

中国科学院科学与技术预见系列报告之二

技术预见报告

Technology Foresight

2008



科学出版社
www.sciencep.com

G303

74

2008

中国科学院科学与技术预见系列报告之二

技术预见报告 2008

Technology Foresight

《技术预见报告》编委会 编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书根据中国科学院知识创新工程方向性项目“中国未来 20 年技术预见研究”的研究成果写成,介绍了先进制造技术、资源与环境技术、化学与化工技术和空间科学与技术等 4 个领域的研发前沿和热点,展望了各个领域(包括子领域)的发展趋势和前景,并对中国未来 20 年各个领域最重要的技术课题进行了详细的述评。它对于我国技术预见研究、产业政策制定、关键技术选择和重大科技决策的制定具有重要的现实意义和理论价值。

本书有助于广大科学技术应用研究工作和社会公众了解技术发展前沿和热点;有助于有关决策部门和广大企业管理者准确判断和把握各技术领域的发展趋势,做出正确的决策和选择。

图书在版编目(CIP)数据

技术预见报告. 2008 / 《技术预见报告》编委会编. 北京: 科学出版社, 2008

(中国科学院科学与技术预见系列报告)

ISBN 978-7-03-020527-8

I. 技… II. 技… III. 技术预测—研究报告—中国—2008
IV. G303

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 101730 号

责任编辑: 胡升华 侯俊琳 牛 玲 王日臣 / 责任校对: 赵燕珍
责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 文思莱

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 8 月第一版 开本: 787 × 1092 1/16

2008 年 8 月第一次印刷 印张: 31 3/4

印数: 1—4 000 字数: 585 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

《技术预见报告》编委会

主 任：江绵恒

委 员：施尔畏 李静海 李国杰 王占国 杨胜利 吴 澄
孙九林 朱道本 吴 季 曹效业 桂文庄 穆荣平

执行主编：施尔畏

副 主 编：曹效业 桂文庄 穆荣平（常务）

技术领域专家组

先进制造技术领域

组 长：吴 澄

副组长：祁国宁

成 员（按姓氏笔画排序）：

王天然 宁汝新 李 华 张 懿 范玉顺 周兆英
黄德先 韩新民 童朝南 颜永年

资源与环境技术领域

组 长：孙九林

成 员（按姓氏笔画排序）：

王 静 杨 敏 欧阳志云 周广庆 封志明 相建海
侯增谦 高吉喜 蒋开喜 程晓陶

化学与化工技术领域

组 长：朱道本

副组长：唐 晋

成 员（按姓氏笔画排序）：

马光辉 刘 铮 江桂斌 李树本 陈 义 徐春明
徐柏庆 温 浩

空间科学与技术领域

组 长：吴 季

成 员（按姓氏笔画排序）：

卫 国 王 赤 王岩飞 冯西平 孙辉先 李 明 岳志夫
赵光恒 俞育德 施浒立 常 进 焦维新 臧振群 廖方宇
颜毅华

技术预见研究组

组 长：穆荣平

成 员（按姓氏笔画排序）：

王 芳 牛红兵 曲 婉 朱效民 乔 岩 任中保 刘 波
刘桂菊 李兆杰 岑静芬 余 江 宋延林 宋河发 张久春
张思光 张振光 陈 峰 岳志夫 居 琦 赵兰香 段异兵
秦 伟 袁志彬 袁思达 桂文庄 郭 雯 唐 乐 曹红梅
曹 曼 龚 宇 董永初 蔡 榕 谭玉玲

把握科技发展趋势 提高科技创新能力

(序言)

全球化和知识经济背景下的国际竞争中,科技创新能力已经成为决定竞争胜负的关键因素。胡锦涛同志在近年来多次指出,要坚持把推动科技自主创新摆在全部科技工作的突出位置,坚持把提高科技自主创新能力作为推进经济结构调整和提高国家竞争力的中心环节,加快建设中国特色国家创新体系。

提高科技自主创新能力必须立足于认识中国国情,着眼于把握我国重大战略历史机遇期、建设和谐社会的历史使命。一方面,中国人口众多、人均资源拥有量相对不足和经济社会发展不平衡,客观上需要发挥科学技术的支撑作用,实现全面建设小康社会的目标;另一方面,我国科技创新能力相对于发达国家还处于中等偏下水平,客观上需要加大科技投入,把握世界科技发展趋势和国家发展对科技的战略需求,积极培育科技自主创新能力,实现我国科学技术跨越式发展,以保障经济社会持续快速发展和国家安全的需要。

为了把握科技发展趋势,提高科技创新能力,中国科学院启动了“中国未来20年技术预见研究”,目标是把握国际技术发展趋势,分析我国未来20年社会经济发展图景与技术发展趋势,识别国家战略需求并提出相关发展政策建议。技术预见基于两点基本假设,即:①技术发展和社会发展相互作用决定技术发展轨迹;②未来存在多种可能性,未来可以选择。因此,技术预见是对科学、技术、经济、环境和社会的远期未来进行有目标的探索过程,目标是选定可能产生最大经济与社会效益的战略研究领域和通用新技术。

技术预见能为系统配置国内外技术资源,解决我国人口、就业、资源环境问题提供重要支撑。改革开放二十多年来,中国经济高速增长主要归因于劳动、资本和全要素生产率的提高和体制改革的影响。但是,资源经济高速发展加速了资源消耗和环境恶化,而计划生育政策在减缓中国人口增长趋势的同时,也将使中国人口老龄化问题日益突出。“十六大”报告提出走新型工业化道路,即:①科技含量高;②经济效益好;③资源消耗低;④环境污染少;⑤人力资源优势得到充分发挥。新

型工业化道路的根本是科技创新,客观上需要不同利益共同体就科学、技术、经济、环境和社会的远期未来发展图景达成共识,选择可能产生最大经济与社会效益的战略研究领域和通用新技术,提高企业技术能力。技术预见提供了一个系统集成不同利益共同体观点和不断修正关于未来技术发展方向选择的机制和平台。

技术预见能为把握历史机遇期、实现科学技术跨越式发展提供重要支撑。当今世界发展呈现五大特点,即全球化、信息化、知识化、市场化和多极化趋势日趋明显。一方面,全球化也加速了生产要素和生产过程的全球化,促进了蕴涵在生产要素和生产过程中的科学技术知识的跨国流动,有利于直接集成和利用国外先进技术,获得国外直接投资的技术溢出。另一方面,世界技术-经济范式的变迁和更迭,创造出了新的技术发展机会和技术替代的可能,为我国提供了实现技术跨越的重要机会。从历史上来看,每一次产业技术革命都会带来新的经济、科技和政治中心的崛起。19世纪末之德国、美国的兴起,20世纪60年代日本和80年代韩国的发展,都是抓住了技术跨越的机遇。20世纪90年代以来,以信息技术革命为代表的新经济已引起了全球技术体系、生产要素配置和区位布局,以及产业组织和管理模式等方面的深刻变化,使我国实现科学技术跨越式发展成为可能。技术预见为有效利用全球技术资源,把握世界科技发展趋势和中国发展战略需求,提供了必要的决策信息支撑平台。

技术预见是科技创新能力建设的重要基础。中国科技创新能力和效率与发达国家相比还有一定差距。一方面,发达国家单位GDP对应的科学家与工程师(R&D)人数基本相当,而中国创造单位GDP所对应的R&D人员是日本的3.7倍,所对应的科学家与工程师数是美国的4.5倍;另一方面,中国发明专利授权数占世界118个国家和地区授权发明专利总量的比例不足2%,获得美国授权发明专利数占授权总量的比例不足0.2%,与中国GDP占世界比例极不相称。SCI(科学引文索引)收录的世界主要国家地区科技论文中,中国论文数量占4.8%(与中国GDP占世界GDP总量的比例相当),但是体现论文质量的引用数量则不足1%。后发国家科技创新能力形成一般要循序经过“学习”、“使用”、“改进”和“创造”等4个发展阶段,逐步发展成为创新型国家。因此,加强国际科技交流与合作,有效开发利用国外科技资源,已成为我国科技创新能力建设的重要途径。技术预见为制定国际科技合作战略、选择重点合作领域和伙伴,提供重要决策信息支撑。

技术预见是制定国家科技规划的重要基础。技术预见是识别技术发展机会的过程,既要关注世界科学技术发展趋势和中国科技发展水平,也要关注中国社会、经济、军事发展战略和国内外市场走势对于科学技术的需求;技术预见是系统整合不同利益相关者意见的过程,一方面要创造有效沟通机制,使技术专家了解国家战略

需求,使社会学家、经济学家、未来学家们了解技术发展的多种可能性;另一方面要谋求各方协商一致,并将共同选择的未来落实到各方的发展战略之中。

《技术预见报告 2008》是中国科学院科学与技术预见系列报告的第二本,涉及“先进制造技术”、“资源与环境技术”、“化学与化工技术”和“空间科学与技术”等4个领域,旨在对分析重要技术领域发展现状与趋势,展望对我国未来发展最重要技术的发展趋势,对于科技决策和社会公众了解未来、选择未来具有重要参考价值。在组织、研究和撰写报告的过程中,江绵恒同志、施尔畏同志、桂文庄同志、曹效业同志和穆荣平同志等发挥了重要作用,投入了大量的心力,在此,我代表中国科学院和读者对他们付出的艰辛劳动表示衷心的感谢。

路甬祥

2008年4月2日

前言

开展技术预见是把握世界科学技术前沿和国家战略需求的有力工具,是应对国际竞争、调整国家科技发展战略和政策的重要依据。20世纪90年代以来,技术预见活动逐渐成为世界潮流。不仅发达国家积极开展大规模技术预见活动,发展中国家也纷纷启动了各个层面的技术预见计划和关键技术选择研究。与此同时,国际组织如OECD、UNIDO、APEC等在跨国技术预见研究和经验交流中扮演着越来越重要的作用,有关技术预见和优先领域选择的国际会议也越来越受到政府、学术界和企业界的关注。美国虽然没有国家技术预见行动计划,但是关键技术选择、技术路线图和科技发展战略规划制定等已经成为政府部门和企业的自觉行为,要求政府重视监测技术发展趋势的呼声也越来越强烈。

开展技术预见是贯彻新时期中国科学院办院方针的需要。新时期办院方针要求面向国家战略需求和世界科学技术前沿,技术预见为把握世界科学技术前沿和国家战略需求提供了系统工具,为优化科技资源配置提供了必要的手段,奠定了创新跨越、持续发展的重要基础。

中国科学院科技政策与管理科学研究所技术预见研究课题组从2000年起开始技术预见理论方法研究。在中国科学院江绵恒副院长的支持下,中国科学院高技术研究与发展局于2003年批准了中国科学院知识创新工程重要方向项目——“中国未来20年技术预见研究”,项目聘请路甬祥院长、江绵恒副院长为总顾问。2003年8月4日项目组在北京中国科学会堂召开技术预见项目启动大会,江绵恒副院长作了重要讲话。2003年8月19日项目组织了“全面建设小康社会与科技创新高层论坛”,路甬祥院长出席并作重要讲话,江小娟、牛文元、周宏仁、杨圣明和叶文虎等著名专家作了重要演讲,专家们围绕全球化社会、信息化社会、城市化社会、工业化社会、健康型社会、消费型社会等6个主题进行研讨,在社会上产生了重要影响。2006年,“中国未来20年技术预见研究”项目顺利结题。

目前,我们已完成“信息、通信与电子技术”、“能源技术”、“材料科学与技术”、“生物技术与药物技术”、“先进制造技术”、“资源与环境技术”、“化学与化

工技术”和“空间科学与技术”等8个技术领域的两轮德尔菲调查,筛选出63个技术子领域737项重要技术课题。从技术课题重要程度、实现时间和可能性、国际领先国家和我国研发水平、发展制约因素等方面进行系统分析,筛选出我国未来20年最重要技术课题,并提出相关技术的发展政策。主要研究成果《中国未来20年技术预见》(共两本)和《技术预见报告2005》已经正式出版发行。“中国未来20年技术预见研究”是一项系统工程,需要大量的组织协调工作,没有专家的有效参与,就很难保证调查结果的科学性,在此我们对四个领域专家组全体成员和全国3000多位参与德尔菲调查的专家表示衷心的感谢!

《技术预见报告2008》是中国科学院科学与技术预见系列报告的第二本,内容涉及“先进制造技术”、“资源与环境技术”、“化学与化工技术”和“空间科学与技术”等4个领域31个子领域,包括技术领域发展趋势与展望、最重要技术课题(基于德尔菲调查结果和领域专家组专家综合判断)的发展现状与展望等两部分。

感谢为本书撰文的各位专家!没有专家们的支持和帮助,就不可能有今天这本书的出版。课题组还要特别感谢中国科学院高技术研究与发展局和中国科学院科技政策局的大力支持,感谢许多政府部门、科研院所、大学的专家学者和企业家的支持!

《技术预见报告》编委会

2008年6月3日

目 录

把握科技发展趋势 提高科技创新能力 (序言)

前言

第1章 先进制造技术领域发展趋势	1
第1节 数字化设计与制造	2
第2节 先进工艺与设备	6
第3节 传感与检测技术	11
第4节 机器人与智能控制	15
第5节 微纳加工技术和极限制造	19
第6节 流程工业自动化	25
第7节 制造模式和系统集成技术	29
第8节 绿色制造技术	34
第9节 生物制造工程	40
第2章 资源与环境技术领域发展趋势	45
第1节 固体矿产资源	46
第2节 水土资源	50
第3节 海洋	53
第4节 防灾减灾	57
第5节 生态	60
第6节 环境	64
第7节 天气和气候	68
第3章 化学与化工技术领域发展趋势	73
第1节 生物、医药和健康领域的化学化工技术	74
第2节 化学制品与材料中的化学化工技术	78

第3节	资源利用与能源开发中的化学化工技术	82
第4节	环境与安全中的化学化工技术	86
第5节	化学化工信息与过程系统设计	90
第6节	化学化工中的检测与测量技术	95
第7节	物质的转化及调控	97

第4章 空间科学与技术领域发展趋势 103

第1节	天文观测技术	104
第2节	地球与太阳系其他行星空间探测	107
第3节	载人航天及其应用	111
第4节	空间通信技术及其应用	114
第5节	全球导航定位技术与应用	118
第6节	运载技术	124
第7节	航天器平台技术	129
第8节	空间遥感技术及其应用	133

第5章 先进制造技术领域最重要的技术课题 137

第1节	超精密和纳米加工工艺与设备的应用及发展	138
第2节	多学科设计优化(MDO)方法前景分析	144
第3节	机电产品的绿色设计和再制造技术得到广泛应用	151
第4节	开发出极大尺寸装备制造与大型零件复合成型工艺	157
第5节	人体器官人工制造的机理及应用	160
第6节	特种合金精密铸造技术应用	170
第7节	微纳传感器技术	182
第8节	现代集成制造系统(CIMS)的应用与关键技术问题	191
第9节	现代流程工业综合自动化系统	197
第10节	新一代工业机器人和服务机器人将广泛应用	204

第6章 资源与环境技术领域最重要的技术课题 213

第1节	深海油气与矿产资源勘探开发技术得到广泛应用	214
第2节	饮用水安全保障技术体系构建与展望	221
第3节	台风的生成和突变机理得到初步阐明	228
第4节	水库堤防等防洪工程的安全监测与管理技术得到广泛应用	236

第5节	精细数值天气预报系统得到广泛应用	244
第6节	环境友好型可持续农业生产系统得到广泛应用	252
第7节	旱情监测与评价技术研究	260
第8节	流域突发性洪水的监测、预警、应急技术的发展趋势	269
第9节	高效节水技术得到广泛应用	276
第10节	开发出有效的人-动物共患疾病生态控制技术	282
第7章	化学与化工技术领域最重要的技术课题	291
第1节	超清洁车用燃料生产技术的进展与展望	292
第2节	大幅度提高石油采收率的化学采油技术	300
第3节	合成气制备及其经 F-T 合成制液体碳氢化合物技术的发展	308
第4节	环境友好的化学品绿色合成工艺技术	324
第5节	极端条件下的化学与生物物质遥测遥感及微型传感器网络技术	334
第6节	生物质生产液体燃料产业化前景	344
第7节	生物质转化和加工技术	350
第8节	石油化工过程安全生产和事故预防关键技术进展与展望	359
第9节	天然气直接转化制基础化工原料	372
第10节	血液代用品的研究进展和前景	380
第11节	应对突发性化学事件的安全预警、现场检测与应急处置技术前景 分析	392
第8章	空间科学与技术领域最重要的技术课题	405
第1节	地球空间环境监测、预报技术及应用	406
第2节	多模和增强型卫星导航接收机得到广泛应用	412
第3节	高分辨率对地观测技术及应用	418
第4节	开发出我国自主的区域和全球卫星导航定位系统	427
第5节	空间因特网得到实际应用	435
第6节	新一代运载火箭发展展望	447
第7节	开发出星地一体化地球环境监测预报及救援支持技术系统	457
第8节	基于空间技术支持的信息数据在 LBS、GIS 和数字地球中得到广泛 应用	464
第9节	开发出承载 2000kg 有效载荷的实用型平流层飞行器	473
第10节	新一代静止轨道大型卫星平台得到实际应用	483

第1章

先进制造技术领域发展趋势

第1节 数字化设计与制造

祁国宁
(浙江大学)

1. 数字化设计与制造技术发展现状

数字化设计与制造技术实现了产品设计手段以及设计过程的数字化和智能化,缩短了产品开发周期,提高了企业的产品创新能力。数字化设计与制造技术包括两方面内容,即产品设计数字化技术与制造过程设计数字化技术,前者的对象是产品,后者的对象则是产品的制造过程。目前,数字化设计与制造技术的特点大致可以概括为:集成化、智能化和绿色化。

1.1 集成化

集成化是数字化设计与制造技术发展的重要特点。随着时间的推移,“集成”的内涵和外延也在不断发展。从空间跨度看,集成和协同已经从部门内、企业内各部门之间,发展到企业之间;从时间跨度看,集成和协同已经从仅考虑产品生命周期某一个阶段的设计,发展到面向产品全生命周期的设计;从设计的重点来看,集成和协同已经从信息集成、过程集成,发展到知识集成。

1.2 智能化

设计智能化是数字化设计与制造技术的重要发展方向。智能设计系统是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化系统,在设计过程中能进行诸如分析、推理、判断、构思和决策等智能活动,并能有效地管理和利用设计过程中的各种知识。智能设计技术旨在通过人与智能机器的有效协同,扩大、延伸和部分取代人类专家在设计过程中的脑力劳动,以实现设计过程的优化。智能设计的关键技术包括:设计过程的再认识、设计知识的表达、多专家系统协同技术、再设计与自学习机制、多种推理机制的综合应用及智能化人机接口等。

1.3 绿色化

绿色制造是一种综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式。绿色设计技术是绿色制造的重要子领域。绿色设计,又称面向环境的设计 (design for environ-

ment), 是指在产品及其生命周期全过程的设计中, 充分考虑对资源和环境的影响, 在充分考虑产品的功能、质量、开发周期和成本的同时, 优化各有关设计因素, 使得产品及其制造过程对环境的总体影响最小, 资源消耗最少。绿色设计的关键技术包括: 面向环境的产品设计方法、面向绿色加工工艺的设计、面向使用与维护的设计、面向 3R (reuse, remanufacture, recycle) 的设计等。

2. 数字化设计与制造技术发展方向

数字化设计与制造技术是制造业信息化的重点之一, 也是应用最广泛、研究最深入、效益最明显的领域。数字化设计与制造中的重要技术如下文所述。

2.1 基于产品造型意象认知的设计方法

产品造型意象是指消费者凭借自身的感官, 对产品形态所产生的直觉联想。产品造型意象的形成来自人们对于产品的认知, 产品透过本身的造型因素, 如线条、色彩、材质、结构、使用功能、价值判断以及外在文化环境所赋予的内涵, 形成了与用户沟通的无形语言。目前国内外工业设计、认知心理学和计算机应用等领域的专家学者已经做了不少前期研究工作, 如运用眼动仪、脑电仪等设备收集各种信息。但是如何有效地将这种感性的、模糊的意象认知信息定量化, 建立透明的意象认知模型, 形成有效的设计方法尚有待进一步研究。

2.2 基于产品生命周期管理的虚拟制造技术

面向产品生命周期管理 (product lifecycle management, PLM) 的虚拟制造技术主要是指利用计算机模型对产品生命周期中的不同过程进行仿真与评估, 使得产品的设计、制造、使用具有更多可供选用的方案, 从而实现产品开发的短周期、高品质、高精度和低成本。目前与之相关的若干关键技术已经取得进展, 但是整体系统的集成方面还面临较大挑战。主要关键技术包括: 面向 PLM 的产品数字化建模、产品数据管理、知识建模与管理、大规模数据管理与可视化、制造过程建模、项目管理、 workflow 管理及产品数据管理系统集成等。

2.3 计算机辅助工业设计技术

计算机辅助工业设计 (computer-aided industrial design, CAID) 是指在相应软件平台系统的支持下, 进行工业设计领域的各类创造性活动。计算机辅助工业设计系统以工业设计过程与方法为基础, 内容包括基于内容挖掘的工业设计趋势分析支持工具、计算机辅助草图设计工具、计算机辅助概念设计工具 (形态设计、色彩设计、布局设计、人机工程设计、创新设计等)、方案分析与评价工具, 以及面向特定行业的产品设计综合服务平台等。

2.4 多学科综合设计优化技术

多学科综合设计优化系统依靠对多种学科知识的建模、集成与管理,有效地进行相关信息的整合,通过各种跨学科知识库和工具软件形成有效的设计优化平台,大幅度提升产品设计的水平,提高产品的性能和质量。多学科综合设计优化系统的关键技术包括:面向多学科综合设计优化的多学科知识集成技术、知识管理、统一数据平台、高效率的交互环境与可视化技术和计算机仿真平台技术等。

2.5 人机工程设计技术

产品设计人性化正逐步成为消费者关注的热点,而人机工程设计技术是实现产品设计人性化的主要手段之一。目前人机工程研究仅局限于对产品制造的分析评价,还未能应用于产品设计的前期过程,从而导致了大量的资源浪费。现代人机工程设计技术从产品设计角度出发,逐步建立和发展产品人机工程设计方法、数字化人机工程设计技术及相应的关键支持技术,从而为设计师提供强有力的工程设计辅助方法和手段,使其能够更理性地设计出健康、安全、舒适、宜人的工业产品。

2.6 数字建模与多学科仿真理论、方法、工具

在信息科学发展的推动下,制造技术研究与开发方法正在由传统经验方法向基于知识的建模仿真与试验相结合的方向发展。数字建模与多学科仿真正在成为复杂制造装备研究与开发中不可或缺的环节。数字建模与多学科仿真的主要研究内容包括:产品全生命周期的数字建模;多学科仿真、性能预测和综合优化;制造过程多物理信息、结构和拓扑几何信息的数字表示与融合;多维、多源、海量测量数据的实时处理、保真映射和特征抽取;测量、装夹、加工、装配、拆卸等操作中几何推理与物理推理;可制造性、可装配性以及可维护性分析等。

2.7 数字化协同产品开发技术

数字化协同产品开发(collaborative product development, CPD)有助于实现制造企业各功能单元的分布自治,其不仅要关注处于分布状态下各产品开发功能模块之间的协作,而且要加强产品开发不同阶段中数字信息的管理与控制。基于网络协作和分布式计算的协同产品开发可以解决由于制造过程中数字单元的分布性、异构性带来的单元之间信息交互与协作的困难,实现基于制造过程的信息集成。目前,数字化协同产品开发的主要研究内容包括:基于分布式信息管理平台的协同产品开发系统结构框架;协同产品开发信息的数字化表示与融合;基于决策的协同优化;面向协同产品开发的自重构策略及协作机制等。

2.8 网格计算技术在数字化设计中的应用

网格计算(grid computing)是一种全新的计算模式,它对分布在计算机网络上