

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

信息与电子领域报告

“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

信息与电子领域报告

“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. 信息与电子领域报告 / “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 978-7-03-061312-7

I. ①中… II. ①中… III. ①科技发展-发展战略-研究报告-中国②信息技术-科技发展-发展战略-研究报告-中国③电子技术-科技发展-发展战略-研究报告-中国 IV. ①G322②F426.67-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 107784 号

丛书策划: 侯俊琳 牛玲

责任编辑: 邹聪 王楠楠 / 责任校对: 王瑞

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: 7 1/4 插页: 1

字数: 120 000

定价: 68.00 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 董尔丹 韩 宇
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 ·

信息与电子领域报告

编委会

指导组成员：潘云鹤 邬贺铨 李国杰 韦钰 高文 陈左宁

主任：卢锡城

副主任：李天初 吴曼青

第一专题组成员（以姓氏拼音为序）：

陈良惠 邓中翰 范滇元 龚惠兴 李德仁
许祖彦 张广军 周寿桓 庄松林

第二专题组成员（以姓氏拼音为序）：

陈志杰 段宝岩 方滨兴 吕跃广 马远良
邬江兴 杨小牛 于全 余少华

第三专题组成员（以姓氏拼音为序）：

柴天佑 戴浩 费爱国 李伯虎 王天然
徐扬生 赵沁平 张尧学 郑南宁

执笔组成员（以姓氏拼音为序）：

安达 陈霸东 陈茜 陈小武 甘海勇
郭建立 郭建明 韩毅 贾焰 李聪颖
李甲 李梦男 李睿深 刘建辉 刘千里
孙宏滨 王兵 王荆宁 魏振忠 吴汉明
许守任 郑凯

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。传统产业升级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的问题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战略研究报告，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、经济和社会发展规律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

一、研究背景和宗旨

党的十九大报告指出：“要瞄准世界科技前沿，强化基础研究，实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破。加强应用基础研究，拓展实施国家重大科技项目，突出关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术、颠覆性技术创新，为建设科技强国、质量强国、航天强国、网络强国、交通强国、数字中国、智慧社会提供有力支撑。加强国家创新体系建设，强化战略科技力量。”这些重要论述深刻揭示了科技发展领域的根本性、方向性、全局性问题，为我国全面实施创新驱动发展战略指明了前进的方向，提供了根本遵循。

作为当前最具创新性、融合性和前沿性的科技发展领域之一，信息与电子领域近年来发展迅速，新技术、新应用不断涌现，深刻改变了人类的生产生活方式，并由于其“使能技术”的特点，其对几乎所有领域都产生着深刻的影响，正在引发新一轮科技革命和产业变革，将给人类社会带来新的机遇和挑战。在我国实施全面深化改革和创新驱动发展战略的大背景下，如何前瞻布局、统筹规划，更好地发挥信息与电子工程科技对国家经济社会发展、科技进步的重要推动作用，显得尤为关键。

《中国工程科技 2035 发展战略·信息与电子领域报告》旨在对我国 2035 年经济社会发展需求和电子信息技术发展趋势进行科学预见及战略谋划，为我国信息与电子工程科技的未来发展提供科学的决策依据和对策建议。本书的研究目标是预测和判断国内外信息与电子技术的发展趋势，筛选信息与电子领域关系全局和长远发展的战略领域及优先方向，提出与

之相适应的发展思路和战略目标，遴选信息与电子领域的关键技术、重要共性技术和重要颠覆性技术，研究提出重点领域工程科技发展路线图，给出需优先支持的基础研究方向建议、重大工程建议和重大工程科技专项建议。

二、研究工作组织及开展情况

信息与电子领域课题组的组织架构包括指导组、领导组、专题组。其中领导组下设由院士联络人组成的学术秘书组，专题组下设工作组。按照研究专业内容分为三个专题，共计九个子领域方向。专题一包括测量技术、使能技术、光电应用。专题二包括感知技术、通信与网络、网络空间安全。专题三包括计算技术、应用软件技术、智能与控制。各专题的研究任务主要包括：收集重大工程愿景，开展子领域技术预见工作；进行子领域战略研究，提出子领域的技术发展方向和关键技术，编写子领域研究报告等。

课题研究发挥信息与电子领域院士、专家的集体智慧，采用文献研究与德尔菲法相结合、技术预见与需求分析相结合的研究方法，使用了技术路线图等科学研究手段。其中，技术预见工作以德尔菲法为主，主要通过广泛的调查，识别优先发展技术领域和技术项目。技术路线图绘制过程中，引入技术成熟度方法研究重点技术从技术攻关到产业应用的技术发展过程，评价信息领域关键技术未来发展的可行性，明确时间阶段，以更好地体现“需求—技术—产业”的发展过程及相关阶段优先项目的选择和政策支持。

三、研究过程及成果概述

根据“总—分—综”的研究思路，本书首先开展了工程科技发展愿景分析，为后续研究提供参考；其次以文献计量、专利分析、专家调查、技术研讨等手段为支撑，开展技术预见，识别优先发展技术领域和技术项目；最后将技术预见与需求分析相结合，凝练出与重大工程、重要产业方

向相关的重点技术领域，并给出技术发展优先级方面的判断，努力为我国信息与电子工程科技未来发展提供科学的决策依据和对策建议。本书最终形成如下研究成果。

(1) 备选技术清单。通过前期研究、愿景分析、备选技术清单形成、德尔菲调查以及集成分析论证，信息与电子领域课题技术预见的第一轮调查最终形成了9个子领域、51项备选技术清单。第二轮德尔菲调查，通过多轮专家研讨和备选技术补充征集，在第一轮调查结果的基础上进一步收敛，凝练出面向2035信息与电子工程科技更具有代表性、前瞻性的39项重要技术。

(2) 技术预见分析。针对现有的备选技术清单，课题组以问卷调查的形式邀请中国工程院院士和国家自然科学基金委员会推荐的领域知名专家开展了广泛而深入的专家研判工作。通过征集专家的意见，包括对技术项的熟悉程度、单项重要性、综合重要性等，信息与电子领域课题组对问卷调查结果进行了分析，结合各领域院士和专家的综合研判意见，遴选出了关键技术、重要共性技术和重要颠覆性技术，并分析了技术方向的研发水平和实现时间、技术发展制约因素等部分内容，为我国信息与电子工程科技的战略部署提供了参考依据。

(3) 发展战略研究报告。课题组通过专家意见征集、集中研讨、文献分析等方法，在专题组研究报告的基础上进一步凝练与论证，形成信息与电子领域发展战略研究报告。研究报告的主要内容包括：面向2035的信息与电子工程科技发展态势；面向2035的国家发展对信息与电子工程科技的需求；对各子领域技术方向的技术发展能力和约束条件进行预见分析；形成信息与电子领域的发展思路和战略目标；提出信息与电子领域重点任务和发展路径。课题研究最终提出适应自然环境的视觉认知计算理论及方法等7项基础研究方向建议，高性能计算工程、光电子与光网络工程、天基全球监测工程和数据安全工程4项重大工程建议，以及先进集成电路、新型网络体系和智能健康信息技术3项重大工程科技专项建议。作为课题最终研究成果的重要部分，作者希望“7+4+3”的基础研究方向建议、重大工程建议、重大工程科技专项建议能够引起各方