



国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

先进 制造技术

颜永年
主编

化学工业出版社



国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

先进制造技术

颜永年 主编

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

先进制造技术/颜永年主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.1

(高新技术科普丛书)

ISBN 7-5025-3601-9

I. 先… II. 颜… III. 机械制造工艺-普及读物
IV. TH16-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 087017 号

高新技术科普丛书

先进制造技术

颜永年 主编

总策划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 李玉晖

责任校对: 李 林

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 6 $\frac{3}{4}$ 字数 170 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3601-9/TH·99

定 价: 15.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《高新技术科普丛书》编委会

主任

路甬祥 中国科学院院长，中国科学院院士，
中国工程院院士

委员

汪家鼎 清华大学教授，中国科学院院士
闵恩泽 中国石油化工集团公司石油化工科学研究院教授，
中国科学院院士，中国工程院院士
袁 权 中国科学院大连化学物理研究所研究员，中国科学院院士
朱清时 中国科学技术大学教授，中国科学院院士
孙优贤 浙江大学教授，中国工程院院士
张立德 中国科学院固体物理研究所研究员
徐静安 上海化工研究院（教授级）高级工程师
冯孝庭 西南化工研究设计院（教授级）高级工程师

序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我们周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21 世纪是信息时代，21 世纪是生命科技的世纪，21 世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的世纪，21 世纪是高效、洁净和安全利用新能源的世纪，21 世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21 世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的世纪。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999 年 8 月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技

术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

浩角祥

2000年9月

前 言

先进制造技术（AMT——Advanced Manufacturing Technology）的概念源于 20 世纪 80 年代。它是指在制造过程和制造系统中融合电子、信息和管理以及新工艺、新材料等现代科学技术，使材料转换为产品的过程更有效、成本更低、更及时满足市场需求的先进的工程技术的总称。

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，包括国防和科学技术的进步及发展提供先进的手段和装备。制造业的发达与先进程度是国家工业化的重要表征。

进入 21 世纪，国际关系多极化、经济全球化、贸易自由化、消费个性化和多样化、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政府更加重视制造业的社会地位，重新评估其价值和作用，重新审视其生产方式，对制造业的发展提出了更高的要求 and 更严厉的制约。制造业正面临着新的历史性发展机遇和更加严峻的挑战。这种机遇和挑战使先进制造技术进入了更加快速的发展时期。

先进制造技术大体可分为三大部分，即先进成形加工技术，计算机辅助设计、制造、工艺规划和综合自动化，以及现代制造系统。

先进的成形加工技术是先进制造技术中最本源的内容，它是直接作用于被加工材料的技术，是制造的物理过程之总称，它的进步与发展从根本上决定了制造技术的工程技术和市场价值。它是人类数千年生产活动的技术结晶，我们完全不可想像用最先进的计算机

控制采用落后的加工工艺的机床；此外，它又是先进制造技术发展中最活跃的因素，它的变化与进步往往会促使制造业中一个新行业、一个新领域的诞生。我们呼吁更多的学者和工程技术人员加入到这一方面中来，促使先进制造技术更健康地发展。

计算机辅助与综合自动化决定了先进制造技术的水平，促使制造业逐渐由劳动密集型产业转变为技术密集型以至知识密集型产业，是材料转变为产品以及相关的过程中的信息过程。计算机辅助与综合自动化和成形加工技术的集成，即制造的物理过程和信息过程的集成是制造技术成为先进制造技术的最根本保证之一。然而对材料变为产品这一基本要求来说，物理过程是第一性的，而信息过程是第二性的。

现代制造系统是应用和推广先进生产技术的组织方式，其核心在于组织的创新和人的因素的发挥，以保证生产的有效性。

以上三个部分在本书中各占三分之一。

我国制造业界广大的学者和工程技术人员在先进制造技术领域通过坚持不懈的努力完成了世界瞩目的工作，获得很高的评价，其中包括完成了许多关于先进制造技术的高水平著作和论文，对促进先进制造技术在我国的发展起了重要的作用。

清华大学机械系快速成形中心的师生们在成形加工、CIMS 和物流系统等先进制造技术领域曾做过许多工作，并获得多项国家级奖励。本书在现有高水平的先进制造技术论著的基础上结合我们在这一领域中的工作体会编撰而成，希望为广大工程技术人员、青年学生、制造业界的初学者，以及有关技术和行政管理工作人员提供一本具有入门性、启发性和通俗性的读物。我要特别指出的是本书涉及范围广泛的先进制造技术领域，其中许多内容是直接取自于现有的论文和专著，它们都已列在参考文献中。我们查阅资料、组织材料、编撰本书的过程，也是一个学习的过程。在此，我要特别感谢这些论著的作者。

在本书的编撰过程中，清华大学快速成形中心的许多师生参加

了资料的搜集和整理，特别是卢清萍教授和陈立峰博士作为主要助手，做了大量的内容准备和编写组织工作，在此一并表示诚挚的感谢。

颜永年

2001 年深秋于清华园

高新技术

术

科

普

丛

书

第一批

纳米材料

基因工程技术

化学激光

燃料电池

绿色化学与化工

膜技术

吸附分离技术

超临界流体萃取

生物农药

第二批

网络技术

人工智能

机器人

数字经纬

先进制造技术

现代微电子技术

海洋生物技术

克隆技术

干细胞技术

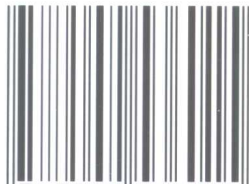
微胶囊与人工器官

生物质洁净能源

转基因食品

智能材料

ISBN 7-5025-3601-9



9 787502 536015 >

ISBN 7-5025-3601-9/TH·99 定价: 15.00元

内 容 提 要

本书从先进成形加工技术、计算机辅助和综合自动化技术及现代制造系统三个方面全面介绍了当前制造技术的前沿进展。对每种技术的说明包括其原理、技术要点、国内外研究和应用现状及发展前景，尤其是针对国内工业企业的现状，提出了选用先进技术及自身技术进步应注意的问题。

本书内容丰富，图文并茂，语言简洁易懂。可供制造业管理人员、研究人员及工程技术人员了解最新技术动向，也可供科普爱好者和相关专业师生阅读学习。

目 录

第 1 章 先进制造技术概论	1
1.1 制造、制造技术和制造业	1
1.2 先进制造技术的发展	2
1.3 先进制造技术的内涵和体系结构	6
1.4 发展我国先进制造技术的几点看法	12
第 2 章 先进加工技术	15
2.1 激光加工技术	15
2.1.1 激光的基本原理	15
2.1.2 激光的特性	16
2.1.3 激光加工技术的基本原理	18
2.1.4 激光表面改性	18
2.1.5 激光焊接	20
2.1.6 激光切割	21
2.1.7 激光打孔	22
2.1.8 激光打标和激光雕刻	23
2.2 高能束加工技术	24
2.2.1 高能束加工技术概况	24
2.2.2 电子束加工技术特点及应用	25
2.2.3 离子束加工技术特点及应用	30
2.2.4 高压水射流加工技术特点及应用	34
2.2.5 高能束加工技术的现状及发展方向	35
2.3 超高速加工技术	37
2.3.1 超高速加工的定义和产生背景	37
2.3.2 超高速加工理论及其发展	38
2.3.3 超高速机床的“零传动”	39
2.3.4 超高速加工的优越性和应用范围	40
2.4 超精密加工技术	42
2.4.1 超精密加工技术的发展	42
2.4.2 超精密加工方法机理	43

2.4.3	超精密加工机床	44
2.4.4	检测与误差补偿	46
2.4.5	工作环境	47
2.4.6	超精密加工的地位和作用	47
2.5	微型机械加工技术	48
2.5.1	概况	48
2.5.2	发展现状	50
2.5.3	应用	50
2.5.4	关键技术	51
2.5.5	微纳米加工技术的加工工艺	53
2.5.6	发展	56
2.6	快速成形制造技术	56
2.6.1	国内外研究与发展状况	56
2.6.2	快速成形原理和特点	57
2.6.3	快速成形技术的分类	60
2.6.4	SL (Stereolithography) 工艺原理	62
2.6.5	LOM (Laminated Object Manufacturing) 工艺原理	63
2.6.6	SLS (Selective Laser Sintering) 工艺原理	64
2.6.7	FDM (Fused Deposition Modeling) 工艺原理	65
2.6.8	3DP (Three Dimension Printing) 工艺原理	65
2.6.9	快速成形技术的应用	66
2.7	生物制造工程	69
2.7.1	什么是生物制造工程	69
2.7.2	生物制造工程的研究进展	70
第3章	计算机辅助和综合自动化技术	76
3.1	CAD/CAPP/CAM 一体化技术	76
3.1.1	CAD 技术	76
3.1.2	CAPP 技术	77
3.1.3	CAM 技术	79
3.1.4	CAD/CAPP/CAM 集成技术	80
3.2	制造模拟仿真技术	83
3.2.1	技术内涵	83
3.2.2	技术地位与作用	84
3.2.3	模拟仿真与虚拟设计技术发展趋势	85

3.2.4	热加工工艺的模拟及优化设计	86
3.3	工业机器人 (Industrial Robot)	91
3.3.1	古代机器人和工业机器人的由来	91
3.3.2	工业机器人的定义	93
3.3.3	工业机器人的组成	95
3.3.4	工业机器人的分类	96
3.3.5	现有工业机器人的应用技术	97
3.3.6	工业机器人的应用和发展	100
3.4	柔性制造系统 (FMS)	101
3.4.1	柔性制造系统概述	101
3.4.2	柔性制造系统的组成与类型	104
3.4.3	柔性制造系统的效益	109
3.4.4	柔性制造系统的发展趋势	110
3.5	虚拟轴机床技术	112
3.5.1	虚拟轴机床概述	112
3.5.2	虚拟轴机床发展简史	113
3.5.3	虚拟轴机床的特点	117
3.5.4	虚拟轴机床技术体系	119
3.5.5	虚拟轴机床的应用展望	120
3.6	生产物流技术	123
3.6.1	物流的定义	123
3.6.2	生产物流技术	124
3.6.3	生产物流技术的发展阶段	125
3.6.4	现代生产物流系统的基本组成	126
3.6.5	生产物流活动的主要内容	127
3.6.6	现代生产物流技术的发展趋势	130
3.6.7	生产物流技术应用实例——华宝空调器厂生产物流系统	131
第4章	现代制造系统	134
4.1	虚拟制造技术 (VM)	134
4.1.1	虚拟现实	134
4.1.2	虚拟制造的概念和分类	135
4.1.3	虚拟制造体系结构	136
4.1.4	虚拟制造的关键技术	138
4.1.5	发展应用机会	141

4.2 计算机集成制造系统 (CIMS)	142
4.2.1 CIMS 产生及其背景	142
4.2.2 什么是 CIMS	143
4.2.3 CIMS 构成	144
4.2.4 我国 CIMS 发展情况	148
4.3 并行制造工程 (CE)	149
4.3.1 并行工程的产生和概念	149
4.3.2 并行工程的体系结构和运行特性	150
4.3.3 并行工程的关键技术	152
4.3.4 并行工程的使能技术	153
4.3.5 并行工程的应用与发展	155
4.4 精益生产 (LP)	157
4.4.1 什么是精益生产方式	157
4.4.2 精益生产方式的特点	157
4.4.3 精益生产的主要内容	160
4.5 敏捷制造 (AM)	166
4.5.1 敏捷制造的起源	167
4.5.2 敏捷制造的内涵	168
4.5.3 敏捷制造企业的主要特征	169
4.5.4 敏捷制造的现状	170
4.5.5 敏捷制造的发展前景	172
4.6 企业资源计划 (ERP)	175
4.6.1 ERP 的发展历史	176
4.6.2 ERP 的内容与特点	178
4.6.3 ERP 系统的结构和管理思想	179
4.6.4 ERP 的应用理念和实施	181
4.6.5 ERP 在国内外发展状况和前景	183
4.7 绿色制造	186
4.7.1 绿色的概念	186
4.7.2 绿色制造的研究现状	187
4.7.3 绿色制造的研究内容	188
4.7.4 绿色制造的专题技术	189
4.7.5 绿色制造的发展趋势	190
参考文献	193

第 1 章 先进制造技术概论

1.1 制造、制造技术和制造业

制造 (manufacturing) 是利用制造资源 (设计方法、工艺、设备和人力等) 将材料 “转变” 为有用的物品的过程。制造是一个很大的概念。按制造的连续性可分为连续制造 (如化工产品的制造) 和离散制造 (如家电产品的制造); 按行业又可分为机械制造、食品制造、化工制造、IT 产品制造等等。当今, 人们对制造的概念又加以扩充, 将体系管理和服务等也纳入其中。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。

制造技术 (Manufacturing Technology) 是指制造活动所涉及到的技术总称。传统的制造技术仅强调工艺方法和加工设备。现代的制造技术不仅重视工艺方法和设备, 还要强调设计方法、生产组织模式、制造与环境和谐统一、制造的可持续性以及制造技术与其他科学技术的交叉和融合, 甚至还涉及制造技术与制造全球化、贸易自由化、军备竞争等。

制造业是指以制造技术为主导技术进行产品制造的行业。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者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, 包括国防和科学技术的进步及发展提供先进的手段和装备。制造业的发达与先进程度是国家工业化的表征。制造业是人类创新发明和新技术的最大用户, 在最能体现人类创造性的发明专利中, 绝大部分都与制造业的需求有关, 并用于制造业。在工业发达国家, 制造业的产值占国民经济生产总值 (GDP) 的比例平均为 20%, 而日本、德国和韩国分别分 29%、31% 和 31%, 1994 年, 美国制造业占 GDP 的

比例为 22%。城市国家新加坡尽管地域狭小（不到 300 平方公里），但其制造业占 GDP 的比例也达到世界先进工业国家的水准，达到 25.3%。

1.2 先进制造技术的发展

先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology——AMT）的产生不仅是科学技术范畴的事情，而且也是人类历史发展和文明进步的必然结果。无论是发达国家、新兴工业国家还是发展中国家，都将制造业的发展作为提高竞争力，振兴国家经济的战略手段来看待，先进制造技术应运而生，其产生和发展的背景如下。

（1）技术和经济实力已成为政治对抗的重要资本 20 世纪 90 年代以来，随着冷战的结束，世界呈现出多极化的新格局，国际竞争和对抗的焦点由美苏间的军备竞争转向全球范围内的和以科技为先导、经济为基础、军事为后盾的综合国力的较量（由政治冷战转向经济热战），昔日的政治、军事盟友变成今日国际贸易争端中针锋相对的对手。贸易保护主义在世界范围内的失败清楚地表明，技术（尤其是产业技术）和经济实力已成为政治对抗的重要资本。在这种严酷的事实面前，不计生产成本和代价的军品生产模式已不能适应新形势下以生产效益和成本核算为特征的军品生产。提高制造业产品竞争力，发展高技术，尤其是独具的产业技术成为抢占未来的经济制高点，振兴国家经济的焦点。“战略伙伴”关系的经济色彩突出，互惠互利又相互竞争奏出了当今时代政治生活的主旋律。

对于制造业来说，竞争的核心是新产品和先进的制造技术。谁拥有先进的制造技术，制造出先进的、最能满足顾客需求的产品，谁就能在激烈的市场竞争中成为胜利者。

（2）经济全球化带来机遇和挑战 制造产业、制造产品和制造技术走向国际化，导致制造业格局在全球的重新分布和组合，并使得经济竞争在国际范围内愈演愈烈。今天，不论是哪个国家或地