

ENERGY

中国能源 安全分析与预测预警

陈 彬 刘耕源 等/著

Energy Informatics, Early Warning and
Prediction for China



科学出版社

014021326

F123.16
109

中国能源安全分析与预测预警

Energy Informatics, Early Warning and Prediction for China

陈 彬 刘耕源 等 著



本书由国家自然科学基金创新研究群体科学基金项目(51121003)、
国家科技支撑计划课题(2012BAK30B03)和国家自然科学基金项目
(41271543, 41101564)共同资助

科学出版社

北 京



北航

C1705710

F123.16
109

内 容 简 介

能源安全是一个国家或者区域安全的基础和核心,而对能源系统未来的演化趋势做出预期性评价,提前发现可能出现的问题,是保证国家能源安全的重要举措。本书在深入剖析国家能源安全理论的基础上,立足于中国能源安全现状分析与预测预警模型体系构建,结合我国传统能源与非化石能源发展中存在的核心问题,建立了中国能源预测模型,并从供应链的角度出发,构建了中国能源预警评价指标体系。上述理论方法应用于2015~2050年中国未来能源发展趋势分析,为我国能源安全发展提供实践案例,以期推进能源安全理论与方法的普适性和可操作性。

本书既可作为能源、环境和全球气候变化及其他相关学科的教学、科研和业务参考书,也可供能源、规划和环保部门的工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国能源安全分析与预测预警/陈彬等著. —北京:科学出版社,2014. 1
ISBN 978-7-03-039523-8

I. ①中… II. ①陈… 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 319639 号

责任编辑:张 震 / 责任校对:宣 慧

责任印制:赵德静 / 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>

北京源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 1 月第一次印刷 印张:13

字数:260 000

定价:89.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 能源安全的内涵及预测预警研究的演化分析	2
1.1.1 从能源预警范围的泛化到能源安全定义的延伸	2
1.1.2 国际能源安全及预警文献分析	4
1.2 能源预测模型研究进展	8
1.3 能源预警评价指标体系研究进展	14
1.3.1 单个型指标评价体系	14
1.3.2 聚合型指标评价体系	17
第 2 章 中国能源信息分析和安全趋势研究	19
2.1 中国能源安全总体形势	20
2.2 传统能源安全	22
2.2.1 现状与问题	23
2.2.2 传统能源发展中存在的核心问题	43
2.3 非化石能源	47
2.3.1 现状与问题	47
2.3.2 非化石能源发展中存在的核心问题	77
第 3 章 中国能源安全预测预警模型构建	81
3.1 中国能源安全预警模型设计	81
3.1.1 预警模型能源需求端结构模块	82
3.1.2 预警模型市场贸易端结构模块	84
3.2 模型的连接	96
3.3 模拟基准年设定	97
第 4 章 数据整理、参数估计及情景设计	98
4.1 基年平衡数据表	98
4.2 能源服务需求的计算	99
4.3 各部门能源服务需求采用的计算方法	100
4.3.1 工业能源服务需求	101
4.3.2 交通能源服务需求	102

4.3.3 农业、商业、居民能源服务需求	104
4.4 模型参数校准	105
4.4.1 基准情景设计	105
4.4.2 宏观经济假设	106
4.5 情景分析	110
4.5.1 情景设计假定	110
4.5.2 情景设计定义	110
第5章 能源预警方法及体系构建	113
5.1 指标体系划分	114
5.2 指标解释	114
5.2.1 资源安全	114
5.2.2 生产安全	118
5.2.3 使用安全	119
5.2.4 运输安全	122
5.2.5 消费安全	123
5.3 能源预警计算方法与步骤	126
5.3.1 能源预警的计算方法	126
5.3.2 能源预警的具体实施方式	128
第6章 能源预测预警结果及中国能源安全预警运行机制研究	131
6.1 能源预测结果分析	132
6.1.1 总体发展趋势	132
6.1.2 终端能源构成	133
6.1.3 非化石能源发展	134
6.1.4 电力消费及构成	137
6.1.5 CO ₂ 排放	141
6.1.6 产业结构	142
6.1.7 居民消费	143
6.1.8 模拟结果对比研究	147
6.2 能源预警警情分析	151
6.2.1 资源安全警情分析	151
6.2.2 生产安全警情分析	155
6.2.3 供给安全警情分析	157
6.2.4 运输安全警情分析	159

6.2.5 消费安全警情分析·····	159
6.3 中国能源安全预警运行机制比较研究·····	161
6.3.1 预警机制·····	161
6.3.2 应急响应机制·····	162
6.3.3 能源链式预警展望·····	164
第7章 结论与展望·····	166
7.1 可能的创新点·····	166
7.2 结论汇总·····	166
7.3 研究展望·····	170
附录·····	172
附录一 专家咨询表·····	172
附录二 文献中的能源安全评价体系·····	176
参考文献·····	191

第 1 章

绪 论

本章节讨论了本书的研究背景、主要研究内容与目标，并从国内外能源预警研究进展、能源-经济-环境模型研究进展和能源预警指标体系研究进展三个方面进行了文献调研，可以看出当前的能源安全预测预警模型仍存在如下问题：

1) 从国内外能源预警研究综述来看，问题主要集中于：①能源综合预测预警模型多停留于理论框架方面，预警模型框架的完整性和实用性尚待完善，距离真正的监测及定期发布预警信息的预测预报系统还相距甚远；②只是利用历史数据进行回溯型安全评价的体系已较完整，而与能源综合预测模型相结合的预警式预报系统尚待突破，预警系统与预测系统的对接需要进一步的研究。

2) 从国内外能源-经济-环境模型研究综述来看，目前主要的能源-经济-环境模型迅速发展，但是还存在着不少难关需要攻克。例如，目前混合模型的构建还不成熟，自下而上的技术性思路和自上而下的经济性思路如何在建模过程中协调起来是很大的难题。

3) 从国内外能源预警指标体系研究综述来看，从能源安全的影响因素出发建立的能源预警指标体系对能源安全内涵的诠释不同，因此归纳出的能源安全的影响因素也各有差异，使得最后构建的指标体系也不尽相同；引入“压力-状态-响应”（pressure-state-response, PSR）模型框架构建能源安全指标体系，由于指标间具有因果关系，所以该方法可以反映能源安全指标间的相互联系。

预警是对于某一系统未来的演化趋势进行预期性评价，以提前发现特定系统未来运行可能出现的问题及成因，为危机的防范和化解提供依据。关于预警的研究最早起源于经济领域，法国经济学家 Alfred Fourille 通过对经济进行监测，最先提出了监测预警的思想。到 20 世纪 40 年代，随着雷达、计算机的出现和战争的需要，雷达预警系统应运而生，并正式提出了预警系统的科学概念，随后预警思想和理论方法迅速渗透到粮食安全、环境安全和水资源安全等研究中（郑通汉，2003；James and Robert，2002；陈国阶，1996；Hutchinson，1991）。

能源预测预警引起各国重视源于 20 世纪 70 年代两次世界范围内的石油危机,阿拉伯石油输出国家将石油禁运作为政治武器,致使西方各国经济陷入严重衰退,因此与能源系统相关的监测、预警和分析逐渐成为人们关注的焦点。能源预测预警是指在能源系统运行机制和演化趋势进行预期性评估的基础上,预报不正常的时空范围及危害程度,最终提出防范措施保证能源安全。由于能源预测预警的最终目的是保证能源安全,随着能源安全内涵的不断演变,对能源预测预警体系的构建也提出了新的要求。能源安全最初的概念以稳定原油供应和价格为核心,因此,能源预测预警主要关注能源供应和能源价格两个维度(IEA, 1985)。随后能源安全的内涵不断扩展至技术、公共关系等维度,能源预测预警的研究范畴也随之不断延伸(刘立涛等, 2012; Sovacool, 2012; Kruyt et al., 2009)。但总的来看,能源预测预警的研究内容主要包括能源安全理论、基于预测模型的能源预测和基于安全评价指标体系的能源预警三部分研究内容,许多国家已将能源预测预警制定为国家安全战略的一个重要内容。然而在多数情况下,现阶段国家能源预测与预警研究脱节,客观预测与主管预警存在接口偏差,缺少科学的系统分析。因此,本书试图从能源安全的理论及其演变出发,综述现有能源预测模型和预警评价体系,通过文献分析方法把握当前能源预测预警的研究动态,旨在为完善我国能源预测预警研究体系提供有益参考。

1.1 能源安全的内涵及预测预警研究的演化分析

1.1.1 从能源预警范围的泛化到能源安全定义的延伸

能源预测预警是对能源系统未来的演化趋势做出预期性评价,提前发现可能出现的问题,为采取防范和化解措施提供依据。其目标是:①正确评价和诊断一国能源系统当前的总体运行状态;②正确预测一国能源安全状态的演变并及时发出预警指示;③采取防范化解措施。由此可见,能源安全是能源预测预警的对象,也是能源预测预警研究的核心内容,所以能源安全的内涵是什么,如何对能源安全的状态进行预测,如何针对未来状态进行预警,是当前能源预测预警研究的重点和难点。

正确地把握能源安全内涵,是建立有效能源预测预警体系的基础。自 1974 年,国际能源署(International Energy Agency, IEA, 1985)率先提出以稳定原油供应和价格为核心的能源安全的概念后,随后不同学者和研究机构分别从不同角度就能源安全的内涵提出见解。传统的能源安全定义主要从能源供应和

能源价格两个维度诠释能源安全的内涵。例如, Bohi 和 Toman (1996) 认为, “能源安全是能源价格波动或能源供给中断导致的经济福利损失”。而 Dorian 等 (2006) 将能源安全定义为“以合理的价格保证能源的持续的供应, 从而支持工业和经济的正常运转”。此后随着由能源使用引发的关注点不断增多, 能源安全所涉及的维度也不断拓宽, 特别是 20 世纪 80 年代以来, 随着研究者对全球气候变暖和因能源使用引发的大气环境质量恶化等问题的深入研究, 能源安全的内涵在保障供给安全的基础上增加了生态环境安全的内容, 并由此促成了联合国环境和发展大会的召开、《京都议定书》草案的形成, 以及后续的巴厘岛气候谈判和哥本哈根会议等的召开。张雷 (2001) 将国家能源安全划分为能源供应保障的稳定性和能源使用的安全性两部分。此后, 2001 年美国 9·11 恐怖事件和 2005 年美国卡特里娜和飓风丽塔的发生, 使能源安全的概念进一步延伸到国家基础设施和供应链安全方面, 并推动了美国相关立法 (Yergin, 2006)。由此可见, 能源安全的概念已经以最初的仅考虑供应安全为出发点逐步向着能源安全综合发展观过渡, 其在发展的过程中被赋予了越来越多新的内涵 (崔民选, 2008)。从综合能源安全的角度出发, 国家能源领导小组 (2008) 指出, 能源安全既是经济问题, 又是社会问题, 是关系国计民生、涉及政治、经济、社会和军事的大安全问题。宋杰鲲等 (2008) 提出, 能源安全是指一个国家或地区可以足量、经济、稳定地从国内外获取能源和清洁、高效地使用能源, 保障经济社会平稳健康可持续发展的能力。亚太能源研究中心 (Asia Pacific Energy Research Centre, APERC, 2007) 通过总结之前的研究, 将能源安全归纳为四个维度, 即可利用性 (availability) ——地质因素, 可得性 (accessibility) ——地缘政治因素, 可接受能力 (acceptability) ——环境和社会因素, 可负担能力 (affordability) ——经济因素。Vivoda (2010) 提出, 应将能源安全政策概念纳入能源安全的概念中, 从而建立一个涉及能源供给、需求管理、能源效率、经济、环境、人类安全、军队社会文化、公共关系、技术、国际关系和公共政策 11 个维度的能源安全的概念。Sovacool (2011) 在 Vivoda 研究的基础上, 通过广泛征求专家的意见进一步将能源安全概念拓宽至 20 个维度。史丹 (2013) 又进一步提出能源安全的内涵应与时俱进, 随着世界能源格局的改变, 能源安全已不仅仅是供应安全, 还应包括运输安全、价格合理和高效清洁消费等多个方面。

从上述研究中可发现, 虽然众多学者从不同角度对能源安全的定义进行了阐述, 但是截止到目前, 对能源安全的理解仍未达成共识。主要源于三方面的原因: 首先, 能源安全是一个涉及多学科交叉的复杂性问题, 不同研究者多结合自己的研究背景诠释能源安全, 不同程度地存在随意增加研究范畴等问题。

其次,能源安全不仅是一种状态,而且具有动态性的特征。随着能源系统面临的挑战和人们的关注点的不断变化,能源安全涉及的维度也在不断拓宽,容易出现不同维度之间边界模糊、含义重叠的问题。最后,能源安全的研究需要结合具体的背景,由于经济、环境和能源政策不同,同样的能源安全影响因素对不同国家的相对重要性不同(Alhajji, 2007),所以需要因地制宜,设定研究边界。这里,我们认为能源安全的本质有两个方面:一个是能源系统的风险,另一个是能源系统的脆弱性。能源系统风险是指特定能源系统中所发生的非期望事件的概率和后果,如由于自然灾害或国家政治经济因素使能源供给中断,从而对宏观经济系统造成严重的负面影响。能源系统脆弱性是指在一定社会、经济、文化背景下,某一能源系统对非预期事件表现出的易于受到伤害和损失的性质。能源安全研究旨在评价能源系统的风险,通过改善能源应对风险的抵抗和恢复能力来提高能源安全。

对于能源安全而言,风险表征了非预期事件发生的概率和后果,相对来说它更多考虑了突发事件的危害,对危害管理的主动性和积极性较弱;而能源系统脆弱性应该是能源安全的核心,通过脆弱性分析和评价,可以识别能源安全的威胁因素,分析这些因子是如何相互作用的,可以通过什么样的调控手段提高能源安全程度等。

1.1.2 国际能源安全及预警文献分析

为了定量追踪能源预测预警研究的演变历程及其内在规律性,本研究借助 ISI Web of Science 检索数据库资源进行能源安全及预警研究文献分析。Web of Science 检索数据库是美国科学情报研究所(Institute for Scientific Information, ISI)出版,由 SCI (Science Citation Index)、SSCI (Social Science Citation Index)、A&HCI (Art & Humanities Citation Index)三个独立的数据库整合而成,所收录的文献覆盖了全世界最重要和最具影响的研究成果,是目前世界公认的自然科学领域最为重要的评价工具。本研究利用检索式 TS=“energy security”OR TS=“security of energy supply”OR TS=“energy early warning”对 1990~2012 年以“能源安全”或“能源预警”为主题的文章进行检索,并从文章发表数量、引用频次、研究区域和研究涉及的学科领域等角度对检索结果进行分析。

文献总量反映了一定时期内科研活动的绝对产出,是衡量科研活动的一个重要因子,而引文数量反映了一个领域研究成果被吸收及关注的程度。从 1990~2012 年 ISI Web of Knowledge 数据库中检索得到的 1769 篇文章来看(图 1-1):

自1990年起,以“能源安全”或“能源预警”为主题的文章不仅在文献发表量上逐年攀升,其被引用的频次也呈现逐渐上升的趋势。其中,在1990年到2002年与能源安全相关的研究及文章引用虽逐年上升,但其增速相对缓慢。2002年以后,伴随着格林斯潘低利率政策所引起的房地产泡沫越来越大,以及全球经济开始互联网泡沫后逐渐复苏,国际原油价格从2002年1月31日的最低每桶15.52美元一路飙升至2008年7月11日的每桶147.5美元,上涨幅度达850.4%。此时能源安全问题作为热点问题受到了不同领域专家和学者的关注,以“能源安全”或“能源预警”为主题的文章发表及引用频次迅猛增加。2008年金融危机爆发后,国际原油价格再次出现大起大落,因此到2009年对能源安全的研究及关注再次达到高峰。在随后的三年文献的发表数量虽然有所波动,但依然保持较高的数量。由此可见,随着全球化石能源的耗竭,全球能源供需矛盾的日益凸显,以及全球气候变化的背景下,以“能源安全”或“能源预警”为主题的研究成果逐年攀升,相关研究的关注程度也日益增加。

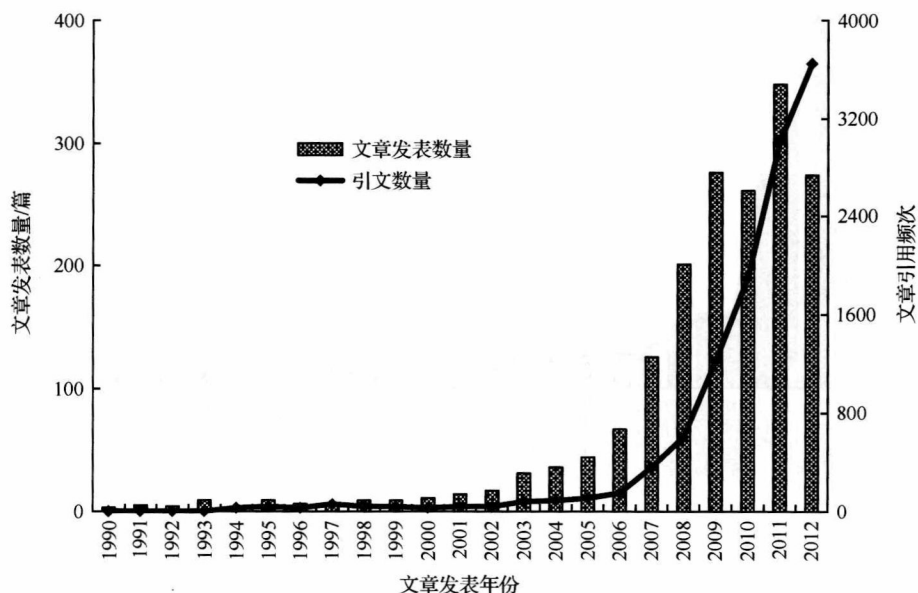


图 1-1 文献年发表数量及引文数量

从研究的学科类型来看(图1-2),目前以“能源安全”或“能源预警”为主题的研究主要涵盖能源燃料科学、环境生态学、国际关系、经济贸易和计算机科学、计量经济学和地缘政治学等多个学科。这是由于能源安全问题是涉及自然资源学、社会学、经济学、地理学等多学科交叉的复杂性问题,同时能源

与社会和经济存在一系列的复杂因果关系和联动效应。因此，从不同视角对能源安全问题进行研究有助于阐明能源系统各因素之间复杂的因果联系，定量把握能源系统安全状态及其演变趋势，从而为科学合理的能源安全战略的制定提供科学的参考依据。从国际关系角度出发，可以分析出如何通过各国协作更好地解决当前全球面临的能源问题。从经济学角度出发，可以分析如何影响能源供需的因素，建立能源模型，从而指导能源的供需管理。从地缘政治的角度出发，可以研究如何减少能源进口中的不安全因素，从而保证能源供应安全。同时在全球气候变化的背景下，能源的终端消费及对环境 and 人群健康的损害问题逐渐得到重视，从环境科学的角度对能源安全问题进行研究的文献逐年增加。

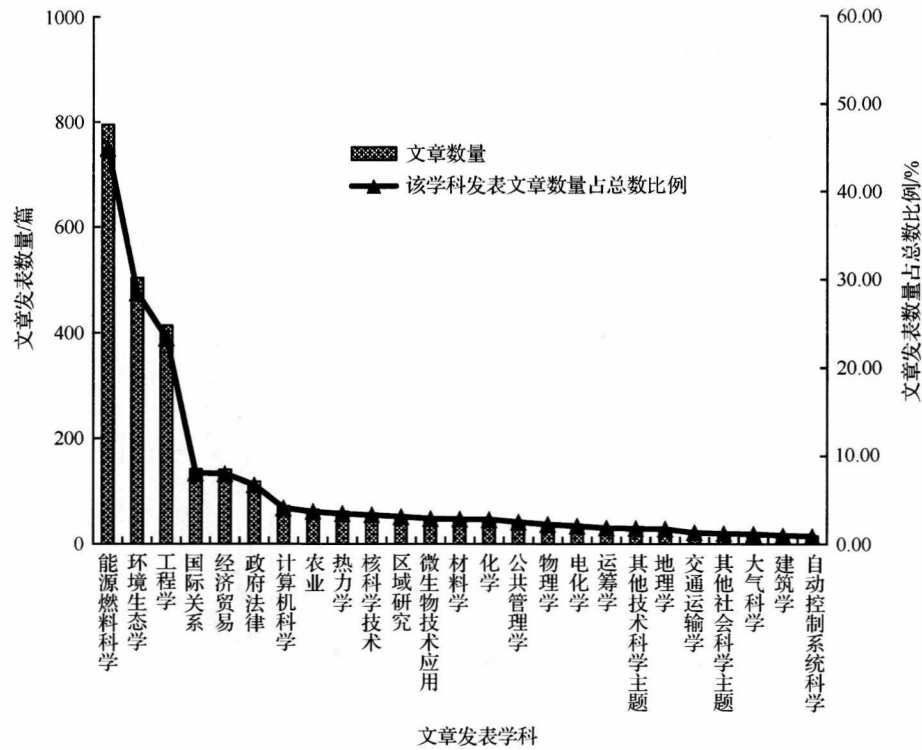


图 1-2 各学科发表文章数量及其占总数比例

从研究的区域来看（图 1-3），目前以“能源安全”或“能源预警”为主题的研究在美国开展得最多，其次分别是中国内地、英国、印度和日本等国家或地区。可以看出，对能源安全研究较多的国家中往往面临能源消耗总量大、能源结构不合理和高度依赖进口的能源问题。因为就全球能源生产与消费格局来

看,能源的存储地与能源的消费地存在严重空间错位,能源消费大国如中国内地、印度等国或地区其内部能源消费量相较存储量表现出严重不足。以石油为例,全球有半数以上的石油被经济合作与发展组织国家消费,但是全球的石油资源却主要集中在中东地区。据统计中东地区石油储量占全球总储量的 54.4%,因此导致中国内地、美国等有超过半数的石油严重依赖进口。为了保障这些能源消费大国的正常的能源供应和社会经济运转,其更加重视对于能源安全这一议题的研究,因此从文章发表的数量来看,这些国家或地区相较其他国家或地区较高。如何使能源的使用不胁迫人类自身的生存和发展成为当前研究的热点问题。

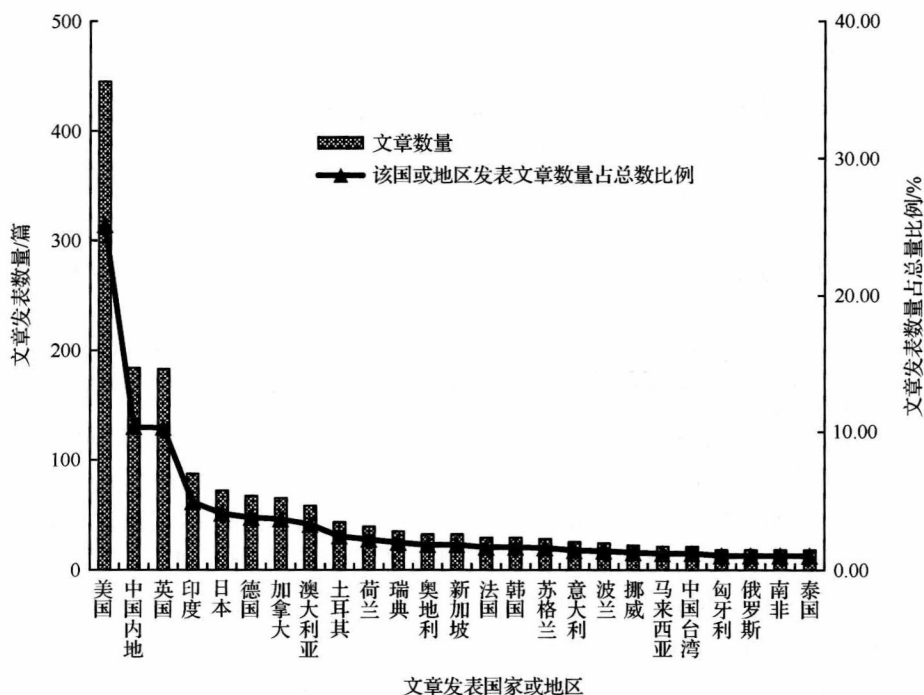


图 1-3 各国家或地区发表文章数量及其占总数比例

由此可见,随着全球化石能源耗竭及由于能源使用造成的环境问题日趋严重,各国对于能源预测预警问题的关注度持续上升,其中又以能源消费量高同时资源禀赋相对贫乏的国家表现得最为显著。从研究的角度上,不同领域学者从国际关系、工程技术、环境生态等不同学科角度切入,对能源预测预警这一复杂性议题进行剖析。其中,从环境科学角度出发对能源预测预警问题的研究

越来越受关注，主要源于全球气候变化的大背景，因此能源使用对生态环境的影响越发受到重视。

1.2 能源预测模型研究进展

能源预测预警是在能源系统运行的过程中，采用科学的评价方法和模型对能源系统运行的相关数据进行分析，对能源系统发展趋势进行预测，以便在危害发生前发出警报，从而为国家能源管理部门提供参考，将能源系统的风险遏制在萌芽状态的一种机制。因此以能源安全为核心的能源预测预警研究实际上包含能源预测和能源预警两方面的工作（王思强，2009）。能源预测是对能源系统的未来形势发展进行预料、估计、分析、判断和推测，是实现能源预警的基础，主要通过构建能反映能源系统内部活动与外部联系的数学的模型实现。当前能源安全问题不仅涉及能源需求和供给，同时也涵盖能源利用导致的环境影响以及能源系统对于经济系统的影响等问题，因此能源预测模型的构建是一项涉及能源、环境、经济综合性模型的工程。

从模型的构建方法来说，能源预测模型可分为数据外推模型和集成结构模型（牟书令和王庆一，2005）。数据外推模型仅仅从数据的相关关系进行外推预测，缺乏对能源过程机理的考虑，主要适用于短期预测。而集成结构模型可以反映变量之间的相互关联与相互影响，但其建模过程相对复杂。从建模思路来看，能源预测模型可以分为自上而下模型（top-down）、自下而上模型（bottom-up），以及混合模型（hybrid）三类（魏一鸣等，2005）。自下而上模型以工程技术作为出发点，着重对能源生产和消费过程中所运用的技术进行详细描述，并以能源消费、能源生产方式为主进行供需预测及环境影响分析（Bhattacharyya and Timilsina, 2009）。但是由于这类模型在本质上属于部分均衡模型，不包含宏观经济模块，所有的宏观经济与结构变量都需要外生确定，因而不能反映政策对宏观经济的影响。目前常用的自上而下模型以各种经济学模型为主，以能源价格和经济弹性作为纽带，集中表现它们与能源消费、能源生产的关系。这类模型能很好地反映价格在经济活动中的作用，且能刻画经济主体间的相互关系和经济活动的反馈，但是这类模型缺乏对能源技术的描述，从而低估技术进步对于社会经济部门的影响。这类模型主要适用于能源规划和宏观经济政策分析，目前应用最为广泛的是基于一般均衡框架的 CGE 模型（表 1-1）。自下而上模型主要包括美国能源部（DOE）的 SAGE 模型、IEA 的 Markal 模型、日本国立环境研究所（NIES）的 AIM/Enduse 模型、奥地利国际应用系统分析研究所

(IIASA) 的 Message-IV 模型、清华大学核能和新能源研究院开发的 TH-3EM 模型和瑞典斯德哥尔摩环境研究所开发的 LEAP 模型等 (张树伟, 2010) (表 1-2)。近年来, 混合模型成为能源预测模型构建的趋势, 混合模型同时融合了自下而上和自上而下两种建模方法, 将能源系统和宏观经济系统链接起来, 从而大大拓宽了研究的范畴。其在系统地描绘经济主体与环境之间相互关系的基础上, 同时对能源生产和消费模块进行刻画, 因此可以实现能源、经济和环境之间的交互作用以及能源系统的准确仿真。根据模型在相同功能部门处理方式的不同, 混合模型可以分为软连接和硬连接两种 (Gürkan and Reinhard, 2003)。在软连接中, 信息传递与控制都通过模型使用者完成, 其优势在于易于操作、公开透明、连接思路清晰, 但是计算效率较低, 连接过程的主观判断性较强。而硬连接中所有模型间的信息处理和交互都通过程序自动完成, 在模型重叠的部分使用新的算法来保持一致, 因此硬连接的输出结果较为一致, 但是以取消模型功能和各自独立性为代价。目前常用的混合模型主要包括 MARKAL-MACRO 模型、ETA-MACRO 模型等 (表 1-3)。

表 1-1 自上而下的能源预测模型

模型名称	开发者和年份	研究区域	涵盖能源部门	动态性	研究内容
WW	Whalley 和 Wigle (1991)	全球	3	静态	研究环境政策对于 CO ₂ 减排的效果影响
RICE	Nordhaus 和 Yang (1996)	全球	1	完全动态	分析不同国家气候变化政策的减排效果
BFR	Böhringer 等 (1998)	欧盟	23	静态	互补形式在 CGE 模型中的应用
MS-MRT	Bernstein 等 (1999)	全球	6	完全动态	气候变化政策规定对国际贸易方面的影响, 主要包括对经济福利、国际贸易、投资的影响的区域分布规律, 以及附属国对非附属国 CO ₂ 排放限值的溢出效应、碳泄漏、贸易与工业输出方面的变化及对国际排放权交易的影响
改进的 CGE 模型	Galinis 和 Marko (2000)	荷兰	1	完全动态	运用 CGE 模型研究了在不同的经济增长、能源价格与核能发展潜力的情景下, 荷兰政府应如何调整国家未来核能发展的政策与策略
改进的 CGE 模型	Francisco 等 (2009)	西班牙	1	静态	西班牙燃油消费税对 Extremadura 区域的影响

表 1-2 自下而上的能源预测模型

模型类型	模型名称	研究机构	模型结构	研究内容
能源系统核算模型	MEDEE	法国能源经济研究所 (IEPE)	模型共划分为工业、交通运输、居民消费、服务业和农业五个部门	对技术有详细的描述，反映了技术的潜力，可直接评价技术选择的成本。但是该模型缺少经济分析，未能考虑技术成本
	MED-PRO	法国研究所	基于 MEDEE 模型，增加了对于电力负荷和温室气体排放的模拟	在 MEDEE 模型基础上增加了对温室气体排放的预测和电力负荷的模拟，其中温室气体排放预测采用 UNFCCC 提供的方法
	LEAP	瑞典斯德哥尔摩环境研究所和美国波士顿特列斯 (Telles) 研究所	由能源需求、能源转化、资源分析、环境影响评价和费用分析五部分组成	拥有灵活的数据结构，同时内置可修改的技术和环境数据库。但是很难反映各经济部门的相互影响作用，以及微观因素对于宏观因素的反馈影响
能源系统动态优化模型	MARKAL	国际能源机构能源技术系统分析项目组 (ETSAP) 与国际能源署 (IEA)	包括费用函数、安全函数、斜率函数、环境函数、核能函数、化石能源函数、非可再生能源函数和可再生能源函数 8 类函数，各种能载体的平衡约束、系统总投资增长约束等 21 类约束方程	能对能源系统中各种能源开采、加工、转换和分配环节以及终端用能环节进行详细的描述，模型的优化目标是规划期内总成本最低，但是各部门的能源服务需求是外生给定，因此不能反映价格对能源服务需求的影响
	MESSAGE	奥地利国际应用系统分析研究所 (IIASA)	提供了一个能源系统框架：从资源的获取、进出口、转化、运输和分配，到能源终端服务提供如灯光、空间调节、工业生产过程和运输	所有的热生成、可再生能源、存储和转换以及多重传输技术都可用 MESSAGE 模拟为碳封存
	AIM/end-use	日本国立环境研究所 (NIES)	模拟一个经济体中的能量流和物质流，从一次能源和材料的供应，通过转化以及二次能源和材料的供应，到满足终端服务	模型考虑了技术进步对减排政策制定及减排成本的影响，但是未将未来行为纳入模型的考虑范畴

续表

模型类型	模型名称	研究机构	模型结构	研究内容
能源系统 仿真模型	SAVE Production	荷兰能源研究中心 (ECN)	通过构建终端节能 技术模块和热电联 产模块模拟能源技 术改进对于能源系 统的影响	模型考虑了能源价格变动及能 源政策实施引起风险、心理效 应因素,但是这些参数主要源 于专家判断,缺乏实证基础
	POLES	法国国家研究中心 (CNRS) 工业经济 研究实验室(LEPII) 领导,经济学家 Patrick Criqui 开发	能源供给与需求通 过能源市场连接, 同时将世界划分成 47 个国家或地区, 并为这些国家或地 区规划相应的年度 能量平衡	模型可以反映能源效率改善对 于能源终端需求的影响
	CIMS	加拿大西蒙弗雷泽 大学能源和材料研 究小组	基于 ISTUM 模型 发展而来,涵盖了 所有能源需求和供 给部门	基于市场异质性、决策者偏好 和无形成本与效益三个参数对 原有模型进行了扩展,但是行 为数据和偏好数据收集是该模 型的难点

表 1-3 混合模型

模型名称	研究者及年份	国家	研究领域	模型的基本结构	研究内容概述
MARKAL- MACRO	美国 Brookhaven 国 家实验室和斯坦福 大学, 1992	美国	经济影响	MARKAL 模型 与 MACRO 模型	以规划期内消费的总贴现 效用最大为目标, 将 MARKAL 模型与 MAC- RO 模型通过能源服务需 求进行耦合, 从而建立一个 动态非线性规划模型
ETA-MARCO	Manne 和 Richels, 1978	美国	能源系统 优化	ETA 模型与 MARCO 模型	采用动态非线性优化程 序, 用以研究能源供给增 长、煤及原油生产的环境 约束、替代能源的有效性