

全球能源安全的格局演变与地缘博弈

苏俊, 王永洵, 王强

(福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 受经济全球化影响, 国家能源安全问题的国际化趋势日益突出。21世纪以来, 伴随世界多极化加速发展, 世界能源安全格局演变特征及其驱动机制成为能源地缘政治研究的关键问题之一。基于这一认识, 对2000年以来全球124个国家能源安全状态进行了系统评价, 揭示了世界能源安全空间格局的演变特征及主要形成机制, 并提出了未来能源地缘政治的博弈焦点。结果显示: (1) 自21世纪初以来, 全球能源安全格局演变整体上不断优化, 但呈现出明显的阶段性特征, 即2010年以来, 全球能源安全格局优化趋势更为显著。(2) 世界能源安全格局与国际地缘秩序区划基本吻合, 即能源安全型国家集中分布在西欧和北美经济发达地区, 较安全型国家主要分布在中欧、拉丁美洲以及亚洲高收入地区, 过渡型国家主要分布在中东、东南欧以及东亚等能源体系亟需转型的地区, 而较危险和危险型国家集中分布在南亚以及非洲经济欠发达地区。(3) 近20年以来, 世界能源安全水平显著提升主要得益于发达经济体能源使用安全维度的良好表现, 而发展中国家由于创新能力较低、生产力较落后、居民可支配收入较少, 其能源安全水平提升空间较小。(4) 当前及今后一段时期内, 全球能源安全格局将受到中美关系变化的冲击、能源转型的胁迫以及政治环境不确定性的影响。

关键词: 能源安全; 格局演变; 地缘博弈; 全球

能源是人类赖以生存和发展的关键性物质基础, 也是全球地缘政治不稳定、不确定的主要根源^[1]。自20世纪70年代以来, 全球1/4到1/2的国家之间的战争与石油有关^[2], 而世界主要油气产地的政治与经济冲突、全球性金融危机又反过来强烈影响着能源价格的稳定性。当前, 民粹主义思潮正在全球范围内迅速崛起, 单边主义与保护主义正逐步打破国际市场竞争规则与地缘政治格局, 经济全球化面临着巨大挑战^[3], 全球能源安全格局和治理体系也将受到巨大冲击。面向国际政治格局与能源市场供需关系耦合变化的新趋势, 开展全球能源安全评价与格局演变研究, 对加强能源外交、构建全球治理体系具有重要的理论与实践意义。

资源或能源安全问题研究是当前地缘政治与能源地理研究的热点之一^[4-9], 且学界对“能源安全”这一概念的认知边界与内涵深度也逐步拓展、深入^[10-29]。20世纪70年代初, 国际能源署(International Energy Agency, IEA)针对两次石油危机对原油供应安全的影响, 提出了以保障石油供应、稳定价格为核心的“能源安全”概念^[10]。此后, 能源供应安全便作为“能源安全”最重要的维度出现在国内外研究中。如, Bohi等^[11]、Bielecki^[13]将“能源安全”定义为国家或区域能源系统以合理、可接收的价格充分供给能源的能力所处

收稿日期: 2020-01-20; 修订日期: 2020-05-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971159, 41671126)

作者简介: 苏俊(1981-), 男, 福建永定人, 博士研究生, 主要从事城市与区域规划研究。E-mail: 764162@qq.com

通讯作者: 王强(1982-), 男, 河北成安人, 博士, 教授, 主要从事区域可持续发展与空间规划研究。

E-mail: wangq@fjnu.edu.cn

的安全水平。类似概念还出现在 Müller-Kraenner^[14]、Chester^[15]、Cabalu^[16]和 Badea 等^[17]研究之中。亚太能源研究中心 (Asia Pacific Energy Research Centre, APERC) 也基于资源禀赋、物质形态、可获得性及可负担性四个关键维度定义了“能源安全”的概念^[18]。2018年, 国际能源署将关注焦点进一步由原油供应扩展至更为宽泛的能源获取上, “能源安全”的内涵也随之定义为持续以合理成本获得能源的可获得性^[19]。伴随全球范围内极端气候事件的频发以及对气候变化的普遍认识, 能源使用的环境可持续性得到广泛关注, 并逐渐被纳入“能源安全”概念之内。如, Bang^[20]、Brown 等^[21]、Sovacool^[22]、刘立涛等^[23]均在其研究中提及能源可持续利用的重要性, 并将其纳入能源安全评价的框架之中。此外, “能源安全”的概念内涵也逐步呈现人本化、社会化拓展, 能源服务水平与普惠水平随之成为能源安全的新维度之一。如, Lesbirel^[24]、Vivoda^[25]均指出国家能源服务水平对国家能源安全的重要性。但值得注意的是, 能源安全不仅仅是局部地区能源供需关系平衡的问题, 其背后还蕴含着繁杂纷乱的政治关系演变与发展权益博弈。为此, “能源安全”还是一个涵盖了全球经济社会发展、政治外交关系的科学命题, 其概念范畴逐渐向地缘政治领域延伸。如, Sovacool^[26]在 Vivoda^[25]研究的基础上, 将能源安全概念拓宽至20个维度。Wang 等^[27,28]也从能源供给—传输安全、能源使用安全、社会稳定三个维度来评价区域能源安全水平。

综上所述, 尽管国内外学者已对能源安全的概念进行了较多探讨, 但仍缺乏统一的学术定义^[29]。仍值得肯定的是, 伴随多学科对这一问题的涉及与渗透, 其研究角度日益宽泛, 其内涵与外延不断扩展。其中, 地理学在地缘空间格局分析、决策战略制定等方面具有学科优势, 其相关理论与研究范式逐渐在能源安全水平的时空差异、格局演变以及驱动机制等领域被广泛应用。基于这一认识, 本文对2000年以来全球124个国家能源安全状态进行了系统评价, 揭示了世界能源安全空间格局的演变特征及主要形成机制, 并提出了未来能源地缘政治博弈焦点, 以期丰富能源地缘政治研究体系, 为我国能源外交政策制定、能源开发利用发展方向提供学术借鉴和理论支撑。

1 研究方法数据来源

1.1 能源安全指标体系及集成方法

基于不同的概念框架, 国内外学者对能源安全开展了较广泛的实证研究。当前, 国内外学者根据研究需要, 选择相应指标及方法来进行定量测度, 大致可分为以下三类:

一类是以能源供给安全为测度目标的指标体系。如, Scheepers 等^[30]、Jansen^[31]均采用 S/D 指数 (Supply/Demand Index) 分别对欧盟国家进行了实证研究。Dunn 等^[32]应用 W&J 指数 (能源独立指数, 即国内能源生产量占能源总量的比例) 评价美国能源安全水平。国际能源署^[33]应用赫芬达尔—赫希曼指数 (Herfindahl-Hirschmann Index) 评价了全球40多个国家能源供应安全水平。Le Coq 等^[34]则使用风险性外部能源供应指数 (Risky External Energy Supply) 测算欧盟国家原油、天然气和煤炭供应风险指数。

第二类指标体系在第一类的基础上, 还考虑了经济发展、政治稳定对区域能源供应安全的影响。如, Gupta^[35]、Gnansounou^[36,37]考虑到了经济发展、能源进口依赖以及政治稳定等影响因素, 构建了石油脆弱指数 (Oil Vulnerability Index) 来对能源进口国家的能源安全进行评价。国际能源署则以供应为导向、基于35个指标, 从能源系统的稳健性

(资源和基础设施的充分性、可靠性)、独立性(对国外威胁的敏感性)、弹性(应对各类能源因价格波动而致使供应受限的能力)等方面构建短期能源安全模型(Model of Short-term Energy Security, MOSES)^[38]。此后,Cherp^[39]应用此方法对全球主要国家的能源安全水平进行了实证研究。Muñoz-Delgado^[40]基于能源多样化、可获得性、可行性、能源强度、能源运输、能源依赖度、政治稳定性、市场流动性以及GDP等指标构建了社会—经济能源风险指数,来评价25个欧盟国家能源安全水平。美国商会全球能源研究所则基于83个指标从地缘政治、经济发展、环境考虑以及可靠性四个维度构建能源安全指数,评价全球25个国家能源安全^[41]。

第三类指标体系将能源消费过程中的环境效应与利用效率纳入到能源安全评价指标体系之中。如,刘立涛等^[23]从能源供应稳定性与使用安全性两个方面构建中国及各区域能源安全评价模型。Von Hippel等^[42]应用能源强度、能源进口依赖度、能源碳排放强度、能源供应脆弱性和交通用能非多样性等指标构建能源脆弱性指数,以评价地区能源安全程度。欧盟联合研究中心考虑八个基础指标(能源强度,碳排放强度,对石油、天然气和煤炭的进口依赖性,一次能源生产规模)和两个香浓—维纳指数(发电多样性指数、交通能源需求)建立多元化的能源综合指数^[43]。Ang等^[44]应用显带方法(Banding Approach),基于能源供应链、经济发展以及环境效应三个维度评价新加坡能源安全水平变化情况。此外,世界能源理事会(World Energy Council, WEC)则从每年发布“能源三维指数”(Energy Trilemma Index)来评估各国能源系统绩效^[45]。其中,能源系统的三个维度主要包括:能源安全、能源公平、环境可持续性,并通过加权求和的方法进行多维度集成。

基于上述对国内外已有评价方法与模型研究的梳理,不难发现,能源安全评价指标体系逐渐多元、综合,这也与其不断扩展的概念内涵与外延相统一。为此,Wang等^[27,28]、徐玲琳等^[46]通过构建一个包括能源供应(运输)安全、使用安全、公平性及其发展环境四个维度的能源安全评价体系,对1990—2012年间世界能源安全格局演变过程及其驱动机制进行了研究。本文在上述三个研究成果的基础上,拟从国家能源供应的稳定性、能源服务的普惠性、能源使用的可持续性以及能源发展环境的优劣性四个维度构建能源安全评价指标体系(表1)。其中,能源供应多样性系数和电力多样性系数采用香浓—维纳指数来测度,其计算公式如下:

$$SWI = - \sum_{t=1}^k P_t \ln P_t \quad (1)$$

式中: k 表示国家主要能源供需类型; P_t 表示能源 t 在能源生产总量/电力发电总量中所占比例(%)。

在指标体系构建之后,本文运用标准差标准化方法进行数据标准化处理,再按照式(2)进行综合集成。值得一提的是,汽油零售价格和碳排放因子两个指标的升高对国家能源安全水平的提升具有抑制效应。为此,本文先对这两个指标进行求负处理,再进行标准化处理。

$$ESI_{tot}^c = \sum_{i=1}^{18} W_i \times Z_{ic} \quad (2)$$

式中: ESI_{tot}^c 为国家 c 的能源安全综合指数; W_i 为第 i 指标的权重,参考已有研究^[25,43,44],获取

表1 评价指标体系及其权重

Table 1 Indicators for the construction of national energy security

目标层	维度层	指标层	单位	权重/%		说明
				维度层	指标层	
能源安全综合指数	供应维度	一次能源生产量与消费量之比	—	35	7	供应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
		能源供应多样性系数	—		7	
		电力多样性系数	—		7	
		原油储备量	亿桶		7	
		天然气储备量	万亿立方英尺		7	
	普惠维度	通电率	%	18	6	普惠维度用以表征能源系统满足区域生产、生活用能需求的综合能力
		汽油零售价格	美元/升		6	
		非固态燃料获得率	%		6	
	使用维度	化石能源所占比例	%	32	8	使用维度用以测度区域能源使用的环境效应
		可再生能源发电所占比例	%		8	
		碳排放因子	t/t油当量		8	
		能源效率	10 ³ 美元/t油当量（已转换为2011年不变价）		8	
		发展环境	政治稳定性		—	
	管理水平	—	2			
	政府效率	—	2			
法律角色	—	2				
腐败控制	—	2				
	人均GDP	美元（已转换为2011年不变价）	5			

指标 W_i 的权重； Z_{ic} 表示对 i 指标数据标准化后，国家 c 的数值。

1.2 核密度估计

作为非参数检验方法之一，核密度估计方法凭借其估计出的密度曲线较直方图连续且平滑，避免了非参数估计中对函数设定的主观性，因此被广泛应用于空间差异及分布动态演进的研究中^[47-49]。本文应用这一方法对全球124个国家能源安全指数及其三个主要的能源分维度安全指数进行密度估计，并绘制密度曲线，以便更为直观、具象地识别、探讨近20年来全球能源安全格局演变的主要驱动机制。其具体模型如下：

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - x}{h}\right) \quad (3)$$

式中： N 是被观测国家数量（个）； h 为带宽； $K(\cdot)$ 是核函数； X_i 在文中指观测值，即分别为各国的能源安全综合指数、能源供应安全指数、能源普惠指数、能源使用安全指数； x 为均值。此外，本文在平台R Studio 1.2.1335上绘制密度曲线，以便将密度估计结果可视化。

1.3 数据来源

本文能源数据来源于IEA^[50]；社会发展数据来源于世界银行数据库（Data of The World Bank）^[51]；发展环境数据源自世界发展指数数据库（World Development Indica-

tors)^[52]。此外,受数据可获得性的限制,选择了全球124个国家在2000年、2005年、2010年、2015年、2018年的面板数据作为数据基础。

2 结果分析

在因子分析结果的基础上,本文凭借ArcGIS 10.1平台,运用自然间断点分级法(Jenks)将124个国家分为能源安全型、较安全型、过渡型、较危险型、危险型五个类型区(图1)。

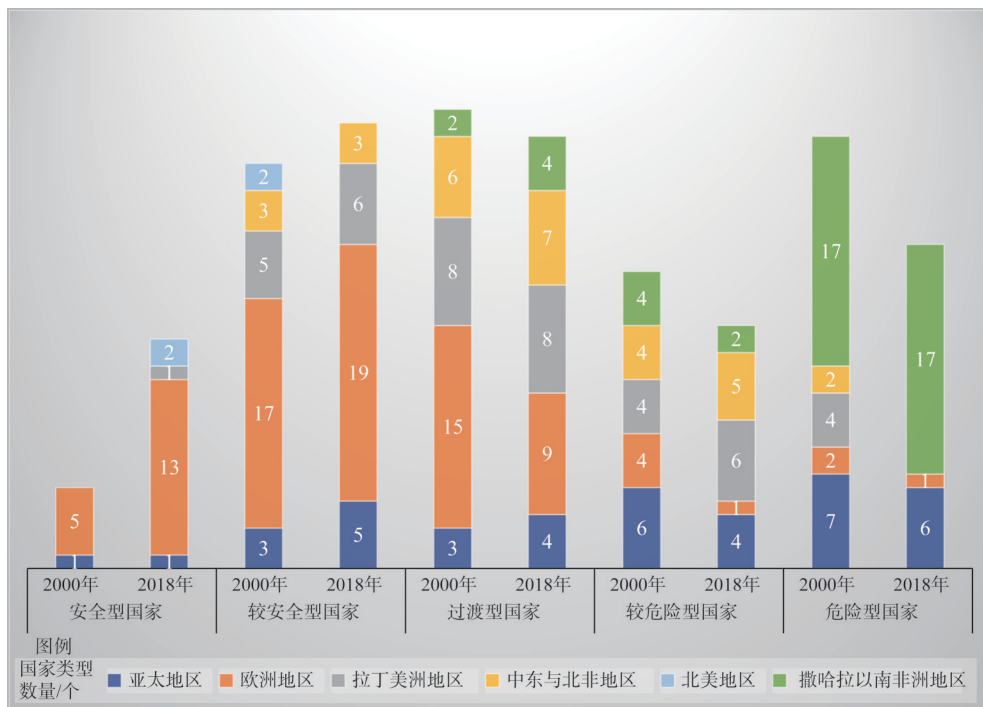


图1 2000年以来世界能源安全格局演变

Fig. 1 The evolution of the world energy security pattern since 2000

2.1 时序变化特征

整体来看,近20年来,全球能源安全格局呈现优化特征,能源安全型国家数量呈现明显的增长态势,而能源危险型国家数量显著减少。其中,能源安全型国家数量从2000年的6个增加至2018年的17个,增长了近两倍之多;而能源危险型和较危险型国家数量则呈现减少趋势,分别由32个、22个减少至24个、18个;较安全型和过渡型国家数量整体较为稳定,维持在30~40个之间。但从不同发展阶段来看,全球能源安全格局在2010年发生了较大变化。21世纪前十年,能源安全型国家数量小幅增长,但较安全型国家数量却明显减少,两个类型的国家总量由2000年的36个降低至2010年的34个;同时,较危险型与危险型国家数量也小幅减少。总之,这一阶段全球能源安全格局整体上优化特征不明显,甚至呈现局部恶化趋势^[29](表2)。但2010年以来,伴随全球性可持续发展计划、可持续治理体系的施行,以及全球原油价格的长期低迷,安全型、较安全型国家数量明显增长,具体表现为八年间二者分别增加了8个;而同时,过渡型、较危险

表2 2000年以来世界能源安全类型区数量变化

Table 2 Changes in the numbers of different energy system types in the world since 2000 (个)

类型区	2000年	2005年	2010年	2015年	2018年	2000—2018年 变化情况	其中	
							2010—2018年	2000—2010年
安全型国家	6	8	9	14	17	+11	+8	+3
较安全型国家	30	26	25	29	33	+3	+8	-5
过渡型国家	34	40	40	35	32	-2	-8	+6
较危险型国家	22	18	21	23	18	-4	-3	-1
危险型国家	32	32	29	23	24	-8	-5	-3

型和危险型国家数量也明显降低，八年间分别减少了8个、3个和5个。

2.2 格局演化特征

通过对近20年来124个国家能源安全水平的动态评价与演变分析，发现世界能源安全格局与国际地缘秩序基本吻合。具体表现在：

(1) 安全型国家集中分布在西欧和北美经济发达地区。尽管能源资源相对匮乏，但在经济全球化的推动下，大部分西欧经济发达国家通过能源战略储备、能源外交等手段从俄罗斯和中东地区获取能源，从而保障了能源供应的稳定。此外，西欧国家不断强化其在全球治理体系中的领导与组织地位，通过一系列“气候与能源计划”，大力推动清洁能源发展与温室气体减排运动，从而大幅提升了国家能源使用安全水平。具体表现在西欧能源安全型国家数量由2000年的5个增长至2018年的13个，成为全球能源安全型国家集中分布区（图2a）。与欧洲发达经济体能源系统表现不同，美国与加拿大拥有丰富多样的化石能源，能源供应安全程度较高，但由于近年来其化石产业的快速发展，能源使用的环境可持续性相对较低（图2b）。2000年以来，伴随其化石能源储备的降低，两个国家能源供应安全指数均呈现较小幅度的降低，而伴随能源转型与低碳经济的发展，能源使用安全指数呈现了增长态势，但安全水平明显低于欧盟发达经济体。此外，该类型国家能源系统发展的政治环境稳定、经济支撑基础雄厚，为能源安全水平提升创造了有利的外部条件。

(2) 较安全型国家主要分布在欧洲中部，以及拉丁美洲和亚洲高收入国家。全球能

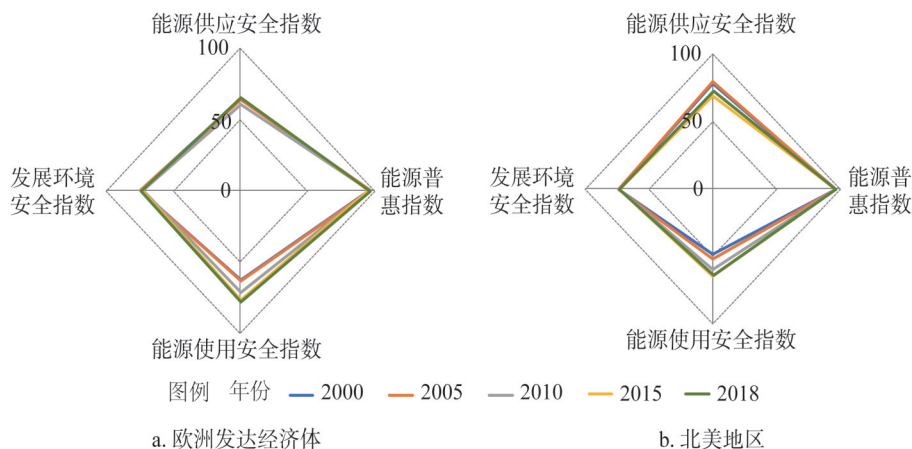
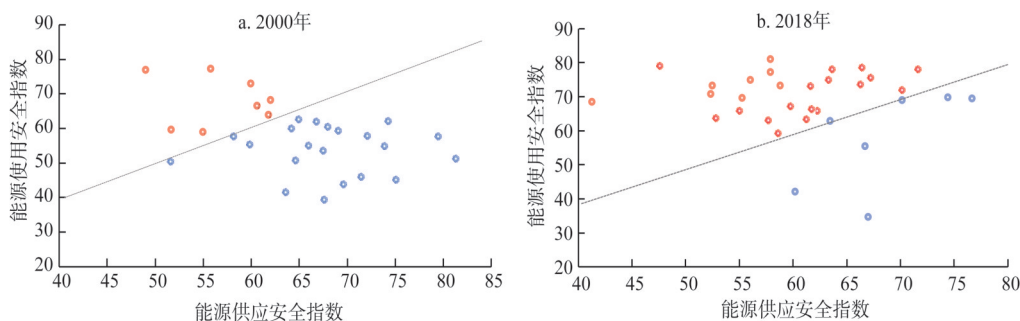


图2 能源安全型地区能源系统三个主要维度表现情况

Fig. 2 Performance of three main dimensions of energy system of energy-safe countries

源市场的形成与发展,在一定程度上降低了区域能源安全对本地资源的依赖性。2000年以来,伴随经济全球化的发展,较安全型国家空间分布逐步转向具有先进生产力的经济体,主要分布在处于欧盟“第二梯队”的中东欧国家、东亚高收入国家,以及具有能源资源优势的能源大国。2000年,全球30个较安全型国家主要集中分布在化石能源丰富的中东与东南亚国家,以及水电开发程度较高的拉丁美洲(图3a)。而在这些国家中,共有22个国家能源供应安全指数高于其能源使用安全指数。但伴随全球范围内能源开发技术的进步以及各国对气候变化、低碳经济认识的加深,各国在能源使用安全维度上的表现逐步改善,到2018年,31个能源安全型国家中共有27个国家能源使用安全指数高于其能源供应安全指数(图3b)。



注:虚线表示能源供应安全指数与能源使用安全指数相等的点集;红色点表示能源供应安全指数小于能源使用安全指数的国家;蓝色点表示能源供应安全指数大于能源使用安全指数的国家。

图3 2000年和2018年能源较安全型国家能源供应安全指数与能源使用安全指数散点图

Fig. 3 Scatter plots of energy supply safety index and energy use safety index for countries with relatively safe energy system in 2000 and 2018

东欧剧变之后,保加利亚、波兰、立陶宛等13个中东欧国家先后加入欧盟,并凭借其相对廉价的劳动力、宽松的生产环境,发展成为西欧制造业对外转移的主要承接国。伴随经济的转型增速,这些国家的能源利用效率和环境可持续性也逐步提升,能源使用安全指数由2000年的54.6增长到了2018年的71.4(图4a)。但受国内经济发展水平、创新能力、体制机制的影响,能源发展环境安全指数明显低于欧盟发达经济体。而日本、韩国、文莱、以色列与新加坡等亚洲高收入国家得益于较好的能源发展环境和较高的能源普惠水平,整体能源安全性较高。但由于能源对外依赖程度高,这些国家在能源供应安全维度上表现较逊色。如日本能源净进口量占能源消费总量的比例在福岛核泄漏事件之前约为80%,而该事件以后至今则逐步增长到94%左右,能源供应安全受到严峻挑战,指标上具体表现在能源供应安全指数由2000年的61.8降低至2018年的55.3。新加坡90%以上的电力来自于其进口的天然气,但近年来太阳能的快速发展和电力市场的自由化发展显著提升了其能源供应的安全性,供应安全指数随之由2000年的26.5增长至2018年的39.3,但能源供应能力整体仍较低(图4b)。

拉丁美洲地区水电资源丰富,水力发电约占地区发电总量的65%,因此能源使用的环境可持续性较高(图5a)。但近年来,由于政治环境的持续动荡、经济发展的停滞不前,能源发展环境持续恶化,能源安全系数呈现波动性的下降趋势。此外,由于水电成本较大,地区电力平均价格也较高,能源普惠水平明显较低。相反,卡塔尔、委内瑞拉和沙特阿拉伯等国家油气资源丰富,地区能源可获得性较强,能源价格较低,因此能源

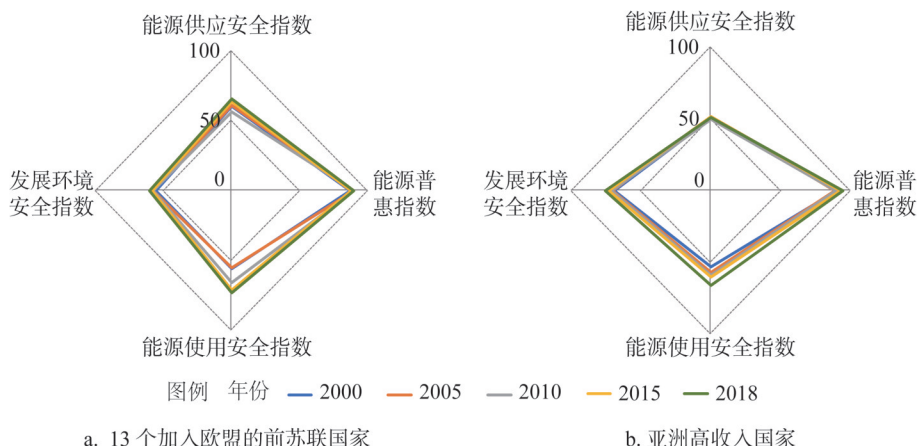


图4 前苏联欧盟国家和亚洲高收入国家能源系统表现情况

Fig. 4 Energy security performance of former Soviet Union countries in European Union and Asian high-income countries

普惠水平较高(图5b)。但由于国家经济主要建立在矿产资源开发和重工业的基础之上,能源消耗粗放、污染排放高,能源使用安全性依然低于其他两个安全维度。同时,伴随各国能源储备的降低,以及能源供应类型的单一化,2000年以来这些国家能源供应安全指数由71.4降低到了64.6。与上述传统能源出口国不同的是,尽管澳大利亚是世界上最大的煤炭出口国,但依然是原油净进口国,伴随能源储备的日益降低,其能源供应安全指数较2005年呈现明显降低趋势(图5c)。与此同时,由于近年来澳大利亚政府将气候变化当作国内最重要的政治议题,并且积极寻求经济转型方向,该国能源使用安全指数自2005年来也开始呈现大幅增长的态势。此外,相较于拉丁美洲以及油气资源丰富的国家,澳大利亚能源发展环境指数远远领先于这两个地区。

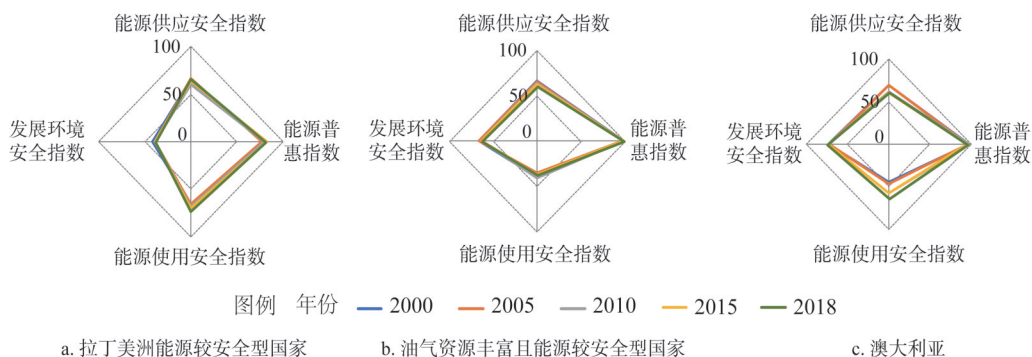


图5 能源富集型国家能源系统表现情况

Fig. 5 Energy security performance of energy-rich countries

(3) 过渡型国家主要分布在中东、东南欧以及东亚地区。这一类型国家主要受政治环境、经济水平、现代化进程等发展环境的制约,区域能源系统安全面临挑战或正处于转型阶段。如中东地区虽然油气资源丰富,能源供应、普惠水平也较高,但地区经济以石化产业为主,产业用能效率较低、温室气体排放量较大,且政治冲突不断、经济动荡脆弱,能源使用安全与发展安全指数远远落后其他两个维度(图6a)。

自东欧剧变之后,乌克兰、格鲁吉亚、阿尔巴尼亚、乌克兰、土耳其、亚美尼亚等

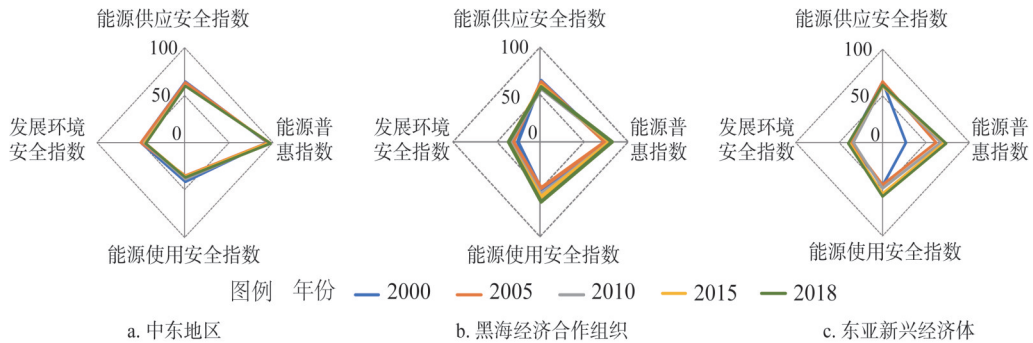


图6 能源过渡型国家能源系统表现情况

Fig. 6 Energy security performance of countries with energy system in transition

国家与俄罗斯一同加入了黑海经济合作组织（Black Sea Economic Cooperation, BSE），在一定程度上保证了该地区能源市场的稳定性和能源结构的多样化，该组织成员国内能源价格较平稳，能源系统在普惠维度表现较好（图6b）。但由于这一地区化石能源主要集中在俄罗斯，而其他成员国对其能源供给存在较大的依赖性，所以地区能源供应安全受到的潜在威胁较大。此外，由于这些国家依然保留前苏联经济发展模式，产业结构偏重、能源资源使用方式粗放、现代化可再生能源技术普及率低，其能源使用安全水平也远远低于欧盟国家。

21世纪以来，中国、印度尼西亚、泰国、马来西亚等东亚新兴经济体快速崛起，能源需求大幅增长。2000年以来，伴随经济的快速发展，发展中国家积极响应联合国可持续发展目标行动，加强能源基础设施和基本服务能力建设、大力消除能源贫困，其能源普惠水平显著提升（图6c）。如印度尼西亚能源普惠指数由2000年的36.4增长到2018年的69.3，成为全球能源普惠指数提升最大的国家。同时，能源需求量的大幅提升也加大了地区能源对外依赖程度，区域能源供应安全指数呈现降低的趋势。如作为世界最大的能源消费与温室气体排放国，中国的石油、天然气对外依存度分别上升到70%、35%。

（4）较危险型和危险型国家集中分布在南亚和非洲地区。在全球经济格局中，非洲和南亚国家社会生产力最为落后，能源系统发展环境较滞后，基础设施和公共服务较缺乏，为此，这些国家能源普惠水平较低。此外，由于这些国家能源供应结构原始单一，利用方式粗放不可持续，能源系统整体运行较差（图7）。其中，非洲是全球能源安全性最低的地区，2018年共有17个危险型国家分布在该地区，占到全球能源危险型国家总量的70%之多。而南亚的印度、尼泊尔、巴基斯坦、菲律宾、斯里兰卡、孟加拉国、缅甸以及柬埔寨等地区由于民族宗教冲突频繁、能源资源禀赋相对贫乏、生产能力较为落后，能源系统长期处于危险状态。自2010年之后，伴随电力设施的普及、油气能源补贴政策的实施以及分布式可再生能源技术的扩散，南亚地区能源普惠水平明显提升。如柬埔寨在2010年通电率仅为31.1%，而到2018年通电率超过90%，为此，能源普惠指数也由15.0增长到46.2，提升幅度仅次于印度尼西亚。

2.3 驱动机制探讨

区域能源安全在一定程度上取决于能源供应体系的稳定性、能源服务设施的均衡性、能源消耗方式的可持续性以及能源产业发展外部环境的优越性等，反映在空间上，

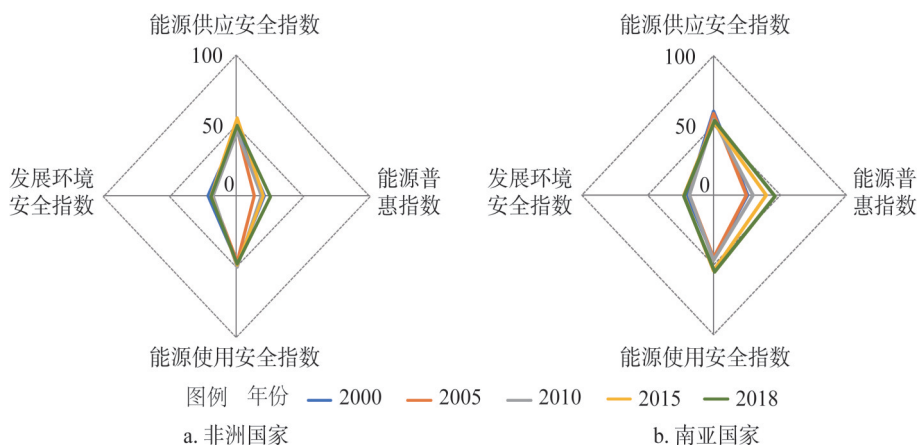


图7 能源危险型和较危险型国家能源系统表现

Fig. 7 Performance of countries with relatively dangerous or dangerous energy system

其分布特征与国际地缘政治格局基本一致。为进一步探究2000年以来世界能源安全格局优化的驱动机制，以下将对五个研究时间节点的能源安全综合指数及其他三个分维度进行密度分布曲线分析，探究推动近20年来世界能源安全格局演变的驱动机制。

(1) 伴随世界能源市场的发展，以及区域能源系统节约化、集约化演变，各国能源供应安全指数的平均值在近20年间基本稳定在60.0左右，能源供应安全水平并未呈现显著降低或提升趋势。且从密度分布曲线变化来看，越来越多的国家能源供应安全指数处于55~65这一区间（图8），处于这一国家的数量由2000年的40个增加到了2018年的59个，且大部分以欧洲发达或高收入国家为主。这也从侧面反映出发达或高收入国家凭借其在市场、制度、政治环境和话语权上的优势，在全球能源市场中占据着有利地位，在经济全球化过程中，外部能源市场的渗入有效满足了本地能源需求，从而保障了地区能源供应的安全稳定。如20世纪70年代的两次石油危机促使欧洲发达经济体转向节能低碳的发展模式，并通过能源战略储备、强化能源外交等手段保障能源供应稳定增长。

(2) 相较于能源供应安全指数，能源使用安全指数呈现了显著增加，其均值由2000年的52.5增长到了2018年的61.9。同期，能源使用安全指数大于65的国家数量也由2000年的19个增加到2018年的56个。但值得注意的是，在这些国家中经济发达国家占主体地位，例如在2018年能源使用安全指数大于65的56个国家中，欧盟或OECD国家就有35个。这主要得益于各国环境意识强烈，长期将能源效率、可再生能源、生物经济，以及自然碳汇、碳捕捉和储存等作为重点关注的领域，能源使用的可持续性水平显著领先世界其他地区。拉丁美洲凭借水力资源优势，伴随水电开发技术的推广，能源使用安全水平也显著提升，共有10个国家能源使用安全指数达到了65以上。

(3) 提升能源的普惠性是各国保障区域能源安全的基本目标之一，近20年间，全球能源普惠指数均值由66.8增长到了72.5，增长幅度仅次于能源使用安全指数。其中，能源普惠指数大于75的国家也由65个增长到了81个，这些国家主要分布在油气资源相对丰富的中东和东欧国家，以及水电资源丰富的拉丁美洲国家。主要得益于能源开发技术成本的降低、能源基础设施的完善，以及能源价格相对较低的优势，上述国家能源普惠水平不断提升。此外，伴随近年来全球能源市场供求关系的逐步宽松、全球能源平均价格

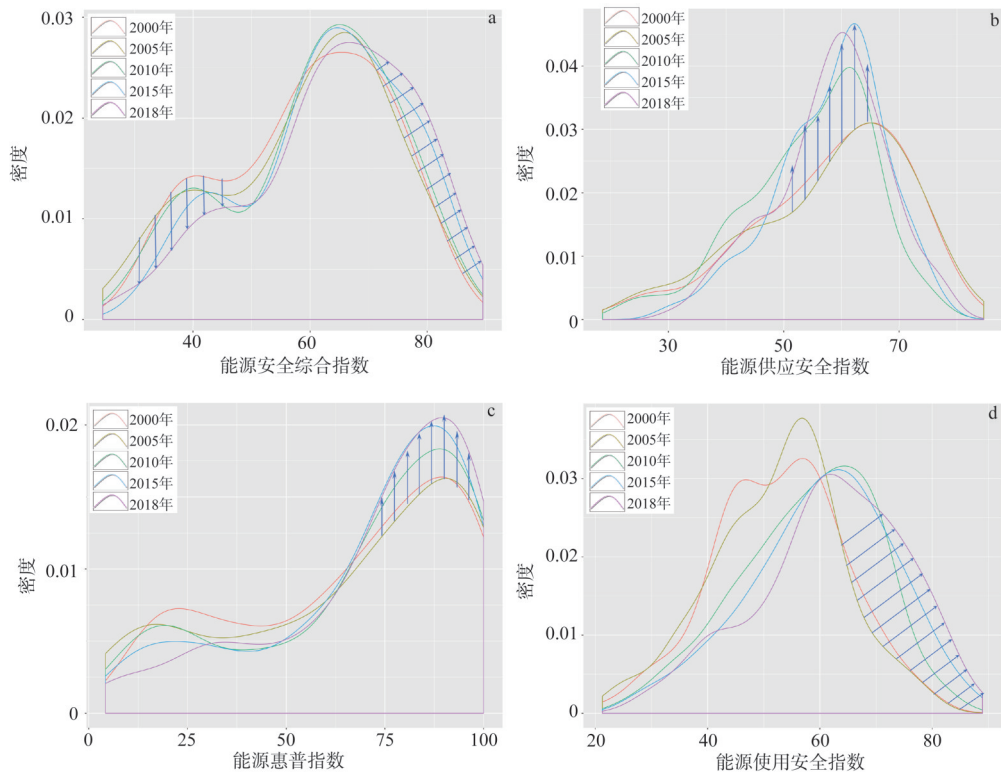


图8 2000年以来全球能源安全综合指数及其三个主要维度密度分布曲线变化情况

Fig. 8 Density distribution curves of global energy security index and its main three sub-indices

相对平稳甚至下降的发展趋势，以及国家经济和居民收入水平的显著增长，高度依赖区外能源进口的发达和新兴经济体的能源普惠水平得到了提升。如韩国、中国、泰国等国家，能源普惠指数分别由2000年的84.9、55.3、63.5增长到2018年的96.6、76.1、77.2。

概括而言，区域能源系统的安全水平在不同社会发展阶段呈现明显的差异性，且其主要驱动维度及其影响因素也不断变化。理论上来看，在区域工业化之前和工业化前期，区域能源安全水平整体较低，能源供应安全起到绝对主导作用（图9）。伴随区域经济进入工业化中期，经济发展与社会进步对能源的需求急剧增加，从而使能源供应安全的重要性也大幅提升。同时，经济发展加快了区域基础设施的持续完善和居民收入的不断提升，为此能源普惠水平也显著提升。但由于能源消耗的快速增加，区域环境污染问题日益突出，到工业化中期末，能源使用的环境可持续性与效率提升受到关注，并逐渐成为区域能源安全水平提升的新驱动因素。直至工业化后期，在经济全球化的背景下，能源使用安全维度的重要性显著提升，而能源供应安全的重要性相对弱化。而从实践上来看，2000年以来全球能源安全格局演变特征也印证了这一规律的存在：在经济全球化背景下，能源使用安全维度将取代能源供应安全维度，成为决定国家安全水平的关键维度。

3 结论与讨论

3.1 结论

面对气候变化、环境恶化、能源贫困等全球性问题，建设清洁、低碳、高效的新型

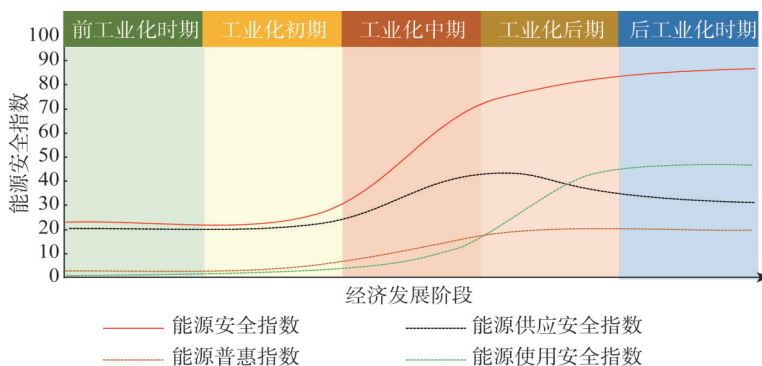


图9 不同发展阶段国家能源安全演变过程示意图

Fig. 9 The evolution of energy security index and its three sub-indices at different development stages

能源体系，加快能源转型，全面提升区域能源安全已成为世界各国能源系统发展的共同目标。本文对2000年以来全球124个国家能源安全状态进行了系统评价，揭示了世界能源安全空间格局的演变特征及主要形成机制，并提出了未来能源地缘政治博弈焦点。结果显示：

(1) 自21世纪初以来，全球能源安全格局整体呈现优化的特征，能源安全型国家数量呈现明显的增长态势，而能源危险型国家数量显著减少。其中，能源安全型国家数量从2000年的6个增加至2018年的17个。但在不同发展阶段，其发展呈现出明显的差异性，即2010年以来，全球能源安全格局优化趋势更为显著。

(2) 区域综合发展水平显著影响着其能源系统的运行效率，因而世界能源安全格局与国际地缘秩序区划基本吻合，即能源安全型国家集中分布在西欧和北美经济发达地区，较安全型国家主要分布在中欧、拉丁美洲以及亚洲高收入地区，能源过渡型国家主要分布在中东、东南欧以及东亚等能源体系亟需转型的地区，而能源较危险型和危险型国家集中分布在非洲与南亚等经济欠发达地区。

(3) 近20年以来，伴随世界能源安全水平显著提升，发达经济体以及拉丁美洲国家主要受气候友好型绿色技术的驱动与国际油价持续低迷的影响，其能源安全水平显著提升；而发展中国家由于创新能力较低、生产力较落后、居民可支配收入较少，其能源安全水平提升空间较小。

(4) 在部分国家民粹主义兴起、贸易壁垒加剧以及美国在中东地区战略收缩的背景下，未来全球能源安全格局将受到中美关系变化的冲击、能源转型压力加大的胁迫以及政治环境不确定性的影响。

3.2 讨论

立足当前部分国家民粹主义兴起、贸易壁垒加剧以及美国在中东地区战略收缩的背景，未来全球能源安全格局将面临以下几方面的挑战：

(1) 全球能源供求版图逐步改变。美国凭借“页岩革命”，油气产量近十年来迅速攀升，谋求重新成为世界能源霸主。同时，伴随东亚新兴经济体的崛起，世界能源消费重心逐渐东移，中国现已成为世界能源需求第一大国，其消费份额由1990年的十分之一增长到2018年的五分之一。在此背景下，中美构成了最大的供需对应关系，中美之间的竞争与合作也已成为全球能源市场供求关系变化关注的焦点。

(2) 全球能源使用安全水平提升速度趋缓,全球治理体系将受到挑战。2018年,全球经济增长速度为3.04%,略低于2017年,放缓趋势开始显现,但能源总消费量却增长了2.3%,成为2010年以来增长速度最快的一年,能源强度也随之成为近10年以来降幅最小的一年。更为严峻的是,自2015年以来,全球能源强度年均降幅呈现逐年降低的趋势,且远低于国际能源署所提出的能源效率提升目标(SDS 2017—2040年均降低3.4%)。此外,世界范围内多次爆发的能源民粹主义、权力竞争正挑战着现有多边协商规则和国际秩序,全球能源转型与国际合作为之面临着更多的风险或不确定性。当前,民族优先政策(贸易保护主义)为保护本地能源市场而抑制区外能源与投资的进入,这在一定程度上推动了本地化石燃料开发,但也加速了世界能源市场的碎片化,从而限制了全球范围内规模经济的扩大以及能源清洁化的进程,使得全球性减排压力持续加大。如受美国退出《巴黎协定》、民粹主义风潮席卷欧洲的影响,“内顾性”和强调个体利益日益成为《联合国气候变化框架公约》实施的主要阻碍性因素,以化石能源为主的世界能源市场将长期存在。

(3) 由能源转型引发的社会稳定风险逐渐在能源普惠上成为影响区域能源安全的重要因素之一。加快能源脱碳化成为当前全球有效应对气候变化、实现联合国可持续发展目标的必然选择。但从欧美等发达国家能源转型经验来看,在经济增长疲软、贫富差距扩大、债务比例较高的社会背景下,居民能源消费的经济负担增加极大影响着区域能源转型成效,主要原因在于:第一,能源转型在初步阶段容易造成居民用能成本的大幅上涨、生活负担的增加,从而较易激发经济发展滞缓、社会矛盾激发,并演变成不同阶层之间的对立。如2018年底法国政府为加快能源转型、减少碳排放,决定对民众加征燃油税,从而引发“黄背心”运动。第二,化石能源产业往往是区域能源转型中最大的牺牲者,也是民粹主义相对旺盛的行业部门。如近年来在波兰、德国等依赖燃煤发电的欧洲国家频繁发生的民粹运动。第三,能源转型还会衍生出生态环境破坏、国际争端等外部性问题。如大坝修筑造成水质改变,大型风电场产生噪音污染并且导致鸟类死亡;各国围绕清洁能源技术竞相设置贸易壁垒,国际河流上大型水电项目常引发上下游国家的纷争,以及跨国电力输入导致国家能源供应安全脆弱等。上述发达国家能源转型进程中的问题在当前逆全球化思潮、民主化转型和互联网社交媒体的煽动与推广下极易被迅速政治化,并诱发各种形式的民粹主义。

能源安全直接影响到国家安全、可持续发展以及社会稳定。当前,在部分国家爆发的民粹主义、保护主义以及单边主义思潮运动,将对全球主要能源供需、大国地缘政治博弈产生深刻影响,继而影响着全球能源市场的自由贸易与技术合作,以及全球能源转型与治理体系构建。基于这一认识,未来能源安全格局的动态演变以及预警监测研究将成为国际上关注的焦点。尤其是对我国而言,作为新一代能源治理体系中地位重要的大国,要进一步增强自身能源安全水平认知与提升能力,强化我国在全球能源治理中的话语权和主导权。并且,受世界政治格局碎片化与多极化的影响,区域能源市场壁垒趋高,传统化石能源开发将持续推进,清洁型新能源技术扩散与开发步伐随之受到限制。在此背景下,全球及不同区域能源使用安全情景还有待深入研究。此外,由于“能源安全”的内涵与外延、评价方法等方面在不同学者的研究中难以统一,已有研究的评价结果难以进行对比分析,因而如何建立全球性能源安全评价框架以及研究范式就成为一项亟待开展的科学命题。

参考文献(References):

- [1] BAZILIAN M, BRADSHAW M, GOLDTHAU A, et al. Model and manage the changing geopolitics of energy. *Nature*, 2019, 569: 29-31.
- [2] COLGAN J D. Fueling the fire: Pathways from oil to war. *International Security*, 2013, 38(2): 147-180.
- [3] 林初昇. 去中心化和(逆)全球化背景下中国人文地理学的批判性理论探索与方法创新. *热带地理*, 2019, 39(5): 1-9. [LIN C S. Critical theoretical engagements and methodological innovation for China's human geography in a decentering and (anti) globalizing world. *Tropical Geography*, 2019, 39(5): 1-9.]
- [4] 沈镛, 张红丽, 钟帅, 等. 新时代下中国自然资源安全的战略思考. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 721-734. [SHEN L, ZHANG H L, ZHONG S, et al. Strategic thinking on the security of natural resources of China in the New Era. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 721-734.]
- [5] 沈镛. 三十年来中国自然资源学会的发展与展望. *自然资源学报*, 2013, 28(9): 1464-1478. [SHEN L. Some thoughts on development and prospects of its thirties years of China Society of Natural Resources (CSNR). *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(9): 1464-1478.]
- [6] 董锁成, 石广义, 沈镛, 等. 我国资源经济与世界资源研究进展及展望. *自然资源学报*, 2010, 25(9): 1432-1444. [DONG S C, SHI G Y, SHEN L, et al. Progress and its prospects of research on resource economics and world resources in China. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(9): 1432-1444.]
- [7] 彭焜, 朱鹤, 王赛鸽, 等. 基于系统投入产出和生态网络分析的能源—水耦合关系与协同管理研究: 以湖北省为例. *自然资源学报*, 2018, 33(9): 1514-1528. [PENG K, ZHU H, WANG S G, et al. Energy-water nexus in Hubei province based on system input-output analysis and ecological network analysis. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(9): 1514-1528.]
- [8] 张雷, 黄园渐, 杨波, 等. 国家能源供应时空协调: 基本概念、理论与方法. *自然资源学报*, 2012, 27(4): 529-539. [ZHANG L, HUANG Y X, YANG B, et al. Time-space coordination of national energy supply. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(4): 529-539.]
- [9] 吴初国, 何贤杰, 盛昌明, 等. 能源安全综合评价方法探讨. *自然资源学报*, 2011, 26(6): 964-970. [WU C G, HE X J, SHENG C M, et al. Comprehensive method for evaluation energy security. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(6): 964-970.]
- [10] International Energy Agency (IEA). *Energy Technology Policy*. Paris: OECD/IEA, 1985: 29.
- [11] BOHI D R, TOMAN M A. *The Economics of Energy Security*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1996: 13-15.
- [12] DORIAN J P, FRANSSSEN H T, SIMBECK D R. Global challenges in energy. *Energy Policy*, 2006, 34(15): 1984-1991.
- [13] BIELECKI J. Energy security: Is the wolf at the door?. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 2002, 42(2): 235-250.
- [14] MULLER-KRAENNER S. *Energy Security: Remeasuring the World*. London: Earthscan Publications, 2008: 19-23.
- [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] Asia Pacific Energy Research Centre (APEREC). *A quest for energy security in the 21st century*. Tokyo: Institute of Energy Economics, Asia Pacific Energy Research Centre, 2007: 5-8.
- [19] International Energy Agency (IEA). *World energy outlook*. <https://www.iea.org/topics/energysecurity/what-is-energy-security>: 2019-11-22.
- [20] BANG G. Energy security and climate change concerns: Triggers for energy policy change in the United States?. *Energy Policy*, 2010, 38(4): 645-1653.
- [21] BROWN M A, DWORKIN M. The environmental dimension of energy security. In: SOVACOOOL B. (Ed.). *The Routledge Handbook of Energy Security*. London: Routledge, 2011: 35-36.
- [22] SOVACOOOL B K. The importance of scale to energy security. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 2012, 9(3): 167-180.
- [23] 刘立涛, 沈镛, 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. [LIU L T, SHEN L, GAO T M, et al. Evaluation and spatial-temporal evolution of energy security in China. *Acta Geographica Sinica*, 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] SOVACOOOL B K. Evaluating energy security in the Asia Pacific: Towards a more comprehensive approach. *Energy Policy*, 2011, 39(11): 7472-7479.
- [27] WANG Q, ZHOU K. A framework for evaluating global national energy security. *Applied Energy*, 2017, 188: 19-31.
- [28] WANG Q, XU L L, LI N, et al. The evolution of the spatial-temporal patterns of global energy security since the 1990s. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29: 1245-1260.
- [29] GASSER P. A review on energy security indices to compare country performances. *Energy Policy*, 2020, 139: 1-17.
- [30] SCHEEPERS M, SEEBREGTS A, DE JANG J, et al. EU standards for energy security of supply, ECN/Clingendael International Energy Program. Petten. The Netherlands: European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, 2007: 15-16.
- [31] JANSEN J C. Energy services security: Some metrics and policy issues. In: *Proceedings of the 4th Conference on Energy Economics and Technology*. Dresden, 2009: 7-8.
- [32] DUNN L, DUNN R. Washington & Jefferson College Energy Index. Washington & Jefferson College, 2012: 5-16.
- [33] International Energy Agency (IEA). *Energy Supply Security: The emergency response of IEA countries*. 2014 Ed. Paris, France, 2014: 3-6.
- [34] LE COQ C, PALTSEVA E. Measuring the security of external energy supply in the European Union. *Energy Policy*, 2011, 37: 4474-4481.
- [35] GUPTA E. Oil vulnerability index of oil-importing countries. *Energy Policy*, 2008, 36: 1195-1211.
- [36] GNANSOUNOU E. Assessing the energy vulnerability: Case of industrialized countries. *Energy Policy*, 2008, 36: 3734-3744.
- [37] GNANSOUNOU E. *Indicators of Energy Vulnerability*. London: UK: World Energy Council, 2009: 21-23.
- [38] International Energy Agency (IEA). *The IEA Model of Short-term Energy Security*, 2011. <https://www.iea.org/reports/the-iea-model-of-short-term-energy-security:2019-11-23>.
- [39] CHERP A. *Energy and Security: Toward a Sustainable Future*. Edited by JOHANSSON T B, PATWARDHAN A, NAKICENOVIC N, et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2012: 325-334.
- [40] MUÑOZ-DELGADO B. Energy security indices in Europe. *Economic Challenges for Energy-Workshop*. Madrid, Spain, February 7-8th, 2011.
- [41] U.S. Chamber of Commerce's Global Energy Institute. *International Index of Energy Security Risk: 2020 Edition*. Washington DC: US Chamber of Commerce, 2020: 17-25.
- [42] VON HIPPEL D, SUZUKI T, WILLIAMS J H, et al. Energy security and sustainability in Northeast Asia. *Energy Policy*, 2013, 39: 6719-6130.
- [43] European Commission's Joint Research Centre. *Risk of Energy Availability Common Corridors for Europe Supply Security, Summary Report*. Project funded by EC FP7 under the theme "Energy Security of Supply". Final Workshop, Brussels May 13th, 2011. <https://cordis.europa.eu/project/id/212011>, 2019-11-25.
- [44] ANG B W, CHOONG W L, NG T S. A framework for evaluating Singapore's energy security. *Applied Energy*, 2015, 148: 314-325.
- [45] World Energy Council. *World Energy Trilemma Index 2019*. <https://trilemma.worldenergy.org/reports/main/2019/2019%20Energy%20Trilemma%20Index.pdf>, 2019-11-18.
- [46] 徐玲琳, 王强, 李娜, 等. 20世纪90年代以来世界能源安全时空格局演化过程. *地理学报*, 2017, 72(12): 2166-2178. [XU L L, WANG Q, LI N, et al. Spatial-temporal evolution of global energy security since 1900s. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(12): 2166-2178.]
- [47] DOBRIC' J, SCHMID F. A goodness of fit test for copulas based on rosenblatts' transformation. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2007, 51(9): 4633- 4642.
- [48] 任仙玲, 张世英. 基于非参数核密度估计的 Copula 函数选择原理. *系统工程学报*, 2010, 25(1): 36-42. [REN X L, ZHANG S Y. Copula function selection criterion based on nonparametric kernel density estimation. *Journal of Systems Engineering*, 2010, 25(1): 36-42.]
- [49] 申鹏, 张晓宇, 张婉玉. 中国城乡居民收入的分布动态演进: 1985—2017. *经济论坛*, 2019, (11): 15-23. [SHEN P, ZHANG X Y, ZHANG W Y. The dynamic evolution of the income distribution of urban and rural residents in China: 1985-2017. *Economic Forum*, 2019, (11): 15-23.]

- [50] International Energy Council. Statistics. <https://www.iea.org/classicstats/statisticssearch/report/?country=AUSTRALI&product=balances&year=2015&country=AUSTRALI&product=balances&year=2015>, 2019-11-18.
- [51] The World Bank. World Bank Open Data. <http://data.worldbank.org/>, 2019-11-18.
- [52] The World Bank. World Development Indicators. <http://data.worldbank.org.cn/data-catalog/world-development-indicators>, 2019-11-18.

Pattern evolution of global energy security and the geopolitical game

SU Jun, WANG Yong-xun, WANG Qiang

(School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Under the background of economic globalization, the internationalization of national energy security issues has become increasingly prominent. Since the beginning of the 21st century, along with the acceleration of world multi-polarization, the study on the evolution characteristics of global energy security's pattern and its driving mechanism has become one of the key issues in the field of energy geopolitics. Based on this understanding, this paper systematically evaluates the energy security status of 124 countries since 2000, reveals the evolution characteristics and its mechanism, and identifies the major geopolitical threats. The results show that: (1) Since the beginning of the 21st century, the evolution of the global energy security pattern has been continuously optimized, but it has shown obvious phase characteristics. Since 2010, the optimization trend has become more significant. (2) The global energy security pattern is basically consistent with the international order, that is, energy-safe countries are concentrated in economically developed regions of Western Europe and North America, and the relatively safe countries are mainly distributed in Central Europe, Latin America, and high-income regions in Asia. The countries with transitional energy system are mainly distributed in the developing regions of Middle East, Southeast Europe, and East Asia, while countries with dangerous or relatively dangerous energy system are economically underdeveloped regions in Africa and South Asia. (3) In the past 20 years, the world's energy security level has improved significantly, which is mainly driven by climate-friendly green technologies and the continuous downturn in oil price. For this reason, the level of energy security in developed economies has increased significantly. However, due to the low innovation capacity, backward productivity, and low disposable income of residents, developing countries have less room for improvement in energy security. (4) In the context of the rise of populism, the intensification of trade barriers and the strategic contraction of the United States in the Middle East, the global energy security pattern in the future will be affected by the changes in China-US relation, the increasing urgency to promoting the energy transition, and the polarized political climate.

Keywords: energy security; pattern evolution; geopolitical game; global scale