

能源安全综合评价方法探讨

吴初国¹, 何贤杰², 盛昌明², 刘增洁¹, 万会³

(1. 国土资源部信息中心, 北京 100812; 2. 国土资源部咨询研究中心, 北京 100035;
3. 国土资源部储量评审中心, 北京 100035)

摘要: 能源安全是指一个国家或地区可以获得稳定、足量、经济、清洁的能源供给, 以满足需求, 保障经济社会稳健运行和持续、协调发展的能力和状态。它可用加权综合模型计算得来的“能源安全度”指数进行描述, 取值范围最高为1, 最低为0, 分值越高越安全。研究表明, 现实情景下, 我国能源安全度平均为0.7125, 处于“基本安全”状态。未来发展规划得当, 措施得力, 到2020年、2030年能源安全度可提高到0.8411、0.8477, 进入“安全”区间。若遇针对我国的能源封锁, 则能源安全度可能会降至0.5520的“不安全”区间。解决我国能源安全问题的关键, 主要是增加战略储备、实行供应多元化、加强地质勘查、发展替代能源、提高能源效益, 而且能源外交也要摆在显著位置。

关键词: 能源资源; 能源安全度; 综合评分法; 熵权系数法

中图分类号: F407.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2011)06-0964-07

能源是支撑发展的战略资源, 对能源供应的安全形势及时作出科学的评判是资源和经济管理的一个重要基础。一个国家的能源安全状况, 不仅仅是资源占有量的高低, 还表现在影响能源供应的持续性、稳定性、经济性、清洁性等各个方面^[1], 因此, 需要综合考虑各方面的因素, 从多角度、多方位进行全面的综合判断。而其中的关键即是石油、天然气、煤炭、核能等多元结构下的能源供应保障程度的量化问题^[2]。缺乏定量化的描述和评价工具, 只得通过感性认识和历史经验来判断能源形势, 是当下迫切需要解决的技术性难题之一。本文对能源安全综合定量评价方法进行探讨。

1 能源安全度的标准界定

1.1 能源安全的概念与内涵

能源安全问题由来已久, 在全球化条件下, 当前世界所面临的能源安全问题既继承了传统认识的合理成分, 又呈现出了与历次石油危机明显不同的新变化^[3]。能源供应充足、稳定仍是能源安全的内在核心, 可承受的、合理的能源价格仍是能源安全的重要标准, 清洁地利用能源成为了能源安全的新基本要求。因此, 能源安全就是指一个国家或地区可以获得稳定、足量、经济、清洁的能源供给, 以满足需求, 保障经济社会稳健运行和持续、协调发展的能力和状态^[4-5]。

这里, 对于能源安全的状态, 可用稳定性、足量性、经济性、清洁性进行描述。稳定性是指可以持续地、可靠地获得所需要的能源; 足量性, 是指在能源数量上和质量上能满足经济

发展的需要;经济性是指获取成本合理,确保以可接受的成本享有充足的能源供给;清洁性是指能源资源的开发与利用不对生态环境构成威胁。

能源安全既是一种状态,也是一种风险防范能力。描述这种能力,可分解为 5 个方面:国内资源保障能力,国内生产供应能力,国际市场获取能力,国家调控和应急能力,环境安全控制能力。

1.2 能源安全度的等级划分

能源安全度是用以综合反映一个国家或地区某一时期的能源安全状况全貌的无量纲化指数。依据其 0~1 的取值范围,按 0.2 的步长,将能源安全状况划分为 5 个等级:能源安全度在 $[1, 0.8)$, I 级,安全;在 $[0.8, 0.6)$, II 级,基本安全;在 $[0.6, 0.4)$, III 级,不安全;在 $[0.4, 0.2)$, IV 级,严重不安全;在 $[0.2, 0.0]$, V 级,能源危机来临。如果用信号灯表示,则相应地为:绿灯表示安全,蓝灯、黄灯、橙灯表示安全程度逐步下降,风险逐步加大,红灯表示已处于危机之中。

2 评价方法

2.1 评价对象

目前被经济地利用的能源以煤、石油、天然气、核能和水能为主,其中水能是再生性能源,其他 4 种均为不可再生能源,而对能源安全的担忧主要表现在不可再生能源上^[6],因此,可选择煤、石油、天然气、核能作为能源安全综合评价的主要对象。

2.2 指标体系总体框架

根据能充分反映能源安全的基本内涵、能综合体现能源战略的主要目标、能客观描述能源形势的变化趋势、且指标数量不宜过多(以不多于 10 个为宜)的设计原则,分别在资源管理、行业发展、国际合作、应急调控、环境保护等 5 个领域邀请了 44 位专家学者,通过召开专家座谈会、书面问卷调查、文献标题词频检索等多种形式,在课题组预先提出的指标体系的基础上,进行充分酝酿和讨论,最后确定了由国内资源保障能力、国内生产供应能力、国际市场获取能力、国家应急调控能力、环境安全控制能力等 5 类 10 个核心高频指标构成的能源安全综合评价指标体系(表 1)。该体系采用“综合指数—基本指标—要素指标”的层次框架,要素指标反映各项影响因子的变化,基本指标反映某一方面的变化,综合指数反映总体情况的变化,如此,由要素指标层逐级向上收敛,一层套一层地递进推演,最终形成三级框架的逻辑结构。

表 1 能源安全评价指标体系

Table 1 Indicator system for energy security appraisal

综合指数	基本指标	要素指标
能源安全度	国内资源保障能力	综合能矿储采比
		综合能矿储量替代率
	国内生产供应能力	一次能源产量占世界总产量比例
		一次能源自给率
	国际市场获取能力	一次能源进口量占世界总进口量比例
国家应急调控能力	综合能矿资源储备水平	综合能矿价格
		综合能矿消耗强度
	环境安全控制能力	化石能源消费 CO ₂ 排放量
		清洁能源消费量比重

注:“综合能矿”即为“煤、石油、天然气、天然铀”等 4 种能源矿产的合计。

2.3 指标权重与参评标准

指标权重的确定采用 Delphi 法解决。为避免单个指标支配整个指数,须对指标权重设定上下限,10 项要素指标的单个权重不能超过 20%,也不能低于 5%;5 项基本指标的单个权重不能超过 30% 和低于 10%,以保证权重的分配更加合理,既体现差别又相对均衡(表 2)。

参评标准,就是对评价指标设定的“标准分”或“满分”,是衡量指标运行情况好坏的参照尺度。由于能源安全的定量评价是一项新的探索,在国际和国内均缺少现成的、成熟的评价方案和参考标准。这里,除“综合能矿资源储量水平”指标延用了欧盟国家 90 d 的储备保障标准外,其他指标主要根据其对能源安全的正向性、负向性、适中性,分别以指标统计数据的历史最高水平、最低水平、平均水平作为参评标准(表 2)。

表 2 评价指标的参考标准与权重分配

Table 2 Referencable criteria of factors and weight distribution

指标名称	参考标准	德尔菲法指标权重
综合能矿储采比	100 a	0.16
综合能矿储量替代率	3 倍	0.12
一次能源产量占世界总产量比例	15%	0.13
一次能源自给率	100%	0.09
一次能源进口量占世界总进口量比例	8%	0.12
综合能矿价格	15 美元/MMBtu	0.09
综合能矿资源储备水平	90 d	0.10
综合能矿消耗强度	0.95 t 标煤/10 ⁴ 元 GDP	0.07
化石能源消费 CO ₂ 排放量	22.5 × 10 ⁸ t	0.05
清洁能源消费量比重	40%	0.07

2.4 能源安全度计算方法

采用综合评分法、熵权系数法两种方法计算,其结果相互比较印证。

2.4.1 综合评分法

某一年度的能源安全度,为当年度 10 项要素指标的归一化评价分值与该指标权重系数的乘积之和。计算公式如下:

$$S_i = \sum_{j=1}^{10} (w_{ij} \times v_{ij}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

式中: S_i 为第 i 年能源安全度, w_{ij} 为第 i 年、第 j 个指标的德尔菲法权重系数, v_{ij} 为第 i 年、第 j 个指标的归一化评分值。

2.4.2 熵权系数法

采用表 1 中 10 项指标的历年统计数据来评价某年(1988—2008 年,共 21 a)的能源安全度。记第 i 个指标第 j 年的统计值为 r'_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$),形成的原始指标矩阵为 $R' = (r'_{ij})_{m \times n}$;各项指标经无量纲化处理后,计算出 10 项评价指标的熵权 ω_j ($j = 1, 2, \dots, 10$)。将此熵权与德尔菲法的主观权重相结合,从而得到各指标的、最终的复合权重,以此复合权重乘以对应指标无量纲化后的值,即为该指标对于能源安全度的效用值。

2.5 评价流程

第一步,确定参加能源安全评价的“能源”种类;

第二步,确定关键性的影响因素,建立指标体系;

第三步,确定指标的相对重要性,分配权重,制定出评价指标的标准值;

第四步,根据标准评出指标对能源安全的影响大小,即指标归一化的分值与指标权重系数的乘积;

第五步,计算能源安全度指数;

第六步,可信度检验;

第六步,能源安全度评价结果的运用,如,作为政策调整、形势预警的依据。

3 评价结果

不同的情景下产生的能源安全问题的性质和程度会有所不同,对能源安全的评价也应根据不同的情景有针对性地进行,不仅要分析现状,还要判断未来,不仅要观测正常状态,还要预见紧急状态。

现实情景下,1988—2008 年期间,我国勘探查明的能源矿产的资源总量较丰富,但存在结构性不足,缺油、少气、相对富煤;一次能源的产量占世界总产量的比例为 7.49% ~ 13.69%,与国际相比处于高位,只是对煤炭依赖过重^[7];一次能源进口量占世界总贸易量的比例为 0.06% ~ 4.17%,虽高居世界第 6 位,但仍不及美国进口份额的 1/4^[8-9];在此期间,国际市场的煤炭、石油、天然气、天然铀价格都增长了五六倍,增加了我国的进口成本,从而对我国能源安全带来了不利影响。按前述公式对 10 项要素指标评价结果进行加权综合,1988—2008 年,我国能源安全度处于 0.613 5 ~ 0.800 7 之间波动,平均为 0.712 5,总体处于“基本安全”的区间(图 1)。

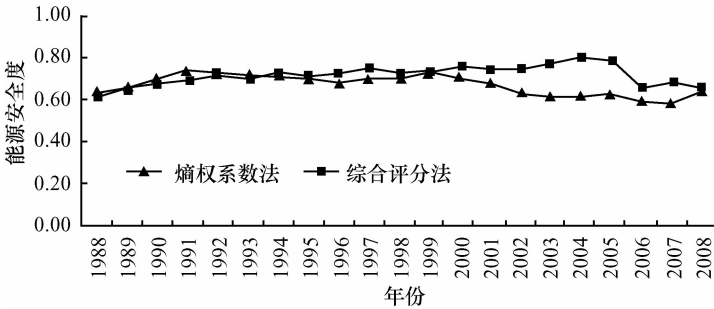


图 1 现实情景下我国能源安全度变化

Fig. 1 The changes of China's energy security degree in current situation

未来发展情景下,设想未来能继续深化执行现行的经济规划、能源战略、环境政策,那么,预测到 2020 年、2030 年我国能源安全度为 0.841 1、0.847 7,较 2008 年 0.660 3 的水平已有所改善。说明我国现行的政策方向基本对头。只是那些调节能源需求和碳排放的政策和措施落实难度较大,客观上将会难以有效遏制能源消费与碳排放的急剧增长态势。只要规划得当,措施得力,到 2030 年,我国发生能源危机的可能性很小。

紧急情景下,分别以 1988 年、2008 年、2030 年为参照点,假如国际社会当时发生了对我国实施能源封锁的紧急情况,则我国能源安全度分别为 0.551 0、0.552 0、0.645 3,相对于现实情景而言有较大幅度下降。也就是说,国际能源封锁若发生在 1988 年、2008 年,则我国能源安全度会下降至“不安全”区间,形势总体比较严峻;若发生在 2030 年前后,则我国能

源安全度尚可维持在“基本安全”区间,意味着我们还有进行准备的时间,能源供应应该能实现基本有保障的目标。

4 结论与分析

4.1 我国的能源安全虽然面临着一些复杂多变的风险,但总体上仍保持着比较稳定的发展态势

现实情景下的能源安全度平均处于0.712 5“基本安全”的区间,未来至2030年可望提升到0.847 7的“安全”区间。在一些国家对我国实行能源封锁之时,我国能源安全度就可能降至0.551 0~0.552 0的“不安全”水平。因此,关于我国能源安全形势的最基本的判断是:总体安全,发展平稳;局部多变,风险并存;调控到位,趋势向好;一旦失控,危机仍存。

4.2 我国能源安全中存在着资源潜力大、能源自给率高、多能互补前景广阔的有利因素,是起决定作用的主要方面,支配着我国能源安全发展的基本格局

一是国内资源保障程度较高,发展潜力大。煤炭探明储量占地质储量的比例很低,油、气、铀资源探明率不高,加强勘查仍会发现新矿藏,增加新的储量。二是我国能源产量大,自给率高,自给能力很强。虽然石油、天然铀等资源对外依存度较高,但从能源总体而言,1998—2008年期间我国能源总体对外依存度平均在5%左右,一次能源进口量平均仅为世界贸易总量的2.4%。作为能源生产大国,我国能够依靠立足国内解决能源问题。三是整合发展多种能源的前景广阔。特别是在发展新能源和可再生能源方面,因地制宜,多能互补,不断提高新能源和可再生能源在能源结构中的比例,必定能进一步优化以煤为主,油、气、水、风、光……等多种能源并举发展的能源格局。另外,通过能源外交的长期努力,连横合纵,不仅为我国寻找到新的能源来源渠道,也提高了我国在世界能源市场中的地位。从发展趋势看,我国能源安全形势在可预见的2030年以前应该不会有大的问题,能源安全度将维持在可控制的、可承受的“基本安全”和“安全”区间稳定运行。

4.3 我国能源安全的风险既有来自国际的,但更多地是出自于国内

国际上虽有地缘政治形势不稳、恐怖活动威胁全球能源安全、以及价格上涨对我国经济承受能力形成挑战……等等风险^[10],但国内能源需求增长过快,能源供应存在区域性和时段性短缺,能源消费结构不合理,能源利用效率和效益低,高耗能产业比重大,国家应急能力弱等都可能对能源供给形成更大的压力^[11]。虽然诸如此类的表述都是判定我国能源形势时需要严肃审视的问题,但是,能源形势同其他一切事物一样,都存在着相反相成的对立面,都不是孤立、静止和片面的,要用联系、全面、发展的观点研究能源形势利害、得失等对立面转化的规律,认识和掌握这些规律,具体情况具体分析,就能促成矛盾转化,可以安全地化险为夷,转危为安。

4.4 我国能源安全的战略思路要以最坏的打算去做最充分的准备,内外兼顾,综合协调,主动化解能源安全的风险

要正确认识和妥善处理国内资源保障能力、国内生产供应能力、国际市场获取能力、国家应急调控能力、环境安全控制能力等重大关系,统筹兼顾国内与国际、生产与消费、总量与结构、利用方式与环境安全、市场贸易与应急储备等关键环节。既要加强勘查提升国内资源保障能力,改善能源基地状况提升国内资源供应能力,增加能源战略储备提升国家应急能力,而且还需实行能源供应多元化、发展新型替代能源、强化提高节能和能效的措施,同时,通过卓越的能源外交提升国际市场获取能力也要摆在显著位置。争取实现我国能源安全状

况进一步好转。

参考文献 (References):

- [1] 何贤杰, 吴初国, 盛昌明, 等. 我国能源安全评价及对策研究[M]. 北京: 中国大地出版社, 2010: 29-35. [HE Xian-jie, WU Chu-guo, SHENG Chang-ming, *et al.* Study on Energy Security Evaluation and Countermeasures in Our Country. Beijing: China Land Press, 2010: 29-35.]
- [2] 何贤杰, 吴初国, 刘增洁, 等. 石油安全指标体系与综合评价[J]. 自然资源学报, 2006, 21(2): 245-251. [HE Xian-jie, WU Chu-guo, LIU Zeng-jie, *et al.* Indicator system and comprehensive appraisal for petroleum security. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(2): 245-251.]
- [3] Daniel Yergin. Ensuring energy security [J/OL]. <http://www.foreignaffairs.com/articles/61510/daniel-yergin/ensuring-energy-security>. *Foreign Affairs*, 2006, 85(2): 69-82.
- [4] Christian Constantin. China's conception of energy security: Sources and international impacts [R/OL]. http://www.li-gi.ubc.ca/sites/liu/files/Publications/Constantin_WP43.pdf. 2005.
- [5] 吴初国, 刘树臣, 张迪, 等. 国土资源可持续发展指标体系探索与实践[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 168-190. [WU Chu-guo, LIU Shu-chen, ZHANG Di, *et al.* Theoretical Exploration and Practice of Sustainable Development Index System of National Land and Resources. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 168-190.]
- [6] 江泽民. 对中国能源问题的思考[J]. 上海交通大学学报, 2008, 42(3): 345-359. [JIANG Ze-min. Reflections on energy issues in China. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2008, 42(3): 345-359.]
- [7] International Energy Agency. China's worldwide quest for energy security [R/OL]. <http://www.oecdchina.org/OECDpdf/china2000.pdf>. OECD/IEA, 2000.
- [8] International Energy Agency. World energy outlook 2009 [R/OL]. <http://www.worldenergyoutlook.org/>.
- [9] British Petroleum. BP statistical review of world energy 2009 [R/OL]. <http://www.bp.com/>.
- [10] 陈凤英. 国际能源安全的新变局[J]. 现代国际关系, 2006, 6: 41-46. [CHEN Feng-ying. New changes in international energy security situation. *Contemporary International Relations*, 2006, 6: 41-46.]
- [11] 史丹. 我国能源经济的总体特征、问题及展望[J]. 中国能源, 2007, 29(1): 5-12. [SHI Dan. Features, issues and outlook on Chinese energy economy. *Energy of China*, 2007, 29(1): 5-12.]

Comprehensive Method for Evaluating Energy Security

WU Chu-guo¹, HE Xian-jie², SHENG Chang-ming², LIU Zen-jie¹, WAN Hui³

(1. Information Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China; 2. Consultation Research Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China; 3. Reserves of Mineral Resources Assessment Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: “Energy security” refers to capability and state that a country or a region may obtain stable, sufficient and clean energy supply to meet the requirements of ensuring prudent operation and sustainable and balanced development of its economy and society. For the evaluation of China’s energy security situation, the technical key is how to quantitatively analyze the guarantee degree of energy supply under the multivariate energy structures, such as petroleum, gas, coal, civil nuclear and so on.

We firstly design an evaluating system of energy security by ten factors from five aspects, according to three levels of “Composite Index – Essential Indicators – Key Factor”. The five aspects are: 1) domestic energy supporting capability, 2) domestic production capacity, 3) ability of international market energy acquisition, 4) national emergency control ability, and 5) environmental safety control ability. And the ten factors include: 1) reserves-production ratio, 2) reserve replacement ratio, 3) production share, 4) self-sufficiency ratio, 5) import shares, 6) price, 7) reserves level, 8) energy consumption intensity, 9) carbon emissions, and 10) the proportion of clean energy. Then, we use the weighted aggregative model to make an integrated index of “energy security degree”. Finally, the general state of energy security can be characterized and described by the integrated index.

We choose 1 and 0 as the maximum and minimum of the value range of the integrated index, the higher the index, the safer the energy situation. Based on successive decrease of step width of 0.2, energy security degree is divided into five grades: safe, basically safe, unsafe, seriously unsafe and in crisis state, which correspond to five colors for early warning, they are in the order of green, blue, yellow, orange and red.

Study indicates that currently the degree of China’s energy security is 0.7125 averagely, being “basically safe”. With proper future development programs and powerful measures, the degree of China’s energy security will reach 0.8411 and 0.8477 respectively in 2020 and 2030, entering the “safe” interval. In case our country is implemented the energy blockade internationally, the indicator maybe decrease to 0.5520 of the state of “unsafe”.

To solve China’s energy security, the key is to not only increase its strategic reserves, diversify the energy supply, strengthen geological exploration, develop alternative energy and raise energy efficiency, but also place energy diplomacy in a prominent position.

Key words: energy resources; energy security degree; comprehensive scoring method; entropy coefficient method