

中国工程院 国家自然科学基金委员会

工程前沿

第 1 卷

未来的制造科学与技术

柳百成 主编



高等教育出版社

工程前沿

第1卷

未来的制造科学与技术

柳百成 主编

高等教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程前沿. 第1卷, 未来的制造科学与技术 / 柳百成
主编. —北京: 高等教育出版社, 2004.12
ISBN 7-04-016052-8

I.工... II.柳... III.制造业—文集
IV.TB-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 128759 号

策划编辑	王国翔	张海辰	责任编辑	赵天夫
封面设计	刘晓翔		版式设计	李杰
责任绘图	朱静		责任印制	杨明

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网址	http://www.hep.com.cn
电话	010-58581000		

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本	850×1168 1/32	版 次	2004年12月第1版
印 张	12	印 次	2004年12月第1次印刷
字 数	300 000	定 价	24.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号:16052-00

未来的制造科学与技术
编委会

主 任
柳百成

副主任
孙家广 关 桥 谢友柏

委 员
钟 掘 潘健生 冯培恩
朱森第 赵学文 祖广安
李仁涵 许庆彦

探讨工程前沿 展望未来发展

在过去的 20 世纪,世界工程科技迅速发展,极大地提高了劳动生产效率和人民生活质量,同时也改变着国家间的综合实力对比。历史充分证明,一部近代世界社会生产力的发展史,是由科学发现、技术革命、产业革命相互作用而推进的。工程科学技术的发展架起了科学和产业之间的桥梁,在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。

“工程前沿”研讨会正是在这种国内外发展的大背景下,由中国工程院和国家自然科学基金委员会联合发起、组织的。中国工程院是我国工程科技界的最高荣誉性、咨询性学术机构,有 650 多位院士,整个工作的重点和主体是院士。院士们作为我国一千多万名工程科技人员的杰出代表,作为新生产力的重要创造者和新兴产业的积极开拓者,他们以国家振兴为己任,在把握国家科学和工程技术发展方向,参与国家重大建设项目的决策咨询和培养年轻科技人才等诸多方面积极工作,成效显著。国家自然科学基金委员会是管理国家自然科学基金的国务院直属事业单位,主要任务是根据国家发展科学技术的方针、政策和规划,按照与社会主义市场经济体制相适应的自然科学基金制运作方式,运用国家财政投入的自然科学基金,资助自然科学基础研究和部分应用研究,发现和培养科技人才,发挥自然科学基金的导向和协调作用,促进科学技术进步和经济、社会发展。

“工程前沿”研讨会主要由院士主持,邀请工程技术方面的专家、学者参与,根据国家的需求,结合国情实力,共同探讨工程前沿学术问题。通过营造宽松自由的学术交流环境,促进基础应用学科的交叉融合,激发技术知识创新,带动产业发展,为发展国民经

济、建设现代化强国服务。其主题主要包括国家重大工程技术领域的关键问题及重要工程研究的前沿问题。每个主题中包括:报告并讨论在工程科技领域最新取得重大突破的研究与成就;交流新的学术思想、方法;探讨工程前沿、展望未来发展趋势。

“工程前沿”研讨会提倡学术平等、百家争鸣。鼓励学科交叉、促进科技创新。每次会议围绕主题设若干个中心议题。会期一般为两天。与会人员约 40 人左右。“工程前沿”研讨会实行执行主席负责制。执行主席可由在会议主题领域有高深造诣和卓越成就的著名专家、学者,经会议组委会聘请的方式担任。执行主席的任务是:按照会议主题确定 3~4 个左右的中心议题;邀请有权威性的评述报告人;与组委会共同遴选专题报告人与报告题目;组织和引导会议的讨论。会议通过执行主席推荐、组委会确定的方式遴选与会人员。与会人员是与会议主题相关并在该领域具有突出成就或作用的专家、学者及管理人员。与会人员应包括相当一部分不同学科崭露头角的杰出青年学者。每次“工程前沿”研讨会后,由高等教育出版社结集出版研讨会论文。

这次出版的《工程前言》第 1 卷就是第一届以“未来的制造科学与技术”为主题,收集了来自高校、企业、政府的从事学术、工程、行政管理的 40 多位专家、学者所作的精彩的学术报告。我们殷切地希望有更多的有志之士参与“工程前沿”研讨会,为了祖国的繁荣和人民的幸福,贡献自己的聪明才智。

刘德培

中国工程院副院长

2004 年 10 月

前 言

由中国工程院及国家自然科学基金委员会联合举办的第一届“工程前沿”研讨会于2003年10月27—29日在北京香山饭店召开。会议的主题是“未来的制造科学与技术”,会议就未来的制造科学与技术、产品设计方法与技术、成型制造科学与技术、加工制造科学与技术、基于模拟仿真的数字化制造、生物制造、绿色制造及可持续发展战略等专题进行了讨论。这次会议的召开是为我国制订“国家中长期科学技术发展规划”第三专题“制造业发展科技问题研究”中的“共性技术”分专题提供重要而有远见的建议。

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能力。我们必须清醒地认识到全面提高制造业整体科技水平和综合竞争能力的重要性与紧迫性。

经过几代人的发奋努力,我国的制造业已具有相当的规模和水平,提供重大装备的能力不断提高,制造业总体生产规模已居世界第四位,我国已经跻身于世界制造大国行列。但是,制造大国不等于制造强国。制造强国应当具备强大的产品自主研发能力和技术创新能力,作为制造业核心的装备制造能力将得到大幅度提升。我国的制造业工业增加值将争取进入世界前3位,成为令人信服的世界制造中心之一。

制造业的共性技术主要包括现代设计技术、成型制造技术与加工制造技术及其控制技术等。设计是产品创新的核心,而制造技术则是产品创新的保证。因此,制造业的共性技术是我国成为世界制造强国的一个重要技术支撑。总体来说,我国制造业共性

技术的发展仍然不能满足国民经济特别是装备制造业发展的需要,与国外相比仍存在相当的差距。

因此,基于制造业的现状与发展的需求,基于提高我国制造科学与技术水平的需求,中国工程院和国家自然科学基金委员会共同举办了这次工程前沿研讨会。在柳百成院士、关桥院士及谢友柏院士的共同主持下,在国内众多专家学者的积极参与下,本次会议就未来的制造科学与技术问题进行了广泛的研究与深入的探讨。本书是在与会专家的发言稿基础上进一步整理而成,清华大学机械工程系许庆彦博士等做了大量的汇总及编辑工作。通过本书,希望能对我国的制造科学与技术的现状及发展趋势有一个清晰地了解与认识,更希望制造科技工作者对这些问题能作进一步的思考,为提高我国的制造科学与技术水平,为争取我国成为制造强国而贡献自己的力量。

柳百成

中国工程院院士

2004 年 10 月

目 录

未来的制造科学与技术

- 展望未来的制造科学与技术 柳百成 (3)
- 飞行器制造工程中的科学技术问题 关 桥 (20)
- 搅拌摩擦焊——未来的连接技术 关 桥 (31)
- 极端制造——制造创新的前沿与基础 钟 掘 (40)
- 从振兴我国东北制造业得到的启示中探讨制造技术与科学
..... 李仁涵 (46)

未来的产品设计方法与技术

- 现代设计理论和方法的研究 谢友柏 (53)
- 21 世纪的工程设计学 冯培恩, 邱清盈, 潘双夏 (73)

未来的成型制造科学与技术

- 现代激光制造技术是 21 世纪的先进制造技术 左铁钊 (83)
- 粉末高致密化精密成型技术的发展和展望
..... 李元元, 陈维平, 肖志瑜 (91)
- 镁合金及其成型技术的研究进展
..... 熊守美, 刘艳改, 刘文辉, 柳百成 (104)
- 电子束物理气相沉积技术及其应用 刘方军, 武洪臣 (125)
- 高性能树脂基复合材料结构制造技术 戴 棣 (135)
- 薄板冲压成型工艺与模具技术的研究及展望 钟志华 (147)
- 定向与单晶高温合金涡轮叶片成型制造技术 李嘉荣 (171)

未来的加工制造科学与技术

- 基于智能化的集约制造技术 盛伯浩(183)
- 纳米制造技术研究的迫切性 董 申, 闫永达(193)
- 面向高性能电子产品的微、纳米制造技术 雒建斌(202)
- 集成电路制造中的超精密加工技术
..... 郭东明, 金洙吉, 康仁科(213)
- 理想材料零件数字化设计与制造中的科学问题
..... 贾振元, 郭东明, 杨 睿(227)
- 工程陶瓷材料的成型加工及表面改性和强化
..... 艾 兴, 张建华(239)

制造过程的建模与仿真

- 热处理的数学建模及计算机模拟——现状、问题及前景
..... 潘健生, 宋冬利, 顾剑峰(255)
- 热处理炉技术进展 康进武, 黄天佑(278)
- 合金凝固过程中微观组织形成的数值模拟
..... 许庆彦, 柳百成(296)
- 板坯连铸传输现象计算机模拟仿真 沈厚发(310)

生物制造、绿色制造及可持续发展战略

- 绿色再制造工程的发展及其前沿课题
..... 徐滨士, 刘世参, 朱 胜, 朱子新, 王海斗(325)
- 生物制造内涵初探 颜永年, 陈立峰, 熊 卓, 刘海霞(339)
- 生物制造 卢秉恒(354)

未来的制造科学 与技术

展望未来的制造科学与技术

柳百成

清华大学机械工程系

liubc@tsinghua.edu.cn

摘 要 为了建设全面的小康社会,需要强大的制造业的支持。制造业的发展必将带动制造科学与技术的发展,而制造科学与技术的发展又将大大促进制造业的前进。

“他山之石,可以攻玉”。近年来,美国对制造业的发展特别重视,最近,提出了“集成制造技术计划及路线图计划”。“计划”提出未来制造业面临的时代特征是:全球化竞争、环境保护与资源有限、信息广泛分布、技术变化加速、产品与技术知识含量密集及用户需求个性化。“计划”展望未来制造业取得成功的条件是:① 集成的企业管理信息系统;② 完全集成与优化的设计与制造系统;③ 基于科学的制造;④ 智能化工艺与装备及清洁生产。

我国制造业的突出问题是:一缺乏产品创新设计与开发能力,二成型制造与加工制造技术与工业发达国家相比仍有较大的差距。展望未来我国制造科学与技术的发展:要十分重视网络化、协同化、开放式复杂产品创新设计技术与科学,重大工程中的特大型及关键零部件的制造技术与科学,轻量化、精密化、清洁化成型制造技术与科学,智能化、高效化、柔性化、超精密加工制造技术与科学,基于模拟仿真的数字化、信息化设计与制造技术与科学,亚微米到纳米级的微细制造技术与科学,生物制造技术与科学,及对环境友好、可持续发展的绿色制造技术与科学。

一、前言

制造业是国民经济的物质基础和产业主体,是国家竞争力的

重要体现,是国家安全的重要保障。我国制造业已成为国民经济的重要组成部分,其工业增加值占国内生产总值(GDP)35.30%。中国已是世界制造大国,工业增加值居世界第四位,约为美国的1/4,日本的1/2,与德国接近^[1]。

为了建设全面的小康社会,需要强大的制造业的支持。展望未来,我国的制造业,其中特别是钢铁工业、能源工业、造船工业、航空航天工业、汽车工业、信息工业及重型装备制造业等将要有很大的发展。制造业的发展必将带动制造科学与技术的发展,而制造科学与技术的发展又将大大促进制造业的进步。

二、世界制造业科技发展趋势

20世纪以来,世界各国都对制造业的发展十分关注,其中美国对未来制造业及制造科学与技术的发展趋势预测,值得借鉴。美国重新提出“制造业仍是美国的经济基础”,要“促进先进制造技术的发展”。由于政府强有力的支持,美国重新夺回了制造科技及竞争优势。为了强调制造的重要性及在政府一级协调各个制造科技计划,美国政府首次在商业部设立了主管制造的部长助理^[2]。

为了预测未来制造业的科技发展,1997年美国制订了“下一代制造计划”(Next Generation Manufacturing),提出了人、技术与管理为未来制造业成功的三要素及十大关键技术(图1)^[3]。接着,又提出了“展望2020年制造业的挑战”(Visionary Manufacturing Challenges for 2020)^[4]。

1998年,美国进一步制订了“集成制造技术路线图计划”(Integrated Manufacturing Technology Roadmapping Project)^[5],提出未来制造业面临的六大时代特征是:

- (1) 全球化市场竞争;
- (2) 环境保护与资源有限,要求绿色制造;
- (3) 信息大量广泛分布,要求以最快的速度得到最有用的信息;

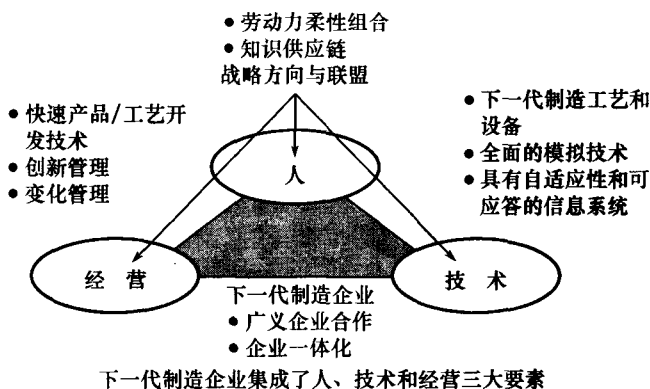


图1 美国 NGM 计划提出的十大关键技术

(4) 科学技术迅猛发展,新材料和新制造技术的发展大大加快;

(5) 制造技术及产品的知识含量大大增加;

(6) 用户需求提高及个性化特性。

例如,全球化市场竞争对中国制造业既是挑战又是机遇(如图2及图3所示)。

上述计划提出了多项未来制造业需要优先发展的关键技术,主要是:

(1) 快速产品/工艺集成开发系统;

(2) 建模与仿真技术;

(3) 自适应信息化系统;

(4) 柔性可重组制造系统;

(5) 新材料加工技术;

(6) 纳米制造技术;

(7) 生物制造技术;

(8) 无废弃物制造技术(减少废弃物及降低能耗)等。

“集成制造技术路线图计划”进一步提出面向21世纪的制造

企业要取得成功的必备条件^[5~12]。我国制造业已成为国民经济



图2 未来产品将在全世界采购



图3 全球市场及制造劳动力费用

1. 集成的企业管理信息系统

建立基于仿真(Simulation based)的工程、制造与经销系统,所有工程、制造与经销系统无缝联接,确保在正确的时间与地点能实时作出正确的决定。可在异地进行实时、协同的分布式生产,建成“虚拟企业”。

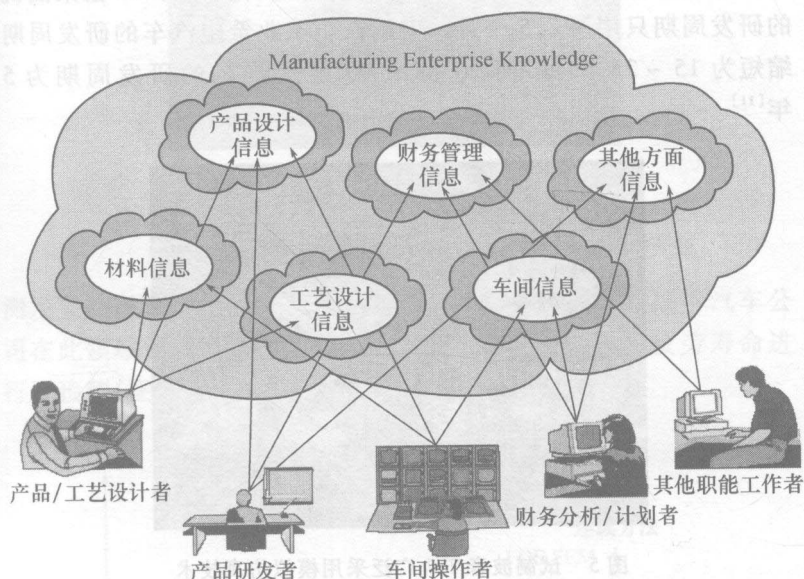


图4 集成的企业管理信息系统

2. 完全集成与优化的设计与制造系统

有丰富的基于科学与经验(Science and experience based)的知识库支持的智能化设计与制造开发系统,在功能、质量、可靠性与成本方面能提供最优产品。广泛采用模拟仿真技术,产品及零部件做到一次研发成功(First Product/Part Correct)。

波音777的试制成功是采用模拟仿真技术的范例,因为广泛采用模拟仿真技术,缩短试制周期40%,减少返工50%(图5)。