

国家自然科学基金支持项目


机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

敏捷化智能制造系统的 重构与控制

李培根 张洁 著

MINJIEHUA ZHINENG ZHIZAOXITONG DE CHONGGOU YU KONGZHI

LIPEIGEN ZHANGJIE ZHU

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国家自然科学基金支持项目
机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

敏捷化智能制造系统的重构与控制

李培根 张 洁 著



机械工业出版社

本书全面阐述了敏捷化智能制造系统 (AIMS) 的理论和方法。分两个部分:第一部分为敏捷化智能制造系统的重构,提出了敏捷化智能制造系统及其集成框架,动态重构方法;资源的纵向集成和横向集成实现方法;敏捷化智能制造单元的概念,由基于遗传算法的优化算法和金氏排序聚类算法组成的敏捷化智能制造单元的重构算法。第二部分为 AIMS 的建模与控制,介绍了制造系统建模的目的、任务、方法,以指导制造系统建模方法的开发和应用;讨论了自动制造系统统一建模的方法;提出了以及面向对象的赋时 Petri 网的敏捷制造单元建模技术以及研究了敏捷制造单元控制理论和方法;研究了 AIMS 在车间层的控制理论和方法,提出了基于多 Agent 的车间控制管理系统;研究了敏捷制造系统的调度技术。

本书供从事机械制造、工业工程、企业管理等专业的研究人员与工程技术人员阅读,尤其适合于上述专业的博士及硕士研究生作为选修课教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

敏捷化智能制造系统的重构与控制/李培根著. —北京:机械工业出版社, 2002. 12

ISBN 7-111-11168-0

I. 敏... II. 李... III. 智能控制—柔性制造系统 IV. TH165

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 090845 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划人:王世刚 张祖凤

责任编辑:冯 铨 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:鞠 杨 责任印制:路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·14.5 印张·357 千字

0 001—2 500 册

定价:25.00 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) 68993321、88379646

封面无防伪标均为盗版

作者序

读了好多年的书，过了知天命之年时，似有新的感悟。

老子是我华夏子孙皆以为自豪的老祖宗。其《道德经》仅五千字而已，然而历经几千年却仍被今人视为绝代奇文。短短五千言，却包含了大至宇宙之道、国家治理之策，小至个人修养处世之道，其至深哲理影响古今中外。他所描述的宇宙之道，寥寥数言。“有物混成，先天地生，寂兮寥兮，独立不改。周行而不殆，可以为天下母。”，“道之为物，惟恍惟惚，惚兮恍兮，其中有象；恍兮惚兮，其中有物；窈兮冥兮，其中有精。”如果再看看现代天体物理学关于宇宙生成的理论，似乎很符合老子的哲学思想。诚然，国人千万不可自我陶醉，以为老子在几千年前就知道了宇宙生成的奥妙。只能说，现代物理学的发现佐证了老子当初所悟之道。

可以得到两点启示。其一，哲学的作用是巨大的，它可以帮助人们有新的科技发现；其二，一条看似简单的哲理，需要人们花费巨大的努力去探求其中蕴涵的丰富内容。

工程中也有一些哲理，只是比起老子所言之道算是小道或小小道而已。在制造工程中，日本人提出过“准时生产”之道，到20世纪90年代美国人又提出“敏捷制造”之道。今天，制造工程领域的专家们大概都能理解敏捷制造的意义。的确，敏捷制造的哲理对企业的作用是巨大的。但如何实现敏捷制造，显然有太多的技术问题需要我们去研究。

我等从事制造领域的工作多年，既然在立制造之“道”上未能有丝毫建树，则只能从他人之“道”，做一点具体的研究工作，以丰富其中蕴涵的内容。拙作即是我们课题组多年来关于敏捷制造系统的研究心得与收获的总结，也有对他人相关研究工作的介绍。

本书所涉及的研究范围，只是敏捷制造研究领域的一隅。书中所呈现的方法或理论不一定成熟，甚至有谬误，期待读者指正。

但愿今后能有中国人提出的制造之“道”！

但愿中国制造领域的科技工作者的研究能极大地丰富敏捷制造之“道”。

李培根

2002年5月于武汉喻家山麓

前 言

未来的市场竞争环境将是持续多变且不可预测的。具有对环境变化的快速适应能力和创新能力,即具有敏捷性,是企业保持竞争优势的前提。1991年美国学者提出的敏捷制造(Agile Manufacturing),就是为使企业适应这种环境而创建的新的企业发展战略,它已成为21世纪制造企业的主导模式。随着市场全球化、全球网络化的进程,网络制造已成为敏捷制造的一种实现形式。敏捷制造的基本组织形态是虚拟企业,即由盟主企业联合其他资源互补的合作伙伴,为及时响应市场机遇而结成动态联盟,通过计算机网络进行生产经营业务活动各个环节的合作,以实现企业间的资源共享和优化组合,实现异地制造,在最短的时间内生产出满足用户需求的产品。本书提出的敏捷化智能制造系统具有敏捷制造与智能制造的特点,在其组织体制与运行机制上以“智能化”个体资源的动态重组及运行中的协同与合作为特征,实现动态联盟。其特点在于利用个体的局部优势,通过网络实现制造资源、信息、制造智能的集成与共享,达到制造系统的结构优化与运行优化,从而提高制造系统的柔性、敏捷性、智能性和市场应变能力。

华中科技大学李培根教授领导的课题组(张洁博士现离开课题组,在上海交通大学CIM研究所工作,和华中科技大学李培根教授领导的课题组仍保持密切的合作)长期以来在先进制造理论和技术方面进行了广泛而深入的研究。特别是近年来,课题组在敏捷制造方面得到了国家自然科学基金、863高科技计划等的支持,如李培根教授负责的国家自然科学基金重大项目的子项——“现代制造系统的理论、建模及运行试验研究”(项目编号:59990470);863高科技计划项目——“敏捷制造模式下的智能制造单元关键技术研究”(项目编号:863—511—880—010);张洁博士负责的国家自然科学基金面上项目——“基于进化计算方法的敏捷制造系统重构的研究”(项目编号:59885004);863高科技计划项目——“基于Multi-Agent车间管理控制系统的建模与实现”(项目编号:863—511—943—009);863高科技计划项目——“敏捷制造单元及其动态重构技术的研究”(项目编号:863—511—708—003)。在这些项目的支持下,对敏捷制造的理论 and 关键技术进行了研究,取得了一批重要成果,发表了大量高质量的论文。除此之外,我们还在多个企业进行了关键技术的应用推广工作,并取得了一定的研究成果。本书是我们研究成果的一个系统化的总结。

本书全面阐述了敏捷化智能制造系统(Agile & Intelligent Manufacturing System,简称AIMS)的理论和方法。分两个部分:第一部分阐述了敏捷化智能制造系统的重构,提出了敏捷化智能制造系统及其集成框架,讨论了AIMS的动态重构方法;提出了资源的纵向集成和资源横向集成实现方法;提出了敏捷化智能制造单元的概念,提出了由基于遗传算法的优化算法和金氏排序聚类算法组成的敏捷化智能制造单元的重构算法。第二部分阐述了敏捷化智能制造系统的建模与控制,介绍了制造系统建模的目的、任务、方法,以指导制造系统建模方法的开发和应用;讨论了自动制造系统统一建模的方法;提出了面向对象的赋时Petri网的敏捷制造单元建模技术以及研究了敏捷制造单元控制理论和方法;研究了敏捷化智能制造系统在车间层的控制理论和方法,提出了基于多Agent的车间控制管理系统;研究了敏捷制造

系统的调度技术。

本书由李培根和张洁合著。李培根教授领导的课题组其他人员以及博士生和硕士生，特别是石柯、郭怀瑞、饶运清、高亮、李淑霞、邱晓峰、刘世平、张超勇、朱传军、汪宇等，提供了相关的资料和给予了很大的帮助，作者对他们表示衷心的感谢。

本书反映作者在先进制造系统重构、建模、控制等方面的最新研究成果，探索适合我国多品种小批量生产企业实施敏捷化工程的基础理论和方法，为中国的先进制造技术的研究，以及帮助中国多品种小批量生产企业实现敏捷制造战略这一目标，作好理论和技术上的准备。

本书受到国家自然科学基金重大项目（59990470）、国家自然科学基金项目（59885004）以及机械工业出版社出版基金资助，在此一并表示衷心的感谢！

本书供从事机械制造、工业工程、企业管理等专业的研究人员与工程技术人员阅读，尤其适合于上述专业的博士及硕士研究生作为选修课教材。

张 洁

2002年6月于上海交通大学

目 录

作者序

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 引言 1

1.2 制造自动化系统的总体特征 2

1.3 现代制造系统模式 3

1.4 本书结构 11

参考文献 12

第 2 章 敏捷化智能制造系统及其 重构 15

2.1 敏捷化智能制造系统 15

2.2 敏捷化智能制造系统集成框架 17

2.3 敏捷制造系统重构 24

2.4 本章小结 31

参考文献 32

第 3 章 制造资源的集成 34

3.1 制造资源集成框架 34

3.2 资源模型 37

3.3 资源纵向集成 41

3.4 资源横向集成 43

3.5 制造资源的集成原型系统 46

3.6 本章小结 56

参考文献 57

第 4 章 制造资源的选择 58

4.1 综合评价指标体系 58

4.2 制造伙伴评价方法 59

4.3 制造伙伴的优化选择 79

4.4 本章小结 95

参考文献 96

第 5 章 敏捷化智能制造单元的重构 ... 97

5.1 制造单元概述 97

5.2 敏捷化智能制造单元的提出 98

5.3 敏捷化智能制造单元的设计
原则与实现阶段 100

5.4 初级敏捷化智能制造单元 102

5.5 单元重构的方法 104

5.6 基于遗传算法的资源选择

算法的设计 107

5.7 实例分析及对比 111

5.8 本章小结 116

参考文献 116

第 6 章 自动化制造系统建模与 设计 117

6.1 概论 117

6.2 面向对象的分析与集成建模 117

6.3 控制系统统一建模与集成设计 134

6.4 本章小结 151

参考文献 151

第 7 章 敏捷制造单元的建模 与控制 153

7.1 敏捷制造单元对建模方法
的要求 153

7.2 面向对象的赋时 Petri 网 (OOTPN)
的敏捷制造单元建模 153

7.3 性能分析 159

7.4 物流控制 161

7.5 OOTPN 方法的计算机辅助建模
工具 163

7.6 OOTPN 建模方法的优点 165

7.7 制造单元控制结构 167

7.8 敏捷制造单元对控制系统的
需求 169

7.9 基于多 Agent 的敏捷制造单元
控制系统 171

7.10 本章小结 175

参考文献 175

第 8 章 敏捷化智能制造系统的 控制——车间控制模型 176

8.1 车间生产控制 176

8.2 基于多 Agent 的车间控制器
结构 178

8.3 分布式车间计划与调度 195

8.4 车间管理控制系统软件体系

结构	205	9.1 概述	208
8.5 本章小结	206	9.2 基于网络的敏捷制造系统调度	212
参考文献	206	9.3 本章小结	221
第 9 章 敏捷制造系统调度技术	208	参考文献	222

第 1 章 绪 论

1.1 引言

经济竞争将成为世界各国竞争的焦点和社会发展的主要动力。对于制造业来说,本世纪初竞争的核心将是知识为基础的新产品的竞争。近几十年来,制造业竞争的焦点已从早期的降低劳动力成本和产品成本的竞争,及 20 世纪 70 年代提高企业整体效率和质量的竞争,和 80 年代全面满足顾客在交货期、质量、价格和服务等方面要求为核心的竞争,发展到 90 年代乃至 21 世纪初新产品的竞争。高知识含量的产品需要高知识含量的产品开发技术。缩短产品开发周期是新产品开发的一个最基本的要求,而缩短产品的制造周期则是缩短产品开发周期中的重要部分。制造系统如何敏捷、柔性地响应新产品的开发乃至市场的需求,将成为本世纪初制造领域受关注的焦点之一,而敏捷制造与智能制造将是解决此问题的有效手段。

制造业面临的新形势是:知识—技术—产品的更新周期越来越短;产品的批量越来越小;顾客对新产品性能和质量的要求越来越高;有能力参与竞争的企业越来越多等。21 世纪的制造业,正在从以机器为特征的传统技术时代,向着以信息为特征的系统技术时代迈进。因此,以智能制造为代表的先进制造技术,将是制造业快速响应市场需求,不断推出新产品,赢得竞争,求得生存和发展的主要手段。智能制造技术是制造技术、自动化技术、系统工程与人工智能等学科相互渗透、互相交织而形成的一门综合技术。智能制造系统(Intelligent Manufacturing System,简称 IMS)的目标,就是要实现一种能融合过去总是被孤立对待的特性(市场适应性、经济性、人的重要性、适应自然和社会环境的能力、开放性和兼容能力)的生产系统。由于制造环境的复杂性,制造系统往往需要多个制造专家的协同与合作。因此,智能制造系统本质上是一个分布与并行式的制造问题协同求解系统,其本质特征表现为个体的“自主性”与整体的“自组织能力”。由于机器智能不可能完全取代制造环境中人的智能,因此,智能制造系统中制造智能的集成还表现为机器智能与人的智能的有机融合,达到人机智能柔性合作与交互,充分发挥人的智能与机器智能各自的优势。结构优化与运行优化是现代制造系统或制造企业自动化程度的重要内容。

未来的市场竞争环境将是持续多变且不可预测的。具有对环境变化的快速适应能力和创新能力,即具有敏捷性,是企业保持竞争优势的前提。1991 年美国学者提出的敏捷制造(Agile Manufacturing),就是为使企业适应这种环境而创建的新的企业发展战略,它已成为 21 世纪制造企业的主导模式。随着市场全球化、全球网络化的进程,网络制造已成为敏捷制造的一种实现形式。敏捷制造的基本组织形态是虚拟企业,即由盟主企业联合其他资源互补的合作伙伴,为及时响应市场机遇而结成动态联盟,通过计算机网络进行生产经营业务活动各个环节的合作,以实现企业间的资源共享和优化组合,实现异地制造,在最短的时间内生产出满足用户需求的产品。

本书提出的敏捷化智能制造系统具有敏捷制造与智能制造的特点,在其组织体制与运行

机制上以“智能化”个体资源的动态重组及运行中的协同与合作为特征，实现动态联盟。其特点在于利用个体的局部优势，通过网络实现制造资源、信息、制造智能的集成与共享，达到制造系统的结构优化与运行优化，从而提高制造系统的柔性、敏捷性、智能性和市场应变能力。

1.2 制造自动化系统的总体特征^[1~10]

制造自动化是制造技术先进性的主要标志，将是 21 世纪先进制造技术中最活跃的环节。制造自动化的发展将以其柔性化、集成化、智能化、全球化的特征来满足市场快速变化的要求，从而体现出未来制造业的敏捷、快速特点，同时要求产品高品质、低价格。可以预测，未来的发展趋势将是对整个制造企业进行高度面向“人”资源的计算机集成化、自动化和操作优化的实施，是高度集成化与高度智能化的融合。

未来制造企业的自动化系统将向柔性化、智能化、集成化和全球化方面发展，其主要特征是：

(1) 基于全球互联网的制造系统——全球制造自动化系统 信息时代的制造自动化将向全球制造方向发展。全球制造的思想是利用异地的资源（设备、知识、人力）来制造市场所需产品。这种资源和信息的共享将通过全球互联网络进行。全球化制造的概念出于美、日、欧等工业发达国家的智能制造系统计划。虽然全球化制造会受到各国社会制度不同、语言文化差异等的限制，但随着市场的国际化，全球通信网络的建立，国际竞争与协作氛围的形成，21 世纪制造全球化是发展的必然趋势。

(2) 分布式、协同处理的智能自动化系统 采用分布式计算机控制策略，将自动化程度不同、通信协议各异的异构设备集成起来达到信息共享与知识的协同处理。

(3) 以人为中心的制造自动化系统 在 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 研究的初期，人们曾认为全盘自动化和无人化工厂是其主要特征。随着 CIMS 实践的深入和一些无人化工厂实施的失败，人们对无人制造自动化问题进行了反思，并对人在制造自动化系统中有着机器不可代替的重要作用进行了重新认识：在发展制造自动化的同时，还要注重发挥人的积极主导作用。于是提出了“人机一体化制造系统”“以人为中心的制造系统”等。美国著名专家 M. E. Merchant 指出^[3]：21 世纪机械制造业的发展是由社会—技术趋势和制造业本身的发展趋势所决定的，其中最根本的是在整个制造业中面向“人”的高度计算机集成化、自动化和操作优化的实施。目前，围绕人机集成问题，国内外正在进行大量研究^[8~10]。

(4) 制造技术与生产管理统一的现代制造系统 一项现代技术的创新和应用日益依赖于管理科学和社会科学。技术和管理的两个轮子，由生产模式结合在一起，推动制造系统向前运动。在 FMS (Flexible Manufacturing System 柔性制造系统)、CIMS、IMS 中，管理是其中的重要组成部分。敏捷制造、全能制造 (Holonc Manufacturing) 和精良生产 (Lean Production, LP) 等模式中，管理策略和方法是这些新生产模式的灵魂。管理是我国企业的薄弱环节。如何将管理科学和制造技术有机地融合在一起，是探索中国 21 世纪制造模式的一个重要课题。

因此，未来制造企业的自动化系统是技术、管理和人员三种资源集成为一个协调的、相互关联的、分布式的、网络化的制造自动化系统。

1.3 现代制造系统模式

1.3.1 制造模式的变迁^[11~13]

制造是人类最古老的生产活动之一。在石器时代,人类以石料为工具,利用自然资源维持生存。到青铜器、铁器时代,人们开始使用金属工具。在农业为主的自然经济中,人们以手工作坊模式进行生产。18世纪中叶的工业革命,促进了现代工业化生产的出现。19世纪电气技术的发展和20世纪初内燃机的发明,引发了制造业的革命,流水生产线和泰勒工作制的生产模式得到广泛的应用。两次世界大战特别是二战期间,大批大量制造技术和生产管理有了很大的发展^[14]。二战以后的50年来,计算机、微电子、信息和自动化技术有了迅速发展,并在制造业中得到愈来愈广泛的应用,出现了计算机集成制造系统(CIMS)、并行工程(CE)、精良生产(LP)以及敏捷制造(AM)等多项制造模式。

制造模式是指制造系统的体制、经营、管理、生产组织和技术系统的形态以及运作的方式。如今企业都在致力于采用先进的制造模式,以加强企业的竞争力。

回顾制造系统的发展历史,模式总是处于不断的变迁和发展之中。如本世纪初,以美国为首开创了大规模生产方式,取得了很大的经济效益;而随着用户需求的多样性,大规模生产方式已不能适应这一需要,从而出现了一系列新的生产模式,如精良生产、敏捷制造等。综合考虑各方面的因素,制造模式的变迁离不开先进制造技术的应用、社会生产力的发展、市场需求的变化、社会需求的变化四大因素,这四个因素构成了促使制造模式变迁和发展的动力。

(1) 先进制造技术的应用 制造技术常常是为了解决制造系统中出现的技术需求而产生的。而先进制造技术的应用则必须在与之相适应的制造模式下才能收到实效,因此导致了制造模式的变迁和发展。如制造自动化单元技术的产生并发展到一定阶段后,导致CIM哲理和系统的出现,即单元自动化技术必须在信息集成的环境中才能发挥更大的效益。先进制造技术导致的制造模式变迁和发展主要体现在制造系统结构的调整、新的管理方式等。

(2) 社会生产力水平的发展 制造系统采取和发展何种制造模式,很大程度上取决于社会生产力水平的发展,包括社会的经济水平、科学文化水平、技术应用的整体水平等。某种生产模式的出现实际上是生产力发展的产物。例如网络化信息时代的到来产生了敏捷制造模式,传感器技术和人体工程学的发展使虚拟制造模式成为可能。发达国家、发展中国家、不发达国家所采取的制造模式不能完全相同,必须根据生产力的实际水平采取合理的制造模式,不能看到某种制造模式在当地产生了很高的效益就盲目照搬。

(3) 市场需求的变化 市场需求是制造模式变迁和发展的一个主要原因。市场需求包括顾客对产品的种类需求、质量需求、价格需求、时间需求和服务需求等。不同时期市场需求是不同的,由此产生了不同的制造模式。如20世纪中期的大批量生产模式主要是满足顾客对产品的质量和价格需求;当市场需求从大批量向多品种、小批量转变时,出现了CIM、AM模式,可以满足顾客对产品多样性的需求。

(4) 社会需求的变化 除市场需求外,制造模式的变迁和发展也要受到社会需求变化的影响。社会需求包括对人类生存环境的需求、国家的发展计划、就业政策、人们的意识观念和素质、世界范围的发展潮流等因素。如绿色制造模式就是为了满足社会对人类生存环境保

护的需求而产生的；又如像我国这样一个劳动力密集的国家采用完全自动化的制造模式显然是不完全符合社会需求的。

1.3.2 现代制造系统模式的特点

根据制造系统模式变迁和发展规律，并总结已提出众多的现代制造系统模式，可以发现，虽然各种制造模式的目标与具体技术不尽相同，但存在许多共同之处^[15-16-17]：

1) 从以技术为中心向以人为中心转变，使技术的发展更加符合人类社会发展的需要。现代制造业要求全体职员具有更高的技术、管理和协作素质；员工之间要有高度的信任和协作精神，充分发挥企业的群体优势。

2) 从金字塔的多层次管理结构向扁平的网络结构转变，减少层次和中间环节。随着现代制造系统的庞大和复杂，金字塔式组织显得臃肿、灵活性差、信息交换慢和协调控制难。因此，扁平式组织和相应的协同控制模式便被提了出来并开始得到应用。扁平式组织将系统分为若干平行的子系统。与集中控制模式下的子系统相比较，扁平组织的子系统不同之处，是它具有决策能力，独立工作能力强，有较大的自治性^[18]。这种组织和控制模式，既克服了组织的臃肿，又加强了灵活性和快速反应能力。

3) 分布、并行、集成并存。分布性更强、分布范围更广，是全球范围的分布；并行化程度更高，许多作业可以跨地区、跨部门分布式并行实施；集成化程度更高，不仅包括信息、技术的集成，而且包括管理、人的因素（人因）和环境的集成。21世纪制造业的四个关键因素是技术、管理、人因和环境。

4) 柔性更加提高，以响应“瞬息万变、无法预测”的市场。企业不仅要具备技术上的柔性，还要具备管理上的柔性，以及人员和组织上的柔性。现代制造业将通过快速改造或重组来捕捉不可预见的机会。企业的组织形式将是跨地区、跨国家的虚拟公司或动态联盟。Internet国际网为虚拟公司或动态联盟的实现提供了一定的基础。

5) 全生命周期内的质量保证。产品质量的完整概念是顾客的满意度，可靠性仅是质量的一个指标，但它不再能赋予产品以足够的竞争优势。在用户看来，产品可靠、具有一定的使用寿命是理所当然的。对产品质量更全面的理解是：用户占有、使用产品的一种综合主观反映，包括可用、实用、耐用、好用。现代制造业提供给用户的，应该是整个产品生命周期内的产品、服务和信息的动态组合，以逐步代替单纯的产品买卖和有限担保关系。

6) 产品开发周期显著缩短，上市时间更快，这是现代市场环境和用户消费观所要求的，也是赢得竞争的关键所在。这一点从美国制造业策略的变化可以看出。美国制造业的策略从20世纪50年代的“规模效益第一”，经过70年代和80年代的“价格竞争第一”和“质量竞争第一”，发展到90年代的“市场速度第一”，时间因素被提到了首要位置。

7) 模块式的企业，模块式的产品。在制造系统的现代模式中，基于模块拼合原理的产品模块化被进一步推广到过去非模块化产品中，例如模块化汽车等等。模块化原理还被扩展应用到现代制造系统的组织结构，例如在企业内部的模块化生产单元^[18]。

8) 提倡和实施清洁制造和绿色制造，推行ISO14000系列标准，保护环境。因为环境问题是人类社会所面临的共同问题，是关系到人类生存的大问题，也是社会能否持续发展的重要问题，因此引起了人们的广泛关注。

1.3.3 精良生产^[19,20]

精良生产是日本丰田汽车公司创造的一种生产方式。精良生产方式之所以在世界范围引起了强烈反响,其革命性就在于它将近20年出现的先进技术和思想集成化、系统化和理论化。其模式主要由以下几个方面构成:①全面质量管理;②准时化和自动化;③并行工程;④组成单元;⑤人的因素。

精良生产方式是以整体优化的观点,以社会需求为依据,以发挥人的因素为根本,有效配置和合理使用企业资源,最大限度地为企 业谋求利益。精良生产实质是在产品开发、生产过程中,通过项目组和生产小组,把各方面的人集成在一起,把生产、检验与修理等场地集成在一起,通过相应措施,做到与零部件协作厂、销售商和用户的集成,从而简化产品的开发、生产、销售过程,简化组织机构,实现最大限度的精简,获取最大效益,达到最大限度满足用户需求,提高企业竞争力。

精良生产方式的核心思想在于“消除浪费、强调精简组织机构”和“不断改善”。前者指的是组织管理到生产过程侧重分析“产品流”“物流流”和“信息流”,及时暴露问题,删繁就简,杜绝浪费,从而使“价值流”连续流动起来。后者则强调充分发挥人的潜能,力争精益求精,追求尽善尽美。

1.3.4 全能制造^[21]

全能制造系统(HMS: Holonic Manufacturing System)是目前最大的国际合作计划——智能制造系统(IMS)的六大课题之一。IMS由日本发起,包括美国、欧洲、加拿大等国参加,于1990年开始执行。全能制造系统的核心是构思一种动态的、分散的制造过程,与人有效地集成,从而实现可持续发展。它的结构是由一系列标准和半标准的、独立自主的、相互协作和智能化的模块组成的。

HMS是分散自治全能体的加工系统,由标准的、自治的、智能的并且相互协作的模块——(Holon)组成。HMS的主要特点是:①每个Holon都具有高度的自主能力;②各个Holon间有蜘蛛网般的通信网络;③每个Holon都具有高度的柔性;④整个系统是协调一致的、高效的、高度柔性的。

全能制造系统是按照全能管理原则和一定的运行规则将若干全能体(如加工全能体、装配全能体、运输全能体和系统集成全能体等)结合在一起,成为一个制造系统,敏捷响应市场需求。就一个全能体来说,独立程度是有限的,只能在一定的范围内按照自己的计划和策略行事。同时,在全能体之间也具有暂时的递阶层次关系。但是,这种递阶层次组织并不是固定的,全能制造系统能够自行动态地改变组织结构,以适应外部环境的变化。

1.3.5 全球制造

世界经济的全球化,使得传统的小而全、大而全的企业越来越没有竞争力。各种开放式的合作开发、生产销售系统日益增加。从产品的创意设计、零部件生产与销售,直至售后服务等各个环节,都可以分别由处在不同地域的企业,通过某种契约进行互利合作,这就是全球制造,正是信息技术的发展,推动了跨国公司向全球制造发展。正是全球制造的出现,使制造的效率、效益、市场的快速响应、资源的有效利用都有了极大的提高,从而大大提高了

企业的市场竞争力。

随着远距离交通和通信基础的迅速改善,世界变得越来越小。市场的国际化和世界贸易的急剧发展,进一步推动了制造活动的全球化,跨国公司不断涌现。全球制造的特点是:跨国公司与合作者的制造工厂和销售服务遍布全世界,就在顾客身边。适应全球化潮流的产品,通过各种网络组织协调与运作,把分布在世界各地的工厂和销售网点连接成一个整体,并能在任何时刻与世界上任何一个角落的顾客或供应商打交道,这就构成全球制造。

全球制造的目标之一,是与合作伙伴甚至竞争对手建立全球范围的生产和经营联盟网络,以提高产品的质量和市场响应,确保竞争优势。它的基本准则是:建立有效区域型的市场,更快、更好地满足顾客的需要,赢得新顾客,开拓新市场。

今天,无论是产品设计、制造、装配,还是物料供应,都可以在全球范围内进行。例如,波音公司的客机,是在美国进行概念设计,在日本进行部件设计,而零件设计则在新加坡完成。在相互联络的网络上,建立可24小时工作的协调设计队伍,大大加快了设计进度。又如,全球化的供应链,可以使产品总装工厂及时获得所需要的零部件,减少库存,降低成本,提高质量。

全球化制造企业取得成功的条件有^[22]:

(1) 正确的全球化制造策略 全球化制造策略是全球化制造企业取得成功的最重要因素。生产紧靠市场,在另外一个国家进行低成本的生产,是建立全球化制造的驱动因素。但是,在另一个国家成功建立生产能力的同时,也具有高风险性。有许多例子可以说明一个公司因全球制造的决策错误而从顶峰坠落。但是,只要企业能用正确的决策规划方法抓住机遇作出正确的决策,成功的例子也是很多的。企业的经营管理能力和企业的潜在能力是企业实现全球制造的基础。

(2) 不断创新的能力 全球经济发展已进入了知识经济时代,市场竞争充分表现出是高新技术的竞争、知识的竞争,科技创新转化为生产力的竞争。全球制造业必须以产品的不断创新作为争夺市场的经营策略。

(3) 建立全球制造网络 建立全球制造网络就是要在紧靠市场的地区寻找合作伙伴,建立合作机制,并通过它了解当地需求,提供人员和物资。但是,在选择合作伙伴时是成功和风险并存的,应分别情况采用不同的合作方式。

(4) 用户和市场的系统管理 全球制造企业必须牢牢掌握市场和用户的需求变化,丧失用户和市场就丧失了一切。因此,必须在企业与用户之间建立某种系统并有效地管理,甚至将用户作为成员直接参与企业协同工作组的产品开发工作。

(5) 国际化的雇员 雇用员工的国际化,也是全球制造企业取得成功的重要因素。因为只有当地的人最了解本国市场情况和需求,他们没有语言障碍,能最方便地与本地用户进行交流和建立关系,有效地采购当地的物资和销售产品,而且还能节省从本国向外派驻人员的费用。

1.3.6 敏捷制造

1. 敏捷制造的含义^[23,24]

随着工业化的发展,尤其是计算机技术的发展,制造业发生了巨大变化。20世纪80年代中,美国产品在世界市场所占份额的急骤下降使美国人清楚地认识到:制造业是一个国家国

民经济的支柱，不能保持世界水平的制造能力，必将危及国家在国内外市场的竞争力。为了保持美国的领导地位，美国应重振其制造业的竞争力。1988年由美国通用汽车公司(GM)与美国里海(Lehigh)大学工业工程系共同提出了敏捷制造(Agile Manufacturing) AM^[5]的概念。1991年美国政府批准了由国防部、工业界和学术界联合撰写的《21世纪制造企业发展战略报告》，在报告中进一步明确了敏捷制造的概念。

敏捷制造 AM 的基本思想就是通过把灵活的动态联盟、先进的柔性制造技术和高素质的人员进行全面集成，从而使企业能够从容应付快速的和不可预测的市场需求，获得企业的长期经济效益。敏捷制造 AM 的基本含义如下：以柔性生产技术和动态组织结构为特点，以高素质协同良好的工作人员为核心，实行企业间网络集成，形成快速响应市场的社会化制造体系^[25]。

敏捷制造的主要实施策略有以下几种^[26]：

(1) 企业组织 敏捷企业组织是能针对不断变化的市场机遇的、迅速实现企业内部或若干企业联合的各种资源有效集成和开发的、具有某种动态经济组织特征的企业组织。

1) 企业内部——企业重构。当今企业特别是大规模生产的企业，都具有复杂的递阶层次结构。企业重构的主要任务是把复杂递阶层次结构转化成扁平结构。借助于企业过程重组(Business Process Reengineering)理论的思想，精简企业的各种工作流程，对企业的管理和组织进行彻底的改革，增强产品的开发创新能力，消除管理和生产过程的冗余，提高企业响应市场需求的敏捷性。

2) 企业外部的组织结构——动态联盟。由盟主企业联合其他资源互补的合作伙伴，为及时响应市场机遇而结成动态联盟。通过动态联盟，几家企业利用各自的特长，共同利用市场机遇，合理利用资源，缩短产品的开发周期，提高产品的制造质量以及产品的售后服务，快速响应产品客户化的需要，达到共同盈利的目的。

(2) 企业管理 敏捷企业必须通过协调顾客、供应商、制造商之间的关系，才能改善企业的敏捷性。

1) 企业外部的管理——供应链管理。在如今全球经济一体化环境中，企业所需要的资源要快速地从全球获得，加强供应链的管理，通过合作合理管理供应链企业中物流、信息流、资金流，来增强生存和竞争能力是敏捷性的外部保证。

2) 企业内部的管理——分布式计划和调度系统。敏捷制造环境下的企业经营过程的动态和异构性、计划和调度系统，应该是分布的、多个决策体通过协调共同参与完成计划和调度过程。并且分布式计划和调度系统应该是开放的、柔性的，这样才能实现经营过程中所要求的在组织上和系统上的“即插即拔”。企业资源计划为分布式计划和调度系统提供数据和信息技术的支持。

(3) 企业的产品开发 并行工程可以缩短产品的开发周期，是提高企业敏捷性和产品竞争能力的一个重要手段。它强调产品全生命周期——市场需求、产品定义、研究开发、设计、制造、支持(包括质量、销售、采购、分发、服务)以及产品报废等各个相关阶段工程的集成、并发与优化。尤其是在产品的设计阶段，要进行可制造性、可装配性、可维护性、可靠性、可支持性、成本合理性等的设计，使产品生命周期各个阶段工作时间能够及时交流和协调，尽量避免跨阶段的“大返工”。

(4) 财务决策系统 财务决策系统是评价企业敏捷性的一个重要方面。财务管理敏捷与

否直接影响企业对市场机遇的把握能力。运用敏捷的财务管理决策系统,可根据市场的预测和企业能力,建立敏捷的报价系统(技术报价、财务报价、商务报价等),决定供应商的选择和订单的接受;可根据原材料的采购、产品的生产、产品的分销、库存的管理以及售后的服务,建立敏捷的财务核算利益分配系统,使责任和利益分配明确化,提高企业的经济效益。

(5) 给员工授权 在竞争、快速变化环境中,人员对环境响应快慢、是否能发挥创新能力是企业敏捷性高低的一个重要标志,给员工授权有两方面的含义:①使员工具有对其工作范围甚至整个企业进行决策的能力;②在实现企业目标的途径不明确的环境下,员工根据企业的目标确定其职责。给员工授权的前提是对员工进行再教育和培训,目的是发挥员工的创新能力。只有不断地提高人员的素质,发挥人的创新能力,才能不断地增强人员对变化环境的响应速度。

2. 敏捷制造的开发应用状况^[27]

美国等国政府对敏捷制造的开发与应用给予了高度重视,资助许多研究单位开发实现敏捷制造的基础结构和支持工具,并鼓励在不同行业进行示范应用,以期在边研究边应用的过程中积累经验,完善敏捷制造工具产品,为更多的行业、企业应用打下基础。其开发应用主要表现在^[27]:

(1) 研究敏捷制造的参考基础和支持工具 敏捷制造是企业内部以及企业间的集成。敏捷制造没有已确定的标准,也没有规定的经营模式。为了帮助企业认识和实现敏捷制造哲理,美国敏捷制造企业论坛从1994年11月起展开了“最佳敏捷实践参考基础”研究。该项目旨在建立一个包括各种重要经营领域的参考模型数据库,指导用户讨论敏捷制造参考基础的概念、结构以及标准框架。项目组对实现经营敏捷性有重要影响的6个领域:人的问题、法律问题、虚拟企业、过程与设备、信息与产品及产品的实现进行了考察分析,初步确定了这些方面的最佳敏捷参考基础^[28]。其参考基础可归纳为以下五个方面:①敏捷的经营实践——集成的产品和过程开发;②敏捷的虚拟企业;③敏捷的过程和设备;④敏捷的信息和控制系统;⑤敏捷的劳动力。

支持实施敏捷制造的使能技术和工具开发正在进行。如针对传统的结构化设计方法 IDEF0 等不能支持敏捷企业或虚拟公司的需求,美国德克萨斯大学自动化和机器人研究所正在研究面向对象的过程建模;美国前景研究规划局和美国国家自然科学基金委员会支持的敏捷制造项目安排了使能技术的开发和演示,如敏捷制造的决策支持系统、集成的过程规划/生产调度、下一代机械设计使能技术等13个项目。此外,该项目还安排了四个敏捷制造网络项目以便支持网络数据传送、存取等技术研究^[29]。

(2) 典型行业应用示范 为了展示敏捷制造这一跨世纪生产方式的可行性,通过应用积累经验,有效地引导企业向敏捷制造过渡,在美国远景研究规划局、国家自然科学基金和美国能源部等机构支持下,展开了汽车、飞机、服装/纺织和电子行业的应用示范。由麻省理工学院、里海大学和沃特飞机公司、福特汽车公司、波音商业飞机公司、通用汽车公司组成的项目组已调查了这几家企业的状况,并针对飞机、汽车这两个行业特点开发基准(Benchmark)和工具,并在1996年进行项目演示。服装纺织示范项目组由佐治亚技术研究所、Clemson 大学、美国国防后勤局和美国服装公司组成,示范地点为美国服装公司,他们希望通过敏捷制造的先进信息管理技术和工具、集成的产品/过程设计和电子数据交换技术,增强产品柔性、提高质量、缩短交货期^[30]。敏捷制造示范项目大多数在进行中,已取得显著成效的

当数生产遥测装置的敏捷制造示范项目(TAME)。该项目由加利福尼亚的圣地亚国家实验室(SNL/CA)和联合信号公司堪萨斯城分部(KCD)联合实施。

(3)引起世界各地的高度重视 计算机辅助后勤采购支持计划(CALS)是20世纪80年代后期美国国防部武器系统后勤支持研究计划,其最初的目标是将人工的、基于纸张的国防采办系统变成高度自动化的获得和支持系统。现在CALC概念已扩展并跨出美国国防系统而进入世界范围的研究与应用。由于它旨在采用信息技术实现在世界范围内的企业集成而被誉为21世纪制造界虚拟企业的领先原型。美国、欧洲和亚太地区都成立了地区性CALC协会,并在此基础上建立国际CALC协会;许多国外公司也利用CALC提出的技术、标准来加强国际合作,把建立更为完善的动态联盟环境作为公司的主要工作目标^[31,32]。一些大公司应用敏捷制造哲理已取得显著成绩。如美国的计算机厂商康柏公司1996年启动虚拟生产计划,与我国台湾制造商形成合作关系,由台湾制造商在其深圳分厂附近建设新厂,其产品质量、技术、研究开发、运送、存货都要符合康柏公司全球统一的标准,连员工的技术和工作态度也要达到其要求。在这种经营方式下,1996年康柏公司几次带头降价,给竞争对手增加了很大压力。这种虚拟生产、全球运筹的策略使这些财力巨大、品牌知名度高、市场基础成熟、分销渠道完善的大公司更成功地经营,而没有品牌行销能力但能有效生产的计算机制造商得到巨额订单,取得稳定可观的利润。这正是敏捷制造所提倡的优势集成组织原则的应用。美国苹果、IBM、神达已开始运用这种生产组织方式^[17]。

1993年,中国科学技术委员会通过内部资料的方式发表了里海大学的Iacocca研究所给美国国会的报告“21st Century Manufacturing Enterprise Strategy: An Industry-Led View”^[5],将敏捷制造的概念引入了我国。之后,我国的一些专家和学者们对这个问题开展了长期的跟踪研究,同时国内许多专家、学者也结合中国先进制造技术的研究和规划,对敏捷制造、动态联盟和拟实制造的许多概念、方法进行了大量卓有成效的研究^[33~42]。1996年,中国国家自然科学基金委、863/CIMS主题专家组在中国机械工程杂志上联合开辟了一个先进制造和敏捷制造技术论坛,邀请一些国内外从事相关研究的知名学者发表系列文章和专题讨论。可以说,敏捷制造的概念已被国内广大学术界和工程技术人员所广泛接受。

3. 敏捷制造对我国制造业的影响^[27]

国有企业是中国经济的支柱。但近年来,国有企业经营困难、举步维艰,其症结之一就在于市场响应能力差,缺乏敏捷应变能力,甚至连响应市场变化的敏捷意识也很淡薄。如很多困难企业产品已没有市场,而在没有定单的情况下仍继续盲目生产,造成生产越多、积压越多、亏损越大的恶果。针对国有企业经营困难的主要原因——结构不合理,企业大而全、小而全、包袱重、效率低,国家号召实施大公司、大集团战略,加快兼并破产,鼓励“强强联合”和优势企业兼并劣势企业,通过重组优化资源配置。这已反映出敏捷制造的策略思想。中国企业在提高敏捷性的过程中还包括着国外企业所没有的体制转制与改革的重要任务,这为企业重构赋予了更丰富的内容,也需要我们吸收国际敏捷制造的思想与方法,切实结合中国企业的实际,开创一条提高中国企业敏捷能力的振兴之路。敏捷制造对我国制造业的影响,主要表现在^[27]:

(1)提高企业适应市场的能力 我国制造企业普遍存在适应市场能力差的问题,而敏捷制造的目标就是要使企业在无法预测的市场竞争中保持并不断提高其竞争能力。借鉴动态联盟的思想,企业之间可根据市场和产品制造需要进行动态、临时合作,整个制造业采用分散