



**武汉理工大学**  
wuhan university of technology

# 金属工艺学

多媒体课件



# 第十一章 板料冲压



## 主要内容

1 11.1 板料冲压的基本工序

2 11.2 冲压件结构设计要求

3 11.3 板料冲压设备

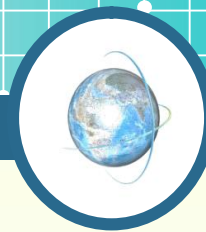
4 11.4 冲压模具

### 本章重点

- 1、初步掌握分离工序和变形工序的种类、特点及应用；
- 2、根据各种工序的特点，合理地选择冲压工艺参数，正确设计冲压件结构；
- 3、了解常用冲压模具的结构、特点及工作原理



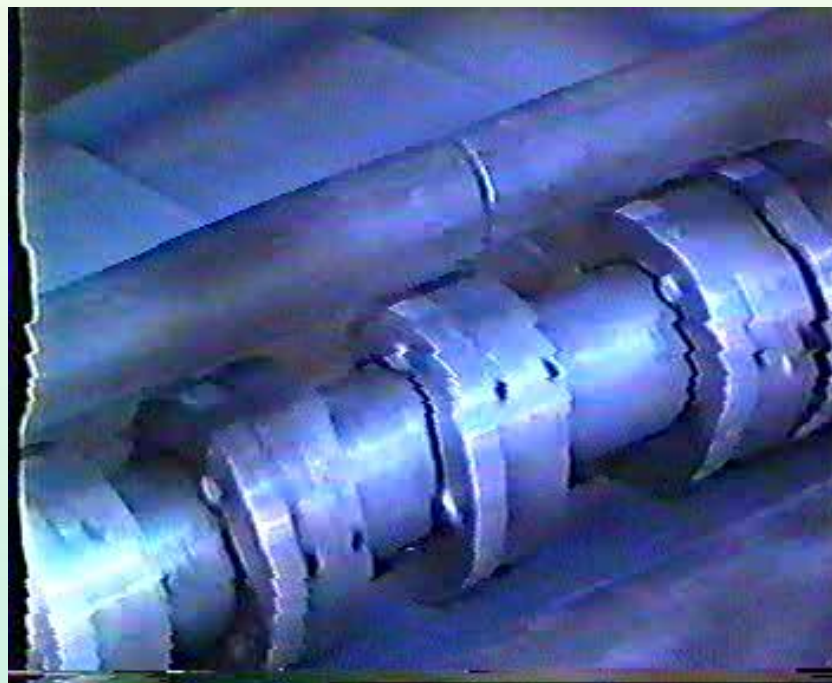
# 概述



使板料经分离或成形而得到制件的工艺统称为**冲压**。  
厚度小于4mm的金属薄板通常是在常温下进行冲压，故称**冷冲压**。  
只有当板料厚度超过8~10mm时，才采用**热冲压**。  
冲压的设备主要有剪床和冲床。

## 板料冲压具有下列特点：

- (1) 便于实现自动化，生产率很高，操作简便。
- (2) 节省原材料，节省能源消耗。
- (3) 产品重量轻、强度高、刚性好。
- (4) 产品尺寸稳定，互换性好，可以加工形状复杂的零件。



# 11.1 板料冲压的基本工序

板料冲压的基本工序可分为**分离工序**和**变形工序**两大类。

## 11.1.1 分离工序

**分离工序**是使坯料的一部分与另一部分相互分离的工序。  
如落料、冲孔、切断和修整等。

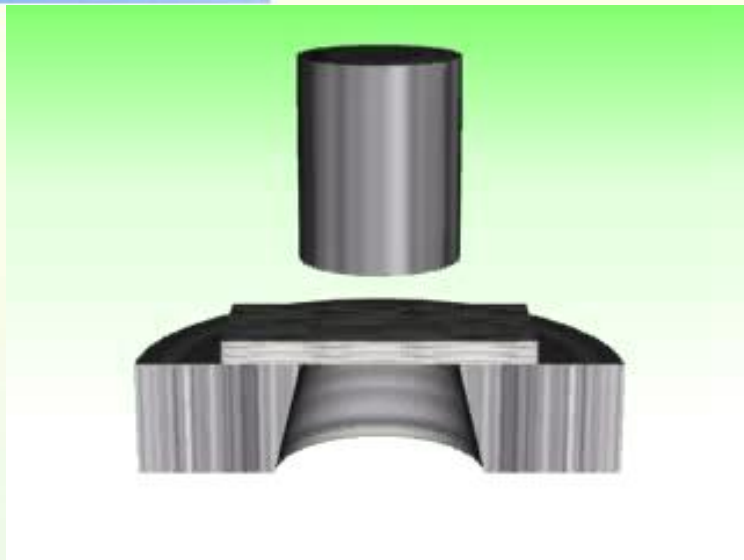
落料和冲孔统称冲裁。

落料是为了制取工件的外形，故冲下的部分为工件，带孔的为废料。

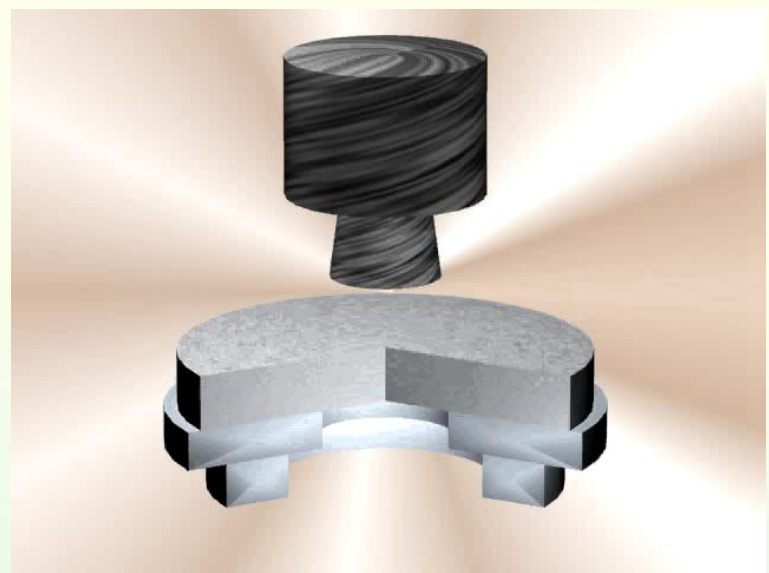
冲孔则相反，是要制取工件的内孔，故冲下的部分为废料，带孔的部分为工件。



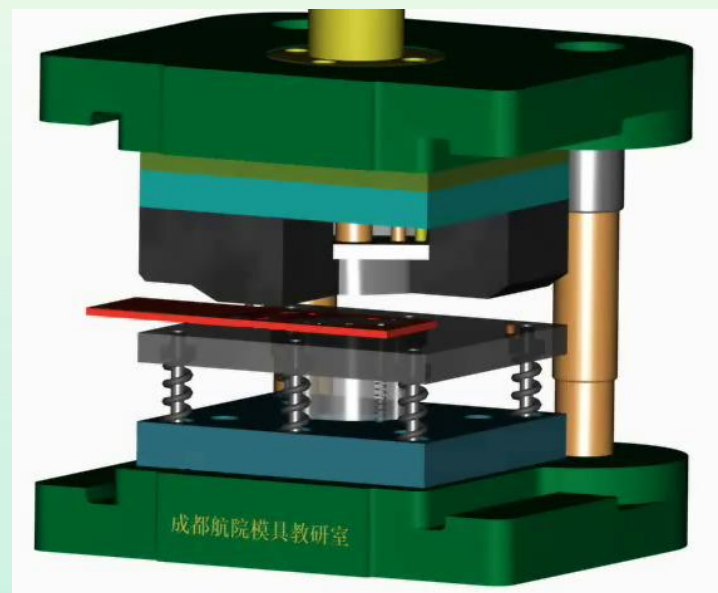
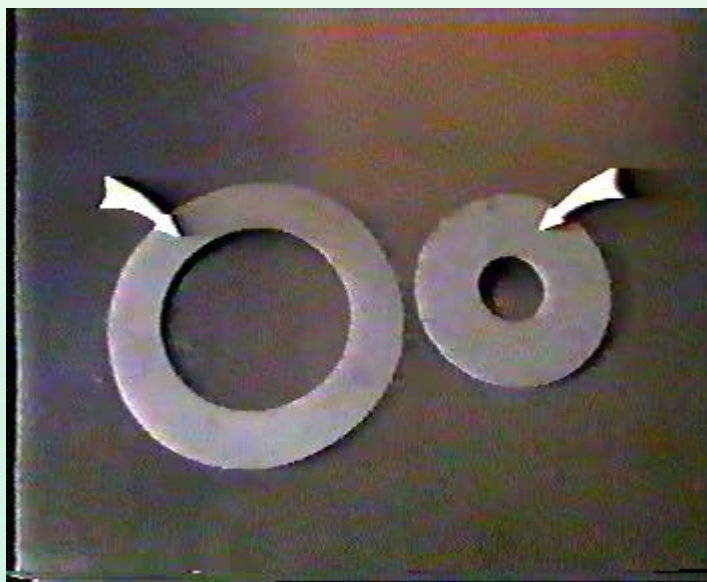




落料

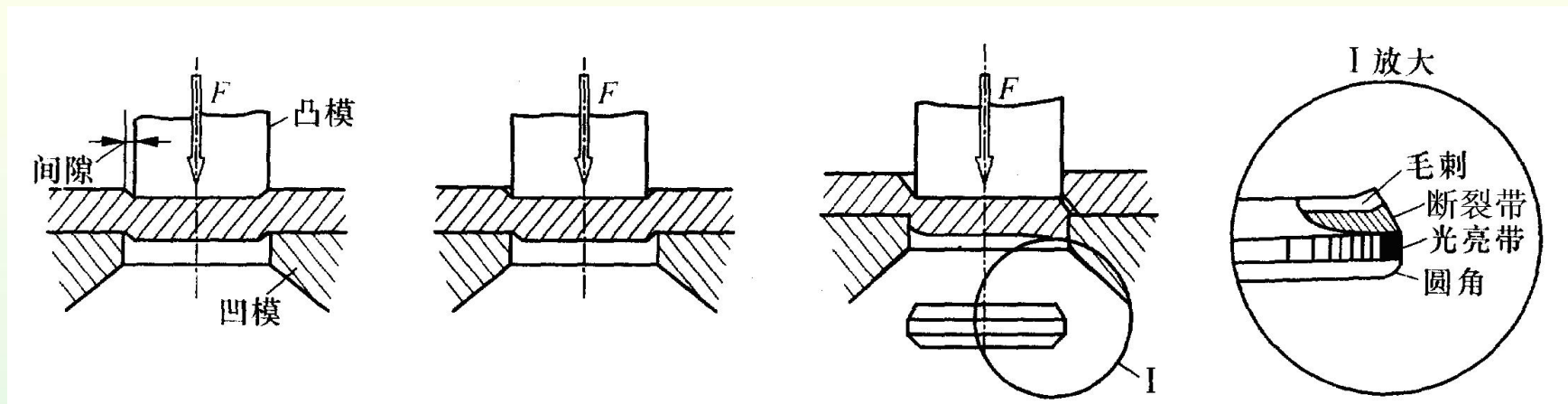


冲孔



# 1、冲裁变形和分离过程

冲裁变形和分离过程可分弹性变形、塑性变形、断裂分离三个阶段。



(a) 弹性变形

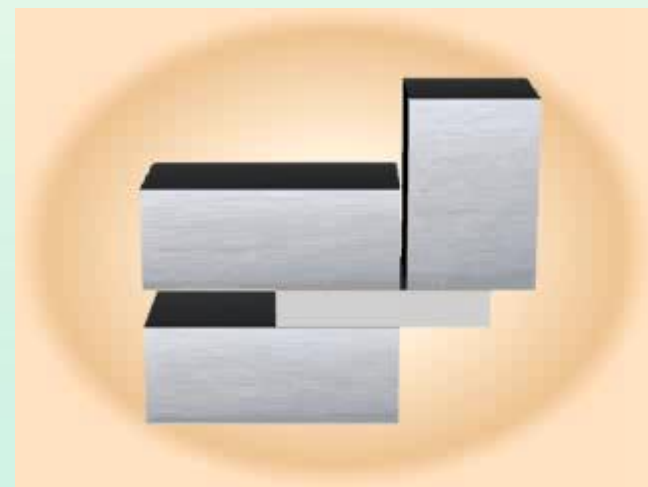
(b) 塑性变形

(c) 断裂分离

(d) 断面形状

板料分离后所形成的断口区域包括: 圆角、光亮带、断裂带和毛刺等4部分。

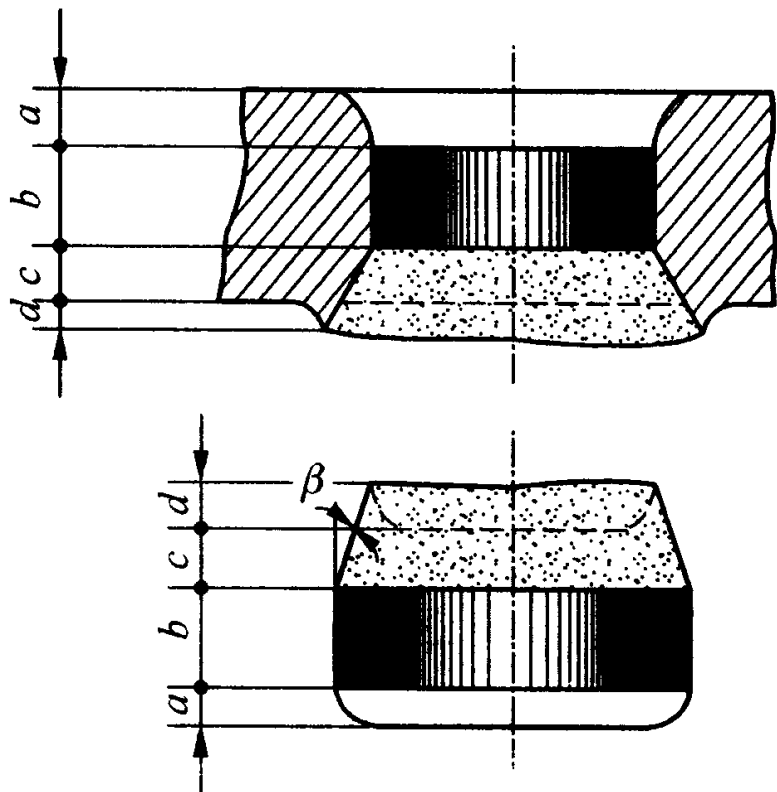
冲裁件断面质量的优劣、与冲模间隙、刃口锋利程度和材料排样方式密切相关。



冲裁变形过程

## 2. 冲裁件断面质量及其影响因素

冲裁件正常的断面特征如下图所示，它由圆角带（a）、光亮带（b）、断裂带（c）和毛刺（d）四个特征区组成。



冲裁件正常的断面特征

**圆角带a:** 是在冲裁过程中刃口附近的材料被牵连拉入变形（弯曲和拉伸）的结果。

**光亮带b:** 当刃口切入金属板料后，板料与模具侧面挤压而形成光亮垂直的断面。

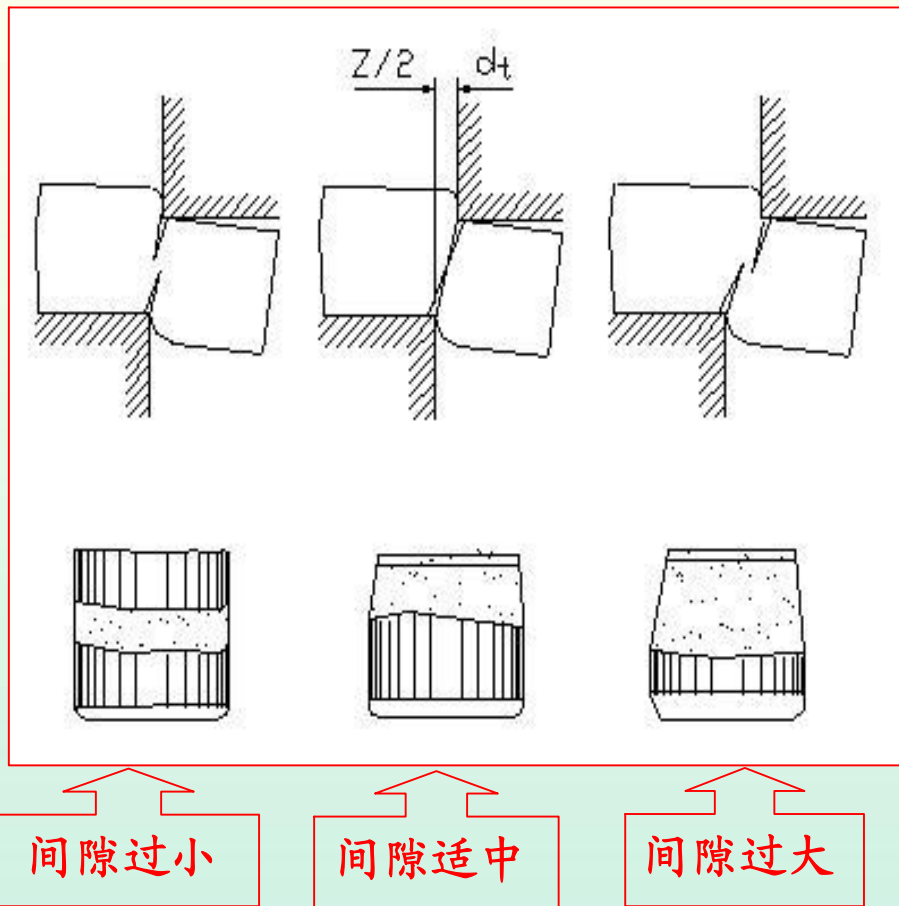
**断裂带c:** 由刃口处产生的微裂纹在拉应力的作用下，不断扩展而形成的。

**毛刺d:** 在刃口附近的侧面上材料出现微裂纹时形成的。

要提高冲裁件的质量，就要增大光亮带的高度，缩小圆角带和毛刺高度，并减少冲裁件翘曲。

### 3. 凸凹模间隙

凸凹模的间隙不仅严重影响冲裁件的断面质量，也影响模具寿命、卸料力、推件力、冲裁力和冲裁件的尺寸精度。



**当间隙过小时**，光面宽度增加，圆角、毛刺、斜度等都有所减小，工件质量较高，但模具寿命较低。

**当间隙过大时**，断面光面减小，圆角与斜度增大，形成厚而大的拉长毛刺，且难以去除，同时冲裁的翘曲现象严重。

**当间隙合适时**，光面约占板厚的  $1/2 \sim 1/3$  左右，切断面的圆角、毛刺和斜度均很小。零件的尺寸几乎与模具一致，完全可以满足使用要求。

$$\text{单边间隙 } c = m \delta$$



## 上次课内容回顾

### 锻件图的制定

(1) 敷料、机械加工余量和锻造公差

(2) 分模面的选择原则

- 1) 要保证模锻件能从模膛中取出。
- 2) 使模膛深度最浅。
- 3) 分模面的上下模膛外形要一致。
- 4) 使所需的敷料最少。
- 5) 分模面要选择平面。

(3) 冲孔连皮和模锻斜度

根据模膛的功能，锻模的模膛分为**模锻模膛**和**制坯模膛**两大类。

板料冲压的基本工序可分为**分离工序**和**变形工序**两大类。

落料和冲孔统称冲裁。

冲裁变形和分离过程可分弹性变形、塑性变形、断裂分离三个阶段。

板料分离后形成的断口区域包括：圆角、光亮带、断裂带和毛刺4部分。

**要提高冲裁件的质量，就要增大光亮带的高度，缩小圆角带和毛刺高度，并减少冲裁件翘曲。**

## 4. 凸凹模刃口尺寸的确定

冲裁模刃口尺寸的计算直接关系到模具间隙和冲裁件的尺寸精度，是模具设计中最重要的尺寸。

刃口尺寸计算的原则如下：

(1) 落料时，落料件的尺寸是由**凹模刃口**尺寸决定的，因此，应以**落料凹模**为设计基准。

考虑到凹模磨损后会使落料件尺寸增大，为提高模具使用寿命，因而凹模刃口的基本尺寸应接近于落料件的**最小极限尺寸**。

凸模的基本尺寸=凹模刃口的基本尺寸-最小合理间隙值。

(2) 冲孔时，冲孔件的尺寸是由**凸模刃口**尺寸决定的，因此，应以**冲孔凸模**为设计基准。

考虑到凸模磨损后会使冲孔件尺寸减小，为提高模具使用寿命，因而凸模刃口的基本尺寸应接近于冲孔件的**最大极限尺寸**。

凹模的基本尺寸=凸模刃口的基本尺寸+最小合理间隙值。



## 5. 冲裁力的计算

冲裁时材料对凸模的最大抗力称为**冲裁力**，它是合理选用冲压设备和检验模具强度的一个重要依据。

其大小与材质、料厚及冲裁件周边长度有关。

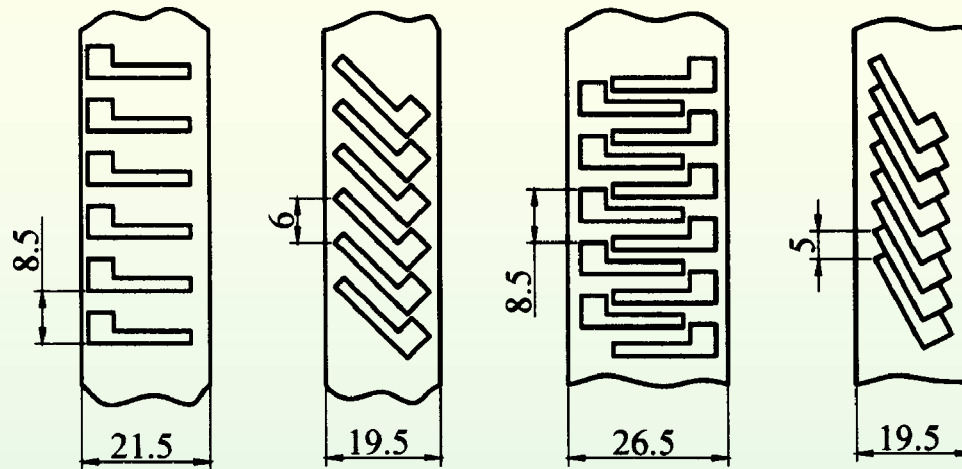
$$\text{平刃冲模冲裁力 } F_{\text{冲}} = KLt\tau_0 \text{ 或 } F_{\text{冲}} \approx Lt\sigma_b$$

$L$ ——冲裁件周边长度(mm)； $K$ ——系数，常取 $=1.3$ ； $t$ ——板料厚度(mm)； $\tau_0$ ——材料的拉剪强度(MPa)； $\sigma_b$ ——材料的抗拉强度(MPa)



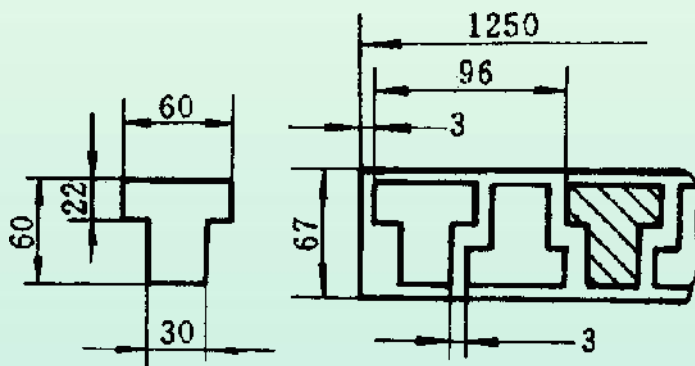
## 6. 冲裁件的排样

排样是指落料件在板料或条料上合理布置的方法。

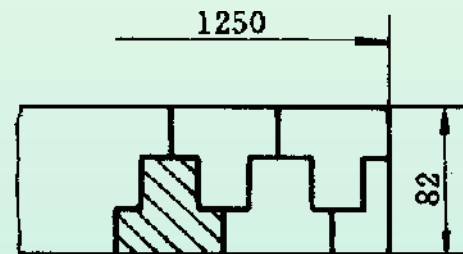


(a)  $182.7\text{mm}^2$  (b)  $117\text{mm}^2$  (c)  $112.63\text{mm}^2$  (d)  $97.5\text{mm}^2$

不同的排样方式对材料消耗对比



有搭边排样

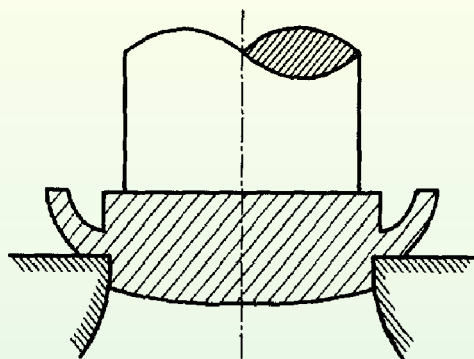


无搭边排样

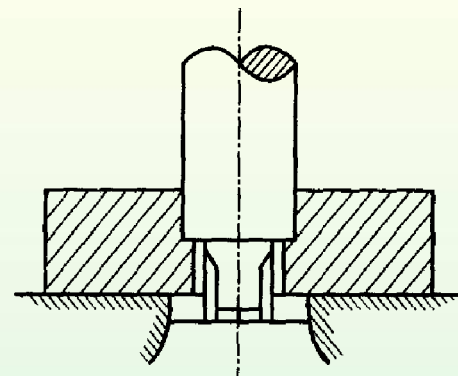


## 7. 修整

**修整**是利用修整模沿冲裁件外缘或内孔刮削一薄层金属，以切掉普通冲裁时在冲裁件断面上存留的剪裂带和毛刺，从而提高冲裁件的尺寸精度和降低表面粗糙度。



(a) 外缘修整



(b) 内孔修整

## 8. 切断

**切断**是指用剪刀或冲模将板料沿不封闭轮廓进行分离的工序。

剪刀安装在剪床上，把大板料剪成一定宽度的条料，供下一步冲压工序用。而冲模是安装在冲床上，用以制取形状简单、精度要求不高的平板件。

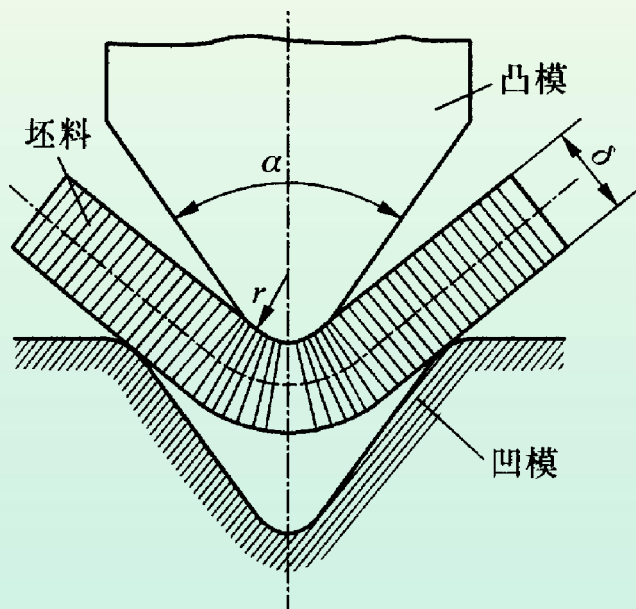
## 11.1.2 变形工序

使冲压坯料产生不破裂的塑性变形获得冲压件的工序称为变形工序。

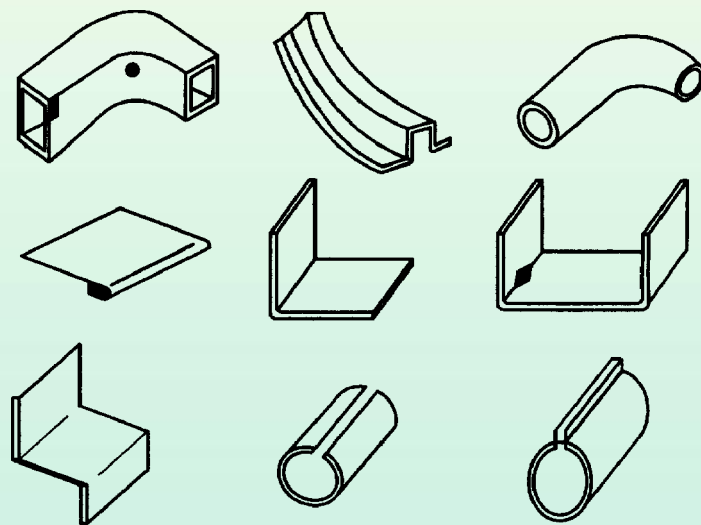
弯曲、拉深、起伏、翻边与翻孔、胀形等均属于变形工序。

### 1. 弯曲

将板料、型材或管材在弯矩作用下，弯成具有一定曲率和角度的制件的成形方法称为**弯曲**。



弯曲过程



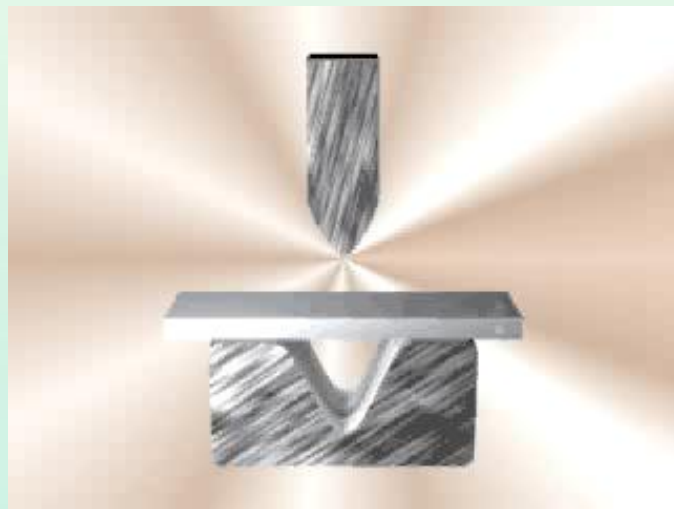
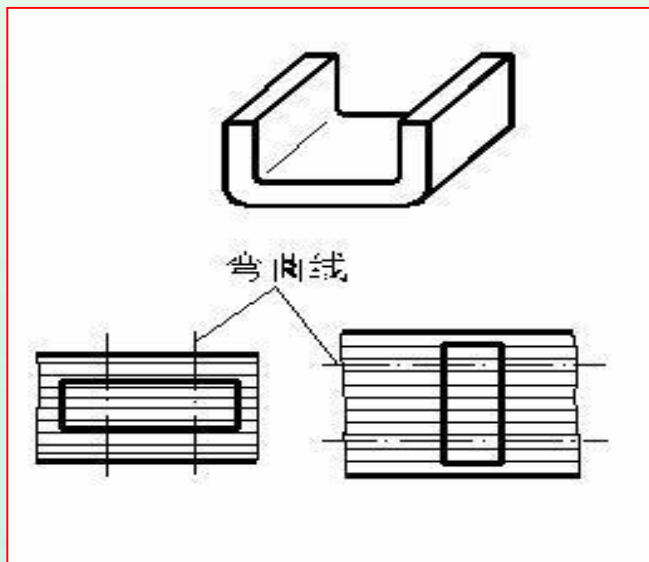
各种常见的弯曲件

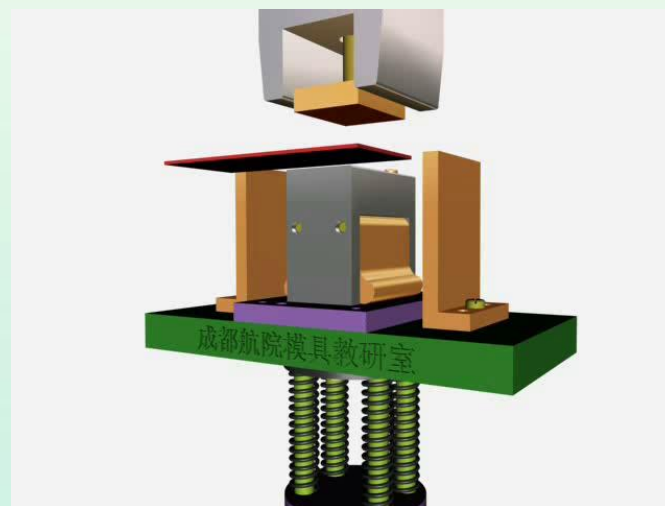
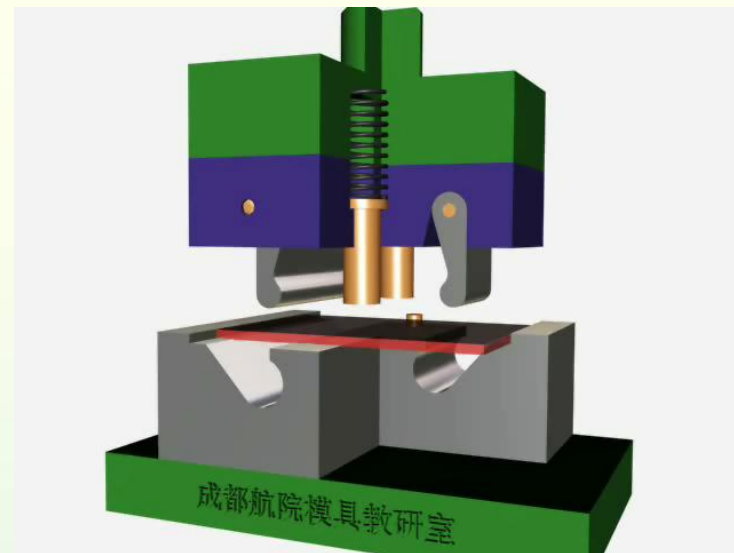
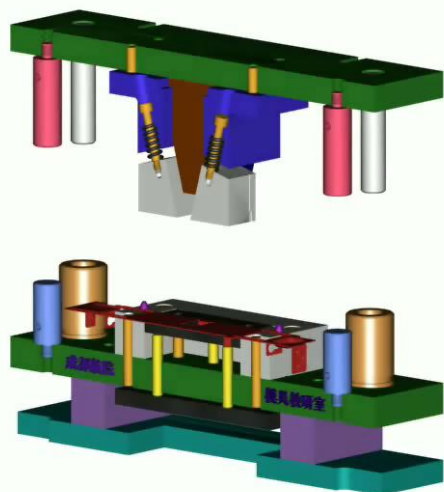
弯曲过程中，板料弯曲部分的内侧受压缩，而外侧受拉伸。当外侧的拉应力超过板料的抗拉强度时，即会造成金属破裂。

防止破裂，弯曲的最小半径应为  $r_{\min} = (0.25 \sim 1) \delta$  ( $\delta$  为金属板料的厚度)。材料塑性好，则弯曲半径可小些。

弯曲时还应尽可能使弯曲线与**坯料纤维方向垂直**。若弯曲线与纤维方向一致，则容易产生破裂。

**回弹现象**——由于弹性变形的恢复，坯料略微弹回一点，使被弯曲的角度增大。所以，凸、凹模要比所弯的角度小一回弹角。一般回弹角为  $0 \sim 10^\circ$ 。





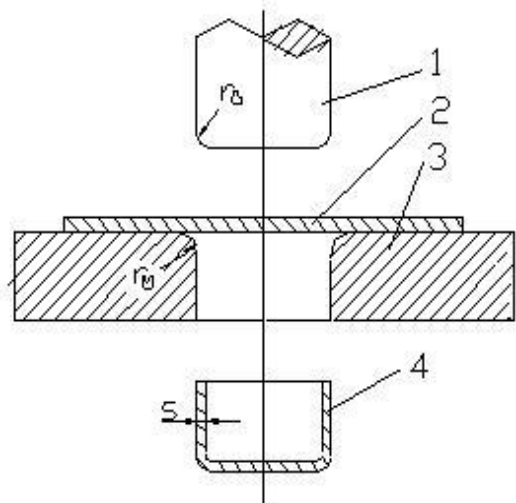


## 2. 拉 深

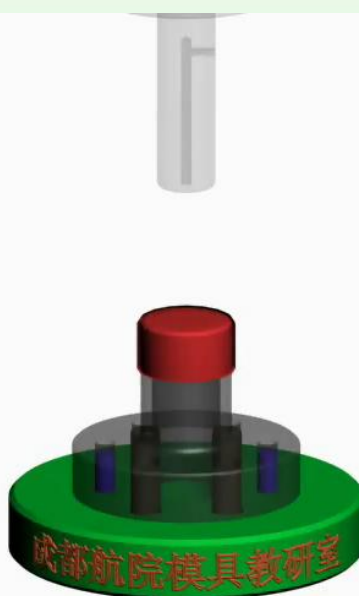
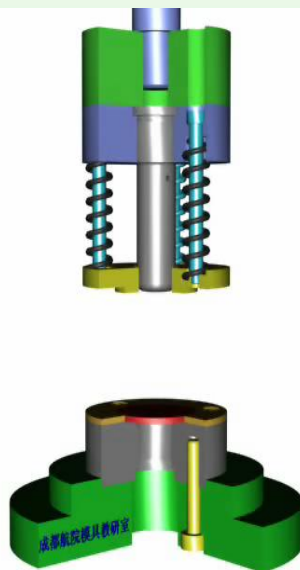
变形区在一拉一压的应力状态作用下，使平板料（或浅的空心坯）成形为开口的空心件（深的空心件）而厚度基本不变的加工方法称为**拉深**，也叫**拉延**。

### 一、拉深过程及变形特点

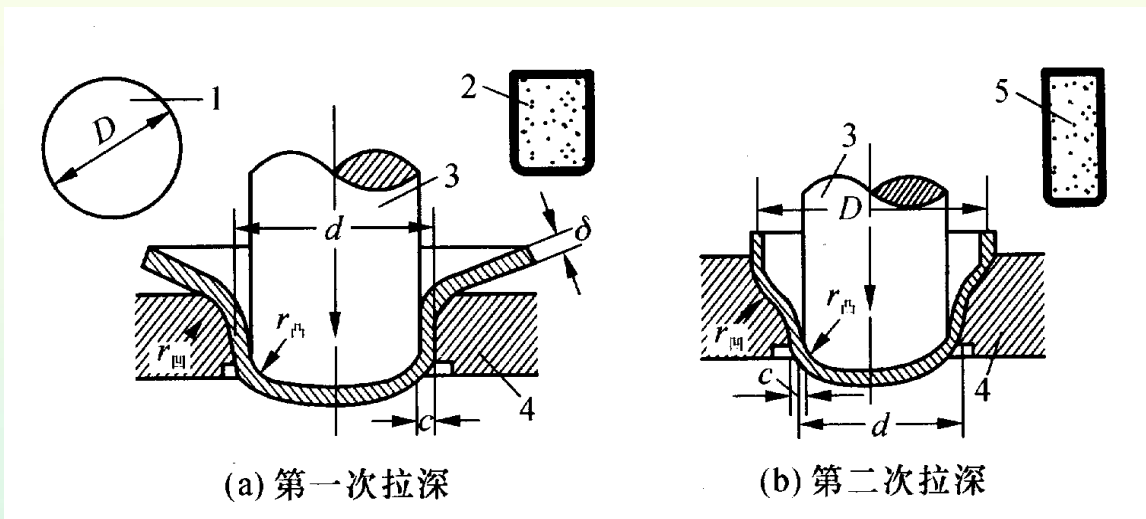
凸模和凹模有一定的圆角，且其间隙一般稍大于板料厚度。拉深件的底部一般不变形，厚度基本不变。直壁厚度有所减小。



1-凸模 2-毛坯 3-凹模 4-工件

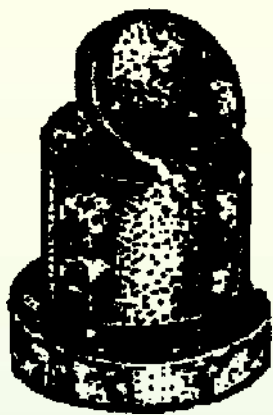


当筒形件直径 $d$ 与坯料直径 $D$ 相差较大时，不能一次拉深至产品尺寸，而应进行多次拉深，并在中间穿插进行再结晶退火处理，以消除前几次拉深变形所产生的加工硬化现象。

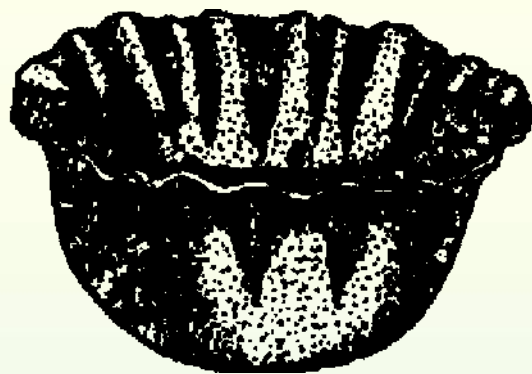


## 二、拉深缺陷及预防措施

①拉裂 在拉深过程中，拉深件主要受拉应力的作用。当拉应力超过材料的强度极限时，拉深件将被拉裂形成废品，最危险部位是直壁与底部的过渡圆角处。



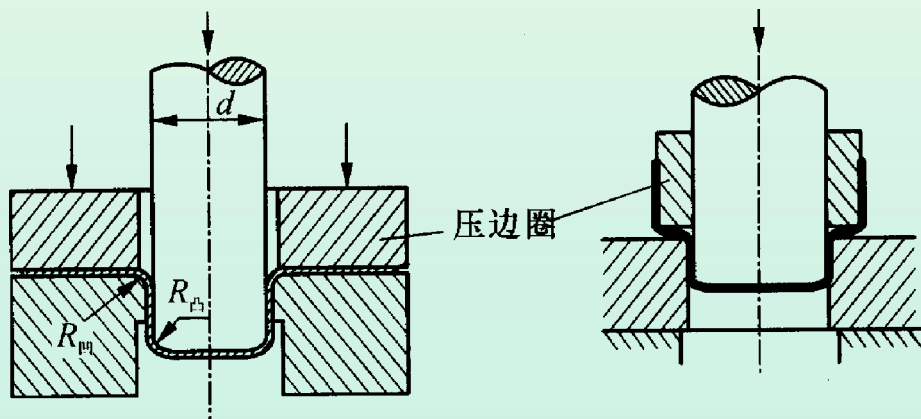
(a) 拉裂



(b) 折皱

②折皱 在拉深过程中，其凸缘和凸模圆角部位变形最大，凸缘部分在圆周切线方向受压应力，压应力过大时，会发生折皱，坯料厚度愈小，拉深深度 $H$ 愈大，愈容易产生折皱。

为防止折皱，可采用有压板（或加压边圈）拉深。



## 为防止拉裂通常采用如下的措施:

### ❖ 凸凹模的圆角半径应合适

拉深模的工作部分不能是锋利的刃口，必须做成一定的圆角。圆角半径过小时，则容易将板料拉穿。

### ❖ 凸凹模的间隙应合适

拉深模的凸凹模间隙远比冲裁模大。一般取 $Z = (1.1 \sim 1.2)t$ ， $t$ 为板厚。

### ❖ 合理控制拉深系数

采用多次拉深和敷涂拉深润滑剂。多次拉深时需进行中间退火，以消除前几次拉深中所产生的硬化现象，避免拉裂。

拉深时敷涂润滑剂可减少摩擦，降低拉深件壁部的拉应力，减少模具的磨损。



### 三、拉深系数与拉深次数

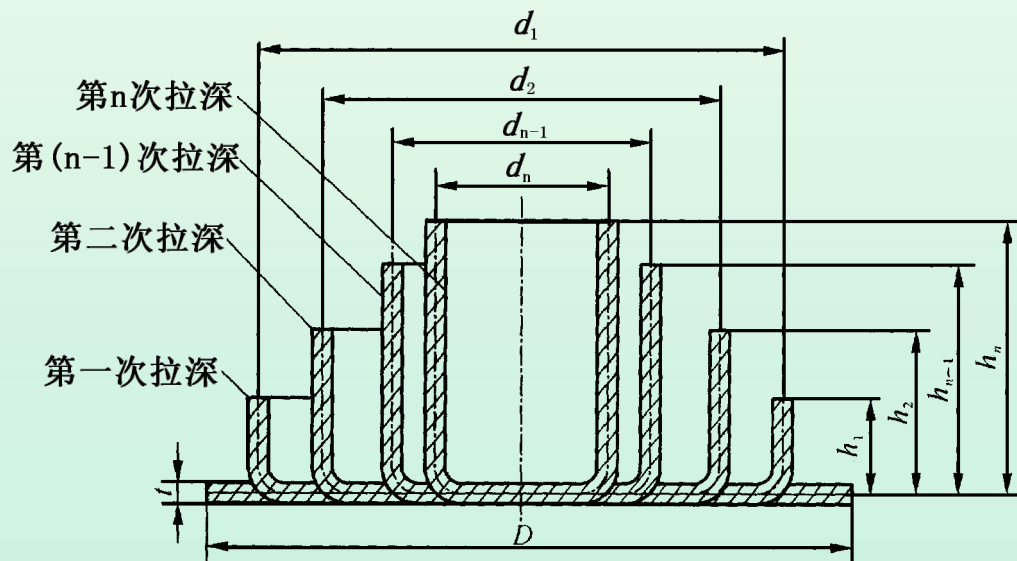
#### ①拉深系数

拉深直径 $d$ 与毛坯直径 $D$ 的比值称为拉深系数，用 $m$ 表示，即 $m = d/D$ 。它是衡量拉深变形程度的指标。

拉深系数不小于 $0.5 \sim 0.8$ 。坯料的塑性差取上限值，塑性好取下限值。

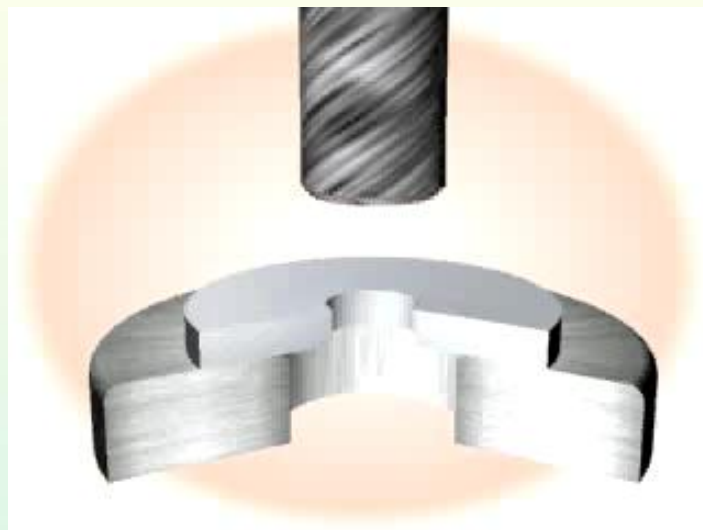
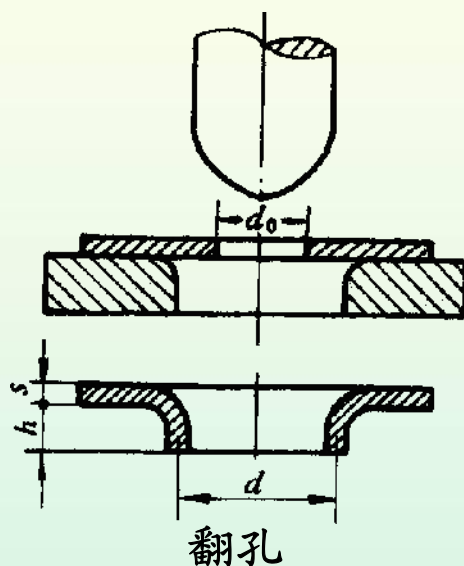
#### ②拉深次数

有些深腔拉深件(如弹壳、笔帽等)，由于拉深系数过小，不能一次拉深成形，则可采用多次拉深工艺。



### 3. 起伏、翻边、翻孔及胀形

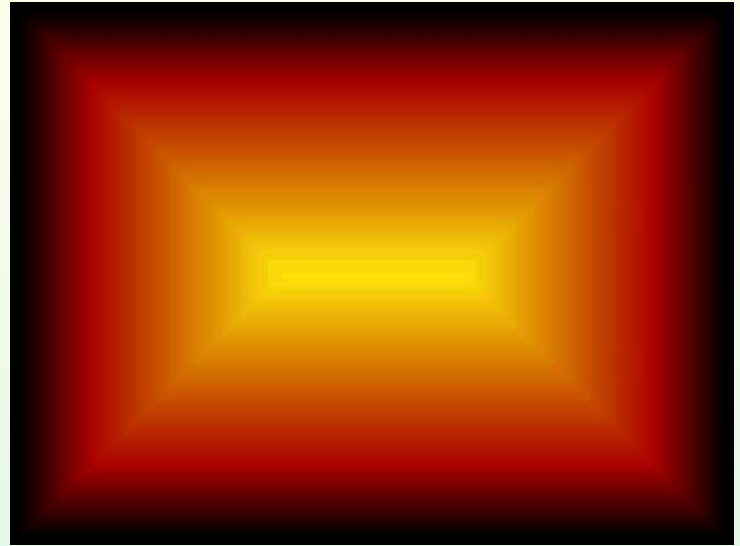
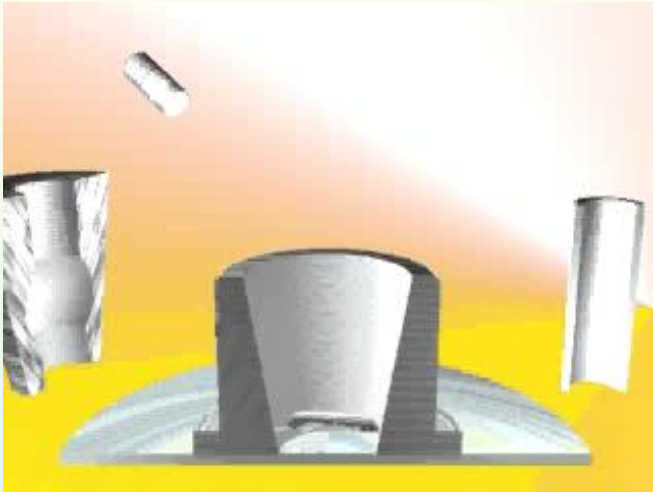
(1) 起伏——在板料或制品表面上通过局部变薄获得各种形状的凸起与凹陷的成形方法。



(2) 翻边——在成形板坯的边缘，沿一定的曲线翻出竖直边缘的成形方法。

翻孔是翻边的一种特殊形式，即在预先制好孔的半成品上冲制出竖直边缘的成形工序。

### (3) 胀形



### (4) 旋压

旋压的基本要点是：

- (1) 合理的转速
- (2) 合理的过渡形状
- (3) 合理加力

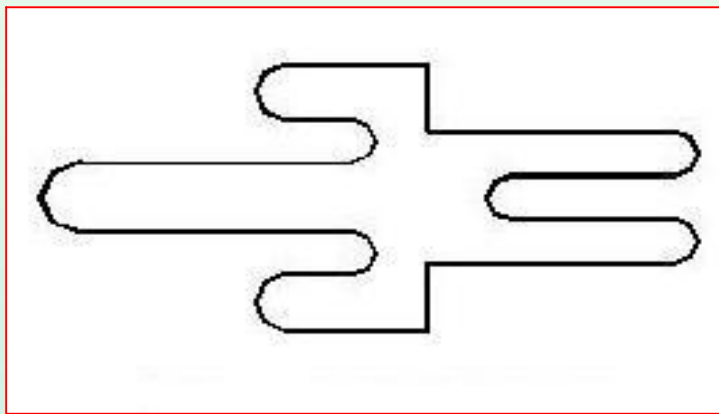
## 11.2 冲压件的结构设计要求

影响冲压件工艺性的主要因素有：冲压件的外形、尺寸、精度及材料。

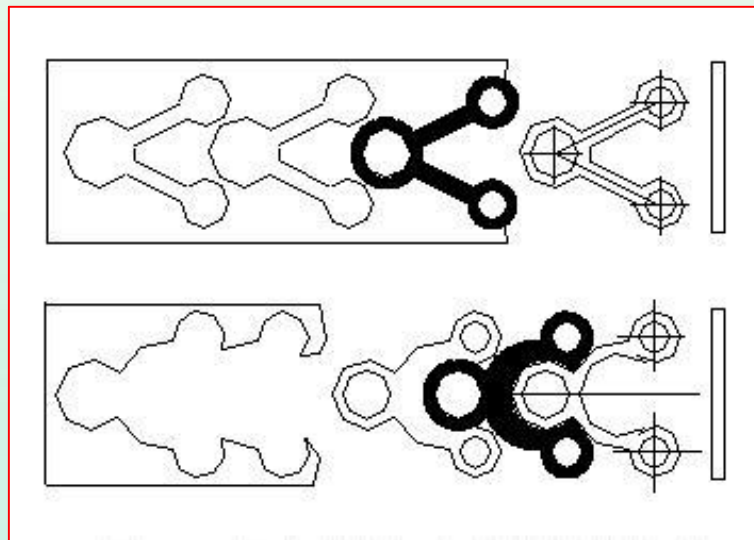
### 一、冲压件的形状及尺寸

#### 1、对冲裁件的要求

(1) 落料件的外形和冲孔件的孔形应力求简单、对称。尽可能采用圆形或矩形等规则形状，避免长槽或细长悬臂结构。



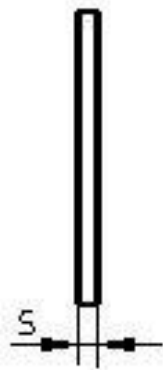
不合理的落料件外形



零件的形状与节约材料的关系



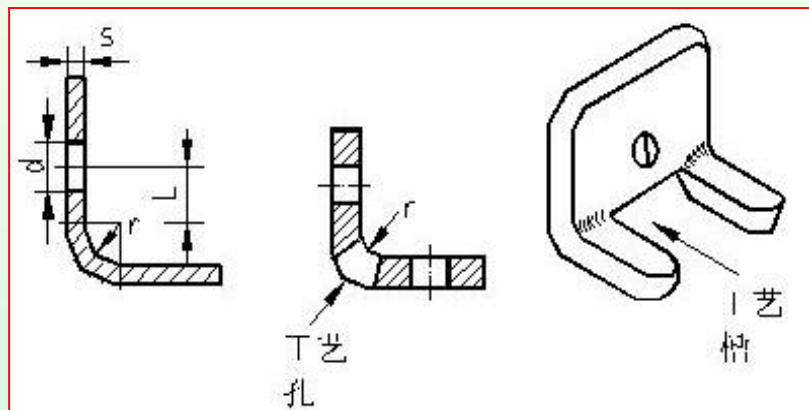
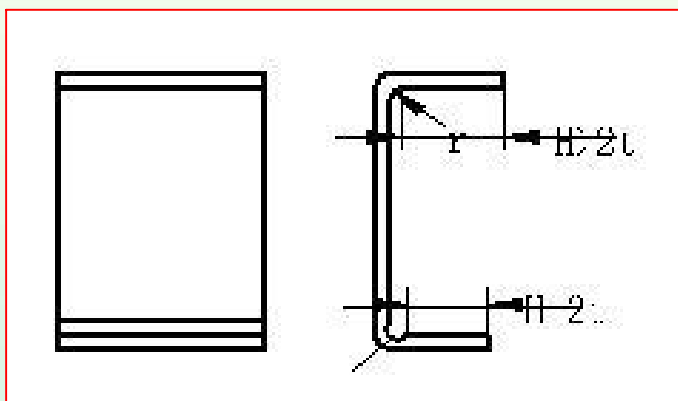
(3) 冲裁件的结构尺寸(如孔径、孔距)必须考虑材料的厚度。



## 2、对弯曲件的要求

(1) 弯曲件形状应**尽量对称**，弯曲半径不能小于材料允许的最小弯曲半径，并应考虑材料**纤维方向**，以免成型过程中弯裂。

(2) 弯曲边过短不易弯成型，故应使弯曲边高度 $H > 2s$ 。若 $H < 2s$ ，则必须压槽，或增加弯曲边高度，然后加工去掉。



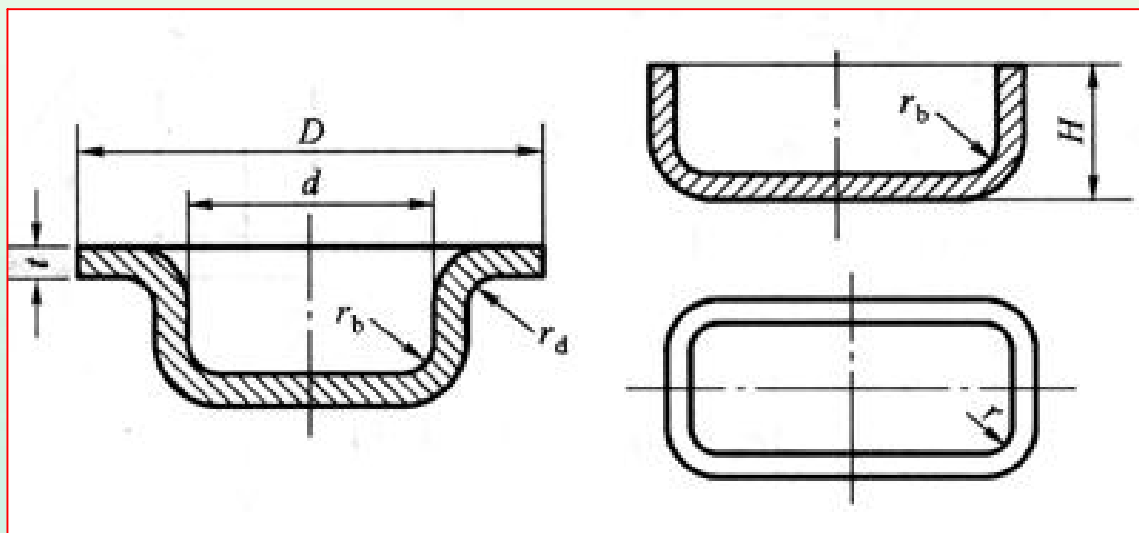
(3) 弯曲带孔件时，为避免孔的变形，孔的边缘距弯曲中心应有一定的距离。一般 $L > 1.5 \sim 2s$ 。当 $L$ 过小时，可在弯曲线冲工艺孔，如对零件孔的精度要求较高，则应弯曲后再冲孔。

### 3、对拉深件的要求

(1) 拉深件外形应简单、对称，且不宜太高。以便使拉深次数尽量少，并容易成型。

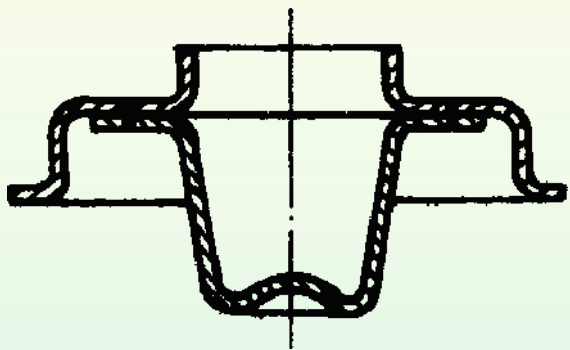
(2) 拉深件的圆角半径（如图示）应满足： $r_b > 2t$ ， $r_d > (3 \sim 4)t$ ， $r > 0.15H$ 。否则，应增加整形工序。

(3) 拉深件的壁厚变薄量一般要求不应超出拉伸工艺壁厚变化的规律（最大变薄率约在10%~18%左右）。

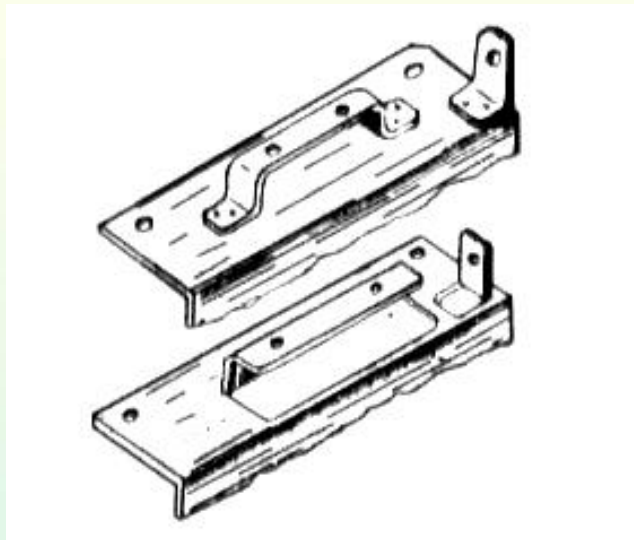


## 二、简化工艺及节省材料的设计

(1) 复杂形状的冲压件，可分成几个简单的冲压件冲制，然后再焊成所需的零件。



冲压—焊接结构零件



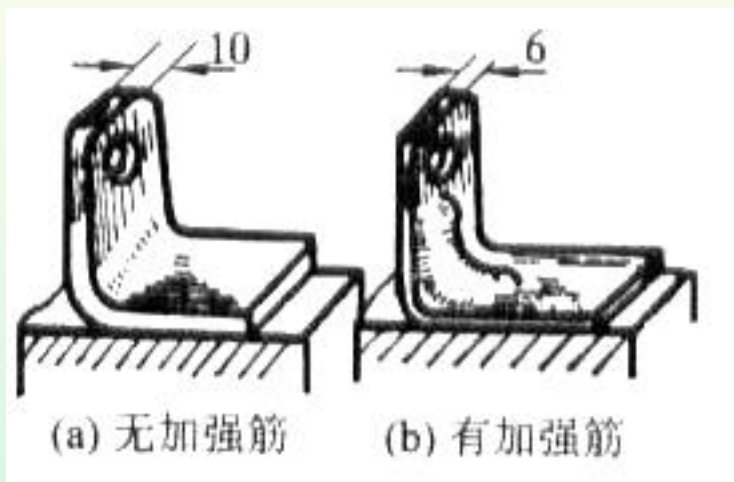
冲口工艺的运用

(2) 采用冲口工艺，可减少组合件数量、节省材料和简化工艺过程。

### 三、冲压件的厚度

在强度和刚度允许的条件下，应尽可能采用较薄的材料，以减少金属的消耗。

对局部刚度不够的部位，可采用加强筋，以实现薄材料代替厚材料。



### 四、冲压件的精度和表面质量

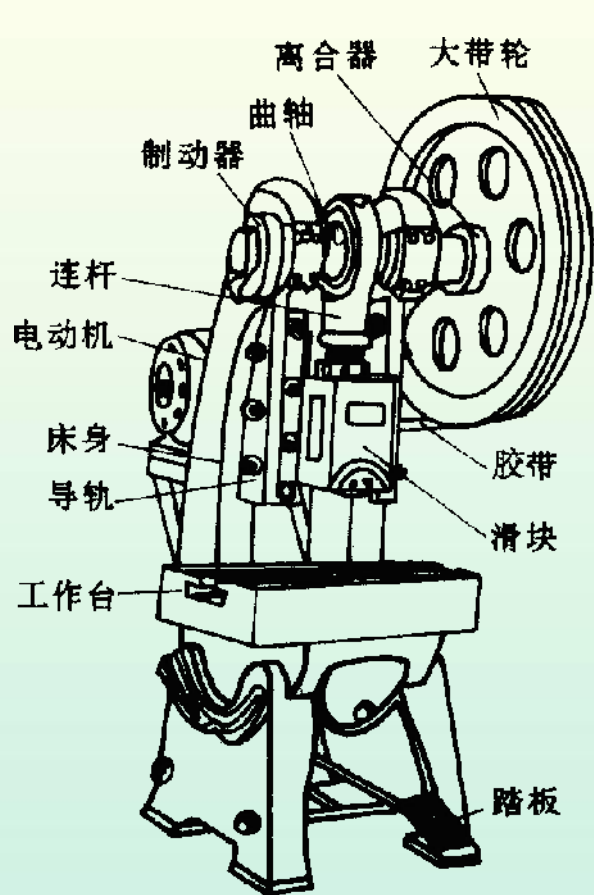
落料不超过IT10，冲孔不超过IT9，弯曲不超过IT9 ~ IT10。

拉深件高度尺寸精度为IT8 ~ IT9，经整形工序后尺寸精度达IT6 ~ IT7。拉深件直径尺寸精度为IT9 ~ IT10。

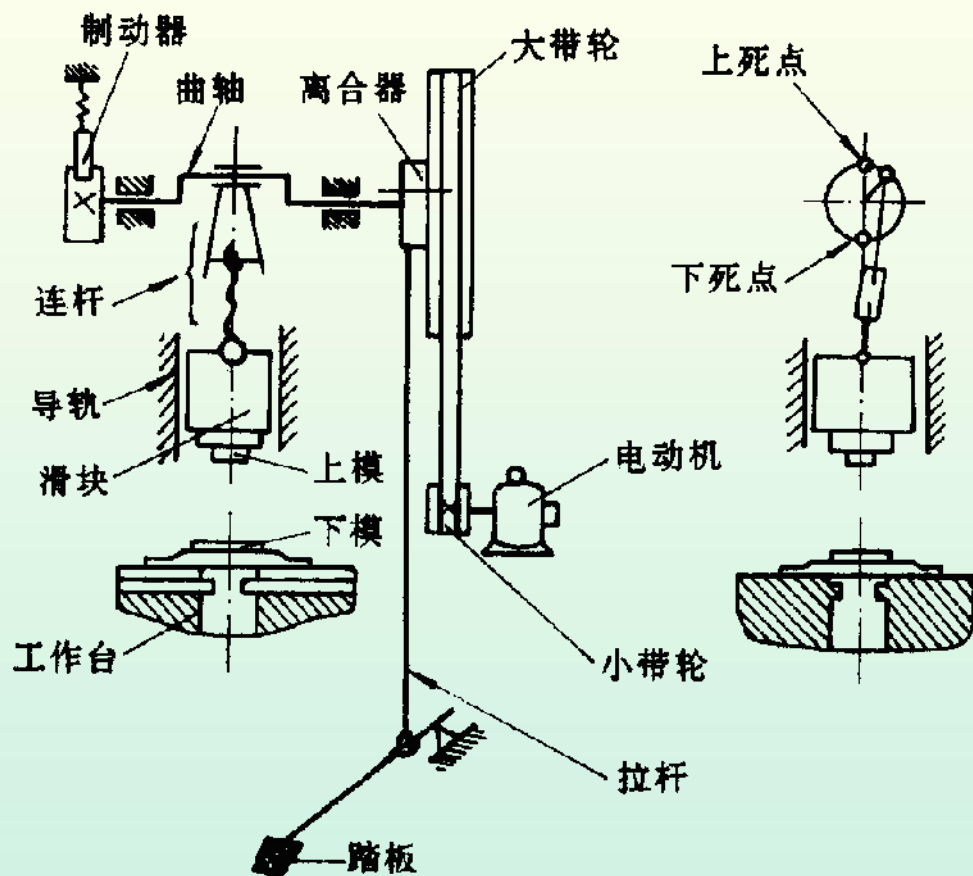


## 11.3 板料冲压设备

冲压工艺是利用模具在压力机上进行的，冲压用设备种类很多，常用的冲压设备为各类压力机。



开式压力机的外形



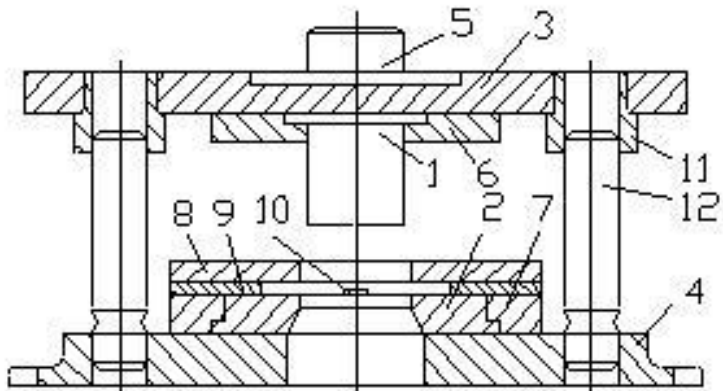
开式压力机原理图

## 11.4 冲压模具

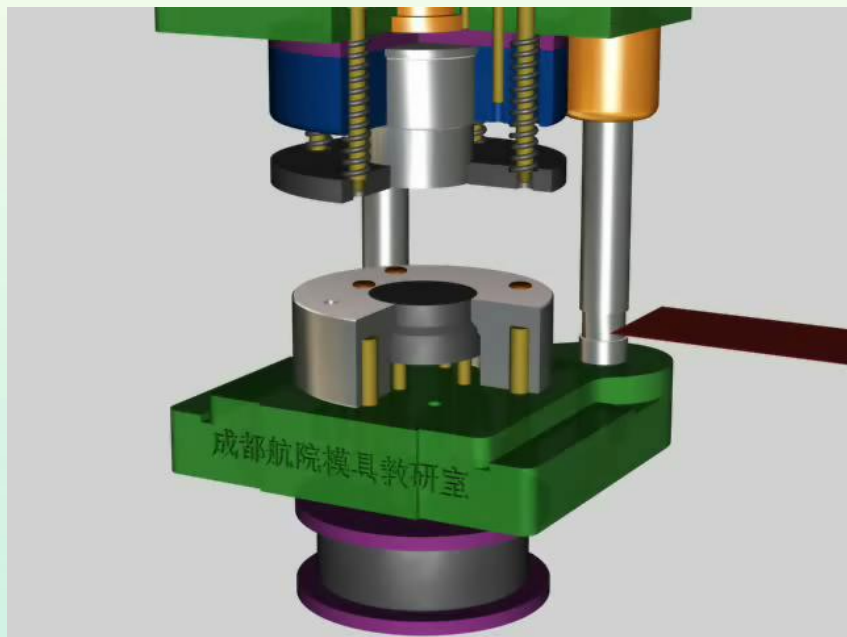
冲压用模具称为冲模，根据冲模在压力机滑块的一次行程中完成工序的性质，一般可分为简单模、连续模和复合模三类。

### 一、简单模

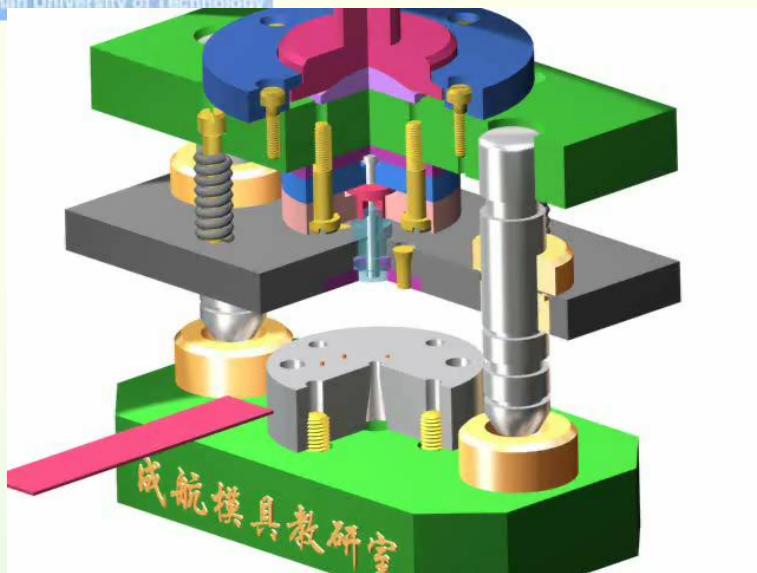
在压力机的一次行程中，只完成一道冲压工序的模具，称为简单模。



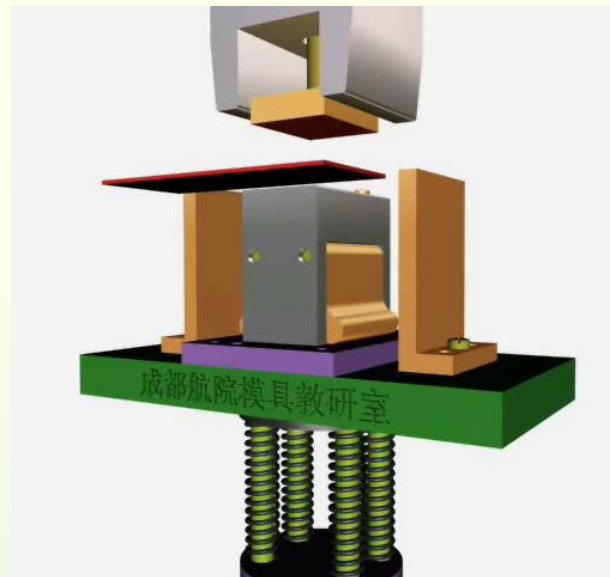
- 1-凸模； 2-凹模； 3-上模板； 4-下模板；  
5-模柄； 6-压板； 7-压板； 8-卸料板；  
9-导板； 10-定位销； 11-套筒； 12-导柱



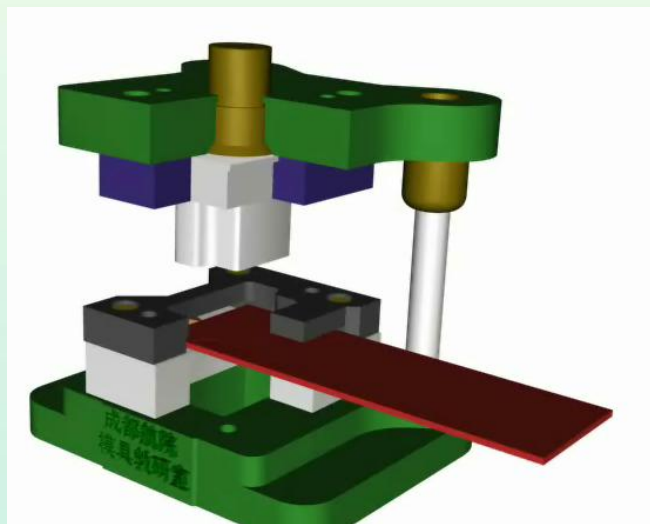
简单冲模



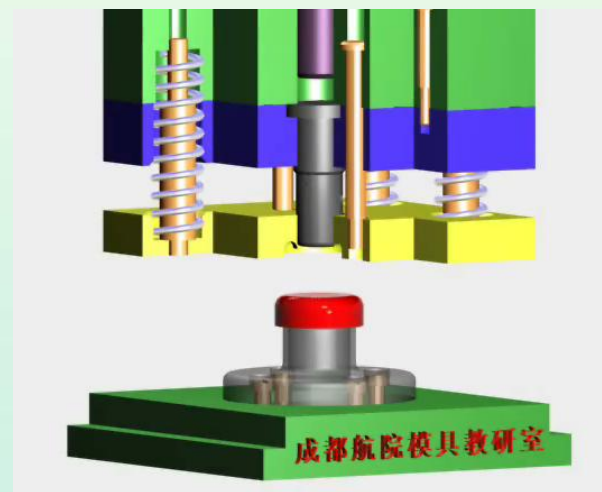
冲孔模



弯曲模



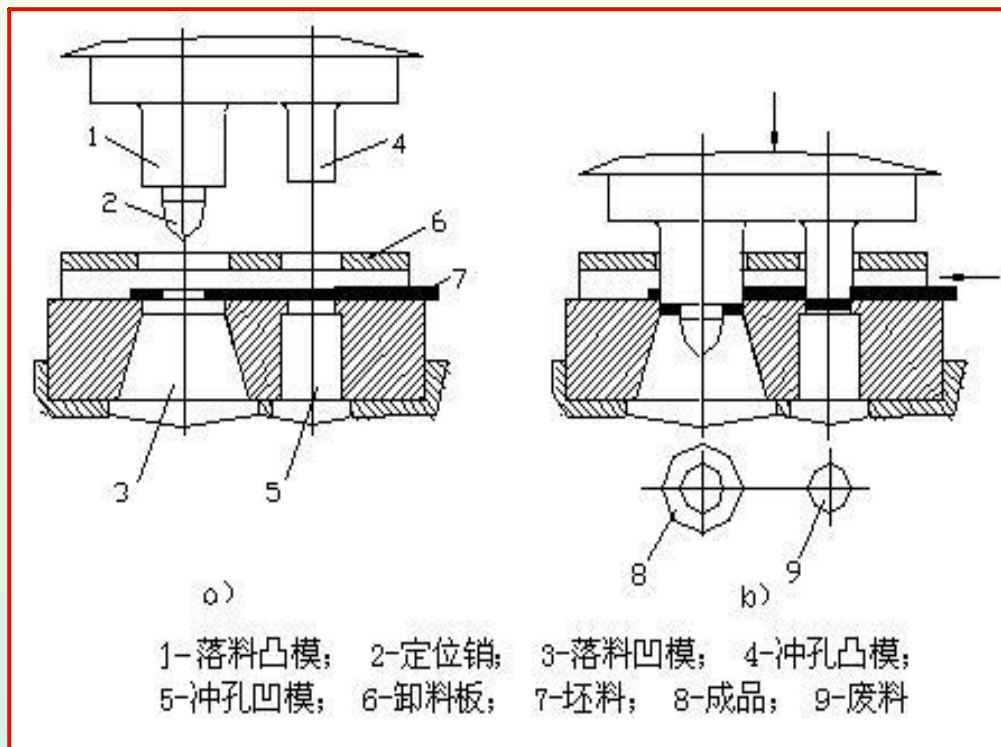
落料模



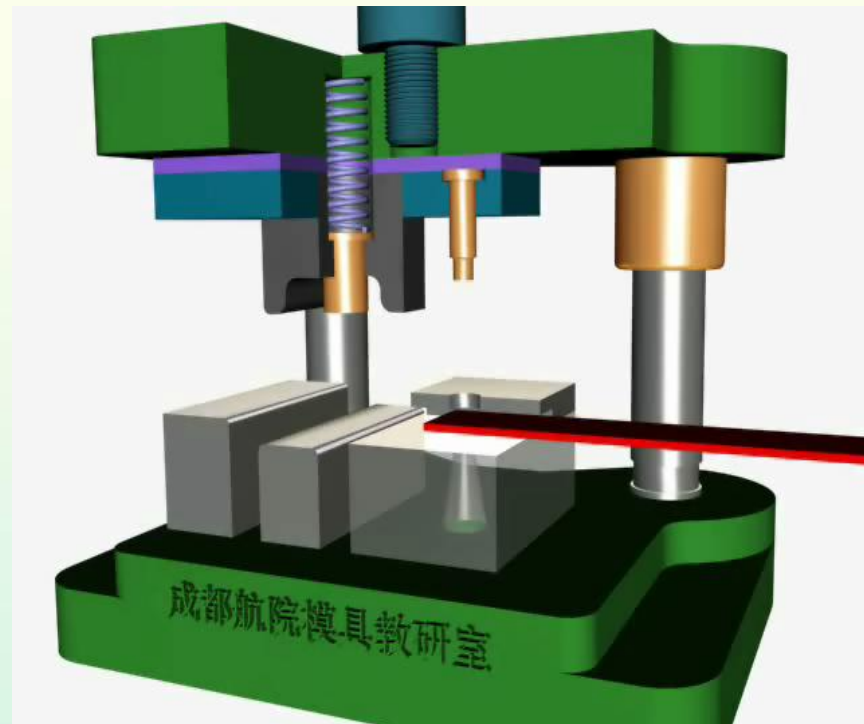
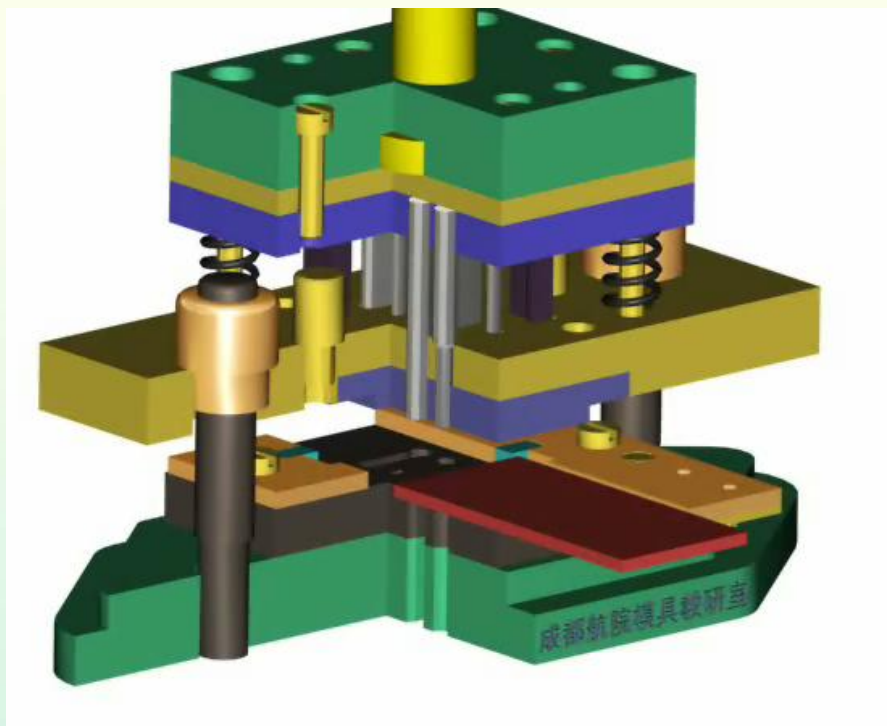
拉深模

## 二、连续模（级进模）

压力机的一次行程中，在模具的不同部位上同时完成数道冲压工序的模具，称为连续模。



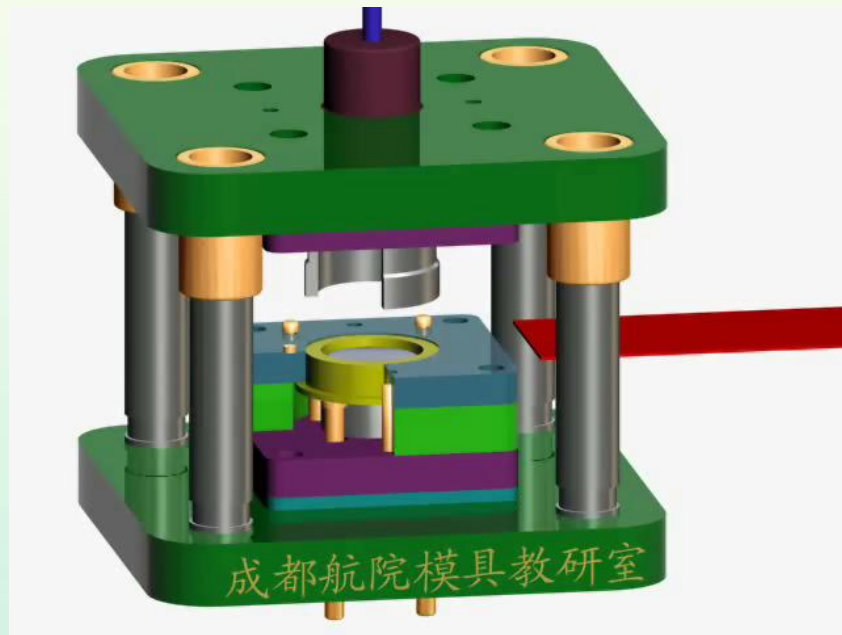
连续模



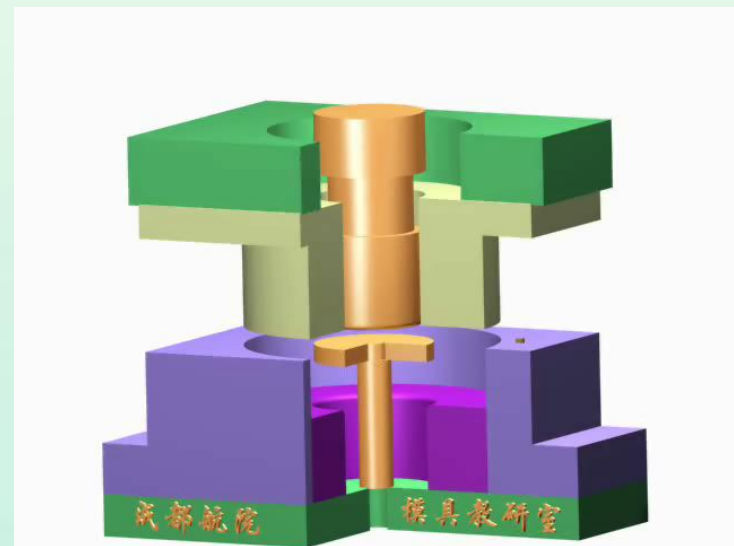
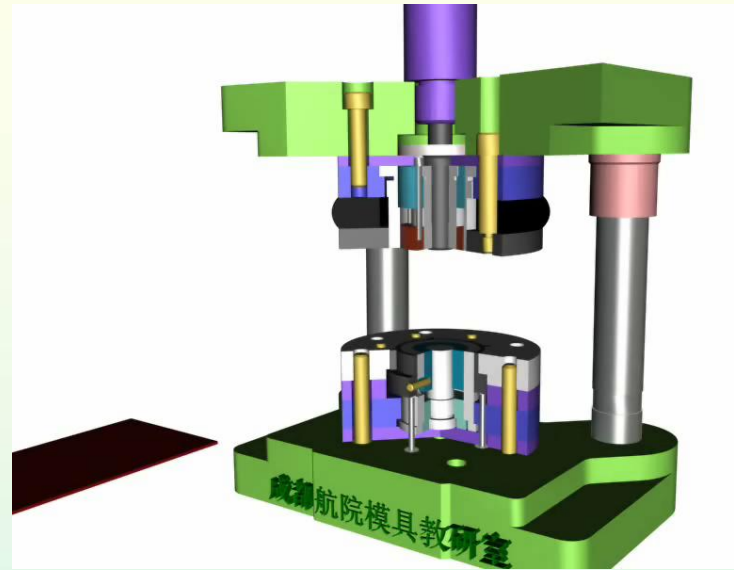


### 三、复合模

利用压力机的一次行程，在模具的同一位置完成两道或两道以上工序的模具，称为复合模。



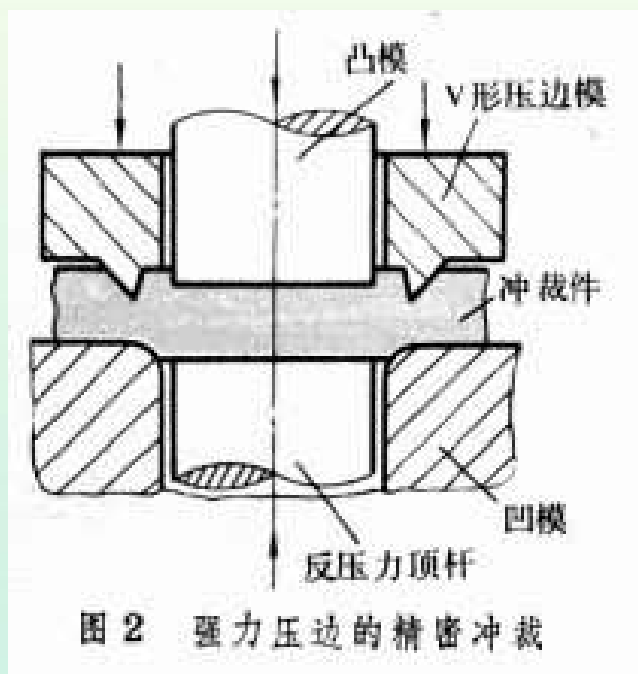
落料拉伸复合模



# 精密冲裁

精密冲裁又称为无间隙或负间隙冲裁。

改变冲裁条件，以增大变形区的静水压作用，抑制材料的断裂，使塑性剪切变形延续到剪切的全过程，在材料不出现剪裂纹的冲裁条件下实现材料的分离，从而得到断面光滑而垂直的精密零件。



## 思考题



1. 冲下列零件时，应采用哪些冲压工序？饭盒；煤气罐封头；脸盆；硬币；
2. 如何利用弯曲回弹现象设计弯曲模，使工件得到准确的弯曲角度？
3. 成批大量生产外径为40mm、内径为20mm、厚度为2mm的垫圈时，应选用何种模具结构能够很好地保证孔与外圆的同心度？