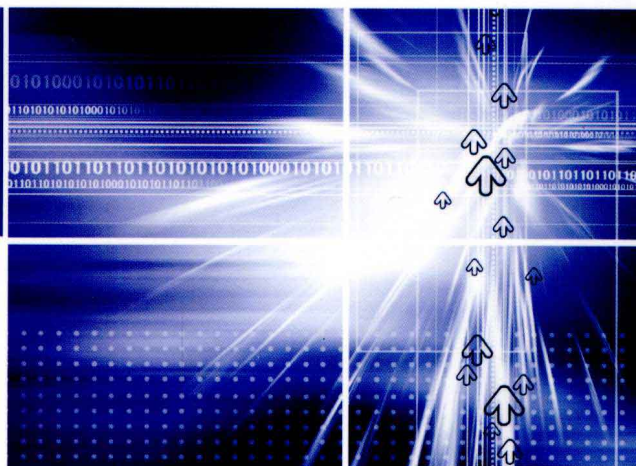




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



材料成形设备

第2版

王卫卫 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

材料成形设备

第2版

主 编	王卫卫		
副主编	朱传祥	彭庚新	
参 编	刘淑梅	陈 璞	范有发
	文全兴	查光成	
主 审	孙友松	毕大森	



机械工业出版社

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共分七章，着重讲述成形生产中常用的设备如曲柄压力机、液压机、塑料挤出机、塑料注射成型机和压铸机的工作原理、典型结构、控制系统、性能特点、主要技术参数与适用工艺及其使用要求，并对螺旋压力机、锻锤、多点成形压力机、板料折弯机、高速压力机及冲模回转头压力机进行了介绍。

本书可作为高等工科院校材料成形及控制工程专业的教材，也可作为高职高专相关专业教材，还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

材料成形设备/王卫卫主编 —2 版 —北京：机械工业出版社，2011 6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-111-34402-5

I ①材· II ①王… III ①工程材料－成形－设备－高等学校－教材 IV ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 103807 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：冯春生 责任编辑：冯春生 丁昕祯 版式设计：霍永明
责任校对：李秋荣 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）
2011 年 8 月第 2 版第 1 次印刷
184mm×260mm·19 印张·470 千字
标准书号 ISBN 978-7-111-34402-5
定价 36.00 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

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是高等院校材料成形及控制工程专业本科的成形设备课程通用教材，也可供与本专业有关的生产和技术人员参考。

从20世纪末全国高校专业改革至今已有十多年，材料成形及控制工程作为专业改革新成立的专业，在这十多年中取得了快速发展。由于各院校原有的专业基础不同、发展状态不一，专业的定位及发展目标也不尽相同，因此在培养模式及培养计划等方面均存在较大差异。目前，该专业大体上有三种主要的培养模式：一类是以原锻压、铸造等热加工类专业为基础，在拓宽基础的前提下，为适应国内人才需求的行业特色，采用有专业方向的培养模式；第二类是以原热加工类专业为基础，但取消专业方向，加强基础知识，扩展适应领域，进行宽口径的通才式培养模式；第三类是以原机械类专业为基础，涵盖热加工领域，形成机械工程及自动化类型的专业人才培养模式。不同的培养模式和培养目标对教学内容、教材需求也有较大差异。本书的定位是满足第一类培养模式对设备课程内容的要求，兼顾第二类培养模式的教学需求，因此，没有过多地拓宽内容范围，而是注重介绍生产常见的相关成形设备，更多地从满足工艺需求的角度来讲述设备的工作原理、典型结构与控制系统、性能特点与应用等内容，同时力争能反映近年来成形技术与设备领域的最新进展。

由于全国各兄弟院校的专业方向、教学计划和教学重点等不尽相同，对成形设备课程的内容、重点、学时数等方面的要求也有较大的差别，所以本书编写时只能根据一般的要求，对成形设备课程的内容作了必要的保证，各兄弟院校在使用过程中完全可以根据本校教学上的要求，在内容上作必要的取舍与补充，讲授顺序也可适当调整。鉴于多数院校的学生在学习本课程之前已学习了液压传动课程，故在本书中对液压传动的基本内容不再重复。

本书是在机械工业出版社出版的普通高等教育规划教材《材料成形设备》的基础上充实、调整、修正而成。重点修正了原书的错误和陈旧之处，新增了近年来快速发展起来的一些新型设备和装置。本书由哈尔滨工业大学（威海）王卫卫任主编，南京工程学院朱传祥、湖南工程学院彭庚新任副主编，广东工业大学孙友松和天津理工大学毕大森任主审。编写分工为：第一章、第二章第五节、第三章第三节四、第五章第三节一、第七章第一节三、第七章第三节由王卫卫编写，第二章其余部分由南京工程学院朱传祥编写，第三章其余部分由上海工程技术大学刘淑梅编写，第四章由广东工业大学陈璞编写，第五章其余部分由湖南工程学院彭庚新编写，第六章由福建工程学院范有发编写，第七章第一节其



余部分、第二节由北华航天工业学院文全兴编写，第七章第四、五、六节由南京工程学院查光成编写。

本书在编写过程中得到了有关工厂、学校和科研单位的大力协助及有关人员的大力支持，主审孙友松对书稿进行了全面、认真的审查，并提出了许多宝贵的意见，在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促，水平有限，对书中存在的错误和欠妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

第1版前言

本书是根据由机械工业出版社在上海组织召开的普通高等教育应用型本科材料成形及控制工程专业规划教材建设会议的决定和会议所制订的教材编写大纲编写的。

本书可作为高等工科院校材料成形及控制工程专业的“材料成形设备”课程教材，也可作为高职高专相关专业教材，还可供与本专业有关的生产和技术人员参考。

由于全国各兄弟院校的专业方向、教学计划和教学重点等不尽相同，对“材料成形设备”课程的内容、重点、学时数等方面的要求也有较大的差别，所以本书编写时只能根据一般的要求，对“材料成形设备”课程的内容作了必要的保证，各兄弟院校在使用过程中完全可以根据本校教学上的要求，在内容上作必要的取舍与补充，讲授顺序也可作适当的调整，书中带“*”的内容供选学。鉴于多数院校的学生在学习本课程之前已学习了液压传动课程，故在本书中对液压传动的基本内容不再重复。

全书共分七章，介绍了曲柄压力机、液压机、塑料挤出机、塑料注射成型机、压铸机、螺旋压力机、锻锤、剪板机、板料折弯机、高速压力机及冲模回转头压力机等设备的工作原理、典型结构、控制系统、性能特点、主要技术参数与使用等。

本书由哈尔滨工业大学（威海）王卫卫任主编，南京工程学院朱传祥、湖南工程学院彭庚新任副主编，广东工业大学孙友松和天津理工大学毕大森任主审。全书编写分工如下：前言、第一章、第三章第三节四、第七章第一节三由王卫卫编写，第二章由朱传祥编写，第三章由刘淑梅编写，第四章由陈璞编写，第五章由彭庚新编写，第六章由范有发编写，第七章第一、二、三节由文全兴编写，第七章第四、五、六节由查光成编写。

本书在编写过程中得到了有关工厂、学校和科研单位的大力协助及有关人员的大力支持，主审孙友松对书稿进行了全面、认真的审查，并提出了许多宝贵的意见，在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促，水平有限，对书中存在的错误和欠妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

第一章 绪论 1

- 一、成形生产在现代工业生产中的地位
和作用 1
- 二、成形设备与成形工艺的关系 2
- 三、我国成形设备的发展概况和现状 3
- 四、成形设备的发展趋势概述 6
- 五、学习本课程的目的与要求 7

第二章 曲柄压力机 9

第一节 曲柄压力机的工作原理与 型号分类 9

- 一、曲柄压力机的工作原理 9
- 二、曲柄压力机的组成 10
- 三、曲柄压力机的分类 10
- 四、曲柄压力机型号表示 12

第二节 曲柄滑块机构的运动与受力 特点 13

- 一、曲柄滑块机构的运动分析 13
- 二、曲柄滑块机构受力分析 14

第三节 通用曲柄压力机主要零 部件结构 17

- 一、曲柄滑块机构 17
- 二、机身 23
- 三、离合器与制动器 25
- 四、动力与传动系统 31
- 五、辅助装置 34

第四节 曲柄压力机主要技术参 数与选用 41

- 一、主要技术参数 41
- 二、曲柄压力机的选用 44

第五节 伺服压力机 47

- 一、伺服压力机技术特点 47
- 二、伺服压力机工作原理 48
- 三、伺服压力机成形工艺举例 50
- 四、伺服压力机的不足 53

第六节 专用曲柄压力机 53

- 一、拉深压力机 53
- 二、冷挤压机 58
- 三、热模锻压力机 64

第七节 冲压生产附属设备 68

- 一、自动送料装置 69
- 二、冲压机械手 74
- 三、开卷校平机设备 76
- 四、冲压生产线 76

思考题 81

第三章 液压机 82

第一节 液压机的工作原理、特点及 分类 82

- 一、液压机的工作原理 82
- 二、液压机的特点及分类 85

第二节 液压机的本体结构 86

- 一、典型结构形式概述 87
- 二、机架部件 90
- 三、液压缸部件 94
- 四、附属装置 96

第三节 液压系统 99

- 一、液压系统概述 99
- 二、液压元件简介 100
- 三、典型液压机 Y32—315 液压系统
分析 100
- 四、HD—026 双动拉深液压机液压系统
分析 103



第四节 液压机的主要技术参数及其 选用	105	一、常见的合模装置	164
一、主要技术参数	105	二、顶出装置	175
二、液压机的选用	107	第四节 注射成型机的控制系统	175
思考题	108	一、普通继电器控制注射成型机的液压 系统	175
第四章 塑料挤出机	109	二、普通继电器控制注射成型机的电气 系统	179
第一节 挤出成型工作原理及挤出 机组组成	109	三、PLC 控制注射成型机的液压 系统	184
一、挤出成型生产工艺过程与挤出机组 组成	109	四、PLC 控制的注射成型机电气控制 系统	187
二、挤出机的分类与型号表示	111	五、微机控制注射成型机的液压系统	190
第二节 挤出成型理论简介	112	六、微机控制注射成型机的控制系统	191
一、固体输送理论	112	第五节 注射成型机的技术参数 与使用维护	191
二、熔融理论	114	一、注射成型机主要技术参数	192
三、熔体输送理论	116	二、注射成型机的使用	195
四、挤出机综合工作点	117	三、注射成型机的维护	198
第三节 挤出机结构与参数选用	119	第六节 新型专用注射成型机	198
一、挤压系统	119	一、多模注射成型机	199
二、传动系统	129	二、多色注射成型机	199
三、加热冷却系统	131	三、热固性塑料注射成型机	200
第四节 挤出机辅机	134	四、排气式注射成型机	201
一、概述	134	五、发泡注射成型机	202
二、挤管辅机	135	六、精密塑料注射成型机	203
三、吹塑成型辅机	140	思考题	203
第五节 其他类型挤出机*	142	第六章 压铸机	205
一、排气式挤出机	142	第一节 压铸机的工作原理与 分类	205
二、双螺杆挤出机	143	一、压铸成形特点	205
三、两级式挤出机	144	二、压铸机的分类、型号	205
四、行星齿轮式挤出机	145	三、压铸机的工作原理	206
五、挤出机的发展概况	145	第二节 压铸机的本体结构	211
思考题	147	一、压铸机的结构形式及特点	211
第五章 塑料注射成型机	148	二、压铸机的主要机构示例	214
第一节 塑料注射成型过程	148	第三节 压铸机主要技术参数与 选用	231
一、注射成型机的组成	148	一、压铸机主要技术参数	231
二、注射成型生产工艺过程	148	二、压铸机的选用	234
三、注射成型机的分类	151	第四节 新型压铸工艺装备简介	236
四、注射成型机的型号规格	153	一、半固态压铸成形	236
第二节 注射装置	153	二、真空压铸成形	237
一、常用注射装置	153		
二、注射装置的主要零部件	157		
第三节 合模装置	163		



三、充氧压铸	239	二、多点成形压力机	259
四、精密压铸	239	三、多点成形技术特点	265
思考题	242	第四节 板料折弯机	266
第七章 其他成形设备	243	一、板料折弯机的类型及特点	266
第一节 螺旋压力机	243	二、提高折弯机折弯精度的措施	269
一、螺旋压力机的工作原理、特性、 分类和参数表示	243	三、板料折弯机附属机构	272
二、螺旋压力机的典型结构	244	四、折弯机的发展趋势	274
三、螺旋压力机的力能关系	248	第五节 高速压力机	274
四、螺旋压力机的技术参数及使用	250	一、高速压力机的发展概况	274
第二节 锻锤	251	二、高速压力机的结构组成	275
一、锻锤的工作原理、分类和参数 表示	251	第六节 数控冲模回转头压力机	282
二、锻锤的典型结构	252	一、概述	282
三、锻锤的主要技术参数和使用	256	二、工作原理	283
第三节 多点成形压力机	258	三、主要结构	283
一、多点成形技术原理	258	思考题	293
		参考文献	294

第一章 绪 论

一、成形生产在现代工业生产中的地位和作用

在工业生产中，成形生产（以模具为基本工具使制件获得所需的尺寸和形状）已成为工业生产的重要基础和关键环节，在电子、汽车、电器、仪器、仪表、家电和通信产品中，有 60% ~ 70% 的零部件都要依靠模具成形。这是因为，用模具生产的各种制件具有很多独特的优点：塑性成形时，移动材料单位体积的速度比切削加工快，生产效率高，而且可大量节约原材料；塑性成形不仅能改善材料内部的结构和缺陷，还能充分利用成形过程中形成的纤维组织的方向性，从而大大提高制件的力学性能；一般的冲压件、塑料件或压铸件一经成形即为成品，无需再进行切削加工或只需很少量的切削加工，因此制件重量轻、材料利用率高；一个设计好的塑料件，往往可以代替数个传统的结构件，并可利用其弹性和韧性设计为卡装结构，使产品装配所需的各种紧固件成倍减少，大大降低了金属的消耗量和加工、装配工时；成形生产制件的精度稳定，特别适合于大批量生产，用模具生产的最终产品的价值，往往是模具自身价值的几十倍、上百倍。用模具生产的制件所表现出来的高精度、高复杂程度、高一致性、高生产率和低消耗，是其他加工制造方法所无法比拟的。成形生产在国民经济中占有重要的地位：一方面，在国民经济的五大支柱产业——机械、电子、汽车、石化、建筑中，有相当比例的产品要依靠成形生产来进行制造，都要求成形生产的发展与之对应；另一方面，在高新技术产业中，成形生产既是高新技术产业的一个组成部分，又是高新技术产业化的一个重要领域。同时，成形生产两大主体——模具工业和成形设备工业也是装备工业的一个重要组成部分。因此，成形生产技术水平的高低已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志，直接影响着产品生产的质量、效益和新产品的开发能力，在很大程度上决定了一个企业在市场竞争中的反应速度和能力。

所谓成形，实际上有两种含义：一是成形（Forming），即毛坯（一般指固态金属或非金属）在外界压力的作用下，借助于模具通过材料的塑性变形来获得模具所给予的形状、尺寸和性能的制品；二是成型（Moulding），它是指液态或半固态的原材料（金属或非金属）在外界压力（或自身重力）作用下，通过流动填充模型（或模具）的型腔来获得与型腔的形状和尺寸相一致的制品。由于二者都是借助于外界压力的作用，通过模具来实现生产的，故在本书的一般性叙述中对二者未加严格的区分，而统一使用成形。

由于成形生产所具有的独特优点，使得成形技术在生产中的应用范围在逐步扩大，成形技术的发展也越来越引起世界各国的重视。目前，精密成形技术（Net Shape Forming）和准精密成形技术（Near Net Shape Forming）是成形技术领域研究的重点，包括我国在内的很多国家都投入了大量的人力和物力进行研究，其研究范围和深度正在不断扩大和深入。20 世纪 70 年代提出的自由成形（Free Form Fabrication）的概念，改变了传统的先在



型腔内成形毛坯,再经机械加工获得零件的传统工艺路线,而是通过激光束等高能束逐点扫描产生材料堆积或固化而获得所需要的零件。由于该方法能直接利用 CAD 系统所产生的数据模型快速成形所需的零件,尤其适用于形状复杂、批量不大、交货时间短的产品生产或成形样件的制造,因此,该技术一经问世便取得了飞速的发展。目前,基于自由成形原理的多种技术和方法已进入了实用阶段,如激光液相烧结技术 (Stereolithography)、激光粉末冶金技术 (Selective Laser Sintering)、层压制模技术 (Laminated Object Modeling)、熔化沉积制模技术 (Fused Deposition Modeling)、三维印刷制模技术 (3-D Plotting and Printing Processes) 等。这些技术的发展和运用已引起成形技术的一场变革,并正在改变着传统的机械制造业。

20 世纪 90 年代末提出了成形生产“控形控性”的思想,将成形生产的内容和要求在精密成形技术和准精密成形技术的基础上进一步深化和提高——成形生产不仅要获得所需制件的形状与尺寸,更要求通过成形过程改变材料内部组织结构和应力状态,从而大幅度改善和提高材料性能,使成形生产从单纯的成形制造提升为高性能制造,这已成为国内外成形生产领域研究的重点,其研究范围和深度正在不断深入和扩大。

二、成形设备与成形工艺的关系

作为成形生产的两大主体之一,成形设备是为各类成形工艺服务的,通过它为模具和被加工材料提供运动、能量、外力、控制等来完成成形生产。随着成形生产和成形技术的发展,各类成形设备也得以取得相应的发展。同时,成形设备的发展又为成形生产的发展和进步提供了有力的支持和保障。在各种成形生产中,成形设备都是保证生产正常进行和技术不断进步的重要手段和主要组成部分,更是工业和国民经济发展所必需的基础装备之一。成形设备的装备水平、工作能力、完善程度及其使用潜力的发挥对于提高产品质量、降低生产成本、改善劳动条件、实现新工艺等都具有重要的作用。随着生产的发展和各种新材料的不断涌现,新的成形工艺和成形技术也层出不穷,这就对成形设备提出了更高的要求,促使成形设备不断发展和完善,各种新型成形设备也不断出现,以更好地满足生产和工艺的要求。如在化工、石油、造船、机械等行业中需求量很大的无缝三通、四通管接头,过去一直采用模锻后机加工内孔的工艺进行生产,材料利用率低、工时消耗大、产品成本居高不下,自从液压胀形工艺开发成功以后,很快出现了专用的液压胀形压力机和胀形自动生产线,不仅使材料利用率、生产效率和制件的质量有了大幅度的提高,还使其生产成本大幅度降低,为上述产品在生产中的广泛应用奠定了技术和经济基础。另一方面,一种新设备的出现,往往会带来一系列的工艺变革,甚至产生一种全新的工艺。例如从 20 世纪 50 年代以来,随着高速锤的诞生和发展,在原来锻造工艺的基础上又产生了一种全新的工艺——高速成形。由于高速锤的打击速度快 (可达 $12 \sim 30\text{m/s}$),金属在模腔中的流动速度很快,大大提高了材料的填充性能,对形状复杂、薄壁、高肋的零件和许多高熔点、难变形的金属都能锻造,且锻件精度高 (可达 0.02mm)、表面粗糙度值低 ($Ra12.5\mu\text{m}$ 以下),同时提高了锻件的力学性能和使用性能,这就使许多过去不能或难于进行锻造的零件 (如蜗轮、壳体、叶片等) 或材料 (如高强度钢、耐热钢、钛合金、高温合金以及钼、钨、钽、锆等) 均可进行锻造,大大促进了生产的进步和发展,高速成形至今仍是航空工业中的重要生产手段之一。而随着高性能制造理念的不断深入,不仅要



求对制件材料、成形工艺、所用模具等方面进行严格的选择与确定,更要求成形生产所用设备在性能、参数、主辅机匹配等方面适应“控形控性”的生产要求,从而使成形工艺与成形设备融合成为一个有机的整体。例如,20世纪80年代提出的板料热冲压技术,将冲压件的快速成形与淬火强化整合到一个工步内进行,既利用了高温冲压时板材塑性好、基本无回弹的优势,又通过板材在模内的保压淬火使制件的精度和性能得到同步提升,已在汽车制造领域中广泛应用。而实现这一技术,除采用含硼高强度钢板、水冷冲压模具外,还要求成形设备必须满足热冲压所要求的钢板无氧化加热和快速转移、压机的快速成形和保压能力等,材料、工艺、模具、设备的有机组合已成为构成热冲压技术不可分割的整体。

从系统工程的角度来看,任何一种成形生产都可以看做是一个集成系统,系统内包括被加工原材料、生产模具、所使用的设备、工艺技术条件、车间操作环境等,在此系统中,材料、模具、工艺、设备等因素相互作用、相互影响,最终完成成形过程。具体来说,任何一种成形工艺,都至少需要一种成形设备与之对应,在成形过程中,被加工材料必须具备所要求的加工性能或条件(如粘流性或塑性),模具提供成形零件应有的形状和尺寸,而设备则必须为模具提供安装和操作空间,保证模具运动的精度,提供成形所需的力与能量,成形过程中的工艺参数也主要由设备来提供和保证。因此,成形设备在很大程度上直接影响着甚至决定了成形生产的规模和效率、成形工艺的稳定性、成形件的质量和经济性等。作为一名从事成形生产的技术或管理人员,必须对成形设备有足够的了解和掌握,才能在生产中正确、合理、有效地选购、使用成形设备,精确掌握设备的生产能力,充分发挥设备的运行潜力,保证成形生产能够经济、合理地进行。

由于成形生产所涉及的领域很宽,成形设备的种类也名目繁多,受篇幅所限,在本书中仅就成形生产中最常见到的部分设备,如金属成形设备、塑料成型设备等进行介绍,详细的分类情况请参阅有关国家标准。

三、我国成形设备的发展概况和现状

成形设备作为生产成形制件的传统装备,从其问世到现在已有100多年的历程,已形成类别齐全、结构完整的技术装备体系。相比而言,金属成形设备的问世要早于非金属成形设备,到目前已发展得较为成熟,而非金属成形设备目前仍处于高速发展时期。

在我国,由于历史的原因,与其他工业相类似,成形设备的发展是在新中国成立以后才开始的。1949年以前,我国没有自己独立的工业体系,也根本没有成形设备制造业,甚至连很多门类的成形生产工业都没有,只能进行一些进口小型设备的修配工作,到解放时也只有上海、沈阳等地的几家铁工厂能生产少量的开式压力机和剪板机等小型简易锻压机械产品,其他类成形设备则根本不能生产。1949年以后,我国迅速建立了较为完整的工业体系,经过半个多世纪的发展和努力,我国的成形设备行业从无到有,从小到大,逐步发展成为国民经济建设的重要装备来源。概括地说,我国成形设备工业的发展大体可以分为如下几个阶段:

(1) 从解放初期到20世纪60年代末 由测绘仿制逐步过渡到自行设计制造。首先从测绘和引进技术入手,仿制国外二十世纪三四十年代的成形设备,如蒸汽—空气自由锻锤和模锻锤、小型摩擦压力机和曲柄压力机、小型四柱式液压机、塑料制品液压机等,到



1957~1962年间,我国已开始自行设计和制造各种成形设备,成形设备产品已逐步由测绘仿制发展到改进设计阶段,产品的产量和品种都有了很大的增长,同时也初步建立了一支从事成形设备设计和制造的技术队伍。从20世纪60年代起,我国就开始对成形设备的一些关键零部件及所用材料进行研究,为20世纪60年代后期成形设备的迅速发展奠定了基础。20世纪60年代末期,我国开始大力发展成形设备的新品种,到20世纪70年代末,我国成形设备产品在数量、品种、质量和技术水平等方面都有了长足的发展,这主要表现在以下几个方面:成形设备的拥有量迅速增长,占到全国机床总量的20%以上,产量达到了1949年的150多倍;我国能够自行设计和制造的品种大幅度增加,其中不少填补了我国的空白,部分产品开始向国外出口,如60000kN锻造液压机、8000kN闭式双点压力机、数控冲模回转头压力机、塑料挤出成型机等;制定了各类设备的系列参数标准和重要产品的技术条件与精度标准,使成形设备的设计 and 制造工作初步走上了规范化、专业化的道路;对有关的基础理论、设计方法开始进行较为深入、系统的研究,各种新技术开始在生产和制造中获得应用,并取得了一定的成就。

(2) 20世纪70年代末到20世纪90年代初 改革开放使我国由过去的闭关锁国逐步到打开国门面向世界,在这一期间,由于广泛引进和吸收国外先进技术和新技术新成果的不断出现与应用,使我国成形设备的发展速度大大加快。主要表现为:

1) 广泛引进消化吸收国外的先进技术,并将其移植推广到原有产品的设计和制造中去,促进了产品的更新换代,提高了产品的技术水平,并发展了一批高性能、高水平的产品,加快了产品结构调整的步伐。如塑料注射成型机,通过引进国外设计与制造技术、与国外合作生产、委托国外设计油路和控制部分、采用国外部分机电配套件等措施,使我国的塑料注射成型机产品形成了注射容量为 $15 \sim 8000\text{cm}^3$ 的系列,有些产品的设计和制造水平已达到国外发达国家20世纪80年代的技术水平,典型产品如上海第一塑料厂从意大利特里乌奇公司引进的热固性塑料、橡胶注射机设计技术,除生产了SZG—500/1500、XZ—500/1500热固性塑料橡胶注射机外,还在消化引进技术的基础上,发展了注射量为200g的热固性塑料橡胶注射机新产品。

2) 广泛开展科研工作并将其成果大量应用于成形设备的设计制造中,提高了产品的设计、制造水平,并取得了显著的技术经济效益。如由济南铸造锻压机械研究所承担完成的“压力机CAD系统开发应用”课题成果可用于J21系列及其派生系列开式压力机的设计,不仅提高了产品设计水平,还使设计速度提高5倍以上。应用该系统为扬州锻压机床厂生产的压力机进行有限元分析及优选,在比原结构质量降低11%~12%的情况下,使应力降低13.5%~23%,角刚度提高5.8%~8.6%,工厂每年可节约资金30万~40万元。

3) 微电子技术、数控和计算机数控技术开始获得较为广泛的应用,研制、生产出了一批技术水平高、产品质量好,可满足我国重点行业、重点项目的适用产品。如济南第二机床厂自行研制的机电一体化的J47—1250/2000闭式四点双动拉深压力机,该机采用了多连杆传动系统,使四组杆的运行同步性达到了最佳状态;其电气控制采用了自行开发的带远程系统的全功能PC控制技术,具有吨位、轴温、计数、故障诊断等功能。该机的研制成功为我国轿车工业提供了急需的关键设备,标志着我国机械压力机的设计、制造达到了国际20世纪80年代末同类产品的技术水平,填补了国内的空白。



4) 为满足各行各业的特殊要求,研制、生产了近百种专用、专门化成形设备,专用设备的品种、数量大大增加。

(3) 20 世纪 90 年代中期以后 随着市场需求的加大、国家经济结构的调整 and 与国际接轨步伐的加快,成形设备行业步入了新一轮的高速增长阶段,自主开发能力进一步增强,专业化生产发展迅速,并取得了快速的发展。主要表现在:

1) 大型关键成套设备的设计制造能力有了明显提高,开发、生产了一批国内急需、替代进口的重点设备。如由济南第二机床厂为通用五菱青岛汽车分公司生产的单臂送料全自动快速冲压生产线,在关键核心技术上实现了众多突破,集成了国际先进的快速送料、大吨位长行程八连杆驱动、压力机多点卸荷、全自动换模等新技术,每分钟可生产 12 个轿车大型覆盖件,全线全自动换模时间不到 5min。随后为上海通用烟台东岳汽车开发研制的 42000kN 全自动双臂快速送料冲压线,其技术水平再次攀升,冲压次数由 12 件/min 提高到 15 件/min,快速送料系统实现了由单臂到双臂,运行模式由断续运行到连续运行,同时采用了打破国外垄断的数控液压拉伸垫技术,是目前国内汽车行业应用功能最全、性能和标准最高的冲压生产线。这一项目的研制成功,打破了国外企业在国内高端汽车市场的垄断地位,对国内汽车工业发展产生了重要影响。

2) 产品的结构构成更为合理,品种规格有所增加,产品的可靠性和制造水平得到进一步提高。例如,在塑料机械中,参照发达国家生产装备的实际,注射机和挤出机比较合理的数量比例应为 (4~6):1,而我国 1985 年接近于 1:1,1990 年不及 2:1,2000 年已近 4:1。又如在金属锻造行业中,传统的蒸汽—空气锻锤因能量利用率低、工作环境差等缺陷,近年来已基本趋于淘汰,取而代之的是对原有的蒸汽—空气锻锤进行电液驱动改造和新型电液驱动锻锤,且新建锻造生产线时,热模锻压力机、螺旋压力机等各类锻造设备数量增加迅速,更好地适应了不同产品的锻造生产技术要求。

3) 产品的数控化、柔性化程度和比例得到显著提高。在塑料注射机中,计算机控制的自动注射机已占全部注射机产量的 50% 以上,不仅要对设备的动作进行控制,而且整个注射过程中的熔体温度、注射压力、注射速度、保压时间、冷却过程及液压回路的各种参数均已在计算机的控制之下。在锻压机械中,CNC 回转头压力机、板材加工 FMS、板材折弯柔性单元、数控四边折边机、伺服压力机等数控加工设备发展迅速。

总之,经过半个多世纪的发展,我国的成形设备制造业已成为类别较为齐全完整的工业装备体系,持续稳定地发展成为国民经济的重要组成部分。在数十年的发展过程中,涌现出了一批具有相当实力的生产制造企业和科研院所,已具备较强的科研、开发、生产和销售能力,形成了品种规格系列化、门类相对齐全的产品线,所生产的产品不仅能满足国内各行业的大部分需求,许多产品已出口到世界各国。以汽车覆盖件冲压设备为例,在产品门类上,实现了从单台主机到冲压线、多工位、级进模、落料线等整线设备的延伸;在技术发展上,实现了从消化吸收引进到完全自主创新、与国际最新技术发展保持同步的跨越;在产品研制上,实现了从人工上下料、机械手上下料、机器人送料冲压线,到全自动单臂、双臂快速线等成套集成制造的突破;在服务水平上,实现了从单台主机“量体裁衣”到成线“交钥匙”服务,再到项目“总承包”的提升;在市场拓展上,实现了从装备自主品牌汽车企业,服务日、美、德系合资汽车公司,到装备世界冲压配套商、国际汽车巨头整车工厂的飞跃。



但总体来看,我国的成形设备行业仍然是工业体系中的薄弱环节,与世界上工业发达国家相比还存在明显的差距,尚不能完全满足国民经济和工业发展的需要,主要表现为:生产技术和工艺落后,造成设备的性能和可靠性不高;产品品种(尤其是专用性强、技术含量高的产品)不能满足国内迅速发展的成形生产的需要;成套连线技术装置进展缓慢;数控系统品种少、产量低、性能不稳定;具有国际竞争力的品牌少;缺少具有自主知识产权的高档产品。因此,目前除应当充分发挥现有各种成形设备的生产能力、提高设备利用率、搞好辅助设备的配套工作、加强设备的维护和技术改造外,更应当大力加强自主开发的能力,在核心竞争力上下工夫,上档次,上水平,提高可靠性和成套性,逐步形成传统技术、新兴技术、高新技术并存的多层次技术结构和普通型、精密型、高精高效型多档次并存的产品结构,逐步发展成为先进、合理的行业和产业体系,更好地适应国民经济发展的需要。

四、成形设备的发展趋势概述

经过百余年的发展,常规成形设备的品种已基本发展成为规格齐全、结构成熟、辅机完整的系列产品。近年来,为满足汽车、国防工业、电子电信、电器等行业的需求,成形设备又取得了惊人的发展,其面貌正在发生根本的变化,总的来说,正朝着精密、高质、高效、节能、低噪声及可持续发展的方向迈进。具体来说,大体有以下几点:

1) 高自动化、成套成线化。这是现代化生产的必然要求,也是控制技术、物流技术、计算机技术等各个方面综合水平提高的体现。以汽车覆盖件冲压设备为例,有两大发展趋势:一是侧重于柔性生产的高性能压力机生产线配以自动化上下料机械手;二是采用大型多工位压力机。两种工艺类型均体现了锻压机床向高自动化、成套成线化发展的趋势。例如,大型多工位压力机一般由拆垛机、大型压力机、三坐标工件传送系统和码垛工位等组成,其主要特点是生产效率高,制件质量高,满足了汽车工业大批量生产对冲压设备的需求。其生产速度可达 $16 \sim 25$ 件/min,是手工送料流水线的 $4 \sim 5$ 倍,是单机连线自动化生产线的 $2 \sim 3$ 倍。多工位压力机为全自动化、智能化,整个系统只需 $2 \sim 3$ 人监控,全自动化换模,整个换模时间小于 5min 。

2) 节能、精密、高效。这不仅是设备用户的要求,同时也是设备制造商不变的追求,只不过在机床技术日新月异的今天,节能、精密、高效被赋予了更加丰富的内涵。以海天伺服电动机驱动液压系统注射机为例,这种机型利用同步伺服电动机的高反应性能、高重复精度及节省能耗的优点,结合精密高效的齿轮泵,加上具有反馈的闭环控制系统,使整机的注射重复精度可达 0.3% ,从 0 到 99% 的压力及流量爬升速度最快可达 50m/s ,节能效果与一般定量泵相比,最高可达 80% ,当环境温度为 40°C 以下时,可以不用冷却水。又例如,上海冲剪机床厂生产的 ME50/2550 型机械电子伺服数控板料折弯机,其折弯滑块由 2 台伺服电动机同步驱动,使滑块平衡快速运行的同时,滑块挠度得到有效补偿。该机公称压力为 500kN ,工作台长度为 2550mm ,滑块行程为 115mm ,空程速度为 70mm/s ,折弯速度为 $10 \sim 20\text{mm/s}$,滑块定位精度和重复定位精度分别为 0.035mm 和 0.01mm ,后挡料定位精度和重复定位精度分别为 0.07mm 和 0.01mm 。

3) 高速度、多功能也是成形设备追求的目标之一。在高速度方面,高速压力机可谓高速度的典型代表。目前,已经开发出速度为 4000 次/min 且具有实用性质的超高速压力



机,如日本电产京利的 MACH-100 型超高速精密压力机,在 100kN、8mm 冲程条件下,速度即可以达到 4000 次/min。高速压力机的行程次数基本都提高到 1000 次/min 以上,为了满足高速压力机对速度和精密性的要求,高速精密压力机都在加大转矩、降低噪声、提高刚性、减少发热、保持滑块运行平稳等方面采取措施,以保证压力机在生产线上高速运行,确保制件合格;注射机的启闭模速度,已由过去的 20~30m/min 提高到 40~50m/min,最高达到 70m/min,注射速度从过去的 100mm/s 提高到现在的 300m/s,有的达到 750m/s;但更多的注意力还是放在通过提高设备效率、增加功能来提高生产速度,由于数控技术的广泛应用,使产品向高效率的方向发展,如在回转头压力机上配备激光切割系统、自动上下料装置、成品分选装置等设施,并由计算机集中控制,从而大大提高了生产效率和机动时间,并能实现夜班无人看管。对塑料注射机而言,高效率主要体现在工作节拍快、制品周期短,普遍比过去提高 24% 以上,高效注射机的开模和预塑一般都能同步完成,开模中同时完成抽芯和顶出过程。

4) 在设备规格上,微型与大型并重。为了满足汽车、电子、信息、生物等领域的需求,成形设备的规格正在向两极扩展。如目前虽然已有质量为 10^{-4} g 的注射制品成形加工技术装备,但日本已提出开发质量为 10^{-5} g 的注射制品成形加工技术装备。用于成形替代人体血管的直径小于 0.5mm 的塑料管生产设备,已在一些国家的研发当中。在金属成形中,微冲压、微锻造、微挤压等方面的研究发展迅速,也对相关的微成形设备提出了迫切需求。同时,工业上对各种大型成形制品的需求也很明显,如在飞机、舰船、电站设备制造中,为了整体、精密、优质锻件的生产,就需要发展吨位在 80000~100000kN 的锻造压力机;小型快艇、运动艇、洲际长途输液输气的超大直径塑料管以及 10000L 甚至更大容积的塑料储装容器的生产需求已经产生。

随着可持续发展、绿色生产的呼声越来越高,在成形设备中注重安全生产与环境保护、强调可持续发展的倾向也表现得更加明显。节能、降噪、减少振动、提高安全性等,都在设备的设计中有所体现,如日本 AIDA 公司号称第三代压力机的 NS1-1500D 伺服压力机,该机使用了独自开发制造的伺服电动机,其主要参数为:公称压力为 1500kN,能力发生位置 6.0mm,行程长度 200mm,无负荷连续行程次数 60 次/min,闭模高度 400mm,滑块调节量 100mm,该压力机的最大特点之一是在无声模式下运转,既不降低生产率,又实现了低噪声、低振动。这种无声或低噪声模式与通用机械压力机相比,可大幅减少噪声。同时,由于模具振动大大减小,大幅度地提高了模具的使用寿命。

五、学习本课程的目的与要求

本课程是在学完机械原理、机械零件、液压传动、金属学与热处理、高分子材料学、材料成形原理等技术基础课程的基础上,与塑性加工工艺学、塑料成型工艺学、压铸工艺学等工艺与模具设计课程相互配合、衔接而进行教学的一门专业课程,是本专业的主要必修课之一。

本课程的任务是讲授成形生产中常用的各种成形设备的工作原理与特点、典型结构、设备性能、主要技术参数及其选用原则。此外对生产中常用的一些非主流设备也进行了介绍。通过本课程的学习,要求学生能熟悉常用成形设备的工作原理与特点、设备结构与使用性能,熟练掌握各种设备的适用工艺与范围,并能够根据不同的工艺要求正确选择设备



的种类与参数，正确、合理、有效地使用与维护设备，正确处理好工艺、模具与设备之间的协调关系，并对其他一些专用成形设备也能有所了解。

成形设备是完成各种成形生产的必要硬件条件，鉴于本教材的使用对象和教学目的，在教材中没有把重点放在设备的结构设计和理论计算上，而是着眼于通过让学生学习设备的工作原理和过程来掌握设备的主要结构与性能、工艺适应性与技术参数，从而能根据成形生产的要求、模具结构等因素，经济、有效地使用设备，合理地选择工艺，正确地设计模具，保证成形生产能够经济、合理地进行，提高学生在成形工艺和模具方面的综合设计水平，提高学生解决实际问题的能力。因此，在本书的编写中，是以设备的应用为主线，强调理解设备的功能与实现方法，强调设备与工艺和模具的结合。

受篇幅所限，本书只对金属和塑料成型设备中的部分设备进行了介绍，对其他成形设备有兴趣的读者可参阅有关著作和参考文献。