

国家发展和改革委员会宏观经济研究院
基本科研业务费专项资金资助

*NENGYUAN
WENTI YANJIU WENJI*
能源问题
研究文集 2011—2012

国家发展和改革委员会能源研究所 编

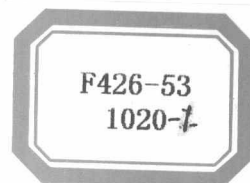
石油工业出版社

F426-53

1020

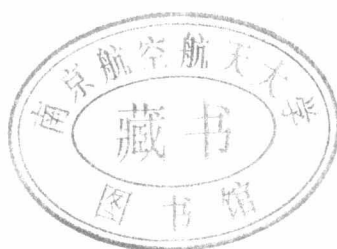


NUAA2014022900



能源问题研究文集 2011—2012

国家发展和改革委员会能源研究所 编



石油工业出版社

2014022900

内 容 提 要

本书是国家发展和改革委员会宏观经济研究院下达能源研究所的“2011—2012 年度基本科研业务专项资金课题”研究成果的汇编。内容涉及能源经济、能源效率、能源环境、气候变化与低碳发展、可再生能源领域,汇集了有针对性的 16 个专题的研究成果。

本书适合于能源研究和能源使用领域的相关人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

能源问题研究文集. 2011—2012/国家发展和改革委员会能源研究所编.
北京:石油工业出版社,2013. 11

ISBN 978 - 7 - 5021 - 9809 - 1

I. 能…

II. 国…

III. 能源经济 - 中国 - 文集

IV. F426.2 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 236050 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www. petropub. com. cn

编辑部:(010)64523553 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

889 × 1194 毫米 开本:1/16 印张:52.75

字数:1588 千字

定价:210.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

0008803108

前 言

本书是国家发展和改革委员会宏观经济研究院下达能源研究所的“2011—2012 年度基本科研业务费专项资金课题”研究成果的汇编。基本科研业务费专项资金课题是财政部支持宏观经济研究的一项基础性研究,以选拔人才、培养科研骨干为主要目的。为圆满地完成研究任务,国家发展和改革委员会能源研究所严格按照宏观经济研究院下发的《基本科研业务费专项资金课题管理办法》组织实施,并专门成立了由所内外学者组成的“基本科研业务课题专项学术委员会”,负责选题、开题、验收和指导,并通过该学术委员会的秘书处对每一个课题实行过程管理和控制。

最近两年的选题,坚持以人才选拔、培养与所内学科建设相结合的原则,对当时的社会热点、难点问题进行深入研究。此次汇集的 16 个专题的研究成果,内容虽然同以往一样涉及能源经济、能源效率、能源环境、气候变化与低碳发展、可再生能源等领域,但课题的设立更有针对性。针对当前快速上升的油气对外依存度及日益严峻的能源安全问题,设立了“我国能源安全评价指标体系初步研究”、“我国能源‘走出去’战略实施效果评估”、“各国在新兴能源资源区域的竞争”、“中国参与全球能源治理的途径和模式研究”四个方面的课题;在提高能效、促进可持续发展方面,设立了包括“调整出口结构对我国能源需求的影响”、“工业化进程中能源强度变化趋势研究”、“能源可持续发展评价指标体系构建方法初探”、“‘能源、经济、环境、技术’4E 模型框架研究和初步构建”、“节能与能源开发的经济性比较研究”以及“碳税和碳排放交易的利弊分析研究”在内的六个课题;在促进可再生能源健康发展方面,设立了“适应大规模风电发展的机制及措施研究”以及“风力发电政策评估模型构建研究及实证分析”两大课题;此外,还针对日本福岛核事故引发的核安全质疑问题设立了“我国核电安全发展若干问题研究”课题;针对日益突出的煤电矛盾问题设立了“我国煤电矛盾中的政府作用研究”课题;针对近年来美国页岩气革命带来的非常规天然气技术开发热潮,设立了“我国非常规天然气开发的技术经济分析”课题;针对国内负担日益加重的能源补贴问题,设立了“我国能源补贴机制初步研究”课题。所有上述题目的确立,均经过学术委员会严格把关,并在研究过程中给予具体指导。

经过近两年的努力,年轻的课题承担者及成员们按要求提交了研究的综述报告和成果报告,并在国内外期刊上发表了至少一篇反映研究成果的文章。研究成果不仅全部通过了宏观经济研究院组织的评审和验收,而且《适应大规模风电发展的机制及措施研究》、《能源可持续发展评价指标体系构建方法初探》分别获得 2011 年度国家发展和改革委员会宏观经济研究院“基本科研业务费专项课题”一、二等奖;《我国非常规天然气开发的技术经济分析》获得 2012 年度国家发展和改革委员会宏观经济研究院“基本科研业务费专项课题”三等奖。为了加强相关领域的交流,鼓励青年科研人员多出研究精品,将其研究成果汇编成册,供大家分享。毋庸置疑,本书尚有许多不足之处,有些课题的理论性尚需进一步阐述,研究结论有待进一步深入,欢迎读者提出宝贵意见。

在此,特别感谢北京理工大学管理与经济学院院长魏一鸣教授、国家发展和改革委员会宏观经济研究院的王永治研究员、李建立研究员、吴晓华研究员,对我所实施该项目的大力支持和对每位青年研究人员的指导与帮助。

国家发展和改革委员会能源研究所副所长 戴彦德

2013 年 8 月

目 录

2011 年度

我国能源安全评价指标体系初步研究	苏 铭 (3)
我国核电安全发展若干问题研究	康晓文 (30)
调整出口结构对我国能源需求的影响	田智宇 (116)
工业化进程中能源强度变化趋势研究	符冠云 (158)
适应大规模风电发展的机制及措施研究	陶 冶 (214)
能源可持续发展评价指标体系构建方法初探	苗 韧 (268)
我国能源补贴机制初步研究	安 琪 (334)
碳税和碳排放交易的利弊分析研究	赵 盟 (362)
各国在新兴能源资源区域的竞争	梁 琦 (440)

2012 年度

我国煤电矛盾中的政府作用研究	苏 铭 康晓文 (495)
我国非常规天然气开发的技术经济分析	杨 晶 杨 光 (535)
节能与能源开发的经济性比较研究	伊文婧 (582)
风力发电政策评估模型构建研究及实证分析	谢旭轩 (622)
“能源、经济、环境、技术”4E 模型框架研究和初步构建	苗 韧 (665)
我国能源“走出去”战略实施效果评估	安 琪 (777)
中国参与全球能源治理的途径和模式研究	梁 琦 (812)

2011 年度

我国能源安全评价指标体系初步研究

苏 铭

内容提要：能源安全已成为我国能源战略乃至国家安全战略的焦点。本研究在综述能源安全定义、内涵、传导机制及评价方法的基础上，采用多样化指数方法构建长期能源安全事前评价指标体系，并对我国长期能源安全风险进行实证分析，结果显示 2002 年以来我国长期能源安全风险正不断加大且屡创新高；模型稳健性讨论和实证分析结果证明了评价指标体系的合理性。最后，政策情景分析显示，到 2020 年我国长期能源安全风险仍将呈上升态势，如果采取合理控制能源消费总量、提高国内油气供应能力、提高能源进口来源多样化水平，并大力加强国油国运份额及外交军事保障能力、加大能源资源勘探力度来提高资源探明水平等措施，能够将 2020 年我国长期能源安全风险降至 2003 年左右水平。

1 引言

1.1 研究背景

自温斯顿·丘吉尔决定将英国海军战舰的燃料由煤变为石油以来，能源安全逐步成为西方国家能源政策的主要目标之一。两次世界大战期间，一些大国为确保能源供应展开了激烈争夺。第二次世界大战之后，世界总体处于和平发展期，但一些区域性冲突仍不时引发能源供应中断问题，最著名的就是 1973 年第四次中东战争和 1979 年伊朗剧变引致的两次石油危机，导致石油供应长时间大规模中断、价格大幅暴涨，成为终结战后西方黄金发展时期的重要因素之一。自 20 世纪 80、90 年代以来，随着发达国家恢复增长以及发展中国家开始起步和腾飞，世界能源需求持续快速增长，到 2010 年总量已达 $120.1 \times 10^8 \text{toe}$ （可折算为 $171.5 \times 10^8 \text{tce}$ ）^①；与此同时，能源的开发利用伴生了巨大的生态环境破坏，能源金融属性增强背景下能源价格大幅波动又大大加剧了经济风险，能源安全问题愈发引起世界的关注。

对中国而言，随着经济社会的快速发展，我国已成为世界上最大的能源生产与消费国，能源安全问题日益突出，主要体现在以下几个方面：

第一，我国能源消费总量快速增长，既导致国内能源供应难以为继，进口规模不断增大，又带来诸多生态环境乃至气候问题。改革开放以来，我国能源消费从 1980 年的 $6.0 \times 10^8 \text{tce}$ 增长到 2010 年的 $32.5 \times 10^8 \text{tce}$ ，年均增速高达 5.8%，远高于世界平均水平。特别是 21 世纪前十年，我国能源消费年均增长达 8.4%，约是同期世界能源消费年均增速（2.26%）的 3.6 倍，远超过历史上任何一个时期的水平。2010 年我国能源消费总量已跃居世界第一，约占世界总量的 20%，较 21 世纪初占比增加 9.3%。国内能源资源特别是化石能源资源开发潜力增长空间有限，已难以满足如此快速增长的能源消费，其中，根据中国工程院估计，在生态环境承载力范围内我国煤炭产量科学上限为 $40 \times 10^8 \text{t/年}$ ，目前已逼近该上限；我国石油产量已难以大幅度提高，仅能维持在当前 $2 \times 10^8 \text{t/年}$ 的水平；由于我国天然气资源赋存条件差，开采难度大、成本高，常规天然气资源开发合理规模仅 $2500 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右，而非常规天然气资源开发又有较大不确定性。我国能源供应已愈发依赖进口，对外依存度不断扩大，2010 年能源对外依存度超过 13%，较 21 世纪初增加 8% 以上，其中石油对外依存度更是高达 55%，已接近美国水平。持续高强度的能源开发利用还严重破坏了我国生态环境，大量地表或地下水资源被消耗或污染，煤矿采空区土地塌陷累计已达 10^6hm^2 ，酸雨面积已达国土面积的 1/8，二氧化硫、氮氧化物甚至温室气体排放均居世界第一位，温室气

① 数据来源：《BP 世界能源统计年鉴》（2011 年）。

体的大量排放还使得中国遭受越来越大地来自国际社会的压力。

第二,长期以煤为主的能源结构优化调整步伐缓慢,既使得煤炭供应紧张局面始终难以缓解,又是我国能源效率差、能源消费大的重要原因,也是我国二氧化碳(CO_2)排放量大幅增加的根本原因。尽管“九五”期间,我国就已明确提出优化调整能源结构的政策,但受能源资源禀赋特点等多方面因素的影响,进展缓慢,而且“十一五”期间煤炭消费比重还不降反升,较“十五”期间平均水平增长超过1%,煤炭消费比重仍占到70%以上。在此背景下,我国煤炭供应长期处于偏紧状态,甚至个别时期面临严重紧张局面,造成该现象的原因有很多,例如体制机制、运力不足等,而过于依赖煤炭导致供应紧张时难以有效替代也是个不容忽视的重要原因。由于固体煤炭本身物理和化学构成特点决定其高效利用的技术难度远比液体石油和气体天然气大,燃煤锅炉热效率较燃气锅炉效率低20%多,煤炭发电效率较石油、天然气低10%~15%。按照2010年能源消费总量 $32.5 \times 10^8 \text{tce}$ 测算,煤炭比重每下降1%,天然气比重上升1%,可以减少能源消费 $500 \times 10^4 \text{tce}$ 以上;如果用天然气替代 $1 \times 10^8 \text{tce}$ 煤炭,则能源消费总量可以降低 $1500 \times 10^4 \text{tce}$ 。化石能源消费是 CO_2 排放的最主要的来源,其中煤炭排放因子最高,是石油的1.23倍,更是天然气的1.58倍。以煤为主的化石能源消费快速增加导致我国 CO_2 排放量迅速增加,根据国际能源署(International Energy Agency, IEA)测算,2008年排放量超过 $65 \times 10^8 \text{t}$,而居世界第二的美国仅为 $55 \times 10^8 \text{t}$;2010年已增至 $75 \times 10^8 \text{t}$,约占世界排放总量的四分之一多,人均排放超过5t,超过世界平均水平。

第三,落后的能源生产方式既导致能源资源白白损耗,又容易造成安全生产事故,也是引起区域生态环境破坏的主要原因。我国煤炭资源整体回采率较低,仅为30%,特别是数量众多的乡镇煤矿,其回采率仅为10%左右;煤矸石利用率仅为66%左右,远低于发达国家90%的水平;矿井瓦斯特别是低浓度矿井瓦斯利用技术水平较低,近几年每年向空气中直接排放甲烷量超过 $200 \times 10^8 \text{m}^3$,浪费严重;我国非常规油气田开发水平与油气工业发展要求及国际先进水平相比仍有较大差距;煤层气开发至今尚未取得重大突破,煤层气生产能力,特别是地面预抽放的能力还比较低;页岩气开发尚处于起步阶段,深海油气开发技术水平低。目前我国能源加工转换、储运和终端利用的综合效率仅为36%,比发达国家约低10%,其中,发电煤耗仍高于国际先进水平 $40 \text{gce}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,工业锅炉和窑炉的热效率比国际先进水平低20%多,电厂用电率和输电线损率仍分别高达5.4%和6.5%,明显高于发达国家损耗水平。我国现阶段符合安全高效现代化水平的矿井生产能力仅占煤炭总产能的三分之一;煤矿安全生产状况依然较差,2010年我国煤矿生产事故超过1600次,死亡人数超过2600人,百万吨死亡率达0.75,依然是世界先进采煤大国的数十倍,其中小煤矿百万吨死亡率高达1.42。据国家安全生产监督管理局统计,目前我国煤矸石累计存量已达 $40 \times 10^8 \text{t}$,矸石山达1500余座,其中长期自燃矸石山近400座,每年因煤矸石自燃排放的有害气体超过 $20 \times 10^4 \text{t}$,严重影响周边环境和居民健康;我国超过80%的石化项目设在江河水域、人口密集等环境敏感区域,一旦发生污染物泄漏或生产事故都对当地居民和环境造成了较大程度伤害。

第四,能源“走出去”战略尚不健全,能源进口国际环境复杂多变,给我国能源进口安全性带来诸多挑战。一方面,我国能源进口多元化程度不足,“走出去”的方式方法有待改进,保障进口的军事能力也不具备。2010年我国从沙特、安哥拉、伊朗、阿曼和俄罗斯五国进口的石油占总进口量之比达57.0%,其中仅沙特一国占比就达18.7%;从澳大利亚、土库曼斯坦和印度尼西亚进口的天然气占比超过70%;从印度尼西亚、澳大利亚和越南进口的煤炭占比也超过2/3。我国获取海外能源权益总体上困难较多,例如,中国石油天然气集团公司苏丹项目、哈萨克斯坦项目遭到了西方媒体“掠夺式开发”和“新殖民主义”的恶评;中电投在缅甸投资建设密松水电站,但在欲开工建设时遭到缅甸政府叫停;中国海洋石油总公司收购阿根廷泛美能源在正式签署收购协议一年之后宣告取消。而且,我国的军事保障能力尚不能与不断增长的进口形势相匹配,既无法保护对外能源投资,也不能保卫关键海道,在南海、东海等海洋油气资源区域面临的越来越大的争端就是一个明证。另一方面,国际能源地缘政治日趋复杂,美国可能通过能源这一工具来遏制中国崛起。中东等传统能源后院地缘政治版图变革不断,南中国海、非洲等能源资源地

日渐成为地缘政治热点,西方国家不时采取制裁、战争、推行民主价值观等手段搅动这些地区政治格局;全球能源供应设施和通道多次遭受恐怖袭击、海盗劫持等暴力行为,恐怖活动已威胁到全球能源供应链的各个环节。美国开始推行重返亚洲新战略,加强在亚洲的战略布局,恢复并巩固美国在亚太的战略领导权;随着本国页岩气的发展,正着手实施“能源独立”战略,减少能源对外依赖,将使其在能源领域更加超脱,也更能将能源作为一种政治工具,影响中国能源进口安全性,进而遏制中国崛起。

综上,能源安全已经成为我国能源发展乃至经济社会发展面临的关键问题,事关我国“三步走”战略目标的最终实现和中华民族复兴的伟大事业。因此,保障“能源安全”已成为我国能源发展战略和政策的重点,更是国家安全战略关注的焦点。

1.2 问题的提出

建立能源安全保障体系,首先要对能源安全问题有全面、准确的认识并做出客观、量化的评价分析,然后提出针对性的应对措施。然而,长期以来,我国大多数研究集中于能源安全战略层面的定性分析,主要讨论能源安全面临的形势和风险,并提出相应的战略措施,定量研究相对缺乏^[1]。

近年来,随着能源安全问题的不断演化,国外许多学者开始采用各种定量方法对能源安全问题进行深入的理论研究和实证分析,特别是《Energy Policy》于2010年出版了一个长达500页的“能源安全研究”特辑,将能源安全问题研究提升至一个新的高度,其中能源安全的评价研究占据较大篇幅,形成了相对完整的评价研究体系^①。在此过程中,我国一些学者也开始尝试定量分析能源安全问题。张阿玲、王翠萍^[2]和张抗^[3]等从影响能源安全的因素出发,选择某个或某些重要指标进行定量分析。张华林、刘刚^[4]、国土资源部咨询研究中心^[5]以及林伯强^[6]尝试构建能源安全评价指标体系,定义了安全标准、安全等级和评价指标,采用多指标加权方法对能源安全进行评价,进行了有意义的探索。然而,从总体上看,我国在能源安全评价领域的定量研究仍比较初步,方法相对简单,对能源安全问题产生的机制缺乏充足的分析,导致评价结果的可信度不足,难以为制定能源安全战略和政策提供有效支持。

因此,亟待在充分吸收和借鉴国际最新的研究成果的基础上,建立能源安全评价研究框架和适用于我国的能源安全评价指标体系,对我国能源安全进行定量的评价分析,可信的回答当前我国能源安全的状况以及未来我国能源安全面临的问题和风险的大小,为科学制定能源安全战略和能源安全保障措施提供参考。

1.3 主要研究内容

为了构建能源安全评价指标体系,对我国能源安全状况及面临的问题和风险进行量化评价,本文研究的主要内容相应如下:

1) 明确能源安全的定义和内涵,分析能源安全问题的传导机制,厘清能源安全评价视角,梳理出能源安全评价的研究框架。

2) 基于能源安全评价体系需具备的评价标准、评价指标和评价方法三个要素,对指标加权构建标准化指数、计算中断概率直接刻画奉献、构造多样化指数间接刻画风险、衡量(期望)福利损失四种评价方法进行述评,从而对构建能源安全评价模型和实证研究我国能源安全存在问题和面临风险给出参考。

3) 基于能源安全的定义和传导机制,从能源供应、能源环境和能源消费三个方面选取评价指标,采用构造多样化指数间接刻画风险的评价方法构造能源安全评价理论模型,从而建立长期能源安全事前评价指标体系。

4) 利用该指标体系对我国长期能源安全进行评价,分析我国面临的长期能源安全风险的变化情况及影响因素;采用政策情景分析方法,研究未来降低长期能源安全风险的政策措施。

① 参看 Loschel, A., Moslener, U. and D. T. G. Rubbelke (editors). Energy Security: Concepts and Indicators with Regular Papers [J]. Energy Policy, 2010 (4): 1607-2074.

2 能源安全的定义、内涵及传导机制

2.1 定义

随着能源安全问题的不断演化,能源安全概念也在不断扩充和完善。目前,基于能源安全问题产生原因和出现环节的不同,国内外文献主要从供给连续性、价格可承受性、环境社会友好性和需求合理性四个层面来诠释能源安全。

第一个层面的能源安全着重强调能源供给的连续性。自能源安全问题出现以来,这始终是能源安全的核心。许多机构或学者如 Wright^[7], Department of Energy & Climate Change^[8], Winzer^[9]将能源安全定义为“能源供给连续、不中断”、“能源供给连续地保障能源需求的能力”或“能源供给中断的风险很低”;如果能源供给发生中断,就意味着能源不安全。该定义侧重于能源商品的供给连续性,易于进行量化分析,被广泛应用于技术层面的能源供给可靠性分析。

第二个层面的能源安全加入了对能源价格的考虑,强调价格的可承受性。Yergins^[10]指出,能源安全的目标是“在合理的价格下,通过不损害国家主要价值和目标的方式,确保能源充分、可靠的供给”。IEA^[11]将能源安全定义为“在可承受的价格水平下可获得的供给对需求的满足程度”。Mabro^[12]认为“当能源供给减少或某些地区供给中断导致能源价格突然显著增加且持续较长时间时即为能源不安全”。该定义既能够很好地刻画市场化程度较高情形下价格信号反映出的能源安全问题,又可以刻画供给中断与价格波动相关性不强情形下的能源安全问题。

第三个层面的能源安全进一步考虑了能源开发和利用过程带来的外部性问题,即对生态环境的破坏。张雷^[13]认为国家能源安全应兼顾“量”和“质”的要求,前者强调能源供应稳定性(经济安全性),是指满足国家生存与发展正常需求的能源供应保障的稳定程度,后者强调能源使用的安全性,是指能源使用不应对人类自身的生存与发展环境构成任何威胁。Intharak et al^[14]将能源安全定义为“一个经济体能够以合理的价格适时地、可持续地而且不会对经济社会造成伤害的方式获得足够的能源供给的能力”,其中可持续性强调对生态环境的影响,即今天的能源开发和利用不能以损害未来子孙们的生存空间为代价。该定义将能源安全问题进行了拓展,但也增加了能源安全度量的难度。

第四个层面的能源安全考虑了能源需求规模过大、增长过快导致供给难以有效满足的情形,强调能源需求总量本身的合理性。张新安、张迎新^[15]指出过度的能源需求已成为影响中国能源安全的重要因素。韩文科^[16]认为能源安全状态应包含三点:“合理(增长)的能源需求;满足需求的持续、多元化的供应保障能力;经济和社会可承受的能源价格和生态环境成本”。Leung^[17]在讨论中国能源安全问题时指出基于需求侧的能源安全分析同基于供给侧的能源安全分析同样重要。该定义认为需求层面因素也会显著影响能源安全,从而强调合理用能以及高效用能对保障能源安全的重要意义。

基于上述讨论,本文将“能源安全”界定为:一个国家持续地获取足量、经济、清洁的能源供给以满足合理的能源需求,从而保障经济社会平稳运行和可持续发展的能力或状态。相应地,如果能源供应出现中断、价格难以承受、生态环境破坏严重或者合理需求未能满足,显著影响到经济社会的平稳运行和可持续发展,就称之为“能源不安全”。

2.2 内涵

从影响范畴看,能源安全是国家经济安全的核心内容,更是国家安全的重要组成部分。许多学者和机构包括国家能源领导小组^[18]、王礼茂^[19]、马维野、王志强和黄昌利^[20]等均指出能源安全直接影响到社会稳定、可持续发展乃至国家安全,既是经济问题,也是政治问题,又是社会问题,更是关系国计民生,涉及政治、经济、社会 and 军事的大安全问题。可以说,能源安全是构建国家经济安全乃至国家安全的必要条件。因此,能源安全应放在整个经济乃至国家层面考察,而不是基于个别生产者或消费者的分析;能源

安全的评判标准应是能源问题是否影响到经济社会平稳运行和可持续发展。

从影响时间尺度看,能源安全有长期和短期之分。Stern^[21]和 Creti & Fabra^[22]等分别从短期和长期角度研究了能源安全问题,认为两者在诠释和分析能源安全问题时有显著差异。短期能源安全主要强调能源的可获得性、能源供给的及时性和可靠性以及价格可接受程度等因素对经济平稳运行的影响。长期能源安全主要强调能源资源充足性和持续性、基础设施完备性以及环境友好性等因素对经济社会可持续发展的影响。

2.3 传导机制

基于能源安全定义,能源安全问题的传导机制如图1所示。首先,能源安全问题产生来源主要是各种风险因素。Winzer^[23]将这些风险因素划分为三种类型:自然风险,如资源赋存条件、极端天气等;技术风险,如能源生产运输过程中的技术故障、生产消费过程中产生的污染排放等;人为风险,如能源需求侧冲击、地缘政治风险、能源出口国政治稳定性、政府举措等。其次,这些风险如果爆发,将影响能源供给的连续性,进而影响国民经济各用能行业,对经济平稳运行和可持续发展造成伤害;同时,能源生产和消费过程的负外部性问题还会对环境和社会造成损害。最终,这些影响都造成一国社会福利的损失。

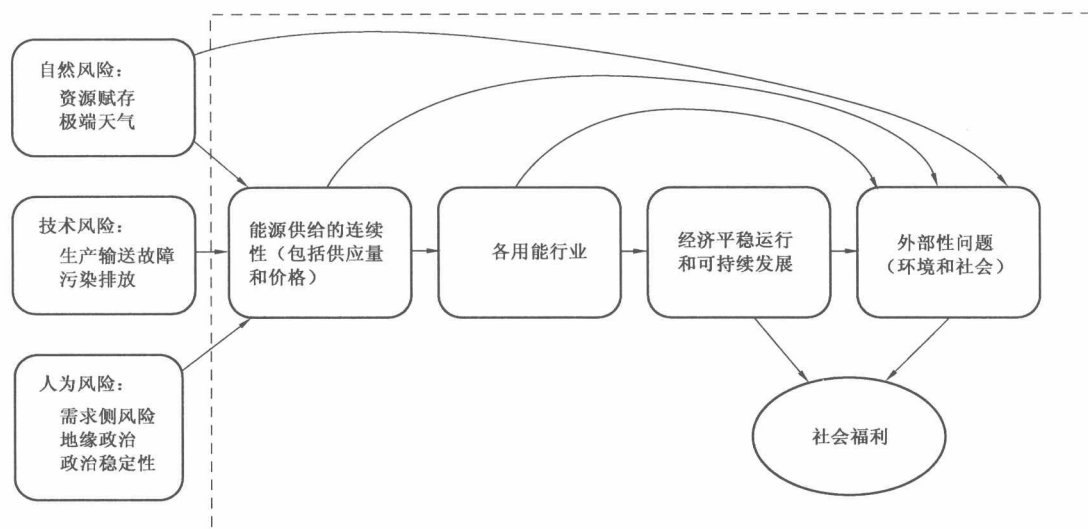


图1 能源安全的传导机制

3 能源安全评价研究综述

3.1 能源安全评价的概念和研究视角

能源安全评价是指,以整个能源系统为评价对象,分析影响能源安全的主要因素,构建一套可量化的评价指标,采用一定的理论与方法,对能源安全状况、面临风险及未来变化趋势进行评估。

Yergins^[24]指出,信息是刻画一国能源安全的重要原则之一,能源安全信息包括事后信息和事前信息,其中事后信息指描绘过去能源安全状况的信息,事前信息指刻画能源安全面临的风险及未来变化趋势的信息。相应地,能源安全评价应包括事后评价和事前评价。Loschel, Moslener & Rubbelke^[25]认为能源安全事后评价主要利用事后信息考察某时点之前一段时期能源系统是否对整个经济社会带来了冲击,属于确定性分析;能源安全事前评价主要利用事前信息考察某时点之后一段时期能源系统面临的风险及其对经济社会带来的预期影响,侧重于不确定性分析。

以中国的石油对外依存度为例来讨论事前评价和事后评价的差异。随着中国石油进口的不断增加,对

外依存度已增至 50% 以上, 很多人据此认为中国能源不安全, 但也有很多人认为在进口增加过程中并没有出现石油供应短缺现象, 中国能源安全没有什么问题。这两个观点实际上反映了评价视角的差异。前者是利用石油对外依存度指标来对未来能源安全进行风险分析, 认为石油对外依存度过快增长会加大能源安全风险, 属于能源安全事前评价; 后者是考察过去能源供应是否真实地出现了中断问题, 由于供应没有明显中断, 由此认为石油对外依存度并没有实际造成能源安全问题, 属于能源安全事后评价。此外, 还可以看出, 事前评价和事后评价采用的评价指标也是有显著差异的, 对外依存度可用于进行事前评价, 但并不适用于进行事后评价。

据此, 能源安全事前评价和事后评价的主要异同可从图 1 看出。事前评价需要对图 1 进行全方位诠释, 从风险来源讨论至福利损失; 事后评价的范畴则集中于图 1 的虚线框之内, 无需讨论风险因素。

3.2 四类能源安全评价方法

由能源安全评价的定义可知, 一个能源安全评价体系应该包含评价标准、评价指标和评价方法三个基本要素, 相应地, 能源安全评价的逻辑是: 确定评价标准, 选取评价指标, 采用合适的方法构建从评价指标到评价标准的关系, 从而对能源安全进行评价。综观国内外文献, 能源安全评价研究大致可分为四类, 本文围绕能源安全评价的基本要素和逻辑, 对四类评价方法进行综述。

3.2.1 采用指标加权构建标准化指数的评价方法

采用指标加权构建标准化指数的方法广泛应用于许多事物的评价研究, 一些学者也采用该方法来评价能源安全, 代表性的有国土资源部咨询研究中心^[5]和 Badea et al^[26]等。

国土资源部咨询研究中心^[5]首先将能源安全状况设定为一个 0~1 的无量纲数值, 先验性地将 [0, 1] 等分成五个子区间来代表五个能源安全状态, 以此作为能源安全程度的评价标准。其次, 将影响能源安全因素分为国内资源保障能力、国内生产供应能力、国际市场获取能力、国家调控和应急保障能力以及环境安全控制能力五大类, 每一类选取若干评价指标, 如国际市场获取能力因素选取了国际能源价格、能源进口量占世界总贸易量比例、国际合作水平以及能源对外依存度四个指标, 一共选取了 19 个评价指标, 区分正向、反向关系, 并给每个指标分别设定安全阈值, 从而将各指标得分标准化。最后, 采用德尔菲法 (专家打分法) 设定指标权重, 能源安全状况即为各指标加权之和; 该值落在不同的子区间, 反映不同的能源安全状况。但是, 该方法权重选取任意性大, 缺乏经济含义。

一些学者对指标权重设定进行了更深入的讨论, 如 Badea et al^[26]基于集体决策理论 (Group Decision Theory) 研究了能源安全各指标的加总规则。首先, 选取反映欧盟国家长期能源供给安全的主要指标: 能源强度、碳排放强度、各能源品种进口依存度、一次能源多样化程度、发电燃料多样化程度以及交通运输能源需求量, 并将这些指标按国家 (或时间) 排序和标准化处理; 其次, 利用集体决策理论构建能够反映决策者风险厌恶程度的非线性权重, 如风险中性者对所有指标给予相同的权重、风险偏好者只看排序最好的指标 (其权重为 1, 其余为 0)、风险厌恶者只关注排序最差的指标 (其权重为 1, 其余为 0), 从而对各指标进行加权求和; 最后, 将加权求和得到的标准化指数作为能源安全评价标准, 其数值大小就反映不同时间、不同国家的能源安全形势的相对大小。尽管如此, 仍可看出其指标权重选取有很强的主观性, 哈耶克曾评论此类方法为 “似乎有知识 (pretence of knowledge)”。

总体上看, 该方法由于权重选取和标准化处理的主观任意性, 而且许多指标进行独立加权, 指标间的相关性、内生性及一致性问题均无法讨论, 更重要的是, 仅仅通过简单加权方式建立能源安全与影响因素之间的关系, 缺乏对内在传导机制的分析, 因此, 一些学者认为该方法解释力较为欠缺, 结论难以真实反映能源安全状况, 质疑其适用性。

3.2.2 采用中断概率直接刻画风险的评价方法

供应连续性是能源安全的核心, 相应地, 能源安全的最大风险是供应中断, 描述供应中断的最直观、规范的方法就是概率分析。基于此, 一些研究从能源供给可靠性角度出发, 采用中断概率直接刻画能源安

全风险。Billinton & Allan^[27] 基于概率模型计算了未能供应的能源；Huntington, Weyant & Beccue^[28] 采用影响图刻画了供给中断的政治风险因素；Makarov & Moharari^[29] 根据历史上中断事件发生频率估算了能源安全可靠性系数。

Winzer^[23] 首先综合考虑自然风险、技术风险、人为风险因素，选取了供应/需求、环境、技术、人为因素等层面的一系列指标来描述三类风险的不同状态和相应概率；接着，利用条件概率模型，计算了能源供应中断的概率；最后，将能源供应中断概率定义为预期未供应的能源，以此作为能源安全评价标准，讨论了不同供应来源和方式下能源安全风险大小。

该方法对能源安全风险来源直接进行刻画，清晰规范，能够准确、系统地分析某一种供应模式下的各类风险，适用于做事前风险评估。然而，对于多个能源品种、多种供应来源、多种供应方式下的能源安全风险，该方法难以有效进行集成评估；更不用说能源安全问题还涉及消费、价格、环境等方面，其中一些风险因素难以用概率形式准确描述，进一步限制了该方法的应用。

3.2.3 基于构造多样化指数间接刻画风险大小的评价方法

许多学者机构如 Stirling^[30]，European Commission^[31]，IEA^[32]，Intharak et al^[14] 认为能源品种、供应来源、供应方式的多样性是保障能源安全的重要手段，这同时表明刻画多样性对于准确评价能源安全尤为重要。

不少学者尝试引入资产组合理论中的多样化指数方法。Stirling^[30] 论述了能源供应多样性的经济含义，认为能源组合中品种和来源越多、越分散，不同品种和来源的差异越大，多样化程度就越高，意味着风险越小、能源越安全。他还提出一个理想的多样化指数应体现种类多样（Variety）、种类的平衡程度（Balance）和种类间的差异（Disparity）三个特征。常用的多样化指数有 Herfindhal - Hirschman Index（HHI）和 Shannon - Wiener Index（SWI）等。Grubb, Butler & Twomey^[33] 分别采用 HHI 和 SWI 对英国长期电力安全进行量化分析，得到的结论基本一致；Kruyt et al^[34] 综合比较了 HHI 和 SWI，认为两者在评价能源安全时有很强的相似性。

IEA^[32] 基于 HHI 来构建能源安全评价指数。首先，以各能源品种 f 的不同出口国 i 在国际能源市场的份额 s_{if} 作为评价指标，利用 HHI 定义了能源安全市场集中度 $ESMC_f = \sum_i s_{if}^2$ ；该值刻画了能源供应集中度对能源价格进而对能源安全的影响，取值越小，市场集中度越小，能源越安全。接着，能源品种 f 的供应集中度风险对一国能源安全的影响还取决于该能源品种在一国能源总供应中的比重 $C_f/TPES$ ，从而能源安全指数表征为 $ESI_{price} = \sum_f ESMC_f \cdot C_f/TPES$ 。最后，该指数适用于竞争性的自由市场环境，供应短缺直接导致价格上涨，价格机制将最小化能源不可获得的风险；如果供应或价格受到管制，价格不能完全反映市场基本面，应采用其他评价方法，文中也进行了讨论，这里不再赘述。此外，该文还对出口国政治稳定性的影响加以考察，将其作为风险因子 r_i 来修正能源安全市场集中度 $ESMC_{f, pol} = \sum_i r_i \cdot s_{if}^2$ ，进而得到修正后的能源安全指数。Frondel & Schmidt^[35] 进一步考虑了出口国的供应相关性，将能源安全市场集中度修正为 $ESMC_f = \sum_i s_{if}^2 + \sum_i \sum_j \frac{1}{2} \rho_{ij} s_{if} s_{jf}$ ，其中 ρ_{ij} 为相关系数；该修正的一个现实案例就是具有卡特尔特征的石油输出国组织（OPEC），其成员国的石油供应有很强的相关性。

Jasen, J. C, Arkel & Boots^[36] 基于 SWI 评估了长期能源安全风险。首先，分析影响长期能源安全的风险因素，主要包括能源供应品种多样化、对外依存情况、进口多样化、进口可靠性以及资源枯竭程度，从而选取了各能源品种的供应占比、进口依存度、进口来源国进口量占比、进口来源国的长期社会政治稳定性、资源储采比等指标。接着，从能源供应品种多样化出发，利用 SWI 构造能源安全指数 $I = - \sum_i c_i x_i \ln x_i$ ，其中 x_i 为品种 i 占能源总供应的比重， c 为风险调整因子。其他风险因素都通过对 c 调整来实现，例如，考虑各品种的进口依存度 m ， c 调整为 $c_i = 1 - m_i$ ；再考虑进口来源多样化和进口来源国的长

期社会政治稳定性, c 调整为 $c_i = 1 - m_i [1 - \sum_j -r_j s_{ij} \ln s_{ij} / (\sum_j -r_j s_{ij} \ln s_{ij})_{\max}]$, 其中 s_{ij} 为从国家 j 进口占能源 i 总进口量的比重, r_j 为进口来源国 j 的长期政治稳定性指标, $\max$ 表示进口来源多样化指数的最大值。最后, 通过该方法诠释各影响因素得到能源安全指数 I , 该结果是一个无量纲值, 可以进行不同时间和不同国家间的对比分析, 从而评价一个国家长期能源安全风险的相对大小和变化态势。

该方法通过构建多样化指数刻画出多个能源品种、多种供应来源、多种供应方式下的安全风险, 还可以通过设定风险因子将其他风险因素纳入到该框架内, 能对能源安全风险进行全面评价, 而且有明确的经济含义, 也不过于复杂, 目前广泛应用于能源安全的事前评价。

3.2.4 衡量(期望)福利损失的评价方法

基于能源安全定义和传导机制, Bohi, Toman & Walls^[37], Yergins^[24]、Winzer^[23] 均认为能源安全风险来源及影响均是多层面的, 也是不断变化的, 不同时期、不同国家间的差异也很大, 通过衡量(期望)福利损失能够将这些影响在统一标准下讨论, 从而可对能源安全进行整体评价。其中, 衡量期望福利损失适用于事前评价, 既分析风险来源, 又分析其影响; 衡量福利损失适用于事后评价, 主要讨论能源系统出现问题造成的影响。

Winzer^[23] 尝试从社会福利角度对奥地利、意大利和英国的能源安全状况进行全面评价和对比。为此, 基于能源资源稀缺性、供应风险、能源环境、能源市场等因素, 他选取了年度电力供应中断时间、热力系统中断时间、人均 CO_2 排放、太阳能和风能资源情况、电力价格变化趋势和波动性等历史数据作为评价指标, 采用成本—收益方法, 考察了电力供应中断导致的 GDP 损失和热力系统中断对居民生活影响, 而且还分析了碳排放对环境的影响以及电力价格变化趋势和波动带来的影响。但由于该文主要从概念上厘清不同层面问题对能源安全的影响, 未深入讨论碳排放及价格变动导致的福利损失, 因此缺乏一个关于能源安全事后评价的总体结果。针对这些问题的专门分析可以见诸于其他文献, 如 IEA^[38] 评估了石油价格波动对世界各国 GDP、通货膨胀以及就业的影响; 邹艳芬^[39] (2008) 利用 CGE 模型和生态足迹分析法对能源使用带来的环境问题进行考察, 分析了中国的能源生态承载力和能源生态赤字。

该方法理论基础完备, 逻辑清晰, 但较为复杂, 目前主要在能源安全事后评价中有所涉及, 尚未有研究通过计算期望福利损失来对能源安全进行事前评价。

3.3 对四类能源安全评价方法的述评

在对四类能源安全评价方法综述的基础上, 从覆盖能源安全问题的完备性、理论基础、难易程度等方面进行述评, 以讨论其适用性。

采用指标加权构建标准化指数方法能够灵活考虑能源安全各层面的影响因素, 简单易行, 但经济含义不足, 主观性较强, 结果可信度难以保障, 适用性较差。采用中断概率方法能够直观地刻画供应风险, 清晰规范, 但难以覆盖所有能源安全问题, 且概率估计难度较大, 主要适用于能源供应安全事前评价。基于构造多样化指数间接刻画风险的方法可覆盖不同层面能源安全问题, 理论基础较完备, 经济含义明确, 相对简单, 适用于能源安全事前评价。衡量(期望)福利损失方法可将不同层面能源安全问题在统一标准下讨论, 理论基础完备, 但较为复杂, 难以分析风险导致的期望福利损失, 主要适用于能源安全事后评价。四类能源安全评价方法比较见表 1。

表 1 四类能源安全评价方法比较

评价方法	覆盖问题的完备性	理论基础	评价难易程度	适用性
指标加权法	能灵活考虑各层面影响因素	经济含义不足	简单	适用性较差
中断概率法	仅能考虑部分安全问题	完备、规范	难度较大	事前评价
多样化指数法	可覆盖不同层面安全问题	较完备	相对简单	事前评价
(期望)福利损失法	能综合考虑不同层面安全问题	完备、规范	复杂	事后评价

据此,对构建能源安全评价模型和实证研究我国能源安全存在问题和面临风险给出如下建议:

一方面,可采用衡量福利损失方法构建能源安全事后评价模型,实证分析我国能源安全历史状况以及各方面问题对能源安全状况的贡献程度,如历史上电力供应中断时间、国际石油价格波动程度、国内煤炭供应不足和价格大幅上涨、能源开发利用过程导致的环境破坏等造成的不同社会福利损失,进而可讨论我国采取的能源安全保障手段的有效性。

另一方面,可采用构造多样化指数方法建立能源安全事前评价模型,实证分析不同时期我国能源安全面临风险的相对大小及变化趋势,并定量分析各因素对能源安全风险变化的影响大小,如能源供应品种多样性、进口来源多样性、进口方式多样性以及资源赋存条件、环境承载力、进口国政治稳定性、运输通道稳定性等对能源安全面临风险的不同影响,从而可提出保障我国长期能源安全应该采取的战略举措。

4 能源安全评价指标体系构建——评价指标和理论模型

4.1 基本思路

长期能源安全事前评价是对面临的长期能源安全风险进行分析评估。由文献研究可知,一个长期能源安全事前评价指标体系应包括三个方面内容:能源安全标准、评价指标以及评价方法。

根据能源安全的定义,能源安全可从供应安全、价格安全、环境安全和需求安全四个层面进行描述。相应地,影响能源安全风险因素也可由此四个层面的因素共同组成。从长期来看,价格水平会对能源安全造成影响,但价格水平是由能源供需基本决定的,自然也是由能源供需的各种影响因素共同决定的,是一个内生的变量,在长期能源安全评价中无需专门考虑刻画价格水平风险的指标。因此,对于长期能源安全事前评价研究,主要应从能源供应安全、环境安全和需求安全三个层面选取用于刻画风险的评价指标,进而对面临的长期能源安全风险进行评价。

据此,形成长期能源安全事前评价的总体思路:基于能源安全的定义和风险来源的差异,从能源供应安全、环境安全和需求安全三个层面选取用于刻画风险的评价指标,利用风险分析中常用的多样化指数方法,并考虑一些直接风险因子,构建一个长期能源安全指数(即能源安全标准),从而能够对长期能源安全进行事前评价。

4.2 评价指标选取

能源安全的评价指标首先是指影响能源安全的因素,其次还必须是这些影响因素中能够被定量化描述的、能对能源安全进行评判的主要因素。由能源安全的传导机制和能源安全事前评价的分析范畴可知,刻画能源供应安全、环境安全和需求安全三个层面风险的评价指标应从自然风险、技术风险和人为风险三类风险因素中选取。而且,应该选取影响长期安全的风险因素,例如,极端天气等风险因素不应成为评价长期能源安全的指标。大量研究如 Kruyt et al^[34], Loschel, Moslener & Rubbelke^[25]等对这些风险因素进行了分析,在此基础上,供应安全层面主要考察资源禀赋、能源结构、进口依赖、进口国的政治稳定性和运输可靠性等风险因素,环境层面主要考察能源开发利用带来的生态环境破坏等风险因素,需求安全主要考察能源消费总量冲击等风险因素,具体指标选取如下:

1) 从能源供应层面选取:

① 能源各品种供应在能源总供给中的比重:反映能源品种的多样性。能源供应是煤炭、石油、天然气及新能源等一系列能源品种的组合,从供应安全角度来看,能源供应品种的多样性是个非常关键的因素。

② 能源各品种的进口、出口量占该品种总供给的比重:反映能源品种的对外依赖程度。能源供应分为国内供应和国外供应,相比于国内自身供应,来自国外的供应通常是有风险的,因此需要考虑进口比例对能源供应安全的影响。同样地,对于出口这部分,如果将来为本国所用,可以视为会增加本国的能源安

全度,也应考虑在内。

③ 能源各品种从不同国家进口量占该品种总进口的比重:反映能源品种的进口来源多样性。进口来源国的多样化程度对进口安全有重要影响。如果能源进口主要依赖某个国家,无疑该国的任何变化都会对进口国的供应安全造成重要影响;如果扩大进口来源国的多样化程度,某个国家的出口状况并不对进口国的供应造成显著影响,对于降低能源进口风险意义重大。

④ 进口来源国的政治稳定性:反映能源生产国出口能源的可靠性。长期来看,在建立进口国和出口国之间稳定的经贸关系后,影响能源生产国稳定出口能源的最大风险因素就是其政治稳定性,历史上发生了大量能源生产国因政局不稳导致能源出口大幅波动,进而影响到能源进口国稳定地进口能源。

⑤ 进口能源运输风险:反映能源生产国出口能源到进口国的运输过程中的可靠性。影响能源生产国稳定出口能源到进口国的另一大风险因素就是其运输风险,特别是跨国的、穿过主要海峡的长距离运输,历史状况表明该过程充满了巨大的风险。

⑥ 能源各品种的储采比(资源可利用年限):反映能源资源的可耗竭程度。资源耗竭程度是影响长期能源供应的重要风险因素之一,特别是化石能源。资源储采比反映的是在当前的产量规模下剩余探明可采资源量能够开采的年限,通常而言,可用来表征化石能源资源的耗竭程度。

2) 从能源环境层面选取:

能源各品种的排放系数:反映能源各品种对环境的破坏程度。可持续发展是经济社会发展的长期目标,能源开发利用过程导致的大量环境问题对经济社会可持续发展有重要影响。不同能源的排放系数能够描述能源利用对经济社会可持续发展的影响,是比较简单、直观指标。

3) 从能源需求层面选取:

能源消费总量:反映能源消费总量对能源供给进而对能源安全的影响。影响能源需求的因素很多,最重要的应是经济发展速度、产业结构状况以及能源利用效率。经济的快速发展和能源利用效率的低水平将导致大规模的能源消费增长并引致能源供应不能满足需求的巨大风险。需求层面的影响均可通过能源消费总量的大小来加以反映。

4.3 理论模型构建

围绕上述风险因素及指标,长期能源安全事前评价的理论模型构建的具体思路如下:

1) 应考察供需平衡问题,即能源总供给量满足能源总需求的程度,其风险主要来自于能源需求总量能否能够满足。

2) 就是考察供应中的各种风险问题,这是能源安全的核心,可从多个层面加以深入分析,从而才能准确刻画影响供应的各种风险因素。从供应函数出发,第一即为能源结构问题,其风险在于各能源品种是否能够灵活、可替代地实现供应;第二即为能源结构中各品种的对外依赖问题,通常而言,从能源安全角度来讲(指的是能源供应可能导致经济社会发展出现问题,而不是反之),相比于国内自身供给,国外供给是不确定的,有风险的。

3) 就要考察国外供应不确定性的来源,之所以进口有风险,在于各进口来源国可能存在政治不稳定风险以及运输过程存在风险,进口来源的多样性又反映了对进口国的依赖水平。

4) 则要考察资源耗竭风险,由于化石能源是可耗竭的,其可使用年限的差异(储采比)就反映了其满足长期供给的风险,既要考察本国各能源品种的耗竭风险,又需考察进口来源国的资源耗竭风险。

5) 需考察能源的供应和需求过程的外部性问题,即能源开发利用过程的环境风险。

4.3.1 供应层面的安全性

(1) 能源供应品种的多样性

文献中多利用能源各品种供应在能源总供给中的比重指标,采用 HHI 多样化指数方法来反映能源品种的多样化程度。据此,采用 HHI 指数构建基于供应品种多样性的能源安全指数 SI_1 :