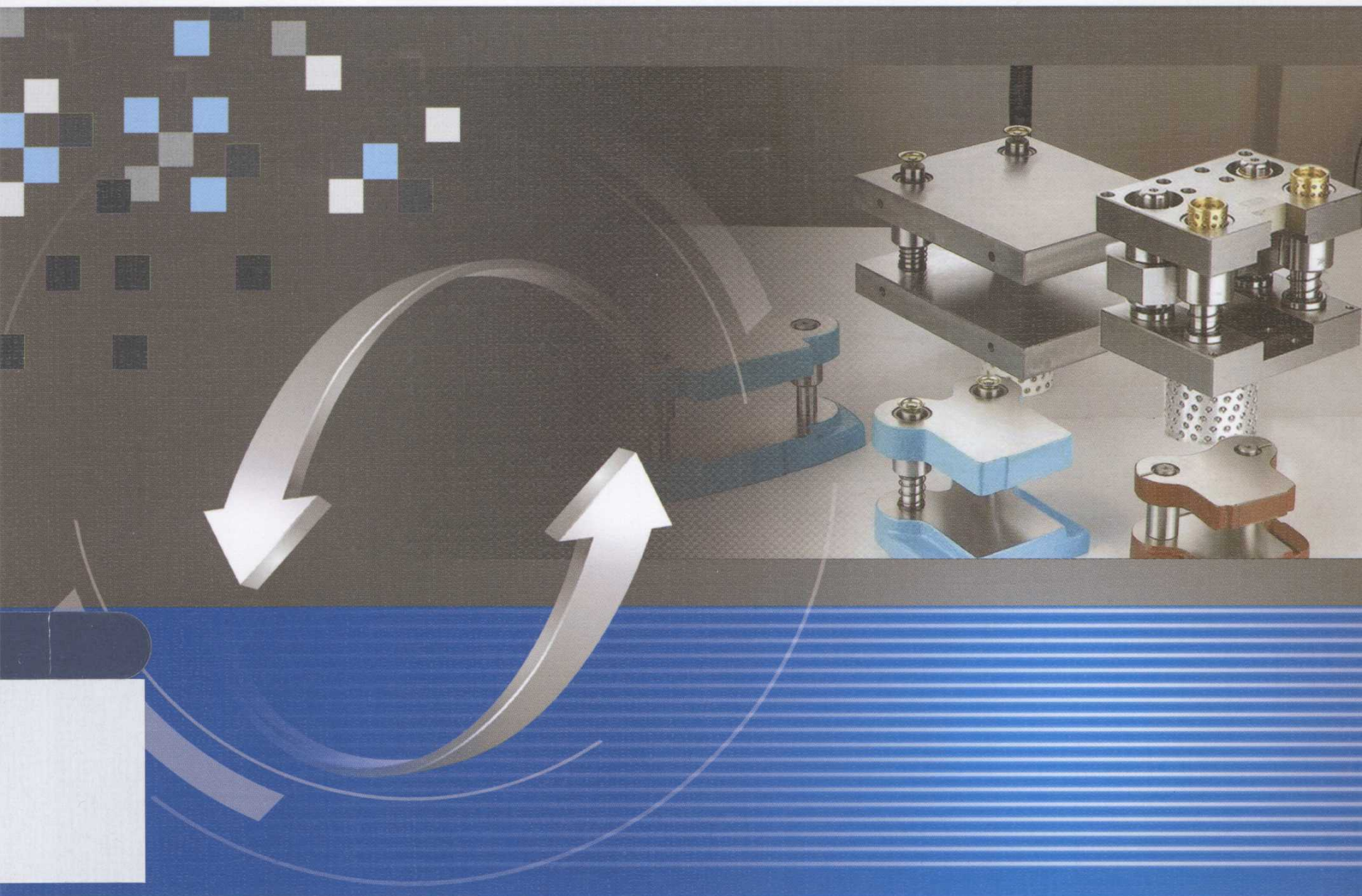


冲压工艺模具学

CHONGYA GONGYI MUJUXUE

卢险峰 © 编著

第③版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冲压工艺模具学

第 3 版

卢险峰 编著



机械工业出版社

TG38
34-3

10403035

《冲压工艺模具学》第3版系统地阐明了冲压工艺模具学的基本原理、基本方法、基本经验和最新成果。全书分为4篇15章,包括冲压加工基本工序、冲压工艺过程、冲模结构设计及实践教学。用简明精练的语言,清晰的图表,构筑出新颖性、科学性、真实性与实用性。每章后配有习题和思考题,最后有课程实验与课程设计的内容,更是满足了初学者的需求。

本书可作为高等学校材料成形与控制工程等相关专业教材,也可作为各类模具培训班教材,同时可供工厂企业的工程技术人员参考使用,有志创新者会从书中获得意外收获。

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺模具学/卢险峰编著. —3版. —北京:机械工业出版社, 2014.3

ISBN 978-7-111-45761-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第024367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:孔劲 责任编辑:孔劲 版式设计:常天培

责任校对:陈越 封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014年4月第3版第1次印刷

184mm×260mm·19印张·1插页·468千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-45761-9

定价:39.00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

策划编辑(010)88379772

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线:(010)88379203

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

第3版前言

《冲压工艺模具学》第3版是在第2版的基础上进行的修订。本版吸收了近些年里，国内外冲压加工与模具技术领域的新成果内容，也包含作者的科研学术新成果与讲课教学新经验。

在书的编排方面，此次修订的主要内容有：

第2版的4篇15章总体框架基本保留，但增加了结语部分，删除了原第10章，将原9.4节的内容扩充改编为新第10章——冲压设备的选择；删除了第2版中附有*处的小节内容，且精炼了全书的内容，很大部分的章、节、小节名都有所改动；在很多知识点上，如各种模型、计算、工艺设计及结构分析等方面，增添了历史沿革的发展信息；增补了学科体系化的内容，特别值得一提的是，构造了冲压工艺模具学知识体系框图，此乃为对全书内容的一种高度概括，实属一点创造，又特别新颖。

新书出版虽为兴趣所致，然限于作者的能力与水平，书中问题和不足仍在所难免，真心欢迎且诚恳接受读者的批评和建议。

感谢南昌大学2013年度教材出版的资助！感谢关心、支持出版本书以及阅读、使用本书的所有新老朋友！

作者

于南昌大学

2013年12月

第2版前言

近10年来,先进制造技术的理念得到了广泛的认同,制造业在科学发展观的指引下迈入了新的发展阶段,其中的冲压加工和模具技术更有显著的进步。

本书的第1版已出版8年多,虽然只是作为一般性图书并未申请“九五”、“十五”统编教材,可陆续发行也达一万册,表明本书尚能符合市场需求;现申报高等学校“十一五”规划教材,以第2版形式出版,既是一种荣幸,更是一种责任。

第2版吸纳了国内外现代冲压加工和模具技术领域的较多成果的内容,尤其是近10年来在该领域出现的,包括作者取得的一些新的科研成果以及生产与教学经验。

修订的主要内容有:将原版的3篇12章改为4篇15章;原版的第1章增改为第1章冲裁,第2章整修、精冲、半精冲;第1篇中增加组合变形工序为第8章;原第12章内容增改为第4篇,分为第14章课程实验,第15章课程设计;几乎每篇、每章的内容都有改动,知识点增加处较多,删改处也有一些。

本书能出版和再版,归功于不少前辈的褒奖鼓励、很多同行的较高评价、广大读者的认同喜爱以及出版社与学校的热情支持。在此,对他们表示由衷的感谢!

鉴于作者水平有限,本书不足之处在所难免,仍敬望读者不吝指正。

作者

于南昌大学

2005年12月

第1版前言

冲压加工是一种具有悠久历史的加工方法,可以说,人类最早的生产制造技术是冷压。我国古代在这一领域创造了令世人赞颂的成就。

在现代生产制造技术中,冲压加工仍然占有很重要的地位。在20世纪60年代,美国用金属板料经冲压加工后就已创造出了相当于原材料价值12倍的增值,其所创造的总价值占到国民生产总值的1/10。

从模具角度来看,经济发达国家的模具总产值也已超过了机床的总产值。比如日本,1982年模具总产值为86亿美元,同期机床总产值为78亿美元;1987年前者为124亿美元,后者为102亿美元;1991年前者为131亿美元,后者为120亿美元。而其中冲压模具在所有模具(锻造模、压铸模、注塑模……)中,无论从数量(套数)、重量(吨位),或是从价值(金额)上都位居榜首。

由此可见,板料冲压加工及其模具制造技术对国民经济的发展已经并将继续作出重大的贡献。随着我国经济的腾飞,对这种生产技术的发展及专业技术人才的需求将与日俱增。

30多年来,作者一直从事冲压加工和模具技术的生产、教学和科研工作,也取得了一些成绩。近20年来,又未间断地为本科生、专科生、研究生及培训班学员讲授了冲压工艺与模具设计这门课程,积累了不少教学经验。为适应形势的发展和满足教学的需要,为促进这一技术的进步,通过学习前人的经验和吸收国内外先进成果,并以不断更新的讲稿为基础,作者编著了这本书,以期为大专院校相关专业及模具培训班提供一本新教材。

尽管作者精心编著,但因水平有限,书中错误和问题在所难免,欢迎读者批评指正。

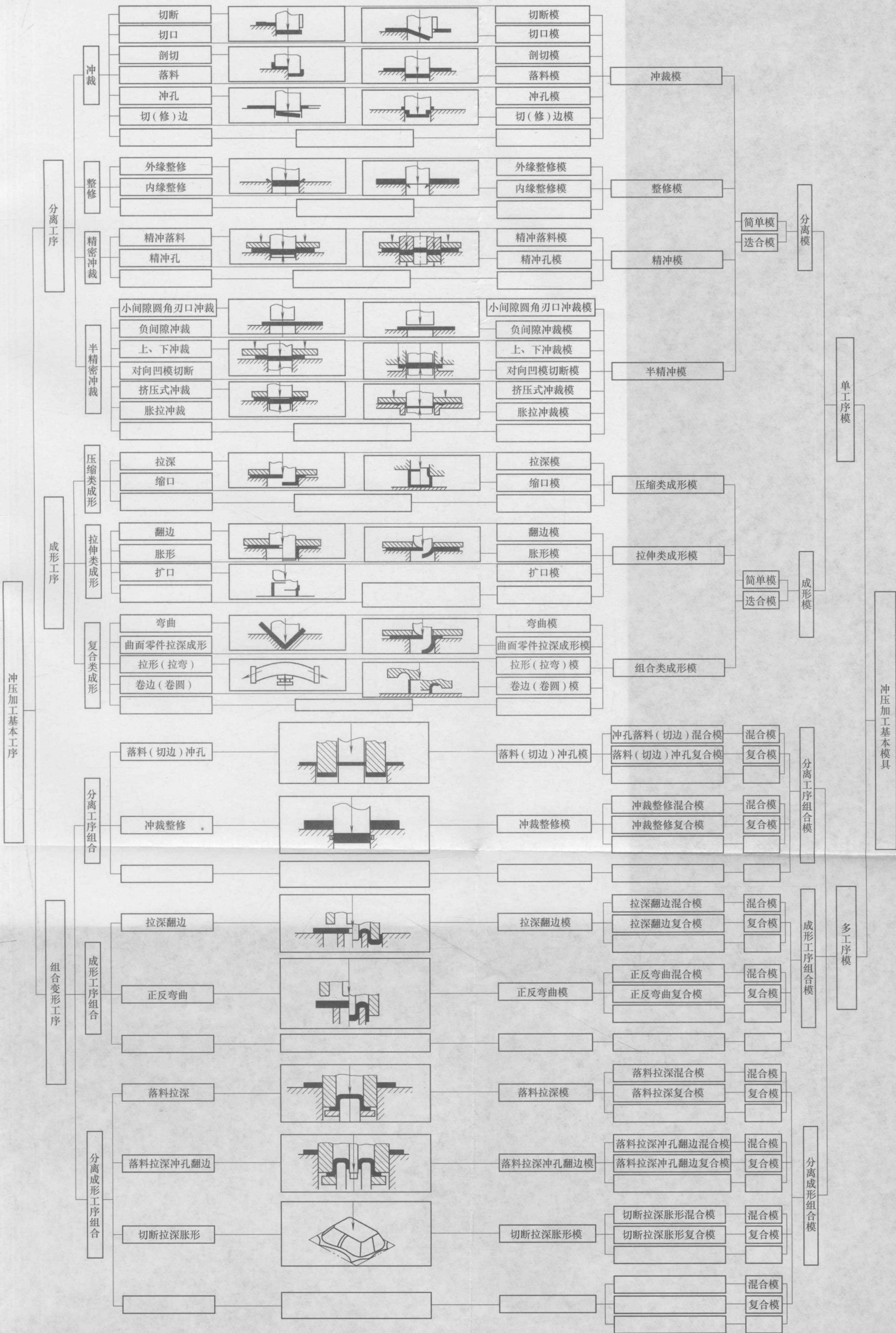
最后,对为本书的编著、出版给予了关心和支持的各方人士,特别是江铃汽车集团进出口公司孙伟总经理、江铃汽车集团中日合资公司王勇副总经理等,表示衷心的感谢。并在本书正式出版之际,向我的导师——哈尔滨工业大学(现燕山大学)李硕本先生和日本东京大学中川威雄先生再次致以诚挚的敬意。

作者

于南昌大学

1997年7月

冲压工艺模具学知识体系



目 录

第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
绪论	1
第1篇 冲压加工基本工序	5
第1章 冲裁	6
1.1 冲裁变形特点	6
1.1.1 基本概念	6
1.1.2 冲裁变形过程	7
1.1.3 冲裁变形区及受力	9
1.2 冲裁件的质量	12
1.2.1 断面组成	12
1.2.2 精度问题	13
1.3 冲裁间隙	14
1.3.1 对冲裁变形过程的影响	15
1.3.2 对冲裁加工的其他影响	16
1.3.3 间隙值的规范与选用	17
1.4 冲裁模刃口尺寸	20
1.4.1 确定的原则	20
1.4.2 设计计算的方法	21
1.4.3 相互位置关系图示	23
1.5 冲裁力	23
1.5.1 冲裁力的计算	23
1.5.2 减小冲裁力的设计	24
1.5.3 压、卸料及出件力	26
1.6 多工步冲裁	26
1.6.1 叠层两步冲裁	27
1.6.2 级进模两步法冲裁	27
1.7 计算举例	28
习题与思考题一	29
第2章 整修、精冲、半精冲	30
2.1 整修	30
2.1.1 基本概念	30
2.1.2 整修方法	30
2.1.3 整修的发展	31
2.2 精密冲裁	32
2.2.1 精冲特点	32
2.2.2 精冲机理	33
2.2.3 精冲力	33
2.2.4 精冲的发展	34
2.3 半精密冲裁	34
2.4 分离工序特点小结	36
习题与思考题二	38
第3章 拉深	39
3.1 拉深变形特点	39
3.1.1 基本概念	39
3.1.2 变形特点分析	40
3.1.3 拉深系数与拉深次数	42
3.2 拉深力和拉深功	44
3.2.1 拉深曲线	44
3.2.2 拉深力的计算	45
3.2.3 拉深功的核算	48
3.3 拉深起皱与防止	49
3.3.1 起皱现象与初步判断	49
3.3.2 防皱措施	50
3.4 拉深模工作部分尺寸	53
3.4.1 工作部分的结构特点	53
3.4.2 工作部分尺寸的设计计算	55
3.4.3 坯料尺寸的计算	58
3.5 非直筒形零件及特殊拉深	60
3.5.1 带法兰边零件	60
3.5.2 阶梯形零件	63
3.5.3 盒形件	64
3.5.4 特殊拉深方法	70
3.6 拉深件的质量问题	71
3.6.1 一般缺陷及处理	71
3.6.2 反映变形本质的缺陷	72
3.7 拉深润滑	75
3.7.1 拉深润滑理论	75
3.7.2 润滑剂	76
3.8 拉深实例	77
习题与思考题三	80

第4章 翻边	81
4.1 翻边变形基础	81
4.1.1 基本知识	81
4.1.2 变形特点分析	81
4.1.3 工艺参数的设计计算	84
4.2 异形孔翻边	88
4.2.1 凹圆弧异形孔	88
4.2.2 凹凸圆弧异形孔	89
4.3 方孔翻边	90
习题与思考题四	91
第5章 胀形	92
5.1 胀形变形基础	92
5.1.1 基本知识	92
5.1.2 变形特点	92
5.2 平板毛坯的胀形	94
5.2.1 局部胀形	94
5.2.2 整体胀形	96
5.3 空心毛坯的胀形	97
5.3.1 刚模胀形	97
5.3.2 软模胀形	97
5.3.3 内高压成形	98
5.3.4 工艺实例	99
习题与思考题五	100
第6章 弯曲	101
6.1 弯曲变形过程	101
6.1.1 基本概念	101
6.1.2 变形特点	101
6.2 弯曲力	104
6.2.1 力学模型	104
6.2.2 弯曲力的计算	104
6.3 弯曲的弹复	106
6.3.1 弹复现象和原因	106
6.3.2 弹复规律及表示	106
6.3.3 对弹复值的影响和预防	109
6.4 弯曲工艺参数	112
6.4.1 最小弯曲半径	112
6.4.2 弯曲件坯料长度的计算	114
6.4.3 弯曲模工作部分尺寸	116
6.4.4 弯曲工序设计事例	117
6.5 弯曲的其他形式	119
6.5.1 外缘弧线弯曲	119
6.5.2 滚弯	121

6.5.3 管子的弯曲	123
习题与思考题六	124
第7章 其他成形工序	125
7.1 扩口	125
7.1.1 基本知识	125
7.1.2 变形特点	126
7.1.3 坯料尺寸和工件精度	126
7.1.4 扩口力的计算	127
7.2 缩口	128
7.2.1 基本知识	128
7.2.2 变形特点	129
7.2.3 坯料尺寸和工件精度	130
7.2.4 缩口力的计算	131
7.3 卷边	132
7.3.1 基本概念	132
7.3.2 变形特点	133
7.3.3 工艺参数	133
7.3.4 双层侧壁件卷边	134
7.4 曲面形状零件拉深成形	134
7.4.1 基本概念	134
7.4.2 球面、抛物面形状零件	135
7.4.3 锥形零件	136
7.4.4 汽车覆盖件	138
7.5 特殊成形	138
7.5.1 高速高能成形	138
7.5.2 旋压	140
7.5.3 整形	140
7.6 成形工序特点小结	142
习题与思考题七	143
第8章 组合变形工序	144
8.1 概述	144
8.2 分离工序的复合	144
8.3 成形工序的复合	145
8.4 分离与成形工序的组合	147
习题与思考题八	149
第2篇 冲压工艺过程	151
第9章 冲压件工艺过程设计	152
9.1 工艺过程设计概论	152
9.1.1 工艺过程设计与工艺规程	152
9.1.2 工艺过程设计目标要求	152
9.2 冲压件的工艺性	153

9.2.1 工艺性的涵义	153	12.3.2 工作零件	211
9.2.2 工艺性的基本要求	153	12.3.3 固定零件	219
9.2.3 冲压件的结构工艺性	154	12.3.4 导向零件	220
9.3 冲压加工的经济性	157	12.3.5 定位零件	221
9.3.1 冲压加工替代其他加工举例	157	12.3.6 压、卸料及出件零件	222
9.3.2 材料的经济排样	158	12.4 冲模总体设计	223
9.3.3 降低模具费用	159	12.4.1 冲模设计的程序	223
9.4 确定冲压工艺方案的原则	160	12.4.2 冲模总体设计要点	223
9.4.1 冲压变形的发生及控制	160	12.4.3 执行模具国家标准	228
9.4.2 各种条件的要求	162	12.5 汽车覆盖件冲模的特点	235
9.4.3 半成品形状与尺寸的确定	164	12.5.1 覆盖件图、主模型	235
9.4.4 工艺方案确定举例	165	12.5.2 拉深筋	235
9.5 冲压工艺知识的结构体系	166	12.5.3 大型铸件的结构	237
9.5.1 冲压工序的组成与分类	166	12.5.4 堆焊刃口	238
9.5.2 冲压工艺知识结构体系	167	12.5.5 镶拼模结构	239
习题与思考题九	169	12.6 冲模 CAD	242
第 10 章 冲压设备的选择	171	12.6.1 冲模设计中的最优化技术	242
10.1 基本概念	171	12.6.2 计算机辅助设计和绘图	243
10.2 冲压设备类型的选择	171	12.6.3 冲模 CAD 的内容	245
10.3 冲压设备规格的选择	172	12.6.4 冲模 CAD 系统	246
10.4 主要冲压设备类型与规格	173	12.6.5 冲模 CAD 通用软件	246
习题与思考题十	178	习题与思考题十二	247
第 11 章 冲压用板料	179	第 13 章 冲模零件的选材和制造	248
11.1 常用板料的基本知识	179	13.1 冲模零件的材料选用	248
11.2 板料冲压性能概述	186	13.2 冲模零件的制造过程	249
11.3 拉伸试验	189	13.3 冲模零件机加工工艺实例	251
11.4 工艺试验	192	13.4 冲模的寿命	254
11.5 新型板材及其性能	193	习题与思考题十三	257
习题与思考题十一	197	第 4 篇 实践教学	259
第 3 篇 冲模结构设计	199	第 14 章 课程实验	260
第 12 章 冲模的结构及设计	200	14.1 课程实验目的要求	260
12.1 冲模的功能及分类	200	14.2 课程实验题目参考	260
12.1.1 冲模的功能	200	14.3 课程实验指导与报告实例	261
12.1.2 冲模的分类	200	第 15 章 课程设计	268
12.2 冲模的基本形式与构造	203	15.1 课程设计目的要求	268
12.2.1 简单模	203	15.2 课程设计内容与步骤	268
12.2.2 迭合模	204	15.3 课程设计参考题目	269
12.2.3 复合模	205	15.4 课程设计举例	273
12.2.4 混合模	207	参考文献	290
12.3 冲模零部件的构造设计	210	结语	296
12.3.1 冲模结构组成	210		

绪 论

冲压工艺模具学课程是一门关于通过模具来进行冲压加工的专业技术课程。

冲压加工是借助于常规或专用冲压设备的动力，使板料在模具里直接受到变形力并发生变形，从而获得一定形状、尺寸和性能的产品零件的生产技术。板料、模具和设备是冲压加工的三要素。其中，板料——冲压加工的对象，模具——专用模型、工具，设备——提供动力的机器。图 0-1 示出了各种要素之间的相互关系。冲压加工是一种金属冷变形加工方法，所以，被称为冷冲压或板料冲压，简称冲压。它是金属塑性加工（或压力加工）的主要方法之一，也隶属于材料成形工程技术。

这是一种新定义，本教材遵循这样一种定义编排内容，与传统的认识和前人的同类著作在编排上有所不同。比如，传统的认识和前人的一些著作中包括了冷锻、冷挤等冷锻加工，而本教材中没有不包含这些内容；本教材主要围绕薄板材料，基本上没有涉及线材、棒料的冲压内容。当然，包括线材和棒料的冷体积变形加工可以说是广义的冲压加工，亦可称之为冷压成形。

另外，冲压与锻造有本质上的区别：冲压是冷变形加工，锻造是热变形加工。锻造加工的对象基本上全是块料（来自棒料或线材），且坯料必须是热的，确切地说，锻造的加工温度是在金属完全再结晶温度以上。所以，本教材中涉及热冲压的内容也甚少。

所谓工艺是利用生产工具对原材料进行加工或处理使之成为产品的具体操作方法。

冲压加工中的具体方法或技术经验可称为冲压工艺。而所谓模具是指制造一定数量产品的专用模型、工具。

模具的类别很多。中国模具工业协会划分的模具类别及排定的顺序是：冲压模；塑料模；压铸模；锻造模；粉末冶金模；橡胶模；拉丝模；无机材料成形模；模具标准件；其他模具：用于食品、皮革等成形。如果从模具所成形用原材料角度，可以将模具划分为以下三大类：金属材料成形用模具，包括冲压模、锻造模、铸造模、粉末冶金模、拉丝模等；有机（高分子）材料成形用模具，包括塑料模、橡胶模、食品模、皮革模等；无机非金属材料成形用模具，包括陶瓷模、水泥（混凝土）模、玻璃模等。

冲压加工中所用的模具叫冲压模。或者说，为加工金属板料产品所用的模具叫冲压模具。冲压模也称为冷冲模或冲模。

本教材讲述的模具是冲压模。无论是模具工作部分的尺寸与形状、模具材料，还是模具的整体结构及其他局部结构等内容，均指冲压模。

与塑性加工的其他方法及机械加工中其他冷、热加工方法相比，使用模具的冲压加工有其独特的优点。首先，生产效率高。一般冲压设备的行程次数为每分钟几十次，高速冲床每

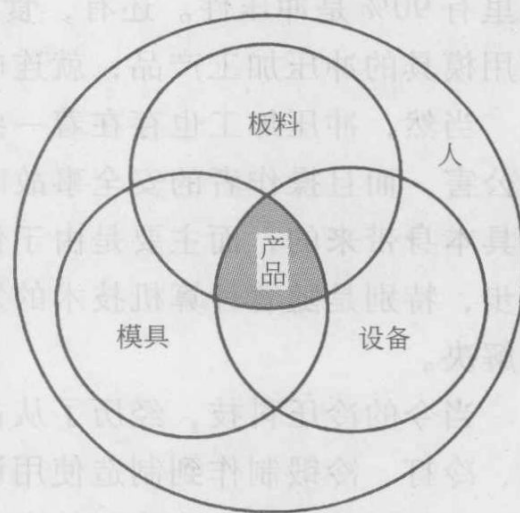


图 0-1 冲压加工的要素

分钟达数百次、千次以上，而且每一次冲压行程有可能就得到一个产品零件。其次，冲压产品质量好、强度高。冲压产品由模具精度保证了可不需再机加工的尺寸、形状，且不破坏（冷轧板材的）表面质量，冷变形硬化效应提高了零件的强度；模具的长寿命，确保了冲压产品形状、精度和性能的稳定性。此外，冲压加工一般没有切屑碎料生成，金属材料消耗较少，且不需要加热设备，不影响空气质量，也节省了材料、燃料和能源等。因此，可以说冲压加工是一种节能、高效及绿色程度较高的加工方法。

由于具有如此优越性，冲压加工在国民经济各个领域中的应用范围相当广泛。例如，在宇航、航空、军工、机械、农机、电机、电子、信息、铁道、邮电、交通、化工、医疗器具、日用电器及轻工等部门里都有冲压加工。不仅整个产业界全用到它，而且每个人都直接与冲压产品发生联系。像飞机、火车、汽车、拖拉机上就有很多大、中、小型冲压件。小轿车的车身、车架及车圈等零部件都是冲压加工出来的。据有关调查统计，汽车的零部件中有60%~70%的冲压件；自行车、缝纫机、手表里有80%是冲压件；电视机、收录机、摄像机里有90%是冲压件。还有，食品金属罐盒、钢制锅壶、搪瓷盆碗及不锈钢餐具，全都是使用模具的冲压加工产品；就连电脑的硬件中也缺少不了冲压零件。

当然，冲压加工也存在着一些问题和缺点。主要表现在冲压加工时产生的噪声、振动两种公害，而且操作者的安全事故时有发生。不过，这些问题并不完全是由于冲压加工工艺及模具本身带来的，而主要是由于传统的冲压设备及落后的手工操作造成的。随着科学技术的进步，特别是随着计算机技术的发展，随着机电一体化技术的进步，这些问题一定会很快得到解决。

当今的冷压科技，经历了从古代和近代至现代的历史发展过程，从手工敲打的冷作、冷锤、冷打、冷锻制作到制造使用设备与模具的先进加工阶段。

广义的冲压加工或冷压技术，我国古代有悠久的发展历史、领先世界的工艺制作成果。比如，商代遗址出土的金丝冷拉件，商代冷锻（或热打）的青铜兵器，殷墟出土的厚度仅为0.01mm的金箔，东周战国时期的纯铜槌胎薄铜缶，汉或东汉时期的金箔及一直延续至唐朝的缠金线、织锦缎与佛像贴金，宋代青堂姜人冷锻出的癸子甲，明代的冷拔钢丝、制针与熟铁锯条，清代的铁画等。

冲压加工及其模具技术一直在不断地向前发展。国内、外21世纪的发展方向和动向主要有以下一些方面：

- 1) 冲压加工的自动化、无人化、精密化。
- 2) 冲压生产中批量要求的两种趋势——大批量生产及多品种小批量生产。

冲压生产中标志批量的近似值见表0-1。表中所给值是以一般薄板冲压件、工艺复杂程度和精度要求属中等水平为基础的。

表 0-1 冲压生产批量大小的近似数字

(单位：万件/年)

冲压件尺寸/mm	试 制	小 批	中 批	大 批	大量（流水生产）
大型（250~1000）	<0.1	<1	1~5	5~50	>50
中型（50~250）	<0.5	<5	5~50	50~200	>200
小型（<50）	1	<10	10~100	100~1000	>1000

- 3) 冲压加工的基本理论研究，变形过程的数值解析、计算机模拟及优化设计。

- 4) 冲压新工艺及新模具的研究与开发, 如精密剪切、无毛刺冲裁及特种拉深等。
- 5) 冲压新材料的研制与开发应用, 如高强度、高伸长率钢板及各种复合板材等。
- 6) 冲模新材料、模具热处理新技术及新冲压设备的研制、开发以及推广应用。
- 7) 冲压工艺与冲模 CAD/CAM/CAE 的数字化技术。
- 8) 冲压与冷锻的组合加工技术。

冲压工艺模具学是研究板料冲压加工方法、过程及其所用模具种类、结构的应用技术科学。简言之, 是一门关于冲压工艺与模具设计的技术学科。本教材第 3 版是在总结近 30 年来的教学经验, 并对讲稿进行多次修改、不断补充后而编著的。它简明系统地阐述了冲压加工基本工序、冲压工艺设计、冲压模具结构与设计的基础知识, 介绍了国内外冲压技术领域的最新研究成果 (包括作者所做的一些工作和收获)。

在继承传统、吸取前辈成果的基础上, 本书在体系上有较大革新:

1) 新颖性 全书内容编排成 4 篇 15 章, 加上绪论及结语部分, 形成一个整体。欲用这种新的内容框架, 达到纲举目张的效果。书中还介绍了不少学科新知识、新成果及新趋向。

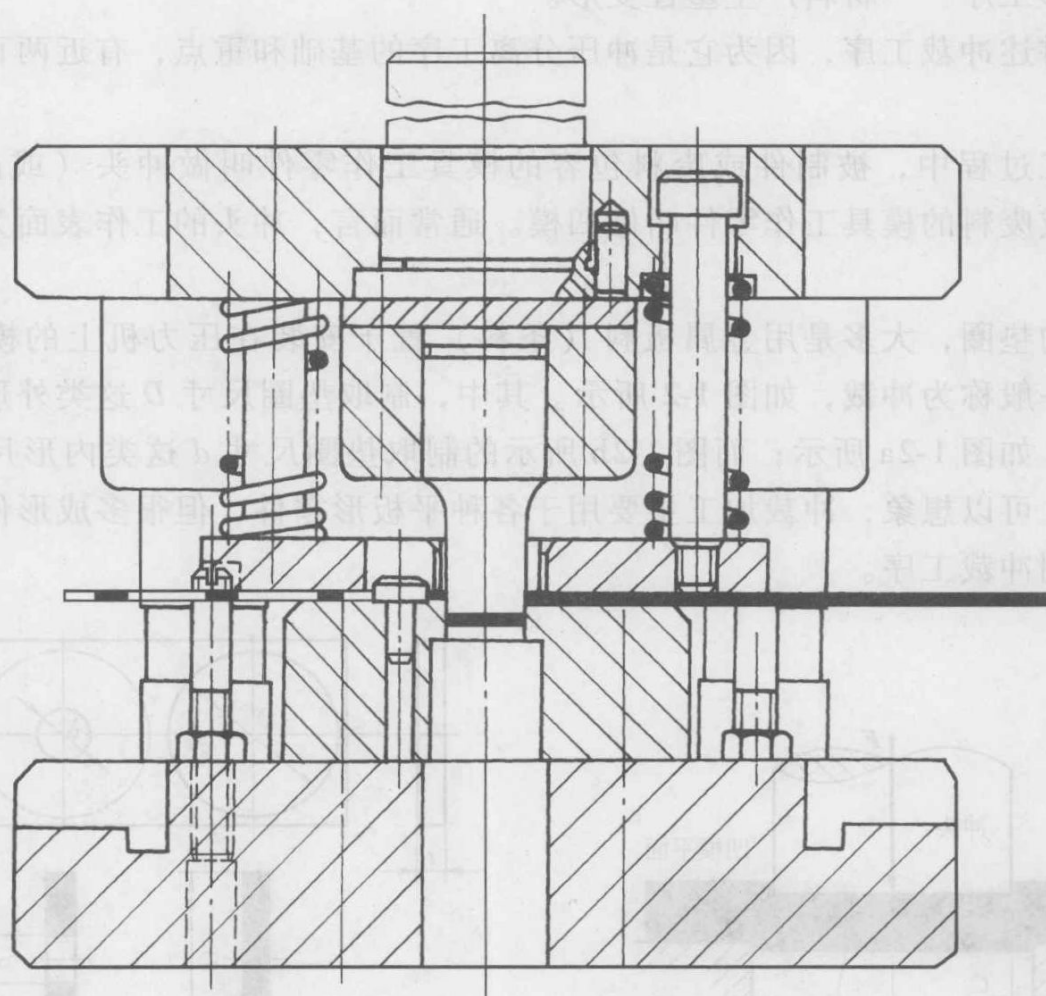
2) 科学性 力图突出术语、精准定义、明晰概念; 且给出了不少知识点或群的归纳与小结, 特别是提出了一个总体知识结构系统。希望该教材可上升到表述一门学科的水平。

3) 真实性 尽量还原学科发展历史, 真实地反映学科进程。尤其是一些原理、理论分析计算、工艺方法及模具参数的设计, 多有前辈、著者及同侪与后生的成果列出。期待读者能增添兴趣, 进行比较乃至发展。

4) 实用性 基于长期为本科生讲授该门课程的经验积累, 为便于复习或自学, 各章均设有习题与思考题。最后一篇为强调并引领重视的教学环节——实践教学而编写, 是关于课程实验与课程设计的内容, 其中有较新颖的综合性课程实验及指导, 还有供课程设计用的不同类型的冲压工艺模具设计的 14 个参考题目。这些题目均取自生产实际, 读者可有选择地进行设计练习。

第 1 篇 冲压加工基本工序

阐述冲压加工中各种基本工序的加工方法、主要特点、变形机理、模具工作部分尺寸的设计规则，以及冲压变形力的计算。



(a)

(b)

图 1-5-1 图

图 1-1 图

图 1-5-1 图

图 1-1 图

图 1-5-1 图

图 1-1 图

图 1-5-1 图

第1章 冲裁

1.1 冲裁变形特点

1.1.1 基本概念

冲裁的定义：通过一对工具（通常叫模具）的工作零件——冲头与凹模，利用冲压设备加压于其间的被冲材料，使之在其有一定间隙的刃口处产生剪切等变形，进而分离破断的冲压加工分离工序。这种冲压加工方法如图 1-1 所示。

依据材料变形的力学范围，冲压加工基本工序可以分为两大类：分离工序——材料产生断裂分离、成形工序——材料产生塑性变形。

本章专门讲述冲裁工序，因为它是冲压分离工序的基础和重点，有近两百年的应用和发展历史。

在冲压加工过程中，被制件或废料包容的模具工作零件叫做冲头（或凸模）；包容冲头、托住制件或废料的模具工作零件叫做凹模。通常而言，冲头的工作表面为其外形，凹模则为其内形。

比比皆是的垫圈，大多是用金属板料（条料）置于安装在压力机上的模具里冲切出来的。这种冲切一般称为冲裁，如图 1-2 所示。其中，制取垫圈尺寸 D 这类外形尺寸零件的工序称之为落料，如图 1-2a 所示；而图 1-2b 所示的制取垫圈尺寸 d 这类内形尺寸零件的工序则称之为冲孔。可以想象，冲裁加工主要用于各种平板形零件，但很多成形件在其整个加工过程中也会用到冲裁工序。

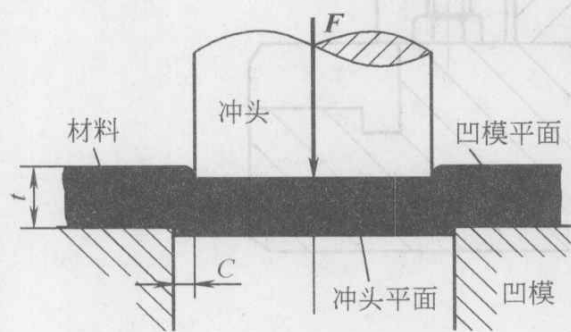


图 1-1 冲裁变形示意

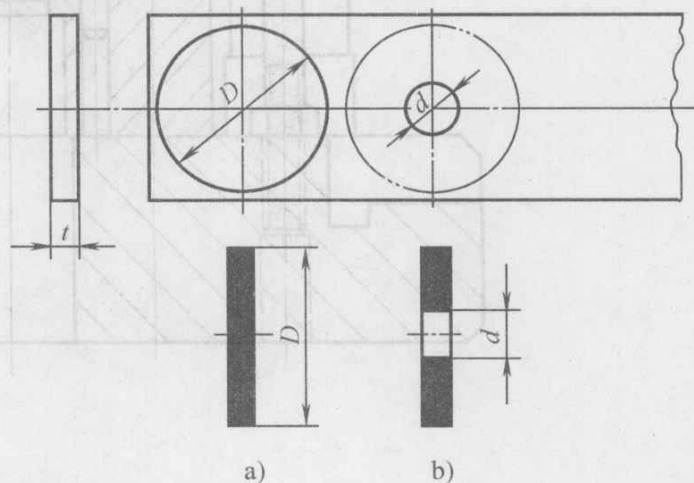


图 1-2 垫圈冲裁中的落料与冲孔

工程习惯里，冲裁包括很多工序，例如落料、冲孔、切边、切断、切口、剖切等。它们的主要特点是：

落料——冲切得到的部分为工件，所剩被冲切坯料部分为搭边废料。

冲孔——被冲切掉的部分为工件，而冲切掉的部分为废料。

切边——冲切出边缘不规整的半成品件（可视为落料）。

切断——坯料上沿不封闭轮廓线冲切断开（含切管）。

切口——坯料上沿不封闭轮廓线冲切但不完全断开（可比作为切舌）。

剖切——将半成品冲压成形零件剖分切开。

1.1.2 冲裁变形过程

1. 变形过程理论与模型

(1) 宏观理论模型 该理论认为冲裁变形过程分为三个阶段，即弹性变形阶段、塑性变形阶段及断裂分离阶段。其变形过程的描述模型如图 1-3 所示。

第 1 阶段：弹性变形阶段。这时金属材料发生了弹性压缩与弯曲，并略有挤入凹模口内的情形，但材料内部的应力还没有超过弹性极限。

第 2 阶段：塑性变形阶段。此阶段开始时冲头压入材料内，材料被挤入到凹模内，使其纤维发生了很大弯曲及拉伸。在此阶段的末尾，靠近刃口边，材料的应力达到了最大值，即材料的抗剪强度。

第 3 阶段：断裂分离阶段。靠近冲头及凹模刃口边的材料，首先出现了显微裂纹、然后是可目视到的裂缝，其方向顺着最大的切应变线（滑动面）。裂缝很快向材料内层扩展，致使材料断裂分离。当凸、凹模间的间隙正常合理时，上、下裂缝重合，形成了共同的剪裂（滑动）面。

该理论是前苏联学者在 20 世纪中前期提出的^[69]，后又于其 70 年代给出了冲裁变形过程的冲裁力-行程图^[2]，如图 1-4 所示。这种从宏观角度分析冲裁变形过程的传统理论，现今仍起着指导作用，在最新的一些文献中^[101,102]还采用了它或以它为基础作了一些补充说明。

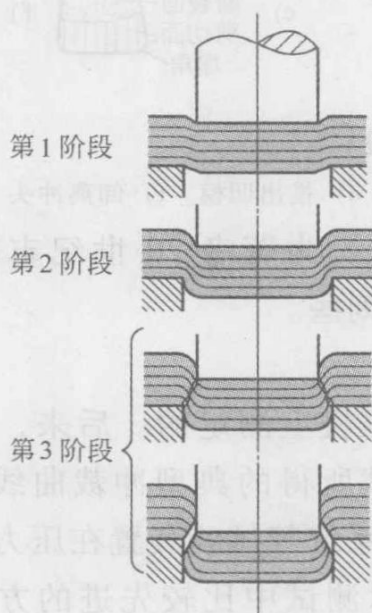


图 1-3 冲裁变形过程

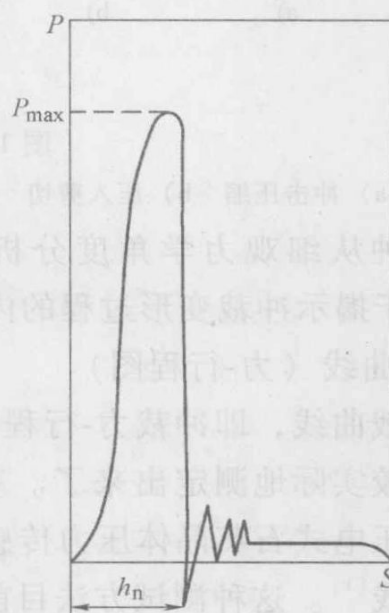


图 1-4 冲裁力-行程图

(2) 细观理论模型 该理论认为冲裁变形过程分为六个阶段，有冲击压缩、压入剪切、裂缝生长、突然分离、推出凹模、卸离冲头阶段，即被冲材料依次受到这六个阶段的作用而变形。

基于先进测试方法测得的冲裁力-行程图如图 1-5 所示，其变形过程的描述模型如图 1-6 所示。