



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 先进制造技术

Advanced Manufacturing Technology

扬州大学 王隆太 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十五”国家级规划教材

# 先进制造技术

主 编 王隆太  
参 编 汤文成 戴国洪  
主 审 吴锡英 李培根



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。

本书从制造业所面临的形势、任务和挑战出发，详细地论述了先进制造技术的内涵和体系结构，系统介绍了先进制造技术的基本内容、关键技术和最新的发展。内容全面、新颖，在力求保持先进制造技术的系统性和完整性基础上，更注重介绍一些适用、先进、相对成熟的制造技术。全书共分为：制造业与先进制造技术、现代设计技术、先进制造工艺技术、制造自动化技术、现代生产管理技术、先进生产制造模式六个章节。

本书可作为高等院校机械工程、工业工程、管理工程以及与制造相关专业的教材和教学参考书，也可作为制造业工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

先进制造技术/王隆太主编. - 北京: 机械工业出版社, 2003.9  
普通高等教育“十五”国家级规划教材  
ISBN 7-111-12261-5

I. 先... II. 王... III. 机械制造工艺-高等学校-教材  
IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 039521 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 邓海平 董连仁 版式设计: 霍永明 责任校对: 陈立耘  
封面设计: 张静 责任印制: 路琳  
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
2003 年 7 月第 1 版第 1 次印刷  
787mm × 1092mm<sup>1/16</sup> · 14.75 印张 · 357 千字  
定价: 21.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换  
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646  
封面防伪标均为盗版



**王隆太** 1949年生，扬州大学机械工程学院教授，1981年华中科技大学研究生毕业。1985-1987年作为访问学者赴德国斯图加特大学机床研究所进修。长期来从事CAD/CAM集成技术、数控技术、机电一体化等技术领域的教学和研究，发表科技论文40多篇，编著有“现代制造技术”、“机械CAD/CAM技术”、“先进制造技术”等教材。获省级科技进步二等奖1项、三等奖2项，省级教学成果二等奖1项，省级一类优秀建设课程1门。荣获“江苏省先进科技工作者”、“江苏省优秀教育工作者”、“享受津贴专家”等荣誉。

# 前 言

先进制造技术是集制造技术、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，涉及到制造业中产品设计、加工装配、检验测试、经营管理、市场营销等产品生命周期全过程，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。

人类社会在步入新世纪同时也逐渐由工业经济时代步入知识经济时代，全球经济正处于一个动态的变革时期，制造业面临更为严峻的挑战。在知识经济时代，知识和技术被认为是提高生产率和实现经济增长的驱动器。因而，先进制造技术已成为制造企业在激烈市场竞争中立于不败之地并求得迅速发展的关键因素，成为世界经济发展和满足人类日益增长需要的重要支撑，成为加速高新技术发展和实现国防现代化的助推器。

为了开阔专业视野，掌握制造技术最新发展，培养复合型人才，促进先进制造技术在我国的研究和应用，“先进制造技术”已作为众多高校在校学生的必修课程。《先进制造技术》这本教材，是编者在1998年所编写由机械工业出版社出版的《现代制造技术》基础上重新规划、整理组织编写的。《现代制造技术》一书自出版以来，受到不少读者的关爱，同时由于新技术迅猛发展和编者水平以及知识面的限制，书中不少内容已显得过时，并发现诸多错误和不当。许多热心的读者对新教材从内容、结构、名词术语等方面提出了许多积极的改进意见和建议。为了满足读者的要求，适应我国制造业快速发展的形势，更全面地反映当前制造业的最新科技成果和现状，本教材对原书进行了全面的改造和整理，充实了大量新的内容，它将以全新的面貌出现在广大读者面前。

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材，具有如下的特色：①内容全面、新颖，包括现代设计技术、现代管理技术、先进制造工艺技术、自动化技术以及先进生产模式等各个方面，基本能够反映近年来国内外先进制造技术的最新发展；②作为机械工程专业后续专业课程，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；③注重工程应用，在力求保持先进制造技术的系统性和完整性前提下，更注重介绍适用先进、相对成熟的技术；④语言简练、朴质，避免概念堆积、术语罗列，力求讲清每一项技术是什么，应用该项技术可以解决什么问题，达到使读者对先进制造技术有一个基本的认识。

本书由扬州大学王隆太教授、东南大学汤文成教授、江苏技术师范学院戴国洪博士编写，由东南大学吴锡英教授、华中科技大学李培根教授审稿。全书共分六章，其中第一、三、四、六章由王隆太编写，第二章由汤文成编写，第五章由戴国洪编写。全书由王隆太统稿并担任主编。

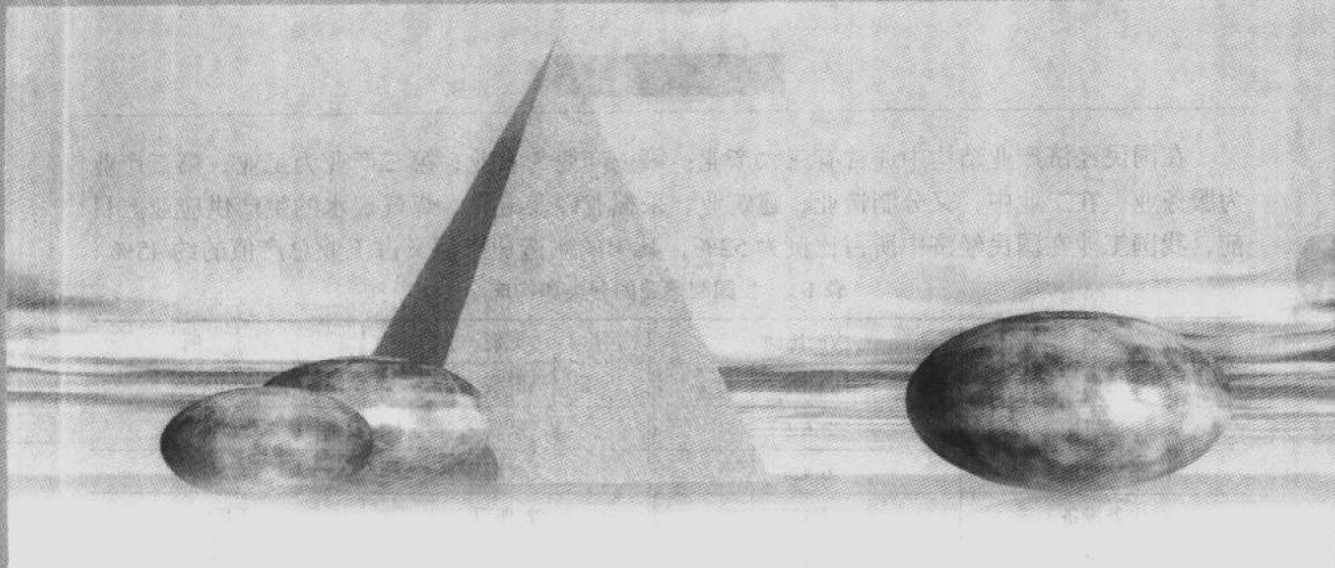
由于先进制造技术所涉及的内容广泛、学科跨度大，加之编者的水平和视野所限，本书存在的不足、疏漏，甚至错误在所难免。在此恳请读者提出宝贵意见，不吝指正。

编 者  
于江苏扬州

# 目 录

前言		
<b>第一章 制造业与先进制造技术</b> .....	1	
第一节 制造业的发展与挑战 .....	1	
一、制造与制造业 .....	1	
二、制造业的地位和作用 .....	1	
三、21 世纪制造业面临的挑战和特征 .....	3	
四、我国机械制造业的发展与差距 .....	7	
第二节 先进制造技术的提出和进展 .....	8	
一、制造技术的进步和发展 .....	8	
二、先进制造技术产生背景 .....	9	
三、各国先进制造技术的发展概况 .....	10	
第三节 先进制造技术的内涵和体系结构 .....	14	
一、先进制造技术的内涵和特点 .....	14	
二、先进制造技术的体系结构及其分类 .....	14	
复习思考题 .....	17	
<b>第二章 现代设计技术</b> .....	18	
第一节 现代设计技术的内涵与体系结构 .....	18	
一、现代设计技术的内涵和特点 .....	18	
二、现代设计技术体系 .....	20	
第二节 计算机辅助设计技术 .....	21	
一、计算机辅助设计的基本概念 .....	21	
二、计算机辅助设计的关键技术 .....	23	
三、计算机辅助设计的研究热点 .....	24	
第三节 现代设计方法 .....	26	
一、优化设计 .....	26	
二、可靠性设计 .....	32	
三、价值工程 .....	42	
四、反求工程 .....	48	
五、绿色设计 .....	52	
复习思考题 .....	56	
<b>第三章 先进制造工艺技术</b> .....	57	
第一节 概述 .....	57	
一、机械制造工艺的定义和内涵 .....	57	
二、先进制造工艺的产生和发展 .....	57	
三、先进制造工艺技术特点 .....	60	
第二节 材料受迫成形工艺技术 .....	60	
一、精密洁净铸造成形 .....	60	
二、精确高效金属塑性成形工艺 .....	62	
三、粉末锻造成形工艺 .....	66	
四、高分子材料注射成形 .....	67	
第三节 超精密加工技术 .....	70	
一、概述 .....	70	
二、超精密切削加工 .....	72	
三、超精密磨削加工 .....	74	
四、超精密加工的机床设备 .....	76	
五、超精密加工的支撑环境 .....	78	
第四节 高速加工技术 .....	80	
一、高速加工的概念与特征 .....	80	
二、高速加工技术的发展与应用 .....	81	
三、高速切削加工的关键技术 .....	82	
四、高速磨削加工 .....	85	
第五节 快速原型制造技术 .....	88	
一、RPM 技术的产生与发展 .....	88	
二、RPM 技术原理 .....	89	
三、典型的 RPM 工艺方法 .....	89	
四、RPM 技术的应用 .....	91	
第六节 微细加工技术 .....	94	
一、微机械及其特征 .....	94	
二、微细加工工艺方法 .....	94	
三、微细加工技术的发展与趋势 .....	98	
第七节 表面工程技术 .....	99	
一、表面改性技术 .....	99	
二、表面覆层技术 .....	102	
三、复合表面处理技术 .....	104	
第八节 现代特种加工技术 .....	106	
一、激光加工 .....	106	
二、超声波加工 .....	108	
三、水射流切割加工 .....	109	
复习思考题 .....	111	
<b>第四章 制造自动化技术</b> .....	112	
第一节 概述 .....	112	
一、制造自动化技术内涵 .....	112	

二、制造自动化技术的兴起及现状 .....	113	第五节 及时生产技术 .....	185
三、制造自动化技术发展趋势 .....	115	一、及时生产的含义和目标 .....	185
第二节 机床数控技术 .....	116	二、及时生产的基本思想 .....	186
一、机床数控系统 .....	116	三、看板管理 .....	187
二、机床伺服系统 .....	120	第六节 现代质量保证技术 .....	189
三、数控加工编程技术 .....	123	一、质量管理和质量保证 .....	189
四、机床数控技术发展趋势 .....	125	二、全面质量管理 TQM .....	191
第三节 工业机器人 .....	128	三、ISO 9000 质量管理和质量保证系列 标准 .....	193
一、工业机器人的组成与分类 .....	128	复习思考题 .....	195
二、工业机器人的控制技术 .....	131	<b>第六章 先进生产制造模式</b> .....	196
三、工业机器人的编程技术 .....	133	第一节 计算机集成制造 (CIM) .....	196
四、工业机器人半个世纪发展的回顾 与展望 .....	136	一、CIM 和 CIMS 的概念 .....	196
第四节 柔性制造技术 .....	138	二、CIMS 的组成 .....	197
一、柔性制造系统基本概念 .....	138	三、CIMS 递阶控制结构 .....	201
二、FMS 的加工系统 .....	142	四、CIMS 的体系结构 .....	202
三、FMS 的工件运储系统 .....	146	五、CIMS 在我国的实施进展 .....	204
四、FMS 的刀具运储系统 .....	151	第二节 并行工程 (CE) .....	205
五、FMS 的控制与管理系统 .....	156	一、并行工程定义 .....	205
复习思考题 .....	158	二、并行工程运行模式 .....	206
<b>第五章 现代生产管理技术</b> .....	160	三、并行工程特征 .....	206
第一节 现代生产管理技术概述 .....	160	四、并行工程关键技术 .....	208
一、制造业生产方式的演变 .....	160	五、并行工程的支持工具 .....	209
二、生产管理技术的发展 .....	162	第三节 精益生产 (LP) .....	210
三、现代生产管理技术的特点 .....	163	一、精益生产的历史背景 .....	210
第二节 现代生产管理信息系统 .....	163	二、精益生产的内涵 .....	211
一、物料需求计划 (MRP) .....	163	三、精益生产的体系结构 .....	212
二、闭环 MRP .....	168	四、精益生产方式的主要内容 .....	212
三、制造资源计划 (MRP II) .....	169	第四节 敏捷制造 (AM) .....	215
四、企业资源计划 (ERP) .....	171	一、敏捷制造提出的背景 .....	215
第三节 产品数据管理技术 .....	173	二、敏捷制造的内涵 .....	216
一、产品数据管理 PDM .....	173	三、敏捷制造的关键因素及关键技术 .....	216
二、PDM 与 ERP 之间的区别和联系 .....	175	四、敏捷制造对制造业影响 .....	220
三、基于 PDM 的应用集成 .....	176	第五节 智能制造系统 (IMS) .....	220
第四节 物流系统管理 .....	179	一、智能制造系统的含义与发展 .....	220
一、物流系统管理的概念及其发展 .....	179	二、智能制造系统的特征 .....	221
二、物流配送中心 .....	181	三、智能加工与智能加工设备 .....	222
三、区域公共配送中心 .....	182	复习思考题 .....	223
四、供应链管理 .....	184	<b>参考文献</b> .....	224



## 第一章

# 制造业与先进制造技术

### 第一节 制造业的发展与挑战

#### 一、制造与制造业

##### 1. 制造

所谓制造即为人类按照市场需求，运用主观掌握的知识和技能，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物质产品并投放市场的全过程。制造的概念有广义和狭义之分：狭义的制造，系指生产车间内与物流有关的加工和装配过程；而广义的制造，则包含市场分析、产品设计、工艺设计、生产准备、加工装配、质量保证、生产过程管理、市场营销、售前售后服务，以及报废后的回收处理等整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动。

##### 2. 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；所谓的硬件包括生产设备、工具和材料、能源以及各种辅助装置；而软件则包括制造理论、制造工艺和方法及各种制造信息等。可以看出，上述所定义的制造系统实际上就是一个工厂企业所包含的生产资源和组织机构。而通常意义所指的制造系统仅是一种加工系统，仅是上述定义系统的一个组成部分，例如：柔性制造系统，只应称之为柔性加工系统。

##### 3. 制造业

制造业是指将制造资源，包括物料、设备、工具、资金、技术、信息和人力等，通过制造过程转化为可供人们使用和消费的产品行业。制造业是所有与制造有关的企业群体的总称。制造业涉及到国民经济的许多部门，包括一般机械、食品工业、化工、建材、冶金、纺织、电子电器、运输机械等。1996年我国制造业的分类和构成见表1-1。

#### 二、制造业的地位和作用



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。在工业中，又分制造业、建筑业、采掘业以及电力、煤气、水的生产供应业。目前，我国工业在国民经济中所占比例为 52%，其中的制造业产值又占工业总产值的约 45%。

表 1-1 我国制造业的分类和构成

类别	构成比例	类别	构成比例
金属制品	3.395	服装	5.018
一般机械	8.625	家具	1.542
运输机械	6.424	文教用品	4.292
电器设备	5.125	油加工	3.870
电子设备	4.588	化工	15.586
仪器仪表	0.998	建材	7.299
食品工业	15.335	黑色冶金	6.908
纺织	7.193	有色冶金	2.120
其他制造	1.681		

在工业经济时代，一个国家的制造业增长一般高于国内生产总值（GDP）的增长。如美国 1913~1950 年期间，GDP 增长率为 2.84%，而制造业增长率为 3.39%，制造业的贡献率为 23.8%；1950~1980 年期间美国 GDP 增长率为 3.42%，制造业增长率为 4.78%，其贡献率为 36.5%。再如我国在 1952~1980 年期间，制造业净产值平均增长率为 11.5%，比同期的国民收入增长率高 5.5%；1985~1995 年增长率为 13.5%，而同期的 GDP 增长率为 9.9%。我国制造业净产值占国民收入的比例，1952 年为 9.10%，1990 年为 45.67%；制造业增加值占 GDP 的比例，1985 年为 31.7%，1995 年达 35.2%。

由上述数据表明，制造业是一个国家经济发展的支柱，在整个国民经济中一直处于十分重要的地位，是国民经济收入的重要来源。有人将制造业称之为工业经济年代一个国家经济增长的“发动机”。制造业一方面创造价值，生产物质财富和新的知识；另一方面为国民经济各部门包括国防和科学技术的进步和发展提供各种先进的手段和装备。在工业化国家中，约有 1/4 人口从事各种形式的制造活动。纵观世界各国，如果一个国家的制造业发达，它的经济必然强大，大多数国家和地区的经济腾飞，其制造业功不可没。

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，下面将从八个方面进一步说明制造业在国民经济中的地位和作用。

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，如美国制成品的出口额 1980 年占商品出口总额的比例为 64%，到 1995 年上升为 78%；日本 1980 年比例为 95%，1995 年为 96%；我国 1980 年制成品出口额的比例为 48%，1995 年上升为 81%。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,但在我国最近几十年内,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。

### 三、21 世纪制造业面临的挑战和特征

目前,全球经济正处于一个根本性的变革时期,人类社会正逐渐由工业经济时代步入知识经济时代。知识经济是以知识为基础的经济,它直接依赖于知识和信息的产生、扩散和应用。知识经济是工业化演进的必然结果,是一种比工业经济更高级的经济形态。在工业经济时代,生产要素主要是资本和劳动力;而在知识经济时代,知识与资本和劳动力共同组成生产要素,而且知识在其中起着重要的核心作用,知识被认为是提高生产率和实现经济增长的驱动器。

在知识经济条件下,制造业始终是国民经济的支柱产业,同时也是参与市场竞争的主体。然而,21 世纪的制造业面临更为严峻的挑战。

#### 1. 21 世纪制造业面临的挑战

美国国家科学研究委员会组建的“制造业挑战展望委员会”对 2020 年制造业所面临的形势,提出了如下 6 大挑战。

(1) 快速响应市场能力的挑战——全部制造环节并行的实现 并行制造将显著缩短产品从概念到实现的时间。在合作企业中,各外围企业不同区域的核心能力与知识将动态组合,通过精确的估算、优化以及对产品成本利润的跟踪,将大大减小投资的风险。并行制造将使人们组织各层次研究、开发和生产的方式发生革命性的变化。

(2) 打破传统经营所面临的组织、地域和时间壁垒的挑战——技术资源的集成 制造者面对全球市场竞争将承受巨大的竞争压力。为此,企业必须具有敏捷性,以保持对时间和技术的控制,把时间和技术视为对生产率的挑战。不管制造业是合作企业的一部分,还是网络的一部分,他们都必须是小型的、柔性的。具备有强大竞争力的制造企业,将需要集成系统和具有自动运转的功能。

技术资源的集成有 5 个基本促成因素:①为满足市场需求,企业必须快速响应那些具有很高期望和多种选择的顾客;②快速响应环境要求,在组织的各个层次上进行高效的通信,特别是与顾客、供应者和合作者的通信;③新技术的快速吸收,要求整个企业具有快速的学习能力;④频繁的生产因素重构要求企业采用系统方法;⑤成功企业要求工人具有自我激励精神和在制造与经营过程中的主人翁意识。

(3) 信息时代的挑战——信息向知识的转变 将信息及时转变为有用的知识并做出有效决策是 21 世纪的重大挑战,这种挑战包括:①“及时”捕获、储存数据和信息,并将其转

化为有用的知识；②在任何地点、任何时刻需要时，用户能用熟悉的语言和格式及时得到该有用的知识。目前，制造业已基本上依赖于信息技术，未来这种依赖的趋势将更趋强烈，包括信息的收集、储存、分析、发布和应用。

(4) 有限的资源和日益增长环保压力的挑战——可持续发展 地球作为宇宙中的一个村落在日益变小，环境污染正威胁着人类的生存，而有限的资源正威胁着人类的继续发展。这种挑战要求人们把废弃物的产生及产品对环境的影响减少到“接近零”，开发不影响环境、成本低、且有竞争力的产品和工艺，尽可能利用回收材料作原料，在能源、材料或人才资源等各方面不造成大的浪费。

(5) 制造全球化和贸易自由化的挑战——可重组工程 随着世界自由贸易体制的进一步完善及全球通信网络的建立，国际经济技术合作交往日趋紧密，全球产业界进入了结构大调整的重要时期，世界正在形成一个统一的大市场。在全球范围内，基于柔性、临时合作模式的格局正在逐步形成。

(6) 技术创新的挑战——全新制造工艺和产品的开发 如果说 20 世纪 60 年代制造企业战略追求的是生产规模的扩大，70 年代是生产成本的降低，80 年代是产品质量的提高，90 年代追求的是市场响应速度，则 21 世纪技术创新将是制造型企业经营战略的焦点，这样才能以新颖的产品满意日益“挑剔”的顾客需求。

## 2. 21 世纪制造业的市场特征

所谓市场，是指一定时期、一定地点的商品交易的场所。而在现代社会中，市场是一个与社会分工和商品生产密切相关的概念。21 世纪的制造业市场具有如下的特征：

(1) 不确定性 21 世纪的制造业市场表现为动态多变和不可预期性。分析原因：第一，是由于新技术革命，特别是信息技术的发展，已改变了并继续改变着工业革命后所形成的生产方式与生活方式，主要表现为非大量化 (Demassification)、分散化 (Fragmentation) 和个性化 (Individualization)，其中的个性化表现为消费层次的提升。当人类基本满足生理需求后，消费需求出现层次上的攀升，人们重视社会需求、自尊需求，特别是表现自我的个性需求，越来越多的消费者以完全不同的形式决定自身消费，要求市场提供满足其特定目的、特定环境和特定时间使用的产品，从而用户驱动市场是造成市场动态、不确定的主要原因。第二，是技术更新换代速率的加快，如快速成形技术、计算机模拟和仿真技术、CAD/CAM 集成技术的实现，既为制造业满足个性需求提供了可能性，又刺激了个性需求的期望值，促使不断变异的产品市场的形成。第三，是由于市场规模越来越大，大系统中不可控制因素增多，会发生更高阶和多变量系统的混沌，全球化制造对这类过程起到了一种激活作用。

(2) 市场的国际化和全球化 20 世纪后 20 年，世界范围内经济变化急剧，市场经济成为全球经济的基本模式。1991 年世界贸易组织的成立，1998 年 4 月欧元计划的启动，亚太经济合作组织以及北美、南亚等区域经济一体化联盟的构造与发展，均大大加快了全球经济一体化的进程，也构造了更加激烈的全球市场竞争环境。虽然按照国际贸易原则，利用绝对优势、比较优势追求全球市场的规模效益，仍会是 21 世纪制造企业的优先选择。然而，国际大市场又为企业提供了专业化定位的新机遇，促进制造业产业市场的细分。例如日本和美国各汽车生产厂家一般只控制整车、车身和发动机的设计和生产，而零部件的设计和生 产则由专业化的汽车零部件企业承担。

(3) 新兴产业的崛起 近十多年来，世界经济合作组织各成员国的技术出口，特别是软

件出口占其实物产品出口的比率已增至 20% ~ 25%，这说明知识经济更加突出了知识和技术的直接效益。此外，全球的环境污染和资源枯竭已日益威胁着人类的生存和发展，并为各国政府所关注。因而，作为知识经济产物的软件产业的兴起及作为法制经济产物的环境产业的发展已初见端倪。

(4) 市场质的短缺和动态的非均衡 所谓质即为质量和本质。传统的工业经济市场的调节，主要依赖于价格这只无形的手以获得商品的供需均衡。未来的商品市场将朝着个性的消费环境发展，但由于生产者与消费者对产品的认识不尽一致，使消费者对产品满意的追求成为永恒的主题。由此出发，未来市场的调节表现为价格与质量的权衡，依赖于新产品出现后价格的调整。因而，未来市场的显著经济特征是质的短缺和动态的非均衡。

(5) 虚拟市场和代理制是未来市场的重要形式 虚拟市场的起点是“网上广告”，利用 Internet 可在全球范围内进行产品的广告宣传。1998 年头 3 个月 Internet 广告营业额达 3.513 亿美元。另外，商品展示是虚拟市场最诱惑消费者的服务内容。例如：不少时装公司在网上进行高级时装展，汽车公司在网上向用户展示新款车，众多公司利用网络环境进行市场调查，建立和发展客户关系。消费者也可将自己了解的最佳商品性能、价格等信息输入到虚拟市场，与商家进行讨价，交流体验消费过程。虚拟市场已逐步开设了多项金融服务，并在某些不用触摸和试验的消费品领域如书籍、软件、包装食品等取得交易业绩。代理制是市场经济成熟的重要标志，是市场营销渠道的重要形式之一。通过实施代理制，将形成灵活、高效、经济的产品销售网络，为企业完成各种营销功能，可以使企业获得功能、规模和交易等诸方面的效益。

### 3.21 世纪的产品特征

产品是指提供给市场，满足人们某种欲望或需求的一切东西。由于消费是生产的源动力，所以市场的特征将影响并决定了未来产品的特征。

(1) 未来产品的内涵 通常产品包含有形特征和无形特征。有形特征代表传统实物产品的内涵；无形特征指与实物消费相关联的服务，包括从产品开发、销售到售后服务支持的全过程。消费者一方面将消费视为一种再生产过程，通过自己参与设计所喜爱的款式、选择品牌、承担风险，在消费过程中创造消费技术，让世人认可其消费智力；另一方面要求生产商能够提供全过程消费的保证。因而，产品的生命周期及维修成为产品的重要内涵。

(2) 产品的个性化和多样化 表现为未来越来越多的产品是为特定的顾客、特定目的和特定环境下使用而生产的，这将导致单一的同规格的大量消费市场裂变为一系列满足不同需求的细分市场，细分市场又进一步强化了产品的多样化。产品制造必需适应多样化需求，产生了“大量顾客化 (masscustomazation)”或单件定制生产，要求产品的制造使用模块化部件加变型设计制造的零件，组成满足不同消费偏好的产品。

(3) 产品寿命周期的趋短是未来产品的时间特征 分析原因，除了竞争环境的压力迫使生产者快速反映市场变化，满足消费者不断萌发的需求之外，企业创新产品和创新战略也是产品寿命周期不断缩短的重要原因。例如，Intel 公司的创始人之一摩尔，以其著名的摩尔定律——微处理器芯片性能每 18 个月提高一位，价格却保持不变的法则，奠定了摩尔时代的特征。其后的总裁葛鲁夫坚定不移地以摩尔定律为主导竞争策略，以摩尔定律塑造企业理念，从中领悟出信息产业的快速变化，提出“十倍速竞争”的战略指导思想。

(4) 智能化是未来产品的主要特征 智能是知识与智力的总和，知识是智能行为的基

础，而智力是获取并运用知识求解的能力。人工智能是利用计算机来实现人的部分智能，智能制造是应用人工智能对制造过程的各个环节进行分析、判断、推理和决策，旨在取代或延伸制造过程中部分脑力劳动。所谓的智能化产品，泛指具有智能的产品本身和生产过程的设施工具的智能，例如傻瓜机、模糊控制洗衣机、无人驾驶武器装备等。

(5) 绿色是未来产品的必备特征 这一特征突出产品生产消费过程不再给社会带来危害的要求，保护和改善生活环境和生态资源，包括大气资源、水资源、海洋资源、土地资源、森林、牧场和野生动植物资源等。未来制造的产品必须具有全寿命周期无污染、低资源消耗和可回收，产品的制造技术将包括绿色设计、可拆卸、便于回收及生态工厂技术等。

#### 4. 未来制造型企业的特征

适者生存是竞争的永恒法则。现存的制造企业将通过渐变、重构、转型、动态联盟和资产兼并等多种途径，变成适应未来竞争环境的新企业。这些企业在其宗旨、构型、市场、核心竞争优势、企业文化诸方面具有一些显著的特征。

(1) 满足顾客的个性需求将成为 21 世纪制造企业的经营宗旨 审视上世纪末发达国家制造企业已将质量定义为零缺陷与用户满意的结合，即用户满意作为质量的有效判据已被社会认同。随着信息技术和制造技术，特别是 CAD/CAPP/CAM 的无缝集成，实现单件生产的技术日渐成熟，企业有可能与客户交互工作，满足客户的多种需要。对客户个性需求的不断满足将导致主观质量概念的崛起，企业生产的产品将恰好得以体现消费者的感受。

(2) 工艺、设备和工厂的可重构性将是未来制造企业装备的显著特点 随着知识价值成为产品价值的主要成分，先进的制造工艺、可用的智能软件和自动化设备将构成未来企业竞争的硬件资源。但由于个性需求和不确定的市场环境，易造成设备资源的投资风险。因而，制造硬件资源的可重构性成为企业装备的显著特点。

(3) 人力资源是未来企业资源的核心要素 传统制造企业视工作者为劳动力，未来不确定的市场和发达的制造技术则要求企业雇佣更多的具有很高能力和创新激情的雇员，他们被赋予一定的自主决策权力，来处理单元不确定事件，保障企业的竞争能力。同时要求雇员不断地学习，借以保障在动态重组过程中能成为全生命周期的社会有用人才。

(4) 制造企业全球化特征 这里的全球化包括了从设计、制造、供销的全过程的全球化。数字技术的发展为人类展现了虚拟生存空间，使得知识成为未来经济的重要属性，使得目前国际贸易理论阐述的企业竞争优势、劳动资本优势和税收减免的经营环境等将会逐渐失去重要性。21 世纪制造业的国际化趋势，体现了知识产品规模经营的新分工需求，而企业的国际化为制造企业发挥自身核心竞争优势，实现知识经济下的专业化生产提供了前提。

(5) 虚拟企业和团队能力建设是 21 世纪企业的核心竞争优势 知识成为本世纪的重要资产，而变化的市场需求使得任何企业不可能控制所有的产权资源。为了快速响应市场，就须采用“双赢”策略，组成动态联盟形式的虚拟企业来培养和分享市场机遇。

(6) 企业文化氛围的形成和创新是 21 世纪企业的又一显著特点 扬弃工业经济的一些传统概念，崇尚创新精神，关注企业变化过程，不断发展新产品、新工艺，以及培训、开拓新市场，不断调整核心竞争优势和组织结构，充分体现人的价值，将成为本世纪企业永恒的追求。企业文化氛围的建设，还要服从于制造业的宗旨——满足消费者的多元化、个性化需求。

(7) 本土化是 21 世纪企业的重要特征 受各国政治、人文、经济环境的影响，顾客消

费偏好具有民族化特点。各制造企业在战略选择、市场定位、柔性特征差异和反映速度等诸方面也应有区域性特征,国际化与本土化特征是交互兼容的企业发展的两个侧面。

#### 四、我国机械制造业的发展与差距

人类的生活无不与机械有关,现代社会的每一个人随时随地都在享受着机械所带来的恩惠。机械制造业始终是人类物质生产的基础,这已是一个不争的事实。一个国家的生产技术水平的高低,在很大程度上取决于机械制造业所提供的装备技术水平的高低,可以说机械制造业发展的历史是人类技术进步的真实写照。

##### 1. 我国机械制造业的发展

自建国以来,尤其是改革开放 20 多年来,我国机械制造业得到了迅速地发展。机械工业是我国工业生产中发展最快的行业之一,据统计资料表明,自 1978 年到 1996 年 18 年期间,机械工业的平均年增长率达 14.0%,而同期国内生产总值 GDP 增长率 9.9%;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 5%,居工业各行业之首。机械产品的出口一直位于国内出口额的前列,“八五”规划我国机械产品出口的贡献度达到 22.97%,成为中国扩大外贸出口的支柱产品,不少重要产品产量已跃居世界前列。如:2001 年的汽车产量已达 225.5 万辆,居世界第八位。至 1995 年底,我国发电设备装机容量仅次于美国、日本跃居世界第三位。机床的产值 1993 年为 29.70 亿美元,紧随日本、德国和英国之后进居世界第四位;1996 年虽因多种原因,产量有所减少,但仍居世界第六位。2000 年数控机床国内消费量已达 23481 台,国产数控机床的国内市场的占有率由 1996 年的 23% 提高到 2000 年的 50%;2001 年国产机床产量的数控化率已达 8.5%,产值的数控化率近 30%。

此外,掌握了一批先进的重大成套设备的核心技术。如:已全面掌握 30 万千瓦和 60 万千瓦火电机组设计和制造,自制率达到 90%~95% 以上,成功研制 40 万 kW 李家峡混流式水力发电机组,正在研制单机容量 55 万 kW 的二滩混流式机组,独立设计制造了秦山核电站机组。成功生产了 2000 万吨级单斗汽车工艺露天矿成套设备;已掌握轧速分别为 25.4m/s 和 31.6m/s 的热连轧机和冷连轧机;30 万吨合成氨装置的设计和制造;5000×735W 内燃机牵引的车速高达 160km/h 的准高速客运列车已成功运行;类似秦皇岛码头 3000 万 t 煤炭港口装卸成套设备可由国内成套提供。

##### 2. 我国机械制造业存在的差距

半个世纪来,我国机械制造业虽然从无到有,从小到大取得了较快的发展,但与西方先进工业国家相比还存在着明显的差距,主要表现在如下方面。

(1) 产品档次低,高水平产品所占比例小 目前我国机械工业主导产品达到当代国际先进水平的不到 5%,达到上世纪 90 年代国际先进水平的占 25%,达到 80 年代水平的占 40%,还处于 60~70 年代水平的仍占有 30% 的比例。

(2) 创新开发能力差,新产品贡献率低 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,而美国机械工业产品的生命周期一般仅有 3~4 年。美国制造业的新产品的贡献率已达到国内生产总值的 52% (1995),而我国仅为 5.9% (1997)。目前,我国企业的技术来源主要依赖国外,在“七五”期间开发的 92 种典型产品中有 57% 技术来源于国外,企业自身技术创新能力较低。

(3) 专业化生产水平低 我国基础零部件、基础工艺专业化水平与国外先进国家比较存

在很大的差距。例如：我国铸造生产专业化比例为 30%、锻造 15%、热处理为 20%、电镀为 40%，而美国、日本、西欧诸国的机械工业专业化水平为 75%~95%。

(4) 企业生产管理技术落后 目前，我国大部分企业的生产管理依旧停留在过去计划经济管理方式上，先进管理模式和手段未能得到实施。

由于上述差距，导致我国机械工业的劳动生产力十分低下。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，相比之下，我国汽车工业的人均生产率仅为日本的 1/20~1/30。

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。

### 3. 我国机械制造业发展战略

针对我国机械制造业目前的现状，为缩小与工业先进国家的差距，我国机械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 促进国内外产品互通有无，以及在技术、管理和资金上的合作，促进行业内外的结合。

## 第二节 先进制造技术的提出和进展

### 一、制造技术的进步和发展

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。制造技术的发展是由社会、政治、经济等多方面因素决定的。纵观近两百年制造业的发展历程，影响其发展最主要的因素是技术的推动和市场的牵引。人类科学技术的每次革命必然引起制造技术的不断发展；随着人类的不断进步，人类的需求不断产生变化，因而也推动了制造业的不断发展，促进了制造业的不断进步。

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。

自 18 世纪以来，制造技术的发展经历了五个发展时期。

(1) 工场式生产时期 18 世纪后半叶, 以蒸汽机和工具机的发明为标志的产业革命, 揭开了近代工业的历史, 促成了制造企业的雏形——工场式生产的出现, 标志着制造业已完成从手工业作坊式生产到以机械加工和分工原则为中心的工厂生产的艰难转变。

(2) 工业化规模生产时期 19 世纪电气技术得到了发展, 由于电气技术与其他制造技术的融合, 开辟了崭新的电气化新时代, 制造业得到了飞速发展, 制造技术实现了批量生产、工业化规范生产的新局面。

(3) 刚性自动化发展时期 20 世纪初, 内燃机的发明, 引起了制造业的革命, 流水生产线和泰勒式工作制及其科学管理方法得到了应用。特别是第二次世界大战期间, 以大批量生产为模式, 以降低成本为目的的刚性自动化制造技术和科学管理方式得到了很大的发展。例如: 福特汽车制造公司用大规模刚性生产线代替手工作业, 使汽车的价格在几年内降低到原价格的 1/8, 促进了汽车进入家庭, 奠定了美国经济发展的基础。然而, 这类自动机和刚性自动线生产工序和作业周期固定不变, 仅仅适用于单一品种的大批量生产的自动化。

(4) 柔性自动化发展时期 自二战之后, 计算机、微电子、信息和自动化技术有了迅速的发展, 推动了生产模式由大中批量生产自动化向多品种小批量柔性生产自动化转变。在此期间, 形成了一系列新型的柔性制造技术, 如数控技术 (NC)、计算机数控 (CNC)、柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS) 等。同时有效地应用系统论、运筹学等原理和方法的现代化生产管理模式, 如及时生产 (JIT)、全面质量管理 (TQM) 开始应用于生产, 以提高企业的整体效益。

(5) 综合自动化发展时期 自 20 世纪 80 年代以来, 随着计算机及其应用技术的迅速发展, 促进了制造业中包括设计、制造和管理在内的单元自动化技术逐渐成熟和完善, 如计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、计算机辅助工艺规划 (CAPP)、计算机辅助工程 (CAE)、计算机辅助检测 (CAT); 在经营管理领域内的物料需求规划 (MRP)、制造资源规划 (MRP II)、企业资源规划 (ERP)、全面质量管理 (TQM) 等; 在加工制造领域内的直接或分布式数控 (DNC)、计算机数控 (CNC)、柔性制造单元/系统 (FMC/FMS)、工业机器人 (ROBOT) 等。为了充分利用各项单元技术资源, 发挥其综合效益, 以计算机为中心的集成制造技术从根本上改变了制造技术的面貌和水平, 并引发了企业组织机构和运行模式革命性的飞跃。在此期间, 体现新的制造模式的计算机集成制造系统 (CIMS)、并行工程 (CE)、以及精良生产 (LP) 得到了实践、应用和推广。此外, 各种先进的集成化、智能化加工技术和装备, 如精密成形技术与装备、快速成形技术与系统、少无切削技术与装备、激光加工技术与装备等进入了一个空前发展的阶段。

## 二、先进制造技术产生背景

先进制造技术 (Advanced Manufacturing Technology - AMT) 是制造业为了适应现代生产环境及市场的动态变化, 在传统制造技术基础上通过不断吸收科学技术的最新成果而逐渐发展起来的一个新兴技术群。先进制造技术的产生和发展有其自身的社会经济、科学技术以及可持续发展的根源和背景。

### 1. 社会经济发展背景

近 20 多年来, 市场环境发生了巨大的变化, 一方面表现为消费者需求日趋主题化、个性化和多样化, 消费行为更具有选择性, 产品的生命周期缩短, 产品的质量和性能至关重要; 另一方面全球性产业结构调整步伐加快, 制造商着眼于全球市场激烈竞争的同时, 着力



于实力与信誉基础上的合作和协作。

制造业的核心要素是质量、成本和生产率。面对当代社会变化迅速且无法预料的买方市场和多品种变批量成为主导生产方式，上述三个要素的内涵发生了深刻的变化。首先，产品质量观发生了变化，现代质量观主要指全面满足用户的程度，即不断跟上用户要求和及时响应市场变化，在适当的时间、适当的地点满足用户的功能需求和非功能需求（自然条件、社会时尚等）。其次，产品成本不仅仅指制造成本，还应包含用户使用成本、维护成本以及社会环境成本，在满足用户个性化要求的前提下应尽量减少上述各类产品成本。再次，赢得定单及高速开发产品是企业成败的关键，是非常规意义上的生产率。因此，制造业应以对市场的快速响应为宗旨，满足顾客已有的和潜在的需求，主动适应市场，引导市场，从而赢得竞争，获取最大利润。

## 2. 科学技术发展背景

制造业从 20 世纪初开始逐步走上科学发展的道路。制造技术已由技艺发展为集机械、材料、电子及信息等多门学科的交叉科学——制造工程学。科学技术和生产发展在推动制造技术进步的同时，以其高新技术成果，尤其是计算机、微电子、信息、自动化等技术的渗透、衍生和应用，极大地促进了制造技术在宏观（制造系统的建立）和微观（精密、超精密加工）两个方向上蓬勃发展，急剧地改变了现代制造业的产品结构、生产方式、生产工艺和设备及生产组织体系，使现代制造业成为发展速度快、技术创新能力强、技术密集甚至知识密集型产业。尤应指出的是：信息逐渐成为主宰制造业的决定性因素，企业内联网（Intranet）和国际互联网（Internet）已经对制造业产生重大影响，并将产生更大影响。

## 3. 可持续发展战略

日益严峻的环境问题引起国际社会的普遍关注，世界环境与发展委员会（WCED）于 1987 年向联合国 42 届大会递交的报告《我们共同的未来》正在提出了“可持续发展”的思路，其定义是：既满足当代人的需求，又不对子孙后代满足其需要之生存环境构成危害的发展。世界资源研究所于 1992 年对可持续发展给出了更简洁明确的定义：即建立极少产生废料和污染物的工艺或技术系统。上述定义强调了当代人在创造和追求今世发展和消费的时候，不能以牺牲今后几代人的利益为代价；社会经济发展模式应由粗放经营、掠夺式开发向集约型、可持续发展转变。面向可持续发展的制造业，应力求对环境的负面影响最小，资源利用效率最高。

鉴于上述社会、经济、科学技术，以及环境资源保护的历史背景下，各国政府和企业界都在寻求对策，以获取全球范围内竞争优势，传统的制造技术已变得越来越不适当今快速变化的形势，而先进的制造技术，尤其是计算机技术和信息技术在制造业中的广泛应用，使人们正在或已经摆脱传统观念的束缚，使人类跨入制造业的新纪元。先进制造技术作为一个专用名词的出现，却是在 20 世纪 80 年代末由美国根据本国制造业面临的挑战与机遇，对其制造业存在的问题进行深刻反省，为了加强其制造业的竞争力和促进本国国民经济的的增长而提出来的。先进制造技术的提出是制造业新技术发展实际进程的反映，它一经提出，立即得到欧洲各国、日本、以及亚洲新兴工业化国家的响应。

## 三、各国先进制造技术的发展概况

### 1. 美国的先进制造技术计划和制造技术中心计划

美国是世界上的超级大国，同时也是制造业的头号强国。然而，长期以来美国政府只注