

BOOKS

主编 盛晓敏 邓朝晖
副主编 杨旭静 陈根余

高等学校教材

先进制造技术

先进制造技术

机械工业出版社



机械工业出版社
China Machine Press

本书共分五章，分别是：先进制造技术的发展及体系结构、现代设计技术、先进制造工艺技术、制造自动化技术、先进制造生产模式。系统地阐述了先进制造技术的内涵、体系结构及技术发展趋势。从现代设计、机械加工、制造成形与改性、制造自动化系统管理及技术集成等方面，全面介绍先进制造技术的基本内容和最新技术，并突出介绍了国民经济急需的优先发展技术和关键技术。

本书对满足新世纪制造技术向系统化、集成化发展的需要，培养复合型人才、制造工程专家、企业家等战略型人才具有一定的指导意义。

本书可供高等院校机械工程、工业工程、管理工程以及与制造有关的理工科专业作为本科生或研究生专业课教材，也可作为制造行业工程技术人员、管理人员和决策人员的参考读物。

图书在版编目（CIP）数据

先进制造技术/盛晓敏，邓朝晖主编. —北京：机械工业出版社，2000.9

高等学校教材

ISBN 7-111-08198-6

I.先... II.①盛... ②邓... III.机械制造工艺学-高等学校-教材 IV.TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2000）第 66451 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：商红云

封面设计：李雨桥 责任印制：郭景龙

中国农业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm1/16·22.75 印张·562 千字

0 001—6 000 册

定价：29.00 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、68326677-2527

序

在已经过去的世纪里，工业发生了根本性变化，科技进步对工业发展产生了前所未有的强大推动力。知识作为财富的最重要源泉比历史上任何时候表现得更为突出，在工业发达国家里，技术进步对经济增长的贡献率已超过 60%。

一个崭新的 21 世纪已经到来，随着全球经济一体化进程的加快和中国加入世界贸易组织，我国工业发展既受到越来越大的竞争压力和严峻挑战，同时也得到难得的发展机会。

在 21 世纪，制造业仍然是影响国民经济发展、提高人民生活水平的主要产业。

先进制造技术是集机械、电子、信息、材料、能源和管理等各项先进技术而发展起来的高新技术，它是发展国民经济的重要基础技术之一。先进制造技术也是改造传统产业的有力武器。先进制造技术的发展与产业化，将对国民经济的发展产生越来越大的影响。

在我国，发展先进制造技术已引起了各方面的关注。自 1995 年在北京召开先进制造技术发展战略研讨会之后，我国先进制造技术获得了较快的发展。在“九五”期间，从基础研究、应用开发、推广、示范直到产业化，都获得了丰硕成果。但与我国国民经济发展需要相比，与工业发达国家实际水平相比，还存在着阶段性差距。因而在高等院校设置有关先进制造技术课程，是一项具有战略意义的重要措施。

《先进制造技术》一书是湖南大学一批中青年教师，积多年教学经验及科研成果，查阅了大量国内外资料，经消化吸收后，编著而成。该书较好地反映了国际、国内有关先进制造技术的新发展和新成果，是一本内容新颖、信息量大、系统性强的教科书。我深信本书的出版，必将对培养新一代制造人才，推动先进制造技术发展起重要作用。

孙大涌

中国科学技术协会副主席

原机械工业部机械科学研究所所长

2000 年 2 月 1 日于北京

前 言

当我们步入 21 世纪之际,以电子技术、信息技术、自动化技术、人工智能技术和新材料技术为核心的新一代技术的迅速发展和在制造领域广泛渗透和应用,使制造业的面貌发生了翻天覆地的变化。面对全球技术、经济、市场变革的挑战和机遇,技术、经济竞争将成为世界各国竞争的焦点和社会发展的主要动力,对于制造业来说,竞争的核心将是新产品和制造技术的竞争。

为适应新世纪技术和经济竞争的需要,我们以现代制造技术的前沿性、综合性、交叉性和适用性为原则,组织力量编写了《先进制造技术》这本书。编写中,力争在选材上注重国内外新成果、新技术的采用,对我国制造业优先发展的关键技术作重点介绍,注重学科之间的交叉融合,较系统地阐明先进制造技术的各项关键技术的内涵、特征、技术发展前沿和关键技术等。

本书对满足新世纪制造技术向系统化、集成化发展的需要,培养复合型人才、制造工程专家、企业家等战略型人才具有一定的指导意义。

本书可供高等院校机械工程、工业工程、管理工程以及与制造有关的理工科专业作为本科生或研究生专业课教材,同时,也可作为制造行业工程技术人员、管理人员和决策人员的参考读物。

本书共分 5 章,第 1 章由湖南大学盛晓敏编写,第 2 章由湖南大学杨旭静编写,第 3 章由湖南大学邓朝晖、陈根余等编写,其中,3.1, 3.7~3.10, 3.12 节由邓朝晖编写,3.2~3.6 及 3.11 节由陈根余、叶久新、陈芳祖、卢远志编写;第 4 章由湖南大学邓朝晖编写,第 5 章由湖南大学盛晓敏编写,吴耀参加编写。全书由盛晓敏统稿。

本书由机械科学研究院李敏贤教授级高级工程师、张松滨教授级高级工程师、北京机械工业自动化研究所卢楚銓教授级高级工程师审阅。中国科协副主席、原机械工业部机械科学研究所所长孙大涌教授在百忙之中给本书作了序言。编者在此谨表谢意。

由于本书知识面广,错误和不当之处在所难免,殷切希望广大师生及广大读者提出宝贵意见。

编者

1999.12

目 录

序

前言

第 1 章 先进制造技术的发展及体系结构	1
1.1 知识经济条件下制造业的发展	1
1.1.1 制造系统的定义和内涵	1
1.1.2 知识经济条件下的制造业	1
1.2 制造业的变革及挑战	2
1.2.1 知识经济条件下以社会、市场、环境和资源为背景的制造业	3
1.2.2 知识经济条件下以社会、市场、环境和资源为背景的制造技术	3
1.2.3 21 世纪对制造业的挑战	4
1.3 先进制造技术的提出及工业化国家制造业的发展战略	6
1.3.1 先进制造技术的提出	6
1.3.2 美国制造业领先地位的动摇以及新的竞争策略	6
1.3.3 日本制造业的茁壮兴起	8
1.3.4 西欧制造业寻找与美日抗衡的途径	8
1.3.5 先进制造技术在我国的发展	9
1.4 先进制造技术的内涵、技术构成及特点	10
1.4.1 先进制造技术的定义	10
1.4.2 先进制造技术的内涵及技术构成	11
1.4.3 先进制造技术的特点	12
1.5 先进制造技术的体系结构及分类	13
1.5.1 先进制造技术的体系结构	13
1.5.2 先进制造技术的分类	13
1.6 先进制造技术发展趋势	15
1.6.1 企业生产方式面临重大变革	15
1.6.2 绿色制造将成为 21 世纪制造业的重要特征	15
1.6.3 设计技术不断现代化	16
1.6.4 成形制造技术向精密成形或净成形的方向发展	16
1.6.5 加工制造技术向着超精密、超高速以及发展新一代制造装备的方向发展	16
1.6.6 新型加工方法以及复合工艺不断发展	17
1.6.7 应用快速原型制造技术的快速制造技术得到快速发展和应用	17
1.6.8 虚拟技术将广泛应用	17
1.6.9 工艺模拟技术得到迅速发展	17
1.6.10 技术创新将成为 21 世纪企业竞争的焦点	18
1.7 先进制造技术的技术前沿	18

参考文献	21
第2章 现代设计技术	23
2.1 现代设计技术概述	23
2.1.1 概述	23
2.1.2 现代设计技术的发展趋势与未来	24
2.2 优良性能设计基础技术	29
2.2.1 可靠性设计 (Reliability Design)	29
2.2.2 系统动态设计 (Dynamic Design)	37
2.2.3 摩擦学设计 (Tribology Design)	41
2.2.4 优化设计 (Optimal Design)	46
2.3 竞争优势创建技术	51
2.3.1 创新设计技术	51
2.3.2 快速响应设计技术	55
2.3.3 智能设计技术	59
2.3.4 仿真与虚拟设计 (Simulation and Virtual Design) 技术	63
2.3.5 工业设计技术	66
2.4 全生命周期设计技术	68
2.4.1 概述	68
2.4.2 全生命周期设计技术	68
2.4.3 并行设计技术	70
2.4.4 面向制造的设计技术	74
2.5 绿色产品设计技术	77
2.5.1 绿色产品的定义及内涵	78
2.5.2 可持续发展的概念及内涵	78
2.5.3 绿色产品设计的主要内容及评价标准	79
2.5.4 绿色产品设计特点	80
2.5.5 绿色产品设计的关键技术	82
2.6 现代设计技术特点	87
参考文献	88
第3章 先进制造工艺技术	90
3.1 先进制造工艺技术概述	90
3.1.1 先进制造工艺技术的定义、内涵及技术地位	90
3.1.2 先进制造工艺技术发展现状	91
3.1.3 先进制造工艺技术发展趋势	94
3.2 精密洁净铸造工艺	95
3.2.1 近代化学硬化砂铸造工艺	95
3.2.2 高效金属型铸造工艺及设备	98
3.2.3 消失模 (气化模) 铸造技术	103
3.3 精确高效金属塑性成形工艺	106

3.3.1	概述	106
3.3.2	超塑和等温成形工艺	106
3.3.3	辗锻和楔横轧技术	112
3.3.4	粉末成形工艺	116
3.4	优质高效焊接及切割技术	119
3.4.1	精密焊接	119
3.4.2	特殊环境下焊接成形技术	123
3.4.3	现代切割技术	124
3.4.4	焊接机器人	129
3.5	优质低耗洁净热处理技术	130
3.5.1	真空热处理	131
3.5.2	离子热处理	133
3.5.3	激光表面合金化	135
3.5.4	热处理工艺专家系统与性能预报	136
3.6	优质清洁表面工程技术	138
3.6.1	表面改性技术	139
3.6.2	表面覆层技术	147
3.6.3	复合表面技术	152
3.7	超高速加工技术	155
3.7.1	概述	155
3.7.2	超高速切削、磨削机理	159
3.7.3	超高速主轴单元制造技术	161
3.7.4	超高速加工进给单元制造技术	162
3.7.5	超高速加工用刀具、磨具	163
3.7.6	超高速加工机床支承及辅助单元制造技术	164
3.7.7	超高速加工测试技术	165
3.8	超精密加工技术	166
3.8.1	概述	166
3.8.2	超精密切削加工	170
3.8.3	超精密磨削和磨料加工	171
3.8.4	超精密特种加工	175
3.8.5	超精密加工装备	176
3.9	微型机械加工技术	177
3.9.1	概述	177
3.9.2	微型机械加工技术的关键技术	180
3.9.3	微型机械的微细加工工艺	181
3.9.4	微型机械加工技术的相关技术	186
3.10	非传统加工技术	189
3.10.1	概述	189

3.10.2	电火花加工	195
3.10.3	高能束加工	197
3.10.4	复合加工	201
3.10.5	虚拟轴机床及其相关技术	203
3.11	快速原型制造技术	208
3.11.1	快速原型制造技术内涵、范围及技术地位	208
3.11.2	快速原型制造技术的国内外技术进展	211
3.11.3	基于 RPM 快速制造模具技术	215
3.11.4	快速制造金属原型零件	216
3.12	虚拟成形与加工技术	219
3.12.1	概述	219
3.12.2	板料冲压过程的计算机仿真技术	220
3.12.3	材料热加工虚拟制造成形	223
3.12.4	机械加工的虚拟技术	226
3.12.5	机械产品的虚拟装配技术	227
	参考文献	228
第 4 章	制造自动化技术	231
4.1	制造自动化技术概述	231
4.1.1	制造自动化技术的定义、内涵及技术地位	231
4.1.2	制造自动化技术的发展历程及现状	232
4.1.3	制造自动化技术的发展趋势	237
4.1.4	制造自动化技术的关键技术	238
4.2	数控技术	242
4.2.1	数控技术概况	242
4.2.2	数控技术的发展	245
4.2.3	计算机数字控制 (CNC) 系统	249
4.2.4	数控加工编程技术	255
4.2.5	非圆截面零件数控车削技术	258
4.3	工业机器人	259
4.3.1	工业机器人定义、组成、分类、运动轴系、自由度和技术地位	259
4.3.2	机器人技术的发展	263
4.3.3	工业机器人驱动与控制系统	267
4.3.4	机器人软件	273
4.3.5	机器人智能技术	275
4.3.6	工业机器人的应用	277
4.4	柔性制造技术和智能制造技术	279
4.4.1	柔性制造技术概述	279
4.4.2	智能制造技术概述	281

4.4.3	柔性制造系统的组成和工作原理	283
4.4.4	柔性制造系统(FMS)的控制	286
4.4.5	分布式网络化IMS原型系统	289
4.5	自动化制造系统中的检测与监控技术	291
4.5.1	概述	291
4.5.2	传感技术	292
4.5.3	检测与监控技术基础	294
4.5.4	自动化制造系统中主要信号检测方法	295
4.5.5	自动化制造系统中监控技术	298
4.5.6	基于神经网络的机械加工信息融合	300
4.5.7	基于计算机网络的远程加工工况信息集成技术	303
	参考文献	305
第5章	先进制造生产模式	306
5.1	制造业生产模式的演变及产生背景	306
5.1.1	制造业生产模式的演变	306
5.1.2	制造业生产模式产生的背景	308
5.2	先进制造生产模式创立基点及战略目标	308
5.2.1	先进制造生产模式的创立基点	308
5.2.2	制造系统的工程属性和经济属性	309
5.2.3	运营目标对制造系统的功能要求	310
5.2.4	先进生产模式的战略目标	310
5.3	先进制造生产模式的管理	311
5.3.1	组织创新	311
5.3.2	集成经营	314
5.3.3	新的质量保证体系	314
5.3.4	重组工程	315
5.3.5	以人为本	315
5.3.6	人机分工, 人机匹配	316
5.3.7	用分工协作代替全能	316
5.3.8	用并行或交叉作业代替串行作业	317
5.4	先进制造生产模式	317
5.4.1	敏捷制造 AM (Agile Manufacturing)	317
5.4.2	精益生产 LP (Lean Production)	321
5.4.3	并行工程 CE (Concurrent Engineering)	323
5.4.4	智能制造系统 IMS (Intelligent Manufacturing System)	328
5.4.5	全能制造系统 HMS (Holoson Manufacturing System)	331
5.4.6	绿色制造 GM (Green Manufacturing)	332
5.5	管理综合自动化技术	337
5.5.1	计算机集成制造系统 CIMS (Computer Intergrated Manufacturing System)	338

5.5.2 企业资源计划 ERP (Enterprise Resource Planning) 以及智能资源计划 IRP (Intelligent Resource Planning)	342
5.5.3 虚拟制造 VM (Virtual Manufacturing)	345
5.5.4 分散化网络制造系统 DNPS (Dispersed Networked Production System)	348
参考文献	351

第1章 先进制造技术的发展及体系结构

摘要 本章阐述了在知识经济条件下，制造业及先进制造技术的重要地位，制造业在社会市场环境、资源和技术背景下的变革及挑战，综述了工业化国家制造业的发展战略及我国先进制造技术的发展，论述了先进制造技术的内涵、特点、体系结构及分类，提出了先进制造技术前沿及发展趋势，指出我国先进制造技术的优先发展方向。

1.1 知识经济条件下制造业的发展

1.1.1 制造系统的定义和内涵

制造业是将制造资源（物料、能源、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与利用的工业品与生活消费品的行业。它涉及到国民经济的许多部门，是国民经济和综合国力的支柱产业。制造系统是制造业的基本组成实体。

制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个将制造资源转变为产品（含半成品）的有机整体，称为制造系统。制造系统还有以下三方面的定义：

（1）制造系统的结构定义。制造系统是制造过程所涉及的硬件（物料、设备、工具和能源等）、软件（包括制造理论、制造工艺和制造信息等）和人员所组成的一个具有特定功能的有机整体。

（2）制造系统的功能定义。制造系统是一个输入制造资源（原材料、能源等），通过制造过程输出产品或半成品的输入输出系统。

（3）制造系统的过程定义。制造系统可看成是制造生产的运行过程，包括市场分析、产品设计、工艺规划、制造装配、检验出厂、产品销售及售后服务等各个环节的制造全过程。

制造技术是完成制造活动所需的一切手段的总和。

1.1.2 知识经济条件下的制造业

目前，全球经济正处于一个根本性的变革时期，人类社会正在由工业经济时代步入知识经济时代，在以高技术为主要产业支柱，以智力资源为主要依托的知识经济条件下，高科技的知识经济促使制造业发生了革命性的变化。

与农业经济、工业经济不同，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生产、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、资本、劳动力成为生产要素的共同组成，而且知识在其中起核心作用。知识被认为是提高

生产率和实现经济增长的驱动器。

发展高科技是促进知识经济发展的重要途径。高科技的发展包括三个方面：① 开发研究高科技；② 发展高科技产业；③ 对传统产业全面改造以实现高科技化。高科技的发展与传统产业的改造、升级是密切联系、互相促进的两个方面，一方面高科技的引入有利于传统产业的创新设计；另一方面，传统产业的技术进步为高科技产业的发展提供了广阔的市场。

知识经济对制造工业的影响表现在对产品和消费观念的改变，产品设计和制造过程的数字化和智能化，以及经营和制造活动的全球化等。

在知识经济条件下，制造技术正在发生质的飞跃。

制造技术已成为一个涵盖整个生产过程、跨多个学科、高度集成的高新技术。同时，支撑制造技术的电子、光学、信息科学、材料科学、生物科学、激光及管理科学等也逐步成为制造业的新兴技术与新兴工业的综合体。

在知识经济条件下，制造业是参与市场竞争的主体。

按照世界经济发展规律，国际上越来越多的人已开始认识到一个没有工业基础和制造业的城市是没有根基的城市。制造业能极大地推动金融、贸易、保险、房地产和服务业的发展。没有制造业作为基础，无论哪一个产业都将失去存在和发展的条件。例如已经成为美国中部金融服务中心的芝加哥，该市政府为鼓励产业结构调整，提供了许多优惠政策，扶植附加值高、能耗低和无公害的制造业。

在知识经济条件下，制造业始终是国民经济的支柱产业。

制造业是国民经济的基础，它创造了人类社会财富的 60%~80%。但在全球出现许多新兴工业的 20 世纪 80 年代，制造业曾被人们忽视。为此，美国制造工程师学会于 1993 年撰文呼吁全社会“重新发现制造业”，并用最简单的数字告诉美国人民：美国 1992 年的国民经济总产值和经济活动的一大半来源于制造业！这使许多美国人感到震惊。因为长期以来不了解这样一个简单的事实，美国人民在整个 20 世纪能达到如此高的生活水准完全归功于先进的制造业。

1.2 制造业的变革及挑战

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及市场的牵引。人类科学技术的每次革命，必然引起制造技术的不断发展，也推动了制造业的发展。另一方面，随着人类的不断进步，人类的需求不断产生变化，因而从另一方面推动了制造业的不断发展，促进了制造技术的不断进步。

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；在科技高速发展的推动下，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。

1.2.1 知识经济条件下以社会、市场、环境和资源为背景的制造业

传统的制造业是建立在规模经济的基础上，靠企业规模、生产批量、产品结构和重复性来获得竞争优势的，它强调资源的有效利用，以低成本获得高质量和高效率。其生产赢利是靠机器取代人力、复杂的专业加工取代人的技能来获取的。在此条件下，机器的非柔性、要求标准的产品设计以获得高产出，但却难以满足市场对产品花色品种和交货期的要求，为此工业经济时代对传统制造业也提出了严峻的挑战。

世纪之交，国际关系多极化、消费多样化、经济全球化和贸易自由化、科学技术进步和信息社会的到来以及国际社会对人类赖以生存的资源和环境的高度重视，都促使世界各国更加重视制造业的社会地位和作用，重新审视其生产方式，对制造的发展提出了更高的要求 and 制约条件。在知识经济时代，制造业面临着新的历史性发展机遇和更加严峻的挑战。其特点是：

1. 产品生命周期缩短

现代科技以日新月异的速度发展，新产品层出不穷。产品的生命周期（一个产品从开发设计到被市场淘汰所经历的时间）大大缩短。

2. 用户需求多样化

用户追求多样化和个性化已逐渐成为世界的潮流。

3. 大市场和大竞争

世界市场的开放程度越来越大。随着计算机通信技术的迅速发展和信息高速公路的建立，使得全球集成制造有实现的可能。这样可以使资源得以更充分的利用，原料和产品的运输距离得以更显著的缩短，交货期也能得到进一步缩短，产业分工的国际化已成为发展潮流。

4. 交货期成为竞争的第一要素

根据客户对产品需求的变化，要求迅速作出反应，已经成为压倒一切的竞争要素。

5. 信息化和智能化

计算机技术的深入和广泛的应用，使企业的控制进一步信息化和智能化，使企业的工作内容、对象和方法发生了根本的改变。

6. 人的知识、素质和需求的变化

企业职工的知识、素质有较大提高，对工作内容 and 环境有更高要求。

7. 环境保护意识的增强与可持续发展

人类发展与环境的矛盾日益加深和尖锐。作为人类经济活动反思的重大成果之一，国际社会于 1992 年确立了《21 世纪议程》，一致提出要遵循可持续发展模式。

1.2.2 知识经济条件下以社会、市场、环境和资源为背景的制造技术

20 世纪末，以微电子、信息、新材料、系统科学等为代表的新一代工程科学与技术的迅猛发展及其在控制领域中的广泛渗透、应用和衍生，极大地拓展了制造活动的深度和广度，急剧地改变了现代制造业的设计方法、产品结构、生产方式、生产工艺和设备以及生

产组织结构，产生一大批新的制造技术和制造模式。现代制造业已成为发展速度快、技术创新能力强、技术密集甚至是知识密集部门。许多产品的技术含量和附加值增大，进入了高技术产品的行列。制造技术给制造业带来了重大变革，其主要特点是：

1. 常规制造工艺的优化

常规工艺优化的方向是高效化、精密化、清洁化、强韧化，以形成优质高效、低耗、少无污染的制造技术为主要目标，在保持原有工艺原理不变的前提下，通过改善工艺条件、优化工艺参数来实现。由于常规工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术，因此对其进行优化有很大的技术经济意义。

2. 新型（非常规）加工方法的发展

由于产品更新换代的要求，常规工艺在某些方面（场合）已不能满足要求，同时高新技术的发展及其产业化的要求，使新型（非常规）加工方法的发展成为必然。新能源（或能源载体）的引入，新型材料的应用，产品特殊功能的要求等都促进了新型加工方法的形成与发展，如激光加工技术、电磁加工技术、超塑加工技术及复合加工技术等。

3. 专业、学科间的界限逐渐淡化、消失

在制造技术内部，冷热加工之间，加工过程、检测过程、物流过程、装配过程以及设计、材料应用、加工制造之间，其界限均逐渐淡化，逐步走向一体化。

4. 工艺设计由经验走向定量分析

应用计算机技术和模拟技术来确定工艺规范，优化工艺方案，预测加工过程中可能产生的缺陷及防止措施，控制和保证加工件的质量，使工艺设计由经验判断走向定量分析，加工工艺由技艺发展为工程科学。

5. 信息技术、管理技术与工艺技术紧密结合

微电子、计算机、自动化技术与传统工艺及设备相结合，形成多项制造自动化单元技术，经局部或系统集成后，形成了从单元技术到复合技术，从刚性到柔性，从简单到复杂等不同档次的自动化制造技术系统，使传统工艺产生显著、本质的变化，极大地提高了生产效率及产品的质量。

管理技术与制造工艺进一步结合，要求在采用先进工艺方法的同时，不断调整组织结构和管理模式，探索新型生产组织方式，以提高先进工艺方法的使用效果，提高企业的竞争力。

1.2.3 21 世纪对制造业的挑战

人类进入 21 世纪后，社会与政治环境、市场需求、技术创新预示着制造业将发生巨大变化。美国国家科学研究委员会工程技术委员会、制造与工程设计院“制造业挑战展望委员会”对 2020 年制造业所面临的形势，提出了六大挑战（或基本目标）。

1. 快速响应市场能力的挑战——全部制造环节并行实现

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，各外围企业不同区段的核心能力和知识将动态组合，通过精确的估算、优化以及对产品成本利润的跟踪，将大大减小投资风险。并行制造将使人们组织各层次研究、开发、生产的方式发生革命性的变化。

并行制造是一个重大的挑战，不仅在通信和数据处理方面需要重要的新技术，而且需要制造企业有新的社会与文化氛围。这对于全球性的、多学科的、多文化的、高度瞬态变化的组织尤为重要。

2. 打破传统经营面临的组织、地域及时间壁垒的挑战——技术资源的集成

制造者面对全球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，不管制造企业是合作企业的一部分，还是网络的一部分，他们都必须都是小型的、柔性的。具备有强大竞争力的制造企业将需要集成系统和自动运转的功能。

有五个主要的因素促使技术资源的集成：

- (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) 频繁的生产要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

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、贮存、分析、发布和应用。如果计算机和信息技术（硬件和软件）保持目前的指数增长速率，到 2020 年将能满足制造业的需求。主要的两个挑战是：①“及时”捕获、贮存数据和信息，并将其转化为有用的知识；②在任何地点、任何时间需要时，用户能用熟悉的语言和格式“及时”得到该有用的知识。从各种资源中，将信息及时地转变为有用的知识并作出有效决策是 21 世纪的重大挑战。

4. 日益增长的环保压力的挑战——可持续发展

2020 年世界人口将从今天的 56 亿增至 80 亿。随着人口的增长以及目前技术的不断开发，全球生态系统将受到严重的制约。这一挑战是把生产废弃物及产品对环境的影响减少到“接近于零”。开发不影响环境的、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——全新制造工艺及产品的开发

这一挑战采用制造单元工艺这一全新的概念，它将导致生产能力的急剧变化。由于设计和制造的产品的尺寸愈来愈小（最终可达分子级和原子级的水平），制造工艺可能取得巨大的进步。

2020 年，技术创新的单元将在以下诸方面具有新的巨大的能力：

- (1) 多单元工艺技术集成为单一工艺将显著减少投资、检验时间、搬运和加工时间。
- (2) 全部可编程的、不需要硬工装的工艺将使产品的制造迅速转产成为可能。

(3) 自我导引工艺的创建将简化工装和编程的要求,并提供更大的加工柔性。

(4) 对分子或原子级的处理将导致新材料的产生,取消分散件联接与装配操作,允许在一个零件中材料成分产生变化。

这些创新工艺的发展能够制造出新的产品,例如由分子级的元器件组成的生物计算机,能在分子或细胞级上进行手术的、只有分子大小的外科工具,高效且便宜的太阳能收集器。

1.3 先进制造技术的提出及工业化国家制造业的发展战略

1.3.1 先进制造技术的提出

进入 80 年代以来,各国制造业面临复杂多变的外部环境:科学技术突飞猛进,供求关系变化频繁,产品更新日新月异,各国经济与国际市场纵横交错,竞争对手林立等等。因此,当局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应当今快速变化的环境,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,跨入制造业的新纪元。

先进制造技术 AMT (Advanced Manufacturing Technology) 就是在这种大环境下,美国根据本国制造业的挑战与机遇,对制造业存在的问题进行了深刻反省,为了加强其制造业的竞争能力和促进国民经济增长而提出来的。从技术的角度来看,以计算机为中心的新一代信息技术的发展,使制造业技术达到了从未有过的新高度,先进制造技术的提出也是这种进程的反映。

“先进制造技术”这个专有名词一经提出,立即获得欧洲各国、日本及亚洲新兴工业化国家的响应。

1.3.2 美国制造业领先地位的动摇以及新的竞争策略

美国的经济领导地位,无论在国内或国外,都面临着强烈挑战。当美国对此挑战还未作出相应的反应时,其国际市场上的竞争能力便已受到侵蚀。即使像高技术方面原来遥遥领先的地位也正在丧失。特别是制造业,它是美国经济的主要支柱,因为美国财富的 68% 来源于制造业。但近 20 年里,其领先地位已被动摇。除民用飞机和化学制品等少数产品的产值还基本维持不变外,美国的汽车、机床、纺织品、民用电子、钢材等均为负增长,其中汽车产量下降幅度最大。造成这种状况的根本原因,就在于美国对制造业未予足够重视,以致制造技术恶化、生产设备陈旧、管理落后。

自从数控机床出现以来,计算机和通信技术在过去 20 多年内一直参与全球的市场和竞争,美国的独立经济体制已被全球相互依存现实所取代。70 年代,美国政府和工业界开始感受到全球竞争的压力;政府采用工资和物价控制等政策以抑制通货膨胀并未收到实效,造成经济上的无规律,使先前受保护的工业和市场陷入更激烈的竞争之中;各公司不再像过去那样能轻易地将产品制造过程中增长的成本转嫁给用户。当问题增多时,速决的作法

已证明无效，不得不把更多的注意力集中到了制造业。

美国通过大量研究报告为美国制造业的发展勾画蓝图。国家自然科学学院和工程科学院、白宫科技政策办公室、国防部、商业部以及其他政府部门，都着手对制造业进行调查，以评估目前和近期有多大能力对付可能面临的竞争。国会也参与有关美国企业竞争危机的讨论，并通过立法，促进制造业和制造技术的发展和进步：

- 国会设立了“国家研究委员会”（NRC），其中包括制造专委会，为政府制定发展战略和提供资助。

- 政府提出了“新的制造工程研究规划”，为制造研究专拨了经费，资助在制造研究与开发关键技术方面取得新突破。1991年4月公布的《国家关键技术》报告中，包括了制造技术领域中的计算机集成制造、智能加工装置、微米级和纳米级的制造、系统管理技术等。

- 国家科技基金会每年资助制造领域项目约400项，还建立了8个“国家制造工程研究中心”（ERC），26个“工业大学合作研究中心”（IUCRC）和7个“制造技术中心”（MTC）。

- 1993年，克林顿总统批准将“先进制造技术计划”列为1994年预算重点扶持的惟一科技领域，政府投入14亿美元巨款。

- 1990年开始实施由商务部主持的“高技术计划”（APT）。1993年投资6800万美元，1994年预算为1.9亿美元，到1997年将达7.5亿美元。

- 克林顿提出1997年前成立100多个全国制造技术中心。

- 组织美日双边制造工程研究会，学习日本经验。

其中先进制造技术计划是美国联邦政府科学、工程和技术协调委员会的六大科研和开发计划之一。其目标是：

- （1）为美国工人创造更多高技术、高工资就业机会，促进美国经济增长。
- （2）不断提高能源效益，减少污染，创造更加清洁的环境。
- （3）使美国的私人制造业在世界市场上更具有竞争力，保持美国的竞争地位。
- （4）使教育系统对每位学生进行更富有挑战性的教育。
- （5）鼓励科技界把确保国家安全以及提高全民生活质量作为核心目标。

该项计划1994年度的预算14亿美元，商务部、国防部、能源部、内务部、环保局、宇航局、国家科学基金会、农业部等8个联邦政府机构介入。围绕三个重点领域开展研究：

- （1）下一代的“智能”制造系统。
- （2）为产品、工艺过程和整个企业的设计提供集成的工具。
- （3）基础设施工作。如强调扩展和联合已有的各种推广应用机构；建立地域性的技术联盟（技术联合体）；制定有关国家制造技术发展趋势的监督和机制，制定评测基准和评测指标体系等。

先进制造技术计划的一个重要项目是协助联邦政府机构开发新一代汽车，这是美国总统技术计划的组成部分。1993年9月公布的新一代汽车计划目标是：① 设计和制造——所有汽车生产的改进；② 近期改进——促进不断完善；③ 燃烧效率提高3倍——实现油耗下降目标。参加单位包括：产业界——福特、通用、克莱斯勒三大汽车公司；政府部门——商务部（DOC）、国防部（DOD）、能源部（DOE）、国家宇航局（NASA）、国家科学基金会（NSF）。