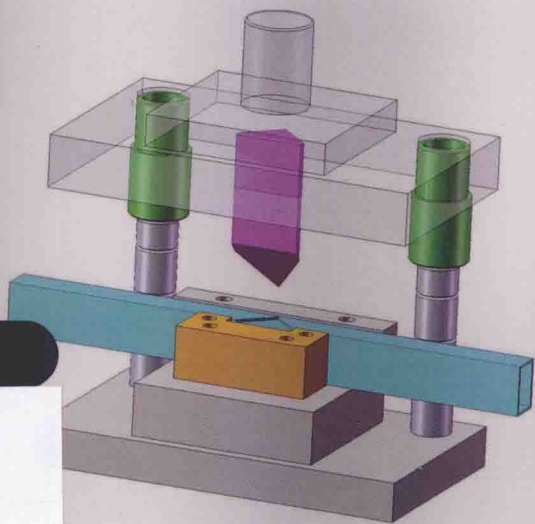


冲压成形 与模具设计

CHONGYA CHENGXING
YU MUJU SHEJI

冯全元 编著



内容由浅入深·循序渐进
资料典型丰富·实用性强



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冲压成形与模具设计

冯全元 编著



机械工业出版社

本书从实际运用的角度出发,深入浅出地介绍了冲压成形及其模具设计技术。本书的主要内容包括:冲压基本知识、冲裁与剪切、弯曲、拉深、翻边、胀形、缩口与扩口、卷边、辗压、成形。本书按照冲压工艺的作业顺序编写,结构体系合理,图表丰富,具有实用性、先进性、使用可靠性和简单易学的特点。

本书可供从事冲压生产的工程技术人员和工人使用,也可作为相关专业在校师生及研究人员的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

冲压成形与模具设计/冯全元编著. —北京:机械工业出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 111 - 50734 - 5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 147301 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 陈保华 责任编辑: 陈保华 高依楠 崔滋恩

版式设计: 霍永明 责任校对: 任秀丽 陈秀丽

封面设计: 马精明 责任印制: 康朝琦

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm × 239mm · 16.75 印张 · 370 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 50734 - 5

定价: 46.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

策划编辑: 010-88379734

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

冲压成形是一种生产率很高的加工工艺。其优点是：操作简便，制品尺寸精度稳定，成本低廉。冲压成形可在材料耗费不大的情况下，获得强度高、刚度大而质量轻的零件，并可形成单机自动化和自动生产线生产。冲压成形产品已覆盖国计民生的方方面面，大到航空航天，小到衣食住行。

作者长期从事冲压成形设计、工艺督导、模具制造工作，30余年间，游历了广东、福建、浙江、上海等省市的数十家模具厂，收集了大量第一手资料，总结了同行的成功经验。为了拾遗补缺，作者将历年所得进行了科学的总结归纳，去粗取精，编写了本书。书中列举的各种方法，都经过作者本人亲自实践，具有极强的可靠性和操作性。

全书包括冲压基本知识、冲裁与剪切、弯曲、拉深、翻边、胀形、缩口与扩口、卷边、辗压、成形共10章。在冲裁与剪切、弯曲两章中，介绍了当前应用量较大的管材加工的相关技术。在拉深一章中，将拉深槛与拉深肋单列为一小节，详细讲解了两者的不同特点和应用条件。对于翻边、胀形、缩口与扩口、卷边、辗压、成形等内容，在以前的相关技术图书中都在成形一章中介绍，本书将这些内容单列成章，进行了详细的分析与探讨。每章各附有典型结构一节，在众多冲压技术图书中独树一帜。

本书减少了烦琐的计算，代之以经验数据或计算机辅助设计方法；减少了模具加工手工作业内容，代之以现代市场条件下的电化学加工等较先进的技术手段。

在本书编写过程中，参考了大量的相关文献，谨向这些文献的作者表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在错误和不足，敬请读者批评指正。同时，作者负责对书中所有内容提供技术咨询和答疑。作者的电子邮箱：feng1101889@163.com。

作 者

目 录

前言

第1章 冲压基本知识	1
1.1 冲压模具简史	1
1.2 冲压基本工序的分类	1
第2章 冲裁与剪切	5
2.1 冲裁件的工艺性	5
2.2 冲裁模的基本形式	7
2.2.1 凸模运动方向	7
2.2.2 冲裁模分类	8
2.2.3 冲裁模选型	8
2.3 冲裁间隙	9
2.3.1 凸、凹模间隙值	9
2.3.2 经济级工件快速计算凸、凹模间隙值	10
2.3.3 选择间隙方向的原则	10
2.4 冲压力	11
2.5 剪切	12
2.5.1 剪切的几种基本方式	12
2.5.2 剪切刃口形式	12
2.6 冲裁模具装配与上机安装	19
2.6.1 模具装配的一般程序	19
2.6.2 单工序模装配	20
2.6.3 复合模装配	23
2.6.4 冲裁模上机安装	26
2.7 冲裁模典型结构	26
2.7.1 落料、切边模典型结构	26
2.7.2 冲孔模典型结构	29
2.7.3 其他冲裁模	33
2.7.4 无凹模冲裁	37
2.7.5 剪切模典型结构	38
第3章 弯曲	41
3.1 弯曲方法与变形特点	41
3.1.1 弯曲方法	41
3.1.2 弯曲变形的特点	41
3.2 弯曲件的工艺性	42

3.3 弯曲力的计算	45
3.4 弯曲件展开长度计算	46
3.5 弯曲件的工序安排	49
3.6 弯曲模工作部分的设计	50
3.6.1 凸、凹模的圆角半径	51
3.6.2 凹模深度	51
3.6.3 凸、凹模间隙	52
3.6.4 弯曲模脱料方式	53
3.6.5 弯曲模定位件	55
3.6.6 常用形式弯曲模设计	56
3.7 弯曲模典型结构与工艺	58
3.7.1 弯曲模典型结构	58
3.7.2 闭环形工件弯曲模	66
3.7.3 扣缝模	71
3.7.4 薄板橡胶弹性体对辊弯曲	73
3.7.5 手工弯曲	73
3.7.6 冷绕弹簧回弹直径估算公式	74
3.7.7 弯曲件典型工艺	74
3.8 管材弯曲	82
3.8.1 曲率与弯曲方式	82
3.8.2 管材弯曲表象和最小弯曲半径	82
3.8.3 薄壁管材弯曲模的选型	82
3.8.4 矩形管材弯曲模型芯中凸高度的计算	83
3.8.5 回旋超过 360° 的绕弯	85
第4章 拉深	87
4.1 拉深基础知识	87
4.1.1 拉深在冲压生产中的用途	87
4.1.2 变形过程受力分析	87
4.1.3 拉深件材料厚度曲线	89
4.1.4 拉深工作原理运用	89
4.2 坯料尺寸的确定	90
4.2.1 拉深件毛坯尺寸计算的原则	90
4.2.2 修边余量	91
4.2.3 坯料尺寸的快速估算	92
4.3 拉深模的基本形式与选型	93
4.3.1 拉深模分类	93
4.3.2 拉深模选型	96
4.4 拉深模工作零件与参数	97
4.4.1 凸模	97

4.4.2	凹模	99
4.4.3	凸、凹模间隙	104
4.4.4	压边圈	105
4.4.5	压边装置的出力方式	108
4.4.6	坯料定位	109
4.4.7	推料板	110
4.4.8	顶杆	110
4.5	拉深模设计	111
4.5.1	压边力的计算	111
4.5.2	拉深力计算	111
4.5.3	拉深系数	111
4.5.4	拉深次数与工序尺寸的确定	113
4.5.5	曲面旋转体拉深	117
4.5.6	拉深槛与拉深肋	121
4.5.7	多道次拉深系数的积	127
4.5.8	拉深模中的数据关联性	128
4.5.9	典型拉深件工艺	129
4.6	拉深模的安装方法及其他	132
4.7	拉深失败原因分析	133
4.7.1	快速分析拉深件破裂的原因	133
4.7.2	拉深不良品原因分析	134
4.8	拉深模的保管	135
第5章	翻边	136
5.1	孔翻边	136
5.1.1	翻孔(边)系数	137
5.1.2	预制孔径尺寸的确定	138
5.1.3	翻边(孔)力	139
5.1.4	凸、凹模间隙	139
5.1.5	翻孔凸模和凹模结构要点	140
5.1.6	变薄翻孔	141
5.2	其他翻边	147
5.2.1	伸长性翻边	147
5.2.2	压缩性翻边	148
5.2.3	压缩性翻边的极限高度与工件弯曲半径的对应关系	149
5.2.4	滚轮翻边	150
5.3	翻边模典型结构	151
第6章	胀形	160
6.1	胀形方法分类	160
6.2	胀形工艺的特点	162

6.3 胀形系数	163
6.4 胀形坯筒尺寸	164
6.5 胀形力	166
6.6 胀形模设计	166
6.6.1 硬模胀形设计	166
6.6.2 软模胀形设计	168
6.6.3 液压胀形设计	175
6.7 胀形模典型结构	177
6.7.1 硬模胀形典型结构	177
6.7.2 软模胀形典型结构 (橡胶弹性体胀形模)	179
6.7.3 液压胀形典型结构	191
第7章 缩口与扩口	195
7.1 缩口	195
7.1.1 缩口变形程度	195
7.1.2 缩口后在长度与厚度方向上的变形	197
7.1.3 缩口力	197
7.1.4 缩口模设计	197
7.1.5 缩口模典型结构	198
7.1.6 滚轮缩口与缩径	204
7.1.7 旋锻缩口	206
7.1.8 行星轮旋压缩口模	207
7.1.9 加热旋压缩口与封口	207
7.2 扩口	209
7.2.1 扩口变形程度	209
7.2.2 扩口力	210
7.2.3 扩口凸模锥角与材料抗拉强度的关系	211
7.2.4 管坯尺寸	211
7.2.5 扩口模常用结构	212
第8章 卷边	214
8.1 卷边	214
8.1.1 卷边展开长度计算	214
8.1.2 硬模卷边	215
8.1.3 滚轮卷边	216
8.1.4 滚轮卷边工艺的前道工序——预弯	218
8.2 卷边模典型结构	220
第9章 辗压	227
9.1 辗压加工的作业范围	227
9.2 辗压模具设计	228
9.3 辗压工艺对机床的要求	228

9.4 装饰线辗压	229
9.5 螺纹辗压	230
9.6 焊缝辗压模	232
9.7 辗压包覆模	233
9.8 G 型玻璃盖不锈钢圈与锅具的配合角度的滚压模具	233
9.9 辗压代替折边——摩托车链盒扣合模	234
9.10 辗压成形	235
9.11 管型材无芯辗压	236
9.12 管材改型辗压机	237
第 10 章 成形	239
10.1 成形的定义	239
10.2 起伏成形	239
10.3 压印	242
10.4 成形模典型结构	243
参考文献	257

第1章 冲压基本知识

1.1 冲压模具简史

模具技术在生产中的应用有着十分悠久的历史。原始社会末期，人类还处在农耕和手工业作坊雏形阶段，就懂得使用模具了。

在西安市的半坡博物馆，有为数不少印有指甲痕的尖底瓶和绳纹陶罐。当时的人们还创造了十分精良的工具——陶铤。

这三种陶器都是古人将塑制好的泥坯风干到半干状态，在尚有良好塑性的时候，用最原始的模具——指甲、野草或树皮搓成的绳和小米壳制造的。

近年来有学者归纳指出，板料、模具和设备是冲压加工的三个要素；套用这个模式，同样也可以说，材料、模具和行程是得到一致产品的三大要素。

以今天的眼光来看，半坡博物馆的古物未免粗糙，但是细细地分析，古人对陶制品的装饰是完全符合今天的冲压模具定义的：

- 1) 材料一致。
- 2) 模具一致。
- 3) 工作行程一致。

正是古人先知先觉地做到了，所以才有了我们今天看到的这些令人惊讶的文物。

随着时间的流逝，生产力的提高，模具的应用领域在不断拓宽；到明清之际，模具加工已大量应用于服饰制造业；如当时流行的铜纽扣、女人们穿戴的云帔上的银饰品，都是将铜、银等延展性好的金属先辗成薄片，覆在凹模上，然后捶击凸模进行加工的。对形状复杂的佛像等小型饰品，则是先将凹模雕刻成形，然后将银箔铺在模具上，再用锡或铅一类的软金属团来挤压银箔成形。

在封建统治下，模具在我国不可能有大规模的发展。新中国成立以后，模具加工才成为一个独立的行业，并催生了不少颇具规模的专业模具生产厂家。尤其是改革开放以来，模具行业在我国得到飞速的发展，制品遍及汽车、电动机、电器仪表、电子、通信、家用电器、炊具等行业和轻工业、军备制造业，极大地提升了国民经济的实力，增强了国防力量，改善了人民的生活品质。

1.2 冲压基本工序的分类

由于冲压加工的零件形状及尺寸、精度要求、批量大小、原材料性能等不同，所采用的冲压工艺方法是多种多样的。冲压工序基本上可以分两大类型：分离工序和成形工序。

分离工序是指金属板料受力后, 应力超过材料的抗剪强度而使板料发生剪裂或局部剪裂。其目的是在冲压过程中, 使工件(或坯料)与板料沿一定的轮廓线相分离。根据所要求的断面质量, 这种分离工序又可分为以破坏形式实现分离的普通冲裁及以变形形式实现分离的精密冲裁两种形式。而每种工序又包括很多冲裁形式, 如落料、切边、冲孔等。

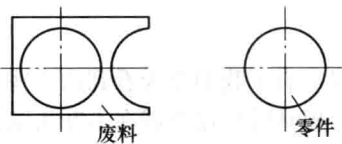
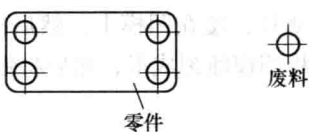
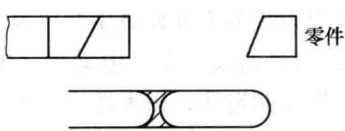
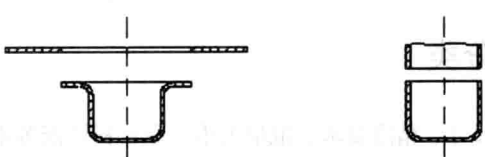
成形工序是指坯料受外力后, 应力超过了材料的屈服强度, 经过塑性变形, 成为具有一定形状的加工工序。其目的是使冲压坯料在不产生裂纹的条件下, 发生塑性变形并转化成为所要求的工件形状。这种变形形式很多, 如弯曲、拉深、冷挤压、胀形等工序。

为了进一步提高冲压生产效率, 有时常常把两个以上基本工序合并成一个工序, 即称为复合工序, 如落料→冲孔, 落料→拉深→切边以及落料→冲孔→弯曲等。这些不同工序的复合可根据工件所要求的实际情况来进行, 多数是通过改进冲模结构来实现的。复合工序赖以生产的模具称为复合模, 是一种很有发展前途的高效模具, 它可以大大提高生产效率和降低工件的成本, 便于自动化生产。

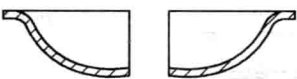
综上所述, 冲压工序按冲压变形方式可分为如下两种基本型:

1) 分离工序, 包括切断、剖切、落料、冲孔、切舌、切边、整修、剪边、圆盘剪裁、滚剪、摇剪和分条等, 见表 1-1。

表 1-1 分离工序

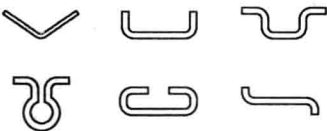
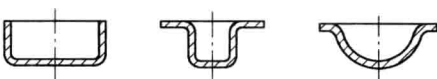
工序名称	简 图	特点及应用范围
落 料		用冲模沿封闭轮廓曲线冲切, 冲下部分是零件, 用于制造各种形状的平板零件
冲 孔		用冲模按封闭轮廓曲线冲切, 冲下部分是废料
切 断		用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断, 多用于加工形状简单的平板零件
切 边		将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状

(续)

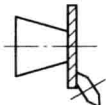
工序名称	简 图	特点及应用范围
剖 切		把冲压加工成的半成品切开成为两个或数个零件,多用于对称零件的成双或成组冲压成形之后

2) 成形工序,包括冷挤压、弯曲、拉深、翻边、胀形、缩口、辗压、卷边、起凸和压印等,见表1-2。

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,可以加工形状较为复杂的零件
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		把板料毛坯成形为有一定容积的各种空心的零件
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		将预先冲孔的板料半成品或未经冲孔的板料,冲制成竖立的边缘
翻 边		把板料半成品的边缘,按曲线或圆弧成形为竖立的边缘
拉 弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,可得精度较好的零件
胀 形		在双向拉应力作用下实现变形,成形各种空间曲面形状的零件

(续)

工序名称	简 图	特点及应用范围
起伏		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
扩 口		在空心毛坯或管状毛坯的某个端口上,使其径向尺寸扩大
缩 口		在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上,使其径向尺寸减小
旋 压		在旋转状态下,用辊轮使毛坯逐步成形
校 形		校正零件形状,以提高已成形零件的尺寸精度或获得小的圆角半径

第 2 章 冲裁与剪切

2.1 冲裁件的工艺性

冲裁件的工艺性是指冲裁工艺的适应性。

在一般情况下，对冲裁件工艺性影响最大的是几何形状尺寸和精度要求。良好的工艺性应能满足材料较省、工序较少、模具加工容易、寿命长、操作方便及产品质量稳定等性能和要求。

1) 冲裁件的几何形状不宜过大。冲裁件的获得是利用模具在机械或液压压力机上工作产生的；其外形尺寸大小受到压力机工作台大小的限制。其厚度受到压力机出力总吨位的限制。所以，一次完成的封闭曲线，边线长度超过 1500mm、厚度超过 10mm，就有必要考虑采用其他加工方式。

2) 冲裁件各直线或曲线的连接处，宜有适当的圆角半径 r 。工件的圆角半径若设计过小或不带圆角，则会给模具加工带来困难。尖角过渡会使凹模热处理时发生淬裂，同时，在冲压时尖角也容易磨损、崩缺，严重影响工件的加工精度和模具寿命。只有在采用少无废料排样或在镶拼模结构时不要圆角。常用金属材料冲裁件的最小圆角半径见表 2-1。

表 2-1 常用金属材料冲裁件的最小圆角半径

连接角度	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$
简图				
低碳钢	$0.30t$	$0.50t$	$0.35t$	$0.60t$
黄铜、铝	$0.24t$	$0.35t$	$0.20t$	$0.45t$
高碳钢、合金钢	$0.45t$	$0.70t$	$0.50t$	$0.90t$

注： t 为材料厚度。

3) 冲裁件形状应尽可能设计得简单、对称，使排样时废料最少，如图 2-1 所示。

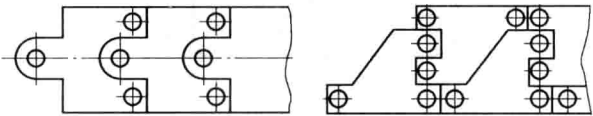
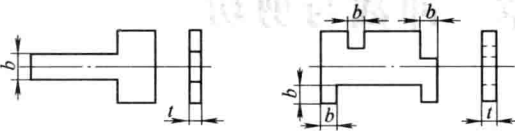


图 2-1 少废料冲裁的排样

4) 冲裁件凸出或凹入部分宽度不宜太小, 应避免过长的悬臂与狭槽, 见表 2-2。

表 2-2 冲裁件悬臂和凹槽的最小宽度

	材 料	宽度 b
	硬钢	$(1.5 \sim 2.0)t$
	黄铜、软钢	$(1.0 \sim 1.2)t$
	纯铜、铝	$(0.8 \sim 0.9)t$

如无特殊要求, 冲裁材料为中碳钢时, 悬臂与狭槽宽度应大于或等于 2 倍料厚; 冲裁材料为黄铜、纯铜、铝、软钢时, 其宽度应大于或等于 1.5 倍料厚。材料厚度不足 1mm 时, 按 1mm 计算。

5) 腰圆形冲裁件, 如果允许圆弧半径, 则 R 应大于条料宽度的一半, 否则会有台肩产生, 如图 2-2 所示。如果限定圆弧半径等于工件宽度的一半, 就不能采用少废料排样, 否则会有台肩产生, 整个工件必须在一个冲次中完成。

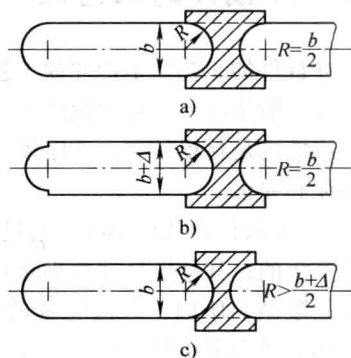


图 2-2 工件两端弧形与宽度的关系

6) 冲孔时, 由于受到凸模强度的限制, 孔的尺寸不宜过小, 其数值与孔的形状、材料的力学性能、材料的厚度等有关。

在不锈钢厨具制品生产中, 冲孔直径 $\phi \geq 4t$ 。不同材料冲孔的最小尺寸见表 2-3。

表 2-3 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	$0.8t$	$0.5t$	$0.3t$	$0.28t$
酚醛层压布(纸)板	$0.4t$	$0.35t$	$0.3t$	$0.25t$

注: t 为材料厚度 (mm)。

7) 冲裁件的孔与孔之间, 孔与边缘之间的距离不宜过小; 在不锈钢厨具制品生产中, $a \geq 4t$ 。如图 2-3、图 2-4 所示为低碳钢冲裁件的孔与孔之间, 孔与边缘之间的距离的最小值。

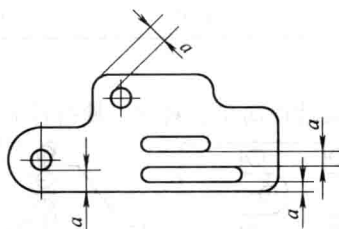


图 2-3 冲裁件的孔边距

注: $a = 2t$ 。

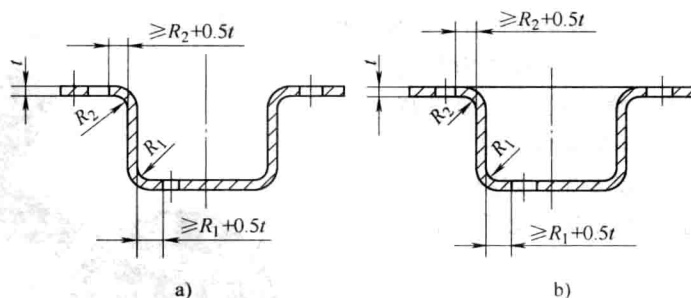


图 2-4 孔边距的最小值

a) 弯曲件 b) 拉深件

2.2 冲裁模的基本形式

2.2.1 凸模运动方向

凸模运动方向与冲裁模具的寿命关系极大。原则上，要求材料或半成品被剪切平面与凸模的轴线垂直，也就是说，工件冲裁平面与凸模的运动方向垂直。某些特殊情况下，这一条件得不到满足时，也要尽可能保证被剪切轮廓线的重心或对称中心与凸模轴线垂直，如图 2-5 所示。

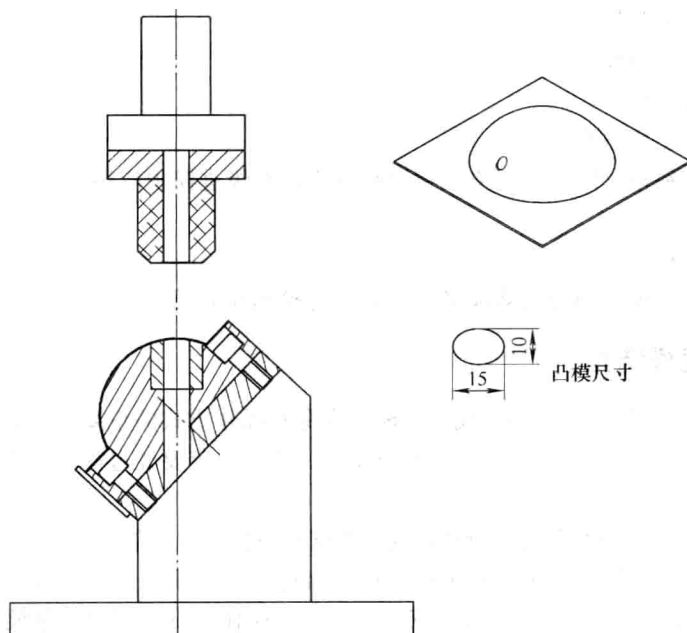


图 2-5 偏转工件轮廓线重心与冲裁方向垂直

为了满足凸模与冲裁平面垂直,致使凸模轴线不能与压力机滑枕或上工作台同一运动方向的情况下,应采用斜楔加滑块或斜楔加滚动轴承、滑套的方式加以解决。在冲裁模中,斜楔加滑块的形式在环形件冲孔模中比较多见,如图 2-6 所示,有时也用于大型覆盖件拉延后的冲孔与切边。

2.2.2 冲裁模分类

冲裁模的主要任务是使材料分离,在这个前提下,冲裁模的分类方式有很多种。

按工序性质分,冲裁模可分为落料模、冲孔模、切断模、整修模、精冲模等。

按工序组合形式,冲裁模可分为单工序模、复合模和级进模。

此外还有按导向方式、按挡料方式、按凸凹模所用材料来分类等多种分类方式。

本书中按出料方式来分类,这种分类方法可以简便、全面地分析不同形式模具的特点;在此基础上,冲裁模可分为如下类别:

- 1) 正装下出料模。
- 2) 正装上出料模。
- 3) 倒装复合模。
- 4) 倒装上出废料模。
- 5) 飞除废料模,即以切边方式将废料除去,在级进模中应用较多。
- 6) 级进模。
- 7) 筒式级进模。
- 8) 圆盘剪裁模。圆盘剪裁模又可分为滚剪模和摇剪模。

2.2.3 冲裁模选型

冲裁模选型是决定模具制造成本、模具寿命和操作方式的重要步骤;它关系到产品质量单件成本,甚至关系到操作者的人身安全,所以一定要经过深思熟虑才能做出最后决定。

基于以上对于冲裁模特点的分析,我们在选择冲裁模的工作方式时,可作以下考虑:

- 1) 无孔、平直度要求不高的工件选择下出料式落料模,例如拉深件、弯曲件坏片之类,这种模具结构简单,寿命长,安全系数高,操作和维修都较其他模具方便。
- 2) 孔间距或孔与轮廓边线精度要求高的工件,选择倒装落料冲孔复合模。
- 3) 有孔但尺寸精度要求不太高的工件,选择筒式步进模或倒装落料冲孔复合模。

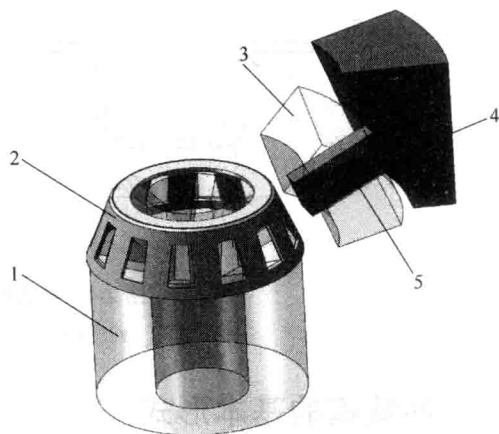


图 2-6 斜面与滑动凸模 (局部)

1—凹模 2—坯件 3—滑套 4—斜面圈 5—凸模