

教 案

2025-2026 学年第一学期

课程名称 模具设计

专业班级 数字化设计与制造技术 241

总学时数 64 学时

任课教师 陈楠楠

课程基本信息

课程名称	模具设计			
课程性质	专业课/必修课	学分	4	
学时	总学时: 64 学时 其中: 课堂讲授 54 学时; 课内实验 0 学时			
开课部门	机电工程系	任课教师	陈楠楠	
授课专业、班级	数字化设计与制造技术 241	开课学期	2025-2026 第一学期	
成绩评定	平时成绩占 <u>30</u> %; 期末成绩占 <u>70</u> %	考核方式	考试	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	冷冲压工艺与模具设计	杨关全	大连理工大学出版社	2019.8
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	本课程是数字化设计与制造技术专业的一门主干专业课程, 它是一门将冲压成形加工原理、冲压设备、冲压工艺、冲模设计与冲模制造有机融合, 综合性和实践性较强的课程。			
本课程教学目标	<p>通过本课程学习, 使学生在下列能力培养方面得到锻炼与提高:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.掌握中等难度的冲裁模具设计与制造, 能够独立完成一般制品的冲裁模具的设计。 2.能够完成 V 形件、U 形件等弯曲模具的设计与制造, 掌握弯曲模具设计的步骤和方法。 3.掌握拉深工艺的设计与计算, 能够完成圆筒形零件、带凸缘圆筒形件模具的设计与制造。 4.了解其他成形工艺与模具设计, 并能设计简单的其他成形工艺模具的设计。 			
素质 (思政) 内容与要求	<ol style="list-style-type: none"> 1.强调工匠精神。在教学过程中, 应引导学生理解工匠精神的内涵, 包括对工作的热爱、对技术的追求和对产品品质的严格把控。通过案例分析和企业参观, 让学生感受到优秀模具设计师和制造者在实际工作中坚持细节、追求完美的态度, 从而激励他们在学习和工作中坚持不懈、精益求精。 2.强化社会责任意识。讲授冲压模具在现代制造业中的重要性, 特别是其在推动产业升级、提高生产效率和环保方面的作用。同时, 引导学生认识到作为一名技术人员, 在推动企业发展的同时, 需关注社会可持续发展, 积极参与资源节约和环境保护, 树立服务社会的责任感。 3.培养团队合作精神。在模具设计与制造过程中, 常常需要跨学科的合作与协调。通过小组项目、实训和讨论等方式, 鼓励学生在团队中发挥各自的特长, 学习沟通与合 			

	<p>作，增强集体意识和团队协作能力，培养良好的职业素养。</p> <p>4.培养创新意识与适应能力。随着科技的发展，模具设计与制造的技术不断更新，学生需具备持续学习与创新的能力。通过引导学生关注行业前沿动态、参与技术研究与创新实践，激发他们的探索精神，鼓励其在学习过程中不断追求新知，以适应未来的职业发展需求。</p> <p>通过以上思政内容的融入，期望学生不仅在专业技能上有所提升，更能在思想素质、职业道德及社会责任感等方面得到全面发展，成为对社会有用的高素质技术人才。</p>
<p>学生用主要 参考资料</p>	<p>张兴友 主编：《冲压工艺与模具设计》 中国人民大学出版社。</p> <p>匡和碧 主编：《冲压模具设计实用教程》 化学工业出版社</p>

模块一 冷冲压基础

教学目标:

1. 了解常用冷冲压工序的概念以及冲孔、落料、弯曲、拉深等基本工序的典型应用;
2. 了解材料的塑性及塑性变形与冷冲压的关系;
3. 学会查找冷冲压材料各种相关的资料 (性能、规格、表面质量、厚度公差、标记等);
4. 掌握曲柄压力机规格、型号、主参数; 曲柄压力机选用。

教学重点:

1. 讲解冷冲压的基本概念
2. 材料的塑性及塑性变形与冷冲压的关系
3. 曲柄压力机选用

教学难点: 塑性变形与冷冲压的关系

素质 (思政) 内容与要求:

1. 强调冲压模具在现代制造业中的重要性, 激励学生树立创新意识与责任感。通过了解冲压模具的应用与发展, 培养学生对国家制造业升级的使命感和参与意识, 使其在未来工作中以提升国家工业水平为己任。

2. 学生需认识到冷冲压工序中的每一步都关系到产品质量与生产效率。强调工匠精神, 要求学生严谨对待每个细节, 树立质量意识, 将个人责任与团队目标结合, 促进团队合作。

3. 通过学习金属塑性变形的基本原理, 培养学生的理论素养, 使

其能够在实践中灵活应用，倡导科学精神和实事求是的态度，鼓励学生积极探索工程技术的本质。

4.引导学生理解先进设备对提高生产效率的重要性，并激励其关注设备的维护与保养，培养其对职业安全与责任心的重视，确保在实践中做到安全生产。

教学手段： 讲授、演示、提问

教学学时： 10

教学内容：

课程引入：

以学生较为熟悉的生活用品、家电、汽车等各行业中冲压件引入本章节。



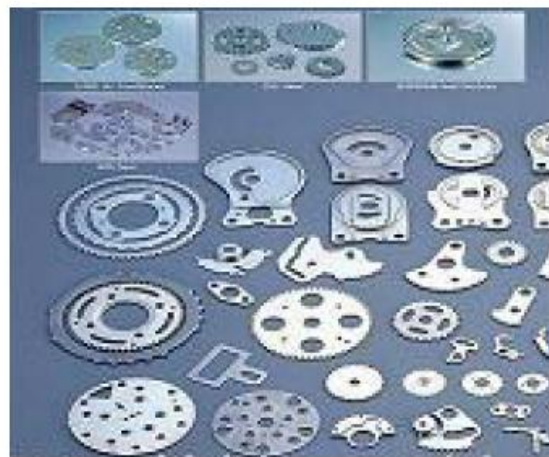
日常生活用品



食品行业



电机行业



仪器、仪表行业



家用电器、电脑行业



电子行业：接插件端子



电子行业



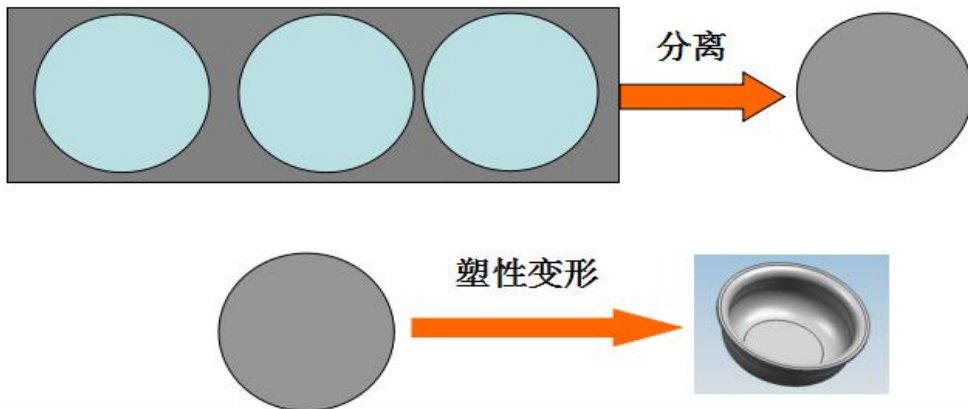
汽车行业



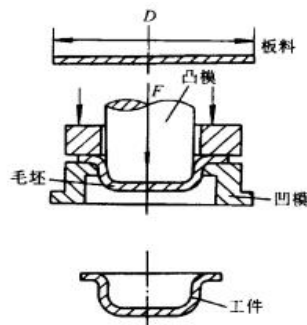
航空业及军事

1.1 冲压的概念:

在常温下，利用冲模在压力机上对金属（或非金属）板料施加压力，使其产生分离或塑性变形，从而得到具有一定形状、尺寸和性能的零件。



- (1) 冲压是在常温下进行的,即不需加热,故又叫冷冲压。
- (2) 冲压加工的对象都是板料, 故又称为板料冲压。
- (3) 冲压是由设备和模具完成其加工过程的, 需具备三个要素: 冲床(设备)、模具、原材料。
- (4) 冲压是塑性变形的基本形式之一。



- (1) 生产率高，多则一分钟上千次；
- (2) 操作简单，便于实现机械化和自动化。
- (3) 产品精度高，互换性好。
- (4) 材料利用率高，一般可达 70%~85%，有的高达 95%。
- (5) 可得到重量轻，刚性好，强度大的零件。
- (6) 批量大，产品成本低。

表 1.1 各类产品中冲压加工零件所占比例

产品	汽车	仪器仪表	电子	电机电器	家用电器	自行车、手表
比例/%	60~70	60~70	>85	70~80	≤90	>80

模具制造周期长，成本高。

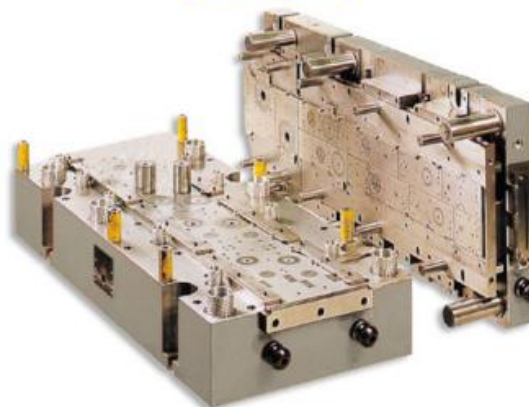


车门板修边
冲孔模：98
万元



自动叠铆级
进模：98万
元

传统加工方法
和手段及传统
模具材料



冲压加工的缺点

1.2 冲压工艺的分类

1. 按变形性质分类

- 分离工序
- 成形工序

(1) 分离工序

坯料的一部分与另一部分沿一定的轮廓线发生断裂而分离，从而形成一定形状和尺寸的零件。分离工序主要有：冲孔、落料、切边、切断、剖切等。

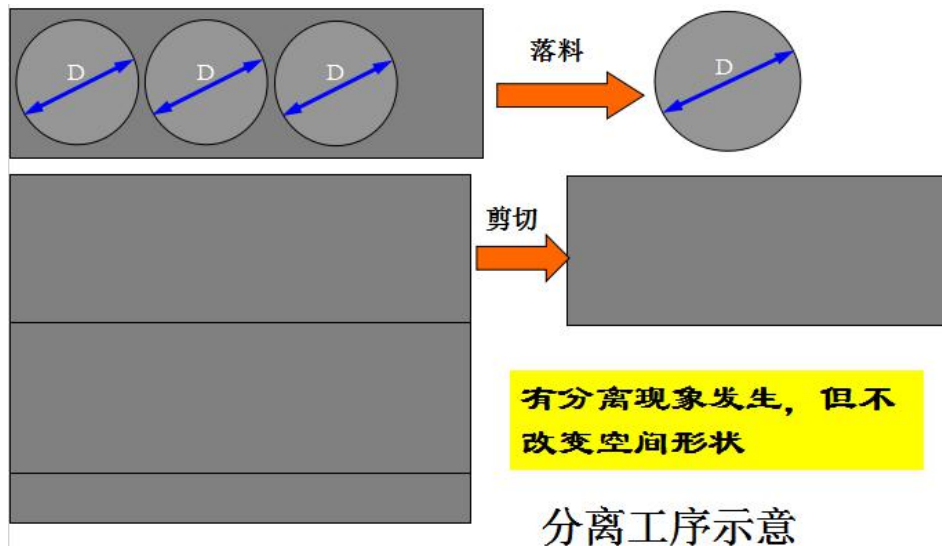
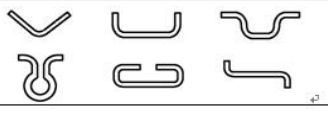
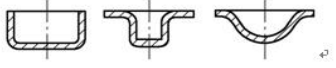









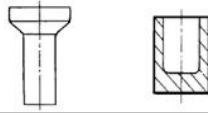

表 1.2 分离工序

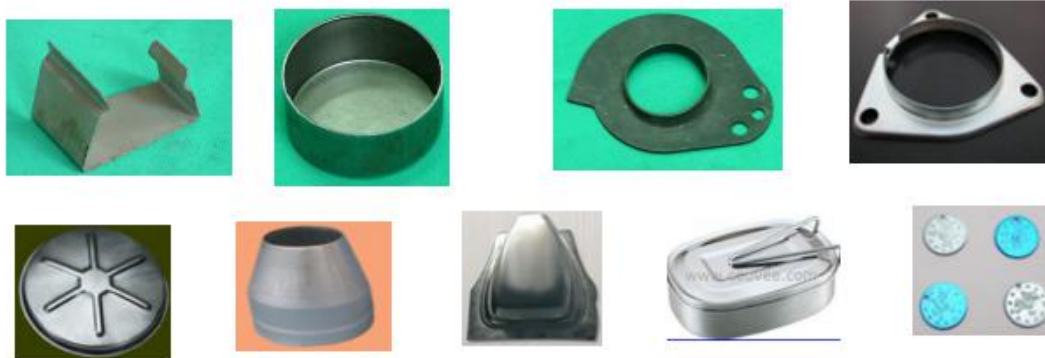
工序名称	简图	特点
落料		沿封闭轮廓线冲切，冲下部分是零件
冲孔		沿封闭轮廓线冲切，冲下部分是废料
切边		切去成形零件多余的边缘材料，使边缘成一定形状
切断		沿不封闭轮廓切断，使板料分离
剖切		将半成品切开成为二个或多个零件，多用于不对称零件成组冲压之后的分离
切舌		沿三边冲切，保持一边和板料相连

(2) 成形工序 坯料在外力作用下产生塑性变形，获得一定形状和尺寸的零件。成形工序主要包括弯曲、拉深、翻边、胀形等，见表 1.3。

表 1.3 成形工序

工序名称	简图	特点
弯曲		沿直线弯成一定的角度和形状
拉深		将板材毛坯拉成各种空心零件
变薄拉深		将空心毛坯加工成底部厚度大于侧壁厚度的零件
翻边		沿曲线将孔边缘或外边缘翻出竖立或一定角度的直边

胀形		使空心毛坯在双向拉应力作用下的变形
压筋 压凸包		在板材毛坯或零件的表面上压制各种筋或凸包
扩口		使空心毛坯局部径向尺寸扩大的变形
缩口		使空心毛坯的局部径向尺寸缩小的变形
旋压		毛坯在旋转状态下用根据使之逐步成形的办法
挤压		毛坯在强力作用下, 从模具间隙中挤出, 产生断面减小的成形方法
拉弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形

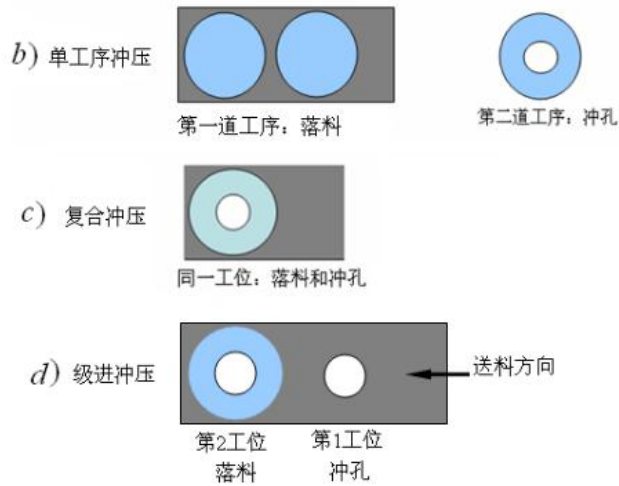


成形工序主要有弯曲、拉深、翻孔、缩口、胀形等。

2、按基本变形方式分类:

- (1) 冲裁 使材料沿封闭或不封闭的轮廓剪裂而分离的冲压工序, 如冲孔、落料等。
- (2) 弯曲 将材料弯成一定角度或形状的冲压工序, 如压弯、卷边等。
- (3) 拉深 将平板毛坯拉成空心件, 或将空心件的尺寸作进一步改变的冲压工序。
- (4) 成形 使材料产生局部变形, 以改变零件或毛坯形状的冲压工序, 如翻边、缩口等。

- 单工序冲压
- 复合冲压
- 级进冲压



1.3 塑性变形的力学基础

金属塑性成形时，外力通过模具或其他工具作用在坯料上，使其内部产生应力，并且发生塑性变形。由于外力的作用状况、坯料的尺寸与模具的形状千差万别，从而引起材料内各点的应力与应变也各不相同。因此需要研究变形体内各点的应力状态、应变状态以及产生塑性变形时各应力之间的关系与应力应变之间的关系。在变形物体上任意点取一个微量六面单元体，该单元体上的应力状态可取其

在变形物体上任意点取一个微量六面单元体，该单元体上的应力状态可取其相互垂直表面上的应力来表示，沿坐标方向可将这些应力分解为九个应力分量，其中包括三个正应力和六个切应力，如图1.4(a)所示。相互垂直平面上的切应力互等， $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ， $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ， $\tau_{zx} = \tau_{xz}$ 。

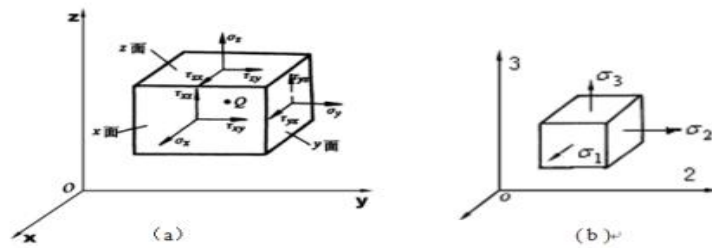


图 1.4 点的应力状态

(a) 任意坐标系 (b) 主轴坐标系

应变也具有与应力相同的表现形式。单元体上的应变也有正应变与切应变，当采用主轴坐标时，单元体六个面上只有三个主应变分量 ε_1 、 ε_2 和 ε_3 ，而没有切应变分量。塑性变形时物体主要是发生形状的改变，体积变化很小，可忽略不计，即：

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$$

此即为塑性变形体积不变定律。它反映了三个主应变值之间的相互关系

屈服准则（塑性条件）

当物体受单向应力作用时，只要其主应力达到材料的屈服极限，该点就进入塑性状态。而对于复杂的三向应力状态，就不能仅根据某一个应力分量来判断该点是否达到塑性状态，而要同时考虑其他应力分量的作用。只有当各个应力分量之间符合一定的关系时，该点才开始屈服，这种关系就称为塑性条件，或称屈服准则。

$$\text{屈服准则通式： } \sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_s$$

σ_1 、 σ_3 、 σ_s ——最大、最小主应力、材料的屈服应力。 β 为应力状态系数，其值在1.0~1.155范围内。单向应力状态及轴对称应力状态（双向等拉、双向等压）时，取 $\beta=1.0$ ；平面变形状态时，取 $\beta=1.155$ 。在应力分量未知情况下， β 可取近似平均值1.1。

塑性变形应力与应变的关系：

物体在弹性变形阶段，应力与应变之间的关系是线性的，与加载历史无关。而塑性变形时应力应变关系则是非线性的、不可逆的，应力应变不能简单叠加。塑性应力与应变增量之间的关系式，即增量理论，其表达式如下：

$$d\varepsilon_{ij} = \sigma'_{ij} d\lambda$$

$$\text{全量理论公式： } \frac{\varepsilon_1}{\sigma_1} = \frac{\varepsilon_2}{\sigma_2} = \frac{\varepsilon_3}{\sigma_3} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \lambda$$

硬化现象和硬化曲线:

金属材料在常温下塑性变形的重要特点之一是加工硬化。其结果是引起材料力学性能的变化,表现为材料的强度指标(屈服强度 σ_s 与抗拉强度 σ_b)随变形程度的增加而增加;塑性指标(伸长率 δ 与断面收缩率 ψ)随之降低。

数学函数的幂次式: $\sigma = K\varepsilon^n$

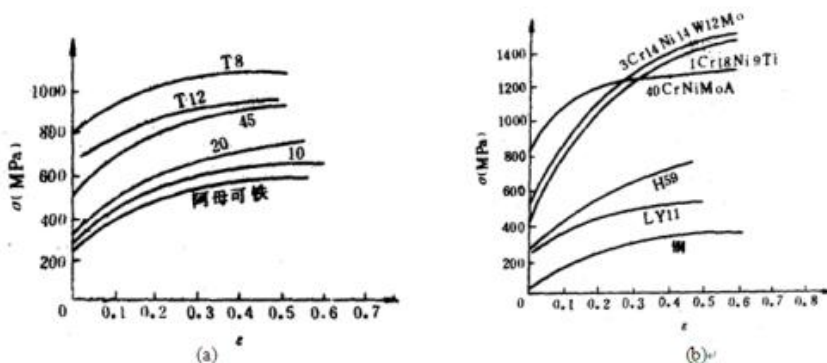


图 1.6 几种常用冲压板材的硬化曲线。

材料	n	K (MPa)	材料	n	K (MPa)
08F	0.185	708.76	H62	0.513	773.38
08Al (ZF)	0.252	553.47	H68	0.435	759.12
08Al (HF)	0.247	521.27	QSn6.5-0.1	0.492	864.49
10	0.215	583.84	Q235	0.236	630.27
20	0.166	709.06	SPCC(日本)	0.212	569.76
LF2	0.164	165.64	SPCD(日本)	0.249	497.63
LY12M	0.192	366.29	1Cr18Ni9Ti	0.347	1093.61
T2	0.455	538.37	L4M	0.286	112.43

1.4 冲压件材料

对冲压材料的基本要求是:

(1) 满足使用性能要求 冲压件应具有一定的如强度、刚度、冲击韧性等力学性能要求。此外,有的冲压件还有一些物理、化学等方面的特殊要求,如电磁性、耐蚀性、传热性和耐热性等。

(2) 满足冲压工艺要求 冲压加工属于塑性变形,要求材料具有良好的塑性、较低的变形抗力等。

冲压材料的工艺要求:

1. 冲压成形性能：(1) 抗破裂性 (2) 贴模性 (3) 定形性
2. 对力学性能的要求：(1) 屈服极限 (2) 屈强比 (3) 伸长率和均匀伸长率
(4) 弹性模量 E (5) 硬化指数 n (6) 塑性应变比 r (7) 各向异性系数 Δr
3. 对化学成分的要求：钢中的碳、硅、锰、磷、硫等元素的含量增加，会使材料的塑性降低、脆性增加。
4. 对金相组织的要求：供应状态分为退火状态（或软态）(M)、淬火状态 (C) 或硬态 (Y)。
5. 对表面质量的要求：材料表面应光滑，无氧化皮、裂纹、划伤等缺陷。
6. 对材料厚度公差的要求：厚度公差分：A (高级)、B (较高级)、和 C (普通级) 3 种。

常用冲压材料：

黑色金属板料按性质可分为：

- (1) 普通碳素结构钢。如 Q195、Q235 等（表示屈服强度为 195、235MPa）。
- (2) 优质碳素结构钢。如 08、08F、10、20、15Mn、20Mn 等，冲压性能和焊接性能均较好。
- (3) 低合金高强度钢。如 Q345 等。
- (4) 电工硅钢。如热轧电工硅钢板 DR510、DR490 等。
- (5) 不锈钢。如 1Cr18N19Ti、1Cr13 等，用以制造有防腐蚀防锈要求的零件。

常用有色金属有铜及铜合金如黄铜等，牌号 T1、T2、H62、H68 等，其塑性、导电性与导热性均很好。还有铝及铝合金，常用的牌号有 L2、L3、LF21 等，有较好塑性，变形抗力小且轻。

非金属材料有胶木板、橡胶、塑料板等。

表 1.5 部分常用冲压材料的力学性能

材料名称	牌号	材料状态	抗剪强度 τ/MPa	抗拉强度 σ_s/MPa	伸长率 $\delta_s/\%$	屈服强度 σ_s/MPa
电工用纯铁 $C<0.025$	DT1、DT2、 DT3	已退火	180	230	26	—
普通碳素钢	Q195	未退火	260~320	320~400	28~33	200
	Q235		310~380	380~470	21~25	240
	Q275		400~500	500~620	15~19	280
优质碳素 结构钢	08F	已退火	220~310	280~390	32	180
	08		260~360	330~450	32	200
	10		260~340	300~440	29	210
	20		280~400	360~510	25	250
	45		440~560	550~700	16	360
	65Mn	已退火	600	750	12	400
不锈钢	1Cr13	已退火	320~380	400~470	21	415
	1Cr18Ni9Ti	热处理退软	430~550	540~700	40	200
铝	L2、L3、L5	已退火	80	75~110	25	50~80
		冷作硬化	100	120~150	4	—
铝锰合金	LF21	已退火	70~110	110~145	19	50
硬铝	LY12	已退火	105~150	150~215	12	—
		淬硬后冷作硬化	280~320	400~600	10	340
纯铜	T1、T2、T3	软态	160	200	30	7
		硬态	240	300	3	—
黄铜	H62	软态	260	300	35	—
		半硬态	300	380	20	200
	H68	软态	240	300	40	100
		半硬态	280	350	25	—

1.5 冲压设备

冲压设备种类包括机械压力机、液压机、摩擦压力机等,见图。

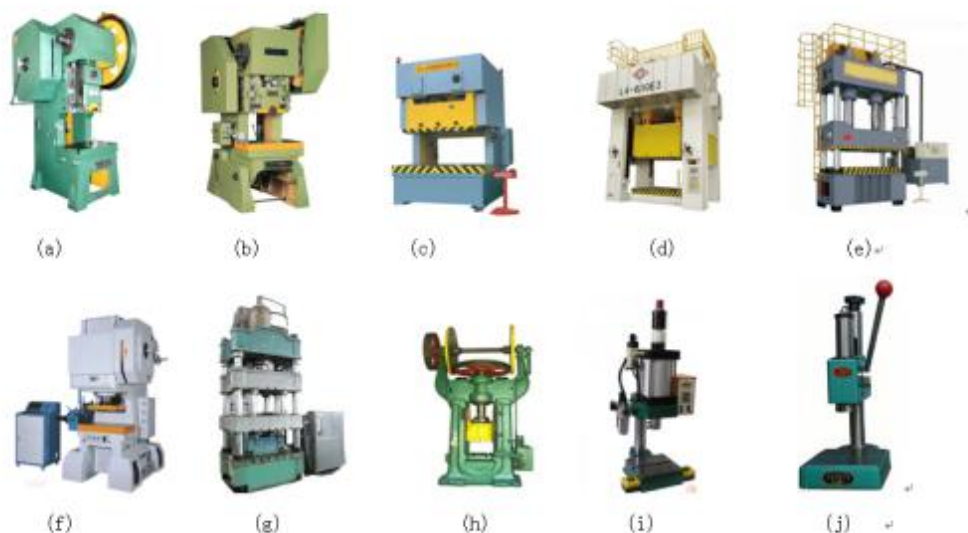
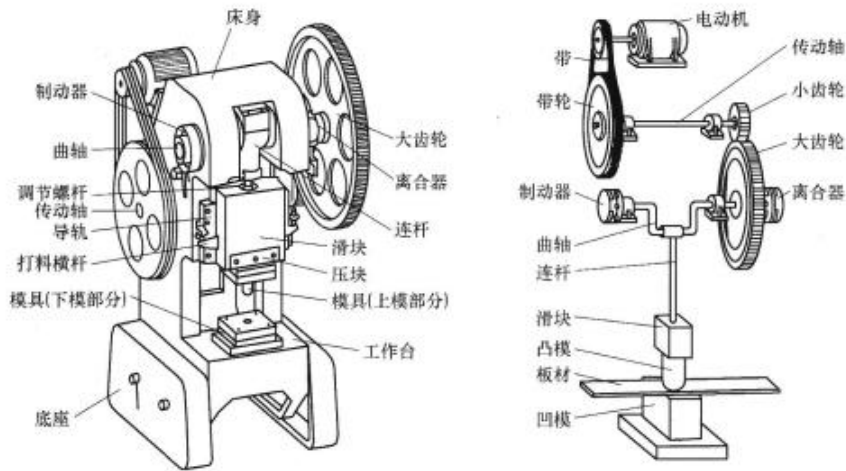


图 1.8 压力机

(a) 开式固定台曲柄压力机 (b) 开式可倾曲柄压力机 (c) 宽台面开式双点曲柄压力机 (d) 闭式四点曲柄压力机 (e) 液压机
(f) 高速精密压力机 (g) 双动拉深液压机 (h) 摩擦压力机 (i) 气动冲床 (j) 手动冲床



曲柄压力机

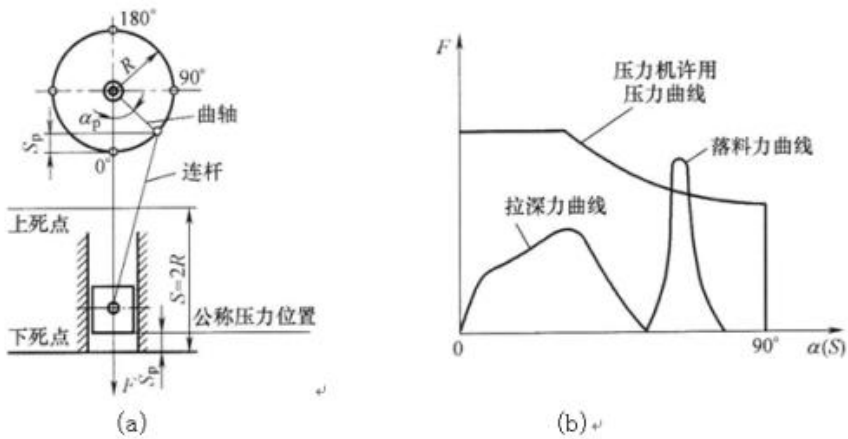


图 1.10 曲柄滑块机构运动简图与压力机许用负荷曲线

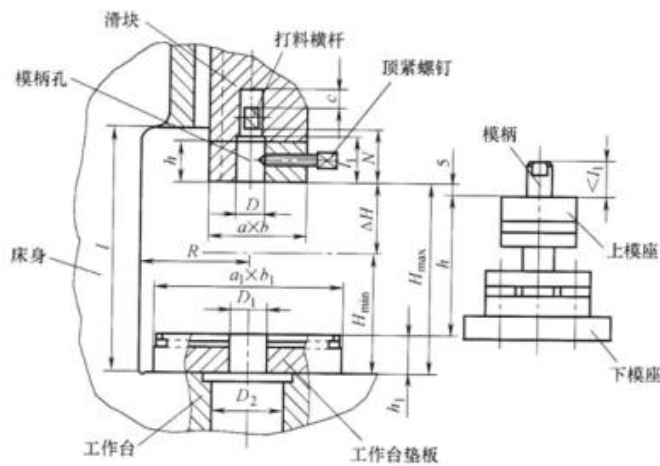


图 1.11 压力机技术参数

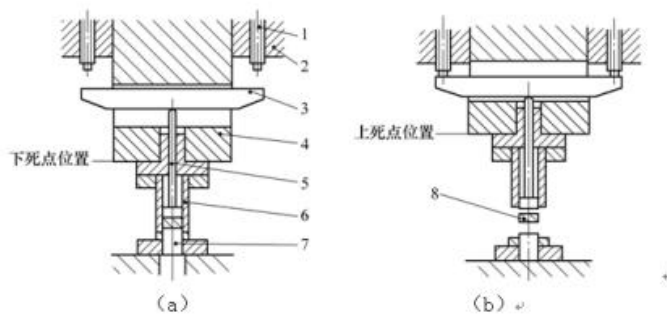


图 1.12 打料横杆打料过程简图

(a)滑块在下死点时 (b)滑块在上死点时

1—打料螺钉 2—螺钉座 3—打料横杆 4—滑块 5—顶料杆 6—上模 7—下模 8—工件

1.6 冲压常用标准

冲模标准是指在冲模设计与制造中应该遵循和执行的技术规范。

冲模标准化的意义有以下几个方面：

- (1) 可以缩短模具设计与制造周期，提高模具制造质量和性能，降低模具成本。
- (2) 模具标准化有利于模具工作者摆脱大量重复的一般性设计，将主要精力用来改进模具结构，解决模具关键技术问题，进行创造性劳动。
- (3) 模具标准化有利于模具的计算机辅助设计与制造，是实现现代化模具生产的基础
- (4) 模具标准化有利于国内、国际的商业贸易和技术交流，增强企业、国家的技术经济实力。

表 1.9 部分冲模常用标准

标准名称	标准代号	标准名称	标准代号
冲模术语	GB/T 8845-2006	冲模模架技术条件	JB/T 8050-2008
冲压件尺寸公差	GB/T 13914-2002	冲模滑动导向模座 第1部分：上模座	GB/T 2855.1-2008
冲压件角度公差	GB/T 13915-2002	冲模滑动导向模座 第2部分：下模座	GB/T 2855.2-2008
冲压件形状和位置未注公差	GB/T 13916-2002	冲模滚动导向模座 第1部分：上模座	GB/T 2856.1-2008
冲压件未注公差尺寸极限偏差	GB/T 15055-2007	冲模滚动导向模座 第2部分：下模座	GB/T 2856.2-2008
冲裁间隙	GB/T 16743-2010	冲模模板	JB/T 7643.1~7643.6-2008
金属冷冲压件结构要素	JB/T 4378.1-1999	冲模导向装置	JB/T 7645.1~7645.8-2008
金属冷冲压件通用技术条件	JB/T 4378.2-1999	冲模模柄	JB/T 7646.1~7646.6-2008
精密冲裁件质量	JB/T 9175.2-1999	冲模导正销	JB/T 7647.1~7647.4-2008
精密冲裁件结构工艺性	JB/T 9175.1-1999	冲模侧刃和导料装置	JB/T 7648.1~7648.8-2008
精密冲裁件工艺编制原则	JB/T 6957-2007	冲模挡料和弹顶装置	JB/T 7649.1~7649.10-2008
金属板料压弯工艺设计规范	JB/T 5109-2001	冲模卸料装置	JB/T 7650.1~7650.8-2008
金属板料拉深工艺设计规范	JB/T 6959-2008	冲模废料切断刀	JB/T 7651.1~7651.2-2008
冲模技术条件	GB/T 14662-2006	冲模限位支承装置	JB/T 7652.1~7652.2-2008
冲模零件技术条件	JB/T 7653-2008	冲模圆柱头直杆圆凸模	JB/T 5825-2008
冲模滑动导向模架	GB/T 2851-2008	冲模圆柱头缩杆圆凸模	JB/T 5826-2008
冲模滚动导向模架	GB/T 2852-2008	冲模60°锥头直杆圆凸模	JB/T 5827-2008
冲模滑动导向钢板模架	GB/T 23565.1~23565.4-2009	冲模60°锥头缩杆圆凸模	JB/T 5828-2008
冲模滚动导向钢板模架	GB/T 23563.1~23563.4-2009	冲模球锁紧圆凸模	JB/T 5829-2008
冲模模架零件技术条件	JB/T 8070-2008	冲模圆凹模	JB/T 5830-2008
冲模模架精度检查	JB/T 8071-2008	冲模零件技术条件	JB/T 7653-2008

1.7 冲压技术发展

1. 冲压模具市场情况
2. 冲压成形工艺与理论研究
3. 冲模设计与制造
4. 冲压设备和冲压生产自动化方面
5. 冲模标准化及专业化生产方面
6. 冲压技术的数字化与信息化

思考与练习题 1

1. 什么是冲压三要素？
2. 冲压加工有哪些特点？
3. 板料的拉伸试验所测得的力学性能指标有哪些？这些指标对冲压成形性能有什么影响？
4. 什么是伸长类变形？什么是压缩类变形？板料成形中哪些是伸长类变形？哪些是压缩类变形？如何划分？
5. 材料的哪些力学性能对伸长类变形有重大影响？哪些对压缩类变形有重大影响？为什么？
6. 当 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 时，利用全量理论和体积不变定律进行分析：
 - (1) 当 σ_1 是拉应力时， ε_1 是否是拉应变？
 - (2) 当 σ_1 是压应力时， ε_1 是否是压应变？
 每个主应力方向与所对应的主应变方向是否一定一致？
7. 用“弱区必先变形，变形区应为弱区”的规律说明圆形坯料拉深成形的条件。
8. 冲压对材料有哪些基本要求？如何合理选用冲压材料？
9. 试分析比较 08 钢、1Cr13、H62（软）三种材料的冲压成形性能。

模块二 冲裁

教学目标：

1. 了解冲裁工艺的变形过程、质量分析及控制；
2. 学会冲裁工艺计算及设计；
3. 了解冲裁模的基本类型及构造；
4. 了解冲裁模主要零件的设计及标准的选用，并应用到实际的设计中。

教学重点：

1. 冲裁工艺计算及设计；
2. 冲裁模主要零件的设计及标准的选用；
3. 开瓶起子落料冲孔模设计（实际应用设计）。

教学难点：冲裁工艺的具体应用（开瓶起子落料冲孔模设计）

素质（思政）内容与要求：

1. 通过理论与实际案例相结合的方式，培养学生的分析和解决问题

题的能力。强调冲裁工艺的科学性和合理性，要求学生在设计和实施过程中保持严谨态度，关注工艺与环境的协调，树立可持续发展的意识，力求在技术应用中实现经济效益与社会效益的双赢。

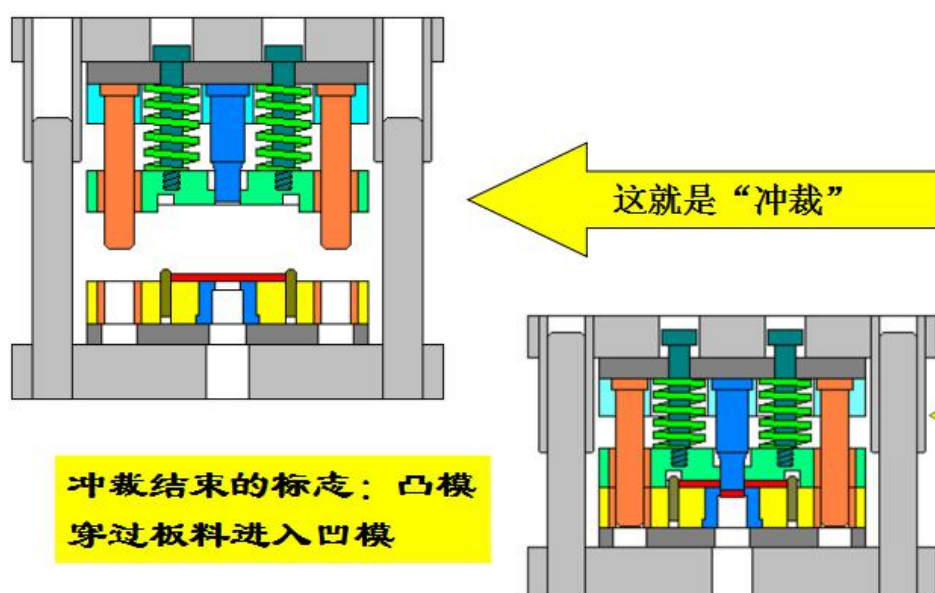
2.通过冲裁工艺的学习，引导学生树立对工艺流程的整体观念，培养其系统思维能力，要求其在学习中关注如何优化工艺，提升生产效率。

3.通过具体实例教学，让学生认识到小产品设计中的大智慧，培养其创新意识和实际动手能力，激励其在设计中追求功能与美学的结合。

教学手段：讲授、演示、提问

教学学时：12

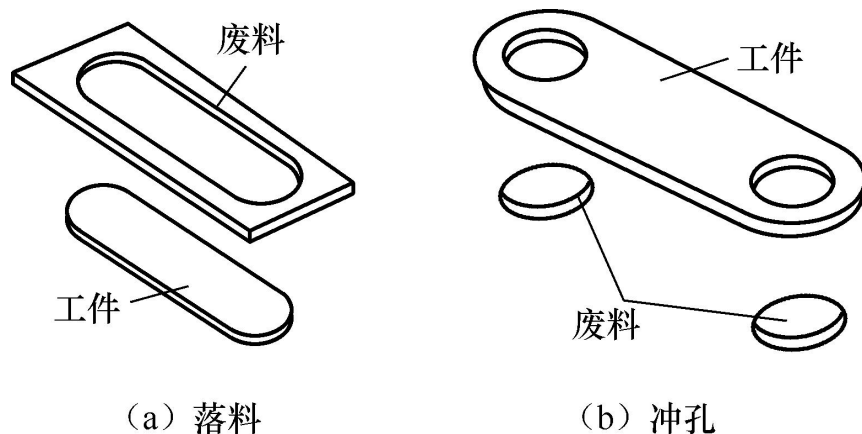
教学内容：



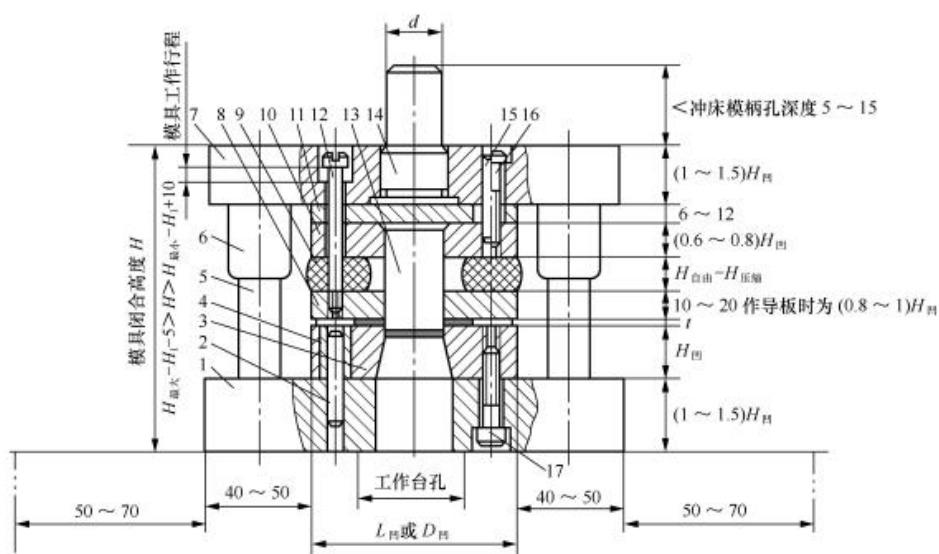
冲裁概念

冲裁是利用模具使板料产生分离的冲压工序。它包括：落料、冲孔、切口、

切边、剖切、整修等。通常所说冲裁主要是指落料和冲孔。从板料上沿封闭轮廓冲下所需形状的冲件或工序件叫**落料**；从工序件上冲出所需形状的孔(冲去部分为废料)叫**冲孔**。



冲裁模典型结构和模具总体设计尺寸关系图



1—下模座；2—销钉；3—凹模；4—套；5—导柱；6—导套；7—上模座；8—卸料板；9—橡胶；10—凸模固定板；11—垫板；12—卸料螺钉；13—凸模；14—模柄；15—圆柱销；16、17—螺钉

2.1 冲裁变形过程分析

冲裁变形过程
 (1)弹性变形阶段
 (2)塑性变形阶段
 (3)断裂分离阶段

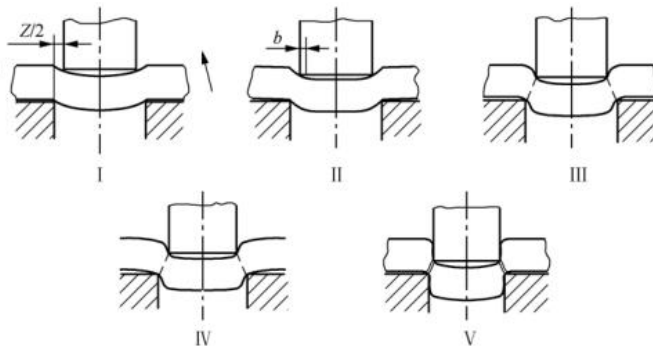


图 2.3 冲裁变形过程。

I—弹性变形阶段图；II—塑性变形阶段图；III、IV和V—断裂分离阶段。

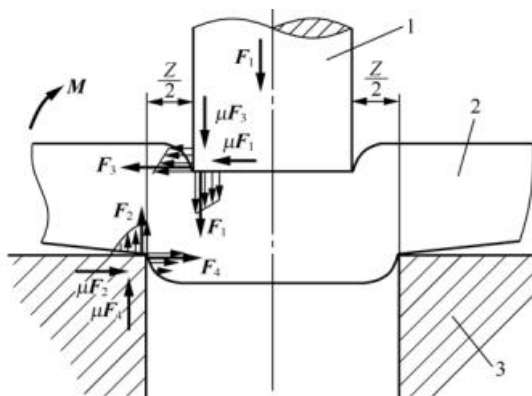


图 2.4 无压紧装置冲裁时板料的受力

1—凸模；2—板材；3—凹模。

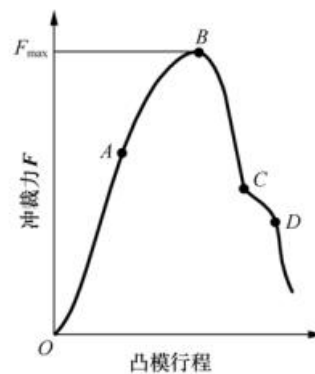


图 2.5 冲裁力-凸模行程曲线图

材料受力分析

2.2 冲裁件质量分析及控制

冲裁件质量指：

- 断面质量：垂直、光洁、毛刺小
- 尺寸精度：图纸规定的公差范围内
- 形状误差：外形满足图纸要求；表面平直，即拱弯小

1.冲裁件的断面特征

正常间隙下，冲裁件断面由四个部分组成：

塌角带a： 刃口附近的材料产生弯曲和拉伸变形。

光亮带b： 塑性剪切变形。质量最好的区域。

断裂带c： 裂纹形成及扩展。



冲裁件断面特征实物图片

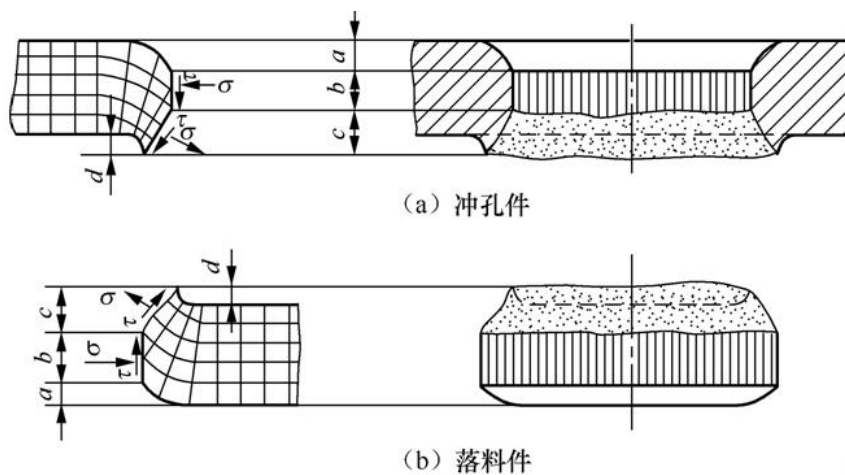
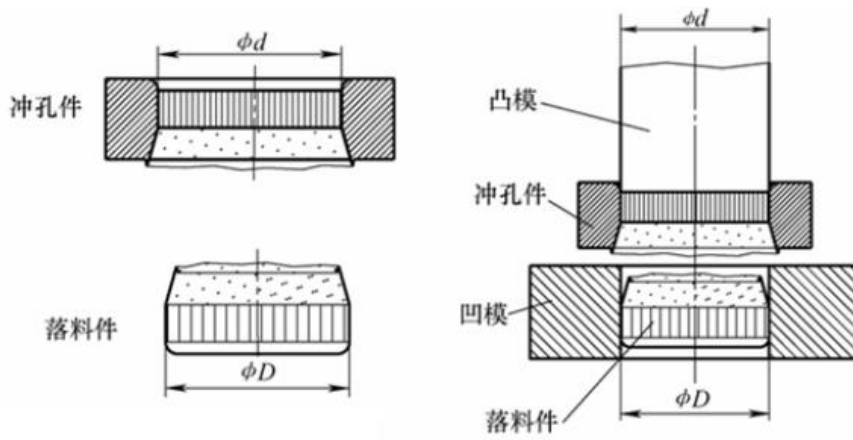


图 2.6 冲裁区应力、变形和冲裁件正常的断面状况图。

重要结论(不考虑弹性回复)

落料件尺寸 = 凹模刃口尺寸
 冲孔件尺寸 = 凸模刃口尺寸



影响冲裁件断面质量的因素：(1) 材料力学性能 (2) 模具间隙 (3) 模具刃口状态

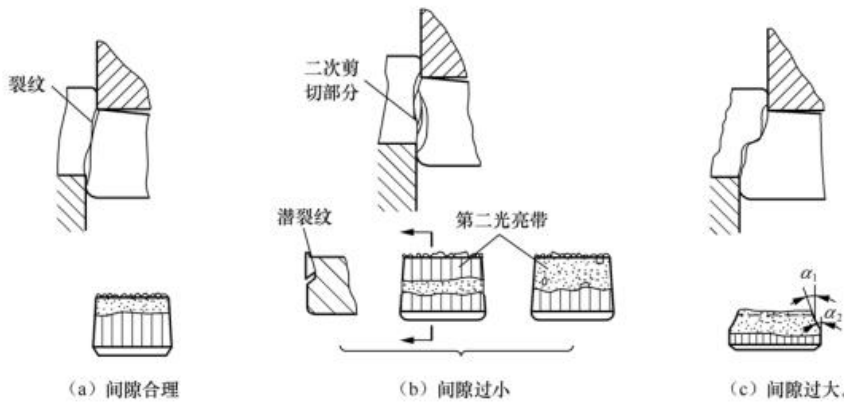


图 2.7 间隙对剪切裂纹与断面质量的影响。

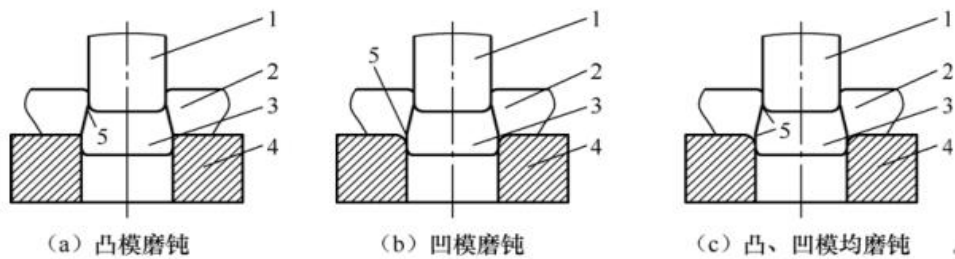


图 2.8 凸、凹模刃口磨钝时毛刺的形成情况图。

1—凸模；2—冲孔件；3—落料件；4—凹模；5—粗大的毛刺。

冲裁件精度与影响因素：

- 1.冲裁件尺寸精度：冲裁件的尺寸精度指冲裁件的实际尺寸与图纸标注尺寸之差。
- 2.冲裁件形状误差：冲裁件的形状误差是指翘曲、扭曲、变形等缺陷。
- 3.冲裁件尺寸精度的影响因素：
 - (1) 冲裁模的制造精度
 - (2) 冲裁件材料性质
 - (3) 冲裁间隙

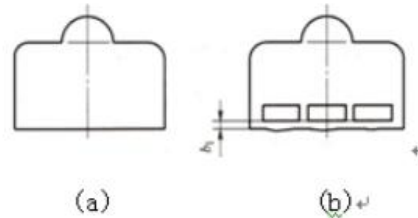


图 2.9 孔间距或孔边距过小引起变形

(a)冲孔前

(b)冲孔后

冲裁件质量控制

1. 模具工作部分尺寸偏差的控制
2. 模具间隙的控制
3. 冲裁材料的控制
4. 其他方面因素的控制

2.3 冲裁工艺计算

冲裁件的实际面积与所用板料面积的百分比叫材料利用率，它是衡量合理利用材料的经济性指标，一个步距内的材料利用率 η_1 可用下式表示：

$$\eta_1 = \frac{A_1}{B \times S} \times 100\%$$

A_1 为一个步距内冲裁件的实际面积 (mm^2)； B 为条料宽度 (mm)； S 为步距 (mm)

考虑到料头、料尾和边余料的材料消耗，则一张板料(或带料、条料)上总的材料利用率为：

$$\eta_{\text{总}} = \frac{nA_1}{B \times L} \times 100\%$$

n 为一张板料（或带料、条料）上冲裁件的总数目； L 为板料长度 (mm)

冲裁废料分为两类：一类是**结构废料**，是由冲件的形状决定的；另一类是**工艺废料**，搭边及料头料尾属于工艺废料，与排样形式及冲压方式有关。如图2.10为废料分类图。

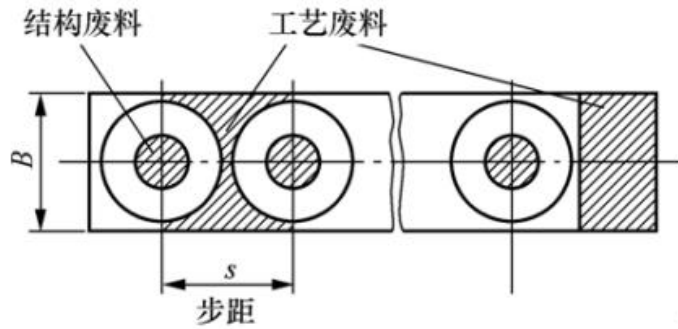
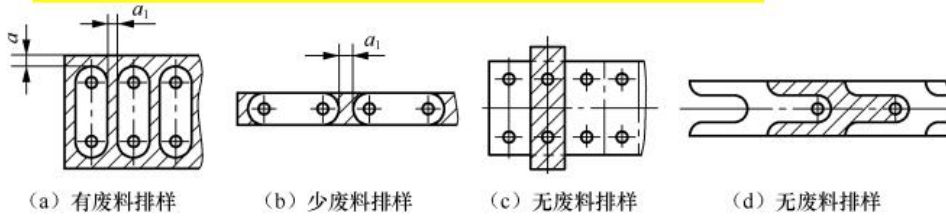


图 2.10 废料分类图。

排样形式可分为三种：有废料排样、少废料排样和无废料排样。



(a) 有废料排样

(b) 少废料排样

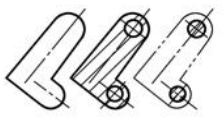
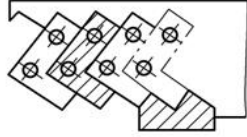
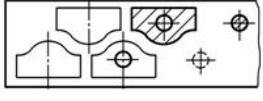
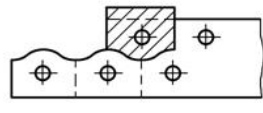
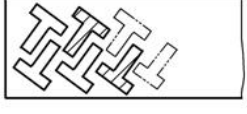
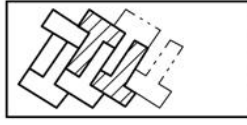
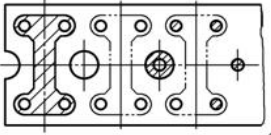
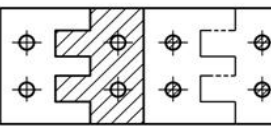
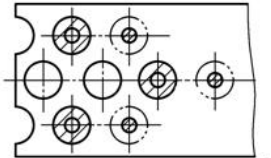
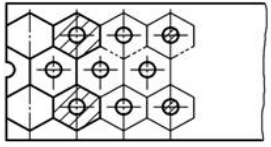
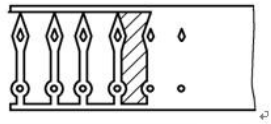
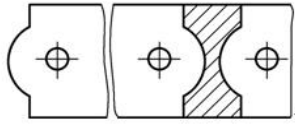
(c) 无废料排样

(d) 无废料排样

排样的形式可分为直排、斜排、直对排、斜对排、混合排、多行排及搭边等形式。

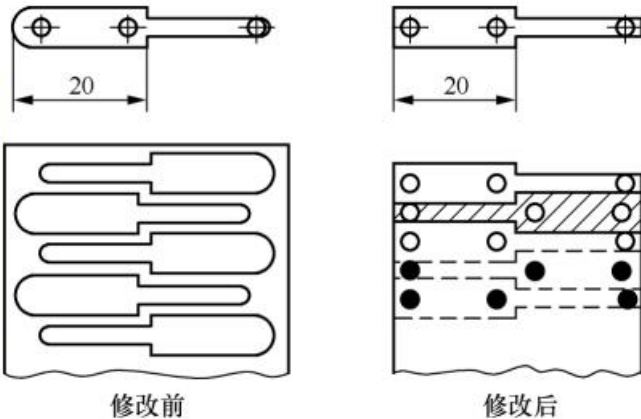
表 2.1 排样的主要形式表

排样形式	有废料排样		少、无废料排样	
	简图	应用	简图	应用
直排		用于简单几何形状(方形、圆形、矩形)的冲件		用于矩形或方形冲件

斜排		用于 T 形、L 形、S 形、十字形、椭圆形冲件。		用于 L 形或其他形状的冲件，在外形上允许有不大的缺陷。
直对排		用于 T 形、U 形、山形、梯形、三角形、半圆形的冲件。		用于 T 形、U 形、山形、梯形、三角形冲件，在外形上允许有少量的缺陷。
斜对排		用于材料利用率比直对排高时的情况。		多用于 T 形冲件。
混合排		用于材料和厚度都相同的两种以上的冲件。		用于两个外形互相嵌入的不同冲件（铰链等）。
多排		用于大批生产中尺寸不大的圆形、六角形、方形、矩形冲件。		用于大批量生产中尺寸不大的方形、矩形及六角形冲件。
冲裁搭边		在大批生产中用于小的窄冲件（表针及类似的冲件）或带料的连续拉深。		用于以宽度均匀的条料或带料冲裁的长形件。

影响排样形式的因素：

- (1) 零件的形状
- (2) 零件的断面质量、精度要求
- (3) 冲模结构
- (4) 模具寿命
- (5) 操作的方便与安全
- (6) 生产率



1、搭边的确定

表 2.2 普通低碳钢搭边值的经验数表 (mm)

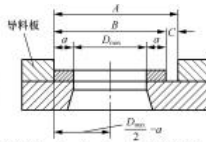
材料厚度 t	圆形或圆角 r>2t 的工作		矩形件边长 L<50mm		矩形件边长 L≥50mm 或圆角 r<2t	
	工件间 a	侧边 a	工件间 a	侧边 a	工件间 a	侧边 a
<0.25	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
0.25~0.5	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
0.5~0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
0.8~1.2	0.8	1.0	1.2	1.5	1.5	1.8
1.2~1.6	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
1.6~2.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.0	2.2
2.0~2.5	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.5
2.5~3.0	1.8	2.2	2.2	2.5	2.5	2.8
3.0~3.5	2.2	2.5	2.5	2.8	2.8	3.2
3.5~4.0	2.5	2.8	2.5	3.2	3.2	3.5
4.5~5.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5
5.0~12	0.6t	0.7t	0.7t	0.8t	0.8t	0.9t

表 2.3 系数 c

材料 c	中碳钢 c	高碳钢 c	硬黄铜 c	硬铝 c	软黄铜、纯铜 c	铝 c	非金属 c
c 值 c	0.9 c	0.8 c	1~1.1 c	1~1.2 c	1.2 c	1.3~1.4 c	1.5~2 c

2、条料宽度的确定

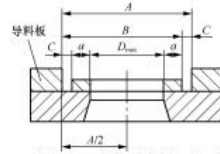
1) 有侧压板的冲裁



$$B^{\circ-\Delta} = (D_{\max} + 2a)_{-\Delta}$$

$$A = B + C = D_{\max} + 2a + C$$

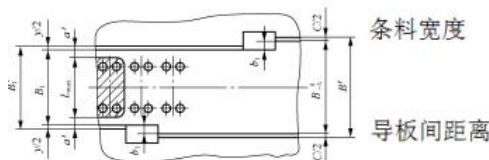
2) 无侧压装置时条料的宽度与导料板间距离确定



$$B^{\circ-\Delta} = (D_{\max} + 2a + C)_{-\Delta}$$

$$A = B + C = D_{\max} + 2a + 2C$$

3) 有定距侧刃时条料的宽度与导料板间距离确定



$$B_1 = L_{\max} + 2a'$$

$$B^{\circ-\Delta} = (B_1 + nb_1)^{\circ-\Delta} = (L_{\max} + 2a' + nb_1)^{\circ-\Delta}$$

$$B' = B + c = L_{\max} + 2a' + nb_1 + c$$

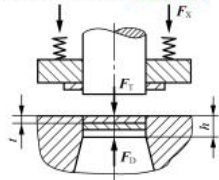
$$B_1' = B_1 + y = L_{\max} + 2a' + y$$

冲裁过程中的主要工艺力有冲裁力、卸料力、推件力和顶件力。计算冲裁工艺力的目的是：选择冲压设备、校核模具强度。

1. 冲裁力的计算 $F = KLtr_b$ $F \approx Lt\sigma_b$

2. 卸料力及推件力的计算

从凸模上卸下箍着的料所需要的力称**卸料力**；将凹模内的料顺冲裁方向推出所需要的力称**推件力**；逆冲裁方向将料从凹模内顶出所需要的力称**顶件力**。



$$F_X = K_X F$$

$$F_T = nK_T F$$

$$F_D = K_D F$$

表 2.8 卸料力、推件力和顶件力系数表

料厚 t/mm	K_X			K_T	K_D
	K_X	K_T	K_D		
钢	≤0.1	0.065~0.075	0.1	0.14	
	>0.1~0.5	0.045~0.055	0.063	0.08	
	>0.5~2.5	0.04~0.05	0.055	0.06	
	>2.5~6.5	0.03~0.04	0.045	0.05	
	>6.5	0.02~0.03	0.025	0.03	
铝、铝合金	0.025~0.06		0.03~0.07		
铸钢、黄铜	0.02~0.06		0.03~0.09		

压力机吨位的选择：

压力机的公称压力必须大于或等于冲裁时各工艺力的总和 F_Z

采用弹性卸料装置和下出料方式的冲裁模时：

$$F_Z = F + F_X + F_T$$

采用弹性卸料装置和上出料方式的冲裁模时：

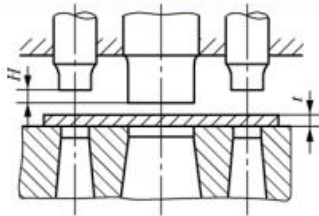
$$F_Z = F + F_X + F_D$$

采用刚性卸料装置和下出料方式的冲裁模时：

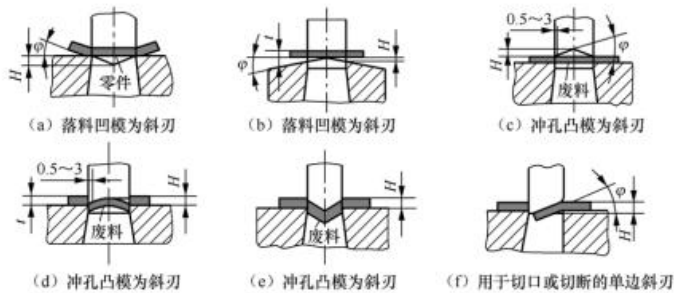
$$F_Z = F + F_T$$

降低冲裁力的方法

(1) 阶梯凸模冲裁



(2) 斜刃冲裁



(3) 加热冲裁 也称红冲，当金属材料加热到一定的温度之后，其抗剪强度显著降低，因此加热冲裁能降低冲裁力。

冲裁模压力中心计算

模具的压力中心指冲压时冲压力合力的作用点位置。为了确保压力机和模具正常工作，应使模具的压力中心与压力机滑块的中心相重合。

冲裁模的压力中心按以下原则来确定：

- (1) 单个对称形状冲模的压力中心就是冲件的几何中心。
- (2) 工件形状相同且对称分布时，冲模的压力中心与零件的对称中心重合。
- (3) 形状复杂的零件、多凸模的压力中心可用解析算法求出。

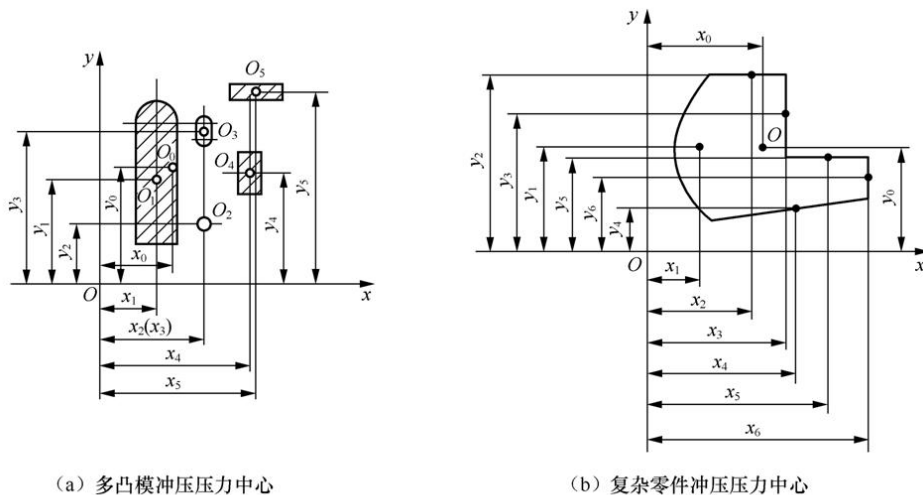


图 2.20 解析法求压力中心

- 计算压力中心的步骤如下：
- (1) 按比例画出每一个凸模刃口轮廓的形状位置。
 - (2) 在任意位置建立直角坐标系xoy, 坐标系位置选择适当可使计算简化。
 - (3) 分别计算凸模刃口轮廓或每个凸模刃口的压力中心到坐标系的位置 $x_1、x_2、\dots、x_n$ 和 $y_1、y_2、\dots、y_n$ 。
 - (4) 分别计算凸模刃口轮廓周长或每一个凸模刃口轮廓的周长 $L_1、L_2、\dots、L_n$ 。
 - (5) 对于平行力系，冲裁力的合力等于各力的代数和。即 $F = F_1 + F_2 + \dots + F_n$
 - (6) 合力对某轴之力矩等于各分力对同轴力矩之代数和，则可得压力中心坐标 (x_0, y_0)

$$x_0 = \frac{F_1x_1 + F_2x_2 + \dots + F_nx_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{L_1x_1 + L_2x_2 + \dots + L_nx_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i x_i}{\sum_{i=1}^n L_i}$$

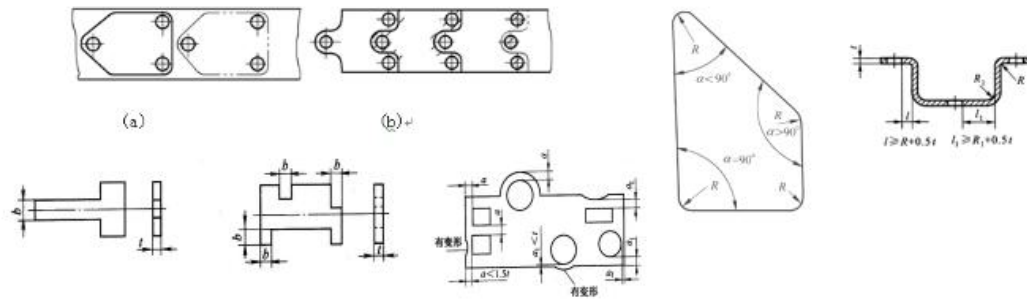
$$y_0 = \frac{F_1y_1 + F_2y_2 + \dots + F_ny_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{L_1y_1 + L_2y_2 + \dots + L_ny_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i y_i}{\sum_{i=1}^n L_i}$$

2.4 冲裁工艺设计

冲裁件的工艺性分析：冲裁件的工艺性是指冲裁件对冲裁工艺的适应性，即冲裁件的结构、形状、尺寸及公差等技术要求是否符合冲裁加工的工艺要求以及难易程度。

1. 冲裁件的结构工艺性

- (1) 冲裁件结构应尽可能简单、对称、排样结构废料少；
- (2) 除了在少、无废料排样或采用镶拼模结构时，允许工件有尖锐的清角外；冲裁件的内形及外形的转角处应以圆弧过渡；
- (3) 尽量避免冲裁件上过长的凸出悬臂和凹槽，悬臂和凹槽宽度也不宜过小；
- (4) 若在弯曲件或拉深件上冲孔时，孔边与直壁之间应保持一定距离；
- (5) 冲裁件的孔径因受冲孔凸模强度和刚度的限制，不宜太小，否则凸模易折断或压弯。



冲裁件的尺寸精度:

按照 GB/T13914-2002 的规定，冲裁件的精度等级共分为 11 级，用符号 ST 表示，从 ST1 到 ST11 逐级降低，表 2.13 列出了冲裁件的公差值。冲裁件的尺寸极限偏差按下述规定选用：

- (1) 孔（内形）尺寸的极限偏差取表 2.13 中给出的公差数值，标注“+”号作为上偏差，下偏差为 0。
- (2) 轴（外形）尺寸的极限偏差取表 2.13 中给出的公差数值，标注“-”号作为下偏差，上偏差为 0。
- (3) 孔中心距、孔边距等尺寸的极限偏差取表 2.13 中的公差数值的一半，标注“±”号分别作为上、下偏差。

对于冲裁件上未注尺寸的公差处理办法按照 GB/T 15055-2007 的规定处理。

表 2.13 冲裁件尺寸公差(GB/T 13914-2002)

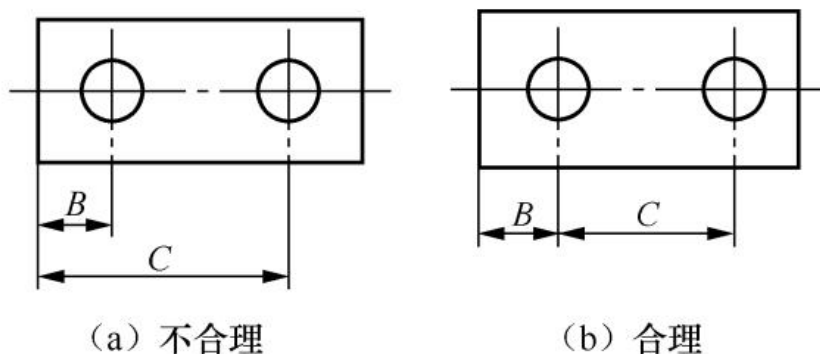
基本尺寸 ^a		板料厚度 ^b		公差等级 ^c										
大于 ^d	至 ^e	大于 ^d	至 ^e	ST1 ^e	ST2 ^e	ST3 ^e	ST4 ^e	ST5 ^e	ST6 ^e	ST7 ^e	ST8 ^e	ST9 ^e	ST10 ^e	ST11 ^e
+	-	-	0.5 ^e	0.008 ^e	0.010 ^e	0.015 ^e	0.020 ^e	0.030 ^e	0.040 ^e	0.060 ^e	0.080 ^e	0.120 ^e	0.160 ^e	- ^e
-	1 ^e	0.5 ^e	1 ^e	0.010 ^e	0.015 ^e	0.020 ^e	0.030 ^e	0.040 ^e	0.060 ^e	0.080 ^e	0.120 ^e	0.160 ^e	0.240 ^e	- ^e
		1 ^e	1.5 ^e	0.015 ^e	0.020 ^e	0.030 ^e	0.040 ^e	0.060 ^e	0.080 ^e	0.120 ^e	0.160 ^e	0.240 ^e	0.340 ^e	- ^e
		-	0.5 ^e	0.012 ^e	0.018 ^e	0.026 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	0.018 ^e	0.026 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e
		1 ^e	3 ^e	0.026 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e
		3 ^e	4 ^e	0.034 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.090 ^e	0.130 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e
		-	0.5 ^e	0.018 ^e	0.026 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	0.026 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e
		1 ^e	3 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.10 ^e
		3 ^e	6 ^e	0.046 ^e	0.060 ^e	0.090 ^e	0.130 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.480 ^e	0.680 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e
		6 ^e		0.060 ^e	0.080 ^e	0.110 ^e	0.160 ^e	0.220 ^e	0.300 ^e	0.420 ^e	0.600 ^e	0.840 ^e	1.200 ^e	1.600 ^e
		-	0.5 ^e	0.026 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.100 ^e
		1 ^e	3 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.100 ^e	1.500 ^e
		3 ^e	6 ^e	0.060 ^e	0.090 ^e	0.130 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	1.000 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e
		6 ^e		0.080 ^e	0.120 ^e	0.160 ^e	0.220 ^e	0.320 ^e	0.440 ^e	0.600 ^e	0.880 ^e	1.200 ^e	1.600 ^e	2.400 ^e
		-	0.5 ^e	0.036 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.100 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	0.050 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.100 ^e	1.500 ^e
		1 ^e	3 ^e	0.070 ^e	0.100 ^e	0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.100 ^e	1.500 ^e	2.100 ^e
		3 ^e	6 ^e	0.090 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e
		6 ^e		0.110 ^e	0.160 ^e	0.220 ^e	0.300 ^e	0.440 ^e	0.600 ^e	0.860 ^e	1.200 ^e	1.600 ^e	2.200 ^e	3.000 ^e
		-	0.5 ^e	0.040 ^e	0.060 ^e	0.090 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	0.060 ^e	0.090 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e
		1 ^e	3 ^e	0.090 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e
		3 ^e	6 ^e	0.120 ^e	0.160 ^e	0.240 ^e	0.320 ^e	0.460 ^e	0.640 ^e	0.900 ^e	1.300 ^e	1.800 ^e	2.500 ^e	3.600 ^e
		6 ^e		0.140 ^e	0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.100 ^e	1.500 ^e	2.100 ^e	2.900 ^e	4.200 ^e
		-	0.5 ^e	0.060 ^e	0.090 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	0.090 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	1.000 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e
		1 ^e	3 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	1.000 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e	4.000 ^e
		3 ^e	6 ^e	0.160 ^e	0.240 ^e	0.320 ^e	0.460 ^e	0.640 ^e	0.900 ^e	1.300 ^e	1.800 ^e	2.600 ^e	3.600 ^e	4.800 ^e
		6 ^e		0.200 ^e	0.280 ^e	0.400 ^e	0.560 ^e	0.780 ^e	1.100 ^e	1.500 ^e	2.100 ^e	2.900 ^e	4.200 ^e	5.800 ^e
		-	0.5 ^e	0.090 ^e	0.120 ^e	0.180 ^e	0.240 ^e	0.340 ^e	0.480 ^e	0.660 ^e	0.940 ^e	1.300 ^e	1.800 ^e	2.600 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	- ^e	0.180 ^e	0.240 ^e	0.340 ^e	0.480 ^e	0.660 ^e	0.940 ^e	1.300 ^e	1.800 ^e	2.600 ^e	3.600 ^e
		1 ^e	3 ^e	- ^e	0.240 ^e	0.340 ^e	0.480 ^e	0.660 ^e	0.940 ^e	1.300 ^e	1.800 ^e	2.600 ^e	3.600 ^e	5.000 ^e
		3 ^e	6 ^e	- ^e	0.320 ^e	0.450 ^e	0.620 ^e	0.880 ^e	1.200 ^e	1.600 ^e	2.400 ^e	3.400 ^e	4.600 ^e	6.600 ^e
		6 ^e		- ^e	0.340 ^e	0.480 ^e	0.700 ^e	1.000 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e	4.000 ^e	5.600 ^e	7.800 ^e
		-	0.5 ^e	- ^e	- ^e	0.260 ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e	4.000 ^e
		0.5 ^e	1 ^e	- ^e	- ^e	0.360 ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e	4.000 ^e	5.600 ^e
		1 ^e	3 ^e	- ^e	- ^e	0.500 ^e	0.700 ^e	0.980 ^e	1.400 ^e	2.000 ^e	2.800 ^e	4.000 ^e	5.600 ^e	7.800 ^e
		3 ^e	6 ^e	- ^e	- ^e	- ^e	0.900 ^e	1.200 ^e	1.600 ^e	2.200 ^e	3.200 ^e	4.400 ^e	6.200 ^e	8.000 ^e
		6 ^e		- ^e	- ^e	- ^e	1.000 ^e	1.400 ^e	1.900 ^e	2.600 ^e	3.600 ^e	5.200 ^e	7.200 ^e	10.000 ^e

冲裁件剪断面的表面粗糙度：
冲裁件剪断面的表面粗糙度与材料塑性、厚度、冲裁模间隙、刃口状况以及冲模结构等有关。

表 2.14 一般冲裁件剪断面表面粗糙度

材料厚度 t/mm ^a	≤1 ^b	1~2 ^b	2~3 ^b	3~4 ^b	4~5 ^b
冲裁剪断面的表面粗糙度 Ra/μm ^c	3.2 ^c	6.3 ^c	12.5 ^c	25 ^c	50 ^c

冲裁件尺寸标注：冲裁件尺寸的基准应尽可能与其冲压时定位基准重合，并选择在冲裁过程中基本上不变动的面或线上。



冲裁工艺方案的确定：

在冲裁工艺性分析和技术经济分析的基础上根据冲裁件的特点确定冲裁工艺方案。冲裁工艺方案一般分为单工序冲裁、复合冲裁和级进冲裁。单工序冲裁是在压机一次行程，在模具单一的工位中完成单一工序的冲压。复合冲裁是在压机一次行程中，在模具的同一工作位置同时完成两个或两个以上的冲压工序。级进冲裁是把冲裁件的若干个冲压工序，排列成一定的顺序，在压机一次行程中条料在冲模的不同工序位置上，分别完成工件所要求的工序，在完成所有要求工序后，以后每次冲程都可以得到一个完整的冲裁件。

1. 冲裁工序的组合

- (1)生产批量
- (2)冲裁件尺寸公差等级
- (3)冲裁件尺寸形状的适应性
- (4)模具制造、安装调整 and 成本
- (5)操作方便与安全

2. 冲裁顺序的安排

- (1)级进冲裁顺序的安排
- (2)多工序冲裁件用单工序冲裁时的顺序安排

2.5 冲裁模的基本类型与构造

冲裁模的分类：

冲裁件的结构型式繁多，因此冲裁工序所使用的冲裁模也种类繁多，结构各异。为了研究和工作上的方便，可按冲裁模特征进行分类。

- (1)按冲压工序性质 有落料模、冲孔模、切断模、切口模、切边模、剖边模等。
- (2)按冲压工序的组合方式 单工序模、复合模、级进模。
- (3)按凸、凹模的结构 整体模、镶拼模。
- (4)按模具导向方式 无导向模、导板模、导柱模、滚珠导柱模等。

(5)按控制进料的方式 定位销式、挡料销式、挡板式、侧刃式等。

(6)按卸料方式 刚性卸料模、弹性卸料模等。

2.基本冲压工序的组合

➤ **单工序冲裁**：在冲床的一次行程中，只能完成一道冲压工序

➤ **复合冲裁**：只有一个工位，并在压力机的一次行程中，同时完成两道或两道以上的冲压工序。

➤ **级进冲裁**：在压力机一次行程中，在送料方向连续排列的多个工位上同时完成多道冲压工序。

与之对应的模具分别是单工序冲裁模、复合冲裁模和级进冲裁模

三种类型模具的比较

模具类型	单工序模	复合模	级进模
工位数	1	1	2 或 2 以上
完成的工序数	1 种	2 或 2 种以上	2 或 2 种以上
适合的冲裁件尺寸	大、中型	大、中、小型	中、小型
对材料的要求	对条料宽度要求不严，可用边角料	对条料宽度要求不严，可用边角料	对条料或带料要求严格
冲裁件精度	低	高	介于两者之间
生产效率	低	高	很高
实现操作机械化、自动化的可能性	较易	难，工件与废料排除较复杂	容易
应用	适于精度低、大中型件的中、小批量生产或大型件的大量生产	适于形状较复杂、精度要求高的大中小型件的大批量生产	适于形状复杂，精度要求较高的中小型件的大批量生产

复合冲裁模

只有一个工位，并在压力机的一次行程中，同时完成两道或两道以上的冲裁工序的模具。



级进冲裁模

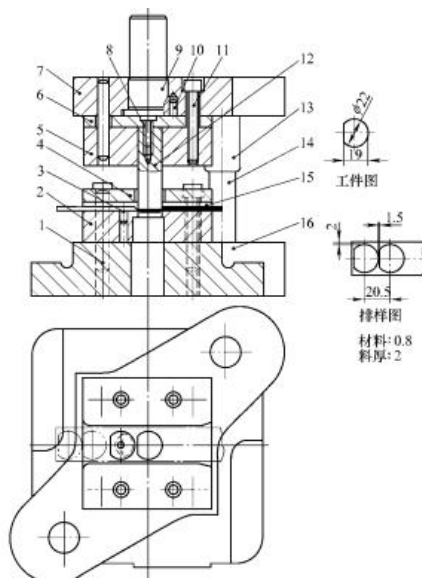
在压力机一次行程中, 在送料方向连续排列的多个工位上同时完成多道冲裁工序的模具。



单工序冲裁模（落料模）

图2.28带刚性卸料装置单工序落料模

- 1- 螺钉 2- 凹模 3- 档料销 4- 卸料板
- 5- 固定板 6- 垫板 7- 上模座 8- 螺钉
- 9- 模柄 10- 圆柱销
- 11- 螺钉 12- 凸模 13- 导套 14- 导柱
- 15- 导料板 16- 下模座



单工序冲裁模（落料模）

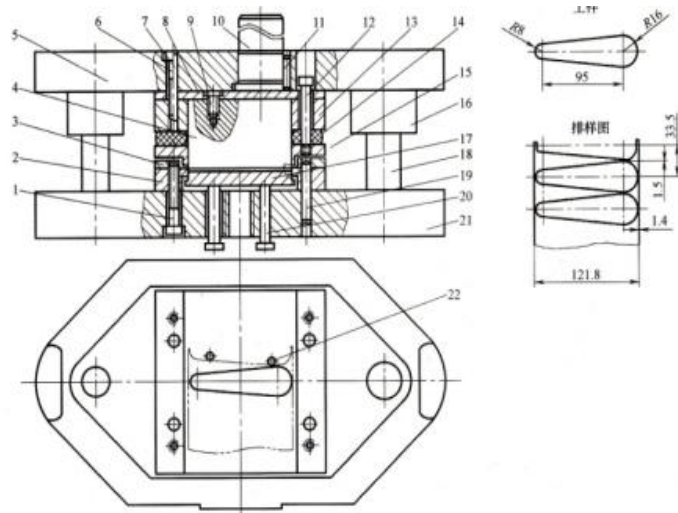
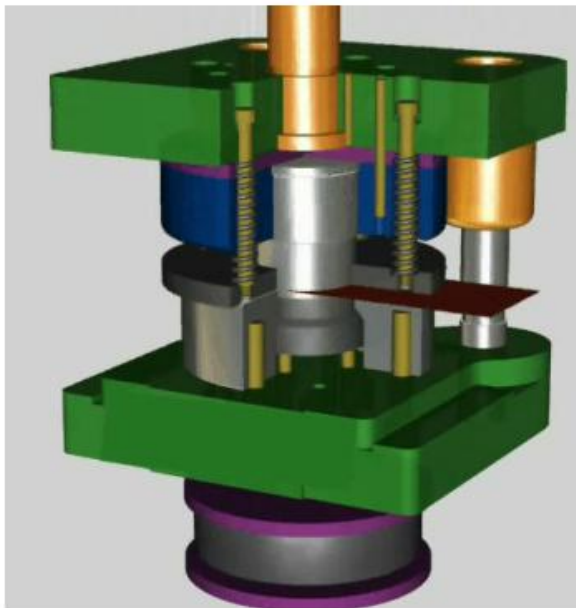


图2.29带弹性卸料装置序落料模

- 1、6、9- 螺钉 2- 凹模 3- 导料板 4- 凸模 5- 上模座 7、19- 销钉 8- 垫板
10- 模柄 11- 止转销 12- 卸料螺钉 13- 凸模固定板 14- 橡胶 15- 卸料板
16- 导套 17- 顶件块 18- 导柱 20- 顶杆 21- 下模座 22- 档料销

带有弹性卸料和顶料装置的单工序落料模



有分离现象产生

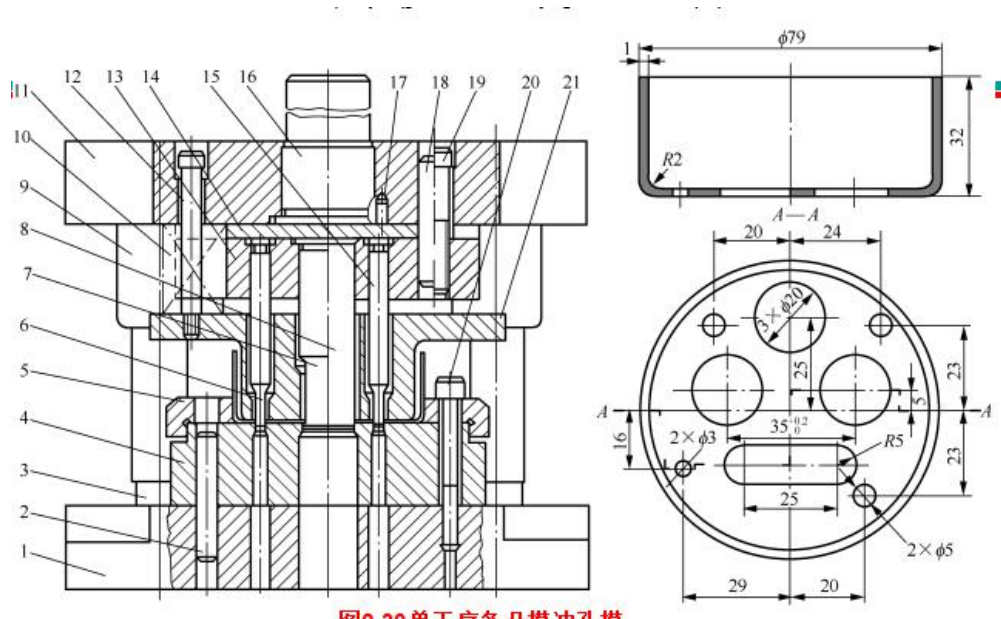


图2.30单工序多凸模冲孔模

- 1—上模座 2、18—圆柱销 3—导柱 4—凹模 5—定位圈 6、7、8、15—凸模 9—导套 10—弹簧
 11—下模座 12—卸料螺钉
 13—凸模固定板 14—垫板 16—模柄 17—止动销 19、20—内六角螺钉 21—卸料板

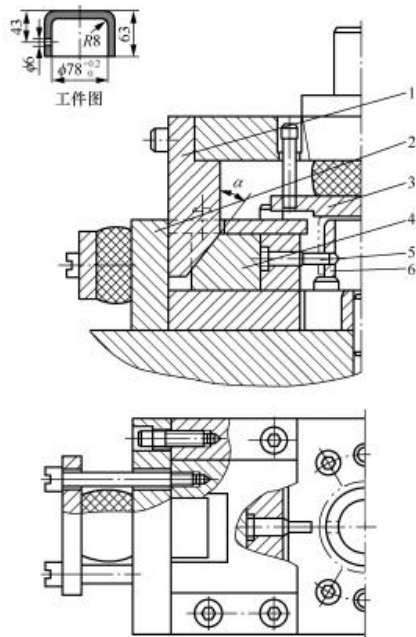


图2.31斜楔式水平冲孔模
 1—斜楔 2—座板 3—弹簧板 4—滑块 5—凸模 6—凹模

斜楔式水平侧向冲孔模

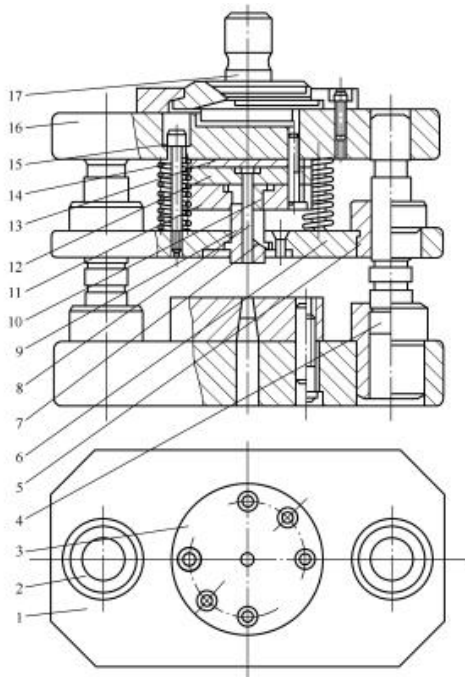
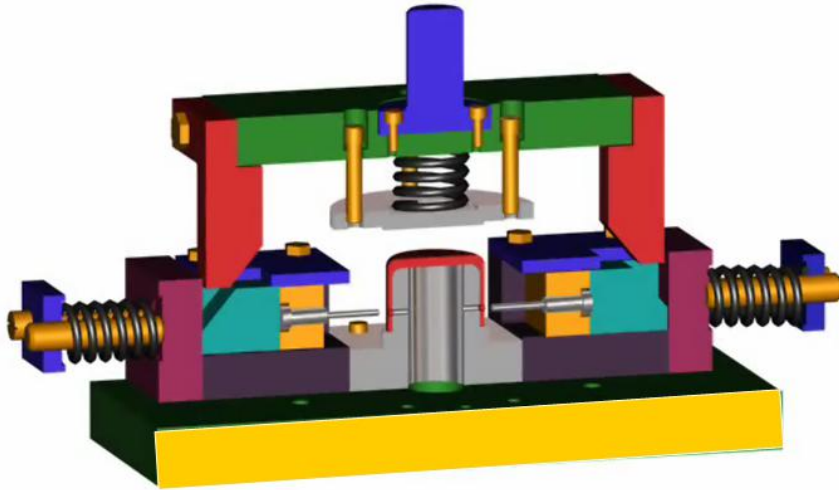
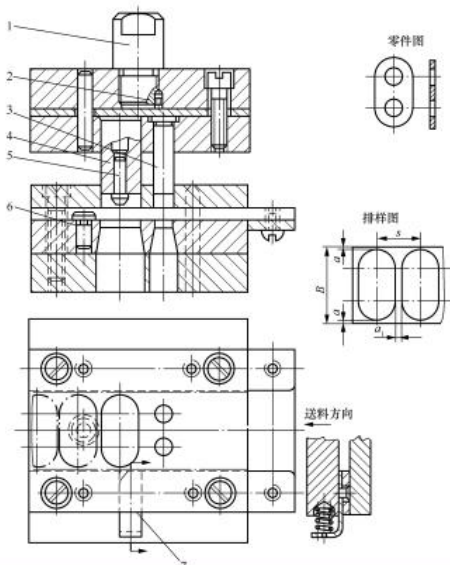


图2.32全长导向的小孔冲模
 1-下模座 2、5-导套 3-凹模 4-导柱 6-弹压卸料板 7-凸模 8-托板 9-凸模护套 10-扇形块
 11-扇形块固定板 12-凸模固定板 13-垫板 14-弹簧 15-阶梯螺钉 16-上模座 17-模柄



级进模又称连续模、跳步模，是指压力机在一次行程中，依次在模具几个不同的位置上同时完成多道冲压工序的冲模。

导正销定距的冲孔落料级进模
 1-模柄 2-螺钉 3-冲孔凸模 4-落料凸模 5-导正销 6-固定导料销 7-始用导料销

冲孔、落料级进模

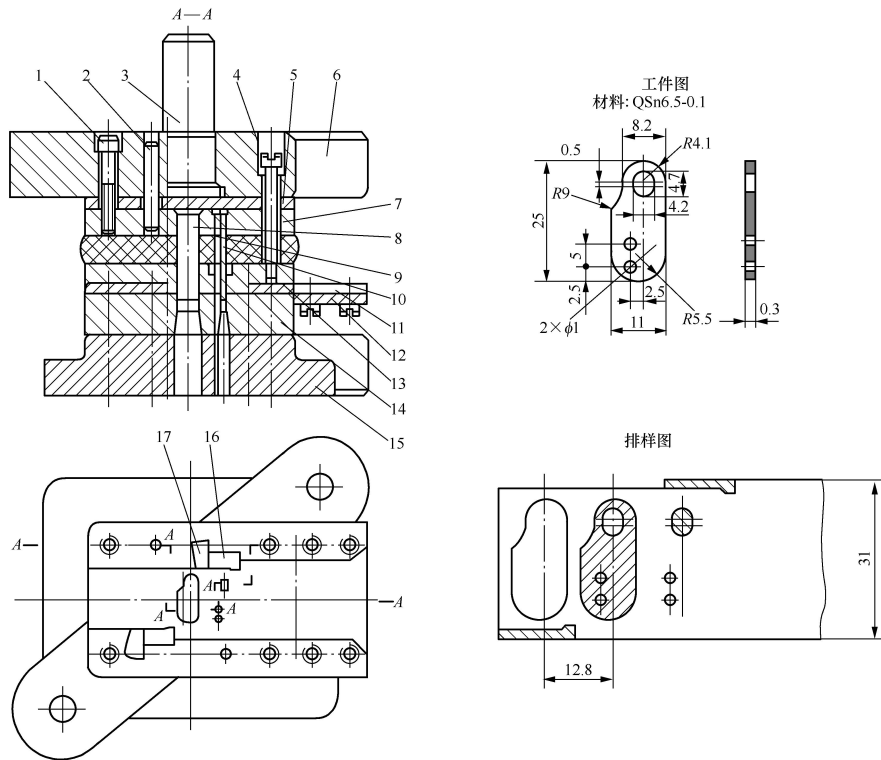
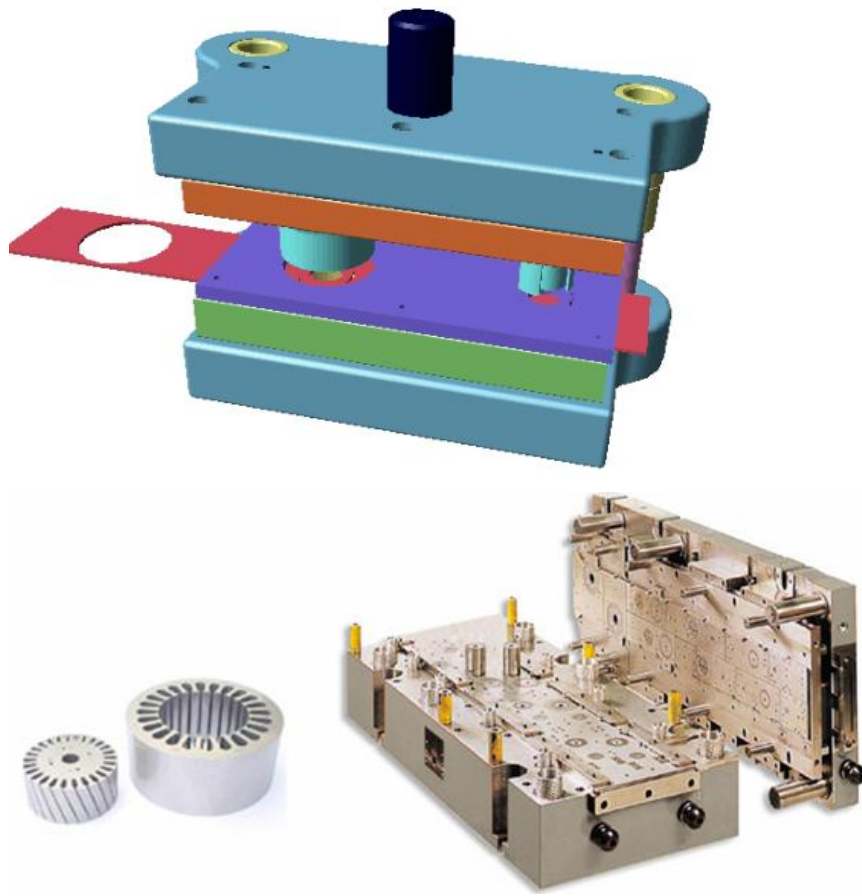
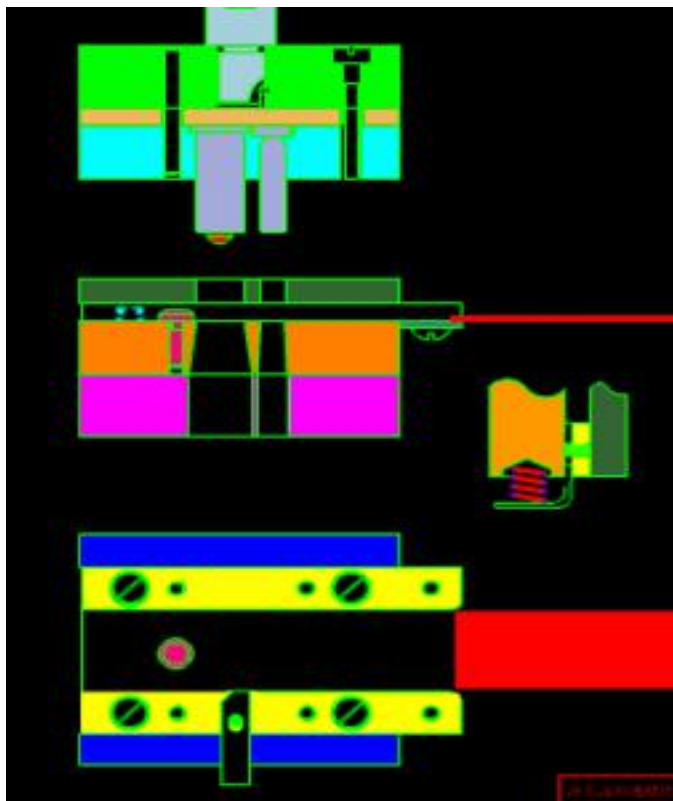


图 2.34 双侧刃定距的冲孔落料级进模

1 - 内六角螺钉 2 - 销钉 3 - 模柄 4 - 卸料螺钉 5 - 垫板 6 - 上模座 7 - 凸模
固定板 8、9、10 - 凸模 11 - 导料板 12 - 承料板 13 - 卸料板 14 - 凹模 15
- 下模座 16 - 侧刃 17 - 侧刃挡块



复合模是在压力机的一次工作行程中，在模具同一部位同时完成数道分离工序的模具。

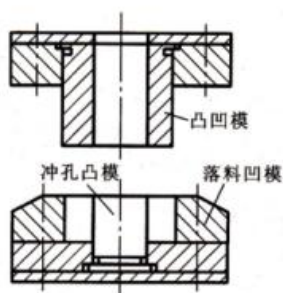


图2.35复合模的基本结构

在模具的下方是落料凹模,且凹模中间装着冲孔凸模;而上方是凸凹模,外形是落料的凸模,内孔是冲孔的凹模。若落料凹模装在下模,该结构为正装复合模;若落料凹模装在上模,该结构为倒装复合模。复合模的特点是:结构紧凑,生产率高,制件精度高,特别是制件孔与外形的位置度容易保证。另一方面,复合模结构复杂,对模具零件精度要求较高,模具装配精度也较高。

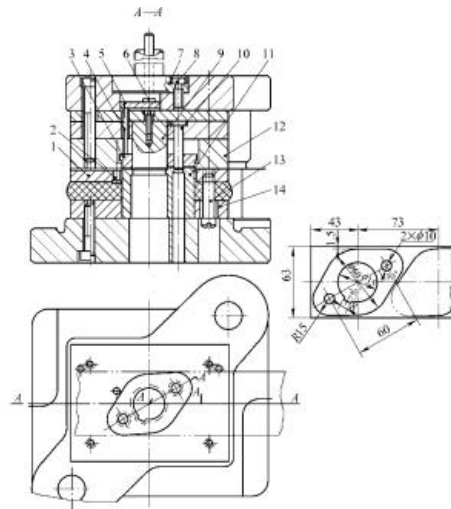


图2.36 倒装复合模

1-卸料板 2-活动档料销 3-推件块 4-推杆 5-推板 6-打杆 7-模柄 8-螺钉
9、10-冲孔凸模 11-凸凹模 12-落料凹模 13-卸料螺钉 14-固定板

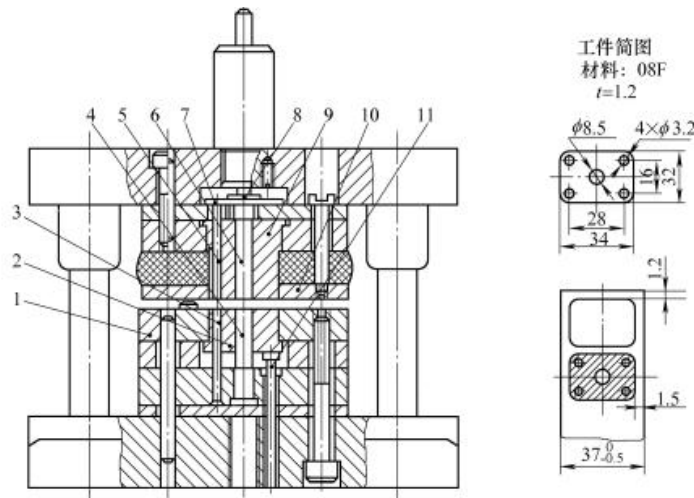


图2.37正装复合模

1-落料凹模 2-顶件块 3、4-冲孔凸模 5、6-推杆 7-推板 8-打杆 9-凸凹模
10-卸料板 11-带肩顶杆

正装和倒装复合模结构比较:

正装复合模适用于冲制材质较软或板料较薄的平面度要求高的冲裁件,可以冲制孔边距距离较小的冲裁件。

倒装复合模不宜冲制孔边距距离较小的冲裁件,但倒装复合模结构简单,直接利用压力机的打杆装置进行推件,卸件可靠,操作方便,为机械化出件提供了有利条件,故应用十分广泛。

2.6 冲模主要零件的设计及标准的选用

模具零件分成两大类:

(1)工艺零件 冲压零件时与材料或制件直接发生接触的零件。

包括：工作零件、定位零件、压料、卸料和出件零件。

(2)结构零件 模具的制造和使用中起装配、定位作用的零件。

包括：导向零件、固定零件、紧固及其他零件。

表 2.15 冲模零件的详细分类表

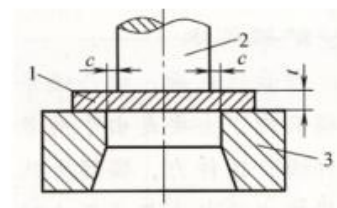
工艺零件			结构零件		
工作零件	定位零件	压料、卸料及出件零件	导向零件	固定零件	坚固及其他零件
凸模	挡料销和导正销	卸料板	导柱	上、下模座	螺钉
凹模	导料板	压边圈	导套	模柄	销
凸凹模	定位销、定位板	顶件器	导板	凸、凹模固定板	其他
	侧压板	推件器	导筒	垫板	
	侧刃			限制器	

2.6.1 工作零件的设计及标准的选用

工作零件主要包括：凸模、凹模、凸凹模。

工作零件设计主要解决：模具间隙、刃口尺寸及公差、结构形式与固定方法、其他尺寸。

冲裁模具间隙指冲裁模具中凹模与凸模刃口侧壁之间的距离，用符号C表示，一般指单边间隙。



间隙对冲裁工作的影响：

- 1) 间隙对冲裁件质量的影响；
- 2) 间隙对冲裁力的影响；
- 3) 间隙对模具寿命的影响。

合理间隙值的确定：

一般采用经验法；

分类查表确定,可在冲压手册中查到；

初始双面间隙的最小值 Z_{min} ，相当于最小合理间隙数值；

而初始双面间隙的最大值 Z_{max} 是考虑到凸模和凹模的制造公差，在 Z_{min} 的基础上所增加的数值。

间隙的选取主要与材料的种类、厚度有关；

对于断面质量和尺寸精度要求高的工件，应选用较小间隙值；

而对于精度要求不高的工件，则应尽可能采用较大间隙。

表 2.15 落料、冲孔模刃口始用双面间隙^o

材料名称 ^o	45 ^o T7、T8 (退火) ^o 65Mn (退火) ^o 磷青铜 (硬) ^o 铍青铜 (硬) ^o		10、15、20 ^o 冷轧钢带 ^o 30 钢板 ^o H62、H68(半硬)、LY12(硬铝) ^o 硅钢片 ^o		Q215、Q235、 ^o 08、10、15 ^o H62、H68(半硬)、纯铜(硬) ^o 磷青铜(软) ^o 铍青铜(软) ^o		H62、H68(软) ^o 纯铜(软) ^o LF21、LF2 ^o L2-L6 ^o LY12(退火) ^o 铜母线、铝母线 ^o		酚醛环氧层压玻璃布板、酚醛层压纸板、酚醛层压布板 ^o		钢板 ^o (反白板) ^o 绝缘纸板 ^o 云母板 ^o 橡胶板 ^o	
	力学性能 ^o	HBS ≥ 190 ^o σ _b ≥ 600MPa ^o	HBS=140~190 ^o σ _b =400~600MPa ^o	HBS=70~140 ^o σ _b =300~400MPa ^o	HBS ≤ 70 ^o σ _b ≤ 300MPa ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o	
厚度 ^o	初始间隙 Z/mm ^o											
t/mm ^o	Z _{min} ^o	Z _{max} ^o	Z _{min} ^o	Z _{max} ^o	Z _{min} ^o	Z _{max} ^o	Z _{min} ^o	Z _{max} ^o	Z _{min} ^o	Z _{max} ^o	Z _{min} ^o	Z _{max} ^o
0.1 ^o	0.015 ^o	0.035 ^o	0.01 ^o	0.03 ^o	* ^o	— ^o	* ^o	— ^o	* ^o	— ^o	— ^o	— ^o
0.2 ^o	0.025 ^o	0.045 ^o	0.015 ^o	0.035 ^o	0.01 ^o	0.03 ^o	* ^o	— ^o	* ^o	— ^o	— ^o	— ^o
0.3 ^o	0.04 ^o	0.06 ^o	0.03 ^o	0.05 ^o	0.02 ^o	0.04 ^o	0.01 ^o	0.03 ^o	* ^o	— ^o	* ^o	— ^o
0.5 ^o	0.08 ^o	0.10 ^o	0.06 ^o	0.08 ^o	0.04 ^o	0.06 ^o	0.025 ^o	0.045 ^o	0.01 ^o	0.02 ^o	— ^o	— ^o
0.8 ^o	0.13 ^o	0.16 ^o	0.10 ^o	0.23 ^o	0.07 ^o	0.10 ^o	0.045 ^o	0.075 ^o	0.015 ^o	0.03 ^o	— ^o	— ^o
1.0 ^o	0.17 ^o	0.20 ^o	0.13 ^o	0.26 ^o	0.10 ^o	0.13 ^o	0.065 ^o	0.095 ^o	0.025 ^o	0.04 ^o	— ^o	— ^o
1.2 ^o	0.21 ^o	0.24 ^o	0.16 ^o	0.19 ^o	0.13 ^o	0.16 ^o	0.075 ^o	0.105 ^o	0.035 ^o	0.05 ^o	0.01 ^o	0.015 ^o
1.5 ^o	0.27 ^o	0.31 ^o	0.21 ^o	0.25 ^o	0.15 ^o	0.19 ^o	0.10 ^o	0.14 ^o	0.04 ^o	0.06 ^o	~ ^o	~ ^o
1.8 ^o	0.34 ^o	0.38 ^o	0.27 ^o	0.31 ^o	0.20 ^o	0.24 ^o	0.13 ^o	0.17 ^o	0.05 ^o	0.07 ^o	0.03 ^o	0.045 ^o
2.0 ^o	0.38 ^o	0.42 ^o	0.30 ^o	0.34 ^o	0.22 ^o	0.26 ^o	0.14 ^o	0.18 ^o	0.06 ^o	0.08 ^o	— ^o	— ^o
2.5 ^o	0.49 ^o	0.55 ^o	0.39 ^o	0.45 ^o	0.29 ^o	0.35 ^o	0.18 ^o	0.24 ^o	0.07 ^o	0.10 ^o	— ^o	— ^o
3.0 ^o	0.62 ^o	0.68 ^o	0.49 ^o	0.55 ^o	0.36 ^o	0.42 ^o	0.23 ^o	0.29 ^o	0.10 ^o	0.13 ^o	— ^o	— ^o
3.5 ^o	0.73 ^o	0.81 ^o	0.58 ^o	0.66 ^o	0.43 ^o	0.51 ^o	0.27 ^o	0.35 ^o	0.12 ^o	0.16 ^o	0.04 ^o	0.06 ^o
4.0 ^o	0.86 ^o	0.94 ^o	0.68 ^o	0.76 ^o	0.50 ^o	0.58 ^o	0.32 ^o	0.40 ^o	0.14 ^o	0.18 ^o	— ^o	— ^o
4.5 ^o	1.00 ^o	1.08 ^o	0.78 ^o	0.86 ^o	0.58 ^o	0.66 ^o	0.37 ^o	0.45 ^o	0.16 ^o	0.20 ^o	— ^o	— ^o
5.0 ^o	1.13 ^o	1.23 ^o	0.90 ^o	1.00 ^o	0.65 ^o	0.75 ^o	0.42 ^o	0.52 ^o	0.18 ^o	0.23 ^o	0.05 ^o	0.07 ^o
6.0 ^o	1.40 ^o	1.50 ^o	1.10 ^o	1.20 ^o	0.82 ^o	0.92 ^o	0.53 ^o	0.63 ^o	0.24 ^o	0.29 ^o	— ^o	— ^o
8.0 ^o	2.00 ^o	2.12 ^o	1.60 ^o	1.72 ^o	1.17 ^o	1.29 ^o	0.76 ^o	0.88 ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o
10 ^o	2.60 ^o	2.72 ^o	2.10 ^o	2.22 ^o	1.56 ^o	1.68 ^o	1.02 ^o	1.14 ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o
12 ^o	3.30 ^o	3.42 ^o	2.60 ^o	2.72 ^o	1.97 ^o	2.09 ^o	1.30 ^o	1.42 ^o	— ^o	— ^o	— ^o	— ^o

注：有*号处均系无间隙^o

表 2.16 金属材料冲裁间隙值^o

冲裁材料 ^o	抗剪强度 τ/Mpa ^o	单面间隙比值 C/t(% ^o)				
		I ^o	II ^o	III ^o	IV ^o	V ^o
低碳钢 ^o 08F、10F、10、20、Q235-A ^o	≥210~400 ^o	1.0~2.0 ^o	3.0~7.0 ^o	7.0~10.0 ^o	10.0~12.5 ^o	21.0 ^o
中碳钢 45、不锈钢 1Cr18Ni9Ti、4Cr13、膨胀合金 (可伐合金) 4J29 ^o	≥420~560 ^o	1.0~2.0 ^o	3.5~8.0 ^o	8.0~11.0 ^o	11.0~15.0 ^o	23.0 ^o
高碳钢、T8A、T10A、65Mn ^o	≥590~930 ^o	2.5~5.0 ^o	8.0~12.0 ^o	12.0~15.0 ^o	15.0~18.0 ^o	25.0 ^o
纯铝 1060、1060A、035、1200 ^o 铝合金(软) 3A21、黄铜(软) H62、紫铜(软) T1、T2、T3 ^o	≥65~255 ^o	0.5~1.0 ^o	2.0~4.0 ^o	4.5~6.0 ^o	6.5~9.0 ^o	17.0 ^o
黄铜(硬) H62、铅黄铜 HPb59-1、紫铜(硬) T1、T2、 T3 ^o	≥290~420 ^o	0.5~2.0 ^o	3.0~5.0 ^o	5.0~8.0 ^o	8.5~11.0 ^o	25.0 ^o
铝合金(硬态) ZA12 ^o 锡磷青铜 QSn4.4-2.5 ^o 铝青铜 QAl7、铍青铜 QBc2 ^o	≥225~550 ^o	0.5~1.0 ^o	3.0~6.0 ^o	7.0~10.0 ^o	11.0~13.5 ^o	20.0 ^o
镁合金 MB1、MB8 ^o	≥120~180 ^o	0.5~1.0 ^o	1.5~2.5 ^o	3.5~4.5 ^o	5.0~7.0 ^o	16.0 ^o
电工硅钢 ^o	190 ^o	— ^o	2.5~5.0 ^o	5.0~9.0 ^o	— ^o	— ^o
冲裁间隙适用场合 ^o		剪切面、尺寸精度要求高时 ^o	剪切面、尺寸精度要求较高时 ^o	剪切面、尺寸精度要求一般，因残余应力小，能减小破裂现象，适于继续塑性变形时 ^o	剪切面、尺寸精度要求不高时，以利于提高冲模寿命 ^o	冲切面、尺寸精度要求较低时 ^o

“按质论隙”的原则：按冲裁件断面质量、尺寸精度，模具寿命，力能消耗等评价依据，将间隙分成五类。

凸、凹模刃口尺寸计算原则:

- 1、落料件尺寸由凹模尺寸决定，所以设计落料模时以凹模为基准，间隙取在凸模上；
- 2、冲孔件尺寸由凸模尺寸决定，所以设计冲孔模时以凸模为基准，间隙取在凹模上；
- 3、根据冲裁的磨损规律确定刃口基本尺寸：
 - 1) 设计落料模时，凹模基本尺寸取接近或等于工件的最小极限尺寸；
 - 2) 设计冲孔模时，凸模基本尺寸取接近或等于工件孔的最大极限尺寸。
- 4、选用最小合理间隙值；
- 5、选择模具刃口制造公差，一般冲模精度较工件精度高 2~4 级；

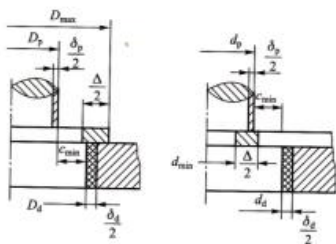
形状简单的圆形、方形刃口，其制造偏差值可按 IT6~IT7 级来选取；

对于形状复杂的刃口制造偏差可按工件相应部位公差值的 1/4 来选取；

对于刃口尺寸磨损后无变化的制造偏差值可取工件相应部位公差值的 $\pm 1/8$ 来选取。
- 6、工件尺寸公差与冲模刃口尺寸的制造偏差，都应按单向公差标注。

凸、凹模刃口尺寸的计算与加工方法有关，可以分为**分别加工法**和**配合加工法**。

(1)凸、凹模分别加工法的刃口尺寸计算



冲模刃口与工件尺寸及公差分布图

①落料

设工件的尺寸为 D ，根据计算原则，落料时以凹模为设计基准。

$$D_d = (D_{\min} - x\Delta)_0^{-\delta_d}$$

$$D_p = (D_d - 2c_{\min})_0^{+\delta_p} = (D_{\min} - x\Delta - 2c_{\min})_0^{+\delta_p}$$

②冲孔

设冲孔尺寸为 d ，根据计算原则，冲孔时以凸模为设计基准。

$$d_p = (d_{\min} + x\Delta)_0^{+\delta_p}$$

$$d_d = (d_p + 2c_{\min})_0^{+\delta_d} = (d_{\min} + x\Delta + 2c_{\min})_0^{+\delta_d}$$

③孔心距

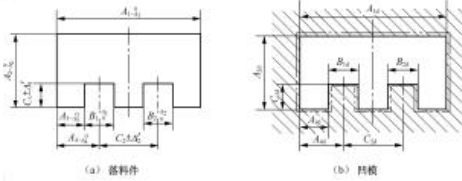
孔心距属于模具刃口磨损后基本不变的尺寸。

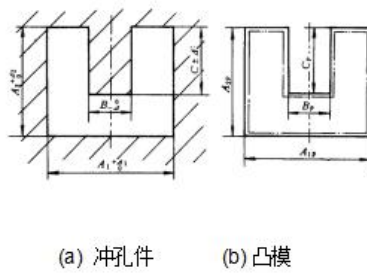
$$L_d = L \pm \frac{\Delta}{8}$$

④ 为保证初始间隙不超过 $\delta_p + \delta_d \leq 2c_{\max} - 2c_{\min}$

(2)凸、凹模配作加工法的刃口尺寸计算

配作法就是先按设计尺寸制出一个基准件（凸模或凹模），然后根据基准件的实际尺寸再按最小合理间隙配制另一件，使凸、凹模保持一定的间隙。在图纸上注明：“凸（凹）模刃口按凹（凸）模实际刃口尺寸配制，保证最小双面合理间隙值Zmin或2cmin”。

 <p>(a) 落料件 (b) 凹模</p>		冲裁工序性质		落料	
		基准		工件尺寸及公差标注 (图 3-74a)	刃口尺寸计算公式
基准模刃口的磨损规律及计算公式	越磨越大	$A_{-Δ}^0$	$A_d = (A - xΔ)_0^{+δ}$		
	越磨越小	$B_0^{+Δ}$	$B_d = (B + xΔ)_{-δ}^0$		
	磨损后尺寸不变	$C ± Δ'$	$C_d = C ± 1/8Δ = C ± 1/4Δ'$		
非基准模刃口尺寸			按基准模刃口的实际尺寸配制，保证单面最小间隙 c_{min}		



冲裁工序性质		冲孔	
		工件尺寸及公差标注 (图 3-75a)	刃口尺寸计算公式
基准		凸模	
基准模刃口的磨损规律及计算公式	越磨越大	$b_{-Δ}^0$	$b_p = (b - xΔ)_0^{+δ_p}$
	越磨越小	$a_0^{+Δ}$	$a_p = (a + xΔ)_{-δ_p}^0$
	磨损后尺寸不变	$c ± Δ'$	$c_d = c ± 1/8Δ = c ± 1/4Δ'$
非基准模刃口尺寸			按基准模刃口的实际尺寸配制，保证单面最小间隙 c_{min}

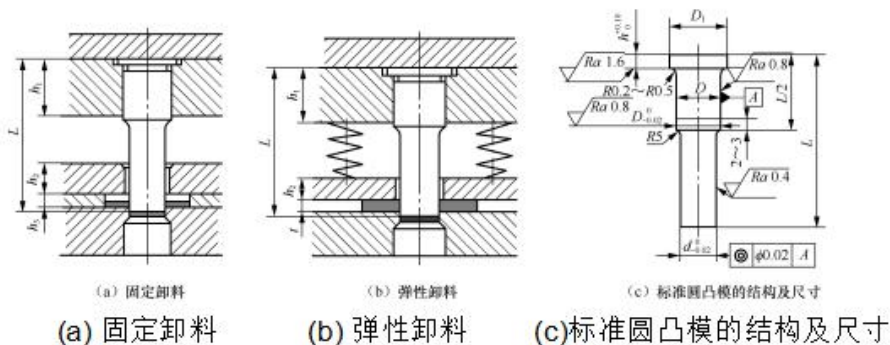
凸模的结构型式主要分为圆截面式、等截面式、护套式、快换式四种。凸模的长度尺寸应根据模具的具体结构确定。

当采用固定卸料板时，凸模长度按式(2.32)计算：

$$L = h_1 + h_2 + h_3 + h$$

当采用弹性卸料板时，凸模长度按式(2.33)计算：

$$L = h_1 + h_2 + t + h$$



凸模的固定形式

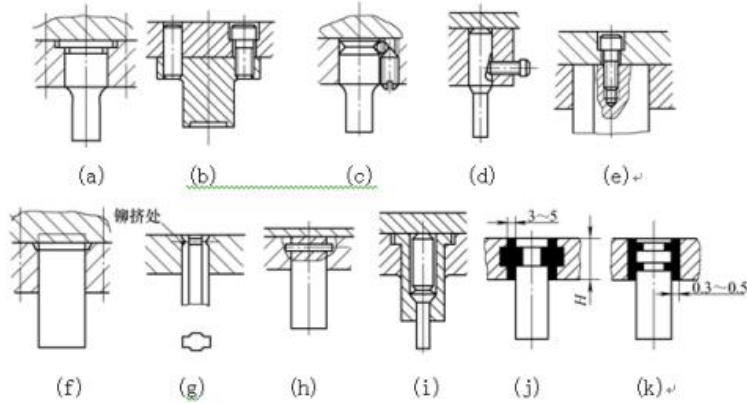
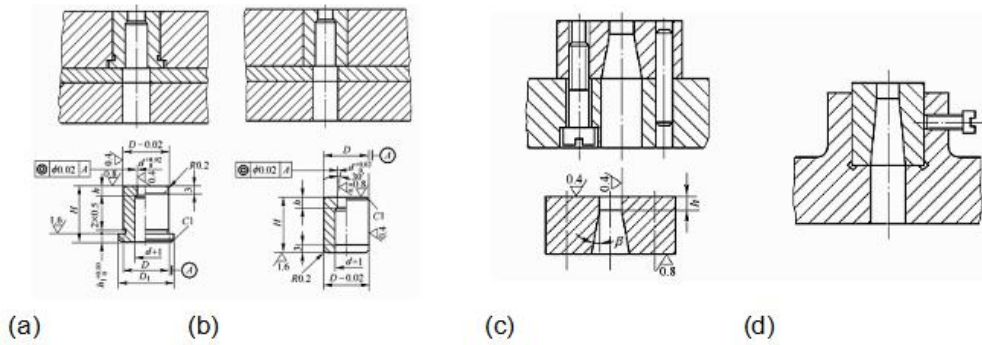


图 2.45 凸模固定方式

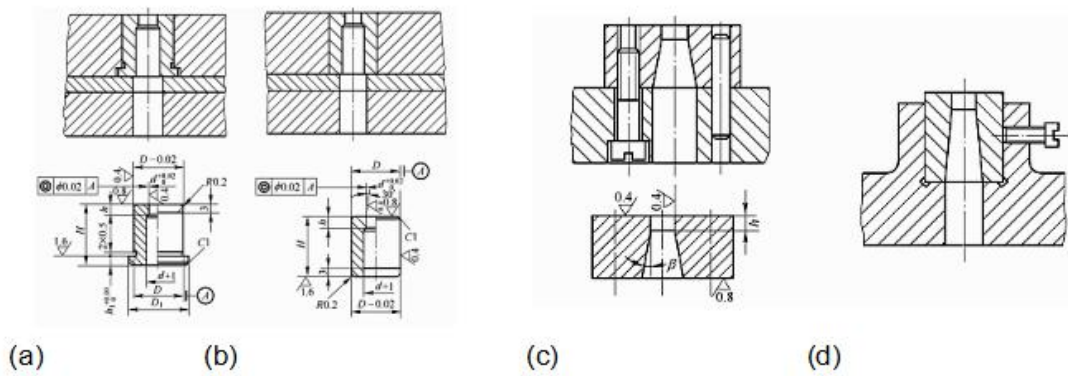
- (a) 台肩固定 (b) 大、中型凸模直接固定 (c)、(d) 快换式固定 (e) 螺钉吊装固定 (f) 铆接式固定
 (g) 反向铆接固定 (h) 横键固定 (i) 小凸模保护套式固定 (j) 低熔点合金浇注固定 (k) 环氧树脂浇注固定

凹模结构及其固定方法



- (a) 台肩固定 (b) 过盈配合固定 (c) 螺钉和销钉直接固定 (d) 快换式凹模固定

凹模结构及其固定方法

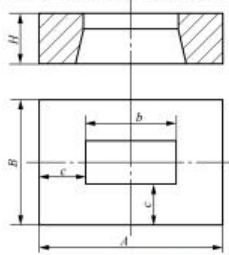


- (a) 台肩固定 (b) 过盈配合固定 (c) 螺钉和销钉直接固定 (d) 快换式凹模固定

表 2.19 冲裁凹模刃口型式及主要参数

刃口型式	序号	简图	特点及适用范围		
直刃壁	1		1. 刃口为直通式，强度高，修磨后刃口尺寸不变 2. 适用于冲裁大型或精度要求较高的零件，模具装有顶出装置，不适用于下漏料的模具		
	2		1. 刃口强度较高，修磨后刃口尺寸不变 2. 凹模内易积存废料或冲裁件，尤其间隙较小时，刃口直壁部分磨损较快 3. 适用于冲裁形状复杂或精度要求较高的零件		
	3		1. 特点同序号 2，且刃口直壁下面的扩大部分可使凹模加工简单，但采用下漏料方式时刃口强度不如序号 2 的刃口强度高 2. 用于冲裁形状复杂或精度要求较高的中、小型件，也可用于装有顶出装置的模具		
斜刃壁	4		1. 刃口强度较差，修磨后刃口尺寸略有增大 2. 凹模内不易积存废料或冲裁件，刃口内壁磨损较慢 3. 适用于冲裁形状简单，精度要求不高的零件		
	5		1. 特点同序号 4 2. 可用于冲裁形状较复杂的零件		
主要参数	材料厚度 t (mm)	α	β	刃口高度 h (mm)	备注
	<0.5	15°	2°	≥ 4	α 值适用于钳工加工。采用线切割加工时，可取 $\alpha = 5^\circ \sim 20^\circ$
	$0.5 \sim 1$			≥ 5	
	$1 \sim 2.5$			≥ 6	
	$2.5 \sim 6$	30°	3°	≥ 8	
>6	≥ 10				

整体式凹模外形尺寸 凹模外形一般有矩形与圆形两种，凹模的外形尺寸应保证有足够的强度、刚度和修模量。凹模的外形尺寸根据被冲压材料的厚度和冲裁件的最大外形尺寸来确定。



凹模高度(厚度) $H = Kb (\geq 15\text{mm})$
 凹模壁厚 $C = (1.5 \sim 2)H (\geq 30 \sim 40\text{mm})$

表 2.20 凹模厚度系数 K 值

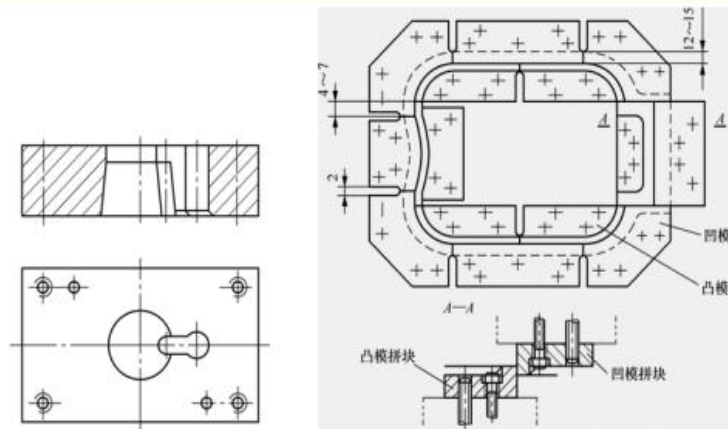
b (mm)	材料厚度 t (mm)		
	≤ 1	$>1 \sim 3$	$>3 \sim 6$
≤ 50	0.30~0.40	0.35~0.50	0.45~0.60
$>50 \sim 100$	0.20~0.30	0.22~0.35	0.30~0.45
$>100 \sim 200$	0.15~0.20	0.18~0.22	0.22~0.30
>200	0.10~0.15	0.12~0.18	0.15~0.22

凸凹模是复合模中同时具有落料凸模和冲孔凹模作用的工作零件。它的内外缘均为刃口，内外缘之间的壁厚取决于冲裁件的尺寸。从凹模强度考虑，其壁厚应受最小值限制，凸凹模的最小壁厚与模具结构有关：当模具为正装结构时，内孔不积存废料，张力小，最小壁厚可以小些；当模具为倒装结构时，若内孔为直筒形刃口形式，且采用下出料方式，则内孔积存废料，张力大，故最小壁厚应大些。

表 2.21 倒装复合模的凸凹模最小壁厚

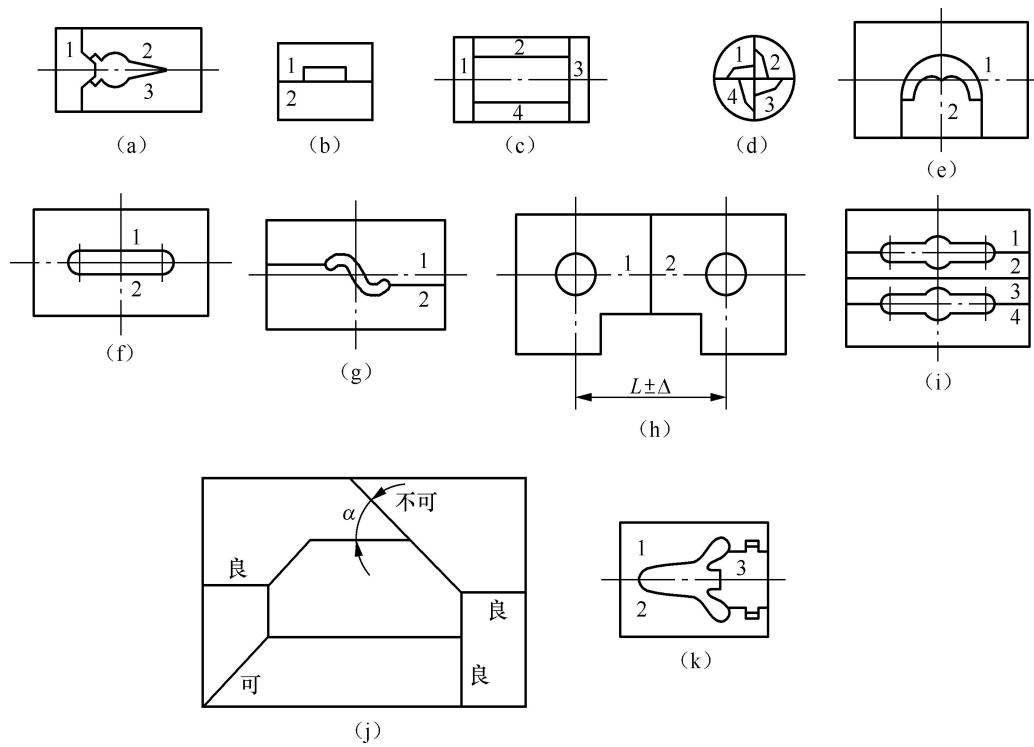
简图												
	材料厚度 t (mm)	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5
最小壁厚 δ (mm)	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.4	4.9	5.2	5.8	
材料厚度 t (mm)	2.8	3.0	3.2	3.5	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	
最小壁厚 δ (mm)	6.4	6.7	7.1	7.6	8.1	8.5	8.8	9.1	9.4	9.7	10	

镶拼结构的应用场合及镶拼方法 对于大中型的凸模、凹模或形状复杂、局部薄弱的小型凸、凹模，如果采用整体式结构，将给锻造、机械加工或热处理带来极大困难，而且当发生局部损坏时，会造成整个凸、凹模的报废。



镶接凹模图

拼接凹模图



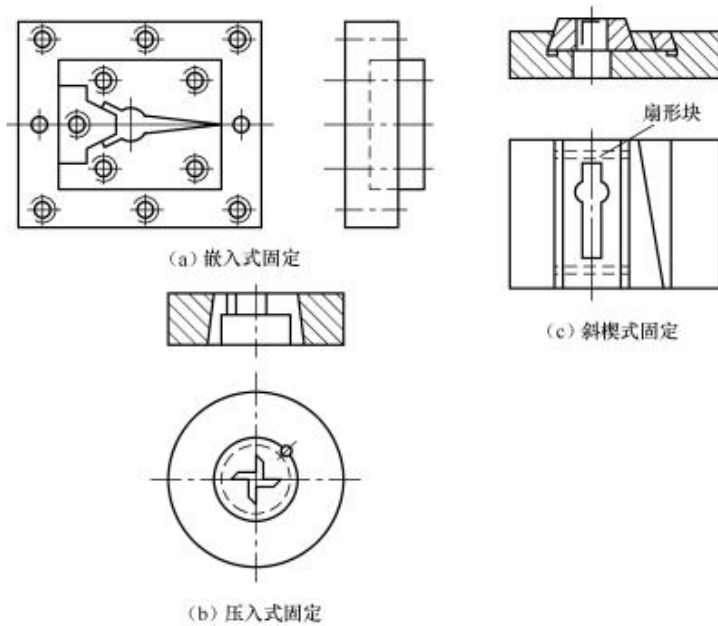
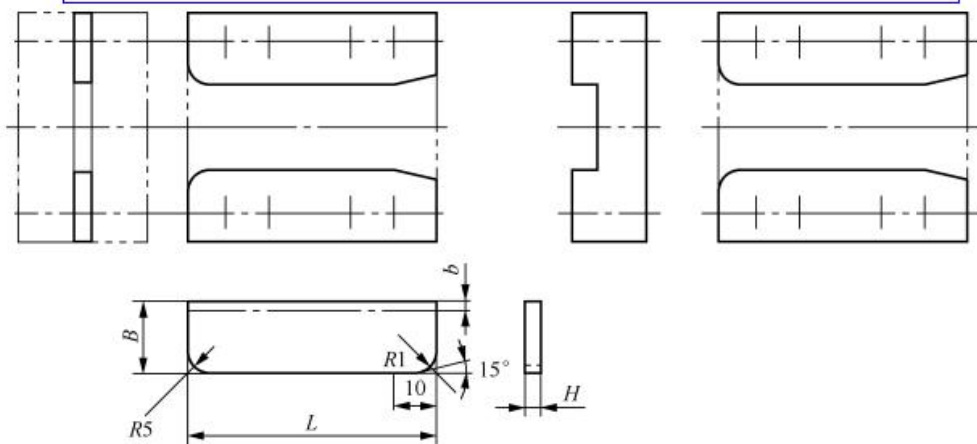


图2.51 镶拼结构固定方法图

(a) 嵌入式固定 (b) 压入式固定 (c) 斜楔式固定

2.6.2 定位零件的设计与标准的选用

导料销或导料板对条料或带料的侧面进行导向，以免送偏定位零件。

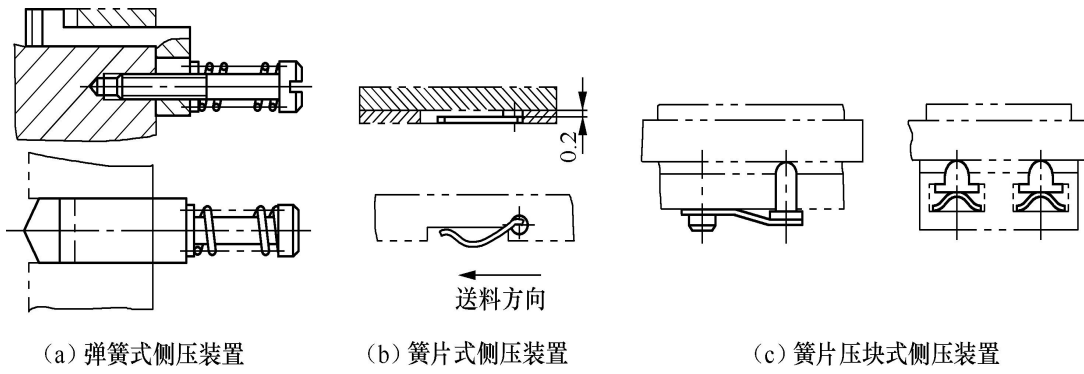


(a) 与刚性卸料板（或导板）分开制造的结构

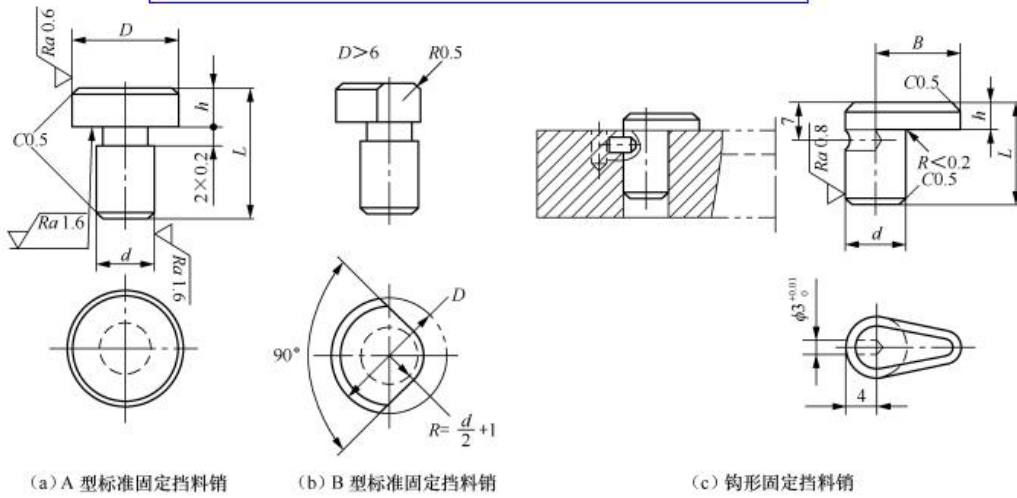
(b) 与刚性卸料板制成整体的结构

(a) 与卸料板（或导板）分开制造的结构 (b) 与卸料板制成整体的结构

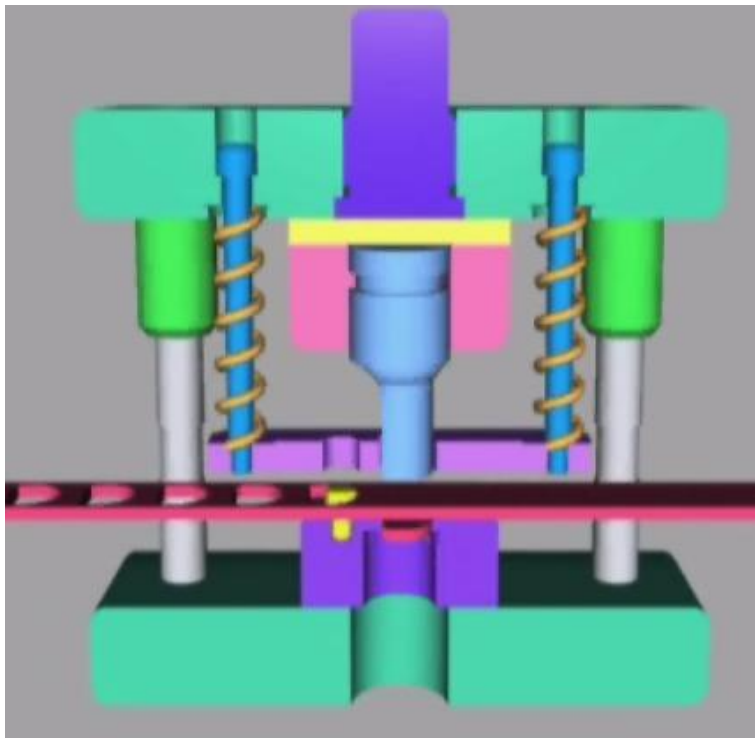
送料方向的一侧装侧压装置，使条料始终紧靠一侧导料板送进。

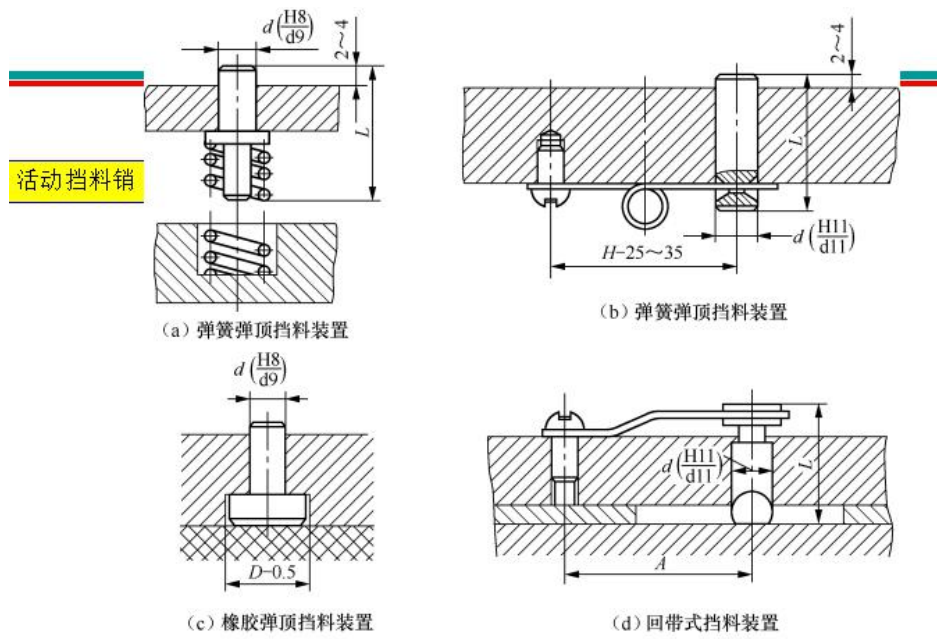


固定挡料销广泛用于冲制中、小型冲裁件的挡料定距；其缺点是销孔离凹模刃壁较近，削弱了凹模的强度。

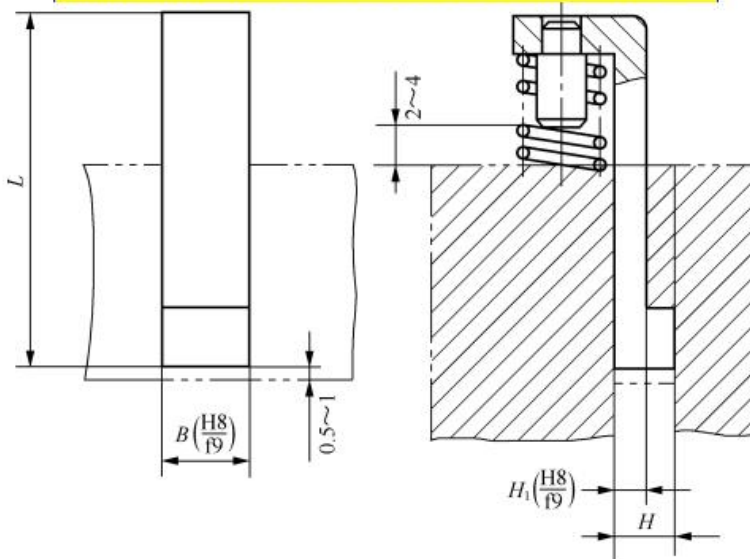


固定挡料销工作原理

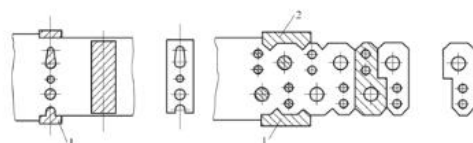
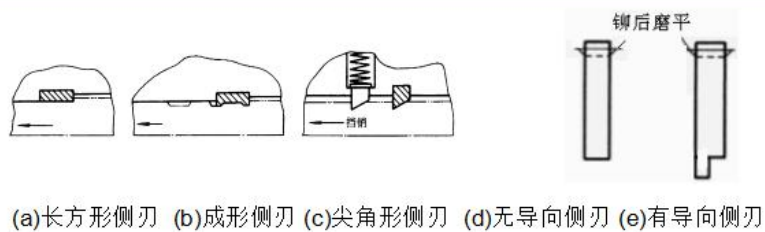




始用挡料销一般用于以导料板送料导向的级进模中。



级进模中，为限定条料送进距离，在条料侧边冲出一定尺寸缺口的凸模，称为侧刃。



特殊侧刃

使用导正销的目的是消除送进导向和送料定距或定位板等粗定位的误差。冲裁中，导正销先进入已冲孔中，导正条料位置，保证孔与外形相对位置公差的要求。导正销主要用于级进模，分为固定式导正销和活动式导正销。

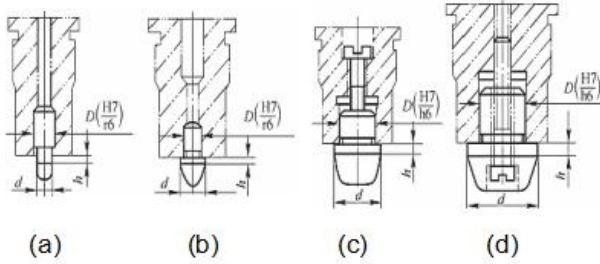


图2.59固定式导正销

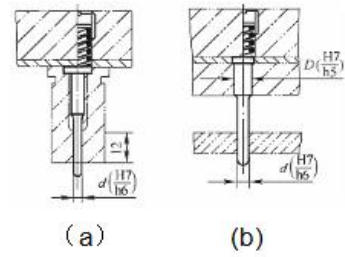
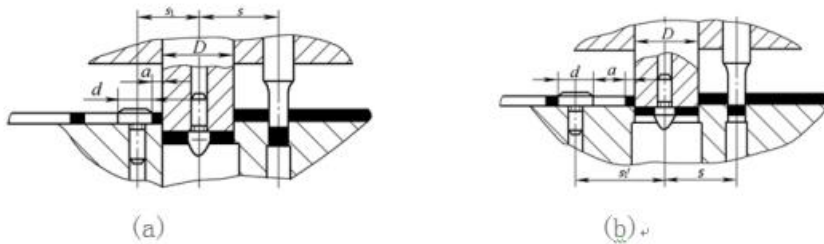


图2.60活动式导正销

(a) $d < 6\text{mm}$ (b) $d < 10\text{mm}$ (c) $d = 10\text{--}30\text{mm}$ (d) $d = 20\text{--}50\text{mm}$ (a)导正销装在凸模内 (b)导正销装在固定板上

导正销通常与挡料销配合使用，它们的位置关系图



$$s_1 = s - \frac{D}{2} + \frac{d}{2} + 0.1 = s - \frac{D-d}{2} + 0.1$$

$$s_1' = s + \frac{D}{2} - \frac{d}{2} - 0.1 = s + \frac{D-d}{2} - 0.1$$

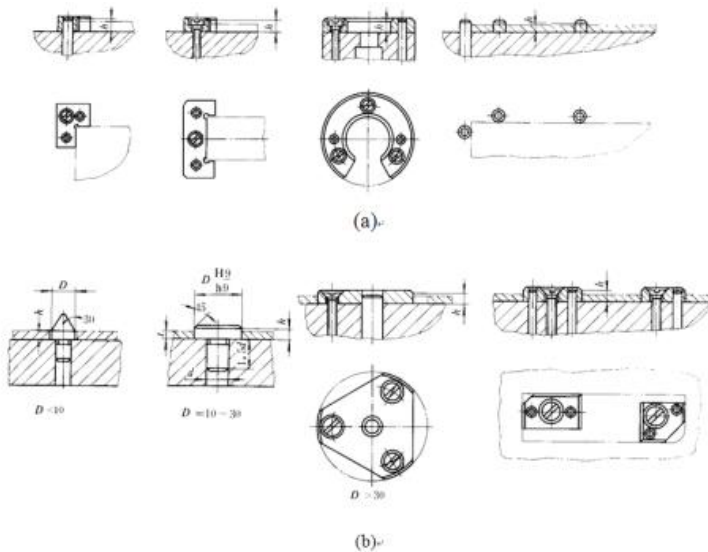


图 2.62 定位板和定位销的结构形式。

(a) 外缘定位 (b) 内孔定位。

顶件装置一般是弹性的。

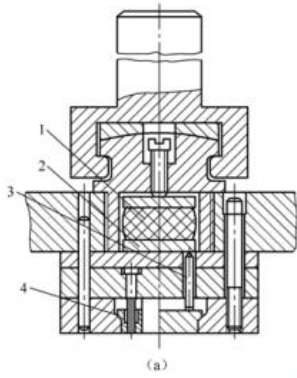


图 2.69 弹性推件装置

1—橡胶；2—推板；3—连接推杆；4—推件块

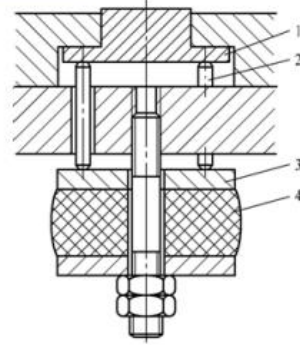
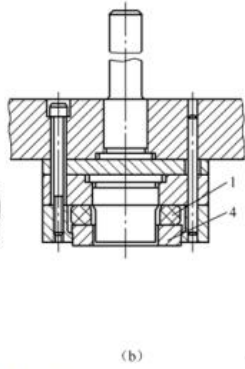
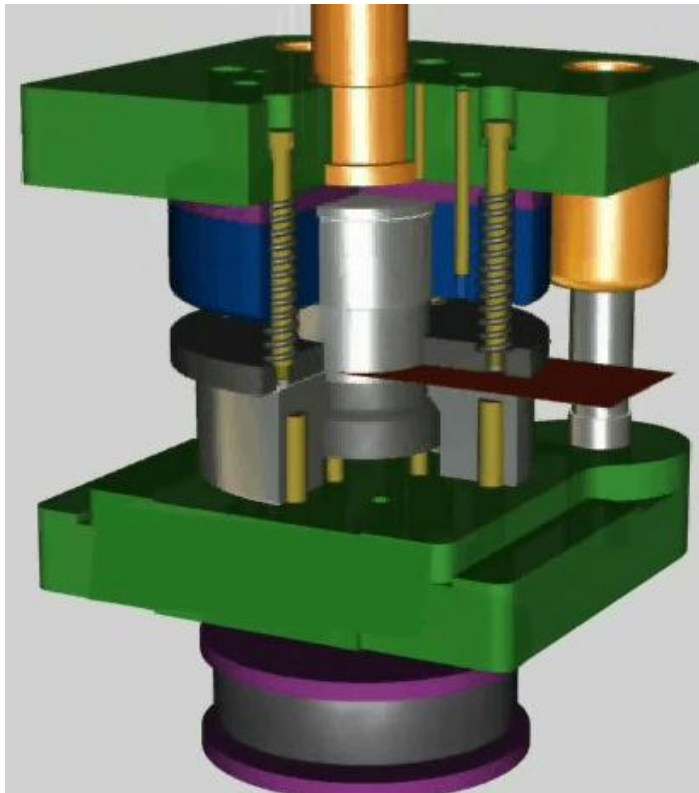


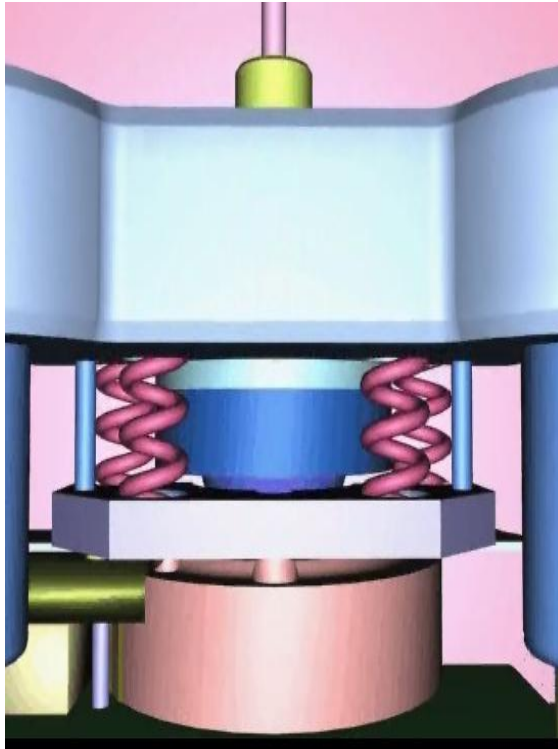
图 2.70 弹性顶件装置

1—顶件块；2—顶杆；3—托板；4—橡胶

顶件装置工作过程

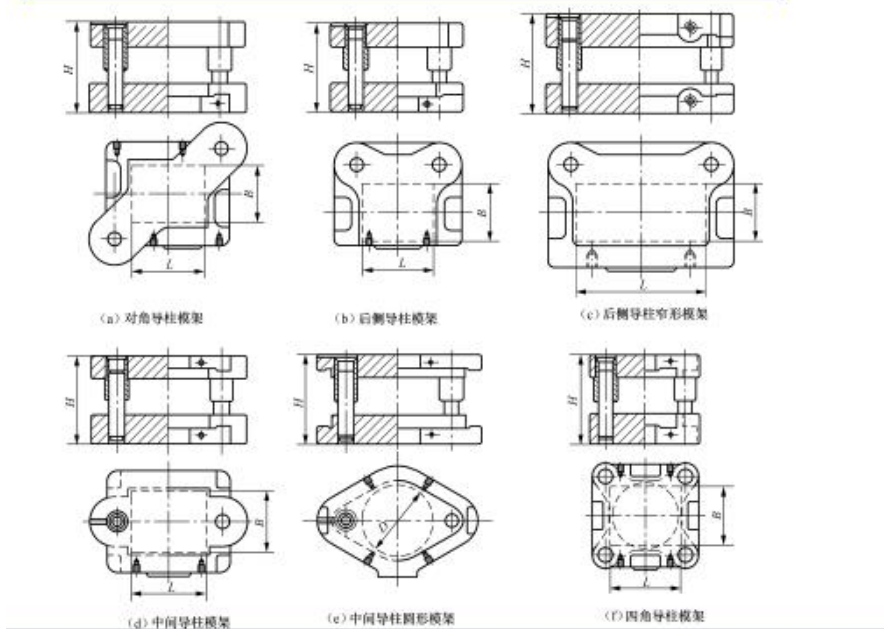


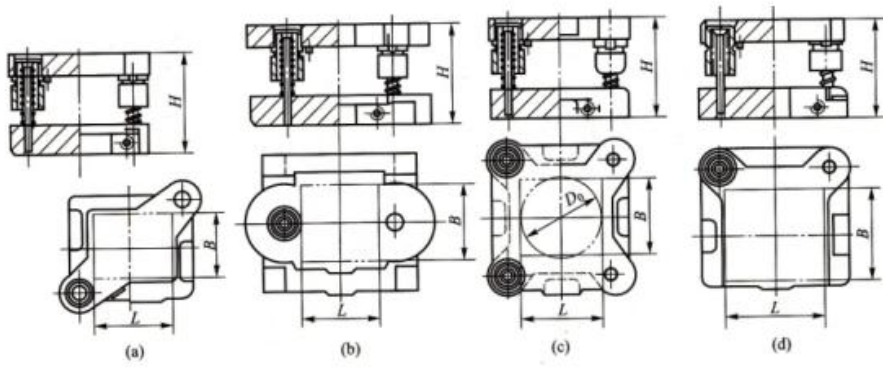
弹性卸料装置的工作过程



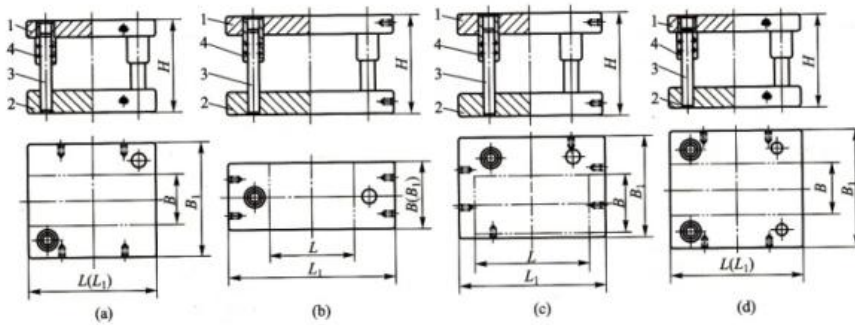
2.6.4 固定与紧固零件的设计与标准的选用

国家标准《冲模滑动导向模架》(GB/T2851-2008)、
《冲模滚动导向模架》(GB/T2852-2008)



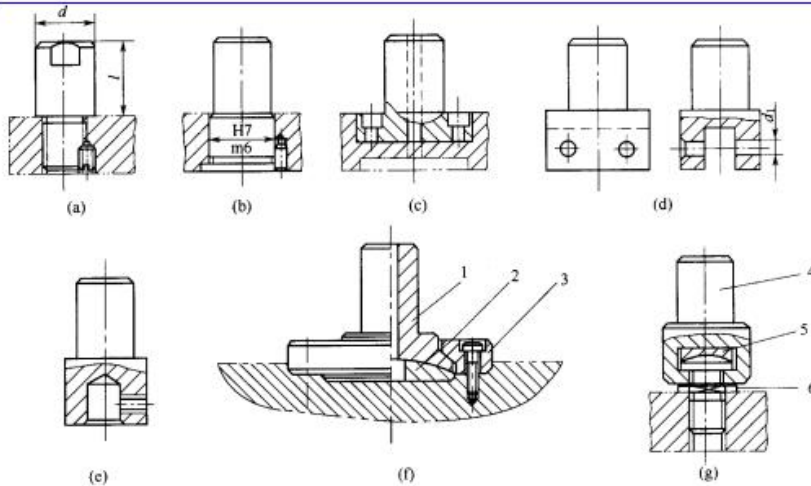


滚动式导柱导套铸铁模架



滑动式导柱导套钢板模架
1-上模座 2-下模座 3-导柱 4-导套

模柄是上模与压力机滑块连接的零件。
模柄的基本要求是：与压力机滑块上的模柄孔正确配合，安装可靠



(a)旋入式模柄 (b)压入式模柄 (c)凸缘式模柄 (d)槽形模柄 (e)通用模柄 (f)浮动模柄 (g)推入式活动模柄
1-凹球面模柄 2-凸球面垫块 3-压板 4-模柄接头 5-凹球面垫块 6-活动模柄

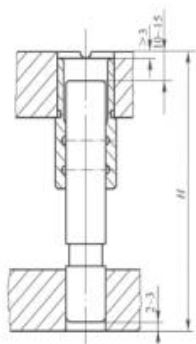
固定板：模具装配时将凸模或凹模压入固定板，作为一个整体安装在上模座或下模座上；
 凸模固定板的厚度一般取凹模厚度的0.6~0.8倍；
 固定板的凸模安装孔与凸模采用过渡配合H7/m6、H7/n6；
 固定板材料一般采用Q235或45钢。

垫板：模具冲压时凸模上端面或凹模下端面对模板局部压强很大，甚至超过模板的允许抗压应力，这时在凸模上端面或凹模下端面需要设计垫板。
 这种垫板厚度一般采用6~12mm。

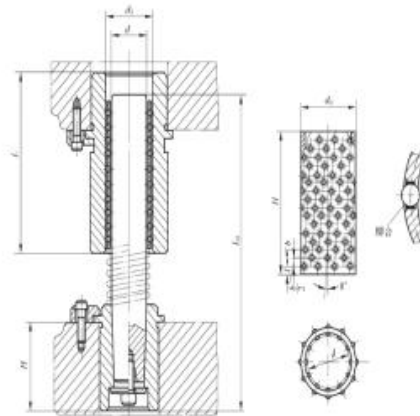
螺钉与销钉：螺钉和销钉都是标准件，设计模具时按标准选用即可。
 螺钉用于固定模具零件，一般选用内六角螺钉；
 销钉起定位作用，常用圆柱销钉。

2.6.5 导向零件的设计与标准的选用

导柱和导套导向



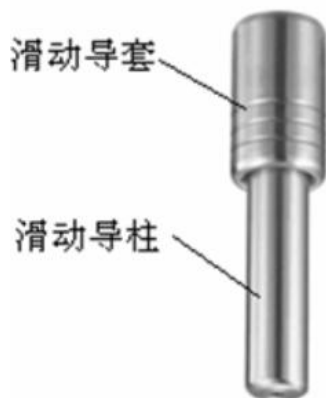
滑动导柱和导套



滚珠导向装置

导柱、导套导向

滑动导柱导套

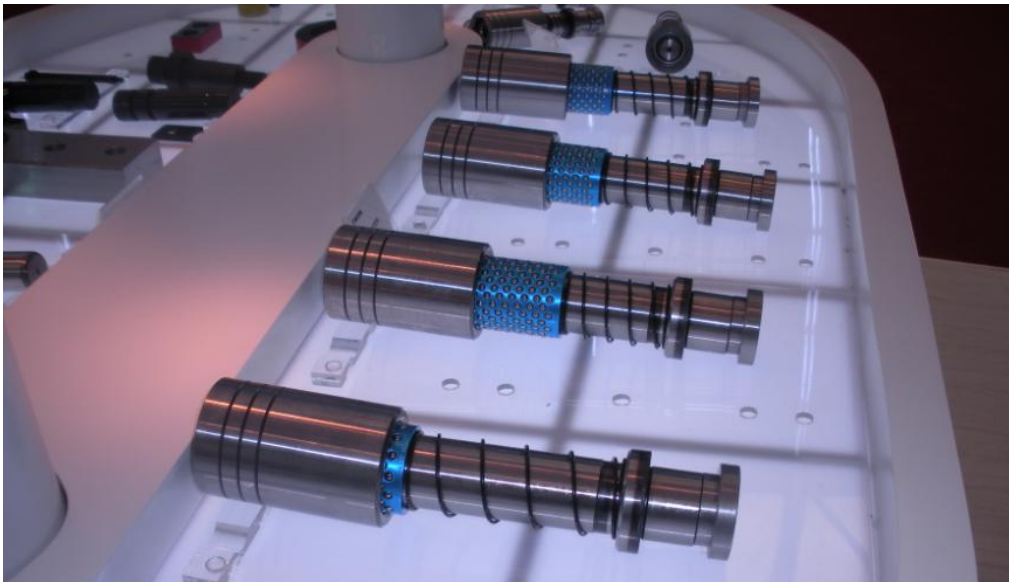


滚珠导向装置

滚珠导柱导套



滚珠导向装置实物图片



2.6.6 冲模零件的材料选用

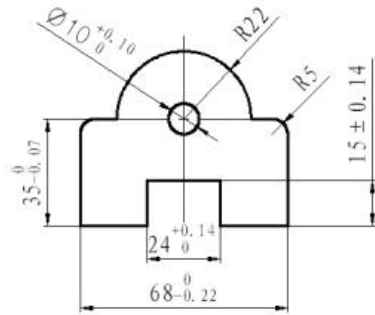
表 2.22 模具材料及热处理			
零件名称		材料	热处理硬度/HRC
凸 凹 模	形状简单、尺寸小	T10A、9Mn2V、CrWMn	58~62
	形状复杂、尺寸大	CrWMn、9CrSi、Cr12、Cr12MoV、YG15、YG20	58~62
	要求高耐磨	Cr12MoV、W18Cr4V、GCr15、YG15、YG20	60~64
	加热冲裁	5CrNiMo、5CrMnMo、3Cr2W8	48~52
上、下模座(板)		HT200、Q235、45	
导柱、导套	(滑动)	20 渗碳淬火	60~64
	(滚动)	GCr15 淬火	58~62
模柄		Q235、45	
固定板、卸料板、推料板、顶板、承料板等		Q235、45	
垫板、定位板		45	43~48
		T8A	54~58
顶杆、推杆、打杆、挡料板、挡料钉等		45	43~48
侧刃、废料切刀、斜楔、滑块、导正销等		T8、T8A、T10、T10A	56~60
弹簧、簧片		65Mn、60Si2Mn	43~48

2.7 冲裁模设计举例

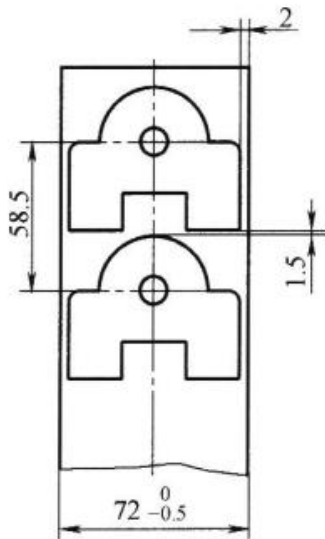
冲裁模设计步骤:

- (1) 设计前的准备工作
- (2) 冲裁件的工艺性分析
- (3) 冲裁工艺方案的确定
- (4) 模具总体设计
- (5) 必要的工艺计算
- (6) 模具零件的详细设计
- (7) 设备的选择与校核
- (8) 模具图样的绘制
- (9) 模具设计说明书的编写

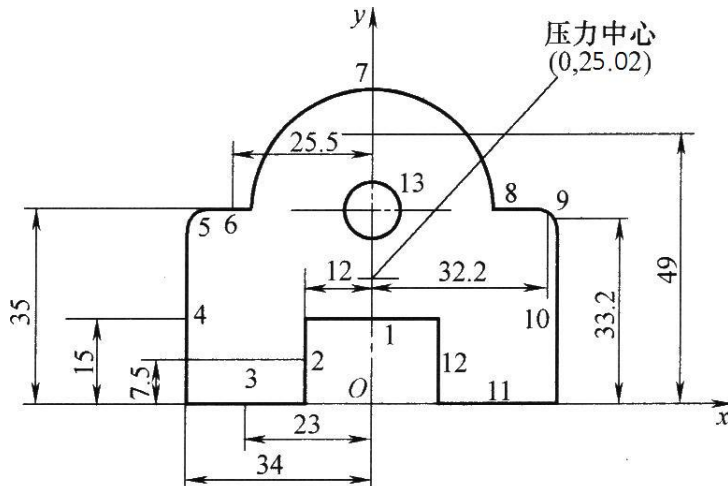
冲制下图所示零件，材料Q235，料厚0.8mm，抗剪强度350MPa，大量生产，试完成其冲裁工艺与模具设计。



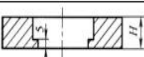
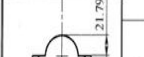
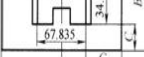

排样图



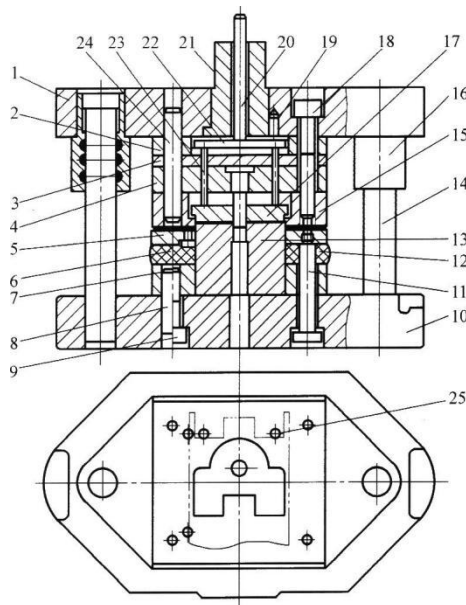
压力中心计算



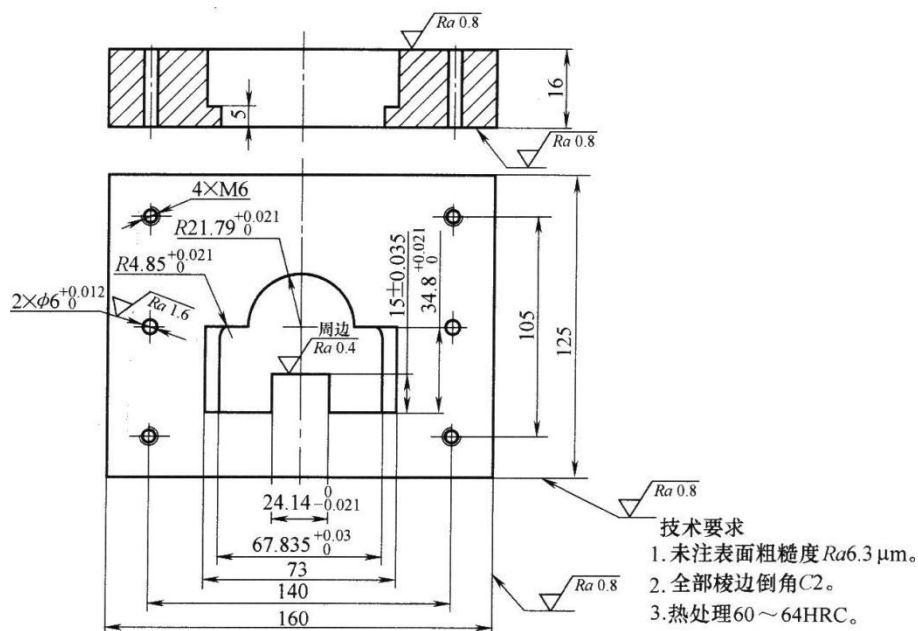
落料凹模外形设计

凹模外形尺寸符号 ϕ	凹模简图 ϕ	凹模外形尺寸计算值 ϕ	凹模外形尺寸标准值 (JB/T7643.1-2008) ϕ
凹模厚度 $H\phi$		$H=Kb=0.22 \times 68=14.96$, 取 $H=15$ (查表 2.20 得 $K=0.22$) ϕ	$L \times B \times H=160 \times 125 \times 16\phi$
凹模壁厚 $C\phi$		$C=(1.5 \sim 2)H=22.5 \sim 30$, 取 $C=30\phi$	
凹模长度 $L\phi$		$L=67.835+2 \times 30=127.835\phi$	
凹模宽度 $B\phi$		$B=34.93+21.79+2 \times 30\phi$ $=116.72\phi$	

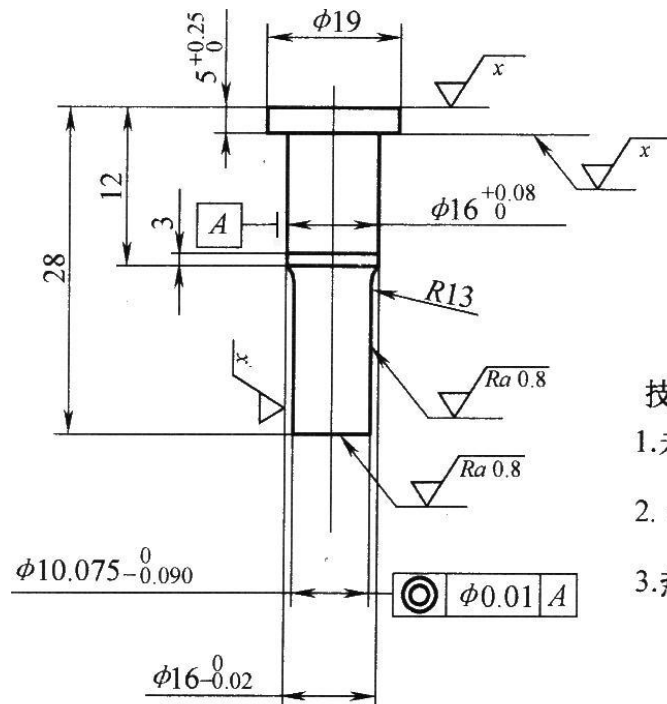
模具装配图



落料凹模零件图



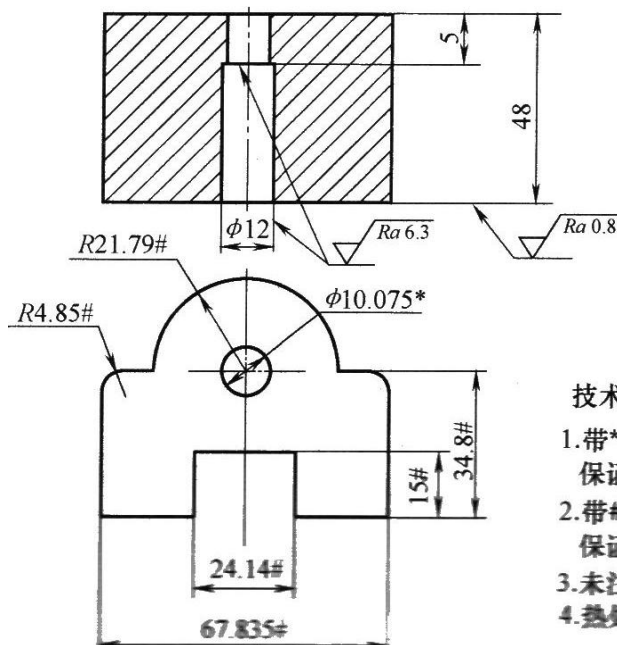
冲孔凸模零件图



技术要求

1. 未注表面粗糙度 $Ra 6.3 \mu m$ 。
2. $\sqrt{x} = \sqrt{Ra 1.6}$
3. 热处理 58~62HRC。

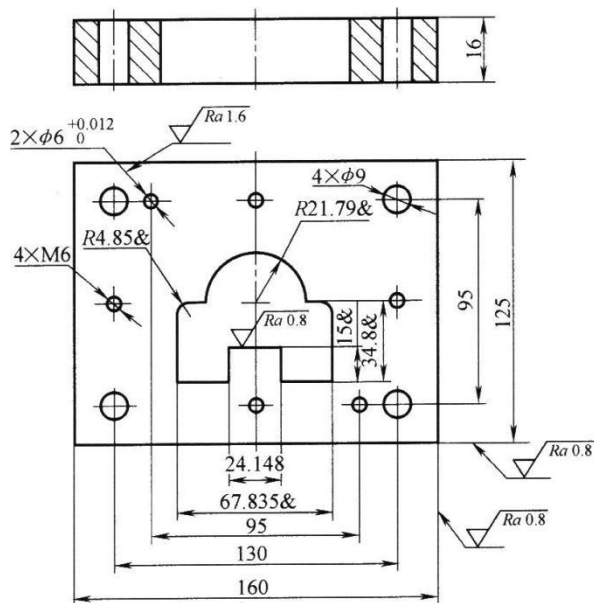
凸凹模零件图



技术要求

1. 带*尺寸按冲孔凸模刃口的实际尺寸配作, 保证单边间隙为0.024mm。
2. 带#尺寸按落料凹模刃口的实际尺寸配作, 保证单边间隙0.024mm。
3. 未注表面粗糙度 $Ra 0.4 \mu m$ 。
4. 热处理 58~62HRC。

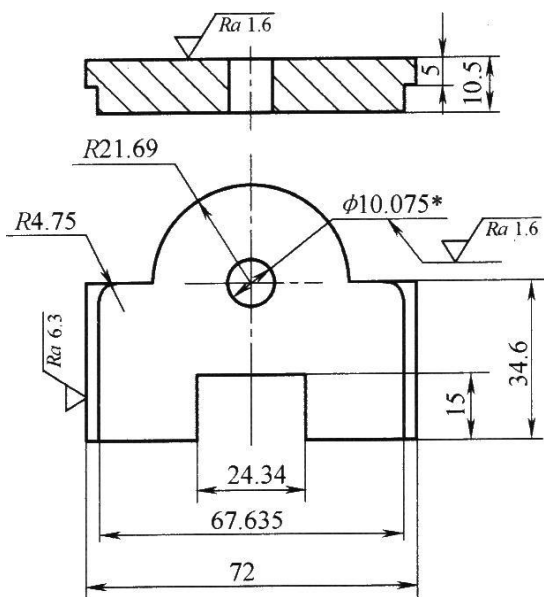
凸凹模固定板零件图



技术要求

- 1.带&尺寸与凸凹模外形的实际尺寸按H7配作。
- 2.未注表面粗糙度Ra6.3。
- 3.全部棱边倒角C2。

推件块零件图



技术要求

- 1.带*尺寸与冲孔凸模刃口按H8/f8配作。
- 2.未注表面粗糙度Ra3.2。
- 3.热处理硬度43~48HRC。

2.8 精密冲裁工艺与模具设计

普通冲裁所能达到工件的尺寸精度在IT11以下，切断面表面粗糙度Ra值在12.5~3.2μm，且有锥度。

采用齿圈压板的精密冲裁，可以获得的尺寸精度为IT6~IT9，断面的表面粗糙度Ra值可达1.6~0.2μm，

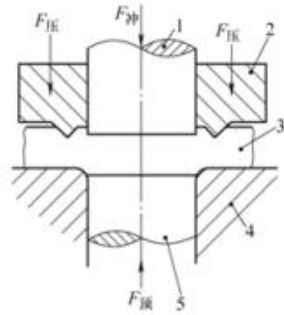
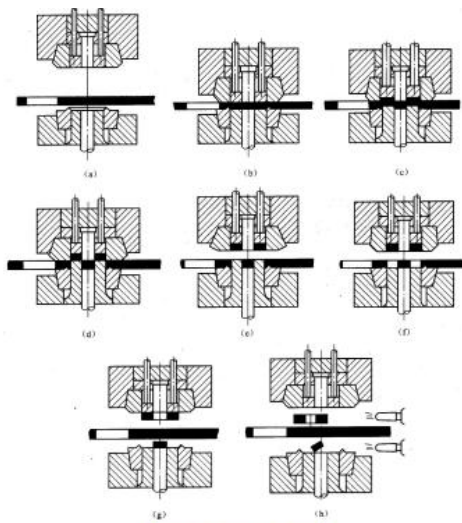


图 2.85 精冲模工作部分的组成

1—凸模 2—齿圈压板 3—板料 4—凹模 5—顶出器



精冲需要有压料、冲裁、反顶压力等三种压力，并且要求这三种压力按顺序施压。故需要具有实现三种压力的三重动作的模具和压力机，还要在板料分离后，有顶（推）件和卸料动作。

精冲过程

精冲材料：一般以含碳量 w_c 小于0.35%及 σ_b 小于650MPa的钢材应用较广；有色金属中纯铜、黄铜（含铜量高于63%）、铝青铜（含铝量低于10%）、纯铝及软态的铝合金均能精冲。

精冲零件的工艺性影响因素：零件的几何形状，零件的尺寸公差和形位公差，剪切面的质量，材质及厚度等，其中零件几何形状是主要因素。

- 精冲力的计算
- (1) 精冲冲裁力 $F_1 = f_1 L t \sigma_b$
 - (2) 齿圈压力 $F_2 = f_2 L h \sigma_b$
 - (3) 顶出器的反压力 $F_3 = 0.2 F_1$
 - (4) 精冲总压力 $F = F_1 + F_2 + F_3$
 - (5) 卸料力和顶件力 $F_4 = (5 \sim 10) \% F_1$
 $F_5 = (5 \sim 10) \% F_1$

1.凸、凹模工作尺寸设计

(1) 凸、凹模间隙：

表 2.26 凸模和凹模的双面相对间隙 ($z/t \times 100\%$)

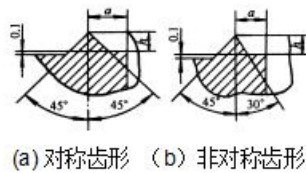
材料厚度 t (mm)	外形间隙 z	内形间隙 z		
		$d < 2t$	$d = (1 \sim 5)t$	$d > 5t$
0.5	1%	2.5%	2%	1%
1		2.5%	1%	0.5%
2		2.5%	1%	0.5%
3		2%	1%	0.5%
4		1.7%	0.75%	0.5%
6		1.7%	0.5%	0.5%

(2) 凸、凹模刃口尺寸：

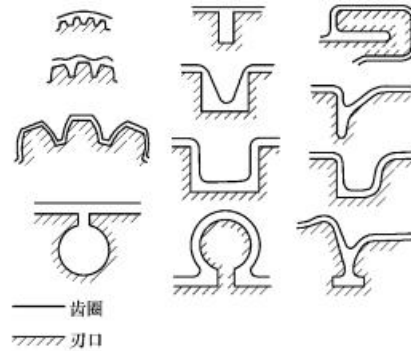
落料时 $D_d = (D_{\text{min}} + \frac{1}{4}\Delta)_{\pm\frac{1}{4}\Delta}$
 凸模按凹模实际尺寸配制，保证双面间隙值 z 。
 冲孔时 $d_p = (d_{\text{max}} - \frac{1}{4}\Delta)_{\pm\frac{1}{4}\Delta}$
 凹模按凸模实际尺寸配制，保证双面间隙值 z 。
 孔中心距 $C_d = C \pm \frac{1}{8}\Delta$

1.凸、凹模工作尺寸设计

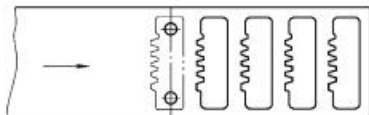
(3) 齿圈压板



(a) 对称齿形 (b) 非对称齿形



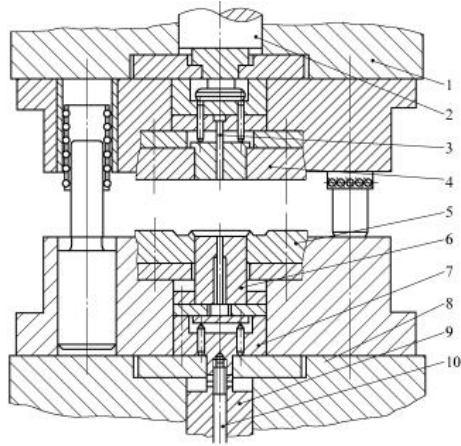
(4) 排样与塔边



齿圈的分布

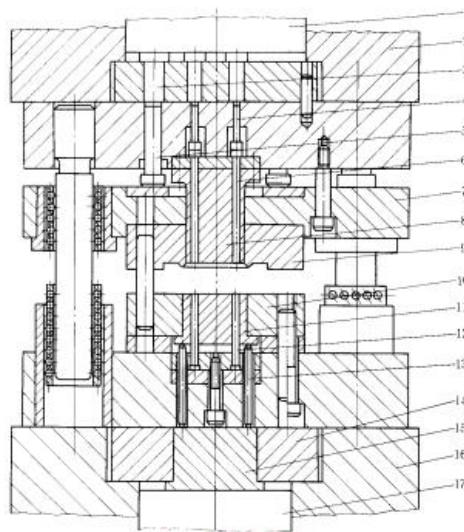
精冲模与普通冲裁模相比，具有以下特点：

- 1) 刚性和精度要求较高。
- 2) 要有精确而稳定的导向装置，保证凸、凹模同心，间隙均匀。
- 3) 严格控制凸模进入凹模的深度，以免损坏模具工作部分。
- 4) 模具工作部分应选择耐磨、淬透性好、热处理变形小的材料。
- 5) 要考虑模具工作部分的排气问题，以免影响顶出器的移动距离。



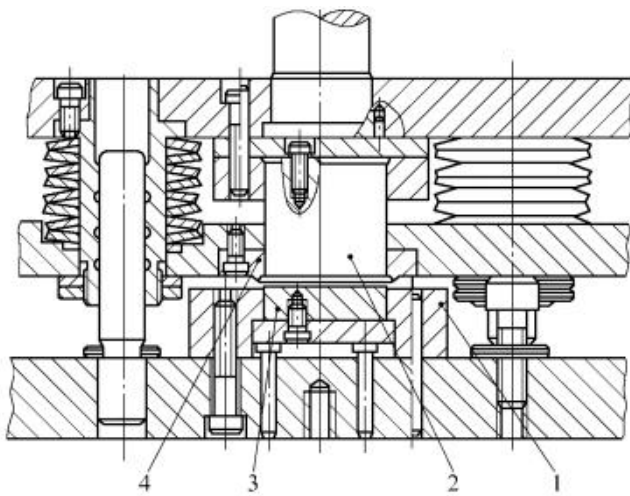
活动凸模式结构

1-上工作台 2-上柱塞 3-凸模 4-凹模 5-齿圈压板 6-凸凹模 7-凸凹模座 8-下工作台 9-滑块 10-凸凹模拉杆



固定凸模式结构

1-上柱塞 2-上工作台 3、4、5-连接推杆 6-推杆 7-活动模板 8-凸凹模 9-齿圈压板 10-凹模 11-顶件块 12-冲孔凸模 13-顶杆 14-下垫块 15-顶块 16-下工作台 17-下柱塞

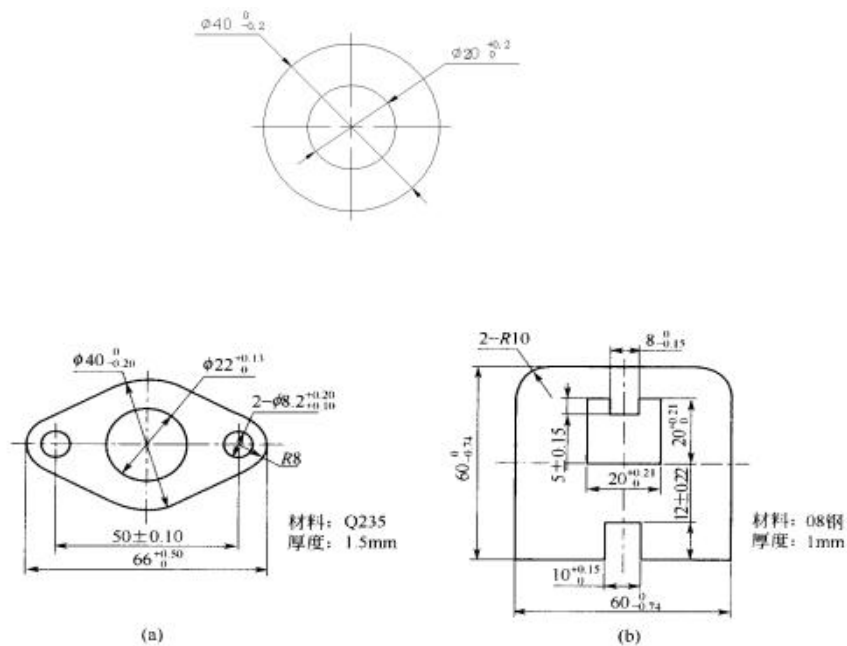


简易精冲模

1-凹模 2-凸模 3-顶板 4-齿圈压板

思考与练习题 2

1. 简述冲裁件断面特征、影响因素。
2. 分析冲裁间隙对冲裁件质量、冲裁力、模具寿命的影响。生产中如何选择合理的冲裁间隙？
3. 冲裁凸、凹模刃口尺寸计算方法有哪几种？各有何特点，分别适应于什么场合？
4. 简述排样类型及排样类型的选择方法。
5. 试比较单工序模、级进模和复合模的结构特点及应用。
6. 冲裁模一般由哪几类零部件组成？它们在冲裁模中分别起什么作用？
7. 冲裁图2.94所示的工件，材料为15钢，料厚为2mm， σ_b 为450MPa，采用两工位级进冲裁，请计算：
 - (1) 冲裁力、冲裁压力中心；
 - (2) 冲裁凸模与凹模刃口部分尺寸；
 - (3) 请分别绘制冲孔和落料的公差带图；
 - (4) 请绘制模具结构图。
8. 计算图2.95所示零件的凸、凹模刃口尺寸及公差（图a按分别加工法，图b按配作加工法）。



模块三 弯曲

教学目标:

1. 了解弯曲工艺的变形过程、质量分析及控制；
2. 学会弯曲工艺计算及设计；
3. 了解弯曲模的基本类型及构造；
4. 了解弯曲模主要零件的设计及标准的选用，并应用到实际的

设计中。

教学重点：

1. 弯曲工艺计算及设计；
2. 弯曲模主要零件的设计及标准的选用；
3. 支架弯曲模设计（实际应用设计）。

教学难点： 弯曲工艺的具体应用（支架弯曲模设计）

素质（思政）内容与要求：

1.通过对弯曲件的设计与工艺性的深入研究，培养学生的创新思维与实践能力。强调在设计中要考虑到结构的合理性与美观性，引导学生关注工程设计对社会和环境的影响，鼓励他们在追求技术进步的同时，保持对社会责任的敏感性，增强服务于社会的意识。

2.通过展开尺寸计算的训练，加强学生的数学基础与应用能力，培养其严谨的工作习惯与计算能力。在计算过程中，培养学生严谨务实的态度，鼓励其在实际工作中认真负责，确保每一项计算的准确性。

3.引导学生学习合理安排工艺流程，提升其项目管理能力与协调能力，强调团队合作的重要性。同时，通过具体实例，让学生理解U形件的设计与应用，培养其实际动手能力，鼓励其在设计中关注功能与美观的结合。

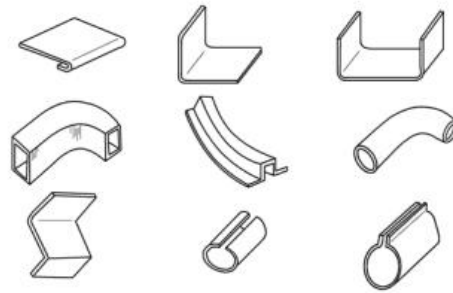
教学手段： 讲授、演示、提问

教学学时： 12

教学内容：

弯曲概念

弯曲：是将金属坯料沿弯曲曲线弯成具有一定角度和形状的成形工艺方法，实际生产中，弯曲所用的坯料常用的有板材、管材和棒材等，弯曲属于成形工序。



弯曲件示意图

根据弯曲成形所用的模具及设备不同，弯曲方法可分为压弯、拉弯、折弯、滚弯等，最常见的是在压力机上进行压弯。

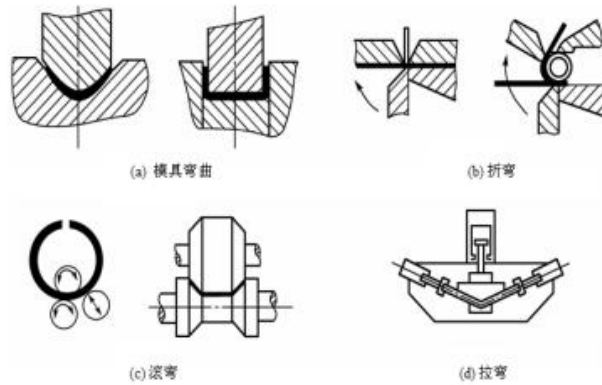
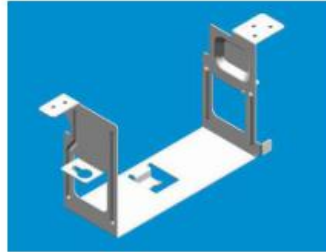
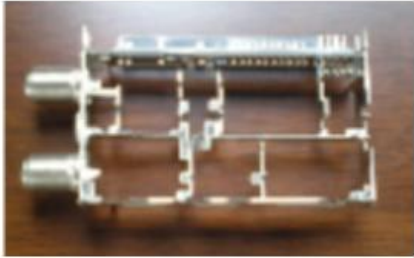


图3.2 弯曲成形方法

生活中的弯曲零件



用模具成形弯曲件一



用模具成形弯曲件二



3.1 弯曲变形过程分析

弯曲变形过程

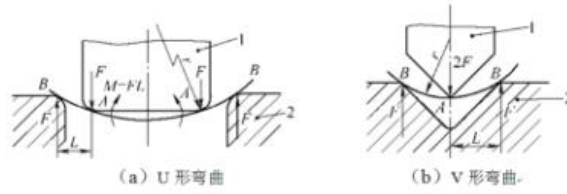


图 3.3 弯曲中板料受力情况
1—凸模 2—凹模

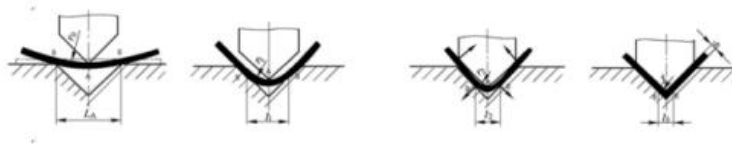
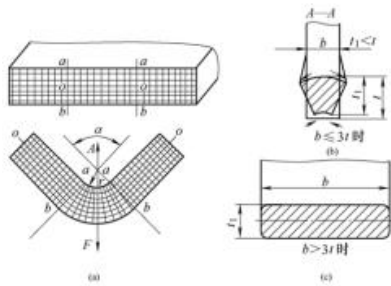


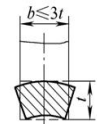
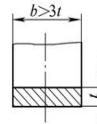
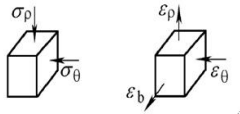

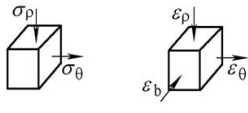
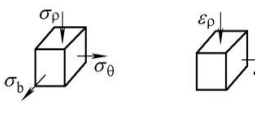
图 3.4 V形弯曲件弯曲过程

弯曲变形特点：在弯曲前的板料侧表面用机械刻线或照相腐蚀制作正方形网格的方法，然后用工具观察并测量弯曲前后网格的尺寸和形状变化情况。



弯曲变形具有以下特点：
 (1) 弯曲变形主要发生在弯曲带中心角 α 范围内，中心角以外的直边部分基本上不变形。
 (2) 在变形区内，板料产生了变形。
 ①长度方向；②厚度方向；③宽度方向
 (3) 板料长度的增加。

表 3.1 弯曲变形时的应力应变状态

板厚	窄板弯曲。 	宽板弯曲。 
内侧		
外侧		

3.2 弯曲件质量分析及控制

弯曲件可能产生的质量问题通常有**弯裂**、**回弹**、**偏移**、**翘曲**、**变形区厚度变薄**和**毛坯长度增加**等。

1. **弯裂**：当弯曲变形达到一定程度时，将会使变形区外层材料沿板宽方向产生拉伸裂纹而导致破坏。

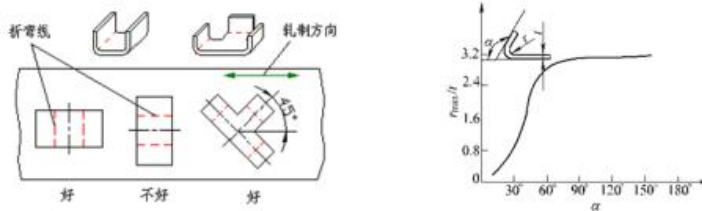


2. **最小相对弯曲半径**：在保证毛坯外层纤维不发生破裂的前提下，所能获得的弯曲零件内表面最小圆角半径与弯曲材料厚度的比值 r_{min}/t 称为**最小相对弯曲半径**。

$$r_{min}/t = \frac{1-\delta}{2\delta}$$

3. 影响最小相对弯曲半径的因素

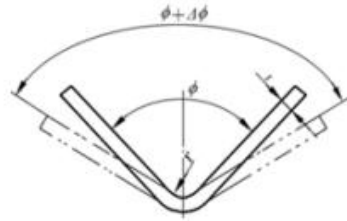
- (1)材料力学性能，材料塑性越好，允许的 r_{min}/t 值就可以越小。
- (2)板料的纤维方向冲压多用冷轧板材，呈现纤维状组织，呈明显各向异性。
- (3)毛坯的断面质量和板料的表面质量，弯曲时应将毛刺等缺陷置于弯曲变形区的内侧。
- (4)板料的厚度，薄料允许的 r_{min}/t 值比厚板小。
- (5)弯曲中心角 α 越小，圆角区变形的直边缓解作用越大， r_{min}/t 值也越小。



4. 最小相对弯曲半径 r_{min}/t 值一般参考经验数据来确定。

材料	退火或正火		冷作硬化	
	弯曲方向			
	垂直于纤维	平行于纤维	垂直于纤维	平行于纤维
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
65Mn、T7	1.0	2.0	2.0	3.0
Cr18Ni9	1.0	2.0	3.0	4.0
硬铝(软)	1.0	1.5	1.5	2.5
硬铝(硬)	2.0	3.0	3.0	4.0
磷铜	—	—	1.0	3.0
半硬黄铜	0.1	0.35	0.5	1.2
软黄铜	0.1	0.35	0.35	0.8
紫铜	0.1	0.35	1.0	2.0
铝	0.1	0.35	0.5	1.0
镁合金	加热到 300~400℃		冷作状态	

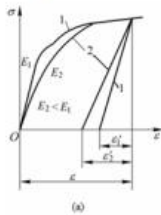
回弹：在材料弯曲变形结束，工件不受外力作用时，由于弹性恢复，使弯曲件的角度、弯曲半径与模具的尺寸形状不一致，这种现象称为回弹



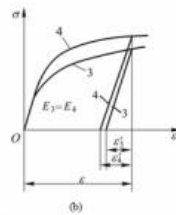
1. 回弹的表现形式：
- (1) 弯曲半径增大。
 - (2) 弯曲件角度增大。

2. 影响回弹的因素：

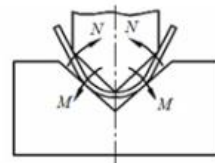
- 1) 材料的力学性能；
- 2) 相对弯曲半径 r/t ： r/t 越小时，回弹值越小；
- 3) 弯曲中心角 α ：弯曲中心角越大，回弹角越大；
- 4) 弯曲方式：自由弯曲与校正弯曲比较，校正弯曲有较小的回弹；
- 5) 模具间隙：间隙大，回弹大；间隙小，材料被挤紧，回弹小；
- 6) 工件形状：工件形状复杂，各部分的回弹相互牵制，回弹小；
- 7) 非变形区的影响。



材料的力学性能对回弹值的影响图



相对弯曲半径对回弹的影响



校正弯曲时的回弹

1、3—退火软钢；2—软锰黄铜；4—经冷变形硬化的软钢

3. 回弹值的大小

- 1) 当 $r/t < 5$ 时，弯曲半径的回弹值不大，只需考虑角度的回弹，其值可按表3.3、表3.4、表3.5查出。
- 2) 当 $r/t > 10$ 时，因相对弯曲半径较大，工件不仅角度有回弹，弯曲半径也有较大的回弹。这时，回弹值可按式公式计算，在生产中再进行修正。

$$r_{\Delta} = \frac{r}{1 + 3 \frac{\sigma_s r}{Et}} = \frac{1}{\frac{1}{r} + 3 \frac{\sigma_s}{Et}}$$

$$\alpha_{\Delta} = \alpha - (180^\circ - \alpha) \left(\frac{r}{r_{\Delta}} - 1 \right)$$

表 3.3 90°单角自由弯曲时的角度回弹值 $\Delta\alpha$

材料 ρ	r/t	材料厚度 t/mm		
		<0.8	$0.8\sim 2$	>2
软钢 $\sigma_b=350MPa$ 软黄铜 $\sigma_b\leq 350MPa$ 铝、锌 ρ	<1	4°	2°	0°
	$1\sim 5$	5°	3°	1°
	>5	6°	4°	2°
中硬钢 $\sigma_b=400\sim 500MPa$ 硬黄铜 $\sigma_b=350\sim 400MPa$ 硬青铜 ρ	<1	5°	2°	0°
	$1\sim 5$	6°	3°	1°
	>5	8°	5°	3°
硬钢 $\sigma_b>550MPa$	<1	7°	4°	2°
	$1\sim 5$	9°	5°	3°
	>5	12°	7°	5°
硬铝 2A12 ρ	<2	2°	3°	4.5°
	$2\sim 5$	4°	6°	8.5°
	>5	6.5°	6°	14°
超硬铝 7A04 ρ	<2	2.5°	5°	8°
	$2\sim 5$	4°	8°	11.5°
	>5	7°	12°	19°

表 3.4 单角校正弯曲时的角度回弹值 $\Delta\alpha$

材料 ρ	r/t		
	≤ 0.8	$>1\sim 2$	$>2\sim 3$
Q235 ρ	$-1^\circ\sim 1^\circ30'$	$0^\circ\sim 2^\circ$	$1^\circ30'\sim 2^\circ30'$
纯铜、铝、黄铜 ρ	$0^\circ\sim 1^\circ30'$	$0^\circ\sim 3^\circ$	$2^\circ\sim 4^\circ$

表 3.5 U形件弯曲时的角度回弹值 $\Delta\alpha$

材料 ρ	r/t	凹模和凸模的单边间隙 Z						
		$0.8t$	$0.9t$	$1.0t$	$1.1t$	$1.2t$	$1.3t$	$1.4t$
		回弹角 $\Delta\alpha$						
2A12Y ρ	2	-2°	0°	$2^\circ30'$	5°	$7^\circ30'$	10°	12°
	3	-1°	$1^\circ30'$	4°	$6^\circ30'$	$9^\circ30'$	12°	14°
	4	0°	3°	$5^\circ30'$	$8^\circ30'$	$11^\circ30'$	14°	$16^\circ30'$
	5	1°	4°	7°	10°	$12^\circ30'$	15°	18°
	6	2°	5°	8°	11°	$13^\circ30'$	$16^\circ30'$	$19^\circ30'$
A12M ρ	2	$-1^\circ30'$	0°	$1^\circ30'$	3°	5°	7°	$8^\circ30'$
	3	$-1^\circ30'$	$30'$	$2^\circ30'$	4°	6°	8°	$9^\circ30'$
	4	-1°	1°	3°	$4^\circ30'$	$6^\circ30'$	9°	$10^\circ30'$
	5	-1°	1°	3°	5°	7°	$9^\circ30'$	11°
	6	$-30'$	$1^\circ30'$	$3^\circ30'$	6°	8°	10°	12°
7A04Y ρ	3	3°	7°	10°	$12^\circ30'$	14°	16°	17°
	4	4°	8°	11°	$13^\circ30'$	15°	17°	18°
	5	5°	9°	12°	14°	16°	18°	20°
	6	6°	10°	13°	15°	17°	20°	23°
	8	8°	$13^\circ30'$	16°	19°	21°	23°	26°
7A04M ρ	2	-3°	-2°	0°	3°	5°	$6^\circ30'$	8°
	3	-2°	$-1^\circ30'$	2°	$3^\circ30'$	$6^\circ30'$	8°	9°
	4	-1°	-1°	$2^\circ30'$	$4^\circ30'$	7°	$8^\circ30'$	10°
	5	-1°	-1°	3°	$5^\circ30'$	8°	9°	11°
	6	0°	$-0^\circ30'$	$3^\circ30'$	$6^\circ30'$	$8^\circ30'$	10°	12°
20 ρ (已退火的) ρ	1	$-2^\circ30'$	-1°	$0^\circ30'$	$1^\circ30'$	3°	4°	5°
	2	-2°	$-0^\circ30'$	1°	2°	$3^\circ30'$	5°	6°
	3	$-1^\circ30'$	0°	$1^\circ30'$	3°	$4^\circ30'$	6°	$7^\circ30'$
	4	-1°	$0^\circ30'$	$2^\circ30'$	4°	$5^\circ30'$	7°	9°
	5	$-0^\circ30'$	$1^\circ30'$	3°	5°	$6^\circ30'$	8°	10°
	6	$-0^\circ30'$	2°	4°	6°	$7^\circ30'$	9°	11°

4. 减小弯曲回弹的措施：(1)从弯曲件结构上采取措施；
 (2)从弯曲工艺上采取措施；
 (3)从模具结构上采取措施。

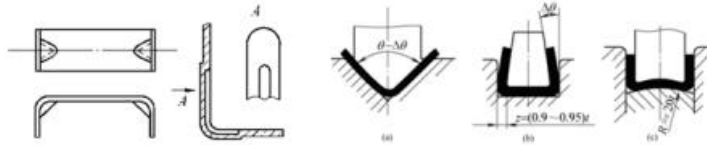


图 3.13 零件上设置加强筋以减小弯曲回弹 图 3.14 采用补偿法以减小弯曲回弹。

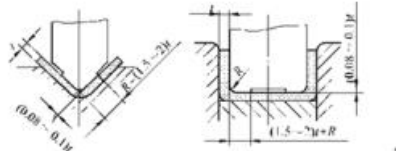
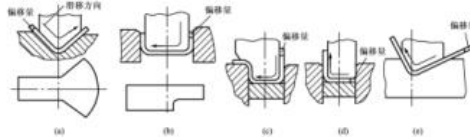


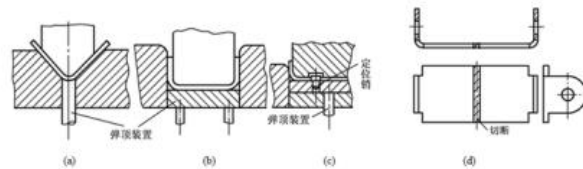
图 3.15 对弯曲区集中校形以减小弯曲回弹

1. 偏移现象的产生：板料在弯曲过程中沿凹模圆角滑移时，受到凹模圆角处摩擦阻力的作用。当板料各边所受的摩擦阻力不等时，毛坯在弯曲过程中沿工件的长度方向产生移动，使工件两直边的高度不符合图样要求，这种现象称为偏移。



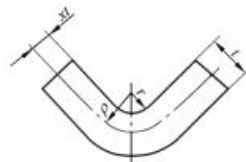
2. 克服偏移的措施

- (1) 采用压料装置，使毛坯在压紧的状态下逐渐弯曲成形；
 (2) 利用毛坯上的孔或设计工艺孔、用定位销插入孔内再弯曲；
 (3) 将不对称形状的弯曲件组合成对称弯曲件进行弯曲，然后再切开；
 (4) 模具制造准确，间隙调整对称。



3.3 弯曲工艺计算

1. 弯曲件中性层位置的确定：弯曲件的坯料长度应等于中性层的展开长度，通常用经验公式确定中性层曲率半径为： $\rho = r + xt$



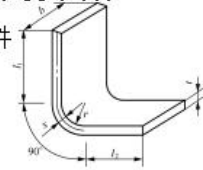
弯曲件中性层半径

表 3.6 中性层位移系数 x 值

r/t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2
x	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33
r/t	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	≥ 8
x	0.34	0.36	0.38	0.39	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.5

2. 弯曲件毛坯展开长度的计算

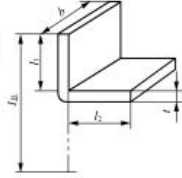
(1) $r > 0.5t$ 的弯曲件



$$L = \sum l_{\text{直线}} + \sum l_{\text{圆弧}}$$

$$l_{\text{圆弧}} = \frac{2\pi\rho}{360^\circ} \alpha = \frac{\pi\rho}{180^\circ} (r + xt)$$

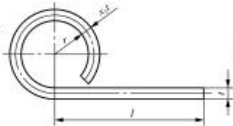
(2) $r < 0.5t$ 的弯曲件



$$L = l_1 + l_2 + x't$$

x' 为修正系数，一般取 $x' = 0.4 \sim 0.6$

(3) 铰链式弯曲件



$$L = l + 1.5\pi(r + x_1t) + r = l + 5.7r + 4.7x_1t$$

x_1 为中性层位移系数（可参考表3.7查取）

弯曲加工中，凸模对工件毛坯施加的作用力称为**弯曲力**，弯曲力是设计弯曲模和选择弯曲设备的依据。

1. 自由弯曲时的弯曲力： V形件弯曲： $F_{\text{自}} = \frac{0.6kbt^2\sigma_s}{r+t}$
 U形件弯曲： $F_{\text{自}} = \frac{0.7kbt^2\sigma_s}{r+t}$

2. 校正弯曲时的弯曲： $F_{\text{校}} = Ap$

材料	板料厚度 (mm)	
	<3	3~10
铝	30~40	50~60
黄铜	60~80	80~100
10~20	80~100	100~120
25~35	100~120	120~150

3. 弯曲时的顶件力和压料力：顶件力或卸料力可近似取自由弯曲力的30%~80%。

4. 弯曲时压力机公称压力的确定：

- 1) 自由弯曲时，压力机的公称压力为

$$F_{\text{压机}} \geq F_{\text{自}} + F_Q$$

- 2) 校正弯曲时，压力机的公称压力为

$$F_{\text{压机}} > F_{\text{校}}$$

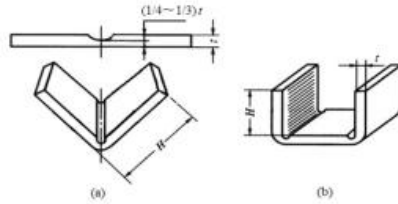
3.4 弯曲工艺设计

弯曲加工的工艺性是指弯曲件的形状、尺寸精度、材料选用或其他技术要求等是否符合弯曲加工的工艺要求。

1. 弯曲加工的成形极限，控制最小相对弯曲半径 r_{\min}/t ，综合考虑下述因素：
 - (1) 板料的材质、厚度及热处理状态；
 - (2) 板材的滚轧方向、弯曲毛坯在条料上的排列方向；
 - (3) 毛坯的断面状态、板料的表面质量。

2. 弯曲件的结构工艺性

- (1) 最小弯曲半径：弯曲半径过小时，对于厚料，则可先切槽后弯曲；对于1mm以下的薄料，将直角处清角改为凸模底部圆角的工件。



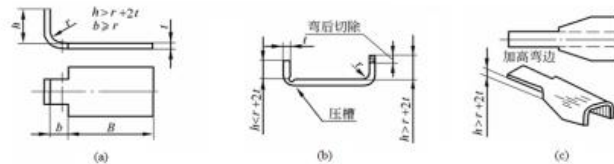
- (2) 弯曲件孔边距：孔边到弯曲半径中心要保持一定的距离：当 $t < 2\text{mm}$ 时， $L \geq t$ ；当 $t \geq 2\text{mm}$ 时， $L \geq 2t$ 。



弯曲件孔边距

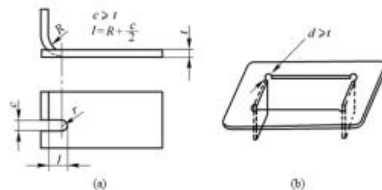
防止孔弯曲时变形的措施

- (3) 弯曲件的直边高度：弯曲边高度 $h > r + 2t$



弯曲件直边高度

- (4) 防止弯边根部裂纹的工件结构：不弯曲部分，退出弯曲线之外，即 $b \geq r$ 。



预冲工艺槽及工艺孔的弯曲件

- (5) 加添连接带：缺口外留有连接带，弯曲后再将连接带切除。

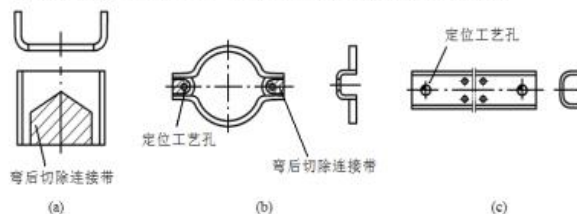
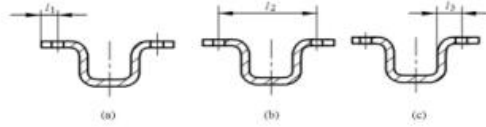


图3.28 切除连接带弯曲件

(6)弯曲件尺寸的标注应考虑工艺性：弯曲件尺寸标注不同，会影响冲压工序的安排。



弯曲件尺寸标注

3. **弯曲件的成形精度**：受到毛坯精度、弯曲部位畸变、弯曲回弹和弯曲偏移等因素的综合影响，一般弯曲件的尺寸公差应控制不要超过IT13级，角度公差不小于15'。如果成形精度要求过高，应增加弯曲后整形工序。

弯曲工序安排的要点如下：

- (1) 形状简单的弯曲件，如V形、U形、Z形等，一次可以压弯成形；
- (2) 形状复杂的多角弯曲件，需要两次或多次压弯成形，一般应先弯两端部分的外角，后弯中间部分的内角；
- (3) 生产批量大和尺寸特别小的工件，应将多道工序安排在一副级进模中；
- (4) 形状不对称的弯曲件，尽可能组合成对称式后进行弯曲，再剖切；
- (5) 带孔的弯曲件，冲孔工序尽可能安排在弯曲工序之后进行，有利于保证孔形精度和位置精度。



3.5 弯曲模具设计

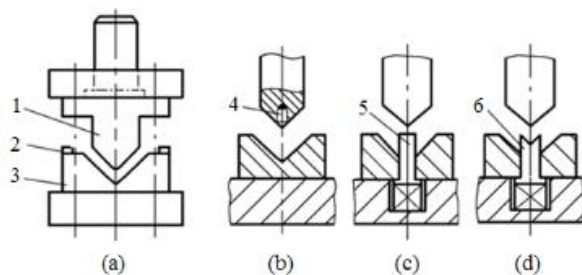
弯曲模结构设计要点为：

- (1) 弯曲毛坯的定位要准确、可靠，尽可能是水平放置。多次弯曲时最好使用同一基准定位；
- (2) 结构中要能防止毛坯在变形过程中发生位移，毛坯的安放和制件的取出要方便、安全和操作简单；
- (3) 模具结构尽量简单，并且便于调整修理。对于回弹大的材料弯曲，应考虑凸模、凹模制造加工和试模、修模的可能性以及刚度和强度的要求。

3.5.1 弯曲模类型与结构

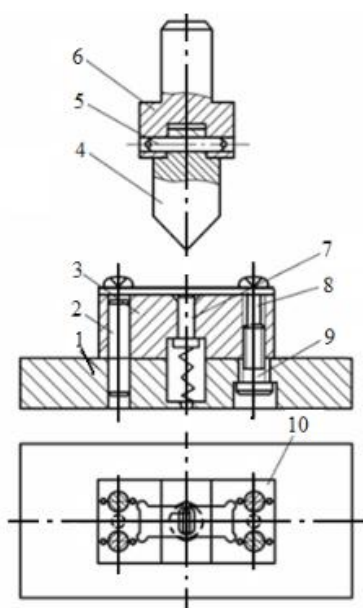
V形件的弯曲方法有两种：一种是沿弯曲件的角平分线方向弯曲，称为V形弯曲；

另一种是垂直于一直边方向的弯曲，称为 L 形弯曲。



V形件弯曲模的基本结构形式

1—凹模；2—定位板；3—凸模；4—定位尖；5—顶杆；6—V形顶板；

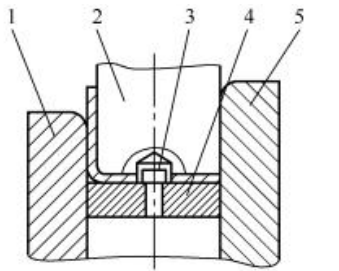


V形件弯曲模图

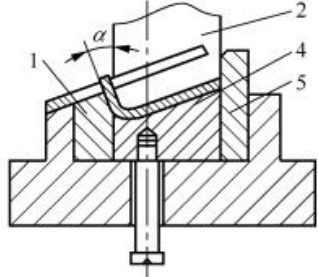
- 1—下模座
- 2、5—圆柱销
- 3—凹模
- 4—凸模
- 6—模柄
- 7—顶杆
- 8、9—螺钉
- 10—定位板

V 形件精弯模





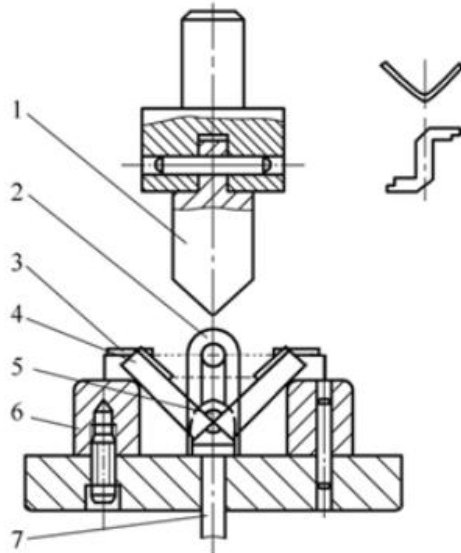
(a)



(b)

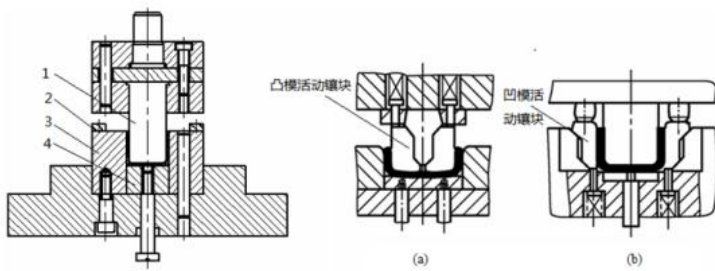
L形件弯曲模

- 1—凹模
- 2—凸模
- 3—定位销
- 4—压料板
- 5—靠板



V形件精弯模

- 1—凸模
- 2—支架
- 3—定位板
- 4—活动凹模
- 5—转轴
- 6—支撑板
- 7—顶杆



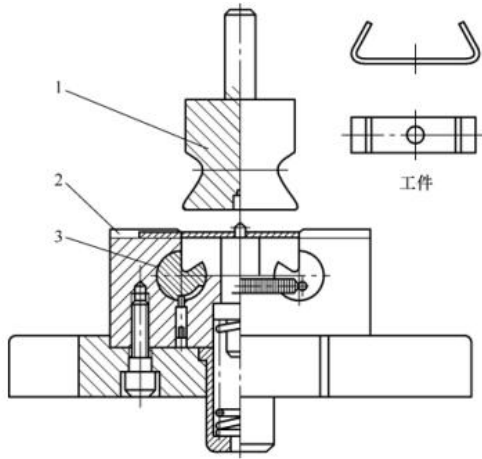
(a)

(b)

U形件弯曲模

U形件精弯模

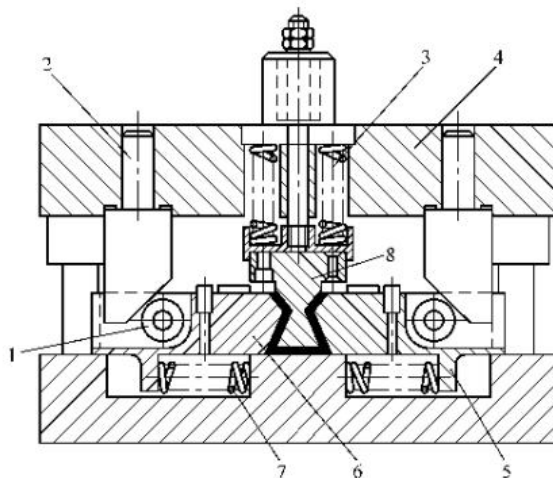
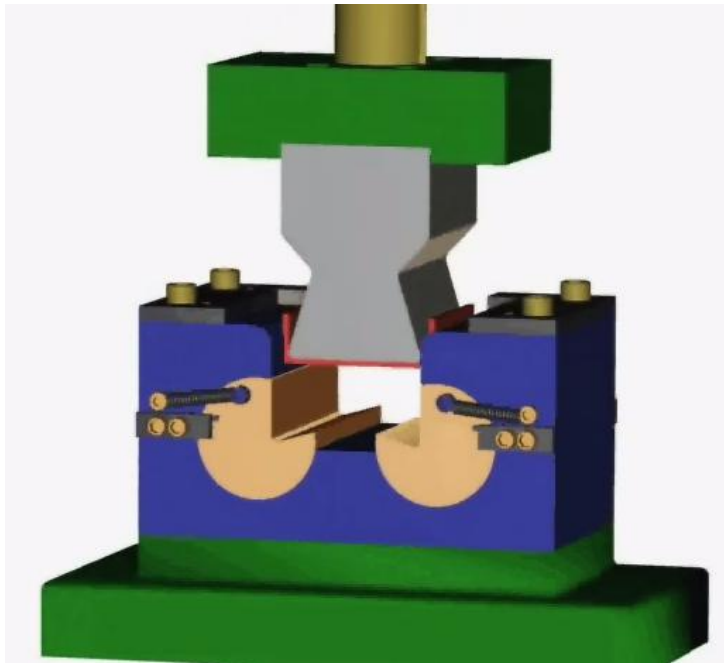
- 1—凸模；2—定位板；3—凹模；4—压料板



小于90°的U形件闭角弯曲模

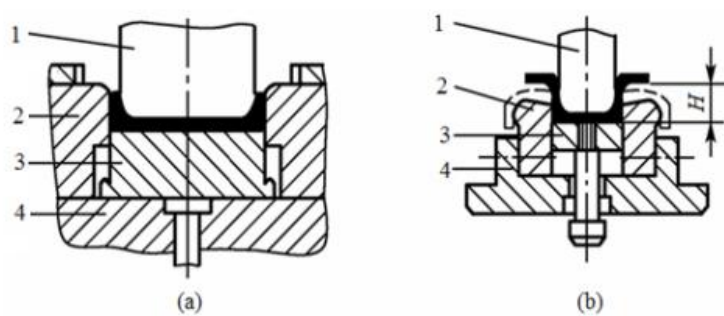
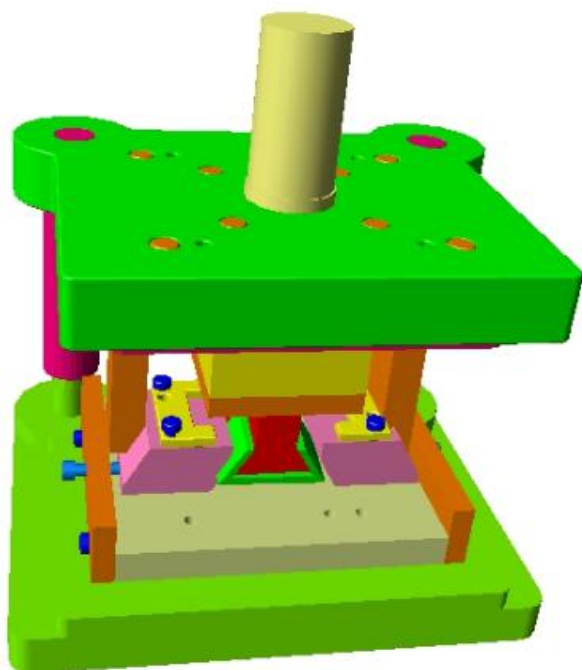
- 1-凸模
- 2-定位板
- 3-凹模镶块

闭角形弯曲件模具

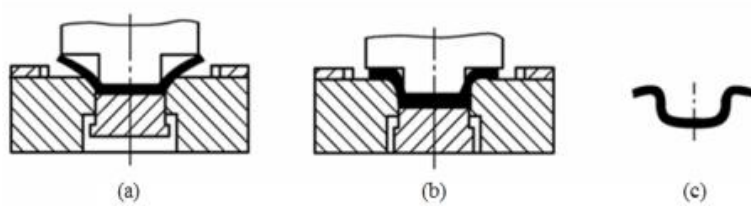


带斜楔的闭角弯曲模

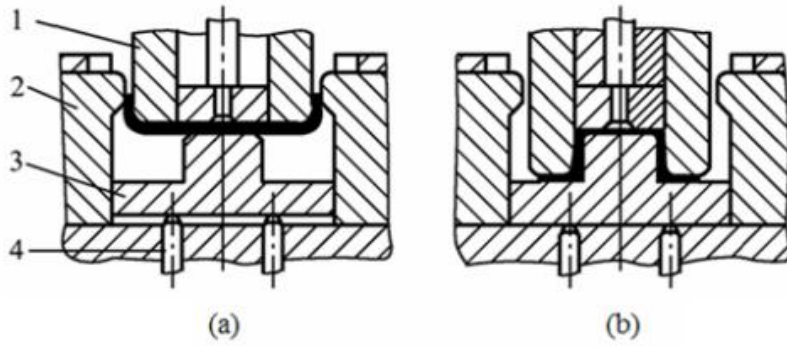
- 1-滚柱
- 2-斜楔
- 3、7-弹簧
- 4-上模座
- 5、6-凹模块
- 8-凸模



四角形件两次弯曲模
1—凸模 2—凹模 3—压料板 4—下模座

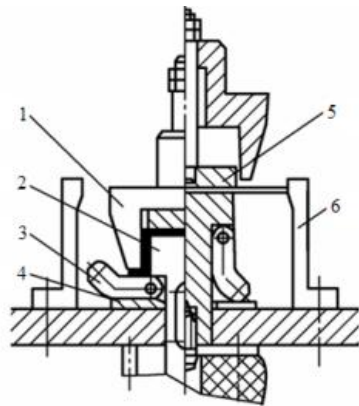
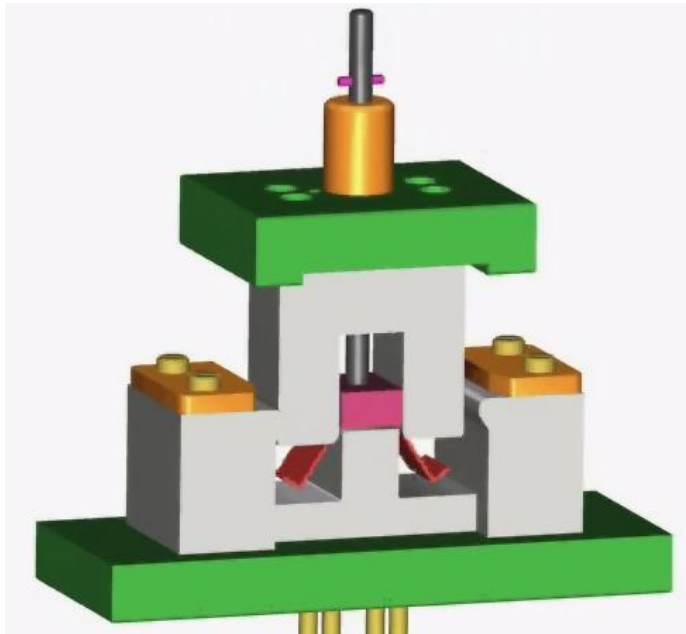


四角形件一次弯曲模

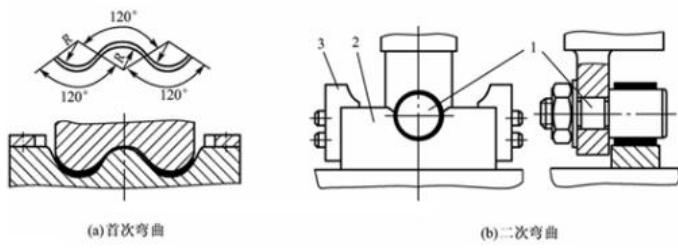


四角形件分部弯曲模
1—凸凹模 2—凹模 3—活动凸模 4—顶杆

四角形件复合弯曲模

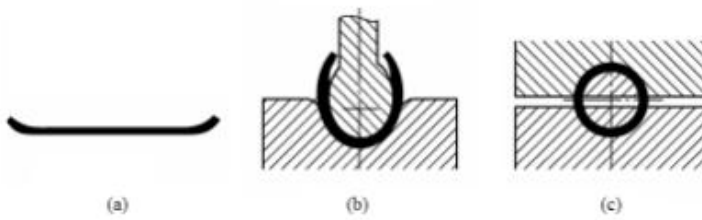
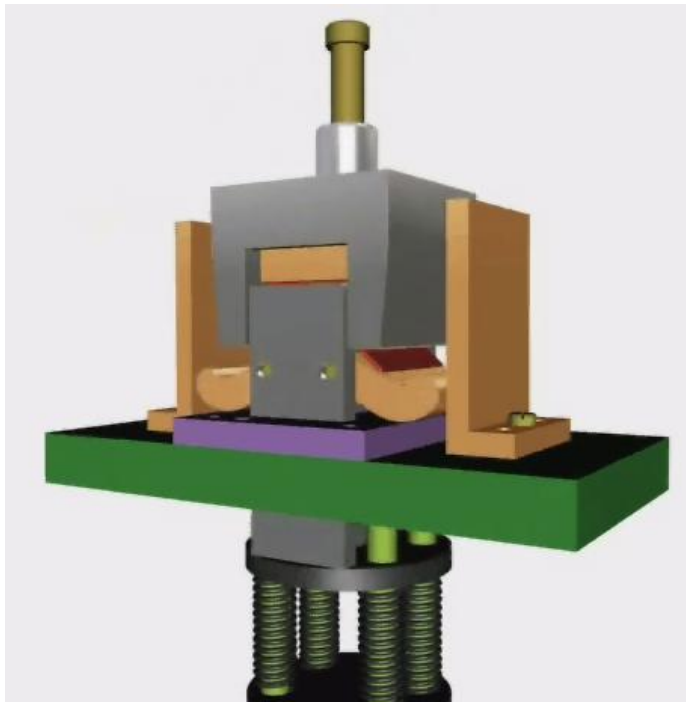


带摆块四角形件分部弯曲模
1—凹模 2—凸模 3—摆块 4—垫板 5—推板 6—挡板

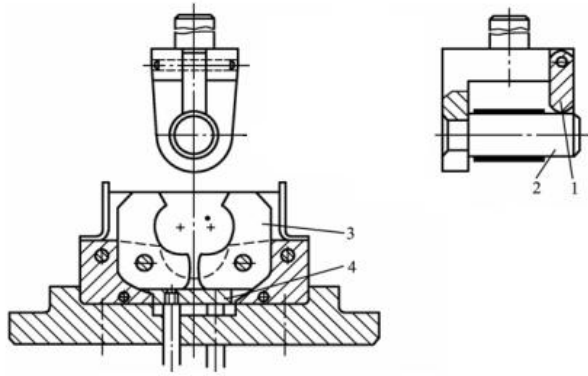


大圆两次弯曲模
1- 摆块 2-凹模 3-凸模

凹模摆动四角形件弯曲模

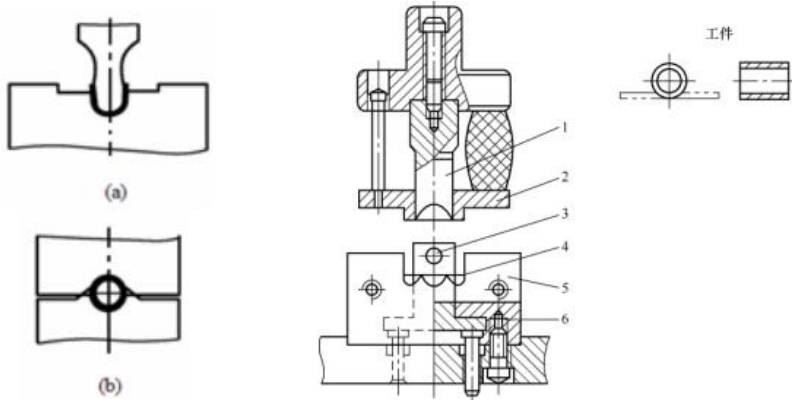
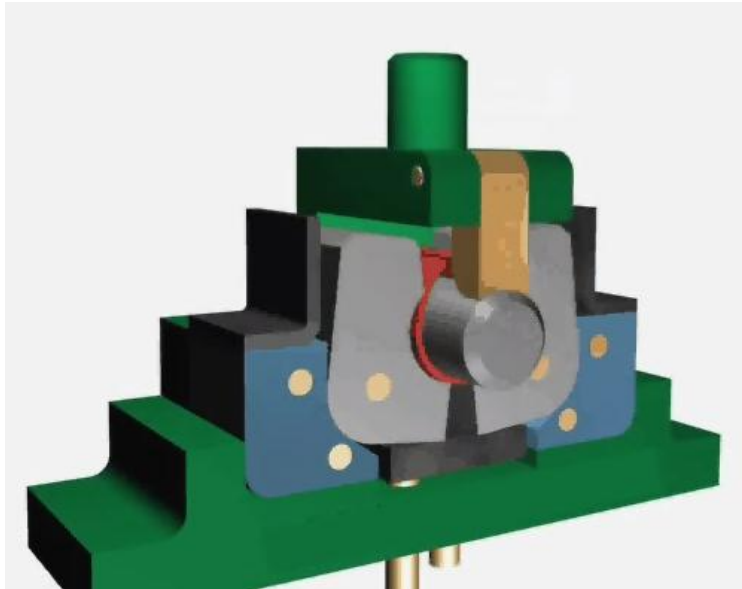


大圆三次弯曲模
(a) 首次弯曲模 (b) 二次弯曲模 (c) 三次弯曲模



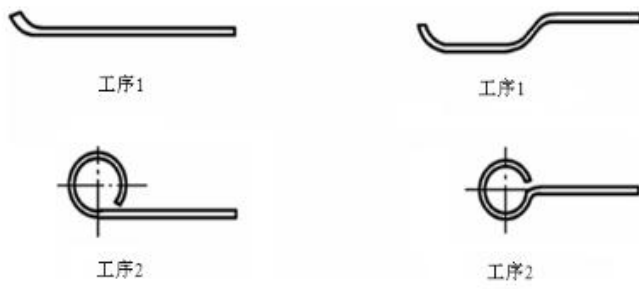
带摆动凹模的一次弯曲模
1-支撑杆 2-芯棒凸模 3-活动凹模 4-顶板

带摆动凹模大圆形件一次弯曲成形模

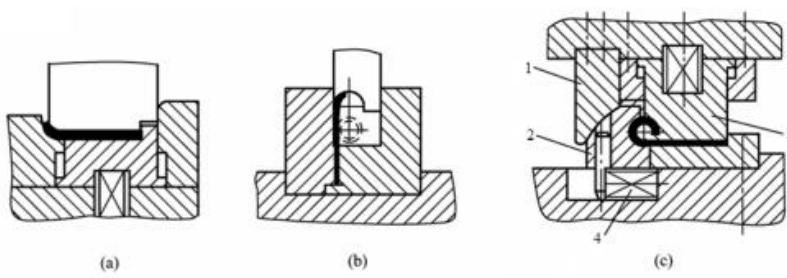


小圆两次弯曲模图
(a) 首次弯曲模 (b) 二次弯曲模

小圆一次弯曲模
1-上凹模 2-压料板 3-芯轴凸模
4-毛坯 5-下凹模 6-支架



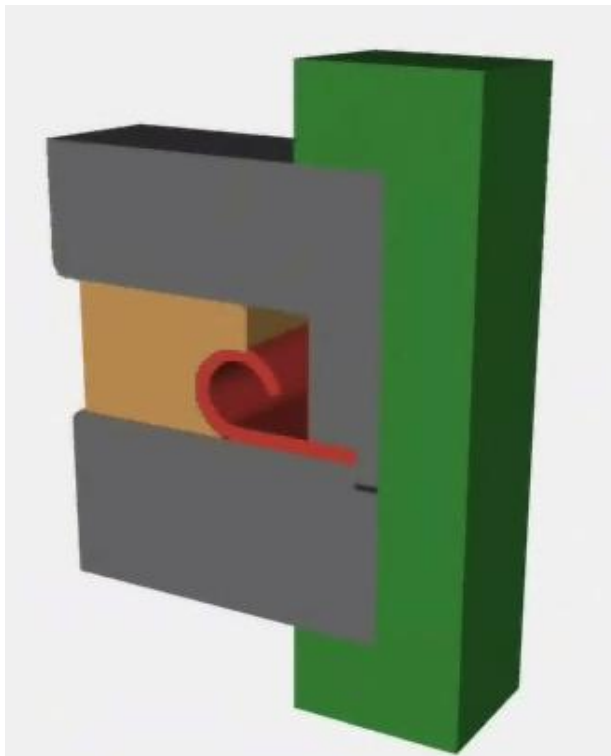
铰链弯曲



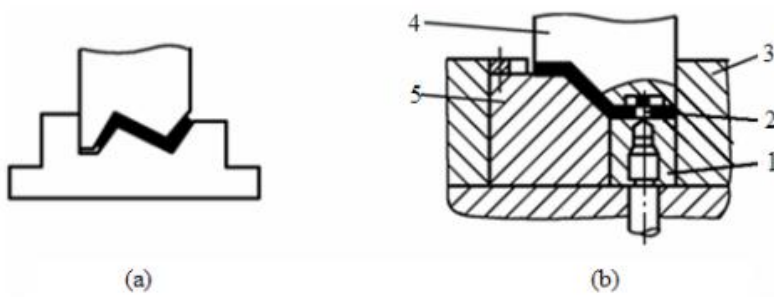
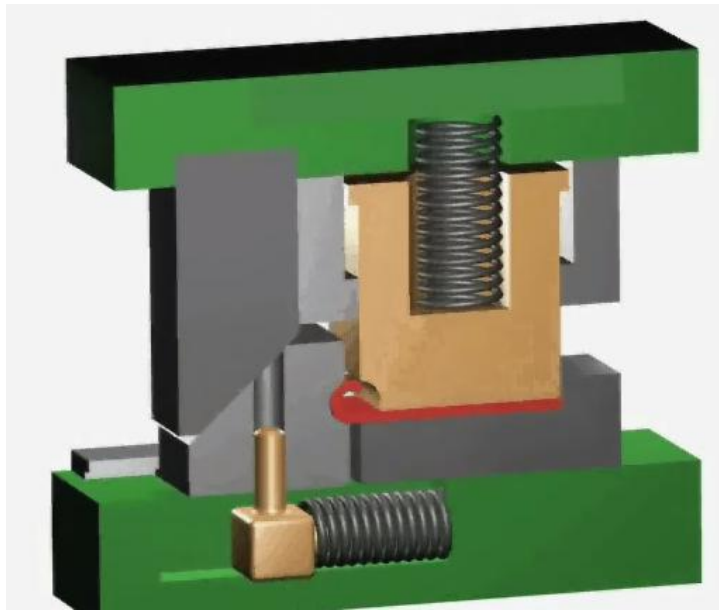
铰链弯曲模

1-斜楔 2-滑块凹模 3-凸模 4-弹簧

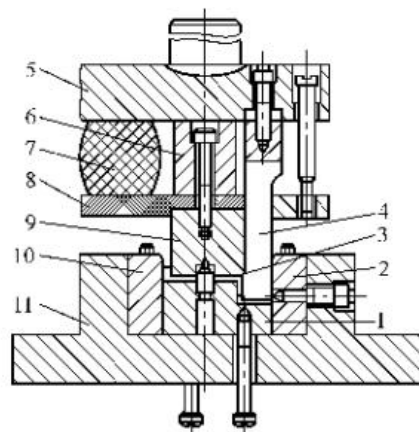
铰链件弯曲模



铰链件一次弯曲模

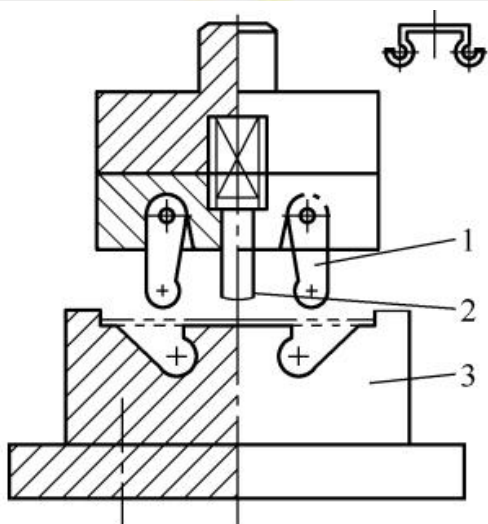
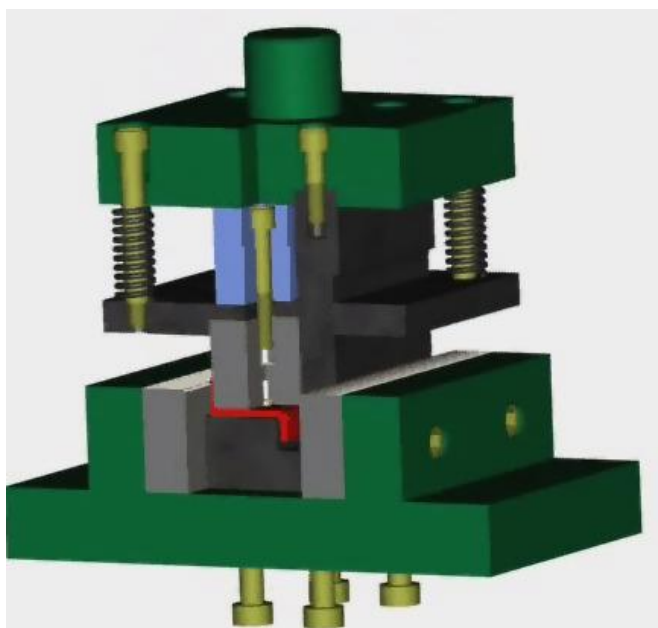


Z形件弯曲模
1-顶板 2-定位销 3-侧压块 4-凸模 5-凹模

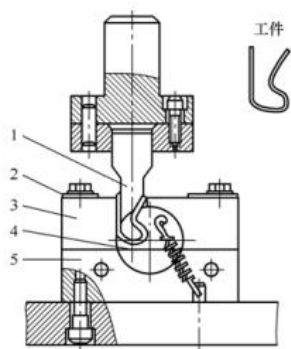


Z形件活动凸模弯曲模
1-顶板 2-侧压块 3-定位销 4-凸模 5-上模座 6-压块
7-橡胶 8-凸模托板 9-活动凸模 10-凹模 11-下模座

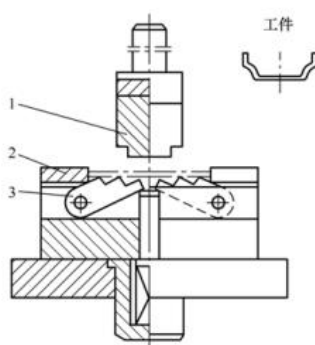
分左右两步弯曲 Z 形件的弯曲模



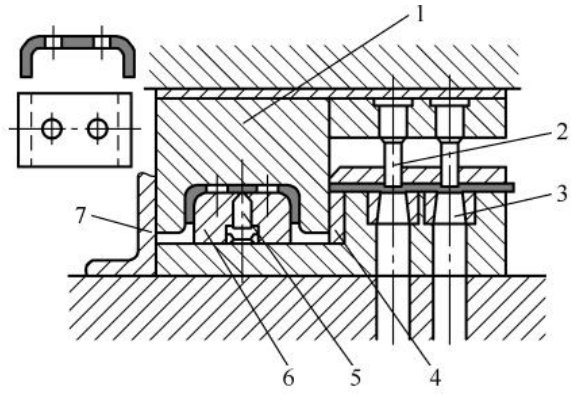
带摆动凸模弯曲模
1—摆动凸模 2—压料杆 3—凹模



滚轴式弯曲模
1—凸模 2—定位板 3—凹模 4—滚轴 5—挡板



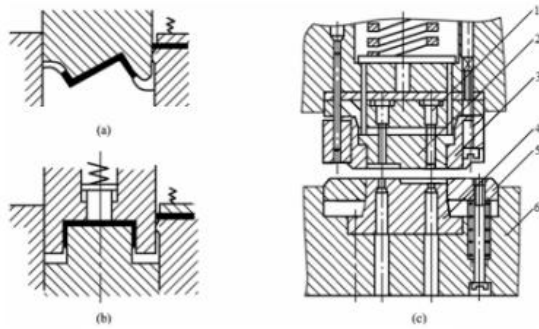
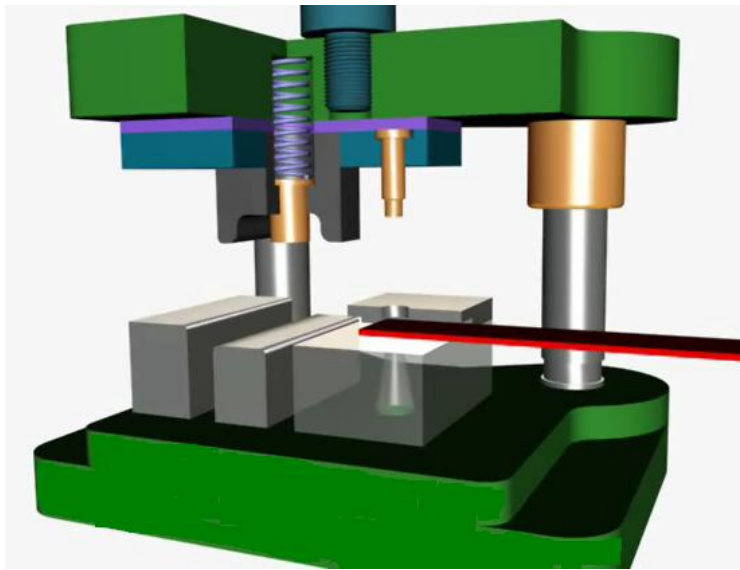
摆动凹模弯曲模
1—凸模 2—定位板 3—摆动凹模



冲孔、切断、弯曲级进模

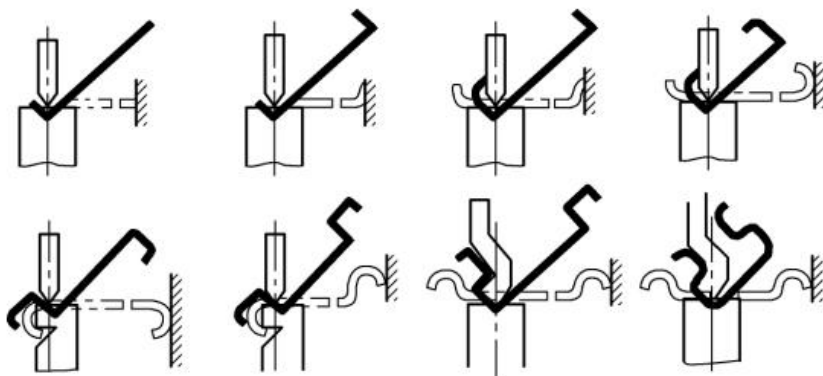
1-凸凹模 2-冲孔凸模 3-冲孔凹模 4-下剪刀 5-顶件销 6-弯曲凸模 7-挡料块

级进弯曲模



冲孔、切断和弯曲复合模

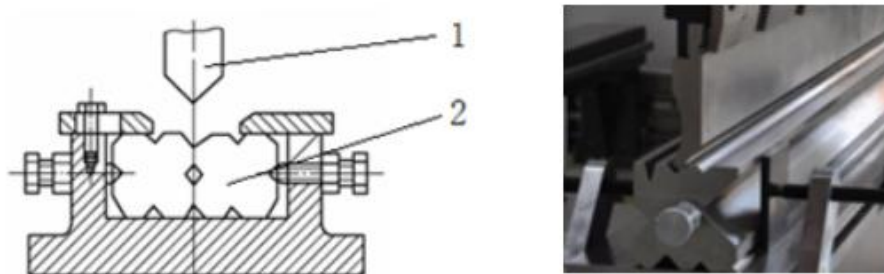
1-冲孔凸模 2-弯曲凸模 3-落料凹模 4-凸凹模 5-卸料板 6-下模座



多次V形弯曲成形复杂零件



冲折弯机上通用弯曲模形状



通用V形弯曲模简图及实物
1-凸模 2-凹模

3.5.2 弯曲模零件设计

设计弯曲模时应注意以下几点：

- (1) 当采用多道工序弯曲时，各工序尽可能采用同一定位基准。
- (2) 模具结构要保证毛坯的放入和工件的取出顺利、安全和方便。
- (3) 准确的回弹值需要通过反复试弯才能得到，因此弯曲凸、凹模装配时要定位准确、装拆方便；且新凸模的圆角半径应尽可能小，以方便试模后的修模。

(4) 弯曲模的凹模圆角半径表面应光滑，大小应合适，凸、凹模之间的间隙要适当，尽可能地减小弯曲时的长度增加、变形区厚度的变薄和工件表面的划伤等缺陷。

(5) 当弯曲不对称的工件或弯曲过程中有较大的水平侧向力作用到模具上，应设计反侧压块以平衡水平侧压力。

1. 工作零件的设计

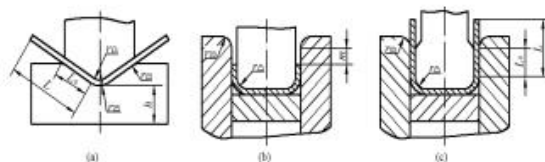
(1) 弯曲凸模的圆角半径

r 较小时，凸模圆角半径等于弯曲件的弯曲半径，但必须大于最小弯曲圆角半径； r 小于最小相对弯曲半径，可先弯成较大的圆角半径，后采用整形工序进行整形； r 较大，精度要求较高，凸模圆角半径根据回弹值作相应的修正。

(2) 弯曲凹模的圆角半径及其工作部分的深度

$t \leq 2\text{mm}$ 时， $r_{\text{凹}} = (3 \sim 6)t$ ； $t = 2 \sim 4\text{mm}$ 时， $r_{\text{凹}} = (2 \sim 3)t$ ； $t > 4\text{mm}$ 时， $r_{\text{凹}} = 2t$ 。

V形件凹模，其底部可开退刀槽，或取 $r_{\text{凹}} = (0.6 \sim 0.8)(r_{\text{凸}} + t)$



工件的标注及模具尺寸

(3) 弯曲凸模和凹模之间的间隙

对于V形件，凸模和凹模之间的间隙是由调节压力机的装模高度来控制的。

对于U形弯曲件，凸模和凹模之间的间隙值对弯曲件回弹、表面质量和弯曲力均有很大的影响。

U形弯曲件凸模和凹模单边间隙 Z 为： $Z = t_{\text{max}} + ct = t + \Delta + ct$

表 3.12 U形件弯曲模的间隙系数 c 值 (mm)

弯曲件高度 H	材料厚度 t									
	$b/H \leq 2$					$b/H > 2$				
	< 0.5	$0.6 \sim 2$	$2.1 \sim 4$	$4.1 \sim 5$	< 0.5	$0.6 \sim 2$	$2.1 \sim 4$	$4.1 \sim 7.5$	$7.6 \sim 12$	
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	
70	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	

(4) 弯曲凸模和凹模宽度尺寸的计算

原则：工件标注外形尺寸时模具以凹模为基准件，间隙取在凸模上；

反之，工件标注内形尺寸时，模具以凸模为基准件，间隙取在凹模上。

当工件标注外形时，凸、凹模尺寸为：

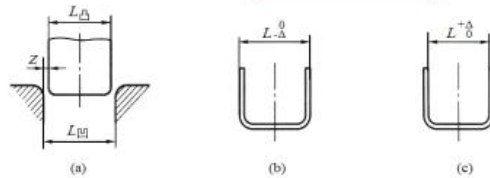
$$L_{凸} = (L_{max} - 0.75\Delta)_0^{+z_{凸}}$$

$$L_{凹} = (L_{凹} - 2Z)_0^{-z_{凹}}$$

当工件标注内形时，凸、凹模尺寸为：

$$L_{凸} = (L_{min} + 0.75\Delta)_0^{+z_{凸}}$$

$$L_{凹} = (L_{凹} + 2Z)_0^{-z_{凹}}$$

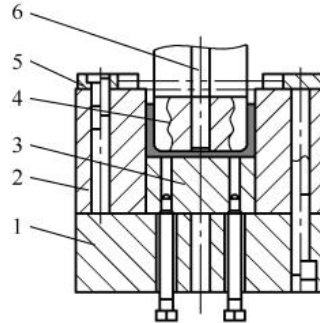


工件的标注及模具尺寸

2. 定位零件的设计

定位零件的作用是保证送进模具中毛坯的准确位置；

由于送进弯曲模的毛坯是单个毛坯，因此弯曲模中使用的定位零件是定位板或定位销。



定位板定位的弯曲模

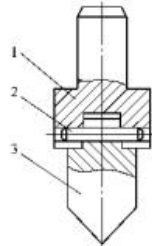
1-下模座 2-凹模 3-顶件块 4-凸模 5-定位板 6-打杆

3. 压料、卸料、送料零件设计

作用是压住板料或弯曲结束后从模具中取出工件；由于弯曲是成形工序，在弯曲过程中不发生分离，因此弯曲结束后留在模具内的只有工件。

4. 固定零件设计

- (1) 模柄：与冲裁模中的模柄相同，标准件，依据设备上的模柄孔选取。
- (2) 上、下模座：当弯曲模中使用导柱、导套进行导向时，可选用标准模座，当弯曲模中不使用导柱、导套导向时，可自行设计并制造上、下模座。
- (3) 垫板、固定板、螺钉、销钉 其设计方法参见冲裁模。

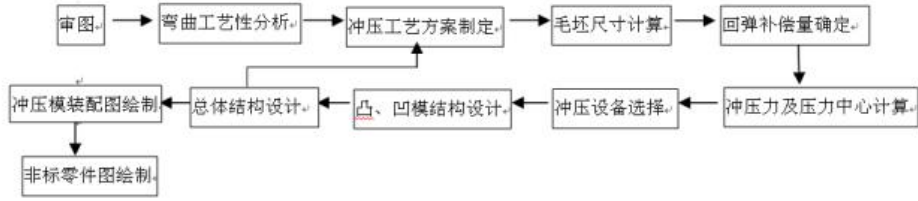


槽型模柄

1-模柄 2-模销 3-凸模

3.6 弯曲模设计举例

弯曲模的设计流程



U型弯曲件，材料为10，料厚 $t=6\text{mm}$ ， $\sigma_b=400\text{MPa}$ ，小批量生产，试完成该产品的弯曲工艺及模具设计。

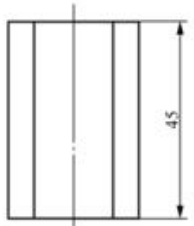
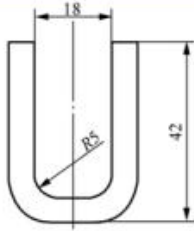


图 3.67 U 型弯曲件

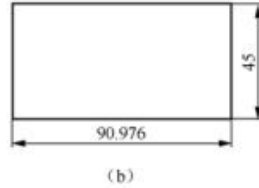
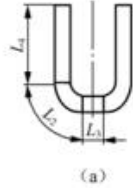
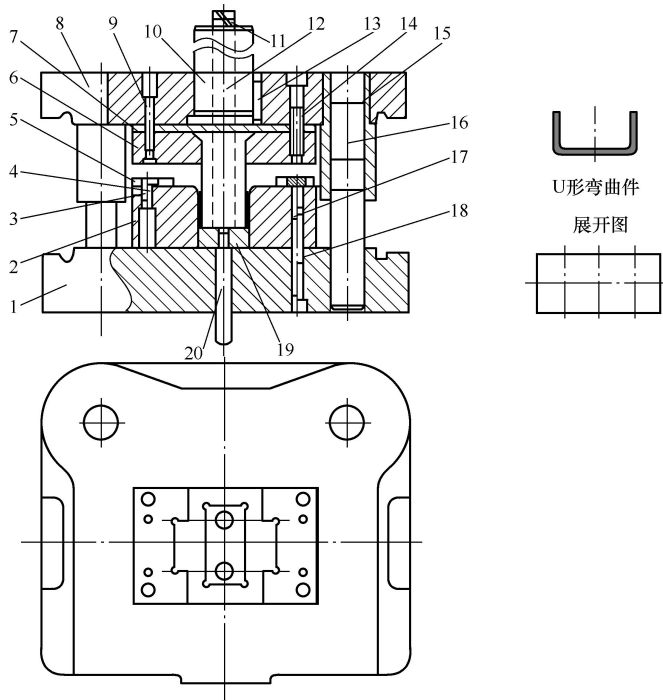
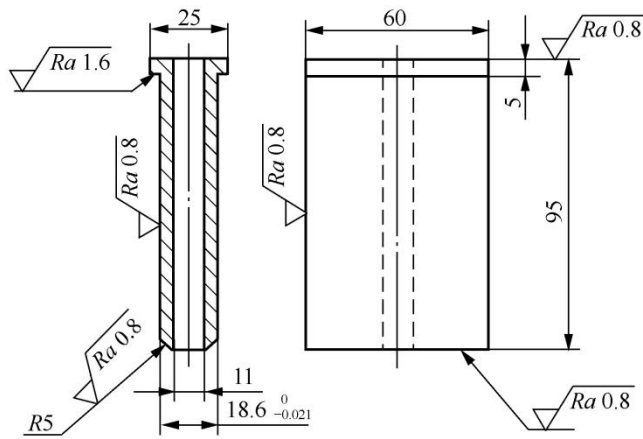


图 3.68 毛坯展开图

U 形件弯曲模装配图



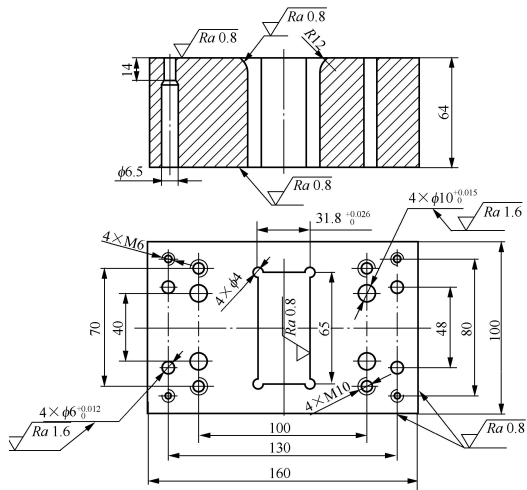
凸模



技术要求
热处理 56~60HRC。

$\sqrt{Ra 6.3}$ (✓)

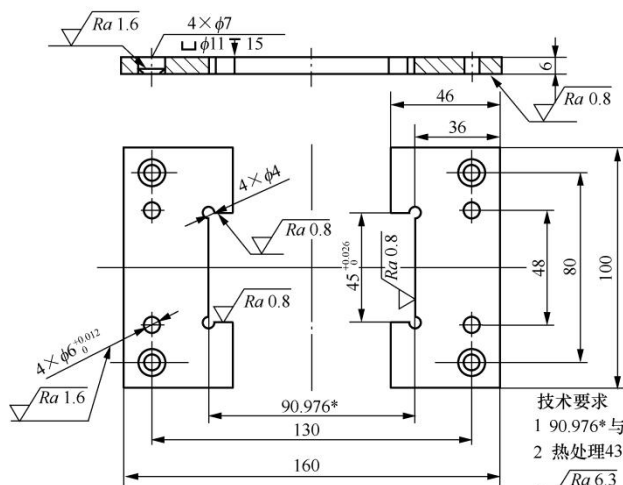
凹模



技术要求
热处理 56~60HRC。

$\sqrt{Ra 6.3}$ (✓)

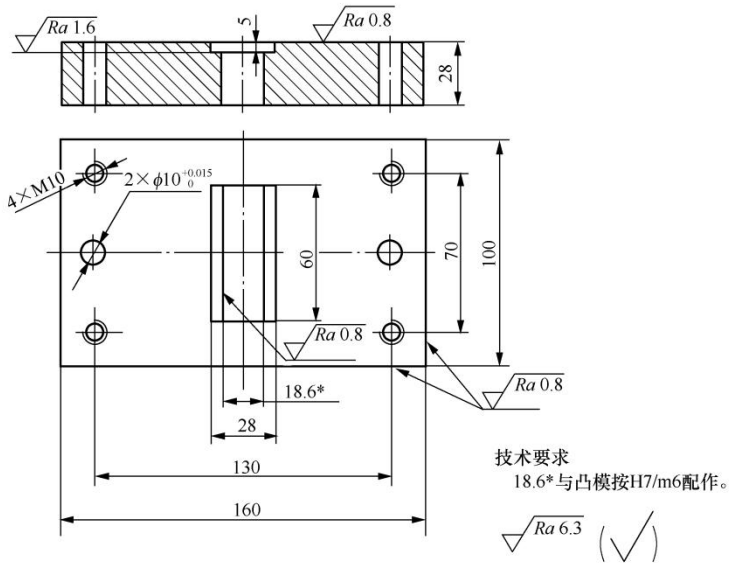
定位板



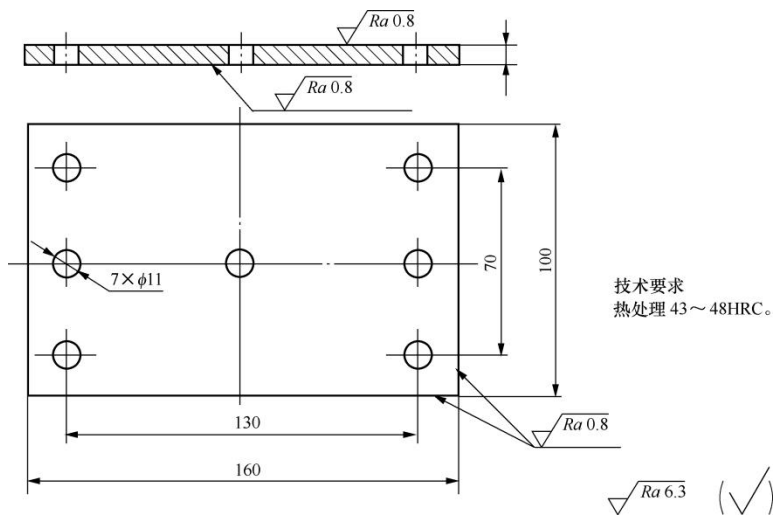
技术要求
1 90.976*与毛坯按H7/f9配合。
2 热处理 43~48HRC。

$\sqrt{Ra 6.3}$ (✓)

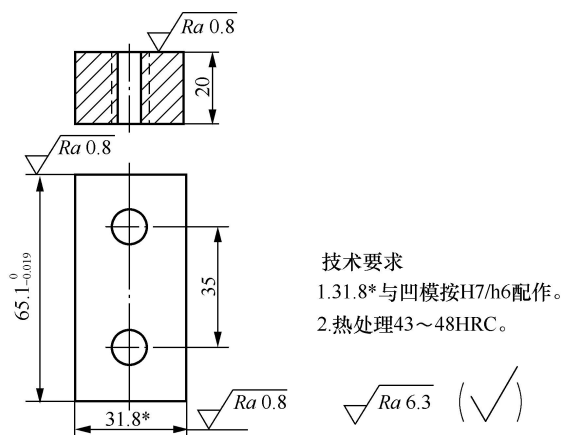
凸模固定板



垫板

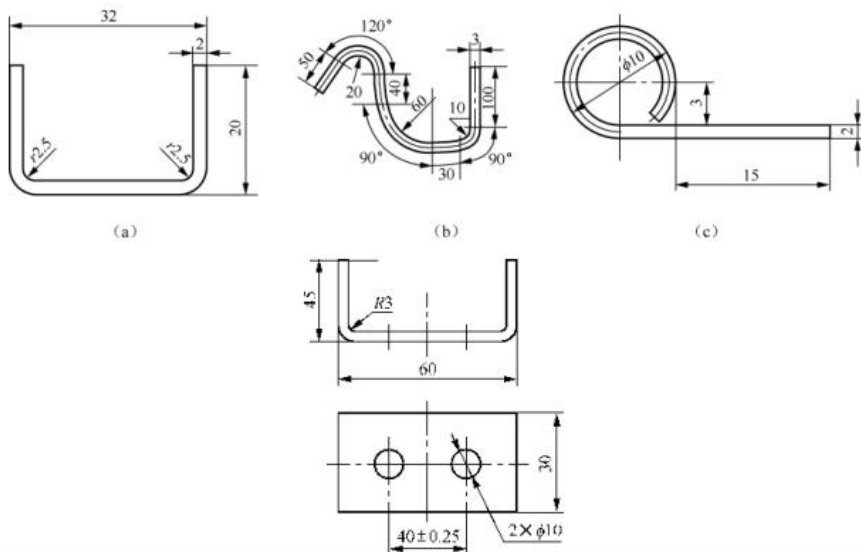


顶件板



思考与练习题 3

1. 弯曲变形有哪些特点?宽板与窄板弯曲时的应力应变状态为何有所不同?
2. 弯曲过程中材料的变形区发生了哪些变化?简要说明板料弯曲变形区的应力和应变情况。
3. 弯曲的变形程度用什么来表示?极限变形程度受到哪些因素的影响?
4. 分析弯曲回弹产生的原因?试述减小弯曲回弹的常用措施。
5. 什么是弯曲应变中性层? 应变中性层产生偏移的原因是什么?
6. 试分别计算图 3.75a、b、c 所示弯曲件的毛坯长度。
7. 弯曲图 3.76 所示零件, 材料为 08F 钢, 料厚度为 1.5mm。请完成以下工作:
分析弯曲件的工艺性;
(1) 计算弯曲件的展开长度和弯曲力;
(2) 绘制弯曲模结构草图;
(3) 确定弯曲凸、凹模工作部位尺寸, 绘制凸、凹模零件图。



模块四 拉深

教学目标:

1. 了解拉深工艺的变形过程、质量分析及控制;
2. 学会拉深工艺计算及设计;
3. 了解拉深模的基本类型及构造;

4. 了解拉深模主要零件的设计及标准的选用，并应用到实际的设计中。

教学重点：

1. 拉深工艺计算及设计；
2. 拉深模主要零件的设计及标准的选用；
3. 带凸缘圆筒件拉深模设计（实际应用设计）。

教学难点：拉深工艺的具体应用（带凸缘圆筒件拉深模设计）

素质（思政）内容与要求：

1.通过拉深工艺的学习，引导学生认识到拉深在现代制造业中的广泛应用，引导学生关注拉深工艺对产品性能和市场需求的影响，激励他们在技术研究中推动产品的升级与创新。

2.强调拉深过程中对材料性质和工艺参数的充分理解，要求学生在工作中始终保持安全意识和责任感。同时，通过对后续拉深工艺的研究，引导学生关注生产流程的连续性与协调性，培养其项目管理与协作能力。

3.培养学生的计算能力与严谨态度，强调准确计算对生产的影响，使其在工作中始终保持认真负责的态度。通过具体案例，培养学生的综合设计能力，要求其在设计中兼顾各方面的需求，追求高效与美观的结合。

教学手段：讲授、演示、提问

教学学时：12

教学内容：

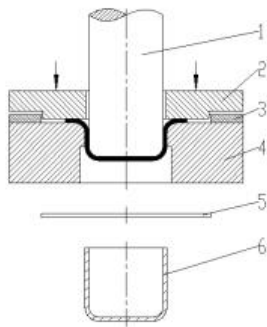
拉深概念

拉深是利用拉深模具将冲裁好的平板毛坯压制各种开口的空心工件, 或将已制成的开口空心件加工成其他形状和尺寸的空心件的一种冲压加工方法。拉深也叫拉延。

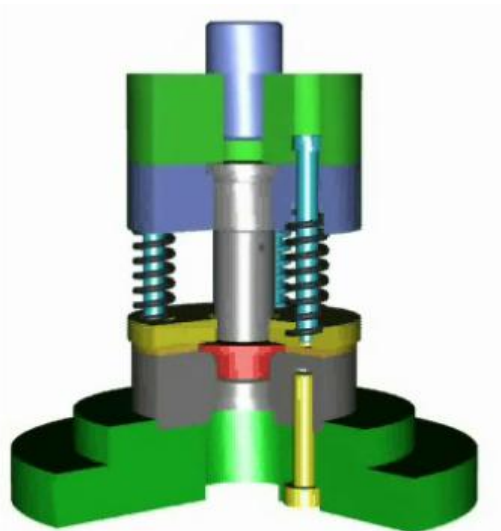
不变薄拉深（普通拉深）



变薄拉深



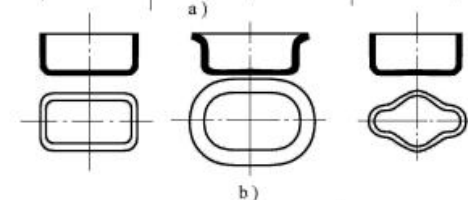
圆筒件拉深
1-凸模 2-压边圈 3-定位圈
4-凹模 5-坯料 6-拉深件



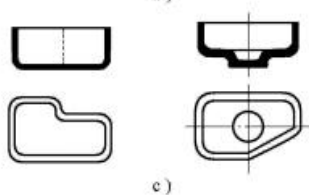
拉深件类型



a) 轴对称旋转体拉深件



b) 盒形件



c) 不对称拉深件

形状更复杂的拉深件



汽车零部件1

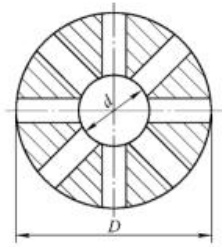


汽车零部件2

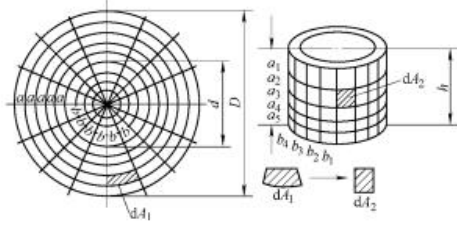


汽车部件3

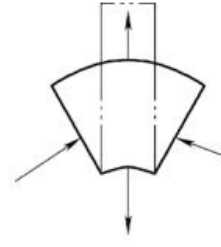
4.1.1 拉深变形过程及特点



拉深时的材料转移



拉深网格变化



拉深时扇形单元受力与变形

4.1.2 拉深过程中坯料应力和应变状态

圆筒件各部位的受力和变形性质的不同，毛坯分为五个部分：

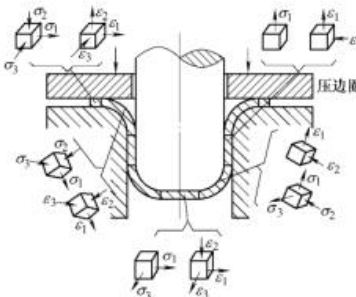
(1) 平面凸缘部分：主要变形区。受切向压应力 σ_3 和径向拉应力 σ_1 ，厚向受压边应力 σ_2 的作用，是二压一拉应力状态。径向伸长、切向压缩、厚度增厚的三向变形。

(2) 凹模圆角部分：过渡区，径向受拉应力、切向受压应力，厚向上受凹模圆角的压力和弯曲而产生的压应力 σ_2 的作用。径向伸长、切向和厚度方向压缩的三向变形。

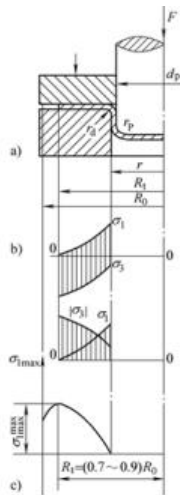
(3) 筒壁部分：传力区。

(4) 凸模圆角部分：过渡区，承受筒壁的拉应力 σ_1 、凸模圆角压力和弯曲而产生的压应力 σ_2 和切向拉应力 σ_3 。产生径向伸长、切向和厚度方向压缩的三向变形。

(5) 圆筒底部：凸模施加的力并由它之传给圆筒壁部，是传力区。受两向拉应力 σ_1 和 σ_3 作用，两向受拉、厚向受压。



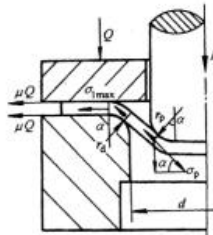
拉深中毛坯的应力应变情况



圆筒件拉深时的应力分布

拉深过程中筒壁传力区坯料的应力分析：

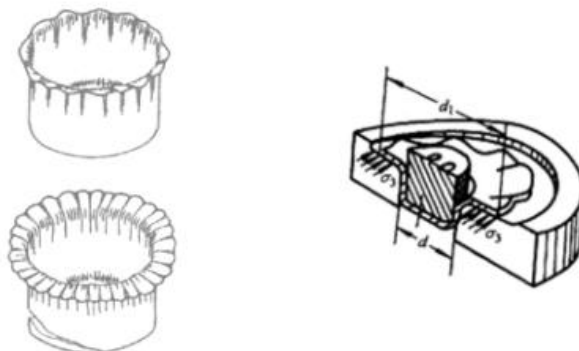
- (1) 凸缘材料的变形抗力 σ_{1max} ；
- (2) 压边力 Q 在凸缘表面产生的摩擦力所引起的摩擦应力 σ_M ；
- (3) 毛坯流过凹模圆角表面遇到的摩擦阻力；
- (4) 毛坯经过凹模圆角时产生弯曲变形以及离开凹模圆角进入凸凹模间隙后又拉直产生反向变形所需克服的阻力；
- (5) 拉深初期毛坯在凸模圆角处弯曲时所需克服的弯曲阻力。



拉深毛坯各部分受力

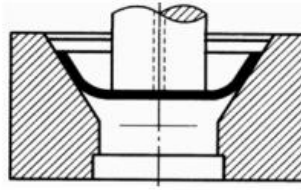
4.2 拉深件质量分析及控制

起皱的概念：拉深时凸缘的每个小扇形块受 σ_3 压应力的作用。当作用力 σ_3 过大，扇形块又较薄， σ_3 超过临界压应力，就会失稳弯曲而拱起。在凸缘沿形成高低不平的皱折。



影响起皱的因素:

- (1) 凸缘部分材料的相对厚度;
- (2) 切向压应力 σ_3 的大小;
- (3) 材料的力学性能;
- (4) 凹模工作部分几何形状。

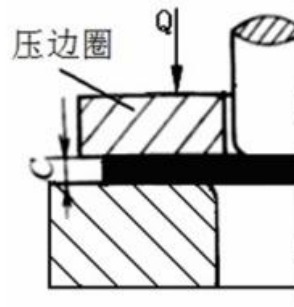


总的说来: 凸缘宽度越大, 厚度越薄, 材料弹性模量和硬化模量越小, 抵抗失稳能力越弱, 越容易失稳起皱。

是否起皱, 可根据板料的相对厚度由表4.1或公式4.5/4.6判断

防止起皱的措施:

实际生产中防止拉深起皱最有效的措施是采用压边圈并施加合适的压边力 Q



1.拉裂的概念: 筒壁与筒底转角处稍上的地方是拉深过程中的“危险断面”。当拉深过程中毛坯所受的总的变形抗力超过此时“危险断面”材料的抗拉强度, 零件就在此处破裂。



2.影响拉裂的因素:

- (1) 板料力学性能的影响
- (2) 拉深系数 m 的影响
- (3) 凹模圆角半径的影响
- (4) 摩擦的影响
- (5) 压边力的影响

3.防止拉裂的措施

- (1) 选用硬化指数大、屈强比小的材料进行拉深;
- (2) 适当增大拉深凸、凹模圆角半径;
- (3) 增加拉深次数;
- (4) 改善润滑。

直壁圆筒形件的首次拉深中拉裂最易发生的时刻在拉深的初期。

4.3 拉深工艺计算



4.3.1 直壁旋转体零件拉深工艺计算

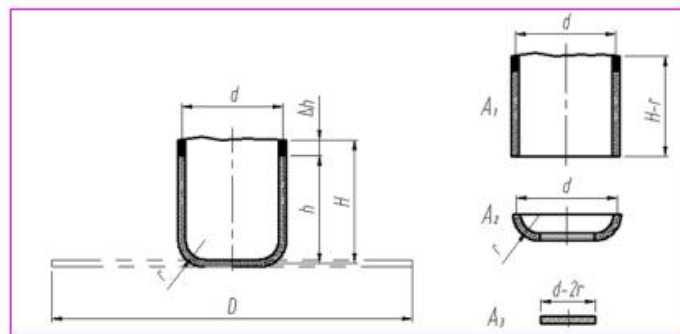
1. 无凸缘直壁圆筒形件拉深工艺计算：

确定旋转体拉深件毛坯形状的原理：**体积不变原理、相似原理**。

求解毛坯尺寸的步骤：

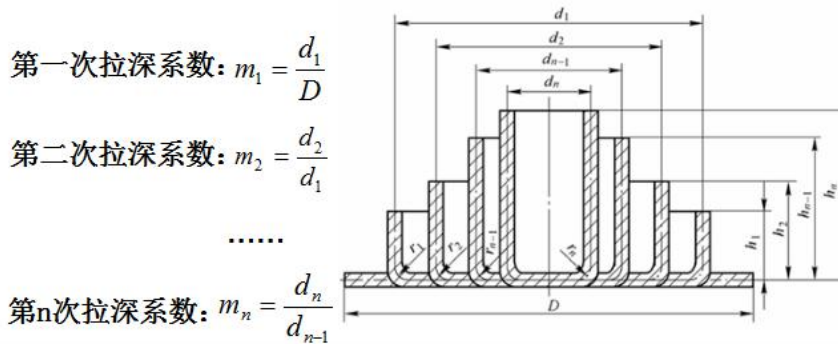
1) 确定修边余量 (表4.2)

2) 计算工件表面积 (中线尺寸) $D = \sqrt{d^2 - 1.72dr - 0.56r^2 + 4d(h + \Delta h)}$



1) 拉深系数的概念

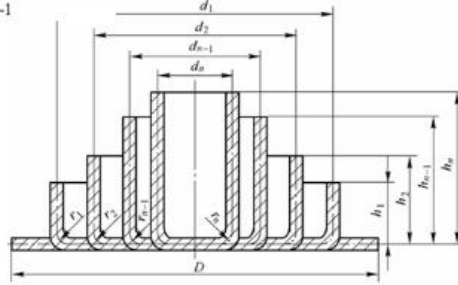
拉深系数 $m = \frac{\text{拉深后的圆筒件的直径 } d}{\text{拉深前毛坯 } D \text{ (或半成品) 直径 } d_n}$



拉深系数与拉深变形程度的关系

$$\left. \begin{aligned} \text{第一次拉深 } \varepsilon_1 &= \frac{\pi D - \pi d_1}{\pi D} = 1 - \frac{d_1}{D} = 1 - m_1 \\ \text{第二次拉深 } \varepsilon_2 &= \frac{\pi d_1 - \pi d_2}{\pi d_1} = 1 - \frac{d_2}{d_1} = 1 - m_2 \\ \text{第n次拉深 } \varepsilon_n &= \frac{\pi d_{n-1} - \pi d_n}{\pi d_{n-1}} = 1 - \frac{d_n}{d_{n-1}} = 1 - m_n \end{aligned} \right\} \rightarrow \varepsilon_n = 1 - m_n$$

即m的大小可以间接的反映切向变形量的大小。



拉深系数的重要结论

- 拉深系数可以表示拉深变形程度的大小，**拉深系数越小，表示拉深变形程度越大**，当拉深系数小于一定值时，拉深件就会被拉裂，因此存在极限拉深系数。
- **极限拉深系数 [m_n]**：使拉深件不破裂的拉深系数的最小值。
- 在进行拉深工艺计算和模具设计时，总是尽可能地使拉深系数值减小，以便于减少拉深次数。

影响极限拉深系数的因素

- ① 材料方面 $\sigma_s / \sigma_b, \delta, \gamma, n$
- ② 板料的相对厚度大，[m]可以减小。
- ③ 模具方面
 - 模具间隙大
 - 凸、凹模圆角半径大
 - 模具表面光滑
 - 锥形凹模
- ④ 拉深工作条件
 - 是否采用压边圈
 - 润滑
 - 拉深次数



极限拉深系数小

总的影晌规律：凡是能增加筒壁传力区危险断面的强度，降低筒壁传力区拉应力的因素，均会使极限拉深系数减小，反之会增加极限拉深系数。

极限拉深系数值的确定

表 4.3 和表 4.4 是无凸缘圆筒形件各次拉深的极限拉深系数。

为了提高工艺稳定性和零件质量，实际生产中应采用稍**大于**极限拉深系数 $[m_n]$ 的拉深系数进行拉深。

拉深次数的确定

当 $[m_{总}] > [m_1]$ 时，拉深件可一次拉成，否则需要多次拉深。其拉深次数的确定有以下几种方法：

查表法（表 4.5）

推算方法

计算方法

推算方法计算拉深次数步骤

- 1) 由表 5-3 或表 5-4 中查得各次的极限拉深系数 $[m_n]$ 。
- 2) 依次计算出各次拉深的极限直径，即
$$d_1 = [m_1]D;$$
$$d_2 = [m_2]d_1;$$
$$\dots;$$
$$d_n = [m_n]d_{n-1};$$
- 3) 当 $d_n \leq d$ 时，计算的次数 n 即为拉深次数。

拉深工序件尺寸的确定

1) 半成品的直径 d_n

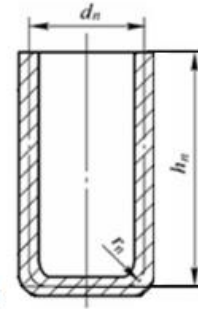
由表4.3、4.4查得各次拉深的极限拉深系数 $[m_n]$ ，适当放大，并加以调整，得到实际采用的拉深系数 m_n 。

调整的原则是：

- 1) 保证 $m_{\text{总}} = m_1 m_2 \dots m_n = \frac{d}{D}$
- 2) 使 $m_1 < m_2 < \dots < m_n < 1$

最后按调整后的拉深系数计算各次工序件直径：

$$d_1 = m_1 D; \quad d_2 = m_2 d_1; \quad \dots; \quad d_n = m_n d_{n-1} = d$$



工序件高度 h_i 的计算

根据拉深后工序件表面积与坯料表面积相等的原则，可得到如下工序件高度计算公式。计算前应先定出各工序件的底部圆角半径。

$$\text{第一次} \quad h_1 = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_1} - d_1 \right) + 0.43 \frac{r_1}{d_1} (d_1 + 0.32r_1) \cdot \pi$$

$$\text{第二次} \quad h_2 = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_2} - d_2 \right) + 0.43 \frac{r_2}{d_2} (d_2 + 0.32r_2) \cdot \pi$$

.....

$$\text{第 } n \text{ 次} \quad h_n = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_n} - d_n \right) + 0.43 \frac{r_n}{d_n} (d_n + 0.32r_n) \cdot \pi$$

2.有凸缘圆筒形件的拉深工艺计算

可将有凸缘的圆筒形件看作是无凸缘筒形件拉深到中间某时刻停止不拉时的半成品。

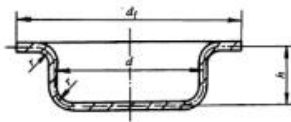
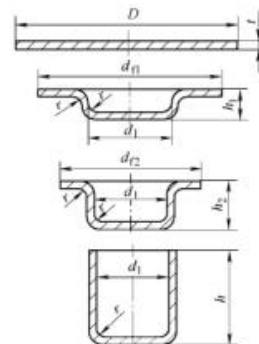


图4.15 有凸缘筒形件

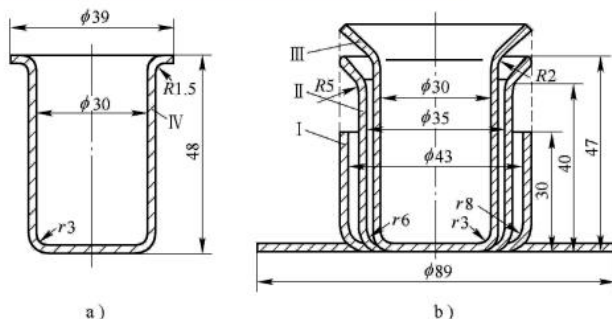


拉深过程

有凸缘筒形件可分为：
窄凸缘筒形件 ($d_f/d=1.1\sim 1.4$) 和宽凸缘筒形件 ($d_f/d>1.4$)。

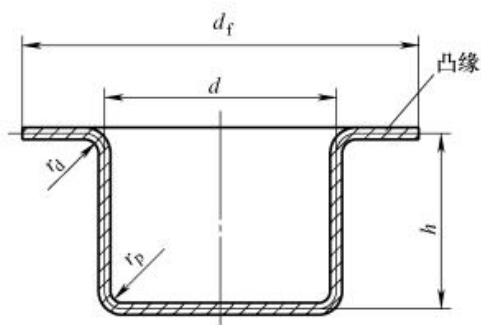
1) 窄凸缘圆筒形件：窄凸缘筒形件 ($d_f/d=1.1\sim 1.4$)

拉深方法及工艺计算方法同无凸缘筒形件



2) 宽凸缘圆筒形件

$$d_f / d > 1.4$$



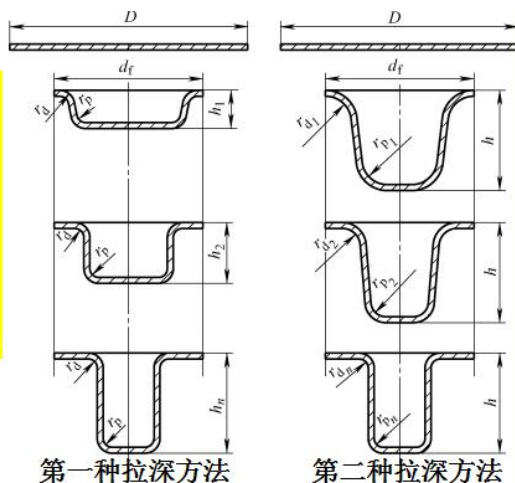
拉深方法与工艺计算不同于无凸缘筒形件

(2) 宽凸缘圆筒形件的拉深方法

$$d_f / d > 1.4$$

特别提醒：

- 不论哪种拉深方法，凸缘尺寸一定在首次拉深时得到
- 必须严格控制凸模进入凹模的高度

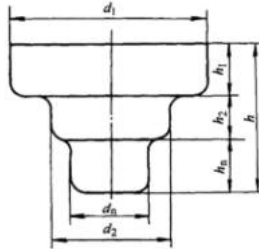


宽凸缘圆筒形件的工艺计算步骤:

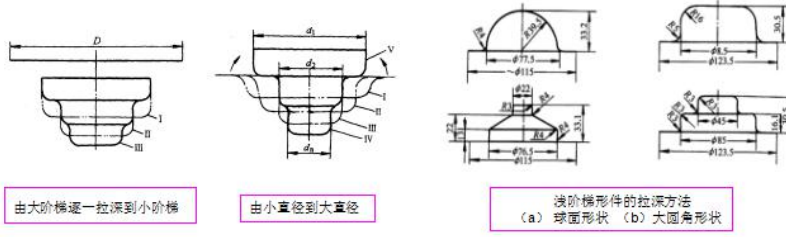
- 1) 毛坯尺寸计算 $D = \sqrt{d_f^2 - 1.72d(r_p + r_d) - 0.56(r_p^2 - r_d^2) + 4dh}$
 如果 $r_p=r_d=r$ 简化为 $D = \sqrt{d_f^2 + 4dh - 3.44dr}$
- 2) 确定拉深次数
 - ① 判别工件能否一次拉成 (表4.7、表4.8)
 - ② 拉深次数确定
- 3) 半成品尺寸的计算
 - ① 半成品直径
 - ② 半成品半径
 - ③ 各次拉深后筒部高度 $h_n = \frac{0.25}{d_n}(D_n^2 - d_f^2) + 0.43(r_{pn} + r_{an}) + \frac{0.14}{d_n}(r_{pn}^2 - r_{an}^2)$

3. 阶梯圆筒形件的拉深

变形特点: 阶梯圆筒形件相当于若干个直壁圆筒形件的组合, 因此它的拉深同直壁圆筒形件的拉深基本相似, 每一个阶梯的拉深即相当于相应的圆筒形件的拉深。



- (1) 拉深次数的确定 $(h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n) / d_n \leq [h / d_n]$
- (2) 拉深方法的确定
 - 1) 任意两个相邻阶梯的直径之比 d_n/d_{n-1} 都大于等于相应圆筒形件的极限拉深系数;
 - 2) 某相邻两阶梯直径 d_n/d_{n-1} 之比小于相应的圆筒形件的极限拉深系数;
 - 3) 最小阶梯直径 d_n 过小, 即 d_n/d_{n-1} 过小, h_n 不大时, 最小阶梯可用胀形法得到;
 - 4) 阶梯形件较浅, 且每个阶梯的高度又不大, 但相邻直径相差较大而不能一次拉出时, 可先拉成球面或带有大圆角的筒形, 最后通过整形得到。



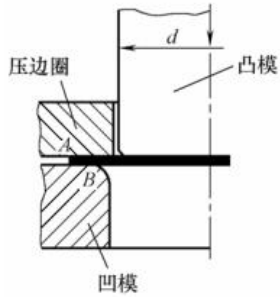
由大阶梯逐一拉深到小阶梯 由小直径到大直径 浅阶梯形件的拉深方法 (a) 球面形状 (b) 大圆角形状

4.3.2 非直壁旋转体零件拉深成形特点及拉深方法

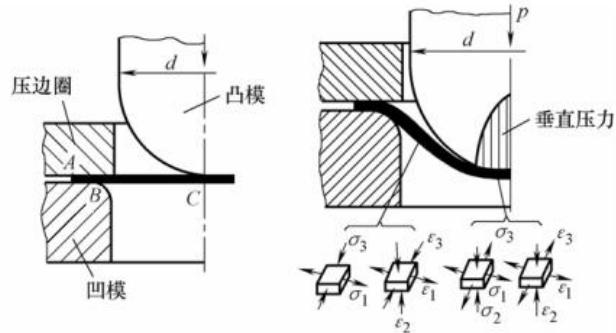


1. 非直壁旋转体零件拉深特点

直壁圆筒形件拉深

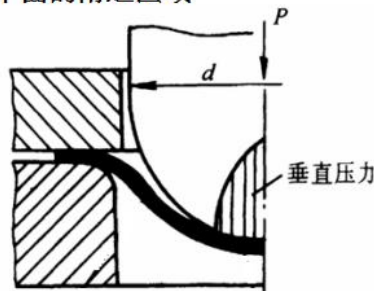


球形件拉深



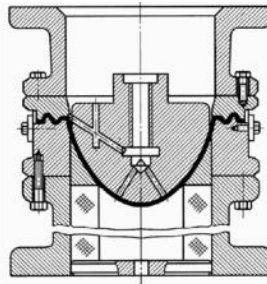
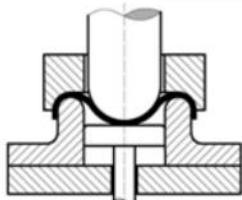
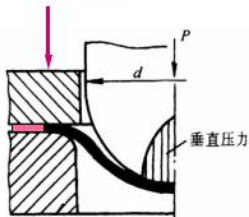
- (1) 非直壁旋转体零件拉深时，位于压边圈下面的凸缘部分和凹模口内的悬空部分都是变形区。
- (2) 非直壁旋转体零件的拉深过程是拉深变形和胀形变形的复合。
- (3) 胀形变形主要位于凸模顶点下面的附近区域

起皱成为此类零件拉深要解决的主要问题。
尤其是悬空部分的起皱——内皱



做到既不起皱又不破裂的措施

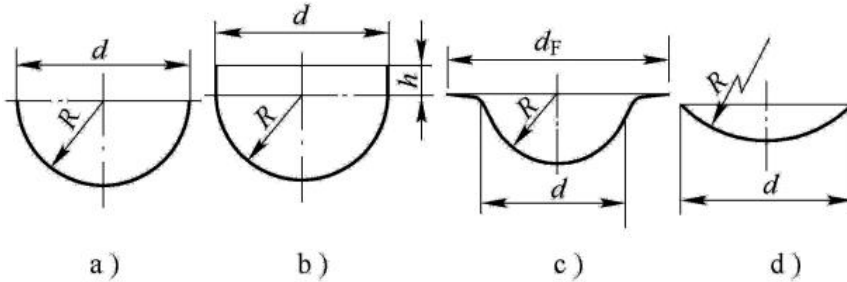
- 加大突缘尺寸
- 增加压边圈下的摩擦系数
- 增大压边力
- 采用拉深筋
- 反拉深



球面零件的拉深

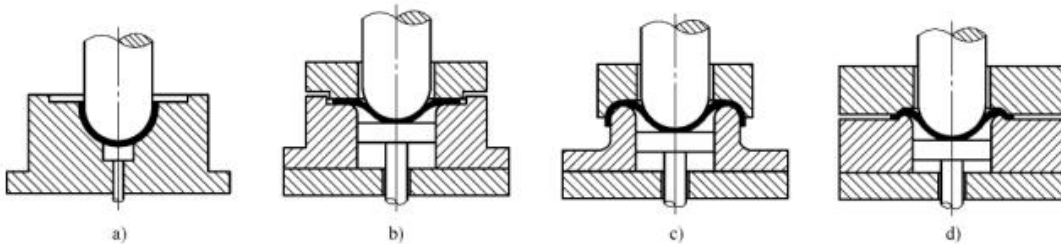
拉深系数为常数，不能作为工艺设计的根据。

$$m=0.707$$



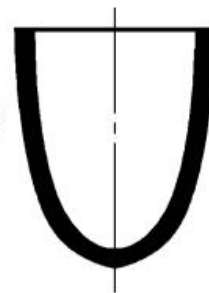
球形件的拉深方法

- 当 $t/D > 3\%$ 时，可以采用不带压边装置的简单有底凹模一次拉成
- 当 $t/D = 0.5\% \sim 3\%$ 时，采用带压边圈的拉深模拉深
- 当 $t/D < 0.5\%$ 时，采用带有拉深筋的凹模或反拉深模具



抛物面零件的拉深

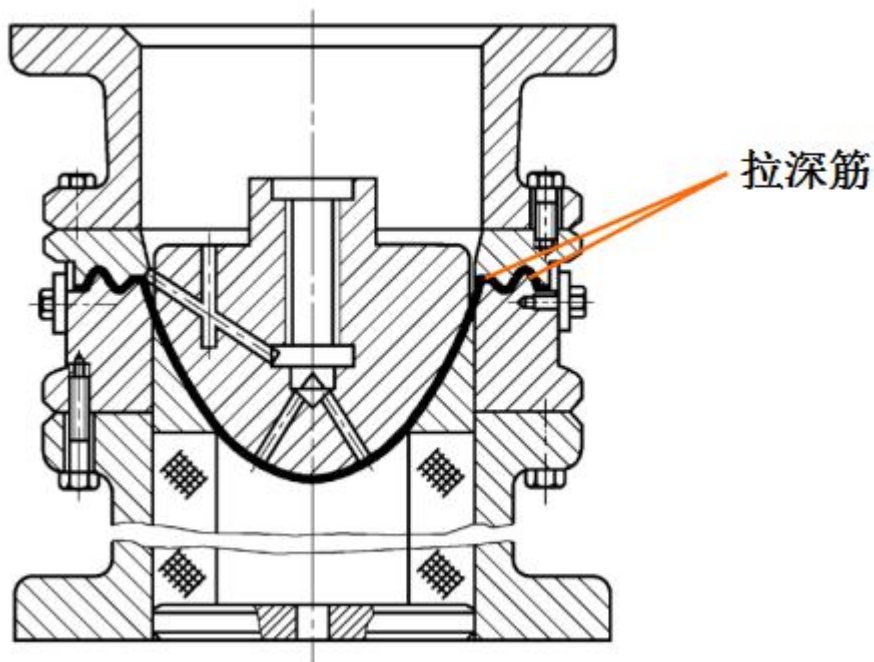
拉深比球形件更加困难



常见的拉深方法有：

- (1) 浅抛物面形件 ($h/d < 0.5 \sim 0.6$)。因其高径比接近球形，因此拉深方法同球形件。
- (2) 深抛物面形件 ($h/d > 0.5 \sim 0.6$)。其拉深难度有所增加。这时为了使毛坯中间部分紧密贴模而又不起皱，通常需采用具有拉深筋的模具以增加径向拉应力。

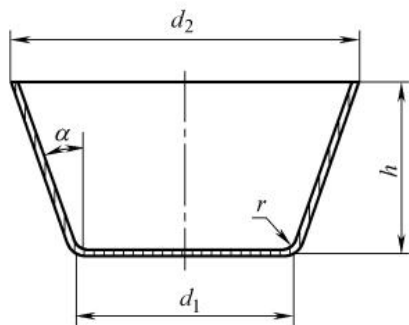
深抛物面形件的拉深



锥形零件的拉深

拉深方法取决于：

$$h/d_2, \alpha$$



锥形件的拉深方法

- (1) 对于浅锥形件 ($h/d_2 < 0.25 \sim 0.30$, $\alpha = 50^\circ \sim 80^\circ$) 可一次拉成,
- (2) 对于中锥形件 ($h/d_2 = 0.30 \sim 0.70$, $\alpha = 15^\circ \sim 45^\circ$),

拉深方法取决于相对料厚:

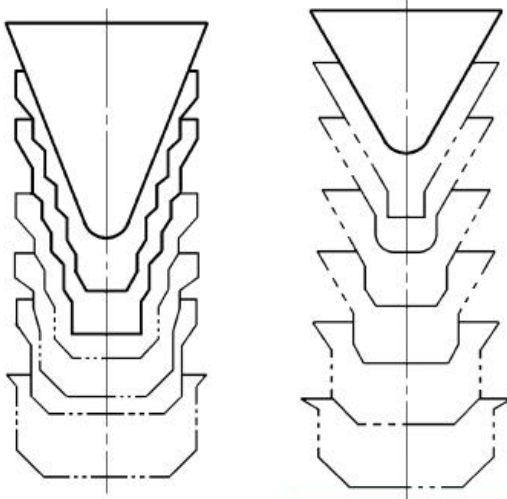
- 1) 当 $t/D > 0.025$ 时, 可不采用压边圈一次拉成。
- 2) 当 $t/D = 0.015 \sim 0.20$ 时, 也可一次拉成, 但需采用压边圈、拉深筋、增加工艺凸缘等措施

3) 当 $t/D < 0.015$ 时, 因料较薄而容易起皱, 需采用有压边圈模具, 并经两次拉深成形

(3) 对于高锥形件 ($h/d_2 > 0.70 \sim 0.80$, $\alpha \leq 10^\circ \sim 30^\circ$),

- 1) 阶梯过渡拉深成形法
- 2) 锥面逐步拉深成形法

高锥形件的拉深成形方法

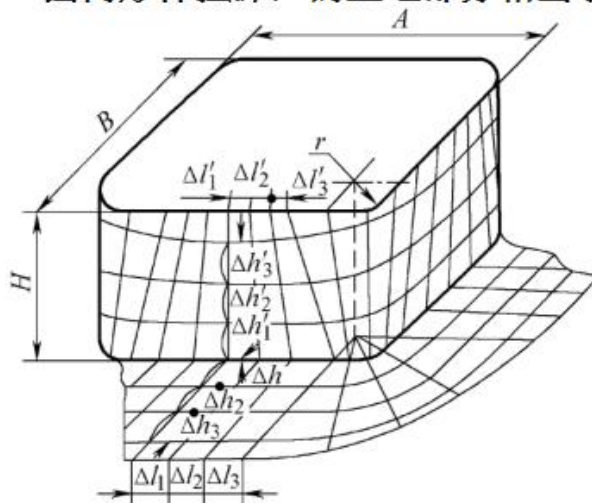


阶梯过渡拉深成形法

锥面逐步拉深成形法

4.3.3 盒形件的拉深工艺计算

盒形件是非旋转体零件, 拉深变形时, 圆角部分相当于圆筒形件拉深, 而直边部分相当于弯曲变形。



变形前

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 = \Delta l_3$$

$$\Delta h_1 = \Delta h_2 = \Delta h_3$$

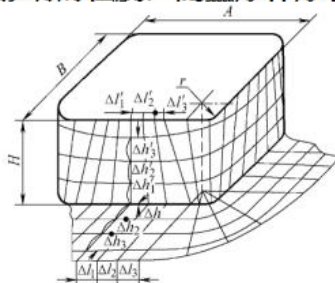
变形后

$$\Delta h_1 < \Delta h_1' < \Delta h_2' < \Delta h_3'$$

$$\Delta l_1 > \Delta l_1' > \Delta l_2' > \Delta l_3'$$

盒形件的拉深特点

- (1) 凸缘变形区内材料受径向拉应力和切向压应力的共同作用，产生径向伸长、切向压缩的拉深变形。应力与应变分布不均匀，圆角部分最大，直边部分最小。
- (2) 变形区内直边和圆角两处材料的变形量不同。
- (3) 直边部分和圆角部分相互影响的程度，随盒形件形状不同而异。



4.3.4 拉深工艺力计算及设备选用

1. 压边力与压边装置

(1) 压边力

压边力 Q 是由模具中设置的压边装置提供的。

压边装置产生的压边力 Q 应在**保证变形区不起皱**的前提下，尽量选**小**。

任何形状的拉深件，需要的压边力：

$$Q = Aq$$

式中 A —— 压边圈下坯料的投影面积；

q —— 单位面积压料力， $q = \sigma_b / 150$

直壁圆筒形件压边力

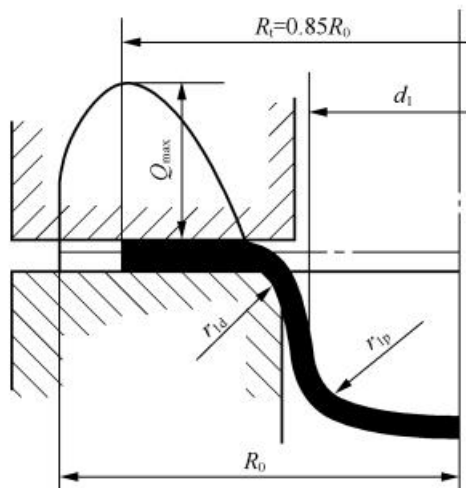
直壁圆筒形件首次拉深：

$$Q_1 = \frac{\pi}{4} [D^2 - (d_1 + 2r_{d1})^2] q$$

直壁圆筒形件以后各次拉深：

$$Q_n = \frac{\pi}{4} [d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_{dn})^2] q$$

($n=2, 3, \dots, n$)



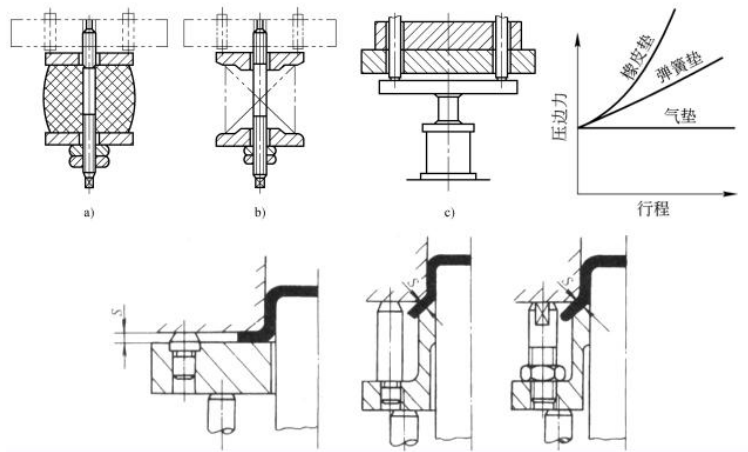
压边装置

压边装置的作用是防止拉深变形区起皱。

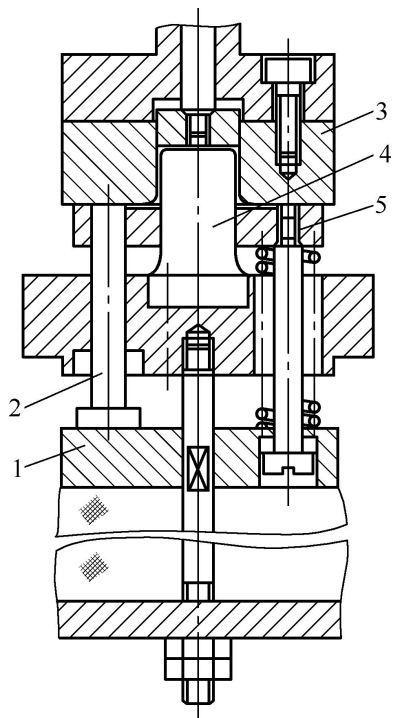
根据压边力的来源不同，压边装置有两种：

- 弹性压边装置：用于单动冲床，压边力由弹簧、橡皮、气垫、氮气弹簧等提供。
- 刚性压边装置：用于双动冲床，压边力由外滑块提供。

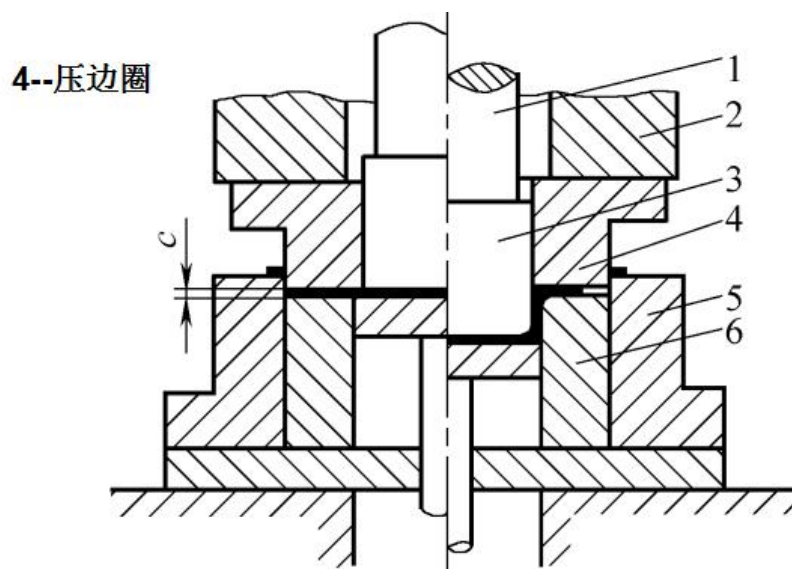
弹性压边装置



恒力压边装置



双动压力机上用刚性压边装置



2.拉深力的计算

对于圆筒形件、椭圆形件、盒形件，拉深力为：

$$F_i = K_p L_s t \sigma_b \quad (i = 2, 3, \dots, n)$$

F_i ——第*i*次拉深的拉深力，单位为N；

L_s ——工件断面周长（按料厚中心记），单位为mm；

K_p ——系数。对于圆筒形件拉深， $K_p=0.5\sim 1.0$ ；对于椭圆形件及盒形件的拉深， $K_p=0.5\sim 0.8$ ；对于其他形状工件的拉深， $K_p=0.7\sim 0.9$ 。当拉深趋近极限时 K_p 取大值；反之取小值。

3.拉深设备选择

对于单动压力机，设备公称压力应满足：

$$F_{\text{设}} > F_i + Q$$

对于双动压力机，设备吨位应满足：

$$F_{\text{内}} > F_i$$

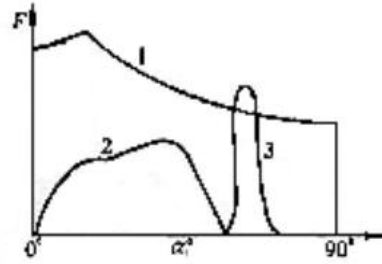
$$F_{\text{外}} > Q$$

特别注意

当拉深工作行程较大，尤其落料拉深复合时，应使工艺力曲线位于压力机滑块的许用压力曲线之下。

浅拉深 $\sum F \leq (0.7 \sim 0.8)F_{\text{压}}$

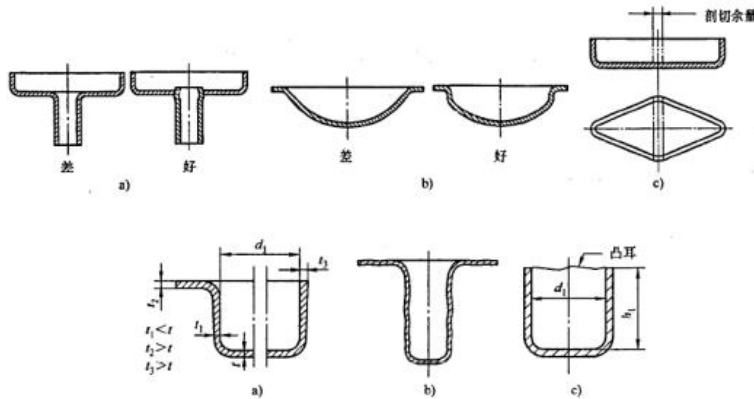
深拉深 $\sum F \leq (0.5 \sim 0.6)F_{\text{压}}$



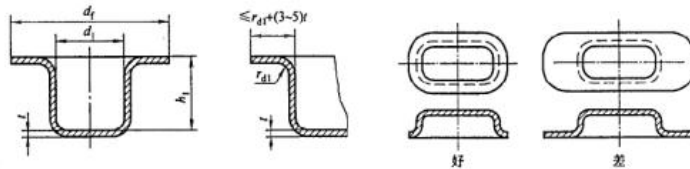
4.4 拉深工艺设计

1. 拉深件的形状

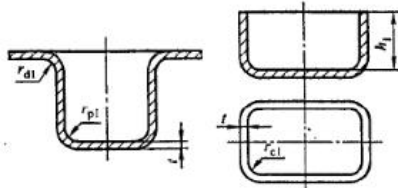
- (1) 拉深件的**结构形状**：拉深件的结构形状应简单、对称，避免急剧的外形变化。
- (2) 拉深件的**形状误差**：拉深件的壁厚在拉深变形过程中发生变化，导致拉深件各处壁厚不完全一致，只能得到近似形状。



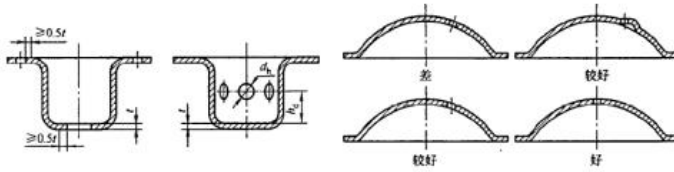
2. 拉深件的高度：拉深件的高度尺寸过大则需要多次拉深；
3. 拉深件的凸缘宽度：凸缘直径宜控制在范围内 $d_1 + 12t \leq d_f \leq d_1 + 25t$



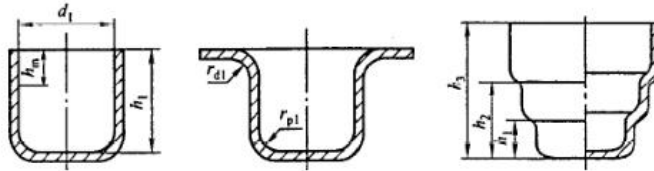
4. 拉深件的圆角半径：尽量大些，以减少拉深次数并有利于拉深成形；



5. 拉深件的冲孔设计



6. 拉深件的尺寸标注：根据使用要求标注。



7.拉深件的尺寸精度：尺寸精度不宜过高，一般情况下，拉深件的尺寸精度应满足GB/T13914-2013的要求。

8.拉深件的材料选用：拉深件的材料，要求具有较好的塑性，较小的屈强比 σ_s/σ_b 、大的板料厚向异性系数 γ ，小的板平面各向异性系数 $\Delta\gamma$ 。

4.5 拉深模具设计

拉深模类型及典型结构：

1.首次拉深模

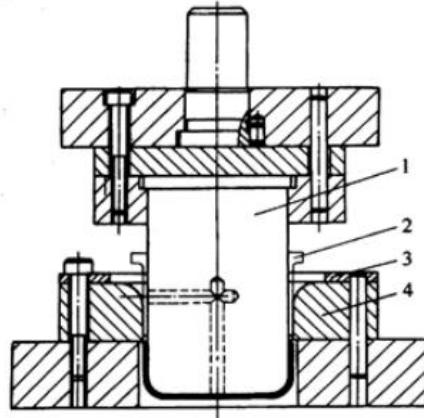
- (1) 无压边装置的简单拉深模
- (2) 有压边装置的拉深模
 - 1) 正装拉深模
 - 2) 倒装拉深模
- (3) 落料拉深复合模
- (4) 带刚性压边装置的拉深模

2.以后各次拉深模

- (1) 正拉深模
 - 1) 无压边装置
 - 2) 有压边装置
- (2) 反拉深模
 - 1) 无压边装置
 - 2) 压边圈在上模
 - 3) 压边圈在下模

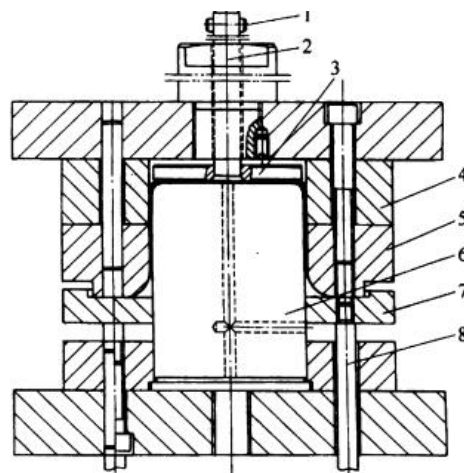
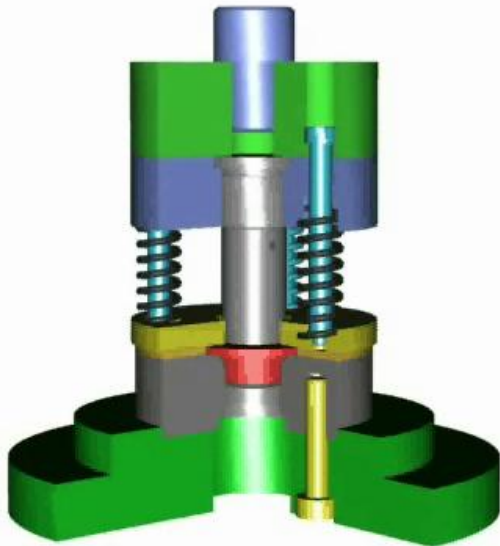
4.5.1 拉深模具类型及典型结构

常用于板料塑性好，
相对厚度
 $t/D \leq 0.03(1-m)$ ，
 $m_1 > 0.6$ 时的浅拉深
件的拉深



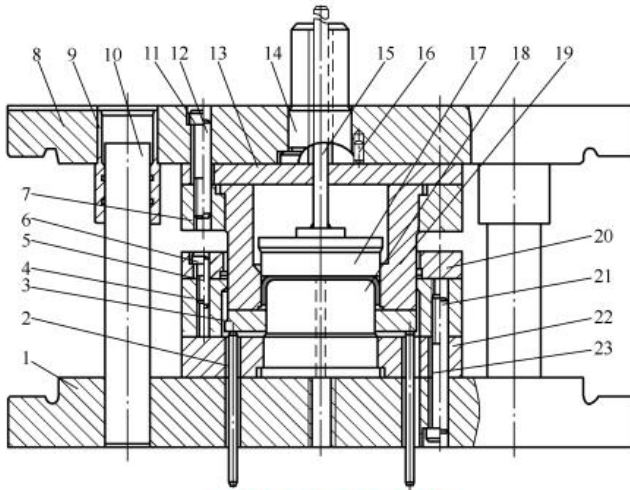
无压边装置的首次拉深模
1-凸模 2-校模圈 3-定位圈 4-凹模

带压边装置的首次正装拉深模

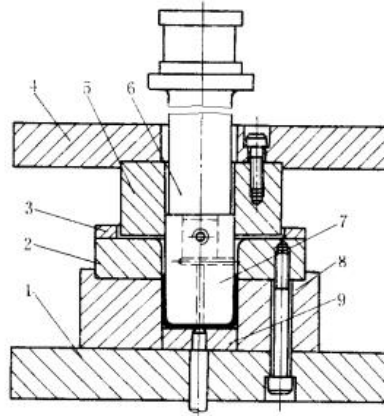


有压边装置的首次拉深模

1-挡销 2-打杆 3-推件块 4-垫块 5-凹模 6-凸模 7-压边圈 8-卸料螺钉

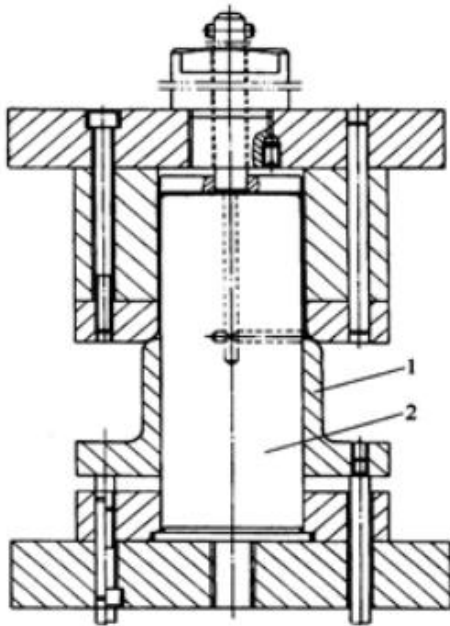


落料拉深复合模



双动压力机用首次拉深模

- 1-下模座 2-凹模 3-定位板 4-上模座 5-压料圈 6-凸模固定杆 7-凸模
8-凹模固定板 9-顶板

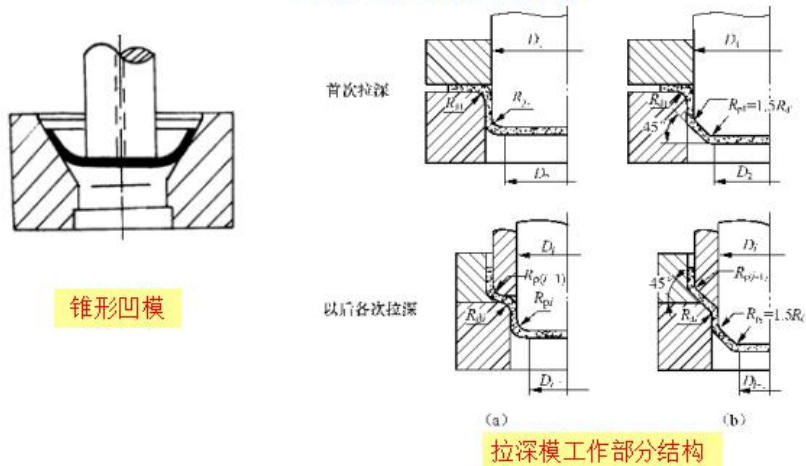


带压边的后续拉深模

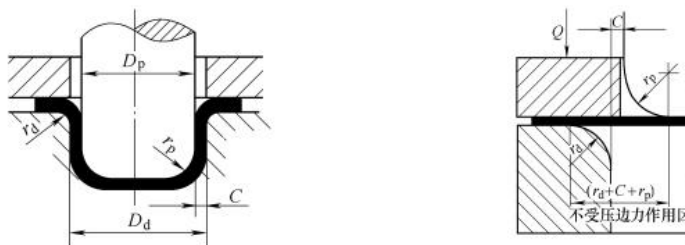
4.5.2 拉深模零件设计

拉深模由工作零件，定位零件，卸料、压料零件，固定零件，导向零件组成，因为拉深时凸、凹模之间的间隙较大，因此在单纯的拉深模中，通常不需要设置导向零件，而是由设备保证上模部分的运动方向。

1.拉深凸、凹模的结构设计



- 2.拉深模工作部分的尺寸设计：
- 凹模圆角半径 r_d ；
 - 凸模圆角半径 r_p ；
 - 凸、凹模的间隙 c ；
 - 凸模直径 d_p ；
 - 凹模直径 D_d 。



(3) 凸、凹模的间隙 c ：单面间隙，即 $c = (D_d - D_p) / 2$

$$c = t_{\max} + K_c t$$

(4) 凸模、凹模的尺寸及公差

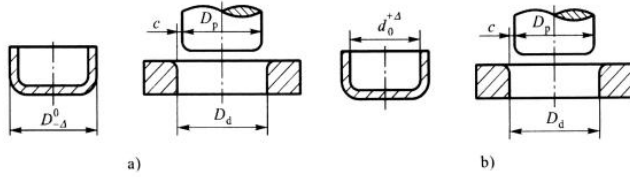
1) 多次拉深的首次拉深和中间各次拉深，半成品尺寸作严格限制：

凹模为基准，则凹模尺寸为： $D_d = D_0^{+\delta_d}$

凸模尺寸为： $D_p = (D - 2c)^0_{-\delta_p}$

(4) 凸模、凹模的尺寸及公差

2) 对于一次拉深或多次拉深中的最后一次拉深, 需保证拉深后制件的尺寸精度要求。



凹模为基准, 凹模尺寸及公差:

$$D_d = (D_{\max} - 0.75\Delta)_0^{+\delta_d}$$

凸模尺寸及公差:

$$D_p = (D_{\max} - 0.75\Delta - 2c)_{-f_p}^0$$

凸模为基准, 凹模尺寸及公差:

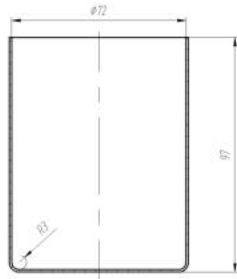
$$D_p = (d_{\min} + 0.4\Delta)_{-f_p}^0$$

凹模尺寸及公差:

$$D_d = (d_{\min} + 0.4\Delta + 2C)_0^{+\delta_d}$$

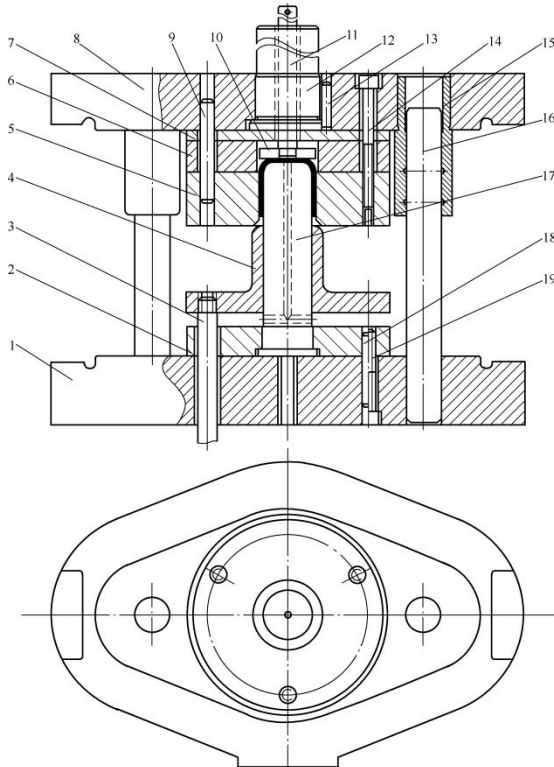
4.6 拉深模设计举例

图 4.59 所示无凸缘的直壁圆筒型件, 材料为 08F 钢, 料厚 1mm, 抗拉强度 $\sigma_b = 320\text{Mpa}$, 小批量生产, 试完成该产品的拉深工艺设计。

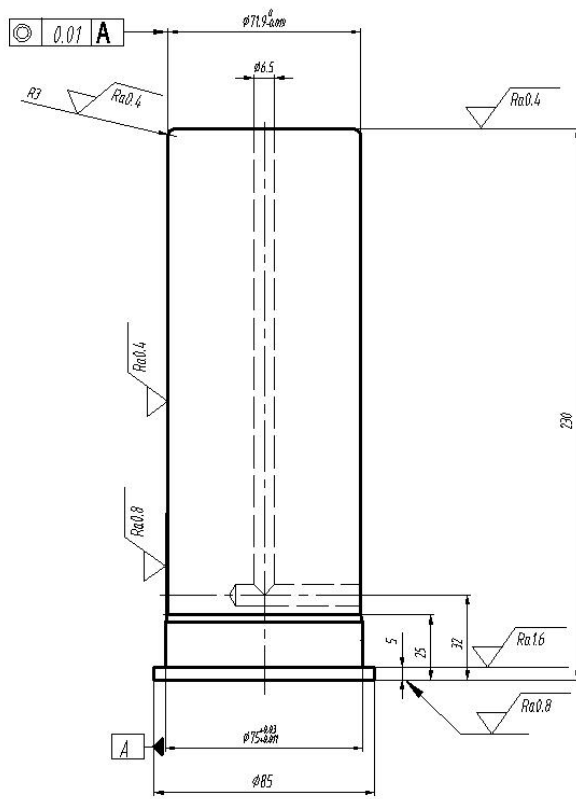


1. 零件的工艺性分析
2. 工艺方案确定
3. 工艺计算
4. 模具总体结构设计

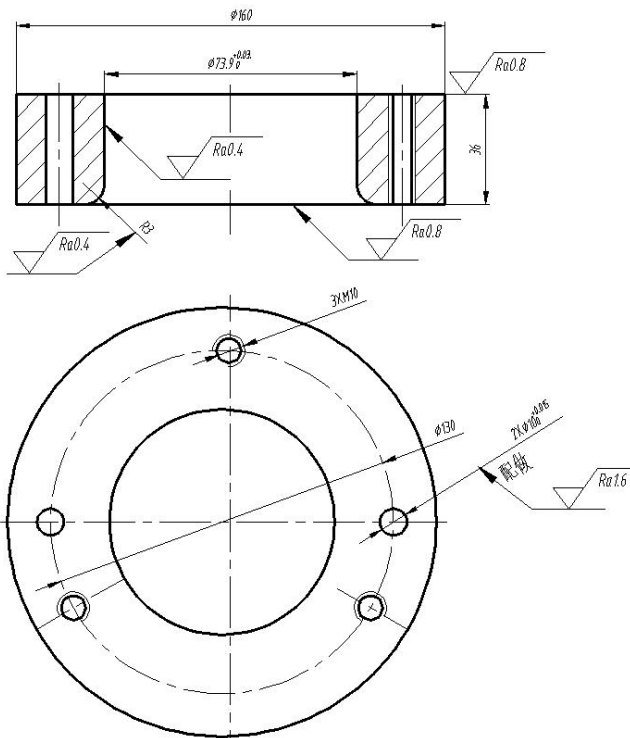
第四次拉深模具结构图



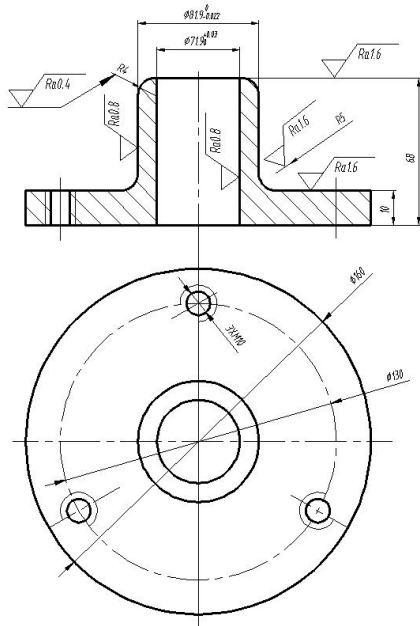
拉深凸模



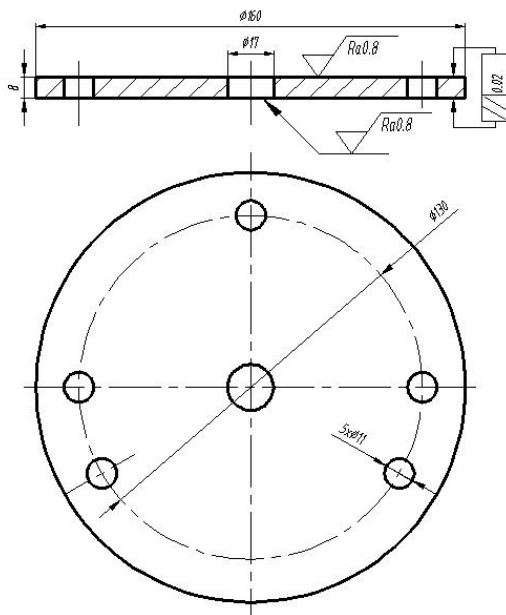
拉深凹模



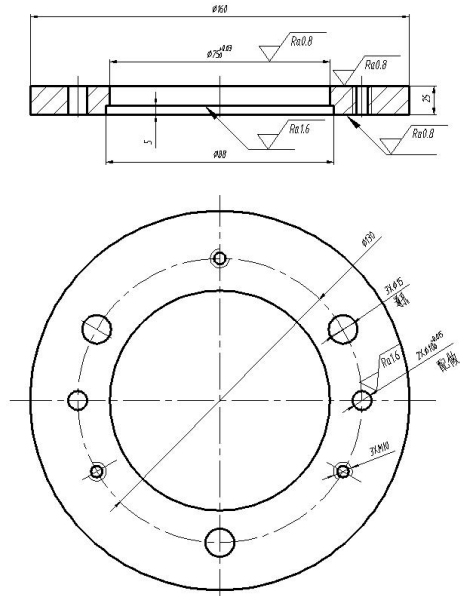
压边圈



垫板



凸模固定板



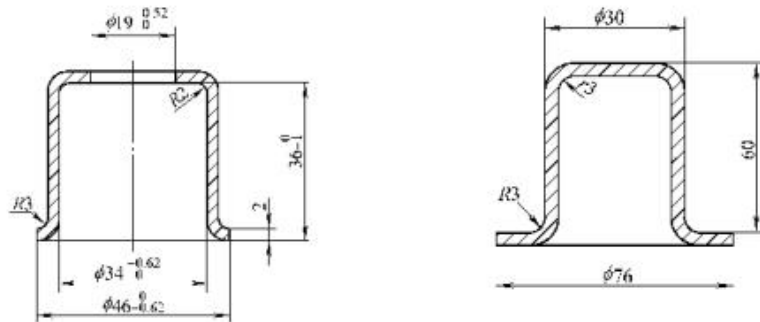
思考与练习题 4

1. 拉深变形具有哪些特点?用拉深方法可以制成哪些类型的零件?
2. 圆筒形零件拉深时, 毛坯变形区的应力应变状态是怎样的?
3. 拉深工艺中, 会出现哪些失效形式?说明产生的原因和防止的措施。
4. 拉深的“危险断面”在何处? 为什么?
5. 什么是圆筒形件的拉深系数?影响极限拉深系数的因素有哪些?拉深系数对拉深工艺有何意义?
6. 有凸缘筒形零件与无凸缘筒形零件拉深比较, 有哪些特点?工艺计算有何区别?
7. 非直壁旋转体零件的拉深有哪些特点?如何减小回弹和起皱问题?
8. 拉深模压边圈有哪些结构形式?适用哪些情况?
9. 确定如图 4.66 所示压紧弹簧座(材料 08A1, 料厚 $t = 2\text{mm}$)的拉深次数和各工序尺寸, 绘制各工序件图并标注尺寸。
10. 拉深过程中润滑的目的是什么, 哪些部位需要润滑?

11. 以后各次拉深模与首次拉深模主要有哪些不同?为何在单动压力机上常用的以后各次拉探模常常采用倒装式结构?

12. 拉深如图4.67所示零件,材料为10钢,厚度 $t=2\text{mm}$,大批量生产。试完成:

- ①分析零件的工艺性;
- ②计算零件的拉深次数及各次拉深工序件尺寸;
- ③计算各次拉深时的拉深力与压料力;
- ④绘制落料首次拉深复合模的结构图;
- ⑤绘制后续拉深模的结构图。



模块五 其他冲压成形工艺与模具设计

教学目标:

1. 了解翻边工艺的变形过程、质量分析及控制;
2. 了解缩口工艺的变形过程、质量分析及控制;
3. 了解旋压工艺的变形过程、质量分析及控制;
4. 了解胀形工艺的变形过程、质量分析及控制;

教学重点:

1. 成形工序的变形过程及控制;
2. 模主要零件的设计及标准的选用;
3. 制定自行车脚踏板加工工艺并设计模具模设计 (实际应用设计)。

教学难点: 制定自行车脚踏板加工工艺并设计模具模设计

素质 (思政) 内容与要求:

1. 该模块涵盖了多种其他冲压成形工艺, 鼓励学生拓宽视野, 理

解不同工艺的优缺点与应用场景。

2.通过案例分析，培养学生的综合设计能力与创新思维。强调在实际项目中，不仅要关注产品的功能与性能，还要考虑环保和资源合理利用，引导其在解决实际问题时体现出工程师的责任感与创造力，培养学生的社会责任感和可持续发展意识，鼓励他们在工程实践中为社会进步贡献力量。

教学手段： 讲授、演示、提问

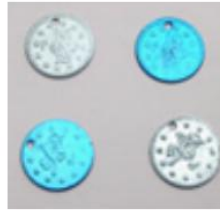
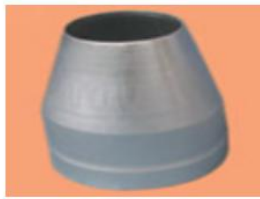
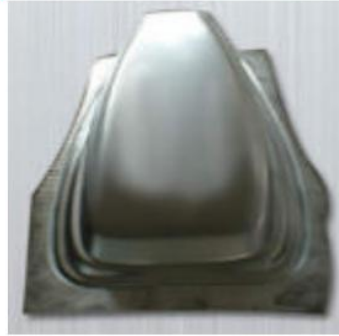
教学学时： 6

教学内容：

在板材冲压成形工艺中，除冲裁、弯曲、拉深等工序外，还有翻边、缩口、旋压、胀形等工序翻孔、翻边、缩口、胀形等工序又统称为**成形工序**。



实物图片



5.1 翻边

翻边：利用模具把板料上的孔缘或外缘翻成竖边的冲压加工方法。翻边可分为**内孔**（圆孔或非圆孔）翻边、**外缘翻边**、**变薄翻边**等。外缘翻边还可分为**外缘内曲翻边**、**外缘外曲翻边**。

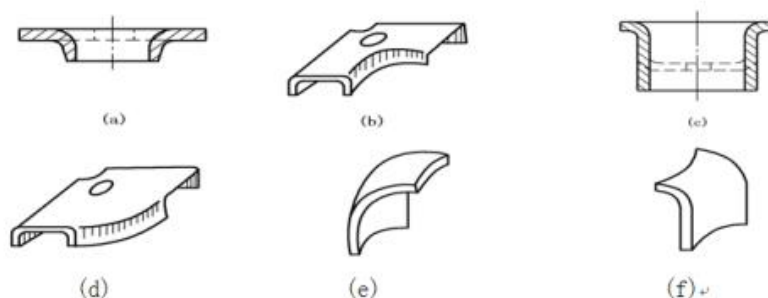


图 6.2 各种翻边件。

- (a)平面圆孔翻边 (b)平面内凹外缘翻边 (c)立体件上圆孔翻边
(d)平面外凸外缘翻边 (e)压缩类曲面翻边 (f)拉伸类曲面翻边。

圆孔翻边、外缘内曲翻边等属伸长类翻边，变形特点是：

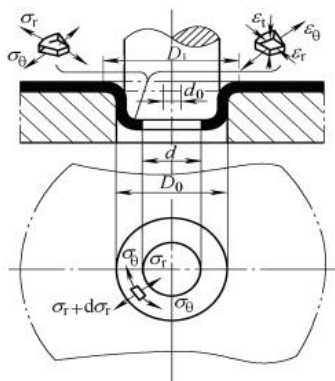
变形区材料受拉应力，切向伸长，厚度变薄，易发生破裂；

外缘外曲翻边等属压缩类翻边，其变形特点是：

变形区材料受切向压缩应力，产生压缩变形，厚度增加，易起皱。

5.1.1 圆孔翻边

圆孔翻边是把平板上或空心件上预先打好的孔（或预先不打孔）扩大成带有竖立边缘而使孔径增大的一种工艺过程。



$$t = t_0 \sqrt{\frac{d_0}{D}}$$

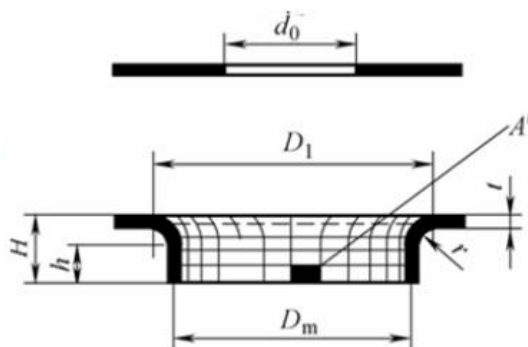
圆孔翻边的成形极限

成形极限用翻孔系数K表示：
$$K = \frac{d_0}{D_m}$$

极限翻孔系数 K_{\min}

影响极限翻孔系数的因素：

- 材料性能
- 预冲孔质量
- 凸模形状
- 材料的相对厚度



圆孔翻边的工艺计算

一次翻边 预制孔直径 d_0 $d_0 = d_m - 2(h - 0.43r - 0.72t)$

毛坯计算：

一次翻边的极限高度 $h = \frac{d_m}{2}(1 - K_{\min}) + 0.43r + 0.72t$

若工件翻边高度大于一次翻边能达到的极限翻边高度，可采用加热翻边、多次翻边（以后各次的翻边，其K值应增大15%~20%）或经拉深、冲底孔后再翻边的工艺方法。

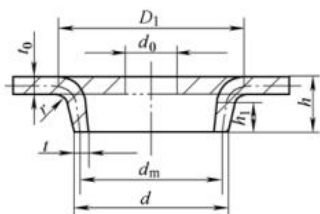


图 6.4 圆孔翻边件的尺寸

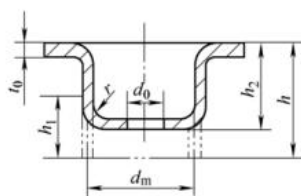


图 6.5 拉深后再翻边

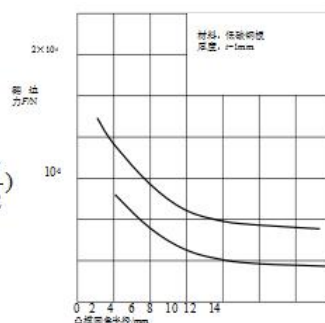
拉深冲底孔后再翻边工艺计算过程是：先计算允许的翻边高度 h_1 ，然后按零件的要求高度 h 及 h_1 确定拉深高度 h_2 及预制孔直径 d_0 。

$$h_1 = \frac{d_m - d_0}{2} - (r + \frac{t}{2}) + \frac{\pi}{2}(r + \frac{t}{2}) = \frac{d_m}{2}(1 - \frac{d_0}{d_m}) + 0.57(r + \frac{t}{2})$$

$$h_{\max} = \frac{d_m}{2}(1 - K_{\min}) + 0.57(r + \frac{t}{2})$$

$$d_0 = K_{\min} d_m$$

$$h_2 = h - h_{\max} + r$$

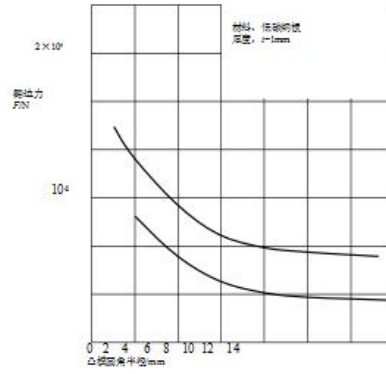


1) 采用圆柱形平底凸模时,翻边力:

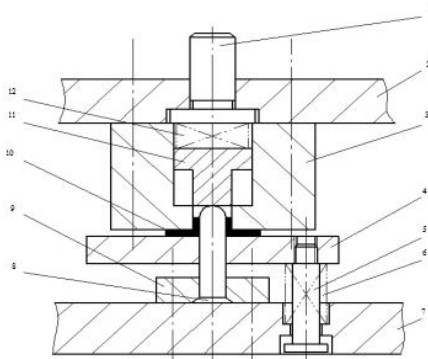
$$F = 1.1\pi(d_m - d_0)t_0\sigma_s$$

2) 采用球形凸模时, 翻边力:

$$F = 1.2\pi D_m t_0 \sigma_s m$$

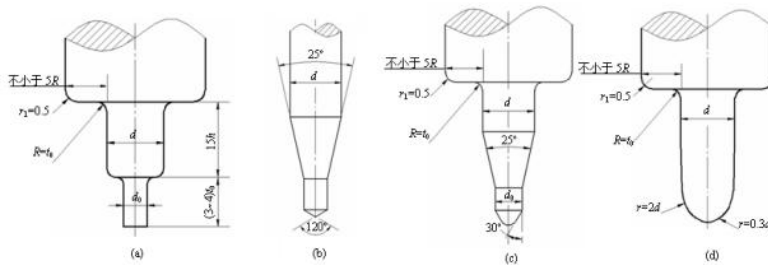


翻边模设计



翻边模

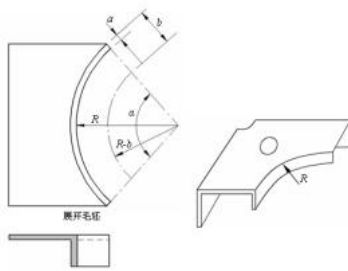
1-模柄 2-上模座 3-凹模 4-退件板 5-螺杆 6-弹簧 7-下模座
8-凸模 9-凸模固定板 10-零件 11-顶料器 12-弹簧



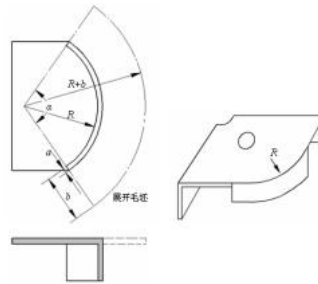
圆孔翻边凸模

5.1.2 外缘翻边

外缘翻边可分为内曲翻边和外曲翻边。



内曲外缘翻边



外曲外缘翻边

1.内曲翻边：用模具把毛坯上内凹的外边缘翻成竖边的冲压方法，也称为内凹外缘翻边，属于伸长类翻边。

内曲翻边的变形程度用 E_s 表示：

$$E_s = \frac{b}{R-b}$$

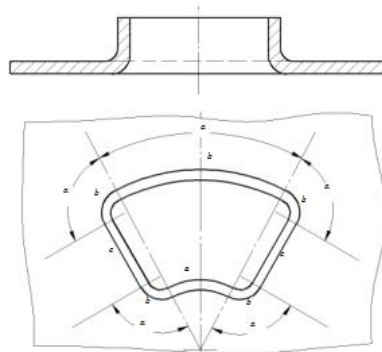
极限变形程度用 E_{s1} 。

5.1.3 非圆孔翻边

$$K'_1 \approx (0.85 \sim 0.95)K_1$$

非圆孔翻边的翻边高度为： $(4 \sim 6)t_0$

角部最小圆角半径为： $4t_0$



非圆孔翻边

5.1.4 变薄翻边

板料上的螺纹底孔增加高度，经常采用变薄翻边的方法。

凸凹模采用小间隙，材料在凸、凹模之间的小间隙内受到挤压。

变薄系数K可取0.4~0.5

$$K = \frac{t_1}{t}$$

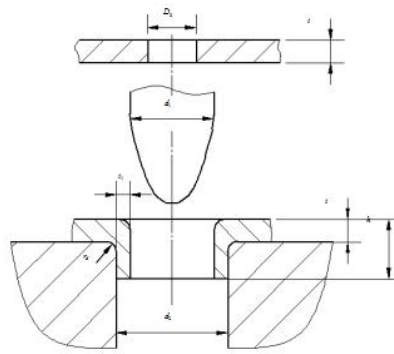
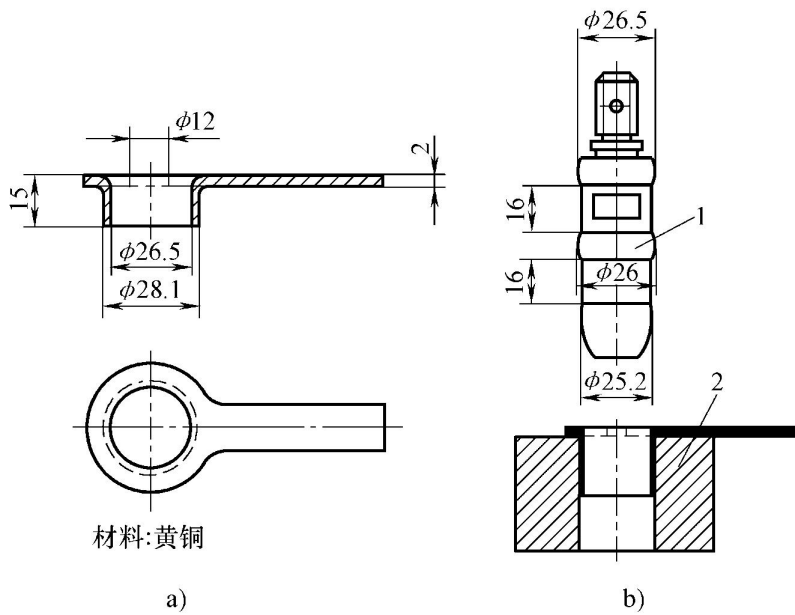


图4.12 变薄翻边



5.2 缩口

缩口工序是采用拉深所得的空心零件或管状零件，将毛坯的开口端插在与工件形状相同的凹模内，由外向内施加径向压力，使其口部产生压缩变形，并将口部剖面缩小成为锥形、球形或其他形状的一种成形方法。



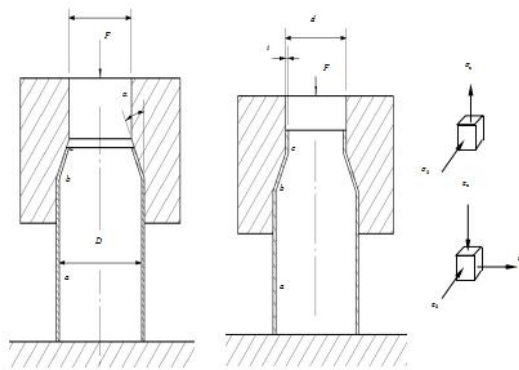
5.2.1 缩口的变形过程

坯料划分成传力区；
变形区；
已变形区。

口部厚度变化的情况：

$$t_1 = t_0 \sqrt{\frac{D}{d_1}}$$

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



缩口后制品口部尺寸一般比缩口模基本尺寸大0.5%~0.8%的弹性恢复量

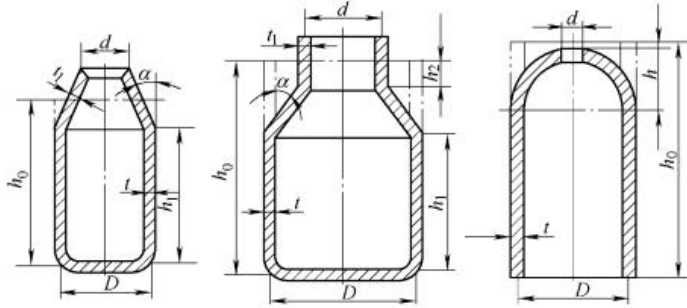
5.2.2 缩口系数

缩口系数 $K = \frac{d}{D}$

缩口次数 $n = \frac{\log K}{\log K_i}$

缩口系数的大小与模具结构、材料种类、材料厚度有关。

5.2.3 缩口时管坯的尺寸计算



图a所示情况 $h_0 = 1.05[h_1 + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} (1 + \sqrt{\frac{D}{d}})]$

图b所示情况 $h_0 = 1.05[h_1 + h_2 \sqrt{\frac{d}{D}} + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} (1 + \sqrt{\frac{D}{d}})]$

图c所示情况 $h_0 = h_1 + \frac{1}{4} (1 + \sqrt{\frac{D}{d}}) \sqrt{D^2 - d^2}$

5.2.4 缩口力的计算

利用无芯棒缩口模缩口力P:

$$P = K[1.1\pi Dt\sigma_b(1 - \frac{d}{D})(1 + \mu ctg\alpha) \frac{1}{\cos \alpha}]$$

无芯棒及无外支撑的缩口力P:

$$P = (2.4 \sim 3.4)\pi t\sigma_b(D - d)$$

5.2.5 缩口模结构

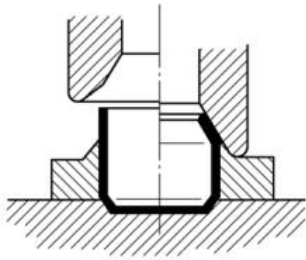
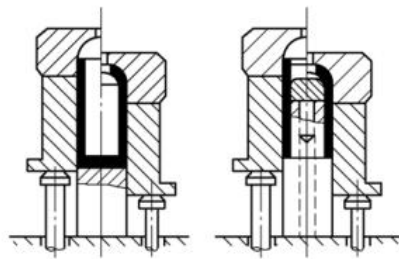


图 6.15 无心柱支撑缩口模示意图



(a) 外部支撑 (b) 内外支撑

图 6.16 有支撑的缩口模

5.3 旋压(赶形)

普通旋压:

毛坯的受力特点是切向受压、径向受拉。

旋压的变形程度用旋压系数 m :

$$m = \frac{d}{D}$$

极限旋压系数可取:

$$m_{\min} = 0.6 \sim 0.8$$

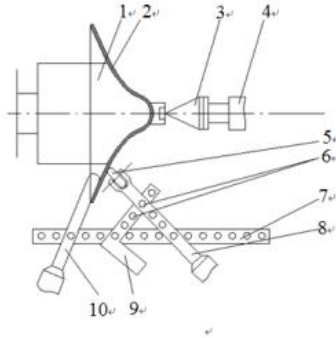


图 6.17 普通旋压成形。

1-芯模 2-坯料 3-顶针 4-顶针架 5-旋轮 6-定位钉
7-机床固定板 8-旋压杠杆 9-复式杠杆限位垫 10-成形垫。

变薄旋压（强力旋压）

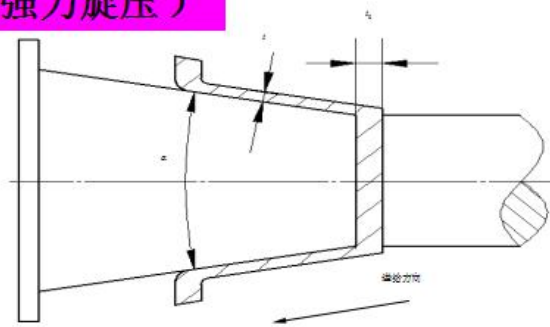
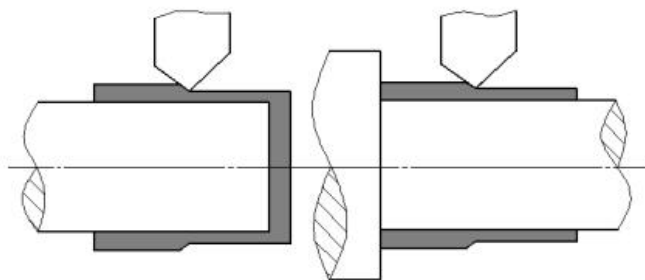


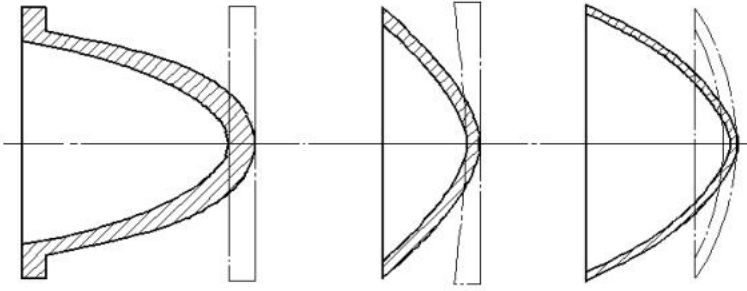
图6.18 锥形件的变薄旋压

厚度正弦规律表达式: $t = t_0 \sin \alpha / 2$

变薄率 ε : $\varepsilon = \frac{t_0 - t}{t_0} = 1 - \frac{t}{t_0} = 1 - \sin \alpha / 2$

圆筒形件的变薄旋压可分为正旋压和反旋压





工件壁厚与毛坯厚度的关系

(a) 等厚毛坯，不等厚工件 (b) 不等厚平毛坯，等厚工件 (c) 等厚预成形毛坯，等厚工件

5.4 胀形

胀形利用模具强迫板料厚度减薄和表面积增大，得到所需几何形状和尺寸的制件的冲压加工方法。

常用的胀形方法有**刚模胀形**和以**液体、气体、橡胶**等为施力介质的**软模胀形**。



5.4.1 胀形变形特点及成形极限

影响胀形成形极限的因素:

- (1) 材料的伸长率
- (2) 材料的硬化指数
- (3) 工件的形状和尺寸
- (4) 良好的润滑
- (5) 材料厚度增加

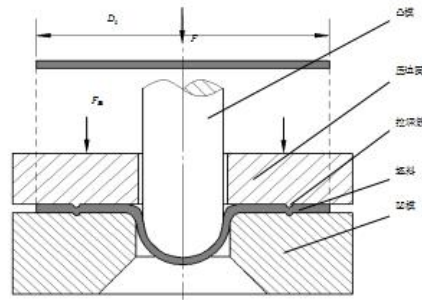
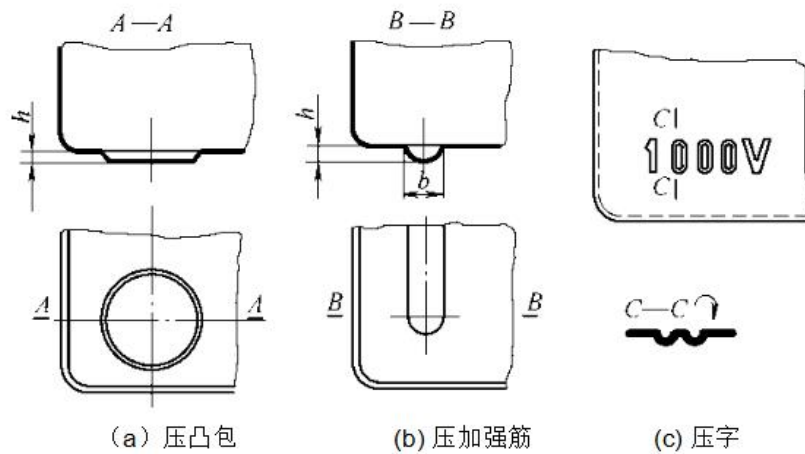


图6.22平板毛坯胀形原理图

胀形属伸长类成形工艺，防止胀破是胀形工艺要解决的关键问题

5.4.2 平板毛坯的起伏成形

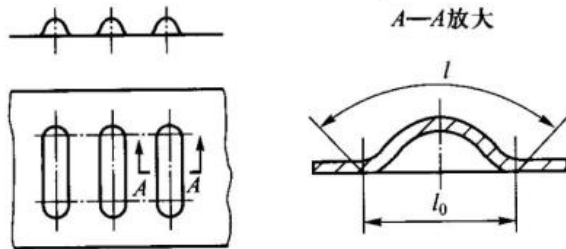


局部胀形的几种形式

平板毛坯在模具的作用下发生局部胀形而形成各种形状的凸起或凹下的冲压方法称为**局部胀形或起伏成形**。

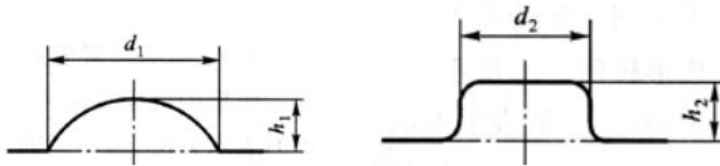
主要用于加工**加强筋、局部凹槽、文字、花纹**等。

起伏成形的极限变形程度表示： $\varepsilon_p = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\% \leq K\delta$



胀形变形区变形前后截面的长度

欲提高胀形极限变形程度，可以采用两次胀形法：第一次用大直径的球凸模
第二次成形到所要求的尺寸



1. 压加强筋

表 6.9 加强筋形式和尺寸

名称	简图	R	h	r	B	a
半圆形筋		(3~4) t	(2~3) t	(1~2) t	(7~10) t	∞
梯形筋		-	(1.5~2) t	(0.5~1.5) t	≥3h	15°~30°

刚性凸模压制加强筋的变形力F： $F = KLt\sigma_b$

在曲柄压力机上用薄料 ($t < 1.5 \text{ mm}$) 对小工件 (面积 $< 2000 \text{ mm}^2$) 压筋力F:

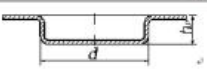
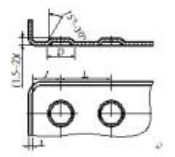
$$F = KAt^2$$

软模胀形的单位压力:

$$p = K \frac{t}{R} \sigma_b$$

2.压凹坑

表 6.10 平板毛坯局部压凹坑时的许用成形高度和尺寸。

	材料 ^o			软钢 ^o			铝 ^o			黄铜 ^o			
	许用凹坑成形高度 h_p/mm			$\leq (0.15\sim 0.2) d$			$\leq (0.1\sim 0.15) d$			$\leq (0.15\sim 0.22) d$			
	D	6.5 ^o	8.5 ^o	10.5 ^o	13 ^o	15 ^o	18 ^o	24 ^o	31 ^o	36 ^o	43 ^o	48 ^o	55 ^o
	L	10 ^o	13 ^o	15 ^o	18 ^o	22 ^o	26 ^o	34 ^o	44 ^o	51 ^o	60 ^o	68 ^o	78 ^o
	l	6 ^o	7.5 ^o	9 ^o	11 ^o	13 ^o	16 ^o	20 ^o	26 ^o	30 ^o	35 ^o	40 ^o	45 ^o

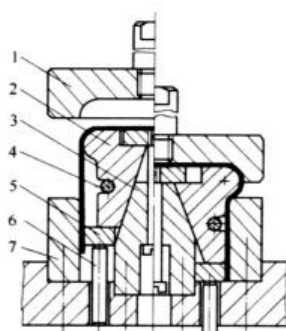
如果工件凹坑高度超出表所列数值，采用多道工序冲压凹坑。

若工件底部允许有孔，可以预先冲出小孔

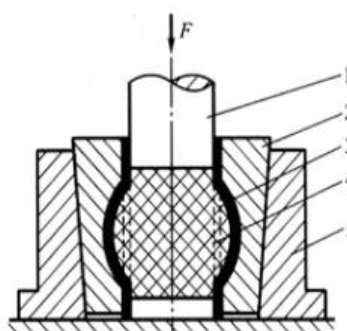
5.4.3 空心毛坯的胀形

空心毛坯胀形是将空心件或管状坯料胀出所需曲面的一种加工方法。

分成两类：一类是刚模胀形；另一类是软模胀形。



刚模胀形



软模胀形

胀形系数 K
$$K = \frac{d_{\max}}{d_0}$$

极限胀形系数 K_p
$$K_p = \frac{d'_{\max}}{d_0}$$

极限胀形系数 K_p 与工件切向延伸率 $\delta_{\theta p}$

$$\delta_{\theta p} = \frac{\pi d'_{\max} - \pi d_0}{\pi d_0} = K_p - 1$$

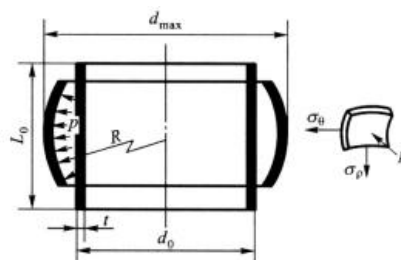
刚模胀形压力：
$$F = 2\pi Ht\sigma_b \frac{\mu + tg\beta}{1 - \mu^2 - 2\mu tg\beta}$$

软模胀形圆柱形空心毛坯力：

$$p = 2\sigma_b \left(\frac{t}{d_{\max}} + m \frac{t}{2R} \right)$$

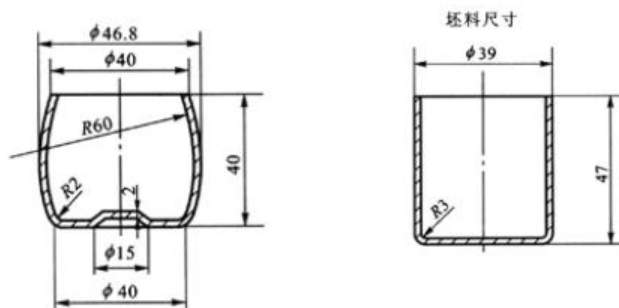
毛坯长度近似计算：

$$L_0 = L[1 + (0.3 \sim 0.4)\delta_\theta] + \Delta h$$

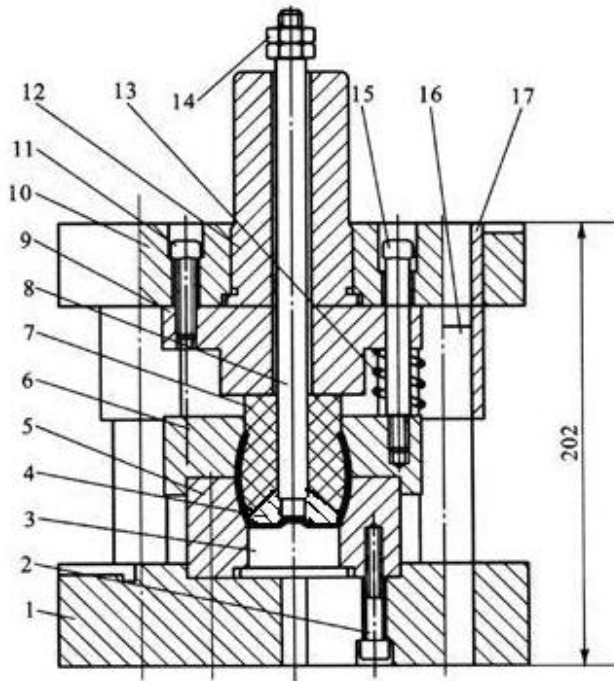


5.4.4 胀形模设计举例

工件名称：罩盖生产批量：中批量，材料10，料厚0.5mm。



罩盖胀形工件图和毛坯图

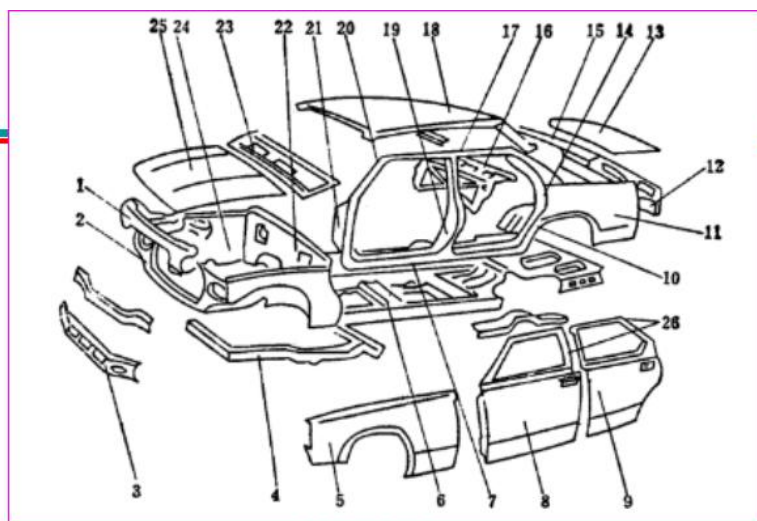


5.5 覆盖件成形工艺与模具

汽车覆盖件(简称覆盖件)是指用薄板冲压成形的覆盖发动机、底盘,构成驾驶室和车身的表面零件,它包括**外覆盖件**和**内覆盖件**。



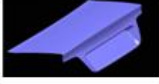
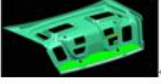
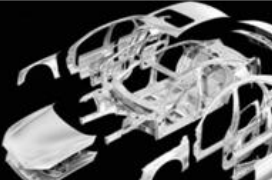








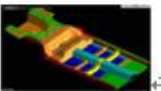
外覆盖件是指能直接看到的汽车车身外部的裸露件;

内覆盖件是指车身内部的覆盖件,它们被覆盖上内饰件或被车身的其它零件挡住而一般不能直接看到。

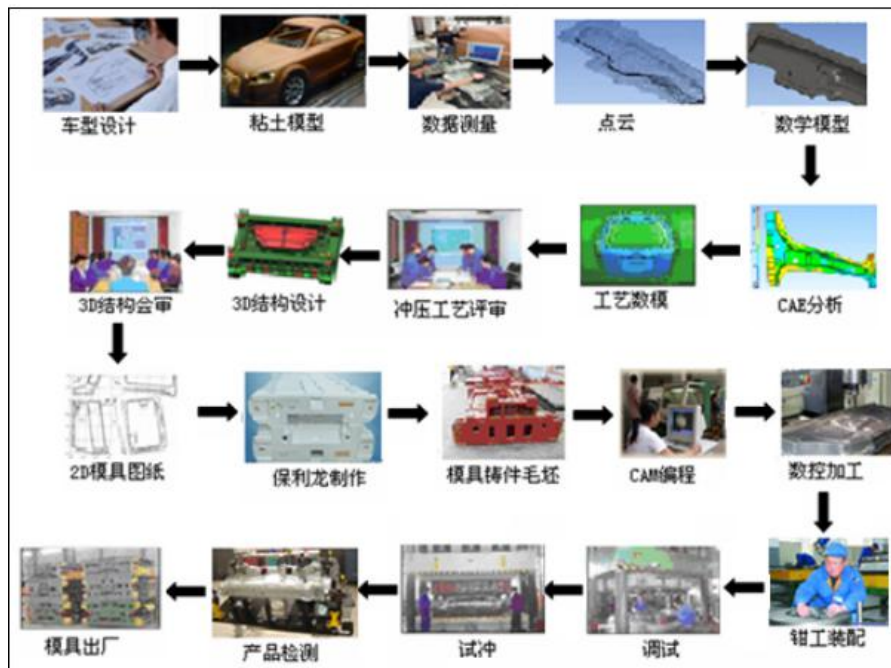


轿车车身分解图

1-发动机罩前支撑板 2-水箱固定框架 3-前裙板 4-前框架 5-前翼子板 6-底板总成 7-门槛
8-前门 9-后门 10-车轮挡泥板 11-后翼子板 12-后围板 13-行李舱盖 14-后立柱(C柱)
15-后围上盖板 16-后窗台板 17-上边架 18-顶盖 19-中立柱(B柱) 20-前立柱(A柱)
21-前围侧板 22-前围板 23-前围上盖板 24-前挡泥板 25-发动机罩 26-门窗框

轿车模型	覆盖件名称	覆盖件示意图
 	侧围外板总成 侧围内板总成	 
	行李箱盖外板 行李箱盖内板	 
	机盖外板 机盖内板	 
	前门外板 (左、右) 前门内板 (左、右)	 
	后门外板 (左、右) 后门内板 (左、右)	 
	翼子板 (左、右两件)	
 	翼子板 (左、右两件)	
	顶盖	
	车身内板件	
	发动机舱总成	
	地板总成	

新车型开发、覆盖件模具设计与制作基本流程



5.5.1 覆盖件成形工艺与模具

覆盖件的工艺数学模型包括：

- 1、工艺数学模型（3D）；
- 2、工序数学模型（3D，指每道工序的模型图）；
- 3、工程图（简称DL (Die Layout Drawing)图或工法图，为2D图）。

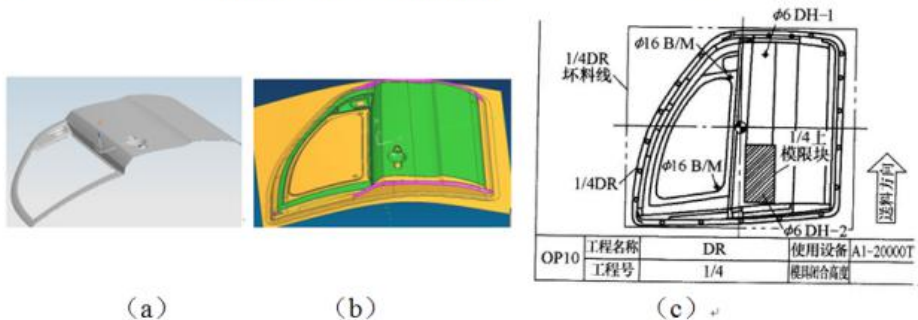


图 6.32 某车前门外板 3D 拉延工序数学模型与 D/L 图中的 2D 工序简图。

(a)零件简图 (b)拉延工序 3D 数模简图 (c)拉延工序 DL 简图。

D/L图是覆盖件模具设计、制造的关键，它的合理与否直接影响模具设计制造的成败。

D/L图包含以下主要内容：

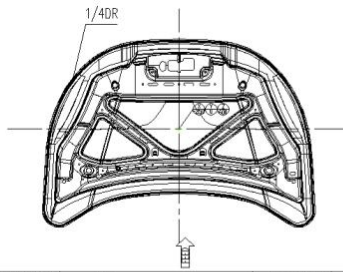
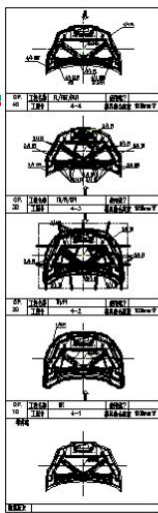
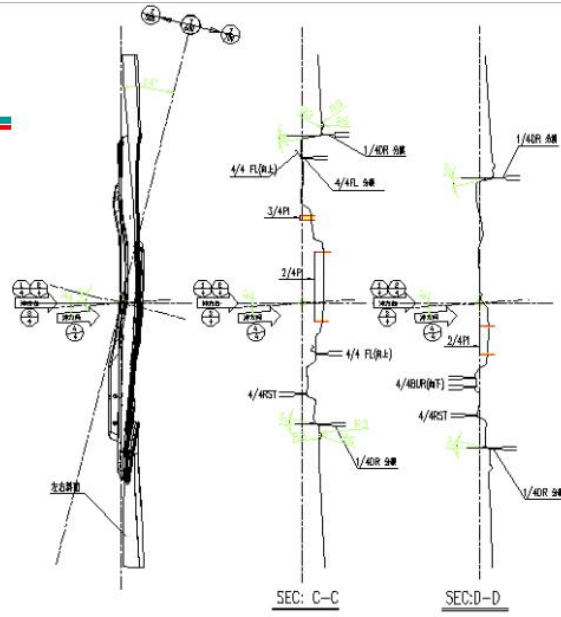
- (1) 工序划分及加工内容。
- (2) 各工序的送料方向（投入侧，取出侧图示）。
- (3) 工艺流程图及冲压设备。
- (4) 各工序冲压方向及斜楔加工方向。
- (5) 基准点与冲压中心的关系。
- (6) 合模基准孔（C/H）、型面检查点（C/P）、成形到底记号（B/M）的相关位置。
- (7) 预想下料尺寸。
- (8) 废料刀位置及废屑流向表示。
- (9) 冲孔作业工程及尺寸表示。
- (10) 加工部位的断面形状表示。
- (11) 其他需要说明的情况。



汽车模具各工序名称

简称	英文名称	中文名称
BL	Blanking	落料
DR	Draw	拉延
TR	Trim	修边
PI	Pierce	冲孔
FL	Flange	翻边
BUR	Buuring	翻孔
RST	Restrike	整形
BND	Bending	弯曲
FO	Form	成形
C	Cam	斜楔
CT	Cut	切断
SET	Separate	切开

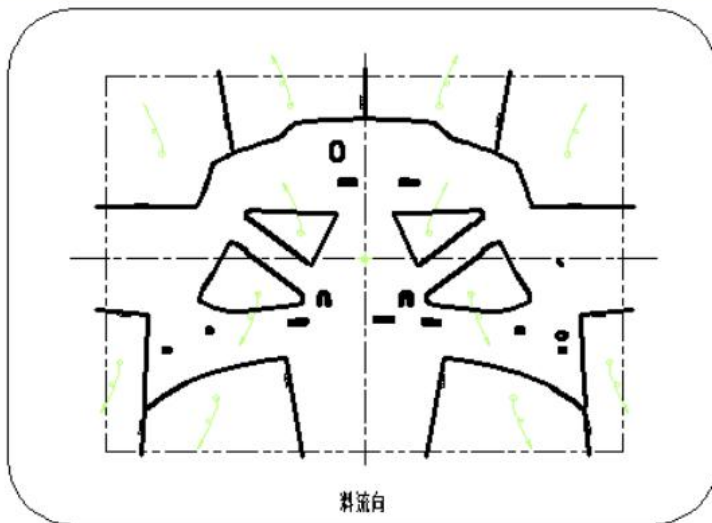
断面图



OP. 10	工程名称	DR	使用鏡?	
	工程号	4-1	模具做合高度	1000mm ³

各工序简图

废料流向图

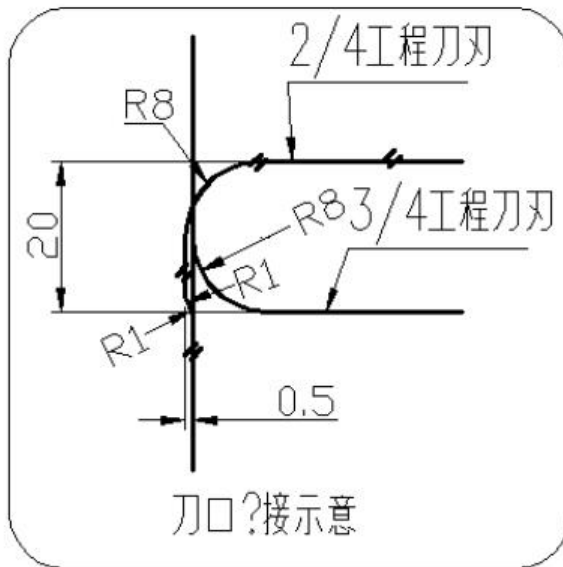


料流向


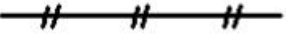


C/H孔位置（合模基准孔）

DESC.		POSITION			
		X	Y	Z	
C/H HOLE POINT	DCH	1	530	±80	∅10.1
		2	-530	-280	∅10.1
	CH		TL	BL	WL
		1		∅10.1	
		2		∅10.1	

刃口衔接示意图



各工程作用表示

1/4	DR	
2/4	TR.PI	
3/4	PI.CPI	
4/4	FL.PI	

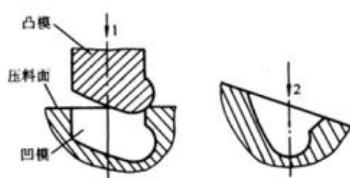
5.5.2 覆盖件拉延工艺与模具

1. 覆盖件拉延工艺设计要点

- (1) 拉延方向
- (2) 压料面
- (3) 工艺补充部分设计
- (4) 拉深筋(槛)
- (5) 工艺孔与工艺切口

(1) 拉延方向符合下述原则:

- 1) 保证凸模能够顺利进入凹模，不应出现凸模接触不到的死区；
- 2) 保证成形时凸模与坯料接触状态良好；
- 3) 尽量减少拉深深度的，成形深度尽可能相同。



(a) 不合理 (b) 合理

图 6.34 冲压方向的选择

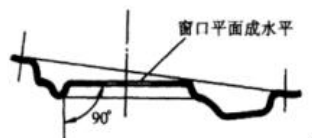


图 6.35 由反成形确定的冲压方向

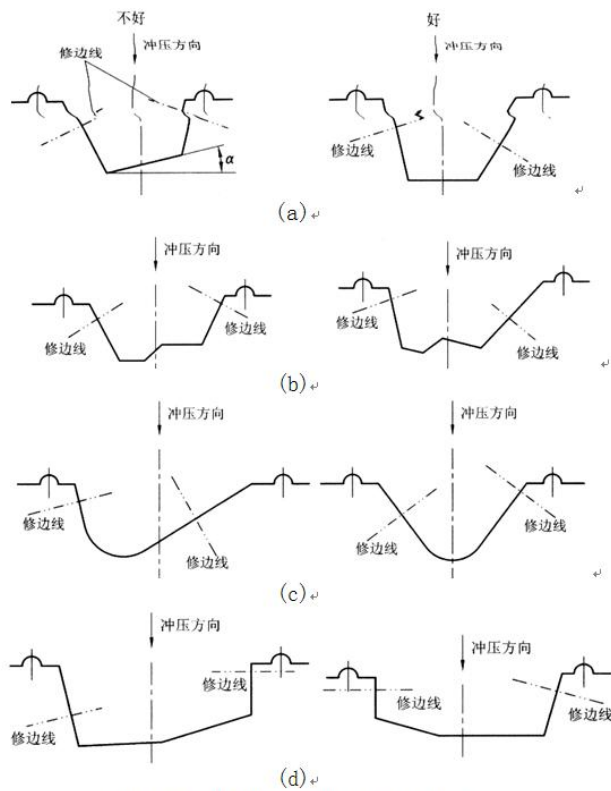


图 6.36 凸模与毛坯的接触状态

(2) 压料面是位于凹模圆角半径 R_d 以外并在拉伸开始时被压边圈和凹模压住的那一部分材料。可以是零件的本身，也可以是工艺补充部分。

- 1) 压料面形状尽量简单，最好为平面，也可设计成锥面、单曲面或平滑的双曲面。
- 2) 压料面应保证凸模对毛料有一定长度的拉深效应。
- 3) 确定压料面要考虑毛坯定位的稳定、可靠和送料与取料的方便。
- 4) 压料面应平滑光滑有利于毛坯往凹模型腔内流动。

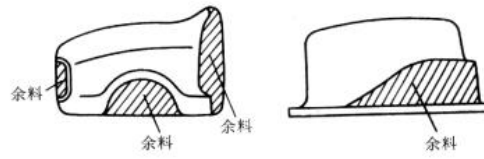


压料面展开长度比凸模表面展开长度短的示意图

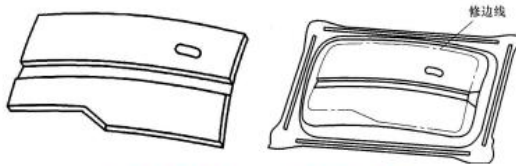
(3) 工艺补充部分设计目的：改善覆盖件成形条件，通过工艺延伸，能形成局部侧壁高度，使拉深件各处拉深深度较为均匀。拉深后将它们修切掉。

工艺补充部分的设计原则：

- 1) 简化拉伸件结构形状；
- 2) 保证良好的塑性变形条件；
- 3) 对后续工序有利；
- 4) 用料尽可能小。



简化拉伸件形状的工艺余料

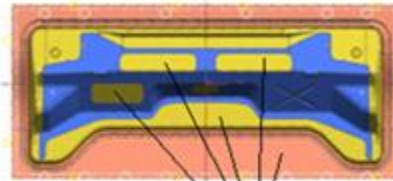


(a)产品示意图 (b) 工艺补充示例

零件简图

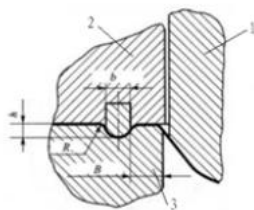


工艺补充示例

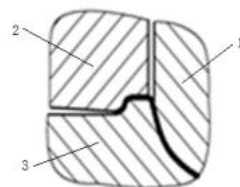


工艺补充

(4) 拉深筋(槛)：主要措施是在凹模口周边的压料面上设置突起或凹进的拉伸筋（或槛），利用拉伸筋（或槛）及压料面上的摩擦提供所需的附加拉力。



(a) 拉深筋

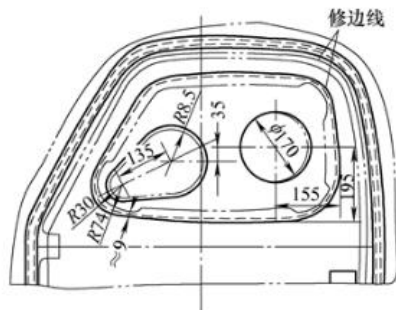


(b) 拉深槛

1-凸模 2-压边圈 3-凹模

(5) 工艺孔与工艺切口

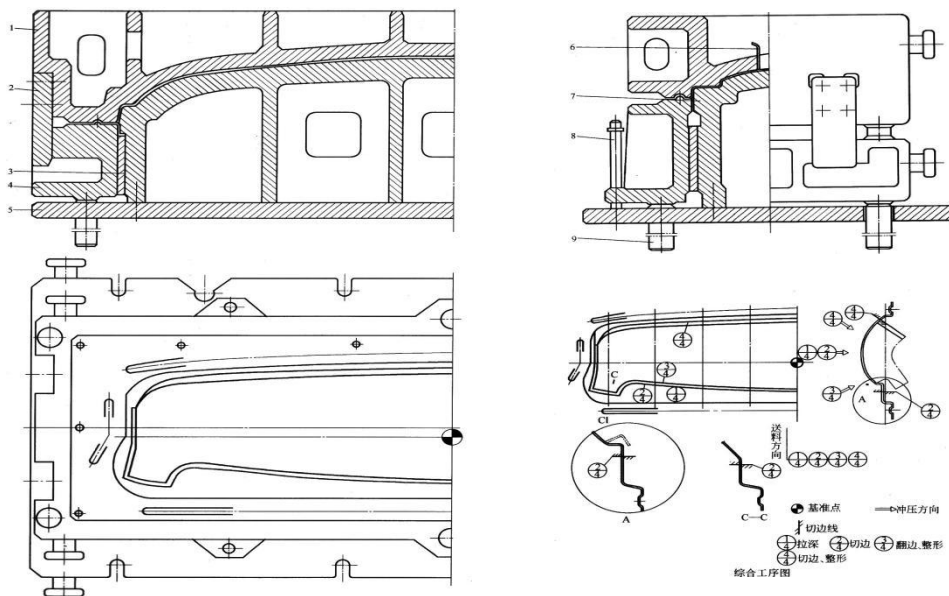
零件的中间部位需要压出深度较大的局部突起或鼓包时，由于不能从毛坯的外部得到材料的补充或本身材料的延伸率不够导致零件局部破裂，此时可考虑在局部变形区的适当部位冲出工艺孔或工艺切口，使容易破裂的区域从变形区内部得到材料的补充。



汽车外门板的工艺切口

2. 覆盖件拉伸模具

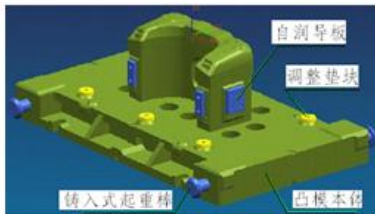
根据拉伸设备的不同，汽车覆盖件拉伸模有在**单动**压力机上拉伸的拉伸模（或称单动拉伸模）和在**双动**压力机上拉伸的拉伸模（或称双动拉伸模）以及在**多动**拉伸设备上进行的拉伸模等几种。



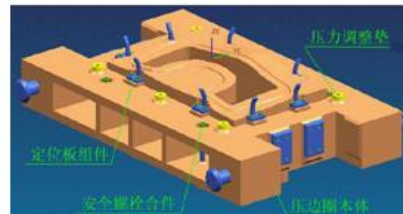


三维拉延模造型

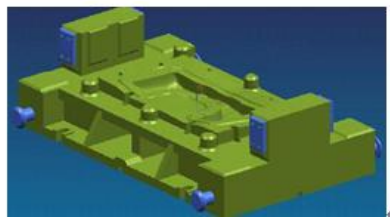
拉延凸模



压边圈



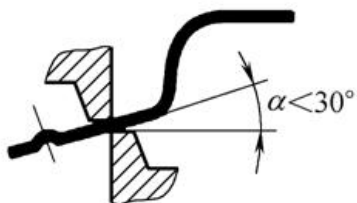
拉延凹模



5.5.3 覆盖件修边工艺与模具

修边就是将拉延件的工艺补充部分和压料凸缘的多余部分切掉，这是保证汽车覆盖件零件尺寸的一道重要工序，通常放在拉延之后，翻边之前。

1. 修边方向



垂直修边

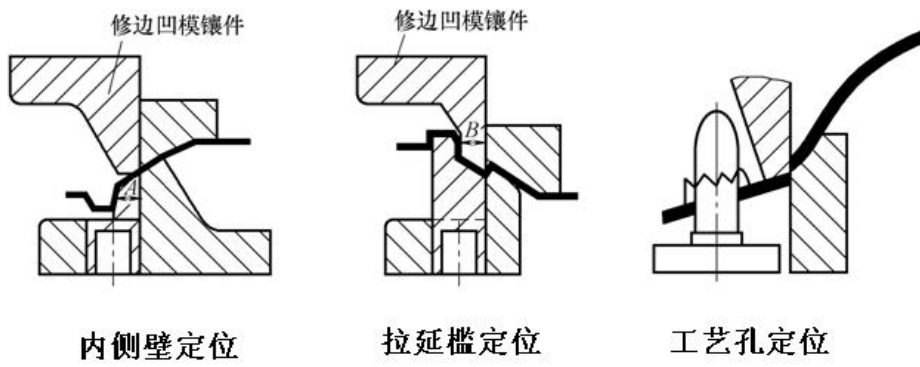


水平修边

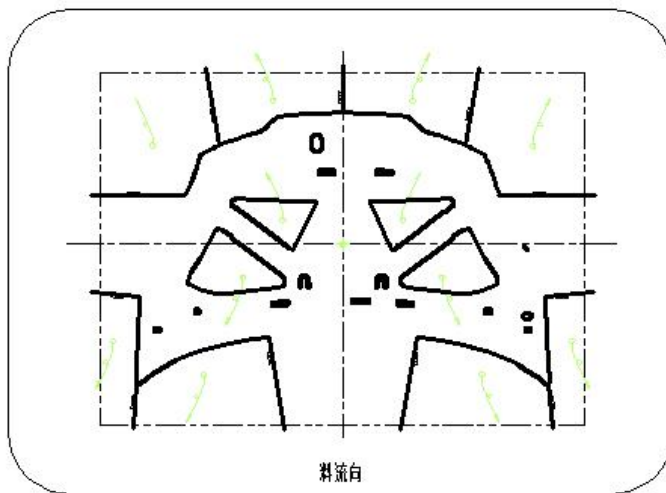


倾斜修边

2. 制件定位



3. 废料分块及排除

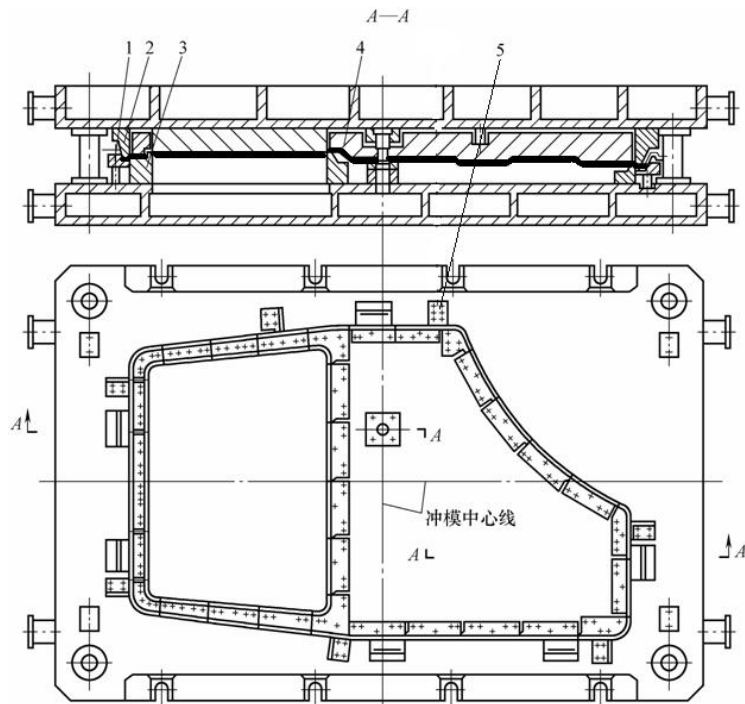


2 修边模的结构

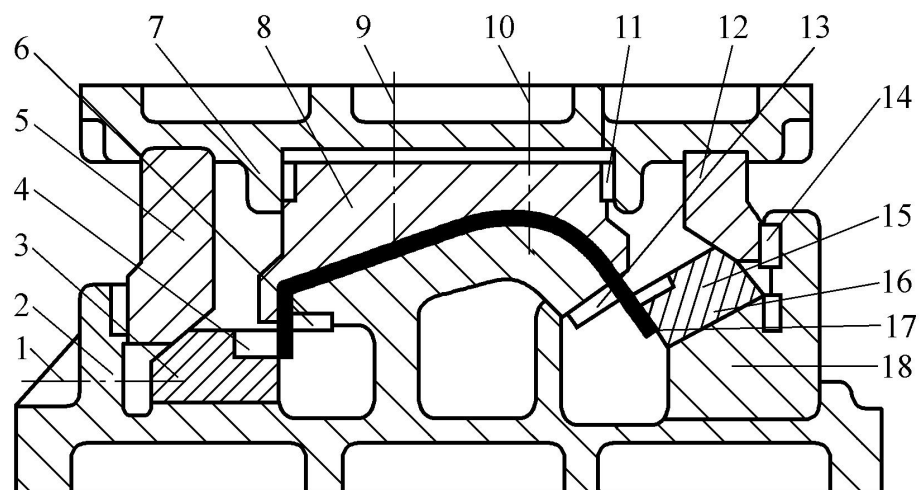
根据修边凸、凹模（刃口镶块）运动方向不同，修边模有：

- 垂直修边模
- 斜楔修边模
- 垂直斜楔修边模

垂直修边模



水平、斜楔修边模

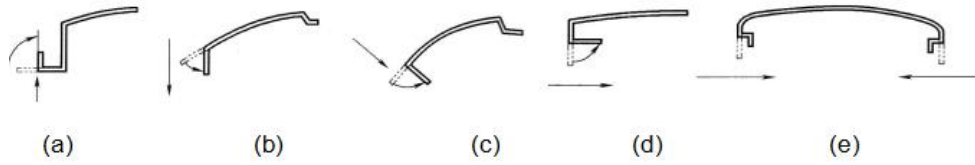


5.5.4 覆盖件翻边工艺与模具

翻边是在成形毛坯的平面部分或曲面部分上使板材沿一定的曲线（翻边线）翻成竖立的边缘的冲压加工方法。对于一般的覆盖件来说，翻边通常是冲压工艺的最后成形工序。

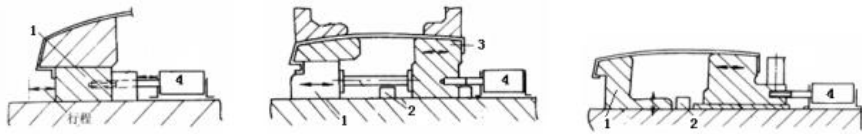
(1) 翻边方向的确 定:

根据翻边凸、凹运动方向不同, 有垂直方向翻边、水平方向翻边和倾斜翻边。



(a)、(b) 垂直翻边 (c) 倾斜翻边 (d)、(e) 水平翻边

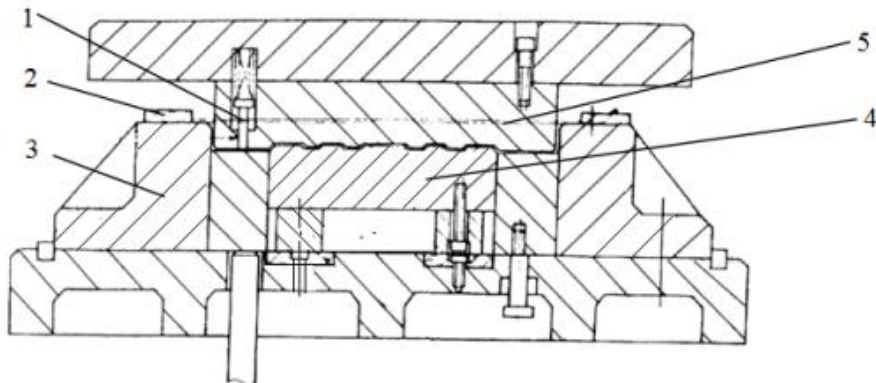
(2) 翻边工序件的定位: 工序件的定位准确直接影响覆盖件的质量。对于垂直方向的翻边, 用制件的侧壁、外形或本身的孔定位; 对于水平或倾斜方向的翻边, 通常以制件的内侧壁初定位; 如果制件上本身有孔, 则可用孔定位。



(a) 气缸退件器 (b) 退件器与活动定位装置连接在气缸上退件 (c) 退件器固定在活动定位装置上退件

(3) 翻边模的退件与出件方式: 用气缸直接作退件器; 退件器与活动定位装置连接在气缸上共同组成退件机构进行退件; 退件器固定在活动定位装置上再与气缸连接共同组成退件机构。

翻边模的结构

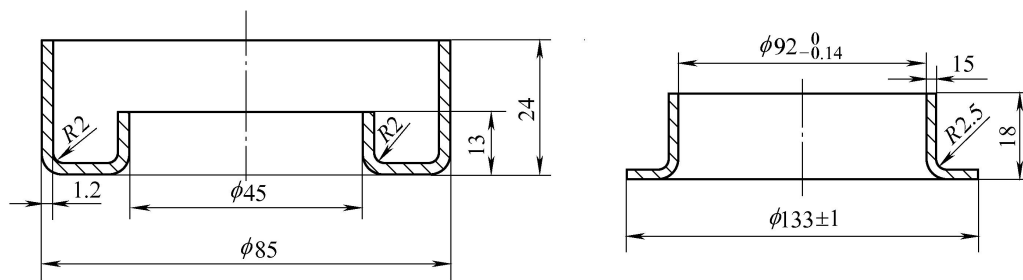


垂直翻边模结构示意图

1-顶料销 2-定位板 3-凹模 4-顶料板 5-凸模

思考与练习题 5

1. 在翻边、胀形、缩口等成形工序中，由于变形过度而出现的材料损坏形式分别是什么？
2. 缩口与拉深工序在变形特点上有何相同与不同的地方？
3. 旋压成形有何特点？
4. 简述覆盖件成形特点和成形工艺设计原则。
5. 工艺补充面的作用是什么？它可分为几种类型？
6. 为减小翻边的变薄量，先压出凹窝再冲孔翻边。图 49 虚线所示的两种成形形状，那一种形状对减小翻边变薄更有效？
7. 试分析确定图 50 所示各零件的冲压工艺方案，并设计图 a 所示零件的 45 圆孔翻孔模结构。



模块六 级进冲压工艺与模具设计

教学目标:

1. 了解级进模的特点及类型；
2. 了解各类级进模的机构；
3. 掌握多工位级进模工艺设计和结构设计；
4. 支架零件级进模设计。

教学重点:

1. 多工位级进模工艺设计和结构设计；
2. 支架零件级进模设计（实际应用设计）。

教学难点： 支架零件级进模设计

素质（思政） 内容与要求：

1.引导学生认识多工位级进模的应用，强调其在提高生产效率中的重要性，培养学生对现代制造技术的前瞻性思维。同时，引导学生关注先进制造技术的发展，激励他们在未来的工作中不断追求创新，促进行业的进步与发展。

2.通过示例学习，激发学生的设计灵感，鼓励其在设计中不断尝试新思路，展示个人的创新能力。在结构设计中，培养学生对工程设计责任感，鼓励其在实际操作中不断提高设计水平与创新能力。

3.通过具体案例的学习，培养学生的实际应用能力，鼓励其在设计中关注实用功能与经济性的结合，树立为社会服务的意识。

教学手段： 讲授、演示、提问

教学学时： 6

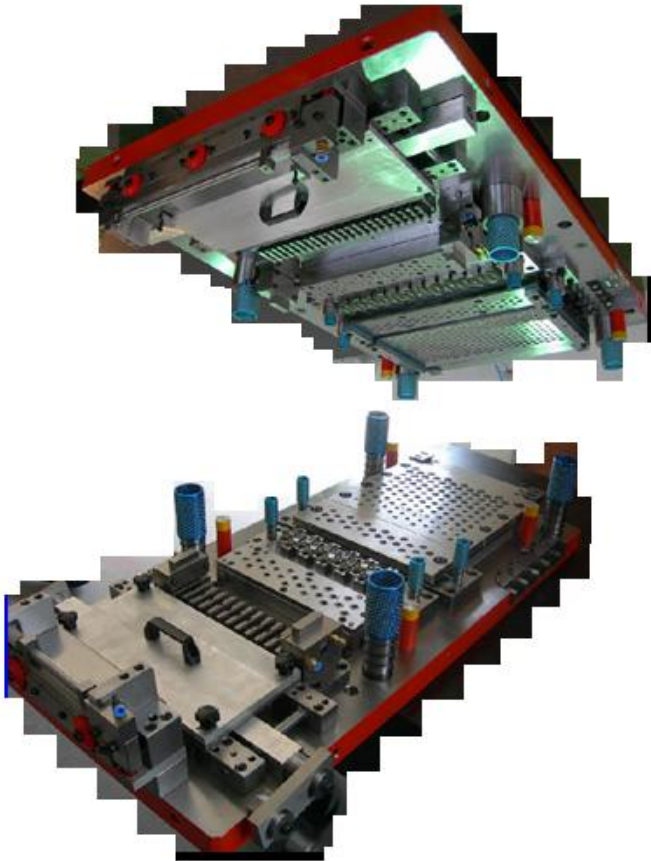
教学内容：

概 念

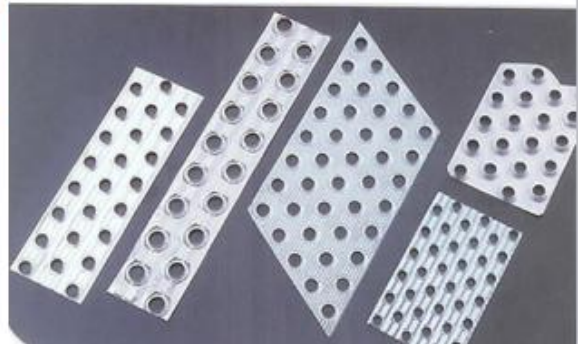
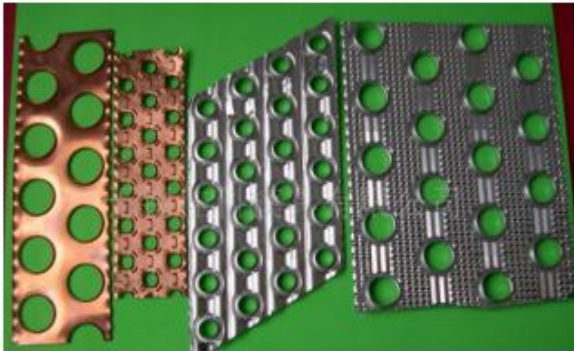


空调翅片模具

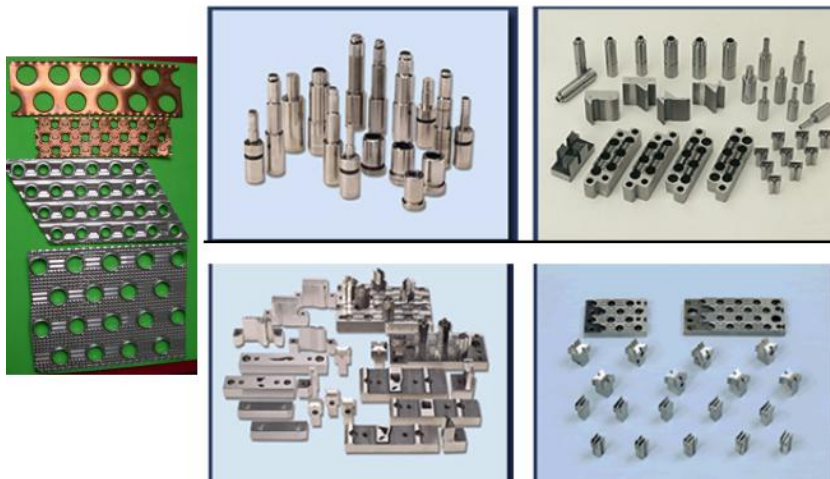




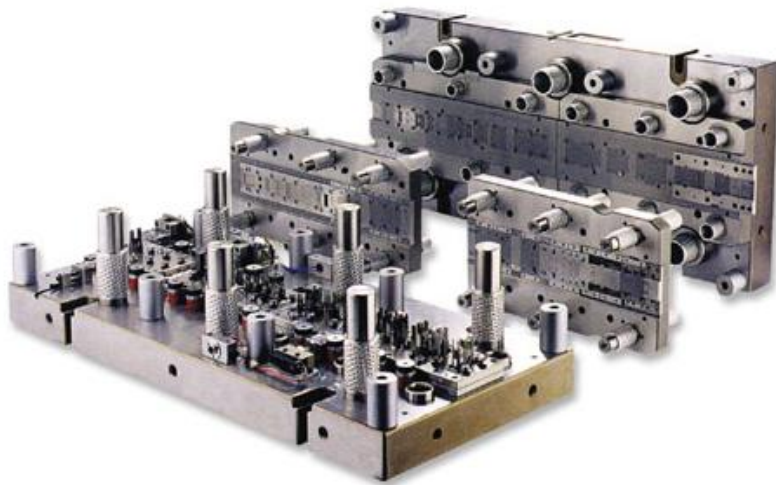
空调翅片



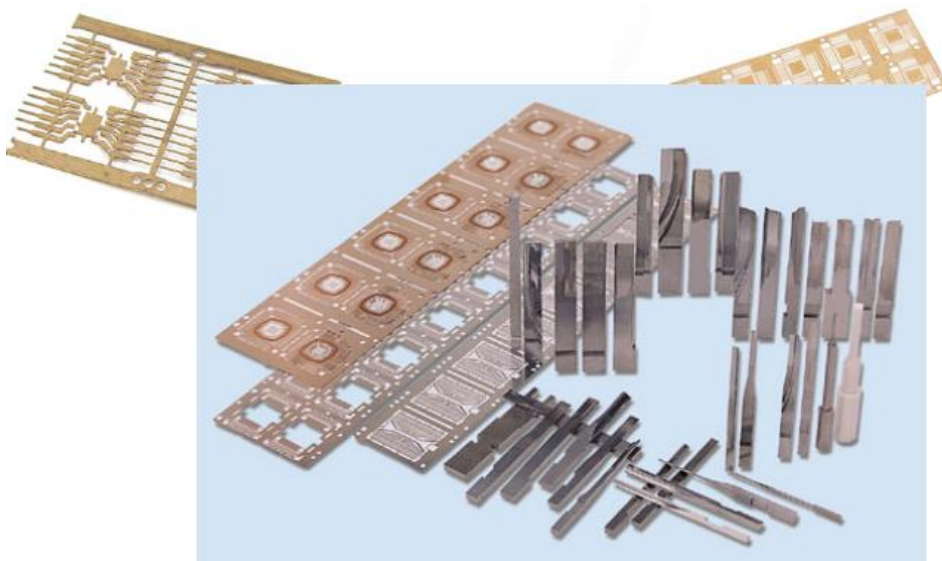
冲制空调翅片凸、凹模



引线框模具



集成电路中的引线框及模具零件

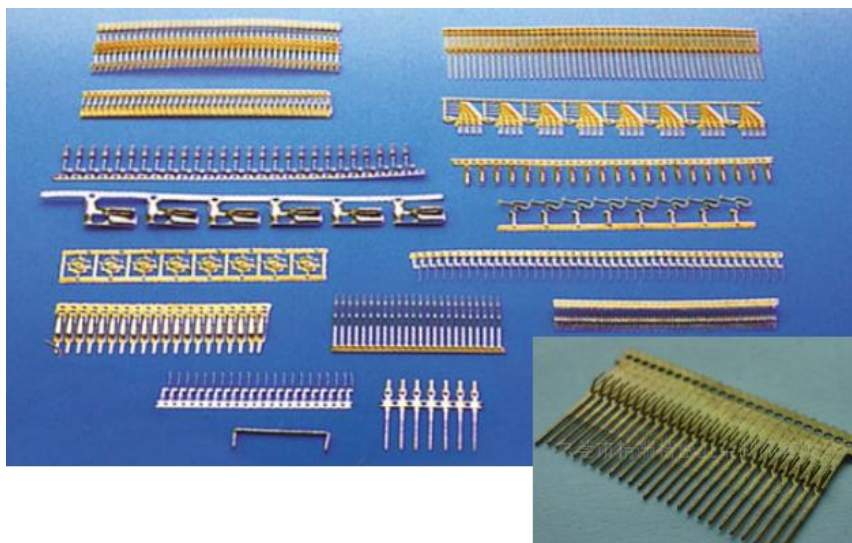




定转子冲片



接插件端子





易拉罐罐盖及拉环



多工位级进冲压的概念

多工位级进冲压是指在压力机的一次行程中，在送料方向连续排列的多个工位上同时完成多道冲压工序的冲压方法。

这种方法使用的模具即为多工位级进冲压模具，简称级进模，又称连续模、跳步模、多工位级进模。

无论冲压件的形状如何复杂，冲压工序怎样多，从理论上来说均可以用一副多工位级进模来冲制完成

多工位级进模的分类



按所完成的主要冲压工序性质分：

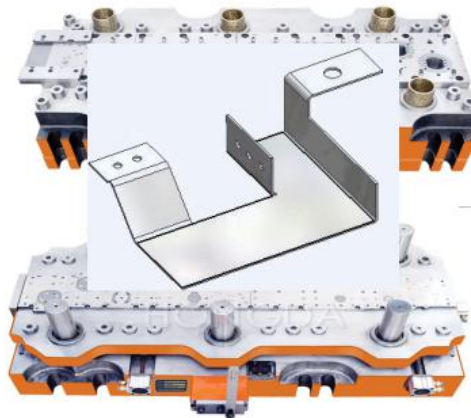
- 1) 多工位级进冲裁模具
- 2) 多工位级进冲裁成形模具

按所能完成的功能分：

- 1) 多工位级进冲压模具
- 2) 多功能多工位级进冲压模具

按所冲零件的名称分：

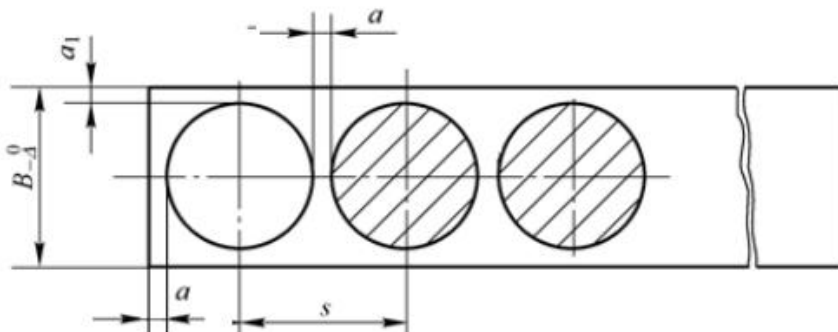
- 1) 集成电路引线框架级进模
- 2) 电动机铁心片级进模
- 3) 电子连接器级进模
- 4) 空调器翅片级进模

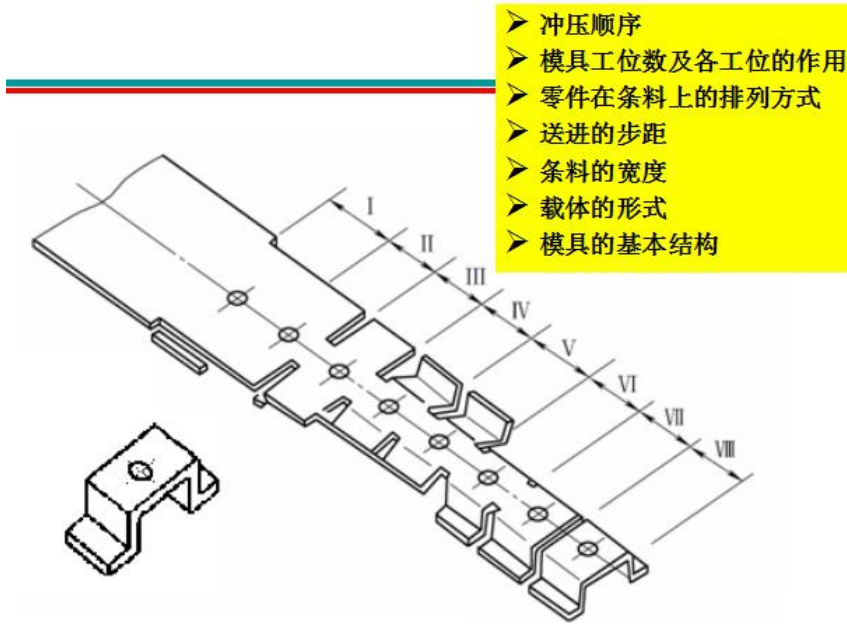


6.1 多工位级进模的排样设计

排样是指**冲裁件**在板料、条料、带料上的布置方式。

排样的结果用排样图表达。**级进模设计的关键。**

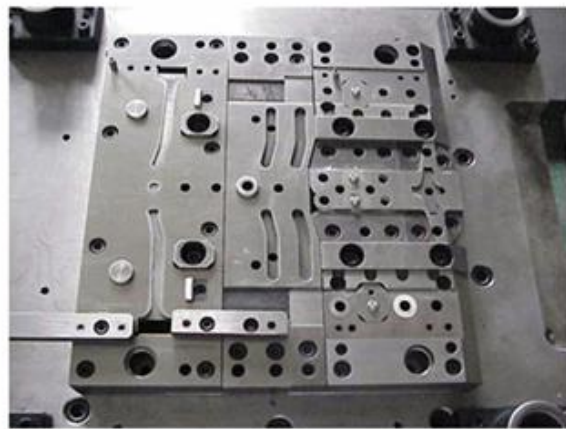
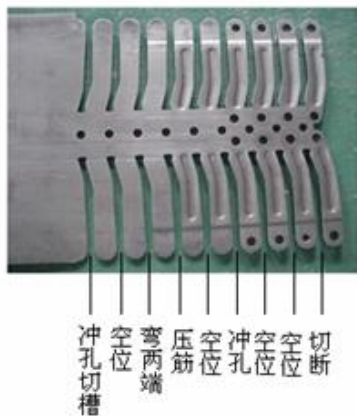




级进模排样图包含的主要内容

- 冲压顺序
- 模具工位数及各工位的作用
- 零件在条料上的排列方式
- 送进的步距
- 条料的宽度
- 载体的形式
- 模具的基本结构

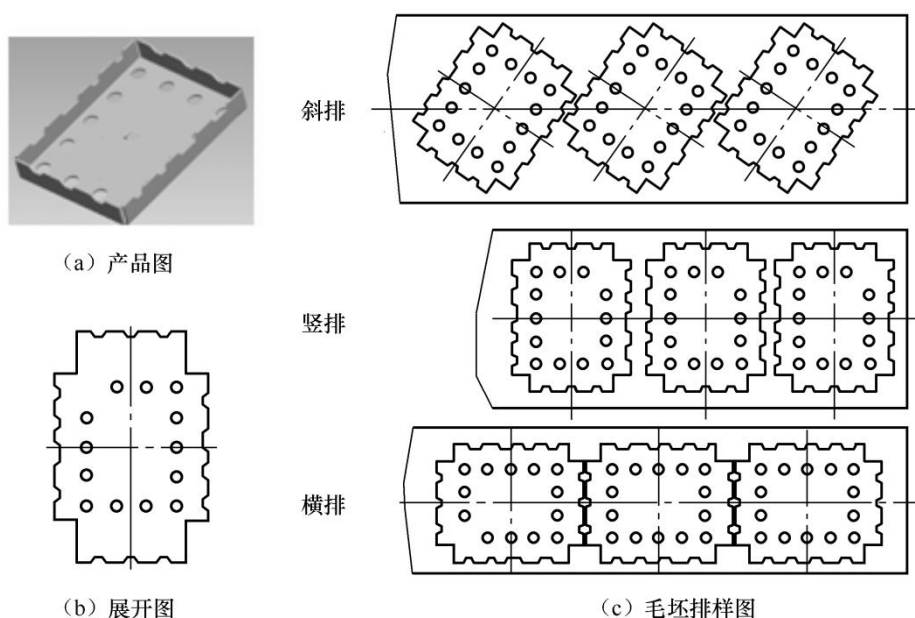
排样与模具实物对照



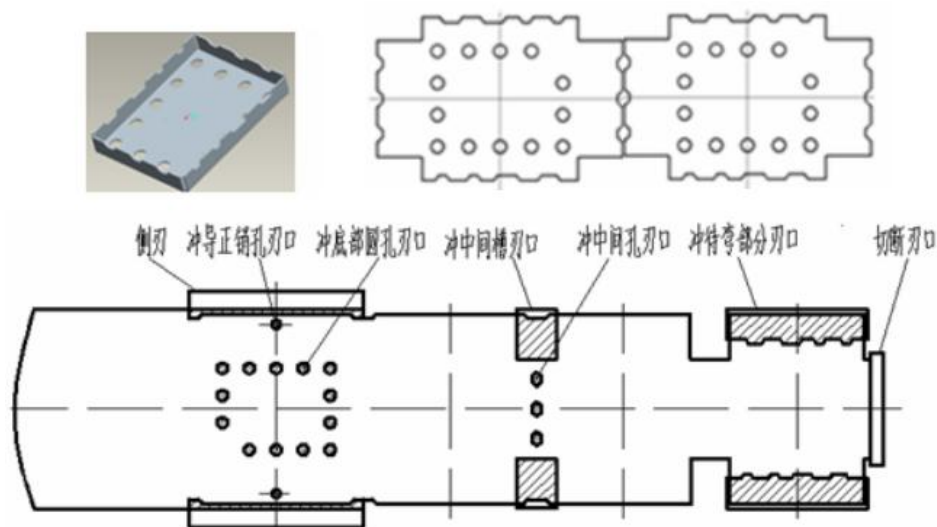
排样设计的内容

- 1) **毛坯排样**: 用于确定毛坯（展开后的形状）在条料上的截取方位和相邻毛坯之间的关系。
- 2) **冲切刃口外形设计**: 针对复杂几何外形的工件，其外形需分解进行多次冲切时，需在工序排样前解决冲切刃口外形设计。
- 3) **工序排样**: 确定模具有多少工位组成，每个工位的具体加工工序等。

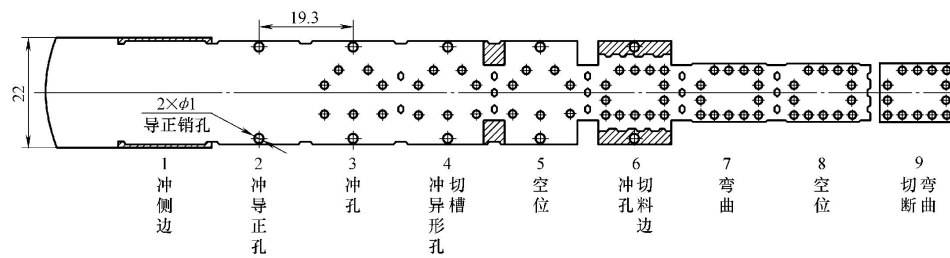
屏蔽盖毛坯排样图



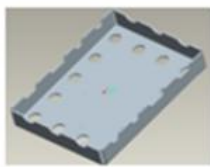
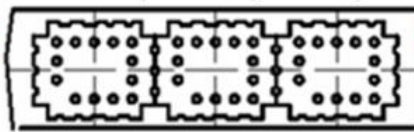
屏蔽盖的冲切刃口外形设计



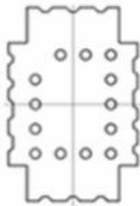
屏蔽盖的工序排样图



毛坯排样

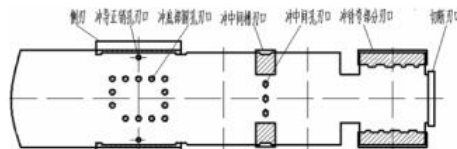


a) 产品图

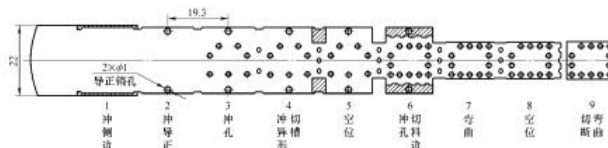


b) 展开图

冲切刃口外形设计

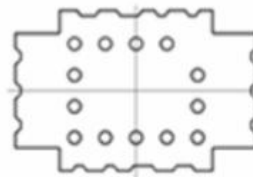
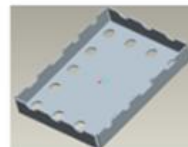


工序排样

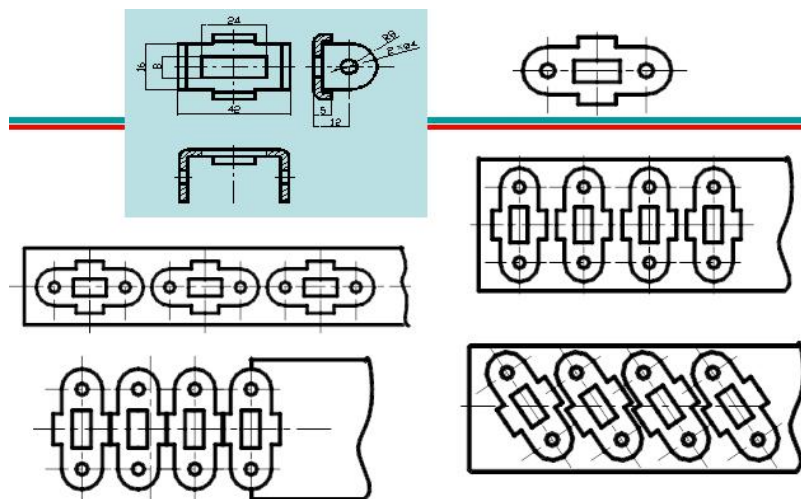


毛坯排样是指**毛坯**在条料上的布置方式。需要解决:

- 1) 毛坯排样方式的选择
- 2) 搭边值的确定
- 3) 进距的确定
- 4) 条料宽度的确定
- 5) 选择板料及裁板方式的确定



毛坯是指冲压件展开后的平板毛坯

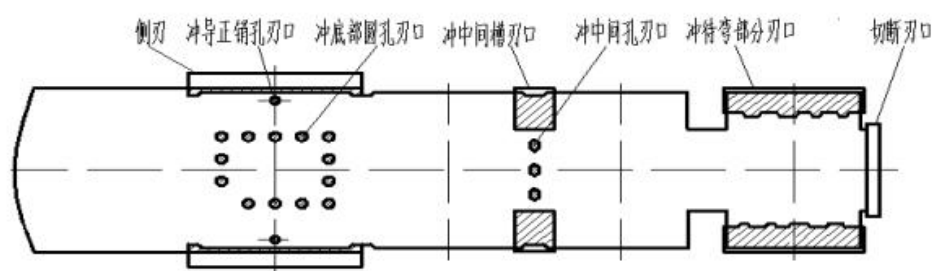


毛坯排样方案：具有多样性，即同一个毛坯，其在条料上的布置方式是多样的。

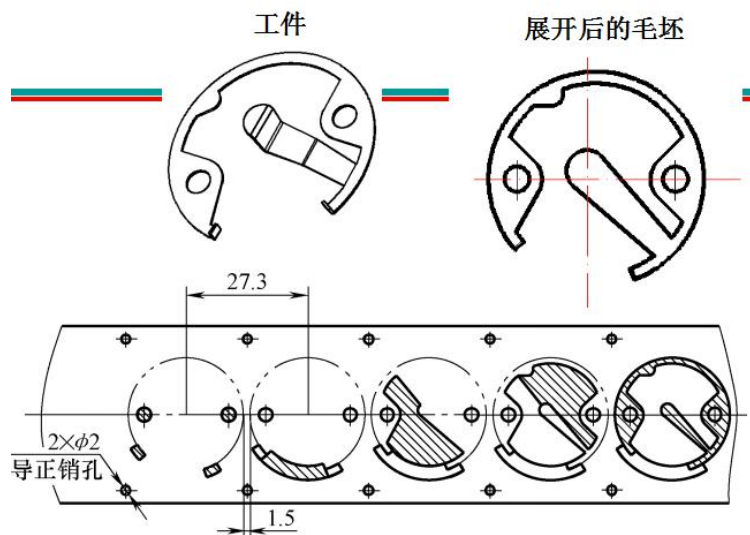
冲切刃口外形设计

冲切刃口外形设计是指对具有复杂外形或内孔的零件的几何形状进行分解或成形工序的需要，以确定零件形状的冲压顺序，是工序排样前必须完成的设计工作。主要是凸、凹模刃口形状的设计，主要需要解决 2 个问题：

- 轮廓的分解与重组
- 轮廓分解时分段搭接头的基本形式



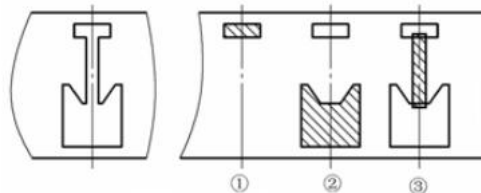
屏蔽盖的冲切刃口外形设计



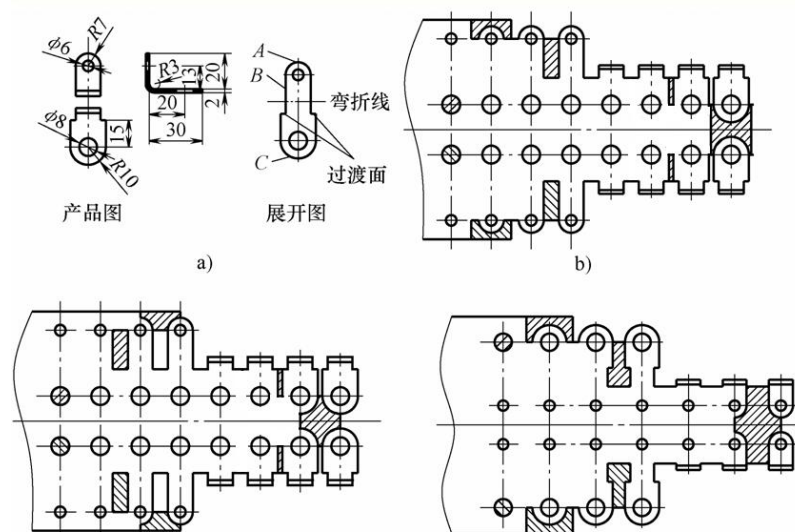
1. 轮廓的分解与重组

冲切刃口的设计原则：

- 保证产品的形状、尺寸、精度和使用要求。
- 有利于简化模具结构。
- 各段间的连接应平直或圆滑。
- 注意选择搭接点的位置并尽可能减少搭接点数量。
- 有公差要求的边或在使用中有滑动配合要求的应一次冲切。
- 复杂外形或内孔应分解，有窄槽或细长臂的部位最好分解。
- 外轮廓各段毛刺方向有不同要求时应分解。
- 刃口分解应考虑加工方便

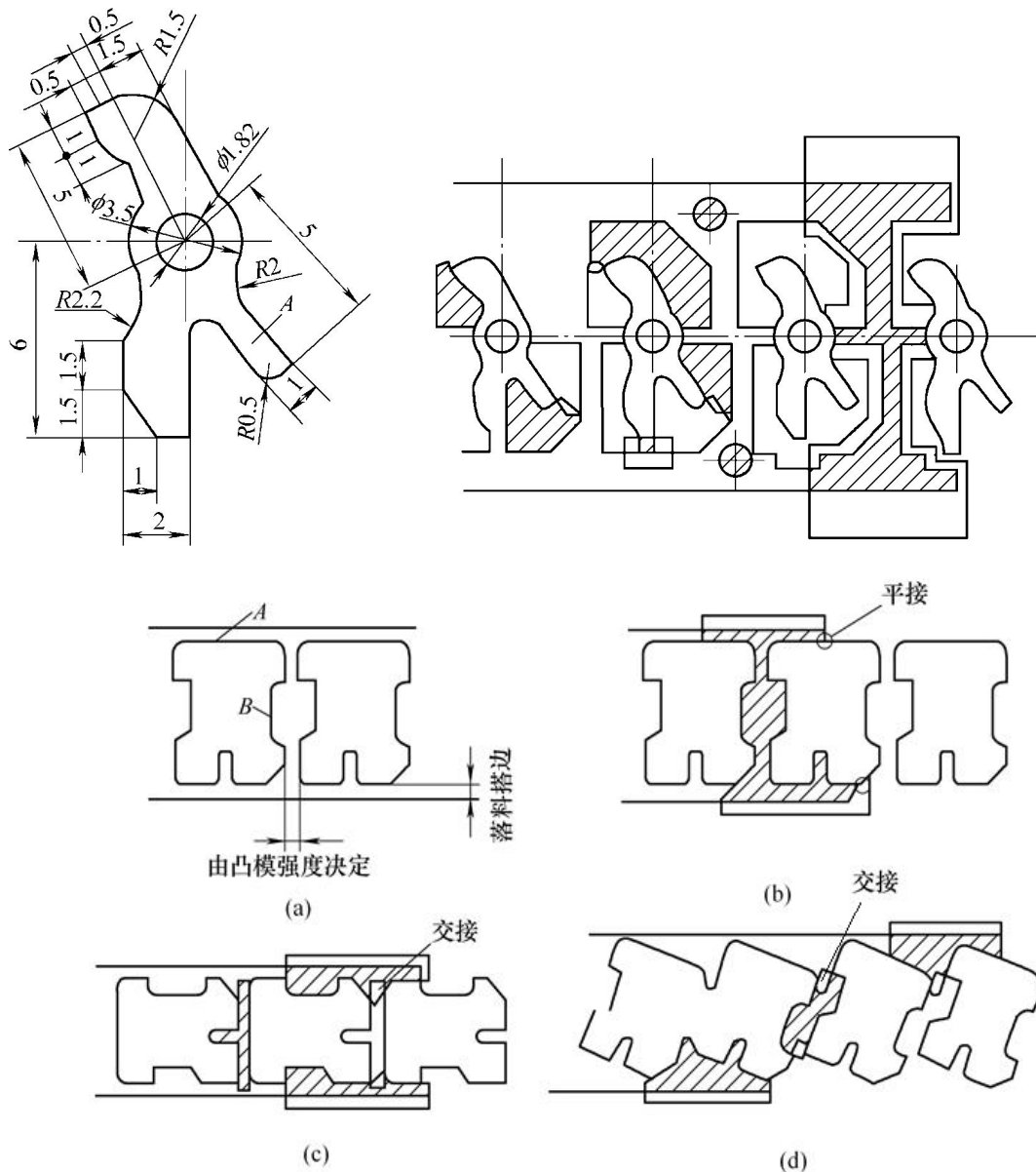


刃口分解不唯一

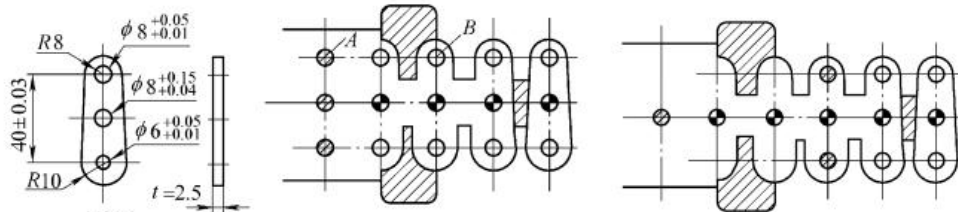


2. 轮廓分解时分段搭接头的基本形式

- 1) **交接**: 即毛坯轮廓冲切刃口分解与重组后, 新的冲切刃口之间相互交错, 有少量重叠部分。
- 2) **平接**: 把零件的直边段分两次冲切, 两次冲切刃口平行、共线, 但不重叠。
- 3) **切接**: 是毛坯圆弧部分分段冲切时的达接形式, 即在前一工位先冲切一部分圆弧段, 在后续工位上再冲去其余部分, 前后两段应相切。

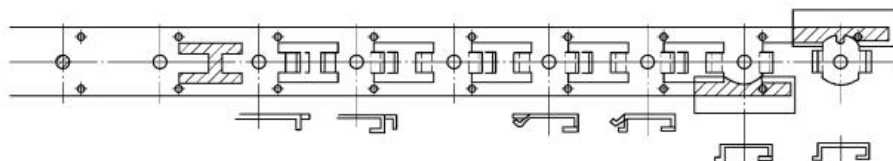


三种搭接形式比较



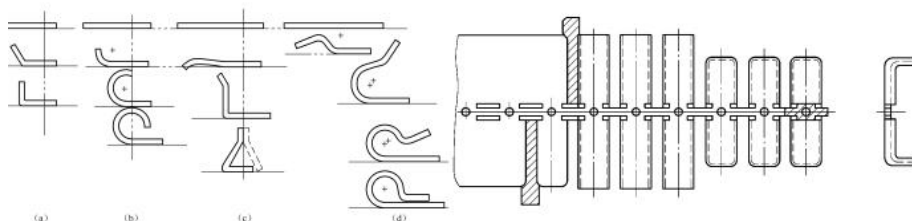
(2) 级进弯曲工序排样要遵循以下原则：

- 1) 带孔的弯曲类零件，一般先冲孔，再冲切掉需要弯曲部分的周边材料，然后再弯曲，最后切除其余废料；
- 2) 压弯时应先弯外面再弯里面，弯曲半径过小时应加整形工序；



- 3) 毛刺方向一般应位于弯曲区内侧，以减少弯曲破裂的危险，改善产品外观；
- 4) 弯曲线应安排在与纤维方向垂直的方位或成一定角度；
- 5) 弯边处的孔有精度要求时，应安排在弯曲后冲；
- 6) 尺寸精度要求高的弯曲件应设整形工艺；

7) 在一个工位上，弯曲变形程度不宜过大，复杂弯曲件应进行分解

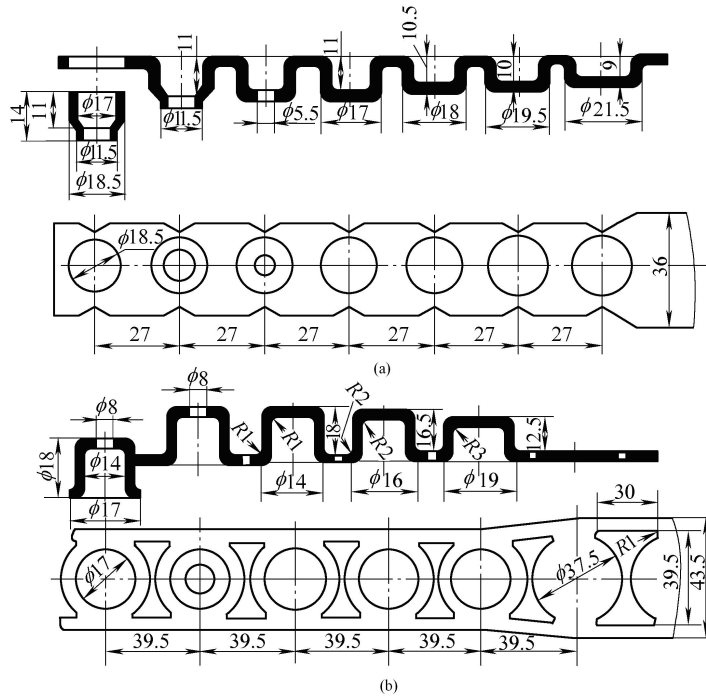


- 8) 对小型不对称弯曲件应尽量对称弯曲，见图5.11。
- 9) 尽可能以冲床行程方向作为弯曲方向。
- 10) 对宽度较窄的弯曲件应将其宽度方向作为送料方向。

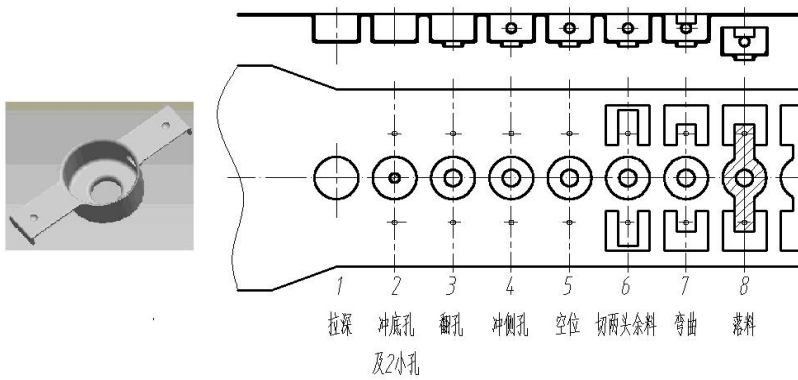
3) 级进拉深的工序排样是通过带料以载体、搭边和工序件连在一起的组件形式连续送进成形。

级进拉深工序排样应遵循的原则：

- 1) 保证条料的搭边和载体有足够的强度。
- 2) 在最末的落料工位前设置整形工位，可以确保产品质量。
- 3) 拉深件底部有较大孔时，可以在拉深前先冲较小的预备孔。
- 4) 适当增加空位，便于在试模过程中调整拉深次数，并保证载体的刚性。
- 5) 适当采用工艺切口，以改善拉深条件。
- 6) 要考虑废料的切断处理。
- 7) 对于有拉深又有弯曲和其他冲压工序的制件，应先拉深，再安排其他冲压工序。



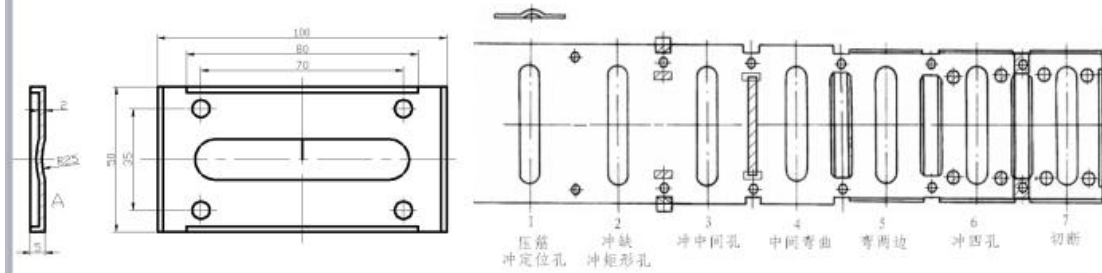
切口形式



(4) 含局部成形工序的工序排样

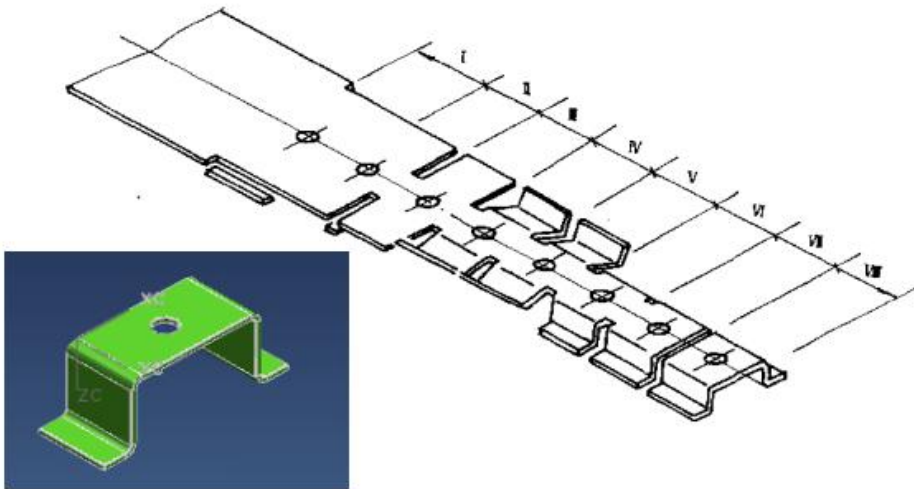
应遵循如下原则：

- 1) 对于有局部成形的带孔件，若孔距离局部成形区较近，应先成形再冲孔（图）。
- 2) 轮廓旁的鼓包要先冲，以避免轮廓变形。若鼓包中心线上有孔，应先冲出小孔，待鼓包压成后再将孔冲到需要的尺寸。
- 3) 在进行有局部压扁的冲压件的排样设计时，在压扁前应将其周边余料适当切除，压扁后再进行一次精确冲切。



2.载体设计

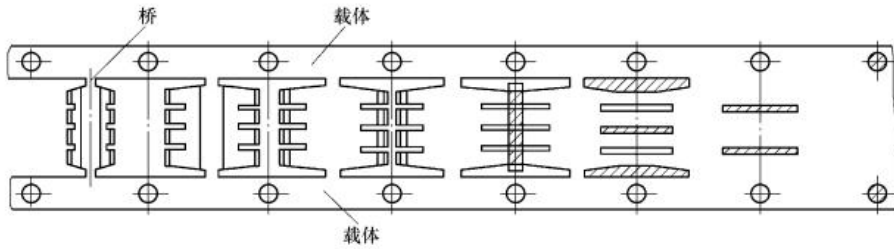
载体是级进冲压时，条料上连接工序件并将工序件在模具上稳定送进的部分材料。



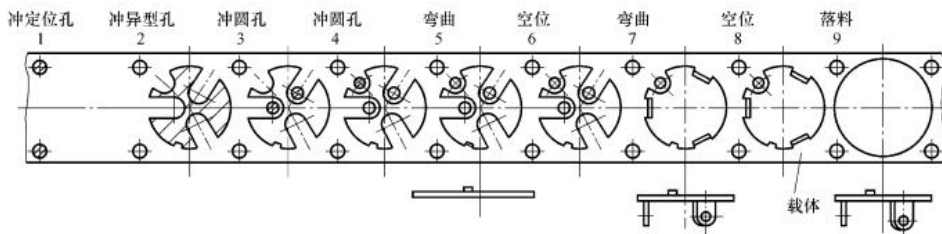
载体的类型：

- 边料载体
- 单侧载体
- 双侧载体
- 中间载体

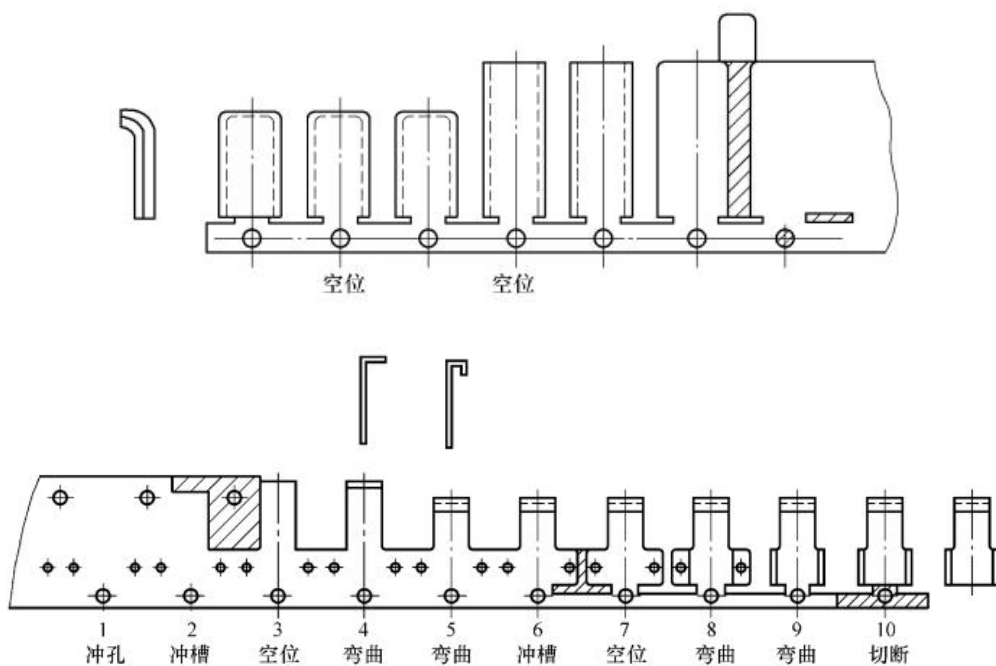
边料载体是利用毛坯搭边废料作为载体的一种形式，此时沿整个工件周边都有废料。



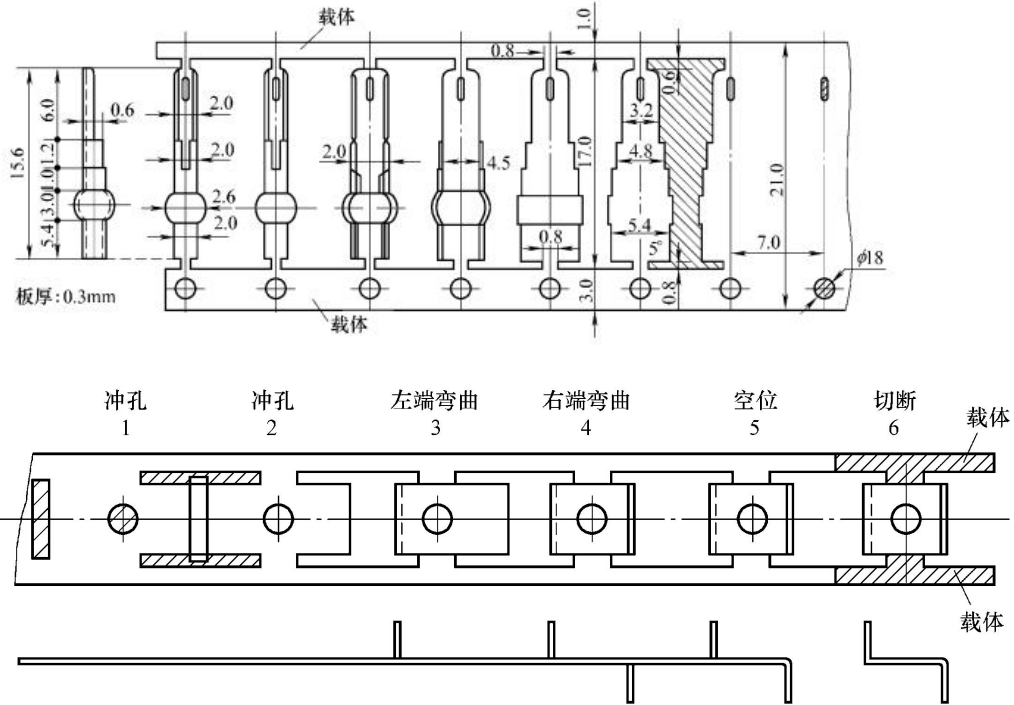
边料载体



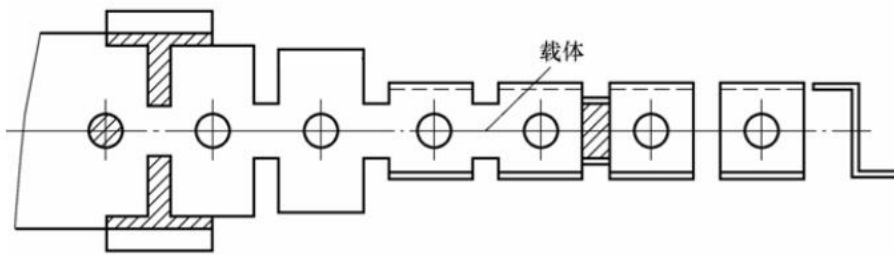
单侧载体简称单载体，是指在条料的一侧留出一定宽度的材料，并在适当位置与工序件连接，实现对工序件的运载。



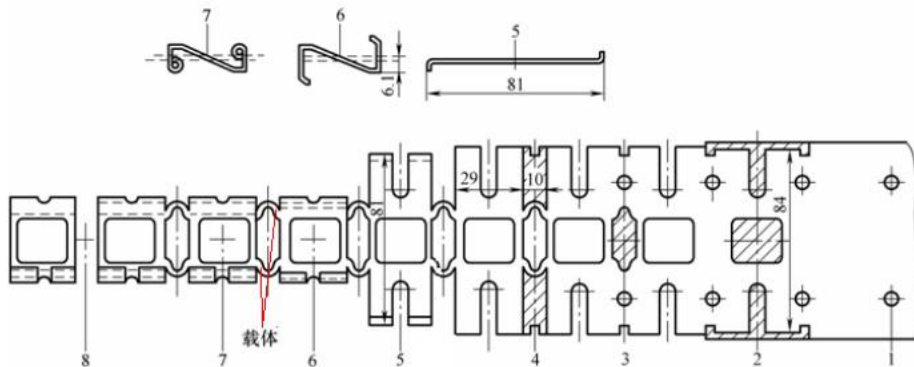
双侧载体（又称标准载体）是在条料两侧分别留出一定宽度的材料运载工序件。有等宽双载体和不等宽双载体2种。



中心载体是指在条料的中间留出材料运载工序件。分单中载体和双中载体2种。



双中载体



3. 空工位设置

设置空位的目的为提高模具强度，保证模具寿命和产品质量以及模具中设置特殊机构（如斜楔机构）或是为了试模时调整工序用。

遵循的原则：用导正销做精确定位时可多设置空位；步距小时（一般小于8毫米）可多设置空位；形状简单、精度要求低时可多设置空位；否则应少设空位，以免增加模具尺寸，增大累计误差。

4. 定位形式选择与设计

(1) 定距形式选择

进距（或步距）是指条料在模具中逐次送进时每次应向前移动的距离。

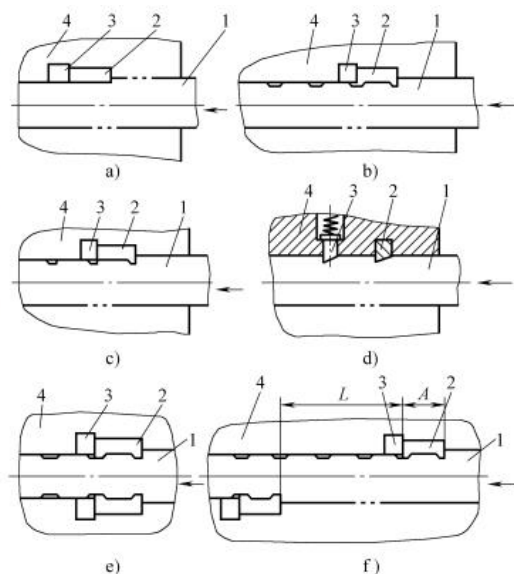
多工位级进模的定距形式主要有三种：

- 侧刃定距。
- 侧刃与导正销联合定距。
- 自动送料装置与导正销、侧刃联合定距。

1) 侧刃定距

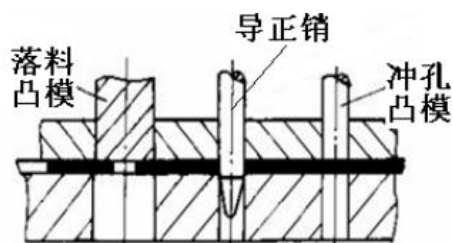
当侧刃单独做定距零件时，侧刃定距在料厚 $t=0.1\text{mm}\sim 1.5\text{mm}$ ，工位数不多的纯冲裁级进模中是一种比较常用的定距方式。

侧刃可以是单侧刃也可以用双侧刃



2) 侧刃与导正销联合定距

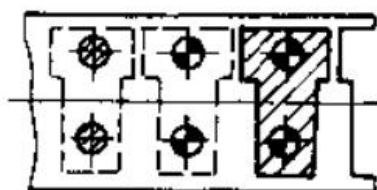
即以上模中的导正销插入条料上的导正孔以矫正条料的位置，保证凸、凹模和工序件之间具有正确的位置。



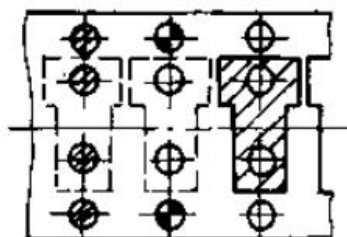
- 侧刃冲侧边与导正销孔的冲切均在第一工位完成。
- 侧刃起粗定位，导正销起精确定位。
- 注意导正销的长度。
- 模具的工作顺序是：导正销先导正，接着卸料板压料，最后冲压。

导正方式

直接导正



间接导正



直接导正是利用产品零件本身的孔作为导正孔，导正销可安装于凸模之中，也可专门设置。

间接导正是利用载体上或废料上专门的导正孔进行导正。

导正销设置原则：

- (1) 导正孔要在第一工位冲出，紧接的工位上要有导正销，在以后的工位上，根据工位数优先在容易窜动的工位设置导正销。
- (2) 重要的加工工位之前要有导正销。
- (3) 必须要设置导正销而又与其他工序干涉时，可设置空位。
- (4) 尽可能采用间接导正，这样可用较大的导正销。

导正销不能单独定距，必须与侧刃或自动送料装置等配合使用。

3) 导正销、侧刃与自动送料装置混合定距

导正销与自动送料装置混合使用在高速（400次/min以上）、精密（定距定位精度 $\leq \pm 5\mu\text{m}$ ）、自动化冲压生产中是一种比较常用的定距定位方式。

自动送料装置和侧刃起粗定位，导正销仍然起精确定位，导正销孔的设置如前所述，被导正的工位数应占总工位数的一半。

5. 步距设计

进距精度

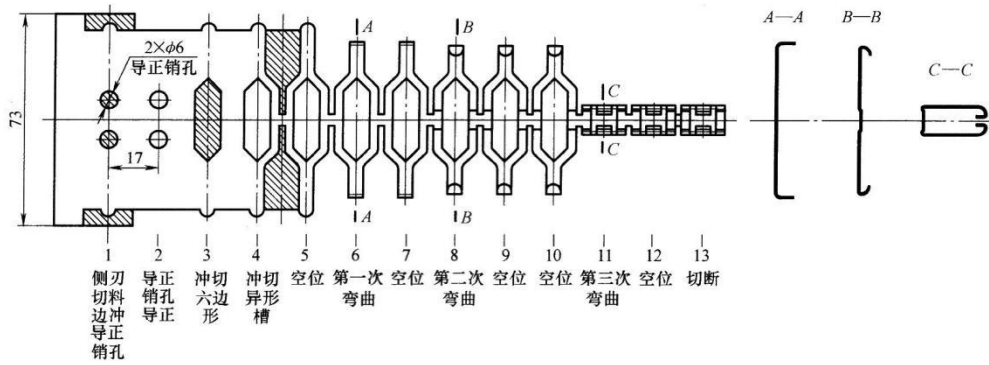
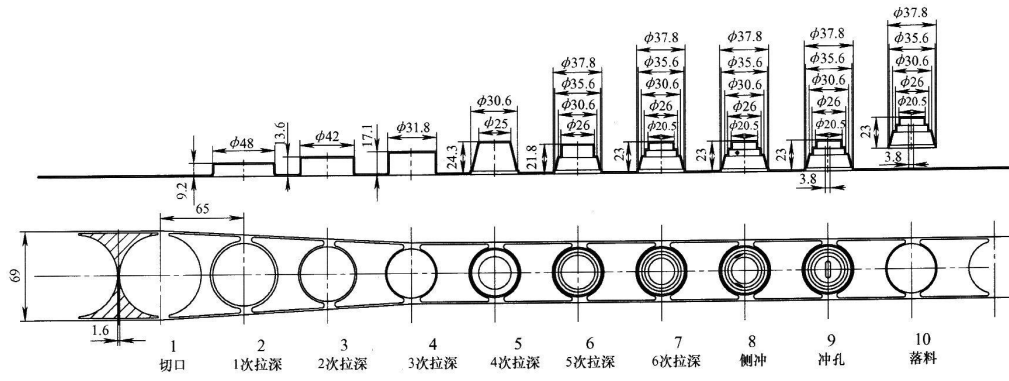
进距精度：即允许的进距公差范围。

$$\delta = \pm \frac{b}{2^3 \sqrt{n}} K$$

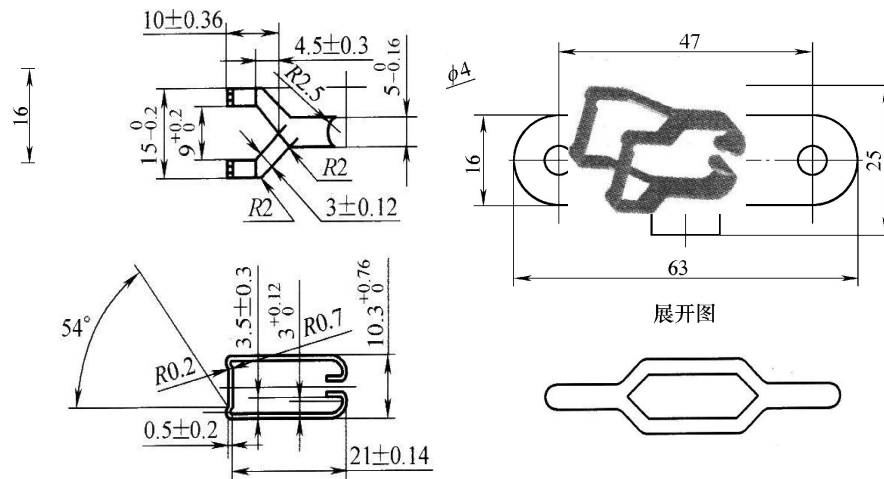
6. 排样图的绘制

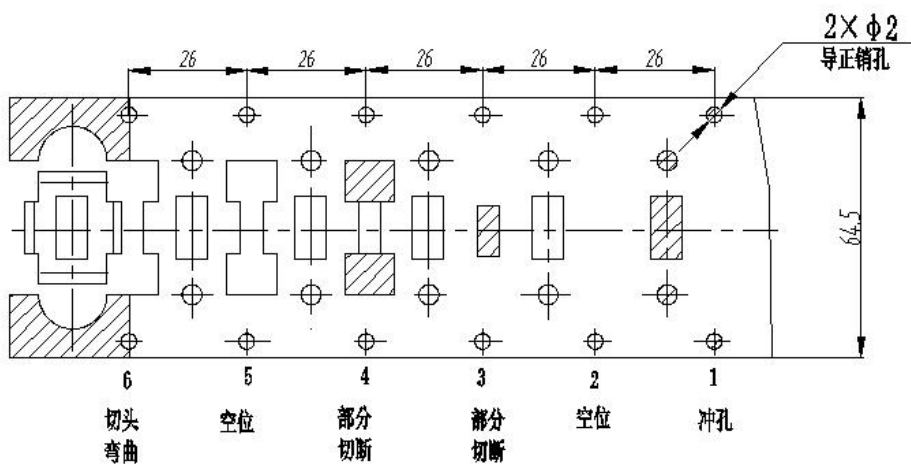
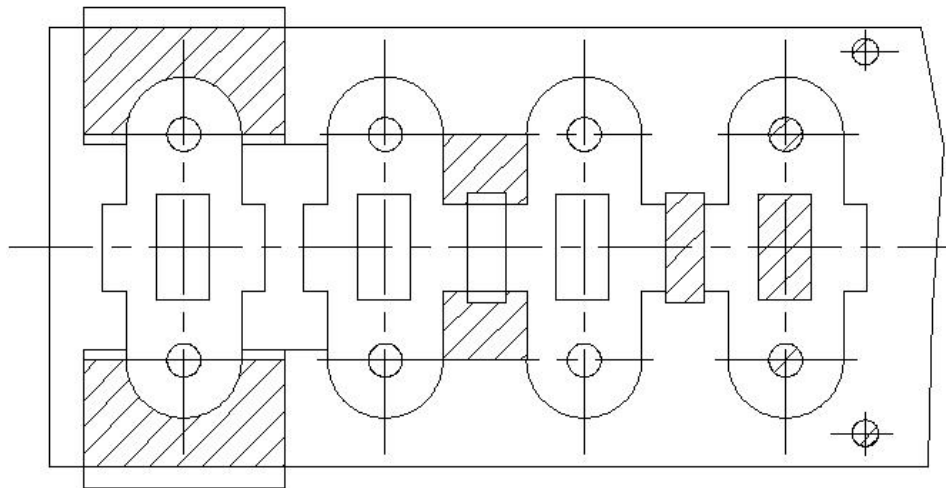
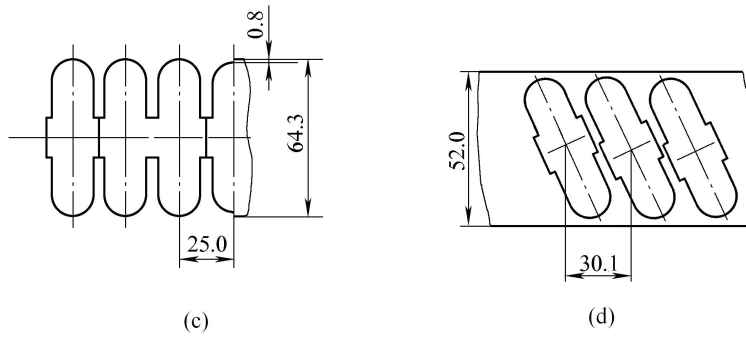
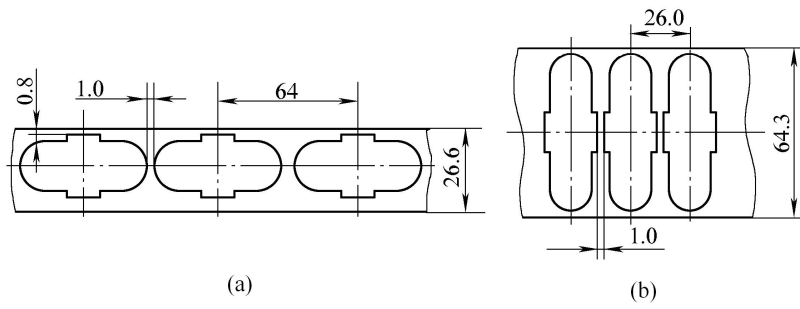
- 1) 首先绘制一条水平线，再根据确定的进距绘出各工位的中心。
- 2) 从第一工位开始，绘制冲压加工的内容。
- 3) 再绘第二工位的加工内容，此时第一工位加工好的形状也应该绘出。
- 4) 绘制第三工位的加工内容，即使是空位也应绘出，并且第一、第二工位所加工出的形状也应该表达。
- 5) 以此类推，直到绘完所有工位。
- 6) 检查各工位的内容是否绘制正确，对不正确的地方进行修改。
- 7) 检查完后再绘制出条料的外形。
- 8) 为便于识图，每个工位的加工内容可以画上剖面线或分别涂上不同的颜色
- 9) 标注必要的尺寸，即进距、料宽、导正销孔径、侧刃所冲料边宽度等，并注上送料方向、工位数及各工位冲压工序名称。

级进冲裁排样图——一个视图表达



7. 排样图设计举例





6.2 多工位级进模典型结构

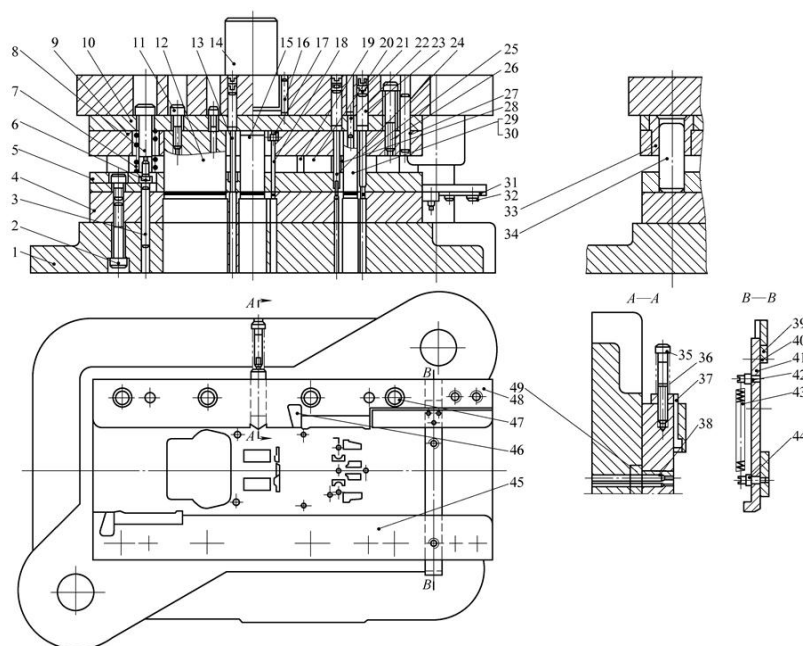
可以分为:

多工位级进冲裁模具、

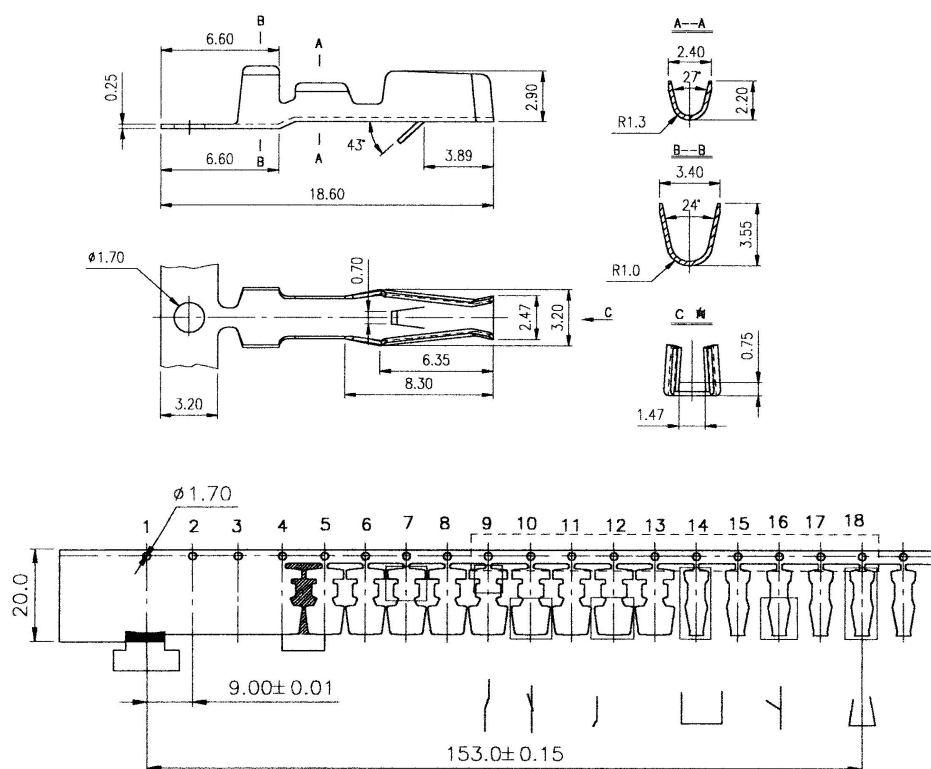
多工位级进冲裁弯曲模具、

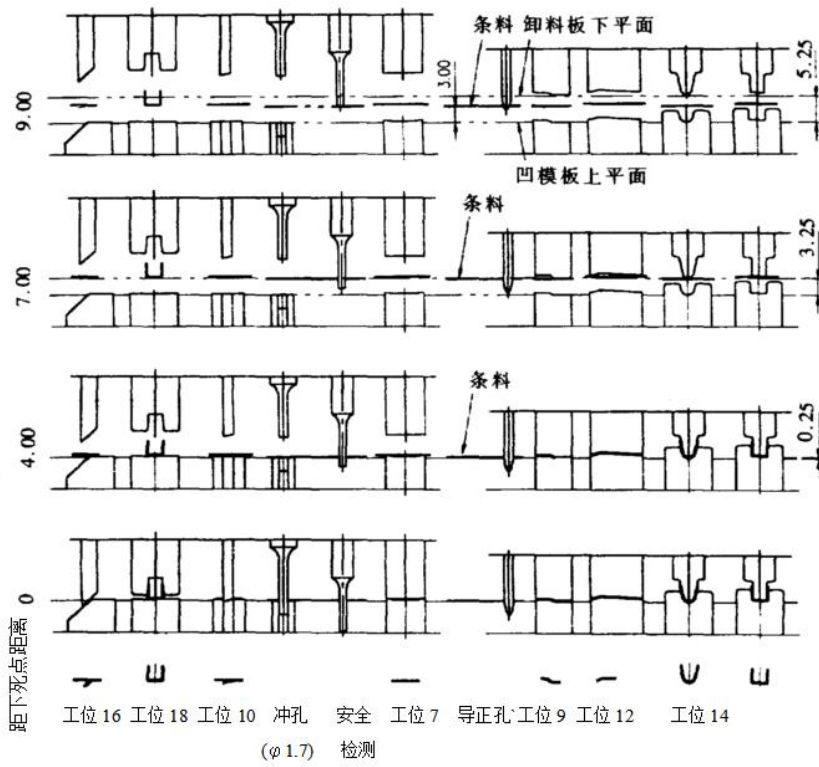
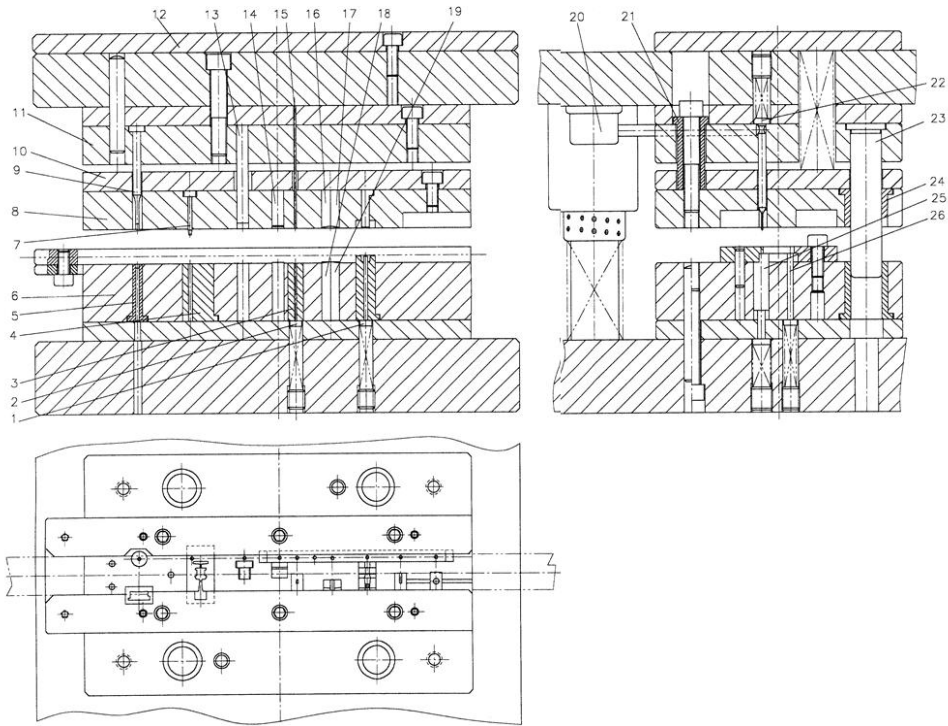
多工位级进冲裁拉深模具。

铁心片多工位级进模

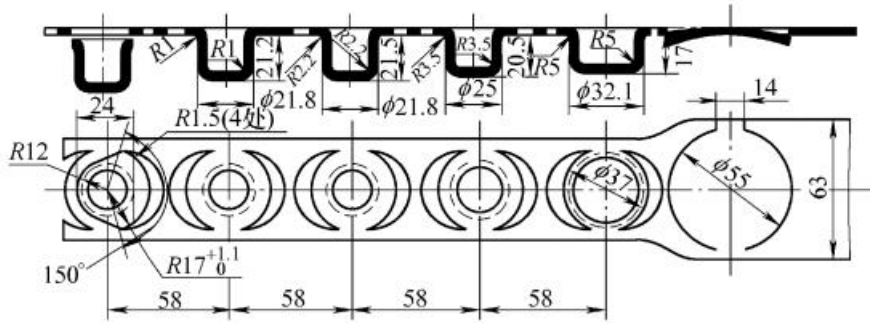


接插件端子零件图



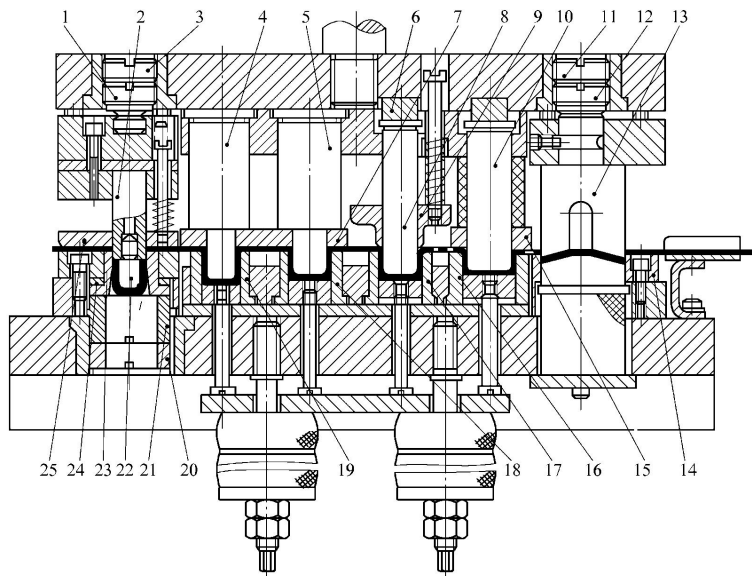


接插件端子多工位级进模模具工作过程

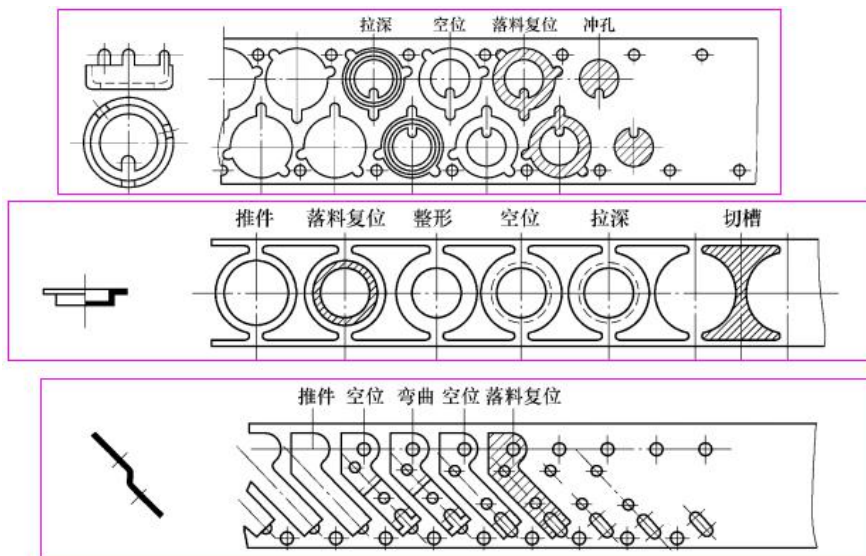


级进拉深排样图

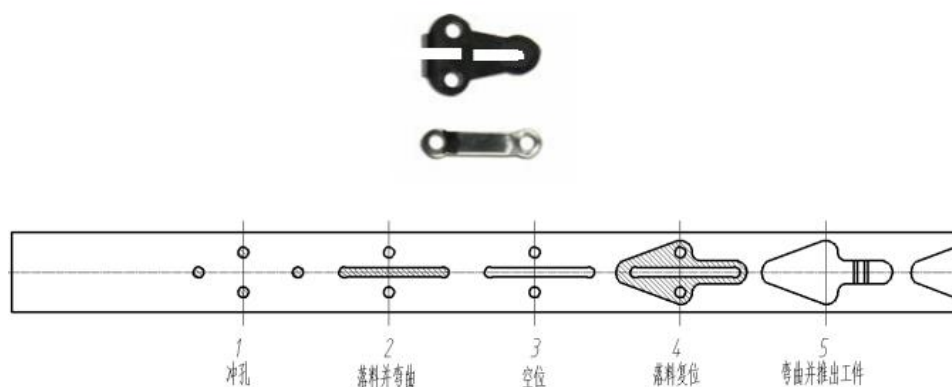
带料级进拉深模



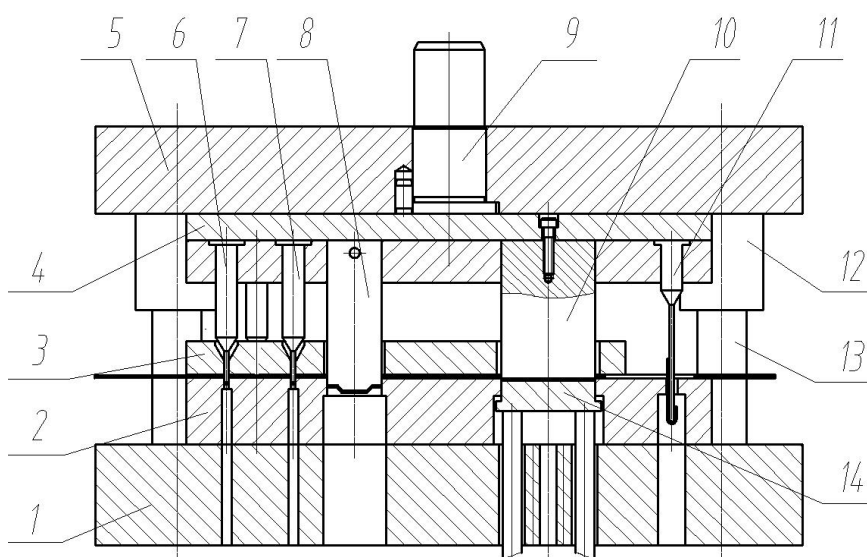
级进落料复位加工



裤钩排样图



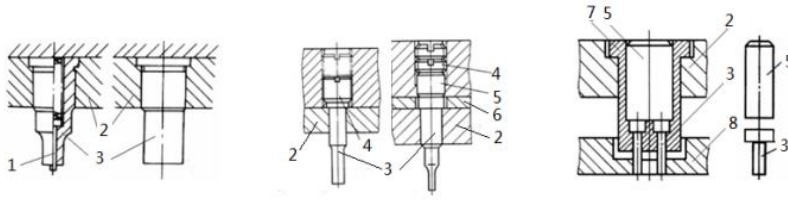
裤钩模具图



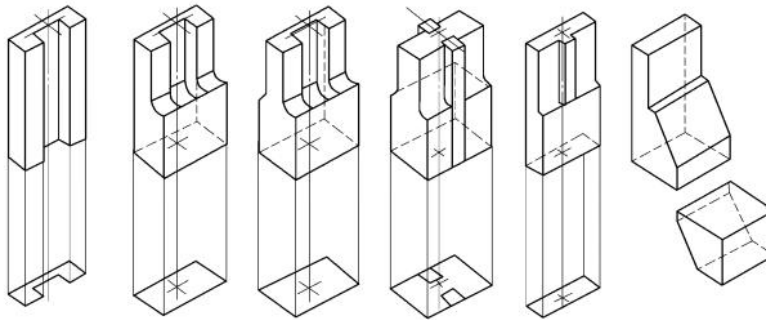
6.3 多工位级进模主要零件设计

多工位级进模典型结构的基本组成与普通冲压模具相同，由工作零件，定位零件，卸料、压料零件，导向零件和连接固定零件等组成，在自动冲压时还需增加自动送料装置和安全检测装置等。

6.3.1 工作零件设计（凸模）



圆形凸模结构及固定方式



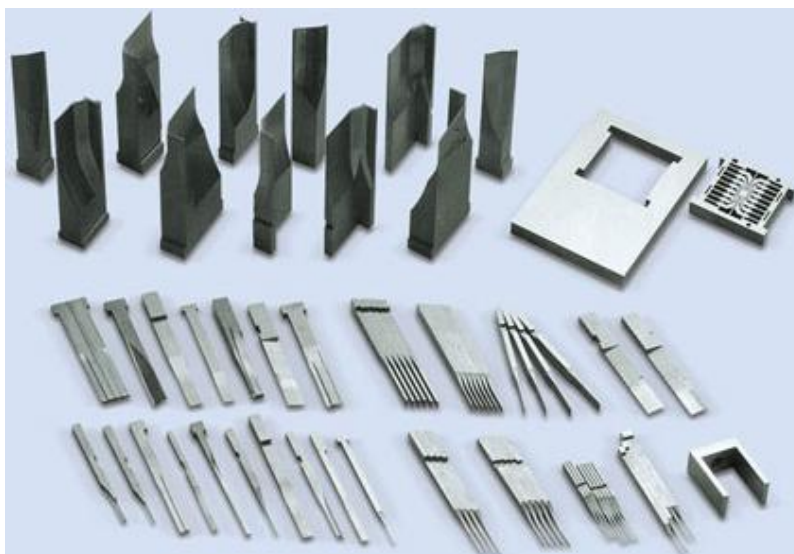
异形凸模可以做成直通式，或设计成带台阶式



梳形凸模



梳形凸模齿形放大



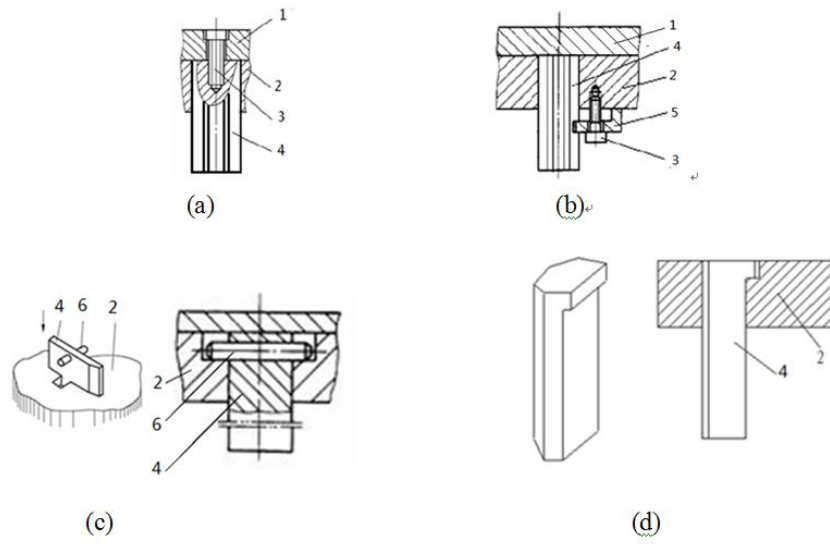
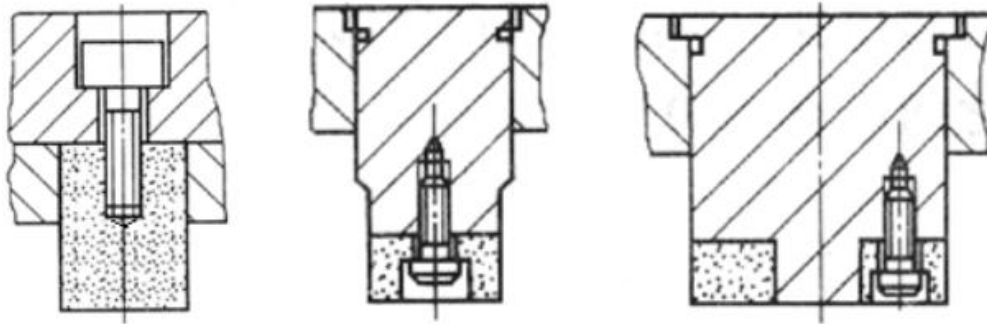
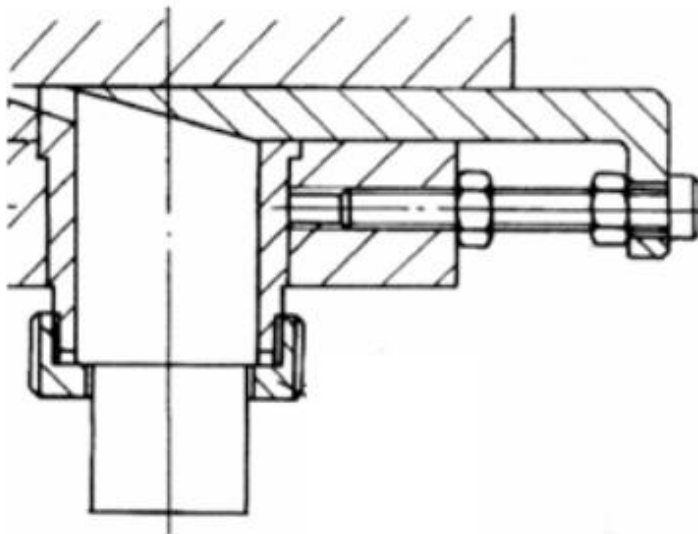


图 5.36 异形凸模的固定方式

(a) 螺钉固定 (b) 压板压紧 (c) 横削固定 (d) 挂台固定



硬质合金凸模的固定方法



凸模高度可调结构

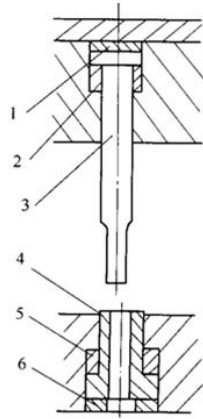
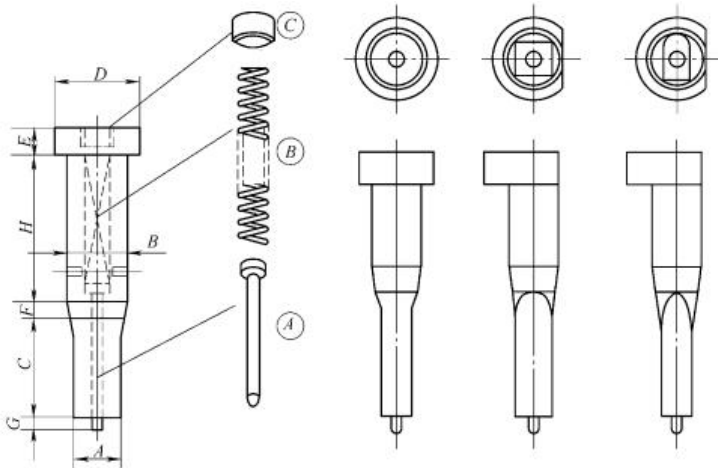


图 5.39 刃磨后不改变闭合高度的凸、凹模固定方法。

1、6—更换的垫片 2、5—磨削的垫圈 3—凸模 4—凹模镶套。

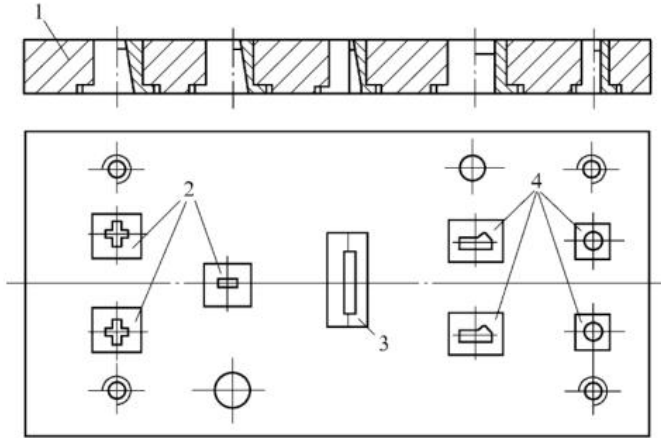


带顶出销排出废料的凸模

确定凸模高度原则：

- 1) 在同一副模具中各凸模绝对高度不一致，应确定一基准凸模的工作长度，其他凸模按基准长度计算，凸模工作部分基准长度由制件料厚和模具结构小等因素决定，在满足多种凸模结构的前提下，基准长度力求最小。
- 2) 应有足够的刃磨量。
- 3) 各种凸模加工的同步性，即凸模进入工作前，导料销插入导料孔，卸料板将条料压紧。

5.3.1 工作零件设计 (凹模)



嵌块式凹模

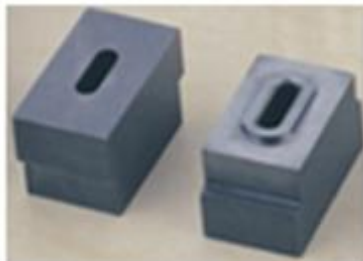
凹模镶块实物



圆形凹模镶块



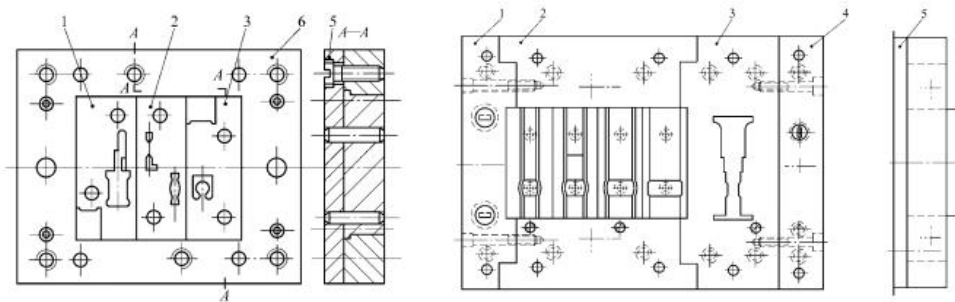
整体凹模镶块



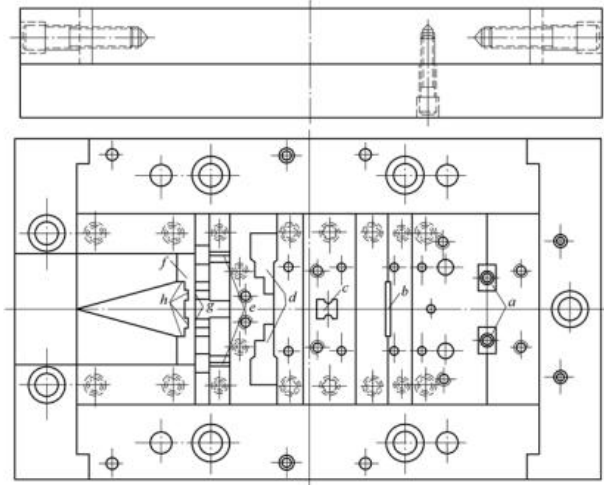
矩形凹模镶块



拼合凹模镶块



凹模拼合组配法



凹模成型磨削组配法

6.3.2 定位零件设计 (定距机构)

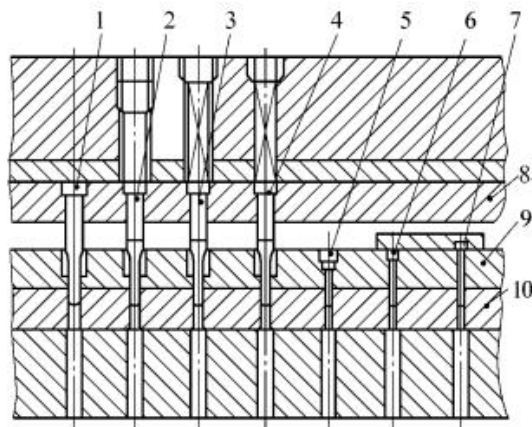
1. 定距机构

常用的定距机构有挡料销、侧刃、导正销及自动送料装置。

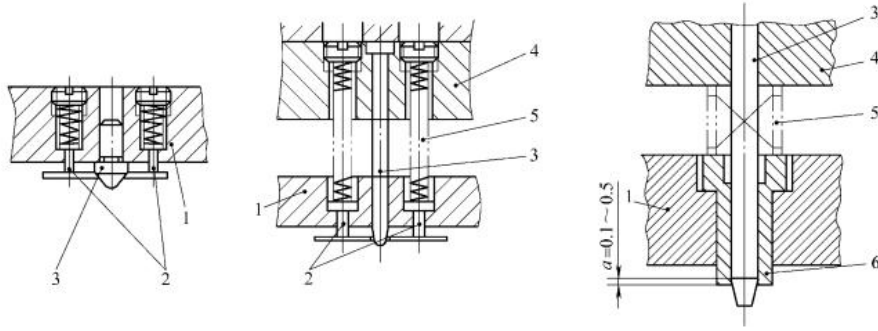
多工位级进模常用的定距零件：
 侧刃定距；
 导正销与侧刃联合定距；
 导正销与自动送料装置联合定距。

导正销的设计要考虑如下因素：

- (1) 导正销与导正孔的关系 (见表5.1)
- (2) 导正销的突出量： $0.6t \sim 1.5t$
- (3) 导正销的固定方式：一般固定在固定板或卸料板上。

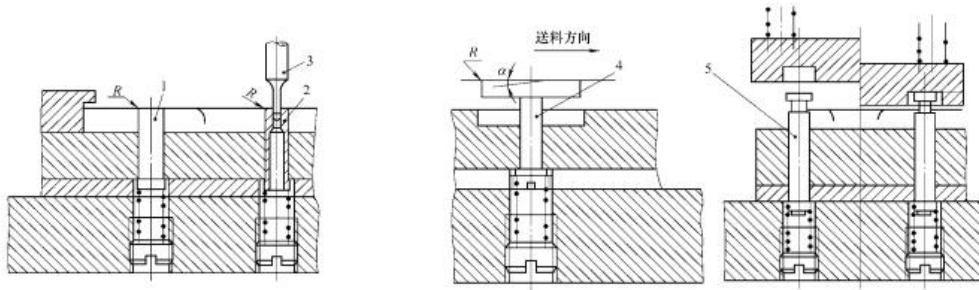


导正销安装在固定板或卸料板上的固定方式
 1、2、3、4、5、6、7-导正销 8-固定板 9-卸料板 10-凹模

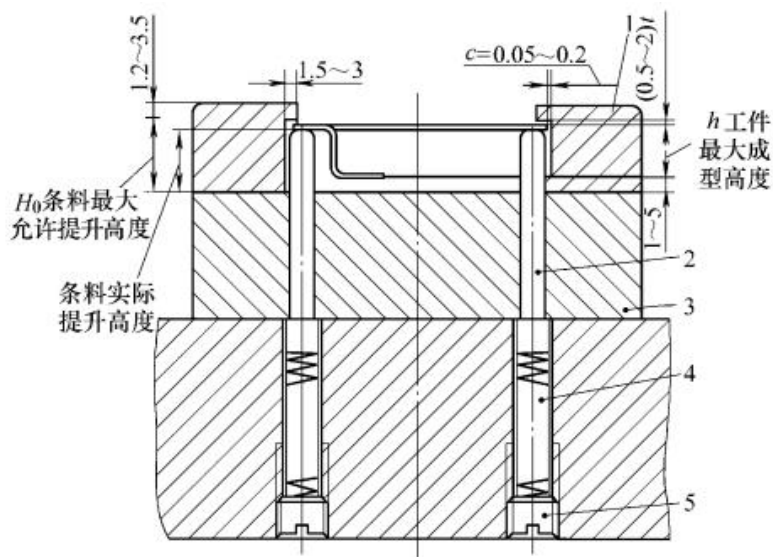


配合导正销设置的弹顶器
1-卸料板 2-条料弹顶器 3-导正销 4-凸模固定板 5-弹簧 6-导正销弹顶套

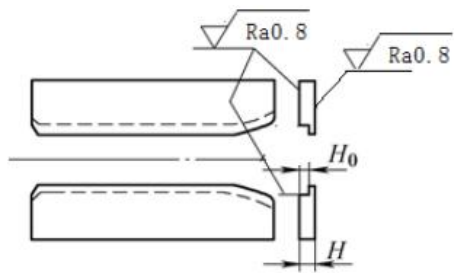
5.3.2 定位零件设计 (导向与浮顶装置)



浮顶器结构
1-普通浮顶销 2-浮顶套 3-导正销 4-浮顶块 5-槽式浮顶销

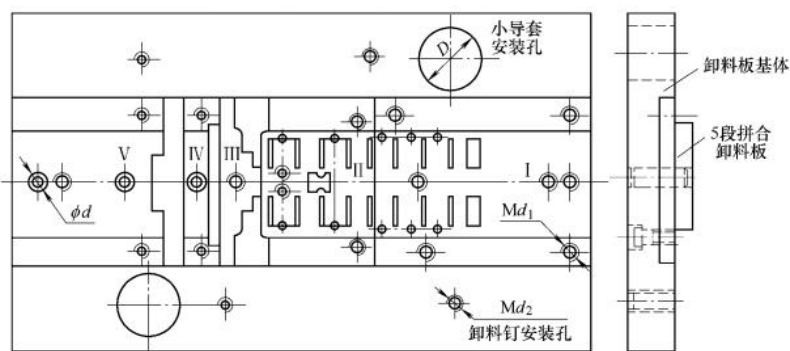


条料顶出后在模具中的相对位置关系



导料板结构

5.3.3 卸料零件设计



拼块组合式弹压卸料板

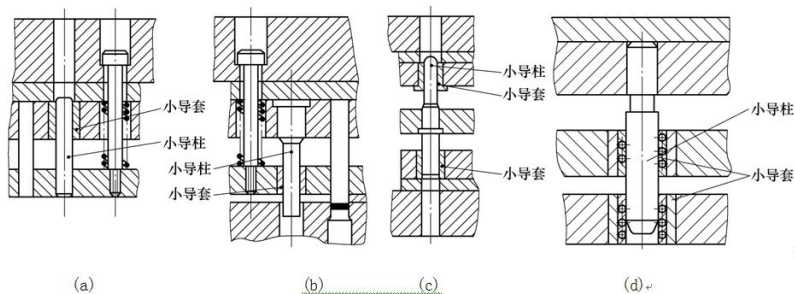


图 5.50 卸料板的辅助导向形式。

(a)小导柱安装在卸料板上 (b)小导柱安装在固定板上 (c)两头导向的小导柱安装在卸料板上 (d)小导柱安装在上模座上

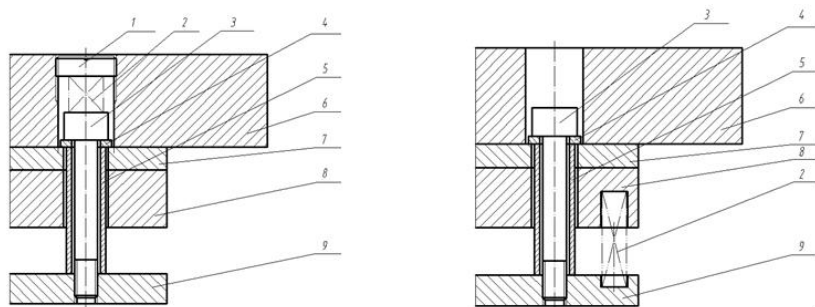


图 5.51 卸料板安装形式。

1-螺塞 2-弹簧 3-螺钉 4-垫圈 5-套管 6-上模座 7-垫板 8-固定板 9-卸料板。

5.3.4 固定零件设计

固定零件：包括模架、垫板、模柄、固定板等零部件，基本都是标准件。

固定板有凸模固定板，凹模固定板，厚度可按凸模设计长度的40%选用，可选用45钢，淬火硬度43~45HRC

固定板的结构与凹模相同，有整体式、分段式和镶拼式等。

垫板：上模垫板厚度一般取凸模固定板厚度的1/3~1/2，凹模垫板厚度一般取为凹模厚度的2/5，材料可选用45钢或T10A。

5.3.5 导向零件设计

多工位级进模广泛使用导柱、导套导向。设在上、下模座上的导柱导套用以保证上模的正确运动，称为外导向；设在模具内部的小导柱、小导套是给卸料板进行导向，称为内导向；卸料板再给细小凸模进行导向，以保护细小凸模，因此多工位级进模中的导向通常是内、外双重导向，从而保证实现精密冲压。

5.3.6 冲压方向转换机构设计

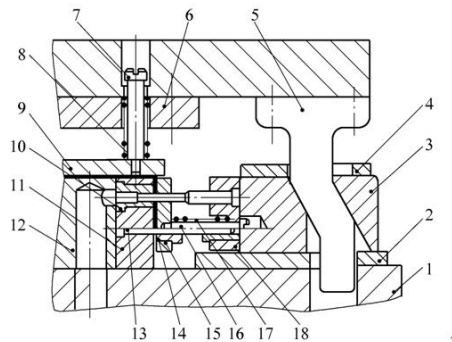
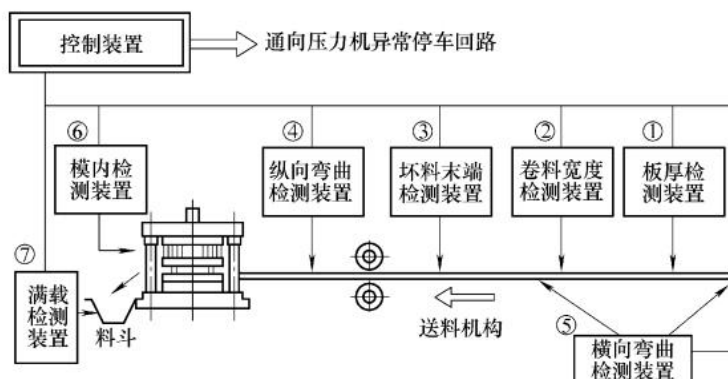


图 5.53 侧向冲孔模具结构示意图。

1—下模座 2—垫块 3—滑块 4—盖板 5—斜楔 6、11、18—固定板 7、16—固定板 8、17—弹簧 9—压料板
10—凹模 12—凹模座 13—小导柱 14—小导套 15—卸料板

5.3.7 安全检测机构设计

级进模设计有防止失误的安全检测装置，以保护模具和压力机免受损坏。安全检测装置既可设置在模具内，也可设置在模具外。



2. 凸模损坏检测

多孔高速冲裁时，如出现凸模冲断未能及时检出，将会生产数量较多的不合格品，并可能损坏模具。凸模损坏后，冲出的孔就不规则，因此可检测装置检测上一工位孔是否正常，检测用凸模高度与冲孔凸模高度一致，直径取凸模尺寸的3/4，其头部制成球形。若有多孔同时检测，可把几个微动开关串连在一起即可。

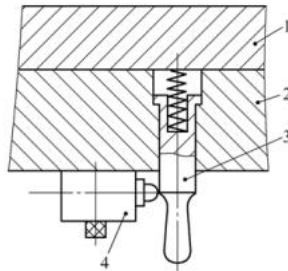


图 5.56 孔不良检测

1—上模座 2—固定板 3—检测销 4—微动开关

3. 废料回升检测

通常利用下止点检测法，卸料板3和凹模4表面无废料及其他杂物时，微动开关2始终在“开”状态，若有回升废料或杂物时，压力机滑块到达下止点时，异物把卸料板垫起，推动微动开关，使其闭合，压力机滑块停止运动。

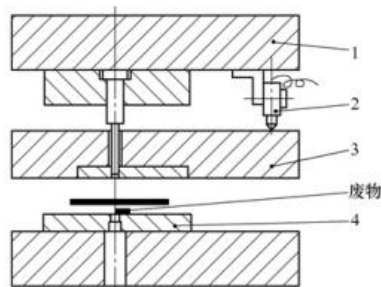


图 5.57 防废料回升的下止点检测示意图。

1—上模座 2—微动开关 3—卸料板 4—凹模

6.4 多工位级进模的图纸绘制

装配图的绘制要求

由主视图、俯视图（以下模俯视图为主，必要时绘出上模的仰视图），侧视图、局部视图等组成，在图纸的右上角绘制工件图和排样图，并绘制标题栏、明细表，注明装配时的技术要求等。

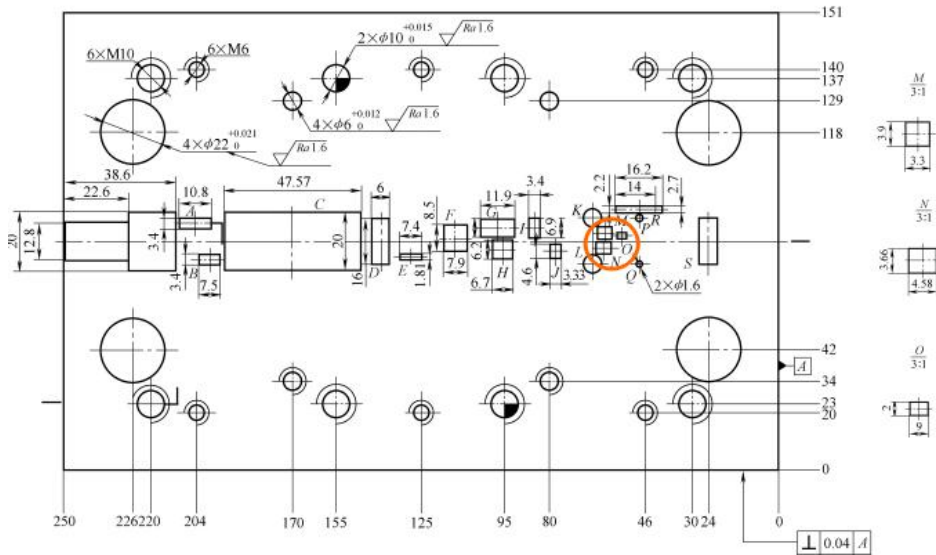
各个视图的绘制要求与普通模具基本相同，但无标准可言，不同的企业有不同的绘图要求

板类零件图的绘制

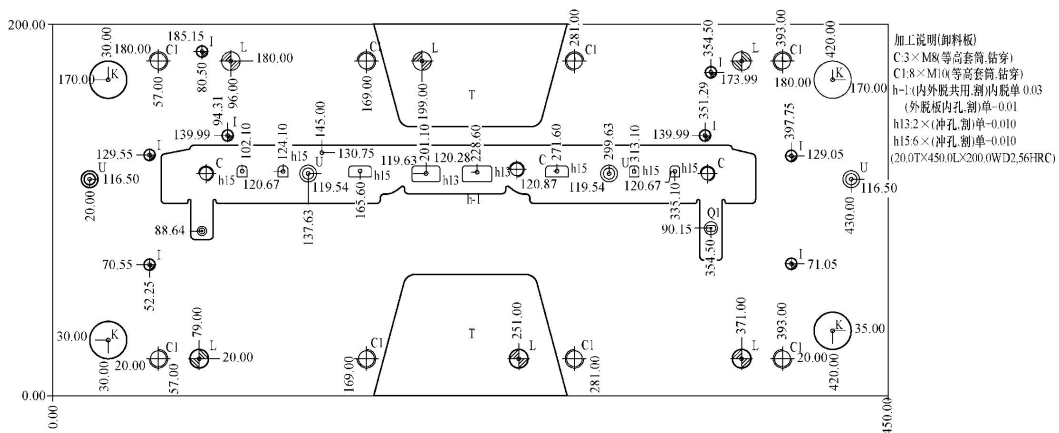
由主视图、俯视图和局部视图组成，其中**俯视图**最为重要，包括所有孔的形状和位置，局部视图通常是局部放大视图，是为了标注方便；主视图仅表达板料厚度，有时甚至会省略不画，在技术要求中注明板厚即可。

板类零件图绘制的关键是尺寸及公差标注，目前比较常用的标注方法是**基准标注法**和**坐标标注法**。

基准标注法



坐标标注法



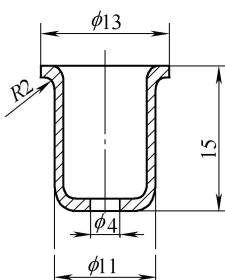
2.其他零件图的绘制

- (1) 视图的表达要完整，数量尽可能少。
- (2) 尺寸标注准确、合理。
- (3) 表面粗糙度等级合适。
- (4) 图面清楚、美观。

学校的绘图要求：一张图纸只画一个零件，零件的主俯视图保持其在装配图中的方位
工厂的绘图要求：灵活多样，为看图方便，常将多个零件画在一张图纸上。

思考与练习题 6

- 1、简述多工位级进模的特点及类型。
- 2、为什么排样设计是多工位级进模设计的关键？
- 3、简述多工位级进冲压排样设计的一般原则。
- 4、什么是载体？简述常见的载体种类和应用范围。
- 5、简述冲切刃口设计的一般原则。
- 6、简述常见搭接头的形式及应用范围。
- 7、什么是空工位？级进模中设置空工位的目的是什么？
- 8、多工位级进冲压时条料的定位方式有哪些？
- 9、多工位级进模的凸模固定要考虑哪些问题？常用的固定形式有哪些？
10. 多工位级进模中凹模的基本结构有哪几种？各有何特点及应用？
11. 在多工位级进模中，导料装置的结构形式有哪几种？设计带槽式浮顶销的导料装置应注意哪些问题？
12. 多工位级进模中卸料板的导向装置有哪几种结构形式？各用于何种场合？
13. 试完成图 5.60 所示零件的多工位级进冲压排样设计，并绘制模具结构原理图。



材料: 1Cr18Ni9
板厚: 0.3mm

模块七 冷冲压工艺制定

教学目标:

1. 掌握冲压工艺设计的主要内容和步骤;
2. 掌握冲压模具设计方法与步骤;
3. 掌握冲压模具材料及热处理;
4. 冲压工艺与模具设计实例。

教学重点:

1. 冲压模具设计方法与步骤;
2. 冲压工艺与模具设计实例。

教学难点: 冲压工艺与模具设计实例 (制定玻璃升降器外壳)

素质 (思政) 内容与要求:

1.通过工艺方案制定的学习,引导学生掌握系统化思维,培养学生的项目管理能力与系统思维。强调在工艺制定过程中,要全面考虑生产过程中的各类因素,要求学生在实践中锤炼自己的分析能力和解决问题的能力,培养学生的责任感与团队合作能力。

2.在具体项目中,培养学生的实践能力与创新思维,鼓励其在设计中关注用户需求、行业动态和技术发展趋势,为将来的职业生涯做好准备,提高综合素质和职业素养,实现个人价值与社会价值的统一。

教学手段: 讲授、演示、提问

教学学时: 6

教学内容:

7.1 冲压工艺设计的主要内容和步骤

7.1.1 冲压工艺设计前的原始资料

- 1) 冲压件的图纸和技术要求。
- 2) 原材料的尺寸规格，力学性能、工艺性能和供应情况。
- 3) 生产批量。
- 4) 冲压设备的型号、规格、主要技术参数及使用说明书等。
- 5) 模具制造条件及技术水平。
- 6) 有关技术标准、设计手册等技术资料。

7.1.2 冲压工艺设计的一般步骤及内容

1. 分析冲压件的工艺性：
尺寸、形状、精度和材料等是否符合冲压工艺要求。
2. 拟定冲压工艺方案：
 - (1) 产品所需的基本冲压工序
 - (2) 冲压工序的数量
 - (3) 冲压工序的顺序
 - (4) 工序的组合

表 8.1 几种典型冲压件所需基本冲压工序举例。

冲压件类型	结构示意图	所需基本冲压工序
冲裁件		冲孔 落料
弯曲件		冲孔 弯曲 整形(圆角)
拉深件		落料 拉深 冲孔 整形(圆角)

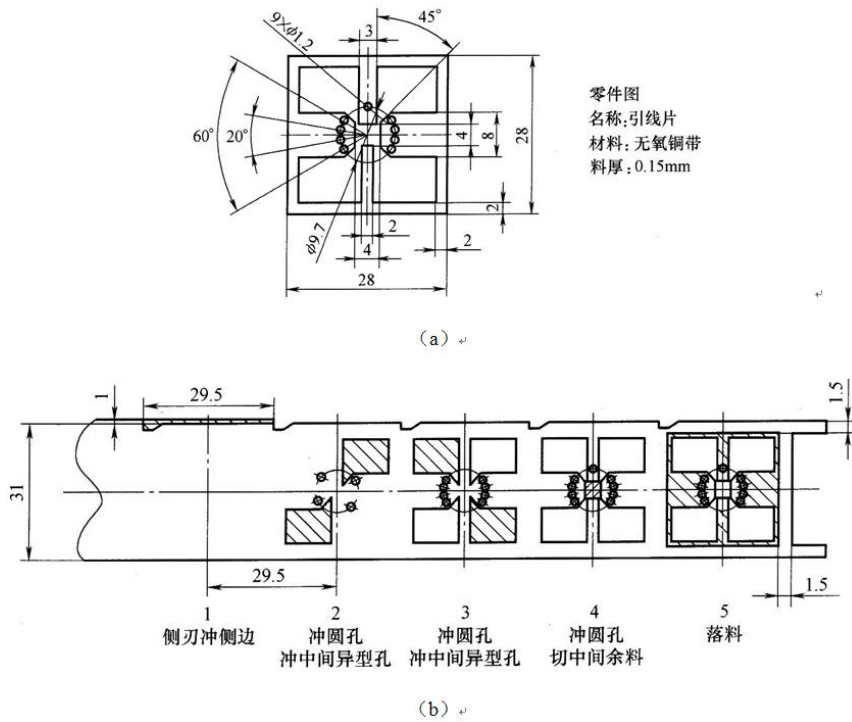


图 8.1 引线片多工位冲裁工序数量的确定

(a) 引线片零件图 (b) 排样图

3. 主要的工艺计算

(1) 排样设计 排样设计需要解决的主要问题有:

- 1) 毛坯形状与尺寸的确定
- 2) 选定排样的类型和方式
- 3) 确定搭边值, 进而确定料宽和进距
- 4) 选定原材料的规格和裁板方案, 计算材料利用率
- 5) 按要求绘制排样图并标注必要的尺寸

(2) 冲压工艺力的计算: 冲裁力、卸料力、推件力或顶件力、弯曲力、拉深力和压边力。

- (3) 压力中心的计算
- (4) 模具刃口尺寸的计算
- (5) 冲压工序件尺寸的确定

4. 设备的选择：根据计算出来的冲压工艺力和工厂现有设备情况。

5. 编写冲压工艺文件

表 8.2 冲压工艺过程卡片

(单位名称) □	冲压工艺卡	产品型号	□	零件图号	□	共 页
		产品名称	□	零件名称	□	第 页
材料	材料技术要求	毛坯尺寸	□	每毛坯可制件数	□	辅料
□	□	□	□	□	□	□
序号	工序名称	工序内容	加工简图	设备	模具	工时
□	□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	□	□	□
□	□	□	□	□	□	□

7.2 冲压模具设计方法与步骤

7.2.1 模具类型及结构形式的确定

表 8.3 生产批量与模具类型的关系

项 目	生 产 批 量				
	单件	小批	中批	大批	大量
大型件	<1	1~2	>2~20	>20~300	>300
中型件		1~5	>5~50	>50~1000	>1000
小型件		1~10	>10~100	>100~5000	>5000
模具类型	单工序模 简易模 组合模	单工序模 简易模 组合模	单工序模 连续模 复合模 半自动模	单工序模 连续模 复合模 自动模	硬质合金 连续模 复合模 自动模

7.2.2 模具零件的设计及标准的选用

尽可能按《冷冲模标准》选用，只有在无标准可选时，才进行设计。

凹模是模具中的关键零件，模具零件设计可以首先从凹模开始

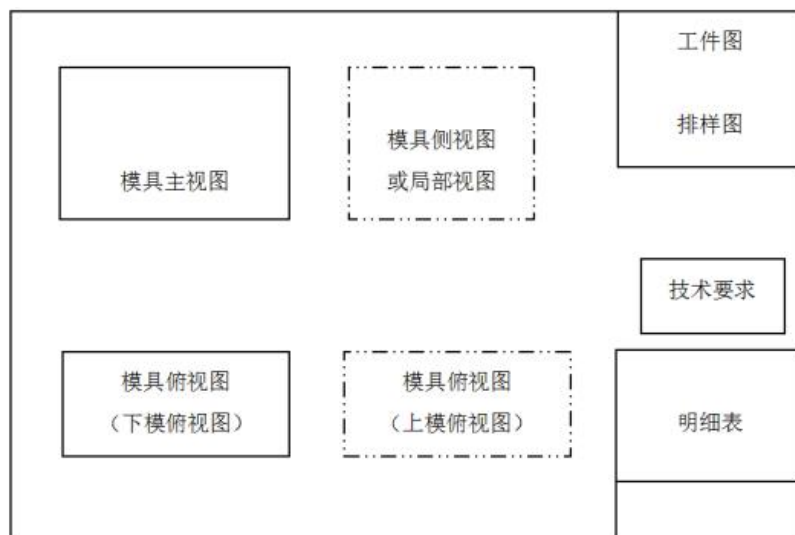
以冲裁模凹模为例说明模具设计的基本思路：

- (1) 按刃口尺寸计算方法计算凹模刃口尺寸。
- (2) 按凹模外形设计方法设计外形形状，计算凹模厚度，求出凹模壁厚。
- (3) 凹模刃口尺寸加凹模壁厚得到凹模外形尺寸，根据此尺寸查冷冲模国家标准，得到凹模板的标准尺寸。

凹模的外形尺寸一旦确定，卸料板、固定板和垫板的外形尺寸也就确定了，一般情况下，这几块板的平面尺寸应保持一致。

(4) 根据凹模板的标准尺寸查标准模架（为便于画图，可不查模架，而是直接查出上、下模座），至此模具的整体尺寸也就大致确定了。

7.2.3 模具总装配图的内容及绘制要求

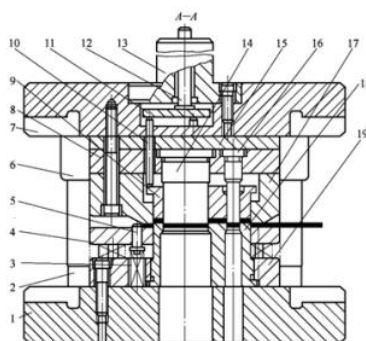


1. 模具总装图的内容要求及布置

1) 主视图的绘制

主视图是模具总装图的主体部分，绘制时应注意：

- 应画成上、下模闭合状态的全剖视图。
- 主视图中应标注闭合高度尺寸
- 用涂黑的方式绘出工件和毛坯的断面。



2) 俯视图

有上模俯视图和下模俯视图，通常绘制的是下模俯视图。

- 下模俯视图是假设将上模去掉以后的投影图，要求在下模俯视图上以双点画线的形式绘出排样图，以表明条料在模具中的定位方式。
- 上模俯视图，是假设将下模去掉以后的投影图（从上向下看）。在上模俯视图中需标注螺钉、销钉孔的位置。

- 对称的模具，上模和下模的俯视图可以对称线为界各画一半表示。

工件图和排样图

工件图是经本副模具冲压后所得到的冲压件图形，一般画在总图的右上角。若图面位置不够，或工件较大时，可另立一页。

工件图应按比例画出，一般与模具图的比例一致，特殊情况可以缩小或放大。工件图的方向应与冲压方向一致（即与工件在模具图中的位置一样），有时也允许不一致，但必须用箭头注明冲压方向。

有落料工序的模具，还应画出排样图，一般也布置在总图的右上角，放置在工件图的下方，排样图的方向一般也应与其在模具中的方向一致，特殊情况下允许旋转，并注明料宽、进距、搭边和侧搭边。

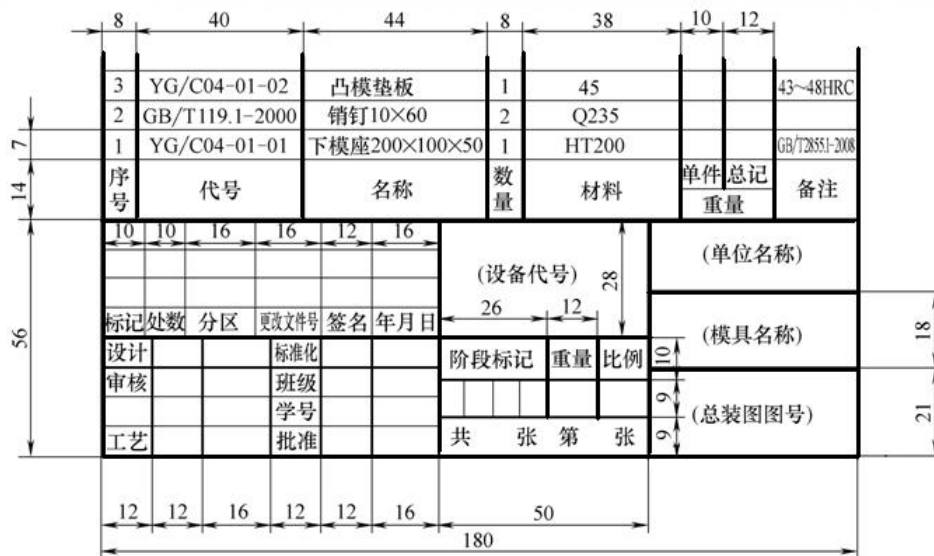
The diagram shows a technical drawing layout with dimensions and a table structure. The overall width is 180 and the height is 56. Dimensions are given in millimeters. The table structure is as follows:

40												44												38												10						12																																																																																																																	
序号												代号												名称												数量						材料						件数						总计						备注																																																																																															
10												86												86												12												86												(设备名称)												(单位名称)																																																																																			
标记												数量												分区												更改文件号												签名												年月日												(装配图图样名称)												88																																																																							
设计												(姓名)												(年月日)												标准化												(姓名)												(年月日)												阶段标记												重量												比例												10																																															
审核												工艺												审批												学号												批准												共												张												第												张												9												9												71																							
12												12												86												12												12												86												6.5												6.5												6.5												6.5												12												12												180											

装配图明细表和标题栏

明细表与标题栏

(B/T10609.1~2-2008)



技术要求

技术要求中一般只简要注明对本模具在使用、装配等过程中的要求和应注意的事项，例如：

- 1) 应保证凸模、凹模周边间隙均匀。
- 2) 所有活动件应活动顺畅，无阻滞现象。
- 3) 毛坯定位准确、可靠。
- 4) 模架装配后符合 JB/T8070—2008 《冲模模架零件技术条件》

中的规定。

.....

当模具有特殊要求时，应详细注明有关内容。

2. 模具总装图的绘制步骤

- (1) 在图纸的适当位置绘制出工件的主、俯视图。
- (2) 绘制工作零件
- (3) 绘制定位零件
- (4) 绘制卸料、推件、顶件零件
- (5) 绘制固定板、垫板、上下模座等其他零件
- (6) 绘制侧视图、局部视图等
- (7) 在图纸的右上角绘制工件图、排样图；在图纸的右下角绘制标题栏和明细表；在明细表的上方或左边写出技术要求。
- (8) 标注必要的尺寸

7.2.4 模具零件图绘制

拆绘模具零件图时，应尽量按该副模具明细表中所标注的内容进行，凡是明细表中未注明标准件代号的均属非标准零件，均需画出零件图。模具零件图是模具加工的重要依据，应符合如下要求：

- 视图要完整，且宜少勿多。
- 尺寸标注要齐全、合理、符合国家标准。
- 制造公差、形位公差、表面粗糙度选用要适当。
- 注明所用材料牌号、热处理要求以及其他技术要求。
- 以装配图中的装配方向绘制，不要任意旋转 或颠倒。

7.2.5 设计说明书的编写

说明书主要包括下列内容：

- (1) 冲压件的工艺性分析。
- (2) 工艺方案的拟定。
- (3) 排样设计。
- (4) 必要的工艺计算。
- (5) 模具结构形式的合理性分析。
- (6) 模具主要零件结构形式、材料选择、公差配合、技术要求的说明。
- (7) 冲压设备的选择。
- (8) 其他需要说明的内容。

7.3 冲压模具材料及热处理

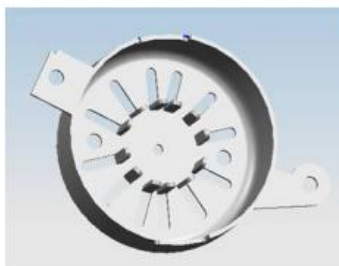
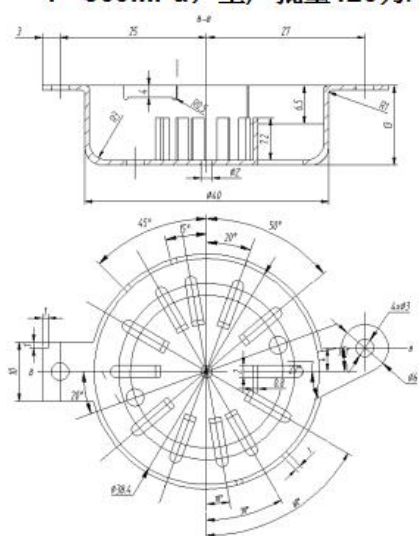
模具材料的选用原则是：

- (1) 满足使用性能要求
- (2) 满足工艺性能要求
- (3) 满足经济性要求

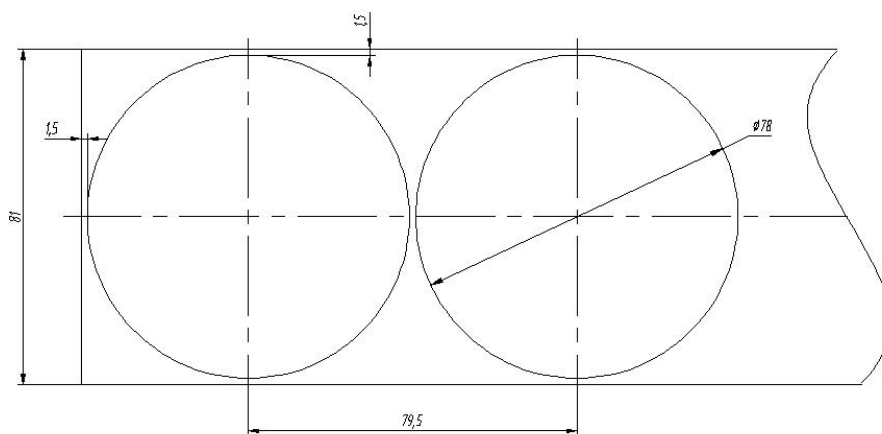
模具材料建议按照 GB/T14662-2006 推荐材料选用。见表 8.4 和表 8.5

7.4 冲压工艺与模具设计举例

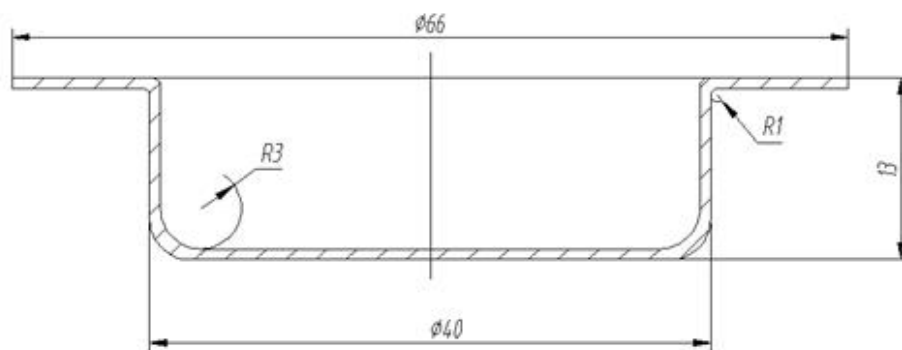
材料08钢，料厚0.8mm，抗拉强度 $\sigma_b=400\text{MPa}$ 抗剪强度 $\tau=300\text{MPa}$ ，生产批量120万/年。



排样图



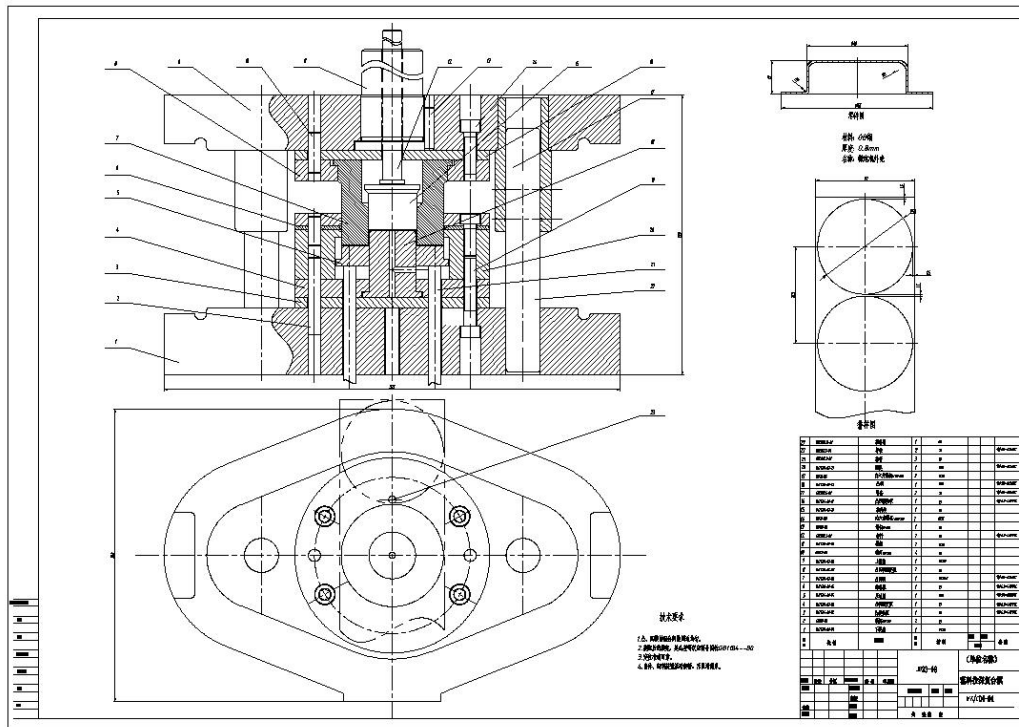
第一道工序件的尺寸



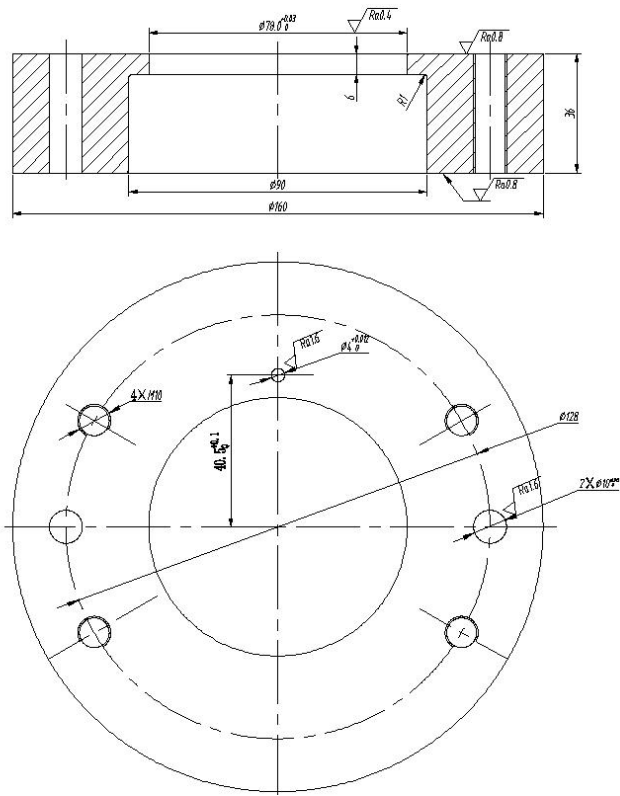
冲压工艺规程卡

(单位名称)		冲压工艺卡	产品型号		零件图号		共 页
材料		材料技术要求	产品名称		零件名称		第 页
08			毛坯尺寸	80×1000	每毛坯可制件数		辅料
序号	工序名称	工序内容	加工简图	设备	模具	工时	
1	落料 拉深	落料: 料宽 81mm 并拉深成形		JB 23—16	落料拉深 复合模		
2	切边 冲孔	切边 冲 4 个 $\Phi 3\text{mm}$ 及 $\Phi 2\text{mm}$ 孔		JB 23—40	切边冲孔复 合模		
3	冲侧孔 I	冲侧孔		JB 23—63	冲侧孔模		
4	冲侧孔 II	冲侧孔		JB 23—63	冲侧孔模		
5	切舌 折弯	切舌 折弯		JB 23—40	切舌折弯模		

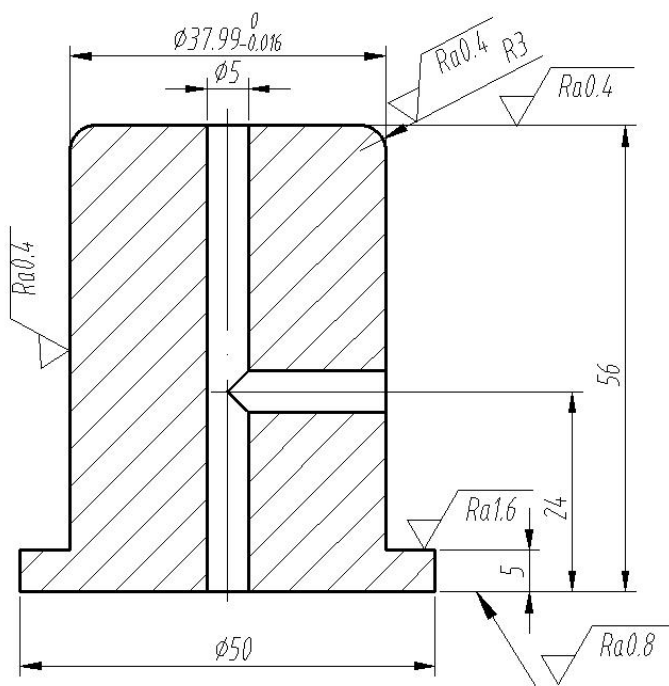
落料拉深复合模



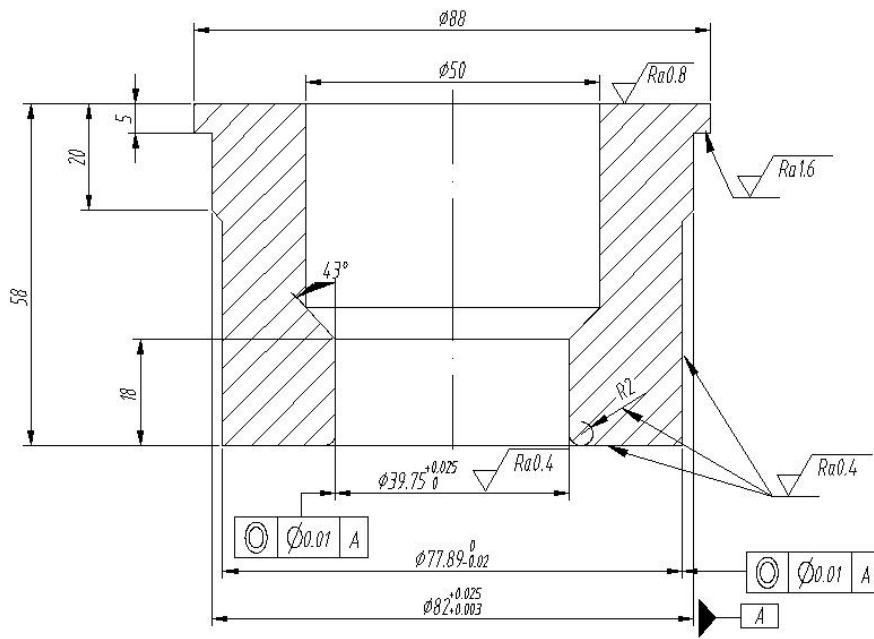
凹模零件图



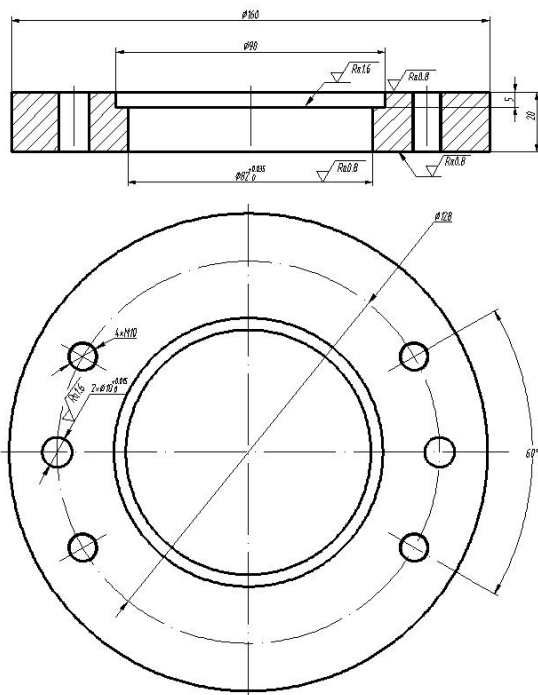
拉深凸模



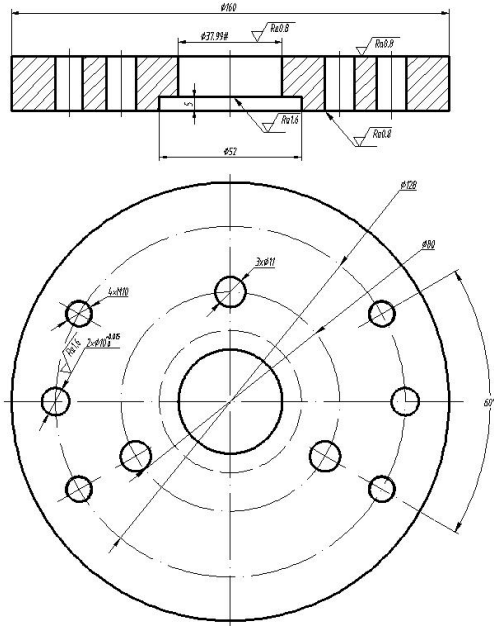
凸凹模



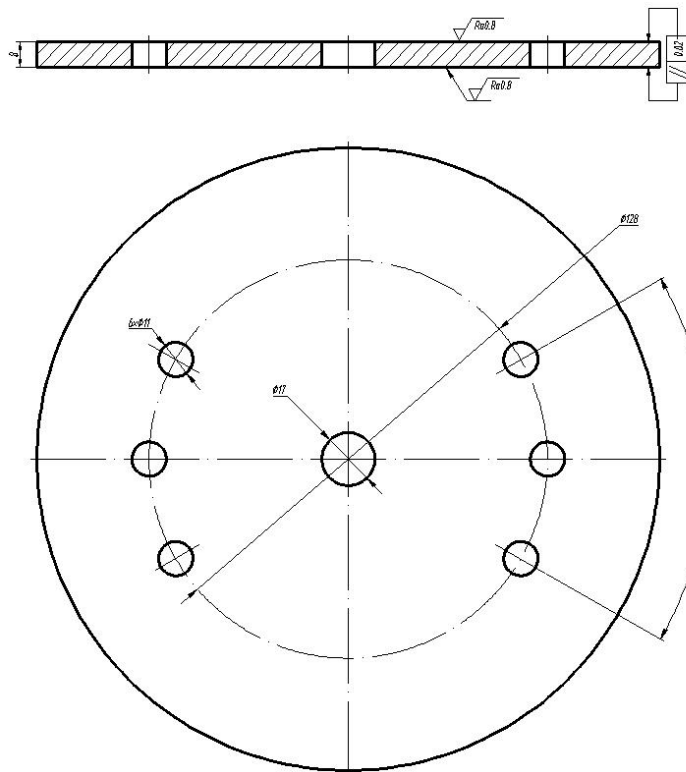
凸凹模固定板



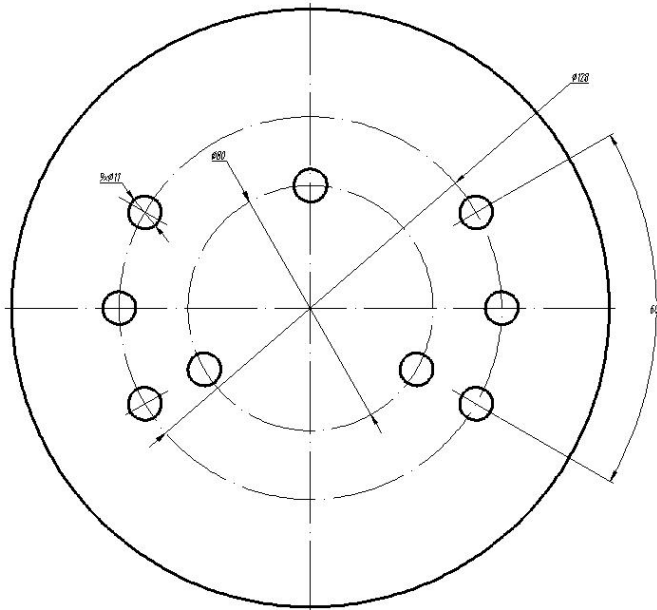
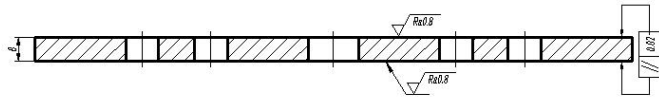
拉深凸模固定板



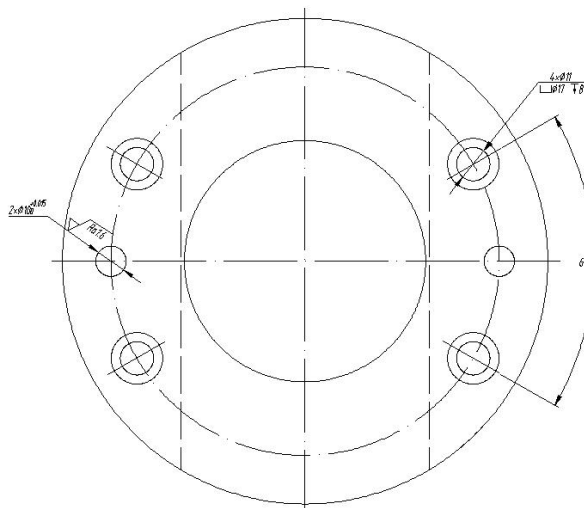
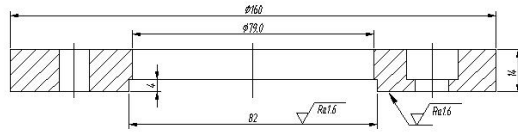
凸凹模垫板



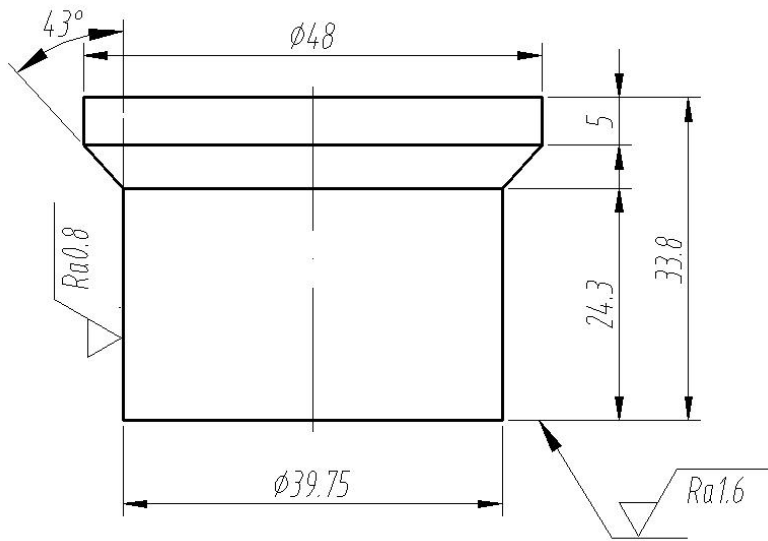
拉深凸模垫板



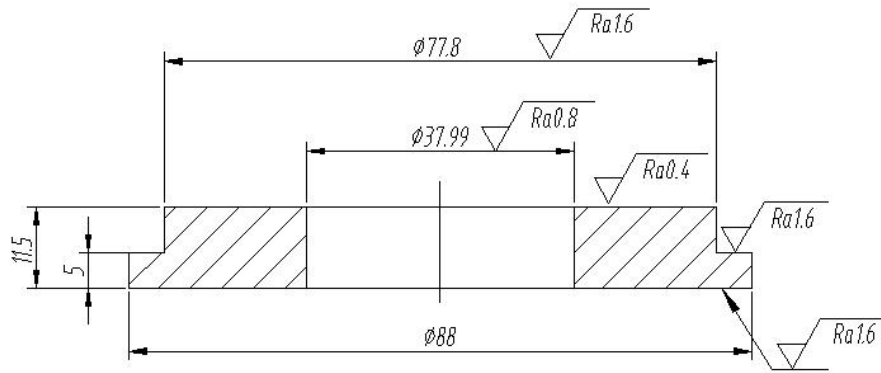
卸料板



推件块



压边圈



思考与练习题 7

1. 冲压工艺设计的内容包括哪些？
2. 简述冲裁模设计的一般思路。
3. 设计图8.18所示零件的冲压工艺。材料08，料厚4mm，中批量生产。

