

引用格式:王宜强,赵媛.世界天然气流动节点格局演化及其资源效应[J].资源科学,2020,42(8):1630-1642.[Wang Y Q, Zhao Y. Evolution of the global pattern of natural gas flow nodes and its resource effect[J]. Resources Science, 2020, 42(8): 1630-1642.] DOI: 10.18402/resci.2020.08.16

# 世界天然气流动节点格局演化及其资源效应

王宜强<sup>1,2</sup>,赵媛<sup>3</sup>

(1. 曲阜师范大学地理与旅游学院,日照 276826;2. 日照市国土空间规划与生态建设重点实验室,日照 276826;3. 南京师范大学金陵女子学院,南京 210046)

**摘要:**世界天然气流动格局演化及其资源效应对科学制定中国天然气发展战略具有重要指导意义。本文采用标准差椭圆分析世界天然气输流节点和汇流节点的资源流动格局及其演化特征,进而揭示格局演化的资源效应。结果表明:①世界天然气供需格局呈现东移发展趋势。管道天然气输流节点东西方向性发展逐步增强,节点分布重心呈现东移趋势;液化天然气输流节点分布在东西和南北两个方向都呈现离散发展趋势,重心移动具有显著的西北-东南阶段性迁移规律;②管道天然气汇流节点格局显著东移,汇流分布在东西向的方向性持续加强;液化天然气汇流节点格局亦整体东移,空间向心集中发展;③世界天然气高流动密度地区主要集中在亚欧大陆及其沿海国家,流动网络呈现出关键节点主导特征;管道天然气以东西流向为主,液化天然气流向较为复杂;④随着世界天然气流动节点格局的不断演化,全球天然气竞争格局、交流关系以及资源治理体系将发生一系列变革。基于研究分析,提出中国应加快页岩气产业革命,持续推进天然气海外供应多元化,引领国际天然气通道规划,加强亚洲天然气贸易枢纽和金融中心建设以及提升全球天然气治理地位等发展建议。

**关键词:**管道天然气;液化天然气;资源流动节点;节点格局;标准差椭圆;资源效应;天然气资源治理

DOI :10.18402/resci.2020.08.16

## 1 引言

在全球能源发展由高碳向低碳转型的过程中,天然气扮演了非常重要的角色。2018年天然气占全球一次能源消费的23.87%,已成为世界主体能源<sup>[1]</sup>。然而,因区域经济差异及天然气分布不均衡等条件约束,世界天然气生产地与消费地存在明显的错位,由此促使天然气供给国与消费国资源贸易日益活跃。随着大国间政治博弈的日趋激烈,天然气作为主要能源品种的政治属性和战略属性越来越突出,天然气贸易安全越来越受到各国重视。中国是世界增长最快的天然气消费市场,对外依存度高且增长迅速,能源安全形势严峻,保障中国天然气资源安全日益成为国家战略重点。因此,深入分析世界天然气流动格局演化规律及其资源效应是科学制定中国天然气发展战略的基础。

能源资源流动已成为资源科学领域新的研究方向<sup>[2-4]</sup>,有关天然气资源流动研究也取得一定成果。其一,探讨世界或地区天然气资源流动格局及网络结构特征。如马杰<sup>[5]</sup>分析了大国博弈下的天然气贸易态势,并提出了中国的发展对策;Chen等<sup>[6]</sup>、刘劲松<sup>[7]</sup>、马远等<sup>[8]</sup>采用网络分析方法研究世界或“一带一路”沿线地区天然气贸易网络结构及其演化特征。其二,分析中国国内天然气资源流动格局。如沈镭等<sup>[9]</sup>分析了中国天然气资源产消格局、区际流动与供给区划;张新林等<sup>[10]</sup>引入优势度概念,探讨了中国天然气输汇流格局、结构及其优势度的时空演变与影响因素;王宜强等<sup>[11]</sup>基于省域天然气输入与输出节点分析中国天然气流动系统的规模分布以及规模结构。其三,研究中国天然气进口格局与贸易多元化战略。如王宁等<sup>[12]</sup>分析了中国天然

收稿日期:2020-02-10 修订日期:2020-06-09

基金项目:山东省高校人文社科项目(J17RA213);国家自然科学基金项目(41371518)。

作者简介:王宜强,男,山东嘉祥人,博士,讲师,研究方向为能源地理学与区域可持续发展。E-mail: wangyiqiang@qfnu.edu.cn

2020年8月

气进口的空间格局;肖建忠等<sup>[13]</sup>建立贸易引力模型,考察中国液化天然气进口的影响因素,测算贸易伙伴国合作潜力;孙聆轩等<sup>[14]</sup>综合运用市场占有率、多样性指数等等标,分析了中国天然气进口空间格局演进及其优化路径。其四,探讨主要输流节点、汇流节点天然气资源贸易战略及其竞合关系。如陈晓鹏等<sup>[15]</sup>从相关性、多样性和国际关系影响3个角度,测度中亚国家油气资源出口的地缘政治风险,并对各国油气贸易战略进行了评价;郝洪昌等<sup>[16]</sup>采用H指数和竞争指数分析了中日韩印天然气贸易多元化和竞争关系。

由文献综述可知,学者们对区域天然气资源流动、资源贸易、区域发展战略越来越密切关注,由早期关注资源贸易供需关系与资源合作探讨,到关注区域天然气流动格局特征、演化规律及其影响因素,再到关注资源流动网络、流动结构以及竞合关系等研究领域。纵观整个研究脉络发现,已有研究主要以中国视域为主,全球尺度较少,且有关世界天然气资源流动研究多为资源输出国与输入国流动规模的简单统计与分析,较少涉及天然气资源流动节点格局演变及其资源效应等内容。本文所指节点是指将天然气资源流动所在国家(地区)视为内部均质化的抽象节点,是形成天然气资源流向和流量的地理控制点<sup>[17]</sup>。世界天然气流动分布的迁移能够揭示国际天然气生产消费、贸易重心、贸易参与度、贸易影响力的格局变化趋势,从而为未来世界资源管制或话语权等方面的经济政治变革提供科学预测的分析基础,对国家天然气发展战略的制定具有指导意义。由于管道天然气(Pipeline Natural Gas, PNG)和液化天然气(Liquefied Natural Gas, LNG)在资源生产、基础设施以及国际运输体系当中存在巨大差异性,因此两种不同贸易方式的资源流动格局演化将会产生不同的政治经济效应,在国家(地区)发展战略的制定中有必要进行差异性讨论。为此本文分别从管道天然气和液化天然气两种资源运输方式,揭示世界天然气输流节点和汇流节点格局、节点资源交流网络特征,以及通过解析节点格局演化的资源效应,进而提出中国天然气贸易战略与对策。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

标准差椭圆(SDE)是由美国南加州大学社会学教授韦尔蒂·利菲弗(D. Welty Lefever)在1926年提出,由此亦称为Lefever's "Standard Deviatonal Ellipse"(利菲弗方向性分布)<sup>[18]</sup>,该方法可以多角度揭示世界天然气流动节点要素空间分布特征,如识别空间分布中心、方向和范围等。标准差椭圆主要包含5个要素:中心点、旋转角、长半轴、短半轴和展布范围。中心点即世界天然气流动节点要素分布重心;旋转角表示空间分布的主趋势方向,长半轴表示空间分布主方向的离散程度,短半轴表示空间分布次方向的离散程度,长短半轴的值差距越大(扁率越大),表示空间分布的方向性越明显。此外,应用SDE方法进行多时间维度分析,可揭示空间分布的重心、展布范围、方向和形态随时间变化的动态特征。标准差椭圆是常用的揭示经济活动地理空间格局及其演化特征的空间分析方法,虽然此方法较为传统,但在本文中用于揭示世界天然气流动的节点格局及其演化特征,仍然具有一定的分析优势。标准差椭圆主要参数计算公式如下:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

$$SDE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}}, SDE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n}} \quad (2)$$

$$\delta = |SDE_x - SDE_y| \quad (3)$$

$$\tan \theta = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2 + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i^2\right)^2 + 4\left(\sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i\right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i \tilde{y}_i} \quad (4)$$

式中: $\bar{X}$ 和 $\bar{Y}$ 为椭圆中心坐标; $x_i$ 和 $y_i$ 是第*i*个要素(国家或地区)的空间中心坐标; $w_i$ 为第*i*个要素的天然气流量; $SDE_x$ 和 $SDE_y$ 分别为椭圆的*x*轴方向方差和*y*轴方向方差; $\delta$ 为椭圆扁率; $\tan \theta$ 为椭圆旋转角; $\tilde{x}_i$ 和 $\tilde{y}_i$ 为椭圆中心与第*i*个要素空间中心的偏差。

## 2.2 数据来源

鉴于中国自2006年开始成为天然气净进口国,进口量逐年攀升的实际,本文主要探讨2006年以来世界天然气资源流动节点格局。为消除统计口径不同带来的误差,本文所用天然气统计数据,如世界各国(地区)天然气生产、消费、输入和输出等均来自于《BP世界能源统计年鉴》(2007—2019)<sup>[1]</sup>。由于年鉴数据对以上统计指标并未详尽,所以部分国家(地区)天然气输入或输出等指标数据因流动规模较小而未予以统计或合并统计。又因这些国家(地区)对世界天然气流动格局影响较小,为此本文未将相关数据纳入分析之中。

## 3 结果与分析

### 3.1 世界天然气资源供需格局

整体而言,2006—2018年世界天然气产消具有较大的差异性(图1),从供需平衡来看,欧洲和亚太地区长期处于供不应求的状态,而中南美洲、独联体国家、中东以及非洲长期处于供大于求的状态,北美则由供不应求实现了资源自主且略有盈余。从发展过程来看,2006—2018年,北美、中东和亚太是世界天然气产消最为活跃的地区,独联体国家和非洲次之,再者为中南美洲,而欧洲是唯一产消量双双下降的地区,整体呈现产消东移特征。分地区而言:①北美洲是世界最大的天然气生产地和消费地,天然气产消规模呈现同步增长趋势,资源产消基本平衡。其中,美国是北美洲乃至世界最大的天然气产消大国,2018年其天然气产销量分别占世界天然气产销量的19.6%和21%。②独联体国家是世

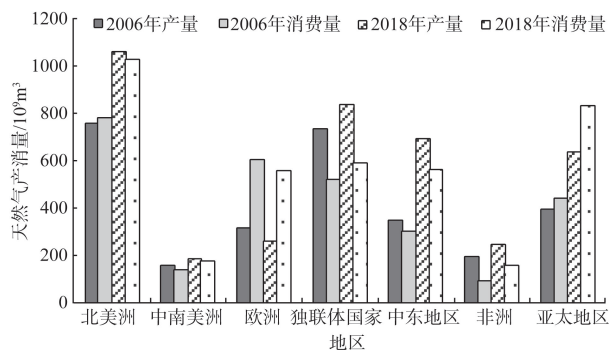


图1 2006和2018年世界天然气产消规模统计

Figure 1 World natural gas production and consumption statistics, 2006 and 2018

界天然气主要产地和资源输出地,2018年天然气生产占世界的21.49%,仅次于北美洲位居世界第二。其中,俄罗斯为本地区天然气产量最大的国家。③中东地区是世界天然气主要生产地之一,亦是产量增长最快的地区,占世界的比重由2006年的11.94%上升到2018年的17.77%。伊朗、卡塔尔、沙特和阿联酋是中东地区主要的产消国。④欧洲天然气生产规模相对较小,且呈现不断下降趋势;消费规模远高于生产规模,约为生产规模的两倍左右,因此成为世界天然气资源的主要进口地区。挪威是欧洲最大的天然气生产国,英国、荷兰也具有一定规模的天然气生产。⑤亚太地区天然气产销量呈现稳定上升趋势,但消费量显著大于生产量,亦是世界天然气主要进口地区。其中,中国是亚太地区最大的天然气产消国,消费量增长十分迅速,但产消差距十分显著。除中国外,澳大利亚、马来西亚也是本区域天然气产消规模相对较大的国家;日本、韩国、泰国天然气消费规模处于本地区前列位置。⑥中南美洲和非洲是世界天然气生产和消费的洼地,两地区天然气产消规模相对较小,且增长十分缓慢。南美洲天然气生产量略大于消费量,具备相对有限的资源输出能力。非洲天然气产消处于盈余状态,具备一定的资源输出能力。

### 3.2 输流节点空间格局演化分析

#### 3.2.1 管道天然气输流节点空间格局演化分析

由图2可知,管道天然气输流节点集中分布在北美、西北欧、独联体国家和北非等地区。2006—2018年世界管道天然气输流节点重心移动轨迹位于9.28°E—23.79°E和50.80°N—53.70°N之间,即重心点落于德国和波兰境内。由时间动态来看,重心移动轨迹表现出两阶段发展特征,第一阶段为2006—2008年,第二阶段为2009—2018年,总体呈现重心东移趋势。同时,两阶段重心点都具有一定的簇群分布特征,且表现出簇群范围内以东西方向为主的移动规律。由于管道天然气运输具有资源输出国和输入国地理相对邻近特征,加之资源需求与地区经济发展的相关性,因此管道天然气输流重心整体向东移动与世界经济重心东移在方向上具有一致性,尤以2008年世界金融危机这一全球性经济事件所导致的世界经济格局变革最为显著。

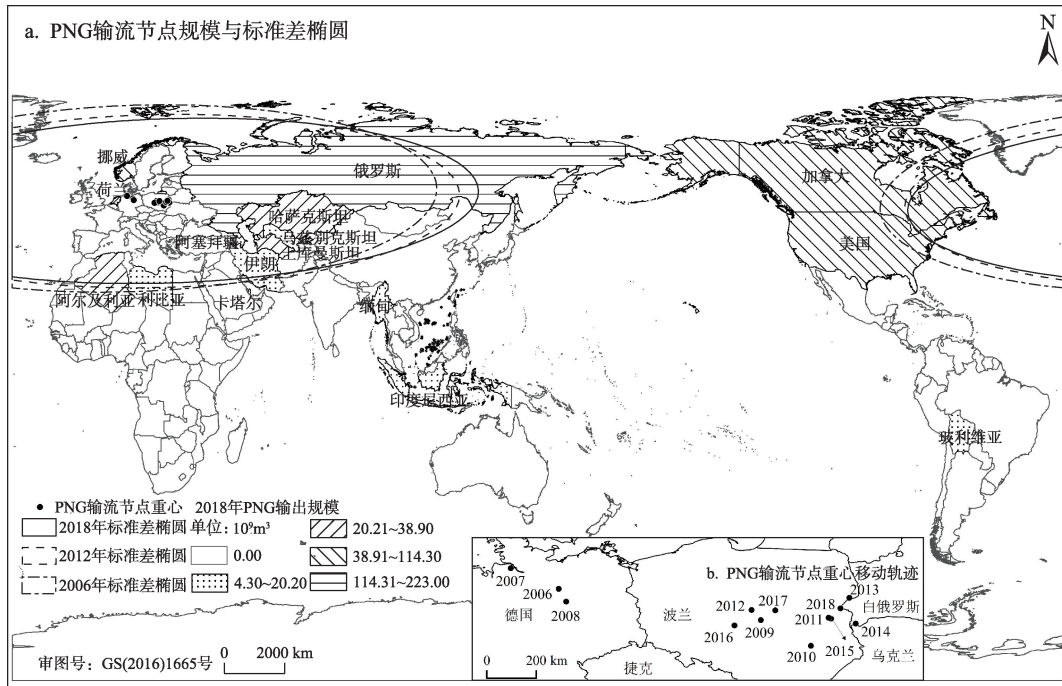


图2 2006、2012和2018年管道天然气输流节点格局

Figure 2 Spatial pattern of pipeline natural gas (PNG) export nodes, 2006, 2012 and 2018

由长短轴指标(表1)可知,沿X轴方差显著大于沿Y轴方差,表明世界管道天然气输流分布南北方向的差异显著大于东西方向的差异,其原因在于南北半球资源生产与消费的巨大差距有关。从长短轴的变化来看,长半轴具有波动中增长的变化趋势,而短半轴则具有波动中减小的趋势,椭圆扁率

也因此呈现波动中增大的趋势,表明世界管道天然气输流分布在东西向的方向性逐步增强。转角指标变化幅度相对较小,显示出不同纬度地带管道天然气输流发展的平稳性。总体来看,世界管道天然气输流节点分布呈现东向转移,东西向离散发展,南北向向心力增强的发展趋势。

表1 2006—2018年输流节点标准差椭圆相关指标

Table 1 Standard deviation ellipse (SDE) parameters of export nodes, 2006-2018

年份	管道天然气输流节点标准差椭圆				液化天然气输流节点标准差椭圆			
	沿X轴标准差/km	沿Y轴标准差/km	扁率/km	转角/°	沿X轴标准差/km	沿Y轴标准差/km	扁率/km	转角/°
2006	10414.71	2761.99	7652.73	88.28	8457.77	1661.08	6796.69	100.48
2007	10555.81	2484.11	7652.73	89.29	8337.24	1720.05	6617.19	100.20
2008	10353.60	2641.25	7712.35	89.57	8205.97	1859.39	6346.58	100.48
2009	10114.44	2612.27	7502.17	89.66	8163.01	2343.06	5819.95	100.15
2010	2713.20	10078.61	7365.41	90.17	7918.98	2577.70	5341.28	98.86
2011	10406.45	2564.49	7365.41	89.14	7695.00	2558.90	5136.10	97.79
2012	10375.99	2565.21	7810.78	88.94	7467.91	2548.18	4919.73	97.91
2013	10425.11	2541.04	7810.78	88.38	7600.16	2632.06	4968.10	97.64
2014	10305.73	2623.00	7682.73	88.87	7786.83	2683.17	5103.66	98.18
2015	10415.64	2619.96	7795.68	88.83	7926.00	2707.20	5218.80	100.27
2016	10502.13	2541.78	7960.35	88.77	8451.08	2764.10	5686.98	102.30
2017	10671.18	2471.41	8199.77	88.43	9548.89	2742.43	6806.46	102.79
2018	10654.50	2436.27	8218.23	88.41	10286.12	2966.04	7320.08	102.93

### 3.2.2 液化天然气输流节点空间格局演化分析

由图3可知,世界液化天然气输流节点主要分布于南太平洋地区(以下简称南太),中东,北非和西非等地区,2018年世界占比分别为38.03%、29.19%和11.25%,合计达78.47%,因此标准差椭圆覆盖范围以上述地区为主。由图3所示,2006—2018年世界液化天然气输流重心移动轨迹位于53.46°E—65.56°E和10.50°N—15.94°N之间,即分布于阿拉伯海地区。由时间动态来看,重心移动轨迹具有明显的西北—东南迁移特征,其中2006—2012年以西北方向迁移为主,2013—2018年以东南方向迁移为主。2006—2012年卡塔尔液化天然气输出增长较快,拉动重心向西北迁移;2013—2018年澳大利亚液化天然气输出快速增长,由此拉动重心向东南方向迁移。2016—2018年,美国液化天然气输出呈现较快增长趋势,从而促使重心在向东南迁移的同时,亦呈现出向西移动的特征。卡塔尔、澳大利亚和美国新增液化天然气输出的主要目的地皆为中国、日本、韩国、印度4国,上述4国近年来天然气需求量十分旺盛,是拉动卡塔尔、澳大利亚和美国资源开发、工程投资以及资源出口的主要驱

动源。同时,天然气生产大国输出规模的上升不是一蹴而就的,需要新的基础设施投建以及现有基础设施的维护,由此造成卡塔尔、澳大利亚两大天然气输出国,其输出规模呈现阶段性发展变化的特征。因此,在东亚、南亚液化天然气未来需求预期增长的发展趋势下,各资源输出国液化天然气工业建设投资规模以及产能提升的不平衡是促使世界液化天然气输流重心转移的主要因素。

由长短轴指标(表1)可知,世界液化天然气输流分布在东西方向上的绝对差距显著小于南北方向,长半轴呈现先减小后增大的变化趋势,而短半轴则表现出逐步增大的趋势,由于长半轴的变化幅度显著大于短半轴,椭圆扁率也因此呈现先减小后增大的趋势。以上表明世界液化天然气输流分布在东西向的方向性呈现出由逐渐弱化再到增强的发展过程,而在南北方向则呈现离散发展趋势。究其原因,除卡塔尔、澳大利亚两个资源主导国外,近年来美国逐步增加液化天然气输出量也是重要的影响因素。从转角变化来看,2006—2018年总体呈现先减小后增大的趋势,亦主要缘于卡塔尔、澳大利亚两国资源输出规模变化所致。总体来看,世界

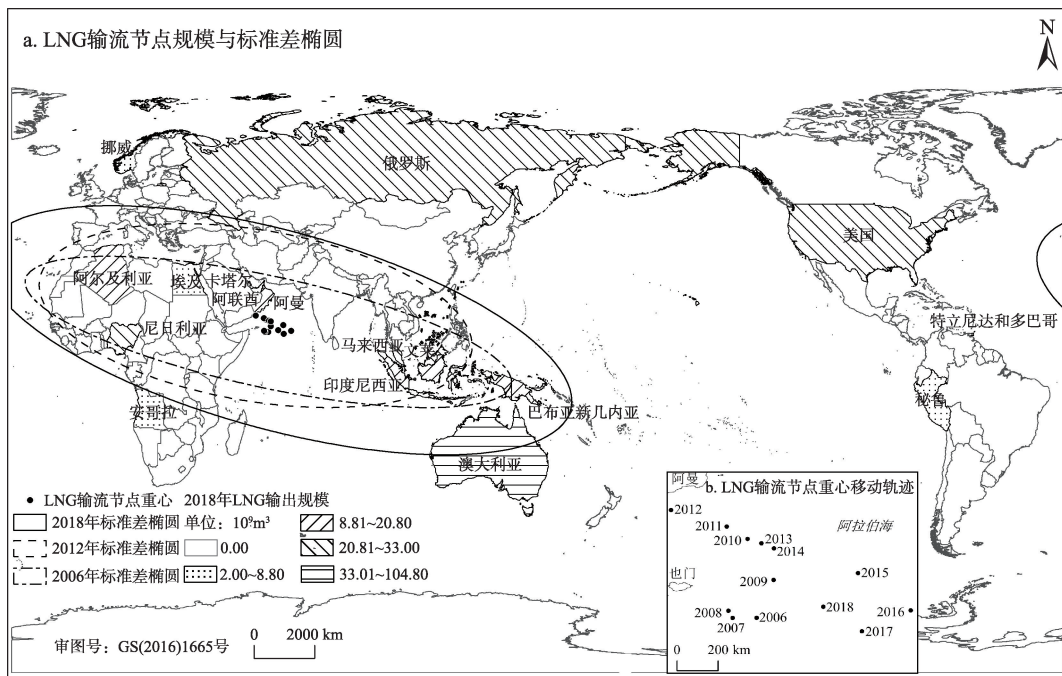


图3 2006、2012和2018年液化天然气输流节点格局

Figure 3 Spatial pattern of liquefied natural gas (LNG) export nodes, 2006, 2012 and 2018

2020年8月

液化天然气输流节点分布格局演变主要受卡塔尔和澳大利亚两资源输出大国的控制,同时美国将成为未来格局变动的重要扰动因素。

### 3.3 汇流节点空间格局演化分析

#### 3.3.1 管道天然气汇流节点空间格局演化分析

由图4可知,世界管道天然气汇流节点主要分布在北美、欧洲和中国,其他汇流节点呈分散分布特征,流动规模相对较小。2006—2018年世界管道天然气汇流节点重心移动轨迹位于 $15.92^{\circ}\text{W}$ — $2.83^{\circ}\text{E}$ 和 $42.43^{\circ}\text{N}$ — $44.64^{\circ}\text{N}$ 之间,落于西班牙以西沿海地区以及法国和西班牙交界处,重心分布呈现显著的簇群特征,2006—2008年重心点分布簇群与2009—2018年重心分布簇群显著分离,表明世界管道天然气汇流格局显著东移,与管道天然气输流格局变化相一致。由时间动态来看,重心东移趋势一直持续到2014年,之后重心向西缓慢转移。探究重心转移规律,发现有三方节点发挥重要作用力。其一,美国由于页岩气革命的产业推动作用,使其天然气资源产出快速增长,进而对外部天然气资源的依赖度大大降低,是重心东移的推动力之一;其二,欧洲在2008年世界金融危机之后,经济复苏缓慢,资源需

求量下降,亦是重心东移的推动力;近年来,欧洲多国遭受严寒暴雪等恶劣天气侵袭,促使天然气需求量上升及输入增长,是重心西移的主要拉力;其三,中国是世界主要经济体经济增长最快的国家,资源需求旺盛,是重心东移的主要拉力。由长短轴指标(表2)可知,沿 $X$ 轴方差显著大于沿 $Y$ 轴方差,由世界经济地理格局和资源需求格局所决定。从长短轴的变化来看,长半轴呈现持续增大的趋势,而短半轴增长则比较缓慢,椭圆扁率也因此呈现快速增大的趋势,表明世界管道天然气汇流分布在东西向的方向性持续加强,尤其是汇流分布范围的东向延伸十分明显。从转角变化来看,2006—2018年总体呈现先增大后减小的趋势,虽略有波动,但总体变化幅度仍相对较小,显示出不同纬度地带天然气进口国资源汇流格局的相对稳定性。对比管道天然气输流节点和汇流节点可知,管道天然气的输流节点和汇流节点格局总体上均位于北半球中高纬度,二者有一定的对应性,体现了陆上天然气资源地分布以及资源输出国和输入国地理的相对邻近特征,由此形成了东西向的陆上管道运输,尤其以欧亚大陆最为突出。

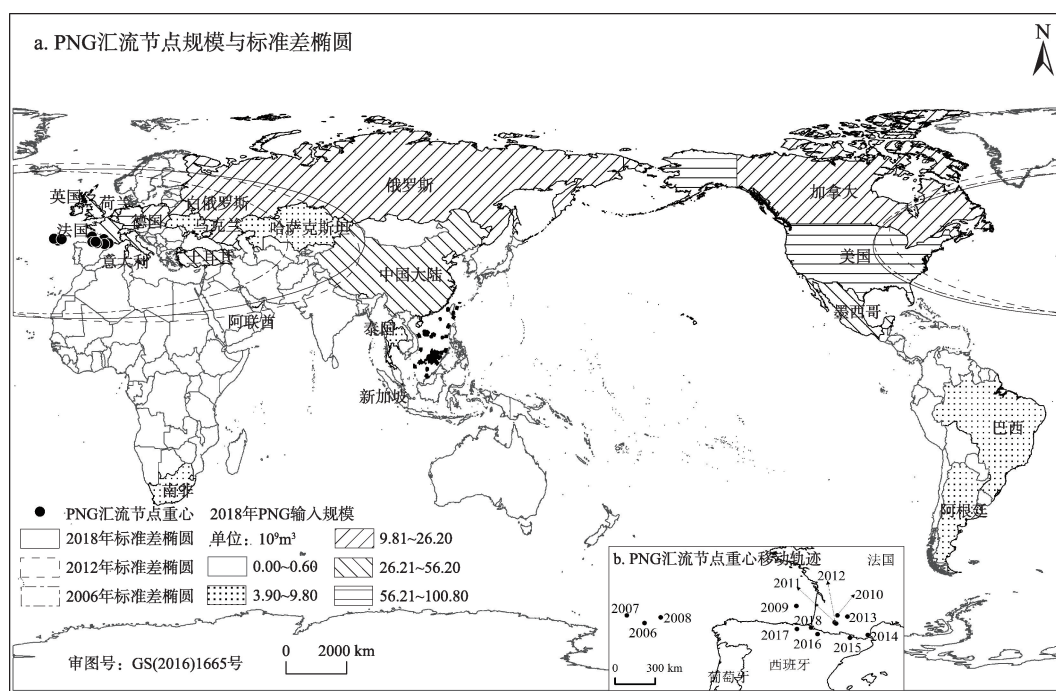


图4 2006、2012和2018年管道天然气汇流节点格局

Figure 4 Spatial pattern of pipeline natural gas (PNG) import nodes, 2006, 2012 and 2018

表2 2006—2018年汇流节点标准差椭圆相关指标

Table 2 Standard deviation ellipse (SDE) parameters of import nodes, 2006-2018

年份	管道天然气汇流节点标准差椭圆				液化天然气汇流节点标准差椭圆			
	沿X轴标准差/km	沿Y轴标准差/km	扁率/km	转角/°	沿X轴标准差/km	沿Y轴标准差/km	扁率/km	转角/°
2006	7911.50	2117.23	5794.27	90.00	11431.57	777.00	10654.57	92.25
2007	8103.50	1940.67	6162.84	91.07	11938.70	789.73	11148.97	91.95
2008	8022.61	1820.70	6201.91	92.05	10675.36	906.56	9768.80	91.06
2009	8405.10	2068.47	6336.62	90.58	11141.72	1312.91	9828.82	91.33
2010	8568.67	2222.12	6346.54	92.17	11141.34	1820.83	9320.51	89.98
2011	8901.03	2305.38	6595.66	92.39	10631.85	2045.73	8586.12	89.94
2012	8900.54	2342.60	6557.94	92.09	9972.259	2070.66	7901.60	87.23
2013	8779.82	2240.61	6539.21	91.58	9913.99	2121.09	7792.90	84.87
2014	8924.91	2428.43	6496.47	91.68	9931.07	2112.19	7818.88	84.45
2015	8733.08	2365.05	6368.04	91.41	9715.28	2138.51	7576.77	84.89
2016	8914.41	2316.50	6597.91	90.46	9163.36	2019.01	7144.35	85.49
2017	8889.89	2263.25	6626.64	90.09	8720.93	1882.16	6838.77	85.84
2018	9263.05	2232.01	7031.04	89.51	8433.98	1774.84	6659.13	86.33

3.3.2 液化天然气汇流节点空间格局演化分析

由图5可知,目前世界液化天然气汇流节点主要分布在东亚、南亚以及欧洲地区,呈现集聚分布特征。东亚以中国、日本、韩国和中国台湾为液化天然气汇流集聚中心,2018年以上地区占世界液化天然气输入总量的62.53%;南亚以印度、巴基斯坦

为代表,占比9.28%;欧洲以西欧国家为集聚中心,占比13.11%,以上地区合计占比达84.92%。由图5所示,2006—2018年世界液化天然气汇流重心移动轨迹位于68.18°E—90.64°E和32.03°N—38.19°N之间,即分布于塔吉克斯坦、巴基斯坦和阿富汗的边境地区以及中国西藏境内。由时间动态来看,液化

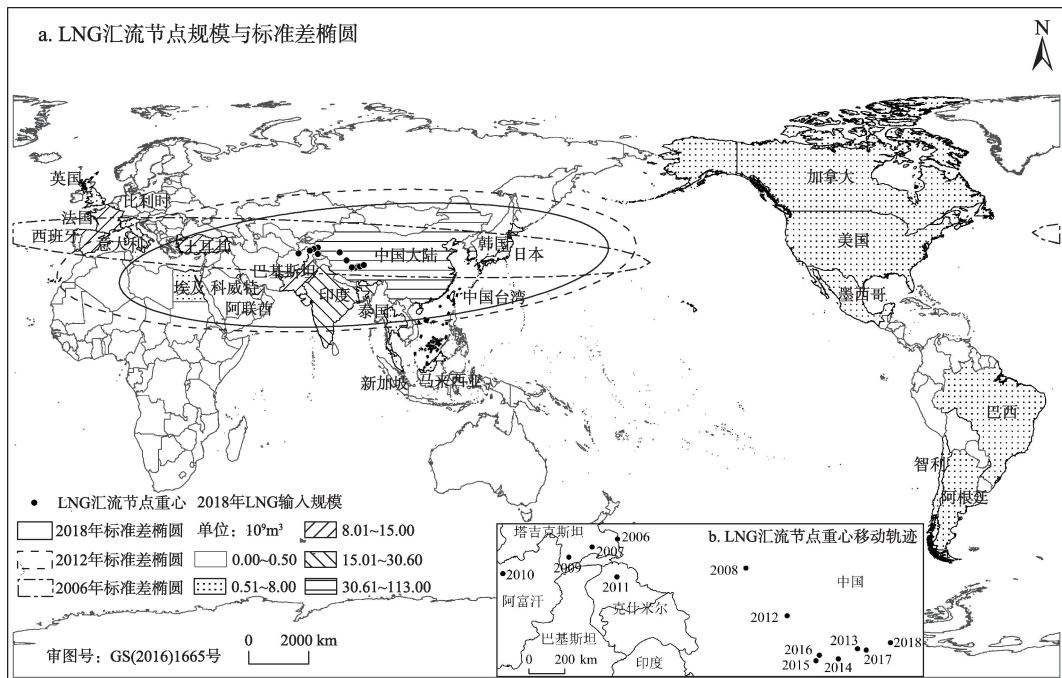


图5 2006、2012和2018年液化天然气汇流节点格局

Figure 5 Spatial pattern of liquefied natural gas (LNG) import nodes, 2006, 2012 and 2018

2020年8月

天然气汇流重心移动轨迹呈现显著的3阶段发展特征,其中2006—2010年以西南方向迁移为主,由巴西、阿根廷和智利等南美国家成为液化天然气输入国所致;2011—2014年以东南方向迁移为主,主要由东亚和印度持续增加输入而北美和欧洲持续减少输入所致;2015—2018年以东北方向迁移为主,主要由东亚和印度持续增加输入以及拉丁美洲输入减少所致。由长短轴指标(表2)可知,沿X轴方差大于沿Y轴方差,呈现显著的东西方向特征;长半轴呈现持续减小趋势,而短半轴则表现出稳定增大后又略微减小的发展过程。其中,美国和欧洲液化天然气进口的减少是长半轴持续减小的主要因素,而中印液化天然气消费的增长是促使短半轴增大的主因。由于长半轴的变化幅度显著大于短半轴,因此椭圆扁率表现出持续减小态势,表明世界液化天然气汇流分布在东西向的方向性呈现出逐渐弱化趋势,而在南北方向则呈现先离散发展后空间集中的发展趋势。从转角变化来看,2006—2013年呈现逐步减小趋势,之后呈现相对稳定发展趋势,转角的逐步下降主要由欧洲液化天然气输入规模不断下降所致,同时又由于液化天然气输入的空间向心力在东亚和南亚地区的不断增强,促使转角变化幅度逐渐变小且趋于相对稳定发展态势。对比液

化天然气输流节点和汇流节点格局可知,液化天然气输流节点和汇流节点的分布格局存在空间错位,输流节点总体分布在赤道及南北半球中低纬度,而汇流节点分布在北半球中高纬度,体现了海上天然气资源分布特征以及资源输出国和输入国之间的地理分离性,由此形成了大规模的海路运输活动。

### 3.4 资源流动网络特征

世界天然气资源在空间上的流动具有矢量特征,是由节点的空间位置及其流动规模决定的,反映了节点之间的交流关系和联系强度。

#### 3.4.1 管道天然气流动网络特征

由图6可知,世界管道天然气流动态势为:以俄罗斯、中亚国家、中东等亚欧大陆中部地区为地理中心,向东至中国,向西至土耳其、欧洲大陆地区;北美大陆以美国为中心,形成相互交流态势。除此之外,南美和东南亚也有部分区域性资源交流,规模相对较小。在具体节点资源流动方面,2018年加拿大至美国天然气输出量达772亿 $m^3$ ,是世界单一节点间资源流动规模最大的节点矢量关系;其次为俄罗斯至德国,资源流量为553亿 $m^3$ ;再次为美国至墨西哥,资源流量为458亿 $m^3$ 。世界前10位主要节点流动矢量,其流动规模占世界管道天然气资源流动总规模的44.66%,表明世界管道天然气流动网

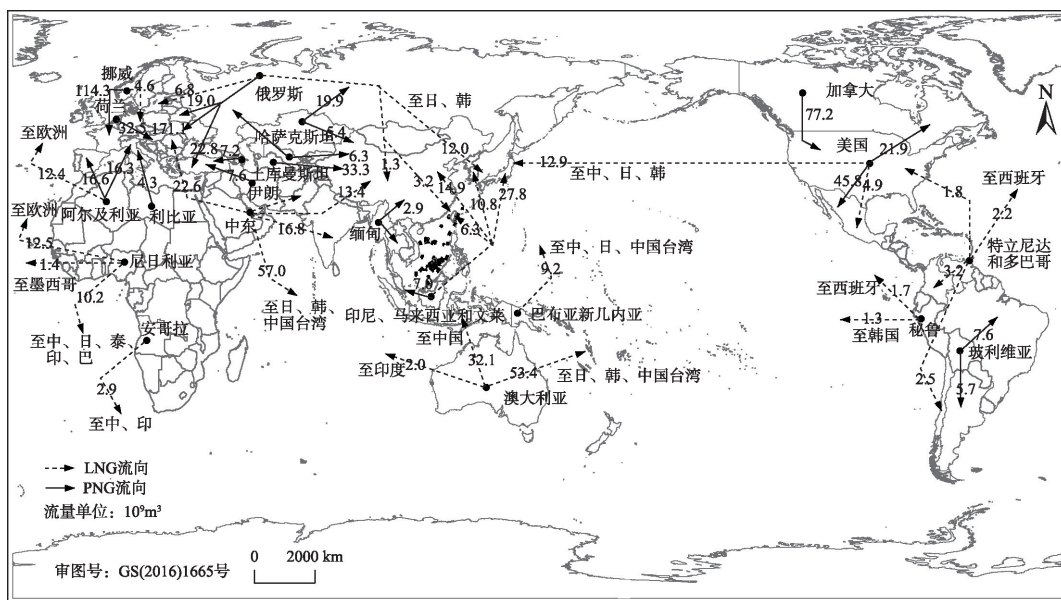


图6 2018年主要天然气流动节点交流网络

Figure 6 Communication network of natural gas flow nodes, 2018



络呈现关键节点主导的流动特征。

### 3.4.2 液化天然气流动网络特征

目前,全球主要有7大液化天然气交流矢量关系:北非至西欧,中东至南亚、东亚和欧洲,西非至南亚、东南亚、东亚和欧洲,美国至东亚和墨西哥,东南亚和南太至东亚,俄罗斯至东亚和欧洲,特立尼达和多巴哥至西班牙、美国和南美其他国家。从单一节点间资源流动矢量关系来看,2018年澳大利亚至日本天然气输出量达391亿 $m^3$ ,是世界单一节点间液化天然气资源流动规模最大的节点矢量关系;其次为澳大利亚至中国,资源流量为321亿 $m^3$ ;再次为卡塔尔至韩国,资源流量为196亿 $m^3$ 。世界前10位主要节点流动矢量,其流动规模占世界液化天然气资源流动总规模的40.6%,表明世界液化天然气流动网络也呈现出关键节点主导的流动特征。其中,澳大利亚、卡塔尔一直是世界液化天然气资源供应规模最大且较为稳定的供应源,对世界液化天然气资源流动网络格局变化有着决定性影响。

由世界管道天然气和液化天然气节点间资源流动矢量可知,天然气资源大国和主要发达经济体、新兴经济体控制着资源的流向和流量;高流动密度地区主要集中在亚欧大陆及其沿海国家,与“一带一路”倡议沿线国家重合度较高;在资源流向方面,管道天然气以东西流向为主,而液化天然气流向较为复杂,且流动分布范围远高于管道天然气;在资源流量方面,主要节点间的管道天然气流动规模仍远高于液化天然气资源流动规模。

### 3.5 资源效应分析

世界主要战略性化石能源往往同时具有资源属性、经济属性和政治属性,世界天然气流动节点格局的动态演变促使不同地理区域其资源效应、经济效应和政治效应呈现差异化发展,将对世界各国资源竞争、资源关系以及资源治理体系产生深远影响。

#### 3.5.1 资源竞争格局的变革

天然气资源地理赋存的相对集中性以及资源经济利益促使资源生产国竞争加剧;战略性化石能源是国民经济发展的血液,主要消费国对资源的争夺也将更为激烈。随着世界天然气流动节点格局的不断演化,主要资源输出地之间和资源输入地之

间形成了新的竞争态势。资源输出地方面:其一,新兴出口国与传统出口国(卡塔尔、澳大利亚等)之间的竞争不断加剧;其二,美国液化天然气出口和俄罗斯管道天然气和液化天然气出口的博弈日趋激烈;其三,随着俄罗斯出口能力的不断提升,其将与卡塔尔和澳大利亚争夺欧亚市场;其四,受资源输出国商业模式特点的不同、俄罗斯天然气出口竞争压力、中美贸易战等多因素影响,全球液化天然气市场供应格局将重塑。随着美国液化天然气出口项目的陆续投建和投产,促使美国成为世界主要资源输出国,同时加拿大、非洲项目也在积极推进,世界天然气供应格局正发生由传统资源强国竞争向新兴出口国与传统出口国竞争的转变。在欧洲,美国液化天然气的进入将转变其天然气供应相对单一化的现状,促使其供应多元化,同时不断挤压俄罗斯市场份额;在东亚地区,通过放松合同条款,取消液化天然气与石油价格相挂钩的定价机制,增强美国进入东亚市场的竞争性,挤压卡塔尔、澳大利亚市场份额。另一方面,俄罗斯天然气出口能力也将大幅提升,“北溪2号”“土耳其流”“中俄东线”3条天然气管道将建成投产,“亚马尔”项目将使俄罗斯液化天然气出口能力大幅提升,在美俄竞争的同时,俄罗斯与卡塔尔和澳大利亚在欧亚大陆将形成新的竞争关系。资源输入地方面:主要表现为中国、日本、韩国、印度4国逐渐形成对天然气资源的竞合态势。中国、日本、韩国、印度皆为全球天然气需求增长较快的地区,其资源进口多元化、与主要天然气输出国达成长期合作协议等发展政策具有战略上的高度相似性。随着亚太地区天然气供需不平衡形势的逐渐加剧,4国对天然气资源的竞争将趋向紧张和常态化,同时也为4国战略合作带来了机遇。

#### 3.5.2 资源交流关系的变革

随着世界天然气流动节点格局的不断演化,世界天然气流动节点间的交流关系呈现出新的变化趋势。其一,以美国为代表的新兴资源输出国正在深刻改变世界天然气流动网络结构,以美国为流动起点的资源交流关系对原有交流网络形成挑战;其二,欧洲天然气进口多元化取得阶段性进展,“南方天然气走廊”将里海天然气资源输送到南欧地区,在目前欧洲严重依赖俄罗斯的背景下,更加凸显其

2020年8月

在欧洲能源安全中的地位,标志着欧洲能源供应市场将出现多元化新格局;其三,随着天然气流动的全球化、多元化和灵活化,以及欧洲、亚太市场供需及价格联动性的持续增强,天然气资源在欧亚市场间的流动性将不断增强,资源转出口贸易成为未来发展的新趋势。由此,传统的天然气输入国成为资源中转地,区域二级市场将不断涌现。如2019年,中国向日本出口7.06万t液化天然气,系中国近30年来首次向日本出口液化天然气资源。经由中俄、中亚天然气管道运输,再通过中国沿海天然气设施终端转运日本和韩国,此种新型资源交流模式将日益趋于普遍。

### 3.5.3 资源治理体系的变革

全球能源治理日益成为探讨全球能源问题的关键话题或学术语言。Benjamin等<sup>[19]</sup>将全球能源治理定义为“制定并执行规则以解决在国际范围内产生的能源集体行为问题”。徐铭辰<sup>[20]</sup>提出了全球天然气治理话语权的概念,并将其定义为由天然气资源掌控权、通道掌控权、定价权以及消费需求影响力共同构成的综合权力。随着世界天然气流动节点格局的不断演化,世界天然气治理体系也随之发生一定的变革。首先,全球能源生产和输出格局正发生深刻变化,传统天然气主导国家(地区),如俄罗斯、中东、中亚和印尼、马来西亚以及澳大利亚的资源掌控权将不断面临美国、加拿大等新兴资源输出国的挑战。其次,全球天然气消费的增长动力主要来自亚洲,以中国、日本、韩国、印度为首的亚太市场消费增量将贡献全球增量的一半以上,其进口多元化战略正成为争取天然气话语权的重要途径,由此成为影响世界天然气市场管理与规则制定的重要参与方。目前,亚洲各国天然气进口存在广泛的“亚洲溢价”问题,即执行英国和美国市场的区域性市场竞争机制或者与石油价格挂钩联动。中国、日本、韩国、印度等主要资源进口国将积极探讨携手建立亚洲市场天然气定价机制的可能性,同时通过建立区域交易中心、以人民币和日元作为结算货币等多项举措,争取符合亚洲自身利益的天然气定价权和金融权。第三,随着世界天然气流动节点格局的不断演化,世界天然气通道的掌控权也在发生变化。陆路方面,“北溪2号”使乌克兰等中东欧国家作为俄罗斯天然气过境国地位的通道掌控权严

重弱化;与此同时,在美俄博弈的背景下,该项目接受欧盟严格监管,俄罗斯在某种程度上将失去对管线的控制权,未来俄欧爆发更多争端的可能性大增。此外,随着中国国内天然气主干管网以及沿海液化天然气基础设施的建设与完善,外加“中俄东线”“中国—中亚”等国际通道的建设运营,中国由资源输入终端逐步向兼顾资源终端和资源中转枢纽地位的转变,由此成为亚洲东部天然气贸易中心。在此发展趋势下,中国将获取陆上通道过境国地位,从而拥有通道掌控权,对通道供需两端发挥影响力。海路方面,欧美传统强国依然把持世界主要能源通道,随着主要新兴消费大国天然气对外依存度的提升,必然将在一定程度上对世界重要海峡和航线的掌控权施加影响力,以保障天然气运输安全。主要影响模式包括开辟新的天然气运输航线或海陆联运系统,对邻近水域国际贸易航线施加政治和军事影响力以及参与联合国等多边机制框架下的海上准军事行动等。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

本文从世界天然气供需现状、资源流动节点格局演化、节点交流网络特征以及资源流动效应4个方面揭示世界天然气流动演化规律及其影响,得出以下结论:

(1)从世界天然气供需格局来看,各区域产消平衡态势具有差异性,欧洲和亚太地区消费量大于生产量,是资源进口区域,中南美洲、独联体国家、中东以及非洲则生产量大于消费量,是资源出口区域,而北美则逐渐实现资源自主,并成为新兴出口地区。在发展过程上,北美、中东和亚太是世界天然气产消增长最为活跃的地区,促使天然气供需格局呈现整体东移特征。

(2)从节点资源流动格局来看,世界管道天然气输流节点以东西向分布最为显著,且方向性逐步增强,同时节点分布重心呈现东移趋势。液化天然气输流节点分布在东西和南北两个方向都呈现离散发展趋势,重心移动轨迹呈现西北—东南阶段性迁移特征。管道天然气汇流分布显著东移,且在东西向的方向性持续加强。液化天然气汇流节点格局整体东移,空间向心集中发展。

(3)从世界天然气流动矢量和流动网络来看,高流动密度地区主要集中在亚欧大陆及其邻近海洋国家,呈现出关键节点主导特征;管道天然气以东西流向为主,液化天然气流向较为复杂。

(4)从节点格局演化的资源效应来看,主要资源输出地之间和资源输入地之间形成了新的竞争态势,引起了世界天然气资源竞争格局的变革;美国对现有资源交流网络的挑战、欧洲天然气进口多元化以及欧亚天然气市场间的资源转出口贸易发展新态势,引起了世界天然气资源交流关系的变革;现有资源大国与新兴强国的资源掌控权之争、亚太消费国天然气话语权之争、世界天然气通道掌控权之争等政治博弈,引起世界天然气资源治理体系的变革。

#### 4.2 展望

综上所述,本文对中国天然气国际贸易与发展战略做以下5点展望:

(1)加快中国页岩气产业革命,提升资源自给率及能源安全保障水平。由世界天然气流动格局发展可知,以中国为代表的东亚地区成为世界天然气消费的增长中心,为保障中国天然气安全,以及实现中国作为亚太天然气贸易中心和金融中心的国家战略,必须稳定中国国内资源基础,提升中国的资源掌控权。美国通过“页岩气革命”使其逐步实现“能源独立”,而中国亦是页岩气储量大国,积极推进中国“页岩气革命”,是降低对外依赖的根本路径,也是提升中国能源地位的积极举措。现阶段中国页岩气开采还处于探索阶段,面临着地理与地质条件差、勘探技术不成熟、基础设施不完善、能源体制改革滞后等诸多问题。为此,中国要在以下几个方面促进产业快速发展:一是要做好资源开发规划,不断加大资源普查力度,为资源大规模开发奠定基础;二是调动企业与科研单位等各方面积极性,提高页岩气开发实用技术的自主创新水平;三是改革现有能源体制,包括投资机制、市场准入规范、产品质量标准、产品定价机制等,提高页岩气开发的市场化水平;四是加大国家扶持力度,通过实施财政补贴和税收减免等措施,促进行业稳定发展。

(2)持续推进天然气海外供应多元化,保障天然气供应安全。管道天然气方面,在稳定与中亚三

国合作的基础上,重点加强中俄在能源领域的务实合作。与中国合作密切的中亚国家中,除土库曼斯坦以外,其他进口来源国资源潜力有限,加之出口多元化战略的实施,使得其对中国中长期稳定供应存在变数,加强中俄合作对于维护中国陆上天然气供应的稳定性有着长远的战略意义。2019年底,中俄东线已投产通气,在此基础上需进一步加快中俄西线工程建设。液化天然气方面,在稳定与卡塔尔、澳大利亚、印尼、马来西亚等国合作的基础上,可适当提升巴布亚新几内亚、文莱、加拿大、阿联酋和阿曼在中国天然气资源供应中的地位。此外,中俄液化天然气资源合作也具备进一步加强空间,对保障中国内陆天然气资源储备与调峰具有积极意义。中美液化天然气合作应充分考虑中美贸易摩擦对天然气贸易产生的影响,进口规模应根据中美关系走向进行实时动态调整。

(3)引领国际天然气通道规划,提升中国对国际能源通道的控制力。随着中俄天然气东线管道的建成投产,加上已有中亚天然气管道、中缅天然气管道以及海上进口天然气,中国四大天然气进口通道格局已初步建成。在跨国天然气运输基础设施建设与互联互通方面,中国仍需积极谋划与引领区域发展。未来战略重点包括:加快推进中亚D线建设,积极洽谈中俄西线工程建设,进一步加强中国沿海液化天然气接卸与储备能力,努力解决中巴油气通道建设的经济技术问题,持续论证工程建设的可行性,由此推动中国五大天然气运输通道格局的形成。

(4)加强中国作为亚洲天然气贸易枢纽和金融中心建设。中国是连接亚洲中西部天然气生产区与亚洲东部天然气消费区的枢纽国家,同时中国也是较大的天然气生产国和消费国。因此,通过加强中国—中亚、中俄以及中国国内管道基础设施的互联互通,以及向亚洲东部沿海地区战略性延伸,可将中国打造成连接中亚、俄罗斯与东亚地区日本、韩国、中国港澳台地区的过境国,实现中国作为过境国、消费国和供给国在亚洲天然气市场的影响力。此外,借助世界天然气市场地域性特征,积极推动亚洲以人民币结算为着力点的天然气贸易发展战略,以中亚和俄罗斯等“一带一路”地区为重

2020年8月

点,搭配成熟机制,逐步扩大人民币结算的地域范围和贸易领域。

(5)提升中国在全球天然气治理中的地位。中国是世界增长规模最大的天然气消费市场和资源进口国,2018年中国已成为全球第一大天然气进口国。随着中国对世界天然气市场影响的显著增强,中国在全球天然气治理中应发挥更大作用。中国在天然气对外合作方面应以“一带一路”建设为重点,以上海合作组织、亚洲基础设施投资银行为依托,推动天然气勘探、开发与生产合作,加强能源基础设施互联互通,构建全方位、深层次的天然气国际合作新格局。积极构建适应于中国和全球合作发展的天然气治理体系,包括资源开发协调体系、资源需求管理体系、资源安全供给体系、资源通道控制体系以及资源价格金融体系,加快提升中国在全球能源治理中的话语权、影响力和塑造力。

#### 参考文献(References):

- [1] BP. BP世界能源统计年鉴(2007-2019)[EB/OL].(2019-07-30)[2019-12-13]. [https://www.bp.com/zh\\_cn/china/home/news/reports/statistical-review-2019.html](https://www.bp.com/zh_cn/china/home/news/reports/statistical-review-2019.html). [BP. BP World Energy Statistics Yearbook (2007-2019)[EB/OL]. (2019-07-30)[2019-12-13]. [https://www.bp.com/zh\\_cn/china/home/news/reports/statistical-review-2019.html](https://www.bp.com/zh_cn/china/home/news/reports/statistical-review-2019.html).]
- [2] 成升魁, 闵庆文, 闫丽珍. 从静态的断面分析到动态的过程评价: 兼论资源流动的研究内容与方法[J]. 自然资源学报, 2005, 20(3): 407-414. [Cheng S K, Min Q W, Yan L Z. From static assessment to dynamic processing: Resources flow and its contents and methods[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(3): 407-414.]
- [3] 沈镭, 刘晓洁. 资源流研究的理论与方法探析[J]. 资源科学, 2006, 28(3): 9-16. [Shen L, Liu X J. Discussion on theories and methods of resources flow[J]. Resources Science, 2006, 28(3): 9-16.]
- [4] 成升魁, 沈镭, 闵庆文, 等. 资源科学研究的新视角: 自然资源流动过程的研究[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 199-200. [Cheng S K, Shen L, Min Q W, et al. New views on resources science: Study on natural resources flow processing[J]. Resources Science, 2006, 28(2): 199-200.]
- [5] 马杰. 大国博弈下的天然气贸易态势及中国对策分析[J]. 江西社会科学, 2018, (11): 62-67. [Ma J. Natural gas trade situation and China's countermeasures under superpower games[J]. Jiangxi Social Sciences, 2018, (11): 62-67.]
- [6] Chen Z H, An H Z, Gao X Y, et al. Competition pattern of the global liquefied natural gas (LNG) trade by network analysis[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2016, 33(7): 769-776.
- [7] 刘劲松. 基于社会网络分析的世界天然气贸易格局演化[J]. 经济地理, 2016, 36(12): 89-95. [Liu J S. Evolution of world natural gas trade pattern based on social network analysis[J]. Economic Geography, 2016, 36(12): 89-95.]
- [8] 马远, 徐俐俐. “一带一路”沿线国家天然气贸易网络结构及影响因素[J]. 世界经济研究, 2017, (3): 109-122. [Ma Y, Xu L L. Network structure and influence factors of gas trade about the countries along “the Belt and Road”[J]. World Economy Studies, 2017, (3): 109-122.]
- [9] 沈镭, 刘立涛, 高天明, 等. 中国能源资源的数量、流动与功能分区[J]. 资源科学, 2012, 34(9): 1611-1621. [Shen L, Liu L T, Gao T M, et al. The quantity, flow and functional zoning of energy resources in China[J]. Resources Science, 2012, 34(9): 1611-1621.]
- [10] 张新林, 赵媛, 许昕, 等. 中国天然气资源流动优势度时空演变特征[J]. 地理研究, 2016, 35(8): 1457-1469. [Zhang X L, Zhao Y, Xu X, et al. Analysis of temporal and spatial evolution pattern of gas flow superiority in China[J]. Geographical Research, 2016, 35(8): 1457-1469.]
- [11] 王宜强, 朱明博, 赵媛. 中国天然气流动体系及其动态变化特征[J]. 世界地理研究, 2019, 28(5): 153-164. [Wang Y Q, Zhu M B, Zhao Y. Scale system and dynamic change characteristics of natural gas flow in China[J]. World Regional Studies, 2019, 28(5): 153-164.]
- [12] 王宁, 桑广书. 中国天然气进口的空间格局分析[J]. 世界地理研究, 2010, 19(2): 148-154. [Wang N, Sang G S. The analysis of China's natural gas imports spatial pattern[J]. World Regional Studies, 2010, 19(2): 148-154.]
- [13] 肖建忠, 赵银玲. 中国液化天然气进口流量与贸易潜力: 基于贸易引力模型[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(5): 16-23. [Xiao J Z, Zhao Y L. The analysis of LNG import flow and trade potential of China: Based on trade gravity model research[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2016, 18(5): 16-23.]
- [14] 孙聆轩, 吴晓明, 李建平, 等. 中国天然气进口空间格局演进及优化路径[J]. 天然气工业, 2016, 36(2): 125-130. [Sun L X, Wu X M, Li J P, et al. Evolution and optimization of China's natural gas import spatial framework[J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(2): 125-130.]
- [15] 陈晓鹏, 成升魁, 吴良. 中亚主要能源出口国地缘政治风险的度量与评价[J]. 资源科学, 2018, 40(4): 773-783. [Chen X P, Cheng S K, Wu L. Quantitative measurement and evaluation of geopolitical risks confronting Central Asian major energy exporting countries[J]. Resources Science, 2018, 40(4): 773-783.]
- [16] 郝洪昌, 邢万里. 中日韩印天然气贸易多元化和竞争关系研究[J]. 中国矿业, 2019, 28(11): 1-8. [Hao H C, Xing W L. Research on diversification and competition relationship among China, Japan, Korea and India[J]. China Mining Magazine, 2019, 28(11): 1-8.]
- [17] 王宜强, 赵媛. 碳基能源资源流动节点的确定及其研究内容[J].

- 资源科学, 2018, 40(7): 1459–1472. [Wang Y Q, Zhao Y. Nodal study of carbon-based energy resources flow[J]. Resources Science, 2018, 40(7): 1459–1472.]
- [18] Paul H F. A note on Lefever's "standard deviational ellipse"[J]. American Journal of Sociology, 1927, 33(1): 94–98.
- [19] Benjamin K S, Ann F. Examining the complications of global energy governance[J]. Journal of Energy & Natural Resources Law, 2012, 30(3): 235–263.
- [20] 徐铭辰. 全球天然气治理话语权与中国的对策分析[J]. 东北亚论坛, 2018, 27(3): 24–35. [Xu M C. On the discourse power of global gas governance and China's countermeasures[J]. Northeast Asia Forum, 2018, 27(3): 24–35.]

## Evolution of the global pattern of natural gas flow nodes and its resource effect

WANG Yiqiang<sup>1,2</sup>, ZHAO Yuan<sup>3</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, China; 2. Rizhao Key Laboratory of Territory Spatial Planning and Ecological Construction, Rizhao 276826, China; 3. Jinling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** Research on the evolution of the global pattern of natural gas flow nodes and the resource effect have important guiding significance for the scientific formulation of China's natural gas development strategy. This study used the standard deviation ellipse (SDE) method to analyze the spatial pattern characteristics of export and import nodes, and then reveal the resource effect of pattern change. The following conclusions are drawn from the research: (1) The supply and demand nodes of natural gas in the world are moving eastward. The development of pipeline natural gas (PNG) export nodes in the east-west direction is gradually enhanced, and the nodes distribution gravity center shows a trend of eastward movement; the liquefied natural gas (LNG) export nodes distribution in the east-west and north-south directions shows a trend of dispersion, and the gravity center shows a significant northwest-southeast movement. (2) The PNG import nodes show a significant eastward movement, and the east-west direction of import nodes distribution has been continuously strengthened; the LNG import nodes have moved eastward as a whole and are centralized. (3) The high flow density areas of natural gas in the world are mainly concentrated in the Eurasian continent and its coastal countries, and the flow network shows the characteristics of key node control. The PNG mainly flows in the east-west direction, and the LNG flow direction is more complex. (4) With the continuous change of the spatial pattern of global natural gas flow nodes, a series of changes will take place in natural gas competition, communication relationships, and resource governance systems. China should speed up the shale gas industry revolution, continue to promote the diversification of overseas natural gas supply, contribute to the planning of international natural gas channels, strengthen the construction of Asia's natural gas trade hubs and financial centers, and enhance China's position in global natural gas governance.

**Key words:** pipeline natural gas; liquefied natural gas; resource flow node; spatial pattern of nodes; standard deviation ellipse; resource effect; natural gas resource management