

TECHNOLOGY FORESIGHT
OF CHINA TOWARDS 2020

中国未来

20年

技术预见(续)

中国未来20年技术预见研究组 著

— 先进制造技术
— 资源与环境技术
— 化学与化工技术
— 空间科学与技术



科学出版社
www.sciencep.com

中国未来20年技术预见研究组 著

中国未来

20年技术预见(续)

TECHNOLOGY FORESIGHT OF
CHINA TOWARDS 2020

- 先进制造技术
- 资源与环境技术
- 化学与化工技术
- 空间科学与技术



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是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”，在“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”4个领域的技术预见研究成果，主要分析了31个技术子领域的328项技术课题的重要性、预计实现时间、实现可能性、目前我国研究开发水平、国际领先国家和发展制约因素。本书给出了4个领域至2020年最重要的技术课题清单。

本书不仅有助于广大科学技术工作者和社会公众了解技术发展的现状和趋势，同时能为有关决策部门和管理者提供正确决策和规划的依据。

图书在版编目(CIP)数据

中国未来20年技术预见(续)/《中国未来20年技术预见》
研究组著. —北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-020375-5

I. 中… II. 中… III. 科学技术-技术发展-中国
IV. N12

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第044713号

责任编辑:胡升华 侯俊琳 郭勇斌 李久进/责任校对:包志虹
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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2008年6月第一次印刷 印张:20 1/2

印数:1—5 000 字数:374.000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<长虹>)

《中国未来 20 年技术预见》总顾问

路甬祥 全国人民代表大会常务委员会副委员长、中国科学院院长
江绵恒 中国科学院副院长

《中国未来 20 年技术预见》研究组

项目总体组

组长兼首席科学家：穆荣平

成员：任中保 乔岩 袁思达 桂文庄 秦伟 刘波 牛红兵
刘桂菊 李兆杰 居琦 岳志夫 岑静芬 宋延林 曹红梅
董永初 蔡榕 宋河发 曲婉 龚宇

先进制造技术预见研究组

组长：赵兰香

副组长：余江

成员：王芳 张振光

资源与环境技术预见研究组

组长：穆荣平

副组长：袁志彬

成员：任中保 乔岩 袁思达 陈峰

化学与化工技术预见研究组

组长：朱效民

成员：张久春 谭玉玲 曹曼

空间科学与技术预见研究组

组长：段异兵

成员：郭雯 张思光 唐乐

《中国未来 20 年技术预见》专家组

先进制造技术领域专家组

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 张 懿 李 华 周兆英 范玉顺
黄德先 童朝南 韩新民 颜永年

资源与环境技术领域专家组

组 长：孙九林

成 员(按姓氏笔画排序)：

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

化学与化工技术领域专家组

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专家组

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 俞育德
施浒立 赵光恒 常 进 焦维新 廖方宇 臧振群 颜毅华

《中国未来 20 年技术预见》统稿组

组 长：穆荣平

成 员：任中保 乔 岩 袁思达

加强技术预见研究 提升自主创新能力

(序言)

当今世界，科技发展日新月异，人类的未来和国家的繁荣比以往任何时候都更加依赖于科技创新与知识运用的能力和效率。科技创新能力已经作为衡量国家综合国力的一项越来越重要的指标，成为国际竞争的焦点。

以胡锦涛同志为总书记的党中央从战略高度洞察科技创新对于我国经济社会发展的重大意义，做出了“自主创新是推进经济结构调整的中心环节”这一重要论断，并多次强调要坚持把推动自主创新摆在全部科技工作的突出位置，大力增强科技创新能力，增强核心竞争力，在实践中走出一条具有中国特色的科技创新的路子。这些重要指示为我国今后的科技发展指明了方向。

在科技领域，提升自主创新能力需要面向国家经济与社会发展的战略需求，准确把握新一轮科技与产业革命带来的发展机遇，正确分析未来科技的发展趋势，不断探寻科技创新与发展的机会。近年来，主要发达国家纷纷加强对科技发展趋势的监测与预见研究工作，通过实施国家技术预见行动计划和制定科技发展规划，不断调整科技战略与政策，提高资源配置效率，取得了显著的成效。作为一种新的科技战略管理工具，技术预见受到越来越多的国家和国际组织的重视，并逐渐形成了全球性的潮流。

技术预见通过系统地研究科学、技术、经济和社会的未来发展态势，探索国家未来的技术需求，识别和选择那些有可能给经济和社会带来最大化效益的研究领域或通用新技术，为加强宏观科技管理、提高科技战略分析与规划的水平、优化科技资源的组合与配置提供了有益的支撑手段。加强技术预见是提升我国自主创新能力的一项重要工作。持续开展

的研究工作技术预见有利于形成一种新的机制，不断调整与修正对未来技术需求的认识，提高把握技术发展趋势和国家战略需求的能力。技术预见致力于将科技、经济与社会发展进行系统化的整体研究，为各方利益相关者共同探索未来、选择未来提供了一致的沟通、协商与交流平台，有利于学科交叉与官产学研的结合，有利于提高国家创新体系的效率。

在新的历史时期，中国科学院将以“新时期办院方针”为指导，面向国家战略需求，面向世界科学前沿，加强原始创新与系统集成创新，坚持以科学发展观推进知识创新工程的各项工作，力争为促进国家科技进步、提高自主创新能力做出新的更大贡献。开展广泛而深入的技术预见研究不仅可以为我们提供新的科技战略分析方法，而且能够为优化科技资源配置提供有效的工具和系统的手段，为我院进入“创新跨越、持续发展”的新阶段奠定基础。为此，中国科学院于2003年8月正式启动了知识创新工程重要方向项目“中国未来20年技术预见研究”。

该书汇集了“中国未来20年技术预见研究”项目在“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”4个领域的技术预见研究成果。这4个领域的研究工作动员了31个技术子领域300多位技术专家直接参与，1000余位专家以问卷回函的方式参与了有关工作。在此，我代表中国科学院和读者向为本研究做出贡献的专家表示衷心的感谢！

需要指出的是，技术预见本身的研究模式、研究方法和研究手段也在不断发展之中。就整体趋势而言，技术预见从最初只关注技术本身向着更加充分考虑科学技术与经济、社会、环境、生态等多向互动的方向发展。该书所提出的见解，虽然蕴含着一些有价值和有创见性的成果，但也只能是一些探索性或导向性的回答。希望这些成果能够对有关领域的科技发展战略规划和技术预见研究工作发挥积极的作用。

江绵恒

2007年10月20日

前 言

开展技术预见是国际竞争的需要。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、国家层面的技术预见活动,发展中国家也纷纷启动了国家层面的技术预见研究计划和关键技术选择研究。

即使在技术全面领先的美国,许多专家也建议政府重视技术发展趋势的监测。一些国际组织在跨国的技术预见研究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不断增多。技术预见研究结果和研究过程受到了政府、学术界和企业界的普遍关注。

技术预见是制定科技发展战略和科技政策的重要基础。在2004年6月两院院士大会上,胡锦涛总书记指出,世界各大大国“都高度关注科学技术的发展趋势,纷纷加强科学展望和技术预见,认真思考和积极实施新的科技发展战略和科技政策,希望通过科技进步来推动本国的经济发展和社会进步”。开展技术预见是贯彻新时期中国科学院办院方针的需要。技术预见为识别国家战略需求和把握世界科学技术前沿发展趋势提供了系统工具,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,江绵恒副院长出席大会并做重要讲话。2004年8月19日项目组组织了“全面建设小康社会与科技创新高层论

坛”，路甬祥院长出席并做重要讲话，江小娟、牛文元、周宏仁、杨圣明和叶文虎等著名专家做了重要演讲，并围绕全球化社会、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 6 个主题进行研讨，在社会上产生了重要影响。

目前，项目已经完成“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”8 个领域的两轮德尔菲调查。本研究报告对 31 个技术子领域的 328 项技术课题的重要性、预计实现时间、实现可能性、目前我国研究开发水平、国际领先国家和发展制约因素进行了系统分析。

“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，在此我们对全国 3000 位参与德尔菲调查的专家表示感谢！

感谢中国科学院高技术研究与发展局和中国科学院规划战略局的大力支持，感谢来自政府部门、科研院所、大学的专家学者和企业家的支持！

“中国未来 20 年技术预见研究” 研究组

2007 年 10 月 20 日

目 录

加强技术预见研究 提升自主创新能力(序言)

前言

第一章 技术预见的历史回顾与展望	1
第一节 技术预测到技术预见的演进	2
第二节 技术预见已经成为世界潮流	5
第三节 技术预见的未来发展方向	18
第二章 中国未来 20 年技术预见研究概述	23
第一节 研究目的	24
第二节 主要研究内容	25
第三节 德尔菲调查问卷设计	27
第四节 德尔菲调查统计方法	32
第三章 先进制造、资源环境、化学化工和空间领域发展趋势	37
第一节 先进制造技术领域发展趋势	38
第二节 资源与环境技术领域发展趋势	45
第三节 化学与化工技术领域发展趋势	56
第四节 空间科学与技术领域的发展趋势	66
第四章 德尔菲调查结果综合分析	75
第一节 德尔菲调查概述	76
第二节 我国未来最重要的技术子领域	80

第三节	未来 20 年我国最重要的技术课题	91
第四节	技术课题预计实现时间	112
第五节	我国技术课题研究开发水平	115
第六节	技术课题目前领先国家	120
第七节	技术课题实现可能性与发展制约因素	132
第五章	先进制造技术领域德尔菲调查	139
第一节	德尔菲调查概述	140
第二节	先进制造技术领域最重要技术课题	141
第三节	技术课题的预计实现时间	147
第四节	中国先进制造技术的研究开发水平	150
第五节	技术课题的目前领先国家	153
第六节	技术课题的实现可能性	158
第七节	技术发展的制约因素	166
第六章	资源与环境技术领域德尔菲调查	173
第一节	德尔菲调查概述	174
第二节	资源与环境领域最重要技术课题	176
第三节	技术课题的预计实现时间	182
第四节	中国资源与环境技术研究开发水平	185
第五节	资源与环境技术研究开发目前领先的国家	188
第六节	技术课题的实现可能性	194
第七节	技术发展制约因素	202
第七章	化学与化工技术领域德尔菲调查	211
第一节	德尔菲调查概述	212
第二节	化学与化工技术领域最重要技术课题	214
第三节	技术课题的预计实现时间	220
第四节	中国化学与化工技术研究开发水平	223
第五节	技术课题的目前领先国家	226
第六节	技术课题的实现可能性	231
第七节	技术发展的制约因素	240

第八章 空间科学与技术领域德尔菲调查	249
第一节 德尔菲调查概述	250
第二节 空间科学与技术领域最重要的技术课题	252
第三节 技术课题的预计实现时间	258
第四节 中国空间科学与技术研究开发水平	261
第五节 技术课题的目前领先国家	264
第六节 技术课题的实现可能性	269
第七节 技术发展的制约因素	277
附录	285
附录1 技术课题清单	286
附录2 技术课题预计实现时间年表	297
附录3 子领域专家名单	309
附录4 德尔菲调查回函专家名单	311

第一章

技术预见 的历史回顾与展望



人类对于未来社会的推测和预言活动早已有之。随着人类文明的不断进步,预测领域迅速拓宽,从早期的占星说到如今的天气预报,预测或是预言活动已经深入人们日常生活之中。目前,技术预测已经成为“预测学”重要组成部分,技术预测方法也得到了快速发展。随着人们对科技与经济社会发展认识的不断深化,人们的认识从最初的“技术系统内在因素决定技术发展轨迹”,逐渐发展到“技术与经济社会发展相互作用决定技术发展轨迹”,再到“技术发展轨迹具有多种可能性,未来技术发展轨迹是可以通过今天的政策而加以选择的”,技术预见成为“塑造”或者“创造”未来的有力工具。

与此同时,人们在继续探索和完善各种技术预测方法的同时,逐步形成了德尔菲调查、情景分析法和路线图法为核心的技术预见方法,并且在技术预见实践过程中不断探索与文献计量、专利分析、情景分析、头脑风暴等方法相结合的技术预见综合方法。目前预见研究已经成为未来学、战略规划和政策分析的有机结合,为把握技术发展趋势和选择科学技术优先发展领域或方向提供了重要支撑平台和工具。

第一节 技术预测到技术预见的演进

1. 技术预测的发展

技术预测活动兴起于 20 世纪 40 年代^①。第二次世界大战期间,技术预测得到了广泛应用,如美国空军和海军将技术预测用于科技计划制定,形成了技术预测的第一次发展高潮和第一代技术预测方法。这一时期人们较少关注影响科学技术发展的外因,更多地关心“技术本身的规律”,因此技术预测方法大多数是对已有技术发展轨迹的趋势外推。

第二次世界大战之后,由于冷战和国际竞争的需要,科学技术尤其是军事和航天技术领域迅猛发展并且日益受到政府的关注和支持,决策中需要确定研究与开发的优先领域、投资规模和时间进度,促进了定量预测方法的发展。20 世纪 70 年代以后,这些预测方法已经发展得相当成熟^②。与此同时,实践也引导人们思考从市

^① Coates J F. Boom time in forecasting. *Technological Forecasting and Social Change*, 1999, 62: 37~40

^② Alan L Porter. Tech forecasting: an empirical perspective, *Technologic Forecasting and Social Change*, 1999, 62: 19~28

场需求出发考虑技术发展趋势,许多新的技术预测方法纷纷涌现,逐步形成了技术预测的第二个高潮和第二代技术预测方法。

20世纪60年代末,定量的技术预测在商业领域逐渐失去了其原有的吸引力,并且在70~80年代一度备受冷落。主要有4个原因:一是技术预测对技术系统外因素影响估计不足,加上科学技术、社会、经济发展涉及因素日趋复杂多变,很难做出与科学、技术、经济、社会等发展实际偏离不大的假设,难以保证预测结果的准确性;二是技术预测缺乏数据支持,并受到有限人力财力的约束;三是日趋激烈的市场竞争增加了商业活动的不确定性,生产者和消费者从原材料供应、加工制造到流通与消费的选择范围越来越宽,使得传统的预测方法很难适应瞬息万变的市场环境,也无法满足经营活动决策的需要;四是预测方法应用性研究不足,预测者夸大自己的见解,使得结论受到怀疑。

2. 技术预见兴起

“技术预见”最初是以德尔菲调查为核心的一种预测活动。目前,“技术预见”的表述众多,内容相近但无统一定义。按照牛津字典的解释,“foresight”是发现未来需求并为这些需求做准备的能力。由此可见“技术预见”的内涵要比技术预测丰富得多。事实上,“foresight”用于指“对未来的研究”最早出现在20世纪30年代^①,但是直到80年代才逐步流行起来^②。目前比较主流的观点认为,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步骤的探索过程,其目的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”^③。

20世纪80年代末以来,技术预见作为一种基于德尔菲调查的定性预测方法日益受到政府和企业的重视,并且在实践中不断完善和发展。有关技术发展趋势的监测和预测活动日益受到青睐,国家层面的技术预见(technology foresight)、企业层面的竞争技术情报和产品层面的技术路线图(technology road mapping)逐渐成为新的研究热点^④。政府支持技术预见活动的主要原因在于以下四点:

- ① 经典科幻小说家 H. G. Wells 曾幻想有一个由“professors of foresight”组成的机构,能够预言未来技术发展趋势。参见: Luke Georghiou, Third generation foresight-integrating the social-economic dimension. The Proceeding of International Conference on Technology Foresight. 2001, 223 ~ 232
- ② Luke Georghiou. Third Generation Foresight-Integrating the Social-economic Dimension. The Proceeding of International Conference on Technology Foresight. 2001, 223 ~ 232
- ③ Ben R Martin. Matching social needs and technological capabilities; research foresight and the implications for social sciences (paper presented at the OECD Workshop on Social Sciences and Innovation). Tokyo: United Nations University
- ④ Alan L Porter. Tech forecasting: an empirical perspective. Technologic Forecasting and Social Change, 1999, 62: 19 ~ 28

第一，技术预见提供了一个确定优先领域的系统化工具。全球化浪潮势不可挡，国际竞争日趋激烈，技术创新成为决定国家竞争力的重要因素，而有限的国家研究与发展（R&D）经费难以满足规模越来越大、风险和成本越来越高的通用新技术的研究开发的需要，所以必须确定优先支持的领域或方向。

第二，技术预见提供了一个强化国家（地区）创新体系的手段。技术预见促进了国家（地区）创新系统各子系统的沟通与联系，从而提高创新体系的整体效率。基于德尔菲调查的技术预见为相关利益者提供讨论共同关心的长远发展战略问题的机会，从而对未来技术发展趋势达成共识，并相应调整各自的战略，乃至达成合作意向。

第三，政府支持的技术预见能够降低中小企业把握利用未来技术发展机会和制定正确投资战略的成本。

第四，技术预见能够警示人们关注未来技术发展给社会、环境可能造成的负面影响。

一般认为技术预见活动具有 5 个特点^①：①它对未来的探索过程是系统的；②预见着眼于远期未来，时间范围一般为 5~30 年；③预见不仅关注未来科技的推动因素（science/technology push），而且着眼于市场的拉动作用（market pull），也就是说，预见既包括对科学技术机会的选择，也包括对经济、社会相关需求的识别；④预见的主要对象是“通用新技术”，即处在竞争前（pre-competitive）阶段的技术，WTO（World Trade Organization，世界贸易组织）规则允许政府对此类技术的 R&D 予以一定支持；⑤技术预见必须关注未来技术可能产生的社会效益（包括它对环境的影响），而不仅仅着眼于其经济影响。事实上，技术预见是一个让所有利益相关者来共同探讨如何“塑造未来社会”的过程。

技术预测与技术预见都是对技术的发展趋势及其对社会的影响进行研究，技术预测是技术预见的前身，两者虽有很多的相似之处，但也有区别^②。

（1）研究目标不同。“技术预测”是一种预言性（predictive）工作，主要着眼于准确地预言、推测未来的技术发展动向；“技术预见”则是探索性（exploratory）的，它通过识别、整合不确定性，研究未来可能发生的情况，为决策者提供促进科学、技术、经济、环境和社会协调和可持续发展的决策信息支撑。

（2）对待未来的态度不同。技术预测强调现在的行为要适应未来的发展趋势，

① Ben R Martin. Technology foresight: a review of recent government exercises, Science, Technology, Industry Review, 1996, 17: 15~50

② Sibylle Breiner. Foresight in science and technology-selected methodologies and recent activities in germany. Inzelt and Coenen (eds). Knowledge, Technology Transfer and Foresight. Dordrecht [The Netherlands], Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996

是为适应未来提供决策依据；技术预测比预测更积极，涉及的不仅仅是“推测”，更多的是对未来进行“塑造”（shaping）乃至“创造”（creating）。

（3）研究的范围不同。技术预测研究的是技术本身的发展和市场的拉动；而技术预见则是把整个社会纳入自己的研究范围。

（4）研究的假设条件不同。技术预测的假定条件是要达到未来的“最佳”状态只有唯一的途径；而技术预见则是认为未来存在多种可能性，最后到底哪一种可能变为现实，主要取决于我们现在所做出的选择。

第二节 技术预见已经成为世界潮流

20世纪90年代以来，技术预见已经成为世界潮流。以德尔菲方法为基础的国家层面的技术预见活动，不仅在有计划传统的国家如日本、法国受到重视，而且在德国、英国等许多欧洲国家，甚至韩国、印度、印度尼西亚、泰国、南非等亚非一些发展中国家中也受到决策者的青睐。1971年日本运用德尔菲方法进行了第一次大规模的技术预测德尔菲调查活动，此后每五年组织一次，目前已经完成第八次技术预见调查。在欧洲，荷兰是第一个就技术预见采取政府行动计划的国家。随后德国于1993年借鉴日本的方法进行了第一次技术预见调查，法国、英国、西班牙、奥地利、匈牙利、韩国、印度尼西亚、泰国、南非等国继之而动。随着科技经济全球化进程的加快，技术预见活动的国际交流与合作不断加强，国家之间、区域组织乃至国际组织内部成员之间的合作与交流日趋广泛和深入。

5

1. 日本技术预见实践

日本是迄今为止从事技术预见工作最系统、最成功的国家。1971年起，日本科学技术厅利用德尔菲法组织实施了一项关于未来科技发展的重大研究，旨在确定日本的未来科技发展方向，借此为科学技术政策的制定做出贡献，并为私营部门的技术战略制定提供基本参照点^①。其后，科学技术厅每五年实施一次技术预测德尔菲调查，2000年起改为技术预见德尔菲调查。除此之外，其他省、厅也从事技术预见

^① 日本科学技术厅，科学技术政策研究所，财团法人，未来工程学研究所编（辽宁省科学技术委员会，辽宁省科技情报研究所编译）. 2025年的科学技术：日本第六次技术预测调查报告. 沈阳：东北大学出版社，1999