

中国与全球能源网络的互动逻辑与格局转变

杨 宇^{1,2,3}

(1.中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟实验室,北京 100101;

2. 中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049; 3. 粤港澳大湾区战略研究院,广州 510070)

摘要: 当前中国正处于从油气时代向可再生能源时代转变的关键时期,中国能源需求结构和能源利用形式的变化决定了中国与全球能源的互动逻辑发生了深刻转变。为更好理解中国与全球的能源互动过程,本文探讨了全球能源互动的基本理论认知,并借助复杂网络、投入产出分析等技术方法分析了中国与全球能源互动格局及其变化。研究发现中国与全球能源互动的范围不断扩大,程度不断加深,从油气贸易到可再生能源贸易,从油气为主的投资到多元化能源品种的投资,从传统能源贸易到隐含能源贸易等方面,中国逐渐塑造了多元化的全球能源格局。主要结论为:①“多煤少油缺气”的能源生产结构和巨大的油气需求,决定了保障海外油气供应是中国与全球能源互动最直接的逻辑,互动区域主要集中在油气富集的国家 and 地区。②随着可再生能源的发展,中国与全球能源互动逻辑从单纯的油气贸易转变为涉及可再生能源相关产品的贸易,凭借制造业优势,互动范围从油气富集的国家 and 地区拓展到全球拥有可再生能源发展和装机需求的国家,形成了覆盖全球主要国家 and 地区的可再生能源贸易新格局。③中国的海外能源投资目标从有限数量的东道国扩展到欧洲、东南亚等国家和地区,投资业务不仅局限在油气领域,也扩大到太阳能、风能和水能等可再生能源发电项目及电网等基础设施建设投资。④中国作为全球制造业大国和贸易大国,在全球化程度加深的背景下,部分能源隐含于全球生产网络和贸易网络中进行二次分配,中国与全球能源互动范围进一步拓展到与中国具有一般商品贸易关系的国家和地区,形成了全球“能源中枢”的功能。本文可为深刻认识中国与全球的能源互动关系,维护国家能源安全和参与全球能源经济治理提供理论视角与决策依据。

关键词: 能源全球化;能源互动;能源贸易;能源投资;隐含能源;能源转型;中国

DOI: 10.11821/dlxb202202003

1 引言

纵观能源发展的历史,从煤炭、石油到天然气,传统能源的地理依附性以及经济发展对能源的高度依赖特征,决定了传统能源兼具经济属性和地缘政治属性^[1-2]。工业革命以来,传统能源作为经济发展的基础性动力和原料,其生产、分配和利用已成为世界政治经济结构中不可缺少的组成部分^[3-4]。经济全球化过程中必然伴随着资源配置和要素流动的全球化^[5]。在互联互通的全球化世界中,能源的供给与需求在全球能源贸易网络中得以实现。同时,能源的生产过程、利用过程、能源投资与消费等也都以不同的形式嵌入到各种全球化互动过程中,形成相互交织的网络关系。全球化的不同阶段,全球能源的

收稿日期: 2020-12-28; 修订日期: 2021-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(42022007, 41871118); 中国科学院青年创新促进会(2018069) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.42022007, No.41871118; The Youth Innovation Promotion Association, Chinese Academy of Sciences, No.2018069]

作者简介: 杨宇(1984-), 山东威海人, 研究员, 博士生导师, 主要从事能源地缘政治与国家安全、经济地理与区域发展研究。E-mail: yangyu@igsnrr.ac.cn

互动关系有着本质的区别。相较于高度集中于中东、俄罗斯等国家和地区的油气资源,太阳能、风能和水能等可再生资源表现出广泛分布的特征,大多数国家都拥有可以开发的某类或某几类可再生能源。可再生能源的地理分布改变了传统油气资源的地缘政治属性,进而改变了全球能源互动关系。油气生产国在全球能源供应市场中的主导型地位开始下降,能够生产可再生能源发展所依赖的关键材料/产品的国家,能够进行大规模电网等能源基础设施投资的国家,在全球能源市场中扮演越来越重要的角色,全球能源互动格局将发生根本性变化。

从中国的现实需求来看,1978年改革开放以来经济快速发展加剧了油气需求,“多煤少油缺气”的能源生产结构导致中国长期依赖于海外油气进口。满足工业发展与城镇化建设的能源需求成为中国在全球范围内获取能源的直接动力。1993年中国成为石油的净进口国,2008年成为天然气净进口国,2019年石油和天然气的海外依存度分别高达70.8%和43.1%,寻求能源的全球化配置已成为中国经济全球化的重要组成部分^[6],在全球范围内谋求石油和天然气供应的稳定性,成为中国与全球能源最直接的互动逻辑。这种互动不仅包括油气资源贸易,海外能源投资也是确保能源供应的有效方法^[7]。20世纪90年代到21世纪初期,在“走出去”战略的背景下中国加大了在全球范围内油气资源获取力度,国家石油公司通过政策性银行的支持进行海外能源投资,提高海外份额油储量和产量。到了可再生能源发展的时代,中国是世界制造业大国,具有强大的工业生产体系,是全球最大的可再生能源产品的生产国和出口国,拥有全球最大的可再生能源装机能力。同时,因能源结构的调整,油气资源作为燃料的比例有所降低,作为工业原料和生产动力的比例不断上升,伴随着工业生产而嵌入到世界贸易网络,以隐含能源的形式运输到全球^[8]。不仅如此,中国拥有强大的基础设施建设能力和海外投资能力,在全球范围内的太阳能、水电、风电装机和输电网的建设与投资中扮演着越来越重要的角色^[9]。从油气时代到可再生能源时代,从油气贸易到全球能源投资,从油气净进口到隐含能源的全球转移的过程中,中国与全球能源互动关系已经发生了重大转变。已有研究分别对油气贸易、可再生能源贸易、隐含能源贸易、国际能源投资等不同形式的能源关系进行了分析,并产生了丰富的研究成果^[10-18],在此不做赘述。本文旨在从理论上探讨中国与全球能源互动的关键逻辑,分析中国在不同时期、不同能源利用形式方面的全球互动格局及其变化,以期通过刻画中国的全球能源格局,更好地理解中国在全球能源变局中的角色与功能。

2 全球能源互动的理论认识

能源是特殊的商品,既是提供动力的燃料,也是重要的原材料,同时还具有资产属性和地缘政治属性等。在全球性转变过程中,能源的属性不同、利用形式不同,会导致中国与全球能源互动的方式不同。从宏观层面系统理解中国与全球能源的互动逻辑,要充分认识3个深刻转变:①从化石燃料到可再生能源的代际转换,在转换过程中,中国在全球能源市场的角色和功能发生了显著变化。②伴随着可再生能源的发展,能源利用形式发生了转变,越来越多的化石燃料通过原材料、中间品和生产动力投入等途径嵌入到全球生产网络中,并以隐含能源的形式在全球范围内进行二次分配。③不同时期全球能源市场行为发生了深刻转变。在以化石燃料为主的时期,中国全球能源投资主要以获得份额油,保障海外油气供给安全为主,伴随着“一带一路”倡议的深入,中国的境外能源投资区域、投资类型和投资主体更加多元化。在这样的过程中,中国与全球能源互

动并不是线性的资源扩张,而是伴随着深度的全球化和能源利用形式的变化,多层次多角度地嵌入到全球能源生产、消费、加工、贸易和投资的全球能源产业链中。只有认识这些转变,才能更好的理解中国与全球互动关系的转变^[19-20]。

首先,传统油气贸易是最典型的全球能源互动关系。世界油气生产、消费的空间错位及其不平衡,使得能源贸易成为连接油气生产中心与消费中心的重要途径。出于满足不断增长的油气消费需求与战略安全保障,消费国采取政治、经济和军事等多种手段维持其油气进口的多元化与稳定性,生产国则为获得稳定的油气财政收入,不断推动其油气出口多元化^[21-22]。因而,在全球能源地理分布基础上,不同国家和地区之间围绕能源贸易形成了复杂的竞合关系,成为影响世界长达一个多世纪的能源地缘政治的基本逻辑,客观上建构了动态变化的全球能源贸易格局^[23-24]。历史上世界油气生产重心曾发生3次重大转移,从第二次世界大战之前的墨西哥湾地区、第二次世界大战至20世纪90年代的海湾地区直至当前以中东地区、俄罗斯、中亚—里海地区、美洲为主的多中心格局,世界油气供给格局更加分散化与扁平化^[25]。与此同时,油气消费格局呈现出多极分散的趋势,亚洲成为油气消费增长最快的区域^[26]。中国逐渐成为了世界上最大的能源消费国,消费增量贡献最为突出,占世界增量的比例约为30%^[27]。在全球范围内获取满足工业化和城镇化发展所需的油气资源,是中国与全球能源油气资源互动最为直接的动力(图1)。中国油气消费急剧增加引致的全球油气贸易关系及其变化,是中国全球能源格局的基本特征。在此能源互动中,对抗性的能源地缘政治和能源博弈广受关注,主要油气来源地的地缘环境和国际关系问题、马六甲海峡和霍尔木兹海峡等主要海上能源运输通道的安全问题是能源地缘政治研究的核心关切。

其次,可再生能源改变了全球能源互动的基本逻辑。在全球气候变化与低碳经济发展的大背景下,可再生能源正在以前所未有的速度成为技术、经济可行的能源选择,推动了全球能源的转型^[28-29]。正如化石燃料塑造了过去两个世纪的地缘政治格局一样,可再生能源将塑造全新的能源地缘政治格局。可再生能源分布普遍,且表现出显著的地域性,每一个国家或多或少都拥有某种或某几种可再生能源。可再生能源将重建传统油气时代国家和地区之间的地理联系和依赖关系,改变油气出口国和进口国之间的相互关

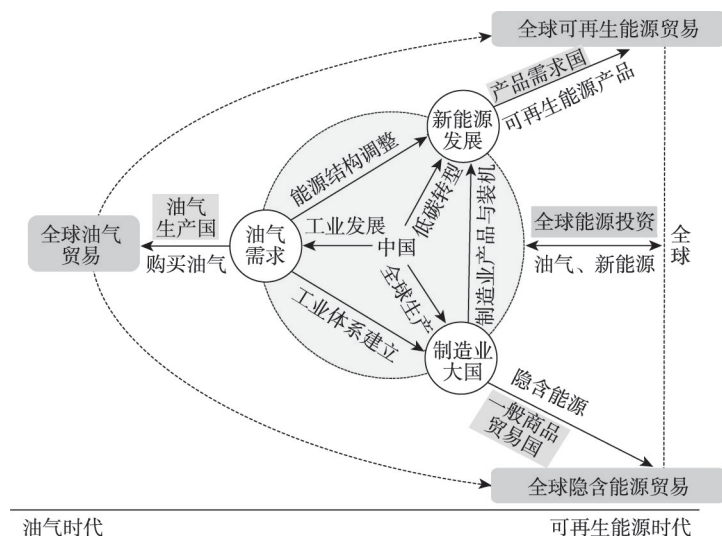


图1 中国与全球能源互动的逻辑

Fig. 1 Logic of energy interaction between China and the world

系,降低化石燃料领域的地缘政治博弈。与传统油气贸易的对象是能源本身不同,可再生能源的贸易联系不是太阳能、水能和风能等能源的本身,而是光伏器件、涡轮、风机等可再生能源发展所需要的制造业产品。能源互动的媒介从油气资源转变为工业产品。而这些工业产品在全球范围内的生产能力是不同的。因此,全球可再生能源互动不再表现为油气生产地与消费地之间的关联,而是以制造业为基础的工业产品的贸易关联。中国作为世界制造业大国,在可再生能源产品制造方面具有全球其他国家无可比拟的优势。在能源转型的过程中,中国已经从油气贸易的进口大国转变为全球可再生能源产品的出口大国,在相当程度上已经改变了全球能源贸易的网络关系^[30]。

再次,国际能源投资的主体和互动领域呈现多元化态势。能源与国际资本的互动关系密切,无论是传统油气资源的勘探开发、生产与贸易,还是可再生能源关键技术的研发、大规模装机和电网等基础设施建设等,都需要大量的资本。能源投资在全球能源资产配置中扮演着越来越重要的作用,跨国石油公司是全球能源投资中的重要行为体,在全球范围内的跨境投资并购形成了全球能源投资网络^[31]。中国在不同的发展阶段,国际能源投资的逻辑也发生了重要转变。在20世纪90年代提出“走出去”战略的背景下,中国加大利用海外油气资源,在中国政策性银行的支持下以中国石油天然气集团有限公司(简称中石油)、中国海洋石油集团有限公司(简称中海油)为代表的国有企业石油公司在海外投资,通过海外投资获得份额油、增强国际市场占有率成为维护国家能源安全的有效途径^[7]。中国能源投资的东道国更多地分布在非洲、东南亚、中亚以及拉丁美洲,能源投资更多地侧重于资源开采等领域,面临着较大的经济与社会风险^[32-35]。随着“一带一路”倡议认同渐趋广泛,加之财务相对稳定、金融体系运行健康且流动性资金充足,中国能源企业海外投资的广度和深度都在逐年增加^[36]。投资的东道国不再局限于油气资源富集的国家,而是包括欧洲的发达国家;投资领域也不再局限于资源获取,而是包括可再生能源基础设施建设。在这种背景之下,国际能源投资所建构的能源关联对于理解中国与全球的能源互动关系就变得尤为重要。

最后,隐性能源流动成为全球能源互动的重要方面。有研究发现全球有23%的国家间能源贸易并没有产生直接的能源联系^[37],原因在于传统油气能源贸易网络忽略了生产贸易商品和服务的间接能源消耗^[8],因此传统的能源商品贸易不足以刻画经济体之间的能源互动全景图。随着全球化的加剧和可再生能源作为燃料和动力替代的作用进一步显现,传统油气资源作为以原材料和生产动力的形式嵌入到全球生产网络中的比例将进一步提高,这部分隐含能源的流动需要得到充分重视^[38-40]。隐含能源流动是能源的二次分配过程,缩小了全球能源生产和消费地之间的距离,加强了经济体之间的联系,促进了世界各地之间的能源互动^[41]。在隐含能源的互动过程中,决定一个国家与全球能源互动关系的基础,并不是该国能源禀赋的多少,而是其制造业和贸易的规模。以往的研究过多的关注于中国作为能源进口大国的角色,在一定程度上忽视了中国作为制造业大国和贸易大国,其进口的能源并未完全服务于本国,而是隐含在全球生产网络中的通过制造业和贸易重新出口到世界其他国家和地区。在这一过程中,中国的“能源中枢”作用需要得到充分的重视。只有在系统分析全球的投入产出中的隐含能源流动关系,才能厘清中国的隐含贸易出口状态,刻画一个更加真实的中国与全球能源互动过程。

3 实证方法与数据来源

3.1 实证对象选取

如前所述,厘清中国与全球的能源互动关系是一个系统且庞大的工作。能源种类繁

多,既包括煤炭、石油、天然气等传统能源,也包括太阳能、风能、水能等可再生能源,不同能源与全球互动的关系呈现出不同的特征,难以在一篇文章中精细地刻画出一个国家能源的全球贸易、全球投资和隐含能源嵌入过程及其变化。因此,本文的实证案例聚焦在中国与全球能源互动最主要的逻辑及其重大转变上。在传统能源领域,尽管中国能源消费是以煤炭为主,但是中国与全球能源互动最为显著的领域是油气资源,油气对外依赖和海外供应安全一直是中国能源安全的核心。石油和天然气资源禀赋、生产、加工、运输和消费等所表现的能源地缘政治属性高度一致,因此根据英国石油公司(British Petroleum, BP)提供的折标系数将石油和天然气资源统一折算为标准油当量进行合并计算,旨在勾勒出中国传统能源对外互动关系及其变化的格局。在可再生能源领域,其互动关系主要表现为可再生能源装机、可再生能源利用等所需要的相关产品,包括太阳能电池、锂电池、风机、涡轮及其零部件等,产品类型非常多样化。此部分的实证核心是阐述中国的可再生能源产品贸易与油气资源贸易的根本性转变。光伏器件是中国竞争力最为显著的一类可再生能源产品贸易,包含了发光二极管、太阳能电池和其他光敏半导体器件等多个太阳能光伏的典型产品,能够充分代表以制造业为基础的可再生能源贸易的基本特征。在隐含能源流动中,采用多区域投入产出分析方法来追溯全球国家间能源消耗的源头,分析能源在全球的重新分配过程。国际能源投资部分则选取涉及能源相关业务的企业跨境并购作为对象,分析互动范围和互动领域的变化。

需要说明的是,在实证研究中不可能对所有能源产品进行全面而系统的分析,尤其是可再生能源的产品涉及产品细类成百上千,追求统计意义的完整性,不是地理学研究能源的核心问题。同时,任何一个统计数据库都不是全样本的、完全统一的口径的,即使在联合国商品贸易统计数据库中,各国之间数据统计口径也存在差异。对于投资并购数据,即使是针对同一类型能源业务,每一家公司的经营范围也难完全一致。因此,本文目标聚焦于中国与全球能源互动的主要方式转变,而不是具体细致的能源互动关系描述,以期给读者以直观的认识和全局的理解。

3.2 能源网络构建

复杂网络是解析全球能源互动关系的重要方法,通过网络的技术方法和可视化手段,可以对中国在全球能源互动关联中的状态及其重要性的转变等进行可视化分析。本文以国家为节点,以能源互动关联为边,构建能源网络。对边的赋权一般存在价值量与交易频次两种方式。需要说明的是,由于国际能源贸易的数据量大且数据记录较为完整,因此针对油气和可再生能源贸易网络的构建,分别以实物量和价值量为边的权重构建有向加权贸易网络^[42]。而在投资网络构建时,考虑到交易价值量在数据中的不完整性容易导致分析有偏,因此以交易频次反映国家之间的能源投资关系,构建有向加权网络^[43]。

具体而言,以 $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_N\}$ 表示国家的集合, N 为国家的数量。以 R_{ij} 表示国家 v_1 和国家 v_2 之间的能源(贸易或投资)联系状态, $R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_N\}$ 表示所有国家之间的能源互动关联的集合;若 v_1 和 v_2 之间存在能源联系,则 $R_{ij} \neq \emptyset$ 且 $R_{ij} \in R$;若 v_1 和 v_2 之间尚未建立能源联系,则 $R_{ij} = \emptyset$ 。进一步得,将 v_1 和 v_2 之间存在的能源联系以矩阵形式表达,则为:

$$E_{N \times N} = \begin{bmatrix} e_{1,1} & \cdots & e_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{N,1} & \cdots & e_{N,N} \end{bmatrix} e_{ij} = \begin{cases} 1, & R_{ij} \neq \emptyset \text{ 且 } R_{ij} \in R \\ 0, & R_{ij} = \emptyset \end{cases} \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (1)$$

式中: $e_{ij} = 1$ 和 $e_{ij} = 0$ 分别表示 v_1 和 v_2 之间存在或不存在能源联系。

3.3 国家中心性

本文采用加权重心性来表征不同国家全球能源联系的位置及其重要性程度。在有向网络中,加权重心性又分为加权出度和加权入度,分别表示从该节点发出和流入该点的联系规模,具体的计算如公式(2)、(3)所示:

$$C_{O,i} = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ij}}{(N-1)} \quad (2)$$

$$C_{I,i} = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ji}}{(N-1)} \quad (3)$$

式中: $C_{O,i}$ 表示节点 i 的加权出度; w_{ij} 表示节点 i 指向节点 j 的联系强度; $C_{I,i}$ 表示节点 i 的加权入度; w_{ji} 表示节点 j 指向节点 i 的联系强度。

3.4 隐含能源的投入产出分析

多区域投入产出分析方法(MRIO)可以通过产业间联系、跨供应链和跨国贸易来追溯资源消耗的源头,适用于分析生产、消费、进口和出口的隐含资源流动^[44]。本文采用多区域投入产出分析法(MRIO)计量1995—2015年在全球范围内188个经济体(不包含前苏联经济体)间隐含能源的流动情况。基于物质守恒定律,地区 r 的部门 i 在全球尺度的隐含能源关联可以表示为:

$$q_i^r + \sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^n \varepsilon_j^s z_{ji}^{sr} = \varepsilon_i^r x_i^r \quad (4)$$

式中: q_i^r 代表 r 区域 i 部门的直接能源消耗量; ε_j^s 代表 s 区域 j 部门在全球尺度隐含能源强度; z_{ji}^{sr} 代表 s 区域 j 部门到 r 区域 i 部门的中间投入; x_i^r 代表 r 区域 i 部门的总产出区域, x_i^r 定义如下:

$$x_i^r = \sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij}^{rs} + \sum_{s=1}^m f_i^{rs} \quad (5)$$

式中: f_i^{rs} 代表 r 区域 i 部门满足 s 区域 j 部门最终的需求产出。

用矩阵 Q 达标直接能源消费量,矩阵 E 代表单位产出能源强度,矩阵 Z 代表中间产品投入,矩阵 \hat{X} 代表总产出,则公式(4)和(5)可分别表示为:

$$Q + E \times Z = E\hat{X} \quad (6)$$

$$\hat{X} = Z + \hat{F} \quad (7)$$

给定直接能源消费矩阵 Q 、中间产品投入矩阵 Z 和总产出矩阵 \hat{X} , 可得到单位产出能源强度:

$$E = Q(\hat{X} - Z)^{-1} \quad (8)$$

基于单位产出能源强度矩阵 E , 将进口作为最终产品(EIM)和出口作为最终产品投(EEX)的隐含能源流动可表示为:

$$EIM^r = \sum_{i=1}^n EIM_i^r = \sum_{i=1}^n \sum_{s=l(s^r)}^m (\varepsilon_i^s f_i^{sr}) \quad (9)$$

$$EEX^r = \sum_{i=1}^n EEX_i^r = \sum_{i=1}^n \sum_{s=l(s^r)}^m (\varepsilon_i^r f_i^{rs}) \quad (10)$$

3.5 数据来源

全球能源贸易的数据来源于联合国商品贸易统计数据库(UN Comtrade), 所涉及的能源种类包括原油(HS2709)、天然气(包含液化天然气(HS271111)和管道天然气

(HS271112)) 和光伏器件 (HS854140)。油气资源贸易选择实物量, 根据BP提供的折标参数将其统一折算为标准油当量进行合并分析, 单位为百万吨油当量 (million ton of equivalent, Mtoe)。光伏器件采用价值量度量, 并筛选掉了单笔交易额小于1万美元的小额交易, 单位为百万美元。考虑到数据的可获性和中国近年来快速发展过程中的能源格局变化, 本文选取1995年、2005年和2015年3个时间节点做横截面对比分析。国际能源投资并购数据来源于BvD-Zephyr全球并购交易分析库, 选取的是1996—2015年涉及能源相关企业跨国并购记录。具体行业部门是根据US SIC行业代码, 筛选出其中的石油及天然气开采行业 (HS13)、石油加工及相关行业 (HS29) 以及石油和天然气运输、石油产品分配等其他行业 (HS3533、HS46、HS4932、HS517、HS554、HS598、HS6792)。通过并购方及被并购方的业务描述, 剔除企业核心业务均不属于能源相关领域的交易记录。研究样本仅保留了交易状态为“已完成 (completed)”和“假定已完成 (completed assumed)”。贸易隐含能源核算的多区域投入产出表数据来源于澳大利亚悉尼大学的Eora全球供应链数据库。该数据库是目前最详细的全球尺度多区域投入产出表之一, 涵盖了全球189个经济体 (包含苏联经济体) 的26个部门, 覆盖面最广, 得到学术界的广泛应用^[45]。

4 结果分析

4.1 传统能源贸易与可再生能源贸易的全球性转变

自“冷战”结束以来, 新兴工业化国家经济发展带来全球油气贸易繁荣之势, 参与全球油气贸易的国家和地区数量从1995年的110个增加到2015年的127个, 贸易网络的复杂程度也随之提升。欧美发达国家、中国、印度等新兴工业化国家和中东、俄罗斯、非洲等世界主要油气产地之间的贸易关联构成了全球能源贸易的基本格局 (图2)。但能源生产和消费的多极化导致能源贸易呈现集团化的趋势, 主要包括美国—中南美洲—中东—非洲、俄罗斯—欧盟—中亚里海地区、东亚—东南亚—中东—非洲等多个贸易集团^[46]。2000年以来, 随着亚洲市场的崛起, 中东、北非和北美等油气供给区域与亚洲的中国、日本、韩国等油气消费大国也逐渐建立了更加密切的贸易合作关系。20世纪60—90年代初期, 中国油气生产量和消费量基本相当, 对国际石油市场依赖程度不高, 1983—1987年曾短暂的向世界出口过油气。20世纪90年代中后期以来, 随着中国工业化和城镇化的快速发展, 油气需求呈现井喷式增长, 油气进口量从1995年的17.10 Mtoe, 增加到2015年的389.00 Mtoe。油气进口来源国家和地区从1995年的32个增加到2015年的49个, 主要来源地从东南亚、大洋洲和中东地区拓展到俄罗斯、中东、非洲、南美洲和中亚等国家和地区。从全球贸易网络中心性来看, 1995年中国油气贸易加权入度仅为0.17 (表1), 远远低于美国 (36.97) 和日本 (27.61), 排在全球第19位, 处在世界油气贸易网络的边缘位置, 并未形成世界范围内的能源供应格局。2005年中国油气加权入度快速提高到12.67, 排在美国、日本、法国和韩国之后, 位列全球第5, 成为全球油气市场的重要买方, 网络中心性得到显著增强, 与日本、韩国共同成为亚洲地区能源贸易的核心。2015年中国油气贸易的加权入度增长到38.95, 超越美国排在全球第1, 与世界主要油气出口国建立了广泛的贸易关系, 成为全球油气贸易网络的核心, 塑造了相对稳定的世界油气能源贸易格局。具体来看, 沙特阿拉伯是中国最大的油气进口国, 油气进口量超过50.00 Mtoe; 其次为俄罗斯和安哥拉, 进口量分别为42.70 Mtoe和38.70 Mtoe, 从伊拉克、阿曼和伊朗的进口量也均超过了25.00 Mtoe (表2)。另外, 土库曼斯坦、委内瑞

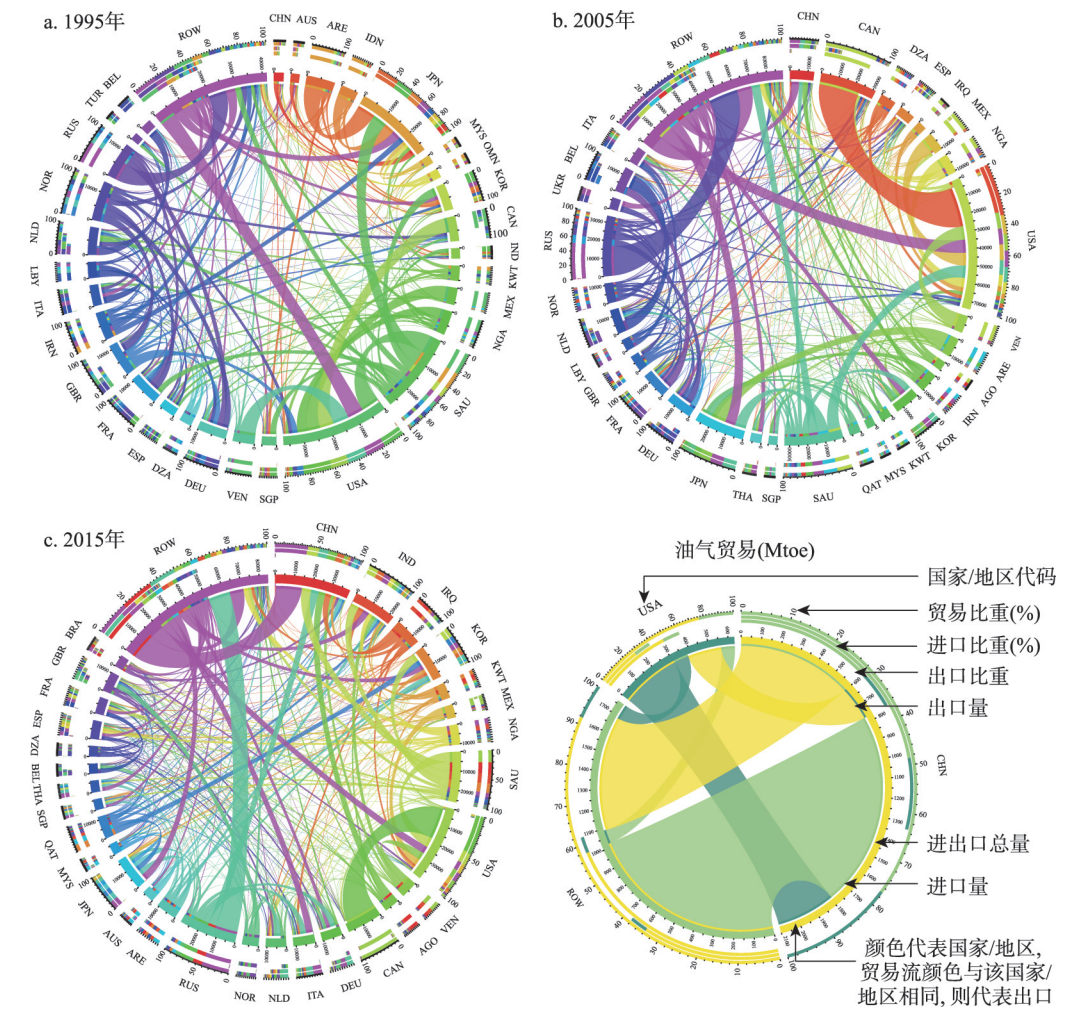


图2 1995—2015年中国与世界油气资源互动关系

Fig. 2 Oil and gas interaction between China and the world from 1995 to 2015

拉、科威特、巴西、阿联酋、澳大利亚、哥伦比亚和苏丹均为重要的油气进口国，这些国家共同构成了中国与世界油气资源互动的重要节点。

总体而言，油气进口多元化是中国与全球油气互动及其演化的最重要特征。中国一直致力于多元化的战略，油气进口来源地数量不断增多，多元化的程度不断加深。但油气资源的全球地理分布格局导致了我国油气进口来源地集中程度仍然较高。一方面，进口来源地多以高地缘政治风险的国家为主，部分国家稳定供应前景堪忧，一旦遇到重大地缘政治事件，或将直接威胁到海外能源的供应安全。尤其是伊朗、伊拉克等国家地缘政治极不稳定，受美国等国家干扰和控制程度较高；中亚地区、苏丹、委内瑞拉、安哥拉国内局势动荡，面临政权交接风险，可能因经济崩溃而导致对中国能源供应不稳定；澳大利亚等国对华政策不稳定，不排除双方在天然气出口中的贸易摩擦而影响中国天然气的稳定供应。另一方面，中国油气贸易的高度集中，决定了超过80%的油气资源运输以海洋运输方式为主，霍尔木兹海峡、北印度洋航线、马六甲海峡和南海等战略通道安全性对中国能源安全具有举足轻重的作用，而这些通道恰恰是全球地缘政治博弈最剧烈的区域之一，通道脆弱性是中国与全球油气互动中不可忽视的安全隐患。

表1 1995年、2005年和2015年全球主要国家油气贸易加权入度

Tab. 1 Weighted in degree of top ten counties in crude oil & gas trade in 1995, 2005 and 2015

序号	1995年		2005年		2015年	
	国家	加权入度	国家	加权入度	国家	加权入度
1	美国	36.97	美国	70.75	中国	38.95
2	日本	27.61	日本	28.11	美国	37.98
3	法国	10.52	法国	14.40	印度	22.28
4	德国	10.05	韩国	14.12	韩国	17.53
5	韩国	9.22	中国	12.67	日本	16.85
6	意大利	7.23	德国	11.46	意大利	11.28
7	荷兰	6.36	比利时	9.76	西班牙	9.12
8	西班牙	5.79	意大利	8.90	德国	9.05
9	新加坡	5.12	西班牙	8.68	法国	8.45
10	英国	4.16	加拿大	8.13	荷兰	7.92
19	中国	0.17				

表2 1995年、2005年和2015年中国油气进口国及其变化(Mtoe)

Tab. 2 Top ten countries of China's oil & gas import in 1995, 2005 and 2015 (Mtoe)

序号	1995年			2005年			2015年		
	进口国	进口量	比重(%)	进口国	进口量	比重(%)	进口国	进口量	比重(%)
1	印度尼西亚	5.28	30.86	沙特阿拉伯	22.18	17.49	沙特阿拉伯	50.54	12.97
2	阿曼	3.65	21.36	安哥拉	17.46	13.77	俄罗斯联邦	42.67	10.95
3	也门	2.47	14.46	伊朗	14.27	11.25	安哥拉	38.71	9.93
4	安哥拉	1.00	5.84	俄罗斯	12.78	10.08	阿曼	32.15	8.25
5	伊朗	0.93	5.44	阿曼	10.83	8.54	伊拉克	32.11	8.24
6	越南	0.76	4.45	也门	6.84	5.39	伊朗	26.62	6.83
7	马来西亚	0.59	3.44	苏丹	6.62	5.22	土库曼斯坦	24.89	6.39
8	尼日利亚	0.39	2.28	刚果	5.53	4.36	委内瑞拉	16.01	4.11
9	阿联酋	0.37	2.15	印度尼西亚	4.09	3.22	科威特	14.43	3.70
10	沙特阿拉伯	0.35	2.03	厄瓜多尔	3.71	2.92	巴西	13.92	3.57

相比油气资源,可再生能源的贸易关系更加多样化,中国与全球能源互动关系呈现出完全不同的特征(图3)。从光伏器件来看,加入到全球光伏贸易网络的国家从1995年的115个增加至2015年的168个,增加了近50%,贸易关系从1995年的1003条增长至2015年的2870条,增长近2倍。由于贸易关系数量更多、贸易额度小、交易分散等,光伏器件贸易网络的平均加权度远低于油气贸易。相比以地理分布为基础的油气贸易,以制造业为基础的光伏器件贸易的不平衡性得到了加强。1995年世界光伏原件的主要出口国是日本、美国、马来西亚、德国和菲律宾,分别占全球光伏器件出口量的30.07%、12.85%、11.85%、7.88%和6.02%;前五位的出口国占据了68.69%的贸易比重。2005年伴随着世界制造业的转移,中国和日本在光伏贸易中的比重显著上升,分别占全球出口量的27.06%和23.94%,美国和德国的比重下降明显,光伏贸易中心向亚洲转移。2015年亚洲国家成为全球光伏贸易的主导国,占全球光伏贸易出口量的80%以上,其中中国、马来西亚、日本和韩国排名前4,分别占全球出口的41.98%、13.45%、11.10%和7.48%。

从中国光伏贸易发展过程来看(表3、表4),1995年中国光伏器件产业处在起步阶段,出口量为1.03亿美元,仅占全球出口量的3.82%,主要出口到中国香港、韩国和德国等国家和地区,处在美国、西欧、日本和韩国等国家和地区主导的全球贸易集团的边

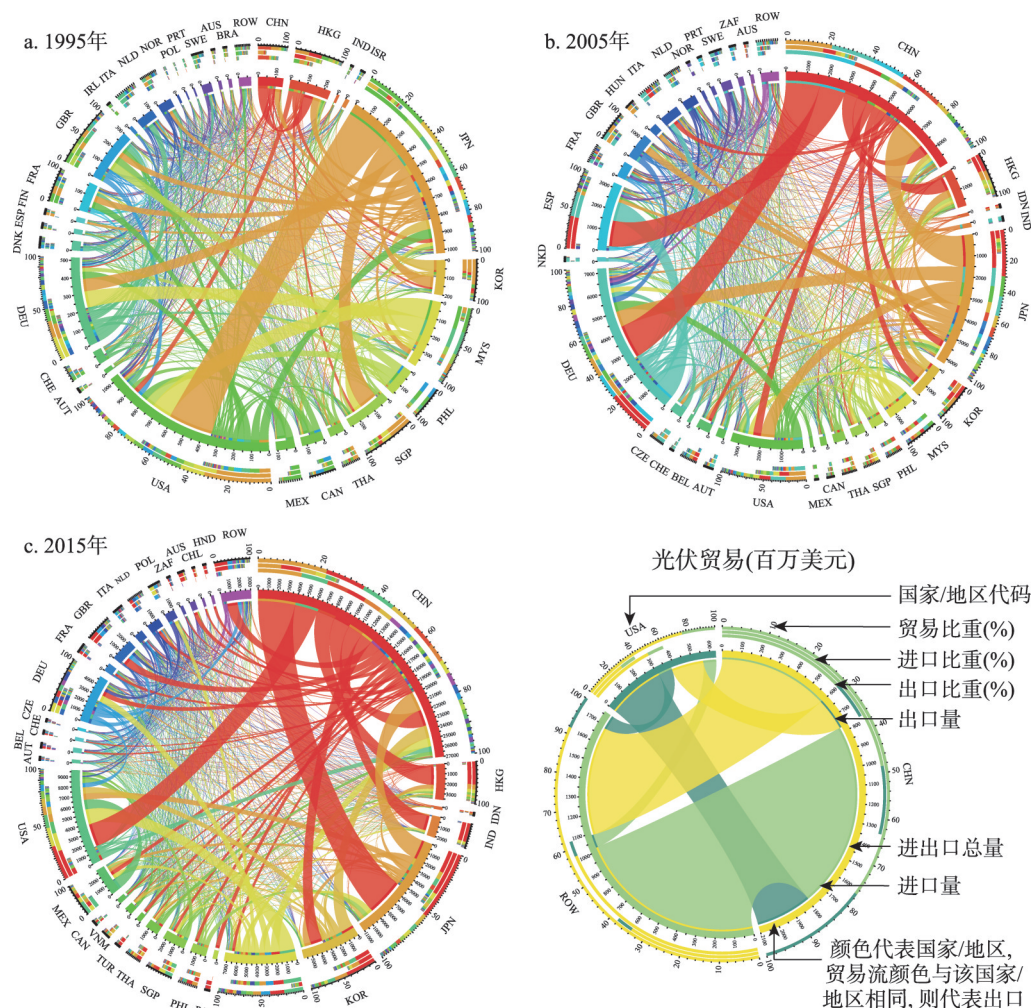


图3 1995—2015年中国与全球光伏产品互动关系

Fig. 3 Photovoltaic trade interaction between China and the world from 1995 to 2015

缘。2005年中国出口量达到59.96亿美元, 出口到德国、西班牙、美国、韩国、日本、意大利等65个国家和地区, 占据东亚光伏贸易集团的半壁江山。2015年中国光伏器件贸易总量达到197.86亿美元, 出口到世界141个国家和地区, 占全球出口量的41.98%。2015年全球最大的10组光伏器件贸易关系中, 中国独占8席。在世界光伏器件贸易网络中加权出度排在首位, 形成了覆盖全球主要国家和地区的可再生能源贸易新格局。同时, 可再生能源产品非常多样化, 大到超过10000 kW的水轮机, 小到多晶硅片和发光二极管等, 多种可再生能源相关产品贸易的叠加, 进一步导致可再生能源呈现出更加分散化和多元化的特征。

综合来看, 可再生能源贸易表现出与油气贸易完全不同的能源互动关系。以制造业为基础的可再生能源贸易是中国与全球能源互动的优势领域, 所形成的全球能源格局也不再局限于中东、非洲、俄罗斯等高度集中而有限的油气生产国, 而是拓展到全球有可再生能源装机和可再生能源利用的国家。可再生能源类型的多样性和资源分布的普遍性, 决定了世界大多数国家都具有发展可再生能源的资源基础。在全球能源转型和气候

表3 1995年、2005年和2015年全球主要国家/地区光伏加权出度

Tab. 3 Weighted out degree of top ten counties/regions in photovoltaic trade in 1995, 2005 and 2015

序号	1995年		2005年		2015年	
	国家	加权出度	国家	加权出度	国家	加权出度
1	日本	8.12	中国	59.96	中国	197.87
2	美国	3.47	日本	53.06	马来西亚	63.37
3	马来西亚	3.20	德国	26.12	日本	52.33
4	德国	2.13	美国	13.54	韩国	35.23
5	菲律宾	1.62	马来西亚	13.08	德国	25.18
6	中国	1.03	菲律宾	6.40	美国	15.10
7	韩国	0.99	英国	5.82	菲律宾	12.12
8	中国香港	0.98	韩国	4.60	新加坡	12.09
9	英国	0.84	泰国	4.26	墨西哥	11.14
10	加拿大	0.73	荷兰	3.51	泰国	7.78

表4 1995年、2005年和2015年中国光伏进口国家/地区及其变化(百万美元)

Tab. 4 Top ten counties/regions of China's photovoltaic export in 1995, 2005 and 2015 (Million dollars)

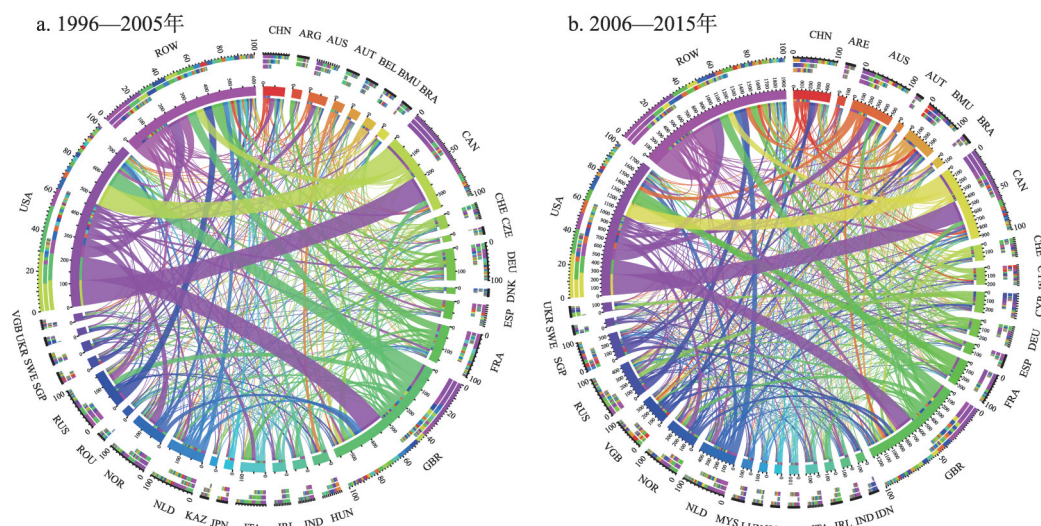
序号	1995年		2005年		2015年	
	国家/地区	贸易量	国家/地区	贸易量	国家/地区	贸易量
1	中国香港	56.70	德国	1666.43	日本	3937.11
2	韩国	11.60	西班牙	1279.86	美国	2429.37
3	德国	8.47	中国香港	660.07	中国香港	1944.98
4	美国	8.21	美国	395.98	印度	1607.93
5	日本	7.52	韩国	346.22	韩国	1261.74
6	意大利	2.60	日本	325.18	英国	789.91
7	新加坡	2.12	意大利	221.75	德国	505.99
8	法国	1.40	比利时	182.75	巴基斯坦	434.86
9	加拿大	1.09	新加坡	59.35	澳大利亚	408.73
10	西班牙	0.59	法国	48.17	墨西哥	406.71

经济的大背景下,世界大多数国家都具有发展可再生能源的巨大动力,而中国完整的制造业体系、强大的生产能力和相对便宜的可再生能源产品就成为全球大多数国家的理想选择。相比油气资源,可再生能源产品的地缘政治属性相对较低,往往作为一般性商品贸易,国际博弈手段往往是针对具体产品的反倾销、贸易壁垒等贸易措施,而非油气资源的激烈对抗乃至发动区域战争。从这些角度而言,相较于油气资源的全球分布,以制造业为基础的中国可再生能源的全球分布更加分散化、更加全球性,也更加安全。

事实上,中国不仅在可再生能源制造业上处于全球领先地位,据国际可再生能源署(IRENA)2019年发布的报告《新世界——全球能源转型与地缘政治》,中国已成为全球最大的可再生能源技术研发国,2016年底全球可再生能源专利累计占比中国占全球的比重达29%,远高于美国的18%、日本的14%和欧盟的14%^[47],并在太阳能电池板、风力涡轮机、电池和电动汽车等新能源专利方面领先世界,具备全球性的国家竞争优势,可再生能源技术的国家间服务贸易也将成为中国与全球进行能源互动的重要方面。在中国2030碳达峰和2060碳中和“双碳”目标助力下,中国将进一步加快能源结构调整,推动可再生能源的规模化发展。毫无疑问,无论基于制造业的可再生能源产品贸易还是未来的可再生能源技术,中国都正在参与重塑世界可再生能源格局。

4.2 全球能源投资的区域性和结构性转变

能源行业是资本密集型行业。在化石燃料时代,中东、非洲等油气资源国缺乏勘探、开采和加工油气资源所必须的大规模资本,以英国石油、皇家壳牌、埃克森美孚等为代表的国际大石油公司通过大量的国际投资在全球油气行业占据了主导权。跨国石油公司不仅控制了大量的资源,也通过相互之间的收购、兼并等资产重组模式建立了复杂的全球能源投资并购网络,以油气为主要对象的跨国投资并购在全球范围不断扩大(图4)。20世纪90年代以来,全球掀起了大规模的油气资源投资并购浪潮,1996—2005年期间跨国油气投资并购2110宗,并购方集中在西欧和北美的少数发达国家,主要是美国对加拿大、英国、挪威和澳大利亚的油气资产收购。2006—2015年间全球油气资源并购市场日益活跃,不仅在规模上跨国油气并购猛增至6037宗,全球油气并购也呈现出地理的分散化和并购类型的多元化特征。值得注意的是,上游油气资产是并购最集中的领域,并购标的不仅包括位于并购主体所在国的油气资产,还包括其在中东、中亚和非洲的油气资产。通过跨境并购,全球油气资源越来越集中在少数具有全球资本运作和风险应对能力的国家和石油公司手中。其中,国际石油公司更集中在勘探开发和关键技术的控制,在传统能源和可再生能源领域均趋向于全球布局模式。国家石油公司的海外布局更加区域化,更倾向于在油气资源富集地区实现资源扩张^[48]。



注:弦图阅读方式同图1~图3,不同颜色代表国家和地区。

图4 1996—2005年和2006—2015年全球跨国油气并购网络

Fig. 4 World transnational oil and gas M&A network in 1996-2005 and 2006-2015

自20世纪90年代以来,中国能源企业也逐步突破了在国际能源市场上买油、买气等相对单一的能源贸易手段,开始通过股权投资、收购、增资和合资经营等并购行为,积极在全球范围内布局能源产业。1996—2005年中国国际油气并购记录共30宗,主要并购目的地集中在中亚、西欧、东南亚和北美地区,以购买、参股能源区块为主,海外油气资源布局单一,无论是并购规模还是并购标的都处在全球能源并购的边缘位置。2005年以后,在中国政府“走出去”战略的支持下,以中石油、中石化和中海油等公司为代表的国有能源企业成为中国海外油气并购的主力军,2006—2015年有效并购记录增加至194宗。从地理范围来看,海外油气并购对象逐渐多元化,跨国油气资源并购在空间上呈现出从有限数量的东道国向更多发展中国家转移的态势,海外并购业务覆盖了中亚、

非洲、南美、中东和亚太的五大油气合作区的全产业链,逐步实现油气行业的全球资产重组和投融资优化,打破了优质产油区油气产业长期被西方油气公司垄断的局面。

国际油气投资在很大程度上被赋予了博弈的色彩,随着中国海外能源并购规模与范围的不断扩张,投资并购的风险不可小觑。中国海外并购地域接近60%是地缘政治风险较高的国家,能源投资形式也更多侧重于资源开采,海外并购常常因“中国威胁论”、资源民族主义而受到不同程度的限制甚至抵制,增加了投资风险以及不确定性,政治力量对敏感产业的干涉成为并购成败的重要因素^[49-50]。为降低全球能源投资的敏感性,提升能源行业的安全性,在地理空间选择上中国不断扩大在欧洲能源领域的投资规模,投资领域涉及化石能源、可再生能源以及能源基础设施^[51-53],这些投资不仅能够提升中国能源供应的安全,同时也能够更好的降低能源投资的地缘政治属性,提升中国能源投资中的市场化水平^[54]。同时,中国不断提升在“一带一路”沿线国家能源投资的本地性,在能源投资的结构上逐渐从以油气等传统能源为主,拓展到了多元化的电力项目投资^[55],加大了服务于东道国的太阳能、风能、水能等可再生能源基础设施投资,降低了海外能源投资的地缘政治属性。据不完全统计,2015年中国国家开发银行和中国进出口银行对外能源开发投资项目中47.82%投资到了可再生能源领域,其中最主要的投资是水电开发和输配电基础设施建设。投资国家也从油气富集区域转向了更为广泛的老挝、柬埔寨、越南、埃塞俄比亚、巴西、印度尼西亚等东南亚和非洲的发展中国家。以油气资源获取为目的全球能源投资,逐步转向了本地嵌入的能源投资。在全球气候变化的背景下,可再生能源成为降碳减排的重要措施,在未来能源结构中的比重将进一步提高。中国拥有强大的能源相关基础设施建设能力和国际投资能力,可预见未来中国在国际可再生能源领域的投资范围和投资强度将得到进一步提高。

4.3 隐含能源贸易与能源“中枢”的角色转变

全球化时代隐含在工业产品中在全球范围内进行二次分配的能源应得到充分的重视。中国是全球隐含能源贸易网络中关键的节点国家,其很大一部分的能源消耗并非直接服务于本国,而是通过各类跨国贸易活动发生转移,用来满足其他国家的最终需求,为全球提供高能耗的商品服务。从这个意义上来讲,中国与全球能源互动关系,不仅包括传统能源进出口、能源贸易投资,而且涵盖全部与中国具有贸易关系的国家和地区。在能源互动的形式上,前者是显性的,而后者是嵌入式的、隐性的。中国隐含能源贸易主要表现为隐含能源净出口,1995年隐含能源净出口41.70 Mtoe,而当年中国油气进口量为17.10 Mtoe,隐含能源净出口量是油气进口量的2.44倍,中国作为“能源中枢”的角色明显。2015年中国隐含能源净出口量突破100 Mtoe,相当于2015年中国1/4的油气进口量。与传统油气资源显著不同的是,中国隐含能源互动的主要国家不再是少数油气资源国和生产国,而是欧洲、美国和日本等发达国家和地区(图5)。

具体如表5所示,1995年中国隐含能源出口最多的国家是美国,出口量为11.90 Mtoe,占全部出口量的28.54%,其次是日本,出口量为11.00 Mtoe,占全部出口量的26.38%,出口量超过1 Mtoe的国家还包括德国(2.55 Mtoe, 6.12%)、英国(1.52 Mtoe, 3.65%)、澳大利亚(1.50 Mtoe, 3.60%)、韩国(1.16 Mtoe, 2.78%)、法国(1.12 Mtoe, 2.69%)。2005年中国隐含能源的出口格局更加分散化,基本形成了以欧美发达国家和日韩为主、东南亚次之的隐含能源出口格局。其中,中国与欧美之间的隐含能源出口被进一步强化。中国出口到美国的隐含能源贸易量达到35.30 Mtoe,占全部出口量的40.52%;德国、英国、法国、澳大利亚、加拿大、西班牙、意大利和荷兰的出口量均超过1 Mtoe,这些欧美发达国家占中国全部隐含能源贸易量的65.34%。日本仍然是

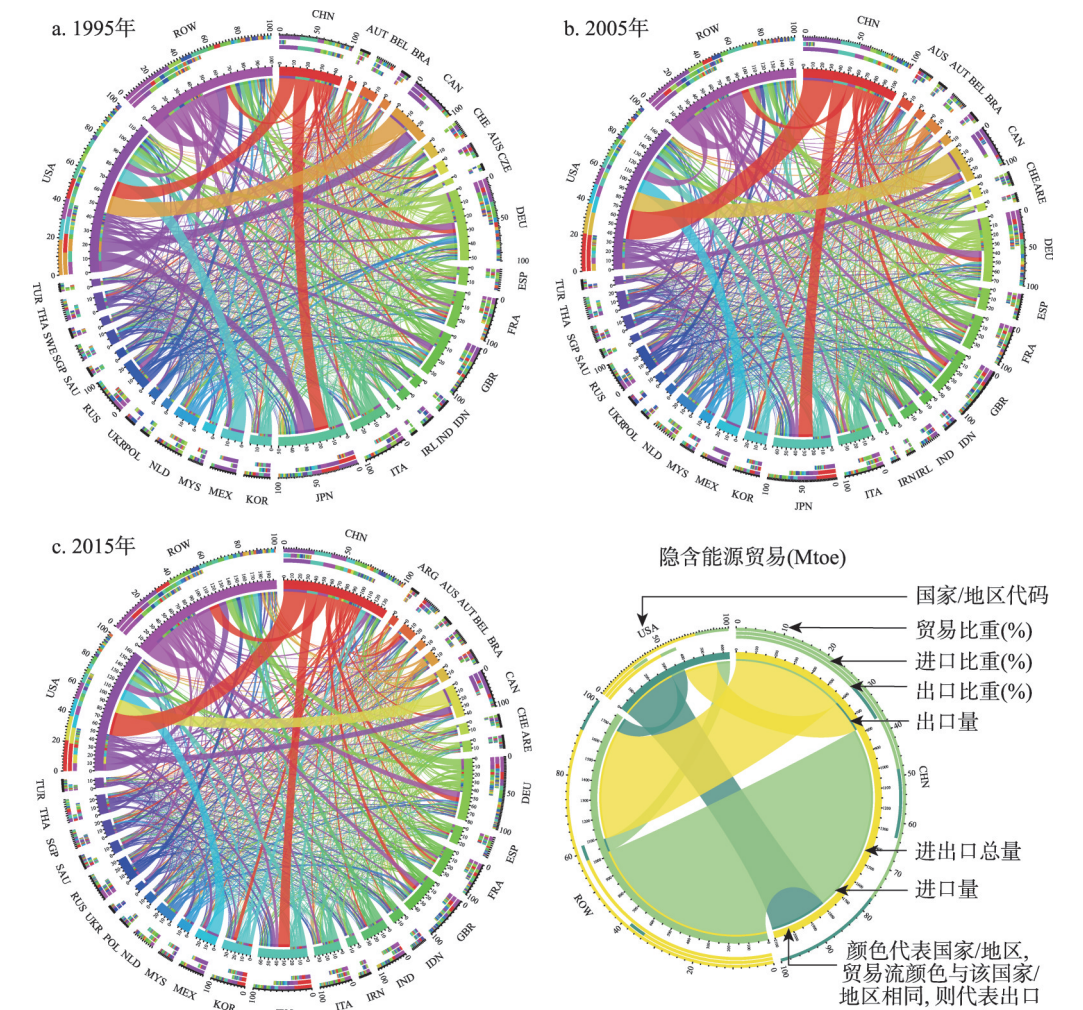


图5 1995—2015年全球化视角下中国隐含能源贸易格局演化

Fig. 5 The evolution of China's embodied energy trade pattern from the perspective of globalization from 1995 to 2015

表5 1995年、2005年和2015年中国隐含能源出口国家及其贸易量(Mtoe)

Tab. 5 Top ten countries of China's embodied energy export in 1995, 2005 and 2015 (Mtoe)

序号	1995年		2005年		2015年	
	国家	贸易量	国家	贸易量	国家	贸易量
1	美国	11.90	美国	35.30	美国	30.90
2	日本	11.00	日本	17.20	日本	15.30
3	德国	2.55	德国	5.18	德国	5.47
4	英国	1.52	英国	4.37	英国	4.85
5	澳大利亚	1.50	韩国	2.88	韩国	4.78
6	韩国	1.16	法国	2.70	澳大利亚	3.38
7	法国	1.12	澳大利亚	2.42	加拿大	3.09
8	加拿大	0.80	加拿大	2.39	法国	2.66
9	泰国	0.64	西班牙	1.75	印度	1.99
10	意大利	0.62	意大利	1.69	意大利	1.70

中国第二大隐含贸易出口国, 出口量 17.20 Mtoe, 占全部出口量的 19.74%; 韩国出口量明显增加, 达到 2.88 Mtoe, 占全部出口量的 3.31%; 同时泰国、印度、新加坡、印度尼西亚、马来西亚等亚洲国家的出口比重明显增长。2015 年中国与全球经济联系愈加紧密, 尤其是“一带一路”倡议提出后, 中国与东南亚以及非洲国家的贸易联系持续深化, 从而导致中国隐含能源出口的结构更加扁平化。出口到美国和日本的隐含能源总量分别为 30.90 Mtoe 和 15.30 Mtoe, 分别占中国全部出口量的 28.72% 和 14.22%, 相较 2005 年均有所降低。其中, 2015 年中国隐含能源出口的国家超过 1 Mtoe 的国家由 1995 年的 7 个增加到 19 个, 超过 0.5 Mtoe 的国家由 12 个增加到 32 个, 埃及、阿尔及利亚和南非等非洲部分国家与中国隐含能源互动关系也显著增加。

相较于传统能源贸易, 中国隐含能源与全球互动的逻辑显著不同, 隐含能源互动更加深入地嵌入到全球贸易网络中。这种嵌入既包括地域嵌入, 也包括网络嵌入, 前者主要指能源互动区域的多元化, 后者主要指互动关系及其结构更加稳健。传统油气贸易的互动中, 地域嵌入主要表现为中国与位于中东、中亚、非洲和中南美洲等油气资源富集地区的能源依赖关系, 网络嵌入则主要表现为与沙特阿拉伯、俄罗斯、安哥拉、土库曼斯坦、委内瑞拉、科威特、巴西、阿联酋、澳大利亚、哥伦比亚和苏丹等国所形成的油气资源贸易关系。在隐含能源的互动中, 地域嵌入已不局限于油气资源富有的国家, 而是伴随着中国的商品贸易关系拓展到世界主要国家。美国、日本和欧盟等发达国家和地区作为中国最主要商品贸易伙伴, 成为隐含贸易最主要的互动对象。从网络嵌入来看, 隐含贸易也不仅局限于能源贸易, 而是门类众多、种类丰富的全球性商品贸易。因此无论是地域嵌入还是网络嵌入, 中国的隐含能源与全球能源的互动更加多元化、分散化。

需要注意的是, 中国隐含能源贸易不断扩张, 并不意味着中国在全球隐含能源贸易网络中是最大获利者。隐含贸易的增加既反映了中国作为世界最大制造国和最大贸易国对全球经济的影响, 同时也反映了中国不断消耗国内能源来供应全球经济的运行。在这样的全球隐含能源网络中, ① 中国隐含能源流动是全球性的, 与全球贸易网络伴生, 只要中国与世界各国之间存在经济贸易关系, 就必然存在隐含能源的输出。但是目前中国制造业整体上的水平处于价值链中低端位置, 出口产品的能源强度较高, 单位能源成本的经济效益普遍低于发达国家^[56]。② 中国隐含能源的互动关系将在低碳经济时代持续强化, 随着能源结构的清洁化, 油气资源将更多的脱离动力系统, 而以原材料的形式投入, 同时中国大量装机的太阳能、风电和水电等将作为新的能源动力嵌入到全球生产网络中。③ 中国全球隐含能源转移, 需要重新审视以海外油气供给安全为核心的能源安全观, 需要充分重视全球“能源中枢”的功能与能源安全的底线思维之间平衡点。

5 结论与讨论

为揭示中国与全球能源互动关系及其变化, 本文采用复杂网络、投入产出分析等方法对能源贸易、能源投资和隐含能源转移等进行了分析, 发现中国与全球能源互动的逻辑发生了重要转变, 从油气能源贸易到可再生能源贸易、从油气为主投资到多元化能源投资、从显性的能源贸易到隐含能源贸易, 中国与全球能源互动的广度不断扩大, 从油气富集国家拓展到全球有贸易关联的国家; 程度不断加深, 从油气商品贸易到可再生能源产品, 进而拓展到全球一般性商品贸易。在这样的过程中, 中国通过油气能源贸易、可再生能源产品、制造业体系、国际投资等方式, 逐渐塑造了多元化的全球能源格局。

(1) 中国城镇化和工业化发展需要大量的油气资源, 而“多煤少油缺气”的能源生

产结构决定了中国要高度依赖于海外的油气供应,这是20世纪90年代中国成为石油净进口国以来,中国与全球能源互动最直接的逻辑。中国通过进口多元化的战略,与中东、非洲、俄罗斯、中亚等世界主要油气出口国家和地区建立了广泛的油气贸易互动关系,成为全球油气贸易网络中的核心之一。

(2) 随着可再生能源的发展,中国与全球能源互动逻辑发生了显著变化。以制造业为基础的可再生能源产品贸易,是中国与全球能源互动的优势领域。中国与全球能源互动也不再局限于少数的油气出口国家和地区,而是拓展到全球有可再生能源装机和可再生能源利用的国家和地区,形成了覆盖全球的可再生能源贸易新格局。且在旺盛增长的可再生能源装机需求、可再生能源发展政策和企业创新等因素综合作用下,未来中国的全球可再生能源贸易格局将得到持续巩固。

(3) 国际能源投资是中国与全球进行能源互动的重要方面。能源行业是资本密集型行业,中国通过国际能源投资并购积极在全球范围内获取油气资源权益、布局能源产业和开拓能源市场。但能源投资互动的范围和领域发生了显著变化,互动范围呈现从有限数量东道国向更多发展中国家、欧洲等发达国家转移;互动领域从油气资源转向了水电、太阳能、风能等可再生能源和电网等服务于东道国的能源基础设施投资,降低了中国海外油气投资的地缘政治属性。

(4) 随着经济全球化程度加深,以制造业为优势的产品出口结构决定了中国部分能源消耗并未直接服务于本国,而是通过贸易在全球进行了二次分配。嵌入在商品贸易中隐含能源成为中国与全球能源互动的重要途径。从地域嵌入和网络嵌入来看,隐含能源与全球互动的程度更深,互动对象从显性油气贸易拓展到隐性的商品贸易体系,互动范围从油气资源富有的国家拓展到与中国具有一般商品贸易关系的世界主要国家和地区。隐含能源与全球能源的互动都更加多元化、分散化。

需要注意的是,世界正处于从油气资源时代向可再生能源时代转变的关键时期。① 传统的油气资源安全在短时间内仍然是中国能源安全的重中之重,不可因可再生能源的快速发展而有所忽视。未来仍然要提升中国与世界油气资源互动的稳定性,加强与中东、非洲、俄罗斯和中亚等地区的传统油气安全合作,积极应对伊朗、伊拉克地缘政治的不稳定性因素,在“一带一路”倡议的框架下提升能源合作的广度和深度,增加多元化供应的保障能力。同时,构建多元化的能源安全战略通道,提升印度洋航线、马六甲海峡等关键运输通道的保障能力,加快陆地油气管线的建设并谋划中国到中东的油气复现管道建设,保障传统油气能源格局的安全性和稳定性。② 长远来看世界经济绿色化、能源结构低碳化乃至无碳化是大势所趋,煤炭、石油需求增长将相对放缓,天然气、风能、太阳能等清洁能源需求将显著增加,中国在制造业基础、可再生能源技术、可再生能源基础设施投资等方面具有领先世界的发展优势,将重塑世界可再生能源发展的新格局,这也将极大降低中国传统能源安全的风险。③ 世界经济发展的不确定性对中国与全球能源互动的负面影响值得关注。中美贸易摩擦的不断升级以及2020年全球重大突发公共卫生事件暴发,许多国家纷纷提出要重构相对独立的经济体系,一股逆全球化的暗流正在涌动。后疫情时代,全球产业链是否将重新走向区域化?作为世界制造中心的中国,如何提升全球能源的配置能力,加强全球传统能源的供应韧性,更好的发挥可再生能源优势,提升全球隐含能源网络“资源中枢”的功能与价值增值,尚需进行更为系统深入的研究。

致谢:感谢何则博士、周彦楠博士、郭越博士的数据分析与制图工作;感谢审稿专家提出的建设性意见。

附表 国家/地区及相应代码对照表

代码	国家/地区	代码	国家/地区	代码	国家/地区	代码	国家/地区
AUS	澳大利亚	JPN	日本	ARG	阿根廷	KWT	科威特
AUT	奥地利	KOR	韩国	HKG	中国香港	NGA	尼日利亚
BEL	比利时	MEX	墨西哥	ISR	以色列	VEN	委内瑞拉
BRA	巴西	MYS	马来西亚	PHL	菲律宾	DZA	阿尔及利亚
CAN	加拿大	NLD	荷兰	DNK	丹麦	LBY	利比亚
CHE	瑞士	POL	波兰	FIN	芬兰	AGO	安哥拉
CHN	中国	RUS	俄罗斯	NOR	挪威	IRQ	伊拉克
CZE	捷克	SAU	沙特阿拉伯	PRT	葡萄牙	QAT	卡塔尔
DEU	德国	SGP	新加坡	HUN	匈牙利	BMU	百慕大
ESP	西班牙	SWE	瑞典	ZAF	南非	KAZ	哈萨克斯坦
FRA	法国	THA	泰国	PAK	巴基斯坦	ROU	罗马尼亚
GBR	英国	TUR	土耳其	VNM	越南	VGB	英属维尔京群岛
IDN	印度尼西亚	UKR	乌克兰	CHL	智利	CYM	开曼群岛
IND	印度	USA	美国	HND	洪都拉斯	CYP	塞浦路斯
IRL	爱尔兰	ARE	阿联酋	OMN	阿曼	LUX	卢森堡
ITA	意大利	IRN	伊朗	ROW	世界其他国家和地区		

参考文献(References)

- [1] Shen Yuming. Economic globalization and the national energy security. *World Regional Studies*, 2003, 12(3): 78-83. [申玉铭. 经济全球化与国家能源安全. *世界地理研究*, 2003, 12(3): 78-83.]
- [2] Shi Dan. Changes in global energy supply landscape and implications to China's energy security. *Sino-Global Energy*, 2013, 18(2): 1-7. [史丹. 全球能源格局变化及对中国能源安全的挑战. *中外能源*, 2013, 18(2): 1-7.]
- [3] Yergin D. Ensuring energy security. *Foreign Affairs*, 2006, 85(2): 69-82.
- [4] Xu Linglin, Wang Qiang, Li Na, et al. Spatial-temporal evolution of global energy security since 1990s. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(12): 2166-2178. [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.]
- [5] Huang Xianjin, Lu Qinli. World resource geography: The present status, deficiency and opportunity of China's resource geography. *Geographical Research*, 2016, 35(4): 607-616. [黄贤金, 卢芹莉. 世界资源地理研究: 中国资源地理学的现状、缺失与机遇. *地理研究*, 2016, 35(4): 607-616.]
- [6] Yang Yu, He Ze. China's overseas oil and gas dependence: Situation, geographical risks, and countermeasures. *Resources Science*, 2020, 42(8): 1614-1629. [杨宇, 何则. 中国海外油气依存现状、地缘风险与应对策略. *资源科学*, 2020, 42(8): 1614-1629.]
- [7] Tan X M. China's overseas investment in the energy/resources sector: Its scale, drivers, challenges and implications. *Energy Economics*, 2013, 36: 750-758.
- [8] Chen B, Li J S, Wu X F, et al. Global energy flows embodied in international trade: A combination of environmentally extended input-output analysis and complex network analysis. *Applied Energy*, 2018, 210: 98-107.
- [9] Chen X, Gallagher K P, Mauzerall D L. Chinese overseas development financing of electric power generation: A comparative analysis. *One Earth*, 2020, 3(4): 491-503.
- [10] Zhong W Q, An H Z, Shen L, et al. Global pattern of the international fossil fuel trade: The evolution of communities. *Energy*, 2017, 123: 260-270.
- [11] Ji Q, Zhang H Y, Fan Y. Identification of global oil trade patterns: An empirical research based on complex network theory. *Energy Conversion and Management*, 2014, 85: 856-865.
- [12] Zhang H Y, Ji Q, Fan Y. Competition, transmission and pattern evolution: A network analysis of global oil trade. *Energy Policy*, 2014, 73: 312-322.
- [13] Geng J B, Ji Q, Fan Y. A dynamic analysis on global natural gas trade network. *Applied Energy*, 2014, 132: 23-33.
- [14] Guan Q, An H Z. The exploration on the trade preferences of cooperation partners in four energy commodities international trade: Crude oil, coal, natural gas and photovoltaic. *Applied Energy*, 2017, 203: 154-163.

- [15] Schmidt J, Gruber K, Klingler M, et al. A new perspective on global renewable energy systems: Why trade in energy carriers matters. *Energy & Environmental Science*, 2019, 12(7): 2022-2029.
- [16] Shuai J, Leng Z H, Cheng J H, et al. China's renewable energy trade potential in the "Belt-and-Road" countries: A gravity model analysis. *Renewable Energy*, 2020, 161: 1025-1035.
- [17] Hao X Q, An H Z, Qi H, et al. Evolution of the exergy flow network embodied in the global fossil energy trade: Based on complex network. *Applied Energy*, 2016, 162: 1515-1522.
- [18] Li H J, An H Z, Fang W, et al. Global energy investment structure from the energy stock market perspective based on a Heterogeneous Complex Network Model. *Applied Energy*, 2017, 194: 648-657.
- [19] International Energy Agency (IEA). China's Engagement in Global Energy Governance. 2016. [国际能源署. 中国参与全球能源治理之路. 2016.]
- [20] Zhao Yongqiang. International renewable energy development and global energy governance reform. *Macroeconomics*, 2017(4): 43-54. [赵勇强. 国际可再生能源发展与全球能源治理变革. 宏观经济研究, 2017(4): 43-54.]
- [21] 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.]
- [22] He Ze, Yang Yu, Liu Yi, et al. Characteristics of evolution of global energy trading network and relationships between major countries. *Progress in Geography*, 2019, 38(10): 1621-1632. [何则, 杨宇, 刘毅, 等. 世界能源贸易网络的演化特征与能源竞合关系. 地理科学进展, 2019, 38(10): 1621-1632.]
- [23] Kissinger H. *Diplomacy*. New York: Simon and Schuster, 1994.
- [24] Bromley S. *American Hegemony and World Oil: The Industry, the State System and the World Economy*. Pennsylvania: Penn State Press, 1991.
- [25] Yang Yu. The evolution of global oil resources development and utilization pattern of China's overseas crude oil cooperation model [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013. [杨宇. 全球石油资源开发利用格局演变与中国海外石油合作模式研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.]
- [26] Zhang Yuyan, Guan Qingyou. World energy pattern and China's energy security. *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.]
- [27] International Energy Agency (IEA). *World Energy Outlook 2015*. Organization for Economic Co-operation and Development, 2015.
- [28] Bazilian M, Bradshaw M, Goldthau A, et al. Model and manage the changing geopolitics of energy. *Nature*, 2019, 569 (7754): 29-31.
- [29] Blondeel M, Bradshaw M J, Bridge G, et al. The geopolitics of energy system transformation: A review. *Geography Compass*, 2021, 15(7): e12580. DOI: 10.1111/gec3.12580.
- [30] Fu X, Yang Y, Dong W, et al. Spatial structure, inequality and trading community of renewable energy networks: A comparative study of solar and hydro energy product trades. *Energy Policy*, 2017, 106: 22-31.
- [31] Guo Y, Yang Y, Wang C. Global energy networks: Geographies of mergers and acquisitions of worldwide oil companies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 139: 110698. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110698.
- [32] Jiang W R. Fuelling the dragon: China's rise and its energy and resources extraction in Africa. *The China Quarterly*, 2009, 199: 585-609.
- [33] Odoom I. Dam in, cocoa out; pipes in, oil out: China's engagement in Ghana's energy sector. *Journal of Asian and African studies*, 2017, 52(5): 598-620.
- [34] Zhu L, Zhang Z X, Fan Y. Overseas oil investment projects under uncertainty: How to make informed decisions?. *Journal of Policy Modeling*, 2015, 37(5): 742-762.
- [35] Gallagher K P, Kamal R, Jin J D, et al. Energizing development finance? The benefits and risks of China's development finance in the global energy sector. *Energy Policy*, 2018, 122: 313-321.
- [36] Duan F, Ji Q, Liu B Y, et al. Energy investment risk assessment for nations along China's Belt & Road Initiative. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170: 535-547.
- [37] Shepard J U, Pratson L F. Hybrid input-output analysis of embodied energy security. *Applied Energy*, 2020, 279: 115806. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115806.
- [38] Yuan Jinjun. Analysis of topological structure characteristics and influencing factors of implicit energy trade network from the perspective of global value chain [D]. Changsha: Hunan University, 2019. [袁晋军. 全球价值链视角下隐含能源贸易网络拓扑结构特征及影响因素分析[D]. 长沙: 湖南大学, 2019.]

- [39] Liu Zhu, Meng Jing, Deng Zhu, et al. Embodied carbon emissions in China-US trade. *Scientia Sinica Terrae*, 2020, 50 (11): 1633-1642. [刘竹, 孟靖, 邓铸, 等. 中美贸易中的隐含碳排放转移研究. *中国科学: 地球科学*, 2020, 50(11): 1633-1642.]
- [40] Chen B, Yang Q, Zhou S L, et al. Urban economy's carbon flow through external trade: Spatial-temporal evolution for Macao. *Energy Policy*, 2017, 110: 69-78.
- [41] Overland I. Energy: The missing link in globalization. *Energy Research & Social Science*, 2016, 14: 122-130.
- [42] Gao C X, Sun M, Shen B. Features and evolution of international fossil energy trade relationships: A weighted multilayer network analysis. *Applied Energy*, 2015, 156: 542-554.
- [43] Ji Qidi, Chen Wei, Liu Weidong. Structure and evolution of global cross-border M&A network. *Geographical Research*, 2020, 39(3): 527-538. [计启迪, 陈伟, 刘卫东. 全球跨境并购网络结构及其演变特征. *地理研究*, 2020, 39(3): 527-538.]
- [44] Gao C X, Su B, Sun M, et al. Interprovincial transfer of embodied primary energy in China: A complex network approach. *Applied Energy*, 2018, 215: 792-807.
- [45] Yao Qiuhui, Han Mengyao, Liu Weidong. Tracking embodied carbon flows in the Belt and Road regions. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2210-2222. [姚秋蕙, 韩梦瑶, 刘卫东. “一带一路”沿线地区隐含碳流动研究. *地理学报*, 2018, 73(11): 2210-2222.]
- [46] Yang Y, Poon J P H, Liu Y, et al. Small and flat worlds: A complex network analysis of international trade in crude oil. *Energy*, 2015, 93: 534-543.
- [47] International Renewable Energy Agency. A new world: The geopolitics of the energy transformation. <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/A-New-World-The-Geopolitics-of-the-Energy-Transformation>.
- [48] Yang Y, Dong W. Global energy networks: Insights from headquarter subsidiary data of transnational petroleum corporations. *Applied Geography*, 2016, 72: 36-46.
- [49] Zhang Jianhong, Wei Xinjiang, Heike Abbots. Analysis of the factors that determine the success or failure of Chinese companies' overseas acquisitions. *Management World*, 2010(3): 97-107. [张建红, 卫新江, 海柯·艾伯斯. 决定中国企业海外收购成败的因素分析. *管理世界*, 2010(3): 97-107.]
- [50] Zhang Zhongxiang. How to deal with "China's energy threat theory": State-owned energy corporations' overseas acquisitions and investment and associated financial support from Chinese policy banks. *Frontiers*, 2016(22): 49-62. [张中祥. 如何应对“中国能源威胁论”: 国有能源企业海外投资收购中的政策性银行支持. *人民论坛·学术前沿*, 2016 (22): 49-62.]
- [51] Conrad B, Kostka G. Chinese investments in Europe's energy sector: Risks and opportunities? *Energy Policy*, 2017, 101: 644-648.
- [52] Pareja-Alcaraz P. Chinese investments in Southern Europe's energy sectors: Similarities and divergences in China's strategies in Greece, Italy, Portugal and Spain. *Energy Policy*, 2017, 101: 700-710.
- [53] Turcsanyi R Q. Central European attitudes towards Chinese energy investments: The cases of Poland, Slovakia, and the Czech Republic. *Energy Policy*, 2017, 101: 711-722.
- [54] Liedtke S. Chinese energy investments in Europe: An analysis of policy drivers and approaches. *Energy Policy*, 2017, 101: 659-669.
- [55] Li Z S, Gallagher K P, Mauzerall D L. China's global power: Estimating Chinese foreign direct investment in the electric power sector. *Energy Policy*, 2020, 136: 111056. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.111056.
- [56] Liu Z, Geng Y, Lindner S, et al. Embodied energy use in China's industrial sectors. *Energy Policy*, 2012, 49: 751-758.

Energy globalization of China: Interaction logic and spatial transition

YANG Yu^{1, 2, 3}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Strategy Research of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, Guangzhou 510070, China)

Abstract: China is in the critical period of transforming from the oil and gas era to the renewable energy era. The changes of China's energy demand structure and energy utilization form determine that the energy interaction logic between China and the rest of the world has undergone profound changes. In order to better understand the process of energy interaction between China and the rest of the world, this study discusses the basic theoretical cognition of global energy interaction, and analyzes the pattern and changes of energy interaction between China and the rest of the world with the help of complex network, multi-region input-output analysis and other technical methods. It is found that the scope of energy interaction between China and the rest of the world is expanding and deepening. China has gradually shaped a diversified world energy map, converting from oil and gas to renewable energy trade, from oil and gas based investment to diversified energy investment, and from conventional energy trade to embodied energy trade. The main conclusions are as follows. (1) The coal-based energy production structure and the huge demand for oil and gas determine that ensuring overseas oil and gas supply is the most direct logic of energy interaction between China and the rest of the world, and the interaction areas are mainly concentrated in oil and gas rich countries and regions. (2) With the development of renewable energy, the logic of energy interaction between China and the rest of the world has changed from oil and gas to renewable energy related products trade. With the comparative advantages in China's manufacturing, the scope of interaction has expanded from countries and regions rich in oil and gas to countries with global renewable energy development and installation needs, forming a renewable energy trade map covering major countries and regions in the world. (3) China's overseas energy investment target has expanded from a limited number of host countries to other regions such as Europe and Southeast Asia. The investment business is not only limited to the oil and gas field, but also has expanded to solar energy, wind energy, hydropower and other renewable electricity generation projects. (4) China is a global manufacturing and trading power. Under the background of deepening globalization, part of China's energy is embodied the global production network and trade network for redistribution. The scope of energy interaction between China and the world is further expanded to countries with general commodity trade relations with China, forming the global "energy hub" function. This study can provide a theoretical perspective and decision-making basis for deeply understanding the energy interaction between China and the world, ensuring national energy security and participating in global energy economic governance.

Keywords: energy globalization; energy interaction; energy trade; energy investment; embodied energy; energy transition; China