



全国高等院校“十二五”特色精品课程建设成果

先进制造技术

(第3版)

◎主 编 黎 震 朱江峰 ◎主 审 陈根琴



XIANJIN ZHIZAO JISHU

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

《先进制造技术(第3版)》在第2版的基础上,根据各种制造技术的发展趋势,以及第2版在各校的使用情况修订而成。本书全面系统地论述了各种先进制造技术和先进制造理念,从先进制造技术概论、先进制造工艺技术、计算机辅助设计与制造技术、制造自动化技术等方面论述了各自的特点、技术内涵及其应用,以及对现代制造系统的详细介绍充分体现了先进制造技术的发展方向。应用实例部分以实例为先导,带领读者通过实际操作掌握基础知识。本书适用于机械相关专业的教学,也可以作为相关专业参考的教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/黎震,朱江峰主编.—3版.—北京:北京理工大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5640-6491-4

I. ①先… II. ①黎…②朱… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第187662号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京市通州富达印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/15.5

字 数/348千字

版 次/2012年8月第3版 2012年8月第1次印刷

印 数/1~1500册

定 价/45.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换



北京理工大学出版社

北京理工大学出版社

出版说明 >>>>>>

北京理工大学出版社为了顺应国家对机电专业技术人才的培养要求，满足企业对毕业生的技能需求，以服务教学、立足岗位、面向就业为方向，经过多年的大力发展，开发了近 30 多个系列 500 多个品种的高等教育机电类产品，覆盖了机械设计与制造、材料成型与控制技术、数控技术、模具设计与制造、机电一体化技术、焊接技术及自动化等 30 多个制造类专业。

为了进一步服务全国机电类高等教育的发展，北京理工大学出版社特邀请一批国内知名行业专业、高等院校骨干教师、企业专家和相关作者，根据高等教育教材改革的发展趋势，从业已出版的机电类教材中，精心挑选一批质量高、销量好、院校覆盖面广的作品，集中研讨、分别针对每本书提出修改意见，修订出版了该高等院校“十二五”特色精品课程建设成果系列教材。

本系列教材立足于完整的专业课程体系，结构严整，同时又不失灵活性，配有大量的插图、表格和案例资料。作者结合已出版教材在各个院校的实际使用情况，本着“实用、适用、先进”的修订原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格，力求提高学生的实际操作能力，使学生更好地适应社会需求。

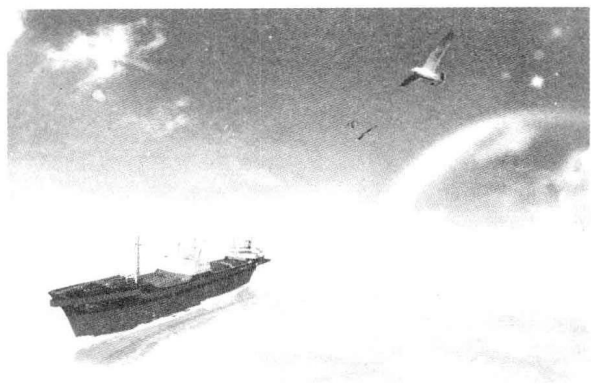
本系列教材在开发过程中，为了更适宜于教学，特开发配套立体资源包，包括如下内容：

- 教材使用说明；
- 电子教案，并附有课程说明、教学大纲、教学重难点及课时安排等；
- 教学课件，包括：PPT 课件及教学实训演示视频等；
- 教学拓展资源，包括：教学素材、教学案例及网络资源等；



- 教学题库及答案，包括：同步测试题及答案、阶段测试题及答案等；
- 教材交流支持平台。

北京理工大学出版社



Qianyan

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、信息和管理技术以及新工艺、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。

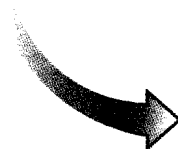
随着人类工业文明的不断进步，制造业已成为国家经济和综合国力的基础，制造业的发达与先进程度是国家工业化的重要表征。人类社会在步入新世纪的同时也逐渐由工业经济时代步入知识经济时代，全球经济正处于一个动态的变革时期，制造业面临更为严峻的挑战。在知识经济时代，知识和技术被认为是提高生产率和实现经济增长的驱动器。因而，先进制造技术已成为制造企业在激烈市场竞争中立于不败之地并求得迅速发展的关键因素，成为世界经济发展和满足人类日益增长需要的重要支撑，成为加速高新技术发展和实现国防现代化的助推器。

为了开阔专业视野，掌握制造技术和最新发展，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（第3版）》在第2版的基础上，对先进制造技术的体系分三大部分来阐述，即先进制造工艺技术；计算机辅助设计与制造及自动化技术；现代制造系统。通过对先进制造技术进行全面的介绍，基本能够反映近年来国内外先进制造技术的最新发展；作为机械类专业后续专业课程，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叠；在对基础理论及基本技术进行阐述的同时，注重工程应用，强调实用性、针对性。

本书由黎震、朱江峰任主编，刘小群、谢燕琴任副主编。参加编写的有黎震（第2.3、2.4、2.5、2.6、2.7、2.8、6.3、6.4、6.5节）、朱江峰（第1章、第5.3、5.4、5.5、5.6节）、刘小群（第3章、第4章）、谢燕琴（第2.1、2.2、6.1、6.2节）、黄丽燕（第5.1、5.2节）、谢晖（第6.6、6.7节）。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。



目 录

第 1 章 先进制造技术概论	(1)	第 4 章 制造自动化技术	(136)
1.1 制造、制造系统和制造业	··· (1)	4.1 概述	····· (136)
1.2 先进制造技术的发展	····· (3)	4.2 工业机器人 (Industrial Robot)	····· (140)
1.3 先进制造技术的内涵和体系	····· (8)	4.3 柔性制造系统 (FMS)	····· (149)
结构	····· (8)	思考题	····· (158)
思考题	····· (11)		
第 2 章 先进制造工艺技术	(12)	第 5 章 现代制造系统	(159)
2.1 电火花成型加工技术	····· (12)	5.1 虚拟制造技术 (VM)	··· (159)
2.2 电火花线切割加工技术	··· (29)	5.2 计算机集成制造系统 (CIMS)	····· (164)
2.3 微细加工技术	····· (57)	5.3 并行工程 (CE)	····· (169)
2.4 超精密加工技术	····· (63)	5.4 精益生产 (LP)	····· (175)
2.5 高速与超高速切削技术	····· (73)	5.5 敏捷制造 (AM)	····· (180)
2.6 逆向工程技术	····· (83)	5.6 绿色制造 (GM)	····· (187)
2.7 其他加工技术	····· (98)	思考题	····· (193)
思考题	····· (106)		
第 3 章 计算机辅助设计与制造技术	····· (108)	第 6 章 应用实例	(194)
3.1 计算机辅助设计 (CAD) 技术	····· (108)	6.1 电火花加工应用实例	····· (194)
3.2 计算机辅助工艺过程设计	····· (115)	6.2 电火花线切割加工应用实例	····· (199)
(CAPP)	····· (115)	6.3 快速成型应用实例	····· (206)
3.3 计算机辅助制造 (CAM) 技术	····· (120)	6.4 三维实体造型应用实例	··· (209)
3.4 CAD/CAM 集成技术	····· (128)	6.5 逆向工程技术应用实例	··· (214)
思考题	····· (135)	6.6 计算机集成制造系统应用	····· (218)
		实例	····· (218)
		6.7 柔性制造系统应用实例	··· (229)
		参考文献	(234)

第 1 章 先进制造技术概论

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、信息和管理技术，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。

本章主要讲述制造、制造系统和制造业的概念，先进制造技术的发展以及先进制造技术的内涵和体系结构。



本章要点

- 制造、制造系统和制造业的概念
- 先进制造技术的发展
- 先进制造技术的内涵和体系结构



本章难点

- 先进制造技术的内涵和体系结构

1.1 制造、制造系统和制造业

1.1.1 制造、制造系统和制造业

制造（manufacturing）是人类按照市场需求，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，是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。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。

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。制造业涉及国民经济的许多领域,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。

1.1.2 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,制造业产值又约占工业总产值的45%。

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。有人将制造业称为工业经济年代一个国家经济增长的“发动机”。一方面制造业创造价值、生产物质财富、创新知识;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8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。

1.2 先进制造技术的发展

1.2.1 先进制造技术产生背景

先进制造技术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。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，赢得订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。信息逐渐成为主宰制造业的决定性因素，计算机网络技术已经对制造业产生了重大影响，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》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，各国政府和企业界都在寻求对策，以获取全球范围内的竞争优势，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，跨入制造业的新纪元。先进制造技术作为一个专用名词出现在20世纪80年代末。当时美国根据本国制造业面临的挑战与机遇，深刻反省其制造业存在的问题，为了加强其制造业的竞争力和促进本国国民经济的增长而提出来的。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。

1.2.2 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。随着社会的不断进步，人们不断变化的需求，推动着制造业的不断发展与进步。

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

自第二次世界大战之后，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）以及精益生产（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，如精密成型技术与装备、快速成型技术与系统、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时期。

综上所述，从传统的制造技术发展成为当代的先进制造技术是社会进步与技术进步的必然结果，是各民族民族竞争与合作在制造领域的体现，也是制造技术发展的主方向。20 世纪 90 年代以来，各工业发达国家和新兴工业化国家纷纷调整其技术政策，大力发展先进制造技术，力图在国际大市场中多分享一份。其中具有代表性的是美国的先进制造技术、关键技术（制造）计划、敏捷制造使能技术计划（TEAM），日本的智能制造技术（IMS），韩国的高级先进制造技术计划（G-7）和德国的制造 2000 计划等。

1.2.3 先进制造技术的发展趋势

1. 数是发展的核心

数是指制造领域的数字化。它包括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。对数字化制造设备而言，其控制参数均为数字化信号；对数字化制造企业而言，各种信息（如图形、数据、知识、技能等）均以数字形式通过网络在企业内传递，在多种数字化技术的支持下，企业对产品信息、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进行仿真或完成原型制造，从而实现生产过程的快速重组和对市场的快速反应。对全球制造业而言，在数



字制造环境下,用户借助网络发布信息,各类企业通过网络应用电子商务,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。

2. 精是发展的关键

精是指加工精度及其发展。20世纪初,超精密加工的误差是 $10\text{ }\mu\text{m}$,70~80年代为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$,现在仅为 $0.001\text{ }\mu\text{m}$,即 1 nm 。从海湾战争、科索沃战争,到阿富汗战争、伊拉克战争,武器的命中率越来越高,其实质就是武器越来越精,也可以说,关键就是打精度战。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、表面粗糙度等均达到纳米级;基因操作机械其移动距离为纳米级,移动精度为 0.1 nm ;细微加工、纳米加工技术可达纳米以下的要求,如果借助于扫描隧道显微镜与原子力显微镜的加工,则可达 0.1 nm 。至于微电子芯片的制造,有所谓的三超:①超净,加工车间尘埃颗粒直径小于 $1\text{ }\mu\text{m}$,颗粒数少于每立方英尺 0.1 个;②超纯,芯片材料有害杂质,其含量要小于十亿分之一;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. 极是发展的焦点

极就是极端条件,是指生产特需产品的制造技术,必须达到极的要求。例如,能在高温、高压、高湿、强冲击、强磁场、强腐蚀等条件下工作,或有高硬度、大弹性等特点,或极大、极小、极厚、极薄、奇形怪状的产品等,都属于特需产品。微机电系统就是其中之一。这是工业发达国家高度关注的一项前沿科技,亦即所谓微系统制造。微机电系统用途十分广泛。在信息领域中,用于分子存储器、原子存储器、芯片加工设备;生命领域中,用于克隆技术、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,用于精确制导技术、精确打击技术、微型惯性平台、微光学设备;航空航天领域中,用于微型飞机、微型卫星、纳米卫星(0.1 kg 以内);微型机器人领域中,用于各种医疗手术、管道内操作、窃听与搜集情报;此外,还用于微型测试仪器,微传感器、微显微镜、微温度计等。微机电系统可以完成特种动作与实现特种功能,乃至可以沟通微观世界与宏观世界,其深远意义难以估量。

4. 自是发展的条件

自就是自动化。它是减轻、强化、延伸、取代人的有关劳动的技术或手段。自动化总是伴随有关机械或工具来实现的。可以说,机械是一切技术的载体,也是自动化技术的载体。第一次工业革命,以机械化这种形式的自动化来减轻、延伸或取代人的有关体力劳动,第二次工业革命即电气化进一步促进了自动化的发展。据统计,从1870—2000年,加工过程的效率提高为20倍,即体力劳动得到了有效的缓解,但管理效率只提高 $1.8\sim 2.2$ 倍,设计效率只提高1.2倍,这表明脑力劳动远没有得到有效的解放。信息化、计算机化与网络化,不但可以极大地解放人的身体,而且可以有效提高人的脑力劳动水平。今天的自动化的内涵与水平已远非昔比,从控制理论、控制技术到控制系统、控制元件等,都有着极大的发展。自动化已成为先进制造技术发展的前提条件。

5. 集是发展的方法

集就是集成化。目前集主要指:①现代技术的集成。机电一体化是个典型,它是高技术装备的基础。②加工技术的集成。特种加工技术及其装备是个典型,如激光加工、高能

束加工、电加工等。③ 企业的集成,即管理的集成,包括生产信息、功能、过程的集成,也包括企业内部的集成和企业外部的集成。从长远看,还有一点很值得注意,即由生物技术与制造技术集结而成的微制造的生物方法,即所谓的生物制造。它的依据是,生物是由内部生长而成器件,而非同一般制造技术那样由外加作用以增减材料而成器件。这是一个崭新的充满活力的领域,作用难以估量。

6. 网是发展的道路

网就是网络化。制造技术的网络化是先进制造技术发展的必由之路。制造业在市场竞争中,面临多方的压力:采购成本不断提高,产品更新速度加快,市场需求不断变化,全球化所带来的冲击日益加强等。企业要避免这一系列问题,就必须在生产组织上实行某种深刻的变革,抛弃传统的小而全与大而全的夕阳技术,把力量集中在自己最有竞争力的核心业务上。科学技术特别是计算机技术、网络技术的发展,使这种变革的需要成为可能。制造技术的网络化形成一种新的制造模式,即虚拟制造组织,这是由地理上异地分布的、组织上平等独立的多个企业,在谈判协商的基础上,建立密切合作关系,形成动态的虚拟企业或动态的企业联盟。此时,各企业致力于自己的核心业务,实现优势互补,实现资源优化动态组合与共享。

7. 智是发展的前景

智就是智能化。制造技术的智能化是制造技术发展的前景。近 20 年来,制造系统正在由原先的能量驱动型转变为信息驱动型,这就要求制造系统不但要具备柔性,而且还要表现出某种智能,以便应对大量复杂信息的处理、瞬息万变的市场需求和激烈竞争的复杂环境,因此智能制造越来越受到重视。与传统的制造相比,智能制造系统具有以下特点:① 人机一体化;② 自律能力强;③ 自组织与超柔性;④ 学习能力与自我维护能力;⑤ 在未来,具有更高级的人类思维的能力。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。它的突出之处是在制造诸环节中,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。尽管智能化制造道路还很漫长,但是必将成为未来制造业的主要生产模式之一。

8. 绿是发展的必然

绿就是绿色制造。人类必须从各方面促使自身的发展与自然界和谐一致,制造技术也不例外。制造业的产品从构思开始,到设计、制造、销售、使用与维修,直到回收、再制造等各阶段,都必须充分顾及环境保护与改善。不仅要保护与改善自然环境,还要保护与改善社会环境、生产环境以及生产者的身心健康。其实,保护与改善环境,也是保护与发展生产力。在此前提下,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,产品必须力求同用户的工作、生活环境相适应,给人以高尚的精神享受,体现物质文明与精神文明的高度交融。因此,发展与采用一项新技术时,必须树立科学的发展观,使制造业不断成为绿色制造。



1.3 先进制造技术的内涵和体系结构

1.3.1 先进制造技术的内涵及技术构成

先进制造技术是在传统制造技术基础上不断吸收机械、电子、信息、材料、能源以及现代管理技术的成果,将其综合应用于产品设计、加工装配、检验测试、经营管理、售后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制造技术的总称。

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,有不同的技术内涵和构成,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见图1-1。

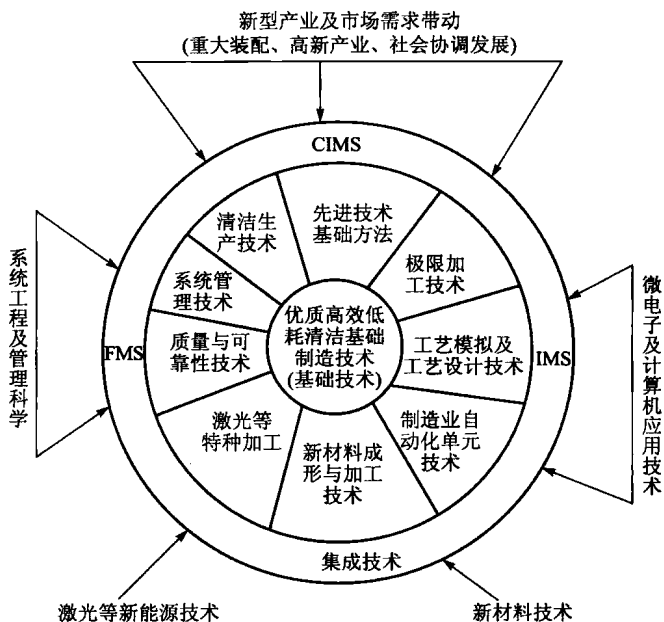


图1-1 先进制造技术的内涵和层次及其技术构成

1. 基础技术

第一层次是优质、高效、低耗、少或无污染基础制造技术。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优质、高效、低耗、少或无污染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、精密成型、精密加工、精密测量、少无氧化热处理、气体保护焊及埋弧焊、功能性防护涂层等。

2. 新型单元技术

第二个层次是新型的先进制造单元技术。这是在市场需求的带动下,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、工艺模拟及设计优化技术等。

3. 集成技术

第三个层次是先进制造集成技术。这是应用信息、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。

1.3.2 先进制造技术的特点

与传统制造技术相比，先进制造技术具有如下特征。

1) 系统性。由于计算机技术、信息技术、传感技术、自动化技术和先进管理等技术的引入，并与传统制造技术的结合，使先进制造技术成为一个能够驾驭生产过程中的物质流、信息流和能量流的系统工程。而传统制造技术一般只能驾驭生产过程中的物质流和能量流。

2) 广泛性。传统制造技术通常只是指将原材料变为成品的各种加工工艺，而先进制造技术则贯穿了从产品设计、加工制造到产品销售及使用维护的整个过程，成为“市场→设计开发→加工制造→市场”的大系统。

3) 集成性。传统制造技术的学科专业单一、独立，相互间界限分明。而先进制造技术由于专业和学科间的不断渗透、交叉、融合，其界限逐渐淡化甚至消失，技术趋于系统化、集成化，已发展成为集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新型交叉学科——制造系统工程。

4) 动态性。先进制造技术是在针对一定的应用目标，不断吸收各种高新技术逐渐形成和发展起来的新技术，因而其内涵不是绝对的和一成不变的。反映在不同的时期、不同的国家和地区，先进制造技术有其自身不同的特点、重点、目标和内容。

5) 实用性。先进制造技术的发展是针对某一具体的制造需求而发展起来的先进、实用的技术，有着明确的需求导向。先进制造技术不是以追求技术的高新度为目的，而是注重产生最好的实践效果，以促进国家经济的快速增长和提高企业综合竞争力。

1.3.3 先进制造技术的体系结构及其分类

1. 先进制造技术的体系结构

先进制造技术所涉及的学科较多，包含的技术内容广泛。1994 年美国联邦科学、工程和技术协调委员会将先进制造技术分为三个技术群：主技术群、支撑技术群、管理技术群。这三个技术群体相互联系、相互促进，组成一个完整的体系，每个部分均不可或缺，否则就很难发挥预期的整体功能效益。图 1-2 所示为先进制造技术的体系结构。

2. 先进制造技术的分类

根据先进制造技术的功能和研究对象，可将先进制造技术归纳为如下几个大类。

(1) 现代设计技术

现代设计技术是根据产品功能要求，应用现代技术和科学知识，制订设计方案并使方案付诸实施的技术，其重要性在于使产品设计建立在科学的基础上，促使产品由低级向高级转化，促进产品功能不断完善，产品质量不断提高。现代设计技术包含如下的内容：

1) 现代设计方法。包括有模块化设计、系统化设计、价值工程、模糊设计、面向对象的设计、反求工程、并行设计、绿色设计、工业设计等。

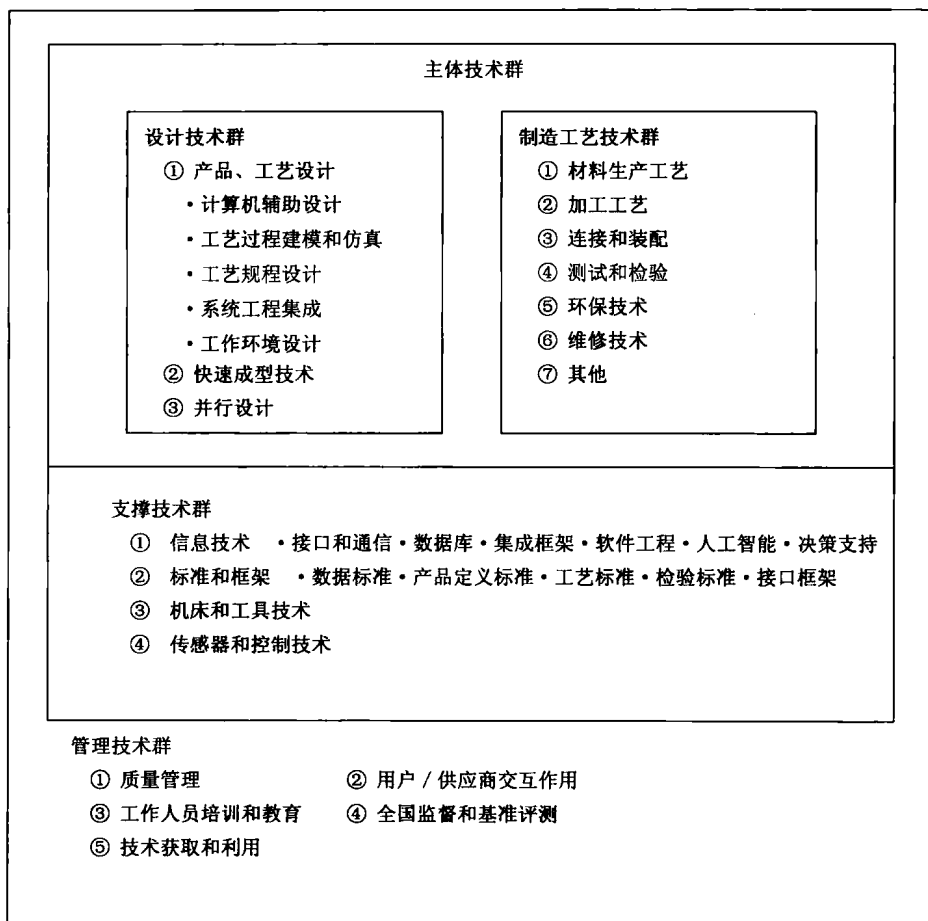


图 1-2 先进制造技术的体系结构

2) 产品可信性设计。产品的可信性是产品质量的重要内涵，是产品的可用性、可靠性和维修保障性的综合。可信性设计包括可靠性设计、安全性设计、动态分析与设计、防断裂设计、防疲劳设计、耐环境设计、维修设计和维修保障设计等。

3) 设计自动化技术。是指用计算机软硬件工具辅助完成设计任务和过程的技术，它包括产品的造型设计、工艺设计、工程图生成、有限元分析、优化设计、模拟仿真、虚拟设计、工程数据库等内容。

(2) 先进制造工艺

先进制造工艺是先进制造技术的核心和基础，是使各种原材料、半成品成为产品的方法和过程。先进制造工艺包括高效精密成型技术、高精度切削加工工艺、特种加工以及表面改性技术等内容。

1) 高效精密成型技术。它是生产局部或全部无余量或少余量半成品工艺的统称，包括精密洁净铸造成型工艺、精确高效塑性成型工艺、优质高效焊接及切割技术、优质低耗洁净热处理技术、快速成型和制造技术等。

2) 高效高精度切削加工工艺。包括精密和超精密加工、高速切削和磨削、复杂型面的数控加工、游离磨粒的高效加工等。

3) 现代特种加工工艺。它是指那些不属于常规加工范畴的加工工艺,如高能束加工(电子束、离子束、激光束加工)、电加工(电解和电火花加工)、超声波加工、高压水射流加工、多种能源的复合加工、纳米技术及微细加工等。

4) 表面改性、制膜和涂层技术。它是采用物理、化学、金属学、高分子化学、电学、光学和机械学等技术及其组合,赋予产品表面耐磨、耐蚀、耐(隔)热、耐辐射、抗疲劳的特殊功能,从而达到提高产品质量、延长使用寿命、赋予产品新性能的新技术统称,是表面工程的重要组成部分。包括化学镀层处理、非晶态合金技术、节能表面涂装技术、表面强化处理技术、热喷涂技术、激光表面熔复处理技术、等离子化学气相沉积技术等。

(3) 加工自动化技术

加工自动化是用机电设备工具取代或放大人的体力,甚至取代和延伸人的部分智力,自动完成特定的作业,包括物料的存储、运输、加工、装配和检验等各个生产环节的自动化。加工过程自动化技术涉及数控技术、工业机器人技术、柔性制造技术、传感技术、自动检测技术、信号处理和识别技术等内容。其目的在于减轻操作者的劳动强度,提高生产效率,减少在制品数量,节省能源消耗及降低生产成本。

(4) 现代生产管理技术

现代生产管理技术是指制造型企业在从市场开发、产品设计、生产制造、质量控制到销售服务等一系列的生产经营活动中,为了使制造资源(材料、设备、能源、技术、信息以及人力资源)得到总体配置优化和充分利用,使企业的综合效益(质量、成本、交货期)得到提高而采取的各种计划、组织、控制及协调的方法和技术的总称。它是先进制造技术体系中的重要组成部分,包括现代管理信息系统、物流系统管理、 workflow 管理、产品数据管理、质量保障体系等。

(5) 先进制造生产模式及系统

先进制造生产模式及系统是面向企业生产全过程,是将先进的信息技术与生产技术相结合的一种新思想和新哲理,其功能覆盖企业的生产预测、产品设计开发、加工装配、信息与资源管理直至产品营销和售后服务的各项生产活动,是制造业的综合自动化的新模式。它包括计算机集成制造(CIM)、并行工程(CE)、敏捷制造(AM)、智能制造(IM)、精益生产(LP)等先进的生产组织管理模式和控制方法。



思考题

1. 说明制造、制造系统与制造业概念,比较广义制造与狭义制造的区别。
2. 制造业在国民经济中的地位与作用如何?
3. 先进制造技术是在什么样的背景之下产生与发展起来的?
4. 叙述制造技术的发展历程。
5. 试述先进制造技术的发展趋势。
6. 先进制造技术的内涵及特点是什么?
7. 说明先进制造技术的体系结构。
8. 根据先进制造技术的功能和研究对象,先进制造技术可分几类?