

(陕)新登字 010 号

## 内 容 简 介

本书共分 3 篇 16 章。内容主要包括：冲压模具设计基础，冲裁及冲裁模设计，弯曲工艺及弯曲模，拉深工艺及拉深模，硬质合金模、多工位级进模设计，冲压工艺规程的编制；塑料模具设计基础，热塑性塑料注射模设计，压塑模、压铸模、集成电路塑封模和热固性塑料注射模设计，吹塑成型模、真空成型模及压缩空气成型模设计；成形铣削、成形磨削、电加工的加工原理、特点，模具的计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)，模具主要零件的加工工艺过程和模具的装配与调试等。

本书力求将模具设计与制造的基本原理、基本知识与实际应用紧密结合；对反映现代先进技术作了适当的介绍；每章之后有复习思考题，便于读者自学。

本书可作为高等学校机械制造、机械设计、机电一体化、模具设计与制造、轻工机械等机械类专业的教学用书，亦可供电视大学、职工大学等开设相关课程的教学用书，还可供从事模具设计、制造和使用的工程技术人员参考。

高等学校教材

### 模具设计与制造

党根茂 骆志斌 李集仁 编

责任编辑 马武装

---

西安电子科技大学出版社出版发行

地址：西安市太白南路 2 号 邮编：710071

西安长青印刷厂印刷

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 18 字数 429 千字

1995 年 12 月第 1 版 2001 年 3 月第 3 次印刷 印数：10 001~14 000

---

ISBN 7 - 5606 - 0381 - 5/TH · 0021(课) 定价：16.00 元

# 目 录

## 第一篇 冲压模具设计

<b>第一章 冲压模具设计基础</b> ..... 1	<b>3-6 弯曲件的结构工艺性</b> ..... 64
1-1 冲压加工特点及基本工序 ..... 1	3-7 弯曲模工作部分设计 ..... 66
1-2 板料塑性变形及其基本规律 ..... 5	3-8 弯曲模典型结构 ..... 69
1-3 冲压所用材料 ..... 7	复习思考题 ..... 72
1-4 冲压常用设备 ..... 8	<b>第四章 拉深工艺及拉深模</b> ..... 74
复习思考题 ..... 10	4-1 拉深工艺分析 ..... 74
<b>第二章 冲裁及冲裁模设计</b> ..... 12	4-2 圆筒形零件拉深的工艺计算 ..... 79
2-1 冲裁变形过程及其断面特征 ..... 12	4-3 拉深模工作部分设计 ..... 84
2-2 冲裁间隙 ..... 14	4-4 拉深件的起皱及其防止措施 ..... 88
2-3 凹、凸模刃口尺寸的计算 ..... 18	4-5 拉深模典型结构 ..... 91
2-4 冲裁力 ..... 22	4-6 带凸缘圆筒形件的拉深 ..... 93
2-5 排样与搭边 ..... 24	复习思考题 ..... 96
2-6 冲裁件的工艺性 ..... 27	<b>第五章 其它冲压工艺和模具</b> ..... 97
2-7 整修和精密冲裁 ..... 28	5-1 缩口和胀形 ..... 97
2-8 冲裁模基本类型及典型结构 ..... 32	5-2 翻边和局部成形 ..... 100
2-9 冲模的部件及零件 ..... 38	5-3 冷挤压 ..... 106
2-10 冲裁模设计要点 ..... 50	5-4 硬质合金冲模 ..... 109
复习思考题 ..... 54	5-5 多工位级进模 ..... 110
<b>第三章 弯曲工艺及弯曲模</b> ..... 55	复习思考题 ..... 119
3-1 弯曲变形过程及其特点 ..... 55	<b>第六章 冲压工艺规程的编制</b> ..... 120
3-2 最小弯曲半径 ..... 57	6-1 编制冲压工艺规程的内容
3-3 弯曲件的回弹 ..... 58	和步骤 ..... 120
3-4 弯曲件展开长度的确定 ..... 61	6-2 制订冲压工艺方案实例 ..... 122
3-5 弯曲力的计算 ..... 63	复习思考题 ..... 126

## 第二篇 塑料模具设计

<b>第七章 塑料模具设计基础</b> ..... 127	<b>8-4 浇注系统设计</b> ..... 177
7-1 塑料概述 ..... 127	<b>8-5 顶出机构设计</b> ..... 194
7-2 塑料制品的成型工艺 ..... 132	<b>8-6 抽芯机构设计</b> ..... 202
7-3 塑料制品的设计 ..... 138	<b>8-7 模具温度调节系统设计</b> ..... 208
复习思考题 ..... 151	复习思考题 ..... 217
<b>第八章 热塑性塑料注射模设计</b> ..... 152	<b>第九章 热固性塑料模设计</b> ..... 218
8-1 概述 ..... 152	9-1 压塑模设计 ..... 218
8-2 注射模与注射机的关系 ..... 154	9-2 压铸模与集成电路塑封模设计 ..... 228
8-3 成型零件设计 ..... 159	9-3 热固性塑料注射模设计 ..... 236

复习思考题 .....	242	10-2 真空成型模设计 .....	244
<b>第十章 气压成型模设计简介</b> .....	243	10-3 压缩空气成型模设计 .....	246
10-1 吹塑成型模设计 .....	243	复习思考题 .....	248

### 第三篇 模具制造

<b>第十一章 成形铣削加工原理</b>		复习思考题 .....	267
<b>和特点</b> .....	250	<b>第十五章 模具主要零件的</b>	
11-1 仿形铣床铣削加工 .....	250	<b>加工工艺过程</b> .....	268
11-2 数控铣床铣削加工 .....	251	15-1 冲裁模凸模、凹模的加工 .....	268
11-3 数控仿形铣削加工 .....	252	15-2 模架的加工 .....	269
复习思考题 .....	252	15-3 注射模成形零件的加工 .....	270
<b>第十二章 成形磨削加工原理</b>		复习思考题 .....	271
<b>和特点</b> .....	253	<b>第十六章 模具的装配与调试</b> .....	272
12-1 一般磨床成形磨削 .....	253	16-1 冷冲模的装配与调试 .....	272
12-2 光学曲线磨床成形磨削 .....	259	16-2 塑料模的装配与调试 .....	276
12-3 数控成形磨床磨削 .....	259	复习思考题 .....	278
复习思考题 .....	261	<b>附录 1 冷冲模零件常用材料</b>	
<b>第十三章 模具的特种加工</b>		<b>及热处理</b> .....	279
<b>方法简介</b> .....	262	<b>附录 2 塑料模零件常用材料</b>	
<b>第十四章 模具 CAD/CAM 简介</b> .....	263	<b>及热处理</b> .....	280
14-1 概述 .....	263	<b>主要参考资料</b> .....	282
14-2 典型软件举例 .....	263		

# 第一篇 冲压模具设计

## 第一章 冲压模具设计基础

### 1-1 冲压加工特点及基本工序

冲压是机械制造中先进的加工方法之一，它利用压力机通过模具对板料加压，使其产生塑性变形或者分离，从而获得一定形状、尺寸和性能的零件。冲压主要用于加工板料零件，所以也叫板料冲压。冲压加工的应用范围十分广泛，在电子工业产品的生产中，已成为不可缺少的主要加工方法之一，据概略统计，在电子产品中，冲压件(包括板金件)的数量约占零件总数的85%以上。此外，冲压加工在汽车、拖拉机、电机、仪器仪表等机械工业和国防工业以及日常生活用品的生产方面，也占据着十分重要的地位。

#### 一、冲压加工的特点

冲压与其它加工方法相比较，无论在技术方面还是经济方面，都有许多独特的优点：

- (1) 在压力机的简单冲击下，能获得壁薄、重量轻、刚性好、形状复杂的零件，这些零件用其它方法难以加工甚至无法加工；
- (2) 所加工的零件精度较高、尺寸稳定，具有良好的互换性；
- (3) 冲压加工是无屑加工，材料利用率高；
- (4) 生产率高，生产过程容易实现机械化自动化；
- (5) 操作简单，便于组织生产。

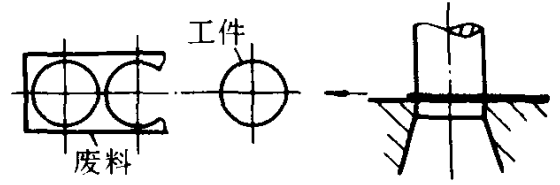
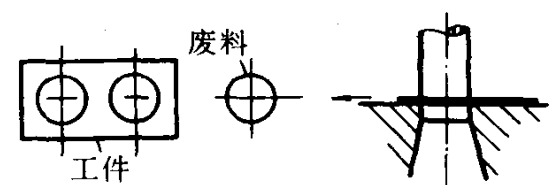
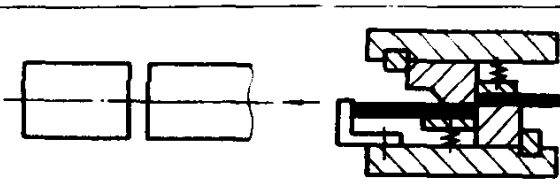
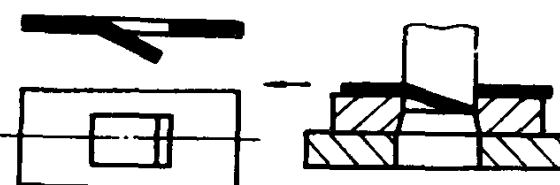
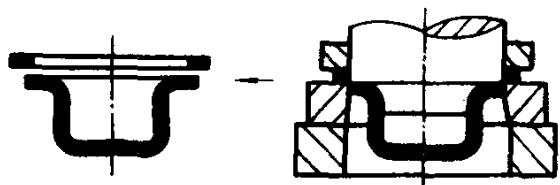
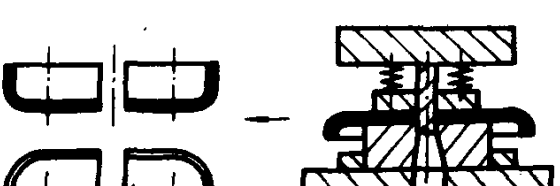

冲压加工的主要缺点是模具的设计制造周期长，费用高，因此只适宜于大批大量的生产，在小批量生产中受到一定的限制。

#### 二、冲压加工基本工序

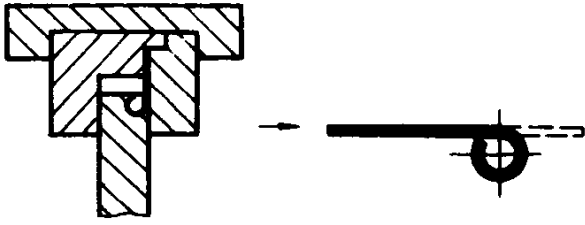
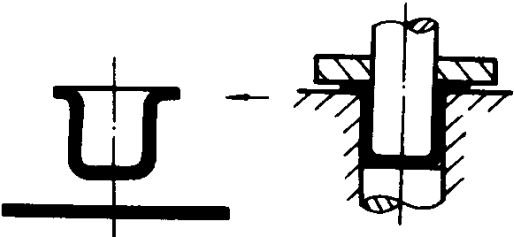
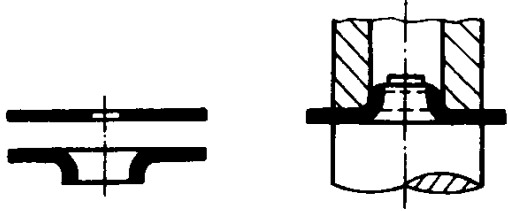
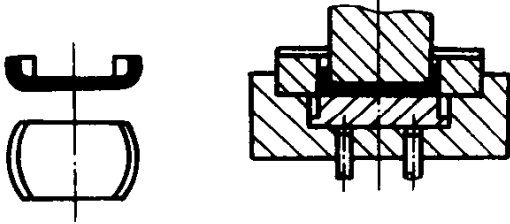
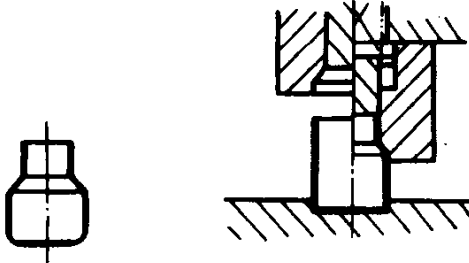
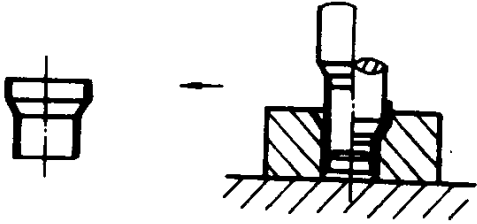
冲压加工的零件，种类繁多，对零件形状、尺寸、精度的要求各有不同，其冲压加工方法也是多种多样的。但概括起来，可以分为分离工序和成形工序两大类。分离工序是将冲压件或毛料沿一定轮廓相互分离，其特点是板料在冲压力作用下使板料发生剪切而分离。成形工序是在不破坏的条件下使板料产生塑性变形，形成所需形状及尺寸的零件，其特点是板料在冲压力作用下，变形区应力满足屈服条件，因而板料只发生塑性变形而不破裂。

上述两类加工方法又各包括很多不同的工序。生产中常用的各种冲压工序见表1-1。

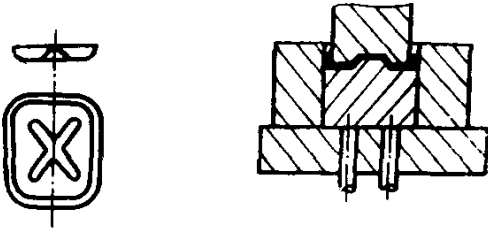
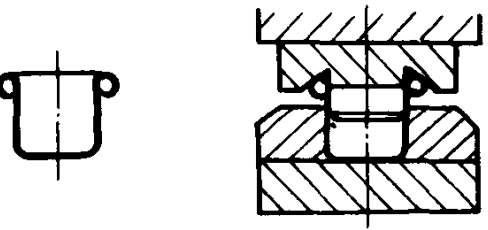
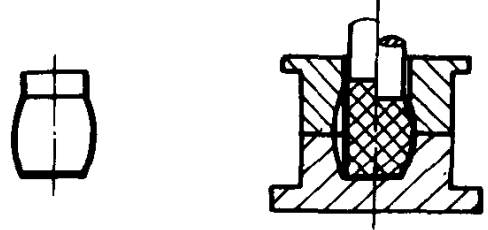
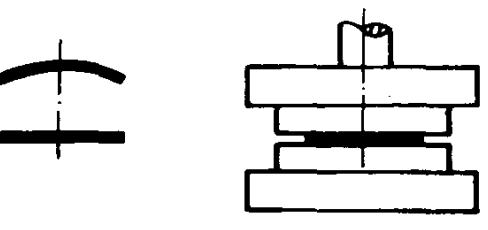
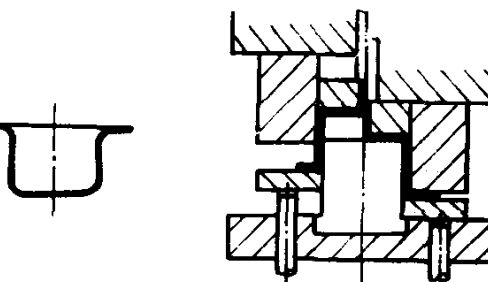
表 1-1 冲压基本工序

类别	工序	图 例	工序性质
分离工序	落料		用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分为工件，其余部分为废料
	冲孔		用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分是废料
	剪切		用剪刀或模具切断板料，切断线不封闭
	切口		在毛料上将板材部分切开，切口部分发生弯曲
	切边		将拉深或成形后的半成品边缘部分的多余材料切掉
	剖切		将半成品切开成两个或几个工件，常用于成对冲压
成形工序	弯曲		用模具使材料弯曲成一定形状

续表

类别	工序	图 例	工序性质	
成形 工序	卷圆		将板料端部卷圆	
	拉深		将板料压制成空心工件，壁厚基本不变	
	翻边	内孔翻边		将板料或工件上有孔的边缘翻成竖立边缘
		外缘翻边		将工件外缘翻起呈圆弧或曲线状的竖立边缘
	缩口		将空心件的口部缩小	
	扩口		将空心件或管子的口部扩大	

续表

类别	工序	图 例	工序性质
成形工序	起伏		<p>在板料或工件上压出筋条、花纹或文字，在起伏处的整个厚度上都有变薄</p>
	卷边		<p>将空心件的边缘卷成一定的形状</p>
	胀形		<p>使空心件或管料的一部分沿径向扩张呈凸肚形</p>
	校平		<p>将毛料或工件不平的面予以压平</p>
	整形		<p>把形状不太准确的工件校正成形</p>

## 1-2 板料塑性变形及其基本规律

冲压件的冲压成形过程,实质上是板料的塑性变形过程。关于塑性变形的基本理论,在有关塑性加工力学的著作中已有详尽、系统的论述,这里只对有关理论做简单描述,而不再做细致的讨论。

### 一、应力—应变曲线

图 1-1 是低碳钢拉伸试验下的条件应力—应变曲线。从图中看出,材料在应力达到初始屈服极限  $\sigma_0$  时开始塑性变形,此时,应力不太增加的情况下能产生较大的变形,图上出现一个平台,这一现象称为屈服。经过一段屈服平台后,应力就开始随着应变的增大而上升(如图中  $cGb$  曲线)。如果在变形中途(如图中  $G$  处)卸载,应力应变将沿  $GH$  直线返回,使弹性变形( $HJ$ )回复而保留其塑性变形( $oH$ )。若对试件重新加载,这时曲线就由  $H$  出发,沿  $HG$  直线回升,进行弹性变形,直到  $G$  点才开始屈服,以后的应力应变就仍按  $GbK$  曲线变化。可见  $G$  点处应力是试样重新加载时的屈服应力。如果重复上述卸载、加载过程,就会发现,重新加载时的屈服应力由于变形的逐次增大而不断地沿  $Gb$  曲线提高,这表明材料在逐渐硬化。材料的加工硬化对板料的成形影响很大,不仅使变形力增大,而且限制毛料的进一步变形。例如拉深件进行多次拉深时,在后次拉深之前一般要进行退火处理,以消除前次拉深产生的加工硬化。但硬化有时也是有利的,如在伸长类成形工艺中,能减少过大的局部变形,使变形趋向均匀。

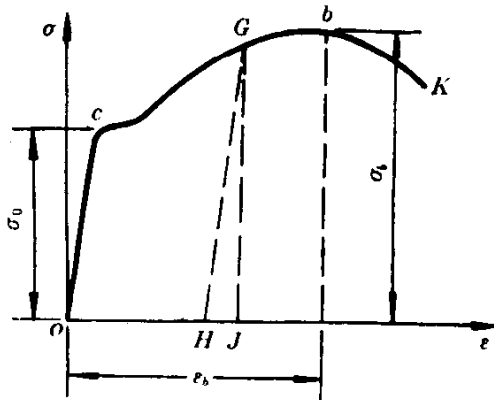


图 1-1 低碳钢拉伸试验下的应力—应变曲线

为了实用上的需要,必须把应力—应变曲线用数学式表示出来。但是,由于各种材料的硬化曲线具有不同的特点,用同一个数学式精确地把它表示出来是不可能的。目前常用的几种硬化曲线的数学表达式都是近似的。

#### 1. 应力—应变曲线的线性表达式

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

式中  $\sigma_0$ ——近似的屈服极限,也是硬化直线在纵坐标轴上的截距;

$F$ ——硬化直线的斜率,称为硬化模数,它表示材料硬化强度的大小。

#### 2. 应力—应变曲线的幂函数表达式

$$\sigma = C\varepsilon^n \quad (1-2)$$

式中  $C$ ——系数,其值决定于材料的种类和性能;

$n$ ——硬化指数,其值决定于材料的种类和性能。

### 二、塑性变形体积不变定律

实践证明:金属塑性变形时,发生形状的变化,而体积变化可以忽略不计,即认为



$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad (1-3)$$

这就是塑性变形体积不变定律。据此可知，塑性变形时只可能存在三向和平面应变状态，而不存在单向应变状态，在平面应变状态下，不为零的两个主应变大小相等方向相反。

### 三、塑性变形最小阻力定律

金属在外力作用下，内部各质点产生了位移，通常称为金属的流动。金属的流动和变形是互为因果的，也可以说金属变形时内部质点的流动是由于金属塑性变形引起的。最小阻力定律认为：如果变形物体内部各质点有向各个方向流动的可能，则变形物体内部每个质点将沿阻力最小的方向流动。

### 四、应力状态对金属塑性的影响

在主应力状态中，压应力个数愈多，数值愈大（即静水压力  $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$  愈大），则金属的塑性愈高；反之，拉应力个数愈多，数值愈大，则金属的塑性愈低。

### 五、屈服条件

#### 1. 屈雷斯加(H. Tresca)屈服条件

这一准则指出，材料中最大剪应力达到某一定值时，就开始屈服。这一定值与应力状态无关，其值为  $\sigma_s/2$ ，因此，其表达式为

$$\tau_{\max} = \max\{\tau_{12}, \tau_{23}, \tau_{31}\} = \frac{1}{2}\sigma_s \quad (1-4)$$

设  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ，则

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}|\sigma_1 - \sigma_3| = \frac{1}{2}\sigma_s$$

即

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

#### 2. 密席斯(Von. Mises)屈服条件

这一准则指出，当某点的等效应力达到某一定值时，材料就开始屈服。这一定值为材料的屈服极限  $\sigma_s$ ，因此，这一屈服条件表示为

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2 \quad (1-6)$$

### 六、应力—应变关系

#### 1. 增量理论

增量理论着眼于每一加载瞬间，认为应力状态确定的不是塑性变形应变分量的全量，而是它的瞬时增量。这一理论的列维(M. Levy) - 密席斯(Von. Mises)方程为

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

式中  $\sigma_m$ ——静水压力， $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ 。

#### 2. 全量理论

全量理论是针对小弹塑性变形的，认为应力状态确定的是塑性变形应变分量的全量，而与加载历史无关，其方程为

$$\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1 - \sigma_m} = \frac{\varepsilon_2}{\sigma_2 - \sigma_m} = \frac{\varepsilon_3}{\sigma_3 - \sigma_m} \quad (1-8)$$

在简单加载条件下，塑性变形过程中的主应力方向不变，各应力间的比例也保持不变，增量理论和增量理论的计算结果是一致的。

## 1-3 冲压所用材料

### 一、对冲压所用材料的要求

冲压所用的材料，不仅要满足工件的技术要求，同时也必须满足冲压工艺要求。冲压工艺要求是以下几个方面：

(1) 应具有良好的塑性。在成形工序中，塑性好的材料，其允许的变形程度大，譬如弯曲件可获得较小的弯曲半径，拉深件可获得较小的拉深系数，由此可以减少工件成形所需的工序数以及中间退火的次数，甚至可以不要中间退火。在分离工序中，良好的塑性才能获得理想的断面质量。

(2) 应具有光洁平整且无缺陷损伤的表面状态。表面状态好的材料，加工时不易破裂，也不容易擦伤模具，制成的零件也有良好的表面状态。

(3) 材料的厚度公差应符合国家标准。因为一定的模具间隙，适应于一定厚度的材料。材料厚度的公差太大，不仅会影响工件的质量，还可能导致产生废品和损坏模具。

### 二、材料的种类和规格

冲压生产中常用的材料是金属板料，有时也用非金属板料。

金属板料分黑色金属和有色金属两种。

#### 1. 黑色金属板料

##### 1) 碳素钢钢板

这类钢板有：Q195、Q215A、Q215B、Q235A 等牌号。

##### 2) 优质碳素结构钢钢板

这类钢板主要用于复杂变形的弯曲件和拉深件，有 08、10、15、20、35、45、50 及 15Mn、20Mn、25Mn…45Mn 等牌号。作为深拉深用冷轧薄钢板主要有 08F、08、10、15、20 等，按其表面质量分为三组：Ⅰ组——高质量表面；Ⅱ组——较高质量表面；Ⅲ组——一般质量表面。对其它深拉深薄钢板，按冲压性能分为三个级别：Z——最深拉深；S——深拉深；P——普通拉深。

#### 2. 有色金属板料

##### 1) 黄铜板(带)

其特点是有很好的塑性和较高的强度及抗腐蚀性，焊接性能优良。常用的有 H68、H62，前者用于深拉深，后者用于冲裁、弯曲和浅拉深。

##### 2) 铝板(带)

其特点是塑性很好，比重小，导电、导热性良好。主要用于制造仪表的面板及各种罩壳、支架等零件。常用的有 L2、L3、L5 等。

非金属材料有纸板、胶木板、橡胶、塑料板和纤维板等。

冲压用的材料大部分是各种规格的板料、带料、条料和块料。

板料的尺寸较大，用于大型零件的冲压，也可通过剪裁制成条料，其规格可查国家标准。

条料是根据冲压件的需要，由板料剪裁而成的，用于中小零件的冲压。

带料又称卷料，有各种不同的宽度和长度，宽度在 300 mm 以下，长度可达几十米，适用于大批量生产的自动送料。

块料适用于小批量生产和价值昂贵的有色金属的冲压。

## 1-4 冲压常用设备

冲压工作是在冲压设备上进行的，目前应用较多的有曲柄压力机、摩擦压力机和液压机。曲柄压力机可用于各类冲模，其中偏心冲床尤其适用于要求导柱、导套不脱开的模具（如导板模），摩擦压力机和液压机主要用于校正模、压印模等，同时也适用于挤压模。这里简单介绍一下生产中最普遍使用的曲柄压力机。

曲柄压力机包括各种结构的偏心冲床和曲轴冲床，其基本工作机构都是曲柄连杆机构。

### 一、偏心冲床

偏心冲床也称开式曲柄压力机，图 1-2 所示为其工作简图。启动后，电动机 12 通过小齿轮 11 和大齿轮 10（兼作飞轮）及离合器 9 将动力传给偏心轴 7，使偏心轴 7 在轴承中作回转运动。连杆 6 把偏心轴 7 的回转运动转变为滑块 5 的直线运动，滑块 5 在床身的导轨中作上下往复运动。模具的上模固定于滑块上，模具的下模固定在工作台上。

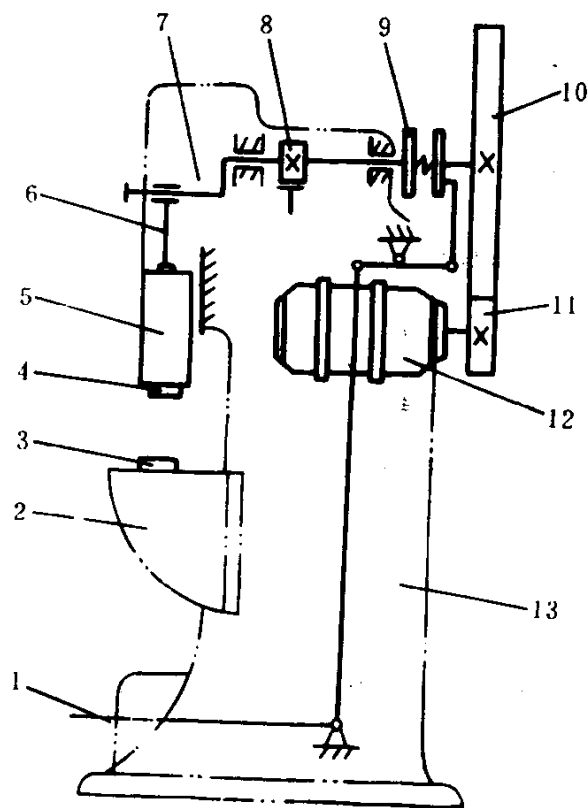
为了控制滑块的运动和位置，设有离合器 9 和制动器 8。

离合器的作用是：在电动机与飞轮不停地运转情况下，可使曲柄连杆机构开动或停止。工作时，只要踩下脚踏开关 1，离合器啮合，偏心轴转动，即可带动滑块作上下往复运动，进行冲压。

制动器的动作与离合器的动作密切配合，在离合器脱开后，制动器同时将曲柄连杆机构停止在一定的位置上。

床身 13 是所有运动部分的支承体，并将压力机的全部机构联接成一个整体。

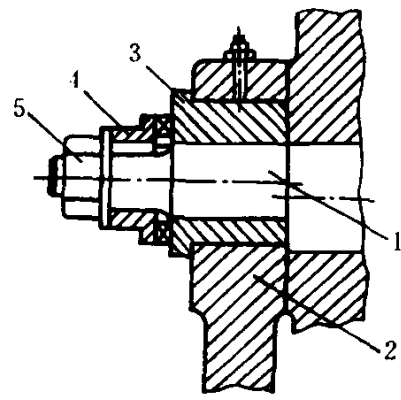
为了适应不同模具的高度及对冲压行程的要求，偏心冲床的行程可在一定范围内调



1—脚踏开关；2—工作台；3—下模；4—上模；  
5—滑块；6—连杆；7—偏心轴；  
8—制动器；9—离合器；10—大齿轮；  
11—小齿轮；12—电动机；13—床身

图 1-2 偏心冲床简图

整，其调整机构如图 1-3 所示。在偏心轴销 1 上套有一个偏心套 3，偏心套上的嵌牙与固定在轴端的结合套 4 上的嵌牙相结合，连杆 2 自由地套在偏心套上。这样，轴销的圆周运动便通过偏心套而变成连杆的上下运动。其运动距离(即行程)是偏心套中心与主轴中心之间距离的两倍。当松开螺母 5，使结合套的嵌牙与偏心套嵌牙脱开时，转动偏心套便可改变偏心套中心与主轴中心的距离，因而可使滑块行程在一定范围内进行调整。



1—偏心轴销；2—连杆；3—偏心套；  
4—结合套；5—螺母

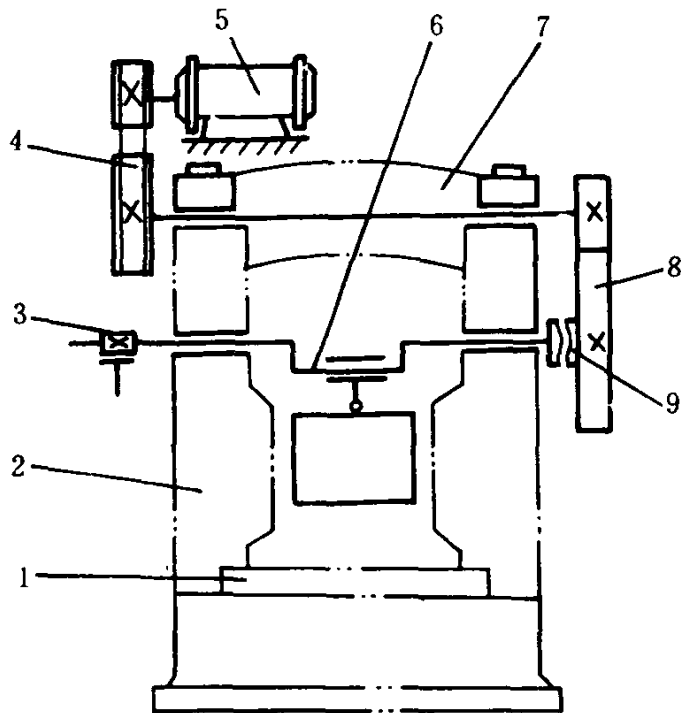
图 1-3 偏心冲床行程调节机构

## 二、曲轴冲床

曲轴冲床也称闭式曲柄压力机，图 1-4 所示为其工作简图。曲轴冲床的结构和工作原理与偏心冲床的基本相同，其主要区别在于：曲轴冲床的主轴为曲轴，而偏心冲床的主轴为偏心轴或曲拐轴；在结构方面，曲轴冲床由横梁，左、右立柱和底座构成框架形床身，用螺栓拉紧，因而刚性较好。曲轴在床身上由多个对称轴承支承，冲床所受负荷较均匀，故能承受大吨位的冲压工作。

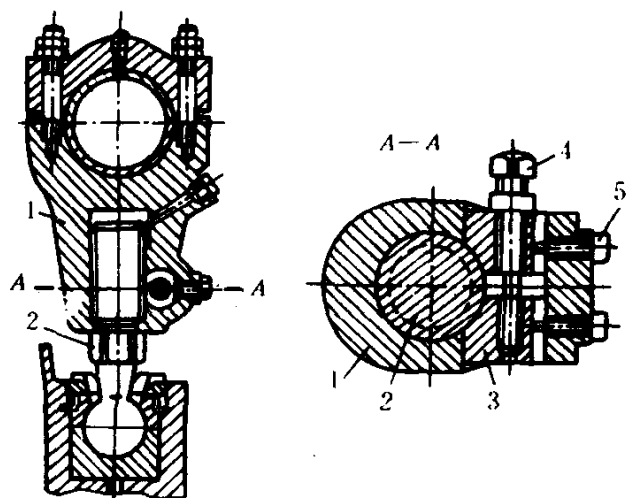
曲轴冲床行程较大，等于曲轴偏心距的两倍，不能调整。

为适应安装不同闭合高度的模具，一般用途的曲柄压力机上连杆长度是可以调节的。其调节方法是：对 200t 以下小型压力机，在调节螺杆上有一段六方部分，当松开紧固套后，可直接用扳手旋转调节螺杆进行调节(图 1-5)；对中型或重型压力机，则由一个单独的电机，通过齿轮或蜗轮机构来旋转调节螺杆。此外，有些冲床的工作台是可以升降的，通过升降工作台也可以调节闭合高度。



1—工作台；2—立柱；3—制动器；  
4—皮带轮；5—电动机；6—曲轴；  
7—横梁；8—齿轮；9—离合器

图 1-4 曲轴冲床简图



1—连杆套；2—调节螺杆；3—紧固套；  
4—紧固螺钉；5—顶丝

图 1-5 可调节长度的连杆

### 三、曲柄压力机的主要技术参数

曲柄压力机的主要技术参数是反映一台压力机的工作能力、所能加工零件的尺寸范围以及有关生产率的指标，分述如下：

#### 1. 公称压力

曲柄压力机的公称压力，是指曲柄旋转到下死点前某一特定角度(此特定角度称为公称压力角，约为 30°)时，滑块上所能容许承受的最大作用力。它是反映压力机工作能力的重要指标，生产中不允许冲压力大于公称压力。

#### 2. 滑块行程

滑块行程是指滑块从上死点到下死点所走的距离，它为曲柄半径的两倍。

#### 3. 闭合高度

闭合高度又称装模高度，是指滑块在下死点位置时，滑块下表面到工作台垫板上表面的距离。当闭合高度调节装置将滑块调整到最上位置时，闭合高度达最大值，称为最大闭合高度；当闭合高度调节装置将滑块调整到最下位置时，闭合高度达最小值，称为最小闭合高度。

#### 4. 滑块行程次数

它是指滑块每分钟从上死点到下死点，然后再回到上死点所往复的次数。

除了上述的主要参数外，还有工作台尺寸、滑块底面尺寸等，这里不一一详述。

### 四、曲柄压力机的选用原则

确定压力机规格时，一般应遵循以下原则：

(1) 压力机的公称压力不小于冲压工序所需的压力。当进行弯曲或拉深时，其压力曲线应位于压力机滑块允许负荷曲线的安全区内。图 1-6 为压力机滑块允许负荷曲线。

(2) 压力机滑块行程应满足工件在高度上能获得所需尺寸，并在冲压后能顺利地取出工件。

(3) 压力机的闭合高度、工作台尺寸和滑块尺寸等应能满足模具的正确安装。

(4) 压力机的滑块行程次数应符合生产率和材料变形速度的要求。

此外，对厚板冲裁、斜刃冲裁等所需变形功较大的冲压工序，压力机的功率应能满足变形功的要求。

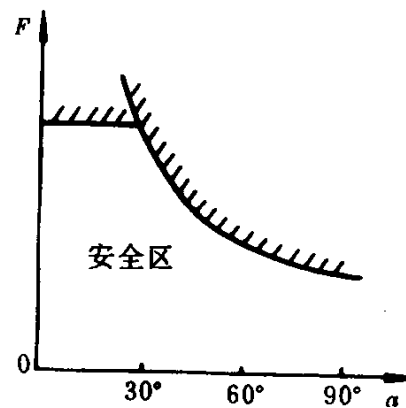


图 1-6 压力机滑块允许负荷曲线

### 复习思考题

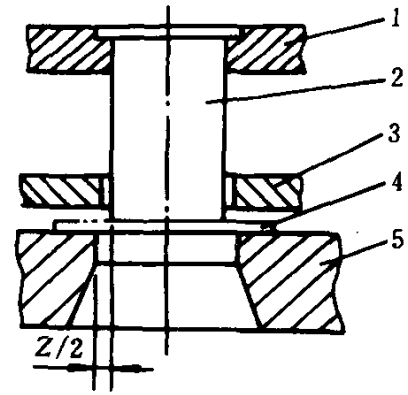
- 1-1 什么是板料冲压？它有哪些特点？
- 1-2 冲压加工的基本工序有哪几种类型？各有何特点？
- 1-3 何谓塑性变形？冲压加工过程中，板料发生塑性变形的力学条件是什么？
- 1-4 处于三向应力状态的变形单元体中，受正应力的方向是否必然产生正应变？

为什么?

- 1-5 冲压对所用材料有何要求? 为什么要有这些要求?
- 1-6 冲压常用材料有哪些?
- 1-7 偏心冲床和曲轴冲床各有什么特点?
- 1-8 曲柄压力机的主要技术参数有哪些?

## 第二章 冲裁及冲裁模设计

冲裁是利用冲裁模使板料产生分离的冲压工序。从广义上说，冲裁是分离工序的总称，包括落料、冲孔、切口、切边、剖切等多种工序。但一般说来，冲裁主要是指冲孔和落料。冲裁可以直接冲出成品零件，也可为其它成形工序制备毛料。从板料上冲下所需形状的零件(或毛料)叫落料；在工件上冲出所需形状的孔(冲去部分为废料)叫冲孔。例如冲制一个平板垫圈，冲其外形称为落料，冲其内孔称为冲孔。落料与冲孔的变形性质相同，但在进行模具工作部分设计时，是不一样的。



1—凸模固定板；2—凸模；  
3—卸料板；4—板料；5—凹模  
图 2-1 冲裁工作示意图

图 2-1 所示为冲裁工作示意图。凸模通过压力机滑块的带动能上下往复运动，凹模固定不动，板料置于凹模面上。当凸模向下运动时，由于凸模和凹模刃口的作用，使板料受剪分离，冲下的部分从凹模孔漏下；当凸模回程向上运动时，由于卸料板的作用，将箍在凸模上的材料卸下。凸模刃口和凹模刃口之间存在一定的间隙  $Z$ ，单面间隙值为  $Z/2$ 。

### 2-1 冲裁变形过程及其断面特征

#### 一、冲裁变形过程

常用金属材料的冲裁过程如图 2-2 所示，模具间隙正常时，大致可分成三个阶段。

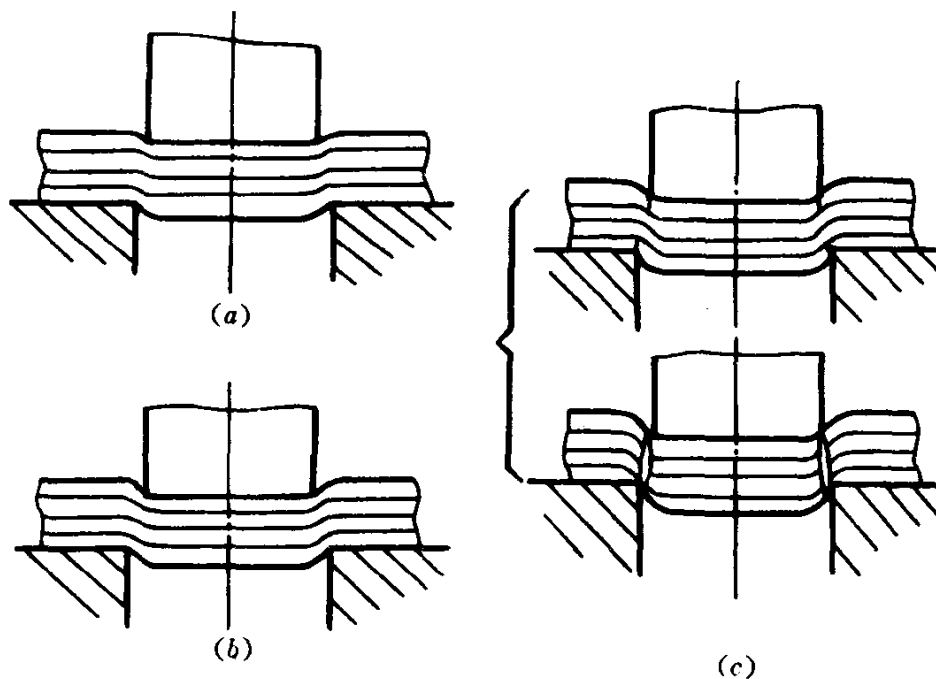


图 2-2 冲裁变形过程  
(a) 弹性变形阶段；(b) 塑性变形阶段；(c) 断裂分离阶段

### 1. 弹性变形阶段

凸模接触板料后,开始压缩材料,变形区内产生弹性压缩、拉伸与弯曲等变形。这时凸模略为挤入材料,材料的另一侧也略为挤入凹模洞口。随着凸模继续压入,变形区内的应力达到弹性极限。此时,凸模下的材料略有弯曲,凹模上的材料则向上翘。间隙越大,弯曲和上翘现象越严重。

### 2. 塑性变形阶段

当凸模继续压入,压力增加,变形区内的应力满足屈服条件时,便进入塑性变形阶段。这时,凸模将部分材料挤入凹模洞口,产生塑剪变形,形成光亮的剪切断面。随着塑性变形的发生,变形区材料硬化加剧,冲裁变形力不断增大,当刃口附近的材料由于拉应力的作用出现微裂纹时,冲裁变形力达到最大值。材料出现微裂纹,标志着塑性变形阶段告终。由于凸模和凹模之间存在间隙,这个阶段除剪切变形外,冲裁区还产生弯曲和拉伸,显然,间隙越大,弯曲和拉伸也越大。

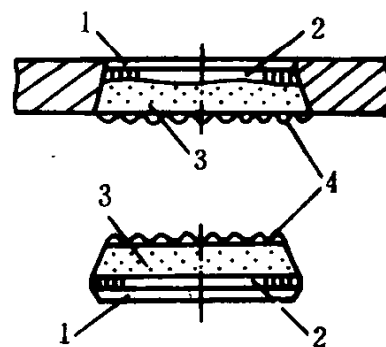
### 3. 断裂分离阶段

凸模继续下压,已经形成的上、下微裂纹逐渐扩大并向材料内延伸,当上、下两裂纹相遇重合时,材料便被剪断分离。

冲裁过程的变形是很复杂的,除了剪切变形外,还存在拉伸、弯曲、横向挤压等变形。所以,冲裁件及废料的平面不平整,常有翘曲现象。

## 二、冲裁件的断面特征

冲裁件的断面具有明显的区域性特征,在断面上可明显地区分为圆角带、光亮带、断裂带和毛刺四个部分,如图 2-3 所示。圆角带是冲裁过程中由于纤维的弯曲与拉伸而形成,软材料比硬材料的圆角大。光亮带是塑剪变形时,在毛料一部分相对另一部分移动的过程中,凸、凹模侧压力将毛料压平而形成的光亮垂直的断面,通常光亮带在整个断面上所占的比例小于  $1/3$ 。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,使冲裁件断面粗糙不光滑,且有斜度。毛刺是因为微裂纹产生的位置不是正对刃口,而是在刃口附近的侧面上,加之凸、凹模之间的间隙以及刃口不锋利等原因,使金属拉断形成毛刺而残留在冲裁件上。凸模及凹模磨钝后,在刃口处形成圆角,会使毛刺增大。凸模刃口磨钝,在冲裁件边缘产生较大毛刺;凹模刃口磨钝,孔口边缘会产生较大毛刺;凸模和凹模刃口都变钝时,在冲裁件边缘与孔口边缘均产生较大毛刺。间隙不均匀,往往使冲裁件产生局部毛刺。



1—圆角带; 2—光亮带;  
3—断裂带; 4—毛刺

图 2-3 冲裁零件的断面

圆角带、光亮带、断裂带、毛刺等四个部分在冲裁件整个断面上所占的比例不是固定的,随材料的机械性能、凸模和凹模之间的间隙、模具结构等不同而变化。增加光亮带宽度的关键是延长塑性变形阶段,推迟裂纹的产生,可通过增加金属的塑性和减少凹模刃口附近的应力集中来实现。



## 2-2 冲裁间隙

冲裁模凸、凹模之间的间隙称为冲裁间隙。凸模与凹模间每侧的间隙，称为单边间隙；两侧间隙之和，称为双边间隙。冲裁间隙对冲裁件质量、冲载力、模具寿命都有很大的影响，是冲裁工艺与冲裁模设计中至关重要的参数。

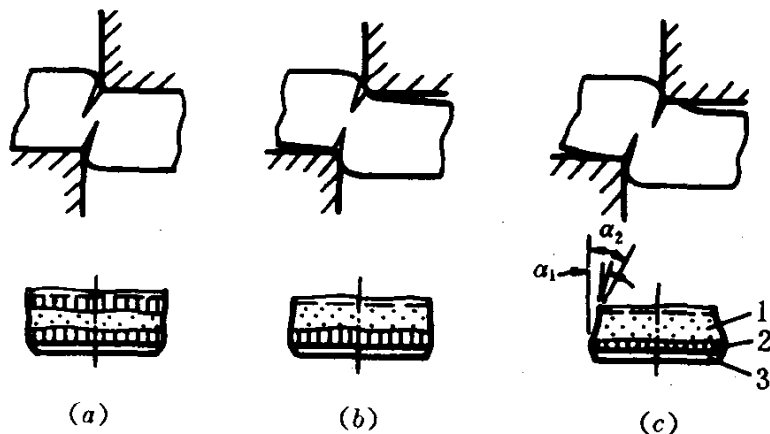
### 一、间隙对冲裁件质量的影响

#### 1. 间隙对冲裁件断面质量的影响

当间隙合理时，凸、凹模刃口处产生的裂纹将相互重合，冲出的冲裁件(或孔)断面呈一定的斜度，但比较平直、光洁、毛刺小，如图 2-4(b)所示。

间隙过大或过小都会使上、下双方的裂纹不能重合。

间隙过小时，凸模刃口附近的裂纹比正常间隙时向外错开一段距离，这样，上、下两裂纹中间的材料随着冲裁过程的进行将产生二次剪切，在断面上形成二次光亮带。因此，断面的特征是中间留下撕裂面，两头呈光亮带，并在端面出现挤长的毛刺，如图 2-4(a)所示。此时，毛刺虽有所增长，但易去除，且冲裁件穹弯小，断面垂直，故只要中间撕裂不是很深，仍可应用。



1—断裂带；2—光亮带；3—圆角带

图 2-4 间隙大小对冲裁件断面质量的影响

(a) 间隙过小；(b) 间隙合适；(c) 间隙过大

间隙过大时，凸模刃口附近的裂纹较正常间隙时向里错开一段距离，材料的弯曲与拉伸增大，拉应力增大，材料易被撕裂，冲裁件的光亮带减小，圆角带与断裂带斜度都增大，毛刺大而且厚，难以去除。其断面情况如图 2-4(c)所示。

#### 2. 间隙对尺寸精度的影响

当冲裁间隙较大时，材料所受拉伸作用增大，冲裁完后因材料的弹性回复使落料件尺寸小于凹模尺寸，冲孔尺寸大于凸模尺寸。当间隙较小时，由于材料受凸、凹模挤压作用大，冲裁完后，材料的弹性回复使落料件尺寸增大，冲孔尺寸减小。尺寸变化量的大小与材料性质、厚度、板材轧制方向等因素有关。材料性质直接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，冲裁后的弹性回复量也小，硬钢的弹性回复量增大。

### 二、间隙对冲裁力的影响

间隙很小时，冲裁力必然较大。随着间隙的增大，冲裁力将降低。当间隙值合理时，冲裁力较低，这是因为上下裂纹重合之故。但是当单面间隙介于材料厚度的 5%~20% 范围时，冲裁力降低不多，不超过 5%~10%。故在正常情况下，间隙对冲裁力的影响不甚严重。