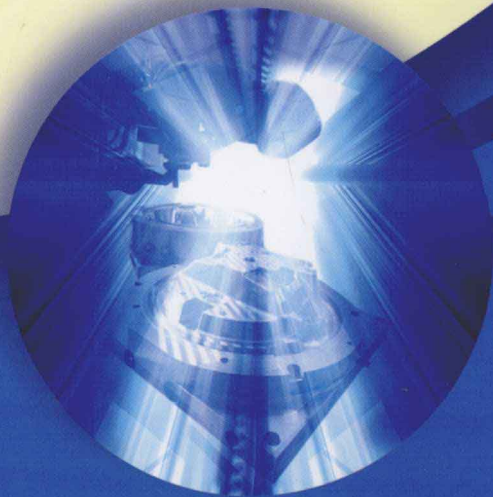


先进制造技术

● 主审 苏建修 徐起贺
主编 马利杰



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

先进制造技术

● 主 审 苏建修 徐起贺
主 编 马利杰
副主编 赵冬晗 杨 辉
参 编 万苏文 邹品君
朱慧妍 崔继超



图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术 / 马利杰主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2011.9

(21世纪高职高专系列规划教材)

ISBN 978-7-303-13185-3

I. ①先… II. ①马… III. ①机械制造工艺—高等职业教育—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 149747 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京京师印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 184 mm × 260 mm

印 张: 20.5

字 数: 380 千字

版 次: 2011 年 9 月第 1 版

印 次: 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

策划编辑: 周光明 责任编辑: 周光明

美术编辑: 高 霞 装帧设计: 弓禾碧工作室

责任校对: 李 茵 责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

前言

先进制造技术是集制造、电子、信息、计算机、自动化、现代管理等众多学科技术的交叉、融合和渗透而发展起来的，面向产品全生命周期过程，以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产的一项综合性技术。它是一个国家工业生产水平的重要体现。

当前，机械科学发展飞速猛进，新的技术和方法日新月异，为了满足社会发展对人才的需求，同时也为了开阔学生视野，培养学生的创新能力和工程实践能力，促进先进制造技术在我国的应用和发展，“先进制造技术”已成为众多高校机械和近机类专业的必修和选修课程。

本书是一本介绍先进制造技术的总论型教材，全书共包括先进制造技术概论，现代设计技术，先进制造工艺技术，制造自动化技术，先进制造的管理技术、制造模式与系统等5章。书后附有先进制造技术所涉及技术名词的英文缩略语的注释，以供读者参考。本书的特点在于：(1)内容全面、系统性强。以先进制造技术的体系结构为框架，力求在保持系统性和完整性的基础上，将先进制造技术的主要方面、核心内容和最新发展展示给读者。(2)图文并茂、理论浅显、通俗易懂。本书摒弃对复杂公式、理论的介绍，注重各项具体技术的基本原理、关键技术与典型应用的阐述和讲解，从而使读者能对先进制造技术有一个基本全面的认识。本书适合于普通本科及高职高专机械和近机类专业“先进制造技术”课程的教学选用，也可供广大机械工程技术人员参考。

本书由河南科技学院马利杰博士任主编，河南科技学院杨辉老师、河南机电专科学校崔继超副教授和邹品君老师、淮安信息职业技术学院万苏文副教授、濮阳职业技术学院赵冬晗老师、平顶山工业学校朱慧妍老师参加编写。其中，第1章和第2章1~4节由赵冬晗编写，第2章第5、6节由万苏文编写，第3章1~3节及附录由崔继超编写，第3章4~9节由马利杰编写，第4章1~4节由杨辉编写，第4章第5节和第5章第1节由邹品君编写，第5章第2、3节由朱慧妍编写。全书由马利杰统稿，河南科技学院苏建修教授、河南机电专科学校徐起贺教授审阅。

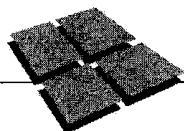
本书编写过程中，苏建修、徐起贺两位教授给予了不少指导和帮助，北京师范大学出版社周光明老师也给予了很多帮助和支持，在此一并表示感谢。由于先进制造技术涉及的内容广、学科跨度大、知识点多，加之时间仓促、编者水平有限，书中难免会有不足、遗漏、错误之处，恳请读者不吝指正！

编者

2011年3月



第 1 章 先进制造技术概论	(1)	2.2.4 计算机辅助制造(CAM)	(28)
1.1 制造与制造技术	(1)	(28)
1.1.1 制造与制造业	(1)	2.2.5 CAD/CAPP/CAM 集成	(29)
1.1.2 制造业在国民经济中的地位	(2)	技术	(29)
与作用	(2)	2.2.6 CAD/CAM/CAPP 系统	(32)
1.1.3 先进制造技术的提出与	(3)	集成实例	(32)
进展	(3)	2.3 优化设计	(34)
1.1.4 先进制造技术的发展	(9)	2.3.1 优化设计概述	(34)
趋势	(9)	2.3.2 优化设计的数学模型	(34)
1.2 先进制造技术的内涵与	(11)	2.3.3 优化设计应用实例	(38)
体系结构	(11)	2.3.4 优化计算方法	(40)
1.2.1 先进制造技术的内涵	(11)	2.3.5 设计方案优化	(43)
与特点	(11)	2.4 反求工程(RE)	(45)
1.2.2 先进制造技术的体系	(12)	2.4.1 反求工程概述	(45)
结构	(12)	2.4.2 反求工程的研究对象	(46)
复习思考题	(14)	2.4.3 反求工程设计的基本	(49)
第 2 章 现代设计技术	(15)	步骤	(49)
2.1 概述	(15)	2.4.4 反求工程的关键技术	(50)
2.1.1 现代设计技术的内涵	(15)	2.5 可靠性设计	(55)
2.1.2 现代设计技术的特点	(16)	2.5.1 可靠性及其发展	(55)
2.1.3 现代设计技术的体系	(17)	2.5.2 可靠性设计及其与传统	(56)
结构	(17)	设计的差异	(56)
2.2 计算机辅助技术(CAX)	(18)	2.5.3 可靠性设计的常用指标	(57)
.....	(18)	(57)
2.2.1 CAX 及其内涵	(18)	2.5.4 系统的可靠性设计	(59)
2.2.2 计算机辅助设计(CAD)	(19)	2.5.5 机械零件的可靠性设计	(64)
.....	(19)	(64)
2.2.3 计算机辅助工艺	(25)	2.5.6 可靠性试验	(69)
设计(CAPP)	(25)	2.6 面向“X”的设计(DFX)	(70)
		(70)



2.6.1 DFX 概述	(70)	3.5.1 振动切削及其分类	(124)
2.6.2 面向制造的设计	(71)	3.5.2 振动切削的装备技术 体系	(126)
2.6.3 其他面向“X”的设计 ...	(73)	3.5.3 振动切削的能效及其产生 原因	(126)
2.6.4 面向“X”的设计与并行 设计	(75)	3.5.3 振动切削的研究现状	(130)
复习思考题	(76)	3.6 特种加工技术	(130)
第3章 先进制造工艺技术	(77)	3.6.1 电火花加工	(131)
3.1 概述	(77)	3.6.2 电解加工	(136)
3.1.1 机械制造工艺的定义和 内涵	(77)	3.6.3 高能束加工	(137)
3.1.2 先进制造工艺的产生与 发展	(78)	3.6.4 超声波加工	(142)
3.1.3 先进制造工艺技术的特点	(81)	3.6.5 化学机械复合加工	(143)
3.2 近净成形技术	(82)	3.6.6 水射流与磨料流加工	(144)
3.2.1 概述	(82)	3.7 先进堆积加工工艺	(147)
3.2.2 精密洁净铸造成形	(83)	3.7.1 精密焊接技术	(147)
3.2.3 精密塑性成形技术	(89)	3.7.2 快速原形制造技术	(152)
3.2.4 粉末冶金锻造成形	(95)	3.8 微细加工与纳米技术	(156)
3.3 精密与超精密加工技术	(98)	3.8.1 微机械及其发展 应用	(156)
3.3.1 概述	(98)	3.8.2 微细加工技术概述	(157)
3.3.2 影响精密与超精密加工 的主要因素	(100)	3.8.3 几种典型的微细加工 工艺方法	(158)
3.3.3 精密与超精密加工 机床	(102)	3.8.4 纳米技术	(162)
3.3.4 金刚石超精密切削	(105)	3.9 生物制造	(165)
3.3.5 精密与超精密磨削 加工	(107)	3.9.1 生物制造概述	(165)
3.4 高速加工技术	(109)	3.9.2 生物制造的理论及 应用	(166)
3.4.1 高速加工技术的产生与 发展	(109)	3.9.3 生物制造技术的 发展	(170)
3.4.2 高速加工技术的内涵与 特点	(111)	复习思考题	(170)
3.4.3 高速切削加工的关键 技术	(113)	第4章 制造自动化技术	(172)
3.4.4 高速磨削加工的关键 技术	(121)	4.1 概述	(172)
3.5 振动切削	(124)	4.1.1 制造自动化技术的 内涵	(172)
		4.1.2 制造自动化技术的 发展	(172)

4.2 数控机床与技术	(175)	4.5.3 检测与监控技术基础	(234)
4.2.1 数控技术概述	(175)	4.5.4 机械加工过程的检测监控 技术	(235)
4.2.2 普通数控机床	(177)	复习思考题	(241)
4.2.3 加工中心	(179)	第5章 先进制造的管理技术、 制造模式与系统	(243)
4.2.4 数控加工原理	(181)	5.1 现代生产管理技术	(243)
4.2.5 数控加工编程技术	(185)	5.1.1 现代生产管理技术 概述	(243)
4.2.6 数控加工技术的发展 趋势	(188)	5.1.2 现代生产管理信息 系统	(245)
4.3 工业机器人	(190)	5.1.3 产品数据管理(PDM) 技术	(254)
4.3.1 概述	(190)	5.1.4 准时化生产	(260)
4.3.2 工业机器人的主要 性能	(195)	5.1.5 现代质量保证技术	(266)
4.3.3 工业机器人的控制 技术	(199)	5.2 先进制造模式	(273)
4.3.4 工业机器人的编程 技术	(202)	5.2.1 并行工程(CE)	(273)
4.3.5 工业机器人在现代制造业 中的应用	(205)	5.2.2 精益生产(LP)	(277)
4.4 柔性制造系统	(207)	5.2.3 虚拟制造(VM)	(282)
4.4.1 概述	(207)	5.2.4 敏捷制造(AM)	(287)
4.4.2 FMS的加工系统	(211)	5.2.5 绿色制造(GM)	(292)
4.4.3 FMS的物料运储系统	(216)	5.3 现代制造系统	(297)
4.4.4 FMS的刀具运储系统	(220)	5.3.1 计算机集成制造 系统(CIMS)	(297)
4.4.5 FMS的控制与管理 系统	(225)	5.3.2 网络化制造系统	(302)
4.5 自动制造系统中的检测与 监控技术	(227)	5.3.3 智能制造系统(IMS)	(306)
4.5.1 概述	(227)	复习思考题	(311)
4.5.2 传感检测技术	(230)	英文缩略语注释	(312)
		参考文献	(316)

第1章 先进制造技术概论

1.1 制造与制造技术

1.1.1 制造与制造业

1. 制造

制造是指人类按照市场的要求,运用主观掌握的知识和技能,通过手工或借助于其他工具(设备),采用有效的工艺方法和必要的能源,将原材料或半成品转化为具有使用价值的最终物质产品并投放市场的全过程。其概念有广义和狭义之分,狭义的制造仅指生产车间内与物流有关的加工和装配的全过程;而广义的制造则包含了市场分析、产品设计、工艺设计、生产准备、加工装配、质量保证、生产管理、市场营销、售前售后服务,以及报废后的回收等整个产品生产周期内的一系列相互有联系的生产活动。制造是人类活动所有经济活动的基石,是人类历史发展和文明进步的动力。恩格斯在自然辩证法中指出:“直立和劳动创造了人类,而劳动是从制造工具开始的。”从某种意义上来说,是制造创造了人类。

2. 制造系统

制造系统是制造过程及其所涉及的硬件、有关软件和制造信息等组成的一个具有特定功能的有机整体。其中,制造过程指的是产品的经营规划、开发研制、加工制造和控制管理的过程;硬件包括生产设备、工具和材料、能源以及各种辅助装置;而软件则包括制造管理理论、制造工艺和方法以及各种制造信息等。

制造系统是一个有多个优化目标的复杂大系统,它既可以看作以利润最高为优化目标的技术经济系统,以追求社会适应性最优的社会技术系统,以追求自然适应性最优的自然技术系统,也可看作人机集成系统或一个制造信息处理系统。它在运行过程中时刻伴随着“三流”,即物料流、信息流和能量流。图 1.1 为机械加工系统中的三流运动。

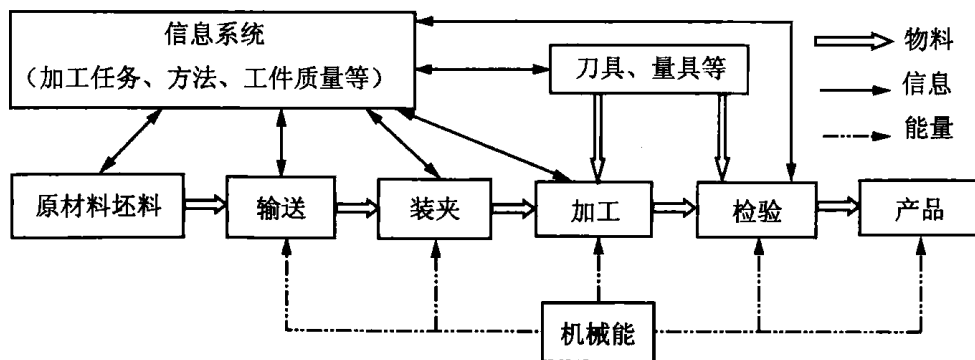


图 1.1 机械加工系统的“三流”



(1) 物料流

机械加工系统输入原材料或坯料及相应的刀具、量具、夹具、冷却液和润滑油以及其他辅助物料等，经过输送、装夹、检验等过程，最后输出成品或半成品。在这个过程中，物料的输出、输入是一个动态的过程。物料在整个加工过程的流动则称之为物料流。

(2) 信息流

为确保加工过程正常顺利的进行，必须集成各方面的信息，比如加工任务、毛坯状态、加工要求和工序、刀具状态、质量指标、切削参数等。这些信息在加工过程中交换和处理过程则构成了加工过程的信息系统。在加工过程中，信息系统不断与其各种状态进行信息交换，以便更有效地控制整个加工过程，来保证产品的质量和加工效率。这种信息在加工过程的作用过程称之为信息流。信息流渗透到企业的各个部门，它既可自上而下地流动、由下而上地反馈；也可以相互平行地传递和补充。

(3) 能量流

能量是一切运动的基础。机械加工过程中的各种运动，特别是物料的运动、材料的加工变形均需要能量来维持。系统外部的能量多数转化为机械能，一部分用来维持系统的各种运动，而另一部分则通过传递、消耗到达机械加工的切削区域，转变为金属切削的动能和势能。这种能量的消耗、转换和传递的过程称为能量流。

物料流、信息流和能量流的流动方式决定于产品的生产批量和生产方式，也决定了企业的生产水平、管理水平和竞争能力。传统企业的信息流是以文件、图样作为载体，完成技术信息和管理信息的传递；而一个现代生产企业则以计算机网络为工具，以电子信息为载体，实现整个制造系统的“三流”快速、通畅、敏捷的流动。

3. 制造业

制造业是所有以制造技术为主导技术进行产品制造的行业的总称。按 2001 年我国统计的划分，制造业共有三大类(轻工纺织类制造业、资源加工类制造业和机械电子类制造业)涉及多个行业，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。

随着人类工业文明的不断发展，制造业已成为国民经济和综合国力的基础。一方面制造业直接创造价值，成为社会财富的主要创造者和国民经济的主要来源；另一方面，它为国民经济各部门(包括国防和科技)的进步和发展提供先进的设备和方法。制造业的发达和先进程度是国家工业化的表征，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，且用于制造业，故制造业是人类创新发明和新技术的最大用户。经济发达国家都把制造业作为本国的经济支柱，都十分重视制造业的发展，并且根据不同时期科技和经济的发展，不断摆正制造业在国民经济中的地位，不断调整制造业的发展战略和政策方针。

1. 1. 2 制造业在国民经济中的地位与作用

在国民经济产业结构中，一般把经济构成划分为三大产业，即：农业、工业和服务业。而每一种产业又有多类，目前，我国工业在国民经济中所占比例为 52%，而其中的制造业产值又约占工业总产值的 45%。

所以,制造业在整个国民经济的发展中一直处于十分重要的地位。它是一个国家经济发展的支柱,是一个国家经济实力和科技发展水平的重要标志,是工业经济年代经济增长的发动机,是一个国家经济强大、经济腾飞的重要基础。据统计,西方工业发达国家以各种形式从事制造活动的人员约占各类从业人员总数的1/4,创造的社会财富约占60%。在我国,制造业增加值约占工业生产总产值的77.6%,占国民生产总值的39.21%;出口创汇占全国外贸出口额的90%等。

以上数据充分表明,制造业的发展对一个国家的经济、社会乃至文化的影响都是十分巨大和深刻的,其在工业中处于中心和主体地位,在国民经济中发挥着极其重要的作用,具体如下:

(1)制造业是提高人均收入的财源。人们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,特别是装备制造业是实现经济增长的物质保障,也是实现军事化和国防安全的保障。

(3)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。要加快经济增长,在第一产业的农业、第二产业的制造业和第三产业的服务业之间必须保持协调发展。脱离了制造业,农业的发展就成为空中楼阁。

(4)制造业是加快农业劳动力转业和就业的重要途径。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。但对于发达国家来说,制造业的从业人数已呈减少趋势,而我国最近的几十年内,制造业从业人数会一直保持增长的趋势。

(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的实现高技术化;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。

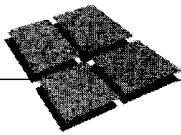
(6)制造业是加快发展科学技术和教育事业的重要物质支撑,是发展现代文明的物质基础。它不仅为科技发展和教育发展提供经费支持,还为研究开发提供许多重要的研究方向、研究课题及先进的实验装备。

综上所述,制造业是国家的战略性产业,高度发达的制造业,是实现工业化的必备条件,是衡量国家国际经济竞争能力的重要标志,是决定国家在经济全球化进程中国际分工地位的关键因素。

1.1.3 先进制造技术的提出与进展

1. 制造技术的发展历程

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術群。制造技术的萌芽可以追溯到新石器时代,当时人们利用石器作为劳动工具;到了青铜器和铁器时代,为满足以农业为主的自然经济的需要,出现了如纺织、冶炼和锻造等较为原始的制造活动。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。



近两百年来，在市场需求不断变化的驱动下，制造业的生产方式沿着“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。与之相适应的制造技术沿着“手工→机械化→单机自动化→刚性自动化→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了从手工作坊式生产到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、工业化规模生产的新局面。

(3) 刚性自动化发展时期

19 世纪末内燃机的发明又引发了制造业的一次革命。20 世纪初，制造业进入了以汽车制造为代表的批量生产时代，随后出现了流水生产线和自动机床，在制造管理方面劳动分工制度(泰勒式工作制)和标准化技术(福特首先推行的)相继问世，使得在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业，使汽车的价格在几年内降低到原价的 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，这类自动机和刚性生产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。以大规模生产方式为主要特征的制造技术，在 20 世纪 50 年代逐渐进入了鼎盛时期，制造业通过降低生产成本和提高生产效率，形成了“规模效益”的工业化生产理念。

(4) 柔性自动化发展时期

20 世纪 70 年代，随着市场竞争的加剧，大规模生产方式开始逐步向多品种、中小批量等柔性自动化转变。电子信息技术的发展，特别是大规模集成电路的出现，各种工艺技术及装备的进步以及自动化技术的发展，为多品种、中小批量的生产方式提供了技术支持和装备支持。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

到 20 世纪 80 年代，随着世界经济和人们生活水平的提高，市场环境发生了巨大的变化。市场竞争日趋全球化、激烈化，消费者需求主体化、个性化和多样化。在这一时期内，随着计算机技术和自动化技术的迅速发展，促进了各种先进的单元制造技术逐渐成熟和完善，从而优化了制造系统的交货(或新产品上市)时间(T)、产品的质量(Q)，产品的成本(C)以及服务(S)等，而这些却成为制造系统赢得竞争的主要手段。

这些单元制造技术主要包括计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、直接数字控制(Directed Numerical Control, DNC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、制造资源规划(Manufacturing Resources Planning, MRP)、成组技术(Group Technology, GT)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。

20世纪90年代是信息时代,信息技术尤其是网络技术的发展给世界带来了巨大的变化,全球经济一体化进程打破了传统的地域经济发展模式,市场变得更加广阔。在这种时代背景下,快速响应瞬息万变的市场需求成为制造系统赢得市场竞争的焦点,围绕这一目标产生了许多先进的制造系统模式,如并行工程(Concurrent Engineering, CE)、敏捷制造(Agile Manufacturing, AM)、虚拟制造(Virtual Manufacturing, VM)以及精益生产等(Lean Production, LP)等。

2. 先进制造技术的产生背景

先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology—AMT)是美国根据本国制造业面临的挑战和机遇,为增强制造业的竞争力和促进国家经济增长,在1993年的联邦科学、工程与技术协调委员会(FCCSET)的先进制造技术计划中首先提出的。此后,欧洲各国、日本、韩国等也相继作出响应。

先进制造技术的产生不仅是科学技术发展的产物,而且也是人类历史发展和文明进步的必然结果。其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年来,市场环境发生了巨大的变化,一方面消费需求日趋主题化、个性化和多样化,消费行为更具选择性,产品的生命周期缩短,且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,制造商之间既有全球市场激烈的竞争,又有基于实力与信誉上的合作。

面对当前社会变化迅速且无法预料的买方市场以及以多品种、变批量为主导的生产方式,制造业的核心要素质量、成本和生产效率的内涵发生了深刻的变化。首先,产品的质量观发生了变化,现代质量观主要指全面满足用户的程度,即满足用户已有的和潜在的需求,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。其次,产品的成本观发生了变化,产品的成本不仅仅指制造成本,还应包含用户的使用成本、维护成本以及社会环境成本,在满足用户要求的前提下应尽可能的降低上述成本。再次,对生产率的认识也发生了很大的变化,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,制造商应以快速响应为宗旨,全面满足用户的需求,主动适应市场,引导市场,从而赢得竞争,获取利润。

(2) 科学技术发展背景

科学技术和生产发展推动制造技术的进步,并以其高新技术成果,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)两个方向的发展,使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发生了极大的变化,并使其成为发展速度快、技术创新能力强、技术密集和知识密集型的产业。随着信息时代的到来,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,并将产生更大的影响。

(3)可持续发展战略

长期以来,人们一直将目光集中在向自然界的索取上,忽略了大自然对人的巨大作用。制造业在创造了高度发达的现代物质文明的同时,也造成了严重的环境问题。这不仅制约了制造业的进一步发展,而且也危及到了人类的生存空间。随着环境的日益恶化,人与自然的和谐发展问题已经成为国际社会所关注的焦点,世界环境与发展委员会(WCED)于1987年联合国世界环境与发展委员会的报告《我们共同的未来》中,把可持续发展定义为“既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”,这一定义得到广泛的接受,并在1992年联合国环境与发展大会上取得共识。我国有的学者对这一定义作了如下补充:可持续发展是“不断提高人群生活质量和环境承载能力的、满足当代人需求又不损害子孙后代满足其需求能力的、满足一个地区或一个国家人民群众需求又不损害别的地区或国家人民群众满足其需求能力的发展”。

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。社会经济的发展模式应由粗放经营、掠夺式开发向集约型、可持续发展型转变。面向可持续发展的制造业,应力求对环境的负面影响最小,资源利用效率高。

鉴于以上的历史背景,各国政府和企业都在积极寻求对策,以获取在全球范围内的竞争优势,而传统的制造技术已变得越来越不应当今快速变化的形势。先进制造技术,尤其是计算机技术和信息技术在制造业中应用的日趋广泛,使人们正在或已经摆脱传统观念的束缚,并将制造业带入了一个崭新的时代。

3. 先进制造技术的发展概况

(1)欧美等发达国家先进制造技术的发展

美国政府在20世纪90年代初提出了一系列制造业振兴计划,其中包括先进制造技术计划(ATP)和制造技术中心计划(MTC),并在财政上予以大力支持。

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(FCCSET)于1993年制订的6大科学和开发计划之一,其目标如下:

- ①为美国工人创造更多的高技术、高工资的就业机会,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;
- ④使教育系统对每位学生进行更具有挑战性的教育;
- ⑤鼓励科学界把确保国家安全以及提高全民生活质量作为核心目标。

美国政府投入14亿美元研发经费将该项计划作为1994年度重点扶持的科技项目,围绕如下的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基础设施建设,包括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)、制订有关国家制造技术发展趋势的监督和机制、制订评测基准和评测指标体系等。

制造技术中心计划又称为合作伙伴计划,指政府与企业在共同发展制造技术上进行密切合作,政府的职责是要帮助 35 万家中小企业掌握先进技术,使他们具有识别、选择适用于自己技术的能力。该计划要求在一个地区设立一个制造技术中心,为中小企业展示新的制造技术和装备,组织不同类型的培训,帮助企业了解和选用最新的或最适合他们使用的技术和装备。1996 年美国政府用于制造业的生产技术设备更新投资高达 3420 亿美元。

先进制造技术计划和制造技术中心计划均由美国国家标准与技术研究院负责组织实施,该机构也是对于先进制造技术进行研究和推广的国家一级的研究与协调机构。这两项计划的实施取得了显著的效果,制造技术获得显著提升,制造业有了较大发展。

白宫科技政策办公室发表的国家关键技术报告中有四项涉及先进制造技术领域,即柔性计算机集成制造、智能加工设备、纳米级制造、系统管理技术。美国国家科学基金会(NSF)工程部也制订了有关先进制造技术的专项计划,包括:设计、制造和工业创新、战略性制造倡议计划;工程研究中心计划;管理和技术创新计划;面向小企业创新研究计划和新技术推广计划;促进产业和学术界结合计划等。

第二次世界大战之后,日本在数控机床、机器人、精密制造、微电子工艺领域取得了较大的进展,走出了一条“技术引进→自主开发→加强基础研究”的技术发展道路。日本在 1986—1993 年期间用于制造业的技术设备更新和工艺改造投资达 3 万亿美元。

在美国最先提出智能制造的概念后,日本通产省在 1991 年 1 月立案批准由日本东京大学古川教授等人提出的智能制造系统(IMS)国际合作研究开发计划,以十年为期限,预算投资 10 亿美元。该计划于 1992 年秋开始执行,与欧共体、美国合作成立“IMS 国际委员会”,形成了一个大型国际共同研究项目,旨在组合工业发达国家的先进制造技术,探索将研究成果转变为生产技术的途径以及开发下一代的标准化技术。其目标重点是实现制造技术的体系化、标准化,开发出能使人 and 智能设备都不受生产操作和国界限制、彼此合作的高技术生产系统,以适应当今制造全球化的发展趋势。

智能制造系统研究开发计划选择了六个试验项目进行研究,分别是:过程工业中的清洁制造技术、并行工程技术、全球制造业集成技术、自律分散型(Holonic)控制系统、产品快速成形技术和知识系统化技术。这里所谓的“自律”,是指装配和生产线具有一定的决策智能,能够根据周围环境以及生产作业状况自主地进行判断并进行及时决策变更作业工程。

在欧共体各国,制造业强烈地感受到来自美国和日本的压力,并清楚地认识到“任何一个欧洲国家都不可能仅靠自身的力量来有效地对付美国和日本的技术挑战,欧洲只有把财力和人力集中起来,才能保持自己在未来世界上的经济地位”(德国前总理科尔)。为此,欧共体各国政府与企业界共同掀起了一场旨在通过“欧共体统一市场法案”的运动,并制订了一系列发展计划。

①尤里卡计划(EREKA):1988 年用 5 亿美元资助了涉及 16 个欧洲国家 600 家公司的 165 个合作型高科技研究开发项目;

②欧洲信息技术研究发展战略计划(ESPRIT): 13个成员国向5500名研究人员提供了资助。把CIM中信息集成技术的研究列为五大重点项目之一,明确要向CIM投资620万欧元作为研究开发费用,抓好CIM的设计原理、工厂自动化所需的先进微电子系统以及实时显示系统进行生产过程管理的三大课题;

③欧洲工业技术基础研究计划(BRITE): 重点资助材料、制造加工、设计以及工厂系统运作方式等方面的研究。

仅在1991—1994年期间,欧共体为研究开发先进制造技术就投入了74亿美元。

(2)我国先进制造技术的发展

我国制造技术经新中国成立以来60余年的发展已形成较为完整的技术体系,为国民经济发展所需各类机械产品的制造提供基本的工艺技术,并取得了重要成就。然而与国外工业发达国家相比,仍存在着阶段性的差距。同时在20世纪80年代受到“第三次浪潮”的影响,一度认为制造业进入了夕阳阶段,影响到制造技术的发展。近些年来对制造技术的发展获得了重新认识,我国政府及有关领导对先进制造技术的发展给予了高度的关注。

时任国务委员宋健1995年4月在接见先进制造技术专家时,对于发展先进制造技术给予高度的重视。宋健指出:“先进制造技术是一个国家、一个民族赖以繁荣昌盛的重要手段”,“如果制造技术不发达,这个国家、民族就不可能富裕”,“因此,我国相当长的时间内,发展制造技术是至关重要的”。他强调:“科委、自然科学基金会要加强对制造技术的投资比例。”

1995年5月《中共中央、国务院关于加速科技进步的决定》中提出:为提高工业增长的质量和效益,要重点开发推广电子信息技术、先进制造技术、节能降耗技术、清洁生产和环保技术等共性技术。

1995年9月《中共中央关于制定国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标的建议》中明确要大力采用先进制造技术。

国家计委、国家科委、国家经贸委在联合编制《全国科技发展“九五”计划和到2010年长期规划》中明确将先进制造技术专项列入高技术研究与发展专题。

在“九五”规划的实施中,国家科学技术部的“国家科技攻关计划”、“国家高新技术研究发展计划”、“国家基础研究重大项目计划(攀登计划预选项目)”、“国家技术创新计划”都列入有关项目并付诸实施,其中“精密成形与加工研究开发和应用示范”、“金属材料热成形过程动态模拟及组织性能质量优化控制”、“CIMS”以及智能机器人等项目已全面实施。

国家计委也十分重视先进制造技术的发展,在“九五”期间实施了一批发展先进制造技术项目。如:数控系统及装备研究、自动测试系统及设备技术研究、现场总线、智能化仪表研究、传感器技术研究、30万辆轿车规模生产关键技术及装备研究等。

国家自然科学基金会近年来已将不少经费投入先进制造技术发展的基础性研究,组织开展了“先进制造技术基础优先领域战略研究”。在此基础上,加大了对发展先进制造技术的支持,以加强发展先进制造技术的后劲,提出了先进制造技术重大项目,目前已开始付诸实施。

有关部门及地方对先进制造技术也给予了重视。原机械工业部和国家机械工业局

在编制《机械、汽车工业“九五”科技发展规划纲要和 2010 年轮廓设想》和《机械工业“十五”科技发展规划》时，都明确提出了以发展先进制造技术为重点，在规划发展重点及关键技术中先进制造技术的发展占有相当大的比例。原机械工业部通过各种渠道落实、安排这些项目。机械工业科技发展基金会近年来把支持先进制造技术作为主要任务，并加大了经费投入的力度。

1.1.4 先进制造技术的发展趋势

为适应 21 世纪制造业的需要，先进制造技术的发展趋势有以下几点。

1. 全球化

由于国际和国内市场上的竞争越来越激烈，制造全球化的发展浪潮正在蓬勃兴起，并在多方面显现出来，跨国公司的出现即为其中之一。目前，跨国公司的作用已举足轻重，它在控制全球总产值、国际贸易和国际技术贸易中起着重要甚至决定性的作用。制造全球化还体现在市场的国际化，产品销售全球网络的正在形成，产品设计和开发的国际合作，制造业在世界范围内的重组与集成(如动态联盟公司)，制造资源跨地区、跨国家的协调、共享和优化利用等。

制造全球化有利于生产要素在全球范围内快速流动，最大规模地合理配置资源，追求最佳经济效益。同时，信息技术、现代通信网络以及交通运输的高速发展也为制造全球化奠定了物质基础和技术基础，从而使制造全球化趋势迅速发展。

2. 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。从采购、设计到制造加工，再到销售，已不再局限于某个企业、某个集团或是某个国家。地域的分散性，必将给企业的经营和管理带来诸多不便，随之而来的是制造成本的增加。随着网络通信技术的迅速发展和普及，给企业的生产和经营活动带来了革命性的变革。企业可以通过制造的网络化，有效组织管理分散在各地的制造资源。另外，网络通信技术的快速发展，使得制造企业也可以基于网络实现世界范围内的动态联盟，加速技术信息的交流、加强产品开发的合作和经营管理的学习，推动企业向着既竞争又合作的方向发展。

制造网络化主要包括以下几个方面：制造企业内部的网络化，实现制造过程的集成；整个制造企业的网络化，实现企业中工程设计、制造过程、经营管理的网络化及其集成；企业与企业间的网络化，实现企业间的资源共享、组合与优化利用；通过网络，实现异地制造；以及网络销售、网络服务等。

制造网络化，特别是基于 Internet/Intranet 的制造已成为制造系统模式重要的发展趋势。

3. 精密化

现代高新技术产品需要高精度制造，社会的发展对机械产品的质量提出了越来越高的要求。这决定了发展精密加工、超精密加工技术是机械制造未来的一个重点。

精密化一方面是指对产品、零件的精度要求越来越高；另一方面是指对产品、零件的加工精度要求越来越高。20 世纪初，超精密加工的误差是 $10\ \mu\text{m}$ ，30 年代达 $1\ \mu\text{m}$ ，50 年代达 $0.1\ \mu\text{m}$ ，70 至 80 年代达 $0.01\ \mu\text{m}$ ，至今达 $0.001\ \mu\text{m}$ ，即 $1\ \text{nm}$ 。

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，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(AFM)的加工，则可达 0.1 nm。

4. 虚拟化

制造过程中的虚拟技术是指面向产品生产过程的模拟和检验。检验产品的可加工性、加工方法和工艺的合理性，以优化产品的制造工艺、保证产品质量、生产周期和最低成本为目标，进行生产过程计划、组织管理、车间调度、供应链及物流设计的建模和仿真。虚拟化的核心是计算机仿真，通过仿真软件来模拟真实系统，发现设计、生产中不可避免的缺陷和错误。以保证产品设计和产品工艺的合理性，保证产品制造的成功和生产周期。

5. 自动化和智能化

自动化是一个动态概念，就是减轻人的劳动强度，强化、延伸、取代人的有关劳动的技术或手段，实现制造系统中人一机一系统的协调、控制、管理和优化，提高了工作效率，保证了产品质量。自动化从自动控制、自动调节、自动补偿、自动辨识等发展到自学习、自组织、自维护、自修复等更高的自动化水平；而且今天自动控制的内涵与水平已远非昔比，从控制理论、控制技术、控制系统、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。

智能化是先进制造技术自动化的深度延伸。随着计算机技术的不断发展，制造业不仅要实现物资流控制的传统体力劳动自动化，还应实现信息流控制的脑力劳动的自动化，从而实现在制造诸环节中，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。

6. 集成化

集成化是先进制造系统的一个显著特征，这一特征正向着深度和广度方向发展。目前已从企业内部的信息集成和功能集成发展到实现产品整个生命周期的过程集成，并将发展到企业间的动态集成。

7. 极端化

极端化是指在极端条件下工作的或者有极端要求的产品，从而也是指这类产品的制造技术有“极”的要求。在高温、高压、高湿、强磁场、强腐蚀等条件下工作的，或有高硬度、大弹性等要求的，或在几何形体上极大、极小、极厚、极薄、奇形怪状的。显然，这些产品都是科技前沿的产品。在医学、航空航天、军事、信息等领域有广泛的发展前景。

8. 绿色化

大批量的生产模式是以消耗资源为代价的，而由此造成的资源枯竭和环境污染等问题已向人们敲响了警钟。最有效地利用资源和最低限度地产生废弃物，是当前全球环境问题的治本之道，也是制造业探索更清洁、更优良的制造模式的重要方向。绿色制造则通过绿色生产过程、绿色设计、绿色材料、绿色设备、绿色工艺、绿色包装、绿色管理等生产出绿色产品，产品使用完以后再通过绿色处理后加以回收利用。采用绿色制造能最大限度地减少制造对环境的负面影响，同时使原材料和能源的利用效率达到最高。