

中国工程科技 2035 技术预见研究

王崑声¹, 周晓纪¹, 龚旭², 胡良元¹, 孙胜凯¹, 宋超¹, 侯超凡¹, 陈进东¹

(1. 中国航天系统科学与工程研究院, 北京 100048; 2. 国家自然科学基金委员会, 北京 100085)

摘要: 技术预见是一种致力于促进科技与经济、重大计划一体化, 对远期技术发展进行的有步骤的探索过程。结合我国未来经济社会发展对工程科技的需求, 在工程科技发展策略研究中引入技术预见, 开展未来 20 年工程科技关键技术预测与选择。中国工程科技 2035 技术预见结合工程科技特点, 设计了客观分析法与主观判断相结合的技术预见方法与应用流程, 针对 11 个工程科技领域的 800 余项备选技术, 提出了 2035 年我国工程科技各领域发展的关键技术、共性技术以及颠覆性技术, 分析了关键技术的实现时间、发展水平与制约因素, 为各领域制定面向 2035 工程科技发展技术路线图提供系统性的支撑。

关键词: 技术预见; 工程科技; 2035 年; 关键技术选择; 实现时间

中图分类号: T-01 **文献标识码:** A

Technology Foresight on China's Engineering Science and Technology to 2035

Wang Kunsheng¹, Zhou Xiaoji¹, Gong Xu², Hu Liangyuan¹,
Sun Shengkai¹, Song Chao¹, Hou Chaofan¹, Chen Jindong¹

(1. China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, Beijing 100048, China;
2. National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China)

Abstract: Technology foresight is a process that promotes the integration of technology, the economy, and major planning projects, and explores the development of future technology. In consideration of the future economic and social development needs of our country, technology foresight in development strategy research on engineering science and technology involves predicting and selecting key technologies for engineering science and technology in the next 20 years. Combining objective analysis with subjective judgment, the methods and procedures applied in technology foresight on China's engineering science and technology to 2035 were designed by considering the characteristics of engineering science and technology. This technology foresight selects key, common, and disruptive technologies from more than 800 technologies in 11 fields, and analyzes their technical realization time, development level, and constraints. The results of the technology foresight are adopted to create a technology roadmap for China's engineering science and technology development to 2035 in various fields.

Keywords: technology foresight; engineering science and technology; 2035; key technology selection; realization time

收稿日期: 2016-12-25; 修回日期: 2017-01-10

通讯作者: 王崑声, 中国航天系统科学与工程研究院, 研究员, 主要从事系统工程与计算机技术研究工作; E-mail: wangks@spacechina.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国工程科技 2035 发展战略研究”(2015-ZD-14); 国家自然科学基金项目“2035 发展战略技术预见方法研究”(NSFC-L1524024)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

技术预见是对未来技术发展及其社会影响进行的有步骤、有系统的探索过程,它将技术发展预测与规划置于经济社会大系统的背景中,致力于促进科技与经济发展一体化,对科学、技术、经济、环境和社会等资源进行优化。技术预见适应了当今时代经济、社会和科学技术协同发展的思路,提出了促进未来技术发展的新机制,成为世界科技政策研究与制定的一种潮流。

国外开展技术预见比较有代表性的国家为日本和英国。日本从1970年开始开展每5年一次的技术预见活动,至今已开展到第十次技术预见活动,成为世界上开展技术预见最具影响的国家。日本的技术预见最初主要采用德尔菲调查,主要服务于科学技术政策的制定,而后不断引入需求调查、引文分析、情景分析和愿景调查等方法,并不断发展和丰富主题,如应对全球与国家重大挑战、服务于国家和区域创新政策制定等。2015年,日本完成了第十次技术预见,此次预见被称为“课题解决型情景规划”,强调科学技术政策、创新政策一体化,强调在未来社会愿景调查、科学技术发展评估的基础上开展未来情景的创建[1]。英国的技术预见始于20世纪90年代并延续至今,2002年英国开始采用灵活的滚动项目的组织形式,每个项目都围绕一个主题开展,相继完成了“认知系统”“全球环境移民”“技术与创新未来”“未来的识别技术”“未来的制造业”等项目,正在进行“未来老龄化社会”和“未来城市”项目[2,3]。近十余年来,韩国、巴西、俄罗斯等新兴经济体,也注重采用技术预见来规划未来的产业战略与政策,以促进科技与经济社会的协同发展。

21世纪开始,我国逐渐兴起了系统性的技术预见活动,开展技术预见研究的领军队伍是中华人民共和国科学技术部和中国科学院。科技部从2002年开始每5年开展一次技术预见工作,主要服务于国家科技规划的制定,2015年完成了面向“十三五”科技规划编制的技术预见调查与关键技术研判工作。从2003年开始,中国科学院开展了“中国未来20年技术预见研究”;2005年和2008年,中国科学院分别完成了4个不同领域的技术预见研究[4]。2001年,上海市和北京市启动了技术预见研究,其中上海市至今共开展3轮调查,第一轮引进了技术

路线图、专利地图等方法,第二轮增设了愿景与需求调查,第三轮于2013年开始,开展了支撑上海市“十三五”科技规划编制的中长期技术预见研究工作[5]。此外,广东、武汉、天津、云南、山东、新疆等省市自治区也先后开展了技术预见活动。

自20世纪下半叶以来,技术预见已成为世界科技政策研究与制定的一种重要方法,许多国家和地区在相关行业领域持续推进技术预见活动。21世纪技术预见的发展呈现新的特点,其目的是从单纯的预测未来转变为通过引导社会参与而主动影响未来,调查导向和结果分析更加重视未来的需求和挑战;其焦点更加关注技术的不确定性和颠覆性,并更加关注面向产业发展的技术群。

“中国工程科技2035技术预见”是中国工程院与国家自然科学基金委员会共同组织开展的预见活动,是“中国工程科技2035发展战略研究”项目的一部分。“中国工程科技2035发展战略研究”的目标是研究提出中国工程科技2035发展目标、重点发展领域、需突破的关键技术、需建设的重大工程以及需要优先开展的基础研究方向,为国家工程科技以及相关领域基础研究的系统谋划和前瞻部署提供咨询服务。为进一步提升工程科技发展战略研究的前瞻性和科学性,项目组织开展了未来20年中国工程科技技术预见活动,旨在把握国内外科技发展趋势,提出未来20年我国工程科技需要发展及可能实现的技术清单,结合国家重大战略需求和经济社会的发展需求,选择关系全局和长远发展的重点技术方向和关键技术,分析关键技术的实现时间、发展水平与制约因素,为中国工程科技2035发展战略研究提供重要支撑。

二、中国工程科技2035技术预见方法与过程

技术预见是“中国工程科技2035发展战略研究”的重要组成部分,由于其研究对象聚焦工程科技领域,研究目的比较明确。因此,在方法设计与应用中主要考虑工程科技发展战略研究的需求,方法设计思路与应用过程如下。

(一) 方法设计

中国工程科技2035技术预见的方法设计主要考虑以下四个方面的因素。

(1) 根据技术预见的目的, 按照工程科技发展战略研究的范畴和特点进行领域划分、备选技术清单筛选与问卷设计, 并特别注重技术方向的可实现性和可用性。

(2) 体现工程科技与经济社会密切联系的特点, 强调技术预见与需求分析的结合, 重视需求的牵引带动作用, 将愿景与需求分析作为提出工程科技技术清单的重要依据。

(3) 将专家研讨、德尔菲调查等定性研究方法与文献计量、专利分析等定量研究方法结合起来一并开展研究。一方面, 充分发挥中国工程院、国家自然科学基金委员会院士与专家群体的作用; 另一方面, 结合文献、专利数据分析结果为各领域备选技术清单的提出、筛选、修正提供参考, 并

能对预见结果起到验证作用。

(4) 强调技术预见与战略研究的结合。根据实际研究需要, 拉长两次德尔菲调查的间隔。首先结合第一轮调查结果与需求分析结果, 开展领域深化研究, 并针对第一轮调查中的争议性问题或关键技术等进行深入的研究, 当战略研究取得一定成果、对技术趋势的把握更加深入时, 再开展第二轮调查; 第二轮调查中增加有针对性的调查问题, 以期能为战略研究提供更好的服务。

中国工程科技 2035 技术预见的思路 and 流程设计如图 1 所示。

(二) 技术预见领域与备选技术清单形成

中国工程科技 2035 技术预见清单, 从技术领

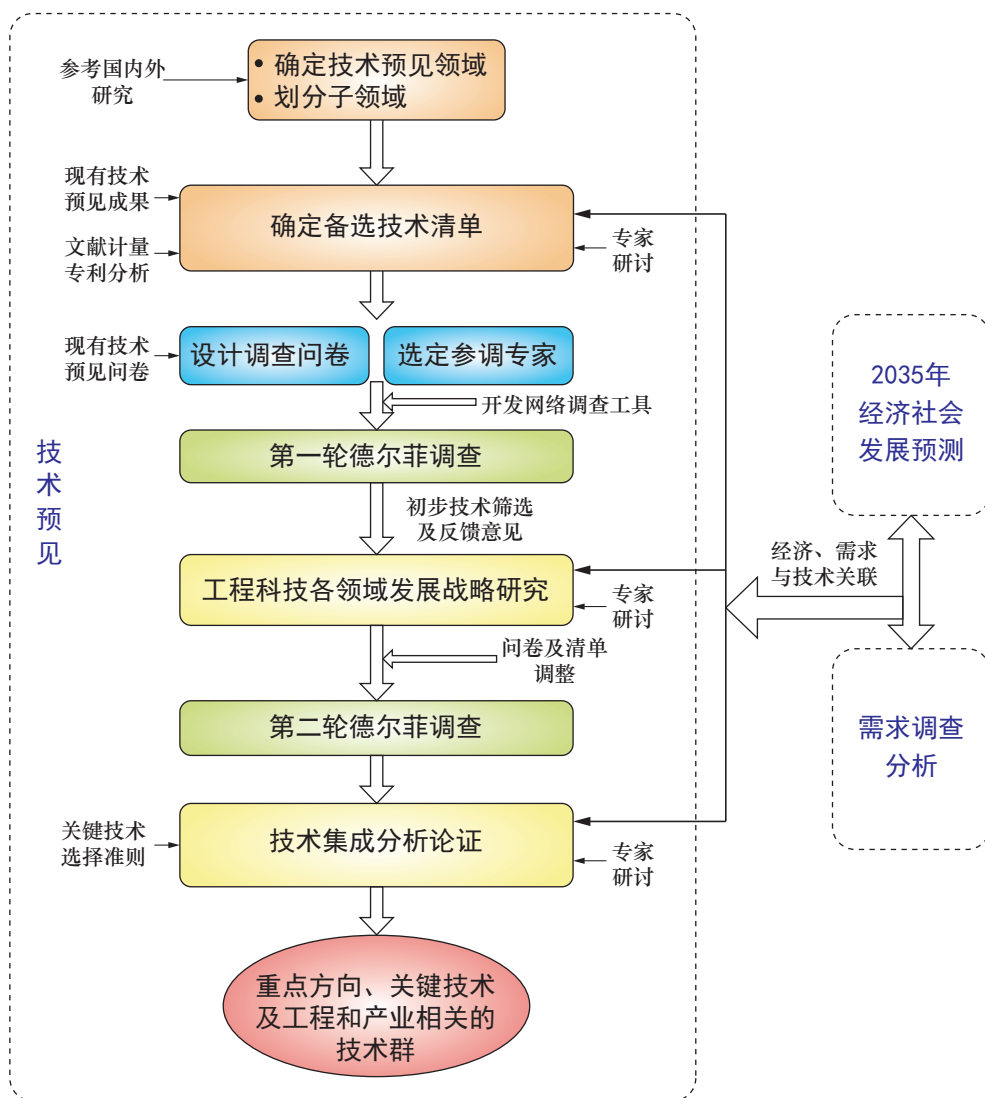


图 1 中国工程科技 2035 技术预见的思路 and 流程设计

域、子领域、技术项目3个层面展开。技术领域、子领域和技术项目的选择原则与形成过程如下。

1. 技术预见领域划分

技术预见领域划分反映了技术预见活动的根本目的和思路。通过调研国内外技术预见活动的领域划分情况,结合工程科技发展战略研究的特点和需求,本次技术预见的领域划分主要考虑两方面原则:一是要体现工程科技的特点,弱化科学学科的概念,领域划分应覆盖工程科技的主要领域和重点方向,强调其对经济社会的直接作用;二是要体现技术预见的特点,领域划分不能拘泥于工程科技的传统领域,应充分反映当前科技发展新热点和跨领域、多学科融合的趋势。经过多轮讨论,最终提出信息与电子、先进制造、先进材料、能源与矿业、环境生态与绿色制造、空间海洋与地球观测、城镇化与基础设施、交通、农业与食品、医药卫生与人口健康、公共安全共11个领域,并根据各领域特点提出了98个子领域。

2. 备选技术清单形成

鉴于本次技术预见是结合工程科技战略研究项目而开展的有限度的技术预见,技术预见活动需要在战略研究的中前期完成,在时间上受到一定的限制,同时,工程科技领域覆盖广泛,难以在短期内开展大规模的技术清单征集活动。鉴于此,本次技术预见清单征集的前期工作充分借鉴了国内外近期技术预见活动的结果,重点参考了科技部最新一次公布的技术预见清单。清单形成的基本原则包括:①备选技术既要符合我国经济社会发展的战略需求,也要反映国际前沿发展方向;②备选技术在未来10~20年内有望取得重大突破、得到大规模推广应用,且在国内一般应具有一定的基础和竞争力;③备选技术应包含未来可能具有重大颠覆性或重大潜在应用的技术。

备选技术清单征集的途径与过程包括:①以工程科技战略研究领域组、专题组作为领域技术清单拟制的主体,组织领域专家研讨,提出初步的技术清单;②结合文献计量、专利分析等提出及验证前沿技术方向,本次主要在“智能机器人”“3D打印”两个子领域进行了深入研究;③召开领域专家研讨会或者函询进一步开展备选技术征集,利用在2015年院士大会会议期间广泛征集院士意见,再通过领域专家研讨、打分等多种方式,对技术清单开展深

化研究和多轮次修订,形成第一轮备选技术清单;④在第一轮德尔菲调查过程中,征集新的技术项;⑤基于第一轮专家调查结果,以及领域战略研究的初步结果修订技术清单,并进一步扩大专家范围,征集新技术项目。通过上述方式,最终形成第二轮备选技术清单。

(三) 专家调查

大规模专家调查是技术预见的关键环节之一,通过向来自社会各界的专家进行两轮以上的问卷调查,以期更全面地反映社会各界对未来技术发展的预测性意见和愿景式预期。

1. 调查问卷与调查系统设计

本次技术预见问卷的设计,旨在获得专家对备选技术项目的五大判断,其主体问题包括技术本身的重要性、技术应用的重要性、预期实现时间、技术基础与竞争力,以及技术发展的制约因素五大方面。其中,技术本身的重要性包括技术核心性、通用性、带动性和非连续性四个问题,技术应用重要性包括技术对经济发展、社会发展、国家与国防安全三方面的作用,预期实现时间方面,为突出工程科技可用性的判断和纵横向比较分析,设置了世界技术实现时间、中国技术实现时间以及中国社会实现时间三个问题。为进一步征集专家对未来技术发展的判断,调查中分别设置了几个开放性问题,包括备选技术清单之外的重要技术方向、2035年可能出现的重大产品,以及需要提前部署的基础研究方向等。

针对此次技术预见的调查需求开发了在线问卷调查系统,问卷调查系统及样卷如图2所示。网上调查系统按照答题方便、支撑信息易于查询、反馈信息与问卷有效关联等原则设计。采用网上作答的形式加强了问卷调查的直观性、灵活性,有效提高了调查效率和轮次间反馈的有效性。同时,网上调查系统开设了技术预见调查管理模块,各领域组技术预见专员可以实时查询、监测专家调查进展情况,及时采取推进措施。

2. 专家征集

本研究主要针对工程科技各大领域,强调结果的前瞻性和准确性,对参调专家的选择要突出专业性、权威性和全面性,专家库尽可能涵盖科研院所、高校、政府、产业界等方面的专家,以求调查结果



图2 技术预见调查系统

能反映科技研究、技术应用、经济社会需求及产业发展等多方面意见。通过广泛征集和推荐，共录入各领域专家近 8 000 名，在调查进行中采取在线滚动推荐的方式，新增专家 2 000 多名，形成近万名专家规模的专家库。

此外，为配合战略研究项目的要求，在本次技术预见过程中，同时开展了面向 2035 的经济社会发展需求调查，进一步促进需求分析与技术预见调查、战略研究的结合。

三、技术预见结果分析

本次技术预见于 2015 年 3 月启动，征集形成备选技术清单后，分别于 2015 年 8—10 月、2016 年 5—7 月开展了两轮专家调查，获得了中国工程科技 2035 发展方向的初步预测结果。在此基础上，项目各领域组织院士专家对技术预见调查结果开展深入讨论和研判，提出领域关键技术方向，并运用到领域发展路线图绘制中。

(一) 专家调查问卷回收情况

技术预见第二轮专家调查共回收各领域问卷 29 542 份，每个技术项平均回收问卷 36.2 份。在参与作答的专家中，32 % 的专家来自科研院所，44 % 的专家来自高校，其余来自企业和政府部门等，如图 3 所示。这一方面反映了我国技术专家分布在高校和科研院所数量较多、较为集中，另一方面也说明本次技术预见调查在企业等方面的宣传和开展力度尚有待加强。在回收的问卷中，对所填报的技术项，56 % 的专家选择“很熟悉”或“熟悉”，仅 1 % 的专家选择“不熟悉”（不熟悉的答卷不计入统计分析），总体来看回答的专业性较高，如图 4 所示。

(二) 技术基础与竞争力分析

在问卷调查中设置了“该技术项目我国当前的研发水平”选项，向专家征询技术发展处于“国际领先”“接近国际水平”“落后于国际水平”的何种阶段。分别统计各领域技术研发水平调查结果分值

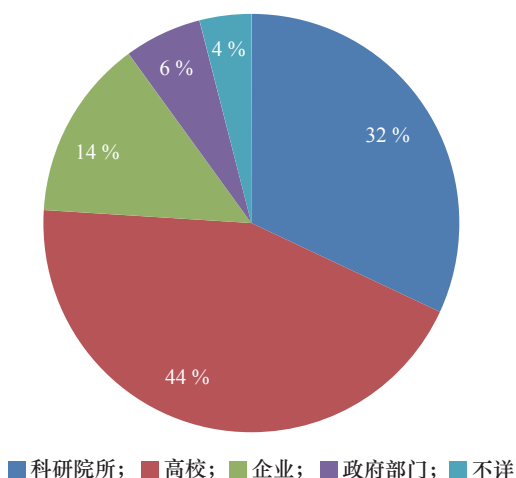


图3 参调专家所在单位分布

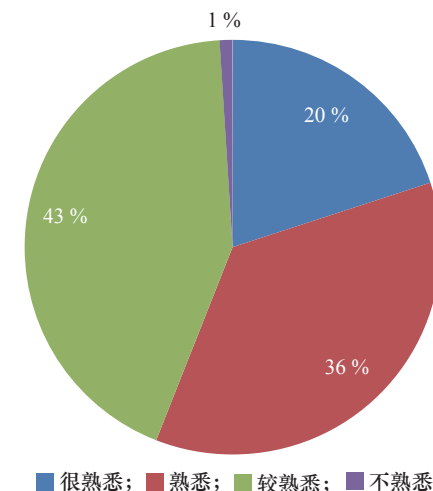


图4 参调专家对调查技术的熟悉程度分布

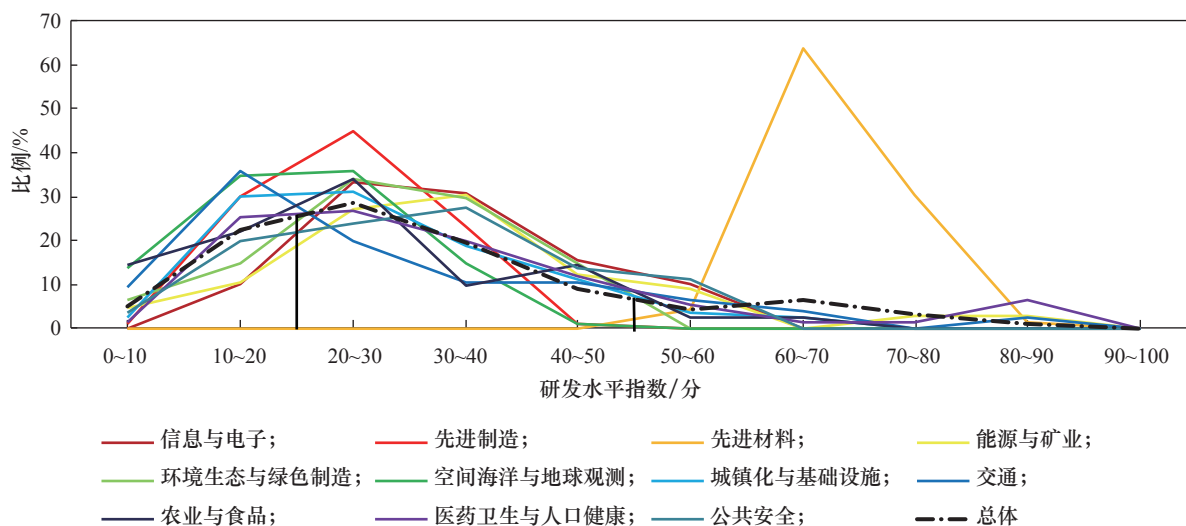


图5 各领域技术研发水平分布图

的分布,如图5所示。设定20分及以下为处于落后水平,40~60分为接近国际平均水平,80分及以上为处于国际领先水平。总体上看,我国大多数项目的研发水平在国际上处于落后水平。相对而言,先进材料领域的整体研发水平较高。

在问卷调查中设置了“目前该技术领先的国家”选项,向专家征询世界主要国家针对各项技术的发展竞争力。分别统计各领域技术领先国家调查结果的分布,如图6所示。总体上看,美国在大多数领域处于国际领先地位,欧盟在环境生态与绿色制造领域处于国际领先地位。

我国在能源与矿业、交通和医药卫生领域的部分技术方向具有一定的优势。通过对子领域和技术项

目的进一步分析,得出我国在中医药学、高铁建设、煤炭开采与发电、水力发电等方面具有较强的技术优势;而在装备制造、深海资源开发利用、绿色环保生产加工、城市管理等方面明显处于落后水平。

(三) 技术实现与应用时间预测

技术实现时间预测结果如图7所示。本次提出的技术项目实现时间基本呈正态分布,我国的技术实现时间主要分布在2024—2027年,整体上要落后于国际先进水平4~6年;技术项目在我国的社会实现时间主要分布在2026—2030年,整体上落后于技术实现时间3~5年,反映了从技术研发到推广应用所需的时间。

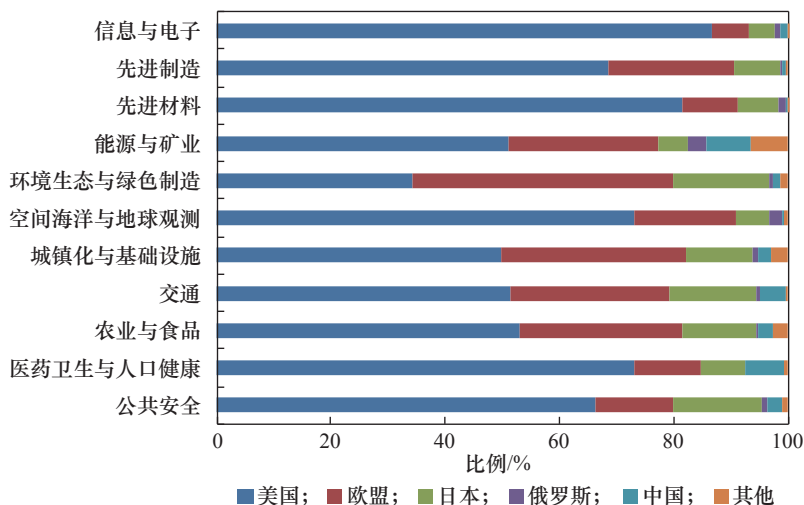


图6 各领域技术领先国家分布图

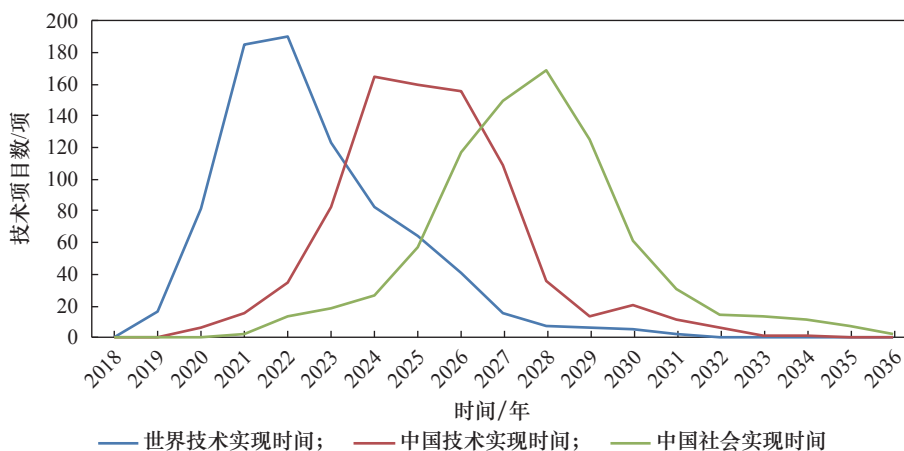


图7 技术实现时间预测结果

在问卷调查中设置了“该技术发展的制约因素”选项，分别统计各领域技术发展制约因素的平均分布情况，如图8所示。整体来看，人才队伍及科技资源、研发投入是所有领域技术发展的主要制约因素。具体到各领域，人才队伍及科技资源对材料领域技术发展的制约尤为明显，占比超过50%；法律法规政策、标准规范对环境生态领域的制约较强；工业基础能力对先进制造、能源和交通领域的制约较强。

(四) 关键技术选择

基于项目设计，本次技术预见在专家调查基础上，结合专家研判，筛选面向2035年我国工程科技发展的关键技术、共性技术和颠覆性技术。其中，根据专家调查结果，综合考虑技术本身重要性和技

术应用重要性的得分情况，判断技术的综合重要程度，初步筛选出核心关键技术方向；综合考虑技术通用性和应用重要性分值，初步筛选出共性技术；综合考虑技术非连续性和应用重要性分值，初步筛选出颠覆性技术。在此基础上，组织各领域院士专家进行分析评估，在800余项技术中，提出100项关键技术、50项共性技术和20项颠覆性技术。表1列举了25项具有一定代表性的面向2035的重要技术方向。

在共性技术中，大数据、机器人、传感器和遥感技术较多，充分体现了未来信息技术在各行业、各领域的广泛应用前景。颠覆性技术中新型材料、无人化、零排放等方面的技术较多，也揭示出未来科技发展面临解放劳动力、提高劳动生产率、环境生态友好等方面的重大挑战和问题。

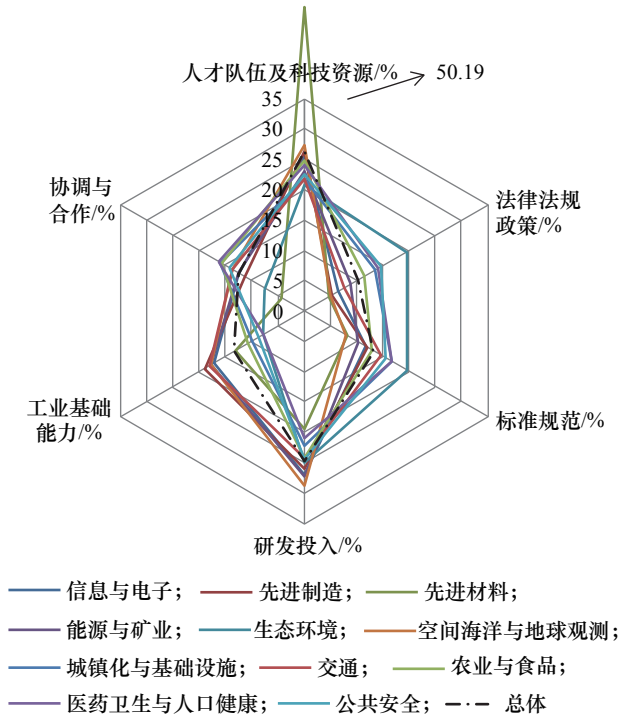


图8 技术发展制约因素分布图

四、结语

中国工程科技 2035 技术预见作为工程科技中长期战略研究中首次开展的技术预见活动，按照紧密联系需求、支撑战略研究的思路，根据工程科技领域特点与战略研究要求，在充分准备和开展调研的基础上，设计了工作模式与流程，实施过程中注重总体协调和过程管理，确保技术预见工作的有效推进与顺利完成。在工程科技发展战略研究中采用系统化、规范化的技术预见方法，为中国工程科技 2035 发展战略各领域研究起到良好的整体推进作用。技术预见结果为展望未来 20 年我国工程科技的发展方向与重点任务、制定各领域技术发展路线图提供了丰富、详实的支撑资料，进一步提高了战略研究的系统性和规范性。

与此同时，结合中国工程科技 2035 发展战略研究而开展的技术预见，也存在不少困难及需要进一步研究的问题，主要体现在：在有限的时间内完成有深度、有广度的技术预见；更好地体现前瞻性，特别是体现产业界的未来需求；推进技术预见中的专家调查，提高参与调查专家的覆盖面、有效性；更好地实现技术预见与战略研究的有机结合等。对此，中国工程科技中长期发展战略研究将每 5 年一

表1 面向 2035 的重要技术方向

| 编号 | 技术项 |
|----|----------------------------|
| 1 | 先进计算技术 |
| 2 | 天空地海一体化信息网络及新型通信技术 |
| 3 | 人工智能及大脑模拟关键技术 |
| 4 | 智能化数控加工单元 / 系统 |
| 5 | 人机共融机器人技术 |
| 6 | 微纳尺度 3D 打印技术 |
| 7 | 新概念航空动力技术 |
| 8 | 高功率激光和非线性光学晶体、器件及应用技术 |
| 9 | 高性能纤维材料 |
| 10 | 以智能电网为基础的综合能源系统技术 |
| 11 | 智能化采矿技术 |
| 12 | 源头节能减排高效冶金反应器技术 |
| 13 | 地下水、饮用水微污染防治与安全利用技术 |
| 14 | 城市中心区功能提升与再开发关键技术 |
| 15 | 城市安全运行保障与韧性增强关键技术 |
| 16 | 新型高性能结构体系关键技术 |
| 17 | 综合交通大数据多元感知与实时协同处理技术 |
| 18 | 化工园区多灾害耦合风险评估与事故防控技术 |
| 19 | 可规模化应用的海水淡化技术与装备 |
| 20 | 海洋数值建模科学与技术 |
| 21 | 深海空间探测与作业技术 |
| 22 | 智能农业装备关键技术 |
| 23 | 基于功能基因挖掘及基因组大数据的农作物与畜禽育种技术 |
| 24 | 细胞与组织修复及器官再生的新技术与应用 |
| 25 | 新药发现研究与制药工程关键技术 |

次长期稳定地进行下去，技术预见也将作为一个重要组成部分长期开展。这将有利于我们借鉴本次技术预见工作以及国内外其他技术预见活动的经验，持续改进工程科技技术预见活动，一是基于存在的问题和实践经验，研究、改进现有方法和流程，使之更好用、更适用；二是充分利用 5 年周期加强定量分析方法在各领域的应用；三是建立长期的技术、知识、专家库积累。通过持续改进，提高技术预见的前瞻性和有效性，更好地发挥技术预见的作用。

致谢

本文源于中国工程科技 2035 技术预见，技术预见工作由中国工程院和国家自然科学基金委员会联合资助的“中国工程科技 2035 发展战略研究”项

目的各课题组共同完成。同时,在此对参与中国工程科技 2035 技术预见专家调查的社会各界院士专家表示感谢。

参考文献

- [1] National Institute of Science and Technology Policy. Japan's 10th science and technology foresight [R/OL]. (2015-08-12) [2016-10-15]. <http://www.nistep.go.jp/aehiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077ae.html>.
- [2] 孟弘, 许晔, 李振兴. 英国面向2030 年的技术预见及其对中国的启示 [J]. 中国科技论坛, 2013 (12): 155-160.
Meng H, Xu Y, Li Z X. UK technology foresight for the 2020s and its enlightenment to China [J]. Forum on Science and Technology in China, 2013 (12): 155-160.
- [3] Foresight Horizon Scanning Centre, Government Office for Science. Technology and innovation futures: UK growth opportunities for the 2020s [R/OL]. (2012-11-23) [2016-10-16]. <http://www.bis.gov.uk/foresight>.
- [4] 中国未来20 年技术预见研究组. 中国未来20 年技术预见 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
Technology Foresight of China towards 2020 Research Group. Technology foresight of China towards 2020 [M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd (CSPM), 2006.
- [5] 上海市科学学研究所. 上海科技发展重点领域技术预见研究报告(2013—2014) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2015.
Shanghai Institute for Science of Science. The report of key areas of science and technology foresight of Shanghai (2013-2014) [M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2015.