

“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
推动能源生产和消费革命战略研究系列丛书

(第一辑)

丛书主编 谢克昌

能源生产革命的 若干问题研究

黄其励 袁晴棠 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

推动能源生产和消费革命战略研究系列丛书

(第一辑)

丛书主编 谢克昌

能源生产革命的若干问题研究

黄其励 袁晴棠 等 著

本书系中国工程院重大咨询项目“推动能源生产和消费革命战略研究”第一期(2013年5月至2015年12月)研究成果

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是中国工程院“推动能源生产和消费革命战略研究”丛书之一。本书在分析国际能源发展趋势的基础上,研究了我国当前能源发展的突出问题,凝练了能源生产革命的若干基本判断,厘清了能源生产革命的战略思路,分析了包括煤炭科学开发与利用、油气及非常规油气开发、大比例可再生能源、核能、碳捕集封存与利用(CCS/CCUS)和新能源汽车等能源生产革命的内涵、路线图、时间表,提出了近期、中期、远期战略目标、重点任务、政策支撑和若干重大建议。

本书适合政府、能源领域企业和研究机构中的高层管理人员与研究人员,大专院校能源相关专业师生,以及其他对我国能源问题感兴趣的社会公众阅读。

图书在版编目(CIP)数据

能源生产革命的若干问题研究/黄其励等著. —北京:科学出版社, 2017.4

(推动能源生产和消费革命战略研究系列丛书/谢克昌主编. 第一辑)

“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 978-7-03-052401-0

I. ①能… II. ①黄… III. ①能源经济—研究—中国 IV. ①F426.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第065563号

责任编辑:马 跃 李 莉/责任校对:李 影

责任印制:霍 兵/封面设计:无极书装

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

*

2017年4月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年4月第一次印刷 印张:7 1/4

字数:110 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

推动能源生产和消费革命战略研究系列丛书

(第一辑)

编委会成员名单

项目顾问

- 徐匡迪 中国工程院 第十届全国政协副主席、中国工程院主席团
名誉主席、原院长、院士
- 周 济 中国工程院 院长、院士
- 潘云鹤 中国工程院 原常务副院长、院士
- 吴新雄 国家发改委 国家发改委原副主任、国家能源局原局长
- 王玉普 中国石油化工集团公司 董事长、党组书记、中国工程院
原副院长、院士

项目负责人

- 谢克昌 中国工程院 原副院长、院士

课题负责人

- | | | |
|--------|-------------------|---------|
| 第 1 课题 | 生态文明建设与能源生产消费革命 | 杜祥琬 |
| 第 2 课题 | 世界能源版图变化与能源生产消费革命 | 张玉卓 |
| 第 3 课题 | 第三次工业革命与能源生产消费革命 | 何继善 |
| 第 4 课题 | 能源生产革命的若干问题研究 | 黄其励、袁晴棠 |
| 第 5 课题 | 能源消费革命的若干问题研究 | 倪维斗、金 涌 |
| 第 6 课题 | 推动能源生产和消费革命的支撑与保障 | 岑可法 |
| 综合课题 | 推动能源生产和消费革命战略研究 | 谢克昌 |

课题四 能源生产革命的若干问题研究

编委会成员名单

组长

黄其励	国家电网公司	院士
袁晴棠	中国石化集团公司	院士

副组长

谢和平	四川大学	院士
彭苏萍	中国矿业大学(北京)	院士
孙龙德	中国石油天然气股份有限公司	院士
赵文智	中国石油天然气股份有限公司	院士
岑可法	浙江大学	院士
谭天伟	北京化工大学	院士
多吉	西藏地勘局	院士
叶奇蓁	中国核工业集团公司	院士
徐铎	中国核工业集团公司	院士
李阳	中国石化集团公司	院士
陈清泉	香港大学	院士
顾大钊	神华集团有限责任公司	院士
李全生	神华集团有限责任公司	教授级高工
倪明江	浙江大学	教授
高虎	国家发改委能源研究所	副主任
欧阳明高	清华大学	教授

成员

袁明	神华集团有限责任公司	教授级高工
陈寅彪	北京国华电力有限责任公司	教授级高工
范新宽	北京国华电力有限责任公司	教授级高工

廖海燕	神华国华（北京）电力研究院有限公司	教授级高工
沈亚东	神华集团有限责任公司	高级工程师
赵永宏	神华集团有限责任公司	高级工程师
余学海	神华国华（北京）电力研究院有限公司	高级工程师
韩涛	神华国华（北京）电力研究院有限公司	高级工程师
卢权	神华国华三河发电有限公司	高级工程师
王金华	中国煤炭科工集团有限公司	研究员
康红普	煤炭科学研究总院	研究员
葛世荣	中国矿业大学	教授
姜耀东	中国矿业大学（北京）	教授
刘见中	中国煤炭科工集团有限公司	研究员
周宏伟	中国矿业大学（北京）	教授
李建忠	中国石油勘探开发研究院	教授级高工
张国生	中国石油勘探开发研究院	高级工程师
朱伟林	中国海洋石油总公司	教授级高工
陆家亮	中国石油勘探开发研究院廊坊分院	教授级高工
窦宏恩	中国石油勘探开发研究院	高级工程师
李欣	中国石油勘探开发研究院	高级工程师
蔡宁生	清华大学	教授
吴少华	哈尔滨工业大学	教授
王辅臣	华东理工大学	教授
马连湘	青岛科技大学	教授
尚建选	陕西煤化工集团	教授级高工
肖刚	浙江大学	教授
蔡丰波	中国可再生能源学会风能专业委员会	副秘书长
赵颖	南开大学	教授
王伟胜	中国电科院新能源研究所	所长
陈必强	北京化工大学	教授
张栩	北京化工大学	教授
查浩	中国电科院新能源研究所	工程师
苏罡	中国核电工程有限公司	教授级高工
郭晴	中国核电工程有限公司	高级工程师

牛玉清	北京化工冶金研究院	高级工程师
周红波	中核能源科技有限公司	研究员
李满仓	中国核动力研究设计院	高级工程师
徐洪杰	中国科学院上海应用物理研究所	研究员
计秉玉	中国石化石油勘探开发研究院	教授级高工
张 建	中国石化胜利勘察设计院	教授级高工
刘佩成	中国石化集团公司	教授级高工
程一步	中国石化经济技术研究院	教授级高工
赵淑霞	中国石化石油勘探开发研究院	高级工程师
刘 斌	中国石化集团公司	高级工程师
林 逸	北汽集团	副总工程师
孙逢春	北京理工大学	教授
朱 波	北汽集团	高级工程师
王文伟	北京理工大学	副教授
杜玖玉	清华大学	助理研究员
蹇林旒	南方科技大学	研究员

丛书序一

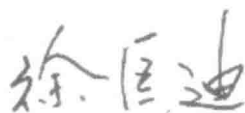
能源是国家经济社会发展的基石。能源问题是关乎国家繁荣、人民富裕、社会和谐的重大议题。当前世界能源形势复杂多变，新的能源技术正在加速孕育、新的能源版图正在加速调整、新的能源格局正在逐步形成。国内生态环境约束日益加强，供给侧结构性改革推进正酣，构建前瞻性的能源战略体系和可持续的现代能源系统迫在眉睫。习近平总书记在中央财经领导小组第六次会议上提出了推动能源生产和消费革命的战略要求，为我国制定中长期能源战略、规划现代能源体系、推进“一带一路”能源合作、保障国家能源安全等明确了方向。

中国工程院在 2013 年 5 月启动了由时任中国工程院副院长的谢克昌院士牵头负责的“推动能源生产和消费革命战略研究”重大咨询项目，适度超前、恰逢其时，意义重大。这一项目的启动体现了中国工程院作为国家智库的敏锐性、前瞻性、责任感和使命感。项目研究从国际能源和工业革命规律等大视野，提出了我国能源革命的战略、目标、重点和建议，系统研究并提出了我国能源消费革命、供给革命、技术革命、体制革命和国际合作的技术路线图。项目研究数据翔实、调研充分，观点明确、内容具体，很多观点新颖且针对性强，对我国能源发展具有重要指导和参考意义。项目研究成果凝聚了 30 多位院士和 300 余名专家的集体智慧，研究期间多次向国家和政府部门专题汇报，部分成果和观点已经在国家重大决策、政府相关规划的制定中得到体现。

推动能源革命是一项长期、复杂的系统工程，研究重点和视角因国际形势变化、国内环境变化而表现不同，希望项目研究组和社会能

源科技专家共同努力,继续深化研究,为我国能源安全发展保驾护航,为我国全面建成小康社会和实现两个“一百年”目标添薪助力。

谨对院士和专家们的艰辛付出表示衷心的感谢!

A handwritten signature in black ink, reading '徐匡迪' (Xu Yundi).

2016年12月26日

丛 书 序 二

在我国全面建成小康社会、实现中华民族伟大复兴的中国梦进程中，能源与经济、社会、环境协调发展始终是一个重要课题。能源供给约束矛盾突出、能源利用效率低下、生态环境压力加大、能源安全形势严峻等一系列问题，以及世界能源版图深刻变化、能源科技快速发展的国际化趋势和应对气候变化的国际责任与义务，要求我国亟须在能源领域进行根本性的变革和全新的制度设计，在发展理念、战略思路、途径举措、科技创新、体制机制等方面实现突破或变革。

党的十八大报告指出，要坚持节约资源和保护环境的基本国策，推动能源生产和消费革命，控制能源消费总量。2014年6月13日，习近平总书记主持召开中央财经领导小组第六次会议，会议明确提出“能源消费革命”、“能源供给革命”、“能源技术革命”、“能源体制改革”和“加强国际合作”的能源安全发展战略思想。可见，“能源生产和消费革命”已成为我国能源方针和政策的核心内容，成为推动能源可持续发展的战略导向，成为加快能源领域改革发展的重要举措。

作为我国工程科学技术界的最高荣誉性、咨询性学术机构，为了及时通过战略研究为推动能源生产和消费革命提供科学咨询，中国工程院在2013年5月就启动了“推动能源生产和消费革命战略研究”重大咨询项目，目的是根据国家转变能源发展方式的现实任务和战略需求，从国际视野和大能源观角度，深入分析生态文明建设、世界能源发展趋势、第三次工业革命等方面对我国能源领域带来的深刻影响和机遇，紧紧围绕能源革命的概念、核心、思路、方式和路径展开系统研究，提出推动能源生产和消费革命的战略思路、目标重点、技术路线图和政策建议，为我国全面推进能源生产和消费革命，完善国家能

源战略规划和相关政策，加强节能减排、提高能效、控制能源消费总量，推动煤炭等化石能源清洁高效开发利用，拓增非化石能源、优化能源结构等一系列工作提供创新思路、科学途径和方法举措。

项目由中国工程院徐匡迪主席、周济院长、时任常务副院长潘云鹤院士、时任副院长王玉普院士，以及国家能源局原局长吴新雄担任顾问，中国工程院原副院长谢克昌院士任组长，下设六个课题，分别由相关能源领域院士担任课题组长，来自 90 家科研院所、高等院校和大型能源企业的 300 多名专家参与研究及相关工作，其中院士 39 位。研究工作全面落实国家对战略研究“基础研究要扎实，战略目标要清晰，保障措施要明确，技术路线图和政策建议要具体可行”的要求，坚持中国工程院对重大课题研究的战略性、科学性、时效性、可行性、独立性的要求，历时两年多时间，经过广泛的专家讨论、现场调研、深入分析、成果交流和征求意见，最终形成一个项目综合报告和六个课题报告。

第一册是综合报告《推动能源生产和消费革命战略研究（综合卷）》，由中国工程院谢克昌院士领衔，在对六个课题报告进行了深入总结、集中凝练和系统提高的基础上，科学论述了推动能源生产与消费革命是能源可持续发展和构建“清洁、低碳、安全、高效”现代能源体系的必由之路。《推动能源生产和消费革命战略研究（综合卷）》对能源生态协调发展、能源消费总量控制、能源供给结构优化、能源科技创新发展、能源体制机制保障等一系列突出矛盾和问题进行了深入分析，提出了解决的总体思路 and 主要策略；系统提出能源革命“三步走”战略思路和能源结构优化期（2020 年以前）、能源领域变革期（2021~2030 年）、能源革命定型期（2031~2050 年）的阶段性目标以及战略重点，并就实施和落实各项战略重点的核心思路、关键环节和重点内容进行科学论证、提出明确要求。

第二册是《生态文明建设与能源生产消费革命》，由杜祥琬院士牵头，主要从生态文明建设的角度进行研究。从回顾人类文明发展和历次能源革命的历程，以及深入分析工业文明带来的危机和问题着手，总结了国际发展理念变迁、新的文明形态形成与实践的基本规律和趋

势,认为全球能源革命的方向是清洁化和低碳化。分析我国转变发展方式、建设生态文明和推动能源革命的辩证关系,剖析能源生产和消费革命的难点,总结我国能源发展的主要特征和我国能源战略及其演变,最后提出推动我国能源革命的思路、路径以及政策建议。

第三册是《世界能源版图变化与能源生产消费革命》,由张玉卓院士牵头,主要从世界能源发展趋势的角度进行研究。通过总结当前世界主要经济体在能源供应、生态环境破坏以及气候变化方面面临的挑战,分析世界能源结构、供需格局、能源价格等重大趋势和规律。研究美国、欧盟等主要国家和地区能源发展与战略调整对我国能源安全发展的深远影响,提出我国必须转变能源发展理念和发展战略,主动适应世界能源发展的趋势变化,形成可持续的能源发展模式,加快发展方式转型,推动能源管理和制度创新,并从推动能源革命的基础、先导、方向、核心、支撑和保障等方面提出措施建议。

第四册是《第三次工业革命与能源生产消费革命》,由何继善院士牵头,主要从第三次工业革命的角度进行研究。在分析预判以互联网和可再生能源为基础的第三次工业革命发展趋势和机遇,以及对主要国家及地区能源战略和我国未来能源生产消费可能产生的影响的基础上,提出推动我国能源生产消费革命的战略构想,深入论证智能电网、泛能网、分布式发电与微电网、智能建筑和能源互联网等重点工程在未来我国能源体系中的作用、实施计划和经济社会价值,最后提出推动我国能源生产与消费革命的价格、财政税收、国际化经营和国际合作等政策建议。

第五册是《能源生产革命的若干问题研究》,由黄其励院士和袁晴棠院士牵头,主要从能源生产(供给)侧开展研究。厘清能源生产革命的背景与战略目标,从新能源开发利用水平和能源发展潜力两方面,论证了我国已基本具备能源生产革命的基础条件,系统阐述我国能源生产革命的方向、目标、思路 and 战略重点,提出能源生产革命的重大技术创新路线图、时间表,提出中长期能源生产革命重大工程和重大产业,以及能源生产革命的政策建议。

第六册是《能源消费革命的若干问题研究》,由倪维斗院士和金涌

院士牵头，主要从能源消费侧开展研究。预判我国能源消费未来发展趋势，以及分析 2030 年前经济社会发展目标和能耗增长趋势。重点剖析了推动能源消费革命涉及的我国能源消费宏观政策、总量控制以及主要领域的若干重要问题，明确了我国能源消费革命的定义和内涵，提出推进我国能源消费革命、控制能源消费总量的战略目标和实施途径，以及有关政策建议。

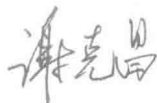
第七册是《推动能源生产和消费革命的支撑与保障》，由岑可法院士牵头，主要从支撑和保障方面开展研究。分析我国能源生产和技术革命在支撑和保障方面的背景及目标，提出明确的定义、内涵和总体路线图。以能源消费绿色化、能源供给低碳化以及能源输配智能化三条主线为核心，提出在技术领域方面全面创新、在法律及体制机制层面深化改革的总体思路和重点内容，为推进和实施能源生产与消费革命提供支撑和保障。

“推动能源生产和消费革命战略研究系列丛书”是我国能源领域广大院士和专家集体智慧的结晶。项目研究进行过程中形成的一些重要成果和核心认识，及时上报了中央和国家有关部门，并已在能源规划、政策和重大决策中得到体现。作为项目负责人，借此项目研究成果以丛书形式付梓之机，对参加研究的各位院士和专家表示衷心的感谢！需要说明的是，推动能源生产和消费革命是一项系统工程，相关战略和政策的研究是一项长期的任务，为继续探索能源革命的深层次问题，目前项目组新老成员在第一期研究成果（即本套丛书）的基础上已启动第二期项目研究。希望能源和科技领域的专家与有识之士共同努力，为推动能源生产和消费革命、实现我国能源与经济社会持续健康发展贡献力量！

中国工程院

“推动能源生产和消费革命战略研究”

重大咨询项目负责人



2016 年 12 月 12 日

前 言

为深入贯彻党的十八大精神，全面落实中央财经领导小组第六次会议有关要求，“推动能源生产和消费革命”，实现我国能源工业的可持续发展，中国工程院启动了“推动能源生产和消费革命战略”重大战略咨询项目研究，项目下设 6 个课题，分别由有关院士担任课题组长。经过两年多的工作，项目组完成了项目综合报告和各课题研究报告，并取得了一系列重要研究成果，经整理与提炼形成本系列丛书。

本书为本系列丛书的“能源生产革命的若干问题研究”卷，在分析国际能源发展趋势的基础上，研究了我国当前能源发展的突出问题，凝练了能源生产革命的若干基本判断，厘清了能源生产革命的战略思路，提出了近期、中期、远期战略目标，重点任务，政策支撑，以及若干重大建议。

本书认为，我国具备能源生产革命的必要性和基础，未来 30~50 年我国能源生产革命的战略思路可概括为“安全化、绿色化、智能化”，2020 年初步构建、2030 年基本形成安全、绿色、智能的能源系统，2050 年全面实现能源安全化、绿色化和智能化，形成煤、油、气、核、可再生五足鼎立的多元化能源供应体系。

本书提出了能源生产革命的战略重点任务，包括：①实施以安全、绿色、高效、智能为核心的煤炭科学开发战略，大力提高煤炭科学产能水平；②常规和非常规油气资源开发并重，强化技术攻关与应用，实现石油长期稳产、天然气产量倍增发展；③加快燃煤污染物综合脱除与资源化利用技术，实现超低排放；④充分利用煤炭能源、资源双功能，实施煤炭高效率、高效益发电和分级、综合利用；⑤以占一次能源 30%~40%及以上贡献率为目标，大比例开发利用可再生能源；

⑥发展更先进、更安全的核电技术和核能的多元化利用；⑦推进低能耗、低成本、规模化 CCUS (carbon capture, utilization and storage, 即碳捕集、利用与封存) 技术研发与工程示范；⑧加大新能源汽车系统技术创新和规模化推广应用；⑨加快智能电网技术创新, 实现发电、电网、用电、信息协调发展, 以及能源与信息的高度融合；⑩加快发展化石能源与非化石能源耦合协调发展的智能化能源系统；⑪积极发挥能源绿色转型在协同推进新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化和绿色化中的作用。

本书提出了推动我国能源生产革命的若干政策措施和对策建议。例如, 启动绿色煤炭国家重大专项, 制定“非常规油气中长期发展规划”, 大力发展煤炭分级、分质转化和利用技术, 推进核能规模化和多元化应用, 建立优先利用可再生能源的体制机制, 加大对低能耗、低成本、规模化 CCUS 技术的研发, 加大新能源汽车研发投入, 发展以智能电网为核心的能源综合信息网, 等等。

受参研人员水平的限制, 本中难免有不足之处, 请读者批评、指正。

目 录

第一章 能源生产革命的背景.....	1
第一节 中国能源供应现状.....	1
第二节 中国能源生产面临的形势与挑战.....	5
第三节 国际能源变革与科技创新方向.....	11
第四节 中国能源生产革命的基本判断.....	14
第二章 中国能源生产革命的方向与战略重点.....	19
第一节 中国能源生产革命的方向.....	19
第二节 中国能源生产革命的目标.....	23
第三节 能源生产革命的战略思路与战略重点.....	45
第三章 能源生产革命的科技创新.....	57
第一节 煤炭科学开采科技创新.....	57
第二节 油气勘探与开发科技创新.....	59
第三节 先进核电技术和核能多元化利用科技创新.....	61
第四节 可再生能源利用科技创新.....	64
第五节 先进煤电与煤炭分级转化利用科技创新.....	72
第六节 燃煤污染物综合脱除与资源化利用科技创新.....	73
第七节 CCS/CCUS 科技创新.....	74
第八节 新能源汽车科技创新.....	77
第四章 能源生产革命重大项目及建议.....	79
第一节 能源生产革命重大工程.....	79
第二节 能源生产革命重大产业.....	85
第三节 能源生产革命政策建议.....	88
第四节 能源生产革命重大畅想.....	93
参考文献.....	96

第一章 能源生产革命的背景

第一节 中国能源供应现状

“十一五”以来，我国能源行业积极落实节能减排政策，促进能源结构优化升级，不断提高能源效率。进入“十二五”后，能源行业基于“节约优先，立足国内，多元发展，保护环境，深化改革，科技创新，国际合作，改善民生”的能源发展方针和基本原则，产业体系进一步完善，能源供应能力明显提高，为经济社会快速发展提供了可靠支撑。

一、资源探明量不断增加

截至 2013 年年底，我国煤炭资源查明储量 1.48 万亿吨，石油剩余技术可采储量 33.7 亿吨，天然气剩余技术可采储量 4.6 万亿立方米，分别比 2012 年增加 635 亿吨、4 000 万吨和 2 639 亿立方米^[1]。根据中国石油经济技术研究院公布的数据^[2]，我国非常规石油可采资源量为 163 亿~168 亿吨，其中页岩油 120 亿吨，致密油 20 亿~25 亿吨，油砂油 23 亿吨；非常规天然气可采资源量为 20 万亿~120 万亿立方米，其中致密气 9 万亿~12 万亿立方米，页岩气 10 万亿~25 万亿立方米，煤层气 11 万亿立方米。我国可再生能源资源查明程度进一步提高，陆上 70 米高度 3 级及以上风能资源技术可开发量 26 亿千瓦，近海水深 5~50 米范围内 100 米高度 3 级及以上风能技术可开发量 5 亿千瓦^[3]；太阳能可利用量 22 亿千瓦；水电剩余经济可开发装机容量 2 亿千瓦左右^[4]；可用于能源化利用的生物质能资源量每年约 4.6 亿吨标准煤^[5]。