

普通高等教育机电类规划教材

先进制造技术

李 伟 主编

Advanced Manufacturing Technology



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育机电类规划教材

先进制造技术

主 编 李 伟
副主编 杨志刚 陈 英
参 编 王红军 汤修映
 刘景云 栾忠全
主 审 王先逵



机械工业出版社

本教材围绕先进制造技术的各主题,系统介绍各种先进制造技术的理念与装备技术,旨在使学生了解国内外先进制造前沿技术,开阔思维,拓宽知识面,掌握先进制造技术的理念与方法,培养学生创新思维与工程实践能力。全书共分9章,主要介绍先进制造技术的内涵与特征、自动化制造技术、虚拟制造技术、微细加工技术、快速原型技术、工业机器人技术、纳米加工技术、压电驱动与控制技术、绿色制造技术。书中所述内容体现了先进制造技术的发展方向。

本书可以作为机械工程及自动化、工业工程、车辆工程、机械电子工程等专业研究生专业课程教材,也可作为本科高年级学生的选修课程教材,还可以供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/李伟主编.—北京:机械工业出版社,2005.7

普通高等教育机电类规划教材

ISBN 7-111-16735-X

I.先... II.李... 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(2005)第063694号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:邓海平、刘小慧 责任编辑:刘小慧 版式设计:冉晓华

责任校对:李秋荣 封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·17.75印张·435千字

定价:26.00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)68326294

封面防伪标均为盗版

前 言

21 世纪的制造技术正在向全球化、自动化、绿色化、集成化的方向发展。先进制造技术是在传统制造技术基础上融合了计算机技术、信息技术、自动控制技术及现代管理理念,并将其综合应用于产品设计、制造过程、检测、销售乃至回收的全过程,以实现高效、低耗、优质、清洁、柔性的生产。

本教材围绕先进制造技术的各主题,系统介绍各种先进制造技术的理念与装备,旨在使学生了解国内外现代制造前沿技术,开阔思维,拓宽知识面,掌握先进制造技术的理念与内涵,培养学生创新思维与工程实践能力。全书共分 9 章。第 1 章绪论,总体介绍先进制造技术的内涵、现状与发展及现代制造业的特征;第 2 章自动化制造技术,主要介绍现代数控加工技术,高速与自动化加工设备,CIMS 技术,网络制造技术;第 3 章微细加工技术,主要介绍微细加工技术的内容、关键技术及应用;第 4 章快速原型技术,主要介绍快速原型技术原理及各种工艺方法;第 5 章工业机器人技术,主要介绍先进制造领域的重点装备技术,工业机器人在现代制造业中的应用;第 6 章虚拟制造技术,主要介绍虚拟制造系统的体系结构、产品建模技术及虚拟样机技术;第 7 章纳米技术,主要介绍纳米材料结构与性能及纳米技术应用;第 8 章压电驱动与控制技术,介绍压电驱动与控制技术的基本原理、方法及应用;第 9 章绿色制造技术,主要介绍绿色制造的内涵和特征,清洁生产,绿色再制造技术。

本书力求反映当前机械工程领域的先进制造技术与理念,在编写过程中,强调如下内容:

1. 理论性与实用性相结合。注重阐述现代制造技术理论,注意结合科学研究与工程实际,通过大量的工程实例,使读者易于领会和理解教材内容。

2. 科学研究与工程技术相结合。所选内容立足于在国内机械工程领域进行科学研究的现代制造技术,多数内容是编者在近几年科研工作中的积累,有益于读者,特别是从事技术研究工作的学者共享其研究成果。

3. 系统性与独立性相结合。本书在全面介绍各种现代制造技术方法的同时,介绍了“压电驱动与控制技术”与“工业机器人技术”,使整体内容更加丰富,便于读者了解现代制造领域的装备技术。

4. 讲授与自学相结合。本书配有 CAI 素材库。由于本教材很多内容的实验设备造价昂贵,很难有现场实验环境,所以 CAI 素材库将极大地弥补这一不足。在讲授的同时利于学生自学。需要 CAI 素材的老师可发 E-mail 至 cy@cau.edu.cn 与作者联系。

本书第 1 章由中国农业大学李伟编写;第 2 章由中国农业大学李伟、北京机械工业学院王红军编写;第 3、8 章由吉林大学杨志刚编写;第 4 章由中国农业大学陈英编写;第 5、6 章由中国农业大学汤修映编写;第 7 章由中国农业大学刘景云编写;第 9 章由北京机械工业学院栾忠全编写。全书由李伟主编,由陈英统稿。

本书承蒙清华大学王先逵教授主审,在审阅过程中,王先逵教授提出了很多珍贵的建议和意见,在此表示衷心感谢。

本书是中国农业大学研究生重点课程立项项目，在编写过程中得到中国农业大学研究生院、教务处精品教材建设项目的资助，并得到机械工业出版社大力支持，在此谨向有关老师与同志表示诚挚的感谢。

由于先进制造技术内涵广阔、学科交叉，并不断发展，加之笔者资料与水平有限，书中难免存在不足与错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1	2.5.3 CIMS 的信息集成技术	36
1.1 先进制造技术内涵与特征	1	2.6 网络化制造技术	37
1.1.1 先进制造技术的定义	1	2.6.1 概念与定义	37
1.1.2 先进制造技术的构成	1	2.6.2 内涵与特征	38
1.1.3 先进制造技术的分类	2	2.6.3 网络化制造平台的类型	39
1.2 制造业的历史与发展	3	2.6.4 运行支撑技术	39
1.3 科学技术的发展与制造业的 变革	5	2.6.5 运行管理策略	40
1.4 先进制造技术的发展趋势	7	2.6.6 网络化制造的技术体系	40
第 1 章 参考文献	10	2.6.7 网络化制造研究现状	41
第 2 章 制造自动化技术	11	第 2 章 参考文献	42
2.1 概述	11	第 3 章 微细加工技术	44
2.1.1 制造自动化技术的概念	11	3.1 微机械及微细加工技术的概念 与特点	44
2.1.2 制造自动化技术的发展历程及 现状	12	3.1.1 微机械及其特征	44
2.1.3 制造自动化技术的研究内容	12	3.1.2 微细加工技术的概念与特点	48
2.1.4 制造自动化技术的发展趋势	13	3.2 微细加工工艺方法	48
2.2 现代数控加工技术	14	3.2.1 电子束加工技术	48
2.2.1 数控加工技术的发展历程	14	3.2.2 离子束加工技术	53
2.2.2 CNC 系统的组成和结构特点	15	3.2.3 激光束加工技术	60
2.2.3 数控加工技术的发展趋势	16	3.2.4 光刻加工技术	69
2.3 超高速加工技术	17	3.2.5 体刻蚀加工技术	71
2.3.1 超高速加工技术的内涵和范围	17	3.2.6 面刻蚀加工技术	71
2.3.2 超高速加工的机制	17	3.2.7 牺牲层技术	71
2.3.3 超高速加工技术的优越性	18	3.2.8 外延生长技术	72
2.3.4 超高速切削机床	20	3.3 大规模集成电路的制作技术	72
2.3.5 超高速切削的刀具技术	23	3.4 微细加工技术的研究现状和 发展趋势	74
2.4 自动化装配技术	24	3.4.1 微型机械加工技术的国外发展 现状	74
2.4.1 装配机的结构形式	25	3.4.2 微型机械加工技术的国内现状	75
2.4.2 装配设备	28	3.4.3 微型机械加工技术的发展趋势	75
2.5 计算机集成制造技术—— CIMS	34	3.5 微细加工技术的关键技术	76
2.5.1 CIMS 的定义	35	3.6 微细加工技术的应用	77
2.5.2 CIMS 的基本组成	35	第 3 章 参考文献	78
		第 4 章 快速原型技术	80

4.1 概述	80	4.8.3 RP技术的未来	112
4.1.1 快速原型技术的基本原理	80	第4章 参考文献	113
4.1.2 快速原型技术的典型方法	81	第5章 工业机器人	114
4.1.3 RP技术的特点	84	5.1 概述	114
4.2 快速原型的软件系统	84	5.1.1 工业机器人的概念	114
4.2.1 产品三维模型构造及其近似 处理	84	5.1.2 工业机器人的基本组成和结构 特点	114
4.2.2 分层处理软件	85	5.1.3 工业机器人的分类	115
4.2.3 成形控制软件	86	5.1.4 工业机器人的基本参数和性能 指标	116
4.3 光固化成形 (SLA) 工艺	86	5.2 工业机器人的机械结构设计	117
4.3.1 系统组成	86	5.2.1 机器人机型评价	117
4.3.2 成形工艺过程	87	5.2.2 机器人的臂部结构	118
4.3.3 SLA材料	88	5.2.3 机器人的腕部结构	118
4.3.4 SLA工艺特点	89	5.2.4 机器人的手部结构	121
4.3.5 SLA工艺应用案例	89	5.3 工业机器人运动学和动力学 分析	122
4.4 叠层实体制造 (LOM) 工艺	90	5.3.1 工业机器人运动学分析	122
4.4.1 系统组成	90	5.3.2 工业机器人动力学分析	125
4.4.2 成形工艺过程	91	5.4 工业机器人轨迹规划和控制	127
4.4.3 LOM材料	92	5.4.1 工业机器人的轨迹规划	127
4.4.4 LOM工艺特点	92	5.4.2 工业机器人的控制	131
4.4.5 LOM工艺应用案例	92	5.5 工业机器人的感觉技术	133
4.5 选择性激光烧结 (SLS) 工艺	93	5.6 工业机器人在现代制造业中 的应用	136
4.5.1 系统组成	93	5.6.1 焊接机器人	136
4.5.2 成形工艺过程	94	5.6.2 喷漆机器人	137
4.5.3 SLS材料	94	5.6.3 装配机器人	137
4.5.4 SLS工艺特点	95	5.6.4 搬运机器人	139
4.5.5 SLS工艺应用案例	95	5.7 工业机器人技术的发展趋势	139
4.6 熔融沉积制造 (FDM) 工艺	96	第5章 参考文献	140
4.6.1 系统组成	96	第6章 虚拟制造技术	141
4.6.2 成形工艺过程	97	6.1 概述	141
4.6.3 FDM材料	102	6.1.1 虚拟制造的定义	141
4.6.4 FDM工艺特点	102	6.1.2 虚拟制造的分类	141
4.6.5 FDM工艺应用案例	102	6.1.3 虚拟制造系统的体系结构	142
4.7 快速原型技术的应用	103	6.1.4 虚拟制造的关键技术	144
4.7.1 RP技术在新产品开发中的 应用	104	6.1.5 虚拟制造技术在制造业中的 应用	146
4.7.2 基于RP的快速模具技术	106	6.2 虚拟产品建模技术	147
4.7.3 RP技术在医学领域中的应用	109	6.2.1 几何建模技术	147
4.7.4 RP技术在铸造领域中的应用	110		
4.8 快速原型技术的发展趋势	110		
4.8.1 RP产业面临的困难	110		
4.8.2 当前RP技术的发展趋势	111		

6.2.2 特征建模技术	152	第7章 参考文献	208
6.2.3 参数化和变量化建模技术	152	第8章 压电驱动与控制技术	210
6.3 虚拟样机技术	155	8.1 概述	210
6.3.1 虚拟样机技术概述	155	8.1.1 压电驱动与控制技术的形成与 发展	210
6.3.2 虚拟样机技术的理论基础	157	8.1.2 压电驱动器的基本原理与构成	211
6.3.3 虚拟样机仿真分析流程	161	8.1.3 压电驱动器的特点及其应用	211
6.3.4 虚拟样机技术仿真分析举例	162	8.2 压电马达	212
6.4 虚拟加工技术	166	8.2.1 行波型压电马达	212
6.4.1 虚拟加工的涵义	166	8.2.2 超声波驻波马达	219
6.4.2 虚拟加工环境	166	8.2.3 非接触超声波马达	224
6.4.3 数控代码的翻译	167	8.3 压电泵	228
6.4.4 加工过程仿真	168	8.3.1 有阀压电泵	229
6.5 虚拟装配技术	170	8.3.2 无阀压电薄膜泵	230
6.5.1 虚拟装配的基本概念	170	8.3.3 压电超声泵	232
6.5.2 虚拟装配的信息表达	171	8.3.4 多腔体有阀压电泵	232
6.5.3 虚拟装配规划技术	172	8.4 压电开关阀与压电伺服阀	236
6.5.4 装配工艺规划后处理	173	8.4.1 压电型前置驱动器	236
6.5.5 虚拟装配系统应用实例	173	8.4.2 压电型高速开关阀	238
第6章 参考文献	175	8.4.3 压电型电液伺服阀	238
第7章 纳米技术	177	8.5 压电型精密驱动装置	242
7.1 概述	177	8.5.1 直动式精密微位移驱动器	243
7.1.1 纳米材料定义及分类	177	8.5.2 步进式精密驱动器	243
7.1.2 纳米技术及其重要性	178	8.5.3 惯性冲击式精密位移驱动器	248
7.1.3 纳米技术的发展及应用	179	第8章 参考文献	253
7.2 纳米材料结构与性能	182	第9章 绿色制造技术	256
7.2.1 纳米材料的结构	182	9.1 绿色制造的基本概念	256
7.2.2 纳米材料的性能	186	9.2 绿色设计	258
7.3 纳米材料的制备	188	9.2.1 绿色设计的概念和内涵	258
7.3.1 制备方法的分类	188	9.2.2 绿色设计策略	259
7.3.2 纳米材料的制备方法	188	9.2.3 绿色设计的基本步骤和方法	260
7.4 纳米级测量技术	198	9.3 清洁生产	262
7.4.1 纳米级测量方法简介	198	9.3.1 清洁生产的定义和内涵	262
7.4.2 Fabry-Perot 标准具的测量技术	199	9.3.2 清洁生产的实现方法	263
7.4.3 X 射线干涉测量技术	199	9.3.3 绿色包装	265
7.4.4 扫描隧道显微测量技术	199	9.4 绿色再制造技术	265
7.4.5 微观表面形貌的扫描探针测量和 其他扫描测量技术	203	9.5 虚拟绿色制造技术	268
7.5 纳米级加工技术	205	9.6 绿色制造的发展趋势	269
7.5.1 纳米级加工的物理实质	205	第9章 参考文献	270
7.5.2 纳米级加工精度	205	信息反馈表	273
7.5.3 纳米加工中的 LIGA 技术	206		
7.5.4 原子级加工技术	206		

第 1 章 绪 论

中国机械工程学会理事长、中国科学院院长路甬祥院士在 2002 年中国机械工程学会年会主旨报告中说：“制造业、特别是装备制造业的整体能力和水平将决定各国的经济实力、国防实力、综合国力和在全球经济中的竞争与合作能力，决定着一个国家、特别是发展中国家实现现代化和民族复兴的进程。作为刚刚进入工业化中期的发展中国家，我们必须清醒地认识到全面提高制造业、特别是装备制造业整体能力和综合竞争能力对于自身发展的重要性。因此我们必须以坚韧不拔的精神，持之以恒地开拓出一条通往制造强国之路。”他还说：“没有强大的制造业，一个国家将无法实现经济快速、健康稳定的发展，劳动就业问题将日趋突显，人民生活难以普遍提高，国家稳定和安全将受到威胁，信息化、现代化将失去坚实基础。制造业对于一个国家现代化建设具有不可替代的重要地位和作用。”

1.1 先进制造技术内涵与特征

1.1.1 先进制造技术的定义

先进制造技术 (Advanced manufacturing technology, AMT) 是为了适应时代要求, 提高竞争能力, 对制造技术不断优化所形成的。目前对先进制造技术仍没有一个明确的、一致公认的定义, 可以一般定义为: “先进制造技术是制造业不断吸收机械、电子、信息 (计算机与通信、控制理论、人工智能等)、能源及现代系统管理等方面的成果, 并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的全过程, 以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产, 提高对动态多变的产品市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。”先进制造技术的主要特点体现在精密化、自动化、系统化、集成化、加工方式多样化等方面。起推动作用的先进制造技术主要有两类: 一是制造自动化技术; 二是高精密制造技术。生产效率、加工精度和成本是表征先进制造技术经济效益的主要标志。因而, 制造技术从提高生产效率和加工精度两方面同时迅速地发展起来。前者是在保证生产效率的条件下, 达到一定的加工精度并降低成本; 而后者是在保证达到所要求的精度下, 实现自动化和高效率。

1.1.2 先进制造技术的构成

先进制造技术在不同发展水平的国家和同一国家的不同发展阶段, 有着不同的技术内涵, 对我国而言, 它是一个多层次的技术群。先进制造技术的内涵和层次及其技术构成如图 1-1 所示, 图中从内层到外层分别为基础技术、新型单元技术、集成技术, 下面将分别论述。

1. 基础技术

第一层次是优质、高效、低耗、少或无污染的基础制造技术。铸造、锻压、焊接、热处理、表面保护、机械加工等基础工艺至今仍是生产中大量采用、经济适用的技术, 这些基础工艺经过优化而形成的基础制造技术是先进制造技术的核心及重要组成部分。这些基础技术主要有精密下料、精密成形、精密加工、精密测量、毛坯强韧化、无氧化热处理、气体保护焊及埋弧焊、功能性防护涂层等。

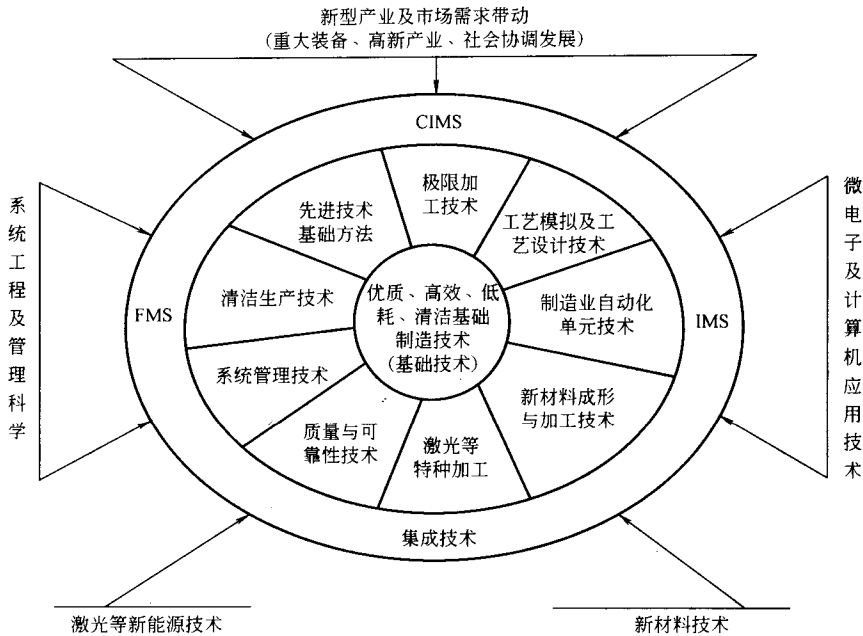


图 1-1 先进制造技术的内涵、层次及其技术构成

2. 新型单元技术

第二层次是新型单元技术。它是在市场需求及新兴产业的带动下，将基础制造技术与电子、信息、新材料、新能源、环境科学、系统工程、现代管理等高新技术相结合而形成的崭新的制造技术。如制造业自动化单元技术、极限加工技术、质量与可靠性技术、系统管理技术、现代设计基础与方法、清洁生产技术、新材料成形与加工技术、激光与高密度能源加工技术、工艺模拟及工艺设计优化技术等。

3. 集成技术

第三层次是先进制造集成技术。它是应用信息、计算机和系统管理技术对上述两个层次的技术局部或系统集成而形成的先进制造技术的高级阶段，如 FMS、CIMS、IMS 等。

1994 年，美国联邦科学、工程和技术协调委员会（FCCSET）下属的工业和技术委员会先进制造技术工作组提出，将先进制造技术分为三个技术群：①主体技术群；②支撑技术群；③制造技术环境。这三个技术群相互联系、相互促进，组成一个完整的体系。图 1-2 给出了先进制造技术的体系结构。

1.1.3 先进制造技术的分类

将目前各国掌握的制造技术系统化，对先进制造技术的研究分为下述四大领域，它们横跨多个学科，并组成一个有机整体。

1. 现代设计技术

现代设计技术主要包括计算机辅助设计技术、优化设计技术、竞争优势创建技术、全寿命周期设计技术、可持续性发展产品设计技术和设计试验技术。

2. 先进制造工艺

先进制造工艺包括精密洁净铸造成形工艺、精确高效塑性成形工艺、优质高效焊接及切割

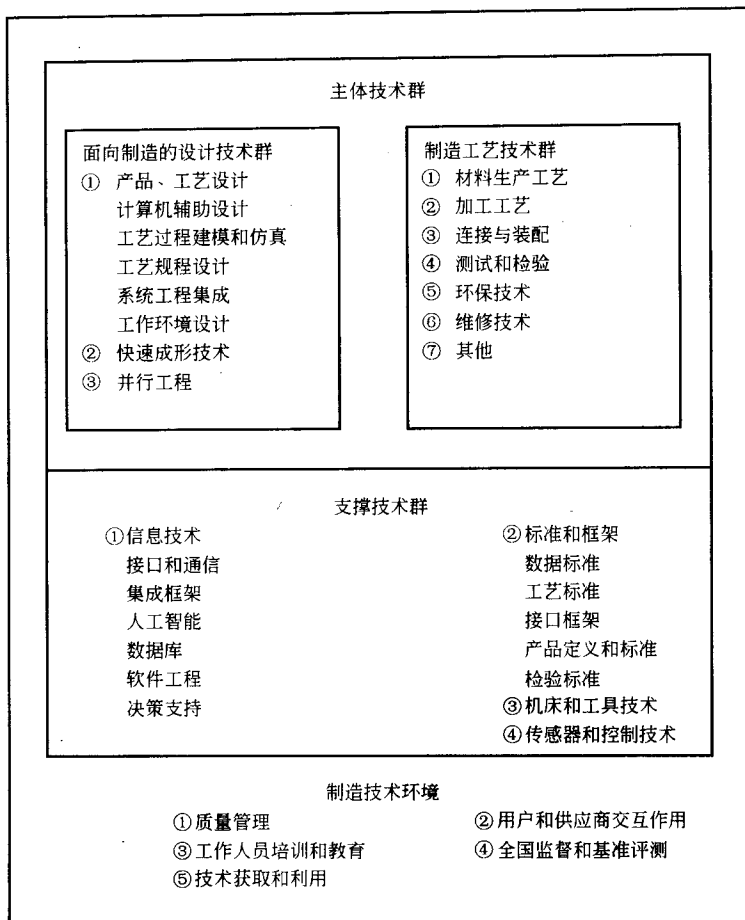


图 1-2 先进制造技术的体系结构

技术、优质低耗洁净热处理技术、高效高精度机械加工工艺、现代特种加工工艺、新型材料成形与加工工艺、优质清洁表面工程新技术、快速模具制造技术和虚拟制造成形加工技术等。

3. 自动化技术

自动化技术主要包括数控技术、工业机器人技术、柔性制造技术、计算机集成制造技术、传感技术、自动检测及信号识别技术和过程设备工况监测与控制技术等。

4. 系统管理技术

系统管理技术包括先进制造生产模式、集成管理技术和生产组织方法等。

1.2 制造业的历史与发展

纵观 200 年制造业发展的历史，是科学技术不断进步、制造产业不断发展创新的历史。

18 世纪以蒸汽机和工具机的发明为标志的英国工业革命，揭开了工业经济时代的序幕，开创了以机器占主导地位的制造业新纪元，造就了制造业企业的雏形——工场式生产。19 世纪末 20 世纪初，交通与运载工具对高效发动机的要求是诱发内燃机发明的社会动因，而内燃机的发明及其宏大的市场需求继而引发了制造产业的革命。人类社会对以汽车、武器弹

药为代表的产品的大批量需求促进了标准化、自动化的发展，福特、斯隆开创的大批量流水线生产模式和泰勒创立的科学管理理论导致了制造技术的分工和制造系统的功能分解，从而使成本大幅度降低。第二次世界大战以后，市场需求多样化、个性化及高品质趋势推动了微电子技术、计算机技术、自动化技术的飞速发展，导致了制造技术向程序控制的方向发展，柔性制造单元、柔性生产线、计算机集成制造及精益生产等相继问世，制造技术由此进入了面向市场多样需求的柔性生产新阶段，引发了生产模式和管理技术的革命。1959年提出的微型机械的设想最终依靠信息技术、生物医学工程、航空航天、国防及诸多民用产品的市场需求推动才得以成为现实，并将继续拥有灿烂的发展前景。以集成电路为代表的微电子技术的广泛应用有力地推动了微电子制造工艺水平的提高和微电子制造装备业的快速发展。20世纪末信息技术的发展促成传统制造技术与以计算机为核心的信息技术和现代管理技术三者的有机结合，形成了当代先进制造技术和现代制造业，从而为当今世界丰富多彩的物质文明奠定了可靠基础。激光的发明导致巨大的光通信产业及激光测量、激光加工和激光表面处理工艺的发展，无线通信、手提电话的发明诱发了人类对移动通信的新需求。

由此可见，创新的动力既来自市场需求，也源于科学发现与技术进步。技术创新不仅仅是被动地满足市场的需求，而且它还能主动地创造新的市场、新的战略性需求。纵观人类社会的发展历史，无不记录着制造技术的发展历程，如图 1-3 至图 1-11。



图 1-3 古希腊的阿基米德螺旋泵

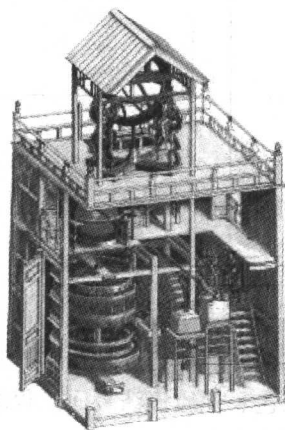


图 1-4 苏颂主持制造的水运仪象台

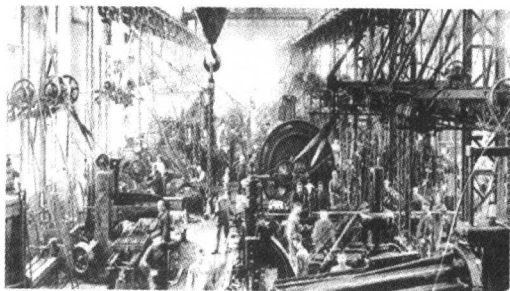


图 1-5 19 世纪的机器制造工厂

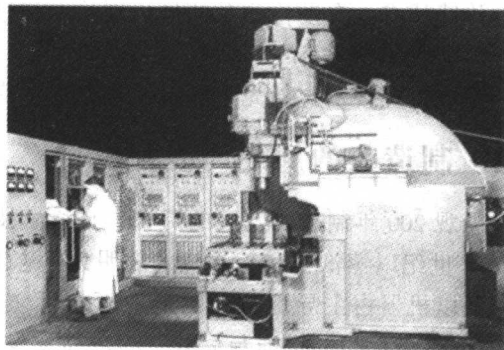


图 1-6 1957 年制造的数控机床

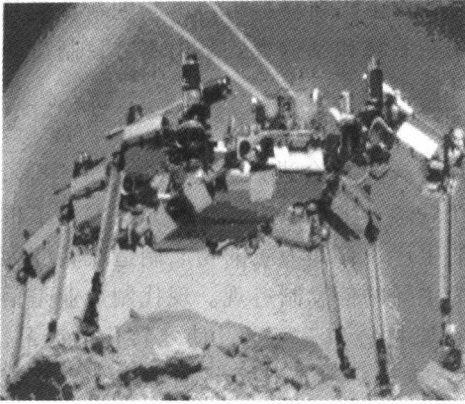


图 1-7 仿生机械

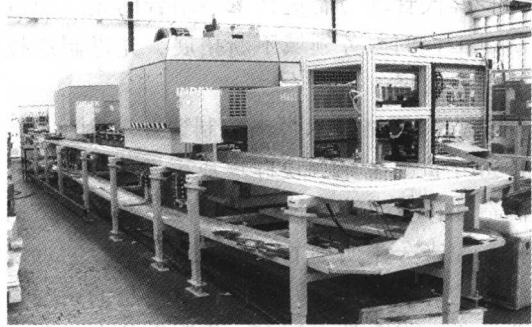


图 1-8 20 世纪 90 年代的自动化生产线

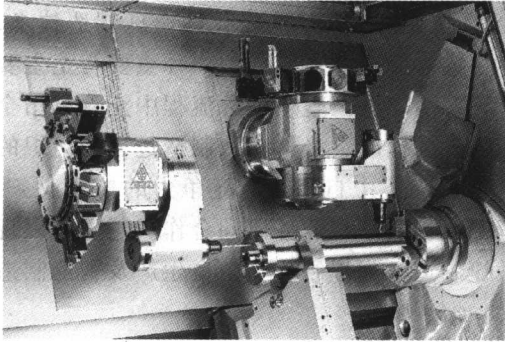


图 1-9 车削加工中心的工作单元

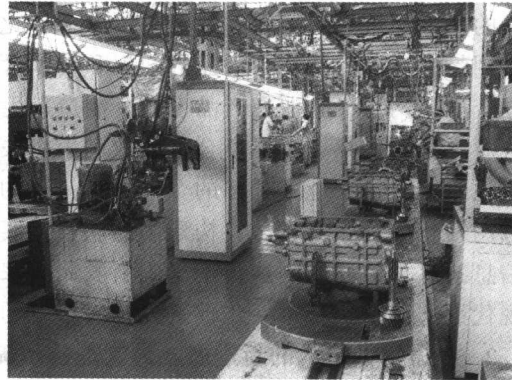


图 1-10 半自动变速箱装配线

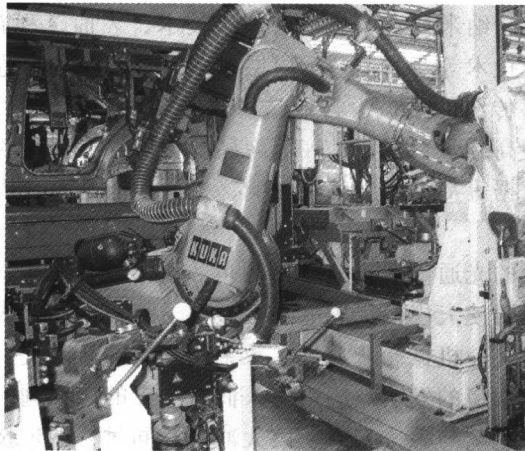


图 1-11 焊装自动线上的上料机械手

1.3 科学技术的发展与制造业的变革

随着高新技术和知识经济的迅猛发展，信息技术、生物技术、材料科学技术、微电子技术、能源与环境技术、航空航天及海洋技术等新兴的科学技术不断涌现，以信息技术、自动

化技术、现代管理与制造技术相结合的先进制造技术应运而生。新材料与新工艺创新日新月异,制造工程的服务领域不断拓展,先进制造技术、制造系统和制造模式层出不穷,制造业得到了空前发展。

1. 信息与网络技术带来的制造业革命

1958年世界上第一块硅集成电路(IC)问世,揭开了人类社会进入“硅”时代的序幕,并对制造业产生了革命性影响,传统的产品结构、生产观念、生产组织、生产方式发生了根本变化。原来分工明确的、集中的、顺序的、以物质的生产、存储为主的物质制造观转变为目前协同的、分散的、并行的和以信息的产生、处理为主导的信息制造观。现代制造业是信息产业,它加工和处理信息,将制造信息录制、物化在原材料和毛坯上,使之转化为产品。未来的产品是基于机械电子一体化的信息和智能产品,未来的制造技术将向数字化、智能化、网络化发展,信息技术将贯穿整个制造业。

当前,电子商务、电子企业、电子制造、电子自动化、网上服务、网上技术支持、基于网络的先进制造等,使得制造过程日益全球化。今天的制造技术是网络化的全球制造技术,通过网络不断更新和扩大产品的知识和技术含量,将成为制造和再制造的一种重要乃至主要方式。利用网络,企业在产品设计、制造与生产管理等活动乃至整个业务流程中充分享用全球资源,快速调集、有机整合与高效利用有关制造资源。同时,必然导致制造过程与组织的分散化、网络化,越来越多的企业抛弃传统的生产方式,集中自己最有竞争力的核心业务,通过网络化的协作与竞争,构建制造联盟,实现资源互补共享和业务协同合作。建立在以现代信息技术为核心的制造技术基础上发展起来的敏捷制造、虚拟制造、精良生产及智能制造等现代制造系统,将进一步促进未来制造业的发展。

2. 生命科学技术的新进展,为制造技术提供了新材料与新工艺

近半个世纪以来,性能多样的金属材料、高温陶瓷、功能晶体、碳素材料以及复合材料相继问世,至今世界上的结构与功能材料已有几十万种,并继续以每年大约5%的速度递增。激光技术、光刻技术、纳米技术、超精密加工技术、表面工程新技术、在线检测技术、生物制造技术、仿生制造技术等新的工艺手段层出不穷,改变了制造业的面貌。

新材料的应用改变了传统的机械设计制造和工艺领域,纳米材料、智能材料、梯度材料、新型陶瓷材料、新型高分子聚合物、表面涂层及自修复材料等的应用对机械性能、功能以及设计方法、标准、数据等都将产生巨大影响,机械性能进一步优化,机械寿命将大幅度提高。

激光的发明导致巨大的光通信产业及激光测量、激光加工和激光表面处理工艺的发展,激光技术、光刻技术的发明使大规模集成电路等微电子与精密制造成为可能,促进了计算机和信息技术的发展,进而又使机械制造业进入数字化制造的新时代。

纳米技术扫描隧道显微镜的发明与应用使人们对世界的认识进入纳米尺度,纳米制造技术对传统制造方法、制造工艺与手段带来了巨大冲击,同时,纳米技术的发展带动了微型系统制造技术的发展。从1959年科学家提出微型机械的设想,到第一个硅微型压力传感器问世,以及微型齿轮、微型齿轮泵、微型气动涡轮及联接件、硅微型静电电动机、微型加速度计,直至2000年重仅200多克的微卫星上天,微型系统的应用领域不断扩大。

表面工程新技术不仅能够使材料表面获得理想的功能(如防腐、耐磨、耐高温、抗氧化等),甚至还能获得微晶、非晶等性能。表面成膜、表面合金化及其他表面改性法,不但用

材少,而且可以使机件质量成倍提高,并且能够成功地对机件进行修复。

生物制造技术的发明使人们能够利用细菌对金属等进行侵蚀加工,其中生物去除成形加工和生物约束成形加工在研制微型产品和纳米产品领域有着不可估量的应用潜力。另外,生物技术的应用还能将一些化工制造过程转变为生物过程,向生物过程的常温、常压转变。生物脱硫技术将在常温、常压下利用适宜的细菌代谢过程,使石油脱硫,既有利于降低加工成本,又有利于改善生态环境。

3. 科学技术创新改变了制造业的服务领域与产业结构

制造业是伴随着人类社会的发展而产生和发展的,经历了原始制造、作坊式手工生产、机器大生产、机械化生产、流水线生产、自动生产线,发展到当今的柔性制造、智能制造等模式。目前,人类在合成化工、能源与环保、材料与先进制造、航空航天、微电子与光电子、自动控制、计算机与通信网络、科学仪器与生物医学工程、纳米技术与微机电系统等技术领域获得了前所未有的创新成就,极大地改变了社会的生产方式、人们的生活方式和经济结构,改变了制造业的服务领域与产业结构,制造模式也发展为柔性制造、智能制造等。制造业为产业部门提供机电一体化的生产设备、工作机器,为农业与公共工程部门提供工程设施,为第三产业提供技术装备与服务设施。如为交通运输部门提供汽车、船舶和飞机及相关的道路、机场、港口设备,为精细农业、环保生态、医疗保健、国防工业提供装备,制造业的应用还拓展到极端条件下的科学实验装备与工作机器、微机电设备、新型医学诊断及治疗设备、生化及生物工程仪器及设备。

4. 科学技术的进步改变了传统的制造模式

随着顾客消费多样化、个性化需求的增长,大批量、同一造型的产品将被多品种、小批量甚至单件定制的产品所替代,功能性产品将被功能艺术性产品所替代。微电子技术、计算机技术、自动化技术的飞速发展使得制造技术向数字控制的方向发展,柔性制造单元、柔性生产线、计算机集成制造及精益生产等相继问世,制造技术由此进入了面向市场多样需求的柔性生产新阶段,引发了生产模式和管理技术的革命。未来的制造业将全面进入柔性、智能、敏捷、精益、绿色、艺术化、全球化和个性化的先进制造新时代。适应多品种、小批量生产的计算机集成制造(CIMS)、智能制造等将成为21世纪占主导地位的新型生产方式。

1.4 先进制造技术的发展趋势

随着科学技术和市场经济的发展,先进机械制造技术有如下八个方面的发展趋势与特色:

1. 数字化

数字化是先进制造技术发展的核心,是制造技术、计算机技术、网络技术与管理科学的交叉、融和、发展与应用的结果,也是制造企业、制造系统与生产过程、生产系统不断实现数字化的必然趋势。它包含了三大部分:以设计为中心的数字制造,以控制为中心的数字制造和以管理为中心的数字制造。对制造设备而言,其控制参数均为数字化信号。对制造企业而言,各种信息(如图形、数据、知识和技能等)均以数字形式通过网络在企业内传递,以便根据市场情况迅速收集资料信息,在虚拟现实、快速原型、数据库和多媒体等多种数字化技术的支持下,对产品信息、工艺信息与资源信息进行分析、规划与重组,实现对产品设计和产品功能的仿真,对加工过程与生产组织过程的仿真,或完成原型制造,从而实现生产过

程的快速重组与对市场的快速响应,以满足客户的要求。对全球制造业而言,用户借助网络发布信息,各类企业通过网络,根据需求,应用电子商务,实现优势互补,形成动态联盟,迅速协同设计并制造出相应的产品,这样,在数字制造环境下,在广泛领域乃至跨地区、跨国界形成一个数字化组成的网,企业、车间、设备、员工、经销商乃至有关市场均可成为网上的一个“结点”;在研究、设计、制造、销售和服务的过程中,彼此交互,围绕产品所赋予的数字信息,成为驱动制造业活动的最活跃的因素。

2. 精密化

精密化是指对产品、零件的加工精度要求越来越高,加工的极限精度正向纳米(nm)、亚微米(U)精度发展。由一组数据可以看到微电子产品对加工精度的依赖程度,电子元件制造误差为:一般晶体管 $50\mu\text{m}$,一般磁盘 $5\mu\text{m}$,一般磁头磁鼓 $0.5\mu\text{m}$,集成电路 $0.05\mu\text{m}$,超大型集成电路达 $0.005\mu\text{m}$ 而合成半导体为 1nm 。在现代超精密机械中,对精度要求极高,如人造卫星的仪表轴承,其圆度、圆柱度、表面粗糙度等均达纳米级;基因操作机械,其移动距离为纳米级,动精度为 0.1nm 。细微加工、纳米加工技术可达纳米以下的要求,如离子束加工可达纳米级,借助于扫描隧道显微镜(STM)与原子力显微镜的加工,则可达 0.1nm 。实际上,纳米级加工就是移动原子级的加工。

微电子芯片的制造有所谓的“三超”:①超净,加工车间尘埃颗粒直径小于 $1\mu\text{m}$,颗粒数少于每 6.45cm^2 0.1个。②超纯,芯片材料中的有害杂质的质量分数小于 10^{-10} ,即十亿分之一。③超精,加工精度达纳米级。显然,没有先进制造技术,就没有先进电子技术装备;当然,没有先进电子技术与信息技术,也就没有先进制造装备。先进制造技术与先进信息技术是相互渗透、相互支持、紧密结合的。

3. 极端化

极端化是指在极端条件下工作或者有极端要求的产品。例如在高温、高压、高湿、强磁场和强腐蚀等条件下工作的产品;有高硬度、大弹性等要求的产品,或在几何形体上极大、极小、极厚、极薄、奇形怪状的产品。显然,这些产品都是科技前沿的产品。其中之一就是“微机电系统(MEMS)”,这是工业发达国家高度关注的一项前沿科技。甚至可以说,“极”是前沿科技或前沿科技产品发展的一个焦点。例如在信息领域中,分子存储器、原子存储器、量子阱光电子器件、芯片加工设备;生命领域中,克隆技术、基因操作系统、蛋白质追踪系统,小生理器官处理技术、分子组件装配技术;军事武器中,精确制导技术、精确打击技术、微型惯性平台、微光学设备;航空航天领域中,微型飞机、微型卫星、“纳米”卫星(0.1kg 以内);微型机器人领域中,脑科手术、清除脑血栓、管道内操作;微型测试仪器、微传感器、微显微镜、微温度计、微仪器等。MEMS可以完成特种动作与实现特种功能,甚至可以沟通微观世界与宏观世界,其深远意义难以估量。2002年,美国伯克利大学不仅制造了直径为 $300\mu\text{m}$ 的镜头,配以微米级探针的微米级显微镜,可深入植物细胞内观察,而且正在开发镜头直径为 500nm 的纳米级显微镜。2002年美国康纳尔大学还宣布研制出原子级纳米“晶体管”。可以说,由单个原子输送电流的“晶体管”还是首次,这项成果被我国科技专家评为2002年世界十大科技新闻之一。

4. 自动化

自动化正从自动控制、自动调节、自动补偿和自动辨识等发展到自学习、自组织、自维护和自修复等更高的自动化水平;而且今天自动控制的内涵也发生了巨大的变化,从控制理

论、控制技术到系统控制元件都有着极大的发展。自动化是先进制造技术发展的前提条件。

5. 集成化

集成化有三个方面：技术的集成，管理的集成，技术与管理的集成。包括：①现代技术的集成，机电一体化是典型，它是高技术装备的基础，如微电子制造装备，信息化、网络化产品及配套设备，仪器、仪表、医疗、生物和环保等高技术设备。机电一体化的关键技术包括：检测传感技术、信息处理技术、自动控制技术、伺服传动技术、精密机械技术和系统总体技术。②加工技术的集成，特种加工技术及其装备是典型，如快速原型、激光加工、高能束加工和电加工等。当然加工技术的集成只是现代技术集成的一个特殊部分。③企业集成，即管理的集成，包括生产信息、功能、过程的集成；过程的集成包括生产过程的集成，全寿命周期过程的集成，企业内、外部的集成。

6. 网络化

网络化是先进制造技术发展的必由之路，使制造业走向整体化、有序化，这同人类社会的发展是同步的。制造技术的网络化是由两个因素决定的：一是生产组织变革的需要，二是生产发展的可能。这是因为制造业在市场竞争中面临多方的压力，如采购成本不断提高，产品更新速度加快，市场需求不断变化，客户订单生产方式迅速发展，全球制造所带来的冲击日益加剧等。企业要避免传统生产组织所带来的一系列问题，必须在生产组织上实行某种深刻的变革。

在制造技术网络化中，电子商务得以应用。电子商务是将业务数据数字化，并将数字信息的使用和计算机的业务处理同 Internet 进行集成，成为一种全新的业务操作模式。在电子商务的网络化制造中，供应链管理、客户关系管理、产品生命周期管理共同构成了制造的增值链。

7. 智能化

智能化具有以下特点：①人机一体化。②自律能力。③自组织与超柔性。④学习能力与自我维护能力。⑤在未来，具有更高级的类人思维的能力。可以说智能制造作为一种模式，是集自动化、集成化和智能化于一身，并具有不断向纵深发展的高技术含量和高技术水平的先进制造系统，也是一种由智能机器人和人类专家共同组成的人机一体化系统。它突出了在制造诸环节中，以一种高度柔性集成的方式，借助计算机模拟的人类专家的智能活动，进行分析、判断、推理、构思和决策，取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动。同时，收集、存储、处理、完善、共享、继承和发展人类专家的制造智能。

8. 绿色化

绿色化是从环境保护领域中引用来的。人类社会的发展必将走向人类社会与自然界的和谐，就是走向“天人合一”。制造业的产品从构思开始，到设计阶段、制造阶段、销售阶段、使用与维修阶段，直到回收阶段、再制造阶段，都必须充分计及环境保护。所谓环境保护是广义的，不仅要保护自然环境，保护社会环境、生产环境，还要保护生产者的身心健康。在此前提与内涵下，必须制造出价廉、物美、供货期短、售后服务好的产品。作为“绿色”制造，产品还必须在一定程度上是艺术品，以与用户的生产、工作、生活环境相适应，给人以崇高的精神享受，体现物质文明、精神文明与环境文明的高度交融。制造业必然要走向“绿色”制造。