

中国工程科技2035发展战略丛书



The Development Strategy of
China's Engineering Science and Technology for 2035

中国工程科技 2035 发展战略

技术预见报告

“中国工程科技2035发展战略研究”项目组



科学出版社

中国工程科技2035发展战略丛书

The Development Strategy of
China's Engineering Science and Technology for 2035

中国工程科技 2035发展战略

技术预见报告

“中国工程科技2035发展战略研究”项目组

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

中国工程科技 2035 发展战略. 技术预见报告 / “中国工程科技 2035 发展战略研究”
项目组编. —北京: 科学出版社, 2019.6

ISBN 978-7-03-061361-5

I. ①中… II. ①中… III. ①科技发展—发展战略—研究报告—中国 IV. ①G322

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 100906 号

丛书策划: 侯俊琳 牛 玲

责任编辑: 牛 玲 刘巧巧 / 责任校对: 贾伟娟

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 有道文化

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年6月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2019年6月第一次印刷 印张: 24 3/4

字数: 450 000

定价: 178.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

中国工程科技 2035 发展战略研究

联合领导小组

组 长：周 济 杨 卫

副组长：赵宪庚 高 文

成 员（以姓氏笔画为序）：

王长锐	王礼恒	尹泽勇	卢锡城	孙永福
杜生明	李一军	杨宝峰	陈拥军	周福霖
郑永和	孟庆国	郝吉明	秦玉文	柴育成
徐惠彬	康绍忠	彭苏萍	韩 宇	董尔丹
黎 明				

联合工作组

组 长：吴国凯 郑永和

成 员（以姓氏笔画为序）：

孙 粒	李艳杰	李铭禄	吴善超	张 宇
黄 琳	龚 旭	董 超	樊新岩	

中国工程科技 2035 发展战略丛书

编 委 会

主 任：周 济 杨 卫

副主任：赵宪庚 高 文 王礼恒

编 委（以姓氏笔画为序）：

丁一汇	王 雪	尤 政	尹泽勇	卢锡城
吕 薇	庄松林	孙永福	孙优贤	孙宝国
孙殿军	李 平	李天初	李德发	杨宝峰
吴孔明	吴曼青	余贻鑫	张 军	张 偲
范维澄	金东寒	金翔龙	周福霖	赵文智
郝吉明	段 宁	袁业立	聂建国	徐建国
徐惠彬	殷瑞钰	栾恩杰	高从堦	唐启升
康绍忠	屠海令	彭苏萍	程 京	谭久彬
潘德炉				

项目办公室

主任：吴国凯 郑永和

成员（以姓氏笔画为序）：

孙 粒 李艳杰 张 宇 黄 琳 龚 旭

工 作 组

组 长：王崑声

副组长：黄 琳 龚 旭 周晓纪

成 员（以姓氏笔画为序）：

丁淑富	马 飞	王亚琼	王宏伟	王晓俊
王爱红	王海风	左家和	白 雁	刘 奕
安 达	孙 粒	孙胜凯	李冬梅	李铭禄
李憑峰	但智钢	宋 超	张 勇	张 莉
张 健	张 博	张文韬	陈进东	范桂梅
周 源	宗玉生	胡良元	侯超凡	袁建华
夏登文	唐海英	黄海涛	崔 剑	梁桂林
董 超	满 璇	裴 钰	阚晓伟	谭宗颖
樊新岩	魏 畅			

中国工程科技 2035 发展战略·

技术预见报告

编 委 会

主 任：王礼恒 王崑声

副主任：周晓纪 樊新岩 董 超

编 委（以姓氏笔画为序）：

王海风 白 雁 冯明志 刘 奕 安 达

孙 粒 孙旭东 孙殿军 李腾飞 但智钢

张 宇 张 莉 陈源泉 周 源 陶慕轩

工 作 组

成 员（以姓氏笔画为序）：

丁淑富 上官方钦 马 飞 王亚琼 史菲菲

刘宇飞 许守任 孙胜凯 李 腾 李淑慧

李憑峰 宋 超 张 勇 张 博 张永伟

陈进东 胡良元 侯超凡 聂 鑫 倪顺江

崔 剑 梁桂林 裴 钰 阚晓伟 魏 畅

总序

科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂，而工程科技是科技向现实生产力转化过程的关键环节，是引领与推进社会进步的重要驱动力。当前，中国特色社会主义进入新时代，党的十九大提出了2035年基本实现社会主义现代化的发展目标，要贯彻新发展理念，建设现代化经济体系，必须把发展经济的着力点放在实体经济上，把提高供给体系质量作为主攻方向，显著增强我国经济质量优势。我国作为一个以实体经济为主带动国民经济发展的世界第二大经济体，以及体现实体经济发展与工程科技进步相互交织、相互辉映的动力型发展体，工程科技发展在支撑我国现代化经济体系建设，推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革中具有独特的作用。习近平总书记在2016年“科技三会”^①上指出，“国家对战略科技支撑的需求比以往任何时期都更加迫切”，未来20年是中国工程科技大有可为的历史机遇期，“科技创新的战略导向十分紧要”。

2015年始，中国工程院和国家自然科学基金委员会联合组织开展了“中国工程科技2035发展战略研究”，以期集聚群智，充分发挥工程科技战略对我国工程科技进步和经济社会发展的引领作用，“服务决策、适度超前”，积极谋划中国工程科技支撑高质量发展之路。

^① “科技三会”即2016年5月30日召开的全国科技创新大会、中国科学院第十八次院士大会和中国工程院第十三次院士大会、中国科学技术协会第九次全国代表大会。

第一，中国经济社会发展呼唤工程科技创新，也孕育着工程科技创新的无限生机。

创新是引领发展的第一动力，科技创新是推动经济社会发展的根本动力。当前，全球科技创新进入密集活跃期，呈现高速发展与高度融合态势，信息技术、新能源、新材料、生物技术等高新技术向各领域加速渗透、深度融合，正在加速推动以数字化、网络化、智能化、绿色化为特征的新一轮产业与社会变革。面向 2035 年，世界人口与经济持续增长，能源需求与环境压力将不断增大，而科技创新将成为重塑世界格局、创造人类未来的主导力量，成为人类追求更健康、更美好的生活的重要推动力量。

习近平总书记在 2018 年两院院士大会开幕式上讲到：“我们迎来了世界新一轮科技革命和产业变革同我国转变发展方式的历史性交汇期，既面临着千载难逢的历史机遇，又面临着差距拉大的严峻挑战。”从现在到 2035 年，是将发生天翻地覆变化的重要时期，中国工业化将从量变走向质变，2020 年我国要进入创新型国家行列，2030 年中国的碳排放达到峰值将对我国的能源结构产生重大影响，2035 年基本实现社会主义现代化。在这一过程中释放出来的巨大的经济社会需求，给工程科技发展创造了得天独厚的条件和千载难逢的机遇。一是中国将成为传统工程领域科技创新的最重要战场。三峡水利工程、南水北调、超大型桥梁、高铁、超长隧道等一大批基础设施以及世界级工程的成功建设，使我国已经成为世界范围内的工程建设中心。传统产业和基础设施建设对机械、土木、化工、电机等学科领域的需求依然强劲。二是信息化、智能化将是带动中国工业化的最佳抓手。工业化与信息化深度融合，以智能制造为主导的工业 4.0 将加速推动第四次工业革命，老龄化社会将催生服务型机器人的普及，大数据将在城镇化过程中发挥巨大作用，天网、地网、海网等将全面融合，信

息工程科技领域将迎来全新的发展机遇。三是中国将成为一些重要战略性新兴产业的发源地。在我国从温饱型社会向小康型社会转型的过程中，人民群众的消费需求不断增长，将创造令世界瞩目和羡慕的消费市场，并将在一定程度上引领全球消费市场及相关行业的发展方向，为战略性新兴产业的形成与发展奠定坚实的基础。四是中国将是生态、能源、资源环境、医疗卫生等领域工程科技创新的主战场。尤其是在页岩气开发、碳排放减量、核能利用、水污染治理、土壤修复等方面，未来 20 年中国需求巨大，给能源、节能环保、医疗保健等产业及其相关工程领域创造了难得的发展机遇。五是中国的国防现代化建设、航空航天技术与工程的跨越式发展，给工程科技领域提出了更多更高的要求。

为了实现 2035 年基本实现社会主义现代化的宏伟目标，作为与经济社会联系最紧密的科技领域，工程科技的发展有较强的可预见性和可引导性，更有可能在“有所为、有所不为”的原则下加以选择性支持与推进，全面系统地研究其发展战略显得尤为重要。

第二，中国工程院和国家自然科学基金委员会理应共同承担起推动工程科技创新、实施创新驱动发展战略的历史使命。

“工程科技是推动人类进步的发动机，是产业革命、经济发展、社会进步的有力杠杆。”^① 习近平总书记在 2016 年“科技三会”上指出：“中国科学院、中国工程院是我国科技大师荟萃之地，要发挥好国家高端科技智库功能，组织广大院士围绕事关科技创新发展全局和长远问题，善于把握世界科技发展大势、研判世界科技革命新方向，为国家科技决策提供准确、前瞻、及时的建议。要发挥好最高学术机

^① 参见习近平总书记 2018 年 5 月 28 日在中国科学院第十九次院士大会和中国工程院第十四次院士大会上的讲话。

构学术引领作用，把握好世界科技发展大势，敏锐抓住科技革命新方向。”这不仅高度肯定了战略研究的重要性，而且对战略研究工作提出了更高的要求。同时，习近平总书记在 2018 年两院院士大会上指出，“基础研究是整个科学体系的源头。要瞄准世界科技前沿，抓住大趋势，下好‘先手棋’，打好基础、储备长远”；“要加大应用基础研究力度，以推动重大科技项目为抓手”；“把科技成果充分应用到现代化事业中去”。

中国工程院是国家高端科技智库和工程科技思想库；国家自然科学基金委员会是我国基础研究的主要资助机构，也是我国工程科技领域基础研究最重要的资助机构。为了发挥“以科学咨询支撑科学决策，以科学决策引领科学发展”^①的制度优势，双方决定共同组织开展中国工程科技中长期发展战略研究，这既是充分发挥中国工程院国家工程科技思想库作用的重要内容和应尽责任，也是国家自然科学基金委员会引导我国科学家面向工程科技发展中的科学问题开展基础研究的重要方式，以及加强应用基础研究的重要途径。2009 年，中国工程院与国家自然科学基金委员会联合组织开展了面向 2030 年的中国工程科技中长期发展战略研究，并决定每五年组织一次面向未来 20 年的工程科技发展战略研究，围绕国家重大战略需求，强化战略导向和目标引导，勾勒国家未来 20 年工程科技发展蓝图，为实施创新驱动发展战略“谋定而后动”。

第三，工程科技发展战略研究要成为国家制定中长期科技规划的重要基础，解决工程科技发展问题需要基础研究提供长期稳定支撑。

工程科技发展战略研究的重要目标是为国家中长期科技规划提供

^① 参见中共中央办公厅、国务院办公厅联合下发的《关于加强中国特色新型智库建设的意见》。

有益的参考。回顾过去，2009年组织开展的“中国工程科技中长期发展战略研究”，为《“十三五”国家科技创新规划》及其提出的“科技创新2030—重大项目”提供了有效的决策支持。

党的十八大以来，我国科技事业实现了历史性、整体性、格局性重大变化，一些前沿方向开始进入并行、领跑阶段，国家科技实力正处于从量的积累向质的飞跃、由点的突破向系统能力提升的重要时期。为推进我国整体科技水平从跟跑向并行、领跑的战略性转变，如何选择发展方向显得尤其重要和尤其困难，需要加强对关系根本和全局的科学问题的研究部署，不断强化科技创新体系能力，对关键领域、“卡脖子”问题的突破作出战略性安排，加快构筑支撑高端引领的先发优势，才能在重要科技领域成为领跑者，在新兴前沿交叉领域成为开拓者，并把惠民、利民、富民、改善民生作为科技创新的重要方向。同时，我们认识到，工程科技的前沿往往也是基础研究的前沿，解决工程科技发展的问題需要基础研究提供长期稳定支撑，两者相辅相成才能共同推动中国科技的进步。

我们期望，面向未来20年的中国工程科技发展战略研究，可以为工程科技的发展布局、科学基金对应用基础研究的资助布局等提出有远见性的建议，不仅形成对国家创新驱动发展有重大影响的研究报告，而且通过对工程科技发展中重大科学技术问题的凝练，引导科学基金资助工作和工程科技的发展方向。

第四，采用科学系统的方法，建立一支推进我国工程科技发展的战略咨询力量，并通过广泛宣传凝聚形成社会共识。

当前，技术体系高度融合与高度复杂化，全球科技创新的战略竞争与体系竞争更趋激烈，中国工程科技2035发展战略研究，即是要面向未来，系统谋划国家工程科技的体系创新。“预见未来的最好办法，

就是塑造未来”，站在现在谋虑未来、站在未来引导现在，将国家需求同工程科技发展的可行性预判结合起来，提出科学可行、具有中国特色的工程科技发展路线。

因此，在项目组织中，强调以长远的眼光、战略的眼光、系统的眼光看待问题、研究问题，突出工程科技规划的带动性与选择性，同时，注重研究方法的科学性和规范性，在研究中不断探索新的更有效的系统性方法。项目将技术预见引入战略研究中，将技术预见、需求分析、经济预测与工程科技发展路径研究紧密结合，采用一系列规范方法，以科技、经济和社会发展规划及其相互作用为基础，对未来 20 年科技、经济与社会协同发展的趋势进行系统性预见，研究提出面向 2035 年的中国工程科技发展的战略目标和路径，并对基础研究方向部署提出建议。

项目研究更强调动员工程科技各领域专家以及社会科学界专家参与研究，以院士为核心，以专家为骨干，组织形成一支由战略科学家领军的研究队伍，并通过专家研讨、德尔菲专家调查等途径更广泛地动员各界专家参与研究，组织国际国内学术论坛汲取国内外专家意见。同时，项目致力于搭建我国工程科技战略研究智能决策支持平台，发展适合我国国情的科技战略方法学。期望通过项目研究，不仅能够形成有远见的战略研究成果，同时还能通过不断探索、实践，形成战略研究的组织和方法学成果，建立一支推进工程科技发展的战略咨询力量，切实发挥战略研究对科技和经济社会发展的引领作用。

在支撑国家战略规划和决策的同时，希望通过公开出版发布战略研究报告，促进战略研究成果传播，为社会各界开展技术方向选择、战略制定与资源优化配置提供支撑，推动全社会共同迎接新的未来和发展机遇。

展望未来，中国工程院与国家自然科学基金委员会将继续鼎力合作，发挥国家战略科技力量的作用，同全国科技力量一道，围绕建设世界科技强国，敏锐抓住科技革命方向，大力推动科技跨越发展和社会主义现代化强国建设。

中国工程院院长：李晓红院士

国家自然科学基金委员会主任：李静海院士

2019年3月

前 言

技术预见是对未来技术发展进行有步骤探索的过程，它将技术发展预测与规划置身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，以及科学、技术、经济、环境和社会等资源的系统优化。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，提出了促进未来发展的研究新机制，成为世界科技政策研究的一种潮流，也成为国家、地区制定科技发展战略和政策的重要支撑手段之一，其研究与应用日益广泛。

工程科技是与经济社会联系最密切、作用最直接、效果最明显的科学技术。为更好地服务于国家发展战略，从2009年起，中国工程院和国家自然科学基金委员会联合组织开展了“中国工程科技中长期发展战略研究”，并将按照五年一个周期持续组织开展。2015年启动了“中国工程科技2035发展战略研究”，其目标是提出面向2035年我国工程科技发展战略目标、重点任务，提出关键技术、关键共性技术、颠覆性技术以及基础研究方向，提出重大工程和重大科技项目建议，描绘我国工程科技发展路线图，为国家工程科技发展以及相关领域基础研究的系统谋划和前瞻部署提供支撑。

工程科技作为将科学发现、技术发明、工程建设同产业进步、经济增长、民生发展相联系的重要领域，其发展有更强的可预见、可规划和可引导性。为提升工程科技发展战略研究的前瞻性和科学性，项目进一步强调了研究方法的科学性与规范性，在工程科技战略研究中

引入了技术预见，旨在更准确地把握世界科技发展大势，研判可能产生重大科技突破的方向，结合国家重大战略需求和经济社会发展需求，研究提出我国未来 20 年需要重点突破的关键技术方向，分析关键技术实现时间、发展水平、制约因素，为 2035 工程科技发展路径研究提供重要输入和分析依据。

本次技术预见由中国工程院和国家自然科学基金委员会联合组织开展，在“中国工程科技 2035 发展战略研究”项目总体组指导下，依托中国航天系统科学与工程研究院具体推进实施。技术预见于 2015 年初启动，根据工程科技的特点和战略研究的需要，结合世界科技发展趋势，研究形成了信息与电子、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、交通运输、农业与食品、医药卫生与人口健康、公共安全等 11 个技术预见领域，各领域专家组依托中国工程科技 2035 中长期发展战略各领域组和跨领域组组成。结合工程科技战略研究的进程，分别于 2015 年 8~10 月、2016 年 5~7 月组织开展了两轮技术预见专家调查，共有院士、专家 5000 多人参与，回收了 20 000 余份有效问卷。在专家调查的基础上，开展了多轮专家研讨和研判，结合各领域战略研究，筛选出 115 项工程科技领域关键技术、24 项关键共性技术和 23 项颠覆性技术，并对各类关键技术的实现时间、实现条件等进行了分析。

中国工程科技 2035 技术预见作为“中国工程科技中长期发展战略研究”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，在充分准备和广泛调研基础上，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，以确保技术预见工作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，对中国工程科技 2035 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、翔实的支撑资料，进一步提高了战略研究的系统性和规范性。此外，通过技术预见调查和宣传，可以广泛凝聚科技界、产业界、经济界专家智慧，共同面向新的未来和机遇，强化国家创新体系各子系统互联互通，并为产业界明确未来技术发展方向、制定正确战略和发展路线提供支撑，同时可以促进全社会营造关注科学技术发展的氛围，逐步形成一种“预见文化”。

未来，随着中国工程科技中长期发展战略研究的持续进行，工程科技中长期技术预见活动也将作为一个重要组成部分长期开展。为此，将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：一是基于实践经验和存在问题，研究、改进现有方法和流程，使之更好用、更适用；二是充分利用五年周期加强定量分析方法在各领域和子领域中的应用；三是建立长期的技术、知识、专家库积累，为后续技术预见活动提供更好的支撑。通过深入研究和持续改进，探索形成更科学、更高效支撑战略研究的技术预见方法体系，提高技术预见的前瞻性、有效性，以更好地发挥技术预见的作用，为我国工程科技中长期发展战略制定提供更强有力的支撑。

本书第一章回顾和介绍国内外技术预见活动、方法和案例；第二章主要对中国工程科技 2035 技术预见的方法、流程以及技术预见专家调查的总体情况进行概要分析；第三到第十三章分别就 11 个领域的技术预见情况和领域关键技术进行阐述；第十四章则对本次技术预见提出的关键共性技术和颠覆性技术进行总体说明。

本次中国工程科技 2035 技术预见活动是在战略研究项目联合领导小组组长周济院士、杨卫院士的大力倡导下，在战略研究项目组组长赵宪庚院士、高文院士，副组长王礼恒院士，项目总体组孙永福、栾恩杰、尹泽勇、金东寒、卢锡城、徐惠彬、彭苏萍、周福霖、郝吉明、康绍忠、杨宝峰、潘德炉、尤政、范维澄等院士的悉心指导下，在项目办公室吴国凯、郑永和、龚旭、黄琳等的鼎力推动下，在战略研究