28	+23	+23	+10	+10
+14	+12	±6	+5.5	0	0	−6	−6	−16	−16	−30	−32							+30	+30
+2	+1			−12	−11	−18	−17	−33	−34	−55	−59	+27	+27	+60	+60	+46	+45	+12	+12
+17	+15	±7	+6.5	0	0	−8	−7	−20	−20	−40	−40	0	0	+33	+33	+28	+28	+36	+36
+2	+2			−14	−13	−22	−20	−40	−41	−70	−73			+74	+74				
												+33	+33	+41	+41	+56	+56	+15	+15
+20	+18	±8	±8	0	0	−10	−9	−25	−25	−50	−50	0	0	+81	+81	+35	+35		
+3	+2			−17	−16	−27	−25	−50	−50	−85	−89			+48	+48			+42	+42
														+99	+99				
												+39	+39	+60	+60	+68	+68	+17	+17
+23	+21	±10	±9.5	0	0	−12	−10	−30	−30	−65	−60	0	0	+109	+109	+43	+43		
+3	+2			−20	−19	−32	−29	−60	−60	−105	−106			+70	+70			+50	+50
														+133	+133	+83	+83		
												+46	+46	+87	+87	+53	+53	+20	+20
+26	+25	±12	±11	0	0	−15	−12	−40	−36	−80	−72	0	0	+148	+148	+89	+89		
+3	+3			−23	−22	−38	−34	−75	−71	−125	−126			+102	+102	+59	+59	+58	+58
														+178	+178	+106	+106		
												+54	+54	+124	+124	+71	+71	+23	+23
+30	+28											0	0	+198	+198	+114	+114		
														+144	+144	+79	+79	+67	+67
														+233	+233	+132	+132		
		±14	±12.5	0	0	−18	−14	−50	−43	−100	−85			+170	+170	+92	+92		
				−27	−25	−45	−39	−90	−83	−155	−148	+63	+63	+253	+253	+140	+140		
												0	0	+190	+190	+100	+100		
+4	+3													+273	+273	+148	+148		
														+210	+210	+108	+108	+27	+27
+35	+33													+308	+308	+168	+168	+78	+77
				0	0	−22	−15	−60	−50	−120	−100			+236	+236	+122	+122		
		±16	±14.5	−30	−29	−52	−44	−105	−96	−180	−172	+72			+330		+176		
	+4											+73	0		+258		+130		
+4												0		+356	+356	+186	+186		+31
	+36													+284	+284	+140	+140		
															+396		+210	+31	+86
+40					0		−17		−56		−110			+431	+315	+222	+158		
			±16		−32		−49		−108		−191	+81	0	+430	+431	+170	+222	+90	
	+4					−26		−70		−140					+350		+170		+34
		±18		0								+84							
	+40			−35		−60		−125		−210		0							+94
														+471	+479	+242	+247		
+4			±18		0		−18		−62		−125		+89	+390	+390	+190	+190	+36	
					−36		−54		−119		−214		0						
+45	+4														+524		+265		+37
														+557	+435	+283	+208	+102	
	+45	±20		0		−30		−80		−170		+95		+460		+220	+295		+103
			±20	−40	0	−70	−20	−140	−68	−245	−135		0		+587		+232		
					−40		−60		−131		−232		+97		+490				
+5	+5												0	+637	+637	+315	+315		
														+540	+540	+252	+252	+40	+40

http://shop62964869.taobao.com/

（续）

基本尺寸 mm		配合																	
		过渡配合		间隙配合	基准孔		过盈配合		间隙配合										基
		配合																	
旧国标	新国标	gc 3	k 7	d 3	h 7	D 4	H 9	jc 4	t 7	d 4	h 8	h 9	dc 4	f 9	de 4	d 9	d 10	D 5	
自1～3	≤3	+10 +1	+10 +0	0 −9	0 −10	+20 0	+25 0	—	—	0 −20	0 −14	0 −25	−7 −32	−6 −31	−17 −50	−20 −45	−20 −60	+40 0	
>3～6		+13 +1	+13 +1	0 −12	0 −12	+25 0	+30 0	+55 +30	x 9 +58 +28	0 −25	0 −18	0 −30	−11 −44	−10 −40	−25 −65	−30 −60	−30 −78	+48 0	
>6～10		+16 +1	+16 +1	0 −15	0 −15	+30 0	+36 0	+65 +35	+56 +34	0 −30	0 −22	0 −36	−15 −55	−13 −49	−35 −85	−40 −76	−40 −98	+58 0	
>10～18		+19 +1	+19 +1	0 −18	0 −18	+35 0	+43 0	+75 +40	x 8 +67 +40	0 −35	0 −27	0 −43	−20 −70	−16 −59	−45 −105	−50 −93	−50 −120	+70 0	
>18～24		+23	+23	0	0	+45	+52		+72 +45	0	0	0	−25	−20	−60	−65	−65	+84	
>24～30		+2	+2	−21	−21	0	0	+95 +50	v 9 +99 +47	−45	−33	−52	−85	−72	−130	−117	−149	0	
>30～40		+27	+27	0	0	+50	+62		+100 +48	0	0	0	−32	−25	−75	−80	−80	+100	
>40～50		+2	+2	−25	−25	0	0	+110 +60	u 9 +122 +60	−50	−39	−60	−100	−87	−160	−142	−180	0	
>50～65		+32	+32	0	0	+60	+74		+109 +70	0	0	0	−40	−30	−95	−100	−100	+120	
>65～80		+2	+2	−30	−30	0	0	+135 +75	u 8 +133 +87	−60	−46	−74	−120	−104	−195	−174	−220	0	
>80～100		+38	+38	0	0	+70	+87		+149 +75	0	0	0	−50	−36	−120	−120	−120	+140	
>100～120		+3	+3	−35	−35	0	0	+160 +90	t 9 +178 +91	−70	−54	−87	−140	−123	−235	−207	−260	0	
>120～140		+43	+43						t 8 +158 +104										
>140～150				0	0	+80	+100	+185 +105	s 9 +192 +92	0	0	0	−60	−43	−150	−145	−145	+160	
>150～160				−40	−40	0	0		+174 +134	−80	−63	−100	−165	−143	−285	−245	−305	0	
>160～180		+3	+3					+200 +120	+186 +146										
>180～220	>180～200	+51	+50	0	0	+90	+115	+230 +140	+212 +166										
	>200～225			−47	−46	0	0	+250 +160	+226 +180	0 −90	0 −72	0 −115	−75 −195	−50 −165	−180 −330	−170 −285	−170 −355	+185 0	
>220～260	>225～250	+4	+4						+242 +196										
>260～310	>250～280	+58	+56	0	0	+100	+130	+285 +185	+270 +218										
>310～360	>280～315		+4	−54	−52	0	0	+305 +205	+292 +240	0 −100	0 −81	0 −130	−90 −225	−56 −186	−210 −380	−190 −320	−190 −400	+215 0	
	>315～355	+4	+61						+325 +268										
>360～440	>355～400	+67	+4	0	0	+120	+140	+360 +240	+351 +294	0 −120	0 −89	0 −140	−105 −255	−62 −202	−250 −440	−210 −350	−210 −440	+250 0	
>440～500	>400～450		+68	−62	0	0	0	+395 +275	+393 +330					−68 −223		−230 −385	−230 −480		
	>450～500	+5	+5		−63				s 9 +407 +252		0 −97	0 −155							

http://shop62964869.taobao.com/

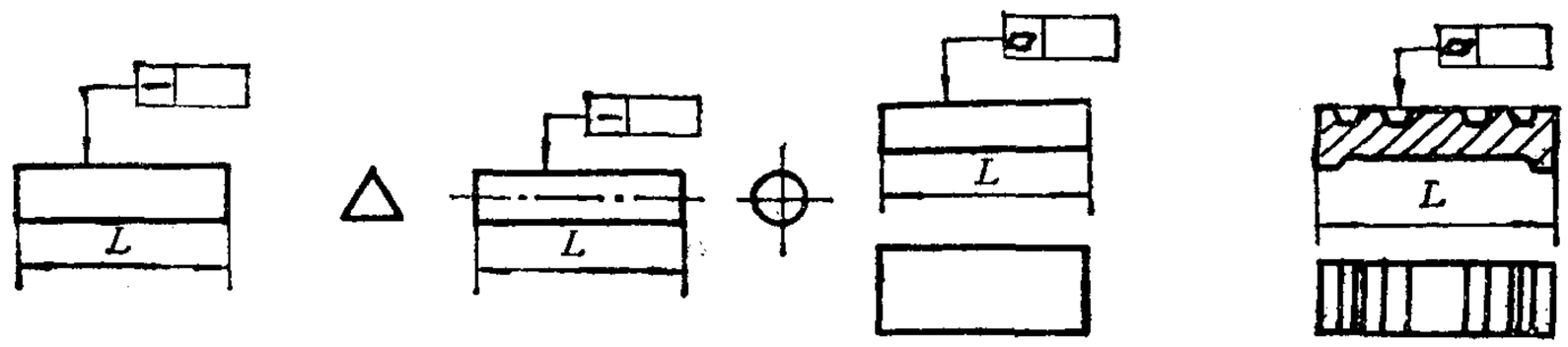
（续）

名称																	
准孔	间隙配合	基准孔	间隙配合		基准孔	间隙配合											
符号																	
H10	d5	h10	D6	H11	d6	h11	dc6	d11	D7	H12	H13	d7	h12	h13	dc7	b12	c12
+40	0	0	+60	+60	0	0	−30	−20	+120	+100	+140	0	0	0	−60		−60
0	−40	−40	0	0	−60	−60	−90	−80	0	0	0	−120	−100	−140	−180		−160
+48	0	0	+80	+75	0	0	−40	−30	+160	+120	+180	0	0	0	−80		−70
0	−48	−48	0	0	−80	−75	−120	−105	0	0	0	−160	−120	−180	−240		−250
+58	0	0	+100	+90	0	0	−50	−40	+200	+150	+220	0	0	0	−100		−80
0	−58	−58	0	0	−100	−90	−150	−130	0	0	0	−200	−150	−220	−300		c13 −300
+70	0	0	+120	+110	0	0	−60	−50	+240	+180	+270	0	0	0	−120		−95
0	−70	−70	0	0	−120	−110	−180	−160	0	0	0	−240	−180	−270	−360		−365
+84	0	0	+140	+130	0	0	−70	−65	+280	+210	+330	0	0	0	−140	−160	
0	−84	−84	0	0	−140	−130	−210	−195	0	0	0	−280	−210	−330	−420	−370	
+100	0	0	+170	+160	0	0	−80	−80	+340	+250	+390	0	0	0	−170	−170 −420	
0	−100	−100	0	0	−170	−160	−250	−240	0	0	0	−340	−250	−390	−500	−180 −430	
+120	0	0	+200	+190	0	0	−100	−100	+400	+300	+460	0	0	0	−200	−190 −490	
0	−120	−120	0	0	−200	−190	−300	−290	0	0	0	−400	−300	−460	−600	−200 −500	
+140	0	0	+230	+220	0	0	−120	−120	+460	+350	+540	0	0	0	−230	−220 −570	
0	−140	−140	0	0	−230	−220	−350	−340	0	0	0	−460	−350	−540	−700	−240 −590	
+160	0	0	+260	+250	0	0	−130	−145	+530	+400	+630	0	0	0	−260	−260 −660	
0	−160	−160	0	0	−260	−250	−400	−395	0	0	0	−530	−400	−630	−800	−280 −680	
+185	0	0	+300	+290	0	0	−150	−170	+600	+460	+720	0	0	0	−300	−310 −710	
0	−185	−185	0	0	−300	−290	−450	−460	0	0	0	−600	−460	−720	−900	−340 −800	
+210	0	0	+320	+320	0	0	−190	−190	+520	+520	+810	0	0	0	−380	−380 −840	
0	−210	−210	0	0	−320	−320	−510	−510	0	0	0	−520	−520	−810	−1100	−420 −880	−280 −1000
+230	0	0	+340	+340	0	0	−170	−190	+680	+570	+890	0	0	0	−340	−480 −1000	c13 −300 −1110
0	−215	−230	0	0	−340	−320	−500	−510	0	0	0	−680	−570	−890	−1000	−540 −1060	−330 −850
+230	0	0	+360	+360	0	0	−170	−210	+570	+570	+890	0	0	0	−340	−360 −930	
0	−230	−230	0	0	−360	−360	−500	−570	0	0	0	−680	−570	−890	−1000	−400 −970	
+250	0	0	+380	+400	0	0	−190	−230	+760	+630	+970	0	0	0	−380	−440 −1070	
0	−250	−250	0	0	−380	−400	−570	−630	0	0	0	−760	−630	−970	−1100	−480 −1110	

http://shop62964869.taobao.com/

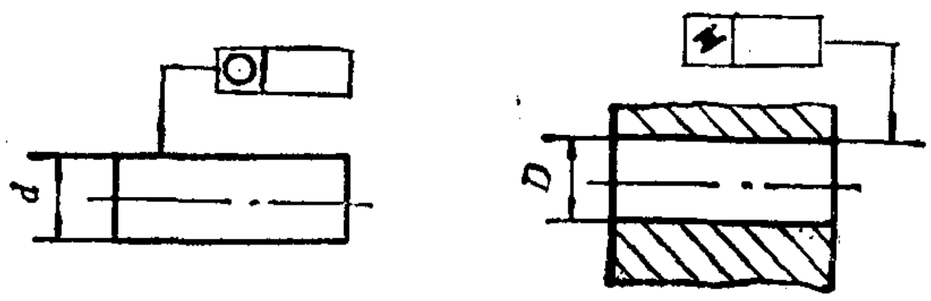
四、形状和位置公差

附表 19　直线度、平面度公差值（GB1184—80）　　（μm）



主参数 L (mm)	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤10	0.2	0.4	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60
>10～16	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80
>16～25	0.3	0.6	1.2	2	3	5	8	12	20	30	50	100
>25～40	0.4	0.8	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120
>40～63	0.5	1	2	3	5	8	12	20	30	50	80	150
>63～100	0.6	1.2	2.5	4	6	10	15	25	40	60	100	200
>100～160	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120	250
>160～250	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150	300
>250～400	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200	400
>400～630	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250	500
>630～1000	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300	600

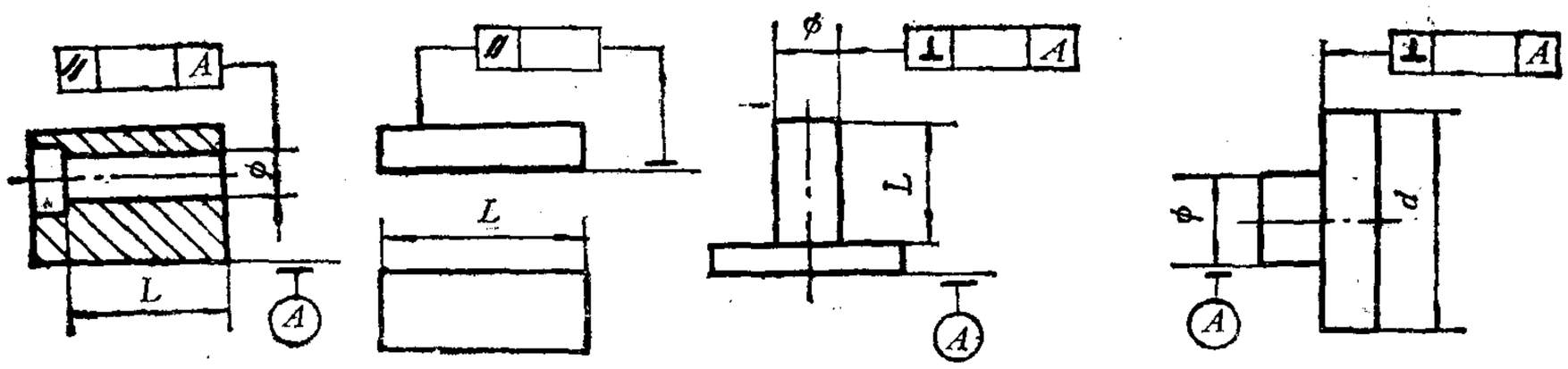
附表 20　圆度、圆柱度公差值（GB 1184—80）　　（μm）



主参数 d(D) (mm)	公差等级											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25
>3～6	0.1	0.2	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30
>6～10	0.12	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36
>10～18	0.15	0.25	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43
>18～30	0.2	0.3	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52
>30～50	0.25	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62
>50～80	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74
>80～120	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87
>120～180	0.6	1	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100
>180～250	0.8	1.2	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115

http://shop62964869.taobao.com/

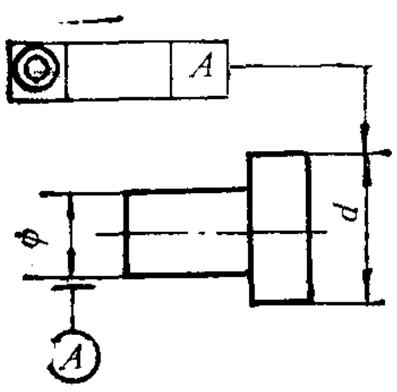
附表 21　平行度、垂直度、倾斜度公差值（GB1184—80）　（μm）

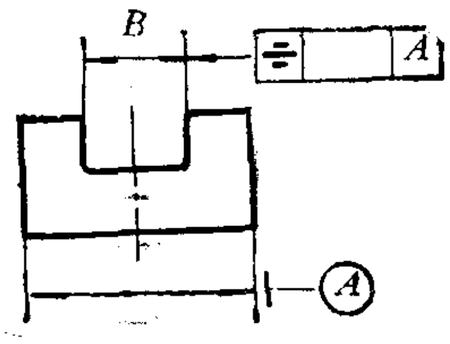


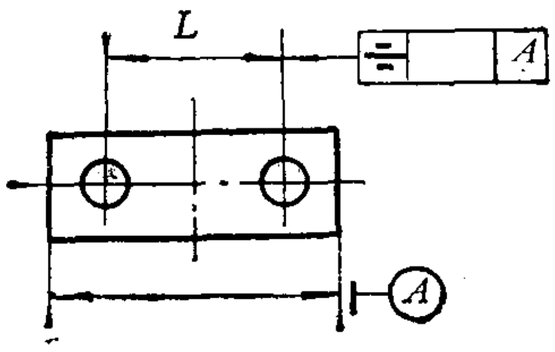
主参数 $L,d(D)$ (mm)	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤10	0.4	0.8	1.5	3	5	8	12	20	30	50	80	120
>10～16	0.5	1	2	4	6	10	15	25	40	60	100	150
>16～25	0.6	1.2	2.5	5	8	12	20	30	50	80	120	200
>25～40	0.8	1.5	3	6	10	15	25	40	60	100	150	250
>40～63	1	2	4	8	12	20	30	50	80	120	200	300
>63～100	1.2	2.5	5	10	15	25	40	60	100	150	250	400
>100～160	1.5	3	6	12	20	30	50	80	120	200	300	500
>160～250	2	4	8	15	25	40	60	100	150	250	400	600
>250～400	2.5	5	10	20	30	50	80	120	200	300	500	800
>400～630	3	6	12	25	40	60	100	150	250	400	600	1000
>630～1000	4	8	15	30	50	80	120	200	300	500	800	1200

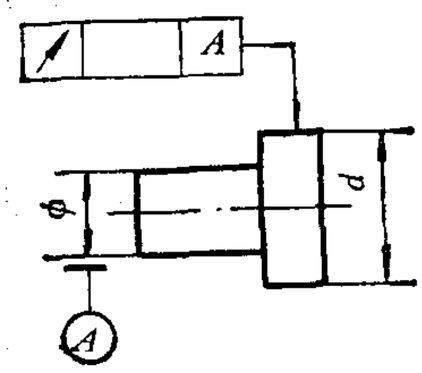
http://shop62964869.taobao.com/

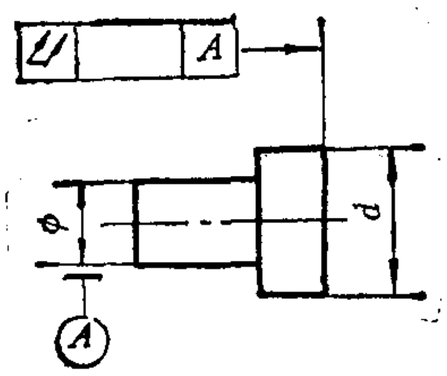
附表 22　同轴度、对称度、圆跳动、全跳动公差值（GB1184—80）　（μm）











主参数 $d(D),B,L$ (mm)	公差等级											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
≤1	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	60
>1～3	0.4	0.6	1.0	1.5	2.5	4	6	10	20	40	60	120
>3～6	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	12	25	50	80	150
>6～10	0.6	1	1.5	2.5	4	6	10	15	30	60	100	200
>10～18	0.8	1.2	2	3	5	8	12	20	40	80	120	250
>18～30	1	1.5	2.5	4	6	10	15	25	50	100	150	300
>30～50	1.2	2	3	5	8	12	20	30	60	120	200	400
>50～120	1.5	2.5	4	6	10	15	25	40	80	150	250	500
>120～250	2	3	5	8	12	20	30	50	100	200	300	600
>250～500	2.5	4	6	10	15	25	40	60	120	250	400	800

http://shop62964869.taobao.com/

五、表面粗糙度

（一）表面粗糙度与孔、轴公差等级的对应关系（见附表23）

附表23　表面粗糙度与孔、轴公差等级的对应关系

公差等级IT	轴			孔		
	基本尺寸（mm）	粗糙度 R_a 值（μm）	原光洁度等级	基本尺寸（mm）	粗糙度 R_a 值（μm）	原光洁度等级
5	≤6	0.1	▽10	≤6	0.1	▽10
	>6～30	0.2	▽9	>6～30	0.2	▽9
	>30～180	0.4	▽8	>30～180	0.4	▽8
	>180～500	0.8	▽7	>180～500	0.8	▽7
6	≤10	0.2	▽9	≤50	0.4	▽8
	>10～80	0.4	▽8			
	>80～250	0.8	▽7	>50～250	0.8	▽7
	>250～500	1.6	▽6	>250～500	1.6	▽6
7	≤6	0.4	▽8	≤6	0.4	▽8
	>6～120	0.8	▽7	>6～80	0.8	▽7
	>120～500	1.6	▽6	>80～500	1.6	▽6
8	≤3	0.4	▽8	≤3	0.4	▽8
	>3～50	0.8	▽7	>3～30	0.8	▽7
				>30～250	1.6	▽6
	>50～500	1.6	▽6	>250～500	3.2	▽5
9	≤6	0.8	▽7	≤6	0.8	▽7
	>6～120	1.6	▽6	>6～120	1.6	▽6
	>120～400	3.2	▽5	>120～400	3.2	▽5
	>400～500	6.3	▽4	>400～500	6.3	▽4
10	≤10	1.6	▽6	≤10	1.6	▽6
	>10～120	3.2	▽5	>10～180	3.2	▽5
	>120～500	6.3	▽4	>180～500	6.3	▽4
11	≤10	1.6	▽6	≤10	1.6	▽6
	>10～120	3.2	▽5	>10～120	3.2	▽5
	>120～500	6.3	▽4	>120～500	6.3	▽4
12	≤80	3.2	▽5	≤80	3.2	▽5
	>80～250	6.3	▽4	>80～250	6.3	▽4
	>250～500	12.5	▽3	>250～500	12.5	▽3
13	≤30	3.2	▽5	≤30	3.2	▽5
	>30～120	6.3	▽4	>30～120	6.3	▽4
	>120～500	12.5	▽3	>120～500	12.5	▽3

注：表中 R_a 标志轮廓算术平均偏差。

http://shop62964869.taobao.com/

（二）各级表面粗糙度的加工方法及应用举例

表 24　各级表面粗糙度的加工方法及应用举例

粗糙度 R_a 值或光洁度等级	加工方法	应用举例
0.20 (▽9)		工作时承受反复应力的重要零件表面，保证零件的疲劳强度、防腐性和耐久性，并在工作时不破坏配合的特性的表面：轴颈表面、要求气密的表面和支承面。精配合的孔 H6、H5，液压油缸和柱塞的表面。小导套的孔和小导柱圆柱工作表面以及抛光的成形面及平面。
0.10 (▽10)	精磨、研磨普通抛光	工作时承受较大反复应力的重要零件表面，保证零件的疲劳强度、防蚀性及在活动接头工作中耐久性的一些表面；液压传动用孔的表面，阀的工作面、气缸内表面，保证精确定心的锥体表面；抛光的旋转体表面。
0.05 (▽11)		特别精密的滚动轴承套圈滚道、滚珠及滚柱表面等。
12.5 (▽3)	粗车、粗刨、粗铣钻、毛锉	多用于粗加工的非配合表面，如轴的端面，倒角，钻孔，垫圈的接触面，不重要的安装支承面，螺钉、铆钉孔表面以及冲模零件不重要的表面。
6.3 (▽4)	车、刨、铣镗、扩孔、铰、拉、磨、锉、电火花加工、电火花磨削	半精加工表面。用于不重要零件的非配合表面，如支柱、轴、支架、外壳、衬套、盖等的端面；紧固件的自由表面，如螺栓、螺钉、双头螺栓和螺母的表面；不要求定心及配合特性的表面，如螺栓孔、螺钉孔和铆钉孔等表面，平键及键槽上下面，所有轴和孔的退刀槽，以及冲压制件不与冲模零件接触的表面。
3.2 (▽5)		半精加工表面。用于外壳、箱体、盖面、套筒、支架和其他零件连接而不形成配合的表面；扳手和手轮的外圆表面；要求有定心及配合特性的固定支承表面，定心的轴肩，键和键槽的工作表面；不重要的紧固螺纹的表面，需要发兰的表面，滑块及导向面(速度 20～50 m/min)，冲模底板平面、不磨加工的支承、定位和紧固表面。
1.6 (▽6)		要求有定心及配合特性的固定支承，衬套、轴承和定位销的压入孔表面；不要求定心及配合特性的活动支承面，活动关节结合面；模具零件内孔表面以及键槽上下表面。
0.8 (▽7)	精车、精铰半精拉、半精磨	要求保证定心及配合特性的表面：锥销与圆柱销的表面，中速转动的轴颈，过盈配合的孔 H7、间隙配合的孔 H8、H9；滑动导轨面，凸模上与凸模固定板的配合面，成形的凸模和凹模刃口、凸模凹模镶块的接合面，磨加工的基准平面，要求准确的工艺基准表面。
0.4 (▽8)		要求能长期保持所规定的配合特性的孔 H7、H6，要求保证定心及配合特性的表面；工作时受反复应力的重要零件，凸模的圆柱工作表面，滑动导柱压入模座的圆柱面，弯曲、拉深、成形凸模和凹模工作表面。

注：线切割、成型磨削、相当 ▽6～▽7。

http://shop62964869.taobao.com/

主要参考文献

1. 王孝培主编，«冲压设计资料»，机械工业出版社，1983年。
2. 第四机械工业部标准化研究所编，«冷压冲模设计»，1981年。
3. «航空工艺装备设计手册　冷冲模设计»，国防工业出版社，1977年。
4. 北京电子管厂编，«冷冲压与弯曲机模具»，国防工业出版社，1982年。
5. 李天佑主编，«冲模图册»，机械工业出版社，1988年。
6. 一汽工具分厂工装设计室编，«冲模设计»，吉林人民出版社，1976年。
7. 万战胜等，«冲压模具设计»，中国铁道出版社，1983年。
8. 胡世光，«板料冷压成形原理»，国防工业出版社，1979年。
9. 梁炳文等，«钣金成形性能»，航空工业出版社，1987年。
10. 国斌，«汽车车身制造工艺»，吉林人民出版社，1984年。
11. 湖南省机械工程学会锻压分会编，«冲压工艺»，湖南科学技术出版社，1983年。
12. 五机部六二研究所译，«冲裁资料汇编»，1981年。
13. 李硕本，«冲压工艺学»，机械工业出版社，1982年。
14. 周开华编译，«精冲技术»，国防工业出版社，1979年。
15. 一汽工装设计室编，«汽车覆盖件模具设计»，机械工业出版社，1979年。
16. (日)中川威雄著，郭青山等译，«板料冲压加工»，天津科学技术出版社，1982年。
17. (日)太田哲编，张玉良等译，«冲压模具结构与设计图册»，国防工业出版社，1980年。
18. 一机部天津设计院译，«冲压加工数据汇集»，一机部天津设计院，1976年。
19. 张廷汉编，«新型冷冲压模具»，国防工业出版社，1985年。
20. 冯炳尧等，«模具设计与制造简明手册»，上海科学技术出版社，1985年。
21. 上海交大«冷挤压技术»编写组，«冷挤压技术»，上海人民出版社，1976年。
22. 杨长顺，«冷挤压工艺实践»，国防工业出版社，1984年。
23. 日本塑性加工学会编，江国屏等译，«压力加工手册»，机械工业出版社，1984年。
24. 郑智受，"锌基合金模具讲座"，«模具工业»，1～6期，1986年。
25. 陈毓勋等，«聚氨酯橡胶冲模»，机械工业出版社，1982年。
26. «冷冲模国家标准»。
27. K. Lange, Handbook of Metal Forming, 1985。
28. SME, Innovations in Die Design, 1982
29. Tool and Manufacfuring Engineers Handbook(Vol.1),1984。
30. В. П. Романовский, Справочник по холодной штамповке, 1979.
31. (日)栗原　昭八，実用プレス金型設計法，1980。
32. Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau, 1981。

http://shop62964869.taobao.com/