



全国高职高专教育“十一五”规划教材

机 · 械 · 制 · 造 · 系 · 列

# 先进制造技术

张平亮 编著



高等教育出版社

全国高职高专教育“十一五”规划教材

机械制造系列

# 先进制造技术

张平亮 编著

高等教育出版社

## 内容简介

面对全球技术、经济、市场变革的机遇与挑战,制造业的竞争核心将是新产品和新的制造技术。为适应 21 世纪我国高新技术产业的技术、经济竞争和发展的需要,本书从系统思维、学科综合和技术集成的角度,采用“发展—原理—案例”的方法,重点论述了先进制造技术所涉及的核心内容,特别注重提供先进制造技术及其模式在制造业的应用案例,以使学生在获得分析、设计与实施先进制造技术所必需的基本知识和能力,启发和培养学生的创新意识和创新能力。全书分为制造业与先进制造技术、先进设计技术、先进制造工艺技术、先进制造自动化技术、先进制造模式、先进管理技术六章,提供了大量的案例和图表,每章后附有复习思考题。

本书适合作为高等职业院校机电一体化、模具设计与制造、数控技术等专业的教材,又适合作为机械工程及自动化、工业工程、机械电子工程等专业本科学生的参考教材,也可作为机械工程师、制造业工程技术人员、管理人员、决策人员及其相关人员的培训和自学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术 / 张平亮编著. —北京:高等教育出版社,  
2009.1

ISBN 978 - 7 - 04 - 025641 - 3

I. 先… II. 张… III. 机械制造工艺 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 190571 号

策划编辑 罗德春 责任编辑 查成东 封面设计 张雨微 责任绘图 尹莉  
版式设计 余杨 责任校对 杨雪莲 责任印制 韩刚

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010 - 58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京中科印刷有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2009 年 1 月第 1 版
印 张	19.5	印 次	2009 年 1 月第 1 次印刷
字 数	470 000	定 价	26.50 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25641-00

# 前 言

先进制造技术是由制造技术、电子技术、信息技术、自动化技术、能源技术、材料科学以及现代管理技术等众多技术的交叉、融合和渗透而发展起来的,是涉及制造业中产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力的一项综合性技术。先进制造技术是发展国民经济的重要基础技术之一,对我国的制造业发展有着举足轻重的作用。

为了适应 21 世纪我国高新技术产业的技术、经济竞争和发展的需要,同时开阔学生的专业视野,使其掌握制造技术的最新发展,培养复合型人才,促进先进制造技术在我国的研究和应用,本书从系统思维、学科综合和技术集成的角度,采用“发展—原理—案例”的方法,重点论述了先进制造技术所涉及的核心内容,特别注重提供先进制造技术及其模式在制造业的应用案例,使学生获得分析、设计与实施先进制造技术所必需的基本知识和能力,启发和培养学生的创新意识和创新能力。全书分为制造业与先进制造技术、先进设计技术、先进制造工艺技术、先进制造自动化技术、先进制造模式、先进管理技术六章,提供了大量的案例和图表,每章后附有复习思考题。

本教材具有下列特色:

- 1) 内容全面、新颖,基本能够反映近年来国内外先进制造技术的最新发展。
- 2) 作为机械工程各专业的后续专业课程,侧重内容的前沿性、综合性和交叉性,尽量避免与先导专业课程的重复,突出创新思维和创新能力。
- 3) 注重工程应用,在力求保持先进制造技术系统性和完整性的前提下,更注重介绍先进、相对成熟的技术及其应用实例。

本书适合作为高等职业院校机电一体化、模具设计与制造、数控技术等专业的教材,又适合作为机械工程及自动化、工业工程、机械电子工程等专业本科学生的参考教材,也适用于与制造工程领域相关的其他专业,还可作为机械工程师、制造行业的工程技术人员、管理人员、决策人员及其相关人员的培训和阅读参考书。

在本书的编写过程中得到了学院领导、老师和家属的关心和大力支持,还得到了高等教育出版社的大力帮助,在此表示衷心感谢。由于编者水平有限,加上先进制造技术的发展迅速,书中难免有不足之处,望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编者

2008 年 7 月

# 目 录

第 1 章 制造业与先进制造技术	1	复习思考题	65
1.1 制造业的发展与挑战	1	第 3 章 先进制造工艺技术	66
1.1.1 制造与制造业	1	3.1 先进制造工艺技术概述	66
1.1.2 制造业的地位与作用	6	3.1.1 机械制造技术的内涵	66
1.1.3 我国制造业的现状	7	3.1.2 先进制造工艺技术的定义和内容	68
1.1.4 我国制造业的目标和发展战略	10	3.1.3 先进制造工艺技术的发展趋势	69
1.2 先进制造技术的提出和进展	10	3.2 精密与超精密加工技术	69
1.2.1 制造技术的进步	10	3.2.1 概述	69
1.2.2 先进制造技术产生的背景及其提出	11	3.2.2 精密与超精密加工方法和特点	71
1.2.3 各国先进制造技术发展概况	14	3.2.3 金刚石超精密切削	72
1.3 先进制造技术的体系结构及其分类	15	3.2.4 精密与超精密磨削	74
1.3.1 先进制造技术的体系结构	15	3.2.5 超精密研磨和抛光	76
1.3.2 先进制造技术的分类	17	3.2.6 超精密加工机床及支撑环境	78
1.3.3 先进制造技术的实施及效果	18	3.3 特种加工技术	83
1.4 先进制造技术的发展趋势	19	3.3.1 概述	83
本章小结	23	3.3.2 激光加工技术	84
复习思考题	24	3.3.3 电子束加工技术	86
第 2 章 先进设计技术	25	3.3.4 离子束加工技术	87
2.1 先进设计技术的内涵与体系结构	25	3.3.5 化学机械复合加工技术	88
2.1.1 先进设计技术的内涵与特点	25	3.3.6 高压水射流加工技术	89
2.1.2 先进设计技术的体系结构	27	3.4 快速原型制造技术	92
2.2 计算机辅助 X(CAX)	28	3.4.1 快速原型制造技术的基本原理与特点	93
2.2.1 计算机辅助 X 的概念及关键技术	28	3.4.2 典型的快速原型制造技术工艺方法	95
2.2.2 计算机辅助设计(CAD)	28	3.4.3 快速原型制造技术的工艺设备、材料及软件	98
2.2.3 计算机辅助工艺设计(CAPP)	34	3.4.4 快速原型制造技术的应用	100
2.2.4 计算机辅助制造(CAM)	38	3.5 微细加工技术	107
2.3 先进设计方法	39	3.5.1 微机电系统与微细加工技术概述	107
2.3.1 优化设计	39	3.5.2 典型微机械的微细加工技术	107
2.3.2 模块化设计(MD)	45	3.5.3 微机电系统的应用领域	112
2.3.3 价值工程	50	3.6 生物制造	115
2.3.4 反求工程	56	3.6.1 生物制造的发展	115
本章小结	64	3.6.2 生物制造的概念与内容	116

3.7 绿色制造(GM) .....	119	5.3.2 并行工程的关键技术与应用效益 .....	186
3.7.1 绿色制造的提出和内涵 .....	119	5.4 精益生产(LP)和准时生产(JIT) .....	194
3.7.2 绿色制造的体系结构及研究内容 .....	120	5.4.1 精益生产的原理及特点 .....	194
3.7.3 绿色制造的实施模式 .....	121	5.4.2 精益生产的体系结构和内容 .....	196
3.7.4 清洁化生产 .....	123	5.4.3 准时生产 .....	197
3.7.5 再制造工程 .....	125	5.5 计算机集成制造(CIM) .....	202
本章小结 .....	132	5.5.1 计算机集成制造的原理 .....	202
复习思考题 .....	132	5.5.2 计算机集成制造的关键技术 .....	206
<b>第4章 先进制造自动化技术</b> .....	<b>134</b>	5.5.3 计算机集成制造系统在中国的应用 成果 .....	207
4.1 先进制造自动化技术概述 .....	134	5.6 敏捷制造(AM) .....	214
4.1.1 先进制造自动化技术的内涵 .....	134	5.6.1 敏捷制造的内涵 .....	215
4.1.2 先进制造自动化技术的现状及发展 趋势 .....	134	5.6.2 敏捷制造的体系结构 .....	215
4.2 数控机床与技术 .....	138	5.6.3 敏捷制造系统的实现技术 .....	216
4.2.1 数控机床的加工过程及组成 .....	138	5.6.4 敏捷制造的一般实施方法 .....	216
4.2.2 数控加工编程技术 .....	141	5.6.5 敏捷制造的应用效果 .....	217
4.2.3 数控技术的发展 .....	143	5.7 虚拟制造(VM) .....	220
4.3 工业机器人 .....	145	5.7.1 虚拟制造的内涵 .....	220
4.3.1 工业机器人的定义与组成 .....	146	5.7.2 虚拟制造的特点 .....	221
4.3.2 工业机器人的性能与分类 .....	147	5.7.3 虚拟制造的分类和体系结构 .....	222
4.3.3 工业机器人的机械结构 .....	150	5.7.4 虚拟制造的应用 .....	225
4.3.4 工业机器人的驱动系统 .....	152	5.8 网络制造(NM) .....	227
4.3.5 工业机器人的控制系统与编程 .....	155	5.8.1 网络制造与传统制造比较 .....	227
4.3.6 工业机器人在制造业的应用 .....	157	5.8.2 网络制造的特点 .....	227
4.4 柔性制造系统(FMS) .....	161	5.8.3 网络制造的功能结构 .....	228
4.4.1 柔性制造系统的基本概念 .....	161	5.8.4 网络制造的关键技术及其实施 .....	229
4.4.2 柔性制造系统的组成和特点 .....	162	5.9 可重构制造(RM) .....	233
4.4.3 柔性制造系统的适用范围及应用 .....	165	5.9.1 可重构制造概述 .....	233
本章小结 .....	172	5.9.2 可重构制造的关键技术 .....	235
复习思考题 .....	173	5.10 智能制造(IM) .....	236
<b>第5章 先进制造模式</b> .....	<b>174</b>	5.10.1 智能制造的含义与特点 .....	237
5.1 先进制造模式概述 .....	174	5.10.2 智能制造的关键技术 .....	237
5.1.1 先进制造模式的定义与特点 .....	174	5.11 几种制造模式的比较 .....	240
5.1.2 先进制造模式的类型和作用 .....	175	5.11.1 CE、CIM及VM的比较 .....	240
5.2 成组技术(GT) .....	177	5.11.2 CIM、VM、IM及AM的比较 .....	240
5.2.1 成组技术的原理 .....	177	5.11.3 DM、FM与RM的比较 .....	241
5.2.2 成组技术在制造系统的应用及 效益 .....	182	5.11.4 AM、MP与LP的比较 .....	242
5.3 并行工程(CE) .....	184	5.11.5 IM、AM、NM、BM与GM的比较 .....	244
5.3.1 并行工程的原理和特点 .....	184	5.11.6 我国实施先进制造模式的途径 .....	244
		本章小结 .....	245
		复习思考题 .....	246

<b>第 6 章 先进管理技术</b> .....	248	6.3.6 供应链管理的效益 .....	271
6.1 先进管理技术概述 .....	248	6.4 产品数据管理技术(PDM) .....	273
6.1.1 先进管理技术的内涵与特点 .....	248	6.4.1 PDM 概述 .....	274
6.1.2 先进管理技术的发展 .....	249	6.4.2 PDM 的体系结构 .....	275
6.2 现代生产管理信息系统 .....	249	6.4.3 PDM 的功能 .....	276
6.2.1 物料需求计划(MRP) .....	250	6.4.4 PDM 与 ERP 之间的区别与联系 .....	280
6.2.2 制造资源计划(MRP II) .....	252	6.4.5 PDM 系统的实施与应用 .....	281
6.2.3 企业资源计划(ERP) .....	257	6.5 现代质量保证技术 .....	285
6.3 企业供应链管理(SCM) .....	267	6.5.1 现代企业质量管理概述 .....	286
6.3.1 企业供应链管理的发展背景 .....	267	6.5.2 质量管理体系与 ISO 9000 .....	290
6.3.2 供应链的概念 .....	268	本章小结 .....	300
6.3.3 供应链的组成与分类 .....	269	复习思考题 .....	301
6.3.4 供应链管理的概念与内容 .....	270	<b>参考文献</b> .....	302
6.3.5 供应链管理功能 .....	271		

# 第1章 制造业与先进制造技术

制造业是国民经济的支柱产业,制造业的发展离不开先进制造技术的支持。本章首先给出制造与制造系统的基本概念,阐明制造业的地位与作用,重点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实施效果和先进制造技术的发展趋势进行简要说明。

## 1.1 制造业的发展与挑战

### 1.1.1 制造与制造业

#### 1. 制造的内涵

从制造过程上来看,制造的含义有狭义与广义之分。

##### (1) 狭义制造

又称为小制造,是指产品的制作过程。或者说,制造是使原材料(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。如产品的机械工艺过程或机械加工与装配过程。

##### (2) 广义制造

又称为大制造或现代制造,是指产品的全生命周期过程。国际生产工程学会(CIRP)1990年给出了其定义:制造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。

广义制造包含了4个过程:①概念过程(产品设计、工艺设计、生产计划等);②物理过程(加工、装配等);③物质(原材料、毛坯和产品等)的转移过程;④产品报废与再制造过程。

广义制造具有3个特点:

1) 全过程。从产品生命周期看,不仅包括毛坯到成品的加工制造过程,还包括产品的市场信息分析,产品决策,产品的设计、加工和制造过程,产品销售和售后服务,报废产品的处理 and 回收,以及产品全生命周期的设计、制造和管理。

2) 大范围。从产品类别来看,不单是机械产品的制造,还有光机电产品的制造、工业流程制造、材料制备等。

3) 高技术。从技术方法来看,不仅包括机械加工技术,而且包括高能束加工技术、微细加工技术、生物制造技术、计算机技术与网络技术等。

#### 2. 制造系统

和所有的系统一样,制造作为一个系统,由若干个具有独立功能的子系统构成,如图1-1所示。其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。



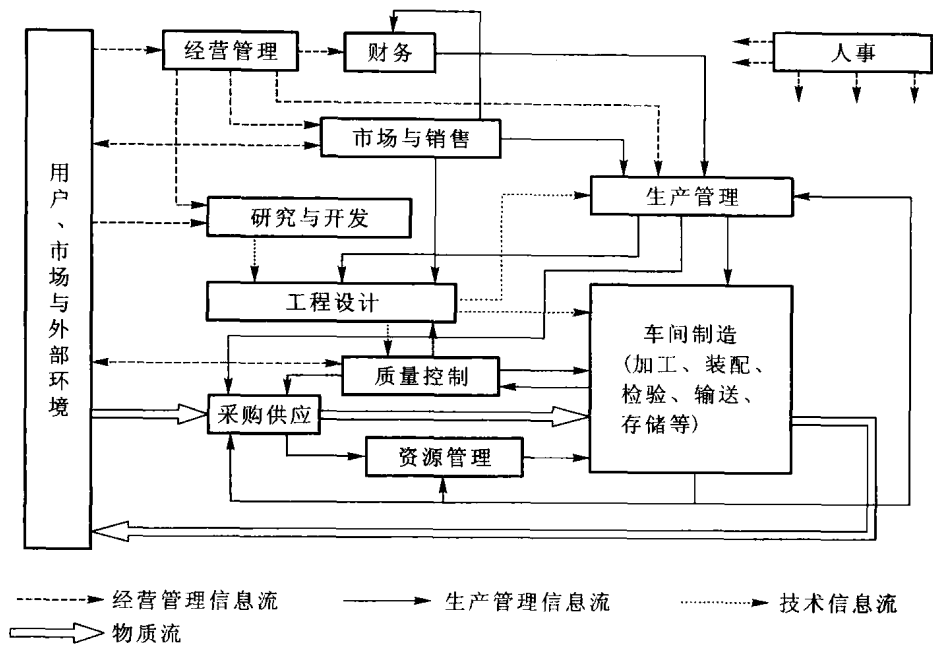


图 1-1 制造系统功能结构

- 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,制定质量保证计划。
- 5) 生产管理子系统制定生产计划、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) 财务子系统制定财务计划,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。制造作为一个系统,具有一般系统的共性,包括如下几个方面。

#### (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。如图 1-2 所示制造系统结构特性示意图中,有关人员和设备的合理配

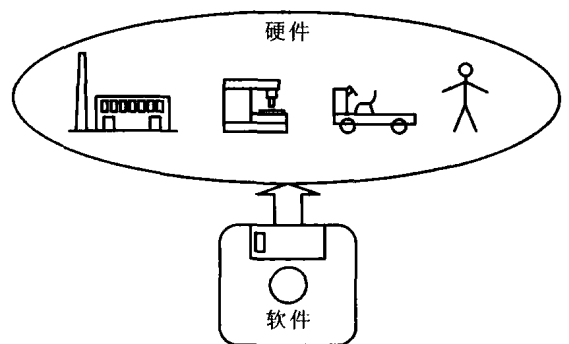


图 1-2 制造系统结构特性示意图

置与布局等,即是从系统结构方面对制造系统进行研究。

### (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,如图 1-3 所示。这种转变不仅指物流,同时也包含信息流和能量流。

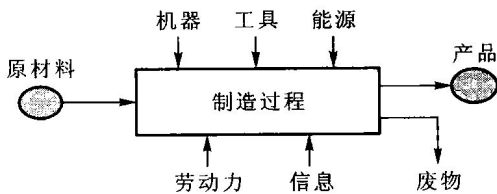


图 1-3 从技术角度定义制造过程

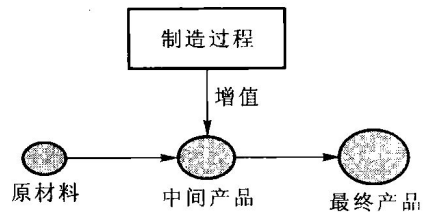


图 1-4 从经济角度定义制造过程

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,如图 1-4 所示。

研究系统的转变特性的目的,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地进行。

### (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。从这个意义出发,制造系统可视为一个生产产品的工作程序。如图 1-5 所示,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。

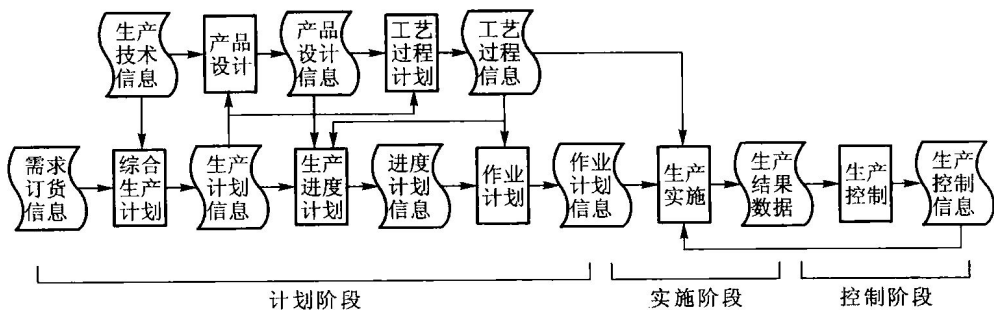


图 1-5 制造系统的程序特性

## 【案例 1-1】 网络化全球制造系统模型

图 1-6 所示是一个网络化全球制造的系统模型。这是一种动态联盟和虚拟企业的模型,表明现代制造系统是一个全球化、网络化、可动态重构的虚拟系统,与传统制造系统的概念有着重大的区别。图 1-7 所示示意图描述了企业系统与环境的关系,表明企业系统是一个社会经济技

术的开放系统。

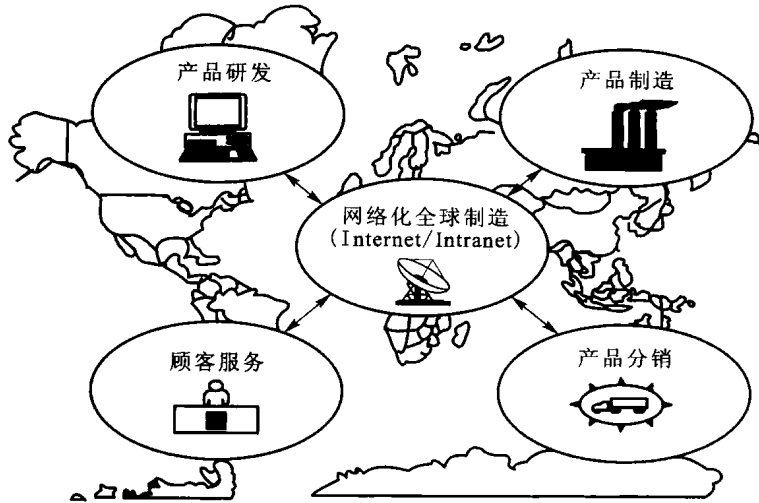


图 1-6 网络化全球制造系统

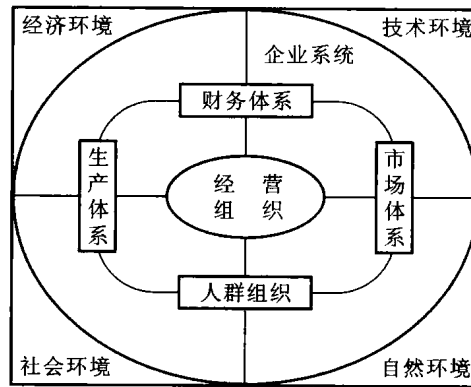


图 1-7 企业系统与环境的关系

### 3. 制造业的内涵及构成

制造业是所有与制造有关的企业生产机构的总称。或者说,它是原材料加工或再加工以及零部件装配工业的总称。它有消费品制造业和装备制造业、轻型制造业和重型制造业、民用制造业和军工制造业、传统制造业和现代制造业之分。

一个产业部门是由许多企业构成的,它们的经济活动内容相似,即产品品种和服务类型是相似的,亦称为一个行业。有时一个企业也可能分属不同的行业。制造业按行业可分为机械制造、材料制造、食品制造、化工制造、石油产品制造、冶金产品制造、军工产品制造、电子产品制造、信息产品制造和民用消费品制造等。

按我国现行统计体系的划分,在工业领域中,除采掘业、电力蒸汽热水生产供应业、煤气的生

产和供应业、自来水的生产和供应业之外,制造业包含其余的所有行业(见图 1-8)。

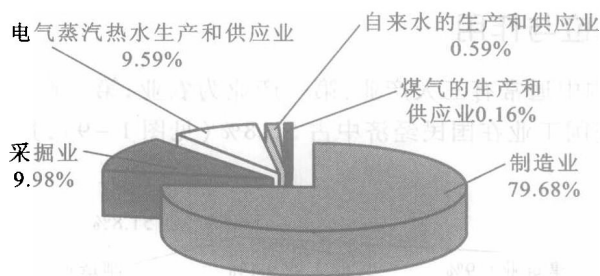


图 1-8 2002 年全国工业构成  
(按全部国有及规模以上非国有工业企业的工业增加值分析)

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。2002 年我国的制造业有 28 个行业(见表 1-1)。

表 1-1 我国制造业的 28 个行业

序号	轻工纺织制造业的行业名称	序号	资源加工工业的行业名称	序号	机械电子制造业的行业名称
1	食品加工业	11	印刷业、记录媒介的复制	21	有色金属冶炼及压延加工业
2	食品制造业	12	文体教育用品制造业	22	金属制品业
3	饮料制造业	13	石油加工及炼焦业	23	普通机械制造业
4	烟草加工业	14	化学原料及化学制品业	24	专用设备制造业
5	纺织业	15	医药制造业	25	交通运输设备业
6	服装及其他纤维制品制造业	16	化学纤维制造业	26	电气机械及器材制造业
7	皮革、毛皮、羽绒及其制品业	17	橡胶制品业	27	电子及通信设备制造业
8	木材加工及竹藤、棕、草制品业	18	塑料制品业	28	仪器仪表及文化办公用机械制造业
9	家具制造业	19	非金属矿物制造业		
10	造纸及纸制品业	20	黑色金属冶炼及压延加工业		

可以将这些行业归为三类:① 轻工纺织制造业;② 资源(包括原材料和能源)加工工业;③ 机械电子制造业。在我国它们分别占整个制造业的 30.54%、33.48%、35.98%。前两类是对种植、养殖产品和采掘业产品(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。由表 1-1 可见,随着人类生产力的发展,制造业的内涵在范围方面已大大拓展,制造业涉及的工业领域远非局限于机械制造,同时还包括机械、电子、化工、轻工、食品和军工等国民经济的大量行业。

机械电子制造业可分为装备制造业和消费品制造业。装备制造业是为国民经济和国防建设提供投资类产品企业的总称。它的技术水平决定了相关产业的质量、效益和竞争力的高低。它

带动性强,涉及面广,在工业部门中占有中心地位。

### 1.1.2 制造业的地位与作用

在国民经济产业结构中通常有三大产业:第一产业为农业;第二产业为工业;第三产业为服务业。据统计,2002年我国工业在国民经济中占51.8%(见图1-9),其中制造业产值又占工业总产值的约45%。

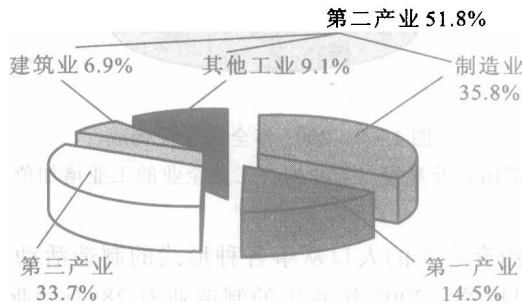


图 1-9 2002 年我国第一、二、三产业在国民经济中占的比例

制造业的发展对一个国家的经济、社会以至文化的影响是十分巨大和深刻的,下面从八个方面进一步说明制造业在国民经济中的地位与作用:

1) 人们的物质消费水平的提高,有赖于制造技术和制造业的发展。

2) 制造业,特别是机械装备制造业,其技术发展水平不仅决定一个企业现时的竞争力,更决定全社会的长远效益和经济的持续增长。可以说,制造业是实现经济增长的物质保证。

3) 制成品出口在国际商品贸易中一直占有较大的份额,我国1980年制成品出口额的比例为48%,2000年上升为90%。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。

4) 要加快经济增长,在第一产业的农业、第二产业中的制造业与第三产业的服务业之间必须保持协调发展。脱离制造业的发展,农业的发展是空中楼阁。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。可以说,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。

5) 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。

6) 制造业是加快农业劳动力转移和就业的重要途径。我国的制造业从业人数1987年为9805万人,预计到2050年将增加至1.7亿人。当然,发达国家制造业的从业人数已呈减少趋势,但在最近几十年内,我国制造业从业人数增加趋势不会改变。

7) 制造业是加快发展科学技术和教育事业的重要物质支撑,它不仅为科技发展和教育发展提供经费支持,还为研究开发提供许多重要的研究方向与课题及先进的实验装备。

8) 制造业也是实现军事现代化和保障国家基本安全的基本条件。

### 1.1.3 我国制造业的现状

#### 1. 我国制造业的发展

制造业是国民经济的产业主体和物质基础。2001年中国制造业增加值为37 613.1亿元,占国民生产总值的39.21%,占工业生产总产值的77.61%;上交税金4 398.17亿元,占国家税收总额的30%和财政收入的27%。制造业的增长率高出国民生产总值增长率约3~8个百分点。制造业是我国吸纳劳动就业的重要市场。2001年我国制造业全部从业人员8 083万人,约占全国工业从业人员8 924万人的90.13%,约占全国全部从业人员71 150万人的11.1%。制造业是我国扩大出口的关键产业。2001年我国制造业出口创汇2 398亿美元,占全国外贸出口总额的89.78%,这说明制造业在我国出口贸易中的主力军地位。

此外,“十五”以来,国家加大了对装备制造业的支持力度,依托国家重点工程和大宗产品订单,支持企业技术改造和科技攻关,实现重大技术装备自主化,掌握了一批先进的重大成套设备的核心技术。如:河南沁北60万千瓦超临界火电机组的设计和制造,自制率达到90%~95%以上;葛洲坝170 MW水电站机组(其轴流式水轮机的转轮直径为11.3 m);300 MW秦山核电站成套设备;西北75万伏交流和三峡贵广正负50万伏直流输变电工程;宝钢三期工程250 t氧气转炉;30万吨合成氨装置和52万吨尿素成套装置;5 000×735 W内燃机牵引的车速高达160 km/h的准高速客运列车;600 MW级大型空冷机组和电站直接空冷系统;4万立方米等级大型空分设备;17.4万吨新型双壳散货船;国产先进的CPU芯片;曙光巨型计算机;核动力潜艇;人造卫星;神舟5号、6号、7号载人飞船(图1-10)等,无不是由我国自行设计、制造的。

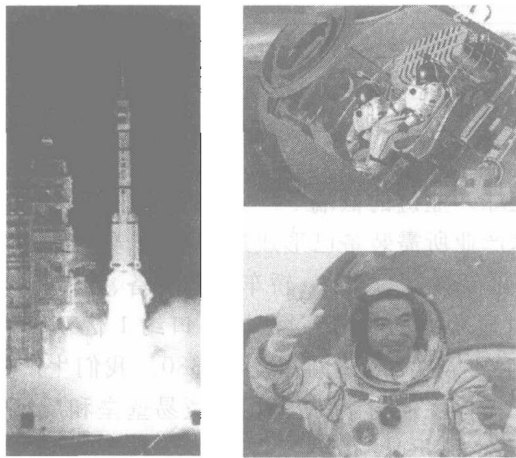


图1-10 神舟7号载人飞船成功发射与升空

1980年,中国制造业的增加值占世界的1.5%,只有巴西的一半。1990年中国制造业增加值超过巴西,位居发展中国家之首,占全球的2.7%,进入世界十强,排名第八位。2000年,中国制造业的增加值占全球的比重达到7%,仅次于美国、日本和德国,在全球排名第四位。2006年,中国制造业有172类产品的产量居世界第一位;制造业增加值以美元计算,达到10 956亿美元,

首次在总量上超过日本,成为世界第二制造大国。这是中国制造业经济在世纪之交超越德国后的又一次历史性突破。20多年来,中国制造业增长速度居全球之首,占全球比重平均每年上升0.26个百分点。

上述事实证明,我国制造业已为全球制造和供应基地奠定了坚实的基础。许多经济学家预测我国将成为继英国、美国、日本后的又一个世界工厂,中国制造必将成为世界制造业的一支主力军。

## 2. 我国制造业存在的问题

虽然我国已成为制造大国,但是还不是制造强国。我国制造业与发达国家有阶段性差距。根据中国工程院2001年组织25位院士和40多位专家对我国制造业调查研究的结果,我国制造业总体规模尚不到世界的5%,仅相当于美国的1/5。目前我国制造业的企业制造模式、制造技术普遍存在的问题可归纳如下:

### (1) 劳动生产率及工业增加值率低

我国制造业的劳动生产率远远落后于发达国家,仅为美国的1/18,日本的1/15,德国的1/13,如表1-2所示。2001年我国制造工业增加值仅为1998年美国的31.6%,1998年日本的50.6%。我国虽有不少产品产量已居世界前列,但总体上仍停留在劳动密集型阶段,产品技术含量低,附加价值也低。我国仅有上海汽车工业(集团)公司等少数制造企业入围世界500强。例如:我国汽车工业从业人员有180多万,2001年汽车产量也只有225.5万辆,而日本汽车工业的从业人员只有50万人,汽车产量却高达1300万辆。

表1-2 2003年我国制造业增加值率和劳动生产率与主要国家的对比

	中国	美国	日本	德国	英国	法国	韩国
劳动生产率/(美元/人年)	4 666	83 986	70 234	61 802	74 938	61 019	34 651
工业增加值率/%	26.2	49.2	48	37.9	36*	30*	27.2*

\*为高科技产业增加值率

### (2) 我国制造业处于全球产业链的低端

我国国民经济和高技术产业所需装备已形成进口依赖,如光纤制造装备的100%,集成电路芯片制造装备的85%、石油化工装备的80%,轿车工业装备、数控机床、纺织机械、胶印设备等的70%被进口产品占领。资料显示:我国每年对法国出口约1亿双鞋,平均1名法国人要摊2双鞋,而这1亿双鞋挣来的外汇才够换回一架空中客车380。我们生产的箱包、玩具、衣服、鞋帽和农产品技术含量低,利润薄,替代性强,且屡遭他国的贸易壁垒和反倾销惩罚。

### (3) 技术创新能力差,新产品贡献率低

突出表现为:

1) 企业自身技术创新能力较低。主要机械产品技术来源的57%来自国外,具备自主知识产权的产品和核心技术很少,对引进技术的消化吸收基本停留在仿制的较低层次阶段。

2) 产品开发周期过长,企业对市场的快速反应能力差。我国大中型企业生产的2000多种主导产品的平均生命周期为10.5年,产品开发周期平均为18个月。而美国在1990年就实现了新产品设计周期3个星期,试制周期仅为3个月。美国机械工业产品的生命周期一般仅有3.4年。美国制造业新产品的贡献率已达到国内生产总值的52%(1995年),而我国为25.19%

(2006年)。

3) 国外已广泛采用的先进制造技术在国内尚处在初级开发阶段,普及率较低。

#### (4) 制造业的结构不尽合理

我国制造业总体结构偏轻,装备制造业基础薄弱。按2001年的统计,我国机械电子制造业的工业增加值占制造业工业增加值的比重为34%,明显低于工业发达国家(1997年美国为44%,日本为47%)。条块分割、地区封锁、行业垄断的市场格局,加上法制不健全,使得生产要素的合理流动和重新组合困难重重,造成资源配置不当,组织结构分散。

#### (5) 设计技术陈旧

工业发达国家拥有雄厚的原创性技术支持新产品的开发;不断更新设计数据和准则,推广新的设计方法;普遍采用了计算机辅助设计(CAD)技术,在大型企业开始实现无图样设计和生产。我国具有自主知识产权的原创性技术极少,产品技术主要依赖国外;设计基础数据缺乏,设计规范和准则陈旧;虽然几乎全部大型企业、70%的中型企业、20%~30%的小型企业不同程度地应用了CAD技术,但主要目的是“甩图板”,而用CAD技术开展创造性设计的工作较少,新的设计方法应用不多。

#### (6) 制造工艺与装备落后

工业发达国家在20世纪五六十年代已普遍采用优质、高效、低耗的工艺及装备;精密成形技术、激光加工、快速成形技术等新型加工方法也已在较广范围内得到应用;超高速加工主轴转速已达到30 000 r/min,回转精度一般已达到小于0.002 mm,快速进给速度达50 m/min。而我国优质、高效、低耗工艺的普及率不足10%,加工工艺模拟及优化等技术只有较少企业开始采用。

#### (7) 制造过程自动化水平较低

工业发达国家已大量采用数控机床、加工中心,机器人也得到较为广泛的应用。2005年全世界已拥有机器人100万台,实现柔性集成化生产,并向智能化方向发展。我国企业仍处于单机自动化、刚性自动化阶段,虽然这几年的发展有所增长,但仍处于很低水平;采用柔性自动化技术、机器人技术的企业极少,2005年机器人拥有量约7 600台,只有全世界拥有量的0.8%。

#### (8) 经营理念的不适应

工业发达国家目前十分重视制造模式的研究与应用,准时生产、精益生产、敏捷制造等先进制造模式也相继出现,并开始广泛应用于企业。目前我国制造企业生产经营中的常见现象有:客户需求多变,而生产计划对变化不能及时响应;采购、库存与生产配合不密切;生产上所需的原材料供应脱节;计划粗糙或库存数据本身就不精确、不及时;库存过大导致成本过高等。这些现象的背后是落后的经营理念。

#### (9) 生产管理手段的不适应

在工业发达国家,企业资源计划(enterprise resource planning, ERP)、供应链管理(supply chain management, SCM)、客户关系管理(customer relationship management, CRM)和电子商务(electronic commerce, EC)等先进管理模式已逐步推广。我国大部分企业管理基础薄弱,生产管理手段落后。例如,产品物料清单不准确,零部件生产配套率低;生产计划不精确,只靠车间调度人员来组织生产,往往引起生产活动紊乱,造成生产周期过长。目前ERP在我国虽已有上千家企业应用,总投入约80亿元人民币,但大多不成功,效果不佳。

#### (10) 企业组织结构的不适应



不少企业组织僵硬,机构臃肿;不是以人为中心,而是以技术为中心;注重物质环境的建设而忽视人文环境的建设;不能充分发挥企业的群体优势;企业各部门不能做到信息共享,决策者不能及时快速地获取反馈信息,也不知所做的决策是否可行,造成企业缺乏快速响应市场变化的能力。

目前我国制造企业的技术水平与国际先进水平比较,从总体上看其差距达 20 年左右。

#### 1.1.4 我国制造业的目标和发展战略

我国制造业的问题是系统性的,因此解决问题的方法也应当是从整体出发的综合治理。某一项单元技术的突破,尚不能解决制造业的整体问题。这就要求必须从系统技术入手,通过企业诊断,找到企业经营、设计与制造中的瓶颈,把技术进步和管理模式更新结合起来,从而找到一条适合国情的制造技术创新之路。

制造业的兴衰不只是制造业的大事,而且是关系到国家的国际竞争力和国家安全的大事。我们正处于制造业的新时代,这是一个机遇,世界各国也面临着这个新时代的挑战。现在,美国、日本和西欧广泛认为新的制造系统已开始形成。如果我们抓住机遇,迎接挑战,发挥优势,缩短差距,就可更早地把我国建设成为世界制造强国。

具体发展战略:

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、大批量和专业化的道路。

5) 内外结合促进国内外产品互通有无,加强在技术、管理和资金上的合作,促进行业内外的结合。

## 1.2 先进制造技术的提出和进展

### 1.2.1 制造技术的进步

制造技术是制造业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较高附加值的成品/半成品和技术服务的技术群。近两百年来,在市场需求不断变化的驱动下,制造业的生产规模沿着“小批量→少品种、大批量→多品种、变批量”的方向发展。在科学技术高速发展的推动下,制造业的资源配置沿着“劳动密集→设备密集→信息密集→知识密集”的方向发展。与之相适应,制造技术的生产方式沿着“手工→机械化→单机自动化→刚性流水自动化→柔性自动化→智能自动化”的方向发展。从而推动了制造业的不断发展,促进了制造业的不断进步。