

世界煤炭资源流动的时空格局及成因分析

王 诺, 张 进, 吴 迪, 赵伟杰

(大连海事大学交通运输工程学院, 大连 116026)

摘要: 基于1990-2016年的统计数据, 采用场理论研究世界煤炭资源流动的时空格局变化及其成因, 揭示近30年来世界煤炭资源的流动状态及其演变过程。研究结果显示: (1) 2016年世界煤炭的输出总量达12.25亿t, 比1990年增加了10.13亿t, 年均增长6.98%, 其中澳大利亚、印尼和俄罗斯等是主要的煤炭输出国, 印度、日本、中国和韩国是主要的煤炭输入国; (2) 以场理论的位势、流场分布、流动迹线角度分析, 世界煤炭资源的流动以北美洲、中南美洲和非洲为源流场, 以欧洲及欧亚大陆、中东和亚太为汇流场, 在澳大利亚—东亚、印尼—东亚/印度之间形成主要运输航线; (3) 资源空间分布、供需匹配程度、空间距离、市场因素和国家政策等是煤炭资源流动的主要动因。研究发现: 虽然中国煤炭储量丰富, 但是煤炭消费数量庞大, 仅可维持72年, 必须重视煤炭的进口和储备工作。该研究对于中国科学制定产业政策具有重要价值。

关键词: 煤炭; 流动; 格局; 成因

煤炭是世界三大能源之一, 占全球能源使用量的三分之一, 其中利用煤炭发电的比例高达40%。从能源资源稀缺性角度来看, 全球煤炭资源现有储量可持续供应153年, 远高于石油储量的50.6年和天然气储量的52.5年。在经济发展和对能源消耗不断增加的背景下, 全球范围内煤炭流动的空间尺度及规模效应正经历着一系列重大改变, 尤其是中国已由煤炭出口国转变为煤炭净进口国, 进口量达1.83亿t, 居世界第三位。从全球煤炭贸易角度出发, 揭示近几十年来煤炭流动时空格局的变化, 对于洞察煤炭流动的态势, 及时调整中国煤炭的贸易政策, 具有重要的现实意义。

关于煤炭资源及其流动方面的研究, 丁松炎^[1]分析中国煤炭市场供需状况, 并就未来如何发展进行了探讨; 王成金等^[2]对中国煤炭流动格局进行了解析; 于良等^[3]研究中国煤炭的运输现状及发展趋势; 赵媛等^[4]对中国煤炭流通通道的现状进行分析, 提出未来如何发展的建议; 刘敬青等^[5]结合世界煤炭贸易的发展状况, 提出中国煤炭进口发展的新趋势。关于分析方法方面的研究, 郝晓晴等^[6]利用复杂网络特征, 分析了世界铁矿石贸易网络的演变规律; 董瑜等^[7]通过构建资源场来探索资源流动的本质; 赵冰等^[8]运用场理论对中东原油的流动状况进行研究; Wang等^[9]对世界煤炭资源的生产和消费重心的迁移轨迹进行了分析; 王培宏^[10]利用Panel-Data模型分析了中国煤炭消费地区性差异; 王宜强等^[11]采用重心模型和统计底图方法对中国煤炭资源源汇空间格局特征及演化规律进行探讨; 徐增让等^[12]对晋煤输出的驱动因子进行了分析; 杨青龙等^[13]运用社会网络分析方法对煤炭和焦炭的贸易格局进行了分析; 彭云艳等^[14]从政策的视角给出了中国煤炭贸易的解决

收稿日期: 2018-09-15; 修订日期: 2019-01-10

基金项目: 国家海洋软科学项目 (JJYX201612-1); 辽宁省社科基金重点项目 (L15AJY014)

作者简介: 王诺 (1954-), 男, 辽宁大连人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为交通运输规划与管理。

E-mail: wangnuodl@126.com

路径等等。

分析以上文献发现,虽然有关煤炭资源及流动的研究已有一些成果,利用场理论分析资源流动也有少量研究,但通常多从中国内部视角进行分析,缺少以国际市场整体影响进行全方位的分析,也缺少长时间序列的世界煤炭流动格局的演化研究。针对以上问题,本文以1990-2016年为研究时段,从世界煤炭资源的贸易状况入手,引入“场”理论研究其资源特征,揭示煤炭资源流动的基本规律,为中国有关部门科学制定煤炭行业发展规划提供技术支持。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

为便于分析煤炭在各区域“流场”的“势”“迹线”以及流动状态,本文从“场”理论出发,将世界分为6个大区,通过分析各地区和国家煤炭的输入和输出情况,可以定量描绘煤炭资源流动的空间格局。为揭示煤炭资源的流动形态,将各个不同区域煤炭输出量与输入量的比值定义为流动比,以 R 表示,其表达式^[15-16]为:

$$R_i = \frac{O_i}{I_i} \quad (1)$$

式中: R_i 为 i 区域在某一时间段煤炭的输出量和输入量的比值; O_i 和 I_i 分别表示 i 区域在该时段煤炭的输出量和输入量。

通过式(1),可以反映出煤炭资源的流动状况:如 R_i 值大于1,表示煤炭的输出大于输入, R_i 值越大,说明该区域煤炭的流动形态越倾向于输出;如 R_i 值小于1,则表示煤炭的输入大于输出, R_i 值越小,说明该区域煤炭的流动形态越倾向于输入。

“场”原本是一个物理概念,引申到资源领域构成“资源场”,是指某一资源在空间的分布,其基本要素有两个:一是所占据的空间区域;二是所具有的特定的分布和流动规律,且两者相互联系、相互作用^[17]。在市场经济推动下,资源在全球范围内的流动是最活跃、最具影响力的一种现象,也是现代经济的一项基础性活动。由“资源场”的基本概念,煤炭流动的根本原因是在地理空间上存在着的“势”推动下形成的。本文假定:当煤炭输出时其势为正值,在空间上构成由高至低的“势”序列;当煤炭输入时其势为负值,构成由低至高的“势”序列^[18]。“输出”和“输入”可由资源场的“源”和“汇”表示,在空间上由“源”至“汇”的运行轨迹即为“迹线”,煤炭流动区域内所有的源、汇、线都有确定的量与之对应。本文所构建的资源场将从煤炭分布以及供需关系形成的势差、空间距离产生的运输成本、市场对资源的导向作用以及国家政策的调节等各种作用力,对世界煤炭的流动和运行机理进行探讨,揭示煤炭流动的格局及其演变动因。

1.2 数据来源

以1990-2016年为研究期,各国煤炭的储量、生产和消费数据来自英国石油公司(BP)发布的《世界能源统计年鉴2017》。对于部分以石油当量(Oil equivalent)为单位的统计数据,为便于分析比较,均统一转换为重量t为单位。各国煤炭的贸易数据来自联合国贸易数据统计库(UN Comtrade Database)。

2 结果分析

2.1 煤炭资源的流动格局

2.1.1 输出格局

世界煤炭的输出总体呈增长趋势:研究期内煤炭输出量由2.12亿t增长到12.25亿t,增加了10.13亿t,年均增长6.98%(图1、图2),主要特点有:

(1) 亚太地区的煤炭输出量增长明显,由1.19亿t增加到7.47亿t,增幅达5.28倍,年均增长7.31%,高于世界平均水平,其中2013年煤炭输出量最大,高达7.86亿t,占世界的59.4%。澳大利亚和印尼是该地最重要的煤炭输出国,仅2016年两国煤炭输出量分别为3.91亿t和3.11亿t,合占世界的57.28%。

(2) 北美洲煤炭输出变化幅度较小,1990年输出煤炭0.76亿t,2012年输出量达到最高,为1.66亿t。总的来看,北美洲煤炭输出量略有升高,但远远低于其他地区的增长速度,因此北美煤炭输出量占世界的比例由35.97%降至7.77%,降幅明显。美国是该地区最大的煤炭输出国,年均输出0.73亿t,占该地区的69.88%。

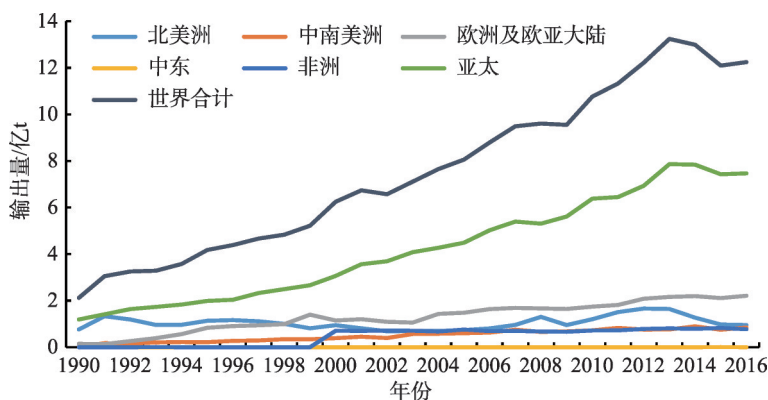
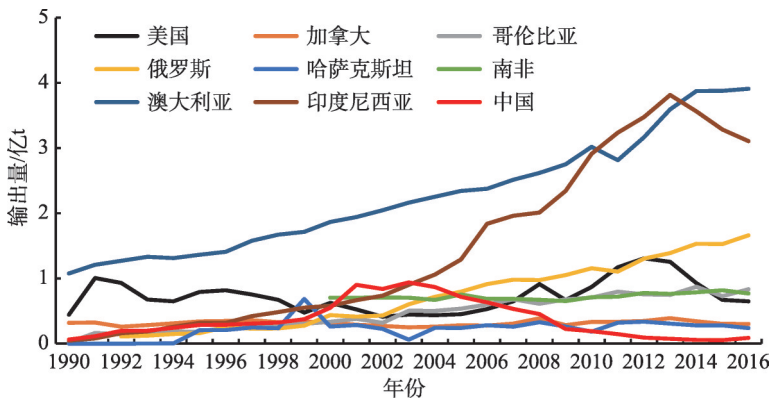


图1 各地区煤炭输出变化

Fig. 1 Change of coal output in each region of the world



注:1990-2000年南非数据缺失。

图2 主要国家煤炭输出变化

Fig. 2 Change of coal output in major countries

(3) 欧洲及欧亚大陆的煤炭输出量波动上升, 由0.14亿t增至2.21亿t, 增加了2.07亿t, 年均增长11.07%, 增幅明显, 1999年煤炭输出总量超越北美洲后, 一直位居世界第二, 目前煤炭输出量占世界的18.05%。俄罗斯是该地区最重要的煤炭输出国, 年均输出量占该地一半以上, 近几年煤炭输出量保持在1亿t以上。

(4) 非洲和中南美洲煤炭输出量较少, 年均输出不足1亿t, 远低于其他地区, 如今两地煤炭输出占世界的比例为13.22%。南非和哥伦比亚为两地的煤炭输出大国, 2016年两国输出煤炭分别为0.83亿t和0.77亿t。

(5) 中东地区的煤炭输出微乎其微, 可以忽略不计。

整体而言, 世界煤炭输出基本呈上升趋势, 煤炭的输出主要集中在亚太地区, 如今亚太地区的煤炭输出量占世界输出总量的60.97%。在国家层面上, 澳大利亚、印尼、俄罗斯、哥伦比亚和南非等国家是主要的煤炭输出国。

2.1.2 输入格局

由于各国的煤炭资源禀赋存在差异, 导致一些地区和国家不得不依靠输入煤炭来满足自身发展的需要, 煤炭输入量的增加充分反映出这一不均衡性。从世界各地区煤炭输入的变化显示(图3), 研究期内世界煤炭输入量从2.44亿t增长到11.78亿t, 增加9.34亿t, 年均增长6.23%^①。可以看出, 世界煤炭输入量的增长主要是由亚太和欧洲及欧亚大陆这两个地区拉动的。除了个别年份欧洲及欧亚大陆的煤炭输入量略高于亚太地区外, 其余年份亚太地区的煤炭输入量均大于其他地区, 且与位居次席的欧洲及欧亚大陆的差距呈逐渐扩大的趋势。亚太地区煤炭输入量由1.45亿t增加到8.6亿t, 增幅达4.93倍, 占世界的比例也由59.49%提高到73%。欧洲及欧亚大陆煤炭输入量也有所增长, 由0.72亿t增加到2.33亿t, 增加了1.61亿t, 近年来煤炭输入趋于稳定, 在2.5亿t上下波动, 但占世界的比例有所下降, 由29.52%降至19.77%。

由图4可以看出, 日本、韩国、中国和印度的煤炭输入较大。其中, 日本和韩国本身煤炭资源缺乏, 煤炭的输入随着消费需求的扩大呈增加态势。印度虽是产煤大国, 2016年生产煤炭6.92亿t, 但随着印度经济的快速发展, 造成国内煤炭供应紧张, 煤炭需

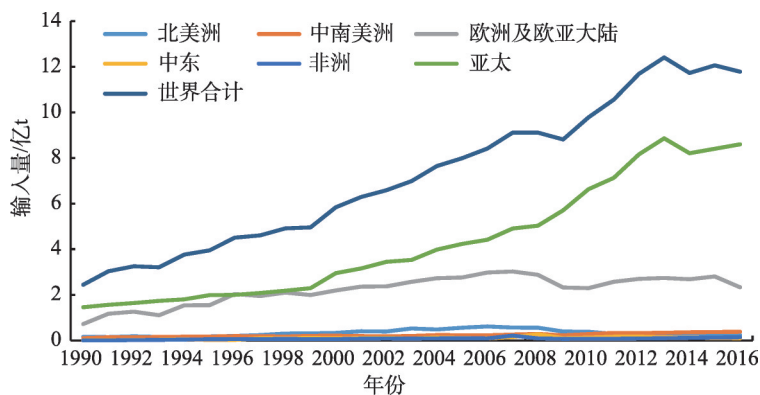


图3 各地区煤炭输入变化

Fig. 3 Change of coal input in each region of the world

^① 由于不是每个国家每年都上报数据, 所查数据中部分国家只有煤炭贸易额, 而缺少相应的贸易量, 故在换算后不可避免出现了煤炭进出口量上的差异。

求的缺口越来越大,如今煤炭的输入量达1.93亿t,处于世界第一位。中国煤炭资源储量丰富,煤炭储量达到2440.1亿t,在世界各国中居第二位,同时又是世界最大的煤炭生产国和消费国。但随着国内需求的增长以及政府对煤炭限制出口等政策的影响,中国已由煤炭出口国转为净进口国,煤炭输入量由0.01亿t提高到1.83亿t,年均增长22.46%。其他国家如德国、法国和英国等国因煤炭开采成本过高以及政府减少了财政补贴等因素导致煤炭产量萎缩,远不能满足需求,所以也必须从其他国家输入。

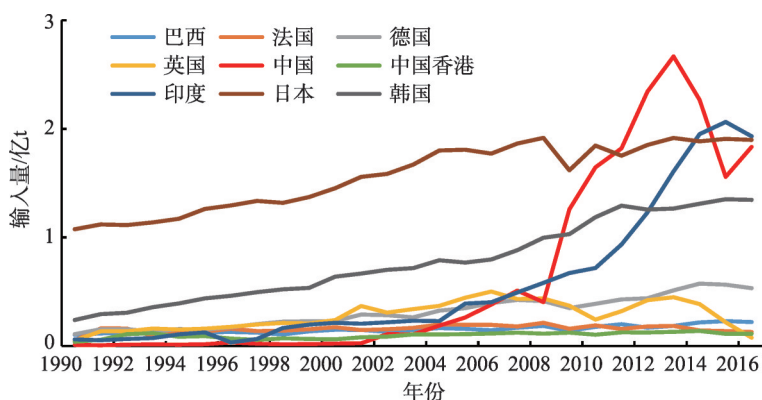


图4 主要国家和地区煤炭输入变化

Fig. 4 Change of coal input in major countries and regions

2.1.3 煤炭资源的流动形态

由于有些地区或国家以输出为主,有的以输入为主,有的则有进有出,难以确定其功能类型,为清楚地显示煤炭输出和输入的变化过程,本文将煤炭流动形态划分为输出型(流动比大于1)和输入型(流动比小于1)。由式(1)的计算可以发现,北美洲和非洲的煤炭流动形态主要表现为输出型,美国 and 南非分别是该洲的主要煤炭输出国;欧洲及欧亚大陆和中东地区的煤炭流动形态主要表现为输入型,而区内国家却不尽相同,俄罗斯和哈萨克斯坦主要表现为输出型,德国、法国和英国主要表现为输入型;中南美洲的煤炭流动形态由输入型转为输出型,哥伦比亚是该地的主要输出国;亚太地区的煤炭流动形态变化较为多样,区内国家差异明显,澳大利亚和印尼主要表现为输出型,印度、日本和韩国主要表现为输入型,我国则由输出型转为输入型(表1、表2)。

2.2 煤炭资源场特征分析

2.2.1 煤炭资源位势分析

本文以研究期首尾年度为时间节点,根据各年度煤炭资源的输出量和输入量,以输出为高位势、输入为低位势划分出位势中心。1990年,澳大利亚、美国 and 加拿大为煤炭资源的高位势中心;日本、韩国、德国、西班牙、丹麦和巴西等国为低位势中心。2016年,煤炭资源的位势格局发生了巨大变化,澳大利亚、美国的高位势中心地位得到加强,印尼、南非、哥伦比亚和俄罗斯等国成为煤炭的高位势中心;日本、韩国和德国等国的低位势进一步增强,印度、中国、泰国、意大利和土耳其等国成长为新的煤炭低位势中心(图5)。

2.2.2 煤炭资源流场分布

根据资源场理论,可将煤炭资源的流动划分为北美洲、中南美洲、欧洲及欧亚大

表1 各地区煤炭流动比

Table 1 Coal flow ratio in each region of the world

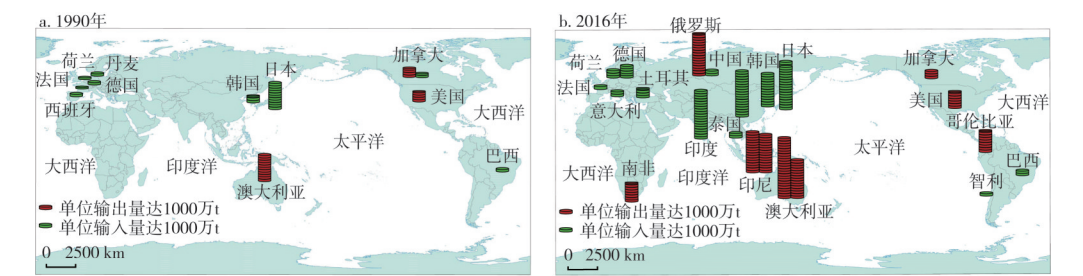
地区	流量/亿t	年份					
		1990	1995	2000	2005	2010	2016
北美洲	输出量/输入量	0.76/0.16	1.14/0.18	0.95/0.33	0.73/0.56	1.20/0.38	0.95/0.23
	流动比	4.75	6.33	2.87	1.30	3.15	4.13
中南美洲	输出量/输入量	0.02/0.10	0.22/0.17	0.39/0.21	0.60/0.23	0.72/0.28	0.85/0.38
	流动比	0.20	1.29	1.85	2.60	2.57	2.23
欧洲及欧亚大陆	输出量/输入量	0.14/0.72	0.83/1.55	1.15/2.19	1.48/2.76	1.74/2.29	2.21/2.33
	流动比	0.19	0.53	0.52	0.53	0.75	0.94
中东	输出量/输入量	0/0.01	0/0.03	0/0.10	0/0.11	0/0.12	0/0.11
	流动比	0	0	0	0	0	0
非洲	输出量/输入量	-/-	-/-	0.71/0.06	0.76/0.10	0.72/0.08	0.77/0.12
	流动比	-	-	11.00	7.60	9.00	6.41
亚太	输出量/输入量	1.19/1.45	1.99/1.99	3.06/2.95	4.49/4.23	6.38/6.63	7.47/8.60
	流动比	0.82	1.00	1.03	1.06	0.96	0.86

表2 主要国家煤炭流动比

Table 2 Coal flow ratio in major countries

国家	流量/亿t	年份					
		1990	1995	2000	2005	2010	2016
美国	输出量/输入量	0.44/0.01	0.79/0.07	0.63/0.11	0.45/0.28	0.87/0.17	0.65/0.09
	流动比	44.00	11.28	5.72	1.60	5.11	7.22
哥伦比亚	输出量/输入量	0.02/0	0.18/0	0.34/0	0.54/0	0.71/0	0.83/0
	流动比	^	^	^	^	^	^
德国	输出量/输入量	0.05*/0.11*	0.01/0.15	0.01/0.23	0.01/0.35	0.01/0.39	0.06/0.53
	流动比	0.45	0.06	0.04	0.02	0.02	0.11
俄罗斯	输出量/输入量	-/-	0.16/-	0.44/0.26	0.80/0.22	1.16/0.16	1.66/0.20
	流动比	-	-	1.69	3.63	7.25	8.30
南非	输出量/输入量	-/-	-/-	0.70/0.01	0.75/0.02	0.71/0	0.77/0.02
	流动比	-	-	70.00	37.50	^	38.50
澳大利亚	输出量/输入量	1.08/0	1.36/0	1.87/0	2.34/0	3.02/0	3.91/0
	流动比	^	^	^	^	^	^
中国	输出量/输入量	0.06/0.01	0.29/0.02	0.55/0.02	0.72/0.26	0.19/1.65	0.09/1.83
	流动比	6.00	14.50	27.50	2.76	0.11	0.04
印度	输出量/输入量	0/0.06	0/0.13	0.02/0.21	0.02/0.39	0.01/0.72	0.01/1.93
	流动比	0	0	0.09	0.05	0.01	0
印尼	输出量/输入量	0.04/0	0.32/0	0.58/0	1.29/0	2.91/0	3.11/0
	流动比	^	^	^	^	^	^
日本	输出量/输入量	0/1.08	0/1.26	0/1.45	0/1.81	0/1.85	0/1.90
	流动比	0	0	0	0	0	0
韩国	输出量/输入量	0/0.24	0/0.44	0/0.64	0/0.77	0/1.19	0/1.35
	流动比	0	0	0	0	0	0

注：*为联邦德国的数据；^表示无穷大；“-”表示无当年数据，下同。



注：本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1666号的标准地图制作，底图无修改，下同。

图5 煤炭供需位势变化对比

Fig. 5 Comparison of the change of coal supply and demand potential in major countries

陆、中东、非洲和亚太等6个流场（表3、表4、图6）：北美洲主要为源流场，由美国和加拿大作为流场的源向日本、韩国、荷兰和巴西等国输出煤炭形成；中南美洲为源流场，由哥伦比亚作为流场的源向西欧和土耳其输出煤炭形成；欧洲及欧亚大陆主要表现为汇流场，主要是由德国、荷兰、法国、意大利和土耳其等国吸引其他流场向其输出煤炭形成，该流场的源主要来自区内的俄罗斯和美国、哥伦比亚和澳大利亚；中东为汇流场，由以色列等国从哥伦比亚和南非输入煤炭形成；非洲为源流场，是由南非作为流场的源向印度和西欧国家输出煤炭形成；亚太为汇流场，由印度、日本、韩国和中国输入煤炭形成，输入的源除区内的印尼、澳大利亚外，还包括区外的美国、加拿大、哥伦比亚、南非以及俄罗斯等。

2.2.3 煤炭资源流动的迹线分析

通过以上分析发现，世界煤炭源—汇地区相距较远，供需不协调造成了煤炭资源的大规模流动，而最主要的流动方式则为海上运输。本文选择1990年和2016年作为时间节

表3 煤炭主要源地流量及流向

Table 3 The main source of coal flow and flow direction

源地	1990年		2016年	
	输出量/亿t	输入国家	输出量/亿t	输入国家
美国	0.44	日本、加拿大、巴西	0.65	荷兰、巴西、印度、日本
加拿大	0.32	日本、韩国	0.30	日本、韩国、中国、印度
哥伦比亚	0.02	西班牙、葡萄牙、芬兰	0.83	土耳其、荷兰、美国
波兰	0.08	芬兰、联邦德国	0.09	捷克、德国
俄罗斯	—	—	1.66	韩国、日本、中国
哈萨克斯坦	—	—	0.24	俄罗斯
南非	—	—	0.77	印度
澳大利亚	1.08	韩国	3.91	日本、中国、韩国、印度
中国	0.06	日本	0.09	韩国、日本
印尼	0.04	日本、马来西亚、中国香港	3.11	印度、中国、韩国、日本
合计	2.04		11.65	
占世界比例/%	96.16		95.10	

表4 煤炭主要汇地流量及流向

Table 4 The main sinks of coal flow and flow direction in major countries

汇地	1990年		2016年	
	输入量/亿t	输出国家	输入量/亿t	输出国家
巴西	0.10	美国、波兰、澳大利亚、加拿大	0.22	澳大利亚、美国、哥伦比亚
法国	0.05	澳大利亚	0.13	澳大利亚、俄罗斯、哥伦比亚、南非
意大利	^	澳大利亚	0.17	俄罗斯、哥伦比亚、南非、美国
德国	0.11	波兰、澳大利亚	0.53	俄罗斯、哥伦比亚、美国、澳大利亚
荷兰	0.07	澳大利亚	0.29	哥伦比亚、俄罗斯、德国、美国
英国	0.05	澳大利亚	0.08	哥伦比亚、俄罗斯
中国	0.01	澳大利亚	1.83	澳大利亚、印尼、蒙古、朝鲜、俄罗斯
印度	0.06	澳大利亚	1.93	印尼、澳大利亚、南非
日本	1.08	澳大利亚、加拿大、美国	1.90	澳大利亚、印尼、俄罗斯
韩国	0.24	澳大利亚、加拿大、美国	1.35	澳大利亚、印尼、俄罗斯
合计	1.77		8.43	
占世界 比例/%	72.54		71.56	

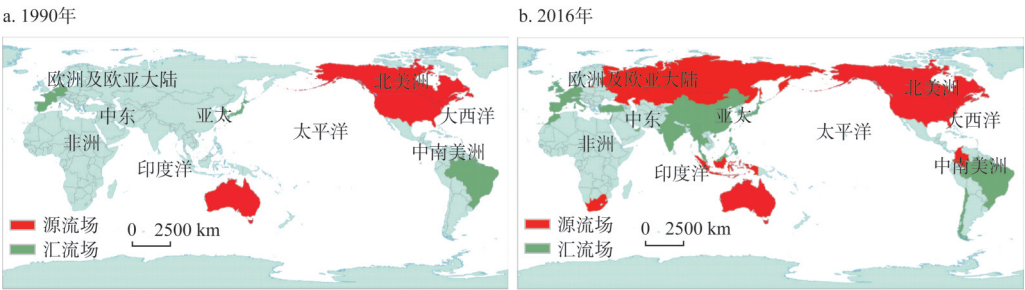


图6 煤炭流场分布

Fig. 6 Distribution of coal flow field in each region of the world

点，给出不同时期海运航线的演变以体现世界煤炭流动迹线及权重变化（图7）。图7显示，1990年东亚和西欧是主要的煤炭输入地区，澳大利亚和北美是主要的煤炭输出地区，海上运输的主要航线有澳大利亚—东亚（日、韩、香港）航线、澳大利亚—西欧航线、北美西—东亚（日、韩）航线、北美东—西欧航线和中国—日本航线等。随着越来越多的国家加入煤炭资源的贸易网络，使得世界煤炭贸易格局发生变化，从2016年煤炭海上运输航线的分布可以看到，除1990年已有的主要输入输出地区外，哥伦比亚、南非和印尼也成为了主要输出地区，印度、土耳其、智利、泰国和菲律宾等成为了主要输入地区，因此新增多条煤炭海运干线，分别有印尼—东亚（中、日、韩）航线、澳大利亚—印度航线、俄罗斯远东—东亚（中、日、韩）航线、印尼—泰国/菲律宾航线、印尼—印度航线、南非—印度航线、南非—西欧航线、哥伦比亚—土耳其和哥伦比亚—巴西/智利航线等。

总的来看，2016年煤炭海运航线在数量上较1990年有明显增长，在运量上也有显著提高，特别是澳大利亚—日本航线的运量超过了1亿t。

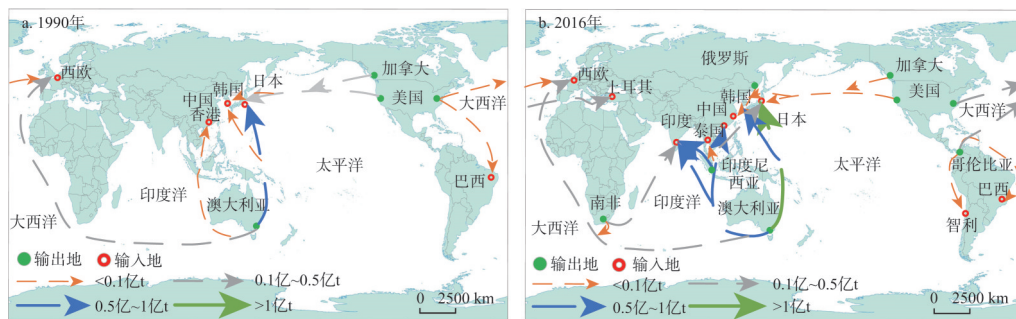


图7 煤炭海运航线演变

Fig. 7 Coal shipping route evolution

2.3 煤炭资源流动的动因分析

2.3.1 煤炭分布过于集中

世界煤炭资源的储量较为丰富, 据BP世界能源统计年鉴数据显示, 截至2016年底, 世界煤炭储量高达11391.31亿t, 如果以当前的速度开采, 可维持153年之久。在分布上, 亚太、欧洲及欧亚大陆和北美洲的储量位居世界前三位, 其中美国、中国、俄罗斯和澳大利亚是当今煤炭资源大国, 煤炭储量高达8007.74亿t, 占世界的70.3%, 集中度十分明显。从资源结构上来看, 美国和中国煤炭储量主要以无烟煤和烟煤为主, 俄罗斯和澳大利亚煤炭储量主要以次烟煤和褐煤为主, 因而为各国间调换煤炭品种、互通有无提供了市场需求。(图8、表5)

2.3.2 煤炭供需关系密切, 地域间供需极不平衡

为深入揭示煤炭的供需关系, 现对以煤炭产量为自变量、消费量为因变量进行回归分析, 其产量与消费量的回归方程为 $y = 0.9273x + 3.2303$, 相关系数为 $R^2 = 0.9807$, 即在研究期内煤炭产量与消费量呈高度相关性, 煤炭消费受煤炭生产的影响较大。

通过对研究期首尾年份的煤炭供需变化进行对比可以发现(表6、表7), 世界煤炭的供需格局由欧洲及欧亚大陆、亚太和北美洲三足鼎立转为亚太地区一枝独秀的局面, 且如今亚太地区的煤炭生产和消费量分别占世界的69.73%和71.51%, 足见地域间的煤炭供需极不平衡, 产生这种变化的原因主要包括以下几点: 欧洲及欧亚大陆和北美洲的煤炭生产和消费量虽较大, 但由于这两个地区中大部分发达国家进行产业结构调整和实施更为严格的环保政策, 煤炭的生产和消费量呈减少的趋势, 区内如美国、德国和波兰等国的产量和消费量都出现不同程度的下降; 亚太地区的经济发展活力持续增强, 鉴于煤炭开采成本低廉且分布广泛, 大量发展中国家仍对其有着较大需求, 使得煤炭生产和消费的重心向发展中经济体和新兴国家转移。中国、澳大利亚、印度和印尼是该地区的煤炭生产和消费大国, 其中又

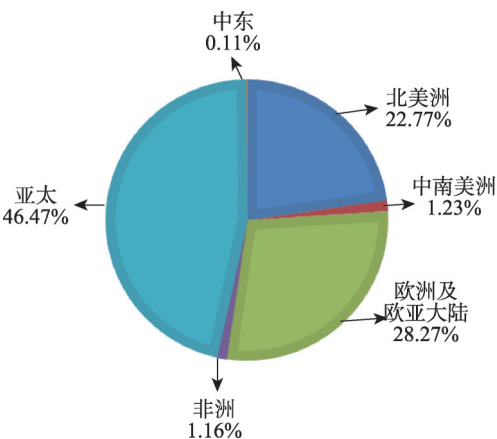


图8 各地区煤炭资源分布

Fig. 8 Distribution of coal resources in various regions

表5 主要国家煤炭储量
Table 5 Coal reserves in major countries

国家	无烟煤和烟煤	次烟煤和褐煤	储量合计/亿t	占世界份额/%	储采比/年
美国	2214	301.82	2515.82	22.08	381
中国	2300.04	140.06	2440.10	21.42	72
俄罗斯	696.34	907.30	1603.64	14.08	417
澳大利亚	683.10	765.08	1448.18	12.71	294
印度	897.82	49.87	947.69	8.32	137
德国	0.12	362.00	362.12	3.18	206
乌克兰	320.39	23.36	343.75	3.02	>500
哈萨克斯坦	256.05	-	256.05	2.25	250
印尼	173.26	82.47	255.73	2.24	59
波兰	187.00	54.61	241.61	2.12	184
合计	7728.12	2686.57	10414.69	91.41	
世界合计	8162.14	3231.17	11393.31	100.00	153

注：根据《世界能源统计年鉴2017》整理。

表6 各地区煤炭供需变化
Table 6 Changes of coal supply and demand in various regions

地区	1990年				2016年			
	生产 /亿t	占世界 份额/%	消费 /亿t	占世界 份额/%	生产 /亿t	占世界 份额/%	消费 /亿t	占世界 份额/%
北美洲	10.09	21.15	8.50	18.67	7.29	9.77	7.05	9.45
中南美洲	0.30	0.64	0.31	0.69	1.02	1.36	0.69	0.93
欧洲及欧亚大陆	19.17	40.18	19.19	42.14	11.62	15.58	11.63	15.59
中东	0.01	0.02	0.06	0.14	0.02	0.02	0.19	0.25
非洲	1.83	3.83	1.34	2.94	2.64	3.54	1.70	2.28
亚太	16.31	34.19	16.13	35.43	52.02	69.73	53.34	71.51

以中国最为突出，中国的煤炭生产和消费量分别增长了23.31亿t和25.9亿t，占世界增长总量的80%以上。

此外，各地区内部及各国家的供需情况也不尽相同，有的地区和国家产量大于消费，而有的地区和国家则正相反，加上煤炭品种的差异，使得资源充足的地区和国家将开采剩余的煤炭向资源短缺的地区和国家出口，又对不同煤炭品种进行调剂，形成了一边倒贸易和交叉贸易两种现象并存的局面。

2.3.3 空间距离产生的成本差异

由以上讨论可知，1990-2016年间煤炭资源场的位势、流场分布和流动迹线均发生了较大变化，经济发展加剧了煤炭供求的不平衡性，从而推动了煤炭资源的空间流动。煤炭的流动必须克服距离成本，在其他条件相同的情况下，距离煤炭输出地越近的区域，越容易获取煤炭。随着煤炭高位势与低位势中心距离的加大，煤炭流动的难度增加，流量也随之衰减。以世界煤炭输出量最大的澳大利亚为例，其煤炭输出主要的目的地是亚太地区、欧洲及欧亚大陆和中南美洲。由于欧洲及欧亚大陆和中南美洲等地区与澳大利亚之间距离较远，故获得澳大利亚的煤炭不足其输出总量的10%，而距离较近的亚太地

表7 主要国家煤炭供需变化
Table 7 Changes of coal supply and demand in major countries

国家	1990年				2016年			
	生产 /亿t	占世界 份额/%	消费 /亿t	占世界 份额/%	生产 /亿t	占世界 份额/%	消费 /亿t	占世界 份额/%
美国	9.34	19.57	7.97	17.50	6.61	8.86	6.49	8.70
德国	4.27	8.96	4.22	9.26	1.76	2.36	2.41	3.24
波兰	2.15	4.51	1.69	3.72	1.31	1.76	1.05	1.41
俄罗斯	-	-	-	-	3.85	5.17	1.77	2.37
南非	1.75	3.66	1.18	2.58	2.51	3.37	1.49	1.99
澳大利亚	2.13	4.47	0.63	1.38	4.93	6.61	0.72	0.97
中国	10.80	22.64	10.05	22.06	34.11	45.72	35.95	48.20
印度	2.23	4.68	2.31	5.06	6.92	9.28	8.66	11.60
印尼	0.11	0.22	0.07	0.15	4.34	5.82	1.26	1.69
日本	0.08	0.17	1.41	3.10	0.01	0.02	2.18	2.92
韩国	0.17	0.36	0.49	1.07	0.02	0.02	1.64	2.20

区近几年的输出总量则一直维持在90%以上（表8）。

2.3.4 市场对资源的导向作用

市场因素对煤炭资源的流动具有导向作用。一方面，随着全球煤炭消费中心移至亚太地区，2016年亚太地区煤炭消费量已达到全球消费总量的71.5%，主要用于发电。英国能源和气候情报局的数据显示，全球在建的燃煤发电厂中82%左右位于中国、印度、越南和印尼，这将吸引大量煤炭流入上述地区；另一方面，煤炭资源的流动本质上是从低价区流向高价区，由于煤炭的分布以及煤炭品种、卡路里含量上的差异，导致国际煤炭价格不一，煤炭的进出口价格存在较大差价，使得部分地区和国家同时出现既有输出也有输入的情况，因此煤炭价格也是煤炭流动的重要原因。

2.3.5 国家政策调节资源流动方向

国家政策调整对煤炭流动具有重要影响。随着近年来中国对环保质量要求的提升和国内产能过剩问题的日益凸显，政府加大了治理污染的力度，采用天然气等洁净能源取代煤炭，同时对钢铁和发电等行业的调整降低了对煤炭的需求，因此近年来中国的煤炭输入总体上有所下降。而东南亚和印度大力发展煤炭发电则填补了这一空缺，如今印度煤炭输入量高达1.93亿t，处于世界首位。

表8 澳大利亚煤炭输出量变化情况
Table 8 Changes in coal output in Australia

年份	亚太		欧洲及欧亚大陆		中南美洲		其他	
	输入量/亿t	比例/%	输入量/亿t	比例/%	输入量/亿t	比例/%	输入量/亿t	比例/%
2012	2.94	91.19	0.19	5.89	0.04	1.19	0.06	1.73
2013	3.35	93.13	0.18	4.91	0.04	1.24	0.03	0.72
2014	3.59	92.53	0.19	4.95	0.06	1.61	0.03	0.90
2015	3.50	90.27	0.23	5.99	0.10	2.47	0.05	1.27
2016	3.53	90.21	0.23	5.89	0.11	2.74	0.05	1.17

注：资料来源根据UN Comtrade Database数据整理。

此外,一些产煤大国如印尼和南非等国容易受暴雨和洪水等天气影响,导致煤炭生产受阻、出口中断。煤炭企业的跨国垄断以及地缘政治等也对煤炭的流动形成一定的影响,推动了煤炭输出和输入的流量,使流向一直处于动态变化中。

3 结论与讨论

本文基于英国石油公司公布的煤炭储量、生产和消费数据以及联合国贸易数据统计库中的煤炭贸易数据,利用资源场理论分析了煤炭的资源位势、流场分布和流动迹线,揭示了1990-2016年煤炭资源的流动格局及成因。主要结论如下:

(1) 研究期内,世界煤炭输出量由2.12亿t增长到12.25亿t,增加了10.13亿t,年均增长6.98%。亚太地区是最主要的煤炭输出地,煤炭输出量由1.19亿t增加到7.47亿t,增长6.28亿t,占世界增长总量的61.99%,主要输出国家为澳大利亚和印尼;世界煤炭输入量从2.44亿t增长到11.78亿t,增加了9.34亿t,年均增长6.23%。亚太地区也是最主要的煤炭输入地,煤炭输入量由1.45亿t增加到8.6亿t,增加7.15亿t,占世界增长总量的76.55%,主要输入国家为印度、日本、中国和韩国。

(2) 以资源场理论分析,将煤炭资源流动的空间划分为北美洲、中南美洲、欧洲及欧亚大陆、中东、非洲和亚太6个流场。其中,北美洲、中南美洲和非洲为源流场,欧洲及欧亚大陆、中东和亚太为汇流场,各流场之间存在大量的煤炭流动,流动的主要方式为海上运输。世界煤炭流动的动因主要是资源空间存在着不同的势,位势间高低的梯度差产生了不同国家和地区间煤炭资源流动的推动力。资源场迹线主要表现为海上航线,澳大利亚—东亚航线和印尼—东亚航线是世界上煤炭运量最大的通道。

(3) 影响煤炭资源流动的动因主要有资源空间分布、供需匹配程度、空间距离、市场因素和国家政策等。资源空间分布的不均衡和供需的不匹配是煤炭资源流动最重要的原因;随着空间距离的加大,增加了煤炭资源的运输成本,因而流动的难度加大;市场因素是影响煤炭流动的基本因素,市场主体对煤炭的需求越高,就越能吸引煤炭的流入,煤炭的价格越低,就越容易实现其流出;国家政策是煤炭流动的另一调节器,对煤炭的流动具有加速或减缓的作用。

总的来看,虽然目前各国为应对气候变化,正积极寻求清洁能源替代煤炭,这将导致煤炭的利用增长缓慢或是下降,但随着全球经济的持续发展,能源需求将继续保持增长,难以在短时间内找到合适的替代能源,煤炭仍是不可或缺的重要能源,煤炭贸易全球化成为必然趋势。在错综复杂的供需格局中,一旦世界政局发生动荡,就可能造成煤炭供应网络的停滞甚至崩溃,这一潜在的风险是客观存在的。

在20世纪中国曾基本上是煤炭出口国,但近十年来进口量增长明显,已经转变为进口大国。为保障能源安全,中国不断调整煤炭进出口政策,但由于煤炭资源集中于北方,华南各省距离遥远,最大的煤炭下水港秦皇岛港至广州超过1600海里,与煤炭生产大国印尼至广州的海上距离基本相当,因而中国南方地区寻求煤炭进口从市场规律角度是合理的。目前,中国沿海地区高耗能工业仍保持增长态势,对煤炭需求将继续增长,尽管未来受产业结构调整、节能减排和国内煤炭价格调整等因素的影响,煤炭进口量仍可能维持高位,因而存在发生经济风险的可能性。对此,应注重进一步拓宽国际市场,寻求煤炭进口途径的多元化,加强沿海港口设施建设,提高自有煤炭运输船队的能力,

降低运输成本,开展煤炭储备工作,构筑以国内供应为主、以进口为辅的煤炭供应体系。

本文以场理论的位势、流场分布、流动迹线分析了世界煤炭资源流动的时空格局及成因,但对于其他的流动成本及国家政策形成的阻抗等尚未进行定量分析,有关这方面的内容是下一步研究的方向。

参考文献(References):

- [1] 丁松炎. 我国煤炭市场供需平衡分析及对策探讨. 北方经贸, 2017, (1): 41-42. [DING S Y. Analysis and countermeasures of supply and demand balance in China's coal market. Northern Economy and Trade, 2017, (1): 41-42.]
- [2] 王成金, 莫辉辉, 王姣娥. 中国煤炭资源的流动格局及流场规律研究. 自然资源学报, 2009, 24(8): 1402-1411. [WANG C J, MO H H, WANG J E. Regularity and pattern of Chinese coal resources flow field. Journal of Natural Resources, 2009, 24(8): 1402-1411.]
- [3] 于良, 金凤君, 张兵. 中国煤炭运输的现状、发展趋势与对策研究. 铁道经济研究, 2006, (5): 38-41. [YU L, JIN F J, ZHANG B. Research on the present situation, development trend and countermeasures of China coal transportation. Railway Economics Research, 2006, (5): 38-41.]
- [4] 赵媛, 于鹏. 我国煤炭资源空间流动的基本格局与流场通道. 经济地理, 2007, 27(2): 196-200. [ZHAO Y, YU P. The spatial pattern of coal flow and flowing channel in China. Economic Geography, 2007, 27(2): 196-200.]
- [5] 刘敬青, 李宏. 世界煤炭贸易及我国煤炭进口的新趋势. 综合运输, 2013, (1): 44-57. [LIU J Q, LI H. The world coal trade and the new trend of China's coal import. Comprehensive Transportation, 2013, (1): 44-57.]
- [6] 郝晓晴, 安海忠, 陈玉蓉, 等. 基于复杂网络的国际铁矿石贸易演变规律研究. 经济地理, 2013, 33(1): 92-97. [HAO X Q, AN H Z, CHEN Y R, et al. Research on evolution of international iron ore trade based on complex network theory. Economic Geography, 2013, 33(1): 92-97.]
- [7] 董瑜, 谢高地. 资源场理论及其在资源流动中的应用. 地理科学, 2001, 21(5): 407-411. [DONG Y, XIE G D. Theory of resource field and its application in resource flow. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(5): 407-411.]
- [8] 赵冰, 王诺. 物流场理论及其在物资流动中的应用. 商业研究, 2011, (4): 188-191. [ZHAO B, WANG N. Theory of logistics field and its application in material flow. Commercial Research, 2011, (4): 188-191.]
- [9] WANG W W, ZHANG M, LI P. Exploring temporal and spatial evolution of global energy production and consumption. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2014, 30(2): 943-949.
- [10] 王培宏. 我国煤炭生产—消费的地区性差异研究. 经济地理, 2012, 32(8): 97-101. [WANG P H. Regional variation of coal production-consumption in China based on panel-data model. Economic Geography, 2012, 32(8): 97-101.]
- [11] 王宜强, 赵媛. 中国煤炭资源流源、汇地空间格局演变与内部空间差异研究. 地理科学, 2014, 34(10): 1153-1160. [WANG Y Q, ZHAO Y. Spatial pattern evolution and inner differences of source-sink regions of China's coal resources flow. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(10): 1153-1160.]
- [12] 徐增让, 成升魁, 谷树忠, 等. 资源区域流动的驱动因子分析与流动潜力测度: 以晋煤输出为例. 自然资源学报, 2008, 23(5): 773-780. [XU Z R, CHENG S K, GU S Z, et al. Driving forces of resource flow among regions and measurement of resource flow potential: Taking coal flow from Shanxi to other provinces as a case. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 773-780.]
- [13] 杨青龙, 刘培. 2003-2012年国际资源性商品贸易格局的社会网络分析: 以煤炭、焦炭为例. 国际经贸探索, 2015, 31(4): 16-29. [YANG Q L, LIU P. A social network analysis of international trade patterns of resource commodities based on the 2003-2012 trade data of coal and coke. International Economics and Trade Research, 2015, 31(4): 16-29.]
- [14] 彭云艳, 孔凡玲, 闫静怡. 基于政策导向视角下中国煤炭进出口贸易路径研究. 经济研究导刊, 2015, (15): 267-269. [PENG Y Y, KONG F L, YAN J Y. Research on China's coal import and export trade path from the perspective of policy orientation. Economic Research Guide, 2015, (15): 267-269.]
- [15] HIRATA H. Method of flow-based modelling for large-scale systems: The basic idea. International Journal of Systems Science, 1988, 19(2): 351-363.
- [16] MARIC I. Flow measurement system model with distributed resources. Flow Measurement and Instrumentation, 2001, 12(4): 283-289.

- [17] 康凯, 苏建旭, 张会云. 技术创新扩散场: 技术创新空间扩散研究的一种新方法. 河北工业大学学报, 2000, 29(2): 27-31. [KANG K, SU J X, ZHANG H Y. Diffusion field of technological innovation: A new method of research on spatial diffusion of technological innovation. Journal of Hebei University of Technology, 2000, 29(2): 27-31.]
- [18] 董锁成. 经济地域运动论. 北京: 科学出版社, 1994: 64-66. [DONG S C. Economic Regional Movement. Beijing: Science Press, 1994: 64-66.]

The temporal and spatial patterns and causes of coal resource flow in the world

WANG Nuo, ZHANG Jin, WU Di, ZHAO Wei-jie

(Transportation Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

Abstract: Based on the statistical data from 1990 to 2016, this paper uses field theory to study the changes in the temporal and spatial pattern of coal resources in the world and their causes, revealing the flow of the world's coal resources and their evolution in the past 30 years. The results show that: (1) In 2016, the world's coal output reached 1.225 billion tons, an increase of 1.013 billion tons over 1990 and the average annual growth rate is 6.98%. Among them, Australia, Indonesia and Russia are the main exporters of coal, while India, Japan, China and South Korea are the main coal importers. (2) Analysis of the potential of the field theory, the distribution of the flow field and the angle of the flow trace, the flow of world's coal resources is the source flow in North America, Central and South America and Africa, with Europe and Eurasia, the Middle East and the Asia Pacific as the sinks flow field, and the major transport routes between Australia to East Asia, Indonesia to East Asia and India. (3) Spatial distribution of resources, matching degree of supply and demand, space distance, market factors and national policies are the main reasons for the flow of coal resources. The study found that although China's coal reserves are abundant, the amount of coal consumption is huge, and it can last for only 72 years, so we must attach importance to the import and storage of coal. This study is of great value to China in formulating industrial policies scientifically.

Keywords: coal; flow; pattern; cause