



管理科学优秀研究成果丛书

China Energy Security:
A Perspective of Management Science

中国能源安全研究 ——基于管理科学的视角

范英 姬强 朱磊 李建平 / 著



科学出版社

当代中国管理科学优秀研究成果丛书

中国能源安全研究

——基于管理科学的视角

**China Energy Security: A Perspective
of Management Science**

范英 姬强 朱磊 李建平 / 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

在能源需求增加和全球能源竞争加剧的背景下,能源安全问题已经成为我国社会经济发展面临的重大挑战。本书提出了包括能源资源的获取能力、成本控制能力、能源市场定价权、能源储备应急能力、能源替代能力、应对气候变化挑战能力在内的新的能源安全观,从管理科学的视角研究了能源安全管理的理论内涵,提出了二维能源安全分析框架,分析了国际能源态势和我国的能源安全状况,从能源进口风险、国际能源市场、能源储备应急策略和能源替代、能源科技、能源环境等维度对中国能源安全的主要科学问题进行了系统深入的理论和实证研究。

本书适合能源相关政府部门、大型能源企业、投资机构、战略研究机构以及大专院校师生、科研院所研究人员和行业协会专家阅读。

图书在版编目(CIP)数据

中国能源安全研究:基于管理科学的视角 / 范英等著. —北京:科学出版社, 2013

(当代中国管理科学优秀研究成果丛书)

ISBN 978-7-03-038427-0

I. ①中… II. ①范… III. ①能源—国家安全—研究—中国 IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 197171 号

责任编辑:马 跃 / 责任校对:阴会宾
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:蓝正设计

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>

北京彩虹伟业印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



*

2013 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2013 年 8 月第一次印刷 印张:23 1/4

字数:440 000

定价:85.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

当代中国管理科学优秀研究成果丛书编委会

编委会主任：

吴启迪 教授 国家自然科学基金委员会管理科学部

编 委：

蔡 莉 教授 吉林大学

陈国青 教授 清华大学

陈荣秋 教授 华中科技大学

陈晓红 教授 中南大学

党延忠 教授 大连理工大学

方 新 研究员 中国科学院

冯芷艳 研究员 国家自然科学基金委员会管理科学部

高自友 教授 国家自然科学基金委员会管理科学部

黄海军 教授 北京航空航天大学

黄季焜 研究员 中国科学院地理科学与资源研究所

贾建民 教授 西南交通大学

李善同 研究员 国务院发展研究中心

李维安 教授 南开大学

李一军 教授 国家自然科学基金委员会管理科学部

刘作仪 研究员 国家自然科学基金委员会管理科学部

马费成 教授 武汉大学

钟甫宁 教授 南京农业大学

汪寿阳 研究员 中国科学院数学系统科学院

汪同三 研究员 中国社会科学院技术经济与数量经济研究所

王如松 研究员 中国科学院生态环境研究中心

王重鸣 教授 浙江大学

魏一鸣	研究员	北京理工大学
吴冲锋	教授	上海交通大学
吴世农	教授	厦门大学
席酉民	教授	西安交通大学
薛 澜	教授	清华大学
杨列勋	研究员	国家自然科学基金委员会管理科学部
杨起全	研究员	科技部科技发展战略研究院
姚先国	教授	浙江大学
于景元	研究员	中国航天科技集团公司 710 所
张 维	教授	天津大学
赵曙明	教授	南京大学



总 序

管理科学是促进经济发展与社会进步的重要因素之一，作为一门独立的学科，它主要在 20 世纪发展起来。在 20 世纪的前半叶，从泰勒式的管理科学发展到以运筹学为代表的着重于数据分析的管理科学；而在 20 世纪下半叶，管理科学与信息技术和行为科学共同演化，从一棵孤立的管理科学大树发展成为管理科学丛林。

现代管理科学在中国得到迅速发展得益于改革开放后管理实践的强烈需求。从 20 世纪 80 年代开始，管理科学与工程学科得到广泛关注并在管理实践中得到普及应用；随着市场经济“看不见的手”的作用逐渐增强，市场的不确定性增加，作为市场经济细胞的企业，想要更好地生存和发展就要掌握市场经济发展的规律，对工商管理学科的需求随之增加，从而推动了企业管理相关领域的研究。进入 21 世纪，公共管理与公共政策领域成为管理科学的后起之秀，而对它们的社会需求也越来越大。

“管理科学，兴国之道”。在转型期的中国，管理科学的研究成果对于国家富强、社会进步、经济繁荣等具有重要的推动作用。《当代中国管理科学优秀研究成果丛书》选录了国家自然科学基金委员会近几年来资助的管理科学领域研究项目的优秀成果，本丛书的出版对于推动管理科学研究成果的宣传和普及、促进管理科学研究的学术交流具有积极的意义；对应用管理科学的最新研究成果服务于国家需求、促进管理科学的发展也有积极的推动作用。

本丛书的作者分别是国家杰出青年科学基金的获得者和国家自然科学基金重点项目的主持人，他们了解学术研究的前沿和学科的发展方向，应该说其研究成

果基本代表了该领域国内的最高水平。丛书所关注的金融资产定价、大宗期货与经济安全、公共管理与公共政策、企业家成长机制与环境、电子商务系统的管理技术及其应用等，是国内当前和今后一段时期需要着力解决的管理问题，也关系到国计民生的长远发展。

希望通过本丛书的出版，能够推出一批优秀的学者和优秀的研究成果。相信通过几代中国管理科学研究者的共同努力，未来的管理科学丛林中必有中国学者所培育的参天大树。

国家自然科学基金委员会

管理科学部

2007年12月

序

当今世界，能源安全是一个全球性的问题，世界各国无一不将国家能源安全问题提高到国家发展战略的高度去审视。中国未来发展的重大挑战之一就是能源安全问题，对它的研究已吸引了我国业界和学界众多精英的持久关注，不同学科领域的科学家分别从政治、军事、经济、社会、科技、可持续发展等角度去研究能源安全问题，探索应对策略。

多年来，范英教授领导的研究团队从管理科学的视角研究能源安全问题，在一系列关键问题的研究上取得了重要的进展。《中国能源安全研究——基于管理科学的视角》一书，正是团队成员多年研究成果的浓缩。这是一部能源安全管理科学问题研究的优秀著作，书中的研究思路、方法、观点和结论都颇具新意，特点鲜明：

(1)系统论思想贯穿始终。该书提出的能源安全观具有全球视野，提炼并研究的科学问题涉及多学科多领域，关于能源对外依存度、能源市场定价权、能源贸易与投资风险、能源储备等问题的认识和对策研究都体现了系统论的思想。

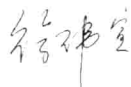
(2)管理科学理论与能源实践紧密结合。对每一个问题的研究，都紧紧围绕国家能源安全战略，全面系统地考察实际需求与约束，建立科学的管理模型，并采集了大量的实际数据进行计算，研究的结论颇具启发性和政策含义。

(3)研究结果落实到具体的决策问题。该书将能源安全这一宏大的战略问题落实到具体的决策问题上，用一个二维战略框架描述能源安全研究的完整内涵，用每个节点上的决策对应可操作的政策点。这一技术路线很好地体现了从微观到宏观的联系，也体现了管理科学的优势。

该书的作者团队由范英教授、李建平教授、朱磊博士、姬强博士等许多研究人员组成，这是一个朝气蓬勃的研究团队。他们从能源市场、战略石油储备、资源国风险、进口安全、能源投资、能源技术演化一个个具体的问题做起，一路走来，扎扎实实，在国际国内高水平学术期刊上发表了大量相关论文。正是以这些专题的深入研究工作为基础，才得以形成该书的系统性论述和鲜明的观点。

《中国能源安全研究——基于管理科学的视角》一书，内容丰富、论述严谨、理论与实证相结合，具有创新性、前沿性、可操作性和实用性。我希望并深信这本书的出版，将进一步推动能源安全管理研究，推动管理科学理论方法在能源经

济领域的应用，为我国有效利用全球资源、扩大能源市场影响力、增强能源应急保障能力和能源科技创新能力、维护全球能源秩序提供理论支撑，为提升国家的能源安全保障能力做出贡献。



中国科学院科技政策与管理科学研究所原所长
中国优选法统筹法与经济数学研究会原理事长

2013年5月30日于北京

前言

能源经济学起源于资源耗竭理论，如何保障能源的持续稳定供应一直是能源经济学研究的核心问题之一。在国际上，围绕能源安全的博弈在 20 世纪 70~80 年代的两次石油危机中达到了白热化的程度，以石油输出国组织 (Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC) 为核心的石油输出国和以国际能源署 (International Energy Agency, IEA) 为核心的石油进口国不断调整各自的能源战略，相关的决策不仅限于能源生产、能源消费和资源开发，还涉及能源投资、能源科技、国际合作、能源环境、气候变化、军事外交等越来越广的领域。与此同时，新兴经济体快速成长，全球能源格局不断演化，世界各国围绕能源开展了全方位的合作与竞争，但合作与竞争的焦点、内容、方式，甚至目标都在不断变化。

在这样的时代背景下，如何理解能源安全的准确内涵？如何界定能源安全战略的核心内容？能源安全的保障措施和途径有哪些？对这些问题的思考，让我们的思路不断地扩展和跳跃，更多的问题进入了研究的视野：能源安全是否只是宏观命题？是否只是长远的事情？能源安全战略如何实施，如何分解落实？除了社会责任，企业如何参与到保障能源安全的战略中？企业利益和国家利益在市场经济条件下如何统一？

有三个基本事实是我们讨论的基础：一是资源禀赋决定了能源资源是在全球配置的，我国作为经济大国和能源消费大国必须在全球资源配置中解决自身的能源安全问题；二是世界能源格局的形成和维护是在市场框架下的，我们只有深入地认识市场、尊重市场规律、善于在国际能源市场中运作，才能有效地利用全球资源，保障能源持续供应；三是应该充分考虑到未来的不确定性，围绕能源安全的决策是不确定环境下的决策，这些不确定性既包括博弈各方的决策、地缘政治环境，也包括我们对地球和自然的认识、科技发展的突破和发展理念的改变。

事实上，在全球经济一体化的大背景下，经济领域的竞争 (包括能源领域的竞争) 不再是你死我活，竞争的结果往往体现为经济性，具体到能源领域，就是为保障能源安全付出了多大代价。这就牵出另一个问题：为保障能源供应安全，是否可以不计代价？其实，完全的不计代价是不可能的，我们必须在风险和成本之间做出权衡。在表面上的能源安全竞争中，世界各国付出了不同的代价，撇开

政治军事的复杂性不说，经济代价却是实实在在的。因此，成本和风险是能源安全的两大要素。

投资和贸易是获取资源的两种手段，其代价和风险明显不同，但都是在市场环境中完成博弈的，无数的投资行为和贸易合同会涌现形成宏观上的能源成本和风险水平，因此，保障能源安全的行动应该包含企业的市场行为。

全球能源供需格局的稳定依赖于能源市场体系的良好运行，能源定价权、话语权的形成是长期博弈的结果，只有积极地参与其中，为建设和维护全球能源市场秩序做出贡献，才有可能增加话语权，并在市场博弈中有能力维护国家利益。

应对能源供应中断的风险，应该从两方面入手。一是建立战略石油储备，保留一定的备用产能，为可能发生的供应中断提供紧急供应，避免对经济造成太大的负面冲击；二是发展替代能源，降低未来对进口能源的依赖，这方面涉及技术的发展、科技投入和科技人才的竞争。

美国在低油价时代进口了大量石油，很早就开始实施进口多元化战略，2012年其石油进口来源国达到了94个。近年来，在能源独立战略的引导下，美国国内的油气供应逐步增加，进口依存度连年下降，2012年已经下降到了约40%，并且从2010年年底就开始由成品油净进口国转为净出口国。此外，美国市场的原油价格和天然气价格偏离国际市场走势，在一定程度上降低了美国的能源成本，减少了对进口高价能源的依赖，增加了国内经济的活力和竞争力。这一点在全球经济复苏乏力的今天尤为重要。美国在可再生能源和核能科技方面的持续投入也是其能源安全战略中的重要内容。从美国的案例中，我们既看到了制定能源战略方向的重要性，也看到了具体的微观层面的措施对实施能源战略的重要意义。

是的，无论从能源对外依存度、进口来源分散化，还是进口成本、海外资产风险来看，能源安全的确是宏观命题，但这个宏观状态是通过无数企业的微观决策涌现的宏观结果！在不断的思考和讨论中，一个二维的能源安全框架逐渐形成，一维是时间，是表征我们关注焦点和决策目标的短期、中期、长期；另一维是决策主体，是经济活动中的企业、部门和国家。我们的能源安全战略只有落在这样一个二维框架的每个结点，其战略思想才能得到贯彻实施，才能实现国家利益和企业利益的统一，才能保障长远的能源安全。在这个二维能源安全战略框架中，代表微观主体的企业和代表宏观状态的国家在短中长期的决策问题上，关注的问题和追求的目标是不同的，那么如何落实能源安全战略就是一个多主体多目标的决策优化问题，需要在解决个体决策问题的基础上实现全面的布局优化。

长期以来，我们的研究团队在能源市场、能源投资、能源输出国风险、能源进口安全、战略石油储备、能源替代技术演化、应对气候变化等领域开展了大量的研究工作，我们常常感觉到这些工作是与能源安全相关的，但又不能清楚地说

明这么多领域的研究与能源安全有什么直接的联系。当我们绘出这个二维能源安全战略框架图时,这个领域就豁然开朗了。毫无疑问,这些领域都是能源安全的研究范畴。在当今世界政治经济环境下,能源安全的竞争直接表现在这些领域中,是这些领域的竞争和博弈。我们理解的能源安全包括能源资源的获取能力、成本控制能力、能源市场定价权和话语权、能源储备应急能力、能源替代能力、应对气候变化挑战的能力等。能源安全不能空谈,能源安全不只是国家的事情,企业、部门身在其中。我们的每一个决策,无论在能源市场、资本市场、能源领域、科技领域,还是在应对气候变化领域,都与能源安全直接相关。

本书内容由五部分构成。

(1)能源安全的理论、基本态势和发展趋势,由第1~4章构成。第1章系统阐述了能源安全管理理论的发展过程和内涵演变,分析了当前能源安全研究面临的主要挑战,提出了能源安全研究的学科特点和核心管理科学问题;第2章分析了全球能源安全的基本态势,从资源、生产、消费和贸易等视角对化石能源和新能源的发展进行了梳理,并对2012年的世界能源大事件进行了分析;第3章分析了我国能源安全的基本态势,从资源、生产、消费、进口和环境影响等视角分析了我国能源的发展现状,通过构造多维评估指标体系对我国的石油、煤炭、天然气进口安全进行了综合评价;第4章预测了我国未来的能源安全态势,通过构造我国能源经济动态可计算一般均衡模型,分析了几种可能情景下的我国能源需求及能源短缺状况。

(2)能源进口风险,由第5~7章构成。第5章对我国原油进口风险进行了评估,将进口风险区分为全球性的系统风险和针对特定来源国的专有风险,通过对主要进口来源国的月度进口数据的实证分析,评估了我国进口风险的主要来源和动态变化,得到了重要的结论;第6章围绕石油资源国的国家风险,提出了国家风险评估模型和国家风险相关性模型,从国家政治风险、经济风险和石油资源风险三个维度构造了相应的指标体系,对这些石油输出国的风险进行了综合评估;第7章针对海外能源投资的油价、汇率、投资成本以及投资环境等不确定性因素,建立了海外能源投资项目的估值模型,并结合案例分析了海外石油投资的风险。

(3)国际能源市场,由第8~10章构成。第8章从石油市场结构性变化入手,从供需基本面以及市场投机行为、非能源商品市场、金融市场、外汇市场等方面,识别了不同时期影响油价变化的主要因素,分析了油价的形成机理和动态规律;第9章分析了我国石油市场的影响力,从我国原油市场和燃料油市场两个视角,分别分析了我国原油市场和成品油市场与国际市场之间的价格关系、波动传导和风险溢出效应;第10章分析了世界原油市场体系的形成结构和演化规律,对我国原油市场在影响世界油价方面的能力以及在世界市场体系中的地位进行了

探讨和分析。

(4)能源储备应急策略,由第11~13章构成。第11章讨论了成品油价格波动对宏观经济的影响,基于产业链的思想,研究了成品油价格波动在产业链中的传导路径和对各部门的影响;第12章讨论了战略石油储备的成本和优化策略,通过建立应急储备的动态规划模型,分析了各种中断概率下的储备成本和释放与补仓策略;第13章讨论了建立战略石油储备过程中的大国博弈问题,通过建立随机动态博弈模型,以中印为例,分析了大国博弈对储备成本和策略的影响。

(5)能源替代与能源安全内涵的扩展,由第14~17章构成。第14章讨论了能源安全背景下的电力安全,围绕电力投资的收益与风险对未来发电能源结构的影响,分析了新能源政策、排放税、核电政策等对电力系统的影响;第15章讨论了表征能源替代能力的能源技术的发展,通过建立内生技术进步的能源-环境-经济系统模型,分析了政策驱动的能源技术演化过程;第16章分析了气候变化背景下,能源安全面临的新的压力和挑战,针对改善能源安全和应对气候变化的核心问题,提出了具有双重收益的措施建议;第17章是在全书分析的基础上,详细阐述了二维能源安全战略,提出了保障能源安全的政策建议。

本书对能源安全的研究是基于管理科学的视角,重点在保障能源安全的策略措施上,并且以定量分析为主。当然,我们清楚地知道本书所述内容只是对能源安全管理问题的探索,是初步的研究成果。但是我们相信从这些方面推进研究工作,可以促进能源安全管理理论的研究,可以为保障能源安全的实践发挥一砖一瓦的支撑作用。

本书内容是我们研究团队长期以来研究工作的总结,团队大部分成员都不同程度地参与了相关的工作。范英负责总体框架设计、组织和统稿,第1章由范英、张海颖、姬强、耿江波完成;第2章由崔连标、张海颖、耿江波、蔡立亚、郭剑锋、姬强完成;第3章由刘明磊、张海颖、孙德强、吴晓华、朱磊、彭盼完成;第4章由崔连标、范英、毕清华完成;第5章由葛凤龙、范英完成;第6章由李建平、孙晓蕾、杨玉英、何琬完成;第7章由范英、朱磊完成;第8章由许金华、范英完成;第9章由姬强、刘明磊、范英完成;第10章由姬强、范英完成;第11章由夏炎、吴洁、范英完成;第12章由张晓兵、范英、刘明磊完成;第13章由范英、张晓兵完成;第14章由朱磊、范英、莫建雷完成;第15章由段宏波、朱磊、范英完成;第16章由蔡圣华完成;第17章由范英、姬强完成。先后在我们中心工作和学习的老师和同学们都对相关研究工作做出了不同程度的贡献,他们是梁强、陈徐梅、徐才华、汪立、李陶、张毅、陈林菊、刘婧宇、李远、王许、陈跃、亢娅丽、王海博、张愉、李长胜、杨瑞广、范雅雯、贾俊松、王宇、王恺、焦建玲、张九天、应尚军、于松民、衣博文、席雯雯等。

在长期从事能源安全领域相关理论与实证研究的过程中,我们得到了来自国

家有关部门、能源行业和学术界的众多专家学者的帮助和指导，在此，我们对徐伟宣教授、蔡晨教授、方新教授、汪寿阳教授、张维教授、于景元教授、李善同教授、汪同三教授、李一军教授、高自友教授、黄海军教授、王惠文教授、王世坤教授、汪秉宏教授、穆荣平教授、王毅教授、杨烈勋教授、刘作仪教授、田立新教授、赵国浩教授、杨晓光教授、张中祥教授、孙梅教授、江冰司长、李福龙司长、安丰全博士、赵建华处长、许永发高级工程师、刘克雨高级工程师、陈卫东高级工程师、单联文高级工程师等专家给予的指导和帮助表示最诚挚的谢意！

本书的研究工作得到了国家自然科学基金(No. 71133005, No. 70825001, No. 71203210 和 No. 71273253)和中国科学院重大研究任务的支持，在此一并致谢！

限于我们的知识范围和学术水平，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正！

范英

2013年5月

目 录

序

前言

第 1 章 能源安全管理理论	1
1.1 能源安全理论的演化及发展	1
1.2 部分国家能源安全战略的历史演变	7
1.3 能源安全研究的挑战与核心科学问题	12
第 2 章 全球能源安全基本态势	20
2.1 世界能源资源	20
2.2 世界能源生产	26
2.3 世界能源消费	31
2.4 能源重大事件	38
2.5 世界能源贸易	40
第 3 章 我国能源安全基本态势	44
3.1 我国能源供应形势	44
3.2 我国能源消费	52
3.3 我国能源进口安全	59
3.4 能源的环境影响	70
3.5 我国能源资源潜力	75
第 4 章 我国能源需求情景分析	82
4.1 背景介绍	82
4.2 中国能源经济动态可计算一般均衡模型	84
4.3 我国能源需求情景分析	91
4.4 我国能源缺口	96
4.5 本章小结	99
第 5 章 我国原油进口风险动态评估	101
5.1 背景介绍	101
5.2 原油进口风险评估模型	103
5.3 原油进口来源	107
5.4 我国原油进口风险评估	107

5.5 本章小结	113
第6章 世界主要石油资源国风险评估	115
6.1 产油国国家风险评级	115
6.2 产油国国家风险动态相关性	126
6.3 本章小结	137
第7章 海外能源投资风险评估	138
7.1 背景介绍	138
7.2 海外投资面临的风险	140
7.3 海外石油投资综合评估	142
7.4 应用案例	146
7.5 本章小结	151
第8章 国际石油价格形成机制	153
8.1 油价波动的主要影响因素	153
8.2 石油市场结构性变化	157
8.3 油价驱动因素建模	162
8.4 结果分析和讨论	172
8.5 本章小结	176
第9章 我国石油市场影响力分析	178
9.1 背景介绍	178
9.2 石油市场信息传导与风险溢出模型	179
9.3 国内外石油市场样本分析	186
9.4 国内外石油市场信息传导	188
9.5 国内外石油市场风险溢出分析	194
9.6 本章小结	202
第10章 世界原油市场体系分析	204
10.1 石油定价权的内涵	204
10.2 世界原油市场体系建模	206
10.3 世界主要石油生产国和消费国影响力分析	210
10.4 世界原油市场体系分析	214
10.5 本章小结	220
第11章 成品油价格波动对我国经济的影响	222
11.1 背景介绍	222
11.2 宏观经济产业链的结构化路径分解模型	225
11.3 数据来源及部门分类	228
11.4 成品油价格波动对经济的影响	229
11.5 成品油价格波动对行业成本影响的路径分解	231

11.6	本章小结	233
第 12 章	战略石油储备成本和优化策略	235
12.1	背景介绍	235
12.2	我国战略石油储备 SOSC 模型	236
12.3	储备策略讨论	242
12.4	建立战略石油储备的成本控制模型	249
12.5	最优储备补仓策略的成本	252
12.6	本章小结	260
第 13 章	基于随机动态博弈的中印战略石油储备策略	261
13.1	背景介绍	261
13.2	战略石油储备的随机动态博弈模型	262
13.3	随机动态博弈模型的实现	264
13.4	实证结果及讨论	266
13.5	本章小结	271
第 14 章	能源安全背景下电力结构优化分析	273
14.1	发电能源结构	274
14.2	基于投资组合的电力结构优化模型	277
14.3	2020 年我国发电能源结构优化分析	281
14.4	燃煤电厂的 CCS 技术	286
14.5	第三代核电技术	287
14.6	本章小结	289
第 15 章	政策驱动的能源技术演化	290
15.1	背景介绍	290
15.2	能源-环境-经济系统内生技术进步演化模型 E3METL	291
15.3	减排政策对技术发展、碳排放以及经济的影响	299
15.4	本章小结	309
第 16 章	气候变化与能源安全	311
16.1	应对气候变化对全球能源的挑战	311
16.2	应对气候变化背景下的能源安全及其影响因素	313
16.3	我国改善能源安全和应对气候变化的核心问题	315
16.4	具有改善能源安全和减缓气候变化双重收益的措施	323
第 17 章	保障我国能源安全的战略与政策	325
17.1	二维能源安全战略思路	325
17.2	政策建议	327
	参考文献	331