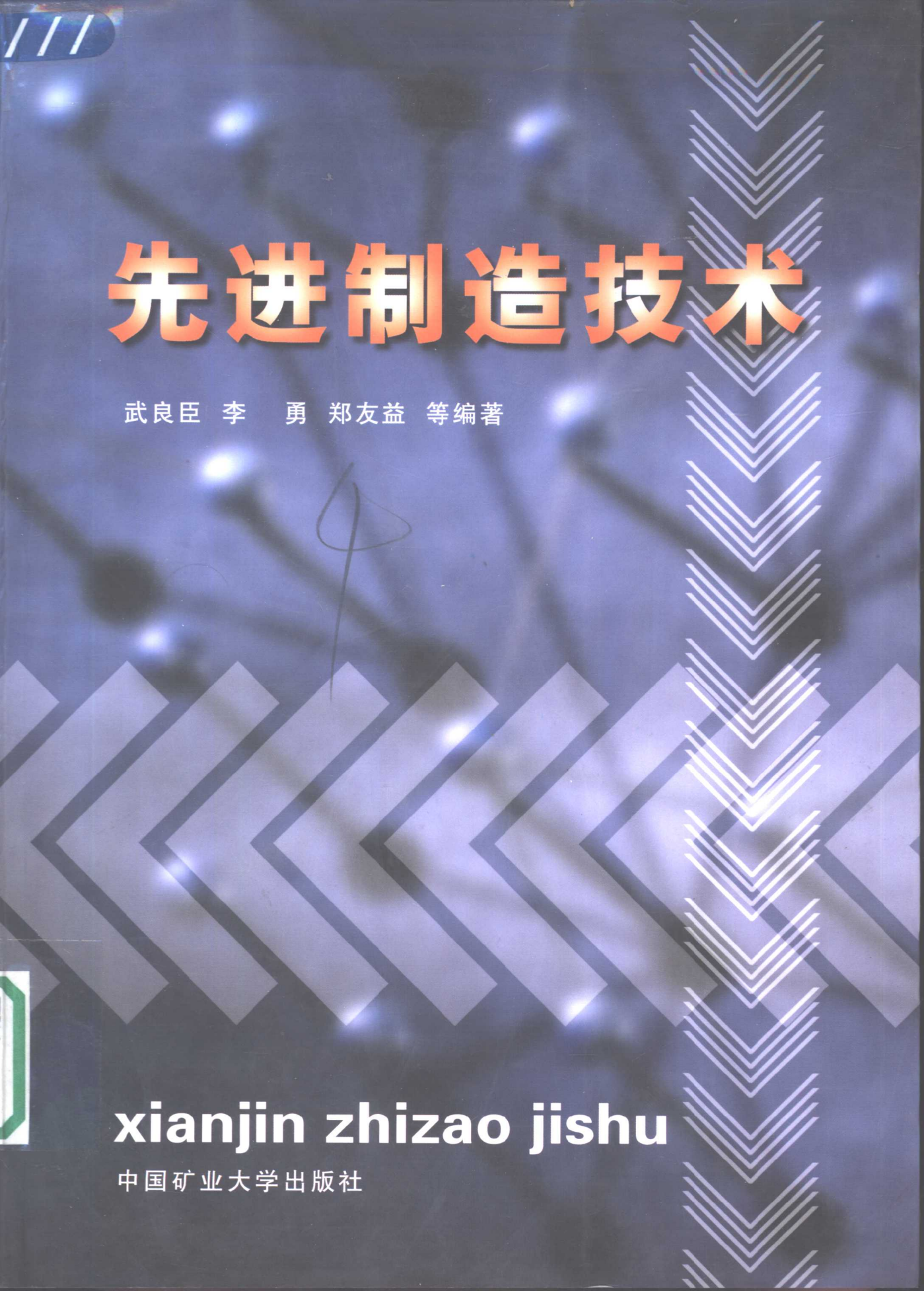




先进制造技术

武良臣 李 勇 郑友益 等编著

xianjin zhizao jishu

中国矿业大学出版社

高等学校规划教材

先进制造技术

编著者	武良臣	李 勇
	郑友益	苏建修
	赵俊伟	刘莉莉
	安景旺	吕宝占
	尚会超	郭培红

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

先进制造技术是一门综合性、交叉性前沿学科和技术,学科跨度大,内容广泛,涉及制造业生产与技术、经营管理、设计、制造、市场各个方面。先进制造技术就是在传统制造技术的基础上,利用计算机技术、网络技术、控制技术、传感技术与机、光、电一体化技术等方面的最新进展,不断发展完善。

本书系统介绍了先进制造技术的理论体系和基本内容,全书共分九章,主要内容包括:先进制造技术的概述、现代生产制造系统、现代制造系统工程设计技术、现代生产管理技术、柔性制造技术、工业机器人、现代制造系统的物流技术、现代制造技术的支撑环境、工程技术中的虚拟现实技术等。

本书可作为机械工程、工业工程、管理工程各类专业的本科生和研究生教材,也可作为科技人员更新知识、改变观念学习的参考书。

责任编辑 何 戈

责任校对 周俊平

图书在版编目(CIP)数据

先进制造技术/武良臣等编著:—徐州:中国矿业大学出版社,2001.7

ISBN 7 - 81070 - 339 - 0

I. 先… I. 武… Ⅲ. 机械制造工艺—基本知识
N. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 19934 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

铜山教育印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 19 字数 473 千字

2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

印数 1~3000 册 定价 25.00 元

前 言

本书是根据原煤炭工业部“九五”教材规划、焦作工学院和中原工学院等院校的“九五”教材规划和本课程教学大纲编写而成的。

《先进制造技术》是机械类及近机类和管理工程等专业的主干课程之一。随着信息技术、材料技术、新能源技术等新技术与制造技术的相互交叉、渗透、融合,特别是微电子技术和计算机技术的发展,使传统意义上的机械制造业焕发了新的活力,增加了新的内涵。计算机技术、网络技术、控制技术、传感技术与机、光、电一体化技术不断融入制造过程的各个环节,贯穿于整个制造系统,从而产生了新的设计、加工和管理的概念,使得用比以往更短的时间收集、存储、处理、交换和保真传递大量制造数据和信息的能力大大加强,加速了用计算机系统对复杂制造问题和情况进行信息处理和高效管理,以及对制造自动化与智能制造系统的探索与实践,充分显示出作为制造技术主体的人的重要作用,进一步表明人在制造活动中具有不可取代的地位,由此出现了新的人机一体化系统理论、制造理论,制造业正在由一门经验和技艺上升为一门学科,先进制造技术就是其中之一。

在近几年的科研、教学实践中,焦作工学院等院校先后承担并完成了先进制造技术相关课题的研究,编写出版了《现代设计理论与方法》、《机械系统设计》、《实用磨削技术》、《计算机辅助设计》、《液压传动与控制技术》、《动态系统辨识》等多种教材和讲义,供本科生和研究生使用。本书就是在这些教材和讲义的基础上,结合作者的有关科研成果和对国内外近几年出现的制造新技术、新理论进行研究的体会,经多次讨论、整理和加工而成,所以本书是焦作工学院等院校有关教师的集体成果,作者在此对他们表示衷心的感谢。

本书由焦作工学院武良臣教授、中原工学院李勇副教授任主编,焦作工学院郑友益、河南职业技术师范学院苏建修、平原大学刘莉莉等副教授任副主编。各章编写的具体分工如下:焦作工学院武良臣、吕宝占编写第一章,中原工学院李勇编写第二章和第三章,平原大学刘莉莉编写第四章,河南职业技术师范学院苏建修编写第六章和第七章(第三节除外),焦作工学院赵俊伟编写第七章第三节,焦作工学院郑友益编写第八章和第九章第一节、第二节、第三节,安景旺编写第五章和第九章第四节、第五节。此外焦作工学院郭培红、中原工学院尚会超也参加了编写,全书由焦作工学院武良臣、郑友益统稿,焦作工学院赵波教授和王裕清教授主审。

本书在编写过程中得到了原煤炭工业部教材规划室、煤炭院校机械类教材编审委员会、中国矿业大学出版社的具体指导,同时得到焦作工学院等院校领导和系领导的大力支持。此外,在编写过程中参考了有关兄弟院校的教材和著作,并得到了一些兄弟院校的大力支持,华中理工大学博士生李高正、牛新文同志提供了部分资料,在此一并表示感谢。

由于先进制造技术是一门新开设的课程,尚未形成完善的理论体系,许多问题尚缺乏深入研究,仍处在不断探索之中,再加上作者的水平有限,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2000年11月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 传统制造技术与先进制造技术.....	(1)
第二节 先进制造技术与产品.....	(6)
第三节 先进制造技术的研究概况	(11)
第四节 先进制造技术课程的性质和主要内容	(17)
第二章 现代生产制造系统	(20)
第一节 计算机集成制造系统(CIMS).....	(20)
第二节 并行工程	(29)
第三节 敏捷制造技术	(33)
第四节 智能制造技术(IMS)	(37)
第五节 精良生产(LP)	(39)
第六节 绿色制造	(42)
第三章 现代制造系统工程设计技术	(46)
第一节 概述	(46)
第二节 计算机辅助设计(CAD)技术	(48)
第三节 计算机辅助制造(CAM)技术	(62)
第四节 CAD/CAM 集成技术	(69)
第五节 面向“X”的设计 DFX	(71)
第六节 精度设计	(75)
第七节 三次设计	(77)
第八节 设计建模与虚拟制造	(79)
第九节 其他工程设计技术	(83)
第四章 现代生产管理技术	(87)
第一节 概述	(87)
第二节 物料需求计划(MRP)和制造资源计划(MRP I)	(89)
第三节 准时生产技术 JIT 和 Kanban 管理	(107)
第四节 全面质量管理 TQM 及计算机集成质量系统	(111)
第五节 管理信息系统.....	(119)
第五章 现代制造系统的物流技术	(131)
第一节 概述.....	(131)
第二节 少无切削加工技术.....	(134)
第三节 精密、超精密及纳米加工技术	(139)
第四节 装配工艺自动化.....	(145)
第五节 自动检测及在线技术控制.....	(149)

第六节 物流系统的自动化·····	(154)
第六章 柔性制造技术 ·····	(156)
第一节 柔性制造技术(FMS)概述 ·····	(156)
第二节 柔性制造技术的加工系统·····	(160)
第三节 FMS 的物料运储系统 ·····	(168)
第四节 FMS 的刀具管理系统 ·····	(179)
第五节 FMS 的控制系统 ·····	(186)
第七章 工业机器人 ·····	(189)
第一节 工业机器人的基本概念·····	(189)
第二节 工业机器人的机械结构·····	(194)
第三节 工业机器人运动学和动力学·····	(203)
第四节 工业机器人的控制和编程·····	(213)
第五节 工业机器人的应用·····	(224)
第八章 现代制造技术的支撑环境 ·····	(231)
第一节 数据标准及接口技术·····	(231)
第二节 人工智能技术·····	(235)
第三节 多媒体技术 (Multi-Media Technique) ·····	(241)
第四节 决策支持系统·····	(247)
第五节 数据库技术·····	(252)
第六节 计算机网络技术·····	(255)
第九章 工程技术中的虚拟现实技术 ·····	(263)
第一节 虚拟现实技术概述·····	(263)
第二节 虚拟现实的观察方法与设备·····	(264)
第三节 虚拟现实的制作工具 3DS MAX ·····	(272)
第四节 体视动画的生成技术·····	(285)
第五节 虚拟现实在工程模拟中的应用·····	(287)
参考文献 ·····	(297)

第一章 概 述

第一节 传统制造技术与先进制造技术

一、传统制造技术及其变革

传统的机械制造已有很长的历史,它对人类的生产和物质文明的进步起到了极其重要的作用。例如 18 世纪 70 年代瓦特发明了蒸汽机。但由于制造不出高精度的蒸汽机汽缸,无法推广应用。直到有人制造出改进的汽缸镗床,解决了蒸汽机主要部件的加工工艺,才使蒸汽机得到广泛应用,引起了世界性的第一次产业革命。

传统的机械制造是以机械制造中的加工工艺问题为研究对象的一门应用技术学科。它是各种机械制造方法和过程的总称。它是结合生产实际,利用各种基础理论知识,为数学、物理、力学、机械原理和金属切削原理等进行分析对比,找出客观规律,解决生产制造工艺问题的学科。

(一) 传统机械制造的局限性

(1) 传统机械制造局限在加工工艺范围,主要解决产品在制造过程中的一些问题,如原材料、毛坯制造、机械加工(热处理)、机器装配等,学科单一。

(2) 传统机械制造的一些问题都是围绕着企业的生产类型的不同而展开的,也就是受“批量法则”的制约。企业被分成大批大量生产的企业,成批生产的企业和单件、小批生产的企业。不同生产类型的企业,它们在设计、制造和管理方面有着不同的特点,也就是说它们的生产手段取决于生产类型。

(3) 传统机械制造比较多地注意先进的或能力齐全的机床和设备,而对于生产的组织与管理、组织与技术、人的创造性和人的作用等注意不够。

(4) 传统机械制造的研究都是从产品的质量、生产率和成本三方面出发的,而对市场的竞争考虑较少,对如何尽快向市场提供产品、缩短生产周期和交货期注意不够。

(二) 传统制造技术变革

由于传统制造技术存在着上述的各方面问题,已经不适当今制造技术发展的要求。近 30 年来,随着科学技术的进步,微电子技术、光电子技术、计算机技术已经得到广泛的应用,社会环境因素也发生了很大变化,这些都推动了传统机械制造技术向先进制造技术的转变。目前,传统制造技术已进入了一个巨大的变革时期。其主要表现是:

(1) 制造业由欧、美两方变为欧、亚、美三方。20 世纪 60 年代以来,日本大力推广应用各种先进的制造技术和大量高素质的人才,使其经济迅速崛起,制造业的面貌有了极大的转变。20 世纪 70 年代以来,亚洲一些国家和地区也依靠制造业而发展起来,使得世界制造业变成了欧、亚、美三分天下的局面。

(2) 制造业的产品结构和生产过程急剧改变。先进技术的出现正急剧改变着制造业的产品结构和生产过程。产品结构正朝着功能先进、实用、高效、节能、体积小、质量好、生命周

期短、环保型等方向发展;生产过程则朝着高速、精密、自动化、节能、环保、少(无)切削等方面发展。

(3) 传统市场变成动态多变市场。传统的相对稳定的市场变成动态多变的市場,产品的生命周期不断缩短,产品更新日益加快。产品质量、成本(价格)和时间(交货期)已成为增强企业竞争力的三个决定性因素。生产模式则朝着多品种、小批量、单件化、柔性化、生产周期大幅度缩短等方面发展。

(4) 逐渐形成全球性的大市场。制造业的进步和发展,使更多的国家参与到世界经济发展中,形成全球性的大市场。传统的管理、生产方式、组织结构和决策准则都在经历新的变化。生产能力在世界范围内迅速提高并形成全球性的激烈竞争格局,市场经济化正在将越来越多的国家带进世界经济范围。随着生产力的国际扩散,产业之间和产业内部的国际分工已成为不可阻挡的发展趋势。

(5) 制造业面临强大压力。

① 供货方面的压力。由于新兴国家和地区,特别是环太平洋的国家和地区经济的迅速发展而加入到竞争行列,使得原来的世界市场份额分配格局不再维持,因而出现了重新分配国际市场份额的激烈竞争。

② 用户方面的压力。随着社会的进步,人们对产品多样化的要求越来越高,因而产品的批量越来越小。用户对产品的要求越来越高,如多变的型号、低廉的价格、高的质量、按期交货和良好的服务,等等。

③ 社会方面的压力。人类要求有一个更加安全和舒适的生存环境,因此无污染和无公害的绿色产品和清洁制造的呼声日益高涨。

④ 技术进步方面的压力。由于新技术的迅速出现,使得产品技术越来越复杂,产品的开发周期越来越长,而产品的生命周期则越来越短。

(三) 传统制造技术的特点

如何以最快的速度、最低的成本为用户提供实用的高质量的产品,是制造业追求的目标。传统的制造业以少品种、大批量为生产方式来进行设计、生产和管理,它具有以下特点:

(1) 设计的独立性强。对一种产品的设计一般都需要从头开始,不注重信息的共享,因而设计周期长。

(2) 生产的稳定性、连续性好。传统制造业导致产品更新换代慢,这是因为生产结构刚性。一台机床、一条流水线一旦投入生产,就往往十几年,甚至几十年都不改变,即便想改,也难作大的变动,也就是说柔性差。

(3) 以产品为对象来组织生产管理。

(4) 装配周期长,且受人为因素影响很大。由于市场经济的发展,市场竞争日益激烈,许多企业的产品更新速度越来越快,被迫采用多品种、中小批量的生产方式。因此,传统制造业的传统设计思想和制造方式已无法适应这一转变,无法适应现代社会多样化、快节奏的新要求。为适应这一转变,各种新思想、新方法、新技术应运而生,主要有数控制造系统(CNC、DNC)、成组技术(GT)、计算机辅助技术、柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造技术等现代先进制造技术。

先进的制造技术,尤其是机械制造技术,它已不是传统意义上的机械制造技术了,先进的制造技术是集机械、电子、光学、信息科学、材料科学、生物科学、管理学最新成就于一身的

一种新兴技术。

二、先进制造技术的含义

制造业是一个国家经济发展的支柱,是国民经济收入的重要来源。无论是工业发达的国家,还是新兴工业国家,制造业在国民经济中都一直处于十分重要的地位。制造技术则是制造业的技术支柱,是一个国家科技水平的综合体现。制造技术的发展是一个国家经济持续增长的根动力。世界上各个国家在经济上的竞争,可以说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,制造技术的作用往往占 60%左右。日本和“亚洲四小龙”的高速发展,在很大程度上都是因为他们重视制造技术。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,抢先占领世界市场。这正是他们崛起、腾飞的奥秘。要面对激烈的市场竞争,在世界经济中占一席之地,就必须对制造技术进行研究,不断用新技术充实并改造制造业。

随着市场变化和技术竞争的加剧,许多工业国家迅速调整其技术政策,把提高产业竞争力和增强综合国力作为科技政策的核心。历来重视产业技术的日本、澳大利亚和一些新兴工业化国家对调整技术政策一直是非常重视的。美、英等国过去一贯主张产业技术的发展主要靠市场竞争,由企业自由发展,政府不必介入,但近年来也转变了态度。这是由于世界经济竞争的严峻事实使美、英等国政府意识到制造业是工业的基础,政府必须介入工业技术的发展。

先进制造技术这一概念是美国于 20 世纪 80 年代末期提出来的。根本原因是由于美国竞争力不断减弱,贸易逆差剧增,许多美国原来占绝对优势的产品,都在竞争中输给日本。为此,政府和企业界投入巨资,组织大量专家进行研究和分析,得出的结论是:“振兴美国经济的出路在于振兴美国的制造业”,“经济竞争归根到底是制造技术和制造能力的竞争”。因而,美国政府为此采取一系列措施:1988 年投资进行大规模的“21 世纪制造业战略的研究”;克林顿总统也于 1993 年 2 月发表专题报告,提出“要促进先进制造技术的发展”;成立国家级、地区级、大学、企业等各种层次的先进制造技术协调、推广、应用研究中心。这些措施已收到良好的效果。如美国汽车制造水平大幅度提高,产量重新超过日本,总结并提出了一系列先进制造技术的新理论,如并行工程、精益生产、敏捷制造等。

自从美国提出先进制造技术这一概念以来,日本、西欧各国以及亚洲各新兴工业国家也相继作出了响应,纷纷将先进制造技术列为国家的高新技术和优先发展项目。

1996 年 8 月 25 日~31 日,在意大利科马市召开了国际生产工程学会(CIRP)第 46 届年会,年会的主题就是:先进制造技术——全球制造技术。这说明世界各国都已重视研究、应用先进制造技术。我国有关领导部门对这一技术也非常重视,目前,先进制造技术这一思想已为大家所接受。1995 年 4 月和 1996 年 9 月先后两次在北京召开先进制造技术学术会议,交流经验,并向各界介绍这一技术。这说明,在我国,传统的制造技术面临着先进制造技术的挑战,这对我国制造业来说,也是一次难得的机遇。我们必须重视和加强对先进制造技术的研究,并从我国的实际情况出发,因地制宜地有步骤、有目的地推广应用这一先进技术。

先进制造技术提出已有许多年了,各国学者对它的研究也不少,但至今还没有一个公认严格定义,这里举出几种关于先进制造技术的基本概念。

(1) 先进制造技术是制造业不断吸取机械、电子、信息、材料、能源以及现代管理等方面的成果,并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、售后服务等生产制造的全过程,实现

优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,以取得理想技术经济效果的制造技术的总称。

(2) 先进制造技术是以提高综合经济效益为目的,以人为主体的,以计算机技术为支柱,综合应用信息、材料、能源、环保等高新技术以及现代系统管理技术,研究并改进传统制造过程及其产品整个寿命周期的所有适用技术的总称。

(3) 先进制造技术=传统制造技术的发展+信息技术+现代管理技术。

综合以上情况,我们认为:先进制造技术是支持自动化制造系统(硬件及软件)进行规划、设计、开发、应用、运行和集成的各种技术,以及为了支持产品在其从原理设计,经过制造交货,运行服务,直至报废的整个生命周期中,考虑到物理、人工、环境与安全等方面所关联的研究、方法、工具、控制、信息(数据)与通信系统等的集合。

由以上定义可以看出先进制造技术的特点。

(1) 先进制造技术是面向 21 世纪的技术 先进制造技术是制造技术的最新发展阶段,是由传统的制造技术发展起来的,既保持了过去制造技术中的有效要素,但它又要不断吸收各种高新技术成果,并渗透到产品生产的所有领域及其全部过程。先进制造技术是与现代高新技术相结合而产生的一个完整的技术群,它是具有明确范畴的新的技术领域,是面向 21 世纪的技术。

(2) 先进制造技术是面向工业应用的技术 先进制造技术并不限于制造过程本身,它涉及到产品从市场调研、产品开发及工艺设计、生产准备、加工制造、售后服务等产品寿命周期的所有内容,并将它们结合成一个有机的整体。先进制造技术的应用特别注意产生最好的实际效果,其目标是为了提高企业竞争和促进国家经济和综合实力的增长。目的是要提高制造业的综合经济效益和社会效益,因而它非常适合于在工业企业中推广使用。

(3) 先进制造技术是驾驭生产过程的系统工程 先进制造技术特别强调计算机技术、信息技术、传感技术、自动化技术、新材料技术和现代系统管理技术在产品的设计、制造和生产组织管理等方面的应用。它要不断吸收各种高新技术成果与传统制造技术相结合,使制造技术成为能驾驭生产过程的物质流、能量流和信息流的系统工程。

(4) 先进制造技术是面向全球竞争的技术 20 世纪 80 年代以来,市场的全球化有了进一步的发展,发达国家通过金融、经济、科技手段争夺市场,倾销产品,输出资本。随着全球市场的形成,使得市场竞争变得越来越激烈,先进制造技术正是为适应这种激烈的市场竞争而出现的。因而,一个国家的先进制造技术,它的主体应该具有世界先进水平,应能支持该国制造业在全球市场的竞争力。

(5) 先进制造技术市场竞争的五要素 在 20 世纪 70 年代以前,产品的技术相对比较简单,一个新产品上市,很快就会有相同功能的产品跟着上市,因此,市场竞争的核心是如何提高生产率。到了 20 世纪 80 年代后,制造业要赢得市场竞争的主要矛盾已经从提高劳动生产率转变为以时间为核心的时间、成本、质量、功能适用、服务优良五要素。

三、先进制造技术的特征

所谓制造技术,是按照人们需的目的,运用知识和技能,利用客观物质工具,使原材料变成产品的技术总称。制造技术是制造业的技术支柱,是一个国家经济持续增长的根本动力。

先进制造技术是传统制造技术不断吸收机械、电子、信息、材料、能源及现代管理等技术成果,将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理、售后服务等机械制造全过程,实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,取得理想技术经济效果的制造技术的总称。具有以下特征:

(1) 现代制造技术是计算机技术、数控技术、控制论、系统工程与制造技术的结合,并由此出现了制造系统,形成了现代制造工程学,使制造技术成为一项能驾驭生产过程中的物质流、信息流和能量流的系统工程,成为“市场——产品设计——制造——市场”的大系统。

(2) 制造已经成为一个系统,制造成为从产品概念到最终产品的集成活动,是一个功能体系和信息处理系统。在这个系统中,工厂如同进行具体制造活动的加工管线,其他活动如同一个围绕工厂并支持其制造过程的圆环,见图 1-1。这个系统正向着柔性化、集成化、智能化方向发展,从先进制造技术看已很难分清技术与管理的界限,也较难分清设计与工艺的界限,学科间不断交叉、融合,其界限逐渐淡化甚至消失。

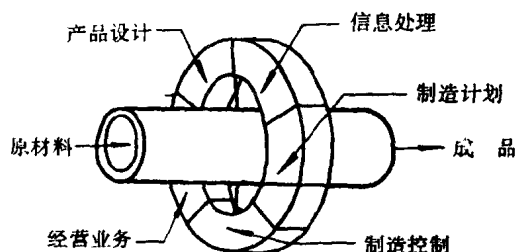


图 1-1 制造过程模型

(3) 制造技术与制造模式一体化。国内外众多的经验证明,以提高制造业市场竞争力为目标的先进制造技术的发展应用,必须在与之匹配的制造模式里运作,才能充分发挥作用,在 market 需求的引导下,制造模式的发展从局部到整个企业,经历了不同的发展时期,伴随着先进制造技术的发展,出现了两种先进制造模式:一种是以数控机床为中心逐步延伸扩大的制造模式,如柔性制造单元、柔性制造系统、计算机集成制造系统;另一种是以企业生产经营管理为中心的制造模式,如并行工程、精益生产、敏捷制造和及时生产,成为当前制造领域中的新概念,提倡面向制造的设计、面向装配的设计,甚至是面向价值的设计。并行工程是集成地、并行地设计产品及其相关的各种过程,要求产品开发人员在设计一开始就考虑产品从概念形成到报废处理整个生命周期的所有因素,如用户要求、质量、进度计划及成本等,因此,它是采用动态优化方法处理问题的一种系统工程方法;精益生产是在产品开发、生产、销售过程中,实现最大限度的精简、优化组织结构,进行各方面人员的集成,获取最大的利益,达到最大限度满足用户需求、提高企业竞争能力的目的;敏捷制造是利用人的智能信息技术,通过多方面的协作,改变企业沿用的复杂的多层结构来改变传统的大批量生产,先进制造模式是一种综合的、系统集成的、整体优化的工作方式或生产方式。

(4) 设计与工艺一体化。人类处于小生产和手工生产时设计和工艺是密切结合的,有时甚至是同时的,并且统一在同一个人身上,大规模、大批量生产出现后,由于生产需要,设计与工艺分开,甚至出现了工艺从属于设计的现象。但是,随着社会的发展和人类生活水平的不断提高,多品种、变批量、短生产周期又将成为生产的主要形式,产品规格、样式不断更新的需求越来越大,从而导致设计与工艺的一体化,并将出现工艺过程主宰产品的现象。为了保证将设计变为现实,工程一次成功,并行工程技术应运而生,而面向制造的设计成为并行工程的一个新方法、新途径。

(5) 形成了制造科学。制造已经具有随不同对象和时间而改变的功能结构,建立了表达功能的模型和功能之间的信息流和物质流,可以对制造系统进行分析并找出控制其性能的规划、预测其情况变化时所产生的影响。制造科学是由机械、计算机、信息、材料、自动化等学科有机结合而发展起来的一门跨学科的以机械为主的综合科学,计算机的问世和计算机科学的发展,加速了制造科学的形成,而制造技术的发展和制造系统的出现为制造科学的形成

创造了基础和条件,把设计和制造的整个过程集成起来,形成了制造科学的一元化理论。

第二节 先进制造技术与产品

一、制造业在国民经济中的地位

制造是人类按照其所需运用主观掌握的知识和技能,借助于手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的方法,将原材料转化为最终物质产品,并投入市场的全过程。因此,制造不是指单独的加工过程,而要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(国际权威学术机构——国际生产工程协会给“制造”下了类似的定义)。

制造业是所有与制造有关的企业机构的总体。制造业是国民经济的支柱产业,它一方面创造价值,生产物质财富和新的知识,另一方面为国民经济各个部门包括国防和科学技术的进步与发展提供先进的手段和装备。在工业化国家中,约有 1/4 的人口从事各种形式的制造活动,在非制造业部门中,约有半数人的工作性质与制造业密切相关。纵观世界各国,如果一个国家的制造业发达,它的经济必然强大。大多数国家和地区的经济腾飞,制造业功不可没。例如日本、台湾、香港、新加坡、韩国等。

人类文明的发展与制造业的进步密切相关。在石器时代,人类利用天然石料制作劳动工具,以采集利用自然资源作为主要生活手段。到青铜器、铁器时代,人们开始采矿、冶炼、铸锻工具、打造工具,满足以农业为主的自然经济的需要,采用的是作坊式手工业的生产方式。生产用的原动力主要是人力,局部利用水力和风力。直到 1765 年,瓦特发明蒸汽机,纺织业、机器制造业才发生了革命性的变化,引发了第一次工业革命,近代工业化大生产开始出现。1820 年奥斯特发现电磁效应,安培提出电流相互作用定律,1831 年法拉第提出电磁感应定律,到 1864 年麦克斯韦电磁场理论的建立,为发电机、电动机的发明奠定了科学基础,从而迎来电气化时代。以电作为动力源,改变了机器的结构,开拓了机电制造技术的新局面。19 世纪末 20 世纪初,内燃机的发明,使汽车进入欧美家庭,引发了制造业的又一次革命。流水线及泰勒管理方法应运而生,进入大批量生产时代(特别是汽车工业和兵器工业),并为第二次世界大战(以下简称“二战”)的大规模军工生产准备了物质基础、技术基础和管理经验。二战后,人类迎来了电子时代,通讯的迅速普及和计算机的出现,尤其是半导体大规模集成电路的出现,引发了制造业的又一场新的革命。迎来了机械电子学(Mechantronics)和机电一体化(NC、CAD、CAM、CIMS)的时代。从工业革命历程可以看出,每次工业革命的形成和发生都与制造技术的发展密不可分。因此,很多国家特别是美国把制定制造业发展战略列为重中之重。美国认为制造业不仅是一个国家国民经济的支柱,而且对其经济和政治的领导地位也有着决定性影响。美国国防部的一份报告指出,要重振美国经济雄风,要在 21 世纪全球经济中继续保持美国经济霸主的地位,就必须大力重振制造业。可见,制造业对一个国家的经济地位和政治地位具有至关重要的影响,在 21 世纪的工业生产中具有决定性的地位与作用。

制造业在国民经济中所占地位可以用几个简单数据来说明:美国 68% 的财富来源于制造业;在日本,国民经济总产值的 49% 是由制造业提供的;在我国,制造业在工业总产值中所占的比重为 40%。因此,没有发达的制造业,就不可能有国家真正的繁荣和强大。

二、21 世纪制造业的特点及关键技术

(一) 21 世纪制造业的主要特点

(1) 产品开发周期显著缩短,上市速度更快,这是 21 世纪市场环境和用户消费观念所要求的,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 20 世纪 70 年代和 80 年代的“价格竞争第一”和“质量竞争第一”,发展到 20 世纪 90 年代的“市场速度第一”,时间因素被提到了首要位置。

(2) 具备赢得竞争、提高市场占有率的四种基本能力:① 时间竞争能力:产品上市快,生产周期短,交货及时;② 质量竞争能力:产品不仅可靠性高,而且使用户在各方面都满意;③ 价格竞争能力:产品生产成本低,销售价格适中;④ 创新竞争能力:产品有特色,生产有柔性,竞争有策略。这四种能力中最重要的能力是创新能力,企业的创新不仅指产品设计和生产工艺上的创新,还包括制造观念的更新、组织的重构、经营的重组。历史证明,综合创新能力是推动企业发展的动力和最强大的竞争武器。

(3) 柔性进一步提高,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。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 生产过程更加精良。产品开发、生产、销售、维护过程更加简化,生产工序更加简单,从而降低成本、提高劳动生产率、缩短上市时间。

(7) 人员素质进一步提高。21 世纪制造业要求全体职员具有更高的技术、管理和协作素质,每个人都应掌握多种技术并能胜任多种工作。

(8) 智能化程度更高。在产品设计和制造过程中广泛应用人工智能技术,各种设备的智能化程度大大提高。

(9) 更加注重环境问题。因为环境问题是关系到人类自下而上的大问题,也是社会能否持续发展的重要问题。

(10) 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、人员和环境的集成。21 世纪制造业的四个关键因素是技术、管理、人员和环境。

(二) 21 世纪制造业的关键技术

(1) 集成化技术 在过去,制造系统中强调信息的集成,这是不够的,现在更强调技术、人和管理的集成。在开发制造系统时强调“多集成”的概念,即信息集成、智能集成、串并行工作机制集成及人员集成,这将更适合未来制造系统的需求。

(2) 智能化技术 应用人工智能技术既要实现产品生命周期(包括产品设计、制造、发货、支持、使用到产品报废等)各个环节的智能化,以及生产设备的智能化,也要实现人与制

造系统的融合及人的智能的充分发挥。

(3) 网络技术 网络技术包括硬件与软件的实现、各种通讯协议及制造自动化协议、信息通讯接口、系统操作控制策略等,是实现各种制造系统自动化的基础。

(4) 分布式并行处理智能协同求解技术 该技术实现制造系统中各种问题的协同求解,获得系统的全面最优解,实现系统的最优决策。

(5) 多学科多功能综合产品设计技术 机电产品的开发设计不仅要用到机械科学的理论与知识(力学、材料、工艺等),而且还要用到电磁学、光学、控制理论等;不仅要考虑技术因素,还必须考虑到经济、心理、环境、卫生及社会等方面的因素。机电产品的开发要进行多目标全性能的优化设计,以追求机电产品的动静态热特性、效率、精度、使用寿命、可靠性、制造成本与制造周期的最佳组合。研究重点是:并行工程及 CAD/CAPP/CAM/CAE 一体化设计技术、面向制造/装配/市场销售的并行设计技术、产品效益及风险的并行评估技术等。

(6) 虚拟现实与多媒体技术 虚拟现实 VR(Virtual Reality)是人造的计算机环境,使人处在这种环境中有身临其境的感觉,并强调人的介入与操作。VR 技术在 21 世纪制造业中将有广泛的应用,可以用于培训、制造系统仿真、实现基于制造仿真的设计与制造、集成设计与制造、实现集成人的设计等,美国已于 1992 年借助于 VR 技术成功地修复了哈勃太空望远镜。多媒体技术采用多种介质来储存、表达、处理多种信息,融文字、语音、图像、动画于一体,给人一种真实感。

(7) 人一机—环境系统技术 将人、机器和环境作为一个系统来研究,发挥系统的最佳效益。研究的重点是:人机环境的体系结构及集成技术,人在系统中的作用及发挥,人机柔性交互技术,人机智能接口技术,清洁制造等。

三、先进制造技术与产品

目前,各工业化国家都已开始投入巨资研究和开发先进制造技术。其总的研究发展趋势是:立足于本国实际,面向 21 世纪,以提高综合经济效益为目的,研究和发展可以提高本国制造业竞争实力的各种适用的先进制造技术。其特点是:国家高度重视,出面组织和协调,并在政策和资金上给予大力支持;大学和研究所积极参与,以制造企业为主体,积极提供研究课题和经费,并应用各种先进制造技术于生产实践中。要提高企业的竞争力,就必须从提高人员的素质、改进组织机构和经营管理水平、提高产品设计制造水平等几个方面进行努力,在竞争五要素上狠下功夫。

能够开发出市场急需的、功能实用的、满足用户要求的产品。在这里,我们强调功能实用性(Function),不片面追求所谓的高科技和功能全面先进性,因为先进并不等于实用。目前日本和美国竞相开发各种低价格、功能简单实用的产品就是最好的例子。

能够在尽可能短的时间内将产品投放市场或发往用户。Time to Market 也是企业竞争力水平高低的一个重要指标。为了缩短产品投放市场的时间,就必须大力推广应用 CAD/CAM 技术、柔性制造技术、虚拟制造技术和快速原型技术等高新技术。

能够生产出品质优良的产品。不言而喻,只有质量好的产品才能赢得顾客的青睐。产品质量包括的内容很多,它不单纯指工作精度,还包括外观造型、噪声、振动、能耗、可维修性、可回收性、宜人性等。质量(Quality)的重要发展方向之一是所谓的“绿色商品”。

能够向市场提供价格低廉的产品。价格(Cost, Price)往往是顾客购物时考虑的首要因素。为了降低产品的价格,除了减少功能的“冗余”度外,还应在提高经营管理水平和产品的

设计水平等方面下大力气。

能够向客户提供优良的服务(Service)。服务包括售前的技术咨询和产品功能演示及售后周到的培训与维修。应该努力提高产品销售人员的业务素质,建立完整的销售、培训和维修网。

采用环保型生产过程。在发展先进制造技术的过程中,应结合一些重大产品或工程的质量问题。像美国所进行的“2 mm 工程”那样,把产品或工程的质量问题作彻底的解剖,通过“产、管、学、研”紧密合作,通过 11 个课题攻关,提前一年完成轿车车体制造综合误差不超过 1 mm 的目标(达到或超过日本的制造水平)。同样,研究、开发新产品是发展先进制造技术的关键问题。新产品的研究、开发是“主体技术群”的重要内容,也是企业参与市场竞争的关键所在。机械工业部把“提高开发能力”作为“九五”期间开展的“三大战役”之一,可见研究开发新产品在机械工业发展中的战略地位。这不仅仅是企业参与市场竞争的需要,也是发展先进制造技术的一个关键问题,因为研究、设计什么样的新产品,会在很大程度上决定发展什么样的制造技术,或者说,不同的设计有不同的制造方法,从而对市场竞争中的质量、成本、生产周期产生深远的影响。

四、先进制造生产模式

大批量生产模式可为社会提供众多的廉价产品,满足消费者的基本生活需要。它是如此实用、高效与经济,以至人们将其视为制造生产的固有模式。近百年来制造业的实践主要致力于具体制造技术的改进、提高和制造过程的合理组织,从而大大加强了大批量生产模式的主导地位。

20 世纪 70 年代后,市场环境发生了巨大变化:一方面表现为消费者需求日趋主体化、个性化和多样化;另一方面则是制造厂商之间着眼于全球市场的激烈竞争。面对一个变化迅速且无法预料的买方市场,大批量生产模式的响应却越来越迟缓与被动。

为使制造业摆脱困境,人们仍沿传统思路期望依靠制造技术的改进和管理方法的创新来解决问题。具体地讲就是抓住由于电子计算机的普及应用所提供的契机,以单项先进制造技术如 CAD、CAM、CAPP(计算机辅助工艺过程设计)、MRP(物料需求计划)、GT(成组技术)、CE(并行工程以及 FMS)和全面质量管理(TQC)作为工具与手段,来全面提高产品质量并缩短供货时间。单项先进制造技术和 TQC 的应用确实取得了很大成效,但在响应市场的灵活性方面并没有实质性的改观,而且巨额投资和实际效果形成了强烈反差,其中以国内外应用 FMS 的教训最为深刻。至此人们才意识到问题不在具体制造技术和管理方法本身,而是因为它们仍处在大批量生产模式的旧框架之中;先进制造生产模式就是在对大批量生产模式的质疑、反思和扬弃过程中应运而生的。

在探索先进制造生产模式的种种尝试中,西方工业发达国家走在了前面。在理论上已初具体系,在实践中亦取得成效的生产模式主要有 3 类:① 柔性生产和智能制造;② 精益生产(LP);③ 敏捷制造(AM)。为能实现基于时间的制造战略目标,制造企业采用先进制造生产模式的努力可从几种途径入手,如制造技术、制造过程和制造组织等,而所依赖的手段主要是基于投资和基于创新。以这种观点来审视柔性生产、智能制造、精益生产和敏捷制造,就可看出它们的特点与区别,见图 1-2。

通过对柔性生产、智能制造、精益生产和敏捷制造的比较、综合与创新,我国学者西安交通大学汪应洛教授于 1995 年提出了高效快速重组(LAF)生产系统的概念。LAF 生产系统

是指全面吸收精益生产、敏捷制造和柔性生产的精髓,包含了TQC、JIT(及时生产)等管理经验,并将这些技术和经验及相关资源集成为一个独特的管理环境和生产实体。显然,LAF生产系统是从精益生产、敏捷制造和

	制造技术	制造过程	制造组织
基于投资	柔性生产和智能制造		敏捷制造(外部环境)
基于作业		精益生产	敏捷制造(制造系统)

图1-2 先进制造生产模式创立的基点与途径

柔性生产的理论与实践基础上发展而来的,但它并非是三者的简单相加,而是在更高层次上的有机集成,其主导思想是对市场的灵活快速反应和制造资源的有效集成,由此决定了LAF生产系统的基本特征。

(1) 强调组织创新和人因的发挥 制造资源的有效集成比仅依靠先进制造(硬)技术更重要,而制造资源的有效集成是通过组织创新和发挥人的积极性来实现的。

(2) 适度松动对制造(硬)技术先进性的苛求 柔性生产依赖昂贵的柔性制造设备,精益生产强调机器人的大规模使用,敏捷制造则建立在国家范围的工业制造信息网络之上。LAF生产系统综合权衡先进性、可实现性和经济性的要求,根据市场机遇的性质,选择先进适用的制造技术,且致力于它与组织和人员的有效集成,以总体效果的优势来弥补尚不能采用最先进的制造技术的缺陷。

(3) 全面吸收各家之长 如以柔性和速度响应市场变化的指导思想,柔性生产和精益生产中的生产调度和计划安排,精益生产的“消灭一切浪费”和“不断改善”的思想,TQC和JIT等管理方法以及对员工的各种激励措施,敏捷制造的资源集成的思想、虚拟公司的组成形式、工作团队的作业组织、基于作业的管理和基于作业的成本计算等具体做法。

(4) 适合中国国情且经努力能尽早实施 适度松动对制造(硬)技术先进性的要求,使我们在严重的投资制约下有了伸展的余地,而组织的创新和人因的发挥则完全取决于我们的努力工作,是从现在就可开始做的事情。

(5) 具有较好的可实现性 LAF生产系统认为,实现基于时间的制造战略目标的努力应在多个方面展开,所使用的方法应建立在以创新为主、投资与创新并用的基础之上。理想的LAF生产系统涵盖了图1-2所示的整个区域。这样,一方面,在制造技术、制造过程、制造组织方面的任何改善都可提高LAF生产系统的整体制造水平;另一方面,实际的LAF生产系统也不大可能同时在图1-2所示的每个区域上展开,但它提供了一条思路,展示了一个宽大的范围,制造企业可根据具体情况,在这个区域内选择和确定一个先进可行的行动方案。LAF生产系统由此表现出较好的易实现性。

(6) LAF生产系统是一个变动和发展的概念 在初始阶段,所使用的制造技术水平较低(与最先进的制造技术相比),组织资源和人力资源开发亦不充分,资源集成的效果不很理想。随着学习与实践逐步深入,企业资源的质量逐渐提高,资金与经验的积累使其有可能采用更先进的技术与装备,资源集成的手段也得以增加,LAF生产系统就发展到了一个新的较高阶段。

表1-1对比了传统制造生产模式和先进制造生产模式的主要特征,由此可概括出先进制造生产模式的基本共性。

表 1-1 传统制造生产模式和先进制造生产模式主要特征的对比

主要特征	制 造 模 式					
	大批量生产	制造自动化	柔性生产	精益生产	敏捷制造	LAF 生产系统
制造企业定向	产品	产品	顾客	顾客	顾客	顾客
制造战略重点	成本	质量	品种	质量	时间	时间
制造指导思想	技术主导	技术主导	技术主导	组织精益	组织变革	组织创新 人因发挥
竞争优势	低成本	高效率	柔性	精益性	敏捷	精益、敏捷、柔性
手段或动因	机器	技术	技术进步	人因发挥	组织创新	技术-人因-组织集成
原则或机制	分工与专业化	自动化	高技术集成	生产过程管理	资源快速集成	资源快速集成
制造经济性	规模经济性	规模经济性	范围经济性	范围经济性	集成经济性	集成经济性

第三节 先进制造技术的研究概况

一、先进制造技术产生的背景

(一) 社会经济发展的背景

战后全球社会经济发展的历史经验证明,一个国家的实力大小及其繁荣程度,主要取决于其制造业所能提供的产品与劳务的竞争力。我国与工业化国家的技术差距主要是制造技术方面的差距。

制造业是国家经济的支柱产业,尽管在制造业中,由于计算机、信息、微电子和自动化技术的应用,对人的劳动需求在逐步减少,据国外材料,10年之内,在工厂车间劳动的美国工人将减少到占全美劳动力的12%以下,但实际情况是在现代和未来的制造业中人的决策和技术等劳动是难以替代的,只是大众劳动逐步向精英劳动转化。十几年来工业化国家一直在不遗余力地开发先进制造技术,提高制造工业的发展水平,以便在激烈的全球经济竞争中占有一席之地。

在市场经济体制下,制造业是参与市场竞争的主体。制造技术是支撑制造业完成产品生产、提高生产效率、降低成本、减少消耗、满足环保要求和保证质量的必要手段,是使原材料在受控状态下增加信息转变为产品的技术的总称,制造技术是产生先进制造技术的源泉。先进制造技术和资源、金融投资、高素质劳动力一起创造新的企业和新的就业机会。制造工程与科学则是研究开发和应用先进制造技术的基础。与此同时,市场需求和制造业的发展又不断对制造技术、制造工程与科学提出新的要求。总之,市场需求、制造业、制造技术、制造工程与科学和人才培养是相互关联的整体,相互促进。

面向21世纪的国际化市场竞争日益激烈,高新技术迅猛发展,制造技术在传统技术的基础上正在发生质的飞跃,并已成为当代高新技术应用的主要战场之一。

今日的制造技术已发展成为一个涵盖整个生产过程、跨多个学科且高度复杂的集成技术。与此同时,支撑制造技术的研究、开发和应用的制造工程与科学,也逐步形成了一门新的