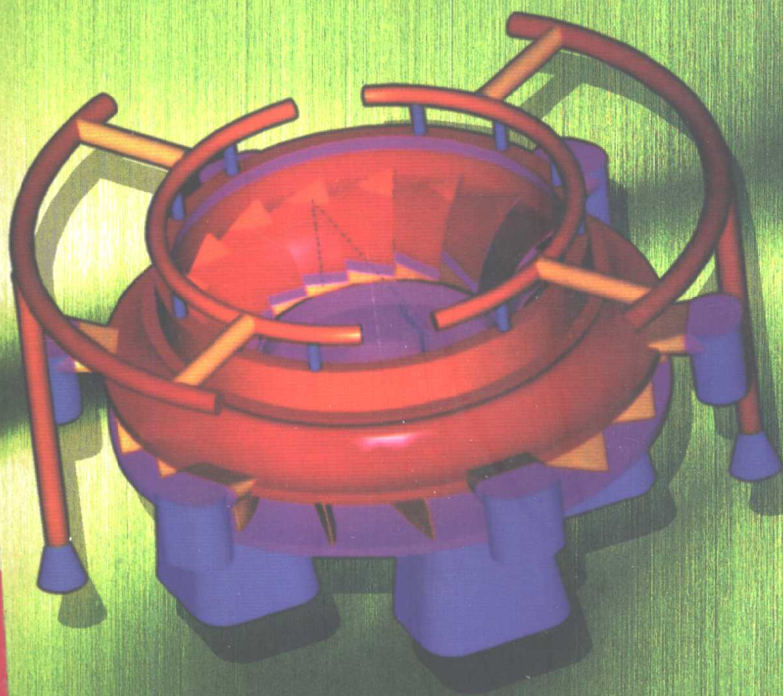


国家自然科学基金优先资助领域战略研究报告

先进制造技术基础

国家自然科学基金委员会



CHEP
高等教育出版社



Springer
施普林格出版社

国家自然科学基金优先资助领域战略研究报告

先进制造技术基础

国家自然科学基金委员会



CHEP
高等教育出版社



Springer
施普林格出版社

(京) 112 号

图书在版编目 (CIP) 数据

先进制造技术基础/国家自然科学基金委员会.

—北京: 高等教育出版社; 德国: 施普林格出版社, 1998.8

ISBN 7-04-006896-6

I. 先… II. 国… III. 工业技术-新技术-基础理论 IV. TB1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 19574 号

*

高等教育出版社 出版
施普林格出版社

北京沙滩后街 55 号

邮政编码: 100009 传真: 64014048 电话: 64054588

高等教育出版社发行

北京外文印刷厂印装

*

开本 880×1230 1/32 印张 9.75 字数 260 000

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

定价 29.50 元

©China Higher Education Press Beijing and
Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998

版权所有, 不得翻印

国家自然科学基金
优先资助领域战略研究报告
编辑委员会

主任：张存浩

副主任：张新时

成员：孙 枢 陈佳洱 周炳琨 王乃彦
梁 森 袁海波 白以龙 王 夔
强伯勤 钱祥麟 蔡睿贤 陈俊亮
成思危 吴述尧 杨再石

先进制造技术基础战略报告研究组

顾 问：金国藩

组 长：熊有伦

副组长：雷源忠

成 员：熊有伦 雷源忠 金国藩 谢友柏

柳百成 张伯鹏 汪应洛 周 济

孙林岩 黎 明 赵东波 罗 欣

李敏贤 虞 烈 林奕鸿

参加研讨和执笔的其他人员(按姓氏笔画排列)：

丁 汉 王春河 冯之敬 成 晔

刘继红 刘路放 师汉民 张卫平

张新访 何汉武 汪劲松 苏 秦

李言祥 吴 波 吴浚郊 吴 苏

陈定方 陈立平 陈 愚 陈国学

周 凯 郑 力 段广洪 胡亚红

胡春华 黄映辉 焦育宁

先进制造技术基础战略报告评审组

组 长：

雷天觉

中国科学院
院 士

机械科学研究院

成 员：

杨叔子

中国科学院
院 士

华中理工大学

关 桥

中国工程院
院 士

中国航空工业总公司 625 所

王立鼎

中国科学院
院 士

中科院长春光学精密机械研究所

屈贤明

研 究 员

机械科学研究院

宁汝新

教 授

北京理工大学

陈贤杰

高级工程师

科学技术部

吴述尧

研 究 员

国家自然科学基金委员会

海锦涛

研 究 员

北京机电研究所

王先逵

教 授

清华大学

张国雄

教 授

天津大学

李哲浩

教 授

北京航空航天大学

冯培恩

教 授

浙江大学

刘 飞

教 授

重庆大学

陈维克

高级工程师
博 士

广东科龙集团空调器公司

国家自然科学基金优先资助领域战略研究报告
《先进制造技术基础》编辑部

主任：张新时

副主任：吴述尧

编辑：黎 明 龚 旭 刘作仪 赵天夫

序一

在以知识经济为特征的 21 世纪,知识的生产、分配和使用将对经济发展起决定性作用,以高新技术为代表的科技知识和掌握高新技术的人才将成为知识经济时代的两大支柱。作为高新技术先导和源泉的基础研究的发展将更为重要。从现在起到 2010 年,要使我国社会主义现代化建设取得关键性突破,就必须走“科教兴国”和可持续发展的道路,实现科技的跨越式发展,这是我国抓住世纪之交的历史机遇,尽快缩小与发达国家差距的必然选择。由于我国是一个发展中大国,财力毕竟有限,不可能在各个领域都投入更多的力量,因此,必须从社会和经济的长远发展需要出发,统观全局,突出重点,实行“有所为,有所不为”的方针,继续加强基础研究,在继续努力为科学家创造更为宽松的自由探索环境的同时,积极引导基础研究为国家目标服务。

国家自然科学基金委员会自成立之日起,始终发展我国基础科学事业为己任,努力使有限的科研资源得到合理的优化配置。1988 年起,我委以资助的 56 个学科为基础,开展了学科发展战略研究,在近十年的时间里,共有 2000 多位资深科学家参与了此项调研工作,

至今已出版《原子分子物理学》等学科发展战略调研报告系列丛书 55 种。该研究的成果已陆续反映在每年发布的《国家自然科学基金项目指南》中,指导申请者的选题和评审专家对立项的评审工作。在此项调研工作的基础上,1993 年国家自然科学基金委员会开展了“九五”优先资助领域的战略研究,认真贯彻“有所为,有所不为”的方针,遴选国家自然科学基金“九五”优先资助领域。经过委内外专家、海内外科学家的共同研讨,并广泛征求相关部委的意见,听取两院院士的咨询,最终形成的 50 个优先领域正在指导“九五”重大项目和重点项目的选题和立项工作。

为了进一步适应急剧变化的外部环境和自身发展的需要,将优先资助领域的实施工作落到实处,国家自然科学基金委员会从 1996 年起,部署了深入的优先资助领域战略研究工作。此次工作本着**起点高、观点鲜明和注重可操作性**的要求,目前在各科学部选取若干领域开展试点。**起点高**,就是一定要站在科学前沿,重视运用最新技术成果,组织力量,集中攻关,占领科技制高点;**观点鲜明**,就是要坚持“有所为,有所不为”,瞄准国家目标,选取关系到国民经济和社会发展深层次科学问题的研究领域,以及我国已有相当实力、正或将处于国际领先地位的领域,优势集成,突出重点;**注重可操作性**,就是要把战略决策与国家目标紧密结合,把经费倾斜与政策导向紧密结合,把绩效评估与学科资助政策紧密结合,使有限的科学基金发挥更大的作用。

此次战略研究的成果,也将以研究报告的形式出版,并作为国家自然科学基金委员会战略决策的重要依据,在今后一段时间内指导研究者的选题。随着研究工作的开展,国家自然科学基金深入的优先资助领域战略研究丛书将陆续与读者见面。

我们衷心感谢科学家们的热情支持以及付出的艰辛劳动,并期待广大读者提出宝贵意见和建议。

国家自然科学基金委员会 政策局

1998 年 3 月

序 二

为了贯彻 1995 年 6 月 20 日国家自然科学基金委员会学科发展优先领域领导小组会议精神和根据专家的建议,对国家自然科学基金委员会“九五”优先领域“先进制造技术基础”进行深入研究,用以指导 1998~2010 年期间该领域的基础研究计划及基金委重点、重大项目的遴选和立项工作,在委领导、政策局和工程与材料科学部领导的关怀指导下,成立了“先进制造技术基础优先领域战略”研究组,并由金国藩院士为顾问、熊有伦院士任组长、学科主任雷源忠任副组长。

根据工程基础性研究的前沿性、先导性、基础性、创新性和交叉性的特点,并围绕国家目标,研究组对开展先进制造技术基础研究的重要性和迫切性,我国先进制造技术基础研究的定位、发展战略和策略、关键基础性研究内容的确定等问题进行了系统的研讨,并广泛征求了有关领域专家的意见和看法,预测了学科发展的趋势,确定了该领域的战略重点。同时,研究组对研究报告的体系结构、章节安排、图文设置等也进行了全面的讨论。在此基础上形成了“《先进制造技术基础》的优先领域战略研究报告”。1996 年该项目正式列入基金委研究计划并得到“完善和发展科学基金制课题”基金的资助。研究组先后召开了 6 次小型讨论会。许多专家审

阅了研究报告，参加了讨论，并提出了许多宝贵意见。研究组对报告进行了多次修改。1997年9月26日在北京召开了战略研究报告的评审会，评审专家对战略研究报告进行了认真的讨论和评审，认为该报告提出了今后1015年我国先进制造技术基础的发展战略和研究重点，这对于国家在该领域的战略方向的确定、重点和重大项目的遴选具有重要的价值，对制造科学的发展及今后的研究工作具有指导意义和积极的促进作用。该研究报告把握了先进制造技术基础研究的发展趋势，充分考虑了我国国情，因此，可以作为我国开展先进制造技术基础性研究的指导性文件。同时，评审专家对报告提出了许多宝贵的意见和建议，会后研究组根据这些意见和建议对报告作了认真的修改。

在报告的研究过程中，得到了国家自然科学基金委员会政策局的有力支持和指导，周尧和、范宏才、董申、于启勋、黄树槐、宾鸿赞、段正澄、王先逵、孙国雄、关桥、李培根、蔡光起、胡汉起、陈庆新等专家也审阅了本报告并提出了宝贵的意见和建议，在此，对上述各位专家的支持和指导一并表示衷心的感谢！

国家自然科学基金委员会工程与材料科学部

蔡睿贤 李克健

1997年9月28日

前 言

——跨世纪的先进制造技术基础研究

先进制造技术 (Advanced Manufacturing Technology, AMT) 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、低成本、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 (Fundamental Research on AMT, FAMT) 是支撑和产生先进制造技术的理论、方法和技术基础。

制造业是国家经济发展的重要支柱, 制造业的水平反映了一个国家或地区的经济实力、科技水平、生活水准和国防实力。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, 全球制造业进入了一个变革的时代。其主要趋势及特点是:

(1) 制造业及其制造技术的存在和发展是由市场来决定的。由于制造产品市场的动态多变性, 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) 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, 制造产业、制造产品和制造技术正走向国际化。

(3) 以微电子技术为代表的现代科学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) 先进制造技术的竞争正在导致制造业在全球范围内的重新分布和组合，新的制造模式不断出现。

我们正迈向新世纪的大门，面对变革的局势，挑战与机遇并存；振兴我国的制造业和发展先进制造技术已成为国人的共识。但是，要否和怎样加强我国先进制造技术的基础研究，这就是本书所论述的问题。

1. 历史回顾、现状分析

近代历史证明，任何一项新技术的创新和发明都是以基础科学为后盾的，技术的进步如果得不到科学的指导就会遇到不可克服的障碍。一方面，基础科学要走在生产和技术的前面，同时以生产和技术的要求作为自己的研究课题，给技术的发展指明方向。另一方面，技术上的进步不仅直接推动了生产和技术的发展，同时也促进了基础科学的进步。例如，工业革命中，瓦特对蒸汽机的重大改进直接受惠于布莱克的热学理论，电气技术的革命则得益于法拉第、麦克斯韦等的电磁理论。

美国国家科学基金会 (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性研究领域提出了许多新理论、新概念、新方法和新技术。1974 年，约瑟夫·哈林顿提出了计算机集成制造 (CIM) 的概念；1985 年，NSF 设立了 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 Bourno 等教授出版了《制造智能》专著；1990 年，麻省理工学院提出了精益生产 (Lean Production) 的主张；1991 年，里海大学几位教授提出了敏捷制造 (Agile Manufacturing) 的概念。

解放以来，我国在制造工程领域取得了长足的进步。近百所高等工科院校几乎都设有机械系、机械制造专业；原国家机械工业部等部门都设有制造工艺与技术研究所；我国已经能生产机床、汽

车、轮船和飞机等。80年代中期，国家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，在制造技术的基础性研究和先进制造技术领域取得了瞩目的成就。

国家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。十年来，在工程与材料科学部、信息科学部、数理科学部、管理科学部等相关学科资助了数千项FAMT领域的项目。仅机械学科就资助了1000多个项目。项目的成果辉煌：在国内外重要的刊物和会议上发表论文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多个，推广成果150项，为制造工程提供了大批新理论、新技术，直接或间接经济效益数十亿元。可以认为，近几年来，我国在FAMT的不少领域的研究已接近或达到世界水平。

令人非常高兴的是，国家已经看到了制造业和制造技术的重要性，各部委都已制定了发展AMT的“九五”计划，从来也没有看到国人像现在这样对制造技术如此的重视，使从事制造技术研究的专家胸怀喜悦，充满信心。

另一方面，必须看到了我国的制造业在改革开放的形势下虽然有了长足的进步，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。据有关资料统计：在我国近几年开发成功的92种典型机械产品中，自主开发的产品只占46%，国内机械工业的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的态势，反而有减弱的趋势；1993年机械产品进口额高达388亿元，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，轿车工业被人称为“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（如电冰箱和空调器的压缩机、录像机和复印机的磁鼓、计算机硬磁盘等）都依赖进口。

一个以乘坐外国轿车、使用外国电器为骄傲的民族决不是一个伟大的民族；一个没有先进制造业的国家不可能是一个强大的国家。我们必须扭转这种制造业落后的局面。

造成上述差距的原因是多方面的，其中一条重要的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等。

2. 跨世纪的先进制造技术基础研究的发展趋势和特点

制造工程科学是研究优质、低耗、高效、及时、洁净地制造出适应市场需求的机电产品的过程科学和系统科学。跨世纪的制造技术基础性研究的最大特点是微电子、信息、管理等科学与机械科学的交叉融合。其主要发展趋势和特点是：

(1) 多学科交叉及系统优化集成

先进制造技术研究的显著特点是多学科交叉融合。例如快速原形制造（RPM）是计算机、激光、材料与机械科学技术的交叉；一台精密仪器往往是计算机、光学与机械学交叉的产物；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。

(2) 制造全球化（Manufacturing Globalization）

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。西方工业发达国家在合作研究智能制造技术中，统一计划、分工合作、取长补短、发挥各自的优势。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，但随着制造产品、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，21世纪制造国际化是发展的必然趋势。它包含：制造企业在世界范围

内的重组与集成，如虚拟公司；制造技术信息和知识的协调、合作与共享；全球制造的体系结构；制造产品及市场的分布及协调等。

(3) 制造技术与制造科学的融合

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动力学、结构强度、摩擦学和传动学。制造科学是从制造工艺、技术发展而来的，是以信息为代表的现代科技与制造结合的产物，制造科学是支撑制造技术理论体系的外在表现。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。南美科学家安东尼说：“对于未来而言，重要的不是预见它，而是实现它”，说明了在科学技术发达的今天，科学指导技术，技术推动科学，两者相互促进，共同发展。

(4) 制造技术与生产管理的统一

事实证明，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。技术和管理是制造系统的两个轮子，由生产模式结合在一起，推动制造系统向前运动。在 CIMS、IMS 和 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 (Holonc Manufacturing) 和精益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。

(5) 向超精微细领域扩展

微型机械、纳米量测、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。

(6) 市场和企业是 FAMT 研究的依据，企业的参与和产学研相结合是跨世纪 FAMT 研究的一大特点

由于制造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 FAMT 研究应有明确的市场观。此外，由

于制造技术是为制造业服务的，因此企业的参与不仅是必要的，而且是必须的。我国市场经济的发展将使这种必要成为可能。

3. 先进制造技术基础研究的先导性、基础性、创新性和应用性

先导性、基础性、创新性和应用性是 FAMT 区别于其他 AMT 计划的主要标志和特色。

(1) FAMT 的先导性

前沿是基础研究的领地。随着科学技术的迅速发展，制造科学技术在不断产生新的前沿。FAMT 研究应当瞄准国际 AMT 前沿。同时，FAMT 应成为 AMT 的先导，为提出我国跨世纪的 AMT 做好理论、方法和技术上的储备。FAMT 的研究内容大都应聚焦在今后 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，如虚拟制造、纳米加工、快速成形制造、快速可重组制造系统等。

虚拟制造是以现在的计算机仿真、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 (Virtual Manufacturing) 是现实制造系统 (Real Manufacturing System) 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 AMT 的前沿和先导，是我国跨世纪 FAMT 的优先领域之一。目前，可以从产品的零部件、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。

(2) FAMT 的基础性

制造业的发展离不开 AMT，而 AMT 必须以 FAMT 为基础。FAMT 要侧重 AMT 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