

中国跨境能源贸易及隐含能源流动对比 ——以“一带一路”能源合作为例

韩梦瑶^{1,2,3}, 熊焦^{1,2,3,4}, 刘卫东^{1,2,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 4. 中央财经大学国际经济与贸易学院, 北京 100081)

摘要: 随着“一带一路”倡议的提出, 能源互联互通成为中国对外合作的重要组成。以“一带一路”能源合作为切入点, 从直接能源贸易和隐含能源流动的双重角度刻画中国跨境能源关联并开展对比研究, 主要结论包括: (1) 从直接能源角度, “一带一路”沿线沙特阿拉伯、俄罗斯等国家均为中国重要的直接能源进口国; (2) 从隐含能源角度, 中国为印度、新加坡、泰国等国家提供了大量的能源相关的商品服务; (3) 中国与“一带一路”沿线国家直接能源贸易逆差明显, 但隐含能源流动处于顺差地位; (4) 综合考虑直接能源贸易及隐含能源流动, 中国可以发挥不同类型能源关联的辐射带动作用, 为中国与“一带一路”沿线国家能源互联互通与共建合作伙伴关系提供坚实基础。

关键词: “一带一路”; 能源贸易; 隐含能源; 跨境合作; 供需均衡

全球化以来, 全球经济得到了飞速的发展, 与之相关联的一系列问题, 尤其是与能源利用相关的一系列问题相继浮现^[1]。总体来看, 能源的有限性逐渐成为限制经济发展的重要因素, 能源的开采、使用地区与其最终消费地区的经济发展与产业结构关联越发紧密。伴随日益频繁的经济联系和贸易活动, 能源利用在满足各地需求时的流动机制更为复杂, 其流动已经不再局限于国家内部的区际流动, 可能从一个国家流动到一个或者多个国家/地区, 甚至伴随商品链实现跨洲、跨洋的流动^[2-5]。

一般来说, 经济活动的本质是生产要素的交换。随着全球经济一体化进程不断加快及国际贸易规模的持续扩张, 区域之间的不均衡现象日益突出, 局限于本地的资源利用已经不能适应日益变化的社会经济的快速发展^[6]。截至目前, 大多数研究更多地关注直接能源贸易尤其是以石油和天然气为代表的直接能源分析^[7]。其中, 部分研究以“一带一路”沿线国家为研究对象开展了基于石油及天然气贸易网络的分析, 并提出中国与沿线国家存在紧密的能源关联^[8,9]。上述研究主要从直接能源贸易视角切入, 利用网络分析方法探讨与能源供需相关的结构特征及影响因素。然而, 随着世界各国之间的经济关联及贸易网络越发复杂, 从隐含关联着手寻找解决区域内部问题的应对策略越发必要。

值得注意的是, 从直接角度开展的研究涵盖了跨境直接能源贸易情况, 而从隐含角

收稿日期: 2020-01-10; 修订日期: 2020-04-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41701135, 41871118); 国家重点研发计划项目 (2016YFA0602804); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA20010102)

作者简介: 韩梦瑶 (1989-), 女, 河北沧州人, 博士, 副研究员, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: hanmy@igsrr.ac.cn

通讯作者: 刘卫东 (1967-), 男, 河北隆化人, 博士, 研究员, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: liuwd@igsrr.ac.cn

度开展的研究覆盖了伴随产品贸易的隐含能源流动情况,进一步拓展了能源关联的研究范畴。其中,隐含能源(embodied energy)主要指由最终需求驱动的隐含在产品供应链中的能源流动^[10]。在经济全球化下,不同地区、不同尺度的经济活动相互影响,以投入产出为基础的隐含能源流动及其环境影响研究在宏观尺度得到了广泛的关注,为相关领域提供了大量的成果支持^[11-14]。总体来看,对于大部分基础资源,全球范围内伴随商品贸易的流动总量已经达到了自身的1/3以上^[15,16],而对于能源等流动相对频繁的自然资源,该流动量已经超过了自身比例的70%^[17]。

2015年3月,中国国家发展改革委员会、外交部和商务部联合发布了《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》,标志着“一带一路”倡议进入全面推进建设阶段。在共建“一带一路”倡议提出之初,外交部公布了65个国家为“一带一路”建设近期重点。随着中国与“一带一路”沿线国家的贸易关联不断紧密,沿线国家在中国贸易市场中的地位不断提升。2001—2018年,中国与沿线国家贸易总额从839.36亿美元增长到12701.68亿美元,在中国对外贸易的占比从16.47%增长到27.44%^[18,19]。贸易结构方面,初级能源产品及高耗能产品的贸易关联也日益紧密,沿线国家逐渐成为中国能源及劳动密集型产品的主要来源国^[20]。

与此同时,南方国家、尤其是新兴经济体的崛起,以及相互之间合作规模与合作方式的强化,正在推动重塑传统由北方国家主导的全球能源治理格局。随着全球经济一体化进程不断加快及国际贸易规模的持续扩张,“一带一路”倡议一方面推动了沿线国家的基础设施建设及能源产业需求,另一方面推动了“一带一路”沿线国家与全球供应链接轨,增加了能源密集型产业的出口贸易额^[21,22]。在此背景下,中国提出的“一带一路”倡议在对外开放格局下有助于带动周边地区协同发展,推动能源互联互通,为新时期南方国家之间的相互合作、进而提升国际话语权提供了关键机遇^[23-25]。

值得注意的是,与南北国家之间的贸易带来的资源环境问题类似,“一带一路”沿线国家成为中国重要能源合作伙伴的同时,也会带来一系列资源环境的影响^[26-28]。尽管“一带一路”的能源合作已经得到了广泛的研究,但“一带一路”沿线地区的隐含能源流动研究尚未得到足够的关注^[29-31]。考虑到全球能源流动的复杂性,以“一带一路”沿线为主要研究区域开展能源关联研究,揭示直接能源贸易及隐藏在经济活动中的隐含能源流动的内在规律,有助于从系统的角度实现能源供给与需求的合理对接,更好地促进“一带一路”沿线地区的能源合作。

在此背景下,本文致力于从直接能源贸易和隐含能源流动的双重角度切入,结合分类型、分区域刻画中国与“一带一路”沿线国家的直接能源贸易和隐含能源流动的关联模式,对比中国与不同类型国家跨境能源关联的空间布局。文章首先介绍研究方法数据来源;其次分别从直接能源贸易和隐含能源流动的双重角度刻画中国与“一带一路”沿线国家的能源关联;最后开展“一带一路”沿线内外的跨境能源模式对比分析,并结合分析结果提出讨论总结及政策建议。

1 研究方法数据来源

“一带一路”沿线区域广阔,发展类型复杂多样,社会经济发展基础不一。该区域总体上自然环境复杂,生态环境多样且脆弱,普遍面临着发展和保护的矛盾。总体上,“一带一路”沿线两头经济较为发达活跃,一头是东亚经济圈,一头是欧洲经济圈,中间广

大腹地国家经济水平相对较低,但发展潜力巨大。在“一带一路”相关研究中,大多研究普遍使用沿线65个国家的空间范围,考虑到古丝绸之路的历史渊源以及各国的发展水平,本文涉及具体国家的分析同样采用这一空间范围。

本文基础数据主要由两部分组成,直接能源贸易方面主要沿用国际贸易中心数据库(ITC)中的直接能源贸易数据,该数据库涵盖全球232个国家和地区的直接贸易关联^[19]。隐含能源的核算方面,多区域投入产出(MRIO)可以通过产业间联系、跨国供应链和跨国贸易流来追溯资源消耗及环境排放的源头,适用于分析生产、消费、进口和出口的隐含生态要素流动^[32-34]。参考世界银行的分类,本文将Eora MRIO覆盖的188个经济体(不包括前苏联)划分为15个地区^[35,36],其中“一带一路”沿线国家的范围参照地区分类,沿用“一带一路”建设初期公布的65个国家/地区^[23]。表1展示了投入产出结构,其中多区域投入产出表反映了 m 个地区的 n 个行业部门之间的投入产出关系,投入包括能源资源等生态要素以及来自各地区各部门的商品投入,产出则包括中间产品(或生产品)和最终产品(或消费品)。

表1 投入产出结构

Table 1 Input-output structure

投入		产出							总产出		
		中间使用					最终使用				
		区域1		...	区域 m		区域1	...		区域 m	
部门1	...	部门 n	...	部门1	...	部门 n	区域1	...	区域 m		
区域1	部门1										
	...										
	部门 n										
	...										
区域 m	部门1										
	...										
	部门 n										
	增加值										
	能源投入										

基于投入产出结构,地区 r 部门 i 的生产端能源利用与消费端能源需求具备如下平衡:

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

式中: d_i^r 是地区 r 部门 i 的直接能源投入量; ε_j^s 为地区 s 部门 j 的单位产出能源强度; z_{ji}^{sr} 是地区 s 部门 j 中间产品投入地区 r 部门 i 的产出; x_i^r 是地区 r 部门 i 的总产出,具体表述如下:

$$x_i^r = \sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij}^{rs} + \sum_{s=1}^m f_i^{rs} \quad (2)$$

式中: f_i^{rs} 表示地区 r 部门 i 投入地区 s 部门 i 的最终需求。

用矩阵 D 代表直接能源投入,矩阵 E 代表单元产出能源强度,矩阵 Z 代表中间产品投入,矩阵 \hat{X} 代表总产出,矩阵 \hat{F} 代表总需求,则式(1)和式(2)可分别表示为:

$$D + EZ = E\hat{X} \quad (3)$$

$$\hat{X} = Z + \hat{F} \quad (4)$$

通过投入产出分析,结合直接能源投入矩阵 D 、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：

$$E = D(\hat{X} - Z)^{-1} \quad (5)$$

其中，单位产出能源强度矩阵 E 可以表示用于不同地区不同产业的中间产品以及最终需求的能源强度，进而测算进出口贸易中间产品和最终需求的隐含能源流动。

将式 (5) 分别代入式 (6) 和式 (7) 中，可以得到进出口贸易中的隐含能源流动量，其中，隐含在最终需求进口的能源流入 (EIM) 和隐含在最终需求出口的能源流出 (EEX) 可以分别表示为：

$$EIM^r = \sum_{i=1}^n EIM_i^r = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1(s \neq r)}^m (\varepsilon_i^s f_i^{sr}) \quad (6)$$

$$EEX^r = \sum_{i=1}^n EEX_i^r = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1(s \neq r)}^m (\varepsilon_i^s f_i^{rs}) \quad (7)$$

在计算隐含能源流动过程中，式 (6) 和式 (7) 分别对不同部门的隐含能源流动量进行了加总，用于与直接能源贸易数据开展对比研究。结合直接能源贸易与隐含能源流动，本文可以从不同能源类型、不同区域关联分析直接能源贸易和隐含能源流动的跨境关联及模式，为促进中国与“一带一路”沿线地区能源互联互通、共建“一带一路”能源合作伙伴关系提供量化支撑。

2 结果分析

2.1 直接贸易与隐含流动的结构解析

整体来看，中国的跨境能源流动包括直接及隐含两个维度。其中，直接能源关联主要基于中国与其他国家/地区的直接能源贸易刻画，而隐含能源关联主要基于中国与其他国家/地区之间的隐含能源流动刻画，分别反映中国与“一带一路”沿线国家之间的直接能源贸易及隐含能源流动情况。

图1刻画了中国与“一带一路”沿线国家的直接能源贸易结构。从直接能源贸易角度，中国对“一带一路”沿线国家的能源出口总量为2117.29千t，进口总量为330653.01千t，中国与“一带一路”沿线国家的能源逆差格局明显，主要的贸易顺差集中在俄罗斯、沙特阿拉伯、印度尼西亚等国家，分别达到了59321.00千t、50598.72千t、42579.58千t。具体到直接能源贸易结构，煤和石油分别占据了整体能源出口贸易量的将近55%及45%，天然气出口相对很少。在进口结构方面，中国从沿线各国进口了大量的直接能源，其中石油进口占据主导地位，为直接能源贸易进口量的69.92%，煤次之，占据直接能源贸易进口量的21.16%，天然气进口相对较少。从不同国家分布可以发现，俄罗斯、中亚及部分中东国家是中国石油及天然气贸易的重要供给方，上述地区的石油及天然气进口量达到了石油及天然气进口总量的85%以上，其中沙特阿拉伯、俄罗斯、阿曼分别是中国重要的石油进口国家，土库曼斯坦、卡塔尔、马来西亚分别是中国重要的天然气进口国家。与之相对比，中国煤炭进口主要依赖蒙俄和东南亚地区，其中从印度尼西亚、俄罗斯、蒙古等国家进口的煤炭资源占沿线国家煤炭进口总量的95%以上。

图2刻画了中国与“一带一路”沿线国家的隐含能源流动结构。从隐含能源角度分析，中国对“一带一路”沿线国家隐含能源出口总量为24877.56千t，进口总量为14180.24千t，净出口量10697.32千t，隐含能源呈现顺差格局。综合来看，即使中国在直接能源贸易中处于较大逆差地位，但中国最终出口到“一带一路”沿线国家的商品包

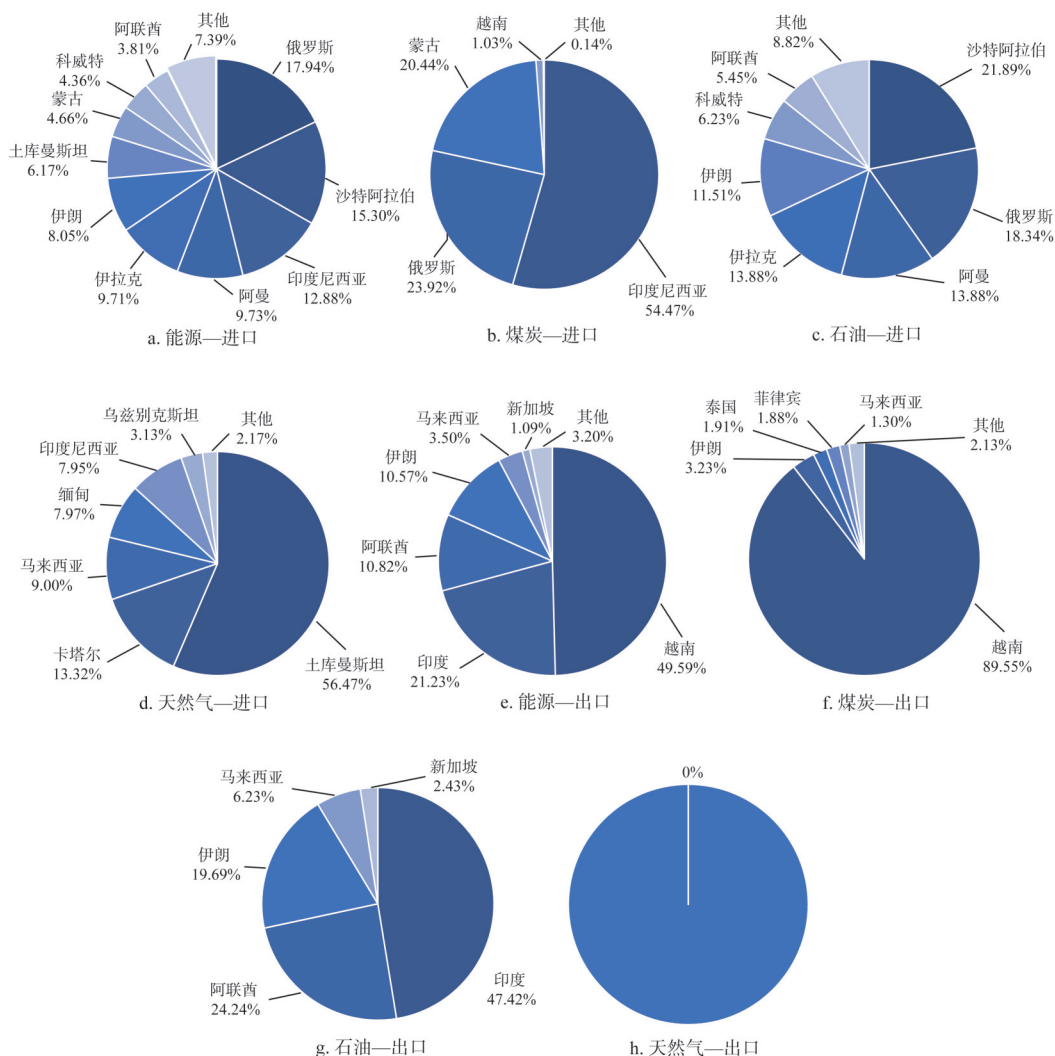


图1 中国与“一带一路”沿线国家的直接能源贸易结构

Fig. 1 Direct energy trade structures between China and "the Belt and Road" countries

含大量隐含能源,通过间接贸易的形式为“一带一路”沿线国家提供了能源相关产业的商品服务。具体到隐含能源结构,煤和石油占中国向“一带一路”沿线国家的出口量比例相当,分别为43.05%和41.55%。与总体顺差趋势不同,天然气进口量为5985.62千t,出口量为3826.24千t,存在2159.38千t逆差。具体到不同国家可以发现,煤和石油主要来源于泰国、新加坡、马来西亚,流入量分别为1573.81千t、1388.65千t、1078.41千t。天然气主要来源于马来西亚、俄罗斯、泰国,流入量达1064.39千t、974.02千t、929.29千t。与之相对比,中国隐含能源出口主要流向印度、新加坡、泰国等,流出量为2578.96千t、2168.70千t、2048.29千t。

2.2 直接和隐含能源流动的关联对比

总体来看,中国在直接能源贸易端与世界各国家和地区的能源关联以进口为主,进口量显著高于出口量,然而在隐含能源流动端,进口的能源经过生产伴随最终产品呈现以

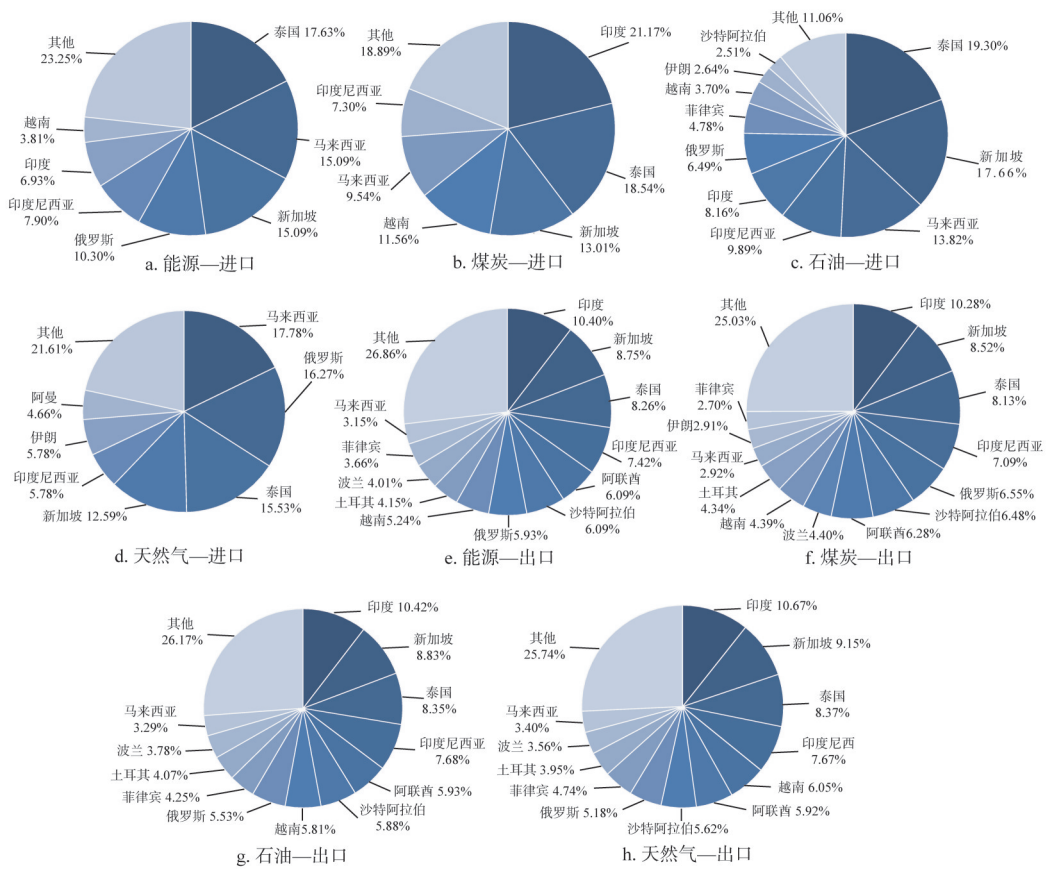


图2 中国与“一带一路”沿线国家的隐含能源流动结构

Fig. 2 Embodied energy transfer structures between China and "the Belt and Road" countries

出口为主的顺差状态，贸易重心发生转移。为了更深层次地研究中国与沿线国家的能源关联，本文进一步分析中国与沿线不同国家和地区的直接能源贸易与隐含能源流动关联。

综合两种视角，中国与“一带一路”沿线国家能源逆差格局明显，而隐含能源流动格局基本表现为中国向“一带一路”沿线发展中国家隐含能源净出口，隐含能源处于顺差地位。从国家分布来看，中国的直接能源进口主要来自俄罗斯、沙特阿拉伯、印度尼西亚等国家，隐含能源流入主要来自泰国、马来西亚、新加坡等国家，其中石油是占据主导的重要进口能源资源。相反，中国直接能源出口主要流向越南、印度、阿联酋等国家，隐含能源主要流向印度、新加坡、泰国等国家。表2刻画了中国与“一带一路”沿线地区的直接能源贸易与隐含能源流动关联，可以发现大部分“一带一路”沿线地区为中国直接能源进口国，尤其是俄罗斯以及西亚中东等国家，而部分国家为中国隐含能源出口地区，尤其是东南亚、南亚、中东欧等国家。两者对比可以发现，中国与“一带一路”沿线国家的能源关联仍呈现逆差状态，然而随着“一带一路”沿线国家经济水平的不断提升，中国的产业体系与沿线国家的关联不断紧密，中国与沿线国家的能源合作具有巨大潜力。

表3进一步刻画了中国与其他国家的直接能源贸易与隐含能源流动结构。从能源结构来看，中国与沿线国家的煤炭、石油、天然气的贸易均呈现逆差趋势，尤其是石油和

表2 中国与“一带一路”沿线地区的直接能源贸易与隐含能源流动情况

Table 2 China's direct energy trade and embodied energy transfers with "the Belt and Road" region (千t)

区域	直接能源贸易		隐含能源流动		从贸易到消费	
	进口	出口	进口	出口	进口	出口
中东欧	0	0	331.41	2976.49	331.41	2976.49
中亚	26798.14	0.02	314.49	205	27112.63	205.02
蒙俄	74721.00	0.38	1531.90	1569.80	76252.90	1570.18
南亚	0	449.82	1348.82	3758.24	1348.82	4208.06
东南亚	52032.01	1212.60	8951.81	9216.06	60983.82	10428.66
西亚中东	177101.86	454.47	1701.81	7151.97	178803.68	7606.44
合计	330653.01	2117.29	14180.24	24877.56	344833.26	26994.85
全球占比/%	60.47	27.18	31.35	19.87	58.72	20.30

表3 中国与“一带一路”沿线国家的总体能源进出口结构

Table 3 China's energy import/export structures with "the Belt and Road" region (千t)

区域	煤炭		石油		天然气	
	进口	出口	进口	出口	进口	出口
东南亚	39706.91	4800.10	8954.40	4093.07	12334.31	1530.31
蒙俄	31088.39	746.75	43995.41	608.94	1169.66	211.25
南亚	307.24	1608.21	7326.23	2008.56	325.85	589.83
西亚中东	54.53	3246.28	172594.10	3313.67	6155.18	1050.41
中东欧	38.07	1381.85	145.56	1178.20	147.75	417.00
中亚	59.12	98.50	5,077.96	79.26	21975.93	27.44
合计	71254.27	11881.69	238093.67	11281.69	42108.68	3826.24
全球占比/%	41.82	19.70	66.14	20.87	68.25	20.57

天然气的逆差结构明显。然而，区分直接能源贸易和隐含能源流动可以发现，煤炭和石油在隐含能源流动中均呈现顺差趋势，净流出量分别为9404.88千t和3433.21千t。具体到不同区域，中国与沿线地区煤炭进出口主要集中在东南亚和蒙俄区域，在“一带一路”沿线国家的煤炭贸易占比分别达到53.54%和38.29%。对石油进口总量，中国主要供应地区为西亚中东等国家，占比达到了中国在沿线地区石油进口总量的72.49%，主要出口地区为东南亚和西亚中东，占比分别达到了中国对沿线国家石油出口总量的36.28%和29.37%。从天然气总体贸易情况来看，中亚地区是中国天然气的主要供给地区，占比达到了中国在沿线国家天然气进口总量的52.19%，而东南亚和西亚中东是中国天然气的主要出口地区，占比达到了中国对沿线国家天然气出口总量的40.00%和27.45%。

2.3 中国跨境能源流动的供需模式分析

考虑到全球能源流动的复杂性，从多区域视角揭示直接能源贸易及隐含能源流动的内在规律研究，有助于实现能源供给与需求的合理对接。总体来看，中国在直接能源贸易端与大多数国家和地区的能源关联以进口为主，进口量显著高于出口量，然而在隐含能源流动端，中国通过直接贸易进口的能源经过生产伴随最终产品呈现以出口为主的状态。综合各个国家在中国直接能源贸易及隐含能源流动的比例，可以构建中国与沿线国家能源关联分布图，具体如图3所示。从能源进口情况来看，中国从中东地区进口大量

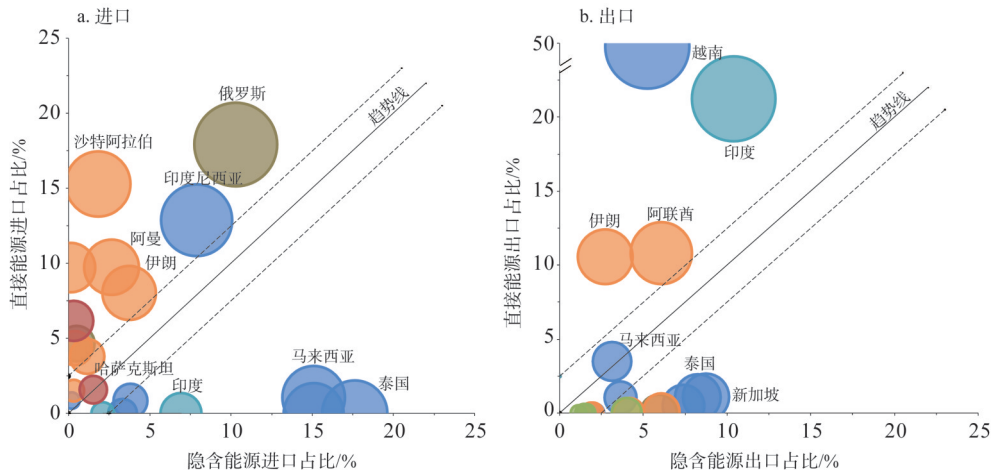


图3 中国与“一带一路”沿线国家的能源进出口比例分布

Fig. 3 Energy import/export distribution between China and "the Belt and Road" countries

石油，同时从印度尼西亚、泰国、马来西亚等东南亚国家进口部分初级工业产品。对于中国与沿线国家的能源出口贸易，中国向越南提供一定比例的煤炭，向印度等国家出口少量石油。同时，中国通过间接贸易为东南亚、南亚、中东欧等地区提供了能源相关商品服务，为对应地区的生产生活提供了保障支持。值得注意的是，中国对泰国、印度尼西亚、新加坡等东南亚国家均有一定程度的隐含能源流出，隐含能源出口结构相对均衡。

对比来看，中国的跨境能源进出口关联可以分为两个层面，一方面是以直接贸易驱动为主的直接能源关联，另一方面是以间接贸易驱动为主的隐含能源关联，具体模式如表4所示。其中，直接能源驱动的进出口模式中，大部分国家为中国进口国，尤其是以石油为主的俄罗斯、沙特阿拉伯、阿曼、伊拉克、伊朗、科威特、阿联酋等国家。与此

表4 中国与“一带一路”沿线国家的典型能源流动模式

Table 4 Typical energy transfer patterns between China and "the Belt and Road" countries (%)

贸易模式	贸易类型	贸易比例	典型国家	能源类型
直接能源驱动	能源进口	≥10	俄罗斯、沙特阿拉伯、印度尼西亚	石油为主
		5~10	阿曼、伊拉克、伊朗、土库曼斯坦	煤炭为主
		<5	蒙古、科威特、阿联酋	石油为主
	能源出口	—	越南	煤炭为主
		—	印度、阿联酋、伊朗	石油为主
		—	泰国	石油为主
隐含能源驱动	能源出口	≥10	印度	煤炭和石油为主
		5~10	新加坡、泰国、印度尼西亚、沙特阿拉伯、阿联酋、俄罗斯、越南	石油为主
		<5	土耳其、波兰、菲律宾、马来西亚	石油为主
	能源进口	≥10	泰国、新加坡、马来西亚、俄罗斯	石油及天然气为主
		5~10	印度尼西亚、印度	石油及天然气为主
		<5	越南、伊朗、菲律宾	石油及天然气为主

同时,中国也向越南、印度、阿联酋等国家出口少量的煤炭和石油资源。在隐含能源驱动的进出口模式中,中国的隐含能源进口国主要包括印度、新加坡、泰国、印度尼西亚、越南等国家,进口结构主要为石油和天然气资源,中国隐含能源流出国主要包括印度、新加坡、泰国、印度尼西亚、沙特阿拉伯、阿联酋、俄罗斯、越南等国家,出口结构主要为煤炭和石油资源。根据中国与各沿线国家的直接与隐含能源进出口模式,可以进一步明晰不同国家所处模式的分类分级。

2.4 “一带一路”沿线内外的跨境能源关联对比

结合中国跨境能源关联情况,可进一步分析中国与“一带一路”沿线以外国家的跨境能源关联结构。总体来看,中国与沿线以外国家的直接能源贸易出口量为5671.55千t,进口量为216126.40千t,整体呈现了直接能源贸易逆差格局,贸易逆差约为210454.87千t。从隐含能源流动视角,中国与沿线以外国家的隐含能源出口量为100313.78千t,进口量为31050.85千t,净出口达到了69262.93千t,存在着较明显的顺差格局。

从直接能源贸易角度,中国主要从澳大利亚、朝鲜、加拿大进口煤炭资源,进口量约为71202千t、19600千t、5864千t,从安哥拉、委内瑞拉等国家进口石油资源,进口量约为38700千t、16000千t,从澳大利亚、巴布亚新几内亚等国家进口天然气,进口量约为5530千t、1570千t。从石油和天然气进口来看,安哥拉、委内瑞拉、新几内亚等国家对于我国的进口能源安全具有重要意义。从隐含能源流动的角度分析,美国、日本、德国是中国最大的隐含煤炭和石油出口国家,占据隐含煤炭及石油出口总量的58.30%左右,美国同时是中国的隐含天然气出口国家,占据了22.34%的隐含能源出口量。总体来看,中国向美国、日本、德国等国家的隐含能源净出口达到30103.65千t、11665.44千t、4954.41千t。与此同时,日本作为地域狭窄的岛国,煤、石油、天然气等自然资源缺乏,同时呈现了直接能源顺差及隐含能源顺差的跨境能源关联模式。

表5进一步对比了中国与“一带一路”沿线内外的跨境能源关联模式。从能源均衡程度来看,中国与“一带一路”沿线国家主要的贸易逆差集中在俄罗斯、沙特阿拉伯、印度尼西亚等国家,而与“一带一路”沿线以外的安哥拉、委内瑞拉、澳大利亚、巴布亚新几内亚等国家同样也呈现了直接能源贸易逆差格局。从隐含能源角度看,中国对“一带一路”沿线国家呈现明显的顺差格局,主要隐含能源净出口集中在印度、新加坡、泰国等国家,而对于中国与“一带一路”沿线以外其他国家的隐含能源流动方面,对美国、日本、德国、英国、韩国等国家的隐含能源流出较高。贸易关联程度方面,中国与“一带一路”沿线国家的直接能源贸易关联紧密,同时中国向“一带一路”沿线以外国家的隐含能源流出同样不容忽视。从能源结构来看,中国与“一带一路”沿线国家的能源进口结构中石油进口占据主导地位,煤次之,天然气进口相对较少。中国与“一带一路”以外国家的能源贸易也呈现了逆差的格局,尤其对于石油、天然气贸易逆差明显。

对于大部分“一带一路”沿线地区,中国与东南亚之间主要呈现了直接能源逆差—隐含能源顺差的情况。与大多东南亚国家不同,中国与印度、巴基斯坦、斯里兰卡等南亚国家主要模式为直接能源顺差—隐含能源顺差,尤其是向南亚国家流出大量隐含能源,能源流动顺差格局明显。对于沙特阿拉伯、阿联酋等大多中东国家而言,中国的跨境能源流动模式为直接能源逆差—隐含能源顺差,这主要由于中东国家大多拥有丰富的石油资源,是中国石油进口的主要区域。对于“一带一路”沿线以外国家,中国与大部分区域的能源贸易模式为直接能源逆差—隐含能源顺差,其中美国是中国最大的隐含能

表5 中国与“一带一路”沿线内外的跨境能源关联模式对比

Table 5 Cross-border energy relations between China and countries within and outside "the Belt and Road" region

类别	中国与“一带一路”沿线国家		中国与“一带一路”沿线以外国家	
	直接能源贸易	隐含能源流动	直接能源贸易	隐含能源流动
总体贸易模式	逆差	顺差	逆差	顺差
贸易占比	占中国能源总进口比例的58.25%	占中国能源总出口比例的20.30%	占中国能源总进口比例的41.75%	占中国能源总出口比例的79.70%
贸易结构	进口	关联度高	与部分国家关联度高	关联度低
	出口	关联度低	关联度低	关联度高
能源类型	进口能源类型以石油为主，占比69.05%；出口能源类型主要为煤炭和石油，占比在40%左右		进口能源类型主要为煤炭和石油，占比分别为49.31%和40.10%；出口能源类型主要为煤炭和石油，占比均在40%左右	
典型区域	东南亚：直接能源逆差，存在少量隐含能源顺差；南亚：直接能源与隐含能源均为顺差；西亚中东：直接能源呈现逆差，隐含能源呈现顺差		美国：直接能源大致均衡，隐含能源逆差明显；南美：直接能源呈现逆差，隐含能源呈现顺差；非洲：直接能源呈现逆差，隐含能源呈现顺差	

源流出区域。与此同时，中国与日本、英国等国家同样也包含大量的隐含能源流出。通过识别美国、日本、英国等中国最大的隐含能源出口国家，中国隐含能源出口结构同样需要重视。

3 结论与讨论

在经济全球化下，不同地区之间的经济活动相互影响，经济关联及贸易网络越发复杂。即使中国在直接贸易中处于逆差地位，由于中国同时向其他国家出口大量工业品，往往伴随着隐含能源的流出，直接贸易逆差在最后消费环节呈现隐含能源顺差。在直接能源贸易的基础上，巨额的商品贸易顺差对应的是包括能源在内的多种自然资源使用量的大量出口及伴随而来的环境问题，跨境贸易关联不再是单纯的经济问题，而是与经济、资源、环境等相关的综合性问题。

为推进“一带一路”沿线地区能源合作，中国国家发展和改革委员会和国家能源局于2017年5月共同发布了《推动丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路能源合作愿景与行动》。2018年10月，中国与巴基斯坦、苏丹、土耳其等十余个国家共同发布了《共建“一带一路”能源合作伙伴关系部长联合宣言》。2019年4月25日，“一带一路”能源合作伙伴关系在北京成立，伙伴关系成员国共同对外发布了《“一带一路”能源合作伙伴关系合作原则与务实行动》。截至2019年4月，这一成员国总数已经达到30个，包括阿富汗、阿尔及利亚、阿塞拜疆、玻利维亚、柬埔寨、佛得角、乍得、中国、东帝汶、赤道几内亚、冈比亚、匈牙利、伊拉克、科威特、吉尔吉斯斯坦、老挝、马耳他、蒙古国、缅甸、尼泊尔、尼日尔、巴基斯坦、刚果（布）、塞尔维亚、苏丹、苏里南、塔吉克斯坦、汤加、土耳其及委内瑞拉等。

从直接能源贸易的角度，“一带一路”沿线国家已经覆盖了中国直接能源进口的大部分地区，比例达到了中国直接能源进口量的60%以上；与此同时，安哥拉、委内瑞拉、新几内亚等国家作为中国石油进口的主要地区，尽管并未地处传统“一带一路”沿线国家范围，但先后与中国签署了“一带一路”倡议合作协议，对于我国进口能源安全具有

重要意义。综合直接能源贸易与隐含能源流动视角,中国与“一带一路”沿线国家的能源流动总量达到403.11兆t,已超过中国与“一带一路”沿线以外国家的能源流动总量。

综合考虑直接能源贸易及隐含能源流动,中国与“一带一路”沿线国家的跨境能源关联仍呈现逆差状态,但随着“一带一路”沿线国家经济水平的不断提升,中国与“一带一路”沿线国家的能源产业关联将呈现不断增强的趋势。与此同时,通过识别中国与不同类型国家的能源合作重点,有助于进一步调整中国的贸易进出口分布结构,平衡直接能源贸易和隐含能源流动之间的相对关系。综合考虑中国与“一带一路”沿线内外的直接能源贸易及隐含能源流动关联,可以有针对性地促进中国与不同类型国家/地区的能源合作方式,具体来看:(1)对于以能源出口为主导的中亚、中东等沿线地区及俄罗斯等国家,中国可以通过加强能源基础设施建设,保障经济贸易畅通,从共同发展、互利互惠的角度保障能源的稳定供应与能源安全;(2)对于以经济发展为主要驱动的东南亚、南亚等国家,中国一方面可以针对相关国家的主要产品类别进一步扩大进出口规模,从优势产业的角度实现需求的合理对接,另一方面明晰沿线国家的能源与电力需求,通过投融资的方式着力解决沿线国家的能源困境;(3)对于中东欧等国家,中国可以进一步发挥能源合作的辐射带动作用,将传统能源合作中的利益最大化逐步转向利益共享、互利共赢,尤其在重点产业、重点领域实现区域间能源经济合作;(4)对于中国与“一带一路”沿线以外国家和地区的能源合作,尽量规避高能耗产品的大规模出口,尤其与美国应尽量避免零和博弈,与西欧国家适当加强可再生能源及能效管理等领域的合作,以双边或者多边合作的形式促进能源合作及供需均衡。

值得注意的是,目前参与“一带一路”建设的国家已经从亚、欧、非大陆拓展到拉丁美洲和南太平洋地区,充分体现了其开放包容性。在新的国际形势下,中国亟待从全球视角开展能源供给与需求分析,而综合直接能源贸易及隐含能源流动视角的分析可以为“一带一路”沿线国家的能源合作提供新的视角。在很长一段时期内,中国能源结构仍将以煤炭为主,资源型产业、重工业行业的过剩产能问题依然严峻。通过与“一带一路”沿线国家的能源合作,可以充分发挥不同国家之间的优势,有助于为促进中国与“一带一路”沿线国家的能源互联互通、共建能源合作伙伴关系提供坚实基础。

参考文献(References):

- [1] DURO J A, PADILLA E. Inequality across countries in energy intensities: An analysis of the role of energy transformation and final energy consumption. *Energy Policy*, 2011, 33(3): 474-479.
- [2] 高天明, 沈镭, 刘立涛, 等. 中国煤炭资源不均衡性及流动轨迹. *自然资源学报*, 2013, 28(1): 92-103. [GAO T M, SHEN L, LIU L T, et al. The inequality of China's coal resources and its flow paths. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(1): 92-103.]
- [3] 成升魁, 徐增让, 沈镭. 中国省际煤炭资源流动的时空演变及驱动力. *地理学报*, 2008, 63(6): 603-612. [CHENG S K, XU Z R, SHEN L. Spatial-temporal process and driving force of interprovincial coal flowing in China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 603-612.]
- [4] 赵媛, 郝丽莎. 我国石油资源空间流动的形成机制. *地理研究*, 2008, 27(5): 1027-1036. [ZHAO Y, HAO L S. The forming mechanism of crude oil flow in China. *Geographical Research*, 2008, 27(5): 1027-1036.]
- [5] 王宜强, 赵媛, 郝丽莎. 能源资源流动的研究视角、主要内容及其研究展望. *自然资源学报*, 2014, 29(9): 1613-1625. [WANG Y Q, ZHAO Y, HAO L S. Perspectives, main contents and future research of energy resources flow. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(9): 1613-1625.]
- [6] DUNFORD M, LIU W D. Uneven and combined development. *Regional Studies*, 2016, 51(1): 69-85.
- [7] 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: 534-43.

- [8] ZHANG C, FU J S, PU Z N. A study of the petroleum trade network of countries along "the Belt and Road Initiative". *Journal of Cleaner Production*, 2019, 222: 593-605.
- [9] 马远, 徐丽丽. “一带一路”沿线国家天然气贸易网络结构及影响因素. *世界经济研究*, 2017, (3): 109-121. [MA Y, XU L L. The structure and influencing factors of natural gas trade network of countries along "Belt and Road Initiative" areas. *World Economy Studies*, 2017, (3): 109-121.]
- [10] COSTANZA R. Embodied energy and economic valuation. *Science*, 1980, 210: 1219-1224.
- [11] 安琪儿, 安海忠, 王朗. 中国产业间隐含能源流动网络分析. *系统工程学报*, 2014, 29(6): 754-762. [AN Q E, AN H Z, WANG L. Analysis of the embodied energy flow network between Chinese industries. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29(6): 754-762.]
- [12] 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 and ecological network analysis. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(9): 1514-1528.]
- [13] 张琦峰, 方恺, 徐明, 等. 基于投入产出分析的碳足迹研究进展. *自然资源学报*, 2018, 33(4): 696-708. [ZHANG Q F, FANG K, XU M, et al. Review of carbon footprint research based on input-output analysis. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(4): 696-708.]
- [14] 韩梦瑶, 姚秋蕙, 劳浚铭, 等. 中国省域碳排放的国内外转移研究: 基于嵌套网络视角. *中国科学: 地球科学*, 2020, 50(6): 748-760. [HAN M Y, YAO Q H, LAO J M, et al. China's intra- and inter-national carbon emission transfers by province: A nested network perspective. *Science China Earth Science*, 2020, 50(6): 748-760.]
- [15] CHEN G Q, HAN M Y. Global supply chain of arable land use: Production-based and consumption-based trade imbalance. *Land Use Policy*, 2015, 49: 118-130.
- [16] HAN M Y, CHEN G Q, LI Y L. Global water transfers embodied in international trade: Tracking imbalanced and inefficient flows. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 184: 50-64.
- [17] CHEN Z M, CHEN G Q. Demand-driven energy requirement of world economy 2007: A multi-region input-output network simulation. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2013, 18: 1757-1774.
- [18] 邹嘉龄, 刘春腊, 尹国庆, 等. 中国与“一带一路”沿线国家贸易格局及其经济贡献. *地理科学进展*, 2015, 34(5): 598-605. [ZOU J L, LIU C L, YIN G Q, et al. Spatial patterns and economic effects of China's trade with countries along the Belt and Road. *Progress in Geography*, 2015, 34(5): 598-605.]
- [19] International Trade Centre, <https://www.intracen.org/>.
- [20] ZHANG J. Oil and gas trade between China and countries and regions along 'the Belt and Road': A panoramic perspective. *Energy Policy*, 2019, 129: 1111-1120.
- [21] TIAN X, HU Y Y, YIN H T, et al. Trade impacts of China's Belt and Road Initiative: From resource and environmental perspectives. *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, 150: 104430.
- [22] MEIR A, HE X G, PARIS A R, et al. Water security implications of coal-fired power plants financed through China's Belt and Road Initiative. *Energy Policy*, 2019, 132: 1101-1109.
- [23] 国家发展改革委, 外交部, 商务部. 推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动. 北京: 外文出版社, 2015. [National Development and Reform Commission, Ministry of Foreign Affairs, Ministry of Commerce. *Vision and Actions on Jointly Building Silk Road Economic Belt and 21st-Century Maritime Silk Road*. Beijing: Foreign Languages Press, 2015.]
- [24] 刘卫东. “一带一路”倡议的科学内涵与科学问题. *地理科学进展*, 2015, 34(5): 538-544. [LIU W D. Scientific understanding of the Belt and Road Initiative of China and related research themes. *Progress in Geography*, 2015, 34(5): 538-544.]
- [25] 贾琨, 杨艳昭, 封志明. “一带一路”沿线国家粮食生产的时空格局分析. *自然资源学报*, 2019, 34(6): 1135-1145. [JIA K, YANG Y Z, FENG Z M. An evaluation of the Belt and Road cereals production from a view of spatial-temporal patterns. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(6): 1135-1145.]
- [26] 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. [YAO Q H, HAN M Y, LIU W D, et al. Tracking embodied carbon flows in the Belt and Road regions. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2210-2222.]
- [27] HAN M Y, LAO J M, YAO Q H, et al. Carbon inequality and economic development across the Belt and Road regions. *Journal of Environmental Management*, 2020, 262: 110250.
- [28] 胡涛, 吴玉萍, 沈晓悦, 等. 我国对外贸易的资源环境逆差分析. *中国人口·资源与环境*, 2008, 18(2): 204-207. [HU T, WU Y P, SHEN X Y. China's foreign trade deficit in term of resources and environment. *China Population, Resources*

- and Environment, 2008, 18(2): 204-207.]
- [29] 刘建国, 梁琦. “一带一路”能源合作问题研究. 中国能源, 2015, (7): 17-20. [LIU J Q, LIANG Q. Research on energy cooperation along BRI. Energy of China, 2015, (7): 17-20.]
- [30] HAN L, HAN B T, SHI X P, et al. Energy efficiency convergence across countries in the context of China's Belt and Road Initiative. Applied Energy, 2018, 213: 112-122.
- [31] ZHAO Y B, LIU X F., WANG S J, et al. Energy relations between China and the countries along the Belt and Road: An analysis of the distribution of energy resources and interdependence relationships. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2019, 107: 133-144.
- [32] 韦韬, 彭水军. 基于多区域投入产出模型的国际贸易隐含能源及碳排放转移研究. 资源科学, 2017, 39(1): 94-104. [WEI T, PENG S J. Embodied energy and carbon emissions transferred in international trade using a MRIO model. Resources Science, 2017, 39(1): 94-104.]
- [33] 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.
- [34] ZHANG B, QIAO H, CHEN Z M, et al. Growth in embodied energy transfers via China's domestic trade: Evidence from multi-regional input-output analysis. Applied Energy, 2016, 184: 1093-105.
- [35] LENZEN M, MORAN D, KANEMOTO K, et al. Building Eora: A global multi-regional input-output database at high country and sector resolution. Economic Systems Research, 2013, 25: 20-49.
- [36] LENZEN M, KANEMOTO K, MORAN D, et al. Mapping the structure of the world economy. Environmental Science & Technology, 2012, 46: 8374-8381.

China's cross-border energy relations between direct trade and embodied transfers: Based on "the Belt and Road" energy cooperation

HAN Meng-yao^{1,2,3}, XIONG Jiao^{1,2,3,4}, LIU Wei-dong^{1,2,3}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China; 3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. School of International Trade and Economics, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)

Abstract: Along with the proposal of "the Belt and Road" Initiative, energy connectivity has become an essential component of China's overseas cooperation. In "the Belt and Road" energy cooperation, it is of great significance to depict and compare the cross-border relations from the dual perspectives of direct energy trade and embodied energy transfers. The main conclusions include: (1) From the direct perspective, countries such as Saudi Arabia and Russia are essential energy importers of China; (2) From the embodied perspective, China provides a large amount of energy-intensive products to countries such as India, Singapore and Thailand within "the Belt and Road" region; (3) China's direct energy trade with "the Belt and Road" region is in deficit, while the embodied energy transfer is in surplus; (4) Through synthetic consideration of direct energy trade and embodied energy transfers, China can further extend the radiating effects of different energy relations, and provide a solid foundation for energy connectivity and cooperation partnership between China and "the Belt and Road" countries.

Keywords: "the Belt and Road" Initiative; energy trade; embodied energy; cross-border cooperation; supply demand balance