

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材



工程基础训练教程

刘文静 朱世欣 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材

工程基础训练教程

刘文静 朱世欣 主编

附录 (附C) 目录附录表

刘文静、朱世欣主编《工程基础训练教程》
机械工业出版社, 2016年
“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

1. 封面
2. 封底
3. 书脊
4. 扉页
5. 目录
6. 正文
7. 附录
8. 索引
9. 参考文献
10. 附录表



机械工业出版社

本书是机械类、近机械类专业进行工程基础训练实践教学环节的配套用书。本书以教育部高等学校工程训练教学指导委员会颁布的工程训练课程相关教学要求为依据,以培养高级复合型技术应用人才为目标,兼顾理论分析与技术应用,结合技术应用型高等工科院校人才培养的教学改革经验编写而成。

本书主要包括制造基础理论与技术、材料成形、钳工与装配、金属切削、数控加工与先进制造和 PLC 电气控制基础六个部分的内容,共计 23 章。

本书可供高等院校相关专业的师生使用,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

工程基础训练教程/刘文静,朱世欣主编. —北京:
机械工业出版社, 2016.9
普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材
ISBN 978-7-111-54576-7

I. ①工… II. ①刘…②朱… III. ①机械工程-高等学校-教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 192863 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: 丁昕祯 责任编辑: 丁昕祯 任正一 宋学敏 余 焱 舒 恬
责任印制: 常天培 责任校对: 任秀丽 胡艳萍
北京京丰印刷厂印刷
2016 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·20.25 印张·502 千字
0 001—3 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-54576-7
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

服务咨询热线: 010-88379833
读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com
机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

前 言

制造业是国民经济的主体。经过几十年的快速发展,我国制造业规模跃居世界第一,成为支撑经济社会发展的重要基石。然而,与世界先进水平相比,我国制造业仍然大而不强,在自主创新能力、资源利用效率、产业结构水平、信息化程度、质量效益等方面差距明显,转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

作为面向制造业的工科专业学生,工程基础训练(金工实习)实践教学环节是其在专业学习过程中接触到的第一个完整且系统的制造理论学习认知和制造技术体会分析的过程。随着现代制造技术的迅速发展,工程基础训练实践教学环节的内容也在原来传统的材料热加工和冷加工等方面逐步向现代制造技术(如数控加工、特种加工等)和基础控制技术等方面拓展。工程基础训练实践教学环节在内容的广度和深度的要求方面均有较为明显的提升。基于以上问题,本书在体系的构架和内容的选择上,一方面紧扣教育部高等学校工程训练教学指导委员会对工程基础训练实践教学环节的要求,做到基础性和通用性兼顾;另一方面,结合现代制造与控制技术,在内容广度上做了拓展,以满足不同层次和特色学校与专业的适用性要求。

全书共23章,分为6个部分。本书可供高等院校相关专业师生使用或参考,各院校可根据不同专业的需要对内容进行取舍。同时,本书也可供相关行业工程技术人员参考。

本书由刘文静、朱世欣主编。参加本书编写的人员有:刘文静(第1、3、17、18章)、朱世欣(第2、4、23章)、李永强(第5~8章)、高双(第9、10、11、16章)、陆学斌(第12~15章)和邢冠梅(第19~22章)。

本书在编写过程中参考了相关的同类著作,特向有关作者致谢。

限于编者的经验和水平,书中难免有疏漏与不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1部分 制造基础理论与技术

第1章 制造技术及其发展	1	性能	19
1.1 制造及相关概念	1	第3章 切削加工基础知识	21
1.1.1 制造	1	3.1 切削运动	21
1.1.2 制造业与制造技术	2	3.1.1 主运动	21
1.1.3 制造系统	2	3.1.2 进给运动	21
1.1.4 制造模式	2	3.1.3 切削表面	22
1.2 制造技术的发展	3	3.1.4 切削用量	22
1.2.1 制造创造了人类	3	3.2 刀具材料	23
1.2.2 制造技术的发展：四次技术革命	4	3.2.1 对刀具材料的基本要求	23
1.2.3 制造业发展的教训	5	3.2.2 常用刀具材料	23
1.3 机械制造的过程	6	3.3 刀具结构	25
1.3.1 广义的制造过程	6	3.3.1 车刀的组成	25
1.3.2 狭义的制造过程	7	3.3.2 车刀角度	26
1.4 现代制造技术	8	第4章 生产管理与安全生产	28
1.4.1 主要内容	8	4.1 国家有关工业安全法规	28
1.4.2 形成过程	9	4.2 机械工程安全	29
1.4.3 发展特点	9	4.2.1 机械危害	29
1.4.4 发展趋势	11	4.2.2 危险性大的机械设备	30
第2章 工程材料	13	4.2.3 机械伤害的形式	31
2.1 材料的种类及成形	13	4.2.4 机械事故的原因	32
2.1.1 材料的种类	13	4.3 用电安全常识	33
2.1.2 材料的制备与加工	13	4.3.1 触电	33
2.2 金属材料	15	4.3.2 电气火灾及爆炸	33
2.2.1 钢	15	4.3.3 用电安全技术措施	33
2.2.2 铸铁	15	4.4 防火与化工安全	34
2.2.3 有色金属	16	4.4.1 火的来源与类型	34
2.3 非金属材料	16	4.4.2 防火措施	34
2.4 材料的性能	17	4.4.3 灭火	35
2.4.1 力学性能	17	4.4.4 化学药品和危险物料常识	35
2.4.2 材料的物理、化学及工艺		复习思考题	36
		参考文献	36

第2部分 材料成形

第5章 铸造	37	7.1 焊接基础理论	61
5.1 铸造的概念及发展	37	7.1.1 基本概念	61
5.1.1 铸造的概念	37	7.1.2 金属材料焊接性	62
5.1.2 铸造的发展	37	7.1.3 焊接应力与焊接变形	62
5.1.3 铸造的分类	37	7.2 金属熔焊	64
5.1.4 铸造生产的特点	38	7.2.1 熔焊的冶金特点	64
5.2 合金的铸造性能	38	7.2.2 焊接接头金属组织与性能的变化	64
5.2.1 合金的流动性	38	7.2.3 提高焊接接头质量的措施	65
5.2.2 合金的凝固与收缩	38	7.3 电弧焊	65
5.2.3 缩孔与缩松	39	7.3.1 焊条电弧焊	65
5.2.4 铸造应力	40	7.3.2 埋弧焊	66
5.2.5 变形及裂纹	41	7.3.3 气体保护焊	68
5.3 砂型铸造	42	7.4 其他焊接方法	69
5.3.1 概念与工艺流程	42	7.4.1 电渣焊	69
5.3.2 型砂及芯砂	42	7.4.2 摩擦焊	69
5.3.3 造型方法	43	7.4.3 等离子弧焊	69
5.3.4 铸造工艺设计	44	7.4.4 电阻焊	69
5.4 特种铸造	47	7.4.5 钎焊	71
5.4.1 金属型铸造	47	7.5 常用金属材料的焊接	71
5.4.2 压力铸造	47	7.5.1 常用钢材的焊接	71
5.4.3 熔模(失蜡)铸造	47	7.5.2 铸铁件的补焊	71
5.4.4 离心铸造	48	7.5.3 有色金属及其合金的焊接	72
5.5 铸件结构	48	7.6 焊接结构设计	72
5.5.1 铸造工艺对铸件结构的要求	48	7.6.1 焊件选择的原则	72
5.5.2 合金的铸造性能对铸件结构的要求	48	7.6.2 焊件的结构工艺	73
第6章 锻压	50	第8章 热处理和表面处理	76
6.1 金属压力加工	50	8.1 热处理概述	76
6.1.1 金属的可锻性	50	8.1.1 热处理工艺特点	76
6.1.2 压力加工的分类	51	8.1.2 热处理的分类	77
6.1.3 金属塑性变形	51	8.1.3 热处理常用设备及其使用	77
6.1.4 锻压概述	52	8.2 钢的常用热处理	78
6.2 锻造	53	8.2.1 退火与正火	78
6.2.1 自由锻	53	8.2.2 淬火	78
6.2.2 模锻	55	8.2.3 回火	79
6.2.3 胎模锻	57	8.2.4 钢的表面热处理	80
6.3 冲压	58	8.3 金属常用表面处理技术	80
6.3.1 板料冲压的特点	58	8.3.1 表面机械强化	80
6.3.2 板料冲压的基本工序	58	8.3.2 转化膜处理	81
6.3.3 冲压件的构造工艺性	59	复习思考题	83
第7章 焊接	61	参考文献	83

13.2 铣床	158	14.3.1 刨刀的结构与种类	172
13.2.1 卧式万能升降台铣床	158	14.3.2 工件的安装	173
13.2.2 立式升降台铣床	158	14.4 典型的刨削操作	173
13.2.3 龙门铣床	159	14.4.1 刨水平面	173
13.3 常用铣床附件	159	14.4.2 刨垂直面和斜面	174
13.3.1 平口钳	159	14.4.3 刨沟槽	174
13.3.2 回转工作台	159	14.5 刨削综合实例	175
13.3.3 万能立铣头	160	第 15 章 磨削加工	178
13.3.4 万能分度头	160	15.1 基础知识	178
13.3.5 分度方法	161	15.2 磨床	179
13.4 铣刀及安装	161	15.2.1 外圆磨床	179
13.4.1 常用铣刀的种类和应用	161	15.2.2 平面磨床	180
13.4.2 铣刀的安装	162	15.2.3 内圆磨床	181
13.5 典型的铣削操作	163	15.3 砂轮及工件安装	182
13.5.1 铣平面	163	15.4 典型的磨削操作	183
13.5.2 铣沟槽	165	15.4.1 外圆磨削	183
13.5.3 铣螺旋槽	166	15.4.2 内圆磨削	184
13.5.4 铣成形面	167	15.4.3 平面磨削	184
13.6 铣削综合实例	167	15.5 磨削综合实例	184
第 14 章 刨削加工	169	第 16 章 齿轮加工	186
14.1 基础知识	169	16.1 成形法	186
14.2 刨床	170	16.2 展成法	187
14.2.1 牛头刨床	170	16.2.1 插齿加工	187
14.2.2 龙门刨床	171	16.2.2 滚齿加工	188
14.2.3 插床	171	复习思考题	189
14.3 刨刀及工件安装	172	参考文献	190

第 5 部分 数控加工与先进制造

第 17 章 数控车削	191	17.3.2 准备功能字 G	205
17.1 数控加工概述	191	17.3.3 尺寸字	210
17.1.1 数控程序编制的定义	191	17.3.4 进给功能字 F	210
17.1.2 数控程序编制的方法	192	17.3.5 主轴转速功能字 S	210
17.1.3 数控机床的分类	194	17.3.6 刀具功能字 T	210
17.1.4 数控加工的特点	195	17.3.7 辅助功能字 M	210
17.1.5 安全操作规程	196	17.4 数控车削加工实例	211
17.2 数控车削	197	17.4.1 数控加工顺序安排原则	211
17.2.1 数控机床的工作原理	197	17.4.2 加工路线的确定	211
17.2.2 数控车床分类	198	17.4.3 加工实例	212
17.2.3 数控车床加工对象	199	第 18 章 数控铣削	217
17.2.4 数控车床的操作	200	18.1 数控铣床	217
17.3 数控机床程序代码标准	203	18.1.1 数控铣床概述	217
17.3.1 数控程序结构	203	18.1.2 数控铣床分类	217

18.1.3	数控铣床的主要加工对象	218			
18.1.4	数控铣床操作	218			
18.2	加工中心	219			
18.2.1	加工中心的定义	219			
18.2.2	加工中心的工作原理	219			
18.2.3	加工中心的特点	220			
18.2.4	加工中心的分类	220			
18.2.5	刀具管理	221			
18.3	数控铣削加工实例	222			
第19章	特种加工	229			
19.1	特种加工概述	229			
19.1.1	特种加工的概念	229			
19.1.2	特种加工的特点	229			
19.1.3	特种加工的分类	229			
19.2	电火花加工	230			
19.2.1	电火花加工的基本原理	230			
19.2.2	电火花加工的特点	231			
19.2.3	电火花加工的分类及应用	231			
19.2.4	电火花加工机床	232			
19.3	电火花线切割加工	234			
19.3.1	电火花线切割加工的基本原理	234			
19.3.2	电火花线切割加工的特点	234			
19.3.3	电火花线切割加工的应用	235			
19.3.4	电火花线切割机床	235			
19.3.5	电火花线切割数控编程	238			
19.4	激光加工	240			
19.4.1	激光加工的基本原理	240			
19.4.2	激光加工的特点	240			
19.4.3	激光加工的应用	241			
19.4.4	激光加工的基本设备	242			
19.5	超声波加工	243			
19.5.1	超声波加工的基本原理	243			
19.5.2	超声波加工的特点	244			
19.5.3	超声波加工的应用	244			
19.5.4	超声波加工设备	245			
第20章	精密与超精密加工技术	247			
20.1	概述	247			
20.1.1	精密与超精密加工的概念	247			
20.1.2	精密与超精密加工技术的特点	247			
20.1.3	精密与超精密加工的重要性	248			
20.2	精密与超精密加工的主要方法	249			
20.2.1	超精密切削加工	249			
20.2.2	超精密磨削加工	251			
20.2.3	超精密研磨	252			
20.2.4	超精密抛光	253			
20.3	精密与超精密加工的机床设备	255			
20.3.1	精密主轴部件	255			
20.3.2	机床的总体布局	257			
20.3.3	导轨	258			
20.3.4	进给驱动系统	259			
20.3.5	微量进给装置	260			
第21章	柔性制造系统	261			
21.1	柔性制造系统的基本概念	261			
21.2	柔性制造系统的分类	262			
21.3	柔性制造系统的组成	263			
21.4	柔性制造系统中的机床特点	265			
21.5	柔性制造系统应具备的功能	266			
第22章	逆向工程与快速成型技术	267			
22.1	逆向工程	267			
22.1.1	逆向工程系统的组成	267			
22.1.2	逆向工程的应用	268			
22.1.3	逆向工程设计制造的工作流程	269			
22.1.4	逆向工程的关键技术	270			
22.1.5	三坐标测量	271			
22.1.6	激光扫描	273			
22.2	快速成型技术	275			
22.2.1	快速成型的成型原理	275			
22.2.2	快速成型的工艺过程	276			
22.2.3	快速成型技术的特点	276			
22.2.4	快速成型制造工艺的分类	277			
22.2.5	分层实体制造工艺	278			
22.3	三维打印	280			
22.3.1	三维打印快速成型的工艺流程	280			
22.3.2	三维打印快速成型工艺的特点	281			
	复习思考题	282			
	参考文献	283			

第 6 部分 PLC 电气控制基础

第 23 章 自动化 (PLC) 实训	285	23.4.3 逻辑与、或、非实训	299
23.1 PLC 概述	285	23.4.4 学生自主设计	299
23.1.1 PLC 的定义	285	23.5 自锁、互锁电路设计	299
23.1.2 PLC 的分类	286	23.5.1 自锁电路	299
23.1.3 PLC 的特点	286	23.5.2 互锁电路	300
23.1.4 PLC 的应用领域	287	23.5.3 自主设计	301
23.1.5 PLC 的工作原理	288	23.6 定时器指令	301
23.1.6 PLC 的主要技术指标	289	23.6.1 定时器指令介绍	301
23.2 实训平台简介	290	23.6.2 三种定时器指令实训	302
23.2.1 CPU 224 型 PLC 外形及端子介绍	290	23.6.3 通电延时定时器 (TON) 实训	302
23.2.2 CPU 224 型 PLC 结构及性能指标	292	23.6.4 自主设计	303
23.2.3 CPU 224 型 PLC 的工作方式	293	23.7 计数器指令	303
23.2.4 工程训练中心 PLC 实训平台简介	294	23.7.1 计数器指令介绍	303
23.3 STEP 7—Micro/WIN 编程软件简介	295	23.7.2 三种计数器指令实训	303
23.3.1 编程软件 STEP 7—Micro/WIN 的安装	295	23.7.3 计数器的扩展(即乘法器)	304
23.3.2 STEP 7—Micro/WIN 编程软件的主要功能	295	23.7.4 自主设计	304
23.3.3 建议 S7—200 CPU 的通信	296	23.8 比较指令	305
23.3.4 STEP 7—Micro/WIN 窗口组件	297	23.8.1 比较指令介绍	305
23.4 基本逻辑指令实训	298	23.8.2 比较指令与定时器相结合	305
23.4.1 梯形图 (Ladder Diagram) 程序设计语言	298	23.8.3 比较指令与计数器相结合	306
23.4.2 点亮一只 LED 指示灯实训	298	23.8.4 自主设计	306
		23.9 数据处理指令	306
		23.9.1 数据传送指令	306
		23.9.2 移位指令	307
		23.9.3 应用举例	308
		23.9.4 自主设计	310
		复习思考题	310
		参考文献	310

第1部分 制造基础理论与技术

第1章 制造技术及其发展

从人类文明的发展进程来看，制造业的发展程度始终是各阶段社会发展程度的最有效和最直接的衡量依据。对于现代社会而言，制造业是一个国家经济发展的支柱，是国民经济收入的主要来源。

全国政协原副主席、中国工程院主席团名誉主席宋健指出：“制造业是实现现代化工业的水之源、木之本，是实现工业化的保障和原动力，是国家实力的脊梁，是支持共和国大厦的基石。没有强大制造能力的国家永远成不了经济强国”。

《中国制造2015》指出：“制造业是国民经济的主体，是科技创新的主战场，是立国之本、兴国之器、强国之基。当前，全球制造业发展格局和我国经济发展环境发生重大变化，必须紧紧抓住当前难得的战略机遇，突出创新驱动，优化政策环境，发挥制度优势，实现中国制造向中国创造转变，中国速度向中国质量转变，中国产品向中国品牌转变”。

经过几十年的快速发展，我国制造业规模跃居世界第一，成为支撑经济社会发展的重要基石。然而，与世界先进水平相比，我国制造业仍然大而不强，在自主创新能力、资源利用效率、产业结构水平、信息化程度、质量效益等方面差距明显，转型升级和跨越发展的任务紧迫而艰巨。

1.1 制造及相关概念

1.1.1 制造

制造是人类所有经济活动的基石，是人类历史发展和文明进步的动力。

从狭义上讲，制造为机电产品的机械加工工艺流程。从广义上说，国际生产工程学会在1990年给出了明确的定义，即制造是涉及制造业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。

1. 制造技术

按照人们所需的目的，运用知识和技能，利用客观物资工具，将原材料物化为人类所需产品的工程技术。即：使原材料成为产品而使用的一系列技术的总称。

2. 制造过程

产品从设计、生产、使用、维修、报废、回收等的全过程，也称为产品生命周期。

3. 制造业

将制造资源（物料、能源、设备、工具、资金、信息、人力等）利用制造技术，通过

制造过程，转化为供人们使用或利用的工业品或生活消费品的行业。

4. 制造系统

制造系统是制造业的基本组成实体。

1.1.2 制造业与制造技术

制造业是国民经济的支柱产业。制造技术是制造业的技术支撑，是制造业持续发展的根本动力。在当今激烈的国际市场竞争中，制造业要求得生存与发展，必须熟练掌握和科学运用最先进的制造技术。

在市场经济体制下，制造业是参与市场竞争的主体。随着计算机、信息、微电子和自动化等技术的发展和运用，尽管制造业对人劳动密度的依赖在逐步减少，但实际情况表明：在现代和未来的制造业中，人的决策和技术等劳动是任何技术所无法替代的，只是人的劳动由大众劳动逐步向精英劳动转化而已。十几年来，工业化国家一直在不遗余力地提高制造工业的发展水平，其目的就是在激烈的全球经济竞争中占有一席之地。

制造技术是涉及生产活动的各个方面和全过程，被认为是一个从产品概念到最终产品的集成活动和系统是一个功能体系和信息处理系统。制造技术是一个国家科技水平的综合体现。随着市场变化和技术竞争的加剧，许多工业国家迅速调整其技术政策，把提高产业竞争力和增强综合国力作为科技政策的核心。

市场竞争促使了制造业的变革和制造技术的发展，因而制造技术是产生先进制造技术的源泉。先进制造技术和资源、金融投资、高品质劳动力一起创造了新的企业和新的就业机会，而市场需求和制造业的发展又不断地对制造技术、制造工程与科学提出新的要求。因而，市场需求、制造业、制造技术、制造工程与科学是相互关联的整体，互相补充，相互促进。

1.1.3 制造系统

制造系统是人、机器和装备以及物流和信息流的一个组合体。

制造系统可从三个方面来定义。第一，在制造系统的结构方面，制造系统是一个包括人员、生产设施、物料加工设备和其他附属装置等各种硬件的统一整体；第二，在制造系统的转变方面，制造系统可定义为生产要素的转变过程，特别是将原材料以最大生产率变成为产品；第三，在制造系统的过程方面，制造系统可定义为生产的运行过程，包括计划、实施和控制。综合上述的几种定义，可将制造系统定义如下：

制造系统是制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员所组成的一个将制造资源转变为产品或半成品的输入/输出系统，它涉及产品生命周期（包括市场分析、产品设计、工艺规划、加工过程、装配、运输、产品销售、售后服务及回收处理等）的全过程或部分环节。其中，硬件包括厂房、生产设备、工具、刀具、计算机及网络等；软件包括制造理论、制造技术（制造工艺和制造方法等）、管理方法、制造信息及其有关的软件系统等。制造资源包括狭义制造资源和广义制造资源；狭义制造资源主要指物能资源，包括原材料、坯件、半成品、能源等；广义制造资源还包括硬件、软件、人员等。

1.1.4 制造模式

制造模式是指企业体制、经营、治理、生产组织和技术系统的形态和运作模式。从更广

义的角度看,制造模式就是一种有关制造过程和制造系统建立和运行的哲理和指导思想。制造过程虽然比较复杂,但它必须按照一定的规律运行,确定制造过程运行规律的就是制造模式。

制造模式总是与生产发展水平及市场需求相联系的。在手工业生产时代,是手工作坊制造模式,其特点是产品的设计、加工、装配和检验基本上都由个人完成,这种制造模式灵活性好,但效率低,难以完成大批量产品的生产。从19世纪中叶到20世纪中叶,大量生产模式在制造业中占主导地位近百年,这种模式通过劳动分工实现作业专业化,在机械化和电气化技术支持下,大大提高了劳动生产率,降低了产品成本,有力地推动了制造业的发展和社会进步。20世纪后半叶特别是后30年,生产需求朝多样化方向发展且竞争加剧,迫使产品生产朝多品种、变批量,短生产周期方向演变,传统的大量生产正在被更先进的生产模式所代替。这些先进制造模式的主要特点是:需求启动,依靠科技进步,企业合作,柔性制造,生产组织精干,企业管理体制先进,注重环保。近些年国外先后提出的计算机集成制造、精益生产和敏捷制造等就是先进生产模式的典型代表。

近十几年来,由于制造工程技术与科学的迅速发展和社会经济的变革,为了使企业更具有竞争力,制造模式的研究应用日益重要。

1.2 制造技术的发展

在人类历史的发展长河中,正是制造技术促进了社会经济一次又一次地变革和发展。在石器时代,人类为了生存,以石料为工具,采集和利用自然资源;到青铜器、铁器时代,人们开始使用金属工具,在以农业为主的自然经济中,人们以手工作坊模式组织生产;19世纪中叶的工业革命,促进了现代工业化生产的出现;19世纪电气技术的发展和20世纪初内燃机的发明,引发了制造业的革命;两次世界大战,特别是第二次世界大战期间,大批量制造技术和生产管理有了很大的发展;第二次世界大战后的60多年来,随着计算机、微电子、信息和自动化技术的迅猛发展,在制造业中先后出现了数控(NC)、计算机数控(CNC)、直接数控(DNL)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)、计算机集成制造(CIM)、及时生产(JIT)、制造资源规则(MRP)、精益生产(LP)和敏捷制造(AM)等多项先进制造技术与制造模式。

1.2.1 制造创造了人类

恩格斯指出:“直立和劳动创造了人类,而劳动是从制造工具开始的。动物所做到的最多是收集,而人则从事生产”。人从猿进化而来,人猿分离,是由于人学会双足行走和用手制造并使用工具。考古发现表明,中国的元谋人(170万年前的南方古猿)、非洲人早在160万年前即开始用火。早在100万年~50万年前的古石器时代就有用卵石、兽骨、牛角、象牙等制造的生产和生活用具,如刀、斧、锯等。与北京猿人同时代地层中出土了10万多件砍刀、石铲、石斧、片状切刀等。5万年前的中石器时代已有制造业分工,批量生产比较精致的木、角、骨制工具,刀、锥、凿、针、矛、链等,还有批量生产的陶器。考古学有证据说明,随着狩猎和采集技术的改进,人们制造的工具日趋精细,种类越来越多,出现了有组织的集体制造活动,形成了原始制造业。

青铜器时代开始于 5000 年前，炼铁技术开始于 4000 年前。中东发现了公元前 2500 年的炼铁炉。埃及发现过公元前 2000 年的锻制青铜器和公元前 1340 年的钢制短剑。战国时代中国有铁制兵器和农业工具。欧洲的采矿和冶炼技术比中国晚 1000 多年，欧洲最早的炼铁高炉建于公元 1380 年（比利时）。德国于公元 970 年开始采铁矿，用煤冶铁是公元 1198 年。

1.2.2 制造技术的发展：四次技术革命

1. 第一次技术革命（18 世纪 60 年代至 19 世纪 40 年代）

第一次技术革命是指 18 世纪从英国发起的技术革命，是技术发展史上的一次巨大革命，它开创了以机器代替手工劳动的时代。第一次技术革命是以工作机的诞生开始的，以蒸汽机作为动力机被广泛使用为标志的。

1765 年，英国人织工哈格里夫斯发明了“珍妮纺织机”，它的出现首先在棉纺织业引发了发明机器，进行技术革新的连锁反应，揭开了工业革命的序幕。从此，在棉纺织业中出现了螺机、水力织布机等先进机器。不久，在采煤、冶金等许多工业部门，也都陆续有了机器生产。随着机器生产越来越多，原有的动力，如畜力、水力和风力等已经无法满足需要。

1785 年，瓦特制成的改良型蒸汽机的投入使用，提供了更加便利的动力，得到迅速推广，大大推动了机器的普及和发展。人类社会由此进入了“蒸汽时代”。随着工业生产中机器生产逐渐取代手工操作，传统的手工业无法适应机器生产的需要，为了更好地进行生产管理，提高效率，资本家开始建造工房、安置机器，雇佣工人集中生产，这样，一种新型的生产组织形式——工厂出现了。工厂成为工业化生产的最主要组织形式，发挥着日益重要的作用。

2. 第二次技术革命（19 世纪 70 年代开始）

第二次技术革命又称为电气革命。以电灯（爱迪生）、电话（贝尔）、电机（西门子）等电气化产品的发明为标志。制造业开始了电的应用，而后才有麦克斯韦电动力学理论的诞生。麦克斯韦电动力学理论推动了 20 世纪初开始的无线电、微波、雷达、合成孔径、微波成像、卫星通信、宇宙微波探测等技术的发展。牛顿力学和电动力学又为量子力学的发展指引了道路，导致了量子场论的创立。

建造以透平机为动力的大型发电设施和电力网的建设开始于 20 世纪初。电力照亮了城市和农村，为工厂和矿山提供了方便灵活的强大动力，成为生产、交通运输、通信等全面转向工业化的决定因素。

福特汽车 1913 年建立了基于零件互换技术的具有划时代意义的汽车装配生产线。美国人泰勒提出了以劳动分工和计件工资制为基础的科学管理，并在工业生产中得到广泛认可和应用。第二次技术革命之后，工业产品的生产方式从单件生产发展成大批量生产。

3. 第三次技术革命（20 世纪四五十年代开始）

第三次技术革命又称为电子（原子）革命。以原子能技术、航天技术、电子计算机技术的应用为代表，还包括人工合成材料、分子生物学和遗传工程等高新技术。微电子制造技术开创了全新的信息时代，是涉及信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术等诸多领域的一场信息控制技术革命。

在第三次技术革命中，电子计算机技术的利用和发展是一重大突破。20 世纪 40 年代后期的电子管计算机为第一代计算机。1959 年，出现晶体管计算机，运算速度每秒在 100 万次以

上,1964年达到300万次。20世纪60年代中期,出现许多电子元件和电子线路集中在很小的面积或体积上的集成电路,每秒的运算达千万次,它适应了一般数据处理和工业控制的需要,使用方便。20世纪70年代发展为第四代大规模集成电路,1978年的计算机每秒可运算1.5亿次。20世纪80年代发展为智能计算机。20世纪90年代出现光子计算机、生物计算机等。大体上每隔5年~8年,运算速度提高10倍,体积缩小至 $\frac{1}{10}$,成本降低至以前的 $\frac{1}{10}$ 。

第三次技术革命的成果还表现为原子能技术的利用和发展。美国相继在1945年和1952年成功地试制了原子弹和氢弹。1953年~1964年间,英国、法国和中国也相继试制核武器成功。原子能的技术首先被应用于军事领域,和平利用原子能工业也有一定发展。1954年6月,苏联建成第一个原子能电站。1957年,苏联第一艘核动力破冰船下水。1977年,世界上有22个国家和地区拥有核电站反应堆229座。

空间技术的利用和发展也是第三次技术革命的一大亮点。1957年,苏联发射了世界上第一颗人造地球卫星,开创了空间技术发展的新纪元。1961年,苏联宇航员加加林乘坐飞船率先进入太空。1981年4月12日,美国第一个可以连续使用的哥伦比亚航天飞机试飞成功,并于两天后安全降落。它身兼火箭、飞船、飞机等3种特性,是宇航事业的重大突破。1970年以来,中国宇航空间技术迅速发展,现已跻身于世界宇航大国之列。

4. 第四次技术革命(21世纪)

第四次技术革命又称为高新技术技术革命。是以互联网产业化,工业智能化,工业一体化为代表,以人工智能,清洁能源,无人控制技术,量子信息技术为主的全新技术革命。

21世纪,众多高新技术产品,如微电子产品、计算机、新一代通信产品、新一代汽车、磁悬浮列车、新一代飞机、机器人、生物工程产品、新一代药物、绿色食品、转基因产品等成为第四次技术革命的标志。微器件制造工艺,如拉单晶、掺杂、扩散、离子注入、外延、溅射、化学沉积(CVD)、光刻、表面贴装和自动化组装,进而到纳米器件制造工艺将把高新技术技术革命推向顶峰。

2014年德国汉诺威工业博览会4月7日至11日举行。在为期五天的展会中,德国政府提出的“工业4.0”概念受到关注,“工业4.0”是德国政府提出的一个高科技战略计划。该项目由德国联邦教育局及研究部和联邦经济技术部联合资助,投资预计达2亿欧元。旨在提升制造业的智能化水平,建立具有适应性、资源效率及人因工程学的智慧工厂,在商业流程及价值流程中整合客户及商业伙伴。其技术基础是网络实体系统及物联网。

2015年我国政府国务院印发了《中国制造2025》,部署全面推进实施制造强国战略,这是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。

1.2.3 制造业发展的教训

1. 美国的教训

20世纪70年代,美国不重视制造业,把制造业称为“夕阳工业”,结果导致美国20世纪80年代的经济衰退。20世纪80年代后期,美国的一些国会议员、政府要员纷纷要求政府出面,协调和支持制造产业的发展。1991年,布什政府期间,美国白宫科学技术政策办公室发表了总数为22项的美国国家关键技术,其中制造技术占4项,标志着美国科技政策的转变。克林顿上台后,对制造业大力支持,他把先进制造技术列为六大国防关键技术之

首。结果美国在机械工业、汽车工业、航空工业及信息产业等方面取得了明显的进展,使美国的经济连续 8 年取得了 2%~3% 的增长率,而且还同时保持低通胀率和低失业率。

2. 日本的经验

在 20 世纪 70~80 年代,日本非常重视制造业,特别大抓了汽车制造和微电子制造,结果日本的汽车和家用电器占领了全世界的市场,特别是大举进入了美国市场。日本的微电子芯片成为美国高技术产品的关键元件。1991 年海湾战争结束后,日本人说美国赢得这场战争是依靠日本的芯片,是“日本的芯片打败了伊拉克的钢片”。

3. 东南亚经济危机的启示

1998 年爆发的东南亚经济危机,从另一个侧面反映了一个国家发展制造业的重要。一个国家,如果把经济的基础放在股票、旅游、金融、房地产、服务业上,而无自己的制造业,这个国家的经济就容易形成泡沫经济,一有风吹草动就会产生经济危机。新加坡、我国台湾地区都有自己的制造业,因此受经济危机的影响小一些。

4. 瑞士的制造业

瑞士是一个仅 700 万人口的小国,但瑞士的制造业十分发达,瑞士的精密机械产品的出口量是我国的 8 倍,瑞士的手表世界第一,连小小的军刀,也风靡全世界。现在瑞士的年人均国民生产总值达到 4.3 万美元以上,居世界第一。

1.3 机械制造的过程

从制造的角度来讲,机械是机器和机构的统称。机器和机构都是人为的组合物,各部分都有确定的相对运动。但机器能代替人做功或转变能量。例如,自行车、汽车、轮船、飞机等都属于机械,家用电器、计算机、打印机等也都含有机械部分。我们的日常生活、学习和工作是离不开机械的。各种先进的仪器设备是机械、电子、计算机、自动控制、光学、声学 and 材料科学,甚至化学、生物与环境科学结合与交叉的产物。

机械制造是人类按照市场的需求,运用知识和技能,借助于手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的工艺方法和必要的能源,将原材料转化为最终机械产品、投放市场并不断完善的全过程。机械制造可以描述为广义的制造过程和狭义的制造过程。

1.3.1 广义的制造过程

广义的制造过程是指从原材料投入到成品出产的全过程,通常包括工艺过程、检验过程、运输过程、等待停歇过程和自然过程。在一个企业范围内全部生产活动协调配合的运行过程在广义上也属于制造过程。除上述过程外还包括原材料投入之前的设计、购买、产品出厂后的售后服务。

1. 基本内容

技术准备过程: 产品设计、工艺设计、工艺装备的设计与制造、标准化工作、定额工作、调整劳动组织和设备的平面布置、原材料与协作件的准备等。

基本生产过程: 与构成产品直接有关的生产活动,如毛坯制造、零部件制造、整机装配。

辅助生产过程: 为保证基本生产而进行的辅助生产活动,如动力工具的生产,设备维修以及维修用备件的生产等。

生产服务过程：物流工作，如供应、运输、仓库等管理活动。

2. 产品生命周期管理

产品生命周期管理（Product Life-Cycle Management, PLM）是指从人们对产品的需求开始，到产品淘汰报废的全部生命历程。PLM 是一种先进的企业信息化思想，它让人们思考在激烈的市场竞争中，如何用最有效的方式和手段来为企业增加收入和降低成本。

产品生命周期管理的概念来自于市场营销学，它将产品市场生命周期定义为导入、成长、成熟、衰退。随着 PLM 软件的兴起，产品生命周期开始包含需求收集、概念确定、产品设计、产品上市和产品市场生命周期管理等内容。近现代很多优秀的企业在基于产品管理概念的基础上，把产品生命周期概括为产品战略、产品市场、产品需求、产品规划、产品开发、产品上市、产品市场生命周期管理 7 个部分。

1.3.2 狭义的制造过程

狭义的制造过程从本质上讲就是制造的工艺过程和检验过程，即零件的加工和装配过程。零件一般是由原材料经过铸造、锻造、焊接等热加工方法制成毛坯，然后毛坯经切削加工而成。某些尺寸不大的轴、销及套等零件也可以直接用型材经切削加工制成。热处理工艺根据需要可穿插期间。狭义的机械制造过程如图 1-1 所示。一般的机械生产过程可简要归纳为：毛坯制造→切削加工→装配和调试。

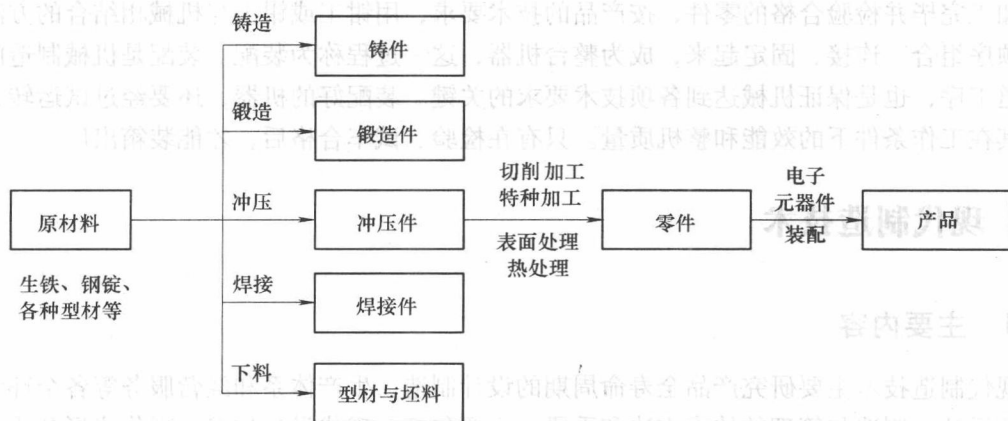


图 1-1 狭义的机械制造过程

1. 毛坯制造

典型的毛坯制造过程也称为材料成形过程，主要包含以下三个方面：

1) 铸造，将金属融化后浇注到具有一定形状和尺寸的铸型中，冷却凝固后得到所需形状和性能铸件的成形方法。如柴油机机体、车床床身等。

2) 锻造，将坯料加热后，在锻锤或压力机上进行锻压，使金属产生塑性变形，改变尺寸、形状，改善性能，以获得锻件的成形方法。如航空发动机的曲轴、连杆等。

3) 焊接，通过加热或加压，或两者并用，使分离的两部分金属达到原子结合的一种加工方法。如轧钢机的机架、坦克的车身等。

制造毛坯时往往要对原材料进行加热，所以这些加工方法也称为热加工。采用先进的铸