

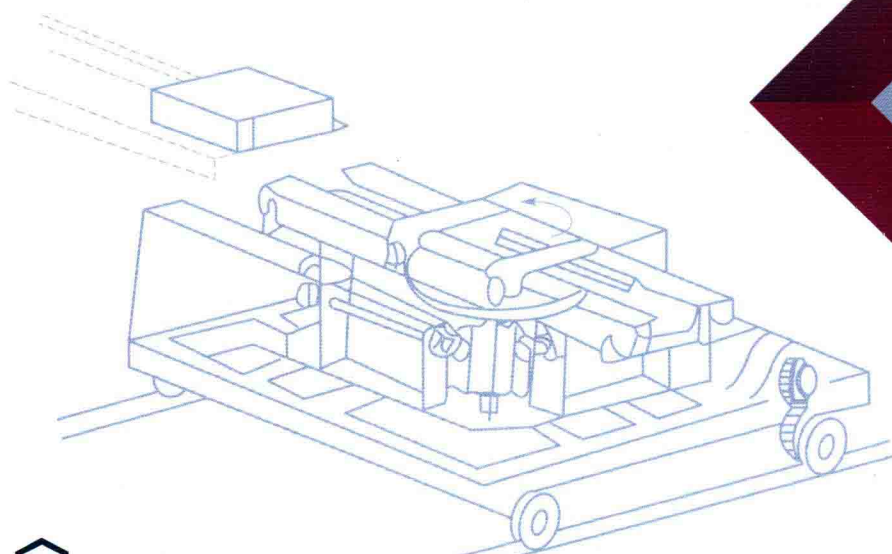
普通高等教育“十三五”规划教材



先进制造技术

XIANJIN ZHIZAO JISHU

陈中中 王一工 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

先进制造技术

陈中中 王一工 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从科学、集成的角度,系统介绍了各种先进制造技术的理念、基本内容、关键技术和最新成果,力求实时跟进科技发展动态,让读者领略和了解前沿科技,开阔视野、拓宽知识。全书共6章,内容包括先进制造技术概论、先进制造工艺技术、现代设计技术、先进制造装备系统、先进制造模式及先进管理技术。

本书配套有相应的电子教案、视频资料及课后思考题答案,以方便广大师生和读者阅读学习。

本书可作为高等院校机械、车辆、工管等制造业相关专业的本、硕教材,也可作为高等职业专科学校、成人高校相关专业的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/陈中中,王一工主编. —北京:化学工业出版社,2015.12
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-25347-7

I. ④先… II. ①陈…②王… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第240367号

责任编辑:高钰

装帧设计:刘丽华

责任校对:宋玮

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15 字数366千字 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:38.00元

版权所有 违者必究

制造业是国民经济的支柱产业和经济增长的发动机,是社会可持续发展的基石,制造技术是制造业的技术支撑和可持续性发展的源动力。在经济发展全球化的大背景下,制造技术在不断地汲取各种技术研究成果中快速向前迈进,并与计算机、信息、自动化、材料、生物及现代管理等学科相融合,使传统意义上的制造技术有了质的飞跃,形成了先进制造技术的新体系。与此同时,激烈的市场竞争,也催生出了制造企业必须通过先进制造技术来提升自身适应动态市场环境的新趋势,而先进制造技术的发展水平在某种意义上来说,更是决定了一个国家的综合国力。

为使学生掌握先进制造技术的理念和内涵,了解先进制造技术的最新发展,培养学生创新意识和工程实践能力,全国众多工科院校纷纷开设了先进制造技术必修或选修课程。本书是在作者为本科生开设的先进制造技术和为硕士研究生开设的快速成型技术课程的基础上,联合多所高校任课教师,经过认真讨论、确定编写大纲后共同编写完成的。全书共分6章,第1章先进制造技术概论,概述了制造业与制造技术的发展,介绍了先进制造技术的内涵、特征、体系结构及分类;第2章先进制造工艺技术,主要介绍了高速加工技术、精密与超精密加工技术、微细加工技术、快速成型技术、绿色制造技术等;第3章现代设计技术,主要介绍了创新设计、模块化设计、反求工程等先进设计方法;第4章先进制造装备系统,在概述制造自动化的发展历程和趋势的基础上,重点介绍了数控加工、工业机器人和柔性制造技术;第5章先进制造模式,概述了制造模式的发展和先进制造模式的类型,主要介绍了并行工程、精益生产、敏捷制造、计算机集成制造、虚拟现实技术、智能制造等几种先进制造的理念和模式。第6章先进管理技术,主要介绍了先进生产管理信息系统、产品数据管理技术、现代质量保证技术等概念。

本书的内容已制作成用于多媒体教学的PPT课件,并配有视频资料及课后思考题答案,将免费提供给采用本书作为教材的院校使用。如有需要,请发电子邮件至 cipedu@163.com 获取,或登陆 www.cipedu.com.cn 免费下载。

本书由陈中中、王一工主编,在编写过程中,得到了多位老师的鼎力协助,郑州大学机械工程学院苏智剑教授、郑州航空工业管理学院蒋志强和刘建伟教授,参加编写,并提供了大量的编写素材,此外在读研究生杨亚茹同学对本书做了校对工作,在此一并表示感谢。

风起云涌的创新科技,真可谓是“凡诸学术,进境无穷”,仅凭少数几人力量,实难详述万一,加之时间仓促,编者水平有限,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。最后,编者真诚地希望能够借此机会,在与读者的交流中共同获得新的知识和力量。

第 1 章 先进制造技术概论

1

1.1 制造业的起源和发展	1
1.1.1 制造、制造技术和制造系统	3
1.1.2 制造业的地位和作用	6
1.1.3 我国制造业现状	8
1.2 先进制造技术的提出和进展	9
1.2.1 先进制造技术产生的背景	9
1.2.2 各国先进制造技术的发展概况	11
1.3 先进制造技术的内涵和体系结构	13
1.3.1 先进制造技术的内涵和特点	13
1.3.2 先进制造技术的体系结构和分类	14
1.4 先进制造技术的发展趋势	18
复习思考题	20

第 2 章 先进制造工艺技术

21

2.1 先进制造工艺概述	21
2.1.1 机械制造工艺的内涵	21
2.1.2 先进制造工艺技术的定义和内容	23
2.1.3 先进制造工艺技术的发展趋势	23
2.2 高速加工技术	24
2.2.1 高速切削加工	25
2.2.2 高速磨削加工	29
2.3 精密与超精密加工技术	31
2.3.1 超精密切削加工	32
2.3.2 超精密磨削加工	34
2.4 高能束加工技术	36
2.4.1 激光加工	36
2.4.2 电子束加工	39
2.4.3 离子束加工	40
2.4.4 超声波加工	41
2.5 快速成型技术	43

2.5.1 RP 技术的原理	43
2.5.2 RP 技术的特点	43
2.5.3 RP 技术的分类	44
2.5.4 RP 技术的应用	57
2.6 快速模具技术	61
2.6.1 基于 RP 的软模快速制造技术	62
2.6.2 基于 RP 的钢质硬模快速制造技术	67
2.7 微细加工技术	70
2.7.1 典型微细加工技术	71
2.7.2 其他微细加工技术	79
2.8 绿色制造技术	81
2.8.1 绿色制造概述	82
2.8.2 GM 的研究内容	83
2.8.3 清洁生产	86
2.8.4 再制造技术	87
2.8.5 绿色制造的现状和发展趋势	93
复习思考题	96

第 3 章 现代设计技术

97

3.1 现代设计技术概述	97
3.2 优化设计	99
3.3 创新设计	101
3.4 面向“X”的设计	105
3.4.1 面向制造的设计	106
3.4.2 面向装配的设计	107
3.4.3 面向可操作性的设计	108
3.5 模块化设计	109
3.6 反求工程	115
3.6.1 反求工程概述	115
3.6.2 反求测量方法分类	116
3.6.3 反求数据处理	121
3.6.4 RE 的应用	122
复习思考题	125

第 4 章 先进制造装备系统

126

4.1 先进制造自动化技术	126
4.1.1 先进制造自动化技术的内涵	126
4.1.2 先进制造自动化技术的发展历程和现状	127
4.1.3 先进制造自动化技术的发展趋势	130
4.2 数控加工技术	131

4.2.1 数控加工技术概述	131
4.2.2 数控机床的组成、分类和特点	132
4.2.3 数控加工的编程技术	136
4.2.4 数控加工技术的发展趋势	137
4.3 柔性制造系统	138
4.3.1 FMS 概述	139
4.3.2 FMS 的组成及特点	140
4.3.3 柔性制造系统的应用	143
4.4 工业机器人	145
4.4.1 工业机器人概述	145
4.4.2 工业机器人的组成和分类	147
4.4.3 工业机器人的应用和发展趋势	149
复习思考题	154

第5章 先进制造模式

155

5.1 先进制造模式概述	155
5.1.1 先进制造模式的定义和特点	155
5.1.2 先进制造模式的类型	156
5.2 成组技术	156
5.2.1 成组技术概述	156
5.2.2 零件分类方法	159
5.2.3 GT 的应用	160
5.3 并行工程	164
5.3.1 并行工程产生的背景	164
5.3.2 CE 的定义和特征	166
5.3.3 CE 的关键支撑技术	167
5.3.4 CE 的应用	167
5.3.5 CE 技术的发展趋势	170
5.4 精益生产	171
5.4.1 精益生产产生的背景	171
5.4.2 LP 的定义和特征	172
5.4.3 及时生产	175
5.4.4 LP 的应用	177
5.5 敏捷制造	178
5.5.1 敏捷制造产生的背景	178
5.5.2 AM 的定义和特征	179
5.5.3 AM 的应用	182
5.6 计算机集成制造系统	184
5.6.1 计算机采集制造系统产生的背景	184
5.6.2 CIMS 的定义及具体内容	184

5.6.3 CIMS 的发展趋势	190
5.7 虚拟现实 (VR) 技术	190
5.7.1 VR 技术概述	190
5.7.2 虚拟样机技术	192
5.7.3 虚拟装配技术	194
5.7.4 虚拟制造技术	196
5.8 智能制造	199
5.8.1 智能制造产生的背景	199
5.8.2 IM 相关概念和特征	200
5.8.3 IM 的支撑技术	202
5.8.4 IM 的发展趋势	203
复习思考题	204
第 6 章 先进管理技术	205
6.1 先进管理技术概述	205
6.1.1 先进管理技术的内涵和特点	205
6.1.2 先进管理技术的发展	206
6.2 管理信息系统	206
6.2.1 物料需求计划	206
6.2.2 制造资源计划	209
6.2.3 企业资源计划	212
6.3 产品数据管理	216
6.3.1 PDM 概述	216
6.3.2 PDMS 的体系结构和功能	216
6.3.3 PDMS 的应用和发展趋势	220
6.4 现代质量保证技术	223
6.4.1 质量管理和质量保证	223
6.4.2 全面质量管理	225
复习思考题	228
参考文献	229

第 1 章

先进制造技术概论

制造业是国民经济的支柱产业，随着人类工业文明的不断进步，制造业已成为国家经济和综合国力的基础，它一方面直接创造价值，成为社会财富的主要创造手段和国民经济收入的重要来源；另一方面，它为国民经济各部门的科技进步及发展提供了先进的手段和装备。制造的发展离不开先进制造技术的支持。本章首先给出制造、制造技术和制造系统等基本概念，然后介绍先进制造技术的产生和发展，分析先进制造技术的内涵和结构体系，最后对先进制造技术的特点和发展趋势进行了简要说明。

1.1 制造业的起源和发展

制造业的发展源远流长。在遥远的旧石器时代，北京猿人就制造了带刃的石制砍砸器、刮削器。在距今 1 万年前的新石器时代，已经出现斧、刀、镰、铲等多种形式的石器，还出现了大量的骨、角、蚌和陶器用具。其中，安徽省潜山县出土的七孔石刀，长 325mm，宽 95mm，厚度不超过 10mm，充分展现了当时石器的制造水平。石刀上孔的加工运用了一种古老的制造工艺——“管钻法”，即以骨管作为钻头，并在钻孔处加入潮湿的石英砂，以增大骨管转动时的摩擦力，这算得上是钻孔法的开始（见图 1-1）。

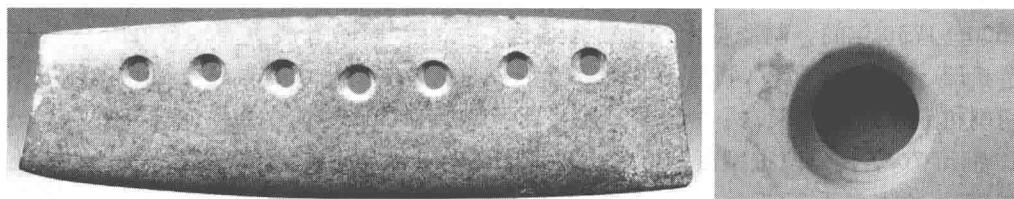


图 1-1 七孔石刀

商周时期人们对各种青铜器的需求，促使青铜器铸造工艺达到了很高的水平。石范、陶范等铸造方法均已出现，且发展出多种形式，如单面范、双面范、复合范、分模制造等。出现于商代中期的分铸法使陶范得以铸造出大型和高度复杂的器件。我国历史上许多著名的大型铸件，如司母戊方鼎等大都采用分铸技术制成。商代不止铸造技术高超，在当时还出现了一种极为杰出的金属加工工艺——冷锻。1936 年河南安阳出土的殷墟金箔厚度仅 0.01mm，金相组织观察其晶粒度大小不均匀，且晶粒边界平直，说明是经锤炼加工和退火处理的。

春秋战国时期，在之前卓越的铸造技术基础上，又发展出了金属范和失蜡铸造、叠铸等新技术。中国最早的失蜡铸件可追溯到公元前6世纪的云纹铜禁（见图1-2），这种中国古代匠师独创的用于形状复杂零件的铸造工艺，堪称是现代熔模铸造的鼻祖。

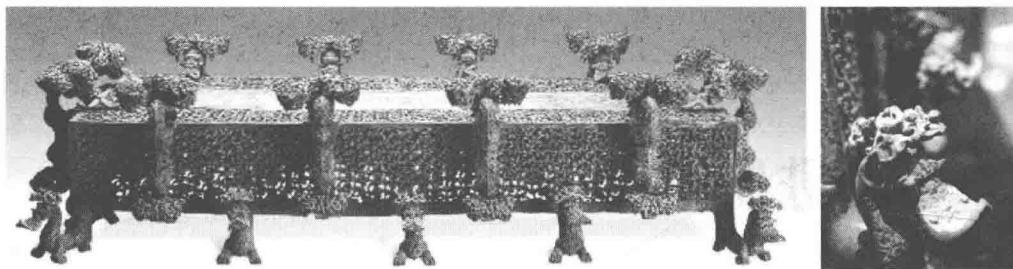


图 1-2 云纹铜禁

公元前7世纪，生铁冶铸技术和铁器开始问世，之后冶铸技术不断发展，热处理工艺开始萌芽，出现了低熔点合金铸焊、铸铁柔化、淬火等工艺。铸铁柔化技术是中国古代铸造和热处理技术的杰出成就。战国初期的青铜铸件曾侯乙编钟，集中反映了当时制造技术的最高成就。编钟的制造过程是一个复杂的系统工程，涉及设计、冶炼、铸造、焊接、热处理、冷加工以及声学、乐律等众多学科和技术领域，是当时不折不扣的“先进制造技术”。

西方文明在制造技术上的成就也不容小觑。公元前6世纪时木工工具有了很大改进，除常用的成套工具如斧、弓形锯、弓形钻、铲和凿外，还发展了球形钻、羊角锤、伐木用双人锯等。这一时期被广泛使用制造设备的还有脚踏车床，通常用来制造家具和车轮辐条。脚踏车床一直延用到中世纪，为近代车床的发展奠定了基础。

中世纪（476—1453年）西欧开始用煤炭做燃料冶炼生铁并制造了大型铸件。水轮机的发展为大型风箱提供了充足的动力，能够产生更高的熔化温度，铸造大炮和大钟的作坊随之增多，铸件重量大大增加。这个时期还出现了手摇钻、大轮盘的车床等加工机械。

1500年左右，机械式钟表获得了长足的改进，螺旋弹簧被用来产生驱动表针运动的动力，此外棘轮机构也在机械式钟表中得到应用。机械式钟表的不断改进迅速推动着精密零件制造技术的发展。

1500—1750年间，制造技术发展极为迅速。材料方面的进展主要表现在用钢铁代替木材制造机器、仪器和工具。制造设备也获得不少成就，制造出水力辗轧机械和多种机床，如齿轮切削机床、螺纹车床、小型脚踏砂轮磨床及研磨光学仪器镜片的抛光机等。

18世纪70年代，改进型蒸汽机的出现标志着第一次工业革命的爆发，近代的工业化生产方式随之产生。手工劳动方式逐步向机器生产方式发展，制造业逐渐形成规模（见图1-3、图1-4）。

19世纪中叶，电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础，电气化时代应运而生。电力的广泛应用，使制造业发生了重大变化，零件的标准化生产方式开始被采用并迅速得到推广，同时也推动了电力工业和电器制造业等一系列新兴工业的迅速发展。

20世纪初，内燃机的发明引发了制造业的又一次革命。美国福特汽车流水生产线的出现和泰勒科学管理理论的产生，标志着以汽车工业为代表的制造业进入了“大批量生产”的时代。

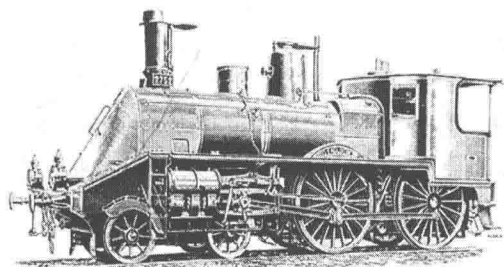


图 1-3 蒸汽机火车

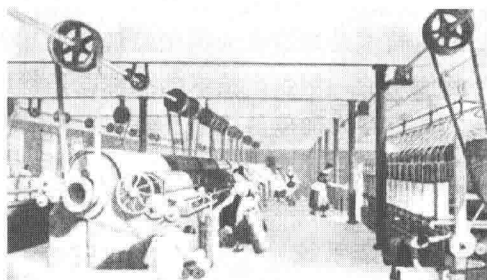


图 1-4 19 世纪机器制造厂

第二次世界大战后，电子计算机和集成电路的出现，以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展，使制造业产生了一次新飞跃。传统的大批量生产方式难以满足市场多变的需要，多品种、中小批量生产日渐成为制造业的主流生产方式。数控机床的出现使中小批量生产的自动化成为可能，科学技术的高速发展促进了生产力的进一步提高。伴随着计算机的出现，机械制造自动化从刚性自动化向柔性自动化方向发展。同时产品设计、工艺规程编制、数控加工编程、车间调度、车间和工厂管理、成本核算等都采用计算机辅助工程，出现了 CAD/CAM 一体化技术。

20 世纪 80 年代以来，信息产业的崛起和通信技术的发展加速了市场的全球化进程。为适应新的形势，在制造领域提出了许多新的制造哲理和生产模式，如计算机集成制造 (CIM)、精益生产 (LP)、快速成型技术 (RP)、并行工程 (CE)、敏捷制造 (AM) 等。

20 世纪 90 年代，因特网开始发展并得以应用，不同地域的工厂、设计部门和研究单位都可以通过因特网组合在一起，分工协作，共同开发、研制并生产新产品，并逐渐形成了网络化制造的概念。各种计算机仿真技术对制造业中的设计、制造、装配、调度、管理等方面产生了极大帮助。而随着并行工程的进一步发展，产品的生产周期也大为缩短。

近年来，制造业正向自动化、柔性化、集成化、智能化和清洁化的方向发展。现代制造技术发展的总趋势是制造技术与材料、电子、信息、生物、环保、管理等学科的相互交叉、融合。综合考虑社会、环境、资源等可持续发展因素的绿色制造技术将朝着能耗最小、无废弃物、可回收、对环境无害等方面发展。

1.1.1 制造、制造技术和制造系统

制造是人类按照所需目的，运用主观掌握的知识和技能，借助于手工或客观物质工具，采用有效的方法将原材料转化成最终物质产品，并投放市场的全过程。

从制造过程上来看，制造的含义有狭义和广义之分。

(1) 狭义制造

狭义制造是指产品的制作过程。或者说是使原材料（农产品和采掘业的产品）在物理性质和化学性质上发生变化而转化为产品的过程。如产品的机械加工与装配过程。

(2) 广义制造

广义制造又称为现代制造，是指产品的全生命周期过程。国际生产工程学会 (CIRP) 于 1990 年给出其定义：是一个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。

广义制造包含 4 个过程：概念过程（产品设计、工艺设计、生产计划等）、物理过程

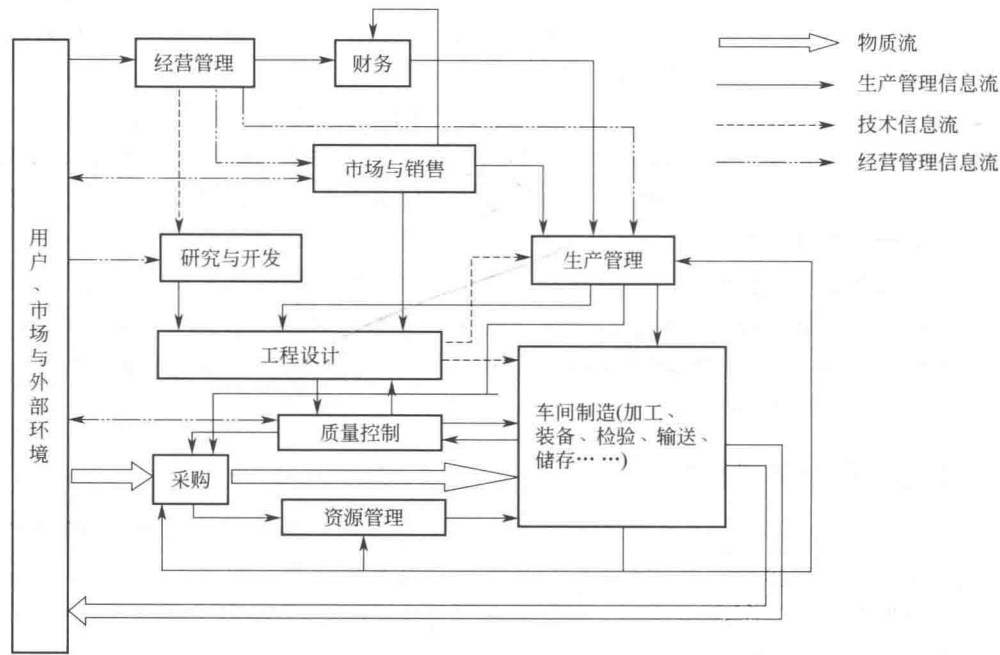
(加工、装配等)、物质(原材料、毛坯和产品等)的转移过程、产品报废与再制造过程。

制造技术是制造业为国民经济建设和人民生活生产各种必需物资(包括生产资料 and 消费品)所使用的一切生产技术的总称,是将原材料和其他生产要素经济、合理地转化为可直接使用的具有高附加值的成品/半成品和技术服务的技术群。制造技术的发展是由社会、政治、经济等多方面因素而决定的,但纵观近代制造业 200 年发展历程,影响其发展的主要因素则是技术推动和市场牵引。

(3) 制造系统

制造系统是指由制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个具有特定功能的有机整体。这里所指的制造过程,即为产品的经营规划、开发研制、加工制造和控制管理的过程。制作系统由若干具有独立功能的子系统构成(见图 1-5)。制造系统的主要子系统及其功能如下:

- ① 经营管理子系统确定企业的经营方针和发展方向,进行战略规划、决策。
- ② 市场与销售子系统进行市场调研与预测,制订销售计划,开展销售与售后服务。
- ③ 研究与开发子系统制订开发计划,进行基础研究、应用研究与产品开发。
- ④ 工程设计子系统进行产品设计、工艺设计、工程分析、样机试制、试验与评价,制订质量保证计划。



- ⑤ 生产管理子系统制订生产计划、作业计划,进行库存管理、成本管理、资源管理(设备管理、工具管理、能源管理、环境管理)、生产过程控制。
- ⑥ 采购供应子系统负责原材料及外购件的采购、验收、存储。
- ⑦ 质量控制子系统收集用户需求与反馈信息,进行质量监控和统计过程控制。
- ⑧ 财务子系统制订财务计划,进行企业预算和成本核算,负责财务会计工作。
- ⑨ 人事子系统负责人事安排、招工与裁员。

⑩ 车间制造子系统进行零件加工，部件及产品装配、检验，物料存储与输送，废料存放与处理。

上述各功能子系统既相互联系又相互制约，形成一个有机的整体，从而实现从用户订货到产品发送的生产全过程。制造系统具有一般系统的共性，主要包括以下几个方面的特性。

(4) 系统制造的特性

① 结构特性。

制造系统可视为若干硬件（生产设备、工具、运输装置、厂房、劳动力等）的集合体。为使硬件充分发挥效能，必须有软件（生产信息、制造技术等）支持。

② 转变特性。

制造系统是一个将生产要素转变成产品的输入输出系统，其主要功能便是转变功能。从技术的角度出发，制造是通过加工和装配把原材料变为产品的过程。该过程总是伴随着机器、工具、能源、劳动力和信息的作用（见图 1-6）。这种转变不仅指物流，也包含信息流和能量流。从经济的观点出发，制造过程的转变可以被理解为通过改变物料的形态或性质而使其不断增值的过程（见图 1-7）。

研究系统转变特性的目的，主要是从工程技术和经济的角度，研究如何使转变过程更有效进行。

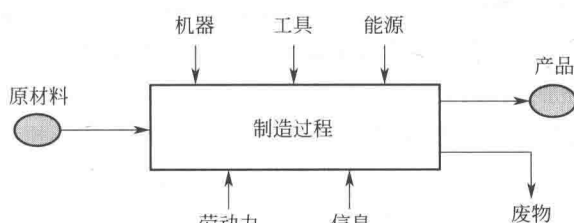


图 1-6 从技术角度定义制造过程

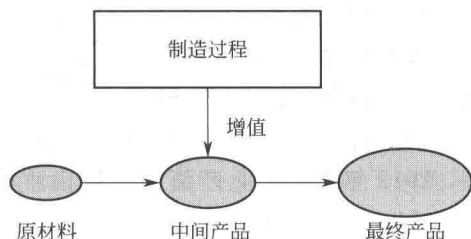


图 1-7 从经济角度定义制造过程

③ 程序特性。

所谓程序是指一系列按时间和逻辑安排的步骤。从这个定义出发，制造系统可视为一个生产产品的工作程序（见图 1-8）。研究制造系统的程序特性，主要从管理角度研究如何使生产活动达到最佳化。

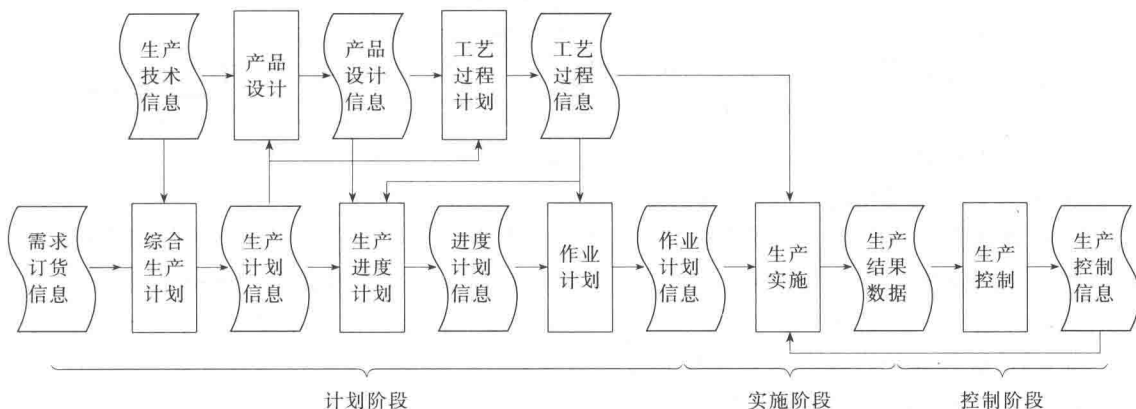


图 1-8 制造系统的程序特性

1.1.2 制造业的地位和作用

制造业是所有与制造活动有关的实体或企业机构的总称,是将可用资源与能源通过制造过程,转化为可供人和社会使用和利用的工业产品或生活消费品的行业,它涉及国民经济的各个领域,如机械、电子、轻工、食品、石油、化工、能源、交通、军工和航空航天等。制造业是国民经济的基础行业,是创造社会财富的支柱产业。一个国家或地区的制造业水平反映了其经济实力、国防实力、科技水平和生活水准,制造业的先进水平是一个国家经济发展的重要标志。统计表明,制造业为工业化国家创造了60%~80%的社会财富,是国际贸易中主要交易物品的源泉。一个没有足够强大制造业的国家不可能是一个先进、富强的国家,先进制造业是人们物质文化生活水平不断提高和综合国力不断增强的保证。世界强国无不把发展先进制造业作为长期国策,美国国家科学院早在1991年就将“制造”确定为美国国家经济增长和国家安全保证的三大主题之一,其他两个主题分别是“科学”与“技术”。

据统计,工业化国家中约有1/4的人口从事各种形式的制造活动,非制造业部门中约有半数人的工作性质与制造业密切相关。目前我国制造业包括有冶金、通用专用加工、食品加工、木材加工、纺织、医药、化纤、仪器仪表等30个行业。这些行业可以归为三类:轻工纺织制造业、材料及能源加工工业和机械电子制造业,分别占整个制造业的30.54%、33.48%、35.98%。前两类是对种植、养殖和采掘业(如矿石、煤、石油等)进行直接加工的企业,后一类是对经过加工的采掘业产品进行间接加工的企业。从这些行业可以看出,随着生产力发展,制造业的范畴也在不断拓展,其中就所涉及的工业领域而言就远不止机械制造,还包括电子、化工、轻工等关系国民经济的大量行业。

制造业的发展对一个国家的经济、社会以至于文化的影响是十分巨大和深刻的。据统计,2012年我国工业产值约占国内生产总值的38.5%,其中制造业产值又占工业产值的87.5%。制造业的综合作用可以从以下几个方面体现出来:

① 人们物质消费水平的提高,有赖于制造技术和制造业的发展。

制造业的技术发展水平不仅决定一个企业现时的竞争力,而且决定全社会的长远效益和经济的持续增长。

② 制成品出口在国际商品贸易中一直占有较大份额。

据统计,国际商品贸易中,工业制成品出口总量从1980年的90.05亿美元上涨到2011年的17980.5亿美元,上涨了200倍。因而,发展制造业、提高制造技术是影响发展对外贸易的关键因素。

③ 制造业是加强农业基础地位的物质保障,是支持服务业更快发展的重要条件。

脱离制造业,农业的发展便是空中楼阁。没有农业、制造业的发展,就不会有商业和服务业的发展和繁荣。

④ 制造业是加快信息产业发展的物质基础。

制造业和信息产业必须相互依赖、相互推动地共同发展,没有信息产业的快速发展,制造业就不可能较快地实现高技术化;反之,若没有制造业的拉动和支持,也不可能信息产业的发展 and 进步。

⑤ 制造业是加快农业劳动力转移和就业的重要途径。

在我国,制造业为大量的劳动力提供了从业渠道并加快了农业劳动力的市场转移。据统计,我国的制造业从业人数1987年为9805万人,2012年为10565万人,预计到2050年将

增加至 1.7 亿人。

⑥ 制造业是加快发展科技和教育事业的重要物质支撑，同时也是实现军事现代化和保障国家基本安全的基础条件。

下面以我国的两个大项目为例，来实际证明制造业在国民经济、国家安全和科研领域的重大意义。

所谓大型飞机，是指起飞总重量超过 100t 的运输类飞机，国际航运体系习惯上把 300 个座位以上的客机称作大型客机。我国从 20 世纪 60 年代开始，就已成功研制出 H-6（轰六）系列、运输机 Y-10（运十）等大型战机，但目前仍没有自己研制的大型客机。波音公司 2013 年预测，未来 20 年全球需要 35300 架新飞机，总价达 4.8 万亿美元。具体到我国市场，未来 20 年将增加新飞机 5600 架，总价值 7800 亿美元。虽然市场需求巨大，但是目前全球民用飞机制造市场仍处于美国波音和欧洲空客双寡头的垄断之下，两家公司占 80% 以上的市场份额。我国要研制大飞机，将直接面对波音和空客的竞争。在如此背景和压力之下，坚持大飞机项目是有其战略意义的。航空制造产业是国家的战略产业，不仅关系到一般意义上的经济发展，而且关系到国家关键领域的技术能力提升。大飞机项目能够带动新材料、现代制造、动力、电子信息、自动控制、计算机等领域关键技术的群体突破，能够拉动众多高技术产业发展，还将带动流体力学、固体力学等诸多基础学科的重大进展，全面、大幅度地提高我国科技水平。我国前总理温家宝早在 2007 年就指出，中国立志要在 2020 年前制造出和波音、空客差不多的飞机。整个项目国家将投入 600 亿元，分别投向大型运输机、大型客机和发动机。值得一提的是，2015 年习近平主席访美期间，还专门参观了美国波音公司商用飞机制造厂，同时国家发改委、中国商飞和中航工业分别与波音公司签署了关于全面战略合作、在中国建立波音 737 完工中心、大部件生产和订购 300 架波音飞机等系列合作文件。通过这些合作，中国企业将会从中获得更多制造大飞机方面的帮助。图 1-9 为 2009 年亚洲国际航空展览会上，中国商用飞机有限责任公司首次展出了中国自主研制的首款大型客机 C919 模型。



图 1-9 国产大型客机 C919 模型

与大飞机项目的市场潜力相比，我国的 FAST 工程在基础科学研究领域所具有的科研意义更为突出。FAST 工程全称 500m 口径球面射电望远镜工程（Five-hundred-meter Aperture Spherical Radio Telescope Project），该工程依托贵州省平塘县天然喀斯特洼地为台址，建成总面积 25 万平方米的反射面，成为世界第一大单口径射电望远镜。FAST 能够把近 30 个足球场大的接收面积里收集的信号，聚集在药片大小的空间里。2008 年 12 月 26 日这一世界“天眼”正式奠基，目前已初步完成反射面单元面板的拼装工作。与被评为人类 20 世纪十大工程之首的美国 Arecibo（阿雷西博）305m 射电望远镜相比，其综合性能提高约 10 倍。在未来 20~30 年内，FAST 将作为世界上最大的单口径望远镜，保持世界一流设备的

地位(见图 1-10)。FAST 工程涉及到众多高科技领域,如天线制造、高精度定位与测量、高品质无线电接收机、传感器网络及智能信息处理、超宽带信息传输、海量数据存储和处理等,关键技术成果可应用于大尺度结构工程、公里范围高精度动态测量、大型工业机器人研制以及多波束雷达装置等方面。目前国际顶尖的制造技术正向信息化、极限化、绿色化方向发展,FAST 工程的建设经验在这些前沿方向上恰好可以发挥出指导性作用,其设计制造不但能够综合体现我国高技术创新能力,而且可以在基础研究的众多领域,如宇宙大尺度物理学、日地环境研究、物质深层次结构和规律等方向提供发现和突破的机遇。如此庞大设备的制造,离不开先进的制造技术与加工装备的支持,在科研手段越来越依赖先进科研仪器的将来,科技的发展很大程度上还要依赖先进的制造业发展。

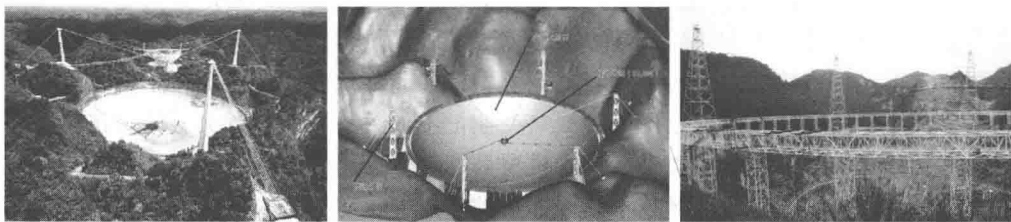


图 1-10 美国 Arecibo 射电望远镜、我国 FAST 工程的模拟图及在建工程现场

综上所述,不管是宏观的国家制造业,还是某一项制造技术的具体成果,都会对国民经济产生重大意义和举足轻重的影响。在 21 世纪,各个国家或地区,在经济、外交乃至于军事上的较量,在很大程度上是先进制造技术和制造工业水平与实力的较量。

1.1.3 我国制造业现状

(1) 我国制造业的发展

改革开放 30 多年来,我国制造业得到了迅速发展。机械工业是我国工业生产中发展最快的行业之一。据统计,1996 年机械工业产值在全国工业中的比例占 23%,增加值为 3300 多亿元,占同年我国国内生产总值的 5%,居全国工业各行业之首。“十一五”期间,机械工业产业规模进一步扩大,2010 年机械工业增加值占全国 GDP 比重已超过 9%,工业总产值从 2005 年的 4 万亿元增长到 2010 年的 14 万亿元,年均增速超过 25%,在全国工业中的比重从 16.6%提高到 20.3%。2009 年,我国机械工业销售额达到 1.5 万亿美元,超过日本的 1.2 万亿美元和美国的 1 万亿美元,跃居世界第一,成为全球机械制造第一大国。尤其是近年来我国汽车制造业的快速发展,取得了全球瞩目的成绩:2008 年汽车产量首次突破 1000 万辆大关;2009 年在全球经济恢复举步艰难的情况下,我国汽车工业仍保持持续增长势头,以 1379 万辆成为全球产销量第一的国家,该数据比 2007 年汽车工业协会的预测提前了 11 年;2013 年中国汽车产销量双超 2000 万辆,再创全球最高纪录。我国机床的产值自 2009 年以来连续三年世界第一,即使在 2012 年机床行业发展遭遇困境的情况下,我国整个机床行业的产值仍接近 8000 亿。

(2) 我国制造业的发展战略

客观地说,虽然当前我国制造业取得了一些成绩,但是总体上还存在有自主创新能力薄弱、基础发展相对滞后、产业发展方式较为粗放等不足。为缩小与工业先进国家的差距,我国制造业相关主管部门制定了如下的发展战略:

① 以竞争促发展。对于企业,要以市场为导向,开发产品、开拓市场、满足需求、取得效益;对于政府,要按照价值规律、供求关系和竞争机制优化资源配置,依赖经济、法律、信息等手段引导发展方向,培育市场,创造有序的竞争环境。

② 依赖科技进步。正确处理引导技术与自主创新的关系,加强科技成果的产业化,积极采用适用的先进技术,实施以企业为主体,产、学、研全面结合的技术创新体制。

③ 有限目标、重点突破。采用特定范围、有限目标、择优扶植、集中突破的方针,一个时期集中力量振兴若干重要领域。

④ 经济规模。扶植大企业走高起点、专业化、大批量的道路,发展专业化的“小巨人”。

⑤ 内外结合。促进国内外行业内外结合、互通有无,以及在技术、管理和资金上的合作。

1.2 先进制造技术的提出和进展

1.2.1 先进制造技术产生的背景

虽然制造业和人类的文明史一样源远流长,但是先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)作为专用名词的提出,仅有约30年的历史。美国在20世纪70年代后期,掀起了“第三次浪潮”论,即信息革命发展论在美国流传开来。拥护者认为“信息产业”的兴起和发展,是继农业和工业以后对人类社会产业结构的第三次冲击,呼吁美国政府大力发展信息业,并认为制造业已成为走向没落的“夕阳工业”。于是劳动力出现从工业到信息行业和服务行业的大转移。于是,制造技术的发展受到冷遇,大学里不再开设关于制造技术和制造科学方面的课程,也少有这方面的研究课题。实际上几乎是完全放弃了关于制造工程和制造科学方面的教育和研究工作。数年后,这种做法带来的灾难性的后果开始逐一展现出来,尤其是在电子工业和汽车工业,美国机床工业被迫放弃了原已占领的53%的市场,其年产值在12年间从57亿美元跌落到38亿美元。直到1986年该国仍有一半的机床需要进口。与此同时,日本的节能型轿车大举进入美国,占领了相当一部分美国市场并一举成为世界第一。美国的制造业在国际市场竞争中节节败退,物资生产基础遭到严重的削弱,第二、第三产业的比例严重失调,国际贸易逆差剧增,经济空前滑坡,美国公众和舆论界惊呼这种情况“危及美国国家的安全”。

科技优势和经济衰退的严重态势终于迫使美国政府和企业界重新审视其科学技术政策和产业政策,重新认识和评价制造技术和制造业在国民经济中的重要地位和作用。1988年,美国政府制定并实施了先进制造技术计划(ATP)和制造技术中心计划(MTC),随后取得了显著效果。1991年美国总统布什公布了“国家关键技术计划”,将“制造技术”列入六项关键技术之中(其余五项关键技术分别是材料、电子信息、生物工程与生命科学、能源与环境以及航空、航天与地面交通),同时将制造技术列为美国财政重点扶植的唯一领域。克林顿总统上台后,对制造工业给予了实质性的支持,并于1993年2月在硅谷发表了以“促进美国经济增长的技术——增强经济实力的新方向”为题的报告,特别提出要“促进先进制造技术的发展”,并指出“制造业仍然是美国的经济基础”。

先进制造技术是为了适应时代要求提高竞争力,对制造技术不断优化而形成的。目前,对先进制造技术尚没有一个明确的、一致公认的定义。通过对先进制造技术发展历程及其特征的分析研究,可以认为:先进制造技术是在吸收机械、电子、信息、自动化、能源、材料