

“十三五”国家重点出版物出版规划项目·重大出版工程规划

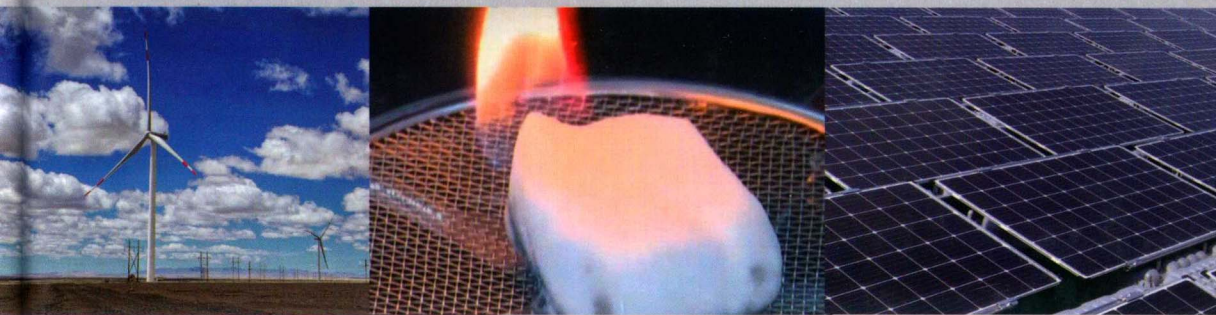
中国工程院重大咨询项目成果文库

战略性新兴产业发展重大行动计划研究丛书

丛书主编 钟志华 邬贺铨

能源新技术战略性新兴产业 重大行动计划研究

彭苏萍 等著



科学出版社

“十三五”国家重点出版物出版规划项目·重大出版工程规划

中国工程院重大咨询项目成果文库

战略性新兴产业发展重大行动计划研究丛书

丛书主编 钟志华 邬贺铨

能源新技术战略性新兴产业 重大行动计划研究

彭苏萍 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

“十三五”时期及之后十年是我国推进“四个革命，一个合作”能源发展战略的重要机遇期，大力发展能源新技术产业是推动我国能源结构优化调整和能源转型升级的主要方向。本书从我国经济社会发展阶段、国家的重大战略需求出发，基于全球能源新技术发展态势、我国能源国情的基本现实以及经济社会发展趋势，以构建低碳、清洁、高效、智能的现代综合能源体系为目标，同等重视化石能源和非化石能源新技术的颠覆性作用，结合能源资源清洁高效利用、碳约束下的能源安全战略、将能源新技术及关联产业打造成新的经济增长点等重大问题，充分体现能源新技术产业发展新趋势、新活力、新生态，提出了面向未来5~10年我国能源新技术战略性新兴产业发展重大行动计划。

本书可供能源领域的行业管理人员、科研人员、高等院校师生阅读，也可为政府部门制定决策提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源新技术战略性新兴产业重大行动计划研究 / 彭苏萍等著. —北京：科学出版社，2019.3

(战略性新兴产业发展重大行动计划研究丛书 / 钟志华，郭贺铨主编)
“十三五”国家重点出版物出版规划项目 · 重大出版工程规划
中国工程院重大咨询项目成果文库

ISBN 978-7-03-060570-2

I. ①能… II. ①彭… III. ①能源工业—新兴产业—产业发展—研究—中国 IV. ①F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 029985 号

责任编辑：李 莉 / 责任校对：贾娜娜
责任印制：霍 兵 / 封面设计：正典设计

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

北京画中画印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 3 月第 一 版 开本：720 × 1000 B5

2019 年 3 月第一次印刷 印张：18

字数：360 000

定价：168.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

“战略性新兴产业发展重大行动计划研究”

丛书编委会名单

顾问:

徐匡迪 路甬祥 周 济 陈清泰

编委会主任:

钟志华 邬贺铨

编委会副主任:

王礼恒 薛 澜

编委会成员 (以姓氏笔画为序):

丁 汉	丁文华	丁荣军	王一德	王天然	王文兴
王华明	王红阳	王恩东	尤 政	尹泽勇	卢秉恒
刘大响	刘友梅	孙优贤	孙守迁	杜祥琬	李龙土
李伯虎	李国杰	杨胜利	杨裕生	吴 澄	吴孔明
吴以成	吴曼青	何继善	张 懿	张兴栋	张国成
张彦仲	陈左宁	陈立泉	陈志南	陈念念	陈祥宝
陈清泉	陈懋章	林忠钦	欧阳平凯	罗 宏	岳光溪
岳国君	周 玉	周 源	周守为	周明全	郝吉明
柳百成	段 宁	侯立安	侯惠民	闻邦椿	袁 亮
袁士义	顾大钊	柴天佑	钱清泉	徐志磊	徐惠彬
栾恩杰	高 文	郭孔辉	黄其励	屠海令	彭苏萍
韩 强	程 京	谢克昌	强伯勤	谭天伟	潘云鹤

工作组组长：周 源 刘晓龙

工作组（以姓氏笔画为序）：

马 飞	王海南	邓小芝	刘晓龙	江 媛	安 达
安剑波	孙艺洋	孙旭东	李腾飞	杨春伟	张 岚
张 俊	张 博	张路蓬	陈必强	陈璐怡	季桓永
赵丽萌	胡钦高	徐国仙	高金燕	陶 利	曹雪华
崔 剑	梁智昊	葛 琴	裴莹莹		

课题组成员名单

组长

彭苏萍 中国矿业大学（北京）、中国工程院院士

顾问

韩英铎 清华大学、中国工程院院士

马永生 中国石油化工集团公司副总经理、中国工程院院士

叶奇蓁 中国核工业集团公司、中国工程院院士

多吉 西藏自治区地质矿产勘查开发局、中国工程院院士

徐铄 中国原子能科学研究院、中国工程院院士

张玉卓 中国工程院院士

陈勇 中国科学院广州能源研究所、中国工程院院士

余贻鑫 天津大学、中国工程院院士

顾大钊 国家能源投资集团有限责任公司、中国工程院院士

黄其励 国家电网公司东北电网有限公司、中国工程院院士

成员

俞珠峰 国家能源集团神华研究院副院长、研究员

许世森 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司董事长、研究员

王成山 天津大学电气自动化与信息工程学院院长、教授

戴松元 华北电力大学可再生能源学院院长、教授

王志峰 中国科学院电工研究所研究部主任、研究员

袁振宏 中国科学院广州能源研究所、研究员

王贵玲 中国地质科学院水文地质环境地质研究所、研究员

武中地	中核新能核工业工程有限责任公司总工程师、研究员
汤文兵	中国船舶重工集团海装风电股份有限公司副总经理、研究员
吴玉程	太原理工大学党委书记、教授
张 博	中国矿业大学（北京）、副教授
宋 梅	中国矿业大学（北京）、教授
孙旭东	中国矿业大学（北京）、副教授
程 健	中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司部门总工程师、研究员
张 军	国家能源技术经济研究院、高级工程师
王洪建	中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司所长助理、高级工程师
罗 腾	国家能源技术经济研究院、助理研究员
谢小荣	清华大学、副教授
李 鹏	天津大学、副教授
李 鹏	南方电网科学研究院有限责任公司副院长、教授级高级工程师
宋 毅	国网经济技术研究院有限公司、高级工程师
宋关羽	天津大学、工程师
赵培荣	中国石化油田勘探开发事业部副处长、高级工程师
刘红光	中国石化经济技术研究院、工程师
吴秀花	中核新能核工业工程有限责任公司副总工程师、研究员
薛海宁	中国核电工程有限公司总工程师、研究员
苏 罡	中国核电工程有限公司、研究员
郭 晴	中国核电工程有限公司、高级工程师
韩花丽	中国船舶重工集团海装风电股份有限公司研究院院长、高级工程师
董晔弘	中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、高级工程师
冯 煜	中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、工程师
姚建曦	华北电力大学可再生能源学院副院长、教授
严建文	合肥工业大学工业与装备技术研究院院长、教授
孔凡太	中国科学院合肥物质科学研究院、副研究员
张剑寒	中国科学院电工研究所、助理研究员
詹 晶	中国科学院电工研究所、助理研究员
庄新姝	中国科学院广州能源研究所、研究员

王 闻 中国科学院广州能源研究所、副研究员
何雨江 中国地质科学院水文地质环境地质研究所、副研究员

执笔人名单（按专题排序）

彭苏萍 中国矿业大学（北京）、中国工程院院士（综合）
张 博 中国矿业大学（北京）、副教授（综合）
孙旭东 中国矿业大学（北京）、副教授（综合）
王洪建 中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司所长助理、
高级工程师（煤炭）
罗 腾 国家能源集团神华研究院、助理研究员（煤炭）
赵培荣 中国石化油田勘探开发事业部副处长、高级工程师（非常规油气）
刘红光 中国石化经济技术研究院、工程师（非常规油气）
苏 罡 中国核电工程有限公司、研究员（核能）
武中地 中核新能核工业工程有限责任公司总工程师、研究员（核能）
李 鹏 天津大学、副教授（智能电网与储能）
宋关羽 天津大学、工程师（智能电网与储能）
冯 煜 中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、工程师（风电）
孔凡太 中国科学院合肥物质科学研究院、副研究员（太阳能光伏）
张剑寒 中国科学院电工研究所、助理研究员（太阳能光热）
王 闻 中国科学院广州能源研究所、副研究员（生物质能）
何雨江 中国地质科学院水文地质环境地质研究所、副研究员（地热能）

“战略性新兴产业发展重大行动计划研究”

丛书序

中国特色社会主义进入了新时代，中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。战略性新兴产业是以重大技术突破和重大发展需求为基础，对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用的产业，具有知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好等特点。面对当前国际错综复杂的新形势，发展战略性新兴产业是建设社会主义现代化强国，培育经济发展新动能的重要任务，也是促进我国经济高质量发展的关键。

党中央、国务院高度重视我国战略性新兴产业发展。习近平总书记指出，要以培育具有核心竞争力的主导产业为主攻方向，围绕产业链部署创新链，发展科技含量高、市场竞争力强、带动作用大、经济效益好的战略性新兴产业，把科技创新真正落到产业发展上^①。党的十九大报告也提出，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^②。要坚定实施创新驱动发展战略，深化供给侧结构性改革，培育新增长点，形成新动能。

为了应对金融危机，重振经济活力，2010年，国务院颁布了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》；并于2012年出台了《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》，提出加快培育和发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等战略性新兴产业；为了进一步凝聚重点，及时调整战略性新兴产业发展方向，又于2016年出台

① 中共中央文献研究室. 习近平关于科技创新论述摘编. 中央文献出版社，2016。

② 习近平. 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利. 人民出版社，2017。

了《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》，明确指出要把战略性新兴产业摆在经济社会发展更加突出的位置，重点发展新一代信息技术、高端制造、生物、绿色低碳、数字创意五大领域及 21 项重点工程，大力构建现代产业新体系，推动经济社会持续健康发展。在我国经济增速放缓的大背景下，战略性新兴产业实现了持续快速增长，取得了巨大成就，对稳增长、调结构、促转型发挥了重要作用。

中国工程院是中国工程科技界最高荣誉性、咨询性学术机构，同时也是首批国家高端智库。自 2011 年起，配合国家发展和改革委员会开展了“战略性新兴产业培育与发展”“‘十三五’战略性新兴产业培育与发展规划研究”等重大咨询项目的研究工作，参与了“十二五”“十三五”国家战略性新兴产业发展规划实施的中期评估，为战略性新兴产业相关政策的制定及完善提供了依据。

在前期研究基础上，中国工程院于 2016 年启动了“战略性新兴产业发展重大行动计划研究”重大咨询项目。项目旨在以创新驱动发展战略、“一带一路”倡议等为指引，紧密结合国家经济社会发展新的战略需要和科技突破方向，充分关注国际新兴产业的新势头、新苗头，针对《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》提出的重大工程，提出“十三五”战略性新兴产业发展重大行动计划及实施路径，推动重点任务及重大工程真正落地。同时，立足“十三五”整体政策环境进一步优化和创新产业培育与发展政策，开展战略性新兴产业评价指标体系、产业成熟度深化研究及推广应用，支撑国家战略决策，引领产业发展。

经过两年的广泛调研和深入研究，项目组编纂形成“战略性新兴产业发展重大行动计划研究”成果丛书，共 11 种。其中 1 种为综合卷，即《战略性新兴产业发展重大行动计划综合研究》；1 种为政策卷，即《战略性新兴产业：政策与治理创新研究》；9 种为领域卷，包括《节能环保产业发展重大行动计划研究》《新一代信息产业发展重大行动计划研究》《生物产业发展重大行动计划研究》《能源新技术战略性新兴产业重大行动计划研究》《新能源汽车产业发展重大行动计划研究》《高端装备制造业发展重大行动计划研究》《新材料产业发展重大行动计划研究》《“互联网+智能制造”新兴产业发展行动计划研究》《数字创意产业发展重大行动计划研究》。本丛书深入分析了战略性新兴产业重点领域以及产业政策创新方面的发展态势和方向，梳理了具有全局性、带动性、需要优先发展的重大关键

技术和领域，分析了目前制约我国战略性新兴产业关键核心技术识别、研发及产业化发展的主要矛盾和瓶颈，为促进“十三五”我国战略性新兴产业发展提供了政策参考和决策咨询。

2019 年是全面贯彻落实十九大精神的深化之年，是实施《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》的攻坚之年。衷心希望本丛书能够继续为广大关心、支持和参与战略性新兴产业发展的读者提供高质量、有价值的参考。

前 言

“十三五”时期及之后十年是我国推进“四个革命，一个合作”能源发展战略的重要机遇期，大力发展能源新技术产业是推动我国能源结构优化调整和能源转型升级的主要方向。能源新技术不仅涉及可再生能源、核能及非常规油气领域，也涵盖能源的清洁高效转化、传输以及终端用能等多方面，是具有突破性或颠覆性的能源开发利用技术。基于能源新技术的分类与战略性特点，能源新技术战略性新兴产业主要涵盖的范围包括煤炭清洁高效转化与利用产业、非常规油气开发利用产业、智能电网与储能产业以及核能和可再生能源产业（主要涉及我国战略性新兴产业分类中的“新能源产业”）。

中国工程院“战略性新兴产业重大行动计划研究”重大咨询项目“能源新技术战略性新兴产业发展重大行动计划研究”课题由彭苏萍院士担任负责人，组织国内能源领域的院士、专家 40 余人共同参与。课题研究从我国经济社会发展阶段、国家的重大战略需求出发，基于全球能源新技术发展态势、我国能源国情的基本现实以及经济社会发展趋势，以构建低碳、清洁、高效、智能的现代综合能源体系为目标，同等重视化石能源和非化石能源新技术的颠覆性作用，结合能源资源清洁高效利用、碳约束下的能源安全战略、将能源新技术及关联产业打造成新的经济增长点等重大问题，充分体现能源新技术产业发展新趋势、新活力、新生态，提出了面向未来 5~10 年我国能源新技术战略性新兴产业发展重大行动计划。

首先，总论了能源新技术战略性新兴产业重大行动计划研究的主要成果。集成各专题研究成果，从背景、总体要求、发展目标、重大行动四个方面，详细阐述了面向 2020 年和 2025 年我国能源新技术战略性新兴产业的发展目标，特别是

提出了煤炭清洁高效转化与利用产业、非常规油气开发利用产业、智能电网与储能产业及核能与可再生能源产业的具体重大行动计划。

其次,全面总结了国内外能源新技术产业发展现状评价与趋势。一方面,针对全球能源新技术新兴产业发展动态与未来趋势,分析了全球能源新技术战略性新兴产业发展现状、引发全球能源产业变革的颠覆性技术前瞻、未来全球能源新技术战略性新兴产业发展趋势等内容;另一方面,结合我国能源新技术战略性新兴产业发展的实际情况,对我国能源新技术战略性新兴产业发展态势与需求,尤其是“十二五”以来产业发展的现状与问题,开展了深入分析。特别是,本书首次基于产业成熟度方法,针对整体煤气化联合循环(integrated gasification combined cycle, IGCC)、页岩气、电力电子设备、自主三代压水堆核能发电、下一代大容量智能化风力发电、玉米整株燃料乙醇生物炼制等细分产业,开展了能源新技术产业成熟度评价研究。

再次,系统论述了能源新技术产业各领域重大行动计划的研究成果。根据我国能源新技术产业分类,分别阐述了煤炭清洁高效转化与利用产业重大行动计划、非常规油气开发利用产业重大行动计划、智能电网与储能产业重大行动计划、核能与可再生能源产业(新能源产业)重大行动计划,具体涉及发展目标、产业发展重点任务与实施途径、需重点攻关的工程科技项目或重大工程等内容。研究提出,重点建设西部煤炭绿色转化利用重大工程、非常规天然气规模化开发重大工程、面向新型城镇的绿色低碳能源智慧利用重大工程;在核能和可再生能源领域,重点攻关 10MW 级及以上大容量海上风电机组示范工程、太阳电池技术和实证技术公共研究平台、太阳能热发电与热利用技术、玉米整株燃料乙醇生物炼制工程和大型沼气工程以及干热岩发电示范工程等工程科技项目;集中高起点、高水平建设泛雄安地区和粤西地区 2 个国家级新能源高比例发展与集成创新示范区。

最后,提出了能源新技术产业各领域重大行动计划实施的保障措施。①以宏观调控为导向推动能源新技术新兴产业的合理布局,逐步改善能源产业内各领域发展不均衡的问题;②加快重大示范工程建设速度,推动我国能源新技术产业的引领发展;加强产业发展的预见与成熟度评价工作,实现我国能源新技术产业的差异化管理;③充分发挥能源新技术战略性新兴产业链长、技术路线复杂、多学科交叉和多种创新要素的集聚作用,积极推动大数据、人工智能和互联网与能源

经济的深度融合及信息化技术在能源领域的应用。同时，针对各具体产业，提出了促进相关产业发展的建议。

当前，全球能源发展处于重要的转型期，能源技术创新具有多点突破、交叉融合、加速应用、影响深远等特点。我国是全球能源新技术产业发展最快的国家之一，能源新技术产业已经具备良好的发展基础与先行优势。希望本书的相关研究成果，可为今后 5~10 年我国能源新技术产业发展的顶层设计，以及实现我国从能源大国向能源强国转变的战略构想，提供管理决策参考。

彭苏萍

2018 年 1 月

目 录

总论	1
一、背景	1
二、总体要求	3
三、发展目标	3
四、重大行动	8
第一章 全球能源新技术新兴产业发展动态与未来趋势	30
一、全球能源新技术战略性新兴产业发展现状	30
二、引发全球能源产业变革的颠覆性技术前瞻	53
三、未来全球能源新技术战略性新兴产业发展趋势	67
第二章 我国能源新技术战略性新兴产业发展态势与需求	83
一、“十二五”以来产业发展现状与成功经验	83
二、“十二五”以来产业发展存在的问题与面临的挑战	115
三、国家重大战略需求与产业发展重要意义	130
第三章 我国能源新技术战略性新兴产业成熟度评价研究	148
一、产业成熟度评价原则与方法	148
二、IGCC 产业成熟度评价	155
三、页岩气产业成熟度评价	160
四、电力电子装备产业成熟度评价	163
五、自主三代压水堆核能发电产业成熟度评价	167
六、下一代大容量智能化风力发电产业成熟度评价	172
七、玉米整株燃料乙醇生物炼制产业成熟度评价	177
八、能源新技术产业成熟度评价结果分析	181

第四章 煤炭清洁高效转化与利用产业重大行动计划	183
一、发展目标	183
二、产业发展重点任务与实施途径	185
三、西部煤炭绿色转化利用重大工程	192
第五章 非常规油气开发利用产业重大行动计划	196
一、发展目标	196
二、产业发展重点任务与实施途径	197
三、非常规天然气规模化开发重大工程	199
第六章 智能电网与储能产业重大行动计划	202
一、发展目标	202
二、产业发展重点任务与实施途径	203
三、面向新型城镇的绿色低碳能源智慧利用重大工程	213
第七章 核能与可再生能源产业（新能源产业）重大行动计划	220
一、发展目标	220
二、产业发展重点任务与实施途径	223
三、需重点攻关的工程科技项目	236
四、新能源高比例发展与集成创新示范区	241
第八章 保障措施与政策建议	254
一、煤炭清洁高效转化与利用产业	256
二、非常规油气开发利用产业	257
三、智能电网与储能产业	257
四、核能与可再生能源产业	258
参考文献	264

总 论

一、背景

战略性新兴产业代表新一轮科技革命和产业变革的方向，是培育经济社会发展新动能、获取未来竞争新优势的关键领域。新一轮的能源革命已初露端倪，世界能源生产与消费格局正在向绿色低碳型转变，更高效率、更低成本的能源新技术不断推广应用，能源电气化、智能化已渐成能源发展主流，能源清洁高效开发、大规模可再生能源利用、智能电网等技术进步将催生能源转化、传输与利用方式的重大变革。

能源新技术不仅涉及可再生能源、核能及非常规天然气领域，也涵盖能源的清洁高效转化、传输以及终端用能等多方面，是具有突破性或颠覆性的能源开发利用技术。在煤炭清洁高效转化与利用领域，引发全球能源产业变革的颠覆性技术（destructive technology）主要包括先进燃煤发电技术、CO₂ 减排与碳资源利用技术、粉煤灰综合利用技术、先进现代煤化工技术。在非常规油气开发利用技术方面，地质综合评价、地球物理“甜点”预测、水平井钻井及多级压裂、微地震等一批关键核心技术的进步极大地推动了产业的快速发展。耐事故燃料元件在先进水冷堆技术中的应用、快中子反应堆技术、中小型反应堆或模块堆技术、核动力的非电力应用、核聚变技术的发展将极大地促进核电安全高效以及多用途利用。可再生能源领域技术革新迅速，风电技术前沿包括分段式或组合式叶片技术、混合式塔筒技术、智能化风电技术；太阳能发电技术前沿包括新型薄膜电池、硅电池、钙钛矿太阳电池、有机太阳电池、高温气体太阳能热发电技术、固体粒子太阳能热发电技术、化学储热技术、高效率聚光器