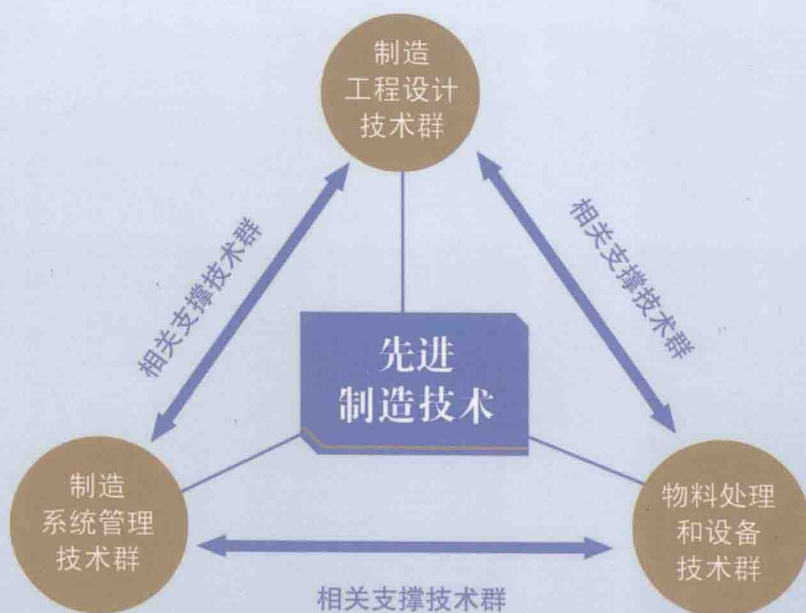


江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)资助
江苏省研究生培养创新工程项目资助

船舶先进制造技术

周宏 蒋志勇 王岳◎主编



人民交通出版社
China Communications Press

江苏高校优势学科建设工程资助项目(CAPD)资助
江苏省研究生培养创新工程项目资助

船舶先进制造技术

周 宏 蒋志勇 王 岳 主 编



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书上篇内容包括船舶先进制造技术概述,现代设计技术,先进制造工艺技术,制造自动化技术,先进管理理念与技术,船舶先进制造战略、理念、模式及现代造船模式的技术基础等;下篇以专题的形式介绍了数字化造船技术、精度造船技术、模块化造船技术及船舶制造机械化、自动化技术。该书知识面广、信息量大,内容翔实、新颖,反映了近年来国内外船舶先进设计制造技术的最新发展及成果;论述深入浅出,图文并茂。

本书既可以作为船舶与海洋工程先进制造技术方向专业学位研究生教材,也可供工程技术人员、科研人员参考,还可以作为自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

船舶先进制造技术/周宏,蒋志勇,王岳主编.

—北京:人民交通出版社,2012.11

ISBN 978-7-114-10170-0

I. ①船… II. ①周… ②蒋… ③王… III. ①造船—研究生—教材 IV. ①U671

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 255460 号

书 名:船舶先进制造技术

著 作 者:周 宏 蒋志勇 王 岳

责任编辑:赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:16.5

字 数:362 千

版 次:2012 年 11 月 第 1 版

印 次:2012 年 11 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-10170-0

定 价:39.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前言

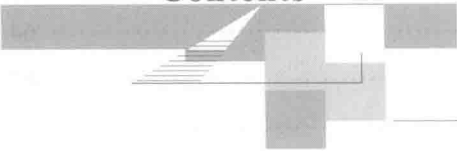
Preface

西方国家普遍认为,“现代生产和研究的重点已转移到制造技术问题上,制造技术问题已成为主宰”。美国国家生产率委员会调查表明,在企业生产率的构成中,制造技术的作用占62%。先进制造技术(AMT)是造船业发展的根本。船舶制造技术的创新是船舶工业现代化的基本保障,也是推动船舶工业持续、快速发展的力量源泉。在船舶制造技术方面中国与国际先进水平的差距正在扩大,我们必须以科学发展观为指导,科学地认识船舶制造技术的深刻内涵,充分认清船舶制造技术的发展方向,加强船舶制造技术的理论研究与应用研究,缩小与世界先进造船企业的差距,增强国际市场竞争力,为实现世界造船大国和造船强国的目标提供技术支撑。

本书上篇介绍了先进设计方法及现代造船技术的基本理论,下篇以专题的形式反映了船舶先进制造技术领域的最新研究成果。书中知识面广、信息量大,内容翔实、新颖,反映了近年来国内外船舶先进制造技术的最新发展;论述深入浅出,图文并茂。该书既可以作为船舶先进制造技术专业学位研究生教材,也可供工程技术人员、科研人员参考,还可以作为自学教材。

编者
2012年8月7日

目录 Contents



上篇 船舶先进制造技术理论

第一章 概述	3
第一节 制造技术的基本概念与发展概况	3
第二节 先进制造技术的提出和进展	7
第三节 先进制造技术的发展趋势	17
第四节 船舶先进制造技术概述	20
第二章 现代设计技术	26
第一节 现代设计技术的内涵与体系结构	26
第二节 并行设计	29
第三节 反求工程	32
第四节 模块化设计	34
第五节 价值工程	37
第六节 质量功能配置	39
第七节 工业设计技术	44
第八节 计算机辅助设计	45
第九节 优化设计	47
第十节 模拟仿真与虚拟设计	49
第十一节 可靠性设计	49

第十二节 动态设计	53
第三章 先进制造工艺技术	55
第一节 先进成形技术	55
第二节 先进热处理技术	56
第三节 现代表面技术	57
第四节 超高速加工技术	58
第五节 超精密加工技术	60
第六节 微细加工技术	62
第七节 高能束加工	64
第八节 复合加工技术	65
第九节 快速原型制造技术	65
第四章 先进管理技术	69
第一节 企业经营战略管理	69
第二节 企业资源计划(ERP)	71
第三节 产品数据管理	74
第四节 物流系统管理	77
第五节 准时生产技术	83
第五章 先进制造战略、理念和模式	86
第一节 制造领域竞争战略的演变	86
第二节 计算机集成制造与现代集成制造	89
第三节 并行工程	94
第四节 精益生产	96
第五节 敏捷制造	99
第六节 虚拟制造	101
第七节 生物制造	106
第八节 现代造船模式的技术基础	108

下篇 船舶先进制造技术专题

第六章 数字化造船技术	119
第一节 数字化造船设计与建造标准体系	119
第二节 数字化造船设计、制造、管理一体化顶层设计	139
第七章 精度造船技术	175

第一节	基于 ANSYS 的船舶复杂结构焊接变形预测	175
第二节	船体梁结构低应力无变形焊接技术	186
第三节	大型船舶结构焊接变形固有应变法预测研究	190
第八章	模块化造船技术	205
第一节	舰船模块化技术的研究现状及发展趋势	205
第二节	舰船标准平台典型区域模块化设计方法及可制造性准则研究	219
第九章	船舶制造机械化、自动化技术	233
第一节	船舶制造装备的现状与趋势	233
第二节	船舶数控切割及焊接技术	235
第三节	高频感应弯板成形技术	243
参考文献		251



上 篇

船舶先进制造技术理论





第一章 概 述

第一节 制造技术的基本概念与发展概况

一、制造与制造业

1. 制造

人类按照市场需求,运用掌握的知识和技能,借助于手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的工艺方法和必要的能源,将原材料转化为最终物质产品并投放市场的全过程。

狭义的制造:指生产车间内与物流有关的加工和装配过程。

广义的制造:包括市场分析、产品设计、工艺设计、生产准备、加工装配、质量保证、生产过程管理、市场营销、售前售后服务,以及报废后的回收处理等整个产品生命周期内一系列相互联系的生产活动。

随着人类生产力的发展,“制造”的概念和内涵在“范围”和“过程”两个方面大大拓展。

国际生产工程学会 1990 年给“制造”下的定义是:

制造是一个涉及制造工业中产品设计、物料选择、生产计划、生产过程、质量保证、经营管理、市场销售和服务的一系列相关活动和工作的总称。

2. 制造业

制造业是所有与制造有关的企业群体的总称。

制造业是指将制造资源,包括物料、设备、工具、资金、技术、信息和人力等,通过制造过程转化为可供人们使用和消费的产品行业。

制造业涉及国民经济的许多部门,包括一般机械、食品工业、化工、建材、冶金、纺织、电子电器、运输机械等。

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。

二、制造系统与制造技术

1. 制造系统

制造系统是指由制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员组成的一个具有特定功能



的有机整体。

这里所指的制造过程,即为产品的经营规划、开发研制、加工制造和控制管理的过程。所谓的硬件包括生产设备、工具和材料、能源以及各种辅助装置;而软件则包括制造理论、制造工艺和方法及各种制造信息等。

上述所定义的制造系统实际上就是一个工厂(企业)所包含的生产资源和组织机构。而通常意义所指的制造系统仅是一种加工系统,是上述所定义系统的一个组成部分,如柔性制造系统,只应称为柔性加工系统。

2. 制造技术

制造技术是制造业为国民经济建设和人民生活生产各种必需物资(包括生产资料和消费品)所使用的一切生产技术的总称,是将原材料和其他生产要素经济、合理地转化为可直接使用的具有高附加值的成品、半成品和技术服务的技术群。

制造技术的发展是由社会、政治、经济等多方面因素而决定的。但纵观近 200 年的发展历程,影响其发展的主要因素则是技术推动以及市场的牵引。

3. 制造系统分类

可以从不同的角度对制造系统进行分类,按人在系统中的作用、零件品种和批量及其工艺类型、系统的柔性和自动化程度及其智能程度分,如图 1-1 所示。

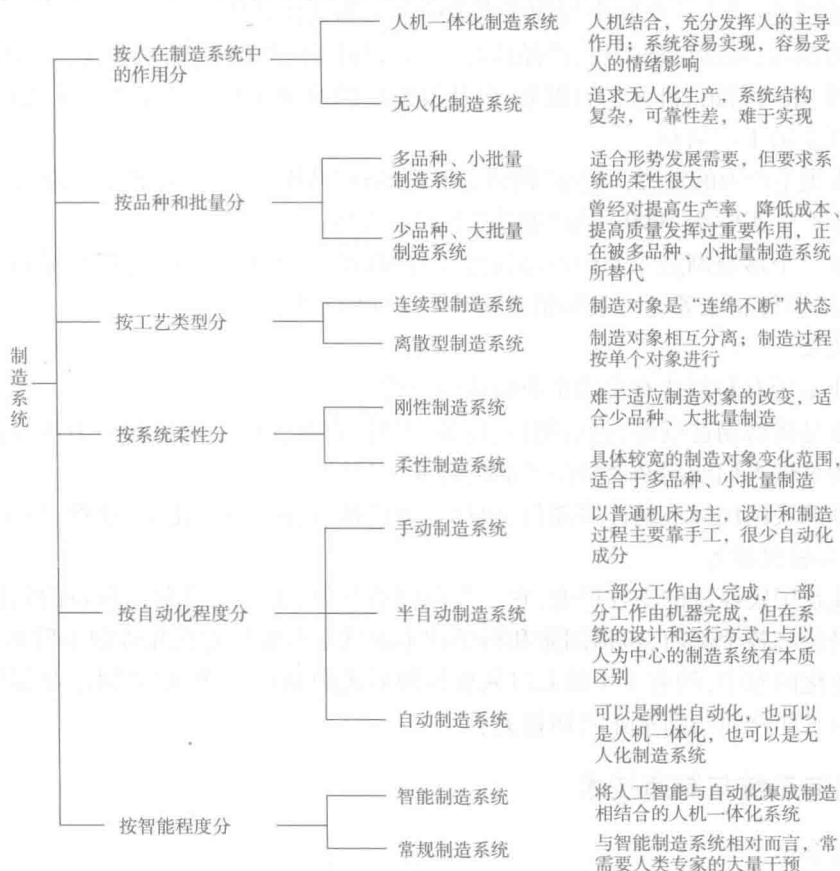


图 1-1 制造系统的分类



各种类型的不同组合,可以得到不同类型的制造系统。

三、制造业及其技术的发展

1. 制造业发展历史

纵观 200 年制造业发展的历史,是科学技术不断进步、制造产业不断发展创新的历史。

(1) 18 世纪——以蒸汽机和工具机的发明为标志的英国工业革命:

①揭开了工业经济时代的序幕;

②开创了以机器占主导地位的制造业新纪元;

③造就了制造业企业的雏形——工场式生产。

(2) 19 世纪末 20 世纪初——交通与运载工具对高效发动机的要求是引发内燃机发明的社会动因:

①内燃机的发明及其宏大的市场需求继而引发了制造产业的革命;

②人类社会对以汽车、武器弹药为代表的产品的大批量需求促进了标准化、自动化的发展;

③大批量流水线生产模式和科学管理理论导致了制造技术的分工和制造系统的功能分解,从而使成本大幅度降低。

(3) 第二次世界大战以后——市场需求多样化、个性化及高品质趋势推动了微电子技术、计算机技术、自动化技术的飞速发展,导致了制造技术向程序控制的方向发展:

①柔性制造单元、柔性生产线、计算机集成制造及精益生产等相继问世;

②制造技术由此进入了面向市场多样需求的柔性生产新阶段;

③引发了生产模式和管理技术的革命;

④以集成电路为代表的微电子技术的广泛应用有力地推动了微电子制造工艺水平的提高和微电子制造装备业的快速发展。

(4) 20 世纪末——信息技术的发展促成传统制造技术、以计算机为核心的信息技术和现代管理技术三者工艺的有机结合,形成了当代先进的制造技术和现代制造业:

①激光的发明导致巨大的光通信产业及激光测量、激光加工和激光表面处理工艺的发展;

②无线通信、手提电话的发展引发了人类对移动通信的新需求。

2. 传统制造技术的 3 个发展阶段

1) 用机器代替手工,从作坊形成工厂

20 世纪初,各种金属切削加工工艺方法陆续形成,近代制造技术已成体系。但是机器(包括汽车)的生产方式是作坊式的单件生产。它产生于英国,在 19 世纪先后传到法国、德国和美国,并在美国首先形成了小型的机械工厂,使这些国家的经济得到了发展,国力大大增强。

2) 从单件生产方式发展成大量生产方式

美国人泰勒首先提出了以劳动分工和计件工资制为基础的科学管理,成为制造工程科学的奠基人。



美国人福特首先推行所有零件都按照一定的公差要求来加工(零件互换技术),1913年建立了具有划时代意义的汽车装配生产线,实现了以刚性自动化为特征的大量生产方式。它对社会结构、劳动分工、教育制度和经济发展,都产生了重大的作用。

20世纪50年代大量生产方式发展到了顶峰,产生了工业技术的革命和创新,传统制造业及其大工业体系也随之建立和逐渐成熟,近代传统制造工业技术体系形成。其特点是以机械—电力技术为核心的各类技术相互联结和依存的制造工业技术体系。

3) 柔性化、集成化、智能化和网络化的现代制造技术

20世纪80年代以来所产生的现代制造技术沿着4个方向发展:

①传统制造技术的革新、拓展;

②精密工程;

③非传统加工方法;

④制造系统的柔性化、集成化、智能化和网络化。

3. 传统制造业的生产和技术特点

(1)单件小作坊式生产加高度的个人制造技巧,大量的机械化刚性规模生产加一体化的组织生产模式、再加细化的专业分工。

(2)制造技术的界限分明及其专业的相互独立。

(3)制造技术一般仅指加工制造的工艺方法,即制造全过程中某一环节的技术方法。

(4)制造技术一般只能控制生产过程中的物质流和能量流(原材料到产品的物质流动过程,能量的投入、转换和消耗过程)。

(5)制造技术与制造生产管理的分离。

4. 现代制造及其技术的形成和发展特点

(1)在制造的生产规模上,从少品种大批量——单件小批量——多品种变批量的发展。

(2)生产方式上,呈现出从劳动密集型——设备密集型——信息密集型——知识密集型的变化。

(3)制造装备的发展过程是手工——机械化——单机自动化——刚性自动线——柔性自动线——智能自动化。

(4)在制造技术和工艺方法上,现代制造在发展中其特征表现为:重视必不可少的辅助工序,如加工前后处理;重视工艺装备,使制造技术成为集工艺方法、工艺装备和工艺材料为一体的成套技术;重视物流、检验、包装及储藏,使制造技术成为覆盖加工全过程的综合技术,不断发展优质、高效、低耗的工艺及加工方法,以取代落后工艺;不断吸取微电子、计算机和自动化等高新技术成果,形成CAD、CAM、CAPP、CAT、CAE、NC、CNC、MIS、FMS、CIMS、IMT、IMS等一系列现代制造技术,并实现上述技术的局部或系统集成,形成从单机到自动生产线等不同档次的自动化制造系统。

(5)引入工业工程和并行工程概念,强调系统化及其技术和管理的集成,将技术和管理有机地结合在一起,引入先进的管理模式,使制造技术及制造过程成为覆盖整个产品生命周期,包含物质流、能量流和信息流的系统工程。



第二节 先进制造技术的提出和进展

中国机械工程学会理事长、中国科学院院长路甬祥院士在 2002 年中国机械工程学会年会主旨报告中说:“制造业、特别是装备制造业的整体能力和水平将决定各国的经济实力、国防实力、综合国力和在全球经济中的竞争与合作能力,决定着一个国家、特别是发展中国家实现现代化和民族复兴的进程。作为刚刚进入工业化中期的发展中国家,我们必须清醒地认识到全面提高制造业、特别是装备制造业整体能力和综合竞争能力对于自身发展的重要性。因此我们必须以坚韧不拔的精神,持之以恒地开拓出一条通往制造强国之路。”他还说:“没有强大的制造业,一个国家将无法实现经济快速、健康稳定的发展,劳动就业问题将日趋突显,人民生活难以普遍提高,国家稳定和安全将受到威胁,信息化、现代化将失去坚实基础。制造业对于一个国家现代化建设具有不可替代的重要地位和作用。”

一、先进制造技术产生背景

在人类历史上,科学技术的每次革命,必然引起制造技术的不断发展,也推动了制造业的发展;另一方面,随着人类的不断进步,人类需求的不断变化,从另一方面推动了制造业的不断发展,促进了制造技术的不断进步。

制造技术 200 多年来的历程,充分显示了技术推动与市场牵引两个原则(因素)对于制造技术发展的作用,也显示了先进制造技术对于制造业的革命以及对于国民经济所起的作用。先进制造技术的产生和发展有其自身的社会经济、科学技术以及可持续发展的根源和背景。

1. 社会经济发展背景

市场环境的巨大变化,一方面表现为消费者需求日趋主题化、个性化和多样化,消费行为更具有选择性,使产品的生命周期缩短,产品的质量和性能至关重要;另一方面全球性产业结构调整步伐加快,制造商着眼于全球市场激烈竞争的同时,着力于实力与信誉基础上的合作和协作。

制造业的核心要素是质量、成本和生产率。面对当代社会变化快且无法预料的买方市场和多品种批量成为主导生产方式,上述 3 个要素的内涵发生了深刻的变化。首先,产品质量观发生了变化,现代质量观主要指全面满足于用户的功能需求和非功能需求(自然条件、社会时尚)。产品成本不仅仅指制造成本,还应包含用户使用成本、维护成本以及社会环境成本,在满足用户个性化要求的前提下应尽量减少上述各类产品成本。赢得订单及高速开发产品是企业成败的关键,是非常规意义上的生产率。

因此,制造业应对市场的快速响应为宗旨,满足顾客已有的和潜在的需求,主动适应市场,引导市场,从而赢得竞争,获取最大利润。

2. 科学技术发展背景

制造业从 20 世纪开始逐步走上科学发展的道路。

制造技术已由技艺发展为集机械、材料、电子及信息等多门学科的交叉科学——制

造工程学。

科学技术和生产发展在推动制造技术进步的同时,以其高新技术成果,尤其是计算机、微电子、信息、自动化等技术的渗透、衍生和应用研究,极大地促进了制造技术在宏观(制造系统的建立)和微观(精密、超精密加工)两个方向上蓬勃发展,急剧地改变了现代制造业的产品结构、生产方式、生产工艺和设备及生产组织体系,使现代制造业成为发展速度快、技术创新能力强、技术密集甚至知识密集型产业。

尤应指出:信息逐渐成为主宰制造业的决定性因素,企业内联网和国际互联网已经对制造业产生重大影响,并将产生更大影响。

3. 可持续发展战略

日益严峻的环境问题引起国际社会的普遍关注,世界环境与发展委员会(WCED)于1987年向联合国42届大会递交的报告《我们共同的未来》正式提出了“可持续发展”的思路,其定义是:既满足当代人的需求,又不对子孙后代满足其需要之生存环境构成危害的发展。世界资源研究所于1992年对可持续发展给出了更简洁、明确的定义:建立极少产生废料和污染物的工艺或技术系统。上述定义强调了当代人在创造和追求今世发展和消费的时候,不能以牺牲今后几代人的利益为代价;社会经济发展模式应由粗放经营、掠夺式开发向集约型、可持续发展转变。面向可持续发展的制造业,应力求对环境的负面影响最小、资源利用效率最高。

鉴于上述社会、经济、科学技术以及环境资源保护的历史背景下,各国政府和企业界都在寻求对策,以获取全球范围内竞争优势,传统的制造技术已变得越来越不适应当今快速变化的形势。

先进的制造技术,尤其是计算机技术和信息技术在制造业中的广泛应用,使人们正在或已经摆脱传统观念的束缚,使人类跨入制造业的新纪元。

先进制造技术作为一个专用名词的出现,是在20世纪80年代末由美国根据本国制造业面临的挑战与机遇,对其制造业存在的问题进行深刻反省,为了加强其制造业的竞争力和促进本国国民经济的增长而提出来的。

二、先进制造技术的发展概况

先进制造技术的提出是制造业新技术发展实际进程的反映,它一经提出,立即得到欧洲各国、日本以及亚洲新兴工业化国家的响应。近年来,各国纷纷制定了多种发展计划,以支持发展先进技术。中国近年来也十分支持先进制造技术的发展。

1. 美国——先进制造技术计划和制造技术中心计划

先进制造技术计划是美国联邦政府科学、工程和技术协调委员会于1993年制定的6大科学和开发计划之一,其目标为:

- (1) 为美国工人创造更多的高技术、高工资的就业机会,促进美国经济增长。
- (2) 不断提高能源效益,减少污染,创造更加清洁的环境。
- (3) 使美国的私人制造业在世界市场上更具有竞争力,保持美国的竞争地位。
- (4) 使教育系统对每位学生进行更具有挑战性的教育。
- (5) 鼓励科学界把确保国家安全及提高全民生活质量作为核心目标。



该项计划 1994 年度的预算为 14 亿美元,围绕如下的 3 个重点领域开展研究:

(1) 下一代的“智能”制造系统。

(2) 为产品、工艺过程和整个企业的设计提供集成的工具。

(3) 基础设施建设,包括扩展和联合已有的各种推广应用机构、建立地域性的技术联盟(技术联合体)、制定有关国家制造技术发展趋势的监督和机制、制定评测准则和评测指标体系等。

此外,各政府部门还结合本部门职责,制订了有关先进制造技术专项计划,如美国国家科学基金会(NSF)工程部的专项计划包括:设计、制造和工业创新、战略性制造倡议计划、工程研究中心计划、管理和技术创新计划、面向小企业创新研究计划和新技术推广计划、促进产业和学术界结合计划等。

制造技术中心计划——又称为合作伙伴计划,指政府与企业在共同发展制造技术上进行密切合作,针对美国 35 万家中小企业,政府的职责不是让这些企业生产什么产品,而是要帮助他们掌握先进技术,使他们具有识别、选择适用于自己技术的能力。该计划要求在每个地区设立一个制造技术中心,为中小企业展示新的制造技术和装备,组织不同类型的培训,帮助企业了解和选用最新的或最适合于他们使用的技术和装备。

制造技术中心于 1988 年颁布。根据该计划,1989 年全美建立了 3 个制造技术中心,他们已帮助 6000 多家企业通过技术进步节约了 1.3 亿美元的生产成本。1991 年春天又成立了 2 个中心,到 1992 年这 5 个中心的活动费用为 1500 万美元,1993 年为 1800 万美元,全部由美国国会拨款。至 1994 年底,在全美共计建立了约 30 个这样的中心。

这些制造技术中心的作用,是在制造技术的拥有者与需要这些技术的中小型企业之间建立沟通桥梁。制造技术的拥有者通常是政府的研究机构、试验室、大学及其他研究机构。

2. 日本——政策和智能制造技术计划

自第二次世界大战之后,日本在数控机床、机器人、精密制造、微电子工艺领域取得了世界领先的进展,在产业技术政策上逐步从重视应用研究转向加强基础研究,以便彻底摆脱“美国出创新概念,日本出创新产品”的局面。日本走出一条:技术引进—自主开发—加强基础研究的技术发展的道路。

1990 年日本通产省提出了智能制造计划(Intelligent Manufacturing System, IMS),并约请美国、欧共体、加拿大、澳大利亚等国参加研究,形成了一个大型国际共同研究项目,由日本投资 10 亿美元保证计划的实施。该计划目标为:要全面展望 21 世纪制造技术的发展趋势,先行开发未来的主导技术,并同时致力于全球信息、制造技术的体系化、标准化。

智能制造计划的研究目的为:通过各发达国家之间的国际共同研究,使制造业在接受订货、开发、设计、生产、物流直至经营管理的全过程中,做到使各个装备和生产线自律化,制造全球化的发展趋势,减少庞大的重复投资,并通过先进、灵活的制造过程的实现来解决制造系统中的人为因素。这里所谓的“自律化”,是指能够根据周围环境以及生产作业状况自主地进行判断,并进行及时决策变更作业工程,也就是说,给予装备和生产线



一定的决策智能。

3. 欧共体——EREKA 计划、ESPRIT 计划和 BRITE 计划

西欧各国的制造业强烈地感受到来自美国和日本的压力,并清楚地认识到,如果欧洲共同体成员保持各自分散的市场,那将无法同美日抗衡。正如德国前总理科尔说:“任何一个欧洲国家都不可能仅靠自身的力量有效地对付美国和日本的技术挑战,欧洲只有把财力和人力集中起来,才能保持自己在未来世界上的经济地位。”法国前总统密特朗提出,要使欧洲不致落后太多,一个统一的欧洲是激发国家创造力的重要支柱,欧洲必须团结在一项伟大工程的周围才能拯救欧洲。为此,欧共体各国政府与企业界共同掀起了一场旨在通过“欧共体统一市场法案”的运动,并制定了“尤里卡计划(EREKA)”、“欧洲信息技术研究发展战略计划(ESPRIT)”和“欧洲工业技术基础研究(BRITE)”等一系列发展计划。

在尤里卡计划中,1988 年用 5 亿美元资助了涉及 16 个欧洲国家 600 家公司的 165 个合作性高科技研究开发项目。

欧洲信息技术研究发展战略计划的 13 个成员国向 5500 名研究人员提供了资助。把 CIM 中信息集成技术的研究列为五大重点项目之一,明确向 CIM 投资 620 万欧元作为研究开发费用,抓好 CIM 的设计原理、工厂自动化所需的先进微电子系统及实时显示系统进行生产过程管理的三大课题。

欧洲工业技术基础研究计划重点资助材料、制造加工、设计以及工厂系统运作方式等方面的研究。

4. 韩国——先进制造系统计划

1991 年韩国提出了“高级先进技术国家计划”,目标是将韩国的技术实力提高到世界第一流工业发达国家的水平,并希望通过这一计划的实施,在 21 世纪初加入七国集团。

该计划包括 7 项先进技术和 7 项基础技术,其中的“先进制造系统”是一个将市场需求、设计、车间制造和营销集成在一起的系统,旨在改善产品质量和提高生产率,最终建立起全球竞争能力。该项目由 3 部分组成:

(1) 共性的基础研究:包括集成的开放系统、标准化及性能评价。

(2) 下一代加工系统:包括加工设备、加工技术、操作过程技术。

(3) 电子产品的装配和检验系统:包括下一代印制电器的装配和检验系统、高性能装配机构和制造系统、先进装配基础技术、系统操作集成技术、智能技术。

5. 中国先进制造技术的发展现状

(1) 在设计方面,计算机辅助设计(CAD)技术普及化。计算机辅助设计(CAD)技术,是电子信息技术的-一个重要组成部分,是促进科研成果的开发和转化,促进传统产业和学科的更新和改造,实现设计自动化,增强企业及其产品在市场上竞争能力,加速国民经济发展和国防现代化的一项关键性高新技术,也是进一步向计算机集成制造(CIMS)发展的重要技术基础。CAD 技术的广泛应用,提高了中国企业整体的设计水平和产品开发能力。以二维 CAD 和产品数据管理为重点,在软件市场和企业应用方面得到充分的发挥。