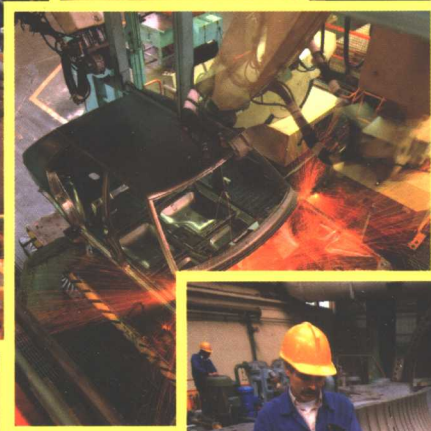




教育部高等职业教育示范专业规划教材

(机械制造及自动化专业)

先进制造技术



赵云龙 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教育部高等职业教育示范专业规划教材

先进制造技术

主 编 赵云龙
副主编 郭晓娥 张 艳
参 编 王晓宏 李 明
主 审 栾 敏



机械工业出版社

本书是教育部高等职业教育机械制造及其自动化示范专业规划教材。

本书针对高职教育的培养目标,本着讲究“实际、实用、实效”的原则,努力做到“通俗易懂、简单实用”。全书共分4章;内容包括概述、制造自动化技术、先进制造工艺技术、先进制造系统管理技术等。本书较全面地介绍了先进制造技术的主要相关内容,内容新颖、实用,理论联系实际,突出高职高专教育实用性和应用性的教育特点。

本书既可作为高等职业教育机械类及其相关专业的试用教材,也可作为有关工程技术人员参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/赵云龙主编. —北京:机械工业出版社, 2005.3

教育部高等职业教育示范专业规划教材

ISBN 7-111-16273-0

I. 先... II. 赵... III. 机械制造工艺—高等学校:技术学校—教材
IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第019750号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:宋学敏 版式设计:张世琴 责任校对:李汝庚

封面设计:鞠杨 责任印制:石冉

北京中兴印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年5月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·8.75印张·208千字

定价:14.00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

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是高等职业技术教育机械类及其相关专业的规划教材,是为适应我国高等职业技术教育发展和进一步深化机械制造及自动化专业教学改革的需要编写的,是机械类专业教学改革项目成果系列教材之一。

编写本教材的指导思想:依据高等职业技术教育培养应用型高级技术人才的培养目标,充分体现职业技术教育特色;总结近几年机械类专业教学改革的成功经验,合理设置教材内容,建立适应教学改革需要的新体系;着重培养学生的自学能力,拓展学生的知识面,以适应机械工业发展的需求。本书的特点是:介绍当前科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化现状与发展前景,既着眼于先进制造技术及其未来的发展,同时也注重我国的国情;突出“新”字,介绍新概念、新技术及新方法,保持教材的先进性;力求做到深入浅出,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。

本书共分4章。第1章概述,介绍了先进制造技术的定义、特点、体系结构和发展;第2章制造自动化技术,介绍了CAD/CAM集成、数控编程技术、计算机集成制造、柔性制造系统及智能制造技术与智能制造系统;第3章先进制造工艺技术,介绍了特种加工技术、超声加工及振动切削、微米/纳米技术及快速原型/制造技术;第4章先进制造系统管理技术,介绍了成组技术、管理信息系统、精益生产、敏捷制造与虚拟制造、制造全球化和网络化。力求从整体上对先进制造技术进行较全面、较系统的介绍。

本书由陕西工业职业技术学院赵云龙副教授主编,并编写第1章、第2章,李明编写第3章的3.1、3.4,郭晓娥编写第3章的3.2、3.3、3.5,王晓宏编写第4章的4.1、4.2,张艳编写第4章的4.3、4.4、4.5、4.6。全书由沈阳职业技术学院栾敏副教授主审。

由于编者水平所限,加之时间仓促,错误与不足之处在所难免,请不吝赐教。

编者

目 录

前言

第1章 概述 1

1.1 制造系统的基本概念和发展 1

1.2 先进制造技术的发展背景 8

1.3 先进制造技术的概念与特点 12

复习思考题 13

第2章 制造自动化技术 14

2.1 CAD /CAM 集成 14

2.2 数控编程技术 18

2.3 计算机集成制造 25

2.4 柔性制造系统 32

2.5 智能制造技术与智能制造 系统 43

复习思考题 51

第3章 先进制造工艺技术 52

3.1 制造工艺技术概述 52

3.2 特种加工技术 56

3.3 超声加工及振动切削 74

3.4 微米 / 纳米技术 80

3.5 快速原型 / 制造技术 88

复习思考题 97

第4章 先进制造技术系统管理 技术 98

4.1 概述 98

4.2 成组技术 99

4.3 管理信息系统 106

4.4 精益生产 117

4.5 敏捷制造与虚拟制造 123

4.6 制造全球化和网络化 129

复习思考题 134

参考文献 135

第1章 概 述

学习目标：通过本章的学习，了解制造系统的基本概念及发展状况，了解先进制造技术的发展背景，了解先进制造技术的基本概念与特点。重点是了解制造系统的概念及先进制造技术的基本概念与特点。

1.1 制造系统的基本概念和发展

1.1.1 制造系统的基本概念

制造业是将可用资源与能源通过制造过程，转化为可供人和社会使用和利用的工业产品或生活消费品的行业，它涉及到国民经济的各个行业，如机械、电子、轻工、食品、石油、化工、能源、交通、军工和航空航天等。制造业是国民经济的基础行业，是创造社会财富的支柱产业。一个国家或地区的制造业水平反映了其经济实力、国防实力、科技水平和生活水准，制造业的先进与否是一个国家经济发展的重要标志。统计表明，制造业为工业化国家创造了60%~80%的社会财富，是国际贸易中主要交易物品的源泉。例如，从1700~1990年的290年中，制造货物占世界贸易总额的75%，而农业与原材料产业只占25%。各国实践证明，一个没有足够强大制造业的国家不可能是一个先进、富强的国家，先进的制造业是人民物质文化生活不断提高和综合国力与国防力量不断增强的保证。所以，各大国一直把发展先进制造业作为长期国策。例如，美国国家工程科学院在1991年将“制造”确定为美国国家经济增长和国家安全保证的三大必保主题之一，其他两个主题是“科学”与“技术”。

随着制造业的发展和学科间的交叉与渗透，现代制造过程及相应的制造理论、制造技术及组织管理模式的显著特征已明显地呈现出来：一是系统科学性，即涉及系统理论和系统工程的方法越来越多。二是学科综合集成性，即现代制造过程和制造技术，不是任何一个单一学科知识能够支撑的，而依赖于多门学科知识的有机结合，如光、机、电一体化技术的综合运用。三是技术发展的先进性，新技术的涌现和发展，并不断地向制造技术中的渗透，为制造技术的发展提供了良好的支持环境，形成了制造技术新的发展理念和模式。例如，信息技术、网络技术、计算机技术、人工智能及仿真等新技术的迅速发展，使全球制造、网络制造、虚拟制造、智能制造等制造新理论、新技术已成为制造技术不可逆转的发展趋势。为此，研究如何运用系统工程的理论和方法，有机综合和集成制造过程涉及的多学科知识，以及先进的制造和技术模式，以解决制造过程中的综合性技术问题和相关的管理问题，从而达到制造过程整体最优化，是制造技术发展过程永恒的追求目标和研究主题。

1. 制造与社会

制造是人类按照所需目的，运用主观掌握的知识和技能，借助于手工或客观可以利用的物质工具，采用有效的方法将原材料转化成最终物质产品，并投放市场的全过程。它包括市

场调研和预测、产品设计、选材和工艺设计、生产加工、质量保证、生产过程管理、营销、售后服务等产品寿命周期内一系列相互联系的活动。随着信息业的突起和知识经济的发展,制造的内涵和范围也会产生很大的变化,如软件生产、信息利用等已成为很大的产业就说明这一点。

制造业是所有与制造活动有关的实体或企业机构的总称。制造业是国民经济的支柱,这是因为一方面它创造价值、生产物质财富和新知识;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和发展提供手段和装备。

社会的进步和发展,离不开制造业的革新和发展。综观世界各国的发展,如果一个国家的制造业发达,它的经济必然强大。因此制造业和社会的进步与发展有着密切的关系。可以这样来理解:①物质资料的生产是人类社会赖以生存和发展的基础,人类最基本的活动是物质资料的生产。推动人类社会进步、决定人类社会面貌的主要因素仍然是物质资料的生产。②生产的目的是满足社会和人们生活的需要,制造业则是提供这一需要的基石。③没有强大、先进的制造业,就不可能保持在激烈的市场竞争中取胜,提高综合国力和人民生活水平就没有保障。④健康强大的制造业是一个国家综合实力的体现。人类社会的发展史,特别是近几十年世界经济的发展状况就是有力的证明。

社会生产力的进步,使物质资料的生产(第一、二产业的生产),在国民生产总值和劳动力与资源投入中所占的比例不断减少,而服务业(第三产业)和信息业(可称为第四产业)所占的比例迅速增加。这一趋势只能说明社会生产的不断进步、社会的不断发展,并不能证明第一、二产业在社会中的作用在下降。按照彼特一克拉克法则,当某国的第三产业的比重超过 50% 后,该国即进入先进工业化经济大国的行列。因此作为第二产业的制造业,必须调整产业结构,促进技术进步,才能形成强大稳定的制造业体系,认识到这一点,就不会产生所谓制造业是“夕阳工业”的恐惧和忧虑。

制造技术是完成制造活动所需的一切手段和总和。高质量、高水平的制造业必然有先进的制造技术做后盾。所以说,制造技术是一个国家科技水平的综合体现,是国家经济可持续发展的根本动力。为了赢得激烈的市场竞争,在世界经济中占一席之地,就必须研究和利用先进制造技术,不断完善和改造制造业,使其具有优越的生存环境,并能提供功能适用、交货期短、质量好、价格低、服务优良的具有竞争力的产品。

世界上各个工业国经济上的竞争主要是制造技术的竞争。在各个国家的企业生产力的构成中,制造技术的作用一般占 55%~65%。亚洲部分国家的发展在很大程度上是依靠他们重视制造技术,这些国家十分重视将世界各国的发明,通过制造技术形成产品,首先占领世界市场。这正是他们所以能崛起、腾飞的奥秘。

2. 制造系统的基本概念

“系统”是由相互作用和相互依赖的若干部分的有机结合,并具有特定功能的有机整体。关于制造系统的定义,尚在发展和完善之中。1989 年,英国学者 Parnaby 指出:“制造系统是工艺、机器系统、人、组织结构、信息流、控制系统和计算机的集成组合,其目的在于取得产品制造的经济性和产品性能的国际竞争性”。1990 年,国际生产工程研究学会(CIRP)给出制造系统的定义是:“制造系统是制造业中形成制造生产的有机整体,在机电工程生产中,制造系统具有设计、生产、发运和销售的一体化功能”。1992 年美国麻省理工学院

G·Chryssolouris给出的定义是：“制造系统是人、机器和装备以及物料流和信息流的一个组合体”。日本京都大学人见胜人教授从制造系统结构、制造系统转变特性以及制造系统的过程等三个方面给出了制造系统的定义。我国学者经过广泛深入的研究，提出“制造过程及其所涉及的硬件包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置以及有关的软件，包括制造理论、制造技术（制造工艺和制造方法等）和制造信息等，组成了一个具有特定功能的有机整体，称之为制造系统。”

根据上述定义，对制造系统可以这样来理解，制造系统是由包括人、生产设备、生产工具、物料传输设备及其他辅助装置组成的硬件环境，以及由生产信息、决策信息、生产方法、工艺手段和管理模式所形成的软件支持的条件所构成的有机整体，其根本目标是把制造资源转变成财富或产品。

1.1.2 制造系统的发展

世界科学技术的巨大进步，推动了社会生产力的迅速发展。今天，无论是工业、农业、交通运输，还是通讯、航空宇航等各个领域，其发展速度和取得的成就都是前所未有的。机械制造业，已由二百多年前的个体手工作坊式生产方式以及随后发展的大批大量生产方式，被自动化、柔性化、智能化、敏捷精益化的定制生产方式所代替，使得企业快速提供用户所需要的质量高、成本低、个性化的产品成为可能。研究机械制造业的发展过程，以及这种科学技术与生产互相促进、共同发展的历史，不仅可以理解今天的科学技术同发展生产的关系，而且能够预测未来的生产及其所依赖的科学技术发展方向。

1. 材料及制造方法的发展

材料的发展与产品的发展密切相关，继 1770 年瓦特发明蒸汽机以后，陆续出现了 Daimler 汽油发动机、Parson 蒸汽轮机、高速斜齿轮柴油发动机，1910 年左右出现了滚动轴承，以后又发展了燃汽轮机、喷气发动机。20 世纪 50 年代以后，出现了导弹、人造卫星，今天，宇宙飞船、载人空间站已成现实，目前正在向星际探测器等宇航新时代迈进。

随着产品的发展，材料也不断地发展。在蒸汽机时代，所用的主要材料是低碳钢和铸铁，其极限抗拉强度不超过 210MPa。但随着产品性能和结构要求的提高，对材料性能提出了越来越高的要求，如要制造燃汽轮机，就必须要有耐磨、耐热的新材料，于是出现了耐磨、耐热的合金钢。1950 年前后，由于发展飞机和人造卫星的需要，又出现了钛和钛合金，随即又发展了高强度钢以及各种新材料，使材料极限抗拉强度超过 2110MPa。目前，由于产品需求的极大变化，各种新材料更是层出不穷，如结构陶瓷、复合材料、超高强度合金材料、各种涂层材料、以及智能材料等，都在工业生产中发挥着愈来愈多的作用。

材料的发展促进了刀具材料及制造方法的发展，伴随着材料性能的不断改善和提高，制造技术和加工方法也必须相应地改变。尤其是出现了高强度、耐热合金以后，传统的切削加工方法已很难对用这类材料制造的零件进行加工，于是新的加工方法相继出现，如电火花加工、电化学加工、电子束加工、等离子体加工、激光加工等。高性能非金属材料，复合材料的广泛使用，使射流加工、超声加工、化学加工、光蚀加工、生物制造等技术得到广泛的发展。

总之，市场和需求推动了产品的发展，产品的发展给材料的发展提出了新的要求，同时促进了材料技术的发展，这就要求制造工艺和方法能快速适应这一发展的要求，使它们相互

依赖、共同发展。因此研究开发新材料、新工艺是机械工业永无止境的追求目标。

2. 加工质量的发展

保证零件加工质量是机械加工方法要解决的首要问题，加工质量的指标中最重要的是加工精度。保证加工精度是指，限制加工方法产生的误差值，使它限定在允许的范围之内；而提高加工精度是指需要减少加工误差值。生产的发展要求不断提高机器的工作精度和运转精度，为此，必须相应地提高零件的尺寸和几何形状精度。19 世纪中期，相继出现了各种金属切削方法和机床，形成了精度理论和公差制度。20 世纪中叶以后，又出现了各种新型工具材料和特种加工方法，使 200 多年来机械加工的精度不断提高。1850 年，机器零件的尺寸精度已可达到 0.01mm 。20 世纪初，由于发明了能测量 0.001mm 的千分尺和光学比较仪等，加工精度便逐渐向微米级过渡，成为机械加工精度发展进程中的转折点。当时在机械工业中将达到微米级精度的加工称为精密加工。20 世纪 50 年代末以来，迅速发展的宇航、计算机、激光技术，以及自动控制系统等尖端科学技术，就是综合利用了近代的先进技术和工艺方法的结果。另外，由于生产集成电路的需要，出现了各种微细加工工艺（微小尺寸零件的加工技术）。它是利用切削和非切削的加工方法，在最近一二十年的时间里使机械加工精度提高了 $1\sim 2$ 个数量级，即由 20 世纪 50 年代末的微米级 (10^{-6}m) 提高到目前的 10 纳米 (nm) 级 (1mm 为 10^{-9}m)，从而进入超精密加工的时代。各年代达到的加工精度的大致情况如图 1-1 所示。从图中可见，传统的机械加工方法（一般的粗加工和精密加工）与超精密机械加工方法一样，也是随采用新技术、新工艺、新设备，以及新的测试技术和仪器，其加工精度也不断提高。一般精密加工（如研磨）现在也可达到 $0.05\mu\text{m}$ 精度。加工精度的不断提高，反映了在加工工件时材料的分割水平不断由宏观进入微观世界的发展趋势。

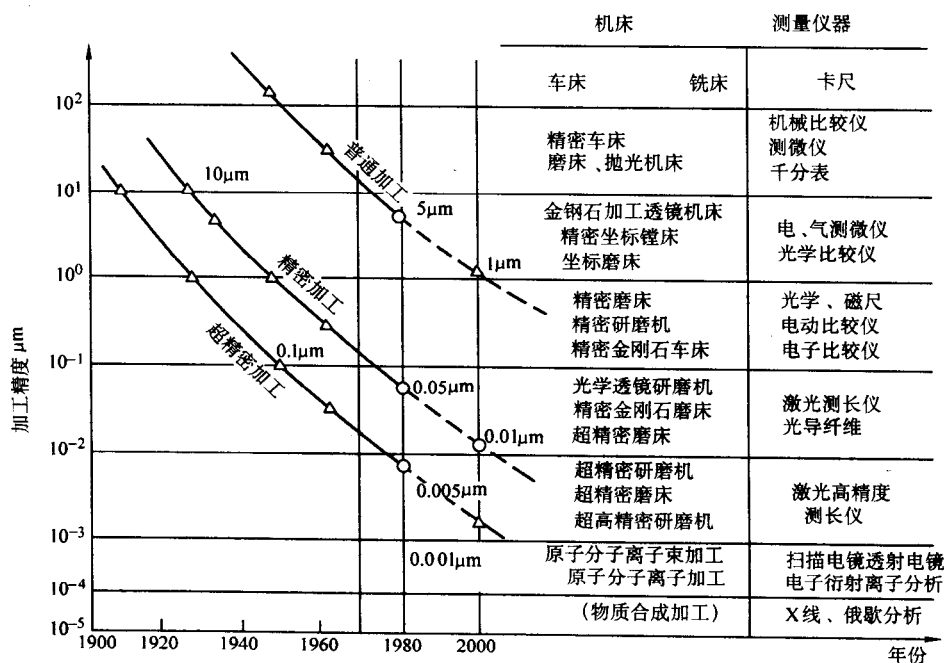


图 1-1 各年代达到的加工精度

提高机械加工精度的措施主要有：开发新的机械加工工艺方法，如现已创造出单刃金刚石刀具精密、超精密车削及铣削的新工艺；新型刀具材料的研制和采用，如应用涂层硬质合金、聚晶立方氮化硼和人造金刚石材料等；研究超精密加工用机床，如采用空气轴承，具备低速进给机构和微量进给机构，具有优越的抗热、抗振特性。另外，在加工过程中对加工精度进行的监控技术，如应用光学的计量方式已有可能进入实用阶段。

为了延长机械设备的使用寿命和提高其工作可靠性，国外近年来特别注意零件经机械加工后的表面质量，提出了表面完整性这一概念，它比过去一般所谓表面质量包含了更多的内容。表面完整性不但指机械加工后表面的粗糙度、波纹度、纹理等表面特征，还包含已加工表面大致在 0.38mm (0.015in) 厚度范围内各种物理、机械、冶金方面的特性，如残余应力、硬化程度、微观组织变化、晶间腐蚀、热损伤区、材质不匀等。表面完整性对于零件在工作时，受的应力很大或经受的是交变载荷或使用环境恶劣时尤为重要。现在国外已有人提出了评价表面完整性的一系列数据指标，研究了各种加工工艺方法与表面完整性的关系，找到了提高表面完整性的工艺方法，如低应力磨削方法。随着对连续生产过程的设备、能源设备、海上采油设备、航天设备等的安全性、可靠性要求日益提高的趋势，对表面完整性的研究一定会不断深入和扩大。

3. 制造自动化的发展

自从 1913 年 Ford 建立第一条装配流水线开始，到 1952 年 MIT 发明第一台三轴立式数控铣床，揭开数字化制造的序幕，经过近几十年的探索和发展，制造自动化技术得到了飞速发展，并已进入了实用化阶段，20 世纪 90 年代以来，制造的理念发生了质的变化，相应地提出了许多制造自动化新技术。回顾发展历史，制造自动化技术大约经历了五个阶段，如图 1-2 所示。

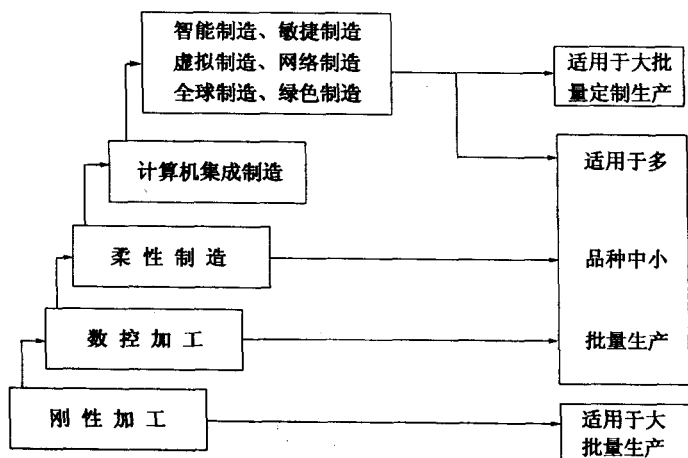


图 1-2 制造自动化的发展历程

可以预见未来制造自动化技术的发展可以用“七化”来描述，它们是：

(1) 制造集成化 21 世纪将从制造系统内部的信息和功能集成，发展到实现整个产品生产周期全过程的集成，最终发展到全球制造的全局集成。

(2) 制造智能化 由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统, 将使制造系统具有自适应能力、自学习能力和自组织能力, 以提高系统的响应速度和决策水平。

(3) 制造敏捷化 要求制造环境和制造过程敏捷化, 其内容非常广泛, 包括机器设备和工艺等的柔性, 重构能力、快速的集成化制造方法等。

(4) 制造虚拟化 以制造技术和计算机支持的系统建模技术和仿真技术为基础, 集现代制造工艺、图形学、并行工程、人工智能以及多媒体技术等多项高新技术为一体, 并通过系统建模对现实制造环境及制造过程映射到计算机及其相关技术支持的虚拟制造环境中, 对其制造系统行为和性能进行预测和评价的一种方法, 这是实现敏捷化制造的关键技术之一。

(5) 制造网络化 由于网络技术, 特别是 Internet/ Intranet 技术的迅速发展, 基于网络的产品设计与制造, 包括制造环境内部的网络化、整个企业的网络化、企业间的网络化以及异地设计与制造成为可能, 并形成了强劲的发展势头。如美国的“日不落计划”正是基于这一点。

(6) 制造全球化 由于通讯及交通技术的不断发展, 使得市场变得越来越小, 形成了“地球村”的市场格局。因此全球化是今后的一个重要发展方向, 它包括市场的全球化, 产品设计和开发的国际间合作, 产品制造的跨国化, 制造企业在全球范围内的重组与集成, 制造资源的跨地区、跨国家的协调、共享和优化利用等。

(7) 制造绿色化 环境、资源、人口是当今社会面临的三大主要问题。绿色制造是一个综合考虑环境影响因素和资源效率的现代化制造模式, 其目标是产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中, 对环境的影响最小, 资源效率最高。它要求产品绿色化和制造过程绿色化, 它是可持续发展战略在制造业中的具体体现。

1.1.3 21 世纪的企业特征

一个企业要在激烈的市场竞争中取得胜利, 就必须以市场为导向, 及时生产出满足用户要求的产品, 并能提供用户最满意的服务。过去产品质量和价格是企业参与竞争的关键因素, 如今它们是一切企业生产的必要条件, 企业赢得竞争的决定性因素是它们对市场变化的响应速度。为此企业的竞争能力和企业特征就显得非常重要。

1. 企业竞争力的分析

一个企业的竞争力可以从很多方面去度量, 例如, 企业的管理水平、员工素质、技术先进程度、把握市场机会的能力等方面, 但归根结底都反映在其产品和服务对市场的适应程度上。而企业提供的产品功能适用、交货期短、质量优良、价格低、服务优是满足市场和用户需求最主要的因素, 是企业竞争力的主要体现, 因此称之为企业竞争力基本五要素。

(1) 功能先进适用 用户对产品的基本要求是功能适用性, 不能满足用户使用要求的产品, 是绝对没有市场的, 因为用户购买产品的目的首先是为了使用, 所以不管任何时候, 都应把功能适用性作为产品开发的首要目标。功能适用性包括两个方面的涵义: 功能上具有先进性, 功能具有适用性。功能适用性排斥了冗余功能的存在, 因为冗余功能会使制造成本增加, 产品的可靠性降低。

(2) 交货期短 产品交货期的长短将是未来企业能否赢得竞争的关键因素。由于未来市

场是动态多变的,产品一般是按用户订货的多品种、小批量,甚至是单件化生产。在这种生产模式下,增加了缩短产品投放市场周期的难度,谁能够以最快的速度拿出用户要求的产品,谁就会赢得主动。特别是随着产品寿命周期的缩短,用户对售前交货周期的要求就愈来愈严格,因此采取一切措施缩短交货期是未来企业的主要活动目标之一。

(3) 质量优良 提高产品质量是制造企业一个永恒的主题,没有好的质量,就意味着没有市场,就根本谈不到产品的竞争力。所以,一个成熟的制造企业,总是把提高产品质量摆在一切工作的首位,将质量视为企业的生命。质量是个广义的概念,不仅包括产品质量,还包括服务质量。产品质量包括产品的性能特点:精度高、噪声低、能耗小、振动小、可靠性高、寿命长、精度保持性好等;还包括产品的非性能特点:外观美、安全性好、操作方便省力、便于维修、便于包装运输、便于用后回收、具有均衡寿命、环保性好等。

(4) 价格低 价格高低总是用户购买一个产品时考虑的首要因素之一。所以,努力降低产品的销售价格是吸引用户、占领市场的有效手段。降低销售价格的途径有两条:其一是降低产品的成本;其二是降低企业的利润。通过降低企业利润的手段来降低产品销售价格只能是暂时性的促销现象,不应视为占领市场的主要手段。降低产品成本应是最终降低销售价格的主要手段。

(5) 服务优质 服务质量也属于质量的范畴,是企业精神风貌的体现。随着市场竞争的日趋激烈,用户愈来愈注重产品提供者的服务质量,因为优良的服务质量可以解除用户的后顾之忧。服务质量包括的内容也很多,如广告宣传、产品现场演示、用户热线咨询和服务、及时供货、协助安装和调试、人员培训、技术支持、产品维修、产品的三色、售后的技术及质量跟踪、用后的回收等。

2. 未来制造企业的特征

根据未来企业所面临的环境,制造企业应主要具备下列特征:

(1) 具有持续创新的能力 创新是企业的灵魂,是一个企业具有竞争能力的体现,但创新是不可预见的。因此,可以通过创造一种企业文化、充分发挥人的作用、重视员工素质的提高、重视高新技术的应用的方法来保持企业的活力,控制创新的不可预见性。只有这样,才能抓住瞬息即逝的机遇,快速开发出高性能、高可靠性、价格可接受的、用户满意的产品,因此要求一切工作尽可能并行进行。

(2) 具有可重组、模块化的加工单元的能力 具有可重组、模块化加工单元以及柔性灵敏的制造技术装备,可以实现快速生成新产品及各种各样的变形产品,从而使生产小批量、高性能产品能达到与大批量生产同样的效益,以期达到同一类产品的价格和生产批量无关,这正是大批量定制生产所追求的目标。要做到这一点,就必须研究如何把目前的大规模生产线,改造成具有高度柔性,可重组的生产装备及相应软件。

(3) 具有按订单生产的能力 在日趋激烈的市场竞争中,谁能够最大限度地快速满足用户的需求,谁就可以占领市场。采用按订单生产,以合适的价格,快速的响应,满足用户定制产品或用户个性化产品的要求,这已成为企业不可避免的研究课题。

(4) 具有企业间动态合作或联盟的能力 因为未来的产品越来越复杂,交货期要求越来越短,任何一个企业都不可能快速和经济地设计、开发和制造一个产品的全部。只有依靠企业间的合作才能快速投放市场。因此虚拟企业将为企业的发展带来机遇,这就要求企业具有

柔性的组织机构、精练的管理层次、具有远见卓识的领导以及完善的网络体系等。同时在企业实施过程中不搞大而全，而做小而专。这一点对我国的企业更具意义。

(5) 具有和用户建立一种完全崭新的“战略”依存关系的能力 未来企业的用户将分为两类：一类是内部用户，即后继工序是前续工序的用户，特别是虚拟企业情况下更是如此；另一类是终端用户，即产品的直接使用者。产品的生命周期越来越短，而用户希望产品的使用时间越长越好，这是一对矛盾，要解决这一矛盾，企业要建立用户档案、提供周到的售后服务，同时和用户建立起良好的信任和合作关系，特别在产品并行设计中，吸收用户参与，并重视用户意见。

(6) 具有绿色环保型企业的特征 自然资源的短缺和环境污染的日益加剧，对企业生产和工业产品提出了越来越多的要求，因此提供绿色产品和实施绝色制造是未来企业必须具备的条件。这就要求产品体积小、节能、无污染、可回收利用，同时生产过程无污染、工作环境优美，保障人们身心健康。

1.2 先进制造技术的发展背景

制造工程的研究与开发是先进制造技术的源泉，现代制造工程已不再是传统意义上的机械工程学，而已成长为一门独立的新学科。它是集成、融合机械与结构技术、设计与工艺技术、计算机控制与辅助技术、自动化技术、信息技术、电子技术、材料技术、财会金融与新型管理为一体，综合运用于企业经营、研究开发、设计、加工、质量保证、设备维护、售后服务与生产管理等全过程，以提高企业综合效益和竞争力为目标，把科学技术和经济紧密结合起来的一门应用学科。重视制造业和先进制造技术，已成为全球的趋势，不难看出先进制造技术的产生有其深刻的社会背景。

1.2.1 市场变化的特点

技术的发展使市场呈现如下特点：

(1) 竞争愈来愈激烈 随着先进技术广泛应用，生产力得到很大发展，使产品的生产变得更容易。为了赢得市场，各制造商必然会使出浑身解数去取悦用户。而由于用户可挑选余地很大，对功能、交货期、质量、价格、服务的要求也会愈来愈高。这种激烈竞争的现象要一直持续到制造者认为“无利可图为止”，或有的企业退出竞争，使生产总量降低，用户的挑选余地变小而减缓竞争。这种现象可以从目前的计算机市场看出。

(2) 市场竞争的国际化 21 世纪的市场是国际化的大市场，任何国家若想实行贸易保护主义，必将会被排斥在世界经济大家庭以外。在这种大趋势下，各国市场都要向外国开放，造成竞争的国际化。民族工业不仅担负着保卫国内市场的任务，而且还要走出国门，去占领国际市场，如果不重视应用高新技术，必然会在竞争中打败仗。

(3) 市场的动态化 未来市场是动态多变的，这意味着用户需求的多样化。即用户要求有个性化的产品。动态化还意味着用户的需求是不断改变的，追求创新和新颖将成为潮流。这两个特点决定了产品的生产特点将是多品种、小批量，甚至单件化，还要求产品投放市场的周期大大缩短。

(4) 市场的多元化 未来市场并非仅是高新产品的一统天下,而是多种规格、多种质量档次、各种价格档次的产品共存的市场。制造者应根据自身的实力(经济的、技术的)找准突破点,占领某一档次的市场。

(5) 公司虚拟化 目前流行的大集团公司将来会被由中、小型公司临时建立起来的虚拟公司或动态联盟所取代,企业的竞争将是虚拟公司之间的竞争,没有一个固定的竞争对手。

1.2.2 产品结构的特点

目前,产品已呈现如下特点:

(1) 环保型产品 随着环境保护的呼声愈来愈高,人们对产品的环境保护性能愈来愈重视,是否有利于环境保护将成为产品性能的主要衡量指标之一。环保型产品有时又称为“绿色产品”。环保型产品,不仅产品本身是环保型的,还要求产品的生产过程也是环保型的。这就要求制造业不仅要向市场提供环保型的产品,而且要使产品的生产过程亦成为环保型的。对环保型产品,特别要求产品本身具有(在使用过程中)节约能源,节省资源,不污染内、外部环境,用后能够方便地回收和重新利用。

(2) 功能先进实用 产品的功能将会进一步体现出先进性和实用性两个特点。所谓先进性,就是要求采用先进技术,淘汰掉过时的技术。所谓实用性,就是要求产品好用,操作简单,可以防止误操作,各种操作装置的设计简单明了、一目了然。不要增加冗余功能,冗余功能的出现会使人感到为“从来用不到”的功能付了钱。另外,多余的功能总会降低系统的可靠性和增加成本。

(3) 效率高 效率高对不同的产品有不同的含义。对于生产型产品(如机床、印刷机械等),效率高是指它们能够以很高的生产效率进行生产。对于能量转换型产品(如电动机、发动机等),效率高是指机器的转换效率要高,自身消耗要少。后一种情况也意味着产品应是环保型的。

(4) 体积小(微型化) 体积小并不仅仅是节省原材料的要求,体积小还意味着产品占用的空间少,产品的搬运也更容易。例如,国外的汽车有向微型化发展的趋势,微型化汽车有诸多的优点:价格低,消耗的能源少,停放时占地少,行驶灵活。随着地球人口的不断增加,可用空间愈来愈少,再加上物质的更加丰富,又加剧了空间的减少率,体积小但功能适用的产品必然大行其道。

(5) 质量优良 产品质量是个永恒的主题,没有好的质量,产品就无法在市场上站住脚,就意味着破产。质量差还意味着浪费资源。

(6) 价格低 由于激烈的市场竞争,竞争对手都会通过竞相削价来吸引用户,由于出售价格低,制造者获得的利润也会降低,因此应发展高附加值产品。

(7) 创新性 由于各制造企业普遍采用新技术,由一家公司长期独霸某一项产品或技术的局面将不复存在。一项产品问世后,很快就会出现同类型的产品,会对刚问世不久的新产品构成威胁。因此,产品的创新性变得至关重要,谁能够不断推出创新产品,谁就有了主动权。

(8) 寿命周期的缩短 产品的寿命周期将会愈来愈短,这种缩短体现在两个方面:一是

在产品发往用户前的设计制造周期的缩短,二是在用户手中使用周期的缩短。寿命周期的缩短将会加速新产品开发的步伐。

(9) 品种上的多样化、单件化 由于追求个性化,即使对于同一类型的产品,人们也要求产品在外观造型和功能上有自己的特点,体现出与众不同。这就要求产品在结构、功能、外观造型上体现多样性。

1.2.3 生产过程的特点

生产过程是由生产模式和产品的特点所决定的。在大批量生产时代,由于产品品种单一,生产过程往往是采用刚性设备的高度自动化生产,装配则采用流水线的方式。那时,由于人们的环保意识尚不强烈,对环保型生产的要求也不高,所以在生产过程中也没有充分考虑污染问题(工业化带来的恶果是严重地污染了环境,今日我国的台湾和大陆东南沿海就是例子)。适应多品种、小批量生产模式的生产过程具有如下特点:

(1) 生产过程柔性化 由于是根据订货进行生产,产品的品种经常发生变化,这就要求产品的设计方式能够适应这种变化,例如采用并行工程技术,快速原型技术,虚拟制造技术等。在产品的设计手段上则应大力采用 CAD/CAM 技术。在设计技术上则可采用模块化技术等。在产品的制造过程中,则应大力采用各种柔性化的加工和装配设备。生产过程的柔性化是实现多品种、小批量生产的前提。

(2) 生产过程环保化 环保型生产过程不仅会给企业带来巨大的经济效益,也会给企业带来巨大的社会效益。这是因为随着用户的环保意识的加强,可能会拒购给环境带来污染的生产过程生产出的产品。生产过程环保化意味着消耗的资源少,给环境造成的污染小。

(3) 生产过程高速化 这是由于交货期愈来愈短带来的。随着产品寿命周期的不断缩短,用户要求的交货期也愈来愈短,为了适应这种情况,高速生产技术(包括快速设计、高速加工、高速装配等)将会得到普遍采用。

(4) 精密生产技术的应用 随着科学技术的发展,市场会要求产品的精度愈来愈高。因此,能够生产精密产品的精密生产技术和过程也会得到广泛的应用。

(5) 生产过程自动化 将人从单调的、繁重的生产活动中解放出来,最适用的办法就是要用自动化技术,包括自动化设计、自动化加工、自动化检验、自动化装配等。过去认为多品种、小批量生产的自动化是不可能的,而数控技术的出现,使得这种自动化成为可能。中、小批量生产的自动化技术目前仍是主要的研究对象。

(6) 少、无切削加工过程 采用少、无切削加工过程,不仅可以节省大量的原材料,而且可以大大缩短加工时间,零件的质量往往也能提高。应大力加强这方面的研究工作。

(7) 非传统工艺方法的采用 传统的机械加工虽然不会消失,但它的一部分市场将会让位给非传统的加工方法。这是因为非传统的工艺方法往往具有机械加工无可比拟的优越性,特别是在复杂形状零件的加工方面,非传统加工的优越性显得更加突出,所以非传统的工艺方法将会得到越来越多的应用。

1.2.4 制造格局的变革及新技术发展

先进制造技术 AMT 这一概念是美国根据本国制造业面临来自世界各国,特别是亚洲国

家的挑战,为增强制造业的竞争力,夺回美国制造工业的优势,促进国家经济的发展,于20世纪80年代末期提出的。由于目标明确,一经提出,立即得到美国朝野各界的一致响应,并在社会上形成一种气候。政府立即组织人力和财力,制订相应的技术政策和发展计划,促进先进制造目标的实现。事实上,先进制造技术提出的根本原因在于美国制造业竞争力的不断减弱。20世纪70年代,美国一批学者不断鼓吹美国已进入“后工业化社会”,强调制造业是“夕阳工业”,认为应将经济重心由制造业转向纯高科技产业及服务业等第三产业,许多学者只重视理论成果,不重视实际应用,造成所谓“美国发明,日本发财”,市场被日本占领的局面。再加上美国政府长期以来对产业技术不予以支持的态度,使美国制造业产生衰退,产品的市场竞争力下降,贸易逆差剧增,原来美国占绝对优势的许多产品,都在竞争中败给日本,日本货占领了美国市场。美国商品在来自日本的高质量、高科技产品以及其他亚洲和拉美国家廉价制造品的夹击下,其生存空间不断萎缩。以上情况引起学术界、企业界和政治界人士的普遍重视,纷纷要求政府出面组织、协调和支持产业技术的发展,重振美国经济。为此,政府和企业界花费数百万美元,组织大量专家、学者进行调查研究。研究结果简单明了,如MIT的调查结论为:“一个国家要生活得好,必须生产得好”,和“振兴美国经济的出路在于振兴美国的制造业”。调查结果使大家认识到:“经济的竞争归根到底是制造技术和制造能力的竞争”。

观念转变后,美国政府立即采取一系列措施,展开先进制造技术的研究,成立了8个国家级制造研究中心、开展大规模“12世纪制造企业战略”研究,取得了很好的效果。如“2mm工程”、“并行工程开发计划”等,很快使汽车产量超过日本,重新占领欧美市场。与此同时日本、欧洲、澳大利亚等工业发达国家,也相继展开各自国家先进制造技术的理论和应用研究,把先进制造技术的研究和发展推向高潮。我国于1995年在联合国开发计划署和国家外专局的支持下,由原机械工业部等五家单位联合召开了“先进制造技术发展战略研讨会”,拉开了先进制造技术发展的帷幕。

计算机、微电子、信息和自动化技术的迅速发展给产品设计、制造工艺与装备、生产管理和企业经营带来了重大变革,先后诞生了数控(NC),加工中心(MC),计算机数控(CNC),计算机辅助制造(CAM),工业机器人(IR),计算机辅助工艺计划或规划(CAPP),计算机辅助调度(CAPS),计算机辅助检测(CAI),计算机辅助工程(CAE),计算机辅助装配规划(CAAP),柔性制造单元(FMC),柔性制造线(FML),柔性制造系统(FMS),准时生产(JIT),管理信息系统(MIS),并行工程(CE),成组技术(GT),质量功能配置(QFD),面向X设计(Design for X,其中X表示制造装配等等),物料需求计划(MRP),制造资源计划(MRP),企业资源计划(ERP),产品数据管理(PDM),初始图形交换系统(IGES),生产数据交换标准(STEP),智能制造技术(IMT),精良生产(LP),按类个别生产(OKP),按订单生产(MTO),快速原型(RP),快速制造(RM),敏捷制造(AM),虚拟制造(VM),计算机集成制造(CIM)等一系列新制造技术和新制造模式。同时,新材料的应用、加工工艺、装备和产品质量保证等领域也在相对稳定中不断取得进展。高强质轻合金、工程塑料、复合材料、陶瓷材料、新型合金等材料的应用,使产品用材有了显著变化,又促进了新的加工工艺和成形方法的发展。出现了多种精密加工、复合加工、特种加工、材料改性等新工艺,提高了加工质量和效率。加工装备走向一机多能、

粗精加工一体化、加工检测集成、人机一体化,出现了智能化加工单元。为了保证产品一次制造成功,产品质量保证向着实时、在线方向发展。所有这些技术成就及其应用都为先进制造技术与模式提供了技术基础。

1.3 先进制造技术的概念与特点

先进制造技术是以提高制造企业综合效益为目的,以人为主体的,以计算机技术为支柱,综合利用信息、材料、能源、环保等高新技术以及现代系统管理技术,对传统制造过程中与产品在整个寿命周期中的使用、维护、回收利用等有关环节,进行研究并改造的所有适用技术的总称。AMT 这一全新概念的提出,立即受到世界各国政府、企业界和学术界的高度重视,并将其称之为面向 21 世纪的技术。因为先进制造技术的主要特征是强调实用性,它以提高企业综合经济效益为目的,所以被认为是提高制造业竞争能力的主要手段,对促进整个国民经济的发展有着不可估量的影响。

由以上定义可以看出,先进制造技术有如下特点:

- 1) 先进制造技术不是一成不变的,而是个动态技术。它要不断吸收各种高新技术成果,将其渗透到产品的设计、制造、生产管理及市场营销的所有领域及其全部过程,并且实现优质、高效、低耗、清洁、灵活的生产。
- 2) 先进制造技术是面向新世纪技术系统,它的目的很明确,即提高制造业的综合效益(包括经济效益、社会效益和环境生态效益),赢得激烈的国际市场竞争。
- 3) 先进制造技术并不摒弃传统技术,而是不断用科技新手段去研究它,并运用科技新成果去改造它、充实它。特别是利用先进技术研究传统工艺的成形原理,建立数学模型,并利用优化设计技术进行传统工艺方法的优化。
- 4) 先进制造技术并不仅限于制造过程本身,它涉及到产品从市场调研、产品设计、工艺设计、加工制造、售前售后服务等产品生命周期的所有内容,并将它们结合成一个有机的整体。
- 5) 先进制造技术特别强调计算机技术、信息技术和现代系统管理技术,在产品设计、制造和生产组织管理等方面的应用。
- 6) 先进制造技术特别强调人的主体作用,强调人、技术、管理三者的有机结合。
- 7) 先进制造技术不是一项具体技术,它是利用系统工程技术将各种相关技术集成的一个有机整体。
- 8) 先进制造技术强调各专业学科之间的相互渗透、融合和淡化,并最终消除它们之间的界限。
- 9) 先进制造技术特别强调环境保护,既要求其产品是所谓的“绿色商品”^①,又要求产品的生产过程是环保型^②的。

① 对资源的消耗最少,对环境的污染最小甚至为零,对人体的危害最小甚至为零,报废后便于回收利用,发生事故的可能性为零,所占空间最小。

② 对资源的消耗最少,对环境污染最小甚至为零,对人体的危害最小甚至为零。