

7528
1

37199

冲压工艺及冲模设计

《冲压工艺及冲模设计》编写委员会 编著




国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺及冲模设计/《冲压工艺及冲模设计》编写委员会编著.
—北京:国防工业出版社,1993
ISBN 7-118-01147-9

I. 冲…
II. 冲…
III. ①冲压-工艺 ②冲模-设计
IV. TG38

1993 04

《冲压工艺及冲模设计》编写委员会 编著
责任编辑 周润芬

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市怀柔县王史山印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 印张 30 725 千字

1993 年 7 月第一版 1993 年 7 月第一次印刷 印数:00001—7000 册

ISBN 7-118-01147-9/TG.76

定价:24.80 元

机械电子工程师进修大学兵器学院
西南分校继续工程教育教材开发
领导小组成员

顾问	王之光	研究员级高级工程师
组长	王兆泉	高级工程师
副组长	罗书林	高级工程师
	丁福泉	高级工程师
	欧世民	高级工程师
成员	罗万达	讲师
	王方平	工程师
	潘守勤	工程师

《冲压工艺及冲模设计》编辑委员会成员

主编	严寿康	高级工程师
副主编	孙伦宝	副教授
	刘汉贵	高级工程师
	李德华	高级工程师
主审	陈观鹏	副教授
	袁世增	副教授

前 言

继续工程教育是适应新技术挑战和经济竞争的主要战略措施。随着新产品的不断开发，在发展商品经济的工业企业中，大量采用了新技术、新工艺、新材料以及现代管理方法，使军工企业的产品结构发生了重大的变化。从而要求广大专业技术人员具有较高的技术业务素质，并对新科学和新知识不断地进行拓宽、加深和提高。

为适应工程技术人员对新理论、新技术学习和应用的需要，也为继续工程教育提供一本简明实用的教材，根据兵器工程师进修学院课程设置规划和教材开发的要求，在兵器工程师进修学院和西南兵工教材开发领导小组的共同组织下，由具有坚实理论基础和丰富教学经验的大学教师、长期从事军民品冲压工艺技术研究的人员和冲压工艺应用设计的企业工程技术人员，并结合十年来军民品生产开发中的冲压新技术，以及由国外引进的先进冲压模具设计、生产实践的基础上编写而成。在编写中坚持理论联系实际的原则和适宜成人学习的特点，因而具有较强的实用性和先进性。

本书的编写自始至终得到兵器学院和西南兵工教材开发领导小组的精心组织和具体指导。在编写过程中得到了国营嘉陵机器厂、国营长安机器厂、国营红宇机器厂、西南技术工程研究所等单位的大力支持和热情帮助，同时，孙冠弘同志在文稿及图稿整理中做了大量的工作。在此一并表示衷心的感谢。

本书各章的编写人员如下：第一章孙伦宝，第二章洪奕，第三章崔淑兰，第四章严寿康、王方平，第五章姚克智，第六章曾畅基、叶思华，第七章陈茂农，第八章李德华、杨坤兴、周亚，第九章许定亚、丁世仁，第十章詹治恩，第十一章王少华、涂仲益，第十二章杨晓卢、谯永强。

由于编者水平所限，本书难免有不当之处，敬请读者批评指正。

内 容 简 介

本书对冲压工艺及冲模设计作了系统论述。全书包括两篇共 12 章。第一篇冲压工艺,介绍冲压的基本理论与冲裁、弯曲、拉深和成形工艺。第二篇冲模设计,介绍常用冲模设计、各种复杂精密冲模设计、模具 CAD 以及冲压安全技术与冲压设备的选用。全书以冲模设计为主,重点阐述复杂汽车覆盖件冲模设计、高精度、高效率及高寿命多工位级进模设计和精密精冲模设计等内容。本书反映了国内外冲模设计的新成就和新结构,对推广复杂、精度模具设计具有实用价值。

本书可作为科技工作者继续工程教育和成人高等教育的教材,供工厂、科研单位的工程技术人员和高等院校师生参考,也可作为专业技术培训提高的教材。

目 录

第一篇 冲压工艺

第一章 冲压成形的基本理论	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 金属塑性变形的力学规律	(5)
第三节 硬化与硬化曲线	(8)
第四节 冲压成形的力学特点与分类	(12)
第五节 板料的冲压成形性能	(14)
第六节 成形极限图	(25)
第二章 冲裁	(28)
第一节 冲裁的变形过程	(28)
第二节 冲裁间隙	(29)
第三节 冲裁力和压力中心的确定	(37)
第四节 排样与搭边	(45)
第五节 整修与精密冲裁	(50)
第三章 弯曲	(59)
第一节 弯曲变形过程分析	(59)
第二节 应变中性层的位置及最小弯曲 半径的确定	(64)
第三节 弯曲力的计算	(68)
第四节 弯曲件的回弹	(70)
第五节 弯曲毛坯尺寸的确定	(78)
第四章 拉深(拉延)	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 拉深力与拉深功	(89)
第三节 起皱和拉裂	(96)
第四节 拉深件毛坯计算	(102)
第五节 直壁类回转件的拉深	(108)
第六节 非直壁类回转件的拉深	(117)
第七节 盒形件的拉深	(125)
第八节 变薄拉深	(129)
第五章 成形	(135)
第一节 胀形	(135)
第二节 翻孔与翻边	(143)

第三节 缩口	(151)
第四节 校平与整形	(156)
第六章 冲压工艺设计	(160)
第一节 冲压用材料	(160)
第二节 工艺性分析	(164)
第三节 确定冲压件的最佳工艺方案	(170)
第四节 冲压件工艺过程编制实例	(176)

第二篇 冲模设计

第七章 常用冲模设计	(192)
第一节 概述	(192)
第二节 冲裁模设计	(194)
第三节 弯曲模设计	(203)
第四节 拉深模设计	(209)
第五节 冲模零部件设计	(218)
第六节 冲模常用材料及热处理	(233)
第八章 覆盖件冲模设计	(237)
第一节 汽车覆盖件特点与要求	(237)
第二节 拉延件的确定	(239)
第三节 拉延模设计	(249)
第四节 修边模设计	(265)
第五节 翻边模设计	(292)
第六节 扣合模设计	(304)
第七节 多工位压力机模具设计	(314)
第八节 覆盖件冲模使用的材料	(326)
第九章 精冲	(328)
第一节 精冲的基本概念	(328)
第二节 精冲变形原理与应力分析	(329)
第三节 精冲件的工艺性分析	(335)
第四节 精冲模结构	(339)
第五节 精冲模设计	(342)
第六节 精冲材料	(364)
第七节 典型精冲模设计实例	(369)
第十章 多工位级进模	(378)
第一节 概述	(378)

第二节	排样图设计	(378)	第三节	冲裁件的图形输入	(435)
第三节	多工位级进模结构设计	(387)	第四节	冲裁工艺设计	(438)
第四节	多工位级进模零、部件设计 ...	(398)	第五节	冲模结构设计	(445)
第五节	多工位级进模典型结构	(422)	第十二章	冲模的安全技术与冲压	
第十一章	冲模计算机辅助设计	(428)		设备的选用	(453)
第一节	概述	(428)	第一节	冲模的安全技术	(453)
第二节	冲模 CAD 系统	(431)	第二节	冲压设备的选用	(462)

第一篇 冲压工艺

第一章 冲压成形的基本理论

第一节 概 述

一、冲压工艺的特点

冲压是一种先进的金属加工方法。它是建立在金属塑性变形的基础上，利用模具和冲压设备对板料施加压力，使板料产生塑性变形或分离，从而获得一定形状、尺寸和性能的零件。

冲压生产依靠模具和冲压设备完成加工过程，因此它具有生产率高、操作简便、便于实现机械化和自动化的特点。采用精密复杂的模具，能加工出用其他方法难于生产的形状复杂的零件，且尺寸精度稳定，材料利用率高，零件重量轻。在大批量生产中，是一种先进的优质、高产、低消耗和低成本加工方法。

由于冲压生产的上述特点，因此在兵工、航空、电子、汽车、电机电器、精密仪器以及轻工等各个生产领域中得到广泛的应用。随着汽车和家用电器等工业的高速发展，在许多先进工业国家里，冲压生产和模具工业得到高度的重视，例如美国和日本，模具工业的产值已超过机床工业，模具工业成为重要的产业部门，而冲压生产则成为生产优质先进机电产品的重要手段。

板料、模具和冲压设备是冲压生产的三要素。为了获得质优价廉的冲压零件，必须提供优质的板料、先进的模具和性能优良的冲压设备；还应该掌握板料的成形性能和变形规律，必须设计并制造出各种精密的复杂模具，必须生产出各种满足工艺要求的通用和专用的冲压设备。目前世界各国不断研制出冲压性能良好的板料，研究板料的冲压成形性能，不断改善模具加工设备，设计研制高质量模具，生产出了对冲压生产具有关键作用的高效率、高精度和高寿命的大型复杂模具，从而使冲压生产与模具工业进入了一个崭新的阶段。

二、冲压工序分类

冲压工序可分为分离工序和成形工序两大类。分离工序是在冲压过程中使冲压零件与板料沿一定的轮廓线相互分离，同时冲压零件的分离断面要满足一定的质量要求。成形工序是板料在不破裂的条件下产生塑性变形，获得所要求形状的零件，同时也应满足

尺寸精度的要求。

常用的各种冲压工序见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 分离工序

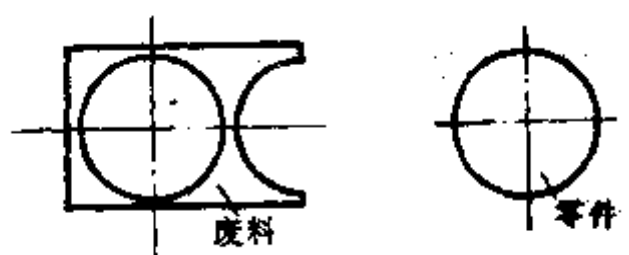
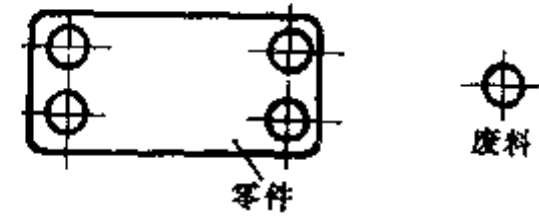


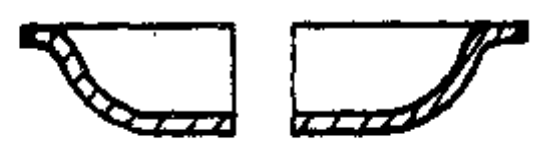
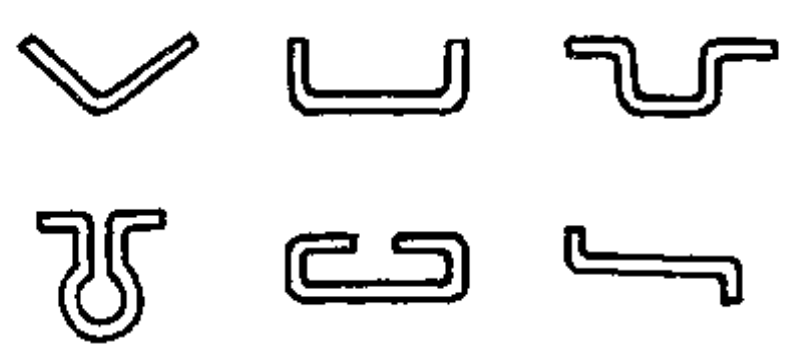
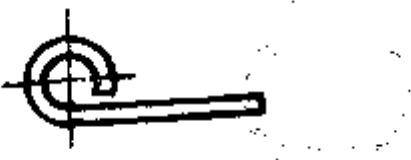






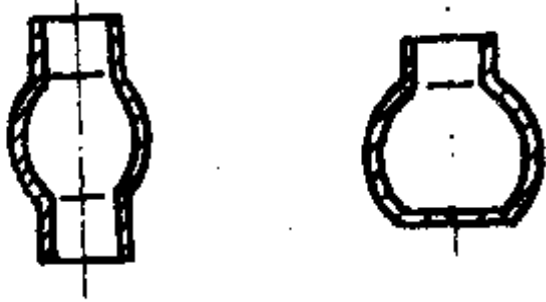





工序名称	简 图	特点及应用范围
落 料		用冲模沿封闭轮廓曲线冲切，冲下部分是零件。用于制造各种形状的平板零件
冲 孔		用冲模按封闭轮廓曲线冲切，冲下部分是废料
切 断		用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断，多用于加工形状简单的平板零件
切 边		将成形零件的边缘修切整齐或切成一定的形状
剖 切		把冲压加工成的半成品切开成为两个或数个零件，多用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后

表 1-2 成形工序

工序名称	简 图	特点及应用范围
弯 曲		把板料沿直线弯成各种形状，可以加工形状极为复杂的零件

(续)

工序名称	简 图	特点及应用范围
卷 圆		把板料端部卷成接近封闭的圆头，用以加工类似铰链的零件
扭 曲		把冲裁后的半成品扭转成一定角度
拉 深		把板料毛坯成形制成各种空心的零件
变薄拉深		把拉深加工后的空心半成品进一步加工成为底部厚度大于侧壁厚度的零件
翻 孔		在预先冲孔的板料半成品或未经冲孔的板料上冲制成竖立的边缘
翻 边		把板料半成品的边缘按曲线或圆弧形成竖立的边缘
拉 弯		在拉力和弯矩共同作用下实现弯曲变形，可得精度较好的零件

工序名称	简 图	特点及应用范围
胀 形		<p>在双向拉应力作用下实现的变形,可以成形各种空间曲面形状的零件</p>
起 伏		<p>在板料毛坯或零件的表面上用局部成形的方法制成各种形状的突起与凹陷</p>
扩 口		<p>在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸扩大的变形方法</p>
缩 口		<p>在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸减小的变形方法</p>
旋 压		<p>在旋转状态下用辊轮使毛坯逐步成形的方法</p>
校 形		<p>为了提高已成形零件的尺寸精度或获得小的圆角半径而采用的成形方法</p>

第二节 金属塑性变形的力学规律

冲压成形时，外力通过模具或其他工具作用在板料上，使板料内部产生应力，由于外力的作用状况、板料的形状和模具的尺寸千差万别，因而引起板料内各点的应力与变形也各不相同，因此必须研究变形物体内部各点的应力状态、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。

一、变形物体的应力应变状态

假设在变形物体内部任意点取一个六面单元体，该单元体上应力状态可取其互相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

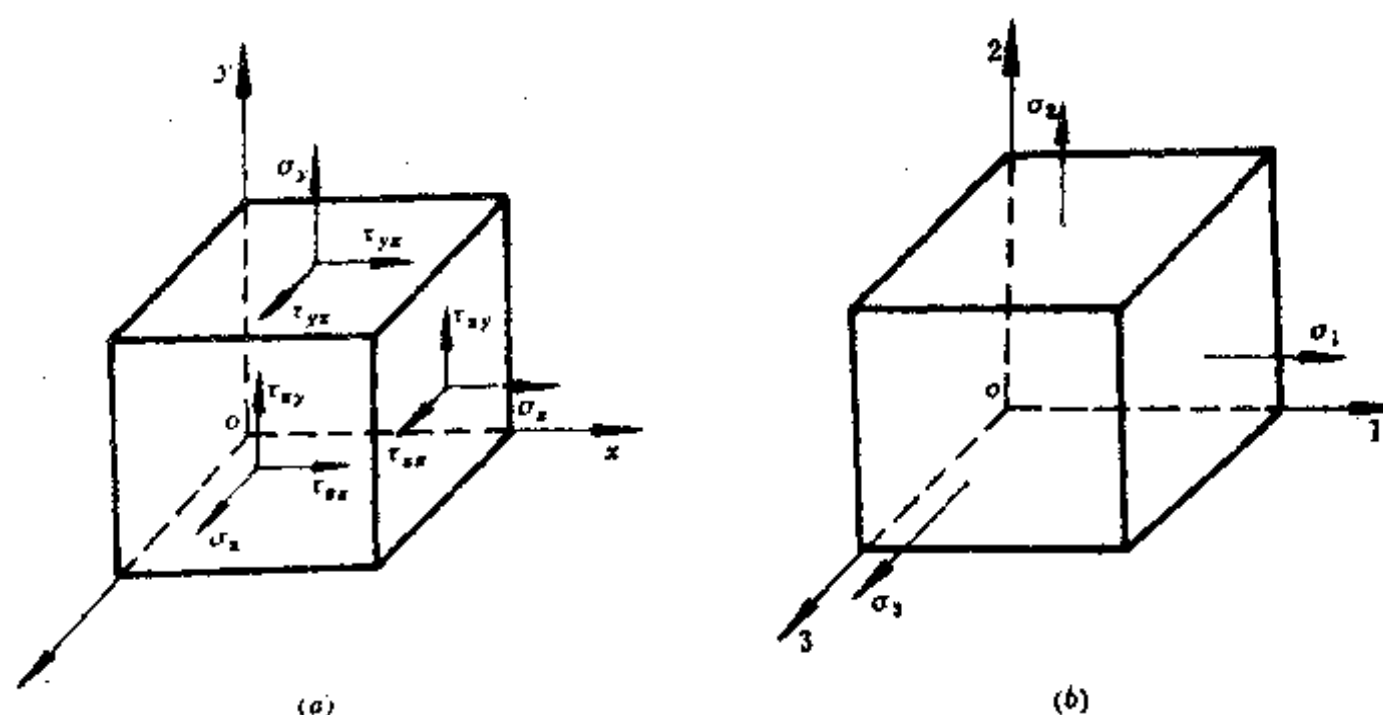


图 1-1 点的应力状态

(a) 任意坐标系；(b) 主轴坐标系。

应力和六个剪应力，如图 1-1 (a) 所示。由于单元体处于静力平衡状态，故单元体各轴的合力矩为零，可得出互相垂直平面上剪应力互等， $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ， $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ， $\tau_{zx} = \tau_{xz}$ ，因此已知三个正应力和三个剪应力，那么该点的应力状态就可以确定了。由于坐标轴所取的方位不同，这六个应力分量的大小也不一样，可以证明，对任何一种应力状态，总存在这样一组坐标系，使得单元体各表面上只有正应力而无剪应力，如图 1-1 (b) 所示。这时，三个坐标轴就称为主轴，三个坐标轴的方向就称为主方向，而三个正应力就叫做主应力，一般按其代数值大小依次为 σ_1 、 σ_2 和 σ_3 ，即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ 。三个主应力的作用面称主平面。

一般情况下，单元体的三个主方向都有应力存在，这种应力状态称为三向应力状态，或称空间或立体应力状态，如宽板弯曲变形。但板料的大多数成形工序，沿材料厚度方向的厚向应力 σ_1 与其他两个垂直方向的主应力（即径向应力 σ_r 与切向应力 σ_θ ）比较，相对来说往往很小，可以忽略不计，如拉深、翻孔和胀形变形，这种应力状态称平面应力

状态或两向应力状态。三个主应力中有两个为零，只在一个方向有应力，称为单向应力状态，在板料的内孔边缘和外形边缘处常常是自由表面，故径向应力 σ_r 为零，而板料大多数成形工序的厚向应力 σ_t 也为零，故此处为单向应力状态。

如果三个主应力大小都相等，即 $\sigma_p = \sigma_s = \sigma_t$ ，称为球应力状态，深水中物体就承受三向等压应力称静水压力。冲裁工序中，静水压力的大小对极限塑性应变值和裂纹的产生都有很大影响。除主平面不存在剪应力外，单元体其他方向的截面上均存在剪应力，而在与主平面成 45° 的截面上的剪应力达到极值，称主剪应力，同样，主剪应力及其作用面共有三组，且互相垂直。可以证明，如果 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ，则最大剪应力 $\tau_{\max} = \pm (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$ 。最大剪应力与材料的塑性变形关系很大。还有一个与塑性变形密切有关的量称等效应力 σ_i （或称应力强度），其表达式为

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (1-1)$$

等效应力不是真正作用在单元体某截面上的实际应力，而是衡量该点应力状态受载程度的一个指标。对整个受力的变形物体而言，外力增加称为加载，外力减小称为卸载。但对物体中某点来说，就不能简单根据外载荷的变化来判断，因为随着外载荷的变化，物体发生变形，物体内部各点的应力状态也随之变化，而相互之间的关系是很复杂的，这时就应根据该点等效应力 σ_i 的变化来确定是加载还是卸载。如果在某瞬间 σ_i 是增大的，那么对该点而言，这一瞬间是加载。反之，如果 σ_i 是减小的，则该点就是卸载。如果在加载过程中所有的应力分量均按同一比例增加，这种状况称为简单加载。简单加载时，三个应力主轴的方向是不会改变的，而应力应变的关系也得到简化。

应力产生应变，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剪应变，也可找到一组坐标轴，使单元体各表面上剪应变为零，这样的坐标轴称应变主轴，沿应变主轴方向上的正应变称主应变，主应变也有三个，分别为 ε_1 、 ε_2 和 ε_3 ，按代数数值大小排列为 $\varepsilon_1 \geq \varepsilon_2 \geq \varepsilon_3$ 。

实践证明，塑性变形时物体主要发生形状的改变，而体积的变化很小，可以忽略不计，即认为

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad (1-2)$$

这就是塑性变形体积不变定律，它反映了三个正应变值之间的相互关系。根据体积不变定律可知：塑性变形时只可能有三向应变状态和平面应变状态，而不可能有单向应变状态，即上式中 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$ 时， ε_1 必然为零。在平面应变状态时（若 $\varepsilon_3 = 0$ ），则另外两个应变绝对值必然相等，而符号相反（即 $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$ ）。

二、塑性条件

当物体中某点处于单向应力状态时，只要该点的应力达到材料的屈服极限，该点就进入塑性状态。可是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已经屈服，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。

1864年屈雷斯加(H. Tresca)提出：“任意应力状态下只要最大剪应力达到某临界值

后材料就开始屈服”。这就是最大剪应力理论。通过单向拉伸试验可得出，此临界值等于屈服极限的一半（即 $\sigma_s/2$ ）。设 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ，最大剪应力理论可表达为

$$\tau_{\max} = \left| \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right| = \frac{\sigma_s}{2} \quad \text{或} \quad |\sigma_1 - \sigma_3| = \sigma_s \quad (1-3)$$

最大剪应力理论，虽然形式简单与试验结果基本相符，用于分析板料成形问题也有足够精度，但只考虑最大剪应力的作用（也即在三个主应力中忽略了中间主应力 σ_2 的作用），理论上未免有些欠缺。

1913年米塞斯（Von Mises）提出另一塑性条件对此加以修正，提出：“当某点的等效应力达到某一临界值时，材料就开始屈服”。同样通过单向拉伸试验可确定，该值就是材料的屈服极限 σ_s 。米塞斯塑性条件可表达如下

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} = \sigma_s$$

或

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2 \quad (1-4)$$

实际上，米塞斯准则与屈雷斯加准则之间差别很小，如果将式（1-4）中消去 σ_2 ，可得

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta\sigma_s \quad (1-5)$$

式中 β ——与中间应力 σ_2 有关的系数。

经过计算可求出：当单向拉伸（ $\sigma_1 > 0, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ）、单向压缩（ $\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 < 0$ ）、双向等拉（ $\sigma_1 = \sigma_2 > 0, \sigma_3 = 0$ ）、双向等压（ $\sigma_1 = 0, \sigma_2 = \sigma_3 < 0$ ）时， $\beta = 1$ 。纯剪（ $\sigma_1 = -\sigma_3, \sigma_2 = 0$ ）、平面应变（ $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ ）时， $\beta = 1.155$ 。可以证明 β 值的变化范围为 $1 \leq \beta \leq 1.155$ 。在应力分量未知情况下， β 可取平均值 1.1。

三、塑性应力应变关系

物体受力产生变形，所以应力与应变之间一定存在着某种关系，物体在弹性变形阶段，应力与应变之间的关系是线性的，可逆的，弹性变形是可以恢复的，应力和应变之间是单值关系，与加载历史无关，即一点的应变状态仅仅取决于该点的应力状态，而与已经经历的变形过程无关。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。如图 1-2 所示为材料单向拉伸应力应变曲线，材料屈服后，应力应变不再是线性关系，加载时，应力应变关系沿 ABC 曲线变化，而在 C 点卸载时，则应力应变沿 CD 线变化，卸载后再加载时，此时应力应变沿 CD 线上升，而与初始加载时所经历的 $OABC$ 路线不同，变形过程是不可逆的。且在同一个应力 σ 时，因为加载历史不同，应变也不同，可能是 ϵ' ，也可能是 ϵ'' 。因此在塑性变形时，应变不仅与应力大小有关，而且与加载历史有着密切的关系。一般说来，塑性变形时，应力与全量应变 ϵ 之间不存在对应关系。为了建立物体受力与变形之间的关系，只能撇开整个变形过程，而取加载过程中某个微量时间间隔 dt 来研究。因此出现了应力与应变增量之间的关系式，称增量理论，其表达式为

$$\frac{d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数} \quad (1-6)$$

式中 $d\varepsilon_1, d\varepsilon_2, d\varepsilon_3$ ——主应变增量。

增量理论在计算上引起的困难很大，尤其材料有冷作硬化时，计算就更复杂了。为了简化计算，在简单加载情况下，可得出全量理论，其表达式为

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数} \quad (1-7)$$

在板料成形中，要严格满足简单加载条件是不现实的。实践证明：工程问题的分析计算，只要近似满足简单加载条件，使用全量理论是容许的，这将大大简化分析计算的过程。

利用全量理论分析可以得出：

(1) 当 $\varepsilon_2 = 0$ 时，称平面应变（或称平面变形），由式（1-7）可得出 $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2$ 。宽板弯曲就属这种情况。

(2) 当 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ 时，由式（1-7）和利用体积不变条件 $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$ ，可得 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$ ，也就是说，当材料上三个主应力相等，即三向等拉或三向等压时，材料不产生塑性变形，仅有弹性变形。

(3) 当 $\sigma_1 > 0$ ，且 $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ 时，材料受单向拉应力作用。利用式（1-7）可得 $\varepsilon_1 > 0$ ，且 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = - (1/2) \varepsilon_1$ ，也就是说，当单向拉伸时，在拉应力作用方向上为伸长变形，其余两方向上为压缩变形，且为伸长变形之半，翻孔变形材料边缘属此类。同理对单向压缩变形，即 $\sigma_3 < 0$ ，且 $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ ，可以得出 $\varepsilon_3 < 0$ ， $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = - (1/2) \varepsilon_3$ ，即压应力作用方向为压缩变形，其余两方向为伸长变形，且为压缩变形之半，缩口变形材料边缘属此类。

(4) 当 $\sigma_1 = \sigma_2 > 0$ ，且 $\sigma_3 = 0$ 时，由式（1-7）得 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 > 0$ 和 $\varepsilon_3 = -2\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2$ ，即当材料受两向等拉时，拉应力方向上为拉伸变形。而在材料厚度方向为压缩变形，其值为伸长变形的两倍。平板材料胀形时的中心部分就是双向等拉应力状态。

(5) 当 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$ 时，由式（1-7）分析可知，最大拉应力 σ_1 方向上的变形一定是伸长变形。而在最小拉应力 σ_3 方向上的变形一定是压缩变形。在两向拉应力作用下的胀形变形，拉应力方向上的变形是伸长变形，而厚度方向是压缩变形，使材料变薄。

(6) 当 $0 > \sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ 时，由式（1-7）分析可知，在最小压应力 σ_3 （绝对值最大）方向上的变形一定是压缩变形。而在最大压应力 σ_1 （绝对值最小）方向上的变形一定是伸长变形。

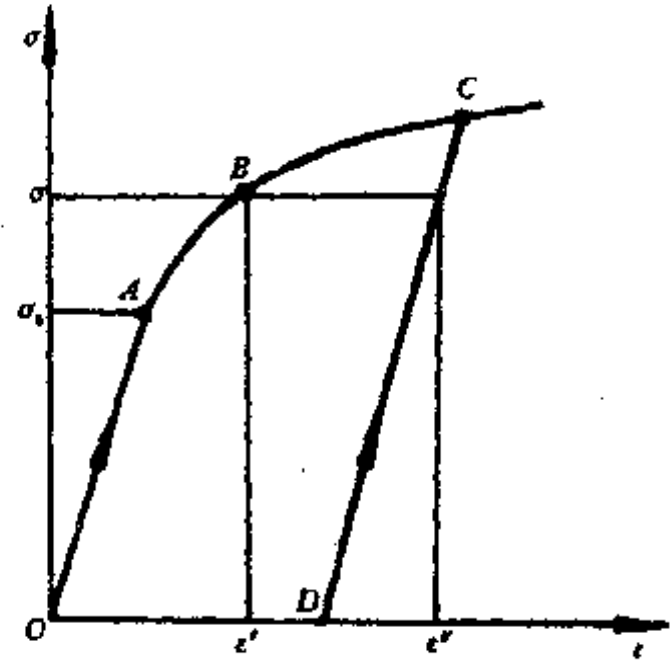


图 1-2 单向拉伸应力应变曲线

第三节 硬化与硬化曲线

前面讨论塑性条件和塑性应力应变关系时，为了使问题简化，假设材料具有理想塑

性性质，即屈服极限恒为一常数，与变形程度无关。但实际材料在塑性成形过程中，随着变形程度的增加，其变形抗力（即每一瞬间的屈服强度 σ ）是不断增高的，硬度也将提高，而塑性（金属在外力作用下能稳定地改变自己的形状和尺寸而不破坏的能力）下降，即塑性指标如延伸率下降，这种现象称为加工硬化。材料不同，变形条件（变形温度、速度等）不同，其加工硬化的程度就不同。材料的加工硬化对塑性变形的影响很大，不仅使所需的变形力增加，而且限制了材料进一步的变形，甚至要在后续变形工序前增加中间退火工序以消除硬化。但也有其有利的一面，板料硬化能够减小过大的局部变形（减小厚度的局部变薄），变形趋于均匀，增大成形极限。由此可见，在处理冲压生产中许多实际问题时，必须研究和掌握材料硬化和硬化规律以及它们对冲压工艺的影响。

材料的变形抗力随变形程度变化的情况可用硬化曲线来表示。硬化曲线一般可以通过对材料进行拉伸、压缩或板料胀形试验等多种方法获得。如图 1-3 所示为低碳钢拉伸图，可以看出由于材料变形后出现加工硬化，其应力 $\bar{\sigma}$ 随应变 δ 的增加而变化。伸长变形至 b 点，材料产生缩颈，以后变形集中在缩颈部分，为不均匀变形， b 点称失稳点，变形至 K 点断裂。但是上述曲线并未反映出加工硬化的真实情况，因为图中表示的应力者是以变形前试样的原始截面积 F_0 计算的名义应力 $\bar{\sigma}$ （ $\bar{\sigma}=P/F_0$ ），而没有考虑变形过程中试样截面积的减小。另外，图中的应变也是用延伸率 δ （ $\delta=(l-l_0)/l_0$ ）表示，称名义应变，它只考虑了变形前和变形后两个状态试样的尺寸，而未考虑材料变形是一个逐渐积累的过程，即应变应与物体变形的全过程有关，因此用延伸率表示应变也是不准确的。为

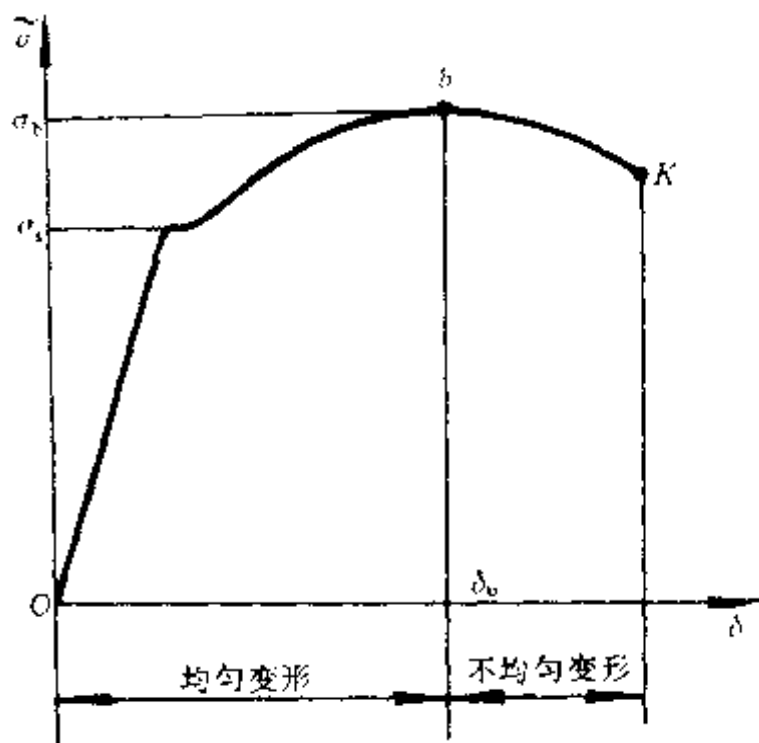


图 1-3 低碳钢拉伸图

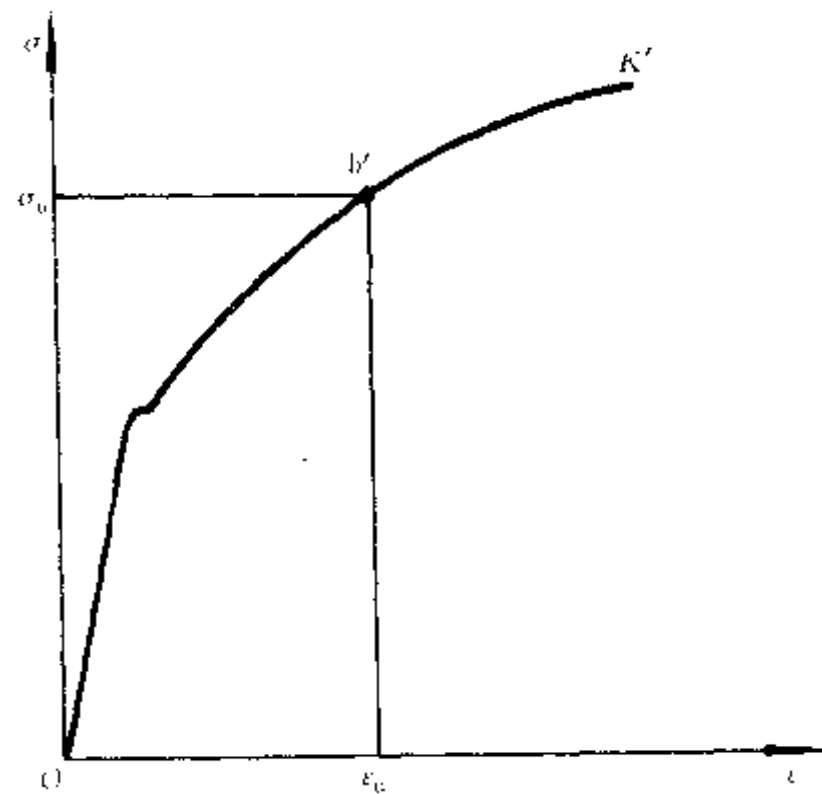


图 1-4 真实应力-真实应变曲线

了真实的反映硬化规律，必须采用真实应力与真实应变来表示。如图 1-4 所示真实应力 σ 为

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad (1-8)$$

式中 F ——变形各瞬间的实际最小截面积。

金属塑性变形是大变形，在这种情况下，研究变形只能取变形过程中某微量时间间隔 dt 来考察。在 dt 时间内，物体上某线段增长了 dL ，其应变值会有一个增量 $d\varepsilon$ ，而 $d\varepsilon = dL/L$ ，因此线段由 L_0 变为 L 时，其真实应变 ε 应为变形全过程应变增量的总和，即为

$$\varepsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} \quad (1-9)$$

真实应力应变曲线（即硬化曲线），见图 1-4，从图上可看出，在产生缩颈 b' 处，尽管外载荷 P 为极大值，但此处真实应力 σ 并不出现极大值，这是由于继续变形后，虽然外载荷 P 下降，而试样的截面积也在减小，且减小得更快，以致真实应力仍不断上升，直至 K' 试件断裂为止。由于真实应力应变曲线更符合塑性变形的实际情况，故在塑性加工中被广泛采用。

硬化曲线的制作，要求实验工作十分精细，且很麻烦，如图 1-5 所示实验曲线的变化规律一般都很复杂，很难用统一的函数形式将它们精确地表达出来，这就给计算塑性成形问题带来困难。因此需要将实际材料的硬化曲线进行适当的简化，变成既能写成简单的数学表达式，又只需要少量实验数据就能确定下来的近似硬化曲线。目前常用的近似曲线有两种，即硬化直线和指数曲线。

一、硬化直线

硬化直线制作简单，只需知道产生缩颈时的应力与应变即可确立，不需测量其他数据。图 1-6 所示为表示真实应力与真实应变的硬化直线。以缩颈时的应力 σ_0 和应变 ε_0 之

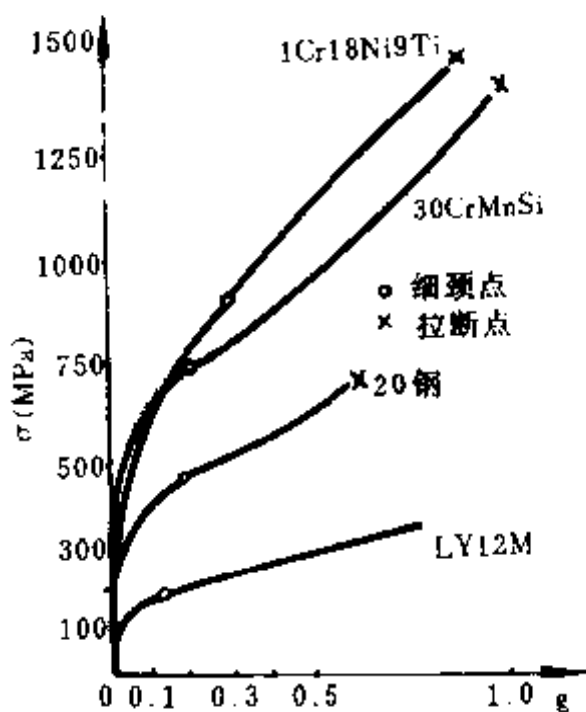


图 1-5 各种材料的硬化曲线

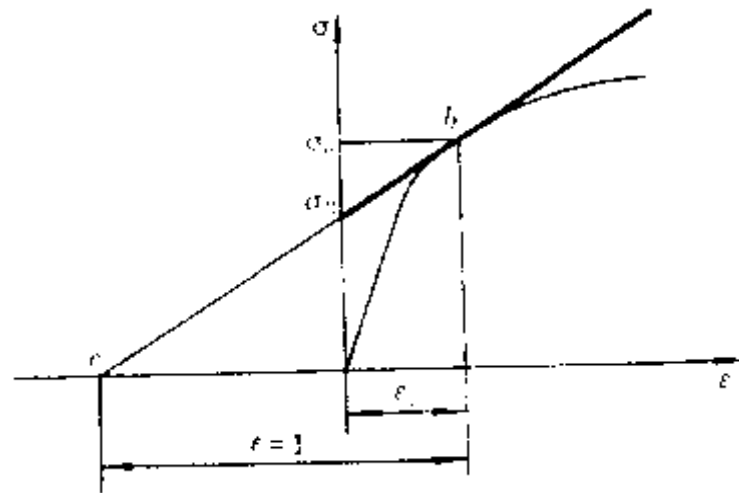


图 1-6 硬化直线

值定出 b 点，在轴的负方向量取 $(1 - \varepsilon_0)$ 得 c 点，联 bc 直线即为硬化直线。该直线方程式为

$$\sigma = \sigma_0 + D\varepsilon \quad (1-10)$$

式中 σ_s —— 近似屈服极限；

D —— 硬化模数。

二、指数曲线

由于实际硬化曲线和硬化直线之间差异很大，所以冲压生产中经常采用指数曲线，其表示如下

$$\sigma = C\varepsilon^n \quad (1-11)$$

式中 C —— 与材料有关的系数；

n —— 硬化指数。

不同 n 值的硬化曲线如图 1-7 所示， C 和 n 值取决于材料的种类和性能，其数值见表 1-3，可通过拉伸试验求得。 n 值是表示材料冷变形时硬化性能的重要参数， n 值大时，表示冷变形过程中材料的变形抗力随变形的进展而迅速增大，同时不易出现局部的集中变形和破坏，有利于增大伸长类变形的成形极限，对板料的冲压成形性能有着重要的影响。

表 1-3 各种材料的 C 与 n 值

材 料	C (N/mm) ²	n
软钢	710~750	0.19~0.22
黄铜 H62	990	0.46
磷青铜	1100	0.22
磷青铜(低温退火)	890	0.52
银	470	0.3
铜	420~460	0.27~0.34
硬铝	320~380	0.12~0.13
铝	160~210	0.23~0.27

注：表中数据是指退火材料在室温和低变形速度下试验求得的。

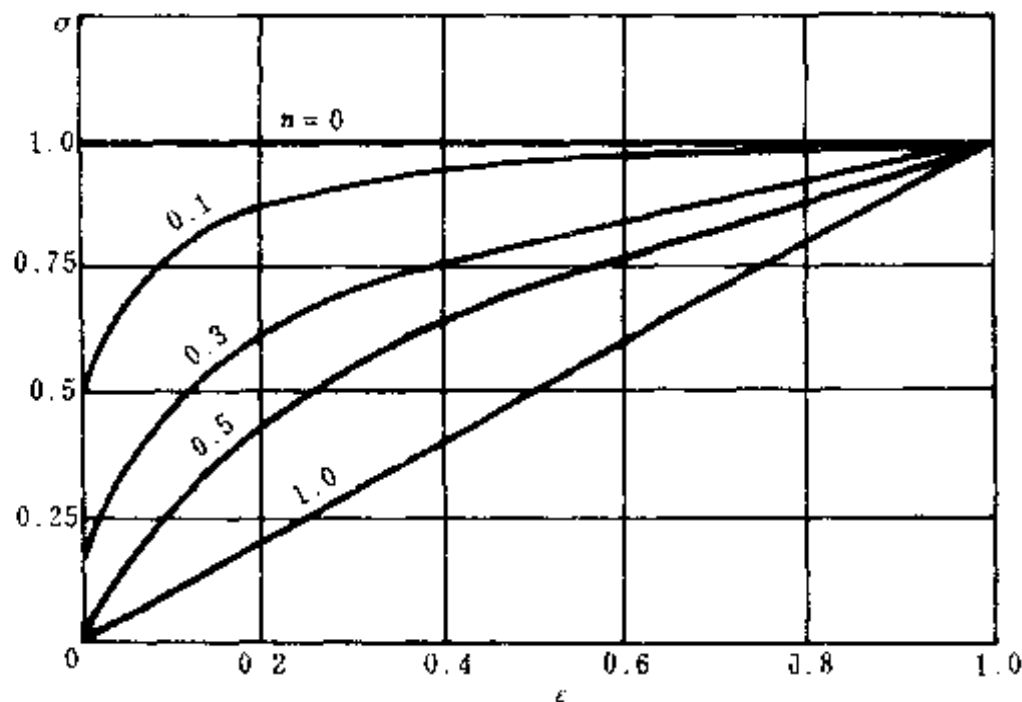


图 1-7 不同 n 值的硬化指数曲线

第四节 冲压成形的力学特点与分类

冲压成形时，在外力作用下，板料内各点的应力与应变状态均不同。由于板料和模具形状与尺寸的不同，板料上变形区的部位与形状也不相同。随着变形过程的进展，变形区的位置也会发生变化。板料上除变形区外即为不变形区，不变形区包括已变形区和待变形区，当不变形区受力的作用时，称为传力区。图 1-8 所示为冲压时板料各区划分举例。

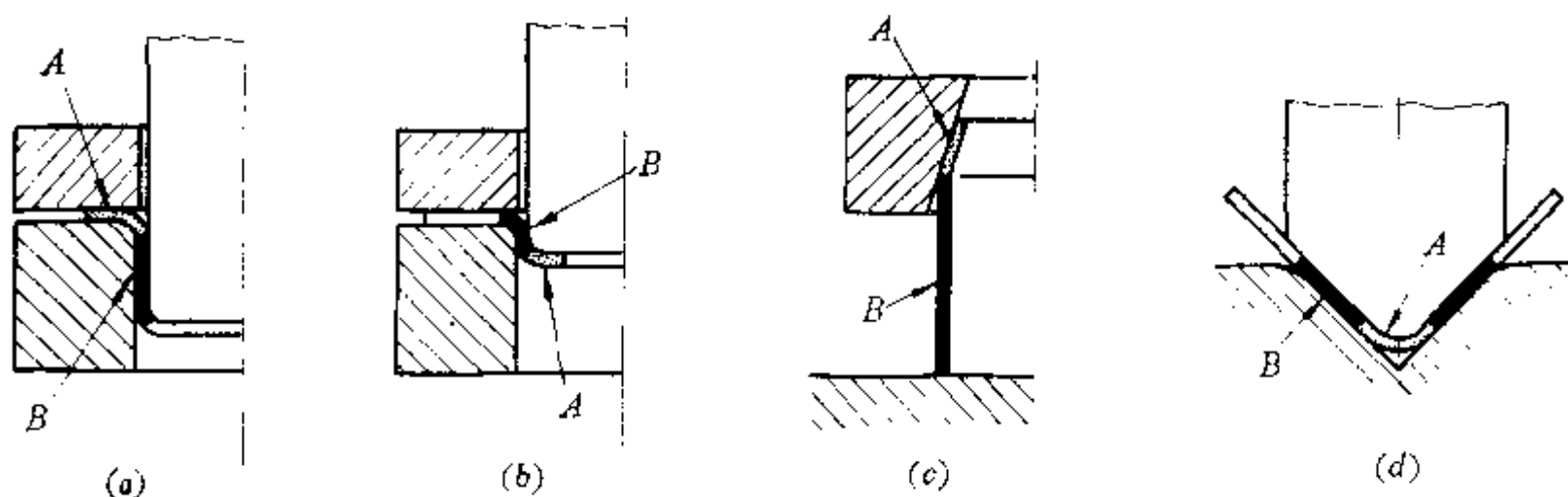


图 1-8 冲压时板料各区划分举例

(a) 拉深；(b) 翻孔；(c) 缩口；(d) 弯曲。

A—变形区；B—传力区。

从本质上看，冲压成形过程就是板料变形区在力的作用下产生变形的过程，所以板料变形区的受力情况和变形特点是决定各种冲压变形根本性质的依据。它不仅决定了冲压工序的性质，而且与成形极限、产品质量以及所需的变形力与变形功都有密切的关系，也对制定成形工艺规程和模具设计起着重要作用。研究冲压成形过程，就必须全面地分析整个变形区内的应力应变状态，以及变形区在变形过程中连续变化的规律。并根据这些特点对各种冲压成形方法进行分类。

板料冲压成形各工序中，除板料弯曲变形工艺，由于弯曲变形使材料变薄，材料在厚度方向的相互挤压作用产生压应力，因而造成三向应力状态外，其余各种板料成形过程中，垂直于板料平面的应力数值很小，可以认为此方向上的应力（即厚向应力） $\sigma_z \approx 0$ 。使板料产生塑性变形的应力是板料平面内互相垂直的径向应力 σ_r 和切向应力 σ_θ 。因此板料冲压成形（除弯曲变形外），一般可作为平面应力问题来处理。变形区的应力状态可归纳为四种类型：两向受拉、一拉一压（以拉伸为主）、一压一拉（以压缩为主）和两向受压。其应力应变状态如图 1-9 所示。

第一类应力状态为两向受拉（见图 1-9），其中 (a)、(b) 所示两种均为两向拉应力，即胀形和翻孔工艺。很明显，在变形中材料发生变薄现象。

第二类应力状态为一拉一压，且拉应力之绝对值大于压应力绝对值，即以拉伸为主，如图 1-9 (c) 所示为扩口变形，其切向拉应力 σ_θ 的绝对值大于径向压应力 σ_r 的绝对值，

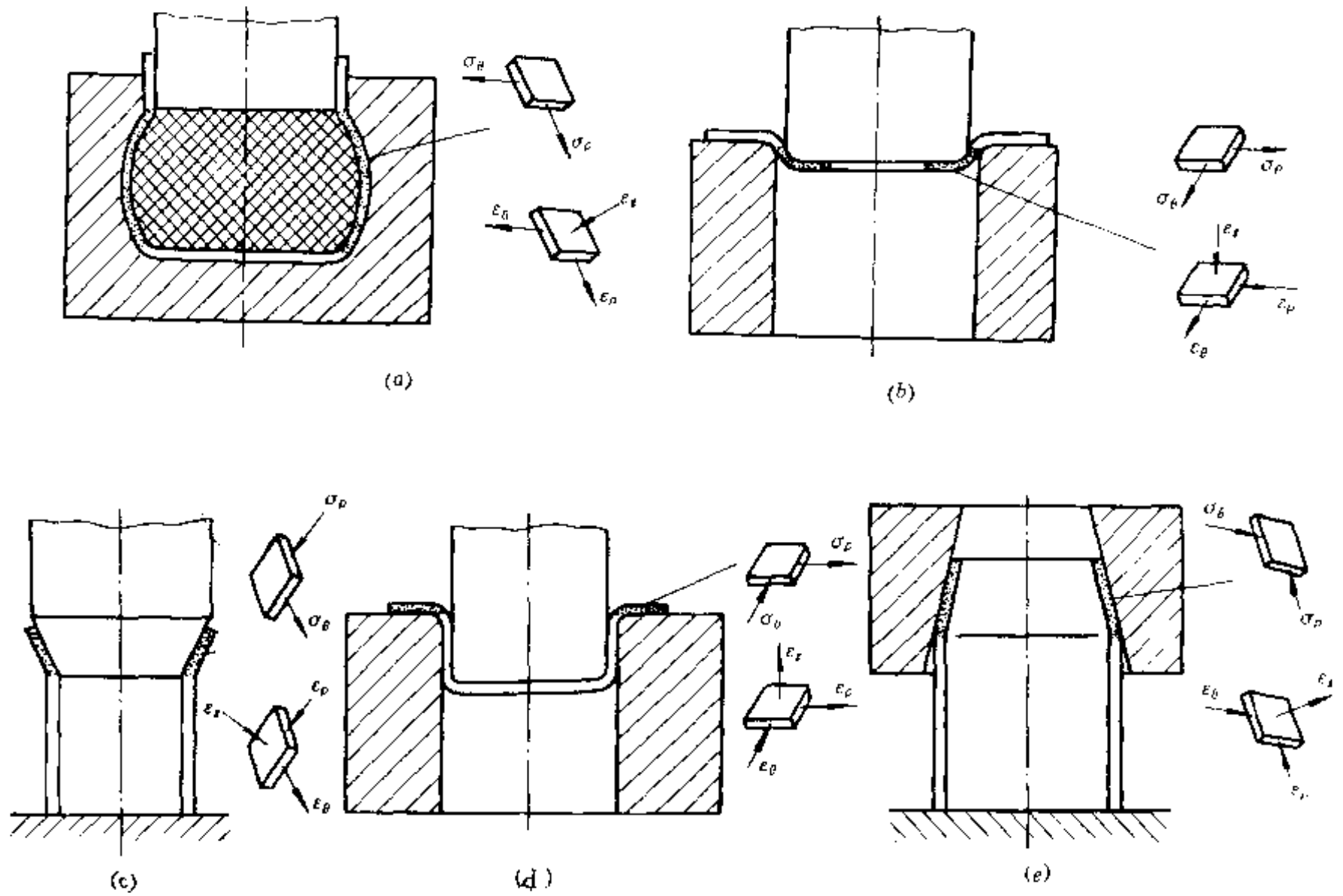


图 1-9 冲压成形基本应力应变状态及实例
(a) 胀形; (b) 翻孔; (c) 扩口; (d) 拉深; (e) 缩口。

根据全量理论和体积不变条件分析可得, 应变状态如图示, 即沿板料厚度方向变形为负, 材料也发生变薄现象。

第三类应力状态为一压一拉, 且压应力的绝对值大于拉应力绝对值, 即以压缩为主, 如图 1-9 (d) 所示为拉深变形, 与第二类应力状态相比, 虽然应力状态也是一向为拉和一向为压, 但此时在数量上发生了变化, 即压应力的绝对值大于拉应力的绝对值, 而在材料厚度上的变形也发生了质的变化, 如图所示, 此时材料发生变厚现象。

第四类应力状态为两向受压 (见图 1-9), 其中 (e) 所示缩口为两向压应力, 在材料厚度方向发生变厚。

综上所述, 可将平面应力状态的四种受力状况概括为两大类: 伸长类变形和压缩类变形。当作用在板料变形区的拉应力的绝对值最大时, 在这个方向上的变形一定是伸长变形, 板料的成形主要是靠材料的伸长变形和厚度的减薄来实现。拉应力的成分越多, 数值越大, 材料的伸长与厚度减薄越严重。这类变形称伸长类变形。同理, 当作用在板料变形区的压应力的绝对值最大时, 在这个方向上的变形一定是压缩变形, 板料成形主要是靠材料的压缩变形和厚度的增加来实现。压应力的成分越多, 数值越大, 板料的缩短与厚度的增加就越严重。这类变形称压缩类变形。

由于伸长类变形和压缩类变形在变形力学上的本质差别, 它们在成形过程中出现的问题和解决的方法也完全不同。但是对同一类变形中的各种成形方法, 却可以用相似的

方法去分析和解决。总的说来，板料成形过程能否顺利进行，首先要看传力区是否有足够的强度，这在压缩类变形中显得更加突出，如拉深变形。其次要分析变形区可能出现的问题，在伸长类变形中主要是材料在拉应力作用下失稳拉裂。而在压缩类变形中则主要是材料在压应力作用下的失稳起皱。以下将分别介绍两类不同变形形式下，提高成形极限的措施。

提高伸长类变形成形极限的措施为：

(1) 减小变形不均匀程度 由于伸长类变形中，破坏往往是板料局部过度变薄而出现破裂造成的，因此应使变形尽量均匀。减小局部的集中变形，可以使总的均匀变形程度增加。如在胀形时，润滑凸模可使变形趋于均匀，采用硬化指数 n 高的材料，也能防止产生过分集中的局部变形，使胀形、翻孔和扩口等伸长类变形的成形极限提高。

(2) 提高材料的塑性 伸长类变形的成形极限与材料塑性指标如延伸率和断面收缩率的关系密切。提高材料塑性在工艺上可采用变形前退火，多次成形时的中间退火，目的是为了消除前道成形工序中形成的硬化或冲裁时形成的断面硬化层，以达到提高材料塑性进而提高板料成形极限。

(3) 消除板料变形区的局部硬化层或易于引起应力集中而导致材料破坏的各种因素如去除毛刺，或用整修法去除冲裁件断面硬化层，均可减少伸长类变形的破裂现象。

提高压缩类变形成形极限的措施为：

(1) 提高传力区的承载能力和降低变形区的变形抗力和摩擦阻力等 压缩类变形的破坏形式主要是传力区受拉失稳破裂和变形区受压失稳起皱。为防止传力区破裂，在降低变形区变形抗力时，同时必须提高传力区的承载能力，即使传力区承载能力和变形区变形抗力的比值得到提高，如弹性凹模拉深和凸缘加热拉深等就是利用这个原则使成形极限得到很大提高。拉深时应选用屈强比 (σ_s/σ_b) 低的材料，以实现“承载能力高变形抗力低”易于成形的目的。

(2) 防止失稳起皱 如拉深中，采用压力装置，防止板料起皱，设计具有较高抗失稳能力的中间半成品形状，以及采用厚向异性指数 γ 大的材料等，都有助于提高压缩类变形的成形极限。

(3) 采用降低变形抗力为主要目的的退火 如多次拉深时的中间退火，其根本作用是提高传力区承载能力与变形区变形抗力的比值，这与伸长类变形以恢复材料的塑性为主要目的的退火有很大差别。例如以极限拉深变形进行一次拉深工序后，如不退火，仍然可以继续进行一次变形程度较小的拉深工序，这是由于此时材料的受力情况已改变，拉深仍能顺利进行。而以极限翻孔变形进行一次翻孔加工后，如不经提高塑性的退火，继续进行翻孔是不可能的，因此时材料的塑性已经用尽，即使采用较小的变形程度也不行。

第五节 板料的冲压成形性能

一、概述

板料对冲压成形工艺的适应能力称为板料的冲压成形性能。板料在成形过程中可能

出现两种失稳现象，一种称为拉伸失稳，即板料在拉应力作用下局部出现缩颈或断裂；另一种称压缩失稳，即板料在压应力作用下出现起皱。板料在失稳之前可以达到的最大变形程度叫做成形极限。成形极限分为总体成形极限和局部成形极限。总体成形极限反映板料失稳前总体尺寸可以达到的最大变形程度，如极限拉深系数、极限胀形高度和极限翻孔系数等。这些极限系数通常作为规则形状板料零件工艺设计的重要依据。而局部成形极限则反映板料失稳前局部尺寸可以达到的最大变形程度，如复杂零件成形时，局部极限应变即属于局部成形极限，由于复杂零件变形的不均匀性，板料各处变形差异很大，因此必须用局部成形极限来描绘零件上各点的变形程度。成形极限越高说明板料冲压成形性能越好。

板料冲压成形性能应包括抗破裂性、贴模性和定形性等几方面的性能。其中板料的贴模性是指板料在冲压成形中取得与模具形状一致性的能力。成形中发生起皱、塌陷和鼓包等缺陷，均会降低贴模性。而定形性是指零件脱模后保持其在模内既得形状的能力。影响定形性的主要因素是回弹，造成零件脱模后较大的形状和尺寸误差。板料的贴模性和定形性是决定零件形状尺寸精确度的重要因素。但由于材料抗破裂性差，会导致零件严重破坏，难于修复而无法使用，因而在目前冲压生产中，主要用抗破裂性作为评定板料冲压成形性能的指标。影响冲压成形性能的因素很多，如零件形状、冲压工艺、模具、设备及操作等。而材料的性能对冲压成形性能具有重要影响，尤其对复杂和精密成形零件的影响尤为显著。

二、冲压成形区域和成形性能的划分

胀形、翻孔、拉深和弯曲是四种最常见、最典型的冲压成形方式，如图 1-10 所示，

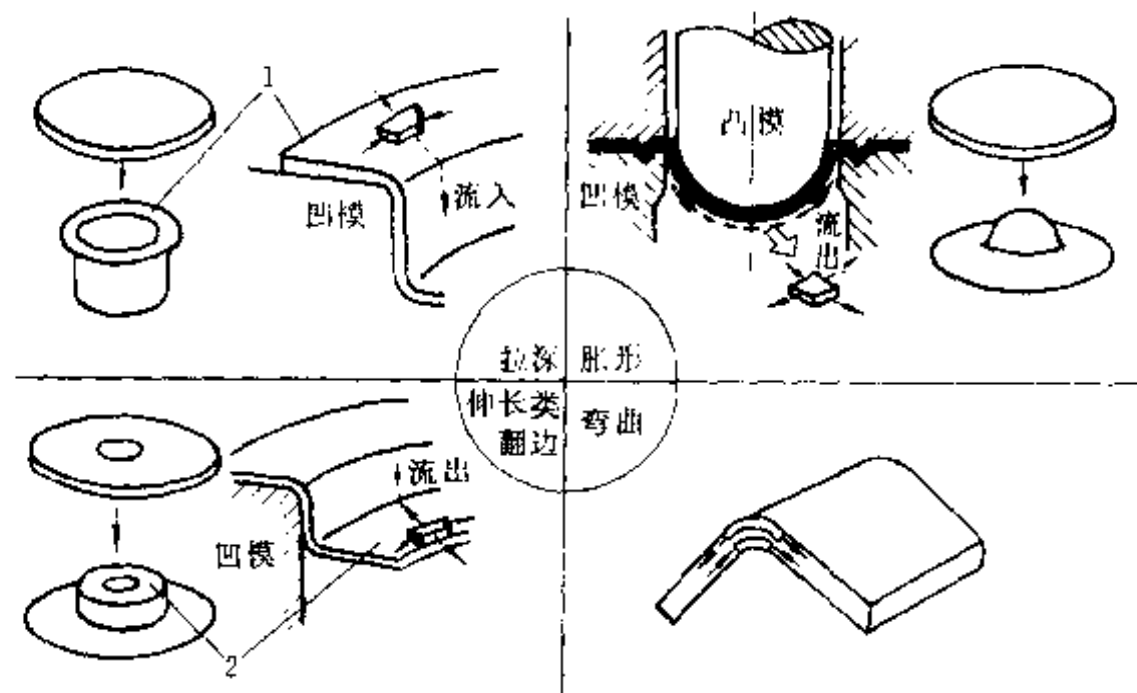


图 1-10 典型冲压成形方式

1—拉深；2—翻边。

一些复杂的冲压成形方式往往是其中两种以上冲压成形方式的复合，例如汽车覆盖零件

的成形，就常常是拉深—胀形复合成形的方式。

在冲压成形中，即使在同一形状和尺寸的模具中，由于毛坯形状和尺寸的改变，其毛坯的变形性质也会发生变化，这对于控制毛坯变形以及提高零件的质量均具有重要意义。毛坯变形区发生塑性变形所必须的力，往往是由模具通过传力区而获得的，由于毛坯各处受力情况的差异，通常总是有一个区域首先产生塑性变形，可以认为这个区域是相对的弱区。为了保证冲压成形的顺利进行，必须保证在该冲压工序中需要变形的部分成为弱区，而不需变形的区域不产生任何塑性变形，因此可得出结论：“弱区必先变形，变形区应为弱区”。这样可以通过改变毛坯尺寸形状等方法，使毛坯需要产生变形的区域成为弱区，产生塑性变形，甚至出现变形性质的改变，以达到控制材料流动的目的。

胀形、翻孔、拉深和弯曲变形被视为最典型的冲压成形方式，不仅是因为圆柱形、半球形和V形件变形方式简单，但更重要的是它们之间可以用一定的参数联系起来，随着参数的改变，变形性质也会发生变化。

图1-11所示为毛坯尺寸对拉深和胀形方式的影响图，在凸模直径 d_p 的拉深模上，逐渐增大毛坯 D 进行冲压，当 d_p/D 大于或等于极限拉深系数时，毛坯就能拉深成直壁圆筒， D 越大，圆筒越高，一旦 d_p/D 小于极限拉深系数，出现零件拉裂，此时为保证零件不产生裂纹，则只能拉出很小的高度，使成形高度急剧下降，拉出一个带凸缘的零件。当毛坯 D 继续增大，变形弱区已不再仅仅是凸缘部分，此部分的变形方式是拉深变形，同时凸模下的材料在双向拉应力作用下发生变薄现象，此处变形方式为胀形变形，从而变形方式由单一的拉深变形转变为“拉深—胀形”复合变形方式。继续增大毛坯 D ，使 d_p/D 小于一定值（如图1-11中小于0.25），则毛坯变形方式又发生质变，由于凹模孔以外毛坯凸缘宽度比凸模直径大得多，冲压时变形阻力很大，凸模很难将材料拉入凹模，即凸缘不再收缩，即已无拉深变形，毛坯变形方式已由凸缘处转移到凹模圆角以内，零件变形方式完全靠材料变薄来实现。成形后零件外缘直径仍为 D ，但中间出现一个鼓包，此时变形弱区已完全转移到凹模圆角以内部分，零件变形已完全由拉深变形转变为胀形变形。

由直径为 D 内孔为 d_0 的毛坯进行冲压时，当改变 d_p/D 与 d_0/d_p 之值，同样可实现拉深、翻孔与胀形三种形式的变形（见表1-4）。

表1-4 带孔圆环毛坯尺寸对成形方式的影响

尺寸关系	成形方式	备注
$d_p/D > 0.5 \sim 0.66; d_0/d_p < 0.15$	拉深	
$d_p/D < 0.4; d_0/d_p > 0.2 \sim 0.3$	扩孔	d_0/d_p 继续加大，则为翻孔，可翻出直壁形零件，否则内孔裂
$d_p/D < 0.4; d_0/d_p < 0.15$	胀形	

从以上分析可知，用圆形凸模冲压成形时，成形方式与参数 d_p/D （近似等于拉深系数）和 d_0/d_p （近似等于翻孔系数）有关，若用 d_0/d_p 作横坐标， d_p/D 作纵坐标，便可得到如图1-12中（1）区所示的回转对称形状零件成形时的冲压成形区域图。根据 d_0/d_p 和 d_p/D 的变化，零件的变形性质发生变化，可分为 δ —拉深区； α —胀形区； β —扩孔区； γ —翻孔区。其中 β 和 γ 共同组成伸长类翻边区。

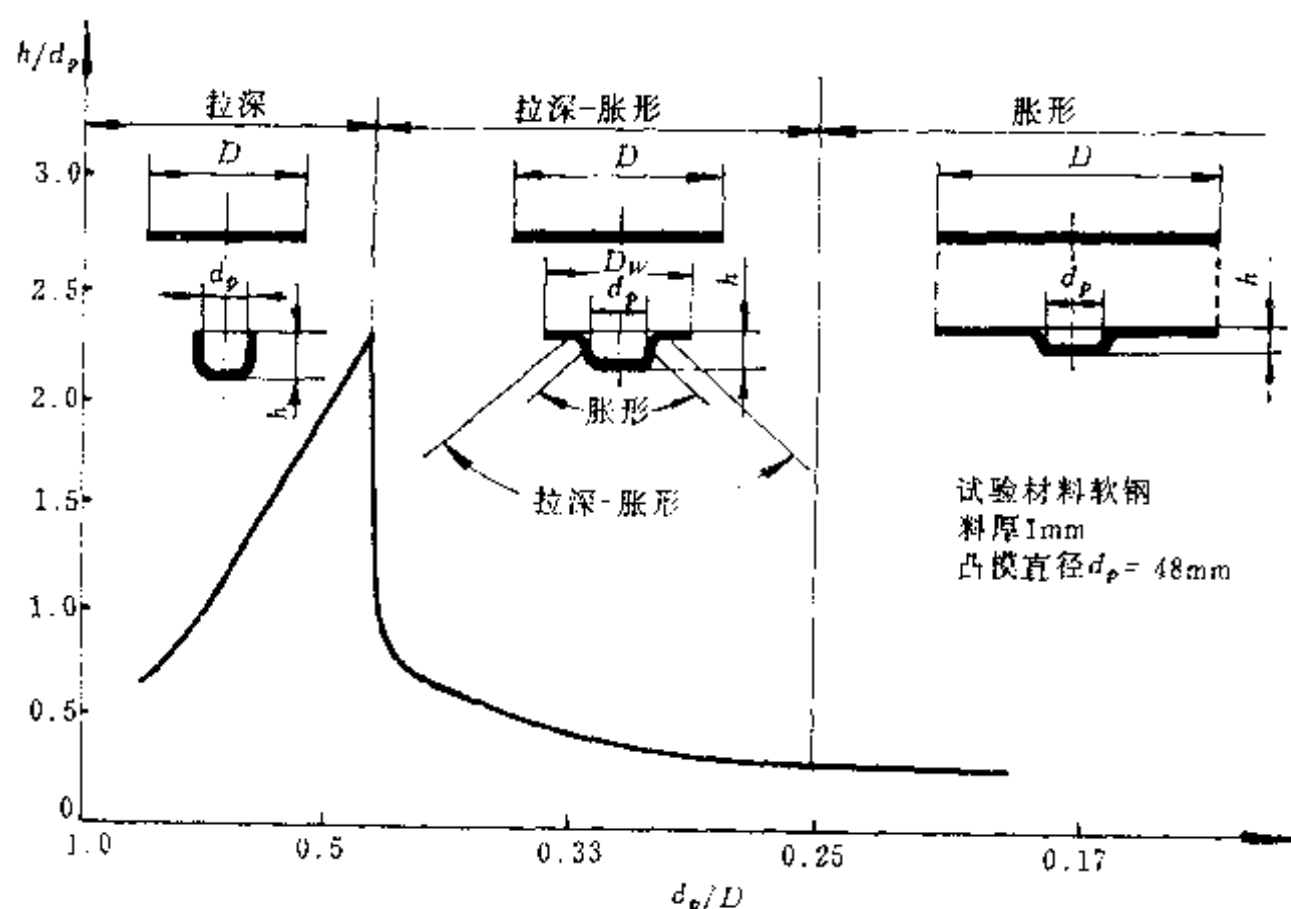


图 1-11 毛坯尺寸对成形高度和成形方式的影响

实践中除回转对称零件外，更多的是非对称形状零件，这些零件变形最剧烈且最容易发生破裂的部位，往往是其侧壁的转角处。如果用 θ 表示转角处的角度，则转角 θ 成为又一个影响成形方式的参数，特别是 $\theta=0^\circ$ 时，转角处变成了弯曲变形，从而在一张冲压成形图上，把拉深、胀形、翻孔和弯曲四种典型成形方式用参数 d_0/d_s 、 d_p/D 和 θ 联系在一起。图 1-12 I 是回转对称零件拉深、胀形和翻孔成形图，II 是非回转对称零件拉深、胀形和弯曲成形图，III 是非回转对称零件胀形、翻孔和弯曲成形图。冲压成形区域图的提出，有助于分析冲压典型成形工序之间的关系，有助于研究冲压几何条件对成形工序的影响，同时也为划分冲压成形性能打下了基础。

从图 1-12 中可以看出，改变毛坯形状和尺寸以及改变凸模形状和尺寸，均能改变材料的变形性质，控制金属的流动规律。除此之外，改变凸凹模的圆角半径、改变毛坯与模具接触表面的摩擦阻力以及采用对毛坯局部加热和局部冷却的办法，降低变形区变形抗力或提高传力区的强度，都可以起到控制金属流动的目的。

如前所述，目前主要用抗破裂性作为板料冲压成形性能的指标。图 1-12 划分了四种典型冲压成形区域，而区域之间的分界线实质上就是不同成形方式下的成形极限。由于成形极限需要根据破裂形式来确定，因此应研究各种成形方式下的破裂形式。胀形、翻孔、拉深和弯曲四种成形方式，有三种典型破裂形式：

α 破裂——由于板料所受拉应力超过材料强度极限引起的破裂；

β 破裂——由于板料的伸长变形超过材料的局部延伸率所引起的破裂；

弯曲破裂——由于弯曲变形区的外层材料的拉应力过大引起的破裂。

拉深件的底部破裂是由于材料强度不足引起的，属于 α 破裂。翻孔破裂是由于材料延伸率不足而出现的，属于 β 破裂。而弯曲引起的破裂称弯曲破裂。胀形件的破裂虽然也是由于材料强度不足引起的，属于 α 破裂，但它与拉深 α 破裂不同，由于胀形破裂总是出

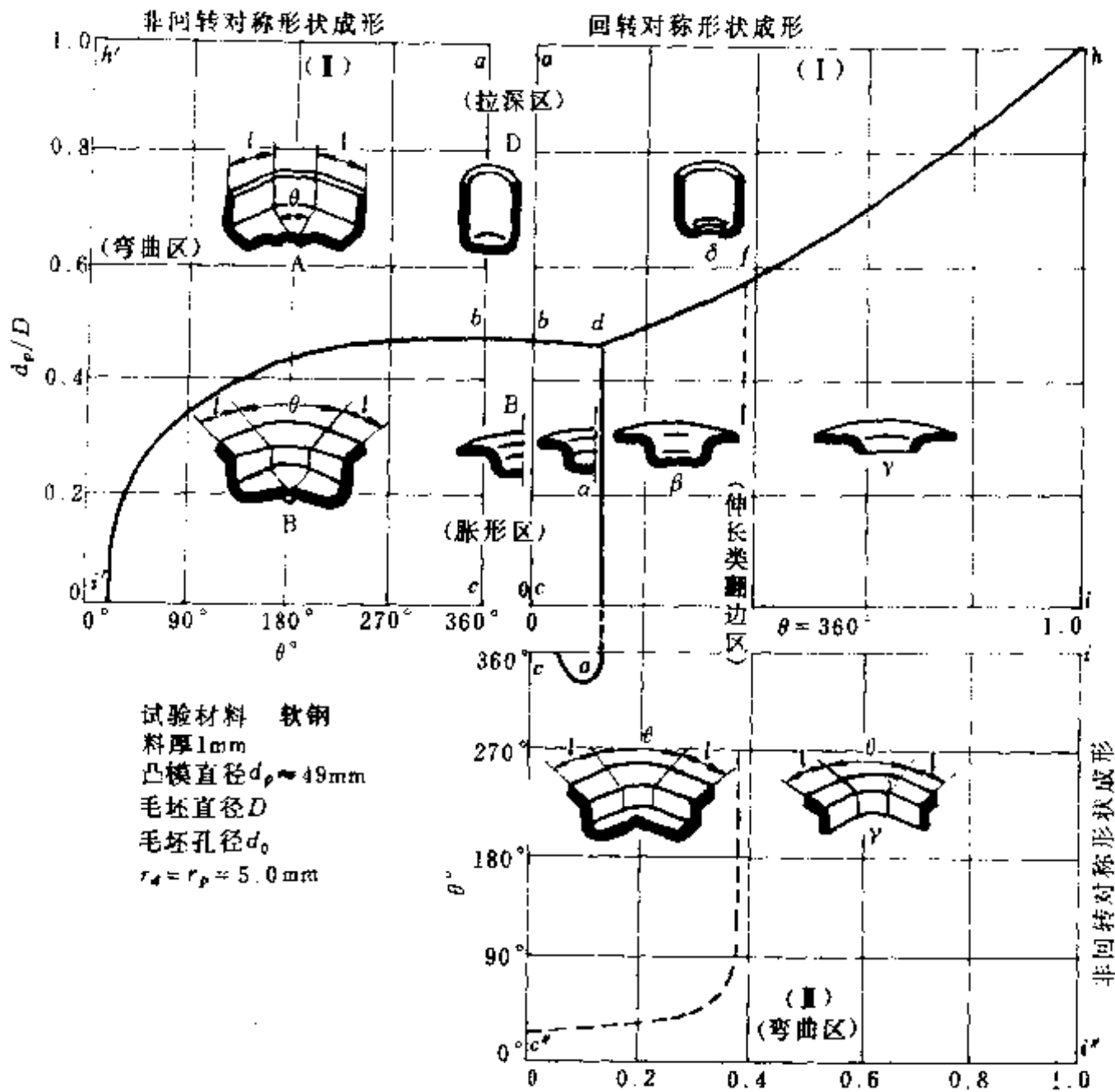


图 1-12 冲压成形区域图

现在变形区,而拉深破裂却产生在零件侧壁传力区,因此板料拉深和胀形时对 α 破裂的抵抗能力不同。把拉深时抵抗 α 破裂的能力叫做拉深成形性能。把胀形时抵抗 α 破裂的能力叫做胀形成形性能。两者的区别在于:拉深成形性能不仅与变形区材料变形状况有关,同时还受传力区变形状况的限制,而胀形成形性能只与变形区的材料变形状况有关。弯曲时抵抗弯曲破裂的能力叫做弯曲成形性能。而习惯上把伸长类翻边(内凹内翻孔与内凹外翻边)时抵抗 β 破裂的能力叫做扩孔成形性能。

如图 1-13 所示为冲压成形性能划分图,说明四种典型冲压成形方式在图中的位置。

三、冲压成形性能的试验方法和指标

测定板料冲压成形性能时,经常采用模拟试验方法。模拟试验方法的特点是突出实际冲压工序中某一方面或几方面的变形特点,加以模拟,作为鉴定材料某种冲压性能的指标。

(一) 胀形成形性能试验

在生产中广泛采用杯突试验(Erichsen 试验)。如图 1-14 所示为 GB4156-84 金属杯突试验方法的示意图。试验时,用 20mm 球形凸模压入夹紧在凹模与压边圈之间的试样上,试样边缘不能向内流动,使试样在凹模内胀成凸包,至凸包破裂时停止试验,并将

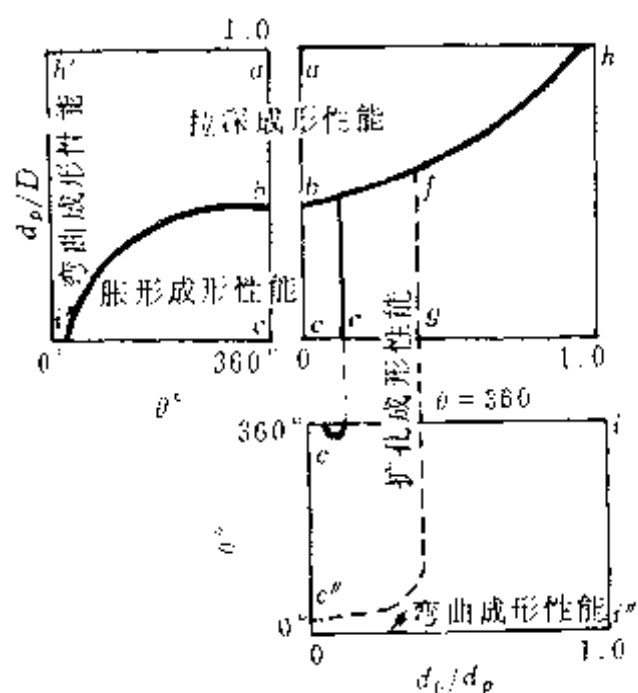


图 1-13 冲压成形性能划分图

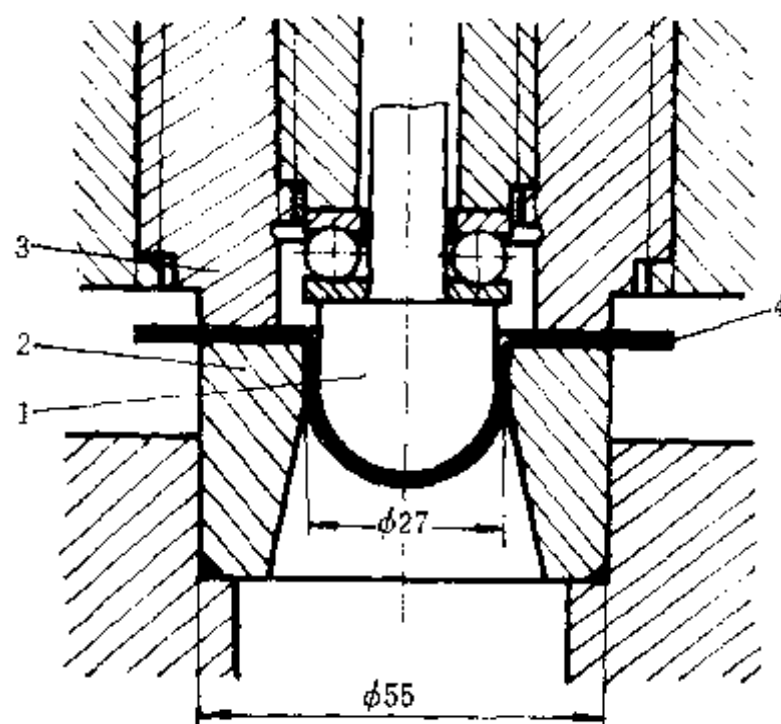


图 1-14 凹杯突试验

1—球形凸模；2—凹模；3—压边圈；4—试样

此时的凸包高度记作杯突试验值 IE ，作为胀形成形性能指标。 IE 值越大，胀形成形性能越好。

(二) 扩孔成形性能试验

采用圆柱形平底凸模扩孔试验 (KWI)。如图 1-15 所示为 JB4409. 4-88 薄钢板扩孔试验方法的示意图。试验时，试样夹紧在凹模与压边圈之间，凸模将带孔试样压入凹模，把试样中心孔 d_0 扩大，当孔边缘发生破裂时停止试验，测量此时的孔径，用扩孔率 λ (或 KWI 值) 作为扩孔成形性能指标。 λ 值越大，扩孔成形性能越好

$$\lambda = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (1-12)$$

式中 d_0 ——试样中心孔的初始直径；

d_1 ——孔边缘破裂时的孔径平均值。

(三) 拉深成形性能试验

采用圆柱形平底凸模冲杯试验 (Swift 试验) 或 TZP 试验 (拉深潜力试验)。冲杯试验方法的变形条件和拉深工艺完全相同，但试验要反复进行。TZP 试验方法比较简单，但需要专门试验装置。

1. 圆柱形平底凸模冲杯试验

如图 1-16 所示为 JB4409. 3-88 薄钢板冲杯和冲杯载荷试验方法的示意图。试验时，试样夹在凹模和压边圈之间，然后凸模压入试样，使材料被拉入凹模之中，试样直径 D_0 由小逐渐增大，直至试样底部出现破裂为止。测出杯体底部圆角附近不被拉破时的最大试样直径 D_{max} ，并计算极限拉深比 LDR 作为拉深成形的性能指标。LDR 越大，拉深成形性能越好

$$LDR = D_{max}/d_p \quad (1-13)$$

式中 d_p ——凸模直径。

2. TZP 试验

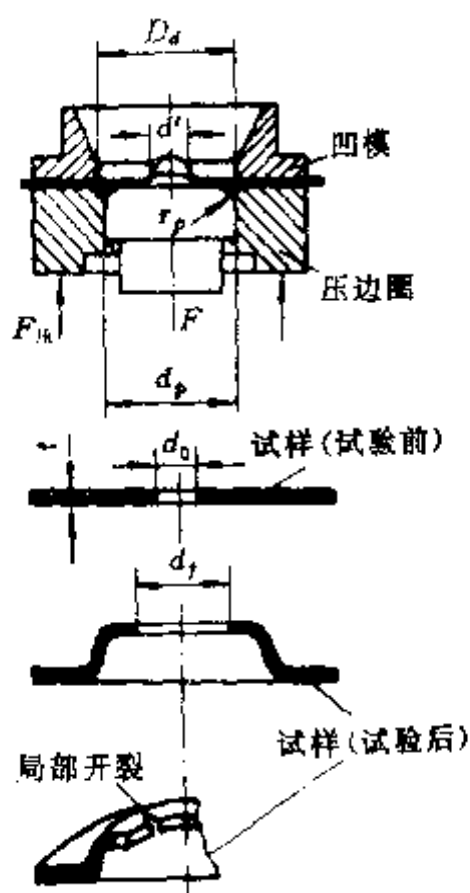


图 1-15 扩孔试验

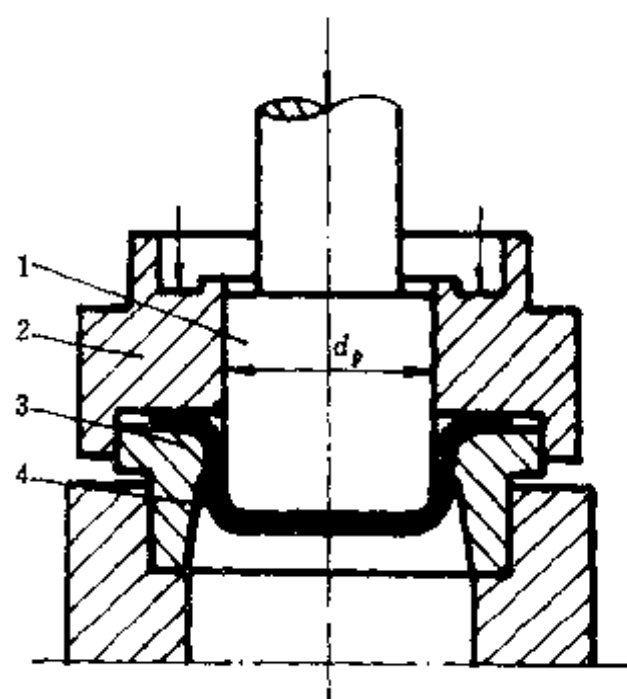


图 1-16 冲杯试验

1-凸模; 2-压边圈; 3-凹模; 4-试样。

如图 1-17 所示为 JB4409.2-88 薄钢板 TZP 试验方法的示意图。试验时, 试样夹紧在凹模与外压边圈之间, 凸模压入试样, 使材料流入凹模, 产生拉深变形, 测出最大拉深力 F_{max} , 然后用内压边圈把试样夹紧, 使材料边缘不能向内流动, 凸模继续压入, 直至试件破裂。测出试样底部圆角附近破裂时的极限载荷 F_f 。计算拉深潜力 T , 作为拉深成形的性能指标, 计算式如下

$$T = \frac{F_f - F_{max}}{F_f} \times 100\% \quad (1-14)$$

T 值越大, 拉深成形性能越好。

(四) 弯曲成形性能试验

如图 1-18 所示为 JB4409.5-88 薄钢板弯曲试验方法示意图。弯曲试验采用压弯法或折叠弯曲, 逐渐减小凸模弧面半径 r , 使试样弯曲, 直至外层产生裂纹为止。测定试样外层材料不产生裂纹时的最小弯曲半径 r_{min} , 并用最小相对弯曲半径作为弯曲成形性能指标

$$\text{最小相对弯曲半径} = \frac{r_{min}}{t_0}$$

式中 t_0 ——试样基本厚度。

用压弯法试验时, 如果最小规格的凸模弧面半径仍不能使试件外层材料产生裂纹, 则对试样进行折叠弯曲, 并按试验规则确定最小弯曲半径。

最小相对弯曲半径越小, 弯曲成形性能越好。

(五) 拉深—胀形复合成形性能试验

汽车覆盖件等复杂零件成形时, 经常为拉深—胀形复合成形形式。这时板料抗破裂

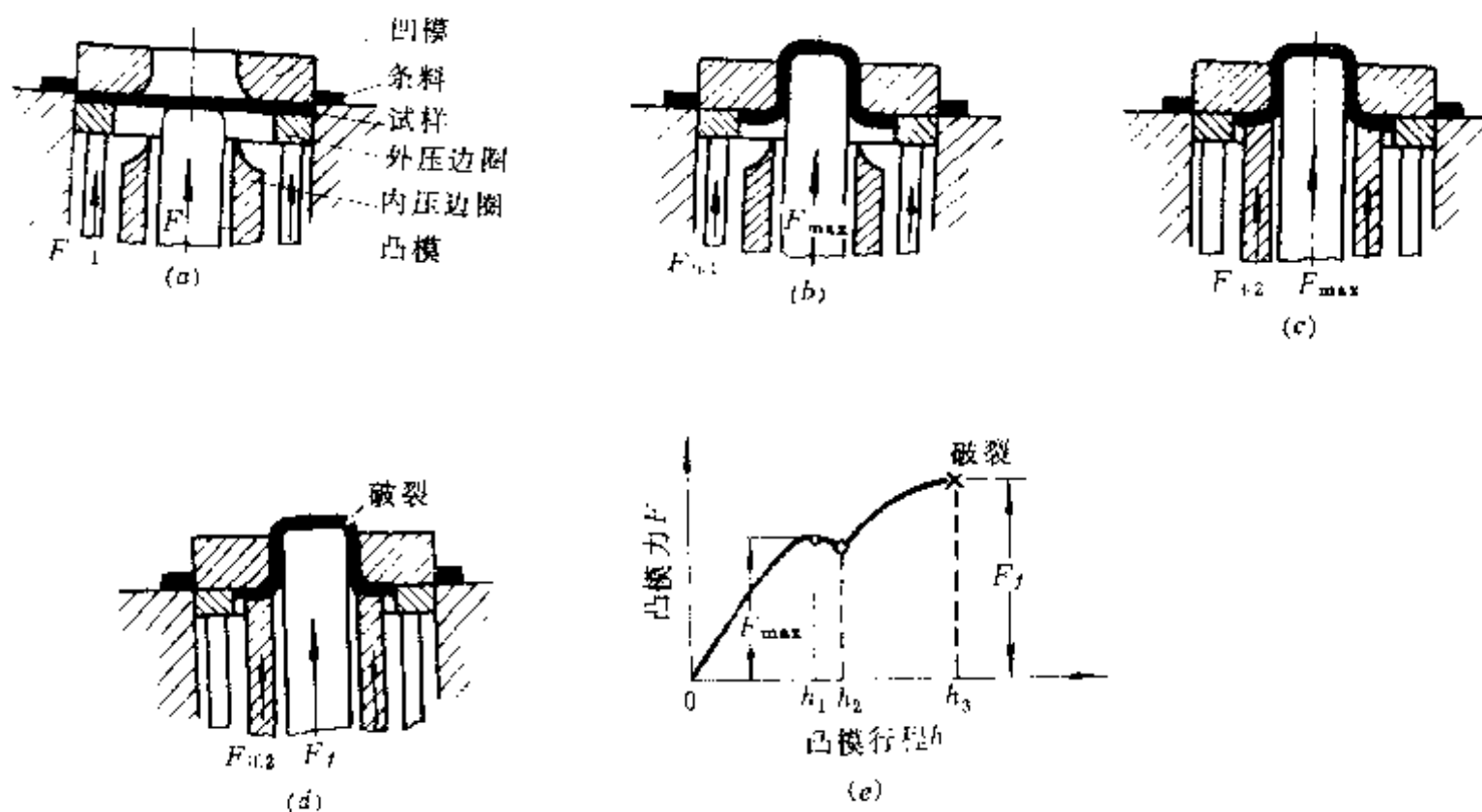


图 1-17 TZP 试验

(a) 初始状态; (b) 拉伸状态; (c) 继续拉伸; (d) 破裂状态; (e) 受力曲线。

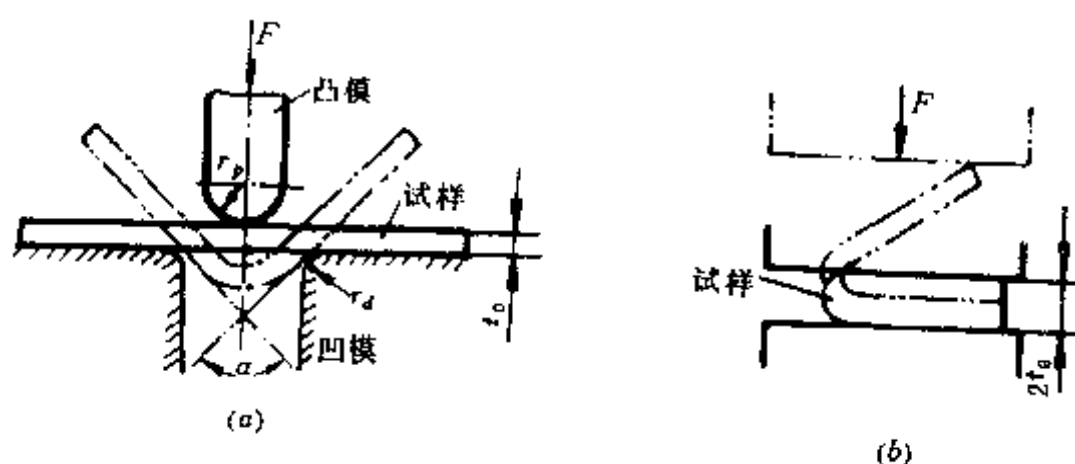


图 1-18 弯曲试验

(a) 压弯法; (b) 折叠弯曲。

的能力称拉深—胀形复合成形性能。薄钢板可用锥杯试验（福井试验）测定。

如图 1-19 所示为 JB4409.6-88 薄钢板锥杯试验方法的示意图。试验时，试样放在锥形凹模孔内，钢球压入试样成形为锥杯，锥杯上部靠材料流入凹模成形，为拉深变形，底部球面靠材料变薄成形，为胀形变形，钢球继续压入材料，直至杯底或其附近发生破裂时停止试验，测量杯口部的最大直径 D_{\max} 和最小直径 D_{\min} ，其平均值称锥杯试验值 CCV。

$$CCV = \frac{1}{2} (D_{\max} + D_{\min}) \quad (1-15)$$

CCV 值越大，拉深—胀形成形性能越好。

四、板料的基本性能和冲压成形性能的关系

板料基本性能和冲压成形性能之间有着密切的联系，长期以来，冶金部门和冲压行

业都一直将板料的一些基本性能指标作为板料质量等级的基础，并对它们与冲压成形性能之间的关系进行了大量研究，现将其中重要的几项分述如下：

(一) 屈服极限 σ_s

屈服极限 σ_s 小，材料容易屈服，则变形抗力小，产生相同变形所需变形力就小。并且屈服极限小，当压缩变形时，因易于变形而不易出现起皱。对弯曲变形则变形后回弹小，即贴模性与定形性均好。

屈服阶段如果出现平台，称屈服平台（见图 1-20），此种板料经屈服伸长之后，表

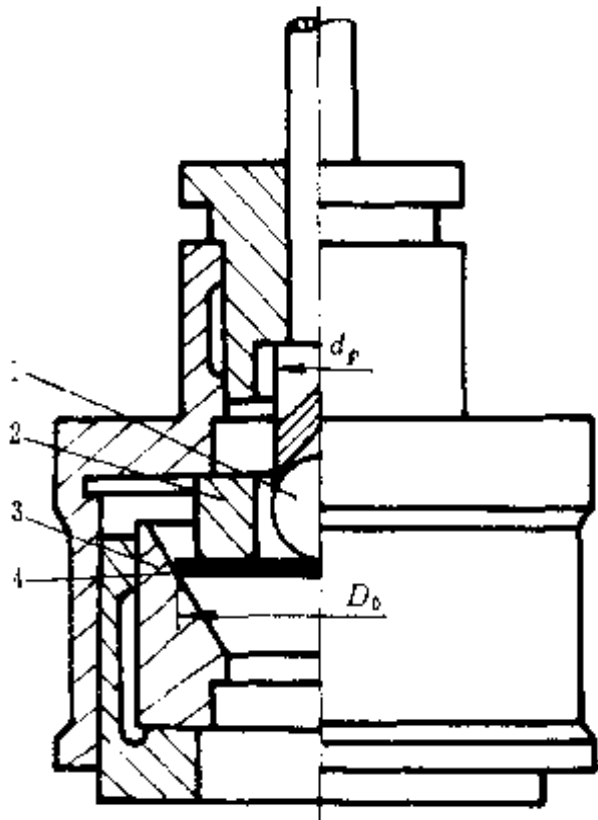


图 1-19 锥杯试验

1-球形凸模；2-压边圈；3-凹模；4-试样。

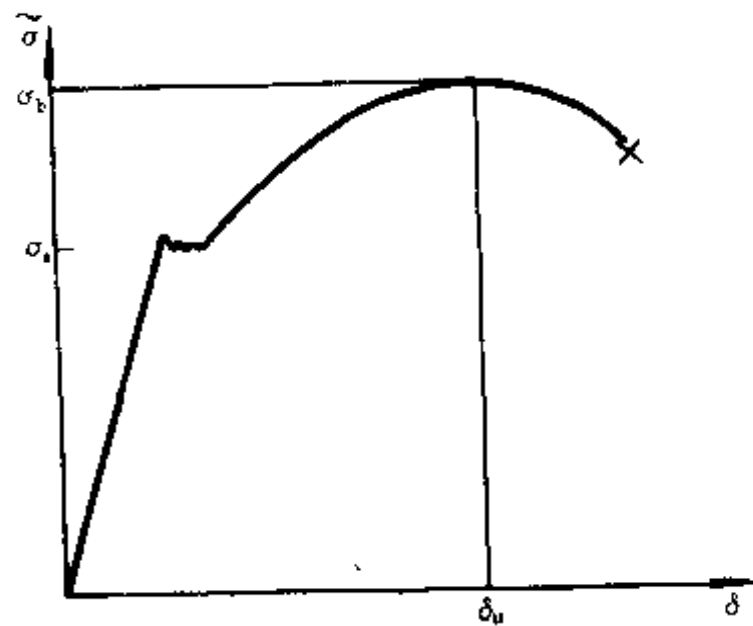


图 1-20 带屈服平台的拉深曲线

面会出现明显的滑移线痕迹，零件上出现粗糙的条状外观，这在变形量不大的零件上容易出现。屈服平台经常出现在退火状态或发生过应变时效的沸腾钢板上。可使用压下量很小的光轧方法或多辊校平，可减小其数值，而采用加铝的镇静钢板，可消除屈服平台。

(二) 屈强比 σ_s/σ_b

屈强比对板料冲压成形性能有较大影响。屈强比小说明 σ_s 值小而 σ_b 值大，即容易产生塑性变形而不易破裂，也就是说，从开始产生屈服至拉裂有较大的变形区间。尤其是对压缩类变形中的拉深变形而言，屈强比具有重大影响。当变形抗力小而强度高时，变形区的材料易于变形而不易出现起皱，而传力区的材料有较高强度而不易出现拉裂，有利于提高拉深变形的变形程度。如凸缘加热拉深，利用凸缘和零件筒底的温差使屈强比大大下降，结果可以很大的提高拉深变形程度。

(三) 延伸率 δ

拉伸试验中，试样拉断时的延伸率称总延伸率 δ 或简称延伸率。而试样开始产生局部集中变形（缩颈时）的延伸率称均匀延伸率 δ_0 。 δ_0 表示板料产生均匀的或稳定的塑性变形的能力。对于以 β 破裂为破坏形式的翻孔变形，由于 β 破裂本身就是板料的伸长变形超过材料局部延伸率而引起的破裂，而均匀延伸率也是一种衡量伸长变形时变形极限的指标。在实验中也得到验证，大多数材料的翻孔变形程度都与均匀延伸率 δ_0 成正比，可以

得出结论：即延伸率或均匀延伸率是影响扩孔（或翻孔）成形性能的最主要的材料性能指标。

（四）硬化指数 n

由前面分析可知，单向拉伸硬化曲线可写成式（1-11），表示为

$$\sigma = C\varepsilon^n$$

式中 n —材料的硬化指数。

n 值表示材料在塑性变形中的硬化程度。 n 大时，材料在变形中加工硬化严重，真实应力增加大。板料拉伸的整个变形过程中，其变形是不均的，先是试样的均匀变形，然后出现集中变形，形成缩颈，最后被拉断。变形分均匀变形与集中变形两个阶段。在缩颈中心（拉断处）材料的应变最大。缩颈的发生、发展过程如下：

拉伸时，试样上的拉力 P 应等于变形每一瞬间剖面的实际面积 F 和材料当时的真实应力 σ （即变形抗力）的乘积，即

$$P = F\sigma$$

对上式微分可得

$$dP = Fd\sigma + \sigma dF$$

上两式相除，简化后为

$$\frac{dP}{P} = \frac{d\sigma}{\sigma} + \frac{dF}{F}$$

式中 dP/P —试样承载能力的变化率；

$d\sigma/\sigma$ —由于硬化而引起的变形抗力的增长率，为一正值；

dF/F —由于试样拉长而引起的剖面缩减率，为一负值。

如果 $\left| \frac{d\sigma}{\sigma} \right| > \left| \frac{dF}{F} \right|$ ，则 $\frac{dP}{P}$ 是正值，说明硬化引起的变形抗力增长率大于剖面缩减率，即原来最弱剖面在试样拉长而剖面减小后，不仅承载能力没有降低，反而提高了，也就是不再是最弱环节，根据弱区先变形原则，变形将由另一个新的最弱剖面进行。这样变形区不断转移，变形就不是集中在某一个局部剖面上进行，在宏观上就表现为均匀变形，承载能力不断上升。但是根据材料特性，板料的硬化是随变形程度增加而不断减弱，出现变形抗力增长率减小趋势，而剖面缩减率是按照体积不变条件，与试样的延伸率成比例下降。当变形进行到一定时刻，将出现变形抗力增长率与剖面缩减率恰好相等的情况，即 $\left| \frac{d\sigma}{\sigma} \right| = \left| \frac{dF}{F} \right|$ ，则 $\frac{dP}{P} = 0$ 或 $dP = 0$ ，此时最弱剖面的承载能力不再得到提高，于是变形开始集中在这一局部地区进行，不能转移出去，发展成为缩颈，直至拉断。

n 值对伸长类变形影响很大，尤其是胀形变形，可以从下列试验中得到。取某一胀形变形零件，用两种 n 值不同的材料成形，用坐标网格法测出成形后的变形量，画出应变分布曲线，如图 1-21 所示，可以看出：

（1）不同 n 值材料胀形后的最大应变量不同， n 值大的材料应变峰值低。

（2）不同 n 值材料胀形后的应变分布也不同， n 值大的材料应变分布比较均匀。

因此，在伸长类变形中， n 值大的材料，由于加工硬化严重，变形抗力增长大，从而使变形趋于均匀，变薄减小，厚度分布均匀，表面质量好，极限变形程度增大，零件不易产生裂纹，所以 n 值大的材料，冲压成形性好。由于 α 破裂是板料伸长变形时，强度不

足引起的破裂。而硬化指数 n 也是由于加工硬化使变形抗力增加不足以抵消剖面缩减率减小时，因强度不足产生局部变薄引起破裂的重要指标。实验也证实，硬化指数对胀形变形的破裂影响甚大。因此，硬化指数是 α 破裂形式的胀形变形的成形性能的最主要的材料性能指标。

(五) 厚向异性系数 r

由于钢材结晶和板材轧制时出现纤维组织等因素，板料的塑性会因方向不同而出现差异，这种现象称板料的塑性各向异性。各向异性包括厚度方向各向异性与板平面各向异性。而厚度方向各向异性用厚向异性系数表示。厚向异性系数是指单向拉伸试样宽度应变和厚向应变的比值。

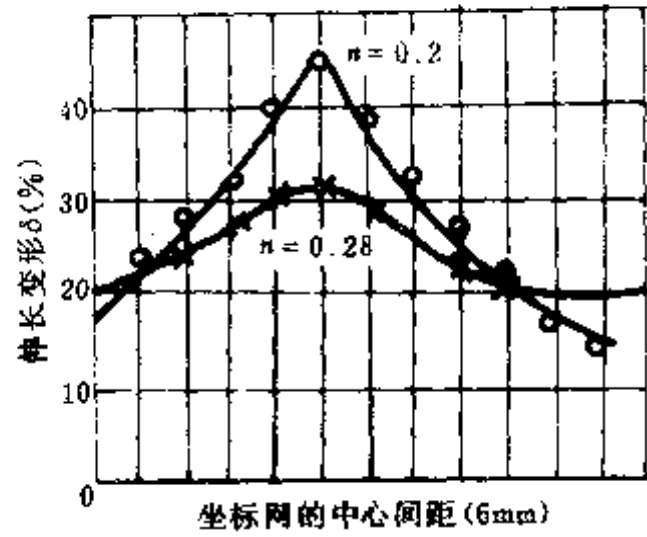


图 1-21 伸长变形量分布

$$r = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_t} = \frac{\ln(b/b_0)}{\ln(t/t_0)} \quad (1-16)$$

- 式中 r —— 厚向异性系数；
 ϵ_b —— 试样宽度应变；
 ϵ_t —— 试样厚向应变；
 b_0, b —— 试样变形前与变形后的宽度；
 t_0, t —— 试样变形前与变形后的厚度。

根据各向异性板料塑性变形理论可知：板料成形时，板料变形不仅与板料所处的应力状态有关，而且与厚向异性系数有关。 r 值愈大，板料抵抗变薄的能力愈强。且对于拉-压应变状态， r 值愈大，愈易产生变形。

厚向异性系数可以说明在同样受力条件下板料厚度方向上的变形能力。 $r > 1$ 时，板料宽度方向比厚度方向容易产生变形，即板料不易变薄或增厚。在拉深变形中，加大 r 值，板料宽度方向易于变形，毛坯切向易于收缩不易起皱，有利于提高变形程度和保证产品质量。同样，材料 r 值大，板料受拉时，厚度不易变薄，因而也不易产生拉裂现象。对软钢、不锈钢、铝和黄铜等所做的试验表明， r 值对拉深变形程度有较大影响（见表 1-5）。

表 1-5 拉深程度与 r 值的关系

r 值	0.5	1	1.5	2
拉深程度 $K = D/d$	2.12	2.18	2.25	2.5

(六) 板平面各向异性系数 Δr

板材经轧制后，在板平面内也出现各向异性，因此沿各不同方向，其机械物理性能均不同，冲压成形性能就受到影响。尤其在沿轧制 45° 方向与轧制方向形成明显的差异，例如由于板平面各向异性，使拉深零件口部不齐，出现“突耳”。方向性愈明显，则“突耳”的高度愈大。板平面各向异性系数 Δr 可用厚向异性系数 r 在几个方向上的平均差别来表示

$$\Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2r_{45}}{2} \quad (1-17)$$

式中 r_0 、 r_{45} 、 r_{90} ——分别表示沿轧制方向，沿轧制 45° 方向和垂直轧制方向的厚向异性系数。

由于板平面各向异性系数会增加冲压成形工序的材料消耗等，影响冲压件质量，生产中应尽量设法降低 Δr 值。

第六节 成形极限图

一、成形极限图的概念

常见的板料各种成形性能指标或成形极限，大多以试样的某些总体尺寸变化到某种程度（如发生破裂）而确定。这些总体成形性能指标或成形极限不能反映板料上某一局部危险区的变形情况。成形极限图（简称 FLD）是板料在不同应变路径下的局部失稳极限应变 δ_1 和 δ_2 （名义应变即延伸率）或 ε_1 和 ε_2 （真实应变）构成的条带形区域或曲线。它全面反映了板料在单向和双向拉应力作用下的局部成形极限。FLD 的提出，为定性和定量研究板料的局部成形性能建立了基础，这对复杂形状冲压零件的成形研究，具有重要的现实意义。

成形极限图既可在实际冲压生产中积累数据确定，也可通过试验方法来建立。试验常用胀形法进行。试验前，在板料表面上作出直径一般为 2.5mm 的小圆坐标网，试验时将球形凸模压入材料，直至板料出现裂纹为止。然后取出板料，在离裂纹最近的完整网格上测量小圆变成椭圆的尺寸。计算出椭圆的长、短轴应变，即可得出此点的极限应变。通过改变材料的形状和尺寸以及润滑方式等方法，可得出极限变形情况下不同椭圆的长、短轴应变。当取得足够的试验数据后，以椭圆的长轴应变 δ_1 作纵坐标，短轴应变 δ_2 作横坐标，即可画出成形极限图（见图 1-22）。

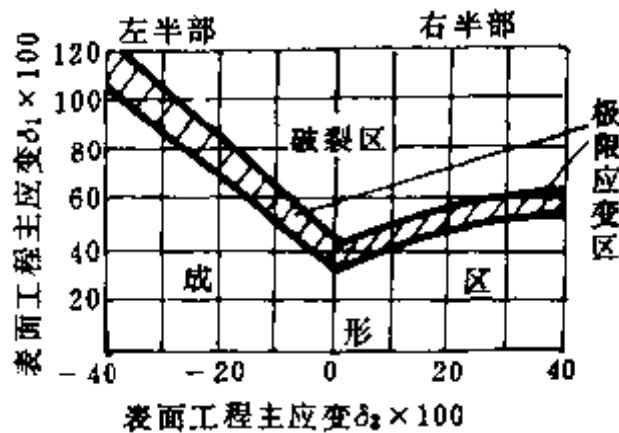


图 1-22 成形极限图 (FLD)

应变用下式计算

$$\delta_1 = \frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (1-18)$$

$$\delta_2 = \frac{d_2 - d_0}{d_0} \times 100\% \quad (1-19)$$

式中 δ_1, δ_2 ——椭圆长轴和短轴的延伸率；

d_0 ——变形前小圆直径；

d_1, d_2 ——变形后椭圆长轴和短轴直径。

不同的材料种类，可产生不同的成形极限图。除此之外，材料的硬化指数 n 、应变梯度和应变途径等因素，也对成形极限图产生较大影响。硬化指数 n 大时，材料硬化效应大，应变峰值降低，变形分布均匀，板料成形性好，成形极限曲线上升。应变梯度是指板料在变形区内应变分布的不均匀程度。应变分布不均匀时，应变梯度大，即指在变形危险区附近的应变显著下降，这样在变形时，危险区附近材料对其补偿作用大，也就是应变补偿作用增强，使变形趋于均匀，有利于提高成形极限。应变梯度既然板平面内存在，同时也发生在板厚方向，故增加板厚也能提高成形极限。板料在加载过程中应变是逐渐增加的，所谓应变途径就是指变形中该点的应变轨迹。试验结果表明，单道工序的普通成形零件，其零件上各点的应变途径近似为一直线，变形过程基本上可以认为符合简单加载，而成形极限图也是在简单加载情况下制作出来的，因此可以直接应用成形极限图对应变进行分析。但在多工序成形时，零件的应变轨迹不一定再遵循简单加载，此时就不能直接应用成形极限图。一般有以下规律：当应变途径为拉伸—胀形路线时，成形极限曲线上升，有利板料成形。反之，为胀形—拉伸路线时，成形极限曲线下降，成形性能差。

二、成形极限图的应用

成形极限图可以用来评定板料的局部成形性能，成形极限图的应变值越高，板料的局部成形性能越好。将成形极限图与应变分析的网格法结合起来，可以分析解决许多生产实际问题。

(一) 在模具的调试中，解决零件局部的拉裂问题

如图 1-22 所示，当局部应变值出现在破裂区，则可用减小长轴应变 δ_1 或加大短轴应变 δ_2 绝对值的办法，使局部应变进入成形区。可以采用调整压边力、改变润滑条件、改变毛坯尺寸、调整凹模圆角半径以及是否采用拉延筋等方法，来调整拉深材料流入凹模的变形阻力，以达到调整局部应变的目的。即减小长轴方向的变形阻力，以减小应变 δ_1 ，对于双向拉应变（图中第一象限），应加大短轴方向变形阻力，以加大应变 δ_2 ，而对压拉应变（图中第二象限），应减小短轴方向变形阻力，使短轴方向压缩应变 δ_2 易于产生，达到增加 δ_2 的数量（即增加 δ_2 的绝对值）的目的。例如对双拉应变，可在短轴应变方向减小凹模圆角半径，加大毛坯尺寸，或进一步加拉延筋以达到加大短轴应变目的。从而提高局部成形性能。

(二) 合理选用材料

如果零件危险点的应变值处于图 1-22 的破裂区和成形区之间的画斜线部分，说明

该处变形很危险，制品成形时废品率很高。如果零件危险点的应变值处于远离斜线部分（即成形极限曲线）以下位置，说明过分安全，板料成形性能没有充分发挥，可换用成形性能较差而较便宜的材料。

（三）提高复杂冲压件的成形质量

汽车覆盖件形状十分复杂，零件成形往往兼有多种变形性质。由于各部分变形相互牵制，零件起皱和拉裂的倾向更加严重。起皱可以通过加大压边力、合理设置拉延筋、以及调整毛坯尺寸来解决。而解决起皱问题，似乎又会因加大变形阻力而增大了破裂的可能性。为了解决起皱问题，必须以零件不破裂为基本条件，克服起皱问题的难点，实质上可归结为在防皱的情况下，如何保证零件不破裂。利用成形极限图，如前所述，在双拉应变条件下（这在板料成形中是经常发生的）解决拉裂问题，在一定的条件下，如图

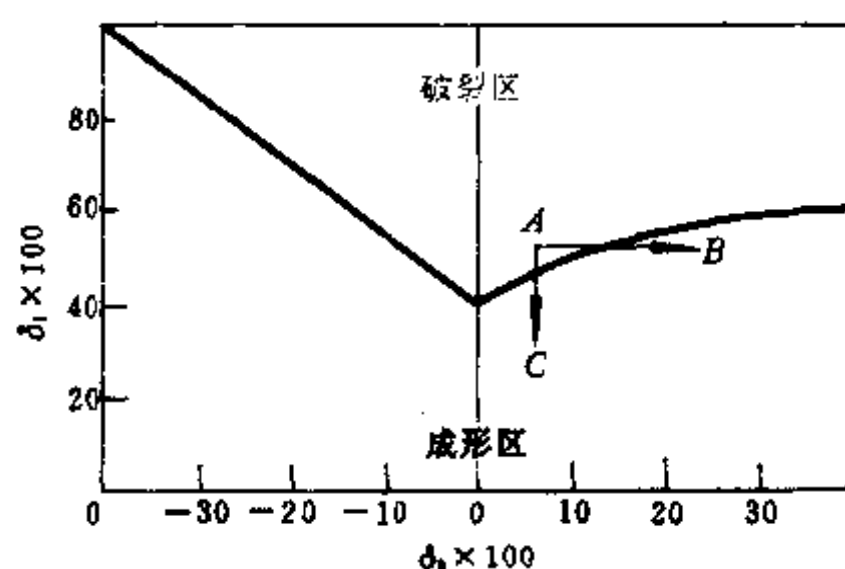


图 1-23 成形极限图的利用

1-23 所示 A 点的应变状态，也要用加大短轴方向应变的办法，使 A 点应变移至 B 点，从而进入成形安全区，这一措施也有利于解决起皱问题。使起皱和拉裂问题在双拉应变某种条件下得到统一，为解决复杂成形零件局部不裂条件下的防皱创造了有利条件，提高了复杂零件的成形质量。

第二章 冲 裁

冲裁是利用模具使板料产生分离的一种冲压工序。它是切断、落料、冲孔、切口、剖切、修边等工序的总称,而通常又仅指落料和冲孔两工序。用它可以制作零件又可为弯曲、拉深、成形等工序准备毛坯。从板料上冲下所需形状的零件(或毛坯)叫落料;在工件上冲出所需形状的孔(冲去的为废料),叫冲孔。如图 2-1 所示垫圈即由落料与冲孔两道工序完成。

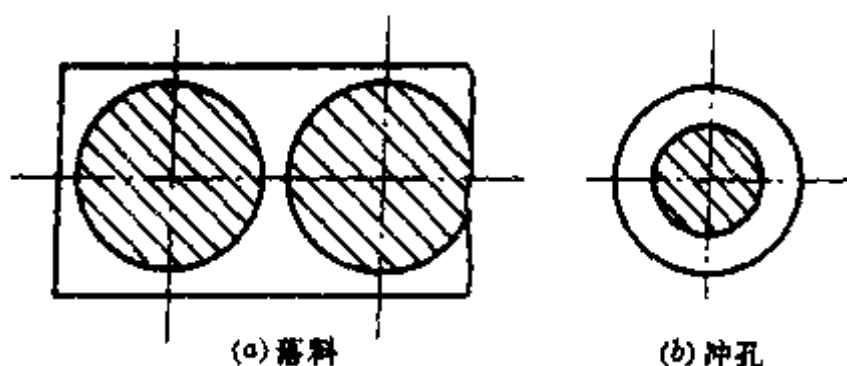


图 2-1 垫圈的落料与冲孔

(a) 落料; (b) 冲孔。

根据冲裁所得工件精度的不同,将冲裁分为一般冲裁和精密冲裁。

第一节 冲裁的变形过程

冲裁是分离工序,工件受力时是从弹塑性变形开始,以断裂告终。因此,板料的冲裁过程可分为三个阶段(见图 2-2)。

(1) 弹性变形阶段 凸模接触材料,由于凸模加压,材料发生弹性压缩与弯曲,并略有挤入凹模洞口,这时材料内应力没有超出屈服极限,在板料与凸模及凹模接触处形成圆角。

(2) 塑性变形阶段 凸模继续加压,材料内应力达到屈服极限,较前有较多金属被挤入凹模洞口,随后产生塑剪变形,形成光亮的剪切断面带;在凹模刃口部分的材料,除受塑剪变形外,还受弯曲和拉伸作用,因而裂纹将首先在凹模刃口处开始。

(3) 断裂阶段 随着凸模继续加压,在凹模刃口侧边材料产生的裂纹前端附近又产生许多微小裂纹,这些微小裂纹的根部汇成主裂纹,直到主裂纹沿最大剪应变速度方向长大到与凸模侧边产生的裂纹汇合,并使材料断裂。

由于冲裁变形的特点,使冲出的工件断面明显地分成三个特征区,即圆角带,光亮带与断裂带(见图 2-3)。圆角带是冲裁中刃口压入材料时,刃口附近材料产生变形的结

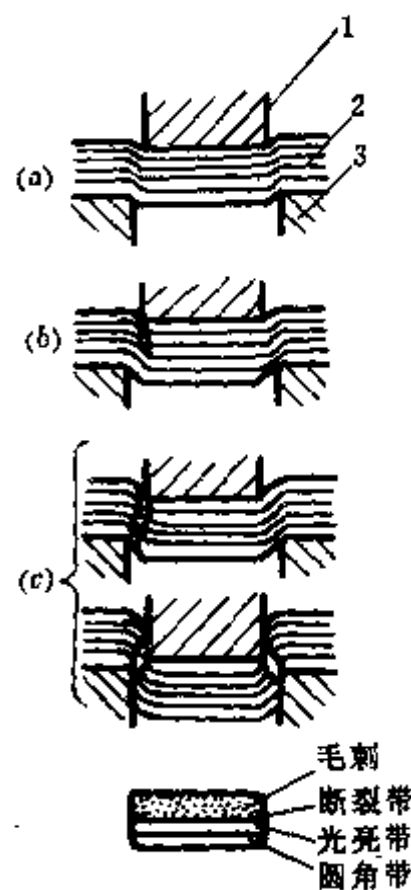


图 2-2 冲裁过程及冲裁后断面

(a) 弹性变形阶段; (b) 塑性变形阶段; (c) 断裂阶段。

1-凸模; 2-板料; 3-凹模。

果，实际上软材料比硬材料的圆角大。影响圆角带（塌角）大小的因素除材料性质外，还有

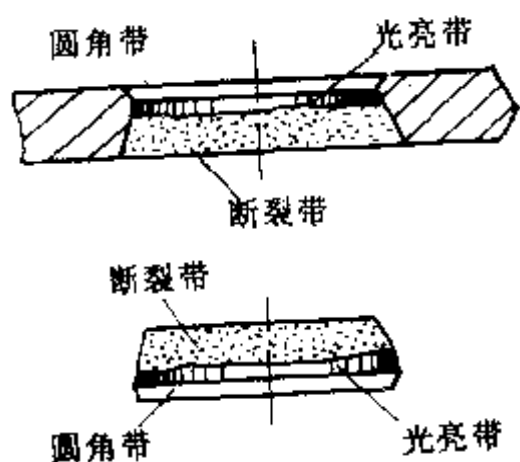


图 2-3 冲裁零件的断面

有工件轮廓形状以及凸模与凹模的间隙等。光亮带是材料塑剪变形时，在毛坯中的一部分相对另一部分移动中，模具侧压力将毛坯压平而形成的光亮垂直的断面。通常，光亮带占整个断面的 $1/2 \sim 1/3$ 。塑性好的材料，其光亮带大，同时光亮带还与凸、凹模间隙及模具刃口的磨损程度等加工条件有关。断裂带是由刃口处的微裂纹在拉应力作用下不断扩展而形成的撕裂面，断面粗糙，出现毛刺，且有斜度。塑性差的材料，其断裂带大。圆角带、光亮带和断裂带三部分在冲裁件断面上必然存在，三者所占的比例随材料的机械性能，凸模和凹模之间的间隙，模具结构等的不同而变化。要想提高冲裁件断面的光洁

程度和尺寸精度，可通过增加光亮带的高度或采用整修工序来实现。增加光亮带高度的关键是延长塑性变形阶段，推迟裂纹的产生，这可以通过增加金属的塑性和减少刃口附近的变形与应力集中来实现。

第二节 冲裁间隙

冲裁间隙指凸、凹模刃口间缝隙的距离，用符号 C 表示，俗称单面间隙；而双面间隙用 Z 表示。冲裁间隙是冲裁过程中的重要工艺参数，它对冲裁件的断面质量、尺寸精度、模具寿命、冲裁力、卸料力和推件力等都有很大影响。但不存在一个同时满足全部要求的合理间隙值。

一、冲裁间隙对冲裁件质量的影响

冲裁件质量是指断面质量、尺寸精度以及形状误差。冲裁件质量高应是断面平直、光洁，即无裂纹、撕裂、夹层等缺陷，毛刺很小。此外，零件表面应尽可能平整，即拱弯小，尺寸应保证不超出图纸规定的公差范围。影响冲裁件质量的因素有：凸、凹模间的间隙大小及分布的均匀性，模具刃口的状态，模具结构与制造精度，材料性质等。其中，间隙值的大小与均匀程度是主要因素。

（一）间隙对冲裁件断面质量的影响

从冲裁过程的分析中得知，冲裁时的裂纹不一定从凸、凹模两刃口同时发生，上下裂纹是否重合与凸、凹模间隙值的大小有关。当把凸、凹模间隙控制在一定的合理值范围内时，由凸、凹模刃口沿最大剪应力方向产生的裂纹将互相重合。此时冲出的制件（或孔）断面虽有一定斜度，但比较平直、光洁，毛刺很小（见图 2-4b），且所需冲裁力小。

间隙过小时，由凹模刃口处产生的裂纹在进入凸模下面的压应力区后，就停止发展。当凸模继续下压，在上、下裂纹中间将产生二次剪切，制件断面的中部留下撕裂面（图

2-1a), 而两头为光亮带, 在端面出现挤长的毛刺。这些毛刺虽有所增长, 但易去除, 且

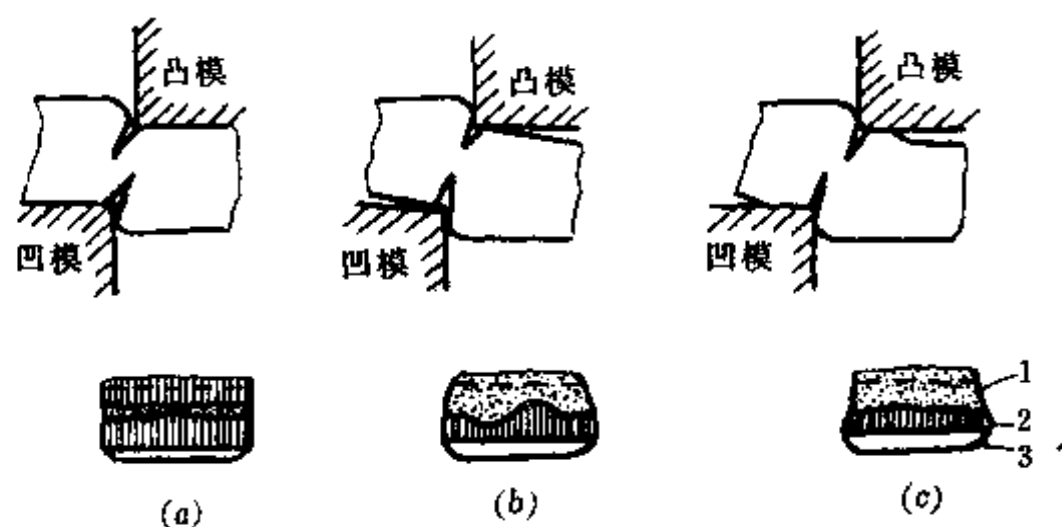


图 2-4 间隙大小对零件断面质量的影响

(a) 间隙过小; (b) 间隙合适; (c) 间隙过大。

1—断裂带; 2—光亮带; 3—圆角带。

制件拱弯小, 断面垂直, 故只要中间撕裂不是很深, 仍可应用。

间隙过大时, 材料的弯曲与拉深增大, 拉应力增大, 材料易被撕裂, 且裂纹在离开刃口稍远的侧面上产生, 致使制件光亮带减小, 塌角 (圆角带), 与断裂斜度都增大, 毛刺大而厚, 难以去除。所以随着间隙的增大, 制件断裂面的倾斜度与塌角增大, 毛刺增高 (图 2-5)。但从图 2-5 (c) 中可见, 间隙在一定范围内 [$Z = (15\% \sim 24\%) t$] 变化时, 毛刺高度小, 且变化不大, 这称为毛刺稳定区, 可供选择合理间隙值时参考。

间隙分布的均匀性对冲裁件断面质量同样有很大的影响。若间隙分布不均, 将使零件局部产生毛刺, 在间隙大的一边产生拉长毛刺, 而在间隙小的一边产生挤毛, 并加快刃口磨损变钝。所以, 间隙不仅要选择合理, 而且在制造和调整冲模时应保证间隙均匀。

(二) 间隙对冲裁件尺寸精度的影响

冲裁件的尺寸精度是指冲裁件的实际尺寸与基本尺寸的差值 (δ)。差值越小, 则精度越高。这个差值包括两方面的偏差, 一是冲裁件相对于凸模或凹模尺寸的偏差, 一是模具本身的制造偏差。

冲裁件相对于凸、凹模尺寸的偏差, 主要是工件脱离模具时, 材料在冲裁中所受的挤压变形, 纤维伸长, 拱弯都要产生的弹性恢复造成的。这个偏差值可能是正的, 也可能是负的。影响这个偏差值的因素有: 凸、凹模间隙, 材料性质、工件形状与尺寸。其中主要因素是凸、凹模间隙。

当凸、凹模间隙较大时, 材料所受拉伸作用增大, 冲裁完后因材料的弹性恢复使落料尺寸小于凹模尺寸, 而冲孔孔径大于凸模直径 (见图 2-6)。但因拱弯的弹性恢复方向与以上相反, 故偏差值是两者的综合结果。在间隙较小时, 由于材料受凸、凹模挤压力大, 故冲裁完后, 材料的弹性恢复使落料件尺寸增大, 冲孔件孔径变小。此外, 尺寸变化量的大小还与材料性质、厚度、轧制方向等因素有关。

如图 2-6 所示, 曲线与 $\delta = 0$ 的横轴交点表明零件尺寸与模具尺寸完全一样, 交点右边表明零件与模具之间是松动的, 若采用右边较大间隙值, 则零件与模具之间摩擦力小。但间隙大到一定值后, 由于拱弯引起的弹性恢复量大, 摩擦力的减小将变得不显著。

上述因素的影响是在模具制造精度一定的前提下产生的。若模具刃口制造精度低,则冲裁出的工件精度也就无法保证。所以凸、凹模刃口的制造公差要按零件的尺寸要求来

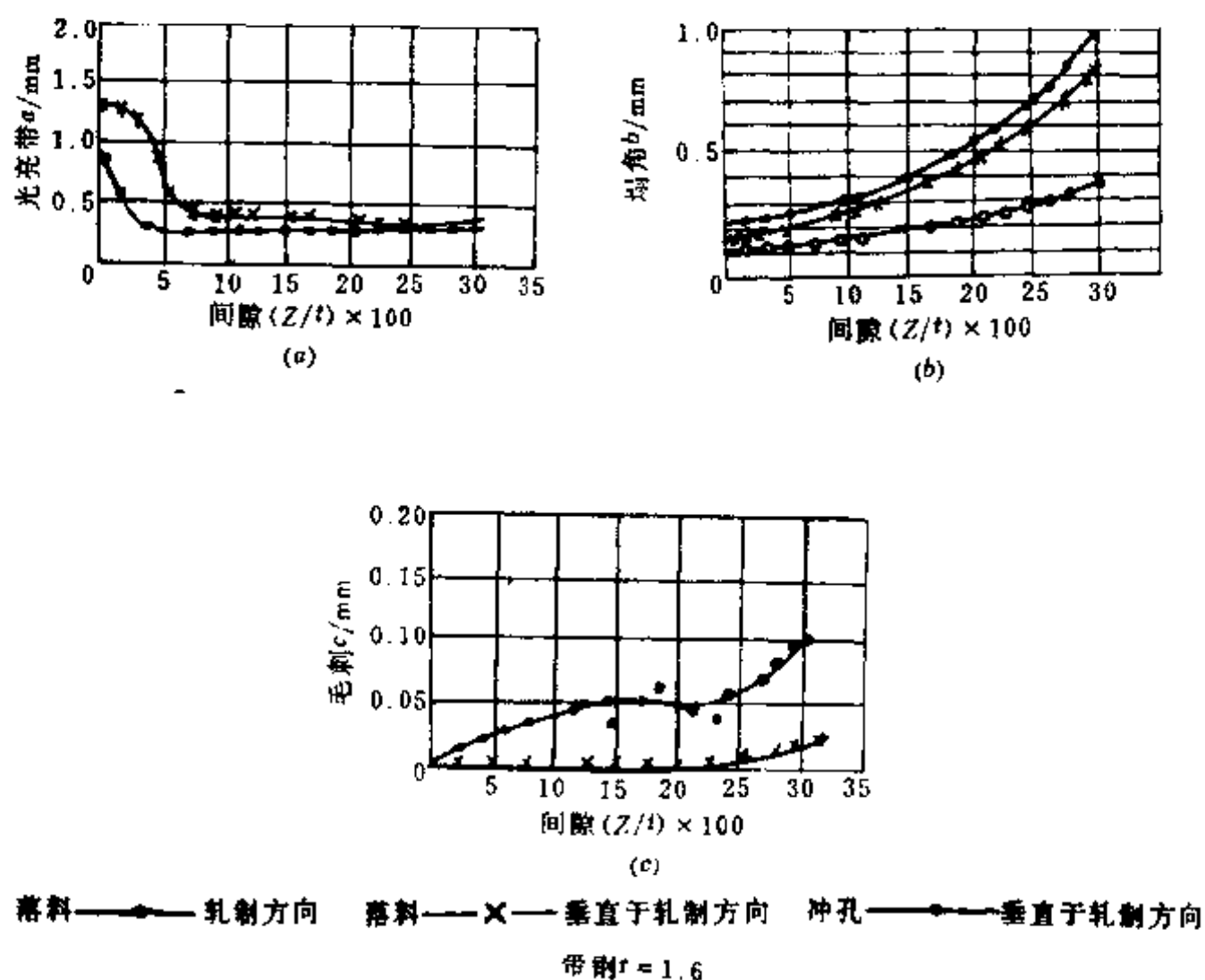


图 2-5 间隙对光亮带、塌角、毛刺的影响

(a) 间隙对光亮带的影响; (b) 间隙对塌角的影响; (c) 间隙对毛刺的影响。

决定。此外,模具的结构形式及定位方式对孔的定位精度也有较大的影响。冲模制造精度与冲裁件精度之间的关系列于表 2-1。

材料性质对尺寸精度也有影响,因为材料性质决定了材料在冲裁过程中的弹性变形量。软钢的弹性变形量较小,冲裁后的弹性恢复量也就小,故零件精度较高,硬钢弹性恢复较大,零件精度就较低。

表 2-1 模具精度与冲裁件精度关系表

模具精度	材料厚度 t(mm)											
	0.5	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
IT6~7	IT8	IT8	IT9	IT10	IT10	—	—	—	—	—	—	—
IT7~8	—	IT9	IT10	IT10	IT12	IT12	IT12	—	—	—	—	—
IT9	—	—	—	IT12	IT12	IT12	IT12	IT12	IT14	IT14	IT14	IT14

此外,零件厚度与形状对尺寸精度也有影响。厚板料冲裁时弹性变形量大,冲裁后的弹性恢复较大,故零件精度低。零件形状越复杂,模具制造及调整时就越难以保证间

隙均匀，故尺寸偏差也越大。

二、冲裁间隙的确定方法

凸、凹模间隙的大小不仅是影响冲裁件质量的主要因素，而且还对冲裁力，推件力，卸料力以及模具寿命等都有很大影响。因此设计模具时，一定要选择一个合理的间隙，使冲裁件的断面质量较好，所需冲裁力较小，模具寿命较高。但是，正如前面所述，分别按质量、精度、冲裁力等方面要求所各自确定的合理间隙并不相同，即不存在一个同时满足全部要求的合理间隙值。因此在生产中考虑到模具制造中的偏差及使用中的磨损，通常是选择一个适当的范围作为合理间隙。只要选择的模具间隙在这个范围内，就可以冲出良好的零件。这个间隙范围的最小值称为最小合理间隙 C_{min} ，最大值称为最大合理间隙 C_{max} 。在最小合理间隙 C_{min} 时，可以得到与板面几乎垂直的断面，而不产生显著的毛刺；在最大合理间隙 C_{max} 时，仍能得到满意的断面质量，只是断面不与板面垂直。考虑到模具在使用过程中的磨损使间隙增大，故设计与制造新模具时要采用最小合理间隙值 C_{min} 。确定合理间隙的方法有理论确定法和经验确定法两种。

(一) 理论确定法

理论确定法的主要依据是保证裂纹重合，以便获得良好的断面。如图 2-7 所示为冲裁过程开始产生裂纹的瞬时状态。

从图中的三角形 ABD 可决定间隙 C 如下

$$C = (t - h_0) \operatorname{tg} \beta$$

$$= t \left(1 - \frac{h_0}{t} \right) \operatorname{tg} \beta \quad (2-1)$$

式中 h_0 —— 凸模压入深度；

β —— 最大剪应力方向与垂线夹角
(即裂纹方向角)。

从上式可以看出，间隙 C 与材料厚度 t 、相对切入深度 h_0/t 以及裂纹方向角 β 有关。而 h_0 与 β 又与材料性质有关。

因此，影响间隙值的主要因素是材料性质和厚度。材料愈硬、愈厚，所需合理间隙值愈大。表 2-2 为几种常用冲压材料的 h_0/t 与 β 的近似值。由于各种材料的 h_0 与 β 值目前还没有准确的测定数值，而且理论计算方法在生产中使用不便，故目前生产中常用的是经验公式与图表。

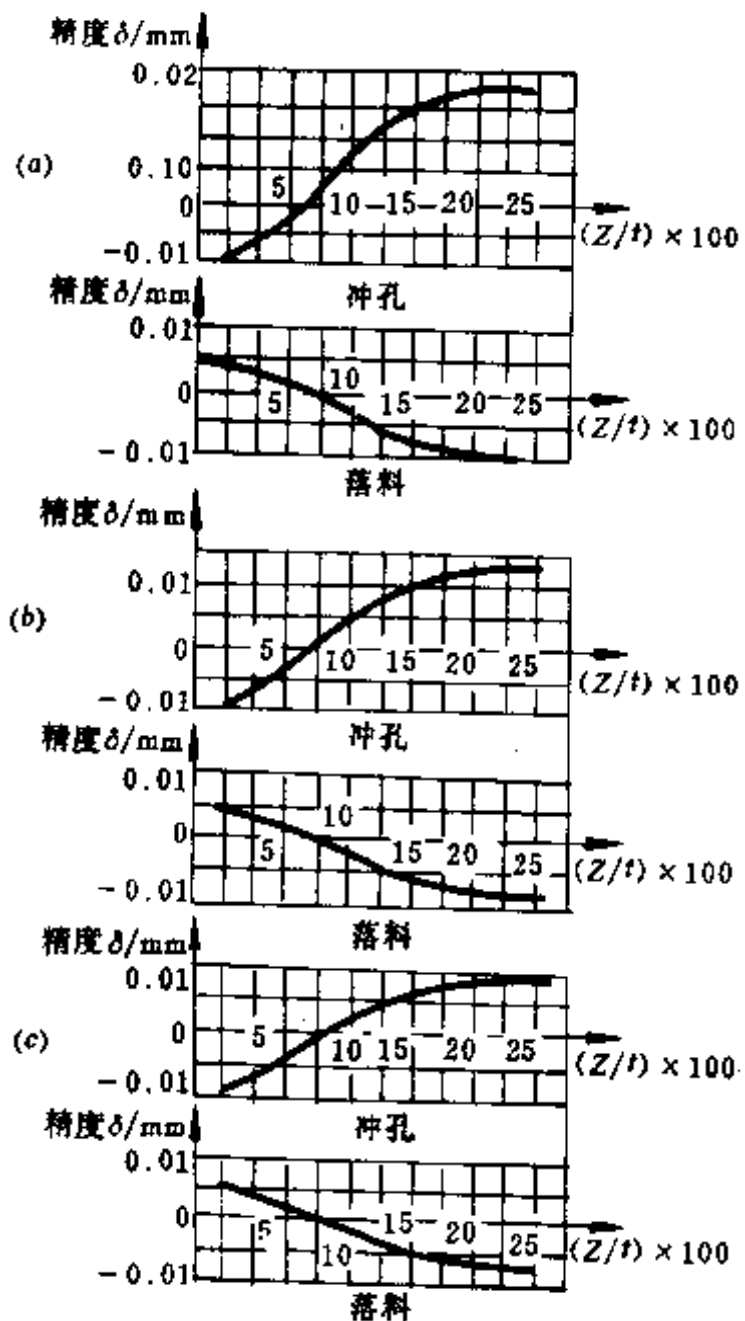


图 2-6 间隙对冲裁件精度的影响

(a) 材料：黄铜，料厚：4mm；

(b) 材料：15 钢，料厚：3.5mm；

(c) 材料：45 钢，料厚：2mm。

(二) 经验确定法

我国过去采用的间隙值一般是前苏联资料介绍的，它以尺寸精度为主要选用依据，间隙值经使用表明一般偏小。按这种间隙值制造的模具，冲出的零件断面出现双光亮带，且有毛刺。又因模具与材料间的摩擦大，发热严重，使材料粘连，加速了刃口磨损，降低了模具寿命，还易产生凸模折断及凹模胀裂。发生这种现象的原因，一是间隙没有根据生产特点来分类选用，二是只以冲裁件精度作为选用依据，而没有考虑断面质量及模具寿命等其他重要因素，所以在生产中存在不少问题。

根据近年来的研究与使用经验，间隙值要按使用要求分类选用。电子、电器、仪表等行业对产品尺寸精度和断面垂直度的要求较高，则应选用较小间隙值，如表 2-3 所示。对汽车、拖拉机等行业，工件尺寸公差大，对断面垂直度与尺寸精度要求不高的工件，应以降低冲裁力，提高模具寿命为主，可采用较大间隙值（见表 2-4）。对于工件精度低于 IT14 级，断面无特殊要求的工件，还可采用如表 2-5 所示的大间隙，以利于提高模具寿命。采用大间隙值时应注意：

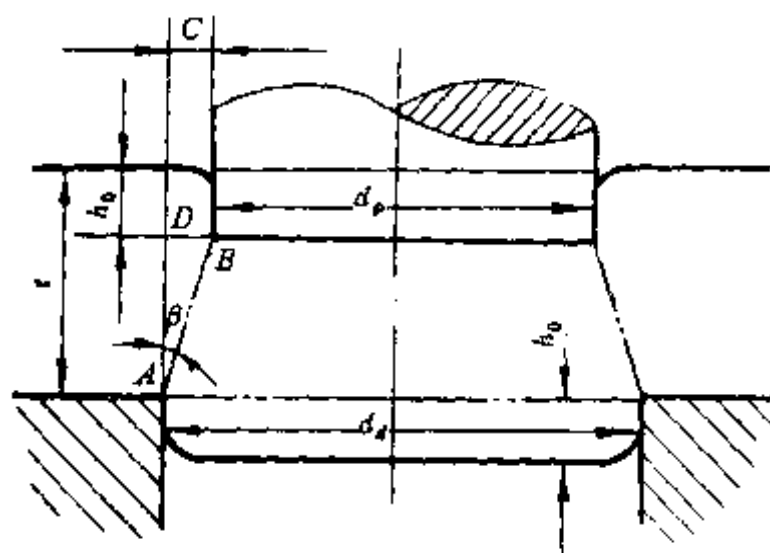


图 2-7 冲裁过程中产生裂纹的瞬时状态

表 2-2 h_0/t 与 β 值

材 料	h_0/t		$\beta(^{\circ})$	
	退火	硬化	退火	硬化
软钢、紫铜、软黄铜	0.5	0.35	6	5
中硬钢、硬黄铜	0.3	0.2	5	4
硬钢、硬青铜	0.2	0.1	4	4

①为了保证工件平整，要有压料与顶件装置；

②为防止凸模将废料带出凹模表面，应在凸模上开通气孔或装弹性顶针。

表 2-6 介绍了不同材料在五种不同使用场合应选用的间隙值，表中所列值为单面间隙与材料厚度之比。这五类间隙情况下的工件断面状况如图 2-8 所示。

在所有这些表中，各类间隙值之间没有绝对的界限。因此，还必须根据实际情况，灵活掌握，酌情增减间隙值。例如：

(1) 在同样条件下，非圆形比圆形的间隙大。冲孔所取间隙可略大；

(2) 凹模为斜壁刃口时（如锥形刃口），应比直壁刃口间隙小；

(3) 高速冲压时模具容易发热，间隙应适当增大。如当行程次数超过每分钟 200 次时，间隙值应增大 10% 左右；

(4) 热冲时材料强度低，间隙应比冷冲时减小；

表 2-3 金属材料冲裁模刃口间隙

(mm)

材料厚度 t	软 铝		紫铜、黄铜、软钢 (0.08%~0.2%C)		硬铝、硅钢片、中等硬度钢 (0.3%~0.4%C)		硬钢(0.5%~0.6%C)								
	初始间隙值 Z														
	最小 ^①		最大 ^②		最小		最大								
$t\%$	双面	$t\%$	双面	$t\%$	双面	$t\%$	双面	$t\%$	双面	$t\%$	双面	$t\%$	双面	$t\%$	双面
0.2	0.008		0.012		0.010		0.014		0.012		0.016		0.014		0.018
0.3	0.012		0.018		0.015		0.021		0.018		0.024		0.021		0.027
0.4	0.016		0.024		0.020		0.028		0.024		0.032		0.028		0.036
0.5	0.020		0.030		0.025		0.035		0.030		0.040		0.035		0.045
0.6	4 0.024		6 0.036		5 0.030		7 0.042		6 0.036		8 0.048		7 0.042		9 0.054
0.7	0.028		0.042		0.035		0.049		0.042		0.056		0.049		0.063
0.8	0.032		0.048		0.040		0.056		0.048		0.064		0.056		0.072
0.9	0.036		0.054		0.045		0.063		0.054		0.072		0.063		0.081
1.0	0.040		0.060		0.050		0.070		0.060		0.080		0.070		0.090
1.2	0.060		0.084		0.072		0.096		0.072		0.108		0.096		0.120
1.5	5 0.075		7 0.105		6 0.090		8 0.120		7 0.105		9 0.135		8 0.120		10 0.150
1.8	0.090		0.126		0.108		0.144		0.126		0.162		0.144		0.180
2.0	0.100		0.140		0.120		0.160		0.140		0.180		0.160		0.200
2.2	0.132		0.176		0.154		0.198		0.176		0.220		0.198		0.242
2.5	6 0.150		8 0.200		7 0.175		9 0.225		8 0.200		10 0.250		9 0.225		11 0.275
2.8	0.168		0.224		0.196		0.252		0.224		0.280		0.252		0.308
3.0	0.180		0.240		0.210		0.270		0.240		0.300		0.270		0.330
3.5	0.245		0.315		0.280		0.350		0.315		0.385		0.350		0.420
4.0	7 0.280		9 0.360		8 0.320		10 0.400		9 0.360		11 0.440		10 0.400		12 0.480
4.5	0.315		0.405		0.360		0.450		0.405		0.495		0.450		0.540
5.0	0.350		0.450		0.400		0.500		0.450		0.550		0.500		0.600
6.0	8 0.480		10 0.600		9 0.540		11 0.660		10 0.600		12 0.720		11 0.660		13 0.780
7.0	0.560		0.700		0.630		0.770		0.700		0.840		0.770		0.910
8.0	0.720		0.880		0.800		0.960		0.880		1.040		0.960		1.120
9.0	9 0.800		11 0.990		10 0.900		12 1.080		11 0.990		13 1.170		12 1.080		14 1.260
10.0	0.900		1.100		1.000		1.200		1.100		1.300		1.200		1.400

① 初始间隙的最小值,相当于间隙的公称数值。

② 初始间隙的最大值,是考虑到凸模和凹模的制造公差所增加的数值。

表 2-4 冲裁模刃口间隙

(mm)

材 料 厚 度 t	08、10、35、09Mn A3、B3				16Mn				40、50Mn				65Mn			
	最小初始 间隙		最大初始 间隙		最小初始 间隙		最大初始 间隙		最小初始 间隙		最大初始 间隙		最小初始 间隙		最大初始 间隙	
	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面	t%	双面
0.5 以下	极 小 间 隙															
0.5	8	0.040	12	0.050	8	0.040	12	0.060	8	0.040	12	0.060	8	0.040	12	0.060
0.6		0.048		0.072		0.048		0.072		0.048		0.072		0.048		0.072
0.7	9	0.063	13	0.091	9	0.063	13	0.091	9	0.063	13	0.091	9	0.063	13	0.091
0.8		0.072		0.104		0.072		0.104		0.072		0.104		0.072		0.104
0.9	10	0.090	14	0.126	10	0.090	14	0.126	10	0.090	14	0.126	10	0.090	14	0.126
1		0.100		0.140		0.100		0.140		0.100		0.140		0.100		0.140
1.2	11	0.132	15	0.180	11	0.132	15	0.180	11	0.132	15	0.180				
1.5		0.170		0.230		0.170		0.230		0.170		0.230				
1.75		0.220		0.320		0.220		0.320		0.220		0.320				
2	12	0.240	18	0.360	13	0.260	19	0.380	13	0.260	19	0.380				
2.1		0.260		0.380		0.280		0.400		0.280		0.400				
2.5	14	0.350	20	0.500	15	0.380	21	0.530	15	0.380	21	0.530				
2.75		0.400		0.550		0.420		0.600		0.420		0.600				
3	15	0.450	21	0.640	16	0.480	22	0.660	16	0.480	22	0.660				
3.5		0.530		0.740		0.570		0.780		0.570		0.780				
4	16	0.640	22	0.880	17	0.680	23	0.920	17	0.680	23	0.920				
4.5		0.720		1.00				0.960		0.780		1.040				
5	17	0.850	23	1.150	15	0.780	21	1.05	18	0.900	24	1.200				
5.5		0.940		1.280		0.750		1.10		0.980		1.320				
						0.770										
6	18	1.080	24	1.440	14	0.840	20	1.20	19	1.140	25	1.500				
						0.910		1.30								
6.5					15	1.20	21	1.68								
8																
12					11	1.32	15	1.80								

注：皮革、石棉和纸板的间隙取 08 钢的 25%。

- (5) 冲裁热轧硅钢片应比冷轧硅钢片的间隙大；
 - (6) 电火花穿孔加工凹模型孔时，其间隙应比磨削加工取小(0.5%~2%) t；
 - (7) 采用弹顶装置向上出件时，其间隙可比下落出件大 50%左右；
 - (8) 硬质合金模由于热膨胀系数小，其间隙值可比钢模大 30%。
- 从表 2—6 中所查到的为间隙比值，因此实际选用的单面间隙值

$$Z = \text{间隙比值} \times \frac{t}{100}$$

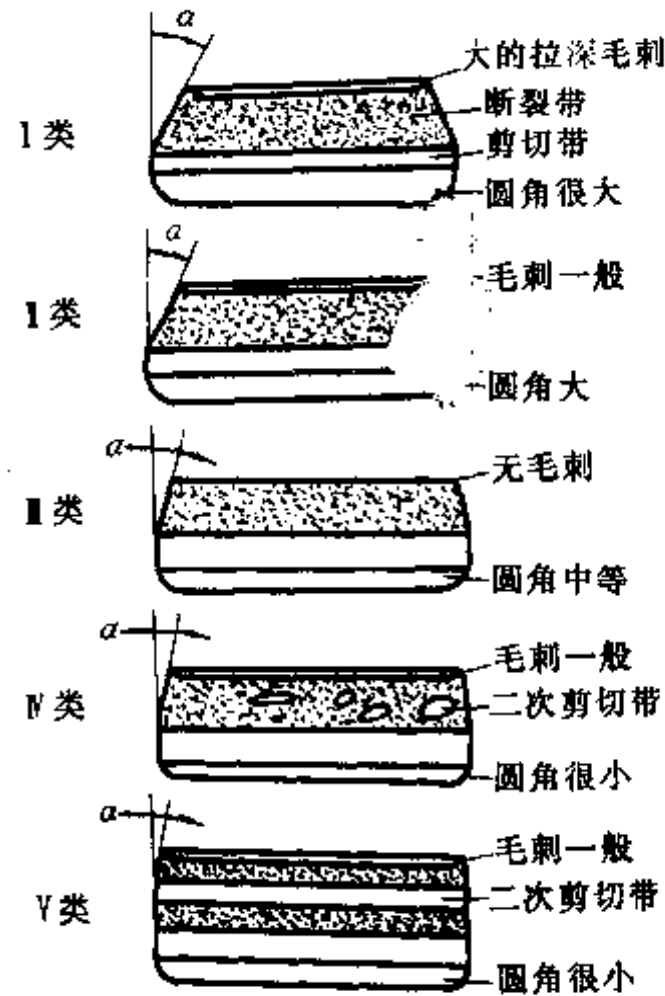


图 2—8 不同间隙情况下的剪切断面

表 2—5 制件精度低于 IT14 级，推荐用的冲裁大间隙（双面）

料厚 t (mm)	材 料		
	软料 08, 10, 20, A3	中硬料 45, LY12 1Cr18NiTi, 4Cr13	硬料 T8A, T10A, 65Mn
	间隙 $C(t\%)$		
0.2~1	12~18	15~20	18~24
>1~3	15~20	18~24	22~28
>3~6	18~24	20~26	24~30
>6~10	20~26	24~30	26~32

表 2-6 各种材料不同切断面类型的间隙值

冲裁材料		单面间隙比值 $\frac{C}{t} \times 100$				
		I	II	III	IV	V
高碳钢和合金钢		26	18	15	12	
软(低碳)钢		21	12	9	6.5	2
不锈钢		23	13	10	4	1.5
铜	硬	25	11	8	3.5	1.25
	软	26	8	6	3	0.75
磷青铜		25	13	11	4.5	2.5
黄铜	硬	24	10	7	4	0.8
	软	21	9	6	2.5	1
铝	硬	20	15	10	6	1
	软	17	9	7	3	1
镁		16	6	4	2	0.75
铅		22	9	7	5	2.5
断面状态及适用场合		圆角半径、拉伸毛刺、断面斜度等都大。光亮带小,撕裂带占料厚 3/4。适用于对冲裁件质量要求不高时	圆角半径大,毛刺适当,断面斜度中等。光亮带占料厚 1/3。模具寿命高,适用于一般冲裁件	圆角半径小,断面斜度小,毛刺很小(可以无毛刺),残余应力小,光亮带占料厚 1/3~1/2。适用于对冲裁件质量要求高,特别是易加工硬化的材料	圆角半径很小,断面斜度很小,中等挤压毛刺。光亮带占料厚 2/3。断面上有光亮点。适用于要再加工的冲裁件	圆角半径极小,有较大挤压毛刺,有两次光亮带或全光亮带。适用于断面要求垂直的冲裁件。冲硬料时,模具寿命很短,但对黄铜、铅、软钢、铝等可用

第三节 冲裁力和压力中心的确定

一、冲裁力

计算冲裁力的目的是为了合理地选用压机和设计模具。压机的公称压力必须大于所计算的冲裁力,以适应冲裁的要求。

影响冲裁力的因素很多,主要的有材料机械性能与厚度,冲裁件周边长度,模具间隙大小及刃口锋利程度等。

一般平刃口模具冲裁时,其冲裁力 P_0 可按下式计算

$$P_0 = F\tau = Lt\tau \quad (2-2)$$

式中 F ——剪切断面面积 (mm^2);

t ——材料厚度 (mm);

L ——冲裁周长 (mm);

τ ——材料抗剪强度 (MPa)。

过去一般采用仅与材料性质有关的抗剪强度 τ 进行计算, 实际上冲裁时的抗剪强度不仅与材料性质有关, 还与材料硬化程度, 材料相对厚度, 凸、凹模相对间隙 (Z/t) 以及冲裁速度有关。抗剪强度 τ 可用如下公式计算

$$\tau = (mt/d + 0.6)\sigma_b \quad (2-3)$$

式中 m ——与相对间隙 Z/t 有关的系数;

d ——落料为零件直径, 冲孔为孔径 (mm);

σ_b ——材料抗拉强度 (MPa)。

在 $Z/t=0.15$ 时, $m=1.2$, 故

$$\begin{aligned} \tau &= (1.2t/d + 0.6)\sigma_b \\ &\approx (1 + 2t/d)\sigma_b \end{aligned}$$

式中 σ_s ——材料屈服极限 (MPa)。

为简化计算, 可按表 2-7 选用 τ 值。

表 2-7 材料抗剪强度值

不同的落料、冲孔情况		τ	
		$Z=0.15t$ ($m=1.2$)	$Z=0.005t$ ($m=3.0$)
落料	大零件 $d \geq 1000t$	$0.6\sigma_b$	$0.65\sigma_b$
	中等零件 $d \geq 50t$	$0.7\sigma_b$	$0.8\sigma_b$
	小零件 $d = (5 \sim 10)t$	$0.8\sigma_b$	$(1 \sim 1.2)\sigma_b$
冲孔	孔径 $d \leq (5 \sim 2.5)t$	σ_b	$(1.5 \sim 1.8)\sigma_b$
	孔径 $d \leq (2 \sim 1.5)t$	$(1.2 \sim 1.4)\sigma_b$	$(2.0 \sim 2.6)\sigma_b$
	孔径 $d = t$	$1.8\sigma_b$	$3.6\sigma_b$

考虑到模具刃口的磨损, 凸、凹模间隙的波动; 材料机械性能的变化, 材料厚度偏差等因素, 实际所需冲裁力还需增加 30%, 即

$$P = 1.3 P_0 = 1.3Lt\tau \quad (2-4)$$

各种形状刃口冲裁力的计算见表 2-8。

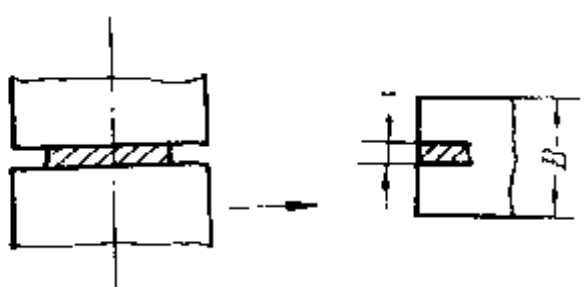
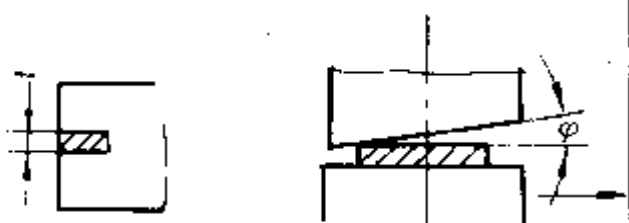
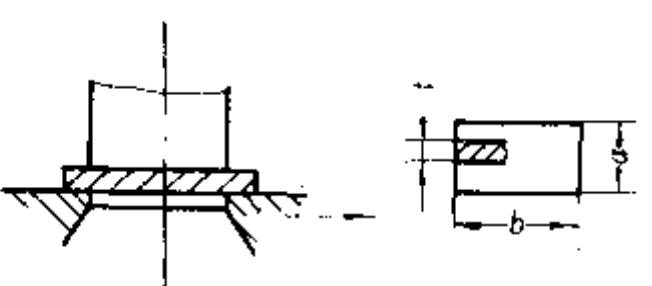
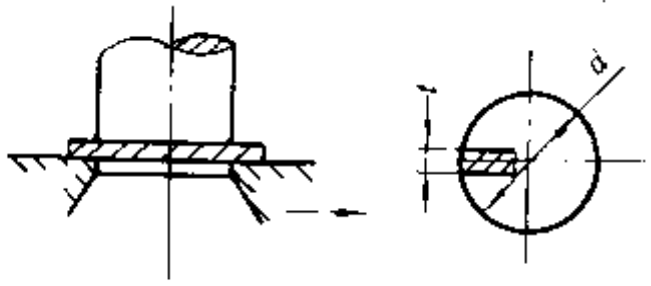
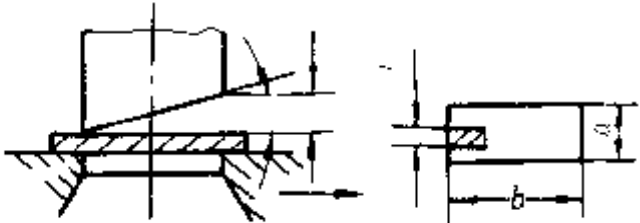
二、降低冲裁力的方法

在冲裁高强度材料或厚度大、周边长的零件时, 所需冲裁力如果超过现有压力机公称压力, 就必须采取措施降低冲裁力。一般采用如下几种方法。

(一) 阶梯凸模

在多凸模冲裁时, 将凸模作阶梯形布置。即将凸模制成不同高度 (见图 2-9), 使

表 2-8 冲裁力的计算公式及其举例

工序	简 图	尺寸 (mm)	计 算 公 式	
			公 式	例
在剪床 上用平 刃口切断		$t=1$ $B=1000$	$P=Bt$	$P=1000 \times 1 \times 440$ $=440000\text{N}$
在剪床 上用斜 刃剪切		$t=1$	$P=0.5t^2 \frac{1}{\tan \varphi}$ 一般 φ 在 $2^\circ \sim 5^\circ$ 之间	当 $\varphi=3^\circ$ 时 $P=0.5 \times 1$ $\times 440 \frac{1}{0.0524}$ $=4200\text{N}$
用平刃口 冲裁工 件		$t=1$ $a=100$ $b=200$	$P=lt$ $l=2(a+b)$	$P=600 \times 1 \times 440$ $=264000\text{N}$ $l=2(100+200)$ $=600\text{mm}$
		$t=1$ $d=476$	$P=\pi dt$	$P=3.14 \times 476$ $\times 1 \times 440$ $=657633\text{N}$
用单边 斜刃冲 模冲裁 工件或 冲缺		$t=1$ $a=100$ $b=200$	当 $H>t$ 时 $P=t(a+b \frac{t}{H})$ 当 $H=t$ 时 $P=t(a+b)$	当 $H=t$ 时 $P=1 \times 440$ $\times (100+200)$ $=132000\text{N}$

工序	简图	尺寸 (mm)	计算公式	
			公式	例
在双边斜刃冲模上冲裁工件		$t=1$ $d=100$	当 $H > 0.5t$ 时 $P = 2dt\tau$ $\times \arccos \frac{H-0.5t}{H}$	当 $H=t$ 时 $P = 2 \times 100 \times 1 \times 440$ $\times \arccos \frac{1-0.5}{1}$ $= 92107\text{N}$
			同上	
在双边斜刃冲模上冲裁工件		$k=1$ $a=100$ $b=200$	当 $H > t$ 时 $P = 2t\tau(a + b \frac{0.5t}{H})$ 当 $H=t$ 时 $P = 2t\tau(a + 0.5b)$	当 $H=t$ 时 $P = 2 \times 1$ $\times 440(100$ $+ 0.5 \times 200)$ $= 176000\text{N}$
			同上	

各凸模冲裁力的最大值不同时出现，这样就能降低总的冲裁力。特别是在几个凸模直径相差悬殊，彼此距离又很近的情况下，采用阶梯形布置还能避免小直径凸模由于承受材料流动的挤压力而产生折断或倾斜的现象（此时应将小凸模做短一些）。凸模的高度差 h 取决于材料厚度，如

$$\begin{aligned} t < 3\text{mm} & \quad h = t \\ t > 3\text{mm} & \quad h = 0.5t \end{aligned}$$

(二) 斜刃冲模

用普通的平刃口模具冲裁时，其整个刃口平面都同时接触板料，故在冲裁大型或厚板零件时，

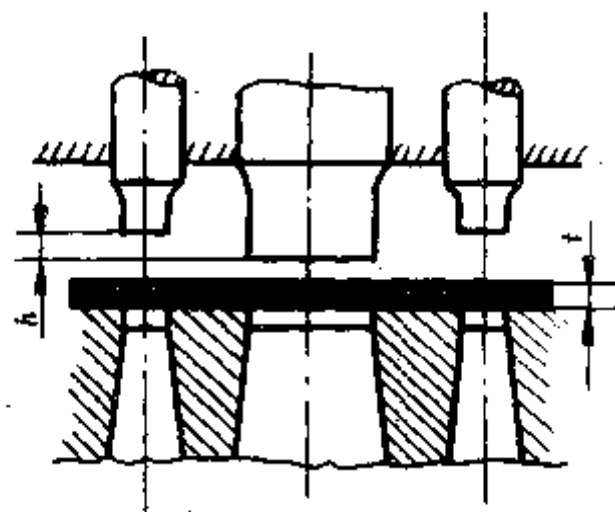


图 2-9 阶梯形布置凸模

冲裁力往往很大。若将凸模（或凹模）刃口平面做成与其轴线倾斜一个角度 φ （见图 2-10）冲裁时刃口就不是同时切入，而是逐步冲切材料，这就等于减少了剪切断面面积，因

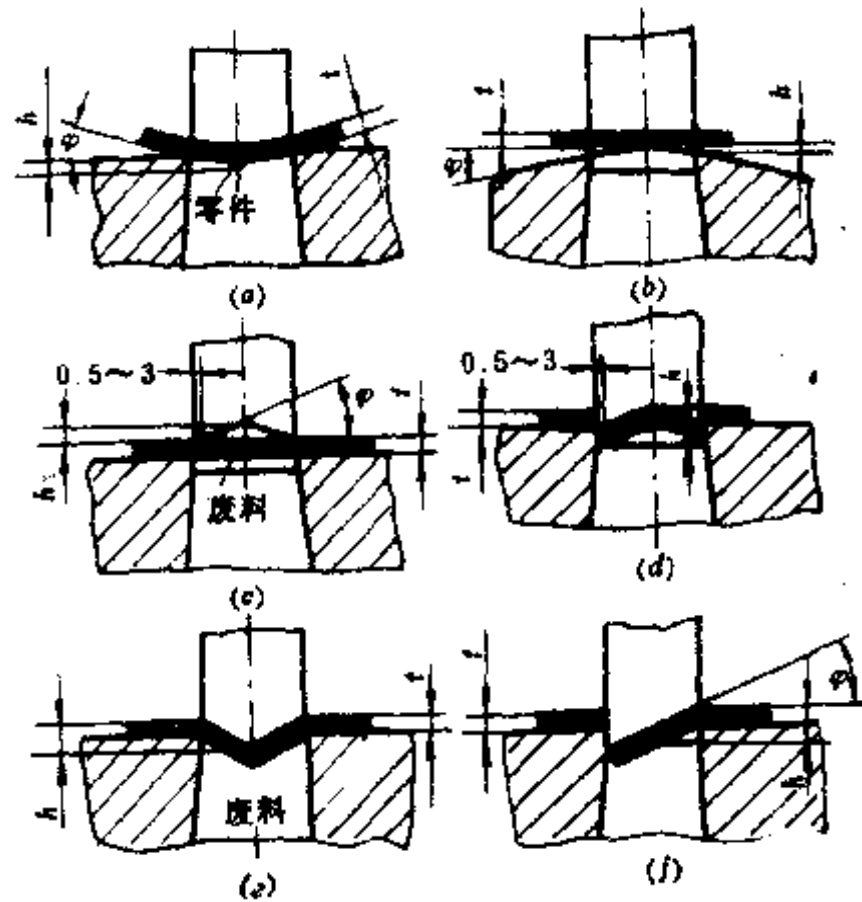


图 2-10 斜刃口冲裁模

(a)、(b) 落料用模；(c)、(d)、(e) 冲孔用模；(f) 切口用模。

而能降低冲裁力。如图 2-10 所示，为了得到平整的零件，落料时应将凹模做成斜刃，凸模做成平刃；冲孔时则应将凸模做成斜刃，凹模做成平刃。设计斜刃时，还应注意将斜刃对称布置，以免冲裁时凸、凹模承受单向侧压力而发生偏移，啃坏刃口。刃斜角 φ 不宜太大，一般可按表 2-9 选用。

表 2-9 一般采用的斜刃数值

材料厚度 t (mm)	斜刃高度 h (mm)	斜刃角 φ
< 3	$2t$	< 5°
3~10	t	< 8°

斜刃口冲模的冲裁力可用斜刃剪切公式近似计算，即

$$P' = K \frac{0.5t^2\tau}{\lg\varphi} \approx \frac{0.5t^2\sigma_s}{\lg\varphi} \quad (2-5)$$

式中 K ——系数，一般取 1.3；
 τ ——材料抗剪强度 (MPa)；

φ ——刃口斜角（一般小于 12° ）。

斜刃冲裁力也可用下列简化公式计算

$$P' = KLt\tau \quad (2-6)$$

当 $h = t$ 时,

$$K = 0.4 \sim 0.6$$

$h = 2t$ 时,

$$K = 0.2 \sim 0.4$$

式中 L ——剪切周长 (mm);

h ——斜刃高度 (mm);

τ ——材料抗剪强度 (MPa);

t ——材料厚度 (mm)。

斜刃冲模虽然降低了冲裁力,但增加了模具制造和修磨的困难,刃口也易磨损,故一般仅用于大型零件冲裁及厚板冲裁。

三、卸料力及推件力

一般情况下,落料件从板料切下以后,径向因弹性变形而扩张,板料上的孔则沿径向发生弹性收缩。同时,冲下的零件与余料还要力图恢复弹性拱弯。这两种弹性恢复的结果,会使落料件梗塞在凹模内,而冲裁后剩下的板料则箍紧在凸模上。从凸模上将零件或废料卸下来所需的力称卸料力;从凹模内顺着冲裁方向把零件或废料推出的力称推件力,逆冲裁方向把零件或废料从凹模腔顶出的力称顶件力。影响这些力的因素较多,主要有材料的机械性能、材料厚度、模具间隙、零件形状尺寸以及润滑情况等。大间隙冲裁时,因板料受拉深变形大,故冲裁后的弹性恢复使落料件比凹模孔小,而冲下的孔比凸模大,故使卸料力与推件力都有所降低。所以要准确地计算这些力是困难的。通常用下列经验公式计算

$$\text{推件力} \quad P_1 = nK_1P \quad (2-7)$$

$$\text{顶件力} \quad P_2 = K_2P \quad (2-8)$$

$$\text{卸料力} \quad P_3 = K_3P \quad (2-9)$$

式中 P ——冲裁力 (N);

n ——同时梗塞在凹模内的零件(或废料)数, $n = h/t$;

t ——材料厚度 (mm);

h ——圆柱形凹模腔口高度 (mm);

K_1, K_2, K_3 ——推件力,顶件力及卸料力系数,其值可查表 2-10。

上述这些力在选择压机时是否考虑进去,要根据不同的模具结构区别对待,即采用弹性卸料装置和上出料方式的总冲裁力为

$$P_1 = P + P_2 + P_3 \quad (2-10)$$

采用刚性卸料装置和下出料方式的总冲裁力为

$$P_2 = P + P_1 \quad (2-11)$$

表 2-10 推件力系数、顶件力系数和卸料力系数

料厚 (mm)		K_1	K_2	K_3
钢	≤ 0.1	0.1	0.14	0.065~0.075
	0.1~0.5	0.063	0.08	0.045~0.055
	0.5~2.5	0.055	0.06	0.04~0.05
	2.5~6.5	0.045	0.05	0.03~0.04
	6.5	0.025	0.03	0.02~0.03
铝、铝合金		0.03~0.07		0.025~0.08
紫铜、黄铜		0.03~0.09		0.02~0.06

注：卸料力系数 K_3 在冲多孔、大搭边和轮廓复杂制件时取上限。

采用弹性卸料装置和下出料方式的总冲裁力为

$$P_2 = P + P_1 + P_3 \quad (2-12)$$

四、压力中心的确定

冲裁时的合力作用点或多工序模各工序冲压力的合力作用点称为模具压力中心。为保证模具及压力机滑块不受倾倾力矩的作用，须使冲裁时的压力中心通过模具的模柄轴线或与压力机滑块中心相重合。否则压力机滑块及上模将发生歪斜，间隙不均匀，造成压力机导轨急剧磨损，模具刃口迅速变钝，会导致模具损坏，降低模具和压机的使用寿命。确定压力中心的工作主要针对复杂零件冲裁模、多凸模冲孔模和级进模。即在这几种模具设计时，必须确定压力中心。

对称形状的零件，压力中心位于其轮廓图形的几何中心。如图 2-11 所示，给出了一些形状较为简单冲裁时压力中心 X_0 的计算式。

求复杂形状冲裁时的压力中心有两种方法：解析法和图解法，通常较多采用解析法。

(一) 解析法求冲裁复杂形状零件压力中心

冲裁复杂形状零件时，其压力中心位置按下述程序计算：

- (1) 按比例画出凸模工作部分剖面的轮廓图；
- (2) 在零件轮廓内、外任意处，作坐标轴 $x-x$ ， $y-y$ ；
- (3) 将轮廓线分成若干基本线段，计算各基本线段的长度 $L_1, L_2, L_3, \dots, L_n$ 。因冲裁力大小与冲裁线段长度 L 成正比，所以 L 也能代表冲裁力的大小；
- (4) 计算各基本线段的重心位置到 $y-y$ 轴的距离 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ，以及到 $x-x$ 轴的距离 $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ ；
- (5) 根据合力对轴线的力矩等于各分力对该轴线的力矩之和的原理，得到压力中心的坐标位置

$$x_0 = \frac{L_1 x_1 + L_2 x_2 + L_3 x_3 + \dots + L_n x_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \quad (2-13)$$

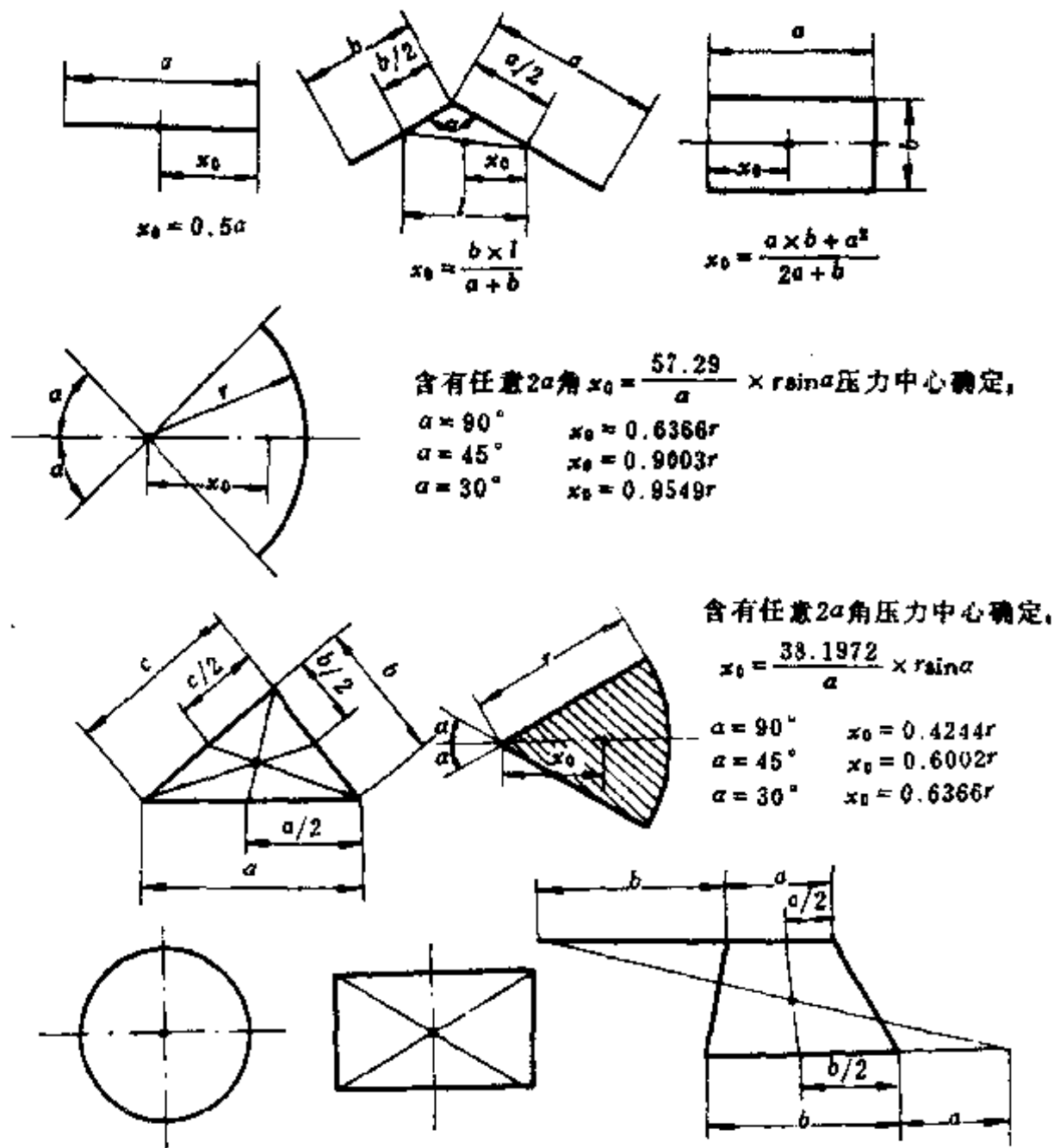


图 2-11 形状简单冲压件的压力中心确定

$$y_0 = \frac{L_1 y_1 + L_2 y_2 + L_3 y_3 + \dots + L_n y_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n} \quad (2-14)$$

(二) 多凸模冲裁的压力中心

多凸模冲裁的压力中心，按下述程序进行计算（见图 2-12）。

- (1) 按比例画出凸模工作部分剖面的轮廓图；
- (2) 在任一位置处作 $x-x$ 轴和 $y-y$ 轴；
- (3) 计算各凸模冲裁轮廓周长 $L_1、L_2、L_3、\dots、L_n$ ；
- (4) 计算各凸模重心到 $x-x$ 轴的距离 $y_1、y_2、y_3、\dots、y_n$ ，以及到 $y-y$ 轴的距离 $x_1、x_2、x_3、\dots、x_n$ ；
- (5) 冲模压力中心位置由下式确定

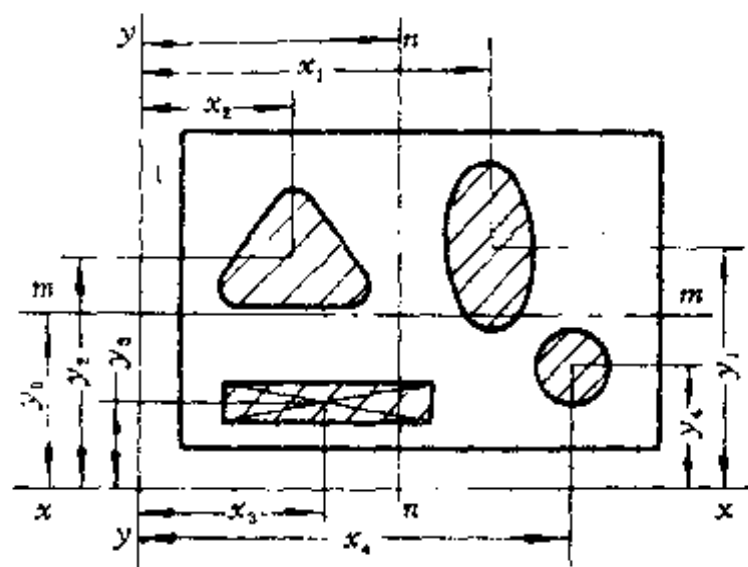


图 2-12 多凸模冲裁时的压力中心

$$x_0 = \frac{L_1 x_1 + L_2 x_2 + L_3 x_3 + \dots + L_n x_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}$$

$$y_0 = \frac{L_1 y_1 + L_2 y_2 + L_3 y_3 + \dots + L_n y_n}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n}$$

第四节 排样与搭边

一、材料利用率

在冲压零件的成本中，材料费用占 60% 以上，因此材料的经济利用是一个重要问题。

冲裁件在条料式板料上的布置方法叫排样。排样不合理就会浪费材料；衡量排样经济性的标准是材料利用率，也就是零件的实际面积 F_0 与板料面积 F 的比值，即

$$\eta = \frac{F_0}{F} \% \quad (2-15)$$

式中 η ——材料利用率；

F_0 ——零件的实际面积 (mm^2)；

F ——所用材料面积，包括零件面积与废料面积 (mm^2)。

一个进距内的材料利用率为

$$\eta = \frac{n F_0}{B h} \% \quad (2-16)$$

式中 F_0 ——冲裁零件的面积（包括冲出的小孔在内）(mm^2)；

n ——一个进距内冲件数目；

B ——条料宽度 (mm)；

h ——进距 (mm)。

一张板料上总的材料利用率为

$$\eta = \frac{n_0 F_0}{A L} \% \quad (2-17)$$

式中 n_0 ——一张板料上冲件总数目；

F_0 ——冲裁零件的面积 (mm^2)；

A ——板料宽度 (mm)；

L ——板料长度 (mm)。

从以上式子可以看出，若能减少废料面积则材料利用率高。废料分为工艺废料与结构废料两种（见图 2-13）。搭边和余料属于工艺废料，这是与排样形式及冲压方法有关的废料；结构废料由零件的形状特点决定，一般不能改变。所以，只有设计合理的排样方案，减少工艺废料，才能提高材料利用率。

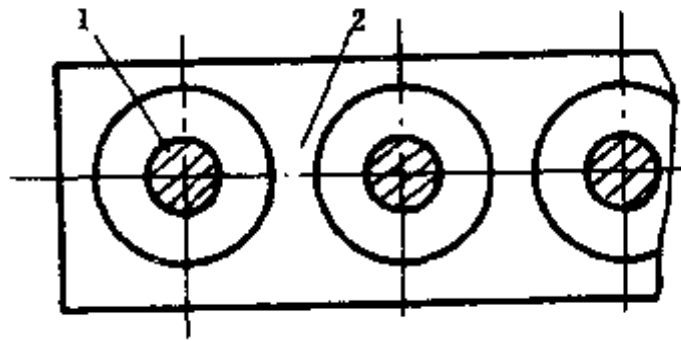


图 2-13 废料分类
1—结构废料；2—工艺废料。

二、排样

根据材料的利用情况，排样可分为三种：

(一) 有废料排样

沿零件全部外形进行冲裁，零件周边都留有搭边（见图 2-14a、c）。因有搭边，这种排样能保证冲裁件的质量，冲模寿命也长，但材料利用率低。

(二) 少废料排样

沿零件部分外形进行冲裁，只有局部有搭边与余料（见图 2-14b）。

(三) 无废料排样

无任何搭边（见图 2-14d）。采用少、无废料排样，对节省材料具有重要意义，且有利于一次冲裁多个零件，故可以提高生产率；同时因其冲切周边减少，又可简化冲模结构和降低冲裁力。在无废料排样时，因材料只有料头和料尾损失，故材料利用率可达 85%~95%；少废料排样的材料利用率也可达 70%~90%。例如，图 2-14 (a)、(b) 所示零件，采用有废料排样（留搭边）时，材料利用率为 75%（图 a），改为少废料排样，材料利用率可提高到 89%（图 b）。图 (c)、(d) 所示零件，采用有废料排样（图 c）时的材料利用率为 77%，现用无废料排样（图 d）后，材料利用率提高到 94%。但采用少、无废料排样也存在一些缺点，就是由于条料本身的公差以及条料导向与定位所产生的误差，使零件的质量和精度降低。另外，由于采用单边剪切，也影响断面质量及模具寿命。

在实际生产中，具体采用何种排样方式，与零件形状有密切关系。按零件的不同几何形状，可得出与其相适应的排样方式，具体情况见表 2-11。结合表 2-11，可以决定冲裁件的合理排样方式。表 2-12 介绍了排样方式的选用。

三、搭边

排样时零件之间以及零件与条料侧边之间留下的余料叫搭边。搭边的作用是补偿定位误差，保证冲出合格的零件。搭边还可以使条料有一定的刚度，便于送进。

表 2-11 常用的排样类型

排样类型	排列简图	
	有搭边	无搭边
直排		
单行排列		
多行排列		
斜排列		
对头直排		
对头斜排		

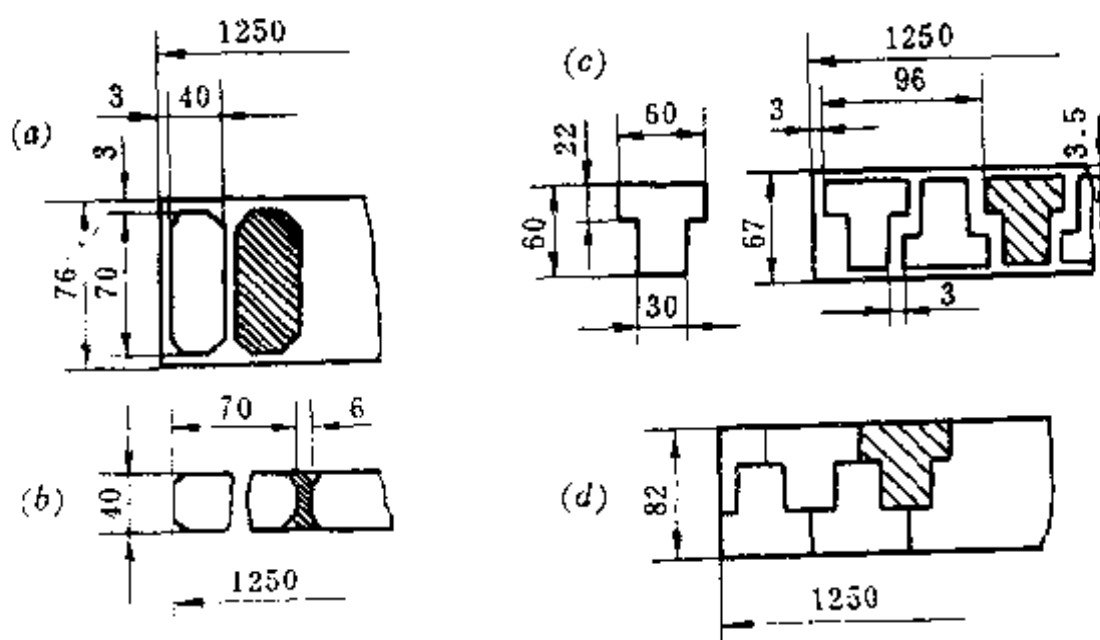


图 2-14 排样方法

(a)、(c) 有搭边排料；(b) 局部有搭边排料；(d) 无搭边排料。

搭边值要合理确定，从节省材料出发，搭边值愈小愈好，但搭边值小于一定数值后，对模具寿命和剪切表面质量不利。在搭边值过小时，作用在凸模侧表面上的法向应力沿落料毛坯周长的分布将不均匀。为了使作用在毛坯侧表面上的应力沿切离毛坯周长的变

化不大，必须使搭边的最小宽度大于塑变区的宽度，而塑变区的宽度与材料性质和材料厚度有关，一般约等于 $0.5t$ 。所以，搭边的最小宽度可最大约等于毛坯的厚度。若搭边值小于材料厚度，在冲裁中还可能被拉入模具间隙中，使零件产生毛刺，甚至损坏模具刃口，降低模具寿命。搭边值大小与下列因素有关：

(1) 材料的机械性能 硬材料的搭边值可小一些，软材料、脆材料的搭边值要大一些。

(2) 零件的形状与尺寸 零件尺寸大或有尖突的复杂形状时，搭边值应大一些。

(3) 材料厚度 厚材料的搭边值取大一些。

(4) 送料及挡料方式 用手工送料时，有侧压板导向的搭边值可以小些。

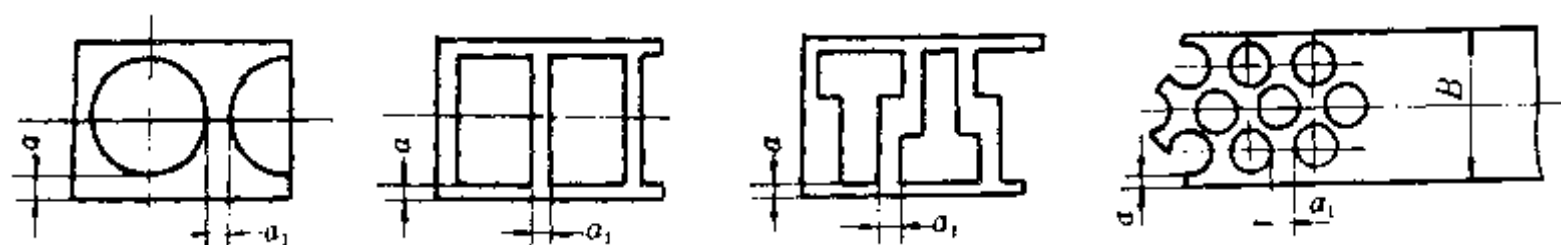
总的来讲，搭边值是由经验确定的。目前常用的有几种方法，对一般金属材料在冲裁时的搭边值见表 2-13（适用于大零件）或表 2-14。

表 2-12 零件形状与经济排样类型

序号	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
工件形状组别	方形	梯形	三角形	圆及多边形	半圆及山字形	椭圆及盘形	十字形	丁字形	角尺形
排样类型									
直排									
单行排列									
多行排列									
斜排									
对头直排									
对头斜排									

表 2-13 冲裁金属材料的搭边值

(mm)



材料厚度 t	手 工 送 料						自动送料	
	圆 形		非 圆 形		往 复 送 料			
	a	a_1	a	a_1	a	a_1	a	a_1
~1	1.5	1.5	2	1.5	3	2		
大于 1~2	2	1.5	2.5	2	3.5	2.5	3	2
大于 2~3	2.5	2	3	2.5	4	3.5		
大于 3~4	3	2.5	3.5	3	5	4	4	3
大于 4~5	4	3	5	4	6	5	5	4
大于 5~6	5	4	6	5	7	6	6	5
大于 6~8	6	5	7	6	8	7	7	6
8 以上	7	6	8	7	9	8	8	7

注：1. 冲非金属材料（皮革、纸板、石棉板等）时，搭边值应乘以 1.5~2。

2. 有侧刃的搭边 $a' = 0.75a$ 。

表 2-14 最小工艺搭边值

(mm)

材料厚度 t	圆件及 $r > 2t$ 的圆角		矩形件边长 $L \leq 50\text{mm}$		矩形件边长 $L > 50\text{mm}$ 或圆角 $r \leq 2t$	
	工件间 a_1	沿边 a	工件间 a_1	沿边 a	工件间 a_1	沿边 a
0.25 以下	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	2.5	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
4.0~5.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5
5.0~12	$0.6t$	$0.7t$	$0.7t$	$0.8t$	$0.8t$	$0.9t$

注：表列搭边值适用于低碳钢，对于其他材料，应将表中数值乘以下列系数：

中等硬度的钢	0.9	软黄铜、紫铜	1.2
硬钢	0.8	铝	1.3~1.4
硬黄铜	1~1.1	非金属	1.5~2
硬铝	1~1.2		

第五节 整修与精密冲裁

普通冲裁所得零件尺寸精度在 IT11 级以下，断面粗糙度值为 $R_a 12.5\mu\text{m} \sim R_a 6.3\mu\text{m}$ ，且有斜度。对一些尺寸精度和表面质面要求更高的零件，普通冲裁显然不能满足要求，需要采用其他一些能提高冲裁件质量的工艺方法。表 2-15 给出了这些冲压工艺方法的分类及特点。在本节中将着重介绍其中的整修，光洁冲裁，对向凹模冲裁和上、下冲裁等几种工艺方法，而对其中的齿圈压板冲裁（俗称精冲）将在第九章专门介绍。

一、整修

整修是利用整修模沿冲裁件外缘或内孔刮削去一层薄薄的切屑，以除去普通冲裁时留下的粗糙的断面与斜度，得到光滑平整的断面，从而提高了冲裁件的加工精度和表面质量。整修后的零件尺寸精度可达 IT6~IT7 级，表面粗糙度 R_a 值为 $0.8\mu\text{m} \sim 0.4\mu\text{m}$ 。

整修冲裁件的外形称为外缘整修，整修冲裁件孔的内形称为内缘整修（内孔整修）。这两种整修方法如图 2-15 所示。从变形机理来说，整修与冲裁显然完全不同，整修与切削加工相似。整修的质量主要与整修次数，整修余量以及整修模结构等因素有关。

（一）外缘整修

如图 2-15，外缘整修是将预先留有整修余量的零件置于凹模上，由凸模将零件压入凹模，余量则被凹模切除。由图可知，余量是沿着一定方向被逐层切除的，但在最后切下去的地方，由于崩裂的缘故，形成一条很窄的粗糙带（约 0.1mm ）。整修时应将毛坯尺寸大的一端放在凹模上，否则会使粗糙带增大且有毛刺。

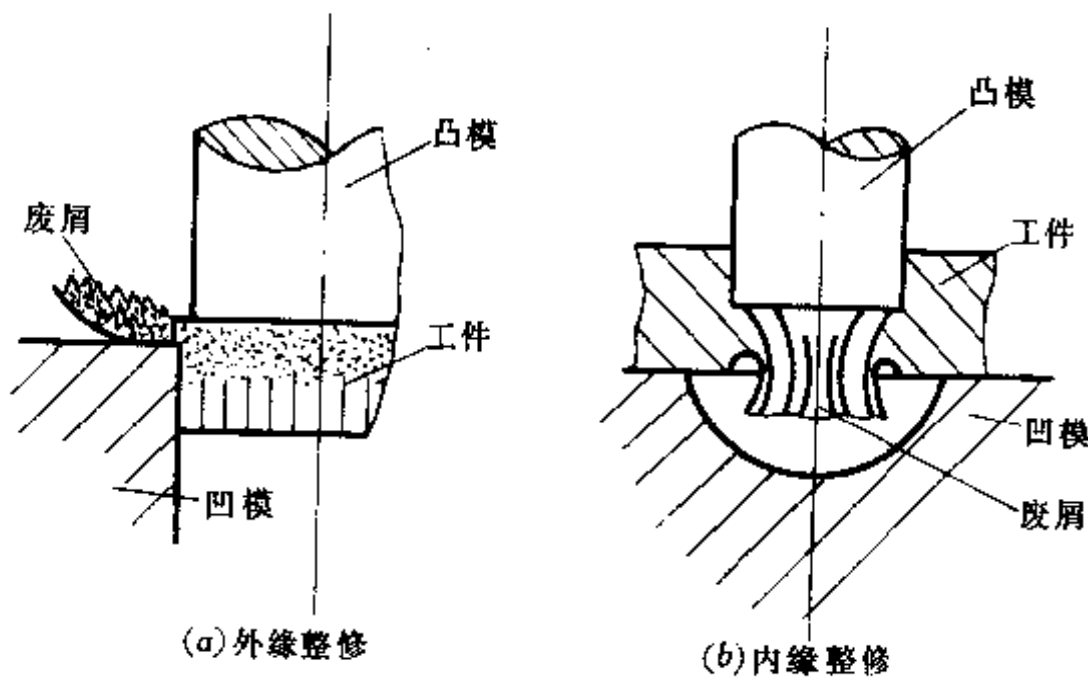
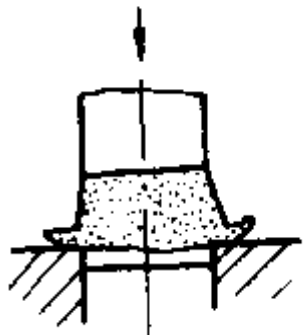
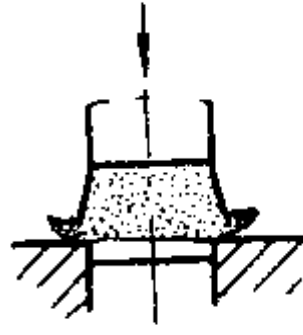
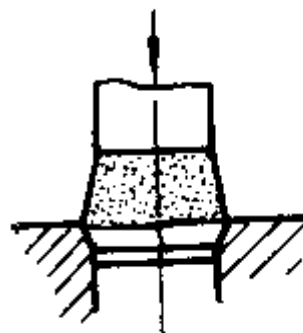
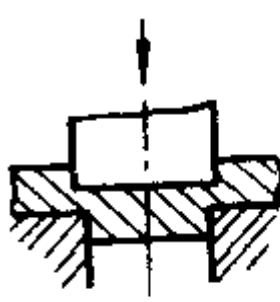
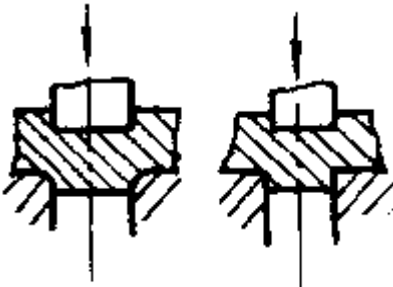
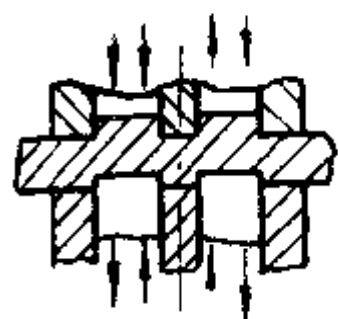
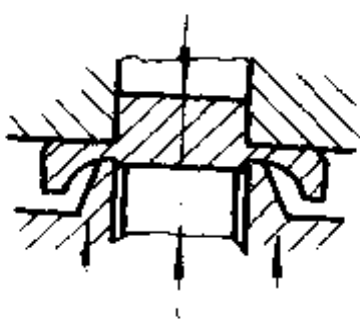
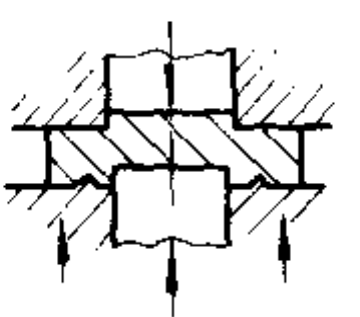


图 2-15 整修工艺

表 2-15 提高冲裁件质量的冲压工艺分类

类别	工艺名称	简图	方法要领	主要优缺点
精整	修边		切除不光洁表面按料厚和形状定修边余量和次数, 小间隙 $0.006 \sim 0.01\text{mm}$ 或负间隙	精度和质量高, 塌角和毛刺小, 定位要求高, 不易除屑, 效率低于精冲
	振动修边		修边过程中加入振动因素	质量高于修边, 除修边缺点外, 尚有振动的危害
	挤光		锥形凹模, 挤光余量单边 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$	质量低于修边和精冲只适于软料, 效率低于精冲
半精冲	负间隙冲裁		凸模大于凹模 ($0.05 \sim 0.2$) t , 凹模圆角 ($0.05 \sim 0.1$) t	粗糙度 R_a 值较小, 只适于软料, 塌角毛刺较大
	小间隙圆刃冲裁		间隙小于 0.02mm , 落料: 凹模刃口圆角 $0.1t$ 冲孔: 凸模刃口圆角 $0.1t$	粗糙度较细, 塌角毛刺较大
	往复冲裁		第一步冲裁深 $0.25t$, 第二步反方向冲下工件	剪切面上仍有断裂区, 运动复杂

(续)

类别	工艺名称	简 图	方法要领	主要优缺点
精 冲	强力压边精冲		小间隙 0.01t, 在压边圈和反压板夹持下冲裁	精度和表面粗糙度 R_a 值小, 塌角和毛刺较小, 效率高, 模具和机床复杂
	对向凹模精冲		凸起凹模压入 (0.7~0.8)t 再进行冲裁	精度和表面粗糙度 R_a 值小, 塌角和毛刺小, 可冲厚料和塑性差的材料, 模具和机床复杂

整修的次数希望越少越好, 尽量采用一次整修。一般对于厚度小于 3mm 且外形简单的零件只需一次整修, 厚度大于 3mm 或零件带尖角时, 需进行多次整修。但是一次可能切除的单边整修量, 一般小于材料厚度的 10%, 否则会出现类似于冲裁的剪裂情况。

为保证零件断面光滑平直, 零件留的整修余量必须适当。整修余量与材料性质, 零件形状及大小, 材料厚度和整修前的断面质量状况有关。整修前如采用大间隙落料, 则为了切去断面上带有斜度的粗糙剪裂带, 整修余量就要大些, 其单边数值往往大于材料厚度的 10%, 而采用小间隙落料时, 因为切去的二次剪切形成的中间断裂带的斜度小, 因此整修量也小。整修余量过大或过小都会降低整修零件的质量。表 2-16 给出了一些常用材料的双边整修余量。

外缘整修时, 其间隙值的大小可根据制件尺寸、材料厚度而定, 间隙 (双面) 一般为 0.006~0.01mm, 最大不超过 0.025mm, 凹模口部高度取 6~8mm。

表 2-16 整修的双边余量

材料厚度 t (mm)	黄铜、软钢		中等硬度的钢		硬 钢	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
0.5~1.6	0.10	0.15	0.15	0.20	0.15	0.25
1.6~3.0	0.15	0.20	0.20	0.25	0.20	0.30
3.0~4.0	0.20	0.25	0.25	0.30	0.25	0.35
4.0~5.2	0.25	0.30	0.30	0.35	0.30	0.40
5.2~7.0	0.30	0.40	0.40	0.45	0.45	0.50
7.0~10	0.35	0.45	0.45	0.50	0.55	0.60

- 注: 1. 最小的余量用于整修形状简单的工件, 最大的余量用于整修形状复杂或有尖角的工件;
2. 在多级整修中, 第二次以后的整修采用表中最小数值;
3. 钛合金的整修余量为 (0.2~0.3)t。

对于软材料的整修，如黄铜、铝等，凹模与凸模均采用锋利刃口；而对于较硬材料，如钢板，凸模做成锋利刃口，而凹模刃口应稍带圆角，当制件厚度为 1.3~3mm 时，其圆角半径为 0.2~0.5mm。

整修时所需力可按下式近似计算

$$P_c = L(S + 0.1tn)\tau_0 \quad (2-18)$$

式中 L ——整修周边长度 (mm)；
 S ——总的双边金属切削量 (mm)；
 n ——同时卡在凹模内的零件数；
 t ——材料厚度 (mm)；
 τ_0 ——抗剪强度 (MPa)。

(二) 内缘整修

1. 切掉余量的整修

内缘整修 (见图 2-16) 与外缘整修相似，不同之处在于利用凸模而切除余量。它主要用来校正孔的位置，降低粗糙度和提高孔的尺寸精度。其整修精度可达 IT6 级左右，孔壁粗糙度 $R_a 0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。此种整修方法除要求凸模刃口锋利外，还需有合理的整修余量。余量大小则与材质、板厚、预先打孔的方式及整修的定位方式等因素有关。如整修前为钻孔时，其整修量要比冲孔小些。若修孔的同时，还要对孔径及孔距进行校准，则应加整修量。内缘整修量的大小也可参照下式计算 (见图 2-17)。

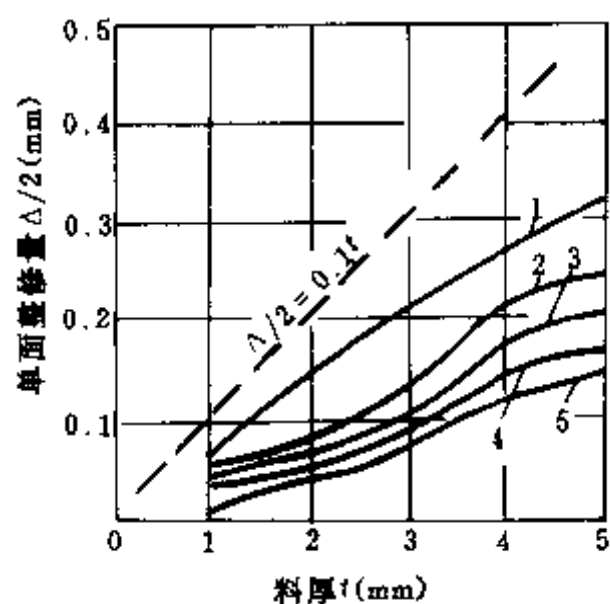


图 2-16 内缘整修量

1— $\sigma_s > 500\text{MPa}$ 以上的钢板；2— $\sigma_s < 500\text{MPa}$ 的钢板；
 3—硬铝；4—黄铜；5—软铝。

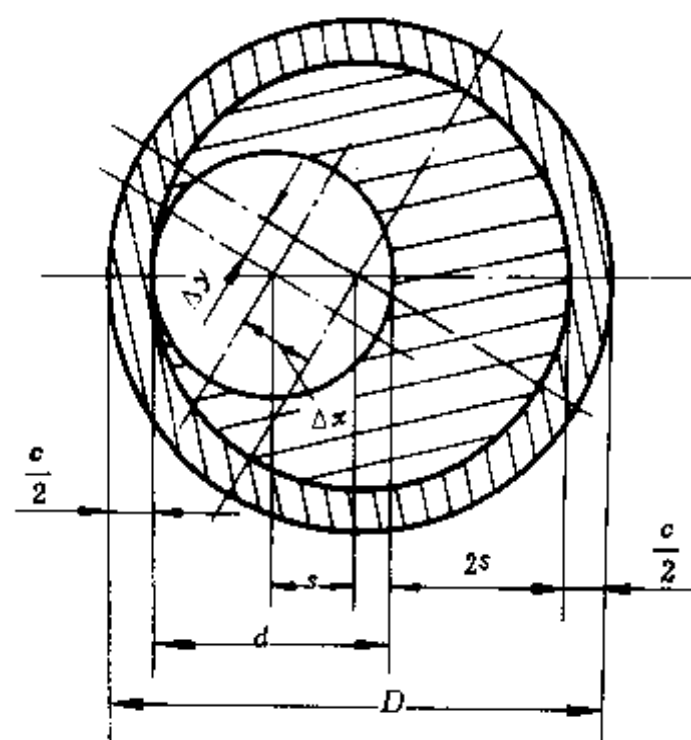


图 2-17 内缘整修量 ΔD 计算

$$\Delta D = 2S - C = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} + C \approx 2.8x + C \quad (2-19)$$

式中 ΔD ——双边修正余量 (mm)；
 S ——修正前孔具有的最大偏心距 (mm)；

x ——修正前孔的中心坐标对于公称位置的最大错位 (mm), 可查表 2-17;

C ——修正前孔可能具有的最大坐标误差, 可查表 2-18。

孔在整修后由于弹性恢复, 使孔径有所变小, 其缩小值近似为, 铝 0.005~0.010mm, 黄铜 0.007~0.012mm, 软钢 0.008~0.015mm。

表 2-17 x 值的确定

材料厚度 t (mm)	x 值	
	预先用模具冲孔	预先按中心钻孔
0.5~1.5	0.02	0.04
1.5~2.0	0.03	0.05
2.0~3.5	0.04	0.06

表 2-18 补偿定位误差 C 值

作为定位基准的孔和整修孔中 心的距离或整修孔中心与作为 定位基准的外形轮廓间的距离 (mm)	C 值	
	以孔为基准	以外形为基准
10	0.02	0.04
10~12	0.03	0.06
20~40	0.04	0.03
40~100	0.06	0.12

当整修孔为正公差时, 凸模按下式计算

$$d_p' = (D - \frac{3}{4} \Delta + A) \delta_p$$

式中 A ——孔的收缩量, 一般 $A = 0.003 \frac{t}{D}$;

Δ ——工件公差;

δ_p ——整修凸模制造公差。

由于整修过程中整修凹模一般只起支持坯料和容纳切屑的作用, 因此不要求有刃口, 只要凹模孔比凸模直径稍大即可, 有时甚至只需在凹模上挖个直径 $D > 1.5d$ 的半球形凹坑。用此法整修的孔精度可达 0.01~0.03mm, 表面粗糙度为 $R_a 0.8 \sim R_a 0.4 \mu\text{m}$, 但对某些较大的整修孔径, 凹模一般要加镶套。

内缘整修冲裁力大小的确定基本上与外缘整修法相似。

2. 挤光整修

这种方法是对冲裁件的断面采用表面塑性变形的办法来提高零件的精度和降低表面粗糙度 R_a 的数值。此时利用硬度很高的芯棒或钢球, 强行通过尺寸稍小一些的毛坯孔, 将孔表面挤光压平。这种工艺一般只适用于软材料, 其质量低于精冲和切削整修工艺。冲孔和挤光整修可以同时进行, 凸模的整修部分与冲孔部分的直径差等于一般冲裁的正常间隙值 Z 即可。

挤光整修用于板料 $d/t \geq 3 \sim 4$ 以及 $t < 3\text{mm}$ 的情况，凹模采用锥形孔口的形式，挤光余量单边小于 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$ 。

(三) 叠料整修

一般的整修方法，因间隙较小而需要高精度的模具，以及选择最适当的加工余量等问题。所以，通过一次整修未必能得到平滑的剪切断面。采用叠料整修可解决上述问题。此方法是把两件坯料重叠起来，使用直径大于凹模的凸模，隔着一件坯料对整修的毛坯加压，当整修到坯料厚度的 $2/3 \sim 3/4$ 时，再送入第二件毛坯，进行下一件整修（见图 2-18）。这种方法的优点是凸模不进入凹模，因而模具制造容易，而且凸模不易磨损。另

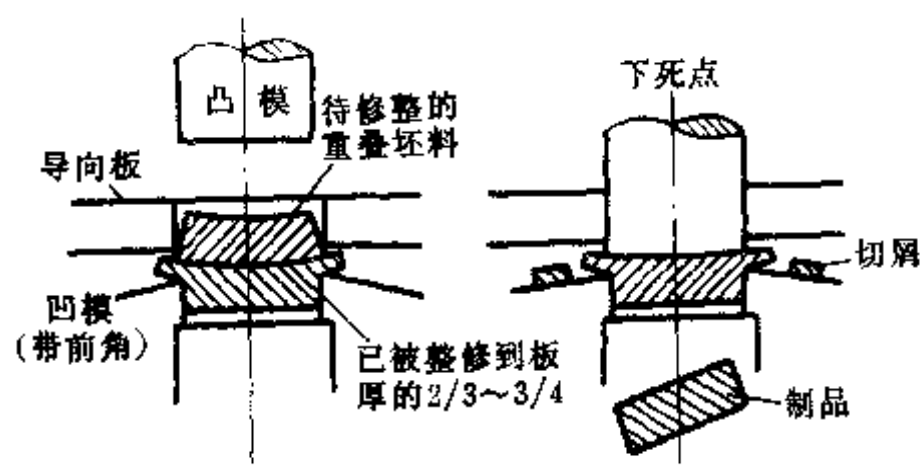


图 2-18 叠料整修

外，适于整修的材料范围与允许的加工余量范围均比一般整修方法宽。其缺点是需要在下行程的毛坯进入状态下清除切屑，因而应当考虑排屑的措施，可采用在凹模端面加工 $10^\circ \sim 15^\circ$ 前角或断屑槽，以及用高压的压缩空气吹掉切屑。由于在这种方法中，下道工序坯料起凸模作用，当材质相当软时整修出的零件会产生很大的毛刺。

(四) 振动整修

这种方法是在凸模上附加一个轴向振动，断续地进行切削。利用这种方法要使用专门的压力机，振动由机械方式实现，振幅约 0.4mm ，振动频率为每秒 20 次左右。振动整修的主要优点是对原来比较难于整修的材料变得容易整修，并且可以提高剪切断面质量和零件的尺寸精度。由于振动提高了零件切削性能，因而整修余量的容许值也可以大些。

二、精密冲裁

(一) 光洁冲裁

1. 小间隙冲裁

这种冲裁方式适用于塑性较好的材料的落料。该冲裁模具的刃口形状如图 2-19 所示，该模具的主要特点是其刃口不象常规冲裁模保持锋利状态，而是用圆角或椭圆角过渡；其凸、凹模间隙通常小于 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ ，且与所冲材料的厚度无关。冲裁时，由于采用了圆弧刃口，金属材料被均匀地挤进凹模型腔，形成光亮的剪切面。这时，带圆角或椭圆角的凹模型腔，不仅不对所冲板料产生应力集中，反而会增加对所冲材料的径向压应力，从而提高材料的塑性性能，消除或延缓了裂纹的产生，能形成光亮的切断面。在

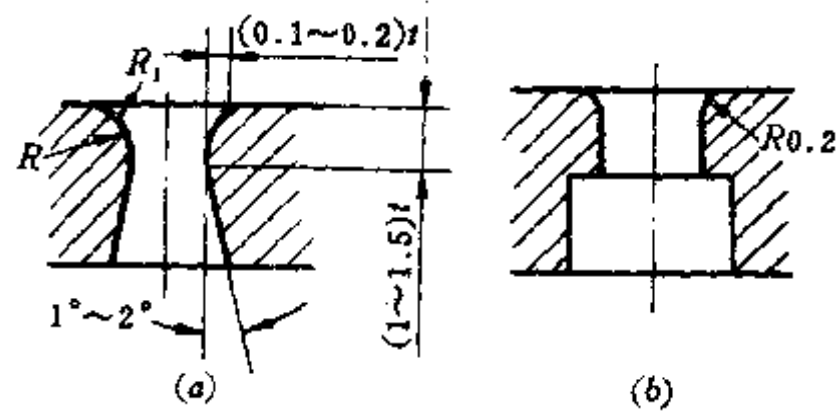


图 2-19 带椭圆角或圆角的凹模

实际中，椭圆角圆弧刃口凹模冲裁对较厚的有色金属零件比较容易获得满意的结果。

对照图 2-19 的两种凹模结构形式，图中 (a) 是带椭圆角的凹模，要求加工时圆弧与直线连接处应光滑且均匀一致，不得出现棱角。圆角半径 R_1 的取值见表 2-19。在设计模具时，先选用表中数值的 $2/3$ ，然后在试冲过种中根据实际情况适当增大圆角半径。为了制造方便，有时可采用 (b) 的凹模形式，其圆角半径可取材料厚度的 $10\% \sim 20\%$ 。由于落料件在凹模腔内受径向压力，出模后回弹变大，所以凹模型腔设计尺寸应比落料件小 $0.02 \sim 0.05\text{mm}$ 。

表 2-19 椭圆角凹模圆角半径 R_1 的值 ($D=25$) (mm)

材 料	材料状态	材料厚度	圆角半径 R_1	材 料	材料状态	材料厚度	圆角半径 R_1	
软 钢	热 轧	4.0	0.5	铝 合 金	硬	4.0	0.25	
		6.4	0.8			6.4	0.25	
		9.0	1.4			9.6	0.4	
	冷 轧	4.0	0.25		铜	软	4.0	0.25
		6.4	0.8				6.4	0.25
		9.6	1.1				9.6	0.4
铝 合 金	软	4.0	0.25	铜	硬	4.0	0.25	
		6.4	0.25			6.4	0.25	
		9.6	0.4			9.6	0.4	

这种冲裁工艺的落料件尺寸精度可达 IT9~IT11 级，剪切断面粗糙度可达 $R_a 3.2 \sim R_a 0.8\mu\text{m}$ 。冲裁力比常规冲裁时要大 50% 左右，所以凹模洞口要求硬度要高，耐磨性要好和 $R_a 0.4\mu\text{m}$ 以下的粗糙度，同时冲裁时应加强润滑，以防止因剧烈摩擦产生粘结（金属瘤现象）。

2. 负间隙冲裁

负间隙冲裁时（见图 2-20）凸模尺寸大于凹模尺寸。其主要特点是凹模型腔尺寸为 $80\% \sim 90\%$ 的凸模尺寸。冲裁过程实际是落料与整修的复合工艺过程。由于凸模尺寸大于凹模，所以冲裁时凸模不能进入凹模，凸模端面应与凹模表面相距 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 距离。此时落料件并未完全进入凹模型腔，需在冲下一件时，再将它全部压入，或在凹模型腔

内设顶板,将其顶回废料孔内,出模后用手工方法使其脱落。

负间隙冲裁的凸模与凹模的直径差值,对于圆形零件是均匀的;但对形状复杂零件,在凸起的尖角处应比其余部分大一倍,而凹下的角落则应减小一半。因零件有弹性变形,故设计凹模工作部分尺寸时要比零件减少 $0.02\sim 0.06\text{mm}$ 。

生产实践表明,采用负间隙冲裁对铜、铝和低碳钢等软材料进行冲裁,具有模具结构简单、零件剪切面光洁的优点。一般尺寸精度可达IT9~IT11级,断面粗糙度 R_a 为 $0.8\sim 0.4\mu\text{m}$ 。

负间隙冲裁的主要缺点是,不能冲裁外形轮廓复杂,带有压扁、起伏等成形工序的零件;实际冲裁力比普通冲裁力大 $1.3\sim 1.5$ 倍,故模具寿命较低;冲裁过程中,冲件变薄现象严重,工件平整度不好以及零件毛刺大,塌角大。因此,此工艺主要用于板坯的精密下料和一些轮廓简单的软材料零件的冲裁。

(二) 对向凹模冲裁

对向凹模冲裁从工艺过程、材料受力状态和变形方式以及模具结构和动作特点分析,类似于整修且兼有精冲变形性质。

这种方法通常使用一个凹模和一个与之对向运动突凹模以及顶件器来进行冲裁。如图2-21所示为其冲裁过程图。当材料送进模具之后,突凹模与凸模一起向下移动,切入板厚的 $70\%\sim 80\%$ 后,突凹模停止切入材料而将材料夹紧在两个凹模之间,这时凸模继续向下动作,进行剪切;而后顶出器,顶出零件。由于凸模在工作行程中只剪切料厚的 $20\%\sim 30\%$,所以该工艺能保证剪切面质量。

在对向凹模冲裁模具设计时,突凹模上的凸台宽度可取板厚的 $30\%\sim 40\%$,凸台高度为板厚的 1.2 倍,突起倾角为 $25^\circ\sim 30^\circ$ 。对向凹模冲裁用于冲孔时,需要预先冲孔,孔的直径必须大于 6 倍板厚。冲裁凸模与平凹模的冲裁间隙为 $0.01\sim 0.05\text{mm}$,与突凹模间隙为 $0.01\sim 0.03\text{mm}$ 。

该工艺方法的落料件剪切断面光洁,无毛刺,落料件平整,模具寿命高,所需剪切力小;可对较高硬度的高强度钢板和脆性材料进行冲裁,且能冲裁较厚的材料。这种工艺的缺点是需要专用精冲压力机,或模具自带提供突凹模压力的液压油缸装置,模具结构复杂。

(三) 上、下冲裁

上、下冲裁是用两个凸模从两个方向分别两次冲裁零件,使冲裁件断面的拐角形成塌角,而不产生毛刺。加工过程如图2-22所示。先是上凸模往下动作(见图a、b),当板料受一定剪切变形时,动作停止,这时与之对应的下凸模对材料进行向上的冲裁(见图c、d),使材料最初受到的剪切变形复原。只要上凸模切入材料的深度适当,就可使冲切过程中产生的光亮带和塌角保留下来,它与第二次下凸模冲切过程中形成的裂纹重合而实现切断分离。在制品中间残留有剪裂带,在两个拐角处形成塌角,而不出现毛刺。

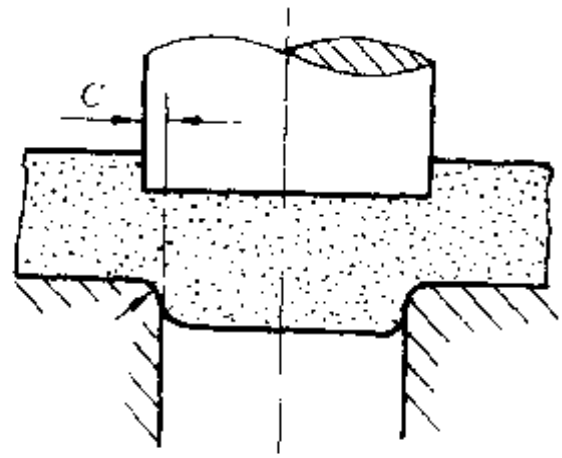


图2-20 负间隙冲裁

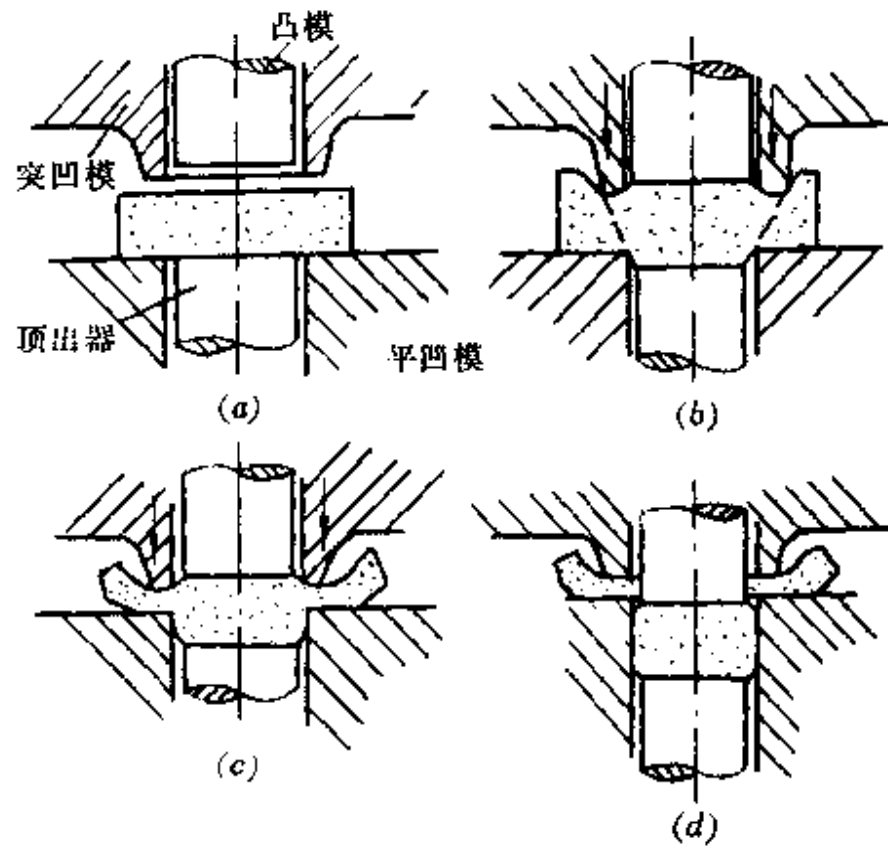


图 2-21 负间隙冲裁过程

(a) 毛坯装入; (b) 凹模剪切过程; (c) 凹模冲切停止; (d) 工件最后分离。

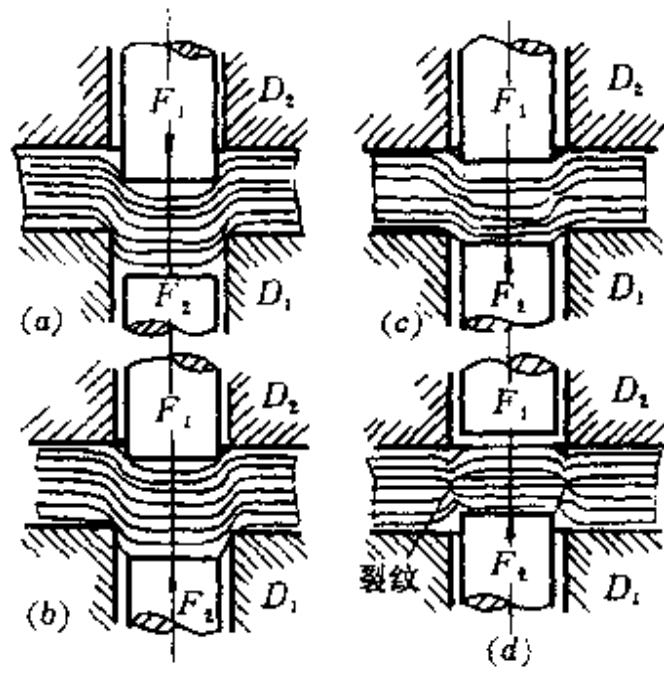


图 2-22 上下冲裁

(a)、(b) 下冲裁; (c)、(d) 上冲裁。
 D_1 —第一工步凹模; D_2 —第二工步凹模。

第三章 弯 曲

把板料毛坯、棒料、管材和型材弯成具有一定曲率、一定角度和形状的冲压工序称作弯曲。弯曲工序在冲压生产中广泛应用，是基本工序之一。最常见的弯曲成形是利用模具在压力机上、摩擦压力机或液压机上进行的。此外也可在弯板机、弯管机和拉弯机等专用设备上进行弯曲成形，弯曲件的加工形式如图 3-1 所示。虽然方法不同，但其变形过程及特点都具有一些相同的规律。本章主要介绍在压力机上用模具弯曲的工艺问题。

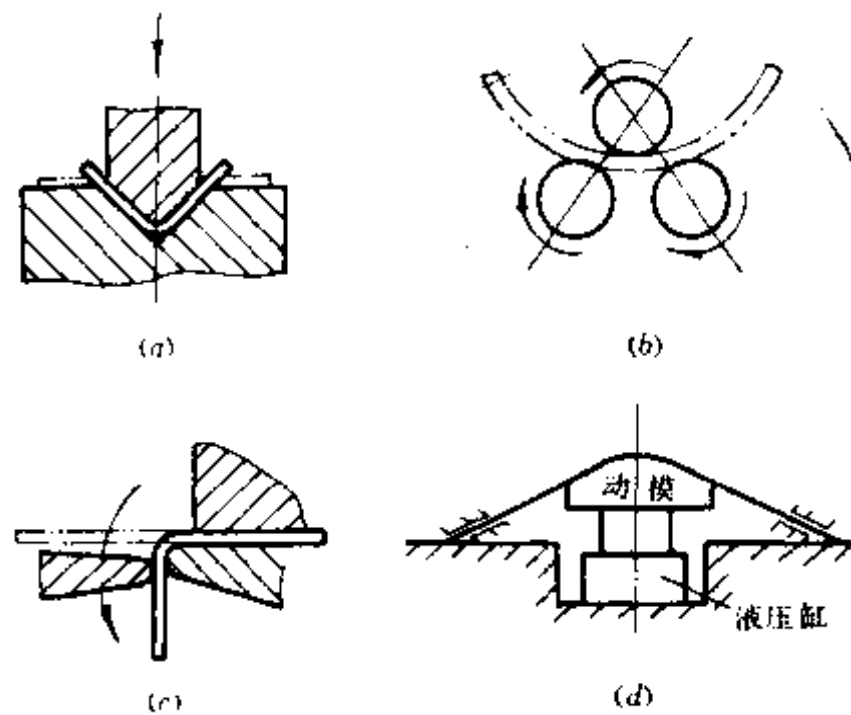


图 3-1 弯曲件的加工形式

(a) 模具弯曲；(b) 滚弯；

(c) 折弯；(d) 拉弯。

第一节 弯曲变形过程分析

一、弯曲变形过程

如图 3-2 所示为板料在 V 形模具内的弯曲变形过程。从图上可以看出，在弯曲过程中，板料的弯曲半径 r_0 、 r_1 、 r_2 、 \dots 、 r ，与板料在凹模上的支点距离 l_0 、 l_1 、 l_2 、 \dots 、 l 均随凸模下行逐渐减小，到行程终了时，板料与凸、凹模完全贴合。

观察变形后位于弯曲件侧壁的坐标网及断面的变化（见图 3-3）可以看到以下几点：

(1) 变形区主要在弯曲件的圆角部分, 此处的正方形网格变成了扇形。在远离圆角的两直边, 没有变形。靠近圆角处的直边, 有少量的变形;

(2) 在变形区内, 板料的外区 (靠凹模一面) 纵向金属纤维受拉而伸长 ($\widehat{bb} > \overline{bb}$), 内区靠凸模一面纵向金属纤维受压而缩短 ($\widehat{aa} < \overline{aa}$), 而断面上由拉伸向压缩过渡时, 其间有一层金属, 它的纤维长度变形前后保持不变, 称为应变中性层;

(3) 弯曲变形区中, 当相对弯曲半径 r/t 较小时, 板料厚度由 t 变薄为 t_1 , $\eta = t_1/t$ 称为变薄系数;

(4) 变形区中板料横断面分宽板和窄板两种情况, 宽板 (板料相对宽度 $b/t > 3$) 弯曲时横断面几乎不变, 仍保持矩形; 而窄板 ($b/t < 3$) 弯曲时原矩形断面变成了扇形 (见图 3-4a)。

二、弯曲的应力和应变

板料弯曲时变形区域内的应力和应变状态与弯曲变形程度有关。

(一) 弹性弯曲

板料在外加弯矩 M 的作用下, 产生较小的弯曲变形。假设应变中性层的曲率半径为 ρ , 弯曲角为 α (见图 3-5), 则距中性层 y 处的切向应变为

$$\varepsilon_y = \ln \frac{(\rho + y)\alpha}{\rho \cdot \alpha} = \ln \left(1 + \frac{y}{\rho} \right)$$

将上式右边展开成

$$\ln \left(1 + \frac{y}{\rho} \right) = \frac{y}{\rho} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\rho} \right)^2 + \frac{1}{3} \left(\frac{y}{\rho} \right)^3 + \dots$$

当变形程度不大时 $\left| \frac{y}{\rho} \right| \ll 1$, 可以省略 $\frac{y}{\rho}$ 的两次项及其以后各项, 即得

$$\varepsilon_y = \ln \left(1 + \frac{y}{\rho} \right) \approx \frac{y}{\rho} \quad (3-1)$$

式中 ε_y —— 切向应变。

切向应力为

$$\sigma_y = E\varepsilon_y = E \frac{y}{\rho} \quad (3-2)$$

应变和应力仅发生在切向方向, 其分布情况如图 3-5 所示。由外层拉应力过渡到内层压应力, 其间有一层纤维切向应力为零, 此层称为应力中性层。在弹性变形范围内, 应力中性层和应变中性层是重合的, 即在板料厚度的中心

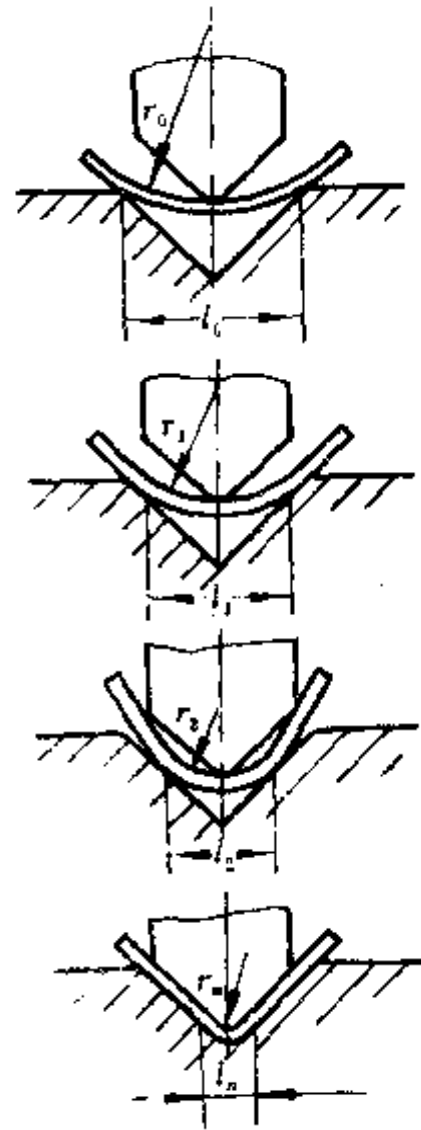


图 3-2 弯曲的过程

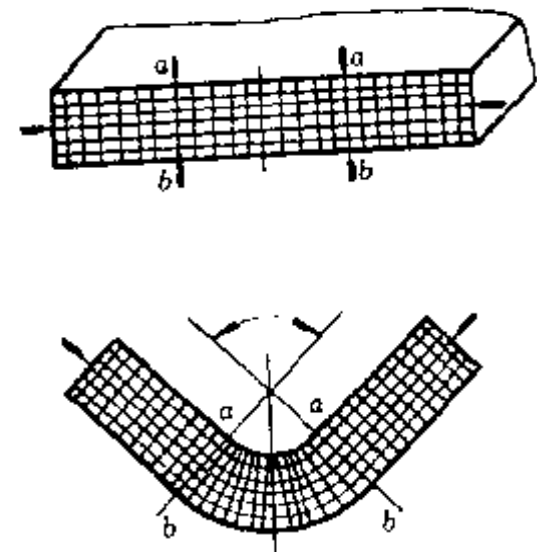


图 3-3 弯曲前后坐标网的变化

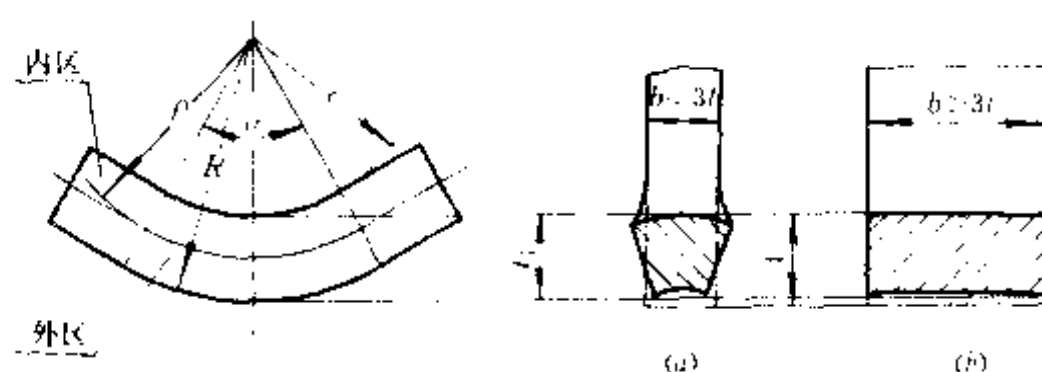


图 3-4 弯曲时毛坯断面形状的变化

(a) 窄板 ($b/t < 3$); (b) 宽板 ($b/t > 3$)。

$$\rho = r + \frac{t}{2}$$

在变形区的内、外表面上的切向应力、应变最大

$$\varepsilon_{\max} = \pm \frac{y}{\rho} = \pm \frac{\frac{t}{2}}{r + \frac{t}{2}} = \frac{1}{1 + \frac{2r}{t}} \quad (3-3)$$

因此, 弹性弯曲的条件为 $|\sigma_{\max}| \leq \sigma_s$, 即

$$\frac{E}{1 + \frac{2r}{t}} \leq \sigma_s$$

或

$$\frac{r}{t} \geq \frac{1}{2} \left(\frac{E}{\sigma_s} - 1 \right) \quad (3-4)$$

式中 r ——弯曲件的内表面圆角半径; t ——弯曲件厚度; E ——材料的弹性模数; σ_s ——材料的屈服极限。

相对弯曲半径 r/t 是衡量弯曲变形程度的重要指标, r/t 越小, 变形程度越大。当 r/t 小到一定数值, 即 $\frac{1}{2} \left(\frac{E}{\sigma_s} - 1 \right)$ 时, 板料内、外表面首先屈服, 开始塑性变形。随着变形程度的增加, 塑性变形由表及里的扩展, 使变形区进入弹—塑性弯曲和线性纯塑性弯曲。

(二) 弹—塑性弯曲和线性纯塑性弯曲

随着变形程度的增大, 当 $r/t > 200$ 时, 板料的弯曲变形区处于弹—塑性弯曲。切向应力分布如图 3-5 (b) 所示, 板料剖面的中心部分仍存在很大的弹性变形区域; 而当 $r/t < 200$ 时, 板料变形进入线性纯塑弯曲, 弹性变形区所占比例极小, 可忽略不计 (见图 3-5c)。这两种弯曲, 其应力应变仍属于线性状态, 应力和应变中性层仍可以认为在板料厚度中间。

塑性变形时, 许多金属的真实应力应变关系可用下列指数方程表示, 即

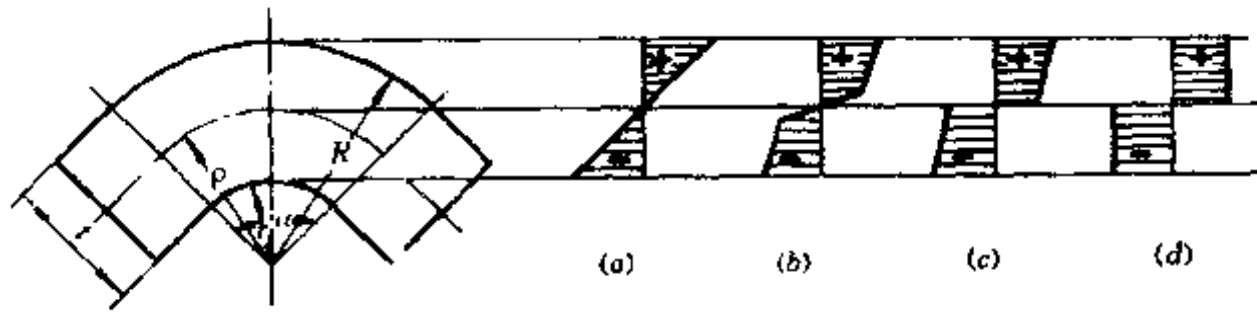


图 3-5 板料弯曲时切向应力状态
(a) 弹性弯曲; (b) 弹-塑性弯曲;
(c) 纯塑性弯曲; (d) 无硬化纯塑性弯曲。

$$\sigma_y = \pm C(\epsilon_y)^n \quad (3-5)$$

式中 C ——与材料性质有关的常数;

n ——硬化指数。

$\epsilon_y > 0$, 表示在外层拉伸区, σ_y 取正号; $\epsilon_y < 0$, 即在内层压缩区, σ_y 取负号。 C 和 n 值由实验得出, 常用金属材料 20°C 时的 C 、 n 值见表 1-3。

将式 (3-1) 代入式 (3-5), 得内、外层切向应力为

$$\sigma_y = \pm C\left(\frac{y}{\rho}\right)^n \quad (3-6)$$

切向应力 σ_y 形成的弯矩为

$$\begin{aligned} M &= 2b \int_0^{\frac{t}{2}} \sigma_y y dy = 2b \int_0^{\frac{t}{2}} c \left(\frac{y}{\rho}\right)^n y dy \\ &= \frac{cbt^2}{2(n+2)} \left(\frac{t}{2\rho}\right)^n \end{aligned} \quad (3-7)$$

式中 b ——板宽;

t ——板厚;

ρ ——曲率半径。

由上式可知, 当 $n=0$, $C=\sigma_s$ 时可得出无硬化现象的弯矩为

$$M = \frac{1}{4} bt^2 \sigma_s \quad (3-8)$$

当 $n=1$, $C=E$ 时, 由式 (3-7) 可得出弹性弯曲时的弯矩为

$$M = E \frac{t^3}{12} \cdot \frac{1}{\rho} = \frac{EI}{\rho} \quad (3-9)$$

对于有硬化的弹-塑性弯曲, 变形区内切向应力在厚度方向上的分布规律和拉伸硬化曲线完全相同, 只是使用了另一个比例尺寸来表示硬化曲线 (见图 3-6)。

弹性变形范围 (见图 3-6OA 部分) 切向应力值为

$$\sigma_y = E\epsilon_y \quad (3-10)$$

塑性变形范围 (见图 3-6AB 部分) 切向应力值

$$\sigma_y = \sigma_s + D(\epsilon_y - \epsilon_s)$$

式中 D ——硬化模数;

ϵ_θ ——与 σ_θ 相对应的切向应变。

对于线性纯塑性弯曲，硬化曲线取近似于直线的形式，表达式如下

$$\sigma_\theta = \sigma_s + D\epsilon_\theta$$

(三) 立体纯塑性弯曲

随着变形程度的增大，即 $r/t < 5$ 时，整个断面几乎全部进入塑性变形，板料厚向应力 σ_ρ 的作用越来越强烈，变形区的应力、应变状态由线性转为立体。由于板料宽度不同其应力应变状态也不同。

1. 应变状态

(1) 切向 外层拉应变、内层压缩应变， ϵ_θ 为绝对值最大的主应变。

(2) 厚向 根据塑性变形体积不变原则，沿着板料的宽度和厚度方向，必然产生与 ϵ_θ 符号相反的应变。在板料外层，切向应变 ϵ_θ 为拉伸应变，厚度方向的 ϵ_ρ 为压应变。而板料内层切向应变 ϵ_θ 为压应变，故厚度方向的应变 ϵ_ρ 为拉伸应变。

(3) 宽向 有两种情况，对于窄板 $b/t < 3$ ，材料在宽度方向可以自由变形，所以在外层的应变 ϵ_b 为压应变，内层为拉应变。对于宽板 $b/t > 3$ ，由于板料在宽度方向变形阻力大，流动困难，几乎不能变形，所以内、外层在宽度方向的应变值 $\epsilon_b = 0$ 。

2. 应力状态

(1) 切向 外层受拉应力，内层受压应力，切向应力为绝对值最大的主应力。

(2) 厚向 板料弯曲时，外区材料在厚度方向产生压缩应变 ϵ_ρ ，因此材料有向曲率中心移动的趋势，结果使材料纤维之间互相挤压，因而在厚度方向产生压应力 σ_ρ 。同样在材料的内区，厚度方向拉伸应变 ϵ_ρ 受到外区材料向曲率中心移近阻碍，也产生了压应力 σ_ρ 。

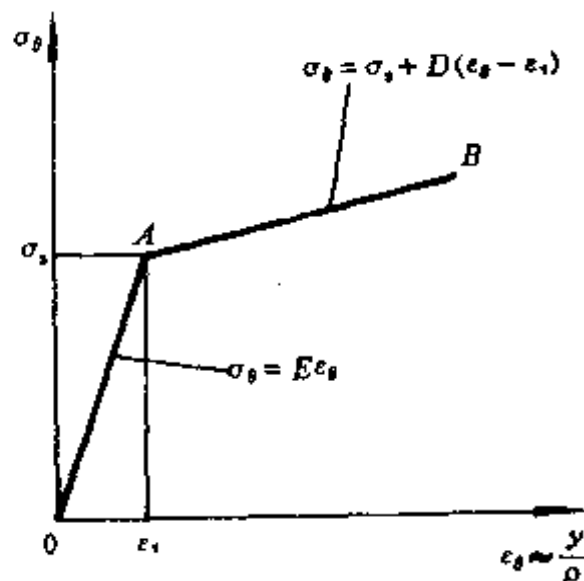


图 3-6 应力应变关系曲线

表 3-1 自由弯曲时应力应变状态

	窄	宽
内外区		
内区		
外区		

(3) 宽向 对于窄板 ($b/t < 3$) 由于材料可以自由变形, 所以内、外层应力 $\sigma_b = 0$ 。但宽板 ($b/t > 3$) 弯曲时, 外层材料在宽度方向上收缩受到阻力, 产生拉应力 σ_b , 内层材料在宽度方向的伸长受阻而产生压应力 σ_b 。

综上所述, 宽板弯曲时, 应力是立体的, 应变是平面的, 而窄板弯曲时与其相反。应力应变状态见表 3-1。

第二节 应变中性层的位置及最小弯曲半径的确定

一、应变中性层的位置

应变中性层可用弯曲件毛坯长度计算。在变形程度不大的情况下 (即在大圆角半径弯曲时) 应变中性层位于材料厚度中间, 其位置可用曲率半径 ρ 表示, 即 $\rho = r + \frac{t}{2}$; 塑性弯曲时, 设板料原长度、宽度和厚度分别为 l 、 b 和 t (见图 3-7), 弯曲后成为外径 R 、内径 r 、厚度 ηt 和弯曲角为 α 的形状。根据变形前后金属体积不变的条件确定应变中性层位置。弯曲所用板料一般均为宽板, 宽度方向的应变 $\epsilon_b = 0$, 因此

$$lbt = \pi(R^2 - r^2) \frac{\alpha}{2\pi} b \quad (3-11)$$

又因为应变中性层变形前后长度不变, 所以

$$l = \alpha \rho$$

代入式 (3-11), 得

$$\rho = \frac{R^2 - r^2}{2t} \quad (3-12)$$

以

$$R = r + \eta t$$

代入式 (3-8) 得

$$\rho = \left(\frac{r}{t} + \frac{\eta}{2} \right) \eta t = \left(r + \frac{1}{2} \eta t \right) \eta \quad (3-13)$$

式中 η ——材料变薄系数, 其值取决于相对弯曲半径 r/t , 可由表 3-2 查得。

从式 (3-13) 可以看出, 塑性弯曲时应变中性层位置与 r/t 、系数 η 的数值有关, 如图 3-2 所示弯曲过程中, 随着凸模下行, 弯曲半径及系数 η 是不断变化的, 所以板料塑性弯曲时的应变中性层位置, 也不断改变, 逐步向内移动, 因此 ρ 必然也是逐渐变小的。为了便于弯曲展开计算, 应变中性层内移量和位置, 用应变中性层与板的最内边缘纤维的距离 x_{0t} 表示, 可按下式计算

$$x_{0t} = \rho - r = \frac{\eta^2 t}{2} - r(1 - \eta) \quad (3-14)$$

式中 x_0 ——中性层位移系数, 可查表 3-2。

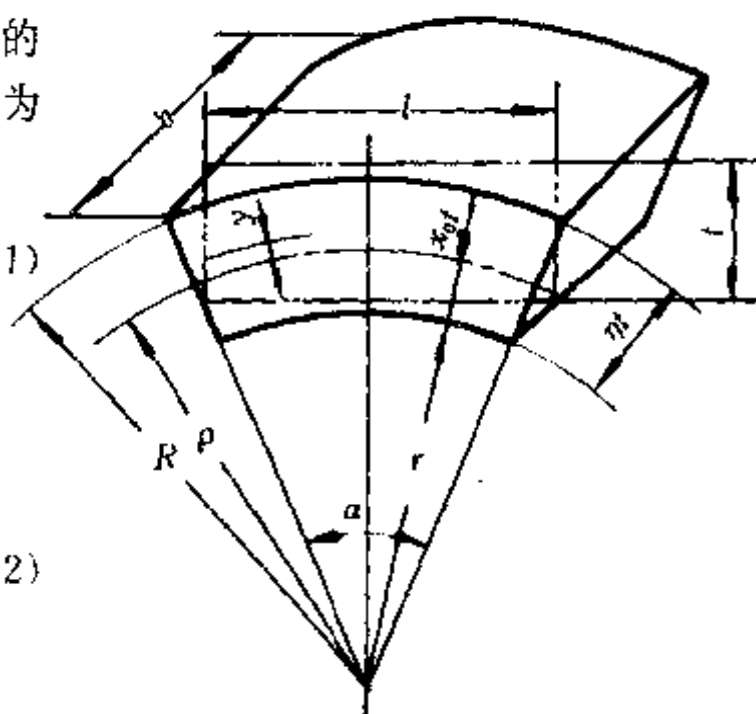


图 3-7 板料弯曲状态

表 3-2 弯曲 90°时变薄系数 η 与 x_0 的数值 (10、20 钢)

$\frac{r}{t}$	0.1	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	>4
η	0.82	0.87	0.92	0.96	0.99	0.992	0.995	1.0
x_0	0.32	0.35	0.38	0.42	0.445	0.47	0.475	0.5

整理式 (3-14) 得

$$\frac{\rho}{\eta} = r + \frac{1}{2}\eta t$$

由表 3-2 可知

当 $\eta < 1$ ($r/t < 4$ 的情况)

$$\rho < r + \frac{1}{2}\eta t$$

所以

$$r_{ot} < \frac{1}{2}\eta t$$

由此可见应变中性层已不在变薄后的板料中间, 而是向内层移动。

如前所述, 板料塑性弯曲时, 由于应变中性层的内移, 使外层拉伸区大于内层压缩区, 板料外层的变薄量大于内层的增厚量, 因而引起了板料厚度的变薄。 r/t 越小, 中性层内移越大, 板料变薄也越严重。

二、最小弯曲半径

通过弯曲变形过程分析可知, 相对弯曲半径 r/t 越小, 变形区外表面所受的拉伸应力与拉伸应变也越大。当相对弯曲半径小到一定程度时, 会使弯曲件外表面纤维的拉伸应变超过材料性能所允许的极限而出现裂纹或折断, 在保证坯料外表面纤维不发生破坏的前提下, 工作能够弯成的内表面的最小圆角半径, 称为最小弯曲半径 r_{min} 。相应地 r_{min}/t 称最小相对弯曲半径。

(一) 影响最小弯曲半径的因素

1. 材料的机械性能

材料的塑性越好, 其塑性指标 (δ 、 ψ) 越高, 相应地 r_{min}/t 最小弯曲半径也越小。

2. 材料的纤维方向与弯曲线方向的关系

经过多次轧制的板料是各向异性的, 顺着纤维方向的塑性指标 (ψ_{max} 和 δ_{max}) 高于垂直纤维方向的塑性指标。因此弯曲件的折弯线如果垂直于板料纤维方向, 则 r_{min}/t 的数值最小; 如果弯曲件折弯线与纤维方向平行, r_{min}/t 数值最大 (见图 3-8a、b)。因此当弯曲 r/t 较小的工件时, 尽量使折弯线垂直于板料的纤维方向, 以提高变形程度, 避免外层纤维拉裂。多向弯曲的工件, 可使折弯线与板料纤维方向成一定角度 (见图 3-8c)。

3. 板料的表面质量与坯料断面质量

弯曲的坯料表面如有划伤、裂纹和侧面 (剪切或冲裁断面) 有毛刺、裂口和冷作硬化等缺陷, 弯曲时易于开裂。所以表面质量和断面质量较差的板料, 其承受变形程度小,

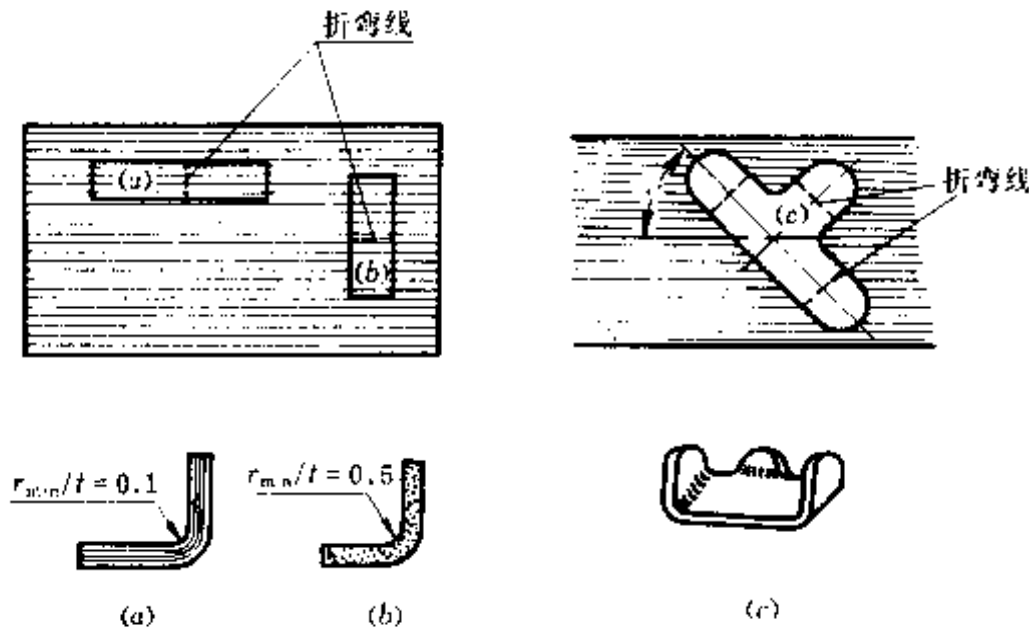


图 3-8 板料纤维与弯曲关系

(a) 折弯线与板料纤维垂直；(b) 折弯线与板料纤维平行；
(c) 折弯线与板料纤维成一定角度。

即最小相对弯曲半径 r_{min}/t 的数值较大（见图 3-10）。

4. 弯曲中心角的大小

板料弯曲变形，理论上仅局限于圆角部分，直边部分不参与变形，变形程度只与 r/t 有关，与弯曲中心角的大小无关。但实际弯曲过程中由于金属纤维之间的相互牵制，靠近圆角的直边部分也参与了变形，因而扩大了变形区的范围，这对圆角外表面受拉的状态有缓解作用，有利于降低最小弯曲半径的数值。在较小中心角的弯曲时，其变形区小，因此圆角中段的变形程度也得以降低。相对应的 r/t 值也可小些。弯曲中心角对最小弯曲半径的影响（见图 3-9）。当 $\alpha < 70^\circ$ 时，弯曲角的影响比较显著，当 $\alpha > 70^\circ$ 时，其影响变弱。

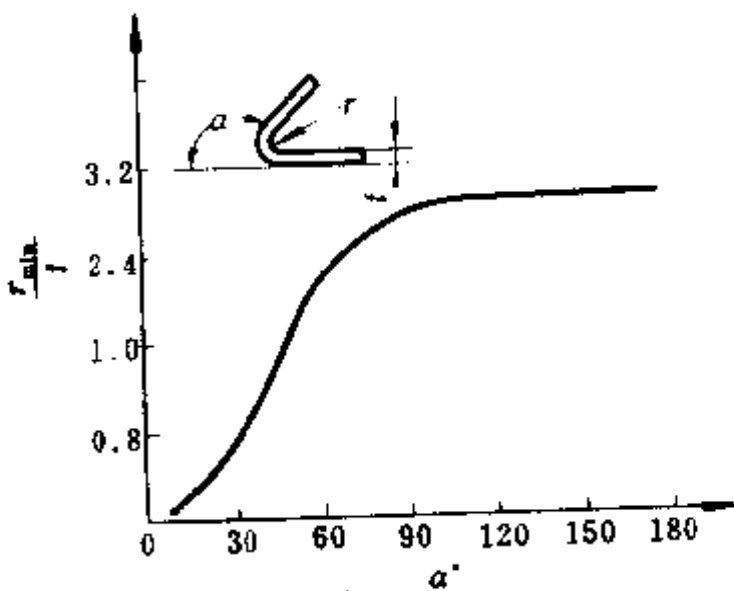


图 3-9 弯曲角对最小弯曲半径的影响

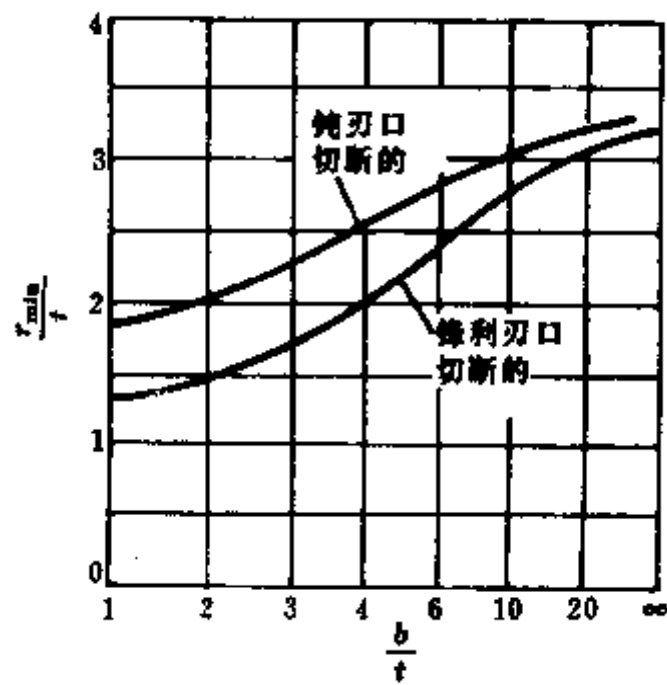


图 3-10 坯料断面质量和相对宽度对最小弯曲半径的影响

5. 弯曲件的宽度

弯曲件的相对宽度 b/t 不同, 变形区的应力状态也不同, 在相对弯曲半径相同的条件下, 相对宽度 b/t 大时, 其应变强度大于 b/t 较小的情况, 弯曲件宽度对最小弯曲半径的影响 (见图 3-10)。当 b/t 较小时, 对 r_{\min}/t 的影响比较明显, 但当 $b/t > 10$ 时, 其影响变小。

6. 板料的厚度

变形区内切向应变在厚度方向上按线性规律变化, 表面上最大, 中性层上为零。当板料厚度较小时, 切向应变变化的梯度大, 其数值很快地由最大值衰减为零。与切向变形最大的外表面相邻的金属, 可以起到阻止表面金属产生局部的不稳定塑性变形的作用。所以在这种情况下可能得到较大的变形和较小的最小弯曲半径。板料厚度对最小弯曲半径的影响如图 3-11 所示。

(二) 最小弯曲半径的确定

最小弯曲半径的数值按下列方法求得。弯曲时外表面纤维的延伸率 (见图 3-7) 为

$$\delta = \frac{(R - \rho)a}{\rho \cdot a} = \frac{r + \eta t - \rho}{\rho} \quad (3-15)$$

$$\text{则 } r = \rho(1 + \delta) - \eta t$$

式中 δ ——延伸率;

R ——弯曲件外表面圆角半径 (mm);

ρ ——应变中性层的曲率半径 (mm);

其余符号同前。

若以断面收缩率 ψ 表示变形程度

$$\psi = \frac{\delta}{1 + \delta} = \frac{r + \eta t - \rho}{r + \eta t} \quad (3-16)$$

将式 (3-13) 中 ρ 代入式 (3-16) 得

$$\psi = \frac{r + \eta t - [(\frac{r}{t} + \frac{\eta}{2})\eta t]}{r + \eta t}$$

故

$$r = \frac{2 - 2\psi - \eta}{2(\eta + \psi - 1)} \eta t$$

或

$$\frac{r}{t} = \frac{2 - 2\psi - \eta}{2(\eta + \psi - 1)} \eta$$

不考虑材料变薄取 $\eta=1$, 则

$$r = \frac{1 - 2\psi}{2\psi} t \text{ 或 } \frac{r}{t} = \frac{1 - 2\psi}{2\psi} = \frac{1}{2\psi} - 1$$

当弯曲时的断面收缩率 ψ 值达到最大值时, 相对弯曲半径减小到最小, 所以

$$\frac{r_{\min}}{t} = \frac{1}{2\psi_{\max}} - 1 \quad (3-17)$$

式 (3-17) 的 ψ_{\max} 值可由材料单向拉伸试验得出。

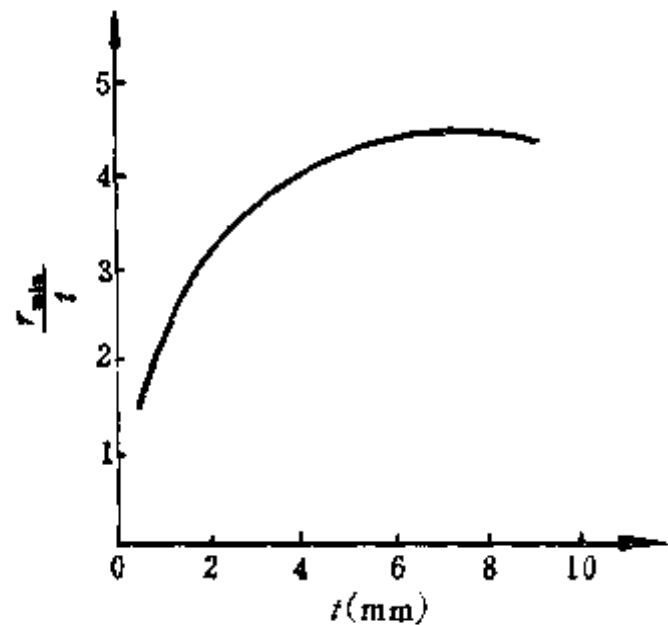


图 3-11 材料厚度对最小弯曲半径的影响

(三) 最小相对弯曲半径 $\frac{r_{\min}}{t}$ 的经验选用

由于影响最小相对弯曲半径 $\frac{r_{\min}}{t}$ 数值的工艺因素很多, 所以按式 (3-17) 计算结果与实际 $\frac{r_{\min}}{t}$ 的数值有一定差距。表 3-3 列出考虑了部分工艺因素, 并经多次试验获得最小相对弯曲半径 $\frac{r_{\min}}{t}$ 的数值, 供选用。

表 3-3 最小相对弯曲半径 r_{\min}/t 的数值 (mm)

材 料	正火或退火		硬 化	
	弯曲线方向			
	与轧纹垂直	与轧纹平行	与轧纹垂直	与轧纹平行
铝	0	0.3	0.3	0.8
退火紫铜			1.0	2.0
黄铜 H68			0.4	0.8
05、08F			0.2	0.5
08、10、A1、A2	0	0.4	0.4	0.8
15、20、A3	0.1	0.5	0.5	1.0
25、30、A4	0.2	0.6	0.6	1.2
35、40、A5	0.3	0.8	0.8	1.5
45、50、A6	0.5	1.0	1.0	1.7
55、60、A7	0.7	1.3	1.3	2.0
硬铝 (软)	1.0	1.5	1.5	2.5
硬铝 (硬)	2.0	3.0	3.0	4.0
镁合金	300℃ 热弯		冷 弯	
MA1-M	2.0	3.0	6.0	8.0
MA8-M	1.5	2.0	5.0	6.0
钛合金	300~400℃ 热弯		冷 弯	
BT1	1.5	2.0	3.0	4.0
BT5	3.0	4.0	5.0	6.0
铝合金	400~500℃ 热弯		冷 弯	
BM1、BM2 $t \leq 2$	2.0	3.0	4.0	5.0

注: 本表用于板料厚 $t < 10\text{mm}$, 弯曲角大于 90° , 剪切断面良好的情况。

第三节 弯曲力的计算

弯曲力是工艺设计及选用设备的重要依据。但由于弯曲力受材料性能、弯曲件的形状尺寸及弯曲方法、模具结构等多种因素的影响, 因此很难用理论分析方法进行准确的计算。实践中经常采用表 3-4 中的经验公式概略计算弯曲力, 作为设备选择的根据。

表中 P ——弯曲时总弯曲力 (N);

P_1 ——弯曲力 (N);

P_2 ——校正力 (N);

Q ——最大顶件力 $Q = 0.8P_1$ (N);

b ——弯曲件宽度 (弯曲线长度) (mm);

- t ——材料厚度 (mm);
 r ——内弯曲半径 (mm);
 F ——材料校正部分投影面积 (mm²);
 σ_b ——材料的抗拉强度极限 (MPa);
 q ——校正弯曲时的单位压力 (MPa);

其数值根据表 3-5 选用。

表 3-4 求弯曲力的经验公式


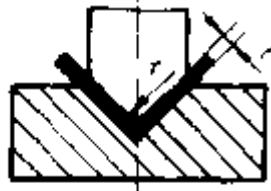
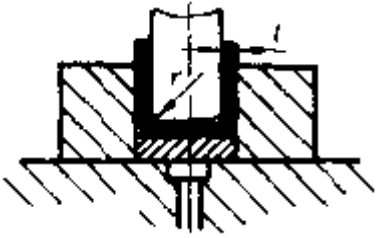
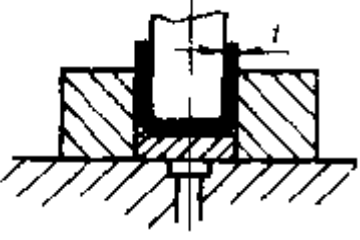
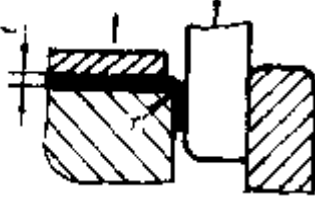
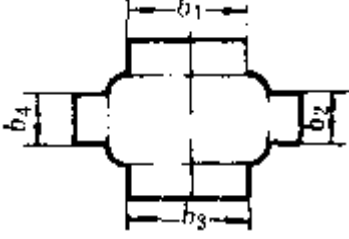
弯曲公式	简图	经验公式
V形自由弯曲		$P = P_1 = \frac{bt^2\sigma_b}{r+t}$
V形校正弯曲		$P = P_a = Fq$
U形接触弯曲		$P = P_1 + Q = \frac{bt^2\sigma_b}{r+t} + 0.8P_1$
U形校正弯曲		$P = P_a = Fq$
L形弯曲		$P = \frac{P_1 + Q}{2} = \frac{bt^2\sigma_b}{2(r+t)} + 0.4P_1$
两道以上同时弯曲		<p>求出全部弯曲长度 $b = b_1 + b_2 + \dots$ 按 U 形模自由弯曲计算</p>

表 3-5 校正弯曲时单位压力 q 值 (MPa)

材 料	板料厚 t (mm)	
	~3	3~10
铝	30~40	50~60
黄铜	60~80	80~100
10、20 钢	80~100	100~120
25、35 钢	100~120	120~150
钛合金 BT1	160~180	180~210
BT3	160~200	200~260

第四节 弯曲件的回弹

一、弯曲件回弹现象的理论分析

从弯曲变形过程理论分析得知,在板料塑性弯曲时,总是参有弹性变形的,所以当弯曲件从模具里取出后,中性层附近纯弹性变形以及内、外区总变形中弹性变形部分的恢复,使其弯曲件的形状和尺寸都发生与加载时变形方向相反的变化,这种现象称为弯曲件的回弹又称回跳或弹复。

由于弯曲时内、外区切向应力与应变的性质不同,因此弹性恢复方向也相反,即外区缩短,内区伸长,这种反向的弹性恢复,引起弯曲件形状和尺寸的大小改变。因此如何减少和控制板料弯曲时回弹数值,则是研究和拟定弯曲工艺的主要内容之一。

回弹现象产生在卸载过程中。弯曲毛坯在塑性弯矩 M 的作用下,毛坯断面上的切向应力分布(见图 3-12a),根据力的平衡原则假设内部的弹性弯矩 M_1 其大小与塑性弯矩相等,方向相反,即 $|M| = |M_1|$ 。这时毛坯所受外力矩之和 $M - M_1 = 0$,此时相当于卸载后毛坯不承受任何外力的自由状态。假想弹性弯矩在断面内引起的切向应力分布如图 3-12(b) 所示。塑性弯矩和假想弹性弯矩在断面内的合成应力,便是弯曲件在自由状态下断面内的残余应力。在断面内由内区到外区呈拉、压、拉、压的顺序变化(见图 3-12c)。同理可以得出弹-塑性弯曲卸载时毛坯断面内切向应力的变化(见图 3-13)。

二、影响回弹因素

(一) 材料的机械性能

回弹角的大小与材料屈服极限和强度极限成正比,与弹性模数 E 成反比。

用拉伸应力应变曲线来说明这个问题。图 3-14(a) 所示的两种材料的屈服极限 σ_s 基本相同,但弹性模数不同 ($E_1 > E_2$)。当弯曲件的相对弯曲半径 r/t 相同时,外表面的切向应变值均为 ε_0 。在卸载时两种材料回弹变形并不一样,弹性模数大的退火软钢回弹变形

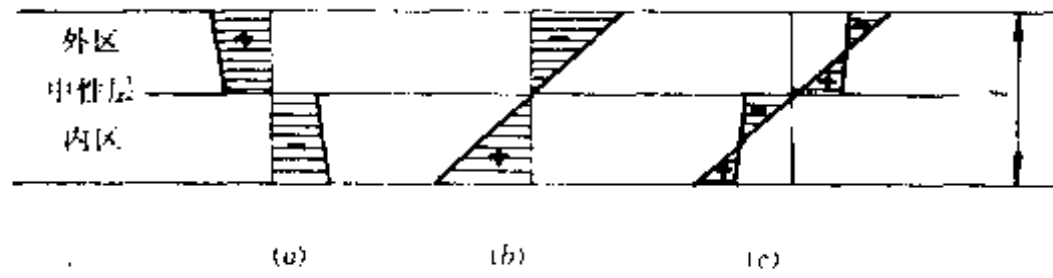


图 3-12 纯塑性弯曲卸载过程中毛坯断面内切向应力的变化
 (a) 纯塑性弯曲；(b) 弹性弯曲；
 (c) 残余应力。

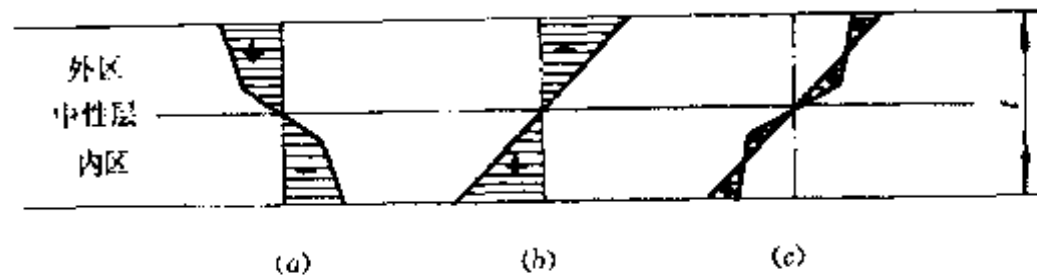


图 3-13 弹-塑性弯曲卸载过程中毛坯断面内切向应力的变化
 (a) 弹-塑性弯曲；(b) 弹性弯曲；
 (c) 残余应力。

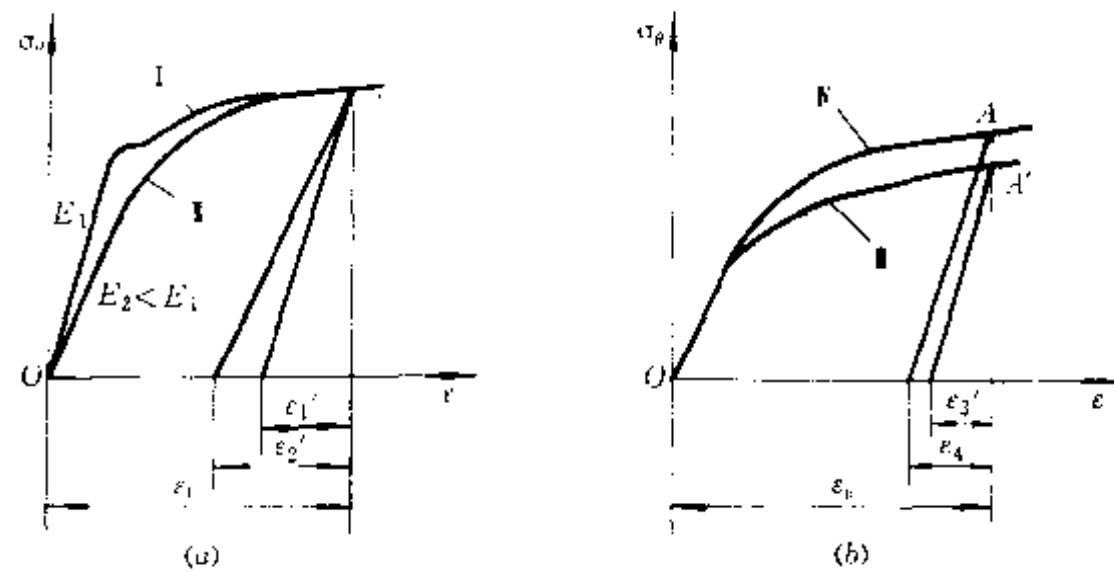


图 3-14 材料的机械性能对回弹的影响

(a) σ_s 相同, E 不同; (b) σ_s 不相同, E 同。

1、■ - 退火软钢; ▨ - 软锰黄铜; N - 退火后再经冷变形硬化的软钢。

小于软锰黄铜 $\epsilon'_1 < \epsilon_2$ 。又如图 3-14 (b) 所示的两种材料, 其弹性模数基本相同, 而屈服极限不同, 在弯曲变形程度相同的条件下, 而卸载时的回弹变形不同, 经冷作硬化而屈服极限较高的软钢回弹变形大于屈服极限较低的退火软钢, 即 $\epsilon'_4 > \epsilon'_3$ 。

(二) 相对弯曲半径

r/t 越小, 变形程度越大, 在板料中性层两侧的纯弹性变形区以及总变形中的弹性变形的比例减小, 回弹角 $\Delta\alpha$ 就越小 (见图 3-15)。

(三) 弯曲件的形状

一般来讲 U 形件的回弹由于两边互相牵制小于 V 形件。形状复杂的弯曲件若一次成形, 由于各部位彼此牵制及工件表面与模具表面摩擦的影响, 从而改变了弯曲件各部分的应力状态, 使回弹困难, 故回弹角小。

(四) 弯曲中心角 α

α 越大, 则变形区域的 $r \cdot \alpha$ 越大, 回弹积累值越大, 回弹角 $\Delta\alpha$ 越大, 从式 (3-31) 可证明这一点。但对弯曲半径的回弹没有影响 (见图 3-15)。

(五) 模具尺寸与间隙

当凸模半径 r_p 一定, V 形弯曲因凹模开距 $2L$ 增大而减小, r_p 大而开距过小时, 回弹大 (见图 3-16)。U 形弯曲模单边间隙 $L/2 < t$ 时, 可能产生负回弹 (见图 3-17)。

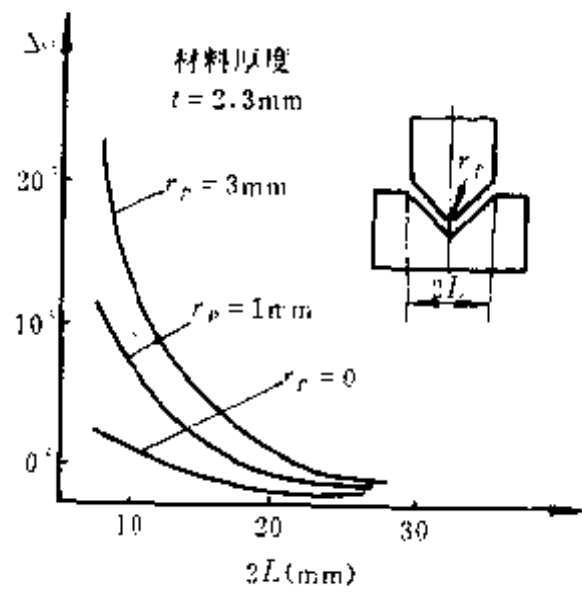
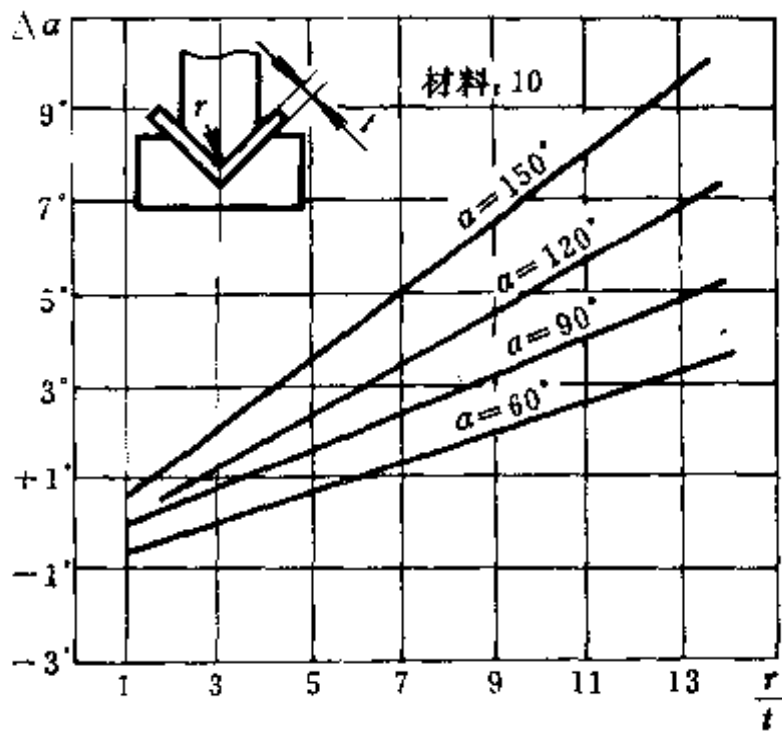


图 3-15 相对弯曲半径和弯曲角 α 对回弹的影响 图 3-16 凹模开口宽度对回弹的影响

(六) 弯曲方式

自由弯曲时回弹角大, 校正弯曲时回弹角小。对弯曲半径小 ($r/t < 0.2 \sim 0.3$) 的 V 形工件进行校正弯曲时, 角度回弹量可能为负值, 即所谓负回弹。

三、回弹值的计算

综上所述影响回弹的因素很多, 而各因素之间又互相影响, 故理论分析计算较复杂且不准确。在生产中, 按公式计算出的回弹量 $\Delta\alpha$ 和 ΔK , 在设计制造模具时, 尚需多次调试和修正, 这样回弹量才能控制在允许的范围。一般说来, 先制造压弯模, 待展开

毛坯尺寸试制确定后再制作毛坯冲裁模。

弯曲半径与中心角的变化如图 3-18 所示。

设卸载前中性层半径为 ρ ，弯曲角为 α ，回弹后，中性层半径变为 ρ' ，弯曲角变为 α' 。

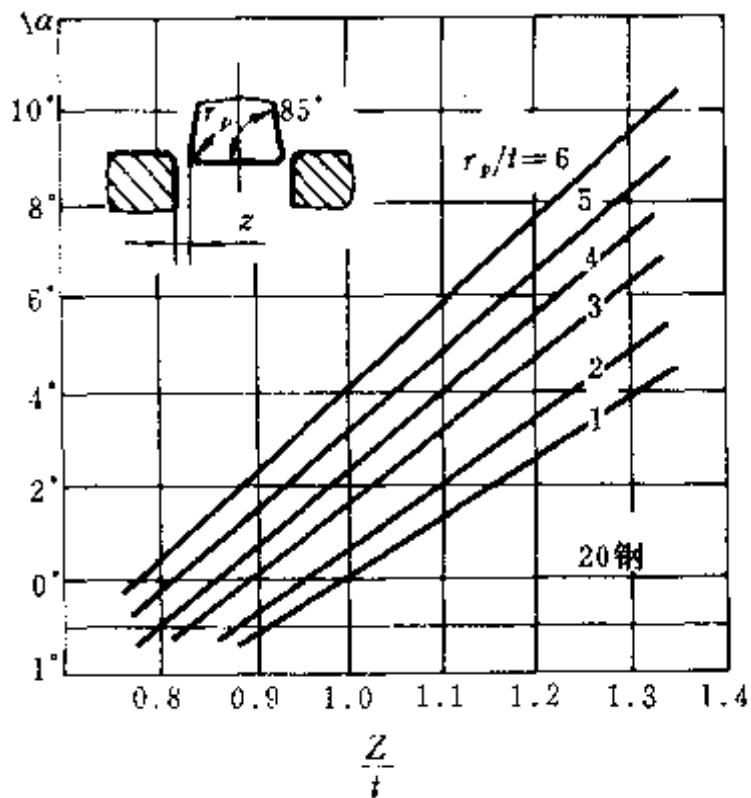


图 3-17 间隙对回弹的影响

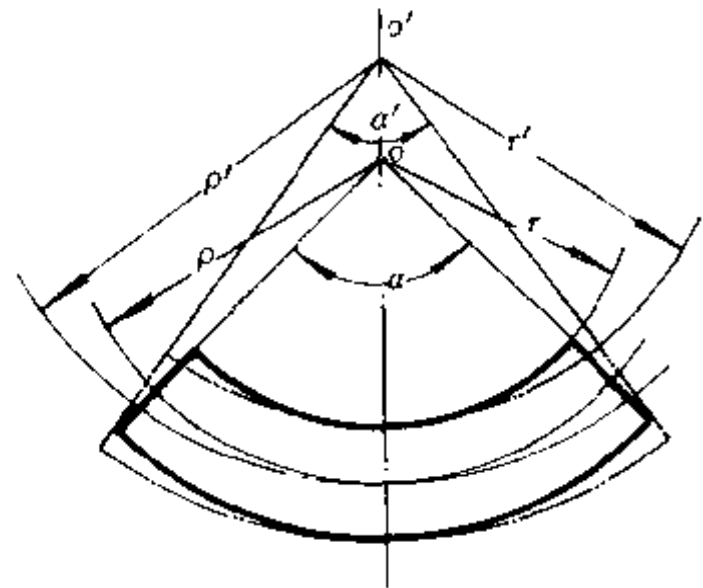


图 3-18 弯曲半径与中心角的变化

(一) 曲率回弹量

$$\Delta K = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'}$$

在弯曲卸载过程，假设在塑性弯矩相反方向上存在一个弹性弯矩 ($-M$)，这样由弹性弯曲式 (3-9) 可得出

$$M = \frac{EI}{\rho} \quad (3-18)$$

则卸载时的应力变化为

$$\Delta \sigma_s = E \frac{y}{\rho} = -\frac{My}{I} \quad (3-19)$$

而塑性弯曲时板料内、外区纤维的应力变化由式 (3-6) 可得出

$$\sigma_s = \pm C \left(\frac{y}{\rho} \right)^n$$

因此，板料卸载回弹后内、外层纤维的残余应力 σ_s' 变化为

$$\sigma_s' = \sigma_s - \Delta \sigma_s \quad (3-20)$$

同理，可以得出应变值

$$\epsilon_s' = \epsilon_s - \Delta \epsilon_s \quad (3-21)$$

式中 σ_s' —— 弯曲后残余应力；

ϵ_s —— 塑性弯曲时的应变；

$\Delta \epsilon_s$ —— 卸载回弹时的应变变化值。

回弹后曲率为 $\frac{1}{\rho'}$ ，回弹后的残余应力 σ_s' 以及 ϵ_s 和 $\Delta \epsilon_s$ 值为

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_s' &= \frac{y}{\rho'} \\ \varepsilon_s &= \frac{y}{\rho} \\ \varepsilon_s &= \frac{\Delta \rho_s}{E} = - \frac{My}{EI} \end{aligned} \right\} \quad (3-22)$$

将式 (3-22) 代入式 (3-21) 整理后, 得

$$\Delta K = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} = \frac{M}{EI} \quad (3-23)$$

式中 ΔK —— 曲率回弹量;

M —— 弯曲力矩;

I —— 惯性矩, $I = \frac{1}{12}bt^3$ 。

从式 (3-23) 分析得出曲率回弹量 ΔK 的数值与加载弯曲 M 、材料弹性模数 E 和惯性矩 I 等因素有关。若将弯矩公式 (3-7) 和板的惯性矩 I 代入式 (3-23) 得出曲率变化量为

$$\Delta K = \frac{3C}{E(n+2)\rho} \left(\frac{t}{2\rho}\right)^{n-1} \quad (3-24)$$

板料全塑性弯曲时, $n=0$, $C=\sigma_s$, 则上式可写成

$$\Delta K = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} = \frac{3\sigma_s}{Et} \quad (3-25)$$

将上式整理后, 可得出弯曲件回弹后的曲率半径 ρ' , 即

$$\rho' = \frac{\rho}{1 - 3 \frac{\sigma_s \rho}{Et}} \quad (3-26)$$

(二) 弯曲角回弹量 $\Delta\alpha$

已知板料弯曲前后中性层长度不变, 由此可得

$$\rho \cdot \alpha = \rho' \alpha' \quad (3-27)$$

弯曲角回弹量

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha' \quad (3-28)$$

将式 (3-27) 代入式 (3-28) 得

$$\Delta\alpha = \left(1 - \frac{\rho}{\rho'}\right) \alpha \quad (3-29)$$

将式 (3-20) 代入上式得

$$\Delta\alpha = \frac{M}{EI} \rho \alpha \quad (3-30)$$

将式 (3-24) 代入上式, 整理后, 可得弯曲角回弹量

$$\Delta\alpha = \frac{c}{E} \frac{3}{(n+2)} \left(\frac{t}{2\rho}\right)^{n-1} \cdot \alpha \quad (3-31)$$

全塑性弯曲时, $n=0$, $c=\sigma_s$, 则上式可写成

$$\Delta\alpha = \frac{3\sigma_s \rho}{Et} \alpha \quad (3-32)$$

(三) ΔK 与 $\Delta\alpha$ 的关系

比较式 (3-24) 和式 (3-30), 或比较式 (3-26) 和式 (3-32), 得出下列关系式

$$\Delta\alpha = \Delta K\alpha\rho \quad (3-33)$$

四、减少回弹的措施

由于塑性变形的同时总是伴随着弹性变形, 因此要完全消除弯曲后的回弹是不可能的, 所以在生产中必须采取措施来补偿由于回弹所产生的误差。

(一) 在工件设计上采取措施

改进结构, 促使回弹角减小。如在弯曲变形区压制加强筋, 以增加弯曲区材料的刚

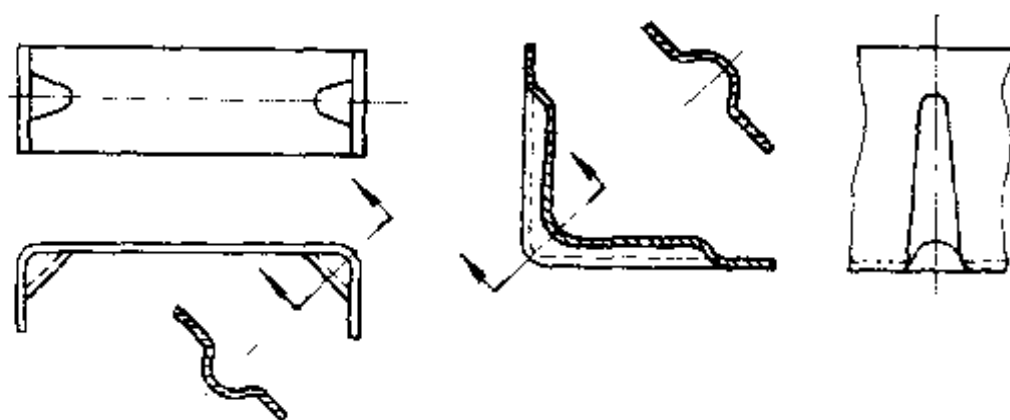


图 3-19 在弯曲变形区压制加强筋

度和塑性变形程度 (见图 3-19)。又如当 $r/t=1\sim 2$ 时回弹角最小, 可供产品设计选用。在材料选用上应采用弹性模数大, 屈服极限低, 机械性能比较稳定的材料。当然以上所采取的措施, 均应在不影响产品使用性能的条件下决定。

(二) 在工艺上采取措施

采用校正弯曲代替自由弯曲。对冷作硬化的材料, 弯曲前进行退火处理。使材料屈服极限降低, 减少回弹。如果不能满足工件使用性能要求时, 弯曲后再进行热处理。

小批量生产时, 也常用钳工校正的方法来补偿回弹。

(三) 在模具结构上采取措施

1. 补偿法

根据弯曲件的回弹趋势 (ΔK 和 $\Delta\alpha$ 的值增大或减小) 和回弹量大小, 修正凸模或凹模工作部分的形状和尺寸, 使工件的回弹量得到补偿, 这种方法较简单, 在生产中广泛应用。

单角弯曲时, 根据估算的回弹量, 将凸模圆角半径 r_s 、顶角 α 预先做小些, 经调试修磨补偿回弹。对于有压板的单角弯曲, 回弹角做在凹模上 (见图 3-20), 并使凸凹模间隙为最小料厚。

双角弯曲时, 可在凸模两侧作出回弹角 (见图 3-21a) 或在凹模底部作成弧面 (见图 3-21b), 使工件底部局部弯曲, 当工件从凹模取出后, 由于弧面回弹伸直, 而使两侧

产生负回弹,从而补偿圆角部分的正回弹。

2. 校正法

塑性弯曲时,中性层外侧纤维拉伸,内层纤维压缩。卸载后,内、外层纤维回弹方向与其相反,即外层缩短,内层伸长,总回弹趋势都是使板料复直,所以回弹量较大。针对上述特征,在弯曲行程结束时,对板料施加一定的校正压力,迫使变形处内层纤维产生切向拉伸应变,那么板料经校正以后,内、外层纤维都要伸长,结果卸载后都要缩短,内、外层回弹趋势相反,因此回弹量将会减小,达到克服或减少回弹的目的。

如图 3-22 所示,采用校正法单角弯曲和双角弯曲时,所使用的凸模几何形状和尺寸。一般认为弯曲金属的校正压缩量为料厚 2%~5%。

3. 拉弯法

板料在拉力下弯曲,可以改变断面内应力状态,使中性层内侧的压应力转为拉应力状态(见图 3-23)。此时,板料整个剖面上都处于拉应力作用下,而卸载后内、外层纤维的回弹变形方向取得一致,所以可以减少回弹。

对于一般小型的单角或双角弯曲件,可以减小凸凹模间隙(见图 3-24a)或在凸模端部做出凸台,使变形区材料作变薄拉伸(见图 3-24b);也可以将凹模倒角,让工件过量弯曲(见图 3-24c);可以取得明显的拉弯效果。

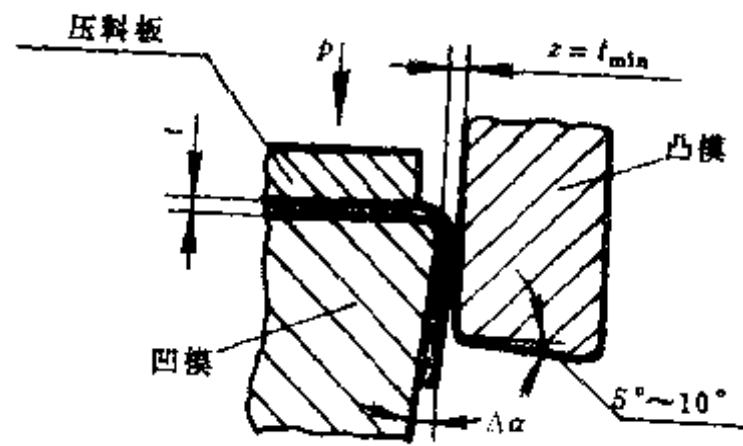


图 3-20 带压板的单角弯曲

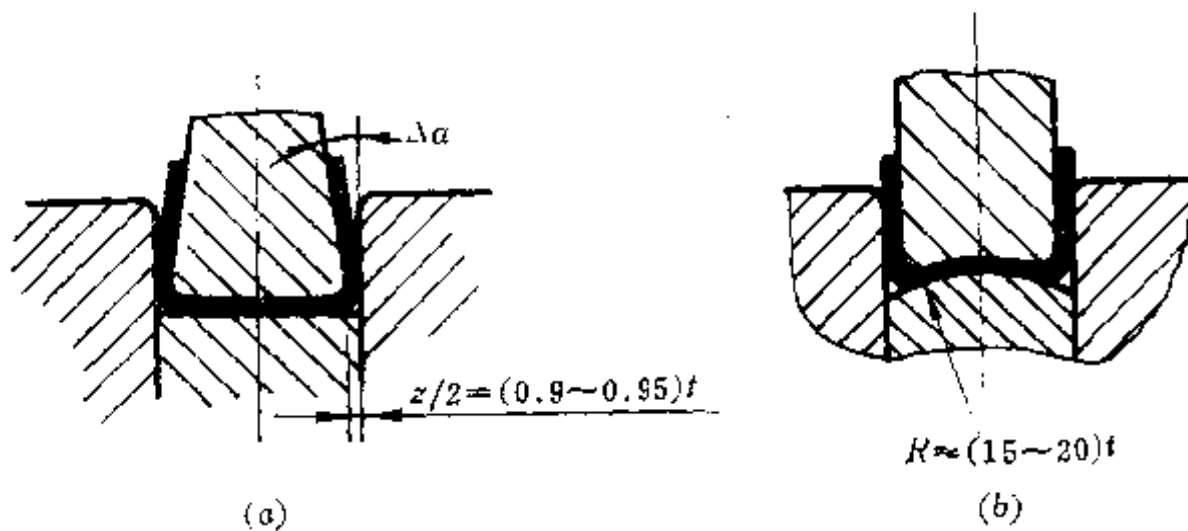


图 3-21 用补偿法修正模具
(a) 凸模两侧考虑回弹角; (b) 凹模底带弧面。

4. 用软凹模弯曲

采用橡胶或聚氨酯软凹模代替金属的刚性凹模(见图 3-25)。板料在变形过程中全面的支撑在聚氨酯凹模上,始终受到软凹模单位压力 q 的作用,变形时两直边逐渐与凸模斜面贴合。因受聚氨酯侧压力的作用,直边部分不发生弯曲变形,而且圆角部分所受的单位压力大于两侧部分。卸载时,回弹仅发生在圆角处,直边不发生回弹,用调节凸模压入量控制弯曲力大小,减少回弹。

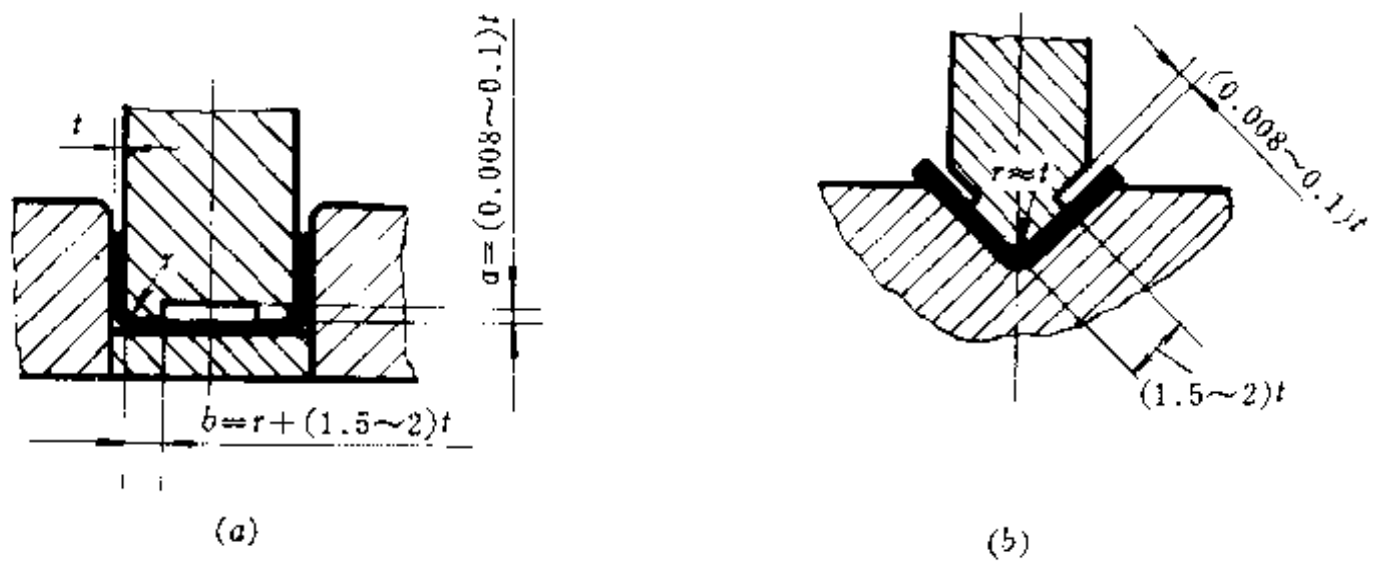


图 3-22 用校正方法减少回弹

(a) 双角弯曲; (b) 单角弯曲

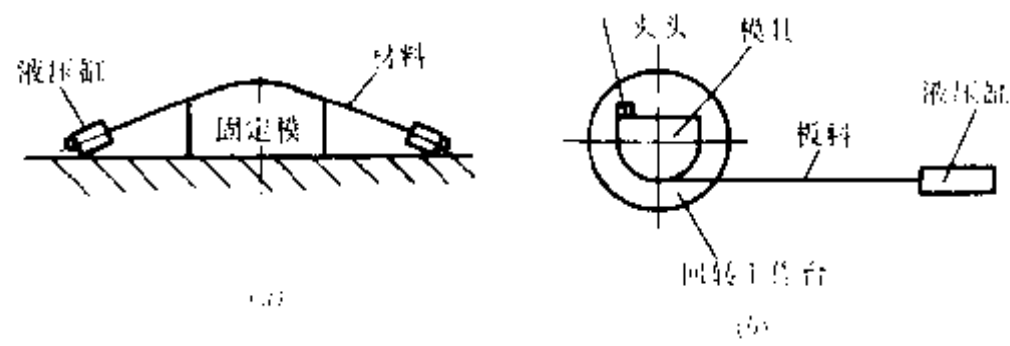


图 3-23 用拉弯法减少回弹

(a) 模具拉弯; (b) 工作台旋转拉弯

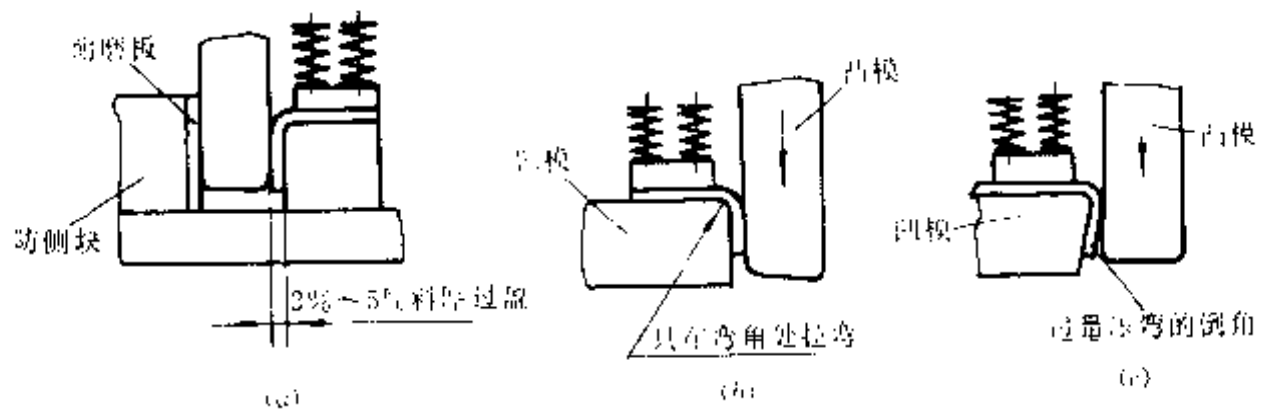


图 3-24 模具拉弯结构

(a) 减小间隙; (b) 端部倒角; (c) 过量弯曲

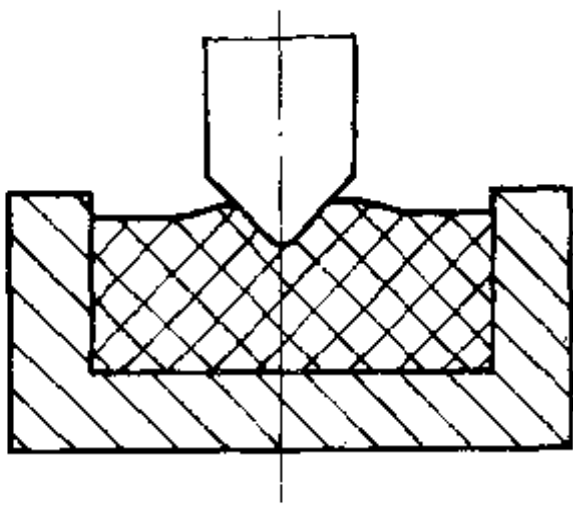


图 3-25 弹性凹模单角弯曲

第五节 弯曲毛坯尺寸的确定

一、弯曲件毛坯尺寸的计算

根据应变中性层的定义，毛坯的长度等于中性层的长度。

应变中性层位置用曲率半径 ρ 表示，由式 (3-1) 给出

$$\rho = r + x_0 t$$

由此可知，中性层位置除与弯曲半径 r 、料厚 t 和系数 x_0 有关外，还与弯曲方式、模具结构、弯曲件形状及尺寸标注等多种因素有关，因此对于形状简单、尺寸精度要求不高的弯曲件，可按下述方法计算毛坯长度；而对于形状复杂或精度要求高的弯曲件，必须经过反复试弯不断修正，才能最后确定毛坯形状及尺寸。

(一) 有圆角半径的弯曲 ($r > 0.5t$)

这类零件由于弯曲时厚度变薄不严重，断面畸变较小，可按中性层展开长度等于毛坯长度的原则求得毛坯尺寸。如图 3-26 所示弯曲零件的展开长度 L 应等于各直边部分和圆弧部分的中性层长度之和。即

$$L = b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + l_1 + l_2 + l_3 \quad (3-31)$$

圆弧部分中性层展开长度 l 按下式计算

$$l = \frac{\pi}{180^\circ} \alpha \rho = 0.01745 \alpha \rho \quad (3-35)$$

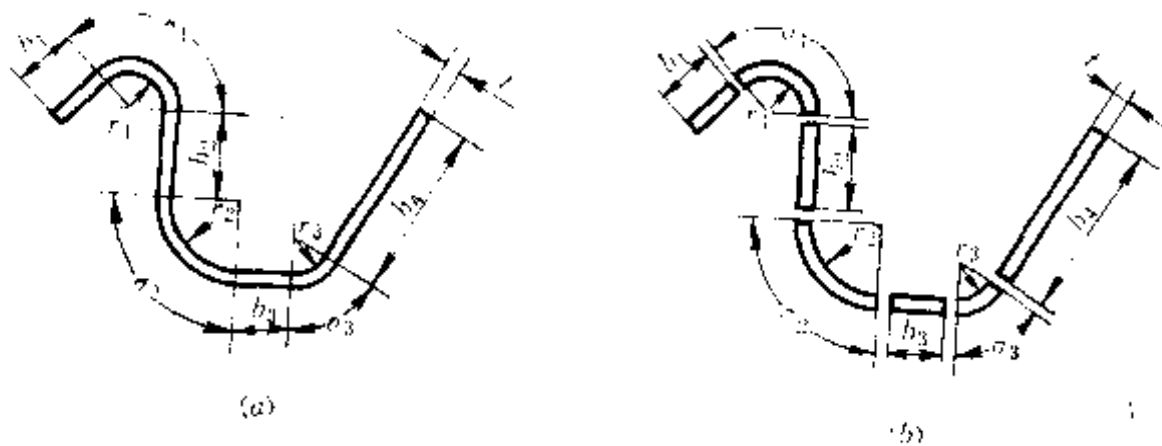


图 3-26 弯曲件展开长度的计算

(a) 弯曲件；(b) 弯曲件分段。

式中 l —— 中性层展开长度；

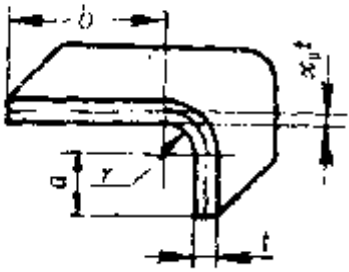
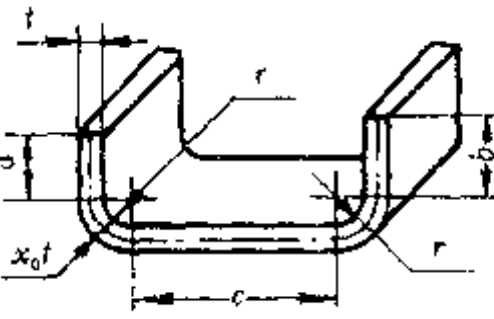
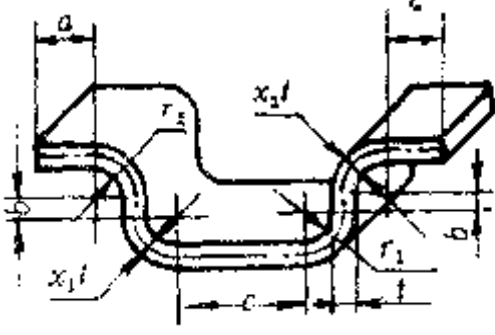
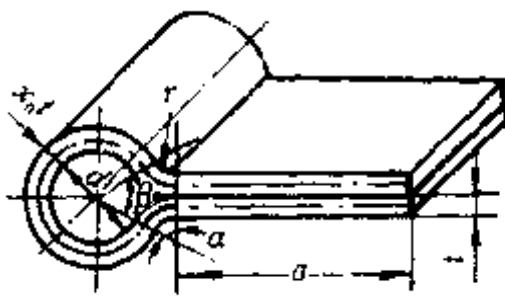
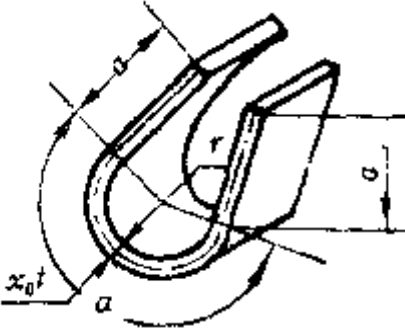
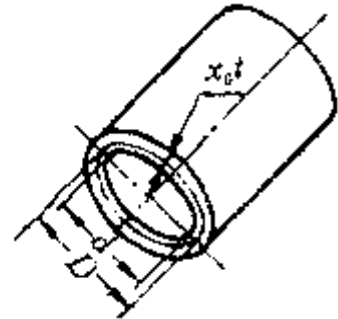
α —— 弯曲中心角；

ρ —— 中性层曲率半径。

各种毛坯展开长度的计算公式可参考表 3-6。

表 3-6 毛坯展开长度的计算公式 ($r > 0.5t$)

(mm)

序号	弯曲性质	弯曲形状	毛坯展开长度公式
1	单直角弯曲		$L = a + b + \frac{\pi}{2}(r + ct)$
2	双直角弯曲		$L = a + b + c + \pi(r + ct)$
3	四直角弯曲		$L = 2a + 2b + c - \pi(r_1 + r_2) + \pi(r_1 + r_2)t$
4	吊环		$L = 2a + (d + 2ct) \frac{(360 - \beta)\pi}{360} + 2 \left[\frac{(r + ct)\pi\alpha}{180} \right]$
5	半圆		$L = 2a + \frac{\pi r}{180} (r + ct)$
6	圆形		$L = \pi d = \pi (d + 2ct)$

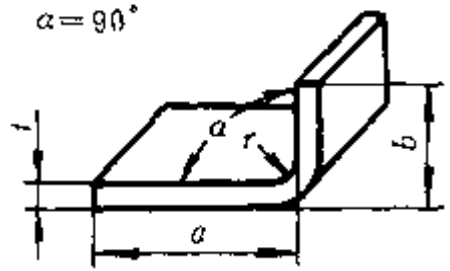
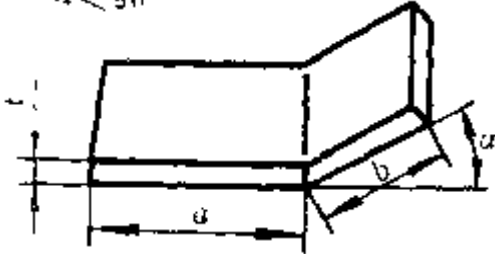
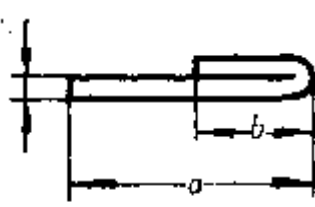
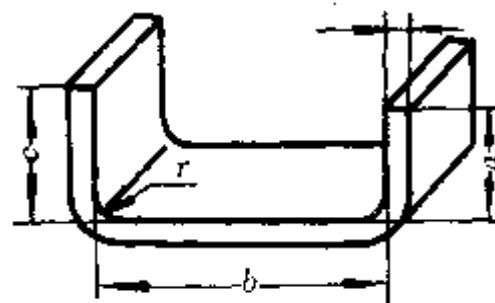
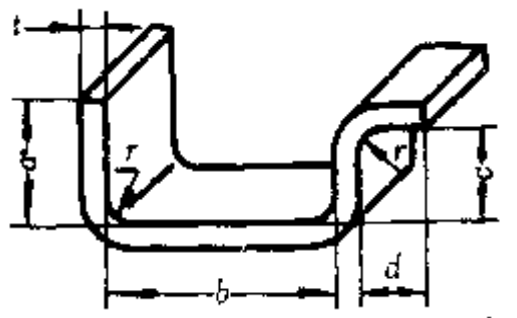
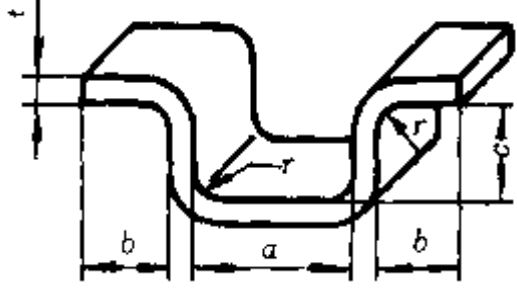
(二) 无圆角半径或圆角半径很小时的弯曲 ($r < 0.5t$)

这类零件利用毛坯与工件体积相等的原则并考虑弯曲处材料变薄的情况, 确定毛坯长度尺寸。

各种毛坯展开长度的计算公式可参考表 3-7。

表 3-7 毛坯展开长度的计算公式 ($r < 0.5t$)

(mm)

序号	弯曲性质	弯曲形状	公式
1	单角弯曲	$\alpha = 90^\circ$ 	$L = a + b + 0.4t$
		$\alpha < 90^\circ$ 	$L = a + b + \frac{\alpha}{90} \times 0.5t$
		$\alpha = 180^\circ$ 	$L = a + b - 0.13t$
2	双角弯曲		$L = a + b + c + 0.6t$
3	三角弯曲		$L = a + b + c + d + 0.75t$
4	四角弯曲		$L = a + 2b + 2c + t$

二、铰链卷圆的展开长度计算

铰链卷圆时，由于所用的凸模是对毛坯一端加压力，故产生很复杂的塑性变形（见图 3-27），为了使毛坯在球向弯曲时保持稳定，只有当 $R < 3.3t$ 时才能实现。故铰链的卷制方法一般只适用于 $R = (2 \sim 3.3)t$ 。当 R 更大时，卷制铰链就需使用与铰链圈内径相等的心轴。

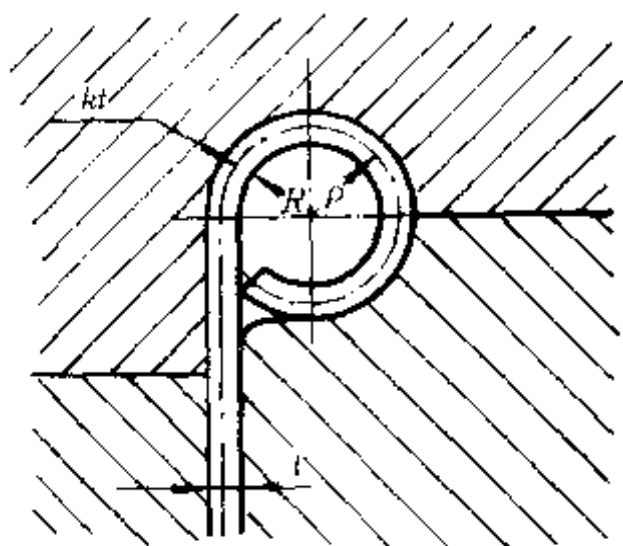


图 3-27 卷制铰链

由于铰链卷圆变形特点，材料不是变薄而是增厚了，即中性层由板料厚度中间向弯曲外层移动，因此中性层位置系数大于或等于 0.5。表 3-8 是铰链卷圆的中性层位置系数 K ，如图 3-28 所示为两种铰链型。

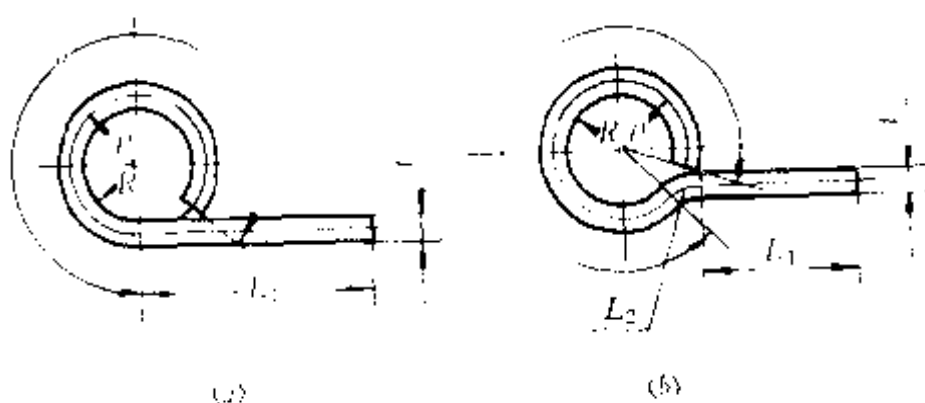


图 3-28 铰链形式

毛坯展开长度按下式确定

$$\text{a 型} \quad L = \frac{\pi(R + Kt)}{180^\circ} a + L_1$$

$$\text{b 型} \quad L = \frac{\pi(R + Kt)}{180^\circ} a + L_1 + L_2$$

表 3-8 铰链卷圆中性层位置系数 K

R/d	>0.5 ~ 0.6	>0.6 ~ 0.8	>0.8 ~ 1.0	>1.0 ~ 1.2	>1.2 ~ 1.5	>1.5 ~ 1.8	>1.8 ~ 2.0	>2.0 ~ 2.2	>2.2
K	0.76	0.73	0.70	0.67	0.64	0.61	0.58	0.54	0.50

三、圆杆弯曲件展开长度计算

对于圆形断面毛坯进行弯曲成形时,如弯曲半径 $r \geq 1.5d$ 时,断面几乎无变化,故中性层系数近似 0.5,而 $r < 1.5d$ 时,断面畸变,中性层外移。中性层曲率半径 ρ_0 可以近似下式计算

$$\rho_0 = (r + K_1 \frac{d}{2}) K_1 \quad (3-36)$$

或

$$\rho = x_0 d + r$$

式中 $K_1 = \frac{d_1}{d}$ —— 径向的变厚系数;

d, d_1 —— 弯曲前后的圆杆直径;

r —— 弯曲内半径;

x_0 —— 到中性层的位移系数;

K_1, x_0 值分别列于表 3-9、表 3-10。

表 3-9 变厚系数 K_1

弯曲半径 r	$1.4d$	$0.65d$	$0.25d$	$0.1d$
系数 K_1	1.002	1.012	1.04	1.07

表 3-10 圆杆弯曲时中性层位移系数 x_0

弯曲半径 r	$\geq 1.5d$	d	$0.5d$	$0.25d$
系数 x_0	0.5	0.51	0.53	0.55

第四章 拉 深 (拉延)

第一节 概 述

一、拉深工艺特点

拉深是利用拉深模将已冲裁好的平面毛坯压制成各种形状的开口空心零件,或将已压制的开口空心毛坯进一步制成其他形状、尺寸的开口空心零件的冲压工序。

拉深时所用的模具与冲裁模不同,其凸模与凹模都没有锋利的刃口,而具有较大的圆角半径,并且凸、凹模之间的间隙一般稍大于板料的厚度。拉深工艺的主要特征就在于拉深时金属有较大的流动,要求凸、凹模采用较大的圆角及较大间隙就是为了便于金属的流动。

用拉深工艺可以压制成圆筒形、阶梯形、球形、锥形、盒形以及其他不规则形状的开口空心零件。如果与其他成形工艺配合,还可制成形状极其复杂的零件。拉深件的尺寸范围很大,小至几毫米大至几米,拉深件精度也较高,可达 IT10 级精度,如采用精整拉深,精度可达到 IT8 级,表面质量近似磨削。因此,在汽车、摩托车、拖拉机、飞机、电子仪器仪表、军工产品以及日用品等工业部门的生产中,拉深工艺占有相当重要的地位。

拉深件种类很多,形状各异。在拉深过程中,各种零件的变形区位置、受力情况、变形特点、成形机理等也不完全相同。因此确定工艺参数、工序顺序及设计模具的原则和方法也有很大差异。为了便于工艺分析,在设计模具时可按拉深件的变形力学特点,将其分为四种类型:直壁回转件、非直壁回转件、盒形件及不规则形状的零件。

表 4-1 列出拉深件的类别及其特点。从表中列出的变形特点来看,由于每类零件都有自己的变形特点,因而可用相同的原则和方法去研究,分析该类零件的拉深成形问题,并解决所出现的质量问题,要说明的是:对于非直壁回转件及某些不规则的形状零件,它们的成形是外周拉深和内部胀形的复合。

二、拉深变形过程分析

将平板毛坯拉深成空心筒形件的过程是:直径 D 、厚度 t 的圆形毛坯,由于凸模作用,在凹模与压边圈间隙里变形,并被拉入凹模,形成直径 d 、高度 h 的圆筒形零件(见图 4-1)。将毛坯和制件作一比较(见图 4-2),可看出毛坯中间直径为 d 的部分变成制件的底,毛坯外部 $(D-d)$ 圆环部分成为筒壁高 h 。由于筒壁高 $h > \frac{1}{2}(D-d)$,这说明在拉深过程

毛坯圆环部分有金属向筒壁上部流动。金属流动的结果主要是增加了筒壁高度 Δh ，同时也使得筒壁厚度改变硬度增加（见图4-3）。毛坯圆环部分金属产生塑性流动（形象地认为如图4-2所示三角形阴影部分产生了塑性流动），这是拉深工艺的主要特征。

表4-1 拉深件的类型及特点

拉深件类型		变形特点
直壁回转件	圆筒形件 带凸缘圆筒形件 阶梯圆筒形件	凸缘部分圆环形区域为变形区，筒壁部分是传力区 变形区毛坯径向受拉切向受压，其变形是拉深变形
非直壁回转件	球形件 锥形件 抛物线形件	这类零件变形区有三部分：凸缘为拉深变形区；凹模口内悬空部分为拉深变形；凸模顶端至变形过渡区同时是胀形变形区 其变形是拉深变形与胀形变形的复合
盒形件		盒形件圆角部分接近拉深变形，直边部分基本上是弯曲变形，其变形是拉深变形与弯曲变形的复合 毛坯周边变形不均匀，变形大的部分与变形小的存在着相互制约与影响
不规则形状拉深件		不规则零件变形复杂，一般外缘是拉深变形，内部大多数为胀形变形（有些也是拉深变形），并且具有周边变形不均的特点

为了更直观地了解金属的流动状态，可在圆形毛坯上画出间距相等的同心圆和分度相等的辐射所组成的网格。毛坯拉深成筒形件后，网格的形状及尺寸都产生了较大的变化（见图4-4），图中的网格由扇形 F_1 变成矩形 F_2 。

观察变形前后的网格，发现圆筒底部的网格与拉深前基本没有变化；筒壁部分的网格则由原来的扇形变成长方形，距底部越远长方形的高度越大。这说明拉深过程底部没有产生塑性变形，底部是不变形区；圆筒壁部是由毛坯圆环部分金属流动而形成，其塑性变形程度由底部向上部逐渐增大，因而，已形成的筒壁不再变形为已变形区，毛坯的圆环部分（即工件的凸缘部分）则为变形区。

三、拉深时工件的应力与应变

分析拉深过程工件各部分的应力与应变，对了解拉深时产生的各种现象，解决出现的工艺问题以及提高制件的质量都是必要的。

（一）圆筒形件的应力与应变

圆筒形件是最简单、最典型的拉深件。以带凸缘的圆筒件为例，分析其拉深时各部位的应力与应变。

按圆筒件各部位的受力变形性质，可将其分为五个区域（见图4-5）。

1. I区——筒底部分

拉深时，筒底承受着凸模传递的拉深力，并将其传给筒壁。由于凸模圆角的作用，筒底略有外凸，与凸模端面并不接触。因而它相当于周边受有均匀拉力的圆板，受平面拉伸作用。由于凸模圆角处摩擦力作用，这部分的应力、应变都不大，底部变薄也很小。

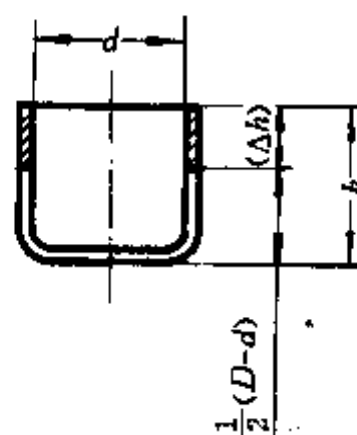
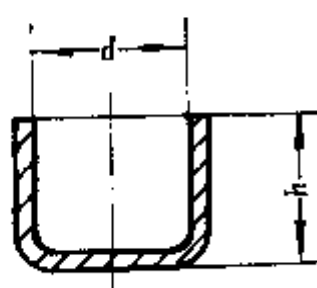
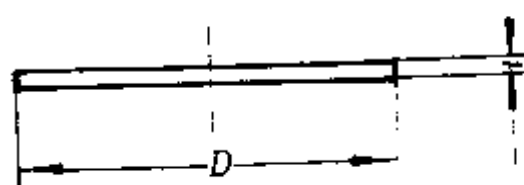
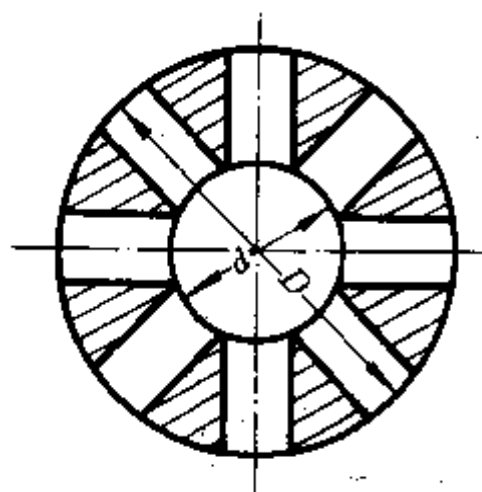
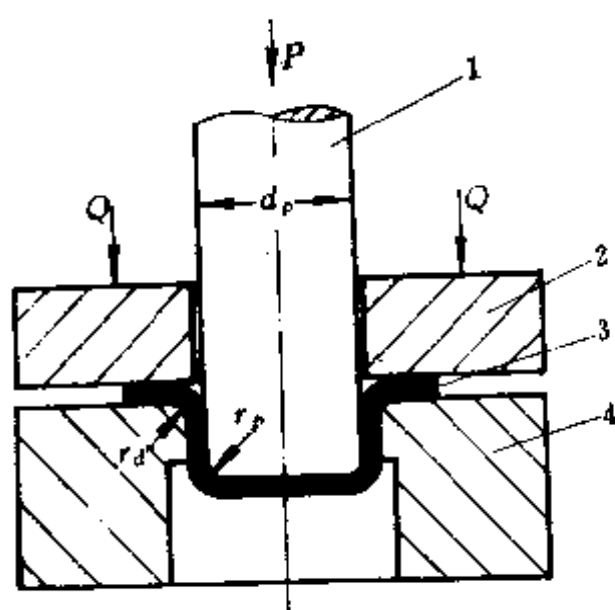


图 4-1 拉深过程

图 4-2 拉深时材料流动示意图

1—凸模；2—压边圈；3—毛坯；4—凹模。

这部分应力 σ_r 、 σ_θ 都是拉应力， σ_t 为零，是平面应力状态。应变 ε_r 、 ε_θ 为伸长应变， ε_t 为压缩应变，但压应变（即底部变薄量）不足 3%。

2. II 区——凸模圆角部分

这部分是底部与筒部的过渡区，其应力、应变特性与上述两部分的应力、应变状态有一定联系。这部分的受力是径向、切向两向拉伸，而厚向受压。由于筒壁制约，切向没有变形。相应地， σ_r 、 σ_θ 为拉应力， σ_t 为压应力， ε_r 为伸长， ε_t 为压缩而 ε_θ 为零。

在凸模圆角转角处稍上一点的地方（见图 4-3 中 α 点处）是筒壁变薄最大的地方。因而该处断面是拉深件的危险断面，拉深件的断裂多数在这里产生。

3. III 区——筒壁部分

筒壁是传力区，通过筒壁将底部所受拉深力传给凸缘。拉深过程筒壁直径保持不变，切向变形为零，只有微量的径向伸长及厚向变薄，是平面应变状态。变形时，厚向没有作用力。

筒壁的应力， σ_r 是拉应力， σ_t 为零，因而中间应力 σ_θ 为 $1/2\sigma_r$ 。其应变 ε_θ 为零， ε_r 为伸长， ε_t 为压缩， $\varepsilon_r = -\varepsilon_t$ 。

4. IV 区——凹模圆角部分

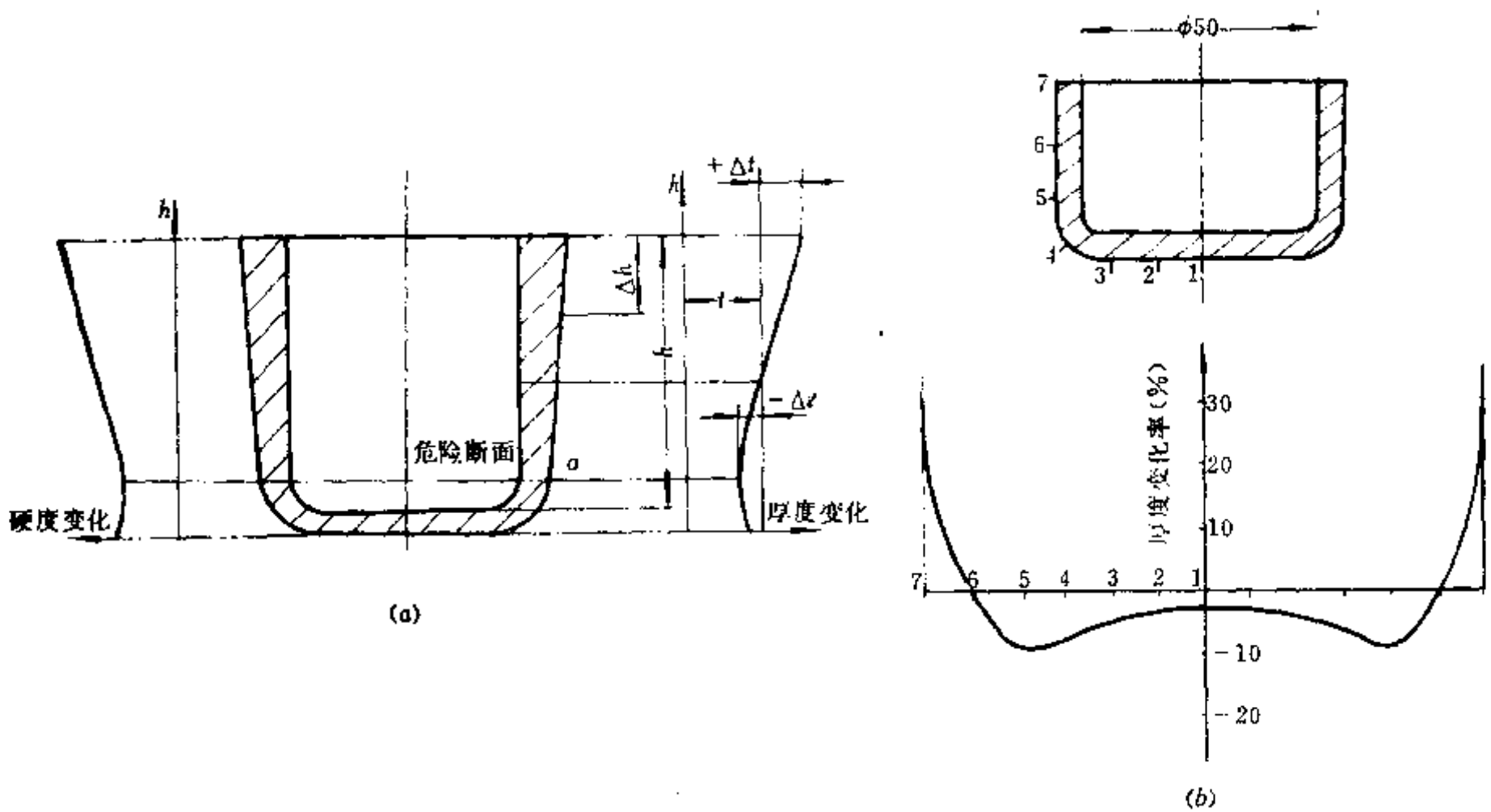


图 4-3 拉深件沿高度方向材料硬度和壁厚的变化

这部分是凸缘与筒壁的过渡部分，因而既有凸缘变形所产生的径向受拉，切向受压的作用，还因拉深过程材料通过凹模圆角时，受着先弯曲后拉直的作用。

这部分的应力， σ_r 是拉应力， σ_t 及 σ_θ 是压应力，其应变 ϵ_r 是拉伸， ϵ_t 是压缩， ϵ_θ 也略有压缩。

5. V 区——凸缘部分

凸缘部分是圆筒形拉深件的变形区，拉深时凸缘径向受拉伸长，切向受压缩短，材料产生塑性流动。当凸缘直径较大，而板材又较薄时，往往由于切向应力过大使凸缘失稳而拱起，即形成所谓的“起皱”。在这种情况下，就应该采用压边装置。

凸缘部分的应力， σ_r 是拉应力， σ_t 及 σ_θ 是压应力。在无压边时， σ_t 则为零，其应变 ϵ_r 是伸长， ϵ_θ 是压缩， ϵ_z 不论有无压边都是伸长（即增厚），因为即使采用压边， σ_r 的数值要比 σ_t 的数值大得多， ϵ_z 也是伸长。

带凸缘的圆筒件及阶梯形圆筒件，它们的变形区、受力状态及变形特征都和圆筒形拉深件基本一致，因而对圆筒形拉深件的应力、应变分析也同样适用于它们。

综上所述，圆筒形等直壁类拉深件的变形区，仅仅是压边圈下的圆环部分。变形区的受力主要是切向受压、径向受拉。由于切向应力较大，变形区材料有明显增厚，当切向应力数值过大时，凸缘材料就会失稳，产生沿切向的折皱，即起皱。

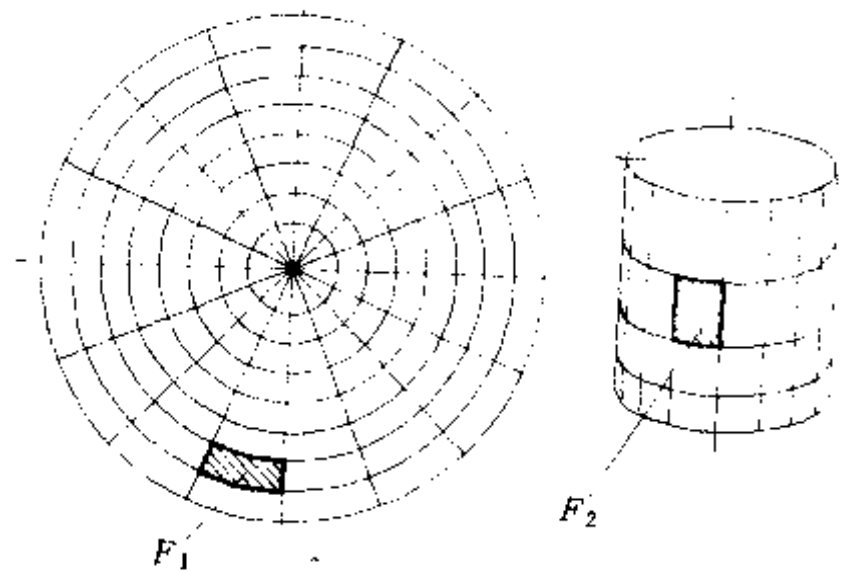


图 4-4 拉深件的网格变化

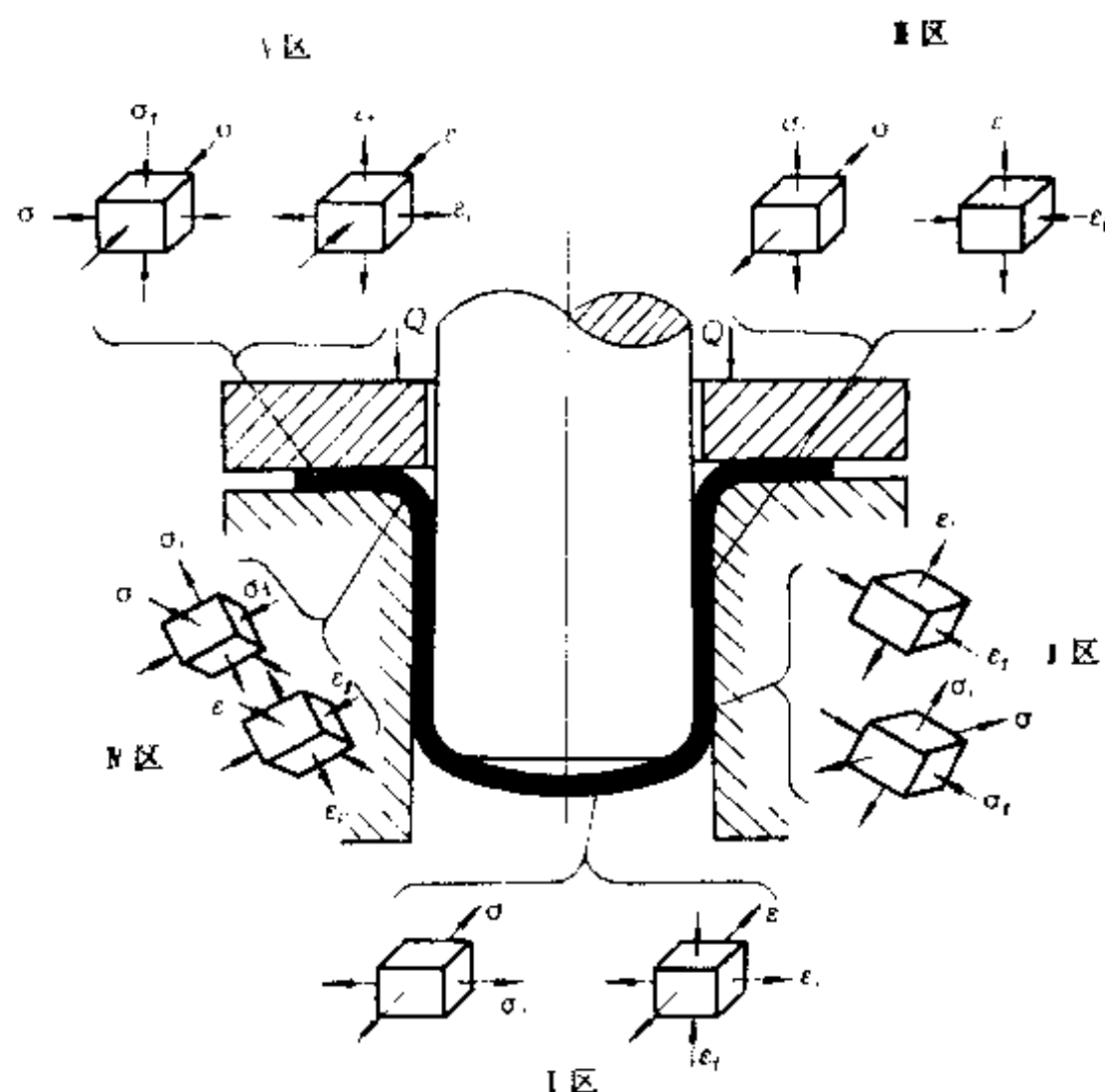


图 4-5 拉深过程工件的应力与应变

σ_r, ϵ_r —径向应力与径向应变；
 σ_t, ϵ_t —厚向应力与厚向应变； $\sigma_\theta, \epsilon_\theta$ —切向应力与切向应变。

(二) 球形等非直壁件的应力与应变

对于球形、抛物线形及锥形等非直壁类拉深件，其变形区除凸缘环形部分外，在凹模口内的毛坯材料与参与变形。在很多情况下，凹模口内的材料反而成为拉深件的主要变形区。

现以球形拉深件为例，分析其拉深过程的应力与应变状态（见图 4-6）。球形件拉深时，其凸缘部分与圆筒形件相似，有径向受拉、切向受压的作用，并且在轴向还受有压边力。而凹模口内的毛坯的受力情况与圆筒形件则大小相同。

在开始拉深时，凹模口内毛坯与凸模只有小区域接触，径向应力和切向应力都较大，使得接触区的材料屈服而变薄，并紧紧地贴合凸模。很明显，这部分材料处于径向、切向两向受拉，厚向受压的应力状态，为胀形应力状态，故可称这一区域为胀形变形区。随着拉深变形的进行，凸模贴模区逐渐增大，作用到贴模区的单位压力逐渐减小，毛坯变薄量也相应减小。因而毛坯的变薄量是从球形件顶端往外逐渐减小。

在凹模口内，有一部分材料既不与凹模接触也不与凸模接触；称悬空状态的毛坯。这部分毛坯，也和凸缘一样，径向受拉、切向受压。由于切向力作用，材料也要增厚，材料的增厚量从凹模口起，向内逐渐减小。因而在凹模口内，接近贴模区处，必然存在着这样一环材料，这材料既不增厚也不减薄（见图 4-7 中点 4 所处位置）。可将这环材料

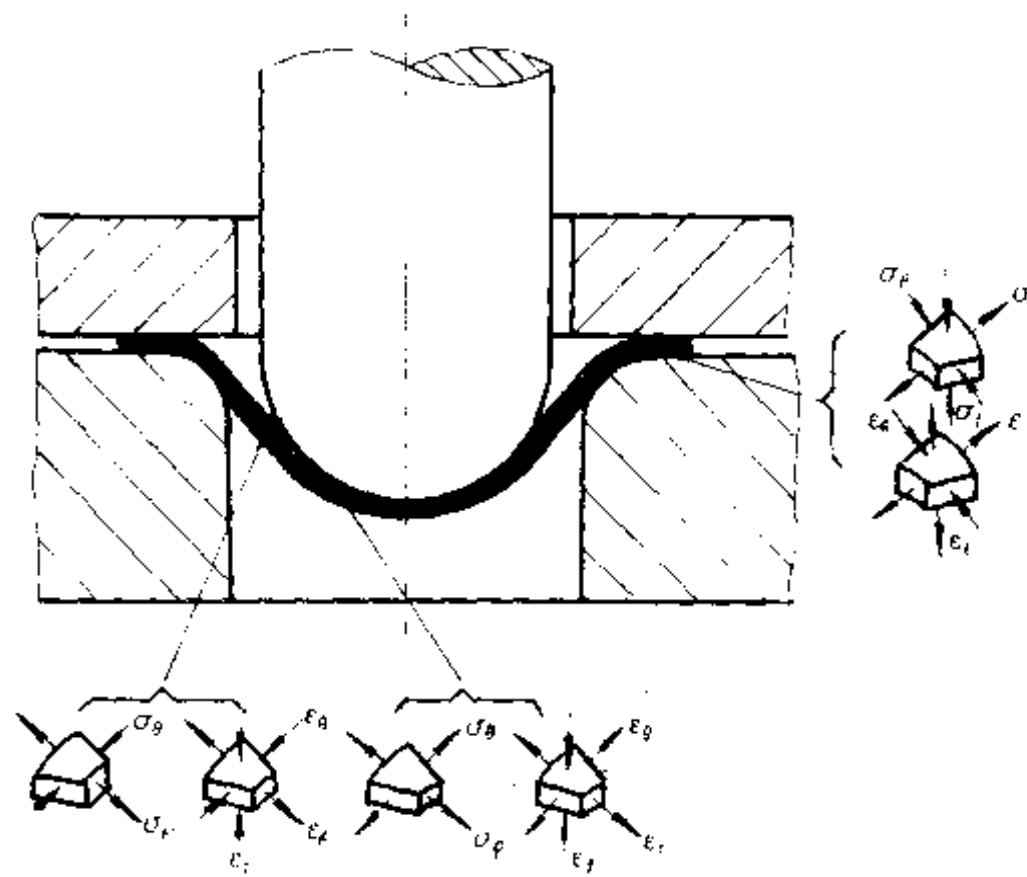


图 4-6 球形件拉深时的应力与应变

称变形过渡环，变形过渡环以外是拉深变形区，变形过渡环以内是胀形变形区。应该指出的是，变形过渡环是在贴模区以外，即胀形变形区略大于贴模区。

按应力应变状态，可将球形件分为三个区域：

1. I 区

从球形件顶端至变形过渡环部分，是胀形变形区。材料受两向拉伸，一向压缩。其应力： σ_r 、 σ_θ 为拉应力， σ_z 为压应力；其应变： ϵ_r 、 ϵ_θ 为伸长， ϵ_z 为压缩。

2. II 区

从凹模口至变形过渡环的圆环部分，是拉深变形区。这部分材料径向受拉，切向受压，厚向不受力，且材料与凸模凹模都不接触，处于悬空状态，抗失稳能力比凸缘部分差，起皱可能性更大。因而防止这区域材料的起皱，是球形件等非直壁拉深件存在的主要问题。其应力： σ_r 为拉应力、 σ_θ 为压应力、而 σ_z 为零，是平面应力状态；其应变： ϵ_r 为拉伸， ϵ_θ 为增厚， ϵ_z 为压缩。

3. III 区

压边圈下的圆环部分，是拉深变形区。与圆筒件拉深一样，不再重复。

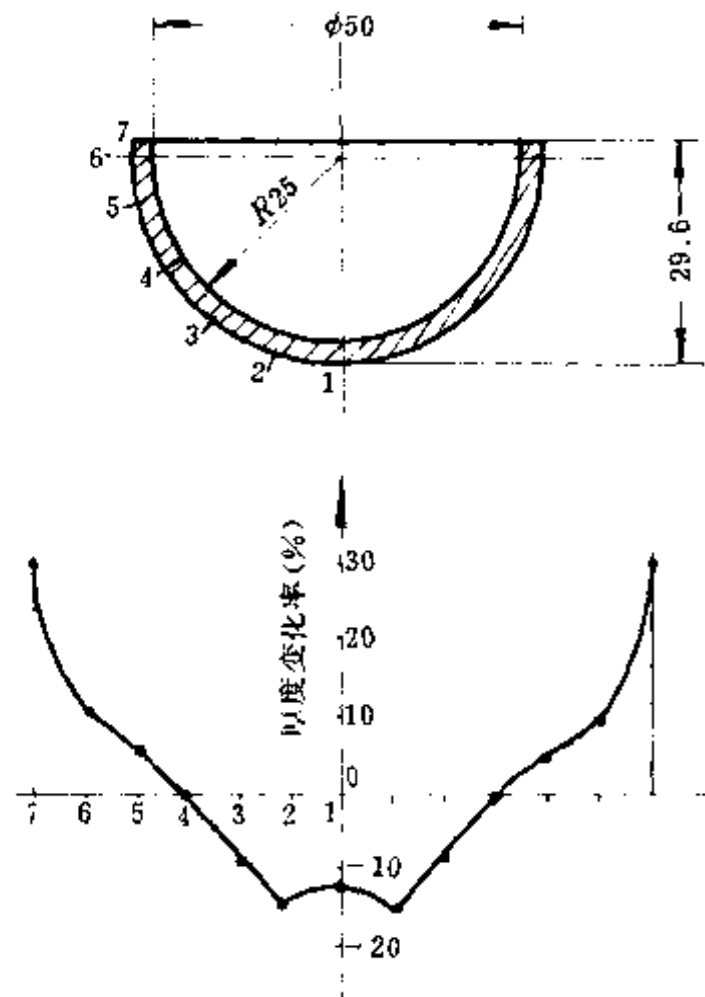


图 4-7 球形件拉深后的壁厚变化

对球形件拉深的应力、应变分析，也适用于抛物线形件及锥形件等非直壁回转形的零件。

第二节 拉深力与拉深功

一、拉深过程的力学分析

为了深入分析了解拉深时所产生的各种问题，并从理论上求出变形时所需要的拉深力及拉深功，对拉深件变形过程进行力学分析是很有必要的。

首先从带压边圈的圆筒件拉深着手分析。要使拉深工作顺利进行，作用在凸模上的拉深力 P ，必须使得在圆筒毛坯筒壁均布的拉力 p 能克服毛坯凸缘的径向变形应力 σ_r ，变形区上下表面摩擦引起的应力 σ_m ，能通过凹模时弯曲、伸直所引起的应力 σ_c ，以及凹模圆角摩擦所引起的应力 σ_m' ，即

$$P = \pi dt p = \pi dt (\sigma_r + \sigma_m + \sigma_m' + \sigma_c) \quad (4-1)$$

式中 d ——圆筒拉深件的筒壁中径；

t ——拉深件材料厚度。

凸缘部分是筒形拉深件的变形区。该区材料受有一向拉应力 σ_r 及两向压应力 σ_t 、 σ_θ 的作用。因厚向应力 σ_t 与径向应力 σ_r 、切向应力 σ_θ 相比，其数值很小可忽略不计。故可将凸缘部分材料近似认为是平面应力状态。如图 4-8 所示为圆筒拉深件凸缘部分的受力状态。

考虑到在拉深过程凸缘材料厚度变化不大，近似为常数，故图中所示扇形块的平衡条件是

$$(\sigma_r + d\sigma_r)(R + dR)\varphi + 2\sigma_\theta dR \sin \frac{\varphi}{2} - \sigma_r R \varphi = 0 \quad (4-2)$$

角度 φ 是任意小值，可认为 $\sin \varphi/2 \approx \varphi/2$ ，并忽略高次项 $d\sigma_r dR$ ，式 (4-2) 可简化为

$$R d\sigma_r + (\sigma_r + \sigma_t) dR = 0 \quad (4-3)$$

式 (4-3) 是所分析的扇形单元的简化平衡方程，它表明了扇形单元位置 (R 值)、径向拉应力 σ_r 、切向压应力 σ_θ 三者的关系。但要使材料发生塑性变形， σ_r 、 σ_θ 还应满足下述塑性条件

$$\sigma_r + \sigma_\theta = \beta \sigma_s \quad (4-4)$$

β 是考虑中间主应力影响的系数，其数值随凸缘变形区内各圈应力状态的不同而波动。 β 值的波动范围为 1~1.155，计算时可近似取 $\beta=1.1$ 。

将式 (4-4) 中的 $(\sigma_r + \sigma_\theta)$ 之值，代入式 (4-3) 中可得

$$R d\sigma_r + 1.1 \sigma_s dR = 0 \quad (4-5)$$

或

$$d\sigma_r = -1.1 \sigma_s \frac{dR}{R} \quad (4-5a)$$

$$\text{或 } \sigma_p = -1.1 \int \sigma_s \frac{dR}{R} \quad (4-5b)$$

σ_s 是变形区内材料的变形抗力。在拉深时变形区内各点加工硬化情况不同，其变形抗力 σ_s 数值也不相同。现以平均变形抗力 σ_{sm} 近似代表各点的变形抗力，则得

$$\sigma_p = -1.1 \sigma_{sm} \int \frac{dR}{R} \quad (4-6)$$

将式 (4-6) 积分，得

$$\sigma_p = -1.1 \sigma_{sm} \ln R + C \quad (4-7)$$

为了解出积分常数 C ，代入边界条件：当 $R=R_i$ 时， $\sigma_p=0$ 。积分常数 C 值为

$$C = 1.1 \sigma_{sm} \ln R_i \quad (4-8)$$

因而要使材料产生塑性变形的径向应力 σ_p 应等于

$$\sigma_p = 1.1 \sigma_{sm} \ln (R_i/R) \quad (4-9)$$

将式 (4-9) 代入式 (4-4)，并以 σ_{sm}

代换 σ_s ，则可得产生塑性变形时的切向应力 σ_θ 值

$$\sigma_\theta = 1.1 \sigma_{sm} (1 - \ln \frac{R_i}{R}) \quad (4-10)$$

从式 (4-9) 和式 (4-10) 中可以看到，随着 R 值由 R_i 变到 r_m ，径向拉应力 σ_p 则由零变到最大值，切向压应力 σ_θ 由最大值 $1.1 \sigma_{sm}$ 变到最小值。 σ_p 、 σ_θ 值沿凸缘宽度的变化规律如图 4-9 所示。

从式 (4-9) 和式 (4-10) 中还可看到， σ_p 、 σ_θ 的数值还取决于 R_i/R 的比值。如果将直径为 D_0 的毛坯，拉深成直径为 d 的筒形件，则拉深所需的最大径向拉应力 σ_{pmax} 将出现在材料进入凹模口处，即

$$\sigma_{pmax} = \sigma_{pr} = 1.1 \sigma_{sm} \ln \left(\frac{D_0}{d} \right) \quad (4-11)$$

不难看出：最大径向拉应力 σ_{pmax} 是与 D_0/d 值密切相关，通常将这一比值倒数，用符号 m 来代表，称 $m=d/D_0$ 为拉深系数。拉深系数 m 是拉深工艺的一个主要工艺参数。拉深系数 m 可反映出拉深时材料的变形程度。拉深系数 m 值愈小，变形程度就愈大，所需要产生的径向拉应力 σ_p 也愈大。因而它是衡量和判断筒形件拉深成形难易程度的尺度，也是模具设计和工艺过程设计的依据。

从式 (4-9) 和式 (4-10) 分析可知：当 $\ln R_i/R$ 的数值等于 $1/2$ (即 $R=0.61R_i$) 时，则拉应力 σ_p 与压应力 σ_θ 的绝对值相等。在该处毛坯为一向受拉、一向受压，且拉、压应力的绝对值相等。故该处既是平面应力状态，也是平面应变状态，其 ϵ_r 等于零，亦即在该处既无增厚，也无变薄。

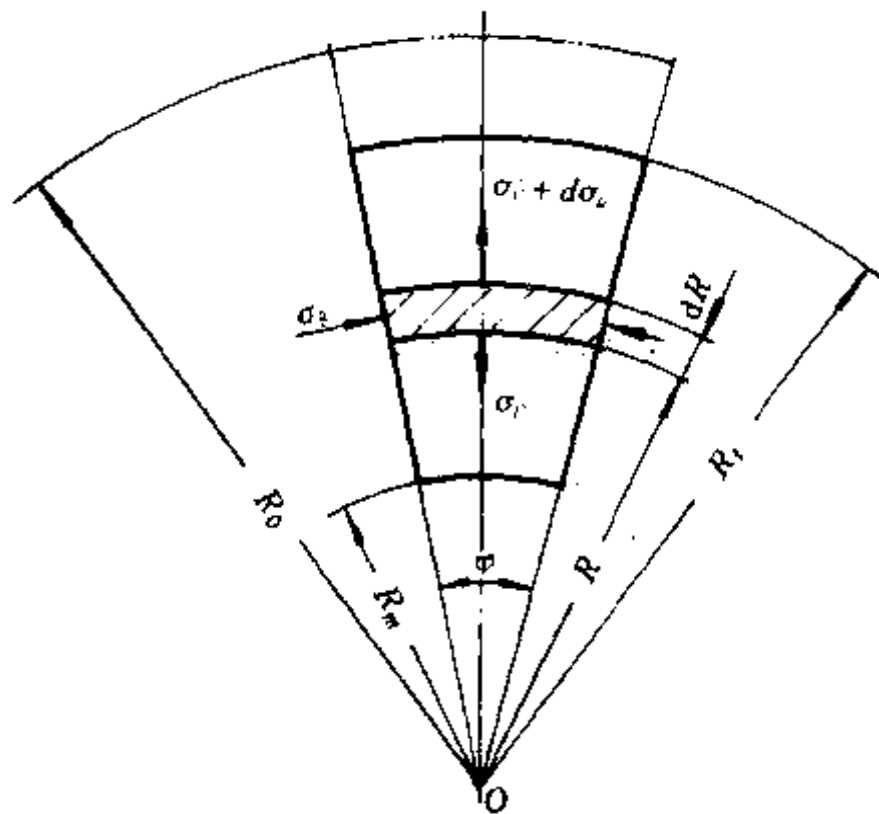


图 4-8 圆筒拉深件凸缘部分 (忽略摩擦) 的受力状态

R_0 —毛坯初始半径； R_i —变形过程毛坯的外半径；

R —任取扇形块内半径； dR —任取扇形块宽度；

ϕ —任取扇形块夹角； R_m —圆筒件筒壁平均半径。

从上述分析还可推论出：在拉深进行时，压边圈并非和凸缘全面接触，而是只在凸缘外缘接触，因而压边力也只作用在凸缘外缘不宽的环形部位上。

由于采用了压边圈，压边力 Q 使毛坯的上、下表面产生了摩擦。为克服摩擦所引起的应力 σ_m 可按下式计算

$$\sigma_m = 2 \cdot \frac{\mu Q}{\pi d t} \quad (4-12)$$

式中 μ ——毛坯与压边圈、凹模端面间的摩擦系数；

Q ——压边力；

d ——筒形件的筒壁中径；

t ——材料厚度。

拉深时应采用润滑以保证工艺的顺利进行、工件质量的提高和模具寿命的增加。润滑剂及其添加剂的种类很多；因而选取摩擦系数 μ 时，要根据实际情况而定。当采用大量石墨、滑石粉（其数量不少于总量的 20%）等添加剂的润滑剂时，对钢、黄铜、铝及硬铝， μ 值应为 0.06~0.12；当采用不带添加剂的矿物油时，则 μ 值为 0.12~0.16；若不采用润滑时，其摩擦系数将大为增加，对钢、黄铜及硬铝， μ 值为 0.18~0.22，对铝 μ 值则为 0.35。

毛坯凸缘部分的材料产生塑性变形后，通过凹模口部，形成圆筒壁部。在这一变形过程中，毛坯先受有弯曲变形、然后又受有伸直（反向弯曲）变形。相应地产生弯曲附加应力 σ_w' 及伸直附加应力 σ_w'' 。

弯曲附加应力可近似按照条料进行塑性弯曲时外力所做功与内力所做功相等的条件求得，条料沿凹模口进行弯曲的示意图，如图 4-10 所示。

要使条料产生塑性弯曲所需的外力矩 M 为

$$\begin{aligned} M &= 2 \int_0^{\frac{t}{2}} \sigma_s b Y dY = 2 \sigma_{sm} b \int_0^{\frac{t}{2}} Y dY \\ &= 2 \sigma_{sm} \frac{bt^2}{8} = \sigma_{sm} \frac{bt^2}{4} \end{aligned} \quad (4-13)$$

式中 σ_{sm} ——材料的平均流动极限；

Y ——计算时所取单元体到截面中性层之距；

dY ——计算时所取单元体高度。

因而材料沿凹模半径移动 $ds = \rho d\theta$ 距离（从位置 1 移到位置 2）时，外力矩所做的功 W 为

$$W = M d\theta = \sigma_{sm} \frac{bt^2}{4} d\theta \quad (4-14)$$

可以认为应力 σ_w 均布于材料断面上，因而应力 σ_w 在材料移动 ds 距离时，所做的功

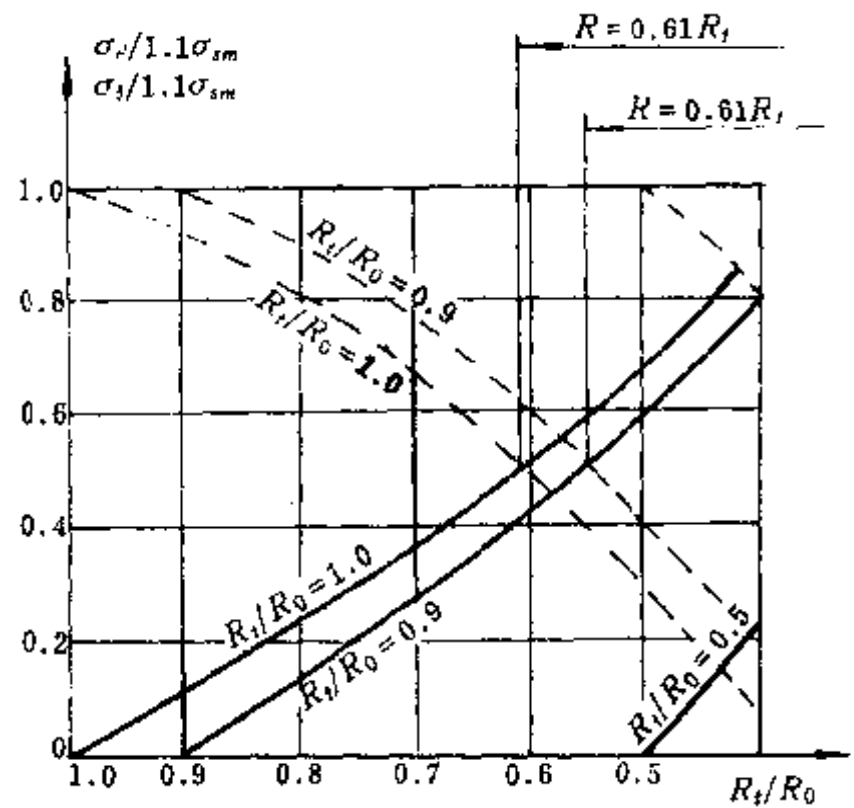


图 4-9 径向拉应力 σ_r (实线) 和切向压应力 σ_θ (虚线) 沿凸缘宽度方向分布规律。

为 w'

$$w' = \sigma_x' b t ds = \sigma_x' b t \rho d\theta \quad (4-15)$$

令 $w = w'$ ，并代入 $\rho = r_d + \frac{t}{2}$ ，则可得

$$\sigma_x' = \sigma_{sm} \frac{1}{2} \frac{t}{(2r_d + t)} \quad (4-16)$$

将弯曲后的材料进行反向弯曲使其伸直所产生的附加应力 σ_x'' ，其数值基本上等于 σ_x' ，即

$$\sigma_x'' \approx \sigma_x' = \sigma_{sm} \frac{t}{2(2r_d + t)} \quad (4-17)$$

因而材料通过凹模时，弯曲、伸直所引起的应力 σ_x 为

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_x' + \sigma_x'' = 2 \cdot \sigma_{sm} \frac{t}{2(2r_d + t)} \\ &= \sigma_{sm} \frac{t}{2r_d + t} \end{aligned} \quad (4-18)$$

凹模圆角摩擦引起的应力 σ_w' ，可按机械零件中所介绍的皮带沿皮带轮滑动时的计算方式来计算，即皮带沿皮带轮滑动时，由于皮带轮的摩擦影响，皮带所受拉力为原有拉力的 $e^{\mu\alpha}$ 倍。因此，要使圆筒件拉深成形，作用在筒壁上的拉应力 p 应等于

$$\begin{aligned} p &= \sigma_p + \sigma_m + \sigma_x + \sigma_w' \\ &= (\sigma_p + \sigma_m + \sigma_x) e^{\mu\alpha} \\ &= \left(1.1 \sigma_{sm} \ln \frac{R_i}{R} + 2 \frac{\mu Q}{\pi dt} + \sigma_{sm} \frac{t}{2r_d + t} \right) e^{\mu\alpha} \end{aligned} \quad (4-19)$$

式中 e ——自然对数的底；

μ ——摩擦系数；

α ——毛坯与凹模圆角的包角。

因为摩擦系数 μ 值较小，包角 $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ，因而

$$e^{\mu\alpha} = e^{\mu \frac{\pi}{2}} \approx 1 + \mu \frac{\pi}{2} \approx 1 + 1.6\mu \quad (4-20)$$

故式 (4-19) 也可写成

$$p = \left(1.1 \sigma_{sm} \ln \frac{R_i}{R} + \frac{2\mu Q}{\pi dt} + \frac{\sigma_{sm} t}{2r_d + t} \right) (1 + 1.6\mu) \quad (4-21)$$

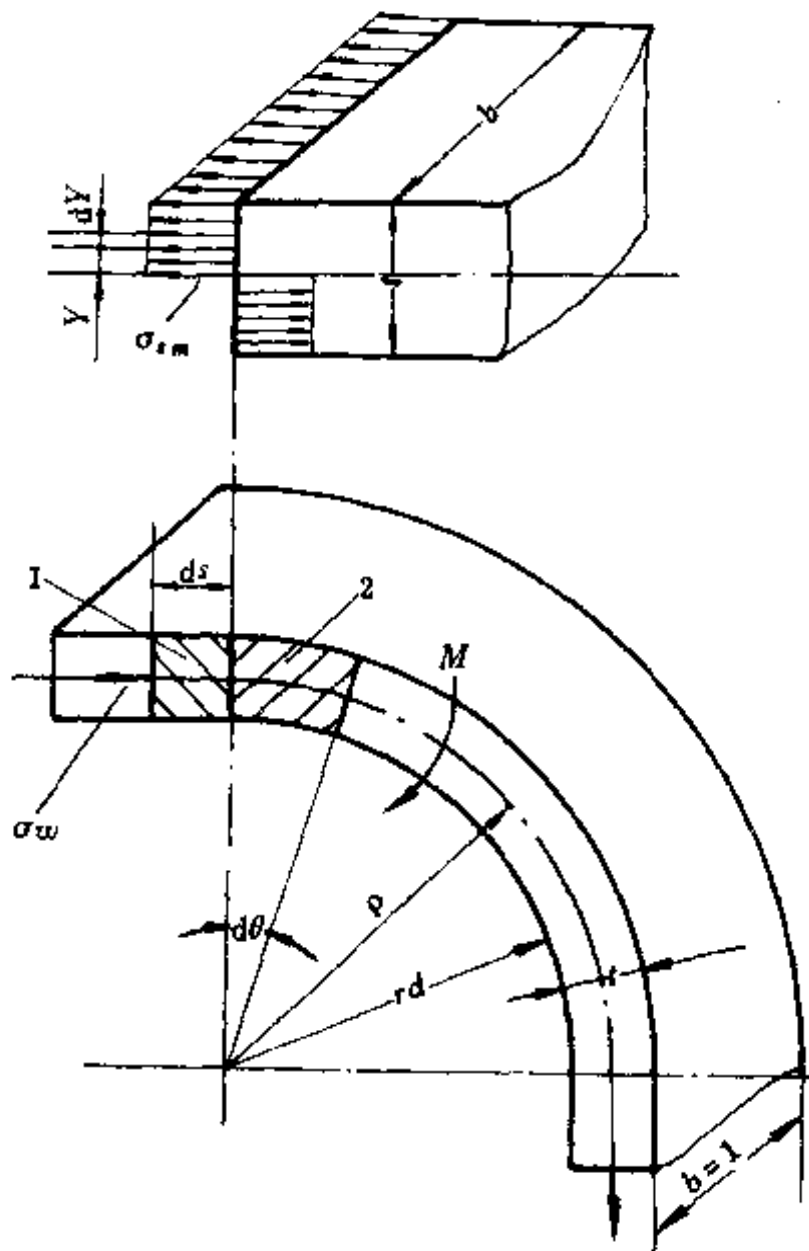


图 4-10 条料沿凹模口弯曲时受力简图
 M —弯曲外力矩； $d\theta$ —一条料移动对应的中心角；
 ds —一条料中性层移动距离； ρ —一条料弯曲半径；
 b —一条料宽； t —一条料厚。

如果没有压边, 则压边力 $Q=0$, 因而不存在凸缘处的摩擦, 所以毛坯筒壁的拉应力为

$$\begin{aligned} p &= (1.1\sigma_{sm}\ln\frac{R_f}{R} + \frac{\sigma_{sm}t}{2r_d+t})(1+1.6\mu) \\ &= \sigma_{sm}(1.1\ln\frac{R_f}{R} + \frac{t}{2r_d+t})(1+1.6\mu) \end{aligned} \quad (4-22)$$

二、拉深力与拉深功计算

计算拉深力与拉深功是为了合理地选择设备规格、正确地设计模具。

通过对拉深过程的力学分析, 已得到在采用压边圈及不采用压边圈两种情况下, 毛坯筒壁拉应力 p 的理论计算公式 (4-21) 及式 (4-22)。将式 (4-21) 及式 (4-22) 代入式 (4-1) 则为圆筒件拉深的理论公式。

带压边圈时的拉深力

$$P = \pi dt(1.1\sigma_{sm}\ln\frac{R_f}{R} + \frac{2\mu Q}{\pi dt} + \frac{\sigma_{sm}t}{2r_d+t})(1+1.6\mu) \quad (4-23)$$

不带压边圈时

$$P = \pi dt(1.1\sigma_{sm}\ln\frac{R_f}{R} + \frac{\sigma_{sm}t}{2r_d+t})(1+1.6\mu) \quad (4-24)$$

由于理论计算比较复杂, 在生产中, 一般采用经验公式进行计算。经验公式的建立是基于这样一个论点: 拉深力的数值应略小于拉深工件危险截面的断裂力; 断裂力与拉深力的比值可用系数 K 来表示; K 值的大小取决于拉深件的形状及变形方式, 其数值是由试验确定的。拉深力的经验公式如下:

筒形件的首次拉深

$$P = K_1\pi d_1 t\sigma_b \quad (4-25)$$

筒形件以后各次拉深

$$P = K_2\pi d_n t\sigma_b \quad (4-26)$$

筒形件的变薄拉深

$$P = K_3\pi d_n(t_{n-1} - t_n)\sigma_b \quad (4-27)$$

矩形件、方形件、椭圆形件等的拉深

$$P = KLt\sigma_b \quad (4-28)$$

式中 P ——拉深力(N);

K_1, K_2 ——修正系数, 见表 4-2;

K_3 ——系数, 对钢取 1.8 ~ 2.25, 对黄铜取 1.6 ~ 1.8;

K ——系数, 可取 0.5 ~ 0.8;

d_1, d_n ——第一次, 以后各次拉深件的直径(mm);

L ——拉深件断面周长(mm);

t ——材料厚度(mm);

t_{n-1}, t_n ——第 $(n-1)$ 道、第 n 道拉深件的工件壁厚(mm);

σ_b ——材料的强度极限(MPa)。

对于采用压边圈的拉深，作用在压机滑块上的力，除拉深工艺力 P 以外，还有压边力 P_0 。在生产实践中，压边力的计算多数采用经验公式。

任何形状的拉深件

$$P_0 = F \cdot q \quad (4-29)$$

表 4-2 修正系数 K_1 、 K_2 和 λ_1 、 λ_2

拉深系数 m_1	0.55	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80	—	—	—
K_1	1.00	0.93	0.86	0.79	0.72	0.66	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	—	—	—
λ_1	0.80	—	0.77	—	0.74	—	0.70	—	0.67	—	0.64	—	—	—
拉深系数 m_2	—	—	—	—	—	—	0.70	0.72	0.75	0.77	0.80	0.85	0.90	0.95
K_2	—	—	—	—	—	—	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70	0.60	0.50
λ_2	—	—	—	—	—	—	0.80	—	0.80	—	0.75	—	0.70	—

表 4-3 单位压边力 p_0

材料名称	p_0 (MPa)	
铝	0.8~1.2	
紫铜、硬铝(退火)	1.2~1.8	
黄铜	1.5~2.0	
软 钢	$t < 0.5\text{mm}$	2.5~3.0
	$t > 0.5\text{mm}$	2.0~2.5
镀锡钢板	2.5~3.0	
高合金钢、高锰钢不锈钢	3.0~4.5	
高温合金(软化状态)	2.8~3.5	

首次拉深的筒形件

$$P_0 = 0.25\pi[D^2 - (d_1 + 2r_{d1})^2]p_0 \quad (4-30)$$

以后各次拉深的筒形件

$$P_0 = 0.25\pi[d_{n-1}^2 - (d_n + 2r_{dn})^2]p_0 \quad (4-31)$$

式中 P_0 ——压边力(N)；

D ——毛坯直径(mm)；

$d_1 \cdots d_{n-1}, d_n$ ——第一道以及第 $n-1$ 道、第 n 道拉深件直径(mm)；

r_{d1}, r_{dn} ——第一道、第 n 道拉深模的凹模圆角半径(mm)；

F ——开始拉深时，压边圈下毛坯面积(应除出凹模圆角部分，mm²)；

p_0 ——单位压边力，考虑了材料种类、材料厚度、润滑剂以及拉深系数等因素的影响，其数值见表 4-3(MPa)。

因此，总的拉深力 P_2 等于

$$P_2 = P + P_0 \text{ (N)} \quad (4-32)$$

拉深时，拉深行程通常比较大。最大拉深力出现时，滑块距下死点位置的距离往往较所用压力机的公称压力行程 S_s 要大，因而不能简单地用公式 (4-32) 所得到的总拉深力 P_T 去选用压力机，而是要考虑压力机允许负荷曲线的变化规律，即在公称压力行程 S_s 以内，压力机可用公称压力 P_s 工作；工作行程大于压力机公称压力行程时，则应将压力机允许的工作压力降低，工作行程越长，压力机允许工作压力也越低。图 4-11 表示出拉深力变化曲线与压力机允许负荷曲线的关系，必须保证最大拉深力不超过压力机允许负荷。该图所示 P_T 已超过允许值。

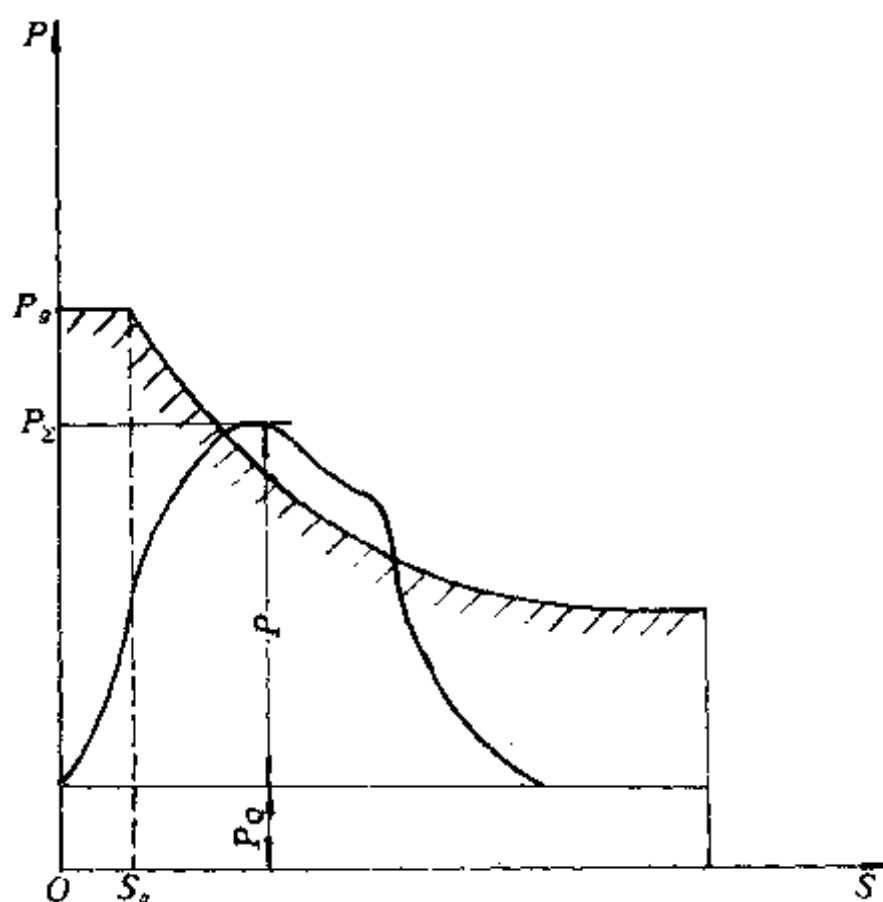


图 4-11 拉深工作负荷与压力机允许负荷的关系

为了适应压力机允许负荷变化规律，选择压力机可按下述经验公式进行

$$\text{浅拉深时,} \quad P_T \leq 70\% \sim 80\% P_s \quad (4-33)$$

$$\text{深拉深时,} \quad P_T \leq 50\% \sim 60\% P_s \quad (4-34)$$

式中 P_T —— 总拉深力；

P_s —— 压力机的公称压力。

拉深过程拉深力是不断变化的，由上述拉深力的计算公式得出的是最大拉深力。因而在计算拉深功时，应取平均拉深力才符合实际情况，为此引入修正系数 λ_1 及 λ_2 。

单次行程所需拉深功

第一道拉深

$$A_1 = \frac{\lambda_1 P_{1\max} h_1}{1000} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (4-35)$$

以后各道拉深

$$A_n = \frac{\lambda_2 P_{1\max} h_2}{1000} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (4-36)$$

式中 λ_1, λ_2 ——修正系数。为平均拉深力与最大拉深力之比值，见表 4-2；
 P_{1max}, P_{nmax} ——第一道、第 n 道拉深时的最大拉深力 (N)；
 h_1, h_n ——第一道、第 n 道拉深时的拉深件高度 (mm)。

当采用压边圈压边时，则压边力也要做功。假设压边力为常数，则压边功 A_0 为

$$A_0 = Qh/1000 \quad (\text{J}) \quad (4-37)$$

式中 Q ——压边力 (N)；

h ——拉深行程 (mm)。

所选的压力机的电机功率可按下式校核

$$N = \frac{K(A + A_0)nC_s}{60 \times 1000 \times \eta} \quad (\text{kW}) \quad (4-38)$$

式中 K ——不均匀系数， $K = 1.2 \sim 1.6$ ，压力机行程次数低的取下限，高的取上限；

A ——拉深功 (J)；

A_0 ——压边功 (J)；

n ——所选压力机每分钟的行程次数；

C_s ——行程利用系数，与压力机行程快慢有关。手工送料时，

当 $n = 40 \sim 70$ ， $C_s = 0.45 \sim 0.55$

$n = 20 \sim 40$ ， $C_s = 0.50 \sim 0.65$

$n < 15$ ， $C_s = 0.7 \sim 0.85$

采用自动送料时， $C_s = 100\%$

η ——压力机总效率，对带拉深垫的压力机， $\eta = 45\%$ ；

1000 ——由 Nm/s 转换成 kW 时所用的单位转换系数。

要求所选压力机的电动机功率应大于或等于上式所计算的功率。

第三节 起皱和拉裂

在拉深过程中，拉深件的质量问题表现有：起皱、拉裂、材料变薄、表面划痕、形状歪扭及回弹等。在这些现象中，以起皱及拉裂对拉深件质量影响最大，发生的机会也最多。据统计，由于起皱及拉裂而产生的废品占拉深件总废品率的 80%~90%。因而分析研究拉深过程起皱、拉裂产生的原因及防止措施，对保证拉深工艺的顺利进行，以及保证拉深件的质量均有重大意义。

一、起皱

工件在拉深过程，其凸缘部分由于切向应力过大，造成材料失稳，使得工件沿凸缘切向形成高低不平的皱纹，称为起皱。

拉深件的起皱直接影响其表面质量及尺寸精度。起皱严重时，还将引起坯料在拉深过程中，难于通过凸模和凹模之间的间隙，增大拉深变形力，甚至使得坯件拉裂。

凸缘的失稳与压杆的受压失稳相似，失稳现象的产生，既取决于凸缘切向应力的 大小，也取决于拉深件的相对厚度。通常从两个方面来分析：

(1) 毛坯的相对厚度 t/D_0

毛坯相对厚度越小，相当于压杆的长径比越大，其抗失稳能力越差，也越易起皱。

(2) 拉深系数 $m=d/D_0$

拉深系数越小，变形程度越大，材料硬化程度越严重，使坯件产生变形的切向压应力也随之增大。拉深系数小时，凸缘变形区宽度就大，其抗失稳能力也相应减弱。从切向应力的 大小及抗失稳能力的强弱两方面来看，拉深系数越小，起皱现象也越严重。

要准确定量地判断拉深件何时起皱，是个相当复杂的问题。理论上，从凸缘部分在切向应力作用下的失稳条件出发，进行分析计算，往往过于繁琐而不便应用。在生产中可采用经验公式近似估算。毛坯不产生起皱的条件：

对于常用的平端面凹模

$$t/D_0 \geq (0.09 \sim 0.17)(1 - m) \quad (4 - 39)$$

或者

$$t/d \geq (0.09 \sim 0.17)(K - 1) \quad (4 - 40)$$

对于锥形凹模

$$t/D_0 \geq 0.03(1 - m) \quad (4 - 41)$$

或者

$$t/d \geq 0.03(K - 1) \quad (4 - 42)$$

式中 t ——坯料的厚度；

D_0 ——毛坯的直径；

d ——拉深件直径；

m ——拉深系数， $m=d/D_0$ ；

K ——拉深比， $K=1/m=D_0/d$ 。

如果拉深件有关参数不能满足上述条件，拉深过程就会起皱，此时应采取相应措施防止起皱产生。

要防止起皱，一般不允许改变坯件的相对厚度，因相对厚度是在工件设计时制定的。因此，在生产中主要从改变工件变形时的变形方式，以及受力特点出发，来防止起皱。

防止拉深件的起皱的具体措施有：

(1) 采用压边圈 当采用压边圈时，压边圈将毛坯变形部分紧紧压住，并对其作用一压边力 P_0 ，以阻止凸缘部分拱起而起皱。

压边力 P_0 数值应恰当，压边力过大毛坯与凹模及压边圈间的摩擦力将增大，使得工件壁部严重变薄，甚至拉裂。压边力过小，则不能有效地防止毛坯起皱。合理的压边力的计算见第二节所述。

常采用的压边装置有两大类：

a. 弹性压边装置 弹性压边装置是采用弹簧、橡皮、聚氨酯橡胶、气垫等弹性元件来实现压边。这种装置结构简单，使用方便。但其给出的压边力 P_0 是随着拉深深度的加大反而增加，这与实际要求的规律很不相符，故压边效果并不理想，因而只用于浅拉深的压边。

如图 4-12 所示为普通单动压力机用拉深模的弹性压边装置。

b. 刚性压边装置 刚性压边装置装在双动拉深压力机的外滑块上, 这种压边装置的特点是: 压边力随压边要求而变化, 压边效果较好, 故适于深拉深的压边。

刚性压边装置通过调整压边圈与凹模平面间的间隙 Z 来调整压边力。因在拉深过程凸缘部分的材料略有增厚, 因而所调整的间隙值 Z 应略大于材料的厚度 t , 一般等于 $1.03t \sim 1.07t$ 。

图 4-13 所示为双动压力机采用刚性压边的装置。

(2) 采用反拉深 反拉深是一种拉深方法, 其坯件是已经过拉深的空心毛坯。拉深时将空心毛坯翻转装在拉深模上, 凸模从空心毛坯底部反向压下, 使其内壁外翻。由于凸模对毛坯的拉深方向与上一道工序相反, 故称反拉深, 其工作原理如图 4-14 所示。

采用反拉深时, 空心毛坯是扣装在凹模上, 毛坯与凹模间的摩擦阻力较正拉深大, 同时还增加了弯曲力, 因而使变形区的径向拉应力增加较大, 对防止工件的起皱有明显效果。但在毛坯外缘流经凹模入口时, 摩擦及弯曲等作用引起的阻力明显减小, 故对于大直径薄材料件的反拉深, 还必须辅以压边, 才能有效地防止工件起皱。

反拉深一方面用于防止拉深件起皱, 另一方面也用于某些用正拉深方法难以加工的特殊形状工件的加工。如图 4-15 所示是很适于反拉深加工的两个零件, 如将其改为正拉深加工, 则要增加工序数目, 降低零件质量, 甚至无法加工。

采用反拉深加工还具有下述特点:

a. 反拉深时由于材料流动方向与前面正拉深相反, 有利于正、反拉深所形成的残余应力相互抵消。

b. 反拉深时, 材料弯曲与反弯曲次数较少, 加工硬化也较少, 有利于加工成形。

c. 反拉深的拉深系数不能过大, 否则拉深凹模壁厚太薄, 强度不足。

d. 反拉深的凹模圆角半径, 受拉深件尺寸限制不能太小, 因而不适于小直径原材料的零件拉深。

(3) 采用拉深筋 对一些形状复杂的曲面拉深件, 尤其是凸缘较小的拉深件, 应设有拉深筋, 以提高拉深时的径向拉应力 σ_r 来预防起皱。

拉深筋应设置在径向拉应力较小的部位上, 即在金属流动较易的部位。对凸缘较小

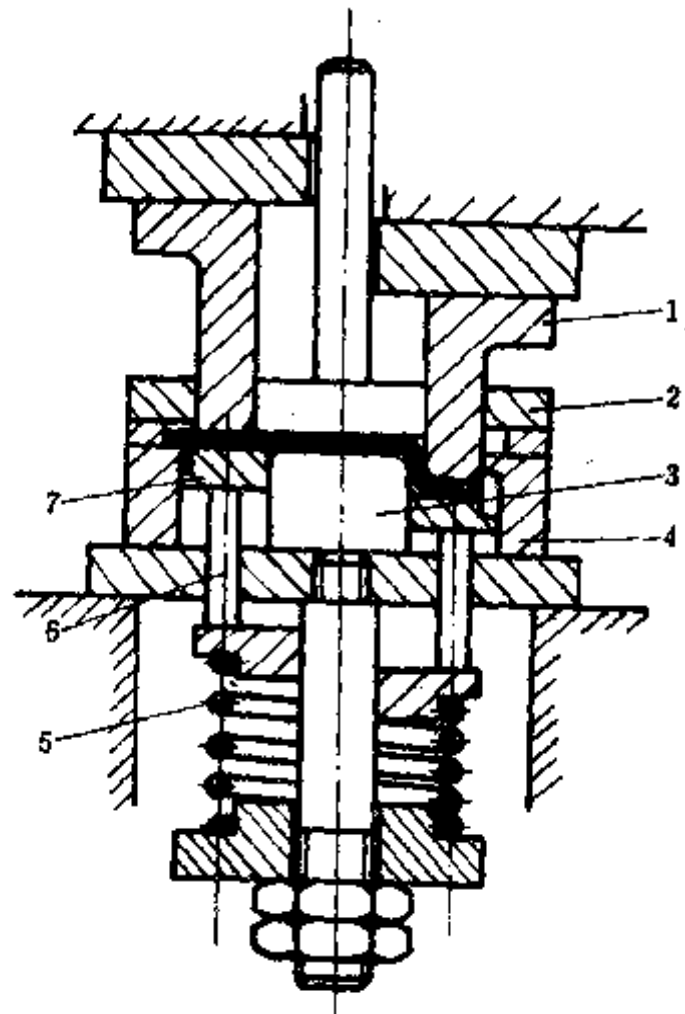


图 4-12 弹性压边装置

- 1—落料凸模拉深凹模 (凸凹模);
2—卸料板; 3—拉深凸模;
4—落料凹模; 5—弹簧;
6—顶杆; 7—压边圈。

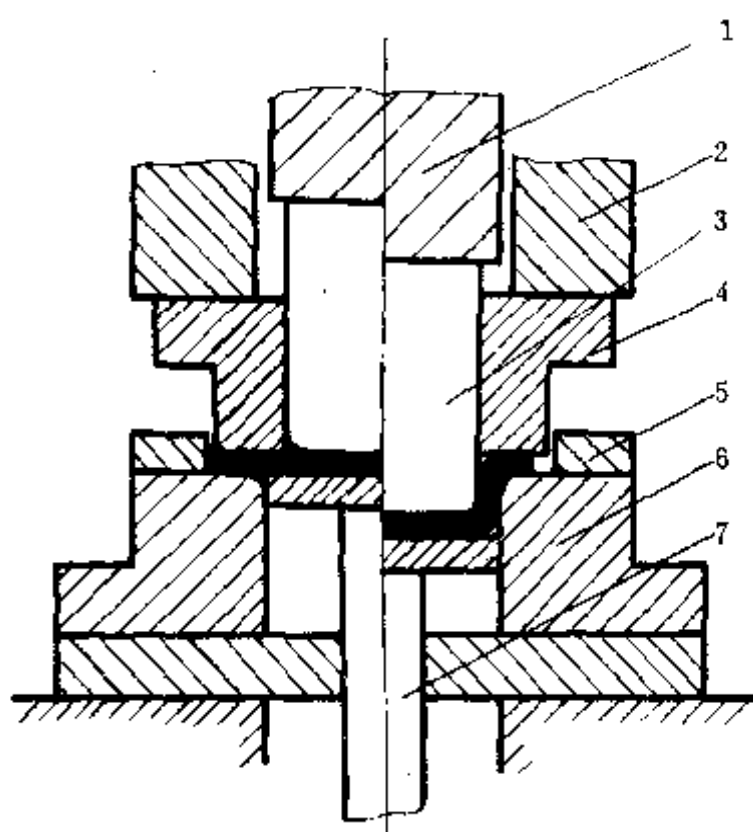


图 4-13 刚性压边装置

1—内滑块；2—外滑块；3—拉深凸模；
4—压边装置；5—定位装置；6—拉深凹模；7—顶出装置。

的零件，为了设置拉深筋，有时可适当增加一些材料（称工艺补充部分），修边时再将这部分材料修掉。

(4) 采用锥形凹模 采用锥形凹模拉深，毛坯的过渡形状成曲面形；因而外缘变形区具有更强的抗失稳能力，且能较好地防止起皱。

采用锥形凹模拉深，还可降低凹模圆角半径处的摩擦阻力和弯曲变形阻力；凹模锥面对毛坯变形的作用力也有利于变形区的切向压缩变形；这就使得拉深力相应减小，拉深系数也可较平面凹模为小，有利于拉深成形。

为了防止起皱，锥形凹模的锥形角应取 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，为了减少拉深力，锥形角应取 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，通常采用 30° 的锥形角以兼顾这两方面的要求，如图 4-16 所示为锥形拉深凹模简图。

(5) 采用软模拉深 所谓软模就是指

以橡皮、聚氨酯橡胶或液体充当凸模或凹模的冲压模具。它可用以完成变曲、拉深、翻

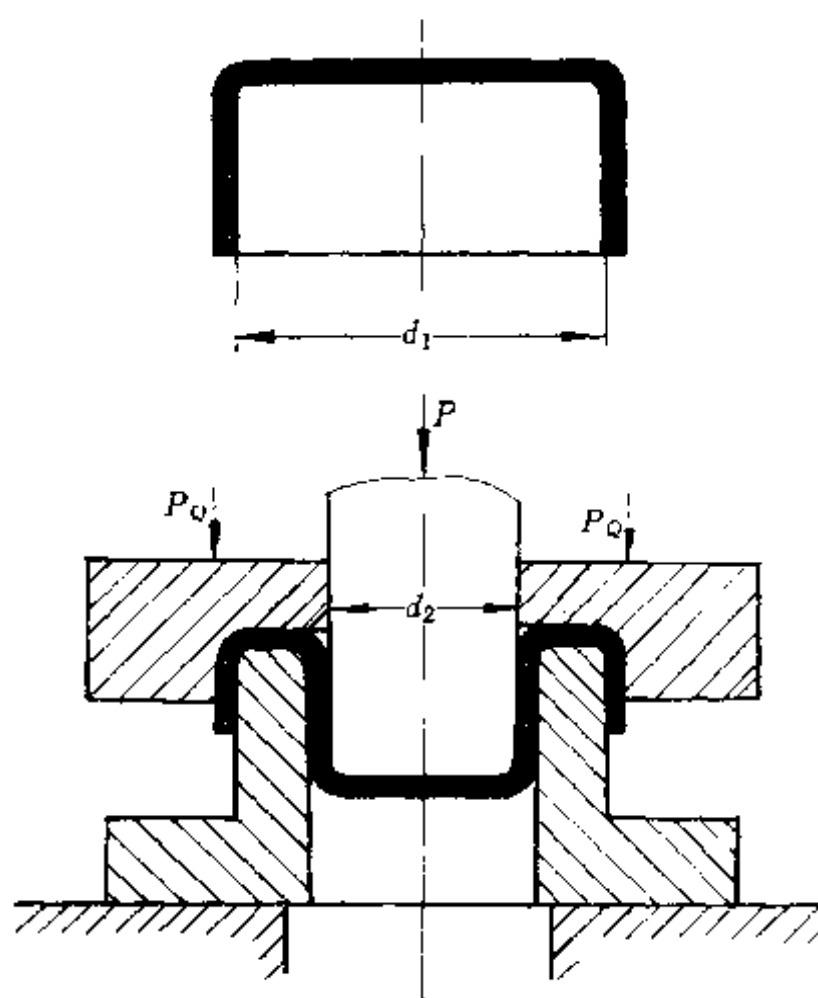


图 4-14 反拉深工作原理图

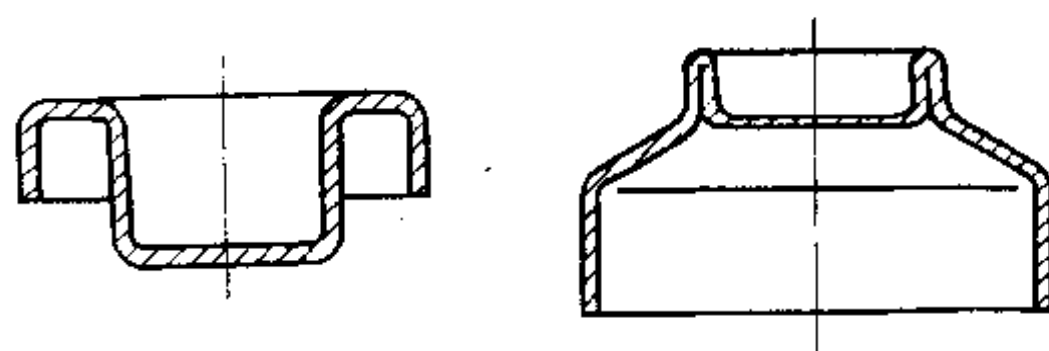


图 4-15 反拉深典型零件

边、成形、胀形和冲裁等工序。采用软模可简化模具结构，降低模具成本，但由于生产率较低，往往只用于小批生产。

如图 4-17 所示软模，是以橡皮代替凹模的软拉深模。拉深时软凹模产生很大的压力，将毛坯紧紧地压紧在凸模上，增加了毛坯与凸模间的摩擦力，防止毛坯变薄拉裂，因而筒壁的传力能力增强。拉深时还能减少毛坯与凹模间的滑动及摩擦，降低了径向拉应力。因而能显著地降低极限拉深系数，使拉深系数 m 可达 0.4~0.45，并且也能很好地防止毛坯的起皱。

上面所介绍的防止起皱的措施，各有其特点。使用时应根据具体情况选择，有时往往是两种措施同时使用。

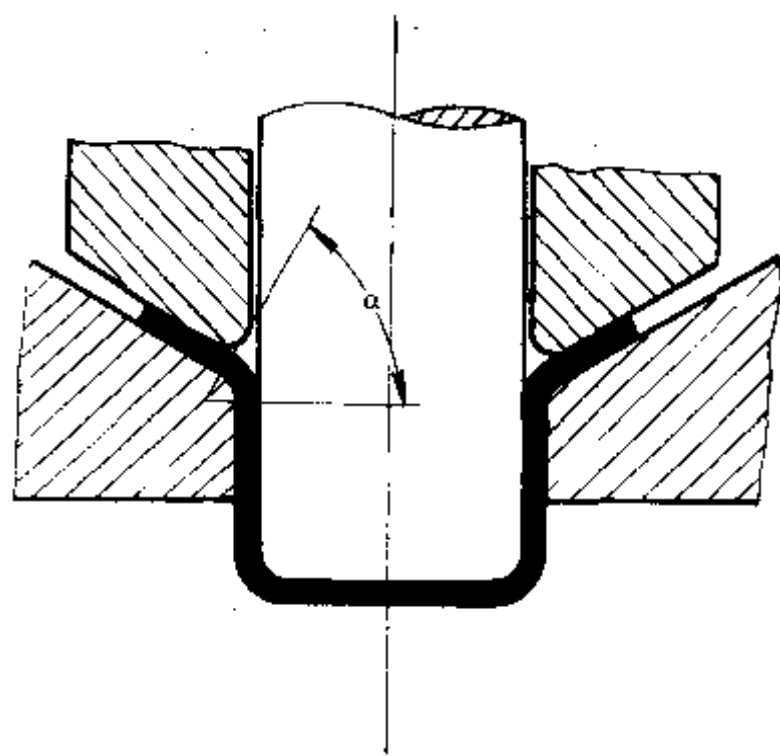


图 4-16 锥形拉深凹模简图

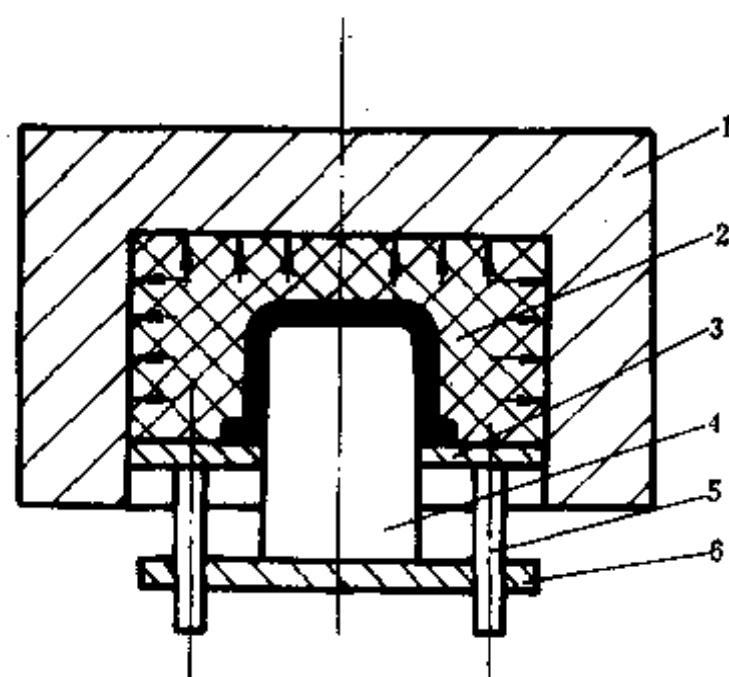


图 4-17 橡皮拉深示意图

1—模框；2—橡皮；3—压边圈；
4—凸模；5—顶杆；6—凸模座。

二、拉裂

拉裂是拉深工艺中的主要问题。当筒壁处所受的拉应力超过了材料的强度极限时，工

件就会拉裂，裂口一般出现在凸模圆角稍上一点的筒壁处。

具体说来，拉深件产生破裂的条件是

$$p \geq \sigma_1 \quad (4-43)$$

式中 p ——筒壁拉应力，由公式(4-21)知

$$p = (1.1\sigma_{sm} \ln \frac{Rt}{R} + \frac{2\mu P_0}{\pi dt} + \frac{\sigma_{sm} t}{2r_d + t})(1 + 1.6\mu)$$

σ_1 ——危险断面上的实际有效抗拉强度，其数值为筒壁区的抗拉强度与材料绕凸模圆角弯曲产生的弯曲应力之差，即

$$\sigma_1 = 1.155\sigma_b - \frac{\sigma_{sm} t}{2r_p + t} \quad (4-44)$$

从上述公式分析可知，影响筒壁强度的因素有：毛坯材料的机械性能、毛坯直径及厚度、拉深系数、凸模及凹模圆角半径、压边力及摩擦系数等。因此，为了防止工件严重变薄、拉裂，在制定工艺、设计模具及进行生产时，应注意：

(1) 合理选用材料 工件材料的选用除应满足工件需要外，还应考虑工艺的要求。一般说来选用材料时要考虑下列几个性能指标：

屈强比 σ_s/σ_b 要小。屈强比小，屈服极限 σ_s 小，材料易变形；强度极限 σ_b 高，材料不易破裂。即提高了公式(4-43)中的 σ_1 值，降低了式中的 p 值，使工件不易破裂。

厚向异性指数 r 要大。 r 值为拉伸试验时宽度应变 ε_b 与厚度应变 ε_t 之比，其数值愈大，厚度应变愈小，壁部变薄小，不易破裂。

(2) 正确确定凸模、凹模圆角半径 凹模圆角半径过小，会使拉深力加大，材料变薄增加。凹模圆角半径过大，会使毛坯过早脱离压边而产生皱纹。因此在保证工件不起皱的前提下，尽可能加大凹模圆角半径。

凸模圆角半径对拉深力影响较小，但若其尺寸过小，则会使工件筒壁变薄增大，材料绕凸模圆角变曲的弯曲应力增加，都会严重降低筒壁强度。

通常凹模圆角半径 r_d 可取

$$r_d = (6 \sim 10)t \quad (4-45)$$

薄料取上限，厚料取下限。

凸模圆角半径 r_p 可取

$$r_p = (0.7 \sim 1.0)r_d \quad (4-46)$$

(3) 合理选取拉深系数 拉深系数取得过小，虽可加大变形程度，减小拉深次数，但却大大增加拉深应力，使工件筒壁严重变薄，甚至导致拉裂。例如：用同样的凹模圆角半径，同样的润滑条件，对料厚为 1mm 的 10 钢拉深件进行拉深，采用拉深系数 m 为 0.656 时，筒壁危险断面处变薄量为 5.7%，而 m 为 0.475 时，变薄量增至 13.5%。

因此，在选取拉深系数时，应全面考虑，不要片面追求过小的拉深系数。

(4) 正确进行润滑 拉深时，采用必要的润滑，有利于拉深工艺的顺利进行，筒壁减薄得到改善。但必须注意润滑剂只能涂在凹模的工作表面，而在凸模与毛坯接触面间千万不要润滑，因凸模与毛坯表面间的摩擦是属有利摩擦，它可防止工件滑动、拉深及变薄。

第四节 拉深件毛坯计算

拉深件毛坯形状及尺寸的确定，直接关系到拉深工艺的进行、拉深件的精度及质量以及冲压生产的经济性，其意义是重大的。

实践证明，拉深工件的平均厚度与毛坯料厚相差不大，为计算方便，可将料厚变化忽略不计。因此拉深件的毛坯计算是根据工件面积和毛坯面积相等的原则进行的。

一、拉深件的修边余量

拉深时，由于工件尺寸的不对称，材料性能的方向性，模具间隙的不均匀以及压边力及润滑条件的不一致，都可能使所拉深的顶端或外缘不平齐、不规则，这就需要进行修边。因此在计算毛坯时，应将修边余量 Δh 再加上 δ 值。

各类拉深件的修边余量简图如图 4-18 所示。修边余量的数值与拉深件的几何形状、工件的相对高度、凸缘的相对直径等因素有关（见表 4-4、表 4-5 及表 4-6）。

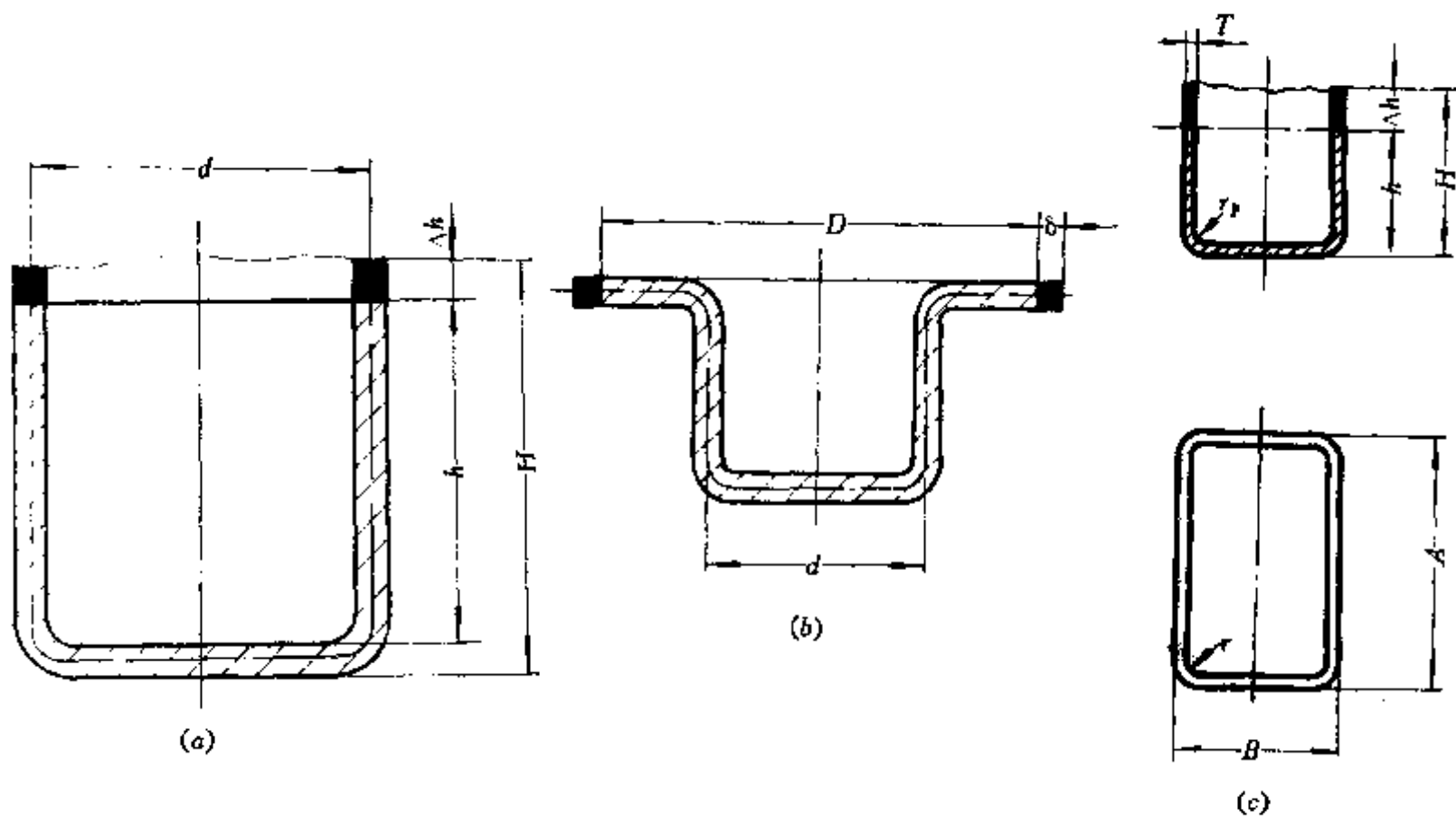


图 4-18 拉深件修边余量图

(a) 无凸缘圆筒件；(b) 带凸缘圆筒件；(c) 无凸缘矩形件。

二、形状简单的回转体拉深件毛坯计算

对于形状简单的回转体拉深件，可将其划分成如表 4-7 所示的简单几何形状，分别求出各部分面积并相加，则为工件总面积 A

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n = \sum A_i \quad (4-17)$$

式中 $A, \sum A_i$ ——拉深件总面积；

$A_1, A_2 \dots A_n$ 分别为各简单几何形状面积（见表 4-7）。

表 4-4 无凸缘圆筒件修边余量 Δ (mm)

拉深件高 h	拉深件相对高度 h/d			
	0.5~0.8	>0.8~1.6	>1.6~2.5	>2.5~4.0
≤ 10	1.0	1.2	1.5	2.0
>10~20	1.2	1.6	2.0	2.5
>20~50	2.0	2.5	3.3	4.0
>50~100	3.0	3.8	5.0	6.0
>100~150	4.0	5.0	6.5	8.0
>150~200	5.0	6.3	8.0	10.0
>200~250	6.0	7.5	9.0	11.0
>250	7.0	8.5	10.0	12.0

表 4-5 带凸缘圆筒件修边余量 δ (mm)

凸缘直径 D	凸缘相对直径 D/d			
	<1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
≤ 25	1.6	1.4	1.2	1.0
>25~50	2.5	2.0	1.8	1.6
>50~100	3.5	3.0	2.5	2.2
>100~150	4.3	3.6	3.0	2.5
>150~200	5.0	4.2	3.5	2.7
>200~250	5.5	4.6	3.8	2.8
>250	6.0	5.0	4.0	3.0

表 4-6 无凸缘盒形件修边余量 Δ (mm)

工件相对高度 h/r	修边余量 Δ
2.5~6	$(0.03 \sim 0.05) h$
7~17	$(0.04 \sim 0.06) h$
18~44	$(0.05 \sim 0.08) h$
45~100	$(0.06 \sim 0.10) h$

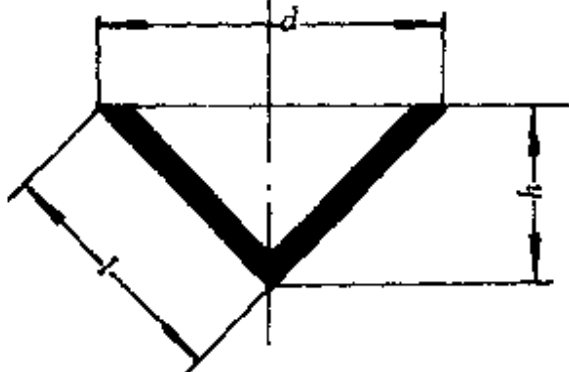

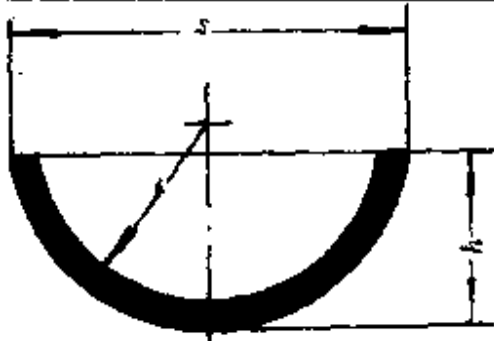
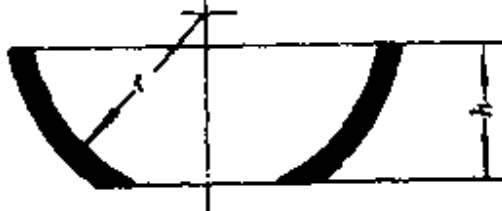
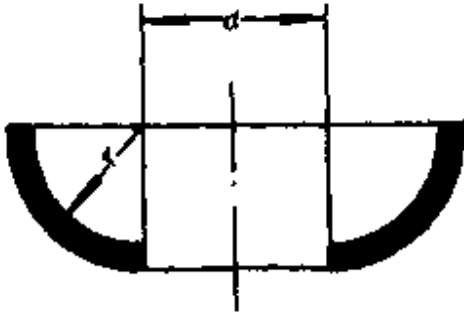
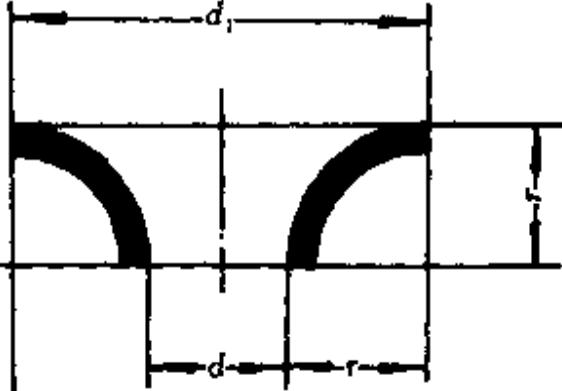
简单回转体的毛坯为圆形，根据面积相等原则，可得毛坯直径 D_0 为

$$D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} A} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum A_i} \quad (4-18)$$

计算工件直径应按厚度中线进行，在料厚小于 1mm 时，可按工件的内径或外径进行。以圆筒形拉深件为例，其面积由筒形、1/4 凸球带、圆片等三部分组成，总面积为

$$A = \pi d_2 h + \frac{\pi}{4} (2\pi d_1 + 8r^2) + \frac{\pi d_1^2}{4} \quad (4-49)$$

表 4-7 简单几何形状面积计算公式

序号	名称	简图	面积计算公式
1	圆锥		$A = \frac{\pi}{2} dl$ 或 $A = \frac{\pi}{4} d \sqrt{d^2 + 4h^2}$
2	圆锥台		$A = \frac{\pi l}{2} (d + d_1)$ 式中 $l = \sqrt{h^2 + \left(\frac{d-d_1}{2}\right)^2}$
3	球冠 (小半球面)		$A = 2\pi rh$ 或 $A = \frac{\pi}{4} (s^2 + 4h^2)$
4	球台 (球带)		$A = 2\pi rh$
5	1/4 凸球带		$A = \frac{\pi}{2} r (\pi d + 4r)$
6	1/4 凹球带		$A = \frac{\pi}{2} r (\pi d_1 - 4r)$

(续)

序号	名称	简图	面积计算公式
7	部分凸球带		$A = \pi (d_1 + 2rh)$ 式中 $h = r (1 - \cos \alpha)$ $l = \frac{\pi r \alpha}{180^\circ}$
8	部分凹球带		$A = \pi (d_1 - 2rh)$ 式中 $h = r (1 - \cos \alpha)$ $l = \frac{\pi r \alpha}{180^\circ}$

根据式 (4-49), 可得毛坯直径为

$$D_0 = \sqrt{d_1^2 + 2\pi d_1 r + 8r^2 + 4d_2 h} \quad (4-50)$$

式中 D_0 —— 毛坯直径;
 d_2 —— 筒形直径;
 h —— 筒形高度 (应包括修边余量);
 d_1 —— 圆片直径;
 r —— 凸球带半径。

三、复杂形状回转体拉深件的毛坯计算

对于复杂形状的回转体件, 其毛坯尺寸可按形心法 (久里金法) 求得。

形心法计算回转体面积的公式为

$$A = 2\pi LX \quad (4-51)$$

式中 A —— 回转体面积;
 L —— 回转体母线长度;
 X —— 母线重心至回转轴线之距。

公式的意义是: 回转体面积等于回转体的外形母线长度 L 与其重心绕轴线旋转一周所得的周长 ($2\pi X$) 的乘积。

实际上计算回转件面积时, 是将复杂的回转件分为简单的直线及圆弧来进行的。因而式 (4-51) 就可写为

$$A = 2\pi LX = 2\pi \sum l_i \cdot x_i \quad (4-52)$$

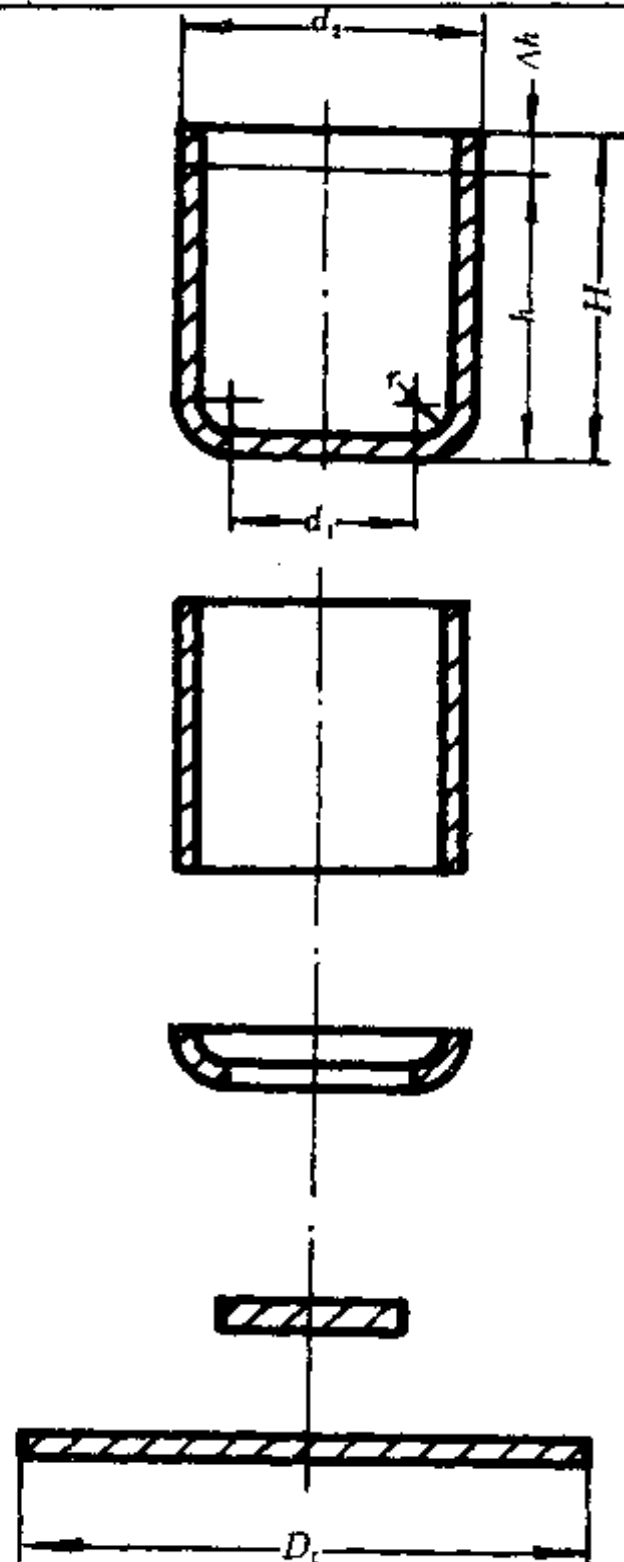


图 4-19 圆筒形拉深件面积计算简图

根据面积相等原则，毛坯直径为

$$D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} LX} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum l_n x_n} \quad (4-53)$$

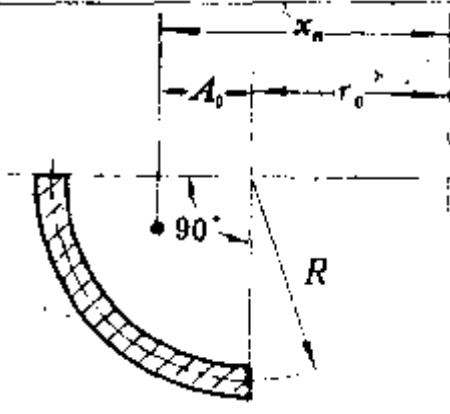
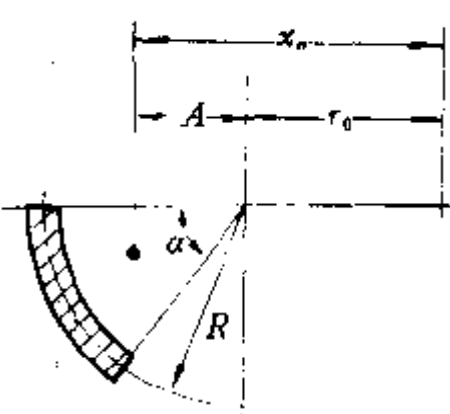
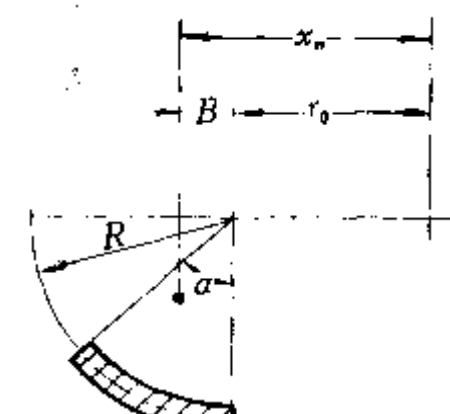
式中 L_n ——各线段的长度；

x_n ——各线段重心至回转轴的距离。

显而易见，计算毛坯直径的关键就在于求出各线段的重心至回转轴之距 x_n 。

对于直线线段，线段重心在线段中心，对于圆弧线段，其重心至回转轴之距 x_n ，均可按表 4-8 所列公式计算求得。

表 4-8 圆弧线段 x_n 的计算公式

序号	条 件	图 例	计 算 公 式
1	$\alpha=90^\circ$ 时		$x_n = A_0 + r_0 = \frac{2}{\pi} R + r_0$
2	$\alpha < 90^\circ$ ，圆弧与水平线相交		$x_n = A + r_0 = \frac{R180 \cdot \sin \alpha}{\pi \alpha} + r_0$
3	$\alpha > 90^\circ$ ，圆弧与垂直线相交		$x_n = B + r_0 = \frac{R180 \cdot (1 - \cos \alpha)}{\pi \alpha} + r_0$

注： α 角——圆弧线段中心角； R ——圆弧半径； r_0 ——回转轴至各段圆弧中心之距； O 轴——圆弧中心轴线； A 、 B ——分别为圆弧与水平线及垂直线相交时圆弧重心至圆弧中心轴线之距。

四、盒形件毛坯计算

盒形件可看成由圆角部分及直边部分组成（见图 4-20）。其变形如圆弧部分可认为近似圆筒件拉深，直边部分近似平板弯曲。但两部分并非截然分开，变形时要相互制约，

且圆角部分的金属要向直边部分流动。

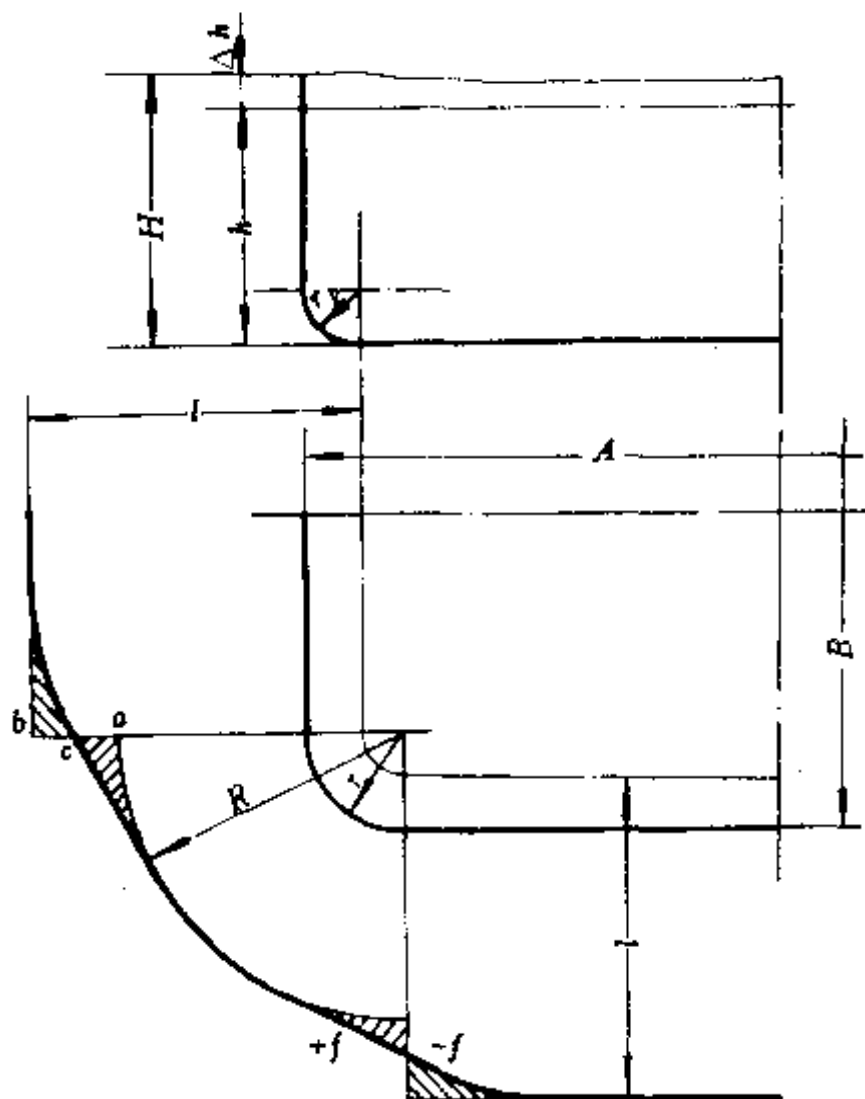


图 4-20 低盒形件的毛坯计算

由于盒形件拉深变形比较复杂，在生产中往往要采用经验作图法初定毛坯尺寸，然后在试模中进行修正。

盒形件按其几何尺寸，可分两种情况。

(一) 低盒形件毛坯计算

先把四个圆角部分按圆筒件拉深计算，四条直边按弯曲计算，即

$$\text{圆角部分} \quad R = \sqrt{r^2 + 2rH} - 0.86r_p(r + 0.16r_p) \quad (4-54)$$

在 $r=r_p$ 时

$$R = \sqrt{2rH} \quad (4-55)$$

直边部分

$$L = H + 0.57r_p = h + \Delta h + 0.57r_p \quad (4-56)$$

式中 R —— 圆角部分的毛坯半径；

r —— 圆角部分半径；

r_p —— 凸模半径；

H —— 包括修边余量的工件总高；

h —— 工件高度；

Δh —— 修边余量；

L —— 直边部分的展开长度。

在计算出圆角及直线尺寸后，将其展开并以圆滑曲线将两部分连接，并使圆弧部

分增加的面积与直边部分减少的面积相等。

具体作法是：从 ab 线段的中点 c ，向圆弧部分作切线；再以 R 为半径作圆弧并切于该切线及直边，使得阴影部分的面积 $+f$ 等于 $-f$ （见图 4-20）。

(二) 高盒形件毛坯计算

对于高度较大，圆角半径也较大的方盒形件，可采用圆件毛坯，毛坯直径可取

$$D = 1.13 \sqrt{B^2 + 4B(H - 0.43r)} - 1.72r(H + 0.5r) - 4r(0.11r - 0.18r) \quad (4-57)$$

式中 B ——方盒边宽。

对于高度和圆角半径都较大的矩形件，则可采用长圆形毛坯，毛坯窄边的曲率半径按半个方盒计算，即

$$R = \frac{1}{2}D \quad (4-58)$$

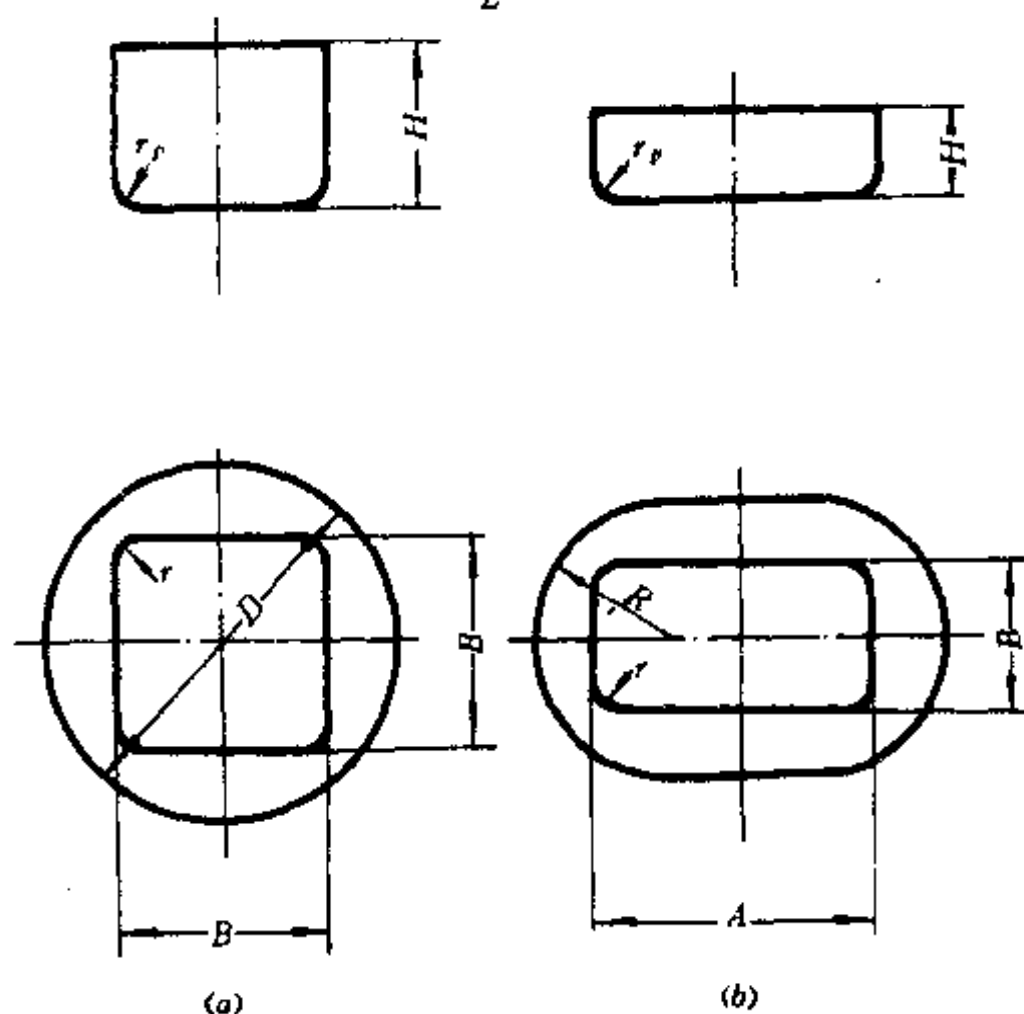


图 4-21 高盒形件毛坯计算

(a) 方形盒毛坯的形状及尺寸；(b) 矩形盒毛坯的形状及尺寸。

高盒形件毛坯形状及尺寸如图 4-21 所示。

第五节 直壁类回转件的拉深

一、圆筒形零件的拉深

(一) 拉深系数与拉深次数

在生产中，由于拉深件所选材料及其结构尺寸的不同，有的零件只需一道工序就能拉成，有的则需多次拉深才能拉成。

零件究竟需要采用几道拉深工序，既要使材料的应力不超过其强度极限，又要充分利用材料的拉深性能，使之达到最大可能的变形程度。这个问题是拉深工艺设计中的一个主要问题，它关系到拉深工作的经济性及拉深件的质量。

通常是以拉深系数 m 来表示拉深的变形程度。对圆筒形件来说，拉深系数就是拉深后工件直径与拉深前毛坯（或拉深前筒形毛坯）直径之比值。即：

$$\begin{aligned} \text{第一次拉深} & \quad m_1 = d_1/D \\ \text{以后各次拉深} & \quad m_2 = d_2/d_1 \\ & \quad m_3 = d_3/d_2 \\ & \quad \vdots \\ & \quad m_n = d_n/d_{n-1} \end{aligned} \quad (4-59)$$

式中 m_1, m_2, \dots, m_n ——各次拉深的拉深系数；

D ——毛坯直径；

d_1, d_2, \dots, d_n ——以后各次半成品直径。

拉深系数 m 是小于 1 的一个系数， m 值越小表明变形程度越大。

生产中也有采用拉深比 K 来表示拉深变形程度的。拉深比表示拉深前的毛坯直径与拉深后工件直径之比值。拉深比 K 是拉深系数的倒数，即： $K = 1/m$ 。

在制定工艺时，如果只追求减少拉深次数，而把拉深系数取得过小，这就加剧了拉深时的变形程度，导致拉深件起皱、拉裂等现象出现。因此拉深系数的减小是有一个客观的极限值，即以不产生起皱、拉裂时的最小拉深系数，这个极限值称为极限拉深系数。

在拉深过程中，材料会发生加工硬化，塑性下降。因而第一次拉深与以后各次拉深的极限拉深系数是不一样的，随着拉深次数的增加，所允许的极限拉深系数也就愈大。表 4-9、表 4-10、表 4-11 及表 4-12 分别列出不同材料、不同拉深条件以及不同拉深次数时的极限拉深系数值。

表 4-9 圆筒形件带压边圈时的极限拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度 $t/D \times 100$					
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.08
m_1	0.48~0.50	0.50~0.53	0.53~0.55	0.55~0.58	0.58~0.60	0.60~0.63
m_2	0.73~0.75	0.75~0.76	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.82
m_3	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.84
m_4	0.78~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.83	0.83~0.85	0.85~0.86
m_5	0.80~0.82	0.82~0.84	0.84~0.85	0.85~0.86	0.86~0.87	0.87~0.88

表 4-9 的使用要求：

(1) 表中拉深系数适于 08 钢、10 钢和 15Mn 等低碳钢及软化的 H62 黄铜。对拉深性较差的 20 钢、25 钢、A2 钢、A3 钢以及硬铝等，应将表中数值增加 1.5%~2.0%，对拉深性更好的 05 钢、08 钢、10 钢及软铝等应将表中数值减小 1.5%~2.0%；

(2) 表中数值适于未经中间退火的拉深。若采用中间退火时，可将表中数值减小 2%~3%；

(3) 表中较小数值适于大的凹模圆角半径 ($r_f = (8 \sim 15)t$)，大值适于小的凹模圆角

半径 $[r_s = (4 \sim 8)t]$ 。

表 4-10 圆筒形件不带压边圈的极限拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度 $(t/10) \times 100$				
	1.5	2.0	2.5	3.0	>3.0
m_1	0.65	0.60	0.55	0.53	0.50
m_2	0.80	0.75	0.75	0.75	0.70
m_3	0.84	0.80	0.80	0.80	0.75
m_4	0.87	0.84	0.84	0.84	0.80
m_5	0.90	0.87	0.87	0.87	0.82
m_6	—	0.90	0.90	0.90	0.85

此表的使用要求与表 4-9 相同。

表 4-11 不锈钢及铝、镁、钛合金的拉深加工极限

材料	温度 (F)	比	破裂极限直径比 (D_0/d) 破裂极限高度比 (h/d)									
			d/t_0									
			25	50	100	150	200	250	300	350	400	500
铝合金 (4.5Cr, 1.5Mg, 析出硬化型)	RT	D_0/d	2.0	2.1	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
		h/d	0.75	0.85	0.75	0.74	0.39	0.31	0.24	0.24	0.24	0.17
镁合金 (Th, Mn, 时效性)	750	D_0/d	2.0	2.1	2.0	1.7	1.9	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
		h/d	0.75	0.85	0.75	0.47	0.39	0.31	0.24	0.24	0.17	0.17
钛合金 (6Al-4V)	RT	D_0/d	1.7	1.7	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2
		h/d	0.47	0.47	0.47	0.31	0.24	0.24	0.17	0.17	0.11	0.11
钛合金 (13V-11Cr-3Al)	RT	D_0/d	1.7	1.7	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2
		h/d	0.47	0.47	0.47	0.31	0.24	0.24	0.17	0.17	0.11	0.11
不锈钢 USS12MoV	RT	D_0/d	2.0	2.1	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
		h/d	0.75	0.85	0.75	0.47	0.39	0.31	0.24	0.24	0.17	0.17
不锈钢 17-7Ph	RT	D_0/d	2.2	2.3	2.1	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3
		h/d	0.96	1.1	0.85	0.56	0.47	0.39	0.31	0.24	0.17	0.17
不锈钢 (17Cr, 4Ni, 3Mo)	RT	D_0/d	2.0	2.1	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
		h/d	0.75	0.85	0.75	0.47	0.39	0.31	0.24	0.24	0.24	0.17
不锈钢 (15Cr, 7Ni, 2Mo) Ph, 15-7Mo	RT	D_0/d	2.0	2.1	2.0	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
		h/d	0.75	0.85	0.75	0.47	0.39	0.31	0.24	0.24	0.24	0.17
析出硬化钢 (26Ni, 15Cr) A-286	RT	D_0/d	2.1	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
		h/d	0.85	0.96	0.75	0.56	0.39	0.31	0.24	0.24	0.24	0.17

表 4-11 的使用要求:

- (1) 表中 D_0 为毛坯直径, d 为拉深件直径, h 为拉深件高度, t_0 为材料厚度;
- (2) 表中 RT 表示室温;

(3) 首先根据给出的各参数计算 d/t_0 ；其次根据 d/t_0 的比值用内插法求出 D_0/d 及 h/d ；最后用 D_0/d 乘以 d 求出极限坯件直径，用 h/d 乘以 d 求出极限高度 h_0 。

表 4-12 不锈钢及高温合金的以后各次拉深系数

材料	热处理	$m_1=0.53$		$m_1=0.56$		$m_1=0.63$		$m_1=0.72$	
		试验值 m_n	推荐值 m_n	试验值 m_n	推荐值 m_n	试验值 m_n	推荐值 m_n	试验值 m_n	推荐值 m_n
奥氏体型	无中间热处理	0.75 ~0.83	0.86 ~0.91	0.72 ~0.80	0.83 ~0.88	0.70 ~0.76	0.80 ~0.83	0.67 ~0.72	0.76 ~0.81
	有中间热处理	0.70 ~0.74	0.78 ~0.81	0.67 ~0.72	0.76 ~0.80	0.63 ~0.69	0.72 ~0.75	0.62 ~0.65	0.69 ~0.72
铁素体型	无中间热处理	/	/	/	/	0.74 ~0.80	0.84 ~0.87	0.72 ~0.77	0.80 ~0.84
	有中间热处理	/	/	0.71 ~0.74	0.80 ~0.83	0.67 ~0.73	0.77 ~0.80	0.65 ~0.69	0.74 ~0.76

通常拉深系数有两个不同的概念：一是拉深件成形所要求的拉深系数，其数值为零件直径与毛坯直径之比值；另一个是材料机械性能及拉深条件所允许的极限拉深系数，它是由试验来确定的，其数值已列入上述四个表中。

在制定拉深工艺时应比较零件要求的拉深系数数值与材料允许的极限拉深系数数值。如要求值大于允许极限值，零件可一次拉深成形，否则就需要进行多次拉深。

拉深次数可用下述三种方法确定。

1. 计算法

可采用下述公式计算拉深次数

$$n = 1 + \frac{\lg d - \lg(m_1 D)}{\lg m} \quad (4-60)$$

式中 n ——所需要的拉深次数；

m_1 ——首次极限拉深系数；

m ——以后各次拉深的平均极限拉深系数；

D ——毛坯直径；

d ——拉深件直径。

所计算出的 n 值通常都带小数，但一定要进位成较大的整数。

在拉深次数确定后，就应分配各次拉深时所采用的拉深系数。分配时应满足下述条件：

(1) 应满足工件尺寸要求，使

$$d = (m_1 m_2 \cdots m_n) D$$

(2) 应保证每次拉深的变形程度都小于极限值，因此 m_1, m_2, \cdots, m_n 等各值都应大于表 4-9~表 4-12 所列的数值。

(3) 应符合拉深系数逐次递增的原则，即 $m_1 < m_2 < \cdots < m_n$ 。

2. 推算法

首先由表中查出各次拉深的极限拉深系数 m_1 、 m_2 ... m_n 等。

然后根据极限拉深系数，从第一道工序开始，依次求出各道工序的半成品直径，即

$$d_1 = m_1 D$$

$$d_2 = m_2 d_1$$

$$\vdots$$

$$d_n = m_n d_{n-1}$$

采用此法一直推算到所得出的直径，应小于或等于零件直径为止。

采用这种方法不仅可得到拉深次数，同时也得到各中间工序的半成品直径尺寸。

3. 查表法

圆筒件的拉深次数，也可根据零件的相对高度 h/d 及材料的相对厚度 $t/D \times 100$ ，由表 4-13 查出。

表 4-13 拉深次数的确定

相对高度 h/d	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$					
	2~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.06
拉深次数						
1	0.94~0.77	0.84~0.65	0.70~0.57	0.62~0.5	0.52~0.45	0.46~0.38
2	1.88~1.54	1.60~1.32	1.36~1.1	1.13~0.94	0.96~0.83	0.9~0.7
3	3.5~2.7	2.8~2.2	2.3~1.8	1.9~1.5	1.6~1.3	1.3~1.1
4	5.6~4.3	4.3~3.5	3.6~2.9	2.9~2.4	2.4~2.0	2.0~1.5
5	8.9~6.6	6.6~5.1	5.2~4.1	4.1~3.3	3.3~2.7	2.7~2.0

注：本表适于 08、10 等软钢。

采用查表法比较简便，尤其是当只得到零件外形尺寸及材料相对厚度时，其优点更为明显。

在选取拉深系数时要非常慎重，拉深系数过大，拉深次数增多，使生产成本增高；拉深系数过小，有可能起皱、变薄，甚至拉裂以致不能保证产品的质量。

(二) 影响拉深系数的因素

- (1) 材料的性能指标 如 σ_s/σ_b 、 γ 、 n 等性能指标，及 δ 、 ψ 等塑性指标；
- (2) 材料的相对厚度 t/D 的比值；
- (3) 拉深方式 是否采用压边圈、锥形凹模等；
- (4) 模具的结构尺寸 主要是凸模、凹模的圆角半径；
- (5) 润滑情况及模具的表面粗糙度。

上述各种因素，凡能减小变形区的变形抗力，降低圆筒筒壁的拉应力，提高危险断面的强度，增加凸缘抗失稳能力的，都有利于拉深，都能增大拉深变形的程度，降低极限拉深系数。反之，凡使变形区变形困难，增大拉深力；削弱危险断面强度，降低凸缘抗失稳刚度的，都不利于拉深，其结果使变形程度减小，极限拉深系数增大。

二、带凸缘圆筒形件的拉深

带凸缘圆筒形拉深件，有时是成品零件，但有时是形状复杂的冲压件的过渡毛坯。从

变形区的应力状态与变形特点来看，这类零件与圆筒形件基本相同，但其拉深过程和设计方法却有很大区别。

从零件的尺寸比例来看，带凸缘圆筒形件可分为窄凸缘件及宽凸缘件两类。

(一) 窄凸缘圆筒件

对凸缘直径 d_f 与工件直径 d 之比 $d_f/d=1.1\sim 1.4$ 之间的凸缘件称窄凸缘件。这类凸缘件的凸缘很小，故可用一般圆筒件的拉深方法拉深。只是在倒数第二道工序或最末次工序时才拉深出凸缘或拉深出带有锥度的凸缘，最后通过整形工序将凸缘压平。其过程如图 4-22 所示。

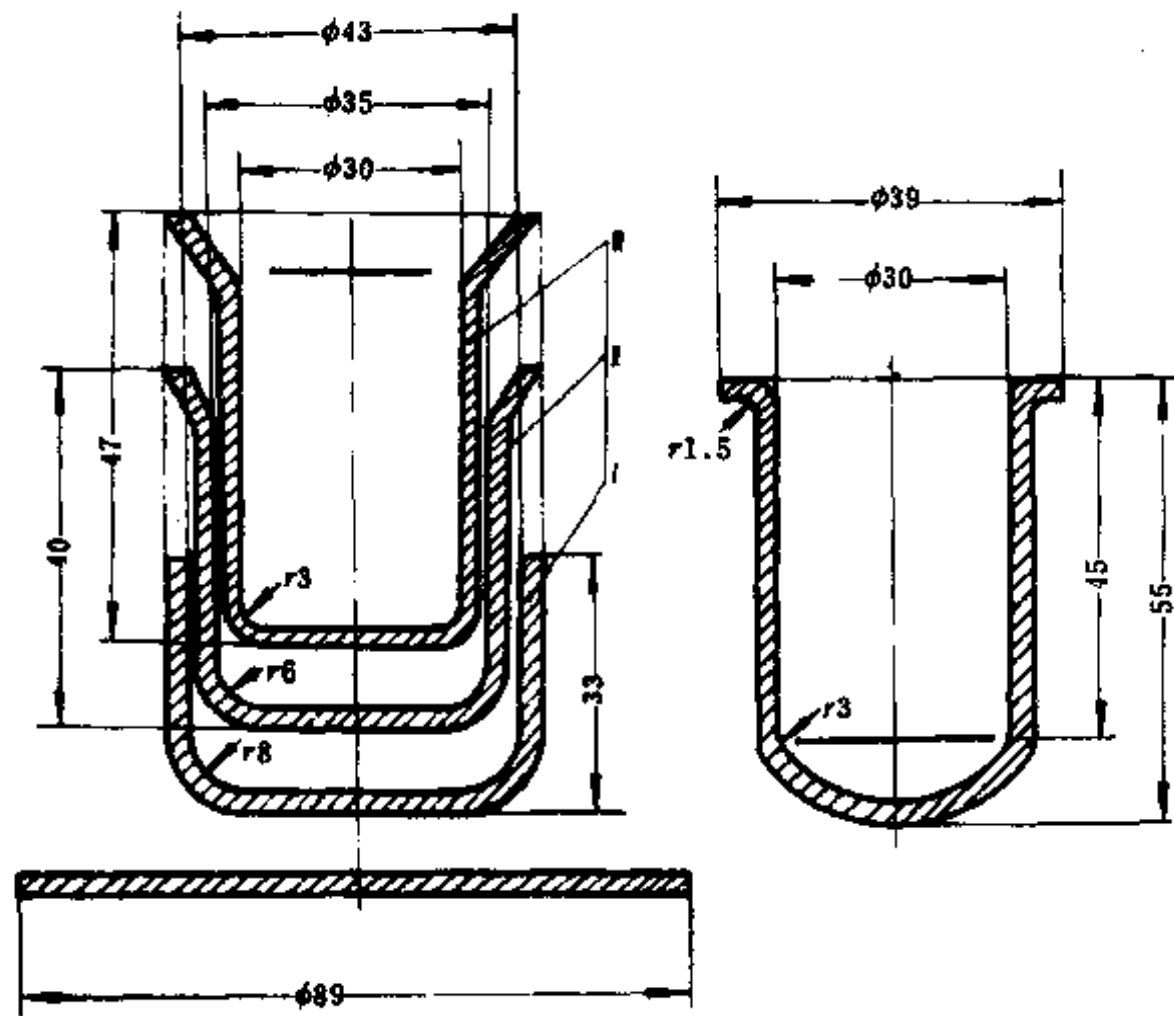


图 4-22 窄凸缘件的拉深过程

(二) 宽凸缘圆筒件

当凸缘相对直径 $d_f/d > 1.4$ 时，这种凸缘件称宽凸缘件。拉深宽凸缘件时，应遵循下述原则：宽凸缘件的首次拉深，就应将毛坯拉成具有与工件相同凸缘直径的半成品。在以后各次拉深时，凸缘不再参与变形，而拉深变形只在中间圆筒部分进行。

由于宽凸缘件凸缘较宽，要使凸缘变形，必将使筒壁拉应力猛增，有可能导致筒壁变薄及拉裂。因此要求凸缘直径一次拉出，在以后各次拉深时凸缘不再变形。为了确保上述要求的实现，制定工艺时，应考虑首次拉深时，拉入凹模的材料应比实际所需的材料多 3%~5%。这些多余的材料将在以后筒部拉深过程，逐次挤入凸缘，使凸缘变厚。

在生产实践中，宽凸缘件的多次拉深常采用下面两种方法。

(1) 缩小筒形直径，增加筒形高度，凸、凹模圆角半径基本不变（见图 4-23a）。

这种拉深方法适于材料较薄、高度较大的中小型 ($d_f < 200\text{mm}$) 宽凸缘件。采用这种方法易于在筒壁部分及凸缘部分残留有中间工序弯曲及厚度变化时形成的痕迹；其表面质量不高。

(2) 减小圆角半径，缩小筒形直径，筒形高度基本不变 (见图 4-23b)。

这种方法由于只是将凸、凹模圆角半径由大逐渐变小，故筒壁表面无弯曲、变厚残留的痕迹，表面质量较高，只是筒壁略有变薄。这种方法只适于料厚较大、拉深高度较小的大中型 ($d_f > 200\text{mm}$) 的宽凸缘件。因为料薄时，如第一次拉深成大圆角形状，很易起皱。

应该特别注意，在宽凸缘件拉深时，要正确计算拉深高度和严格控制凸模进入凹模的深度，以确保以后各次拉深中，凸缘不致产生变形。

各次拉深的高度计算如下：

第一次拉深

$$h_1 = \frac{0.25}{d_1}(D^2 - d_f^2) + 0.43(r_p + r_d) + \frac{0.14}{d_1}(r_p^2 - r_d^2) \quad (4-61)$$

以后各次拉深

$$h_n = \frac{0.25}{d_n}(D^2 - d_f^2) + 0.43(r_{pn} + r_{dn}) + \frac{0.14}{d_n}(r_{pn}^2 - r_{dn}^2) \quad (4-62)$$

式中 h_1 、 d_1 —— 首次拉深工件的高度、直径；

h_n 、 d_n —— 以后各次拉深工件的高度、直径；

D —— 毛坯直径；

r_p 、 r_d —— 首次拉深的凸、凹模的圆角半径；

r_{pn} 、 r_{dn} —— 以后各次拉深的凸、凹模的圆角半径。

宽凸缘件多次拉深的方法，原则上与圆筒形件相同。首先是按首次拉深极限拉深系数 (见表 4-14) 及首次拉深最大相对高度 (见表 4-15) 判断该零件能否一次拉出，若不能一次拉出，则求出首次拉深所得的中间半成品直径 (凸缘直径应与成品相同)。然后按以后各次极限拉深系数 (见表 4-16)，逐步减小筒部直径，直到筒部直径等于成品直径为止。

值得注意的是，在实际生产中往往将上述两种方法综合起来使用，因严格要求某一参数固定不变，有时很难实现。

三、阶梯形件的拉深

阶梯形拉深件的变形特点与圆筒形件基本相同。但由于这类零件结构的多样性及复杂性，因而不能用统一的方法来制定工艺规程。下面介绍几条原则供参考。

(一) 拉深次数

在拉深件的大、小直径差较小，各阶梯高度不大、并且只有两、三个阶梯时，有可能一次拉深成形。其条件是：工件的总高度与其最小直径之比不超过带凸缘圆筒件第一次拉深的允许相对高度 (见表 4-16)。在查表时，对于不带凸缘的工件可用表中 $d_f/d \leq 1.1$ 一行的数值。

不符合上述条件的拉深件，则需采用多次拉深。

表 4-14 宽凸缘件首次拉深极限拉深系数

凸缘相对直径 d_f/d	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$				
	$>0.06 \sim 0.2$	$>0.2 \sim 0.5$	$>0.5 \sim 1.0$	$>1.0 \sim 1.5$	>1.5
~ 1.1	0.59	0.57	0.55	0.53	0.50
$>1.1 \sim 1.3$	0.55	0.51	0.53	0.51	0.49
$>1.3 \sim 1.5$	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47
$>1.5 \sim 1.8$	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45
$>1.8 \sim 2.0$	0.45	0.45	0.44	0.44	0.43
$>2.0 \sim 2.2$	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40
$>2.2 \sim 2.5$	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37
$>2.5 \sim 2.8$	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33
$>2.8 \sim 3.0$	0.33	0.33	0.32	0.32	0.31

表 4-15 宽凸缘件首次拉深最大相对高度

凸缘相对直径 d_f/d	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$				
	$>0.06 \sim 0.2$	$>0.2 \sim 0.5$	$>0.5 \sim 1.0$	$>1.0 \sim 1.5$	>1.5
≤ 1.1	0.45~0.52	0.50~0.62	0.57~0.70	0.60~0.80	0.75~0.90
$>1.1 \sim 1.3$	0.40~0.47	0.45~0.53	0.50~0.60	0.56~0.72	0.65~0.80
$>1.3 \sim 1.5$	0.35~0.42	0.40~0.48	0.45~0.53	0.50~0.63	0.58~0.70
$>1.5 \sim 1.8$	0.29~0.35	0.34~0.39	0.37~0.44	0.42~0.53	0.48~0.58
$>1.8 \sim 2.0$	0.25~0.30	0.29~0.34	0.32~0.38	0.36~0.46	0.42~0.51
$>2.0 \sim 2.2$	0.22~0.26	0.25~0.29	0.27~0.33	0.31~0.40	0.35~0.45
$>2.2 \sim 2.5$	0.17~0.21	0.20~0.23	0.22~0.27	0.25~0.32	0.28~0.35
$>2.5 \sim 2.8$	0.16~0.18	0.15~0.18	0.17~0.21	0.19~0.24	0.22~0.27
$>2.8 \sim 3.0$	0.10~0.13	0.12~0.15	0.14~0.17	0.16~0.20	0.18~0.22

注：上限值用于零件圆角半径较大的情况，即 $r_p, r_d = (10 \sim 20)t$ ；下限值用于零件圆角半径较小的情况，即 $r_p, r_d = (4 \sim 8)t$ 。

表 4-16 宽凸缘件后各次拉深极限拉深系数

拉深系数	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$				
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.3	0.30~0.15
m_2	0.73	0.75	0.76	0.78	0.80
m_3	0.75	0.78	0.79	0.80	0.82
m_4	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84
m_5	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86

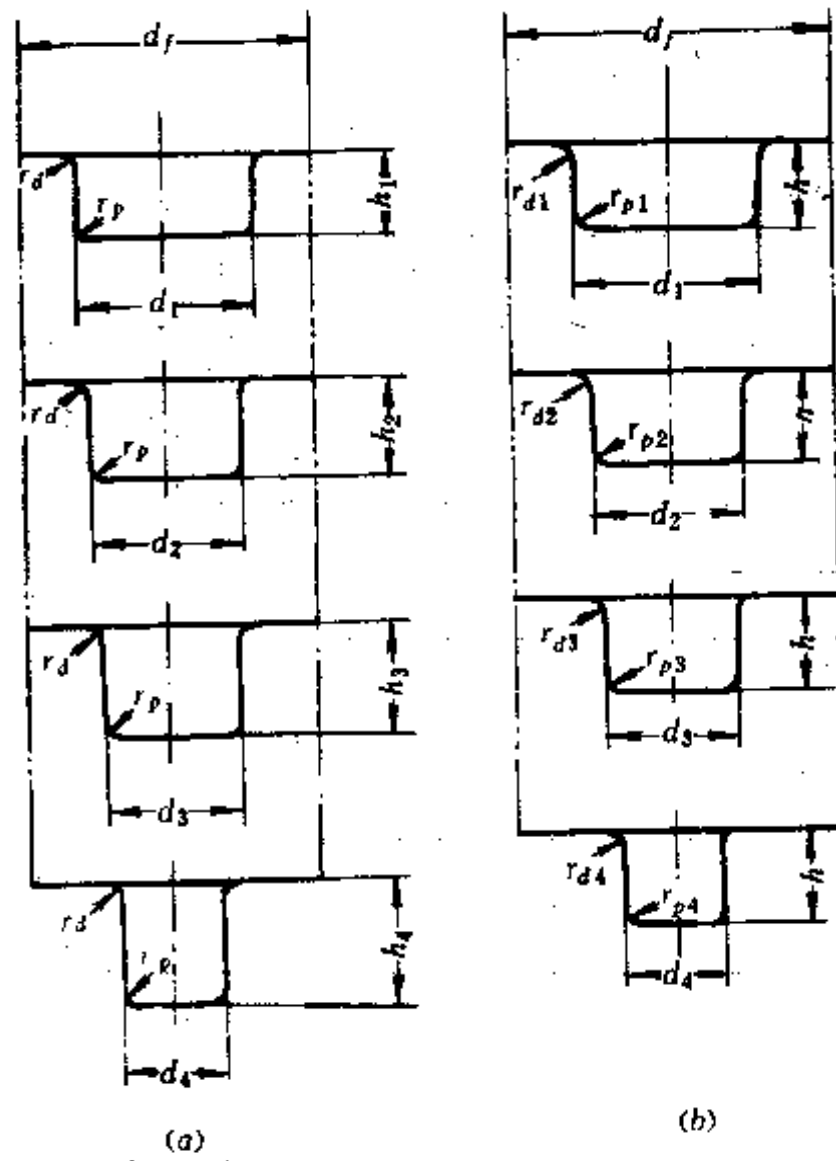


图 4-23 宽凸缘件的多次拉深

(a) r_d 及 r_p 不变, 缩小直径而增加高度; (b) 高度不变, 减小 r_d 和 r_p 而减小直径。

(二) 多次拉深的工序安排

(1) 在拉深件任意两相邻阶梯的直径比值 d_n/d_{n-1} 都大于相应圆筒形件的极限拉深系数时, 拉深次数与工件阶梯数相等。

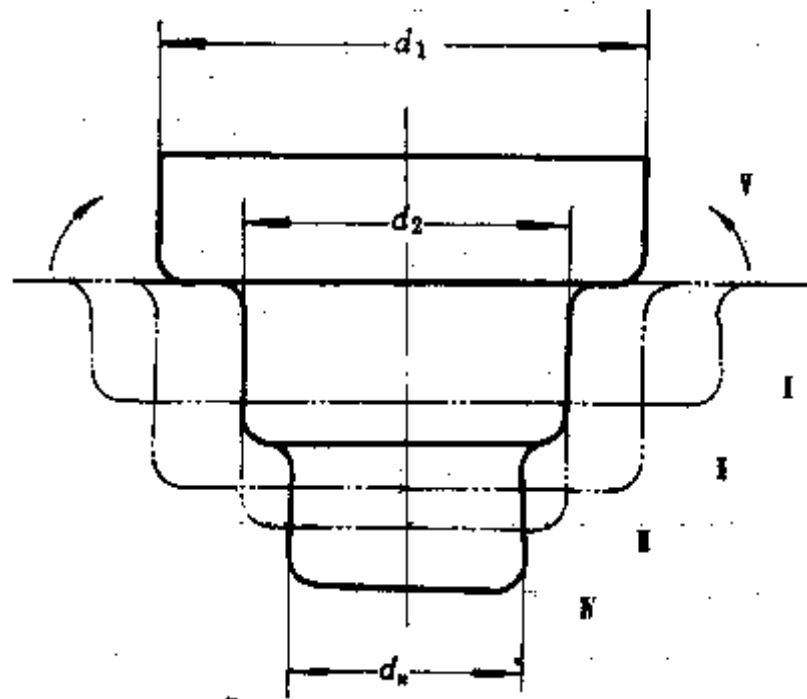
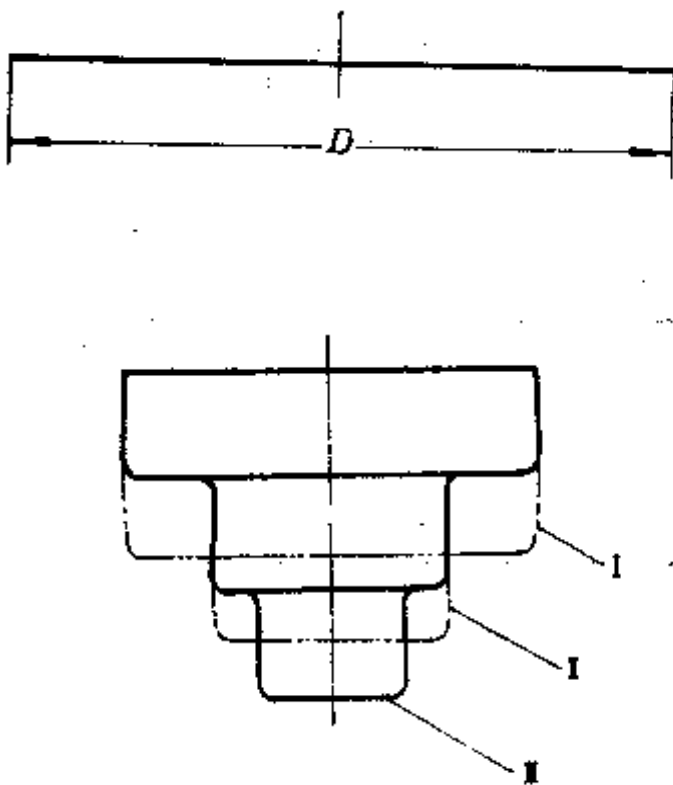


图 4-24 由大直径到小直径逐次拉深 图 4-25 先小直径 d_2 再大直径 d_1 的拉深次序

其拉深方法是: 由大直径到小直径逐次拉深, 每次拉出一个阶梯 (见图 4-24)。

(2) 在阶梯件某两相邻阶梯的直径比值 d_n/d_{n-1} 小于相应圆筒形件的极限拉深系数时,

这两阶梯的成形，应按有凸缘件的拉深方法进行，即先拉小直径；再拉大直径。

如图 4-25 所示为一具有三阶梯的拉深件，由于 d_2/d_1 小于相应圆筒形件拉深系数，因而采用宽凸缘件拉深方法。先用三道工序拉出 d_2 ，用工序 IV 拉出 d_3 ，最后再用工序 V 拉出 d_1 。对相邻两阶梯的 d_1 、 d_2 来说，先拉出小直径 d_2 ，再拉出大直径 d_1 。

(3) 具有直径差大的浅阶梯拉深件，在其不能一次拉深成形时，应考虑先拉深成球面形状或大圆角筒形的过渡形状，然后再拉成所需的形状。这最后工序则具有整形的性质（见图 4-26）。

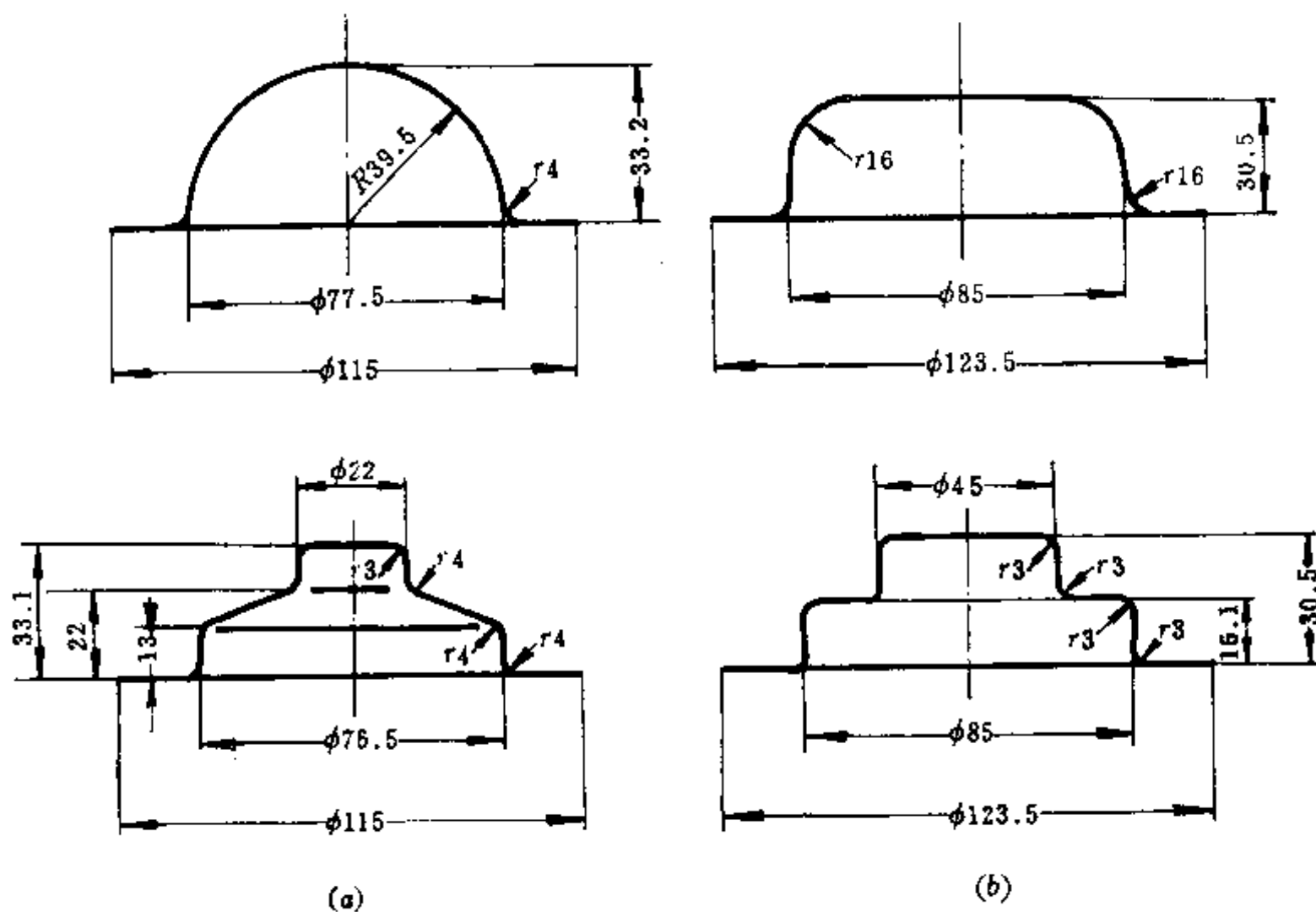


图 4-26 具有直径差较大的浅阶梯件的拉深次序
(a) 球面形状；(b) 大圆角形状。

第六节 非直壁类回转件的拉深

非直壁类回转件，包括球形件、抛物线形件、锥形件等。这类零件具有三个变形区：压边圈下的圆环部分拉深变形区；凹模口内至变形过渡环处的拉深变形区；工件顶端部位至变形过渡环处的胀形变形区。因为这类工件的变形区及变形特点都与圆筒件不同，因而不能只用拉深系数这一工艺参数来衡量和判断拉深工序的难易程度，故在模具设计和工艺过程设计时，也是采用工件的高径比 h/d 和材料的相对厚度 t/D 比值为依据进行设计。

一、球形件拉深

球形件有半球形及非半球形两大类（见图 4-27）。

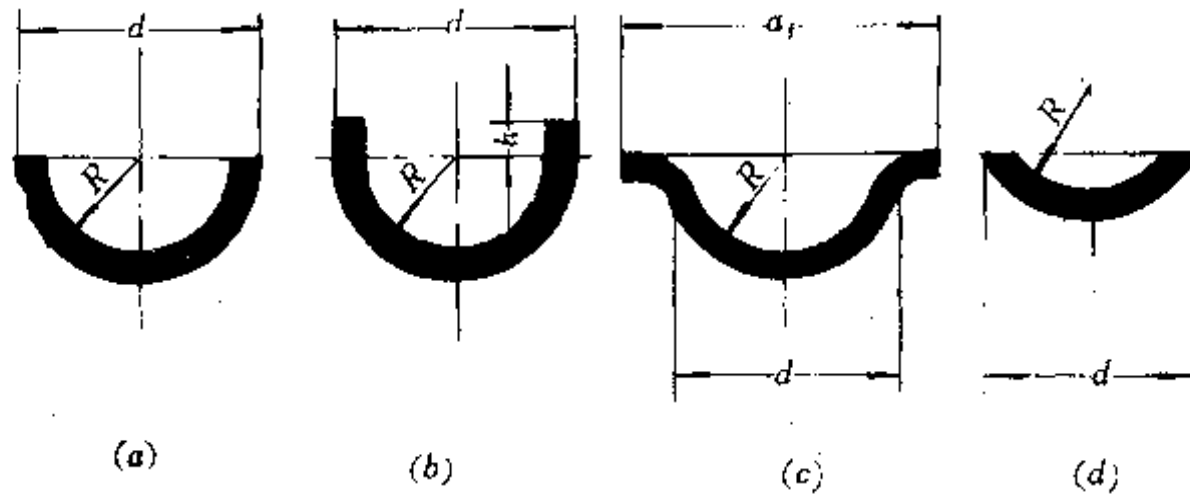


图 4-27 球形件分类图

(a) 半球形件；(b)、(c)、(d) 非半球形件。

当采用直径为 D 的坯料拉深成直径为 d 的半球形件时：

$$\text{坯料面积} \quad S_0 = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$\text{半球表面积} \quad S = \frac{\pi}{2} d^2$$

$$\text{拉深前后面积相等，即} \quad D = \sqrt{2} d。$$

因此，对于半球形件来说，其拉深系数是一与零件尺寸大小无关的常数。其值为

$$m = \frac{d}{D} = \frac{d}{\sqrt{2} d} = 0.707$$

在决定球形件拉深难易及选择拉深方法的依据，已不能采用拉深系数，而是采用坯料的相对厚度 t/D 。

(一) 坯料相对厚度 $(t/D) \times 100 > 3$

这种球形件拉深时，可不用压边而一次拉深成形。但因材料较厚，贴模情况不好，拉深件的几何形状及尺寸精度受到一定影响，产品质量不够理想。因此，模具最好采用带球形底的凹模，在拉深终了时，进行精压整形以提高拉深件质量。

(二) 坯料相对厚度 $(t/D) \times 100 \leq 3$

这种球形件拉深时，必须采用压边装置、拉深筋以及反拉深的方法，以增加径向拉应力 σ_r 和减少切向压应力 σ_θ 。

这样做的目的，除了防止凸缘部分起皱外，还可使凹模口内的中间部分既消除起皱现象又加强贴模，促使工件质量和尺寸精度的提高。

对于如图 4-27 (b) 所示的带直边的球形件以及图 4-27 (c) 所示的带凸缘的球形件，其拉深系数都比半球形件的拉深系数 ($m=0.707$) 要小，但由于直边及凸缘的存在，拉深时易于采用压边措施，因而却有利于拉深，有利于提高工件的质量和精度。因此，有时为了提高半球形件的拉深质量，也可从工艺要求出发，增加高度为 $(0.1 \sim 0.2) d$ 的工艺直边或者增加宽度为 $(0.1 \sim 0.15) d$ 的工艺凸缘，拉深后再切除工艺余量，这样可得

到较好的拉深效果。

对于如图 4-27 (d) 所示的浅球形拉深件, 拉深深度较浅, 工件变形程度不足, 容易产生回弹。浅球形拉深件也分两种情况:

1. 坯料直径 $D \leq 9 \sqrt{Rt}$

这时, 拉深较浅, 工件不会起皱, 但在拉深过程中可能窜动, 并会有一定回弹, 成形精度不高。因此拉深后应采用带球形底的凹模进行校正。在球面半径 R 较大, 而零件的深度和厚度较小时, 还应该按工件回弹量修正模具尺寸。

2. 坯料直径 $D > 9 \sqrt{Rt}$

这时工件会产生起皱现象, 应采用带工艺凸缘的方法进行拉深, 拉深后再切除工艺裕量。这样拉成的工件, 回弹小, 尺寸精度高, 表面质量好。

二、抛物线形件拉深

抛物线形件的拉深其应力与变形特点都与球形件的拉深相似。但由于抛物线形件曲面部分的高度与口部直径之比, 即高径比 h/d , 比球形件要大, 故拉深难度更大。

在生产中将抛物线形件分为两类:

(一) 高径比 $h/d < 0.5 \sim 0.6$ 的浅抛物线零件

这类零件的高径比与球形件相近, 因而其拉深方法也与球形件一致。

(二) 高径比 $h/d > 0.6$ 的深抛物线零件

这类零件拉深, 主要问题是防止起皱。

通常要采用多次拉深或反拉深方法进行。

在顶部圆角半径较大时, 仍可采用有两道拉深筋的模具, 以增加径向拉应力 σ_r 的方法, 直接拉出, 如汽车灯罩的拉深 (见图 4-28)。但在零件深度大、顶部圆角半径又小时, 单纯增加径向拉应力 σ_r 会导致坯料顶端开裂, 因而必须采用多道工序逐步成型的方法进行拉深。其主要特点是: 第一道工序采用正拉深法拉出深度较小而顶端圆角较大的中间坯件, 在以后的工序中采用正拉深或反拉深的方法, 再逐渐增加深度和缩小顶端圆角半径, 直到最后成形 (见图 4-29)。为了保证工件的精度及表面质量, 在最后一道工序时, 要使中间坯件的面积略小于最后成形工件的面积, 以获得胀形效果。

目前, 对一些复杂的抛物线形工件已广泛地采用液压拉深方法成形。采用液压

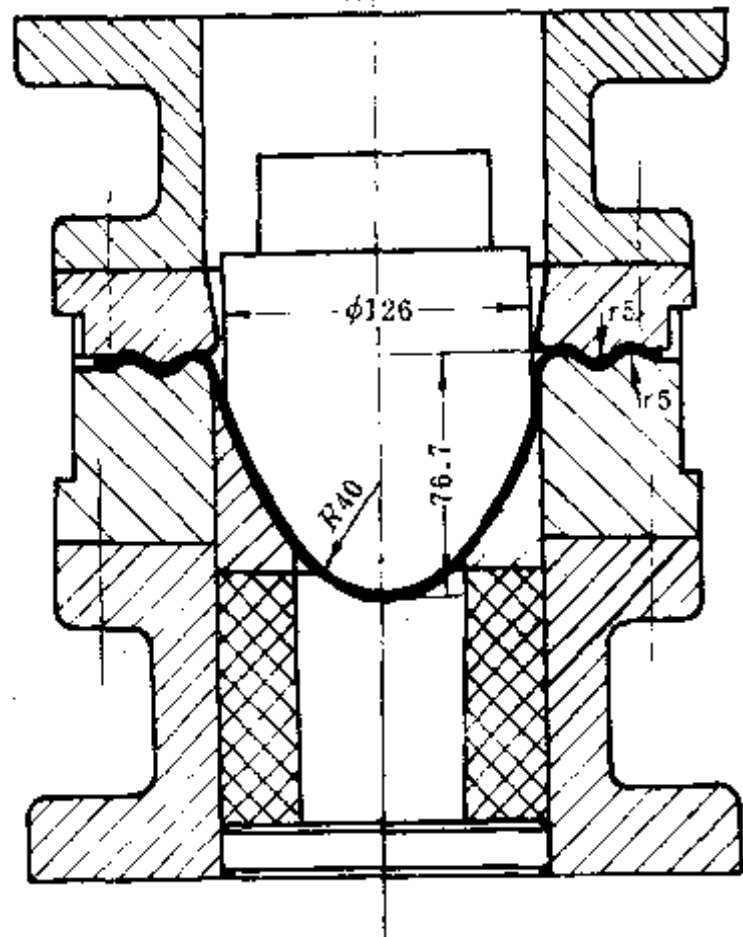


图 4-28 汽车灯罩的拉深

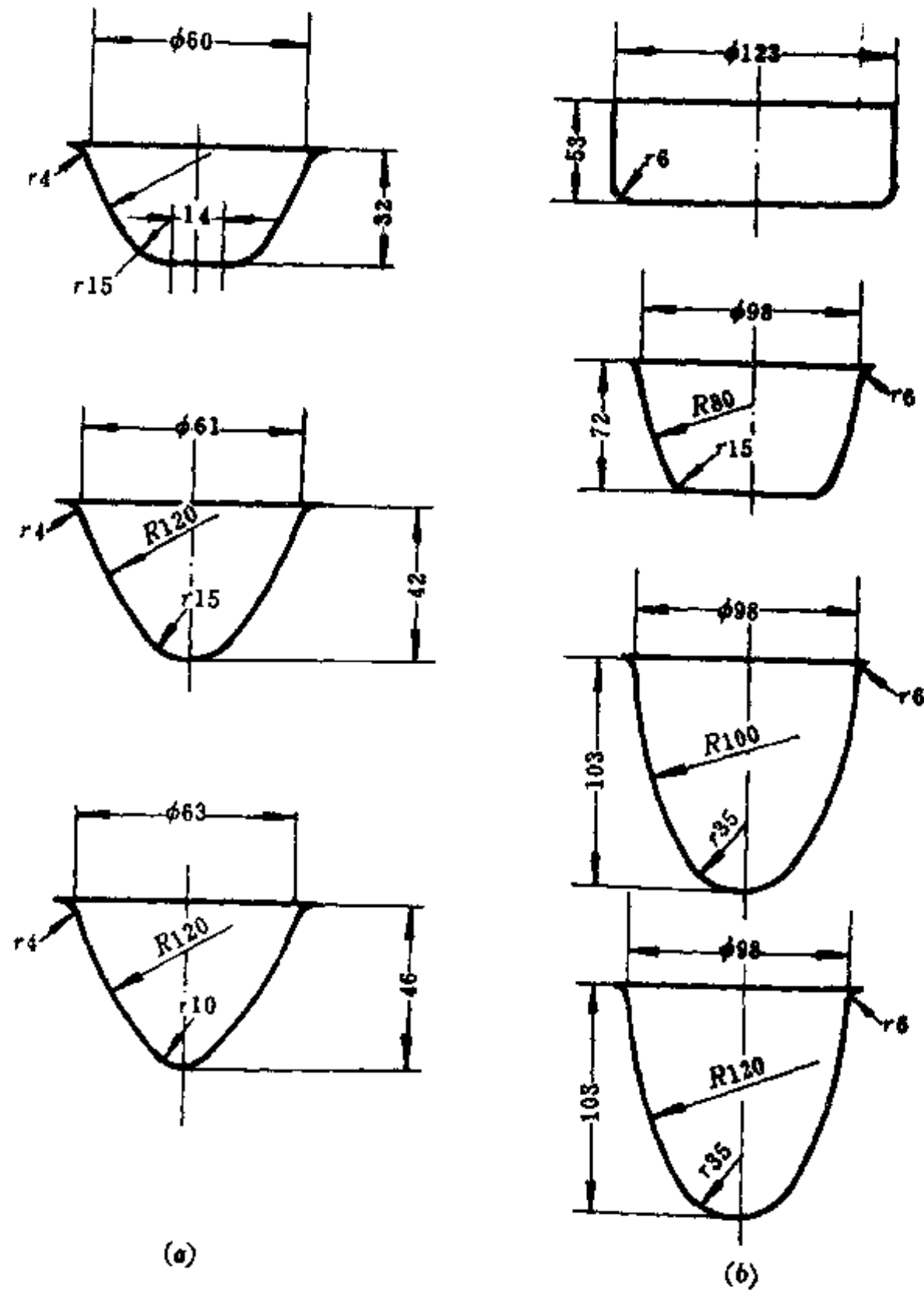


图 4-29 深抛物线形工件的逐步成形

(a) 例一; (b) 例二。

拉深时, 毛坯在液压力的作用下, 在凸模与凹模的间隙处形成与拉深筋相似的凸筋, 同时并使毛坯紧贴凸模。这样成形的零件壁厚均匀, 尺寸精确, 表面光滑美观。如图 4-30 所示即液压拉深示意图。图 4-31 所示拉深件, 其高径比为 0.88, 采用普通拉深要多次才能成形, 但采用液压拉深, 一次即可成形。

三、锥形件的拉深

锥形件的拉深, 其特点基本与球形件一样: 除压边圈下面的拉深变形区外, 处于凹模口内的毛坯部分也是变形区 (不仅有拉深变形, 还有胀形变形); 凸模与毛坯的接触面积小, 压强较大, 易产生局部变薄; 凹模口内自由面积大, 压边圈作用小, 容易引起起皱现象等。对于一些口部直径与底部直径相差较大的锥形件, 还会产生严重的回弹现象。

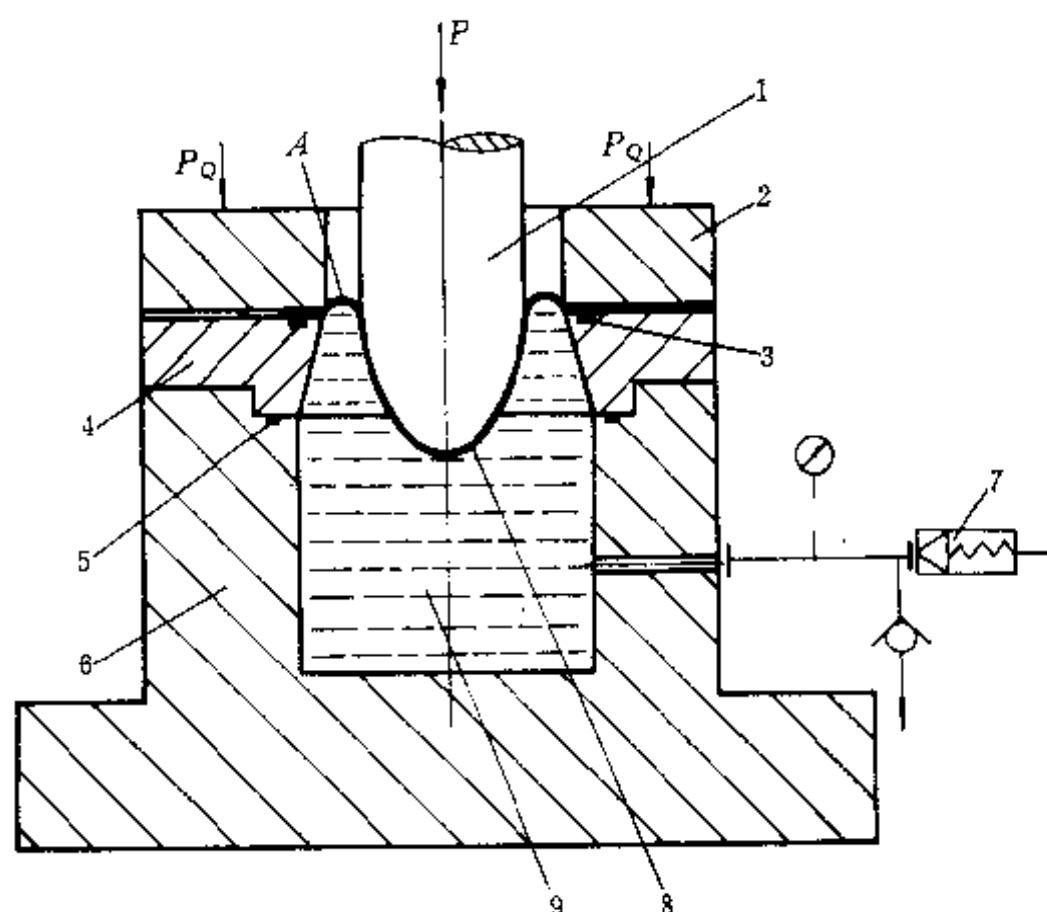


图 4-30 液压拉深示意图

1—凸模；2—压边圈；3—密封圈；4—凹模；5—密封圈；6—液压腔；
7—液压系统；8—工件；9—液垫（凹模）；A—形成的凸筋。

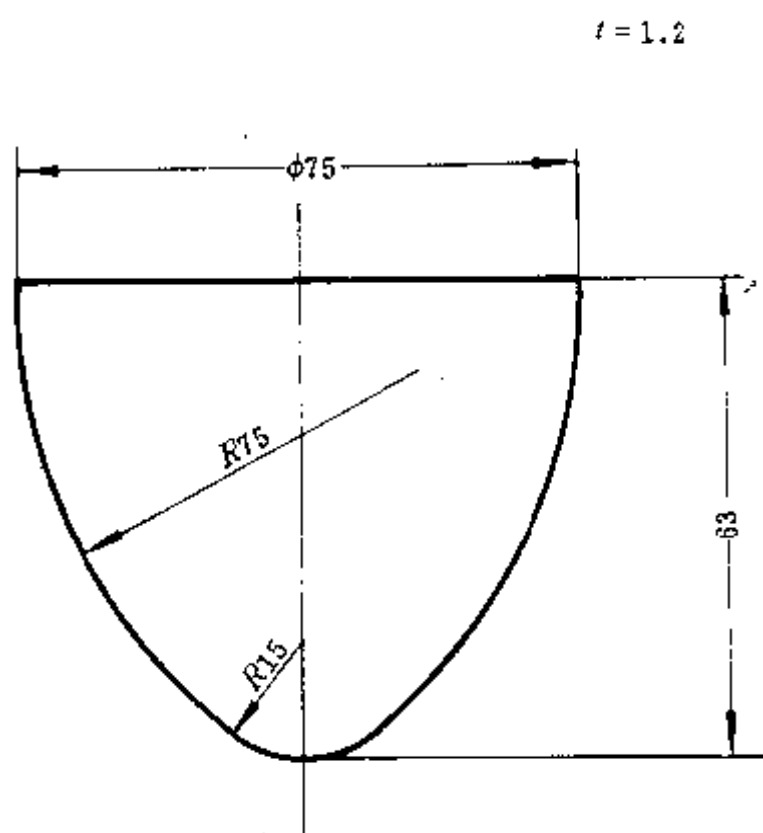


图 4-31 深抛物线形拉深件

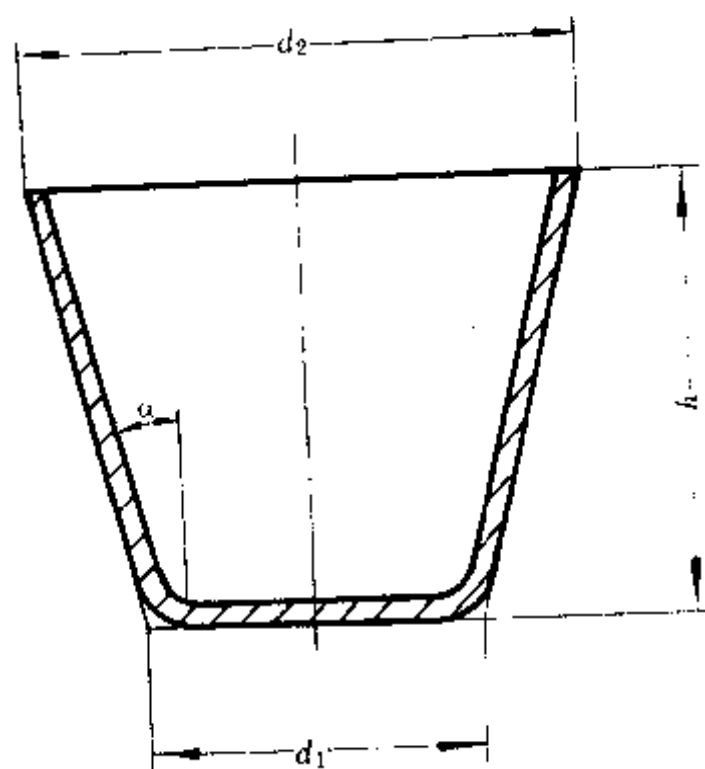


图 4-32 锥形件尺寸

因此，锥形件的拉深比球形件拉深更为困难。

在制定锥形件工艺及设计模具时，应以下列几个参数为依据：

(一) 锥形件的相对高度 h/d_2 (见图 4-32)

在其他几何尺寸一致的情况下， h 愈大则要求毛坯直径愈大。因为增加压边圈下面的毛坯变形区宽度，便增加了压边力，相应地也增加了拉深变形力、毛坯变薄及破裂的可

能性。另一方面，毛坯愈大，要求达到相同的口部直径 d_2 、毛坯外缘的切向收缩量也愈大，引起毛坯中间自由部分的起皱的可能性也就加大。因此，当 h/d_2 较大时，成形难度较大，要求采用多次拉深成形。而在 h/d_2 较小时，则可一次拉深成形。

(二) 锥形件的相对锥顶直径 d_1/d_2 (见图 4-32)

当 d_1/d_2 较小时，锥度加大，成形过程中毛坯的中间自由部分宽度大，易于起皱。在同样的 d_2 情况下， d_1 较小，底部承载能力差，易于变薄及破裂。当 d_1/d_2 较大时，则接近于圆筒形拉深，成形比较容易。

(三) 锥形件的相对厚度 t/d_2 (或 t/d_1)

相对厚度愈小，则成形过程愈易起皱。在相对厚度很小时，要经过多次拉深才能成形。

根据锥形件的几何参数的不同，可将锥形件分为三种类型。

1. 浅锥形件 $h/d_2 \leq 0.25 \sim 0.30$

浅锥形件一般只需一次拉深就能成形。

一般说来锥形件变形很不均匀，变形主要集中在锥底的圆角部分。胀形条件比球面零件差，加以浅拉深拉伸变形不足，回弹量大，故零件尺寸精度较差。

当零件相对厚度 $t/d_2 < 0.02$ 或零件相对锥顶直径 d_1/d_2 较小，锥角 $\alpha > 45^\circ$ ，而要求较高的尺寸精度时，则应采用具有压边圈或带有拉深筋的模具，用以增加拉深时的径向拉应力以及增加胀形成分。对不带凸缘的锥形件，必要时可增加工艺凸缘，成形后再切除。

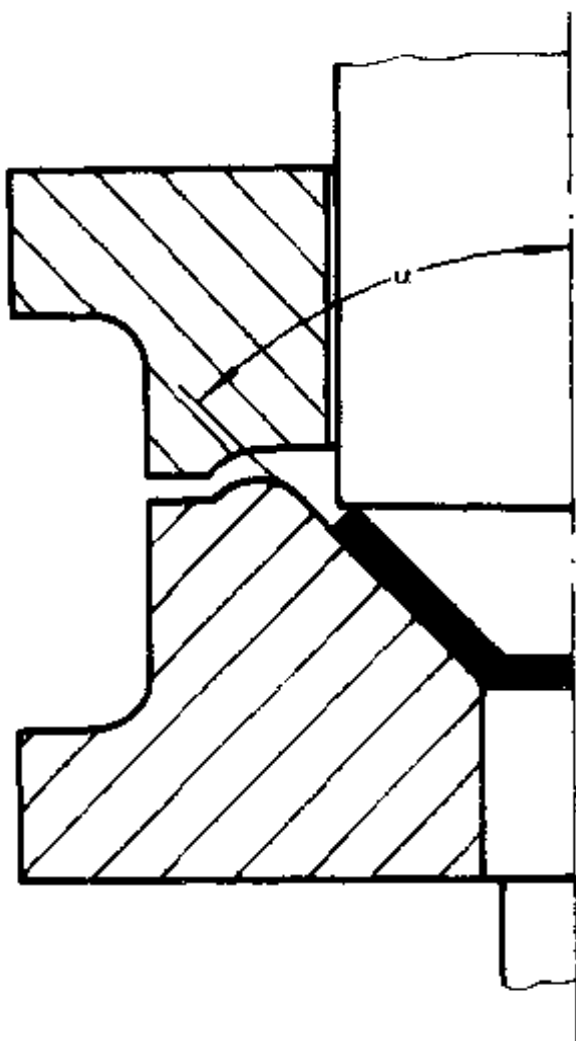


图 4-33 带整形的锥形拉深模

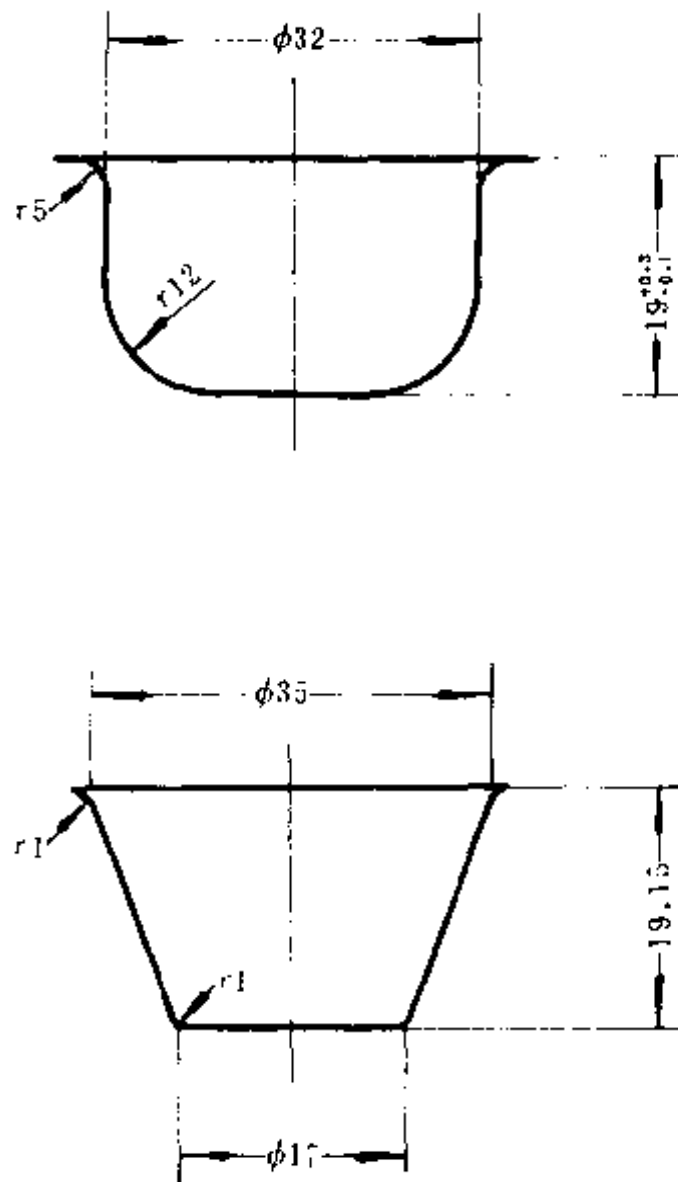


图 4-31 采用大圆角圆筒毛坯过渡成锥形件

应该指出:这类零件采用聚氨酯橡胶或液体溶质代替钢质凸模或钢质凹模进行拉深,能获得满意的效果。

2. 中锥形件 $h/d_0 = 0.03 \sim 0.70$

这类零件,一般锥角 $\alpha = 15^\circ \sim 45^\circ$,其变形程度也不大,因而在毛坯较薄时,在凹模口内的自由部分,易于起皱。因此,当 $t/D > 0.025$ (t/D 为毛坯的相对厚度, D 为毛坯直径) 时,可不用压边而一次拉成。最好在拉深终了时增加整形工序(见图 4-33)。

当 $t/D = 0.015 \sim 0.020$ 时,可一次拉深成形,但为了预防起皱,需采用加大压边力,装置拉深筋,增加工艺凸缘等措施,以增大径向拉应力及胀形成分。

当 $t/D < 0.015$ 时,因材料较薄,易于起皱,一般要采用压边装置并经过两次或三次拉深成形。第一次拉深成带有大圆角的圆筒件或球形件(见图 4-34),然后再采用正拉深或反拉深成形。采用反拉深成形,防止起皱的效果明显。

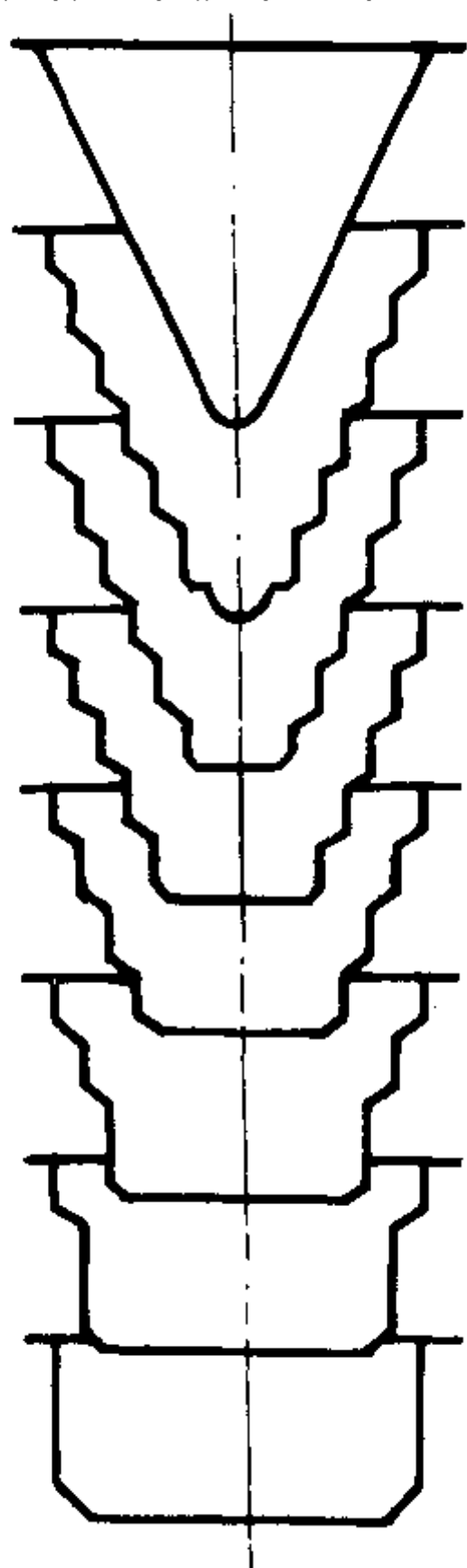


图 4-35 锥形件阶梯拉深成形

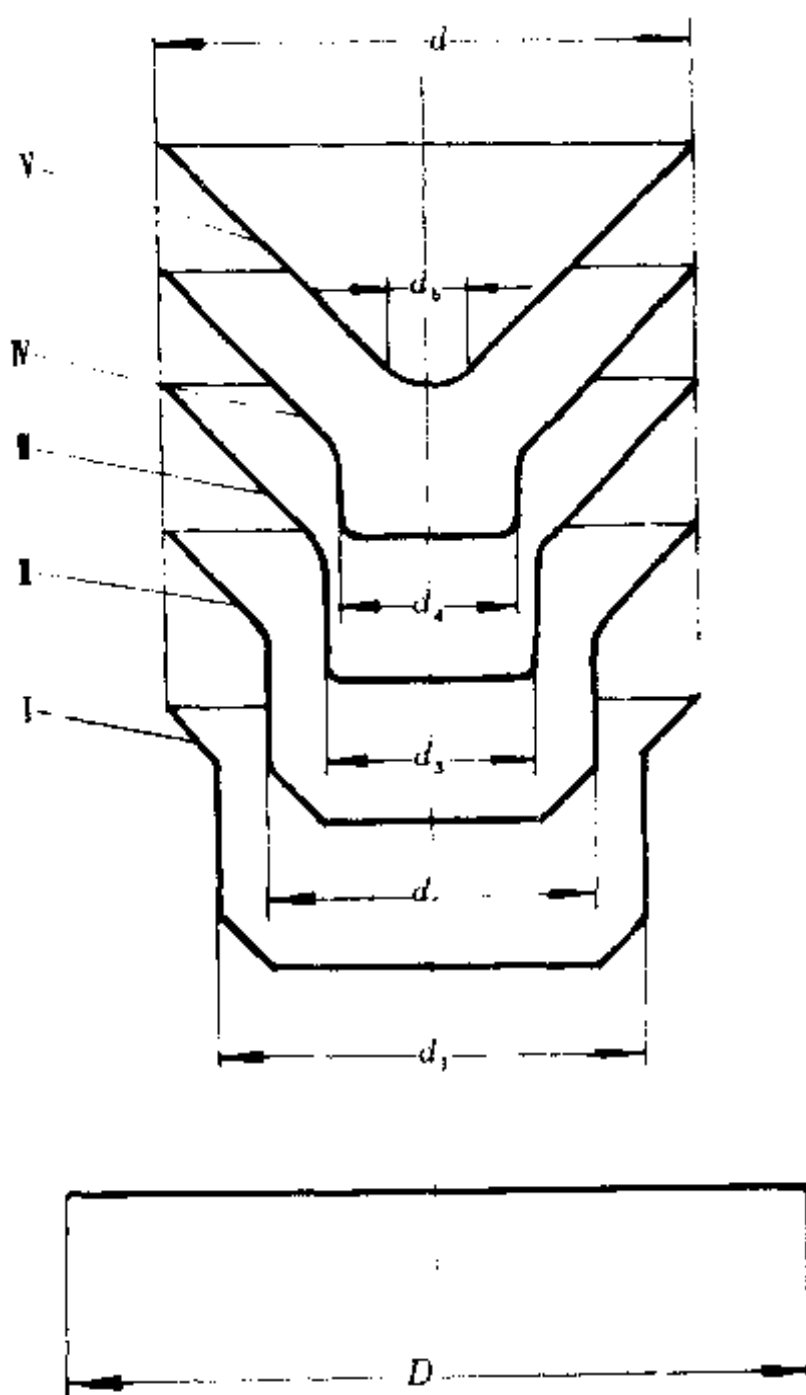


图 4-36 锥形件逐步拉深成形

3. 深锥形件 $h/d_2 > 0.7 \sim 0.8$

这类零件变形程度大，既易产生变薄破裂，又易产生起皱现象，须经过多次拉深成形。

深锥形件的锥角 α ，一般为 $10^\circ \sim 30^\circ$ 。在 α 较大时，常用多次拉深的方法有：

(1) 阶梯拉深法（见图 4-35） 将坯料逐次拉深成阶梯形，阶梯形由大直径到小直径分步拉成。阶梯形的过渡毛坯应与锥形成品内侧相切，最后在成形模中精整成形。

这种成形方法，所形成的锥形件壁部有阶梯印痕，表面不光滑，壁厚不均，故应用较少。

(2) 锥形表面逐步成形法 锥形表面逐步成形法，是目前应用较多的方法。该方法是将平板毛坯先拉成口部直径与成品件直径相同的，带有锥形口径的圆筒形毛坯。以后各道工序，圆锥直径不变，锥角不变，深度逐次增大，直致成形（见图 4-36）。为了不使毛坯成形时变薄拉裂，毛坯的面积应略大于锥形件的表面积。这种成形的方法对壁厚均匀性及表面光滑性，均比阶梯成形法大有改善。

上述两种逐步成形法，都需采用多道工序。工序数目多是一大缺陷。这两种方法所采用的拉深系数，可参考表 4-17 选取。

表 4-17 深锥形件拉深系数

工序件相对厚度 $t/d_0 \times 100$	0.5	1.0	1.5	2.0
拉深系数 $m = d_n/d_{n-1}$	0.85	0.80	0.75	0.70

在锥角较小时，可考虑采用两道工序拉深成形。第一道拉成具有凸底的圆筒形过渡毛坯。第二道工序采用正拉深或者反拉深成形（见图 4-37）。这种拉深方法，工序少，锥形件壁厚均匀，表面光滑，不存在印痕。

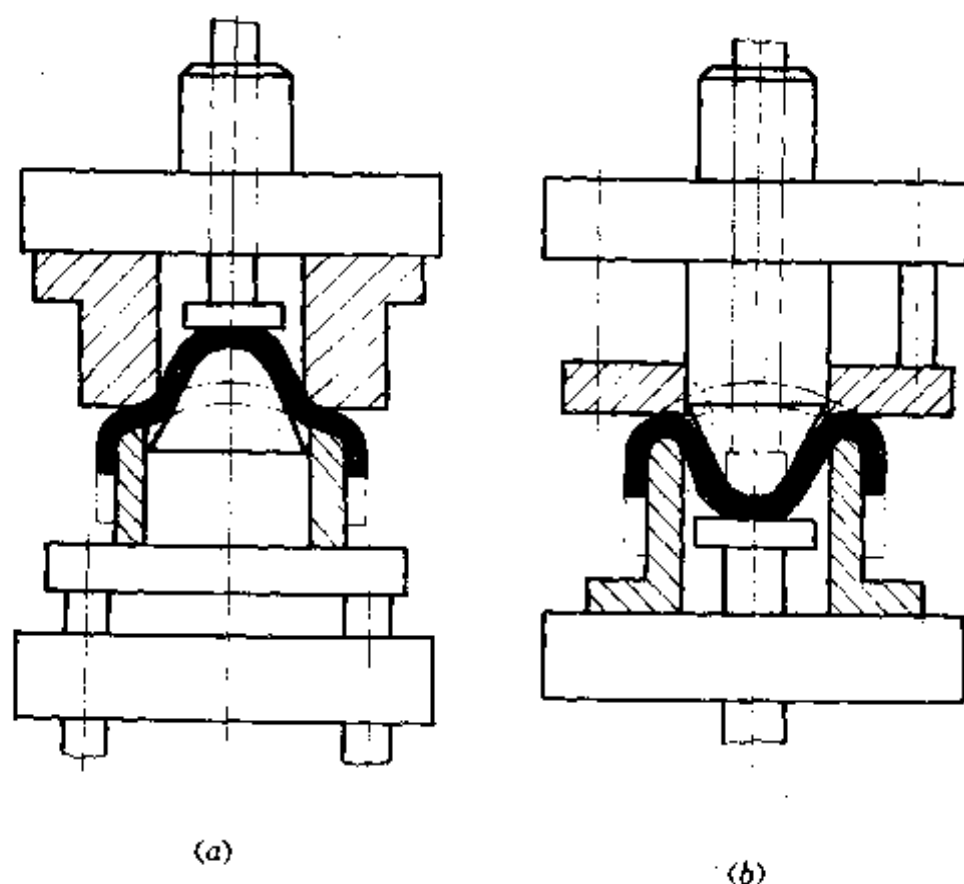


图 4-37 将凸底圆筒毛坯拉成锥形件
(a) 正拉深；(b) 反拉深。

采用这种方法所允许的锥形件大小端的直径比，可参考表 4-18。

表 4-18 锥形件大小端允许直径比

工序件相对厚度 $t/d_{n-1} \times 100$	0.25	0.50	1.0	2.0
大小端直径比 d_{n1}/d_{n2}	0.90	0.85	0.80	0.75

注： d_{n-1} —上道工序件直径； d_{n1} —锥形件小端直径； d_{n2} —锥形件大端直径。

第七节 盒形件的拉深

一、盒形件的拉深特点

盒形件可以看成由直边部分及圆角部分组成。盒形件拉深变形时，圆角部分近似圆筒形件的拉深，直边部分近似板料弯曲。因此盒形件的拉深成形是圆角部分拉深、直边部分弯曲，两种变形方式的复合。

但是，盒形件的圆角及直边是联系在一起的整体，因而变形时必然有相互的作用及影响，以致圆角不是简单的圆筒拉深，直边不是单纯的平板弯曲。

如将盒形件毛坯画上纵横间距相同的方格，拉深后方格的间距发生了明显的变化

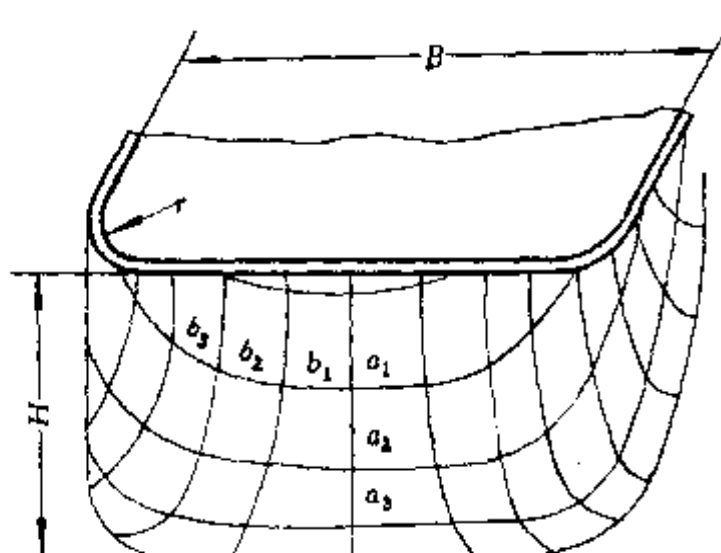


图 4-38 盒形件拉深时的网格变化

(见图 4-38)。在直边部分：横向间距缩小，愈靠角部缩小愈多；纵向间距增大，愈靠盒形边缘增大愈大。这说明在拉深时，圆角部分的材料要向直边流动，使直边部分材料受压。其结果使横向间距变小，纵向间距变大，愈近角部变化愈大。

从上述现象表明，盒形件拉深时，直边部分并不是单纯的弯曲变形。由于圆角部分的材料要向直边流动，因而直边部分也产生了横向压缩、纵向伸长的变形。而圆角部分，由于直边的存在，金属的流动，使得圆角部分的变形程度大为减小。因此，盒形件的变形特点可归纳为以下几点。

(1) 盒形件拉深时，角部变形基本上与圆筒件拉深变形相似，只是由于金属向直边

流动,使得径向应力 σ_r 及切向应力 σ_θ 在角部的分布是不均匀的,圆角中部最大,逐渐向两边减小(见图4-39)。

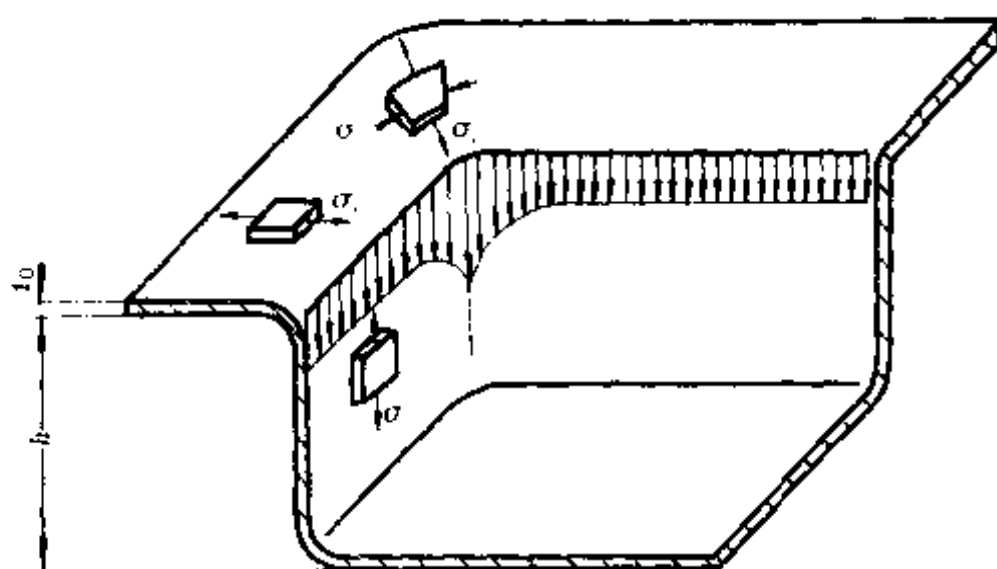


图4-39 盒形件拉深时的应力分布

(2) 拉深时,直边部分除弯曲变形外,在与圆角的连接部分,还有横向压缩及纵向伸长。因而其应力也包括纵向拉应力与横向压应力两部分。

(3) 盒形件拉深时,圆角部分的径向拉应力是分布不均匀的,而其平均拉应力比之相同半径的圆筒件径向拉应力要小得多。因而盒形件的极限变形程度可相应加大,拉深系数可相应减小。

(4) 盒形件的最大应力出现在角部,因而破裂、起皱等现象也多在角部产生。在远离角部的直边部分一般不会产生起皱。

(5) 盒形件变形时,圆角与直边相互影响的大小,取决于其相对角部圆角半径 r/B 的比值。 r/B 数值越小,两者的变形影响越显著,圆角部分的变形情况与圆筒形的变形情况差别越大。当 $r/B=0.5$ 时,盒形件就变成圆筒形件了。

二、盒形件首次拉深成形极限

盒形件的拉深变形程度,主要受到圆角部分侧壁强度的限制。而其拉深的极限变形程度,可用盒形件相对高度 H/r 来表示。毛坯首次拉深可能达到的最大相对高度 H/r ,取决于盒形件的相对角部圆角半径 r/B 以及毛坯相对厚度 t/D 等参数,还取决于材料的性能。

相对角部圆角半径 r/B 反映盒形件角部与直边相互影响的大小, r/B 愈小,影响愈大,所允许的 H/r 也愈大。

毛坯相对厚度 t/D ,反映拉深件抗失稳能力的强弱, t/D 愈大,抗失稳能力愈强,因而所允许的 H/r 也愈大。

表4-19表明了 H/r 与 r/B 及 t/D 之间的关系。该表是按08钢、10钢深拉深用软钢板制定的,对于其他材料,应根据其拉深性能的好坏,对表中数值进行修正。例如,对于20钢、25钢等拉深性能稍差的材料,采用0.85~0.90的修正系数。此外,对于 $B <$

100mm 的较小尺寸盒形件，取表中上限数值，对大尺寸盒形件取表中下限数值。

表 1-19 盒形件一次拉深最大相对高度 H/r

相对圆角半径 r/b	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$			
	2.0~1.5	1.5~1.0	1.0~0.5	0.5~0.2
0.30	1~3.3	3.7~3.2	3.3~3	3~2.8
0.20	5~1.5	4.5~4.1	4.3~3.5	4~3.5
0.15	6~5	5.3~4.7	5~4.3	4.7~4
0.10	8~6	7~5.5	6.5~5	6~4.5
0.05	14~10	12~9	11~8	10~7
0.02	25~20	22.5~17.5	20~15	17.5~12.5

如果所拉深的盒形件的相对高度 H/r 不超过表中所列数值，则可一次拉成。否则必须多次拉深。

三、盒形件的多次拉深

盒形件需要多次拉深时，前几次拉深都是采用过渡形状。方盒形件多采用圆形过渡，长盒形件多采用长圆形或椭圆形过渡，而在最后一次才拉成所需形状。

过渡毛坯的形状非常重要，如毛坯不是圆筒形或接近圆筒形，则在拉深过程中，在毛坯的周边上，必然产生不均匀的伸长变形。由于过渡毛坯已是带直壁的空心件，拉深时直壁将对毛坯变形区的伸长变形产生阻碍作用，因而在周边上伸长变形较大的部位将产生附加压应力，伸长变形较小的部位将产生附加拉应力。相应地在产生附加压应力处将会出现材料的堆积或起皱；在产生附加拉应力的地方，将会出现材料的变薄及破裂。因此，将过渡毛坯尽可能做成圆筒形或椭圆筒形，以减少周边变形的不均匀性，降低附加应力的数值，以改善拉深件的质量。

由于盒形件拉深时沿毛坯周边的变形很复杂，目前还不可能用数学方法进行精确计算，所以常用下述方法近似确定：

为了保证拉深时变形区内各部分的伸长变形尽可能均匀，减少材料的局部堆聚和局部过大拉应力，采用合适的角部壁间距离 δ 来确定过渡毛坯的形状和尺寸是有效的。

如图 4-40 所示为方盒形件多次拉深时过渡毛坯的形状与尺寸。

方盒形件采用直径为 D_0 的圆形毛坯，各中间工序都采用圆筒形过渡毛坯，而最后一道工序才拉成所需方盒形零件。因此，关键是第 $n-1$ 道工序毛坯尺寸的计算，毛坯直径为

$$D_{n-1} = 1.41B - 0.82r + 2\delta \quad (4-63)$$

式中 D_{n-1} —— $n-1$ 次拉深后所得毛坯内径；

B —— 方盒边宽（内表面计算）；

r ——方盒件内圆角半径；

δ ——角部壁间距离，即圆筒形过渡毛坯内表面到盒形件角部内表面之距（见表 4-20）。

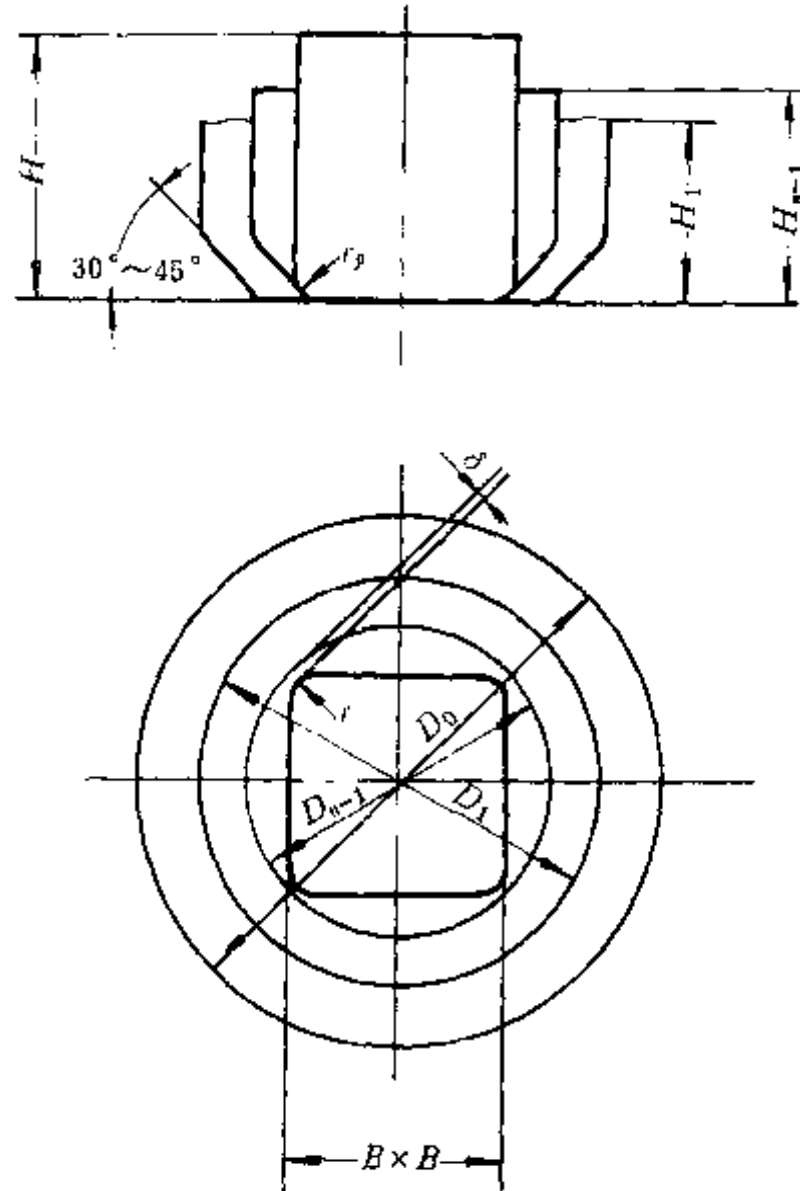


图 4-40 方盒形件过渡毛坯形状及尺寸

表 4-20 角部壁间距离 δ

角部相对圆角半径 r/B	0.025	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4
相对壁间距离 δ/r	0.12	0.13	0.135	0.16	0.17	0.2

如图 4-41 所示为长盒形件多次拉深时过渡毛坯的形状及尺寸。

第 $n-1$ 道工序所得的椭圆形过渡毛坯，其半径为

$$R_{an-1} = 0.705A - 0.41r + \delta \quad (4-64)$$

$$R_{bn-1} = 0.705B - 0.41r + \delta \quad (4-65)$$

圆弧 R_{an-1} 及圆弧 R_{bn-1} 的圆心应按图 4-41 所示确定。

得到第 $n-1$ 道过渡毛坯后，再用表 4-19 所列数据验算是否能用平板毛坯一次拉成。如不能，则计算第 $n-2$ 道工序过渡毛坯尺寸。这时应保证下述关系

$$\frac{R_{an-1}}{R_{an-1} + a} = \frac{R_{bn-1}}{R_{bn-1} - b} = 0.75 \sim 0.85 \quad (4-66)$$

式中 a ——椭圆形过渡毛坯之间在短轴上的壁间距离；

b ——椭圆形过渡毛坯之间在长轴上的壁间距离。

根据式(4-66)求得的壁间距 a 及 b ，就可在短轴上找到 N 点，在长轴上找到 M 点，然后选定 R_{on-2} 及 R_{on-2} ，使由 R_{on-2} 及 R_{on-2} 两圆半径所作圆弧光滑连接。所得椭圆即 $n-2$ 道

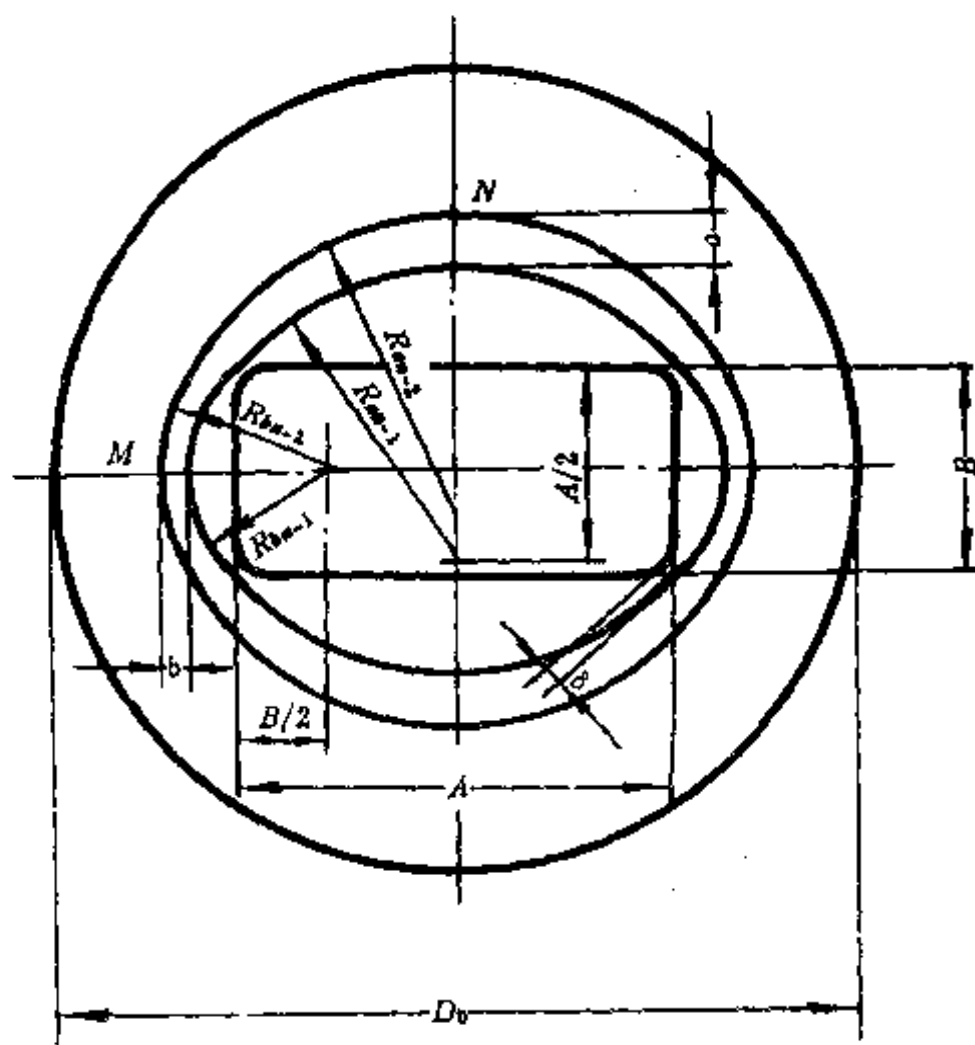


图 4-41 长盒形件过渡毛坯形状及尺寸

工序所得过渡毛坯。应该指出所选定的 R_{on-2} 应小于 $R_{on-1} + a$ ， R_{on-2} 应小于 $R_{on-1} + b$ 。

得出 $n-2$ 道工序的过渡毛坯后，再重复上述步骤，直至由平板毛坯能拉出所求的过渡毛坯为止。

上面已经提到，采用这种方法是一种近似的方法，假如在调试模具时，发现圆角部分出现材料堆聚，则应适当减小圆角壁间的距离 δ 。

第八节 变薄拉深

一、概述

变薄拉深是指在拉深过程中，只是通过减小毛坯的壁厚来增加其高度，而毛坯的直径（内径）则是变化很小的一种拉深方法。

变薄拉深主要用于拉深一些高度较大，壁薄而底厚的空心圆筒形件，例如炮弹壳的拉深就是典型的例子。

变薄拉深的特点有：

(1) 变薄拉深时，毛坯的变形区是凹模口内锥形部分的金属，而传力区则是通过凹模后的筒壁及筒底部分（见图 4-42）。

变薄拉深时变形区的应力是：轴向应力 σ_z 为拉应力，厚向应力 σ_r 为压应力，切向应

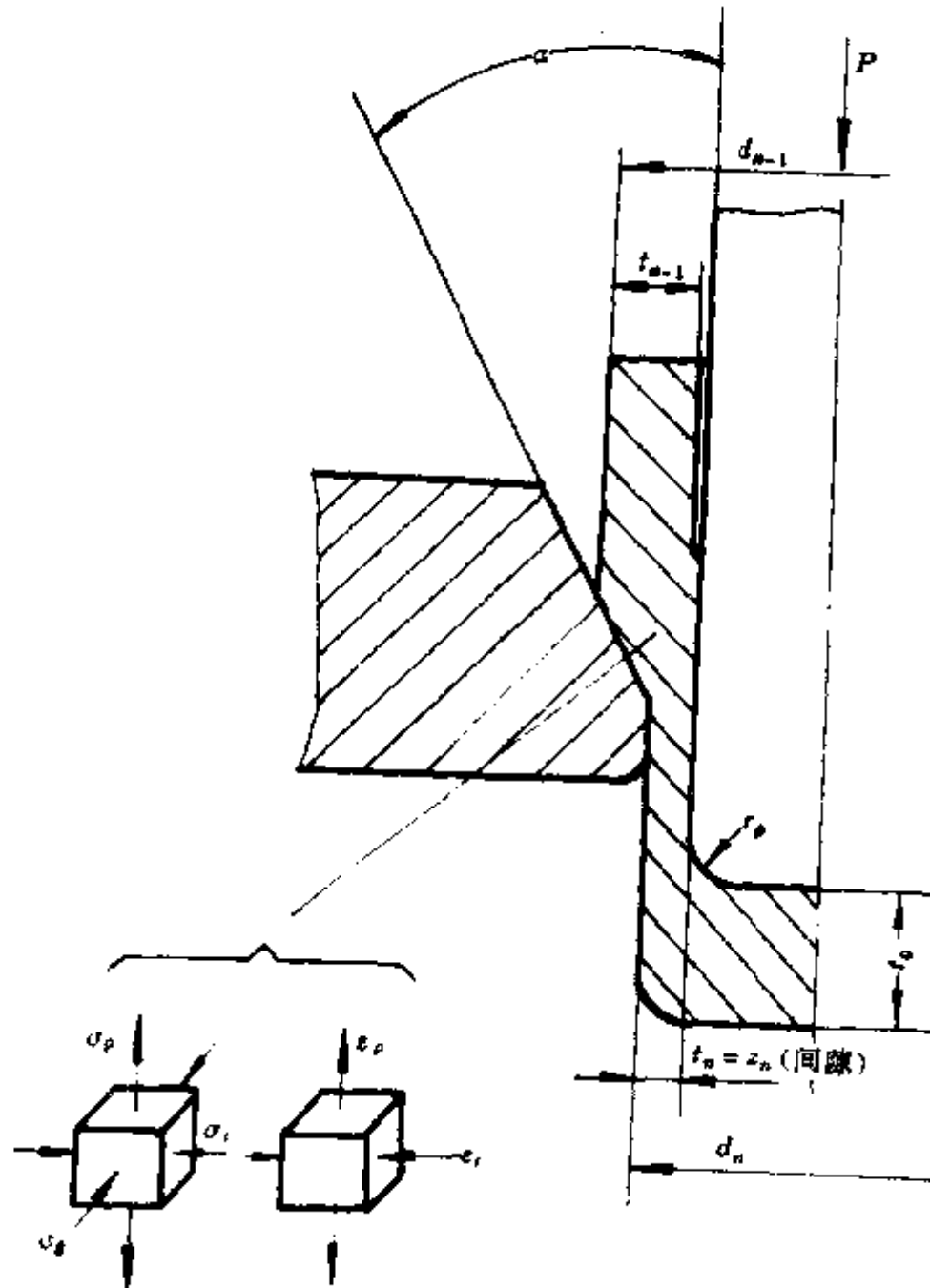


图 4-42 变薄拉深过程及其应力应变

力 σ_r 为压应力。相应地应变为：轴向 ϵ_z 为伸长变形，厚向 ϵ_r 为压缩变形，而 $\epsilon_\theta \approx 0$ 。

(2) 变薄拉深时凸凹模的间隙小于毛坯厚度，毛坯通过凹模口时经受三向应力的作用，致使金属晶粒变细，强度增加，并有冷作硬化现象产生。变薄拉深的工件壁厚均匀，壁厚偏差在 $\pm 0.01\text{mm}$ 以内，表面粗糙度 $R_{0.8\mu\text{m}}$ 以上。

(3) 变薄拉深没有起皱问题，不需采用压边装置，模具结构简单。

(4) 变薄拉深与冷挤压相比，由于变形区小，拉深力较小，可选用较小吨位的压力机。

(5) 变薄拉深有较大的残余应力，必须采用低温回火给予消除，以免产生开裂。

二、变形程度及变薄系数

在进行变薄拉深时，常用变形程度或材料的变薄系数两个参数来衡量变薄拉深程度的大小。

变形程度 ε_n 为

$$\varepsilon_n = (F_{n-1} - F_n) / F_{n-1} \quad (4-67)$$

式中 ε_n —— 变形程度；

F_{n-1} —— 第 $n-1$ 道拉深后工件断面积；

F_n —— 第 n 道拉深后工件断面积。

变薄系数 φ_n 为

$$\varphi_n = F_n / F_{n-1} \quad (4-68)$$

式中 φ_n —— 变薄系数。

从式 (4-67) 及式 (4-68) 可见

$$\varepsilon_n = \frac{F_{n-1} - F_n}{F_{n-1}} = 1 - \varphi_n \quad (4-69)$$

如果变薄拉深时，毛坯内径基本不变，则变薄系数 φ_n 又可表示为

$$\varphi_n = \frac{F_n}{F_{n-1}} = \frac{\pi d_n t_n}{\pi d_{n-1} t_{n-1}} \approx \frac{t_n}{t_{n-1}} \quad (4-70)$$

式中 d_n —— 第 n 次拉深后工件直径；

t_n —— 第 n 次拉深后工件壁厚；

d_{n-1} —— 第 $n-1$ 次拉深后工件直径；

t_{n-1} —— 第 $n-1$ 次拉深后工件壁厚。

变薄系数的极限值见表 4-21。表中所列数值厚料取大值，薄料取小值。

表 4-21 变薄系数极限值

材 料	首次变薄系数 φ_1	中间各次平均变薄系数 φ_n	末次变薄系数 φ_n
铜 黄铜	0.45~0.55	0.58~0.65	0.65~0.73
软 钢	0.53~0.63	0.63~0.72	0.75~0.77
中 硬 钢	0.70~0.75	0.78~0.82	0.82~0.90
不 锈 钢	0.65~0.70	0.70~0.75	0.75~0.80
铝	0.50~0.60	0.62~0.68	0.72~0.77

三、变薄拉深工艺计算

(一) 毛坯尺寸计算

变薄拉深由于壁厚发生变化,因而在确定毛坯尺寸时,不能采用面积相等的原则,而是采用拉深前后体积相等的原则进行计算。

毛坯直径

$$D = 1.13 \sqrt{V_0/t_0} = 1.13 \sqrt{\frac{\alpha V}{t + \delta}} \quad (4-71)$$

式中 D_0 —— 毛坯直径;

V_0 —— 毛坯体积;

V —— 工件体积;

α —— 毛坯体积与工件体积的比值。考虑到修边余量及退火烧损量,比值 $\alpha = 1.15 \sim 1.20$ 。相对高度 H/d 大时,取上限值;

t_0 —— 毛坯厚度;

t —— 工件底厚;

δ —— 工件底厚的加工余量。如底部不需加工,则 $\delta = 0$, $t_0 = t$ 。

(二) 变薄拉深所需的拉深次数

当变薄拉深采用筒形毛坯时,则拉深次数应由两部分数据组成:一是采用普通拉深方法拉制筒形毛坯时所需的拉深次数 n_1 ;二是采用变薄拉深时所需的拉深次数 n_2 。总的拉深次数 $n = n_1 + n_2$ 。

n_1 值可采用公式 (4-60) 计算,即

$$n_1 = 1 - \frac{\lg d - \lg(m_1 D)}{\lg m} \quad (4-72)$$

式中所用符号见公式 (4-60) 的注解。

n_2 值可用公式

$$n_2 = \frac{\lg t_n - \lg t_0}{\lg \varphi_r} \quad (4-73)$$

式中 t_n —— 第 n 道变薄拉深后的工件壁厚;

t_0 —— 毛坯厚度;

φ_r —— 平均变薄系数,对软钢可以取

$$\varphi_r = 0.63 \sim 0.72$$

(三) 各工序毛坯的壁厚、直径及高度

各次变薄拉深的壁厚

$$\begin{aligned} t_1 &= \varphi_1 t_0 \\ t_2 &= \varphi_2 t_1 \\ &\vdots \\ t_n &= \varphi_n t_{n-1} \end{aligned} \quad (4-74)$$

各道工序的直径基本上是不变的（指内径）。但为了使凸模能顺利地插入工件，故凸模直径须比上道工序的工件内径小1%~3%。头几道工序其差值大些，以后逐次减小。工件壁厚大时取大值，壁厚薄时取小值。因此，各道工序的直径，需从最后一道工序向前算，即

$$\begin{aligned}d_{n-1} &= (1 + C)d_n \\d_{n-2} &= (1 + C)d_{n-1} \\&\vdots \\d_1 &= (1 + C)d_2\end{aligned}\quad (4-75)$$

式中 d_n —— 工件直径（内径）；
 d_1, d_2, \dots, d_{n-1} —— 各工序件内径；
 C —— 系数， $C=0.01\sim 0.03$ 。

各工序件的高度，可按体积相等原则，先计算各工序件筒壁的高度，再加上工序件底厚即得。

工序件筒壁高度 h_n 为（不考虑圆角半径）

$$h_n = \frac{t_0(D_0^2 - d_0^2)}{2t_n(d_0 + d_i)} \quad (4-76)$$

式中 h_n —— 该工序件筒壁的高度；
 D_0 —— 毛坯直径；
 d_0 —— 该工序件外径；
 d_i —— 该工序件内径；
 t_0 —— 毛坯厚度，即工件底厚；
 t_n —— 该工序件壁厚。

因此，该工序件总高 H_n 为

$$H_n = h_n + t_0 \quad (4-77)$$

如图4-43所示是一变薄拉深件的各工序尺寸。该工件材料为10钢，采用六道变薄拉深工序拉深成形。

该工件所用毛坯： $D_0=41.5\text{mm}$ ， $t_0=4\text{mm}$ 。

各工序件的有关参数列于表4-22。

工序6所得的尺寸就是工件尺寸（包括修边余量在内）。

表 4-22 工序件参数

工 序 号		1	2	3	4	5	6
外径 d_0	mm	30.25	28.6	27.35	26.36	25.59	25
内径 d_i	mm	25.25	25	24.75	24.50	24.25	24
壁厚 t_n	mm	2.5	1.8	1.3	0.93	0.67	0.5
变薄系数 φ_n		0.625	0.720	0.722	0.715	0.720	0.716
前后内径差 Δd_i	mm	—	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
系数 C			0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
筒壁高度 h_n	mm	11.6	18.7	29.5	43.4	64	89.6
工件高度 H_n	mm	15.6	22.7	31.5	47.4	68	93.6

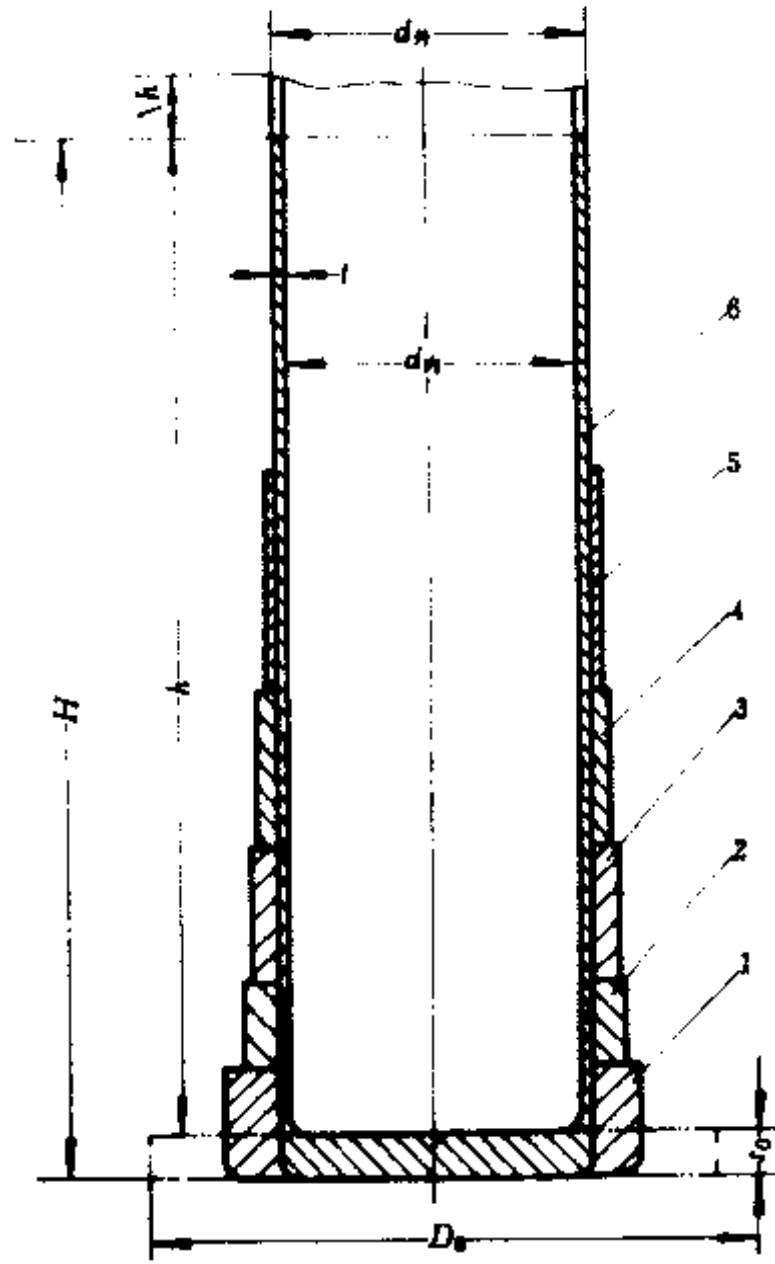


图 1-13 变薄拉深件工序示意图

1—一次拉深；2—二次拉深；3—三次拉深；
4—四次拉深；5—五次拉深；6—六次拉深。

第五章 成 形

在板料冲压工艺中，除冲裁、弯曲、拉深等工序外，还有胀形、翻边、缩口、校平与整形等工序。其共同特点是通过板料的局部变形来改变毛坯的形状和尺寸，通称为成形工序。

第一节 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，这样的冲压加工方法叫做胀形。冲压生产中的起伏成形、圆柱形空心毛坯胀形、平板毛坯的拉张成形等均属于胀形成形方式。汽车覆盖件等形状比较复杂的零件成形也常常包含胀形成分。

一、胀形成形特点

如图 5-1 所示为球头凸模胀形平板毛坯。胀形时，毛坯被带筋的压边圈压紧，变形区限制在筋以内的毛坯上，在凸模力作用下，与球头面接触部的板料处于两向受拉的应力状态（忽略板厚方向的应力），沿切向和径向产生拉伸变形（见图 5-2），使板料厚度减薄、表面积增大，得到与凸模球头面形状一致的凸包。由于胀形时板料处于双向拉应力状态，板料不会产生压缩失稳，主要应防止拉伸破裂。

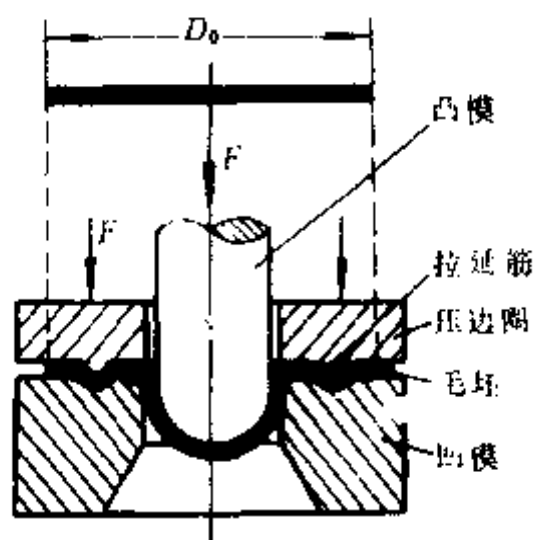


图 5-1 胀形成形

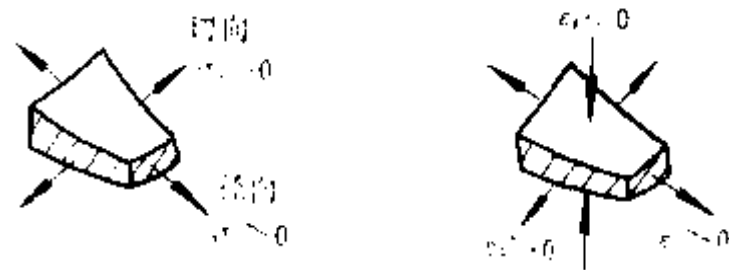


图 5-2 胀形时的应力和应变

二、应变分布图和应变状态图

利用应变分析的网格法（见第一章），测得制件上各点的应变变量，并画出与图 5-1 所示胀形方法对应的应变分布图和应变状态图（见图 5-3）。

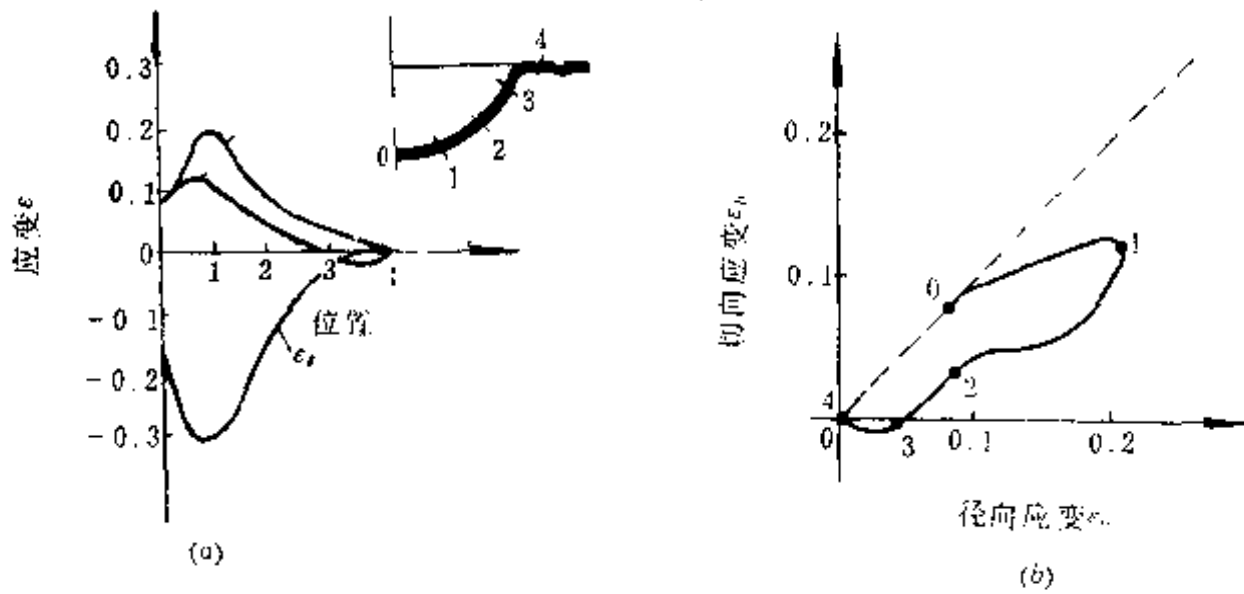


图 5-3 胀形时的应变分布图与应变状态图
(a) 应变分布图；(b) 应变状态图。

冲压成形时制件上各点或局部各点的应变分布情况（见图 5-3a），应变状态图是制件上各点或局部各点的应变状态在二维主应变平面上的分布状况（见图 5-3b）。利用这两种图可以正确分析制件变形区的应变情况，找出冲压成形失败的问题所在。例如，将胀形时的应变状态图与板料的成形极限图（见第一章）作比较（见图 5-4），若制件变形区中某点的应变变量超出成形极限图的应变范围，该点就是导致破裂的危险点，必须采取措施降低该点应变变量，避免发生破裂。实际生产中经常采取的工艺措施有改变成形毛坯或成形模具的几何条件、调整压边力、修磨凸、凹模圆角、改变润滑条件或更换原材料等。

三、胀形成形极限

胀形是否超过成形极限，以制件是否发生破裂来判别。胀形破裂一般总是发生在板料厚度减薄最大的部位。应变分布均匀，板料厚度减薄也均匀，则能获得较大的胀形高度，所以，变形区的应变分布是影响胀形成形极限的重要因素。

若制件的形状和尺寸不同，胀形时的应变分布也不相同。如图 5-5 所示展示了用球形凸模和平底凸模胀形时的厚度应变分布情况。显然，球头凸模胀形时，应变分布比较均匀，各点的应变变量都比较大，能获得较大的胀形高度，故成形极限较大。制件断面形状对胀形高度的影响情况如图 5-6 所示。

材料的延伸率和应变硬化指数 n 对胀形成形极限的影响极大。延伸率大，破裂前允许的变形程度大，成形极限也大； n 值大，应变硬化能力强，可促使应变分布趋于均匀化，同时还能提高材料的局部应变能力，故成形极限也大。

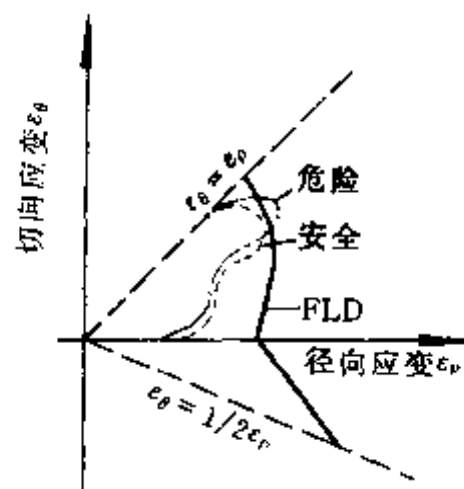


图5-4 胀形成形极限
FLD——成形极限曲线。

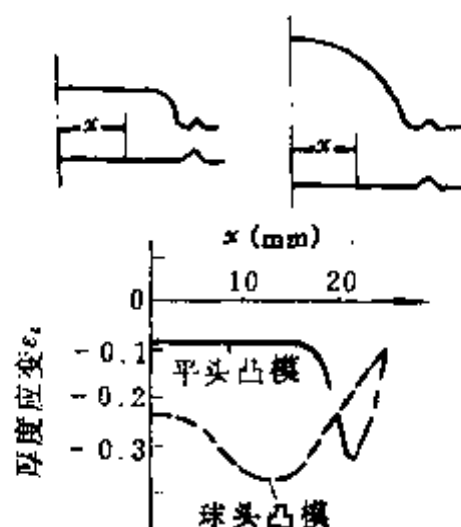


图5-5 胀形时的厚度应变分布情况

润滑条件、变形速度以及材料厚度对胀形成形极限也有影响。例如，用刚性凸模胀形时，在毛坯和凸模之间施以良好的润滑（如加衬一定厚度的聚乙烯薄膜），其应变分布要比干摩擦时均匀，使胀形高度增加。光洁的冲模表面也有利于胀形高度增大。刚性凸模胀形时，成形速度大，摩擦系数减少，有利于应变分布均匀化，胀形高度也会增大。必须注意的是，刚性凸模胀形时，应尽量增大凸模底部的圆角半径，避免板料在圆角处变形过于集中，否则会显著降低一次成形的胀形高度。一般来说，材料厚度增大，胀形成形极限有所增大，但料厚与制件尺寸比值较小时，其影响不太显著。

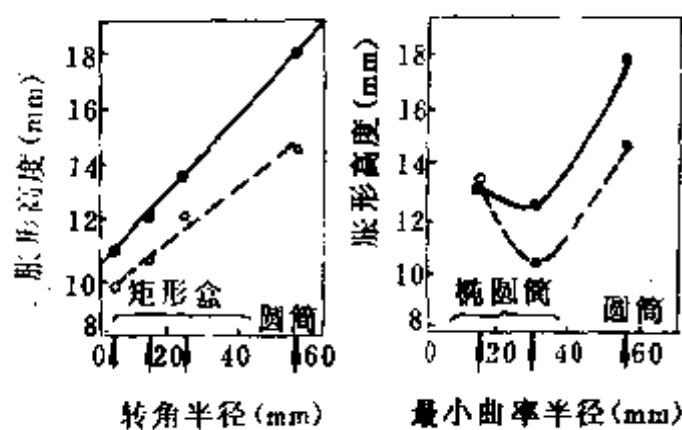


图5-6 零件断面形状对胀形高度的影响

一般来说，材料厚度增大，胀形成形极限有所增大，但料厚与制件尺寸比值较小时，其影响不太显著。

四、胀形工艺方法

（一）起伏成形

板料在模具作用下发生局部胀形而形成凸起或凹下的冲压加工方法叫做起伏成形（见图5-7）。

1. 压加强筋

加强筋能否一次冲压成形，与筋的几何形状和材料性质有关。

能够一次成形加强筋的条件为

$$\varepsilon_r = \frac{l-l_0}{l_0} \leq (0.70 \sim 0.75) \delta \quad (5-1)$$

式中 ε_r ——许用断面变形程度；

l_0 ——变形区横断面的原始长度（mm）；

① 视加强筋形状定，半圆形筋取上限值，梯形筋取下限值。

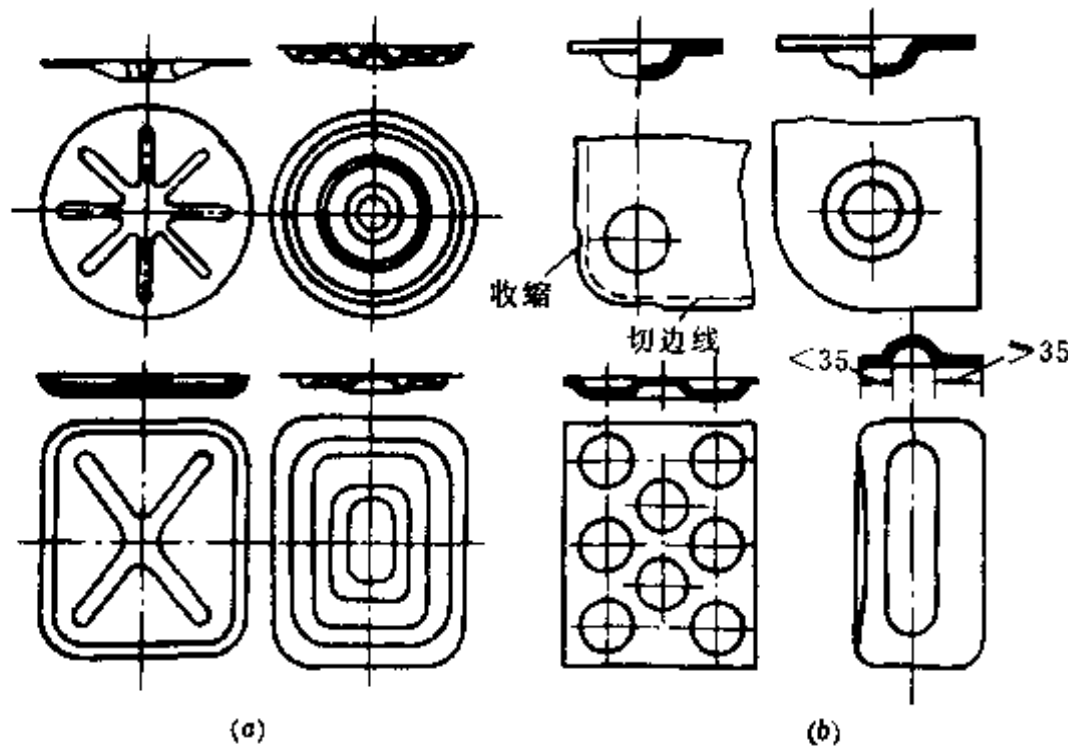


图 5-7 起伏成形
(a) 加强筋; (b) 局部凹槽和凸台。

l ——成形后加强筋断面的曲线轮廓长度 (mm);

δ ——材料延伸率。

常用的加强筋形式和尺寸见表 5-1。

表 5-1 加强筋的形式和尺寸 (mm)

名称	简图	R	h	B 或 D	r	a
半圆形筋		$(3\sim 4)t_0$	$(2\sim 3)t_0$	$(7\sim 10)t_0$	$(1\sim 2)t_0$	—
梯形筋		—	$(1.5\sim 2)t_0$	$\geq 3h$	$(0.5\sim 1.5)t_0$	$15^\circ \sim 30^\circ$

注：表中数值下限为极限尺寸，上限为正常尺寸。

如图 5-8 所示为断面变形程度 ϵ 与压筋成形相对高度 h/t_0 的关系。由图和式 (5-1) 可知，压筋高度与断面变形程度 ϵ 有关，且受材料延伸率 δ 的影响。

若加强筋不能一次成形，则应采用多次冲压成形 (见图 5-9)。

加强筋与制件边缘的距离，应大于 $(3t\sim 3.5t)$ ，以防止边缘材料收缩影响外形尺寸和美观。否则要加大边缘外形尺寸，压形后再修边。

在直角形制件上压筋，其形式和尺寸见表 5-2。

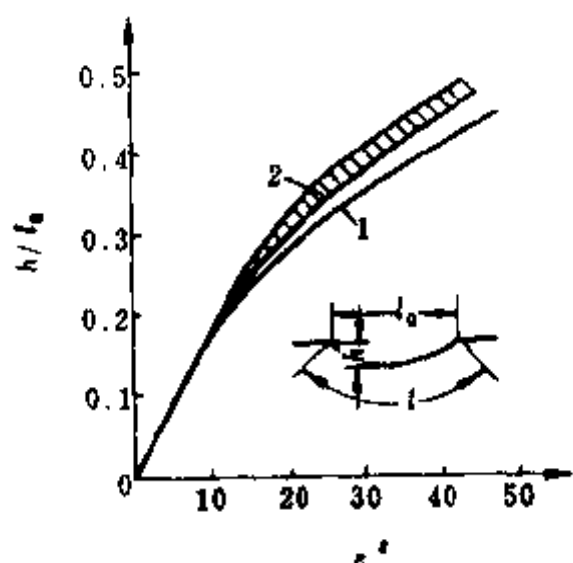


图 5—8 加强筋成形时断面变形程度与相对高度的关系

1—计算值；2—实测值。

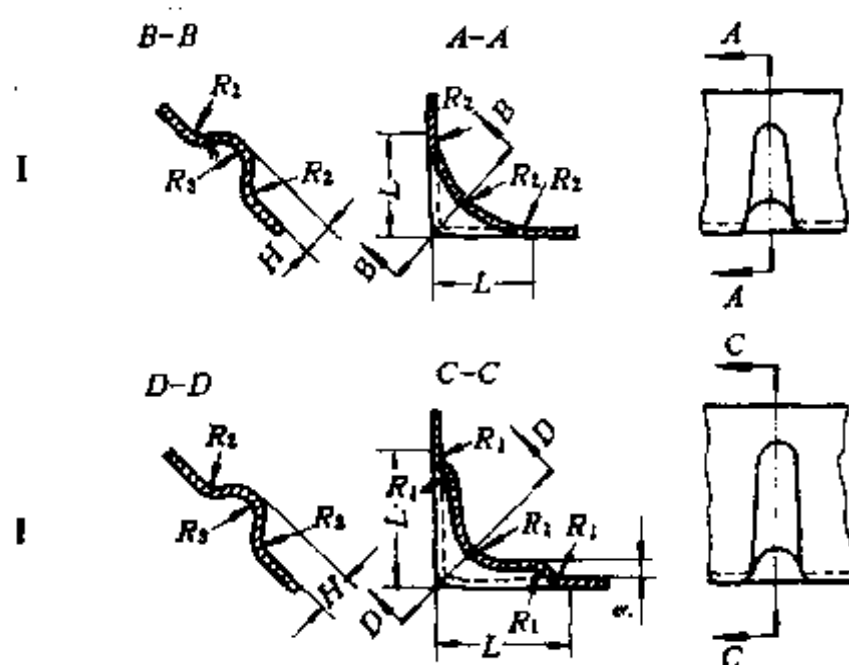


图 5—9 两道工序成形的加强筋

(a) 首次成形；(b) 最后成形。

表 5—2 直角形制件压筋的形式和尺寸

(mm)



类型	L	R ₁	R ₂	R ₃	H
I	12	6	3	4	2
	20	8	4	6	3
II	32	10	5	8	6

冲压加强筋的变形力 P 按下式计算

$$P = KLt\sigma_s \quad (5-2)$$

式中 P ——变形力 (N)；

K ——系数，等于 0.7~1，加强筋形状窄而深时，取较大值，宽而浅时，取较小值；

t ——料厚 (mm)；

L ——加强筋周长 (mm)；

σ_s ——材料强度极限 (MPa)。

若在曲柄压力机上用薄料 ($t < 1.5\text{mm}$), 对小制件 (面积小于 2000mm^2) 压筋或压筋兼作校正工序时, 变形力按下式计算

$$P = KFl^2 \quad (5-3)$$

式中 K ——系数, 钢件约取 $200 \sim 300$, 铜件和铝件约取 $150 \sim 200$;

F ——成形面积 (mm^2)。

2. 压凸包

如图 5-10 所示是冲压凸包的示意图。其成形特点与拉深不同。如果毛坯直径与凸模直径的比值小于 4, 成形时毛坯凸缘将会收缩, 则属于拉深成形; 若大于 4, 则毛坯凸缘不易收缩, 属于胀形性质的起伏成形 (即谓压凸包)。

冲压凸包时, 凸包高度受材料塑性限制, 不能太大, 表 5-3 列出了在平板上局部冲压凸包时的许用成形高度。凸包成形高度还与凸模形状及润滑有关。例如, 采用球头凸模时, 凸包高度可达球径的 $1/3$, 而换用平底凸模时, 高度就会减小, 原因是平底凸模的底部圆角半径 r , 对凸模下面的材料变形有制约作用。凸包深度主要取决于 r , r 大有利于凸包高度增大。改善球头凸模头部的润滑条件, 有利于增大凸包的成形高度。

如果制件要求的凸包高度超出表 5-3 所列的数值, 则可采用类似于多道工序压筋的方法冲压凸包。第一次可先用球形凸模预成形到相应深度后, 在第二次再用平底凸模将其成形到所要求的高度。

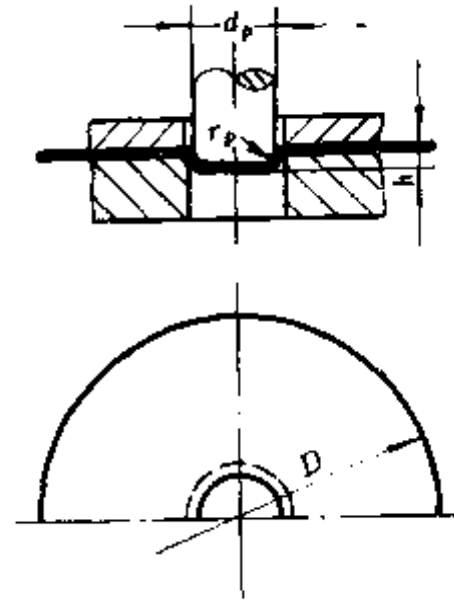


图 5-10 压凸包

表 5-3 平板局部冲压凸包时的许用成形高度 (mm)

简图	材料	许用成形高度 h_p
	铝	$h_p \leq (0.1 \sim 0.15)d$
	黄铜	$h_p \leq (0.15 \sim 0.22)d$

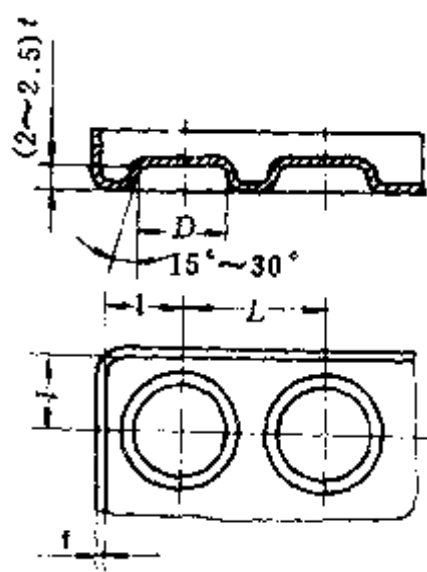
如果局部成形的变形量较大时, 单靠凸包部分的材料变薄是不够的, 还需相邻的材料流动来补充, 因此, 必须先成形凸包部分, 然后成形周围部分。若制件底部中心允许有孔, 可以预先冲出小孔, 使其中心部分的材料在冲压过程中向外流动, 这样就可以避免压凸包高度过大时变形量超过材料的极限延伸率。

多个凸包冲压成形时, 要考虑到凸包之间的互相影响, 凸包之间的距离见表 5-4。

(二) 圆柱形空心毛坯胀形

将圆柱形空心毛坯向外扩张成曲面空心制件的冲压加工方法叫做圆柱形空心毛坯胀形, 用这种方法可以制造如高压气瓶、波纹管、自行车的三通接头以及火箭发动机上的一些异形空心件 (见图 5-11)。

表 5-4 压凸包间距和凸包距边缘的极限尺寸 (mm)

筒 图	D	L	t
	6.5	10	6
	8.5	13	7.5
	10.5	15	9
	13	18	11
	15	22	13
	18	26	16
	24	34	20
	31	44	26
	36	51	30
	43	60	35
	48	68	40
	55	78	45

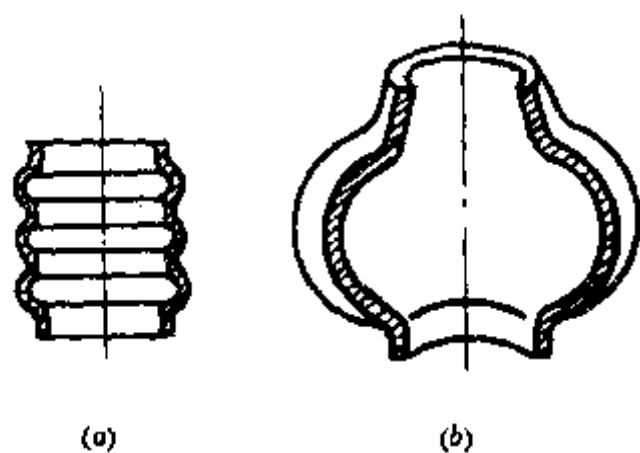
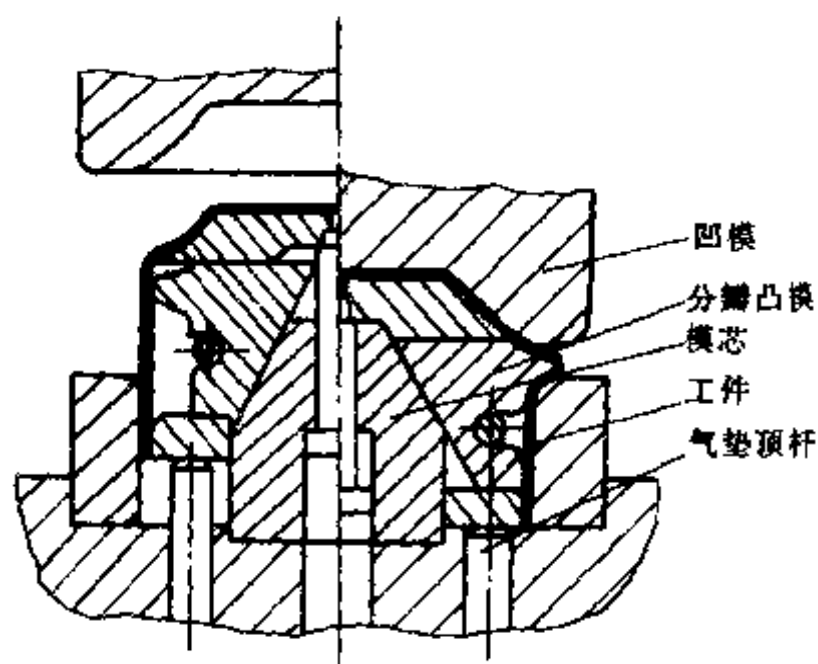
5-11 圆柱形空心毛坯胀形
(a) 波纹管; (b) 凸肚件。

图 5-12 刚体分瓣凸模胀形

1. 胀形方法

圆柱形空心毛坯胀形的方法有刚体冲模胀形法，软模胀形法。

由于刚体分瓣凸模（见图 5-12）模具结构复杂，胀形变形不均匀，不易胀出形状复杂的制件，很难得到精度较高的制件，所以生产中常用软模进行胀形。

软模胀形使用的介质有橡胶、PVC 塑料、石蜡、高压液体和压缩空气等。

如图 5-13 所示为橡胶凸模胀形示意图。橡胶胀形的优点是模具结构较简单，制件变形较均匀，容易保证几何形状，也便于成形复杂的空心件。由于聚氨酯橡胶比天然橡胶强度高、耐油性好、使用寿命长，已逐渐替代天然橡胶进行成形。

PVC 塑料胀形与橡胶胀形原理完全相同。PVC 塑料也是一种优质传压介质，虽然弹性和强度均不如聚氨酯橡胶，但由于其合成简单，价格低廉，使用前景广阔。

如图 5-14 所示为液压胀形示意图。液压胀形时，毛坯放在凹模内，利用高压液体充入毛坯空腔，使其直径胀大，最后贴靠凹模成形。液压胀形的优点是传力均匀、工艺

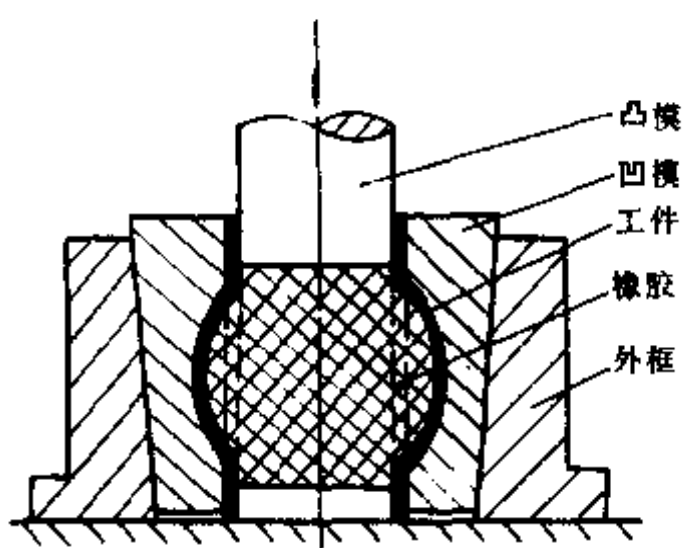


图 5-13 橡胶凸模胀形

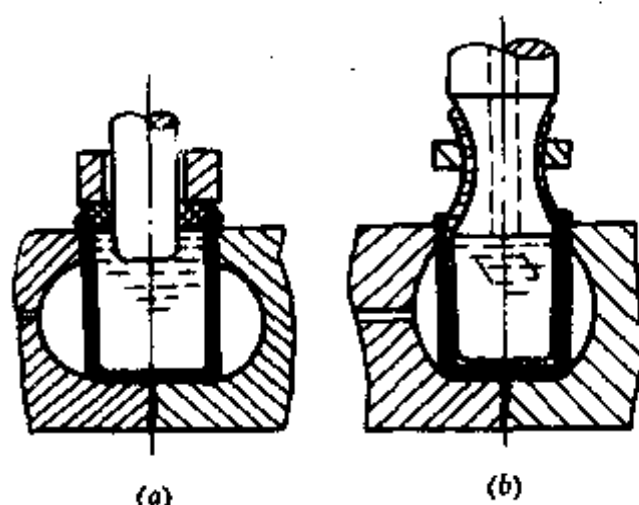


图 5-14 液体凸模胀形

(a) 圆筒形件胀形; (b) 管形件胀形。

过程简便、生产成本低、制件表面质量好。

2. 胀形变形程度的计算

圆柱形空心毛坯的胀形变形程度用胀形系数 K 表示

$$K = \frac{d_{\max}}{d_0} \quad (5-4)$$

式中 d_0 —— 毛坯原始直径;

d_{\max} —— 胀形后制件的最大直径。

显然, 由于材料塑性限制, 胀形后的直径有一定的限度, 所以这类毛坯胀形时的成形极限可用极限胀形系数 K_p 表示

$$K_p = \frac{d'_{\max}}{d_0} \quad (5-5)$$

式中 d'_{\max} —— 制件胀破前允许的最大胀形直径。

极限胀形系数 K_p 与毛坯切向的许用延伸率 δ_{θ} 有关, 即

$$\delta_{\theta} = \frac{\pi d'_{\max} - \pi d_0}{\pi d_0} = K_p - 1 \quad (5-6)$$

表 5-5 列出了一些金属材料的极限胀形系数和切向许用延伸率的试验值, 供参考使用。

假如在圆柱形空心毛坯胀形的同时, 还在轴向加压时, 则胀形的变形程度可比表 5-5 所列 δ_{θ} 值增大。

若对毛坯变形区进行局部加热, 会显著地增大其变形程度。

铝管毛坯胀形时, 由实验确定的胀形系数见表 5-6。

3. 胀形毛坯的计算

圆柱形空心毛坯胀形时, 为增加材料在圆周方向的变形程度和减少材料的变薄, 毛坯两端一般不固定, 使其自由收缩, 因此, 毛坯长度 L_0 应比制件长度增加一定的收缩量。

毛坯的原始长度 L_0 (见图 5-15) 可按下式近似计算

$$L_0 = L[1 + (0.3 \sim 0.4)\delta_{\theta}] + \Delta h \quad (5-7)$$

式中 L —— 制件的母线长度;

δ_s ——制件切向的最大延伸率

$$\delta_s = \frac{\pi d_{\max} - \pi d_0}{\pi d_0}$$

Δ ——修边余量，约取 10~20mm。

毛坯的原始直径 d_0 根据式 (5-5) 计算

$$d_0 = \frac{d'_{\max}}{K_f}$$

表 5-5 极限胀形系数和切向许用延伸率

材 料	厚度 (mm)	极限胀形系数 K_f	切向许用延伸率 $\delta_{sp} \times 100$
铝合金 LF21-M	0.5	1.25	25
纯铝	L ₁ , L ₂	1.0	28
	L ₃ , L ₄	1.5	32
	L ₅ , L ₆	2.0	32
黄铜	H62	0.5~1.0	35
	H68	1.5~2.0	40
低碳钢	08F	0.5	20
	10, 20	1.0	24
不锈钢		0.5	26
	1Cr18Ni9Ti	1.0	28

注：如果毛坯是经过滚弯焊接的有缝钢管，在焊缝处材料塑性最低，比原材料低 15%~20%。为防止材料过渡变薄，必须使最大变形区材料的延伸率 δ_s 比表 5-5 所列 δ_{sp} 值低 20%。

表 5-6 铝管毛坯的实验胀形系数

胀形方法	极限胀形系数 K_f
简单的橡皮胀形	1.20~1.25
带轴向压缩毛坯的橡皮胀形	1.60~1.70
局部加热到 200~250℃ 的胀形	2.00~2.10
用锥形凸模加热到 380℃ 的边缘胀形	~3.00

4. 胀形力的计算

软模胀形圆柱形空心毛坯时，所需的单位压力 p 分下面两种情况计算。

两端不固定，允许毛坯轴向自由收缩时

$$p = \frac{2t}{d_{\max}} \sigma_b \quad (5-8)$$

两端固定，毛坯轴向不能收缩时

$$p = 2\sigma_b \left(\frac{t}{d_{\max}} + \frac{t}{2R} \right) \quad (5-9)$$

式 (5-8) 和式 (5-9) 中， σ_b 为材料的强度极限，其他符号意义如图 5-15 所示。

第二节 翻孔与翻边

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叫做翻边。用翻边方法可

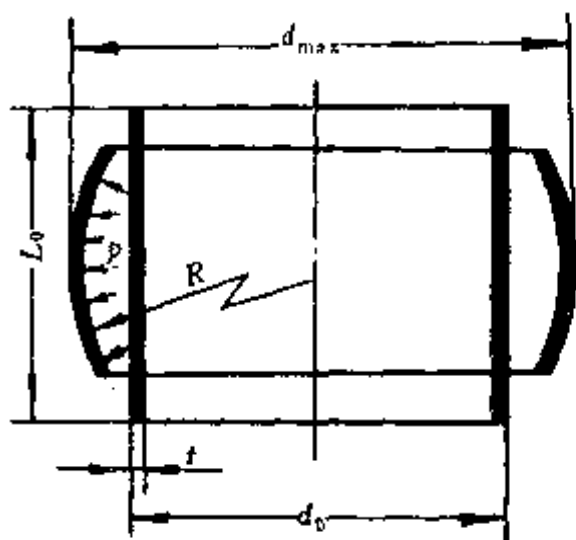


图 5-15 圆柱形空心毛坯胀形工件展开尺寸

加工形状较为复杂且有良好刚度的立体制件，还能在冲压件上制取与其他零件装配的部位（如铆钉孔、螺纹底孔和轴承孔等）。翻边可代替某些复杂零件的拉深工序，改善材料塑性流动以免发生破裂或起皱。用翻边代替先拉深后切底的方法制取无底零件，可减少加工次数，并节省材料。

一、圆孔翻边（翻孔）

（一）圆孔翻边的特点

如图 5-16 所示为圆孔翻边的示意图。翻边时，带有圆孔的环形毛坯被压边圈压紧，变形区限制在凹模圆角以内，并在凸模轮廓的约束下受拉应力作用，随着凸模下降，毛坯中心的圆孔不断胀大，凸模下面的材料向侧面转移，直到完全贴靠凹模侧壁，形成直立的竖边。

若忽略板厚方向的应力，则由图 5-16 所示单元体受力情况可得近似平衡方程

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0 \quad (5-10)$$

通常，圆孔翻边时的应力为 $\sigma_1 = \sigma_\theta$ ， $\sigma_2 = \sigma_\rho$ ， $\sigma_3 = \sigma_t = 0$ ，则屈服准则可写成如下

$$\sigma_\theta = 1.155\sigma_s \quad (5-11)$$

联解式 (5-10) 和式 (5-11) 可得径向拉应力

$$\sigma_\rho = 1.155\sigma_s \left(1 - \frac{r}{\rho}\right) \quad (5-12)$$

比较式 (5-11) 与式 (5-12)，显然，切向拉应力大于径向拉应力，所以切向拉伸变形大于径向压缩变形，导致材料厚度减薄。在孔缘处， $\rho = r$ ，故

$$|\sigma_\rho|_{\rho=r} = 0 \quad (5-13)$$

上式说明翻边过程中，孔缘处只受切向拉应力作用，厚度减薄最为严重，因此，主要危险在孔缘拉裂处。圆孔翻边属伸长类变形。

如图 5-17 所示为圆孔翻边的应变分布和应变状态。由图可知，变形区应变分布是不均匀的。

在圆孔翻边的中间阶段，如果停止变形，就会得到如图 5-18 所示的成形方式，这

种成形方式叫做扩孔，是伸长类翻边的特例。

(二) 圆孔翻边时的成形极限

圆孔翻边的变形程度用翻边系数 K 表示

$$K = \frac{d_0}{D_m} \quad (5-14)$$

式中 d_0 ——毛坯上圆孔的初始直径；

D_m ——翻边后竖边的中径（见图 5-19）。

圆孔翻边的成形极限是根据孔缘是否发生破裂来确定。由于孔缘只受切向拉应力作用故厚度应变

$$\epsilon_t = \ln \frac{t}{t_0} = -\frac{1}{2}\epsilon_\theta$$

所以

$$\begin{aligned} \frac{t}{t_0} &= \sqrt{\frac{d_0^2}{D_m^2 - t_0^2}} = \sqrt{\frac{(d_0/D_m)^2}{1 - (t_0/D_m)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{K^2}{1 - (t_0/D_m)^2}} \end{aligned} \quad (5-15)$$

若相对厚度 t_0/D_m 很小，则

$$t \approx t_0 \sqrt{K} \quad (5-16)$$

由上式看出， K 越小竖边孔缘厚度减薄越大，容易发生破裂，故圆孔翻边成形极限受 K 值限制。由于材料性质不均匀，孔缘各处允许的切向延伸率不同，一

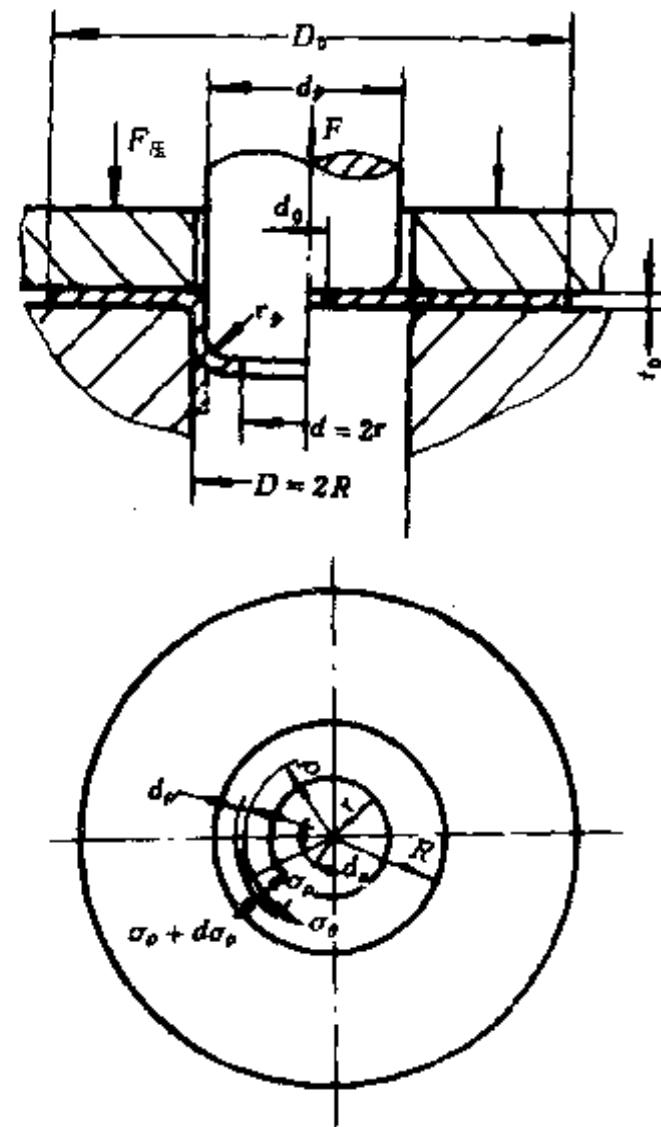


图 5-16 圆孔翻边

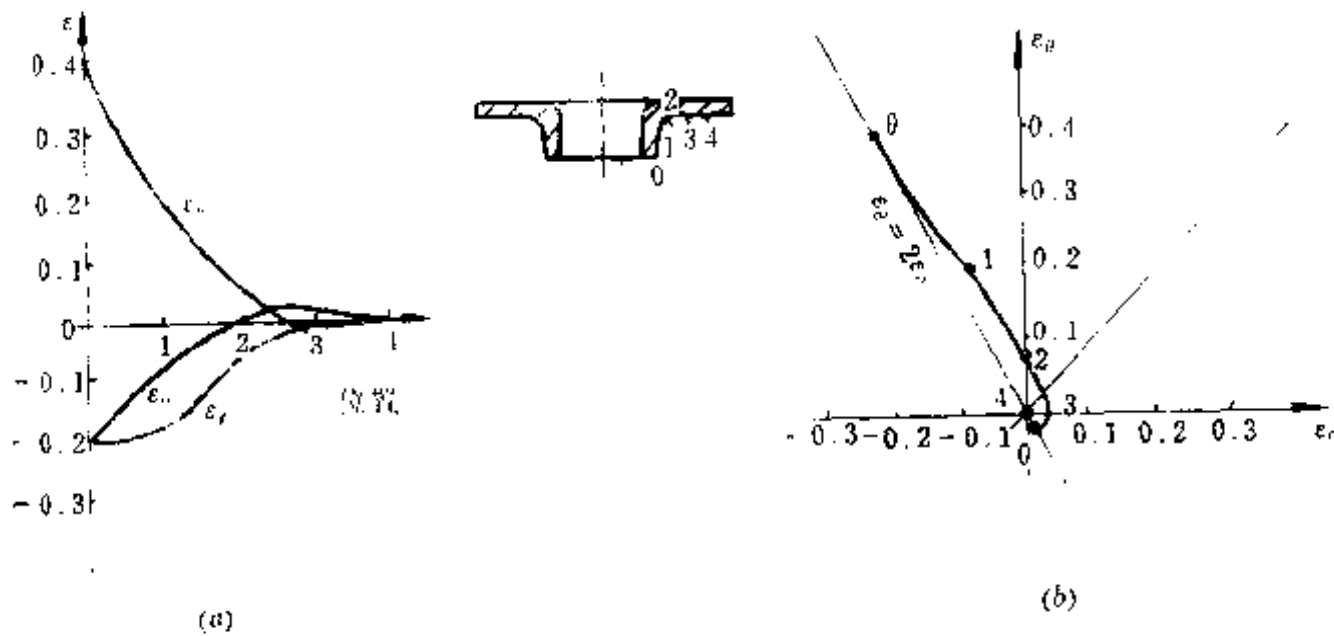


图 5-17 圆孔翻边的应变分布图和应变状态图

(a) 应变分布图；(b) 应变状态图。

且孔缘某处的伸长变形超过了该处材料允许的延伸率，该处就会因厚度减薄过大而破裂（见图 5-20）。

表 5-7 和表 5-8 分别列出保证低碳钢和其他一些金属材料，翻边不发生破裂时允许的极限翻边系数 K_l ，通常可用它们反映圆孔翻边成形的极限， K_l 越小，成形极限越大。

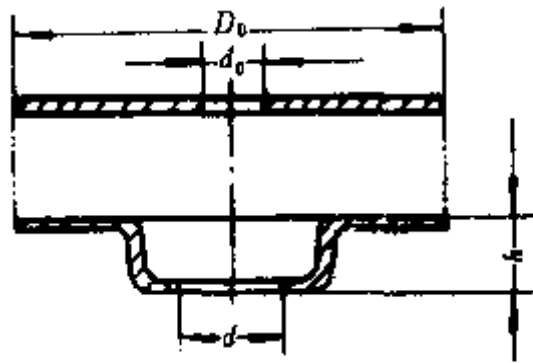


图 5-18 扩孔成形

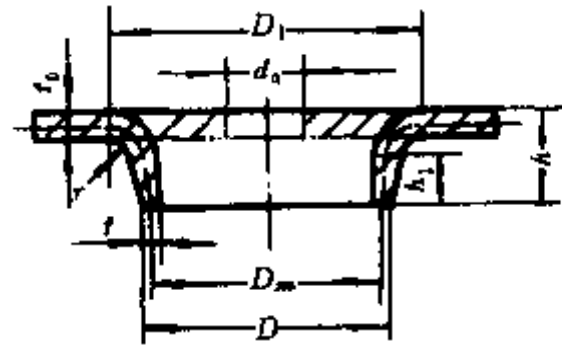


图 5-19 翻边件的尺寸

改善圆孔翻边成形性的措施：

(1) 提高材料的塑性。材料延伸率和应变硬化指数 n 大， K_f 就小，有利翻边。

(2) 翻边圆孔孔缘无毛刺和硬化层时， K_f 较小，成形极限较大。为此可在冲孔后进行修整，消除毛刺、撕裂带和硬化层或在冲孔后退火。为消除孔缘表面的硬化，也可以用钻削代替冲孔。为了避免毛刺而降低成形极限，翻边时需将预制孔有毛刺的一面朝向凸模放置。有

时孔缘毛刺一侧成为翻边外侧时，而去除毛刺又费时，可将毛刺侧孔口压出 $0.3 \times 90^\circ$ 的坡口。



图 5-20 伸长类翻边破裂

(a) 扩孔破裂；(b) 翻边破裂。

表 5-7 低碳钢极限圆孔翻边系数 K_f

凸模形式	孔的加工方法	比 值 d_0/t_0										
		100	50	35	20	15	10	8	6.5	5	3	1
球形凸模	钻孔	0.7	0.6	0.52	0.45	0.4	0.36	0.33	0.31	0.3	0.25	0.2
	冲孔	0.75	0.65	0.57	0.52	0.48	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	—
圆柱形凸模	钻孔	0.8	0.7	0.6	0.5	0.45	0.42	0.4	0.37	0.35	0.3	0.25
	冲孔	0.85	0.75	0.65	0.6	0.55	0.52	0.5	0.50	0.48	0.47	—

表 5-8 其他金属材料的极限翻边系数 K_f

经退火的毛坯材料	极限翻边系数		经退火的毛坯材料	极限翻边系数	
	K_f	K_{fmin}		K_f	K_{fmin}
白铁皮	0.70	0.65	钛合金 TA1 (冷态)	0.64~0.68	0.55
黄铜 H62 $t=0.5\sim6.0$	0.68	0.62	TA1 (300~400°C)	0.40~0.50	—
铝 $t=0.5\sim5.0\text{mm}$	0.70	0.64	TA5 (冷态)	0.85~0.90	0.75
硬铝合金	0.89	0.80	TA5 (500~600°C)	0.65~0.70	0.55
			不锈钢、高温合金	0.65~0.69	0.57~0.61

(3) 用球形、锥形和抛物线形凸模翻边时, 孔缘会被圆滑地胀开, 变形条件比平底凸模优越。

(4) 板料相对厚度越大, 在断裂前可能产生的绝对伸长越大, K_f 较小, 成形极限越大。

(5) 若翻边过程中毛坯外径(法兰部分)发生收缩, 翻边就无法进行, 这时就要增加一些附加工序, 如增大毛坯外径, 防止外径收缩, 增加翻边后再修正外径的工序, 或落料后先进行拉深, 然后再冲孔、翻边。

(6) 翻边高度(包括圆角半径在内)要满足 $h > 1.5r$, 否则将得不到垂直的竖边, 为此要增加翻边高度, 翻边后再对高度进行修整。

(三) 圆孔翻边的毛坯计算

由于圆孔翻边时板料主要是切向拉伸变形, 厚度减薄, 而径向变形不大。因此, 圆孔翻边的毛坯计算可按弯曲件中性层长度不变的原则, 用翻边高度计算翻边圆孔的初始直径 d_0 , 或用 d_0 和翻边系数 K 计算可以达到的翻边高度。采用先拉深再翻边的方法时, 还要计算出翻边前的拉深高度 h_2 。

1. 一次翻边成形

翻边高度不大时, 可将平板毛坯一次翻边成形。按图 5-19 所示, 一次翻边成形时, 翻边圆孔的初始直径 d_0 、翻边高度 h 和翻边系数 K_f 之间的关系如下

$$d_0 = D_1 - \left[\pi \left(r + \frac{t_0}{2} \right) + 2h_1 \right] \quad (5-17)$$

因为 $D_1 = D_m + 2r + t_0$, $h_1 = h - r - t_0$, 将它们代入式 (5-17) 简化后得

$$d_0 = D_m - 2(h - 0.43r - 0.72t_0) \quad (5-18)$$

由式 (5-18) 可得

$$\begin{aligned} h &= \frac{1}{2}(D_m - d_0) + 0.43r + 0.72t_0 \\ &= \frac{D_m}{2}(1 - K) + 0.43r + 0.72t_0 \end{aligned} \quad (5-19)$$

需指出, 按式 (5-19) 计算翻边高度时, 必须满足 $K \geq K_f$, 否则不能一次翻边成形。

2. 拉深后再翻边

若制件要求的翻边高度较大, 可采用先拉深、冲底孔再翻边的方法。这时, 先确定翻边高度 h_1 , 再确定翻边圆孔的初始直径 d_0 和拉深高度 h_2 (见图 5-21)。

按图 5-21 所示, 拉深后翻边高度为

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{D_m - d_0}{2} - \left(r + \frac{t_0}{2} \right) + \frac{\pi}{2} \left(r + \frac{t_0}{2} \right) \\ &\approx \frac{D_m}{2}(1 - K) + 0.57r \end{aligned} \quad (5-20)$$

所以,

$$d_0 = D_m + 1.14r - 2h_1 \quad (5-21)$$

若取极限翻边系数 K_f , 则有

$$h_{1\max} = \frac{D_m}{2}(1 - K_f) + 0.57r \quad (5-22)$$

$$d_0 = K_1 D_m \quad (5-23)$$

于是，翻边前的拉深高度 h_2 为

$$h_2 = h - h_1 + r + t_0 \quad (5-24)$$

或
$$h_2 = h - h_{1max} + r + t_0 \quad (5-25)$$

对于翻边高度较大的制件，除采用先拉深再翻边的方法外，也可采用多次翻边方法成形，但在工序间需要退火，且每次所用的翻边系数应比前次增大 15%~20%。

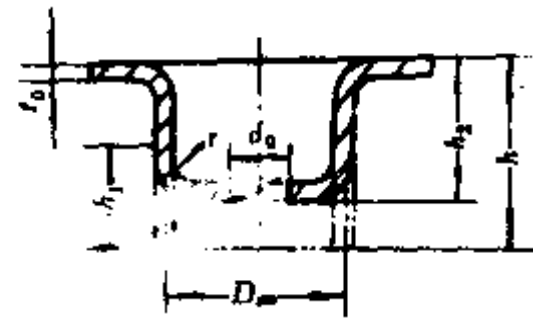


图 5-21 拉深后再翻边

(四) 小螺纹底孔翻边

生产中常用变薄翻边来成形零件小螺纹底孔。

变薄翻边时，凸、凹模之间采用小间隙（其值约为 $0.7t_0$ ），已成形的竖边在小间隙内受到凸、凹模的挤压，进一步发生较大的塑性变形，使厚度显著减薄，从而提高翻边高度。

小螺纹底孔变薄翻边时，凸模形状和尺寸对翻孔过程将有重要的影响，实践证明，使用探头台阶形翻孔凸模（见图 5-22）和抛物形翻边凸模（见图 5-23）能有效地消除孔缘裂纹，并且可以在 $0.5\text{mm} \sim 4\text{mm}$ 厚的钢板上冲制竖边高度可达 $1.6t_0$ 、 $1.8t_0$ 、 $2t_0$ 的 M2~M10 的螺纹底孔。

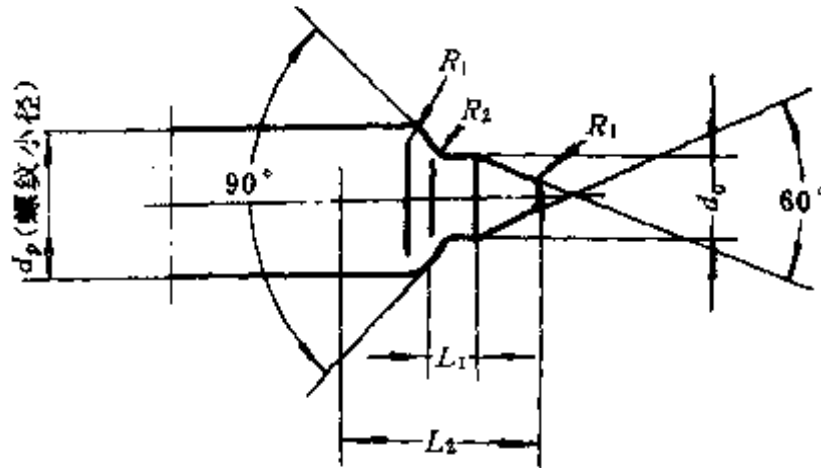


图 5-22 探头台阶形翻孔凸模

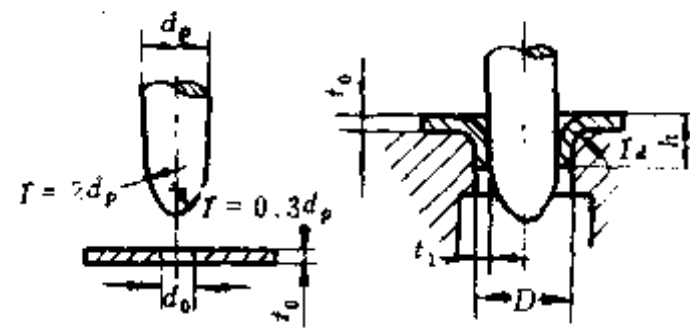


图 5-23 抛物形翻边凸模

表 5-9 探头台阶形翻边凸模尺寸

(mm)

螺纹尺寸 凸模尺寸	M2	M2.2	M2.5	M3	M3.5	M4	M5	M6	M8	M10
L_1	1.4	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0
L_2	3.7	4.2	4.2	4.7	5	5.7	7.2	8.5	10.4	12.5
R_1	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.3	1.5	2.0	2.0
R_2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7

二、外缘翻边

外缘翻边可分为内曲翻边（见图 5-24）和外曲翻边（见图 5-25）两种。

表 5-10 在金属板上翻边小螺纹底孔尺寸 (mm)

螺纹直径	t_0	d_0	d_p	h	D	r_s
M2	0.8	0.8	1.6	1.6	2.7	0.2
	1.0			1.8	3.0	0.4
M2.5	0.8	1	2.1	1.7	3.2	0.2
	1.0			1.9	3.5	0.4
M3	0.8	1.2	2.5	2.0	3.6	0.2
	1.0			2.1	3.8	0.4
	1.2			2.2	4.0	0.4
	1.5			2.4	4.3	
M4	1.0	1.6	3.3	2.6	4.7	0.4
	1.2			2.8	5.0	
	1.5			3.0	5.4	
	2.0			3.2	6.0	0.6

注：表中尺寸见图 5-23。

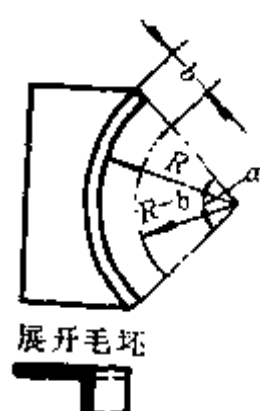


图 5-24 内曲翻边

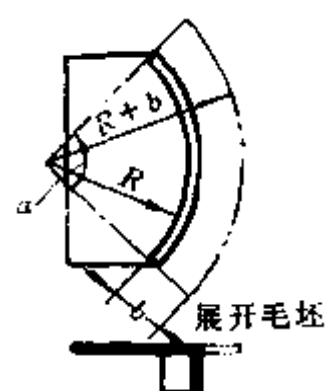


图 5-25 外曲翻边



(一) 内曲翻边

用模具把毛坯上内凹的外缘翻成竖边的冲压加工方法叫做内曲翻边，或称为内凹外缘翻边。

内曲翻边的应力和应变情况与圆孔翻边相似，所以也属于伸长类翻边。内曲翻边的变形程度用 E_s 表示。

$$E_s = \frac{b}{R - b} \quad (5-26)$$

式中符号的意义如图 5-24 所示。

内曲翻边的成形极限根据翻边后竖边的边缘是否发生破裂来确定。如果变形程度过大，竖边边缘的切向伸长和厚度减薄也比较大，容易发生破裂，故 E_s 不能太大。表 5-11 列出了竖边边缘不破裂时的极限变形程度 E_{st} ，并把 E_{st} 作为内曲翻边的成形极限。

(二) 外曲翻边

用模具把毛坯上外凸的外边缘翻成竖边的冲压加工方法叫做外曲翻边，或叫做外凸外缘翻边。

表 5-11 外缘翻边允许的极限变形程度

材料名称及牌号	$E_d \times 100$		$E_d \times 100$		材料名称及牌号	$E_d \times 100$		$E_d \times 100$	
	橡皮成形	模具成形	橡皮成形	模具成形		橡皮成形	模具成形	橡皮成形	模具成形
铝合金					黄铜				
L4M	25	30	6	40	H62 软	30	40	8	45
L4Y1	5	8	3	12	H62 半硬	10	14	4	16
LF21M	23	30	6	40	H68 软	35	45	8	55
LF21Y1	5	8	3	12	H68 半硬	10	14	4	16
LF2M	20	25	6	35	钢				
LF3Y1	5	8	3	12	10	—	38	—	10
LY12M	14	20	6	30	20	—	22	—	10
LY12Y	6	8	0.5	9	1Cr18Ni9 软	—	15	—	10
LY11M	14	20	4	30	1Cr18Ni9 硬	—	40	—	10
LY11Y	5	6	0	0	2Cr18Ni9	—	40	—	10

外曲翻边变形区的应力和应变情况与不用压边的浅拉深相似，竖边根部附近的圆角部位产生弯曲变形，而竖边的其他部位均受切向压应力作用，产生较大的压缩变形。导致材料厚度有所增大，容易起皱，属于压缩类翻边。

外曲翻边的变形程度用 E_c 表示为

$$E_c = \frac{b}{R + b} \quad (5-27)$$

外曲翻边时，由于切向受压应力，容易起皱，成形极限主要受压缩起皱的限制。表 5-11 列出了竖边不起皱时的极限变形程度 E_d ，并把 E_d 作为外曲翻边的成形极限。当翻边高度较大时，起皱趋势增大，为了避免起皱，可采用压边装置。

外缘翻边时，竖边高度不能太小，当高度小于 $(2.5 \sim 3)t_0$ 时，回弹严重，必须加热后再翻边或加大翻边高度，在翻边后再切去多余的部分。

(三) 毛坯形状的确定

外缘翻边的毛坯计算与毛坯外缘轮廓线性质有关，对于内曲翻边的制件，其毛坯形状可参考圆孔翻边毛坯计算方法；对于外曲翻边的制件，其毛坯形状可参考浅拉深毛坯计算方法。

三、非圆孔翻边

非圆孔翻边（见图 5-26）的变形性质与非圆形孔缘轮廓性质有关。

图 5-26 所示非圆孔翻边时，直线段 c 近似弯曲；外凸弧线段 a 则具有拉深变形的特点，属于压缩类翻边；内凹弧线段 b 类似于圆孔翻边，属于伸长类翻边。变形区内的应力、应变沿弯曲线的分布是不均匀的。由于材料是连续的，所以不同部分之间的变形也是连续的，伸长类翻边区的变形可以扩展到与其相连的弯曲变形区或压缩类翻边区，从而可减轻伸长类翻边区的变形程度，有利于降低非圆孔翻边总的变形程度。因此在对最小曲

率半径的内凹弧线段核算其极限翻边系数 K'_l 时, 可以小于圆孔翻边时的极限翻边系数 K_l , 两者之间的关系为

$$K'_l \approx (0.85 \sim 0.95)K_l \quad (5-28)$$

非圆孔翻边高度一般为 $(4 \sim 6)t_0$, 角部最小圆角半径为 $4t_0$ 。

表 5-12 列出了低碳钢材料和软的黄铜在非圆孔翻边时允许的极限翻边系数 K'_l 。由表可知非圆孔孔缘弧线段对应的圆心角 α 对 K'_l 有影响, 故设计非圆孔翻边工艺时, 选取的翻边系数还应满足各个弧线段的翻边要求。对于塑性大的材料翻边系数可取比表列数值减小 5%~10%, 而塑性小的材料应该相应地增加。

非圆孔翻边所用的预制孔形状和尺寸, 可根据各段孔缘的曲线性质分别参照圆孔翻边、弯曲和浅拉深毛坯计算方法确定。但由理论计算确定的预制孔形状与翻边结果会有出入, 应予以适当的修正。通常, 翻边后弧线段的竖边高度较直线段竖边高度稍低, 为消除误差, 在竖边高度相等的情况下, 弧线段的展开宽度应比直线段加大 5%~10%, 毛坯上述各展开部分最后还须用光滑曲线将它们联系起来, 使各段孔缘能光滑过渡。

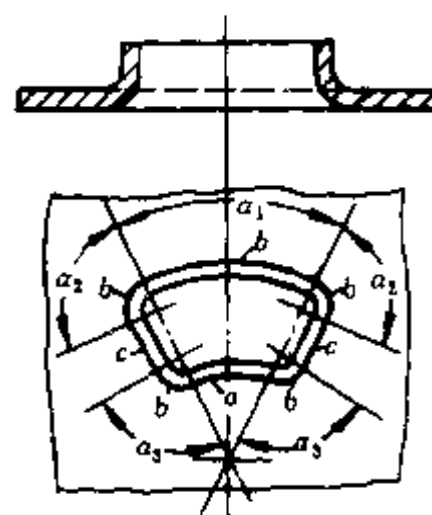


图 5-26 非圆孔翻边

表 5-12 非圆孔件的极限翻边系数 K'_l

α	比 值 d/t						
	50	33	20	12.5~8.3	6.6	5	3.3
180° ~ 360°	0.8	0.6	0.52	0.5	0.48	0.46	0.45
165°	0.73	0.55	0.48	0.46	0.44	0.42	0.41
150°	0.67	0.5	0.43	0.42	0.4	0.38	0.375
135°	0.6	0.45	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34
120°	0.53	0.4	0.35	0.33	0.32	0.31	0.3
105°	0.47	0.35	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26
90°	0.4	0.3	0.26	0.25	0.24	0.23	0.225
75°	0.33	0.25	0.22	0.21	0.2	0.19	0.185
60°	0.27	0.2	0.17	0.17	0.16	0.15	0.145
45°	0.2	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
30°	0.14	0.1	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
15°	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
0°	压 弯 变 形						

第三节 缩 口

通过缩口模具使筒形件或管形件敞口处直径缩小的冲压成形方法叫做缩口。冲压缩口是筒形件或管形件缩口的一种主要工艺方法(见图 5-27)。炮弹壳和子弹壳等成形都需采用缩口工序。

一、缩口成形特点

如图 5-28 所示为锥形面凹模对筒形件缩口成形的示意图。缩口时，筒形件缩口端材料在锥面压力作用下向凹模内滑动，直径逐渐缩小，壁厚及高度增加。材料的变形主要集中在变形区 A 段内，B 段是已变形区，C 段为非变形区亦是缩口处压力的传力区。

当筒形件的相对厚度不大时，可以认为变形区的材料处于两向受压平面应力状态（切向及径向受压应力作用），主要是受切向压应力作用。而应变状态则是径向为压缩变形其绝对值最大，厚度与长度方向为伸长变形且厚度方向变形量大于长度方向的变形量。

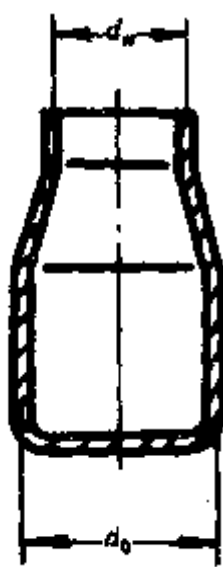


图 5-27 筒形件的缩口成形

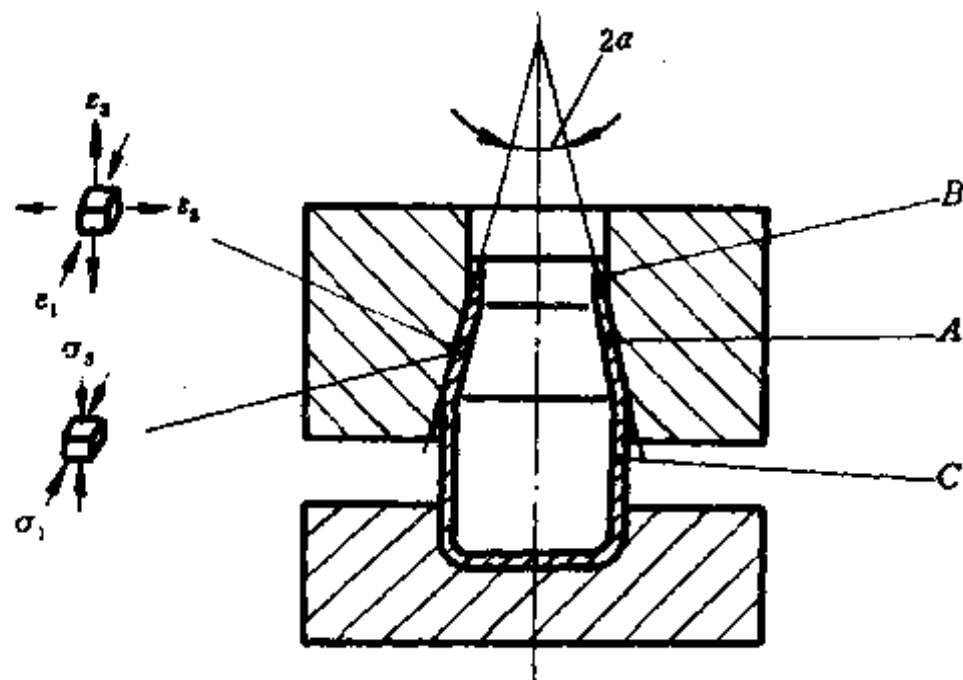


图 5-28 缩口时的应力和应变

缩口过程与变形区和非变形区的失稳条件有密切关系，当然与缩口力的大小更有直接的关系。一次缩口的变形程度是有限的，主要的限制因素是传力区筒壁在缩口压力过大时，由于纵向失稳而出现弯曲、环状波纹、直径变粗或局部凹陷之类的变形，其次是变形区筒壁因受切向压缩应力作用，发生切向失稳而起皱（见图 5-29）。

二、缩口变形程度

缩口变形程度可以用缩口系数 m_n 表示，即

$$m_n = \frac{d_n}{d_0} \quad (5-29)$$

式中 m_n ——总的缩口系数；

d_n ——第 n 次缩口后的直径；

d_0 ——缩口前的直径。

当凹模的锥角 2α 及摩擦系数 μ （材料与锥面间的摩擦）恒定时，缩口系数愈小，则所需的单位缩口压力 p 也增大。一次缩口变形程度受非变形区筒壁材料的屈服强度 σ_s 限制，当 $p \geq \sigma_s$ ，此时非变形区筒壁已因塑性变形而失稳（见图 5-29 中的 (b)、(c)）。

缩口系数 m_n 与材料的机械性能（塑性和强度）、料厚、凹模的锥角、模具的形式（见

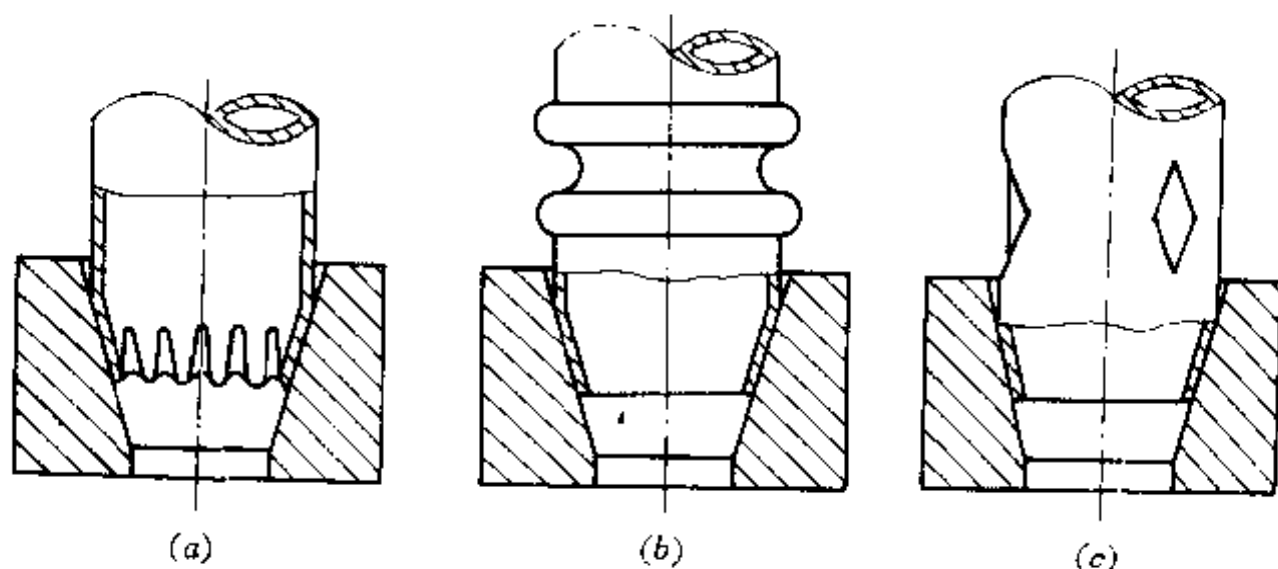


图 5-29 缩口成形时变形区和非变形区失稳状态
(a) 缩口端起皱；(b) 非变形区筒壁的波纹皱；(c) 非变形区筒壁的宝石皱。

图 5-33)、凹模型面的粗糙度、润滑条件、工件缩口端边缘整齐程度以及毛刺等条件有关。

材料的塑性好、屈强比值大，允许的缩口变形程度大（缩口系数小）；料愈厚，不易塑性失稳，有利缩口成形；采用内支承（模芯）模具结构时，变形区材料在模芯的反力作用下贴着凹模成形，口部不易起皱（见图 5-30）；选用最佳凹模锥角（ $2\alpha=52^{\circ}30'$ ）时，所需的缩口力最小，可提高缩口变形程度 10%~15%；锥面粗糙度 R_a 的数值低、润滑条件好，材料与锥面的摩擦阻力就小，对缩口成形有利。

带有高出口凸台、小圆角过渡且内孔精度要求高的缩口件，采用一般的内支承（模芯）模具结构时，容易产生如图 5-31 所示之失稳。出口凸台愈高，材料在模芯和凹模锥面间运动所产生的反向间的摩擦阻力愈大，使总缩口力增加，失稳的因素也增加了。若在锥模下压的同时，使模芯反向运动（见图 5-32），此时只要模芯反向运动速度 v' 与锥模下压速度 v 选配适当，则模芯与锥面之间被挤压的材料向相反方向运动，摩擦力（模芯与材料间）方向发生变化，产生一种向上的张力，此张力改变了变形区材料的应力、应变状态，这对材料的变形及缩口力的降低都是有利的。材料在此张力作用下能紧贴凹模型面成形。因此，能得到清晰的外形轮廓和内孔尺寸，即出口凸台的高度再高些，也能稳定地进行缩口成形。

缩口件的表面质量还与毛坯敞口边缘的毛刺和孔口整齐程度有关。毛刺小而且孔口整齐，缩口件表面质量就高。

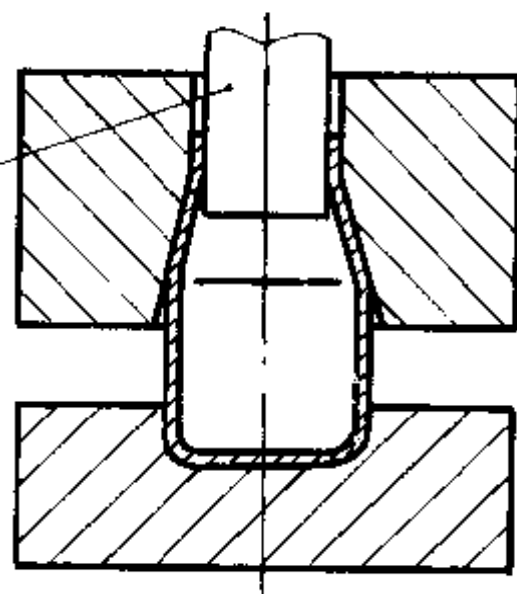


图 5-30 有内支承缩口成形

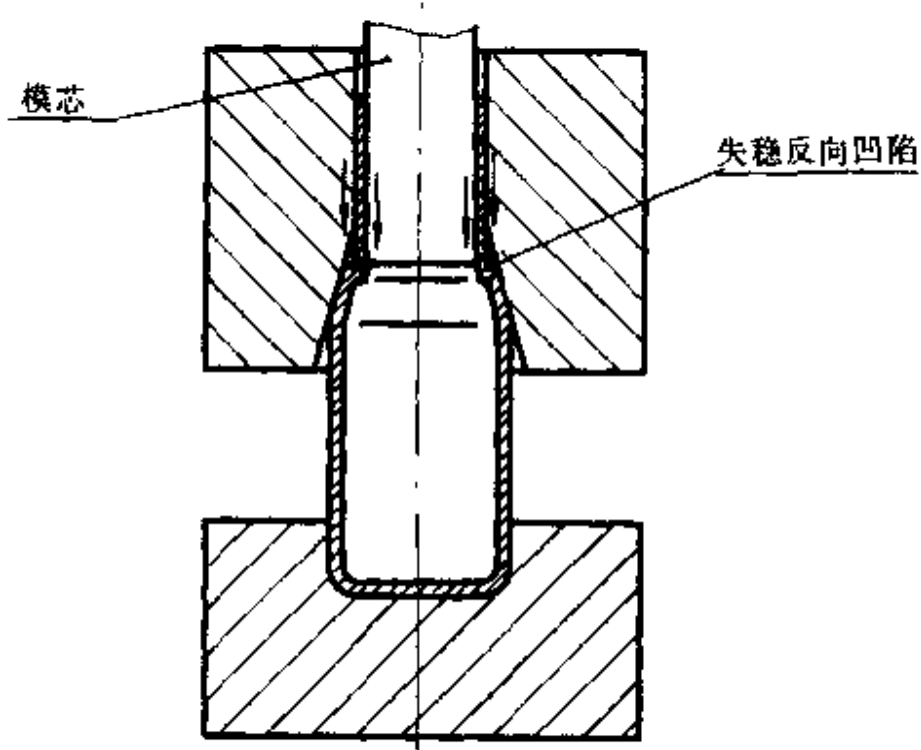


图 5-31 出口阻力大的失稳

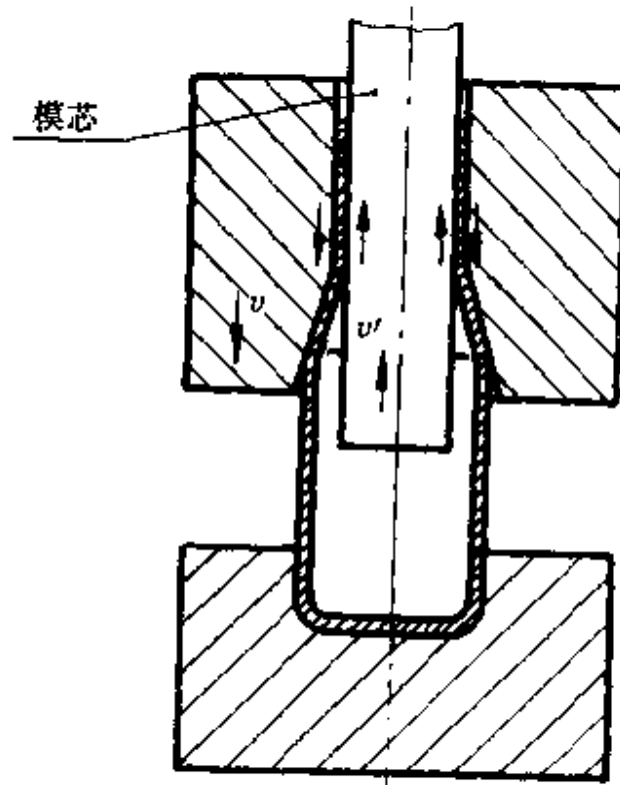


图 5-32 反向拉拔缩口成形法

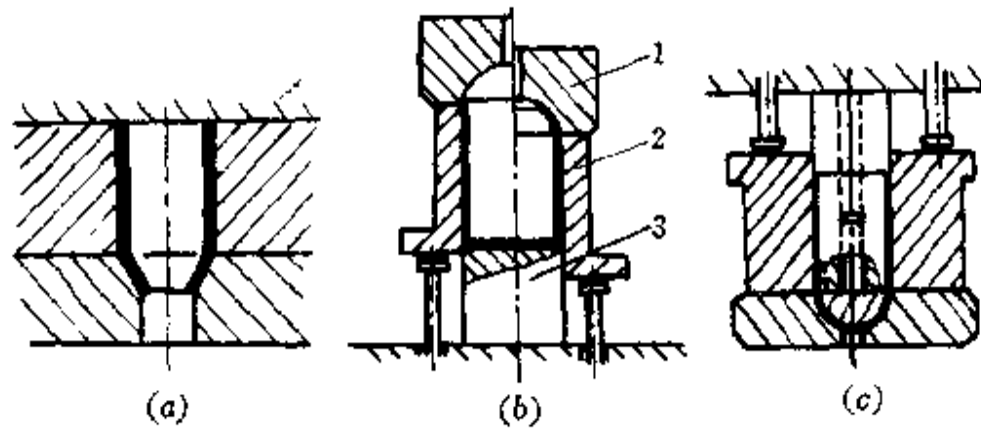


图 5-33 常用的缩口成形形式

(a) 无支承缩口成形；(b) 外支承缩口成形；(c) 内、外支承缩口成形。
1—凹模；2—外支承；3—下支承。

常见的缩口模结构形式如图 5-33 所示。

各种材料的缩口系数见表 5-13。

表 5-13 各种材料缩口系数 m_1

材 料	支 承 方 式		
	无 支 承	外 支 承	内、外 支 承
软 钢	0.70~0.75	0.55~0.60	0.3~0.35
黄铜(H62、H68)	0.65~0.70	0.50~0.55	0.27~0.32
铝	0.68~0.72	0.53~0.57	0.27~0.32
硬铝(退火)	0.73~0.80	0.60~0.63	0.35~0.40
硬铝(淬火)	0.75~0.80	0.68~0.72	0.40~0.43

三、缩口工艺计算

(一) 缩口次数

当计算出的缩口系数 m_s 小于表 5-13 中极限缩口系数 m_l 数值时, 则需经多次缩口, 其缩口次数 n 由下式确定

$$n = \frac{\ln M_s}{\ln M_p} = \frac{\ln d_s - \ln d_0}{\ln M_p} \quad (5-30)$$

式中 M_p ——平均缩口系数 (表 5-14)。

n 的计算值一般均为小数, 应进位成整数。

表 5-14 平均缩口系数 m_p

材料	材料厚度 (mm)		
	~0.5	>0.5~1	>1
黄铜	0.85	0.8~0.7	0.7~0.65
钢	0.85	0.75	0.7~0.65

(二) 各次缩口系数的确定

从缩口工艺考虑, 缩口次数不宜过多, 因为材料经多次缩口后硬化程度较大。多次缩口时, 前一次缩口应尽量为后工序创造有利条件, 即需具备足够的预备变形, 否则后续缩口工序会由于前工序变形不足而引起传力区的失稳, 导致成形失败。反之, 若预备变形过大, 则由于变形区的失稳而使后工序无法进行。

各次缩口系数可按下式来选择:

$$\text{首次缩口系数} \quad m_1 = 0.9m_p \quad (5-31)$$

$$\text{第二次缩口系数} \quad m_2 = (1.05 \sim 1.1) K_p \quad (5-32)$$

$$\text{以后各次缩口系数} \quad m_n = (1.05 \sim 1.1) m_p \quad (5-33)$$

(三) 缩口毛坯尺寸的计算

对于不同形状的缩口件, 其毛坯高度计算方法也有所不同。可按表 5-15 的公式进行计算。

(四) 缩口力

缩口过程与缩口力的大小有直接关系。当缩口力 P 大于非变形区筒壁的极限耐压力 P' 时, 筒壁发生塑性失稳, 缩口就无法进行

$$P' = \pi t_0 d_0 \sigma_s \cos \alpha \quad (5-34)$$

式中 σ_s ——材料屈服强度;

α ——锥形凹模的半锥角。

无支承缩口时所需压力, 可按下式进行初步估算




$$P = K \left[1.1 \pi d_0 \sigma_s \left(1 - \frac{d_s}{d_0} \right) \cdot (1 + \mu \tan \alpha) / \cos \alpha \right] \quad (5-35)$$

有支承缩口成形所需的压力 P 为

$$P = K \left\{ 1.1 \pi d_0 t_0 \sigma_s \left(1 - d_s/d_0 \right) \cdot (1 + \mu \tan \alpha) / \cos \alpha + 1.82 \sigma_s t_0^2 [d_s + R_d (1 - \cos \alpha)] / R_d \right\} \quad (5-36)$$

- 式中 μ ——凹模锥面与工件接触的摩擦系数，取 $\mu=0.12$ ；
 t_1 ——缩口以后工件孔口壁厚， $t_1=t_0 \sqrt{d_0/d_n}$ ；
 σ'_s ——工件材料缩口应变硬化的抗压强度；
 R_c ——凹模圆角半径；
 K ——系数，曲柄压力机一般取 $K=1.15$ 。

表 5-15 缩口毛坯高度计算公式

简 图	计 算 公 式
	$H=1.05 \left[h_1 + \frac{d_0^2 - d_n^2}{8d_0 \sin \alpha} \left(1 + \sqrt{\frac{d_0}{d_n}} \right) \right]$
	$H=1.05 \left[h_1 + h_2 \sqrt{\frac{d_n}{d_0}} + \frac{d_0^2 - d_n^2}{8d_0 \sin \alpha} \left(1 + \sqrt{\frac{d_0}{d_n}} \right) \right]$
	$H=h_1 + \frac{1}{4} \left(1 + \sqrt{\frac{d_0}{d_n}} \right) \sqrt{d_0^2 - d_n^2}$

缩口工艺中，凹模锥角的正确选用往往成了缩口工艺成败的关键。当缩口系数和摩擦系数（材料与锥面间的摩擦）一定时，锥角小时对传力是有利的，但同时变形区范围大，因而摩擦阻力增加，故在理论上应存在最佳锥角，在此锥角缩口时，其单位缩口力为最小。生产实践证明，当 $\alpha=26^\circ 15'$ 时，可使缩口力 P 值达到最小值，从而有利于缩口工艺的进行。

第四节 校平与整形

利用模具使坯件局部或整体产生不大的塑性变形，以消除平面度误差和提高制件形状及尺寸精度的冲压成形方法叫做校平与整形。这种工序大都在冲裁、弯曲、拉深之后

进行。一般来说，对于表面形状及尺寸精度要求较高的冲压件都要经过校平与整形。

一、校平与整形工艺特点

校平与整形允许的变形量都很小，因此必须使坯件的形状和尺寸相当接近制件。校平与整形后制件精度较高，因而对模具成形部分的精度也相应地提高。

校平与整形时，应使坯件内的应力、应变状态有利于减少卸载过程中由于材料的弹性变形而引起制件形状和尺寸的弹性恢复。在各种不同整形工艺中，由于制件的形状和精度要求不同，坯件所处的应力状态和产生的变形都不一样，要比一般成形过程复杂得多。

由于校平与整形需要在曲轴压力机下死点进行。因此，对所使用设备的刚度、精度要求较高，通常都在专用的精压机上进行。若采用普通的压力机，则必须设有过载保护装置，以防损坏设备。

二、校平

校平工序多用于冲裁件，消除其拱弯造成的不平。对薄料，表面不允许有压痕的制件，一般用光面校平模（见图 5-34）。对较厚制件通常采用齿形校平模（见图 5-35）。

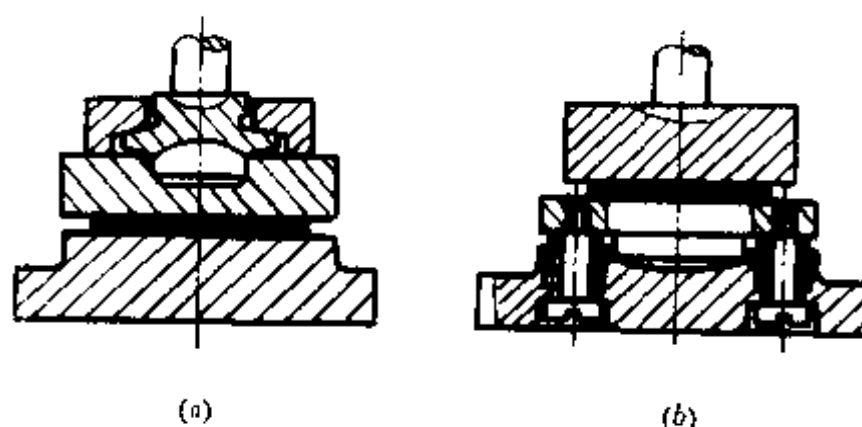


图 5-34 通用光面校平模
(a) 浮动上模；(b) 浮动下模。

三、整形

整形一般用于弯曲、拉深等成形工序之后。整形模具与一般成形模具相似，只是工作部分的定形尺寸精度高，粗糙度 R_a 值要求更低，圆角半径和间隙值都较小。

整形时，必须根据制件形状的特点和精度要求，而正确地选定产生塑性变形的部位、变形的大小和恰当的应力状态。

弯曲件的镦校（见图 5-36），所得到的制件尺寸精度较高，是目前常采用的一种校形方法。但是，对于带有孔的弯曲件或宽度不等的弯曲件，不宜采用。因为镦校时易使孔产生变形。

拉深件的整形来用负间隙拉深整形法（见图 5-37），其拉深模的间隙可取 $(0.9 \sim$

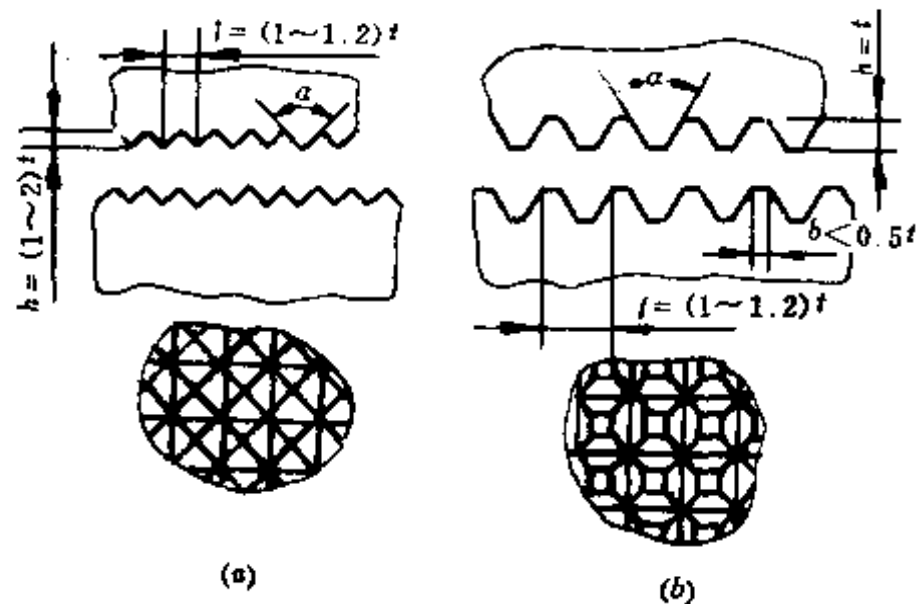


图 5-35 校平模齿形
(a) 尖齿齿形; (b) 平顶齿形。

0.95) t (t 为板料厚度)。这种整形方法与最后一道拉深工序结合成一道工序完成。

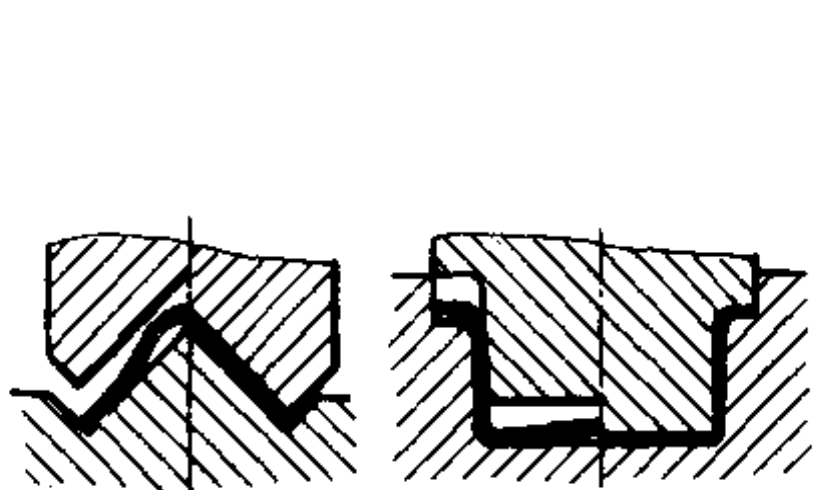


图 5-36 弯曲件的整形兼边部精压

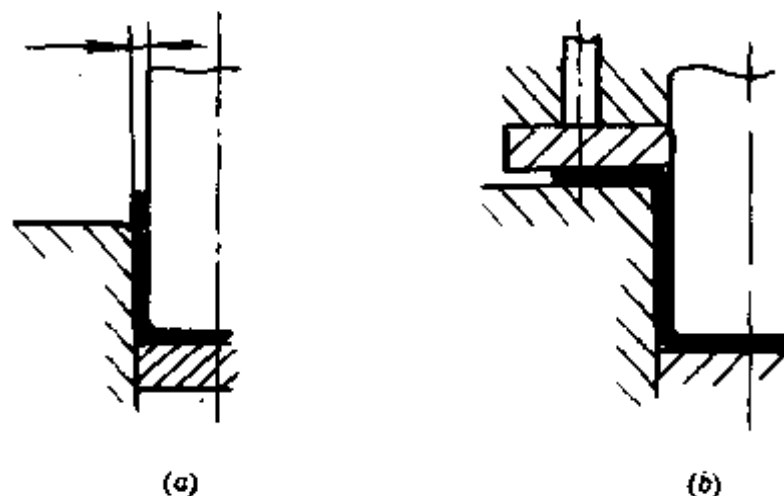


图 5-37 拉深负间隙件整形
(a) 直壁筒形件整形; (b) 带凸缘的圆筒件整形。

四、校平、整形力的计算

用模具校平与整形时的压力，主要取决于材料的机械性能、板料厚度等因素。校平、整形力可按下式计算

$$P = Fp \tag{5-37}$$

式中 P ——校平、整形力 (N);
 F ——校平、整形面积 (mm^2);
 p ——单位压力 (MPa), 见表 5-16。

表 5—16 校平、整形时单位压力 P (MPa)

校平 (整形) 材料	平板校平	齿形校平、整形
软钢	8~10	25~40
软铝	2~4	2~5
硬铝	5~8	30~40
软黄铜	5~8	10~15
硬黄铜	8~10	50~60

第六章 冲压工艺设计

第一节 冲压用材料

冲压用材料与冲压生产的关系相当密切，材料质量的好坏直接影响到冲压工艺过程设计、冲压件质量、产品使用寿命和冲压件成本。冲压件材料费用往往要占冲压件成本的60%~80%。因此，一方面应提高冲压件结构的工艺性，以改善冲压过程的变形条件，来降低对材质的要求，另一方面又需要提高和稳定材料质量，以适应冲压过程的变形要求，生产出优良的冲压件。

一、材料应满足产品使用性能的要求

从不同产品的使用性能出发，对材料的机械性能、物理性能等提出了各种要求，例如：机械和仪器制造等零件着重要求具有机械强度、刚度和冲击韧性；化学和医疗仪器零件着重要求具有耐腐蚀性；飞机和宇航飞行器等零件着重要求具有传热和耐热性能；汽车、摩托车等零件着重于表面质量；运输和农业机械等零件着重于耐磨和耐久性。

二、材料应具有良好的冲压性能

材料的冲压性能是指材料对各种冲压加工方法的适应能力。包括便于加工，容易得到高质量和高精度的冲压件，生产率高（一次冲压工序的极限变形程度大），模具寿命长，不产生废品等。由于各种不同的冲压加工方法其应力状态和变形特点不同，所以对冲压用材料的冲压性能要求也不一样。

（一）材料的塑性

在变形区部位，材料内部应力主要是拉应力，其变形主要是伸长和厚度减薄。当主要变形部位超过成形极限时，便会引起破裂。因此，要求材料要有良好的塑性和塑性变形的稳定性。塑性好的材料，允许的成形极限范围大。这样可减少工序，减少因材质不良而产生的废、次品。

影响材料塑性的因素是化学成分、金相组织和机械性能。一般来说，钢中的碳、硅、硫的含量增加，都会使材料的塑性降低，脆性增加，其中含碳量对材料塑性影响最大，一般认为含碳量不超过0.05%~0.15%的低碳钢具有良好的塑性。常用牌号有：08、08F、10、08Al等，其中以08Al的塑性最好。含硅量在0.37%以下的钢对塑性影响不大，但大于这一数值，就是含碳量很少也会使材料变得硬和脆。硫在钢中与锰或铁相结合后，以硫化物的形态出现，严重影响到材料的热轧性能，硫化物促使条状组织产生，塑性降低。

因此，对形状复杂的汽车覆盖件和摩托车油箱以及对材料强度要求不高的复杂的拉深零件，多采用塑性很好的 08Al 钢板加工。

钢板的晶粒大小对塑性影响甚大。晶粒大，则塑性降低，在冲压成形时，不仅容易产生破裂，而且制件表面还容易产生粗糙的桔皮，对后续的抛光、电镀、涂漆等工序带来不利的影响。若晶粒过细，则回弹现象增加。因此，钢板的晶粒大小应适中。复杂拉深用的冷轧薄钢板，其晶粒度为 6~8 级，中板为 5~7 级，且相邻级别不超过 2 级。

材料塑性的好与否，通常用延伸率(δ)、冷弯试验中的弯心直径和杯突试验值来表示。延伸率、杯突试验值越大，弯心直径越小，则材料塑性越好。

(二) 材料的抗压失稳起皱能力

在变形区部位，当材料内部主要是压缩应力时，如直壁零件的拉深、缩口及外凸曲线翻边等，其变形主要是压缩，厚度增加，这时，容易产生失稳起皱。因此，在要求材料具有良好塑性的同时，还要求材料具有良好的抗压失稳起皱能力。这种能力与弹性模数(E)和板料厚向异性系数(γ)有关。

γ 值的大小，表明板材平面方向和厚度方向上的变形难易程度的比较，当 $\gamma > 1$ 时，板材厚度方向上的变形比宽度方向上的变形困难。所以 γ 值大的材料，在复杂形状的曲面零件拉深成形时，厚度方向上变形比较困难，即变薄量小，而在板料平面内的压缩变形比较容易，毛坯中间部分起皱的趋向性降低，也就是抗压失稳起皱的能力高。有利于冲压加工的进行和产品质量的提高。

屈强比(σ_s/σ_b)小，对于压缩类成形工艺有利。在拉深时，如果材料的屈服点 σ_s 低，则变形区的切向压应力小，材料抗压失稳起皱的能力高。防止起皱所必需的压边力和摩擦损失都相应地降低，有利于提高极限变形程度。

三、材料的表面质量

材料应具有良好的表面质量，即材料表面应光洁、平整和无锈等。

(一) 材料表面光洁

材料表面光洁与否，将直接影响制件的外观性。表面如有裂纹、麻点、划痕、结疤、气泡等缺陷，在冲压过程中，还容易在缺陷部位产生应力集中而引起破裂。

(二) 材料表面平整

材料表面若挠曲不平，会影响剪切和冲压时的定位精度，以及由于定位不稳而造成废品，或因冲裁过程中材料变形时的展开作用而损坏冲头。在变形工序中，材料表面的平面度也会影响材料的流向，引起局部起皱或破裂。

(三) 材料表面无锈

材料表面有锈，不仅影响冲压性能，损伤模具，而且还会影响后续焊接和涂漆等工序的正常进行。

四、冲压用材料的规格

冲压生产中使用的材料相当广泛。有金属材料和非金属材料，各种厚度不同的材料

可分为板料和带料（卷料）。

板料是冲压生产中应用最广的材料，适用于成批生产。其尺寸规格按国家标准规定，采用标准规格板料可能会增加余料，使材料利用率降低，但如采用合理的套裁排样，则可弥补这一缺陷。在大量生产中，也可以根据工艺要求，用最佳的排样方案确定其规格尺寸，向钢厂专门订货。这样可提高材料的利用率，但价格要稍高于标准规格。生产中还需将板料按工艺要求尺寸剪成各种条料或块料再进行冲压。

带料（卷料）用于大量生产。根据材料不同，有不同的宽度尺寸，长度可达几米到几十米，有的薄材料长达数百米。应用卷料时，一般装有自动送料机构。

五、冲压用不同钢号可供工艺选择的品类

供冲压使用的不同钢号，其工艺选择见表6-1。其中08A1、08F、08、10、20是最常用的冷轧薄钢板。它们按表面质量和拉深性能又划分为几级，可根据工艺要求进行选用。

表6-1 国产冲压用不同钢号可供工艺选择的品类

类别与国标	代表钢号	保证条件	厚度(mm)	轧制状态	可供工艺选择的品类
普通碳素 结构钢板 GB700-88	Q195 Q215 Q235	机械性能 化学成分	4~60	热	钢板品种、规格
			4以下	热、冷	
优质碳素 结构钢板 GB3275-82	08、08F、10、 10F、15、15F、 20、20F、25、30、 35、40、45、50	机械性能 化学成分 拉深或弯 曲性能	4~14	热	1. 品种、规格 2. 按拉深或弯曲性能分：S—深拉深 P—普通拉深 W—冷弯成形
冷轧深拉 深用钢板 GB5213-85	08A1	机械性能 化学成分 拉深性能	0.5~3.0	冷	1. 品种、规格 2. 按表面质量分：特别高级(I) 高级(II) 较高级(III) 3. 按拉深性能分：ZF—最复杂拉深 HF—很复杂拉深 F—复杂拉深

六、冲压用金属材料及机械性能

冲压用黑色金属材料及机械性能见表 6-2。

冲压用有色金属材料及机械性能见表 6-3。

表 6-2 冲压用黑色金属的机械性能

材料名称	牌 号	材料状态	机械性能					
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_s (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	延伸率 ^② δ_{10} (%)	弹性模数 E 10^3 (MPa)	
电工用工业纯铁 C<0.025	DT1,DT2,DT3	退火	177	225		26		
电工硅钢	D11,D12,D21, D31,D32,D41~48, D310~340	退火	190	230		26		
普通碳素钢	Q195	未退火		315~390	195	32~33		
	Q215			335~410	215	26~31		
	Q235			375~460	235	21~26		
碳素结构钢	08F	退火	216~304	275~383	177	32		
	08		255~353	324~441	196	32	186	
	10		255~333	294~432	206	29	194	
	20		275~392	353~500	245	25	206	
	35		392~511	490~637	314	20	197	
	45		432~549	539~686	353	16	200	
冷轧深拉深钢	08A1-ZF ^①	退火		255~324	196	44		
	08A1-HF ^①			255~334	206	42		
	08A1-F ^①		$t > 1.2$		255~343	216	39	
			$t = 1.2$		255~343	216	42	
	$t < 1.2$		255~343	235	42			
碳素工具钢	T7~T12 T7A~T12A	退火	588	736				
优质碳素钢	65Mn	退火	588	736	392	12	207	
合金结构钢	30CrMnSiA 30CrMnSi	低温退火	432~588	539~736		16		
优质弹簧钢	60Si2Mn	低温退火	706	883		10	196	
	60Si2MnA 65Si2WA	冷作硬化	628~941	785~1177		10		
不锈钢	1Cr13	退火	314~373	392~461	412	21	206	
	1Cr18Ni9Ti	经热处理	451~511	569~628	196	35	196	

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

②延伸率 δ_{10} 为 10% 时机械性能。

表 6-3 冲压用有色金属的机械性能

材料名称	牌号	材料的状态	机械性能				
			抗剪强度 τ (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服强度 σ_s (MPa)	延伸率 ^② δ_{10} (%)	弹性模数 E (10^3 MPa)
铝	L2, L3	已退火的	78	74~108	49~78	25	71
	L5, L7	冷作硬化	98	118~147		4	
铝锰合金	LF21	已退火的	69~98	108~142	48	19	70
		半冷作硬化的	98~137	152~196	127	13	
铝镁合金 铝铜镁合金	LF2	已退火的	127~158	177~225	98		69
		半冷作硬化的	158~196	225~275	206		
镁锰合金	MB8	已退火的	167~186	216~225	137	12~14	39
		冷作硬化的	185~196	235~245	157	8~10	
紫铜	T1, T2	软的	157	196	69	30	106
	T3	硬的	235	294		3	127
黄铜	H62	软的	255	294		35	98
		半硬的	294	373	196	20	
		硬的	412	412		10	
	H68	软的	235	294	98	40	108
		半硬的	275	343		25	
H68	硬的	392	392	245	15	113	
锡磷青铜	QSn4-4 -2.5	软的	255	294	137	38	98
		硬的	471	539		3~5	
锡锌青铜	QSn4-3	特硬的	490	637	535	1~2	122
铝青铜	QA17	退火的	511	588	182	10	113~127
		不退火的	549	637	245	5	
铍青铜	QBe2	软的	235~471	294~588	245~343	30	115
		硬的	511	647		2	129~138
镁锰合金	MB1	冷态	118~137	167~186	118	3~5	39
	MB8		147~177	225~235	216	14~15	40
	MB1	预热	29~49	29~49		50~52	39
	MB8	300 C	49~69	49~69		58~62	40

第二节 工艺性分析

冲压件的工艺性是指冲压件对冲压工艺的适应性。在一般情况下,对冲压件工艺影响最大的是几何形状、尺寸和精度要求。良好的冲压工艺性应能满足材料省、工序少、模具加工较易、寿命较高、操作方便及产品质量稳定等要求。

一、冲裁件的工艺性

冲裁件的工艺性是指冲裁件对冲裁工艺的适应性,即冲裁件的形状结构、尺寸大小及精度等是否符合冲裁加工的工艺要求。

(一) 冲裁件的形状要求

应能符合材料合理排样,各直线或曲线的连接处宜有适当的圆角,其最小圆角半径

见表 6—4。如果冲裁件有尖角，不仅给模具制造带来困难，而且模具寿命会显著降低。只有在采用少废料、无废料排样或镶拼模具结构时不要圆角。

表 6—4 冲裁件最小圆角半径

工序	线段夹角	黄铜、紫铜、铝	软 钢	合金钢
薄料	$\geq 90^\circ$	$0.18t$	$0.25t$	$0.35t$
	$< 90^\circ$	$0.35t$	$0.50t$	$0.70t$
冲孔	$\geq 90^\circ$	$0.20t$	$0.30t$	$0.45t$
	$< 90^\circ$	$0.40t$	$0.60t$	$0.90t$

注： t 为材料厚度，当 $t < 1\text{mm}$ 时，均以 $t = 1\text{mm}$ 计算。

(二) 冲裁件的宽度要求

凸出或凹入部分宽度不宜太小，并应避免过长的悬臂与狭槽（见图 6—1）。

冲裁件材料为高碳钢时， $B \geq 2t$ ；冲裁件材料为黄铜、铝和软钢时， $B \geq 1.5t$ 。对于材料厚度 $t < 1\text{mm}$ 时，按 $t = 1\text{mm}$ 计算。

(三) 冲孔的尺寸要求

因受凸模强度的限制，冲孔的尺寸不能过小。用一般冲模冲孔的最小尺寸见表 6—5。

表 6—5 冲孔的最小尺寸

材料	自由凸模冲孔		精密导向凸模冲孔	
	圆形	矩形	圆形	矩形
硬钢	$1.3t$	$1.0t$	$0.5t$	$0.4t$
软钢及黄铜	$1.0t$	$0.7t$	$0.35t$	$0.3t$
铝	$0.8t$	$0.5t$	$0.3t$	$0.28t$

注： t 为材料厚度（mm）。

(四) 孔间距的要求

孔与孔之间或孔与边缘之间的距离 a （见图 6—2），受到模具强度和冲裁件质量的限制，其值不能过小，宜取 $a \geq 2t$ ，但不得小于 $3 \sim 4\text{mm}$ ，必要时可取 $a = (1 \sim 1.5)t$ （当

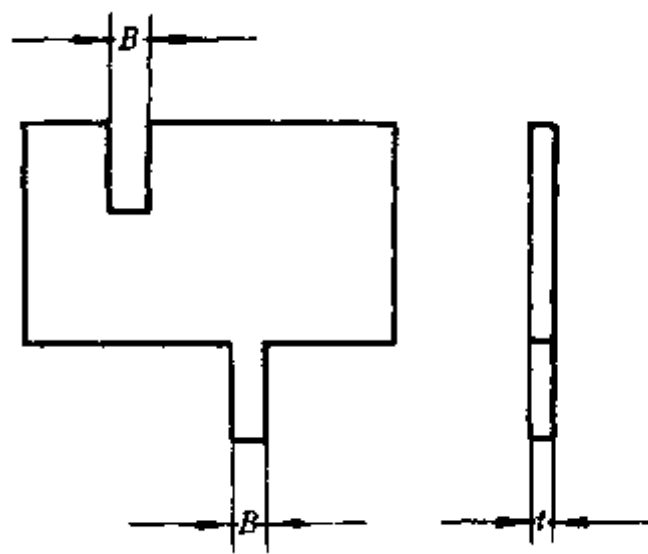


图 6—1 冲裁件最小宽度

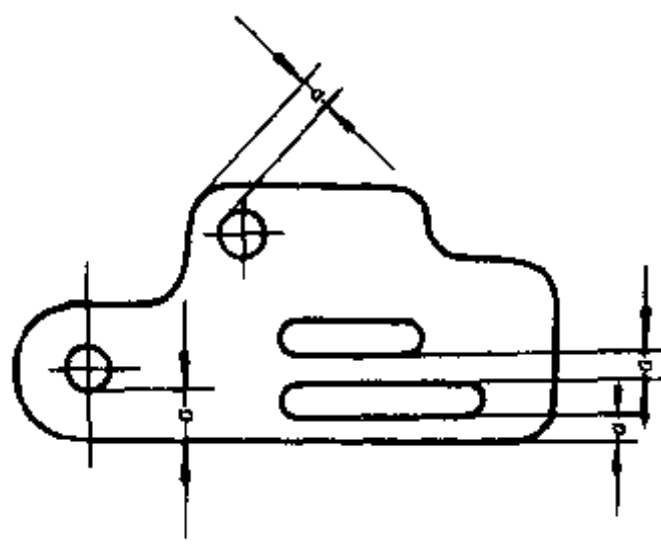


图 6—2 冲裁件的孔边距

$t < 1\text{mm}$ 时，按 $t = 1\text{mm}$ 计算），但模具寿命会因此降低或结构复杂程度增加。

(五) 孔壁的要求

在弯曲件或拉深件上冲孔时，其孔壁与工件直壁的距离不能小于如图 6—3 所示。若距离过小，孔边进入工件底部的圆角部分，会因冲孔时凸模将受到水平推力，而影响冲

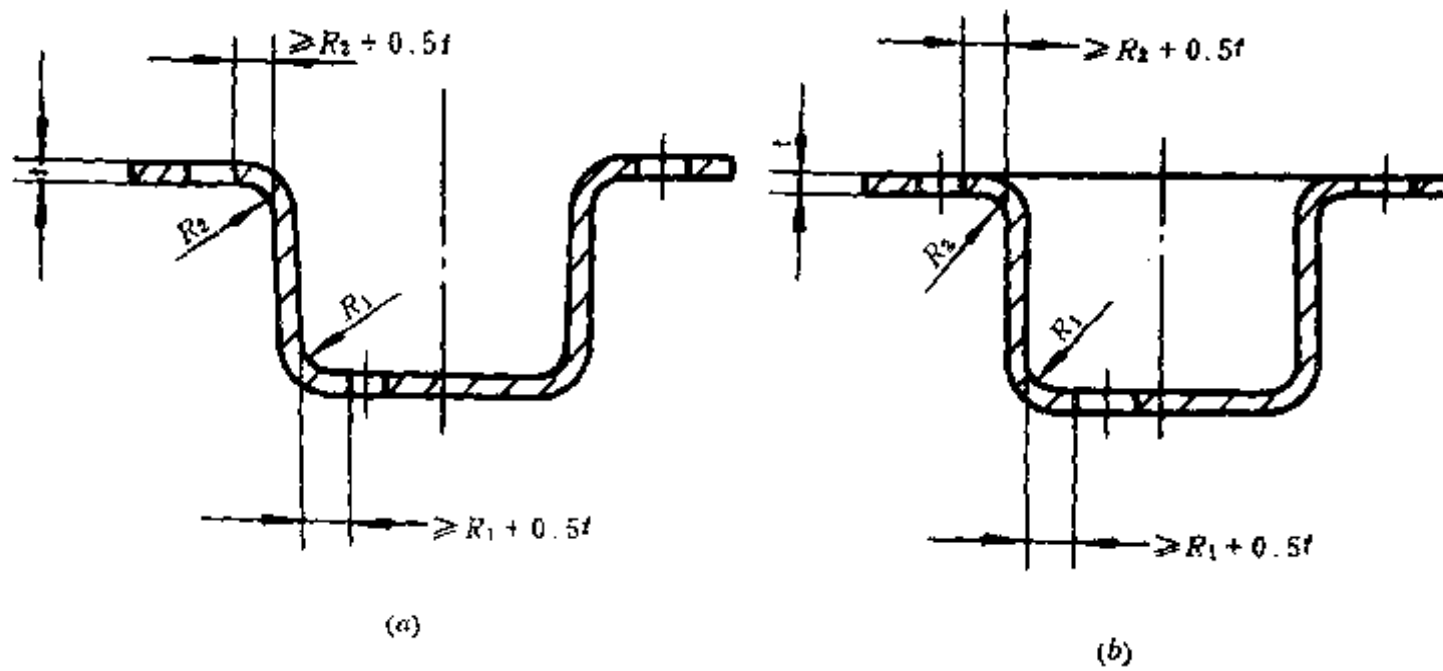


图 6-3 孔边距最小值

(a) 弯曲件; (b) 拉深件。

孔质量和模具寿命。

(六) 精度要求

冲裁件的精度一般可分为精密级与经济级两类。精密级是冲压工艺技术上所允许的精度，而经济级是可以较经济手段达到的精度。

冲裁件外形与内孔尺寸公差见表 6-6。孔距公差见表 6-7。

表 6-6 冲裁件外形与内孔尺寸公差 (mm)

精度等级	零件尺寸	材料厚度			
		<1	1~2	2~4	4~6
经济级	<10	$\frac{0.12}{0.08}$	$\frac{0.18}{0.10}$	$\frac{0.24}{0.12}$	$\frac{0.30}{0.15}$
	10~50	$\frac{0.16}{0.10}$	$\frac{0.22}{0.12}$	$\frac{0.28}{0.15}$	$\frac{0.35}{0.20}$
	50~150	$\frac{0.22}{0.12}$	$\frac{0.30}{0.16}$	$\frac{0.40}{0.20}$	$\frac{0.50}{0.25}$
	150~300	0.30	0.50	0.70	1.00
精密级	<10	$\frac{0.03}{0.025}$	$\frac{0.04}{0.03}$	$\frac{0.06}{0.04}$	$\frac{0.10}{0.06}$
	10~50	$\frac{0.04}{0.04}$	$\frac{0.06}{0.05}$	$\frac{0.08}{0.06}$	$\frac{0.12}{0.10}$
	50~150	$\frac{0.06}{0.05}$	$\frac{0.08}{0.06}$	$\frac{0.10}{0.08}$	$\frac{0.15}{0.12}$
	150~300	0.10	0.12	0.15	0.20

注：表中分子为外形的公差值，分母为内孔的公差值。

表 6-7 孔距公差

(mm)

精度等级	孔距尺寸	材 料 厚 度			
		<1	1~2	2~4	4~6
经济级	<50	± 0.1	± 0.12	± 0.15	± 0.2
	50~150	± 0.15	± 0.20	± 0.25	± 0.30
	150~300	± 0.20	± 0.30	± 0.35	± 0.40
精密级	<50	± 0.01	± 0.02	± 0.03	± 0.04
	50~150	± 0.02	± 0.03	± 0.04	± 0.05
	150~300	± 0.04	± 0.05	± 0.06	± 0.08

二、弯曲件的工艺性

具有良好工艺性的弯曲件，不仅能简化弯曲工艺过程和模具设计，而且能够提高弯曲件的精度和节省材料。

(一) 圆角半径

弯曲件的圆角半径不宜小于最小弯曲半径，以免产生裂纹。但也不宜过大，因为过大时，受到回弹的影响，弯曲角度与圆角半径的精度都不易达到要求。最小相对弯曲半径见表 3-3。

(二) 弯边长度

弯曲件的弯边长度不宜过小，其值 $h > R + 2t$ (见图 6-4)。当 h 较小时，弯边在模具上支持的长度过小，不容易形成足够的弯矩，很难得到形状准确的零件。

(三) 弯曲线位置

弯曲线不应位于零件宽度突变处，以避免撕裂，如图 6-4 所示。若必须在宽度突变处弯曲，应事先冲工艺孔或工艺槽 (见图 6-5)。

(四) 孔与槽位置

有孔的毛坯弯曲时，如果孔、槽位于变形区附

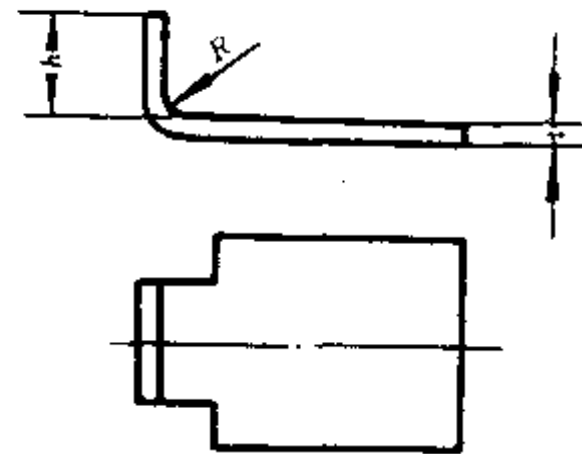


图 6-4 避免在宽度突变处弯曲

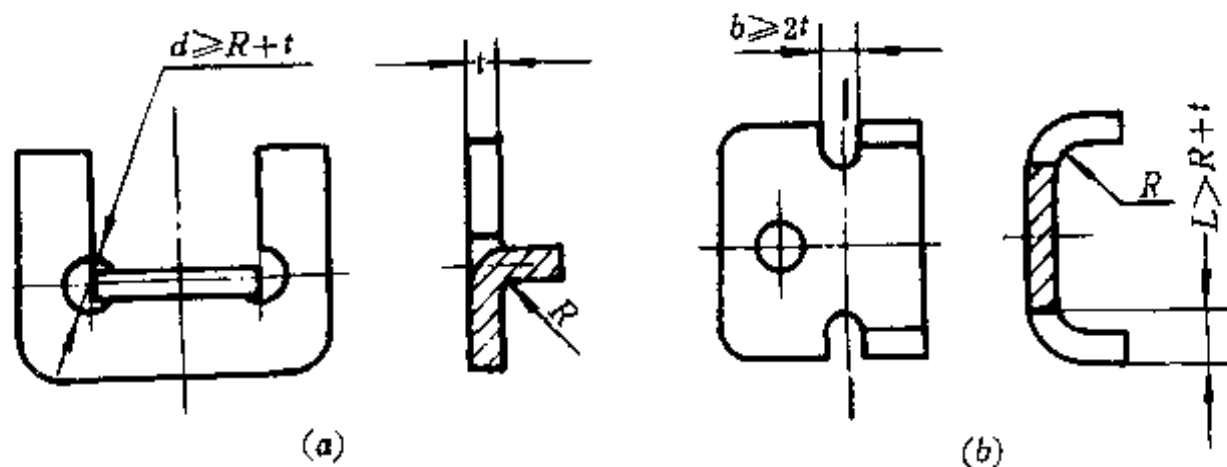


图 6-5 防止弯曲处撕裂的工艺措施

(a) 工艺孔; (b) 工艺槽。

近,弯曲时会使孔变形。为了避免这种缺陷出现,必须使这些孔分布在变形区域之外(见图6-6)。从孔边到弯曲半径 R 中心的距离为:当 $t < 2\text{mm}$ 时, $l \geq t$; 当 $t \geq 2\text{mm}$ 时, $l \geq 2t$ 。

(五) 弯曲件的力平衡

弯曲过程中工件受力应平衡,有利于防止产生滑动。

(1) 采用工艺孔进行定位,防止产生滑动。

(2) 采用成对弯曲后将其切成两个或多个零件,保证弯曲过程中受力平衡。

(六) 弯曲件精度

弯曲件的精度与很多因素有关,如弯曲件材料的机械性能和材料厚度、模具结构和模具精度、工序的多少和工序的先后顺序、弯曲模的安装和调整情况,以及弯曲件本身的形状尺寸等。精度要求较高的弯曲件必须严格控制材料厚度公差。

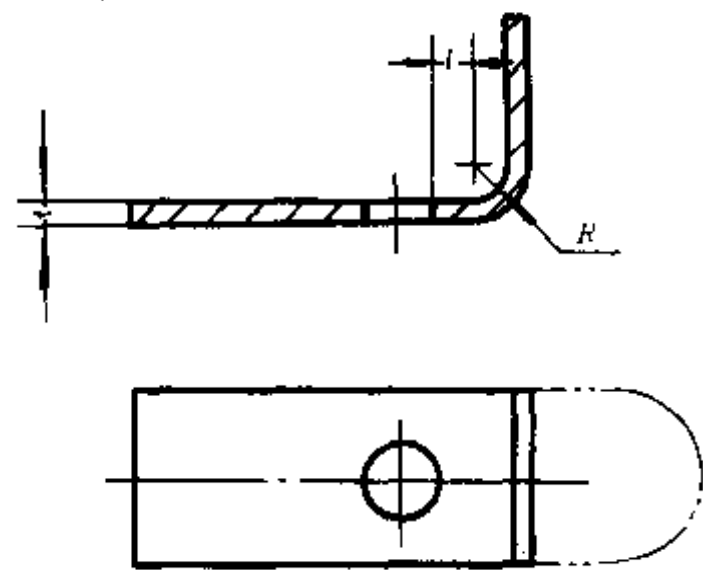


图6-6 弯曲件孔的位置

表6-8为弯曲件的公差等级。表中代号

A、B、C表示基本尺寸的部位与三种不同类别的公差等级,A部位尺寸公差与模具公差有关,B部位尺寸公差与模具公差、弯曲件材料厚度偏差有关,C部位尺寸公差与模具公差、材料厚度偏差及展开误差等有关。

表6-9为弯曲件角度公差值。必须在工艺上增加校整工序才能达到弯曲件的精密级角度公差。

表6-8 弯曲件的公差等级

材料厚度 t (mm)	A	B	C	A	B	C
		经济级			精密级	
≤ 1	IT13	IT15	IT16	IT11	IT13	IT13
$> 1 \sim 4$	IT14	IT16	IT17	IT12	IT13~14	IT13~14

表6-9 弯曲件角度公差

弯角短边尺寸 (mm)	$> 1 \sim 6$	$> 6 \sim 10$	$> 10 \sim 25$	$> 25 \sim 63$	$> 63 \sim 160$	$> 160 \sim 400$
经济级	$\pm 1' 30'' \sim 3'$	$\pm 1' 30'' \sim 3'$	$\pm 50'' \sim 2'$	$\pm 50'' \sim 2'$	$\pm 25'' \sim 1'$	$\pm 15'' \sim 30''$
精密级	$\pm 1'$	$\pm 1'$	$\pm 30''$	$\pm 30''$	$\pm 20''$	$\pm 10''$

三、拉深件的工艺性

拉深件的工艺性好坏，将直接影响到制件的质量、成本和生产周期等。良好的工艺性，不仅能满足产品的使用要求，同时还具备结构简单、经济和生产周期短的优点。

(一) 拉深件的圆角半径

1. 圆筒形件的圆角半径

圆筒形件侧壁与底面或凸缘连接处的圆角半径 R_1 、 R_2 (见图 6—7)，特别是 R_2 应尽量放大，因为它们相当于最后一副拉深模的凸模及凹模圆角半径。放大这些圆角半径，能

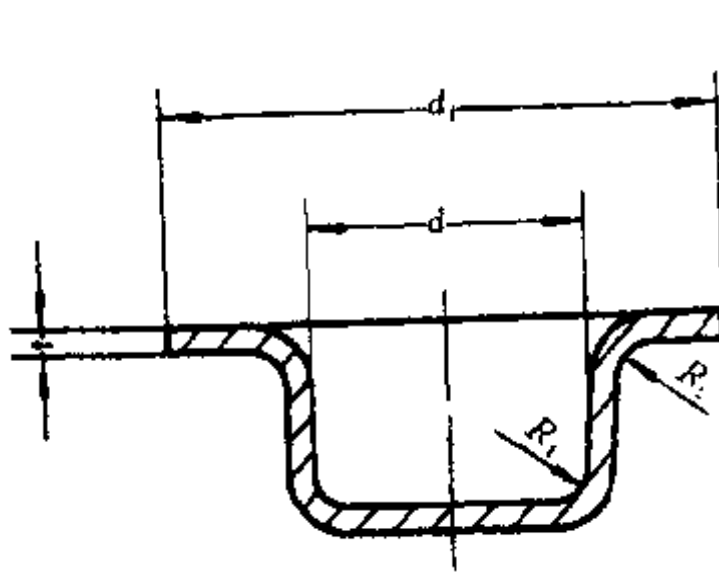


图 6—7 有凸缘拉深件

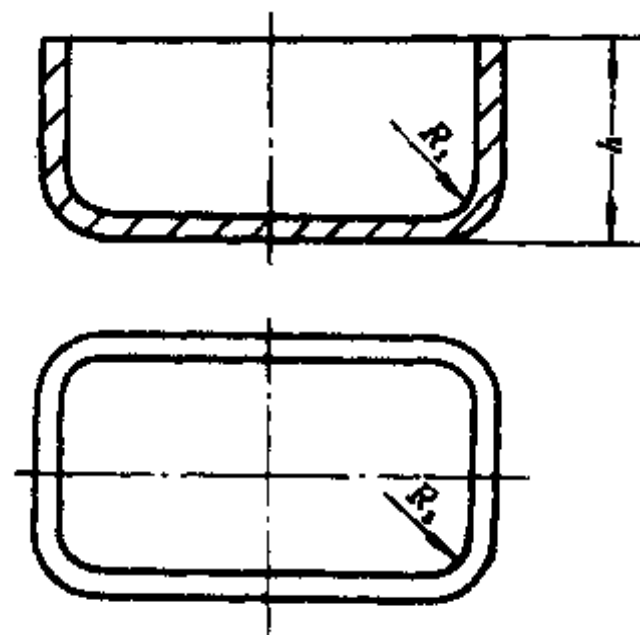


图 6—8 矩形拉深件

够减少拉深次数，或使零件容易拉深成形。应取 $R_1 \geq t$ ， $R_2 \geq 2t$ 。否则，需增加整形工序。为有利于变形，最好取 $R_1 = (3 \sim 5)t$ ， $R_2 = (5 \sim 10)t$ 。

2. 矩形件四周的圆角半径

矩形件四周的圆角半径 (见图 6—8) 也应尽量放大，应取 $R_3 \geq 3t$ ，为了减少拉深次数，最好取 $R_3 \geq \frac{1}{5}h$ 。

(二) 用一次拉深工序可制成的条件

1. 无凸缘的圆筒形件一次拉深工序可制成的条件

可按拉深高度 $h \leq (0.5 \sim 0.7)d$ (d 为拉深件直径，按厚度中心线计算) 粗略估算。对于不同材料，一次拉深所允许的极限高度见表 6—10。

表 6—10 一次拉深的极限高度

材料名称	铝	硬铝	黄铜	软钢
相对拉深高度 $\frac{h}{d}$	0.73~0.75	0.60~0.65	0.75~0.80	0.68~0.72

2. 矩形件一次拉深工序可制成的条件

当矩形件四周的圆角半径 $R_3 = (0.05 \sim 0.20)B$ 时，拉深高度 $h \leq (0.3 \sim 0.5)B$ (式中 B 为矩形件的短边宽度)；

3. 有凸缘件一次拉深工序可制成的条件 $\frac{d}{D} \geq 0.4$ (式中 d 为圆筒形部分直径， D 为毛坯直径)。

(三) 拉深件形状要求

拉深件形状应尽可能对称,凸缘宽度应尽可能保持一致,拉深高度应尽可能减小,使其能够用1~2次拉深工序完成。

(四) 拉深件结构要求

除在结构上有特殊需要外,应尽量避免复杂及非对称形状的拉深件。对于半敞开的空心件(见图6-9),应考虑设计成对进行拉深后将其切成两个或多个零件。

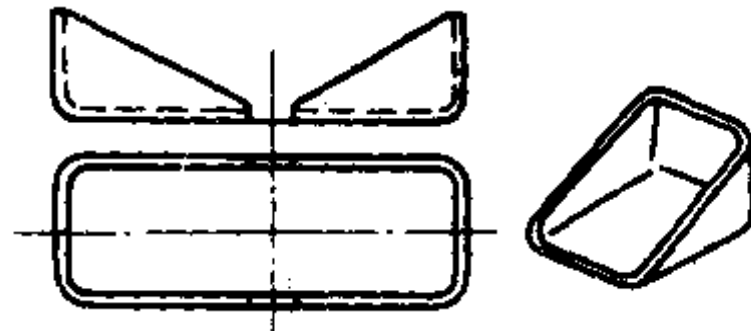


图6-9 组合成对冲压

(五) 公差等级

如图6-10所示拉深件及翻边件。其基本尺寸 A 、 B 、 C 的相应公差等级可参照表6-8(弯曲件的公差等级)。

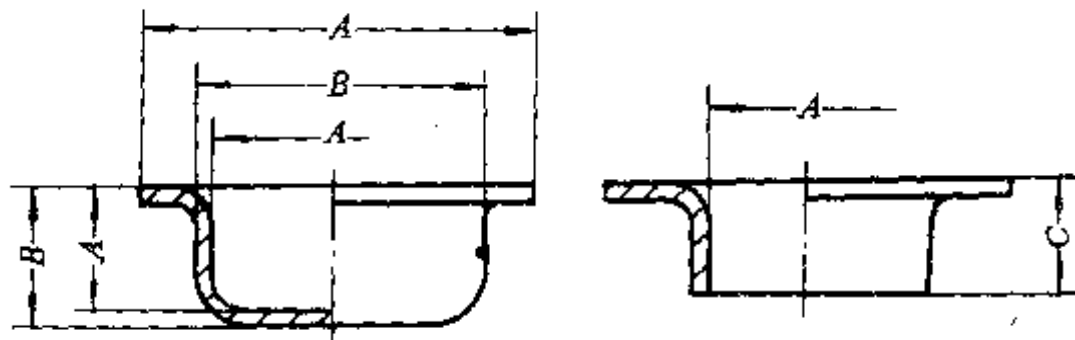


图6-10 拉深件和翻边件

第三节 确定冲压件的最佳工艺方案

经过对冲压件的工艺性分析后,结合产品图进行必要的工艺计算,并在分析冲压工序类型、冲压次数、冲压顺序和工序组合方式的基础上,提出各种可能的冲压工艺方案,然后通过对产品质量、生产效率、设备条件、模具制造和寿命、操作、安全以及经济效益等方面的综合分析、比较,确定出一种适合于本单位生产的最佳工艺方案。

确定冲压工艺方案时,需要考虑的主要内容如下:

一、确定冲压工序类型

剪切、落料、冲孔、切边、弯曲、拉深、翻边、成形等是常见的冲压工序,各种冲

压工序有其不同的性质、特点和用途。编制冲压工艺时，可以根据产品图和生产批量等要求，合理选择这些工序。

(一) 一般要求

通常冲压件可以从产品图上直观地看出冲压该零件所需工序的类型。例如带有各种型孔的平板件只需要剪切或落料、冲孔工序；多角弯曲件只需要剪切或落料、弯曲工序。但是有些零件所需工序的类型要经过仔细计算才能最后确定，如图 6-11 (a)、(b) 所示，分别为油封内夹圈和外夹圈的零件图，两个零件形状相同，只是直边高度不同，分别为 8.5mm 和 13.5mm，图 (a) 选用落料冲孔和翻边共两道工序，翻边系数为 0.8。而图 (b) 若采用与图 (a) 相同的冲压工序，则翻边前的孔径很小，翻边系数只有 0.68，超过了圆孔翻边的极限变形程度，工艺上是不允许的。通过计算和分析，图 (b) 应选用落料、

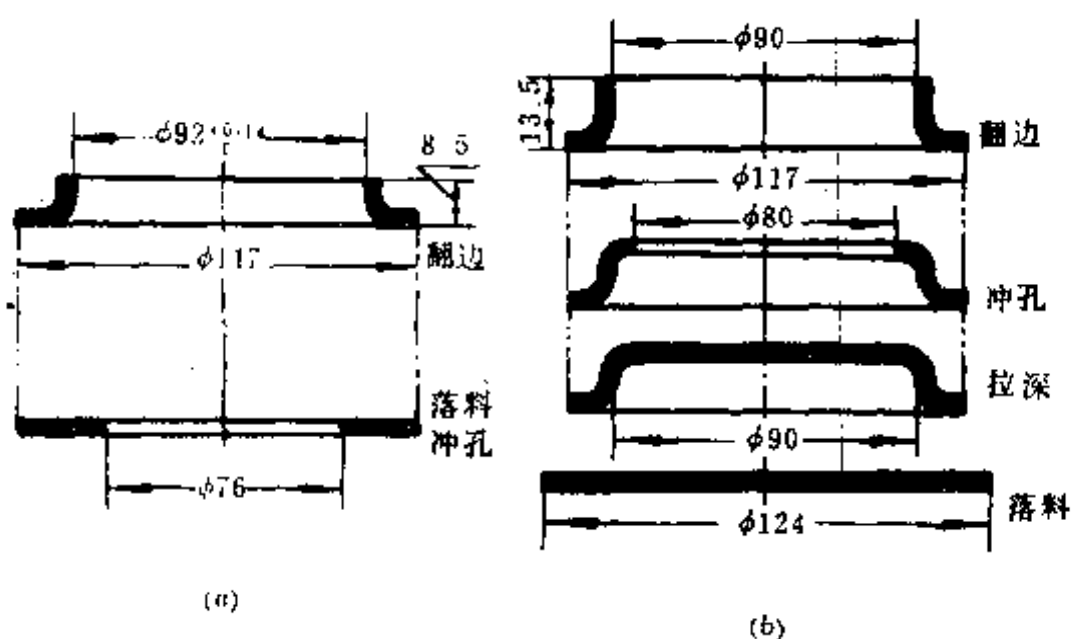


图 6-11 油封内、外夹圈的冲压工艺过程

(a) 油封内夹圈；(b) 油封外夹圈。材料 08 钢，厚度 0.8mm。

拉深、冲孔和翻边四道工序。可见，两个零件的形状虽然相同，由于尺寸上的差异却导致不同的工艺过程。

(二) 特殊要求

在某些情况下，为了保证零件的质量要求，常需要增加一些附加的冲压工序。例如图 6-12 所示的零件为带有加强筋的平板件，冲压该零件所需的工序为剪切或者落料、冲孔与压筋三种工序。但是由于变形不均匀，成形后零件产生较大的翘曲和皱褶，为避免或减轻翘曲程度，使零件平整、光洁，可以增加一道拉深工序（见图 6-12 双点划线表示的部分），在零件的周围形成一道筋，以防止压筋时产生翘曲和皱折，最后进行切边。于是冲压该零件的工序变为剪切或落料、拉深、压筋和切边。其中拉深和切边就是增加的附加冲压工序。

(三) 其他要求

为了有利于变形，有时也需要增加一些附加的冲压工序。如图 6-13 所示是一个联接盘示意图，为了增加成形高度，预先在毛坯上冲出四个孔，使底部和外部都是可以产生一定量变形的弱区，成形时孔扩大，补偿了外部材料的不足，从而增大了成形高度。在

这里冲孔工序便是一个附加的冲压工序，像这样预先冲出的孔常称为变形减轻孔，在冲压拉深件和成形件时经常采用这类变形减轻孔或者工艺切口。如图6-9所示是组合成对进行冲压的例子，成对冲压可以防止毛坯偏移，使进料均匀，成形后再切断，这里的切断工序就是增加的附加冲压工序。这样虽然增加了一道工序，但对材料变形、模具使用和操作等都是有利的。

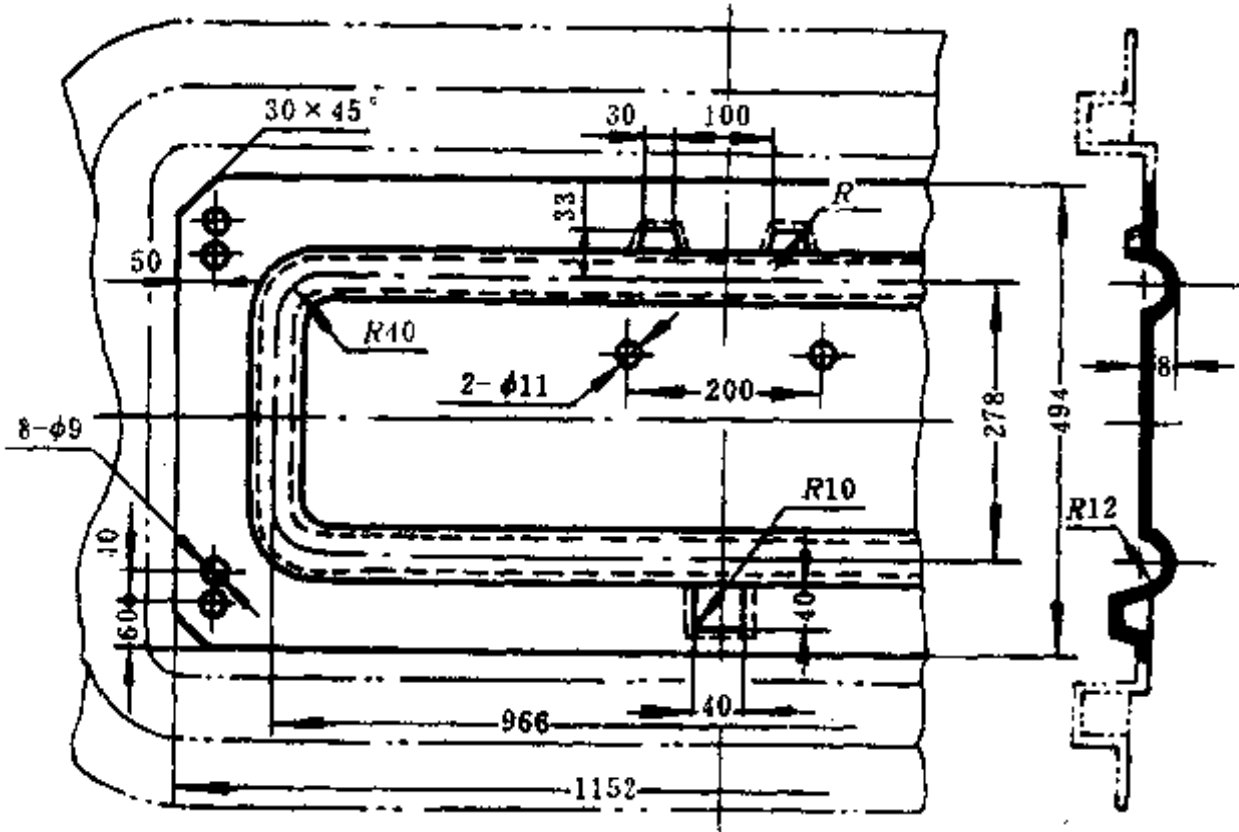


图6-12 带有加强筋的平板件

二、确定冲压次数和冲压顺序

(一) 冲压次数

冲压次数是指同一性质的工序重复进行的次数。对于拉深件，可根据它的形状和尺寸以及板料许可的变形程度，计算出拉深次数。弯曲件或冲裁件的冲压次数也是根据具体形状和尺寸以及极限变形程度来决定。

(二) 冲压顺序

冲压顺序是指各冲压工序的先后顺序，主要根据工序的变形特点和零件的质量要求等安排的，一般可按下列原则进行：

(1) 所有的孔，只要其形状和尺寸不受后续工序变形的影响，都应该在平板毛坯上冲出，因为在成形后冲孔模具结构复杂，定位困难，操作也不方便，先冲出的孔有时还能够作为后续工序的定位孔使用；

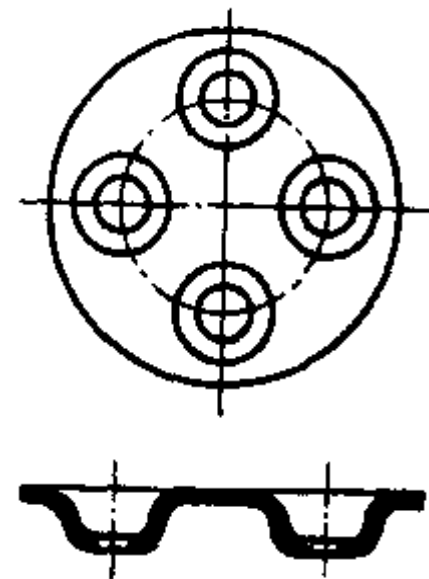


图6-13 联接盘示意图

(2) 凡所在位置会受到以后某工序变形影响的孔, 包括拉深件上的所有孔(拉深件的底部孔径要求不高和变形减轻孔除外) 都应在有关的成形工序完成后再冲出;

(3) 两孔靠近或者孔距边缘较小时, 如果模具强度足够, 最好同时冲出, 否则应先冲大孔和一般精度孔, 后冲小孔和高精度孔; 或者先落料后冲孔, 力求把可能产生的畸变限制在小范围以内;

(4) 多角弯曲件主要从材料变形和弯曲时材料移动两方面安排弯曲的先后顺序, 一般情况下, 先弯外部弯角后弯内部弯角;

(5) 对于形状复杂的拉深件, 为便于材料变形和流动, 应先成形内部形状, 再拉深外部形状;

(6) 整形或校平工序, 应在冲压件基本成形以后进行。

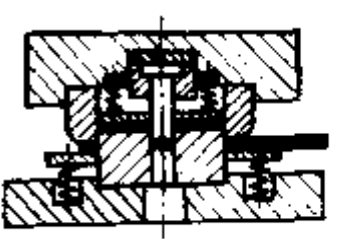
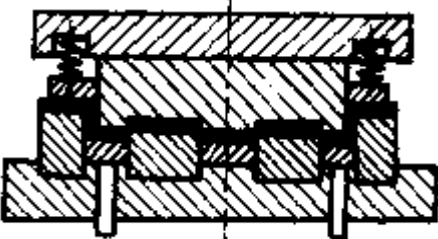
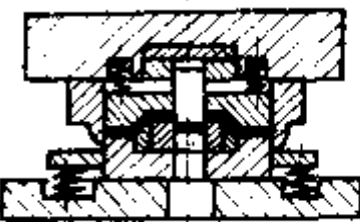
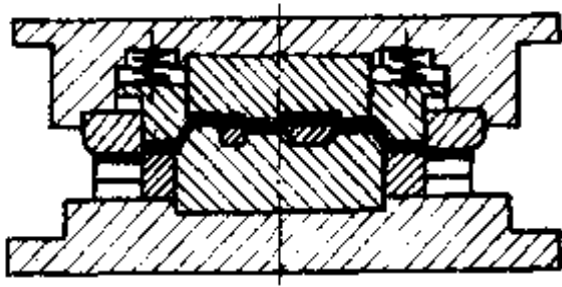
三、工序的组合方式

一个冲压件往往需要经过多道工序才能完成, 编制工艺方案时必须考虑两种情况: 单工序模分散冲压或将工序组合采用复合模(连续模) 冲压, 这主要取决于冲压件的生产批量、尺寸大小和精度等因素。生产批量大, 冲压工序应尽可能地组合在一起, 选用复合模或连续模生产; 小批量生产常选用单工序简单模。但对于尺寸过小的冲压件, 考虑到单工序模上料不方便和生产率低, 也常选用复合模或连续模生产。当选用的几个单工序模制造费用比复合模还高时, 尽管生产批量不大, 也可以考虑将工序组合起来, 选用复合模生产。对于有精度要求的零件, 为了避免多次冲压的定位误差, 应选用复合模生产。

工序的组合方式, 可以选用复合模或连续模。一般来说, 复合模的冲压精度比连续模高, 而连续模生产率高、操作安全, 若装有自动送料装置, 可适用于小件的自动冲压。

常见的复合模和连续模的工序组合方式, 可分别按表 6-11 和表 6-12 进行选用。

表 6-11 复合模的工序组合方式

模具形式	简 图	模具形式	简 图
落料和冲孔		拉深和成形	
切边和冲孔		切边和成形	

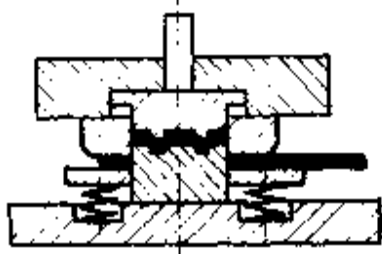
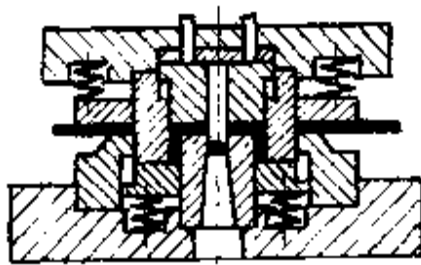
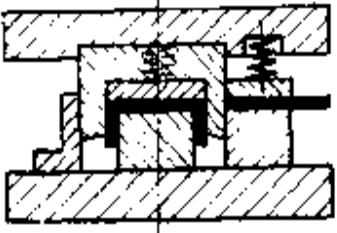
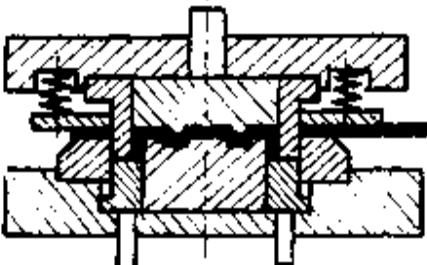
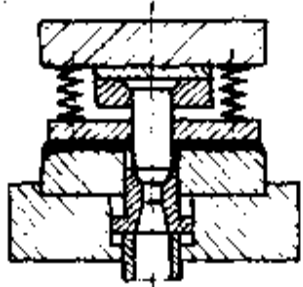
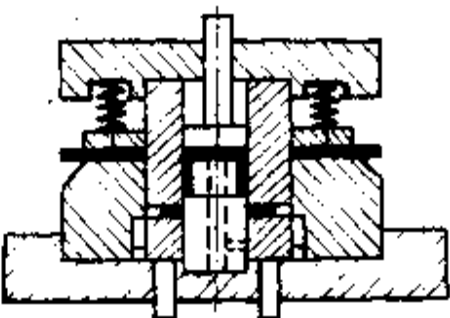
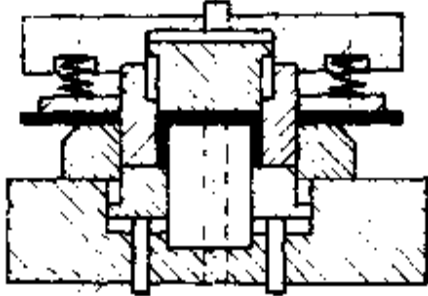
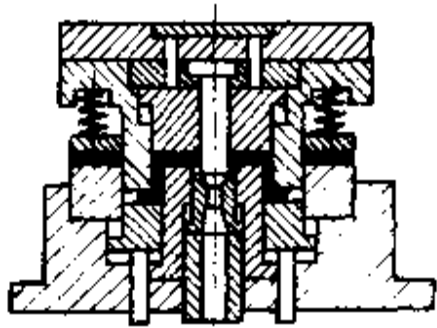
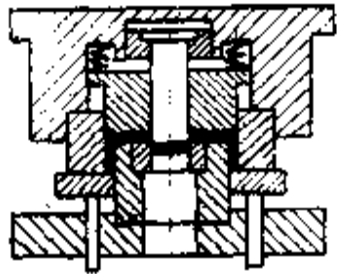
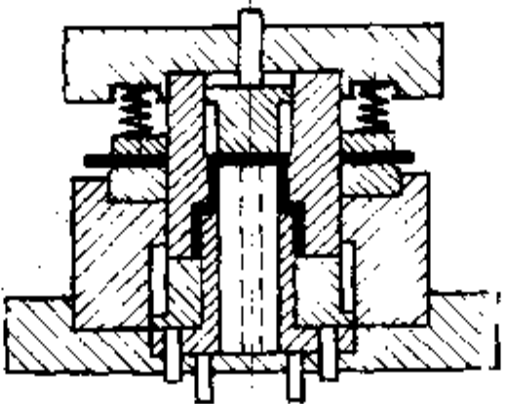
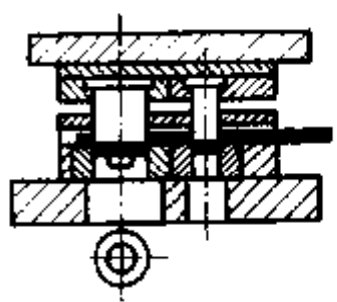
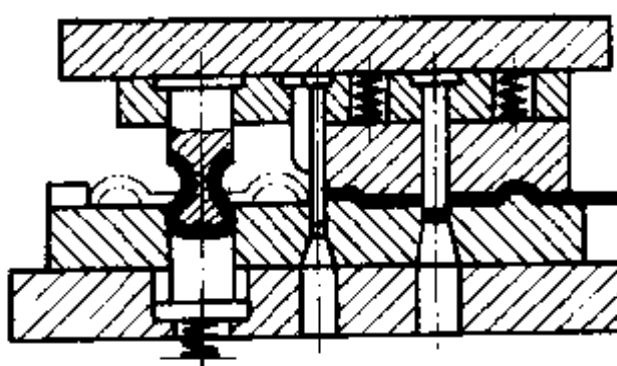
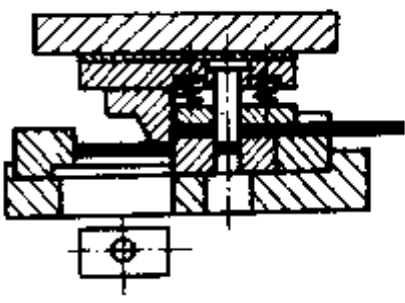
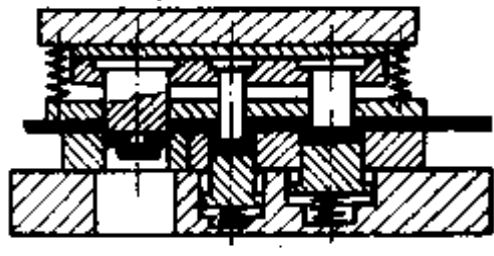
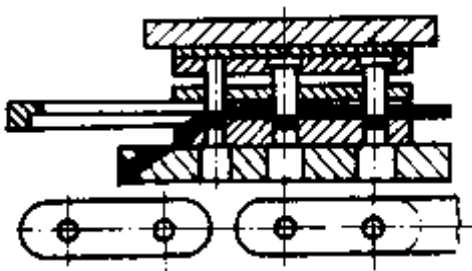
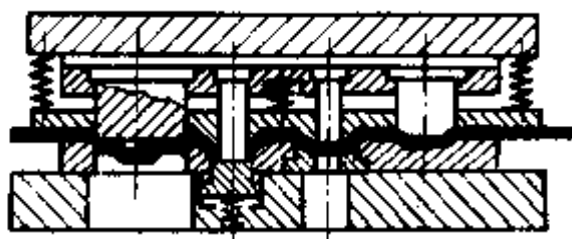
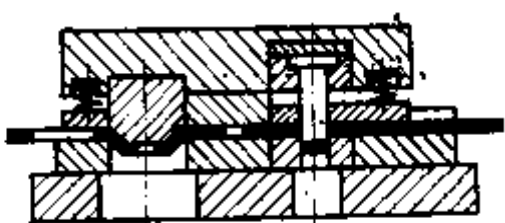
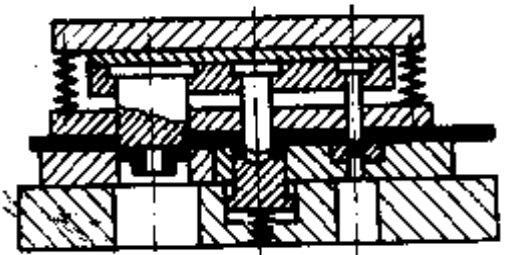
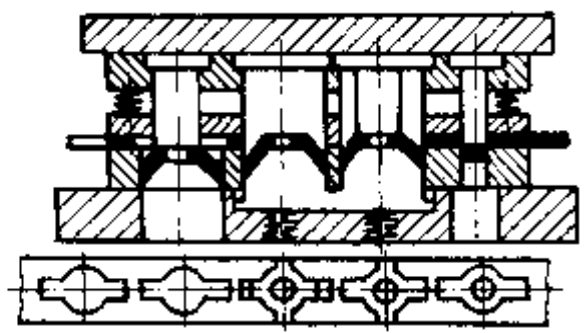
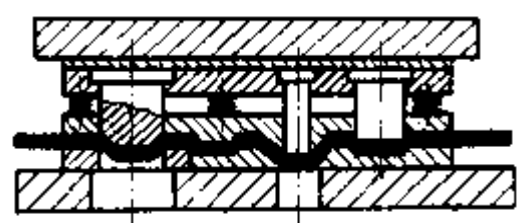
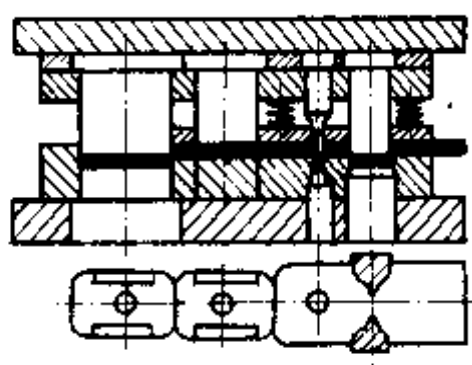
模具形式	简图	模具形式	简图
落料和压印 (成形)		落料、拉深 和冲孔	
切断和弯曲		落料、拉深 和成形	
冲孔和翻边		落料、拉深 和切边	
落料和首次拉深		四个或更多的 复合工序	
拉深和冲孔		落料和 双重拉深	

表 6-12 连续模的工序组合方式

模具形式	简 图	模具形式	简 图
冲孔和落料		弯曲、切断和最后弯曲	
冲孔和切断		连续拉深和落料	
冲孔和剖切		连续拉深、冲孔和落料	
冲孔、压印和落料		冲孔、翻边和落料	
冲孔、切口、弯曲和切断		连续拉深、冲孔、翻边和落料	
切口、冲孔、弯曲和切断			

四、确定其他辅助工序

对于某些组合冲压件或有特殊要求的冲压件，在分析了上述冲压工序类型、冲压次数、冲压顺序以及工序组合方式后，尚须考虑非冲压辅助工序，如钻孔、铰孔、车削等机械加工工序，以及焊接、铆合、热处理、表面处理、去毛刺等非机械加工工序，这些辅助工序应根据冲压件结构特点和使用要求选用，可安排在各冲压工序之间进行，也可安排在冲压工序前或后进行。

五、评判工艺方案优劣的基本原则

- (1) 产品质量稳定可靠。即能够满足产品图规定的尺寸、精度和外观质量等技术要求，不产生废品。
- (2) 工序设置合理。在保证产品质量前提下，加工经济。
- (3) 排样合理。
 - a. 排样省料。即材料消耗工艺定额较少；
 - b. 对有高强度要求的冲压件，排样时应使弯曲方向尽可能垂直于材料的轧制方向。
- (4) 模具加工较易；使用寿命高；有利于维修。
- (5) 操作方便、安全。

第四节 冲压件工艺过程编制实例

例一 如图 6-14 所示为摩托车侧盖前支承，材料为 Q235 钢，厚度 1.5mm，年生产量 5 万件，要求编制该零件的冲压工艺方案。

一、冲压件的工艺性分析

(一) 根据零件的使用条件和技术要求进行工艺性分析

该零件为摩托车侧盖前支承，以 $2-\phi 5.9$ 凸包定位且焊接组合在车架的电气元件支架上，腰圆孔用于侧盖的装配，故腰圆孔位置是该零件需要保证的重点。另外，该零件属隐蔽件，被侧盖完全遮蔽，外观上要求不高，只需平整。

(二) 根据零件形状、尺寸和要求进行工艺性分析

(1) 该零件端部四角为尖角，若采用落料工艺，则工艺性较差，根据该零件的装配使用情况，为了改善落料的工艺性，故将四角修改为圆角，取圆角半径为 2mm；

(2) 该零件的“腿”较长，若能有效地利用过弯曲和校正弯曲来控制回弹，则可以得到形状和尺寸比较准确的零件；

(3) 腰圆孔边至弯曲半径 R 中心的距离为 2.5mm，大于材料厚度 (1.5mm)，从而腰圆孔位于变形区之外，弯曲时不会引起孔变形，故该孔可在弯形前冲出。

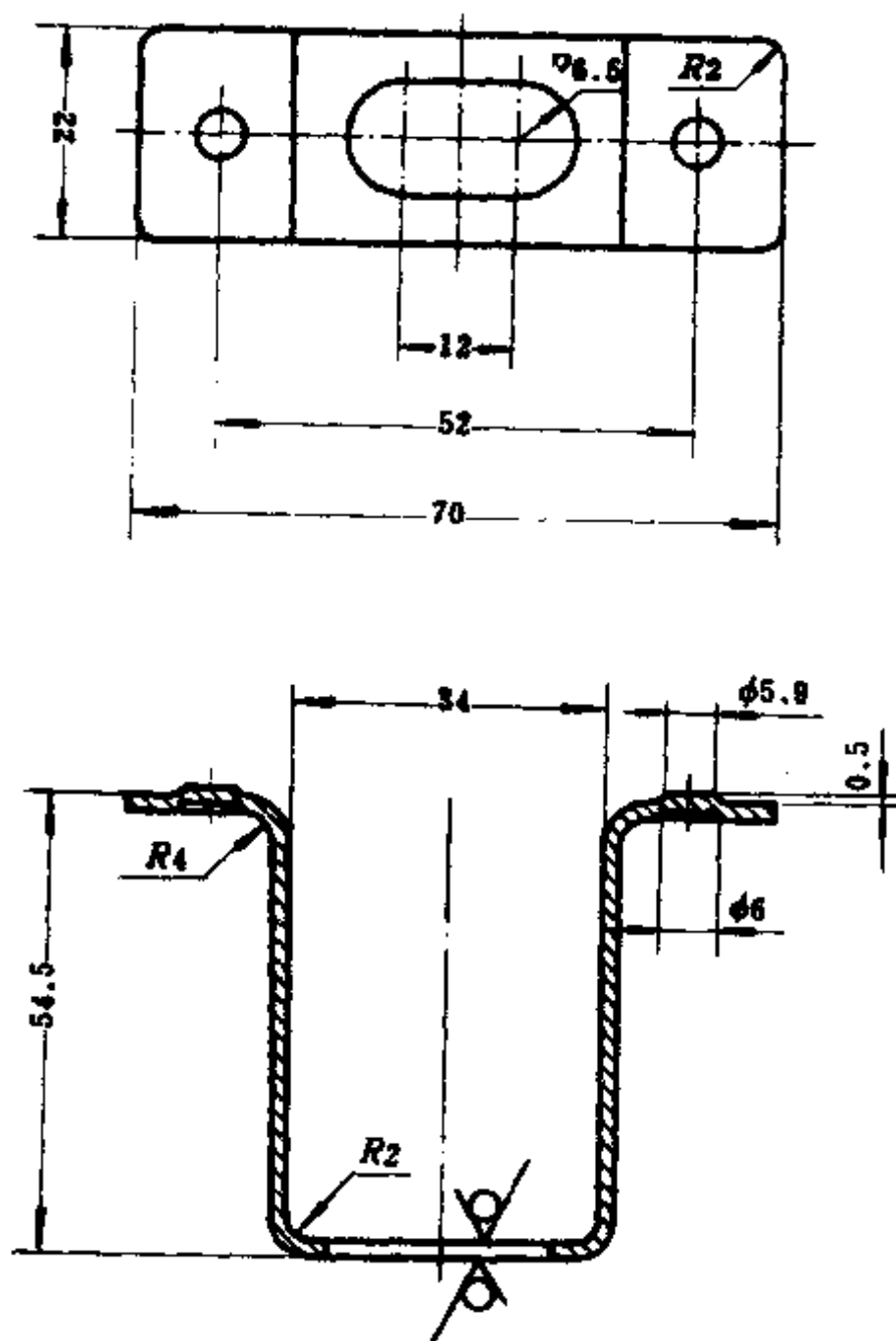


图 6-14 侧盖前支承

二、确定工艺方案

(一) 冲压工序类型和工序顺序的选择

冲压该零件需要的基本工序和顺序有剪切或落料、冲腰圆孔、一次弯曲、二次弯曲和冲凸包。

(二) 工序组合及其方案比较

1. 弯曲变形的方法及比较

该零件弯曲变形的可采用如图 6-15 所示中的任何一种。

第一种方法 (见图 6-15a) 的优点是用一副模具成形, 可以提高生产率, 减少所需设备和操作人员。缺点是毛坯的整个面积几乎都参与激烈的变形, 零件表面擦伤严重, 且擦伤面积大, 零件的形状与尺寸都不精确, 弯曲处变薄严重, 这些缺点将随零件“腿”长的增加和“脚”长的减小而愈加明显。

第二种方法 (见图 6-15b) 是先用一副模具弯曲端部两角, 然后在另一副模具上弯

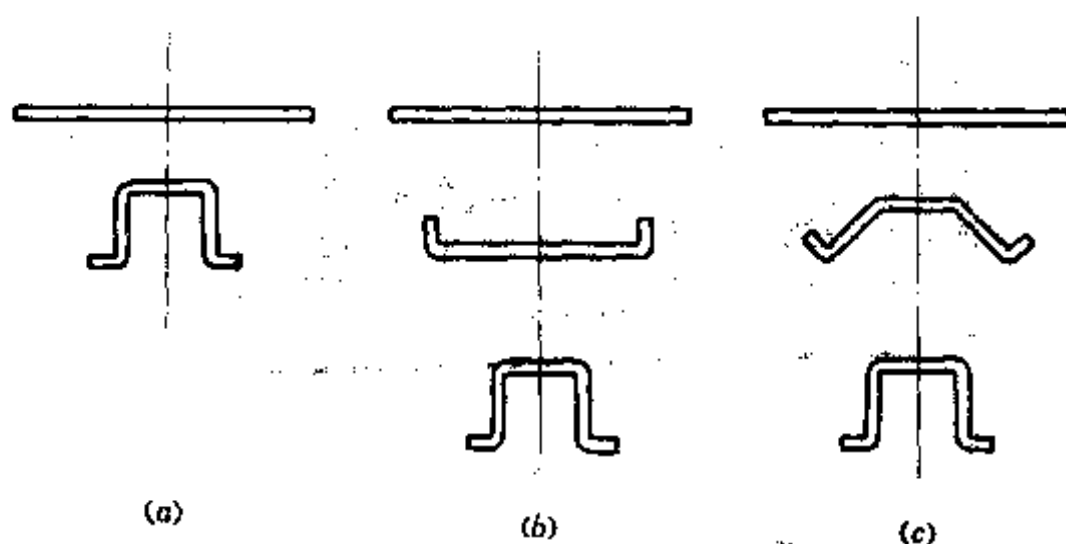


图 6-15 弯曲的方法

(a) 一副模具成形；(b)、(c) 两副模具成形。

曲中间两角。这显然比第一种方法弯曲变形的激烈程度缓和得多，但回弹现象仍难以控制，且增加了模具、设备和操作人员。

第三种方法（见图 6-15c）是先在一副模具上弯曲端部两角并使中间两角预弯 45° ，然后在另一副模具上弯曲成形，这样由于能够实现过弯曲和校正弯曲来控制回弹，故零件的形状和尺寸精确度高。此外，由于成形过程中材料受凸、凹模圆角的阻力较小，零件的表面质量较好。这种弯曲变形方法对于精度要求高或长“腿”短“脚”弯曲件的成形特别有利。

2. 工序组合方案及比较

根据冲压该零件需要的基本工序和弯曲成形的不同方法，可以作出下列各种组合方案。

方案一：落料与冲腰圆孔复合、弯曲四角、冲凸包。其优点是工序比较集中，占用设备和人员少，但回弹难以控制，尺寸和形状不精确，表面擦伤严重。

方案二：落料与冲腰圆孔复合，弯曲端部两角、弯曲中间两角、冲凸包。其优点是模具结构简单，投产快，但回弹仍难以控制，尺寸和形状也不精确，而且工序分散，占用设备和人员多。

方案三：落料与冲腰圆孔复合、弯曲端部两角并使中间两角预弯 45° 、弯曲中间两角、冲凸包。其优点是工件回弹容易控制，尺寸和形状精确，表面质量好，对于这种长“腿”短“脚”弯曲件的成形特别有利，缺点是工序分散，占用设备和人员多。

方案四：冲腰圆孔、切断及弯曲四角连续冲压、冲凸包。其优点是工序比较集中，占用设备和人员少，但回弹难以控制，尺寸和形状不精确，表面擦伤严重。

方案五：冲腰圆孔、切断及弯曲端部两角连续冲压、弯曲中间两角、冲凸包。这种方案实质上与方案二差不多，只是采用了结构复杂的连续模，故工件回弹仍难以控制，尺寸和形状也不精确。

方案六：将方案三全部工序组合，采用带料连续冲压。其优点是工序集中，只用一副模具完成全部工序，其实质是把方案三的各工序分别布置在连续模的各工位上，所以还具有方案三的各项优点，缺点是模具结构复杂，安装、调试和维修困难，制造周期长。

综合上述，该零件虽然对表面外观要求不高，但由于“腿”特别长，需要有效地利

用过弯曲和校正弯曲来控制回弹，其方案三和方案六都能满足这一要求，但考虑到该零件生产批量不是太大，故选用方案三，其冲压工序如下：落料冲孔、一次弯形（弯曲端部两角并使中间两角预弯 45° ）、二次弯形（弯曲中间两角）、冲凸包。

三、各工序模具结构形式的确定

- (1) 落料冲孔模具结构形式（见图 6-16）
- (2) 一次弯形模具结构形式（见图 6-17）
- (3) 二次弯形模具结构形式（见图 6-18）
- (4) 冲凸包模具结构形式（见图 6-19）

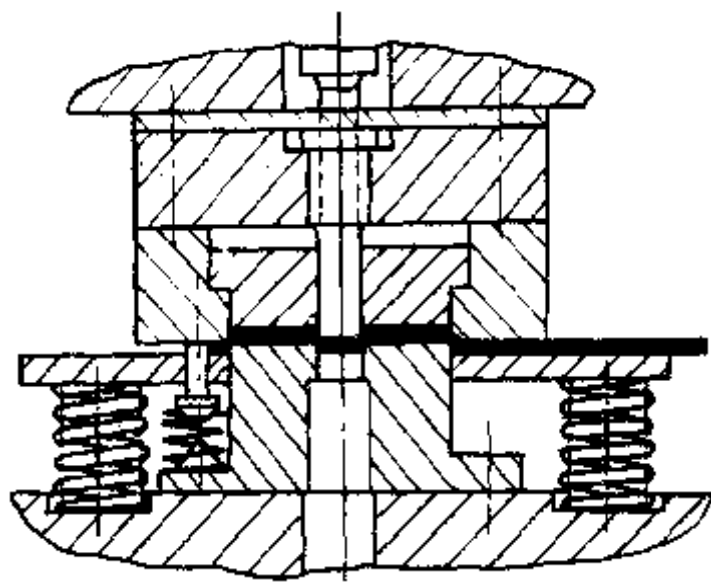


图 6-16 落料冲孔模具结构形式

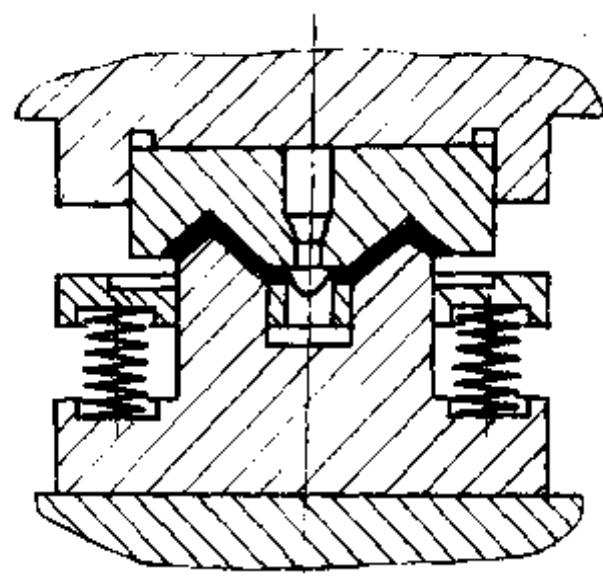


图 6-17 一次弯形模具结构形式

四、工艺计算

(一) 计算毛坯展开尺寸

毛坯展开尺寸按图 6-20 分段计算。

毛坯展开长度 $L = 2l_1 + 2l_2 + l_3 + 2l_4 + 2l_5$

式中 $l_1 = 12.5\text{mm}$;

$l_2 = 45.5\text{mm}$;

$l_3 = 30\text{mm}$;

l_4 和 l_5 按 $\frac{\pi}{2}(r + x_0 t)$ 计算。

其中圆角半径 r 分别为 2mm 和 4mm ，材料厚度 $t = 1.5\text{mm}$ ，中性层位置系数 x_0 按 r/t 由表 3-2 查取。当 $r = 2\text{mm}$ 时取 $x_0 = 0.43$ ， $r = 4\text{mm}$ 时取 $x_0 = 0.46$ 。

将以上数值代入上式得

$$\begin{aligned} L &= 2 \times 12.5 + 2 \times 45.5 + 30 + \frac{2\pi}{2} (2 + 0.43 \times 1.5) + \frac{2\pi}{2} (4 + 0.46 \times 1.5) \\ &= 169 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

考虑到弯曲时材料略有伸长，故取毛坯展开长度 $L = 168\text{mm}$ 。

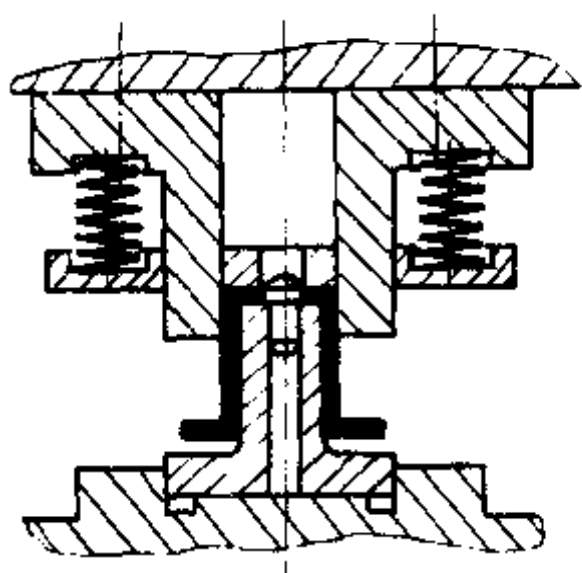


图 6-18 二次弯形模具结构形式

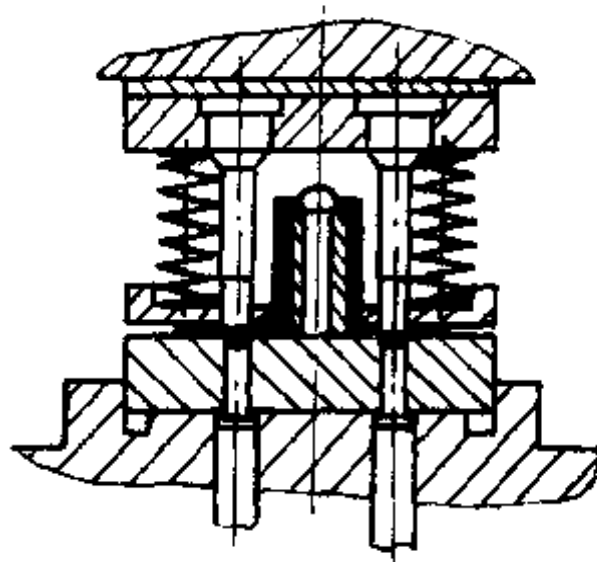


图 6-19 冲凸包模具结构形式

对于精度要求高的弯曲件，还需要通过试弯后进行修正，以获得准确的展开尺寸。

(二) 确定排样方案和计算材料利用率

1. 确定排样方案

根据零件形状选用合理的排样方案，以降低零件的材料消耗工艺定额和提高材料利用率。

该零件采用落料与冲孔复合冲压，毛坯形状为矩形，长度方向尺寸较大，为便于送料，采用单排排样方案（见图 6-21）。

搭边值 a 和 a_1 由表 2-14 查取，得 $a=2\text{mm}$ ， $a_1=1.8\text{mm}$ 。

2. 确定板料规格和裁料方式

根据条料的宽度尺寸，选择合适的板料规格，使剩余的边料越小越好。该零件宽度为 172mm ，以选择 $1.5 \times 710 \times 1420$ (mm) 的板料规格为宜。

裁料方式既要考虑所选板料规格冲制零件的数量，又要考虑裁料操作的方便性，该零件以纵裁下料为宜。对于较为大型的零件，则着重考虑冲制零件的数量，以降低零件的材料费用。

3. 计算材料消耗工艺定额和材料利用率

根据排样计算，一张钢板可冲制的零件数量为 $n=4 \times 59=236$ (件)。

$$\begin{aligned} \text{材料消耗工艺定额} \quad G &= \frac{\text{一张钢板的质量}}{\text{一张钢板冲制零件的数量}} \\ &= \frac{1.5 \times 710 \times 1420 \times 0.0000785}{236} = 0.0503\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{材料利用率} \quad \eta &= \frac{\text{零件净质量}}{\text{材料消耗工艺定额}} \times 100\% = \frac{0.0401}{0.0503} \times 100\% \\ &= 79.7\% \quad (\text{零件净质量由图 6-22 计算得出}) \end{aligned}$$

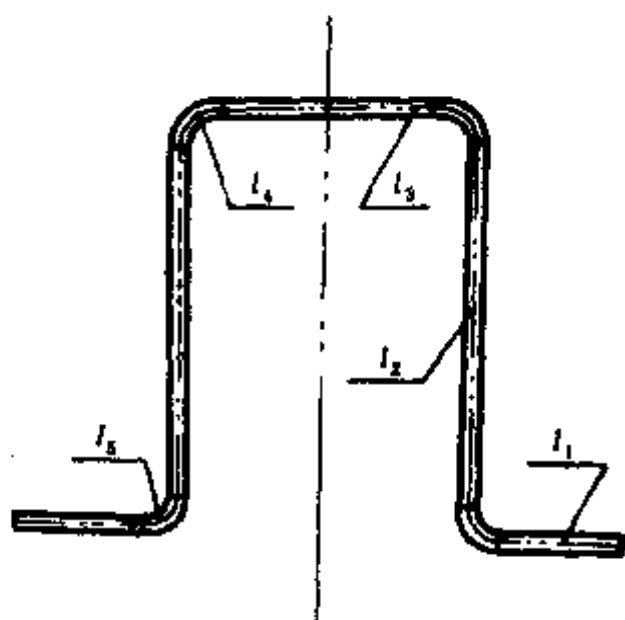


图 6-20 毛坯计算图

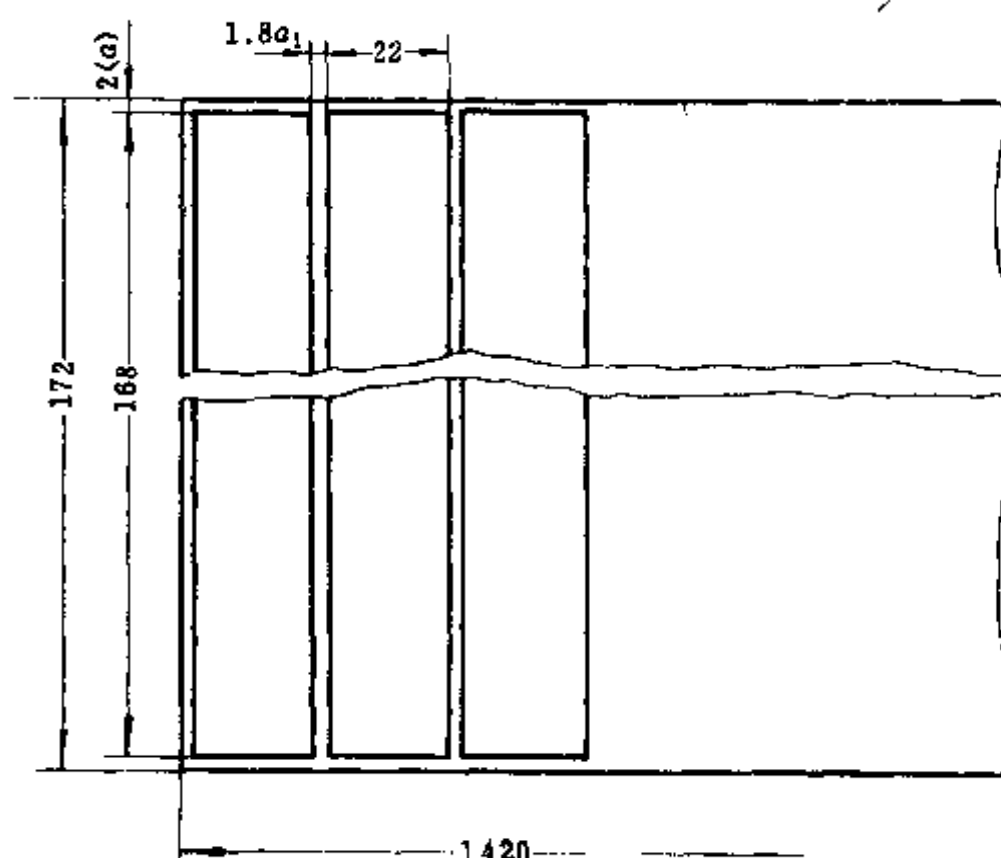


图 6-21 侧盖前支承排样方案

(三) 计算各工序冲压力和选择冲压设备

1. 第一道工序——落料冲孔 (见图 6-15)

本工序冲压力包括冲裁力 P_1 ，卸料力 P_3 和推件力 P_4 ，按图 6-16 所示的结构形式，系采用打杆在滑块快回到最高位置时将工件直接从凹模内打出，故不再考虑顶件力 P_2 。

冲裁力

$$P_1 = Lt\sigma_s (\text{或 } 1.3Lt\tau)$$

式中 L ——剪切长度；

t ——材料厚度 (1.5mm)；

σ_s ——抗拉强度，由表 6-2 查取，取 $\sigma_s = 400\text{MPa}$ ；

τ ——抗剪强度。

剪切长度 L 按图 6-22 所示尺寸计算

$$L = L_1 + L_2$$

式中 L_1 ——落料长度 (mm)；

L_2 ——冲孔长度 (mm)。

将图示尺寸代入 L 计算公式可得

$$L_1 = 2(168 - 2 \times 2 + 22 - 2 \times 2) + 2 \times 2\pi = 376\text{mm}$$

$$L_2 = 2(12 + 6.5\pi) = 65\text{mm}$$

因此，

$$L = 376 + 65 = 441\text{mm}$$

将以上数值代入冲裁力计算公式可得

$$P_1 = Lt\sigma_s = 441 \times 1.5 \times 400 = 264600(\text{N})$$

落料卸料力

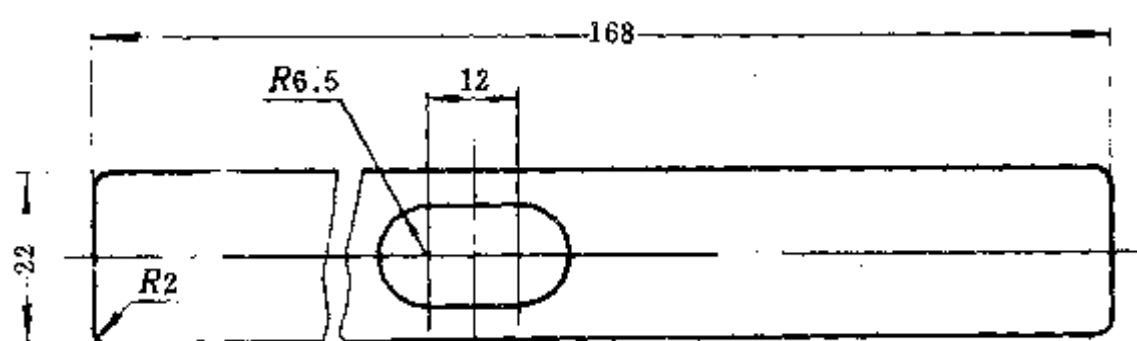


图 6-22 落料冲孔工序草图

$$P_3 = K_3 P'_p = K_3 L_1 t \sigma_b$$

式中 K_3 ——卸料力系数，由表 2-10 查取；

P'_p ——落料力 (N)。

将数值代入卸料力公式可得

$$P_3 = 0.04 \times 376 \times 1.5 \times 400 = 9037(\text{N})$$

冲孔推件力

$$P_1 = n K_1 P''_p = n K_1 L_2 t \sigma_b$$

式中 n ——梗塞件数量 (即腰圆形废料数)，取 $n=4$ ；

K_1 ——推件力系数，由表 2-10 查取；

P''_p ——冲孔力 (N)。

将数值代入推件力公式可得

$$P_1 = 4 \times 0.055 \times 65 \times 1.5 \times 400 = 8556(\text{N})$$

第一道工序总冲压力 $P_2 = P_p + P_3 + P_1$

$$= 264600 + 9037 + 8556$$

$$= 282193 (\text{N}) \approx 282 (\text{kN})$$

选择冲压设备时着重考虑的主要参数是公称压力、装模高度、滑块行程、台面尺寸等。

根据第一道工序所需的冲压力，选用公称压力为 400kN 的压力机就完全能够满足使用要求。

2. 第二道工序——一次弯形 (见图 6-17)

本工序的冲压力包括预弯中部两角和弯曲、校正端部两角及压料力等，这些力并不是同时发生或达到最大值的，最初只有压弯力和预弯力，滑块下降到一定位置时开始压弯端部两角，最后进行校正弯曲，故本工序最大冲压力只考虑校正弯曲力 P_2 和压料力 P_p 。

校正弯曲力

$$P_2 = Aq$$

式中 A ——校正部分的投影面积 (mm^2)；

q ——单位面积校正力 (MPa)，由表 3-5 查取，取 $q=100\text{MPa}$ 。

结合图 6-14、图 6-12 所示尺寸计算式如下

$$\begin{aligned} A &= [34 + (168 - 34)\cos 45^\circ] \times 22 - (12 \times 13 + 6.5^2 \pi) \\ &= 2544(\text{mm}^2) \end{aligned}$$

校正弯曲力

$$P_2 = Aq = 2544 \times 100 = 254400(\text{N})$$

压料力 P_3 为自由弯曲力 P_1 的 30%~80%。

$$\text{自由弯曲力} \quad P_1 = \frac{Bt^2\sigma_b}{r+t}$$

式中 $B=22\text{mm}$ (弯曲件宽度);

$t=1.5\text{mm}$ (弯曲件厚度);

$\sigma_b=400\text{MPa}$ (抗拉强度);

$r=4\text{mm}$ (弯曲件内弯曲半径)。

将以上数值代入 P_1 表达式得

$$\text{自由弯曲力} \quad P_1 = \frac{22 \times 1.5^2 \times 400}{4 \times 1.5} = 3600(\text{N})$$

取 $P_3=50\%P_1$, 得

$$\text{压料力} \quad P_3 = 50\% \times 3600 = 1800(\text{N})$$

则第二道工序总冲压力 $P_2 = P_2 + P_3 = 254400 + 1800 = 256200(\text{N}) \approx 256(\text{kN})$

根据第二道工序所需的冲压力, 选用公称压力为 400kN 的压力机完全能够满足使用要求。

3. 第三道工序——两次弯形 (见图 6-18)

本工序仍需要压料, 故冲压力包括自由弯曲力 P_1 和压料力 P_3 。

$$\text{自由弯曲力} \quad P_1 = \frac{Bt^2\sigma_b}{r+t} = \frac{22 \times 1.5^2 \times 400}{2+1.5} = 5657(\text{N})$$

$$\text{压料力} \quad P_3 = 50\%P_1 = 50\% \times 5657 = 2829(\text{N})$$

则第三道工序总冲压力 $P_2 = P_1 + P_3 = 5657 + 2829 = 8486(\text{N})$

第三道工序所需的冲压力很小, 若单从这一角度考虑, 所选的压力机就小, 滑块行程远远不能满足本工序的加工需要。故该工序宜选用滑块行程较大的 400kN 的压力机。

4. 第四道工序——冲凸包 (见图 6-19)

本工序需要压料和顶料, 其冲压力包括凸包成形力 P_1 和卸料力 P_3 及顶件力 P_2 , 从图 6-14 所示标注的尺寸看, 凸包的成形情况与冲裁相似, 故凸包成形力 P_1 可按冲裁力公式计算得

$$\text{凸包成形力} \quad P_1 = Lt\sigma_s = 2 \times b\pi \times 1.5 \times 400 = 22608(\text{N})$$

$$\text{卸料力} \quad P_3 = K_3 P_1 = 0.04 \times 22608 = 904(\text{N})$$

$$\text{顶件力} \quad P_2 = K_2 P_1 = 0.06 \times 22608 = 1356(\text{N}) \quad (\text{系数 } K_2, K_3 \text{ 由表 2-10 查取})$$

则第四道工序总冲压力

$$P_2 = P_1 + P_3 + P_2 = 22608 + 904 + 1356 = 24868(\text{N}) \approx 25(\text{kN})$$

从本工序所需的冲压力考虑, 选用公称压力为 40kN 的压力机就行了, 但是该工件高度大, 需要滑块行程也相应要大, 故该工序选用公称压力为 250kN 的压力机。

5. 编写工艺文件和填写冲压工艺过程卡片 (略)

例二 图 6-23 为摩托车轴承圈, 材料为 10 钢, 料厚 $t_0=2$, 表面渗碳淬火, 最后进行镀锌处理, 生产批量为 8 万件/年, 要求编制该零件的冲压工艺方案。

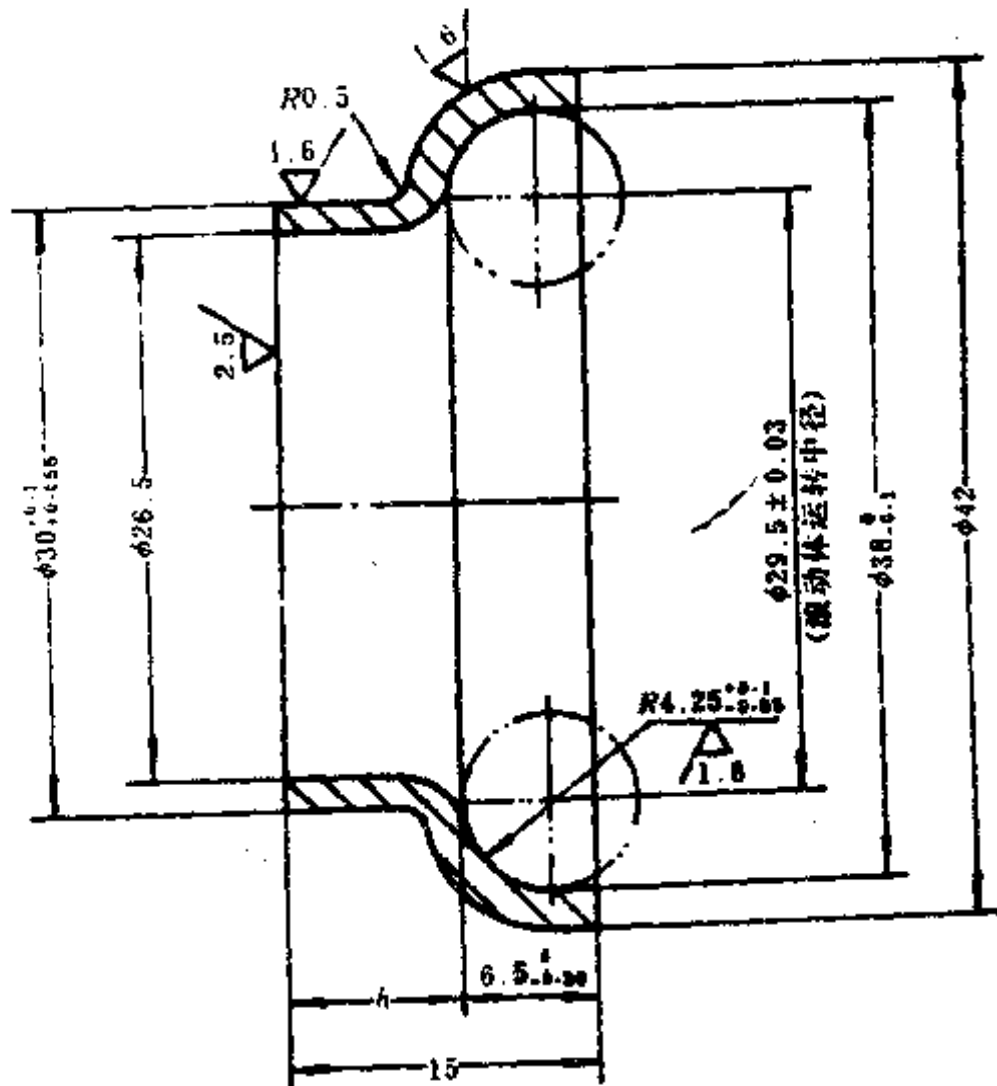


图 6-23 摩托车轴承圈

一、冲压件的工艺分析

(一) 根据零件的使用条件和技术要求进行工艺分析

该零件为摩托车减震器用轴承圈， $\phi 30_{+0.1}^{+0.1}$ 为该零件与减震筒的装配尺寸， $\phi 29.5 \pm 0.03$ 、 $\phi 38_{+0.1}$ 及 $R4.25_{+0.1}^{+0.1}$ 为该零件与滚动体的配合尺寸，精度要求较高，故是该零件要保证的重点。为保证滚动体能稳定自由转动，所以，要求该处形状尺寸较规则， $R4.25_{+0.1}$ 和 $R4.25$ 处硬度和表面质量要求较高，耐磨性较好。

(二) 根据零件形状尺寸、精度及材料进行工艺分析

该零件用 10 钢低碳钢板制造，且为形状规则的旋转体零件，适宜采用冲压加工。圆角半径为 $R0.5$ ， $r/t_0 = 0.5/2 = 0.25 < 2$ ，所以，需进行整形。当采用落料、拉深与冲孔复合冲压时，根据计算，落料毛坯直径 $D = \phi 48.6\text{mm}$ ，拉深后圆筒件中径 $d_1 = \phi 40\text{mm}$ ，预制孔 $d_0 = \phi 15.8\text{mm}$ ，如图 6-24 所示取决于 D/d_1 和 d_0/d_1 组合的各种冲压情况；I 区为预冲孔没有变化的外缘翻边。II 区为底部有伸长，预冲孔直径增大的外缘翻边。III 区和 IV 区为整个毛坯发生变形的内孔翻边，毛坯的直径均减小。在 III 区凸缘的变形先发生；而在 IV 区毛坯底部的变形先发生，沿孔的边缘可能产生裂纹。V 区在内孔的翻边中是主要的，此时，毛坯的外径没有变化。A 区为工艺的禁区，易产生圆周裂纹和底部断裂；B 区为安

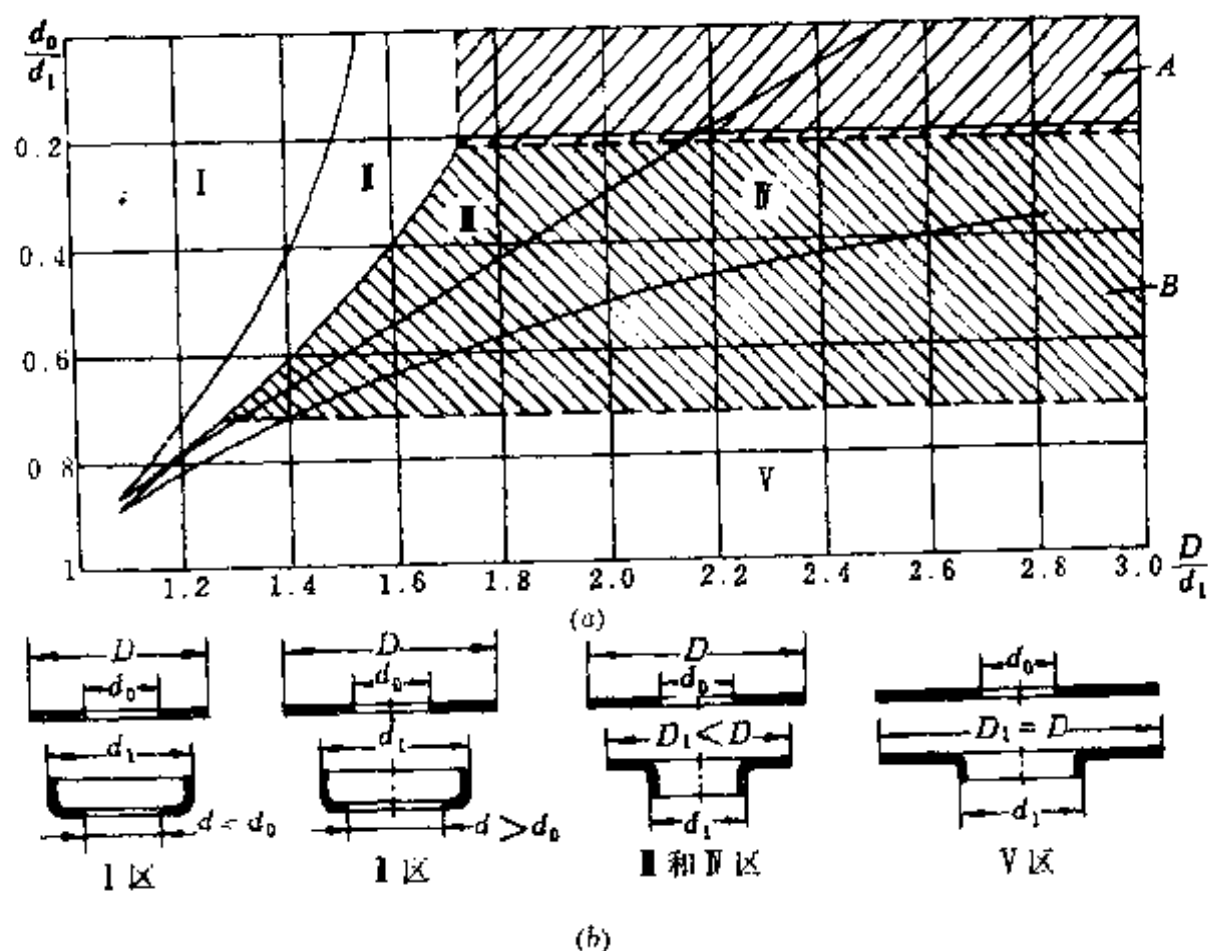


图 6-24 取决于 D/d_1 和 d_0/d_1 的各种冲压情况

(a) 不同工艺区域的相互位置；(b) 在不同工艺区域环状毛坯的变形情况。

全期。

因为 $d_0/d_1 = 15.8/40 = 0.395$, $D/d_1 = 48.6/40 = 1.22$, 属 I 工艺区域, 制品底部没有伸长。拉深后孔的形状尺寸不会发生变化, 故该孔可以在拉深前冲出。

二、确定工艺方案

(一) 冲压工艺性质和工序顺序的选择

冲压该零件需要的基本工序和顺序有落料、拉深、冲孔、翻边（或拉深、冲底，或拉深、切割底部）和整形工序。

(二) 工序组合及其方案比较

1. 零件加工的方法及比较

该零件加工的方法可采用图 6-25 所示的任何一种。

第一种方法（见图 6-25a）是采用阶梯拉深成形，切割底部后， $\phi 30\text{mm}$ 处端部整齐、质量较好，但生产效率低且费料，该零件在底部高度要求不高的情况下不宜采用。

第二种方法（见图 6-25b）是采用阶梯拉深成形后，冲切底部代替切割底部，并需增加整形工序，所需设备和人员较多。

第三种方法（见图 6-25c）是用冲孔、翻边代替拉深、切割或拉深、冲切底部、整形，生产率较高而且省料，翻边端部质量虽不如前两种好，但该零件高度 15mm 为未注公差尺寸，翻边后完全可以保证要求，所以，采用第三种方法是较合理的。

2. 工序组合方案及比较

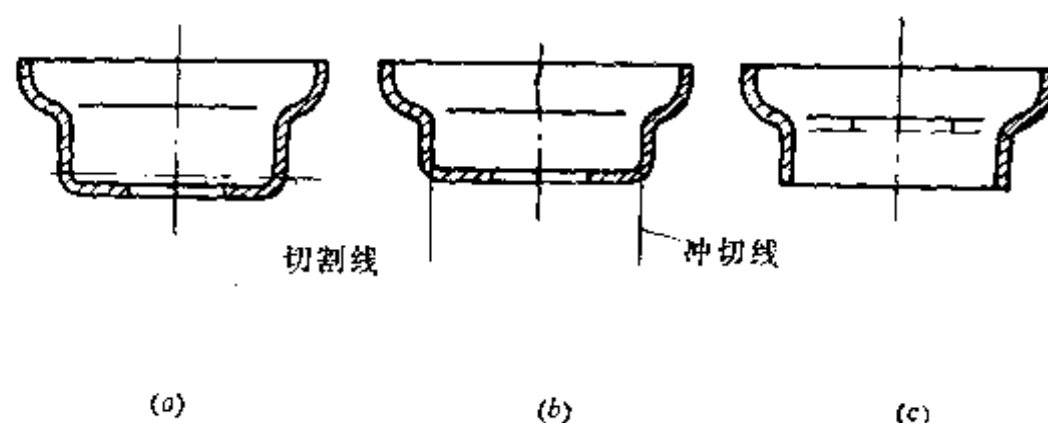


图 6-25 轴承圈底部成形方案
(a) 切割底部；(b) 冲底；(c) 冲孔翻边。

根据冲压该零件所需要的基本工序和冲压加工的不同方法，可以列出以下各种组合方案。

方案一：落料、拉深与冲孔复合；翻边带整形。

该方案的特点是冲孔凹模与拉深凸模做成一体，给模具制造及修模造成一定困难，但采用翻边带整形，加工后的产品形状尺寸较稳定，只需两道冲压工序，用料也较少。

方案二：落料与拉深复合；冲孔与翻边复合；整形。

该方案的特点是冲孔、翻边复合模制造较复杂，修模较困难，模具使用寿命较低，形状尺寸不易保证。

方案三：落料与拉深复合；冲孔；翻边带整形。

该方案的特点是冲孔与翻边单独进行，模具制造较简单，模具使用寿命较高，零件形状尺寸较精确，用料较少，但需三套模具，要增加设备和人员。

方案四：落料与冲孔复合；拉深；翻边带整形。

该方案和第三方案一样，模具制造较简单，模具使用寿命较高，零件形状尺寸较精确，用料较少，但需三套模具，要增加设备和人员。

根据分析，方案二、方案三和方案四均需用三套模具，还要增加设备和人员，所以，该零件加工采用方案一比较合适。其冲压工序如下：落料、拉深与冲孔复合；翻边带整形。

3. 该零件加工工艺流程如下：



三、各工序模具结构形式

(1) 落料、拉深与冲孔模具结构形式如图 6-26 所示。

(2) 翻边带整形模具结构形式如图 6-27 所示。

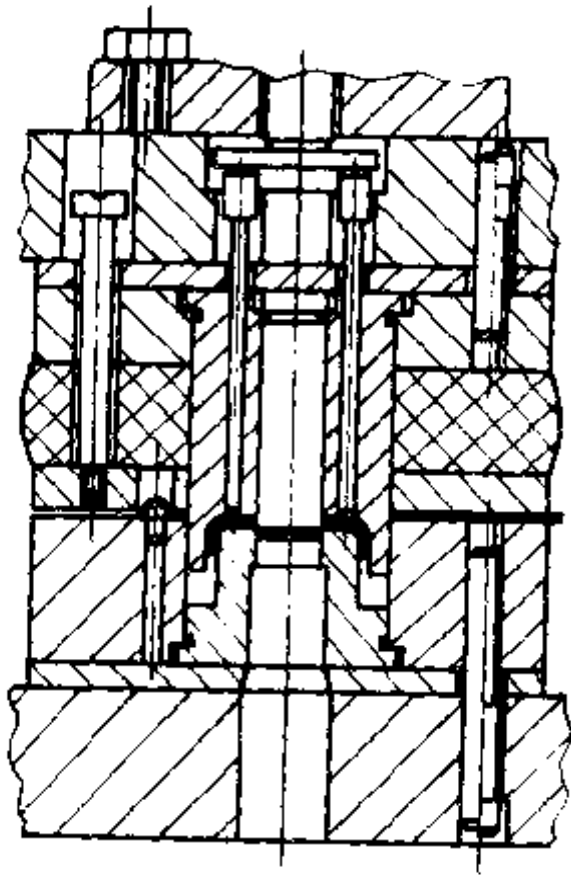


图 6-26 落料、拉深与冲孔模具结构形式

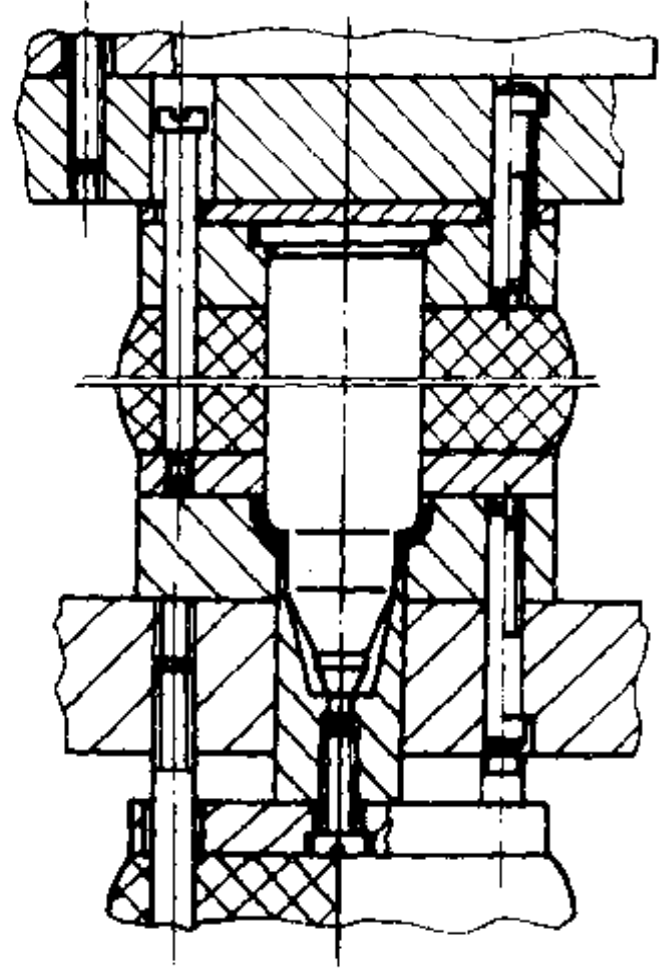


图 6-27 翻边带整形模具结构形式

四、工艺计算

(一) 计算毛坯尺寸

计算毛坯尺寸需先确定翻边前的半成品尺寸。翻边前是否需拉深成阶梯形零件，要核算翻边的变形程度之后才能确定。

从图 6-23 可得出， $\phi 26.5$ 处的翻边高度为

$$h = 15 - 6.5 = 8.5 \text{ mm}$$

根据翻边公式 (5-19)，翻边系数为

$$\begin{aligned} K &= 1 - (2/D_m)(h - 0.43r - 0.72t_0) \\ &= 1 - (2/28.25)(8.5 - 0.43 \times 0.5 - 0.72 \times 2) = 0.56 \end{aligned}$$

式中 D_m ——翻边后的中径 (mm)；

r ——圆角半径 (mm)；

t_0 ——材料厚度 (mm)。

预制孔直径 d_0 的计算公式为

$$\begin{aligned} d_0 &= D_m \times K = 28.25 \times 0.56 = 15.8 \text{ mm} \\ (d_0/t_0) &= (15.8/2) = 7.9 \end{aligned}$$

低碳钢的极限翻边系数 $[K]$ 由表 5-7 查得。

采用球形凸模翻边要比用圆柱形凸模翻边所需的翻边力小，故采用球形凸模翻边。此时，极限翻边系数 $[K] = 0.44 < K = 0.56$ ，即一次能安全翻出 $h = 8.5 \text{ mm}$ 的高度。

翻边前的半成品形状和尺寸如图 6-28 所示。

修边余量的数值可由表 4-4 查得。

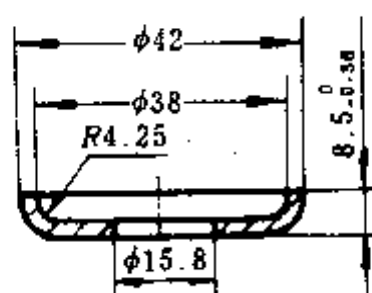


图 6-28 翻边前半成品形状及尺寸

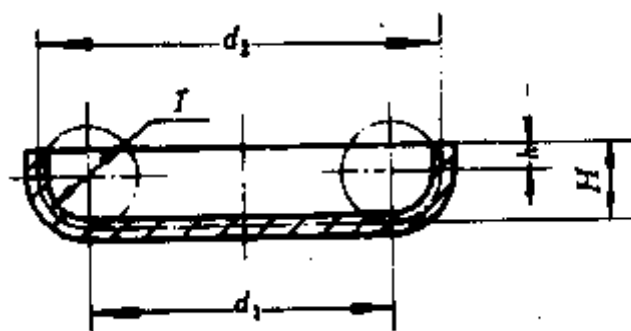


图 6-29 毛坯计算图

因为 $h=8.5 < 10$, $(h/d) = (8.5/40) = 0.21 < 0.5$, 所以, 可不进行修边。

毛坯直径 D 按下式及图 6-28 和图 6-29 所示进行计算

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 6.28rd_1 + 8r^2} \\ &= \sqrt{29.5^2 + 4 \times 40 \times 2.25 + 6.28 \times 5.25 \times 29.5 + 8 \times 5.25^2} \\ &= 48.64 \approx 48.6(\text{mm}) \end{aligned}$$

(二) 确定排样方案和计算材料利用率

1. 确定排样方案

根据零件形状尺寸, 合理选用排样方案, 以降低零件的材料消耗工艺定额, 从而提高材料利用率。

该零件采用落料、拉深与冲孔复合冲压, 毛坯形状为圆片, 为节约材料, 在条件允许的情况下, 采用两排排样方案如图 6-30 所示。

搭边值 a 和 a_1 由表 2-14 查取。 $a =$

1.5mm, $a_1 = 1.2\text{mm}$ 。

$$\begin{aligned} \text{进距 } h &= D + a_1 \\ &= 48.6 + 1.2 = 49.8\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{料宽 } b_0 &= 2a + D \\ &= \sqrt{(D+a_1)^2 - [(D+a_1)/2]^2} \\ &\approx 94.7\text{mm} \end{aligned}$$

为保证搭边值, 减少缺口废品, 应考虑条料的宽度偏差, 所以, 料宽

$$b = b_0 + \Delta = 94.7 + 0.6 = 95.3\text{mm}$$

式中 Δ ——条料宽度偏差, 由表 6-13 查取。

2. 确定板料规格和裁料方式

根据条料的宽度尺寸, 选择合适的板料规格, 使剩余边料最少。现选择 $2000 \times 1000 \times 2$ (mm) 的板料, 经计算条料宽度可最后确定为 96mm。

裁料方式要考虑板料冲制零件的数量, 还要考虑裁料及落料、拉深与冲孔工序操作的方便性。根据计算在不显著减少零件数量的情况下, 该零件以横裁下料比较方便。

3. 计算材料消耗工艺定额和材料利用率 (略)

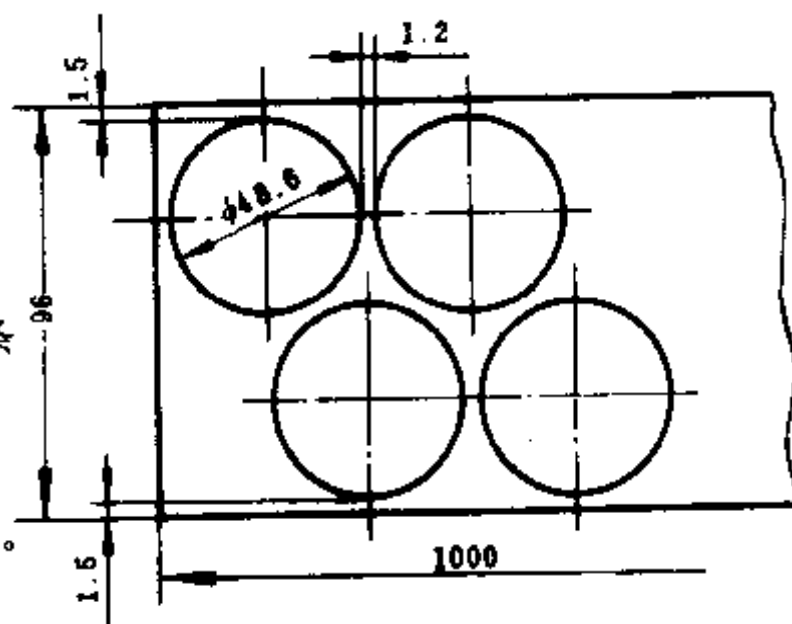


图 6-30 轴承圈排样方案

表 6-13 条料宽度偏差 Δ

(mm)

条料宽度 b	材 料 厚 度 t			
	~1	1~2	2~3	3~5
~50	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9
50~100	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0
100~150	-0.6	-0.7	-0.9	-1.1
150~220	-0.7	-0.8	-1.0	-1.2
220~300	-0.8	-0.9	-1.1	-1.3

注：条料宽度公差。表中数值系用龙门剪床下料。

(三) 拉深工艺计算

1. 确定拉深次数

根据拉深件的相对高度和毛坯相对厚度，由表 4-13 直接查出拉深次数。

当 $(t_0/D) \times 100 = (2/48.6) \times 100 = 4.12$, $h/d = 8.5/40 = 0.21 < 0.94 \sim 0.77$, 故可一次拉出毛坯。由零件拉深系数 $m = d/D = 40/48.6 = 0.82 > [m] = 0.5$, 从表 4-10 无凸缘筒形件不用压边圈拉深时的拉深系数可知，能顺利进行拉深。

2. 确定是否用压边圈

根据表 6-14 采用压边圈的条件。

表 6-14 采用或不采用压边圈的条件

拉深方法	第一次拉深		以后各次拉深	
	$t/D_0 \times 100$	m_1	$t/d_{n-1} \times 100$	m_n
用压边圈	< 1.5	< 0.6	< 1	< 0.8
可用可不用	1.5~2.0	0.6	1~1.5	0.8
不用压边圈	> 2.0	> 0.6	> 1.5	> 0.8

因为 $(t_0/D) \times 100 = (2/48.6) \times 100 = 4.12 > 2.0$, $m_1 = d/D = 40/48.6 = 0.82 > 0.6$, 所以，拉深时不采用压边圈。

(四) 计算各工序冲压力和选择冲压设备

1. 落料、拉深与冲孔工序 (模具结构形式见图 6-26)

本工序冲压力包括落料力、落料卸料力、拉深力、冲孔力、冲孔推料力和冲孔卸料力。

落料力按下式计算：

$$P_1 = 1.3\pi D t \tau = 1.3\pi \times 48.6 \times 2 \times 333 = 132.2(\text{kN})$$

式中 $\tau = 255 \sim 333 \text{MPa}$, 由表 6-2 查取。

落料的卸料力为

$$P_3 = K_3 P_1 = 0.045 \times 132.2 = 5.95(\text{kN})$$

式中 $K_3 = 0.045$, 由表 2-10 查取。

拉深力按下式计算：

$$P_2 = \pi d t \sigma_s k_1 = \pi \times 40 \times 2 \times 432 \times 0.233 = 25.3 \text{kN}$$

式中 $K_1 = 0.233$, 由表 6-15 查取；

$\sigma_s = 294 \sim 432 \text{MPa}$, 由表 6-2 查取。

表 6-15 筒形件第一次拉深时的系数 K_1 值 (08~15 钢)

相对厚度 $\frac{t}{D} \times 100$	第一次拉深系数 m_1									
	0.45	0.48	0.50	0.52	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
5.0	0.95	0.85	0.75	0.65	0.60	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20
2.0	1.10	1.00	0.90	0.80	0.75	0.60	0.50	0.42	0.35	0.25
1.2		1.10	1.00	0.90	0.80	0.68	0.56	0.47	0.37	0.30
0.8			1.10	1.00	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40	0.33
0.5				1.10	1.00	0.82	0.67	0.55	0.45	0.36
0.2					1.10	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40
0.1						1.10	0.90	0.75	0.60	0.50

注：当凸模圆角半径 $r_{\text{凸}} = (4 \sim 6)t$ 时，系数 K_1 应按表中数值增加 5%。

对于其他材料，根据材料塑性的变化，对查得值作修正（随塑性减低而增大）。

冲孔力：

$$P_p = 1.3\pi d_0 t \tau = 1.3\pi \times 15.8 \times 2 \times 333 \approx 43(\text{kN})$$

冲孔卸料力：

$$P_3 = K_3 P_p = 0.045 \times 43 \approx 1.94(\text{kN})$$

冲孔推料力：

$$P_1 = n K_1 P_p = 4 \times 0.055 \times 43 = 9.46(\text{kN})$$

式中 $K_1 = 0.055$ ，由表 2-10 查取； $n = 4$ 为同时卡在凹模里的废料片数（设凹模定径带高度 $h = 8\text{mm}$ ， $n = h/t = 8/2 = 4$ ）。

根据计算：落料、拉深与冲孔工序的冲压力以落料力最大，由于拉深时不用压边圈，所以，该工序的总冲压力 $P_2 = P_p + P_3 = 132.2 + 5.95 = 138.15\text{kN}$

落料拉深工序的最大总压力，在压力机滑块离下死点 8.5mm（拉深高度）之前就需达到。精确确定压力机的压力应参考压力机说明书中所给出的允许工作负荷曲线，使完成零件的冲压负荷曲线在压力机滑块的允许负荷曲线之下。在落料拉深复合工序选用压力机的公称压力时，由于在公称压力行程之前，便开始落料，故应特别防止过载的发生。对于一般的曲柄压力机，产生公称压力的行程仅为滑块行程的 5%~7%，而在行程的中间点，压力仅为公称压力的 50% 左右。所以，落料拉深时设备的公称压力应大于或等于 $P_2 / (0.5 \sim 0.6) = 230.3 \sim 276.3\text{kN}$ 。即本工序设备的公称压力应大于或等于 276.3kN。此外，还应根据所设计的模具尺寸综合考虑设备的装模高度、滑块行程、台面尺寸等。故选用公称压力为 400kN 的开式压力机。

2. 翻边带整形工序（模具结构形式见图 6-27）

本工序冲压力包括翻边力、顶件力和整形力。

翻边力按下式计算

$$P_f = 1.1\pi t \sigma_s (D - d_0) = 1.1\pi \times 2 \times 206 \times (28.25 - 15.8) = 17.73(\text{kN})$$

式中 $\sigma_s = 206\text{MPa}$ ，由表 6-2 查取。

顶件力取翻边力的 10%，可得

$$P = 0.1 P_f = 0.1 \times 17.73 = 1.77(\text{kN})$$

整形力按下式计算

$$\begin{aligned} P_s &= F \times q = (\pi/4) \times (38^2 - 26.5^2) \times 100 \\ &= 58.26(\text{kN}) \end{aligned}$$

式中 F ——工件上的投影面积 (mm^2);

q ——单位压力 (MPa), 对于软钢 $q=80\sim 100\text{MPa}$ 。

根据计算: 翻边带整形工序的冲压力以整形力最大, 且在下死点时产生, 故按整形力选用压力机, 设备的公称压力应大于或等于 $1.3P_s$, 即应大于或等于 75.74kN 。但是, 考虑模具尺寸及装模高度、滑块行程等, 故选用公称压力为 800kN 的压力机。

五、编写工艺文件和填写冲压工艺过程卡片 (略)

第二篇 冲模设计

第七章 常用冲模设计

第一节 概 述

一、冲模的特征和类型

本章主要介绍常用的冲裁模、弯曲模及拉深模的结构和设计方法。

冲模是对金属板材进行冲压加工以获得合格产品的工具。在冲压加工过程中，冲模的凸模与凹模直接接触被加工材料并相对作用使其产生塑性变形达到预期的零件。因此对冲模的要求：

- (1) 冲模应具有足够的强度、刚度和相应的形状尺寸精度；
- (2) 冲模主要零件应有足够的耐磨性及使用寿命；
- (3) 冲模的结构应确保操作安全、方便，便于管理与维修；
- (4) 冲模应有使材料顺利送进、工件方便取出，定位可靠的装置，以保证生产的工件质量稳定；
- (5) 为使冲模上下运动准确，需要有导向装置；
- (6) 冲模零件的加工和装配应尽可能简单，尽量采用标准件，通用件，以缩短模具的制造周期，降低成本；
- (7) 冲模的工作依赖压力机的运动和能力。冲模结构应与压力机的主要技术参数相适应；
- (8) 冲模应具有与压力机连接的部位，有搬运吊装部位，以适应安装和管理的需要。

冲模的种类：

- (1) 从工艺性质分为冲裁模，弯曲模，拉深模，成形模等；
- (2) 从工序组合分为单工序模，复合模，连续模；
- (3) 从材料送进方式分为手动送料模，半自动送料模，自动送料模；
- (4) 从适用范围分为通用模和专用模；
- (5) 从导向方式分为无导向模，板式导向模，滑动导柱模，滚动导柱模。

此外还可以从模具材料，尺寸大小，制造难易等来区分。通常大多按工艺和工序组合分类，如冲孔模，翻边模，落料——拉深复合模等。

二、冲模的结构组成（见图 7-1）

冲模结构由五部分组成，即工作零件、辅助装置、导向装置、支承零件、紧固零件。

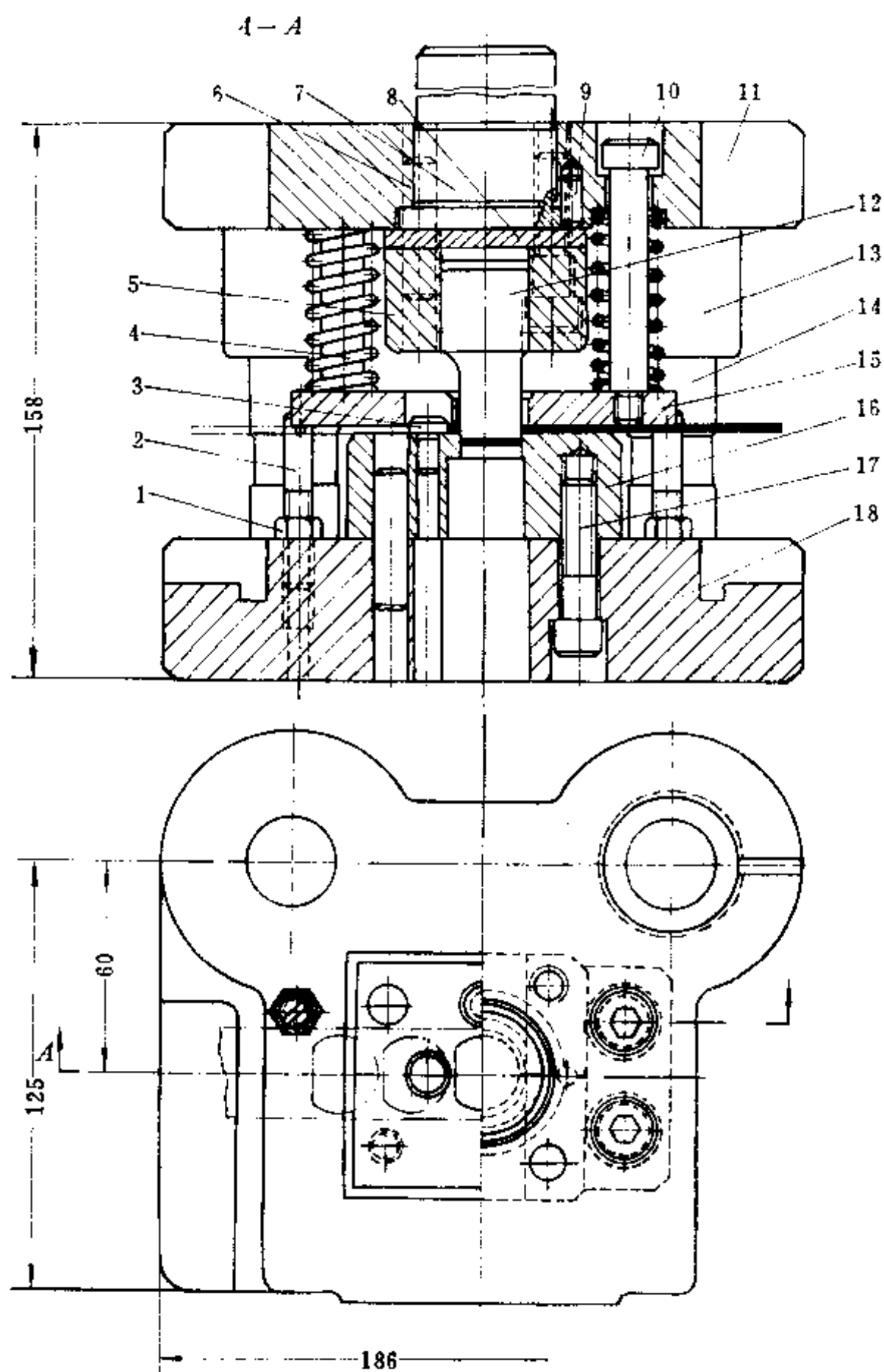


图 7-1 冲模结构组成

- 1—螺母；2—挡料螺栓；3—挡料销；4—卸料弹簧；5—凸模固定板；6—圆柱销；
7—上模座；8—上垫板；9—圆柱销；10—卸料螺钉；11—上模座；12—凸模；
13—导套；14—导柱；15—弹性卸料板；16—凹模；17—内六角螺钉；18—下模座。

其中工作零件和辅助装置是冲模设计的主要内容；导向装置、支承零件、紧固零件大多已标准化、商品化，设计时可根据需要选用。

在图 7—1 中，件 12、16 为工作零件，2、3 为定位装置，件 4、10、15 为卸料装置，件 13、14 为导向装置，件 5、7、8、11、18 为支承零件，其余则为紧固零件。

（一）工作零件

冲模的工作零件是凸模和凹模，在复合模中还有凸凹模。它们成对互相配合，完成对坯料的成形。它们的形状尺寸，尺寸精度，固定方法及材质处理等决定着冲模的性能、模具成本及使用寿命。

（二）辅助装置

辅助装置是协助凸模、凹模完成工艺成形必不可少的装置，如材料送进的定向定位装置，废料排除装置，卸料退件装置，压料抬料装置等。它们的结构形式对工件质量、操纵安全、生产效率都至关重要，辅助装置是冲模设计中不容忽视的重要部分。

（三）导向装置

它们是保证上模、下模准确运动的装置，要求工作可靠，导向精度好，有一定互换性。导向装置目前已基本标准化，并有商品供应。

（四）支承零件

在上模座和下模座上安装着凸模、凹模及其他所有的零件。它们与压力机连接，传递并承受着工作压力。模座的形式现已规格化、标准化，并有商品模架出售。一些大工厂也将其作为通用件大批生产，以作备用，同时也为设计提供方便，即只需按要求选用。

（五）紧固零件

中小型模具大多采用沉头螺栓和销子作可卸式连接。有些凸模、凹模的连接则采用粘接或低熔点合金连接。大型模具的刃口或支架也有采用焊接方法的。模具的连接可靠，拆卸方便也是冲模设计的一个基本要求。

第二节 冲裁模设计

冲裁模有落料模、冲孔模、切口模、切边模等。冲裁模设计要确定凸凹模刃口的形状尺寸和精度、配合间隙，以及选择进料定位、出件方式等。

一、简单冲裁模

简单冲裁模与复合冲裁模，连续冲裁模的区别在于它是单工序冲模，即在一次工作行程中，只完成一个工序。简单冲裁模从凸模、凹模的装配位置可区分为顺装式、倒装式，从工作出模方式又可分为上出件、下出件和打料出件。从卸料方式上分为刚性卸料和弹性卸料。

顺装冲裁模的卸料可采用弹性卸料装置，也可采用刚性卸料装置。卸料装置是利用卸料板与凸模产生的相对运动，将凸模上的废料刮下。弹性卸料板装在凸模所在的模座上，刚性卸料板则装置在凹模口端面上。如图 7—1 所示为顺装式冲裁模。

倒装冲裁模的凹模安装在上模板上，所以工件只能从上模板上的凹模孔内顶出或利用弹簧或橡皮顶件器顶出，也可利用打料杆刚性打出。顶料板应高出凹模口面1~3mm。大、中型工件的落料一般都采用打料出件。打杆应具有一定的硬度，一般都需淬火处理。倒装冲裁模的卸料一般只用弹性卸料，卸料板利用弹簧或橡皮推动，也有用气垫推动的。弹簧、橡皮可装在下模板上，也可装在压力机的工作台下面。

小件冲裁模，特别是高速冲裁，弹性卸料板必须带有导向装置，以避免凸模承受侧向力。卸料弹簧的布置也必须考虑到卸料力的平衡。

大件冲裁模除常用做大型坯件的落料外，还做大件的切口、切断、切废料等。大件落料模的出件要避免工作碰伤，由于下出件要影响到模具的结构和强度，所以大、中件一般都采用刚性打料从上面出件，顶件端面可连接橡皮作缓冲以保护工件。

冲孔模按孔径与板厚比例关系分为小孔冲模（包括窄缝冲模）、常规冲孔模。

在冲孔模结构中，凸模常做成阶梯形状以增加强度和刚度。凸模结构应考虑装配的快速性及可互换性，导向的可靠性等要求。在高速冲孔时要考虑模具的散热冷却问题，厚板冲裁的凸模需要设剪切角，凸模进入凹模孔的长度一般为1~3mm。

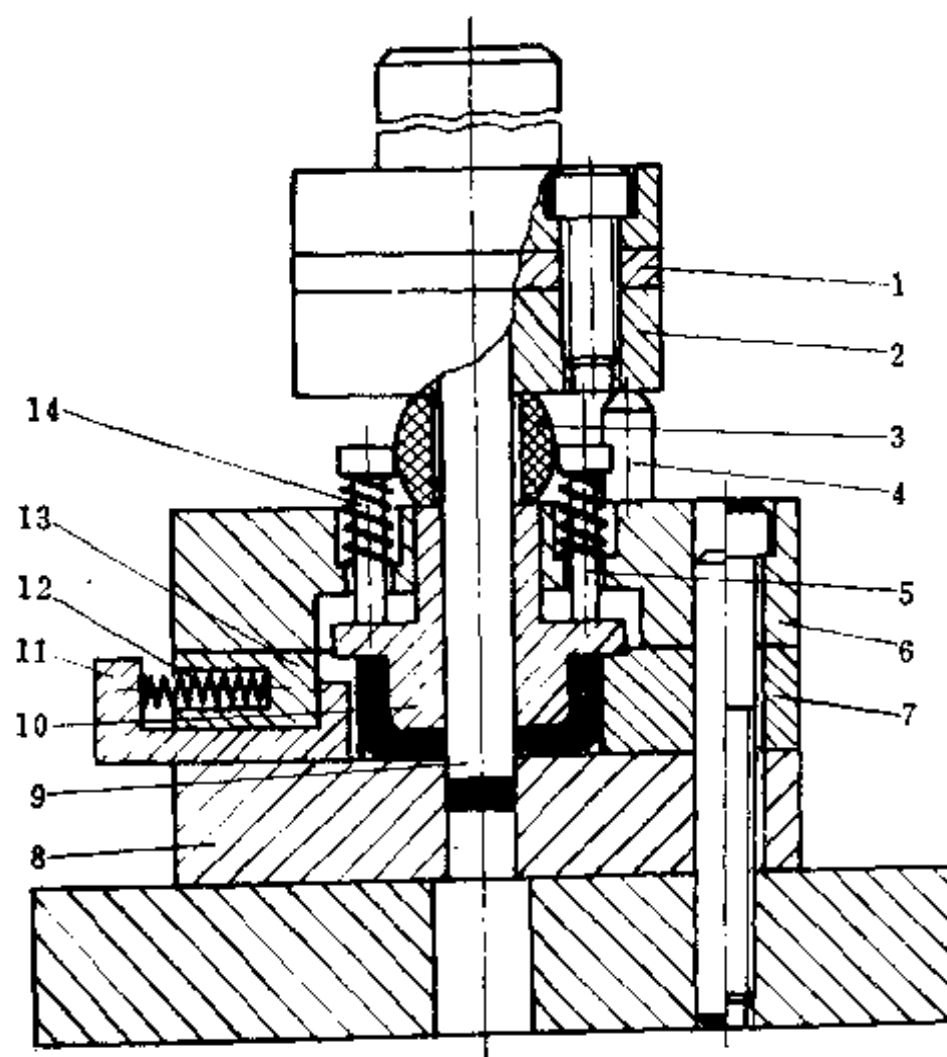


图 7-2 导板式简单冲孔模

- 1—垫板；2—凸模固定板；3—橡皮；4—限位器；5—螺钉；
6—导板；7—侧板；8—凹模；9—凸模；10—活动板；
11—临时挡料销；12—弹簧；13—挡块；14—弹簧。

图 7-2 为导板式简单冲孔模, 该冲孔模 9 在导板 6 内装有一活动板 14 与凸模滑配, 并给凸模导向。冲孔时, 活动板压住工件防止工件移动, 起到了保护凸模, 提高冲孔精度的作用。该冲模还采用了限位器 4, 来控制凸模进入凹模的入模量。

二、复合冲裁模

几个工序能同时在一个工位上完成的冲压模具统称为复合模。复合冲裁模是指几个冲裁工序复合一起的冲裁模, 如图 7-3 (a) 所示为冲孔、落料两冲裁工序的复合模, 冲裁工序还常与弯曲、拉深、成形等工序组成多工序复合模。如图 7-3 (b) 所示即落料工序和拉深、成形工序组成的多工序复合模。

复合模的优点是结构紧凑、生产效率高, 工件精度高。工件内外形的同轴度偏差可达 $\pm 0.02 \sim 0.04 \text{mm}$, 特别适合薄料 (料厚 t 可小至 0.05mm) 的冲裁。模具对进料的要求没有连续模那样严格, 即对不规则的边角材料也能用。

由于复合模的结构较复杂, 构件之间具有相对运动的占多数, 此外制造精度高、加工难度大、自动连续送料较困难, 而且工件形成也要受到凸凹模强度的限制, 因此, 对某些狭窄区域的工件就不能使用复合模生产。

复合模也分倒装式和顺装式。凸凹模在下模板上的称倒装式 (见图 7-3a)。倒装式复合模的冲孔废料直接由下模排出, 装配和维修比顺装式好, 所以采用较多。对于薄材料, 复合模最好采用浮动式模柄。

如图 7-3 (a) 所示模具中的凸凹模 21 装于下模座上。冲孔凸模 17、19 及落料凹模 20 则装于上模座上。上模向下行程时由冲孔凸模与凸凹模配合完成冲孔工序, 由落料凹模与凸凹模配合完成落料工序。上模回程时, 在压力机打料机构作用下, 通过打料杆 14、打料板 13 及顶件杆 12 推动顶件块 11 将工件从落料凹模中顶出。与此同时, 冲孔废料从下模座的出料孔中排出, 而卡在凸凹模上的废料则被由卸料弹簧驱动的弹性卸料板 5 卸料。卸料螺钉在冲模工作时, 随弹性卸料板一同上下运动, 并用以控制弹性卸料板的上极限位置。活动定位销 6, 用以毛坯定位, 为了不影响落料凹模工作, 在落料凹模工作时, 活动定位销被压入弹性卸料板内。件 4 为活动定位销的复位弹簧。为了提高上、下模板的挤压强度及结构上的需要, 在冲孔凸模上装有上垫板 18。

如图 7-3 (b) 所示的凸凹模 15 装于上模座上。而落料凹模 9 与拉深凸模 21 则装于下模座上。工作时, 首先由凸凹模与落料凹模完成落料工序, 然后压边圈 8 将所得落料毛坯紧压在凸凹模端面, 随着凸凹模的下行, 由拉深凸模及凸凹模完成工件的拉深工序, 最后通过推件块 20 与拉深凸模使工件底部圆弧成形。该冲模采用固定定位销 5 定位, 刚性卸料板 10 卸料, 并用推件块将工件从凸凹模中推出。

复合模设计要注意的问题:

(1) 复合模的关键是凸凹模零件设计, 凸凹模的壁厚由于强度要求, 最小壁厚一般为 $a = (2 \sim 3)t$ (见图 7-4), 对于黑色金属和硬质材料也可取到 $1.5t$ 。

图中所示的最小壁厚 a 及最小直径 D 的数值, 取决于材料厚度 t (见表 7-1)。

(2) 小间隙薄料冲裁复合模, 应采用浮动式模柄, 使之可自动微调, 避免因导向精度误差所产生的不良影响, 保证模具安全, 提高使用寿命。

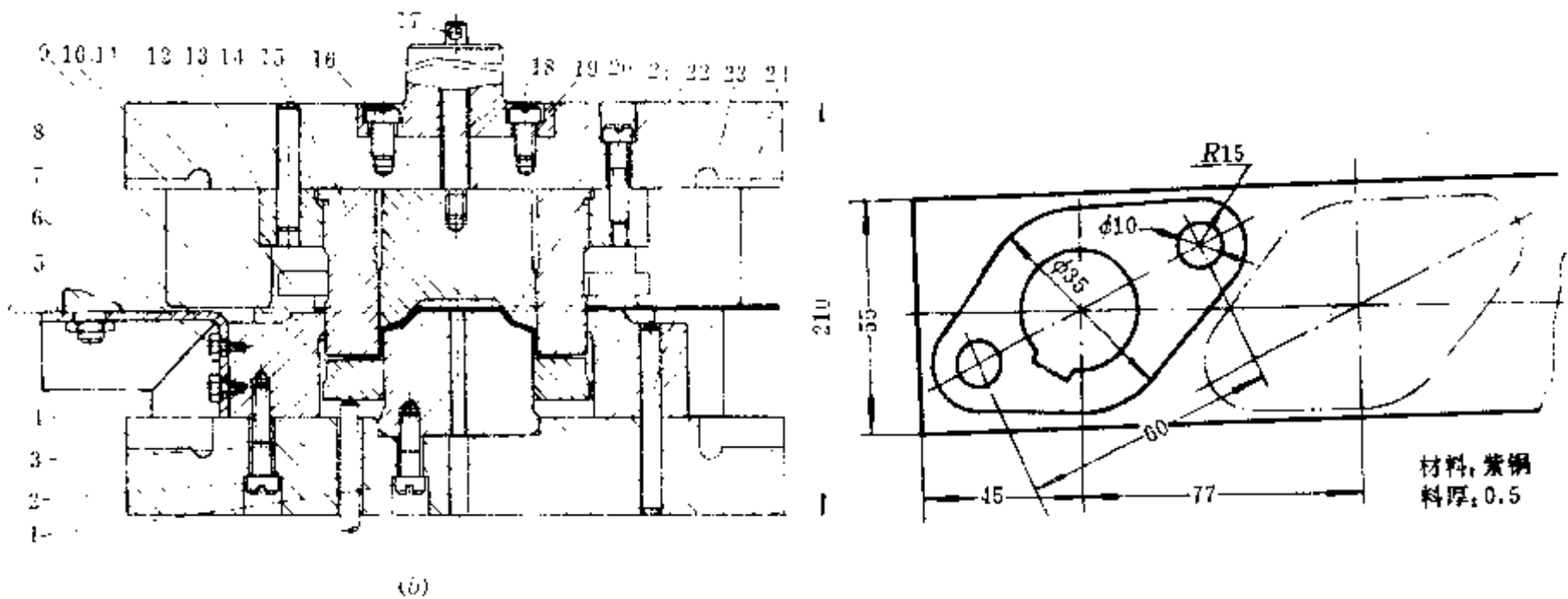
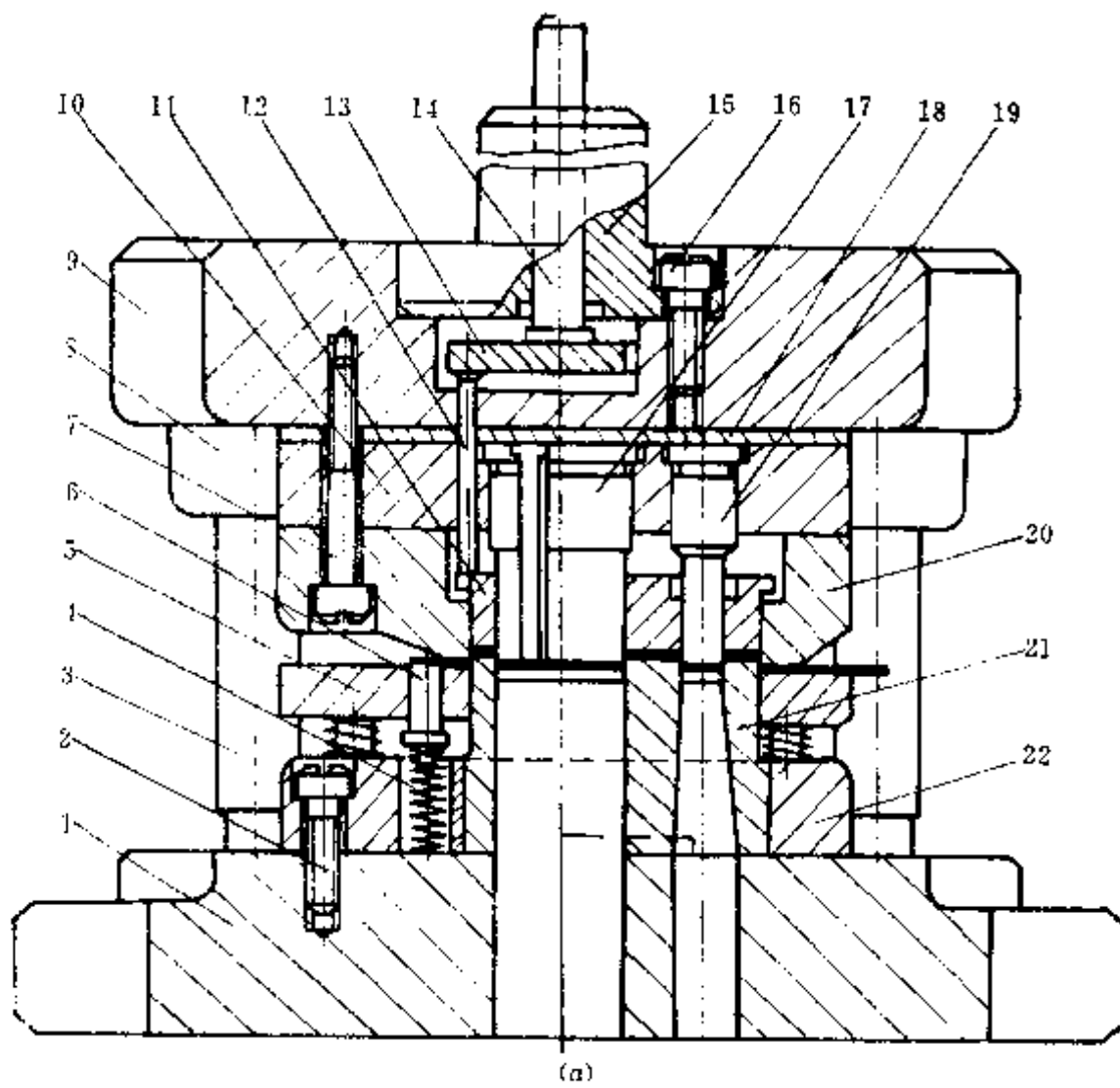


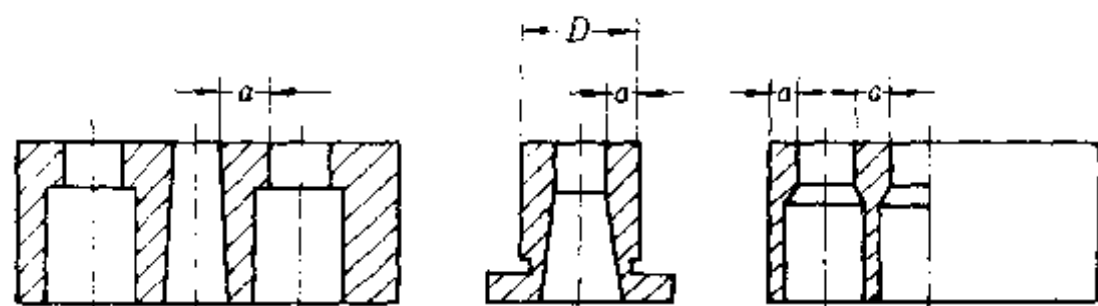
图 7-3 复合模

(a) 倒装落料冲孔复合模:

1—下模座；2—螺钉；3—导柱；4—复位弹簧；5—弹性卸料板；6—活动定位销；
7—连接螺钉；8—导套；9—上模座；10—固定板；11—顶件块；12—顶杆；
13—打料板；14—打料杆；15—模柄；16—紧固螺钉；17—凸模；18—上垫板；
19—凸模；20—落料凹模；21—凸凹模；22—凸凹模固定板。

(b) 预装落料拉深复合模:

1—连接螺钉；2—紧固螺钉；3—压料杆；4—下模座；5—固定定位销；6—连接螺钉；
7—L形板；8—压边圈；9—凹模；10—上模座；11—刚性卸料板；12—导套；
13—定位板；14—定位销；15—凸凹模；16—螺钉；17—限位螺钉；18—连接杆；
19—模柄；20—推件块；21—凸模；22—定位螺钉；23—定位销；24—导柱。

图 7-4 凸凹模最小壁厚 a 及最小直径 D 表 7-1 凸凹模最小壁厚 a 、最小直径 D 与材料厚度 t 的关系 (mm)

材料厚度 t	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2
最小壁厚 a	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7	3.2
最小直径 D			15				18	
材料厚度 t	1.5	1.75	2.0	2.1	2.5	2.75	3.0	
最小壁厚 a	3.8	4.0	4.9	5.0	5.8	6.3	6.7	
最小直径 D		21		25		28		
材料厚度 t	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5			
最小壁厚 a	7.8	8.5	9.3	10.0	12.0			
最小直径 d		32	35	40	45			

(3) 复合工序的先后顺序配合应有利于成形和模具制造及维修。例如落料→拉深→冲孔的复合顺序是有利于成形的。又如冲孔—落料复合时，为使凸凹模刃磨方便，两工序应同时进行。

(4) 注意模具各部位的配合与精度要求。一般情况是：

凸凹模、凸模和凹模当采用窝座定位配合时，嵌入深度一般可采用 5~10mm。

顶杆、模柄采用双边间隙为 0.05mm 的间隙配合。

顶件器与凹模孔之间采用 0.05mm 的单边间隙，顶件器在顶件终了时应突出凹模端面 0.5mm。

卸料板工作面应高出凸模端面 0.3~0.5mm。

(5) 在凸凹模设计时应注意其加工性、装配性以及维修、刃磨等方面的要求。

三、连续冲裁模

连续冲裁模是连续冲模中之一种，连续模又称级进模、跳步模。它能在压力机一次行程中，在不同工位上连续冲出一个或多个制件，生产效率很高，对于一些无法在复合模上进行生产的小件，往往可采用连续模生产。在一般情况下，连续模的制件精度较复合模低些，近来，由于模具加工技术的提高，出现了高精度连续模，其制件，可以达到较高的精度。

如图 7-5 所示为一垫圈类零件的落料冲孔连续模。该冲模有两个工步，第一工步冲

一大孔两小孔，第二工步落料。冲孔凸模 1 及 2 与落料凸模 7 之间的距离等于毛坯的送进步距。冲孔凹模及落料凹模做成一体。条料沿导尺 3 送进，由挡料销 5 粗定位，然后再由装于落料凸模前端的导正销 6 进行精确定位，以保证冲孔与落料的位置精度。初始挡料销 4 是在条料开始送进时作初始限位用。

四、凸模、凹模工作部分尺寸计算

冲孔尺寸决定于凸模刃口尺寸，落料件尺寸决定于凹模刃口尺寸。因此设计落料模时取凹模作为设计的基准件，先按落料件尺寸确定凹模刃口尺寸，然后按照选定的间隙值确定凸模刃口尺寸。设计冲孔模时正好相反，应以凸模作为设计的基准件，先确定凸模刃口尺寸，然后按所需间隙确定凹模刃口尺寸。冲模在使用过程中，由于凸模磨损会减小冲孔尺寸，而凹模的磨损则会增大落料件的尺寸，为了保证零件的尺寸精度，提高模具寿命，所以冲孔时凸模刃口尺寸应靠近孔的公差范围内取大尺寸，反之落料时凹模刃口尺寸应接近落料件的公差范围内取小尺寸。凸模和凹模工作刃口的尺寸分配及规定如图 7-6 所示。

凸、凹模工作部分尺寸计算有两种情况，一是凸模凹模分开加工，应分别计算出凸模和凹模的尺寸。二是凸模和凹模配制加工。前者适合于简单零件如圆形和商品化生产、标准化凸模、凹模的制造，因为它们互换性好。后者对单件冲模制造，尤其是对间隙尺寸要求高，曲线形刃口冲模的制造非常有利，并可大大降低基准件的制造精度，因而在工厂中得到广泛应用。

(一) 凸模与凹模分开加工

凸模与凹模分开加工时，其刃口尺寸为：

1. 落料

$$D_d = (D_{\max} - x\lambda)_d^{+0.05} \quad (7-1)$$

$$D_p = (D_d - Z_{\min})_d^{+0.05} \quad (7-2)$$

2. 冲孔

$$d_f = (d_{\min} - x\lambda)_d^{+0.05} \quad (7-3)$$

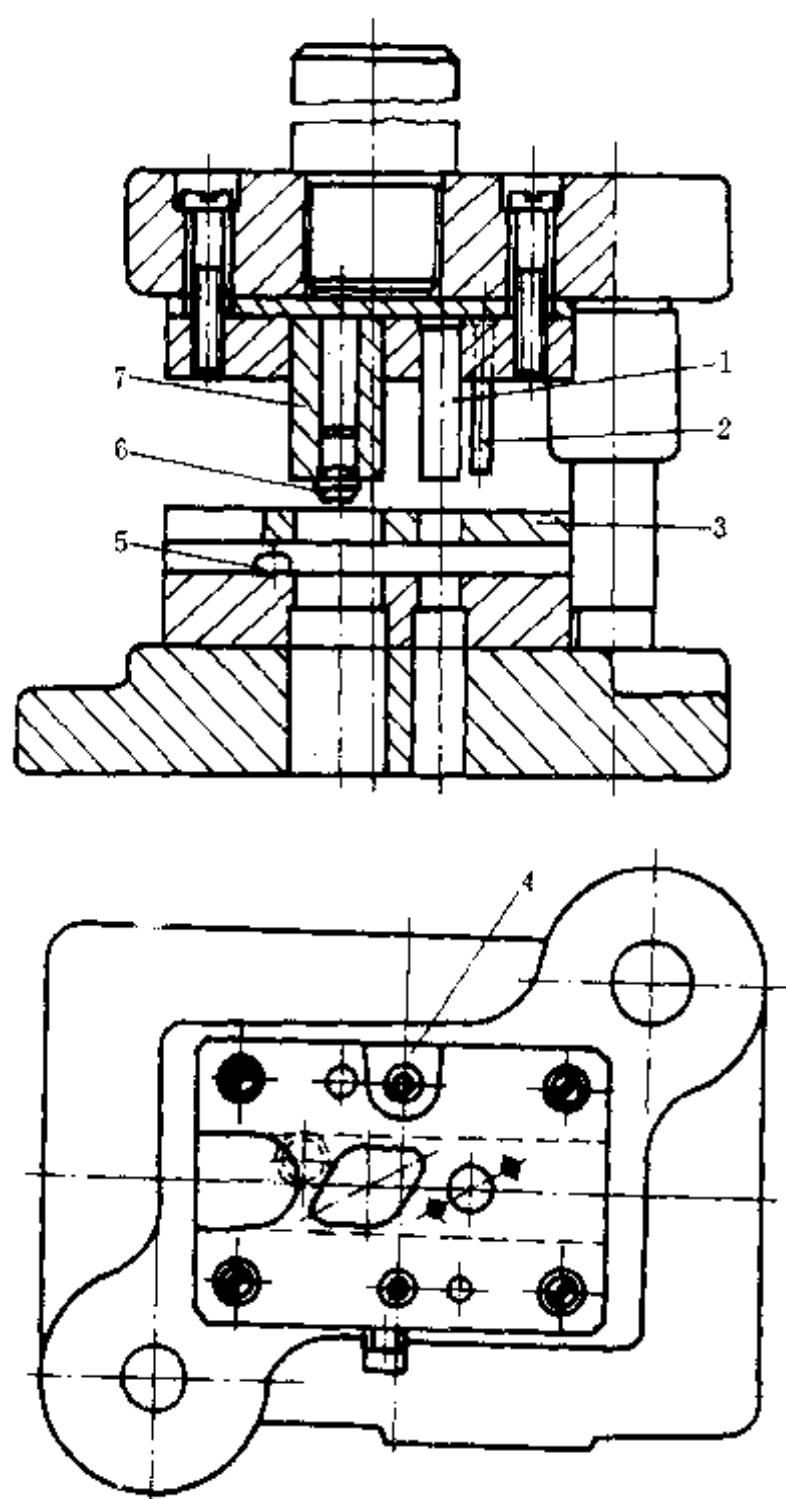


图 7-5 连续冲裁模

1、2—凸模；3—导尺；4—初始挡料销；
5—挡料销；6—导正销；7—凸模。

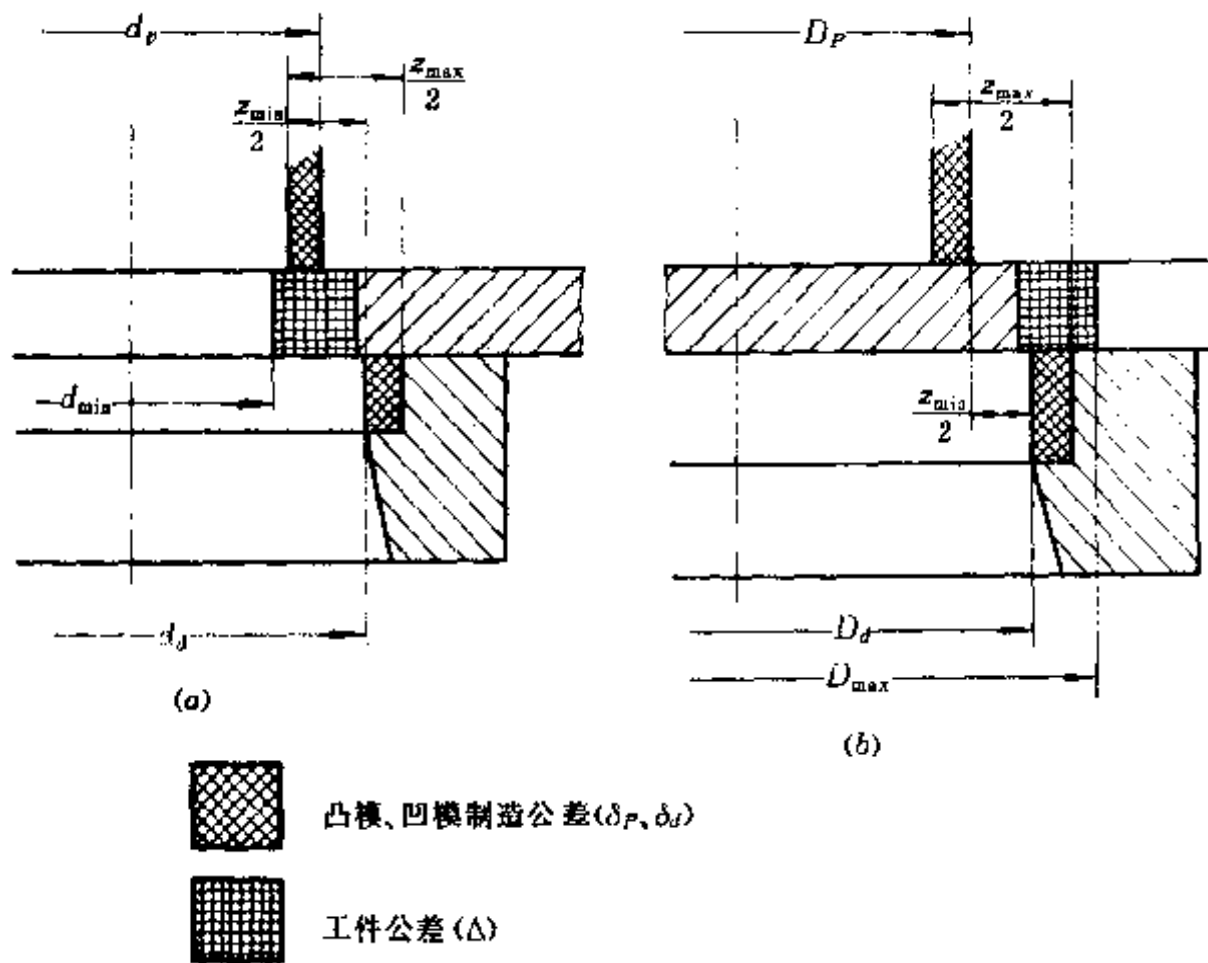


图 7-6 凸模、凹模刃口尺寸

(a) 冲孔; (b) 落料。

δ_p —凸模制造公差; δ_d —凹模制造公差; Δ —工件公差; Z_{max} —凸、凹模间最大双边间隙; Z_{min} —凸、凹模间最小双边间隙; D_{max} —落料工件外径的最大极限尺寸; d_{min} —冲孔工件的最小极限尺寸; D_d —落料凹模尺寸; D_p —落料凸模尺寸; d_p —冲孔凸模尺寸; d_d —冲孔凹模尺寸。

$$d_d = (d_p + Z_{min})_d^{+x\Delta} \tag{7-4}$$

3. 孔心距

$$L_d = (C_{min} + \frac{1}{2}\Delta) \pm 0.125x\Delta \tag{7-5}$$

式中 D_{max} ——落料件中最大极限尺寸 (mm);

C_{min} ——工件孔中心距的最小极限尺寸 (mm);

d_p, D_p ——凸模刃口尺寸 (mm);

d_d, D_d ——凹模刃口尺寸 (mm);

L_d ——凹模孔中心距 (mm);

Z_{min} ——凸、凹模的最小双面间隙 (mm);

Δ ——工件公差 (mm);

x ——系数、与工件精度有关

工件精度在 IT10 级以上 $x=1$

工件精度为 IT11~13 级 $x=0.75$

工件精度为 IT14 级以下 $x=0.5$

δ_p, δ_d ——凸模、凹模的制造偏差 (mm)

$$\delta_d = 0.5(Z_{max} - Z_{min})$$

$$\delta_p = 0.4(Z_{max} - Z_{min})$$

但不小于 0.01(mm)

规则形状(圆形、方形)冲裁时,凸模、凹模的公差也可按表 7-2 选取,选取值应满足:

$$\delta_p + \delta_d \leq Z_{\max} - Z_{\min} \quad (7-6)$$

表 7-2 凸模、凹模制造公差 (mm)

基本尺寸	δ_p 凸模 制造偏差	δ_d 凹模 制造偏差	基本尺寸	δ_p 凸模 制造偏差	δ_d 凹模 制造偏差
≤ 18	0.020	0.020	180~260	0.030	0.045
18~30	0.020	0.025	260~360	0.035	0.050
30~80	0.020	0.030	360~500	0.040	0.060
80~120	0.025	0.035	>500	0.050	0.070
120~180	0.030	0.040	/	/	/

(二) 凸模和凹模配作加工

制作模具时先做好凸模,按间隙配制凹模或先做好凹模按需要配制凸模。一般落料件由凹模配作凸模,冲孔件由凸模配作凹模。尺寸计算方法如下。

1. 落料(金属材料用)

落料凹模工作部分的尺寸,根据磨损后情况可分为三种类型(见图 7-7):

- (1) A类尺寸 工作部分磨损后,尺寸增加,如图中的 A 、 A_1 、 A_2 、 A_3 。
- (2) B类尺寸 工作部分磨损后尺寸将减小,如图中的 B 、 B_1 。
- (3) C类尺寸 工作部分磨损后尺寸不变,即磨损后增加的和减少的部分视为相等。如图中 C 、 C_1 尺寸。

图 7-7 中,实线表示按凹模图纸制造的实际凹模刃口轮廓线,虚线则表示凹模磨损后或修磨后的凹模刃口轮廓线。

A类尺寸计算:

(1) 凹模的公称尺寸

$$A_j = (A_{\max} - x\Delta)^{+\delta_d} \quad (7-7)$$

(2) 凹模的制造偏差取正值,其数值等于工件相应尺寸公差的 1/4,即

$$+\delta_d = \frac{1}{4}\Delta \quad (7-8)$$

B类尺寸计算:

(1) 凹模的公称尺寸

$$B_j = (B_{\min} + x\Delta)^{-\delta_d} \quad (7-9)$$

(2) 凹模的制造偏差取负值,其数值等于工件相应尺寸公差的 1/4,即

$$-\delta_d = -1/4\Delta \quad (7-10)$$

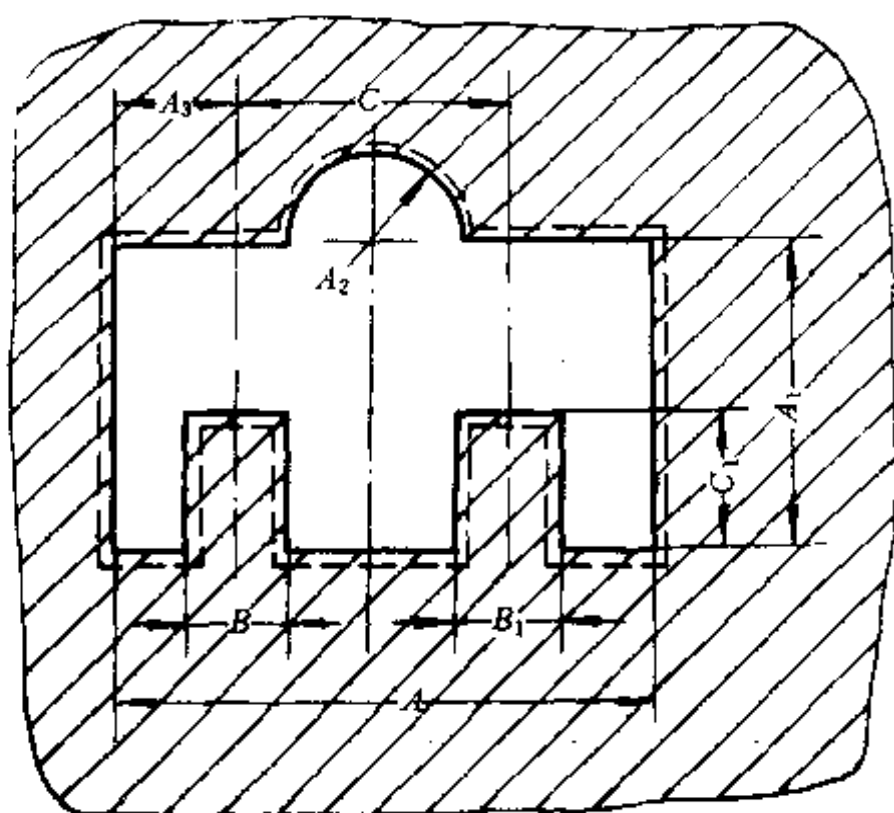


图 7-7 落料凹模刃口尺寸

C类尺寸计算:

(1) 凹模的公称尺寸等于工件尺寸的最小极限尺寸加上公差的 1/2, 即

$$C_j = (C_{\min} + 1/2\Delta) \pm \delta_v \quad (7-11)$$

(2) 凹模的制造偏差为正负值, 其数值为工件相应尺寸公差的 1/8, 即

$$\pm \delta_v = \pm 1/8\Delta \quad (7-12)$$

式中 A_j 、 B_j 、 C_j ——凹模的三类公称尺寸 (mm);

A_{\max} ——相应工件最大极限尺寸 (mm);

B_{\min} 、 C_{\min} ——相应工件最小极限尺寸 (mm);

Δ ——工件公差;

x ——系数, 与工件精度有关;

工件精度 IT10 级以上, $x=0.9\sim 1$

工件精度 IT11~13 级, $x=0.7\sim 0.9$

工件精度 IT14 级以下, $x=0.5\sim 0.7$

落料凸模尺寸, 根据凹模的尺寸, 按需要的间隙配制。并在图纸上注明“凸模尺寸按凹模实际尺寸配作, 双面间隙为 $\times\times\times$ ”等字样。

2. 冲孔 (金属材料用)

冲孔时, 凸模的工作部分也分为三种类型, 此与落料时刚好相反 (见图 7-8)。

图 7-8 中, 实线表示按凸模图纸制造的实际凸模刃口轮廓线, 虚线则表示凸模磨损后或修磨后的凸模刃口轮廓线。

(1) A类尺寸 凸模磨损后减少的尺寸, 如图示的 A 、 A_1 、 A_2 、 A_3 等。

(2) B类尺寸 凸模磨损后增加的尺寸, 如图示 B 、 B_1 。

(3) C类尺寸 凸模磨损后尺寸无增减, 如图示 C 、 C_1 。

磨损后减少的 A 类尺寸计算

$$A_j = (A_{\min} + x\lambda)^0_{-\delta_p} \quad (7-13)$$

凸模的制造偏差取负值，其数值取相应尺寸公差的 1/4，即

$$-\delta_p = -1/4\lambda$$

磨损后增加的 B 类尺寸计算

$$B_j = (B_{\max} - x\lambda)^{+\delta_p}_0 \quad (7-14)$$

凸模的制造偏差取正值，其数值等于相应尺寸公差的 1/4，即

$$+\delta_p = +1/4\lambda$$

(4) 磨损后无增减的 C 类尺寸计算

$$C_j = (C_{\min} + 1/2\lambda) \pm \delta_p \quad (7-15)$$

凸模制造偏差取正、负值。其数值等于相应尺寸公差的 1/8，即

$$\pm \delta_p = \pm 1/8\lambda$$

式中 A_j 、 B_j 、 C_j —— 凸模的三类公称尺寸 (mm)；

C_{\min} 、 A_{\min} —— 工件的最小极限尺寸 (mm)；

B_{\max} —— 工件的最大极限尺寸 (mm)；

λ —— 工件公差 (mm)；

x —— 系数、数值与凸模计算时相同。

冲孔凹模的尺寸根据凸模的实际尺寸，按需要的间隙配制，并需在图纸上注明：“凹模尺寸按凸模实际尺寸配制，双面间隙为 $\times\times\times$ ” 等字样。

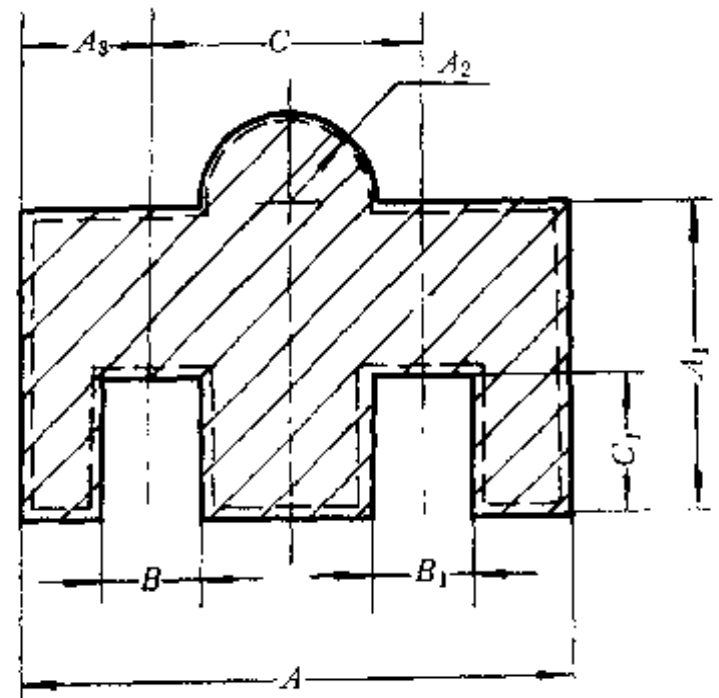


图 7-8 冲孔凸模刃口尺寸

第三节 弯曲模设计

弯曲模类型很多，本章只介绍各类单工序模的结构及设计。

一、单工序弯曲模的设计要点

一个复杂的板类弯曲件，一般要多次弯曲才能成形，弯曲件的工序安排，弯曲件形状设计对弯曲模具的结构，产品的精度影响很大，必须对弯曲件进行认真分析比较，制定出合理的弯曲程序，以便使模具结构合理。

弯曲件的设计不但要考虑使用性能、精度、强度，而且要对材料、成形条件、模具形式、加工方法等因素全面衡量。

(一) 弯曲工序的审定及安排

对多角弯曲件、非对称件、有孔件等，因变形会影响制件形状精度，因而应对工序安排给予足够重视。多角弯曲应先弯外角后弯内角，前次弯曲要给后次弯曲有可靠的定

位，并应保证后次弯曲不影响前次弯曲。非对称件弯曲尽可能采用成对弯曲。对有重要切口及孔洞的弯曲件，冲孔工序最好安排在弯曲工序后进行。

由于料厚偏差，计算不准以及其他变形条件的影响，初定的坯料长度往往有不同程度的误差，坯料的精确尺寸是在经过模具试弯修正后才能确定，所以在模具上的定位装置要考虑调整修正的可能。

确定弯曲毛坯时，要尽可能使弯曲线与材料轧纹方向垂直或成一定夹角。并尽量使毛坯的冲裁断裂带处于弯曲件的内侧。

设备选择时要考虑改用校正弯曲的需要。

（二）坯件的定位及压紧

坯件的定位要可靠、准确。尽可能将坯件水平放置，充分利用工件上的孔或增加工艺孔来定位，这样不但定位准确，也可防止弯曲时工件产生位移。定位部分最好选择不产生弯曲变形的部位。多次弯曲时最好有同一定位基准，要注意毛刺对定位精度的影响。

坯料压紧是为了使其不产生位移，压料可采用气垫、弹簧、橡皮等通过压料板或压料杆进行。

（三）防止回弹的措施

弯曲回弹直接影响弯曲件的精度，回弹较大时弯曲圆角半径也随之增大。对精度要求较高的弯曲件，其弯曲模必须考虑减小回弹的措施，如减小顶件板宽度，使弯曲圆角得到充分校正；减少凸模底部接触面积，加强弯曲变形区的校正力；采用凸底顶板，使工件产生负回弹以及提高模具结构的刚度等。

（四）工件取出要方便、迅速、安全，通常用顶出装置来顶件或用压缩空气吹出工件。弹性压料装置常兼作制件顶出装置用。

二、几种常见的单工序弯曲模

一切简单的弯曲件，如V形件，U形件，Z形件等，都可采用一次压弯成形。如图7-9所示就是几种常见的单工序模。

在图7-9(d)中，弯曲毛坯由定位销及定位板定位，工作时凸模及压料块始终压紧毛坯，防止其产生移位。工作时产生的侧压力由止推块平衡，保证凸模不产生偏移。

三、几种带活动凹模的弯曲模

对于一些复杂的双角弯曲件、多角弯曲件圆筒形弯曲件等，往往需要采用多次弯曲才能成形。如采用一些设计巧妙的活动凹模式弯曲模（见图7-10），利用凹模的摆动、转动及滑动、使工件弯曲成形，且一次弯曲成形，这样减少弯曲工序，提高生产率。但活动凹模式弯曲模存在着一个共同的弊病，那就是弯曲回弹较大，较难实现校正弯曲。

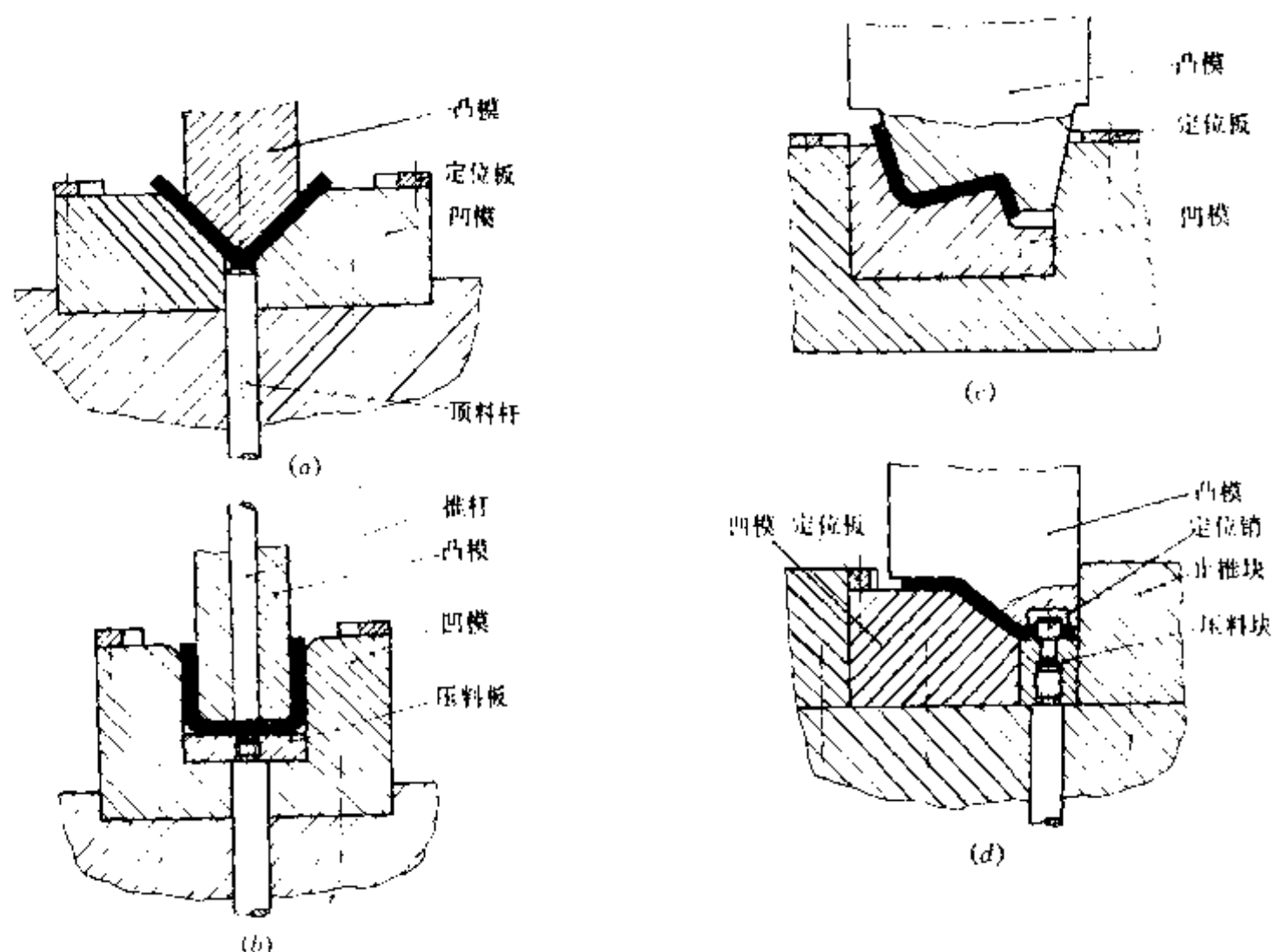


图 7-9 几种常见的单工序弯曲模

(a) 带顶杆压料装置的 V 形件弯曲模；(b) 带压料板的 U 形件弯曲模；
(c) 无压料装置的 Z 形件弯曲模；(d) 带压料块的 Z 形件弯曲模。

四、弯曲模工作部分尺寸计算

弯曲模工作部分主要是弯曲凹模的尺寸，弯曲凸模的尺寸、凸模、凹模圆角半径，凹模深度，凸模与凹模的间隙值（见图 7-11）。

（一）凸模、凹模工作部分尺寸

弯曲件的尺寸标注根据装配要求有两类标注方式，相应地凸凹模尺寸计算也不相同。

1. 尺寸标注在工件外形上

标注双向偏差时，凹模尺寸为

$$L_d = (L - \frac{1}{2} \Delta)_{-0.75\Delta} \quad (7-16)$$

标准单向偏差时，凹模尺寸为

$$L_d = (L - \frac{3}{4} \Delta)_{-0.75\Delta} \quad (7-17)$$

凸模尺寸 L_p 按凹模配作，保证间隙为 Z 。

2. 尺寸标注在工件内形上

标注双向偏差时，凸模尺寸为

$$L_r = (L + \frac{1}{2} \Delta)_{+0.75\Delta} \quad (7-18)$$

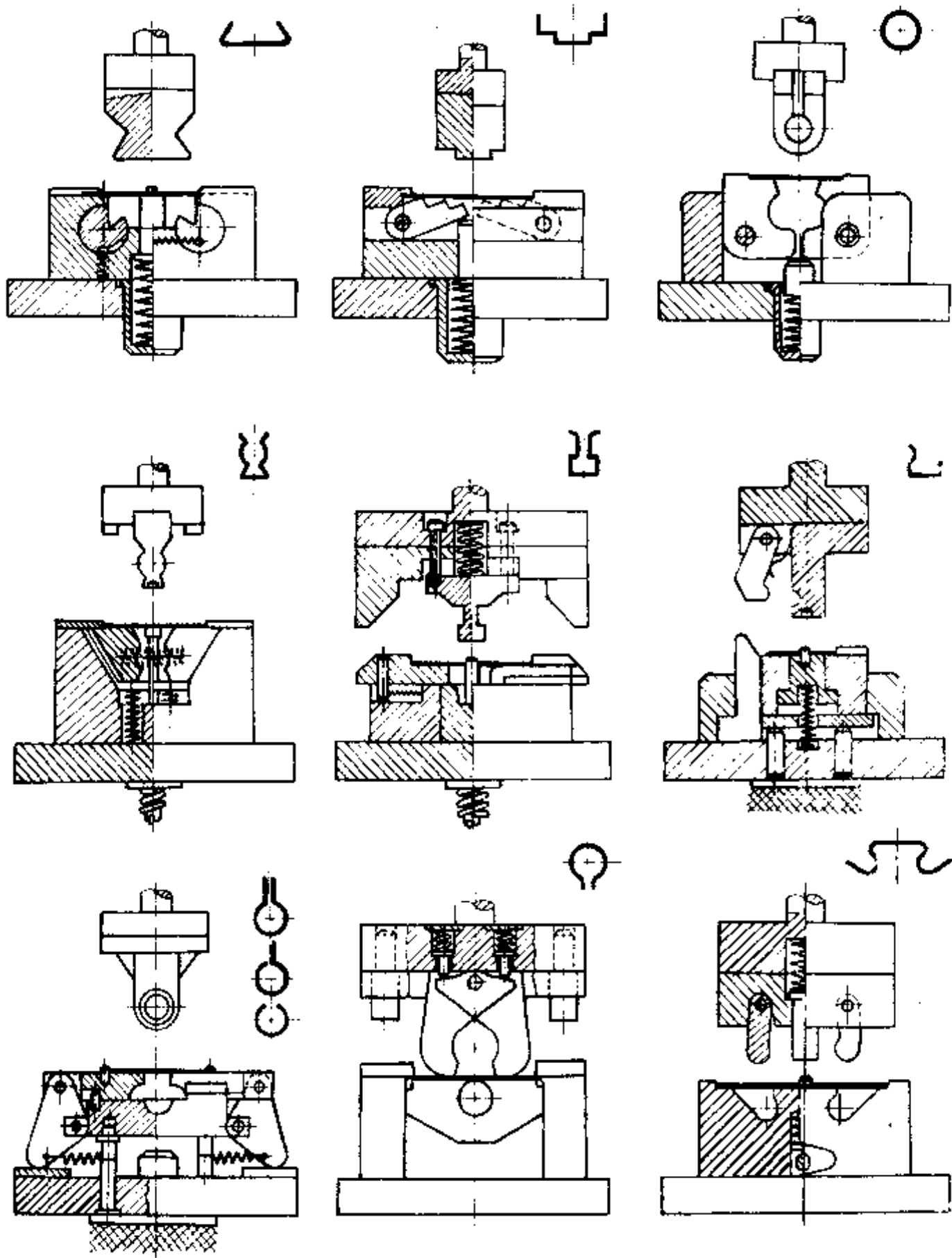


图 7-10 几种带活动凹模的弯曲模

标注单向偏差时，凸模尺寸为

$$L_p = (L + \frac{3}{4}\Delta)^0_{\delta_1} \quad (7-19)$$

凹模尺寸按凸模尺寸配作，保证间隙值为 Z 。

- 式中 L_d —— 凹模工作部分尺寸 (mm);
 L_p —— 凸模工作部分尺寸 (mm);
 L —— 工件公称尺寸 (mm);

Δ —— 工件公差 (mm);
 δ_d, δ_p —— 凹模、凸模制造偏差 (μm), 采用 GBIT7~IT9 级。

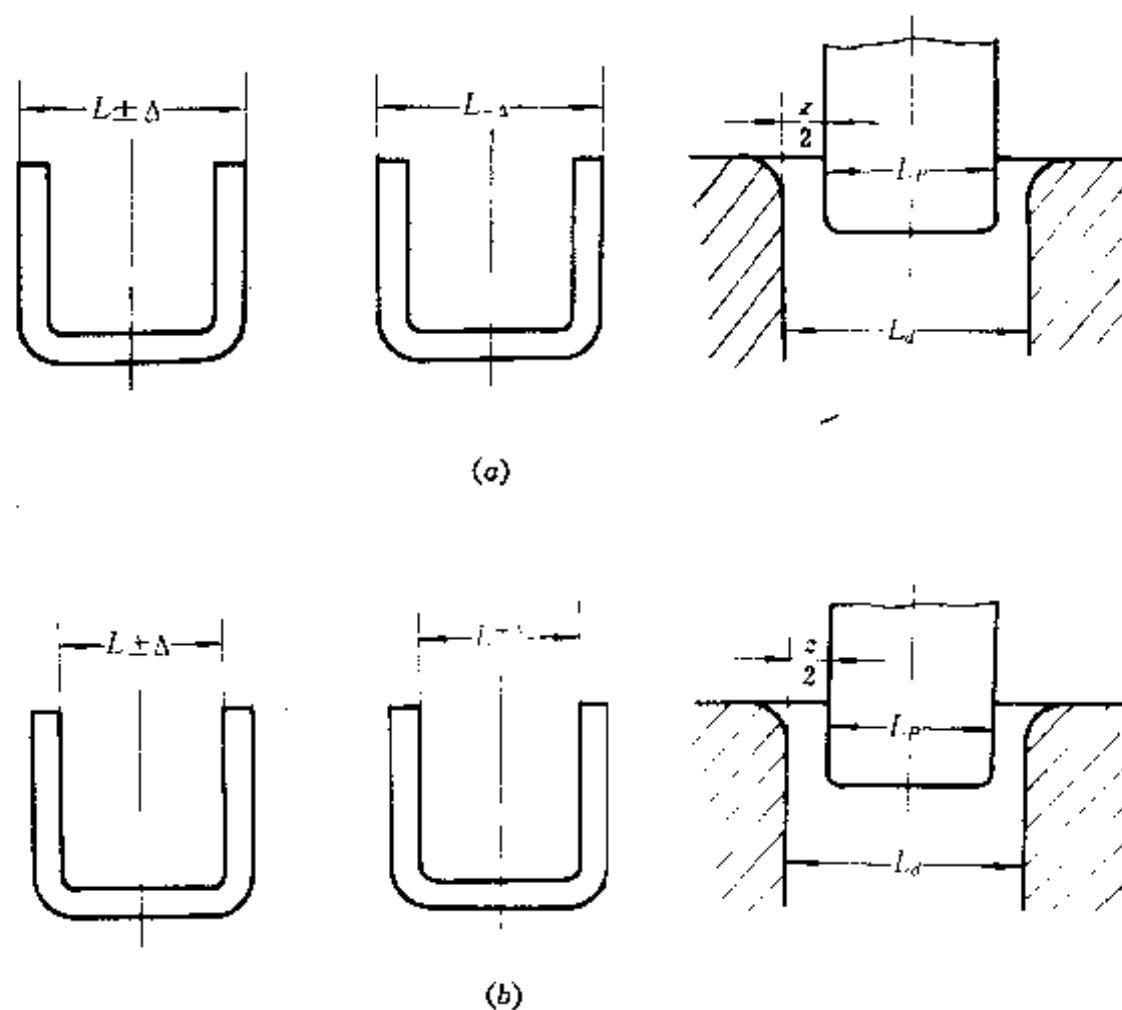


图 7-11 弯曲件尺寸标注

(a) 工件尺寸标注在外形上; (b) 工件尺寸标注在内形上。

(二) 凸模、凹模的间隙值

V 形件凸凹模间隙值依靠调节压力机的封闭高度来控制, 而 U 形件才有间隙值设计问题, 其间隙值大小对弯曲模的弯曲变形抗力、回弹, 以及模具寿命、弯曲件质量等均有影响。

U 形件间隙值 Z 的大小取决于材料种类、厚度以及弯曲件高度 H , 弯曲件弯曲线长度 B (见图 7-12)。

间隙值 Z (双边间隙) 按下式确定

(1) 有色金属弯曲

$$\frac{Z}{2} = t_{\min} + nt \quad (7-20)$$

(2) 黑色金属弯曲

$$\frac{Z}{2} = t(1 + n) \quad (7-21)$$

式中 $Z/2$ —— 弯曲时的单面间隙;

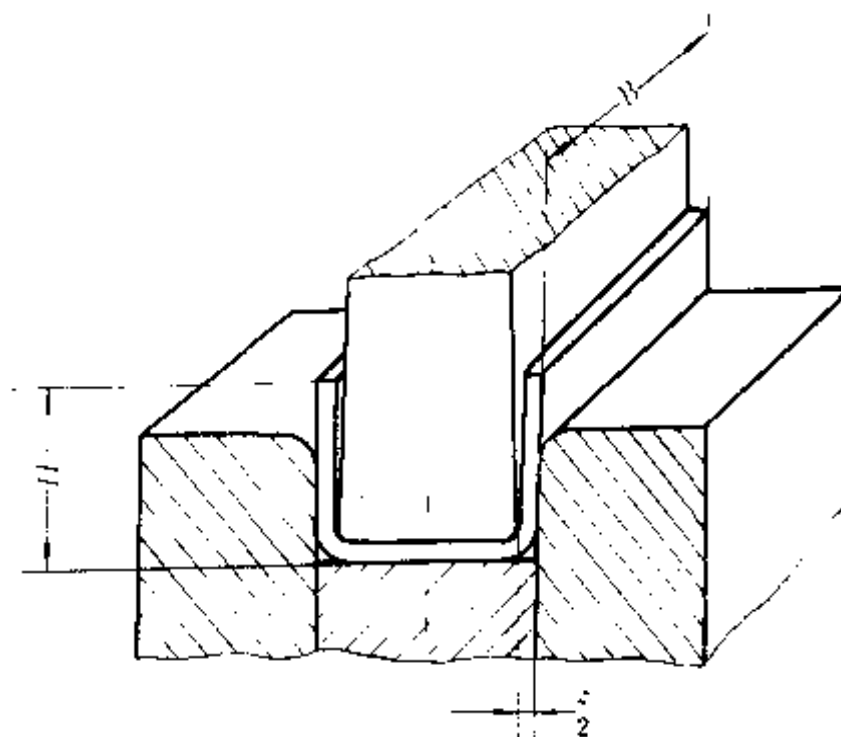


图 7-12 弯曲模间隙

- t_{\min} ——材料最小厚度；
 B ——弯曲件宽度（弯曲线长度）；
 H ——弯曲件高度；
 n ——由弯曲件 B 和 H 决定的系数（见表 7-3）。

表 7-3 弯曲件 B 和 H 决定的系数 n

弯曲件高度 H	材 料 厚 度 t (mm)									
	<0.5	>0.5~2	>2~4	>4~5	<0.5	>0.5~2	>2~4	>4~7.5	>7.5~12	
	$B \leq 2H$					$B > 2H$				
10	0.05	0.05	0.04	—	0.10	0.10	0.08	—	—	—
20	0.05	0.05	0.04	0.03	0.10	0.10	0.08	0.06	0.06	0.06
35	0.07	0.05	0.04	0.03	0.15	0.10	0.08	0.06	0.06	0.06
50	0.10	0.07	0.05	0.04	0.20	0.15	0.10	0.06	0.06	0.06
75	0.10	0.07	0.05	0.05	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10	0.08
100	—	0.07	0.05	0.05	—	0.15	0.10	0.10	0.10	0.08
150	—	0.10	0.07	0.05	—	0.20	0.15	0.10	0.10	0.10
200	—	0.10	0.07	0.07	—	0.20	0.15	0.15	0.15	0.10

(三) 凸模、凹模圆角半径

1. 凸模圆角半径 r_1

若弯曲件的内侧弯曲半径为 r ，则 $r_1 = r$ ($r \geq r_{\min}$ ， r_{\min} 为最小圆角半径)。

如果因工件结构需要出现 $r < r_{\min}$ 时则应取 $r_1 > r_{\min}$ ，最后通过整形工序使 $r_1 = r$ 。

2. 凹模圆角半径 r_2 及凹模深度 H

凹模圆角半径 r_2 不宜过小，以免在弯曲时擦伤毛坯，凹模两边对称圆角应一致，以便防止坯件移动不均匀。

凹模深度要适当，若过小，毛坯自由部分太多，回弹大，且不平直。若过大，模具材料消耗大且不经济，还需较大的工作行程。

凸模圆角半径 r_1 与弯曲件边长 L 公称尺寸有关。可按表 7-4 参考选用。

表 7-4 r_d 参考值

(mm)



料厚 t	~0.5		0.5~2.0		2.0~4.0		4.0~7.0	
	l	r_d	l	r_d	l	r_d	l	r_d
10	6	3	10	3	10	4		
20	8	3	12	4	15	5	20	8
35	12	4	15	5	20	6	25	8
50	15	5	20	6	25	8	30	10
75	20	6	25	8	30	10	35	12
100			30	10	35	12	40	15
150			35	12	40	15	50	20
200			45	15	55	20	65	25

表中各符号的意义:

t ——材料厚度;

L ——弯曲件边长;

l ——凹模深度;

r_d ——凹模圆角半径;

r_p ——凸模圆角半径。

第四节 拉深模设计

本节只讨论中小件常用拉深模的结构及设计。

一、拉深模种类及设计要点

(一) 拉深模种类

根据拉深工艺特点拉深模分为有压边和无压边两种;从压边装置结构上分,拉深模有刚性压边和弹性压边两种;从拉深工序次数上又分为首次拉深模和二次拉深模;从坯件变形方向上,分为顺拉深模和反拉深模。此外从工序特点上还有复合拉深模、连续拉深模等。

(二) 拉深模的设计要点

(1) 在进行拉深工艺时,材料要产生较大的流动。因此应采用必要措施以保证毛坯各个方向变形均匀,对非圆形毛坯更要慎重处理。常用的方法是:调节压边力,增设拉延筋、拉延槛等;

(2) 起皱是拉深工艺常见的弊病，因此在设计拉深模时，首先要确定是否采用压边装置，采用何种压边装置。压边方式、压边圈形状、压边圈面积等都直接影响拉深件质量，因而要设计得合理、正确；

(3) 压边装置的设计要利于工件的成形也要有利于坯料的送进及工件的取出；

(4) 拉深凸模要考虑排气孔，拉深凹模要考虑润滑问题；

(5) 根据需要，在拉深模上考虑设置拉深深度限程器，或压边限程器。

二、拉深模结构

1. 无压边装置拉深模

无压边装置拉深模只有在保证坯料或坯件不产生失稳起皱的情况下才能采用。它适用于板料塑性好，相对厚度较大 $t/D \geq 0.02$ ，拉深系数较大， $m_1 > 0.6$ 的拉深零件。这种模具，凸凹模间隙一般都设计较小，使材料有少许变薄，有时采用锥形凹模，以克服拉深中坯件的微皱。为了防止拉深擦伤，凹模直壁部分也做得较小，普通限制在 9~13mm，精度要求高的拉深为 6~10mm，变薄拉深为 3~6mm。

无压边装置拉深模的出件形式有两种，一是底部出件，二是顶料出件。后者主要用于浅拉深件。底部有突起成形要求的工件，或底部要求平整的工件，顶件机构必须注意限位和顶出的行程问题。

如图 7-13 所示是无压边装置的拉深模。该模采用锥形凹模，凹模口做成 30°锥形或抛物线形，以利于毛坯进入凹模，并可使过渡毛坯形成杯状而提高刚度，防止起皱。模具采用下出件，拉深后的工件，由凸模推动、涨开并通过剖分式卸件器。凸模回程时，剖分式卸件器在复位弹簧的作用下，已回复原状，拉深件被卸件器卸下。

2. 带固定压边圈的拉深模

固定压边装置，其压边圈是固定在凹模面上，一般采用螺钉连接。压圈与凹模面之间间隙略大于料厚，间隙固定不变，这种模具结构简单（见图 7-14）。设计时要注意压料板的刚度应足够，并要有进料槽口，放料部位要有排屑和除尘的沟槽。这种模具操作不方便；也不能成形带凸缘的拉深件，出件一般为下出件。

3. 弹性压边装置拉深模

弹性压边一般采用弹簧或气垫作压料动力。这种拉深模坯件放置空间相对大，操作方便，压边圈可装在上模，也可装于下模，出件形式多样，有下出件，上顶出件，打料出件等。

如图 7-15 所示为上模弹性压边圈拉深模，压边多采用弹簧，浅拉时也可采用橡皮，深拉深时要考虑采用弹簧。压边力的调整问题，图中结构采用限位螺栓 9 调整压边力，可避免压边力过大使毛坯破裂，弹簧位置一般要靠近凸模，弹簧应有窝座或限位销以防止弹簧飞出伤人。

本结构为向下出件，利用凹模台阶卸料，但也可在凹模下口配置钩爪、剖分式卸件器等以强迫工件脱出。如采用向上出件时，要防止顶出力与压边力两个反向力使坯件损坏，顶件应有顶出限位装置。

如图 7-16 所示为下模弹性压边拉深模，它是一种倒装式拉深模，应用较普遍。由

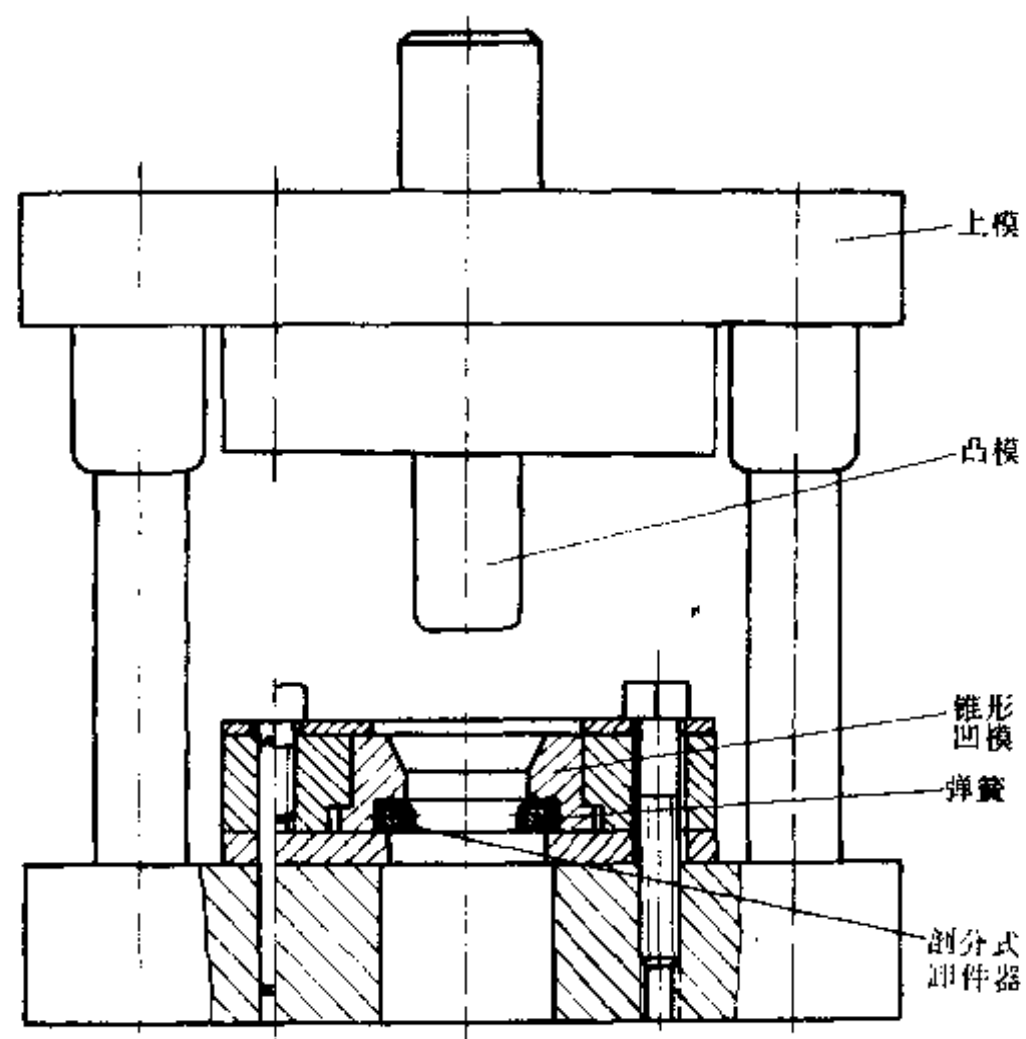


图 7-13 无压边装置拉深模

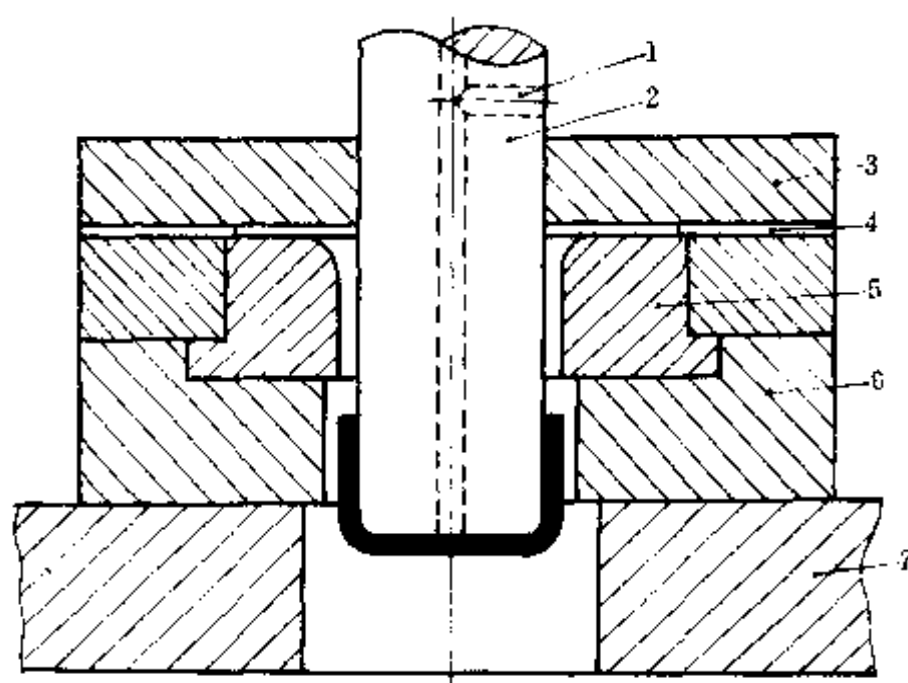


图 7-14 带固定压边圈的首次拉深模

1—凸模气孔；2—凸模；3—固定压边圈；4—定位板；5—凹模；6—凹模固定板；7—下模板。

于压边圈在下模，压料动力可采用气垫及弹簧，它们可以装在工作台下面的宽敞空间，所以压边行程较大，模具结构紧凑，出件采用打料杆顶出方式。设计时除注意到压边圈的刚度，顶出杆尽量靠近凸模，还必须考虑到压边圈在移动中对操作者的可能危害，因此，

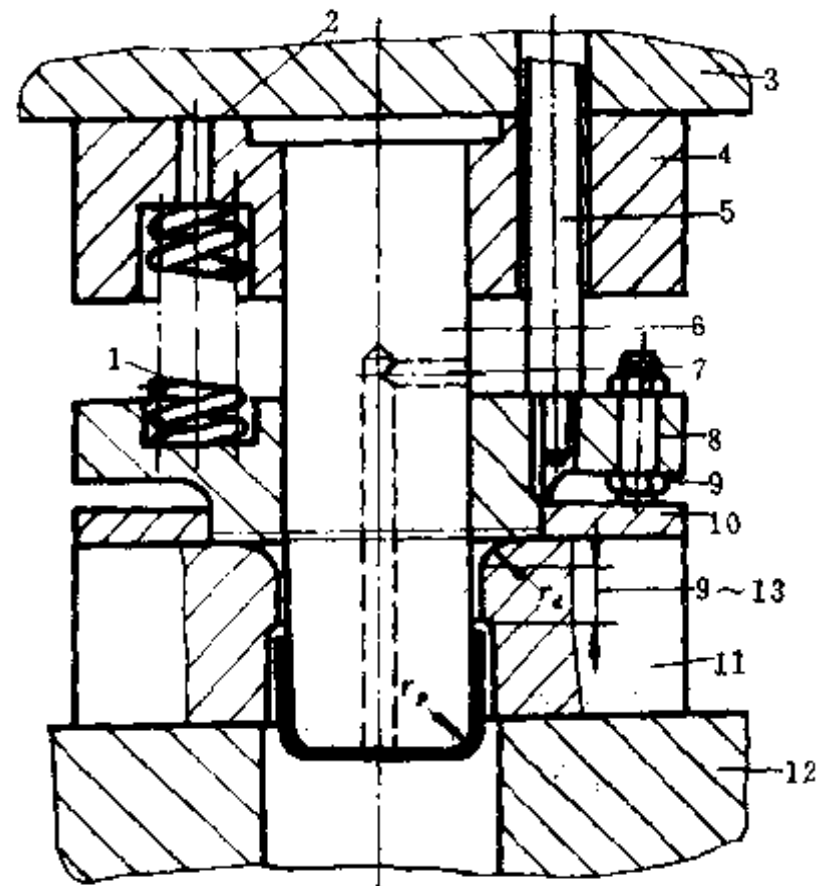


图 7-15 上模弹性压边圈拉深模

1—弹簧；2—通孔；3—上模板；4—凸模固定板；5—螺栓；6—凸模；
7—气孔；8—压边圈；9—限位螺栓；10—定位板；11—凹模；12—下模板。

压边圈底面应留有 25mm 凸台造成的间隙或另外设计防护装置。同时在凹模端面亦相应留出至少 20mm 的斜口或台阶。

4. 再次拉深模

由于工艺需要，某些工件需要进行多次拉深，再次拉深模如需采用压边装置，则只能用弹性压边。出件形式多是打杆出件和下模口出件。一次拉深模和再次拉深模的区别主要是压料区间和坯件定位方式上的不同。此外，再次拉深模可利用坯件的反向拉深特性从而简化了压边。

如图 7-17 所示为倒装式再次拉深模。模具采用弹性压边。材料以压边圈 4 的台阶定位，并用了三根安装在固定板 7 上的限程螺栓 8，以控制拉深时的压边力。模具采用打杆 12 推件块 9 实现上出件。

反向拉深时，由于材料流动阻力较大，有利于防止坯件起皱，在一般情况下，可不采用压边装置（见图 7-18），但有时为了半成品坯件的定位，压紧以及便于卸件，在反向拉深时也有采用压边装置的（见图 7-19）。

三、拉深模的凸模、凹模工作部分尺寸计算

（一）拉深模的凸模、凹模间隙值

拉深模单边间隙（见图 7-20） $Z = (d_c - d_p) / 2$ ，对于零件质量、模具寿命等都有影响， Z 值大小原则上根据拉深次数、压边状况、零件精度要求等来选取。具体要求如下所

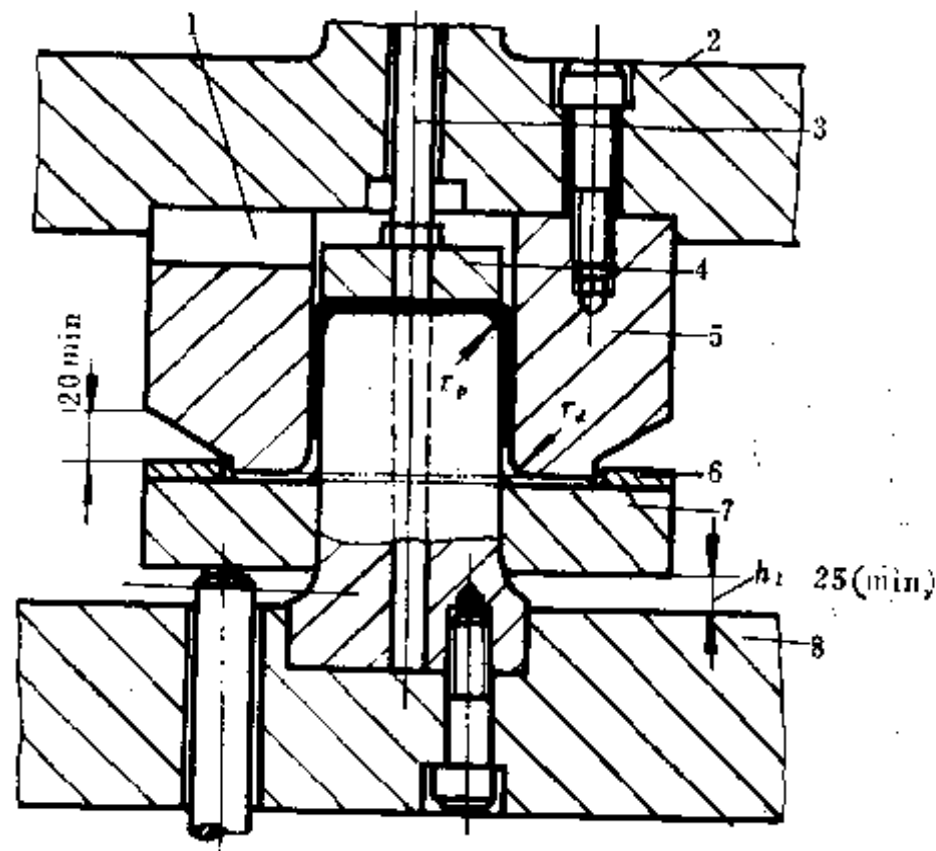


图 7-16 下模弹性压边圈拉深模

1—气孔；2—上模板；3—打料杆；4—退料板；
5—凹模；6—定位板；7—弹性压边圈；8—下模座；

达。

(1) 不用压边装置时 $Z = (1 \sim 1.1)t$ 。精度要求高的和末次拉深取小值， t 为板料厚度的平均值。

(2) 用压边装置时，根据材料种类、厚度、拉深次数按表 7-5 选取。厚料、精度低的选大值反则选小值。

表 7-5 拉深模 Z 值

材 料	第 一 次 拉 深	中 间 各 次 拉 深	末 次 拉 深
软 钢	$(1.3 \sim 1.5)t$	$(1.2 \sim 1.3)t$	$1.1t$
黄 铜、 铝	$(1.3 \sim 1.4)t$	$(1.15 \sim 1.2)t$	$1.1t$

(3) 对于精度要求很高的拉深件，可采用负间隙 $Z = (0.9 \sim 0.95)t$ 。

(4) 矩形件拉深时，最后一次的间隙值 Z 在角部应比直边部分大 $0.1t$ 。

(二) 拉深模凸模、凹模工作部分尺寸 (见图 7-21)

拉深模的凸、凹模尺寸公差，只在最后一次拉深时考虑。

末次拉深工作部分的尺寸计算：

(1) 拉深件尺寸标注在外形上时

$$\text{凹模尺寸} \quad D_d = (D - 0.75\Delta)_0^{+0.005} \quad (7-22)$$

$$\text{凸模尺寸} \quad d_p = (D - 0.75\Delta - 2C)_0^{-0.005} \quad (7-23)$$

(2) 拉深件尺寸标注在内形上时

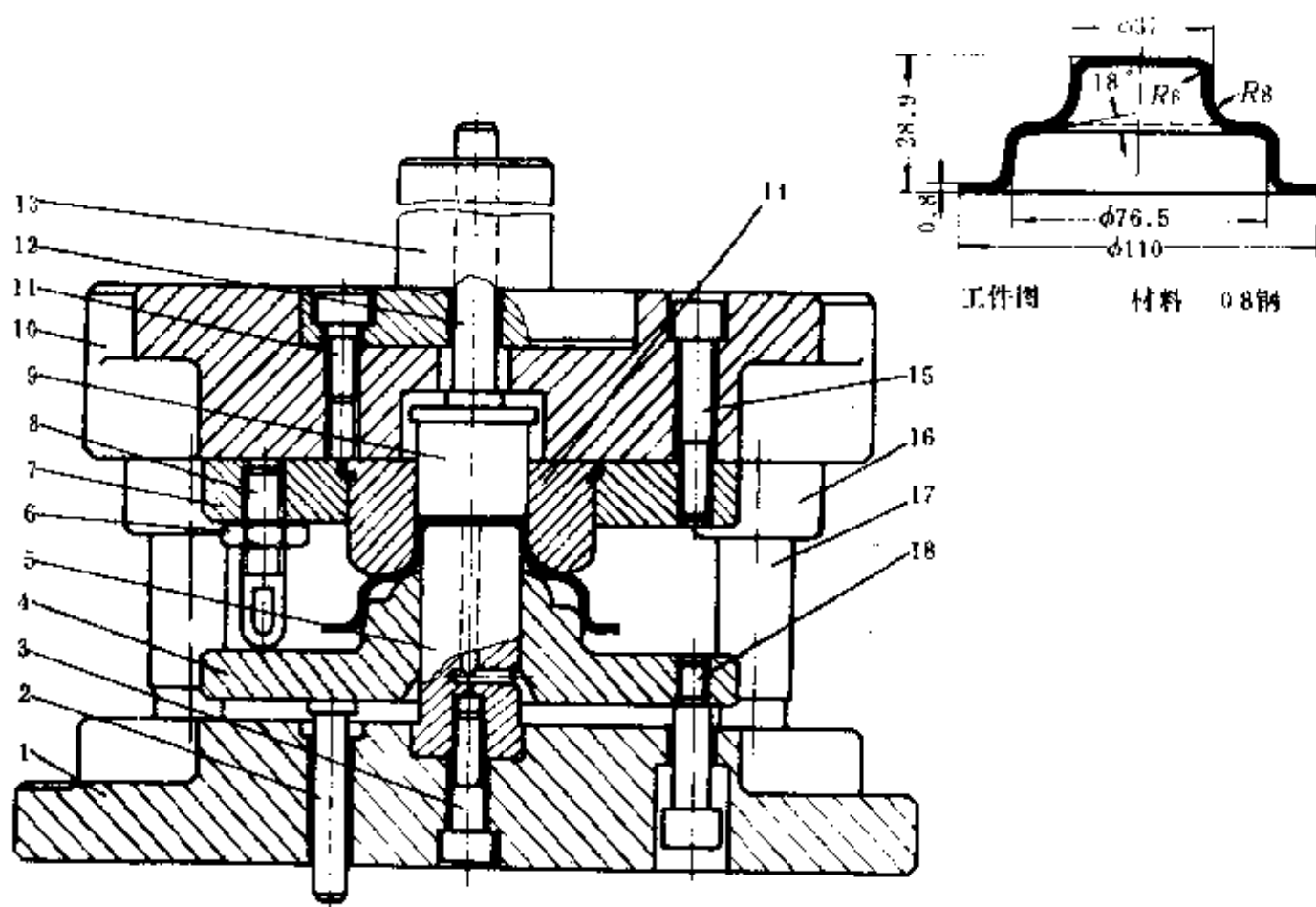


图 7-17 倒装式再次拉深模

- 1—下模座；2—传力杆；3—固定螺钉；4—压边圈；5—凸模；6—限程螺母；
 7—定位板；8—限程螺钉；9—推件块；10—上模座；11—定位螺钉；12—打杆；
 13—模柄；14—凹模；15—螺钉；16—导套；17—导柱；18—限位螺钉。

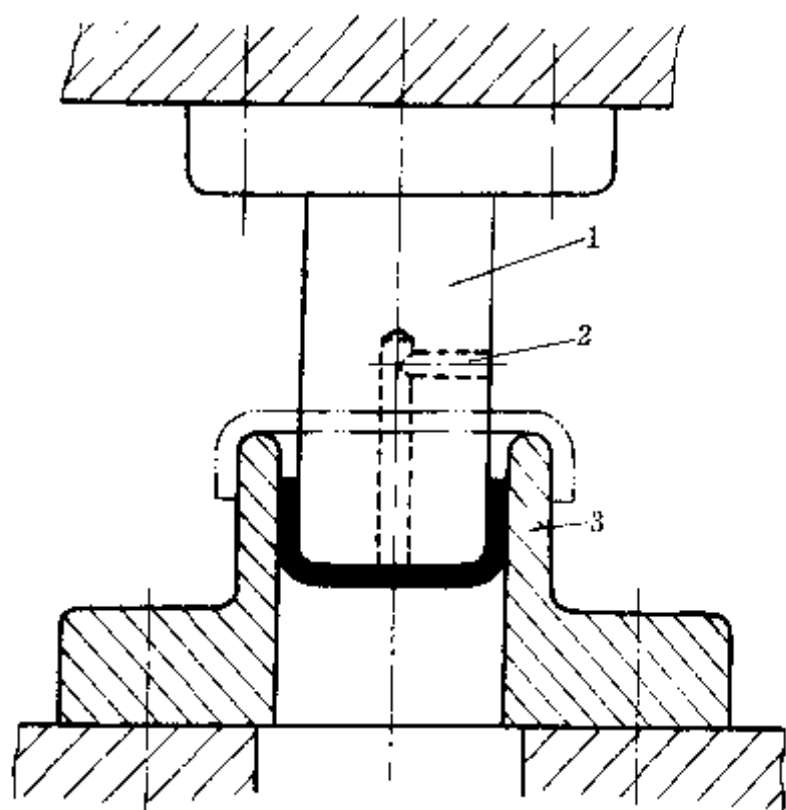


图 7-18 无压边反向拉深模
 1—凸模；2—凸模气孔；3—凹模。

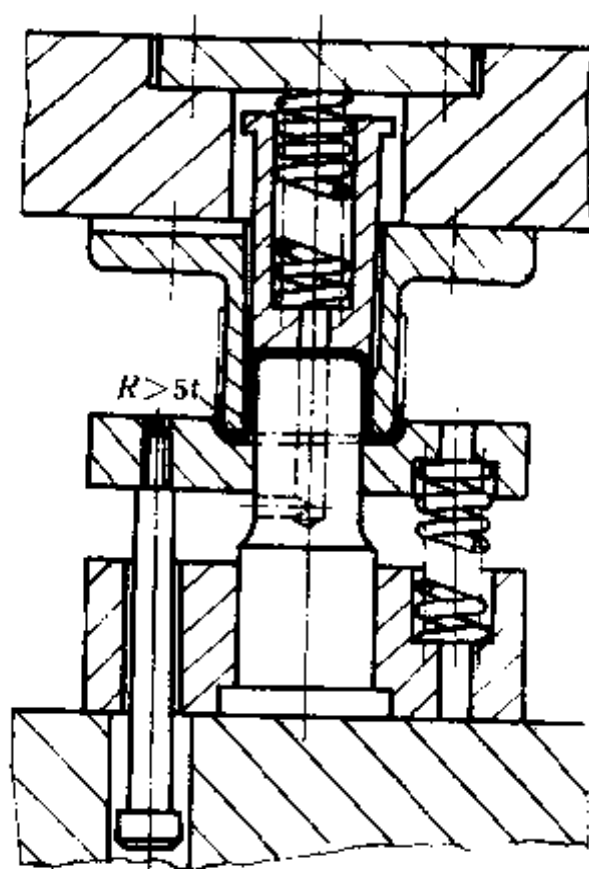


图 7-19 弹性压边反向拉深模

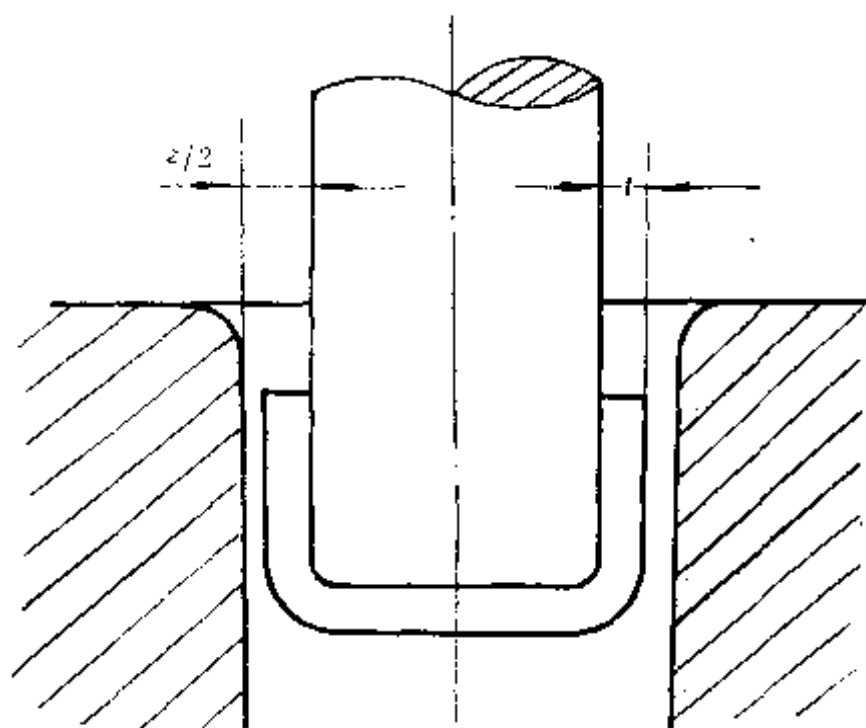


图 7-20 拉深模的间隙

$$\text{凸模尺寸} \quad d_p = (d + 0.4\lambda)^{+\delta_p} \quad (7-24)$$

$$\text{凹模尺寸} \quad D_d = (d + 0.4\lambda + 2C)^{-\delta_d} \quad (7-25)$$

式中 D_d —— 凹模工作部分尺寸；

d_p —— 凸模工作部分尺寸；

D —— 拉深件外形的基本尺寸；

d —— 拉深件内形的基本尺寸；

C —— 拉深时凸、凹模单面间隙；

δ_p 、 δ_d —— 凸模、凹模的制造偏差。

(3) 凸模、凹模的制造公差

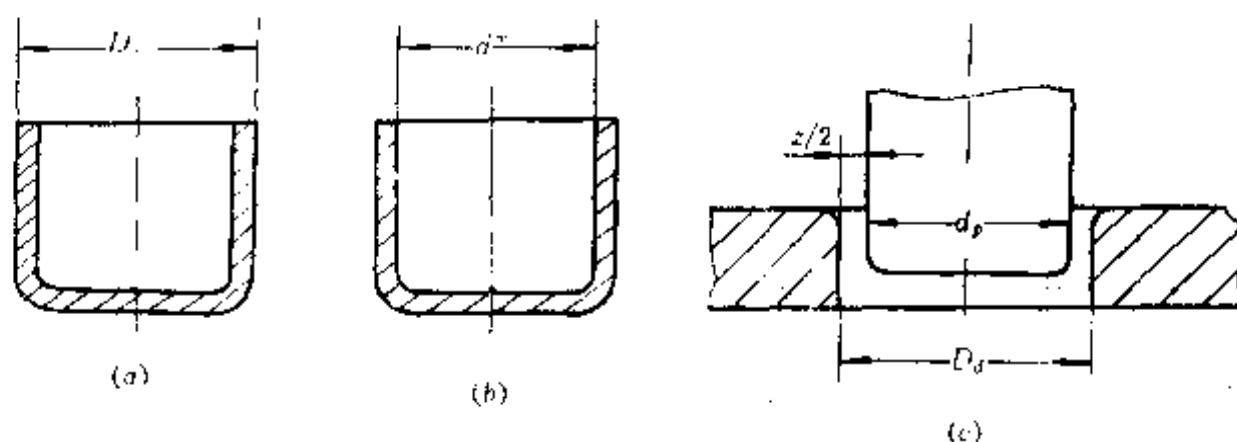


图 7-21 拉深件尺寸与凸凹模尺寸

(a) 标注外形尺寸的拉深件；(b) 标注内形尺寸的拉深件；(c) 拉深凸模及凹模尺寸。

对于圆形凸模、凹模的制造公差，可根据表 7-6 分别标注。

对于非圆形凸、凹模的制造公差，可根据工件公差来选定，拉深件的公差是 IT12、IT13 级以上者，凸、凹模制造公差取 IT8、IT9 级精度。拉深件公差是 IT14 级以下的，凸、凹模制造公差取 IT10 级精度。采用配作时，只在一方标准公差，另一方按间隙配作，不注公差。

表 7-6 圆形凸、凹模制造公差

材料厚度 (mm)	拉深件公称直径 (mm)							
	~10		>10~50		>50~200		>200~500	
	δ_d	δ_p	δ_c	δ_y	δ_d	δ_p	δ_c	δ_p
0.25	0.015	0.010	0.02	0.010	0.03	0.015	0.03	0.015
0.35	0.020	0.010	0.03	0.020	0.04	0.020	0.04	0.025
0.50	0.030	0.015	0.04	0.030	0.05	0.030	0.05	0.035
0.80	0.040	0.025	0.06	0.035	0.06	0.040	0.06	0.040
1.00	0.045	0.030	0.07	0.040	0.08	0.050	0.08	0.060
1.20	0.055	0.040	0.08	0.050	0.09	0.060	0.10	0.070
1.50	0.065	0.050	0.09	0.060	0.10	0.070	0.12	0.080
2.00	0.080	0.055	0.11	0.070	0.12	0.080	0.14	0.090
2.50	0.095	0.060	0.13	0.085	0.15	0.100	0.17	0.120
3.50	—	—	0.15	0.100	0.18	0.120	0.20	0.140

注：1. 表列数值用于未精压的薄钢板。

2. 如用于精压钢板，则凸模及凹模的制造偏差，等于上表所列数值的 20%~25%。

3. 如用于有色金属，则凸模及凹模的制造偏差，等于上表所列数值的 50%。

(三) 拉深模凸模、凹模圆角半径 (见图 7-22)

(1) 拉深模凹模圆角半径 r_d 根据毛坯直径 D 、拉深件直径 d 和材料厚度 t 决定，可按表 7-7 选取，有色金属取小值，黑色金属取大值。

表 7-7 凹模圆角半径 r_d

拉深方式	毛坯相对厚度 $t/D \times 100$		
	2.0~1.0	1.0~0.3	0.3~0.1
无凸缘	$(4\sim6)t$	$(6\sim8)t$	$(8\sim12)t$
有凸缘	$(6\sim10)t$	$(10\sim15)t$	$(15\sim20)t$

凹模圆角半径 r_d 亦可按下式确定

$$r_d = 0.8 \sqrt{(D-d)t} \quad (\text{mm}) \quad (7-26)$$

当工件直径 $d \geq 200\text{mm}$ 时

$$r_{d\min} = 0.039d + 2 \quad (7-27)$$

凹模的圆角半径还可根据材料种类与厚度选取：钢材 $r_d \approx 10t$

有色金属 $r_d \approx 5t$

第二次拉深及以后的凹模圆角 r_{dn} 值应逐次减少

$$r_{dn} = (0.6 \sim 0.9)r_{d(n-1)} \quad (7-28)$$

(2) 凸模圆角半径 r_p 与凹模圆角 r_d 及拉深件圆角 r 有关, 除末次外其余为:

$$r_p = (0.6 \sim 1)r_d \quad (7-29)$$

末次凸模圆角原则上等于工件 r 。当工件的 r 太小, $r < (2 \sim 3)t$ 时, 可取 $r_p > r$, 拉深完毕后再经整形达到 r 值。

对于有压料装置的两次以上拉深模, r_p 与 r_d 可按图 7-22 中公式换算。

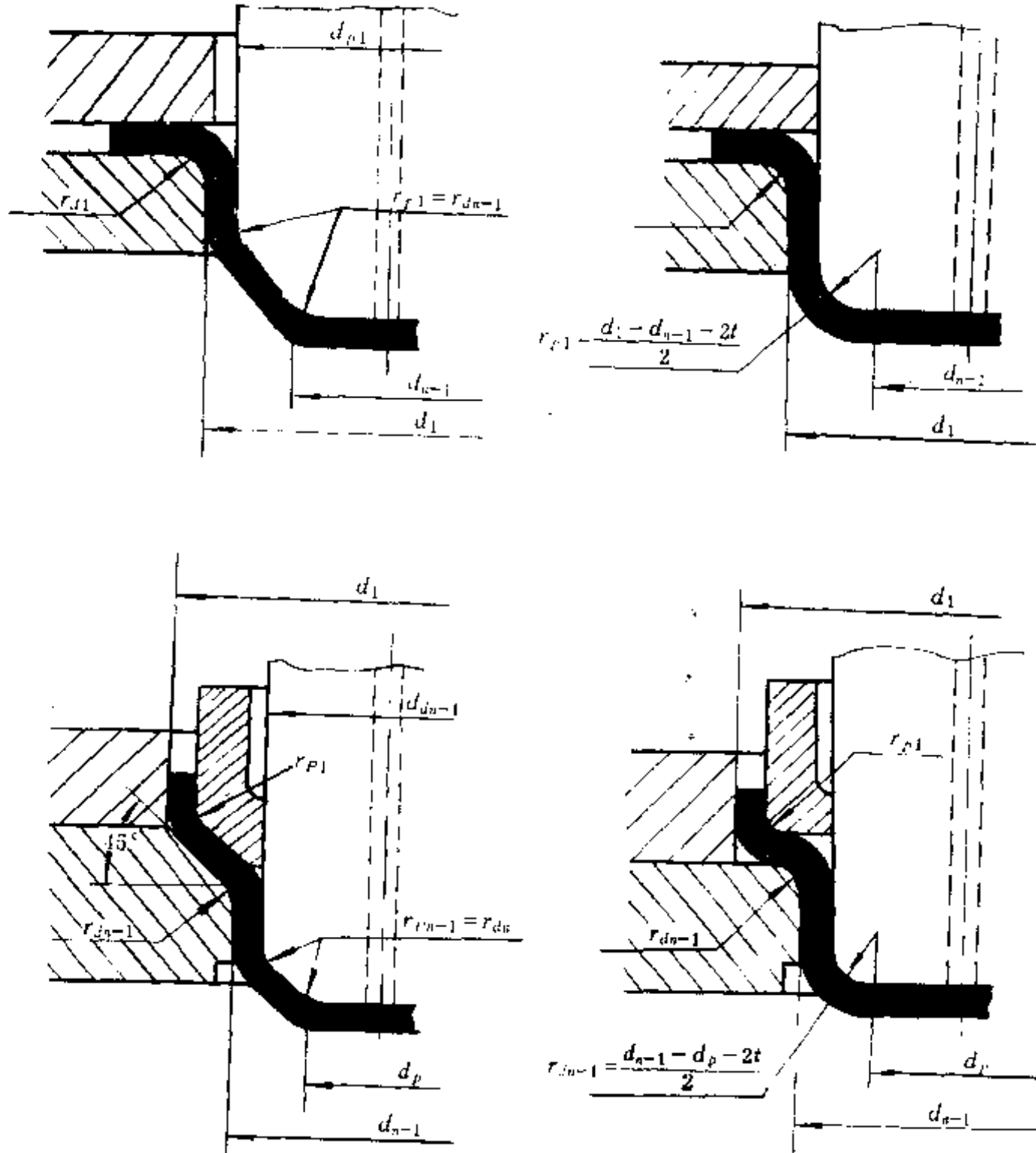


图 7-22 二次拉深模 r_p 与 r_d 关系

(a) 有斜角的凸模及凹模; (b) 带圆角半径的凸模及凹模。

图 7-22 (a) 所示的有斜角的凸模及凹模, 往往在大、中型筒形件拉深时采用。对有斜角的凸模, 其圆角半径应该增大到 $r_p = (1.5 \sim 2)r_d$ 。

图 7-22 (b) 所表示的带圆角半径的凸模及凹模, 则往往用于尺寸较小 ($d \leq 100\text{mm}$) 及带宽凸缘、形状复杂的零件的拉深。

(3) 凸模排气孔一般根据经验选取, 凸模直径等于 $50 \sim 200\text{mm}$ 时, 排气孔直径中取 $5 \sim 9.5\text{mm}$ 。

第五节 冲模零部件设计

一、冲裁凸模、凹模

(一) 凹模设计

1. 凹模外形和尺寸的确定

凹模装于下模座上，由于下模座孔口较大因而使凹模工作时承受弯曲，若凹模厚度 H 及模壁厚度 C 不足时，会使凹模产生较大变形，甚至破坏。但由于凹模受力复杂，很难按理论方法精确计算，对于非标准尺寸的凹模一般不作强度核算，可用下述经验公式确定其尺寸：

$$\text{凹模厚度 } H \qquad H = (0.2 \sim 0.6)b \quad (\text{mm}) \qquad (7-30)$$

$$\text{模壁厚度 } C \qquad C = (1.5 \sim 2)H \quad (\text{mm}) \qquad (7-31)$$

在上述经验公式中， b 为凹模孔最大尺寸。当 $b > 100 \sim 200\text{mm}$ ，材料厚度 $t \leq 3\text{mm}$ 时， H 及 C 应取小值，但 H 值不应小于 10mm ，模壁厚度 C （即凹模孔边距）不应小于 18mm 。当 $b < 50\text{mm}$ ，材料厚度 $t \geq 3\text{mm}$ 时， H 及 C 则应取大值。

凹模孔边距 C 及凹模孔间距的数值，也从表 7-8 中查到。

2. 凹模刃口形式

凹模刃口形式有两大类。一类是直壁刃口（见图 7-23a、b、c），这类刃口强度高，刃磨后刃口尺寸不变。但每次冲压后，工件或废料会积存在刃口直壁部分，增加了推件力，同时也加速孔壁的磨损。为了减小直壁部分积存的工件或废料，一般取刃口直壁高度 h 为 $4 \sim 8\text{mm}$ 。而直壁刃口下方可采用筒形开口，或采用 $\beta = 2^\circ \sim 3^\circ$ 的锥形开口。另一类是锥形刃口（见图 7-23d、e、f），这类刃口，冲压后不积存工件或废料，取件方便，并且每次刃磨量较小。但每次刃磨后，刃口尺寸要加大，刃口强度低。一般锥形刃口的 α 角为 $15' \sim 30'$ 。

直壁刃口可在刃口内安装压料板，有利于提高冲压质量，故适合于精度要求高，形状复杂的冲压件使用。锥形刃口则适用于精度要求不高、形状简单的冲压件使用。

3. 组合凹模及其固定方式

对于一般尺寸较大，形状复杂的零件，为了使模具制造方便，节省模具钢，往往采用拼镶结构的组合凹模。

凹模分块拼镶的原则：

- (1) 各分块尽量是直线形、圆形、方形等简单的几何形状，以利于机械加工及热处理；
- (2) 各分块应能可靠定位及便于测定尺寸及精度；
- (3) 分割点一般应在拐角和直线、曲线切点处，不允许形成尖角；
- (4) 便于安装及固定。

拼镶式组合凹模的固定方法如图 7-24 所示。该方法是将分块凹模嵌入下模座或固定板的凹槽内，然后用垫片、斜楔、十字键等元件固定。

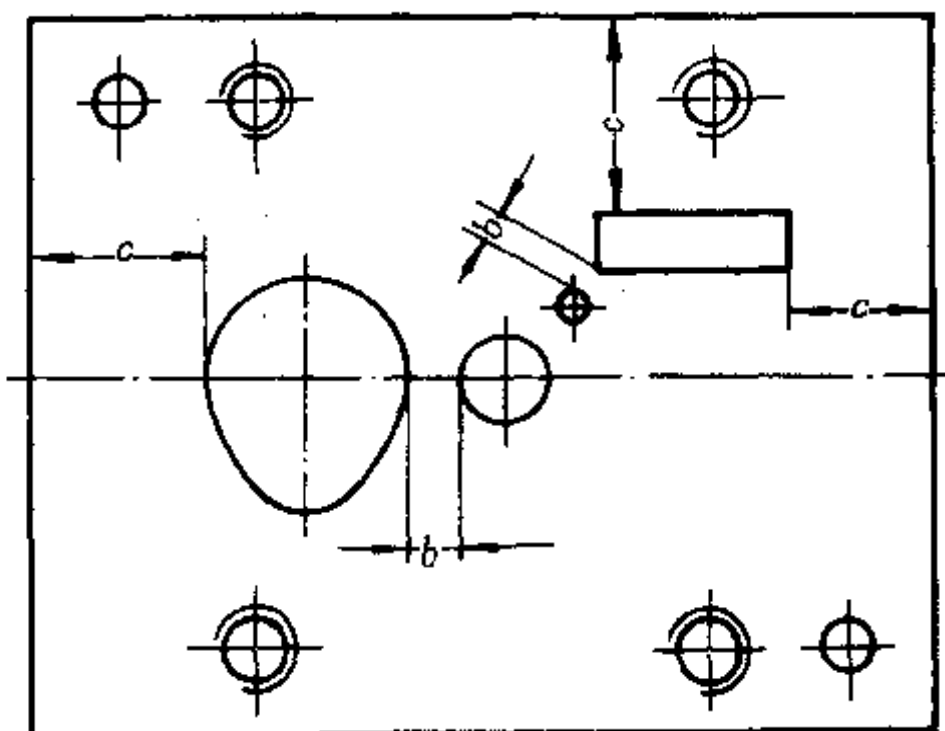
小冲孔凹模一般采用镶嵌筒状凹模，为使废料顺利落下，废料孔采用阶梯扩大，筒

状凹模的安装采用螺钉或键连接或用凸缘压接，筒状凹模要能定位止转。

筒状凹模的结构及安装方法如图 7-25 所示。

表 7-8 C 的一般数据

(mm)



条料宽度	材料厚度 t (mm)			
	≤ 0.8	$> 0.8 \sim 1.5$	$> 1.5 \sim 3.0$	$> 3.0 \sim 5.0$
≤ 40	20	22	28	32
$> 40 \sim 50$	22	25	30	35
$> 50 \sim 70$	28	30	36	40
$> 70 \sim 90$	34	36	42	46
$> 90 \sim 120$	38	42	48	52
$> 120 \sim 150$	40	45	52	55

注：1. C 的偏差按凹模洞口复杂情况，可以取 $\pm 8\text{mm}$ 。

2. b 的选择可以看洞口复杂情况而定，一般不小于 5mm ，但冲裁 0.5mm 以下薄料的小孔与小孔之间的距离可减小，大孔与大孔之间的距离则应放大些。

3. 决定外形尺寸时应尽量选用标准尺寸。

(二) 凸模设计

凸模在冲裁工作中承受了全部工作压力，卸料中又受着卸料力。在凸模设计时，必须校验凸模的抗压强度和抗失稳能力。

1. 抗压强度校核

$$F_{\min} \geq \frac{P}{[\sigma_y]} \quad (7-32)$$

式中 P ——冲裁力 (N)；

$[\sigma_y]$ ——凸模材料的许用压应力 (MPa)；

F_{\min} ——凸模危险截面面积 (mm^2)。

2. 稳定性校核

冲孔时，凸模可当作细长杆看待，要验算其失稳条件。凸模有无导向，其稳定性条件各不相同。

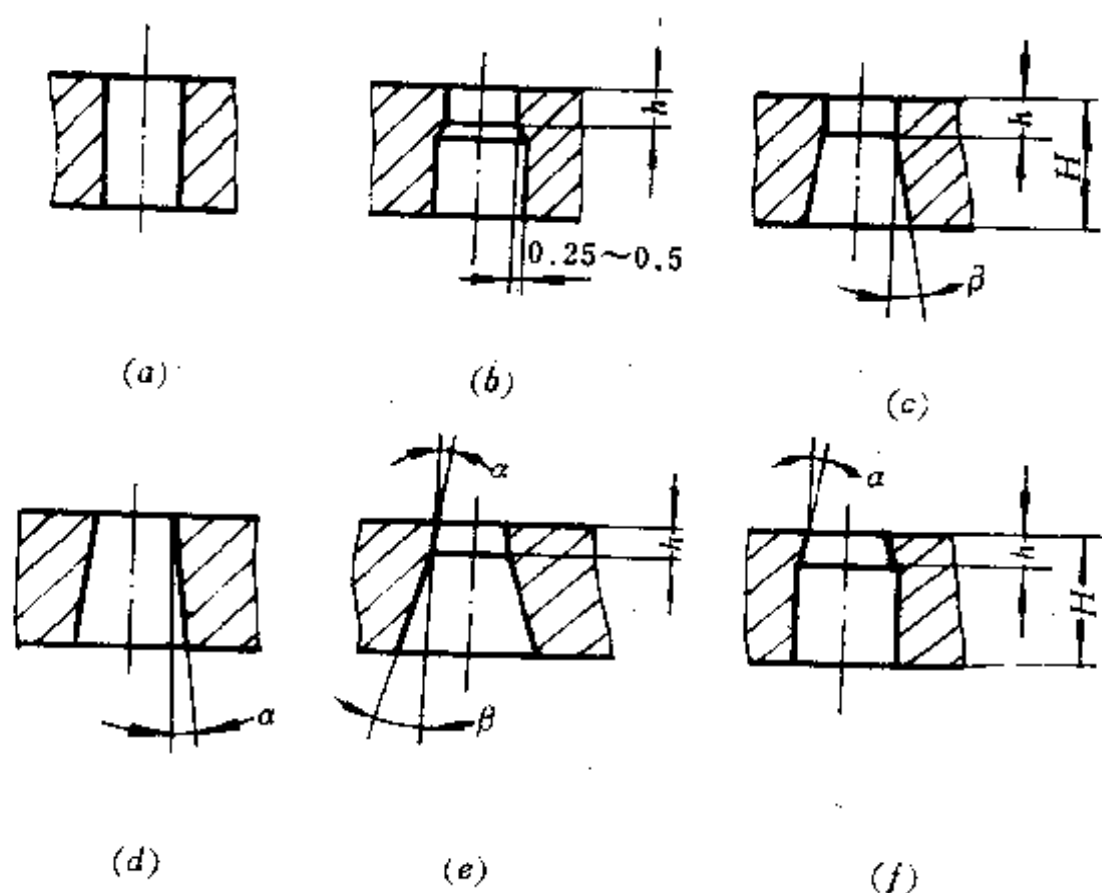


图 7-23 凹模刃口形式

(a)、(b)、(c) 直壁刃口；(d)、(e)、(f) 锥形刃口。

(1) 无导向装置时

$$l_{\max} \leq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{4Pn}} \approx 425 \sqrt{I/P} \quad (\text{mm}) \quad (7-33)$$

(2) 有导向装置时

$$l_{\max} \leq \sqrt{\frac{2\pi^2 EI}{Pn}} \approx 1200 \sqrt{I/P} \quad (\text{mm}) \quad (7-34)$$

式中 l_{\max} ——凸模最大长度 (mm)； E ——凸模材料的弹性模量 (MPa)； n ——安全系数，一般 $n=3$ ； I ——凸模截面的惯性矩 (mm^4)。

圆形凸模现已标准化，对非标凸模可用下式进行强度及稳定校核

$$d \geq \frac{4t\tau}{[\sigma_y]} \quad (\text{mm}) \quad (7-35)$$

$$l_{\max} \leq \frac{95d^2}{\sqrt{P}} \quad (\text{无导向时}) \quad (\text{mm}) \quad (7-36)$$

$$l_{\max} \leq \frac{270d^2}{\sqrt{P}} \quad (\text{有导向时}) \quad (\text{mm}) \quad (7-37)$$

式中 t ——板材厚度； τ ——板料的剪切强度。

3. 凸模的固定

凸模的固定方法很多，一般以固定板定位常用螺钉连接。也可铆接或粘接，为了方

便快速装换凸模还可采用一些特殊形式的连接。

凸模固定要注意的问题：

- (1) 异形凸模要有防转动措施；
- (2) 有导向装置的凸模，稳定性好，可利用卸料板使凸模导向，但要注意他们的配合尺寸；
- (3) 冲小孔，凸模必须考虑导向和保护；
- (4) 快速装换凸模的机构要注意可靠性。

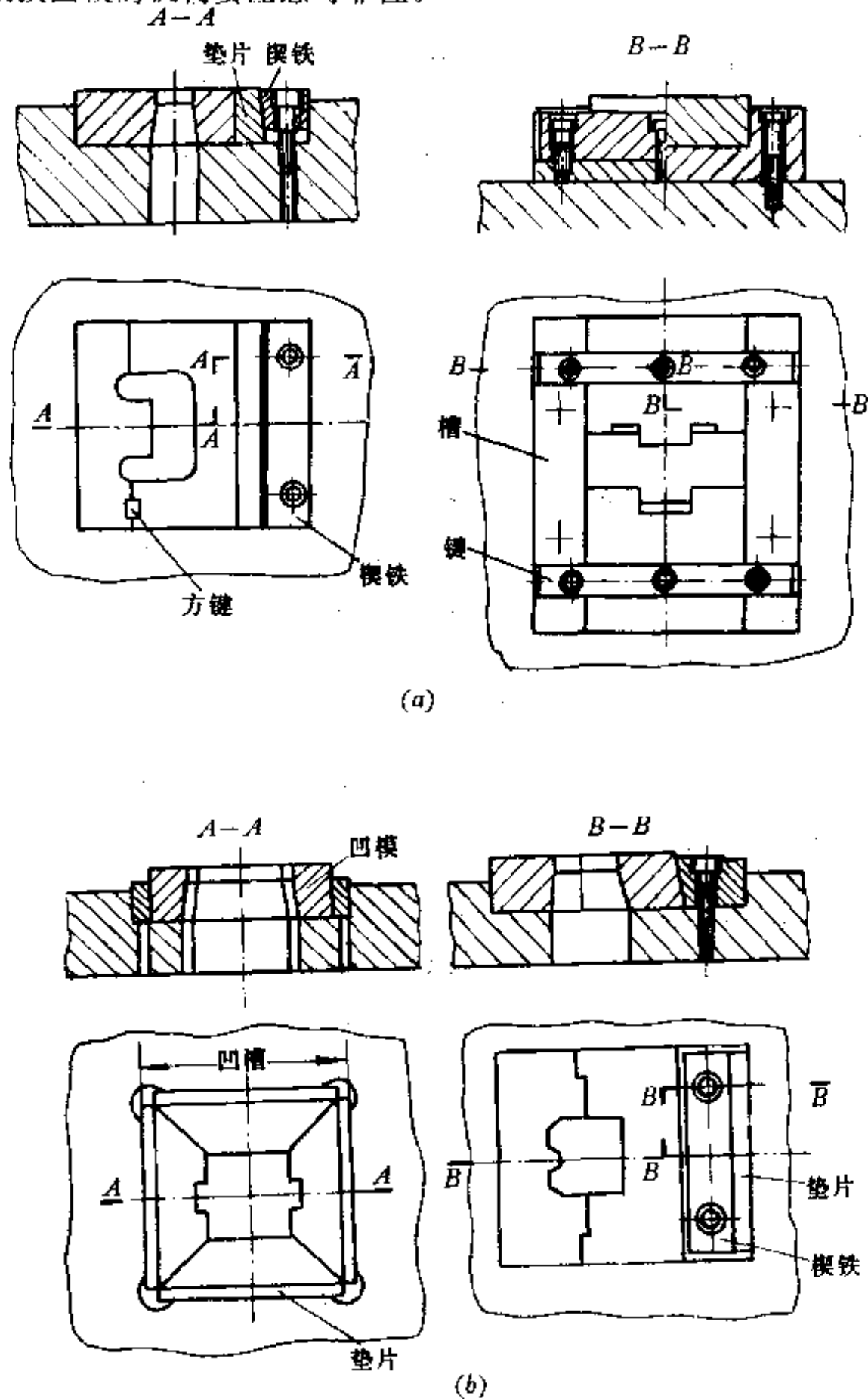


图 7-24 凹模镶块及固定方法 (1)

(a) 键楔固定；(b) 垫片、楔固定；

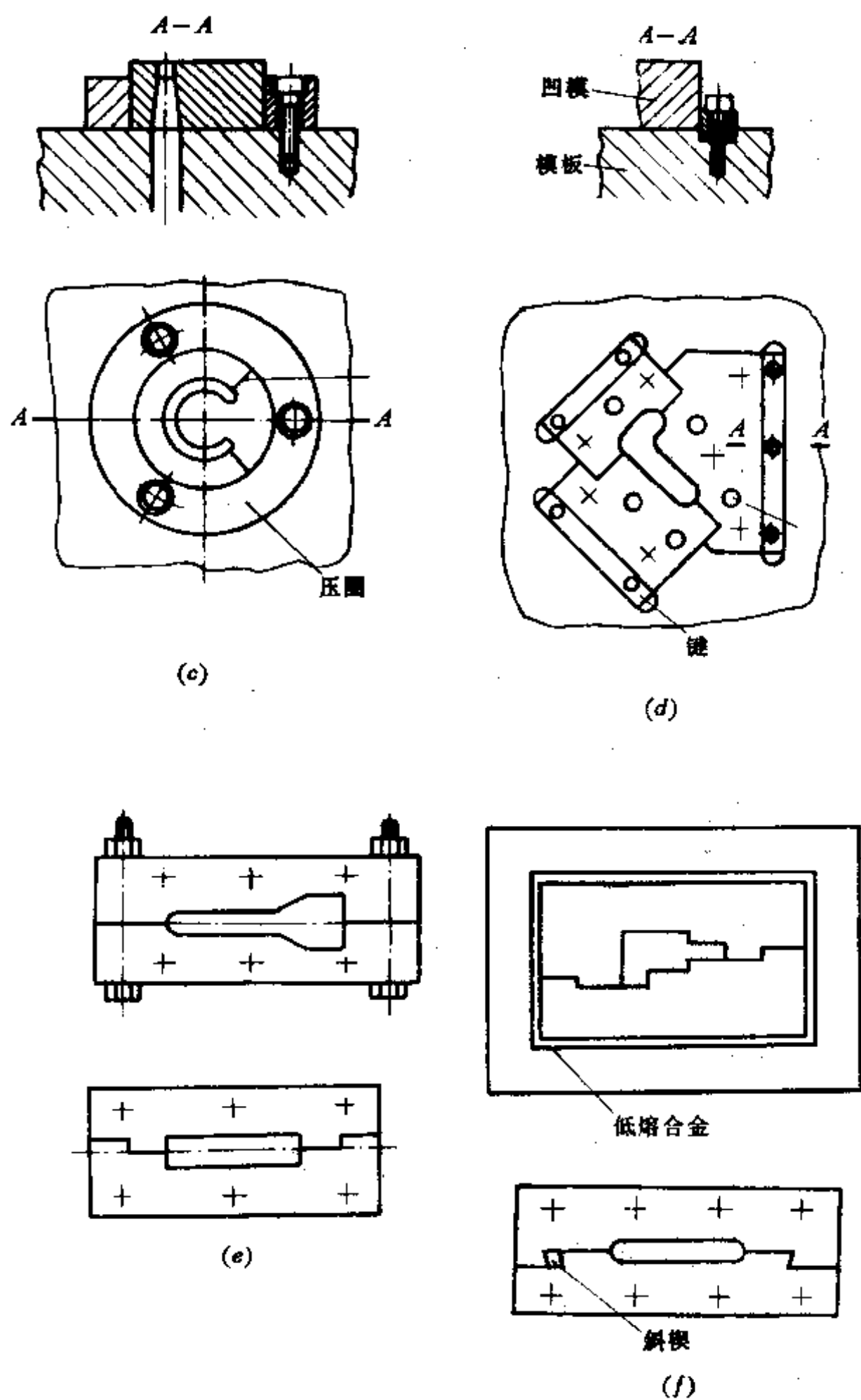


图 7-24 凹模镶块及固定方法 (I)

(c) 热压配合; (d) 键固定; (e) 止口和横向螺栓固定; (f) 低熔合金和斜楔固定。

如图 7-26 (A)、(B) 所示列举了数种凸模的安装固定方法。

二、卸料、压料、顶件装置

(一) 卸料板

1. 作用

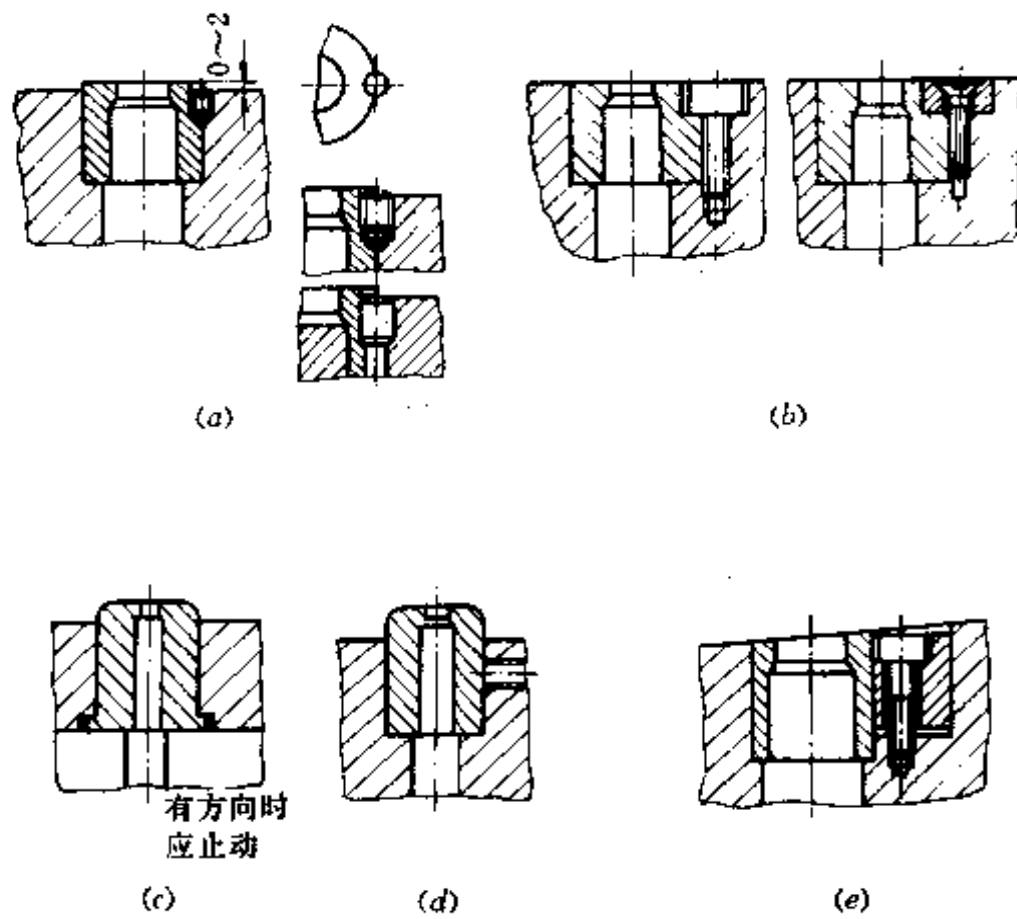


图 7-25 小孔筒状凹模结构及安装

(a) 低熔点合金、螺钉或销钉固定；(b) 六角螺钉、矩形键固定；
(c) 压入配合固定；(d) 止动螺钉固定；(e) 套筒式键固定。

把材料从凸模上卸下，保护凸模，防止材料变形，他有时可作压料板用，并能帮助送料导向等。

2. 设计注意事项

- (1) 卸料力一般取 5%~20% 冲裁力；
- (2) 卸料板应有足够的刚度、其厚度 H

$$H = (0.8 \sim 1.0)H_d \quad (7-38)$$

式中 H_d ——凹板厚度。

- (3) 卸料板要求耐磨，材料一般选 45 钢，淬火，磨削，粗糙度 $Ra0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ ；
- (4) 卸料板安装尺寸，计算中要考虑凸模有 4~6mm 的刃磨量；
- (5) 卸料板可根据工件形状作成圆形或矩形，型孔与凸模的配合为 H7/h6 或 H8/f7。

3. 卸料板结构类型

(1) 刚性卸料板 又称刮料板，用于厚料或硬材。特点是卸料力大，使用安全，但影响操作。常用于精度不高的简单冲模。对于条料可兼作送料导向，在连续模中也可作凸模导向用。

(2) 弹性卸料板 借助弹簧、橡胶或气垫等弹性装置卸料，常由压边(料)装置兼任。

(3) 有导向弹性卸料板 用于要求运动精度高的卸料，也可用于压料或凸模导向，如小孔冲裁模、连续模等。导向方式可单独装小导柱，也可直接利用冲模的导柱来导向。

4. 弹性元件的选择及安装

卸料用弹性元件有弹簧、橡胶及气垫三种，它们的压力特性不相同，选用时要根据需要，因地制宜。

弹簧压力随行程增加而增加，呈一定线性增长。橡胶的压力和行程呈曲线式增长，气

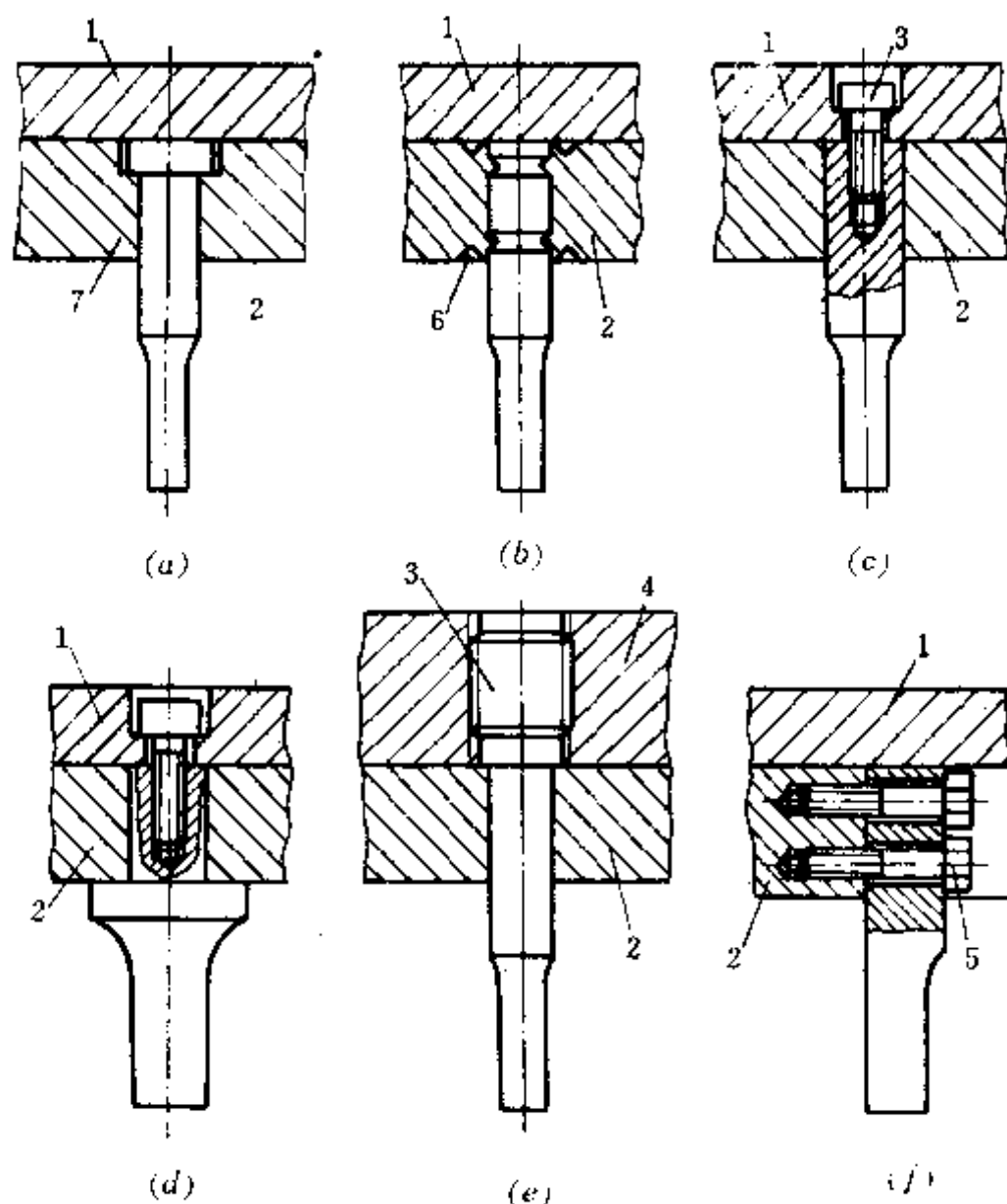


图 7-26 (A) 凸模的固定形式 (一)

(a) 凸缘固定方式; (b) 铆接固定方式; (c)、(d)、(e)、(f) 螺钉固定方式。

1—垫板或凸模座; 2—凸模板; 3—紧定螺钉; 4—凸模座; 5—螺钉; 6—铆接; 7—压入。

垫的压力在行程中基本不变, 所以采用气垫最为理想。但目前国内用于装气垫的小型压机较少, 所以常用的仍是弹簧和橡胶。

橡皮与弹簧相比, 橡皮的刚度要大些, 因此对要求卸料力较大, 行程较小的模具, 应选择橡皮为好, 反之则选择弹簧。当所选橡皮的高度较大, 其高度 H 与直径 D 之比值大于 1.5 时, 应将橡皮分为若干块, 其间垫以钢垫片, 组成如图 7-27 (a) 所示的多层式结构。

对于卸料行程不大的模具, 弹簧或橡胶装在模具中, 弹簧与窝座间隙值 C 应根据弹簧外径选定, 弹簧外径 $\phi 10\text{mm}$ 时, $C=1\text{mm}$, 外径每增加 5mm , C 值增大 0.5mm 。大于 30mm 的外径, $C=3.5\text{mm}$ 。

对于卸料行程较大的模具, 弹簧或橡胶可以安装在工作台下。

5. 弹簧选择的方法及步骤

(1) 计算弹簧的顶压力 P_y

$$P_y = P_r/n \quad (\text{N}) \quad (7-39)$$

式中 P_r —— 弹簧承担的工作力, 如卸料力, 或推件力等 (N);

n —— 弹簧的个数, 一般用 2~6 个。

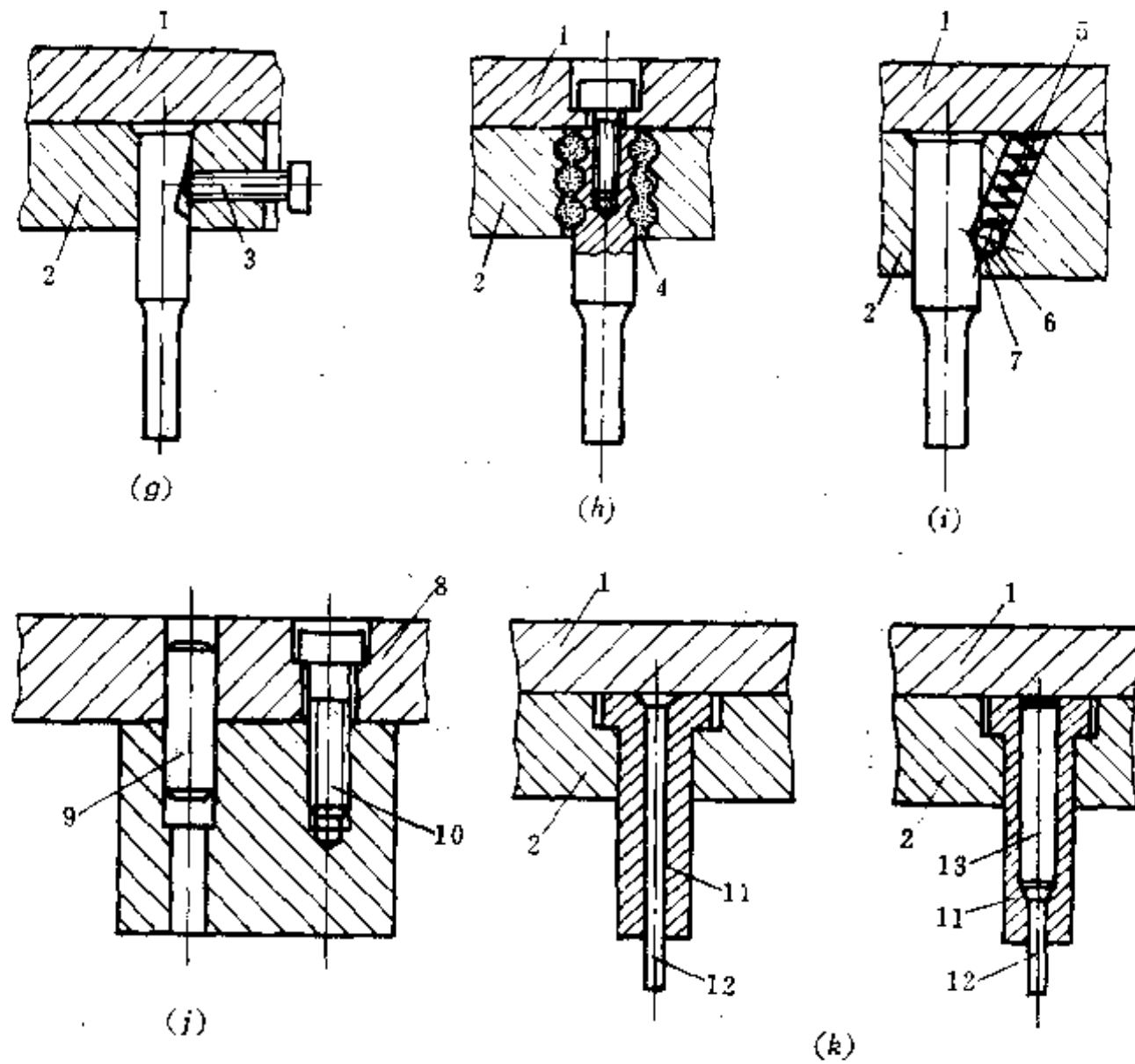


图 7-26 (B) 凸模的固定形式 (二)

(g) 螺钉固定方式; (h) 环氧树脂固定方式; (i) 钢球固定方式;
(j) 定位销固定方式; (k) 小孔冲裁凸模固定方式。

1—垫板或凸模; 2—凸模板; 3—侧向螺钉; 4—环氧树脂; 5—弹簧; 6—钢球; 7—推钢球孔;
8—凸模板或凸模座; 9—定位销; 10—固定螺栓; 11—凸模套; 12—针状凸模; 13—挡销。

(2) 选弹簧, 确定弹簧最大工作极限负荷 P_2 , 可根据有关手册选择适当弹簧, 使 $P_2 > P_1$, 并记录该弹簧的参数, 根据弹簧极限压缩量 F_2 作弹簧的特性曲线。

(3) 计算弹簧总压缩量 F_c (mm)

$$F_c = F_p + F_s + F_{zu} \quad (7-40)$$

式中 F_p ——弹簧预压缩量, $F_p = P_1 \cdot P_2 / P_2$;

F_s ——弹簧的工作行程, 如冲裁中卸料行程 $F_s = t + 1$ 。落料拉深复合工艺中, 弹簧的工作行程 $F_s = t + 1 + h$, h 为拉深件高度;

F_{zu} ——凸模总修磨量, 一般取 4~10mm。

(4) 校核总压缩量, 使 $F_c < F_2$, 弹簧可用, 若出现 $F_c > F_2$, 则该弹簧需重新选择。

6. 蝶形弹簧、组合弹簧的选用

当安装空间不大, 而需要弹簧负荷较大的时候, 可选用组合弹簧或蝶形弹簧。

选用组合弹簧应注意的问题:

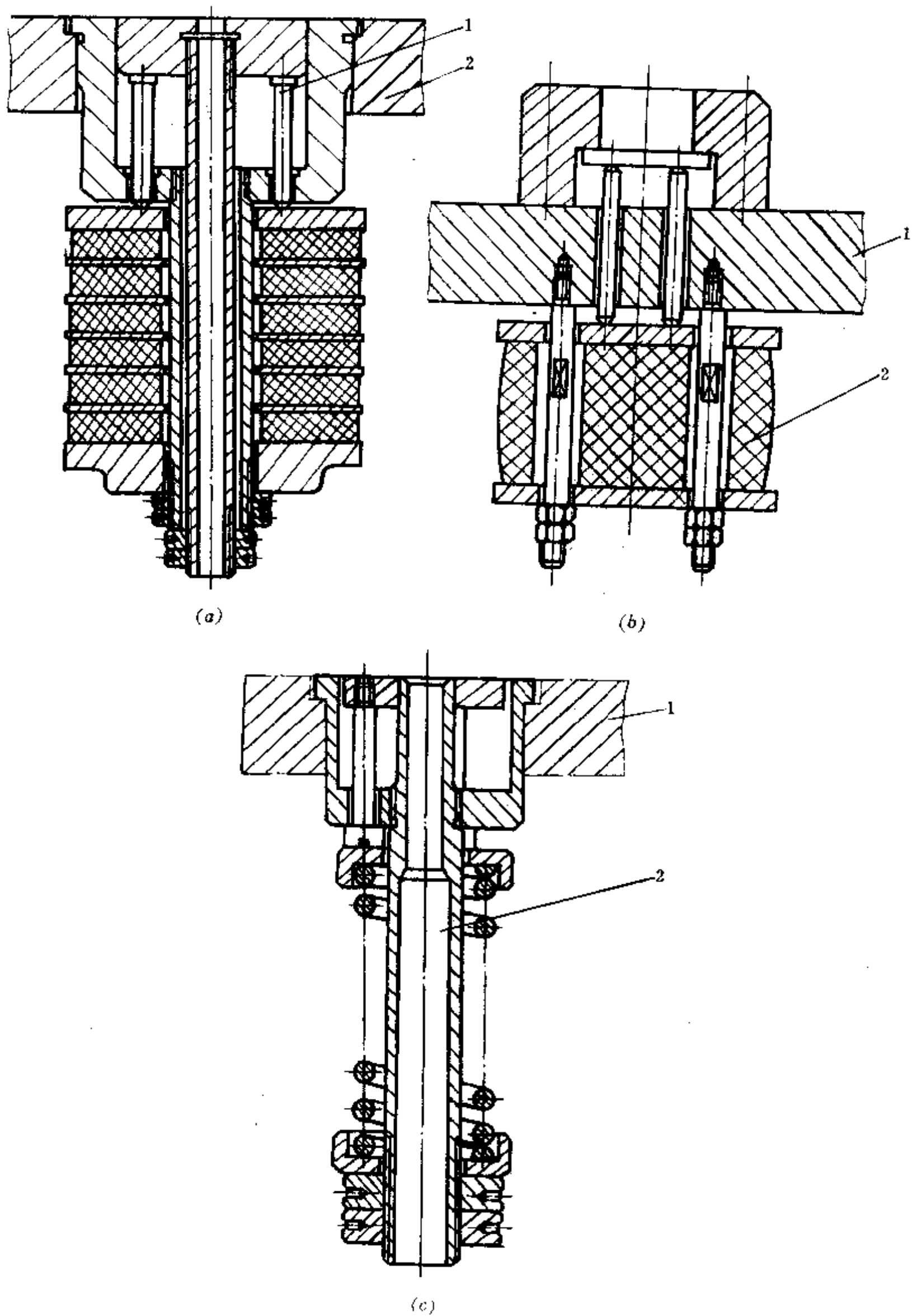


图 7-27 弹性元件安装方法

(a) 采用多层橡皮的安装方式。1—顶捍；2—工作台。(b) 采用整块橡皮的安装方式。1—工作台；2—橡皮。(c) 采用弹簧的安装方式。1—工作台；2—空心杆。

- (1) 组合弹簧的总压力等于内、外圈弹簧之和；
- (2) 内、外圈弹簧许用压缩量应接近；
- (3) 内、外圈弹簧旋向要相反；
- (4) 内、外弹簧单面间隙 $Z = (0.5 \sim 1) d$ ， d 为内圈弹簧钢丝直径。

蝶形弹簧具有变形小、大负荷、结构紧凑等优点，在冷冲模中得到日益广泛的应用。蝶形弹簧在模具中可采用直列式安装或复合式安装。图 7-28 (a) 为卸料装置中按直列式安装的蝶形弹簧。图 7-28 (b) 为顶件装置中按复合式安装的蝶形弹簧，其弹簧压力将按每叠复合弹簧的个数增加而成倍上升，图所示的结构，为两个弹簧复合，故其弹簧压力为直列式的两倍。

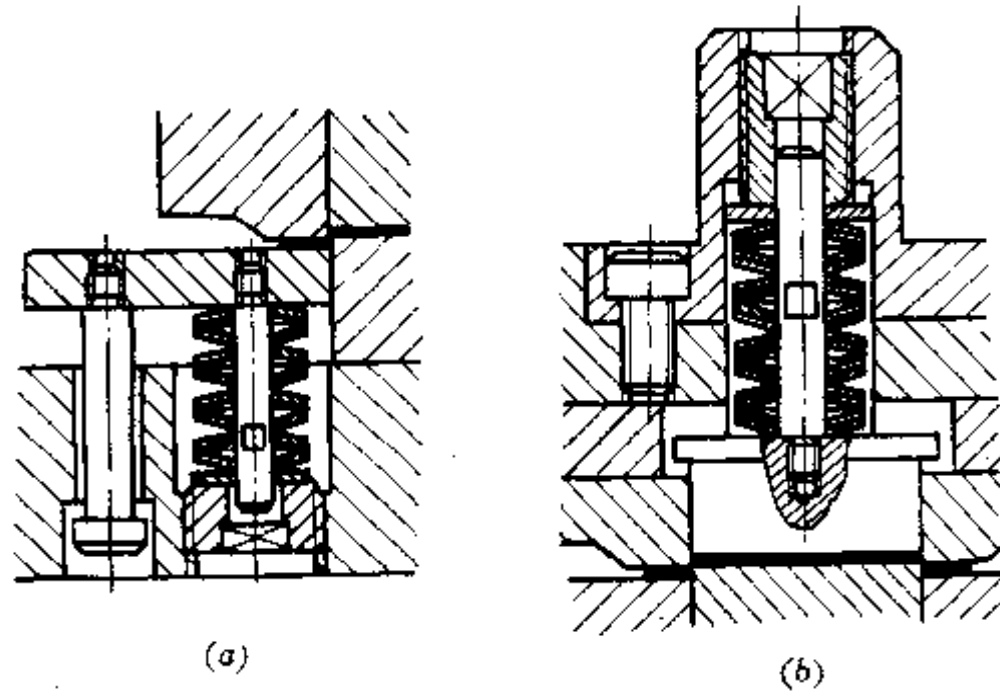


图 7-28 蝶形弹簧的安装方式

(a) 卸料装置中直列式安装；(b) 顶料装置中复合式安装。

7. 橡胶元件的选择

橡胶是冲模中常用的弹性元件，其许用负荷比弹簧大，安装调整也很方便。橡胶选用的几个问题如下所述。

深 (1) 卸料、顶件常选用硬橡胶，拉 压边多选用软橡胶。

(2) 橡皮压力 P

$$P = F \cdot q(\text{N}) \quad (7-41)$$

式中 F ——橡皮横截面积 (mm^2)；

q ——橡皮压缩的单位压力 (MPa)。

q 值与橡皮的压缩量有关，其值见表 7-9。

表 7-9 橡皮压缩量与单位压力值 q

压缩量%	10	15	20	25	30	35
q 值 (MPa)	0.26	0.50	0.74	1.06	1.52	2.10

(3) 橡皮的自由高度 H (mm)

$$H = \frac{L}{0.25 \sim 0.30} \quad (\text{mm}) \quad (7-42)$$

式中 L —— 考虑修模最后的卸料或压边的工作行程 (mm)。

(1) 校核橡皮高度 计算出的橡皮高度 H 应满足下式

$$0.5 \leq H/D \leq 1.5 \quad (7-43)$$

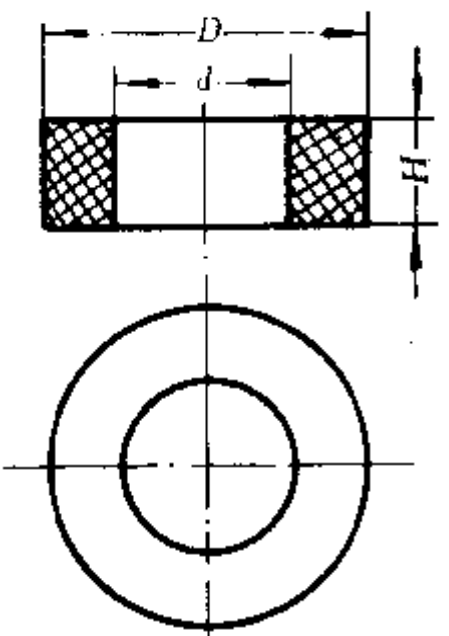
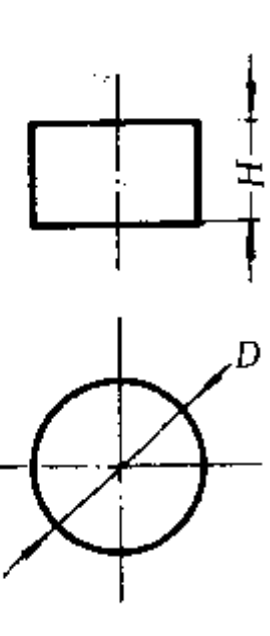
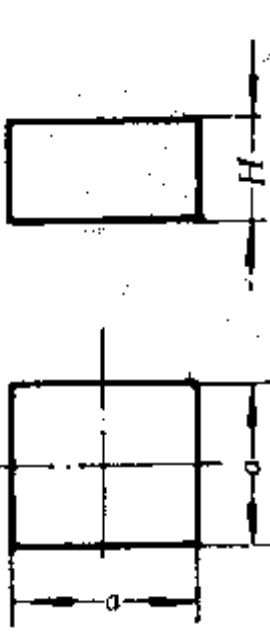
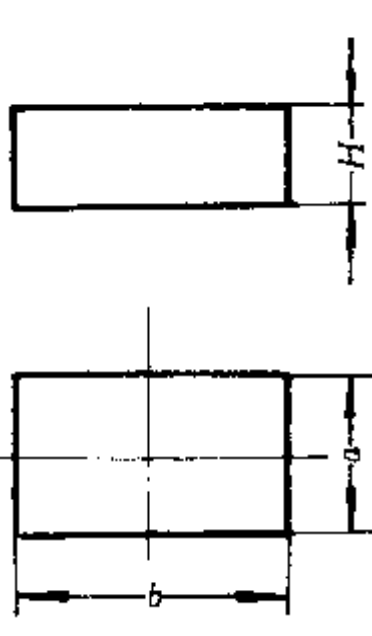
若 $H/D \geq 1.5$, 则可将橡皮分层, 且两层橡皮之间需加钢质垫片;

若 $H/D \leq 0.5$, 则增加橡皮层的高度, 至 $H/D \geq 0.5$ 。

(5) 选用普通橡皮时要注意防油, 橡皮周围应有适当的空间使橡皮受力后能自由变形。

常用橡皮的几何尺寸换算公式列于表 7-10。

表 7-10 橡皮几何尺寸计算

橡皮垫形式	图 1		图 2		图 3		图 4		
					d	D	D	a	a
计算公式	根据结构选用	$\sqrt{d^2 + 1.27 \frac{P}{q}}$	$\sqrt{1.27 \frac{P}{q}}$	$\sqrt{\frac{P}{q}}$	$\frac{P}{bq}$	$\frac{P}{aq}$			

注: P ——所需工作压力 (N);

q ——压缩 10%~35%时, 橡皮的单位压力 (MPa), 参看表 7-8。

(二) 顶件装置

顶件装置的作用是将工件从凹模中顶出, 凹模倒装时常利用压力机的打料杆, 将工件刚性打出, 也可在上模安装弹性顶件器。凹模在下模时的顶件常利用弹簧和气垫 (见图 7-29)。

三、定位装置

(一) 设计定位装置的注意事项

(1) 坯件需要两个以上工序的定位时, 它们的定位基准应该一致;

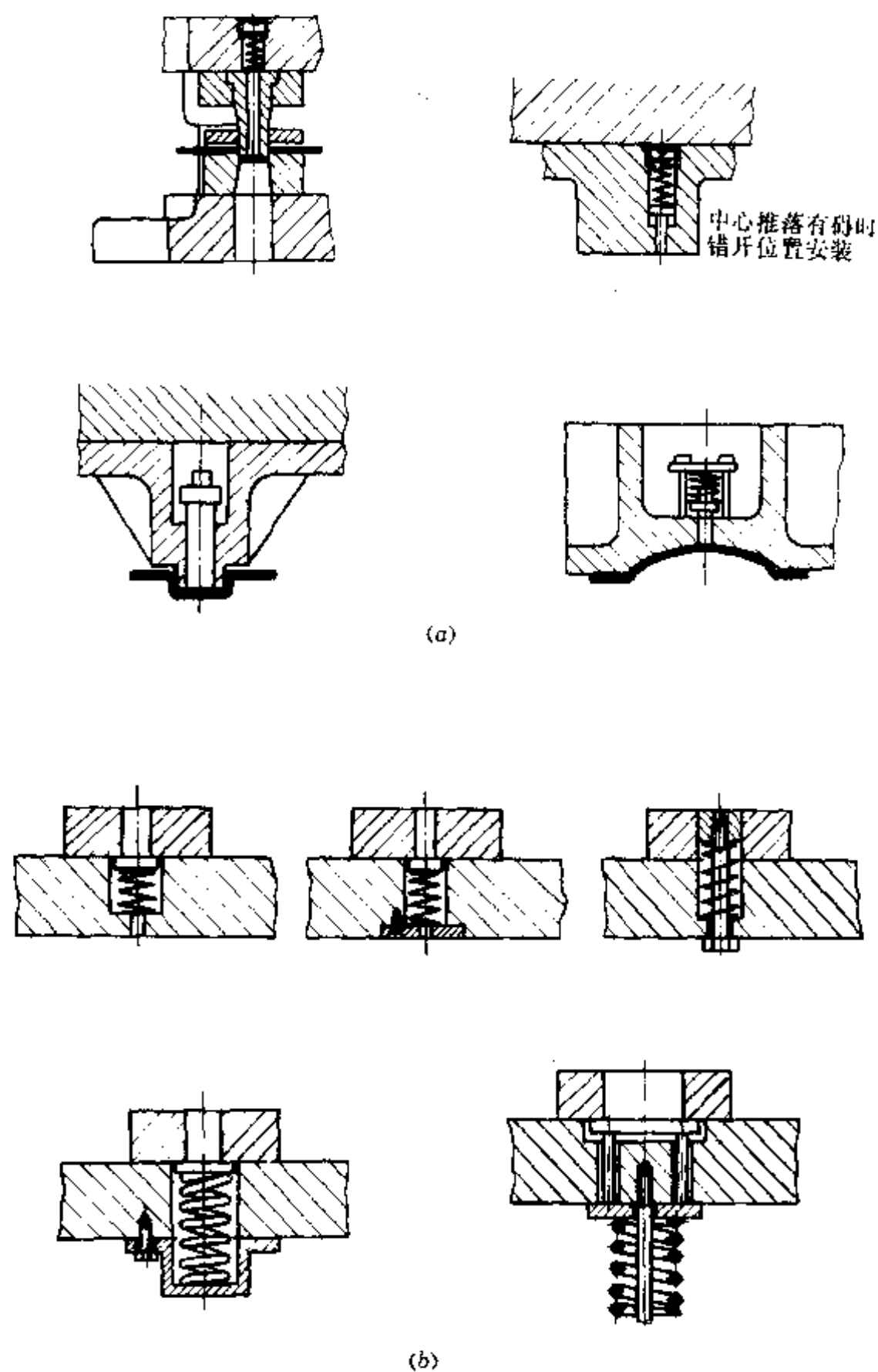


图 7-29 冲模顶件装置

(a) 上模的弹性顶料装置；(b) 下模的弹性顶料装置。

- (2) 坯件定位应有定向定位两个要素；
- (3) 平面定位应具备三点；
- (4) 坯件大、有弯曲面，且定位困难时可在修整线以外设置定位所需的孔、筋或压凸块等；
- (5) 小件定位若操作困难，应在工序中解决，如连续模、复合模中都设有导正定位装置；
- (6) 定位须考虑坯件因正、反误放置而造成事故的措施，要求及时发现并纠正；
- (7) 定位装置应可靠，具有一定强度，以保证工作精度、质量的稳定；

- (8) 定位装置应设置在操纵者容易观察和便于操作的地方；
- (9) 定位装置应在保证精度的前提下可以调整；
- (10) 定位精度要求较高时，要考虑粗定位和精定位两套装置，分步进行；
- (11) 定位件应避免油污、碎屑的干扰；
- (12) 定位件要避免与运动机构的干涉。

(二) 冲模常用定位装置的类型及作用

1. 导料销、导料板（导料尺）

主要用于条料送进定向，防止偏斜。它们装于下模凹模口的上平面。

导料销材料一般用 T7、T8，热处理 HRC46~52，粗糙度 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 下，装配时采用 H7/s6 配合。

导料板有分离式、整体式两种。导料板与条料的间隙，当无侧压板时取 0.5~1.5mm，有侧压板时取 5~8mm。导料板厚度一般为材料厚度的 2.5~4 倍，材料厚度取小值。导料板的最小厚度为 4~6mm，导料板一般采用 45 钢，下表面应磨削以便与凹模装配，工作侧面粗糙度 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 以下。侧压板可消除材料的宽度误差，用于保证送料的导向精度，即借弹簧力推压料条，使其紧靠一侧，保证送进一侧的精度。侧压装置还可作成块式、销式，侧压板厚度一般为导板厚度的 1/3~2/3，数量根据需要定。当材料厚度小于 0.3mm 或自动送料都不宜采用侧压板。

2. 挡料销（又称定位销）

挡料销主要用于定位。挡料销有固定式、可调式、活动式、临时型等四种，分别用于不同的场合（见图 7-30）。

固定挡料销的形状有柱形、钩形、斜台形等，装配于凹模口附近或远离凹模口一个或数个送料步距的位置上，设计固定的挡料销要注意凹模壁的强度，并要求更换方便，且压料板向下运动时和挡料销不能产生干涉。

可调挡料销用于不同送料步距要求的定位。

活动挡料销借助弹簧可在定位面上自由伸缩以避免运动件的干涉，常与弹性卸料板、压料板配合使用。

临时挡料销主要用于连续模的初始定位，或当挡料位置与凹模刃口太近会影响凹模强度时使用。

挡料销一般用 45 钢制造；热处理 HRC44~48。挡料销的高度，对于料厚 3mm 以下的，可高于料厚 1mm 左右，对于 5mm 以上的，可低于料厚 1~2mm。

挡料块（定位块）是用于单工序或复合工序的坯件定位。挡料板接触面积大，大件定位可靠。

3. 侧刃定位

侧刃主要用于条料、带料送进的定位，即在料侧加装一个或两个切边装置。工作时，在每次行程中切去一个空位，此空位正等于步距大小，下次进料时以空缺后沿定距。该切边凸模称为侧刃。利用侧刃定位，定距准确，精度较高，送料连续，缺点是耗料耗能，增加模具的制造难度。

侧刃定位主要用于连续模，侧刃的结构形式，侧刃设计等参看第十章的有关内容。

4. 导正销定位

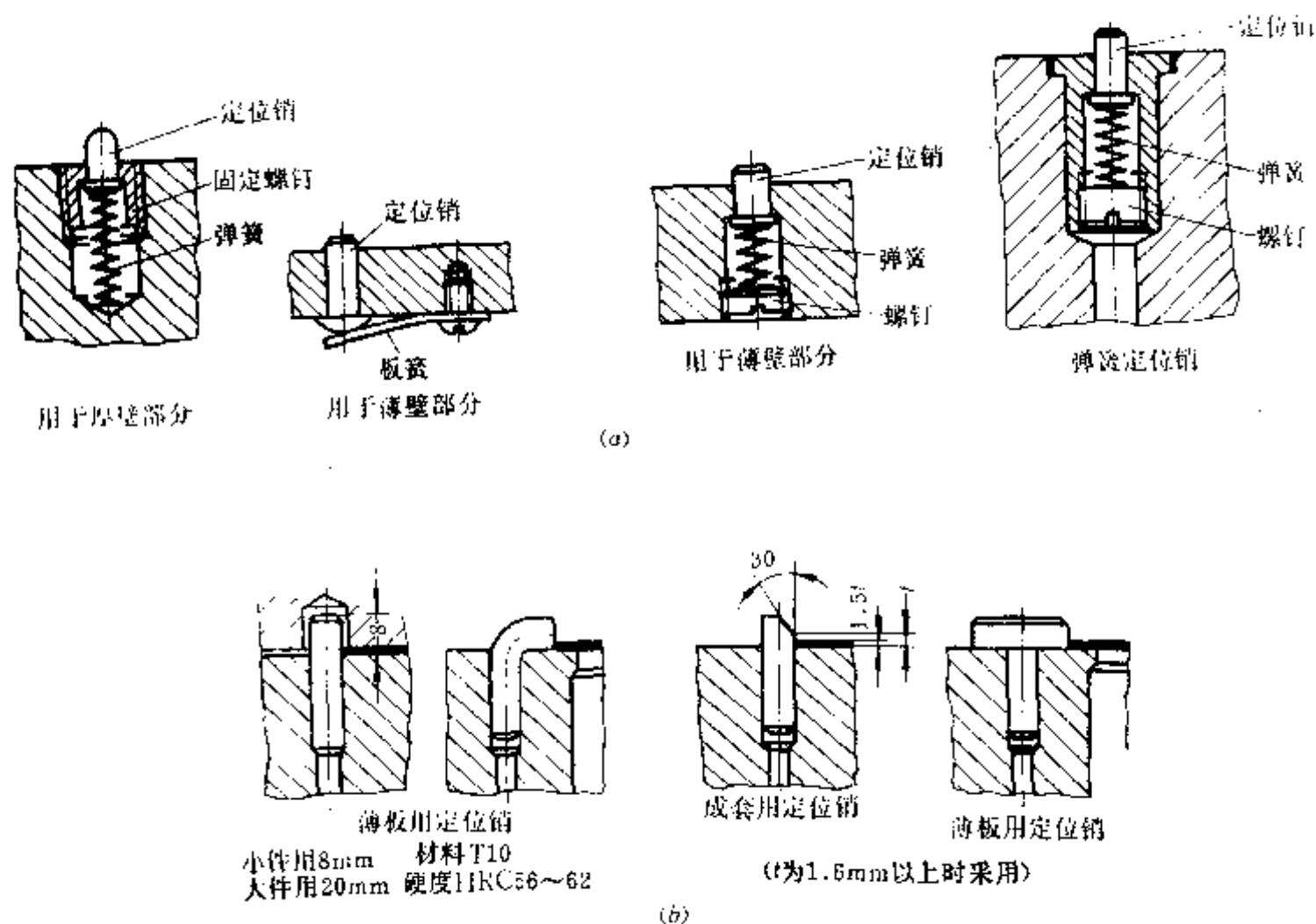


图 7-30 定位销

(a) 各种型式的活动定位销；(b) 各种型式的固定定位销。

导正销又称导头，其以尖圆头一端先进入零件预先冲出的定位孔中，以辅正送料中的误差，起到精确定位的作用，导正销普遍应用于连续模中，导正销的结构形式、结构设计、尺寸精度、材料的热处理等详见第十章连续模的有关内容。

四、导向装置

导向装置可提高模具精度、寿命以及工件的质量，而且还能节省调试模具的时间。大批量生产的冲压模具中广泛地采用了导向装置。

导向装置设计的注意事项：

(1) 导柱与导套的闭合应充分体现在凸模工作前或压料板接触到工件前，且应保证导柱上端距上模座上平面留有 10~15mm 的间隙（见图 7-32）；

(2) 导柱、导套与上、下模板装配后，应保证导柱与下模座的下平面、导套上端与上模座的上平面，均留 2~3mm 的间隙；

(3) 对于形状对称的工件，为避免合模安装时引起的方向错误，两侧导柱直径或位置应有所不同；

(4) 当冲模有较大的侧向压力时，模座上应装设止推垫，避免套柱承受侧向力；

(5) 导套应开排气孔以排除空气。

(二) 导向装置结构

1. 滚动式导柱导套结构

滚动式套柱导套，导向精度高，寿命长、成本高，在高速冲裁和精密冲裁中用得较多。导套与导柱没有间隙，有时为负间隙（ $-0.01\sim 0.02\text{mm}$ ），钢球为倾斜排列，倾角 $\alpha=5^\circ\sim 10^\circ$ 。钢球直径一般取 $\phi 3\sim \phi 5\text{mm}$ 。钢球保持架采用黄铜板 H62 制作，导柱导套材料选用 GCr15，热处理硬度 HRC60~62，导套的长度应保持模具在极限位置时，最少还有 2~3 圈的钢球与导柱相接触。

2. 滑动式导柱导套结构

滑动式导柱导套的导向装置为最常用的形式，这种结构加工装配方便，易于标准化，但承受侧压能力差。导柱导套的间隙值应小于冲模中凸模、凹模间隙，导柱装置有以下几种情况：

- (1) 导柱设计在底座上，为常用形式，装配调整较为方便；
- (2) 导柱设在上模板上，有利于弹性卸料板导向的安装；
- (3) 台阶式导柱，大端直径等于导套的外径，这样便于上下模板一起加工，并能保证导向的同轴度（见图 7-31b）；

(4) 在一些要求弹性卸料板有良好导向的情况下，导柱有时也兼作卸料板的导向装置（见图 7-31a）。

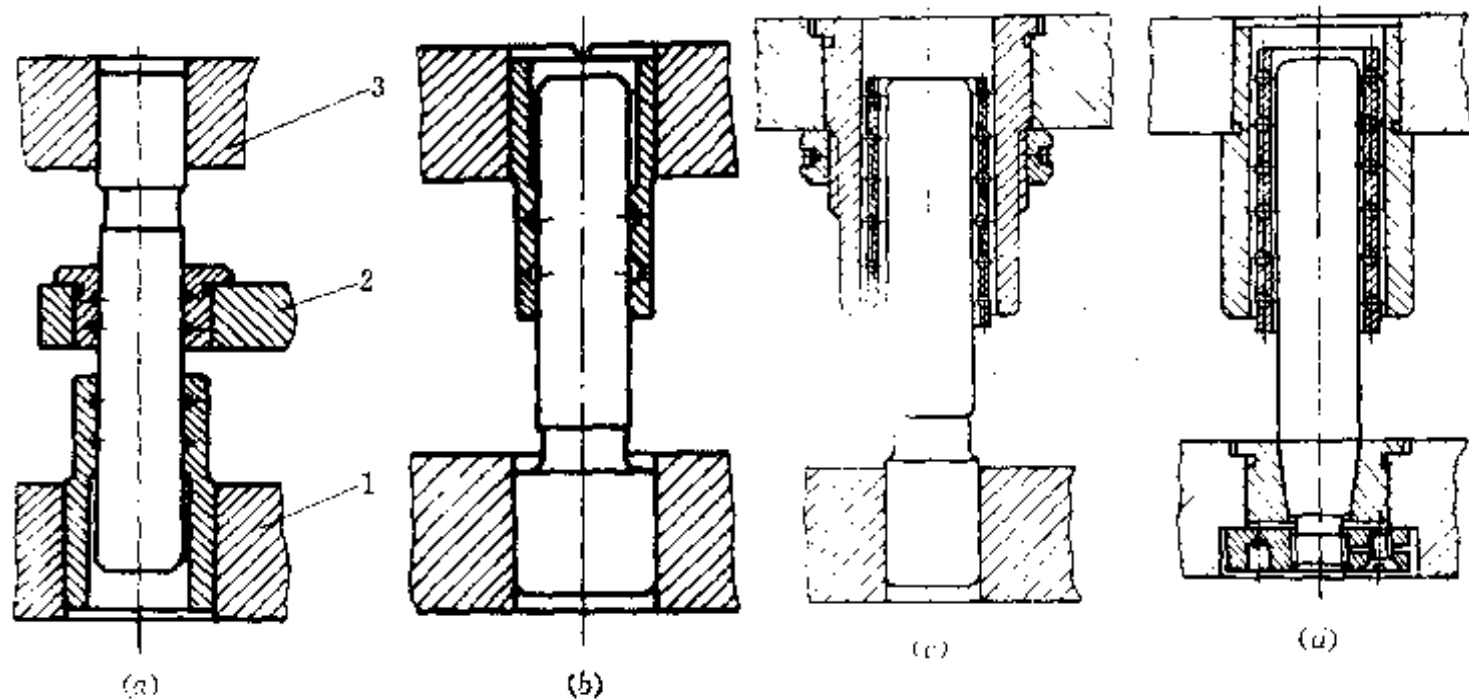


图 7-31 冲模导向装置

- (a) 兼作卸料板导向的导柱导套；1—底座；2—卸料板；3—上模座。(b) 台阶形导柱的导向装置；
(c) 便于更换导套的滚动式导柱导套机构；(d) 便于更换导柱的滚动式导柱导套机构。

3. 导块式导向装置

大、中型弯曲模、覆盖件冲模等要求承受较大的侧向力，常用导块导向。导块材料一般用 45 钢，热处理硬度 HRC55~60，导块长度宽度比通常为 1:0.2~1:0.5，设置位置可在边缘中心，亦可设在四个角上。设在边缘中心的有三个导向面，设在四角时只有两个导向面。

导块只在凸凹模开始工作前才接触，所以模具操作空间大，适宜的范围宽，一般在工件冲模上使用。

五、模 架

模架是一个组合件，由上模板、下模板、导柱、导套、模柄（小型冲模）等组成（见图7-33）。模具的全部零件都连接在模架上。为了缩短模具制造周期，降低成本，我国已制定出模架标准，有商品模架出售。

目前供选用的模架共有四种：后侧导柱式；对角导柱式；中间导柱式；四角导柱式。

选择模架类型主要根据工件的受力变形特点、坯件定位、出件方式、材料送进方向等进行综合考虑，应使导柱受力好，操纵方便。

选择模架尺寸时要根据凹模的轮廓尺寸考虑，一般在长度上及宽度上都应比凹模大30~40mm。模板厚度一般等于凹模厚度的1~1.5倍。选择模架时还要注意到模架与压力机工作台孔的关系。模板宽度应比孔径每边约大40~50mm。

中、小型冲模常采用后侧式、对角式或对称式的导柱型模架。四角导柱式模架主要用于精度要求高的冲压件和大件。

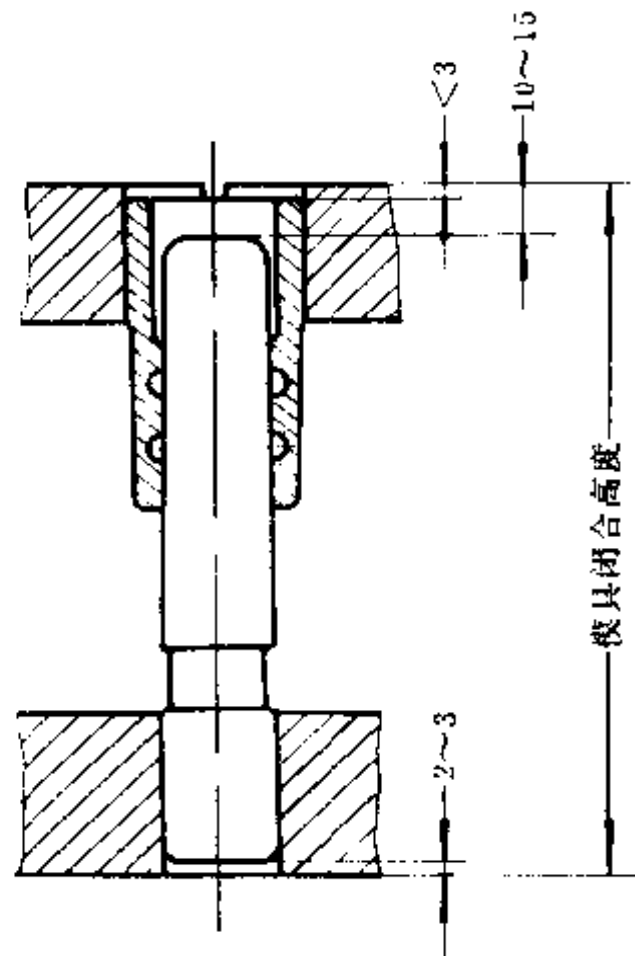


图7-32 导柱导套的装配关系

第六节 冲模常用材料及热处理

冲模是在较大冲击、温升、磨损等状况下工作，尤其是凸模、凹模的工作条件，则更差，所以凸、凹模的材料要求有好的耐磨性、耐冲击性、热变形小、淬透性好、优良的机加工性能等，而且要价格便宜，供货方便。要满足上述全部条件是困难的，所以冲模材料必须根据具体生产条件、用途来选用。目前冲模常用的钢材品种有：

1. 碳素工具钢 T8A T10A

该种材料是冲模中应用最广、价格最便宜的材料，适宜简单形式的冲模。优点是加工性好，有一定硬度；缺点是淬火变形大，耐磨性较差。

2. 低合金工具钢 CrWMn 9CrSi 9MnZr

该种材料有较高的硬度和耐磨性，淬火变形小易淬透，机械加工也容易，所以可以用来制造较复杂形状的冲模。

3. 高碳高铬模具钢 Cr12 Cr12Mo Cr12MoV

这类钢具有强度高、耐磨、易淬透、变形小等优点。用于冲压力大、寿命高、形状

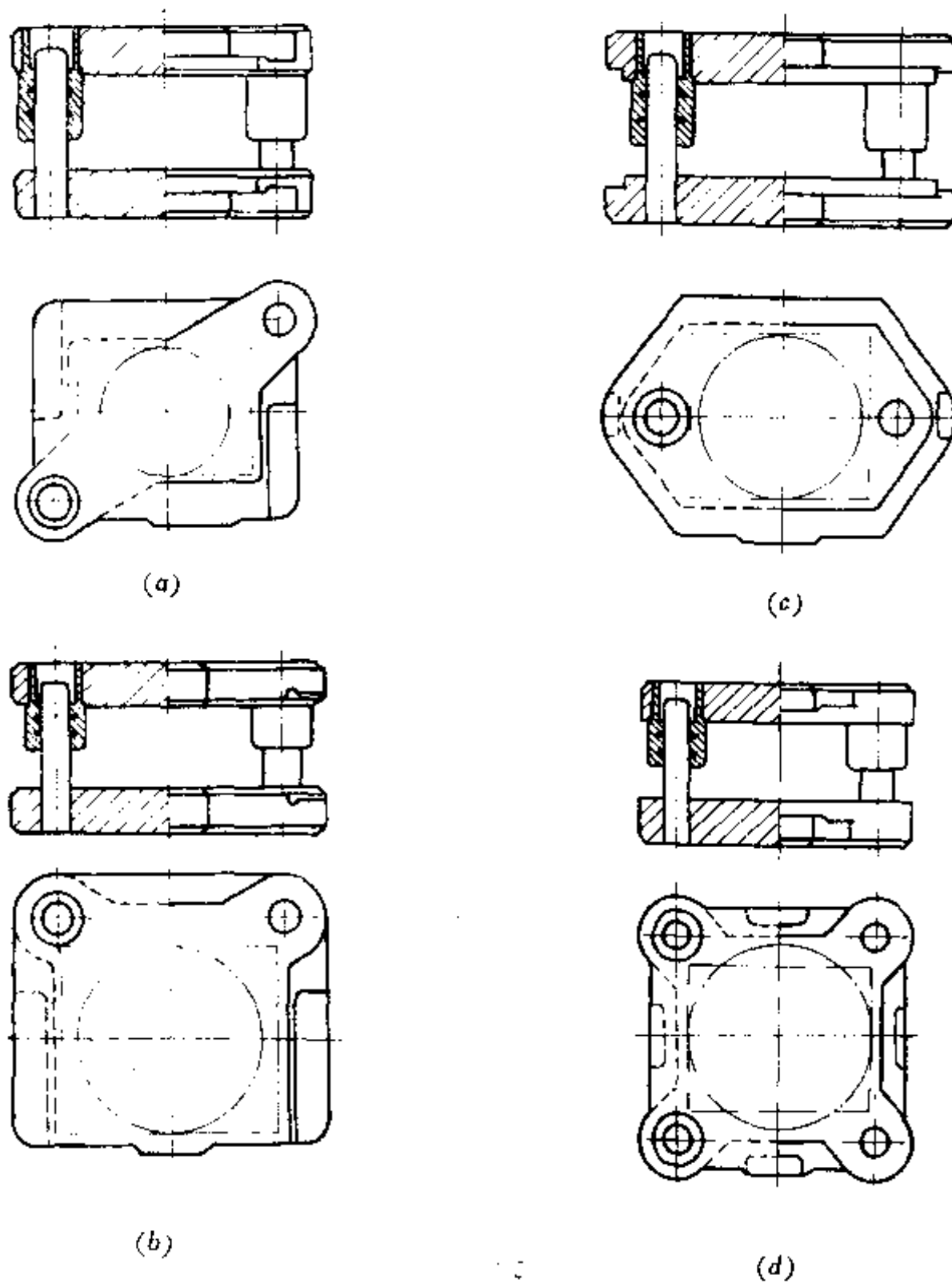


图 7-33 标准模架

(a) 对角导柱模架；(b) 后侧导柱模架；(c) 中间导柱模架；(d) 四导柱模架。

复杂的冲模。

4. 高碳中铬模具钢 Cr6WV Cr4W2MoV

由于含铬量较少，耐磨性、淬透性比 Cr12 稍差，但因加入了 W、Mo、V 元素却提高了钢的稳定性、机械性能和耐磨性。

5. 硬质合金 YG (钨钴类) YT (钨、钴、钛类)

这类材料是以碳化钨、碳化钛为基体，以钴、镍等铁族金属作粘结剂，经烧结而成的一种多相组合材料。其耐磨性、硬度、机械强度都较高。可用作大批量、寿命高的小型冲模。其缺点是不能进行切削加工，价格也较昂贵。

6. 钢结硬质合金 YE

这是一种以合金钢为基体，以碳化钨或碳化钛为硬质相，用烧结方法制造的一种材

料。它既具有合金钢的可锻造、切削加工、焊接及热处理的性能，又具有硬质合金的高硬度、高耐磨性的特点。其使用寿命约为一般模具钢的几十倍至几百倍，是一种很好的模具材料。

冲模的凸、凹模材料及其他零件材料的选用，可参见表 7-11 及表 7-12。

表 7-11 凸模、凹模、马口模及其镶件材料的选用

冲模种类	对冲模的要求	材 料	热处理 HRC	
			凸模	凹模
冲裁模	薄材 ($t < 3$) 简单形状	T8A、T10A	58~62	60~64
	厚材 ($t > 3$) 复杂形状	CrWMn、Cr12MoV 9Mn2V、Cr6WV Cr1W2MoV、GCr15 Cr2Mn2SiWMoV YG15、YE65	58~62	60~64
	高度耐磨 大批量	Cr12MoV YG15、YE65	58~62	60~64
弯曲模	一般要求	T8A、T10A	56~60	
	高度耐磨 大批量生产	CrWMn、Cr12MoV 9Mn2V、Cr6WV Cr1W2MoV、GCr15 Cr2Mn2SiWMoV	60~64	
	加热弯曲	5CrNiMo、5CrNiTi 4Cr5MoSiV 4Cr5Mo2SiV	50~60	
拉深模	一般要求	T8A、T10A	58~62	60~64
	高度耐磨 大批量	Cr12MoV、Cr1W2MoV Cr2Mn2SiWMoV GCr15 YG15、YG20、YE65	58~62	
	加热拉深	5CrNiMo、5CrNiTi 4Cr5MoSiV 4Cr5Mo2SiV	56~60	

表 7-12 冲模一般零件材料选用及热处理

零件名称	材 料	热处理 HRC	
上模板、下模板	HT200, ZG35, A3, A5, 钢 45		
导柱	钢 20, T8A, T10A, GCr15	钢 20 渗碳	60~64
导套		深度 0.8~1.2	58~62
固定板、中垫板、 承料板、侧导板、 模柄	A3, A5, A7		
卸料板、推板、 顶板	钢 45 T10A, T8A, CrWMn	43~48	56~60
顶杆、打杆、打板 挡料销、挡块	钢 45	43~48	
侧刃、废料切刀 导头、导销	T8A, T10A, CrWMn	56~60	
斜楔、滑块 导向块	T8A, T10A	58~62	
压边圈	T8A	54~58	
弹簧、簧片	65Mo, 60Si2Mn	43~48	
销子、螺钉 螺栓	A3 钢 45	(钢 45) 43~48	
螺母、垫圈	A3		

第八章 覆盖件冲模设计

第一节 汽车覆盖件特点与要求

一、汽车覆盖件的特点

(一) 覆盖件的定义

汽车覆盖件(简称覆盖件)是指覆盖发动机、底盘、构成驾驶室和车身的薄钢板异形体的表面零件和内部零件而言。载重汽车的驾驶室、厢式货车的车身、轿车的车前板和车身等都是由覆盖件和一般冲压件构成的。

(二) 覆盖件和一般冲压件的比较

覆盖件与一般冲压件相比较,具有材料薄、形状复杂、多为空间曲面、结构尺寸大和表面质量高等特点。覆盖件在冲压工艺、冲模设计和冲模制造上难度都较大,并具有独自的特点。要想获得一个合格的覆盖件,关键在于拉延、切边冲孔、翻边等工艺方案的确定和模具设计与制造技术,因此对覆盖件及其冲模须作为一类特殊的问题来研究。

(三) 覆盖件的材料

覆盖件是由厚度为 0.6、0.7、0.8、0.9、1.0、1.2、1.5mm 的 08F 或 08Al 的冷轧薄钢板冲压而成。由于覆盖件形状复杂而引起的拉延塑性变形各异和拉延深度不等诸因素,以及正确地选用钢板的拉延性能等级对减少废品率和降低成本是一个重要问题。对于表面质量要求高、形状复杂的外覆盖件,如微型载重汽车前围板、后立柱外蒙皮采用了日本冷轧钢板 SPCE,形状较平坦的顶盖、车门外蒙皮采用了日本冷轧钢板 SPCL。

二、对覆盖件的要求

(一) 表面质量

覆盖件表面质量分 A 级和 B 级,除被遮盖的表面为 B 级外,其余表面均为 A 级。微型载重汽车前围板、车门外蒙皮、后立柱外蒙皮表面质量为 A 级。地板、前轮鼓包等为 B 级。后围板上半部为 A 级,下半部被货厢遮住的部分为 B 级。

1. A 级

覆盖件表面不允许有裂纹、波纹、皱纹、凹痕、边缘拉痕、擦伤以及其他破坏表面完美的缺陷。覆盖件上的装饰棱线、装饰筋条要求清晰、平滑、左右对称及过渡均匀。覆盖件之间的装饰棱线衔接处应吻合,不允许参差不齐。表面上一些微小缺陷都会在涂漆后引起光的漫反射而损坏外观。

2. B 级

覆盖件表面不允许有裂纹,但允许有轻微的拉痕、波纹,筋条棱线要求清晰、平滑、

过渡均匀。

（二）尺寸和形状应符合覆盖件图 and 主模型

覆盖件图只能表示一些投影的主要尺寸。标注出外形以及孔、窗孔、局部凸包和其他类似部分的尺寸。过渡部分的尺寸则均依据主模型。由于覆盖件形状复杂、空间曲面多，覆盖件图是无法表示出来，只能依赖于主模型。因此，主模型是覆盖件图必要的补充，是立体产品图。主模型的用途是覆盖件冲模、焊接夹具和检验夹具制造的依据。

冲制好的覆盖件要用检验夹具来检查。检验夹具是对覆盖件及其组合件的形状（配合型面、搭接面）轮廓尺寸和孔位尺寸进行检查测量的综合性专用检测工具。它具有准确高效的检验功能，对于提高覆盖件质量，提高覆盖件的组合件焊装质量，提高整个车身的质量起到重要的作用。

（三）刚性

在拉延过程中，由于材料的塑性变形不够，而使覆盖件的一些部位刚性差，造成覆盖件受振动后就会产生空洞声。这种现象表现为敲击拉延件时其音频不一，用手按时并发生“乒乓”声。用这样的覆盖件装车，在汽车行驶中要发生振动，造成覆盖件的早期损坏。这种情况多产生在曲面平滑的覆盖件上。

（四）工艺性

覆盖件的工艺性关键在于拉延的可能性和可靠性，即拉延的工艺性。而拉延工艺性的好坏主要取决于覆盖件的形状。如果覆盖件能进行拉延，对于拉延以后的工序仅是确定工序数和安排工序间的先后顺序问题。覆盖件一般都是一道工序拉延。为了实现拉延或造成良好的拉延条件，将翻边展开，窗口补满再加添工艺补充部分构成一个拉延件。工艺补充部分是拉延件必不可少的组成部分。拉延以后要将工艺补充部分修掉，所以工艺补充部分也是冲压工艺上必要的材料消耗。工艺补充部分的多少首先取决于覆盖件复杂程度。覆盖件复杂程度对于材料的性能有一定的要求，拉延深度深的，形状复杂的覆盖件要用 08F—Z 级或 08A1—ZF 级、SPCE（日本深拉延级）钢板进行拉延。

三、覆盖件的工艺分类

为了便于编制冲压工艺和设计冲模，按覆盖件的拉延复杂程度和其本身所具有的特点，对覆盖件进行工艺分类。拉延复杂程度是指拉延的深度和形状的复杂性。其具有的特点是覆盖件本身有无对称面。根据已有的覆盖件归纳和分析可做如下分类：

- （1）对称一个平面的覆盖件，如微型载重汽车前围板、后围板、顶盖等。
- （2）不对称的覆盖件，如车门外蒙皮、车门内蒙皮、后立柱外蒙皮、地板等。
- （3）可以成双冲压的覆盖件，如前轮鼓包、地板鼓包、门下框外蒙皮、门下框侧围内封板、门下框前内侧板、门上框外蒙皮、前立柱上部内蒙皮等。
- （4）覆盖件本身有凸缘面的覆盖件，如车门内蒙皮、后围板等。
- （5）压弯成形的覆盖件，如微型双排座汽车后门下门框外蒙皮、后门上框外蒙皮、后门框上横梁内蒙皮等。

第二节 拉延件的确定

一、确定拉延方向

(一) 确定拉延方向的重要性及其原则

确定拉延方向是拉延件工艺设计首先遇到的问题。它不但决定能否拉延出满意的拉延件来,而且影响到工艺补充部分的多少和压料面形状,以及拉延后各工序(如整形、修边、翻边)的方案。因此,必须慎重考虑拉延方向。

覆盖件本身有对称面的,其拉延方向是以垂直于对称面的轴进行旋转来确定。这类覆盖件平行于对称面的坐标线是不改变的,拉延方向也较易确定。不对称的覆盖件是绕汽车位置相互垂直的两个坐标面进行旋转来确定拉延方向的。这类覆盖件的拉延方向确定后,其投影关系改变较大。经过确定拉延方向,其坐标相互关系完全不改变的拉延方向称为处于汽车位置;其坐标关系有改变的拉延方向称为处于非汽车位置。

(二) 确定拉延方向必须考虑的问题

1. 保证凸模能够进入凹模

确定拉延方向首先应保证凸模能够进入凹模,这类问题主要出现在某些覆盖件的某一部位或局部形状成凹形或有反拉延。为了使凸模能够进入凹模,只能使拉延方向满足于凹形或反拉延的要求,因此覆盖件本身的凹形和反拉延的要求决定了拉延方向。如图 8-1 所示为覆盖件的凹形决定了拉延方向的示意图。图(a)所示的拉延方向表明凸模不能进入凹模拉延,如将此覆盖件旋转一角度,采用如图(b)所示的拉延方向,凸模才能进入凹模拉延。如图 8-2 所示为覆盖件的反拉延决定了拉延方向的示意图,其形状决定了拉延方向必须平行窗口侧壁面。

按以上所述情况确定的拉延方向对于整个覆盖件拉延有较大影响时,则应考虑整个覆盖件的拉延。将凸模不能进入凹模的凹形和反拉延部分,给予适当的改变而使凸模能够进入凹模,在拉延以后的适当工序中再整回原状,使其符合覆盖件图 and 主模型的要求。图 8-3 所示为微型载重汽车顶盖的拉延方向,若按箭头 1 所示的拉延方向,虽满足了窗口部分的凸模能够进入凹模的要求,但凸模开始拉延时与拉延毛坯接触面积小而又不在中间,这样在拉延过程中拉延毛坯容易产生开裂和坯料窜动而影响表面质量,因此不能采用。考虑到整个形状的拉延条件,改变为按箭头 2 所示的拉延方向,其优点是凸模顶部是平的,凸模开始拉延时与坯料接触面积大而又在中间,有利于拉延,但窗口部分凸模不能进入凹模,则必须改变窗口部分凹形的形状。其方法是从 A 线往左弯成垂直面,在拉延以后适当的工序中再整回来。改变部分与整回来部分的材料应是相等的。

2. 凸模开始拉延时与拉延毛坯的接触状态

开始拉延时凸模与拉延毛坯的接触状态应保持接触面大,接触面位于冲模中心。如图 8-4 所示为凸模开始拉延时与拉延毛坯的接触状态示意图。

(1) 凸模开始拉延时与拉延毛坯的接触面积要大(见图 8-4a) 若接触面积小,且接触面与水平面夹角 α 大,会使应力集中容易产生裂纹。

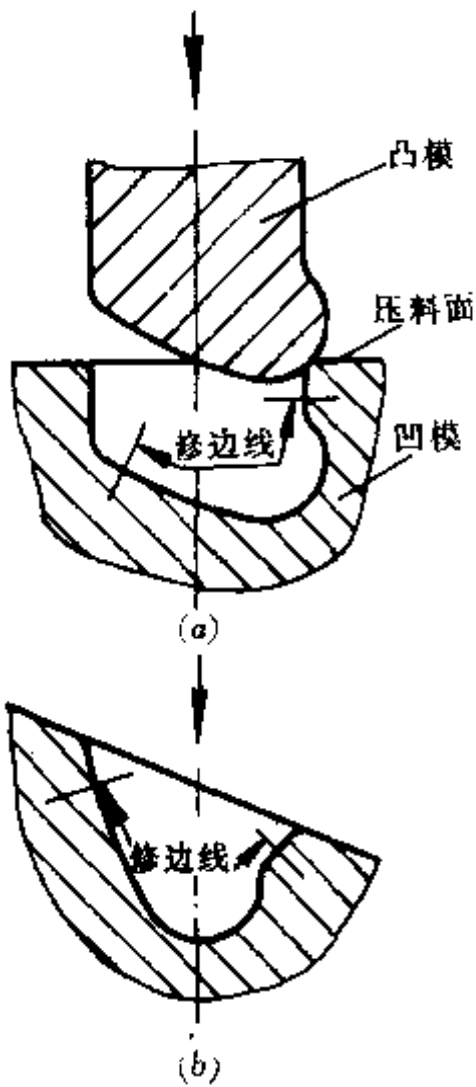


图 8-1 覆盖件的凹形决定了拉延方向的示意图
(a) 凸模不能进入凹模拉延;
(b) 凸模能进入凹模拉延。

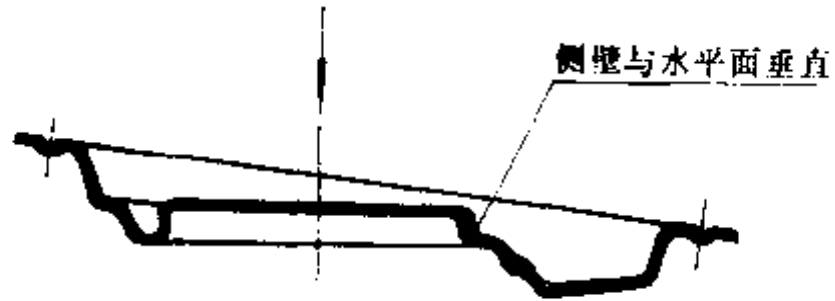


图 8-2 覆盖件的反拉延决定了拉延方向的示意图

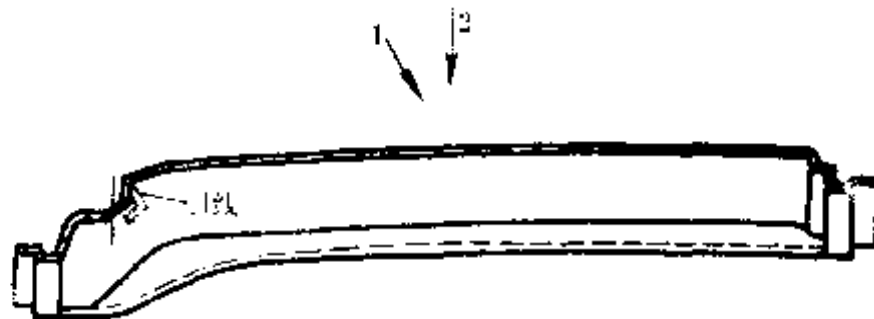


图 8-3 微型载重汽车顶盖的拉延方向

(2) 凸模开始拉延时与拉延毛坯的接触地方应接近中间部分(见图 8-1b) 这样凸模在拉延过程中使材料均匀拉入凹模。如果接触地方不接近中间, 则在拉延过程中, 拉延毛坯经凸模顶部由于窜动而影响表面质量。

(3) 凸模开始拉延时与拉延毛坯的接触地方要求多、且分散, 最好同时接触(见图 8-1c) 若不同时接触, 则在拉延过程中, 也会由于经凸模顶部产生窜动而影响拉延件的表面质量。为了使凸模开始拉延时与拉延毛坯接触地方多又分散, 可改变拉延方向, 改善接触状态。若拉延方向因拉延件形状确定了不能改变(见图 8-1d)。只有在工艺补充部分想办法, 即改变压料面形状为倾斜面, 使两个地方同时接触。

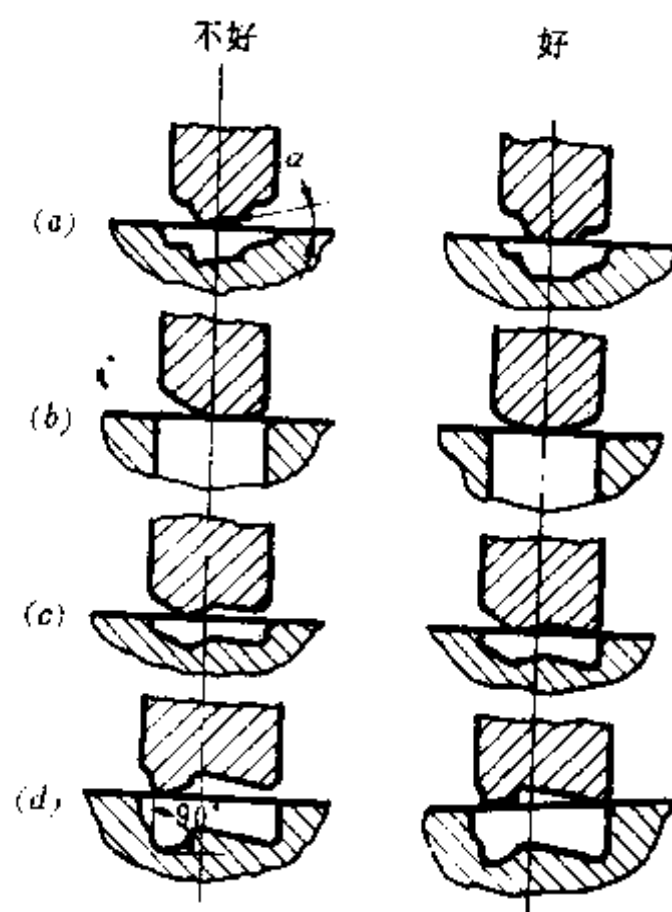


图 8-4 凸模与毛坯的接触状态

(a) 接触面应大；(b) 接触地方应接近中间；

(c) 接触地方要多且同时接触；(d) 改变压料面形状。

3. 压料面各部位进料阻力要均匀

拉延深度均匀是保证压料面各部位进料阻力均匀的主要条件。进料阻力不一样，在拉延过程中拉延毛坯就有可能经凸模顶部窜动，严重的会产生破裂和皱纹。如图 8-5 所示为微型双排座汽车立柱的上段，若将拉延方向旋转 6° ，则使压料面两端一样高，进料

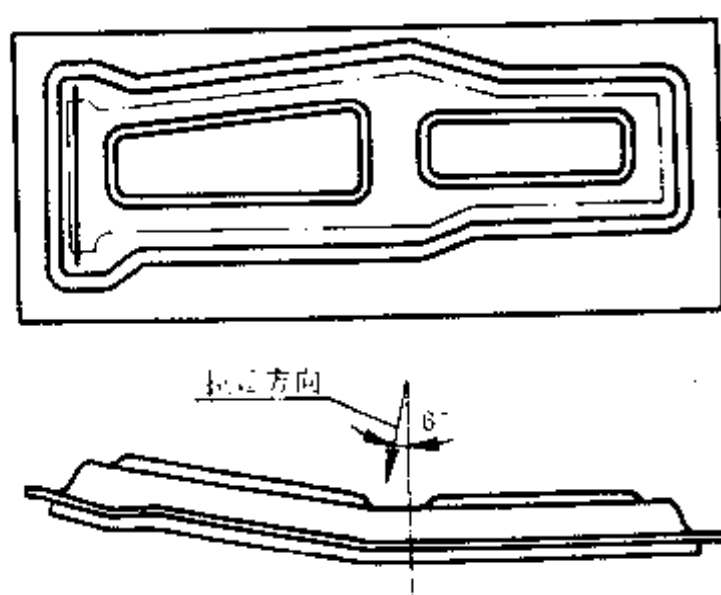


图 8-5 微型双排座汽车立柱上段的拉延方向

阻力均匀，同时凸模开始拉延时与拉延毛坯的接触地方接近中间，拉延成形好。

二、工艺补充部分

(一) 工艺补充部分的作用

为了实现拉延，将覆盖件上的翻边展开，窗口补满，再加上工艺补充部分构成一个拉延件。工艺补充部分是拉延件不可缺少的组成部分，它的确定直接影响到拉延成形。以及拉延后修边、整形、翻边等工序的方案。因此，必须慎重考虑工艺补充部分。

(二) 确定工艺补充部分必须考虑的问题

1. 拉延深度尽量浅

拉延深度的大小直接影响到拉延成形。拉延深度深，拉延困难，拉延时容易产生开裂。拉延深度浅，拉延成形容易。因此，工艺补充部分应尽量使拉延深度浅，便于拉延成形。

2. 尽量采用垂直修边

垂直修边比水平或倾斜修边工艺补充部分少，模具结构简单，废料也好排除。

3. 工艺补充部分尽量小

工艺补充部分在拉延以后将被修掉，所以工艺补充部分也是工艺上必要的材料消耗，因此在能够拉延出满意的拉延件的条件下，尽可能减少工艺补充部分，这样可节约材料。

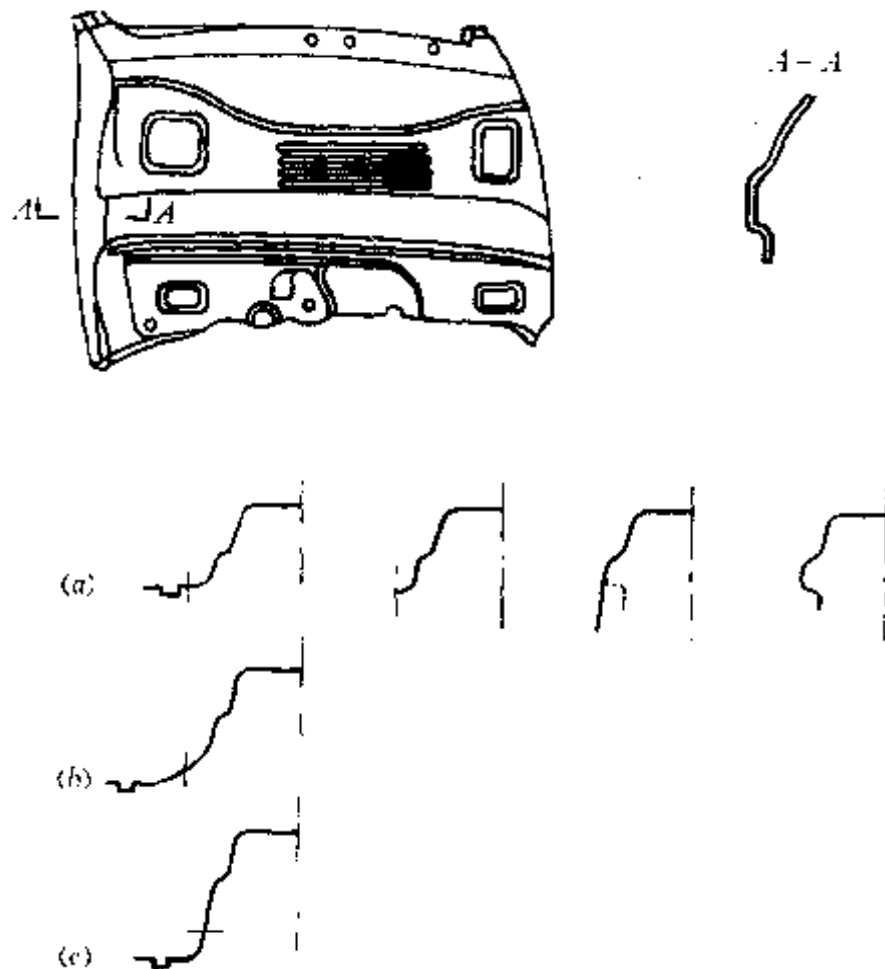


图 8-6 微型汽车前围板拉延件工艺补充部分的三个方案
(a) 将翻边展开成水平面；(b) 将翻边展开成斜面；(c) 将翻边展开成垂直面。

如图 8-6 所示为微型汽车前围板，拉延件工艺补充部分三个方案的比较示意图。

(1) 方案 该工艺，将翻边展开成水平面，再加工艺补充部分，垂直修边。

(2) 方案 将翻边展开成斜面，再加工艺补充部分，垂直修边。

(3) 方案 将翻边展开成垂直面，再加工艺补充部分，水平修边。

以上三个方案只有(1)方案最好，拉延深度浅，易成形。垂直修边模具结构简单，工艺补充部分最小，节约材料。

4. 定位可靠

要考虑拉延件在修边时和修边以后工序的定位可靠。拉延件在修边时和修边以后工序的定位必须在确定拉延件工艺补充部分时考虑，一定要定位可靠，否则会影响修边和翻边的质量。深的拉延件如微型汽车前围板、后围板、左右车门内蒙皮等均用拉延件侧壁定位。浅的拉延件如微型汽车顶盖、左右车门外蒙皮、地板等用拉延槛定位。而对一些不能用拉延件侧壁和拉延槛定位的零件，应采用拉延时穿刺孔或冲工艺孔来定位。如图8-7所示为微型汽车前窗上内侧板拉延时冲的工艺孔。

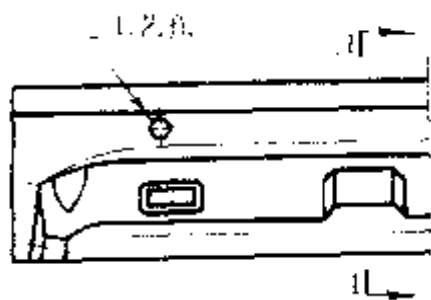


图8-7 内侧板拉延时冲的工艺孔

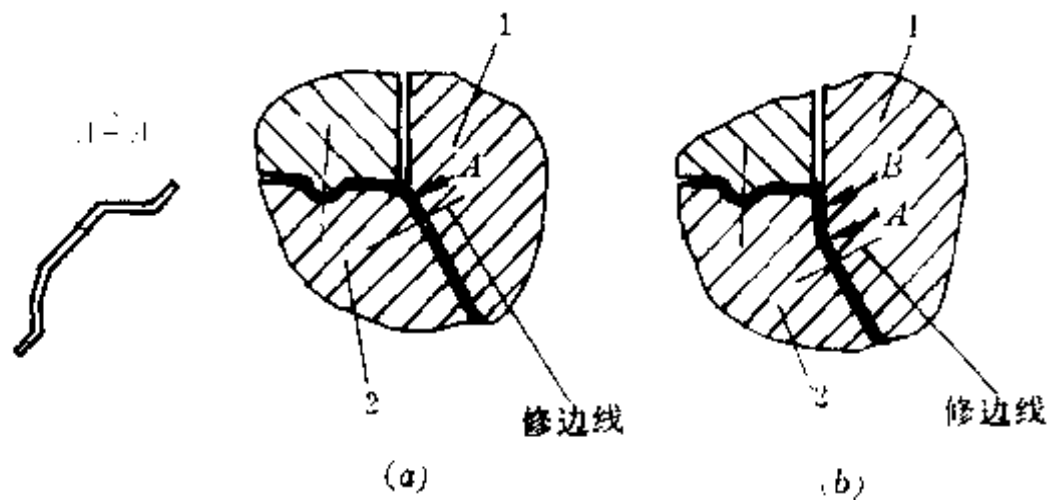


图8-8 拉延条件示意图

(a) 没有直壁；(b) 有直壁。

1—凸模；2—凹模。

5. 拉延条件

对斜面大的拉延件要考虑凸模对拉延毛坯的拉延条件。凸模对拉延毛坯的拉延条件(材料紧贴凸模)主要取决于拉延件形状。如图8-8所示为拉延件形状决定凸模对拉延毛坯的拉延条件示意图。图(a)所示为拉延件没有直壁，因此凸模1的A点一直到下死点才和拉延毛坯接触。如果由于进料阻力小，在拉延过程中斜壁部分已经形成了波纹，虽然凸模1和凹模2最后是压合的，也不可能将波纹压平。如在拉延件工艺补充部分上加一直壁AB(见图8-8b)，这样凸模1和凹模2之间就形成一段垂直料厚间隙AB，在拉延直壁AB的过程中，增大了进料阻力，使拉延毛坯紧贴凸模成形，这样可以减少或消除拉延过程中产生的波纹，同时也增加了拉延件的刚度。直壁AB一般取10~20mm，因此，表面质量要求高的拉延件最好加一段直壁。

(三) 工艺补充部分的种类

工艺补充部分的种类如图8-9所示。

1. 修边线在拉延件压料面上，垂直修边，压料面就是覆盖件本身的凸缘面(见图8-9a)

修边线至拉延筋的距离A应保证修磨拉延筋槽而不影响到修边线，同时应考虑覆盖件开口端朝下放置修边时凹模刃口的强度，一般取25mm。拉延凹模圆角半径 r_d 应根据覆

盖件具体情况来确定，由于覆盖件要求的圆角半径一般都比较小，采用它作拉伸凹模圆

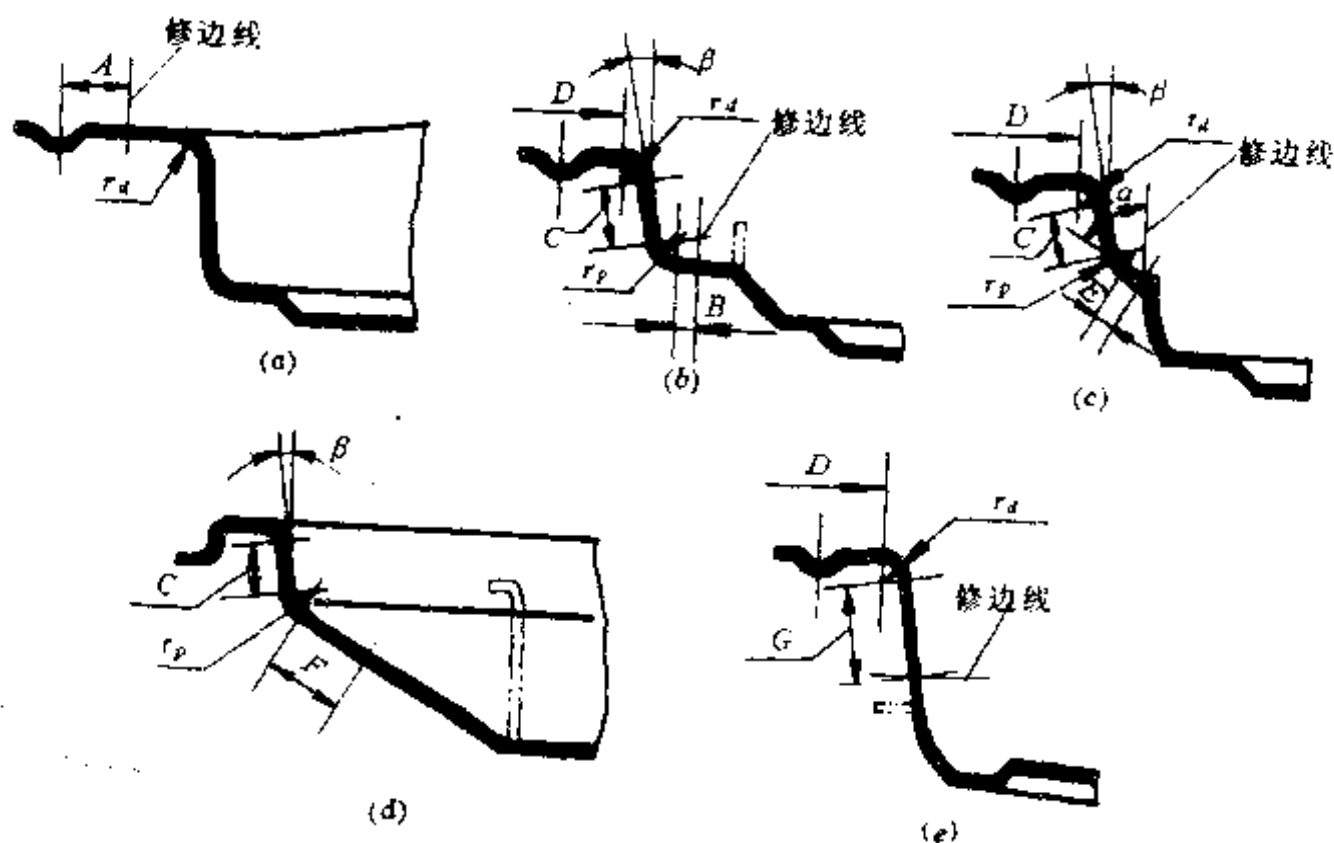


图 8-9 工艺补充部分的种类

- (a) 修边线在拉伸件压料面上，垂直修边；(b) 修边线在拉伸件底面上，垂直修边；
 (c) 修边线在拉伸件翻边展开斜面上，垂直修边；(d) 修边线在拉伸件的斜面上，垂直修边；
 (e) 修边线在拉伸件侧壁上，水平修边。

角半径是不可能的，必须加大，利用以后的工序进行整压圆角。

2. 修边线在拉伸件底面上，垂直修边（见图 8-9b）

修边线距凸模圆角半径 r_c 的距离 B 应保证凸模圆角磨损而不影响到修边线，一般取 $3 \sim 5\text{mm}$ 。凸模圆角半径 r_c 应根据拉伸深度和形状来确定，一般取 $3 \sim 10\text{mm}$ 。对于拉伸深度浅和直线部分，取下限，对于拉伸深度深的和曲线形状部分，取上限。凹模圆角半径 r_d 对拉伸毛坯的阻力影响很大，因此，其半径大小必须适当， r_d 一般取 $6 \sim 10\text{mm}$ 。凹模圆角半径 r_d 以外的压料面部分 D 一般按一根或一根半拉伸筋来选取。

3. 修边线在拉伸件翻边展开斜面上，垂直修边（见图 8-9c）

修边线至凸模圆角半径 r_c 的距离 E 和图 8-9 (b) 中的 B 相似。修边方向和修边表面的夹角 α 应不小于 60° ，如 α 角过小，修出的边切面过尖，同时凸模刃口成钝角，容易产生毛刺。

4. 修边线在拉伸件的斜面上，垂直修边（见图 8-9d）

修边线是按覆盖件翻边轮廓展开的，有些翻边轮廓复杂，如果拉伸件轮廓完全平行于修边线，则使拉伸件轮廓复杂，拉伸条件不好。应尽量使拉伸件轮廓成规则形状，因此修边线距凸模圆角半径 r_c 的距离 F 是变化的，一般只控制几个最小的尺寸。为了从拉伸模中取出拉伸件和放入修边模定位方便，拉伸件侧壁斜度 β 一般取 $3^\circ \sim 10^\circ$ 。拉伸件侧壁深度 C 应考虑定位稳定和可靠，同时根据压料面形状的需要，一般取 $10 \sim 20\text{mm}$ 。

5. 修边线在拉伸件侧壁上，水平修边（见图 8-9e）

修边线至凹模圆角半径 r_f 的距离 G 根据压料面形状的需要，不能完全平行于修边线，局部地方可能很大，一般只控制几个最小尺寸，这个尺寸应考虑凹模镶块的强度。

三、确定压料面形状

(一) 压料面形状对拉延的作用

压料面是工艺补充部分的一部分，即凹模圆角半径以外的那一部分。凸模对拉延毛坯开始拉延前，压料圈将拉延毛坯压紧在凹模压料面上。压料面的形状不但要保证压料面上的材料不皱，更重要的是保证拉入凹模的材料不皱不裂。

压料面有两种：

(1) 压料面就是覆盖件本身的凸缘面，这种拉延件的压料面形状是既定的。为了便于拉延，压料面形状能作局部修改，但必须在以后工序中进行整形以达到覆盖件凸缘面的要求。

(2) 压料面是由工艺补充部分补充而成的。压料面形状应能使压料圈将拉延毛坯压紧在凹模压料面上形成压料面形状，而不形成皱纹和折痕，以保证凸模对拉延毛坯有良好的拉延条件，否则在拉延过程中会使拉延件形成波纹和皱纹，产生破裂。

(二) 确定压料面形状必须考虑的问题

1. 降低拉延深度

拉延深度的大小直接影响拉延成形。因此，在确定压料面时应考虑降低拉延深度，以便拉延成形。如果压料面就是覆盖件本身的凸缘面，压料面形状是既定的，也就不存在降低拉延深度的问题。

使拉延毛坯在压料圈和凹模压料面压紧下成一定的弯曲形状是降低拉延深度的主要方法。如图 8-10 所示的微型载重汽车，左右车门外蒙皮的拉延件，压料面形状就考虑了降低拉延深度这一要求，而使压料面形状沿覆盖件形状成凹形弯曲并使拉延深度均匀。

为了降低拉延深度并使拉延毛坯服贴地压紧在压料面上，因此压料面的某些局部就形成了如图 8-11 所示的压料面的倾斜角。平的压料面（见图 8-11a）其压料效果最好。向上倾斜的如图 8-11（b）所示的锥形或碗形的压料面，其倾斜角 ϕ 不小于 60° ，太小会形成皱纹，同时也会给压料圈强度带来一定的影响。在特殊情况下压料面向下倾斜如图 8-11（c）所示，这是覆盖件本身的凸缘面所决定的，压料效果最差。微型载重汽车左右车门内蒙皮的拉延件，压料面有一部分是向下倾斜的。

2. 凸模对拉延毛坯一定要有拉伸作用

这是确定压料面形状必须充分考虑的一个重要因素。有时为了降低拉延深度而确定的压料面形状，虽然满足了拉延毛坯的弯曲形状，但是凸模对拉延毛坯没有拉伸作用，因而不能采用。只有在压料面展开长度比凸模表面展开长度短时，凸模才能对拉延毛坯产生拉伸作用。如图 8-12 所示为压料面展开长度比凸模表面展开长度短的示意图。

有些拉延件虽然压料面展开长度比凸模表面展开长度短，可是并不一定能保证最后不形成波纹或皱纹。因为在凸模的整个拉延过程中，在每一瞬间位置，压料面的展开长度与凸模表面展开长度相比有时短，有时长，短则凸模对拉延毛坯产生拉伸，长则形成

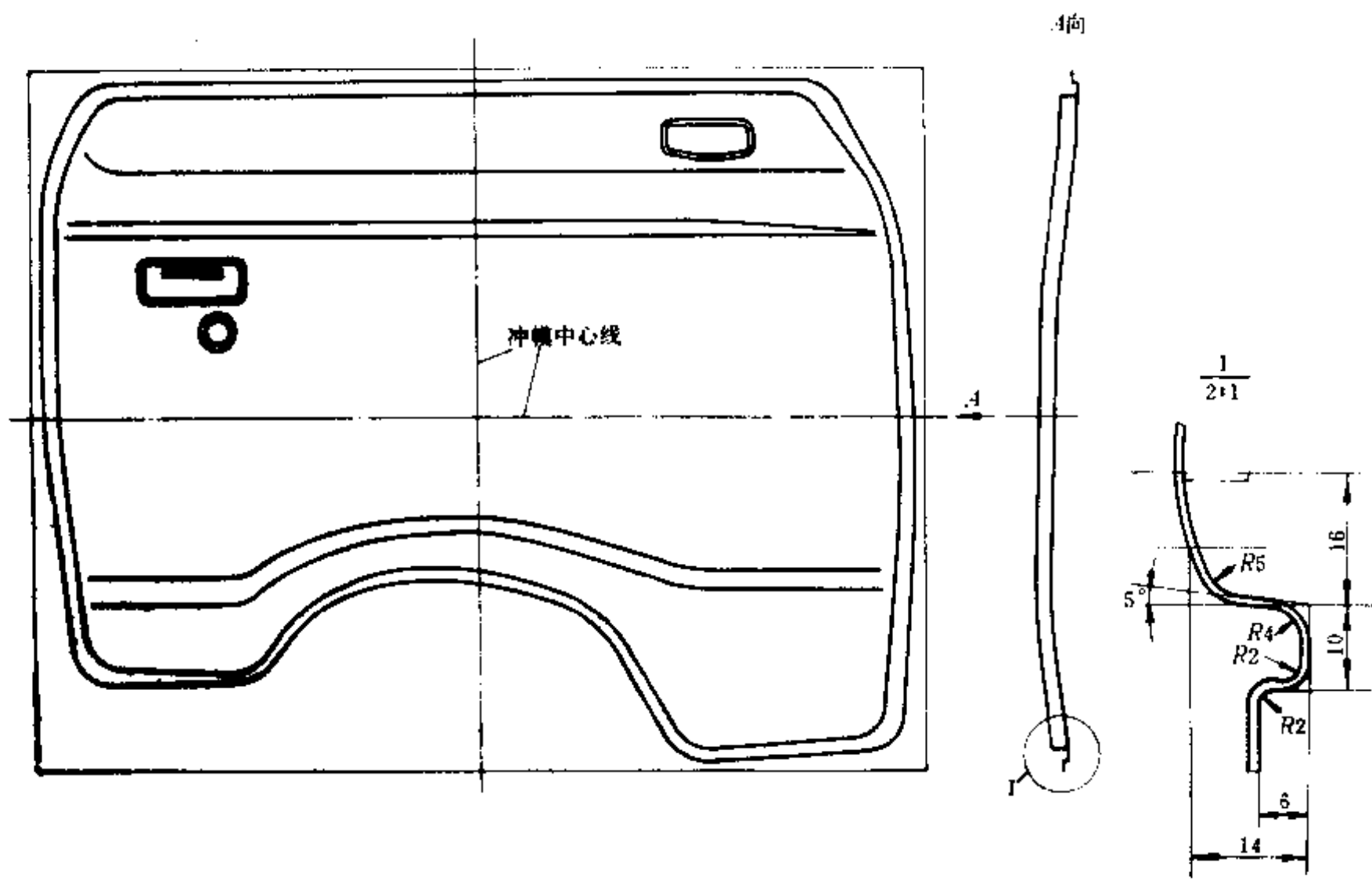


图 8-10 微型载重汽车左右车门外蒙皮拉伸件

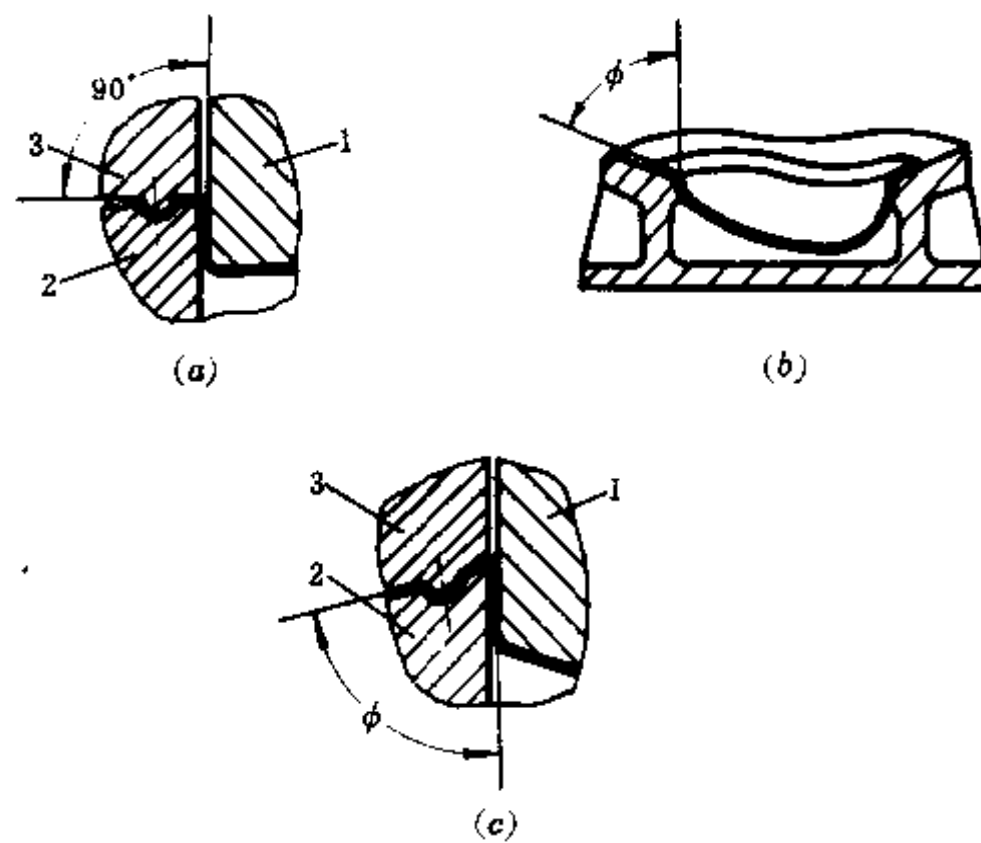


图 8-11 压料面的倾斜角

(a) 平的压料面；(b) 向上倾斜的压料面；(c) 向下倾斜的压料面。

1—凸模；2—凹模；3—压料圈。

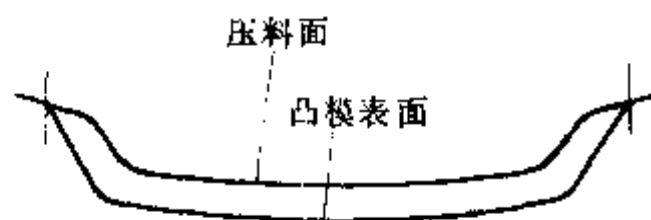


图 8-12 压料面展开长度比凸模表面
展开长度短的示意图

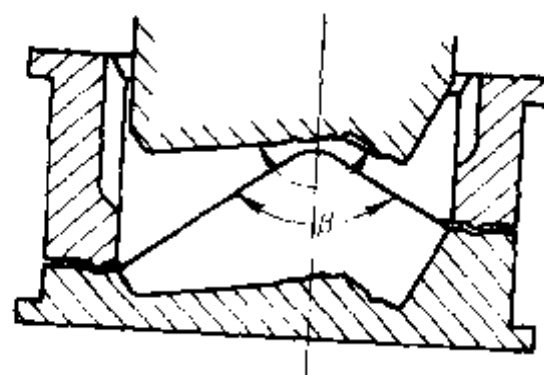


图 8-13 压料面形状

波纹或皱纹。若拉伸过程中形成的波纹或皱纹少，再往下继续拉伸则可能消除，最后拉出满意的拉伸件来；若形成的波纹或皱纹多，再往下继续拉伸也无法消除，最后留在拉伸件上。如何判断形成的波纹或皱纹的多少是很困难的。如图 8-13 所示的压料面形状，虽然压料面展开长度比凸模表面展开长度短，可是压料面夹角 β 比凸模表面夹角 α 小，因此在凸模的整个拉伸过程中，有几个瞬间位置压料面展开长度比凸模表面展开长度长，形

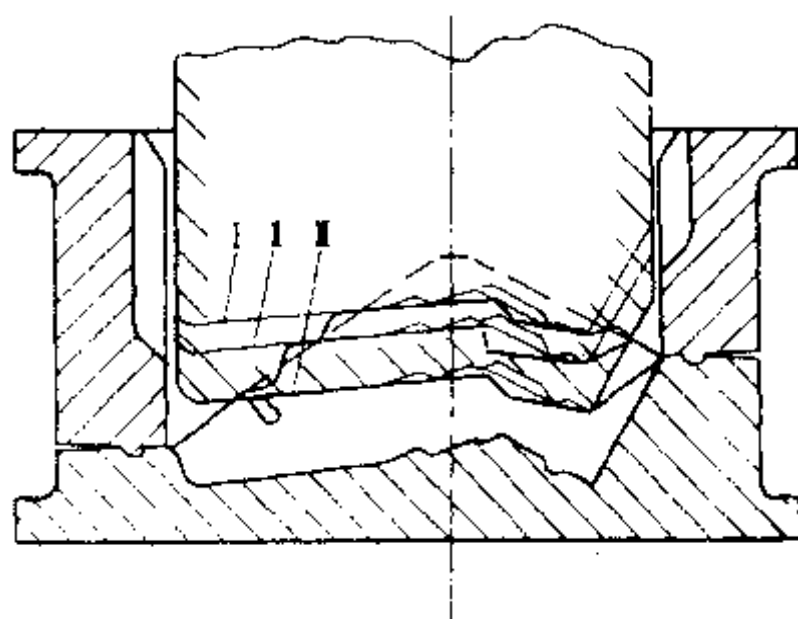


图 8-14 三个瞬间位置形成皱纹的示意图

成的皱纹比较大，往下继续拉伸也无法消除，最后留在拉伸件上。如图 8-14 所示为凸模拉伸过程中的三个瞬间位置形成皱纹的情况。故图示压料面是不能采用的。压料面夹角 β 和凸模表面夹角 α 的关系也是判断是否形成波纹或皱纹的一个很好的依据。因此在确定压料面时，除了满足压料面展开长度比凸模表面展开长度短这个条件外，同时压料面夹角 β 必须比凸模表面夹角 α 大，即 $\beta > \alpha$ ，这样才能避免产生波纹和皱纹。 β 和 α 两个夹角都是小于 180° 的。

3. 凹模里凸包的要求

如图 8-15 所示凹模里的凸包必须低于压料面。凹模里的凸包如高于压料面，开始

拉延时，拉延毛坯受凹模内的凸包弯曲而变形，压料面没压到坯料，即没起到压料的作用，这样拉延就要起皱、开裂，而不能成形。

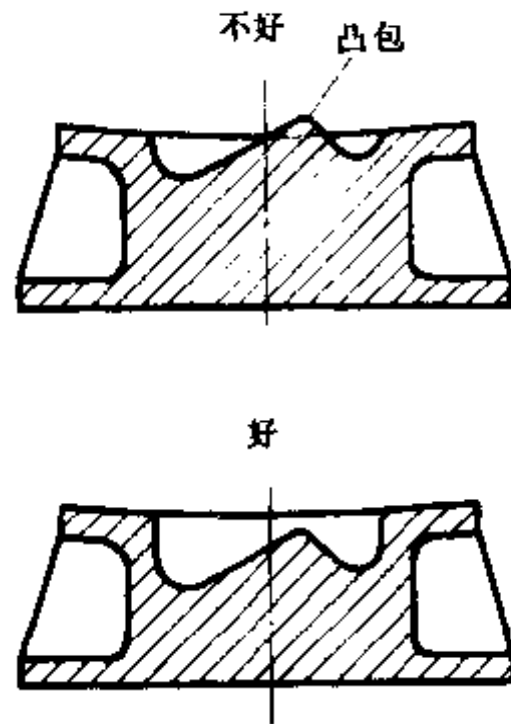


图 8-15 凹模里的凸包示意图

四、工艺孔和工艺切口

覆盖件上有局部反拉延时，为了创造良好的反拉延条件，往往加大该部分的圆角和使侧壁成斜度，避免在反拉延中圆角处的破裂，在以后适当的工序中将圆角或侧壁再整形。更深的反拉延可用加大圆角和侧壁成斜度的方法达到，若还产生破裂，则必须采取工艺孔和工艺切口的方法来解决（见图 8-16）。

图示的工艺孔和工艺切口是在拉延过程中，窗口反拉延成形到即将产生破裂时冲出或切出的。这时材料已不能从外部流入，往下继续反拉延，在冲孔或切口处的材料便由内向外流动以满足反拉延成形。根据反拉延深度和形状可冲出或切出一个、两个或数个工艺孔或工艺切口。工艺孔和工艺切口的位置、大小和形状应保证不因拉应力过大而产生径向裂口、波及覆盖件表面；又不因拉应力过小而形成波纹。工艺孔和工艺切口必须放在拉应力最大的拐角处，因此冲工艺孔和切工艺切口的时间、位置、大小和形状都应在调整拉延模时试验决定。对有工艺孔和工艺切口的双动拉延模^①，由于导板导向的精度不高，造成工艺孔和工艺切口之间的间隙不稳定，致使刃口容易啃坏，并有冲出或切出的碎渣落在凹模表面，而影响拉延件的表面质量，故需经常擦拭凸模和凹模。对有工艺孔和工艺切口的单动拉延模可采用导板和导柱复合导向，这样工艺孔和工艺切口之间的间隙稳定，刃口不容易啃坏。有工艺孔和工艺切口的拉延模在制造装配上困难。因此在可能条件下应尽量不用工艺孔和工艺切口，而从覆盖件设计上想办法，如降低窗口反拉延深度，用加大圆角和具有斜度的侧壁成形出反拉延，或在拉延毛坯上预冲工艺孔。

① 见本章第三节。

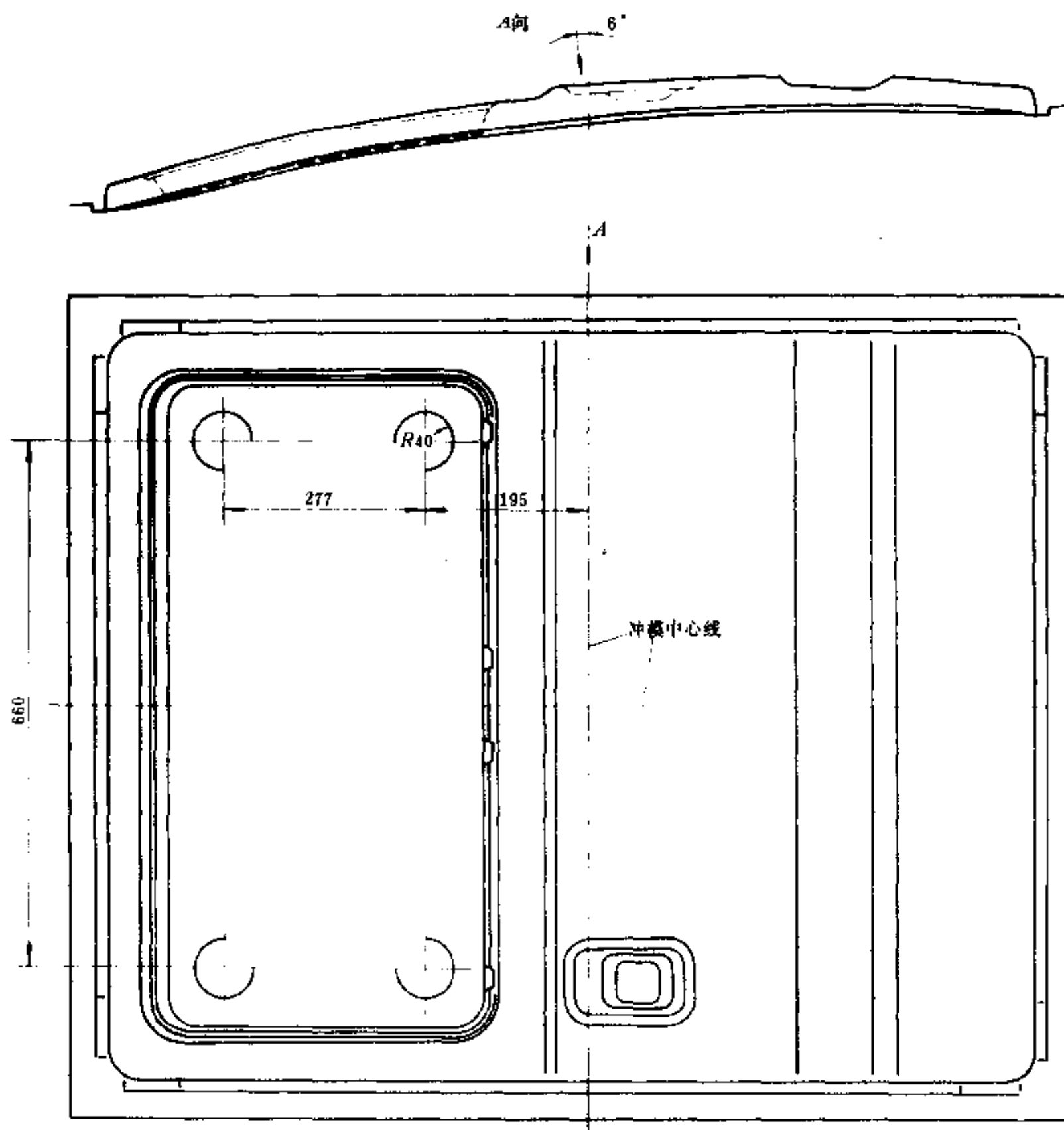


图 8-16 左右中滑门外蒙皮窗口反拉伸的四个工艺切口

第三节 拉伸模设计

一、拉伸模的典型结构

拉伸模可分为单动拉伸和双动拉伸。采用单动拉伸的优点在于：(1) 模具结构简单，制造容易，价格比双动拉伸模低；(2) 便于实现自动化，提高生产率。现国外覆盖件生产已有采用全自动多工位压力机的趋势。

在设计拉延模时应考虑模具结构紧凑、轻巧、导向可靠、工人送料和取件操作方便、安全可靠。

(一) 单动拉延模的典型结构

单动拉延模是按单动压力机设计的。图 8-17 所示为单动拉延模结构示意图。该模主要由凹模 1、凸模 2 (下模座可与凸模作成一体, 也可分开)、压料圈 3 三大件组成。凹模 1 安装在压力机的滑块上, 凸模 2 安装在压力机下工作台面上, 凸模与压料面之间、凹模与压料圈之间都有导板导向。

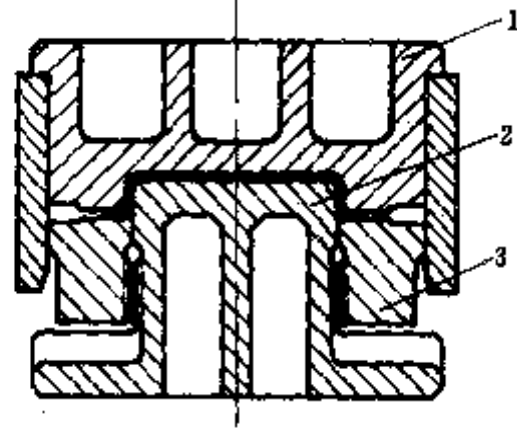


图 8-17 单动拉延模结构示意图
1—凹模；2—凸模；3—压料圈。

如图 8-18 所示为微型载重汽车左右车门外蒙皮单动拉延模 (图 8-10 为其拉延件图)。此拉延模是按 J36-800 闭式双点单动压力机设计的。模具主要由凸模 6、凹模 1、压料圈 5 三大件及一些辅助零件组成。限位螺钉 14 用于限制压料圈向上的位置, 限位块 3 用于模具在冲压到位时限位, 同时也可调整凹模与压料圈之间的间隙, 到位标志器 13 是检验拉延件压到位的标志, 导板 12 用于凸模与压料圈导向, 导板 4 用于凹模与压料圈导向, 定位块 9 用于坯料定位, 定位键 10 用于模具在压力机工作台的 T 形槽中定位, 顶杆 7 用于顶件和压料。

(二) 双动拉延模的典型结构

双动拉延模是按双动压力机设计的。如图 8-19 所示为双动拉延模结构示意图。模具主要由凸模 1、压料圈 2、凹模 3 三大件组成。凸模 1 安装在双动压力机的内滑块上, 压料圈 2 安装在双动压力机外滑块上, 凹模 3 安装在双动压力机工作台面上, 凸模与压料圈之间、凹模与压料圈之间都有导板导向。

如图 8-20 所示为微型载重汽车后围板双动拉延模。它是按 D4-600-400 闭式四点双动压力机设计的。

二、结构尺寸参数

拉延模的凸模、凹模、压料圈都采用铸件, 要求既要尽量减轻重量又要有足够的强度, 因此铸件上非重要部位应挖空, 影响到铸件强度的部位应加添立筋。现在国内外广泛采用实型铸造, 其优点: (1) 缩短了模型制造周期 (一般铸造用木模型铸造, 木模型加工周期长, 实型铸造采用聚苯乙烯泡沫塑料作模型, 加工容易); (2) 铸件的表面质量比一般铸件好; (3) 铸件加工余量比一般铸件小; (4) 节约原材料, 实型铸造铸件壁薄、轻, 比一般铸件可节约 30% 的原材料。

如图 8-21 所示为拉延模结构的尺寸参数, 其数值见表 8-1。

下模座与凸模分开制作; 一般采用 25 钢, 模板厚度采用 50~60mm。

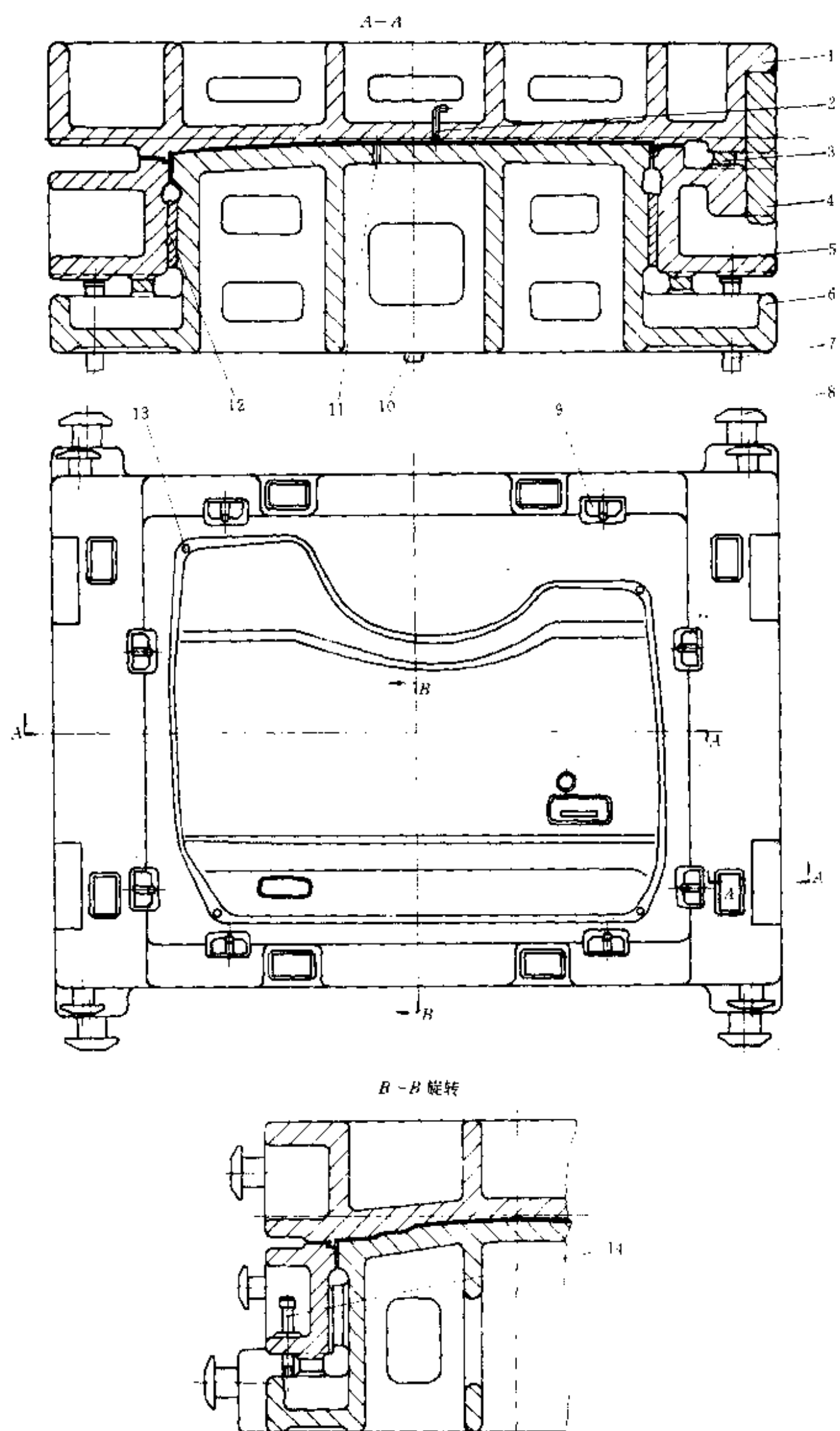


图 8 18 微型载重汽车左右车门外蒙皮单动拉延模

1—凹模；2、11—通气孔；3—限位块；4—导板；5—压料圈；6—凸模；7—顶杆；
8—起重棒；9—定位块；10—定位键；12—导板；13—到位标志器；14—限位螺钉。

表 8-1 拉延模结构尺寸参数 (mm)

模具的长边尺寸	加强筋间隔 H	t_1	t_2	t_3	t_4
~600	≤ 200	≥ 35	30	30	25
600~1200	≤ 300	≥ 40	30	35	28
1200~2000	≤ 300	≥ 50	36~40	40	32
2000~3000	≤ 300	≥ 60	40~45	45	38
3000~	≤ 300	≥ 75	50~62	50~62	48

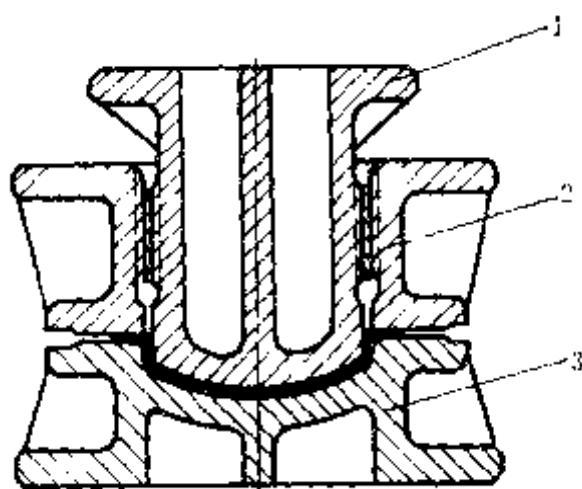


图 8-19 双动拉延模结构示意图

1—凸模；2—压料圈；3—凹模。

三、压料圈内轮廓和凸模外轮廓之间的空隙

(一) 凸模外轮廓和压料圈内轮廓

凸模外轮廓就是拉延件轮廓。为了保证凸模外轮廓的尺寸，沿压料面有一段 40~60mm 的直壁必须加工，直壁往上呈 45° 斜度，缩小 15~20mm 为不加工面，如图 8-22 所示。压料圈内轮廓是套在凸模外轮廓外面的，同样沿压料面有一段 40~60mm 的直壁必须加工，直壁往上呈 45° 斜度，加大 15~20mm 为不加工面，如图 8-23 所示。

(二) 压料圈内轮廓和凸模外轮廓之间的空隙

压料圈内轮廓和凸模外轮廓之间应有一定的间隙，既要保证压料圈压料作用，又要便于制造。一般取 1~3mm，如图 8-24 所示。

四、导向

拉延模的导向包括两个方面：压料圈和凹模的导向；凸模和压料圈的导向。

(一) 压料圈和凹模的导向

1. 导板导向

用于形状简单、水平推力较小的覆盖件的单动拉延模。如微型载重汽车顶盖、左右车门外蒙皮、地板等单动拉延模压料圈和凹模的导向都是采用四个导板导向，导板装在凹模上，如图 8-18 左右车门外蒙皮单动拉延模所示。

图 8-25 所示为单动拉延模压料圈和凹模导板导向示意图。

导板尺寸 $a : b = 1 : (0.3 \sim 0.5)$;

$a = 70 \sim 250\text{mm}$ 。

图 8—25 (a) 为加油式导板, 使用时须加油润滑, 材料为 T8A 淬火 HRC52~56。

图 8—25 (b) 为给油式导板, 不须加油能自动给油润滑, 材料为铸铁, 固体润滑剂润滑, 这种导板国外已广泛采用。

2. 背靠块导向

背靠块是与凹模或压料圈做成一体的导向块, 能承受较大的水平推力, 所以多用于形状较复杂的覆盖件单动或双动拉延模。背靠块导向有中间背靠块导向和角式背靠块导向两种形式。

(1) 中间背靠块导向 即背靠块导向放置在模具中间。如微型载重汽车后立柱外蒙皮单动拉延模、前围板和后围板等双动拉延模压料圈和凹模的导向都是采用中间背靠块导向。

图 8—26 所示为单动拉延模中间背靠块导向示意图。防磨板 3 装在易加工螺孔的面上, 两侧防磨板装在凹模 1 的凸台上, 中间防磨板装在压料圈 2 的凹槽内。

图 8—27 所示为双动拉延模中间背靠块导向示意图。两侧防磨板 2 装在压料圈 1 的凸台上, 中间防磨板 2 装在凹模 3 的凹槽内。凹槽导向面之间的距离 A 决定于压料面的长度, 距离 A 等于压料面长度再加 20~40mm。凹槽导向面的宽度 B 一般取 $1/3 \sim 1/2$ 压料面外形轮廓的宽度。

(2) 角式背靠块导向 即背靠块导向放置在模具四角, 用于宽度较大的模具。如微型厢式货车顶盖双动拉延模压料圈和凹模的导向均采用了角式背靠块导向。

图 8—28 所示为双动拉延模角式背靠块导向示意图。防磨板 2 装在凹模 3 的凹槽内。

3. 背靠块和导柱复合导向

用于既切角又拉延的覆盖件的单动或双动拉延模。背靠块和导柱复合导向又可分为中间背靠块和导柱复合导向及角式背靠块和导柱复合导向两种形式。如微型载重汽车左右门下框外蒙皮的单动拉延模采用了中间背靠块和导柱复合导向, 左右车门内蒙皮双动拉延模采用了角式背靠块和导柱复合导向。

如图 8—29 所示为微型载重汽车左右门下框外蒙皮拉延件。为了节约下料模和下料工序, 将切角合并拉延模上, 切角的凸模在压料圈上, 切角的凹模在凹模上, 为了保证切角凸、凹模之间的间隙稳定, 压料圈和凹模的导向采用了中间背靠块和导柱复合导向。

如图 8—30 所示为单动拉延模中间背靠块和导柱复合导向示意图。导柱安装在压料圈上, 导套装在凹模背靠块上。

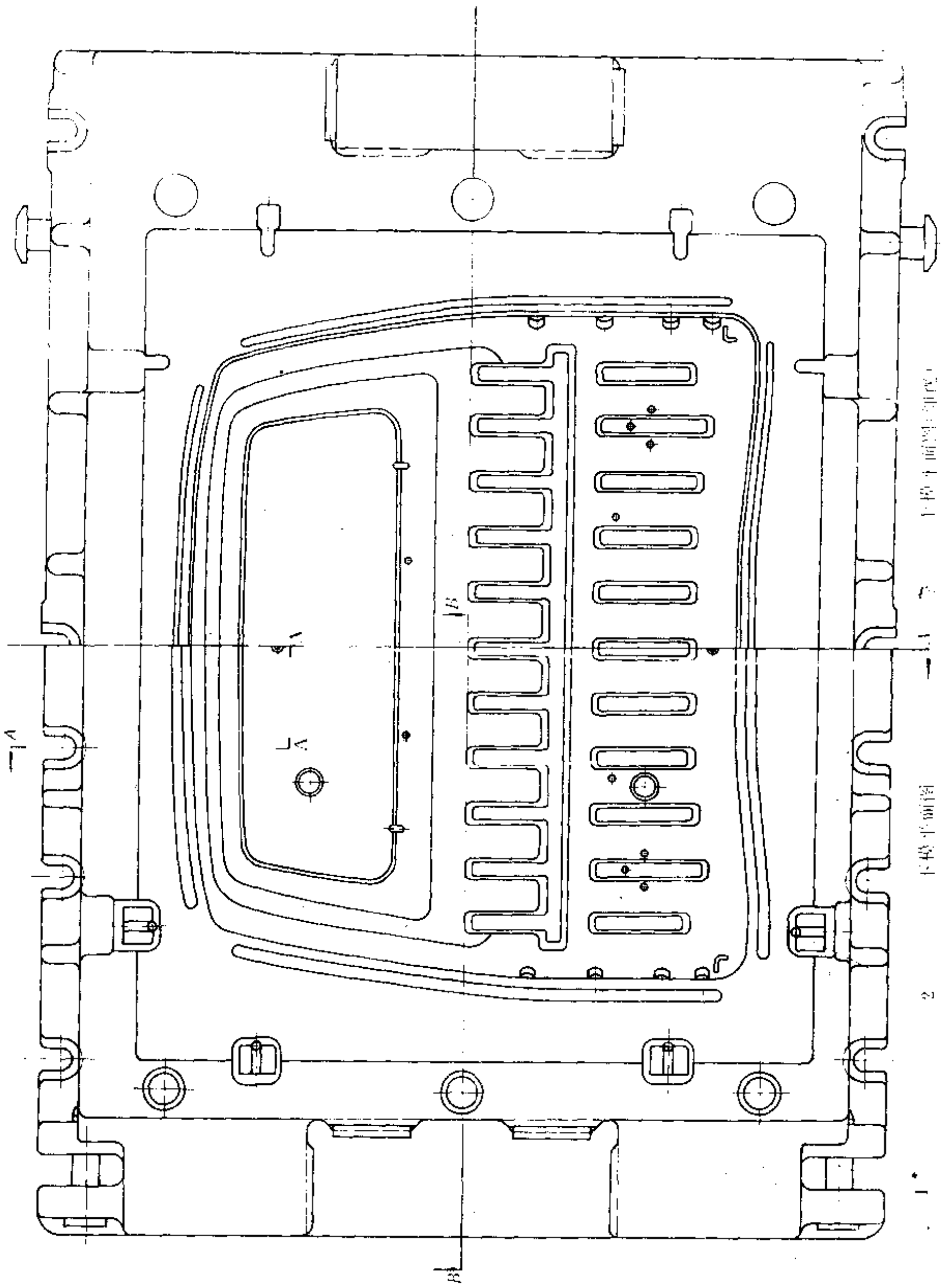
如图 8—31 所示为双动拉延模角式背靠块和导柱复合导向示意图。导柱安装在凹模 6 上, 导套 4 装在压料圈 1 背靠块上。

防磨板有加油式和给油式两种形式, 其材料和结构尺寸与图 8—34 凸模和压料圈导向导板相同。

(二) 凸模和压料圈的导向

凸模和压料圈是用 4~8 对导板导向, 导板应放置在凸模外轮廓的直线或形状最平滑的部位。

图 8—32 所示为单动拉延模凸模和压料圈导向结构示意图。导板 2 装在易加工螺孔的凸模 3 上。



1. 模子面型(剖视图)

2. 模子平面图

2

1.

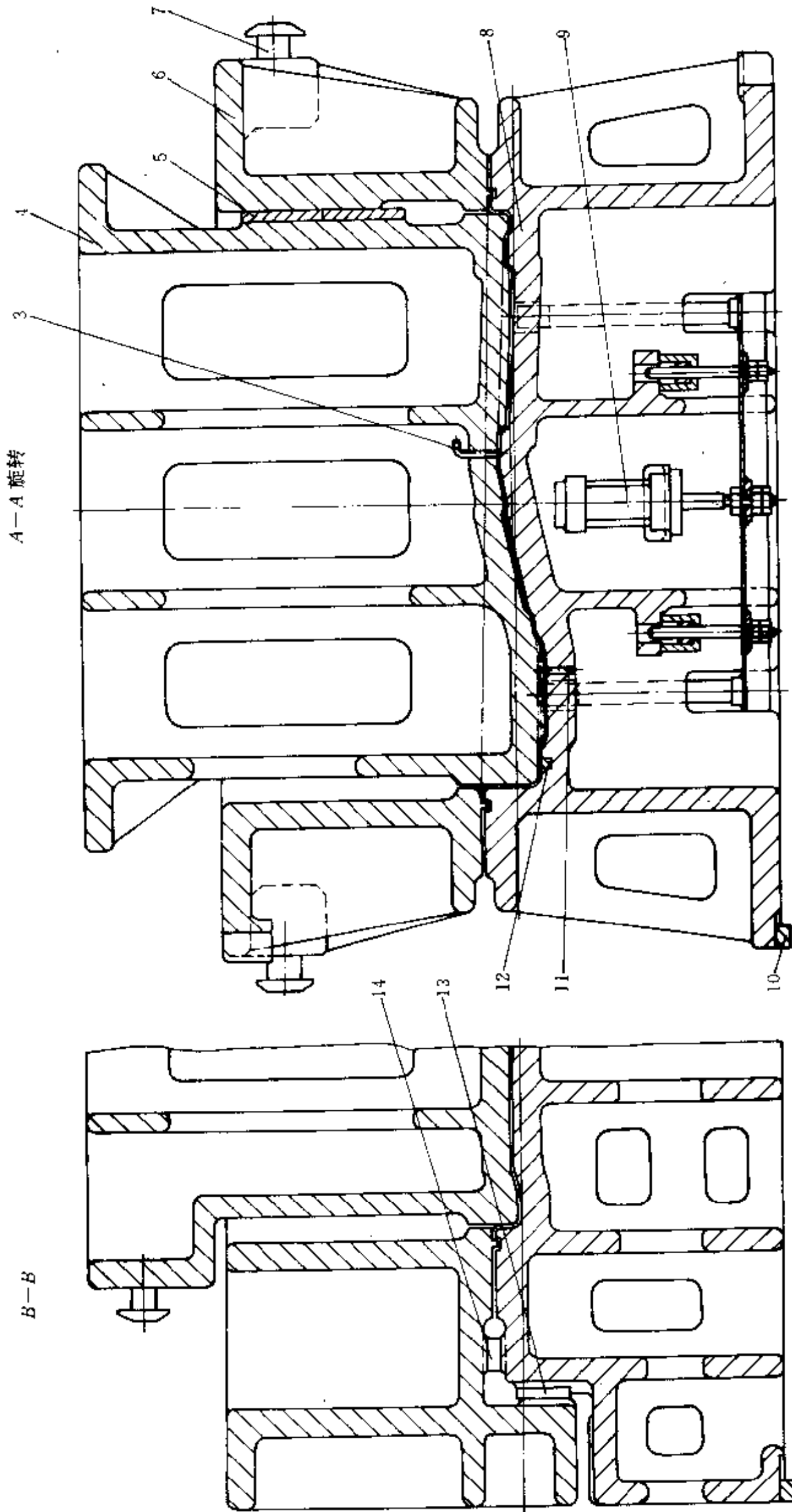


图 8-20 微型载重汽车后围板双动拉延模
 1—起重棒；2—定位块；3、11—通气孔；4—凸模；5—导板；6—压料圈；7—起重棒；8—凹模；9—顶件装置；
 10—定位键；12—到位标志器；13—防磨板；14—限位块。

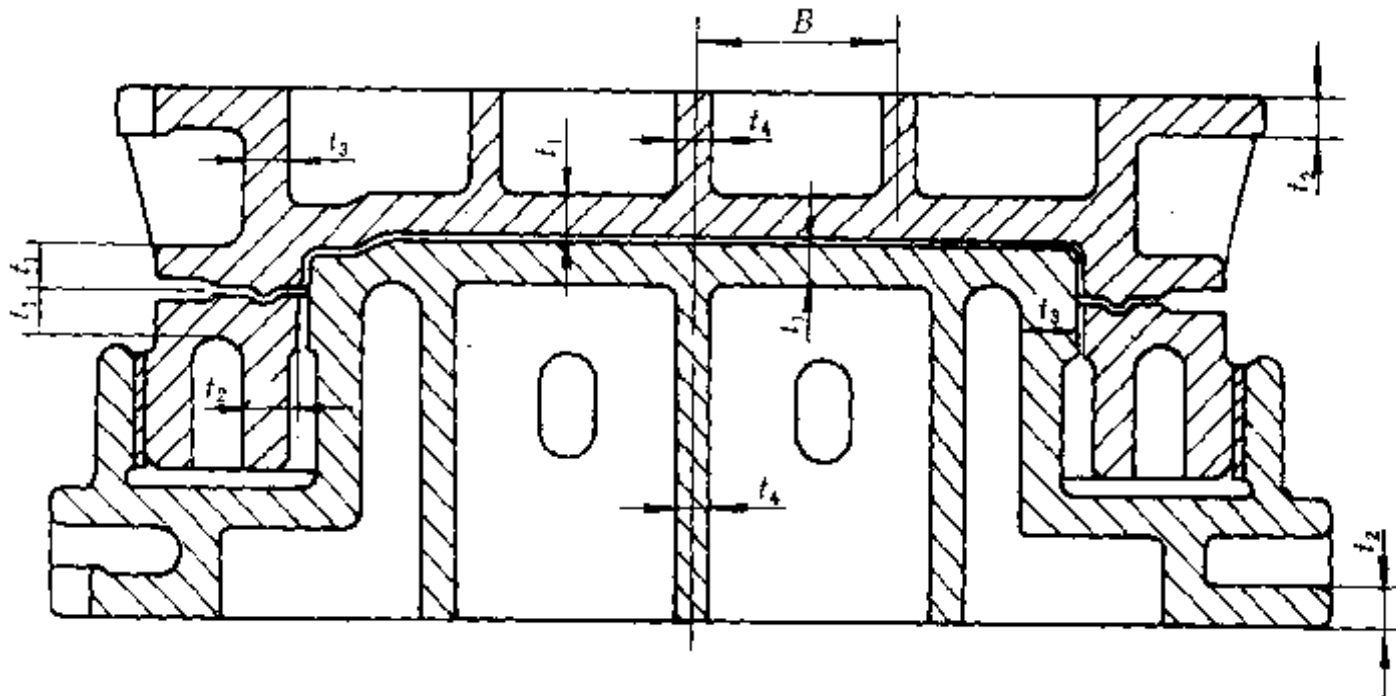


图 8-21 拉延模结构尺寸参数

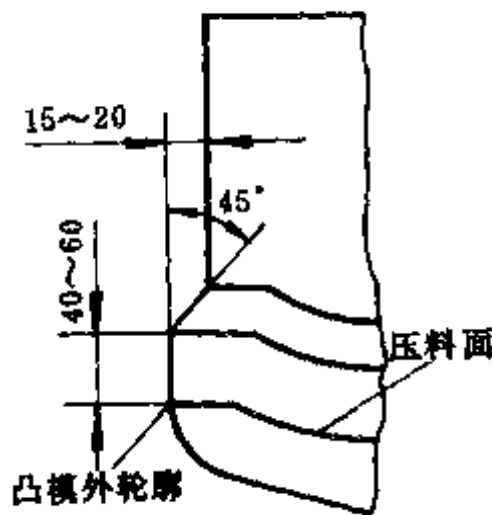


图 8-22 凸模外轮廓

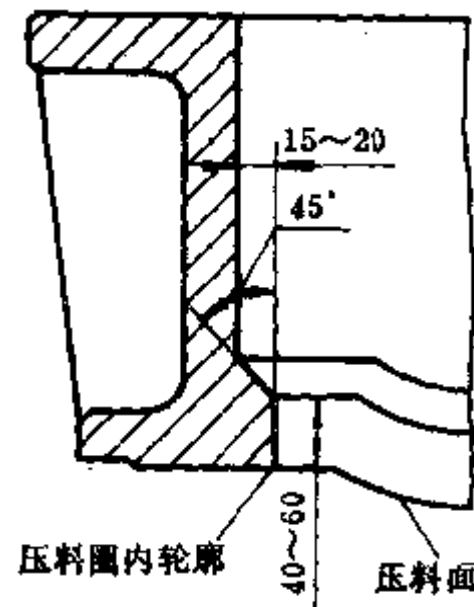


图 8-23 压料圈内轮廓

如图 8-33 所示为双动拉延模凸模和压料圈导向结构示意图。导板装在凸模上。图 (a) 所示为拉延开始时凸模和压料圈的导向，凸模导板进入压料圈导向面不小于 50mm。图 (b) 所示为拉延结束时凸模和压料圈的导向，凸模导板应不脱离压料圈导向面。

导板有加油式和给油式两种，如图 8-34 所示。

五、拉延筋和拉延槛

(一) 拉延筋的作用

在确定拉延方向、工艺补充部分和压料面形状之后，再确定是否设置拉延筋，而拉延筋可以改善零件的拉延条件。拉延筋在压料面上能增加压料面上各部位的进料阻力，以控制毛坯金属的流向。如果拉延筋

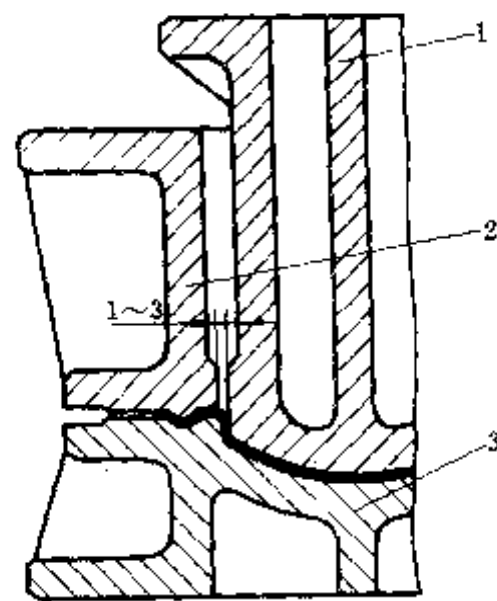


图 8-24 压料圈内轮廓和凸模外轮廓之间的空隙
1—凸模；2—压料圈；3—凹模。

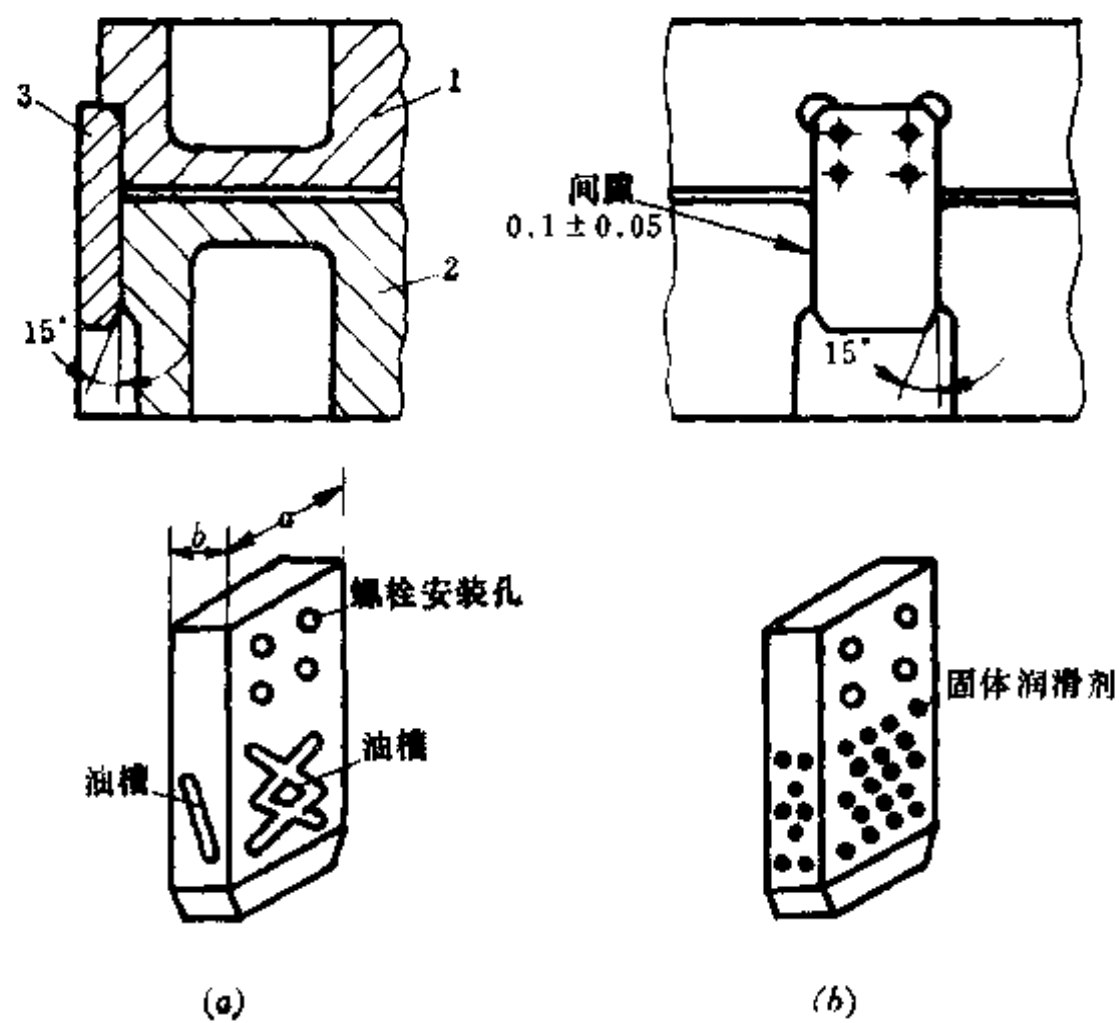


图 8-25 单动拉延模导板导向示意图

(a) 加油式导板；(b) 给油式导板。

1—凹模；2—压料圈；3—导板。

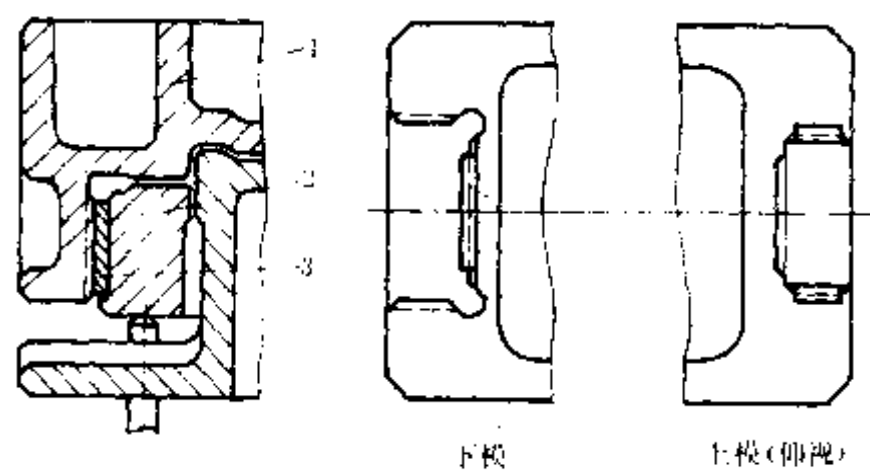


图 8-26 单动拉延模中间背靠块导向示意图

1—凹模；2—压料圈；3—耐磨板。

的位置、根数和形状处理不当，也不能拉延出满意的覆盖件。

拉延筋的作用如下：

(1) 增加径向拉应力 增设了拉延筋之后，压料面之间的拉延毛坯除受径向拉应力和切向压应力外，还承受反复的弯曲应力，致使径向拉应力增加，进料阻力也随着增加。

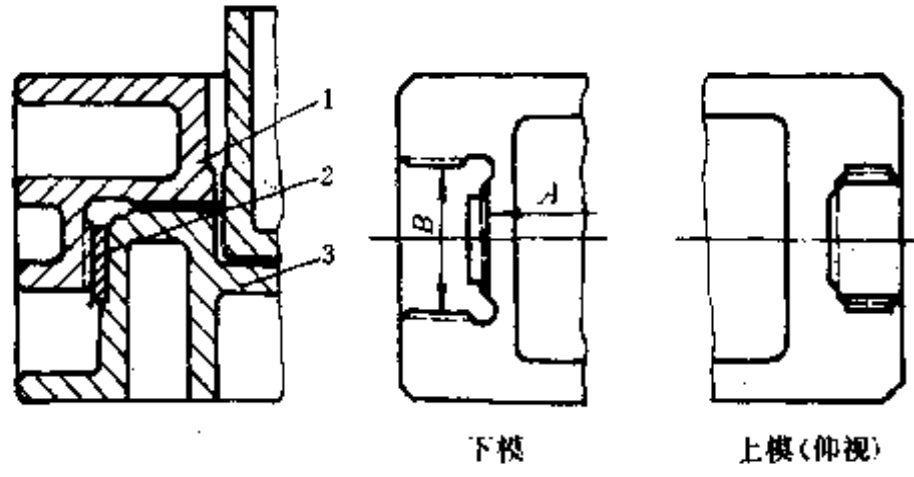


图 8-27 双动拉伸模中间背靠块导向示意图
1—压料圈；2—防磨板；3—凹模。

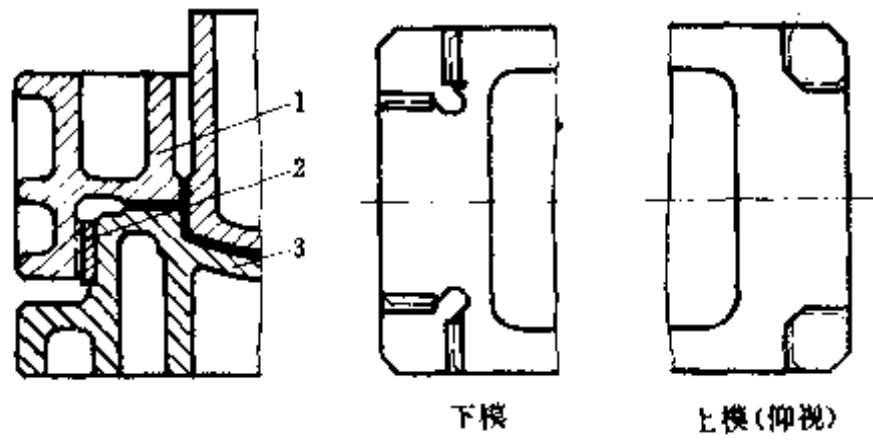


图 8-28 双动拉伸模角式背靠块导向示意图
1—压料圈；2—防磨板；3—凹模。

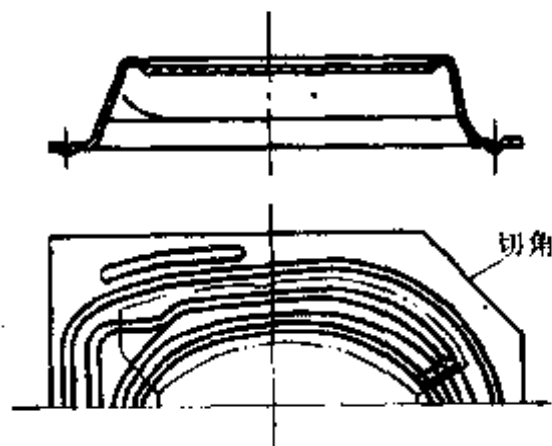


图 8-29 微型载重汽车左右门下框外蒙皮拉伸件

(2) 控制进料阻力 调节材料的流动情况，使各部位进料阻力均匀。由于直线部分拉伸变形小，进料阻力小，圆角部分拉伸变形较大，进料阻力也大，因此，在直线部分

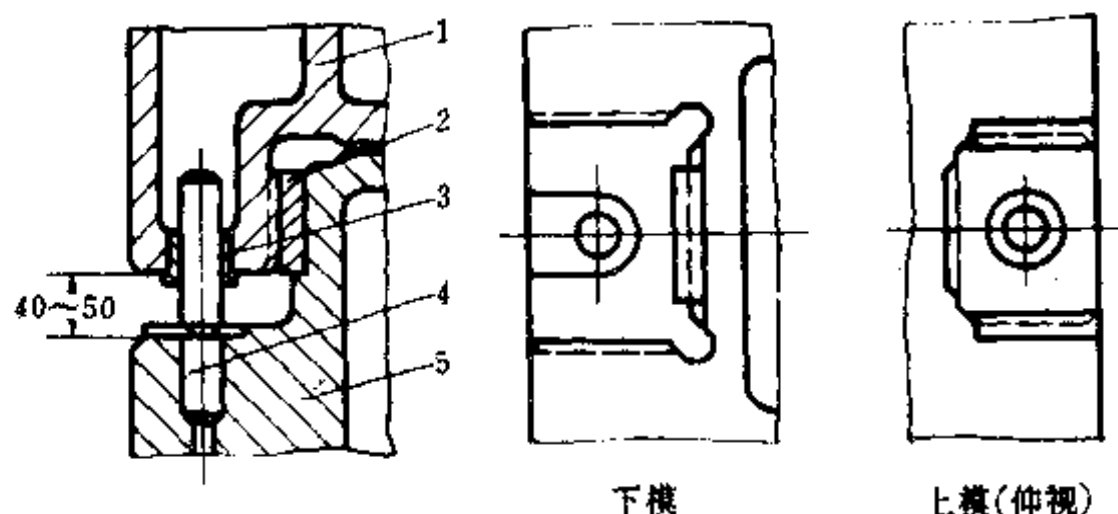


图 8-30 单动拉伸模中间背靠块和导柱复合导向示意图

1—凹模；2—耐磨板；3—导套；4—导柱；5—压料圈。

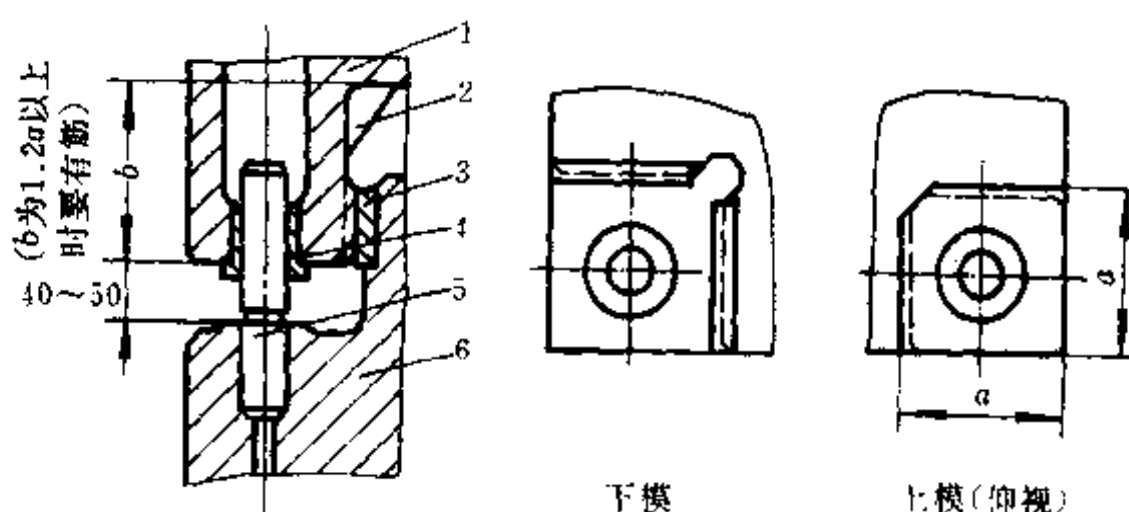


图 8-31 双动拉伸模角式背靠块和导柱复合导向示意图

1—压料圈；2—加强筋；3—耐磨板；4—导套；5—导柱；6—凹模。

放拉伸筋就使直线部分和圆角部分进料阻力均匀。

(3) 扩大压边力的调节范围 在双动压力机上，调节外滑块四个角的高低，在单动压力机上调节气垫压力，只能粗略地调节压边力，并不能完全控制各处的进料量正好符合拉伸件的需要，因此还需靠压料面和拉伸筋来辅助调节控制各处的压边力。

(4) 降低对压料面接触的要求 采用拉伸筋使压料面之间的间隙可以适当加大，但只稍大于料厚，这样压料面接触对拉伸的影响就会减小；如果不用拉伸筋，则对压料面接触的要求提高，而且压料面还容易产生磨损和拉毛，致使拉伸件产生划痕。

(5) 增加覆盖件刚性 拉伸槛也可以说是拉伸筋的一种，亦称门槛式拉伸筋，设置在拉伸件的全周上。拉伸槛的作用是增加进料阻力，它比拉伸筋的进料阻力大得多，因此拉伸槛用于曲率特别小的、平坦的和深度浅的拉伸件，靠材料拉伸塑性变形使拉伸出的覆盖件有稳定的形状和足够的刚性。

(二) 拉伸筋的布置

拉伸筋的数目及位置主要根据覆盖件外形、起伏特点及拉伸深度而定。拉伸深度大的零件在直线部位放 1~3 根拉伸筋，而在圆弧部位，不设拉伸筋。同一零件拉伸深度相

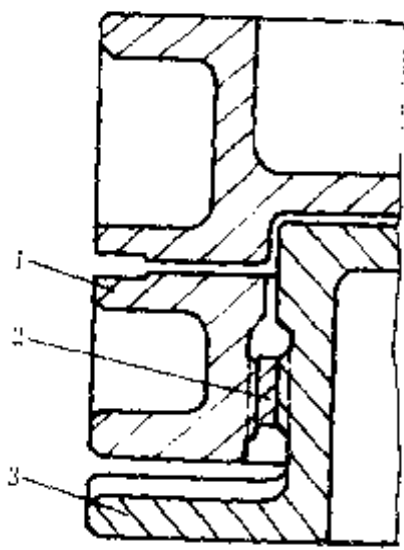


图 8-32 单动拉延模凸模和压料圈导向结构示意图
1—压料圈；2—导板；3—凸模。

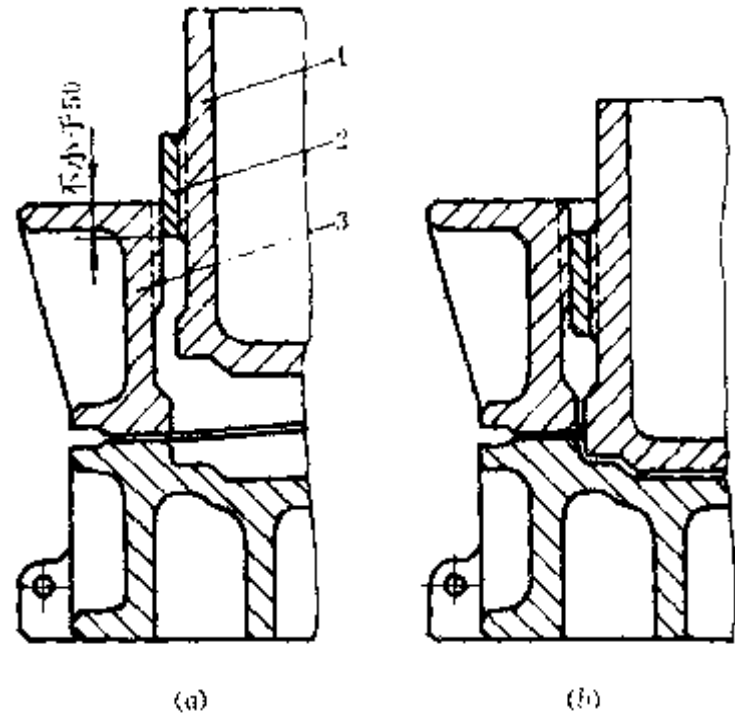


图 8-33 双动拉延模凸模和压料圈导向结构示意图
(a) 拉延开始时导向；(b) 拉延结束时导向。
1—凸模；2—耐磨板；3—压料圈。

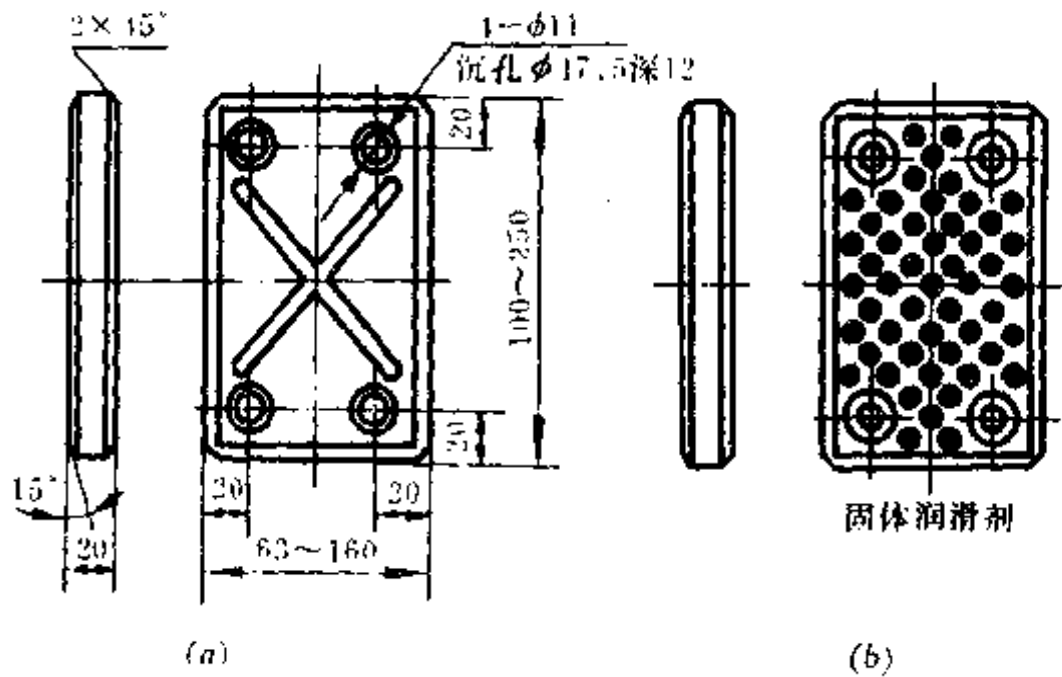


图 8-34 导板结构示意图
(a) 加油式导板；(b) 给油式导板。

差较大时，在深的部位不设拉延筋，浅的部位设拉延筋。拉延筋的位置一定要保证与拉延毛坯流动方向垂直。

如图 8-20 所示微型载重汽车后围板拉延模，为了增加直线部分进料阻力，在四边直线部分放了拉延筋，而在圆弧部分未放拉延筋，使直线部分与圆弧部分进料阻力均匀，这样拉延件质量稳定，既不起皱，也不破裂。

如图 8-35 所示为微型厢式货车中立柱上内蒙皮拉延件，开始未设拉延筋，拉延时

在斜面处由于进料阻力小，材料进料多，产生波纹。在斜面两侧加了拉延筋后，增大进料阻力，这样就消除了斜面上的波纹。

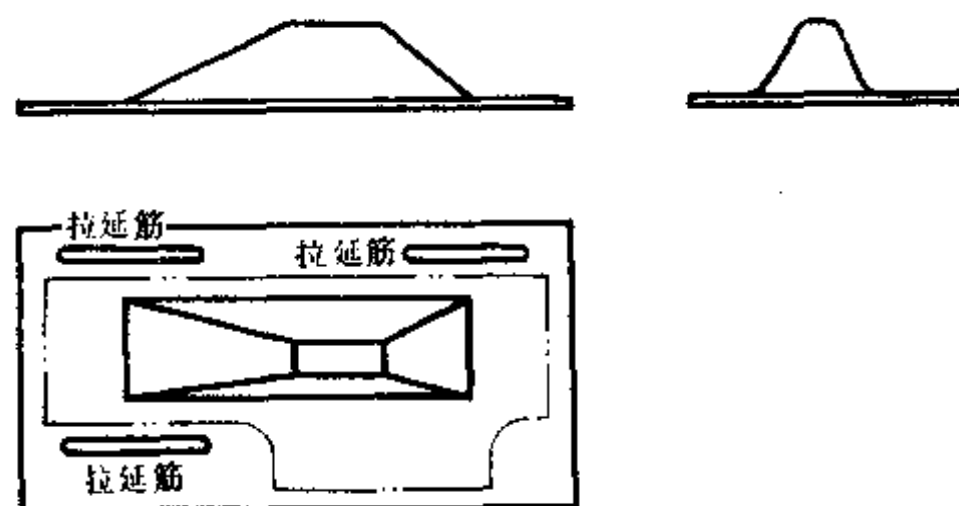


图 8-35 微型厢式货车中立柱上内蒙皮拉延件

拉延筋是安置在压料圈的压料面上还是安置在凹模的压料面上，两者对于拉延筋的作用都是一样的，而主要考虑拉延模装在压力机上要便于调整。在压力机上调整模具上的拉延筋时，一般拉延筋不需打磨，但拉延筋槽需研配和打磨，因此拉延筋一般安置在上压料面，拉延筋槽安置在下压料面上。

(三) 拉延筋和拉延槛的结构

1. 拉延筋的结构

从形状分，拉延筋有圆形、半圆形、方形三种结构；从装配方式分有嵌入式（见图 8-36）和整体式（与压料圈或凹模作成一体）。嵌入式拉延筋材料用 T10A，淬火 HRC58~62。这种结构拉延筋虽耐磨，但制造、修磨困难。整体式拉延筋与压料圈或凹模的压料面一起仿型加工，这样制造容易，修磨方便，因此现在广泛采用整体式。一般多采用宽度为 12、16mm 的半圆形和方形的拉延筋。图 8-36 所示拉延筋的结构尺寸见表 8-2。

表 8-2 拉延筋的结构尺寸参数 (mm)

名称	W	d _外	h	t ₁	K	R	t ₁	t ₂
圆形拉延筋	12	M6	12	6	6	6	15	25
	16	M8	16	7	8	8	17	30
	20	M10	20	8	10	10	19	35
半圆形拉延筋	12	M6	11	6	5	6	15	25
	16	M8	13	7	6.5	8	17	30
	20	M10	15	8	8	10	19	35
方形拉延筋	12	M6	11	6	5	3	15	25
	16	M8	13	7	6.5	4	17	30
	20	M10	15	8	8	5	19	35

2. 拉延槛的结构

拉延槛现广泛采用整体式,即拉延槛与凹模作成一体(见图 8-37),这样制造容易,修磨方便。

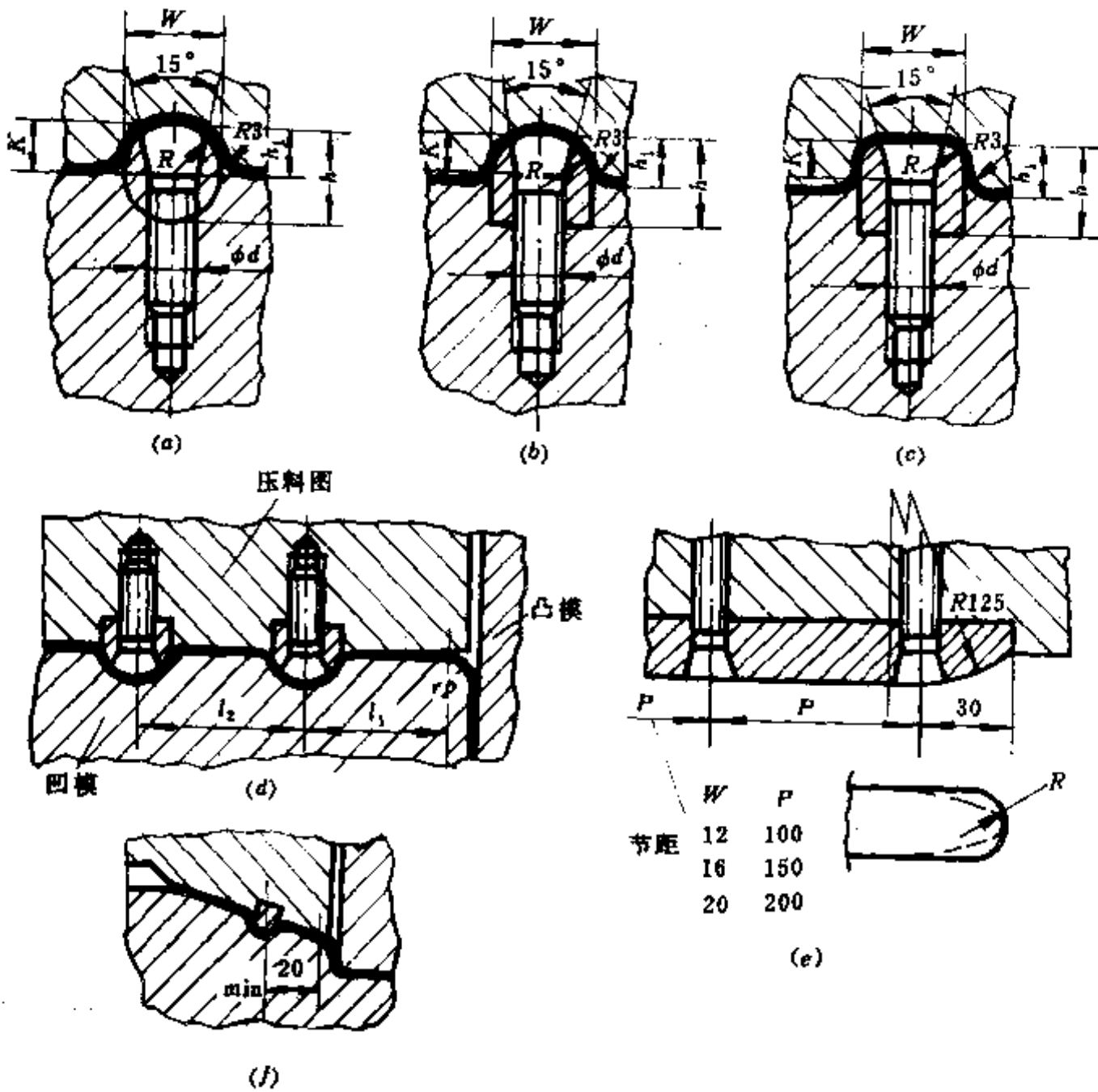


图 8-36 拉延筋结构图

(a)圆形拉延筋; (b)半圆形拉延筋; (c)方形拉延筋;
(d)双根拉延筋; (e)拉延筋纵剖图; (f)斜面上的拉延筋。

图 8-37 所示为拉延槛的结构尺寸。图(a)所示的拉延槛用于拉延深度浅的拉延件,如微型载重汽车顶盖、左右车门外蒙皮拉延件。图(b)用于拉延深度较深的拉延件,如微型载重汽车前围板拉延件。

六、坯料定位

坯料定位有定位销和定位块两种形式。

如图 8-38 所示为定位块的结构尺寸。它是由三个零件焊接而成。这种定位块比定

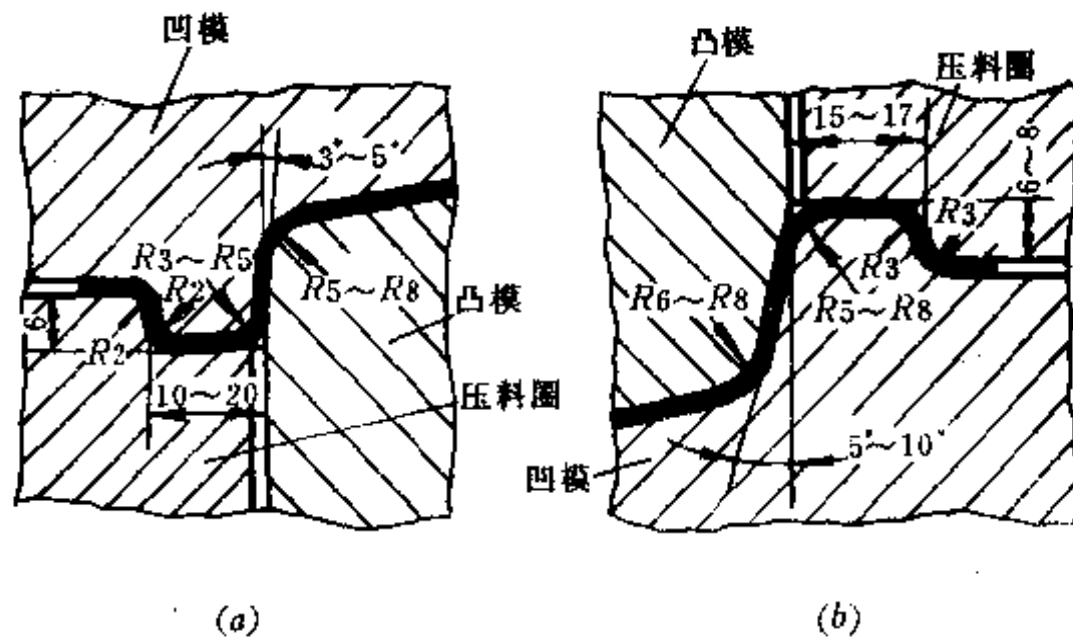


图 8-37 拉伸模的结构尺寸

(a) 用于浅的拉伸件； (b) 用于较深的拉伸件。

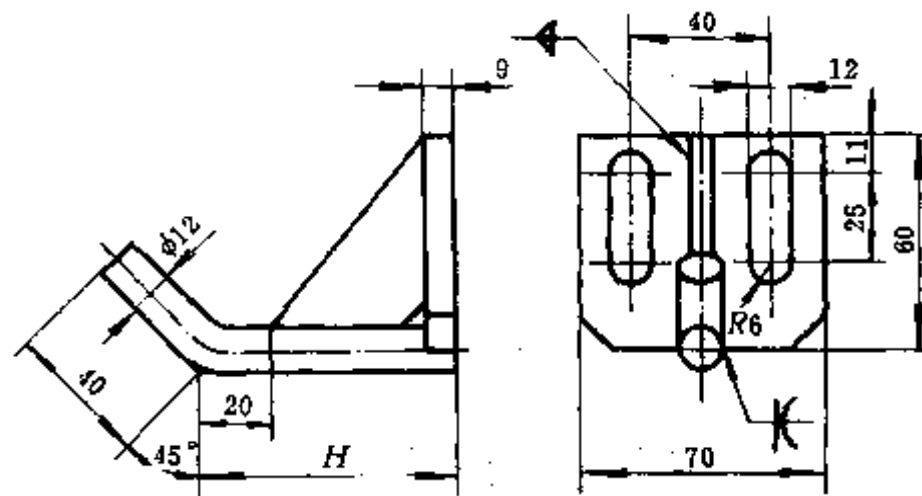


图 8-38 定位块的结构尺寸

 H —设计时决定。

位销好，既可调整，又便于放料定位，所以现广泛采用定位块定位。

七、通气孔

(一) 凹模通气孔的作用

在拉伸时，压料圈将拉伸毛坯压紧在凹模压料面上，凹模里的空气必须排出，否则被压缩的空气，会把拉伸件顶瘪，因此必须在凹模内钻通气孔。

(二) 凸模通气孔的作用

拉伸以后，凸模首先向上运动，但压料圈仍停留在原有位置，如果空气不能及时流入拉伸件和凸模之间，拉伸件将紧贴凸模，随着凸模继续往上运动，拉伸件就沿其轮廓向上鼓起将工件破坏，因此必须在凸模上钻通气孔。

(三) 通气孔的尺寸及布置

为了使凸模、凹模内气体能顺利均匀排出，而又不在拉延件表面留下通气孔的痕迹，应在凸模、凹模上钻直径小而数量多的通气孔，通气孔的直径为 $\phi 4 \sim 6\text{mm}$ ，数量及位置根据拉延件形状而定。同时还需在凸模、凹模的立筋上铸出直径为 $\phi 60 \sim 120\text{mm}$ 的大孔。为了防止灰尘从凹模通气孔中落入模具型腔内，在凹模通气孔上段可装入一塑料弯管（见图 8-20）以保持模腔清洁。

八、到位标志器

到位标志器能在拉延件上压一个 $\phi 3\text{mm}$ 的小圈，以此来检验模具在拉延时是否压到位。通常调整模具压到位，是凭工人的经验，从拉延件的形状轮廓来判断。若行程不足，零件轮廓不清晰；行程过大，会将模具和机床损坏，操作较困难。有了到位标志器，到位标志很清楚，工人调模就会容易掌握。到位标志器一般装在凹模内的拉延件工艺补充部分，或下道工序中可冲掉的废料孔上（见图 8-20）。

图 8-39 所示为到位标志器的结构尺寸，它是由三个零件组成。垫板 1、到位标记 2

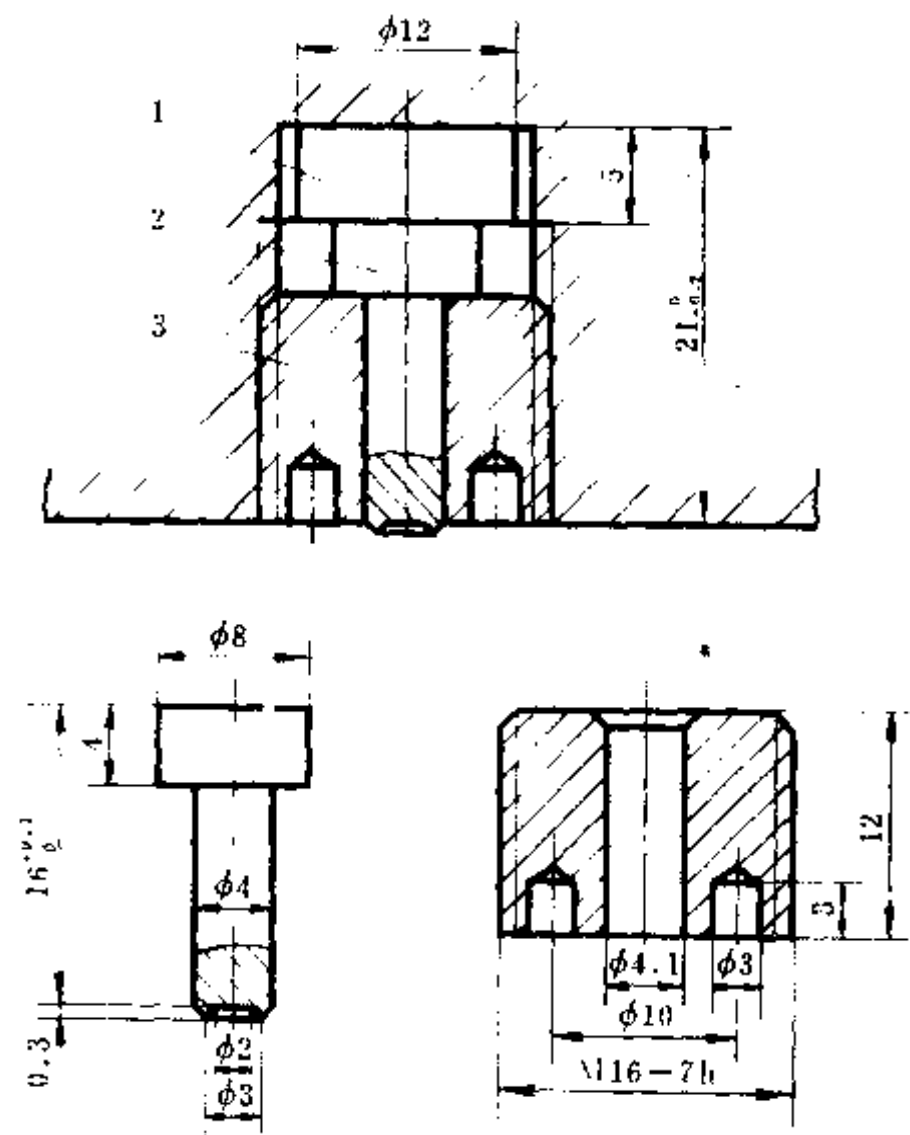


图 8-39 到位标志器的结构尺寸

1—垫板；2—到位标记；3—制动器。

的材料均为 T10A 淬火 HRC55~60，制动器 3 的材料为 45 钢。

第四节 修边模设计

一、修边模的分类

修边模包括单纯的修边模和修边冲孔的复合模。

修边模根据镶块的运动方式，可分成以下三种基本类型：

- (1) 垂直修边模 修边镶块与压力机滑块的运动方向一致作垂直运动，这类修边模称垂直修边模。
- (2) 斜楔修边模 修边镶块作水平或倾斜运动的修边模称斜楔修边模。
- (3) 垂直斜楔修边模 一些修边镶块作垂直方向运动，而另一些修边镶块作水平或倾斜方向运动的修边模称垂直斜楔修边模。

二、设计修边模应考虑的问题

(一) 定位

拉延件在修边时必须做到定位方便、可靠和安全。这样才能保证零件的修边和冲孔的尺寸、位置准确，以达到装配的要求。拉延零件在修边模上的定位方式有这样几种：(1) 拉延件的侧壁定位；(2) 拉延件的拉延槛定位；(3) 拉延件上的工艺孔定位。现在设计的修边模都是把凸模放在下模座上，因此拉延件需开口端朝下放置，这样便于工人操作。现在设计的冲压生产线都采用单动的闭式机械压力机，其生产率高，零件在整个生产过程中不翻转。

(二) 冲压方向及其他要求

1. 零件在冲压方向上与修边刃口的倾角数值应符合下述要求：

- (1) 如果修边线是直线或者近似直线，它与冲压方向构成的最大倾角不得大于 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。
- (2) 修边线在倾斜面上急剧变化时，最大倾角可以为 15° 。
- (3) 在最大倾斜角度需要大于上述角度时，就要采取以下措施：重新研讨冲压方向或改变拉延形状；或者将冲压工序分成两道工序进行。

2. 垂直修边的直线长度超过允许值时也不能用一道工序完成。

3. 冲较小的孔时，倾斜角应取小值，否则冲头容易折断，凹模容易损坏或磨损。

(三) 废料的排除

1. 处理废料的注意事项

- (1) 废料应在操作者附近落下，不能飞散。
- (2) 有危险时，要装上专用保护板。
- (3) 一般情况下废料靠自重落下，但是废料如果在刃口部被挂住，则必须靠弹出、顶出或柱塞推等辅助装置强迫落下。

(4) 小件修边时，应使废料集中落在压力机的侧面或后面，靠自重落下时，废料滑槽的倾斜角不得小于 30° 。

(5) 废料要每冲一次落下一次，以免影响后一次零件的装入。

(6) 废料的长度不宜太长，一般为 $400\sim 600\text{mm}$ 。

(7) 废料通道宽度和高度都应宽裕。

(8) 应尽量避免在一个通道内通过两种废料。

2. 修边废料的处理方法

当处理外周废料靠其自重落下有困难时，则必须用强制的办法除去废料。

(1) 柱塞顶出法（见图 8-40）。

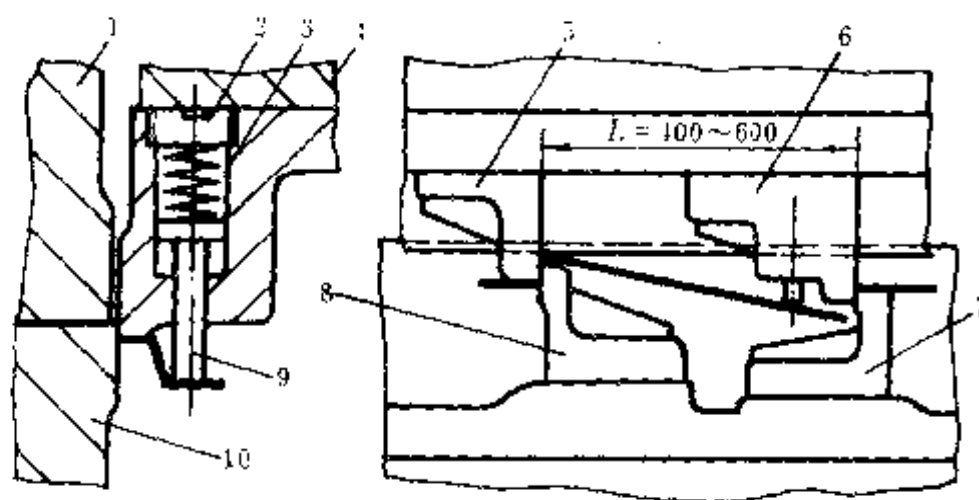


图 8-40 废料刀与柱塞的配置示意图

1—压料板；2—螺塞；3—弹簧；4—上模座；
5、6—上废料切刀；7、8—下废料切刀；9—柱塞；10—凸模。

(2) 拨出法（见图 8-41） 这种方法是指废料 2 入下模（凸模）时，依靠棘爪 5 拨动废料，使废料落下。棘爪安装在不妨碍零件运出和送入的位置上。废料的落入如图

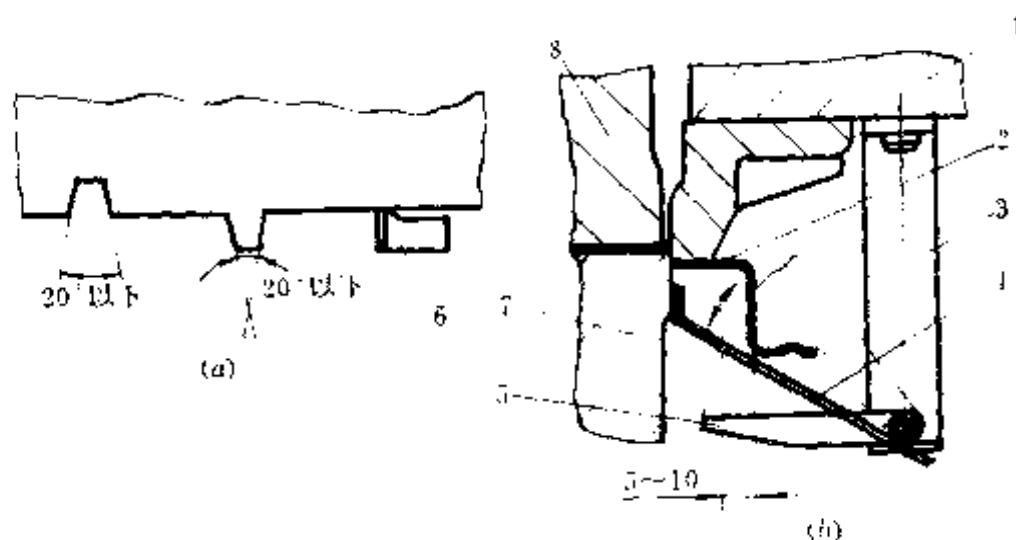


图 8-41 棘爪结构示意图

(a) 凸模形状图；(b) 结构图。

1—上模座；2—废料；3—棘爪支架；4—废料滑槽；5—棘爪；6—废料切刀；7—凸模；8—压料板。

(b) 所示。图 (a) 在凸和凹处如不布置废料切刀，废料会卡住，所以棘爪应设置在此。

(3) 气缸排出法 利用气缸和辅助机构相结合把废料排除，根据排废料的不同要求可以设计出不同的结构，采用哪种形式，按具体情况定，现介绍四种形式：

a. 摇动式 (见图 8-42) 此结构由件 4、5、6 组成摇臂，不工作时停在原始位置

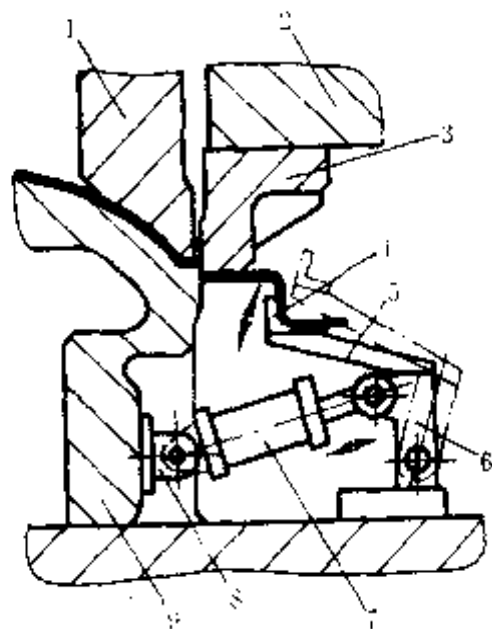


图 8-42 摇动式结构示意图

1—压料板；2—上模座；3—凹模镶块；
4—角铁；5—支臂；6—支臂座；
7—气缸；8—气缸座；9—凸模。

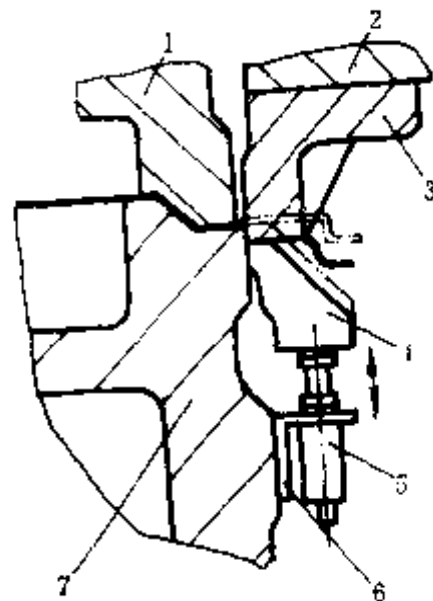


图 8-43 直顶式结构示意图

1—压料板；2—上模座；3—凹模镶块；
4—顶出器；5—气缸；6—气缸支架；7—凸模。

上，工作时在气缸活塞的推动下运动 (如图双点划线的位置) 排除废料。

b. 直顶式 (见图 8-43) 靠气缸推动顶出器排除废料。

c. 侧推装置 (见图 8-44) 气缸装在与废料成垂直的方向上，工作时气缸运动推

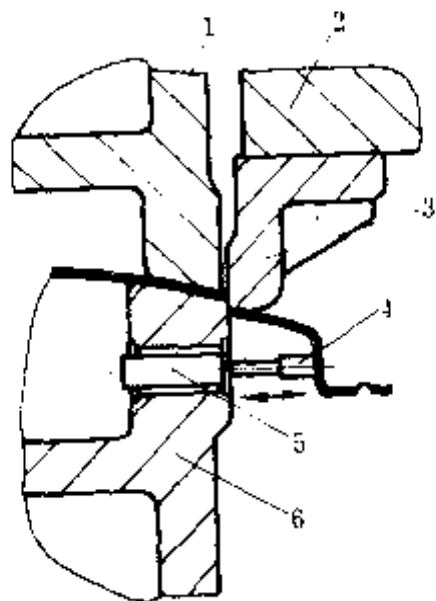


图 8-44 侧推结构示意图

1—压料板；2—上模座；3—凹模镶块；4—顶杆；
5—气缸；6—凸模。

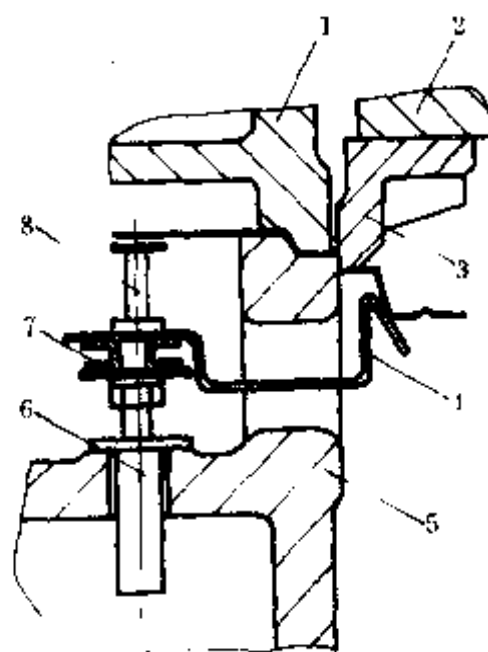


图 8-45 共用结构示意图

1—压料板；2—上模座；3—凹模镶块；4—废料顶出器；
5—凸模；6—气缸；7—支架；8—顶件器。

动顶杆排出废料。

d. 零件的顶出和废料排出的共用结构(见图 8-45) 修边结束后, 气缸推动件 8 顶出零件; 气缸推动件 4 排除废料。

(四) 工件的取出

由于工件开口端朝下放在修边模的凸模上, 工作时压料板先压着工件, 然后修边, 修边后的工件由压料板从凹模内推出。因此, 工作完成后, 工件就留在凸模上, 工件与凸模之间无任何间隙, 而且有些时候工件还被定位件卡得很紧。所以, 取出工件很困难, 如果取件的方法不当, 会使其变形, 对下道工序的进行造成影响, 使连续生产的频率失调。所以, 工件能否顺利取出是一个很重要的问题。取件装置有:

(1) 装在模具内的取件装置 如取出像微车车门内蒙皮那样的工件, 在模具内安装气缸顶出机构、气缸上升顶起工件, 取出, 运走, 工人操作方便。气缸下降回程, 工人把工件放入凸模, 再进行修边。这种装置具有费用少, 调整简便, 制造周期短等优点。

(2) 装在模具外的取件装置 如在自动化生产线上都采用机械手, 是一种先进的结构, 这种装置在产量大品种较多的情况下最适宜。

总之, 无论设置什么样的取出装置, 都要先把加工好的工件从凸模内提升到规定的位置上, 才便于取出, 而提升的高度则视工作的要求, 提升力的大小根据工件的具体条件确定。

三、修边模的结构

(一) 修边模结构设计的要求

- (1) 修边后的工件要避免随上模而上升, 否则工件落下会造成损伤;
- (2) 修边的基本方式: 底面修边、凸缘修边和斜楔修边;
- (3) 底面修边和凸缘修边需将凹模作为上模;
- (4) 尽可能采用铸造的上模和下模;
- (5) 模具结构紧凑;
- (6) 对于大型零件, 尽可能进行工序复合, 节省模具, 并少占用压力机;
- (7) 绝对防止压料板的掉落, 需设置压料板的安全机构;
- (8) 采用 2~4 根导柱导向;
- (9) 对于承受较大水平推力的模具要同时使用导柱和背靠块, 用背靠块来平衡水平推力;
- (10) 模具内设置限位器, 保证模具的最小闭合高度;
- (11) 设置支承器, 保护弹性元件不工作时处于自由状态;
- (12) 设置模具的起吊装置;
- (13) 设置模具安装时的定位器;
- (14) 设置压料板的行程限制器;
- (15) 设置模具安装槽, 安装槽的距离应大于模具总长度的 60%。

(二) 微车车门外蒙皮的垂直修边模 (见图 8-46)

- (1) 被加工的零件是曲面零件, 底面修边和冲孔需作为复合工序进行;

(2) 零件为开口端朝下放在下模上(凸模)、采用侧壁和拉延槛在废料切刀上定位,进行修边;

(3) 上模座 4、压料板 5 和凸模 7(下模座)采用实型铸造件;

(4) 导向 模具用四根导柱 2 和导套 3 导向,同时修边由于水平推力不大,没有使用背靠块来平衡水平分力。用止动螺钉 1 来防止导柱和导套的拔出。上模座和压料板 5 采用八对导板 17 导向;

(5) 直线段上的凸模部分采用工具钢镶块 20 和 21 而把冲孔工序和修边工序复合成一体。因为,此处的孔离刃口边缘近,孔不能单独做成镶套结构。拉手处 22 的方孔、圆孔和锁孔 19 均采用镶套结构。其余修边部分是采用在高强度铸铁上堆焊刃口的结构。凸模和下模座铸成一体。凹模全周做成镶块,嵌在上模座内。为了降低镶块的高度,镶块做成阶梯状;

(6) 用弹簧 13 通过压料板压紧工件,然后修边冲孔。根据推件力的大小确定弹簧。采用压缩量大的弹簧,可使模具结构紧凑,如用矩形弹簧等;

(7) 气缸 11 进气,活塞上升,推动托架上升,使它顶起工件,然后操作者取出并运走。工作完后;气缸排气,活塞下降,托架 9 回到原位,又可进行下一个工作循环;

(8) 限位器 14 限制压料板下降的位置。压料板的安全装置 15,可防止件 14 被损坏后掉下来碰伤工件或碰伤操作者;

(9) 限位柱 24 用来限制模具的最小闭合高度,防止模具调整闭合高度时下降过多而损坏模具零件或刀口。支柱 25,起到保护弹簧的作用。工作完后,件 25 放在件 24 上,用时取下。

(三) 微车顶盖的倾斜斜楔修边模(见图 8-47)

(1) 微车顶盖经过拉延、修边、整形和倾斜修边四道工序完成。倾斜修边只限于镶块 29 这段范围之内,且左右两处需对称;

(2) 由于修边处的水平夹角为 42° ,修边滑块也需倾斜相应的角度,以保证修边后的零件达到装配要求;

(3) 斜楔传动器 13 的水平夹角为 8° 。由于角度小,正压力大,防磨板 32 易磨损;

(4) 滑块座 24 由两块定位键 25 和两块止推键 23 来承受滑块座的水平分力;

(5) 滑块的回程采用了返楔机构,由件 30;34 组成。调整块 33,同时采用了两组复位弹簧 20,缓冲橡胶 15,用于防止滑块回程产生的碰撞;

(6) 本副模具采用四根导柱 41 导向,压料板 10 和上模座 12 之间采用八块导板件 11 导向;

(7) 压料板 10 采用四根插销 1 限位。用卡板 2 防止插销移位。由件 4、5、6 构成的安全装置来防止压料板的掉落;

(8) 件 42 是模具调整用的限位圈,保证模具的最小闭合高度。模具工作结束后把它放在件 42 上,以保证弹簧 8 不工作时不受压力;

(9) 托架由件 36、37、38 组成,作托起工件用;

(10) 定位装置 29,需防止零件装入时滑动,使其定位可靠。

(四) 微车车门内蒙皮的水平斜楔及斜楔滑块连杆传动的冲孔模(见图 8-48)

1. 冲孔模连杆

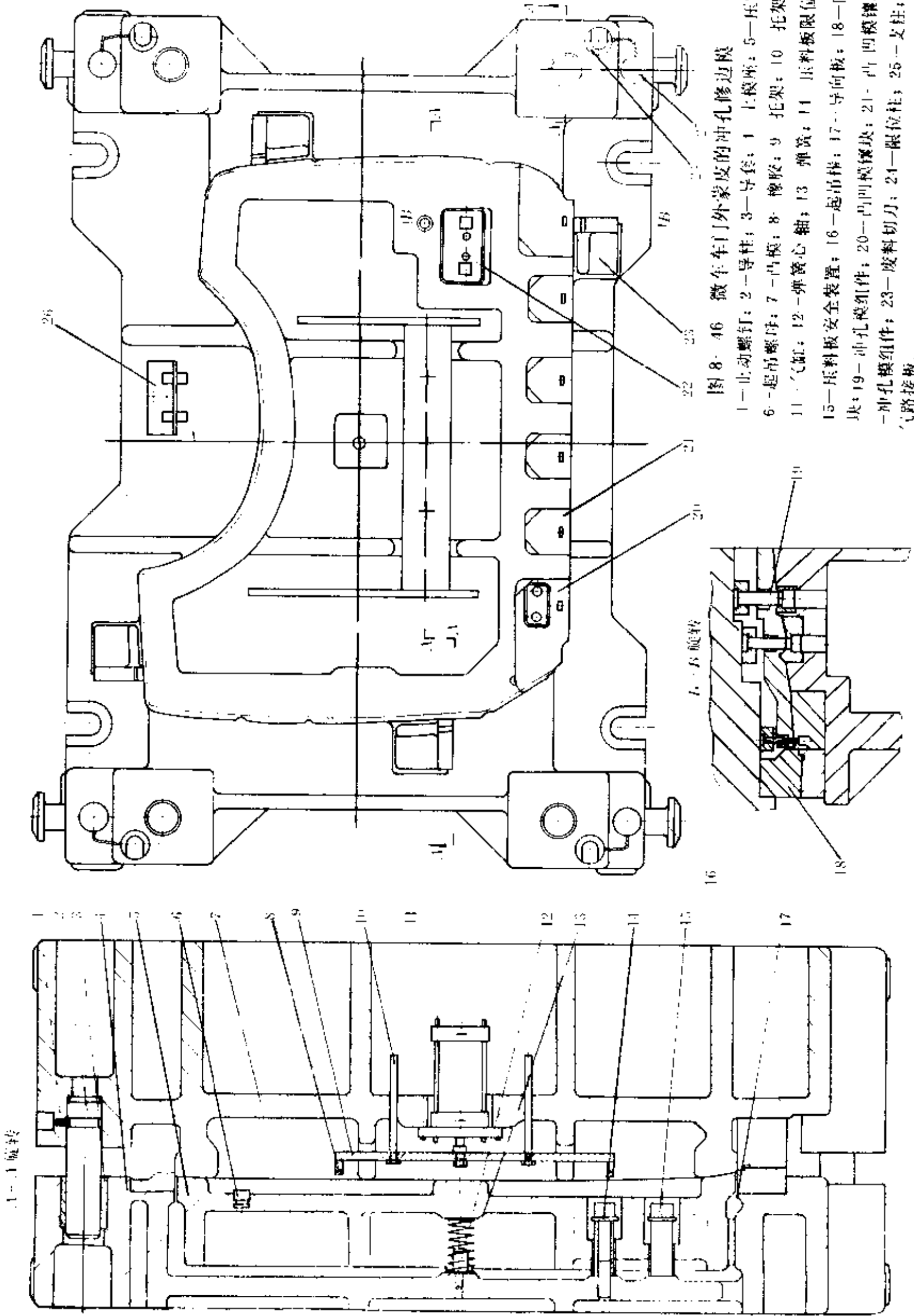


图8-46 微车车门外蒙皮的冲孔修边模

- 1—止动螺钉；2—导柱；3—导套；4—上模座；5—压料板；
- 6—起吊螺母；7—凸模；8—橡胶；9—托架；10—托架导杆；
- 11—气缸；12—弹簧心轴；13—弹簧；14—压料板限位器；
- 15—压料板安全装置；16—起吊棒；17—导向板；18—凹模镶块；
- 19—冲孔模组件；20—凸凹模镶块；21—凸凹模镶块；22—冲孔模组件；
- 23—废料切刀；24—限位柱；25—支柱；26—气路接板。

微车车门内蒙皮侧壁的弧形段上有七个 $\phi 5$ 的孔，而弧形段不是由一个圆弧组成，但冲孔的冲头又必须与其形状成垂直关系，所以连杆 21 就不可能布置在同一个圆半径上。而且连杆的长度也不相等，特别是摇臂 44。连杆用销轴 22 与连接板 23 相连接。连接板固定在滑块 23 上：

2. 冲孔模的工作过程

工作时，斜楔 26 推动滑块 23 向前运动，运动行程为 40mm。滑块 23 的运动传递给连杆 21，连杆分为两个运动，一个向前运动，另一个绕轴 22 作一定的转动。把向前运动的行程通过连接套 20 传递给连接座 19、轴 18，凸模 15 压入件 18 内，由止动螺钉 14 固定在件 18 内，防止冲头卸料时被拔出。件 18 卡在件 19 内。件 17 是固定座，内有导向套 16，件 18 在 16 内作直线运动，使冲头 15 进行冲孔工序。件 13 是凹模镶套，件 12 是凹模镶套固定座。滑块回程靠返楔机构和弹簧复位：

3. 冲孔模的斜楔机构

冲其余孔（微车车门内蒙皮弧形段上的孔除外）的斜楔机构是标准部件，它由件 33、37、38、39、40、43 及返楔机构和弹簧复位机构组成。本副模具共有九个这样的部件。在冲孔模的滑块件 38 上装上冲头就能进行冲孔工序。

四、修边刃口的结构形式

大件修边模的冲切刃口必须根据修边线的形状、修边线的高度差、修边线的角度等因素来选择最好的形式。以提高修边线的质量，减少毛刺的产生，提高刃口的使用寿命，其形式有：

（一）整体式（见图 8-49）

在凸模本体上或在与下模座铸成一体的凸模上采取直接堆焊刃口的方法。这种结构形式可以减少制作镶块的复杂性，使其制造简单。

（二）镶块式

1. 凸模使用的镶块

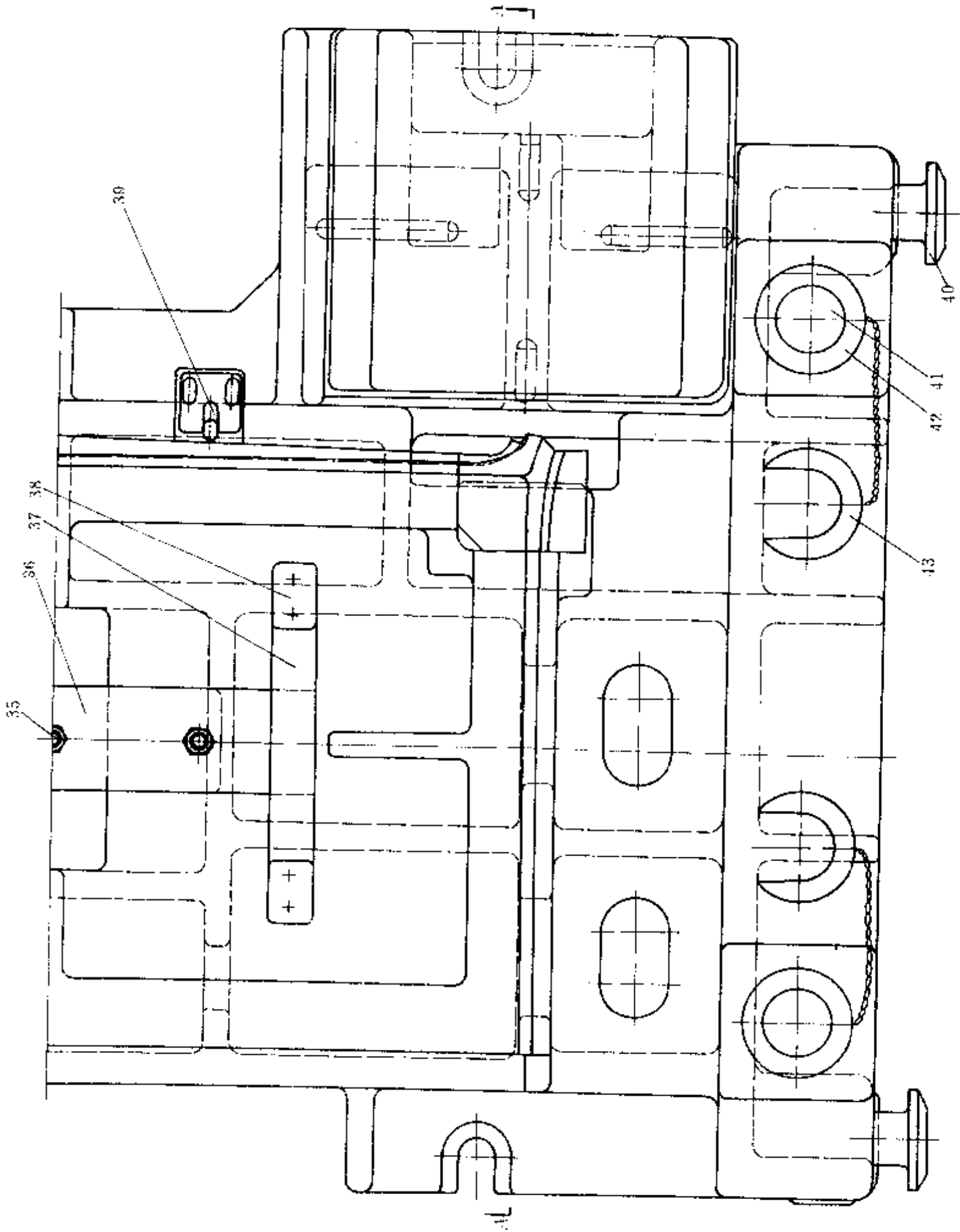
在凸模上有局部镶块和整周镶块两种，局部镶块用于转角、易磨损和易损坏的部位。因镶块可以修理和更换，使模具寿命延长。在凸起和凹槽处也可用镶块，为保证镶块的形状和尺寸，装入本体后进行仿形加工，这样才能保证镶块与本体的一致性。然后再进行镶块的后续加工工序。

（1）用于冲裁刃口高度差变化小的镶块 如图 8-50、图 8-51 所示两种结构形式的镶块，上下模均可采用。但是，不宜用于冲裁刃口高度差变化大的地方，如要用，可以做成阶梯式镶块。

（2）用于冲裁刃口高度差变化大的镶块 如图 8-52、图 8-53 所示两种结构形式的镶块用于高度变化大的凸模。这种形式的镶块嵌入后可以克服修边时产生的水平推力。能保证凸模和凹模之间的冲裁间隙不变。使修边的质量稳定。

2. 凹模使用的镶块

在凹模 2 上使用的镶块 1 也有局部镶块和整周镶块两种。局部镶块装在转角和修边线带有凸出和凹槽的地方。该两种形式的镶块用于高度差变化大的修边处。镶块在上模



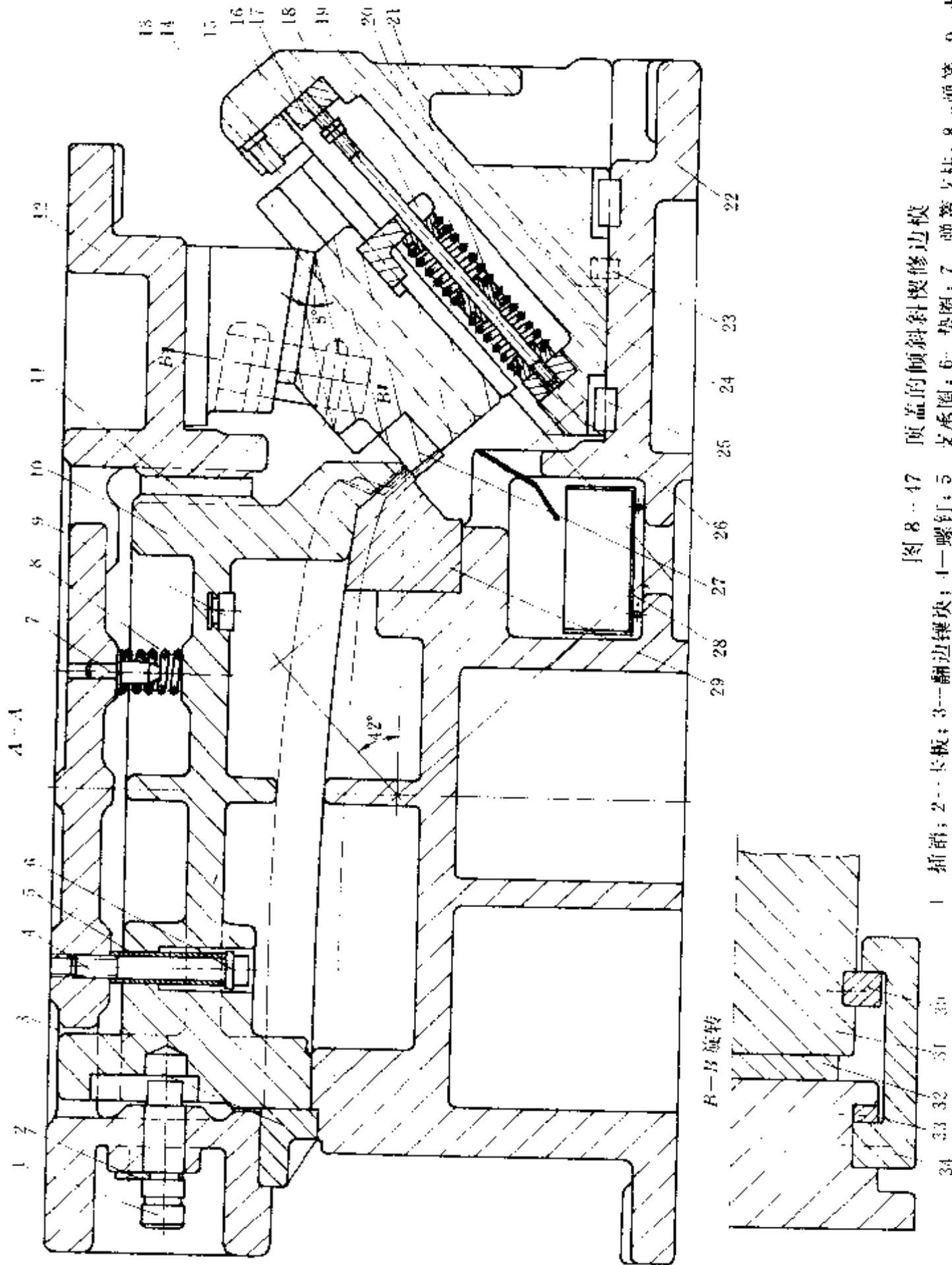
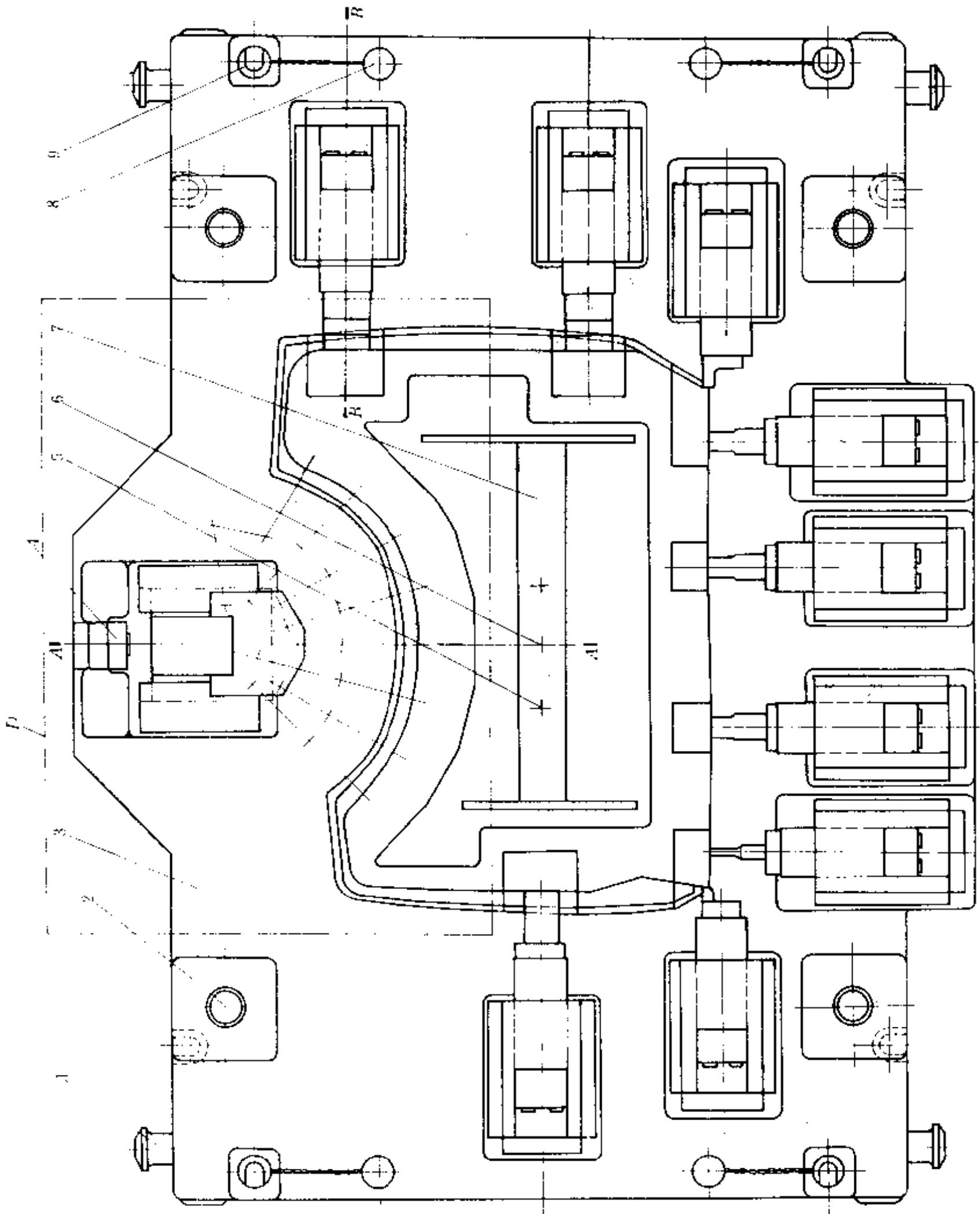


图 8-17 顶盖的倾斜斜楔修边模

- 1—插销；2—长板；3—翻边铰块；4—螺钉；5—支承圈；6—垫圈；7—弹簧支柱；8—弹簧；9—起吊螺母；10—压料板；11—导板；12—上模座；13—斜楔；14—滑块导向板；15—缓冲橡胶柱；16—固定座；17—螺杆支座；18—螺杆；19—支座；20—弹簧；21—弹簧支座；22—下模（凸模）；23—承力键；24—滑块座；25—定位键；26—螺杆固定座；27—修边凸模铰块；28—废料盒；29—凹模铰块；30—返料块；31—滑块；32—防磨板；33—调整块；34—返楔块；35—气缸；36—支板；37—托板；38—橡胶；39—定位器；40—起重臂；41—导柱和导套；42—架位器；43—支承圈。



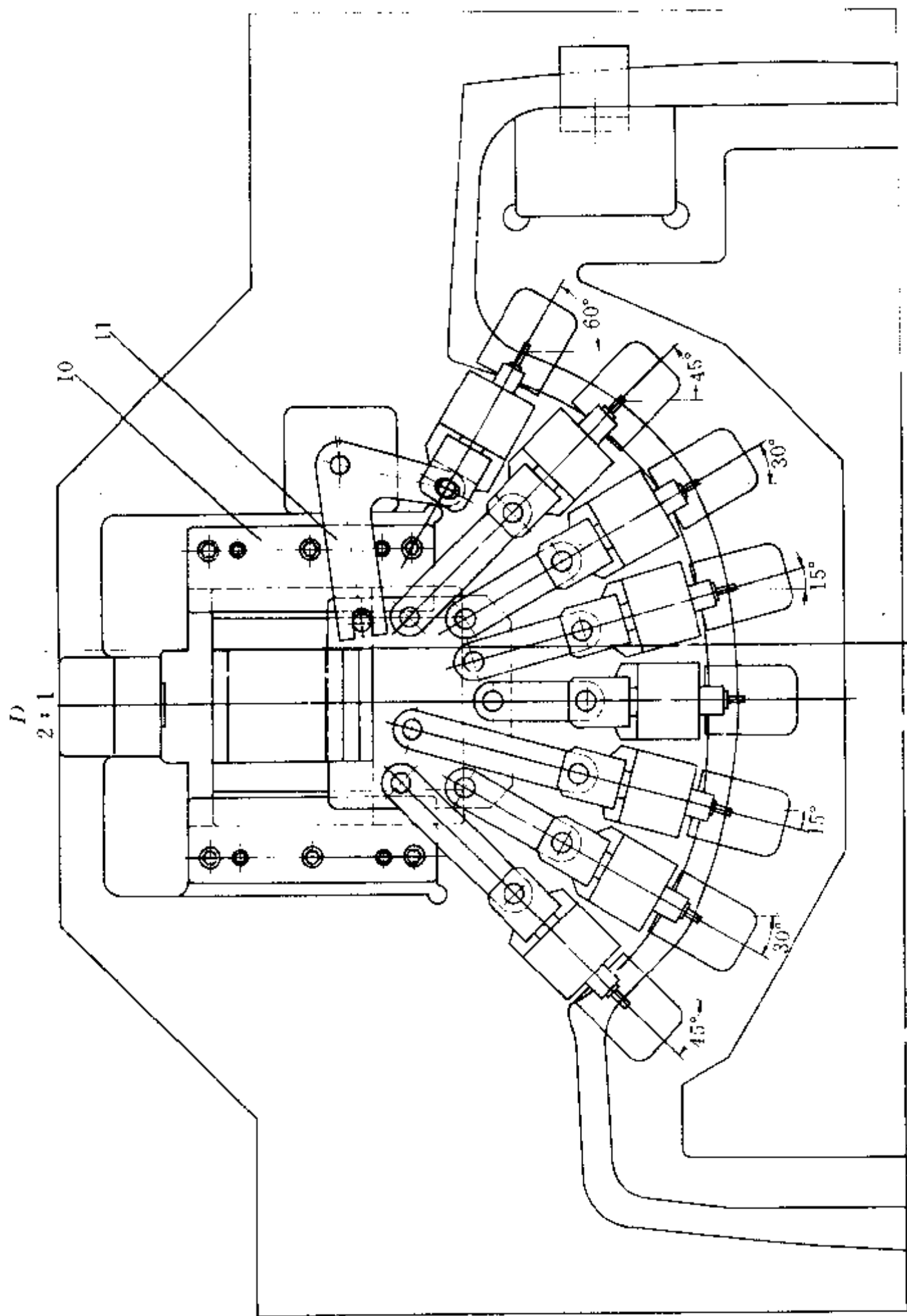
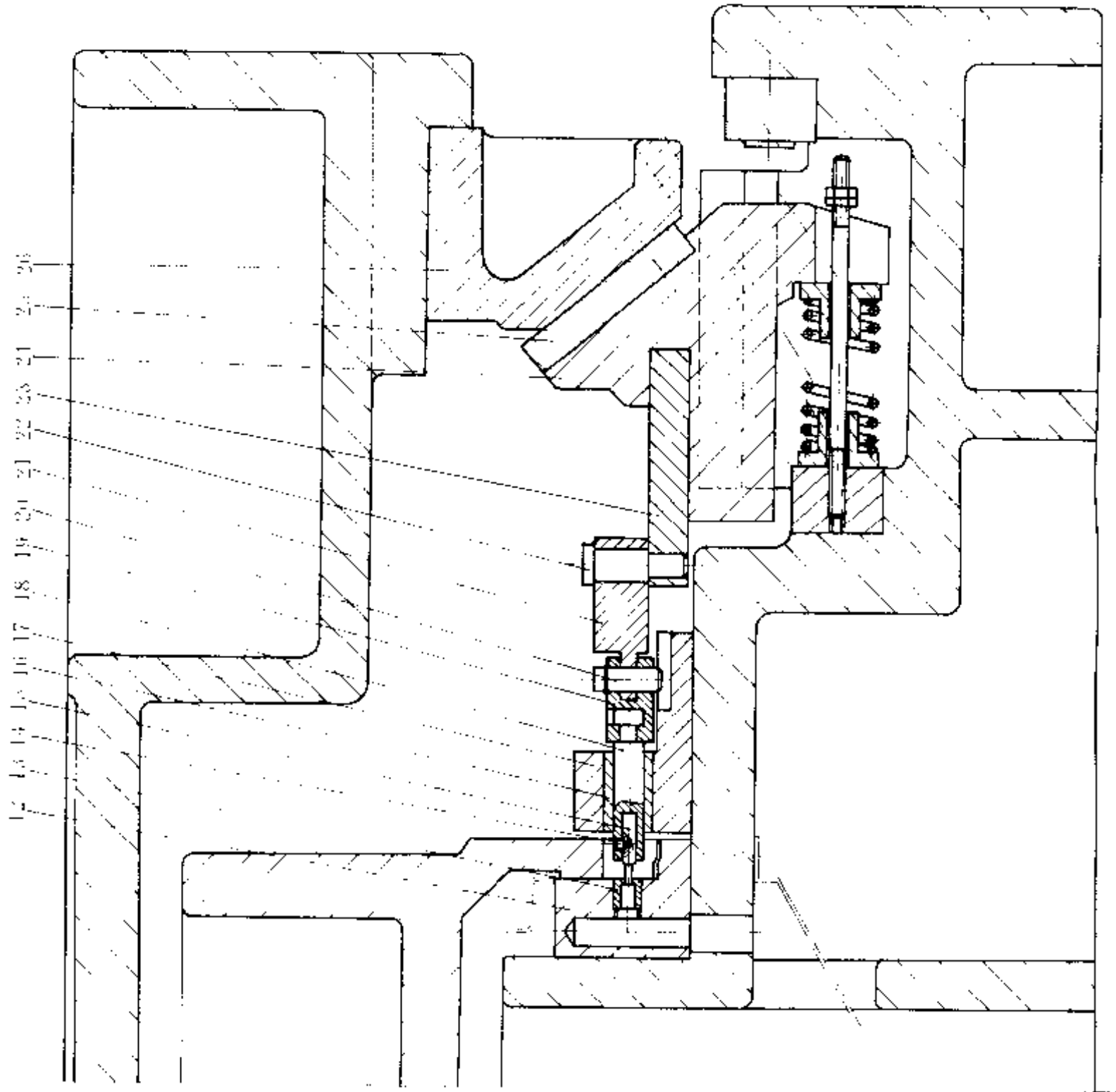


图 8-18 模具结构图

图 4-1-1

A 旋转
2:1



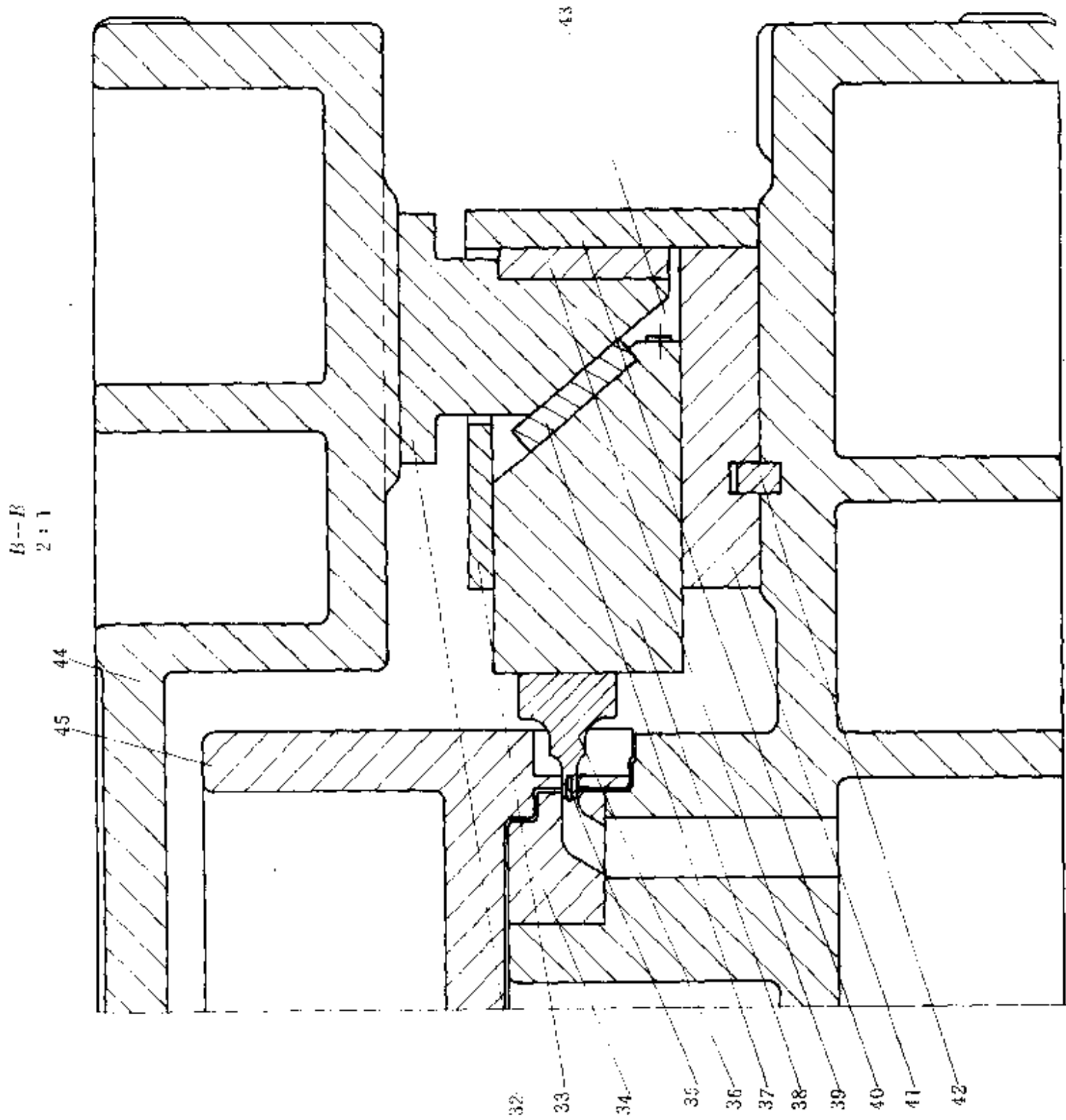


图 8 48 模具结构图 (N)

1-起吊臂; 2-导柱; 3-下模座; 4-缓冲座; 5-托架导杆; 6-气缸; 7-托架; 8-支承柱; 9-限位柱; 10-滑块导轨; 11-摇臂; 12-镶套座; 13-凹模镶套; 14-止动螺钉; 15-凸模; 16-导向套; 17-固定座; 18-轴; 19-连接座; 20-销; 21-连杆; 22-轴; 23-连接板; 24-滑块; 25-防磨板; 26-斜楔; 27-固定座; 28-弹簧; 29-弹簧座; 30-螺杆; 31-斜楔; 32-缓冲橡胶; 33-盖板; 34-凹模镶块; 35-废料顶销; 36-凸模; 37-防磨板; 38-滑块; 39-后封板; 40-后封板; 41-座板; 42-止推键; 43-侧封板; 44-上模座; 45-压料板。

上组合好后,再进行仿形加工,以保证修边形状和间隙的配作要求。

- (1) 角部堆焊式镶块 (见图 8-54)。
 - (2) 高合金钢表面火焰淬火式镶块 (见图 8-55)。
3. 镶块的尺寸 (见图 8-56)

(1) 为了保证修边镶块的稳定性,修边镶块的高度 H 与宽度 B 应有一定的比例关系

$$H : B = 1 : (1.25 \sim 1.75)$$

修边镶块的长度 L 一般取 150~300mm, 太长, 加工不方便。太短, 螺钉和销钉不好布置。

(2) 修边镶块所用的固定螺钉为 M16, 数量 3~5, 应以两排布置在接近修边刃口的轮廓线和接合面处, 并用两颗 $\phi 16\text{mm}$ 销钉定位。

4. 镶块的固定形式 (见图 8-57、图 8-58)

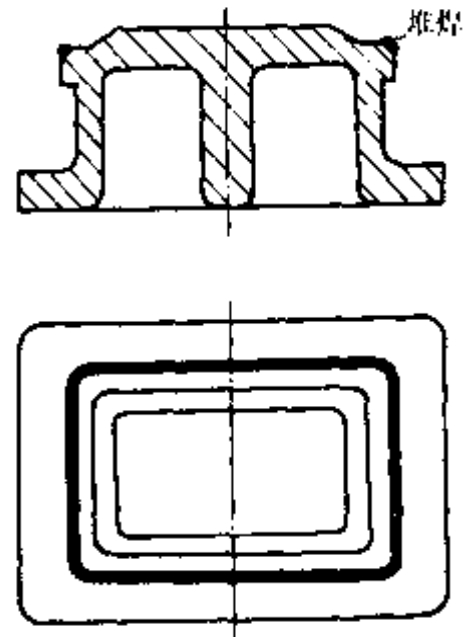


图 8-49 凸模示意图

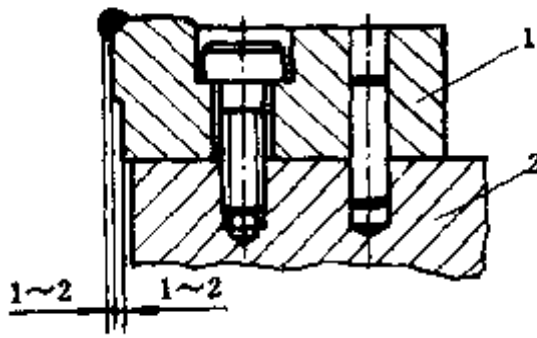


图 8-50 角部堆焊式
1—镶块; 2—凸模。

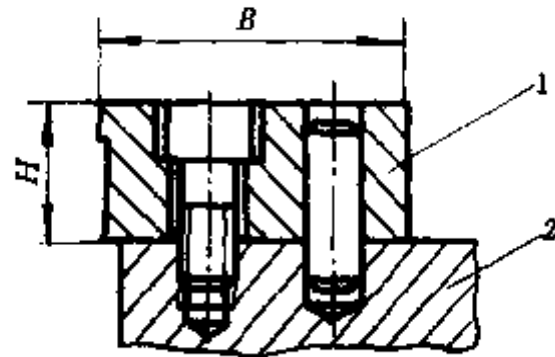


图 8-51 淬火式
1—镶块; 2—凸模。

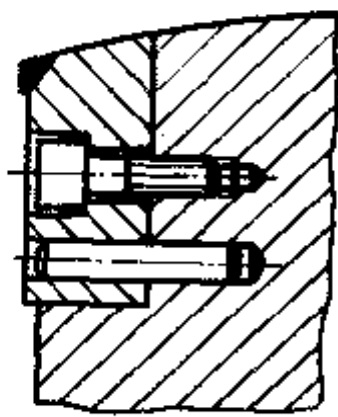


图 8-52 角部堆焊式
1—镶块; 2—凸模。

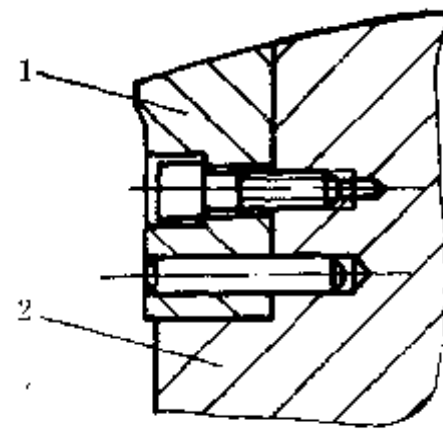


图 8-53 高合金钢刃口火焰淬火式
1—镶块; 2—凸模。

修边模在修边时受到水平推力的作用, 对于凹模受到的水平推力向外, 对于凸模受到的水平推力向内。水平推力的大小随着材料的机械性能, 修边镶块的厚度、长度, 修边处曲线的变化及修边处的水平夹角大小等因素而产生变化。如果选择的固定镶块的形式不当, 在力的作用下会改变凸模与凹模之间的修边间隙, 造成修边后的零件毛刺大, 还

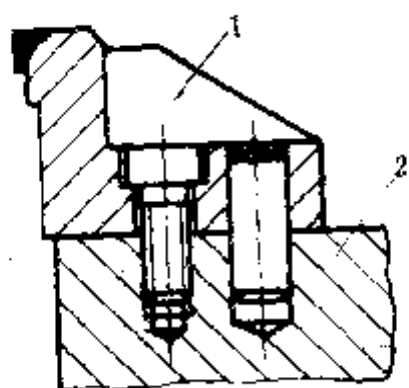


图 8-54 角部堆焊式
1—镶块；2—凹模。

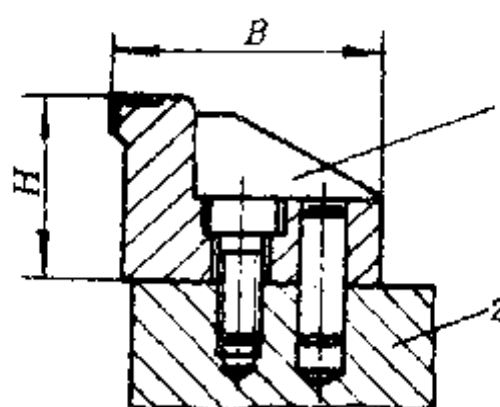


图 8-55 火焰淬火式
1—镶块；2—凹模。

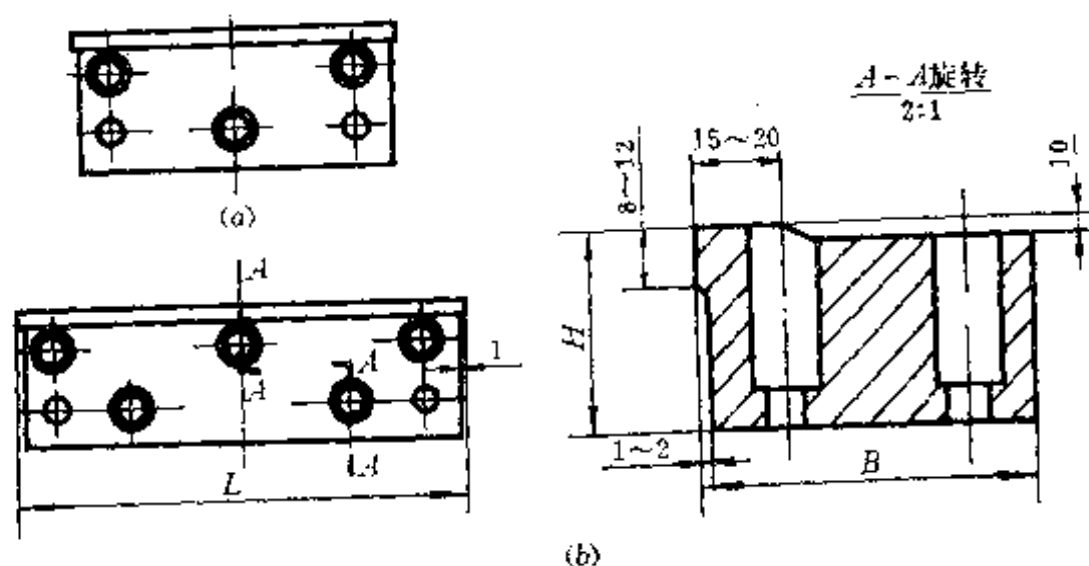


图 8-56 镶块形状和尺寸
(a) 三个固定螺钉；(b) 五个固定螺钉。

会影响零件的形状和尺寸精度，降低模具的使用寿命。

在修边零件的转角处和修边形状比较复杂的部分把镶块嵌入模具的本体内，这种固定镶块的形式是非常可靠的，保证镶块修边时不会产生位移。

另一种可靠的方法就是把所有的镶块全部嵌入铸件模座的本体，这样就能保证任何一块镶块工作时都不会产生位移。

5. 镶块的补偿

修边模的镶块不管是凸模或凹模都是由很多块组合而成，特别是整周镶块。为了补偿镶块在制造中存在的偏差，要求选择其中的一块镶块做补偿用，这个镶块称作补偿镶块。补偿镶块选择在立体曲面比较平滑，形状简单处，且补偿镶块的长度要比设计长度加长 3~4mm。

6. 阶梯状的修边镶块

由于零件由立体曲面构成，这样修边线的高度差大，为了降低修边镶块的高度，保证修边镶块的稳定性，可以将修边镶块的底面做成阶梯状，相应地在上模座和下模座上也做成阶梯状。

7. 镶块的堆焊形式及尺寸

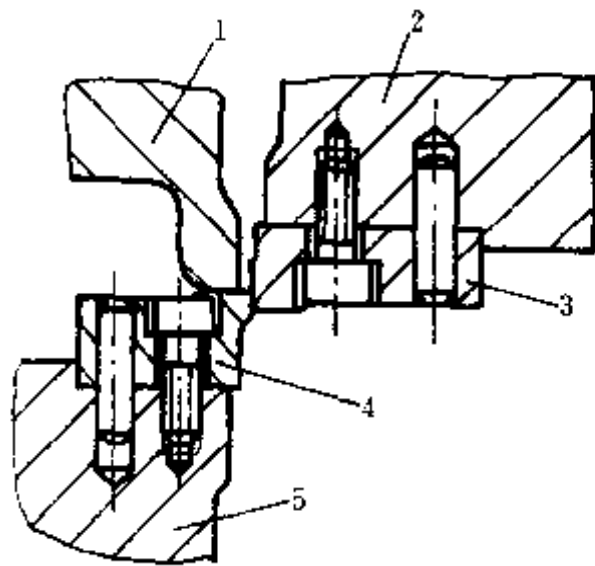


图 8-57 镶块装配图 (一)

1—压料板；2—上模座；3—凹模镶块；
4—凸模镶块；5—下模座。

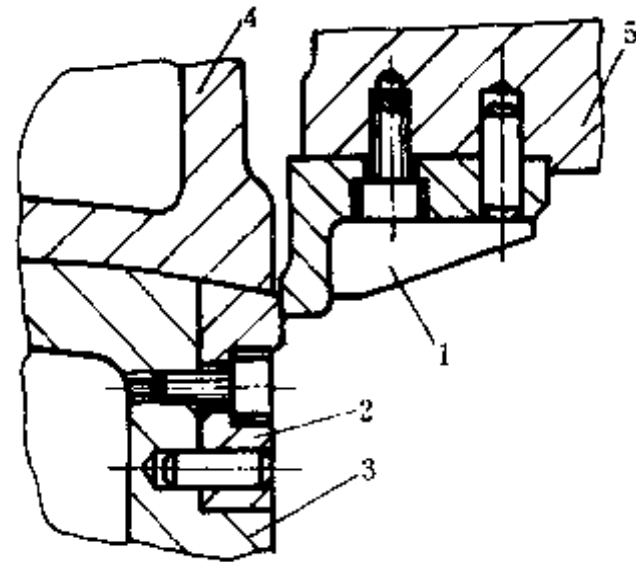


图 8-58 镶块装配图 (二)

1—凹模镶块；2—凸模镶块；3—下模座；
4—压料板；5—上模座。

用于堆焊镶块的本体材料：含碳量低的碳素结构钢、含碳量低的铸钢或高强度铸铁。堆焊用的焊条随本体的材料不同而不同。但是，所有的堆焊用的焊条堆焊后都应是空冷，硬度达到 HRC55 以上。

刃口的堆焊形式有三种，如图 8-59 所示。堆焊刃口要求能承受工作时的冲裁力。刃口形式承受冲裁力的比较：从承力角度，c 型最好；b 型次之；a 型最差。但从加工制造上

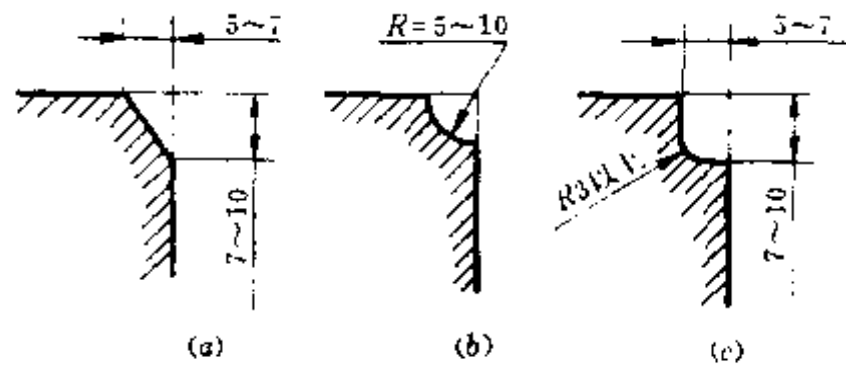


图 8-59 堆焊形式及尺寸

(a) 角式；(b) 圆角式；(c) 台阶式。

则刚好相反。

8. 修边凹模镶块的交接

有些零件在一次封闭修边或半封闭修边中，由于修边面方位不同，可以采用垂直方向和水平或倾斜方向的组合修边。因此，就会出现修边凹模镶块的交接问题。利用斜楔滑块的运动特点，可使斜楔镶块先修边，垂直修边凹模镶块后修边。斜楔修边镶块与垂直修边镶块之间必须保持 1mm 的间隙。由于空隙长度中没有修边刃，而是靠垂直运动的修边凹模镶块撕断的，故会有接头毛刺。

(三) 凸模、凹模和压料板的装配关系

凸模、凹模和压料板之间的装配质量与修边零件的质量有密切的关系，如修边零件毛刺的大小，修边零件是否变形，或压伤等。

1. 凸模、凹模和压料板的尺寸（见图 8-60）。

$$A = 50 \sim 60\text{mm}$$

$$B = \text{行程} + (15 \sim 20)\text{mm}$$

$$C = 40 \sim 50\text{mm}$$

$$D = 10 \sim 20\text{mm}$$

$$E = 0 \sim 0.5\text{mm}$$

式中 A ——凸模压料面宽度（mm）；
 B ——压料板直面尺寸（mm）；
 C ——压料板压料面宽度（mm）；
 D ——压料板空刀槽尺寸（mm）；
 E ——压料板与凹模之间的间隙（mm）。

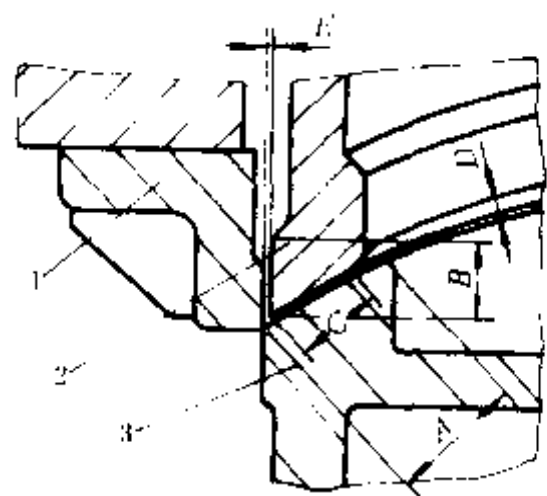


图 8-60 尺寸结构图

1—凹模镶块；2—压料板；3—凸模。

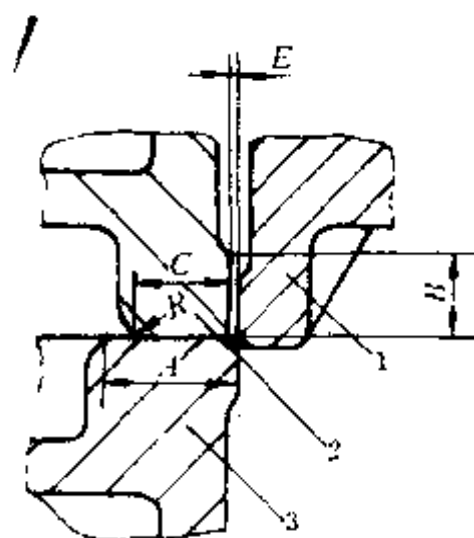


图 8-61 平面式压料板图

1—凹模镶块；2—压料板；3—凸模。

A 、 B 、 C 、 E —同图 8-60 所示； R —圆角半径。

2. 平面式压料板（见图 8-61）
3. 凸缘边式压料板（见图 8-62）
4. 镶嵌式压料板（见图 8-63）

由于斜度大、凸缘边较窄，因此，压料板若用铸铁材料制作，刚度和强度较差，则需采用钢板制作加强块，以利更好地压紧零件进行修边。

(四) 倾斜面修边的刃口形式

1. 锐角修边

(1) 小于 15° 的锐角修边刃口（见图 8-64）。

(2) 大于 15° 的锐角修边刃口（见图 8-65） 倾斜角度超过 15° 时，在凸模和凹模处做出 2mm 的平面，可以提高刃口的强度。

2. 钝角修边

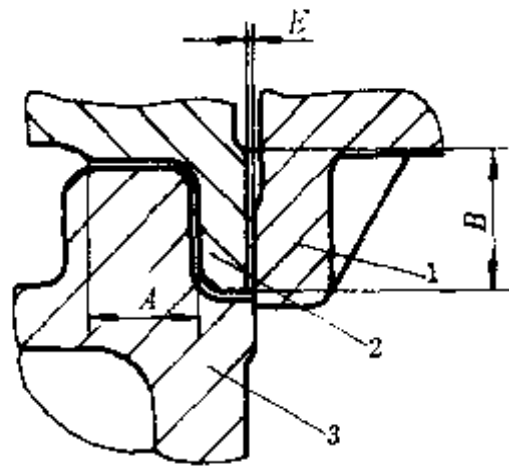


图 8-62 凸缘边式压料板图
1—凹模镶块；2—压料板；3—凸模。
A、B、E——同图 8-60 所示。

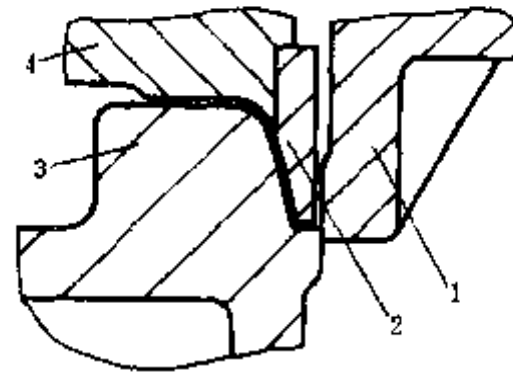


图 8-63 镶嵌式
1—凹模镶块；2—加强块；3—凸模；4—压料板。

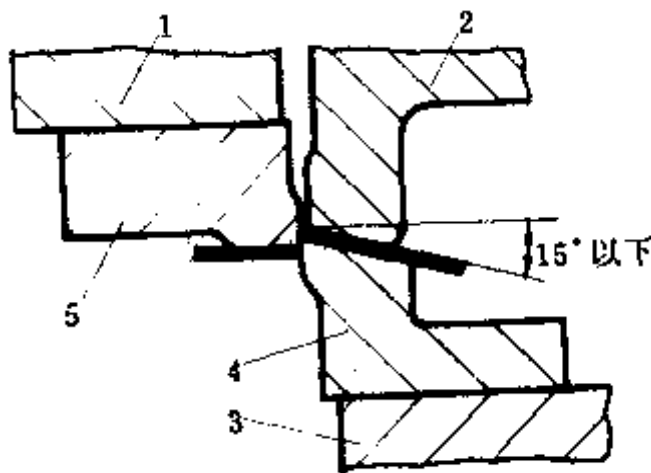


图 8-64 锐角修边结构图
1—上模座；2—压料板；3—下模座；
4—凸模；5—凹模。

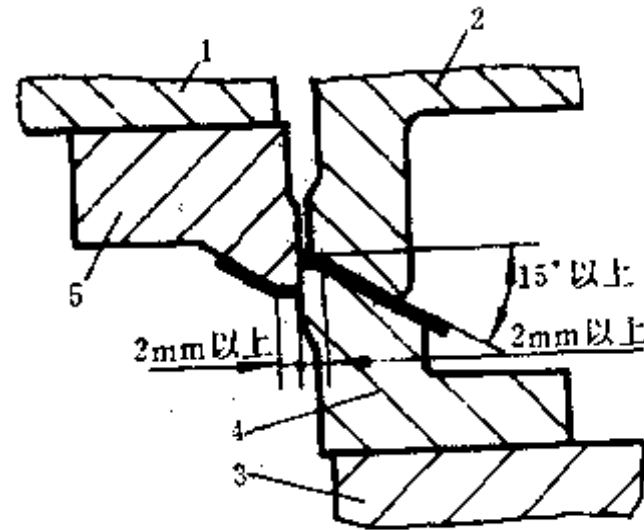


图 8-65 修边结构图
1—上模座；2—压料板；3—下模座；
4—凸模；5—凹模。

- (1) 小于 30° 的钝角修边刃口 (见图 8-66)。
- (2) 大于 30° 的钝角修边刃口 (见图 8-67)。

(五) 纵向修边刃口形式

因纵向修边会产生大的毛刺，且修边行程长，水平推力大，修边刃口容易磨损，应尽量避免采用。如要采用有以下两种形式。

- 1. 零件本身有斜度 (见图 8-68)。
- 2. 零件本身无斜度 (见图 8-69)。

在这种条件下的修边刃口应有 8° 的斜度，修边零件的直线长度应不超过 $25\sim 30\text{mm}$ 。太长会使修边的行程过大，降低模具的使用寿命，使一次修边的零件质量差。

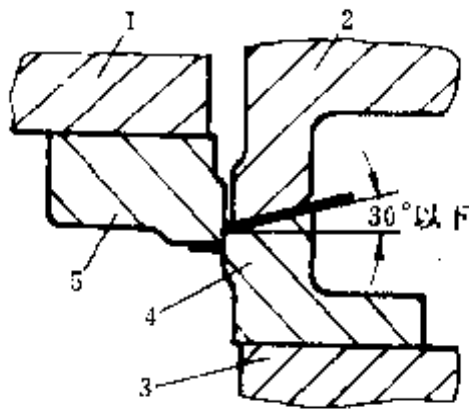


图 8-66 修边模结构图

1—上模座；2—压料板；3—下模座；
4—凸模；5—凹模。

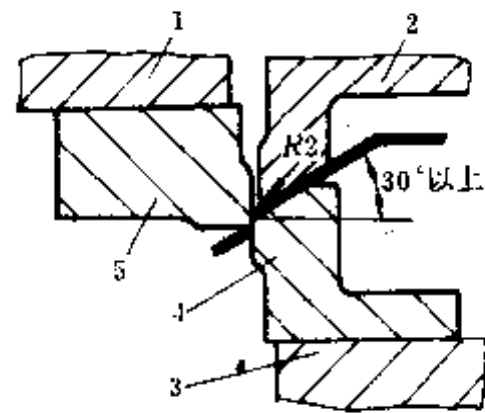


图 8-67 修边模结构图

1—上模座；2—压料板；3—下模座；
4—凸模；5—凹模。

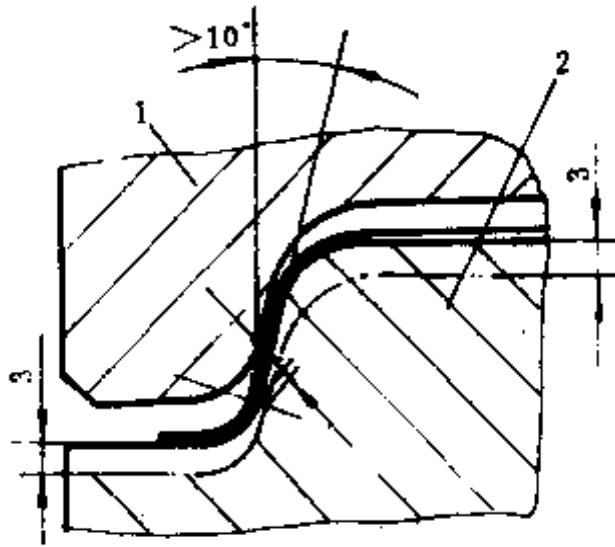


图 8-68 模具刃口结构图

1—凹模刃口；2—凸模刃口。

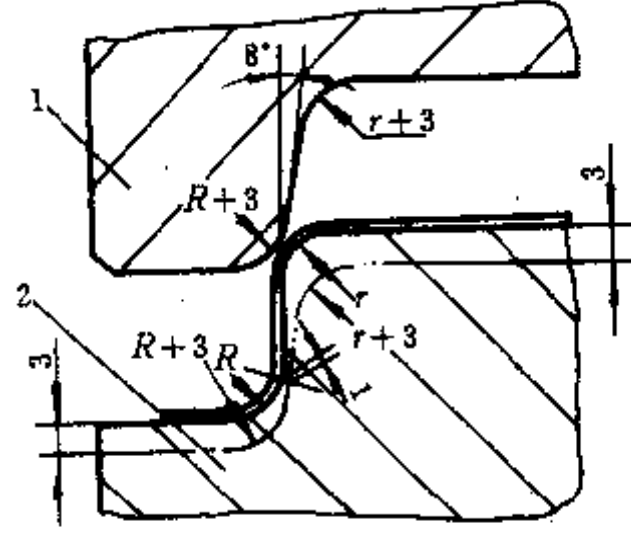


图 8-69 直线修边结构图

1—凹模刃口；2—凸模刃口。

五、废料切刀

(一) 废料切刀的作用

(1) 由于覆盖件的修边线是一条复杂的曲线，不可能像小零件那样用卸料圈来卸除修边后的废料。废料的外形尺寸大，取出很不方便，也不安全，如有地下自动处理废料的装置时更需要把废料切成若干段（长度为 400~600mm），便于把废料取出运走。修边后的废料，修一次去除一次，下一个零件才能放入。否则会影响正常的生产。

(2) 对于诸如微车车门外蒙皮这样无形状定位的零件，就是利用废料切刀进行定位修边的。

(二) 废料切刀的布置（见图 8-70）

(1) 如图 8-70 (a) 的方式安置废料切刀，废料容易落下。废料刀的刃口角取为 10° 。

(2) 如图 8-70 (b) 的形式安置废料切刀，废料不容易落下时，废料刀的角度应取为 20° 。

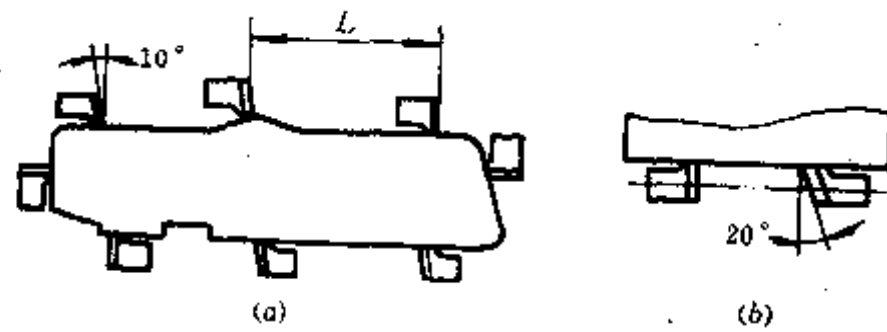


图 8-70 废料切刀布置图 (一)

(a) 顺一个方向排列的废料切刀; (b) 成相对排列的废料切刀。

- (3) 修整线上有凸起部位时, 要在凸起处配置废料切刀 (见图 8-70a)。
 (4) 角切时, 刀座不要突出修边线外, 以免影响废料的落下 (见图 8-71)。

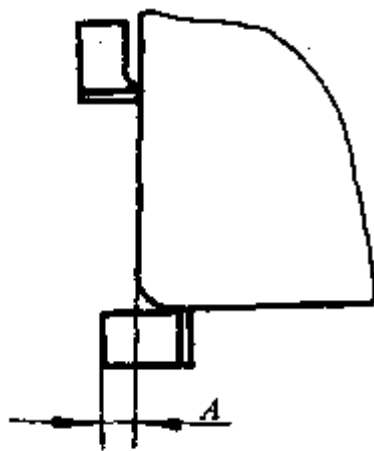


图 8-71 废料切刀布置图 (二)

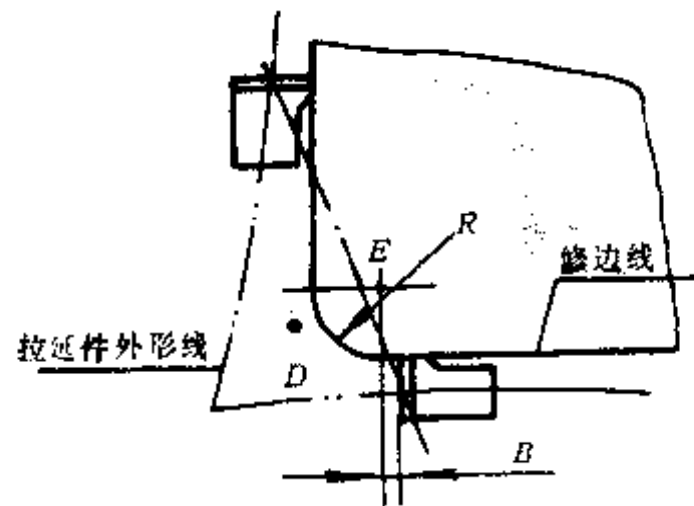


图 8-72 废料切刀布置图 (三)

D ——废料的重心; B ——切刀安置的部位;
 E ——两废料刀的连线; R ——零件的圆角半径。

- (5) 角切时, 切刀刃口应靠近圆角与切线的交点处 (见图 8-72)。
 (6) 角部废料靠自重落下时, 废料的重心 D 必须在 B 线的外侧 (见图 8-72)。
 (7) 当凹模表面在垂直方向倾斜成 $15^\circ \sim 30^\circ$ 时, 切刀的刃口位置必须设在顶点。
 (8) 下模用的废料切刀的刃口要避开修边刃口的接缝处 (见图 8-73)。
 (9) 上模用的废料切刀的刃口要在凹模修边刃口的接缝处 (见图 8-73)。

(三) 废料切刀的结构, 切入量及刃口尺寸

根据修边的外形, 将废料切成若干段, 为了使废料切断, 要求凹模刃口与废料刀口有一定的高度差。同时也要求凹模刃口与废料刀刃口有一相对应的差值。高差值的确定是根据修边形状的切入量来确定的, 零件的曲线高度差大时, 取大些; 反之, 取小些。凹模上采用废料切刀的结构有两种: 凸出凹模修边面的结构 (见图 8-74); 凹入凹模修边面的结构 (见图 8-75)。

- (1) 废料切刀的刃口尺寸 (见图 8-76)。

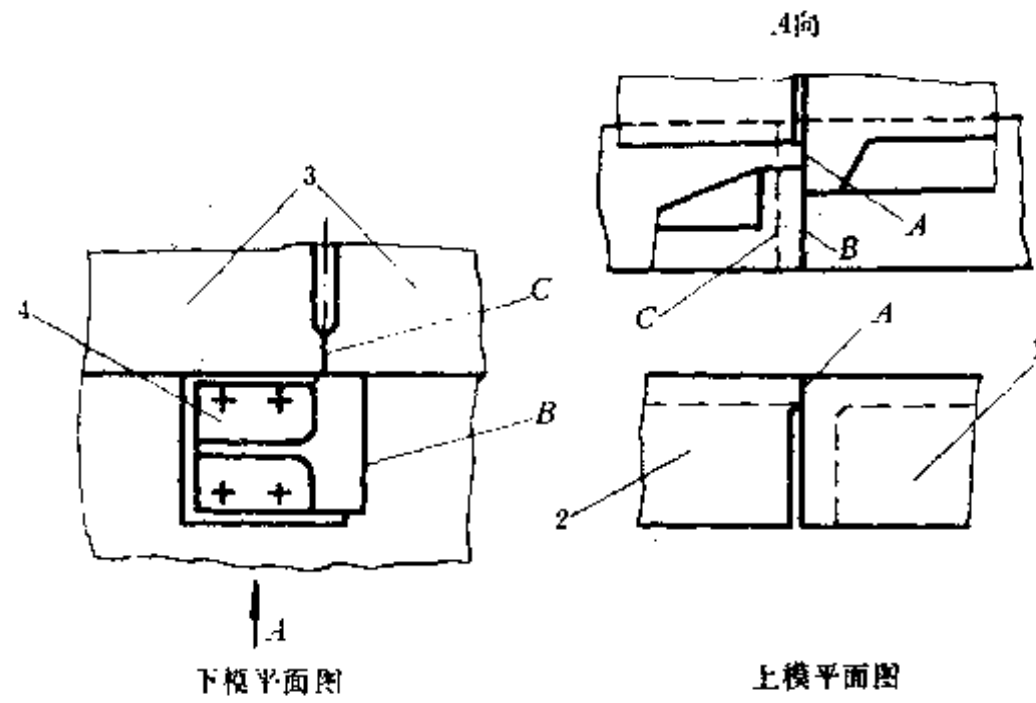


图 8-73 废料切刀位置图

1—凹模镶块；2—凹模镶块；3—凸模镶块；4—废料切刀。
 A—凹模镶块接缝；B—废料切刀的刃口；C—凸模镶块接缝；A和B组成的废料切刀口；A和C相错致少 3~5mm。

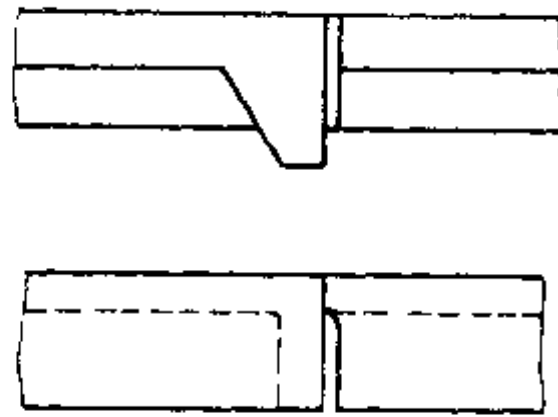


图 8-74 凸式结构图

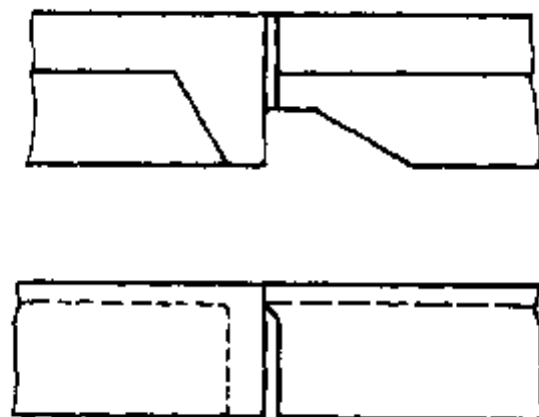


图 8-75 凹式结构图

(2) 废料切刀入模量列于表 8-3。

表 8-3 废料切入模量 (mm)

	薄板(1.2 以下)	厚板(1.6 以上)
切刀入模量 a	2~3	3
凹模切入深度 b	$a+t+2$	$a+2t$
最小入模量 c	3	$2t$

注：t—板料厚度。

(3) 切刀刃口长度应比预计的废料尺寸长 5~10mm 以上。当切刀放置在圆角部分时还应长些。

(4) 废料刀工作时要承受水平推力，故废料刀的高度 H 和宽度 B 之比为 1.2。以克

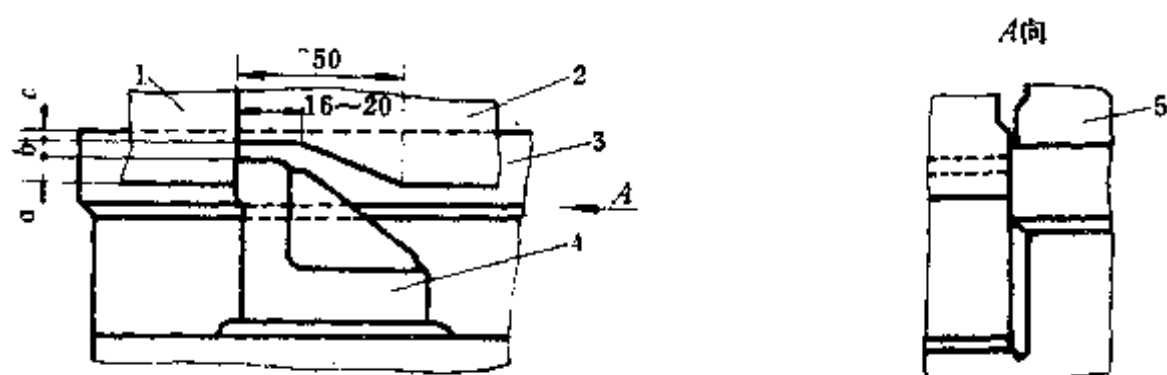


图 8-76 尺寸图

a —切入量； b —凹模与废料切刀的间隙； c —凸模进入凹模的量（入模量）。

1、2—凹模镶块； 3—凸模； 4—废料切刀； 5—压料板。

服水平推力产生的翻转力矩。当凸模的高度尺寸大时，废料刀安装座的高度也应加大，一般废料刀的安装高度 H 不应超过 100mm。

(5) 在修边模上，废料刀的垂直壁应尽可能避免相对配置。当不得不相对配置时，可把刃口做成带有一定的角度，使废料容易落下。

六、斜楔机构

修边模中使用斜楔机构是比较普遍的，主要用于零件的侧面修边、冲孔等工序。有水平斜楔和倾斜斜楔。这里仅介绍四种常用的斜楔。由表 8-4 中列出。

(一) 水平斜楔机构

水平斜楔机构工作时，斜楔滑块与压力机的滑块成 90° 的运动关系。加工方向在向上倾斜 10° ，向下倾斜 10° 的范围内都可采用水平斜楔。

水平斜楔的滑块、斜楔的角度和行程设计程序如下：

1. 滑块的运动行程 S

首先确定加工时所需的水平方向的行程量，然后再考虑零件取出和放入时的操作量。上述两种量的总和即为滑块的运动行程。

2. 斜楔和滑块接触角度 β 的确定

如果滑块的行程一定，则随着 β 角度变大斜楔的运动行程增长。反之，随着 β 角变小，斜楔的运动行程减短。当 β 为 45° 时，滑块行程和斜楔行程相等。因此，通常把 β 规定在 $50^\circ \sim 60^\circ$ 的范围内。如冲压行程量不够时，也可取 45° 。

3. 斜楔与滑块的接触点 B 的确定

在水平轴上取滑块的行程量 S 为 A 点，然后在 A 点作倾斜角 β 与斜楔的运动垂线相交得 B 点， OB 线段的长度就是斜楔接触滑块的运动行程 S_1 。

4. 导向高度 C 、 D 点的确定

5. 压料板位置 E 点的确定

6. 行程的计算

工作时各零件的作用力和滑块复位时所需力的计算公式见表 8-4 中 (一)。

(二) 向下倾斜的斜楔机构

- (1) $\alpha = 45^\circ \sim 80^\circ$ 。
- (2) 在大多数情况下, $\beta = \gamma$ 。
- (3) 各种计算列于表 8-4 中 (二)。

(三) 向上倾斜的斜楔机构

- (1) $100^\circ < \alpha \leq 105^\circ$ 。
- (2) 各种计算列于表 8-4 中 (三)。

(四) 空间斜楔机构

(1) 这种结构的斜楔机构是将后挡块和滑块悬挂在上模座上, 通过下模座上所设置的斜楔使其动作。

- (2) 设滑块两边的夹角为 50° 。
- (3) 背靠块的倾斜角 β , 中小模具以 30° 为限, 大型模具以 22° 为限。
- (4) 驱动角 α 和背靠块托架 (后挡块) 倾斜角 β 的关系为

$$\alpha = 40^\circ + \beta。$$

- (5) 行程的计算列于表 8-4 中 (四)。

(五) 滑块返回行程的复位机构

斜楔滑块在进行修边、冲孔或翻边工序时, 由于卸料力和滑块重力, 或其他因素所产生的力会把凸模卡住, 工作完毕后, 滑块不能自动回到初始位置。为了使滑块回到初始位置, 必须设置复位机构。下面介绍两种复位机构。

1. 弹簧复位机构

复位弹簧的设计, 可利用表 8-4 中的公式计算出拉动滑块所需的力 f 。由于各种因素的影响, 拉动滑块的力必须大于所需的力, 要求弹簧力 F 比拉动滑块的力 f 高 3~5 倍。

由于影响因素多, 所需的回程力很难计算准确。在计算的基础上, 根据滑块工作时具体情况尽可能加大复位弹簧的力。在滑块行程确定后, 选用弹簧时, 为使滑块可靠地返回到初始位置, 弹簧应具有一定的预压缩量, 保证滑块在弹簧力的作用下返回到初始位置。

弹簧复位机构的结构 (见图 8-77) 本结构用于所有的模具, 安全可靠, 对于下落的切屑及废料应采取排出措施。

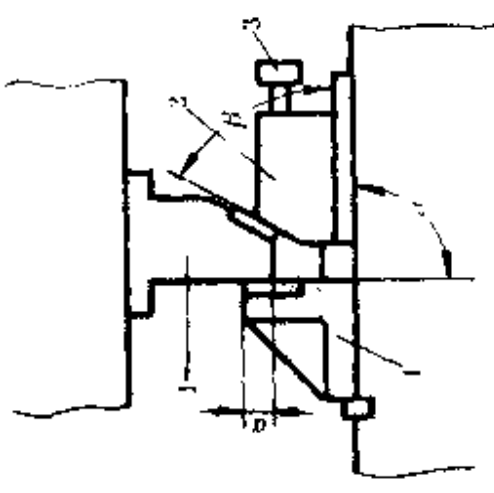
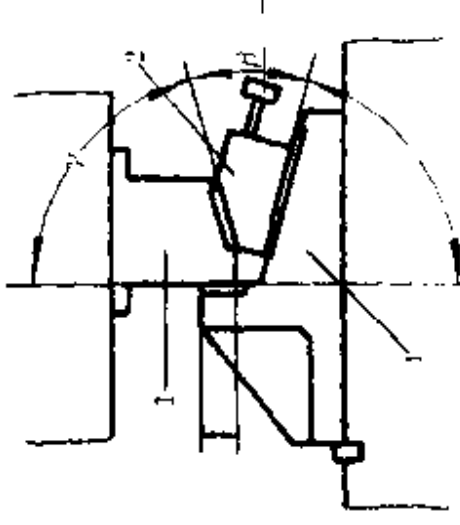
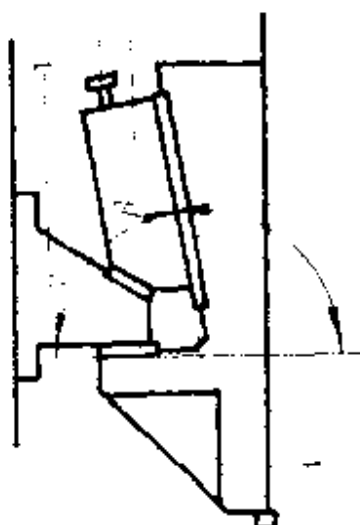
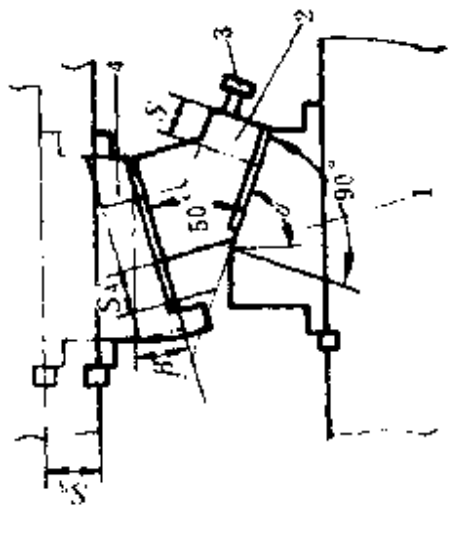
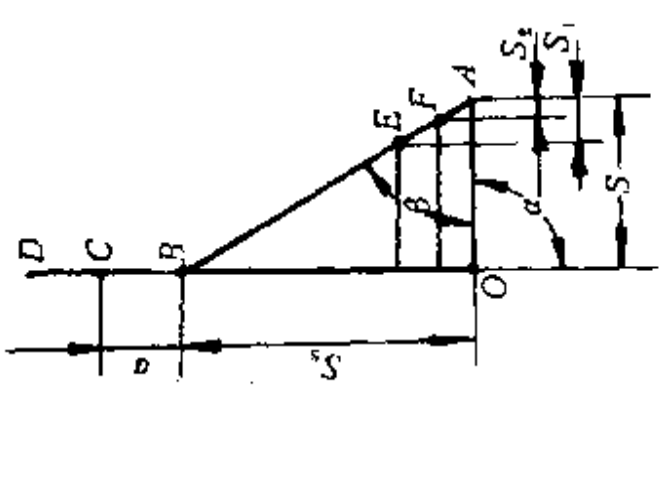
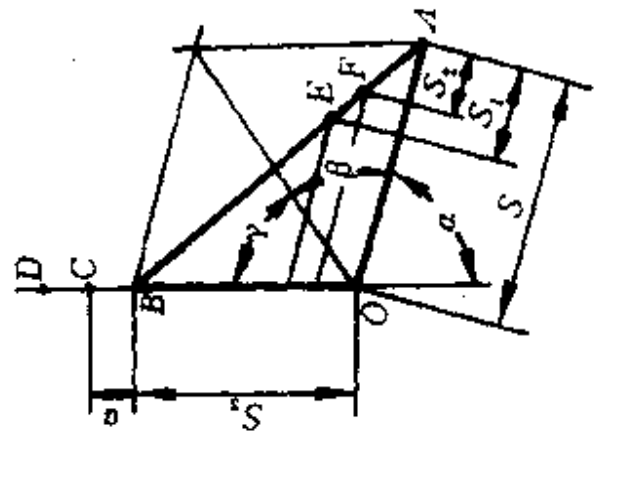
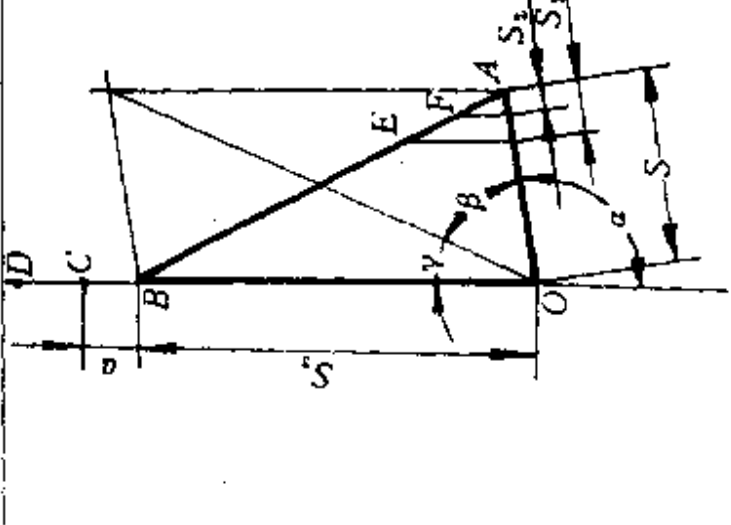
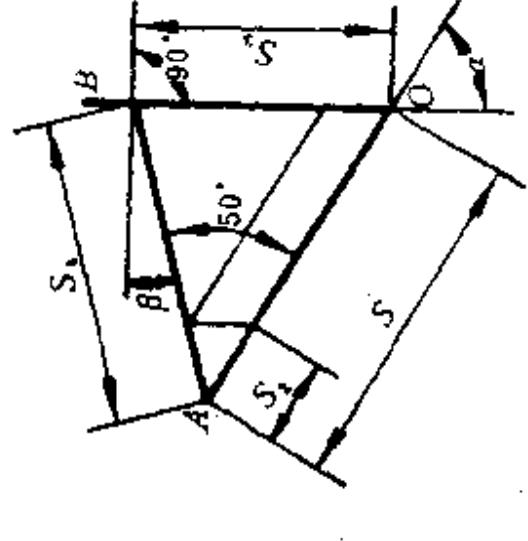
2. 返楔复位机构 (见图 8-78)

滑块在返回复位的开始阶段, 零件需要卸料力, 冲头与零件才能脱开。有时则需要很大的力, 所以必须设置返楔机构才能实现。为了减轻弹簧的负荷, 加强滑块复位的可靠性, 也设置返楔机构。利用斜楔在压力机回程时靠返楔机构将滑块拉回到初始位置。返楔机构工作时复位板 6 与矩形键 5 之间的倾斜面产生相对运动, 使滑块 8 返回。

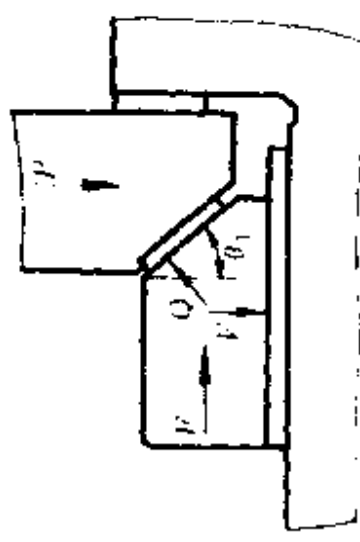
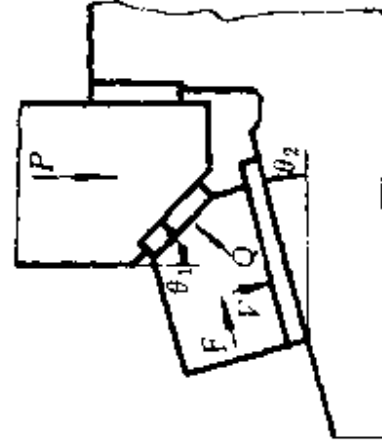
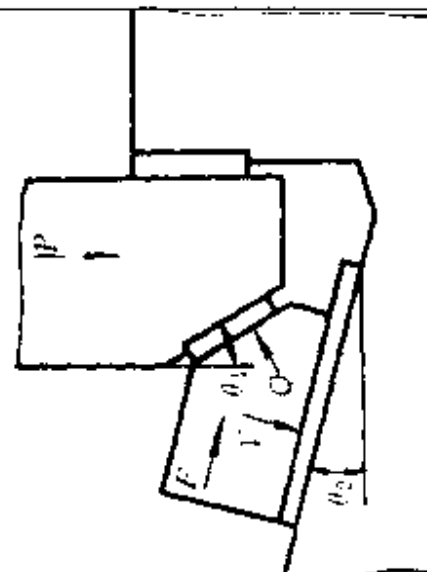
返楔机构的安装要求矩形键与复位板相互平行, 而且与滑块 8 的夹角应一致并用螺钉固定。

本结构可用于各类模具。特点是结构紧凑, 工作可靠, 它可以与弹簧复位机构同时并用。

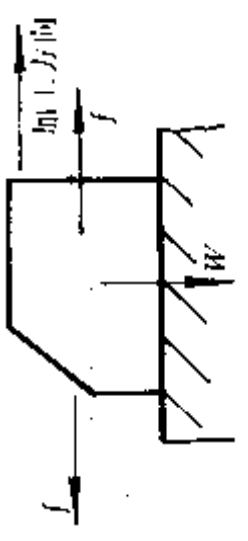
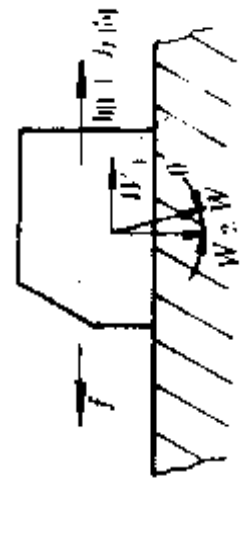
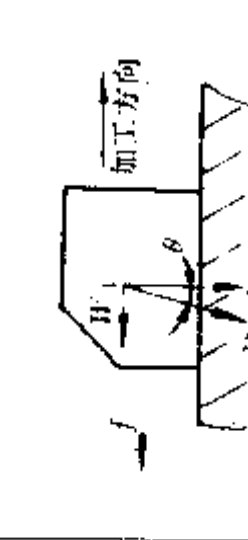
表 8-1 行程的计算公式与简图

项目	类别			
	水平斜楔 (一)	向下倾斜斜楔 (二)	向上倾斜斜楔 (三)	空间斜楔 (四)
结构图				
行程图				

(续)

		类别			
项目		水平斜楔 (一)	向下倾斜斜楔 (二)	向上倾斜斜楔 (三)	空间斜楔 (四)
计算公式		$\frac{S_2}{S} = \tan\beta$	$\frac{S_2}{S} = \frac{\sin\beta}{\sin\gamma}$	$\frac{S_2}{S} = \frac{\sin\beta}{\sin\gamma}$	$\alpha = 10^\circ + \beta$ $S = \frac{S_2 \cos\beta}{\cos(50^\circ - \beta)}$
工作受力图					
计算公式		$Q = \frac{F}{\cos\theta_1}$	$Q = \frac{F}{\cos(\theta_1 - \theta_2)}$	$Q = \frac{F}{\cos(\theta_1 + \theta_2)}$	

(续)

项 目	类 别			
	水平斜楔 (一)	向下倾斜斜楔 (二)	向上倾斜斜楔 (三)	空间斜楔 (四)
复位受力图				
计算公式	$f = f' = \mu W$	$f = w_2 \mu + w_1 = \mu w \cos \theta + w \sin \theta$	$f = \mu w \cos \theta - w \sin \theta$	

注：1—斜楔；2—滑块；3—压料板；4—后挡块。 β —滑块角； α —加工界限角； γ —斜楔角； a —最小尺寸25mm。A—加工结束点；B—斜楔与滑块上的接触点；C—斜楔和后挡块的接触点；D—上下模导向接触点；E—压料板开始压着零件点。S—滑块行程； S_1 —冲裁行程； S_2 —压料板行程； S_3 —斜楔接触滑块后的行程； θ_1 —滑块行程、Q—斜楔和滑块间的垂直分力；I—滑块和下模座间的垂直分力；P—I工作时的作用力；F—I工作时各种反作用力总和； θ_1 —斜楔和滑块间的作用力角； θ_2 —滑块和下模座间的作用力角；f—拉动滑块所需要的力； μ —滑动时的系数(0.4)；W—滑块重量； θ —倾角。

(六) 斜楔机构的设计

1. 斜楔、滑块和后挡块之间的关系

(见图 8-79)

斜楔开始接触滑块时位于 B 点, B 点的垂线(力的作用线)与滑块的交点 A 要位于 C 点的内侧, 以保证滑块工作时的稳定性。斜楔和滑块接触面的长度最小应在 50mm 以上。工作时滑块和斜楔在斜面上的接触面积应在 70% 以上。斜楔与后挡块的接触长度最小为 25mm, 保证斜楔工作时在水平推力的作用下不会翻转。

斜楔的数量与滑块的长度之间的关系见表 8-5。

滑块的尺寸关系

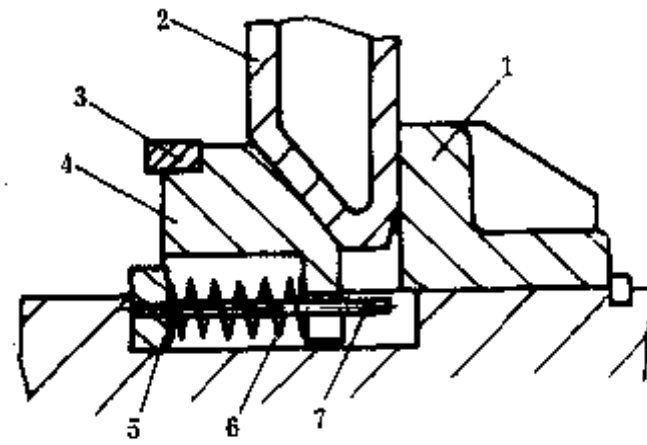


图 8-77 内装弹簧结构图

1—后挡块; 2—斜楔;

3—凸模; 4—滑块;

5—支座; 6—弹簧; 7—弹簧心轴;

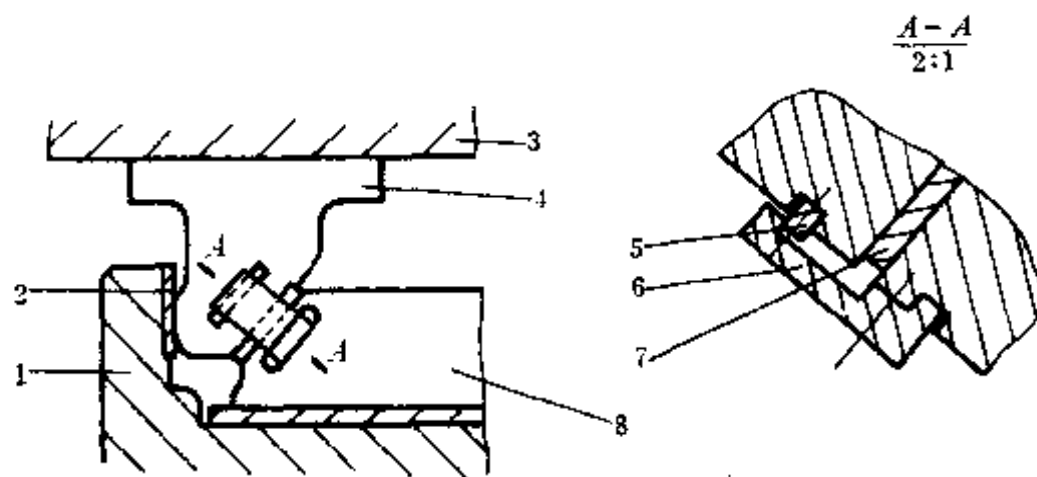


图 8-78 返楔结构图

1—下模座; 2—防磨板; 3—上模座; 4—斜楔;

5—矩形键; 6—刚性复位板; 7—防磨板; 8—滑块。

$$H : B = 1 : 1 \quad (\text{最小值})$$

$$H : B = 1 : (1.5 \sim 2) \quad (\text{标准值})$$

当滑块的长度 l 必须比宽度 B 长时, 要增加 B 值, 以增加滑块的稳定性。滑块的高度为 H 。

表 8-5 斜楔数量与滑块长度的关系

滑块长度 l (mm)	斜楔长度 L (mm)	数量
300 以下	70~120	1
300~600	70~120	2
600 以上	100~150	2~3

2. 后挡块的形状及尺寸

(1) 一般模具斜楔结构(见图 8-80)要求 $B \geq H$

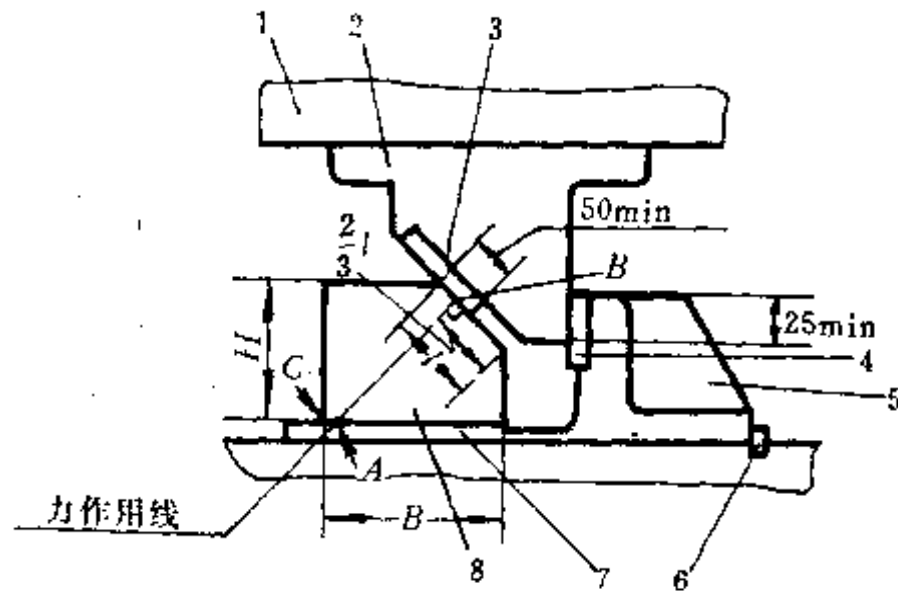


图 8-79 结构图

1—上模座；2—斜楔；3—防磨板；4—防磨板；
5—后挡块；6—键；7—防磨板；8—滑块。

(2) 大件模具用的斜楔结构（见图 8-81）要求 这种结构的特点是：后挡块和模

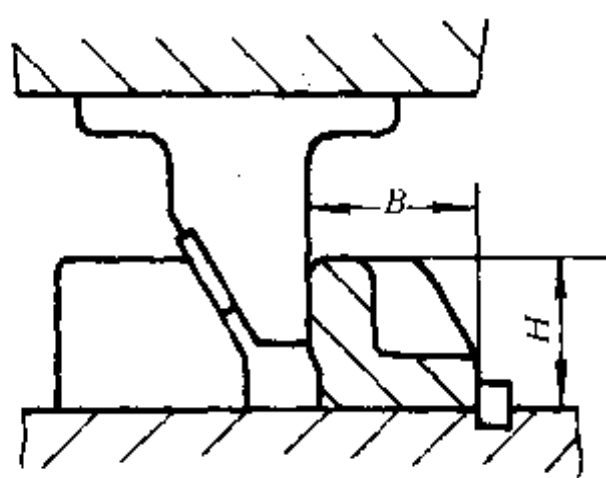


图 8-80 一般模具斜楔结构图

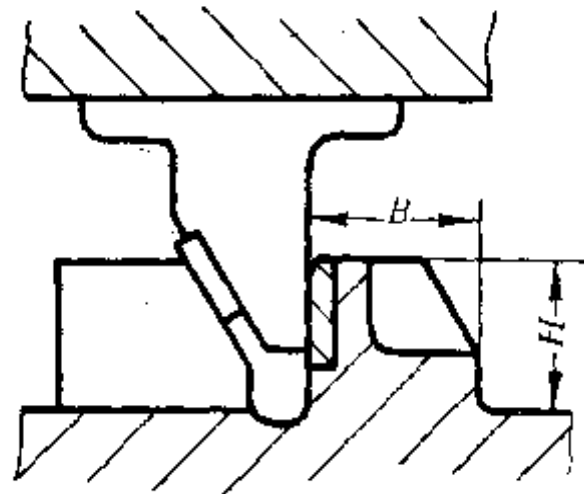


图 8-81 大件模具斜楔结构图

座铸成一体，能承受重负荷，后挡块的高度 H 和宽度 B 的比例不受 $B \geq H$ 的限制。

3. 滑块部分的结构（见图 8-82）

大型的斜楔一般采用铸件结构，相当于侧导向块的部分与铸件做成一体。滑块 1 的两侧面上装有镶条 2，便于调整，磨损后容易更换。由于是大型模具，则采用自动供油的防磨板。

第五节 翻边模设计

一、概述

覆盖件的翻边，绝大多数是为制件的最后焊接、装配的需要，以及为提高制件的刚

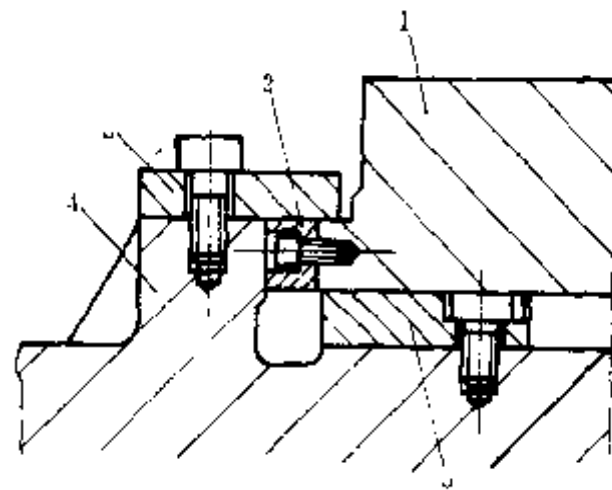


图 8-82 结构图

1—滑块；2—镶条；3—导向板；4—与模座铸成一体侧导向块；5—耐磨板。

度、强度、外观需要而设计的。但是，也常常因工艺需要而有附加的翻边工序。例如，为了避免水平切边；或者由于成形极限限制了直壁部深度，直接成形有困难，需经过切边、翻边才能达到产品图要求（见图 8-83）。

覆盖件的翻边，种类繁多，如果用冲压工艺理论来对覆盖件翻边进行分类，将是一个十分不便的工作。因为覆盖件的翻边线一般都为空间曲线，在同一翻边上包含了若干段不同性质的翻边。有时是内曲翻边，有时是外曲翻边，而还有类似于整形的翻边（见图 8-85c）。图 8-84 所示为按翻边凹模的运动方向划分的覆盖件翻边种类。

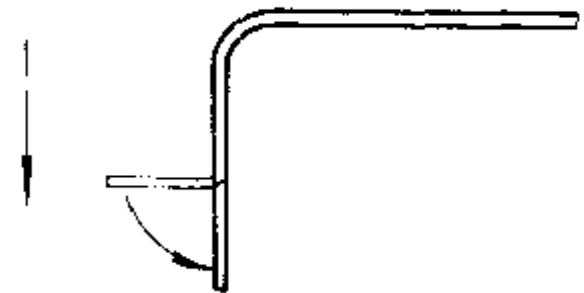


图 8-83 工艺需要附加翻边

图中箭头方向即为加工方向。按照翻边分类的定义，图 8-84 (a)、(b) 为垂直翻边；(d)、(e) 为水平翻边；(c) 加工方向一般采用倾斜式的，所以可定义为倾斜翻边。采用这种分类方法，不仅简便，而且与模具设计发生联系。覆盖件翻边模结构形式的分类就是与翻边的分类相对应的。

二、翻边工艺设计

（一）冲压方向

对于大型覆盖件，通常都有一个主型面，而这个主型面的法向线常常不与车身坐标线平行。冲压方向一般选择与主型面的主法向相反的方向。其目的，首先为了获得制件在模具中处于高度差最小的平衡位置；其次，以主法向相反方向为冲压方向可使制件在下模中呈凸起状，便于下模以凸起的型面作为稳定的定位基准；另外，制件的拉延模（单动）、切边模等工序都是以与这个方向相近的方向为冲压方向，在生产操作过程中可避免制件在各工序间翻来倒去。而且，各个工序的冲压方向的一致性为冲压加工自动化提供了方便。

对于立柱、横梁类的制件，以及其他主型面不明显的制件，则应以在制件定位稳定

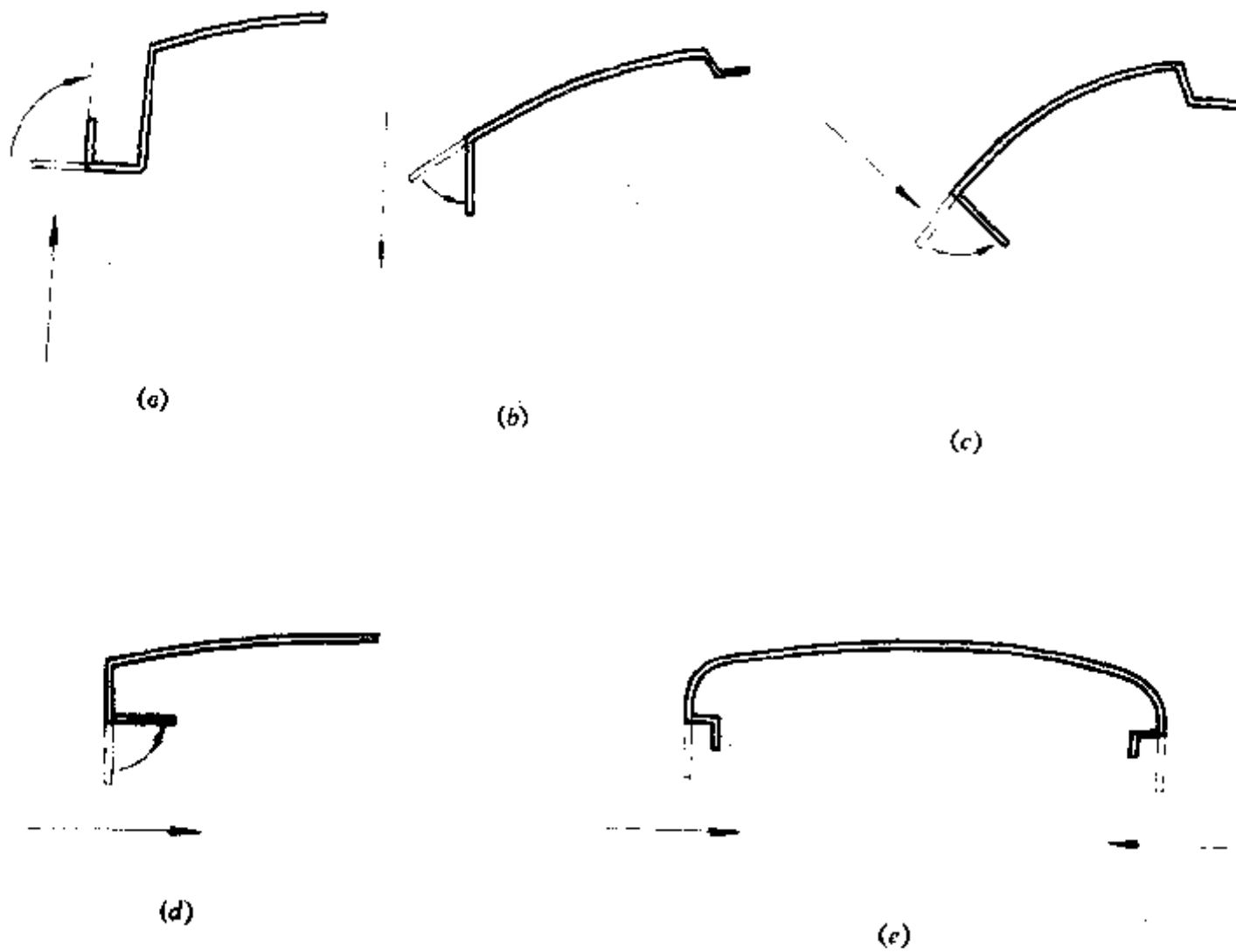


图 8-84 各种典型的覆盖件翻边

而可靠的情况下，用能够以垂直翻边完成加工的方向为冲压方向。因为垂直翻边模具结构最为简单可靠。另外，在前面提到的与主法向相反方向为冲压方向的制件，如果为倾斜翻边，而且可通过主型面旋转不大的角度获得垂直翻边，这时就应以凸面向上翻边面与水平面垂直的方向为冲压方向。

(二) 加工方向

加工方向即模具工作部位的运动方向。制件在冲压方向确定后，翻边的加工方向也随之确定。对于垂直于水平面的边，当然需要垂直的加工方向，而对于不垂直于水平面的边，可采用水平也可采用倾斜这两种加工方向。但是，具体采用哪种，对翻边的工艺性进行详细分析才能确定。

对于变形程度大的不平行于水平面的边，采用平行与该边的加工方向，有利于克服翻边的工艺缺陷。而且，在有开裂、起皱出现的情况下，只有平行于该边的加工，才有可能通过改变凹模刃口的形状来调节翻边的顺序，以及改变凸凹模的间隙等工艺参数，从而消除了工艺缺陷。这也就是说应该采用倾斜翻边。

有些倾斜的边，虽然变形程度不大，但是仍会发生扭曲。此时选择加工方向更应详细地研究凸凹模的干涉情况，要绝对避免沿加工方向所发生的干涉现象。这种情况常常也需采用倾斜翻边才能满足要求。

除上述两种情况外，不平行于水平面边的加工，以采用最简单的模具结构能完成为准则，即优先选择垂直方向加工，其次选择水平方向加工，最后选择倾斜方向的加工。

（三）定位

翻边工序一般都在切边、冲孔以后进行，因此，制件的定位一般都比较可靠，方式也比较多，即不单有成形面，还有可利用的孔和尺寸准确的周边等。通常，在成形面的深度和大小合适的情况下，以选择用制件形面定位为佳。在形面定位不可靠时，可选择制件中的孔作为定位基准。在形面浅，又无可利用的孔，例如，轿车发动机盖的外板，就只能用已切边的外轮廓进行定位。

（四）取件

翻边模制件的取出比其他工序的取件要复杂一些。因为翻边模的退料是双向的，不但凹模需要退料，凸模也需要退料。压料装置可以起退料的作用，但覆盖件翻边模一般只设计主型面的压料，因而只起凹模退料的作用。所以，翻边模都要专门设计凸模退料装置。制件退出凸模后，如果是手工操作，为了操作方便，还需要把制件用托架托到高于定位器的位置，取出时才不易碰伤制件。如果是机械手，或其他自动化装置取件，托架就需要把制件托到自动化装置要求的位置。垂直翻边，单侧面的倾斜翻边、水平翻边，都可采用这种用退料装置退料，提升托架取件的方法。有些单侧面的倾斜翻边，几乎没有退料力（见图 8-89），此时可不设计退料装置，直接由提升托架取件。对侧的水平翻边，只有设计双向斜楔机构才能顺利退料（见图 8-90）。所以，在工艺设计时应尽量使多方向的水平翻边能够分解为单向水平翻边，并合理安排到其他必要的工序中，在不增加模具的情况下，简化模具的设计和制造。

（五）安全措施

1. 压料板的安全限位

覆盖件翻边模的压料板，一般质量达数吨。安全限位的作用就是保证压料板在工作限位出现意外情况时，不至于突然从上模落下，造成人身伤害和模具损坏的事故。限位方式有多种，其中最常用的是安全限位螺栓、安全限位板和限位销。

2. 刚性复位

翻边模的斜楔机构很多，斜楔滑块的回位一般是靠压簧实现。但是，为了安全起见，在斜楔与斜楔滑块间必须设计刚性的复位机构。在斜楔回程时，刚性复位机构可强制滑块复位。因为弹簧容易发生意外，而不能使滑块复位。一旦刚性复位块意外地损坏，那么以其发出的响声会立即停机。检查故障，修复模具及刚性复位块，从而保证模具安全运行。

3. 上下模封闭高度限位

翻边模上下模的限位，非常重要。对于垂直翻边模，初学者常常认为可不设计专门的限位，靠凸模通过压料板与上模间的刚性接触，自然限制了模具的封闭高度。其实，这种限位方式对于大型模具是不可取的。因为这种限位方式不能直接用肉眼观察，一旦模具安装时压力机封闭高度调节不慎，就会产生巨大的过载，以致损坏模具和机床。因此，垂直翻边时，应该设计通过肉眼能够观察的限位块，保证到位时，翻边行程已结束，而且压料板与凸模为弹性接触，即压料板与上模座还有一段空隙，一般为 10mm。水平翻边和倾斜翻边，如果加工方向与翻边平行，上述设计限位的方法仍然适用。

翻边与加工方向不平行的情况下，如图 8-85 所示，此时，无论是垂直翻边、水平翻边、还是倾斜翻边，限位设计的精度要求更高。因为这类翻边，在工作行程结束时，凸

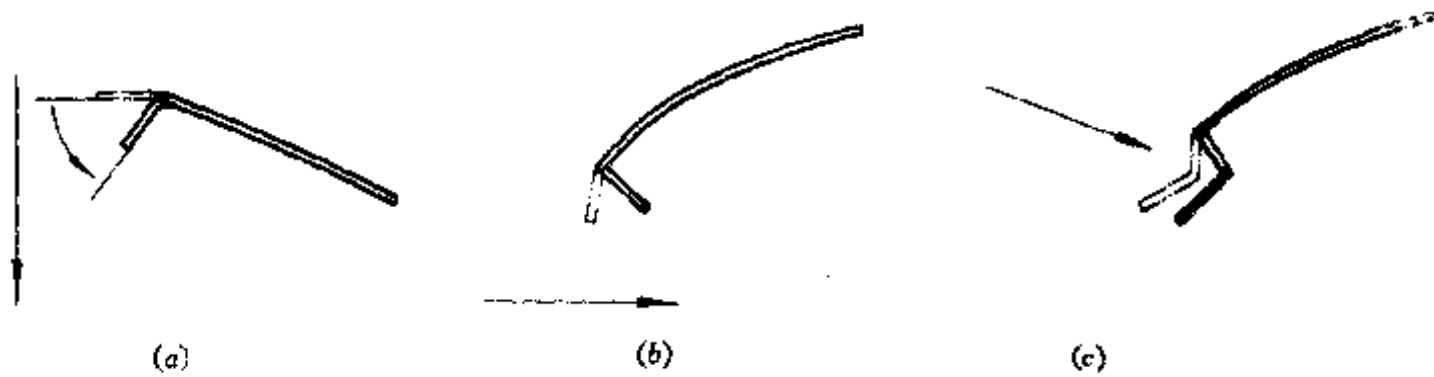


图 8-85 加工方向与翻边不平行

凹模为刚性接触，且肉眼不能直接观察。限位块不但要设计在便于观察处，而且设计的高度要保证凸凹模刚好到位，同时还要使内部的压料板与上模间隙为 10mm。

三、翻边模结构设计

翻边模结构，按照典型结构可分为三大类：垂直翻边模、斜楔翻边模和双向斜楔翻边模。为了对典型结构有一个较为详细的了解，下面，通过实例，对各类翻边模分别进行结构设计介绍。

（一）垂直翻边模

如图 8-86 所示为 SC110 车门外蒙皮翻边模的结构示意图。图中，定位退料装置的结构如图 8-87 所示。在定位退料装置的结构图中可见，工作时，限位销退出，压杆使定位块和退料块都下降，并离开凸模工作部位且对凹模让位。工作行程结束后，凹模带动压杆上升，压簧使导柱带动退料块和定位块上升，并使制件退出凸模。下一个行程开始时，制件可放在升起的退料块上并由定位块定位。限位销进入可使导柱处于下位。此时可进行凸模刃口部位的修理等工作。

垂直翻边模的工作原理也可参见图 8-86 所示。在加工完成后，凹模 13 回程，定位退料装置 8 同时上升退料。当制件退出凸模 9 后，提升托架 12 由行程控制开关或者手动开关控制气缸带动制件提升，高出定位块以便取出制件；延时电器开关或者手动开关控制气缸回程，带动托架回到下位后便可放入下一个制件；压料板 2 在压料弹簧 4 和本身自重的作用下，由导向板 6 导向，先于凹模压住已经定位的制件；在凹模继续下降开始工作时，压料板已牢牢压住制件使翻边加工顺利进行。

图中导向杆 10 可使提升托架运行平稳，并平衡托架重心与气缸作用点不重合的倾倾力矩。车门外蒙皮型腔浅，且无孔（该工序），所以必须用外形定位。起吊螺母在压料板铸造时铸入，使压料板在模具制造、装配和修模时可方便地搬运。

（二）斜楔翻边模

1. 水平斜楔翻边模

如图 8-88 所示为 SC110 车门外蒙皮的水平翻边模的结构示意图。由于本工序仅为单边水平翻边，模具只需满足压料、翻边成形的要求。制件的定位采用悬臂支架上安装定位块的形式，这样可减小模具主体部分的结构尺寸，降低模具的制造费用。

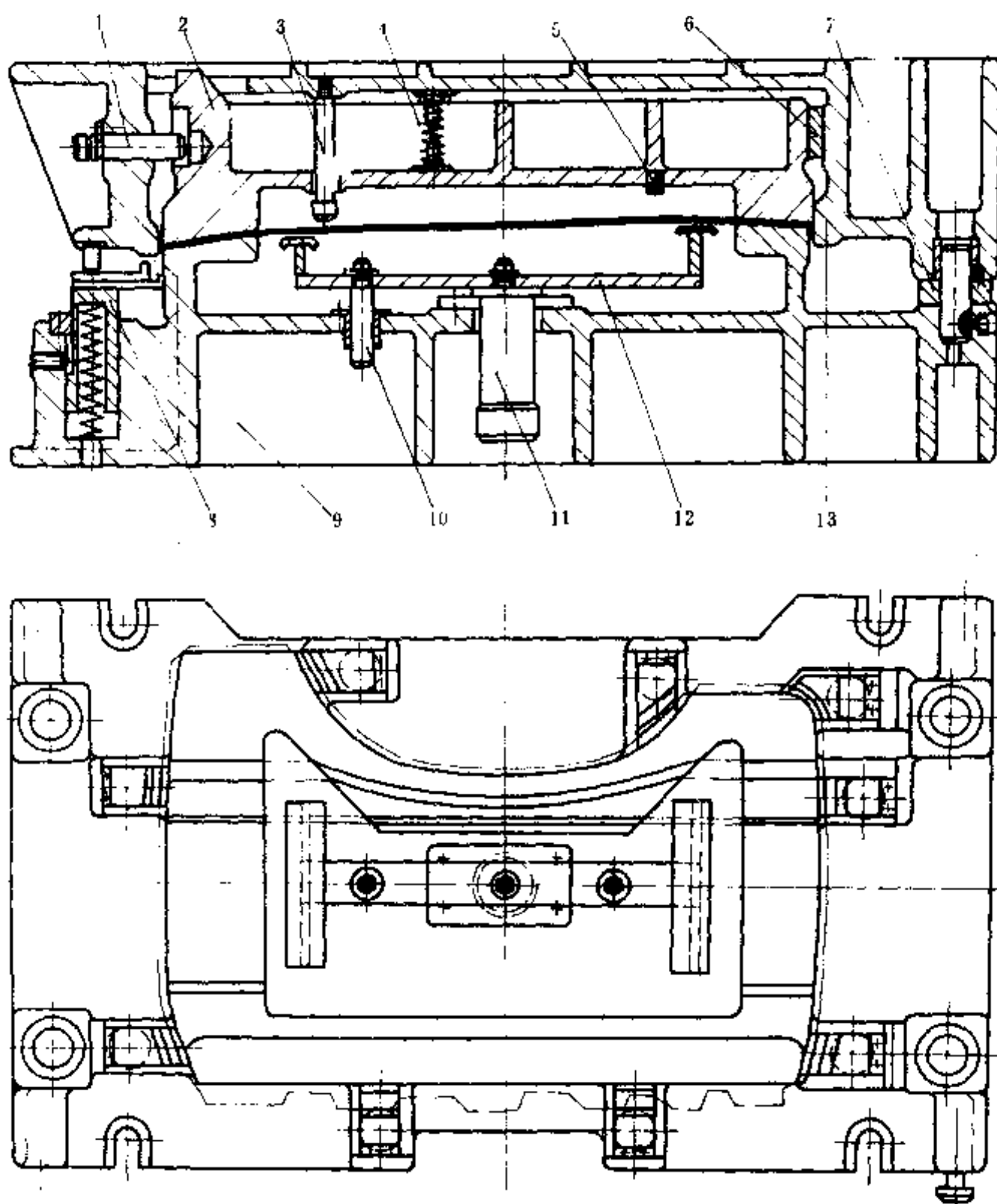


图 8-86 SC110 车门外蒙皮翻边模结构图

1—限位侧销；2—压料板；3—安全限位螺栓；4—压料弹簧；5—起吊螺母；6—导向板；7—限位块；
8—定位退料装置；9—凸模；10—导向杆；11—提升气缸；12—提升托架；13—凹模。

模具工作原理如下：制件放入时，退料块 13 与凸模齐平，定位块 12 与凸模使制件准确定位。上模下降，压料板 16 压住制件。斜楔 5 进入下模，使斜楔滑块 7 上的凹模镶块进入工作位置，完成水平翻边。限位块 1 使上下模以及凹模镶块进入凸模的位置且准确到位，并保证退料块与凸模镶块仍有间隙，以及斜楔距下模座在垂直方向也有间隙，压料板与上模座也有间隙。斜楔滑块回程既用弹簧 10、又用橡皮 11 是考虑到斜楔滑块在回程时还要带动退料块起退料的作用。图中斜楔与斜楔滑块间的矩形虚线框为刚性复位块。退料块到达与凸模镶块垂直方向齐平时，由限位块 6 限制到位，刚好退出制件又不妨碍下一个制件的放入定位。本结构采用手工操作，因此省略了提升托架机构。

2. 倾斜斜楔翻边模

倾斜加工方向必须依靠倾斜运动的斜楔滑块才能完成。倾斜斜楔的结构形式很多,如图 8-89 所示为 SC110 前围冲孔翻边模。在该模具结构简图中,斜楔滑块 3 的结构为一种典型的上滑块结构。该模具图中前围上端(平面图左侧)有一条类似整形的曲线翻边线。由于翻边线的端部带有钩形,翻边凹模从水平和垂直方向都不能进入,即凸凹模在这两个方向会发生干涉。其次,由于紧靠翻边线有几个需要加工的小孔,冲压方向要求为倾斜方向,所以前围上端的翻边采用倾斜翻边。前围两侧面,图中 a 点至 b 点为垂直翻边。型面上还有大小 28 个孔的冲孔都在本模具中完成。由于两侧面的垂直翻边(由图 A-A 剖面可见)底部圆角较大,还有壁部的一大段斜边,所以退料阻力不大,仅在 b 点附近退料阻力较大。由平面图中可见,在 b 点附近转角处设置了退料装置,其结构可参见图 8-87。该模具的翻边,虽为半封闭式,但

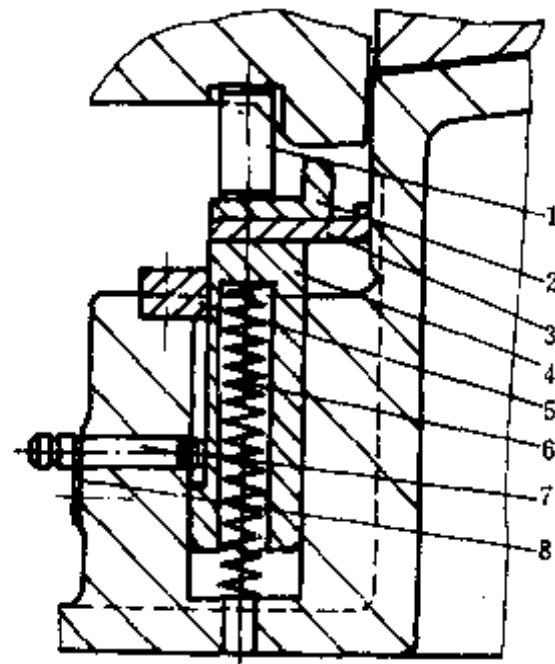


图 8-87 定位退料装置结构图

1—压杆；2—定位块；3—退料块；
4—导柱；5—限位块；6—压簧；
7—限位销；8—卡块。

由于 a 、 b 两点间和 b 点转角处的退料,和上端部的倾斜翻边,可同时进行。因而,该模具的结构设计、巧妙地运用退料的先后顺序和提升托架的倾斜,避免了采用双向斜楔机构才能解决的退料问题。其导向方式采用了导柱和角式背靠块复合导向结构,在工作部位不对称的情况下,可防止上下模工作时产生的侧向力对导柱的影响。冲孔产生的废料全部由几个大小不同的承接式废料盒承接,小孔废料可在装换模具时处理,大孔废料需即时处理。

模具工作原理如下:倾斜翻边靠上滑块沿斜楔角 α 方向进入凸模,完成倾斜冲孔和翻边。垂直翻边和冲孔工作的原理与垂直翻边模和冲孔模类似。制件的定位主要靠型面的形状和 b 点附近的退料定位装置。

(三) 双向斜楔翻边模

图 8-84 (e) 可代表 SC110 前围的侧面翻边工艺简图,由图中可见,该工序为对侧的水平翻边,必须采用双向斜楔机构才能完成翻边后的退料动作。如图 8-90 所示为该制件的侧面翻边模结构图。图中双向斜楔机构工作原理如下:斜楔进入下模,首先使主滑块向右运动,并由限位块 3 限位,主滑块带动凸模镶块也就进入了工作位置。斜楔继续下降,通过防磨板 11 使小滑块带动凹模镶块进入工作位置,完成翻边加工。此时,限位块 6 将与凹模镶块同时到位。回程时,斜楔斜面首先让位,小滑块在压簧 2 的作用下带动凹模镶块退出工作位置;当斜楔防磨板 9 离开主滑块时,主滑块在压簧 1 的作用下带动凸模镶块行程 S_1 ,使已成形的水平边让位;然后提升托架带动制件脱离定位块上升到便于取件的位置,以便取出制件。下一个工作行程开始时,制件的左右方向靠前围两个车灯孔处的定位块定位。平面图中,前后方向靠前围上端已加工好的翻边和车灯处的定位块定位。

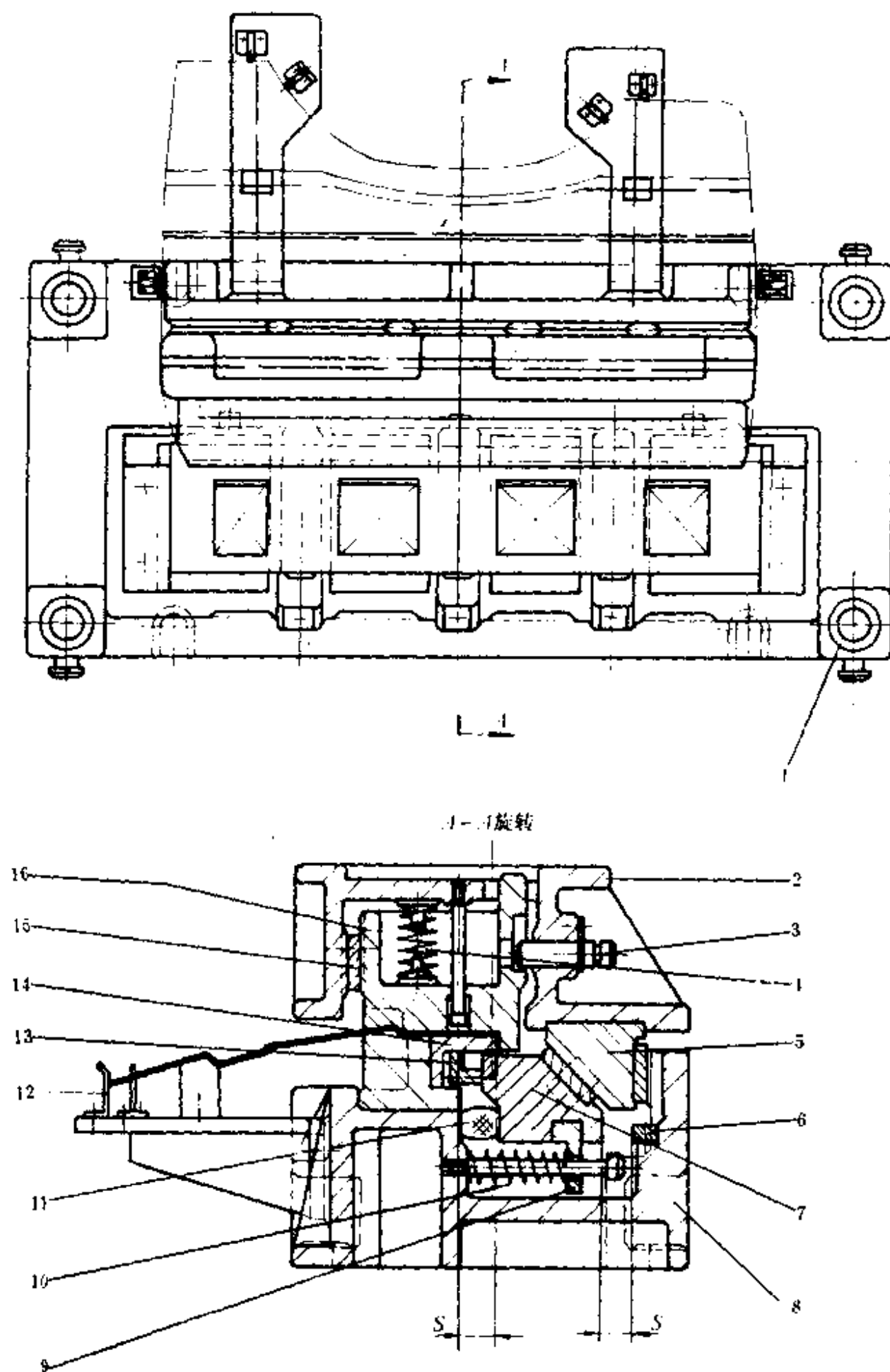


图 8-88 SC110 车门外蒙皮水平翻边模

1—限位块；2—上模座；3—限位侧销；4—压料弹簧；5—斜楔；6—限位块；7—斜楔滑块；8—下模座；
9—回位键；10—回位弹簧；11—回位橡皮；12—定位块；13—退料块；14—凸模镶块；15—导向板；16—
压料板。

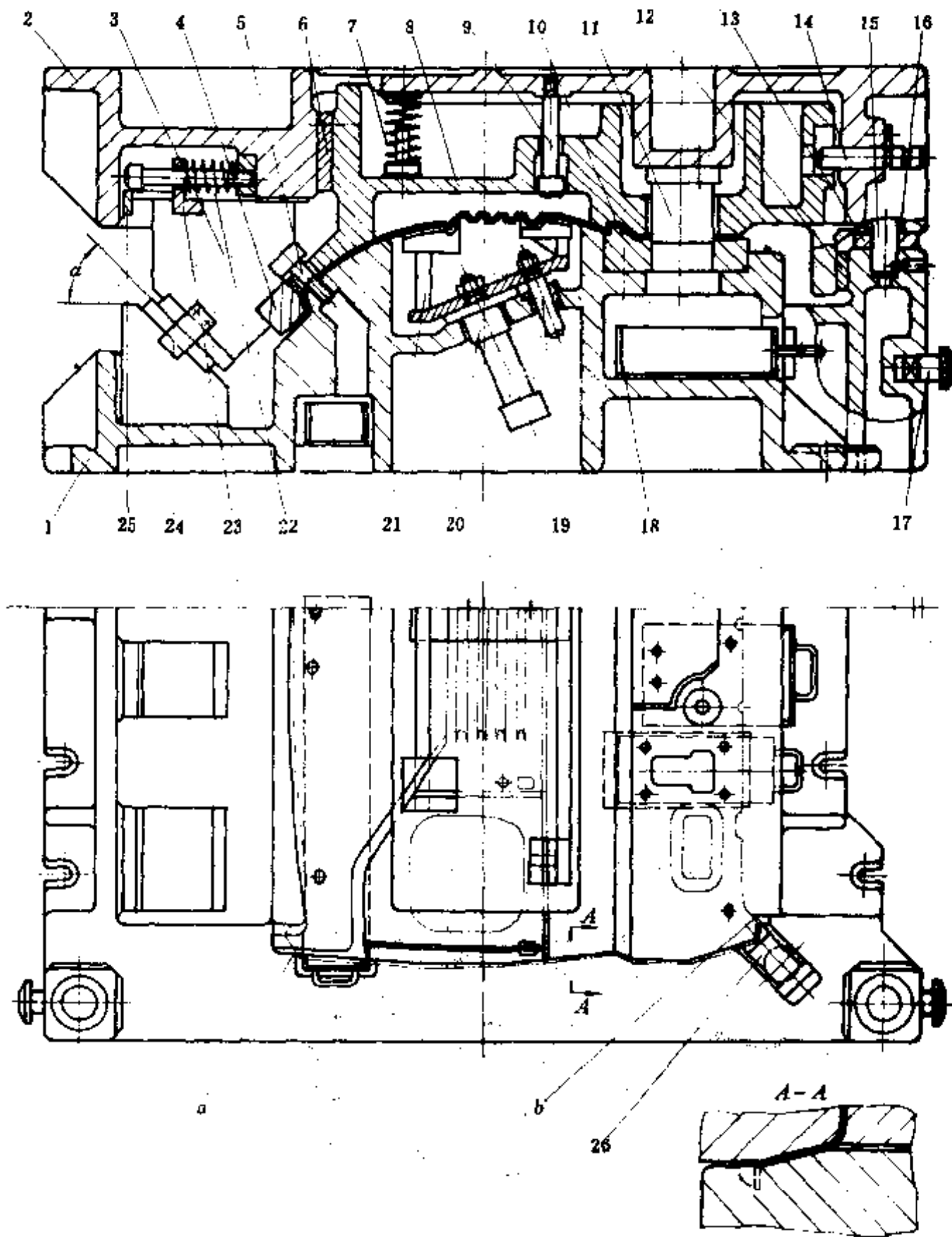


图 8-89 SC110 前围冲孔翻边模结构图

- 1—凸模；2—上模座；3—斜楔滑块；4—凹模镶块；5—冲孔冲头；6—导向板；7—压料弹簧；8—压料板；9—安全限位螺栓；10—冲孔凹模镶块；11—冲孔冲头；12—导向板；13—限位块；14—限位侧销；15—导柱；16—导套；17—起重棒；18—废料箱；19—导向杆；20—托架气缸；21—提升托架；22—回位弹簧；23—回位键；24—刚性复位块；25—滑块限位块；26—退料装置。

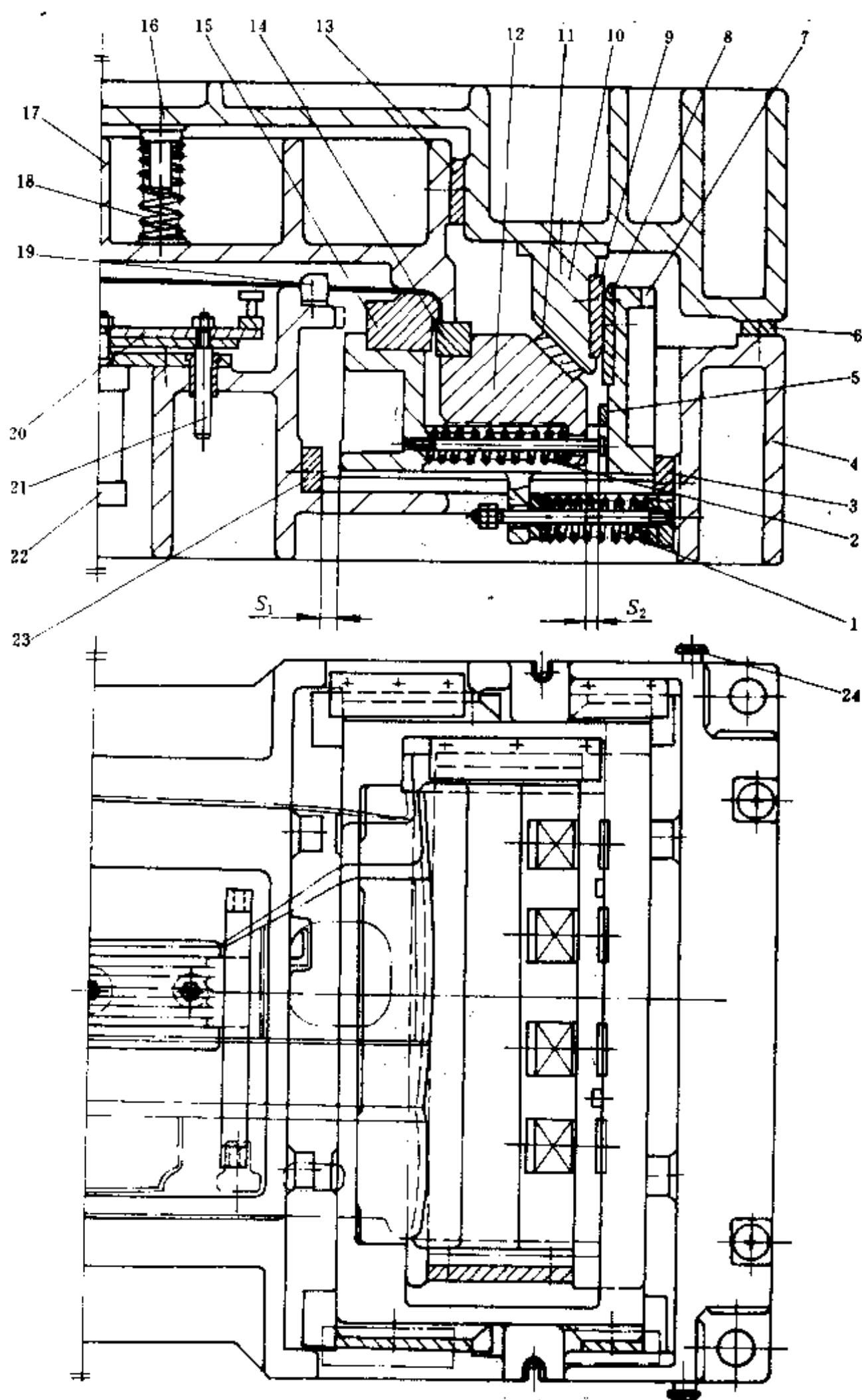


图 8-90 SC110 前围侧面翻边模结构图

1—主滑块回位弹簧；2—小滑块回位弹簧；3—主滑块限位块；4—下模座；5—小滑块限位块；6—限位块；7—主滑块；8—防磨板；9—防磨板；10—斜楔；11—防磨板；12—小滑块；13—导向板；14—翻边凹模镶块；15—凸模镶块；16—上模座；17—压料板；18—压料弹簧；19—定位块；20—提升托架；21—导向杆；22—气缸；23—主滑块限位块；24—起重棒。

四、翻边凸凹模工作部位形状的设计

应该注意在空间曲线的翻边线上，往往会同时出现内曲翻边，外曲翻边，直线翻边。因而变形性质十分复杂。汽车覆盖件对翻边的轮廓线有轮廓度要求，对翻边面有平面度要求，以满足整车外观的表面质量和装配及焊接的要求。翻边凸凹模工作部位形状的设计，就是为了在复杂的变形条件下，根据不同性质的翻边变形情况，从模具工作部位形状上采取措施防止产生缺陷，提高产品质量。

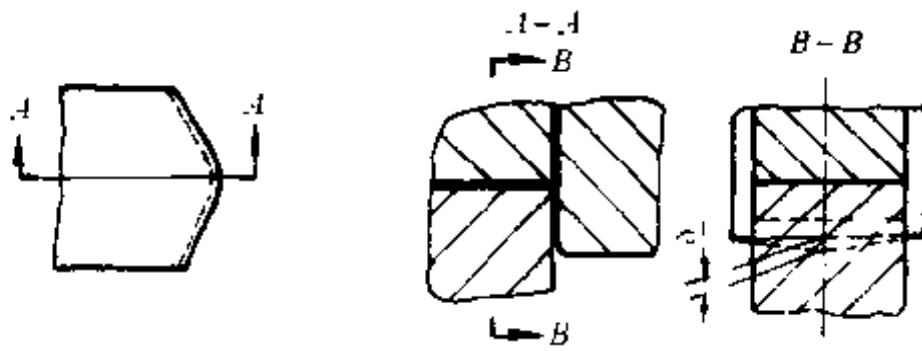


图 8-91 外曲翻边凹模刃口形状

如图 8-91 所示为一种外曲翻边的凹模形状结构图。在外曲部分弧线的中部 $A-A$ 剖面处，增加凹模的高度，可使加工时金属向两边转移，增大变形区，减少起皱及材料

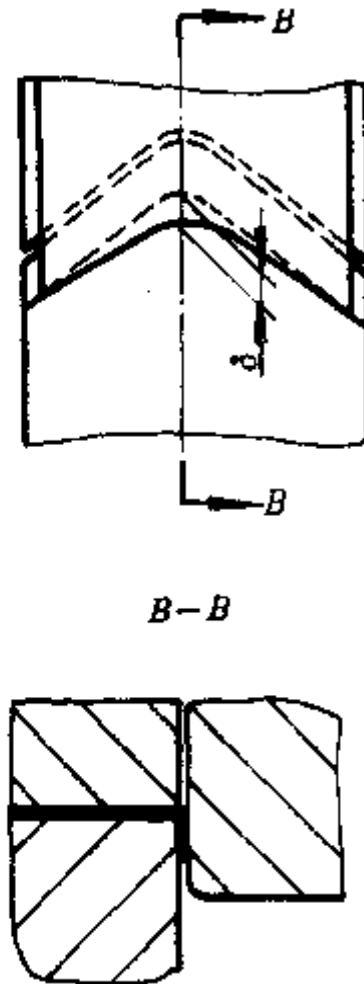


图 8-92 外曲翻边凹模刃口形状

变厚的趋向，提高制件质量同时提高模具寿命。如图 8-92 所示为另一种外曲翻边的形式。采用同样的设计方法，可达到提高制件质量的同时又提高了模具寿命的目的。内曲翻边与外曲翻边的情况相反，可通过降低内曲弧线中部凹模镶块高度的方法，使变形区扩大，减小开裂的趋势。

在覆盖件翻边中，常常有翻边线曲率很大或本来就是直边的情况，这时，用弯曲变形理论及经验公式来判断其变形的规律，做为模具的设计依据。这种作法实践证明较为可靠。例如，在弯曲过程中有一组经验公式可判断制件的成形精度，这组公式是：当

$$l/w > 5$$

式中 l ——弯曲线长度；
 w ——弯曲边宽度。

将在弯曲线的两端产生翘曲变形；而当

$$l/w < 5, l/t > 8$$

式中 t ——弯曲件厚度。

没有翘曲变形。覆盖件直线翻边或曲率不大的曲线翻边，主型面为宽边，翻边面为窄边，

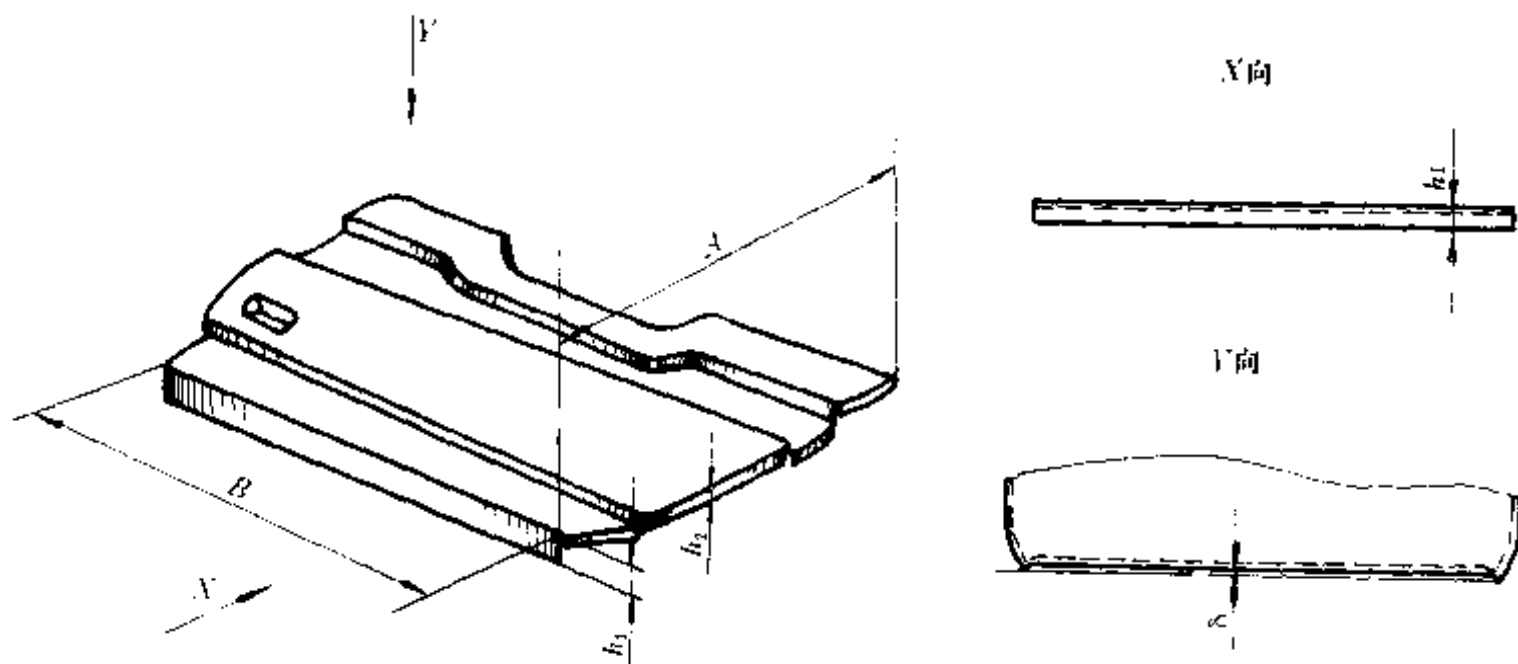


图 8-93 覆盖件直线翻边的变形分析

共有一条“弯曲线”——翻边线（见图 8-93），图中， B 部分为直线翻边。在 Y 向视图中： $l/w = B/A \ll 5$ 且 $l/t = B/t \gg 8$ ，附合不产生翘曲变形的条件，所以主型面的成形精度直接由模具形状保证。而在 X 向视图中： $l/w = B/t_1 \gg 5$ ，这样在翻边面上一定会发生翘曲变形。为了消除翻边面的翘曲变形，保证制件在 Y 向翻边轮廓线的精度要求，采用图 8-94 中所示的凸模形状修正法，将使翻边加工后制件的轮廓度得到保证。

另外，车门外板，发动机盖外板等覆盖件的翻边，在最后的扣合加工过程中也要发生与 Y 向翘曲变形形状相同的变形，而影响了制件 Y 向轮廓度的精度。因此在翻边时，凸模形状也应该按图 8-94 所示的形状修正。

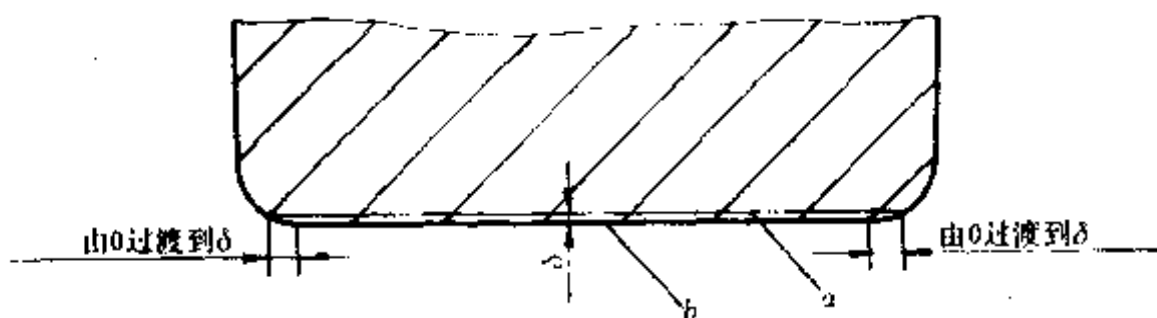


图 8-94 翻边凸模形状的修正

第六节 扣合模设计

一、概述

在汽车覆盖件模具中，扣合模的地位比较特殊，工艺特点也与一般模具有很大的区别。从加工性质上看，扣合模是汽车的车门、发动机盖等内外板式结构的车身制件在装配扣合时，用冲压加工工艺来完成组装工作的模具。当然，扣合后仍需局部点焊加固。从工序上看，扣合时内外板制件都是已经过多道工序加工后的焊接组件。例如车门内板，不但本身是经过多道工序加工的冲件，而且还组装了不少如门锁、摇窗机构等附件的一个焊接组件，由此可见，扣合模一般不在冲压生产线上，而通常是在焊接生产线上使用，所用设备通常为油压机。从冲压工艺上看，一般覆盖件模具一次只加工一个制件，而扣合模是同时在一个模具上完成两个组件的扣合加工，在制件的送料、定位、取件等工艺过程上都必须考虑这个特殊情况，才能设计出满足使用要求的模具。

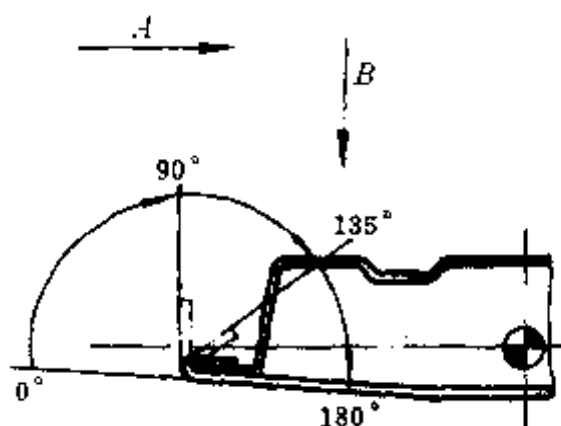


图 8-95 扣合工序示意图

A—预弯曲翻边的加工方向；B—扣合加工方向。

如图 8-95 所示为汽车内门板与外门板扣合加工的示意图。所谓扣合，用冲压工序

术语来描述,即一个具有 90° 翻边的制件,与一个带法兰边的制件按一定的公差配合要求组装后,在扣合模中完成从 90° 到 180° 的翻边,并使两个制件由此成为一个组装整体的冲压加工过程。仅从翻边工艺角度出发,由图中所示,从预翻边加工方向可以一次完成从 $90^\circ\sim 180^\circ$ 的翻边过程。但是,为了保证扣合后,扣合面的表面质量以及两个制件连接的可靠性,扣合过程一般分为两道工序,在预弯加工方向先把 90° 的边翻到 135° 左右,然后再由主加工方向使其完成 180° 的翻边。由于主加工方向与 180° 边近似垂直,通过凸凹模到位时的刚性接触可产生较大的整形力,使扣合后的边贴模性提高,保证有较好的表面质量和可靠的连接性。当然,为保证连接的可靠性和密封性能,还需要采取一些其他工艺措施。如在扣合部位加工前涂粘接剂、密封胶等。

由于扣合的冲压加工性质属于翻边,因此外板的翻边高度必须充分考虑到从 0° 到 90° 的翻边和从 90° 到 180° 的翻边,保证在总成形极限范围以内。一般在弯曲线曲率大的部位相应降低翻边高度,有时甚至取其高度为零,既在尖角处开缺口。通常在大曲率部位取 $3\sim 7\text{mm}$ 的翻边高度。但是,像车门的四个角等对于连接质量至关重要的部位一般不允许开缺口,而尽量取最大极限的翻边高度。同时,在模具的凹模刃口形状设计时,应考虑预翻边的加工方向、翻边顺序等工艺参数,采取必要的措施,保证扣合质量。

二、扣合模的结构

在汽车覆盖件模具中,大批量生产的、高效率的、多工序复合模应是汽车模具的主流。扣合过程仅两道工序,应该设计为一套复合工序的模具。现在国外扣合模设计总的趋向是,考虑到预弯曲翻边成形力不大,且需要完成的动作复杂,一般都抛弃了结构笨重但承载力强的滑动斜楔机构,而多采用结构小巧、机动灵活的摇臂机构。

(一) 总体结构

如图8-96所示为SC112后门扣合模结构简图。图中主要表示的是翻边工作的机构,省略了送料、取件装置和部分定位装置。该模具工作原理如下:车门内外板组合后,由送料滚轮及导向滑槽的导向,轻松地滑入模具退料提升托架之中,并由导向滑槽及后定位器初步定位。退料提升托架下降使内外板制件进入模具准确的定位板14,定位销16之中。上模下降,压料定位板4使内板紧贴外板并进一步校正内板的位置。上模继续下降,凸轮座带动凸轮与摇臂机构22上的滚轮接触(图中所示情况),使摇臂带动预弯凹模镶块进行预弯翻边。当凸轮中心线低于滚轮中心线时,凸轮继续下降,摇臂机构22将在回位弹簧20的作用下带动预弯曲凹模镶块1退出工作位置,在不发生干涉的情况下,预弯凹模镶块让位的同时主弯曲凹模镶块进入工作位置,完成扣合加工。主弯曲凹模镶块到位的同时限位块9也同时到位,这种设计可以通过调节限位块9的高度使主弯曲凹模镶块与凸模之间的间隙产生变化,控制扣合边的质量达到理想的要求。回程时,首先主弯曲凹模镶块离开制件,凸轮21紧接着使预弯凹模镶块作一次重复工作行程的运动,在凸轮离开滚轮时,摇臂机构又在弹簧20的作用下使预弯凹模镶块回复到开启的位置。退料提升托架15在油压机顶出杆的作用下使制件上升到制件送入时的高度位置,通过同一高度的取件方向的滚轮组及侧向导向使制件取出。后门上框部位扣合后与垂直方向角度很小,如果这里(见图8-96左)仍采用预弯、扣合的复合结构,凸模工作部位的强度将

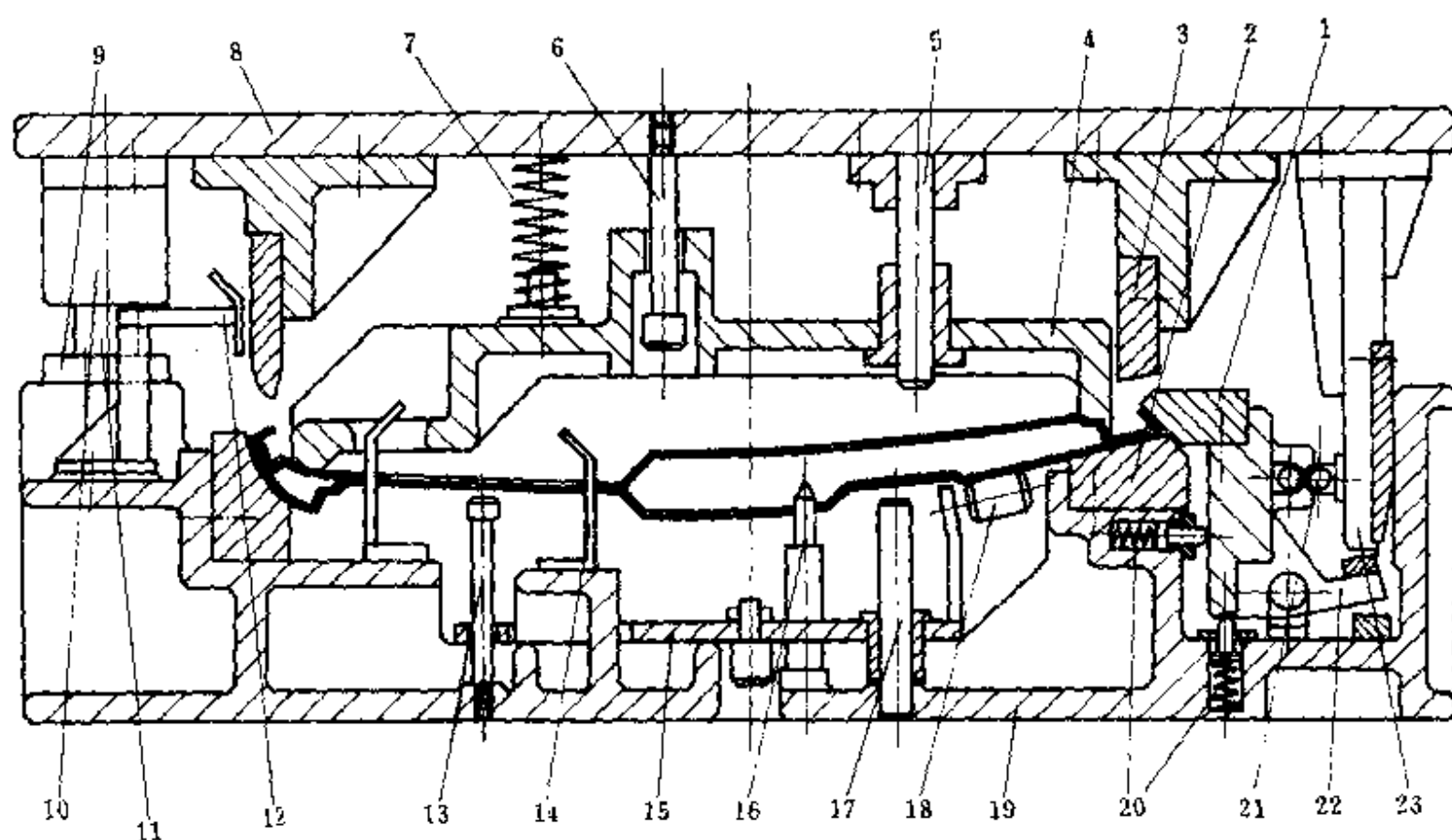


图 8-96 SC112 后门扣合模结构简图

1—预弯凹模镶块；2—凸模镶块；3—主弯曲凹模镶块；4—压料定位板；5—导柱；6—限位螺栓；7—压料弹簧；8—上模板；9—限位块；10—导套；11—导柱；12—送料导向槽；13—限位螺栓；14—定位板；15—退料提升托架；16—定位销；17—导柱；18—滚轮；19—下模座；20—回位弹簧；21—凸轮；22—摇臂机构；23—凸轮座。

大大削弱。因此，在制件的加工工序中就已完成了预弯的加工，这里只进行扣合加工。

(二) 预弯摇臂机构设计

摇臂机构，可有多种类型。既可装在上模，也可装在下模；既可是整体铸造式又可为焊接框架式；既有单摇臂结构又有双摇杆结构。这里介绍几种摇臂安装于下模的结构。

1. 整体铸造式单摇臂机构

如图 8-97 所示为整体铸造式单摇臂机构结构图。由图可见，预弯凹模镶块模座与摇臂为整体铸造，机构的动力作用点滚轮 8 的设置间距约为 400mm。该图 A-A 剖面为摇臂机构的放大图。其特点为凸轮座 12 的受力状态良好，当凸轮与滚轮接触时，凸轮座背靠块已进入下模座之中，预弯凹模镶块承受的作用力可直接传递给下模座，凸轮座的受力不会产生扭矩，因而其紧固螺钉可选用一般常用的 M12 的螺钉。凸轮有圆形 1 和梯形 3 两种形式，一般以承受力较大的梯形凸轮的应用较多。结构尺寸一般按图中所注尺寸选取。摇臂回转角度 α 由限位块 5 决定，摇臂工作行程的回位主要靠压簧回位，强制回位支架 6 的作用与斜楔滑块机构中的刚性复位块相当。当工作行程时，如果弹簧回位失灵，在主弯曲刃到位前可由凸轮座带动强制回位支架使预弯凹模镶块让位。在上模上升时，弹簧失灵会使制件的提升发生困难，此现象易被发现，即时修复就可保证模具的正常工作。

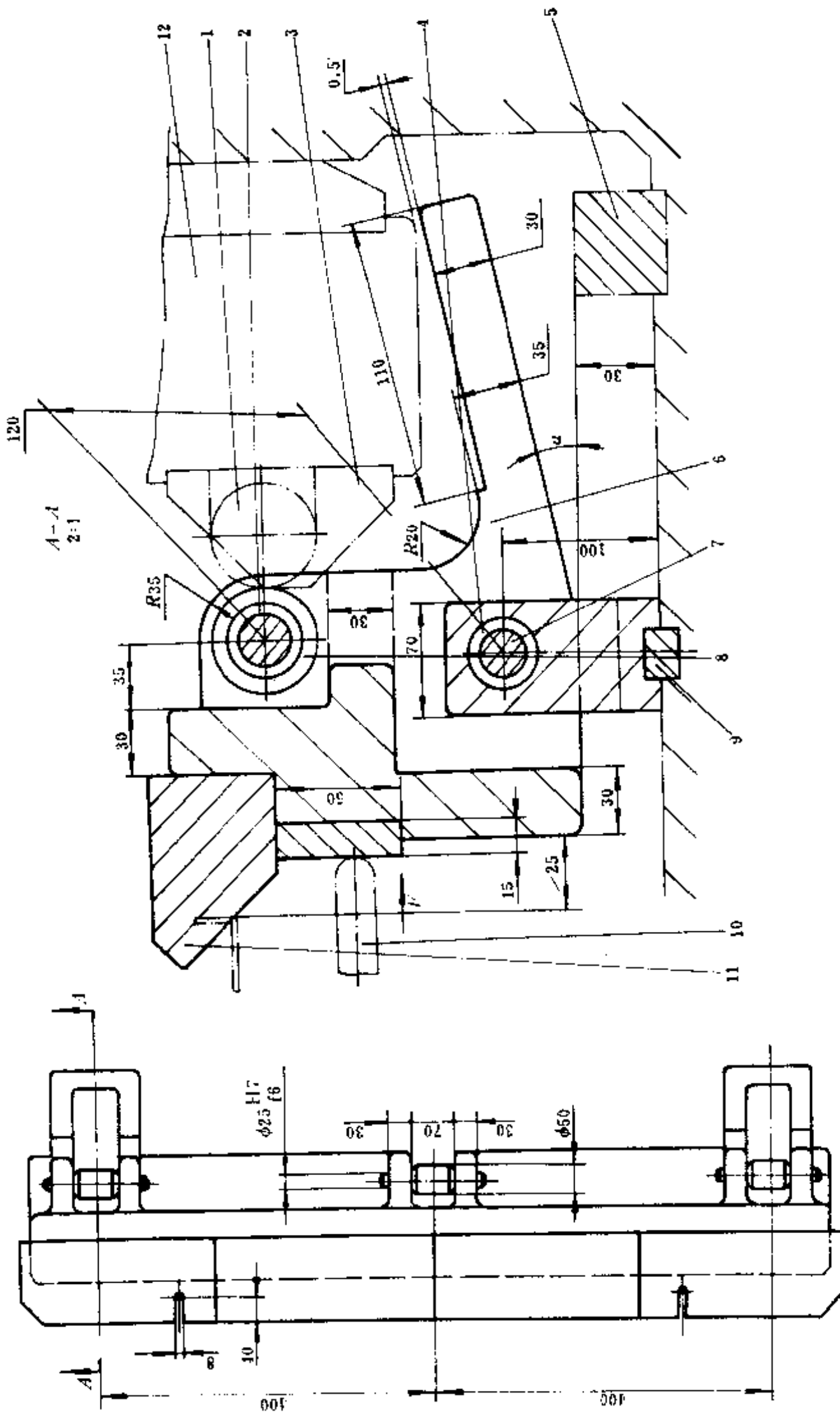


图 8-97 整体铸造式单摇臂机构结构图

1—凸轮；2—滚针轴承；3—梯形凸轮；4—滚针轴承；5—摇臂限位块；6—强制限位块；7—回转主轴；8—滚轮；9—键；10—限位顶杆；11—凹模镶块；12—凸轮座； α —摇臂回转角度。

2. 焊接框架式单摇臂机构

如图 8-98 所示为焊接框架式单摇臂机构结构图。由图可见，其结构小巧轻便。摇臂

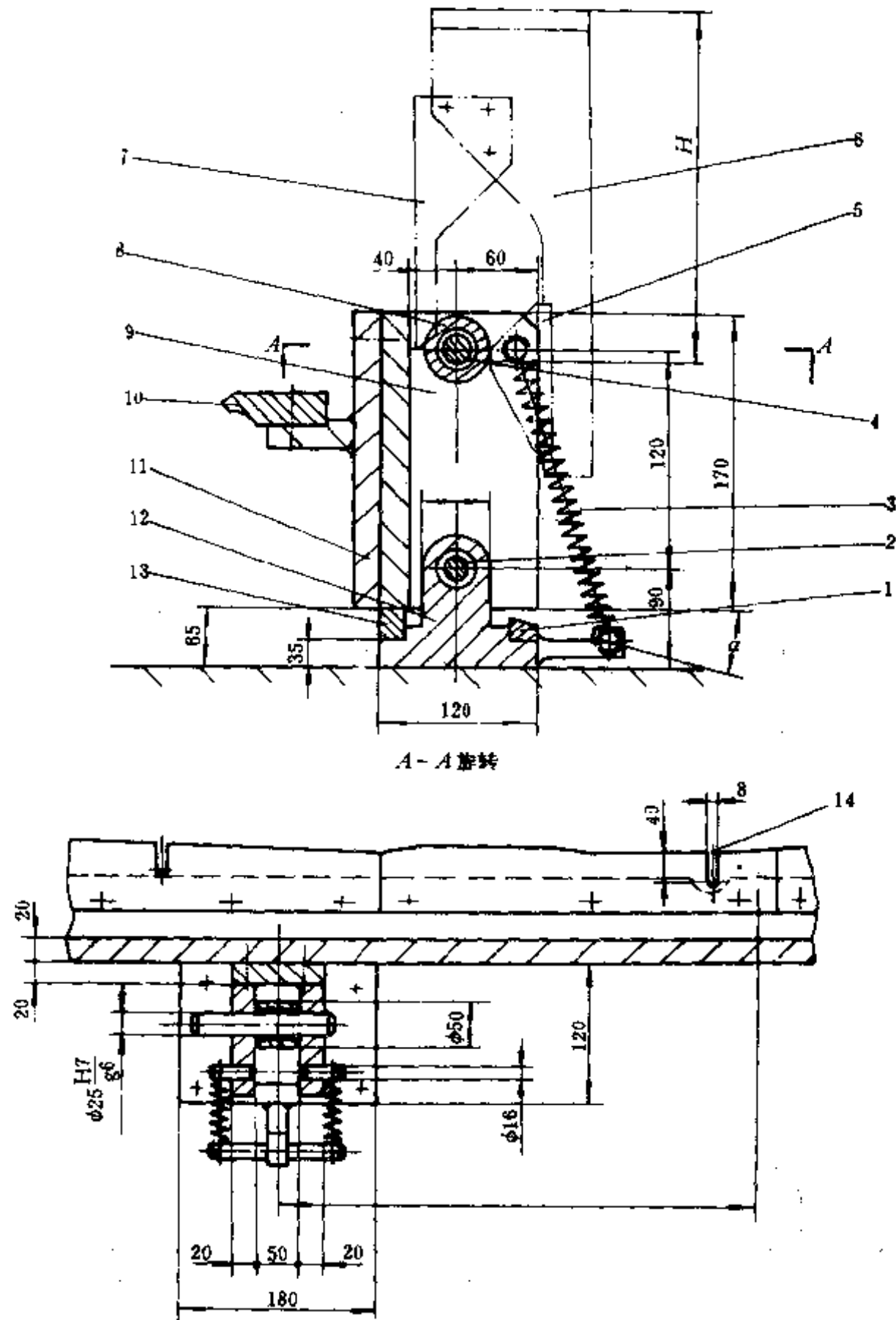


图 8-98 焊接框架式单摇臂机构结构图

1—摇臂限位块；2—回转主轴；3—回位弹簧；4—滚针轴承；5—凸轮；6—凸轮座；7—强制回位楔块；
8—滚轮；9—摇臂本体；10—凹模镶块；11—凹模镶块座；12—回转主轴支架；13—前限位板；14—定
位块让位槽；H—凸轮座高度。

的设置间距仍约 400mm, 这种结构摇臂架与凹模镶块座 11 靠螺钉连接, 安装调试比整体铸造式的更为方便。这种结构的摇臂架本体可灵活地运用, 既可单独装配一块小的凹模镶块座, 也可由几个摇臂本体组装一个大的凹模镶块座。摇臂本体和凹模镶块座都采用 20mm 的钢板, 其他结构尺寸可按图中尺寸选取。强制回位楔块仍起安全回位作用, 工作时靠回位弹簧 3 回位。该结构形式的凸轮座, 由于凸轮承受的水平推力只能由凸轮座与上模的连接螺钉承受, 因而会产生扭矩, 凸轮座高度在设计时应尽量降低, 连接螺钉应选用 M16 或更大的螺钉。由于每个 M16 螺钉的许用拉力为 16kN, 所以一般覆盖件 400mm 长度的预翻边力, 用四个 M16 螺钉, 其可靠性会得到保证。这也是摇臂本体设置间距的依据。

3. 双摇臂机构

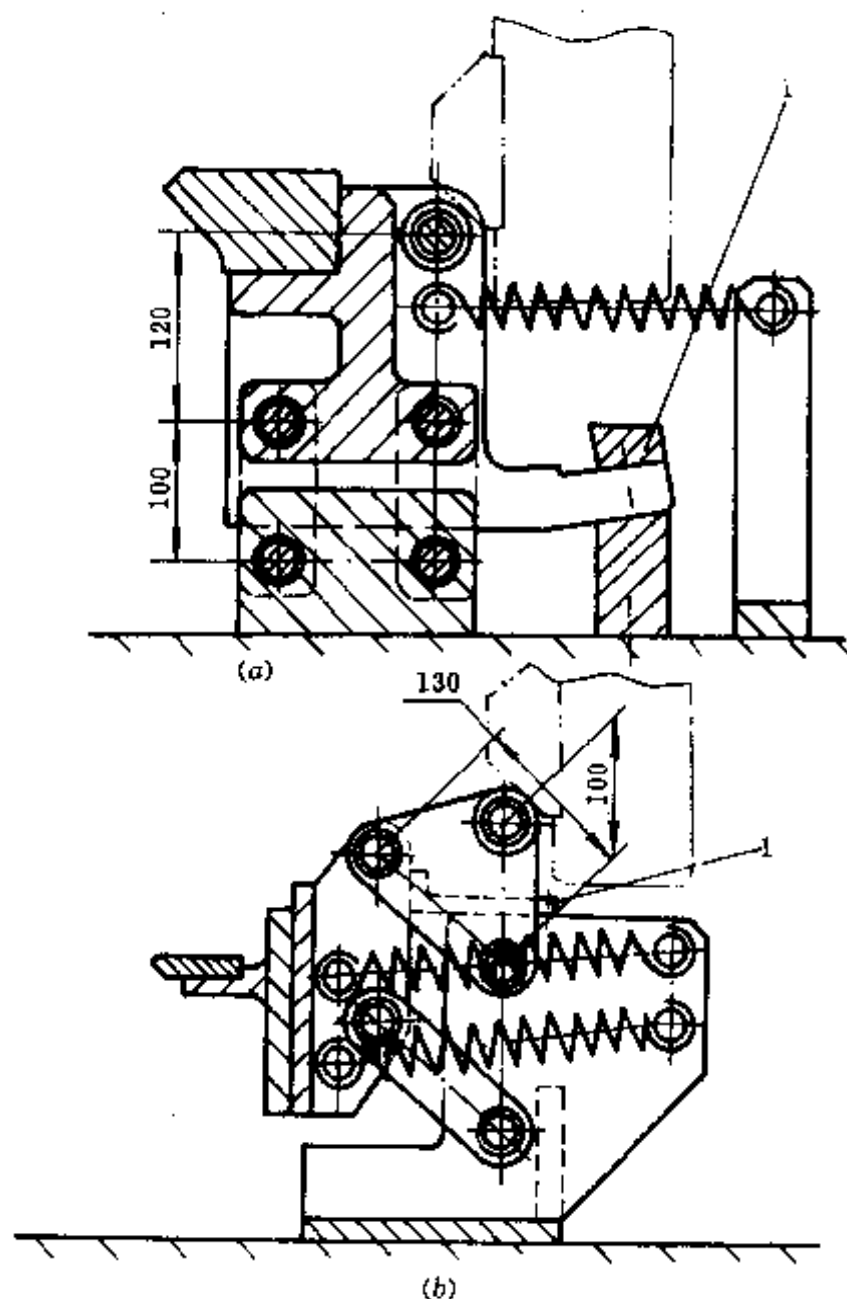


图 8-99 双摇杆机构结构简图

(a) 整体铸造卧式结构; (b) 焊接框架立式结构。

1—凹模座限位块。

如图 8-99 所示为双摇杆机构简图。双摇杆结构有立式和卧式两种, 都可采用铸造式或焊接框架式的结构。虽然双摇杆较单摇臂复杂, 但在模具中常常采用, 其原因为双

摇臂机构可改善凹模镶块的加工运动方向及减小凸轮座的高度,改善凸轮座的受力状况。另外,双摇臂机构对无干涉设计十分有利。下面通过对摇臂机构的运动分析加以说明。

4. 摇臂机构运动分析

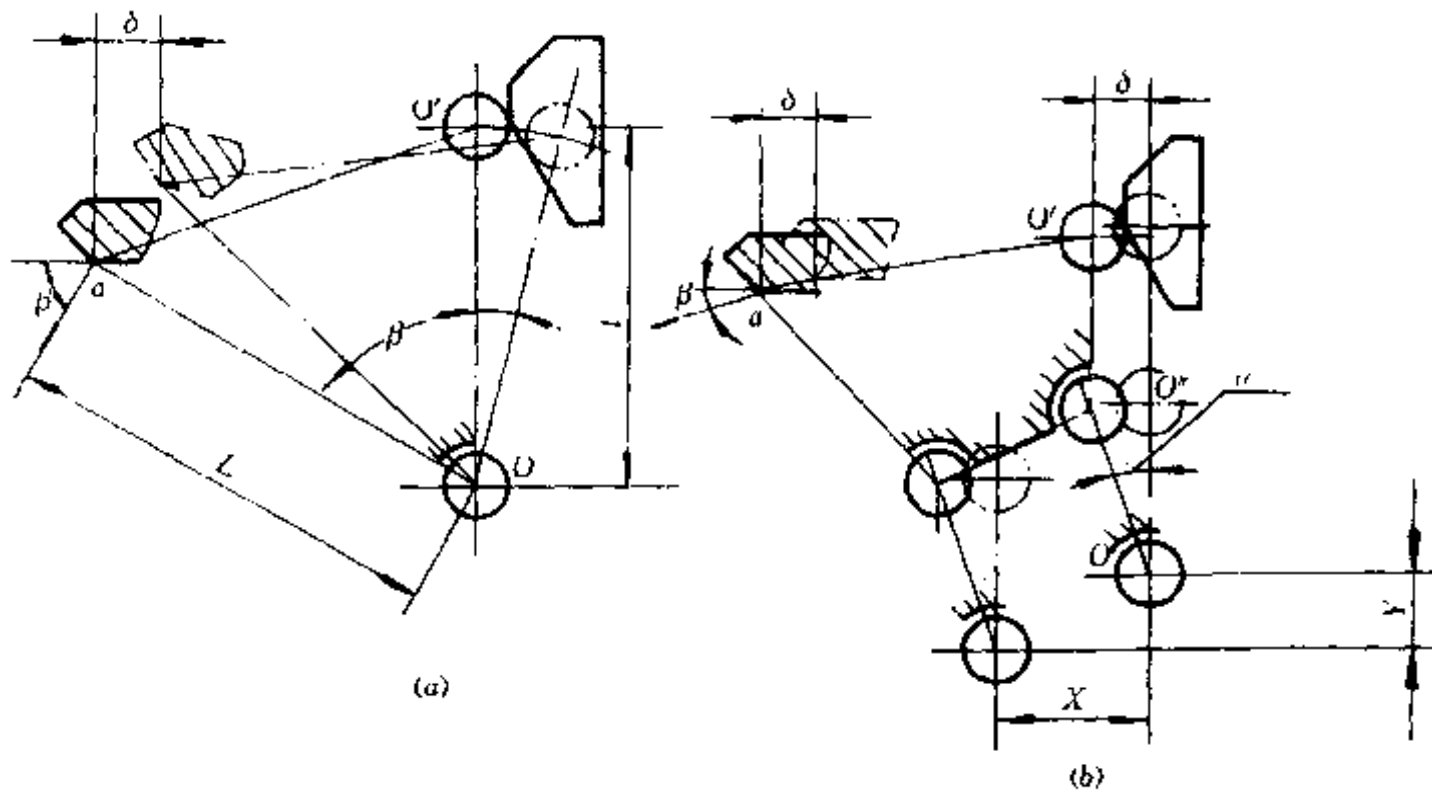


图 8-100 摇臂机构运动分析图

(a) 单摇臂机构; (b) 双摇臂机构。

β —凹模镶块运动角度; δ —凹模镶块运动距离; α —摇臂转动角度;
 l —滚轮距回转轴距离; L —凹模镶块距回转轴距离; O —摇臂回转主轴;
 O' —滚轮轴; O'' —摇块转轴; X —双摇臂回转主轴水平方向距离;
 Y —双摇臂回转主轴垂直方向距离。

如图 8-100 所示为摇臂机构的运动分析图。图 (a) 与 (b) 经比较发现,单摇臂机构在预弯凹模镶块工作行程结束时,加工方向为 β , β 一般在 $50^\circ \sim 80^\circ$ 之间,而双摇臂机构的预弯凹模镶块,最后加工方向一般仅与摇臂转角 α 相等的很小的 β 角, β 一般在 10° 左右,所以双摇臂机构的预弯凹模运动方向更接近水平方向。而且,单摇臂的预弯凹模镶块是一边转运动一边沿弧线进入工作位置,转动角度为 α ,双摇臂的预弯凹模镶块不转动,运动轨迹为弧线。对于压缩类翻边,垂直运动的凹模与材料产生的摩擦力使材料进一步受压因而对消除加工起皱不利,所以对外曲角部等压缩类翻边一般要采用能使预弯凹模尽量为水平运动方向的双摇臂机构。

由图 (b) 可见, X 为零时称为立式, Y 为零时称为卧式。卧式可取最小的 β 角度,立式虽不能取得最小的 β 角,但可使滚轮的位置提高,从而降低了凸轮座高度,使凸轮座受力状态大为改善,在相同的翻边作用力时凸轮座所受扭矩可大大降低。所以外曲角部一般采用卧式双摇臂机构作为预弯凹模镶块座,而对于变形力大,结构位置有限的情况下一般采用立式双摇臂机构作为预弯凹模镶块座,这样可改善凸轮座的受力情况。由图 8-100 还可看到,单摇臂机构预弯凹模镶块的位移量 δ 是随 L 变化的变量,而双摇臂时预弯凹模镶块的位移量是由机构确定的常数,这在预弯凹模与主弯曲凹模间进行无干涉设计时,两种机构的差别与优劣明显可见。所以,弯曲线在水平方向变化很大时也常常

需要采用双摇臂机构设计。

5. 预弯翻边的顺序

扣合模主弯曲刃直接固定于上模座，且最后扣合面与其加工方向不平行，不可能有先后顺序的变化，只能同时到位。但是，预弯曲凹模镶块可以通过控制摇臂机构的工作先后顺序达到使预弯凹模有不同的加工时间，调节材料的流向，减少起皱与开裂的趋势，

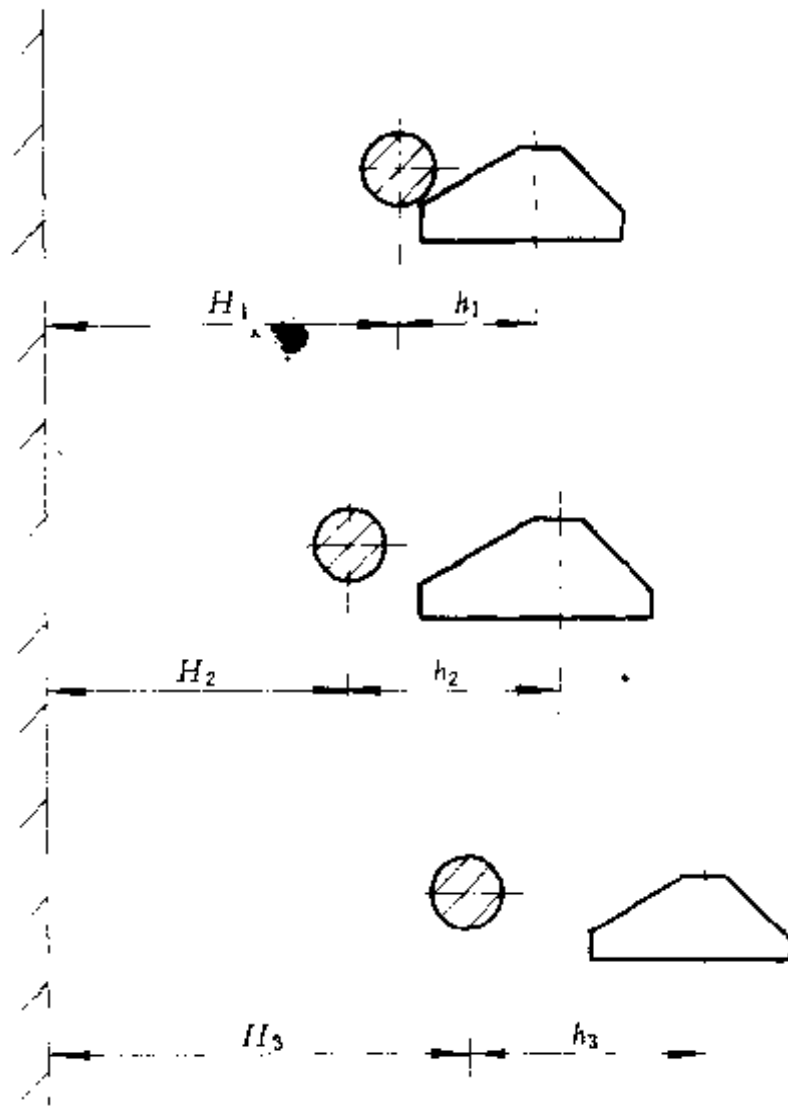


图 8-101 凸轮位置设计与翻边顺序

提高扣合翻边质量。如图 8-101 所示，为扣合模中需要控制翻边顺序的三个摇臂机构及凸轮位置的示意图。图中 H 代表各摇臂机构的滚轮位置， h 代表凸轮中心距滚轮的位置。滚轮高度为 H_1 的即已处于开始工作状态；滚轮高度为 H_2 的其凸轮中心距滚轮还有 $h_2 - h_1$ 的距离；同理，第三个摇臂机构还要上模下降 $h_3 - h_1$ 的距离才开始工作。如果图中 $h_3 > h_2 > h_1$ ，那么，摇臂工作的顺序为 1→2→3 的顺序。常用的凸轮尺寸如图 8-102 所示。

(三) 凹模镶块的结构设计

扣合加工，一般是周边封闭的，预弯凹模镶块就需要从水平面的周边方向进入。最简单的结构也需要四个方向向内的运动，但是四个方向的交接处就位于制件的四个角部，而角部曲率大，成形本来就困难，所以一般还需要在角部单独分块，从 45° 方向进入。如图 8-103 所示。图中 a 点至 b 点之间为角部分，角部镶块与 0° 和 90° 两个方向的镶块应该在大于 a 点 b 点的直线部位交接。在直线或曲率最小部位交接为原则，在相同加工方向分块时，也应该遵循。另外，可在有工艺缺口处交接。

凹模镶块结构尺寸，与翻边高度及主型面的角度有关，还与预弯凹模座是铸造结构还是焊接框架结构有关。如图 8-104 所示是预弯凹模座为铸造结构时凹模镶块的尺寸参

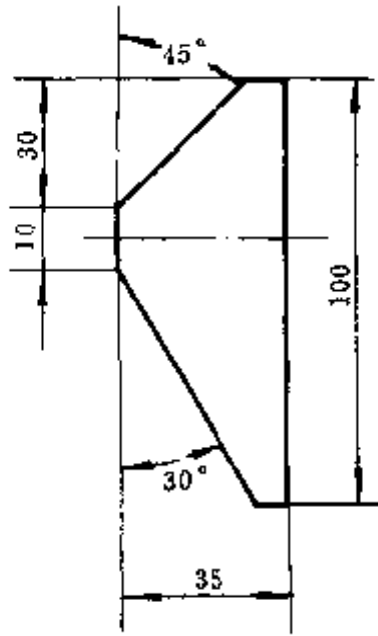


图 8-102 常用凸轮尺寸

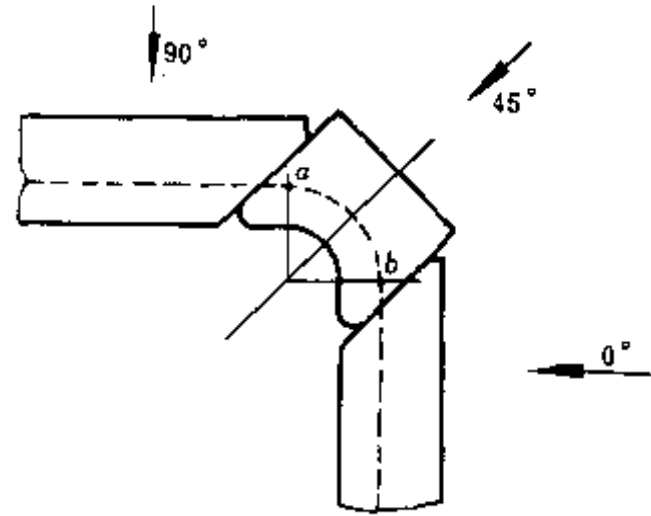


图 8-103 预弯凹模镶块交接

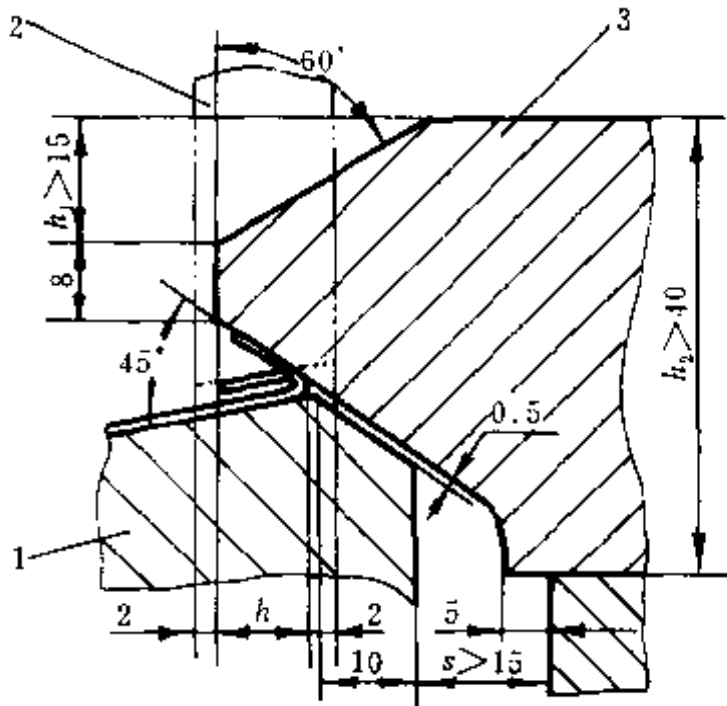


图 8-104 铸造结构凹模镶块尺寸

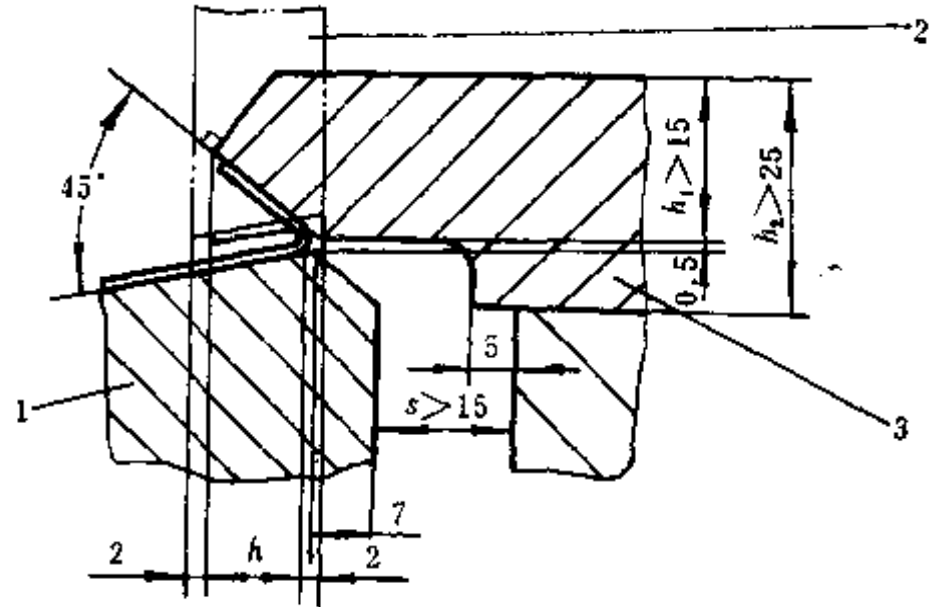


图 8-105 焊接结构凹模镶块尺寸

1--凸模；2--主弯曲刃；3--预弯凹模镶块。 1--凸模；2--主弯曲凹模镶块；3--预弯凹模镶块。

数。如图 8-105 所示是预弯凹模镶块座为焊接框架结构时凹模镶块应该选取的参数。比较两图可见，铸造模座及凹模镶块都有较好的强度，再配以如图 8-97 所示形式的凸轮座，能够承受较大的凸、凹模接触时的作用力，在加工精度不高的条件下常用这种结构。而焊接框架结构，从凸轮座到凹模结构尺寸都较小巧，结构刚度差，只有在加工精度足够的条件下，模具的工作才可靠，加工制件的质量及模具寿命才能得到保证。

(四) 进出料机构设计

扣合制件为两个制件，而且还有可能为焊接组件，所以质量一般为单件的 2~3 倍，并且要求对制件的表面不能有碰伤，擦伤等外观缺陷的产生。因此，扣合模必须设计送

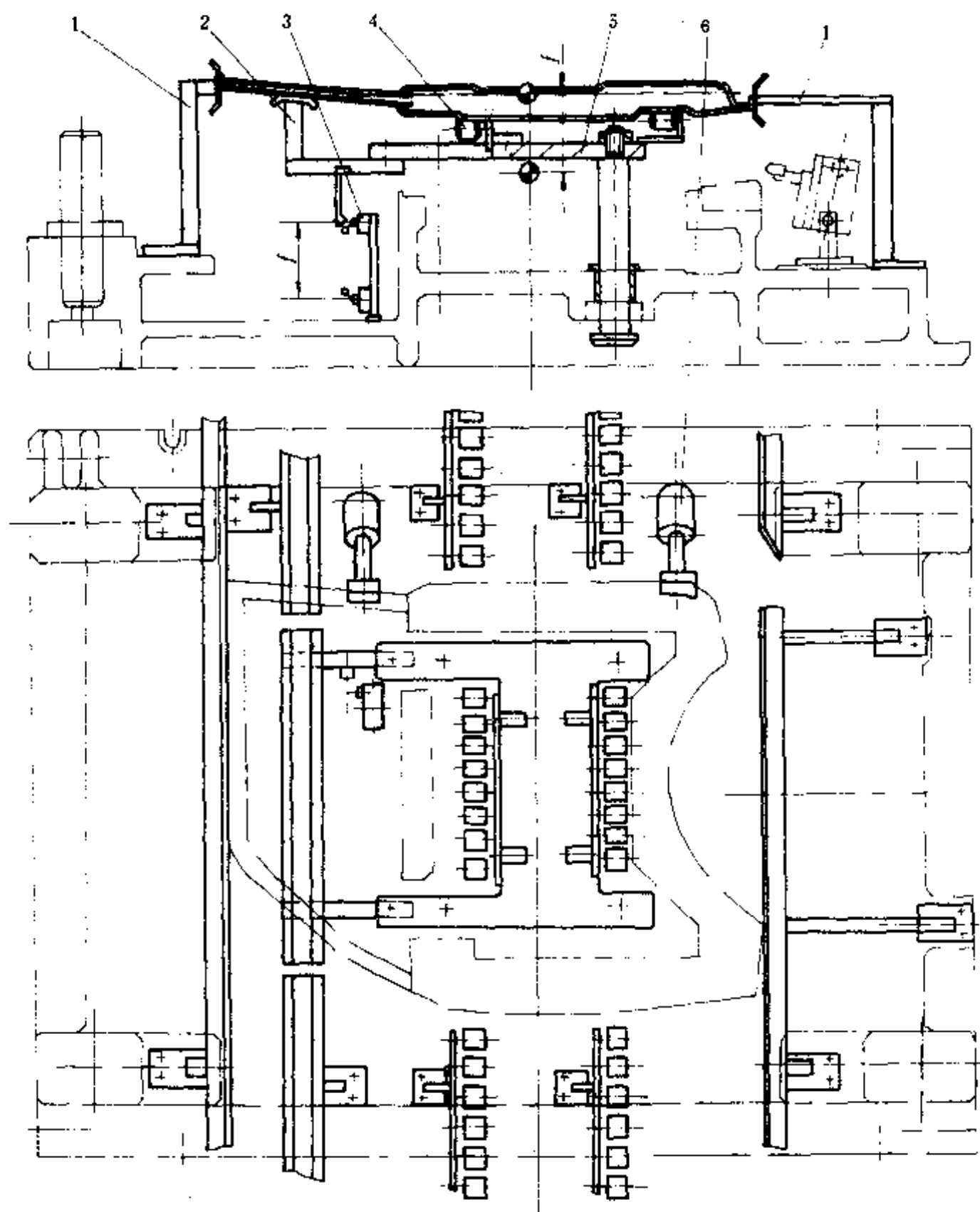


图 8-106 SC110 车门扣合模送料、出料机构简图

1—侧滑槽；2—支承滑槽；3—行程开关；4—滚轮；5—退料托架；6—送料定位气缸； f —退料行程。

料、出料机构，保证安全操作。

如图 8-106 所示为扣合模送料、出料机构的结构简图。制件通过侧滑槽导向，在滚轮的支承下顺利地进入模具。这时，退料托架仍处于升起状态，送料定位气缸亦处于升起状态使制件初步定位。退料托架下降时，行程开关控制送料定位气缸退回，制件随托架进入下模并定位。扣合加工完成后，退料托架托出加工好的制件，送料定位气缸将由行程开关控制延时升起，在气缸升起前，制件已很快地取出，待定位气缸升起后，下一

套加工制件又可送入模具加工了。右侧滑槽的不连续处是为了给角部单独分块的摇臂机构的凸轮机构让位。

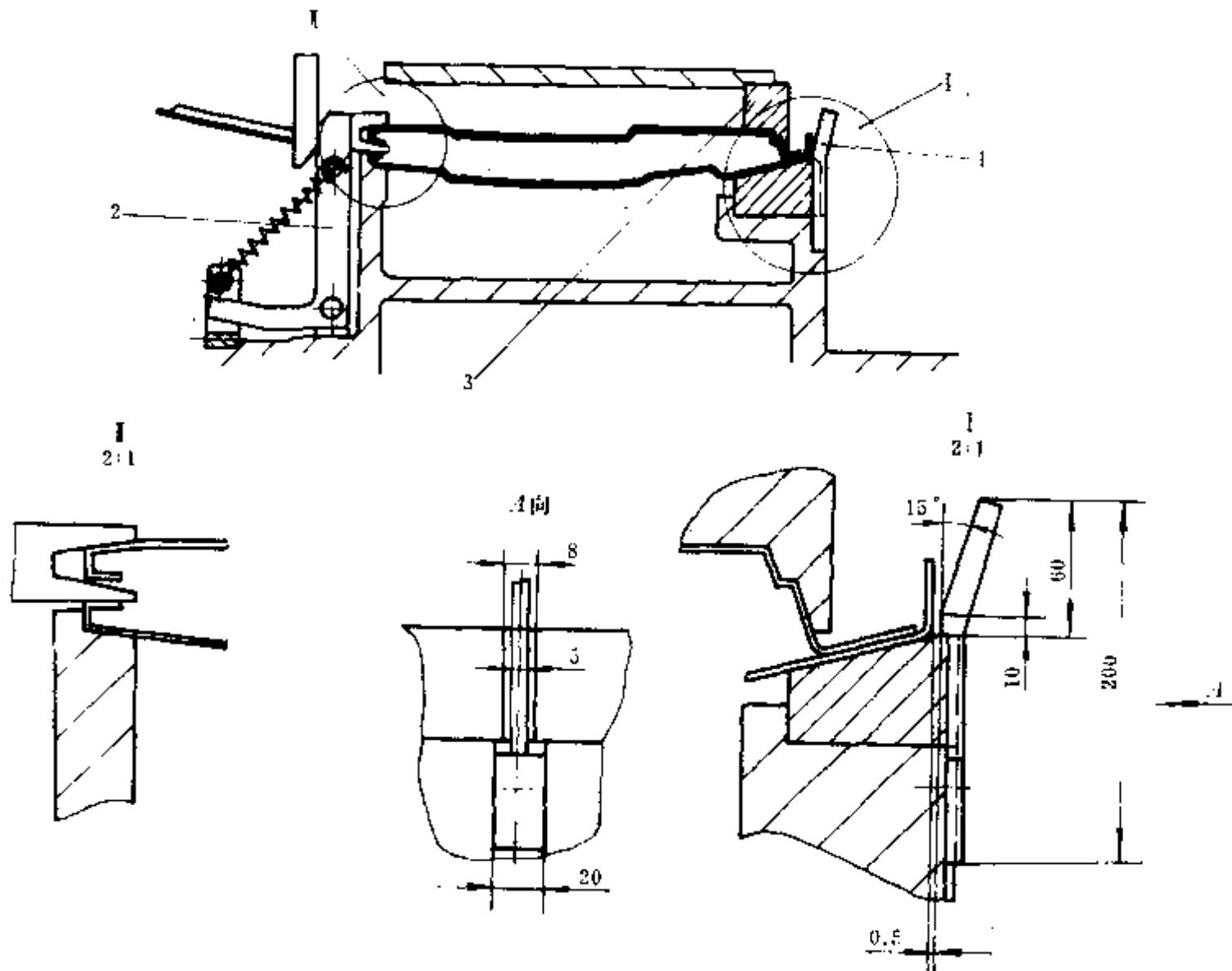


图 8-107 SC110 车门扣合模定位、压料结构简图

1—定位块；2—辅助压料块；3—内门板定位压料板。

(五) 定位、压料设计

扣合模的定位必需考虑内外两个零件的定位。如图 8-107 所示为 SC110 车门扣合模的压料、定位设计的结构简图。由于车门窗框部位不扣合，因此，制件工作受力将不平衡，由此增设了辅助压料块 2，同时压住内外门制件。内门板定位压料块 3 为减轻质量可设计成镶块式，每边只需两个定位镶块。压料定位板 3 的作用主要仍是压料，在必要时内门板制件上的孔可由压料板上安装定位销使内门板精确定位。

第七节 多工位压力机模具设计

一、概述

(一) 大型冲压加工自动化

随着生产技术的不断革新和飞速发展，自动化装置越来越多地应用于大型冲压加工过程。在发达国家，汽车行业的大型冲压件生产线自动化装置，已由 70 年代初期的机械

手时代——半自动生产线时代，转移到当今的全自动化时代。虽然我国汽车行业的大型冲压加工生产线目前大多仍处于手工操作时代，但是，随着国家对汽车工业的大量投资和先进技术设备的不断引进，汽车工业必然会向自动化方向发展，逐步赶上世界汽车工业自动化生产的潮流。

自动化的种类繁多，大型冲压加工全自动化生产线是较为典型的自动化形式。如图

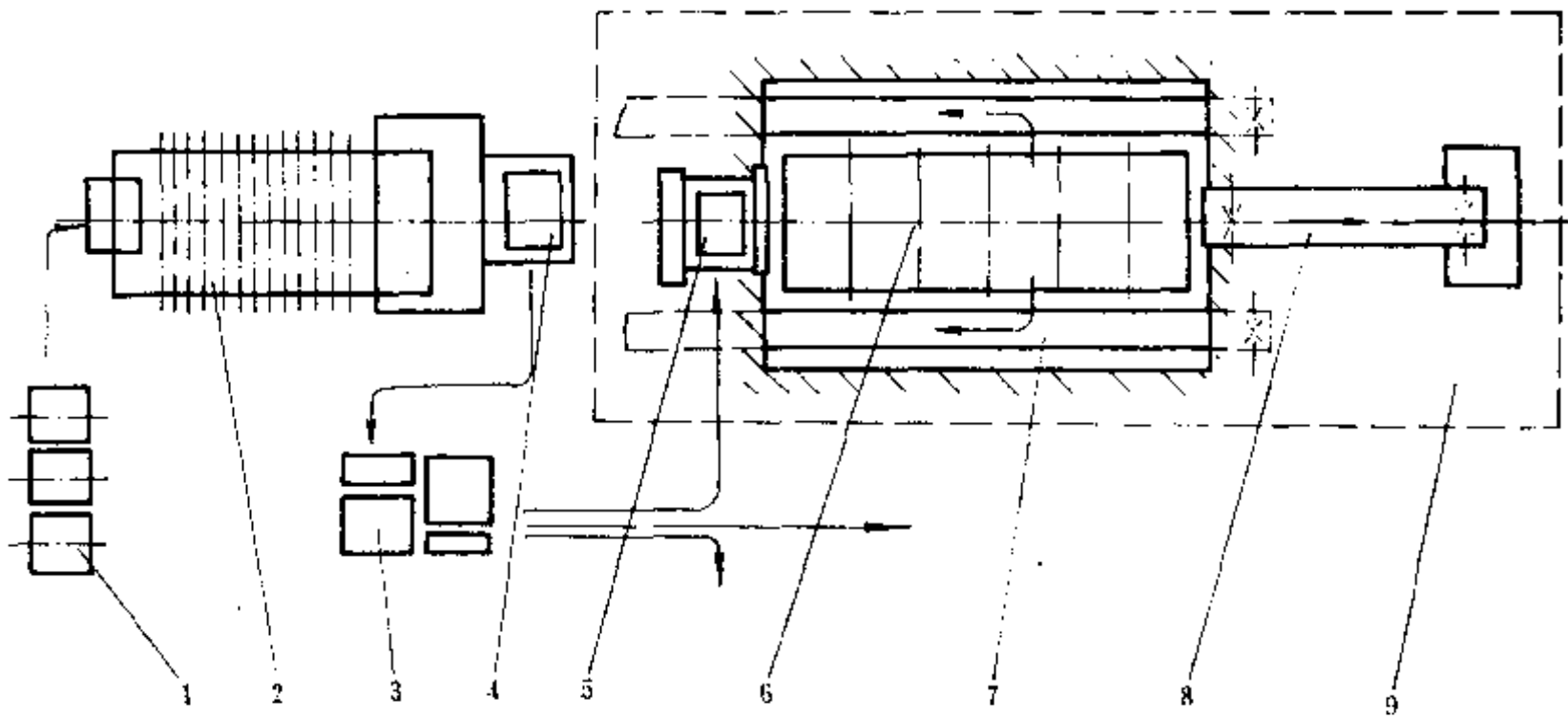


图 8-108 大型件自动化冲压生产线示意图

1—卷料；2—开卷生产线；3—成垛板料；4—垛板机；5—板材送料装置；
6—多工位自动送料压力机；7—废料传送带（地下）；8—成品传送带；9—自动化冲压生产线。

8-108 所示是一种大型件的自动化冲压生产线的示意图。图中开卷生产线作为自动化冲压生产线的延拓，使板料的准备工作自动化。板材送料装置的功能是使成垛的板材准确可靠地分离为单块，并按压力机要求的时间间隔进入第一工位。地下废料传送带位置处于压力机的自动送料装置下面，废料通过设备的间隙流到传送带上，由传送带把废料集中，自动压实，打包后送出。成品传送带把制件送到工作台上，由工人检验、装箱。这就是大型冲压加工全自动化生产线的典型代表。

(二) 多工位压力机

通用多工位压力机，公称压力在 300~40000kN 之间，机架为闭式框架，常为多立柱多滑块结构。上滑块尺寸、额定压力和行程等参数可根据具体要求分别设计，工作台面狭长，工位多（一般为 5~10 个工位或更多）。送料机构绝大多数仅能作平面的纵、横二维运动，送料机构运动传递系统与机床传动装置相连接，保证送料同步。

大型冲压件用多工位压力机，是在通用多工位压力机基础上发展起来的汽车车身部件的冲压专用设备，其特点为：

公称压力在 10000kN 以上，规格有 10000kN，12000kN，15000kN，18000kN 等。近年来，已有超过 40000kN 的多工位压力机问世。小吨位压力机是双机架单滑块，机架为闭式结构。大吨位压力机多为三机架或四机架，两个或三个滑块。各种型式的多工位压

力机都是单动压力机，气垫压边，所以车身制件的现代设计都是按照单动浅拉延原则进行的。拉深工序不能进入多工位压力机的制件一般很少。如有特别的深制件可采用，将可控制的双动压力机与多工位压力机，选用自动化装置或翻转制件装置连接的方法，组成特深制件的全自动生产线。

双机架一般为3工位，三机架一般为5~6个工位，且工作台面宽大。

连续自动送料机构必须是能作空间三维运动的三轴式送料系统(见图8-110, 图8-111), 机架之间的移动宽度 B 可超过4m, 送料行程 S 在1~2m间, 提升行程 h 在150~250mm之间(见图8-110, 图8-111)。

送料装置的传动控制系统多为与机床传动系统相连接的直接同步传动, 这样虽然对多工位压力机模具的设计提出了更严格的要求, 但给提高换模操作效率提供了方便, 也简化了机床控制系统。德国舒勒公司的三轴式连续自动工作压力机的送料系统是由机床微处理机控制的可编程控制器控制, 在模具更换时可以对三轴的运动参数加以调整, 而送料装置在换模时可以不停机地由送料机构调节模拟器, 在机床外以数控方式对三轴的运动参数及变速加速过程进行调整。这种系统的操作, 显然较为复杂。

送料机构的纵梁, 由于多机架的阻碍(三机架以上), 必须是分段式的组合。将可移出的机床部分与机床内的部分, 通过离合机构的连接, 可以保证换模时方便迅速。

大型件多工位压力机, 作为汽车车身部件的冲压加工全自动化的关键设备, 能使其成本比一般流水线冲压作业的成本低得多。该设备所需车间面积仅为一般流水线的50%, 电力消耗可降低40%~50%, 而产量可增加50%, 所需操作人员也将大大减少。因此, 冲压加工的自动化是汽车行业冲压加工发展的必然趋势。

(三) 多工位压力机模具的设计原则

多工位压力机模具, 在成形工艺设计及制造工艺要求上与通用模具基本上相同。而在操作工艺及工作环境中则与通用压力机模具大不相同。因此, 多工位压力机模具设计与通用压力机模具设计不同之处, 就在于对加工操作工艺提出了特殊的要求。

二、工艺设计特点

(一) 各工序工件的送料与冲压方向的一致性

如图8-109所示为某制件各工序件在各工位中的工作位置图。图中清楚地显示, 各工序模严格按照多工位压力机的工位位置安装, 工位间距为 S 。在冲压加工过程中, 自动送料装置只能平行送料, 不能像在通用压力机上工作的模具那样, 工序件可在机床间的空位, 采用机械手或其他方式使其翻转或掉头, 再进入下一道工序模。因此, 第I道工序的送料方向一旦确定, 后面第II、III工序的送料方向也随之确定。这就是多工位压力机模具工艺设计送料方向的一致性要求。

同样, 图8-109中, 各工序的冲压方向也由于工序件的平行送料, 不能翻转, 使得车身坐标线 BL 与冲压方向的夹角只能在很小的角度范围内变化, 图中为 $15^\circ\sim 30^\circ$ 之间。这就是多工位压力机模具工艺设计中, 冲压方向相对一致性的要求。

由此可见, 多工位压力机模具在工艺方案设计时, 必须综合考虑拉延、冲孔、切边、翻边等各工序的加工特点和工艺要求, 选择一个合理的冲压方向和送料方向, 保证各个

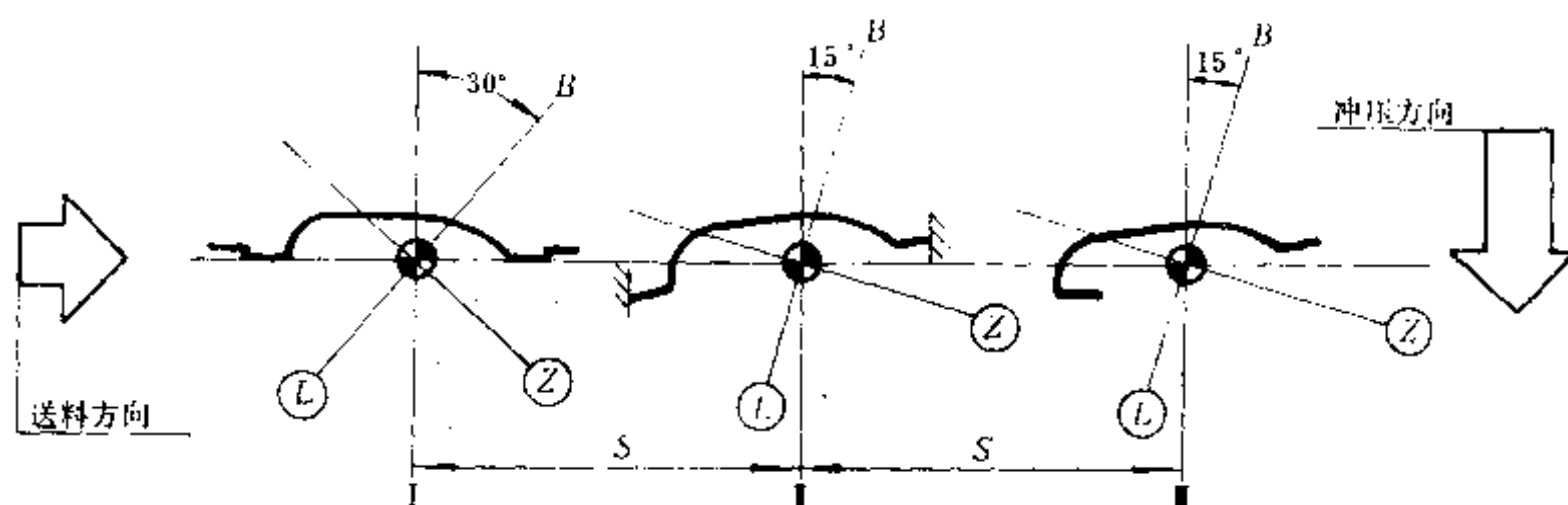


图 8-109 工序件在各工位中工作位置图

工序都能顺利完成。

(二) 废料处理的方向性

由于多工位压力机连续大批量生产的特点，机床工位间在不大的空间不可能容纳大批的废料，废料只能考虑由机床侧面排出，并立即由侧面的地下传送带运走。这样，才能保证压力机连续不断地安全运行。

(三) 工序件退料、送料、进料与定位的特点

在多工位压力机上，从板料送入到冲压制品的送出，一切都是由自动送料装置来完成的。所以，在机床的一个冲压加工循环过程中，每一道工序都要求退料装置能把工序件托到自动送料装置并能有效地进行工作的高度上。自动送料机构按照固定的运动循环轨迹，自动完成退料、送料、进料、回程。在自动送料装置松开制件时，它应与模具工作位置高度有一定的间隙要求，以便实现送料夹头与模具的让位。由此，要使制件的进料有一段自由下落的距离，而进料的定位则要求定位块的高度足够，使制件在自动送料机构松开时已经进入定位块之中。

三、模具设计特点

(一) 自动送料装置

如图 8-110 所示为多工位压力机及自动送料机构的横断面结构示意图。图中送料夹头的运动轨迹由图 8-111 表示。自动送料机构的运动轨迹及参数确定后，静止不动的下模就可直接按自动送料机构的运动关系进行无干涉设计。由于上模是随着压力机上滑块不停地运动，如何对上模进行与自动送料机构的无干涉设计，必须进一步分析机床上滑块与自动送料机构的相对位移曲线。如图 8-112 所示为具有代表性的大型冲件多工位压力机自动送料装置的循环图。由图中压力机转角位移曲线可见，送料行程是以压力机的上死点为中心，从上死点前 60° 即曲柄转角为 300° 时开始，到 60° 时结束；回程是以下死点为中心，以送料行程对称的角度范围内完成。由压力机上滑块与送料夹头相对位移曲线图可见，自动送料机构与随机床上滑块运动的上模的相对运动轨迹亦是这样。在多工位压力机模具的设计时，送料机构与模具上模的干涉曲线，可以此图为依据并分别从压

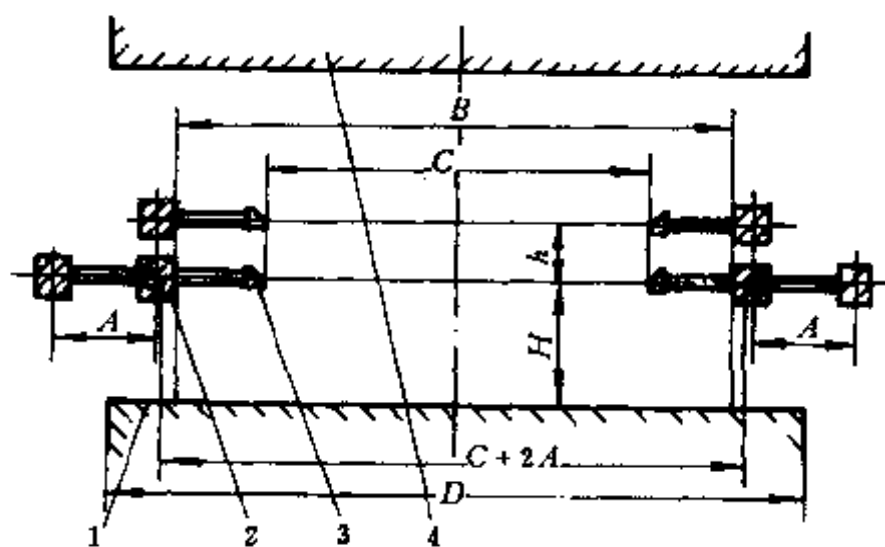


图 8-110 自动送料机构横断面示意图

1—下工作台；2—自动送料机构纵梁；3—自动送料机构夹头；4—上工作台（上滑块）。

A—送料机构工作行程；B—纵梁到位内幅宽度；C—纵梁到位夹头间距；

D—机床下工作台宽度；H—夹头高度；h—送料提升行程。

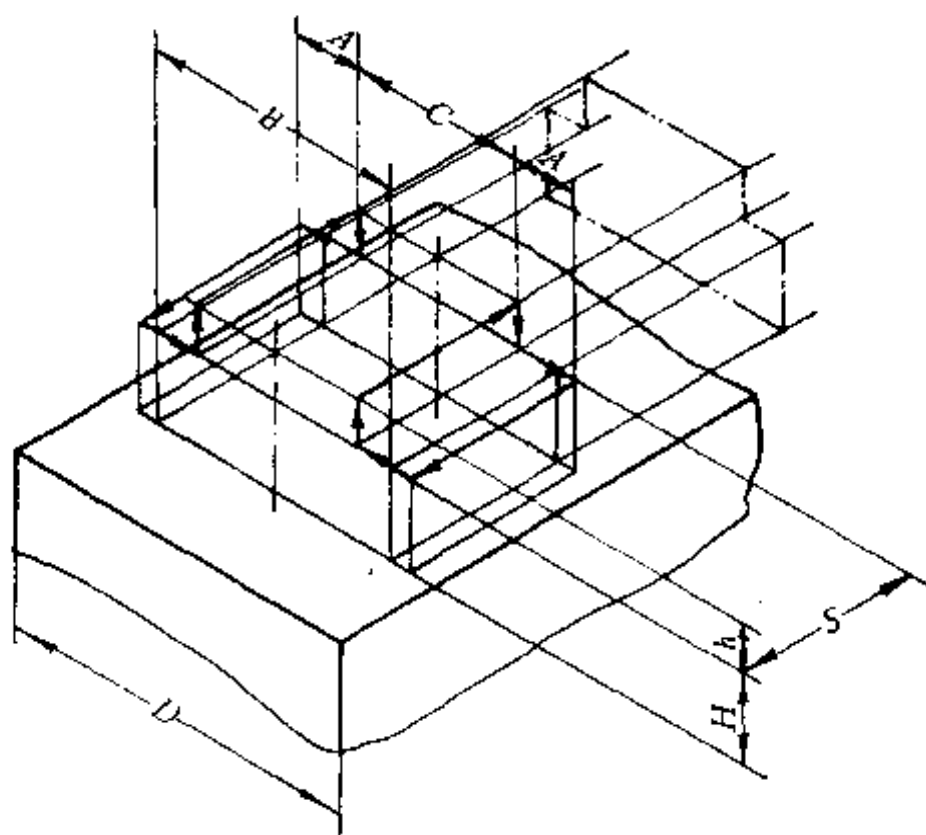


图 8-111 自动送料机构夹头运动轨迹示意图

S—送料行程；其余符号的意义同于图 8-110。

力机的平面、横剖面、纵剖面三个方向加以描述。

(二) 无干涉设计

1. 平面干涉曲线

以压力机的工作位置为基准，把送料机构各个夹持点的平面干涉曲线图画在模具平

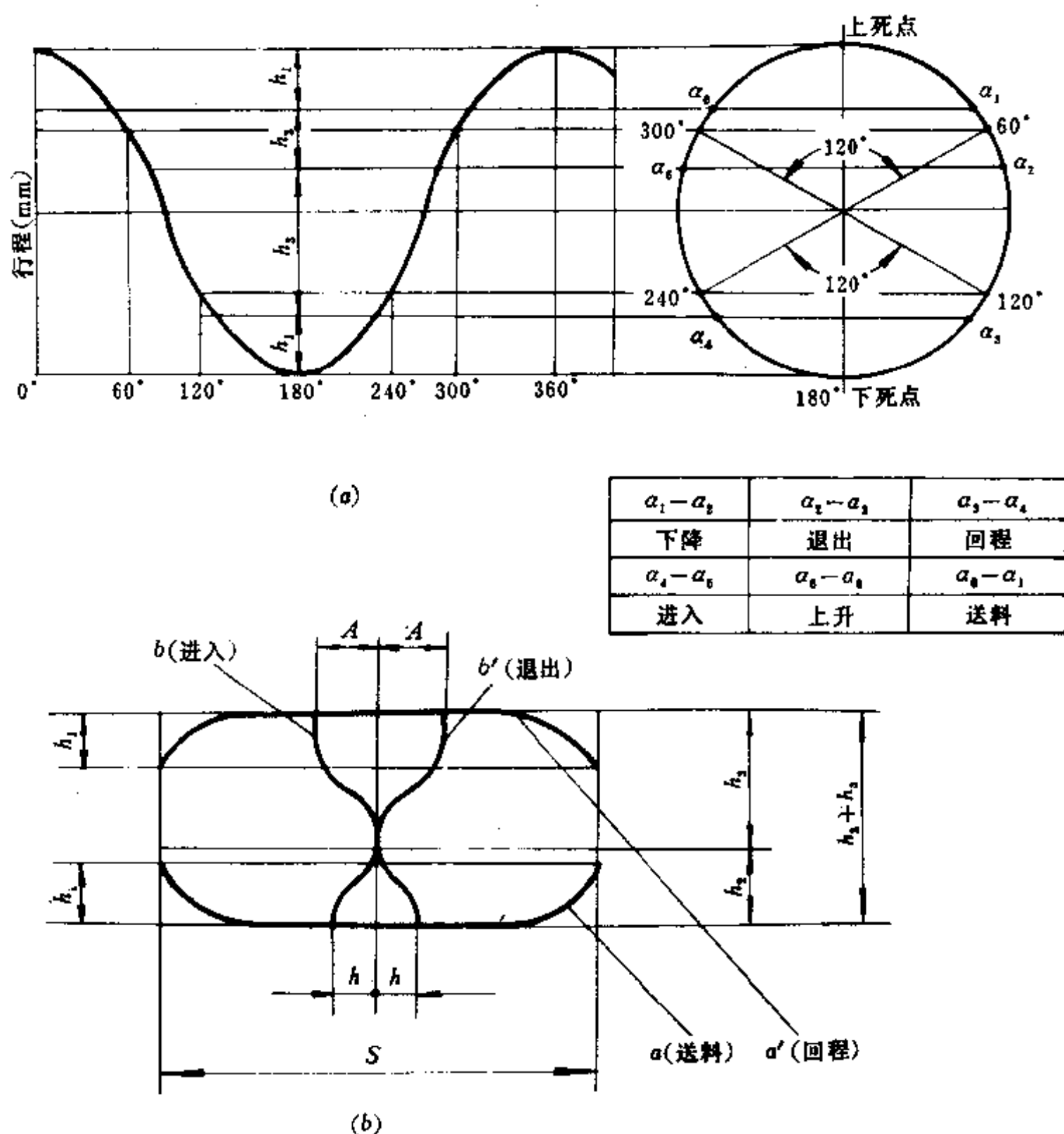


图 8-112 多工位压力机自动送料装置循环图

(a) 压力机转角行程曲线; (b) 压力机上滑块与送料夹头相对位移曲线。

 h_1 —送料、回程时压力机行程; h_2 —送料机构上升、下降时压力机行程; h_3 —送料机构进入、退出时压力机行程。

面图中,就可直观地检查平面内是否发生干涉。如图 8-113 所示为一对夹持点的平面干涉图。在进行无干涉设计时,模具平面图中,应画出每一对夹持点的干涉曲线,只要模具平面图不进入干涉曲线阴影区,就为可靠的无干涉设计。但是,平面干涉曲线的突出部位一般必须进入模具平面图才能完成夹持制件送料的动作,由图 8-110 可知,下模只要在夹持点低于 H 高度具有一定的让位间隙(一般为 25mm),仍可保证下模与送料机构不发生干涉,即只要下模低于 H 高度 25mm,下模平面图可以进入突出的阴影区部位。至于上模是否进入突出的阴影区部位,要通过压力机横断面干涉曲线进行检查。

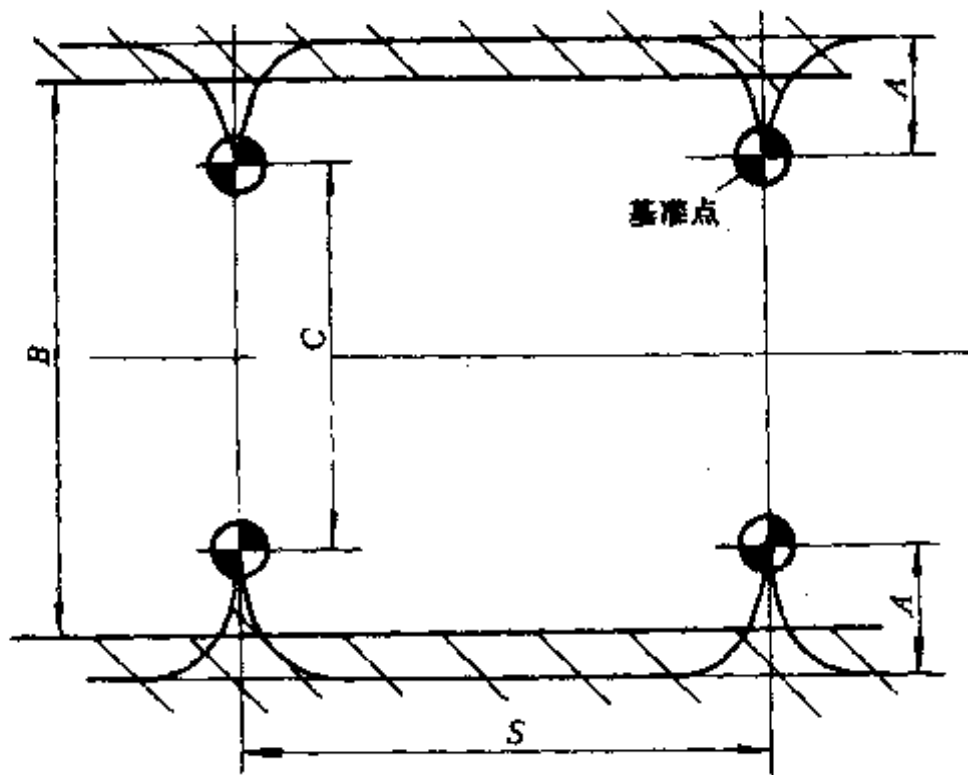


图 8-113 平面干涉曲线图

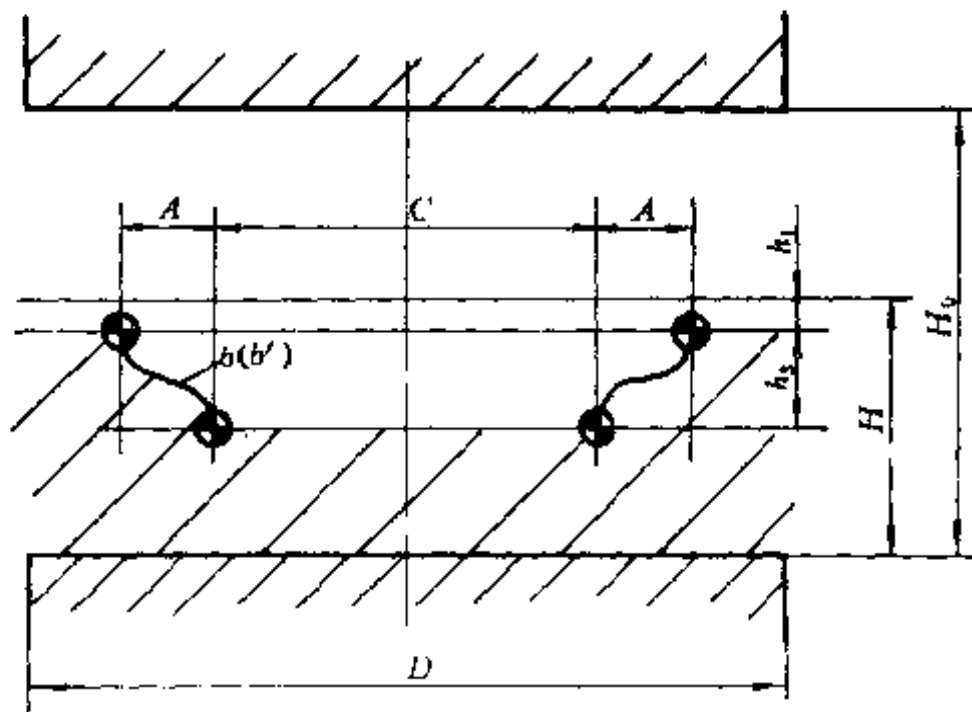


图 8-114 横断面干涉曲线

H_0 —模具封闭高度；其余符号的意义同于图 8-110。

2. 压力机横断面干涉曲线

如图 8-114 所示为压力机在夹持点处所作的横剖面干涉曲线。该曲线以图 8-112 (b) 中的 b 、 b' 线为依据绘出，用于检查上模平面图中，进入夹持点平面干涉曲线突出阴影部位有无干涉。上模在各夹持点处的横剖面图中，只要不进入阴影部分，也就保证了在该断面处无干涉设计。

3. 压力机纵剖面干涉曲线

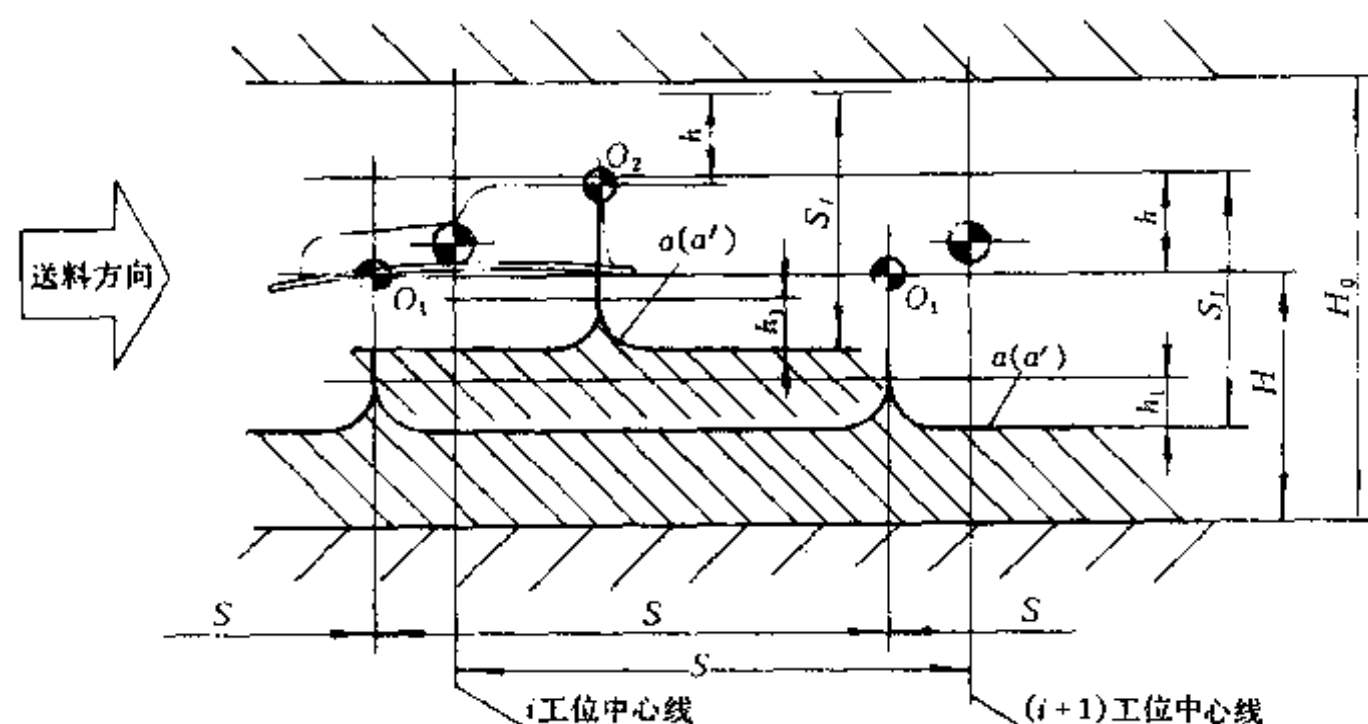


图 8-115 纵剖面干涉曲线

S_T —压力机行程，其余符号的意义同于图 8-110。

如图 8-115 所示为多工位压力机的纵剖面干涉曲线。图中， O_1 点为某一夹持点， O_2 点为制件上最易发生干涉的凸点。该曲线以图 8-112 (b) 中的 a 线为依据绘出，目的是检验上模在随压力机运行的过程中，自动送料机构夹住制件，同时完成上升、送料、下降的动作是否发生干涉。上模在该方向的视图中，不进入 O_1 点的阴影区一般来说是毫无疑问的，有时有可能进入 O_2 点的干涉曲线阴影区，但是，只要保证在 O_2 点的纵向剖面图中上模不进入阴影区，也就保证了上模在纵向上无干涉设计。顺便指出，下模在纵向的无干涉设计可直接参照送料机构运动参数进行。

总之，多工位压力机模具的无干涉设计，必须针对模具所用设备，确定自动送料机构的运动参数 S 、 A 、 h 、 H 、 B 、 C 及与压力机联动的参数 h_1 、 h_2 、 h_3 或 α_1 、 α_2 、 α_3 ，便可以进行模具的无干涉设计。

(三) 模具外形尺寸

1. 封闭高度

大型冲压件多工位压力机，一般滑块底面及工作台面都为统一平面，不带调节垫板。因此各工序模具的最小封闭高度必须保持一致。采用统一平面并不是说工作台为一个整块，大型多工位压力机一般为多机架结构，每个滑块都是可单独调节的，但在提高模具装换效率的要求下，模具设计和机床设计都在向统一平面方向发展。

为了保证最小封闭高度一致，考虑到大型模具加工制造工艺的困难，在一次装配中难以保证 $\pm 0.5\text{mm}$ 的公差，设计时，上模面应增加一个 5mm 的调节带，待全套模具装配完成后，以加工调节带来保证最小封闭高度的一致。

在使用刚性存放限位块时，各工序模的存放封闭高度必须一致。因为多工位压力机一般采用自动夹紧装置，模具的安装是把压力机最小封闭高度首先调节到模具的存放封闭高度，待自动装夹完成后，打开上模，取下存放限位块，再把压力机最小封闭高度调

节到模具的工作位置，进行生产作业。

在使用弹性存放限位块时，只要弹性限位块的剩余变形量大于模具存放高度与最小封闭高度之差，各工序模的存放高度就可以不一致。安装模具时，可保持压力机的工作位置高度不变，使压力机的点动直至略小于各工序模中最小存放高度的位置，此时，各工序模都紧贴于压力机的上滑块，从而可安全方便地进行自动装夹，完成后就可以进行生产作业了。

由此可见，多工位压力机模具应该全部采用弹性存放限位块。

2. 外形尺寸

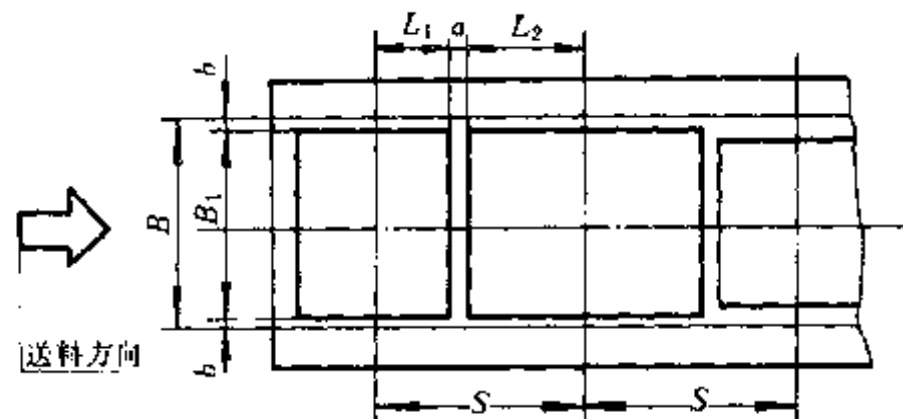


图 8-116 模具平面尺寸限制

如图 8-116 所示为两个相邻工位间模具的平面尺寸限制关系图。由图可见，相邻两个工位模具的平面尺寸应保证下式

$$L_1 + L_2 < S - a \quad (8-1)$$

式中 L_1 ——上工位模具下侧半宽尺寸；

L_2 ——下工位模具上侧半宽尺寸；

S ——工位间距尺寸；

a ——安装间隙。

公式中的安装间隙 a 应大于 50mm。各个工位的模具在工作台上宽度方向尺寸应该满足下式

$$B_1 < B - 2b \quad (8-2)$$

式中 B_1 ——各工位模具在工作台上宽度方向的尺寸；

B ——送料机构纵梁的内幅尺寸；

b ——让位间隙。

公式中让位间隙应大于 20mm。

(四) 工艺的特殊要求

1. 进料定位设计

由自动送料机构的运动轨迹和运动参数可知，除第一工位外工序件的自动进料高度为 H ，由于送料夹持点有多个，所以每个点的高度由制件的形状决定，因而夹持点的高度是可调节的。这样，在工艺模具设计时应该选取工件的基准点作为各种设计的依据。工序制件的定位（见图 8-117），送料机构的运动参数 H 转换为由制件的基准点的位置来

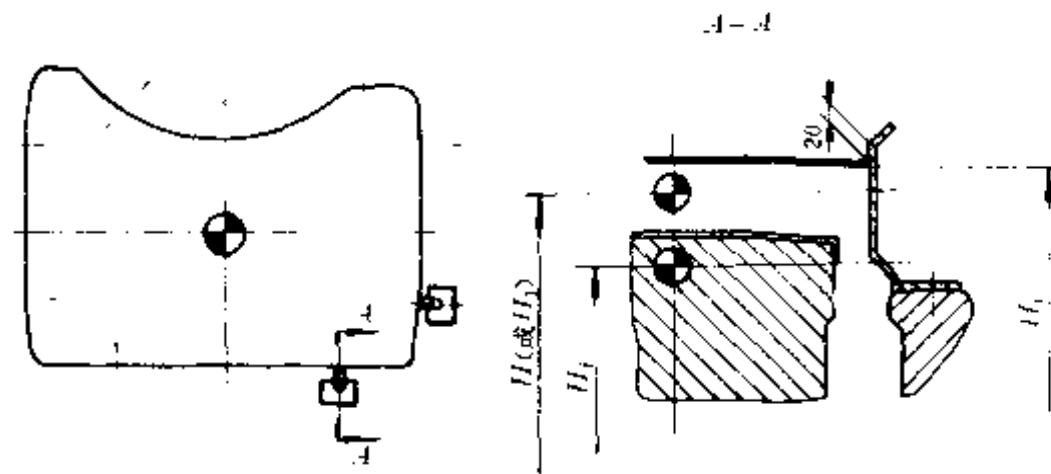


图 8-117 工序件的定位

H —送料机构退出高度； H_c —此时定位点的制件高度；
 H_j —模具工作位置高度； H_1 —板料送料装置进料高度。

表示。这样，为模具的设计提供了方便。可通过基准点高度 H 和产品工序图设计出各个定位点的定位高度。 H_j 为模具工作位置高度，由模具设计时确定，但应保证下式

$$H - H_j > 25\text{mm} \quad (8-3)$$

这是为了避免送料机构进料时，夹头夹持制件与模具工作面发生刚性接触，损坏制件和送料机构。为了定位可靠，制件在平面的四方每边至少设计两个定位点。另外，对于有些用制件的形状或孔定位的制件，四周的进料定位点仍然需要保留。用形腔或孔作为工作定位可同时设置在模具上。第一工位的进料高度为 H_1 。

2. 退料设计

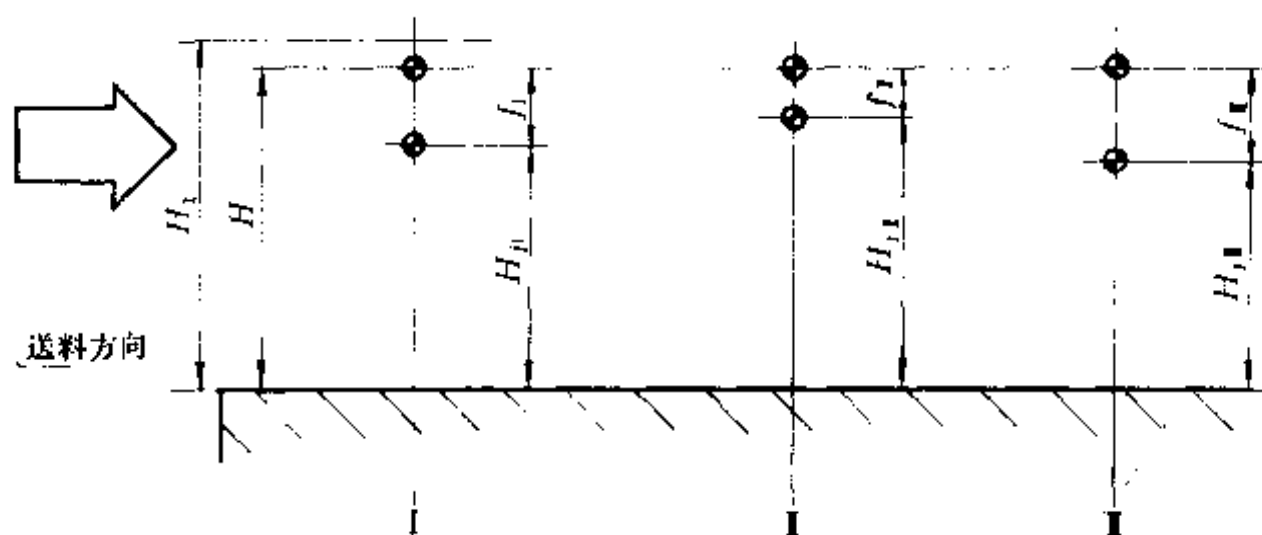


图 8-118 各工位模具中制件的位置关系图

I、II、III—第 1、2、3 工位； H_j —第 1 工位模具工作位置高度；
 f_1 —第 1 工位模具退料行程； H_1 —板材送料装置进料高度。

如图 8-118 所示为在多工位压力机上不同工位模具制件的工作位置高度、退料行程及送料机构的进入、退出高度 H 之间的关系图。图中制件的各种位置用制件上选取的基

准点表示。由于模具结构设计要考虑各种因素，因而最后各工作位置高度会产生不一致的情况，如图中 H_{11} 、 H_{12} 、 H_{13} 都不相同。但是，为了使自动送料机构能够在 H 的工作位置高度有效地完成退料、送料、进料的动作，就必须根据具体情况，设计退料行程，使制件在退料后，全部到达统一的高度 H 上。由于前面进料高度的要求，在这里就应保证各退料行程（ f_1 、 f_2 、 f_3 …）大于25mm。

由自动送料的连续性可知，除第一工位外要求上一工位制件的退料高度为下一工位的进料高度。所以，一般是由后一工位的工作位置高度决定了前一工位必须达到的退料高度。掌握这一原则，有时可以不必把每个工位的最后退料高度都强制在一个位置上。

多工位压力机模具的退料设计不但有高度要求，而且对退料上升、下降还有时间要求。在压力机的一个循环内，退料装置应该在压力机曲柄转角 180° 处开始升起，而在压力机曲柄转角 60° 时，退料装置应该下降，保证在上模接触制件前，退料装置退回到下模内。所以，如果退料机构是以气缸作动力，采用电器行程开关即可控制退料机构的升降。如果采用弹性元件作为退料机构动力，例如拉延模的退料机构，就必须采取其他的方法满足上述的要求。

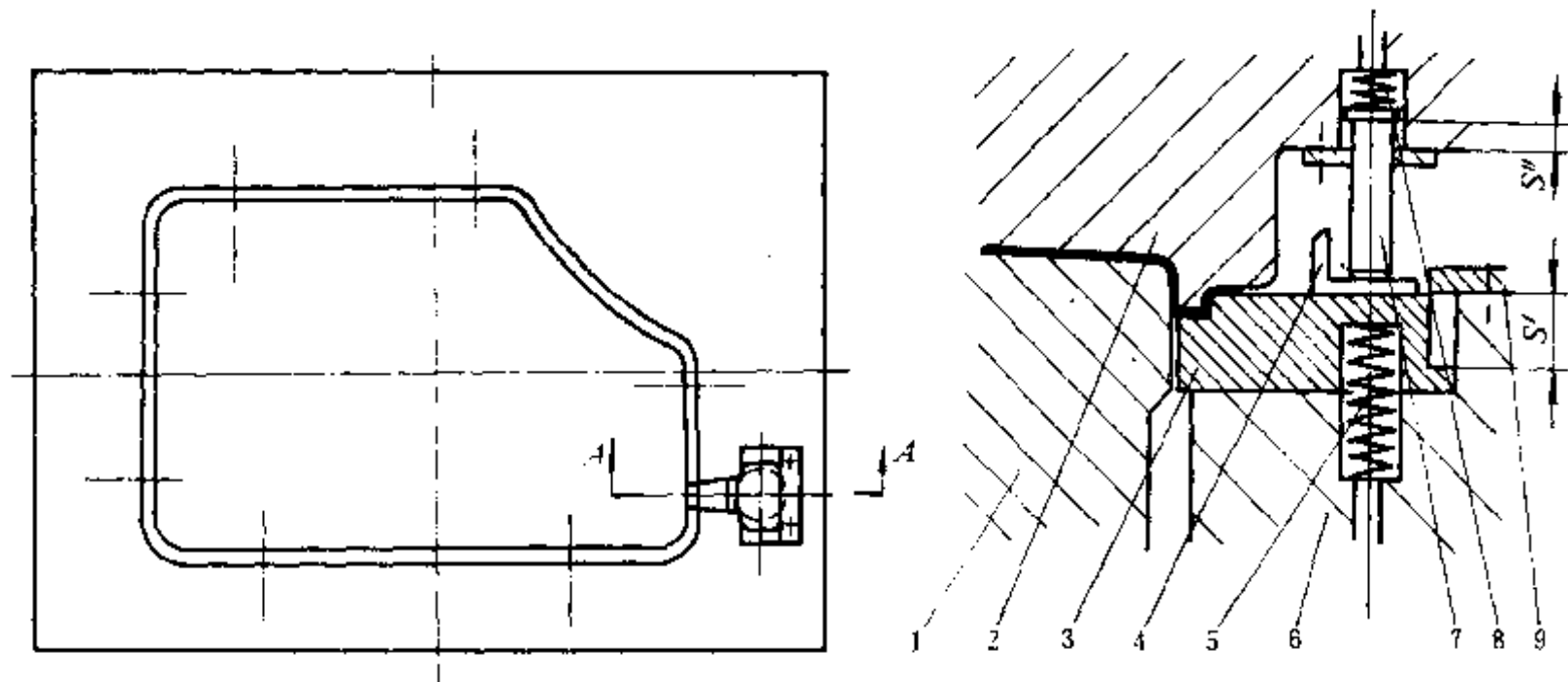


图 8-119 拉延模退料机构设计

1—凸模；2—凹模；3—退料板；4—定位块；5—退料压簧；6—压边圈；
7—压杆；8—压簧；9—限位板； S' —退料行程； S'' —压杆行程。

如图 8-119 所示为多工位压力机拉延模的退料机构结构的设计简图。图中由退料板的平面图可见其形状为斜形，以保证在退料板磨损后压料面仍为无间隙的整体。压杆的作用是使退料块在凹模接触压边圈前，回到图中位置，形成一个完整的压边面。在凹模离开压边圈后，退料压簧使退料板上升，退出制件，退料行程由限位块限制。除拉延模是靠弹性退料外，其他工序也有用弹性退料装置的情况，此时，为保证退料的动作要求，首先要求上模接触制件前，退料装置应回到最低点，都应采用图 8-119 中的压杆结构。结构设计的原则，必须选用压杆弹簧的初始压力大于退料弹簧最大行程时的压力。压

杆行程 s' 在拉延模设计时应大于拉延筋、拉延槛的高度。

3. 废料处理

由多工位压力机模具的工艺特点可知，废料的处理有方向性要求，必须从多工位压力机的两侧面流出。废料处理的方法，往往决定了模具的最小封闭高度。如图 8-120 所

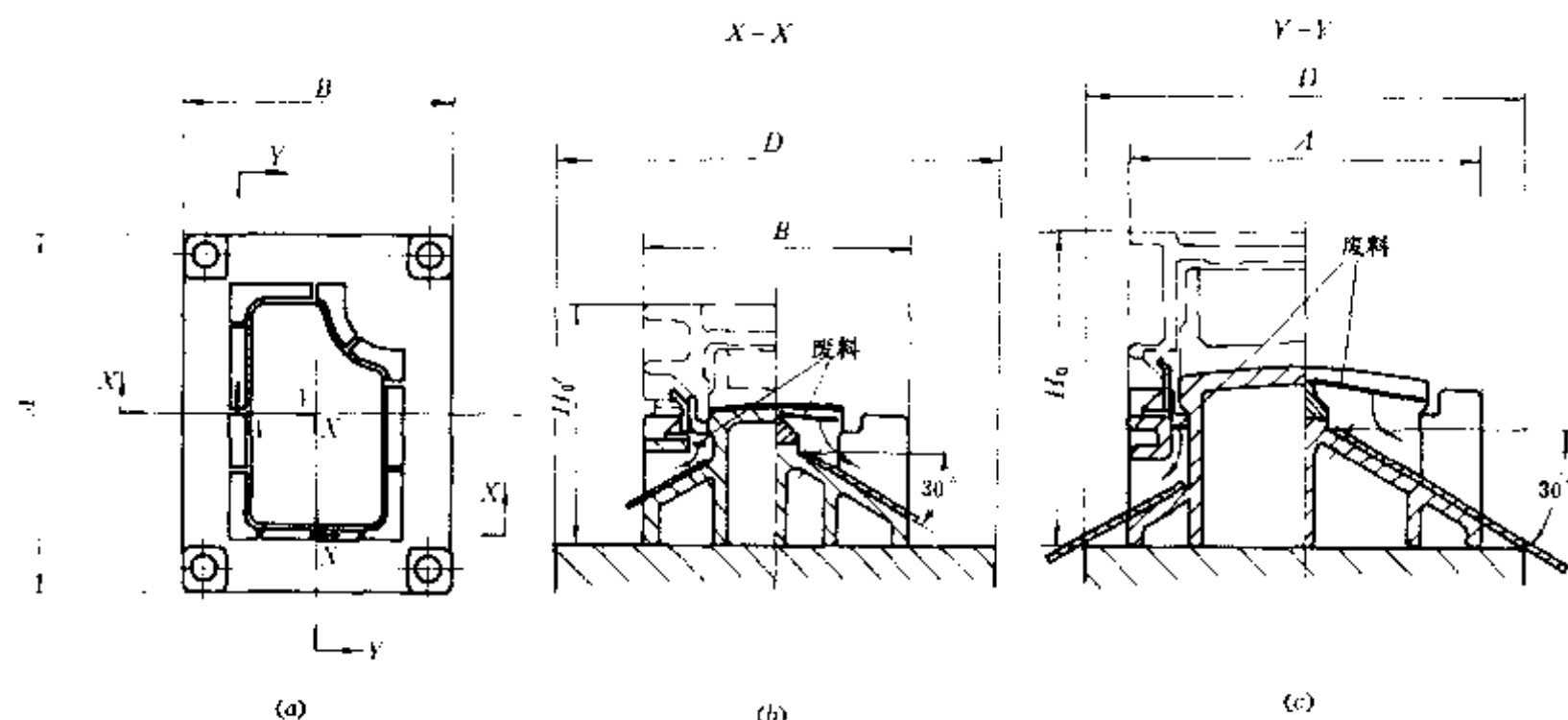


图 8-120 废料处理与模具最小封闭高度的关系

(a) 模具平面图；(b) 通用压力机废料处理；(c) 多工位压力机废料处理。

示为废料处理与模具最小封闭高度的关系图。由图 (b)、(c) 可见，模具的下模高度，由于废料处理的方式不同，差别很大。(b) 图中表示的是通用压力机采用使废料自动排出模具的设计。如果采用废料箱等形式处理废料，下模的高度就只需考虑废料箱的安装空间和废料刀及凸模结构形状的要求，通常下模只需 200~400mm 的高度，加上上模，总的封闭高度只需 500~800mm 就足够了。如果采用图 (b) 的方式处理废料，下模的高度就与模具的宽度 B 有密切的关系。为保证废料的自动滑出，滑槽必须大于 30° ，在右剖视图中，下模高度由于滑槽占空间约 $1/4B$ ，这样结构将比承接式处理废料的模具封闭高度高 $1/4B$ 。图 (c) 为多工位自动机模具的废料处理。同样，由于滑槽所占空间高度约为 $1/4D$ ，而且多工位压力机工作台宽一般为 2~4m。这样，多工位压力机模具一般要高出通用压力机模具 500mm 以上。

另外，考虑到废料处理在多工位压力机模具工作过程中的重要性，在废料自动下落有困难时必须采取强制措施，以保证废料在每一个循环过程结束时排出机床两侧，进入废料传送带。

总之，大型件多工位自动送料压力机模具设计的总原则，仍是满足冲压工艺、操作工艺、制造工艺三方面的要求。

第八节 覆盖件冲模使用的材料

覆盖件冲模包括拉延模、修边模和翻边模。一般来讲，一种车型的一个覆盖零件，这个零件的每道工序只做一副模具。由于模具的寿命长，成本高，所以只做一次。如果模具损坏了，只能用修补的方法解决，或者用更换镶块的方法解决。

一、拉延模使用的材料

拉延模的凸模、凹模、压料圈选用的材料有：

- (1) 灰铸铁：HT250、HT300。
- (2) 球墨铸件：QT600-3。
- (3) 合金铸铁：钼钒铸铁……

铸铁的性质：

- (1) 容易铸造。
- (2) 铸铁的内部组织是由珠光体和游离石墨构成的，所以强韧。石墨起自润滑作用，可以起到减少或不用润滑剂的效果。所以铸铁的润滑性能良好。
- (3) 对表面硬度要求高的部位，如凹模的型腔和压料面，凸模的成形表面和压料圈的压料面可以进行表面火焰淬火，其表面硬度可达 HRC50~55。
- (4) 由于铸铁能进行表面火焰淬火，因此，克服了整体淬火的变形问题。同时提高了模具的使用寿命。
- (5) 灰铸铁与合金铸铁相比，有加工容易，成本低等优点。因此灰铸铁比合金铸铁使用得更广泛。

二、修边模使用的材料

修边模工作时，修边刃口部承受大的冲裁力。因此对修边刃口使用的材料要求具有更高的机械性能。刃口部硬度要求 HRC55 以上。工作时刃口磨损快，需要经常修磨刃口或更换镶块。

(一) 整体修边模使用的材料

(1) 凸模和凹模 HT250、HT300。在它的刃口部先铣成如图 8-59 所示的形状，然后再堆焊修边刃口，堆焊后经空冷达到 HRC55 以上。再经过机械加工，钳工修配达到形状和尺寸要求。

(2) 压料板 HT250、HT300。

(二) 修边镶块使用的材料

(1) 优质碳素工具钢 T8A、T10A。作凸模和凹模镶块用。用于形状复杂，容易磨损处。

(2) 空冷合金工具钢 这类钢经表面火焰加热后，空气中冷却达 HRC58 以上，用于

大的修边镶块。

(3) 碳素结构钢 钢的含碳量在 0.25% 以下。作堆焊镶块的本体用。

(4) 铸铁 HT250、HT300。用于空间曲面形状较简单的部位。作堆焊镶块的本体用。

三、翻边模使用的材料

(1) 翻边模的凸模、凹模和压料板 使用灰铸铁 HT250、HT300。

(2) 翻边模的凹模 使用镶块时，用碳素结构钢 (0.25% C 以下) 堆焊工作部分，或用工具钢作翻边的凸模和凹模。

四、选材要求

对拉延模、修边模、翻边模来讲，当把凸模和模座分开、凹模和模座分开时，这时的上下模座可采用铸铁 HT200 或采用原钢板来做模座。钢板的厚度为 60~70mm，加工后的厚度为 50~60mm，材料为 Q235 或 25、35、45 钢等材料。

第九章 精 冲

第一节 精冲的基本概念

精冲是在普通冲裁的基础上发展起来的一种精密冲裁工艺。精冲主要分为两种：强力压边精冲（fine blanking）简称精冲；对向凹模精冲（blanking with opposed dies）。

精冲应用较为广泛，它能在一次冲压行程中获得尺寸精度高、表面粗糙度好、翘曲小、垂直度和互换性好的高质量冲压零件，用以代替部分整修和冲裁后进行的各种切削加工工艺，而直接达到产品的装配要求。有时还能精冲出切削加工无法进行的复杂零件，推动产品设计的技术进步。

精冲是用特殊结构的模具在三动专用精冲压力机或改装的普通压力机上，对被冲材料施加三个作用力（即冲裁力、压边力、反压力）的情况下进行冲压，并且在冲裁的过程中，板料始终处于被压紧状态。

一、普通冲裁与精冲比较

普通冲裁时，冲裁凸模与凹模之间存在着较大的冲裁间隙，一般为材料厚度的 10%~20%，而精冲时，凸模与凹模之间的间隙值只有材料厚度的 0.5%~1%。普通冲裁由于冲裁间隙大，又无压料力和反压板的反压力，冲裁过程中伴随着弯曲，产生拉伸应力，制件除产生拱弯外，其剪切面是个斜面，且大部分是粗糙的撕裂面。精冲则不然，由于冲裁间隙值很小，冲裁过程中材料变形区内外、上下均施有强大的压力，精冲模刃口又采用适当的圆角，所以精冲过程相当于纯塑性剪变形，获得的制件具有垂直、光洁的剪切面和较高的尺寸精度。

精冲件所获得的尺寸精度比普通冲裁件高出两级以上，可达 IT6~IT8 级，而且一致性好，公差在 0.01mm 以内。剪切面粗糙度 R_a 一般可达 2.5~0.63 μm ，且基本垂直。精冲件一般不必再进行切削加工，即可作为成品件交付装配使用。

二、精冲的发展趋势

随着精冲技术的发展，模具制造技术的提高，精冲已经突破了普通冲裁一般属板料冲压的范畴。精冲工序与其他成形工序（如弯曲、半冲孔、挤压、压印等）合在一起进行复合或连续冲压，可以大大提高生产率和降低生产成本。

因此，精冲的典型件不再仅是：齿轮、齿条、凸轮、棘轮、链轮一类的平板成形零件，而且已发展到异型凸台件（包括齿形）、阶梯盲孔形零件（包括内齿）等。汽车的同

步器齿环、轿车座椅角调器等就属这一类特殊精冲件。

随着高精产品的不断涌现，精冲技术具有广阔的发展前景。

第二节 精冲变形原理与应力分析

一、精冲变形过程

(一) 精冲的全过程

如图 9-1 所示为精冲的全过程。

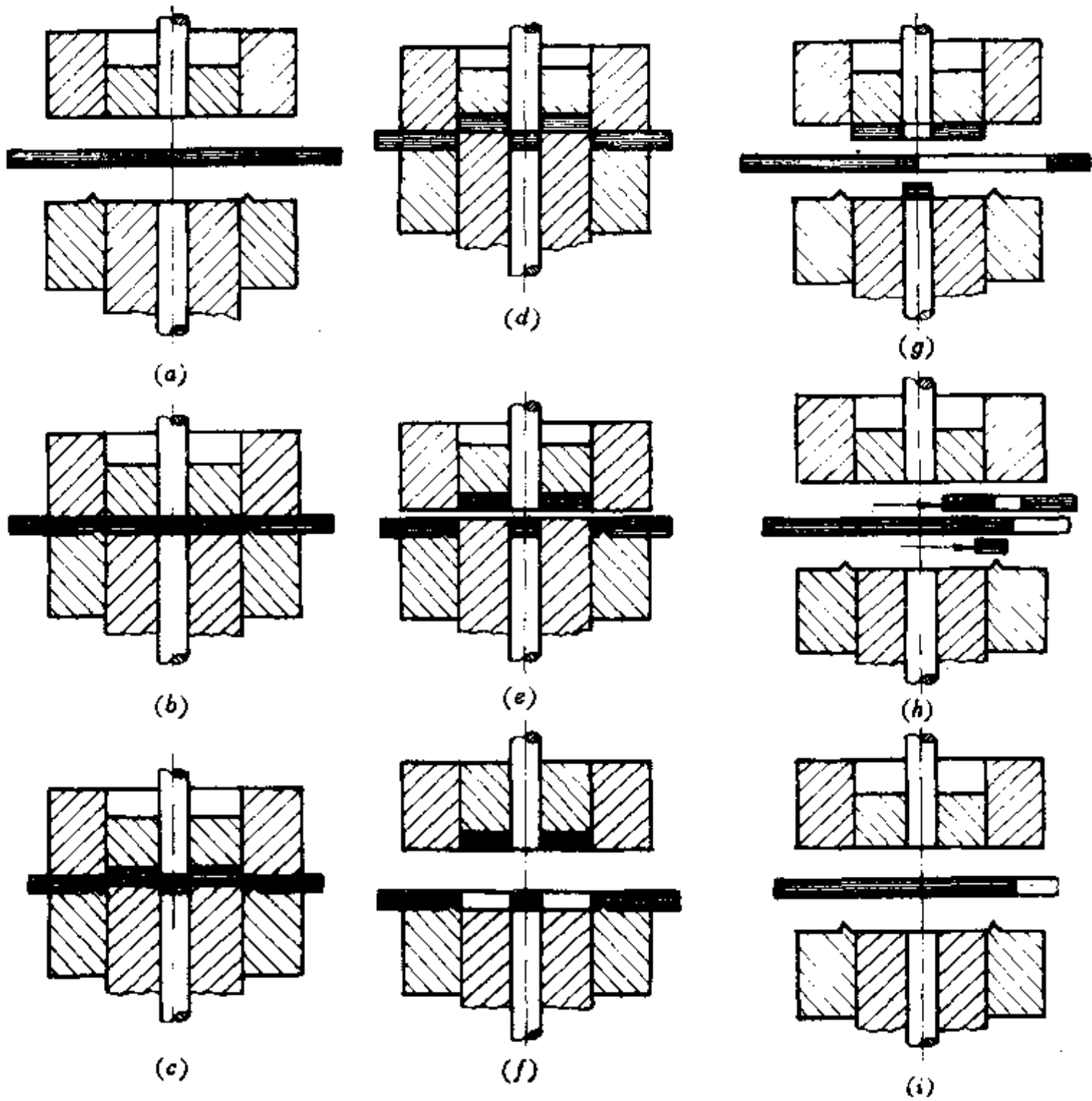


图 9-1 精冲全过程

(a) 起始位置；(b) 模具闭合；(c) 冲裁；(d) 冲裁结束；(e) 模具开启；
 (f) 卸料；(g) 顶件、送料；(h) 吹出零件及废料；(i) 准备下一个零件冲裁。
 1—凹模；2—反压板；3—冲孔凸模；4—V形压边圈；5—凸凹模；6—顶杆。

(二) 精冲工艺力—行程图

如图 9-2 所示为典型的精冲工艺力—行程图。虚线表示普通冲裁力曲线。

(三) 精冲变形过程

从精冲全过程中，可以看出，精冲是在三个单独可调的力作用下进行的，其变形过程主要分为三个阶段。

1. 弹性变形阶段

从图 9-1 中 (b) 可以看出，在精冲刚开始时，被冲材料在齿圈压板的作用下，紧紧的压在凹模上，同时反压板顶压板料，凸模接触板料施压，使被冲材料产生弹性变形。

2. 塑性变形阶段

当冲裁力超过被冲材料的屈服极限时，产生塑性变形。由于被冲材料始终处于三向压应力状态，因此，精冲过程实际上是塑性剪切变形过程，直至板料分离。

3. 断裂阶段

由于被冲材料、冲裁间隙、模具经济寿命、零件的技术要求等原因，造成在精冲终结前变形区静水压力降低，从而出现少许的断裂，这个阶段称为断裂阶段。

必须指出的是，大部分精冲没有断裂阶段。

为了保证精冲塑性变形阶段不产生裂纹，一般采取下列措施：

(1) 冲裁前 V 形压边圈压住材料，防止剪切变形区以外的材料在剪切过程中随凸模流动；

(2) 在冲裁力、压边力、反压力的共同作用下，提高剪切变形区的静水压力，从而增加金属材料的塑性；

(3) 精冲间隙要尽量小，以保证精冲材料始终处于三向受压的应力状态。精冲间隙在诸多因素中，是最重要的一个因素；

(4) 精冲凸模或凹模的刃口倒以圆角 [一般取圆角半径 $R = (1\% \sim 2\%) t$ mm]，以减小刃口处的应力集中，避免或者延缓裂纹的产生，改善变形区的应力状态；

(5) 材料预先进行球化处理，或采用适宜精冲的材料；

(6) 采用适于不同材料的精冲润滑剂。

(四) 精冲过程剪切面的加工硬化

由于精冲过程主要是塑性变形过程，而且是在凸模刃口和凹模刃口间的间隙区的小范围内，这样就形成了剪切面表层的加工硬化。靠近凸模的金属塑性流动大，因而加工硬化的硬度也就最大。反之，靠近凹模处，加工硬化的硬度值也就最低。如图 9-3 所示为典型的精冲件剪切表面及内层硬化曲线。

从该图中可以看出，剪切表面由于剧烈的塑性变形而产生加工硬化，其最大硬度超过原始硬度 1 倍多。精冲剪切面加工硬化的特征，可供产品设计者选材时参考。

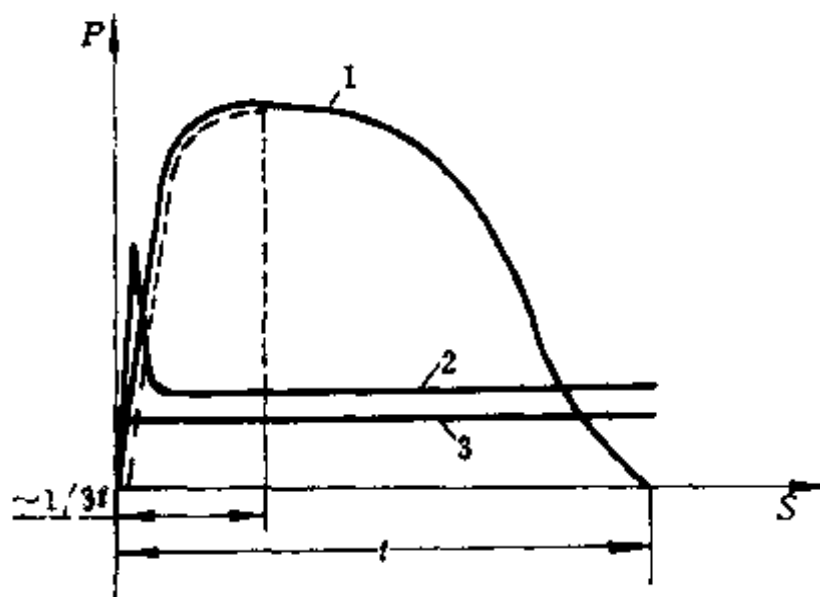


图 9-2 精冲工艺力—行程图

1—精密冲裁力曲线；2—压边力曲线；3—反压力曲线。

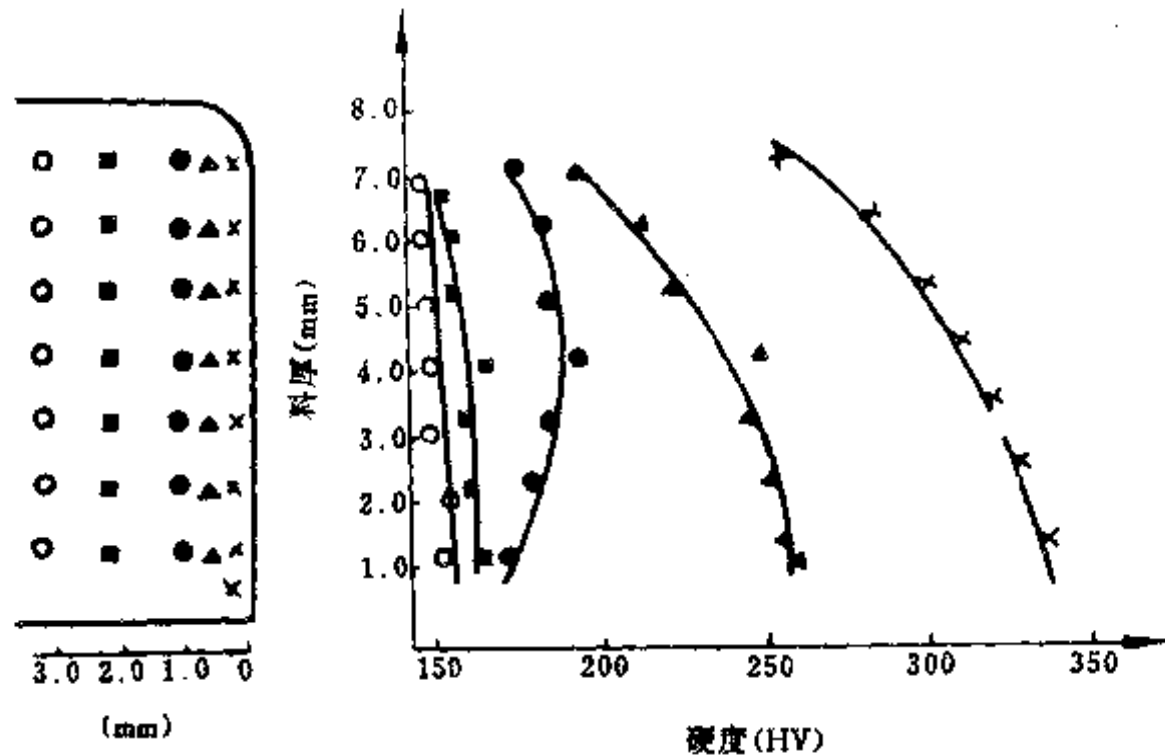


图 9-3 精冲件剪切表面及内层硬化曲线

材料: 16Mn; 料厚: 8mm; 原始硬度: HV160

× 剪切表面; ▲ 距表面 0.5mm; ● 距表面 1mm; ■ 距表面 2mm; ○ 距表面 3mm。

二、精冲的变形原理

从金属塑性变形理论分析,金属材料在变形过程中,压应力和压应变不会导致金属破坏。引起金属材料的断面韧性破坏,是拉断、剪断以及纤维破坏。也就是说,拉应力及拉应变、剪应力及剪应变以及纤维微裂的扩展,是造成金属材料断裂破坏的主要因素。

从普通冲裁应力分析(见图 9-4)得知,其剪切区中间为平面应力状态。按屈服准则,最大剪应力为

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = K \quad (9-1)$$

若为纯剪,则主应力 $\sigma_1 = -\sigma_3 = K$ 。它的方向与最大剪应力方向成 45° 角。随着剪切区静水压力的增加,拉应力 σ_1 减小。当静水压力增大到 K 时,拉应力减小为零。精冲时正是由于增添了齿圈压板和反压板,使材料在受压状态下进行冲裁,加之采用了小间隙和凹模刃口圆角,从而使剪切区材料处于三向压应力状态,消除了该区的拉应力,阻止了宏观断裂(撕裂)的产生,从而避免了普通冲裁中出现的弯曲-拉深-撕裂现象。而精冲变形过程中,齿圈压入材料中的塑性变形区和凸凹模刃口连线间的剪切区连成一块,在该区域的滑移线场如图 9-5 所示。系由均匀场与中心场组成, $AGFE$ 为 α 线, DG 、 DF 为 β 线。当 AB 间滑移线的全转角为零,则在 B 点的静水压力等于 AC 上的静水压力。在 DEF 区域内静水压力为压应力 K , 设 AD 与垂直线相交成 φ , 若 $\varphi = 30^\circ$, 则 $\angle FDG = 30^\circ$, 从而 DG 上的静水压力为 $K + \frac{2}{6}K\pi$ 。设 $\angle GAC = \theta$, 则 AC 上的静水压力为 $K + \frac{2}{6}K\pi - 2K\theta$, 只要 $\theta < \frac{\pi}{6}$, 则 AC 和 B 点的静水压力大于 K 。若 $\varphi = 45^\circ$, 则 $\angle FDG = 45^\circ$, 同理, AC 和 B 点的静水压力为 $K + \frac{2}{4}K\pi - 2K\theta$, 在齿顶到凹模刃口距离 a 不变的情况下, $\angle GAC$ (即 θ) 随

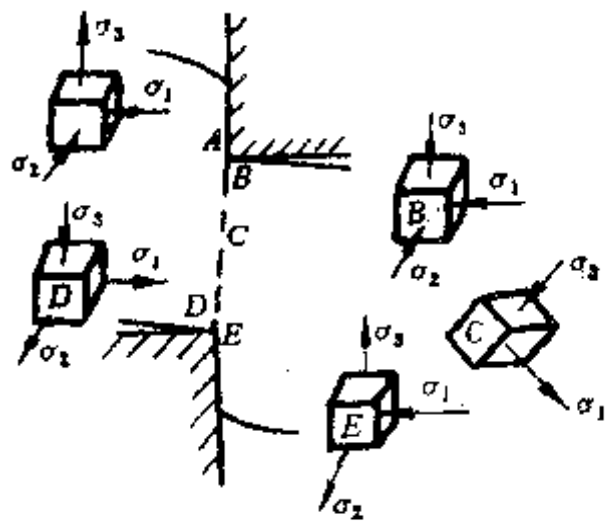


图 9-4 普通冲裁应力状态图

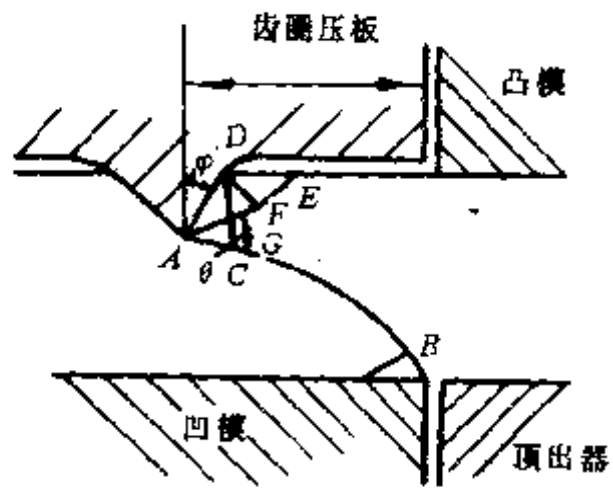


图 9-5 精冲时的金属滑移线场

φ 的增大而减小，所以 $\varphi=45^\circ$ 时的静水压力大于 $\varphi=30^\circ$ 时的静水压力。这也为选择齿圈压板的齿形角度提供了依据。由此可见，齿圈压板使剪切区静水压力增大，有助于消除该区内的拉应力，使剪切变形的材料保持在压应力状态，避免在模具刃口部分产生裂纹，并在不产生断裂面的情况下使材料剪切分离。

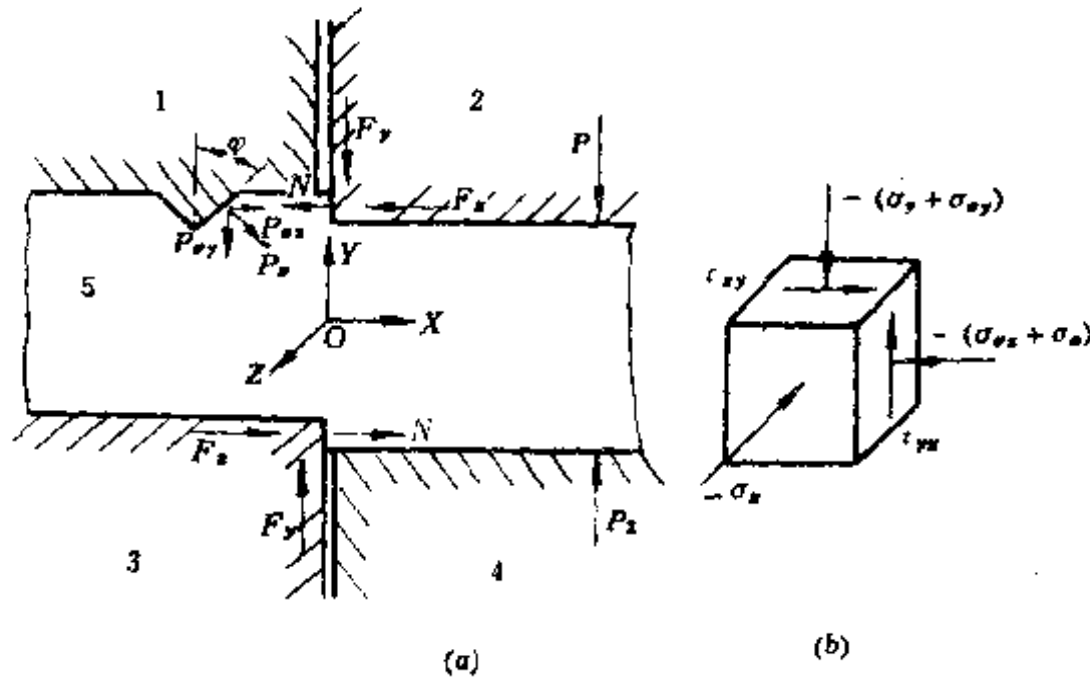


图 9-6 精冲时作用于材料的外力及变形区的应力
1—压边圈；2—凸模；3—凹模；4—顶出器；5—材料。

三、精冲变形区的应力分析

精冲时作用于材料的外力和变形区的应力（见图 9-6）。

图中 P_1 ——凸模作用于材料的冲压力

$$P_1 = P + P_2 \tag{9-2}$$

P ——剪切力；

P_2 ——顶件反力；

P_x ——V形齿内边作用于材料的力；

N ——作用于材料的侧向力；

F_x, F_y ——模具表面作用于材料的摩擦力。

(一) 变形区内任一点的应力张量

在变形区内取任一点 O 建立坐标系 XYZ , 在该处取一单元六面体, 其上作用的应力如图 9-6 所示。 σ_y 系由 P_y 而引起的正应力, σ_{xz} 、 σ_{xy} 分别为 P_x 在 X 方向的分量 P_{ox} 和 Y 方向的分量 P_{oy} 引起的正应力, σ_x 为侧向力 N 引起的正应力, σ_z 为模具等对材料的约束作用而引起的正应力, 剪应力由外摩擦力而引起。

O 点的应力张量以 T_o 表示

$$T_o = T_o' + T_o'' \quad (9-3)$$

式中 T_o' —— 球形应力张量;

T_o'' —— 应力偏量。

$$T_o = \begin{Bmatrix} -\sigma_{xz} + \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yz} & -(\sigma_y + \sigma_{xy}) & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -\sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_m \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -\frac{2}{3}(\sigma_{xz} + \sigma_x) & & \\ +\frac{1}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy} + \sigma_z) & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yz} & \frac{1}{3}(\sigma_{xz} + \sigma_x + \sigma_z) & \\ 0 & -\frac{2}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy}) & 0 \\ & 0 & -\frac{2}{3}\sigma_z + \frac{1}{3}(\sigma_{xz} + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_{xy}) \end{Bmatrix} \quad (9-4)$$

$$T_o' = \begin{Bmatrix} -\sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_m \end{Bmatrix} \quad (9-5)$$

$$-\sigma_m = -\frac{1}{3}(\sigma_{xz} + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_{xy} + \sigma_z) \quad (9-6)$$

球形应力张量系 O 点所受的静水压力, 它影响该点材料的塑性。在精冲过程中, 如果剪切面上的材料内部有不均匀的组织或缺陷, 在静水压力作用下, 不是引起微裂纹扩大而是缩小, 因而材料塑性得到充分发挥。

$$T_o'' = \begin{Bmatrix} -\frac{2}{3}(\sigma_{xz} + \sigma_x) & & \\ +\frac{1}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy} + \sigma_z) & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yz} & \frac{1}{3}(\sigma_{xz} + \sigma_x + \sigma_z) & \\ 0 & -\frac{2}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy}) & 0 \\ & 0 & -\frac{2}{3}\sigma_z + \frac{1}{3}(\sigma_{xz} + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_{xy}) \end{Bmatrix} \quad (9-7)$$

应力偏量 T_o'' 包括一对剪应力 τ_{xy} 、 τ_{yz} 和由

$$\pm \frac{2}{3}[(\sigma_{rx} + \sigma_x) - \frac{1}{3}(\sigma_y + \sigma_{ry} + \sigma_z)],$$

$$\pm [\frac{2}{3}(\sigma_y + \sigma_{ry}) - \frac{1}{3}(\sigma_{rx} + \sigma_x + \sigma_z)]$$

构成的两对剪应力。应力偏量使材料在精冲过程中产生塑性变形。

(二) 关于提高变形区静水压力的分析

精冲时变形区的球形应力张量为

$$T_{\sigma'} = \begin{Bmatrix} -\sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_m \end{Bmatrix} \quad (9-8)$$

是该区所受的静水压力。而

$$-\sigma_m = -\frac{1}{3}(\sigma_{rx} + \sigma_x + \sigma_y + \sigma_{ry} + \sigma_z) \quad (9-9)$$

因此从上式可以知道影响变形区静水压力的因素，从而找到提高静水压力的途径。

1. 增大 σ_y

$\sigma_y = \sigma_y' + \sigma_y''$ ， σ_y' 系冲裁时所引起的正应力， σ_y' 在材料一定时为一定值。 σ_y'' 系顶件反力 P_2 所引起的正应力。因此增加 σ_y 只能通过增加 σ_y'' 来实现，就是说增大顶件反力是提高精冲变形区静水压力途径之一。

2. 增大 σ_x

σ_x 为侧向力引起的正应力，它与凸凹模间隙及刃口的圆角密切相关，间隙偏大 σ_x 将降低，因此小间隙是实现精冲的关键因素。当然采用小间隙的目的不仅是为了提高 σ_x 。在生产当中或在精冲试模时，如果发现工件局部出现撕裂采取措施仍不能克服时，可将相应部位的凹模刃口倒圆，借增加 σ_x 来提高静水压力，作为一种消除局部撕裂的方法。

3. 增大 $(\sigma_{rx} + \sigma_{ry})$

因为 $\sigma_r = \sqrt{\sigma_{rx}^2 + \sigma_{ry}^2}$ ，显然增大 $(\sigma_{rx} + \sigma_{ry})$ 可通过增大 P_r 来实现，就是说增大压边力是提高精冲变形区静水压力途径之一。齿圈压板的压力，应使材料变形区的单位压力等于或稍大于材料的屈服极限 σ_s ，因此影响齿圈压板的压力因素有材料的屈服强度、厚度以及在剪切线上的剪切力等。一般常用的数据为 40%~60% 的剪切力。

4. 采用最佳压边圈齿形内角 φ

当压边力一定时，还存在着压边圈齿形内角 φ 取何值时 $(\sigma_{rx} + \sigma_{ry})$ 有最大值的问题。

由于 σ_{rx} 为 P_{rx} 引起的应力， σ_{ry} 为 P_{ry} 引起的应力，所以 $(\sigma_{rx} + \sigma_{ry})$ 的极值问题，可以归结为求 $(P_{rx} + P_{ry})$ 的极值问题。由图 9-6 知

$$P_{rx} = P_r \cos \varphi \quad (9-10)$$

$$P_{ry} = P_r \sin \varphi \quad (9-11)$$

$$P_{rx} + P_{ry} = P_r (\cos \varphi + \sin \varphi) \quad (9-12)$$

取极值

$$\frac{d(P_{rx} + P_{ry})}{d\varphi} = 0 \quad (9-13)$$

得 $P_r (\cos\varphi - \sin\varphi) + dP_r (\cos\varphi + \sin\varphi) = 0$

因压边力为一定值, P_r 也为定值, $dP_r = 0$ 故

$$\cos\varphi - \sin\varphi = 0$$

$$\varphi = \frac{\pi}{4} \quad (9-14)$$

以上结果表明, 齿形内角 $\varphi = 45^\circ$ 时, $(P_{rx} + P_{ry})$ 或 $(\sigma_{rx} + \sigma_{ry})$ 有极大值。此时精冲变形区内材料所受的静水压力最大。

5. 关于 σ_z 的分析

从静水压的关系式中知 σ_z 增加也可提高静水压力。但 σ_z 为模具等对材料约束而引起的应力, 它取决于工件的形状, 在工件轮廓内凹的部分 σ_z 值比较大, 这些部分压边圈的齿形不必沿工件轮廓线分布, 就能使变形区有足够大的静水压力, 获得完美的精冲效果。

第三节 精冲件的工艺性分析

精冲零件的工艺性是指该零件在精冲时的难易程度。在一般情况下, 影响精冲件工艺性的因素有:

- 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。

其中零件几何形状是主要影响因素。

在普通冲裁中, 为了保证模具的经济寿命, 对零件的结构尺寸, 如细长悬臂宽度、窄长凹槽宽度、孔边距和小孔径等尺寸, 与被冲材料厚度相比的比值, 一般都比较大。而精冲则可适当减少上述比值。这是由于精冲设备具有良好的刚度和导向精度; 精冲过程速度低、冲击小; 精冲模架刚性好, 导向精度高; 冲切零件在压边圈、反压板无松动长距离的导向和支撑下, 避免了纵向失稳, 提高了承受载荷的能力等。因此, 虽然精冲时冲切零件承受的载荷要比普通冲裁大 30%~50% 甚至更多, 但由于上述各种有利因素, 精冲件内外轮廓的极限尺寸都比普通冲裁的小, 从而有利于扩大精冲工艺的使用范围, 并有效地解决了普通冲压中难以解决的困难。

在通常情况下, 为了最大限度地提高模具使用寿命和改善精冲零件的质量, 最小结构尺寸的确定, 应大于或接近于各种图算值。

但是, 值得注意的是无论是从理论计算或各种图算中所求得的数值, 都不是极限值, 而是良好条件下的平均经济值。因此, 对于个别特殊的情况下, 也允许将最小结构尺寸修正到小于各种图算值, 这样虽然会影响模具寿命, 但从精冲零件的整个加工成本来看是有利的。

此外, 在精冲零件结构许可的条件下, 可以将弯曲、压印、冲沉孔、半冲孔、体积成形等各种冲压工序, 与精冲工序合并在一副精冲模具上, 用复合或级进的方式来完成多工序精冲零件的生产, 从而使精冲技术能获得更高的经济效果。

一般将精冲零件加工难度分为三个等级(见图9-7~图9-12), S1表示容易的; S2表示中等难度的; S3表示困难的。模具寿命随精冲难度的增加而降低。在S3范围以下, 一般不适于精冲。

一、圆角半径

精冲零件应力求避免凸出的尖角。因为过小的圆角半径会使零件剪切表面上产生撕裂和模具相应部分应力集中及严重的磨损。圆角半径在允许的范围内尽可能取得大些。它和零件角度、零件材料、厚度及其强度有关。

圆角半径大小, 一般取 $AR=ar$ 、 $IR=ir$; $IR=0.6AR$ 。例如, 料厚为3mm, 零件角度为 30° , 最小圆角半径 AR 为1.45mm, 则由图9-7中查得零件的加工难易程度, 即在S2和S3之间。

二、环宽

精冲难易程度与环宽和料厚的关系如图9-8所示。环形件最小壁厚一般取 $a=0.6t$ 。

三、孔径和孔边距

精冲的难易程度与孔径、孔边距和料厚的关系如图9-9所示。

最小孔径和孔边距一般均取 $0.6t$ 。

最小孔径的理论计算可由冲孔凸模上允许承受的最大压应力来校核

$$\sigma_p = \frac{P}{A} = \frac{4\pi dt\tau}{\pi d^2} = \frac{4t\tau}{d} \leq [\sigma_p]$$

即
$$\frac{d}{t} = \frac{4\tau}{\sigma_p} \quad (9-15)$$

式中 $[\sigma_p]$ ——凸模上许用压应力 (MPa);

P ——理论冲裁力 (N);

A ——凸模最狭窄处的断面积 (mm^2);

d ——凸模直径 (mm);

t ——料厚 (mm);

τ ——抗剪强度 (MPa);

σ_p ——凸模承受的压应力 (MPa)。

由上式可以看出, 在精冲材料不变的条件下, 精冲小孔直径与凸模材料许用压应力成反比。凸模许用压应力一般取1600MPa。如果采用优质模具钢和加特种护套保护, 而加工质量良好时, 其 $[\sigma_p]$ 可高达2000~3000MPa。

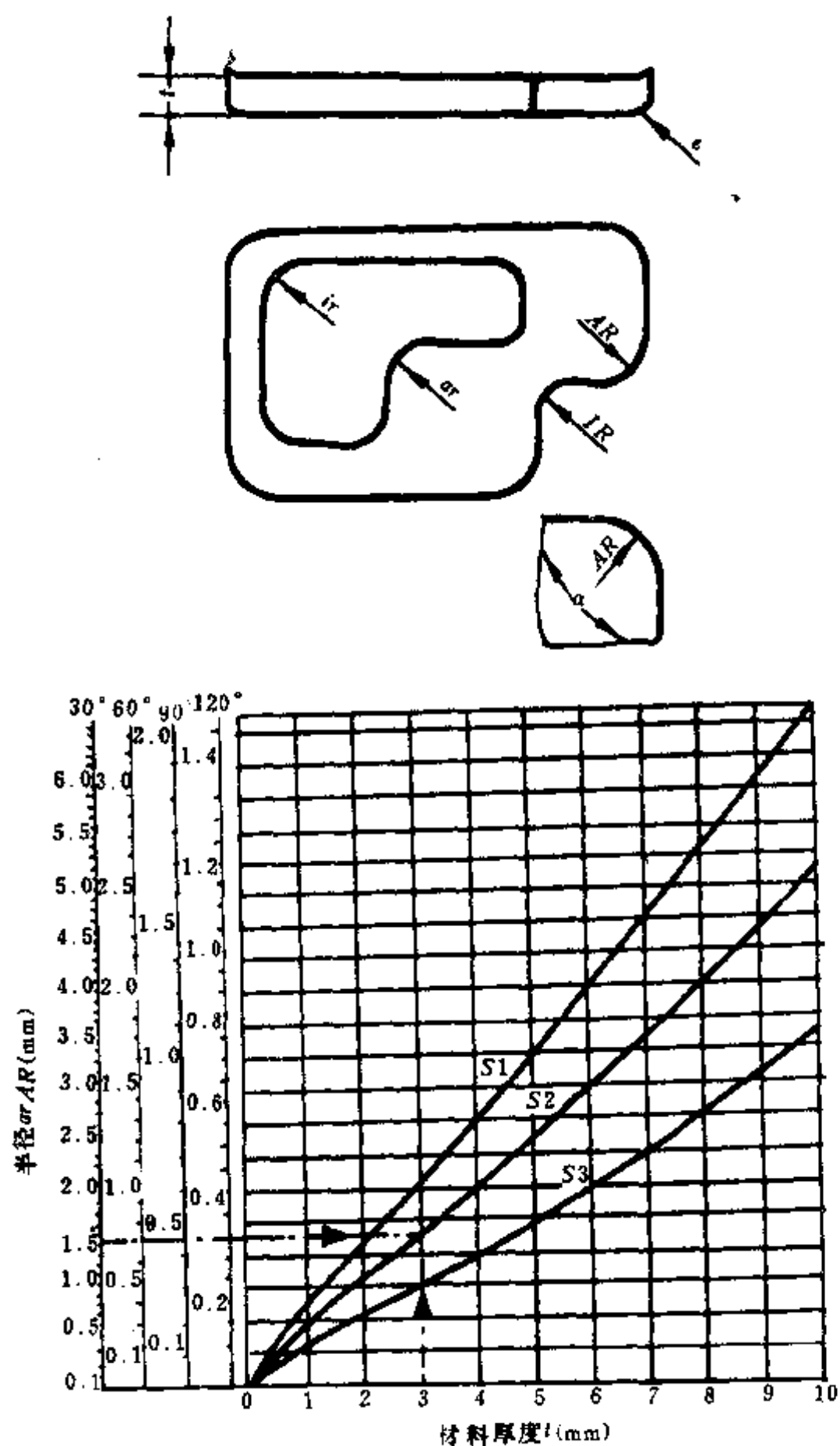


图 9-7 精冲难易程度与圆角半径、料厚的关系

四、槽宽及悬臂

精冲零件槽的宽度和长度、悬臂的宽度和长度均取决于零件材料和强度。应尽可能增大它们的宽度、减小长度，以提高凸模寿命。

最小槽宽尺寸，按经验数据一般取 $a_{\min} = 0.6t$ ， $b_{\min} = 0.6t$ ， $L_{\max} = 12a$ 。

精冲难易程度与槽宽、悬臂和料厚的关系如图 9-10 所示。

值得注意的是冲槽凸模上的应力分布较冲孔凸模更为不利，它对凸模的疲劳强度有

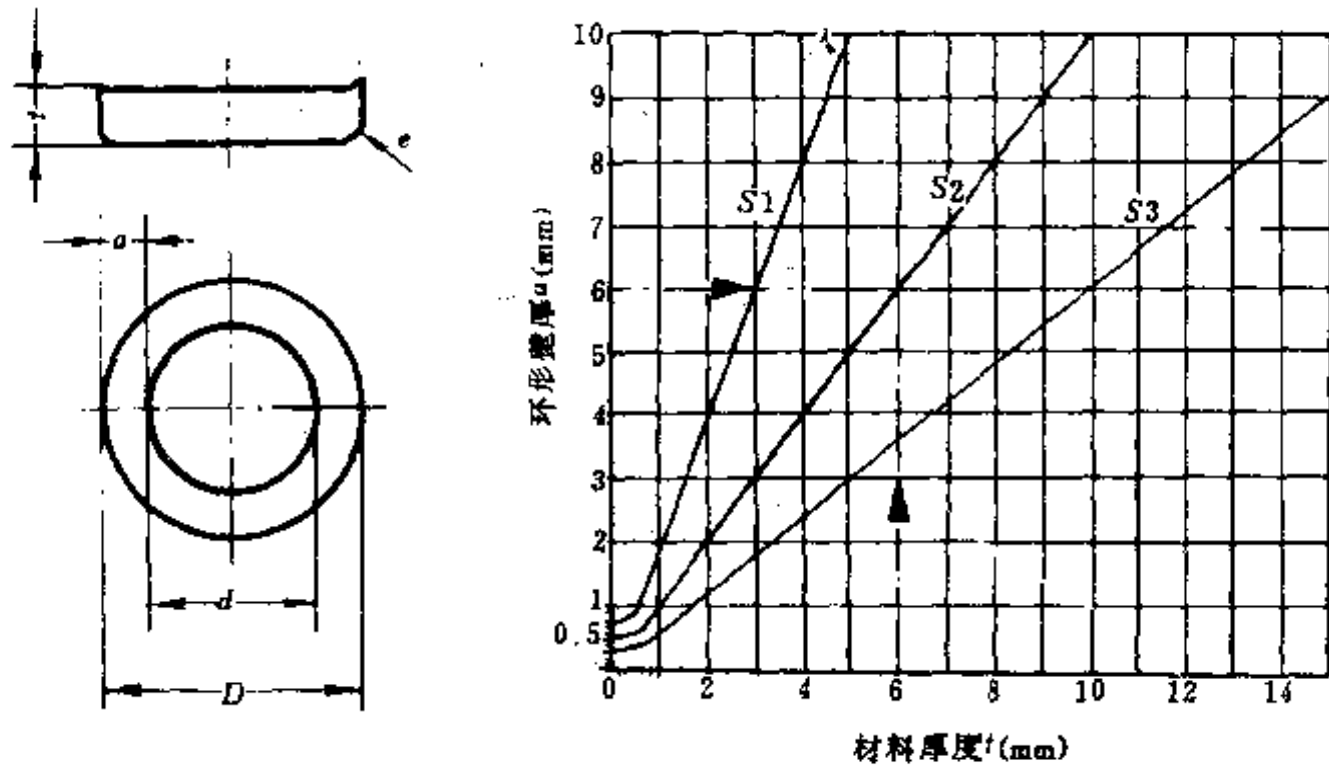


图 9-8 精冲难易程度与环宽和料厚的关系

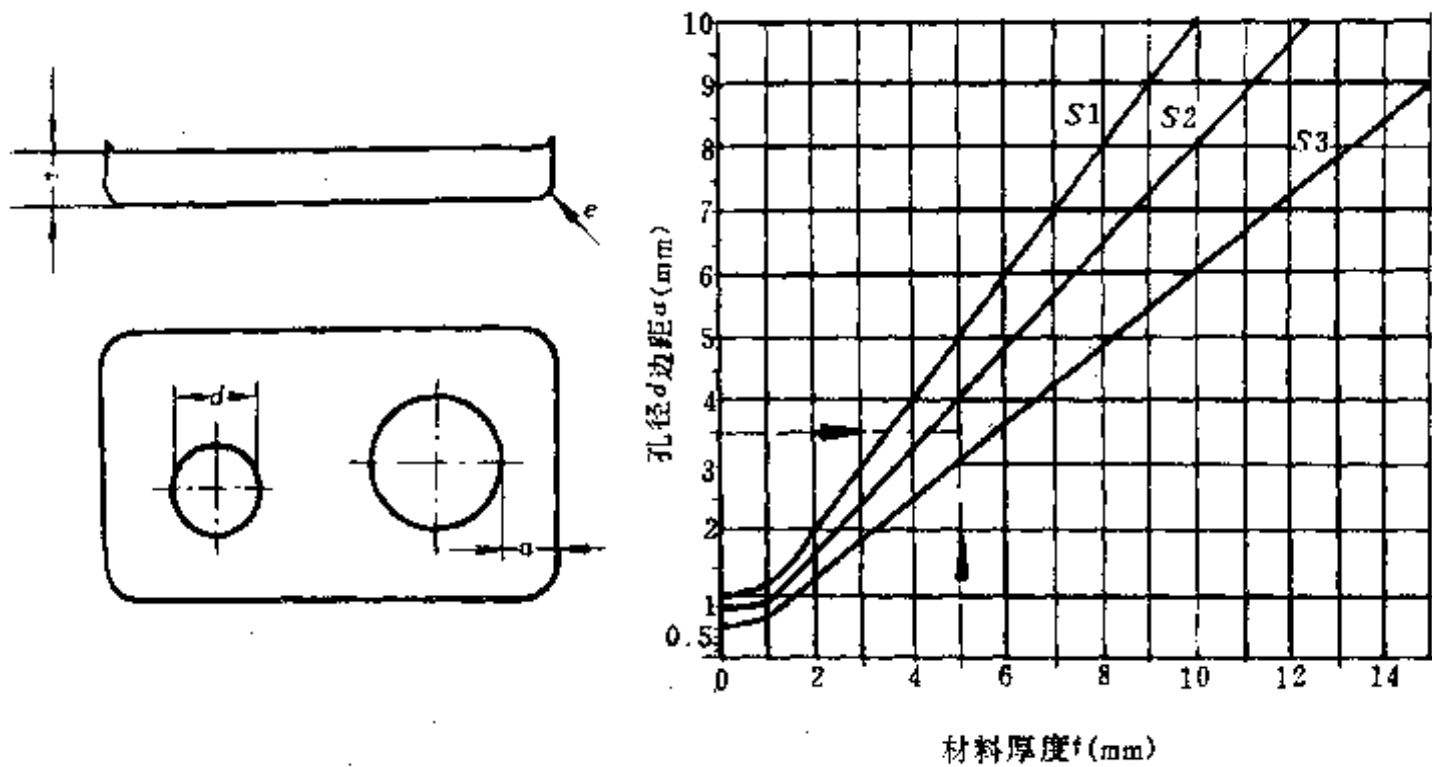


图 9-9 精冲难易程度与孔径、孔边距和料厚的关系

很大影响，因此，冲槽凸模的许用压应力必须采用较低值（ $[\sigma_p] = 1200 \sim 1400 \text{MPa}$ ）。

悬臂的最小宽度值可按图 9-10 中的最小槽宽值增大 30%~40% 确定。

五、齿形

在典型精冲零件中，经常遇到片状齿轮、扇齿轮、链轮、定位轮、棘轮、同步器齿环、座椅角调器和各种齿条之类的齿形零件。

齿形零件有一定的特殊性，往往是节圆上的齿厚 b 小于料厚 t （见图 9-11），一般情况下， $b \geq 60\%t$ ，在特殊情况下， $b < 40\%t$ 。因此，用精冲法生产齿轮时，精冲齿形凸模上承受很高的压应力和一定的弯曲应力。除个别情况外，精冲齿形凸模的许用压应力必

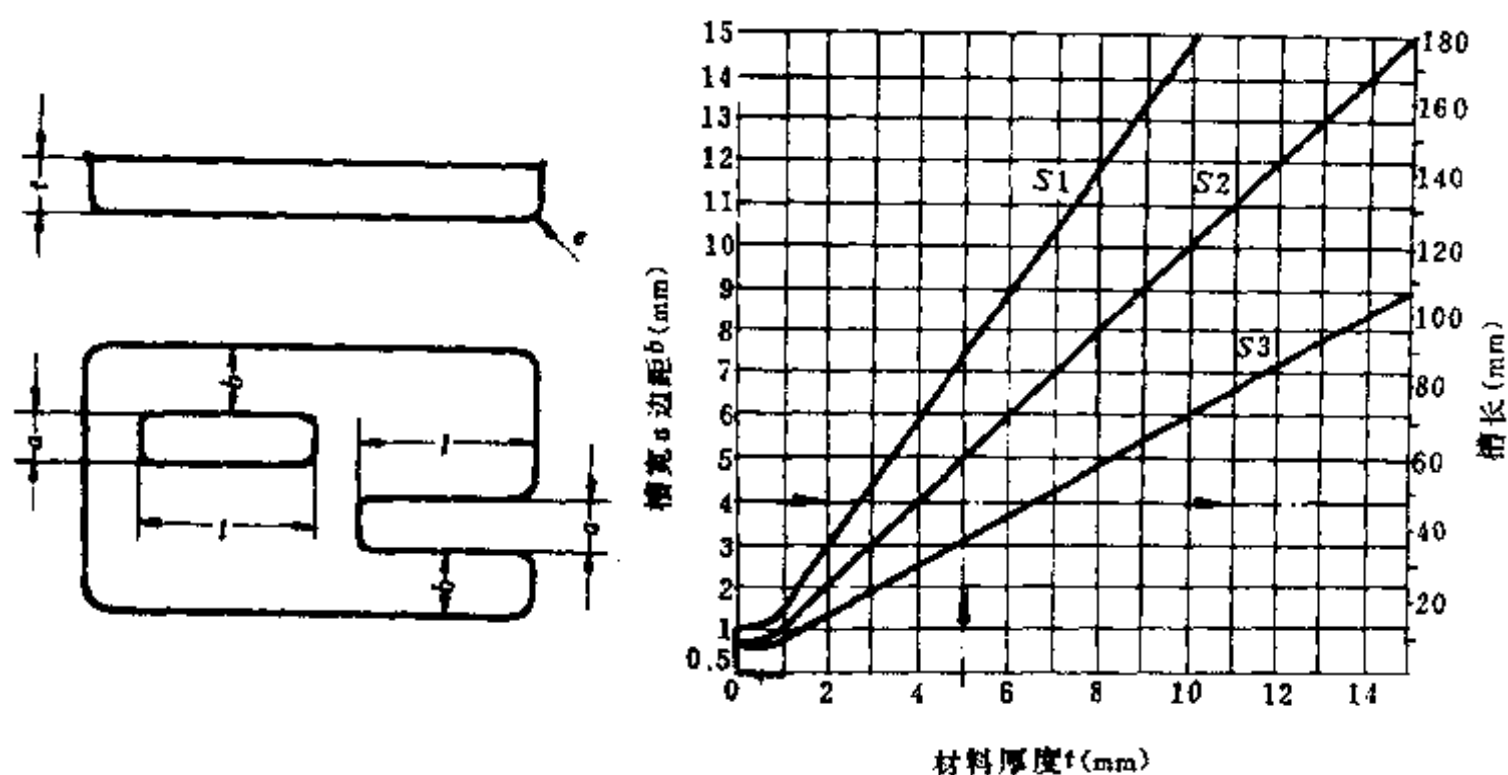


图 9-10 精冲难易程度与槽宽、悬臂和料厚的关系

须控制在低限 ($[\sigma_v] \leq 1200\text{MPa}$), 否则在临界状态齿根容易断裂。

冲齿凸模许用压应力的计算公式为

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \frac{P}{A} \approx \frac{(2h + b)t\tau}{h \times b} \\ &= \frac{(2 \times 2.16m + \pi m/2)t\tau}{2.16m \times \pi m/2} \\ &= 1.74 \frac{t\tau}{m} \end{aligned} \quad (9-16)$$

$$\text{即 } m = 1.74 \frac{t\tau}{\sigma_v}$$

式中 P ——每齿上的冲裁力 (MPa);

A ——齿形面积 (mm^2);

m ——齿轮模数 (mm);

b ——齿厚 ($b = \pi m/2$) (mm);

t ——材料厚度 (mm);

h ——齿高 ($h = 2.16m$) (mm);

τ ——抗剪强度 (MPa)。

如图 9-12 所示为精冲齿形的难易程度与齿轮模数和料厚的关系曲线。到目前为止, 精冲齿轮的最小模数为 0.2mm。

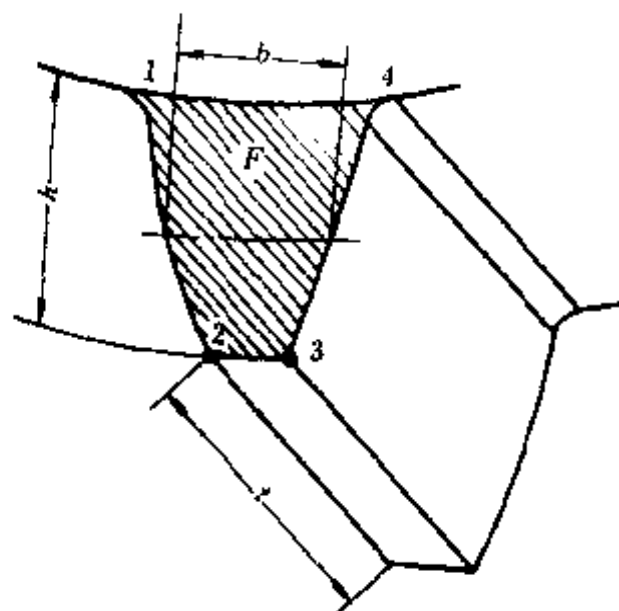


图 9-11 精冲齿形时凸模负荷计算图

第四节 精冲模结构

精冲成形的设备为三动(或四动)压力机, 精冲件的尺寸精度要求达到或超过车、铣、

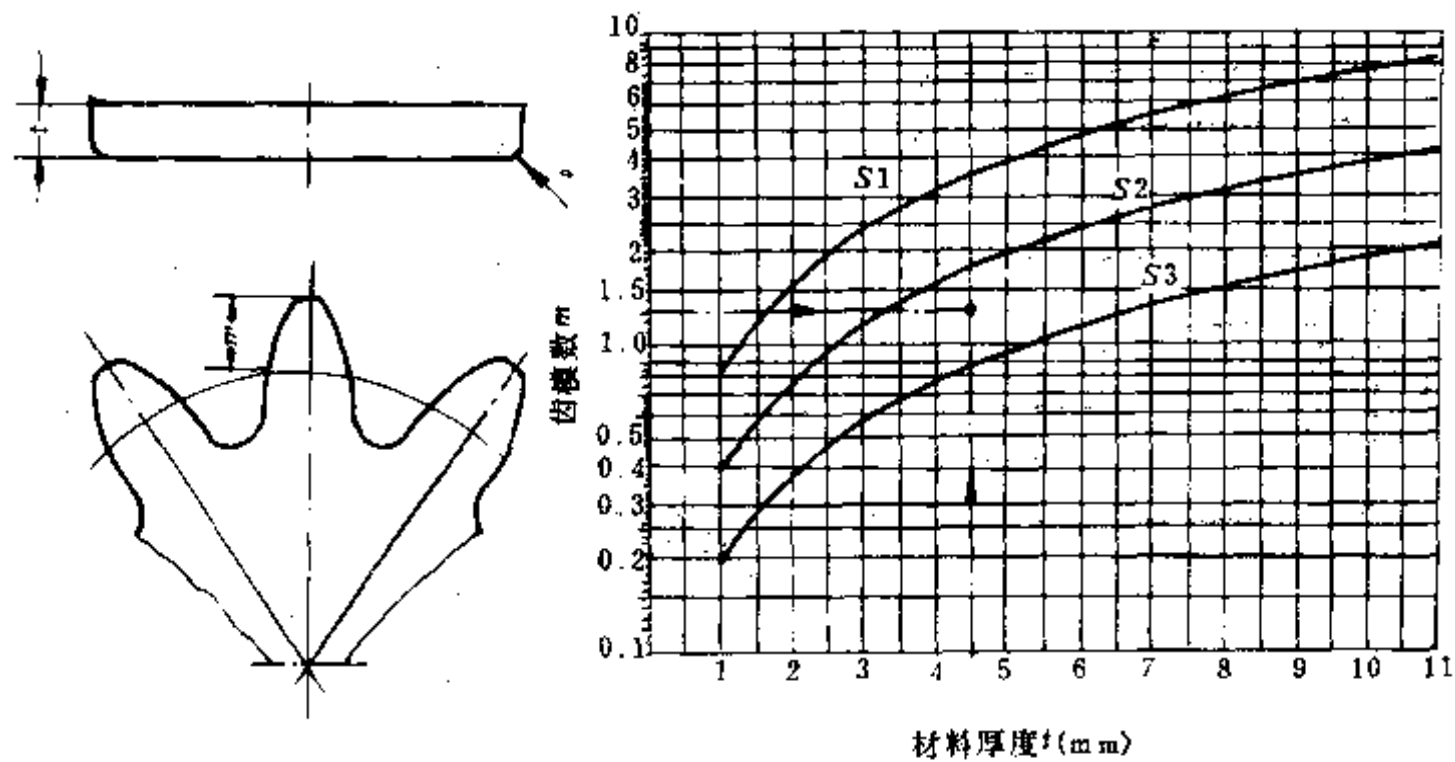


图9-12 精冲难易程度与齿轮模数和料厚的关系

滚、插等加工方法所能达到的精度，模具的工作负荷也要超过普通冲模的1.5倍左右。因此，精冲模的结构设计应满足精冲工艺的特殊要求。根据工艺特点和变形状态的不同，精冲模可分为普通精冲模和精冲冷锻复合成形模两大类，但无论哪种类型，又都有活动凸模式和固定凸模式之分。

一、活动凸模式精冲模

在普通精冲模中，承担压料的齿圈压板固定在模架的模座上，而落料凸模（或凸凹模）则在模座的内孔和齿圈压板的型孔中作导向运动。该类模具维修简便，多用于精冲无太多内孔的小型零件上（见图9-13）。

二、固定凸模式精冲模

模具的落料凸模（或凸凹模）直接固定在模座上，而齿圈压板则通过一定导向机构沿落料凸模作轴向运动（见图9-14）。

该类结构的模具，刚性好，工作平稳，多用于精冲大、中型和形状复杂的零件。在精冲冷锻复合成形工艺中，该类结构应用更为广泛，此时，齿圈压板和反顶板将承担镦粗和成形的工作。

三、普通压力机精冲的模具结构

在精冲过程中，为使材料的变形区域能始终处于三向压应力状态，它是通过专用设

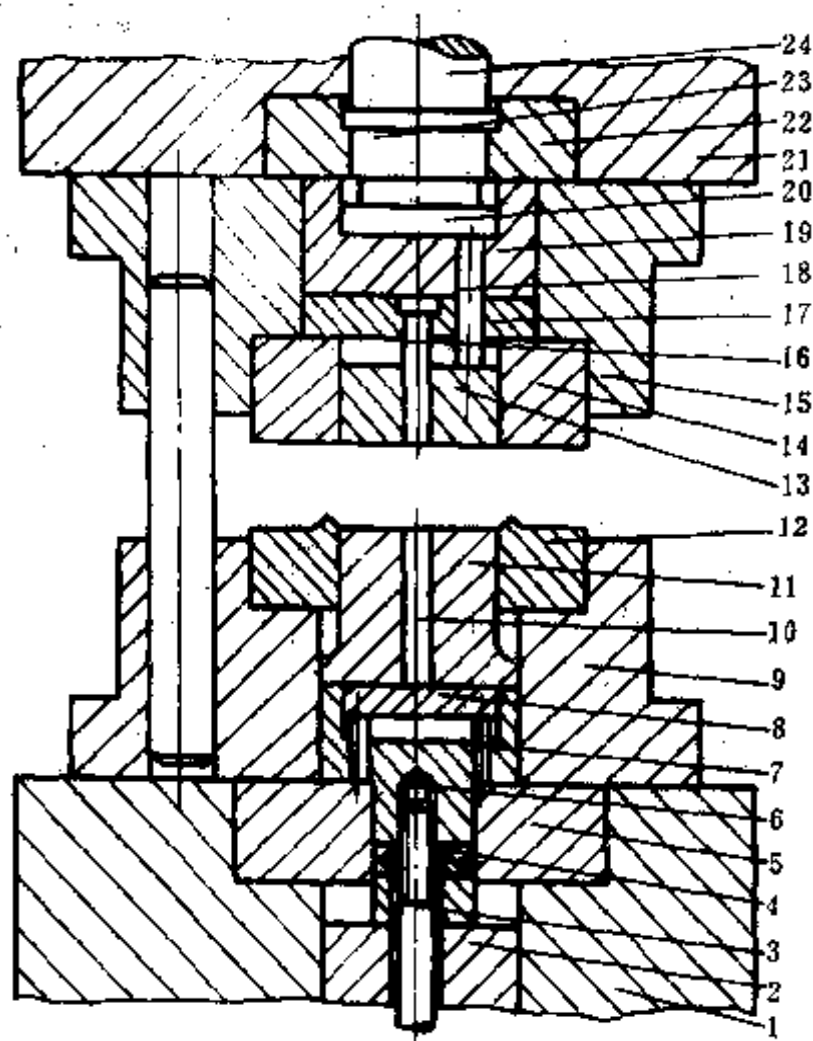


图 9-13 活动凸模式精冲模结构

- 1—液压台面；2—压力机滑块；3—拉杆螺钉；4—垫圈；5、19、22—垫块；6—凸模座；
7、10、18—顶杆（或传力杆）；8、13、20、23—顶板；9—下模座；11—凸凹模；12—齿圈压板；
14—凹模；15—上模座；16—冲孔凸模；17—固定板；21—压力机台面；24—液压反顶力活塞。

备上的辅助压力达到的。在普通压力机上造就上述精冲条件的有多种，但应用效果最好的是液压模架式精冲。

液压模架是固定精冲模芯（或模具）并能提供精冲所需辅助压力的装置。该类模架的上、下模板内，分别安装有上下油缸，通过高压软管和配套的液压站连接。精冲所需压边力和反顶力的大小，由调节油路中各自的高压溢流阀获得，再通过顶杆传递至模具的压紧或反顶的部位（见图 9-15）。该图为圆锥面配合、方向销定位的通用液压模架的结构，适于对小型、复杂零件的精密冲裁。

当压力机的封闭高度不足而台面结构也允许时，模架的下油缸可安装在台面下方。

上、下模芯在模架上的正确安装，是靠模架上的上、下锥圈和上、下方向销保证的；精冲所需辅助压力（即压边力和反顶力），分别通过上、下传力杆的传递实现；模架中心的上、下顶杆是用来卸下模芯。该类模架要求定位精度较高，其工作负荷相对较小，因此采用滚动导向机构为宜。

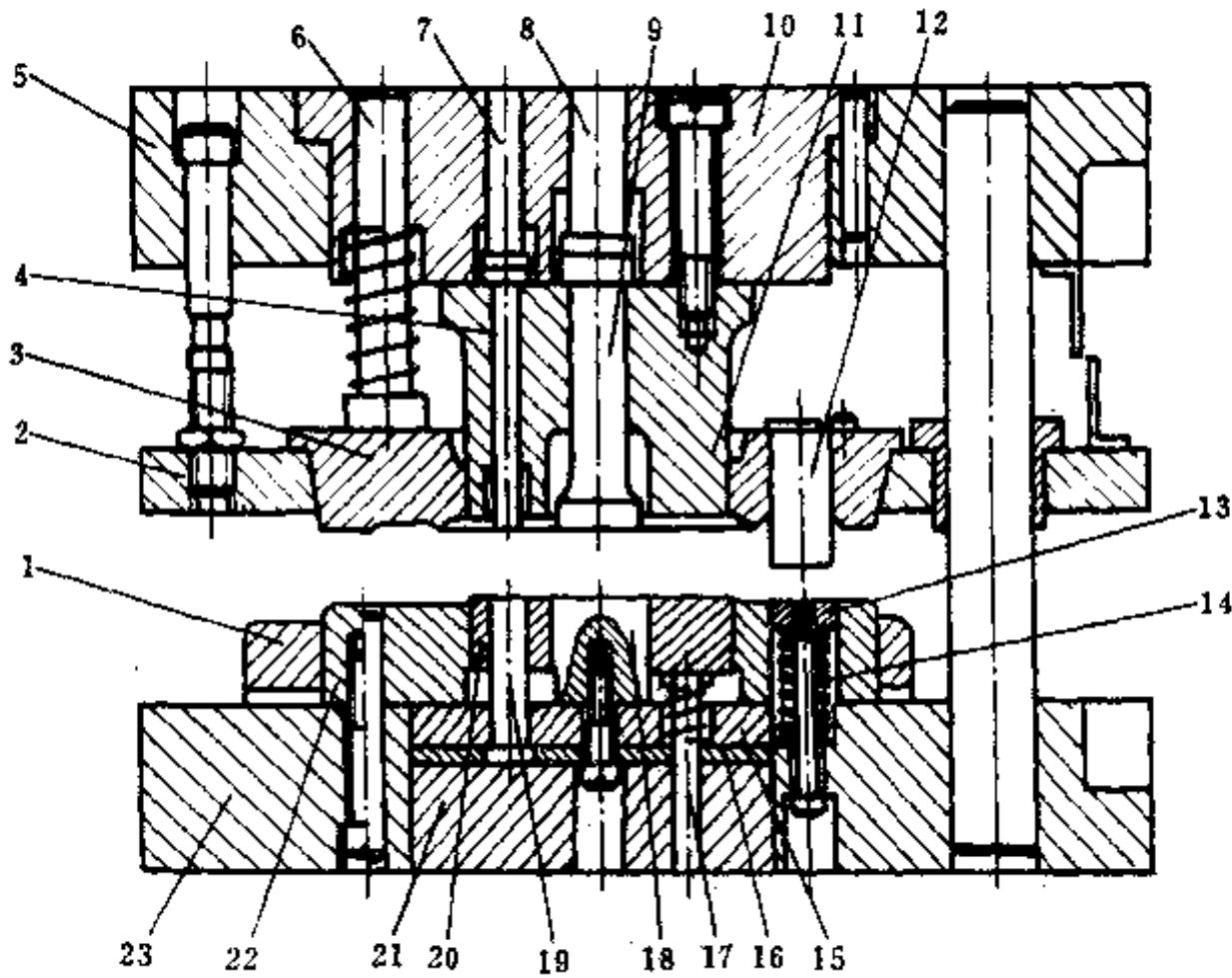


图 9-14 固定凸模式精冲模结构

1—凹模预应力圈；2—齿圈压板座；3—齿圈压板；4、6、7、8、9、17—顶杆（或传力杆）；
5—上模座；10、21—垫块；11—凸凹模；12—小导柱；13—挡板；14—弹簧；
15—凸模固定板；16—垫板；18、19—冲孔凸模；20—反顶板；22—凹模；23—下模座。

第五节 精冲模设计

一、精冲模设计的基本要素

模具设计，是在工艺性分析的基础上进行的，精冲所有的工艺参数和完成措施，无不通过模具实现，因此，设计中要求能把各级工艺参数以及它们之间的相互关系理顺，进而合理的体现在模具结构中。

（一）排样的注意事项和搭边、沿边值的确定

1. 排样注意事项

- (1) 制件上的齿形和复杂部位，应安排在材料流动阻力大的一边。
- (2) 当制件的冲切断面质量要求不同时，要求高的部位应放在材料流动阻力大的一边。
- (3) 制件的弯折部位，应与普通冲压一样，需考虑材料的纤维方向。

2. 搭边和沿边值的确定

搭边 a 或沿边 b 是影响精冲断面质量的重要因素之一。大的搭边、沿边有利于提高精

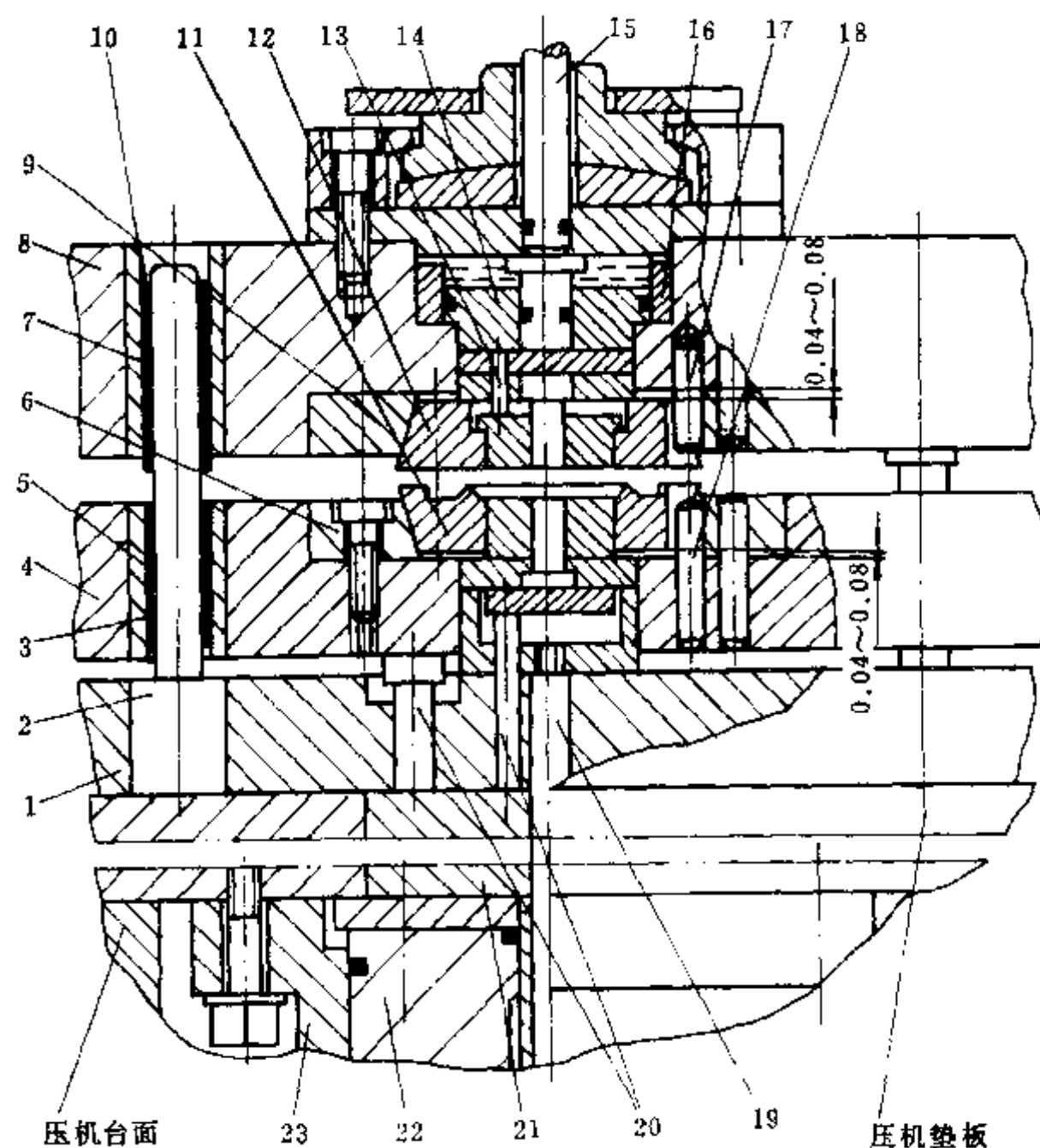


图 9-15 液压模架的结构

1—下模板；2—导柱；3、10—滚珠套；4—活动模板；5、7—导套；6—下锥圈；
8—上模板；9—上锥圈；11—下模芯；12—上模芯；13—上传力杆；14—上活塞；15—上顶杆；
16—上油缸；17、18—上、下方向销；19—下顶杆；20—下传力杆；21—垫块；22—下活塞；23—下油缸。

冲的断面质量，但不经济。因此，在选择搭边、沿边值时，应在满足冲切断面质量的条件下选取最小数值。两个相邻齿圈的齿尖压痕相切时的搭边值为搭边的最小极限值，搭边最大值不应超过零件边缘到齿圈压入材料部分最大距离的三倍。

搭边和沿边值的选取，主要根据制件材料的厚度和强度（见表 9-1）。

（二）齿圈压板的作用

在强力齿圈压板式精冲中，用齿圈压板上凸起的尖状齿圈预先压入材料，增加对材料的三向压应力，以达到防止产生材料撕裂的目的。它在精冲后又起卸料的作用。

（三）齿圈的轮廓形状和齿形结构尺寸

1. 齿圈的轮廓形状按下述情况确定

(1) 当制件形状简单时，按型孔形状等距离放大一圈并与型孔呈相似形；

(2) 当制件形状复杂，相邻结构尺寸小、距离近且加工困难时，该处齿圈轮廓可采用直线和弧线连接成与型孔近似的形状；

表 9-1 搭边、沿边值

材料厚度 (mm)	材料抗拉强度 σ_b (MPa)											
	$\sigma_b < 450$		$450 < \sigma_b < 600$		$600 < \sigma_b < 700$		$\sigma_b < 450$		$450 < \sigma_b < 600$		$600 < \sigma_b < 700$	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
	(mm)											
1.0	1.3	1.5	1.2	1.3	1.1	1.2	1.5	2.0	1.3	1.6	1.2	1.3
1.5	2.0	2.2	1.8	2.0	1.6	1.8	2.2	3.0	2.0	2.4	1.8	2.1
2.0	2.6	3.0	2.4	2.6	2.2	2.4	3.0	4.0	2.6	3.2	2.4	2.6
2.5	3.2	3.6	3.0	3.3	2.7	3.0	3.6	5.0	3.2	4.0	3.0	3.2
3.0	3.9	4.4	3.6	3.9	3.3	3.6	4.6	6.0	3.9	4.8	3.6	3.9
3.5	4.5	5.2	4.2	4.5	3.8	4.2	5.2	7.0	4.5	5.6	4.2	4.5
4.0	5.2	6.0	4.8	5.2	4.0	4.8	6.0	7.6	5.2	6.4	4.4	4.8
5.0	5.5	6.5	5.0	6.0	4.5	5.5	6.5	8.0	6.0	7.0	5.5	6.0
6.0	6.6	7.8	6.0	7.2	5.4	6.6	7.8	9.0	7.2	8.4	6.6	7.2
7.0	7.7	9.1	7.0	8.4	6.3	7.7	9.1	10.5	8.4	9.8	7.7	8.4
8.0	8.8	10.4	8.0	9.6	7.2	8.8	10.4	12.0	9.6	11.2	8.8	9.6
10.0	11.0	13.0	10.0	12.0	9.0	11.0	13.0	15.0	12.0	14.0	11.0	12.0
12.0	13.2	15.6	12.0	14.4	10.8	13.2	15.6	18.0	14.4	16.8	13.2	14.4
用于两件间最小距离的相邻轮廓为圆弧状或小于 40mm 直边时的排样							用于两件间最小距离的相邻直边长度大于 40mm 时的排样, 以及精冲各种齿轮的排样					

(3) 精冲齿轮时, 当模数 $m \leq 3.5$ 的情况下, 齿圈轮廓可简化成圆形; 当精冲齿距较大的大模数齿轮时, 齿圈轮廓可采用弧线连接成近似型孔的形状 (见图 9-16)。

2. 齿圈的尖齿形状与尺寸

在强力齿圈压板式精冲中, 齿圈压板的齿形, 最常用的是尖齿 (见图 9-17)。

根据制件的材料厚度和复杂程度不同, 有单面齿圈精冲和双面齿圈精冲。当冲制的材料厚度在 3.5mm 以下时, 只需在齿圈压板上设计齿形; 当冲制材料厚度大于 3.5mm 时, 为了获得完整的光洁断面, 还需在凹模刃口外一定距离处, 相应设计齿圈, 即双齿圈精冲。

精冲齿轮时, 对模数小于 3.5, 材料厚度在 2mm 以下时, 可采用单齿圈精冲; 当材料厚度大于 2mm 时, 一般情况下多采用双齿圈精冲。双齿圈的齿形和相对位置如图 9-18 所示。

精冲模具的凹模设计在上面或下面, 应根据具体需要确定。当采用双齿圈精冲时, 凹模上的齿形高度 h_1 应小于齿圈压板上的齿形高度 h 。

齿形高度主要根据制件的材料厚度和强度来决定。材料越厚, 则齿高越高; 材料强度越大, 则齿高越小, 这样可避免齿圈受压力过大而损坏。单面齿圈齿形的参考尺寸列于表 9-2。双面齿圈齿形的参考尺寸列于表 9-3。

当齿圈是全封闭结构时, 在许可的情况下, 可在适当位置上开泄油槽, 泄油槽宽度约 2mm。

(四) 精冲压力的计算

1. 精冲总压力 P_s 的计算

$$P_s = P + P_1 + P_2 \quad (9-17)$$

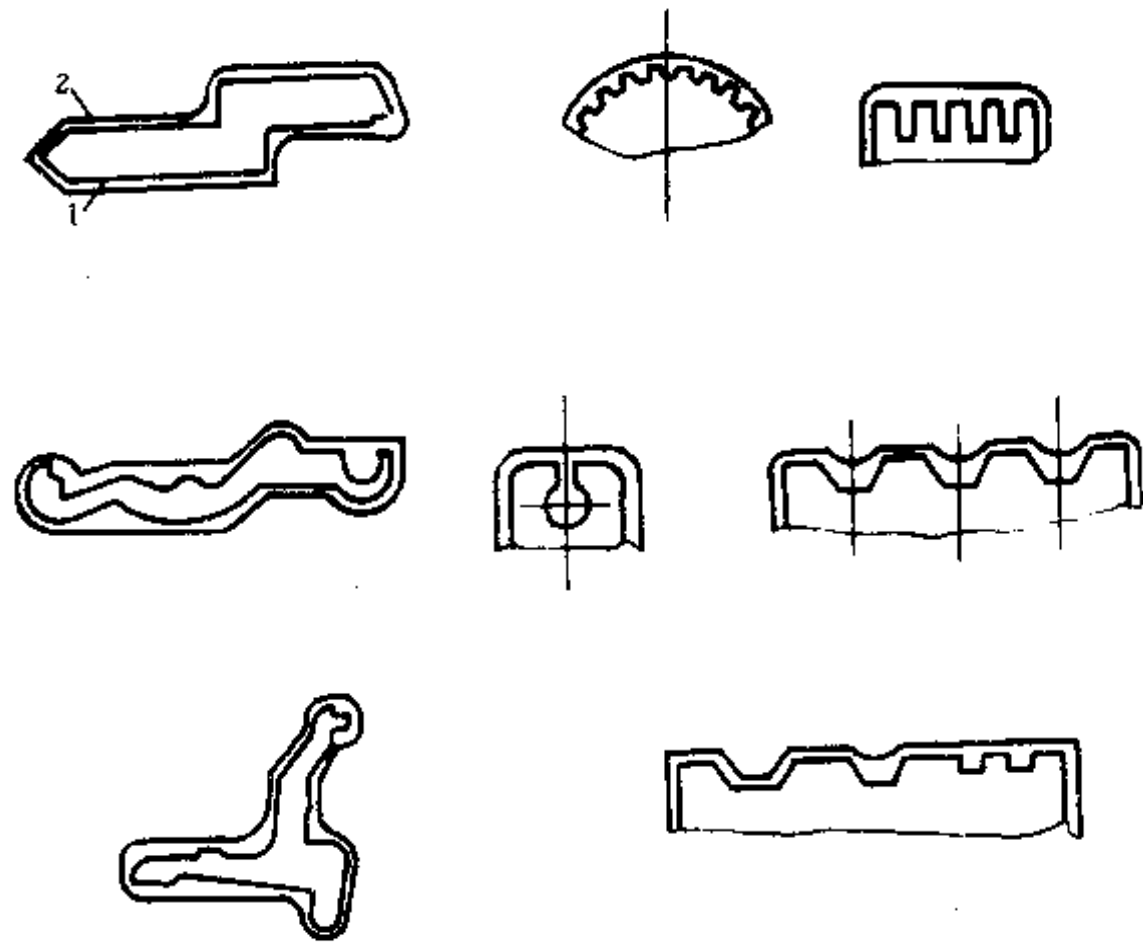
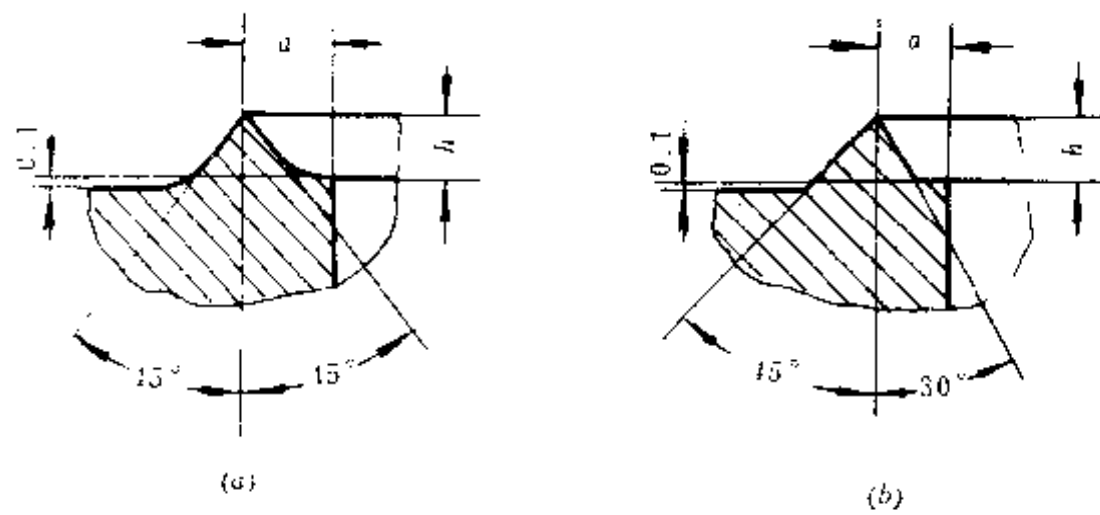


图 9-16 各种型孔与齿圈轮廓

图 9-17 尖状齿形的角度
(a) 对称角度齿形；(b) 非对称角度齿形。

式中 P_2 ——精冲所需的总压力 (N)；
 P_1 ——冲下零件的剪切力 (N)；
 P_3 ——齿圈压板的压料力 (N)；
 P_4 ——反顶板的反压力 (N)。

2. 剪切力 P 的计算

计算剪切力时，必须考虑所有的影响因素，一般有如下几个方面：

- (1) 材料的组织结构和机械性能；
- (2) 材料的厚度及其公差；

- (3) 制件内、外轮廓的冲切长度；
- (4) 精冲间隙的大小；
- (5) 凸、凹模刃口形状和复杂程度；
- (6) 刃口的硬度、粗糙度和磨损程度；
- (7) 材料和模具工作部分的润滑状况。

上述诸因素要在设计计算中精确考虑是困难的，因此，一般只考虑几个主要因素，再乘以安全系数 K 。经验公式如下

$$P = K \times L \times t \times 0.8\sigma_b \quad (9-18)$$

式中 L ——冲切总长度 (mm)；

t ——冲切材料厚度 (mm)；

σ_b ——材料的抗拉强度 (MPa)；

K ——安全系数 (1.25~1.3)。

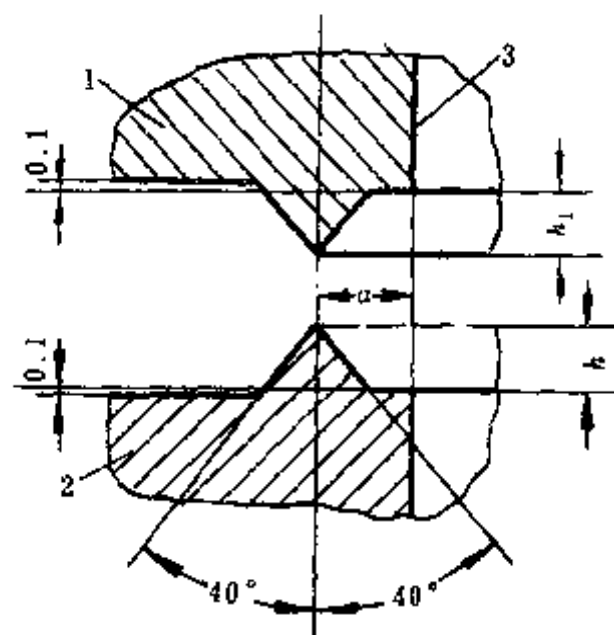


图 9-18 双面齿圈及其相对位置

1—凹模；2—齿圈压板；3—刃口。

表 9-2 单面齿圈齿形尺寸

材料 厚度 (mm)	材料抗拉强度 σ_b (MPa)					
	$\sigma_b < 450$		$450 < \sigma_b < 600$		$600 < \sigma_b < 700$	
	a (mm)	h (mm)	a (mm)	h (mm)	a (mm)	h (mm)
1.0	0.75	0.25	0.60	0.20	0.50	0.15
1.5	1.10	0.35	0.90	0.30	0.80	0.25
2.0	1.50	0.50	1.20	0.40	1.00	0.30
2.5	1.90	0.60	1.50	0.50	1.20	0.40
3.0	2.30	0.75	1.80	0.60	1.50	0.45
3.5	2.60	0.90	2.10	0.70	1.70	0.55
4.0	2.80	1.00				

表 9-3 双面齿圈齿形尺寸

(mm)

材料 厚度 (mm)	材料抗拉强度 σ_b (MPa)								
	$\sigma_b < 450$			$450 < \sigma_b < 600$			$600 < \sigma_b < 700$		
	a	h	h_1	a	h	h_1	a	h	h_1
4.0				1.60	0.40	0.30	1.30	0.30	0.20
5.0	2.30	0.60	0.50	2.00	0.50	0.40	1.65	0.40	0.25
6.0	2.80	0.75	0.60	2.40	0.60	0.50	2.00	0.50	0.30
7.0	3.30	0.85	0.70	2.80	0.70	0.55	2.30	0.55	0.35
8.0	3.80	1.00	0.80	3.20	0.80	0.60	2.60	0.60	0.40
9.0	4.20	1.10	0.90	3.60	0.90	0.70	2.95	0.70	0.45
10.0	4.70	1.20	1.00	4.00	1.00	0.75	3.25	0.75	0.50
12.0	5.70	1.50	1.20	4.80	1.20	0.90	3.90	0.90	0.60

3. 齿圈压板压料力 P_1 的计算

压料力的大小，对精冲质量有直接影响，压料力太小时，会削弱变形区域材料三向压应力的数值，而达不到精冲要求的光洁断面；压料力太大时，模具工作部分的载荷也

加大, 过大的弹性变形会造成精冲模的损坏, 因此选择适当的压料力十分重要。

齿圈压板压紧材料的部位, 是齿圈和内齿根到型孔边缘的投影面积。压料力为

$$P_1 = (F_1 + F_2) \cdot \sigma_s \quad (9-19)$$

式中 F_1 ——齿圈的投影面积 (mm^2);

F_2 ——内齿根到型孔边的面积 (mm^2);

σ_s ——材料的屈服极限 (MPa)。

上述压料公式只考虑了材料的屈服极限, 对于其他因素如材料的组织状态、制件的复杂程度、冲切断面质量、齿形硬度和粗糙度等均未考虑。因此, 只能为设计者在考虑模具强度和选择设备时作参考。目前还没有较完善的计算公式。在生产中是根据对精冲制件的具体要求, 通过试模将所得试验数据记录在模具使用卡上, 供操作使用。

4. 反顶压力 P_2 的计算

精冲的反顶力是影响制件平整度的主要因素, 大的反顶力, 不但能提高制件的平整度, 而且对制件的尺寸精度、塌角和冲切断面质量, 都有不同程度的改善。但是, 太大的反顶力容易损坏模具, 因此, 它和确定压边力的方法一样, 是通过试模确定的。在模具设计中可按下式估算

$$P_2 = A \cdot q \quad (9-20)$$

式中 A ——制件上受顶压的面积 (mm^2);

q ——单位压力 (30~70MPa)。

(五) 精冲模具工作部分尺寸的确定

1. 精冲制件的尺寸和模具之间的差异

制件的外轮廓尺寸精度, 主要取决于落料凹模上的实际尺寸和加工精度; 制件的内轮廓尺寸, 则又主要取决于冲孔凸模的实际尺寸和加工精度。在精冲时, 由于诸多因素的影响, 制件的内、外形尺寸, 有比模具尺寸略微缩小的差别。具体情况如下所述。

(1) 精冲中强力压边和反顶力的作用, 虽能提高冲切断面质量, 但较大的压力使制件材料内部产生了一定的弹性变形, 精冲后弹性变形恢复而导致了内、外形尺寸的微量收缩;

(2) 精冲塑性好的材料比塑性差的材料收缩大;

(3) 厚材料比薄材料精冲收缩大;

(4) 冲孔凸模刃口上的精冲圆角大, 制件内轮廓尺寸的收缩也大;

(5) 落料凹模刃口上的精冲圆角大, 制件外轮廓尺寸略有涨大。

上述诸因素造成制件尺寸和模具尺寸之间的微量差别, 又与制件形状的复杂程度有关。因此, 精确的确定比较困难, 但根据总的变化趋势则是收缩, 在设计中一般靠经验估定, 其参考数值列于表 9-4。

表 9-4 精冲制件尺寸收缩量 (mm)

制件尺寸	精冲后收缩量	备注
50 以内	0.005~0.01	1. 普通精冲厚度 10mm 以内时, 当厚度大于 3.5mm 时取上限值 2. 普通精冲内孔和复合精冲取上限值
50~100	0.01~0.015	
100~200	0.015~0.025	
200~300	0.025~0.04	
300~400	0.04~0.06	

2. 精冲模具工作部分的尺寸计算

计算工作部分尺寸时，应考虑到模具磨损对制件尺寸的影响。首先对制件各部分尺寸推行分类，哪些尺寸将随模具磨损而增大，哪些又随模具磨损而减小或不变，根据各部分尺寸的变化规律计算工作部分尺寸。精冲制件尺寸类别如图 9-19 所示。

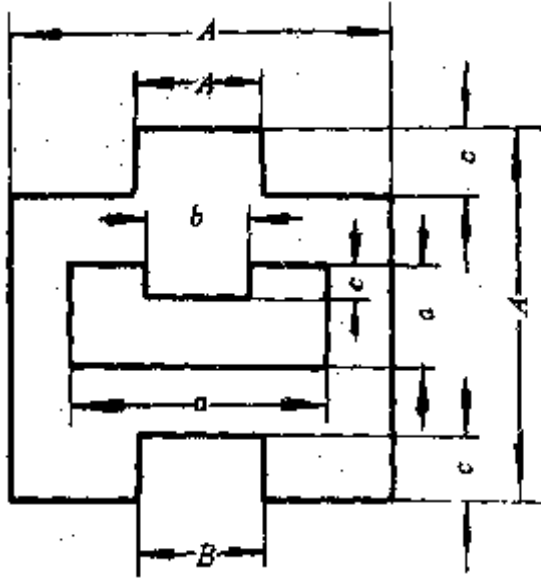


图 9-19 精冲制件尺寸类别图

- A, b—模具磨损后尺寸增大类；
- B, a—模具磨损后尺寸减小类；
- C—模具磨损后，尺寸不变类。

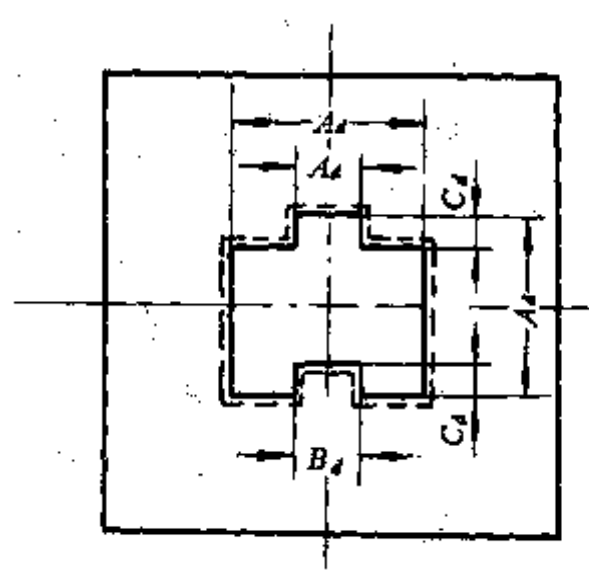


图 9-20 落料凹模工作部分形状

(1) 落料凹模工作部分尺寸计算

落料凹模工作部分的形状如图 9-20 所示。落料凹模工作部分的形状和尺寸，是根据制件的外轮廓形状和尺寸制定的。图中实线表示凹模型孔（或型腔）磨损前的实际形状，虚线表示磨损后的形状。图中 A 类尺寸是随磨损增大的尺寸，B 类尺寸是随磨损减小的尺寸，C 类尺寸是随磨损不变的尺寸。

在模具设计中，A 类尺寸应制定在尽量接近制件公差下限的尺寸；B 类尺寸应制定在尽量接近制件公差上限的尺寸；对 C 类的不变化尺寸，则应制定在制件公差的中线。凹模工作部分的设计尺寸与制件公差范围的位置，如图 9-21 所示。图中虚线为制件的公差范围；实线为凹模工作部分的公差范围。

按图示计算落料凹模工作部分尺寸

$$A_d = (A_{max} - 0.8\Delta) \pm \delta_d \tag{9-21}$$

式中 A_d ——凹模工作部分 A 类增大尺寸；

A_{max} ——制件 A 类最大尺寸；

Δ ——制件公差；

δ_d ——凹模制造公差。

$$B_d = (B_{max} - 0.2\Delta) \pm \delta_d \tag{9-22}$$

式中 B_d ——凹模工作部分 B 类减小尺寸；

B_{max} ——制件 B 类最大尺寸。

$$C_d = (C_{max} - 0.5\Delta) \pm \delta_d \tag{9-23}$$

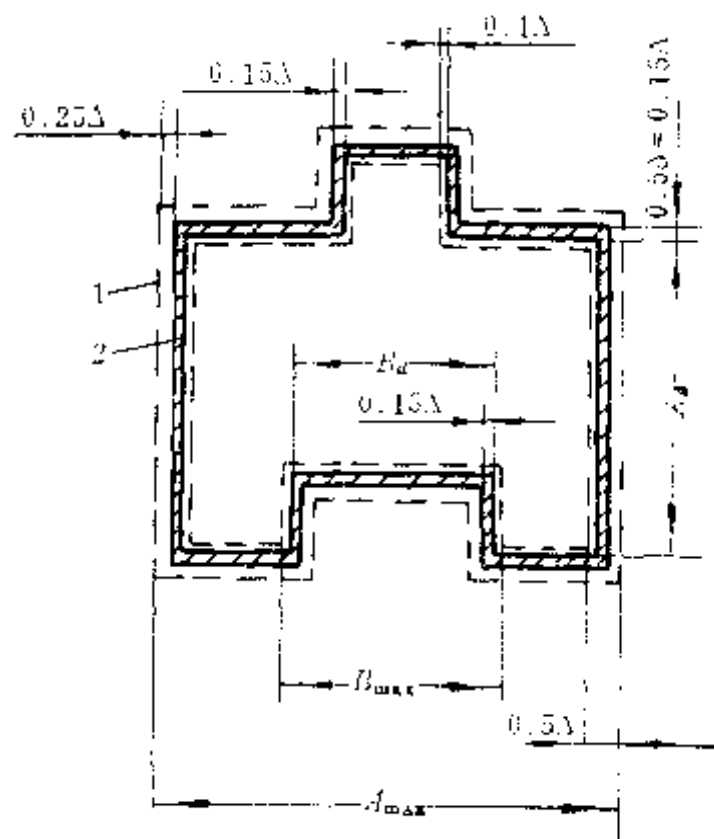


图 9-21 凹模工作尺寸与制件公差位置

式中 C_c ——凹模工作部分 C 类不变尺寸；

C_{\max} ——制件 C 类最大尺寸。

凹模工作部分制造公差的制定

对 A 类增大和 B 类减小部位的公差，均为 $\delta_r = (0.25 \sim 0.3)\Delta$

对 C 类不变部位的公差，一般取

$$\delta_r = (0.125 \sim 0.15)\Delta$$

制定制造公差时，除了考虑制件尺寸精度和模具寿命外，还要考虑现行的加工手段和技术水平，以达到合理、经济的设计目的。

(2) 冲孔凸模工作部分的尺寸计算

制件的内轮廓尺寸，是由冲孔凸模工作部分保证的。冲孔凸模工作部分形状如图 9-22 所示。图中实线为工作部分形状，虚线为工作部分磨损后的形状。

图中 a 类尺寸是随磨损减小的尺寸，b 类尺寸是随磨损增大的尺寸，c 类尺寸是随磨损不变的尺寸。在计算中，a 类磨损减小的尺寸尽量取接近上限的尺寸；b 类磨损增大的尺寸尽量取接近下限的尺寸；c 类磨损不变的尺寸则应制定在制件公差的中线。凸模工作部分的设计尺寸与制件公差范围的位置如图 9-23 所示。

按图计算冲孔凸模工作部分的尺寸

$$a_r = (a_{\max} - 0.2\Delta)^{0.8} \delta_r \quad (9-24)$$

式中 a_r ——凸模工作部分 a 类磨损减小尺寸；

a_{\max} ——制件 a 类最大尺寸；

Δ ——制件公差；

δ_r ——凸模工作部分制造公差。

$$b_r = (b_{\max} - 0.8\Delta)^{1.2} \delta_r \quad (9-25)$$

式中 b_r ——凸模工作部分 b 类磨损增大的尺寸；

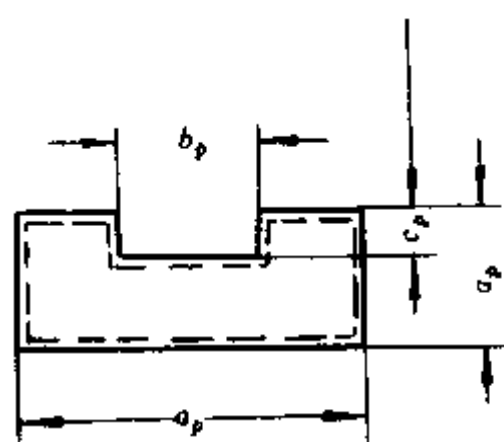


图 9-22 冲孔凸模工作部分形状

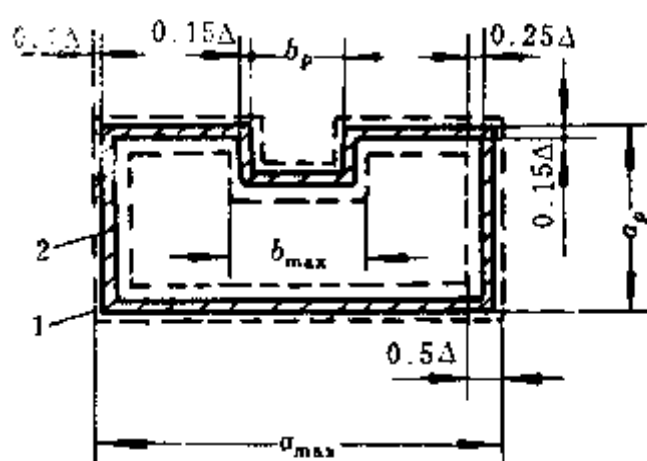


图 9-23 凸模工作尺寸与制件公差的位置

b_{max} ——制件 b 类最大尺寸。

$$C_p = (C_{max} - 0.5\Delta) \pm \delta, \quad (9-26)$$

式中 C_p ——凸模工作部分磨损不变的尺寸；

C_{max} ——制件 C 类最大尺寸。

凸模工作部分制造公差确定方法同凹模。

模具工作部分的尺寸计算后，还应根据制件应有的收缩量加以修正，尤以在制件精度较高，公差范围较小时，最后的修正是确保制件合格和延长小公差模具寿命的重要工作。

3. 精冲间隙及其制定方法

(1) 精冲间隙的作用和意义 精冲模具的间隙，是确保制件达到精冲综合技术指标的主要参数之一，如制件的尺寸精度、冲切断面的粗糙度、垂直度以及整个制件的平整度，都与间隙这个参数的大小有关。

在精冲模具中，有正间隙和负间隙两种工作情况，正间隙一般多用于普通的精密冲裁模具，而负间隙，则多用于复合精冲使用的冲挤模具中。

(2) 精冲间隙的制定方法

a. 正间隙的制定方法 正间隙值的大小，主要根据精冲制件对冲切断面的质量要求、材料性能、厚度和制件的形状结构来决定的。

材料塑性好，容易精冲，故间隙较大也能获得较好的光洁断面。塑性较差的材料需要更小的间隙方可获得较好的精冲效果。对于脆性材料，即使是很小的间隙也难以得到光洁的冲切断面。

精冲制件的形状结构不同，对间隙大小的需要也不同，往往内形比外形容易精冲，凹缺比凸臂容易精冲。这就是说，外形和凸臂所需的间隙值要比内形和凹缺要小。

当精冲齿轮等回转体制件时，尽管在同一连续轮廓线上有凸有凹，但为了保证连续断面的完整、冲切质量和加工方便，应按难于精冲的齿顶所需的小间隙为准，制定统一的间隙值。

小间隙，是正间隙精冲模具的主要特点之一，一般来说，间隙越小，精冲断面的粗糙度和垂直度越好。但是，过小的间隙会使模具的制造精度提高，增加加工难度。另外，该类模具在精冲终了时不允许凸模伸入凹模，当间隙过小时，对设备、模具的工作精度

和刚度要求会更高。

目前在精冲模具设计中,对间隙值的确定和选取,是综合各种具体情况的经验数值。一般情况下,模具的双向间隙值约为制件材料厚度的0.5%~1.0%。原则上,薄材料取接近上限或上限值,厚材料则取接近下限或下限值。但是,间隙越小,精冲模具的负荷越大,当材料厚度在10~16mm时,考虑模具的强度和寿命,其间隙值也可按料厚的1%选取。间隙值的具体数值列于表9-5。

表9-5 正间隙精冲模双向间隙Z值 (mm)

材料厚度(mm)	精冲外形	精冲内形	备注
≤ 1	0.008~0.01	0.01	
2	0.018~0.02	0.02	
3	0.025~0.03	0.03	
3.5	0.027~0.032	0.032	
4	0.032~0.036	0.036	
6	0.048~0.054	0.054~0.06	
8	0.056~0.064	0.064~0.07	
10	0.070~0.10	0.1	
12	0.084~0.11	0.11~0.12	
14	0.098~0.13	0.12~0.13	
16	0.120~0.15	0.14~0.15	

b. 负间隙的制定方法 负间隙模具,一般多用于复合精冲的冲挤加工,是一种具有体积成形性质的模具。它能使制件局部的凸出或凹穴形状,达到充满型腔或包容凸模的最佳状态。负间隙的大小,应根据制件结构的具体要求确定,一般为冲切深度的1.5%~2% (见图9-24)。图中凸台可以是含齿形在内的任意形状。

4. 精冲模具工作刃口的圆角

当使用刃口十分锋利的模具精冲时,冲切断面上呈波纹式的不光洁现象,材料厚度越大,影响的程度也越严重。其原因之一是材料内部组织不均匀造成的,因此,在落料凹模和冲孔凸模的刃口上修制成均匀的小圆角,就能获得粗糙度好的冲切断面。这又是一个精冲的重要特点。

刃口圆角不能太大,否则,会使制件的塌角和毛刺增大。圆角的修制,一般在试模中进行,待试冲后根据冲切断面的质量逐步完成。

刃口圆角的大小,与制件的材料厚度、性能以及形状结构有关。落料凹模刃口圆角的参考值列于表9-6;冲孔凸模刃口圆角的参考值列于表9-7。

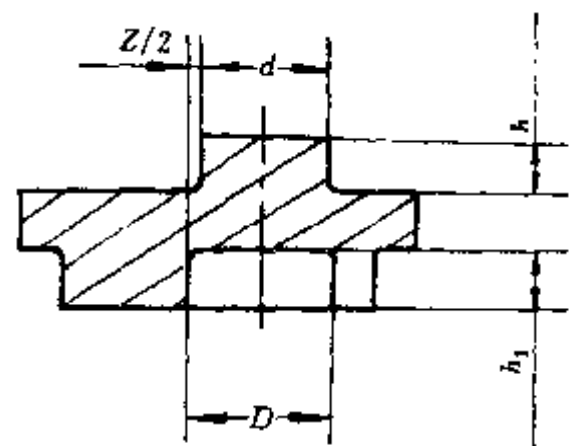


图9-24 负间隙精冲制件

表 9-6 落料凹模刃口圆角值

材料厚度 (mm)	材料抗拉强度 σ_b (MPa)		
	$\sigma_b \leq 450$	$450 < \sigma_b < 600$	$600 < \sigma_b < 700$
	刃口圆角值 (mm)		
1~2	0.06	0.08	0.10
>2~4	0.10	0.12	0.14
>4~6	0.12	0.14	0.16
>6~8	0.14	0.16	0.18
>8~12	0.18	0.20	0.22
>12~16	0.2	0.22	0.24

表 9-7 冲孔凸模刃口圆角值

材料厚度 (mm)	材料抗拉强度 σ_b (MPa)		
	$\sigma_b \leq 450$	$450 < \sigma_b < 600$	$600 < \sigma_b < 700$
	刃口圆角值 (mm)		
1~2	0.04	0.06	0.08
>2~4	0.08	0.10	0.12
>4~6	0.10	0.12	0.14
>6~8	0.12	0.14	0.16
>8~12	0.16	0.18	0.20
>12~16	0.18	0.20	0.22

二、精冲模零部件设计

(一) 模架的设计

模架是用以固定精冲模芯并与设备连接的部件。它主要由上、下模板和导柱、导套组成。根据精冲模具间隙小、精度高和承受冲压载荷较大的特点，要求模架在工作中，必须平稳可靠，因此，对模架的精度和刚度都有特殊的要求。

模架装配好后，上模板的上平面与下模板的下平面之间要求平行，一般平行度应为 $300:0.02$ 范围内。模架的导向机构应保证上述平行度，在模架上下活动范围的任意位置都不变。因此，对导向机构不仅要求导柱和导套具有一定的配合精度，还必须要求上、下模板之间的装配精度。导柱的装配垂直度应小于 $150:0.01$ 。

1. 精冲模架的类型及选择

模架一般分专用模架和通用模架。专用模架只要求上、下模板的平行度；导柱、导套与上、下模之间的垂直度以及导柱、导套的配合精度。这种模架结构简单，选择范围大，容易达到特殊情况下的精度和刚度要求。因此，适于对大件、大负荷和大批量生产选用。

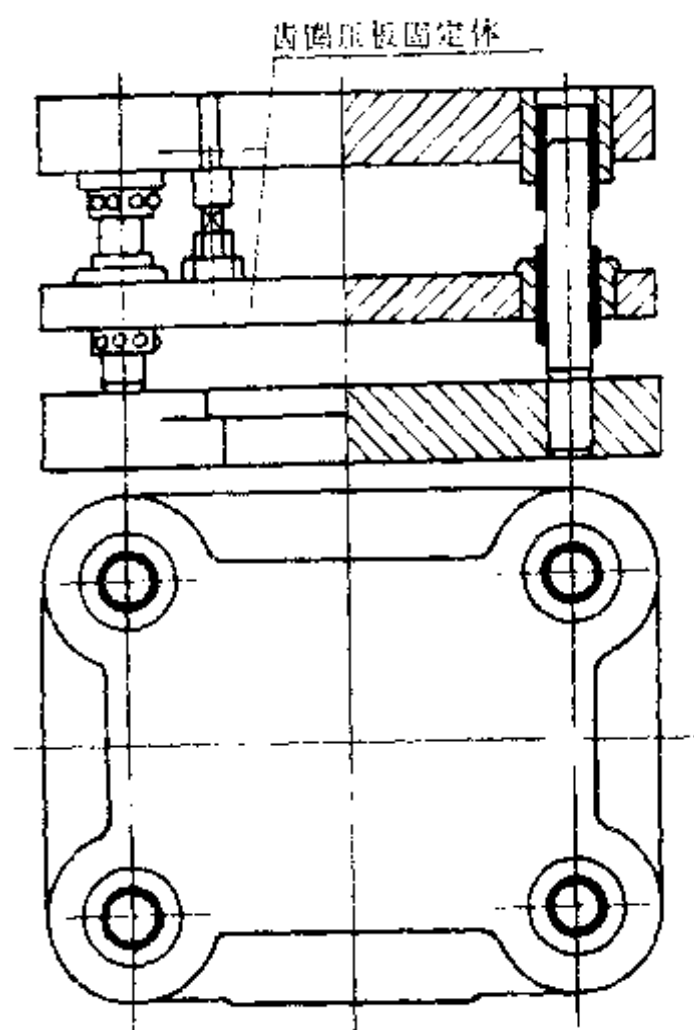


图 9-25 带固定体的固定凸模式模架

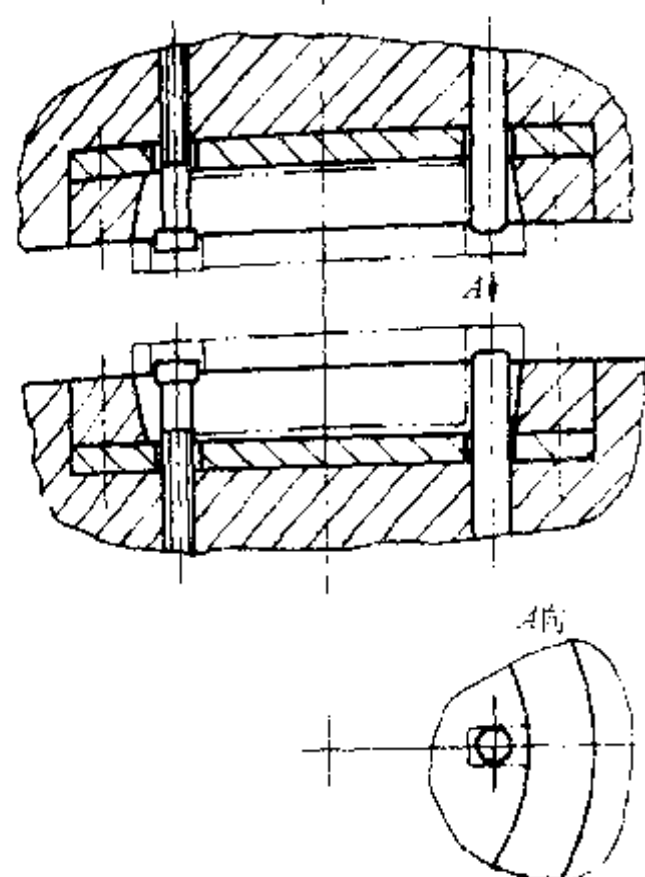


图 9-26 圆锥面配方向销定位模架

在大型固定凸模式模具中，可以把齿圈压板的固定体设计在模架上（见图 9-25）。通用模架，除具有专用模架的全部要求外，还要考虑模芯在模架上的准确定位和拆、装的方便。因此，适于对中、小件精冲和小批量生产选用。如图 9-26 所示为圆锥面配方向销定位的模架；如图 9-27 所示为直角定位模架，该模架较圆锥面定位模架容易制造，但安装精度较差，当模芯装有小导柱后，则获得广泛应用。

2. 模架导向机构的设计和选择

模架导向机构的形式一般有两种最常用，即滑动导向和滚动导向。

(1) 滑动导向形式 滑动导向是利用导柱和导套的圆柱面接触滑动，由于导向接触面大，故稳定性好，多用于要求刚性好的大型模架。

滑动导向形式，要求导柱和导套的配合较严密（见图 9-28）。图中左半部为直导柱形式，即导柱的固定部分和工作部分的尺寸一致，这种导柱制造容易，节省材料，为大批生产的模架采用。但是采用这种导柱，将使上、下模板的导套和导柱孔径不同，使制造增加了难度。图中右半部为台阶导柱形式，采用这种导柱时，是把导柱固定部分的直径和导套固定部分的直径设计成一致，从而使上、下模板尺寸精度要求严格的导向孔变成一致，以达到方便加工的目的，但导柱制造浪费了材料，因此，多用于小批生产和特殊需要的情况下。

滑动导向的导柱和导套的配合，为无松动间隙配合，因此，导套的工作面上应设计出润滑油槽（见图 9-29），必要时在导柱的工作面上也要设计出油槽（见图 9-30）。

所有导柱和导套的材料，在大批生产中采用低碳钢渗碳淬火处理，在试制和小批生产中可采用轴承钢淬火处理。导柱和导套的毛坯要求锻透（碳化物偏析不大于 3 级）。

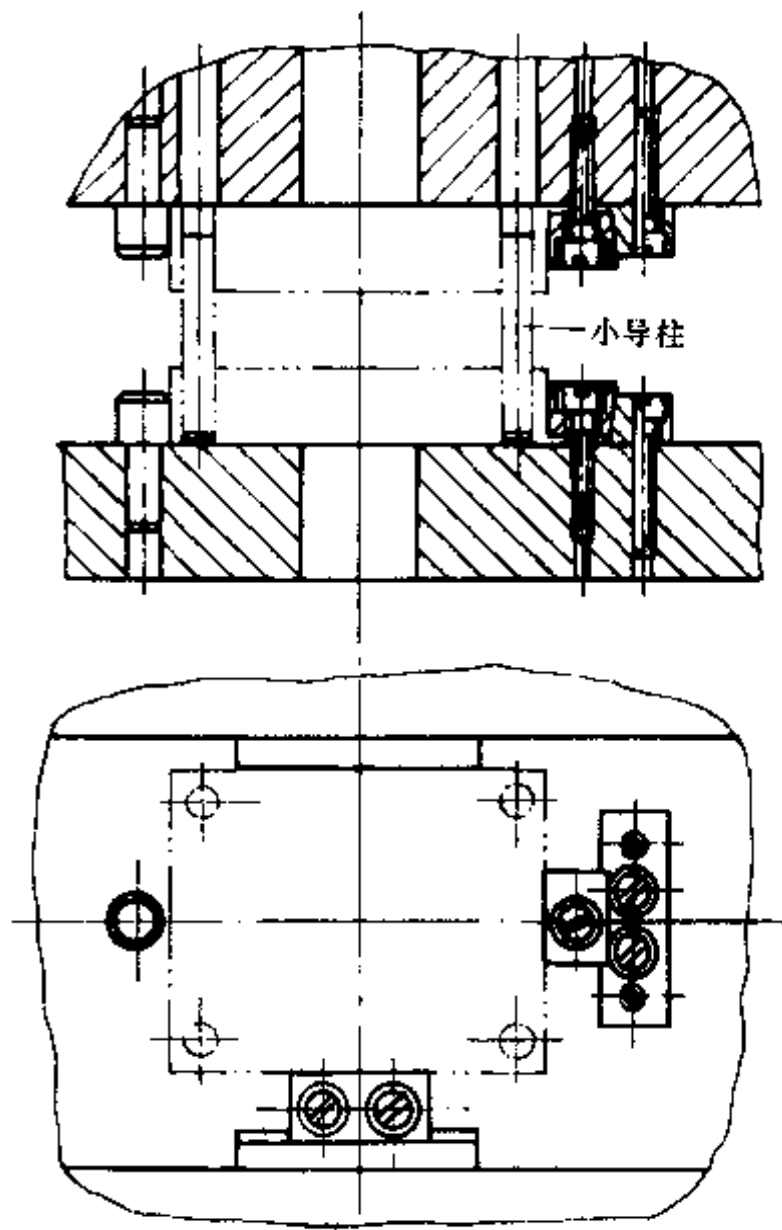


图 9-27 直角定位模架

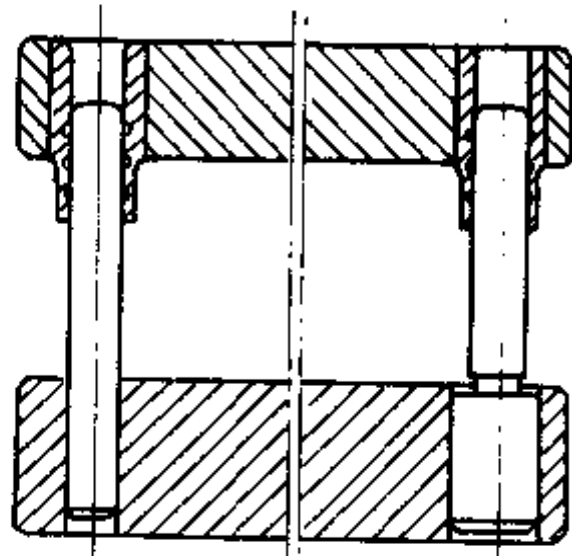


图 9-28 滑动导向形式模架

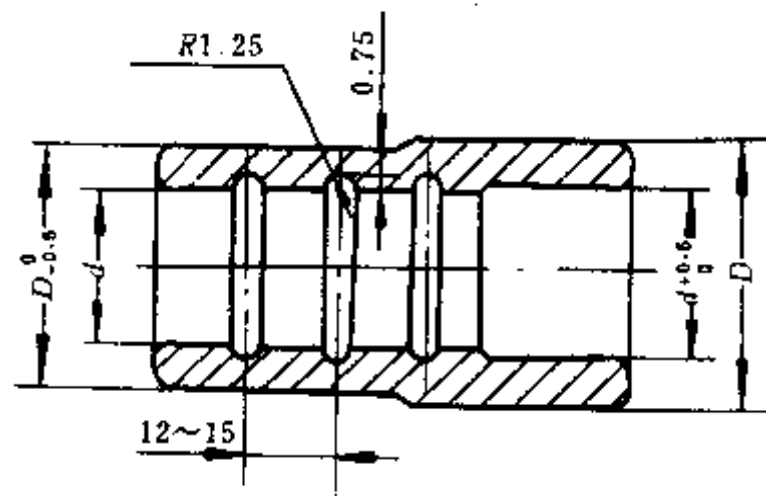


图 9-29 导套圆环油槽形式

(2) 滚动导向形式 滚动导向如图 9-31 所示。该导向形式是在导柱和导套之间装有一个以一定角度放置数十个钢球的衬套,导柱和导套靠钢球的滚动而做上下相对运动,它们之间的配合为过盈配合,一般过盈量为 0.015~0.03mm。

该导向形式对钢球的一致性精度要求较高,因此,在装配前需要通过精选,以相互允差不大于 0.002mm 为宜。滚动导向,模架启合运动灵活,导向精度高,但受偏心载荷时不如滑动导向稳定,因此,适用于精冲对称零件和各种齿轮件的模架。

用于滚动导向的导柱和导套,均不需加工油槽,以防影响钢球的滚动。由于钢球和

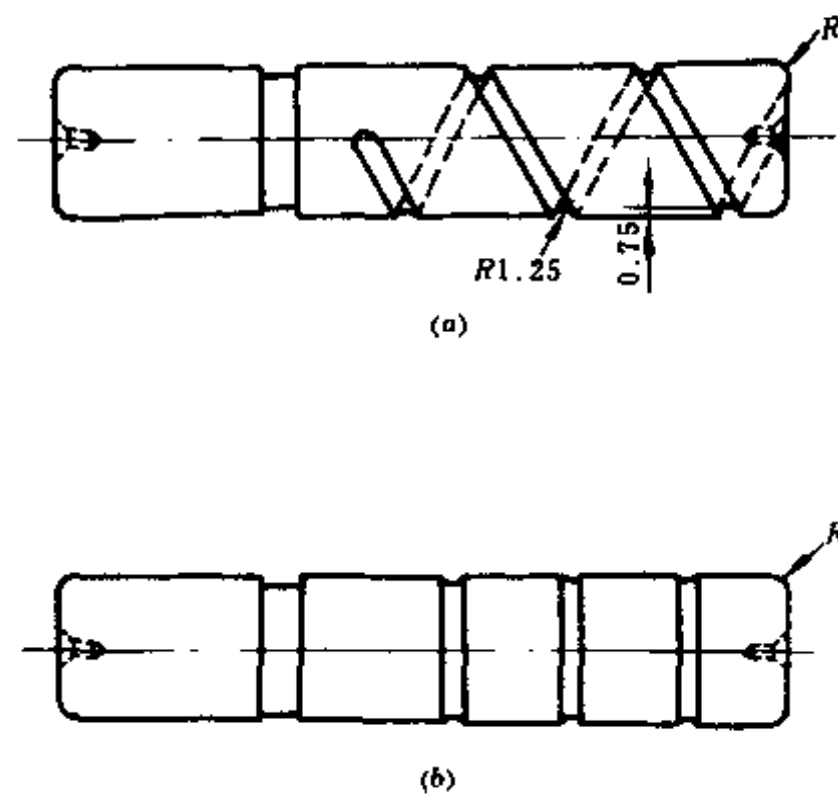


图 9-30 导柱油槽形式

导柱是点接触，因此钢球的分布必须满足以下两点要求：

a. 钢球在导柱的径向位置上，要求分布均匀以保证导向的稳定性。钢球分布越多越好；

b. 由于钢球与导柱、导套是过盈配合，因此，钢球在导柱的轴向运动轨迹不应重合，否则，钢球的重复压下会增加导柱的磨损，影响使用寿命。

为了保证钢球在导柱的不同位置上灵活滚动，故将钢球安装在衬套孔位里，环形衬套圆周上的孔位分布如图 9-32 所示。图中

$$\alpha = \frac{180^\circ(D + K)}{\pi r} \quad (9-27)$$

式中 D ——钢球直径 (mm)；

r ——衬套半径 (mm)；

K ——钢球孔边距，一般为 3~6 (mm)。

计算结果， α 往往不能把 360° 整除，这样不易保证钢球在衬套径向位置上的均匀，故需要修正到接近能除尽 360° 的整数。图中

$$H_1 = D + K \quad (9-28)$$

$$d = 2 \sqrt{h(D - h)} \quad (9-29)$$

式中 h ——钢球凸出衬套的高度 (mm)。

衬套圆周上的孔位排列，在轴向位置上不应重合，轴向第二排孔在径向位置上应与轴向第一排孔的位置旋转 α_1 角度，依此类推，这样就可以保证所有的孔位在轴向位置上不重合。

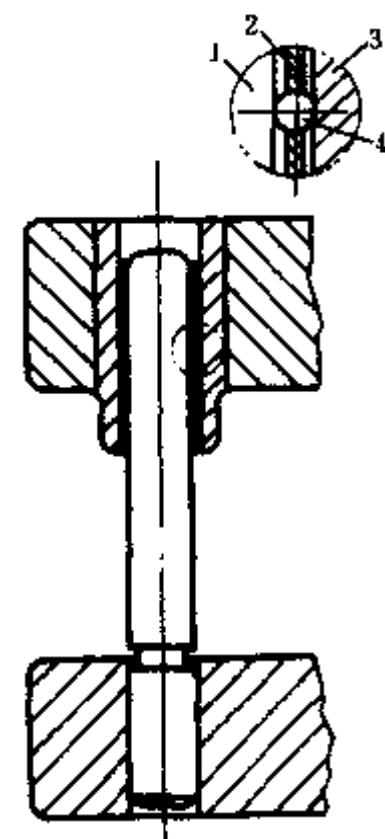


图 9-31 滚动导向形式模架

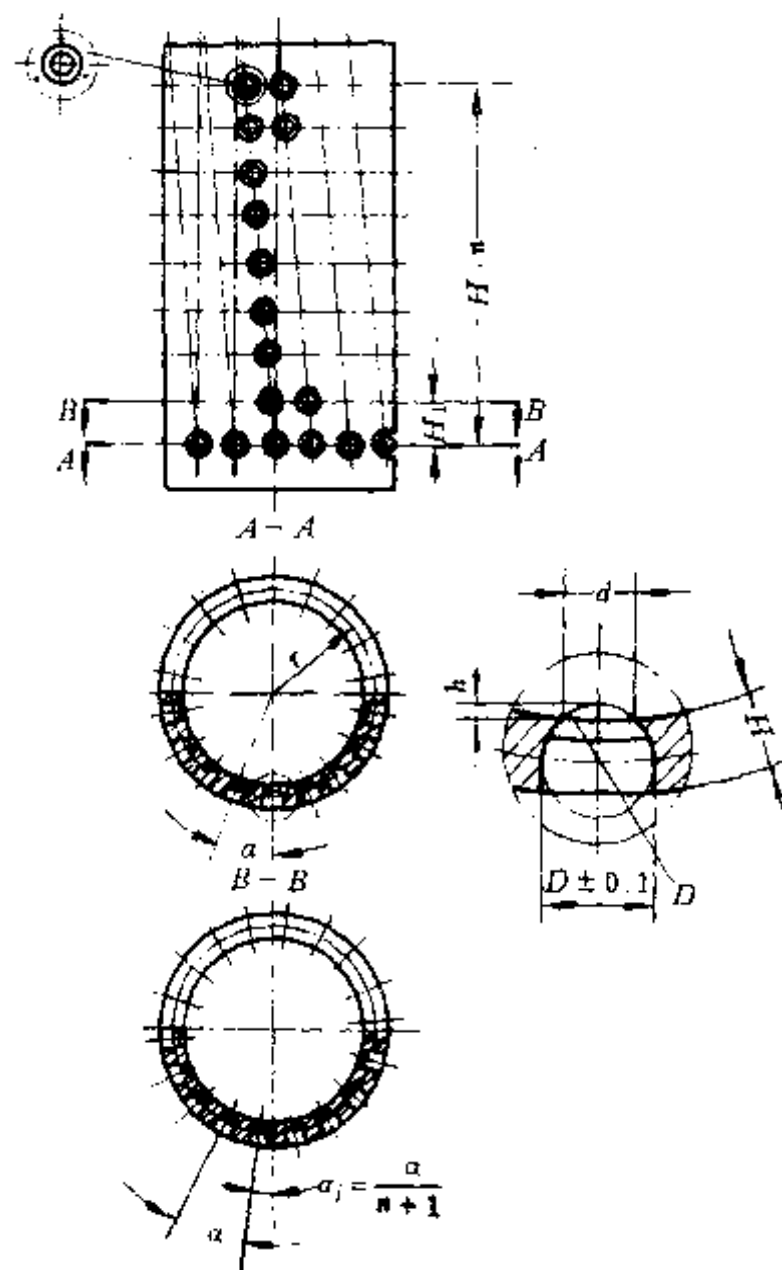


图 9-32 衬套孔位图

衬套轴向孔位排列，可以为单行排列，也可以交叉排列，但交叉排列时，孔数必须为偶数。当孔数为奇数时不能交叉排列，否则，孔位就会有重合现象（见图 9-33）。

衬套孔内放入钢球后，必须在孔口边缘上铆接，以防钢球掉出。铆后的钢球，应能灵活转动。衬套内钢球的孔位在径向位置的角度列于表 9-8。表中有 a 和 b 两种供选用。

表 9-8 衬套内钢球孔位径向角度

导柱直径 (mm)	钢球直径 (mm)	衬套内孔位 a ($^{\circ}$)	
		a	b
30	4	20	24
36	5	20	24
42	5	18	20
50	6	18	20

3. 模架上、下模板材料的选用

精冲工作负荷较大，要求模板必须有足够的强度和刚度，因此，一般以采用铸钢和碳钢模板为宜。当负荷不大的情况下，也可采用细晶粒铸铁。模架在存放期间的变形，多为模板的变形而产生，因此，模板应在消除内应力以后方可使用。

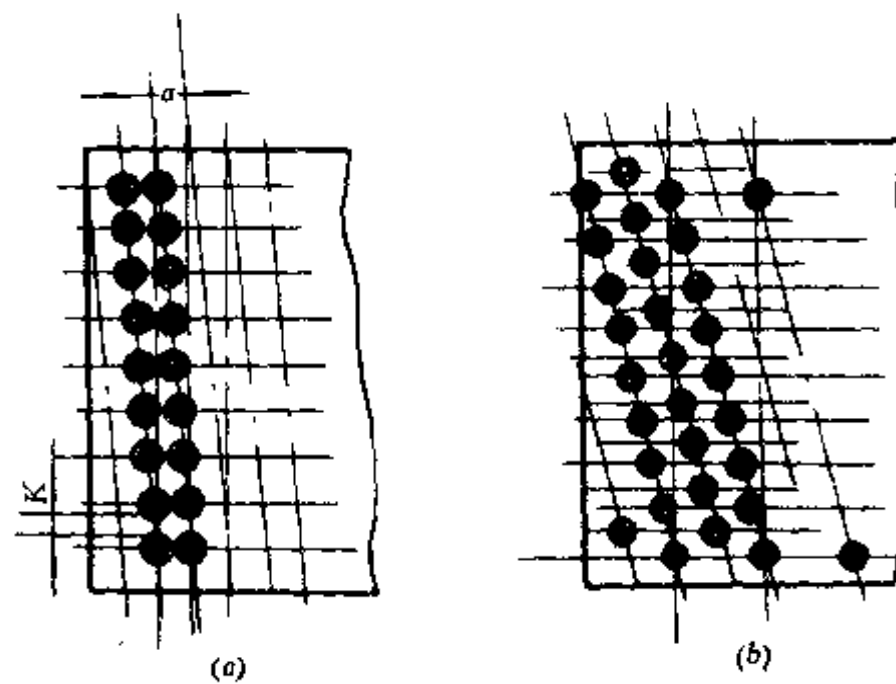


图 9-33 衬套孔位排列形式
(a) 单行排列; (b) 交叉排列。

(二) 精冲模具主要零件的结构设计

1. 凹模结构设计

凹模是模具的主要工作零件，精冲制件的外形及其尺寸精度，主要取决于凹模。

根据精冲负荷较大的特点，凹模应尽量设计成整体结构。因为镶拼凹模在工作时，往往会在精冲件的断面上留有镶拼接缝的痕迹和较大的毛刺。

精冲凹模的厚度一般较厚，为了减少对复杂型孔（或型腔）的加工困难和加工时间，在凹模后部设计一个后角，即在强度较高的部位扩大型孔，以减小型孔的加工长度。常见的几种后角结构如图 9-34 所示。

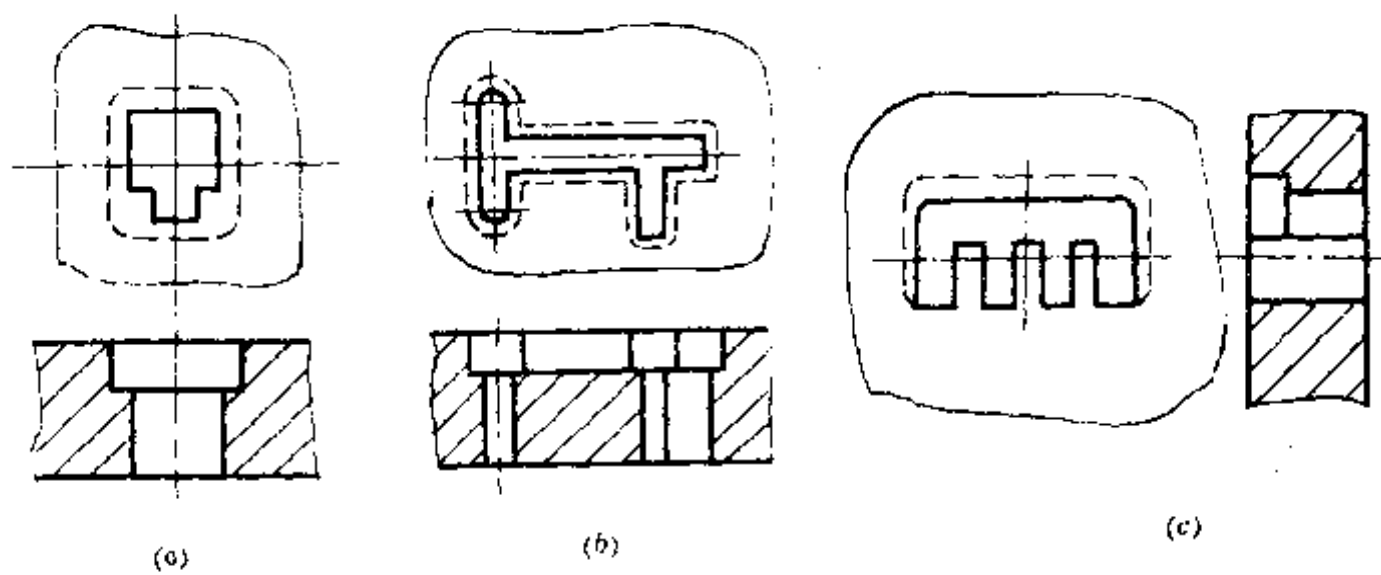


图 9-34 凹模型孔后角的结构
(a) 简单后角; (b) 相似型孔的后角; (c) 局部后角。

当凹模内的悬臂宽度接近制件材料厚度的 2 倍，而悬臂长度又是其宽度的 10 倍左右时，悬臂后部不但不能加工后角，而且在凹模后部还应增加一块淬硬的垫板加以支承，以防受力时折断，如图 9-35 (a) 所示。

当凹模内的悬臂宽度接近制件材料厚度，而其长度又是宽度的10倍以上时，这种结构的截面很容易损坏，尤以当悬臂宽度比料厚还小时，从损坏和更换修复角度考虑，设计整体结构的凹模已失去实用价值，此时，当冲切断面上允许局部有因镶拼接缝产生的痕迹时，可设计成镶拼结构，并由反顶板作准确导向，以保证镶拼件的正确位置和工作的稳定性。镶拼件用凹模后部的专用固定板固定，固定板后面再垫以淬硬的垫板。镶拼件和固定板可按 K7/h6 的要求做成过渡配合组件，而反顶板在凹模中和镶拼件要做成无

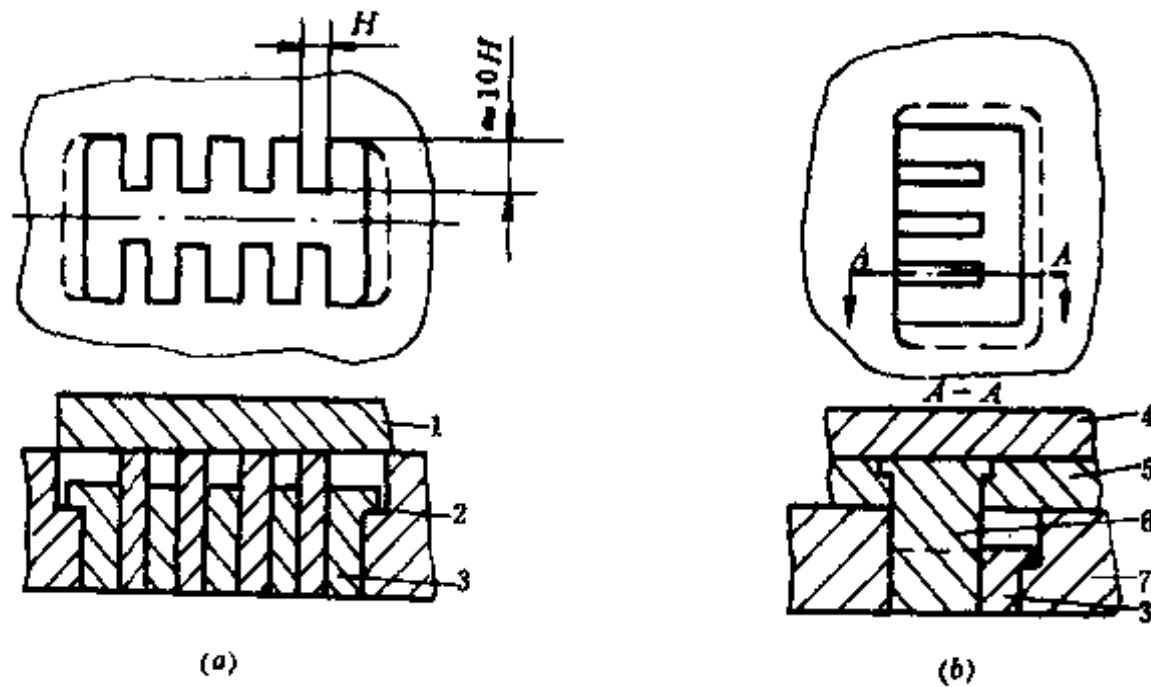


图 9-35 有狭长悬臂的凹模结构

(a) $H \approx 2$ 倍材料厚度；(b) $H <$ 材料厚度。

1、4—垫板；2、7—凹模；3—反顶板；5—固定板；6—镶拼件。

松动间隙配合的形式，方可达到保护细小镶拼件的作用（见图 9-35b）。凹模的定位、固定方法一般多采用以下两种：

(1) 圆锥面、方向销定位（见图 9-36）。该结构稳定可靠，也容易拆装，但加工精度要求高。

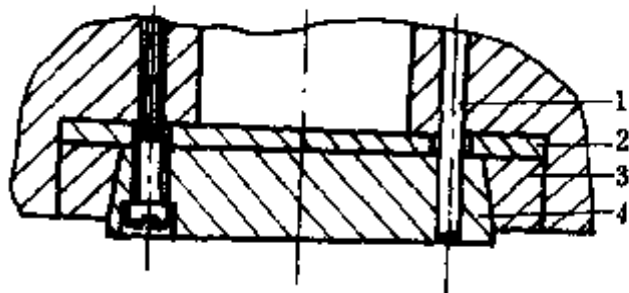


图 9-36 圆锥面、方向销定位法

1—方向销；2—垫板；3—锥圈；4—凹模。

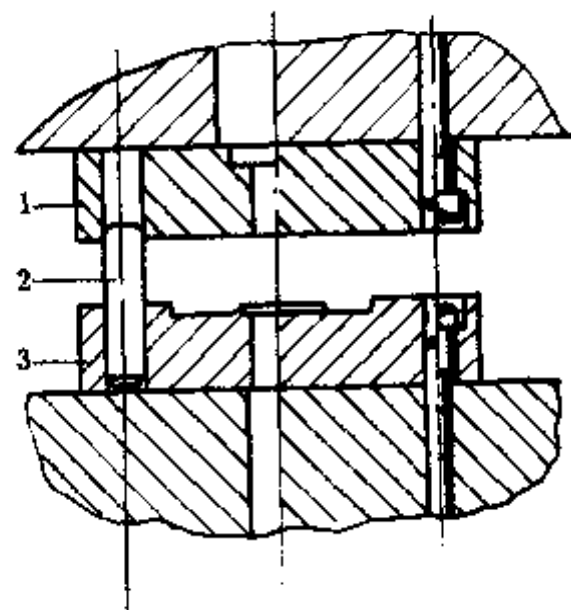


图 9-37 销钉、螺钉固定法

1—凹模；2—小导柱；3—齿圈压板。

(2) 销钉、螺钉定位固定(见图 9-37)。该结构为了保证模具的装配和使用精度,一般在凹模和齿圈压板之间增加小导柱导向。此时,凹模、齿圈压板的型孔及小导柱孔,应同时加工以保证位置精度。

2. 反顶板结构设计

反顶板也叫顶件板,是装配在落料凹模中的重要构件。精冲时给材料以一定的反顶力,精冲后又将制件从凹模内推出。

在普通精冲工艺中,反顶板还能完成较浅的压印、浮雕和弯曲等工序;在复合精冲中还能完成冲孔、成形等复杂的冷锻工序,因此,它在精冲模具中是一个既精密又须有足够强度的构件。

反顶板的加工精度要求较高,其外形与凹模型孔、内形与冲孔凸模均须制成无松动间隙配合。设计时应考虑其加工的工艺性和强度,应采用热处理变形小的合金工具钢制造。

当反顶板的外形结构简单时,可设计成带小凸缘的整体结构;当外形结构复杂和采用线切割加工的齿轮等形状时,应设计成直通式结构,即再用一块淬硬的垫板和螺钉构成组件,如图 9-38 所示。图中安装的弹性顶件销,是防止精冲油将制件粘在反顶器表面上,其位置和数量按具体要求决定。当制件表面质量要求高时,可不设置。

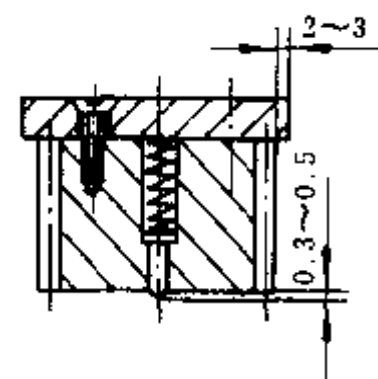


图 9-38 反顶板组件结构

反顶板在凹模中只能沿型孔作轴向运动,不允许有任何晃动和转动现象,否则无法起到导向和保护细小冲头的作用。当反顶板的外形为圆柱形时,可采用导向销结构以防止转动,如图 9-39 (a) 所示,也可将冲孔凸模的固定板与凹模之间用销钉固牢,如图 9-39 (b) 所示。

3. 凸凹模结构设计

凸凹模和落料凹模一样是精冲模具的主要构件,它的外

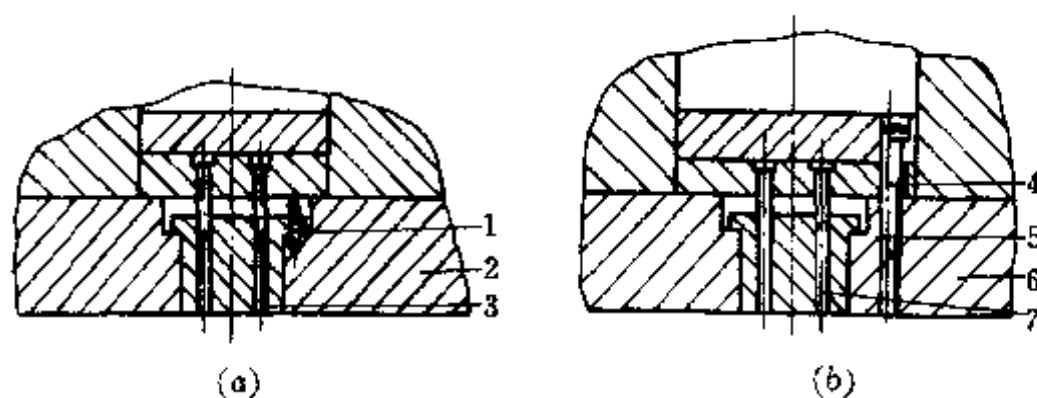


图 9-39 圆形反顶板的防转结构

(a) 导向销防转式; (b) 销钉固定式。

1—导向销; 2—凹模; 3—反顶板; 4—固定板; 5—销钉; 6—凹模; 7—小凸模。

形、内形分别与落料凹模、冲孔凸模的实际加工尺寸按一定间隙配制的,也是直接影响制件质量和模具寿命的关键零件。

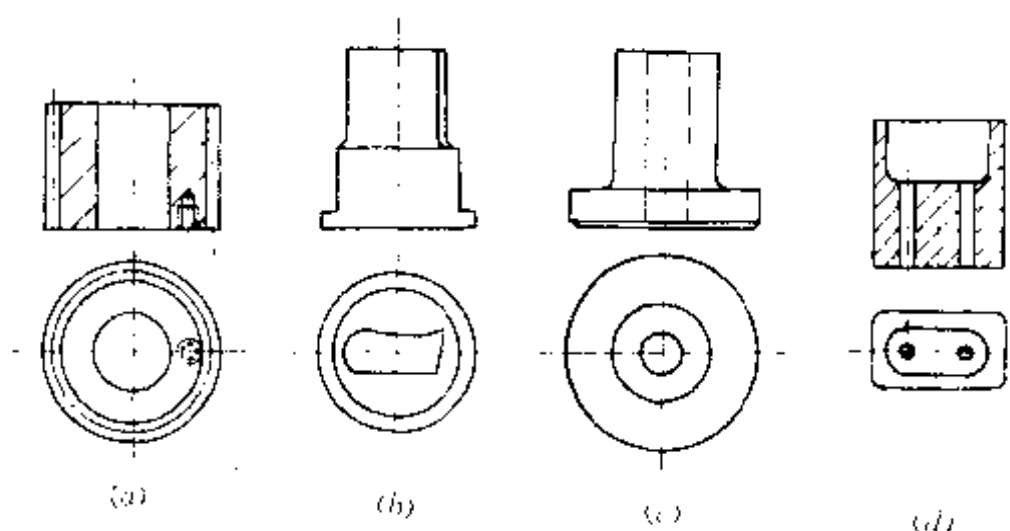


图 9-40 凸凹模结构形式

(a) 线切割形式；(b) 仿型削形式；(c) 磨加工形式；(d) 特殊结构形式。

凸凹模的结构分工作和固定两个部分，工作部分应设计成整体结构，固定部分则按加工方法设计成不同结构。如图 9-40 所示为几种不同结构的凸凹模。

当凸凹模的壁厚较小而负荷又较大时，为了增加凸凹模强度，内形孔应设计成不通孔形式，盲孔深度应为推料板厚度再加上制件材料厚度的 3~4 倍，盲孔底部应加工出一至数个顶杆孔，这对改善热处理条件和提高构件的强度都有一定好处（见图 9-40d）。

凸凹模的固定方法，应按其具体形状结构决定。当凸凹模外形为直通式而且截面积较小时，可采用铆接法与固定板固定，当固定部分带有小凸缘时，则直接压入固定板固定；当截面积大时，可直接用螺钉固定在淬硬的垫板上或模架的模板上。凸凹模常见的几种固定方法如图 9-41 所示。当凸凹模的外形为圆形，而内孔为异形或多孔时，凸凹模与固定板之间应加销钉或定位键以防转动，如图 9-42 中的 (d) 和 (e) 所示。

1. 凸模座与顶板结构的设计

凸模座和顶板是在专用设备上用于活动凸模式结构的组件。活动凸模式模具的主冲力和辅助压力，分别由机床滑块和液压柱塞提供，因而活动凸模需要和机床滑块连接才能进行精冲。但是要凸模与滑块直接连接有很多不便，如凸模有内形孔时，当内形孔在滑块连接端面的范围以内，就无法顶出废料。

当凸模工作部分很小时，要和滑块直接连接，必须加大尾部，这对加工和热处理都很不利，因此，把凸模分成凸模与凸模座两部分结构的优点如下：

- (1) 凸模座内可以安放顶板，通过顶板能够将凸模内任意部位的冲孔废料顶出；
- (2) 形状复杂的高精度凸模，可采用成型磨削或电火花线切割加工。只需增加一块凸模固定板和垫板，既固定了凸模又能和机床的滑块连接；
- (3) 凸模外形与齿圈压板导向，凸模座仅与模座的底孔配合，凸模与凸模座用螺钉连接，该结构容易加工和装配。

设计时，尽可能增大凸模座对凸模的支承面积，使凸模座有足够的强度。凸模与凸模座的结构形式如图 9-42 所示。

当凸模的外形为直通式且有内孔时，则应设计相应的固定板和垫板（见图 9-43）。

凸模座的设计，根据制件形状可确定为圆形或矩形，其后部的圆凸台，用于模具与设备的安装和定位，并通过圆凸台上的螺孔与滑块连接，圆凸台和圆凸台螺孔的尺寸，应

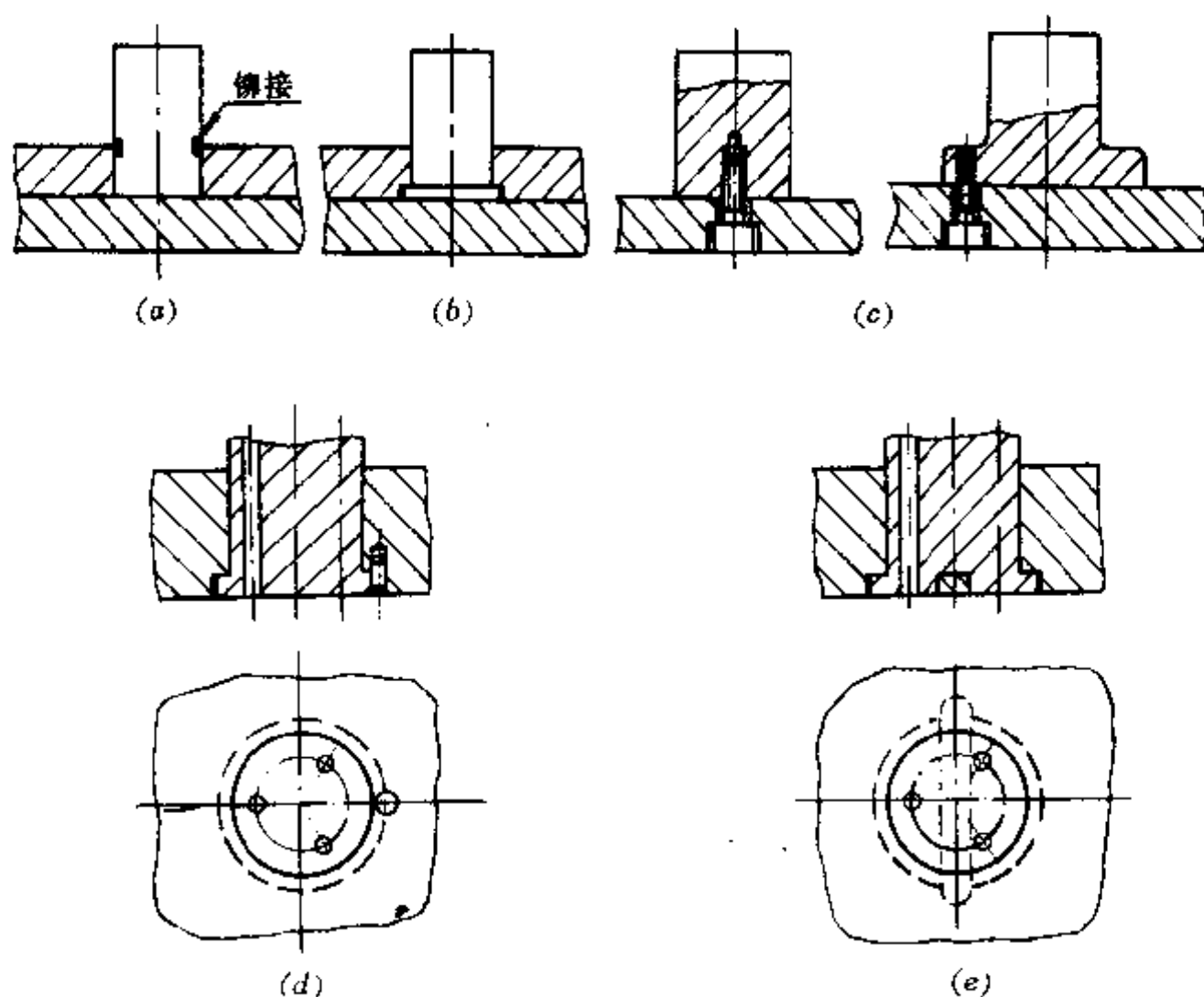


图 9-41 凸凹模的固定方法

(a) 固定板铆装; (b) 凸缘式装配; (c) 螺钉固定; (d) 紧配加销钉固定; (e) 紧配加键固定。

按机床的实际尺寸决定。

为了加工方便,在凸模与凸模座之间可以采取加放中孔垫板的结构用以安装顶板。中孔垫板的内孔形按顶板形状加工(见图 9-44)。

顶板的形状,应按凸模的内形和位置设计,当凸模内孔的间距较大时,顶板形状可设计为十字形或多爪形,也可两块或三块单独作用。当凸模上的孔圆周分布时,可把顶板设计成环状(见图 9-45)。

5. 齿圈压板的结构设计

齿圈压板的作用和尖齿圈结构、尺寸已在本节设计要素中叙述,不再重复。

尖状齿圈凸出在齿圈压板的端面,为了避免其意外的损坏,应相应设计护齿板进行保护。护齿板应设计在送料方向两侧的齿圈压板上,一般与齿圈压板做成整体结构,也可以在齿圈压板上铆接两块平板进行护齿。

护齿板的厚度,必须大于齿圈高度并小于制件材料厚度。当凹模上也有齿圈时,护齿板的厚度又必须大于两齿圈高度之和。护齿板结构如图 9-46 所示。图中齿圈高 h 、护齿板厚度 H 和制件材料厚度 t 的尺寸关系为 $h < H < t$ 。

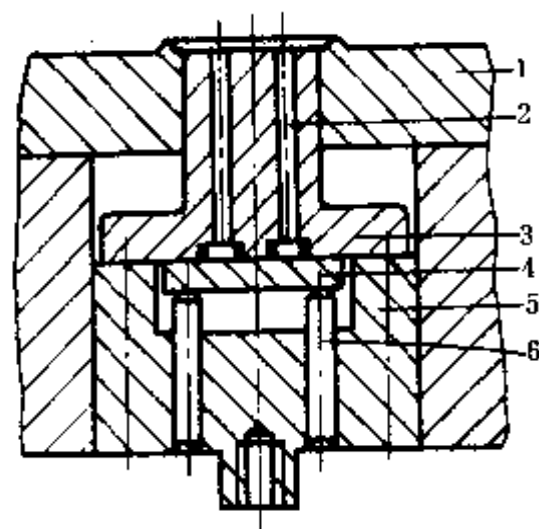


图 9-42 凸模与凸模座结构形式

1—齿圈压板; 2—顶料杆; 3—凸模;
4—顶板; 5—凸模座; 6—传力杆。

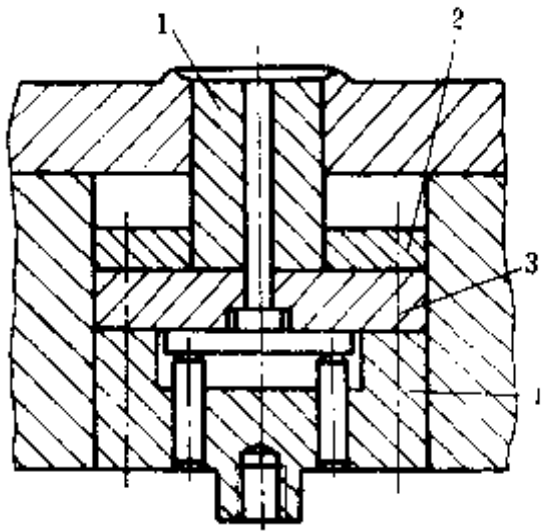


图 9-43 直通式凸模与凸模座结构
1—凸模；2—固定板；3—垫板；4—凸模座。

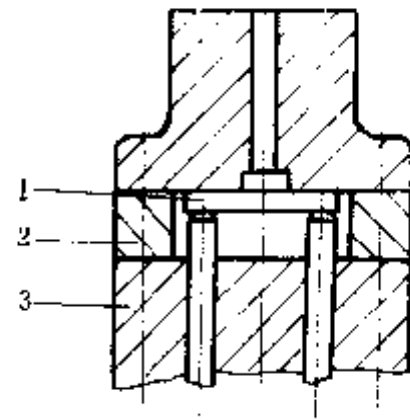


图 9-44 凸模座加中孔垫板结构
1—顶板；2—中孔垫板；3—凸模座。

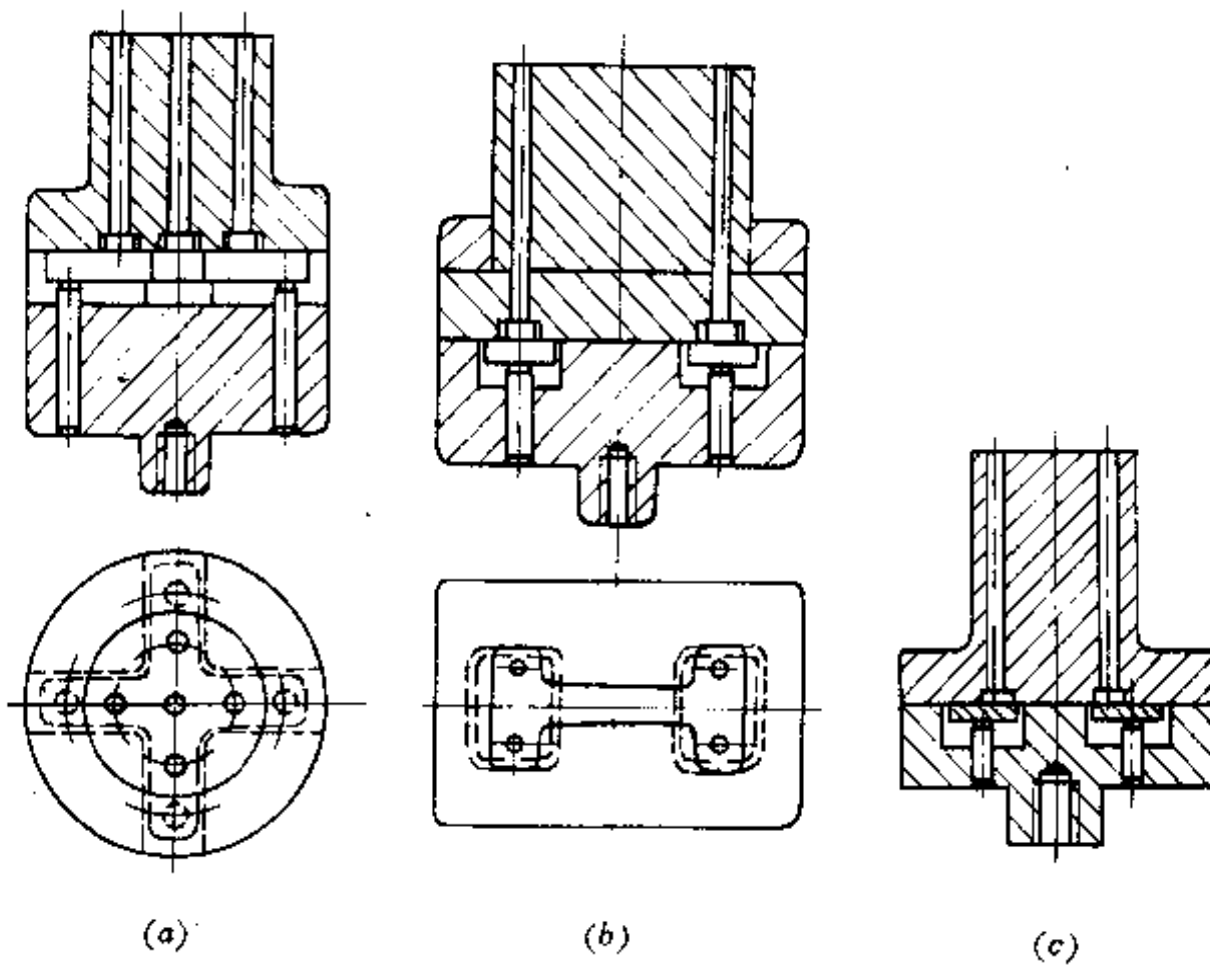


图 9-45 顶板的几种形式
(a) 十字顶板；(b) 两件顶板；(c) 环状顶板。

6. 传力杆（顶杆）的负荷计算

传力杆是传递精冲所需辅助压力的杆件（见图 9-47a）。为了使模具受力均匀，传力杆应均匀布置在受力面的周围。传力杆应具有足够强度以确保所需压力的传递。因此杆径的大小应根据力的大小进行计算。

当传力杆大小受模具结构限制时，则可采用多根小径杆件代替（见图 9-47b）。

传力杆的材料，一般采用碳素工具钢制造，热处理硬度 HRC50~55。在应用中，为了避免因调试压力过大造成传力杆的墩粗或损坏，应在计算的基础上考虑 1.5~2.0 的安全系数。

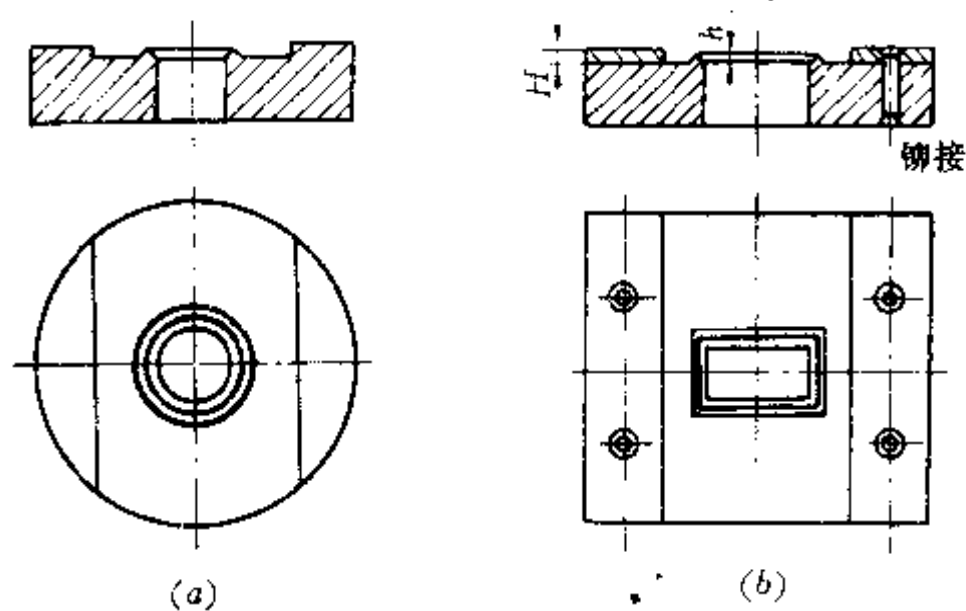


图 9-46 护齿板结构

(a) 整体护齿板结构, (b) 铆接护齿板结构。

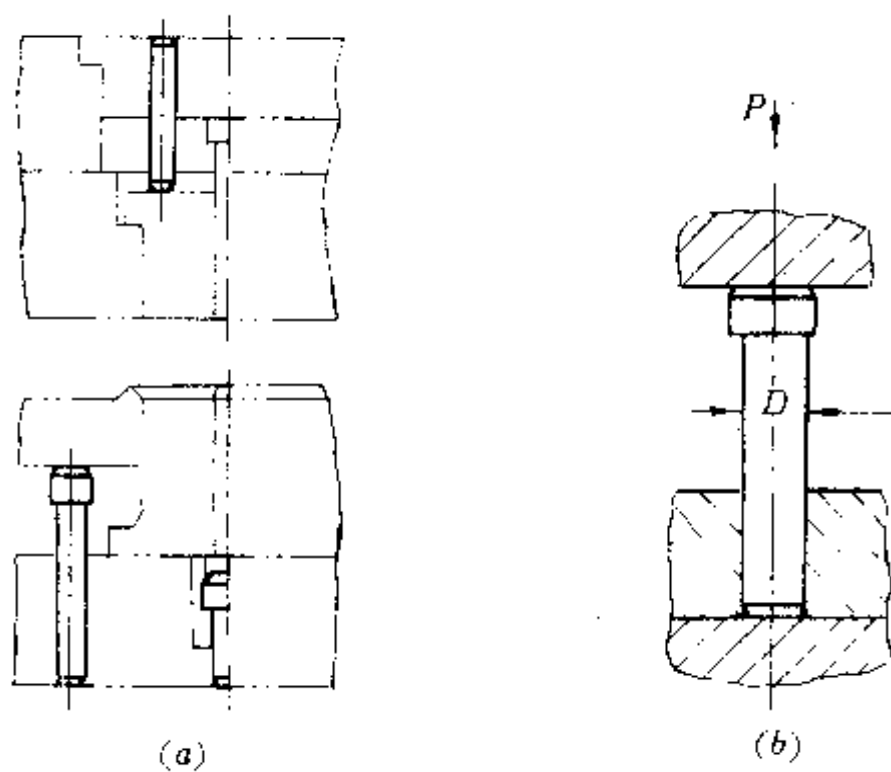


图 9-47 传力杆受力情况

(a) 传力杆的作用; (b) 传力杆受力图。

$$P = \frac{D^2 \pi}{4} q \quad (9-30)$$

式中 P ——传力杆的负荷力 (N);

D ——传力杆的直径 (mm);

q ——单位面积负荷力 (MPa)。

q 可用抗弯强度进行计算, 但须按不同的硬度选取抗弯强度值。表 9-9 是不同直径的杆件所能承受的压力, 供设计选用参考。

表 9-9 传力杆所能承受的负荷力

传力杆直径 (mm)	硬 度		传力杆直径 (mm)	硬 度	
	HRC43	HRC52		HRC43	HRC52
	负荷力 (N)			负荷力 (N)	
4	16580	21350	14	203100	261560
5	25900	33350	16	265270	341630
6	37300	48040	18	335730	432380
8	66320	85410	20	414480	533800
10	103620	133450	22	501520	645900
12	149510	192170	24	596850	768670

第六节 精 冲 材 料

一、基本要求

适宜精冲的材料，要求具有低的屈服强度、高的延伸率与断面收缩率，因为这种材料在较低的载荷下便开始屈服，具有较高的塑性变形能力，故有利于精冲。

适宜精冲的材料，大部分是黑色金属，一般以强度极限在300~600MPa、含碳量0.35%以下的钢材应用最为普遍。所谓适宜精冲，是从冲切断面质量和模具寿命方面考虑，是个经济值，而非极限值。如65Mn、60Si2Mn和30CrMnSi等难冲材料，尤以厚度达到6mm时，只要通过球化退火处理得到有利于精冲的组织时，同样可以精冲。

钢材的金相组织状况，直接影响制件断面的冲切质量和模具寿命。

当钢中组织为片状珠光体时，在精冲过程中要切断这些很硬的渗碳体，会使模具很快磨损，还会导致冲切断面的撕裂。当钢的组织是球状珠光体时，这些很硬的细小球粒在精冲中被挤压到较软的铁素体基体中去，不再被切断，不仅能得到光洁的冲切断面，而且又提高了模具寿命。具有球状珠光体组织的钢材，由于组织均匀，有淬火时变形、开裂和过热倾向小的特点，对精冲后需要淬火的制件，经热处理后容易得到机械性能好的细针状马氏体加球状渗碳体组织，所以，具有球状珠光体组织的钢材，则是理想的精冲材料。

二、适于精冲的材料

适宜精冲的常用钢材及其机械性能列于表9-10。表中除0Cr18Ni9、1Cr18Ni9和1Cr18Ni9Ti钢为固溶处理状态外，其余均为退火状态。

适宜精冲的有色金属及其机械性能列于表9-11和表9-12。表中斜线上方为材料软态下的性能，斜线下方为材料硬态下的性能。

表 9—10 适宜精冲主要钢材的机械性能

钢类	钢号	屈服强度 (MPa)	抗剪强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	硬度 HB
电工纯铁	DT1、DT2、DT3		180	230	26	70~80
普通碳素钢	A1		260~320	320~400	33	
	A2	190~220	270~340	340~420	31	
	A3	220~240	310~380	380~470	26	
优质碳素结构钢	08	200	220~320	280~400	30	78~112
	08F	180	220~310	280~390	32	78~112
	10	210	220~320	280~400	30	78~112
	15	230	260~400	320~500	22	88~138
	20	250	260~440	320~550	20	88~154
	30	300	320~480	400~600	16	112~167
	35	320	320~520	400~650	16	112~180
	40	340	360~560	450~700	15	125~194
	45	360	360~560	450~700	15	125~194
	50	380	360~600	450~750	13	125~194
	55	390	360~600	450~750	12	125~194
	60	410	360~600	450~750	12	125~194
	65	420	360~600	450~750	10	125~194
70	420	360~600	450~750	10	125~194	
合金结构钢	15CrMn	600	470~580	590~720	12	170~207
	20CrMn		500~610	630~760	12	179~217
	25CrMnSi		400~560	500~700	18	152~212
	50CrVA		720	900	10	≈235
弹簧钢	65Mn		440~640	550~800	14	152~223
	55Si2Mn		640	800	20	≈235
碳素工具钢	T8A		520	650	20	≈180
	T10A		600	750	10	≈208
耐热不锈钢	1Cr13	420	320~380	400~470	21	≈115
	2Cr13	450	320~400	400~500	20	≈144
	3Cr13	480	400~480	500~600	20	≈144
	4Cr13	500	400~480	500~600	15	≈172
	Cr17	350	400	500	18	≈144
	0Cr18Ni9	220	430	540	45	≈158
	1Cr18Ni9	200	460~520	580~640	35	≈158
	1Cr18Ni9Ti	200	430~550	540~700	40	≈158

表 9-11 适宜精冲的铜材及其机械性能

类别	牌号	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	断面收缩率 (%)	硬度 HB
纯铜	T2, T3, T4	50~70/340 ~350	220~240/370 ~420	45~50/4~6	65~75/35~45	35~45/110 ~130
无氧铜	TUP	50~70/340~350	220~240/370 ~420	45~50/4~6	65~75/35~45	35~45/110 ~130
黄铜	H62	110/500	330/600	49/3	60/-	56/164
	H68	90/520	320/660	55/3	70/-	-/150
	H80	120/520	320/640	52/5	70/-	53/145
	H90	120/400	260/480	45/4	80/-	53/130
锡黄铜	HSn62-1	150/500	380/700	40/4	52/-	85/142
铝黄铜	HA160-1-1		450/760	15/9		80/170
锰黄铜	HMn57-3-1		550/700	25/5		115/178
	HMn58-2		400/700	40/10	53/-	90/178
镍黄铜	HNi65-5	200/630	400/700	65/4		/164
锡青铜	QSn4-0.3	-/540	340/600	52/8		35~70/160~180
	QSn4-3		350/550	40/4		60/160
	QSn4-4-2.5	130/280	300~350/550 ~650	35~45/2~4	34/-	60/160 ~180
	QSn4-4-4	130/280	300~350/550 ~650	46/2~4	34/	62/160 ~180
	QSn6.5-0.4	200~250/590 ~650	350~450/700 ~800	60~70/8~12		70~90/160 ~200
	铝青铜	QA15	160/540	380/800	65/5	70/-
QA17		250/-	420/1000	70/3~10	75/40	70/154
QA19-2		-/300~500	450/600 ~800	20~40/4~5	35/-	80~100/160 ~180
铝白铜	BA16-1.5	80/-	360/650~750	28/7		/120
锰白铜	BMn3-12	200/-	400~550/900	30/2		120/-
锌白铜	BZn15-20	140/-	380~450/800	30~45/2~4		70/160~175

表 9-12 适宜精冲的铝材及其机械性能

类别	牌号	状态	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)	硬度 HB
工业纯铝	L1、L2、L3	退火	30	80	35	25
	L4、L5、L6	硬化	100	150	6	32
硬铝	LY6	淬火, 自然时效	300	440	20	
		硬化	440	540	10	
	L11	退火		180	20	
		淬火, 人工时效	250	410	15	115
L12	退火		180	21		
	淬火, 人工时效	430	470	6		
L16	退火	300	400	10		
锻铝	LD2	退火		120	30	30
		淬火, 人工时效	280	330	16	95
超硬铝	LC4	退火	100	220	15	
		淬火, 人工时效	550	600	8	
防锈铝合金	LF2	退火	80	190	23	45
		硬化	210	250	6	60
	LF3	退火	120	235	22	58
		硬化	230	270	8	75
	LF5	退火	150	305	20	65
	LF6	退火	160	340	20	
硬化		345	450	13	70	
LF12	退火	220	430	25		
LF21	退火	50	130	23	30	
	硬化	130	170	10	40	

三、常用精冲材料的热处理

(一) 钢材的球化退火处理

利用球化退火工艺来得到精冲所需的球状珠光体组织。当把具有片状珠光体原始组织的材料加热至 $A_{c1} + (20 \sim 30 \text{ C})$ 温度时, 一片片渗碳体开始溶解断开成为许多细的点状渗碳体, 弥散分布在奥氏体基体上, 由于加热温度较低, 碳化物不完全溶解, 造成奥氏体成分的极不均匀。在随后的缓慢冷却过程中, 或以原有的细渗碳体质点为核心, 或在奥氏体中碳分富集的地方产生新的渗碳体核心, 均匀地形成颗粒状渗碳体。刚形成的渗碳体颗粒很小, 在缓慢冷却或等温过程中产生碳化物聚集, 由于球状表面积最小, 能促使能量状态的降低, 所以最后能长成一定尺寸的球状渗碳体。

在生产中，常用的球化退火工艺有以下几种。

1. 缓冷球化退火

将钢材加热到 $A_{c1} + (20 \sim 30^\circ\text{C})$ 温度，保温数小时后，以 $30 \sim 50^\circ\text{C}/\text{h}$ (碳素钢)、 $10 \sim 20^\circ\text{C}/\text{h}$ (合金钢) 的冷却速度冷却到 500°C 温度左右，再随炉冷却至 300°C 温度出炉 (见图 9-48a)。

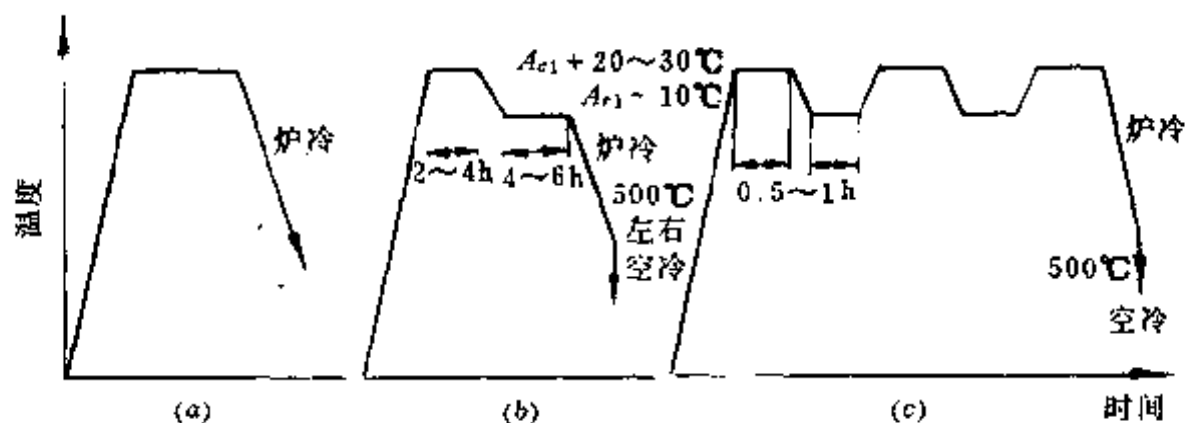


图 9-48 球化退火规范示意图

(a) 缓冷球化退火; (b) 等温球化退火; (c) 周期球化退火。

2. 等温球化退火

将钢材加热至 $A_{c1} + 20 \sim 30^\circ\text{C}$ 温度，烧透后保温 $2 \sim 4\text{h}$ (随装炉量定)，然后随炉冷却到 A_{r1} 点以下 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ ，等温 $4 \sim 6\text{h}$ ，再随炉冷却到 500°C 左右出炉 (见图 9-48b)。该处理法，能缩短退火时间和获得均匀的球化组织，也是最常用的退火方法。

3. 周期球化退火

周期球化退火和等温球化退火相似，但需多次的加热、保温和冷却循环，退火周期较长，一般仅用于原始组织为粗片状珠光体或渗碳体弥散度过小的钢材 (见图 9-48c)。

(二) 对有色金属的处理

铜及铜合金和铝及铝合金材料，如因强度高，精冲困难时，可对其进行退火或淬火时效处理，其工艺规范如图 9-49 所示，工艺参数列于表 9-13 和表 9-14。

表 9-13 铜及铜合金材料的退火规范

牌号	退火温度 ($^\circ\text{C}$)	牌号	退火温度 ($^\circ\text{C}$)	牌号	退火温度 ($^\circ\text{C}$)
T2	550~620	QSn4-3	580~630	B19	700~750
TUP	550~620	QSn4-4-2.5	550~620	B30	700~750
H62	600~660	QSn6.5-0.1	580~620	BA16-1.5	700~730
H68	540~600	QSn6.5-0.4	580~620	BA13-3	700~730
H80	580~650	QSn7-0.2	600~650	BMn3-12	680~730
H90	630~680	QA1-5	650~720	BMn40-1.5	750~800
H96	540~580	QA1-7	650~720	BZn15-20	680~730
HSn62-1	550~630	QA19-2	650~700	HNi65-5	610~660
HMn58-2	580~640	QA19-4	650~700	QBc2	670~720

注：退火时间一般为 $1 \sim 4\text{h}$ 。

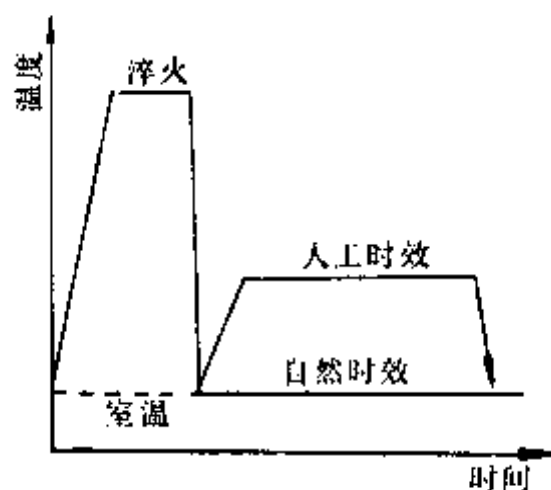


图 9-49 铝合金淬火时效示意图

表 9-14 铝及铝合金材料的热处理规范

牌号	退火温度 (°C)	淬火温度 (°C)	时效处理	
			温度 (°C)	时间 (h)
L1、L2、L3、L4、L5、L6	310~410			
LF2	340~410			
LF3	290~390			
LF5	300~410			
LF6	300~410			
LF12	390~450			
LF21	370~490			
LY6	390~410	505~510	室温	120~140
			125~135	12~14
LY11	390~410	495~510	室温	≥96
LY12	350~370	495~505	室温	≥96
			185~195	6~12
LY16	370~410	530~540	200~220	8~12
LD2	370~410	510~525	室温	240
			150~165	8~15
LC4	390~430	465~475	125~140	12~24

注：退火时间一般为 1~4h。

第七节 典型精冲模设计实例

随着工业生产的发展，特别是汽车工业的发展，精冲件的品种和数量日益增多，制件形状也越来越复杂。下面实例中，除了一般的精冲模结构设计外，还列举了近年用于生产的复合精冲模的结构。

例一 坦克内齿摩擦片精冲模

坦克摩擦片有内齿形和外齿形两种，根据其使用条件不同，材料有 65Mn、30CrMnSi 和 35 钢等，外形尺寸和材料厚度也分别不同，但模具结构不变，都是采用落料冲孔一道工序成形。随着工作部分尺寸的变化，模具的轮廓尺寸有大有小，精冲压力和精冲工艺

模数	m	4	齿根高系数	f''	0.625
齿数	z	20	变位系数	ξ	0
压力角	α	20°	公法线长度	L	$30.64^{+0.0}_{+0.2}$
齿顶高系数	f'	0.5			

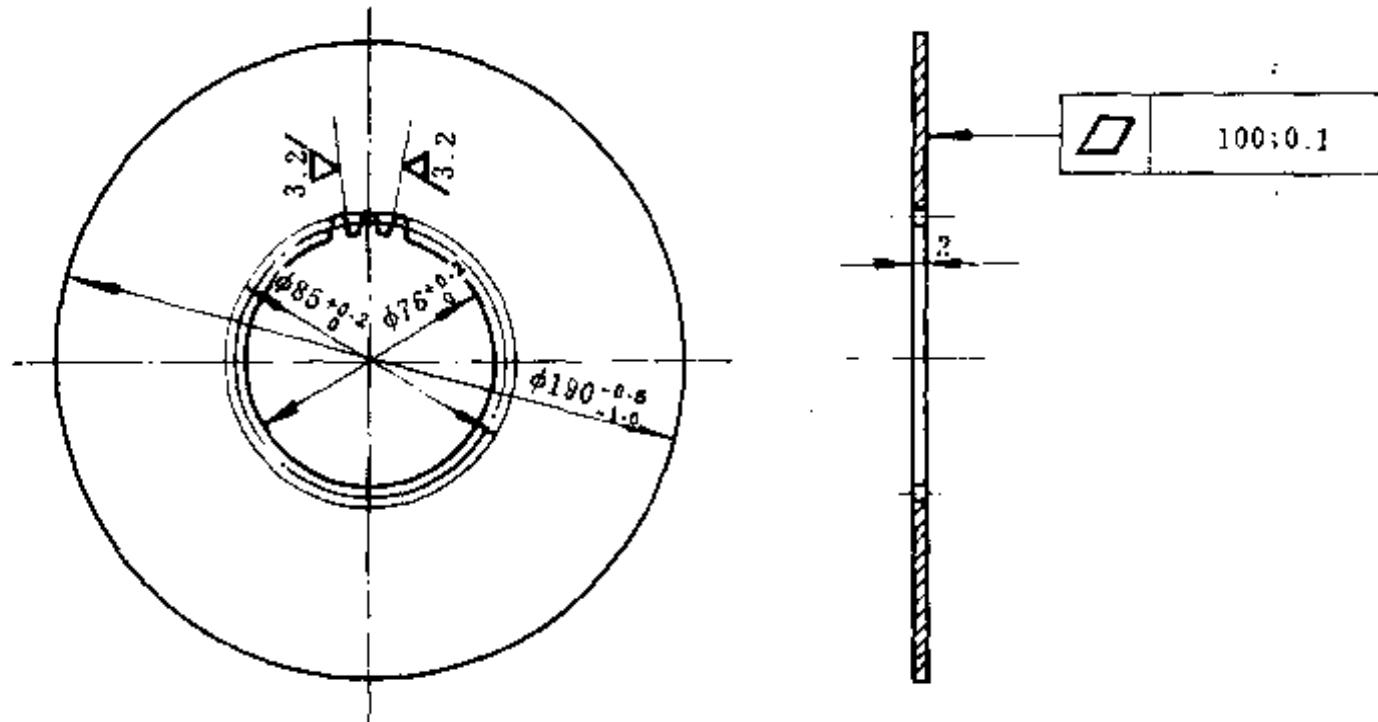


图 9-50 坦克内齿摩擦片

参数也随之改变。如图 9-50 所示为坦克摩擦片系列产品中的一种。

图 9-51 为坦克内齿摩擦片精冲模。该模具是一套复合精冲模，模具单边间隙为 0.02mm。模架采用滚动导向，钢球 19 与导柱 14 和导套 16 间的配合为过盈配合，过盈量为 0.005mm。齿圈压板 21 由小导柱 12 导向，小导柱 12 与小导套 13 的配合间隙为 0.01~0.02mm。齿圈压板 21 与凸凹模 6、顶料器 23 与凸凹模 6、顶件器 29 与凸模 27 和凹模 30 的配合均为间隙配合，其间隙为 0.03~0.05mm。模具中齿圈压板 21 和顶料器 23 上设有 V 形齿，结构如图 9-52 所示。

模具的压边力和反顶力是通过顶杆来传递的，要求顶杆应有足够的强度和刚度。模具顶杆 9、11、28 的长度尺寸必须严格控制，它应保证精冲前齿圈压板 21、顶料器 23、顶件器 29 都能压紧材料，精冲后能将废料和零件从模具中顶出。同时，要求齿圈压板 21 和顶料器 23 运动一致。

坦克内齿摩擦片精冲模的工作过程如下：

材料送进后，精冲机的下工作台升起，模具中的齿圈压板 21、顶料器 23、顶件器 29 首先压紧材料，形成精冲所需的三向压应力。下工作台继续上行，模具刃口切入材料直至材料分离。

冲裁完毕，模具开启，精冲机压边缸向下推动顶杆 9 和 11，使顶料器 23 和齿圈压板 21 将废料从凸凹模 6 中推出。精冲机反压缸向上推动顶杆 28，使顶件器 29 将零件从凹模 30 中顶出。

例二 摩托车从动链轮精冲模

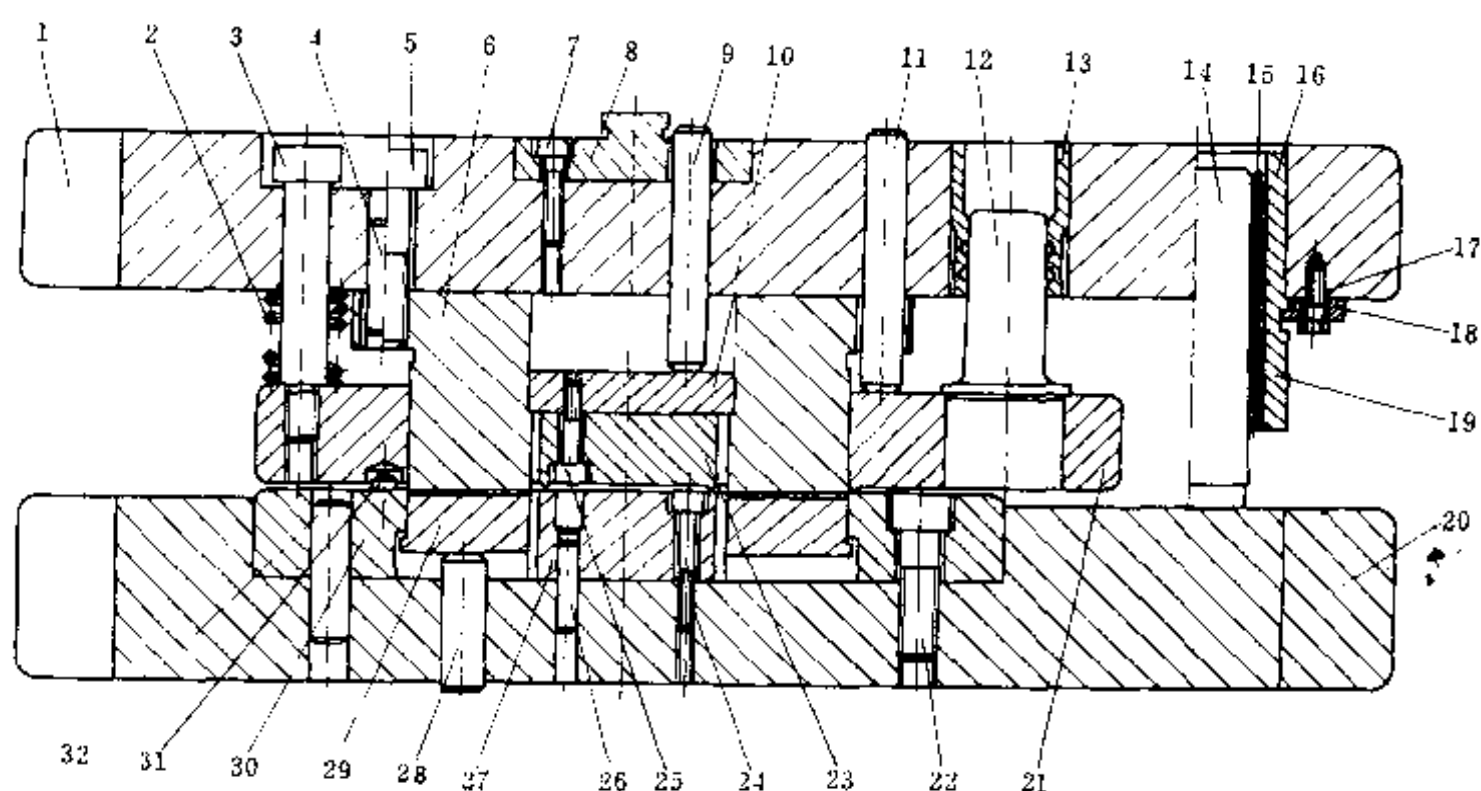


图 9-51 坦克内齿摩擦片精冲模

1—上模板；2—弹簧；3、5、7、17、22、24、25—螺钉；4、26、32—销钉；6—凸凹模；8—模架定位器；9、11、28—顶杆；10—顶料器限位块；12—小导柱；13—小导套；14—导柱；15—钢球保持圈；16—导套；18—压板；19—钢球；20—下模板；21—齿圈压板；23—顶料器；27—凸模；29—顶件器；30—凹模；31—挡料销。

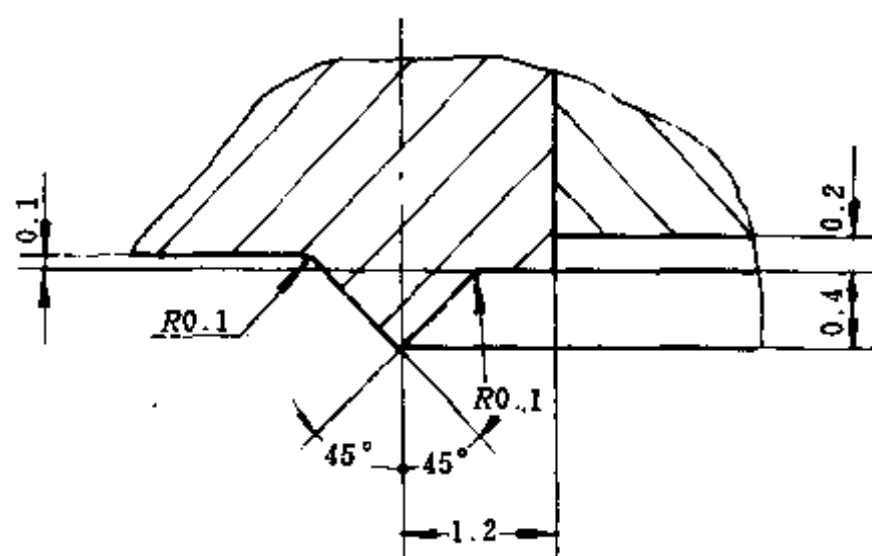


图 9-52 单面 V 形齿结构

如图 9-53 所示为摩托车从动链轮，材料为 10 钢，厚度为 5.8mm，此零件采用落料冲孔复合的精冲工艺。

如图 9-54 所示为摩托车从动链轮精冲模，它是一套落料冲孔精冲复合模，模具中凸模 23 与凸凹模 7、凸凹模 7 与凹模 27 的刃口间隙为 0.05mm。模架采用滑动导向，导柱 17 与导套 18 的配合间隙为 0.02mm 以下，上模板 2 与下模板 28 的平行度要求为

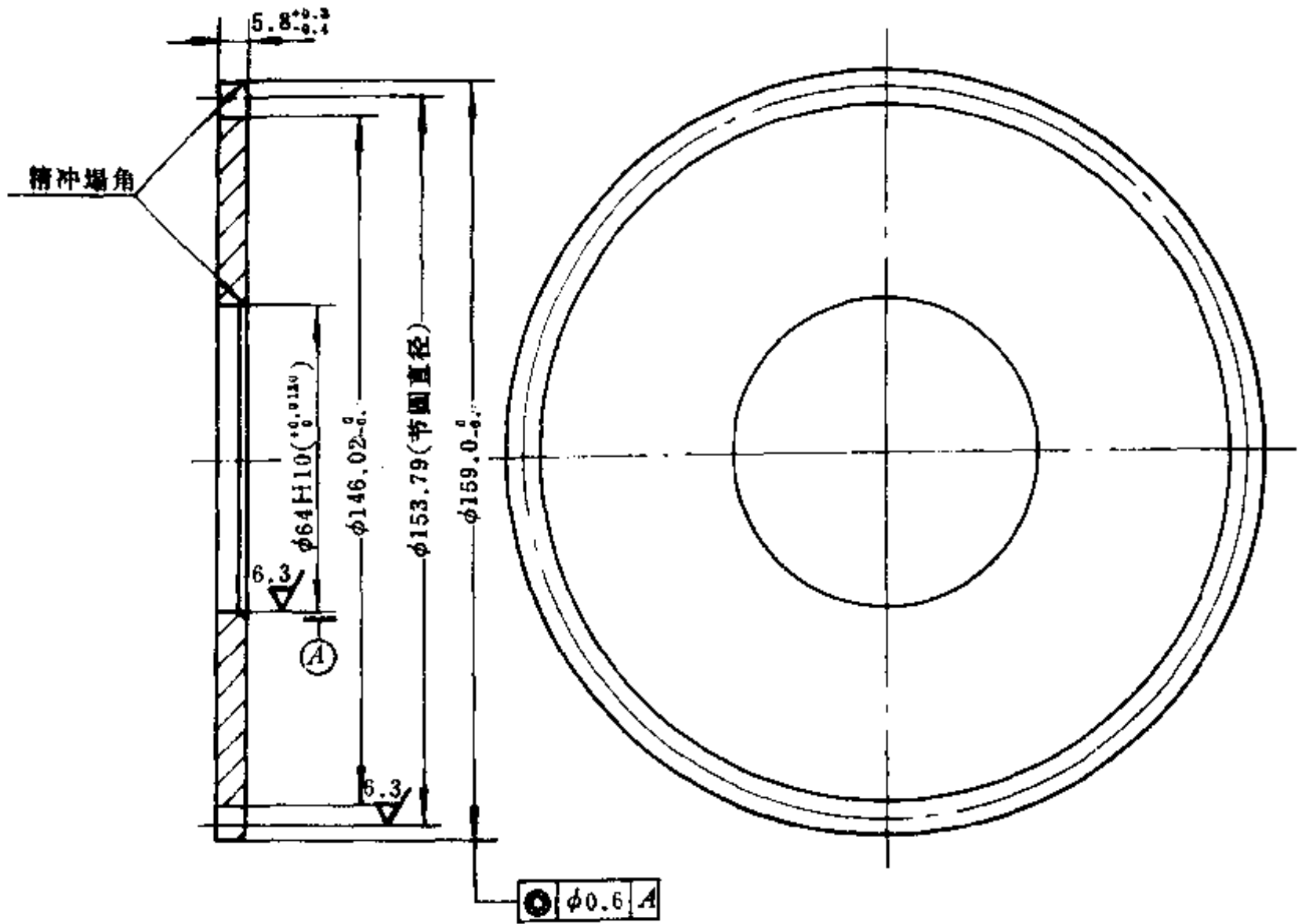


图 9-53 摩托车从动链轮

0.025mm。

齿圈压板 4 固定在齿圈压板固定体 1 中，构成一个组合件，由导套 16 与导柱 17 配合导向，导套 16 与导柱 17 的配合间隙为 0.02mm，该结构提高了齿圈压板的抗偏载能力。

齿圈压板 4 和凹模 27 上均设置有 V 形齿，结构如图 9-55 所示。

凹模 27 刃口应倒小圆角，齿顶和其余部分不一样大。齿顶刃口倒半径为 0.4mm 的圆角，其余刃口部分倒半径为 0.2mm 的圆角。凸模 23 刃口倒半径为 0.2mm 的圆角。

摩托车从动链轮精冲模的工作过程与坦克内齿摩擦片精冲模的工作过程相同。

例三 汽车座椅角调器靠背齿板精冲成形模

如图 9-56 所示为汽车座椅角调器靠背齿板，它是一个复杂的板料成形件，其主要形状尺寸采用精冲工艺加工，精冲成形分两道工序完成，如图 9-57 所示。第一道工序先成形 $\phi 25_{-0.021}^{0.031}$ 圆形型孔，第二道工序采用精冲复合成形工艺，完成压制凹槽、弯形和精冲齿形型孔。

如图 9-58 所示为汽车座椅角调器靠背齿板精冲成形模，此模具是一套两工位精冲成形模。第一工位是完成 $\phi 25_{-0.021}^{0.031}$ 圆形型孔的成形，第二工位是完成压制凹槽、弯形和精冲齿形型孔的成形。

零件圆形型孔和齿形型孔的尺寸精度取决于圆形凸模 6 和齿形凸模 12 的刃口尺寸，

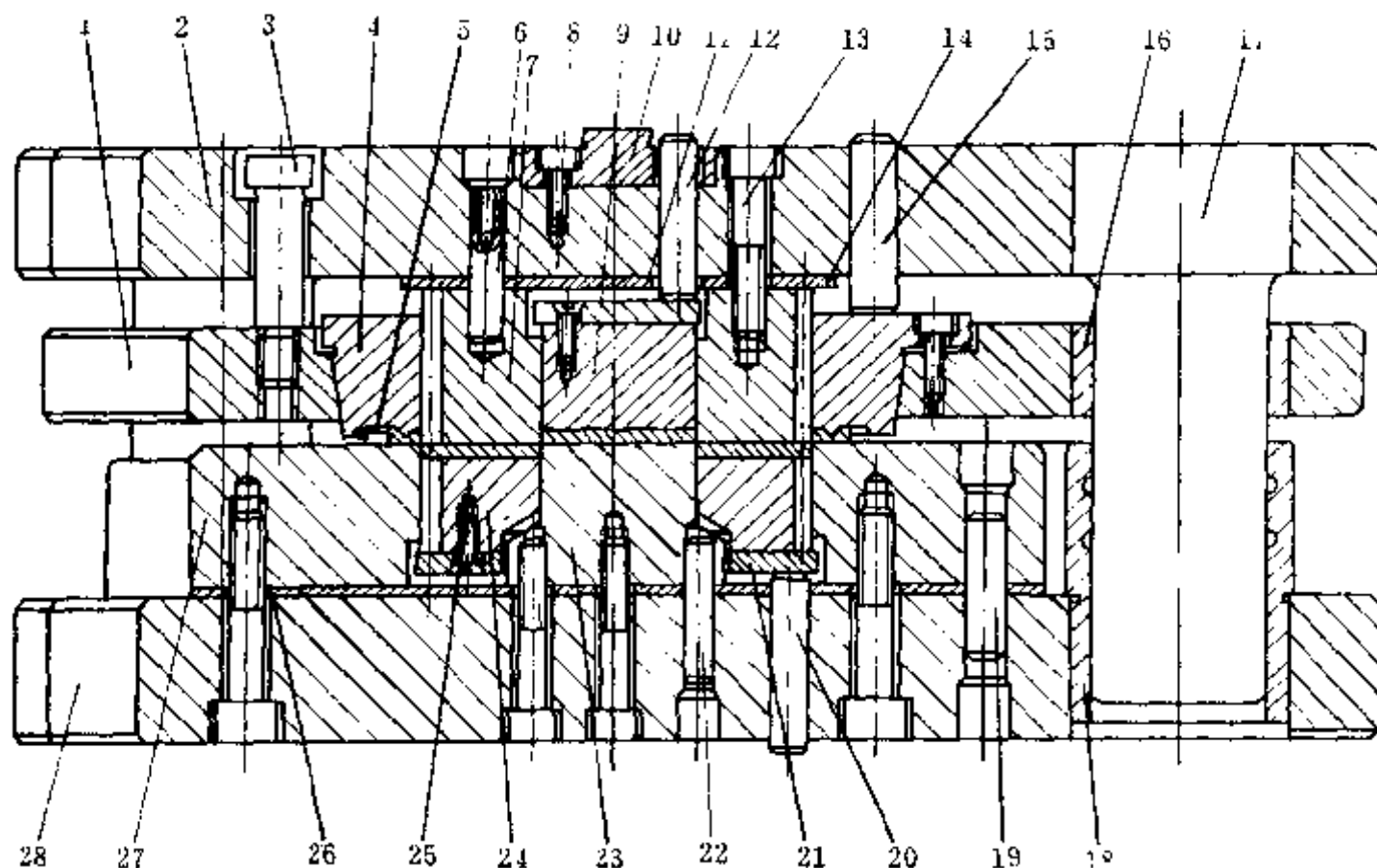


图 9-54 摩托车从动链轮精冲模

1—齿圈压板固定体；2—上模板；3、8、13、25—螺钉；4—齿圈压板；5—挡料销；6、19、22—销钉；7—凸凹模；9—顶料器；10—模架定位器；11—顶料器限位板；12、15、20—顶杆；14—上垫板；16、18—导套；17—导柱；21—顶件器垫板；23—凸模；24—顶件器；26—下垫板；27—凹模；28—下模板。

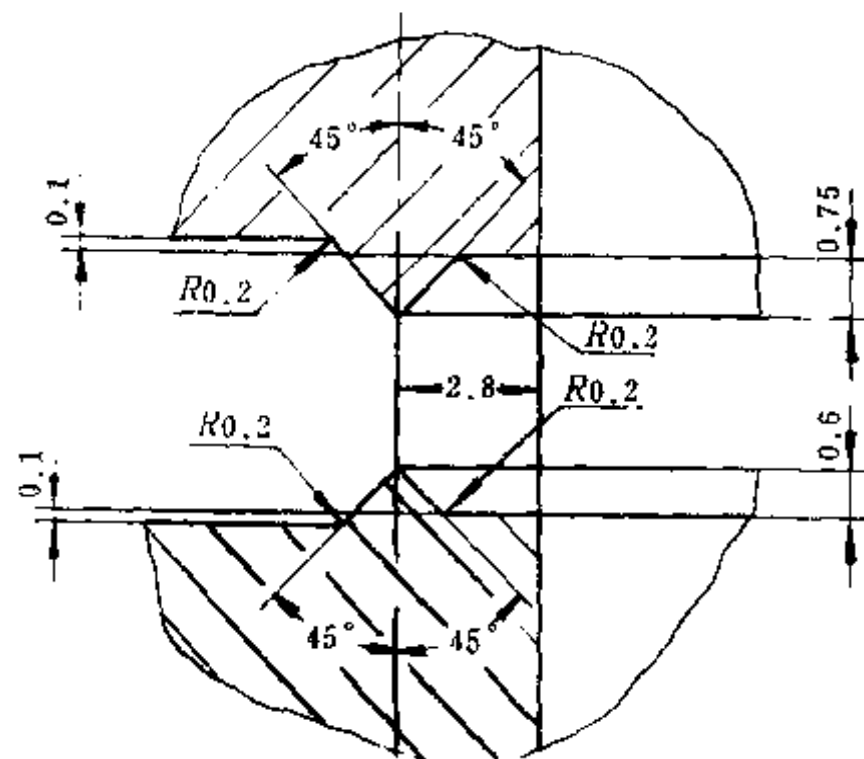


图 9-55 双面 V 形齿结构

刃口尺寸根据刃口尺寸计算公式计算。圆形凸模 6 与圆形凸模固定板 4、齿形凸模 12 与齿形凸模固定板 14 的配合采用过盈配合，压装后，使之分别构成两个组合件，组合件用

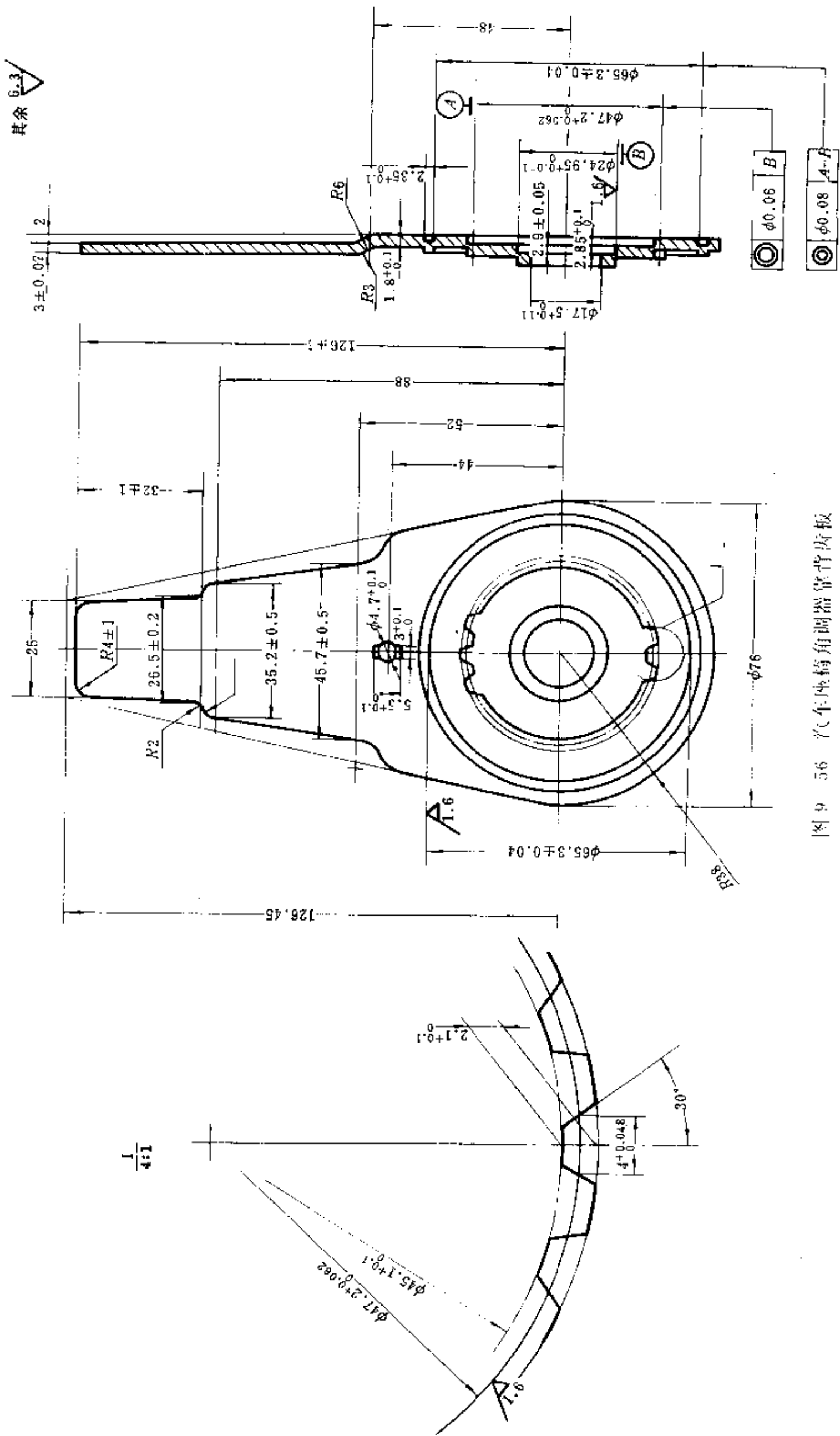


图 9 56 汽车座椅角调整器靠背衬板

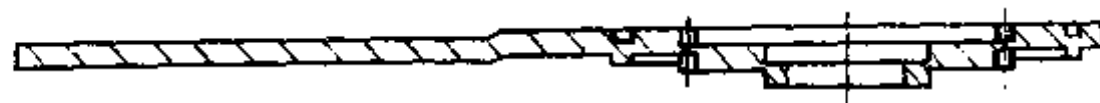


图 9-57 靠背齿板精冲成形工序图

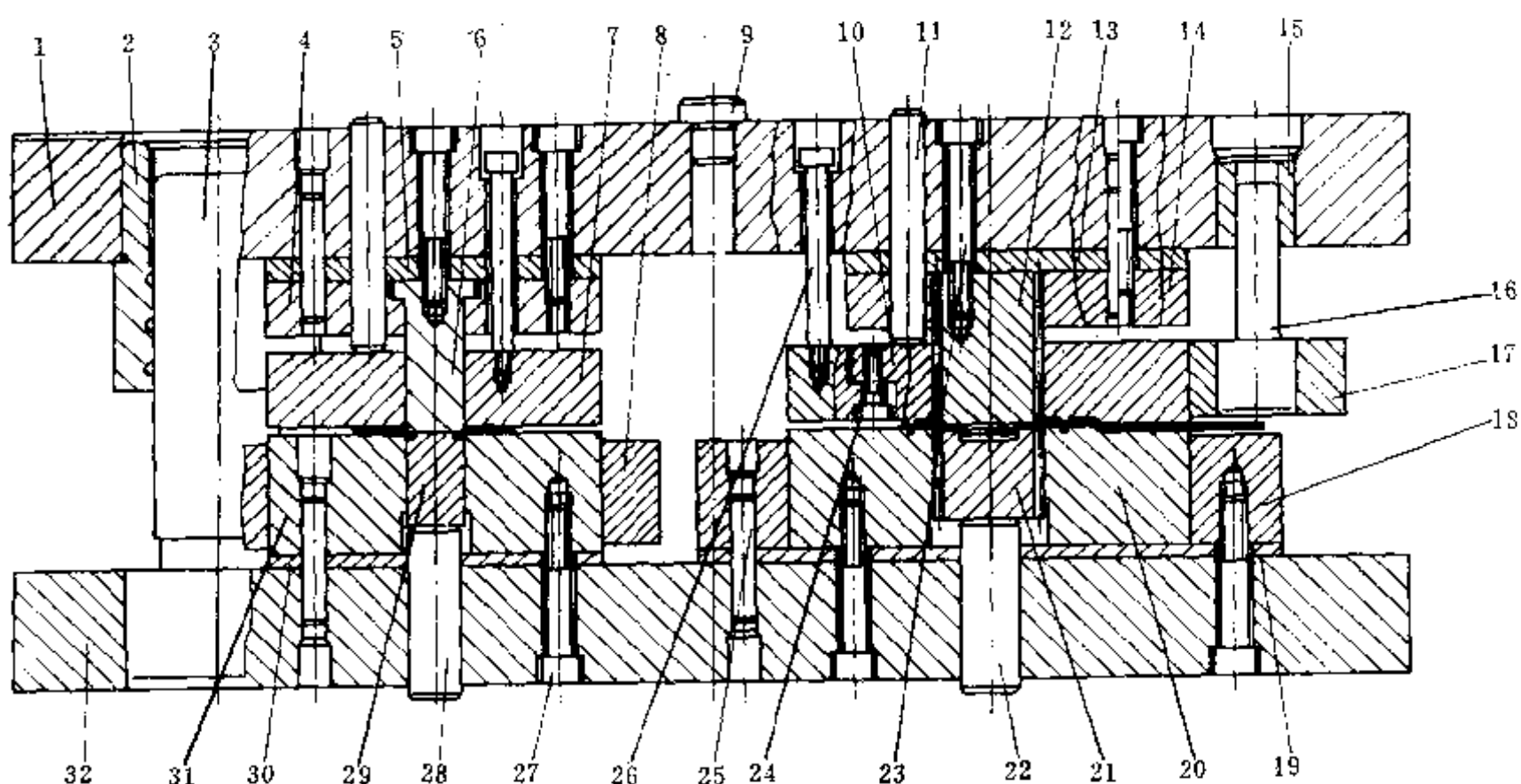


图 9-58 汽车座奇角调器靠背齿板精冲成形模

1—上模板；2—导套；3—导柱；4—圆形凸模固定板；5、13、19、30—垫板；6—圆形凸模；7—平压板；8、18—预紧圈；9—模架定位器；10—方形齿压板；11、22、28—顶杆；12—齿形凸模；14—齿形凸模固定板；15—小导套；16—小导柱；17—方形齿压板固定体；20—齿形凹模；21—齿形顶件器；23、24、26、27—螺钉；25—销钉；29—圆形顶件器；31—圆形凹模；32—下模板。

销钉定位，螺钉固紧。

圆形凹模 31 和齿形凹模 20 的刃口尺寸分别按圆形凸模 6 和齿形凸模 12 的实际刃口尺寸配制，配制间隙为负间隙 $0.04 \sim 0.06 \text{mm}$ 。齿形、凹模 20 上不仅有精冲齿形型孔的形腔，而且还设计有压制凹槽和弯形的形腔。为了提高模具强度和更换方便，在圆形凹模 31 和齿形凹模 20 的外圆上分别增设了一个预紧圈。

精冲圆形型孔的齿圈压板采用平压板，平压板 7 由圆形凸模 6 导向，配合间隙为 $0.05 \text{mm} \sim 0.1 \text{mm}$ 。精冲齿形型孔的齿圈压板采用方形齿压板，方形齿压板 10 与方形齿压板固定体 17 构成一个组合件，由小导柱 16 滑动导向。方形齿压板不仅起精冲齿形型孔工序中的齿圈压板的作用，而且还充当弯形和压制凹槽的凸模。

模具中齿形顶件器 21 和圆形顶件器 29 不仅起顶件作用，而且还起毛坯定位的作用。模具的工作过程如下：

毛坯放进模具定位后，精冲机下工作台上升，首先是第二工位的方形齿压板 10 和齿形凹模 20 对毛坯进行弯形和压制凹槽，成形结束时，第一工位的平压板 7 和圆形凹模 31 也将毛坯压紧。精冲机的下工作台继续上升，第一工位中的圆形凸模 6 和第二工位中的齿形凸模 12 同时切入毛坯材料，直至达到制件型孔的深度尺寸。

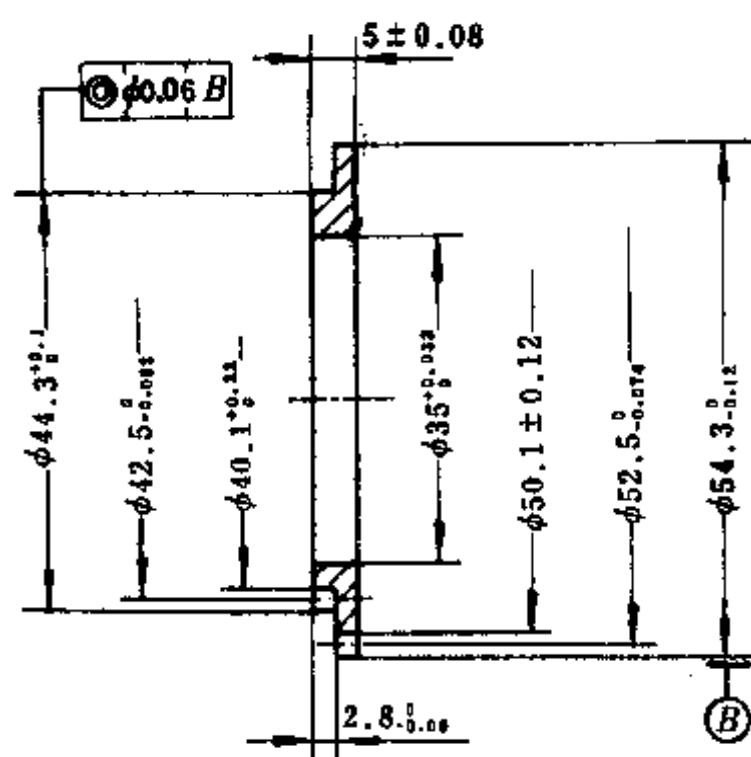
模具第一工位精冲圆形型孔时，由于毛坯的搭边余料很大，外部材料对内部材料的约束很强，限制了材料向外流动。另一方面，由于模具采用负间隙和圆形凹模 31 刃口倒有小圆角，因此，用平压板 7 压紧材料也能使毛坯材料在冲裁区附近建立很强的三向压应力场，冲制出切面光洁的制件。

模具第二工位精冲齿形型孔时，方形齿压板 10 上的方形齿压入毛坯材料，起到齿圈压板的作用，它也能冲制出切面光洁的制件。

成形完毕，模具开启，精冲机上油缸向下推顶杆 11，平压板 7 和方形齿压板 10 分别将制件从圆形凸模 6 和齿形凸模 12 上推出。然后精冲机下油缸向上推动顶杆 22、28，圆形顶件器 29 和齿形顶件器 22 向上将制件从圆形凹模 31 和齿形凹模中顶出。

例四 双齿轮精冲复合成形模

如图 9-59 所示为双齿轮，它是一个双联齿轮，直径大的齿轮齿数为 21，直径小的齿轮齿数为 17。双齿轮的结构形状复杂，齿轮尺寸精度高，采用其它工艺方法加工难度大，而用精冲复合成形工艺可一次成形双齿轮的齿形，达到其尺寸精度和同轴度要求。



齿形号		I	I
模数	m	2.5	2.5
齿数	z	17	21
压力角	α_0	20°	20°
分度圆直径	d_0	42.5	52.5
全齿高	h	2.1	2.1
齿顶高	h_a	0.9	0.9
分度圆弦齿厚	s	3.927	3.927
测量圆棒直径	dp	4.8	4.8
M 值		49.813	59.888
齿轮精度等级 GB100095-88		11 ($\begin{matrix} 0.113 \\ 1.433 \end{matrix}$)	

图 9-59 双齿轮

如图 9-60 所示为双齿轮精冲复合成形模。该模具结构与前几例的模具结构相似，但由于此模具在精冲时还要进行墩挤成形，要求模具应有高的强度和刚度。因此，模具中凹模 5 和凹槽压板 7 外圆上均套有预紧圈。

凹槽压板 7 有两个作用，第一个作用是作为墩挤制件外圈齿形的凸模，第二是起精冲制件内圈齿形的齿圈压板的作用。

双齿轮精冲复合成形模的工作过程如下：

坯料送进模具后，模具闭合，凹槽压板 7 首先对坯料作用，促使坯料材料向外流入凹模 5 的外齿型腔，同时，凸模 20 对坯料进行精冲成形。

成形结束后，模具开启，凹槽压板 7 先将制件从凸模 20 上推出，然后，顶件器 22 将制件从凹模 5 中顶出。

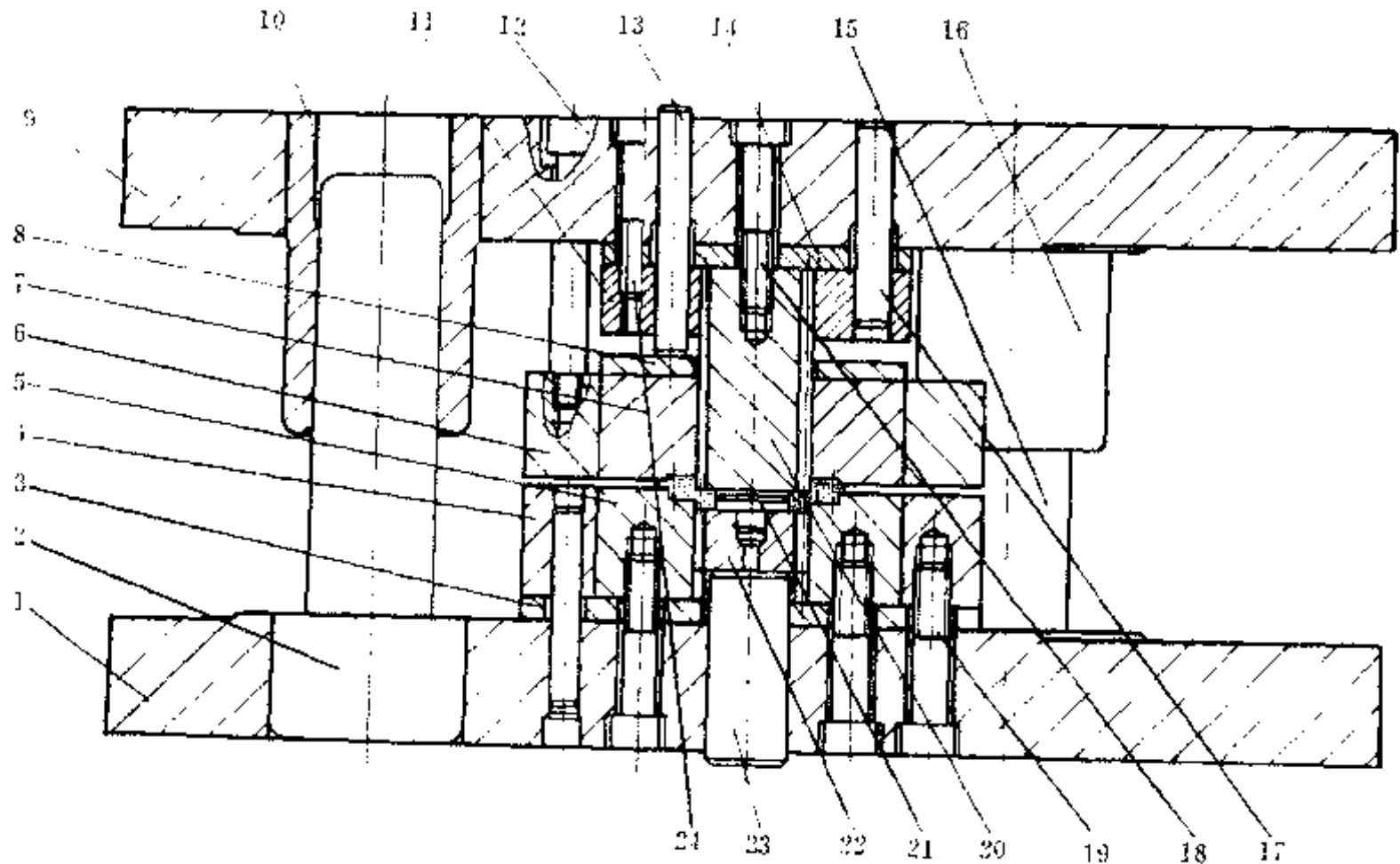


图 9-60 双齿轮精冲复合成形模

1—下模板；2、15—导柱；3、8、14—垫板；4、6—预紧圈；5—凹模；7—凹槽压板；9—上模板；10、16—导套；11—凸模固定板；12、18、19、24—螺钉；13、23—顶杆；17—销钉；20—凸模；21—定位销；22—顶件器。

第十章 多工位级进模

第一节 概 述

多工位级进模是精密、高效、高寿命的先进模具之一。它不但生产率高，而且工件质量易于得到保证，操作安全；并节省模具、机床和劳动力，经济效益显著。

精密多工位级进模结构比较复杂，制造技术要求高，因而成本也较高；同时，对冲压设备及板料也有相应的要求，所以使用受到一定的限制。精密多工位级进模一般比较适用于材料厚度较薄的中小型冲压件，并要求有足够的生产批量，冲压设备通常较多采用高速压力机。

多工位级进模可分为：

一、冲裁多工位级进模

1. 冲落形式级进模

包括冲孔等冲裁工位而最后落料，如工位不多的冲孔落料级进模。

2. 切断形式级进模

包括冲孔等冲裁工位而最后切断，如图 10-1 所示冲孔、切口和切断级进模。

二、成形工序多工位级进模

1. 拉深多工位级进模

其模具结构及排样图如图 10-2 所示。

2. 弯曲等成形工序的多工位级进模

其模具结构及排样图如图 10-3 所示。

第二节 排样图设计

一、载体设计

在多工位级进模中，加工的材料为带料。所谓载体，是指运送制件的物体。其作用主要是为消除或减少带料在各工位变形时所产生的相互影响，而将制件运送到各工位进行冲裁、弯曲、翻边、拉深、成形等，并能使制件始终保持送进稳定、定位准确。根据制件形状、变形性质及料厚等情况，载体可分为不同的形式。

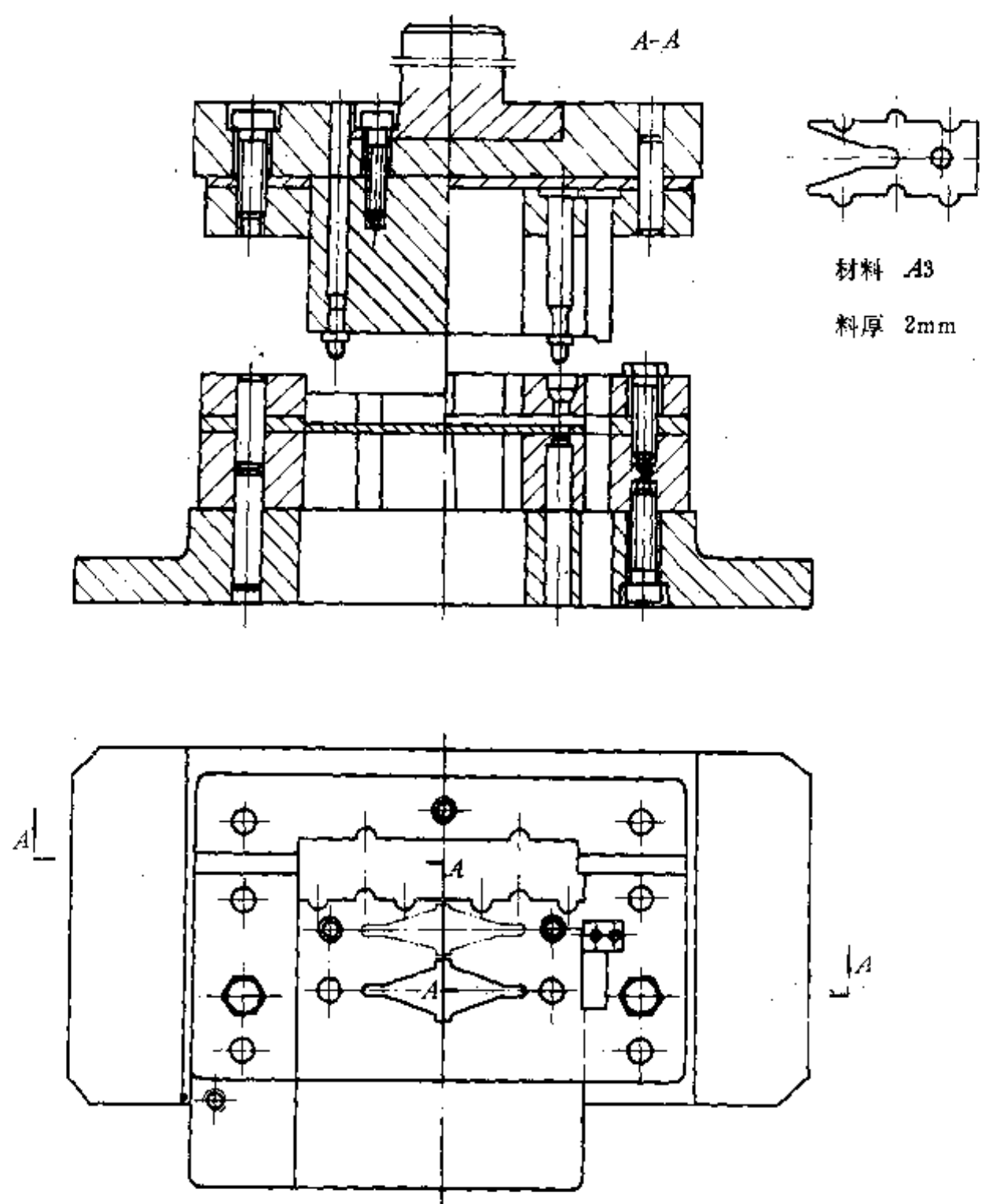


图 10-1 冲孔、切口和切断级进模

1. 边料载体

这种载体是利用在制件的边废料上冲出导正孔，以此定位进行拉深、弯曲等成形工序。这种方法简单、可靠、节省材料，因而应用广泛。多用于料厚等于或大于 0.2mm，步距大于 20mm，可以在废料上冲导正孔的各种条料。如图 10-4 所示为浅拉深成形边料载体。

2. 中部留料载体

它是沿带料上制件毛坯四周切去大部分材料，只在带料宽度方向的中部留少许连接材料，如图 10-5 所示。

3. 双侧留料载体

这种载体只在带料两侧留少量材料，如图 10-6 所示。适宜于料薄而较长（即需较宽带料）制件的级进冲压。

4. 单侧留料载体

这种载体只在带料一侧留少量材料。这种载体刚性较差，适宜于料厚在 0.3mm 以上

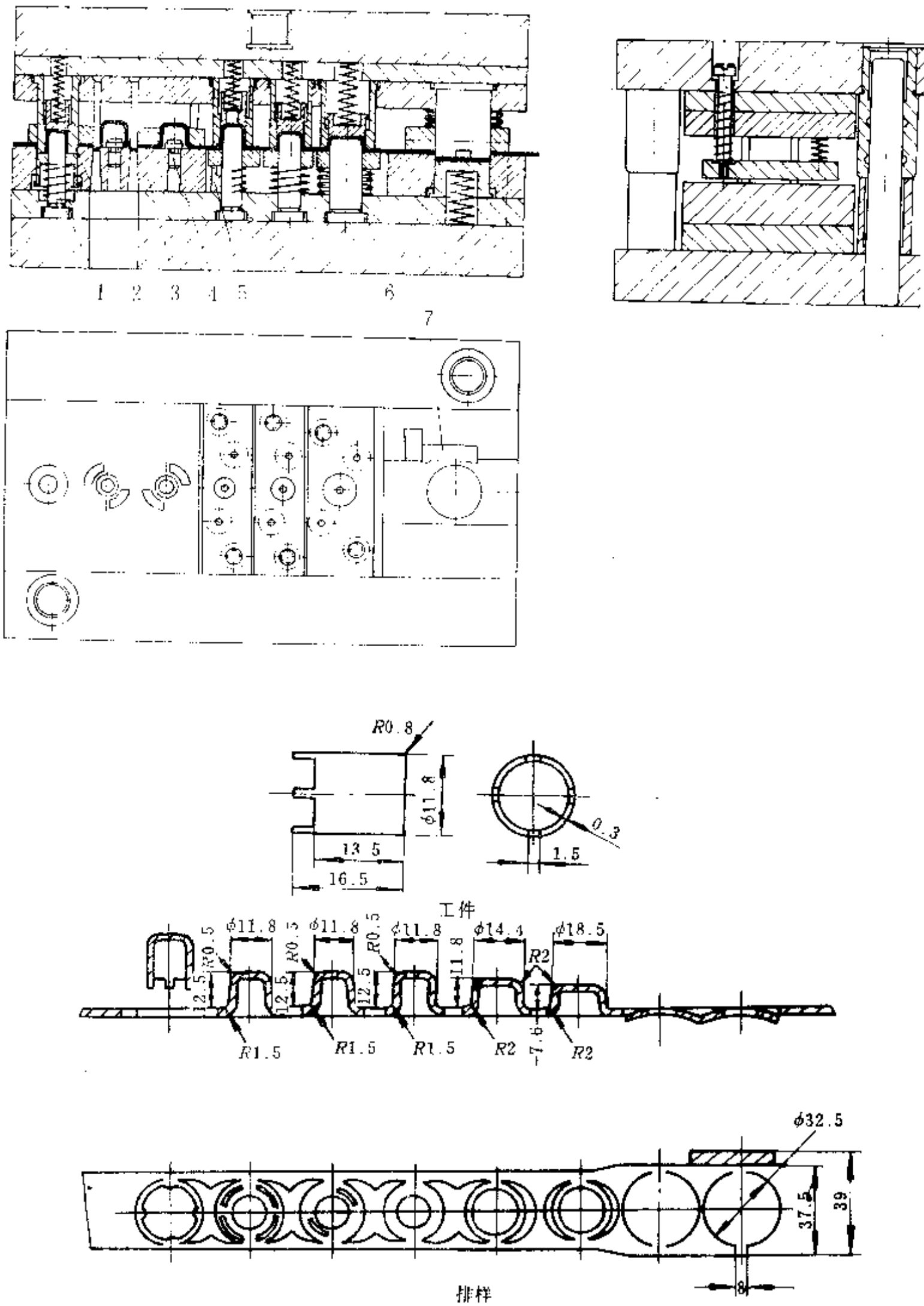


图 10-2 筒的级进拉深模

1—凸模；2—凹模；3—侧模；4—定位销；5—限位块；6—切边凸模；7—侧刃。

或者料虽薄但较短（即带料宽度方向较窄）制件的级进冲压，如图 10-7 所示。

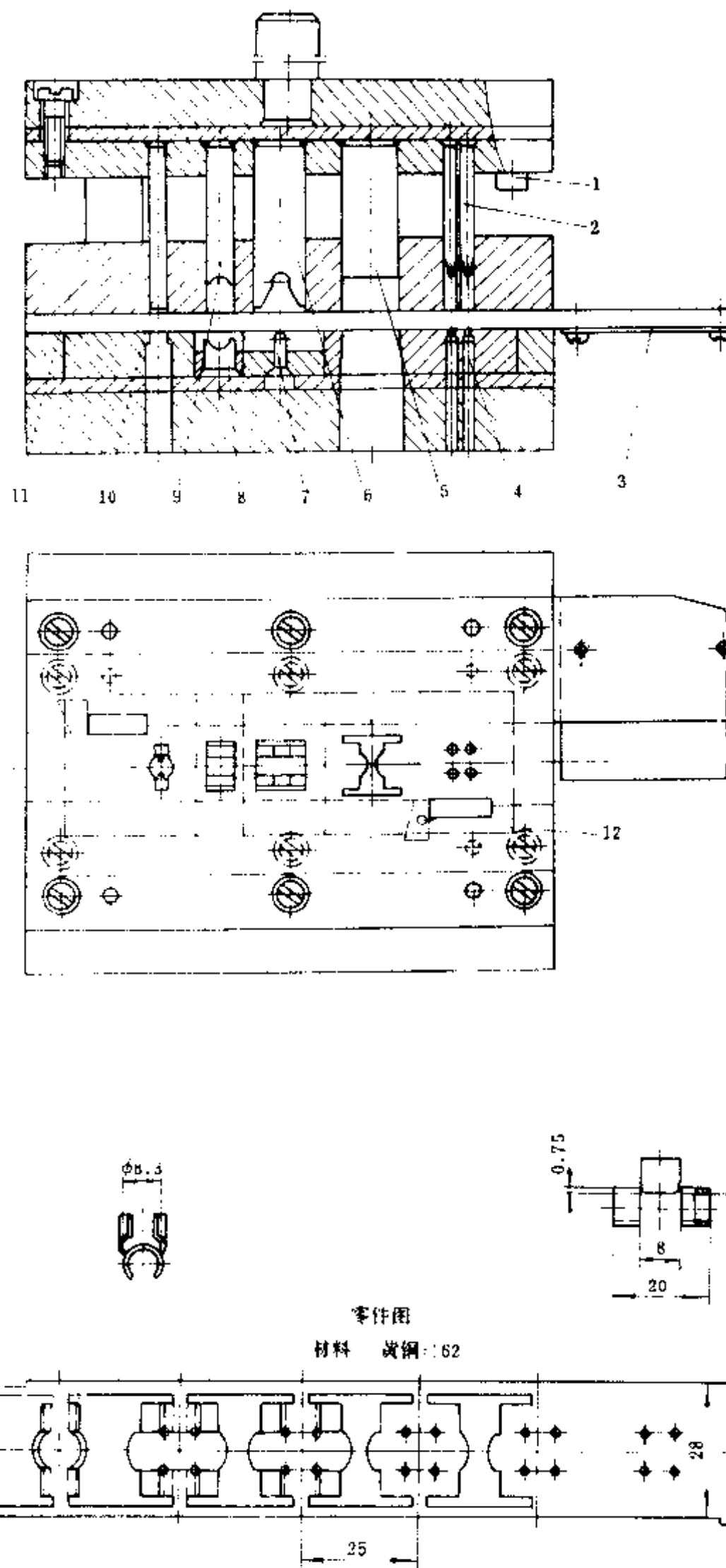


图 10-3 冲裁弯曲级进模

1—限制块；2—冲孔凸模；3—托板；4—冲孔凹模；5—冲裁凸模；6—成形凹模。

5. 加强载体

在成形工序以前，在带料上切槽（或切缝）；或切去毛坯周围（相当于制件的展开形

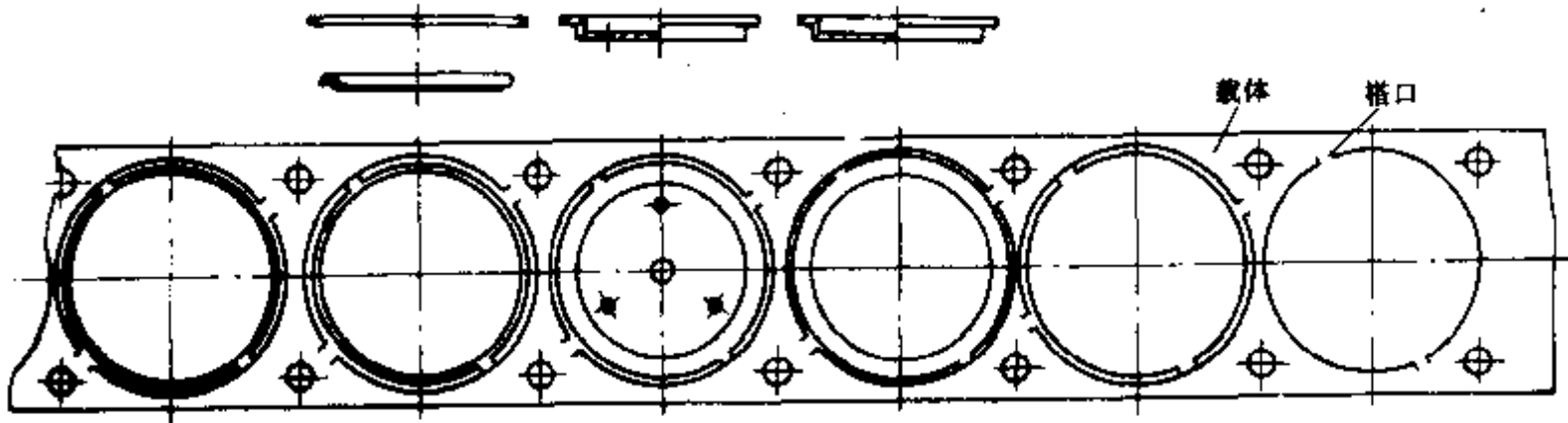
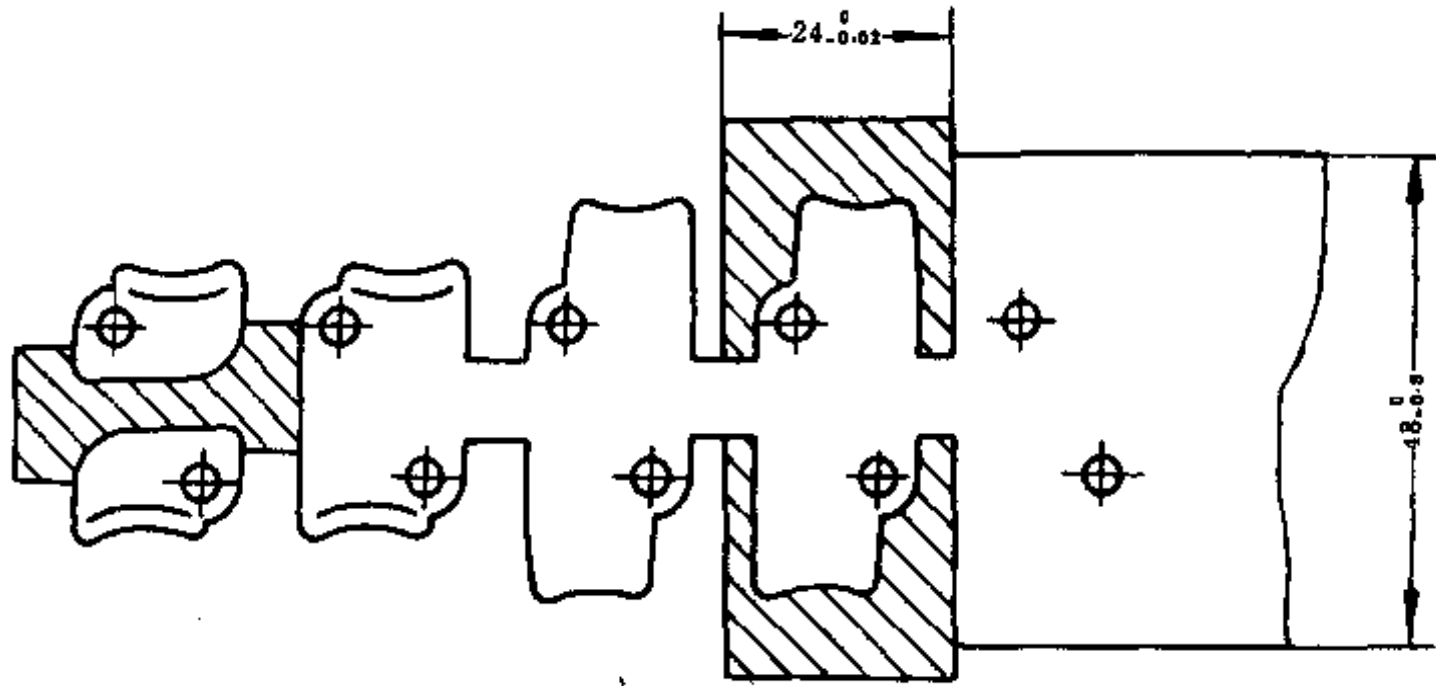


图 10-4 浅拉深成形边料载体



排样图

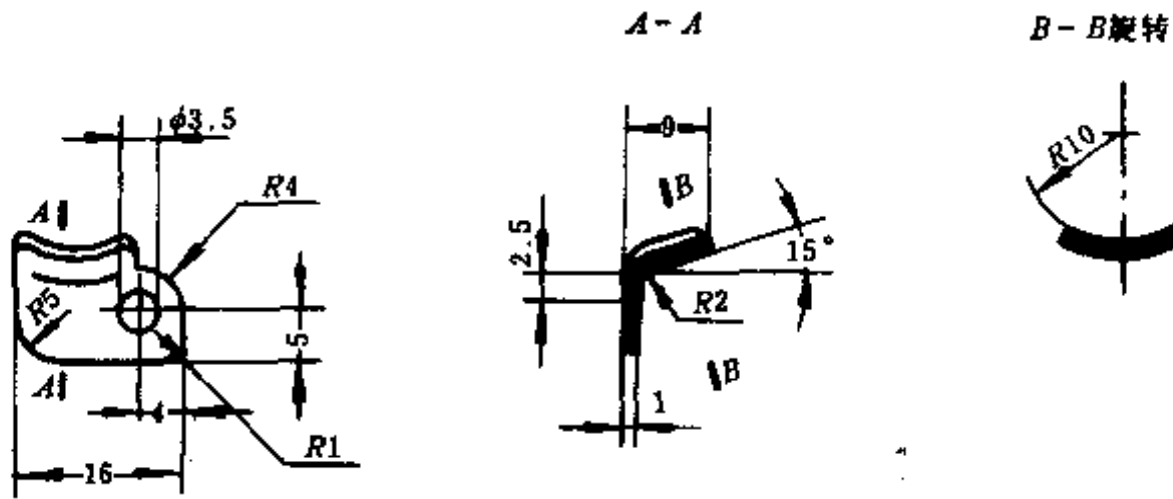


图 10-5 压线块简图及排样图

状)一部分材料,都会造成带料的刚性降低,直接影响送进的平稳和定位精度的下降,这种情况在料薄时表现得更为明显。为此,常有压筋加强式和翻边加强式两种加强载体出现,分别如图 10-8 和图 10-9 所示。

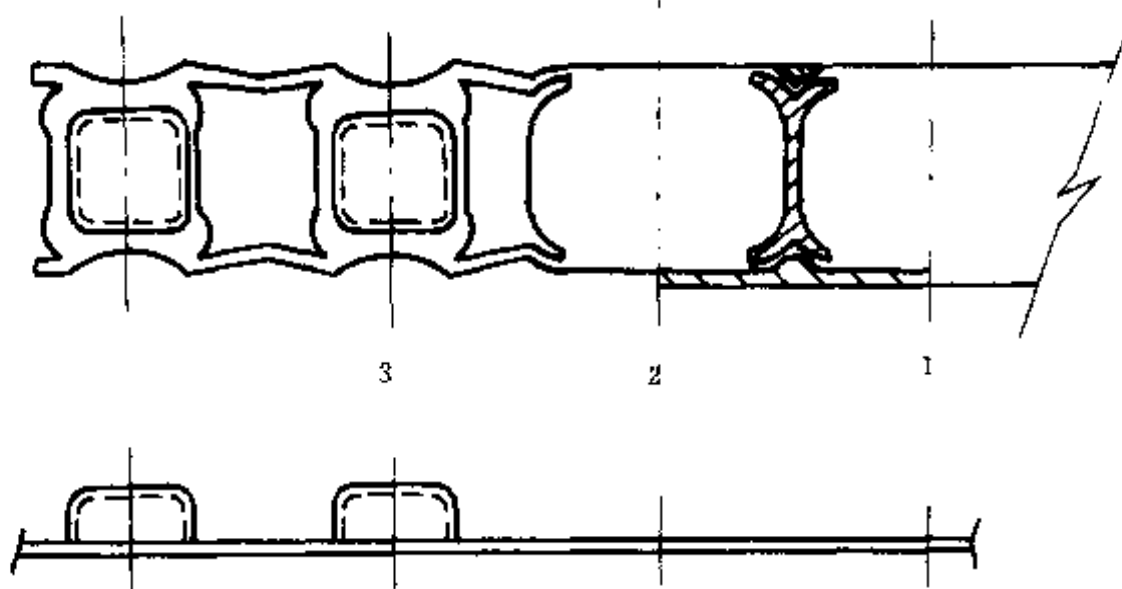


图 10-6 双侧留料载体
1—冲槽；2—空位；3—拉深。

二、条料的工序排样设计原则

多工位级进模的排样是指冲件（一个或数个）在带料上分几个工位冲制的布置方法。排样不同，材料的利用率、工件的制造精度、生产率、模具制造难易程度、使用寿命等都不同。级进模排样的确定与工件冲压方向、变形次序及相应的变形程度密切相关。其中变形次序与相应的变形程度往往在确定排样与变形方向的同时综合一起分析断定，同时还要结合模具制造的可能性和加工工艺性。因此，在设计排样时，应遵循以下原则：

(1) 首先合理确定工步数，级进模的工步数为分解的单工序之和。但有时为提高凹模的强度及便于凸模的安装，在排样时可设置空位，在此空位不对条料进行冲压加工，如图 10-10 所示的双插座零件排样图，在弯曲与成形之间设有空位。总之，工步数的确定原则是：在不影响凹模强度的原则下，工步数选得越少越好；工步数越少，累积误差越小，冲出的制件精度越高。

(2) 在设计排样图时，要尽可能考虑到材料的合理利用，尽量按少、无废料的排样原则，做到经济的排样，以节省原材料和降低工件的成本。如图 10-11 所示的焊片，若按图 10-12 所示的单排排样，要比图 10-11 所示的双排排样浪费材料。

在考虑排样时，还要考虑冲模制造的难易和操作的方便程度。一般地说，双排排样比起单排排样来要节约材料，但模具结构要复杂些。即便就以单排排样而言，排样时布局不同对操作的方便程度和材料的利用率也有差异。如图 10-13 所示按 (c) 图的排样较按 (a) 图的排样就节约原材料 20% 左右；不仅如此，而且操作起来也比较方便。

总之，在排样图设计时应对比分析，按制件要求选择最佳排样方案。

(3) 合理的确定冲裁位置，即确定凹模形孔的正确分布位置。在确定时要充分考虑凹模的强度，防止形孔之间距离太近。形孔距离太远又会加大模具外形，浪费材料，模具也显得笨重，而且还会降低冲裁精度。如图 10-14 所示，冲裁位置若按图中 (b) 所示来确定，即 1、2 位置落料及 3、4 位置冲孔，就不如图中 (a) 所示的 1、6 位置落料及 3、

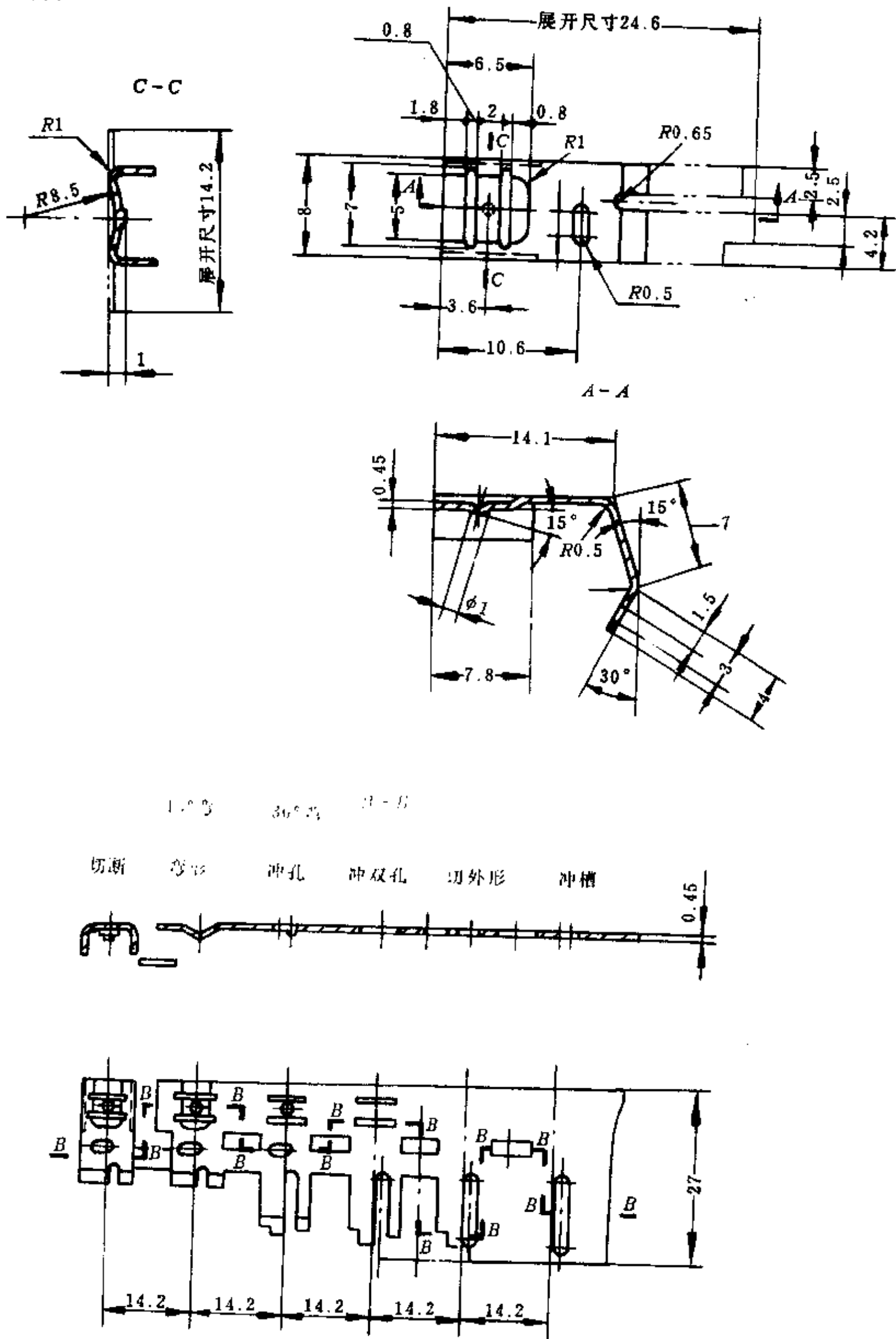


图 10-7 展条简图及排样图

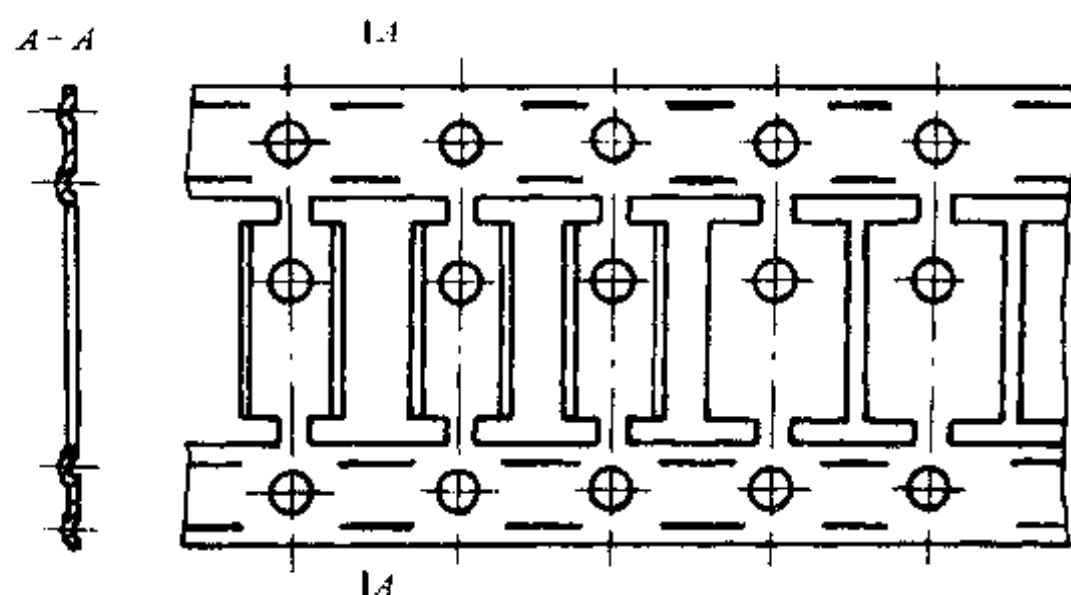


图 10-8 压筋加强式载体

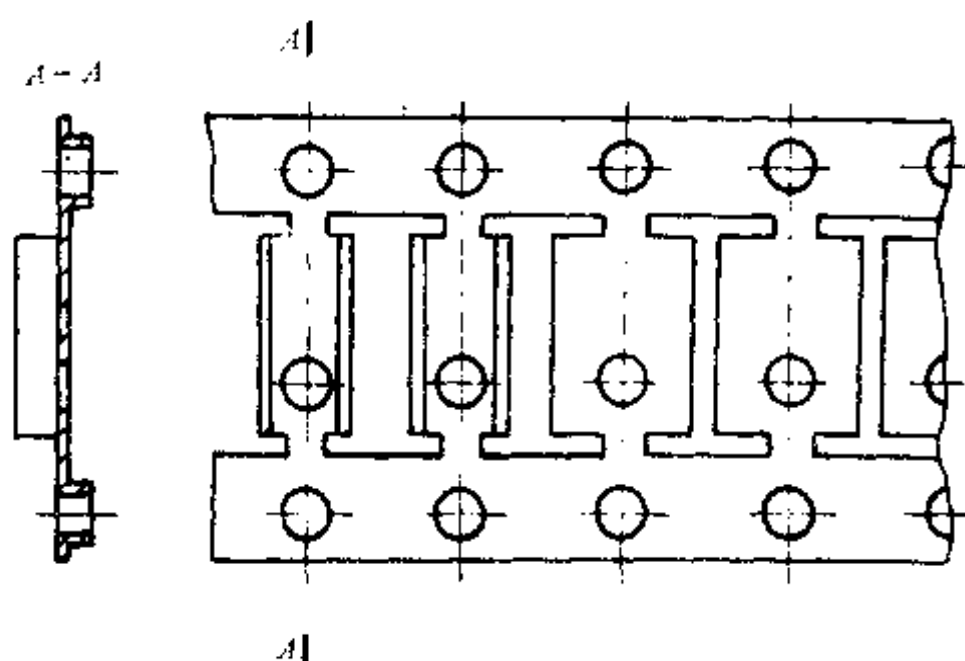


图 10-9 翻边加强式载体

8 位置冲孔好。图中 (b) 所示的冲裁位置，冲孔与落料凸模离得太近，给加工带来困难，而强度也比较低。若采用图中 (a) 所示的方案，尽管加大了冲模外形尺寸，但凹模强度高，加工也方便，模具寿命也长得多。

由上例说明：确定冲裁位置要比较分析，充分考虑影响冲裁位置的各种因素，才能作出较为正确的设计。

(4) 为保证材料送进的步距精度，必须设置导正销，在以后的工位中，在材料易于窜动的部位设置 3~5 只导正销。至于导正销的位置，尽可能设在废料中，这样可选用尺寸较大的导正销。

(5) 在冲孔与落料工序次序安排时，应把冲孔工序放在前面，在保证带料直接送进时，可借助冲好的孔作为导正定位孔，以提高工件精度；如果工件上没有孔，也可在凹模的首次工位中设计工艺孔以此作为导正孔定位。

(6) 工件上相对尺寸精度（如两孔位置、孔与外形）要求较高时，在不影响凹模强度前提下，尽量在同一工位中冲出，以保证产品质量。

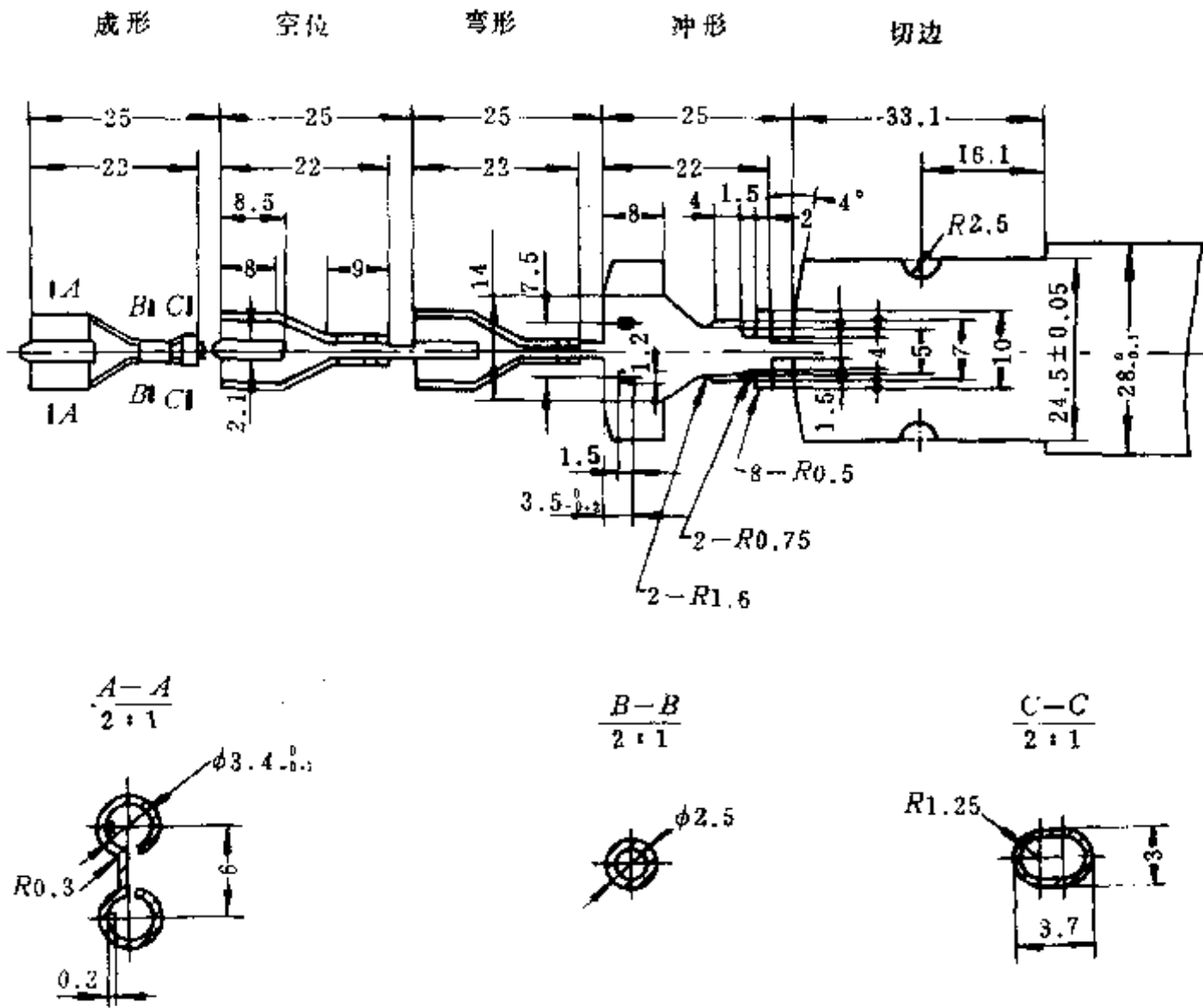


图 10-10 双插座零件排样图

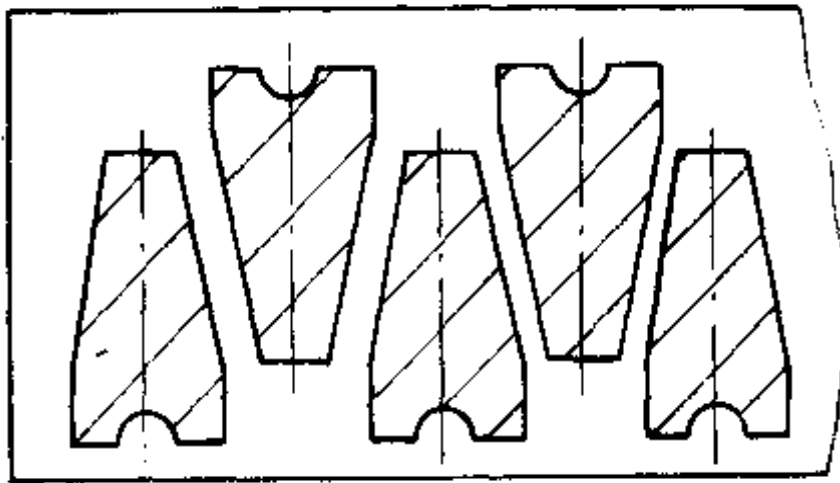


图 10-11 焊片双排排样图

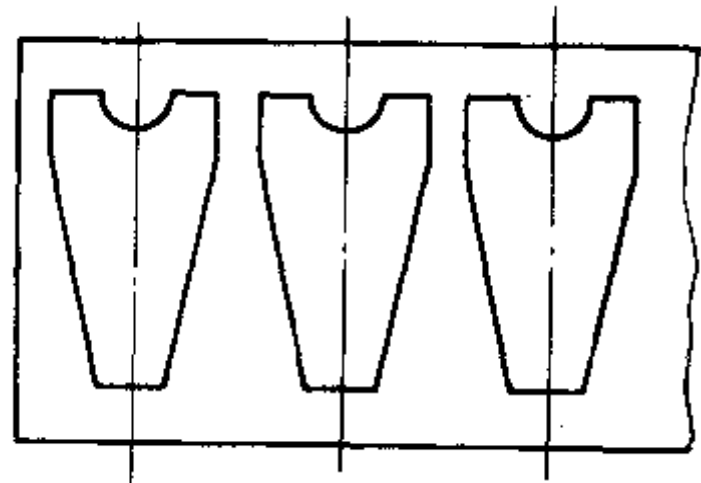


图 10-12 焊片单排排样图

(7) 在多工位级进模中，如冲孔、切口、切槽、弯曲、成形、切断等工步的安排次序，一般应把分离工序如冲孔、切口、切槽安排在前面；接着安排弯曲、拉深等成形工序；而对精度要求较高的拉深和弯曲件则应在成形工序后安排整形工序，最后安排切断或落料工序。

(8) 冲不同形状及尺寸的多孔工序时，尽量不要把大孔和小孔放在同一工步，以便修磨时能确保孔距精度。

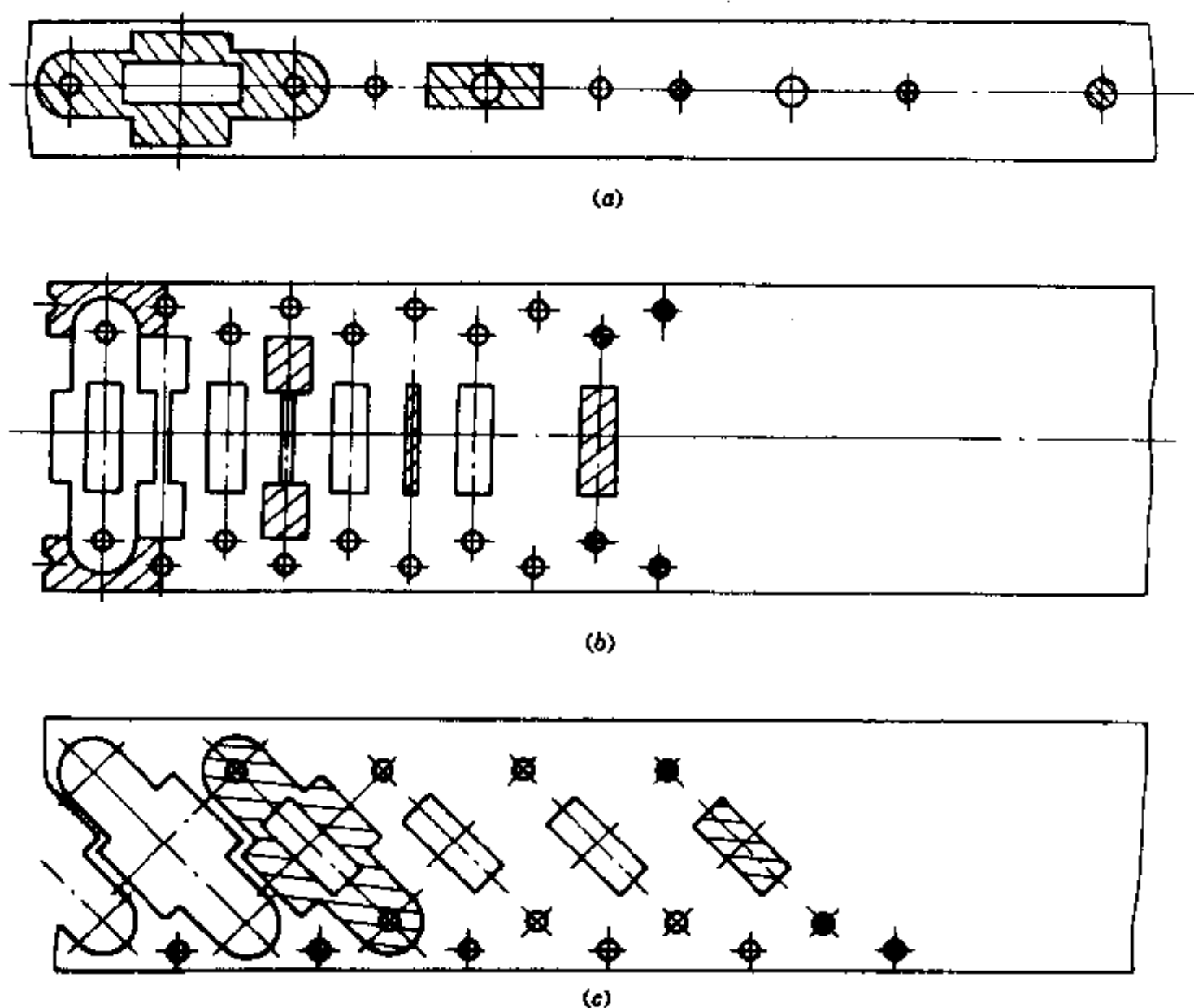


图 10-13 单排排样示例
(a) 纵排; (b) 横排; (c) 斜排。

(9) 为提高凹模强度及模具制作方便, 在冲裁形状复杂的制件时, 可将其分解为简单型孔分步进行冲裁。如图 10-15 所示电度表冲片, 由于其内形孔较多, 为增加凹模强度, 将其分三个工步连续冲裁, 其凹模结构如图 10-16 所示。

(10) 多工位级进模中弯曲件排样与外形尺寸及变形程度有一定关系。一般都以工件的宽度方向作为条料的送进方向。当宽度尺寸较小, 长度尺寸较大, 而工位数又较多时, 这种排料会减小送料不稳定。冲孔落料时更为突出, 而这时模具也不显得狭长, 操作也较为方便。如图 10-5 所示, 排料为双排并列, 一次两件。

第三节 多工位级进模结构设计

结构设计的基本要求:

- (1) 能连续稳定地工作并获得所需形状和尺寸精度的成形件。各凸、凹模装配上配合一致、自动送进步距正确、材料沿导向板能顺利移动;
- (2) 能减少成形件的精加工和二次加工。小孔、狭槽、窗口、花纹、文字等尽量由

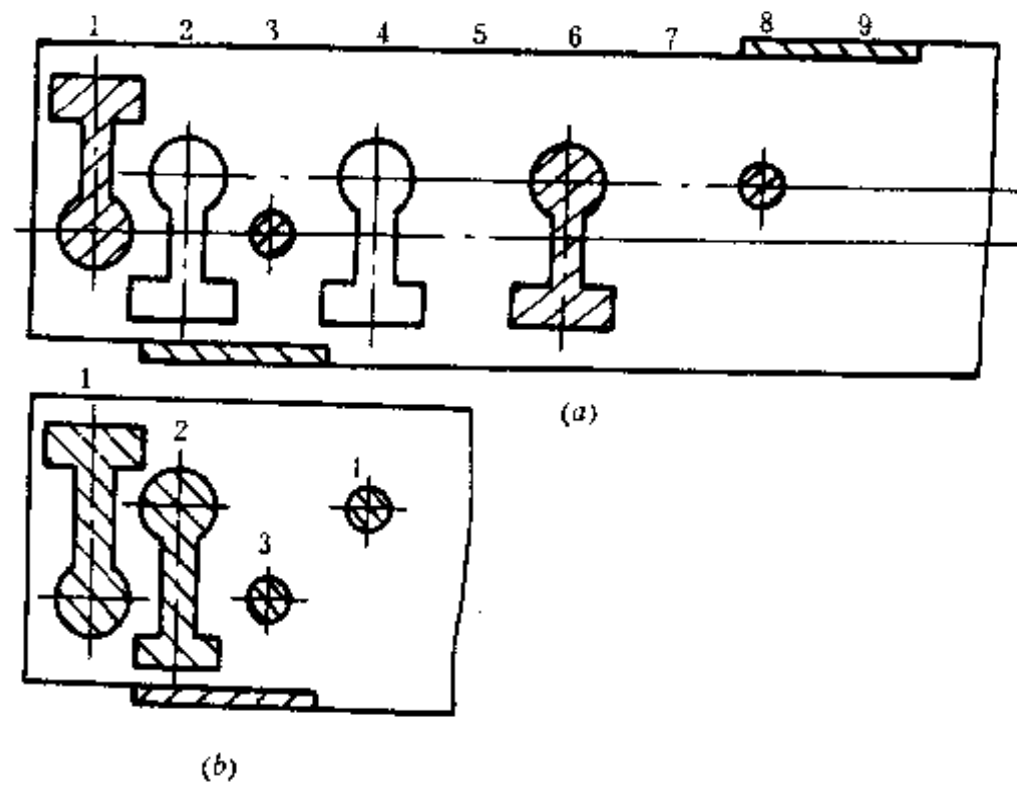


图 10-14 冲裁位置的确定
(a) 排样方案 (一); (b) 排样方案 (二)。

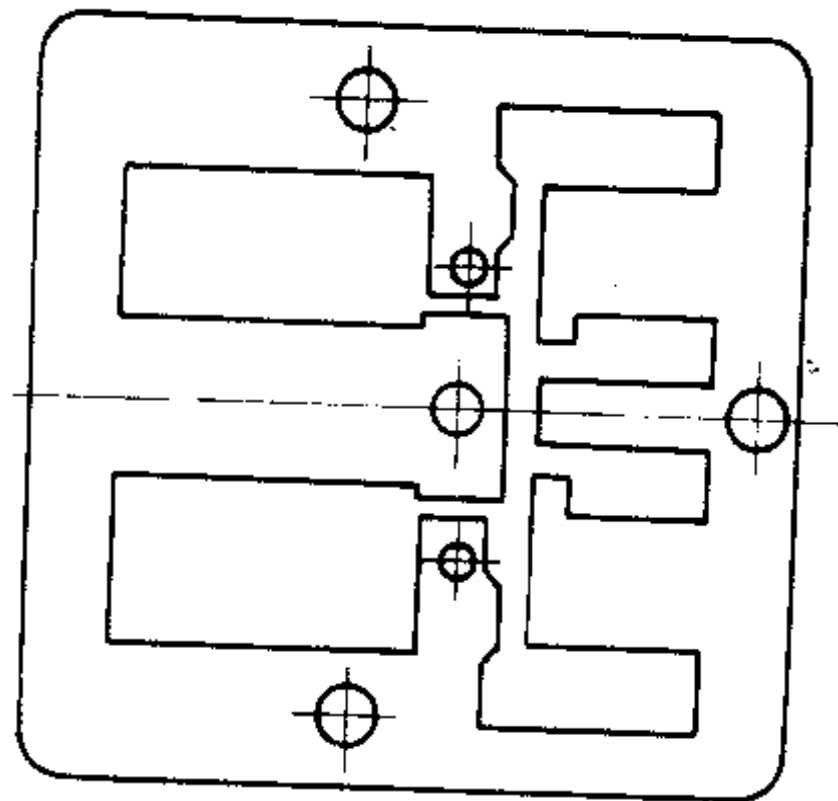


图 10-15 电度表冲片外形图

模具来完成;

(3) 成形效率高。有自动送料机构、成形工位安排合理、有防止废料或工件上升的措施及检测保护装置;

(4) 耐用性好。磨损小, 易损件可更换, 长期连续运转也不引起故障;

(5) 制造费用低。

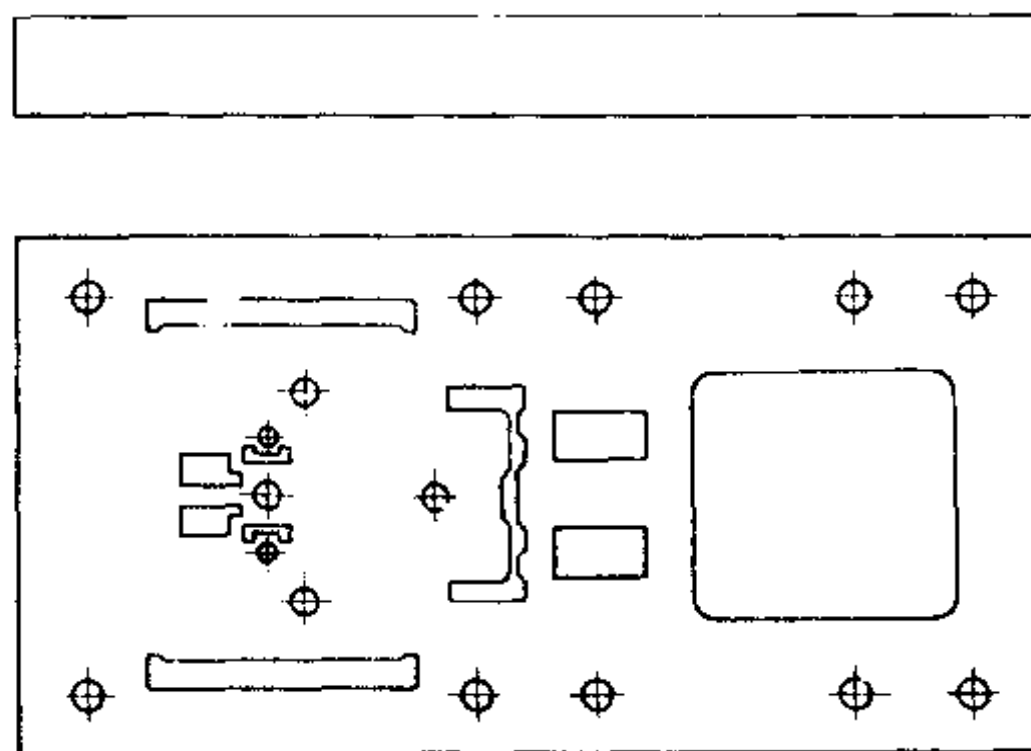


图 10-16 冲片的凹模结构

一、级进冲裁结构设计

在这里只介绍分断冲裁刃口的交叉延伸。一个复杂的轮廓，经过分解为几个简单的形孔，这些孔的刃口应尽可能地交叉延伸，这样就降低了前工位刃口与后工位刃口的接口要求。因延伸部分为不形成工件的刃口，因此可做成圆角，热处理条件得到改善，模具质量也易于得到保证。图 10-17 所示为 (a)、(b) 两个不同凹模孔型的设计，按照左边设计，其成形孔较复杂，将其分解为如右图的形孔，则较为简单。从图中阴影部分可

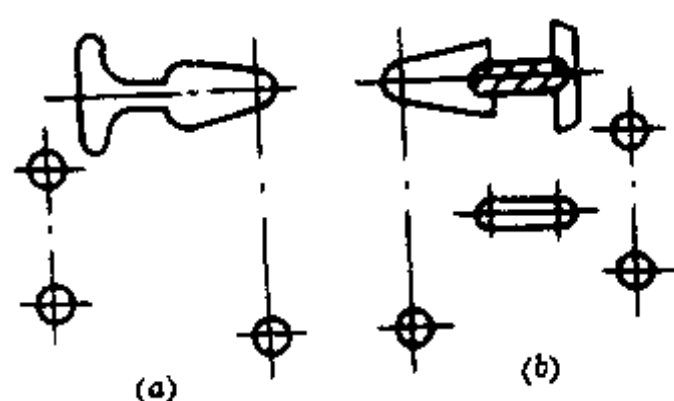


图 10-17 冲裁刃口交叉延伸
(a) 一次冲成型孔；(b) 分二次冲成型孔。

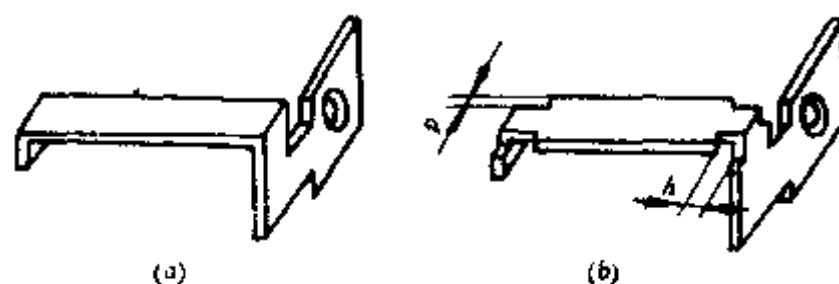


图 10-18 直线分段冲裁的过渡连接
(a) 原工件；(b) 用于分步冲裁改进的工件。

看到：前工位的腰圆形与后工位的孔是互相交叉延伸的，这样就便于凹模的制造。

还要指出：在分割冲裁时，要避免冲切直线或曲线的延续和重合，其目的是为防止次接处啃模。如需对同一直线进行分段冲裁，则应在分界处冲出凹槽，使之作为过渡连接，其结构如图 10-18 所示。图中， $p=0.2\sim 0.25\text{mm}$ ，当料较薄时，取小值，反之取大值。

$$h = (t + r + 0.5 \sim 1) \text{mm}$$

式中 t ——工件料厚 (mm);
 r ——工件弯曲角内半径 (mm)。

二、小孔冲裁模的结构

在级进模中冲小孔几乎是必不可少的工序，在模具结构上与普通冲裁模是有所不同的。它往往采用一种叫子模的形式，它相当于一副单工位模安装在主模架的关键工位上进行加工，使模具结构简化。在如图 10-19 所示的冲小孔的子模结构中，冲小孔子模是由件 1 与主模架定位。在件 10 (子模导柱) 下面装有顶块件 14，由主模架下模座中强力弹簧作用于件 14，实现上模的浮动。而凸模 7 中有 $\phi 0.25\text{mm}$ 的气孔，压缩空气经气管 9

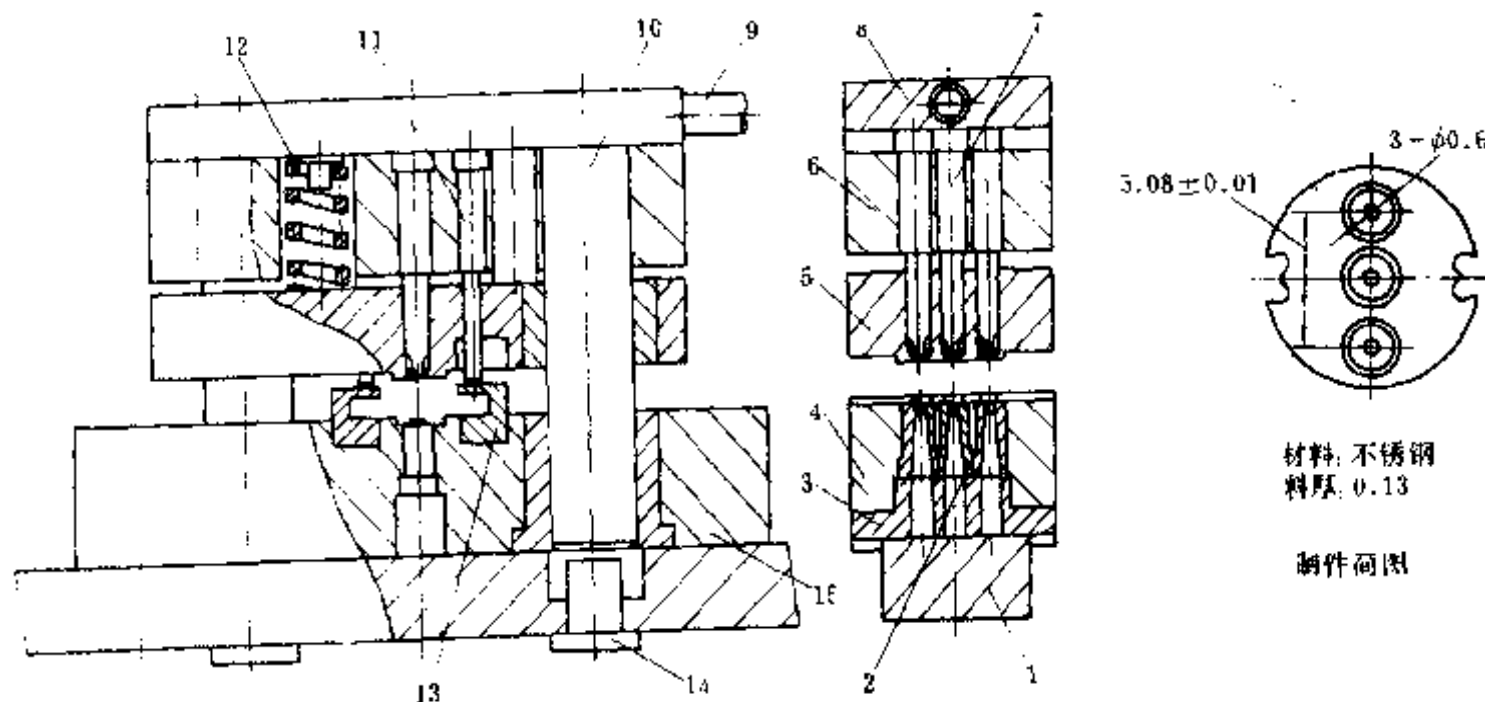


图 10-19 冲小孔的子模结构

1—定位键; 2—凹模; 3、8—垫板; 4—凹模固定板; 5—卸料板;
 6—凸模固定板; 7—凸模; 9—气管; 10—子模导柱;
 11—导正销; 12—卸料弹簧; 13—导板; 14—顶块; 15—导套。

和垫板 8 中的通气孔进入凸模，以防止废料回升。

根据制件的不同情况，可在一副级进模中安装多副子模进行加工，其中一副子模出现故障工作不良时，可随时停机将其取出加以维修。其中的定位键，可保证子模与主模定位准确，且装拆较为方便。

三、级进弯曲的结构设计特点

1. 正确确定冲裁和弯曲方向

多工位级进模在冲压加工时，其冲孔以及成形落料是分开在各工位进行的，在最后

工位才完成所需的形状。因此工件的塌角可能不在同一方向，有时会影响产品质量。

在级进模的弯曲工位上，弯曲方向朝上或朝下，必须相应改变模具的结构。弯曲方向朝上时，多采用斜楔滑块技术来完成所需的动作要求。如果是多次弯曲卷边，由于要在好几处设置滑块，所以要求模具上必须设有空位。在这种情况下，要在狭窄面上留出余地，以便安装斜楔滑块机构，使其能稳定进行滑动。

2. 分解弯曲成形时，加工材料面应始终保持与凹模面平行

在按工件的形状和精度要求将制件分解成多工位加工时，工件本体由顶料板和卸料板压在凹模面上保持静止，只有加工部分才可以活动。

3. 加工方向转化

级进弯曲工序往往需要从不同的方向对制件进行加工，因此需要将压力机滑块的垂直运动转化为凸模或凹模在不同方向的运动。完成这种转化是运用斜楔滑块机构。在这里要介绍几种典型工序的模具结构。首先介绍的是级进模中卷圆工序中用到的一种芯轴

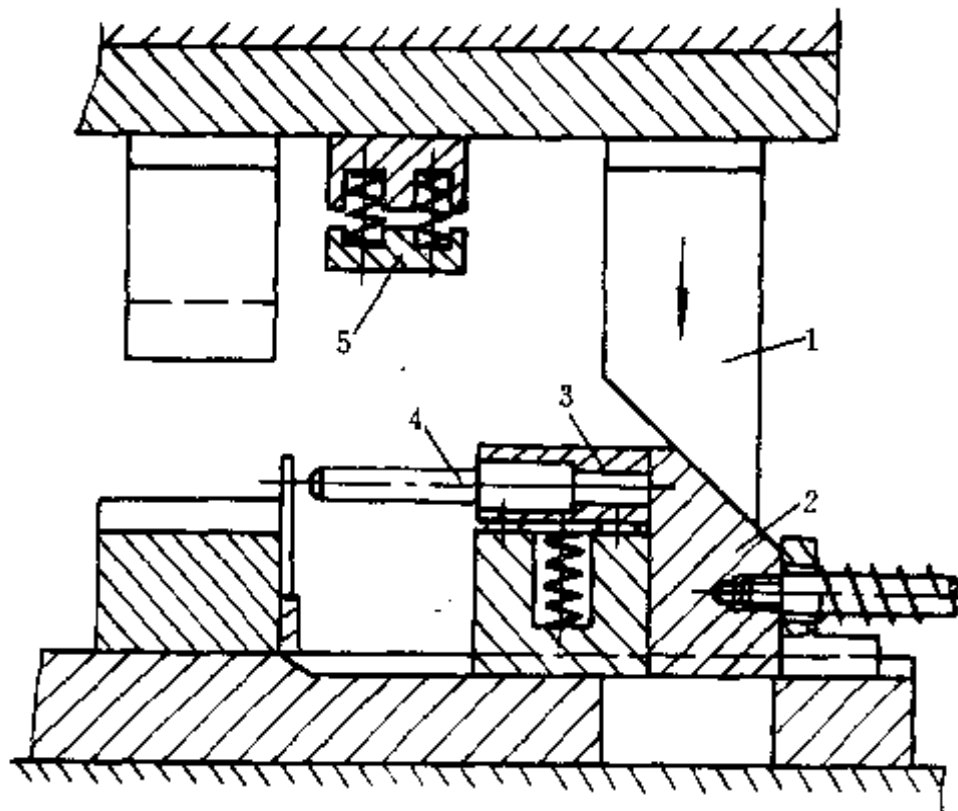


图 10-20 芯轴插入与退出模具结构

1—斜楔；2—滑块；3—芯轴座；4—芯轴；5—弹压板。

插入与退出的模具结构，如图 10-20 所示。

斜楔件 1 随压力机滑块下降而推动滑块 2 向左运动，此时弹压板 5 向下压紧芯轴座 3，使芯轴 4 处于加工位置，加工结束后，在弹簧力作用下，件 4 退回到原位。

这里要强调指出的是：级进模是以正确的送进步距来进行高速冲压的。使用芯棒往往会使模具结构复杂化，且芯棒自身动作也难以和每分钟的高速冲压次数相符，所以一般不使用芯棒而是将动作分解后使用滑块凸模来完成卷圆之类的加工。

再介绍一种常用的作用方向为反转结构的跷板式的斜楔结构形式（见图 10-21）。

在图示的结构中，滑块制成半圆形为好。亦可制成棒形，原理相同。

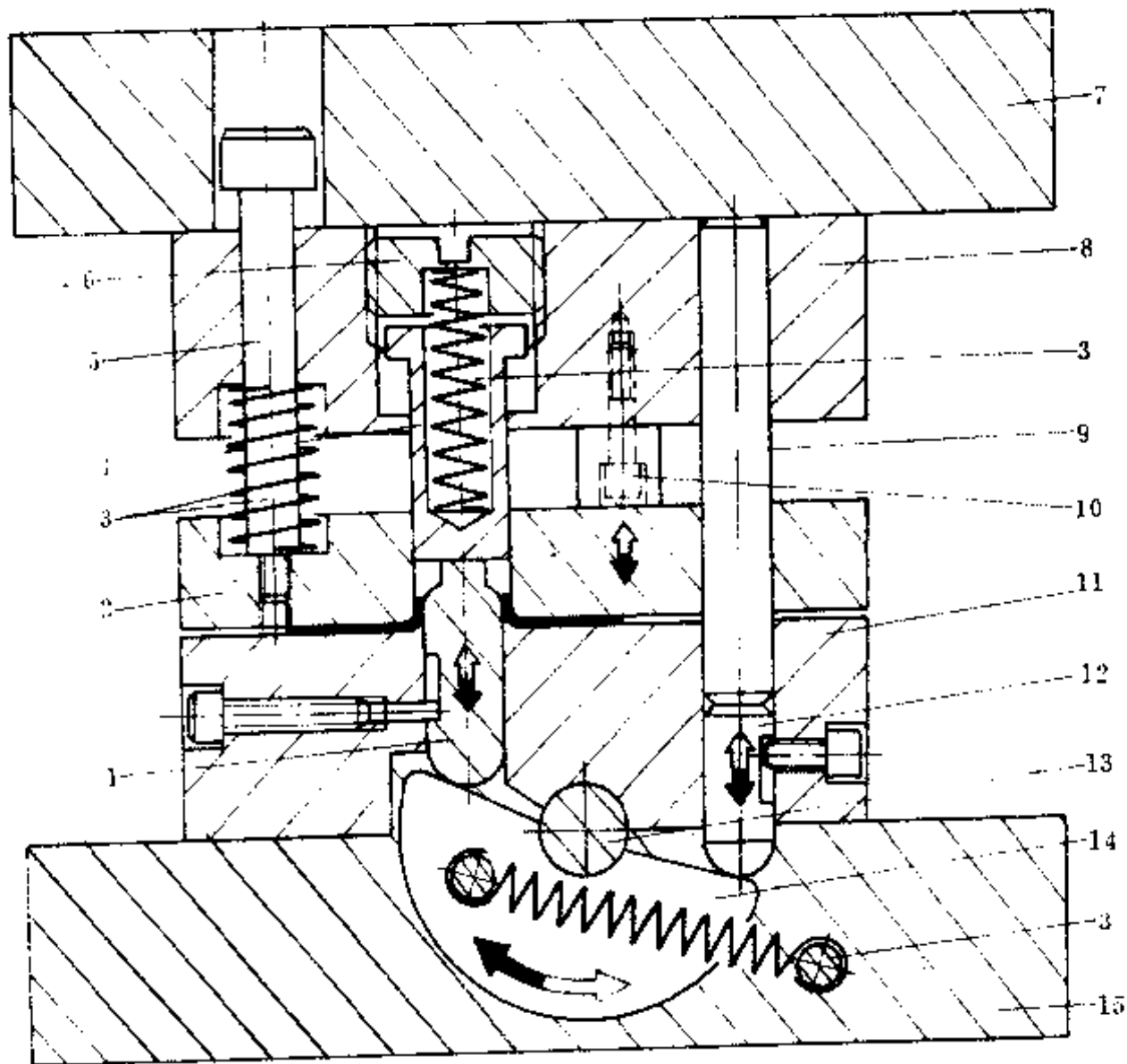


图 10-21 斜楔模结构

- 1—凸模；2—卸料板兼凸模；3—弹簧；4—打料销；5—螺栓；
6—螺钉；7—上模座；8—上模板；9—传动器；10—停止器；
11—下模板；12—滑销；13—轴；14—滑块；15—下模座。

四、级进拉深结构设计

级进拉深是多工序冲压加工中最典型的一种，它适合于外形尺寸60mm以内、板料厚度2mm以下的拉深制件加工。其特点是在带料上完成全部工序，每道工序半成品均不能与带料分离。因为带料不能进行中间退火，用于级进拉深的材料必须具有高塑性，H62、H68黄铜，08F、10F钢都适宜于带料级进拉深，LF21软铝合金和可伐合金(Ni29Co18)也可用于级进拉深。

在带料上作级进拉深有两种：即在整体带料上的拉深(见图10-22a)和在有切口或切槽的带料上拉深(见图10-22b)。

采用级进拉深的方法，应首先对材料不进行中间退火所能允许的最大总拉深变形程度(即允许的总拉深系数)是否能满足拉深件总拉深系数的要求进行核对。

拉深件的总拉深系数可按下式计算

$$m = d/d_0 = m_1 m_2 m_3 \cdots m_n$$

式中 m ——级进拉深件的总拉深系数；

d ——工件直径 (mm)；

d_0 ——坯料直径 (mm)；

$m_1, m_2, m_3 \cdots m_n$ ——各次拉深系数。

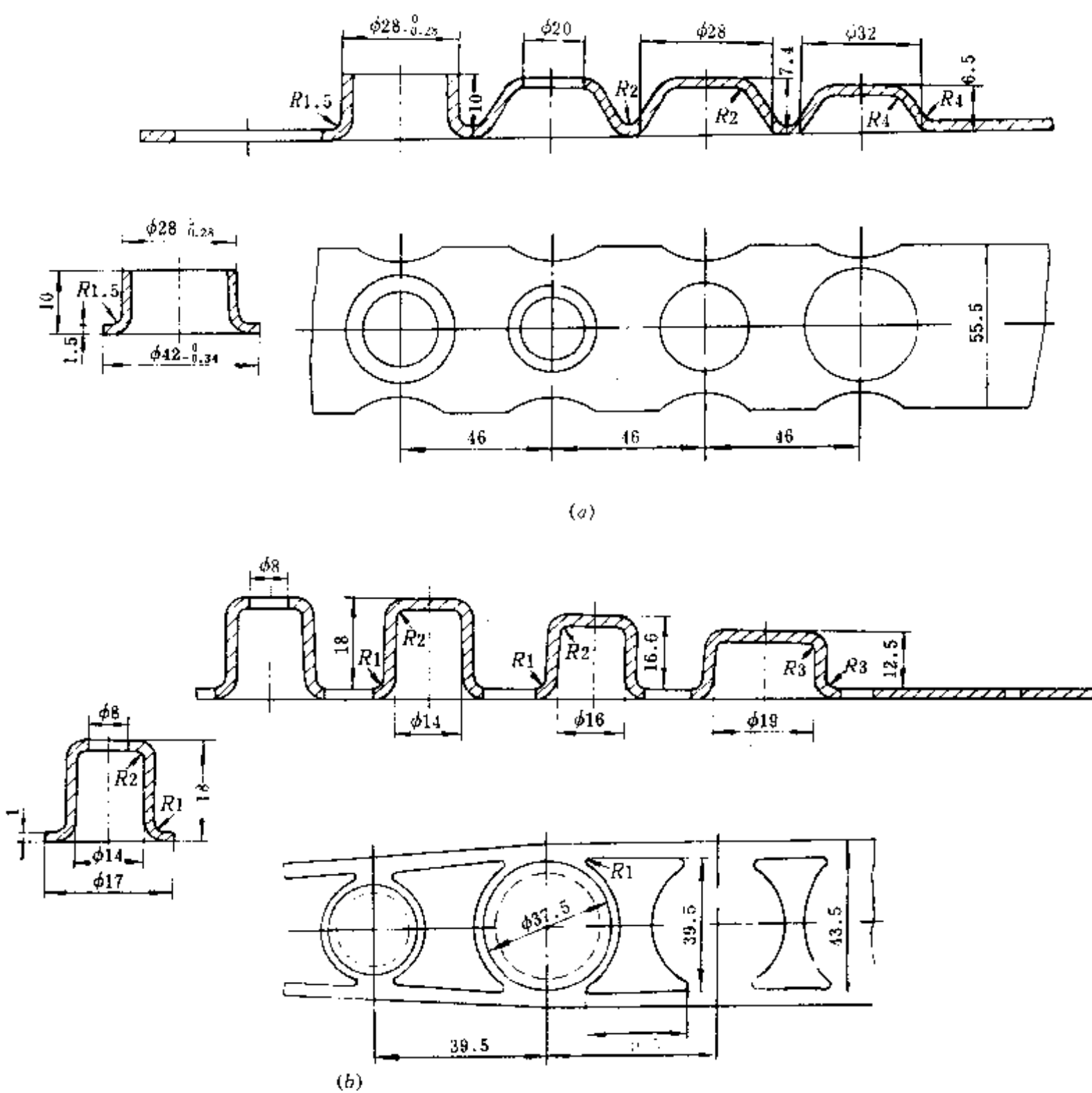


图 10-22 带料级进拉深

(a) 无工艺切口；(b) 有工艺切口。

材料的极限总拉深系数列于表 10-1。若计算出来的总拉深系数 m 小于表中数值时，则必须重新选择材料或其他加工工艺方法。

表 10-1 级进拉深的极限拉深系数

材 料	抗拉强度 σ_b (MPa)	相对延伸率 $\delta(\%)$	极限总拉深系数 m		
			不带推件装置		带推件装置
			材料厚度 $t \leq 1.2\text{mm}$	材料厚度 $t = 1.2 \sim 2\text{mm}$	
钢(08F)	300~400	28~40	0.40	0.32	0.15
黄铜(H62、H68)	300~400	28~40	0.35	0.29	0.2~0.21
软 铝	80~110	22~25	0.38	0.31	0.18

(1) 无切口带料级进拉深,即在整体带料上不加任何附加工序的方法,如图 10-22(a)所示。这种方法一般应用在拉深不太困难的工件。当拉深件相对厚度 $(t/d_0) \times 100 > 1$ 和有较小的相对凸缘直径 $d/d_1 = 1.1 \sim 1.5$ 及较小的相对高度 $H/d_1 \leq 0.3$ 的情况下,都可采用无工艺切口带料级进拉深。

无切口带料级进拉深主要有如下特点:

a. 采用无切口带料级进拉深,在拉深时相邻两个拉深工件之间相互影响很大,因此使材料在纵向流动较困难,主要依靠材料的伸长变形。

b. 拉深系数要比单工序的大,因此变形程度较小,增加了拉深次数。其首次拉深系数 m_1 及以后各次拉深系数 m_n 列于表 10-2、表 10-3。而第一次拉深的最大相对高度列于表 10-4。

表 10-2 无切口的第一次拉深系数 m_1

凸缘相对直径 d/d_1	坯料相对厚度 $t/d_0 \times 100$			
	$>0.2 \sim 0.5$	$>0.5 \sim 1.0$	$>1.0 \sim 1.5$	>1.5
≤ 1.1	0.71	0.69	0.66	0.63
$>1.1 \sim 1.3$	0.68	0.66	0.64	0.61
$>1.3 \sim 1.5$	0.61	0.63	0.61	0.59
$>1.5 \sim 1.8$	0.54	0.53	0.52	0.51
$>1.8 \sim 2.0$	0.48	0.47	0.46	0.45

注:材料为 08、10 钢。

表 10-3 无切口的以后各次拉深系数 m_n

拉深系数 m_n	坯料相对厚度 $t/d_0 \times 100$			
	$>0.2 \sim 0.5$	$>0.5 \sim 1.0$	$>1.0 \sim 1.5$	>1.5
m_2	0.86	0.84	0.82	0.80
m_3	0.83	0.86	0.84	0.82
m_4	0.89	0.87	0.86	0.85
m_5	0.90	0.88	0.89	0.87

注:材料为 08、10 钢。

c. 无切口带料级进拉深材料利用率较高, 故节省材料。

(2) 有切口的带料级进拉深, 在拉深时首先在相邻两个工件之间切去一个工艺切口, 以减少两个相邻工序的相互作用和相互间的影响, 使每道拉深工序有较好的 (类似单个零件拉深) 金属流动条件。

表 10-4 无切口的第一次拉深最大相对高度 H/d_1

凸缘相对直径 d/d_1	坯料相对厚度 $t/d_0 \times 100$			
	$>0.2 \sim 0.5$	$>0.5 \sim 1.0$	$>1.0 \sim 1.5$	>1.5
≤ 1.1	0.36	0.39	0.42	0.45
$>1.1 \sim 1.3$	0.34	0.36	0.38	0.40
$>1.3 \sim 1.5$	0.32	0.34	0.36	0.38
$>1.5 \sim 1.8$	0.30	0.32	0.34	0.36
$>1.8 \sim 2.0$	0.28	0.30	0.32	0.35

这种冲压方法, 主要适用于拉深较困难, 具有较小的相对厚度 $(t/d_0) \times 100 < 1$ 和较大的相对凸缘直径 $d/d_1 > 1.3$ 及较大相对高度 $H/d_1 \geq 0.3 \sim 0.6$ 的拉深件, 如图 10-22 (b) 所示。

有工艺切口带料级进拉深有如下特点:

a. 有工艺切口, 很类似于带凸缘的工件拉深。但由于相邻两个拉深件之间有一部分材料相连, 因此变形要比单个工件的拉深稍困难。

b. 各次拉深系数比无切口级进拉深要小, 但仍大于单个拉深件的拉深系数。首次及以后各次拉深系数 m_1 、 m_i 列于表 10-5、表 10-6。首次拉深最大相对高度 H_1 见表 4-15。

表 10-5 有工艺切口的第一次拉深系数 m_1

凸缘相对直径 d/d_1	坯料相对厚度 $\frac{t}{d_0} \times 100$				
	$>0.06 \sim 0.2$	$>0.2 \sim 0.5$	$>0.5 \sim 1.0$	$>1.0 \sim 1.5$	>1.5
≤ 1.1	0.64	0.62	0.60	0.58	0.55
$>1.1 \sim 1.3$	0.60	0.59	0.58	0.56	0.53
$>1.3 \sim 1.5$	0.57	0.56	0.55	0.53	0.51
$>1.5 \sim 1.8$	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
$>1.8 \sim 2.0$	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43
$>2.0 \sim 2.2$	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41
$>2.2 \sim 2.5$	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37
$>2.5 \sim 2.8$	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34
$>2.8 \sim 3.0$	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

注: 材料为 08、10 钢。

表 10-6 有工艺切口的以后各次拉深系数 m_n

拉深系数 m_n	坯料相对厚度 $t/d_0 \times 100$				
	$>0.06 \sim 0.2$	$>0.2 \sim 0.5$	$>0.5 \sim 1.0$	$>1.0 \sim 1.5$	>1.5
m_2	0.80	0.79	0.78	0.76	0.75
m_3	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
m_4	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80
m_5	0.87	0.86	0.85	0.84	0.82

注：材料为 08、10 钢。

c. 有切口的带料级进拉深，材料消耗较多。

(3) 级进拉深坯料尺寸计算，基本上与普通拉深相似。但是级进拉深时，首次拉入的材料要多一些。其坯料展开尺寸可按下式计算

$$d_0 = d_{01} + W$$

式中 d_0 —— 首次坯料直径 (mm)；

d_{01} —— 计算坯料直径 (mm)；其计算方法和前述圆筒形件的单件拉深基本相同；

W —— 修边余量，包括首次多拉入凹模的材料，其值按表 10-7 选取。

表 10-7 级进拉深的修边余量 (mm)

坯料计算直径 d_0	材料厚度 t									
	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2	
<10	1.0	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	—	—	—	
$>10 \sim 30$	1.2	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	—	
$>30 \sim 60$	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.5	
>60	—	—	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	

(4) 带料宽度及进距的确定

a. 无切口的带料级进拉深

条料宽度： $B = d_0 + 2a_1$

进距尺寸： $H = (0.8 \sim 0.9) d_0$

式中 B —— 一条料宽度 (mm)；

d_0 —— 首次拉深坯料直径 (mm)；

H —— 相邻工序间距离 (进距) (mm)；

a_1 —— 搭边宽度 (mm)，查表 10-8。

表 10-8 a_1 、 a_2 、 a 及 r 值 (mm)；

料厚 t	≤ 0.5	$>0.5 \sim 1.5$	>1.5
a_1	1.5	1.75	2.0
a_2	1.5	2.0	2.5
a	1.5	1.8	3.0
r	0.8	1.0	1.2

无切口带料级进拉深时，一般进距小于 d_0 ，这是因为考虑材料有较大的收缩，但进距 H 不应小于包括修边余量的凸缘直径，如图 10-23 所示。

b. 有切口带料级进拉深 有切口带料级进拉深的带料尺寸，主要与切口形状和切口尺寸有关。其各种切口形状的带料尺寸及进距尺寸，可参见表 10-9 选取。

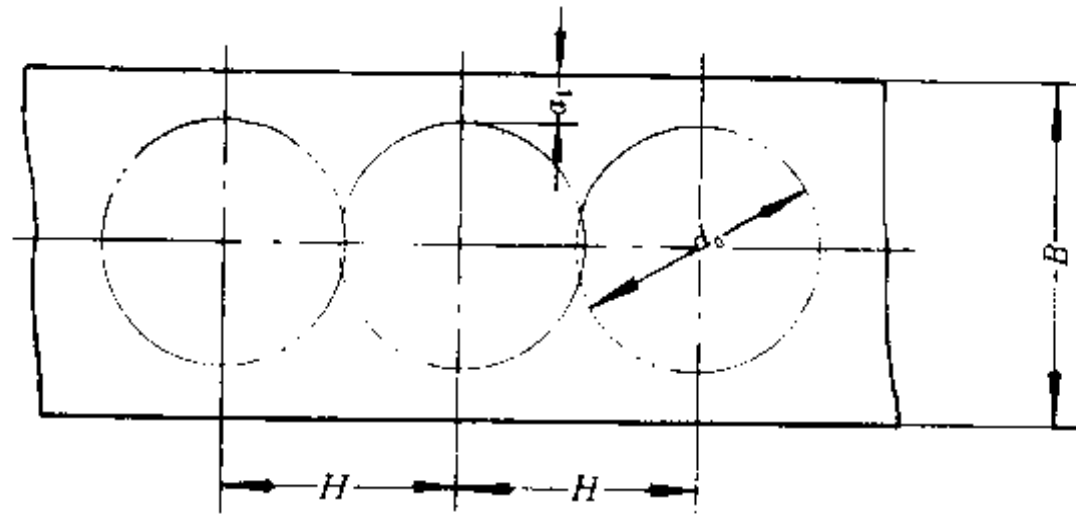


图 10-23 无切口带料级进拉深的坯料尺寸

表 10-9 有切口级进拉深料宽计算

切口图样	料宽 (B)	进距 (H)	切口尺寸 (K ₁ , K ₂ 或 b ₂)
	$B = d_0 + 2a_1$	$H = d_0 + a$	$K_1 = (0.5 \sim 0.6)d_0$
	$B = C + 2a_2$ $C = (1 \sim 1.05)d_0$	$H = d_0 + a$	$K_2 = (0.25 \sim 0.3)d_0$
	$B = d_0$	$H = d_0 + a$	$b_2 = 1.5$ ($t \leq 0.5$) $b_2 = 2$ ($t > 0.5 \sim 1.5$) $b_2 = 2.5$ ($t > 1.5$)

注: a, a₂ 及 r (切口圆角处半径) 见表 10-8。

第四节 多工位级进模零、部件设计

一、凸模

(一) 级进模凸模的结构特点

多工位级进模冲裁常采用分解冲裁的方法，在结构上要考虑把条料上各个加工部分正确地联系起来。除此而外，还要考虑凸模损坏时的更换修理，因而要求凸模结构简单和便于精密加工。冲裁凸模常用线切割加工和成形磨削加工，电加工的凸模大多是直通式的，加工容易。但对于小型凸模其根部薄弱、接触面积小，强度和稳定性差。成形磨削的凸模相比之下则能获得较高的精度和寿命。级进模中常用的冲裁凸模如图 10-24 所示。

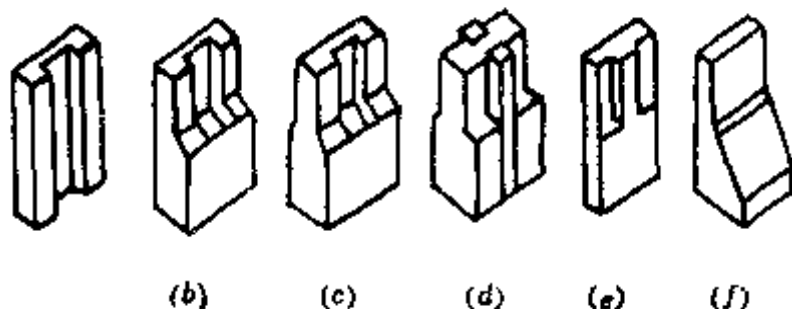


图 10-24 凸模形式

(a) 直通式；(b) 加强形（一）；(c) 加强形（二）；
(d) 拼嵌式；(e) 加强形（三）；(f) 快换形。

图 (a) 为直通式的，这种结构的凸模加工容易，对于小的凸模因为要铆在固定板上，稳定性较差。

图 (b) 和图 (c) 与图 (a) 比较其强度和稳定性就好得多，但加工要费时一些。

图 (d) 为两侧有凸出部分的凸模，凸出部分窄小时容易磨损和损坏，所以在结构上考虑到能进行部分的更换修理，故采用拼嵌结构。这种形式在精密模具中经常使用。

图 (e) 为单面凸出的适用于一般切断成形的凸模。

图 (f) 为用于快换的凸模结构，只要卸下螺钉便能进行修理。这种方法对各连接面和斜面的磨削和研磨的精度要求较高。

以上所述成形凸模都是压入凸模固定板，再用螺钉和定位销固定在垫板上。垫板硬度为 HRC45 左右。

图 10-25 中 (a)、(b) 是图 10-24 中的 (e) 和 (d)；图 10-25 中 (c) 是图 10-24 中的 (f) 的安装简图。

(二) 凸模固定方法

这里介绍几种级进模中小凸模的常用固定方法。

如图 10-26 所示为带台肩的，多用于大件模上。如图 10-27 所示结构使用了限位

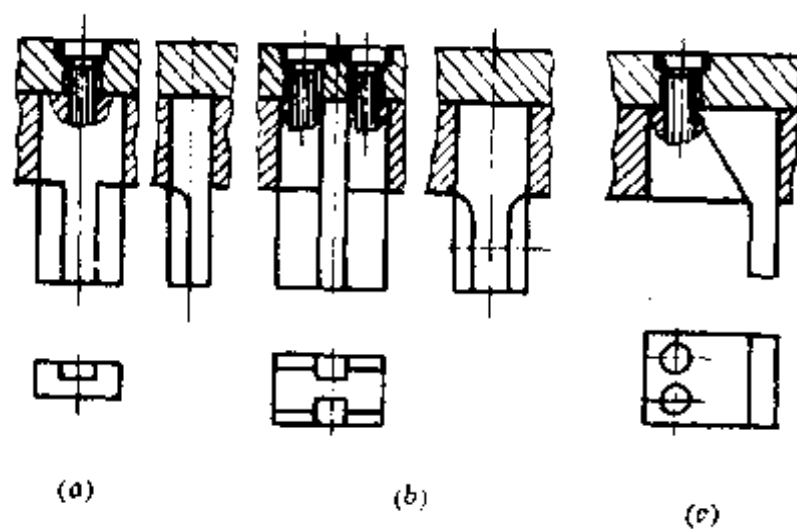


图 10-25 凸模安装

(a) 加强形; (b) 拼嵌形; (c) 快换形。

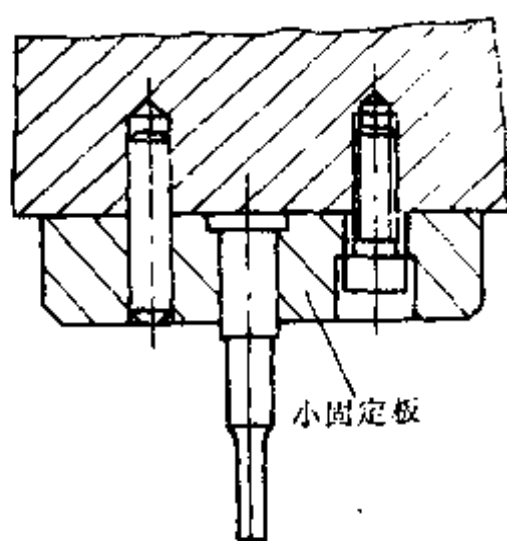


图 10-26 用小固定板安装式

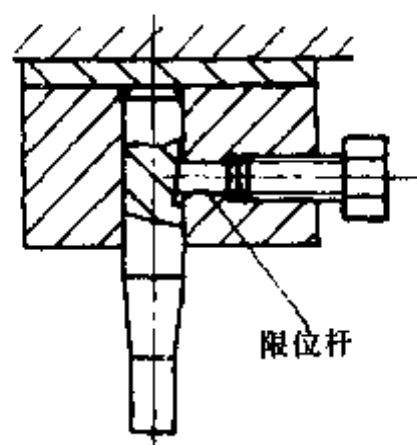


图 10-27 用止动螺钉固定凸模

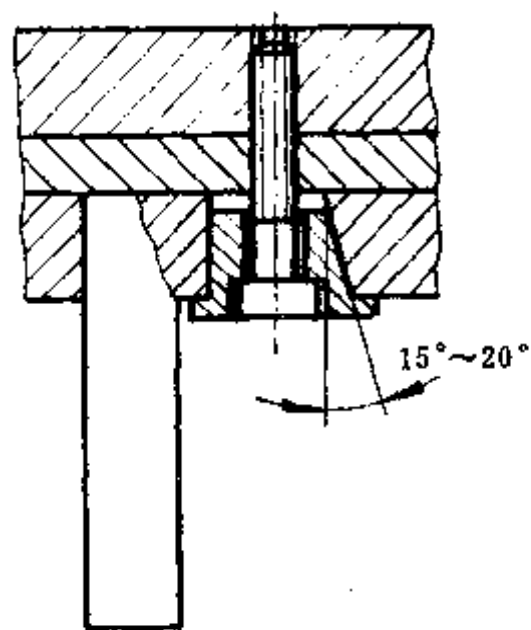
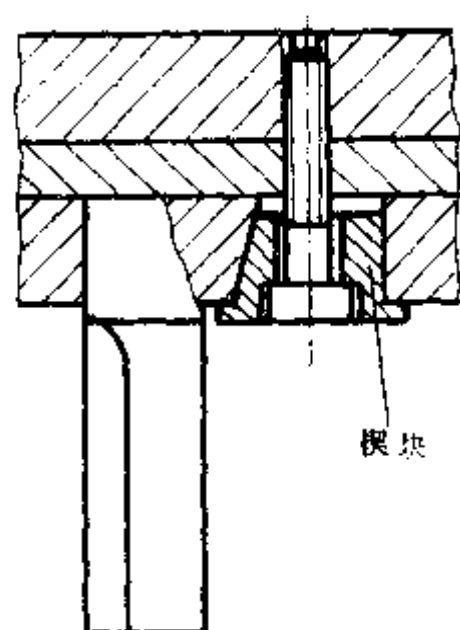


图 10-28 用楔块固定凸模

杆、装拆方便。如图 10-28 所示结构是使用斜楔使凸模装卸简化的实例。对有方向性要求的冲孔凸模的固定方法如图 10-29 所示。图 (a) 用圆柱销定位, 图 (b) 用键定位防转。

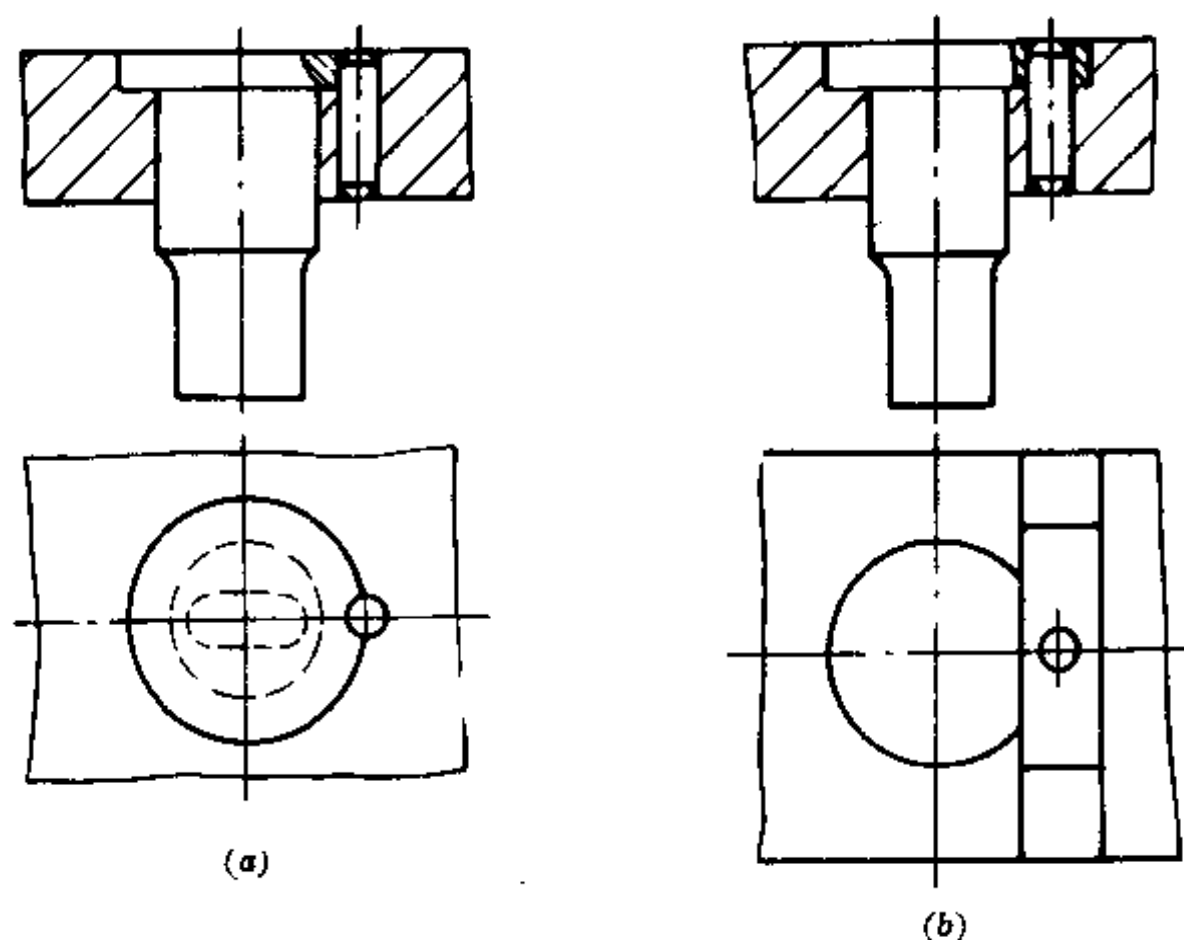


图 10-29 凸模防转方式
(a) 销钉防转；(b) 键防转。

二、凹模

多工位级进模中凹模多采用镶拼的形式，其优点是制造简化，冲模精度高；节省贵重金属，热处理变形也易于控制，此外装配和调整也比较方便。

(一) 设计凹模镶块的分块原则

(1) 多工位级进模工位多，结构尺寸大，对易于磨损的凹模刃口部分用贵重金属制造可节约贵重金属；

(2) 分块结构形式要有利于机械加工，如图 10-30 所示的工件形状比较复杂且不规

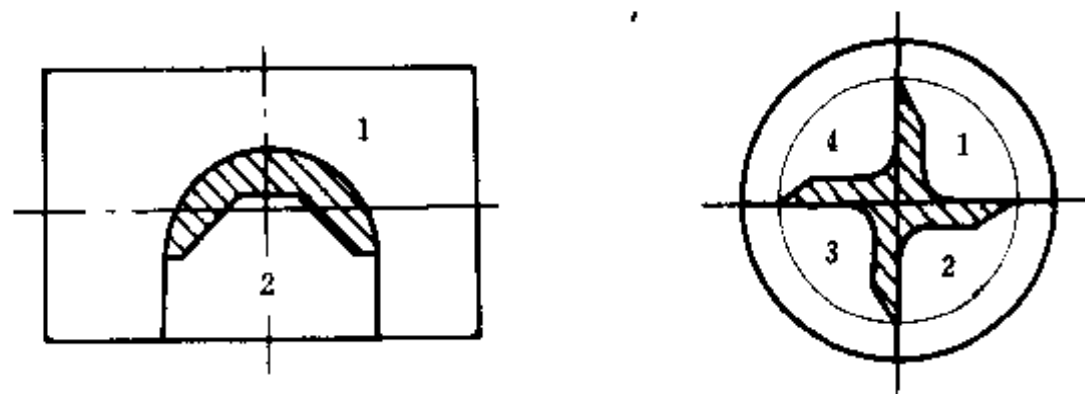


图 10-30 凹模的分块

则，因此在分块时，应将其简化为规则的或比较规则的形状，以便磨削加工。镶块的基本图形如图 10-31 所示。

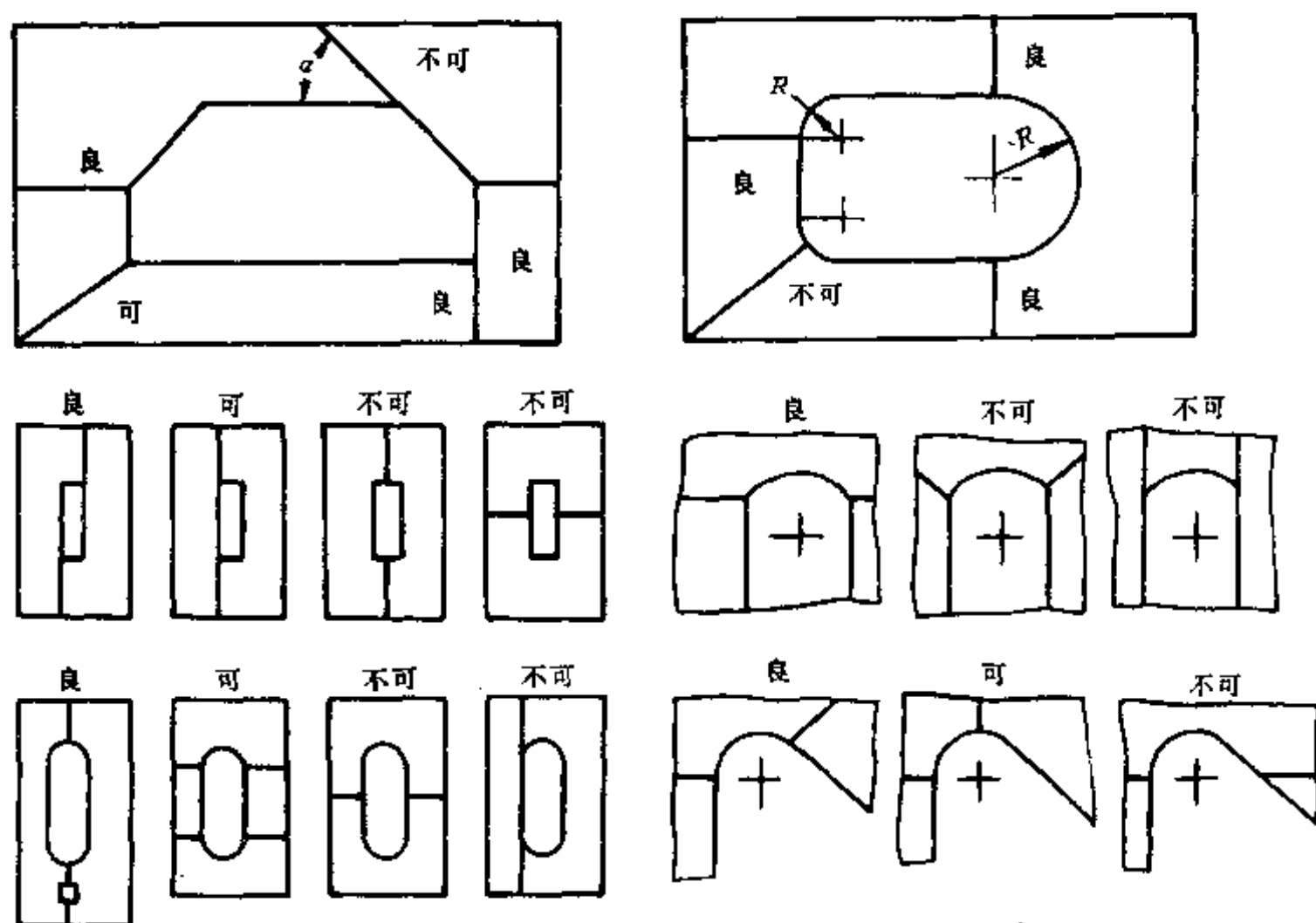


图 10-31 镶块的基本图形

(3) 对孔心距要求较高的镶块, 可采用中间分块, 通过配研来达到孔心距要求。多工位级进模步距的精度要求并不单纯依靠单件拼块的高精度制造要求来保证, 而是依靠凹模在装配时的修配调整来达到的。所以凹模在设计时, 其拼合面的选择应使其在修配调整凹模的步距尺寸时不致影响刃口形孔尺寸。如图 10-32 所示, 要求保证工件两孔的间距有较高的精度, 采用了两块镶块方式。通过研磨加工, 然后达到高精度的孔距。图

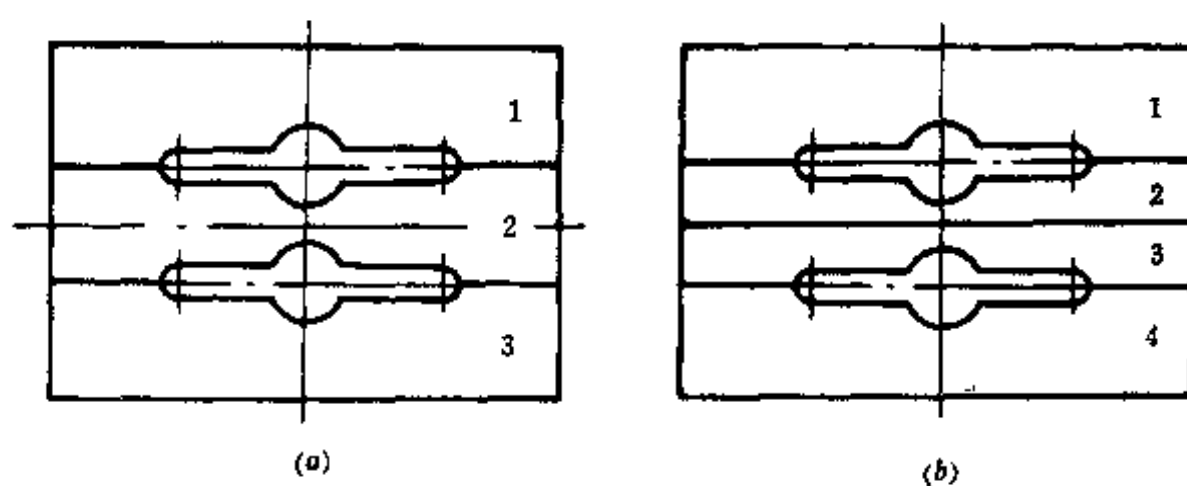


图 10-32 凹模分块方式
(a) 孔间距不可调; (b) 孔间距可调。

(b) 较图 (a) 所示的分块方式要好, 尺寸精度易于控制;

(4) 镶块结构应有利于热处理。如图 10-33 所示形状的凹模。若不采用分块, 则在没有电加工设备的情况下, 加工这个整体凹模不但困难, 而且加工后热处理淬火时, 由

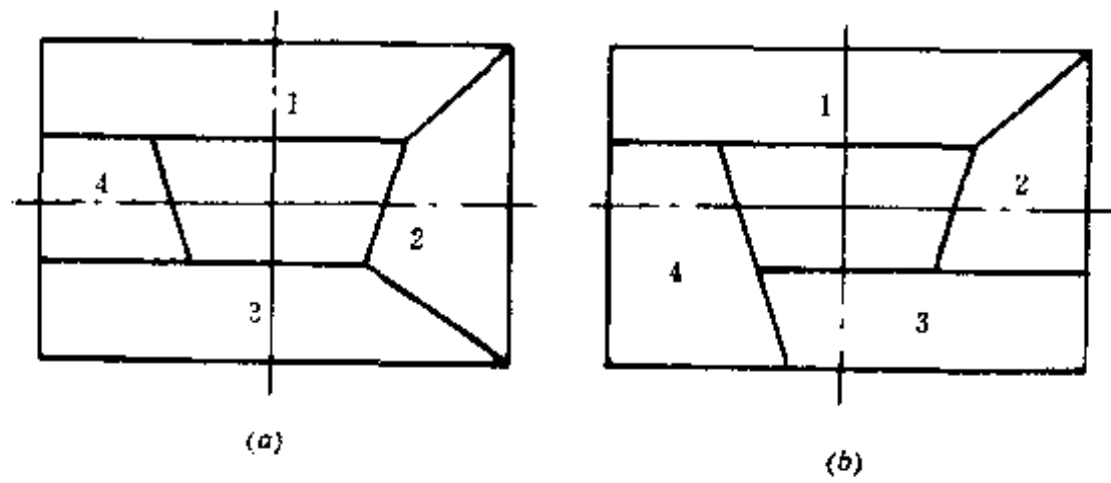


图 10-33 梯形工件的分块
(a) 镶块结构 (一); (b) 镶块结构 (二)。

于有锐角存在，易于变形和开裂。若按图分成四块后，可克服上述缺点。

除上述各点外，拼合的凹模不应有局部的凸出或凹进，以保证镶块平面能与整个模具的凹模面高度一致。

(二) 常用凹模镶块的固定方法

(1) 平面式固定方法 如图 10-34 所示。将凹模分成几块后，将镶块拼在固定板平

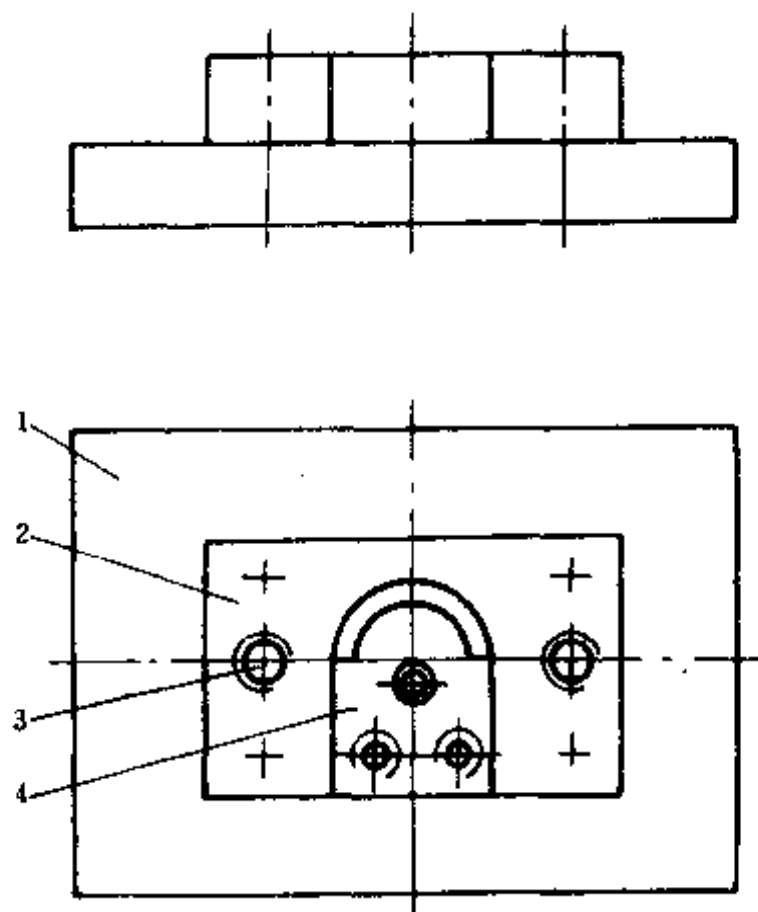


图 10-34 平面式固定法
1—固定板；2、4—镶块；3—销钉。

面上，并用螺钉和定位销紧固。这种方法操作简单，主要用于大、中型镶块的嵌镶。

(2) 凸边式固定法 如图 10-35 所示。将凹模分成几块，然后嵌入二边或四边的凸边固定板内，用螺钉和定位销紧固。凸边高度应不小于镶块高度的一半，凸边宽度应大于销钉直径的两倍。

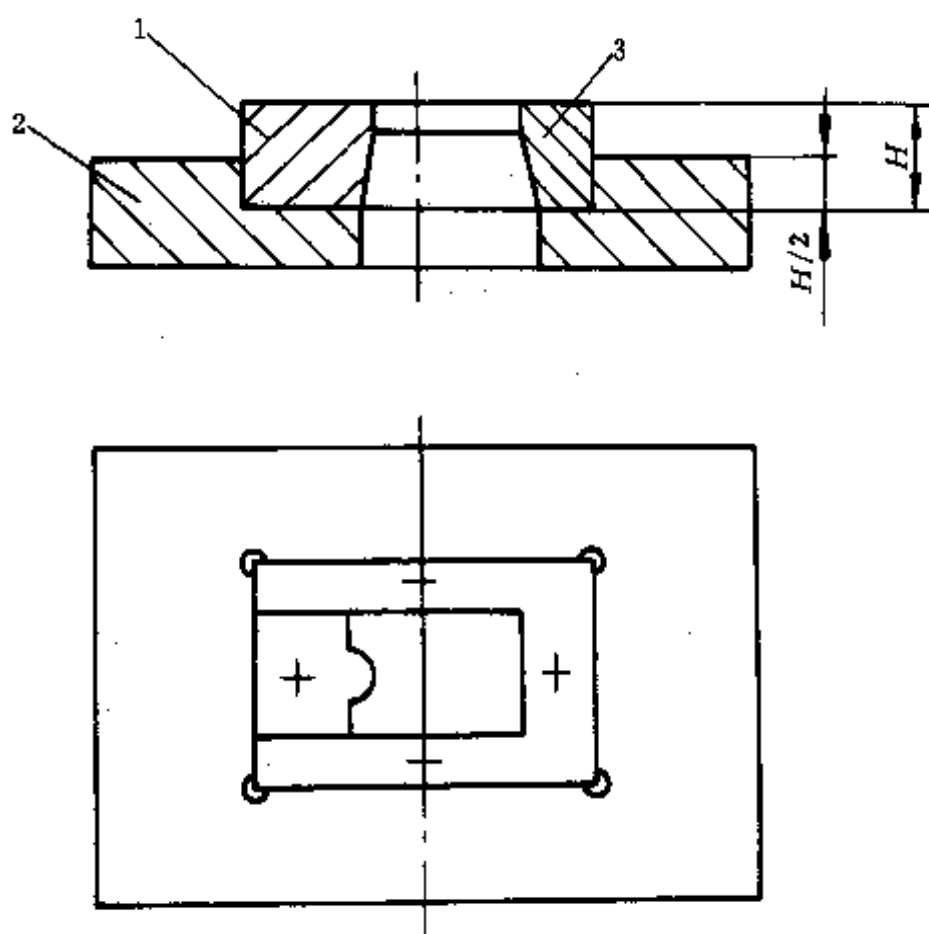


图 10-35 凸边式固定法

1、3—镶块；2—固定板。

(3) 斜楔式固定法 如图 10-36 所示。将凹模分成左、右对称的两块（或多块）且外形带有斜度的镶块，然后将其固定在相应的凹模套孔内。斜楔式固定法用的镶块斜度

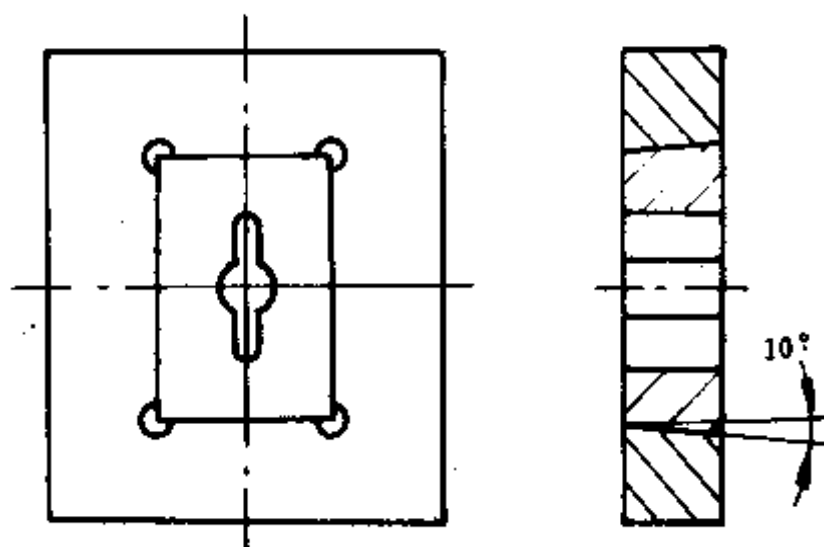


图 10-36 斜楔式固定法

一般取 10° 左右。

也可以采用如图 10-37 所示的斜楔 4 楔紧的方法将镶块 2、3 紧固在凹模套 1 内。

(4) 嵌槽式紧固法 如图 10-38 所示。它是将凹模分块后，嵌入用铣削或刨削有同等宽度的凹槽固定板内。这种凹模固定板上的凹槽深度不小于镶块高度 H 的 $2/3$ ，而这种固定方式主要适用于板厚在 2mm 以下工件的冲裁。

(5) 热压配合固定法 将凹模镶块压入加热至 $400\sim 500^\circ\text{C}$ 的碳钢模套内，待碳钢模套自然冷却后，根据热胀冷缩原理，使镶块紧固在凹模套内。

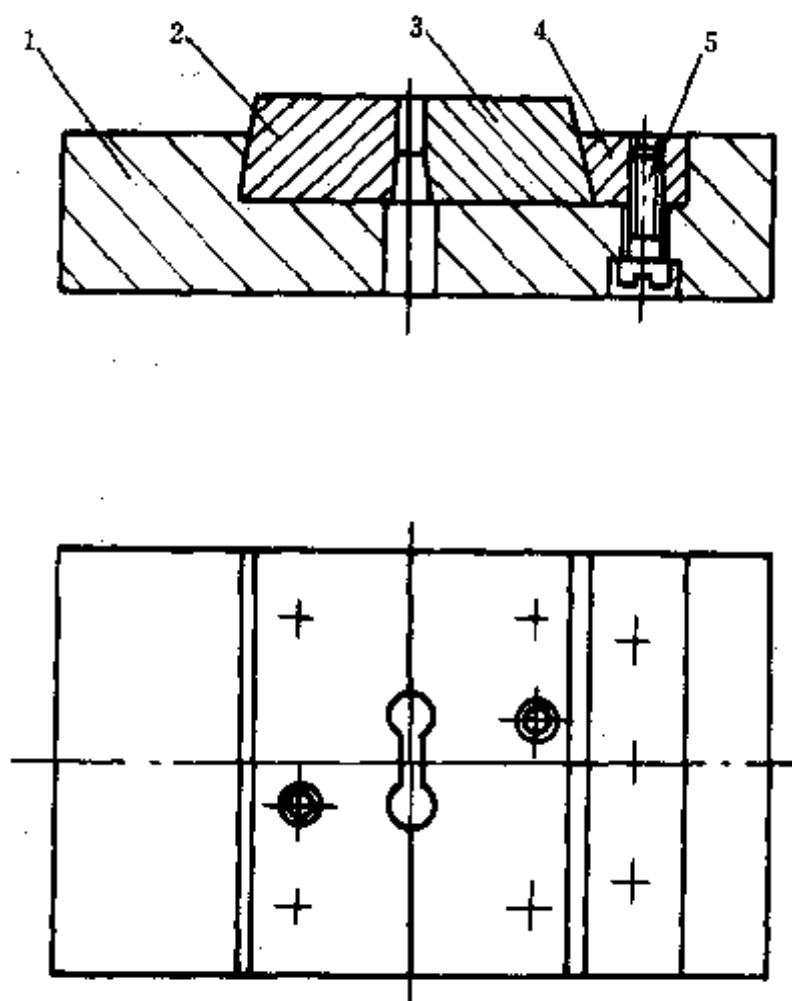


图 10-37 斜楔楔紧固定法

1—凹模套；2、3—镶块；4—斜楔；5—螺钉。

三、卸料装置

卸料装置在级进模中是一个重要装置。它不仅卸料，还起导正凸模、压平材料的作用。模具的精度及模具的使用寿命与卸料装置的导向精度和强度有很大关系。

在这里介绍级进模中常用的弹压卸料板结构及使用方法，如图 10-39 所示。

这种卸料板的特点是：不仅具有卸料作用，而且有强力弹簧 10 的弹力作用，使弹压卸料板有效地压住板料；此外，由于装有辅助导柱 14 和导套 15 使件 3 的上下移动具有良好的导向性，使小凸模 6 得到有效的保护。

卸料板的压料力、卸料力都是由卸料板上均匀分布的强力弹簧得到的。因此，在设计时要注意弹簧的配置，特别是在高速冲裁时，若配置不当，极易造成凸模折断。

卸料板在工作时还必须保持运动平衡。卸料板虽然具有正确可靠、刚性好的导向装置，然而导向之间的间隙还是存在的。因此，当条料在料首或料尾处于凹模与卸料板之间的一端时，会引起卸料板的不平稳，如图 10-40 (a) 所示为料首引起的不平衡。为此，应在卸料板上适当位置设置如图 10-40 (b) 所示的平衡钉，设在两端，每端两个。

为了保持卸料板的精度，卸料板还必须具有一定的强度和表面硬度，以提高其耐磨性及卸料面的使用寿命。所以对卸料板可进行调质处理或在工作面部位局部拼装淬硬的卸料板，其硬度应不低于 HRC40。

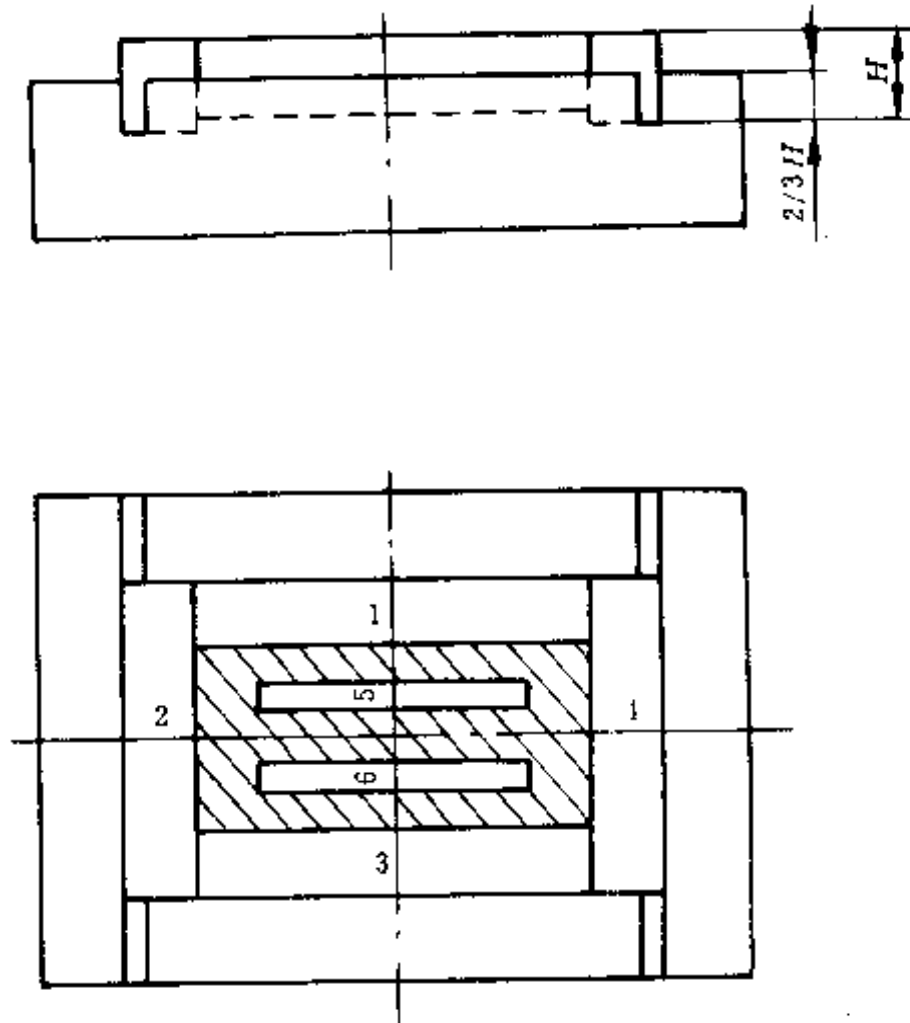


图 10-38 嵌槽式固定法

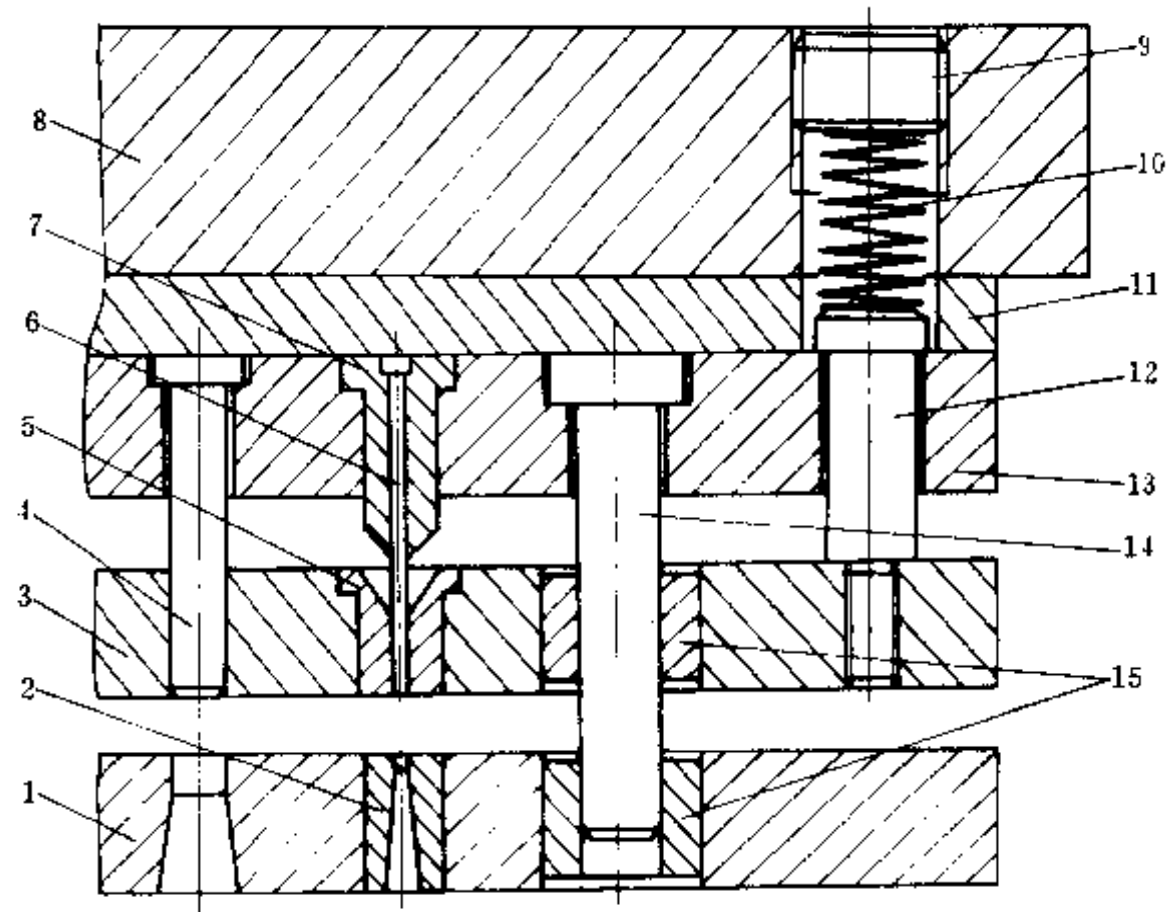


图 10-39 弹压卸料板的使用方法

- 1—凹模；2—凹模镶块；3—弹压卸料板；4—凸模；5—凸模导向护套；
 6—小凸模；7—凸模加强套；8—上模座；9—螺塞；10—强力弹簧；
 11—垫板；12—卸料螺钉；13—凸模固定板；14—辅助导柱；15—导套。

四、定位装置

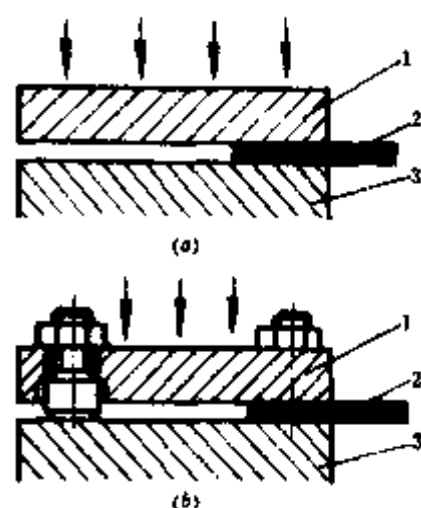


图 10-40 卸料板平衡
(a) 无平衡钉; (b) 有平衡钉。
1—卸料板; 2—条料;
3—凹模; 4—平衡钉。

在级进模中，条料送进步距及工件定位要精确，才能保证加工出合格的制件。这里介绍条料进入模具冲压前的首次定位和冲压过程中的定位，其定位装置比较普遍采用的是侧刃定位和导正销定位。

(一) 侧刃定位

侧刃在手工送料的级进模中作为预定位而被广泛使用。侧刃和侧刃挡块除了作为条料的首次定位外，还可控制带料的送进步距。前者如图 10-41 所示，首次定位以后的步距控制如图 10-42 所示。

在手工送料的情况下，侧刃的尺寸很难与模具的实际步距一致，所以侧刃定位大多数情况下是作为预定位来使

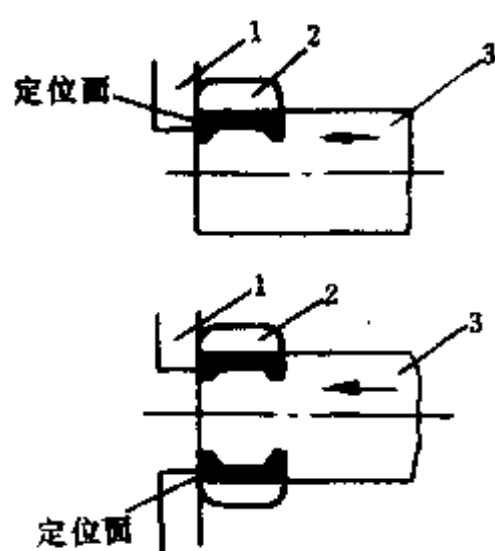


图 10-41 条料首次定位
1—侧刃挡块; 2—侧刃; 3—条料。

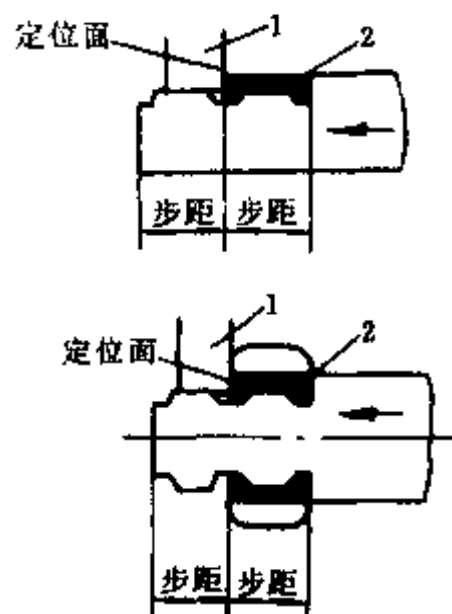


图 10-42 首次定位后的步距控制
1—侧刃挡块; 2—侧刃废边。

用的。

在设计时，侧刃的公称尺寸等于步距的公称尺寸加 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ ，其制造公差在其公称尺寸上为负值，其公差值等于步距允差的 25%。

常用定距侧刃剖面形状如图 10-43 所示。其中 (a) 所示结构为长方形定距侧刃。此种定距侧刃制造简单，能保证条料有可靠的导向，但切削刃尖角易变钝，条料断裂的边缘产生毛刺而影响定位精度。图 (b) 所示定距侧刃虽制造困难，而且条料宽度有所增加，但避免了材料因断裂产生毛刺而影响定位精度。

定距侧刃固定方法如图 10-44 所示。在模具设计中，定距侧刃在配置方式上有单边的，也有双边的。若采用单边配置时，条料最好在侧刃一边受到侧压力，使条料紧贴在侧刃一边的导向板的导向面上，以保证良好的导向直线性。常用的侧压形式如图 10-45 所示。

其中图 (a) 是簧片压块式，其侧压力不大，常用于条料厚度在 1mm 以下的薄料，侧

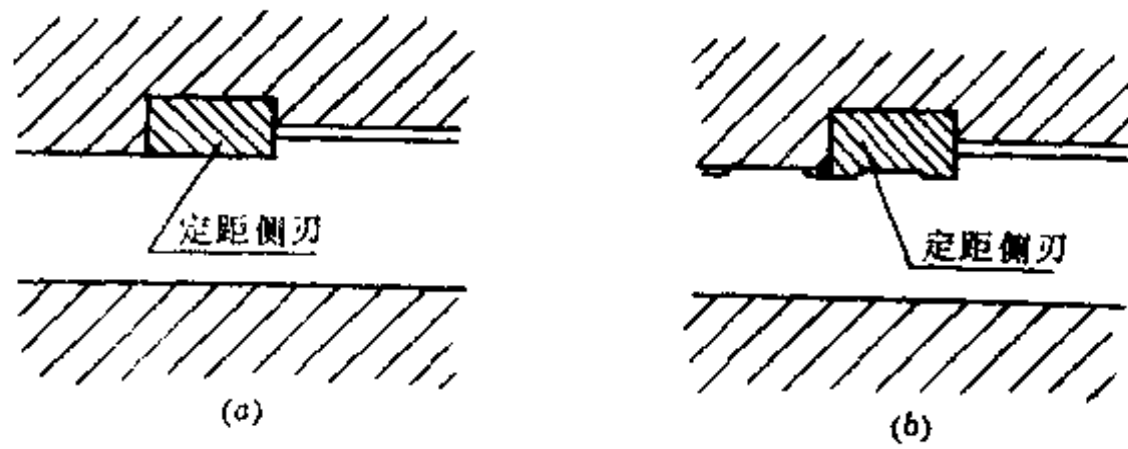


图 10-13 侧刃形式

(a) 长方形侧刃；(b) 两头突起的侧刃。

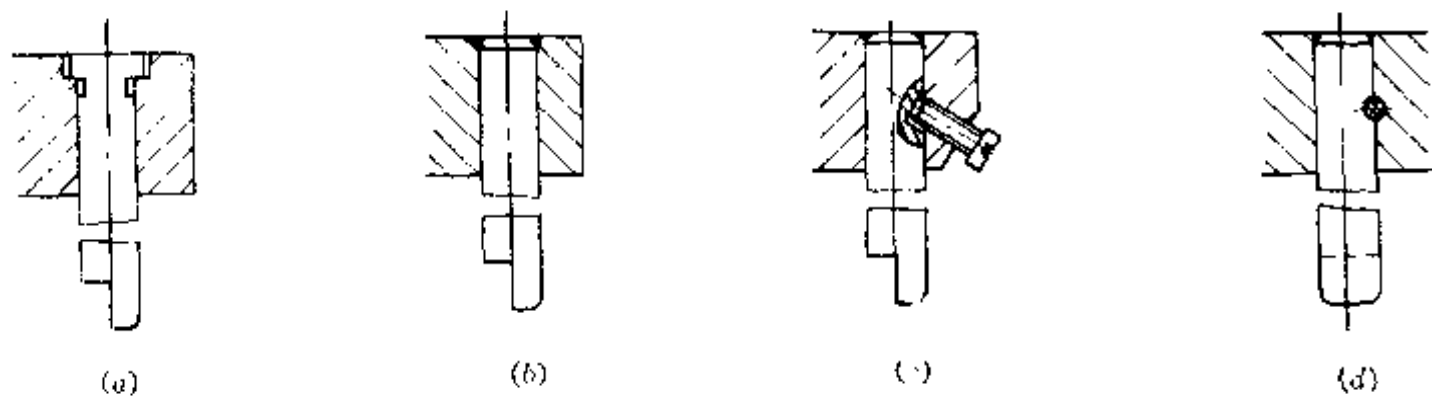


图 10-44 定距侧刃固定方法

(a) 凸缘固定，(b) 端部铆合；(c) 侧面螺钉固定；(d) 侧面骑缝销固定。

压块厚度一般为侧面导板厚度的 $1/3 \sim 1/2$ ，压块数量视具体情况而定。图 (b) 是弹簧压块式，由于利用弹簧，所以侧压力较大，适用于厚料的侧压。图 (c) 是侧压板式，其侧压力大而均匀，但安装位置一般限于进料口，因而材料末端冲裁时，它因压不到而不起作用。若前后各装一个，则可避免此缺点。采用侧压装置时，应注意以下两点：

- (1) 条料厚度小于 0.3mm 时，不能采用侧压；
- (2) 采用辊轴式自动送料时，不采用侧压。这是由于侧壁摩擦力增大，会阻碍送料。

定距侧刃剖面形状除按图 10-43 所示设计外，还有按冲裁外形来设计的，如图 10-5 所示，其刃口形状按冲压零件的外形设计的。在这种情况下，为了保证侧刃部位的外形相对位置的正确，必须在侧刃工位的相邻工位上冲出精密定位的导正孔。该导正孔可以是零件本身的孔，也可以是另外设置的工艺孔，这样在以后的工位上即可利用导正孔作精确定位，以保证侧刃部分的外形与零件其他部分形状相对位置的正确。

(二) 导正销定位

导正销主要用于自动送料的级进模的定位。条料是利用装在模具上的送料器来完成自动送料的，它能调整模具的任意步距。导料位置的导正，是通过导向板和导正销插入料上的导正孔来完成的，而导正孔一般是在条料的废料上加冲工艺孔以供导正；也有利用零件上本身的孔来导正。前面已经谈到，侧刃定位一般作为级进模中步距进料的预定位，而精确定位是要靠导正销来完成的。因此，这两种定位方式在多工位级进模中是相辅相成的。与自动送料装置配合，广泛用于精密、复杂、高速的多工位级进模中。

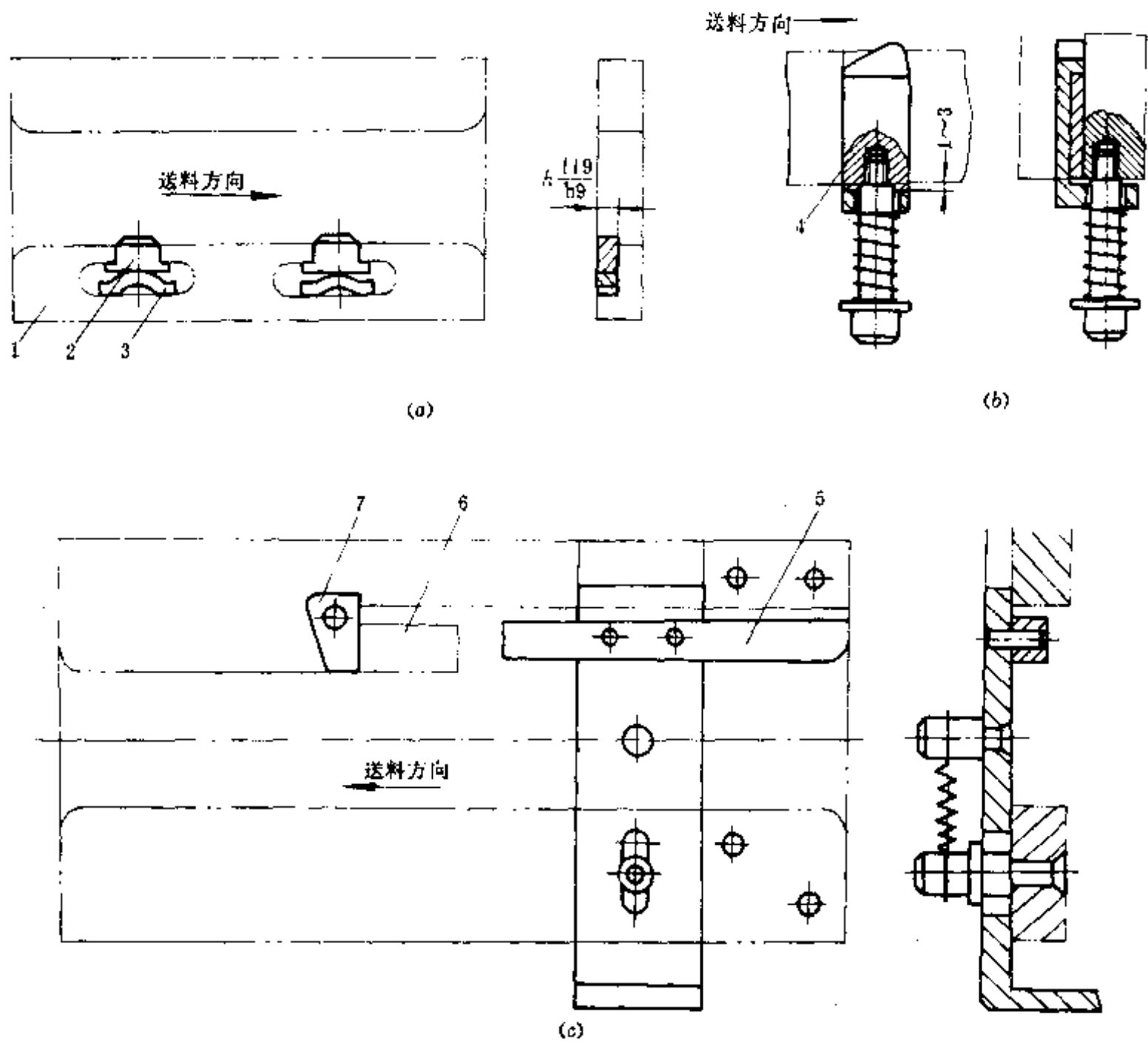


图 10-45 常用侧压形式

(a) 簧片压块式; (b) 弹簧压块式; (c) 侧压板式。

1—侧面导轨; 2—压块; 3—簧片; 4—侧压块; 5—侧压板; 6—侧刃; 7—侧压挡块。

导正销结构及尺寸范围如图 10-46 所示。图中

$$\phi A = 1.6 \sim 6\text{mm}; \quad E = 2.5 \sim 5\text{mm};$$

$$\phi B = 4 \sim 6\text{mm}; \quad F = 2 \sim 3\text{mm};$$

$$\phi C = 10 \sim 20\text{mm}; \quad G = 3 \sim 5\text{mm};$$

$$\phi D = B + 3\text{mm}; \quad H = 25 \sim 30\text{mm}。$$

ϕA 应尽可能采用较大尺寸。

导正销直径 ϕA 与冲导正孔凸模直径的关系,基本上可按下列关系来确定,即一般零件精度要求不高、工位少、材料较薄时,两者直径差较大;精度高、材料薄时,两者直径差较小。导正销头部形状可做成锥形,也可做成圆弧形。设计时,应保证与工作直径圆滑过渡。

常用的导正销有浮动式和固定式两种,如图 10-47 所示。

图 (a) 为浮动导正销,其结构较复杂,精度差,但不易损坏。图 (b) 为固定导正销。

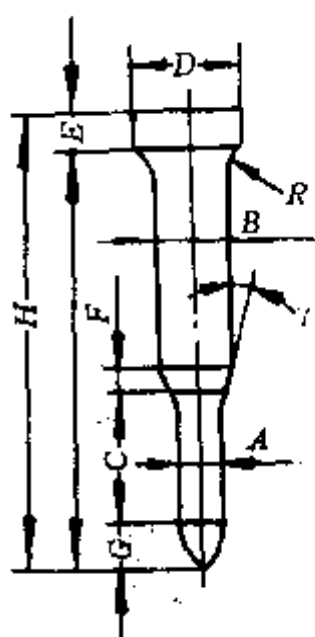
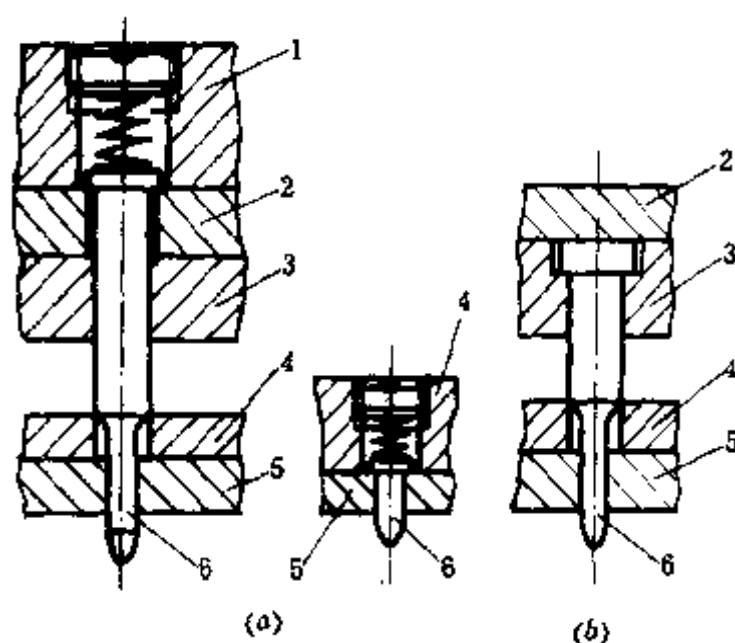


图 10-46 导正销结构及尺寸范围

图 10-47 浮动导正销和固定导正销
(a) 浮动式; (b) 固定式。

1—上托; 2—垫板; 3—凸模固定板;
4—卸料板; 5—卸料板镶件; 6—导正销。

精度高, 定位准确。两者可单独使用, 也可混合使用。

在模具设计中, 导正孔位置的设计合理与否直接影响定位精度和冲孔质量。导正孔一般都在条料的第一工位冲出, 而导正销的位置一般都是紧随冲导正孔的第二工位。导正销按冲压零件的形状可设置双排导正, 也可设单排导正。而当条料宽度尺寸较大时, 多用双排导正, 这样能提高导向精度。

导正销在多工位级进模中系重要的零件之一, 除了要求结构上设计合理, 还要求有足够的使用寿命和耐磨性。因此在选择材料时一般都选用合金钢制造, 优质碳素工具钢次之。其热处理硬度不低于 HRC60 左右, 淬火后还须正确的回火以消除其内应力。

五、托料装置

条料经冲压后, 经卸料板将条料从凸模中卸下, 此时, 条料往往贴在或卡住在下模上, 这时需经托料装置将其托起后继续送料。弯曲件或拉深件级进模在冲压时的进料与一般单工序模或级进冲裁模不同, 这是因为条料在冲压过程中经过不同工位的冲裁、弯曲或拉深变形, 零件的不同部位有可能从材料的厚度方向向两面弯曲或凸出, 有的卡入凹模, 有的弯向凸模, 因此在进料时, 在卸料板有效地卸下条料的情况下, 还应将条料托起, 使条料上的凸出部分离开凹模工作面, 才可以将条料继续送到下一工位, 进行定位和冲压。这种托料装置的设计与冲压能否顺利进行关系很大。

经常采用的托料方法是用托料钉、托料块、托料导向钉和托料导向板。在使用上有单独使用, 也有二者合用。在考虑设计托料装置时, 应具体分析条料冲压后卡住下模的部位, 条料应该托起的高度以及条料本身冲压前后的刚性。通过分析, 合理地设置托料装置。

如图 10-48 所示为托料钉托料装置, 这种装置一般适用于托料高度较低的情况。当然托料的高度应能使条料在进料时顺利。同时被托起的条料上平面应低于导向板一定的

尺寸 a ，一般应在 $(2\sim 3)t$ 左右。托料钉经常是成偶数设置。

对于料薄或刚性较弱的材料，为了使材料顺利地由凹模中顶出不产生变形，可采用

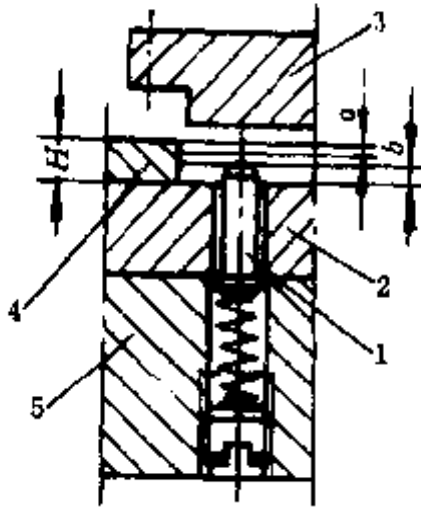


图 10-48 托料钉托料
1-托料钉；2-凹模；3-卸料板；
4-导料板；5-下模座。

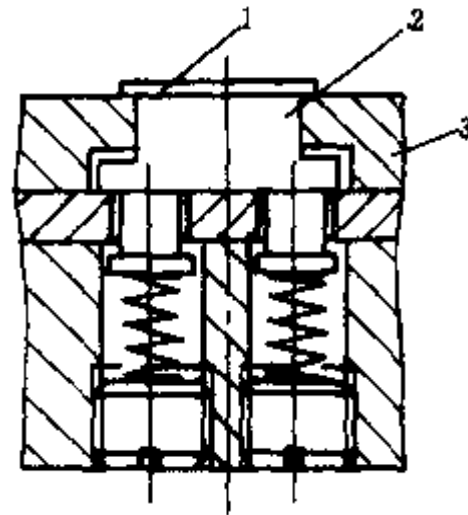


图 10-49 托料板托料
1-条料；2-托料板；3-凹模。

如图 10-49 所示的托料板，它一般都设置在要求顶料力较大的部位。图 10-50 为托料

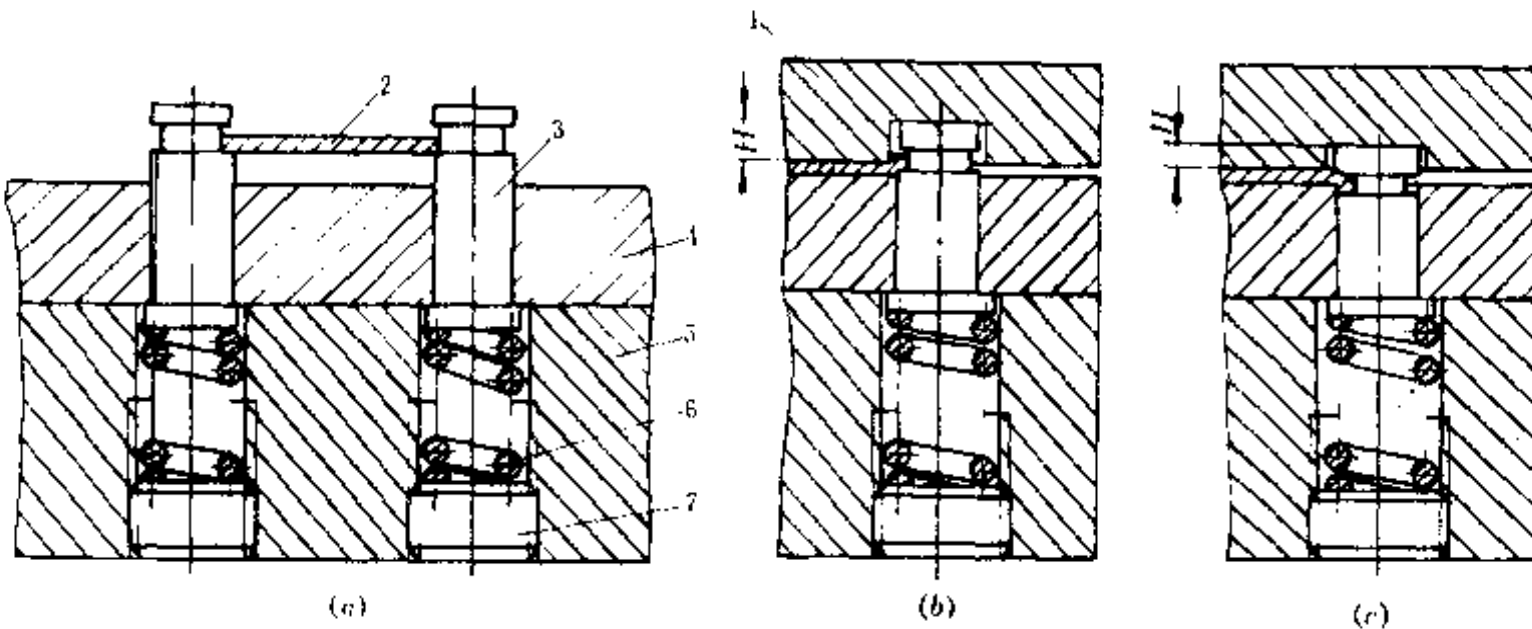


图 10-50 托料导向钉装置及常见故障

(a) 条料送进；(b) 故障 (一)；(c) 故障 (二)。

1-卸料板；2-条料；3-浮动导料销；4-凹模；5-下模座；6-弹簧；7-螺塞。

导向钉装置及常见故障图。它在模具中不但能起托料的作用，还能起导料的作用，因而在多工位级进模中应用广泛。图 (a) 是托料钉处在条料送进的工作位置。送料结束后，当压力机滑块下降时，卸料板凹坑底面首先接触托料钉上平面，随后弹压卸料板把条料压平到凹模上，对制件进行冲压加工，冲压结束后，弹簧随压力机滑块的上升将件 3 和条料推到最高位置，进行下一步的送料导向。

图 (b) 和图 (c) 是这种装置的常见故障，他们都是由卸料板凹坑深度不当而引起的。图 (b) 是由于卸料板凹坑过深，造成条料被压入卸料板凹坑内；图 (c) 则是由于卸

料板凹坑过浅，条料被挤入托料钉孔内。结构设计时，要注意各尺寸的协调。

这种装置在具体应用时，通常在带料宽度方向设置二个或四个，进行托料导向，如图 10-51 所示。

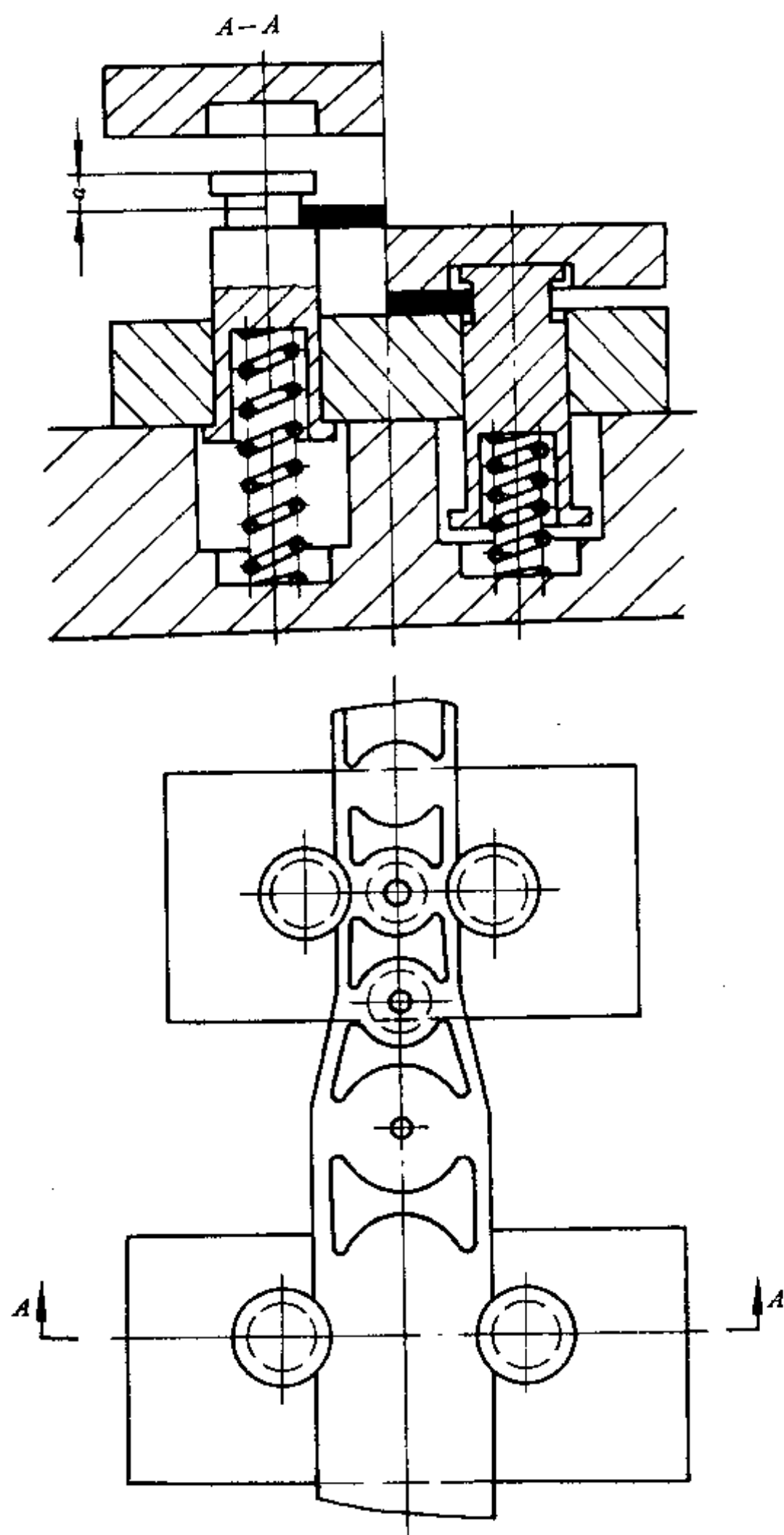


图 10 51 托料导向装置

六、自动检测和保护装置

在多工位级进模的冲压过程中，很难避免发生误送、叠片、材料起拱、材料厚度及宽度超差、废料回升和堵塞、工件未顶出等故障，它会导致模具不能正常工作，甚至造成模具和压力机的损坏。自动检测保护装置的作用，就是自动排除冲压过程中发生的故障，保证安全生产。

自动检测保护装置的传感方式，有接触传感式和非接触传感式两种。前者通过机械方式，如利用接触销或被绝缘的探针，同被检测物点接触，并与微动开关、压力机控制电路组成回路。因而这种接触是间歇式的接触或断开，同时也使电路闭合与断开来控制压力机工作。后者通过光电或 β 射线来判断有无制件通过，如果不透明制件在检测区遮住光带时，则光信号转化为电信号，电信号放大后与压力机控制电路相连锁，使压力机的滑块停止或不能启动，即停止运动。非接触式传感装置，电感式较好，也用得最多。

对自动检测保护装置的设计与应用，应注意以下几个问题：

- (1) 按被加工零件的精度要求，正确选择检测装置的方式、类别和检测精度；
- (2) 要求安装和操作方便，不能有过多的操作按钮，各种检测必须自动进行；
- (3) 正确选择传感器的安装位置，不能因其他外界动作影响检测精度和造成失误；
- (4) 因检测装置是在动态下进行检测，故必须适应于有冲击、振动的环境。如果检测装置不能抗冲击和振动，就失去了冲压加工的检测作用。

常用的自动检测保护装置有以下几种：

1. 检测材料送进的保护装置

这类装置大多是利用送料失误使检测销不能进入条料的导正孔而被条料推动向上移

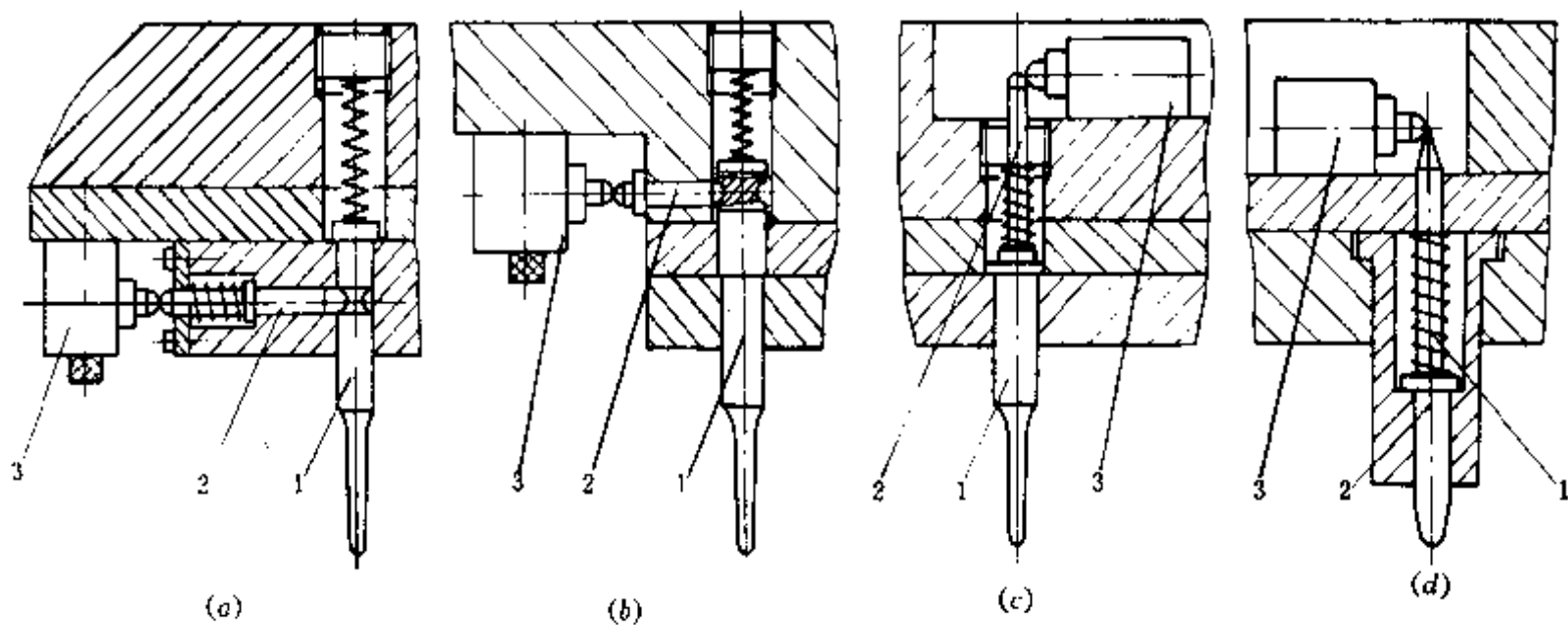


图 10—52 导正孔检测

(a) 小孔形式 (一); (b) 小孔形式 (二); (c) 小孔形式 (三); (d) 大孔形式。

1—浮动检测销; 2—接触销, 3—微动开关。

动切断线路，使压力机停止运转。如图 10—52 所示。浮动检测销 1 因送料失误不能进入条料的导正孔时，便被条料推动向上移动，使微动开关 3 闭合，因微动开关同压力机电

磁离合器是同步的，所以电磁离合器脱开，压力机滑块停止运动。图 (a)、(b)、(c) 三种形式中，利用废料位置导正孔导正较多。如果利用制件本身的孔导正时，一般应把制件孔径先冲小一些供导正检测，在孔成形工位附近再修整到所需的孔径尺寸，以消除导正时的划伤或孔的变形。图 (d) 是利用较大制件孔检测的一种形式，一般要求制件孔大于 10mm，同样先在大孔中心冲一个小孔供导正检测，在最后工位把所需孔冲到要求的尺寸。浮动检测因调整简单，检测可靠，各种形式的级进模都可以采用。

这种检测形式能用于高速冲压，虽压力机滑块在高速行程中，由于惯性关系，发生故障时不能使压力机迅速停止，只能在完成一行程后停止，但如果此刻摩擦离合器已脱开，则滑块下行并无飞轮驱动，可以使模具损坏减至最小或不产生损坏。步距精度可控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 。

2. 检测原材料的自动保护装置

当材料厚度或宽度超差、弯曲或起拱时，自动保护装置都能发出信号。

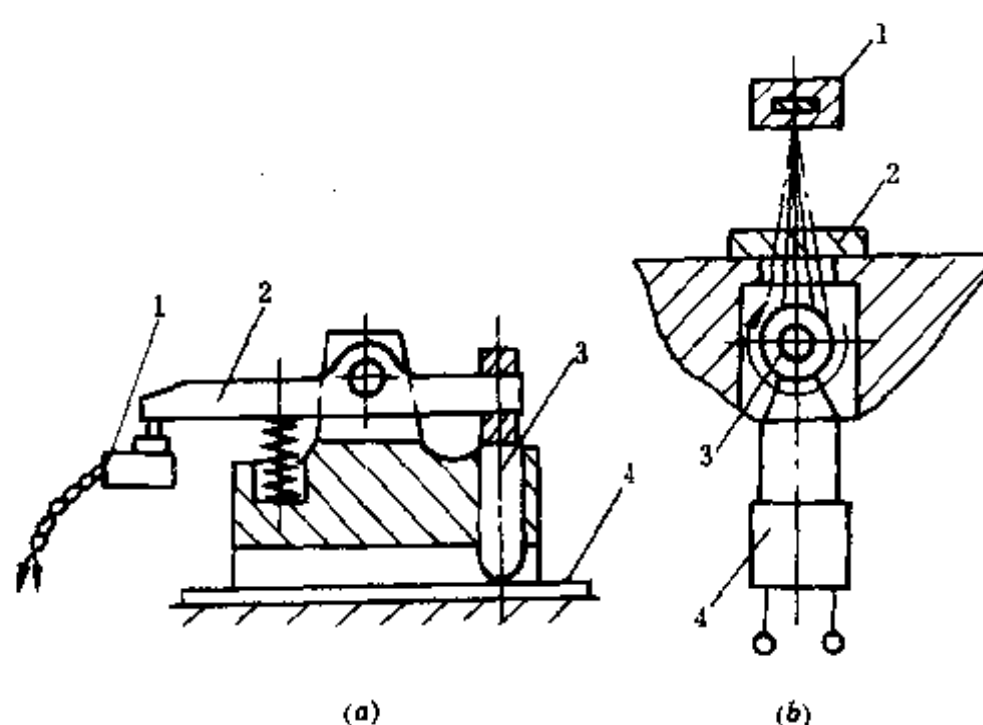


图 10-53 检测料厚装置

(a) 杠杆式：1—常合限位开关；2—杠杆；3—圆销；4—材料。

(b) 放射线式：1—放射源；2—材料；3—传感器；4—放大器。

如图 10-53 所示为检测料厚装置的示意图。在图 (a) 中，当材料 4 过厚时，销 3 通过杠杆 2 使开关 1 动作，切断线路。图 (b) 中，放射源 1 发出的射线，穿过材料 2 由传感器 3 接收，经放大器 4 通向控制线路，传感器接收的射线随料厚改变。

如图 10-54 所示为检测料宽装置的示意图。带料宽度超差时，扭簧 5 通过转臂 3 使开关 4 动作，切断线路。

如图 10-55 所示为检测材料起拱装置的示意图。在图 (a) 中，材料 1 起拱时，叉 2 绕支点 3 转动，开关 5 导通控制回路。图 (b) 中，材料起拱时，固定在绝缘支架 1 上的叉 2 与材料接触，导通控制回路。

3. 凸模损坏检测装置

多工位级进模中需冲裁的小孔较多，凸模因多种原因损坏。凸模损坏后，冲出的孔就不规则。为此有如图 10-56 所示的检测装置简图，检测用凸模高度与冲孔凸模高度一

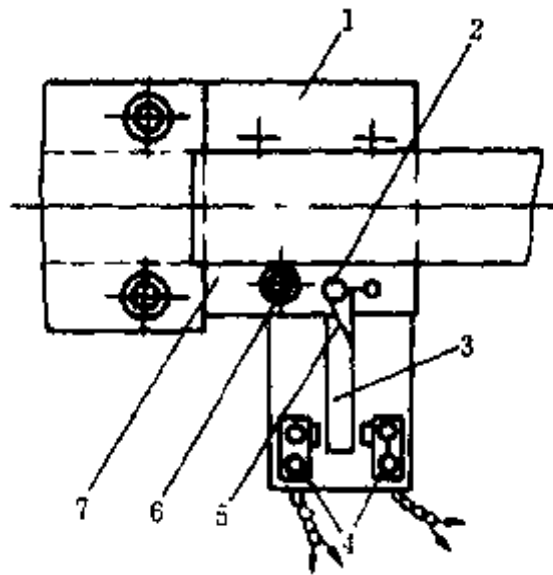


图 10-54 检测料宽装置

1—导料板；2—支点；3—转臂；4—常合限位开关；5—扭簧；6—滚柱；7—承料板。

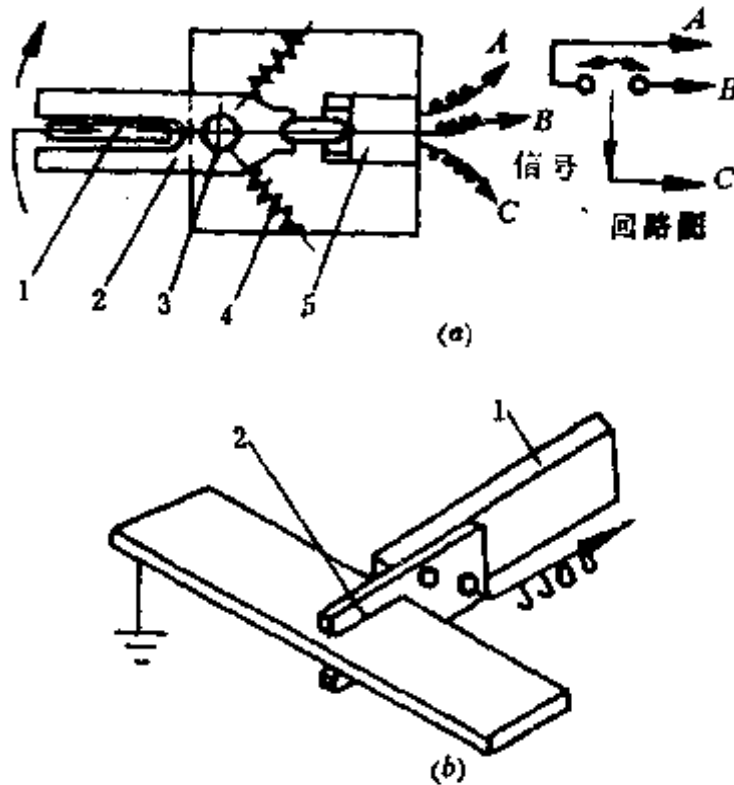


图 10-55 检测材料起拱装置

(a) 杠杆式：1—材料断面；2—叉；3—支点；4—拉簧；5—开关。

(b) 叉式：1—绝缘支架；2—导电叉。

致，直径或外形取凸模尺寸的 3/4。为了顺利地进入被检孔，头部制成球形。微动开关装在检测凸模侧面检验部和定位部相交处，把微动开关调整到闭合状态。当冲孔凸模在正常工作情况下，检测凸模就能顺利进入被检孔中，微动开关不工作。如果冲孔凸模损坏造成冲出的孔尺寸及形状不良时，检测凸模就不能进入被检孔中，而被条料推动向上，此时微动开关断开，压力机滑块停止运动。假如在一副模具中有几个孔需要检测时，首先选择其中较高精度孔作为检测孔。也可在几个孔中同时检测，把几个微动开关串联在一起，只要一检测凸模测出冲出的孔不良，压力机滑块就会停止运动。

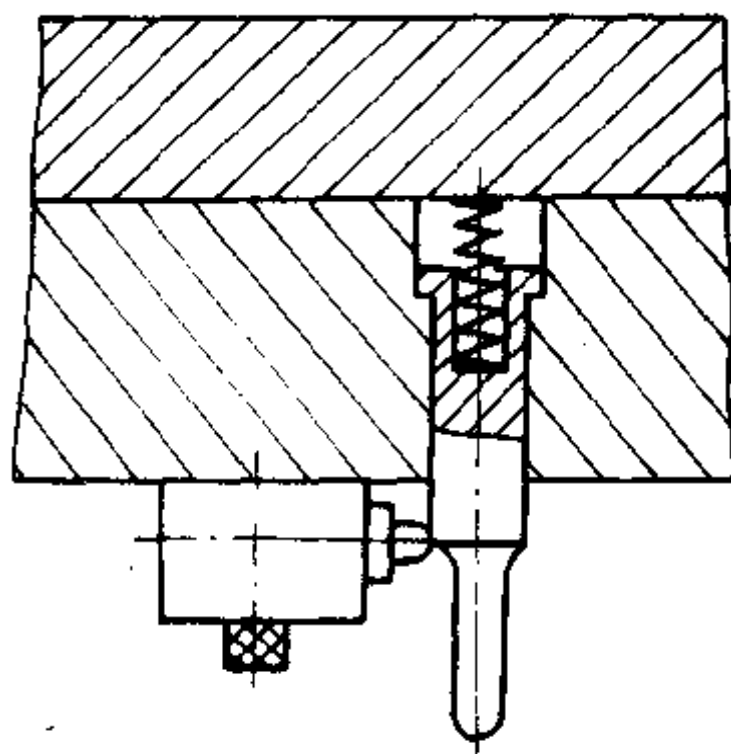


图 10-56 孔不良检测

七、防止工件和废料上升装置

级进模在高速冲压连续工作时，工件及废料容易从凹模口上升，粘贴在凸模刃口平面上，影响正常工作，严重时甚至会损坏模具和压力机，造成不应有的损失。

造成这种情况的原因很多。诸如冲裁件形状（冲裁件轮廓简单较复杂的易上升，料薄、软的工件易上升）；冲裁速度（冲裁速度越高，越易回升）；凸、凹模刃口锋利程度（刃口锋利，易于回升）；润滑油使用与否（有润滑油把废料或工件与凸模粘接在一起易于回升）；凸、凹模间隙大小（间隙大，废料易回升）等因素影响废料或工件上升。解决的措施多从凸模和凹模上着手。

（一）利用凸模防止工件和废料上升

在凸模刃端设置附加零件或把刃端制成不同形状，可有效地防止回升。常用形式如图 10-57 所示。图 (a) 是在凸模内装有顶料销。顶料销直径 ϕd 按制件外形大小和材料厚度而不同。一般为 1~3mm，伸出高度 h 为材料厚度的 3~5 倍，并把头部制成球形，在凸模靠近顶料销凸缘处钻一小孔，借重磨刃口时用小棒插入将顶料销抬起以便刃磨。冲裁废料或制件在顶料销后面弹簧的作用下，与凸模分离进入凹模。图 (b) 是利用压缩空气防止废料上升，它主要用在凸模断面小，不能装顶料销的场合，凸模中的气孔一般为 $\phi 0.3 \sim \phi 0.8\text{mm}$ 。图 (c) 应用在直径小于 1mm 的细长凸模上，尤其是拉深冲底孔凸模。在凸模的端面制成 $45^\circ \sim 50^\circ$ 的锥度， h 为凸模直径 ϕd 的 $1/2$ ，当凸模工作时，首先由锥角定位后再冲裁，这样不但废料不能粘在凸模上，而且还能保证制件外形与中心孔的同轴度要求。图 (d) 是凸模端面制成圆弧， h 为料厚的 $1/3 \sim 1/2$ ， b 取料厚的 1.5~2 倍。图 (e) 是在凸模端面制成锥度，锥度为 140° 左右， h 为料厚的 $1/3 \sim 1/4$ 。图 (f) 是当凸模直径大于 20mm 时，在凸模端面制成凹坑并钻通气孔， h 为料厚的 $1/4$ ， b 取料厚的 2.5~3 倍。图 (g) 是在凸模端面制成斜槽， h 等于料厚，其角度在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 之间。图 (h) 是

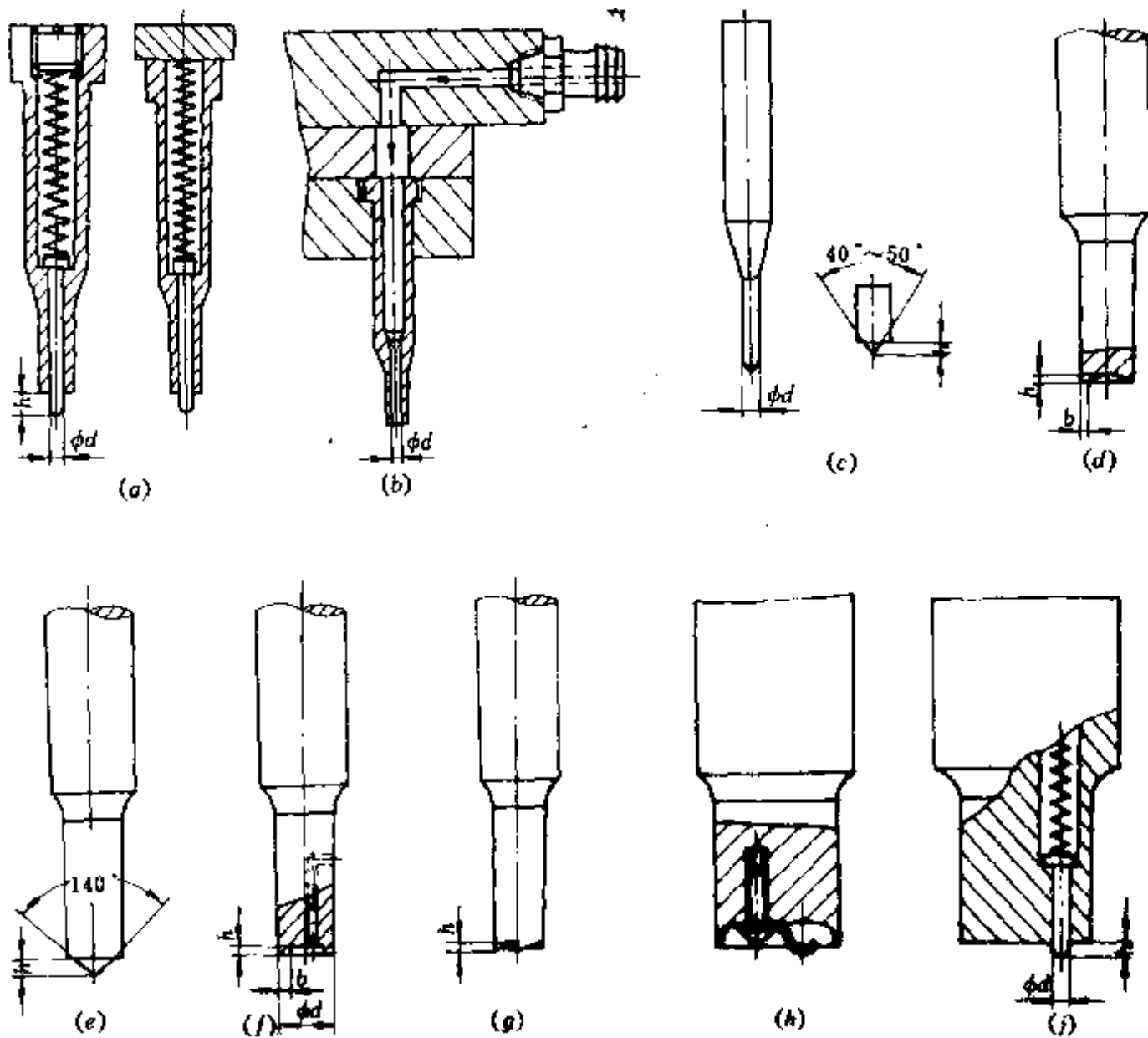


图 10-57 利用凸模防止废料回升

(a) 顶销式；(b) 利用压缩空气；(c) 凸模带尖锥；(d) 凸模带圆弧；(e) 凸模带顶锥；
(f) 凸模带凹坑；(g) 凸模带斜槽；(h) 凸模上加弹簧片；(i) 凸模上加顶料销。

在大型凸模端面制成凹坑，坑内装弹簧片，利用弹簧片作用力防止废料回升。图 (i) 是在大型凸模偏离中心处装顶料销，顶料销伸出高度及直径可参照图 (a) 中有关参数。以上各种型式各具不同特点，在设计时可按不同情况选择最佳方法。

(二) 利用凹模防止废料回升

如图 10-58 所示。在凹模刃口处做 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 的反锥角，漏料孔壁带有 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 的锥角。在冲裁时，废料或制件外周受到压缩应力，同凹模壁的摩擦增加，废料不易回升。对于较大的废料或制件，这是防止回升的有效办法。这种办法的缺点是反锥角加工困难，且易引起小凸模折断。

多工位级进模工作过程中，废料或制件除有上升的情况外，还有在凹模中堵塞的情况。如在凹模中积存过多，一方面会使凸模损坏，另一方面废料在凹模内的胀力会引起凹模胀裂。引起堵塞的原因主要是漏料孔引起的，防止的办法是：既要防止废料或制件堵塞，又不能引起废料回升，除采用图 10-58 中 (a)、(c)、(e)、(i) 四种利用凸模顶料销的方法外，还可采用合理设计漏料孔，对于薄料的小孔冲裁（直径小于 1.5mm），废料堵塞是经常发生的，因为废料轻又同润滑油粘在一起，容易把漏料孔堵塞。在不影响刃

口重磨的情况下，应尽量减小凹模刃口高度 H ，一般取 H 为 $1 \sim 1.5\text{mm}$ ，对于精密制件在刃口部制成 $\theta = 3' \sim 10'$ 的锥角，漏料孔壁锥角 $\theta_1 = 1^\circ \sim 2^\circ$ ， ϕD 比漏料孔锥角大端大 $1.5 \sim 2\text{mm}$ ， ϕD_1 比 ϕD 大 $2 \sim 3\text{mm}$ ，而且中心要一致，孔壁不能错位（见图 10-59）。在冲侧孔时，更要注意留有足够的漏料空间，废料靠自重能自由下落而不致堵塞在凹模内。

多工位级进模要完成多工序生产，有些制件或废料不能完全从凹模漏料孔中落下而停留在模具表面上。因此，必须自动清除停留在模具表面上的制件或废料才能满足高速生产的要求。级进模等自动模具利用压缩空气较多，压缩空气在压力机滑块回程时把需要清除的制件或废料吹离模具表面。其常用的形式有以下几种：

1. 利用凸模气孔吹离

当制件成形后从条料上切离时，往往都是一次切离几个制件，用这种方法切离的制件，基本上都不能从凹模的漏料孔中漏出，而只能从模具表面清理，清理这类制件可采用如图 10-60 所示的方法。在凸模中钻气孔，气孔位置及大小按清理制件不同而有别，一般以 $\phi 0.8 \sim \phi 1.2\text{mm}$ 为宜。图中中间孔主要防止废料回

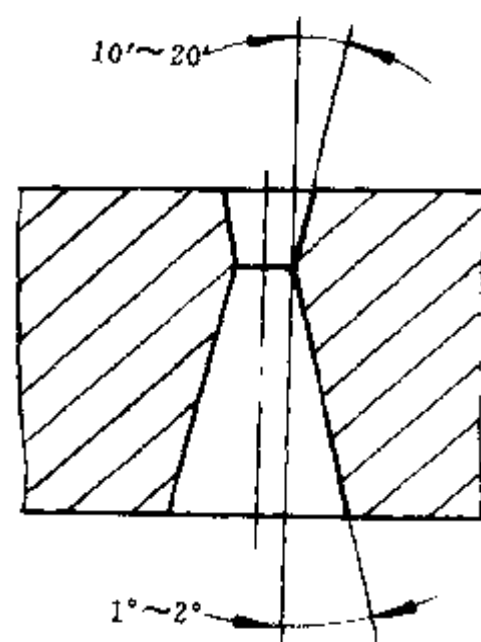


图 10-58 利用凹模防止废料回升

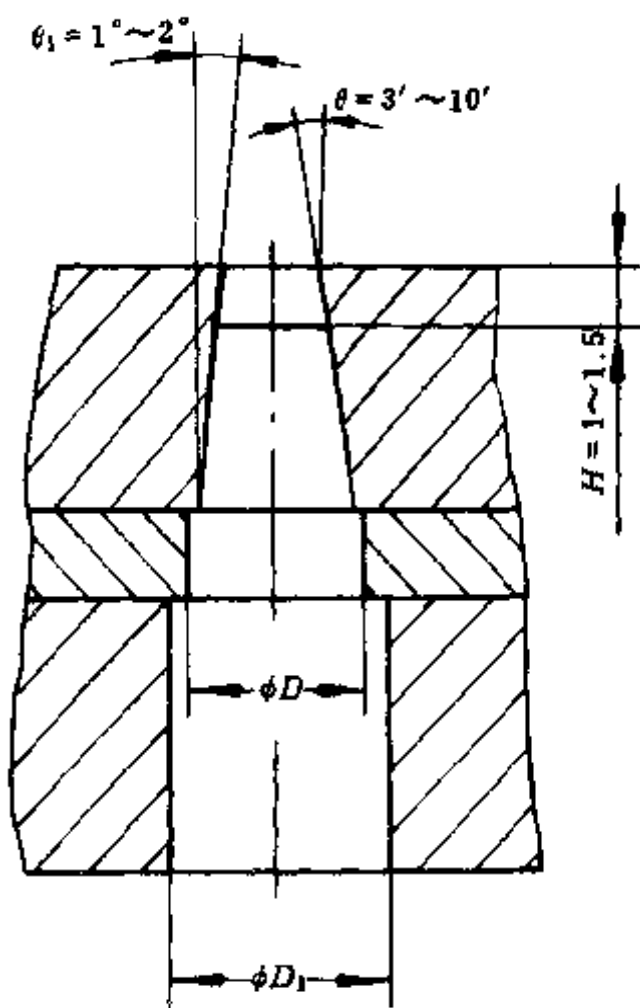


图 10-59 凹模漏料孔

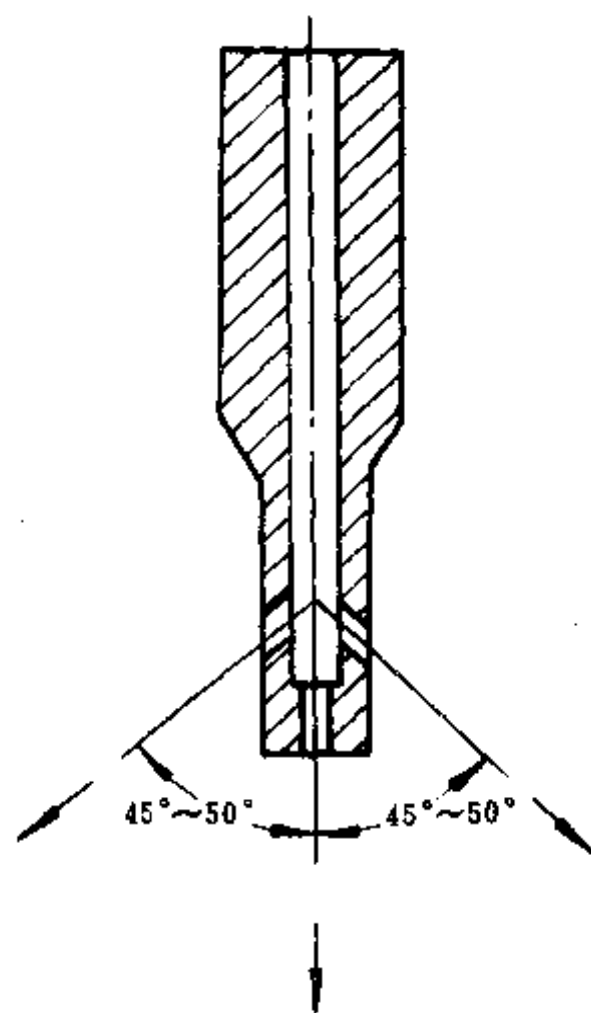


图 10-60 利用凸模气孔吹离

升，两侧斜孔就把被切离的制件在压力机滑块回程时向模具两边吹离。

2. 从模具端面吹离

要在最后工位切离条料的制件，可在下模的有关零件中增设气孔如图 10-61 所示。

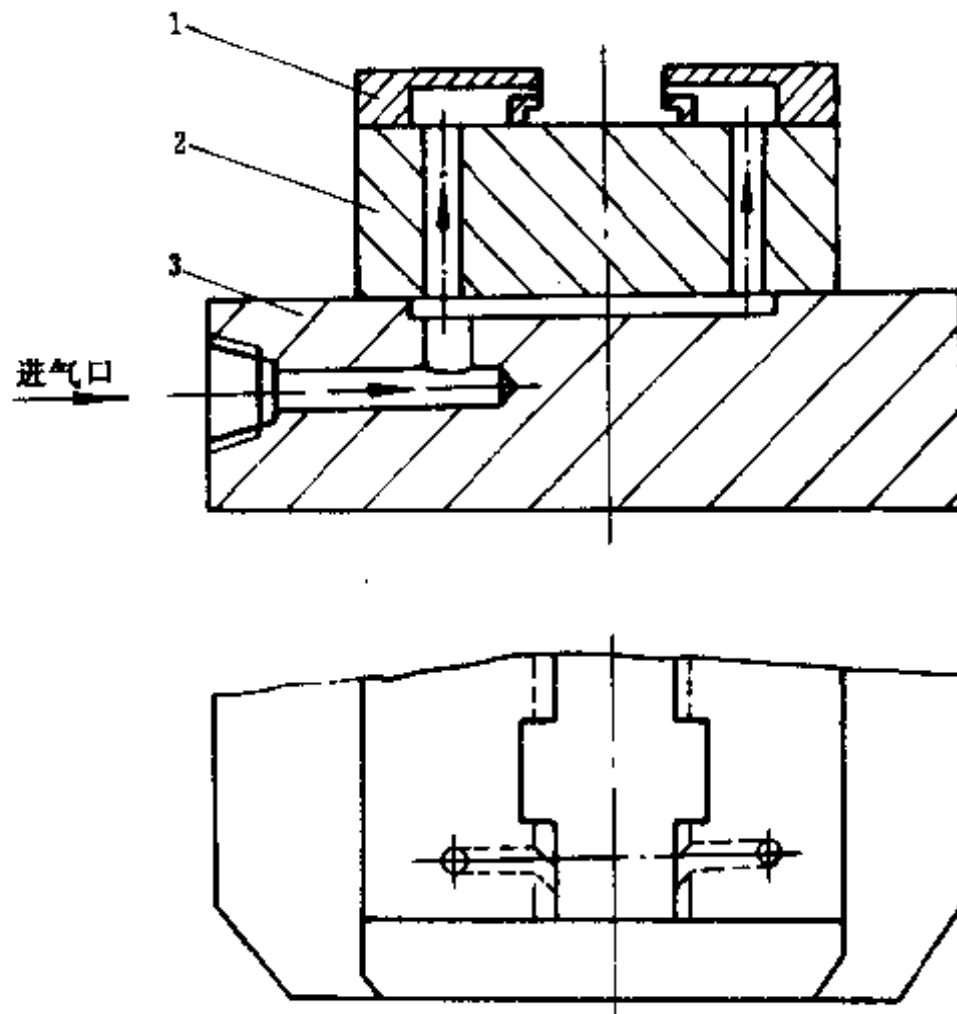


图 10-61 从模具端面吹离
1—导料板；2—凸模；3—下模座。

压缩空气经下模座 3 和凹模 2 进入导料板 1 的斜气孔，当制件由切断凸模切离条料后，压缩空气从导料板中的气孔把制件从模具端面吹离。

3. 气嘴关闭式吹离

如图 10-62 所示，把气嘴 2 装在凸模固定板 1 中，压缩空气经凸模固定板进入气嘴，为防止压缩空气损失，它们之间的配合间隙不能太大，为增加密封效果可增设密封圈。气嘴同凸模之间要保持 10~15mm 的距离。当上模下降时，气嘴被压入在凸模固定板内，气嘴中的气孔被堵塞。上模回升，压缩空气把气嘴推出并从气嘴侧面的气孔中喷出气流，把制件在压力机的滑块回程时吹离模具表面。这种形式在复合模中多采用。

此外，有些模具有关零件不能设置气孔时可在模具需要清理的部位附近固定可以移动的气嘴，直接吹去散落在凹模表面的制件。

利用压缩空气清理应正确设计气嘴（孔）的位置、方向和气压大小。此外制件掉下时要注意不致损伤制件。

、

八、微调装置

在多工位级进模中由于凸模多，各工序如压印、弯曲、翻边、拉深等凸模高度需保持一定相对的尺寸，有时需作极微小的调节；另外，由于冲裁凸模刃磨后影响各凸模相对高度，也必须调节其高度。还有弯曲工位中弯曲间隙的大小，有时也需作极微细的调节。多工位级进模中常用的微调装置有以下两种。

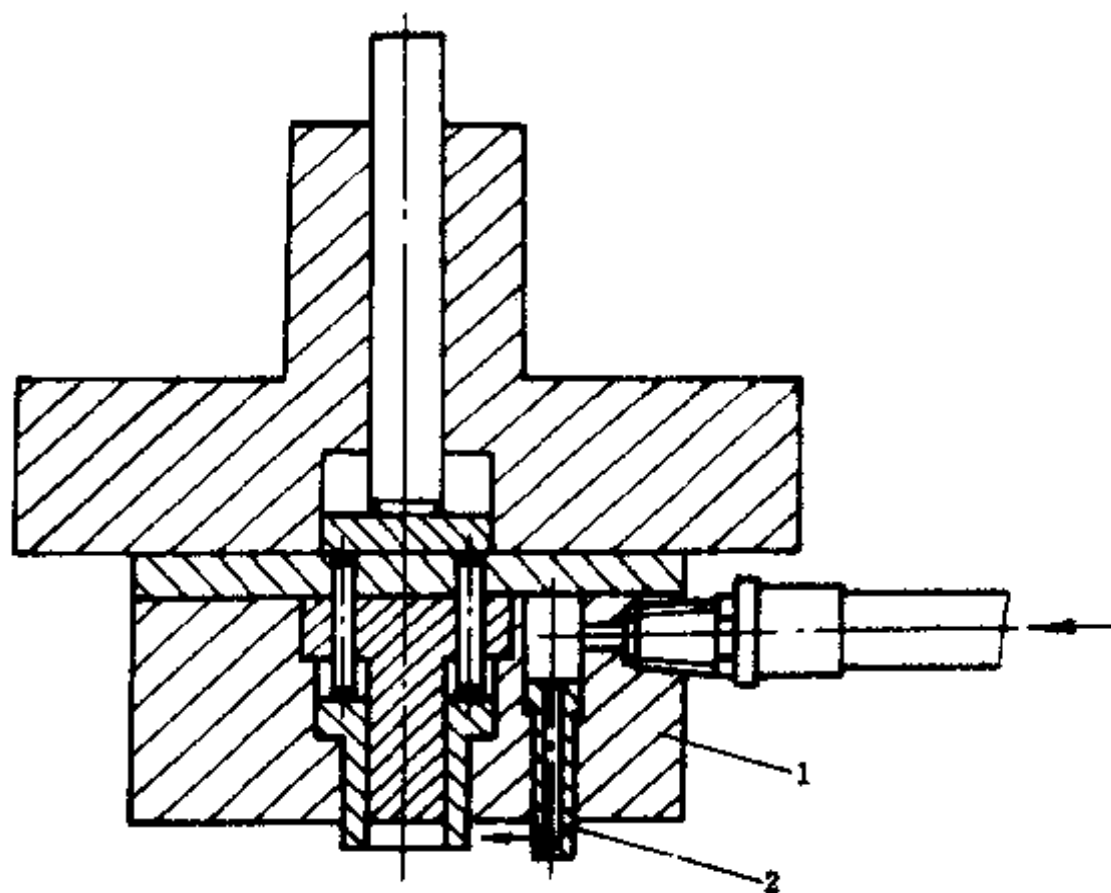


图 10-62 气嘴关闭式吹离

1—凸模固定板；2—气嘴。

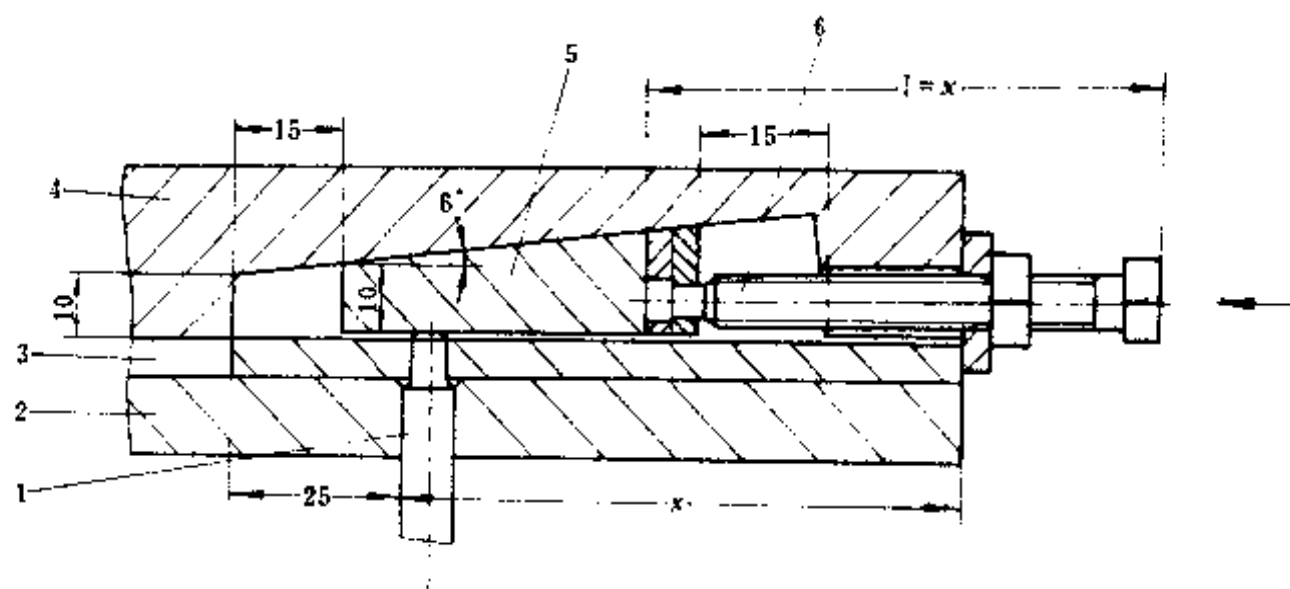


图 10-63 凸模垂直微调装置

1—凸模；2—凸模固定板；3—垫板；4—上模座；5—斜楔；6—调节螺杆。

(一) 垂直微调装置

如图 10-63 所示为垂直微调装置。不论在装配时，还是校正模具或维修方面，都能较快而精确地调整各凸模的匹配高度。图中滑块与模座以斜面接触，在滑块端部开有 T 形槽便于安放螺杆头肩部。滑块斜度取 6° 为宜，凸模与固定板的配合是浮动式的。转动螺杆，斜楔即能移动而使凸模沿垂直于水平方向上下移动。

(二) 间隙微调装置

如图 10-64 所示为用来调节弯曲凸模、凹模间隙的水平微调装置。

图 (a)、(b) 中分别为上凸模与下凸模的微调装置（视模具结构，选其中一种）。图

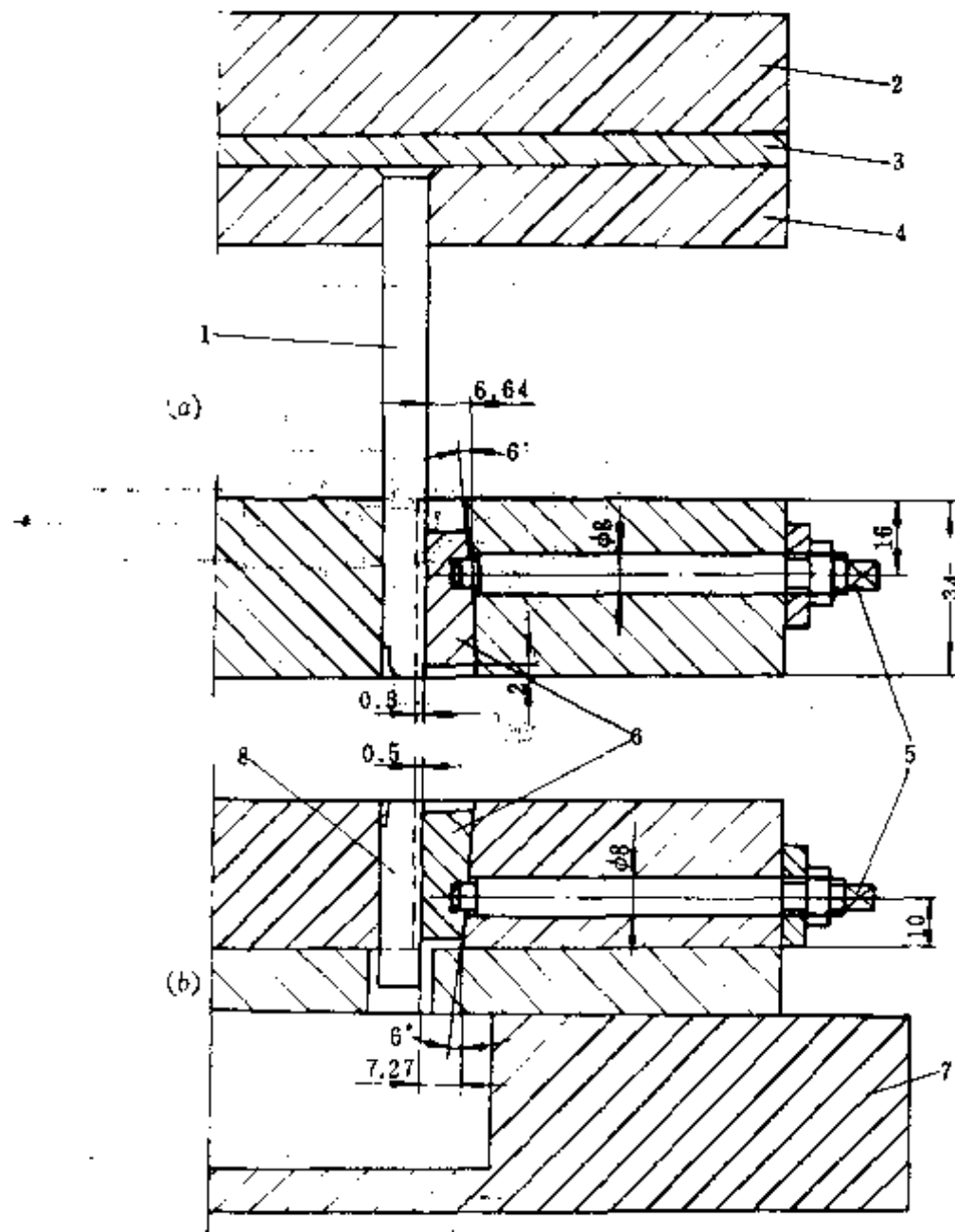


图 10-64 间隙微调装置

(a) 上凸模微调装置; (b) 下凸模微调装置

1- 上凸模; 2- 上模座; 3- 垫板; 4- 凸模固定板;
5- 调节螺杆; 6- 斜楔; 7- 下模座; 8- 下凸模。

中螺杆 5 左端为一偏心的圆柱头，它与斜楔 6 上的长槽啮合，所以转动螺杆，即能使斜楔上下移动，使弯曲凸模 1 或 8 作水平移动，得微调间隙量。

在弯曲凸模工作时，往往一侧集中受力，接触面磨损较快，其间隙也随之增大。因此在冲压一段时间后，如发现冲件弯曲部位有变化，可转动偏心轴来调整间隙。此外，由于材料厚度误差的变化而影响弯曲间隙时，也可以转动偏心轴进行间隙调整。

以上两种微调装置微调量一般在 0.1~0.15mm 内。

九、模具材料

(一) 基本要求

高效、精密冲压模具的特点是制件精度高、批量大、模具要求高寿命，因而对模具材料有更高的要求，特别是对模具的主要零件，在选用材料时，必须满足以下要求：

(1) 高强度，尤其对多工位级进模的细长凸模，为防止弯曲和断裂，对强度要求尤显重要；

(2) 较好的韧性和耐疲劳性；

(3) 较高的硬度和耐磨性；

(4) 优良的机械加工性能和热处理淬透性；

(5) 适应我国模具材料的生产和供应情况。

所选材料要完全满足以上各点要求往往是困难的，这就需要根据模具零件的具体使用条件来选用材料，做到在满足主要条件的前提下，选择便宜的材料，使成本最低。凸模和凹模在工作中受到强烈的冲击、弯曲、剪切、摩擦和挤压作用，应具有较高的强度和硬度、高的耐磨性和足够的韧性，必须选用冷作模具钢或硬质合金材料。在拉深不锈钢制件时，则要求模具材料有较高的抗粘着性。对固定板之类的零件，不但要求有足够的强度，而且要求在工作过程中变形小。

(二) 模具的几种新型钢种

几种新型模具钢的应用范围及性能如下：

(1) 易切削预硬钢 8Cr2MnWMoVS 钢可在预硬态和高硬度态使用。在预硬态时，可用于注射模和挤塑模，也可作精密级进模中的固定板。在高硬度时，因具空冷淬透性好、高硬度、高强度、热处理变形小等特点，可用于制造加工薄料的精密制件冲裁模。

(2) 空冷微变形钢 常用的有 Cr2Mn2SiWMoV, CrMn3SiWMoV, CrMn2SiWMoV。如 Cr2Mn2SiWMoV 钢，它优于 Cr12 高铬钢，其最大特点是淬透性好、淬火温度低、含铬量低、碳化物均匀；同时还具有较高的机械性能和耐磨性。缺点是退火硬度偏高，脱碳敏感性较大。它适宜于制造高精度、高寿命、形状复杂的冷冲模。

(3) 石墨钢 即 SiMnMo 钢。因具自润滑作用而得名。这种钢可切削加工性和耐磨性都较好，热处理变形小，尺寸稳定。适于制作精密模及润滑条件较差的拉深模、冲裁模等。

(4) 基体钢 所谓基体钢，是指其成分与高速钢淬火后的基体组织（马氏体）成分大致相同的一类钢。常用的有 65Cr4W3Mo2VNb (65Nb), 5Cr4Mo3SiMnVAI (012AI)。这类钢热处理变形小，疲劳强度和韧性优于高速钢，而材料成本低于高速钢，适用于重载冷冲模及冷挤模。

(5) 高速钢 即 W6Mo5Cr4V2 钢，这种钢耐磨性稍高于 W18Cr4V 钢，且淬火、回火后钢的强度和韧性也有所提高，为目前小截面凸模常用材料之一。

(三) 硬质合金

在制造冲模时，利用高硬度、高强度、耐磨损、耐腐蚀、耐高温和膨胀系数小的硬质合金作为凸、凹模的材料已日渐增多。硬质合金主要分钨钴和钨钴钛两大类，其中钨钴钛类合金脆性大，不宜作为模具材料。用于模具材料的硬质合金是钨钴类硬质合金，不但用于冲裁模，还用于拉深模、冷挤模及冷锻模。其主要优点是：

(1) 硬质合金模具有寿命长、坚固耐用的优点，其寿命比普通钢质冲模高 60 倍左右。而且由于耐磨，凸、凹模刃磨一次的使用寿命也较钢模的凸、凹模刃磨一次的使用寿命长得多。

(2) 硬质合金冲模的使用可提高工件的精度，某工件用硬质合金冲模冲 150 万次后，

尺寸只改变 2 μm ；而钢制冲模仅冲 4 万次，制件尺寸改变 40 μm ，且制件表面状态质量好，毛刺极小。

硬质合金冲模加工较钢质冲模困难，故模具成本要较钢质冲模高 3~4 倍。

用于冲模的硬质合金的性能及用途列于表 10-10。

表 10-10 常用硬质合金的性能及用途

牌号	化学成分(%)		物理、机械性能			用途
	WC	Co	抗弯强度 (MPa)	密度	硬度 HRA (相当 HRC)	
YG6	94	6	≥ 1400	14.6~15.0	89.5(>72)	简单成形
YG8	92	8	≥ 1500	14.4~14.8	89.0(72)	成形、拉深
YG11	89	11	≥ 1800	14.0~14.4	88.0(>69)	拉深
YG15	85	15	≥ 1900	13.9~14.1	87.0(69)	拉深、冲裁、冷挤
YG20	80	20	≥ 2600	13.4~13.5	85.5(>65)	冲裁、冷挤、冷墩
YG25	75	25	≥ 2700	13.0	85.0(65)	

(四) 钢结硬质合金

钢结硬质合金不但具有一般硬质合金材料的优点，而且还具有一般普通钢材所具有的可加工性、可锻性、可焊及可热处理等优点，因此可以认为，钢结硬质合金是目前最理想的冲模材料。采用钢结硬质合金制造模具，可以收到显著的技术经济效果。钢结硬质合金的主要特点是：

(1) 钢结硬质合金以碳化物为硬质相，因此像一般硬质合金一样具有比工具钢更高的硬度、耐磨性和较好的刚性；同时，又由于存在钢基体，使钢结硬质合金比一般硬质合金有着更高的强度和韧性。

(2) 材料经退火软化后，可进行切削加工，以制作形状比较复杂的模具零件。

(3) 钢结硬质合金可热处理，经淬火、回火处理后，使材料获得较好的机械性能，且淬火变形小，同工具钢的相对变形量一般仅为千分之几。

(4) 可承担一定的变形加工，具有一定的可锻性及一定的冷塑性变形能力。

目前常用作冷冲模的钢结硬质合金有 QT35 和 TLMW50 等。

第五节 多工位级进模典型结构

一、压线块级进模

制件简图及排样图如图 10-5 所示。

该制件材料为厚 1mm 的低碳钢板。

模具结构如图 10-65 所示。

这副模具的特点是：一次行程可得到两个制件，不但效率较高，而且因为要弯形，对

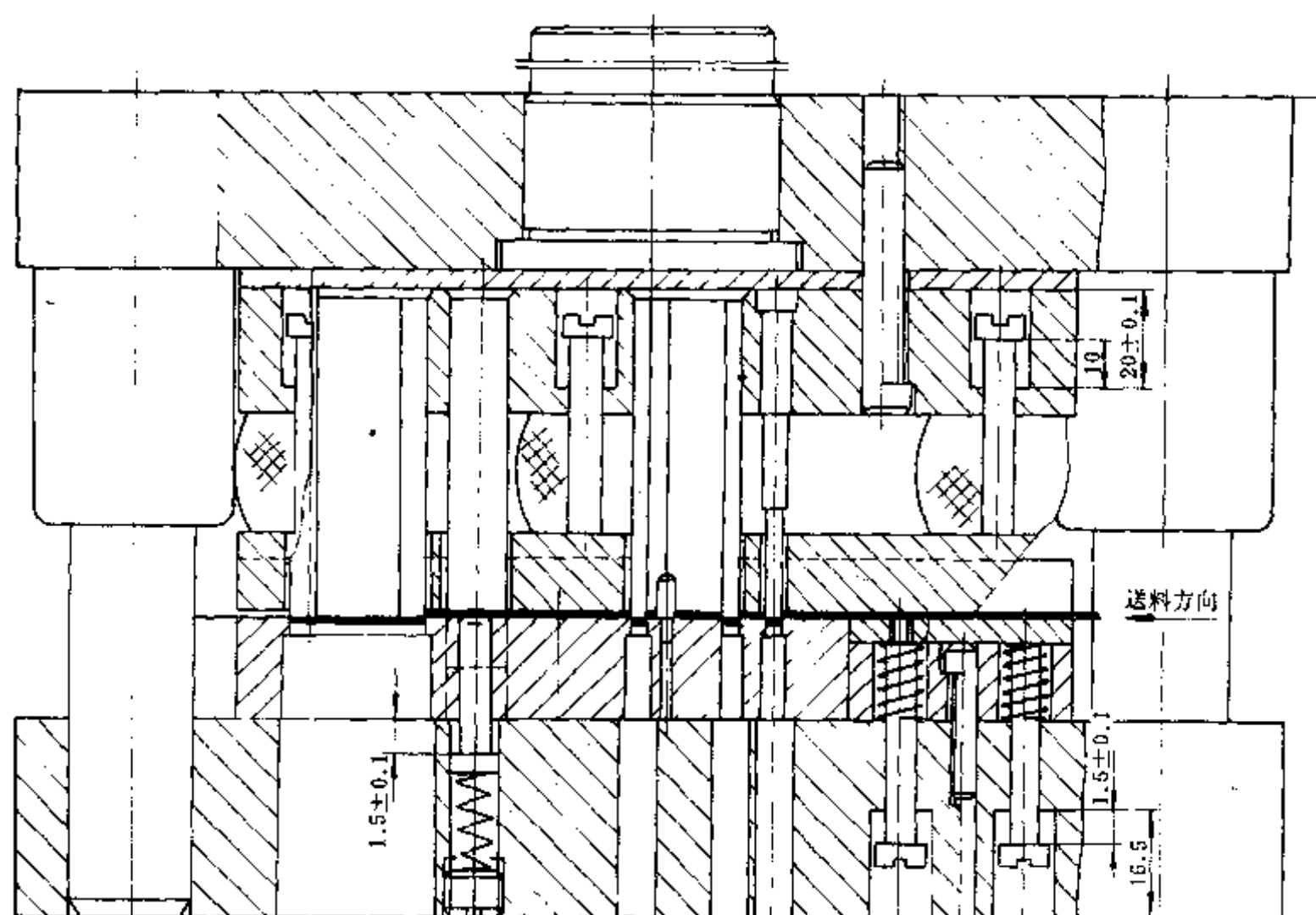


图 10-65 压线块模具结构图

称的安排两个制件，可使弯形时受力得到平衡；除此而外，因为制件本身有孔，两个制件上的孔很方便的解决了带料前进的导向问题，使模具结构简单，制造、维修、调整都比较方便，对操作也无特殊要求。

从排样图中可以看到，在第一工位上就冲出制件上的 $\phi 3.5$ 孔，以此作为带料前进的导正孔，在第二工位上，用以上工位冲出的孔定位冲出制件的展开外形。第三工位为空位，第四工位按制件图冲出 15° 形状，第五工位为切断，制件完成。

二、嵌条级进模

制件简图及排样如图 10-7 所示。

制件材料为 H62，厚 0.45mm。

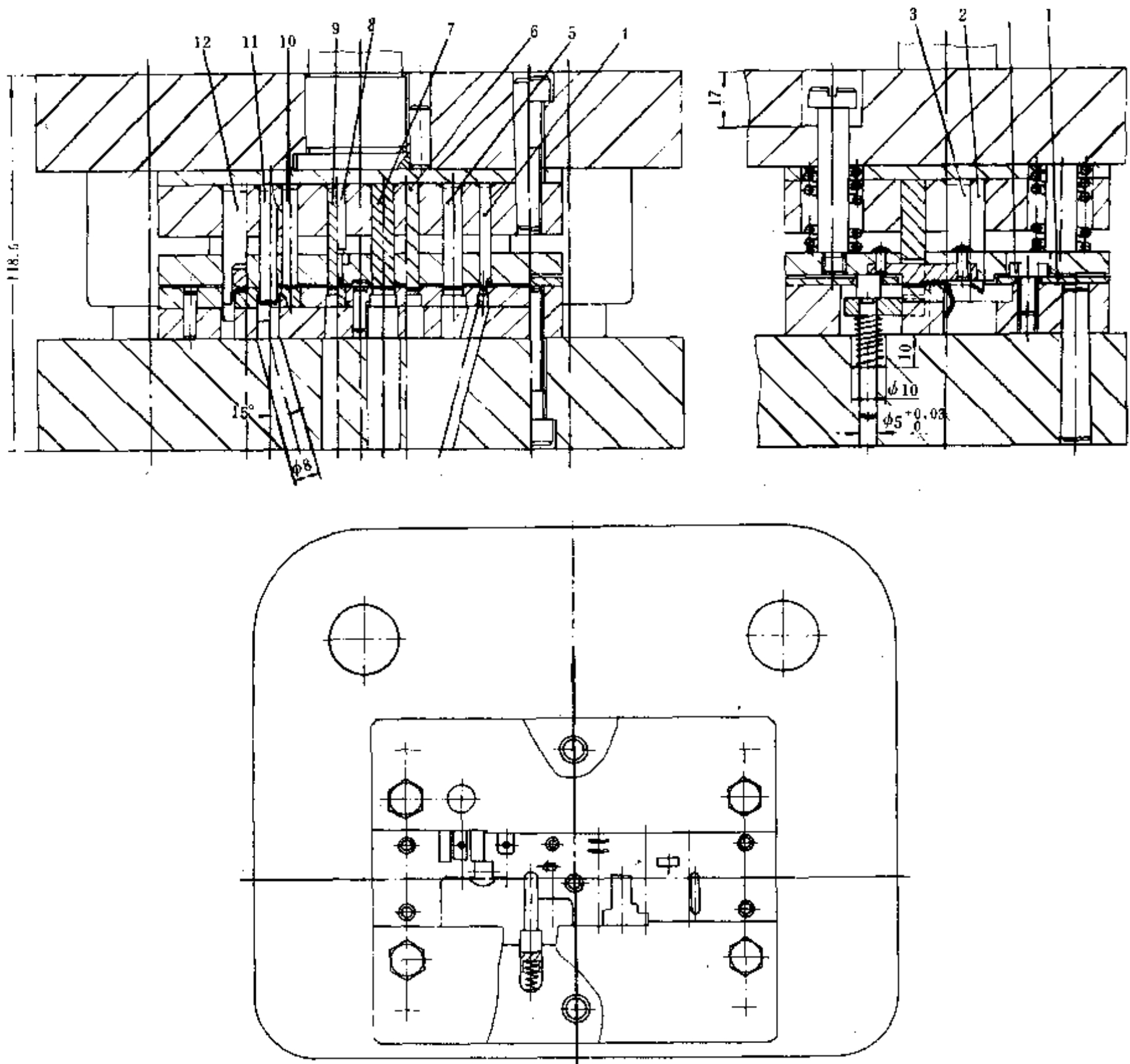


图 10-66 嵌条模具结构图

模具结构如图 10-66 所示。

该模具结构有如下特点：由于制件要多次弯形，在结构上作了如下安排：即把 30°和 15°弯形分别放在前后两个工位，这在结构上保证了试模时因回弹造成角度变化需修磨角度时比较方便。

从图中可以看到：长槽冲件 4、方孔冲件 5、切外形冲件 6、双孔冲件 7、小孔冲件 9 都对条料冲孔，30°弯冲件 2、15°弯冲件 3 则分别压出 15°、30°角度，凸台冲件 8、弧形冲件 10 压出制件上的凸包和弧形；而切断冲件 11 是将制件从条料上切断分离后，件 12 弯形模将两侧压弯。

在此要说明的是：弯形完成后的单个制件还需要与送料方向垂直的机构动作将其刮走，而图中未画出。

三、三插座级进模

制件简图及排样图分别如图10-67和图10-68所示。制件材料为铜带QAI7厚0.3mm。模具结构如图10-69所示。

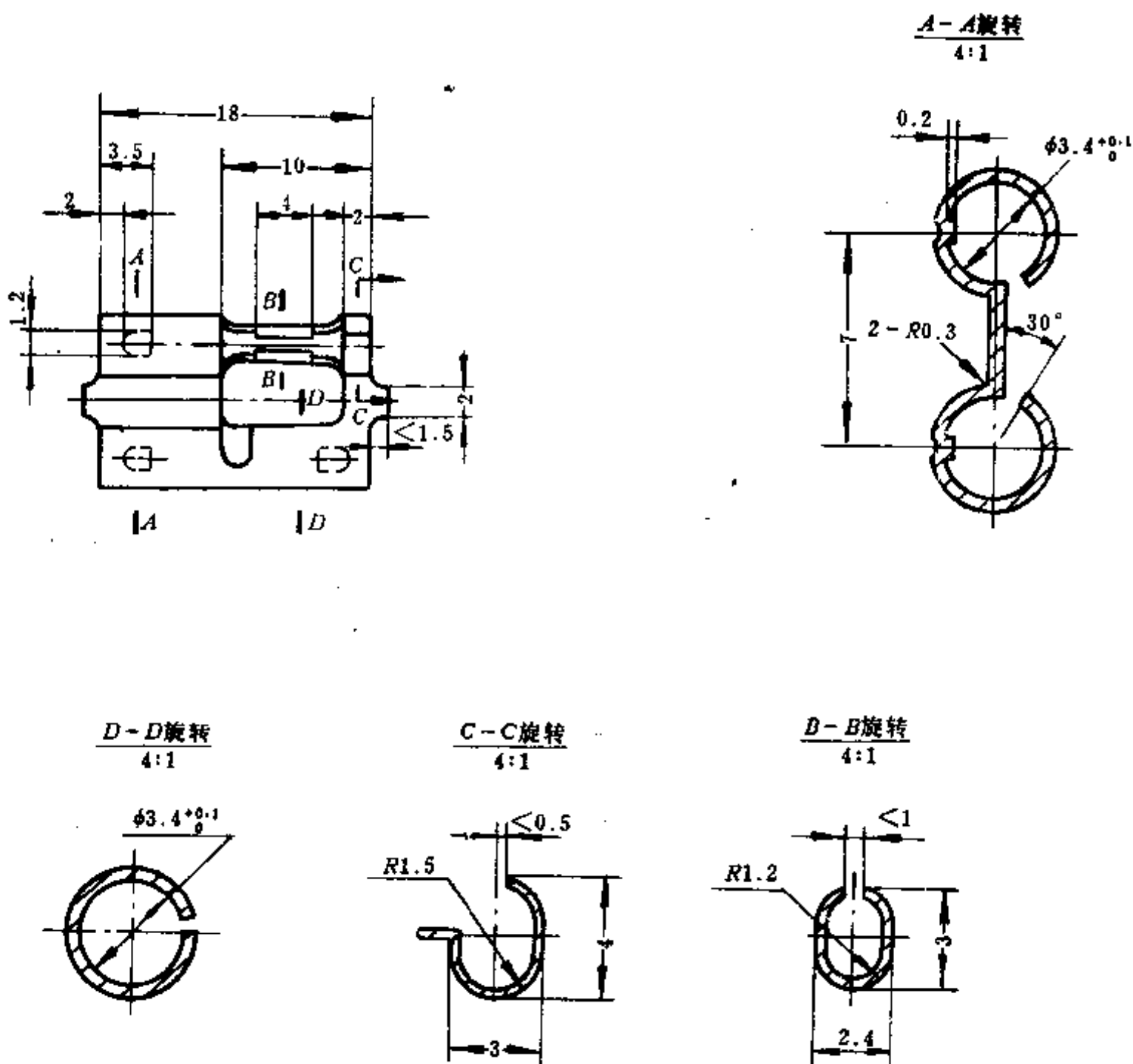


图10-67 制件三插座

从排样图中可以看到，该副模具由切边、冲孔、冲凸、成形（包括切断）及一个空位构成。

带料移动有左、右导料板件40、件39导向、定位由定位销11（两件）定位，我们在排样图中可以看到供定位用的圆孔是不完整的。除此而外，还要说明的是：第一工位切出的外形就是制件的展开形状。

在第一工位上用左、右侧刃（凸模）切出制件的外形，其中靠左面的两个不完整的 $\phi 2$ 圆孔作带料的定位用。在第二工位上，用件11（两个）定位销定位冲出中部形孔。

从制件简图中可以看到，有三个宽2mm、高0.2mm的凸包，现在把它安排在第三工位冲出，考虑到凹模制作、调整及换件的方便，将成形三个凸包的凸包冲做成镶件压入

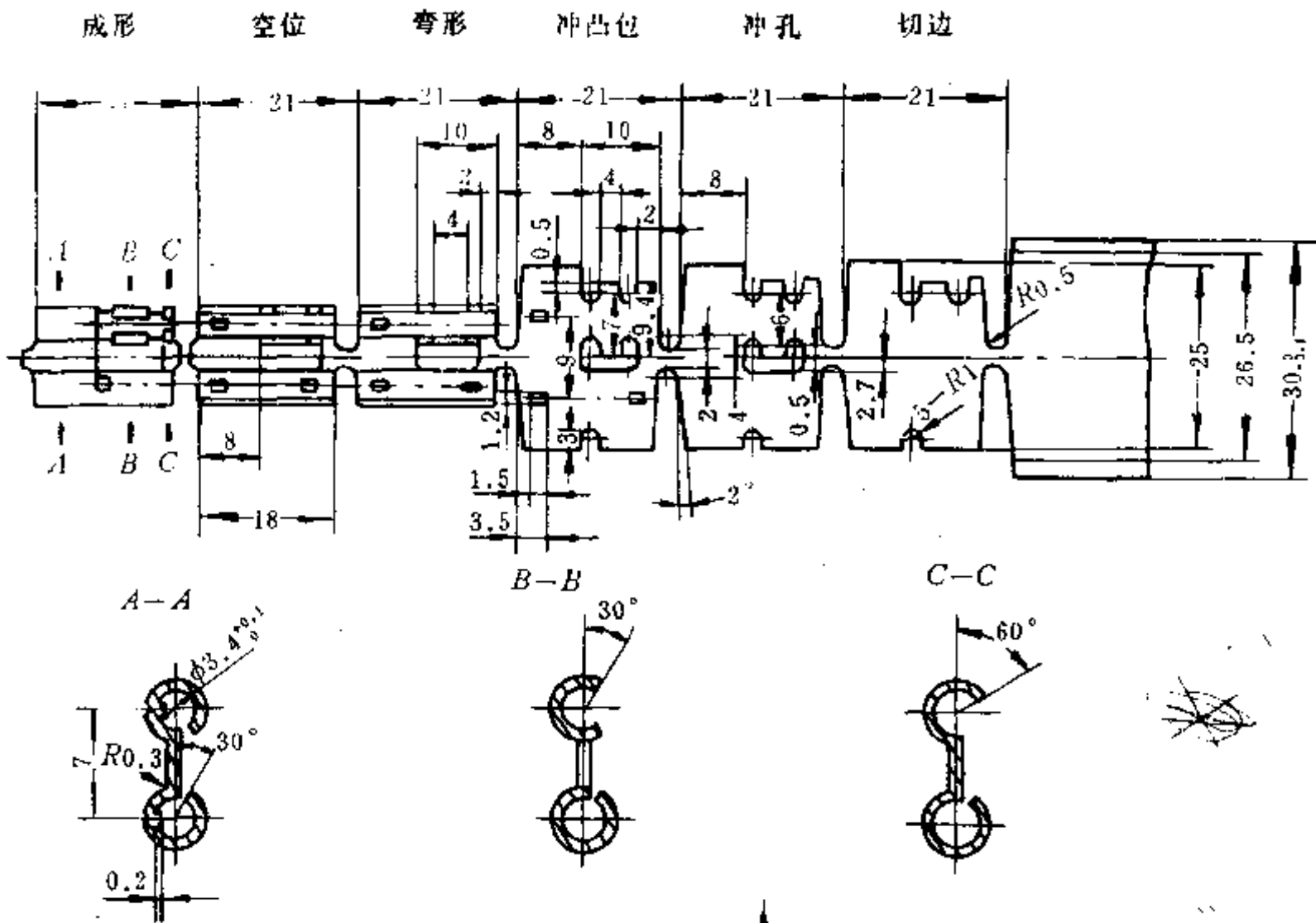


图 10-68 排样图

凹模中。

在第四工位上，用件 42 弯形凸模对制件作预弯形，弯成的形状如侧视图所示。为了装配和调试方便，件 43 弯形凹模可调整。件 42 力量的大小根据弹簧 4 确定。至于制件在凹模模口的位置及变形力大小则通过弹簧 53、螺钉 44、杠杆 46、螺杆 41 诸件以件 41 旋入上模座 6 的深浅来调整。

第五工位为空位。第六工位是成形和切断，经过弯形的条料上的制件进入该工位后，由件 25 和 24 成形上、下模将其压制达到所要求的形状。这种成形必须要有芯轴在其中才能实现，为此，设计了随冲床滑块下降的件 35 斜插块通过滚轮 34，使滑块 31 上的芯轴 28 向前，置于卷圆成形的工作位置。为使芯轴能顺利插入贴在凹模面上移动经预弯后的制件，非工作位置时，浮动块 27（芯轴是固定在其上的）在弹簧 60 作用下是将芯轴向上抬起的。斜插块作用的同时，螺杆 36 也将浮动块 27 逐步向下压至工作位置。件号 27、28、31 如图 10-69 所示，待加工完成后，斜插块随冲床滑块上升，在弹簧 33 的作用下，芯轴退出制件。

制件的切断是由切断凸模 23 和件 24、25 完成的，加工完成后的制件留在模面上，由下一件顶开（此时由于弹簧 60 的作用，芯轴已不在工作位置上，也便于出件）。

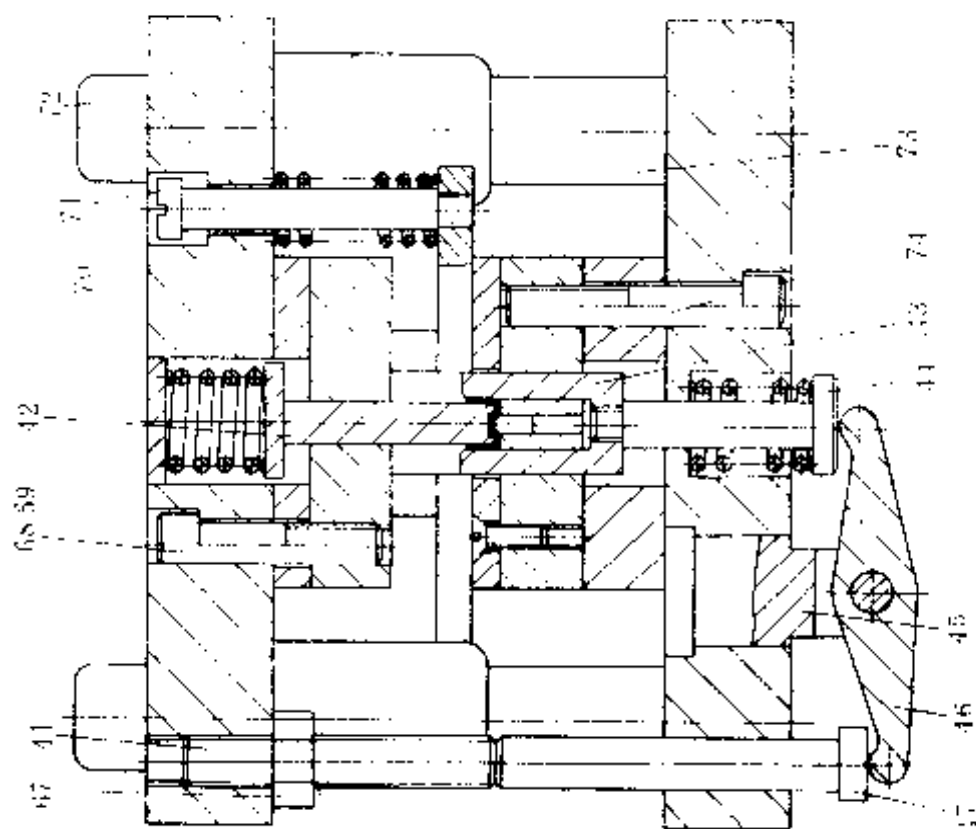
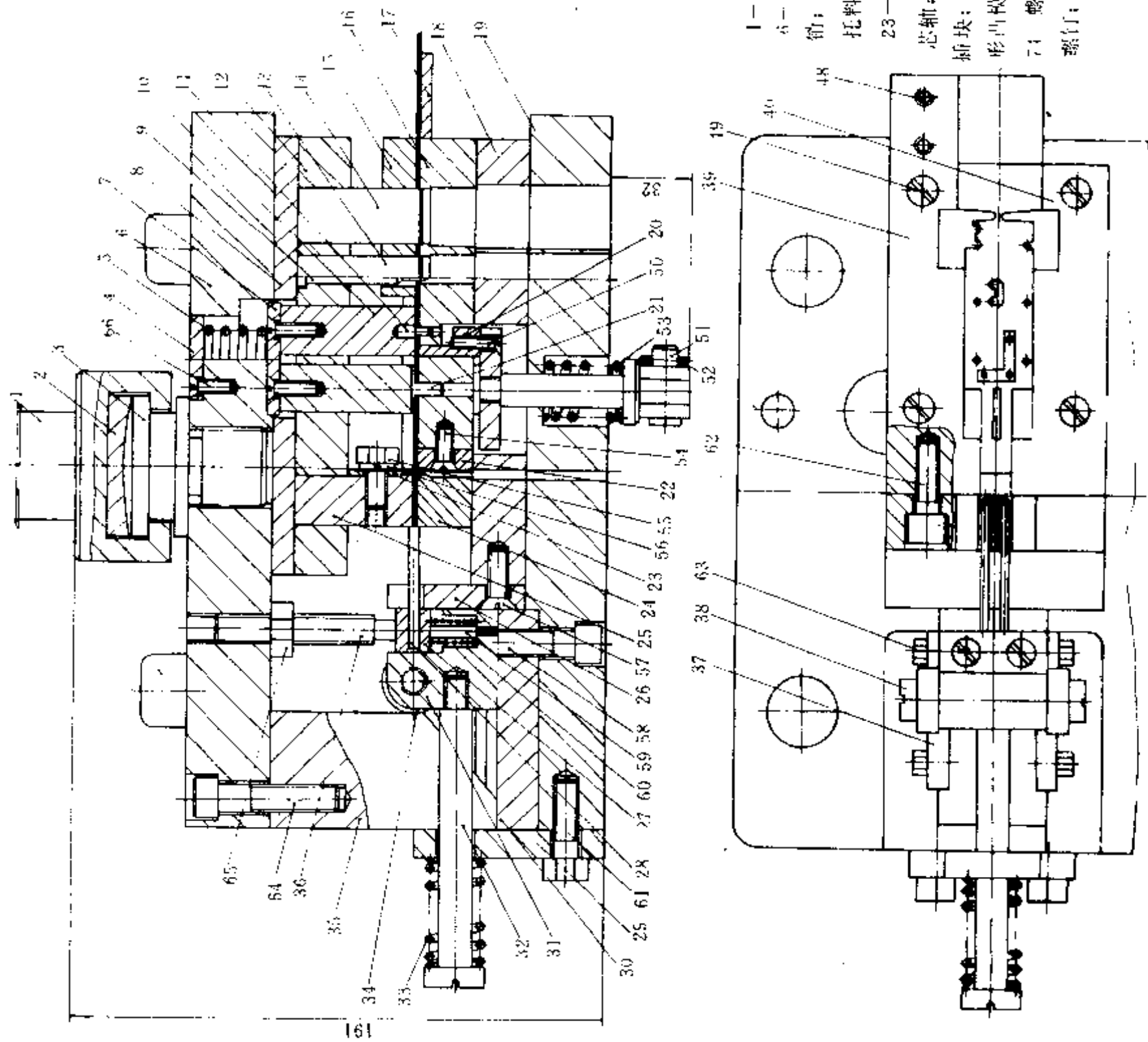


图 10-69 插座模具结构图

- 1—浮动模柄；2、56—垫圈；3—接头；4—压板；5、33、53、60、70—弹簧；6—上模座；7—连接板；8—垫板；9—定位钉；10—压凸包凸模；11—定位销；12—固定冲板；13—冲孔冲；14—左右侧刀；15—原料板；16—凹模；17—托料板；18—下垫板；19—下模座；20—凸包冲；21—备件；22—凹模镶块；23—切断凸模；24—成形下模；25—成形上模；26—挡块；27—浮动块；28—芯轴；29—连接板；30—垫板；31—滑杆；32、41—螺杆；34—滚轮；35—斜插块；36—螺杆；37—导板；38—滚轴；39—右导料板；40—左导料板；42—弯形凸模；43—弯形凹模；44、48、49、50、57、58、59、61、62、63、64、66、71、74 螺钉；45—支座；46—杠杆；47—压杆；51—销轴；52—开口销；54、55—螺钉；65、67 螺母；68、69—销；72—导套；73—导柱；75—销

第十一章 冲模计算机辅助设计

第一节 概 述

一、冲模 CAD 的现状与发展

模具计算机辅助设计与制造 (Computer Aided Die Design and Manufacturing) 简称模具 CAD/CAM。它是利用计算机和数控加工设备,对模具进行设计和制造的一项新技术。模具 CAD/CAM 系统给设计人员提供了一个高效的设计环境,使人的创造力获得完美的发挥,摆脱了大量繁琐的重复性绘图工作。更重要的是改变了传统的图纸、实物传递方式,从而大幅度地提高了模具设计制造质量,对于传统的模具设计和制造是一次重大变革。它是自电力革命以来最具有生产潜力的工具之一,也是未来模具行业继续生存和发展的战略前提。

早在 50 年代末,国外就开始了模具 CAD/CAM 的研究,70 年代初陆续推出了一些模具 CAD/CAM 系统。美国通用汽车公司、通用电器公司、福特汽车公司等大型企业已有近 20 年的 CAD/CAM 应用历史。美国通用汽车公司采用非接触扫描器对泥塑模型进行点线测量,然后将测量数据输入数据库,经计算机软件对测量数据进行平滑处理后,输出车身的轮廓线图、部件图、模具图和 NC 纸带,以加工模具或主模型。日本丰田汽车公司于 1965 年将数控用于模具加工,1980 年开始采用覆盖件冷冲模 CAD/CAM 系统。此系统包括设计覆盖件的 NTDFB 软件和 CADETT 软件,加工凸凹模的 TINCA 软件。日本日新精密机器公司 1985 年采用了冷冲模 CAD/CAM 系统,该系统是在 UNIC 软件基础上,加上该公司专利建成,它具有建立几何模型、设计级进模、生成 NC 纸带等功能。日本山本制造公司 1983 年采用了精冲模 CAD/CAM 系统,其大致流程为设计模具草图,选择模具类型,选择工作零件,选择标准件,输出模具图、零件清单和 NC 程序。此外,英国 SALFORD 大学以及前苏联科学院综合技术研究所都进行了冲模 CAD/CAM 系统的研究。英国 SALFORD 大学和日本机械工程实验室还研制了复杂的多工位级进模 CAD 系统。英国著名的 DELTACAM 公司和美国 CAMAX 公司还分别推出了 DUCT 和 CAMAND 系统,它们均具有极强的复杂曲面造型功能和智能化的数控加工能力。随着日益加剧的全球性竞争,计算机集成制造 (CIM) 已成为强有力竞争的途径,而法国五大工业集团之一 Matra-Datavision 公司的 EUCLID-IS 软件正是以 CIM 为目标的一体化系统。它起源于 1970 年法国科学院研究中心,后经法国 Matra-Datavision 公司加以商品化,特别是合并法国雷诺公司的著名曲面设计与制造软件,使之成为全世界以实体造型技术为基础的最先进的面向汽车和模具行业的一体化系统。该软件高度集成于统一的对象的三维数据库,尤其在曲面设计、实体设计、自适应设计、实时消隐和数控加工方面处于领先地位。法国著名的 Renault、Matra 公司,日本 Nissan 公司、德国 Audi、Bosch、Agfa 公司以及意大利 Fiat 公司均采用

了 EUCLID-1S 系统，用于汽车设计、模具设计及制造。

80 年代，一些工业发达国家在冷冲模设计制造中，已有 20%~30% 采用了 CAD/CAM 系统。国际生产研究协会曾经预测，到 1990 年工业发达国家将有 50% 的模具由 CAD/CAM 系统完成。模具 CAD/CAM 一体化系统将使设计和制造成为完整的信息流通过程。信息数据化已经打破了两者之间的界限，其发展趋势是完全取消图纸和实现无人化加工。预计到 2000 年，作为设计和制造之间的联系手段——图纸，将失去作用，而由模具 CAD/CAM 一体化系统完成。

我国模具 CAD/CAM 系统的开发研究始于 70 年代末。先后通过国家有关部门鉴定的有 1984 年华中理工大学开发的精冲模 CAD/CAM 系统，1985 年北京机电研究所开发的冲裁模 CAD/CAM 系统，1986 年上海交通大学开发的微机冲裁模 CAD/CAM 系统。此外，还有航空航天部三〇三研究所，南京工学院、南京模具中心、北京自动化研究所等单位也完成了一系列冲裁模 CAD/CAM 系统。一些单位正在开发多工位精密级进模 CAD/CAM 系统。90 年代是 CAD/CAM 技术发展的黄金时代，模具设计和制造将是应用最为活跃的一个领域。目前，我国已有大量单位引进成套的 CAD/CAM 系统，广泛运用于模具行业，并取得了可喜的成绩。

二、冲模 CAD 系统的硬件组成

冲模 CAD 系统的硬件由主机、输入设备、输出设备和外存储器等设备组成，如图 11-1 所示。

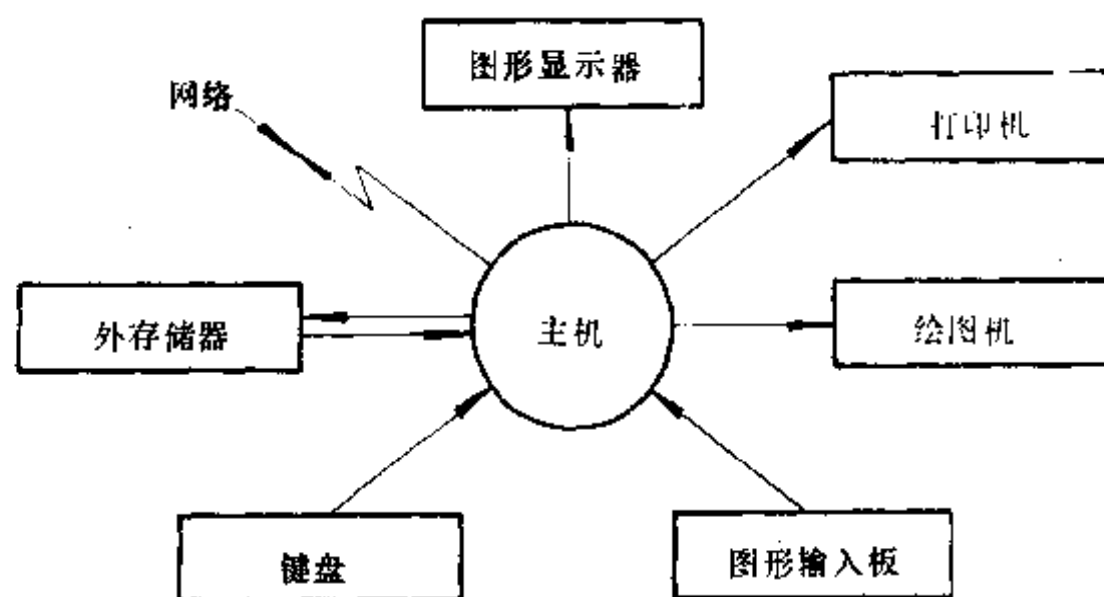


图 11-1 冲模 CAD 系统的硬件组成

(一) 主机

主机是控制及指挥整个系统并进行实际运算、逻辑分析的装置，是系统的中心。主机包括中央处理机 CPU 及主存储器（简称内存）。主机类型有大型机、中型机、小型机、

超级微机工作站及微型机。

以大、中、小型计算机为基础的 CAD 系统，多用于飞机和汽车制造等大型企业。以微型机为基础的 CAD 系统，多用于二维领域的辅助设计。随着硬件技术的发展，微型机用于三维设计也将成为现实。80 年代以来，以工作站、服务器和局域网组成的分布式系统逐渐取代了原来以大、中、小型机为基础的集中式系统，成为当前 CAD 系统运行的主要方式。CAD 工作站又称图形工作站或工程工作站，它集高性能计算能力和图形功能于一体，提供极强的交互能力。比较著名的有 SUN、DEC、IBM、SGI、HP 等 CAD 工作站。

（二）输入设备

键盘是最基本的输入设备，典型的是字母数字键盘。此外，还有图形输入设备和实现各种交互功能的设备，如图形输入板、鼠标器、光笔、操纵杆、可编程功能的键盘等。声音输入已在一定范围内获得应用，它是有代表性的会话系统，还有视觉跟踪技术也将得到发展。同时，人们正在探索利用脑电波信号使设计人员与计算机之间实现更为直接的联系方式。

（三）输出设备

图形显示器是设计者与计算机会话的媒介装置，通常与图形输入设备配合使用。工作站普遍采用智能终端，装有产生图元的图元产生器、对封闭区域进行填充的景象处理器和对图形进行坐标变换的图形处理器。

自动绘图机大致分为笔式绘图和静电式绘图。笔式绘图有鼓型和平板型两种。静电式绘图比笔式绘图速度快一个数量级。针式打印机也可以作为图形输出设备，还有激光打印机和彩色喷墨打印机。

（四）外存储器

它是用来存放大量暂时不用而等待调用的程序或数据。一般使用磁带和磁盘，还有大容量的高速光盘。

三、冲模 CAD 系统的软件组成

冲模 CAD 系统的软件由系统软件、支撑软件和应用软件三部分组成。系统软件是指运行环境和开发工具，支撑软件则是系统的基础软件，应用软件是冲模 CAD 系统的核心。层次关系如图 11-2 所示。

（一）系统软件

系统软件主要由操作系统和软件开发工具组成，处于系统的最底层。操作系统完成整个系统的管理和支持程序的运行，微机以 DOS 操作系统为主，而超级微机工作站普遍采用 UNIX 操作系统。软件开发工具主要指一些高级语言编译系统。用以编写冲模 CAD 系统的各种应用软件。面向数值计算的有 FORTRAN、PASCAL、C、BASIC 等语言，也称算法语言，主要用于编写科学计算及数据处理的程序；面向人工智能的有 LISP、PROLOG 等语言，可以完成复杂的搜索和决策，主要用于编写符号处理及演绎推理的程序，是专家系统 (Expert Systems) 的开发工具。

（二）支撑软件

支撑软件由图形系统、通用工程分析软件和数据库管理系统组成。

图形系统可完成图形的输入、输出以及图形编辑等基本功能,它有二维、二维半和三维之分。几何构形也就是建立物体的计算机模型,它经历了三个发展阶段,从早期的线框模型到表面模型直到 80 年代的实体模型。实体模型可以非常逼真地显示一个客观物体。通用工程分析软件是指有限元分析软件包、优化设计软件包和各种成熟的计算方法软件包,这些基础软件给应用软件的开

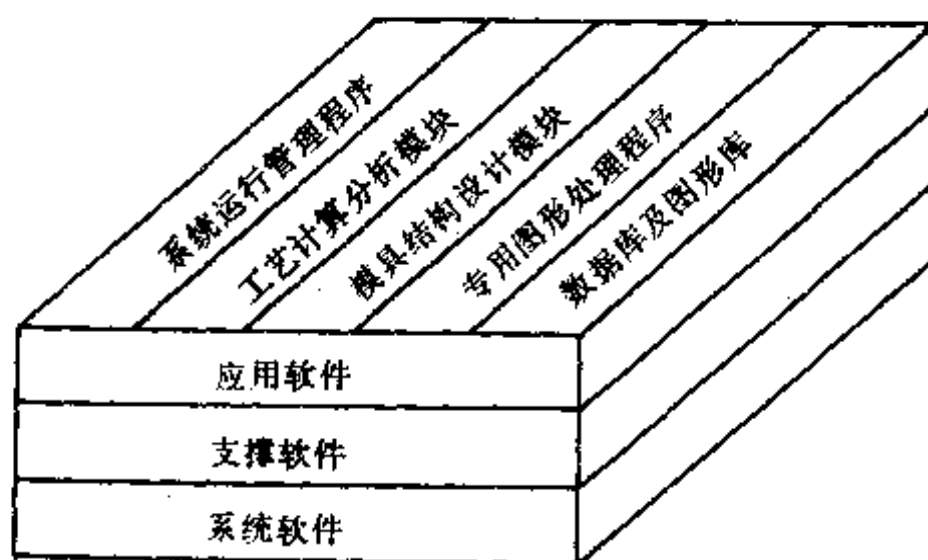


图 11-2 冲模 CAD 系统的软件组成

发带来了极大的方便。冲模 CAD 系统的数据库管理系统用于建立、检索及修改在冲模设计中用到的工艺数据及几何构形数据,它是各模块间数据交换和数据存储的中心。在数据库管理系统的集中管理之下,能为模具设计、绘图、检索、制造提供大量的技术资料 and 标准数据。

(三) 应用软件

应用软件是设计人员与系统之间的主要接口,用于处理冲模设计的各种具体问题,它处于系统的最外层。一般由系统运行管理程序、工艺计算分析软件、模具结构设计软件、专用图形处理软件、模具专用数据库和图形库组成。

第二节 冲模 CAD 系统

一、冲模 CAD 系统的结构

概括起来,一个完整的冲模 CAD 系统应具有以下功能:

- (1) 交互式图形输入功能,能方便地输入工件图;
- (2) 进行工件的工艺性判断、工艺方案选择、工艺分析计算,输出毛坯图和各种工艺图;
- (3) 具有冲模结构形式的自动或半自动选择功能;
- (4) 具有冲模零部件设计及主要零件的强度校核功能,并绘制全套模具图;
- (5) 正确选择压力机的型号及规格;
- (6) 具有冲模结构的运动学仿真功能,用以检查各运动部件之间的干涉情况;
- (7) 具有以图形为基础(冲模零件)的数控加工辅助编程功能,刀具轨迹仿真及后置处理能力;
- (8) 具有完整的冲模设计数据库和图形库,应具备较强的独立性和可维护性;
- (9) 能有效地管理冲模图纸资料和输出相关的技术文档。

冲模 CAD 系统的结构在一定程度上取决于以下五个方面:

- (1) 系统的目标及功能要求；
 - (2) 可供系统利用的资源，如计算机软、硬件资源和现有手工设计的经验、参数、公式、表格等；
 - (3) 现有条件（如资金、人力、物力等）对系统开发者的限制；
 - (4) 系统开发者的水平和经验；
 - (5) 系统开发者与冲模设计人员之间的联系程度。
- 由于上述五点因人而异，导致冲模 CAD 系统的结构也随之变化。如图 11-3 所

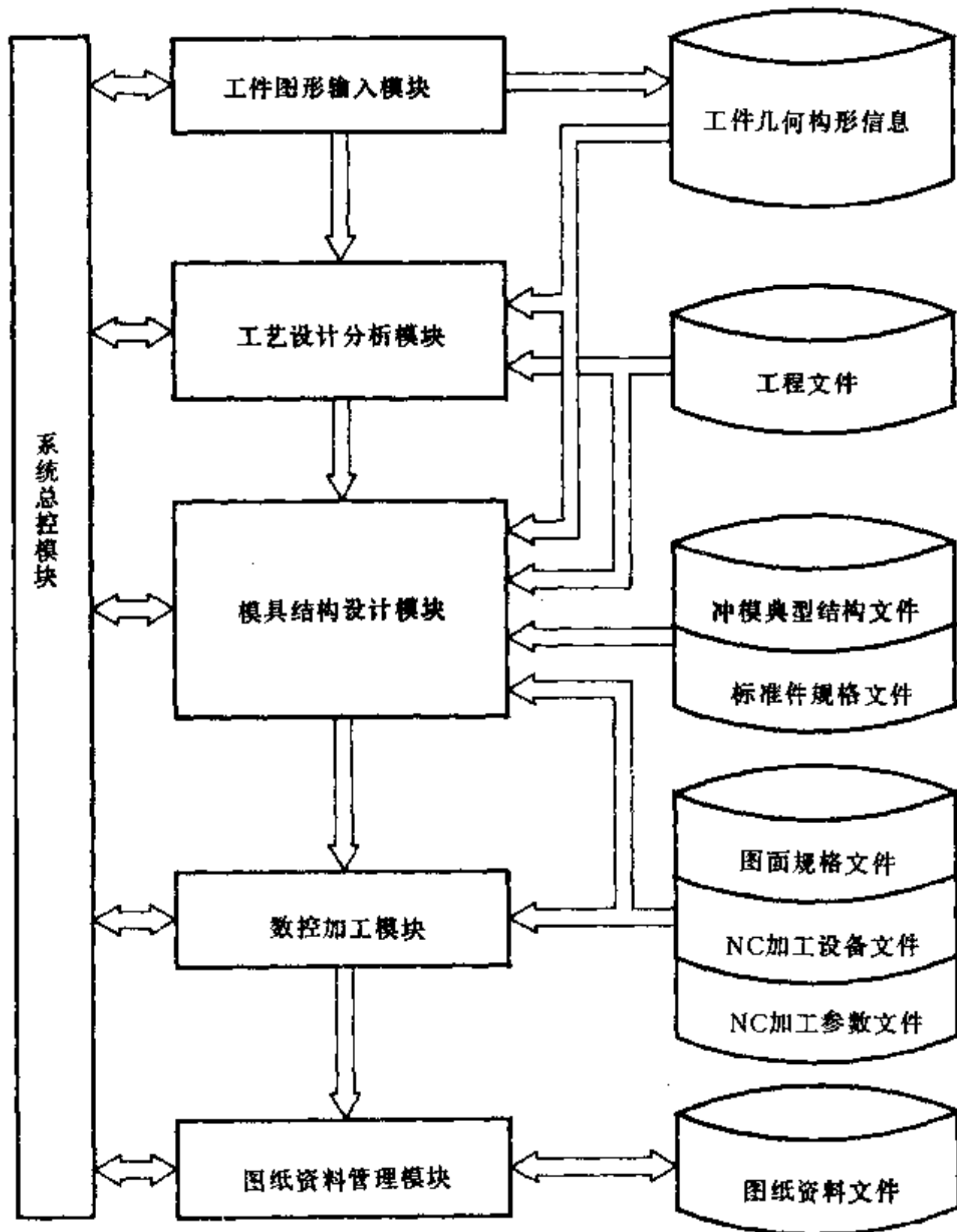


图 11-3 微机冲裁模 CAD 系统的结构

示为典型的微机冲裁模 CAD 系统的结构框图。图中简要说明了系统的结构组成以及各模块的相互联系和走向，并标明了模块对各种数据的调用关系。各功能模块在系统总控模

块的集中管理下工作，功能模块可以是一个单一处理程序，也可能由若干完成某项子功能的子模块构成，子模块又由主程序和若干的子程序组成。

系统总控模块主要完成冲模 CAD 系统的运行管理和随时调用各功能模块，或访问操作系统和调用其他应用程序，以建立相应的作业和过程。同时，还完成程序的批处理和覆盖技术。系统总控模块可建立在数据库管理系统或交互式图形系统的基础上。由于微机上的数据库管理系统（如 dBASE II）比较封闭，主要面向事务管理，且接口问题十分突出，故通过这类数据库管理系统来统一管理各功能模块的执行和交换数据比较困难，更重要的是没有开放的菜单系统。而交互式图形系统则是一种更为实际的运行环境（如 AutoCAD），它可以提供多层次的用户可塑造的菜单驱动模式，实现系统的集成化，系统菜单由多层次的菜单模块组成。

工件图形输入模块主要完成工件图形的输入，以建立工件的几何模型，并完成几何构形信息的存储，供工艺设计分析模块和模具结构设计模块调用。此外，还提供图形修改编辑和尺寸标注等功能。该模块由若干在基础图形软件（如 AutoCAD）支撑下的高级绘图子程序和图形编辑子程序组成，同时，还提供在图形环境下可直接调用的参数化基本图形（如长方形、平行四边形等）程序库，通过布尔运算生成复杂图形。

工艺设计分析模块以工件几何构形信息为基础，并调用设计参考数据（工程文件），为模具结构设计模块提供原始数据。该模块由以下子模块组成：工艺可行性分析、工艺方案选择（单工序、复合或级进模）、排样优化设计、压力中心及冲裁力计算、压力机初步选择、毛坯图和各种工艺图输出、工艺设计分析技术文档生成等。该模块的运行方式分为流水线作业方式和菜单驱动方式。

模具结构设计模块根据工艺设计分析模块提供的结果以及工件几何构形信息，并调用相关的设计参考数据（工程文件）、冲模典型结构文件、标准件规格文件等模具信息，完成模具结构设计。该模块由以下子模块组成：冲模典型结构选取、冲模标准件和半标准件的形式及规格选取、冲模零件详细设计、强度校核、装配关系确定及装配图生成。冲模运动学仿真、模具图绘制。模具专用图形处理程序。

数控加工模块主要由 NC 前处理和后置处理两部分组成。NC 前处理程序以刃口图形几何信息为基础，完成增加过渡圆弧（刃口的尖角部位），刃口间隙选取、穿丝孔选择、图形等距缩放、几何元素排序工作；NC 后置处理程序根据钼丝运动轨迹生成 3B 指令，调用打印机和穿孔机输出程序清单和 NC 纸带。此外，该模块还完成钼丝运动轨迹仿真以及 NC 纸带的检查工作。

图纸资料管理模块主要完成图纸资料的存放、检索工作。同时，还生成供信息管理使用的报表。报表中包括模具代号、模具名称、图纸数量、设计者、完成日期和用户消耗时间等信息。该模块主要由图纸资料发放程序、报表程序以及供图纸资料检索的专用菜单模块组成。

二、建立冲模 CAD 系统的步骤

(1) 明确建立系统的目标与要求，确定合适的 CAD 系统类型。由于冲模类型较多，一个冲模 CAD 系统不可能包罗万象，只有首先明确系统的用途和使用要求，然后确定 CAD

系统的类型。例如，建立一个变压器硅钢片的冲裁模 CAD 系统，由于产品形状、工艺特点和模具结构均已定型，属标准化和系列化产品，故可建立以信息检索为主，辅以交互设计的系统；若建立一个通用冲裁模 CAD 系统，由于其产品形状、工艺、模具结构千变万化，不可能建立一个统一的数学模型，故只能采用交互式设计方法，以增加系统的适应能力。即建立一个以交互式设计为主的系统。这样，由于目标与要求明确，不仅可以减少开发量，而且还可以提高系统的运行效率。

(2) 根据对 CAD 系统的要求，选择合适的硬件配置和软件系统。对于冲裁模 CAD 系统，主机可选用微机，如 AST、COMPAQ、IBM 等高档机型，再配上一定的外设，如图形输入板、绘图机、打印机以及大屏幕图形显示器，便构成了一个微机冲裁模 CAD 系统的硬件环境。图形软件可选择最为流行的 AutoCAD 绘图软件包，高级编程语言以 FORTRAN、PASCAL 为主，辅以 Autolisp 语言。此外，还应选择一种合适的数据库管理系统。同时，要注意收集现有的计算分析软件包，引进一些成熟的软件模块。这样，可以加快二次开发的进程，减少低水平重复。对于弯曲模和拉深模 CAD 系统，一般都要用到三维造型，故应选择超级微机工作站，并配以功能强大的三维图形软件。

(3) 确定模具标准结构，整理工艺设计和模具设计资料。手工设计中，设计人员往往是根据经验决定模具结构。在冲模 CAD 系统中，模具标准结构按一定的方式预先存放在计算机中，供设计时调用。因此，必须建立模具结构标准。建立模具标准时，不仅应满足模具设计的要求，而且还应考虑到 CAD 系统的特点，便于查询和调用。模具标准包括典型结构组合以及模具标准零件两大类。

整理工艺与模具设计资料，包括整理设计计算公式、方法以及设计中用到的曲线、数据、表格等，供程序设计时建立数学模型之用。

(4) 制定系统程序流程图与数据流程图。系统程序流程图不仅说明系统的基本构成与内容，还用箭头标明了各程序模块间的联系与走向，为各模块的程序设计和联机调试运行带来极大的方便。数据流程图说明系统中各程序模块数据的流向和相互关系。

(5) 建立模具专用图形库和数据库，编制分析计算程序。最后，将各程序模块联机调试，对系统进行运行测试。

(6) 交付使用。收集系统在使用过程中存在的各种问题，进行软件维护，使系统进一步完善和成熟。

三、冲模 CAD 系统的关键技术

(一) 图形描述及处理技术

图形输入是冲模 CAD 系统的关键，它直接影响到整个系统的工作效率，甚至关系到系统的成败。计算机将输入的几何图形转换成几何模型并存入数据库中，供工艺设计、模具结构设计和数控加工调用。其次，是零件图尺寸标注及装配图的生成等图形处理技术。新一代的三维图形系统是以工程数据库（服务于工程应用的数据库）为核心的设计、分析、制造一体化系统，提供极强的图形描述及处理功能。

(二) 模具结构的标准化

模具结构的标准化包括制订冲模典型结构组合以及标准化的冲模零件，其中还包括

模具图纸的绘制标准等。目前，我国的模具行业尚未实现真正的模具结构标准化，冲模 CAD 系统往往受到行业和区域的限制，这给冲模 CAD 的开发和推广应用带来了极大的困难。可以说，没有模具标准化，就无法实现模具 CAD。

（三）设计方法的规范化、设计经验的程序化以及专家系统的研究

冲模 CAD 技术迅速发展的同时，在继续深入的道路上仍然面临着严重的困难。问题的核心是“智能化”，即把人工智能技术引入到 CAD 系统中，形成智能型冲模 CAD 系统。模具设计的经验和方法往往表现为非数值问题，即不是以数学公式为核心，而是依靠思考、推理、判断来解决。以上特征，在设计初始阶段，表现得最为明显。现行的 CAD 策略，是无法有效解决这个问题的，而计算机专家系统则是解决这类问题的根本出路。所谓专家系统，是一种计算机程序，具有使计算机能够在专家级水平上工作的知识和能力，规范化的设计方法和经验是专家系统推理的依据。

（四）图形库及专用工程数据库的建立

（五）冲压基础理论的研究

为了提高系统的先进性和可靠性，必须提供足够的塑性成形理论数据和最新的模具技术研究成果，必须加强塑性成形理论和模拟实验技术研究，为塑性成形 CAE (Computer Aided Engineering) 打下基础，使系统建立在较高的理论与实践经验水平上。

第三节 冲裁件的图形输入

所有的冲裁件，不管其轮廓形状多么复杂，都是由点、线、圆（非圆曲线可以用圆来拟合）这些基本元素构成。图形输入的目的就是将图形信息按照一定规律输入计算机，建立冲裁件的几何模型，供后继程序处理。它是冲模 CAD 系统的前置处理部分，并贯穿冲模 CAD 的全过程。到目前为止，常用的图形输入方法有以下几种：

- （1）人工计算法；
- （2）数字化仪输入法；
- （3）读图机扫描输入法；
- （4）面素拼合法；
- （5）编码输入法；
- （6）图形参数描述输入法；
- （7）交互式图形输入法。

第一种方法人工处理的时间相当长，需要逐个计算结点坐标，效率极低，且容易出错，故不宜采用。第二种方法可以简化图形输入，但很难做到精确无误。第三种方法依靠摄象及图形识别原理，对图纸扫描，摄入的图形和文字符号经计算机处理后转变成图形数据。该方法无需任何人工处理，是一种比较理想的输入方法。但图形精度受原始图纸的影响，且价格比较昂贵。第四种方法就是建立若干种构成冲裁件图形的简单几何形状，作为面素。如圆、平行四边形、三角形等基本形状。然后，对这些基本图形进行拼合。即把每个面素看成一个点集，则面素拼合也就是集合的并、交、差运算。该方法要求人工预先对图形进行分解、排列、组合，对处理复杂图形的能力较差。第五种方法是

由人将图上的形状参数与尺寸编成表格（亦称之为编码），输入计算机，然后运行图形输入程序，便能得到零件图内外轮廓的结点坐标和后继程序所需的各种信息。由于编码规则太多，容易产生错误，故使用不便。第六、第七两种输入法能处理比较复杂的图形，也能满足冲裁件的精度要求，具有一定的优越性。现分别介绍如下。

一、图形参数描述输入法

（一）参数描述输入法的基本思想

这种方法是模拟人工绘图的方法，用高级语言编制若干个图形参数计算和绘图子程序。这些子程序取代了人工绘图时使用的绘图仪器，每个子程序完成一种几何作图操作。只要按照规定的格式将图纸上的尺寸参数编入程序，调用相应的图形参数计算子程序和绘图子程序，便可精确计算出各结点坐标值并绘制图形。图形参数描述由两部分组成：

- （1）图形描述主程序；
- （2）图形参数计算和绘图子程序库。

该方法符合工程技术人员的绘图习惯，格式简单，通俗易懂，结构化较强，可以完成所有二维零件图形（包括非圆曲线）的输入。同时，还具有一定的变量设计能力，特别适合于设计和制造含有非圆曲线和需大量计算交切点的复杂零件，是一种较为理想的图形输入法。

（二）参数描述输入法的基本规则

- （1）基本图形元素的矢量化，即按相对运动的观点描述具有一定方向的直线、圆（弧）。从第一个图形元素到第二个图形元素，按相对运动的挂皮带轮原则确定未知元素；
- （2）在描述圆（弧）时，顺时针走向半径 R 定为负，逆时针走向半径 R 定为正；
- （3）描述直线时，其方向由直线与 X 轴正向夹角确定。直线平移时，相对基准直线左边偏移为负，否则为正；
- （4）在求两元素交点时，由于两个圆相交、直线和圆相交的交点有两个，故规定由第一个元素左边拐到第二个元素的交点为负，否则为正。

如图 11-4 所示为表示根据两个基本元素（圆弧）的不同方向，确定第三个元素

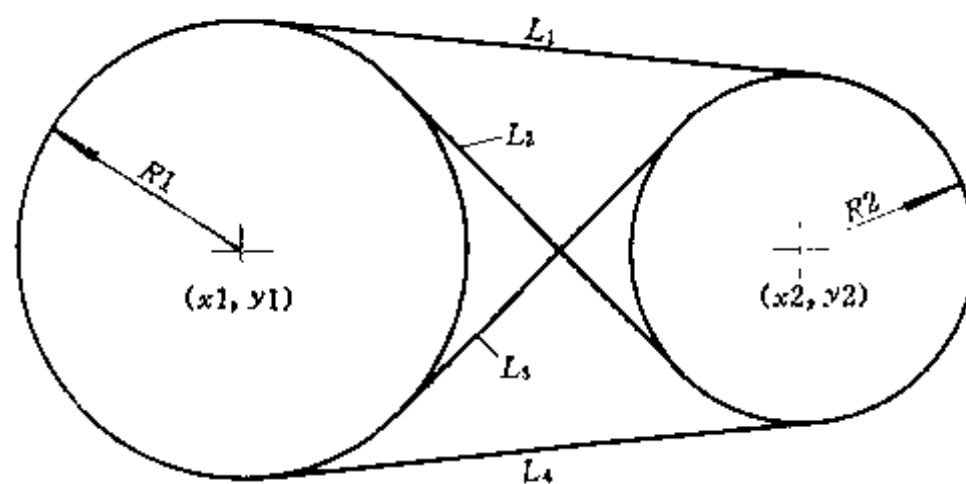


图 11-4 确定两圆公切线

(直线)的情况。

在图 11-4 中,当 R_1 为负, R_2 为负时,唯一确定直线 L_1 ;当 R_1 为负, R_2 为正时,唯一确定直线 L_2 ;当 R_1 为正, R_2 为负时,唯一确定直线 L_3 ;当 R_1 为正, R_2 为正时,唯一确定直线 L_4 。上述过程可用 PASCAL 程序语句来描述:

```
CCL (x1, y1, R1, x2, y2, R2);
```

CCL 是求两圆公切线的子程序,它根据 R_1 和 R_2 的正负确定公切线的方位,并求出切点坐标,最后绘制公切线。在图形描述子程序库中,还有若干个类似的子程序,这里就不一一介绍了。

二、交互式图形输入法

所谓交互式图形输入法,就是以交互式图形系统为核心,设计人员利用图形显示器、数字化仪和键盘等交互工具,通过光标操作以人机交互方式完成图形的输入。交互式图形输入系统通常提供以菜单和窗口为基础的人机接口,容易掌握,绘图过程清晰可见,对用户的透明度较高,无需预先作任何人工处理。设计人员可以集中精力绘图而不是处理一些细节问题,只关心图素之间的联系和相关的尺寸而不是交、切点坐标的计算。交互式图形输入法可以解决复杂图形的输入,应用范围较广,并能将图形轮廓与尺寸标注之间联系起来。同时,它还能将输入的图形信息按一定的图形交换规范输出,提供清晰的数据文件,供后继程序处理。因此,该方法将逐步取代其他的输入法,成为冲模 CAD 系统图形输入的主要方式。

目前,交互图形输入系统已经相当完善。如 I-DEAS 的 Drafting 模块,就具有极强的二维图形输入功能,提供 20 种基本图素(点、直线、圆、弧)的产生方法。同时,它还具有变量设计能力,用以捕捉设计意图,并成为用尺寸驱动实现设计变化的方法。可以对二维轮廓进行构画和约束,系统能自动识别平行、垂直、相切及重合等约束关系,并保存这些约束关系。变量设计方法提供一种灵活性,以适应各种各样的设计变化及未来的集成应用。若采用这类交互式图形系统来完成冲裁件的图形输入,效果是相当理想的。

AutoCAD 是比较流行的交互式绘图系统,现已推出 AutoCAD11 版,可以用于冲裁件的图形输入。由于冲裁件的轮廓形状具有一定的复杂性,AutoCAD 的图形输入功能仍然不能完全满足要求。解决问题的方法就是在原有基础上进一步扩充适用于冲裁件图形输入的宏程序和函数,并将扩充的命令序列加到屏幕、按钮或图形化菜单中。开发工具就是 Autolisp 语言,它是符号处理语言 COMMON-LISP 的一个子集。Autolisp 提供了大量专用函数,具有高级语言的数值计算和逻辑判断功能,还能完成 AutoCAD 的绘图功能,并能实现对 AutoCAD 实体、图形屏幕和输入设备的访问。这些功能可以方便地扩充绘图命令。绘制两圆外公切线的程序框图如图 11-5 所示。

用户可以根据这种基本方法扩充其它的绘图命令,如点到直线的过渡弧、点到弧的过渡弧、弧和弧之间的过渡弧等。

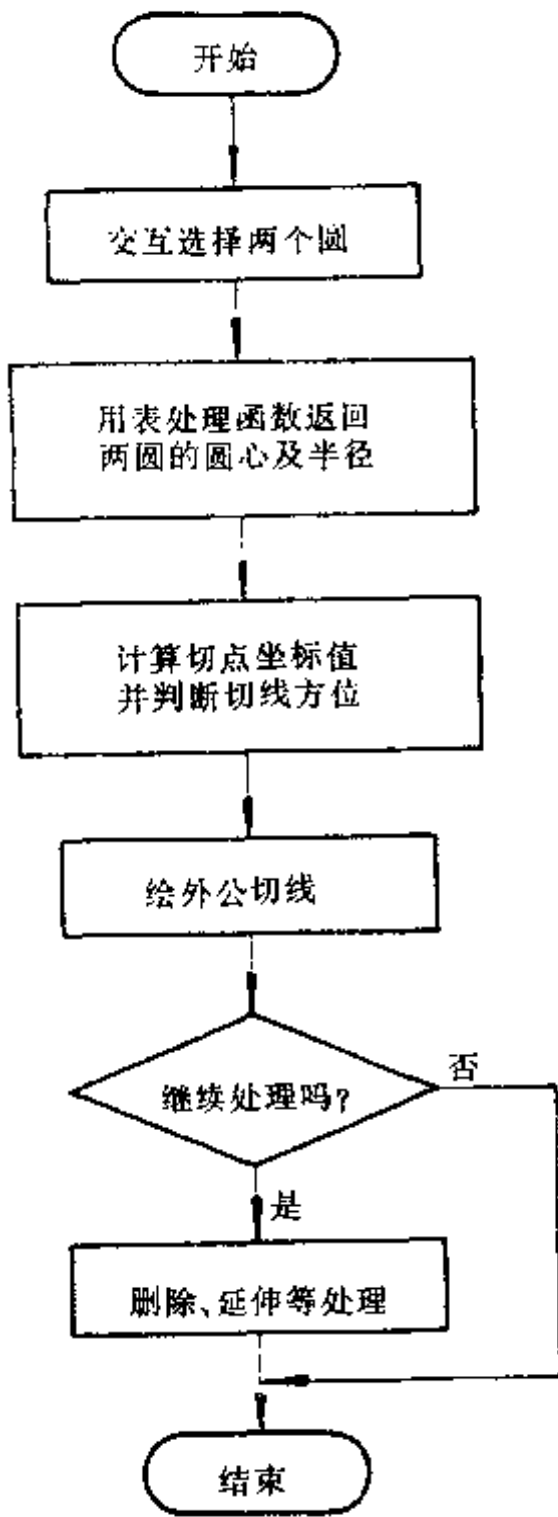


图 11-5 两圆外公切线的程序框图

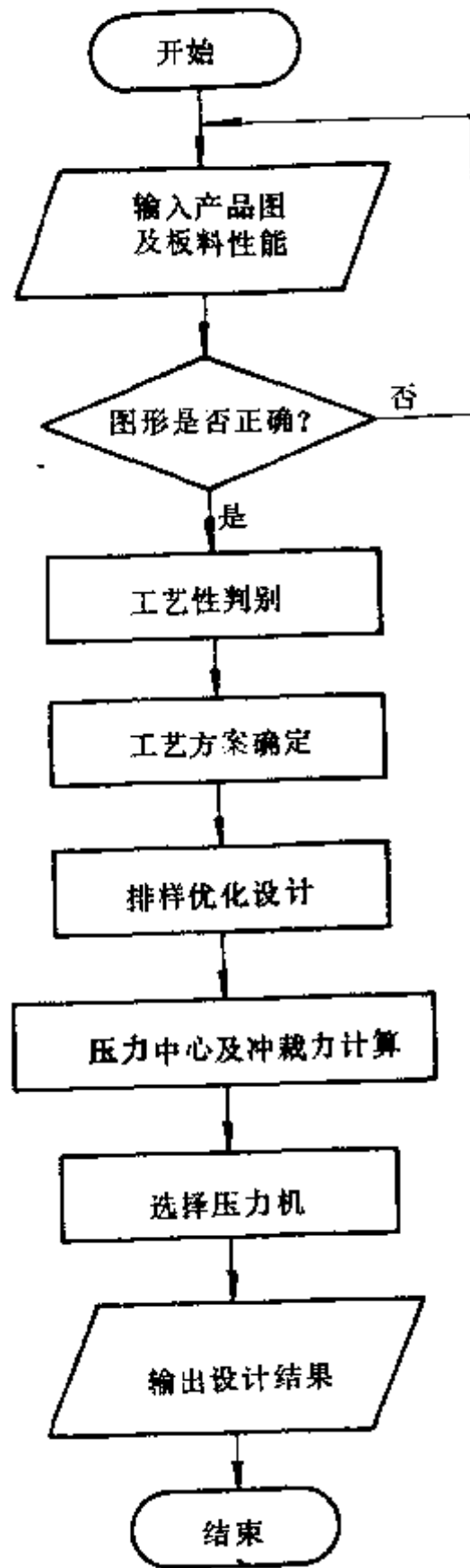


图 11-6 冲裁工艺设计的基本流程

第四节 冲裁工艺设计

冲裁工艺设计是冲裁模设计的基础,它为冲裁模结构设计提供几乎全部的原始数据。在冲裁模 CAD 系统中,冲裁工艺设计的基本原则和手工设计类似,但在具体实现的方法上却有所差别。关键是数学模型的建立以及如何模拟人的思维能力。冲裁工艺设计的基本流程如图 11-6 所示。

在手工设计中,工艺性判别和工艺方案的确定主要凭经验设计,因此,它们不是简单的数值求解问题,没有现存的数学模型。应首先建立设计模型,然后转换成计算机程

序。设计模型的建立，也就是根据生产中的实践经验，并结合冲压基础理论公式和数据，归纳总结出判别工艺性和确定工艺方案的依据。通常采用自动计算分析与人机交互设计相结合的方法，解决这类问题最有效的方法是建立计算机专家系统。排样优化设计、压力中心及压力计算等问题均可通过数值求解方法解决，它们是本节的主要内容。

一、冲裁件排样优化设计

所谓排样是指工件在条料上的排列方式。工件的合理排布不仅可以提高材料的利用率，而且还便于模具加工和冲压操作。

若采用手工设计，是极难找到最优的排料方案，只有利用计算机才能实现优化排样。这是因为：工件在条料上的排列方式是多种多样的，要逐一比较材料的利用率是手工计算无法胜任的；单凭人的经验，要对千变万化的无规则的工件形状一次确定其最佳排样方案是不可能的。

与手工设计相同，计算机优化排样通常是将工件沿条料的送进方向作各种倾角的排布，然后分别计算出各种倾角下工件实际占用面积与条料（或板料）面积之比，从中找出最大的材料利用率，则初步确定该倾角状态下的排样方案最优。确定材料利用率，主要是计算在一定倾角状态下的条料宽度以及工件之间的步距，条料宽度以及工件之间的步距分别是倾角的函数。

为了寻找最大的材料利用率，一般有两条途径：

- (1) 采用常规的优化理论法，确定目标函数和约束条件；
- (2) 采用穷举法，逐一计算各种排样方案的材料利用率，通过比较求出最大值。

(一) 优化排样的前置处理

前置处理是排样优化设计的数据准备过程，其任务是将工件图形信息转换成便于优化排料运算的数据形式和结构，从而提高运算效率。

首先，应将工件图形外轮廓沿法线方向等距放大 $1/2$ 搭边值。在排样设计时，以等距放大图取代原来的工件外轮廓图形，使相邻两个图形满足相切而不相交也不相离（见图 11-7）。

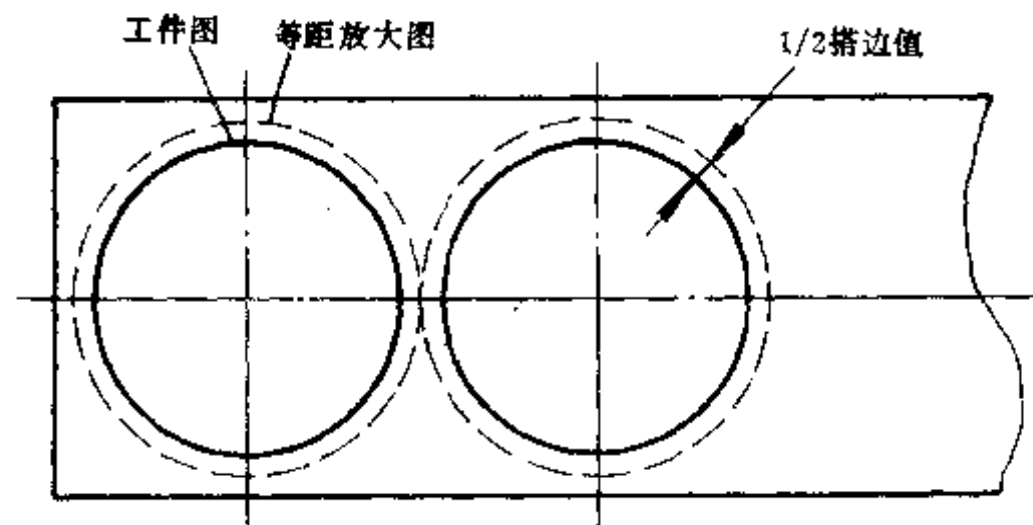


图 11-7 工件外轮廓的等距放大

此外,在进行工件外轮廓图形的等距放大之前,还应该对工件外轮廓图形进行适当的简化。主要是填平较小的凹形,从而避免在进行等距放大时陷入混乱状态,另一方面也可以简化运算(见图 11-8)。

在交互式图形系统中,工件图形的前置处理比较方便,仅需几条命令便可完成。处理之后的图形可以方便地转换成数据文件,供优化设计程序调用。

(二) 排样优化设计的基本原理及方法

计算机排样的处理方法主要有以下四种:

- (1) 加密点逐步平移法;
- (2) 平行线分割一步平移法;
- (3) 人机交互动画寻优法;
- (4) 函数优化法。

其中以函数优化法和平行线分割一步平移法运用最为广泛。这里只介绍平行线分割一步平移法。

平行线分割一步平移法的基本思想是采用一系列等距平行线分割工件外轮廓图形,等距平行线的方向与送料方向一致。然后,求出等距平行线在工件外轮廓图上截得的最大宽度,以此最大宽度作为工件图形之间的步距平移等距放大图,即可满足相邻两图形相切而不相交也不相离的条件。此方法简单,求解效率较高,程序设计也比较容易。对于普通单排,其求解步骤如下:

- (1) 计算图形的最大和最小的 y 坐标值,求出条料宽度,即

$$B = (y_{\max} - y_{\min}) + a$$

式中 B ——条料宽度 (mm);

y_{\max} 、 y_{\min} ——工件等距放大图的最大和最小 y 坐标值;

a ——搭边值 (mm)。

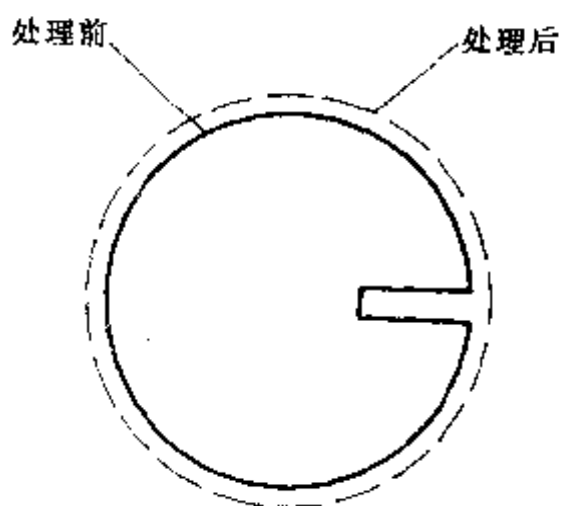


图 11-8 填平凹形

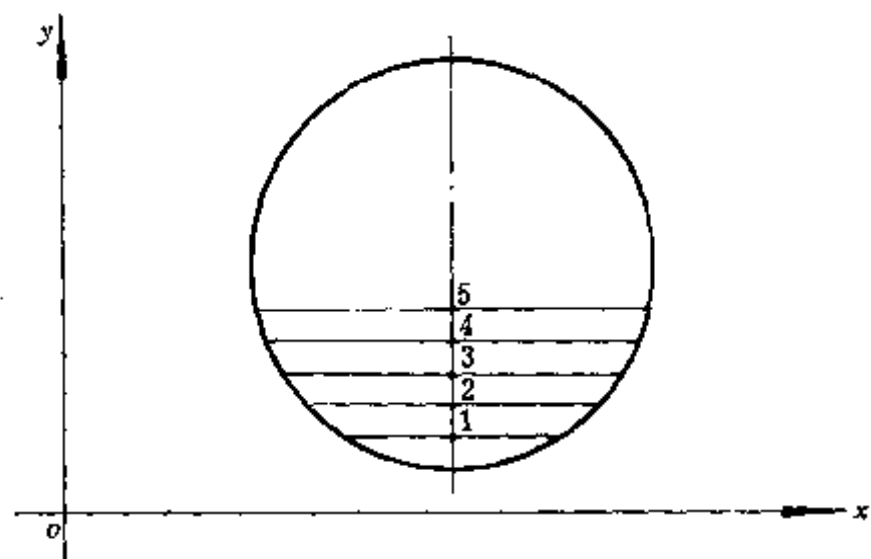


图 11-9 平行线分割及编号

- (2) 用一系列等距平行线分割图形,并将每条平行线编号。如图 11-9 所示。
- (3) 分别计算每条平行线与图形交点的最大和最小的 x 坐标值。

(4) 分别计算每条平行线在图形上截得的水平距离, 即:

$$L(n) = x_{\max}(n) - x_{\min}(n)$$

式中 L —— 交点间的水平距离 (mm);

x_{\max} 、 x_{\min} —— 平行线与图形交点的最大和最小 x 坐标值;

n —— 平行线编号。

(5) 比较并确定最大水平距离, 以此作为图形移动的步距。

(6) 计算在该倾角状态下的材料利用率。

(7) 对图形进行旋转变换, 将所得的新图形代替上次图形, 重复进行 (1) ~ (6) 过程。

(8) 对所有结果进行列表排队, 确定最佳排样方案。上述整个过程的流程图如图 11-10 所示。

(三) 排样方案的最终选择

由于计算机的高速运算能力给排样提供了方便, 设计人员往往是各种排样方式都一一进行, 这样, 使得输出的排样方案多种多样。通常的排队次序为: 材料利用率最高者居前, 然后则是一些特殊倾角下的材料利用率排队。在优先考虑材料利用率的前提下, 尽可能采用方位角特殊的排样方案。同时, 还应该考虑到模具加工和冲压操作的方便, 或照顾弯曲纤维的要求。

排样方案的最终选择可采用人机对话的方式进行。图形显示器能直观地显示各种方案图, 方案图上可分别标出排样方式、倾角、材料利用率等信息, 供设计人员直观、方便地进行选择。

二、冲裁件压力中心和冲裁力的计算及压力机选用

(一) 压力中心计算

压力中心就是冲裁力合力的作用点。在手工设计中, 压力中心的计算十分繁琐, 而计算机的高速运算能力从根本上解决了这一难题。计算机只要读入工件的图形信息, 就能迅速准确地输出压力中心。算法上通常利用求平行力系合力作用点的方法, 确定压力中心。即

$$x = (\sum_{i=1}^n l_i x_i) / L$$

$$y = (\sum_{i=1}^n l_i y_i) / L$$

式中 x 、 y —— 压力中心坐标;

l_i —— 图形中各线段的长度 (mm);

x_i 、 y_i —— 图形中各线段冲裁力合力作用点坐标, 可用各线段的重心代替;

L —— 图形中各线段长度的总和 (mm)。

对直线, 其长度和重心由下述公式确定

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$x = (x_1 + x_2) / 2$$

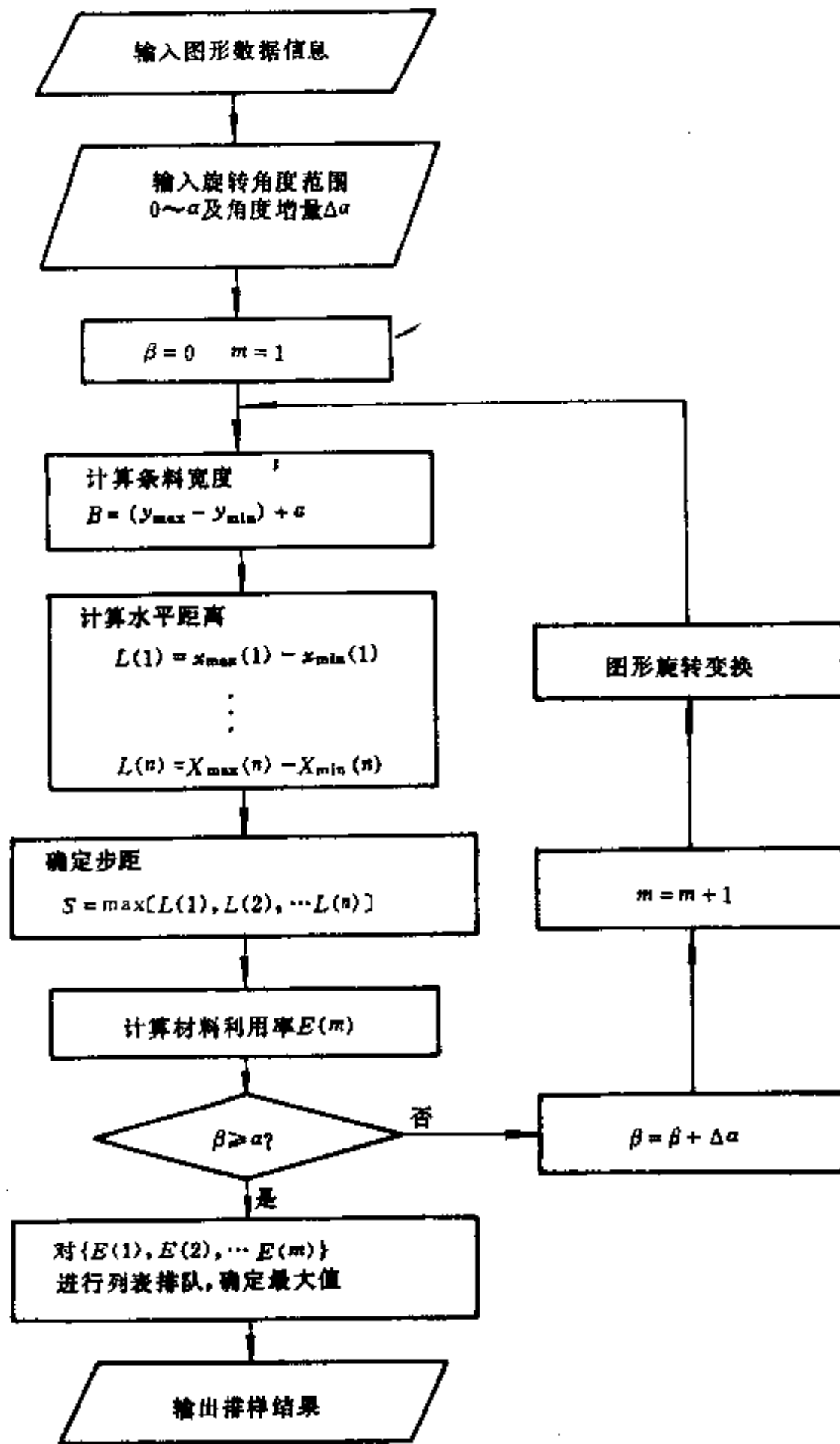


图 11-10 普通单排的基本流程

$$y = (y_1 + y_2) / 2$$

式中 l —— 直线段长度 (mm);

x, y —— 直线段重心坐标;

x_1, y_1, x_2, y_2 —— 直线段两 endpoint 坐标。

对圆弧, 其计算分析参考图如图 11-11 所示。一般规定, 沿逆时针走向的圆弧为正,

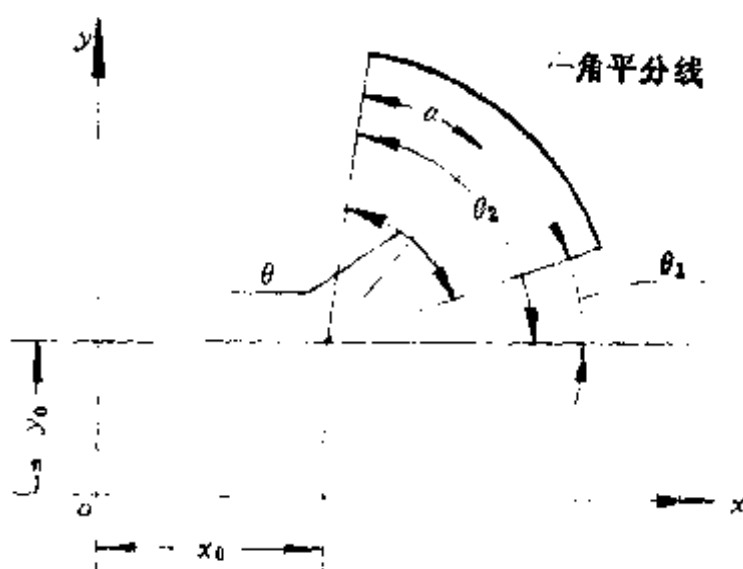


图 11-11 圆弧计算分析参考图

反之为负。圆心角的通用表达式为

$$\theta = 2k\pi + (\theta_2 - \theta_1)$$

式中 θ ——圆心角 (rad);

θ_1 ——起始角 (rad), 且 $0 \leq \theta_1 \leq 2\pi$;

θ_2 ——终止角 (rad), 且 $0 \leq \theta_2 \leq 2\pi$;

k ——系数, 当 $\theta_2 > \theta_1$ 时为 0, 当 $\theta_2 < \theta_1$ 时为 1。

弧长的基本公式为:

$$l = R\theta$$

式中 l ——圆弧长度 (mm);

R ——圆弧半径 (mm)。

圆弧重心到圆心的距离为

$$Z = R \sin \alpha / \alpha$$

式中 Z ——圆弧重心到圆心的距离 (mm), 在圆心角的平分线上;

α ——圆心角 θ 的一半。

这样, 就可以得出圆弧的重心

$$x = x_0 + Z \cos(\theta_1 + \alpha)$$

$$y = y_0 + Z \sin(\theta_1 + \alpha)$$

式中 x, y ——圆弧重心坐标;

x_0, y_0 ——圆心坐标。

压力中心计算程序流程如图 11-12 所示。

(二) 冲裁力计算

冲裁力包括冲孔、落料力以及卸料、顶件力等。

冲孔、落料力由下式确定:

$$P = 1.3L\tau \approx Lt\sigma_s$$

冲孔、落料力是冲裁力的主要部分。卸料、顶件力由下式确定

$$P' = KP$$

式中 P —— 冲孔、落料力 (N);
 P' —— 卸料、顶件力 (N);
 t —— 板料厚度 (mm);
 τ —— 抗剪强度 (MPa);

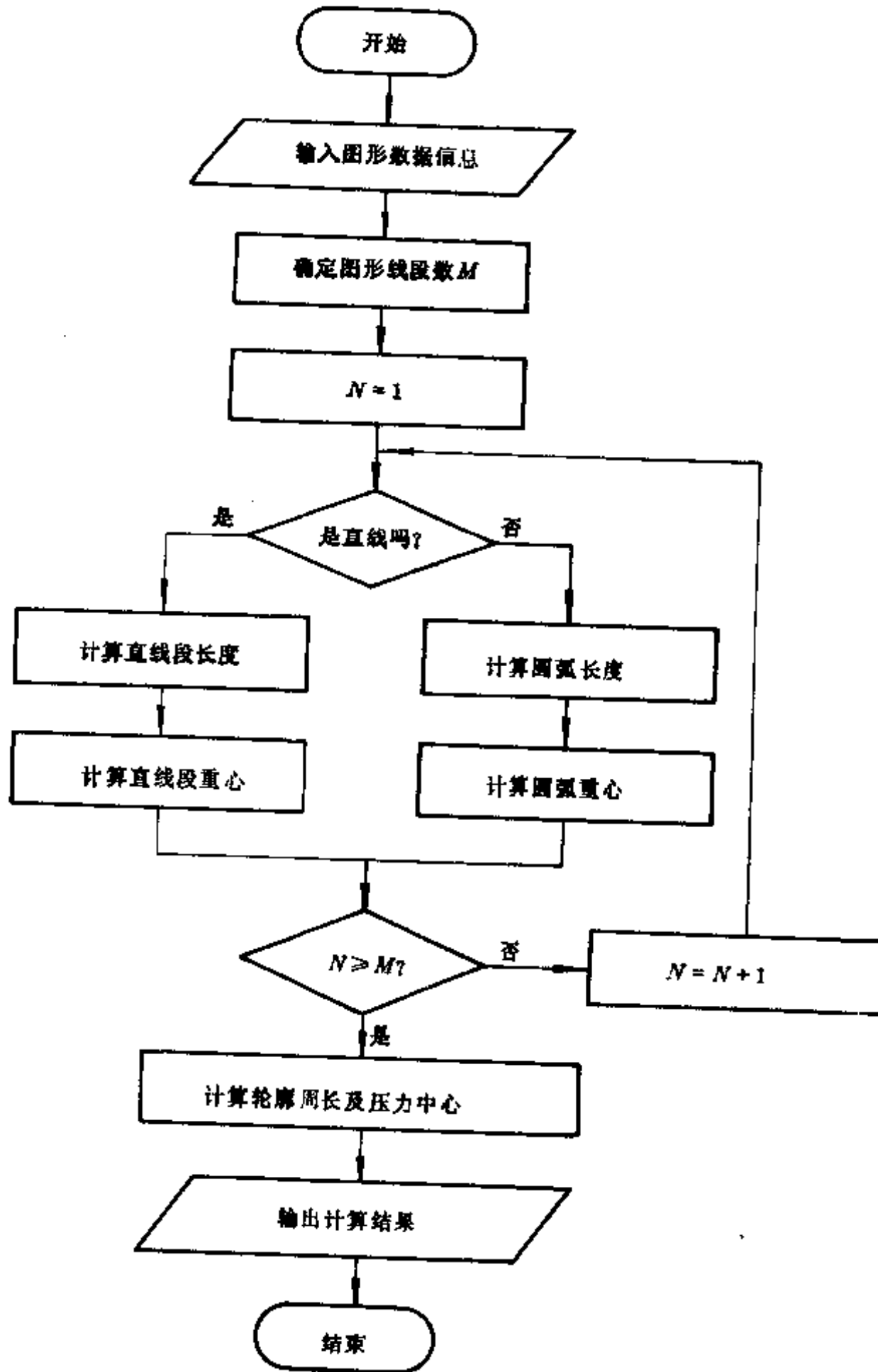


图 11-12 压力中心计算程序流程图

σ_b ——抗拉强度 (MPa);

L ——工件轮廓周长 (mm);

K ——系数, 可从工艺参数文件中调用。

公式中的 K 、 τ 、 σ_b 等均可从数据文件中调用, 周长 L 则可由压力中心计算程序提供。因此, 冲裁力的计算非常方便, 而无需查阅大量的技术资料。

(三) 压力机选用

压力机选用的主要依据是冲裁总压力, 而总压力与具体的模具结构有关。

压力机的选用, 一般应满足以下条件:

- (1) 压力机额定吨位大于或等于总冲裁力;
- (2) 压力机最小装模高度小于模具闭合高度减 10mm;
- (3) 压力机最大装模高度大于模具闭合高度加 5mm。

根据上述原则, 就可以初步确定压力机的型号及规格。压力机选用的程序框图如图 11-13 所示。

第五节 冲模结构设计

在冲模 CAD 系统中, 冲模结构设计的过程不同于手工设计, 它不是先设计一个完整严格的装配图, 再绘零件图。而是首先选择一个预先制定的规范化的典型结构组合, 然后设计冲模零件, 最后再将零件拼装成装配图。

冲模结构设计的显著特点是图形处理、数值计算和设计经验信息三位一体。设计经验往往极难数值化或建立数学模型。因此, 人机交互设计成为冲模结构设计的主要手段。

冲模结构设计必须建立在模具结构的标准化、规范化和系列化基础上, 否则将无法进行。因此, 应尽可能最大限度地总结设计经验, 制定冲模设计规范, 以便建立设计模型; 在设计过程中, 充分发挥数据库和图形库的功能, 自动检索、查询全部设计用的数据表格及标准零件信息。此外, 选择一个合适的图形系统更是至关重要。

本节主要介绍冲裁模结构设计的技术问题以及相应的处理方法。其基本流程如图 11-14 所示。

一、凹模周界尺寸的确定

凹模周界尺寸是确定其它相关冲模零件的基础。一旦确定了凹模周界尺寸, 就能从数据库检索出上模座、下模座、垫板、卸料板等冲模零件的有关参数。

凹模周界尺寸与工件图形大小、凹模许用壁厚有关。凹模许用壁厚可从数据文件中调用, 而工件图形大小则由工件图形外轮廓提供。凹模周界尺寸计算如图 11-15 所示。工件的压力中心位于凹模板的几何中心, 由工艺设计结果提供。

凹模周界的初步尺寸由下述公式确定

$$L' = 2(L_{\max} + C)$$

$$B' = 2(B_{\max} + C)$$

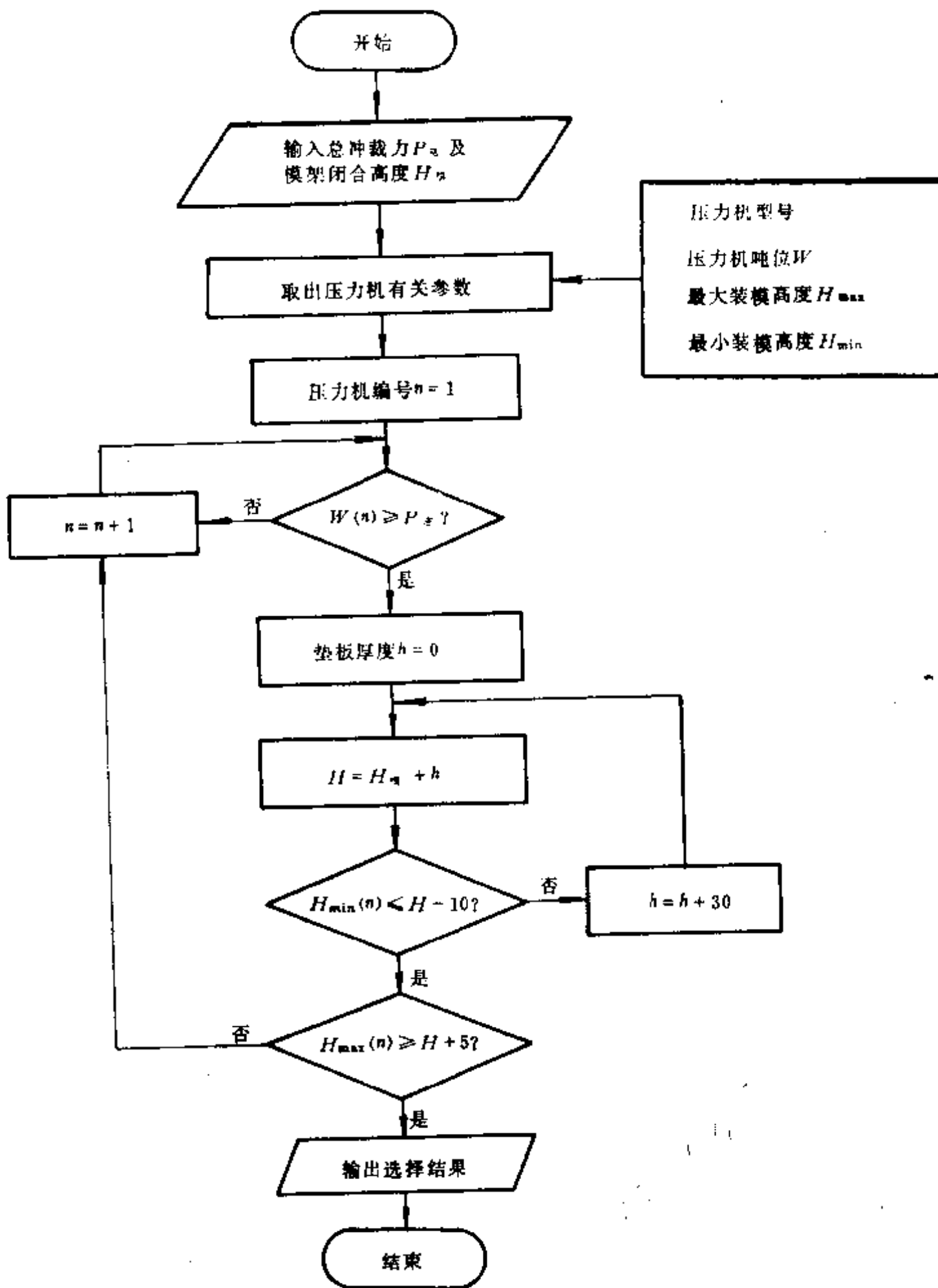


图 11-13 压力机选用的程序框图

式中 L' —— 初步长度 (mm);
 B' —— 初步宽度 (mm);
 L_{max} —— 图形在水平方向的最大偏移量 (mm);
 B_{max} —— 图形在垂直方向的最大偏移量 (mm);

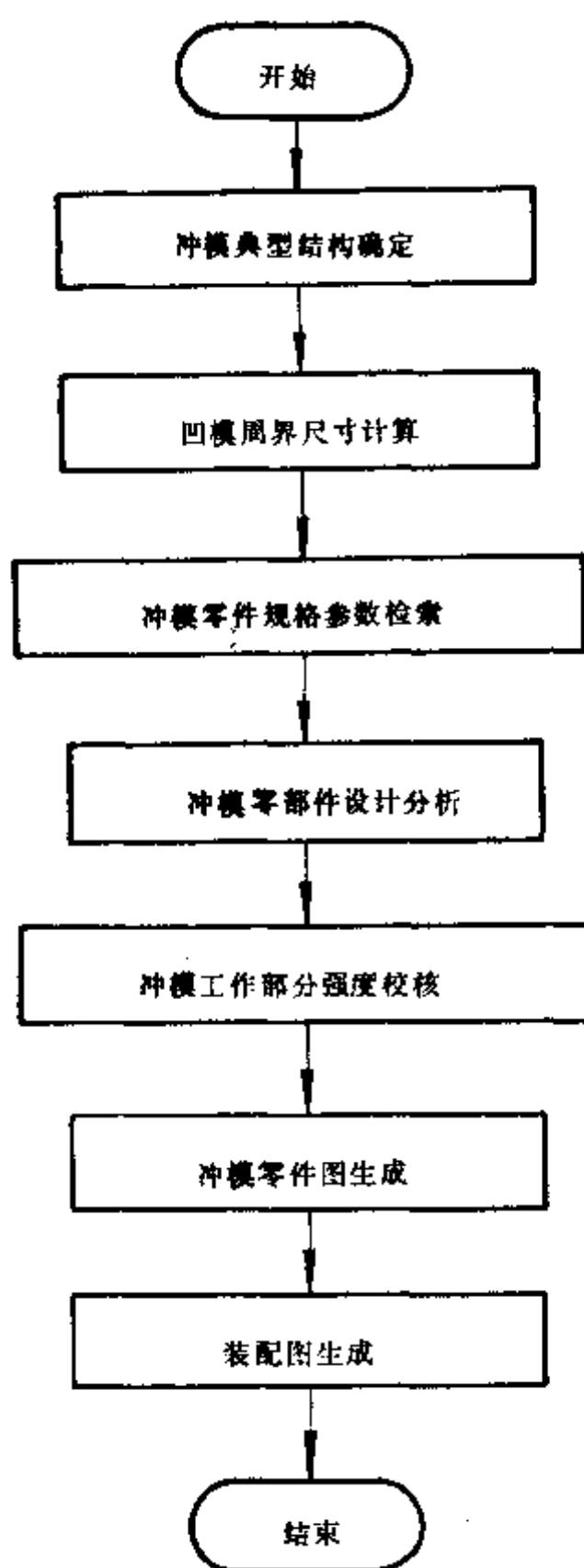


图 11-14 冲裁模结构设计的基本流程

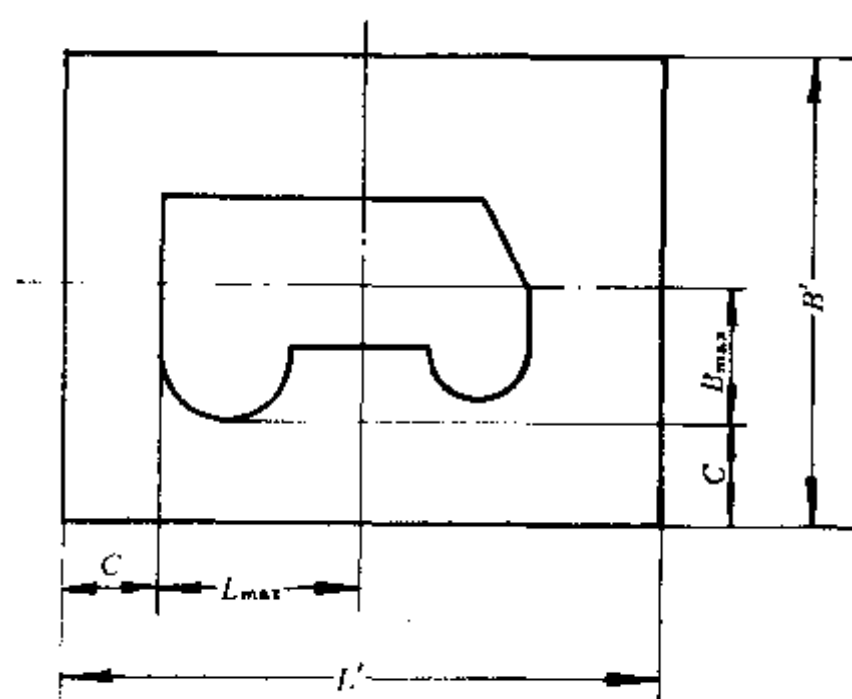


图 11-15 凹模周界尺寸的计算

C ——凹模许用壁厚 (mm)。

根据凹模周界的初步尺寸, 计算机可以从凹模板数据库中自动检索出最接近的周界尺寸, 由设计人员最终选择。由于工件压力中心位置的随机性较大, 求出的凹模周界尺寸可能偏大。原则上压力中心应位于凹模板的几何中心, 但在影响不大的情况下, 可以适当调整压力中心的位置, 允许压力中心与凹模板的几何中心具有一定的偏移量, 偏移量的大小可按设计人员的经验确定。

二、冲模零件数据库、图形库的建立及其检索

冲模零件按其标准化程度,大致可分为三大类:完全标准件、半标准件和非标准件。冲模零件尺寸规格的检索是按一定次序进行的,其基本参数是凹模周界尺寸。计算机以凹模周界尺寸为依据,能迅速准确地检索出所有零件信息,供冲模零件设计和装配图的生成调用。数据库和图形库的建立,可采用微机上广泛流行的关系型数据库管理系统 dBASE II,对其加以改造和利用。

(一) 完全标准件

完全标准件包括导柱、导套、模柄、螺钉、销、挡料销、标准圆凸模及圆凹模等零件。

目前,大部分完全标准件无需绘图,甚至上模座、下模座、垫板也不必绘图,只是在装配图的明细表中注明即可,这给冲模 CAD 系统的软件开发带来了极大的方便。对于完全标准件,只需将其标准规格参数以数表形式存放在数据库中。标准规格参数包括零件代号、基本尺寸参数、材料类型以及热处理规范等信息。对于那些无关紧要的尺寸参数,在建库时不予考虑,这样,不仅可以减少建库的工作量,而且还可以大幅度减少数据库占用的存储空间。

(二) 半标准件

半标准件包括凹模板、凸模固定板、凸凹模固定板、卸料板、垫板、上模座、下模座等零件。

对于半标准件,大多数为板类零件,其外形及孔均已预先规定,而内形(型腔)随工件形状的变化各异。其标准部分可以直接从相应的数据库和图形库中调用,而非标准部分则由工件图形几何信息和设计信息提供。半标准件是冲模零件设计的主要对象,一般都需要绘图。

半标准件的标准规格参数以数表形式存放在数据库中,而实际图形则储存在图形库中。图形库的建立可以采用对每一类零件编制一个专用程序的方法,实际上就是建立标准零件程序库。标准零件图形专用程序是一个参数化模型,它可以完成图形坐标点计算、绘图以及部分尺寸标注工作。其入口参数为标准规格参数,可以从数据库中调用。在进行冲模零件设计时,只要调用图形库,就可以生成相应的图形。

(三) 非标准件

非标准件包括异形凸模、凸凹模、推件板等零件。这类零件主要由工件图形确定,其厚度及有关孔的布置均有较大的随机性,没有标准规格参数可供检索。

三、推件装置设计

推件装置的功能是将工件从凹模中推出,它一般由打杆、顶杆、顶板和推件板组成。推件装置设计的主要问题是顶杆的合理布置以及顶板轮廓形状的生成,若处理不当,将因顶杆产生偏心载荷而加速模具的损坏,甚至推不出工件,或影响上模座的强度。顶杆的布置与顶板的形状都有较大的随机性,极难采用信息检索型设计方式,一般采用自动

设计与人机交互设计相结合或完全由人机交互设计的处理方法。

(一) 顶杆的布置

顶杆的布置与工件形状、模具结构和设计习惯等因素有关，一般应满足以下条件：

(1) 顶杆的合力中心尽可能靠近工件的压力中心；

(2) 顶杆应尽可能均匀分布；

(3) 顶杆应靠近工件外轮廓边缘布置；

(4) 在某些特殊位置（如工件的窄长部分）应布置顶杆；

(5) 对于台阶式推件板，顶杆的布置范围可扩大到工件轮廓之外，对于非台阶式推件板，顶杆的布置范围应控制在工件轮廓边缘以内。

顶杆的合力中心与工件压力中心的偏移程度由下式确定

$$L = \left(\sum_{i=1}^n x_i/n - x_0 \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n y_i/n - y_0 \right)^2$$

式中 L —— 偏移程度；

x_0, y_0 —— 工件压力中心坐标；

n —— 顶杆数；

x_i, y_i —— 第 i 个顶杆的坐标。

由此可见，顶杆的布置是一个有约束的多目标优化问题。由于其约束条件及目标函数的表达比较复杂，故采用程序自动优化方法进行求解十分困难，而自动计算与人机交互设计相结合的方法可以使问题大大简化。其中压力中心与顶杆合力中心的偏移程度可以由程序自动计算，并适时地反馈给设计人员，其他几个条件可由设计人员按其设计经验进行直观控制。该处理方法的大致过程为：将工件的外轮廓及内孔图形显示在图形显示器上，并按顶杆布置的基本原则初步确定顶杆的位置。顶杆位置可通过图形输入板以光标拖动方式直观形象地输入，每输入一个坐标点（即顶杆圆心坐标），就在相应的位置显示一个顶杆。然后，通过光标拾取需要调整的顶杆，并移动其位置，程序能计算出该状态下的压力中心偏移量，在屏幕上动态地反馈给设计人员，直到满意为止。该程序还应具有对顶杆的删除及增加功能，并能对上述改变作出反应及评价。

(二) 顶板形状的确

由于顶杆位置的随机性，使得顶板形状也复杂多变。确定顶板形状的主要依据是顶杆的布置，同时，还应考虑对上模座强度的影响以及加工的方便，使之更加简单合理。初步确定顶板形状的步骤为：首先，确定顶杆的布置（顶圆）和基圆直径，基圆位于顶板的几何中心。然后，依次按顶圆到基圆再到下一个顶圆的次序，绘制外公切线及外公切线之间的过渡圆弧。应该提出的是，按上述方法生成的顶板一般为非规则形式。规则形式的顶板为包络所有顶圆的矩形或圆形，它一般适用于小件，而非规则形式的顶板适用于中、大型零件。关于顶板形式的最终选择，可结合上模座与模柄的设计以及其他因素综合决定。

顶板形状可采用交互绘图或程序自动生成。若采用程序自动生成顶板形状，则应编制专用的外公切线和过渡圆弧绘图子程序。通过循环调用上述子程序，自动构造出非规则顶板的基本外形，并显示在图形显示器上。最后，设计人员通过交互式图形系统，对生成的基本形状作进一步的修改和完善。同时，还应设计出规则形式的顶板，供用户最

终确定。

四、卸料装置设计

卸料装置的功能是将条料从凸凹模上取出。对于弹性卸料装置，设计对象主要是卸料板和橡皮垫（或弹簧）。

卸料板是典型的板类零件，属于半标准件。其标准规格参数完全可以从数据库中检索，然后调用图形库生成零件的外形，型腔部分（内形）不过是凸凹模外形的偏移复制。因此，主要工作是确定挡料销的位置。挡料销的位置具有较大的随机性，没有固定的标准可循，只有采用交互式设计方法。

确定挡料销位置的依据是排料方式和定位的准确性。设计过程为：首先，生成工件图形，并将其沿送料方向平移一个步距（由排料结果提供）。然后，将平移后生成的新图形沿法向等距缩小，缩小值为挡料销半径，从而得到挡料销位置的中心轨迹线。设计人员可采用数字化仪随意移动光标（即挡料销），在中心轨迹线上选择适当的位置。这一过程可以编制专用的程序来实现。此外，导料销的位置确定方法与上述过程类似。

橡皮垫的设计主要是确定初始高度和卸料力的校核。橡皮垫的特性曲线可采用数据处理的有关方法程序化，供设计调用，确定单位压力。目前，资料上提供的参数与生产使用的橡皮垫特性有一定出入，编制程序时应慎用。通常的做法是先由计算机自动确定橡皮垫的理论高度，然后以人机交互方式由设计者最终确定。

四、凹模、凸凹模设计

凹模属半标准件，其标准部分（规格参数及孔洞参数）可以从数据库检索，然后调用图形库生成外形。其型腔部分可以直接从工件图形信息获得。若采用固定挡料销，那么凹模板还要开出容纳挡料销的孔洞，其位置参数已经确定，可以直接调用，并自动生成图形。至于凹模刃口类型，可以将几种常用的类型存放在计算机中，设计者用图形化菜单（将图形作为菜单选择项）调用。对于刃口的非工作带部分，通常采用凹模刃口图形等距放大和简化包络放大两种处理方法。

凸凹模是非标准零件，它没有现存的标准可供调用。对于非圆形的凸凹模，能设计三种外形：直柱形、螺钉固定直柱形、端部包络简化放大阶梯形。凸凹模的外形可用交互式图形设计方法，在图形化菜单中选择。凸凹模的设计信息大部分来自工件图形，即工件图形的外轮廓和内形，而螺孔和销孔位置可由人机交互确定。

无论是凹模、凸、凹模设计，还是其他冲模零件设计（如卸料板、凸模固定板等），都涉及到一个共同问题：从俯视图获得主剖视图。若采用三维实体造型系统进行冲模设计，就可以很方便地从三维实体上产生各种视图，如俯视图、剖面图、辅助视图等。但是，在不具备三维实体造型系统的条件下，就必须自行开发软件，完成上述功能。

实际上，冲裁模的零件形状不外乎是板块、柱体或阶梯柱体，而内孔大都是直孔或阶梯孔，其投影图和剖面形状都比较简单。进一步分析其形状特点不难得出：在生成零件的俯视图后，主剖视图的大多数信息可以从俯视图上获得。即根据零件的高度信息，对

平面环（型腔、周边、孔等二维图形）进行“拉伸”，就能生成主剖视图。称之为二维半图形处理法，这是冲裁模 CAD 系统的一大特点。由于该方法编程简单，处理速度较快，所占内存空间小，故特别适合于微机 CAD 系统。首先，应建立俯视图的几何模型，用一定的数据结构对每个平面环进行描述，内容包括平面环的特征信息和尺寸信息。特征信息反映了平面环的类型或几何特性，如通孔、沉孔、阶梯孔等特征；而尺寸信息则反映了平面环的尺寸参数。特征信息可通过关键字或编码定义，它是对平面环进行描述的内部约定。一旦建立了俯视图几何模型，就可以用程序对图形进行处理，自动生成主剖视图。处理过程大致为：通过图形交互设备（如数字化仪等），借助光标操作，在预先生成的俯视图上作出剖切符号。然后，处理程序根据已有的剖切线信息，在俯视图上自动搜索相关的平面环，对其进行求交运算，并按其特征描述信息生成相应的剖面环。最后，填充剖面线，绘出完整的主剖视图。

五、装配图的生成

装配图的生成是冲模 CAD 的难点。它需要处理大量零件信息和装配关系，层次复杂，建立数学模型也比较困难。具体表现在：凸模类型的多样性、凸模数量的随机性，固定方式的多样性以及凸模位置的随机性等。由此导致了大量的重点、重线问题（凸模、螺钉、顶杆等零件彼此干涉），给装配图的生成造成了极大的困难。

目前，装配图的生成方法主要有四种，这里只做一般性介绍。

（一）子图形拼合法

其基本方法是将整幅装配图分解成若干子图形，通过交互式图形设计方法机械地拼装而成。首先，应建立一系列子图形的程序库，调用这些程序，生成子图形。然后，按一定方式将子图形插入到适当的位置，即可生成装配图。该方法的缺点是输入数据量大，人工干预多，设计效率低。由此建立的装配图是没有结构的“死图”，对装配图的修改很不方便。

（二）零件图形拼合法

该方法是以零件图形作为子图形，由子图形直接拼合成装配图。它的数据输入量比子图形输入法少，效率也高一些。但仍然存在根本性的缺点，即只能生成固定形式的“死图”，且程序量较大，不能实现装配图的自动生成。

（三）几何造型法

它是在冲模零件实体造型的基础上，建立零件之间的总体装配关系和空间定位关系。然后，进行实体的剖切和投影的“并、交、差”基本运算，消隐、透视等处理，最后生成装配图。这无疑是一种比较理想的方法，它能自动生成装配图，而且是具有一定结构的“活图”。目前，一些先进的三维设计系统都具有完善的零件装配功能：

（1）大装配部件模型，一个装配部件可以含有无限多个零件。

（2）灵活的指令，用于装配部件中各零件相对于其他零件的定位和约束。它便于规定各零件之间的配合、对准及倾角等关系。

（3）用户定义的装配件的几何方位以及装配顺序是可以存储的，供再次调用和动画模拟。

(4) 变量设计能力, 提供了更换或修改装配件几何方位的功能。

(5) 提供了全面自动检查装配间隙和干涉的功能。

(6) 提供光滑的、均匀的、平缓的、连续的明暗处理的图形, 具有多种光照功能的多色光源(点光源和散射光源)。

(7) 便于生成截面图、辅助视图以及部件分解图。

(四) 半自动交互生成法

该方法将程序自动处理与人机交互有机结合起来, 数据输入量大为减少, 设计效率高于子图形拼合法和零件图形拼合法, 适合于微机 CAD 系统。

首先, 由程序自动处理, 生成装配图的部分图形, 即形成一个装配图的雏形。在此基础上, 对于难以由程序自动完成的工作, 可通过人机交互设计方法确定。然后, 转交给程序继续处理, 最终生成完整的装配图。例如: 在冲孔落料复合模的装配图中, 上模座、下模座、模柄、导柱、导套等零件的外形比较容易确定, 这部分图形的生成可由程序自动完成, 明细表的零件排序及其生成也可以自动进行; 对于容易发生干涉和交错的凸模、螺钉、顶杆等柱类零件, 则可采用人机交互进行定位, 然后转交给程序自动完成消隐、绘图等工作。此外, 冲模零件引出线的布置也具有一定的随机性, 可采用交互式设计方法, 确定引出线的端点位置, 绘图(引出线和标号)、零件排序则由专用程序自动处理。

第十二章 冲模的安全技术与冲压设备的选用

第一节 冲模的安全技术

一、概述

冲压生产是一种较容易发生人身伤亡事故的作业。实现安全生产是特别重要的，必须把人的安全放在第一位来考虑。模具的安全可以补偿操作者的疏忽大意。因此，在模具设计中注意安全意义重大。为防患未然，模具设计时，应周密地从各个方面采取有效措施。除了制定和贯彻合理的安全操作规程、加强安全技术教育外，在有条件的情况下，应尽可能实施机械化与自动化，这是防止事故极其有效的措施，也是提高劳动生产率、减轻劳动强度的好途径。

冲压生产表明，事故的发生往往是在送料、取件以及清除废料等操作时，由于操作者的手、臂、头等进入危险区所致。为此，对这些方面的安全工作应多加考虑，并设法防止操作者将手伸进危险区域。

二、冲模的安全技术

(一) 模具结构的安全措施

(1) 为使操作者不致把手接近危险区域，对送进、定位、取件等机构，在其可动部分处，操作者容易不慎触手或夹手的危险部分，均应保护起来，加上保护罩。如图 12-1~图 12-3 所示。

(2) 在复合模中，为了减少危险区域，在卸料板和压料板之间做成凹槽防止夹手。如图 12-4 所示。

(3) 为了避免压手，导板或卸料板与凸模固定板之间应保持足够的间距，一般不小于 15~20mm。如图 12-5 所示。

(4) 在需要用镊子将工件放入定位板时，应在凹模和弹性卸料板上各切去一凹槽，以便装卸工件。如图 12-6 所示。

(5) 模具外部不能有突出尖角部分，凡与性能无关的所有锐角都要倒棱，以免割伤皮肤或肢体。如图 12-7 所示。

(6) 导柱应设置在下模座上，其导柱的安装位置要不妨碍操作者。导柱、导套尽量采用 20 钢渗碳热处理工艺，防止破裂飞散伤人。

(7) 一般在压力机上使用的模具，从下模座上平面至上模座下平面，或压力机滑块下平面的最小间距不得小于 50mm。如图 12-8 所示。

(8) 结构上应满足承受力的需要，整个结构的厚度和零件的壁厚不要过薄，受力部

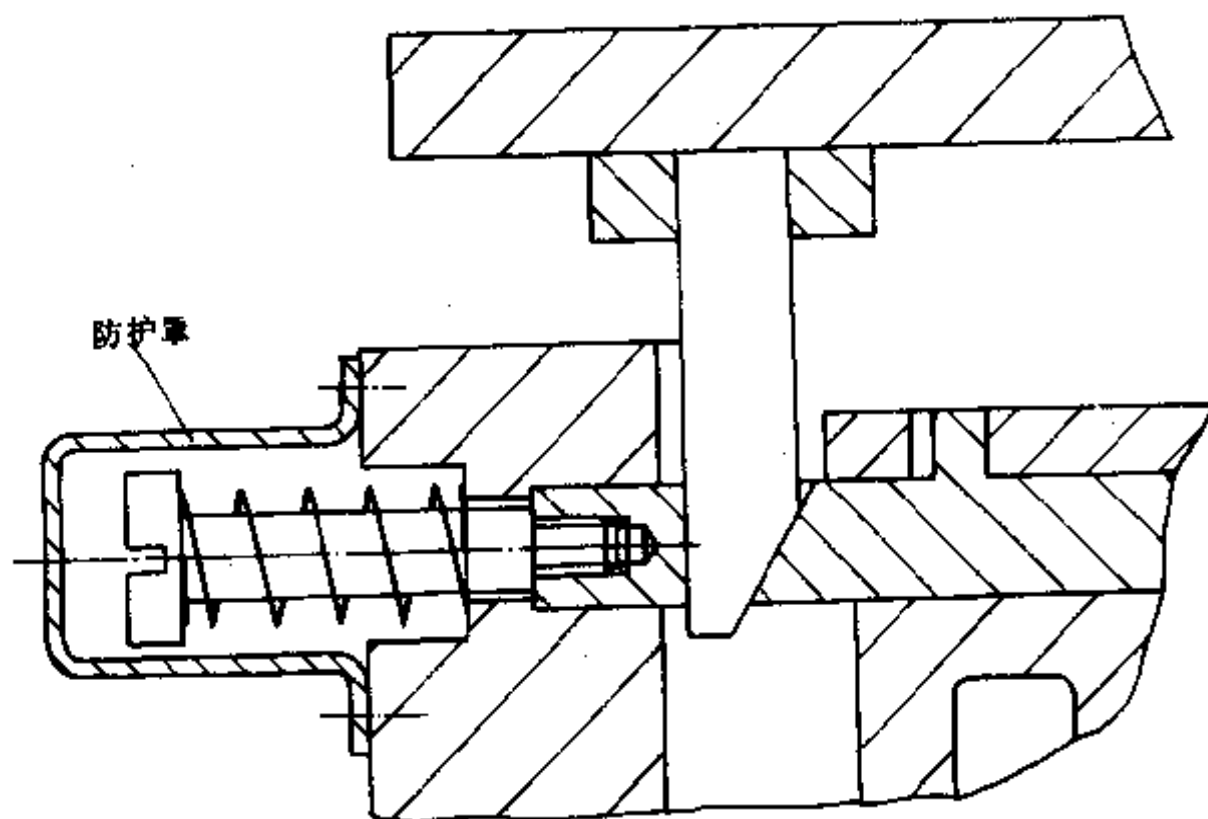


图 12-1 危险部分加防护罩

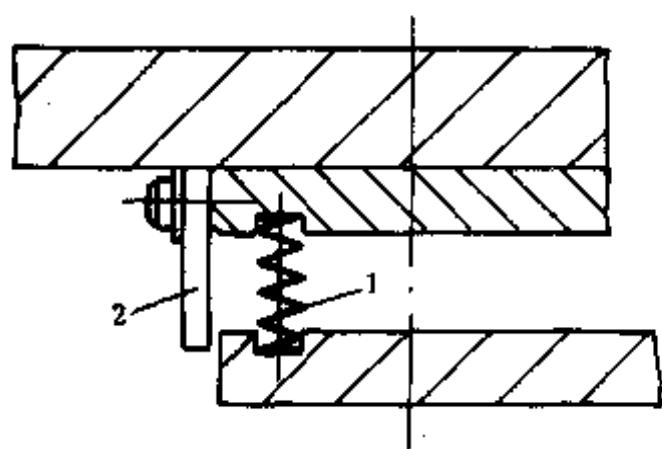
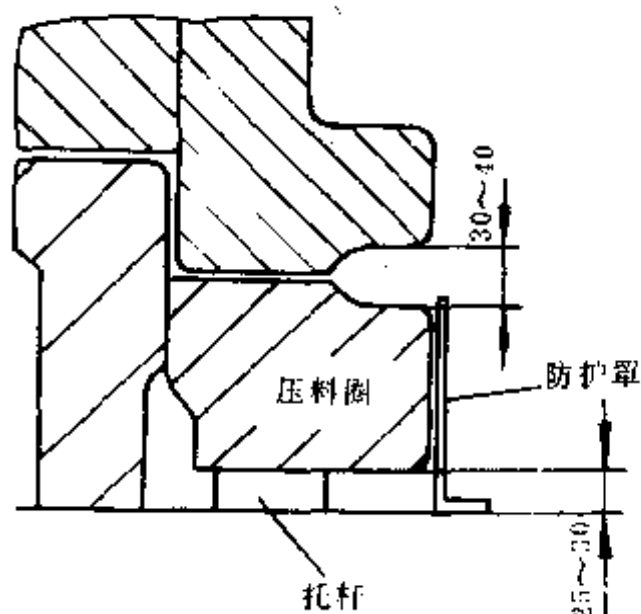
图 12-2 防止弹簧飞出
1—弹簧；2—罩

图 12-3 避免可动部分夹手

分用加强筋增加强度，以保证强度足够。

(9) 大的制件，不要从上模内卸下。若是小的制件从上模内落下时，要使制件确切而有节奏地落下，特别是冲裁加工时，废料或制件如果掉下，就会造成危险。

(10) 制件应正确导向，制件送入时，定位要准确，定位必须考虑到导向的形式、制件形状。要求定位后不再用手拿住制件，因这样的定位方法会使操作者紧张。

(11) 坯料送入模内，或从模内取出工件时，应避免手直接进入模内，需设计各种专用的送取装置。如图 12-9~图 12-17 所示。

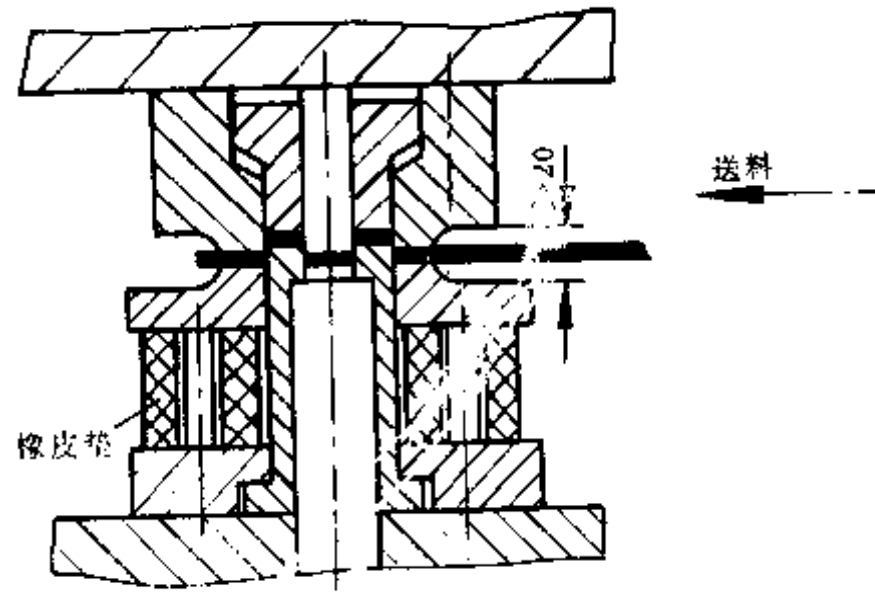


图 12-4 减少危险区域

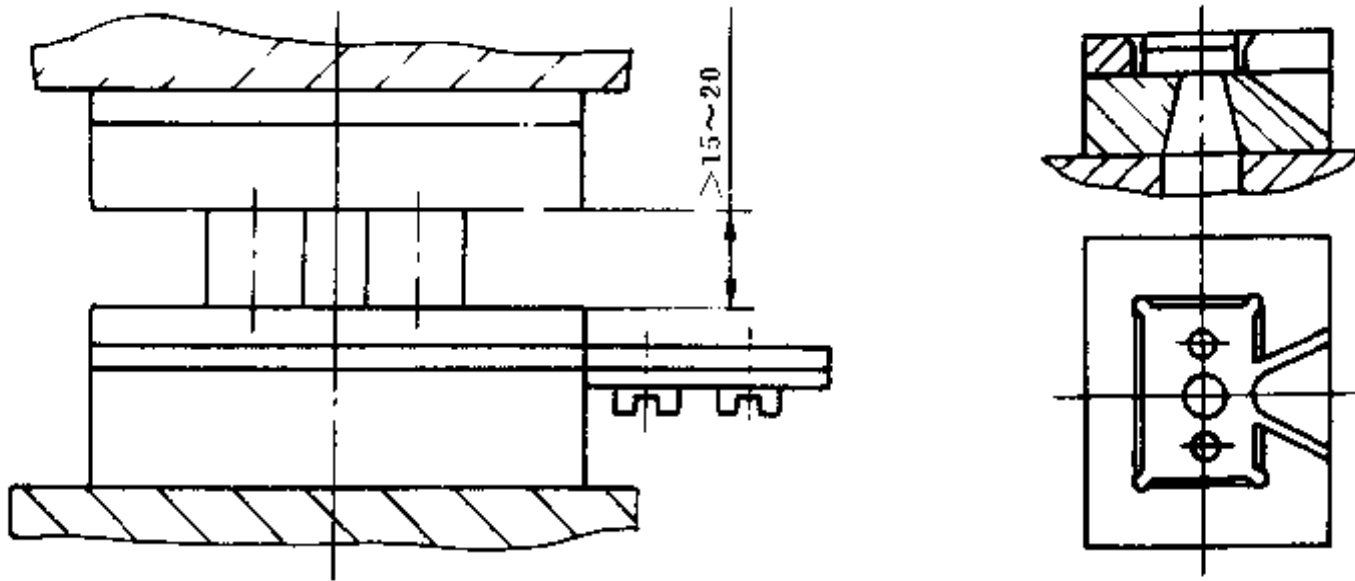


图 12-5 卸料板与凸模固定板之间的间距

图 12-6 凹模和卸料板开槽

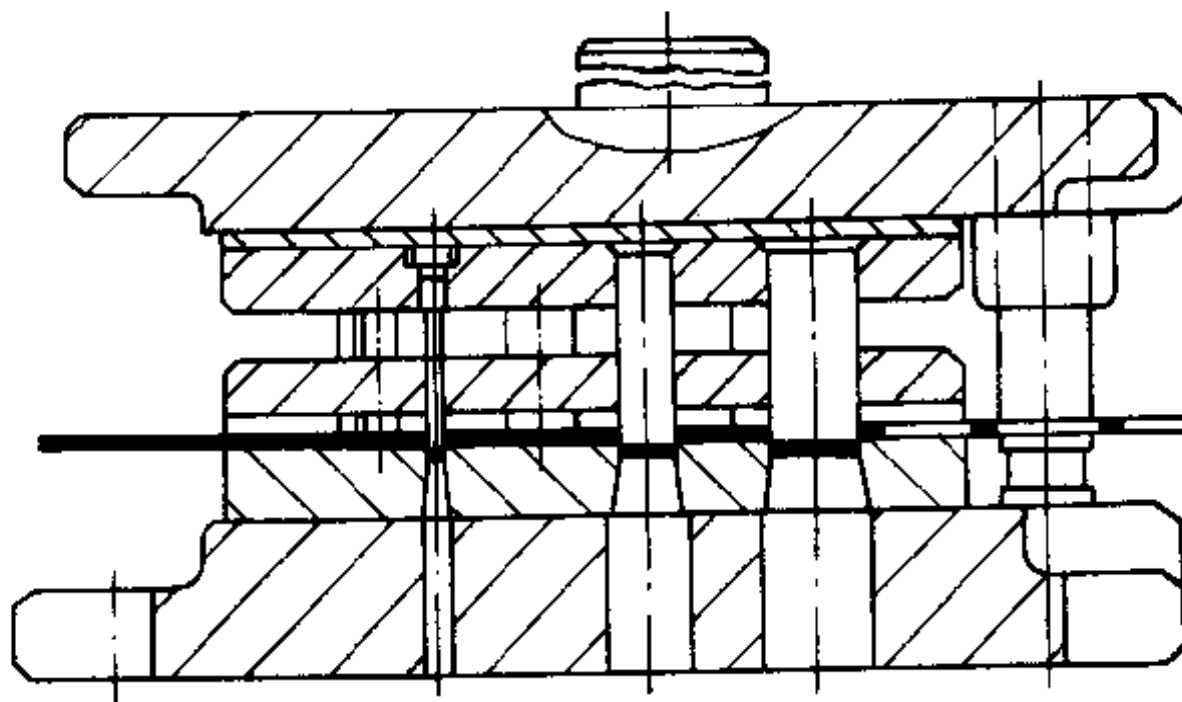


图 12-7 尖角倒棱

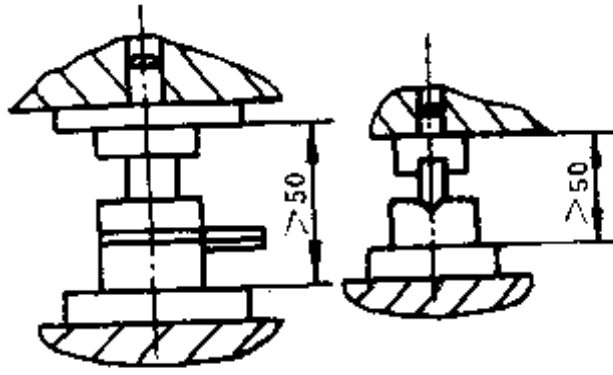


图 12-8 上下模座之间的距离

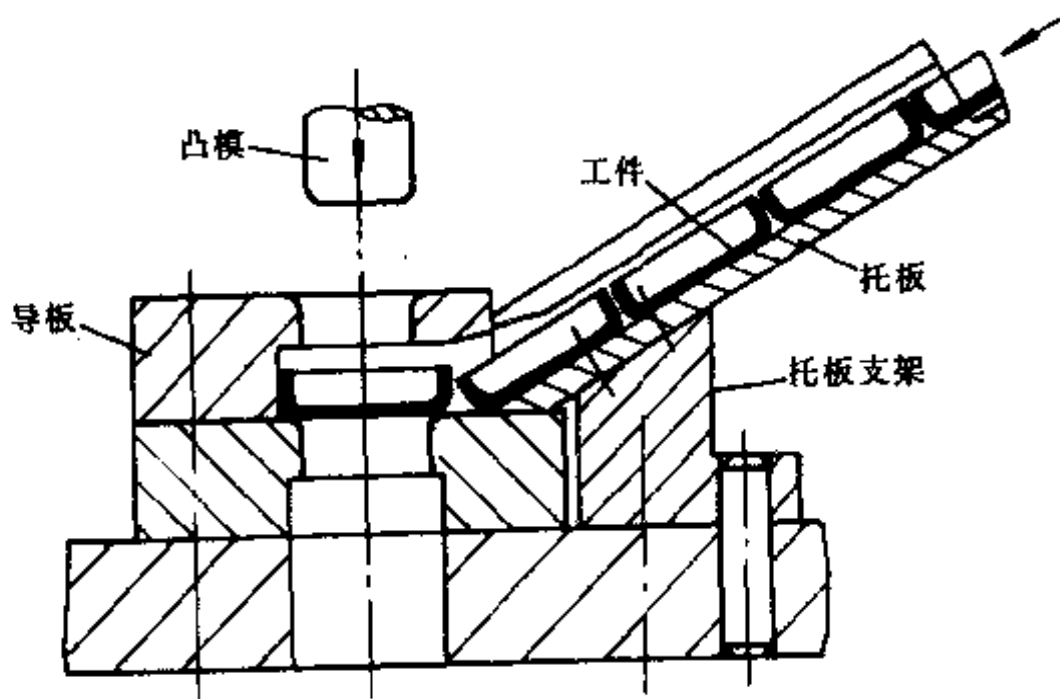


图 12-9 使用滑槽送工件

(12) 用手工工具代替手进入模具危险区

a. 在多品种少批量生产，或实现自动化尚有一定困难的时候，依然要依赖于手工操作时，借助手工工具代替手直接送料或取件，这样既安全又简单，可以说是较合适的方法之一。

b. 根据用途和制件形状选择手工工具的种类、材质。这种工具用竹、木、塑料、铜、铝等软质材料制成。其种类如夹钳、镊子等。

(二) 冲模安装、搬运和储藏的安全技术

1. 冲模的安装

(1) 冲模应正确安装在压力机工作台垫板上，使模具上下部分不发生偏斜或位移，这样可以保证模具的寿命，而且保证模具有较高的准确性，避免产生废品。

(2) 模具安装时，将带有导向的模具，上下应同时搬到工作台上。由于大型模具在工作台面上不好移动，应按材料的送料方向、产品的取出方式、气垫顶杆孔的位置等尽量准确定位。先紧固上模具后紧固下模具。

(3) 在装下模座时，须注意不要把废料孔堵住。

(4) 模柄装入曲轴压力机的模柄孔后，应采用模柄夹持器（位于滑块的前方）来固

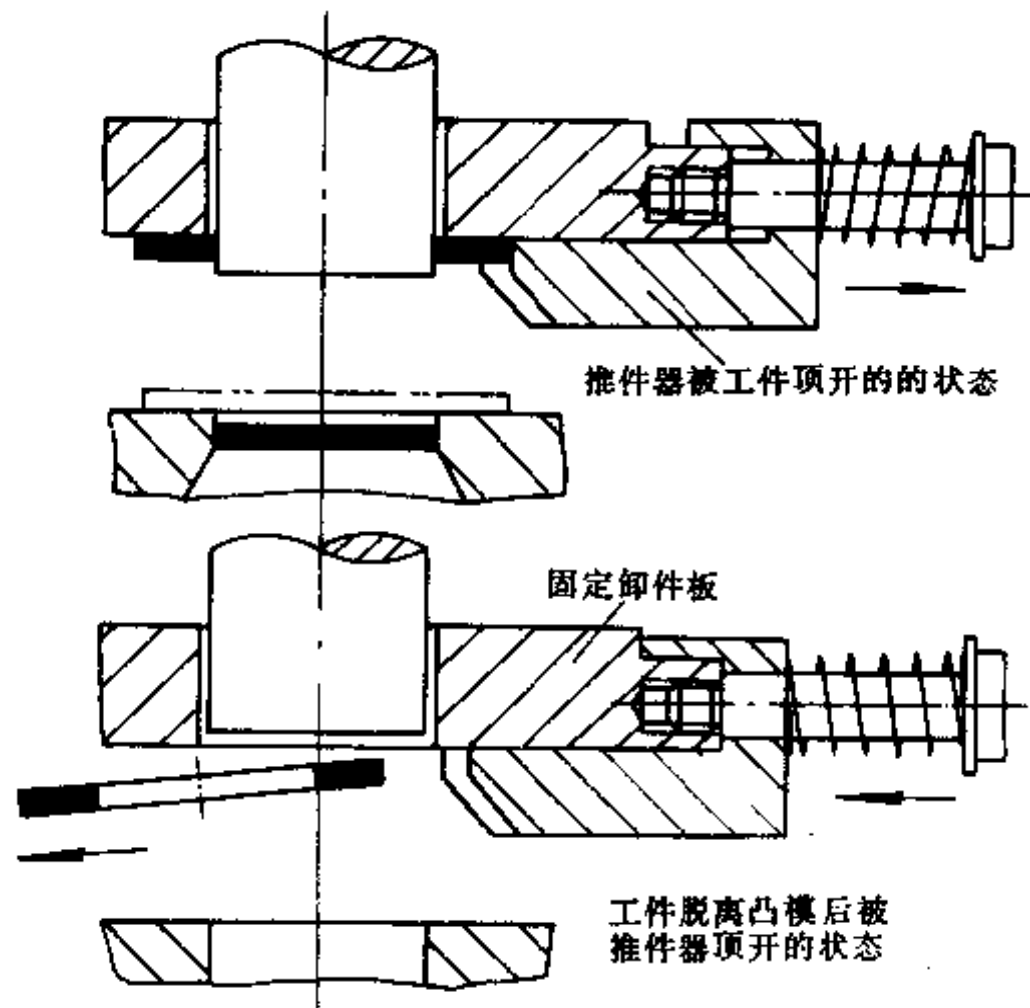


图 12-10 自动出件装置

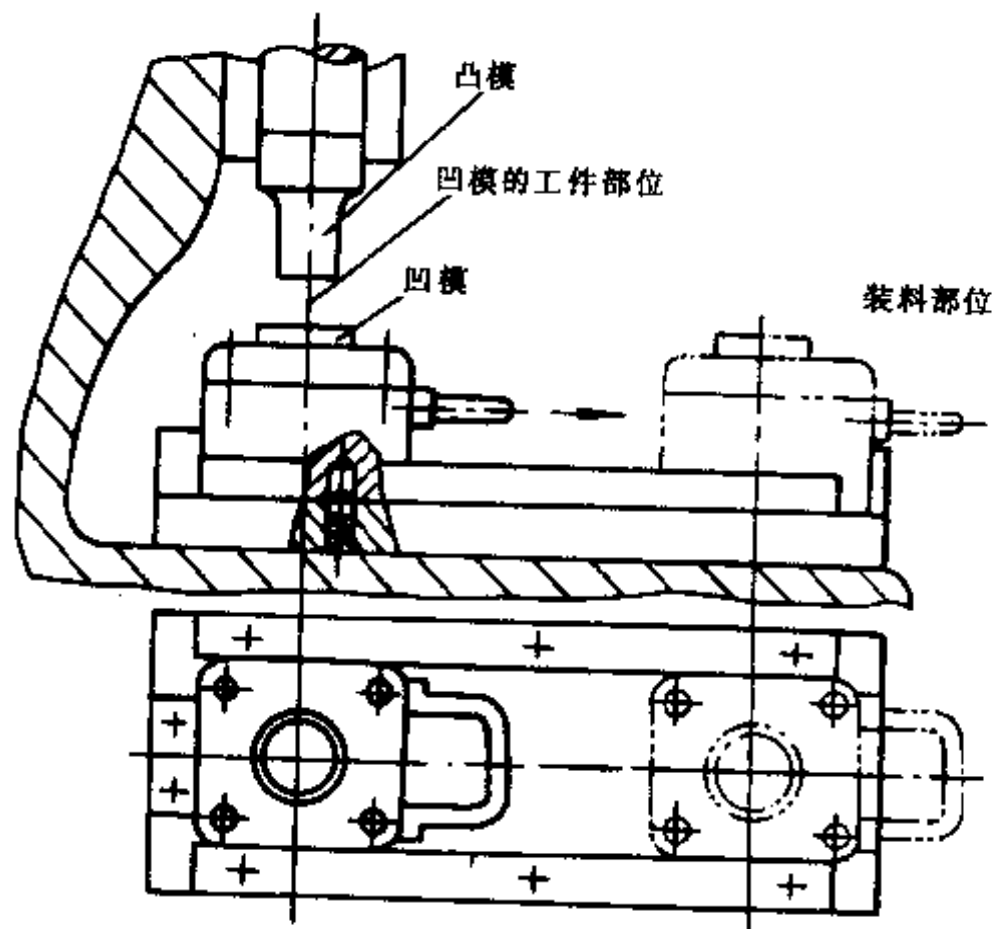


图 12-11 模外装卸工件

用手将凹模在凸模下移动，防止手进入危险区域内。

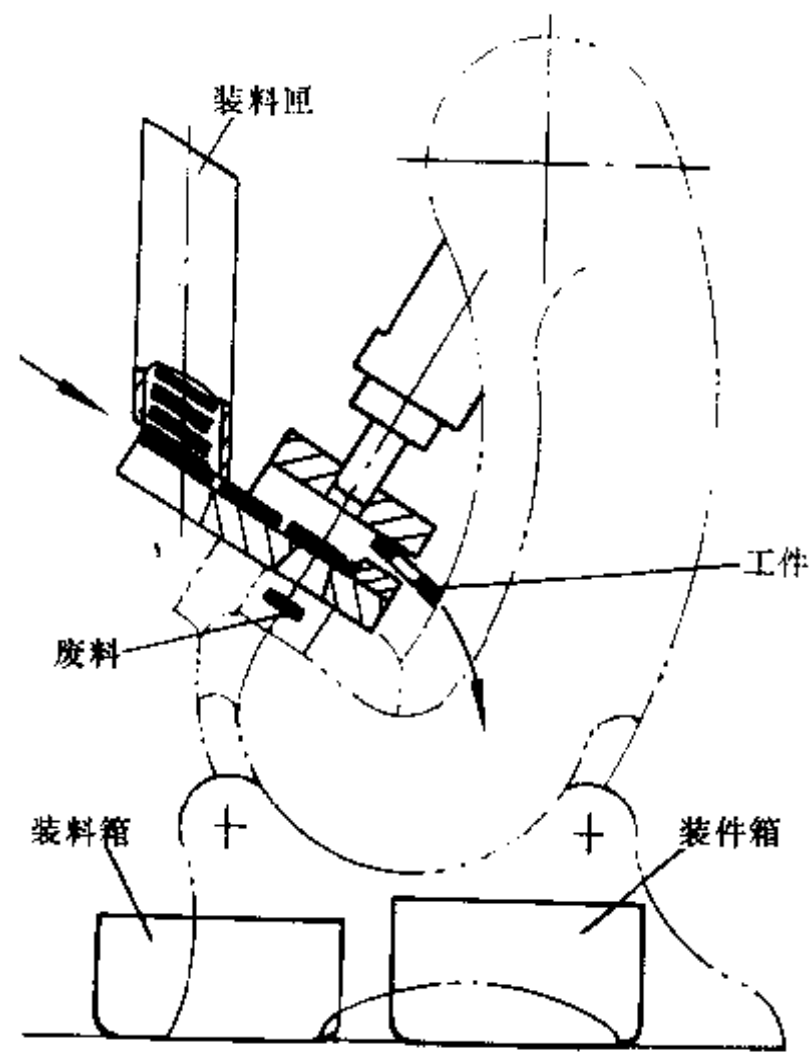


图 12-12 压力机倾斜机身出工件
利用压力机可倾斜机身，将工件从机身后部掉出。

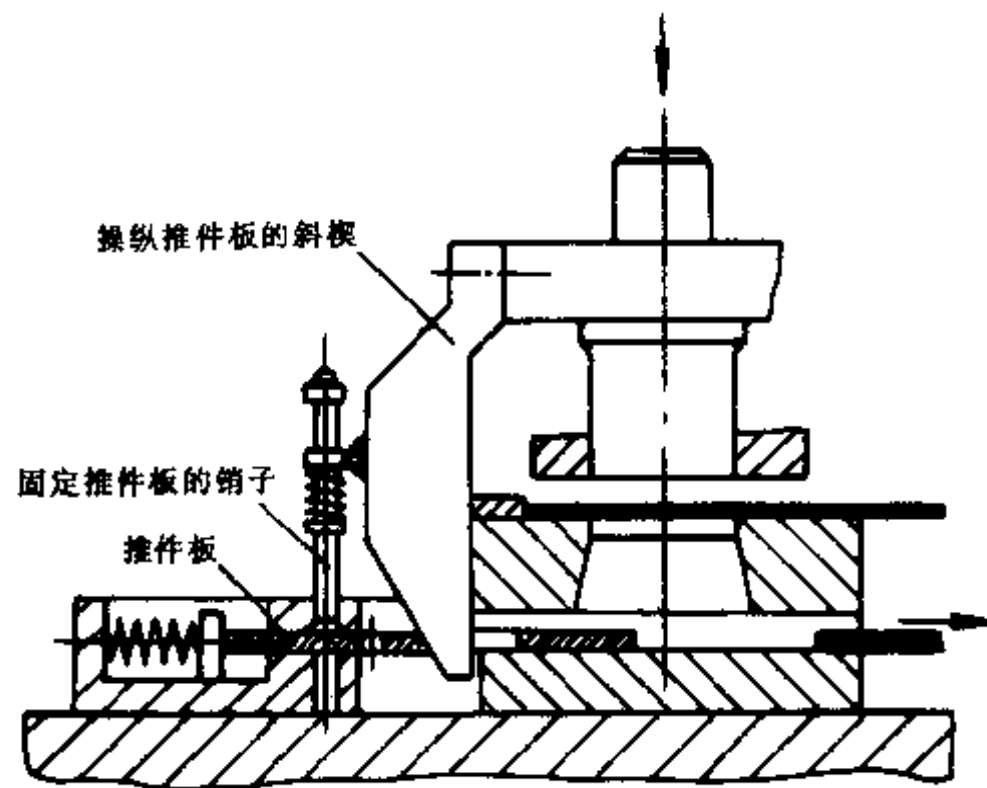


图 12-13 冲裁件从凹模下部推件

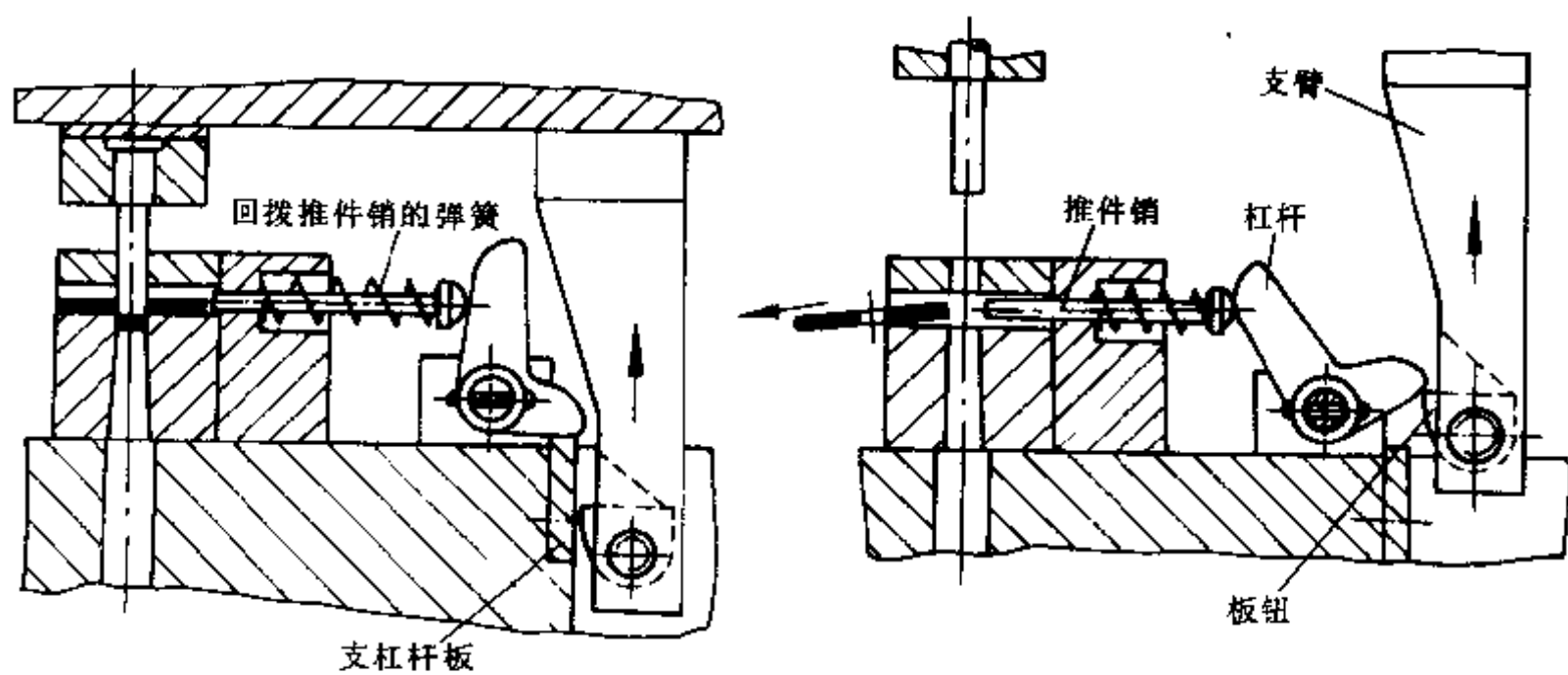


图 12-14 杠杆推件结构

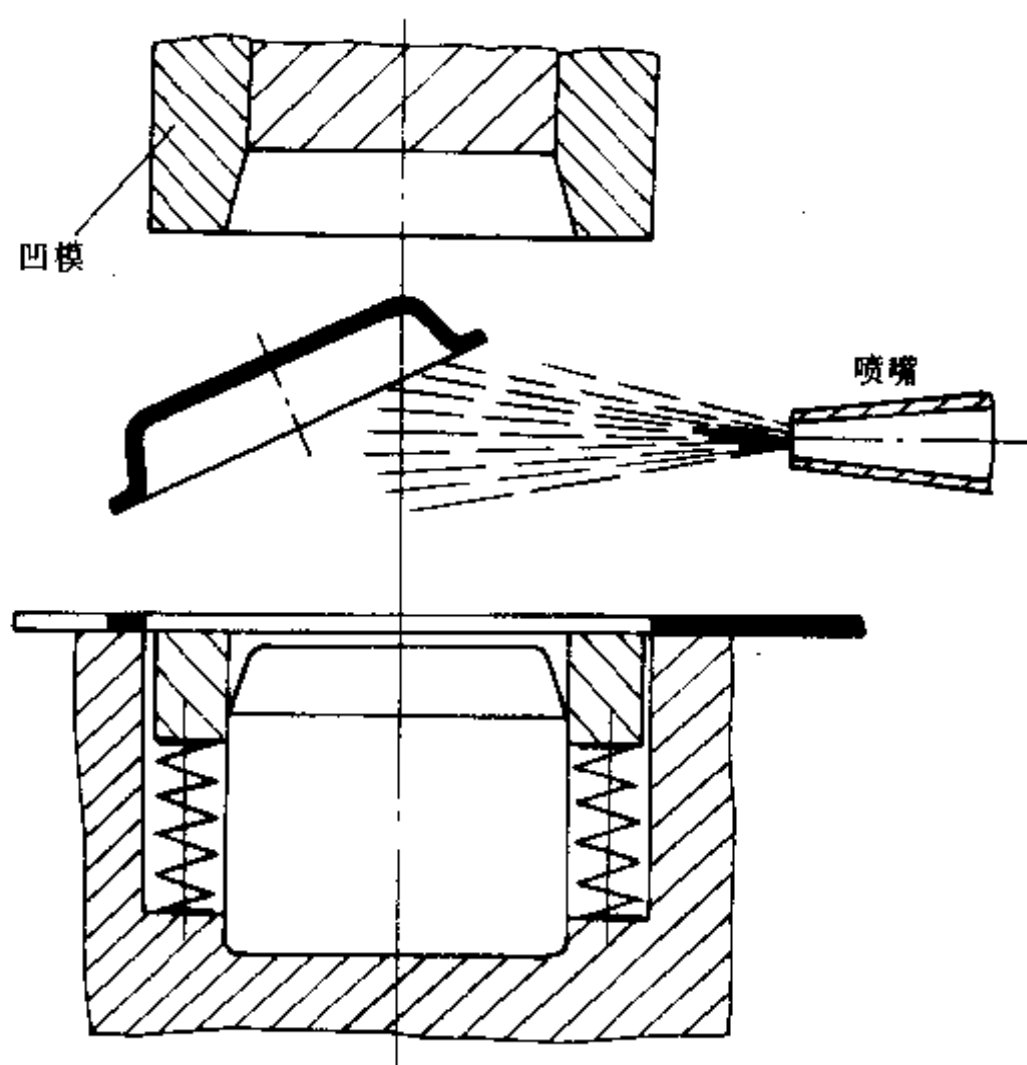


图 12-15 压缩空气自动推件

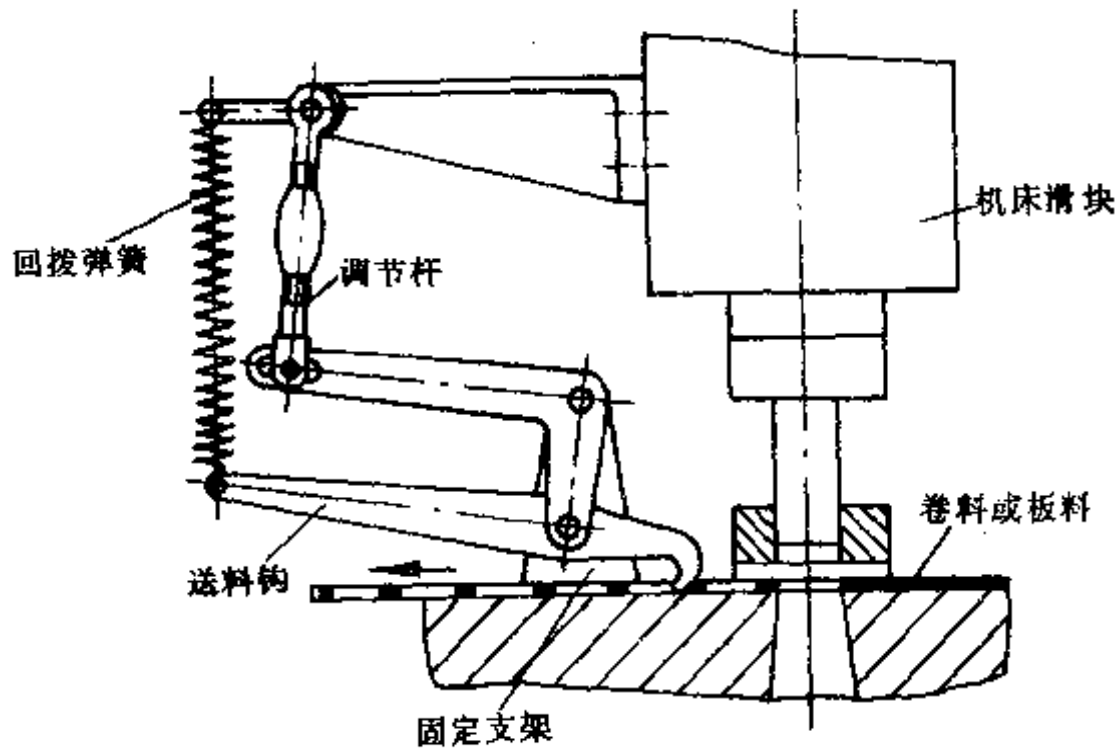


图 12-16 模外钩形送料结构

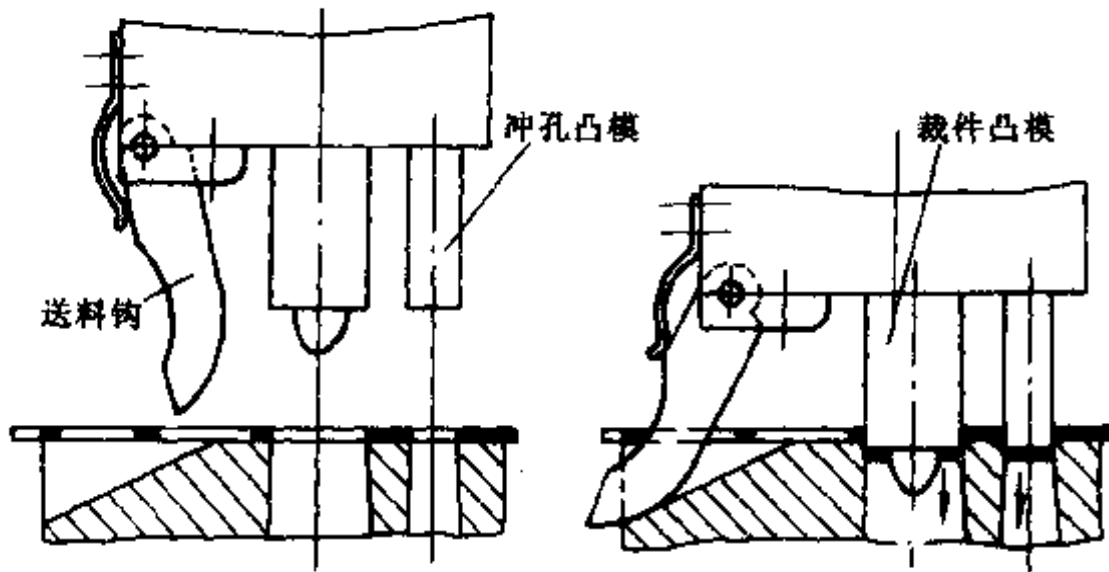


图 12-17 与模子装在一起的钩形送料结构

定。模柄夹持器可在螺杆上移动，再用螺母锁紧。如图 12-18 所示。

(5) 凡大型模具用模柄固定时，为增加固定的可靠性，制成带固定斜面的模柄把用固定螺钉紧固，或模具的上模座用吊挂螺丝安装。如图 12-19~图 12-21 所示。

(6) 笨重的冲模必须安装起重螺钉，以利于搬运和安装。如图 12-22 所示。

2. 模具存放的安全

为了保护模具的刃部，和保证橡皮不致过早失去弹性而损坏，在模具储藏时应设置支撑销支撑，使上下模之间要有一定的空隙，并存放在专用的工具架上。如图 12-23~图 12-24 所示。

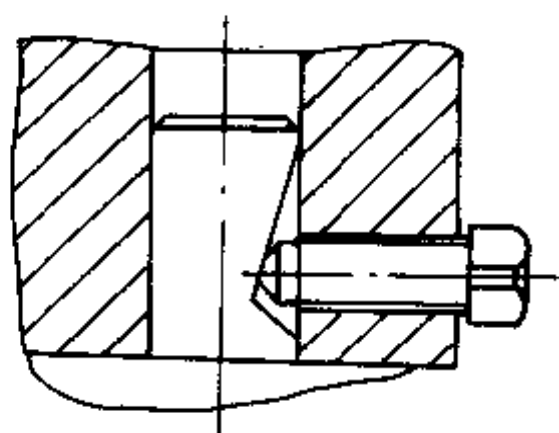


图 12-18 螺母锁紧模柄

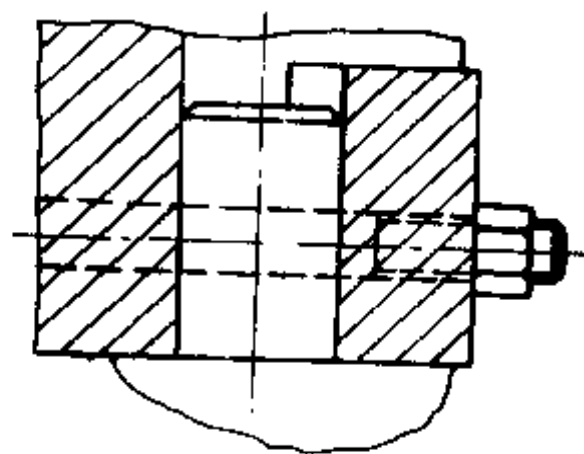


图 12-19 制有斜面的模柄把

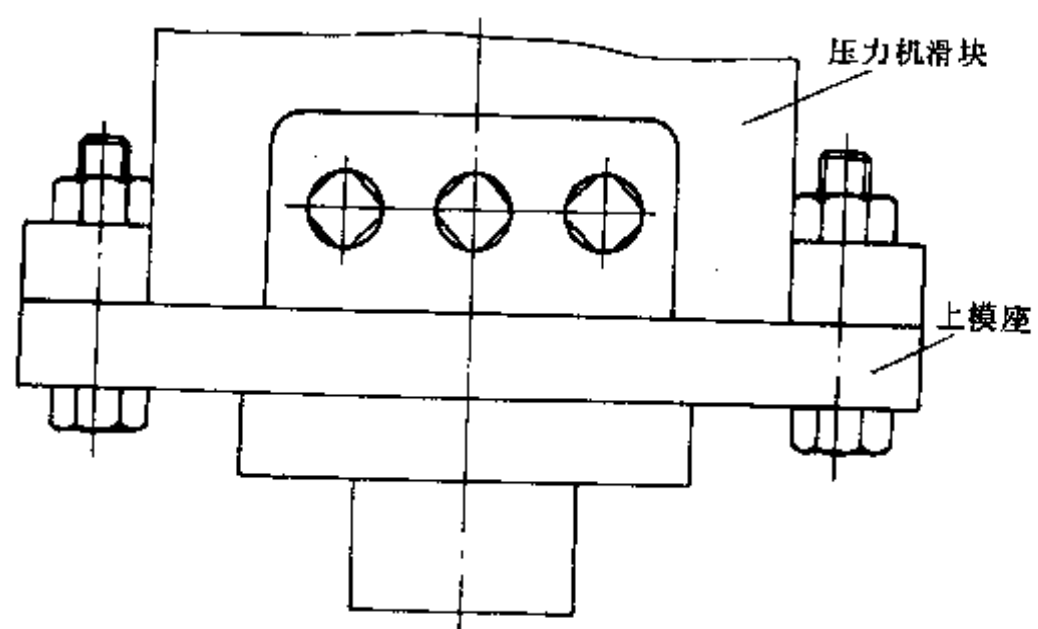


图 12-20 上模座用吊挂螺丝安装

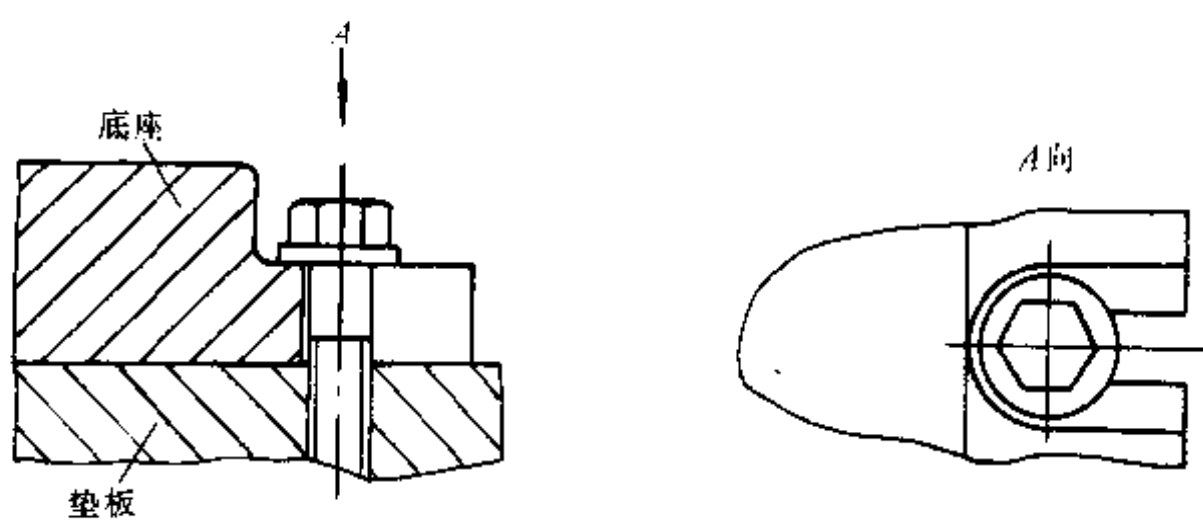


图 12-21 螺钉通过开口孔压固底座

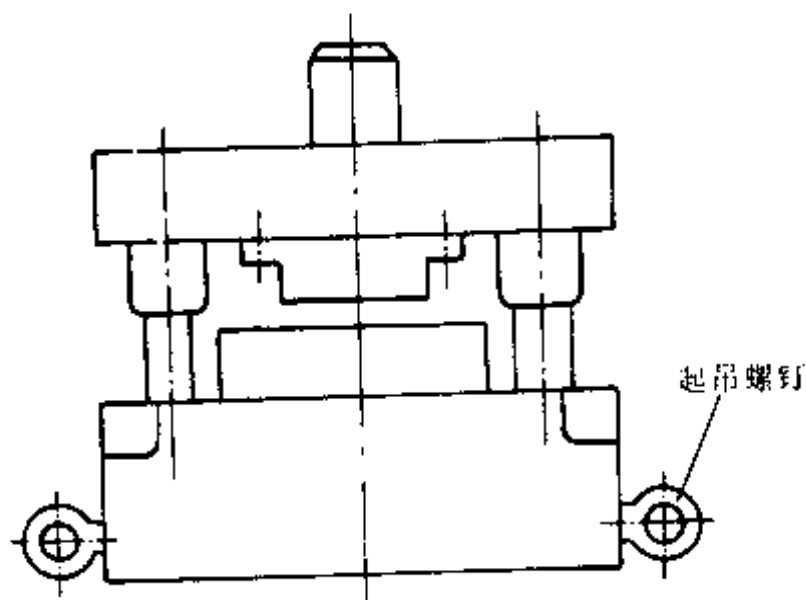


图 12-22 大、中件模具装起重螺钉

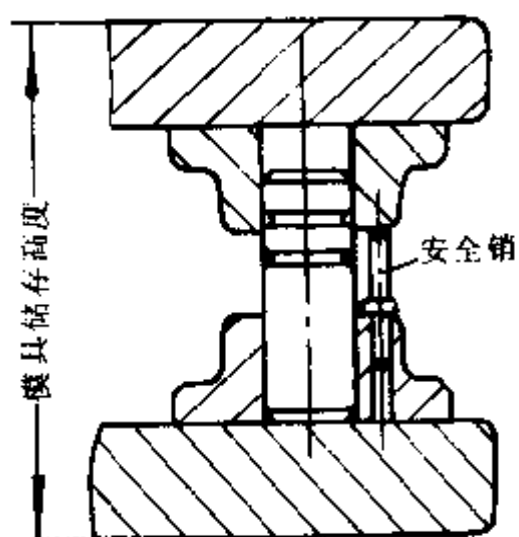


图 12-23 导柱支架上设置安全销

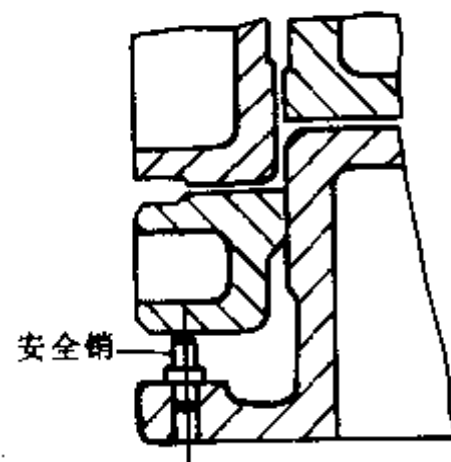


图 12-24 下模与卸料板间装安全销

第二节 冲压设备的选用

冲压设备的选择，是冲压工艺及模具设计中的一项重要内容。它直接关系到冲压设备的安全和合理使用，也关系到冲压生产能否顺利进行和产品质量、模具寿命、生产效率、产品成本等一系列问题。冲压设备的选用包括选择设备类型和确定设备规格两项内容。

一、冲压设备类型的选择

冲压设备类型的选择，主要是根据冲压工艺性质、生产批量大小、冲压件的几何形状、尺寸及精度要求等因素来确定的。冲压生产中常用的是曲柄压力机和液压机，它们在性能方面的比较见表 12-1。

在中小型的冲裁件、弯曲件或浅拉深件的冲压生产中，主要选用开式压力机。这种

压力机具有三面敞开的操作空间、操作方便、容易安装机械化装置和成本低廉等优点。但角刚度较差，工作时床身的角变形会导致冲模间隙分布不均，降低冲模的寿命和冲裁件的质量，因而适宜于精度要求不太高的冲压件生产。

表 12-1 曲柄压力机和液压机的比较

性 能	曲柄压力机	液 压 机
加工速度	比液压压力机快	很慢
行程长度	不 能 够 太 长 (600 ~ 1000mm)	作成 1000mm 以上比较容易
行程长度的变化	一般小型压力机的行程做成不可调的，因为行程长度调节会使机构复杂	行程长度变化容易
行程终端的位置	终端位置能够准确地确定	就压力机本身来说不能准确确定
所产生的压力与行程位置的关系	离下死点愈远，所产生的压力愈小	公称压力与行程位置没有关系
加压力的调节	一般难于做到，即使做到也不能准确调节	容易调节
保压作用	不能	能
锤击作用	有一定的锤击作用	没有
过载的可能性	会产生，但大中型压力机均有过载保护装置	不会产生
维修的难易	较易	较为麻烦

在大中型和精度要求较高的冲压件的生产中，主要选用闭式压力机。这种压力机床身的弹性变形较小，刚度较好，精度较高。对于大型、较复杂的拉深件则应采用闭式双动拉深压力机。它具有两个滑块，拉深用的内滑块和压边用的外滑块，模具结构简单，压

边可靠易调，可根据工艺要求，调节压边力。

在小批生产尤其是大型厚板件的成形工艺中，多选用液压机。液压机虽然速度慢、效率低、制件尺寸精度因受操作影响不太稳定，但压力大，没有固定行程，因而不会因为板材的厚度超差而过载，特别对于工作行程较大的冲压工艺具有明显的优点。但液压机一般不适于冲裁工作。

在大量生产中应选用高速自动压力机或多工位自动压力机。高速自动压力机具有效率高、精度高等特点。一台多工位自动压力机能够代替多台单工位压力机，并且消除了工序间半成品的堆放和运输问题。

对于平面精压和体积精压等工艺，其特点是工件变形量小，精度要求高。而精压机的工作机构是曲柄肘杆机构，滑块工作行程很小，肘杆机构及机架刚度较大。因此，既能适应精压工艺工作行程很小的需要，又能达到提高精压工件精度的目的。

精冲工艺除要求精度高、刚性好和冲裁速度较低外，还特别要求压力机除主滑块外，要有压边和反压装置，一般应选用专用的三动精冲压力机或精冲液压机。当采用专用精冲模具时，也可在普通压力机上实现精冲。

二、冲压设备规格的选择

在压力机的类型选定之后，应进一步根据变形力的大小、冲压件尺寸和模具尺寸来确定设备的规格。对曲柄压力机所要考虑的主要技术参数如下所述。

(一) 公称压力 (吨位) 和功率

1. 公称压力 (吨位)

压力机的承载能力受压力机本身各主要构件强度的限制，其滑块上所容许承受的最大作用力 (许用负荷) 是随曲柄转角位置的不同而变化的。公称压力 P_s 是指滑块离下死点前某一特定的距离 (此距离称为公称压力行程 S_s) 或转到离下死点前某一特定的角度 (此特定角度称为公称压力角 α_s) 时，滑块上所容许承受的最大作用力。

对于一般的曲柄压力机，产生公称压力的行程仅为滑块行程的 5%~7% (我国原第一机械工业部的标准规定：对开式压力机公称压力行程为 3~5mm，对闭式压力机为 13mm)，而公称压力角，一般小型压力机为 30°，中大型压力机为 20°。

如图 12-25 所示，设压力机所能传递的力矩为 M ，如果忽略了摩擦，则

$$[M] = [P]R\sin\alpha = [P]\frac{S}{2}\sin\alpha$$

当 $\alpha = \alpha_s = 30^\circ$ 时， $[P] = P_s$

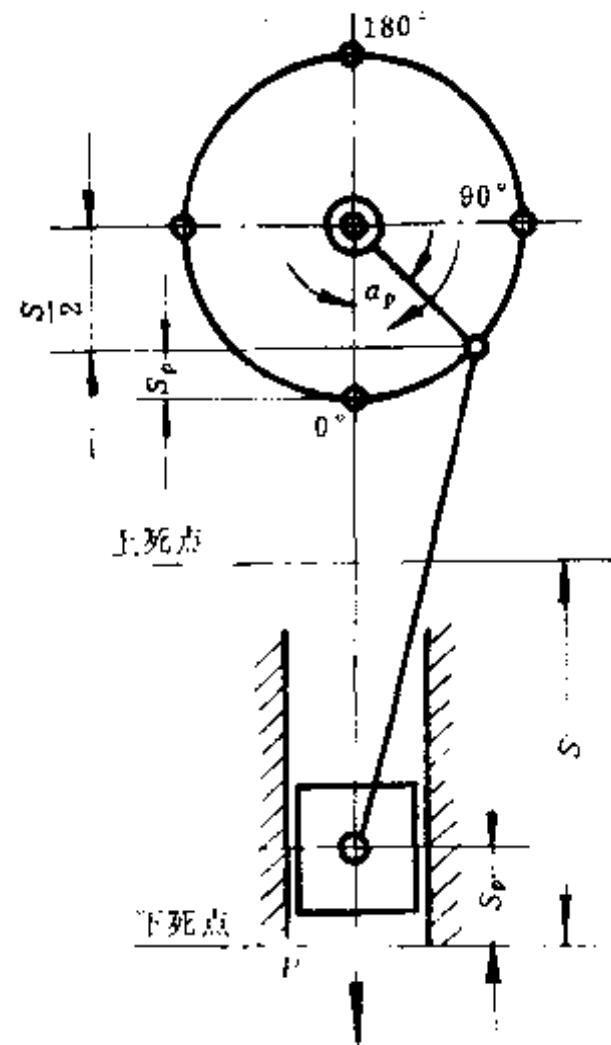


图 12-25 运动原理图

所以

$$P_s \frac{S}{4} = [P] \frac{S}{2} \sin \alpha$$

$$[P] = \frac{P_s}{2 \sin \alpha} \quad (12-1)$$

式中 $[M]$ ——曲轴许用力矩 (kN·mm);

$[P]$ ——滑块许用负荷 (kN);

R ——曲柄半径 (mm);

S ——滑块行程 (mm);

α ——曲柄转角 (度)。

根据公式 (12-1) 可计算在滑块行程大于公称压力行程位置时, 滑块的许用负荷。表 12-2 给出了曲柄转角不同时, 滑块的许用负荷与公称压力的比值。由此可知, 在 α , 或 S_s 以外, 压力机要降低压力使用。

表 12-2 压力机的 $[P_s]/P_s$ 值

α	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$[P]/P_s$	1	0.78	0.65	0.58	0.53	0.51	0.50

在选择压力机公称压力时, 对于工作行程小于压力机公称压力行程的冲压工序, 只要使冲压所需工艺力的总和不超过公称压力即可。由于各国对公称压力行程的规定不一样, 所以从各国进口的压力机所给出的公称压力行程或公称压力转角也不相同 (见表 12-3)。因此, 在使用中最好查阅产品说明书的滑块许用负荷曲线。不同的压力机结构, 其许用负荷曲线也不相同。如图 12-26 所示是公称压力为 6000kN (600t) 的两种压力机的许用负荷曲线。其中图 (a) 为一般曲柄压力机, 图 (b) 为肘杆式压力机。完成某零件的冲压负荷曲线, 应在压力机滑块的许用负荷曲线之下。

表 12-3 各国公称压力行程及公称压力角标准

国别	压机类型 S_s 或 α_s	通用压力机			拉深 压力机
		闭式单点	闭式双点	开式	
美、日	S_s	6.4mm ($\frac{1}{4}$ 英寸)	12.7mm ($\frac{1}{2}$ 英寸)	0.8~6.4mm ($\frac{1}{32}$ ~ $\frac{1}{4}$ 英寸)	
德国	α_s		30°		15°
原苏联	α_s		20°~30°		12.8°~25°
中国	S_s		13mm		3~5mm

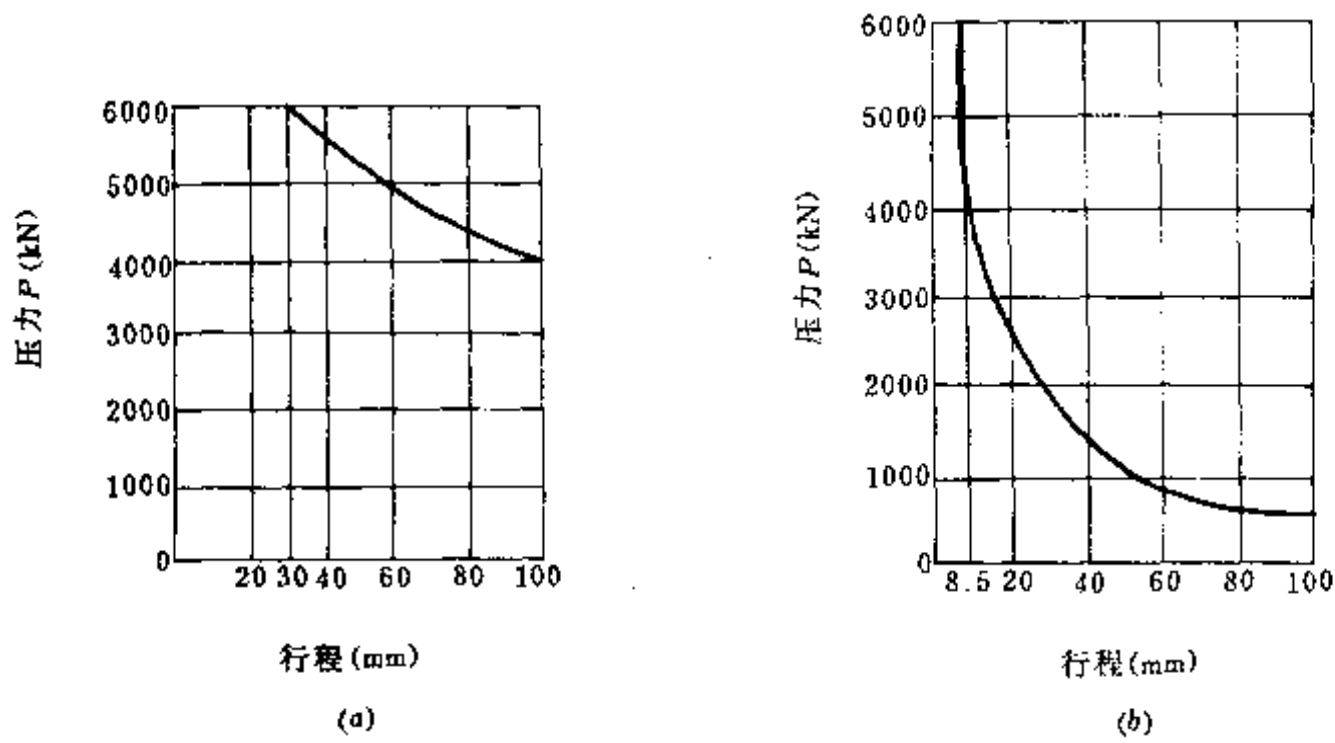


图 12-26 两种不同类型的压力机的许用负荷曲线
 (a) 一般曲柄压力机; (b) 肘杆式压力机。

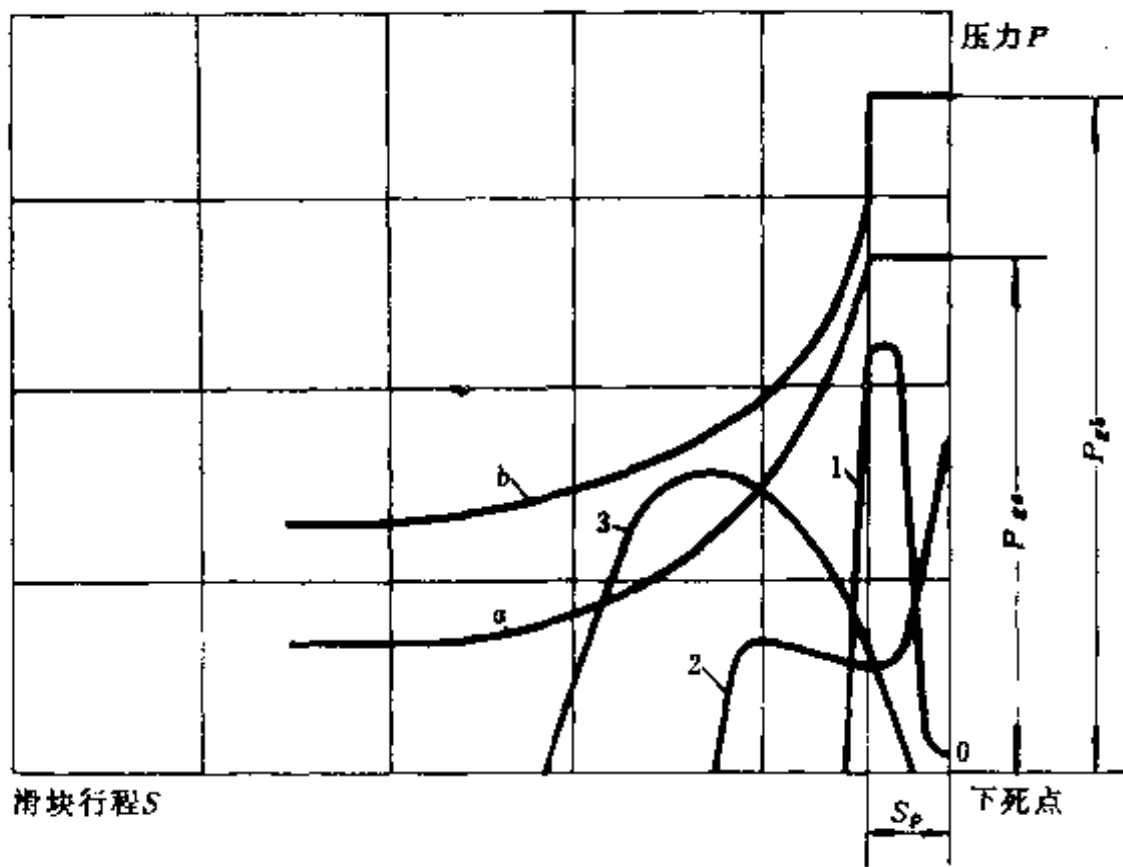


图 12-27 压力机许用负荷曲线与不同的冲压负荷曲线的比较
 1—冲裁; 2—弯曲; 3—拉深。

如图 12-27 所示为不同的冲压负荷曲线与压力机许用负荷曲线的比较。曲线 1、2、3 分别代表典型的冲裁、弯曲和拉深的冲压负荷曲线。从图中可知，选用公称压力为 P_m 的压力机，在进行冲裁或弯曲时，完全可以保证冲压负荷曲线在该压力机的许用负荷曲线之下，即在全部行程里的变形力都低于压力机的许用压力，所以是合理的。但是，公称

压力为 P_0 的压力机，虽然它的公称压力远大于拉深变形（曲线 3）所需的最大力，但在全部行程中，许用压力曲线不能全部覆盖拉深负荷曲线。所以，在这种情况下必须按照许用负荷曲线选用较大规格即公称压力为 P_0 的压力机。

对于复合工序如落料、拉深，要考虑落料力最大值所处的位置如图 12-28 所示，虽然落料力小于公称压力，但由于落料力曲线已超过许用负荷曲线，因而需要另选大规格的压力机或者分两道工序进行。

在使用中，为了简便起见，对于工作行程小于 5% 压力机行程的工序可直接按压力机的公称压力选择设备。如一般的落料、冲孔、压印等工序。对于工作行程较大的工序，可按压力机许用负荷曲线选用。对于拉深工序由于工作行程较大，不能按压力机的公称压力选用，而近似地取为：

在深拉时，最大拉深力 $P \leq (0.5 \sim 0.6)$ 压力机公称压力 P_0 ；

在浅拉深时，最大拉深力 $P \leq (0.7 \sim 0.8)$ 压力机公称压力 P_0 。

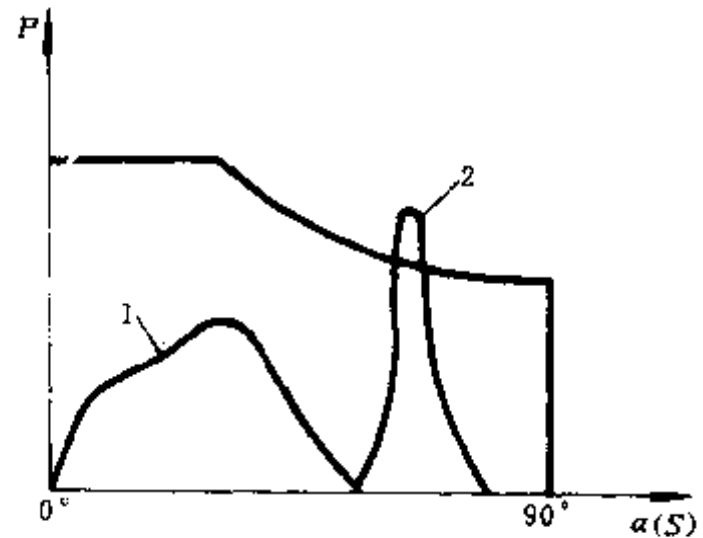


图 12-28 落料、拉深复合工序的负荷曲线与压力机的负荷曲线
1—拉深；2—落料。

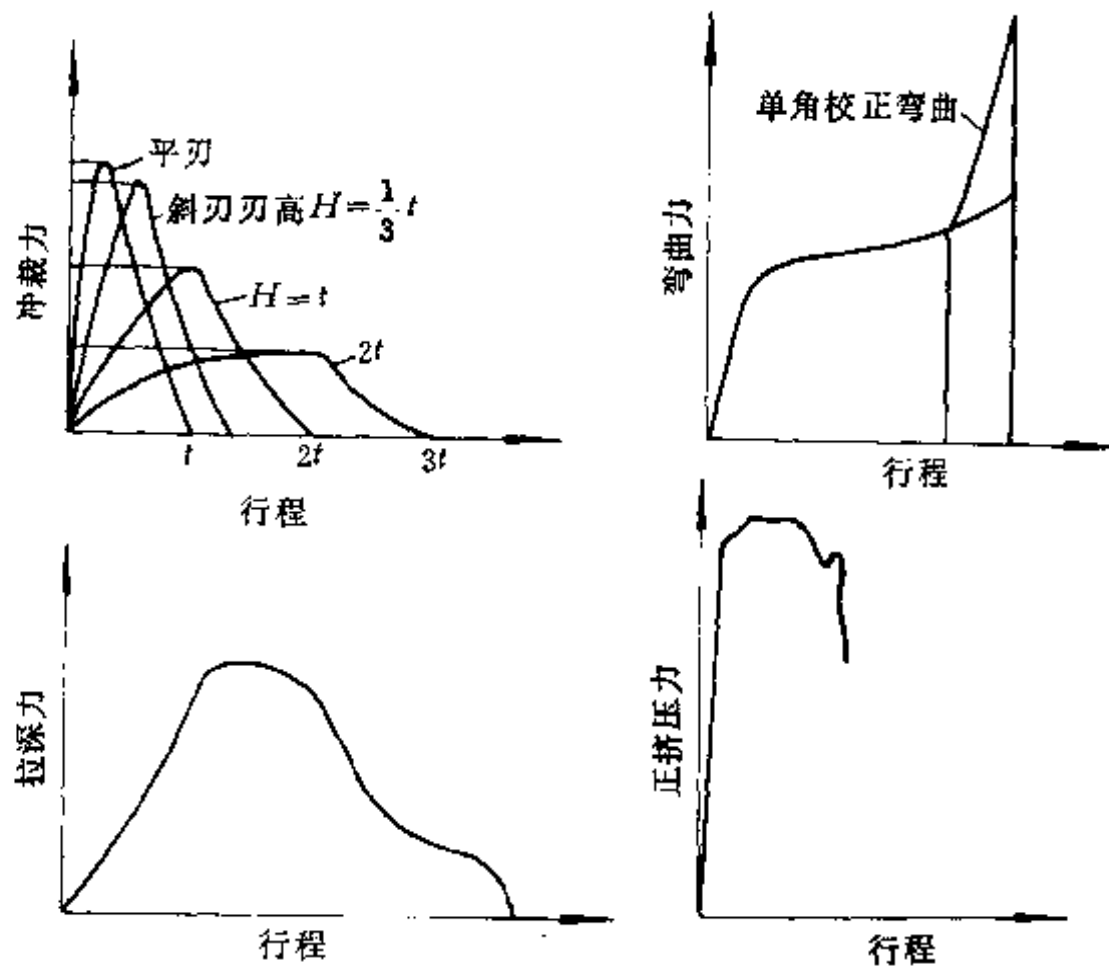


图 12-29 各种工序的冲压负荷曲线

完成各种工艺的冲压负荷曲线如图 12-29 所示，根据这些曲线不难绘出所需的近似曲线。把曲线与压力机的许用负荷曲线相比较，便可知道所选用的压力机在力的方面是

否满足要求。

2. 电机功率

一般在保证了冲压工艺力的情况下，功率是足够的。但是，在某些情况下（如大型件的斜刃冲裁、深度很大的拉深等），也会出现压力足够而功率不足的现象，此时必须对压力机的电机功率进行校核，并选择电机的功率大于冲压所需的总功率的压力机。

冲压时压力机所供应的功 ΔE 应大于一个工作行程所需功 A_0 ，即 $\Delta E > A_0$ 。

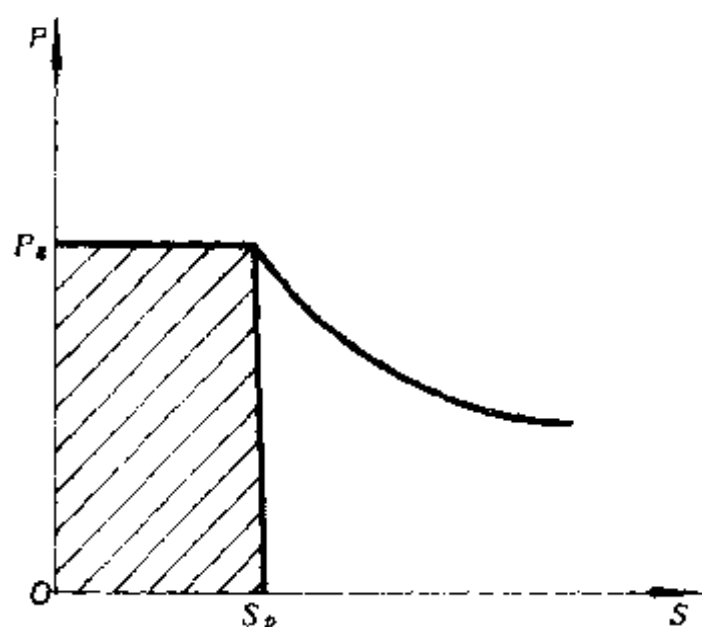


图 12-30 ΔE 计算图

ΔE 可近似地为（如图 12-30 阴影部分面积）

$$\Delta E = P_s S_p \approx \frac{1}{15} P_s S \quad (12-2)$$

式中 S ——滑块行程。

$$A_0 = \frac{A_1 + A_2}{\eta} \quad (12-3)$$

式中 A_1 ——工件变形功；

A_2 ——拉深垫工作功；

η ——压力机总效率， $\eta = 50 \sim 60\%$ 。

（二）滑块行程和行程次数

滑块从上死点到下死点所经过的距离称为滑块行程。行程次数是指滑块每分钟往复行程的次数。

滑块行程大小的选择，应保证方便毛坯的放入和零件的取出。拉深和弯曲工序一般需要较大的行程，对于拉深工序其行程一般为拉深件高度的 2.5 倍。冲裁、精压工序所需行程较小。根据用途不同，压力机的行程有的做成可调式的。

行程次数主要根据生产率、操作的可能性和允许的变形速度来确定。

在确定滑块行程次数时，滑块的运动速度要符合冲压生产工艺的要求。对拉深工艺来说，若速度过高，则会引起工件破裂。拉深工艺的合理速度范围如表 12-4 所列，进行拉深工艺的压力机，滑块速度不应超过这个数值。

表 12-4 拉深工艺的合理速度范围

材料名称	钢	不锈钢	铝	硬铝	黄铜	铜	锌
最大拉深速度 (mm/s)	400	180	890	200	1020	760	760

(三) 装模高度

压力机的装模高度是指滑块在下死点位置时,滑块下表面到工作垫板上表面的距离。装模高度加上垫板厚度即为压力机的封闭高度。没有垫板的压力机,其装模高度与封闭高度相等。模具的封闭高度是指工作行程终了时,模具上模座上表面与下模座下表面之间的距离。选择压力机时,必须使模具的封闭高度介于压力机的最大装模高度与最小装

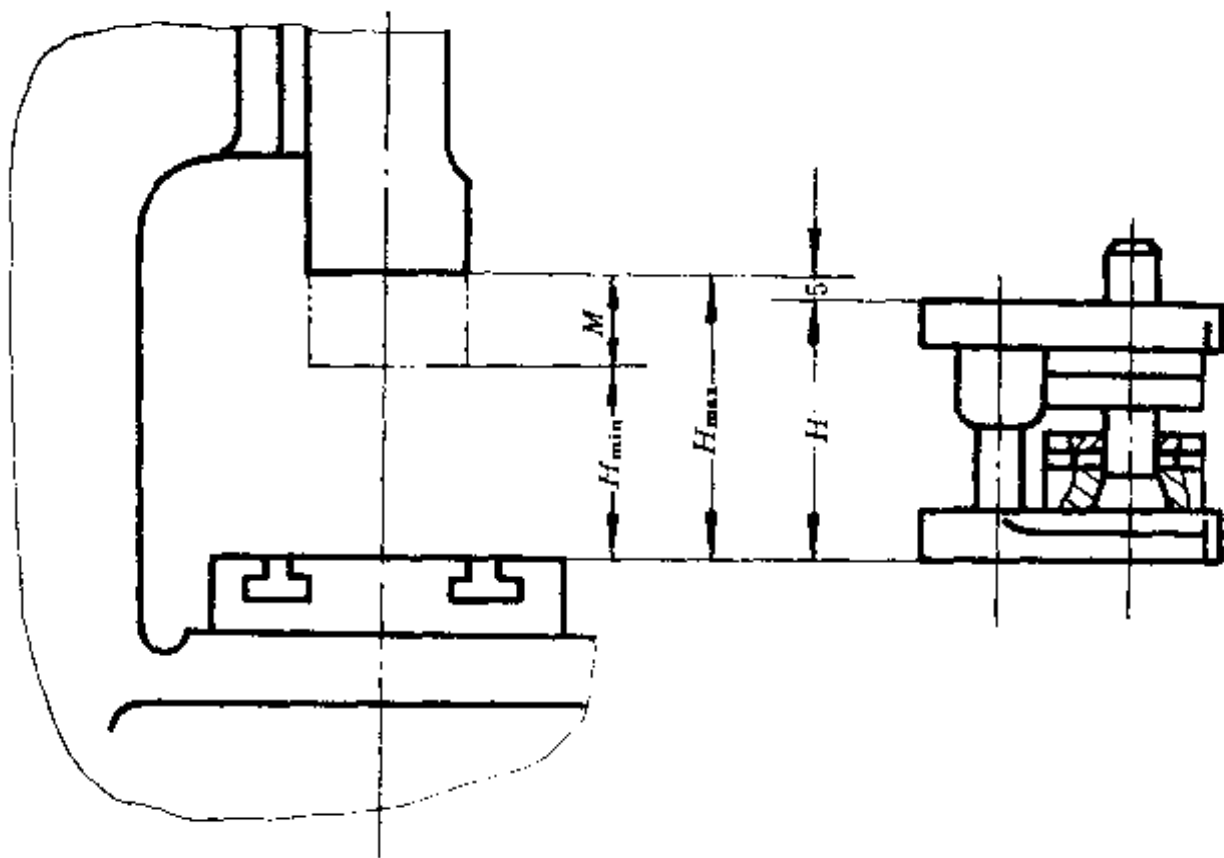


图 12-31 模具的封闭高度

模高度之间 (见图 12-31),一般应满足

$$H_{\max} - 5 \geq H \geq H_{\min} + 10 \quad (12-4)$$

式中 H_{\max} ——连杆调节到最短 (偏心冲床的行程应调到最小) 时,压力机的装模高度,即最大装模高度;

H_{\min} ——连杆调节到最长 (偏心冲床行程调到最大) 时,压力机的装模高度,即最小装模高度;

H ——模具的封闭高度。

上式中的 5mm 是考虑装模方便所留间隙, 10mm 是保证修模所留尺寸。

由于考虑到连杆受力情况希望以最短的连杆工作, 以及考虑到修模而使模具封闭高度减小等原因, 一般模具设计最好接近压力机的最大装模高度。如果模具封闭高度过小, 可在压力机台面上加放垫板。

(四) 工作台面和滑块底面尺寸

工作台面 (或工作垫板) 和滑块下平面的大小应足以安装模具, 并留有余地, 一般

情况下,冲床工作台面应大于模具底座尺寸50~70mm以上。同时应保证能牢固地安装及固定冲模,并能正常工作。工作台和滑块的形式要考虑冲压工艺上的需要,即必须与模具的打料装置、出料装置、卸料装置等的结构相适应,例如工作台的孔,应能容纳模具的卸料装置或使出料顺利进行。

(五) 压力机的精度和刚度

压力机的精度,主要是指压力机在静态情况下,所测得的压力机应达到的各种精度指标,故又称静态精度。它主要包括:工作台的平面度,滑块下平面的平面度,工作台面同滑块下平面的平行度,滑块行程同工作台面的垂直度,滑块中心孔和滑块行程的平行度等。

压力机静态精度的高低,对冷冲压工作有很大影响。压力机的精度高,则冲出的工件质量也高,冲模不易损坏、使用寿命长。精度低的压力机,不仅工件质量低,模具寿命也低。若滑块行程与工作台面垂直度差,则导致上、下模的同轴度降低,冲模刃口易于损坏。

压力机精度对冲裁工序,尤其是精密冲裁和薄板冲裁的影响较其他工序明显。图12

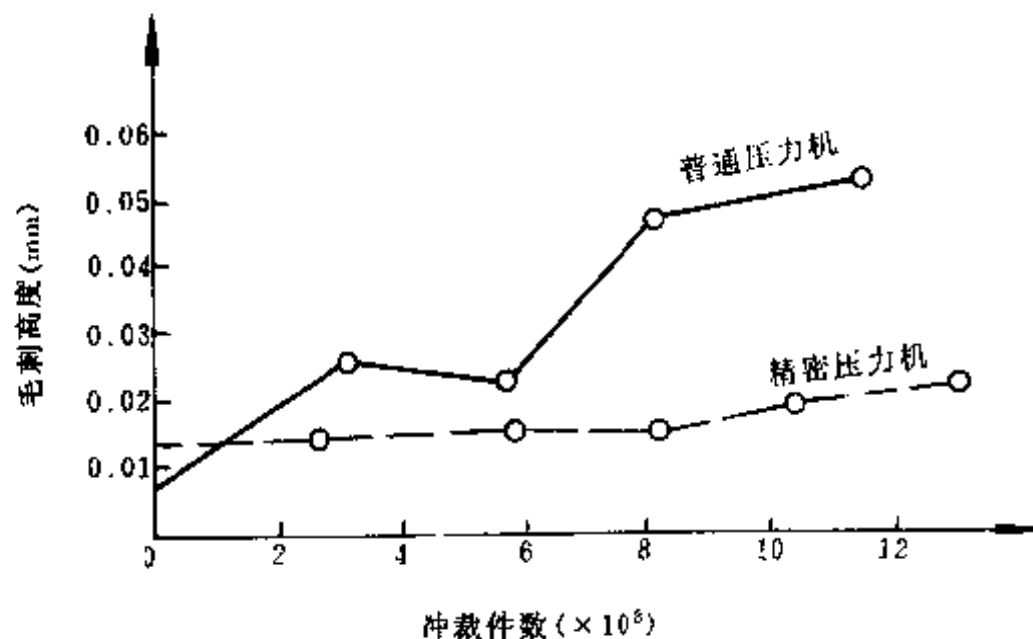


图 12-32 不同压力机冲件个数与毛刺高度的关系

—32 即为不同精度的压力机冲裁工件数与毛刺高度的关系。

但是,压力机的静态精度却要靠压力机刚度来保证。压力机的刚度主要是指压力机在工作时抵抗弹性变形的能力。对开式压力机来说,有垂直刚度和角刚度两种指标。所谓垂直刚度是指压力机的装模高度产生单位垂直变形时,压力机所承受的作用力,而角刚度是指压力机的滑块相对于工作台面产生单位角变形时,压力机所承受的作用力。在冲压力的作用下,床身会弹性伸长,工作台平面会弹性挠曲,尤其是角变性,这些弹性变形破坏了压力机的某些静态精度,对冷冲压件的质量有很大影响。

对冲裁工序,尤其是精密冲裁(包括整修和精冲)和要求较高精度冲裁件的普通冲裁工序,模具间隙要求小而均匀,并且在上、下模吻合时要有准确的入模量。压力机如果角刚度不足,不但会造成废品,而且会大大缩短模具的使用寿命。

参 考 文 献

- 1 肖景容,姜奎华主编.冲压工艺学.北京:机械工业出版社,1990
- 2 李积本主编.冲压工艺学.北京:机械工业出版社,1982
- 3 吴诗悼主编,何声健副主编.冲压工艺学.西安:西北工业大学出版社,1987
- 4 湖南省机械工程学会锻压分会.冲压工艺学.长沙:湖南科学技术出版社,1984
- 5 胡世光,陈鹤峰.板料冷压成形原理.北京:国防工业出版社,1989
- 6 梁炳文,胡世光.板料成形塑性理论.北京:机械工业出版社,1987
- 7 汪大年主编.金属塑性成形原理.北京:机械工业出版社,1982
- 8 (日)日本塑性加工学会.压力加工手册.北京:机械工业出版社,1984
- 9 航空工艺装备设计手册编写组.冷冲模设计.北京:国防工业出版社,1977
- 10 周开华编译.冲压零件展开尺寸计算.北京:国防工业出版社,1981
- 11 冲模设计手册编写组.冲模设计手册之四.北京:机械工业出版社,1988
- 12 (日)冲压加工技术手册编委会编.冲压加工技术手册.谷维忠,徐恩义译.北京:轻工业出版社,1988
- 13 王孝培主编.冲压设计资料.北京:机械工业出版社,1983
- 14 佳木斯农机学院主编.板料冲压及冲模设计.北京:机械工业出版社,1979
- 15 万战胜等编.冲压模具设计.北京:中国铁道出版社,1983
- 16 彭建声编.冷冲压技术问答.北京:机械工业出版社,1981
- 17 肖景容,周上能,肖祥芷.板料冲压.武汉:华中工学院出版社,1986
- 18 郑可镭,张弘.实用冲压模具设计手册.北京:宇航出版社,1990
- 19 (日)太田哲.冲压模具结构与设计图解.张玉良,孙士珍,刘晓祯等译.北京:国防工业出版社,1983
- 20 第一汽车制造厂工装设计室编.汽车覆盖件冲模.北京:机械工业出版社,1979
- 21 模具制造手册编写组编.模具制造手册.北京:机械工业出版社,1982
- 22 张春水,祝俊昶.高效精密冲模设计与制造.
- 23 陈良杰.多工位级进模的设计.模具工业,1988,1~8
- 24 肖景容.模具计算机辅助设计与制造.北京:国防工业出版社,1990
- 25 余俊,周济,陈定方等.机械CAD基本教程.武汉:华中理工大学出版社,1987
- 26 唐泽圣,周嘉玉.计算机辅助设计技术基础.北京:科学技术出版社,1988
- 27 陈世霖,吴洪来,樊涛等.微型计算机辅助设计及其应用.北京:科学技术出版社,1989
- 28 何德普主编.曲柄压力机.北京:机械工业出版社,1989
- 29 杜东福,苟文熙编.冷冲压模具设计.长沙:湖南科学技术出版社,1985
- 30 杨群编.机械压力机的操作与安全.北京:电子工业出版社,1990
- 31 赵孟栋编.冷冲模设计.北京:机械工业出版社,1990
- 32 第四机械工业部标准化研究所.冷压冲模设计.第四机械工业部标准化研究所,1981
- 33 常荣福编.冲压成形中的摩擦分析.北京:航空工业出版社,1989
- 34 涂光棋.精冲技术.北京:机械工业出版社,1990
- 35 余克钦等.冲压工艺学(中级本).北京:科学普及出版社,1985
- 36 陈毓勳等.特种冲压模具与成形技术.北京:现代出版社,1989
- 37 周开华等编译.韩宗信等校.精冲技术.北京:国防工业出版社,1980
- 38 精冲编写小组.精冲.北京:国防工业出版社,1982