

新世纪高等学校研究生适用教材

先进制造技术

Advanced Manufacturing Technology

张世昌 编著

先进制造技术

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

新世纪高等学校研究生适用教材

先进制造技术

张世昌 编著

 天津大学出版社
Tianjin University Press

内容摘要

先进制造技术(AMT)是国际上20世纪80年代末期提出的一个综合性、交叉性前沿学科,是制造技术和信息技术以及其他现代高技术相结合而产生的一个完整的技术群,并被公认为是面向21世纪促进国家经济增长和增强国家经济实力的重要技术手段。

先进制造技术的内涵十分丰富,包括:先进制造哲理、先进管理技术和先进制造模式;现代工程设计方法;先进制造工艺以及各种支撑技术等。本书力求将先进制造技术的主要方面及核心问题展示给读者。

本书可作为机械工程及其相近学科各专业的研究生教材,也可作为本科生高年级学生选修课的教材或参考书,还可供从事制造业及相关行业的工程技术人员和研究人员参考、学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/张世昌编著. —天津:天津大学出版社,2004.4
ISBN 7-5618-1859-9

I.先… II.张… III.机械制造工艺 IV.TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第013769号

出版发行 天津大学出版社
出版人 杨风和
地 址 天津市卫津路92号天津大学内(邮编:300072)
网 址 www.tjup.com
电 话 营销部:022-27403647 邮购部:022-27402742
印 刷 河北省永清县印刷厂
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 17
字 数 445千
版 次 2004年4月第1版
印 次 2004年4月第1次
印 数 1—3 000
定 价 23.00元

前言

制造业是国民经济的支柱产业，世界上发达国家无不具有强大的制造业。制造技术是制造业的技术支撑，是制造业持续发展的根本动力。

当今，经济全球化已成为不可逆转的趋势。在激烈的国际市场竞争中，制造业要求得生存和发展，必须掌握和科学运用最先进的制造技术。

先进制造技术（Advanced Manufacturing Technology——AMT）自 20 世纪 80 年代末提出之后，受到各国的高度重视。各发达国家均将其视为促进国家经济增长和增强国家经济实力的重要技术手段，纷纷投入巨大的资金和人力，扶持和推动先进制造技术的发展，并取得了显著的效果。

作为一名机械工程及其相关专业的研究生，无疑应对先进制造技术有一个基本的全面的了解。本书编者从 1997 年起，为机械工程学科各专业的研究生讲授“先进制造技术”课程，本书是在已有讲稿的基础上加工而成的。

先进制造技术是制造技术和信息技术以及其他现代高技术相结合而产生的一个完整的技术群，其内涵十分丰富。本书力求将先进制造技术的主要方面及核心问题展示给读者。

全书共分为 5 部分。

第 1 部分概括介绍先进制造技术的由来和发展、先进制造技术的内涵以及先进制造技术的特征及其发展趋势。

第 2 部分介绍先进制造哲理、先进管理技术和先进制造模式，包括成组技术、计算机集成制造、并行工程、MRP II 与 ERP、全面质量管理、精良生产、敏捷制造等。这些共同构成了先进制造技术生长的软环境。

第 3 部分介绍先进设计技术，包括计算机辅助设计、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程设计、模块化设计、面向“X”的设计、优化设计、三次设计与健壮设计、创新设计、反求工程、快速原型制造等。

第 4 部分介绍先进制造工艺，包括精密与超精密加工技术、微细加工与纳米技术、高速加工技术、近净成形技术、特种加工技术、制造自动化技术、绿色制造技术等。先进制造工艺与先进设计技术一起构成先进制造技术的主体。

第 5 部分介绍先进制造技术的支撑技术，着重介绍信息技术中与制造系统密切相关的主要方面。

本书为天津大学研究生规划教材，主要供机械工程及其相近学科各专业的研究生使用，也可作为其他相关专业研究生的教材或参考书，还可作为本科生高年级学生选修课的教材或参考书，以及供从事制造业及相关行业的工程技术人员和研究人员参考。

徐燕申、张大卫、郭伟、张连洪、李佳、张冠伟、牛占文为本书提供了宝贵的资料，朱梦周教授对书稿进行了全面审阅，提出了很好的意见，仅表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中缺点和错误在所难免，恳请读者指正。

2003 年 6 月 编者

第 1 章 先进制造技术概述	1
1.1 制造与制造技术	1
1.2 先进制造技术产生的背景	5
1.3 先进制造技术的定义和体系结构	8
1.4 先进制造技术的特点和发展趋势	11
第 2 章 先进制造哲理、先进管理技术与先进生产模式	16
2.1 成组技术	16
2.2 计算机集成制造	25
2.3 并行工程	32
2.4 制造资源计划与企业资源计划	40
2.5 全面质量控制	48
2.6 精良生产与准时制生产	57
2.7 敏捷制造	63
第 3 章 先进工程设计技术	70
3.1 计算机辅助设计	70
3.2 计算机辅助工程分析	77
3.3 计算机辅助工艺过程设计	83
3.4 模块化设计	91
3.5 面向“X”的设计	98
3.6 优化设计	102
3.7 三次设计与健壮设计	111
3.8 创新设计	118
3.9 反求工程	126
3.10 快速原型制造技术	132
第 4 章 先进制造工艺	140
4.1 精密与超精密加工技术	140
4.2 微细加工与纳米技术	148
4.3 高速加工技术	156
4.4 近净成形技术	164
4.5 特种加工技术	171
4.6 制造自动化技术	180
4.7 绿色制造技术	192
第 5 章 先进制造技术的支撑技术	199
5.1 计算机网络技术	199

5.2 数据库技术	207
5.3 产品数据标准与产品数据管理	215
5.4 多媒体技术	222
5.5 人工智能技术	230
5.6 模拟仿真与虚拟现实技术	240
5.7 决策支持系统	249
参考文献	257
英文缩略语注释	259

第1章 先进制造技术概述

制造业是国民经济的支柱产业，制造业的发展离不开先进制造技术的支持。本章首先给出制造与制造技术的基本概念，然后介绍先进制造技术的产生和发展，分析先进制造技术的内涵和结构体系，最后对先进制造技术的特点和发展趋势进行简要说明。

1.1 制造与制造技术

1.1.1 生产与制造

制造(Manufacturing)一词源于拉丁语，原意是手工制作，即把原材料用手工方式制成有用的产品。近30年来，由于生产力和科学技术的高度发展，制造的含义有了很大的扩展。

现代“制造”的含义与“生产”密切相关。生产活动是人类赖以生存和发展的最基本活动。从系统观点出发，生产可被定义为一个将生产要素转变为经济财富，并创造效益的输入输出系统，如图1-1所示。

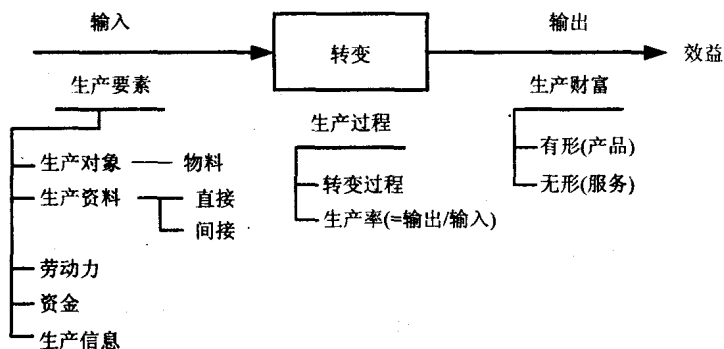


图 1-1 生产的定义

生产系统的输入是生产要素。它包括：①作为生产对象的原材料(Material)；②作为直接生产资料的机器(Machine)、设备、工具和间接生产资料的厂房、道路等；③作为劳动力的主体人(Man)；④资金(Money)；⑤作为支持生产活动的信息、情报(Message)、知识和方法等。上述要素常称为“5M”要素。

生产系统的输出是生产财富，包括有形的财富(产品)和无形的财富(服务)。在创造生产财富的同时，必然伴随着一定的经济效益和社会效益的产生。效益有“正效益”和“负效益”之分：正效益指生产的财富能够满足人们物质生活和精神生活的需要，生产活动本身能够促进社会健康发展；而负效益则指生产活动给社会带来的负面影响，如对于自然生态环境的破坏、各种各样的污染(其中也包括精神污染)等。对于生产活动中的负效益，政府及社会必须加以严格的限制。

有效地将生产要素转变成生产财富十分重要。转变过程效率的度量标准是生产率，生产率可以定义为系统输出与输入之比。获得尽可能高的生产率，始终是生产企业经营者追求的目标，也是生产企业在激烈的市场竞争中得以生存和发展的重要条件。

生产企业通常划分为三大类别，即第一产业、第二产业和第三产业。第一产业系指直接利用自然资源的种植业、养殖业和采矿业。第二产业系指将第一产业生产的原料转化为产品的企业。制造业属于第二产业的范畴，并通常将第二产业中除了建筑业和能源工业以外的其他行业均视为制造业。第三产业通常指金融和服务行业。美国对第一、第二、第三产业的划分见表 1-1。

表 1-1 第一、第二、第三产业的划分

第一产业	第二产业	第三产业
农业	航天航空	银行
林业	纺织、服装	通信
渔业	汽车	教育
畜牧业	冶金、钢铁	娱乐
矿业	食品、饮料	金融服务
采石业	建材、家具	政府
石油业	化工、石油精炼	医疗、保健
	计算机、半导体	旅馆
	建筑	资讯
	日用消费品	保险
	电器	法律机构
	装备、重型机械	房地产
	金属制品	修理与维护
	玻璃、陶瓷	餐饮
	造纸	商业(零售业、批发业)
	制药	旅游
	塑料制品	交通、运输
	能源、电力	
	出版	
	橡胶	

明确了生产的概念以及制造业的范围，也就明确了制造的含义：制造可以理解为制造企业的生产活动。即制造也是一个输入输出系统，其输入也是生产要素，输出是具有使用价值的产品。这是一个大制造的概念，是对制造的广义理解。按照这样的理解，制造应包括从市场分析、经营决策、工程设计、加工装配、质量控制、销售运输、售后服务直至产品报废处理的全过程。

在当今的信息时代，广义制造的概念已为越来越多的人所接受。这也是本书采用的观点。

1.1.2 制造系统

和所有的系统一样，制造作为一个系统，由若干个具有独立功能的子系统构成，见图 1-2。其主要子系统及其功能如下。

1) 经营管理子系统 确定企业经营方针和发展方向，进行战略规划、决策。

2) 市场与销售子系统 进行市场调研与预测，制定销售计划，开展销售与售后服务。

3) 研究与开发子系统 制定开发计划，进行基础研究、应用研究与产品开发。

4) 工程设计子系统 进行产品设计、工艺设计、工程分析、样机试制、试验与评价，制定质量保证计划。

5) 生产管理子系统 制定生产计划、作业计划，进行库存管理、成本管理、资源管理（设备管理、工具管理、能源管理、环境管理）、生产过程控制。

6) 采购供应子系统 负责原材料及外购件的采购、验收、存储。

7) 质量控制子系统 收集用户需求与反馈信息，进行质量监控和统计过程控制。

8) 财务子系统 制定财务计划，进行企业预算和成本核算，负责财务会计工作。

9) 人事子系统 人事安排，招工与裁员。

10) 车间制造子系统 零件加工、部件及产品装配、检验、物料存储与输送、废料存放与处理。

上述各功能子系统既相互联系又相互制约，形成一个有机的整体，从而实现从用户订货到产品发送的生产全过程。

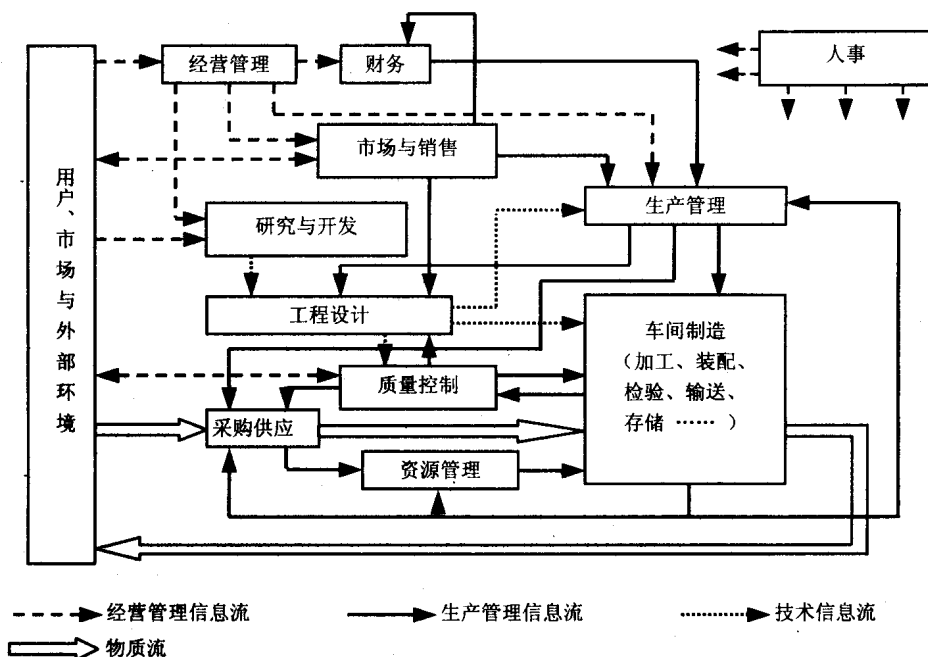


图 1-2 制造系统功能结构

制造作为一个系统，具有一般系统的共性，包括如下几个方面。

(1) 结构特性

制造系统可视为若干硬件（生产设备、工具、运输装置、厂房、劳动力等）的集合体，为使硬件充分发挥效能，必须有软件（生产信息、制造技术等）支持，见图 1-3。工厂设计中，有关人员和设备的合理配置与布局等，即是从系统结构方面对制造系统进行研究。

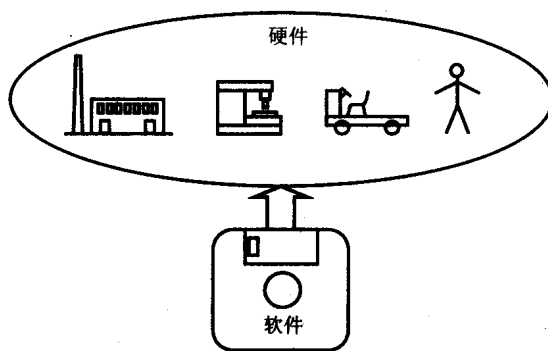


图 1-3 制造系统结构特性

(2) 转变特性

如前所述，制造系统是一个将生产要素转变成产品的输入输出系统，其主要功能便是转变功能。从技术的角度出发，制造是通过加工和装配把原材料变为产品的过程。该过程总是伴随着机器、工具、能源、劳动力和信息的作用，如图 1-4 所示。这种转变不仅指物流，同时也包含信息流和能量流。

从经济的观点出发，制造过程的转变可以被理解为通过改变物料形态或性质而使其不断增值的过程，如图 1-5 所示。

研究系统的转变特性的目的，主要是从工程技术和经济的角度，研究如何使转变过程更

有效地进行。

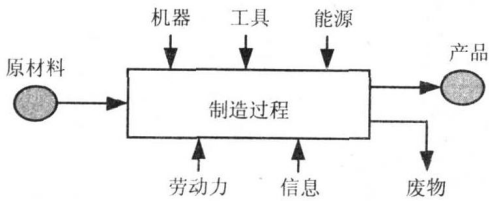


图 1-4 从技术角度定义制造过程

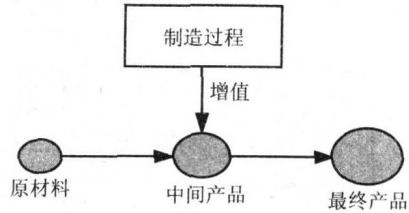


图 1-5 从经济角度定义制造过程

(3)程序特性

所谓程序系指一系列按时间和逻辑安排的步骤。从这个意义出发，制造系统可视为一个生产产品的工作程序，见图 1-6。研究制造系统的程序特性，主要从管理角度研究如何使生产活动达到最佳化。

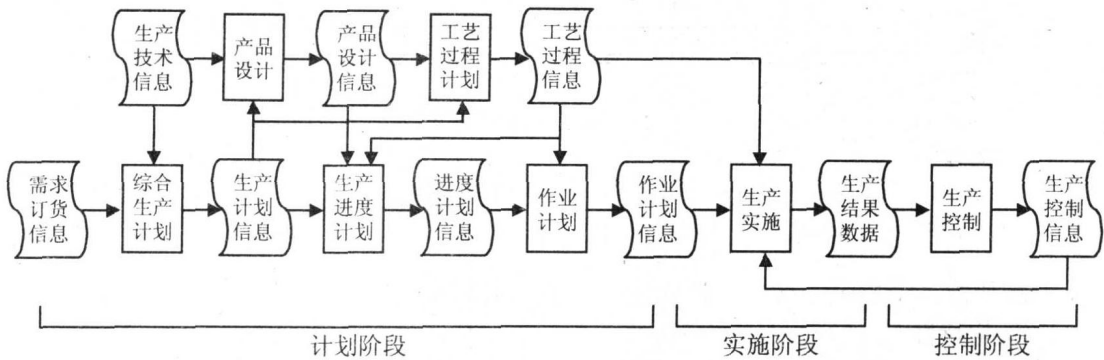


图 1-6 制造系统的程序特性

1.1.3 制造技术

制造技术是为了有效完成制造活动所施行的一切手段的总和。这些手段包括运用一定的知识、技能，操纵可以利用的物质、工具，采取各种有效的策略、方法等。

这里有必要说明科学与技术的差别。科学的基本任务是认识世界，采用的基本方法是分析，最终成果的基本表现形式是各种发现和揭示；技术的基本任务则是改造世界，采用的基本方法是综合，而最终成果的表现形式是发明、创造、改进。但科学和技术的差别不是绝对的、一成不变的，特别是在商品经济高度发展的今天，科学与技术的界限开始变得模糊，纯粹的科学不断萎缩，其主要原因是得不到足够的经费支持。经济法则使得许多科学研究从一开始就有明确的应用前景，例如超导技术、克隆技术等。正由于存在上述差异，我们将对制造过程所进行的各种规划、控制和管理活动统称为制造技术。与广义制造概念相对应，广义理解制造技术涉及制造活动的各个方面和制造的全过程，制造技术被认为是一个从产品概念到最终产品的集成活动，同时制造技术又是一个实现制造企业目标的功能体系和信息处理系统。

制造技术是制造企业的技术支柱，是制造企业持续发展的根本动力。

1.1.4 制造业在国民经济中的地位

如前所述，制造业生产的是具有直接使用价值的产品，而这些产品与社会的生产活动和人民生活息息相关。当今制造业不仅是科学发现和技术发明转换为现实规模生产力的关键环节，而且已成为为人类提供生活所需物质财富和精神财富的重要基础。良好的人居环境，充分的能源供给，便捷的交通和通信设备，丰富多彩的出版印刷、广播影视和网络媒体，优良的医疗保健手段，可靠的国家和社区安全以及抵抗自然灾害的能力等，均需要制造业的支持。图 1-7 显示了当今制造业的社会功能。

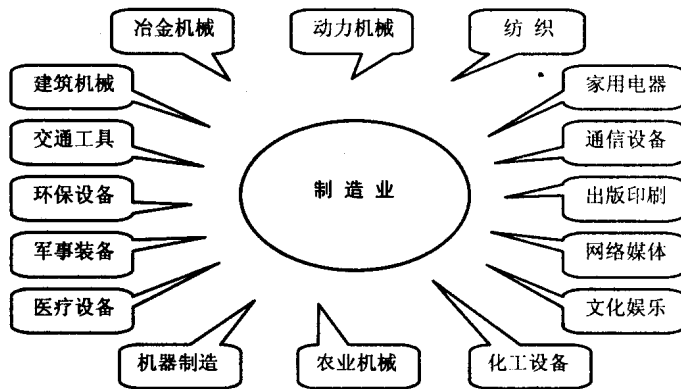


图 1-7 当今制造业的社会功能

制造业及制造技术在国民经济中的地位可以用以下几个简单的数字说明：在先进的工业化国家中，国民经济总收入的 60% 以上来源于制造业。从就业人口比例来看，约有 1/4 的人口从事于制造业，而在非制造业部门中，又有约半数人员的工作性质与制造业密切相关。据美国国家生产力委员会调查，在企业生产力构成中，制造技术的作用约占 62%。

纵观世界各国，任何一个经济强大的国家，无不具有发达的制造业，许多国家的经济腾飞，制造业功不可没。其中，日本最具有代表性。二次世界大战后，日本先后提出“技术立国”和“新技术立国”的口号，对制造业的发展给予全面的支持，并抓住制造领域的关键技术——精密工程、特种加工和制造系统自动化，使日本在战后短短 30 年里，一跃成为世界经济大国。

1.2 先进制造技术产生的背景

1.2.1 制造技术的发展

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。早在石器时代，人类就开始利用天然石料制作工具，用其猎取自然资源为生。到了青铜器和铁器时代，人们开始采矿、冶炼、铸锻工具，并开始制作纺织机械、水利机械、运输车辆等，以满足以农业为主的自然经济的需要。在绵延近万年的农业经济发展进程中，制造技术的创新与进步，始终是农业生产发展和人类文明进步的支柱和推动力。但由于农业经济本身的束缚，当时的制造业只能采用作坊式手工业的

生产方式,生产原动力主要是人力,局部利用水力和风力。

直至 18 世纪 70 年代,蒸汽机的改进和纺纱机的诞生,引发了第一次工业革命,产生了近代工业化的生产方式,手工劳动逐渐被机器生产所代替。到了 19 世纪中叶,电磁场理论的建立为发电机和电动机的产生奠定了基础,从而迎来了电气化时代。以电力作为动力源,使机器的结构和性能发生了重大的变化。与此同时,互换性原理和公差制度应运而生。所有这些使制造业发生了重大变革,并进入了一个快速发展时期。

20 世纪初,内燃机的发明,使汽车开始进入欧美家庭,引发了制造业的又一次革命。自动生产线的出现和泰勒科学管理理论的产生,标志着制造业进入了大批量生产(Mass Production)的时代。以汽车工业为代表的大批量自动化生产方式使生产率获得极大的提高,从而使制造业有了更迅速的发展,并开始在国民经济中占据主导地位。

二次世界大战后,通信技术的发展,电子计算机和集成电路的出现,以及运筹学、现代控制论、系统工程等软科学的产生和发展,使制造业产生了一次新的飞跃。传统的自动化生产方式只有在大批量生产的条件下才能实现,而数控机床的出现则使中小批量生产自动化成为可能。科学技术的高速发展,促进了生产力的极大提高和生产方式的重大变革。市场的全球化和需求的多样化,使得市场竞争日益激烈。传统的大批量生产方式已难以满足市场多变的需要,多品种、中小批量生产日渐成为制造业的主流生产方式。

1.2.2 先进制造技术的提出

AMT 首先由美国于 20 世纪 80 年代末提出。

长期以来,美国政府只对基础研究、卫生健康、国防技术等给予经费支持,而对产业技术不予支持,主张产业技术通过市场竞争,由企业自主发展。20 世纪 70 年代,一批美国学者不断鼓吹美国已进入后工业化社会,认为制造业是夕阳工业,主张经济重心由制造业转向高科技产业和第三产业。其结果导致了美国在经济上竞争力下降,贸易逆差剧增,日本家电、汽车大量涌入并占领了美国市场。

20 世纪 80 年代,美国政府开始认识到问题的严重性。其间又发生了轰动一时的“东芝事件”。日本东芝公司将当时最先进的五坐标数控铣床卖给了前苏联,前苏联用此设备极大地改进了核潜艇螺旋桨的加工精度,工作噪声大幅度下降,以至于使核潜艇游弋到美国领海而未被发现。白宫一份报告称“美国经济衰退已威胁到国家安全”。MIT(美国麻省理工学院)的一份报告则写到:经济竞争归根结底是制造技术和制造能力的竞争,一个国家要生活好,必须生产好。表明美国知识界与政府之间取得了共识。

1988 年,美国政府开始投资进行大规模“21 世纪制造企业战略”研究,并于其后不久提出了先进制造技术发展目标,制定并实施了先进制造技术计划(ATP)和制造技术中心计划(MTC)。

1991 年,白宫科学技术政策办公室发表“美国国家关键技术”报告,重新确立了制造业的地位。1993 年,克林顿在硅谷发表题为“促进美国经济增长的技术——增强经济实力的新方向”的演说,对制造业给予了实质性强有力的支持。

先进制造技术计划(ATP)由美国联邦政府科学、工程和技术协调委员会(FCCSET)提出,主要研究内容包括现代设计方法与技术、先进制造工艺与技术、先进制造过程的支撑技术与辅助技术以及制造基础设施(指对上述技术进行管理、推广、应用的方法和机制)。先进制造技术计划的目的是:

- ①为美国人提供更多高技术、高工资就业机会,促进美国经济增长;
- ②提高能源效益,减少污染,创造更加清洁的环境;
- ③使美国私人制造业在世界市场上更具竞争力;
- ④使教育系统对每个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和提高全民生活质量作为核心目标。

制造技术中心计划(MTC)又称“合作伙伴计划”,由美国国家标准与技术研究院(NIST)制定并领导实施。该计划的目标主要是面向美国35万家中小企业,因为这些中小企业不像大企业有自己的开发能力,且往往技术落后,资金不足。该计划的主要内容是在技术拥有者(通常为政府的研究机构、国家实验室和大学)与需要这些技术的中小企业之间建立合作的桥梁,使中小企业掌握先进制造技术,或使他们具有识别、选择适用于自己企业的先进制造技术的能力。其主要方法是由国会拨款设立地区性的制造技术中心,为中小企业展示新的制造技术和设备并进行培训,帮助他们选用。

1.2.3 先进制造技术的实施及效果

美国在AMT实施过程中建立了由5个层次组成的研究开发与推广体系。

1)国家研究与协调机构 主要指美国国家标准与技术研究院。该机构负责ATP和MTC两项计划的组织与实施,并负责审核一年一度的国家质量奖。该机构下属的制造工程实验室,直接从事精密工程、自动化、机器人等重要领域的研究与开发。世界上第一个CIMS实验系统就是在该实验室诞生的。

2)地区性组织协调机构 其主要工作是组织企业进行合作研究开发。例如密西根州美国国家制造科学中心设有美国最大的制造资源库,可以为北美地区(美国北部和加拿大)服务。该中心采用会员制,政府资助部分经费。

3)大学研究机构 与企业协作,主持或参与重大课题的研究。例如密西根大学吴贤明制造技术研究中心有70多名研究人员,曾参与“2mm工程”等重大项目,并且取得了显著的成绩。

4)制造技术中心 主要面向中小企业,从事人员培训和先进制造技术推广工作。

5)企业技术开发机构 主要指大型企业自身的研究开发机构,这些机构除为本公司服务外,也可承担国家的研究课题。

美国在推行ATP计划时严格贯彻“需求驱动”和“企业为主体”原则,明确资助条件:对国家经济发展有巨大潜在效益;或有迫切的工业需求,企业愿意资助经费,且有新意和较好应用前景。规定:ATP项目不直接资助大学和政府部门;鼓励企业与企业或企业与大学联合申请;计划经费50%以上由企业筹集。

ATP项目具有严格的评审程序和评审标准。其评审程序:先由3名技术专家和3名经济专家对项目申请进行书面评审,加权给分,分高者进入决赛。再由12名专家组成评审组进行现场考查、面试、答辩和筛选。其评审标准:科学技术价值权重为30%,潜在经济效益权重为20%,实现商品化可能性权重为20%,申请者经验、素质权重为10%,企业承诺程度和组织结构的权重为20%。

此外,ATP项目还特别重视计划项目的后评估,即在项目完成后继续跟踪5~7年,委托经济师进行后评价。

美国在实施上述两项计划后,取得了显著效果。例如,美国在汽车生产中启动了“2mm工程”项目,联合多家汽车公司、大学和研究机构对汽车覆盖件的制造技术进行综合研究,

最终使轿车覆盖件的制造误差控制在 2 mm 之内,从而使轿车车身的制造精度达到了日本丰田公司的水平。至 1994 年,美国汽车产量重新超过日本,并重新占领欧美市场。再如,美国的半导体,特别是芯片制造业在此期间也取得了迅猛发展,Inter 公司一跃成为世界上最大的芯片制造商。在此之前,日本的芯片制造业领先于美国,包括海湾战争中风光一时的“爱国者”导弹,其使用的芯片也来自日本。

20 世纪 90 年代,美国经济空前繁荣,失业率降低到历史最低水平,并提出了一系列先进制造技术的新理论、新思想。如并行工程(CE)、精良生产(LP)、敏捷制造(AM)、虚拟制造(VM)……这一切均得益于对制造业的正确认识,以及制造技术的提升和制造业的发展。

1.3 先进制造技术的定义和体系结构

1.3.1 先进制造技术的定义

至今对于先进制造技术尚无明确的、一致公认的定义。通过对其特征的分析 and 多年的实践,可以认为:先进制造技术是制造业不断吸收信息技术和现代管理技术的成果,并将其综合应用于产品设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务乃至回收的制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。

对上述定义进行分析,可归纳出如下要点:

- ① 先进制造技术的目标是提高制造业对市场的适应能力和竞争力;
- ② 先进制造技术的核心是信息技术、现代管理技术与制造技术的有机结合;
- ③ 先进制造技术特别强调信息技术、现代管理技术在整个制造过程中的综合应用。

1.3.2 先进制造技术的体系结构

对先进制造技术的体系结构的认识目前也不统一。下面提供两种具有代表性的先进制造体系结构以供参考。

1. FCCSET 先进制造技术体系结构

美国联邦政府科学、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于 1994 年提出 AMT 的分类目录,指出 AMT 是制造技术和现代高技术结合而产生的一个完整的技术群。

AMT 包括主体技术群、支撑技术群和制造基础设施三个部分。其中主体技术群又包括两个技术群,即面向制造的设计技术群(产品和工艺设计技术群)和制造工艺技术群(加工和装配技术群)。这三部分相互联系,相互促进,组成一个完整的体系,见图 1-8。这种体系主要不是从技术学科内涵的层面来描绘先进制造技术,而是着重从宏观的角度来描绘先进制造技术的组成以及各个组成部分在制造过程中的作用。

(1) 主体技术群

主体技术群是制造技术的核心,它又包括有关产品设计技术和工艺技术两部分。

1) 面向制造的设计技术群 面向制造的设计技术群,又称产品和工艺设计技术群。设计技术对新产品的开发和生产费用、产品质量以及新产品上市时间都有很大的影响。为提高产品和工艺设计的效率及质量,必须采用一系列先进的工具(如 CAD 系统、CAE 软件等)。设

计技术群的主要内容包括：①产品、工艺过程和工厂设计，包括计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程分析(CAE)、面向加工和装配的设计(DFM, DFA)、模块化设计、工艺过程建模和仿真、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)、工作环境设计、符合环保的设计等；②快速样件成形技术(快速原型制造, RPM)；③并行工程(CE)；④其他技术。

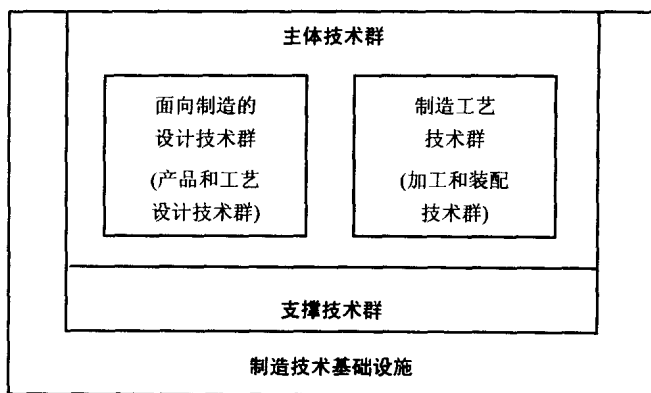


图 1-8 先进制造技术体系结构

2) 制造工艺技术群 制造工艺技术群，又称加工和装配技术群，

是指用于物质产品生产的过程和设备。随着高新技术的不断渗入，传统的制造工艺和装备正在发生质的变化。先进制造工艺技术群的主要内容包括：①材料生产工艺，包括冶炼、轧制、压铸、烧结等；②加工工艺，包括切削与磨削加工、特种加工、铸造、锻造、压力加工、模塑成形(注塑、模压等)、材料热处理、表面涂层与改性、精密与超精密加工、电子工业工艺(光刻/沉积、离子注入等微细加工)、复合材料工艺等；③连接与装配，包括连接(焊接、铆接、粘接等)、装配、电子封装等；④测试与检验；⑤节能与清洁化生产技术；⑥维修技术；⑦其他技术。

(2) 支撑技术群

支撑技术指支持设计和制造工艺两方面取得进步的基础性核心技术，是保证和改善主体技术协调运行所需的技术、工具、手段和系统集成的基础技术。支撑技术群包括：

①信息技术，包括接口和通信、网络和数据库、集成框架、软件工程、人工智能、专家系统、神经网络、决策支持系统、多媒体技术、虚拟现实技术等；

②标准和框架，包括数据标准、产品定义标准、工艺标准、检验标准、接口框架等；

③机床和工具技术；

④传感和控制技术；

⑤其他技术。

(3) 制造技术基础设施(Infrastructure)

制造技术基础设施是指使先进制造技术适用于具体企业应用环境，充分发挥其功能，取得最佳效益的一系列基础措施，是使先进制造技术与企业组织管理体制和使用技术的人员协调工作的系统过程，是先进制造技术生长和壮大的机制和土壤。其主要方面涉及：

①新型企业组织形式与科学管理；

②准时信息系统(Just-in-Time-Information)；

③市场营销与用户/供应商交换作用；

④工作人员的招聘、使用、培训和教育；

⑤全面质量管理；

⑥全局监督与基准评测；

⑦技术获取和利用；

⑧其他。

2. AMST 多层次先进制造技术体系

图 1-9 所示为美国机械科学研究院(AMST)提出的先进制造技术体系图。这是一个多层次的结构，它以优质、高效、低耗、清洁、灵活的基础制造技术为核心，包括三个层次。

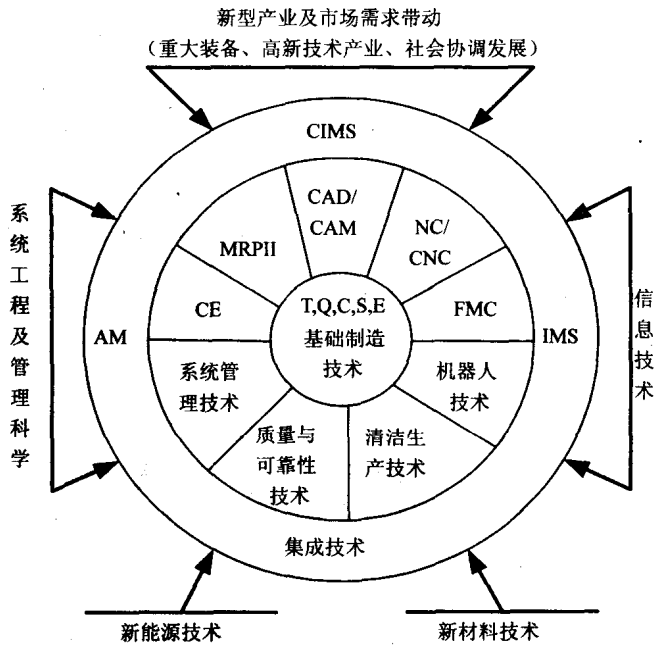


图 1-9 AMST 提出的先进制造技术体系图

1)现代设计、制造工艺基础技术 包括 CAD、CAPP、NCP、精密下料、精密塑性成形、精密铸造、精密加工、精密测量、毛坯强韧化、精密热处理、优质高效连接技术、功能性防护涂层以及现代管理技术等。

2)新型制造单元技术 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制造技术，包括制造自动化单元技术、极限加工技术、质量与可靠性技术、系统管理技术、CAD / CAE / CAPP / CAM、清洁生产技术、新材料成形加工技术、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)系统集成技术 这是应用信息技术和系统管理技术，通过网络与数据库对上述两个层次的技术集成而形成的，包括 FMS、CIMS、IMS 以及虚拟制造技术等。

以上三个层次都是先进制造技术的组成部分，但其中每一个层次都不等于先进制造技术的全部。

这种体系结构强调了先进制造技术从基础制造技术、新型制造单元技术到先进制造集成技术的发展过程。事实上这个过程正是先进制造技术在新型产业及市场需求的带动之下，以及在各种高新技术的推动下的发展过程。

1.4 先进制造技术的特点和发展趋势

1.4.1 先进制造技术的特点

根据 AMT 产生的背景,分析 AMT 的内涵和体系结构,考察 AMT 的实施过程和结果,可以总结出 AMT 的主要特征如下。

1)AMT 是一项综合性技术 AMT 不是一项具体的制造技术,而是利用系统工程思想和方法,将各种与制造相关的技术集成成一个整体,并贯穿到从市场分析、产品设计、加工制造、生产管理、市场营销、维修服务直至产品报废处理、回收再生的生产全过程。AMT 特别强调计算机技术、信息技术和现代管理技术在制造中的综合应用,特别强调人的主体作用,强调人、技术、管理的有机结合。

2)AMT 是一项动态发展技术 AMT 没有一个固定的模式,AMT 实现规模、实现程度、实现方法以及侧重点要与企业的具体情况相结合,并与企业的周边环境相适应。同时 AMT 也不是一成不变的,而是动态发展的,它要不断地吸收和利用各种高新技术成果,并将其渗透到制造系统的各个部分和制造活动的整个过程,使其不断趋于完善。

3)AMT 是面向工业应用的技术 AMT 有明显的需求导向特征,不以追求技术高新度为目的,重在全面提高企业的竞争力,促进国家经济持续增长,加强国家综合实力。AMT 坚持以顾客为核心,强调系统集成和整体优化,提倡合理竞争与相互信任,这些都是制造企业生存和发展的重要条件。

4)AMT 是面向全球竞争的技术 当前,由于信息技术的飞速发展,使每一个国家每一个企业都处在全球市场中。为了赢得国际市场竞争,必须提高企业综合效益(包括经济效益、社会效益和环境生态效益)及对市场的快速反应能力,而采用先进制造技术是达到这一目标的重要途径。

5)AMT 是面向 21 世纪的技术 AMT 是制造技术发展的新阶段,它保留了传统制造技术中有效要素,吸收并充分利用了一切高新技术,使其产生了质的飞跃。AMT 强调环保技术,突出能源效益,重视产品的回收和再利用,符合可持续发展的战略。

1.4.2 先进制造技术的发展趋势

进入 21 世纪,随着电子、信息等高新技术的不断发展,为适应市场需求的多变性与多样化,制造技术正朝着精密化、柔性化、集成化、网络化、全球化、虚拟化、智能化和清洁化的方向发展。

1. 制造自动化技术向纵深方向发展

制造自动化技术是制造企业提高生产率、降低生产成本、保证产品质量的重要手段,因而始终是制造技术发展的一个主题。回顾 20 世纪,制造自动化经历了由刚性自动化、可编程自动化和综合自动化的发展过程。这三种制造自动化方式的比较见表 1-2。

制造自动化技术发展到综合自动化的阶段,其范围大大扩展,其内涵更加丰富,涉及的领域更加广泛。当前,信息技术的高速发展以及信息技术不断向制造技术的注入和融合,使制造自动化技术向着纵深方向发展。几个有代表性的发展方向列举如下。

1)集成化。集成是综合自动化的一个重要特征。集成化符合系统工程的思想。集成化的发展将使制造企业各部门之间以及制造活动各阶段之间的界限逐渐淡化,并最终向一体化的