

20世纪90年代以来世界能源安全时空格局演化过程

徐玲玲^{1,2}, 王 强¹, 李 娜³, 杜 雪⁴, 伍世代^{1,5}, 田兰蓝¹, 吴琛璐¹, 丁哲澜⁶

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 莱斯布里奇大学地理系, 莱斯布里奇 T1K6T5, 加拿大;

3. 集美大学财经学院, 厦门 361021; 4. 吉林省城乡规划设计研究院, 长春 130012;

5. 福建师范大学旅游学院, 福州 350108; 6. 浙江省发展规划研究院, 杭州 310000)

摘要: 基于全球158个国家能源供给、传输、使用以及社会发展数据,从能源供给—传输安全、使用安全和社会发展环境三个维度,并借助主、客观赋权方法,构建了能源安全评价模型,对近20年来世界能源安全格局时空演变特征、形成机制及其对中国能源安全表现的政策启示进行了系统分析。研究发现:① 20世纪90年代以来,全球能源安全整体格局呈现出恶化特征,危险型与较危险型国家数量之和呈现增长的态势。② 从世界能源安全空间格局演变过程来看,安全型和较安全型国家空间格局具有较强的稳定性,安全型国家持续集中分布在西欧和北美经济发达地区,而较安全型国家主要分布在安全型国家的外围——欧洲中南部、南美洲和欧亚地区;一般安全型国家主要分布于亚洲、非洲和欧洲南部等地区,是影响世界能源安全格局恶化的关键类型区;较危险型和危险型国家集中分布在亚洲、非洲、欧亚地区和中美洲,整体呈现“东进南拓”的空间演化特征。③ 近20年来,世界能源安全格局的形成机制由“一维主导型驱动”转变为“双维复合型驱动”,影响区域能源安全水平的主要因素日益多元化。④ 在世界能源安全格局中,中国自20世纪90年代以来,其能源安全形势一直处于世界一般水平,且呈现出能源使用安全指数持续降低的态势,能源消费过程中的环境可持续问题日益突出。

关键词: 能源安全;时空演化;主客观赋权法;世界

DOI: 10.11821/dlxb201712004

1 引言

当前,国家之间、地区之间错综复杂的能源地缘关系、经济格局和国际秩序更为动荡多变^[1-6],能源安全问题也就随之成为国际研究热点,其研究热度在近40年来持续升高^[7-8]。早在20世纪70年代初,国际能源署(International Energy Agency, IEA)率先提出以稳定原油供应和价格为核心的“能源安全”概念^[9],自此在全球范围内掀起了能源安全研究的热潮。如Bohi等认为“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”^[10],而Dorian等将能源安全定义为“以合理的价格保证能源的持续供应,从而支持工业和经济的正常运转”^[11],相似概念在Bielecki^[12]、Müller-Kraenner^[13]、联合国开发计划署(United Nation Development Programme, UNDP)^[14]、Chester^[15]、Cabalu^[16]和Badea

收稿日期: 2016-10-08; 修订日期: 2017-08-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671126, 41201171); 福建省科技厅公益类科研院所专项资金(2016R1032-5)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41671126, No.41171147; Special Funds for Scientific Research Institutes from Science & Technology Department of Fujian Province, No.2016R1032-5]

作者简介: 徐玲玲(1990-), 女, 福建福州人, 硕士, 主要研究方向为人文地理与区域可持续发展。

E-mail: sherlyn_x@hotmail.com

通讯作者: 王强(1982-), 男, 河北成安人, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为能源地理学与区域空间规划。

E-mail: wangqiang_1102@126.com

等^[17]研究成果中也有所阐述。此外, 由于能源供给安全水平还受供应链和基础设施的影响, 学者们将能源安全的定义进一步涵盖到能源供应链及其基础设施的安全^[18-19]。但这一类定义较多关注能源供给单一维度的安全, 有利于能源出口国的能源安全程度的评估, 而不利于能源进口国能源安全程度的客观评价。近年来, 全球气候变化和大气污染受到全球各界的广泛关注, 能源消费过程的生态环境可持续性与经济效率也作为重要的内容被包括在能源安全概念之内, 如Bang认为气候变化与能源安全是同等重要、密不可分的科学命题, 应将气候变化纳入能源安全评价框架^[20], 类似观点在Brown等^[21]、Sovacool^[22]、刘立涛等^[23]的研究中均有提及。除此之外, 能源安全概念内涵也逐步向能源服务领域渗透, 如Lesbirel^[24]、Vivoda^[25]认为能源安全这一概念应当考虑国家能源服务水平。也有研究机构和学者综合已有研究成果, 提出多维度能源安全内涵, 如亚太能源研究中心(The Asia Pacific Energy Resource Centre, APERC)通过总结之前的研究, 将能源安全定义扩展至四个维度, 即可利用性(Availability)、可获得性(Accessibility)、可接受能力(Acceptability)和可负担性(Affordability)^[26]。相似概念在Narula^[27]、Chuang等^[28]等的研究成果中也有所发现, 而Vivoda更是提出了一个涉及能源供给、需求管理、能源效率、经济、环境、人类安全、军队—社会文化等七个维度的概念^[29], Sovacool 2011年在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^[30]。总之, 能源安全作为区域能源系统的一个重要属性, 国内外学者虽然已对其定义进行了较多探讨, 但仍缺乏统一明确的学术定义。

在上述能源安全概念框架基础上, 国内外学者也开展了对区域能源安全评价方法的研究。当前, 共有11类被广泛应用于评估区域能源安全程度的方法^[31-42], 分别是香农—维纳指数(Shannon-Wiener Index, SWI)、赫芬达尔—赫希曼指数(Herfindahl-Hirschman Index, HHI)、能源供给安全供/需指数(Supply/Demand Index for Long-term Security of Supply)、石油脆弱性指数法(Oil Vulnerability Index)、外部能源供应风险指数(Risky External Energy Supply)、社会经济能源风险法(Socioeconomic Energy Risk)、美国能源安全风险指数法(The US Energy Security Risk Index)、能源持续性指数法(Energy Sustainability Index)、国际能源署(International Energy Agency)提出的MOSES模型(Model of Short-term Energy Security)、欧盟联合研究中心所提出的能源安全指数法(Energy Security Index, ESI)、世界经济论坛(The World Economic Forum)提出的世界能源建筑表现指数法(Global Energy Architecture Performance Index)。此外, 为消除能源安全评价各指标之间的线性联系, Ang等应用显带方法(Banding Approach)评价新加坡能源安全水平变化情况^[40]。通过对已有评价方法与模型研究的梳理, 不难发现: ① 综合性、多维度评价方法越来越广泛地应用于能源安全评价中; ② 主观权重分配法较多地被应用于指标集成中, 成为当前国际上评价区域能源安全最流行的方法; ③ 能源安全评价方法研究也因时空尺度和所选指标不同而具有较大探索空间。

当前, 基于地理学视角对世界能源安全格局演化的研究尚有待深入, 尤其是不同区域间能源安全表现的空间差异及其主要驱动维度识别鲜有研究。为此, 本文拟选择158个国家, 以地理学视角来刻画世界能源格局变化特征, 揭示驱动机制, 为中国科学谋划能源外交战略和能源安全发展政策提供建议。另外, 受数据的可获得性限制, 本文选择1992年、2000年和2012年为研究时点, 用以对比分析世界能源安全格局变化特征及其影响因素。基于上述研究目的, 本文将能源安全定义为: 在特定时期内和一定技术经济条件下, 国家能源系统以任何形式为社会、经济与人口发展提供足够数量、价格合理的并不会对环境产生不可接受和不可逆转影响的能源保障程度与状态。

2 研究方法和数据来源

本文先提出一个能源安全评价框架，然后应用定性与定量相结合的权重赋值方法，将各个指标进行综合集成，最后得到各国家的能源安全综合指数（ESI）。

2.1 指标体系

已有研究主要是从以下8个维度来定量评价某一国家能源安全水平：能源可用性、能源设施、能源价格、能源效率、环境效应、社会效应以及管理水平。本文在参考已有研究模型的基础上，兼顾数据的可获得性和连续性，将以上8个维度进行归并，即从能源供应—传输安全维度、使用安全维度、社会发展环境三个维度来构建能源安全评价指标体系（表1）。

其中，能源供应—传输安全维度用以描述和评价区域能源系统应对能源供给—需求关系失调的能力，可分为能源供给、传输两个度量层。本文选择一次能源生产量与消费量之比、能源供应多样性系数、电力多样性系数、原油储备量以及天然气储备量来定量测算能源供给能力。其中，能源供应多样性系数和电力多样性系数采用SWI指数测度，计算公式如下：

表1 世界能源安全评价框架与指标体系构建

Tab. 1 Framework and indicators for the construction of national energy security evolution across the globe									
目标层	维度层	度量层	指标层	单位	权重				
					维度层	度量层	指标层		
							1992年	2000年	2012年
能源安全综合指数 (ESI)	供应—传输安全维度 (SESD)	能源供给 (Sup)	一次能源生产量与消费量之比	—	0.40	0.30	0.045	0.042	0.068
			能源供应多样性系数	—			0.106	0.114	0.069
			电力多样性系数	—			0.039	0.039	0.054
			原油储备量	亿桶			0.064	0.058	0.064
			天然气储备量	万亿立方英尺			0.045	0.046	0.045
		能源传输 (Del)	输电电损率	%		0.10	0.100	0.100	0.100
			通电率	%	0.40	0.15	0.051	0.049	0.046
			汽油零售价格	美元/升			-0.012	-0.007	-0.032
			人均电力消费量	Kwh/人			0.060	0.058	0.080
			非固态燃料获得率	%			0.051	0.050	0.057
	使用安全维度 (SUSD)	能源消费环境 (Env)	化石能源占能源消费总量的比重	%		0.25	0.186	0.149	0.039
			可再生能源发电占全社会用电量的比重	%			0.173	0.171	0.106
			碳排放因子	t/t油当量			0.158	0.111	0.084
			能源效率	千美元/t油当量 (已转换为2011年不变价)			-0.266	-0.182	0.021
		社会发展环境维度 (SPED)	政治稳定性	—	0.20	0.20	0.028	0.031	0.029
			管理水平	—			0.035	0.035	0.035
			政府效率	—			0.032	0.030	0.032
			法律角色	—			0.035	0.034	0.035
			腐败控制	—			0.031	0.033	0.035
			人均GDP	美元 (已转换为2011年不变价)			0.039	0.037	0.034

$$SWI = - \sum_{i=1}^k P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中: k 表示能源种类; P_i 表示能源 i 在能源生产或在电力发电总量中的比重。此外, 国际上表征地区能源传输能力主要从电力网络的可靠性、安全性来进行定量测算^[7, 40, 43], 测算指标主要包括电力输送中断平均时间、电力输送终端频率、电力输送损失率等指标。但受数据可获得性限制, 本文只选择了输电电损率这一指标表征区域电力运输能力。

能源使用安全维度用以表征区域能源系统满足区域生产、生活用能需求的综合能力^[44], 包含能源服务、环境—经济效应两个方面。本文选择通电率、汽油零售价格、人均电力消费量以及非固态燃料获得率等4个指标定量测度能源服务公平特征, 用化石能源所占比重、可再生能源发电所占比重、碳排放因子、能源效率等4个指标定量测度能源消费环境—经济效应。其中, 碳排放因子是指地区单位能源消费的碳排放量, 主要用于表征地区能源消费行为的环境影响程度^[7]。

此外, 国家的社会、政治、经济环境显著影响着本地区能源政策制定与能源部门投资, 继而影响着区域能源安全形势。从这一点来看, 国家社会发展环境应该纳入能源安全评价体系之中。为此, 本文选择了政治稳定性、管理水平、政府效率、法律约束性、腐败控制力度、人均GDP等6个指标来定量测度国家和地区社会发展环境。其中, 前5个表征政治、社会稳定性指标主要源自世界银行所发布的《世界发展指标体系》(World Development Indicators of the World Bank)^[44], 在此不再赘述。

2.2 集成方法

能源安全评价中指标权重确定问题是决定评价结果的重要因素^[3-4, 10]。以往研究较多应用主观赋权方法对各项指标进行集成, 为提高评价结果的可信度, 本文试图采用主客观相结合的方法确定权重, 即在参考前人确定的各个维度及其度量层的权重基础上, 运用主成分分析法对各个指标求取权重值, 最终按照度量层的主观权重对各项指标客观权重进行修正。

(1) 数据标准化处理。本文运用标准差标准化方法进行数据标准化处理, 公式为:

$$Z_{in} = \frac{X_{in} - \bar{X}_i}{\sigma(X_i)} \quad (2)$$

式中: Z_{in} 为国家 n 的指标 i 标准化后数据; X_{in} 是该国家指标 i 的原始数据; \bar{X}_i 为指标 i 的平均值; $\sigma(X_i)$ 为指标 i 的标准差。值得一提的是, 输电电损率、汽油零售价格、碳排放因子等3个指标对能源安全具有负向效应, 为此, 本文先对这3个指标进行了求负处理后再进行标准化处理。

(2) 指标集成处理。与已有研究不同, 为克服主观赋权和客观赋权的单一性缺点, 本文提出了一个主客观相结合的赋权方法:

首先, 采用KMO和球形Bartlett检验进行因子分析适用性检验。通过检验后, 根据方差解释表中公因素特征值大于1的方法, 确定公共因素数量、特征根值和方差贡献率, 获取每一个因素在各主成份上的载荷得分系数, 并计算各个指标的权重大小, 公式为:

$$W_i = \sum_{j=1}^p \frac{M_{ij}}{\sqrt{R_j}} \times \frac{C_j}{C} \quad (3)$$

式中: W_i 为第 i 个指标的权重; M_{ij} 为第 i 因素在第 j 主成份上的载荷得分系数; R_j 、 C_j 分别表示为第 j 个主成分的特征根和方差贡献率; C 为各主成分累计方差贡献率。

其次, 参考Ang^[40]和Kisel等^[43]方法, 确定三个维度的权重分别为40%、40%和20%。其中, 能源供应—运输安全维度中供应、传输两个度量层的权重分别为30%和

10%，使用安全维度的能源服务、环境—经济效应两个度量层的权重分别为 15% 和 25%。至此，可以确定 5 个度量层的权重，即 $W_d, d = 1, 2, 3, 4, 5$ 。

第三，对各个度量层的指标进行标准化处理，其处理方法如下：

$$W_i^* = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^m W_i} \times W_d \quad (4)$$

式中： W_i^* 为修正后的指标 i 的权重； m 是第 d 个度量层所含指标的数量； W_d 为第 d 个度量层的权重。修正后的各时点的指标权重如表 1 所示。

最后，国家 n 的能源安全综合指数 ESI_{tot}^n 通过以下公式得到：

$$ESI_{tot}^n = \sum_{i=1}^{20} W_i^* \times Z_{in} \quad (5)$$

2.3 数据来源

本文能源数据来源于美国能源信息署 (U.S. Energy Information Administration) [45]，经济、人口、通电率、非固态燃料获得率等数据来源于世界银行数据库 (Data of The World Bank) [46]。社会发展环境数据源自世界银行所颁布的世界发展指数数据库 (World Development Indicators) [44]。

3 格局特征、形成机制及对中国能源安全政策的启示

基于因子分析结果，在 ArcGIS 10.1 平台上运用自然间断点分级法 (Jenks) 将 158 个国家分为安全型、较安全型、一般安全型、较危险型、危险型五个类型区 (图 1)。

3.1 时序变化特征

整体来看，1992-2012 年间，全球能源安全型国家数量从 1992 年的 9 个增加至 2012 年的 17 个，而较安全型国家数量从 36 个降低至 27 个，一般安全型国家数量从 64 个降低至 37 个 (表 2)。同期，较危险型国家数量由 36 个增加到 57 个，而危险型国家数量也有所增加，由 13 个增加至 20 个。近 20 年来，全球能源安全整体格局呈现出恶化特征，危险型与较危险型国家数量均呈现增长的态势。

3.2 格局演化特征

具体而言，世界能源安全空间格局的演化特征如下：

(1) 安全型国家空间分布格局具有较强的稳定性，集中分布在西欧和北美经济发达地区。具体来讲，欧盟国家在全球能源供求状况日趋紧张背景下，不断拓展能源进口渠道，大力发展低碳经济，从而实现了区域能源安全水平的大幅度提升，安全型国家数量由 1992 年的 6 个增长至 2012 年的 11 个，平均占到全球能源安全型国家总量的 2/3，成为 20 年间安全型国家集中分布的地区。此外，与西欧国家不同的是，俄罗斯、卡塔尔和美国因能源供给能力的显著增强，从而推进国家能源系统优化，在 2012 年进入安全型国家方阵。

(2) 较安全型国家空间格局也呈现出较强的稳定性，主要分布在欧洲中南部、南美洲和亚洲地区。1992 年，能源较安全型国家总量达 36 个，其中有 13 个国家分布在欧洲中南部，占全球能源较安全型国家总量的 36%，此外，亚洲、南美洲分别有 5 个国家属于这一类型，这一格局到 2012 年基本未变。2012 年，27 个较安全型国家中有 16 个经济发达国家和 11 个发展中国家。其中，经济发达国家约占这一类型国家总量的 60%，这些国家在三个维度上的表现相对均衡 (图 2)。与经济发达国家不同，发展中国家在三个

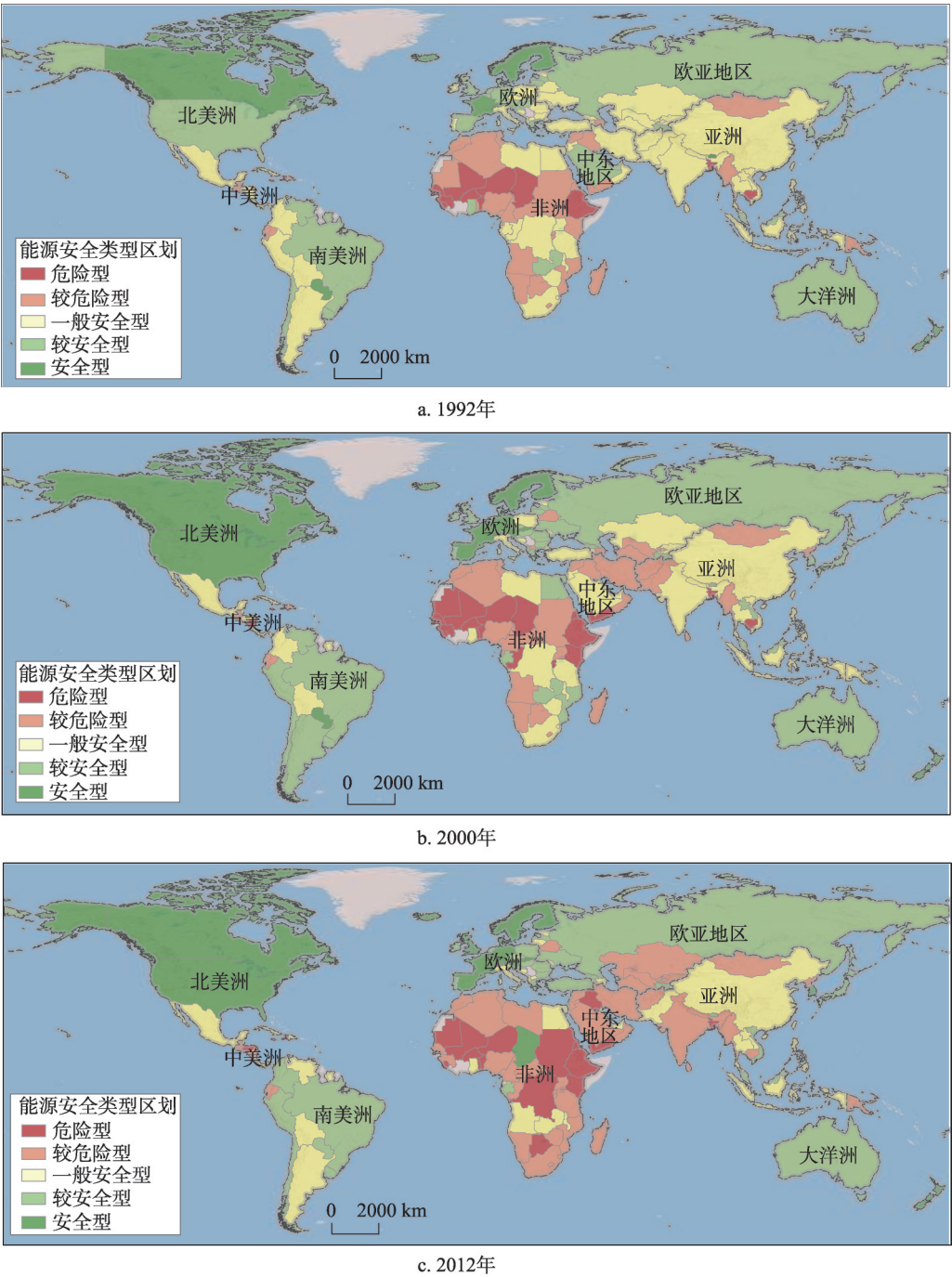


图1 1992年、2000年和2012年世界能源安全格局示意图
Fig. 1 Spatial-temporal evolution of global energy security pattern from 1992 to 2012

维度上的表现却存在显著差异，如南美洲的巴拉圭、巴西、哥斯达黎、乌拉圭，以及欧洲的克罗地亚，在能源使用安全维度表现突出，是推动这些国家进入较安全型方阵的主要因素，而对马来西亚、沙特阿拉伯、委内瑞拉、阿联酋、保加利亚、乍得等能源富集国而言，其能源供给能力的显著提升是推动国家整体能源安全水平的关键维度。

表 2 1992 年以来世界能源安全各类型国家数量变化情况

类型区	1992 年	2000 年	2012 年	各阶段变化		
				2012-1992 年	2000-1992 年	2012-2000 年
安全型	9	11	17	8	2	6
较安全型	36	34	27	-9	-2	-7
一般安全型	64	48	37	-27	-16	-11
较危险型	36	42	57	21	6	15
危险型	13	23	20	7	10	-3

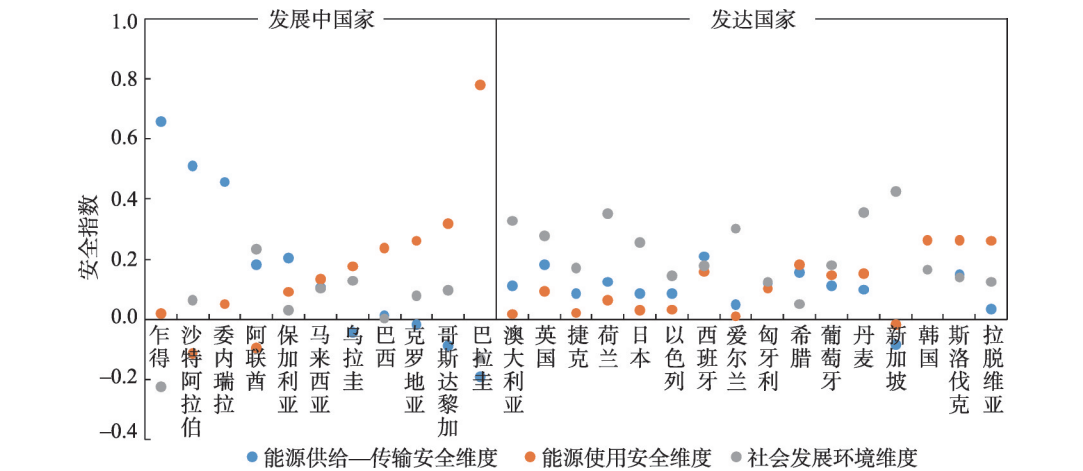


图 2 2012 年较安全型国家能源安全表现

Fig. 2 National performances on energy security in Relatively Secure Group in 2012

(3) 一般安全型国家主要分布于欧洲南部、亚洲、非洲以及欧亚地区。1992 年四大地区一般安全型国家总量达 57 个，占全球此类型国家总量的 89%。而这一格局由于亚非国家、欧亚国家能源消费对环境影响的加剧，到 2012 年发生了明显变化，一般安全型国家相对均衡地分布在非洲、亚洲、中美洲、欧亚地区、中东地区以及南美洲等经济欠发达地区，其国家总量由 1992 年的 64 个降低到 2012 年的 37 个。值得注意的是，一般安全型国家能源系统具有介于可持续性 with 不可持续性之间的过渡特征，也是影响世界能源格局整体演变趋势的关键类型区。从 1992 年与 2012 年之间能源安全类型区转化矩阵来看 (表 3)，一般安全型国家总量净减少 27 个，且有 31 个国家能源安全表现有所恶化，从而成为能源安全等级下降国家数量最多的类型区。

(4) 较危险型和危险型国家集中分布在亚洲、非洲、欧亚地区 and 中美洲，整体呈现“东进南拓”的空间演化特征。非洲虽蕴涵着丰富的能源资源，但由于其社会发展落后、政治动乱以及基础设施缺乏，能源整体开发利用程度较低，国家能源系统安全往往处于较危险或危险的状态。1992 年，全球 36 个较危

表 3 1992 年与 2012 年能源安全类型区转化矩阵

Tab. 3 Transformation matrix of energy security types between 1992 and 2012

1992 年	2012 年					合计
	安全型	较安全型	一般安全型	较危险型	危险型	
安全型	8	1	0	0	0	9
较安全型	8	19	7	2	0	36
一般安全型	1	6	26	27	4	64
较危险型	0	0	4	24	8	36
危险型	0	1	0	4	8	13
合计	17	27	37	57	20	158

险型和13个危险型国家中分别有21个、10个位于非洲地区,使其成为世界上能源安全性最差的地区。到2012年,非洲地区能源较危险型国家数量持续增长到24个,危险型国家数量也增加至14个,依然是世界上能源安全性最差的地区。亚洲、中美洲和欧亚地区也是能源较危险型和危险型国家集中分布的区域。亚洲是世界上最大的能源消费地,也是世界上能源供需矛盾最大与社会发展环境较为恶劣的地区。其中,阿富汗、印度、印度尼西亚、尼泊尔、巴基斯坦、菲律宾、斯里兰卡等地区受武装冲突、贫富差距和民族宗教冲突等复杂矛盾影响,地区能源安全表现持续恶化,到2012年这些国家由一般安全型退步为较危险型,朝鲜则因较封闭的政治经济环境退步为危险型,该区域中较危险型国家总量由1992年的2个增加到2012年的10个,危险型国家总量维持在2个。此外,伴随中美洲地区经济的不断发展,化石与薪柴能源使用快速增长,从而加剧该地区发展中国家能源供给—传输压力与环境可持续发展压力,三个研究时点分别有7个国家进入较危险型行列,分别有2个国家进入危险型行列。欧亚地区是世界上石油和天然气资源蕴藏最丰富的地区之一,但受能源基础设施落后老旧、能源利用效率低以及社会发展环境不稳定等因素影响,区域中较危险型国家数量由1992年的1个增长至2012年的7个。

3.3 驱动机制分析

为进一步解释世界能源安全格局形成机制,本文对1992年和2012年两个时间节点20个指标因素的权重大小进行了对比分析,通过关键性指标识别及其贡献度变化分析,来初步构建世界能源安全格局形成机制。

(1) 近20年来,可再生能源发电量占全社会用电量的比重、输电电损率、碳排放因子、人均电力消费量、能源供应多样性系数、一次能源生产量与消费量之比、原油储备量、非固态燃料获得率、电力多样性系数等9个指标因素是世界能源安全格局形成的主要驱动因素,其权重绝对值均大于0.05(图3)。但值得注意的是,能源效率对能源安全

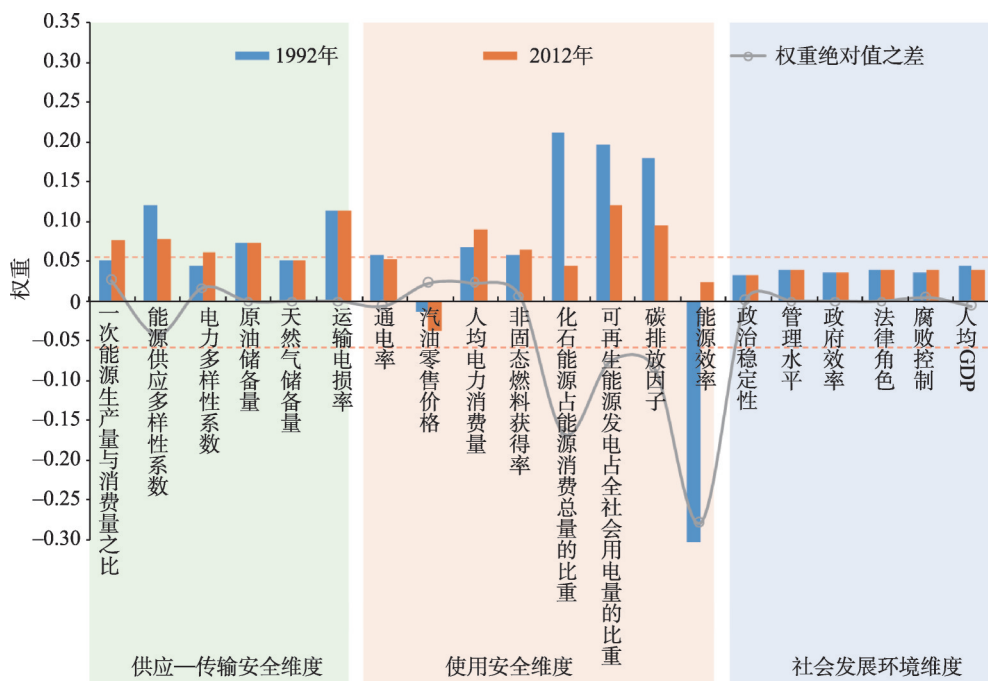


图3 能源安全影响因素权重变化情况

Fig. 3 Changes in weights of indexes affecting national energy security between 1992 and 2012

状态的影响由1992年的负向抑制转变为2012年的正向促进,这说明20世纪90年代以来,伴随世界范围内贸易全球化的日益加速,以及社会工业化、城镇化、现代化的大规模发展,在一些经济发达国家和地区因技术创新与产业升级对能源安全的溢出效应开始显现。未来,能源效率对地区能源安全的正向促进效应将会持续扩大。

(2) 整体来看,2012年各指标权重分布较1992年更趋均衡。研究期间,一次能源生产量与消费量之比、能源供应多样性系数、电力多样性系数、汽油零售价格、人均电力消费量、能源效率、化石能源占能源消费总量的比重、可再生能源发电占全社会用电量的比重、碳排放因子等9个指标权重绝对值的变化幅度较大。其中,能源效率、化石能源占能源消费总量的比重、可再生能源发电占全社会用电量的比重、碳排放因子等4个指标权重绝对值呈现显著减小的特征。1992年,这4个指标的权重分别为-0.266、0.186、0.173、0.158,其绝对值远远高于其他指标,是影响世界能源安全格局的主导因素,而这一格局到2012年就发生了变化,4个指标的权重分别变为0.021、0.039、0.106、0.084,与其他关键性因素的权重差距缩小。

(3) 从指标权重绝对值分布情况,可以判断出各指标对国家能源安全整体水平的贡献和影响程度。1992年能源使用维度中8个指标的绝对权重之和0.957,远高于其他两个维度,是影响世界能源安全格局形成的主导机制(图4)。到2012年,伴随能源消费环境

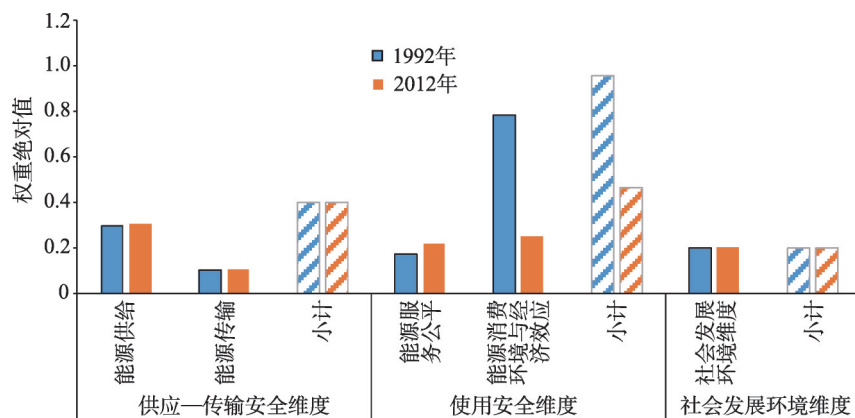


图4 能源安全影响因素权重变化情况

Fig. 4 Changes in the sum of absolute values of weights of indexes affecting national energy security between 1990 and 2012

与经济效益效率层4个指标权重绝对值的显著降低,驱动机制发生显著变化,逐渐由“一维主导型”转变为“二维复合型”。

3.4 对中国能源安全政策的启示

自20世纪90年代以来,中国能源安全形势一直处于世界一般水平(图5),且呈现出能源使用安全指数持续降低的态势,能源消费过程中的环境可持续问题日益突出。此外,尽管中国能源供—给传输安全表现持续优化,但不可否认的是主要化石能源对外依存度的日益升高。如2014年全年石油消费量达5.18亿t,石油净进口3.08

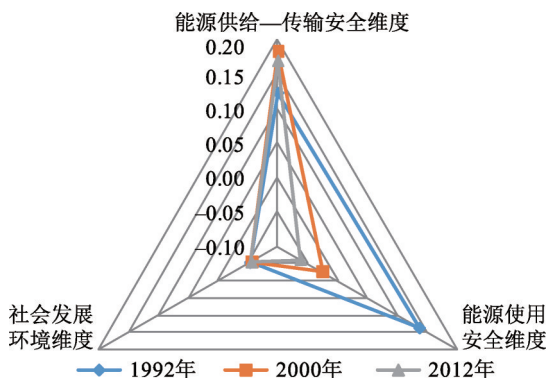


图5 1992年、2000年和2012年中国能源安全表现
Fig. 5 China's performances on energy security in 1992, 2000 and 2012

亿t, 对外依存度达59.5%, 远远突破安全警戒线。可见, 在未来相当长的一段时期内, 中国的能源安全形势依旧相当严峻。为此, 本文提出以下政策启示, 为政府战略反应和政策选择提供借鉴。

(1) 立足中国实际, 加快推进能源领域供给侧结构性改革和产业经济结构性优化, 提高能源利用效率, 降低能源消费的环境效应。通过上文研究, 能源使用安全是影响国家能源安全综合水平最大的维度, 同时也是制约中国在世界能源安全格局中地位的最大制约因素, 而提升中国能源使用安全水平的关键在于结构节能而非技术节能。长期以来, 中国化石能源在全国能源消费中的比重较大, 其结构比重由1992年的75.71%增长到2012年的87.9%, 远远高于世界平均水平(81.1%), 而可再生能源发电占社会发电总量的比重为19.1%, 略低于世界平均水平(20.9%), 仅较1992年提升了一个百分点, 可再生能源在能源结构中的比重有待进一步提升。此外, 中国经济正处于快速工业化和重型化的阶段, 产业能源需求增长加快, 能源依赖度较高。为此, 中国应该以能源供给结构和产业结构为重点, 推动能源系统优化与产业经济可持续发展: 一方面, 政府应出台强制采购节能产品的政策, 带动社会生产和使用节能产品, 也可以通过消费补贴等形式, 鼓励消费者购买新能源产品, 推进能源供给侧改革, 优化能源供给结构; 另一方面, 政府应积极引导产业结构优化调整, 抑制高耗能、高排放行业过快增长, 加快淘汰落后产能, 推动传统产业改造升级, 提高服务业和战略性新兴产业在国民经济中的比重。

(2) 放眼国际能源市场, 借助“一带一路”战略契机, 创设资源供给持续稳定与对外经济快速发展的“双赢”局面。当前, 中东产油国是中国最主要的原油进口地区, 从该地区进口的原油数量占到原油进口总量的50%, 而这一地区持续爆发的冲突事件加大了中国原油持续、稳定进口的潜在风险。为此, 中国亟需参与能源供给安全的国际合作, 与世界能源出口国和世界大国建立友好对话机制, 实现能源供应多元化。伴随“一带一路”倡议深入推进, 中国与中亚、俄罗斯以及非洲等地区的能源富集国的能源贸易与产业合作将迎来崭新局面。为此, 中国政府应健全能源资源战略储备制度, 实施“走出去, 拿回来”战略, 积极加入国际组织或建立战略合作关系, 深化与这些国家的友好合作关系, 加快推进海外能源资源勘探开发, 并通过培育一批有国际竞争力的跨国企业, 促进国际间能源贸易、产业协作, 努力提升中国在全球能源产业价值链中的地位, 在更高层次上参与国际产业分工。

4 结论与讨论

基于1992年、2000年和2012年全球158个国家能源供给、传输、使用以及社会发展数据, 本文对世界能源安全空间格局的演变特征、形成机制以及对中国的能源政策启示进行了系统分析。结果显示:

(1) 整体来看, 20世纪90年代以来, 全球能源安全格局呈现出恶化的特征, 较危险型和危险型国家数量分别由36个增加到57个、由13个增加到20个。

(2) 从世界能源安全空间格局演变过程来看, 安全型和较安全型国家空间格局具有较强的稳定性。其中, 安全型国家持续集中分布在西欧和北美经济发达地区, 而较安全型国家主要分布在安全型国家的外围——欧洲中南部、南美洲和欧亚地区。一般安全型国家主要分布于亚洲、非洲和欧洲南部等地区, 是影响世界能源格局整体演变趋势的关键类型区, 也是导致研究期间全球能源安全整体格局恶化的根源地区。较危险型和危险型国家集中分布在亚洲、非洲、欧亚地区和中美洲, 整体呈现“东进南拓”的空间演化特征。

(3) 近20年来,世界能源安全格局的形成机制由“单一主导型”转变为“二维复合型”,区域能源安全水平的影响因素日益多元化。

(4) 就中国而言,20世纪90年代以来能源安全形势一直处于世界一般水平,且呈现出能源使用安全指数持续降低的态势,能源消费过程中的环境可持续问题日益突出。

能源安全问题是当前世界各国社会、经济与生态环境可持续发展研究中的一个核心领域。面对世界能源安全格局的变化,认清国家能源安全地位,判断国际能源格局可能变化,成为当前各国以前瞻性战略思维来谋划能源战略、外交战略、发展战略和安全战略的重要依据与参考。本文基于已有研究基础,立足地理学视角,着重在研究尺度与研究方法上进行探索,探讨主客观赋权方法在研究世界能源安全格局演变中的应用。但受数据连续性与可获得性限制,本文选择了1992年、2000年和2012年三个时间节点的世界能源格局进行了构建,而客观刻画世界能源格局形成、演变过程是一个复杂的系统工程,为此,本文在评价体系构建、集成方法创新上尚有较大改进空间,今后仍需要更为长期、连续的数据积累与方法创新来加以支撑,努力做出更具学术价值的研究工作。

参考文献(References)

- [1] Zhang Lei. Mineral Resources Exploitation and National Industrialization. Beijing: The Commercial Press, 2004. [张雷. 矿产资源开发与国家工业化. 北京: 商务印书馆, 2004.]
- [2] Wang Qiang, Zheng Ying, Wu Shidai, et al. Mechanism of energy efficiency response to industrial restructuring and energy consumption structure change. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 741-749. [王强, 郑颖, 伍世代, 等. 能源效率对产业结构及能源消费结构演变的响应. *地理学报*, 2011, 66(6): 741-749.]
- [3] Wang Haiyun. Changes in world energy pattern and their influence on China's energy security. *Journal of Shanghai University (Social Sciences)*, 2013, 30(6): 1-11. [王海运. 世界能源格局的新变化及其对中国能源安全的影响. *上海大学学报(社会科学版)*, 2013, 30(6): 1-11.]
- [4] Zhang Yuyan, Guan Qingyou. World energy patterns and energy security of China. *World Economy*, 2007(9): 17-30. [张宇燕, 管清友. 世界能源格局与中国的能源安全. *世界经济*, 2007(9): 17-30.]
- [5] Yang Yu, Liu Yi, Jin Fengjun. Distribution of world oil refining capacity and its evolution based on different regional scales. *World Regional Studies*, 2013, 22(3): 1-9. [杨宇, 刘毅, 金凤君. 基于不同区域尺度的世界炼油能力分布特征与格局演化. *世界地理研究*, 2013, 22(3): 1-9.]
- [6] Yang Yu, Liu Yi. Progress and prospect of world energy geography in China. *Progress in Geography*, 2013, 32(5): 818-830. [杨宇, 刘毅. 世界能源地理研究进展及学科发展展望. *地理科学进展*, 2013, 32(5): 818-830.]
- [7] Ang B W, Choong W L, Ng T S. Energy security: Definitions, dimensions and indexes. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2015, 42: 1077-1093.
- [8] Zhao Chunfu, Liu Gengyuan, Chen Bin. Advances in theories and methods of energy forecasting and early warning. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(7): 2399-2413. [赵春富, 刘耕源, 陈彬. 能源预测预警理论与方法研究进展. *生态学报*, 2015, 35(7): 2399-2413.]
- [9] International Energy Agency (IEA). *Energy Technology Policy*. Paris: OECD/IEA, 1985: 29.
- [10] Bohi DR, Toman M A. *The Economics of Energy Security*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [11] Dorian J P, Franssen H T, Simbeck D R. Global challenges in energy. *Energy Policy*, 2006, 34(15): 1984-1991.
- [12] Bielecki J. Energy security: Is the wolf at the door? *Quarterly Review of Economics & Finance*, 2002, 42: 235-250.
- [13] Müller-Kraenner S. *Energy Security: Re-measuring the World*. London: Earthscan Publications, 2008.
- [14] United Nation Development Programme (UNDP). *Climate Change and UNDP*. New York, 2009.
- [15] Chester L. Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature. *Energy Policy*, 2010, 38(2): 887-895.
- [16] Cabalu H. Indicators of security of natural gas supply in Asia. *Energy Policy*, 2010, 38(1): 218-225.
- [17] Badea A C, Tarantola S, Bolado R. Composite indicators for security of energy supply using ordered weighted averaging. *Reliability Engineering & System Safety*, 2011, 6(6): 651-662.
- [18] Yergin D. *Energy security and markets*/Kalicki J H, Goldwyn D L. *Energy and Security: Toward a New Foreign Policy Strategy*. Washington: Woodrow Wilson Press, 2005.

- [19] Asia Pacific Energy Research Centre (APERC). A quest for energy security in the 21st century. Tokyo: Institute of Energy Economics, Asia Pacific Energy Research Centre, 2007.
- [20] Bang G. Energy security and climate change concerns: Triggers for energy policy change in the United States? *Energy Policy*, 2010, 38(4): 1645-1653.
- [21] Brown M A, Dworkin M. The environmental dimension of energy security//Sovacool B. *The Routledge Handbook of Energy Security*. London: Routledge, 2011.
- [22] Sovacool M J P B K. The importance of scale to energy security. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2012, 9(3): 167-180.
- [23] Liu Litao, Shen Lei, Gao Tianming, et al. Evaluation and spatial-temporal evolution of energy security in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(12): 1634-1644. [刘立涛, 沈镭, 高天明, 等. 中国能源安全评价及时空演进特征. *地理学报*, 2012, 67(12): 1634-1644.]
- [24] Lesbirel S H. Diversification and energy security risks: The Japanese case. *Japanese Journal of Political Science*, 2004, 5(1): 1-22.
- [25] Vivoda V. Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach. *Energy Policy*, 2010: 38(9): 5258-5263.
- [26] Asia Pacific Energy Research Centre (APERC). A quest for energy Security in the 21st Century, 2007. http://aperc.ieej.or.jp/file/2010/9/26/APL,RC_2007_A_Quest_for_Energy_Security.Pdf.
- [27] Narula K. Is sustainable energy security of India increasing or decreasing? *International Journal of Sustainable Energy*, 2013, 33: 1054-1075.
- [28] Chuang M C, Ma H W. An assessment of Taiwan's energy policy using multidimensional energy security indicators. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2013, 17(C): 301-311.
- [29] Vivoda V. Evaluating energy security in the Asia-Pacific region: A novel methodological approach. *Energy Policy*, 2010, 38(9): 5258-5263.
- [30] Sovacool B K. Evaluating energy security in the Asia Pacific: Towards a more comprehensive approach. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 7472-7479.
- [31] Radovanović M, Filipović S, Pavlović D. Energy security measurement: A sustainable approach. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 2016, 68(2): 1020-1032.
- [32] Liu Litao, Shen Lei, Liu Xiaojie. Theories, methods and progress of energy security research. *Progress in Geography*, 2012, 31(4): 403-411. [刘立涛, 沈镭, 刘晓洁. 能源安全研究的理论与方法及其主要进展. *地理科学进展*, 2012, 31(4): 403-411.]
- [33] Helen Cabalu. Indicators of security of natural gas supply in Asia. *Energy Policy*, 2010, 38: 218-225.
- [34] Kruyt B, van Vuuren D P, de Vries H J M, et al. Indicators for energy security. *Energy Policy*, 2009, 37(6): 2166-2181
- [35] Stirling A. Diversity and ignorance in electricity supply investment: Addressing the solution rather than the problem. *Energy Policy*, 1994, 22(3): 195-216.
- [36] Hill M. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology*, 1973, 54(2): 427-432.
- [37] McFalls Michael S. The role and assessment of classical market power in joint venture analysis. *Antitrust Law Journal*, 1997, 66: 651-735.
- [38] Gupta E. Oil vulnerability index of oil-importing countries. *Energy Policy*, 2008, 36(3): 1195-1211.
- [39] Le Coq C, Paltseva E. Measuring the security of external energy supply in the European Union. *Energy Policy*, 2009, 37(11): 4474-4481.
- [40] Ang B W, Choong W L, Ng T S. A framework for evaluating Singapore's energy security. *Applied Energy*, 2015, 148: 314-325.
- [41] Kisel E, Hamburg A, Härm M, et al. Concept for energy security matrix. *Energy Policy*, 2016: 95: 1-9.
- [42] Yu Jing, Wang Xiaoqin, Zhang Long. 2AST conceptual framework and integrated evaluation of energy security. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2014, 14(3): 70-77. [余敬, 王小琴, 张龙. 2AST能源安全概念框架及集成评价研究. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2014, 14(3): 70-77.]
- [43] World Energy Council (WEC). Energy Sustainability Index [Data File]: 2013. <http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/2013-Energy-Sustainability-Index-VOL-2.pdf>. Accessed on 2015-08-20.
- [44] The World Bank. World Development Indicators. <http://data.worldbank.org.cn/data-catalog/world-development-indicators>. Accessed on 2015-04-20.
- [45] U.S. Energy Information Administration. International Energy Statistics. <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/>

IEDIndex3.cfm. Accessed on 2014-04-10.

[46] The World Bank. World Bank Open Data. <http://data.worldbank.org>. Accessed on 2015-04-15.

Spatial-temporal evolution of global energy security since 1990s

XU Linglin^{1,2}, WANG Qiang¹, LI Na³, DU Xue⁴, WU Shidai^{1,5},
TIAN Lanlan¹, WU Chenlu¹, DING Zhelan⁶

(1. School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Department of Geography, University of Lethbridge, Lethbridge T1K6T5, Canada; 3. Collage of Finance and Economics, Jimei University, Xiamen 361021, China; 4. Jilin Province City & Town Planning & Designing Institute, Changchun 130012, China; 5. College of Tourism, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China; 6. Zhejiang Development & Planning Institute, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Based on the energy supply-delivery, consumption and social development data of 158 countries across the world in 1992, 2000 and 2012, this paper develops an energy security evaluation model from three dimensions (energy supply-delivery security, energy consumption, and social-political-economic environment), with the aid of the integrated application of subjective and objective weight allocation technique. Then we use this model to analyze the spatial-temporal evolution of global energy security pattern and its formation mechanism. The results are shown as follows: (1) since the 1990s, the spatial patterns of global energy security show a deteriorating trend, the sum of countries in 'dangerous' type and 'relatively dangerous' type presents a growth trend. (2) From the point of spatial evolution, the spatial distribution of countries with 'secure' energy system has strong stability, and these countries are concentrated persistently in Western Europe and North America. The spatial evolution of countries with 'relatively secure' energy system also presents a strong stability, which are mainly distributed in the periphery of the 'secure' ones, namely Central and Southern Europe, South America and Eurasia, while countries with 'general' energy system are mainly distributed in Asia, Africa and Southern Europe, and the spatial-temporal evolution of this type is the main cause for the deterioration of world energy security pattern. Countries with 'dangerous' and 'relatively dangerous' energy system are mainly concentrated in Africa, Asia, the Middle East, Europe and Asia, rendering spatial extension to the east and south. (3) In the past 20 years, the mechanism for world's energy security pattern formation gradually transforms from the 'unitary dimension-dominated' to the 'binary dimension-dominated', and the main factors influencing the global energy security pattern become more diverse. (4) In the pattern of world's energy security, China's performance on energy security has been the world average since the 1990s, and shows a decreasing trend in energy consumption security index. This finding indicates the sustainable environment problem is increasingly prominent in the process of energy consumption.

Keywords: energy security; spatial-temporal evolution; subjective-objective weight allocation method; the globe