

普通高等教育“十二五”规划教材

材料成形设备

周志明 直妍 罗静 主编

黄伟九 主审

CAILIAO CHENGXING SHEBEI



化学工业出版社



普通高等教育“十二五”规划教材

材料成形设备

周志明 直妍 罗静 主编
黄伟九 主审



化学工业出版社

·北京·

本书共分九章，第一章概述了材料成形设备的地位、发展概况及发展趋势，第二~九章分别系统地介绍了曲柄压力机、其他类型压力机（挤压机、双动拉深压力机、热模锻压力机、精冲压力机、高速压力机等）、螺旋压力机、液压机、锻锤、塑料挤出机、注射机和压铸机等材料成形设备的工作原理、典型结构、控制系统、性能特点、主要技术参数与使用等。本书内容深入浅出，图文并茂，为便于教学，并配套电子课件。

本书可作为高等工科院校机械制造及其自动化专业、材料成型及控制工程专业、模具设计专业的“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。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料成形设备/周志明, 直妍, 罗静主编. 北京: 化学工业出版社, 2015.12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-24280-8

I. ①材… II. ①周…②直…③罗 III. ①工程材料-成型-设备-高等学校-教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 128699 号

责任编辑: 韩庆利

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 宋 玮

封面设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 402 千字 2016 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据高等院校材料成型及控制工程专业、机械制造及其自动化专业所要求的教学大纲编写的。本书可作为高等工科院校机械制造及其自动化专业、材料成型及控制工程专业、模具设计专业的“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基础、专业方向、专业定位、教学计划和教学重点等不尽相同，因此在培养模式及培养计划等方面均存在较大差异。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。

全书共分九章，第一章概述了材料成形设备的地位、发展概况及发展趋势，第二~九章分别系统地介绍了曲柄压力机、其他类型压力机（挤压机、双动拉深压力机、热模锻压力机、精冲压力机、高速压力机等）、螺旋压力机、液压机、锻锤、塑料挤出机、注射机和压铸机等材料成形设备的工作原理、典型结构、控制系统、性能特点、主要技术参数与使用等。

本书由重庆理工大学的周志明、直妍、罗静主编，全书由周志明进行统稿，由黄伟九主审。周志明编写第一章并撰写了前言，第二、三、四章由直妍编写，第五、六章由罗静编写，第七、八章由直妍与罗静编写，第九章由直妍与周志明编写。涂坚、柴林江与黄灿参与了部分编写与校稿。

本书在编写过程中得到重庆市教育教学改革研究项目、重庆市研究生教育教学改革研究项目、重庆理工大学教育教学改革项目和重庆理工大学规划教材基金等资助，在此谨致谢意。

本书配有电子课件，可赠送给用本书作为主教材的院校和老师，如果有需要，可登陆 www.cipedu.com.cn 下载。

由于时间仓促，水平有限，对书中存在的疏漏和欠妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

第一章 绪论	1
一、材料成形加工在现代工业生产中的地位和作用	1
二、材料成形设备在材料成形加工中的作用	2
三、我国成形设备的发展概况和现状	3
四、材料成形设备的发展趋势	5
五、学习本课程的目的与要求	7
第二章 曲柄压力机	8
第一节 概述	8
一、曲柄压力机的工作原理及结构组成	8
二、曲柄压力机的分类、型号表示	10
三、曲柄压力机的主要技术参数	13
第二节 曲柄滑块机构的运动学及受力分析	14
一、曲柄滑块机构运动学分析	14
二、曲柄滑块机构静力学分析	16
三、滑块许用负荷图	18
第三节 通用曲柄压力机的主要零部件	20
一、曲轴、连杆、滑块	20
二、传动系统	28
三、主要传动零件的强度校核	30
四、离合器与制动器	33
五、电动机与飞轮	40
第四节 通用曲柄压力机的辅助装置	45
一、过载保护装置	45
二、拉深垫	47
三、顶料装置	50
四、滑块平衡装置	51
五、润滑系统	51
六、气路系统	52
第五节 通用曲柄压力机的选择和使用	53
一、曲柄压力机的选择	53
二、压力机的使用和维护	55
习题	57
第三章 专用压力机	58
一、冷挤压机	58
二、双动拉深压力机	66
三、热模锻压力机	70
四、精冲压力机	75
五、高速压力机	79

习题	83
第四章 螺旋压力机	84
一、螺旋压力机的工作原理与特性	84
二、螺旋压力机的优缺点	84
三、螺旋压力机的主要参数	85
四、螺旋压力机的型号及分类	88
五、螺旋压力机的典型结构	90
六、螺旋压力机的力-能关系	95
七、螺旋压力机的使用	98
习题	98
第五章 液压机	99
第一节 液压机的工作原理、特点及分类	99
一、液压机的工作原理及组成	99
二、液压机的工作循环	100
三、液压机的特点及分类	101
第二节 液压机的本体结构	104
一、机身	104
二、液压缸	109
三、附属装置	110
第三节 液压机的液压系统	113
一、一般通用液压机的液压系统	114
二、双动拉深液压机的液压系统	116
第四节 液压机的主要技术参数及其选用	119
第五节 其他类型的液压机	123
一、角式液压机	124
二、铸压液压机	124
三、层压机	124
四、挤压液压机	125
五、锻造液压机	127
六、模锻液压机	127
习题	131
第六章 锻锤	132
第一节 概述	132
一、锻锤的工作原理、特点	132
二、锻锤的分类、型号	133
第二节 锻锤的打击特性	133
一、锻锤的打击能量、打击过程和打击效率	133
二、锻锤的打击力	135
第三节 蒸汽-空气锤	136
一、蒸汽-空气自由锻锤	136
二、蒸汽-空气模锻锤	137
三、蒸汽-空气对击锤	139
第四节 空气锤	142

第五节 液压模锻锤	143
习题	145
第七章 塑料挤出机	146
第一节 概述	146
一、挤出成型过程及挤出设备组成	146
二、单螺杆挤出机的主要技术参数及型号表示	148
三、螺杆的主要参数	149
第二节 单螺杆挤出机	149
一、挤压系统	149
二、加热和冷却系统	157
三、传动系统	159
第三节 挤出机辅机	160
一、挤管辅机	161
二、挤出吹塑中空制品辅机	164
第四节 其他类型挤出机	166
一、排气式挤出机	166
二、双螺杆挤出机	166
三、两级式挤出机	167
四、行星齿轮式挤出机	168
五、挤出机的发展情况	168
习题	169
第八章 塑料注射成型机	170
第一节 注射机的结构组成及工作过程	170
一、注射机的结构组成	170
二、注射机的工作过程	171
第二节 注射机的分类及其主要技术参数	172
一、注射机的分类	172
二、注射机的主要技术参数及型号	174
第三节 注射装置	180
一、注射装置的组成和动作过程	180
二、塑化部件	183
三、传动装置	191
第四节 合模装置	193
一、液压合模装置	194
二、液压-曲肘合模装置	199
三、模板距离调节机构	202
四、顶出装置	203
第五节 注射机的液压传动系统	203
一、XS-ZY-125 注射机的液压传动系统特点	205
二、动作过程	205
第六节 注射机的选用	206
一、注射机的选用原则与方法	206
二、注射机形式的选择	207

三、注射螺杆的选择	207
四、主要技术参数选择	208
第七节 专用注射机	209
一、热固性塑料注射机	209
二、排气式注射机	210
三、发泡注射机	211
四、双色（或多色）注射机	213
五、注射吹塑机	214
习题	215
第九章 压铸机	217
第一节 压铸机的工作原理与分类	217
一、压铸机的特点	217
二、压铸机的分类、型号	218
三、压铸机的工作原理	220
第二节 压铸机的主要机构	223
一、压射机构	223
二、合模装置	225
第三节 压铸机的主要技术参数与选用	227
一、压铸机的主要技术参数	227
二、压铸机的选用	227
第四节 新型压铸工艺装备简介	234
一、半固态压铸成形	234
二、真空压铸成形	235
三、充氧压铸	237
四、精速密压铸	237
习题	238
参考文献	239

第一章 绪 论

一、材料成形加工在现代工业生产中的地位和作用

装备制造业的整体能力和水平决定着国家的经济实力、国防实力、综合国力和在全球经济形势下的竞争与合作能力，决定着国家实现现代化和民族复兴的进程。装备制造业承担着为国民经济各行业提供装备的重任，带动性强，涉及面广。装备制造业的技术水平不仅决定了相关产业的质量、效益和竞争力的高低，而且是传统产业借以实现产业升级的基础和根本手段。没有强大的装备制造业，就不可能实现生产力的跨越发展；就不会有现代化和国家的富强，经济的繁荣；国防和军事装备现代化，国家军事和政治的安全也就无从谈起。

知识经济的出现和信息技术的发展，无不以制造业作为物质载体。目前发达国家的装备制造业仍占重要地位，如美国、德国和日本的装备制造业是世界上最发达和最先进的，在国际市场上的竞争力也是最强的，这三个国家始终把装备制造业作为支撑产业和立国强国之本，从未受到削弱。由此看来，高度发达的装备制造业和先进制造技术已成为衡量一个国家国际竞争力的重要标志，是在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

材料成形加工（以模具为基本工具使制件获得所需的尺寸和形状）具有生产率高，材料利用率高和改善了制件的内部组织及力学性能等显著特点，因此在装备制造业中占有举足轻重的地位。例如塑性成形时，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。由于材料成形加工所具有的独特优点，使得材料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。材料成形技术生产的零件数量在各行各业中所占的比例很大，如：在航空工业中占85%以上；汽车工业中占80%以上；电器、仪表工业中占90%以上；农机、拖拉机工业中占70%以上。

材料成形加工主要有两种：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。

因此，材料成形加工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。随着精密成形、少无切削技术的发展，降低生产成本、减少产品重量、提高产品性能和质量要求的不断提高，成形生产在工业、国防、航空航天以及其他各种

装备制造业中的作用会越来越大。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。各种成形技术如粉末注射成形 (Powder Injection Molding, PIM) 和快速成形 (Rapid Prototyping, RP) 等技术的发明, 为材料加工成形注入了全新的概念。目前, 基于自由成形 (Free Form Fabrication) 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 (Stereo Lithography Apparatus, SLA)、选择性激光烧结 (Selective Laser Sintering, SLS)、分层压制模技术 (Laminated Object Modeling, LOM)、融化沉积制模技术 (Fused Deposition Modeling, FDM)、3D 打印技术 (3-D Printing Processes) 等。这些技术的发展和應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。

二、材料成形设备在材料成形加工中的作用

材料成形设备是指用以实现材料成形的装置, 它随着材料成形技术的发展而发展, 又为材料成形技术的发展和进步提供了有利的支撑和保障。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。

材料成形设备不仅影响着成形加工的水平、数量和质量, 而且关系到我国装备制造业的能力和水平。材料成形设备的技术水平、生产能力和自动化程度直接影响着我国工业、农业、国防、航空航天等行业的发展和技術进步, 影响着我国现代化进程。随着计算机技术、自动控制技术、网络通信技术和新材料技术的发展, 研制开发新型材料成形设备, 提高材料成形设备技术性能、产品质量、生产能力和自动化程度, 对于加快我国装备制造业的发展, 促进工业、农业、国防和航空航天等行业的技术进步和现代化进程, 具有重要意义。实现材料成形设备高度的自动化在经济方面和社会方面也将获得很大的效益, 这些作用和效益主要表现在如下几个方面。

(1) 大大提高了生产率, 降低了工人的劳动强度。以现代压铸机为例, 每小时可压铸 60~180 次, 最高可达 500 次, 可实现自动化、半自动化生产, 故在生产率大为提高的同时, 工人的劳动强度大大降低。除自动化的单机生产外, 计算机控制的全自动生产加工流水线、装备线等, 能自动完成从原材料的输送与准备、多工序的成形加工、零件处理直至产品库存等众多工部, 同时完成产品质量的在线检测与控制, 生产现场的工人少, 操作人员只需在控制室内监视生产过程。

(2) 提高了产品质量与精度, 降低了原材料消耗。机械化、自动化生产可避免人力生产中的人为因素影响 (如疲劳、情绪等), 保障产品的质量与精度、大大降低原材料的消耗。例如精密模锻成形的零件的尺寸精度和表面质量要大大优于自由锻成形的零件, 前者通常的尺寸精度为 IT7~IT8, 表面粗糙度为 $Ra = 3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$, 而后的尺寸精度通常为 IT11~IT12, 表面粗糙度为 $Ra = 12.5 \mu\text{m}$; 在原材料的利用率方面, 精密模锻成形工艺也要远远高于自由锻成形工艺。

(3) 缩短了产品设计至实际投产时间。以往新产品研制的周期长, 费用高, 修改困难。快速成形 (RP) 技术及装备的出现, 使得新产品的设计、(原型) 评价、修改、制造等过程形成了一个整体的闭环系统。大大缩短了新产品的研制时间和开发费用。RP 技术可以在较短的时间内 (数小时或数天) 将设计图纸或 CAD 模型制成即实体零件原型, 设计人员可根据零件原型对设计方案进行评定、分析、模拟试验、生产可行性评估, 并能迅速取得用户对设计方案的反馈信息, 通过 CAD 对设计方案作修改和再验证。用 RP 装备制作的零件原型还可直接用于产品装配试验或作某些特殊的功能试验。新产品的快速研制与定型, 也大大缩

短了产品大规模生产的时间。

(4) 减少制品的库存。实现生产管理的装备与自动化,可通过各个管理子系统及时、准确地处理大量数据,对器件、设备、人力、技术资料进行组织、协调,保证在规定的时间内、人力和消耗限额内完成生产任务,生产的制品也可及时地输出,因此可大大减少生产制品的库存量。

(5) 改善操作环境,实现安全和清洁生产。随着环境保护和安全生产的意识不断加强,环保和清洁生产工艺与装备大量采用。除尘设备、降噪设备的使用,使得工人的操作环境及劳动条件大为改善;生产废料(废渣、废气、废水等)再生回用(或无害处理),大大减少了生产资源浪费和对环境的污染,符合绿色可持续发展的时代要求。

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,如锻压设备和压铸等金属成形设备、塑料成型设备等介绍,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

金属材料锻造成形的历史可追溯到 2000 多年以前,然而直到第一次工业革命,手工锻造才被机器锻造所取代。伴随着蒸汽机的发明和蒸汽作为动力的应用,19 世纪出现了工业汽锤,有关热力学理论和蒸汽锤的设计理论也逐渐完善。1650 年法国人帕斯卡(Blaise Pascal)提出了封闭静止流体中压力传递的帕斯卡原理,1795 年英国人约瑟·步拉默(Joseph Bramah)根据帕斯卡原理发明了世界上第一台水压机。1870 年,应用液压传动技术的液压机、挤压机、剪切机和铆接机等锻压设备已得到了普遍应用。电气技术的发展和电动机驱动的应用,促进了机械压力机的发展;以矿物油作为工作介质的液压元件的出现和液压技术的发展,促进了液压机和液气驱动锻锤的发展。特别是 20 世纪 50 年代以后,随着计算机技术、控制技术、液压技术、加工制造技术和材料科学的发展,材料成形设备得到了快速发展,设备能力进步提高,产品种类和应用范围进一步扩大,设备性能进一步完善,控制手段更趋先进,在装备制造业中发挥了和正在发挥着越来越大的作用。

我国材料成形设备的设计制造在 1949 年以前几乎是空白,新中国成立以后,通过引进技术、仿制和自行研制等方式,我国材料成形设备的设计制造从无到有,从小到大,建立了较完整的设计、研制和生产体系,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) 测绘仿制逐步过渡到自行设计制造阶段。从新中国成立初期到 20 世纪 60 年代末,我国首先从测绘和引进技术入手,仿制国外 20 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,同时也初步建立起一支从事成形设备设计和制造的技术队伍。20 世纪 60 年代初,以万吨水压机为代表的各种金属成形设备的研制成功,标志着我国装备制造业有了自己的脊梁,为我国工业、农业、国防等行业的发展提供了强有力的支撑。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) 引进、吸收与合作生产阶段。进入 20 世纪 80 年代，我国实行改革开放政策，材料成形设备制造行业大力推进技术进步和科技创新，采取自主开发，引进国际先进技术和合作生产等多种方式，大大提高了设计开发能力和制造水平。首先，通过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。如广东东莞东华机械公司生产了标称注射量达 74000cm^3 的注射机，这是当时我国生产的最大型号的注射机，该厂生产的标称注射量为 19520cm^3 的 TTI-2500 注射机达到了 20 世纪 90 年代国际先进水平。锻压机械方面，济南第二机床厂引进吸收了美国威尔森公司的机械压力机设计制造技术，黄石锻压机床厂消化吸收了比利时 LVD 公司的液压剪板机和液压折弯机产品的设计技术等。其次，通过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。如华中科技大学与黄石锻压机床厂于 1991 年研制成功的国家“七五”重点攻关项目——RD-W67 K-135/300 型板材柔性加工单元，这是一种机电一体化的高科技产品，广泛用于机械、电子、轻纺、航空、交通、船舶等行业。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。北京化工大学与湖南华云机械厂研制成功的 SJ35-20 D 双螺杆挤出机，适用于多种热塑性塑料的挤出，特别适合于热敏性聚氯乙烯粉状物料的直接挤出成型，主要技术指标达到了国外同类产品 20 世纪 80 年代的水平。另外，由于微电子技术、数控和计算机数控技术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主研发机电一体化的 J47-1250/2000 闭式四点双动拉深压力机，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。此外，在制造生产通用设备的同时，注重各种专用设备的研制，如金刚石成形液压机，铜材、铝材挤压机等。在开发生产金属成形设备的同时，大力发展各种非金属材料的成形加工设备。

(3) 数控化、柔性化和专业化的自主创新高速发展阶段。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。大型关键成套设备的设计制造能力有了明显提高，如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。此外，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。例如在金属锻造行业中，进行电液驱动改造和新型电液驱动锻锤替代传统的蒸汽-空气锻锤，更好地适应了不同产品的锻造生产技术要求。最后，产品的数控化、柔性化程度和比例得到显著提高。如

在锻压机械中，CNC 回转头压力机、板材柔性制造系统加工 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。

目前，我国制造的材料成形设备，不仅保证了良好的性能、质量和可靠性，在成套制造、生产线、数控化和自动化等方面也有了长足的发展，已经能开发、设计、制造大型精密高效的成套设备、自动化生产线、柔性制造单元（FMC）等具有高新技术、高附加值的材料成形设备，不仅为国民经济各部门提供了基础装备、关键设备和成套装置，还扩大了出口创汇。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，以服务日、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。尽管如此，我国的材料成形设备仍然是工业体系中的薄弱环节，与工业发达国家相比，我国材料成形设备的技术和水平还有一定的差距。如品种和规格不全，特别是大、高、精、尖的锻压设备有些还依赖进口；主机可靠性和自动化程度还有待于进一步提高，在国际市场上还缺乏竞争力；设备种类的比例不合理，如模锻设备比例偏低；成套连线技术装置进展缓慢；先进的工艺和设备所占比例小，如加热设备、下料设备和成形设备在能耗、精度、材料利用率、生产率和环保方面有待提高和改进；技术创新能力有待进一步增强。为了适应科学技术发展的需要，满足国内装备制造业的需求，扩大出口创汇，促进经济发展，应该加快我国装备制造业的发展，改造传统材料成形设备，加快科技进步和技术创新，提高我国材料成形设备的技术水平和自动化程度。

四、材料成形设备的发展趋势

材料成形技术是制造技术的重要组成部分，材料成形设备是实现先进成形技术和保证材料成形质量的重要基础。目前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，由于受世界性产业结构、产品结构的调整，材料科学进步和社会消费观念变化诸因素的影响，以及受以微电子技术为中心的检测、控制技术成就的促进，材料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。为满足汽车、国防工业、电子电信、电器等行业的需求，材料成形设备正朝着精密、高质、高效、节能、低噪声及可持续发展的方向迈进，其发展趋势大体有以下几个方面。

(1) 数字化、网络化、智能化、柔性化。随着计算机和现代控制技术的发展，材料成形设备的数字化和智能化趋势已日益呈现，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。智能制造——制造业数字化、网络化、智能化是新一轮工业革命的核心技术，是德国工业 4.0 和“中国制造 2025”战略的核心。制造业数字化、网络化、智能化、柔性化是工业化和信息化深度融合的必然结果，已成为各国占领制造技术制高点的重点领域。智能制造应该作为制造业创新驱动、转型升级的制高点、突破口和主攻方向。柔性制造系统（FMS）是一种微电子工程学和机械工程相结合的系统，是以多品种、小批量生产为目的，由数控加工机械、机器人、自动更换工具系统及无人送料小车和自动料库组成，并由中央计算机进行集中管理和控制的一种灵活易变的制造系统。目前世界各国都十分重视 FMS 技术的研究，并已取得了显著的成果，在板料加工领域、柔性制造系统正日趋完善，已经向着计算机集成制造系统（CIMS）或“工厂自动化”（FA）的方向迈进。工业机器人是典型的数字化、网络化、智能化制造装备，是新工业革命的重要内容，是“制造业皇冠顶端的明珠”。“机器人革命”将创造数万亿美元的市场。机器

人的研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。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16~25件/min,是手工送料流水线的4~5倍,是单机连线自动化生产线的2~3倍。多工位压力机为全自动化、智能化,整个系统只需2~3人监控,全自动化换模,整个换模时间小于5min。

这是自动化技术、数控技术和机器人技术等多种技术领域综合发展的成果,也是现在产品向多品种小批量方向发展的必然产物。

(2) 高精度、高质量。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。近年来,随着对成形产品生产要求的不断提高,精确成形技术发展迅速。例如在汽车制造行业中,普遍推行“2mm工程”[即采用车身制造综合误差指数CII(Continuous Improvement Indicator)来控制车身制造重量],这就需要材料成形中的冲模精度、冲压件、检夹精度、焊夹精度和操作等综合因素来保证,并要求严格控制成形工业设备的加工和检测精度。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10~20mm/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) 高速化与高效化。材料成形设备的高速和高效关系到成形加工产品的生产成本和生产周期,并进一步关系到生产过程的资源利用乃至影响到成形设备的生命力。高速压力机是提高设备的行程次数和工作速度的典型代表。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。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。压铸机的压射速度已由过去的1~2m/s提高到5m/s,有的已达到8~9m/s。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。

(4) 微型化与大型化并重。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。近年来在世界制造业中,特别是小汽车创造业中,正力求使汽车向自重轻、能耗低的方向发展,因此,轻金属及塑料零件的应用比例越来越高,其尺寸和质量在逐步增加,冲压件也越来越整体化,这都使得所用成形设备逐步走向大型化,如压铸机一次浇注量已达76kg(Al),其压射力达20000kN;塑料注射机的注射量已达 1.7×10^5 g,合模力为150MN;对精冲液压机,14000kN级目前已生产了近20台,25000kN级的世界最大精冲液压机已在美国安装使用;美国航天工业协会正在对200万千牛级锻造液压机进行技术和经济性分析,拟用其来制造大多数飞机的整体零件,一旦该机制成并投入使用,将使世界上现有的数十万千牛级的液压机相形见绌。

(5) 节能、低噪、环保。随着可持续发展、绿色生产的呼声越来越高,材料成形设备降噪、环保也是社会可持续发展的需要。如海天伺服电动机驱动液压系统注射机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℃以下时,可以不用冷却水。国际标准化组织(ISO)推荐的噪声标准,要求连续工作8h的工作环境中,操作者感受到的噪声声压级不得超过85~90dB,大部分国家规定为90dB,瑞典等少数国家甚至规定为85dB。因此许多国家冲压机械制造厂家都十分重视解决噪声问题,如德国舒勒(Schuler)公司1974年生产的1250kN高速冲裁压力机,行程次数达400次/min,在操作位置测定,空运转时的噪声为84dB,负载工作时为95dB。如日本AIDA公司的NS1-1500D伺服压力机,可以在无声模式下运转,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、机械设计、材料科学基础、材料成形原理等技术基础课程的基础上,与冲压工艺学、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。

成形设备是完成各种成形生产的必要硬件条件。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其他成形设备也进行了简单介绍。本教材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。本教材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。

受篇幅所限,本书只对金属和塑料成形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。

第二章 曲柄压力机

第一节 概 述

曲柄压力机是属于机械传动类压力机，是采用曲柄滑块机构的锻压机械，能进行各种冲压与模锻工艺，直接生产零件或毛坯。它是材料成形中应用非常广泛的压力机之一，主要应用在汽车工业、航空工业、电子仪器仪表工业和国防工业等领域。

一、曲柄压力机的工作原理及结构组成

曲柄压力机的工作原理包括压力机的传动原理、功能学原理以及工作机构（曲柄滑块机构）运动学、静力学原理。

曲柄压力机的传动原理是通过传动部件减速将电动机的旋转运动传递给曲轴。当曲轴旋转时，曲柄滑块机构将旋转运动变换成滑块的直线往复运动，带动上模实现冲压加工所需的动作。图 2-1、图 2-2 为曲柄压力机的常见结构及传动原理图。其工作原理如下：电动机 1 通过 V 带把运动传给大带轮 3，再经过小齿轮 4、大齿轮 5 传给曲柄 7，通过连杆 9 转化为滑块 10 的直线往复运动。上模装在工作台 14 上，下模装在工作台 14 上。当材料放在上下模之间时，即能进行相应的材料成形加工。由于工艺操作的需要，滑块时而运动，时而停止，因此装有离合器 6 和制动器 8，离合器和制动器能使曲柄压力机间歇或连续工作。

曲柄压力机的功能学特点是采用电动机-飞轮拖动系统。因为曲柄压力机工作载荷具有

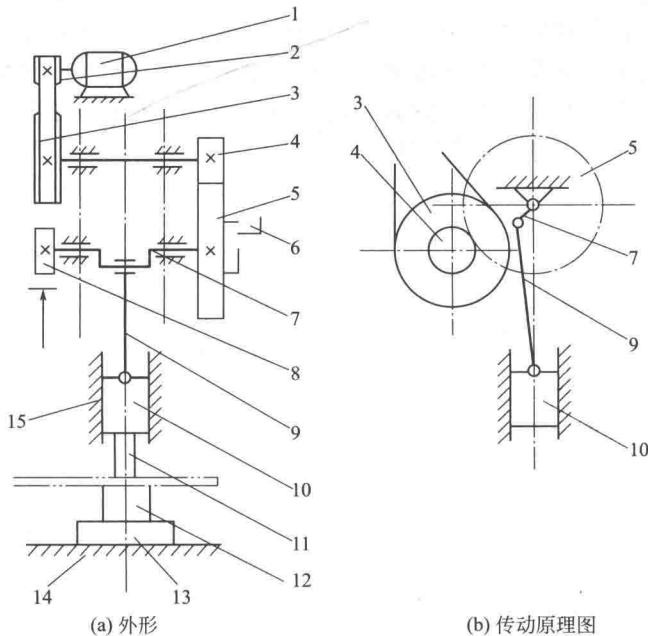


图 2-1 开式曲柄压力机结构及传动原理图

- 1—电动机；2,3—带轮；4,5—齿轮；6—离合器；7—曲柄；8—制动器；9—连杆；
- 10—滑块；11—上模；12—下模；13—垫板；14—工作台；15—机身

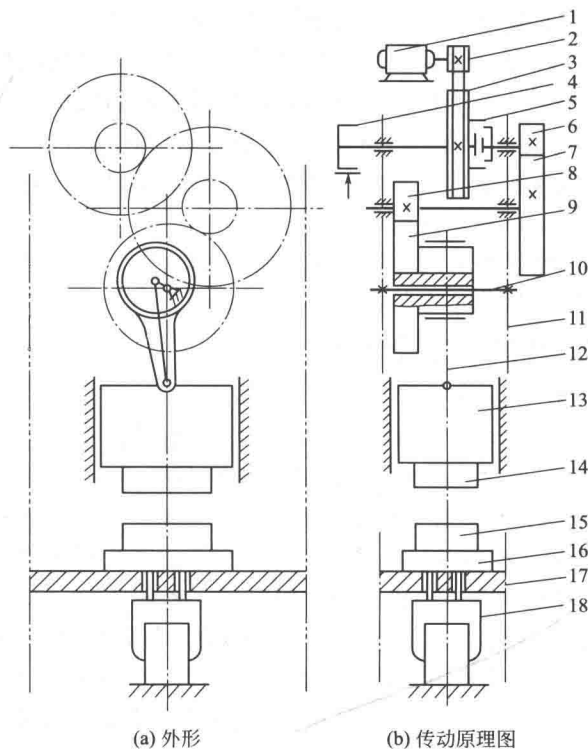


图 2-2 闭式曲柄压力机结构及传动原理图

1—电动机；2、3—带轮；4—制动器；5—离合器；6~8—齿轮；9—偏心齿轮；10—芯轴；11—机身；
12—连杆；13—滑块；14—上模；15—下模；16—垫板；17—工作台；18—液气垫

不均匀性。工作时，上模接触工件毛坯后的工作载荷很大，大量消耗能量，而在上模接触毛坯前（空程和回程）能量消耗很少。采用电动机-飞轮拖动可利用飞轮的调速作用调节电动机的机械载荷，这样可以减小电动机的安装功率，提高能源利用效率。

工作机构的静力学原理是利用曲柄连杆机构能产生足以克服材料变形抗力的工作压力，并被机身的弹性变形抗力所平衡而不传往地基。同时，由于曲柄连杆机构的运动学特性，滑块运动到下死点附近运动速度很低，故曲柄压力机的工作载荷具有准静态特性。

综上所述，曲柄压力机的工作原理是利用曲柄滑块机构产生往复运动满足冲压加工的运动需要，利用机构力放大性质和飞轮的力矩放大和快速释放能量的作用，满足曲柄压力机的峰值压力和能量需要。从物理本质上看，曲柄压力机乃是一种压力和功率放大装置。

任何机器都是由多个零件组成，相互联系具有一定功能的零件集合称为部件。曲柄压力机也由许多部件组成，其主要部件如下：

(1) 传动部件 传动部件包括带轮、带、齿轮和传动轴及相应的轴承。其功能是传递电动机的运动和能量，并起减速作用。

(2) 工作机构 由曲柄、连杆、滑块和机身上的导轨构成曲柄滑块机构，其功能是将旋转运动变换为滑块的直线往复运动。

(3) 操纵系统 由离合器、制动器组成。它们的主要功能是在电动机正常运转的条件下控制曲柄和滑块的运动或停止。

(4) 机身 机身是压力机的支承零件，所有零件安装在机身相应位置上组成一部完整的机器。其自身质量完全靠机身支承。在压力机工作时，要靠机身平衡工作载荷和各传动零件之间的相互作用力，保证各个运动零件的正确位置和滑块的导向精度。