

# 中国能源与水资源保障风险综合评价研究的若干问题

郑景云, 何凡能, 吴文祥

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 能源与水资源保障风险综合评价研究是当前国际综合风险防范研究的一个热点领域, 不仅是中国社会实现可持续发展与构建和谐社会所亟需解决的一个重要科学技术问题, 也是中国当前科技创新体系的一个重要内容。本文介绍了能源与水资源保障风险综合评价研究的目标和内容, 构建了风险评价的概念框架, 分析了综合风险评价研究中存在的主要技术难点和问题, 以期为中国进一步开展能源与水资源保障综合风险评价研究提供基础。

**关 键 词:** 能源; 水资源; 保障风险; 综合评价; 中国

## 1 引言

人类已进入“风险社会”(Risk Society), 与“风险”共存是人类必须面对的挑战。为此“风险管理”(Risk Governance)日益受到重视, 风险综合评价也成为当今国际社会及学术界的关注焦点。经济合作与发展组织(OECD)认为: 支撑人类生存的许多重要系统在 21 世纪将变得更为脆弱, 许多系统风险正因此而“凸显”(Emerging); 自然灾害、技术与工业事故、传染病、食品安全及恐怖主义与计算机犯罪将是主要的风险源, 并且可能对卫生服务、能源、淡水与食物供给, 信息与电讯沟通等人类赖以生存的基础生命线系统产生严重的影响, 从而导致一连串的灾难性事件出现<sup>[1]</sup>。能源和水资源是决定一个国家经济和社会可持续发展的重要基础资源, 在国民经济发展中具有极其重要的战略地位。然而, 能源和水资源保障风险正制约着中国和平崛起战略的实施及构建和谐社会目标的实现。

能源是维系世界经济命脉, 世界能源理事会前主席 Rosario 认为保障能源的持续供给是世界能源行业面临的五大挑战之首。近年来, 能源保障风险更是与可持续发展和温室气体排放等问题交织在一起而成为全球关注的焦点。根据《BP 世界能源统计 2006》的统计数据显示: 全球主要化石能源中, 煤炭、石油和天然气的剩余可采储量分别约

为  $9090.6 \times 10^8$  t、 $1636 \times 10^8$  t 和  $179.8 \times 10^8$  m<sup>3</sup>, 可分别供开采 192 年、41 年和 63 年, 其中石油与天然气在 21 世纪前半叶就将趋近枯竭<sup>[2]</sup>。而中国资源人均拥有量远低于世界平均水平, 中国煤炭、石油、天然气人均储量分别为世界人均水平的 70%、10% 和 5%, 按目前能源消费量来看, 它们分别仅可供开采 60 年、13 年和 40 年<sup>[3]</sup>。国内能源供需矛盾加剧, 也逐渐激化了来自外部的能源供应风险和挑战, 特别是石油资源的严重短缺和进口比重的不断攀升更是成为了国际石油供给关注的焦点<sup>[4]</sup>。随着中国经济发展对能源需求量的增加, 中国的能源储量与未来几十年的发展需求之间存在着一个巨大的缺口, 而且这个缺口将可能会越来越大。

淡水资源是保障人类生存的基础, UNESCO 等联合国有关机构于 2006 发表的世界水资源报告指出: 全球用水量在 20 世纪增加了 6 倍, 增长速度是人口增速的 2 倍; 受资源限制、环境变化、社会经济发展、管理不善等的影响, 水资源危机正日益加重; 目前世界上有 1/5 (约 13 亿) 的人仍然缺乏安全饮用水, 约有 26 亿人无法保证用水卫生<sup>[5]</sup>。从人均拥有量来看, 中国是一个能源与水资源贫乏国, 人均水资源量约为世界人均量的 1/4; 加之中国正处于社会经济快速发展阶段, 因此中国水资源保障形势也更为严峻。因此, 开展能源与水资源保障风险的综合识别、评价、防范技术研究被作为中国社会实现

收稿日期: 2010-01; 修订日期: 2010-05.

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2006BAD20B06)。

作者简介: 郑景云(1966-), 男, 福建人, 研究员, 从事自然地理研究。E-mail: zhengjy@igsr.ac.cn.

可持续发展与构建和谐社会所急需解决的一个重要科学技术问题列入了《国家中长期科学和技术发展规划纲要》，成为了中国当前科技创新体系的一个重要内容<sup>[6]</sup>。

## 2 能源与水资源保障风险综合评价研究的目标及内容

### 2.1 能源与水资源保障风险界定

所谓能源或水资源保障风险，通常指在一定时空范围内，因能源或水资源供给不足而致的无法完全保障承险体(如人员生计、农业生产、社会经济发展、生态)的用能或用水需求，从而使它们遭受某种程度危害的可能性及其可能导致的损失。由于影响能源或水资源保障的因素很多，既包括影响供给的各个因素(如区域资源量、外调资源数量及其保证率等等)，又涉及承险体及其需求变化等因素，而且各个因素之间还相互影响，因而这种由影响供需平衡各因素而致的风险实质上是一种系统性的综合风险。

### 2.2 能源与水资源保障风险综合评价的研究目标

能源与水资源保障风险综合评价的研究目标主要是要建立能源与水资源保障风险的识别、分类与综合评价的指标体系，构建综合评价模型，以辨识各类风险发生的可能性(通常用概率表示)、影响程度、影响部门和区域及其可能造成的损失大小，并编制不同时空尺度的风险图，辨识不同类型的高风险区；从而有针对性地提出不同区域、不同行业的能源和水资源保障风险防范技术体系；为不同层面、不同部门的风险综合管理预案编制及风险防范提供科学依据。

### 2.3 能源与水资源保障风险综合评价的研究内容

从风险的含义可知，风险的高低取决于危险事件的发生概率及其影响后果的大小，即风险程度为危害事件的发生概率及其后果的函数<sup>[7]</sup>：

$$R=F(P,O) \tag{1}$$

式中： $R$  为风险程度； $P$  为危害事件的发生概率； $O$  为危害事件所造成的后果。其中，危害事件的发生概率通常与其所产生影响的严重程度紧密相关，这种紧密的相关关系通常称为危险性；而危害事件的发生后果则与暴露于某种既定危险事件中的承险体脆弱性及承险系统的抗险能力密切相连。亦即：

$$R=H\times(V/C) \tag{2}$$

式中： $R$  为风险程度； $H$  为某种既定危害事件的危险性； $V$  为暴露于某种既定危险事件中的承险体脆弱性； $C$  为承险系统的抗险能力。由此可见，要评价某种风险的高低，必须先评价危害事件的危险性、承险体的脆弱性和承险系统的抗险能力。

能源与水资源保障风险主要源于资源供需关系的失衡。其中供给方面主要表现为资源供给不足或时空结构失衡，可用资源供给的数量、质量及其时空结构与稳定等指标来衡量；而且由于水和能源的供给既包括自给又包含外来的供给，因而对一地而言，资源的自给程度也极为重要；这些指标及其相互作用决定了资源供给作为致险因子的危险性。需求方面涉及 3 个主要领域，分别是人员生计维系、经济生产和社会发展及生态服务功能维系；因而人员、社会经济系统等的规模、数量、结构、密度及其地理分布特征与对资源需求的可接受水平、以及生态系统结构等因素既决定了其对资源的需求量，同时其组合与相互作用等因素又决定了承险系统的脆弱性(包括承险客体的易损性与承险系统的恢复能力等)。这决定了能源与水资源保障风险评价的研究内容：①厘清影响能源与水资源供需及承险系统脆弱性的主要指标，构建评价能源或水资源供需平衡和承险系统脆弱性的指标体系；并分析这些指标之间的逻辑关系，构建定量评价致险因子危险性 & 承险系统脆弱性的算法，对能源与水资源保障风险的致险因子危险性和承险系统脆弱性进行定量评价；②分析因能源或水资源供需时空结构失衡而造成的对人员生计维系、经济生产和社会发展及生态服务功能维系的影响过程和机理，进而构建风险损失评价模型，对不同时段、不同区域的风险损失进行定量评价；③综合分析致险因子危险性、承险系统脆弱性及风险损失的时间变化和空间分布特征，编制能源与水资源保障风险时空分布图，辨识高风险时段和高风险区域，为制定风险综合防范方案提供科学依据(图 1)。

## 3 能源与水资源保障风险综合评价的若干关键问题

### 3.1 供给与需求估算

决定能源与水资源保障风险的核心是供需平衡，因而准确估算、预测能源与水资源的供给和需求是能源与水资源保障风险综合评价研究所必须

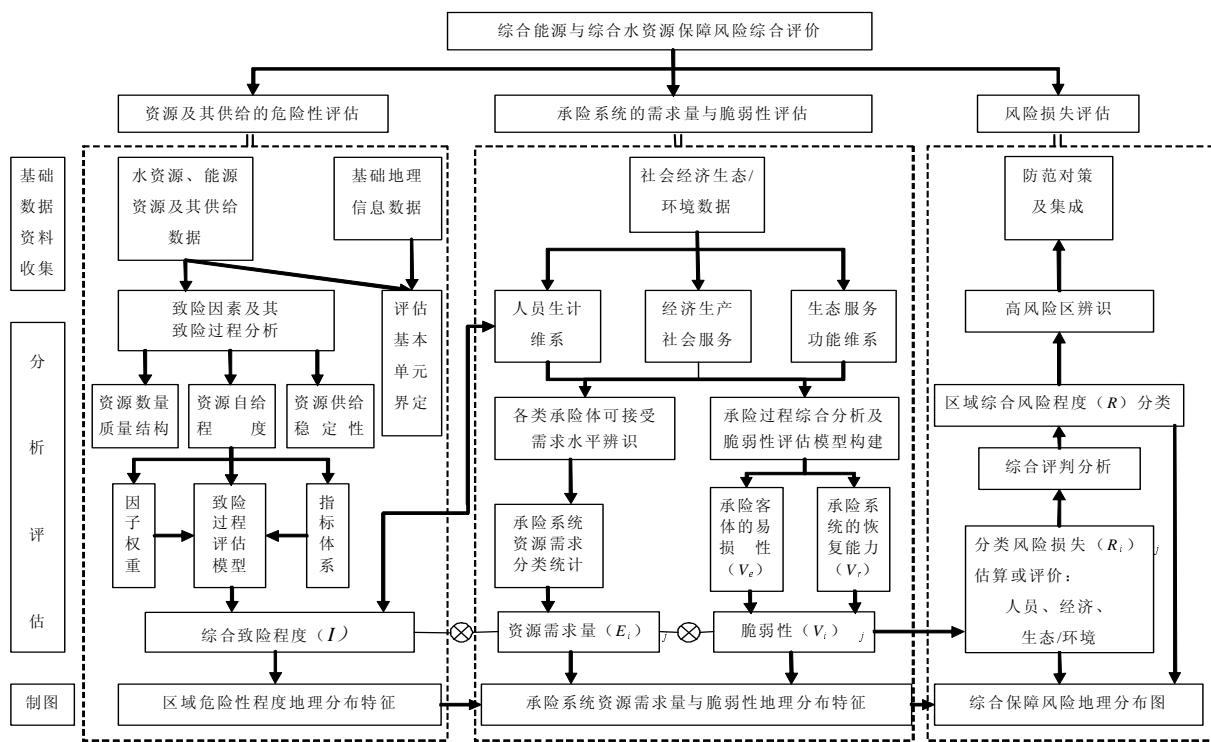


图 1 能源与水资源保障风险综合评价的主要内容及其流程

Fig.1 The process and main contents of an integrated evaluation of security risks of energy and water resources

首先解决的关键问题。

(1) 能源供需估算。制约能源供给的因素很多,对一地而言,其最主要的因素有资源的禀赋(包括存量与结构)、开发与生产能力、运输与调配能力、自给程度、环境保护压力等;由于这些因素不但存在相互影响、且关系极为复杂,故至今尚未建立定量估算区域能源可供量的方法,因而目前一般多用生产量和区际间净调入量的估算替代。能源需求估算通常可采用模型进行估算,可供采用的有自上向下一般均衡模型、部分均衡模型、动态经济学模型以及基于分部门技术详细描述的下自向上模型。目前中国一般采用 IPAC-AIM 模型估算能源需求。该模型由国家发展和改革委员会能源研究所研发,根据中国的能源需求及其相关政策,并针对中国地区设计,是一个典型的自下向上部分均衡模型。它包括能源服务需求预测模型、能源效率估算模型和技术选择模型 3 个子模型。其中能源需求部门分为工业、农业、服务业、民用和运输部门,这些部门又被分为若干子部门,目前模型中有 42 个部门。模型中可供选择的技术共 500 多项,包括现有及未来可能利用的先进技术;模型以部门产出(如钢铁产量等)作为主要的驱动因素,以费用最少原则,结合满足特定的能源服务需求选择技术组合;按部门估算

能源需求量,而后按区域进行汇总。

(2) 水资源供需估算。一地的可供水量主要包括地表、浅层地下水可供量及其他水源可供量等三部分;根据《水资源供需预测分析技术规范》<sup>[8]</sup>规定:可供水量计算应在水资源评价的基础上,通过分析确定主要水利工程和流域主要控制节点的历年逐月入流系列以及各分区的历年逐月水资源系列,结合不同水平年上游用水量分析,得出主要工程和控制节点不同水平年的来水量系列;根据区内供水工程的相互关联关系组成区域供水系统,并依据系统来水条件、工程状况、需水要求及相应的调度方式与规则进行调节计算,采用对长系列进行系统分析的方法或典型年分析的方法计算不同水平年、不同供水方案的可供水量,进而确定不同年型的可供水量;其中地表供水量以由水力联系的地表水供水工程所组成的供水系统为调算主题,进行自上游到下游,先直流后干流逐级调算。水资源需求量估算应以各地社会经济发展指标,如人口(包括总人口、城镇人口、农村人口)与城市化率、经济发展指标(包括地区生产总值及其组成结构、工业总产值及其发展速度等)、农业发展与土地利用指标(包括农田、林果地、牧草地等的灌溉面积、鱼塘面积、牲畜存栏数、耕地面积、主要作物的播种面



积、农业产值、粮食产量等)为基础,采用定额法或趋势预测法估算,同时用产品产量法、人均综合用水量预测法、弹性系数法等进行复核,在综合分析的基础上,合理选定估算结果。其中各地社会发展指标均应以前有关主管部门预测或估算结果为依据。

### 3.2 失事概率及危险性评估

危险性评估的核心问题有 2 个:①估算特定时期(如现状年、极端丰富、短缺等典型年等)、特定区域(如省、区、市或水资源二级区等)的能源或水资源保障程度(或短缺程度),一般用保障率或短缺率表示;②估算出现能源或水资源不同保障程度事件的发生可能性,通常用事件发生概率表示。当然由于承险对象不同,因此能源与水资源保障程度可针对区域承险对象的不同而设置多个或多层次指标,然后再进行综合评价。但由于能源和水资源保障风险来源多样,致险因子多、且往往存在交互作用,致险过程和机制极为复杂,且存在不确定性;因此,如何从风险因子本身及受风险影响的经济与社会系统出发,分析风险产生原因、影响方式以及危害程度,建立起致险因子和可能造成的潜在损失之间的因果关系和影响机制,从而构建能源和水资源保障风险致险因子指标体系是能源与水资源保障风险评估研究的一个重要技术难点。

以能源保障风险综合评估为例,能源系统是一个复杂的系统,影响能源保障除资源性因素外,还有技术发展、市场波动等多种因素,这些因素具有很大的不确定性;同时影响能源需求的主要因素(如经济、人口、技术等)变化也具有巨大的不确定性。目前国内外较常采用的能源危险性分析方法主要有类比法、外推法、因果分析法和情景分析法等。但由于能源和水资源供需往往受到许多因素的制约,并且这些因素之间又保持着错综复杂的关系,因此单独采用单一方法或指标往往存在较大的不确定,一般都需要同时采用多种方法进行综合分析。如王富强等<sup>[9]</sup>在分析中国水资源短缺风险时,就同时采用区域缺水率(缺水量与需水量之比,反映区域总需水的未满足程度)和人均缺水量(缺水量与人口水量之比,反映人均缺水状况)来共同表征一个区域水资源短缺程度,然后根据各指标的统计分布特征确定各个评价指标的分类标准,依据隶属度分类标准计算各指标隶属度;并结合各指标隶属度分类标准,采用离差权重法赋权计算区域缺水程度

的综合隶属度,采用对综合隶属度进行分类的方法表征各区域水资源短缺的危险性水平。

### 3.3 承险体的脆弱性评估

能源与水资源保障风险的承险体主要为区域社会经济系统。由于承险体类型多样,动态性强,因而其脆弱性的度量也具有多层次的特征。虽然目前学术界对如何定义承险体的脆弱性还存在较大争议,但从其内涵看,脆弱性可以根据其内涵的层次性进行度量<sup>[10]</sup>。

对能源与水资源保障风险的承险体而言,其脆弱性主要有 2 个层次:①作为风险构成主要因素的内在脆弱度,它主要由能源与水资源使用区域(或行业、部门等)的结构与各类承险体对危险性程度的可接受水平决定;②承险体及其所在承险系统对致险因子的适应性与恢复能力。其结果通常综合表现为各类承险体受风险事件冲击时的损失程度,如因缺水而导致工农业损失程度、人员生计受影响程度等。因而一般情况下,可用单位资源短缺造成的各种损失,如单方缺水经济损失量(经济损失与缺水量之比)、单方缺水粮食损失量、单位标准煤短缺造成的经济效益损失(经济损失与能源短缺量之比)等指标作为承险体脆弱性的评估指标。

## 4 结语

能源与水资源保障风险的综合防范是当前国际综合风险防范研究的一个热点领域。然而,由于影响能源与水资源保障风险的因素众多,变量之间的关联性强,因而对其进行综合评价是一个涉及多学科、系统性的复杂问题,这就要求评估者在深入分析能源和水资源保障系统风险属性和风险特性的基础上,明晰能源与水资源保障风险因子间的复杂关系及其影响程度,构建系统而综合的评价体系,并使体系中每一类、每一个指标本身具有不同的性质和特点,可从不同的层面和角度来说明问题,同时又要求这些指标之间具有相互联系,以达到从多方面综合反映评价的内容。

虽然中国的综合风险防范技术研究尚处于起步阶段,但近年来,随着中国社会经济的迅猛发展,能源与水资源的风险问题已初显端倪,并得到政府及学术界的高度重视,不同学科从自身的学科特点出发也开展了一些相关的研究工作<sup>[11-14]</sup>,但综合性的研究还远远不够,这与中国经济和社会发展对

能源与水资源综合保障风险防范的需求还相去甚远。因此,迫切需要加强不同学科的交叉融合,从综合风险防范的角度,对能源与水资源保障风险评估进行全面系统的研究,真正做到理论与实践相结合,为国家科学制定能源与水资源发展战略、实现社会经济的可持续发展提供理论依据和政策建议。

参考文献

[1] OECD. Emerging Systemic Risks in the 21st Century: An Agenda for Action. Paris. OECD Publications Service, 2003: 1–291.

[2] 谢力. BP 世界能源统计 2006. 国外石油动态, 2006(13): 1–99.

[3] 陈佳贵. 缓解能源供需矛盾, 确保我国能源安全. 中国经贸导刊, 2008(28): 5–8.

[4] 蔡国田, 张雷. 中国能源保障基本形势分析. 地理科学进展, 2006, 25(5): 57–66.

[5] The United Nations World Water Development Report 2. <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr2/pdf>. [2006–04–

28]. 世界水资源报告.

[6] 国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006–2020 年). [2009 –11 –3]. <http://download.gongkong.com/file/2006/3/31/20062020.pdf>.

[7] 刘燕华, 葛全胜, 吴文祥. 风险管理: 新世纪的挑战. 北京: 气象出版社, 2005: 1–6.

[8] 中华人民共和国水利部. 水资源供需预测分析技术规范 (SL 429–2008). 2009:1–60.

[9] 王富强, 韩宇平, 汪党献, 等. 区域水资源短缺风险的 SPA–VFS 评价模型. 水电能源科学, 2009, 27(4): 31–34.

[10] Birkmann J. eds. Measuring Vulnerability to Hazards of National Origin. Tokyo: UNU Press, 2006.

[11] 苏飞, 张平宇. 中国区域能源安全供给脆弱性分析. 中国人口.资源与环境, 2008, 18(6): 94–99.

[12] 郭义强, 葛全胜, 郑景云. 中国能源保障水平分区初探. 资源科学, 2008, 33(3): 336–341.

[13] 左其亭, 吴泽宁. 基于风险的黄河流域水资源可再生性评价指标. 人民黄河, 2003, 25(1): 38–40.

[14] 韩宇平. 水资源短缺风险管理理论与实践. 郑州: 黄河水利出版社, 2008: 1–136.

## Several Problems in the Study on Integrated Evaluation of Security Risks of China’s Energy and Water Resources

ZHENG Jingyun, HE Fanneng, WU Wenxiang

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The study of integrated evaluation on security risks of energy and water resources is a hot subject in the international integrated risk governance researches. This study not only concerns about the achievement of sustainable development and the building of a harmonious society, but also the establishment of the scientific and technological innovation system in China. This paper introduces the objective and contents of the study on integrated evaluation of energy and water resources’ security risks, build a conceptual framework of risk evaluation, and analyzes main technical difficulties and problems in such studies. The purpose of this paper is to provide the basis for further studies on the integrated governance of energy and water resources security in China.

**Key words:** energy resources; water resources; security risk; integrated evaluation; China

本文引用格式:

郑景云, 何凡能, 吴文祥. 中国能源与水资源保障风险综合评价研究的若干问题. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1027–1031.