

先进生产力管理技术

XIAN JIN SHENG CHAN YU GUAN LI JI SHU WEN JI

文集



前言

世纪之交，国际经济全球化和区域经济多极化的战略格局已然形成。面对机遇和挑战，各工业发达国家和部分发展中国家和地区都投入了大量的财力和人力，强化先进生产与管理技术的研究开发。这些技术的发展与应用，已使日本在制造业等领域获益匪浅，美国将其视为 21 世纪夺回制造业霸主地位的法宝。因此，研究和应用先进生产与管理技术，将是各国增强国力和竞争力的重要手段之一。

先进生产技术与先进管理技术是不可分割的整体。国内外 80 年代在制造领域兴起的计算机集成制造系统（CIMS）、并行工程（CE），以及 90 年代成为热门话题的敏捷制造（AM）等，无不试图从生产、管理等方面多角度、多层次地集成生产制造领域的各个环节，并达到整体优化，由此产生了许多与生产和管理相关的新的哲理。譬如，如何在产品设计时便考虑产品的制造加工、市场、服务等；如何实现无图纸的设计革新和零库存的生产战略；如何以具有独占性技术或产品为核心，组成共同取胜获益（win-win）的动态联盟；如何重新审视企业的核心成本等等。这些新的哲理或理念，在逐步付诸实施中又在各种先进生产技术支持下，如在适应现代制造技术的 CA 系统、拟实产品开发、机器人技术等的支持下，形成各具特色的生产与管理模式。

《先进生产与管理技术文集》汇集了近年来先进生产与管理技术方面的最新情报研究成果，全面、系统地阐述和介绍了先进生产与管理技术的基础研究与发展战略、先进生产管理技术、先进生产技术以及国外经验等。我国工业企业正值改革、重组之际，如何实施“两个根本性转变”，需要理论指导和实践探索。该文集从不同角度和层次提供了有关生产与管理的新的理念、技术和实施的经验教训。我相信，它的出版将从战略层、战术层和操作层上为我国企业，尤其是国有大中型企业的改革提供技术支持和指南，在探索和实践为企业注入新的活力。同时它也将为从事生产与管理的各级领导、科研人员提供有效的借鉴和参考，加速工业生产与管理的改革步伐。

中国科学院院士



目 录

基础研究与战略

先进制造技术基础研究现状及发展趋势	张伯鹏 汪劲松 郑力等 (1)
跨世纪先进制造技术基础研究	雷源忠 (5)
新的制造战略—绿色制造	陈茂熙 顾新建 (10)

生产管理技术

并行工程的实践—对波音 777 和 737-X 研制过程的考察	梁思礼 (14)
并行工程 (CE) 在航天工业中的应用研究	王一然 沙毅 朱林崎 (23)
国外敏捷制造的发展和在航空航天领域中应用的分析研究	朱林崎 王一然 (64)
先进制造生产模式与管理的研究	汪应洛 孙林岩 黄映辉 (98)
建立适应现代制造技术的 CA 系统	盛伯浩 (114)
TQM 在军工部门推广、应用与实际效果的调研	冯振兴 (119)

先进生产技术

先进制造技术及系统集成	李伯虎 全春来 (129)
国内外计算机集成制造系统 (CIMS) 发展趋势的分析研究	王一然 沙毅 (138)
拟实产品开发—加速新产品进入市场的有效途径	王坤兴 田雨华 (169)
未来机器人技术发展方向的探讨	蒋新松 (178)
国外典型 CAD/CAM 系统的对比分析研究	王一然 沙毅 (185)

国外经验

美、日、韩先进制造技术的发展战略和工业实践	陈玉祥 屈贤明 李师廉 (213)
日本制造业的回顾与展望	[美] Jay Lee (王永业 龚智辉译) (223)
附 常用缩写字母注释	(241)

先进制造技术基础研究现状 及发展趋势

张伯鹏 汪劲松 郑力
冯之敬 杨向东

摘 要 从全球和国内社会经济发展以及当代科学技术发展角度阐述先进制造技术产生的背景。探讨先进制造技术基础的发展趋势。指出中国在发展先进制造技术基础方面的相对优势,探讨中国发展先进制造技术基础的策略。

关键词 先进制造技术,基础研究,快速响应,可重组

一、先进制造技术产生的背景

(一) 社会经济发展背景

战后全球社会经济发展的历史经验证明,一个国家的实力及其繁荣,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,例如据国外材料,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艺劳动是难以替代的,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,提高制造业发展水平,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等是相互关联的整体,相互促进。

面向21世纪国际化市场竞争的日益激烈和高新技术的迅猛发展,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学科。

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。二战后的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,先后出现了数控(NC)、计算机数控(CNC)、直接数控(DNC)、柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)、计算机辅助设计/制造(CAD/CAM)、计算机集成制造(CIM)、按时生产(JIT)、制造资源规划(MRP-Ⅰ)、精益生产(LP)和敏捷制造(AM)等多项先进制造技术与制造模式,制造业正经历着一场新的技术革命。

制造技术是面向工业的将原材料、信息与劳务物化为市场所需求的可售产品的应用工程技术,是直接创造社会财富、支撑和促进制造业发展的基础技术。随着科学技术的发展,特别是以计算机与信息技术为代表的高新技术的迅速发展,使传统制造业的制造技术和制造模式不断进步,不断吸收机械、制造工艺、计算机、电子、信息、自动化、材料及现代经营管理等领域的新成就,并将其综合应用于市场开拓、研究开发、产品设计、制造、装配、检测、经营管理和售后服务等全过程。

制造技术是研究开发、发明与发现等走向应用的接口和桥梁,是提高企业产品竞争力的根本保证。在未来的竞争中,谁掌握了先进的制造技术,谁就掌握了市场。

30年来世界经济发展表现为竞争全球化,市场需求波动且资源价格上扬,顾客需求朝小批量多样化方向发展,消费者的行为更加具有选择性,产品的性能和质量至关重要,产品的商品寿命缩短。为了提高产品和企业的竞争力需要不断缩短生产周期,能对市场需求作出快速响应并重组企业成了企业生存与繁荣的关键。当今对于一个国家,规模生产技术仍是重要的,但市场需求的变化,促使在研究开发先进的规模生产技术的同时,应大力研究开发多品种变批量一次制造成功的先进制造技术。

可以看出当代先进制造技术的发展,有其深刻的国际经济竞争背景。各国提出的先进制造技术研究开发,都是以提高国际竞争力、促进国家经济繁荣和提高综合国力为目标。为此,各国政府都从规划、资助、协调、管理等方面介入,以促进先进制造技术的发展。

(二) 当代科学技术发展背景

在上述同一时期,计算机、微电子、信息、自动化、新材料和现代企业管理技术的迅速发展,给产品创意、研究开发、设计、工艺设计、加工准备、制造工艺、装备、装配、质量保证、生产管理和企业经营都带来了重大变革。

现代制造技术的形成,大致可以追溯到本世纪初,源于汽车工业和枪械工业的大批大量生产方式,提出了一系列有待解决的制造技术问题。就在这一时期 Taylor 提出了提高作业效率的计时高效作业方法和工件分类的设想,不久就出现高速钢刀具。30年代出现了硬质合金,一期几个工业化国家在大量切削实验基础上,都先后建立了加工用量标准,并开始将统计方法用于产品质量控制。40年代在军事订货推动下,制造业和制造技术都取得很大发展,普通

加工精度已经达到微米级，新型合金和精密铸造、锻造都得到工业应用，组合机床和刚性自动生产线的应用取得了巨大效益，成组技术在多品种中小批量生产中得到成功应用。50 年代初诞生了数控机床。

从制造技术和制造模式角度看，本世纪上半叶工业化国家的制造业大部分是在需大于供的市场环境牵引和技术推动下，从事单一产品的大量生产，从 50 年代初诞生数控机床以后 20 年里，数控单机逐步走向实用，研究开发 CAD/CAM，提高产品质量的一致性和提高制造装备和系统可靠性，是这一阶段制造技术发展的主流。进入 70 年代，数控机床得到普及应用，制造技术在提高制造系统柔性和制造信息集成领域，取得了重要进展，1990 年计算机和信息技术已在制造业中得到广泛应用，推出了多种制造自动化通讯协议和制造信息管理系统。1990 年后，全球制造业日益分布化，市场竞争激烈，市场环境出现供大于求的现象，制造业的动态协作和产品的配套化趋势明显，快速响应市场需求和制造组织与手段的可重组，是当前制造业发展的重要走向。

近 30 年来，工业化国家的制造技术产生了质的飞跃，推动这一变化的因素是多方面的，首先是生产发展的需求，加之高新技术成就的渗透、衍生和应用。其中最主要的因素有：

(1) 微电子工业、航空航天工业、汽车工业和机床工业等的生产需求，促进了先进制造工艺的发展，包括先进常规工艺与装备，微米、纳米加工技术，精密与超精密加工技术，特种加工技术，纯形工艺，材料改性等新工艺。

(2) 计算机、微电子、信息、自动化和新材料等高新技术的迅速发展，给制造业带来了重大变革，制造技术日新月异，制造工程与科学取得了前所未有的成就。设计方法、加工工艺、加工装备、测量监控、质量保证和企业经营管理等领域，都和高新技术相融合，产生了一批新的制造技术和制造模式。CAD、NC 和柔性制造已得到广泛应用。

加工装备走向机电一体化、一机多能、一次夹紧加工、少无定位加工、粗精加工一体化、加工检测集成、人机一体化，先后推出了用于堆砌成型的台式加工设备、以铣代车机床、拉削车床、点式磨床、机器人化机床、虚拟轴机床、高速模块化机床等新型加工机床，数控机床走向智能化。智能化加工单元的研制也提到了日程上。为了保证产品能一次研制成功，产品质量保证朝着动态、实时、在线方向发展，ISO9000 认证正在为更多的企业所采纳。

上述技术进步及其应用，为先进制造技术的发展提供了科学技术基础。

二、国外先进制造技术基础发展趋势

先进制造技术是支撑制造业创造社会财富，使企业在激烈的市场竞争中，保持竞争力和领先的手段。面对 21 世纪，各工业发达国家和部分发展中国家和地区，近十几年特别是从 80 年代末以来，都投入很大财力和人力，强化先进制造技术基础的研究开发。

国外先进制造技术基础的发展趋势大致是：

(1) 由于先进制造技术对国家经济的重要性，各国先进制造技术基础的规划、资助、协调和管理主要是以国家行为方式实施的。

(2) 面对大制造业，以提高本国制造技术水平，提高本国产品和企业竞争力，保持本国制造业在国际上的领先地位，获取效益，创造本国经济繁荣为总目标。

(3) CADD 普及率不断提高，CAD 与 CAM 链接，开发少无图纸快速制造系统，实施并

行工程，开展虚拟制造与互联网络辅助制造技术研究。

- (4) 加工工艺注重高效精密加工工艺、特种与复合加工工艺、纯形工艺等开发。
- (5) 加工装备智能化、多功能化、高参数化。发展全功能通用控制系统。
- (6) 提高生产准备工作的柔性。
- (7) 实施先进制造模式，研究企业集成、虚拟企业与人因工程。
- (8) 设计、制造知识采集并规范化，建立设计、制造工程数据与知识库。
- (9) 发展少无污染制造技术，注重用弃产品的解体、回收与再利用。
- (10) 加强制造工程与科学应用基础研究。

三、国内先进制造技术基础规划研究现状、 优势和展望与预测（略）

跨世纪先进制造技术基础研究

雷 源 忠

摘 要 阐述先进制造技术基础研究在发展中国先进制造技术和制造业中的地位 and 作用；指出跨世纪先进制造技术基础的发展趋势及其特点；论述先进制造技术基础的先导性、基础性、创新性和应用性；提出跨世纪先进制造技术基础的战略目标和任务。

关键词 先进制造技术，基础研究，发展趋势，机械工程

先进制造技术是在制造系统和制造过程中有机融合并有效应用微电子、信息、管理等现代科学技术，优质、高效、低耗、及时地制造出市场需求的产品的先进工程技术的总称。先进制造技术基础是支撑和产生先进制造技术的理论、方法和技术基础。

近年来，由于世界范围内的科技进步，特别是信息科学技术的发展，全球制造业正进入一个变革的时代。其主要趋势及特点是：

(1) 市场 制造业及其制造技术的存在和发展是由市场来决定的。由于产品市场运态多变，产品的质量、价格、服务和交货期已成为制约制造业发展的四大要素；

(2) 国际化 由于世界市场竞争和协作氛围的形成以及全球信息通信网络的建立，制造业、制造产品和制造技术正走向国际化；

(3) 高技术化 以微电子技术为代表的高技术正在更新制造技术、改造制造业；智能、精密、微细、多学科交叉、系统化、自动化是先进制造技术的发展趋势；

(4) 新的制造模式 先进制造技术的竞争正在导致制造业在全球范围的重新分布和组合，新的制造模式不断出现。

一、历史回顾、现状及分析

美国自然科学基金会 (NSF) 近年来很重视制造领域的基础性研究。在 1995 年 NSF 的项目指南中，先进制造技术是 NSF 的 8 个优先领域之一。美国在制造技术基础研究领域提出了许多新理论、新概念、新方法和新技术，例如：1974 年，约瑟夫·哈林顿提出计算机集成制造概念；1985 年，NSF 设立 18 个国家工程中心（其中包括设在普渡大学的智能制造工程中心），New York 大学 Bourné 教授发表《制造智能》专著；1991 年，里海大学几位教授提出敏捷制造的概念。

80 年代中期，我国设立了国家自然科学基金委员会；建立了机械强度与振动、摩擦学、流

体传动与控制、激光、模具、焊接、测试与精密仪器、精密成形、汽车、超精密加工等国家重点实验室或工程中心；实施了 863 高技术计划，攀登计划和攻关计划，在制造技术基础研究和先进制造技术领域取得了瞩目的成就。

中国自然科学基金委员会已将先进制造技术基础列为“九五”优先领域。10 年来，国家自然科学基金各相关学科资助了数千项先进制造技术基础项目，仅机械学科就资助了 1000 多个项目。项目的成果辉煌：在国内外重要刊物和学术会议上发表论文 5000 余篇，获国家自然科学基金、国家科技进步奖 20 多项，省部级奖 100 余项，专利 100 多项，推广成果 150 项，为制造工程提供大批新理论、新技术，直接或间接经济效益数十亿元。可以认为我国先进制造技术在不少领域的研究已接近或达到世界先进水平。

尽管我国的制造业有长足进步，但与工业发达国家相比仍然有很大的差距，先进制造技术大部分依赖引进。据统计在我国近年开发成功的 92 种典型机械产品中，自主开发的产品只占 46%，国内机械行业主导产品的技术主要来源于国外；我国机械产品的名义竞争力（出口额与进口额之比）1990 年为 0.466，1993 年为 0.376，1994 年为 0.28，产品竞争力不仅没有加强，反而减弱；1993 年机械产品进口额高达 388 亿美元，占全国外贸进口总额的 37%，进出口逆差达 242 亿美元；至今我国还没有自主知识产权的现代轿车的总体设计能力，轿车工业被称为“殖民工业”；三峡工程举世瞩目，而我国却因技术原因无权参与水轮发电机组制造的投标；许多精密仪器、特大型铸锻件、不少机电产品的核心部件（如电冰箱和空调的压缩机、录像机和复印机的磁鼓、计算机硬磁盘等）都依赖进口。

造成上述差距的原因是多方面的，其中一条重要原因就是基础研究方面的差距。多年来，制造技术的研究不受重视，在制造技术的研究上投入过少；大部分中小企业不设制造技术的研究机构；大学、研究所的研究与市场和企业严重脱节。

二、跨世纪先进制造技术基础研究的发展趋势和特点

跨世纪制造技术基础研究的最大特点是电子、信息、管理等科学与机械科学的交叉融合。其主要发展趋势是：

（1）向超精微细领域扩展 微型机械、纳米测量、微米/纳米加工制造的发展使制造工程科学的内容和范围进一步扩大，要求用更新、更广的知识来解决这一领域的新课题。

（2）多学科交叉及系统优化集成 例如：快速原形制造是计算机、激光、材料与机械科学技术的交叉；生物制造是利用生物细菌吞噬金属的特点使其用于加工微型机械零件，是生物学、纳米科学与机械学的结合。

（3）制造全球化 全球化制造是美国等西方发达国家合作研究智能制造技术时提出的概念，设想统一计划、分工合作、取长补短、发挥各自的优势共同完成一个智能制造系统计划。虽然全球化制造会受到各国社会制度不同和语言文化差异等的限制，但随着产品和市场的国际化及全球通信网络的建立，国际竞争与协作氛围的形成，制造国际化是 21 世纪发展的必然趋势。它包含：①制造企业在世界范围内的重组与集成（如虚拟公司）；②制造技术信息和知识的协调、合作与共享；③全球制造的体系结构；④制造产品及市场的分布及协调。

（4）制造技术与制造科学融合 制造科学是对制造系统和制造过程知识的系统描述。它包括制造系统和制造过程的数学描述、仿真和优化；设计理论与方法以及相关的机构学动力

学、结构强度、摩擦学、传动学。制造技术包含在制造科学之中，制造科学体现在制造技术里。

(5) 制造技术与生产管理统一 技术和管理是制造系统的两个轮子，由于生产模式结合在一起，推动制造系统向前运动。在 CIMS、IMS，FMS 中，管理是其中的重要组成部分。敏捷制造、虚拟制造、全能制造和精良生产等模式中管理策略和方法是这些新生产模式的灵魂。制造技术的管理是我国制造技术基础研究中的薄弱环节，如何将管理科学有机地和制造技术融合在一起，是探索中国 21 世纪制造模式的一个重要课题。

(6) 市场和企业是先进制造技术基础的依据 企业参与产学研结合是跨世纪先进制造技术基础的一大特点，由于产品是由市场来选择的，制造企业及其制造技术也是由市场来决定的，所以先进制造技术基础应有明确的市场观。由于制造技术是为制造业服务的，因此企业参与不仅是必须的，而且是必要的，我国市场经济的发展使这种必要成为可能。

三、先进制造技术基础研究的先导性、基础性、创新性和应用性

(一) 先导性

前沿是基础研究的领地。随着科学技术的迅速发展，制造科学技术不断产生新的前沿。先进制造技术基础应当瞄准国际先进制造技术前沿。同时，先进制造技术基础应成为先进制造技术的先导，为提出我国跨世纪先进制造技术做好理论、方法和技术上的储备。先进制造技术基础的研究应聚焦在今后 3~5 年乃至更远一些时候才有可能采用的理论、方法和技术。

虚拟制造是以计算机仿真、建模为基础，集计算机图形学、智能技术、并行工程、人工现实技术和多媒体信息技术为一体，由多学科知识形成的综合系统技术。虚拟制造是现实制造在虚拟环境下的映射，既具有身临其境的真实性，又具有超越现实的虚拟性。

虚拟制造是先进制造技术的前沿和先导，是我国跨世纪先进制造技术基础的优先领域之一。目前，可以从产品零部件的加工过程和产品的局部性能的虚拟制造研究开始，争取在 2010 年前能为飞机、汽车等复杂产品的虚拟制造提供理论方法和技术。

(二) 基础性

制造业的发展离不开先进制造技术，而先进制造技术必须以先进制造技术基础为基础。先进制造技术基础要侧重先进制造技术的基础理论、方法、技术、工艺和数据等应用基础的研究。现代设计必须以知识、信息和可靠的数据为基础。没有可靠的数据，设计中的数学模型及其仿真、建模就是不可信的；没有基于知识的设计，就没有现代设计；缺乏最新信息的设计，不可能设计出先进的适应市场的产品。而目前我国在这些方面的基础研究还很落后。设计、制造的基本数据还不都很准确和完善。对此，我们必须要有足够的认识。

未来产品是基于信息和知识的产品，这种产品的制造过程向支撑先进制造技术的基础研究提出了严峻挑战。制造过程科学面临一系列重点、关键和共性基础理论、方法和技术问题。例如：制造系统和制造过程的数学描述、建模、仿真和优化等基础理论；涉及计算机图形学、模式识别、图像处理、CAD、几何计算、推理、几何表示的计算机几何；涉及制造中的神经网络、人工智能、专家系统、模糊控制和遗传算法的制造智能科学；设计、制造信息和知识

的获取、组织、传递及使用共享；纳米制造加工的表面形貌、机械性能、加工精度、尺度测量；快速成形（零件）制造中的精度、零件的机械特性保证；超高速加工的机理和技术基础；新型制造装备的机构运动学、动力学、加工精度和效率等。

（三）创新性

先进制造技术基础的灵魂在于创新。先进制造技术基础除了要研究新理论外，还应注重新方法、新技术和新工艺原理的研究。它不仅要求在跟踪前沿时要联系实际，力图创新（跟踪型创新），而且更要重视我们自己的创造（原始创新或自主创新）。只有这样，才能不断提高我国机械工程科学技术的水平，才能不断缩小我国与世界工业发达国家之间的差距并最终赶上世界先进水平。

造成在制造业高技术领域自主开发产品少，引进产品多的直接原因是自己创新的并有自主版权的高新技术少，其根本原因是制造技术基础研究中的创新项目少。近年来中国国家自然科学基金项目中跟踪型研究多，自主创新项目很少的局面没有根本改变。

国外提出的 CIMS、敏捷制造、并行工程、精良生产、清洁制造、全能制造、快速成形制造、纳米技术等领域，我们不少专家也在跟踪研究。这些研究对于跟踪前沿是必要的，但应结合国情，联系实际，有所创新，不宜重复。例如，快速成形制造如要发展到超硬、耐磨的模具零件制造，必须在成形精度和材料的性能方面有大的创新；步行机器人如要实用，必须在速度、力量和稳定性等方面有大的突破；人机结合的快速、经济、易重组制造系统可能比昂贵的高度自动化的 CIMS 更符合国情；六轴机床是近年来国外提出的一种新式机床，我们也应此基础上开辟新思路，不可简单重复。

（四）应用性

我国制造基础研究成果已经或正在获得应用，不少已经产生巨大的经济效益。但基础研究的国家目标概念刚被人们所接受；基础研究所产生的高技术成果由于种种原因转化成生产力的比例不高；由先进制造技术基础转化为有自主知识产权的先进制造技术并不多。先进制造技术基础要把国家目标放在重要位置，就应把研究的触角伸向工程，选题要立足国情，联系实际，有应用前景，特别要注意研究我国机械制造工程中的关键科学技术问题，对于前沿研究课题，要看是否符合国情和实际，是否有应用前景。因此，研究应尽可能争取国内外合作，特别要鼓励企业参与。

四、先进制造技术基础研究的目标与任务

（一）意义

制造技术的基础性研究是产生先进制造技术的源泉，如没有先进制造技术的基础性研究，先进制造技术就会成为无源之水。而如果没有先进制造技术，我国的产品就会缺乏市场竞争的实力，就可能丧失我国制造业在世界市场上的竞争地位，从而影响我们国家的综合国力，影响我国经济和社会的发展。

（二）指导思想

根据中共中央和国务院制定的《关于加速科学技术进步的决定》，“在当前一个时期，基础性研究要把国家目标放在重要位置，把为国民经济和社会发展提供动力作为中心任务，重点解决未来经济发展和社会发展的基础理论和技术问题，创立新的技术和方法”。

（三）总任务

为我国的制造技术提供新理论、新方法和新技术，解决机械工程中提出的重大和关键的科学技术问题，为制造提供动力和技术储备，为振兴我国制造业，使我国先进制造技术和制造产业进入国际先进行列做出贡献。

（四）总体目标

瞄准先进制造科学技术前沿，自主创新与跟踪创新并行，争取在某些理论领域独具特色；在先进制造技术的理论基础、方法和技术上有重要的创新，在先进制造技术基础总体上达到国际水准；针对我国制造业实际，解决其中的关键科学技术问题，为产生具有我国自己知识产权的先进制造技术，为缩小我国制造业与国际先进制造业的差距，振兴我国制造业做出贡献。

（五）2000 年的目标

在以下领域有较大创新和发展，其中有的领域接近或达到国际先进水平。

制造系统及制造过程的基础理论（如制造系统的建模、仿真和优化；制造中的计算机几何；制造信息的组织、传递和网络；制造智能）；

局部广义优化设计（结构、静动态特性、强度优化设计等）；部分强度、动态、摩擦学设计数据库；设计知识（数据、信息、知识）的获取与处理；

精密与超精密加工技术；微米/纳米加工和测试技术；激光和特种加工技术；大型机械部件及系统的质量控制；质量监控与可溯源理论与技术；

智能制造基础理论技术；CAD/CAPP/CAM 集成；并行工程；CIM 单元技术；快速原型制造；近净成形工艺；工艺过程、零部件、产品局部性能、简单产品的虚拟制造；快速重组等制造模式探索。

（六）2005 年前后的目标

在以下研究领域有较大的创新和发展，使制造科学理论和部分制造技术基础立于世界先进制造科学技术之林。

制造科学理论；含全寿命、洁净、使用性能、成本在内的全广义优化设计；设计数据库（含材料及其性能数据、摩擦学设计、静动强度、动态性能数据、工艺数据等）的完善、设计信息、知识网络交互及共享理论和方法。

微型机电系统理论及技术（有智能计算、控制器、传感器、驱动器、能源、执行器等的微型机器人系统、微机械系统）；

超精密、微细、纳米加工理论与技术；高效率、高精度、多维激光加工技术；特种加工方法和技术基础；

智能超精密仪器与设备（智能机器）；智能制造单元和智能制造系统；人机结合的、经济、灵活、效益型 CIMS；无图纸制造；全球制造；

快速零件（模具、特殊零件）制造；直接快速制造；无余量成形制造；

汽车、飞机等复杂产品系统的虚拟制造；清洁制造；灵活、经济、高效型制造模式；产品质量保障体系基础。

新的制造战略——绿色制造

陈茂熙 顾新建

摘 要 介绍目前正席卷全球的绿色制造的背景、现状和理论基础,指出绿色制造是今后企业的新的制造战略,介绍和分析了绿色制造所带来的机械设计和制造观念和方法的变化。

关键词 绿色制造,绿色产品,社会生态学,机械工程

一、绿色制造——21 世纪的战略

大气层中臭氧层的破坏和局部消失,过量的 CO_2 逸入大气支导致的“温室”效应及“空中死神”酸雨的迅速蔓延,是当今人类面临的三大全球性的灾难性危机。工业废弃物的大量增加和能源的巨大消耗,也已成为威胁人类生存的全球性的问题。据专家估计,贵金属矿物如金、银、铂、锌、铜、钨和锡,以及能源资源石油和煤将于 21 世纪初中期被采完。人们发出了救救地球的呐喊。

我国的环境问题尤其严峻。我国人均自然资源短缺,如淡水、耕地、森林和草地资源分别只占世界人均水平的 28%, 32%, 14% 和 32%。以煤为主的能源结构导致大气污染严重,工业污水处理率仅 68%,生活污水处理率不到 10%,只有 30% 左右的固体废物和生活垃圾得到处理。

1992 年里约热内卢联合国环境与发展大会对人类环境与发展问题进行了全球性规划,提出了可持续发展的新思路,使持续发展这一模式实现了国际间政府的共识。我国政府率先制定了《中国 21 世纪议程》,将环境保护作为我国 21 世纪可持续发展的核心内容之一,并将采取包括实施“绿色计划”在内的一系列环境保护行动,提出要开发、生产“绿色产品”,控制生产过程对环境的污染,提高资源利用率,以最小的能源和资源消耗取得最大的社会效益和经济效益。

在这种背景下,日本提出面向 21 世纪的智能制造系统 (IMS) 的国际合作研究开发计划中的一个重要研究内容就是清洁制造。美国 21 世纪战略——敏捷制造也强调企业对社会的正效应。德国“制造 2000”的战略计划的主要目标之一是“清洁制造”,改善制造业对环境的影响,进一步考虑环境对生产和消费的可承受性。该计划的“保护环境的生产集成”推进计划中将工业生产的发展与避免增加环境负荷的问题联系起来,支持循环经济过程和资源保护。集成环境保护的另一要点是,必须包括完整的产品制造、产品使用和产品维护,例如:①材料提取时的环境和资源保护。②改变生产技术,替代采用环境可承受的材料,过程内和过

程外的物流循环。③与环境相容的产品结构, 保护环境的运行、维护和再利用。④废弃材料的再循环, 成为高质量的再生材料。⑤不能再用的废弃料通过预处理以一种保护环境的形式回到生物环境。

由于以下原因, 绿色制造正在成为一种新的制造战略: ①日益恶化的生态环境的现实。②越来越严厉的环保法律。③消费者的越来越强烈的环保意识。一些发达国家的企业已经认识到: 产品的“环境印象”将直接影响其生命力, 继而关系到企业的存亡。它们已经将“环境印象好的产品”作为市场决策依据之一。

二、绿色制造的理论基础——社会生态学

社会生态学也有人称人类生态学或工业生态学。它的研究对象是人与自然所组成的社会生态系统, 所采用的方法是利用生态学的一些成果, 对社会生态系统进行分析。社会生态学的研究目的是为了实现人类社会的持续发展。所谓持续发展就是既满足当前的需要, 又不会危及子孙后代生存利益的发展。社会生态学的研究内容有: 人与自然关系间各个不同层次(从个人、家庭到地区、国家、全球)的“流”(或过程)问题, “网”(或功能)问题的动力学机制、控制论方法和控制学手段, 它以其特有的异源性、综合性和实用性正向全世界展现其交叉科学的蓬勃生机和解决人类生存发展问题的巨大潜力。社会生态学是绿色制造的理论基础。

生物体与环境组成了一个生物生态系统。生命是有机体与环境进行物质、能量和信息交换的过程。生物的环境包含两方面: ①物理环境: 生物周围与之有关的理化因素的总和; ②生物环境: 在同一物理环境中与其他生物间所形成的关系网。

生物生态系统的物质流的特点是它的循环性。物质流循环路径的完整性是生态系统保持较长时期稳定的一个重要条件。自然界的生物种群在生存和发展过程中利用或参与了物质流的运动, 但是一般地说不会破坏物质流的循环, 也不会造成对自己及后代不利的污染。为了能够永远维持下去, 生物生态系统在一个长时期内已经进化成性质上几乎完全循环的系统, 其中“资源”和“废物”不可区分, 因为对系统中的某一组元来讲是废物的东西, 对另一组元来讲则可能是资源。

社会生态学认为, 经济系统不是脱离其周围的环境体系而存在的。它要求人们有一种系统的观点, 即使整个物质流循环最优: 从原始物料到成品物料, 进而到部件、产品、废品, 直至最后的废物处理。人类要想长期得到稳定的发展, 其在使用材料和资源的理想方式应是类似于生物生态系统的循环模型的方式, 见图 1。

在整个社会生态系统的调整和进化中, 机械工业作为其重要的一个环节势必要发生巨大的变化。绿色制造这一新战略的提出就反映了这一变化。绿色制造的目标是在追求提高人类生活水准的同时, 系统地、全方位地、低成本地实现物质流的循环模式。

三、绿色制造的研究内容——绿色制造学

对机械工业来说, 环保问题如今已显得越来越重要。可以预料, 它将深刻改变人们固有的观念和思维定向, 并且对机械产品的设计和制造产生深刻的影响。一些新的机械设计和制

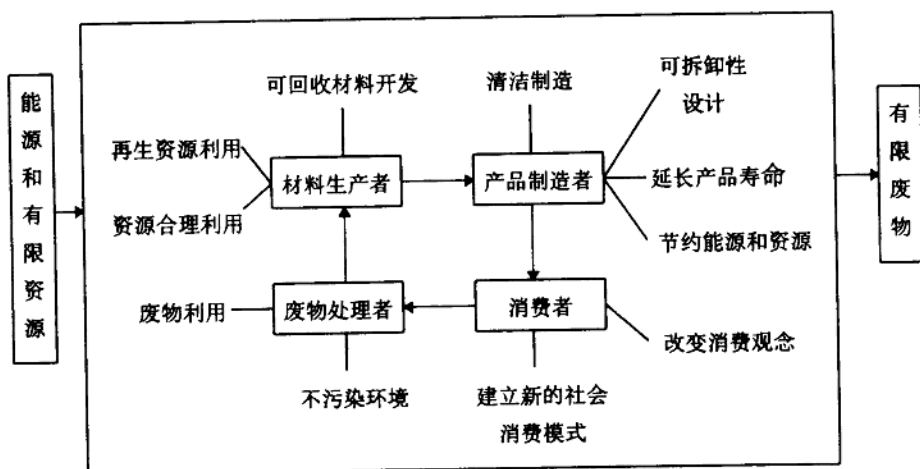


图1 社会生态系统的循环物流模型

造的观点和方法正在形成。

绿色制造战略的关键是可持续发展性，强调产品的设计和制造应是远虑的，既能够满足现在社会的需要，又不会给子孙后代的前景构成危害，即要有利于整个人类的持续发展。绿色制造战略包括以下一些内容：

（一）宜人性

宜人性主要表现为：尽量减少和消除产品在制造和使用过程中对人体的危害，如电磁辐射、噪音等；采用人机工程学的原理，在产品制造和使用过程中让人感到舒适。

（二）节省资源

资源包括三部分：能源、材料、资源和人力资源。所谓节能，就是要求产品的制造和使用较以前能显著地节省能量，能高效率地利用能源，或者是以安全、可靠和取之不尽的能源为基础，如太阳能；所谓节材，就是要求尽量减少使用地球上稀少的矿物材料和与生态环境密切相关的动植物资源；另外，还要求利用高度发达的信息技术、通讯技术和计算机技术，最大限度地充分合理地利用包括人力资源在内的各种资源。

（三）延长产品的使用周期

延长产品的使用周期的目的是减少浪费，减少增熵。这里不仅有技术上的问题，还有人们观念上的问题，延长产品寿命显然与现代社会追求时髦、追求与众不同的倾向相悖。延长产品的使用周期的方法有三种：①提高产品质量，使产品本身具有较长的生命周期；②在产品设计时就考虑到以后由于技术的发展或其他原因而对产品进行升级换代时的需要；③将产品的易磨损部分设计成可拆卸更换部件，以减少损失，使产品可重复使用。

（四）可回收性

产品的可回收性是将产品的整个生命周期扩展为包括设计、制造、销售、使用、维护和回收各环节。如德国奔驰汽车的可回收性已经作为主要目标被列入开发计划。其目标是汽车

的金属部件、塑料部件和其他材料，包括各种使用液的回收率要在 95% 以上。产品的可回收性设计的要求是：①产品中所用材料种类尽量简化，这将有利于产品报废后的材料分离工作。②以往强调产品的组装设计，今后要强调产品的可拆卸设计，因为拆卸和材料分类是产品失效后回收利用的必经之路，可拆卸产品还可减少包装和运输费用。③材料的可重用性，如选用可回收的塑料。

（五）清洁性

清洁性主要是指产品制造和使用过程中对环境的少无污染性。因此要研究和采用少污染、无污染的制造技术，减少乃至消除制造过程中的“三废”（废气、废液和废物）的排放；同时，在产品选材时，对那些还无法回收的零件要尽量采用在自然环境中容易分解的材料，如包装材料采用以玉米为原料的生态泡沫塑料，它不存在用后处理问题。也就是说，在产品设计时就要尽量减少产品报废所需费用，要想到产品失效后的出路问题。污染将被看作设计上的一种漏洞。

对绿色制造战略的清醒的认识，将促使我们尽早采取对策，进行这方面的研究。这不仅有利于人类的持续发展，也有利于企业的持续发展。

可以相信，随着公众生态意识的提高，随着国家和世界有关环境保护法律和规定的进一步完善，绿色制造、清洁制造、绿色产品、环境材料等概念将越来越被大家所接受，绿色制造厂家将在世界市场竞争中占有十分有利的地位，绿色产品将更容易占领市场。绿色制造将成为制造业决定市场胜败的一种重要的商业战略。除了产品的质量、成本、交货期外，产品的环保性能也将是产品竞争的重要要素之一。

可以认为，一门新的制造学——绿色制造学将会诞生。其最主要的特点是将产品的设计、制造、使用和报废的全过程纳入社会生态系统的物质循环模式中去。绿色制造学将在极大的时间和空间范围内展开，它与人类的持续发展密切相关，它与机械工业中的各种行业密切相关；它还与材料工业、立法、商业、教育等子系统密切相关。绿色制造的概念将使传统机械工业发生巨大的变化。绿色制造将是不可抗拒的历史潮流。

并行工程的实践

——对波音 777 和 737-X 研制过程的考察

梁 思 礼

摘 要 本文是一篇关于波音 777 和 737-X 飞机研制过程的考察报告, 主要介绍了在波音 777 飞机实践基础上改进的 737-X 飞机研制过程。在详细介绍 737-X 优化研制过程的同时, 重点分析了波音公司并行工程的实践及特点。

关键词 并行工程, 并行产品定义, 设计-生产协同组, 集成化产品协同组

自从 1982 年美国国防部提出并行工程 (Concurrent Engineering) 的概念研究以来, 相当长的一段时间并无多大实质性的进展。近几年各种国际会议上谈论 CE 和 Team (协同组) 的文章很多, 好像已经有不少厂家用上并行工程。但到底 CE 全过程怎么搞, Team 的组织和运行怎么进行, 我的认识还不很清晰。去年见到一条消息说波音公司用并行工程方式研制出 777 飞机, 后经介绍去波音商业飞机集团公司进行了几天交谈和考察, 现将初步的体会报告如下。

这次考察了 777 和 737-X 两种机型的研制过程, 后者是在前者实践的基础上进一步改进后形成的。因此文章在前面简单的讲一下 777 的研制过程和方法, 而文章主要全面介绍改进后的 737-X 优化研制过程, 波音称之为 “Preferred Process”。

1994 年波音公司向全世界宣布波音 777 飞机采用并行工程的方法, 大量使用 CAD/CAM 技术, 实现了无图纸生产, 试飞一次成功。波音 777 是一种介乎 747-400 和 767-300 之间的机型, 填补了这一段空白。它是一个全新设计生产的飞机, 由于采用了并行工程研制过程, 其效果显著。

(1) 从 1990 年 10 月开始设计到 1994 年 6 月, 仅用了三年八个月就试飞一次成功。周期缩短的主要原因是设计之初, 下游的工作基本上同时起步并行进行, 在正式生产硬件之前就在计算机环境上进行 100% 数字化预装配 (Digital Pre-Assembly DPA)。使设计更改、错误或返工报废减少了 50%, 减少了过去的大量时间浪费, 更早投入市场提高了竞争力。

(2) 同时由于上述原因, 成本费用大为降低。

(3) 由于设计全部采用三维实体模型, 非常精确, 通过数字化预总装, 协调配合得非常好, 最后全机质量有很大的提高。在实物总装后, 激光测量偏差结果表明, 飞机全长 63.7m, 从机舱前端到后端 50 多米, 最大偏差仅为 0.035 英寸 (即 0.9mm)。一次试飞成功也说明其研制质量之高。

(4) 同时所有零部件都是三维实体模型, 适应用户的不同要求的灵活性很大。例如发动机就有三个厂家的产品可选用, 另外机舱座位的安排, 厕所、厨房位置的安放都非常灵活, 就