

普通高等教育规划教材

工业工程专业

现代制造系统

Modern Manufacturing Systems

罗振璧 朱耀祥 张书桥 编著

MODERN

MANUFACTURING

SYSTEMS



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材 工业工程专业

现代制造系统

罗振璧 朱耀祥 张书桥 编著
盛伯浩 主审



机械工业出版社

制造系统是现代工业工程学进行企业系统设计和运作优化的重要内容。熟悉和掌握现代制造系统是工业工程师必不可少的重要知识。本书系统地介绍了制造系统工程基础, 成组技术基础, 机床数字控制与编程基础, 柔性制造及系统的基本原理, 工业机器人及其应用, 装配及自动化装配, 质量工程、质量改进与自动检测/监控基础, 新一代制造系统快速可重构制造系统等内容。

本书可作为高等院校工业工程专业本科生、研究生教材, 也可供从事现代制造系统设计、运作与管理的工程技术人员和管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代制造系统/罗振璧等编著. —北京: 机械工业出版社,
2004.8

普通高等教育规划教材. 工业工程专业
ISBN 7-111-14789-8

I. 现... II. 罗... 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(2004)第 061444 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: 商红云 责任编辑: 曹俊玲 版式设计: 霍永明

责任校对: 樊钟英 责任印制: 施 红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5·10.625 印张·397 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)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育工业工程专业 教材编审编委会

主任委员

Gavriel Salvendy 博士, Purdue 大学工业工程学院教授, 清华大学工业工程系主任, 美国国家工程科学院院士, 国际著名人因学与人类工程学(工效学)专家, 中国科学院荣誉博士, 1991 年荣获俄罗斯科学院罗曼诺索夫奖章。

副主任委员

Way Kuo 博士, 美国 Tennessee 大学工业工程教授、工学院院长, 美国国家工程科学院院士, 可靠性工程专家, Wisenbaker 工程革新主席, 原 Texas A&T 大学系统工程学院副院长, 国际质量科学院 (IAQ) 科学家, IIE、IEEE 与美国质量学会 (ASQ) 高级会员 (Fellow)。

K. L. Mak 博士, 香港大学工业与制造系统工程系主任、教授, 主要从事生产与运作管理、制造系统设计与控制、产品开发和物流工程与供应链管理等方面的研究, 有多年在英国与香港企业工作的经历。

R. H. Hollier 博士, 曼彻斯特科学技术大学管理学院教授, 服务于 IProDE 委员会与 IEE 出版委员会, 物流工程专家, 《国际运作与生产管理》杂志主编。

委员 (按姓氏笔画排序)

王恩亮	王仁康	孙义敏	伍乃骥	许卓年	朱立强	朱耀祥
李泰国	吴清一	吴爱华	杨伟恒	张宇	张书桥	罗平
罗振璧	林益耀	郑壮利	胡宗武	顾培亮	莫汝虎	唐伟国
梅绍祖	颜秉常					

前 言

本书可以作为工业工程专业本科高年级大学生学习制造系统专业课程的基本教材，也可作为研究生教材。另外，本书也可供有志于从事现代制造系统设计、运作与管理的工程技术人员和各级管理人员学习参考。

从 20 世纪 90 年代中以来，制造业市场呈现出快速多变的不确定性，制造业面临结构性的战略转变。为了快速响应市场/顾客需求的变化，企业不断增强产品的变换和混流生产，其显著的特点是：全寿命、系统地处理制造问题，设计与制造结合，强调技术同经济、管理和社会科学的结合。制造技术向着系统化、柔性化、(可)重组化、自动化、集成化、智能化和利用信息技术的方向发展，其目的在于快速响应产品的变换和混流生产，降低投资损耗和制造成本，压缩生产周期，保证交货时间，提高制造生产效率、效益，保证产品与服务的质量，消除或降低对环境的污染，以提高企业竞争力，增强综合国力。在现代市场竞争激烈的条件下，制造系统的传统规划、设计、建造与运行方法和实践已经落后于现代企业的要求与现实，使制造系统经常成为制约企业新产品快速成功上市、按照客户订单进行产品变换生产和成功商务运作的瓶颈。同时，由于制造系统要求的投资额度大，建造和试运行时间周期长，可变性(柔性)低，使它经常成为新产品生产与定制化产品变换生产、商务活动、企业发展与业绩提升的约束，使现代制造系统的规划、设计、建造与运行成为制造科学研究与开发的热点，所以建立一个强大、先进、有竞争力的现代制造业，特别是制造系统匹配的集成化、柔性自动化、可重构化、信息化和智能化是我们必须重视的长期战略任务。面对这一战略任务，为了发挥企业组织系统的全潜力，现代制造系统的

系统设计与运作优化是各级工业工程人员发挥作用的重要领域，制造系统的自动化、可重构化，交互作用界面匹配的集成化、信息化和智能化，是现代工业工程师和研究人员应该承担的重要而光荣的任务。

本书由清华大学工业工程系罗振壁(第一章第一~第三节、第三章、第四章、第五章、第六章与第八章)、清华大学职业经理培训中心朱耀祥(第一章的第四与第五节、第二章)和上海大众汽车集团第二发动机厂张书桥(第七章)共同编著。同时，北方交通大学工业工程教研室的刘阶萍博士参与了第八章第二节的编著，清华大学工业工程系博士生于学军参与了第八章第一节与第三节的编著。本书由北京机床研究所盛伯浩教授级高级工程师主审。对他提出的宝贵意见，编著者表示衷心的感谢！在本书编著过程中，参考与引用了国内外很多文献资料，在此对这些文献资料的作者表示感谢！对大力支持本书出版的机械工业出版社表示诚挚的谢意！并对支持本书编著与出版的家人和学生表示感谢！

本书第一、第七与第八章所利用的科研开发成果得到国家 863 项目《可重构制造系统技术(编号:2001AA412160)》、“国家十五科技攻关”课题《刚柔结合可重组制造系统研究与示范应用(编号:2001BA203B01—03)》、国家自然科学基金重点项目《快速可重组制造系统理论与方法研究(编号:59735100)》和清华大学 21 世纪研究院重大软课题《中国制造》的资助；同时，得到上海日发数字化有限公司、北京 Nokia 系统工厂的合作与资助以及香港工业工程师学会(IIE/HK)的支持，谨在此致以真诚的谢意！

编著者

2004 年 3 月于清华园

目 录

前言

第一章 制造系统工程基础	1
第一节 制造	1
第二节 制造系统及其发展	12
第三节 制造系统的柔性自动化及自动化制造系统的技术分析	24
第四节 计算机集成制造 CIM 系统	48
第五节 集成制造系统分析和功能模型 IDEF ₀	62
复习思考题与习题	69
第二章 成组技术基础	70
第一节 成组技术概述	70
第二节 零件分类和编码系统	73
第三节 零件的分组(族)方法	83
第四节 成组技术的应用及经济效益	90
复习思考题与习题	110
第三章 机床数字控制与编程基础	113
第一节 数字控制的基础	113
第二节 计算机数字控制	134
第三节 自适应控制	147
复习思考题与习题	152
第四章 柔性制造及系统的基本原理	154
第一节 柔性制造及柔性制造系统	154
第二节 FMS 工作站与 FMC	164
第三节 FMS 的物流	168
第四节 FMS 的控制	172
复习思考题与习题	178
第五章 工业机器人及其应用	179
第一节 机器人的基本知识	179

第二节 位形描述与空间变换	195
第三节 工业机器人的应用	198
复习思考题与习题	204
第六章 装配及自动化装配	205
第一节 装配与产品实现自动化装配的设计要求	205
第二节 自动化装配系统类型	214
第三节 零件送进装置	215
第四节 多站装配机的分析	218
复习思考题与习题	222
第七章 质量工程、质量改进与自动检测/监控基础	223
第一节 现代质量观与质量工程	223
第二节 质量体系与质量改进	233
第三节 自动检测原理与方法	248
第四节 切削过程监控原理	254
复习思考题与习题	261
第八章 新一代制造系统——快速可重构制造系统	263
第一节 可重构性与快速可重构制造系统设计基础	263
第二节 制造系统的过程效应和系统的寿命期	279
第三节 RRMS 系统的规划	289
第四节 RRMS 系统的设计	318
复习思考题与习题	325
参考文献	327

第一章

制造系统工程基础

第一节 制 造

为了实现中华民族的伟大复兴，中国人的百年夙愿是完成国家的工业化进程，把中国建成一个民主、富强、人民幸福的国家。全面建设小康社会的重要目标是，基本实现国家工业化，建成完善的社会主义市场经济体制和更具活力、更加开放的经济体系。提出“建设制造强国”的目标，以保证实现我国经济快速、健康、稳定地发展。因此，必须重新认识制造、制造系统、企业的核心能力与竞争优势。

一、制造及其发展

“制造”的英文为 Manufacturing 或 Manufacture，源于拉丁语，其原义是“用手工制作”或“手工业”，是指把原材料制成人们有用的货物或产品。传统的制造只指制作可触摸的货物或产品。近 30 年扩展了“制造”的内涵，使之成为一个泛指の广义概念。(Young 等,1984)。

1. 制造的内涵

1983 年，国际生产工程学会(CIRP)把制造定义为：“包括制造企业的产品设计、材料选择、规划、制造的生产、质量保证、管理和营销的一系列有内在联系的活动与运作/作业。”这一定义使制造的概念突破了传统的狭义观念。1998 年，美国国家研究委员会(NRC)把制造定义为，创造、开发、支持和提供产品与服务所要求的过程与组织实体。1999 年，美国麻省理工学院(MIT)定义现代制造包括：产品的设计与开发、产品规划、销售和服务，以及实现这些功能所应用的技术、流程/过程以及人与技术结合的途径等。2002 年，美国生产与库存控制学会(APICS)定义制造：包括设计、物料选择、规划、生产、质量保证、管理和对离散顾客与耐用货物营销的一系列相互关联的活动和运作/

作业。

按照上述定义与内涵，现代制造业不仅包含传统、已为公众广泛认知的制造行业，而且还包括以计算机技术、通信和基于微电子学的检测传感技术为主体的信息技术，生物工程技术与制造用生物技术，以及某些农业综合企业，构成包容面更大、技术创新更强的现代制造领域与范畴。所以，现代制造的概念突破了可触摸的产品货物生产的范围，并同不可触摸的软件生产、服务和利用高新知识与技术附加价值(顾客价值)的活动与过程/流程融合在一起。

2. 制造是我国工业化与经济发展的核心支柱

我国是在 20 世纪 50 年代才开始国家工业化进程的，比欧美各发达国家晚了近 200 年。尽管过去的 50 年我们取得了举世瞩目的成就，但是只是实现了中等程度的工业化，要完成工业化和现代化还要花大力气。

1953 年，我国开始执行国民经济与社会发展的第一个五年计划，揭开了中国国家工业化的序幕。经过半个世纪的努力，到 2001 年，国内生产总值(GDP)增长了 38.3 倍，平均每年以 7.73% 的发展速度快速递增。按照工业增加值计算，1998 年中国的制造业排在美国、日本和德国之后，居世界第四位。2002 年，我国制造产品出口创汇达 1799 亿美元，占全国外贸出口总额的 55.25%，占总税收的 50%，成为我国出口创汇与税收的主力军。同时，我国制造业在 GDP 中的比重从 1953 年的 13.07% 增加到 35.4% ~ 40.2%。因此，无论是从我国近 50 年的国家工业化实践，还是从 1750 年第一次工业革命开始以来世界各国工业化 252 年的实践都已经证明，制造业是工业化和推动国家经济发展的强大支柱。因此，在 1991 年美国工程/科学院就把科学、技术和制造作为“发展国家经济的三大必保主题”。在预测 2020 年的未来制造时，1998 年美国的 NRC 明确断言：制造仍然是新世纪创造社会财富最基本、最有效的手段，是国家经济发动机的支柱。所以，无论是纵观世界各国工业化的历史或对未来制造的预测，还是横观国内外的现况，我们都应该确立以下基本观念：

(1) 国家工业化的程度决定了社会发展的特征、国力、防务能力与人民物质文化生活的水平。制造始终是创造社会财富最基本、最有效的手段。制造业是国家各工业部门的中心，装备制造业是制造业的核心，而制造系统的创新和现代化是核心中的核心。为了实现中华民族的伟大复兴，必须在今后 10 至 20 年把中国建成“制造强国”，以保证国家经济的快速、持续增长。

(2) 制造是国家经济发动机运转的强大支柱。没有先进的制造技术与不断为国民经济各部门提供可以保证和提升企业竞争力的主要装备与先进的制造系统，我国的民族制造企业将无法形成自己的核心能力和竞争优势，即不可能以一个制造强国与制造大国的姿态屹立于经济全球化的世界之林。

(3) 制造是增强国家综合实力、防务能力和提高人民物质文化生活水平的

保证。近代、现代史告诉我们，所有发达国家无一不是首先把最先进的科学与技术成果通过先进的制造业变成国家的防务实力。我国的统一、安全、生存和发展只能依靠自己，我国在世界上的地位只能靠自己的经济和防务实力。所以，只有依靠中国制造业的振兴和现代化，才有可能完成国家的工业化，把我国建成一个民主、富强、人民幸福的国家；才可能预防和抵御各种可能出现的返古野性、强权和人类愚昧的侵害，保护国家与人民的安全，保证我们目标的实现。为此，建立一个可靠、可信的现代化国防是不容忽视的。清末以来的百年耻辱和今天的多种“威胁论”与“崩溃论”值得我们深思。清朝的乾隆年间，我国的国力是世界排头的，比今天的美国占世界 GDP 的份额还高。可是就是因为没有发展科学技术、进行工业革命、建立强大的防务和清除众所周知的社会弊端，才使我国在外来强权的侵略下一落千丈。

(4) 在实现国家工业化和现代化的过程中，制造业具有独特而不可替代的作用，必须重视与振兴它。

(5) 制造业市场是世界最大的产品与服务市场，也是世界各国许多实业公司和跨国公司的最大竞争角斗场。为了建立制造企业的核心能力，夺取竞争的胜利，许多制造公司处在先进制造技术与开发、新产品设计与开发、市场开拓、劳动生产率提高、业绩提升、管理与商务实践革新与改进的前沿。他们的革新与改进经常是先进产品与服务、先进制造系统和商务运作实践的反映，也是他们应对挑战战略与策略的反映。这些实践无论是成功还是失败，都是我们研究现代企业应对市场变化、建立企业战略、提升企业价值(又称顾客价值)的核心能力与竞争优势的重要案例，是值得借鉴的宝贵经验与教训，也是发挥我国制造业后发优势，实现跨越式发展和不断改进的重要比对标准和决策的重要依据与借鉴。

(6) 制造业的改造、革新与创造都不应该也不可能“靠买进来”或“照搬照抄”。从国情与企业实际出发，学习、实践、消化、提升和创新才可能把我国建成一个制造的大国和强国。虽然制造业的振兴和创新是艰难的，但是只有这样才是建设全面小康社会的强大推动力和根本保证。所以，应该尽早、尽可能多地摒弃各种炒作和跟风赶时髦的做法，埋头苦干、艰苦奋斗、实实在在地把制造业搞上去。

3. 制造是国家经济发动机的强大支柱

有人只从表面看问题，他们以为发达国家的制造业在 GDP 中占的比重低于服务业，就简单地认为制造业是不断“衰落”的“夕阳”产业。但是，这是不符合实际的幼稚想法。美国麻省理工学院的研究结论是“像美国这样巨大的大陆经济是不可能作为服务的主要生产者运营的”。因为，国家对制造业产品货物与服务的需求(包括进出口贸易)是永恒和巨大的。例如，1987 年美国已

经成为世界最大的服务出口国，但当年美国购买制成品的总额为 1 万亿美元，大体上是服务出口总额的 20 倍，而当年的服务业出口额与进口额持平。

建立一个强大、先进、有竞争力的现代制造业是我国不容轻视的长期战略任务。历史经验和现实告诫我们，中国的防务能力、经济发展、国家防务与经济的安全、人民的幸福只能依赖不断发展的经济和国家防务能力，中国必须为此而发展中国制造，把中国建成世界制造大国与强国。

二、我国制造业面临的挑战

今天和未来的制造业处在一个惊人的竞争环境中。在经济全球化和信息技术快速发展的推动下，制造业面对着顾客需求驱动、快速多变和来自国家关系方面的种种挑战，制造企业运行在一个瞬息万变、不确定、竞争不断加剧的市场“气候”中。

（一）企业成功的要素

在这样的气候中，企业的成功将取决于以下八个要素：

（1）企业的市场定位、目标和实现目标的战略与商务实践。

（2）能否形成相对于其他竞争对手的竞争优势。所谓竞争优势(Competitive advantage or edge)，指的是使销售的产品能比其他企业/公司控制更大的市场份额或更多利润的优势。例如，由于流程(过程)、专利、产品、服务、管理或物料与配送系统方面的强势所形成的优势。

（3）建成企业竞争的核心能力。核心能力(Core Competencies)又称竞争的核心能力(Core Competencies of Competitive)，是指能使公司以竞争对手难于超越、模仿或窃取的方式和为未来的增长作准备的途径，为顾客提供最高价值的技艺与知识的集合。核心能力体现在企业的产品、服务、组织、管理、企业文化氛围和员工的工作作风与技能中。一个公司的核心能力可以是协调、和谐和多样的生产技艺及多种自己独有的知识产权的技术。例如，要形成先进钢铁生产浇注过程的核心能力，就要求把机器装备的设计同温度与速度跟踪检测用的精密传感器集成起来，而传感器要求建立精确的热传导数学模型。为了快速而有效地开发出这一新的浇注铸造系统，材料专家必须同机器设计师、软件工程师、过程专家和操作者密切合作。但是，核心能力并不直接同产品或市场相关联。换言之，核心能力是企业竞争优势的必要条件，但不是充分条件。

（4）建立成功的制造战略。所谓制造战略(Manufacturing Strategy)，是指表达和配置制造资源的决策模式集合。为了获取更多的业绩效益，制造战略应该在支持总体商务战略决策和提供竞争优势方面长期起作用。企业为了获取更多的效益，应该使制造战略在支持总体的商务战略决策和提升企业竞争优势方面发挥作用。

（5）建立诚信、合作、实干与创新的企业文化。

(6) 对企业或核心公司建立加盟企业群集(Enterprises Cluster)/联盟, 形成有核心能力与竞争优势的制造企业群集中心或地域制造中心, 以适应经济全球化与区域化和激烈的市场竞争。

(7) 熟悉 WTO 与市场相关的法规、议定书与惯例, 在遵守法律与法规的条件下, 发扬中华文明悠久的谋略传统, 在战略、战术或策略及方法上进行创新, “克敌制胜”。

(8) 认清我们的竞争优势, 研究改进规避风险的战略、策略与措施, 从国情和企业的实际出发, 不断创新和改进组织与管理, 培育和发展自己的品牌、独有的核心能力、建立竞争优势。

(二) 制造企业面对的形势

从 20 世纪 80 年代后期以来, 世界制造业陷入以下六方面的困境: 传统大量生产的产品及其生产能力过剩; 制造业从发达国家向发展中国家或地区转移; 已经完成工业化的 46 个国家和地区的后遗症——高物耗、高能耗与高污染(简称“三高”)中断了发展中国家沿用传统工业化进程与方式的可能; 各类高中级人才不足, 而传统制造业缺乏对优秀年轻人才的吸引力; 利润与投资效益不断下滑, 资本市场纷纷转向非传统制造业或金融市场, 增大了经济风险, 增加了投机与作假的危害; 产品的市场寿命周期迅速缩短, 加剧了新产品设计、开发和上市同制造系统与商务运作的冲突。

1. 传统制造面对的困境

1996 年, 日本制造系统工程专家见胜人教授总结了传统制造业面对的四个困难:

(1) 现有产品饱和, 现存的制造生产能力大量闲置。例如, 1996 年日本的生产能力闲置率高达 26%, 我国也自 1997 年开始进入传统产品过剩的时代。

(2) 产业与研究开发 R&D 的转移迫使发达国家的低中技术产品、基础产业与部分研究开发向发展中国家与地区转移。例如, 1993 年日本的制造公司在海外生产的彩电高达 74%, 微波炉为 64%, 收音机为 50%。现在, 尽管全球化尚处在萌芽时期, 其利弊共存业已明朗, 但是, 这种转移趋势加速了世界制造业的变革, 从而导致经济分工结构的根本性变化, 引发了更多包括国家关系在内的冲突、震荡与斗争。我国经济和制造业的发展格局经常被一些人士挑剔、责难或诅咒就是明证。

(3) 制造企业的职业吸引力迅速下滑, 一流的工程技术、管理人才和技术工人后继乏人。例如, 日本年轻一代视制造业为“3K(脏、苦与危险)”的职业, 很少像 20 世纪 80 年代前竞相挤进制造企业。同时, 这种趋势也悄然在信息技术制造的某些方面蔓延。

(4) 由于过去工业化过程中资源的滥用, 已经引发了人类的生存危机。例

如, 1996 年的能耗量是 1990 年的 6 倍, 可利用的不可再生资源的可利用时间大大缩短, 全世界的石油与天然气储量只能再用 50 年, 铀可再用 75 年, 煤也只能再用 200 年了。

2. 新兴工业化国家必须走可持续发展的道路

1750 年开始的工业革命创造了 60% ~ 80% 的社会财富, 造就了 46 个工业化的国家或地区。但是, 已有的工业化途径过度地滥用自然资源, 引发了自然界对人的惩罚: 不可再生的资源枯竭, 生态环境恶化, 已经危及到人类的生存与发展。正在开始和继续完成工业化的发展中国家不可能再重复传统工业化道路, 必须坚持可持续发展, 充分利用信息技术, 走基于高新技术成果与新的管理的新型工业化道路。同时, 21 世纪的工业化同 18 世纪乃至 20 世纪的工业化的内涵与要求已有相当多的不同。其基本特征是: 注意运用信息技术提高工业化的水平; 重视信息技术对传统制造业的改造作用, 以信息化带动工业化; 发挥后发优势, 努力实现技术、产品的跨越式发展和不断改进。

所谓信息化, 指的是加快信息高技术的发展与产业化, 并利用它们提高信息技术在国民经济与社会各领域的应用水平和推动经济与社会发展的进程。企业信息化指的是, 利用现代信息技术有效地开发与利用信息资源的过程。

企业信息化的必要性在于: 只有多数骨干企业完成信息化, 国民经济整体才能实现信息化; 利用现代信息技术改造和提高传统制造业是加快传统产业结构调整、推动我国工业化进程的强有力手段, 也是实现新兴工业化的必由之路; 正确利用信息技术可以加快企业的商务运作与生产活动的节奏, 基于电子商务或电子贸易的企业/公司可以提升创造社会财富的速度; 信息化为传统企业的全面改造和产品的升级换代, 为制造的创新和振兴提供了新内容、新领域、新方法和新工具, 可以提高产品与服务的质量与可靠性, 降低生产与商务运作成本, 极大地压缩企业对市场需求及其变化的反应时间, 这样就有可能比没有或不能充分利用信息化的竞争对手更有市场吸引力, 占据更大的市场份额, 营造竞争优势。无论今天和昨天业绩多么优秀的企业, 如果不重视和积极进行适用的信息化, 就可能在明天或不久的将来被具有信息化优势和在信息化基础上进行产品与服务创新的对手追上, 甚至被他们击败。

所以, 有人把 20 世纪下半叶以来的信息化称为“第二次现代化”或“第三次产业革命”。

3. 传统制造业的投资效益下滑

造成传统制造业投资效益下滑的主要原因有三个: 一是现代制造业在战略性转变时期遇到了种种困难, 传统制造业的管理不但不能及时发现和解决这些问题反而强调“更多地做更少地想”, 使制造企业成为“苦、累、报酬低”的行业; 二是制造产品与服务所创造的利润中相当多的部分被商业贸易和流通、

证券、股市或期货等金融领域吸纳,留给制造企业的利润已经相当低;三是传统的制造技术不能适应新的市场竞争要求,譬如由于长期很少研究与改进传统制造技术,使产品与制造系统不能利用快速实现重构(重组)技术而无法适应产品个性化与市场寿命周期迅速缩短的需求。遗憾的是,至今主导制造系统的规划、设计、建造、运行的传统理论与方法在产品变换时要求高昂的投资、长的建造与试运行期,而缩短了寿命周期的产品与服务无法补偿企业的投资,企业得不偿失。这三类因素使传统制造企业投资效益迅速下滑。

4. 产品的寿命周期迅速缩短

现代制造企业运行在一个多变、产品寿命周期迅速缩短、竞争对手增多、竞争激烈的市场环境中,迫使企业更快、更多地推出新产品,改变单一或少数品种大批大量生产(Mass Production)的方式。主要制造产品市场寿命周期和新产品开发周期的变化状况如表 1-1 示。通俗地讲,像计算机产品受到 More 定理的制约那样,制造产品的市场寿命期和新产品的开发周期从 1991 年到 2001 年的十年中分别被压缩了 33%~83% 与 31%~48%。

表 1-1 主要制造产品的市场寿命周期/新产品开发周期(年)

年 代	电子 产品	发动 机/汽 车	机 床	机 械 制 造	其 他 制 造
1991	13/2.5	7.8/2.0	14.5/1.9	13/2.5	17.3/2.0
2001	8.7/1.3	2.5/1.3	5.5/1.3	8.8/1.6	2.0/1.3
压缩比率(%)	33/48	78/35	63/31	32/36	83/35

随着产品寿命周期的迅速压缩,迫使制造企业与产品销售商寻找和利用新理论、新技术与新工具,以迅速缩短产品的开发周期和商务运作周期。在这种趋势下,制造系统的快速重构(重组)成为不可避免的主流革新改进方向。因此,交货期、质量与可靠性、成本/售价、服务和可持续发展能力成为企业间竞争的要素。但是,这些要素中谁成为竞争的主要要素(瓶颈)或竞争的战略要素,与市场气候、产品与服务的竞争焦点和顾客的主要需求与期望相关,是与时俱进、变化的。例如,当一种为顾客满意的新产品被开发出来时,上市的速度就成为企业战胜对手、提高竞争优势的主要因素。这时打时间牌成为该企业的主要竞争战略。当同样或相近的产品生产厂家增多时,产品的质量(包括安全性、可靠性和性能质量或性能价格比)就可能成为企业竞争的主要因素。这时企业竞争的胜利主要依靠质量战略。但是,当能够生产该产品的厂家众多,且产品的质量或性能价格比相同或差别不大时,产品的市场售价将成为顾客主要追求的要素,企业就应该考虑采用低成本、低价格作为获取竞争胜利的战略。由于中国的政治稳定,基础建设与市场建设比较好,劳动力、资源、质量与巨

大的市场容量等优势,使许多国外公司纷纷看好我国市场,所以投资中国大陆成为不以人们的意志为转移的热潮。可以预言,在一个历史时期内,我国的企业将继续利用低成本战略参与全球竞争。

(三) 未来制造面临的挑战

在企业调研和对中国制造发展的接口间隙与交互协调分析的基础上,借鉴国内外的研究成果与预测信息,提出我国制造业到 2020 年面临的六个挑战是:

(1) 充分利用信息技术提升制造企业对市场需求及其变化的快速反应能力。为此,制造企业必须适时利用企业建模、电子商务,特别是并行工程等信息技术及其方法与工具。

(2) 快速准确地捕捉与搜集竞争信息,并迅速地把它们转换成竞争情报与知识。为此,应该积极学习与应用竞争情报、横向对比(Benchmarking)与关系学(Relationship)等先进而有效的方法与工具。

(3) 快速配置与系统地集成人、技术和资源,建立基于互联网的沟通与通信,为发展网络制造或群集制造建立良好的基础结构。

(4) 消除或控制污染,提高企业对环境的适应性。为此,应该执行:不可再生资源的利用最少化,能源的利用最少化,对空气与水的污染最小化,使工作与生活的环境绿色化四个基本的判据准则。

(5) 发展可重构(可重组)企业(Reconfigurable Enterprise)。所谓可重构企业,是指在良好的基础结构(Infrastructure)的支持下,按照企业任务与项目的合作要求可以快速“聚合”,一待合作任务完成,就可以快速“解散”的新一代可变、可自适应的组织和管理的企业。这里所讲的基础结构主要是指,市场运行所遵循的法律、法规、行政管理办法、有序而高效的金融与市场运作、资源配置与配送,以及企业文化、发展前景与通信网络等社会与企业条件。这类企业的雏形就是“动态联盟/合作”、“网络制造”或“虚拟公司”。

(6) 创新与改进了的流程/过程。它是基于基本粒子物理、生物技术、纳米技术和微小型化的材料与零部件生成与制造,以及已经创新和改进了的工艺技术、方法与流程的。同时,在生产与业务一线广泛地利用各种运作规划、建模、优化与仿真软件。

三、应对未来挑战的战略与关键技术

1. 应对挑战的制造战略

制造战略(Manufacturing Strategy)指的是,对一个企业/组织获取继续竞争优势的定位,它包括对所提供产品与服务的选择与决策。2002 年美国生产与库存学会 APICS 把它定义为,起表达和配置制造资源作用的决策模式的集合。制造战略所作出的选择将长期影响企业的业绩与市场竞争力。为了获取最多的效益,制造战略应该在支持总体商务战略决策与提升竞争优势方面发挥作用。

成功的制造战略使企业可以根据市场需求、市场环境与企业竞争优势提升的要求剪裁和重构企业的组织与管理、运作流程,产品、制造系统和商务活动,以及顾客服务,以达到提升企业竞争优势的目标。所以,可以把制造战略理解为制造组织实现其目标的行为与实施程序,它的重点放在企业系统的外部,侧重解决企业全局、全过程与全寿命的重大和长远问题。美国的李海大学工业工程系与通用汽车公司在1988年共同创造了替代在20世纪20~30年代形成的传统大量生产(规模经济)战略的敏捷制造(Agile Manufacturing)战略。这一新的制造战略从基本制造功能到营销、设计、生产、物流(Logistics,又译为“供应保障工程”)、与用户服务等制造活动都涉及到了。至今这一制造战略对世界各国的先进制造企业有着重大的影响,90年代美国制造业与经济的复苏与发展首先得益于这一战略的指导。企业的基本竞争战略有:低成本战略、差异战略和专业化战略三种。

但是,中国制造企业的战略不仅要学习与借鉴上述先进的制造战略,而且必须根据企业所处的市场环境与企业的实际,自主、自立地确定企业的市场定位、制造战略、可获取资源的优化配置、企业文化的建设和对市场变化的应对措施等。

2. 应对未来制造挑战的十个关键制造技术

为了应对未来制造的挑战,美国国家研究委员会NRC在1998年公布了应对未来制造挑战的十个应该优先攻关的制造技术,值得我们研究与借鉴:

(1) 可重构制造系统(RMS, Reconfigurable Manufacturing Systems)。长期的制造实践证明,现在与未来制造企业的三个核心要素是产品、制造系统和商务实践,而其中的制造系统经常成为新产品快速开发上市和满足顾客需求驱动、快速响应市场的商务活动的瓶颈(约束)。可重构制造系统RMS要能快速实现产品的产出能力,实现制造过程与功能的可重构、可缩放与可重复利用,就必须创新现有制造系统的规划、设计、建造与运行理论与方法,革新系统的组态(Configuration)方式,使系统组态的模块(组元、零部件或子系统)变成可变、可更新的可多次集成重构的。这一技术是对传统制造系统、产品或工程系统硬软件的规划、设计、建造与运行的重大革新,它已经开始并将深远地影响今天与明天的制造系统、产品、工程与科学试验装置或系统的发展。可重构制造系统技术的另一个重要特征是可自适应、可重构制造过程、可编程、有可近形成型工具支持。

(2) 无损耗的处理(Waste-free Processing)。未来的制造过程应该由各种没有或最小化损耗的技术与过程支持,使它们成为没有各种各样浪费的新一代处理过程。

(3) 新的物料过程(New Material Process)。未来设计与制造用的是革新了的