

DOI:10.3969/j.issn.1004-9479.2016.01.002

王兰体, 蔡国田, 赵黛青. 中国区域能源流动时空演进过程分析[J]. 世界地理研究, 2016, 25(1):12-21

WANG L, CAI G, ZHAO D. Spatial-temporal process of regional energy flows in China[J]. World Regional Studies, 2016, 25(1):12-21

中国区域能源流动时空演进过程分析

王兰体^{1,2,3}, 蔡国田^{1,2}, 赵黛青^{1,2}

(1. 中国科学院广州能源研究所能源战略研究中心, 广州 510640;

2. 中国科学院可再生能源重点实验室, 广州 510640; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:中国能源产销不平衡导致在空间上形成大规模的能源流动, 流动格局不断发生变化, 需要采用纵横向耦合视角分析区域能源流动的演进过程及特点。文章构建衡量区域能源流向和流速的指标, 通过多次分层聚类将 1995 年~2012 年 30 个省(市、区)在煤炭、石油和天然气供需方面的职能类型划分为 7 种, 重点分析汇流地、输流地和中转地, 各能源流动主要特点为: 第一, 煤炭在省与省之间调运频繁而中转规模适中, 表现为沿海汇流、稳定输流、内陆中转; 第二, 石油流动大进大出, 表现为分散汇流、集中输流、中转枢纽; 第三, 天然气以本地供应为主, 表现为经济圈汇流、多源供应、小进小出。总体来看, 中国能源消费的分布轴线逐渐靠近胡焕庸线, 与人口分布的趋势基本一致。

关键词:能源流动; 空间格局; 聚类分析; 区域特征

中图分类号:F419.9

文献标识码:A

0 引言

中国能源资源的基本特点是“富煤、贫油、少气”, 分布具有明显的区域特征, 且供需格局普遍存在空间错位。东部地区经济发达, 能源需求量大, 但能源资源相对贫乏; 中西部地区经济水平较低, 能源需求量少, 但能源资源丰富; 北部资源分布较为集中, 而南部分散且量少。能源生产与消费在空间上呈现“逆向分布”。

生产与消费的不平衡必会导致能源在空间上形成大规模的流动。以煤炭为例, 国家铁路运输煤炭形成了明显的北煤南运和西煤东运的格局(表 1), 且流量逐年增加; 南北向流量年均增长率为 10%, 东西向为 14.3%, 到 2011 年东西向流量比南北向多出约 1 亿吨。北向与东向的流量占比均有逐年递减的趋势, 2002 年~2011 年北向比例降了 3.3 个百分点, 东向降了 2.6 个百分点, 下降幅度较弱, 主导流向的地位没有变化。目前中国四大油气进口能源战略通道已全部打通, 包括: 马六甲海峡、西北方向的中哈原油管道及中亚天然气管道、东北方向的中俄原油管道和西南方向的中缅油气管道。到 2025 年, 天然气与石油产量将形成“二分天下”格局^[1], 石油和天然气的空间流动规模将逐渐增大, 流动方向日益复杂。

收稿日期: 2015-04-09; 修订日期: 2015-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001084)。

作者简介: 王兰体(1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事能源战略方面的研究。E-mail:wanglt@ms.giec.ac.cn.

通讯作者: 蔡国田(1975-), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为经济地理和能源战略研究。E-mail:caigt@ms.giec.ac.cn.

总体来看,中国区域能源流动规模大、流动方向复杂、利益主体众多,经历了复杂的演进过程。本文基于纵横向耦合视角,以能源平衡表的数据为依托,考虑数据的可获取性,分析 1995 年~2012 年间 30 个省(市、区)的能源流动格局的时空演进过程。

1 研究方法

能源流动研究在国内外尚未形成完整的研究体系,多以煤炭和石油等一次能源为主要分析对象^[2]。经济地理学视角下能源流动的过程特征分析主要包括五个方面:1)能源流量与流向;如 Todd 等^[3]绘制出山西煤炭输出流图和广东煤炭输入流图,赵媛等^[4]研究了我国石油资源输出量和输入量的位序-规模分布特征。2)源地、汇地及中转地的空间分布结构;如成升魁等^[5]通过比较煤炭源地和汇地调出、调入首位度等统计量,将地域类型划分为单向输/汇流地、输/汇流型交流地、平衡交流地和无流地;沈镭等^[6]采用聚类分析,从区域尺度研究 2010 年 7 种能源资源本地、区域流动。3)能源流场;如王成金等^[7]借助煤炭调拨量的 0-D 矩阵,分析我国煤炭流场的空间特征,进而界定主要散场及其等级体系。4)能源流通道的网络结构;杨足膺等^[8]运用分形理论分别从密度、连通性及通达性研究了全国及各区域原油管网的分异特征。5)能源流动的影响因素和机制;陈雅琳等^[9]从煤炭区域产销不平衡、距离供应业的远近等方面分析了影响江苏省煤炭资源流转的因素;杨足膺等^[10]采用重心分析方法、指示克里金内插方法和空间相关系数,探讨了中国石油资源空间流动的趋势机制。

上述学者们对能源流动的多方面特征做了大量的研究,目前来看缺乏对能源流动格局随时间演进过程的分析,缺乏对多品种能源的流动格局在空间上相互关系的研究。为分析区域能源流动的时空演进规律,本文构建衡量省域能源进出和流动的指标,能源自给率和能源流动率。

$$S_{i,j,k} = \frac{(C+O_p-I_p)}{C_{i,j,k}} \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{i,j,k} = \frac{\text{Min}(O_p, I_p)_{i,j,k}}{C_{i,j,k}} \times 100\% \quad (2)$$

其中, O_p 为能源输出量,本省调出与出口之和; I_p 为能源输入量,外省调入与进口之和; C 为本地消费量; $i=1995, 2000 \dots 2012$,代表 5 个时间点; $j=1, 2 \dots 30$,代表中国 30 个省(市、区,不含藏港澳台); $k=1, 2, 3$,代表煤炭、石油和天然气三种能源。 S 是生产量与消费量的比值,衡量流动倾向; R 是流动量与消费量的比值,衡量流动速率。数据来源于 1996 年~2013 年《中国能源统计年鉴》。

根据 S 将 30 个省(市、区)划分为 7 类:数据缺失、无能地、净汇流地、汇流地、中转地、无流地和输流地。若未使用该能源,则为无能地;净汇流地 $S=0$;对于汇流地和中转地, $0 < S < 1$;无流地 $S=1$,无能源输出和输入;输流地 $S > 1$ 。汇流地与中转地虽然都依赖于净调入或净进口,但两者有明显的区别。汇流地的本地能源生产量相对较少,调入或进口占主要部分;中

表 1 国家铁路运输煤炭流向变化趋势

流向	2002	2005	2008	2011
南北向(万 t)	9043	13990	16133	21303
其中:南下(%)	99.3	99.2	98	96
北上(%)	0.7	0.8	2	4
东西向(万 t)	9622	15461	19619	31927
其中:东向(%)	94.8	95	93.6	92.2
西向(%)	5.2	5	6.4	7.8

数据来源:历年中国交通统计年鉴;

注:只统计东北、华北、华东、华南、中部、西北、西南 7 大片区之间,不考虑片区内部的煤炭交流流量。

转地的能源消费对外依赖程度小,类似于能源的中转站和储备站,具有提供能源补给和促进能源流动的作用。

为划分汇流地与中转地,本文采用层次聚类分析方法。一次划分两类,每次对数据多的一组进行分类。第 n 次分类后数据多的一组定义为 N_{n1} , 数据少的一组定义为 N_{n2} , 划分点为 K_n 。具体步骤为:

- 第一次聚类后,得到两组数据为 $0 < S < k_1$ 和 $k_1 < S < 0$;
- 若该属性划分结果不理想,对 N_{n1} 进行下一次分类;
- 直至第 n 次分类的属性划分接近实际情况,得到的两组数据为 $0 < S \leq k_n$ 和 $k_n < S < 0$;

- 对比第 $n-1$ 、 n 和 $n+1$ 次分类结果,找出与实际情况最相符的一组分类,令划分点为 k_n ;
- 结束分类, $0 < S \leq k_n$ 为汇流地, $k_n < S < 1$ 为中转地。

本文根据划分结果(表 2),利用 ARCGIS 画出煤炭、石油、天然气在 1995 年~2012 年的调运分布情况(见下文),给出对比分析过程。

表 2 3 种能源的 7 类属性划分标准

品种 \ 属性	分类次数	数据缺失	无能地	汇流地	净汇流地	中转地	无流地	输流地
煤炭	4	—	#DIV/0!	(0, 0.60]	0	(0.60, 1)	1	>1
石油	3	—	#DIV/0!	(0, 0.44]	0	(0.44, 1)	1	>1
天然气	1	—	#DIV/0!	(0, 0.62]	0	(0.62, 1)	1	>1

2 能源流动空间格局演进过程分析

2.1 煤炭

2.1.1 改变自给自足状态,少量进口

1995 年~2002 年,煤炭生产量增加幅度较小,除满足自身需求外,有少部分出口;2002 年后,煤炭生产量直线上升;自给率在 2002 年达到峰值后开始下滑,2009 年跌至 1 以下(图 1)。在生产量持续增长的同时,煤炭对外依赖程度增加,这是因为,2008 年开始中国执行“限出口促进进口”的政策,加上海运成本后进口煤炭相比国内煤炭仍有价格优势,中国沿海地区从澳大利亚、印尼、越南等地大量进口煤炭。

2.1.2 汇流集聚沿海地区,辐射增强

煤炭汇流地基本分布于中国沿海地区,从东北延伸到华东和华南,数量从 1995 年的 11 个增至 2012 年的 16 个,分布呈“S”形状(图 2)。汇流面积不

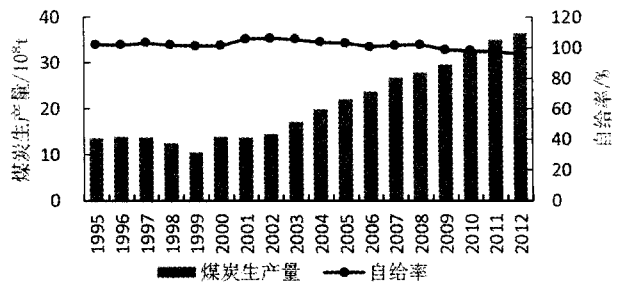


图 1 1995 年~2012 年中国煤炭生产量与自给率变化

断向内陆扩大,这是因为一方面经济发展依赖于煤炭,导致各地对煤炭的需求增加;另一方面,随着煤炭运输成本降低,一些有少量煤炭生产能力的省份会在开采本地煤炭与外省调入之间权衡,从而转向汇流地。另外,天津、上海和海南在 1995 年~2012 年煤炭完全依赖调入和进口,2005 年广东、2013 年浙江关停了省内所有煤窑,随着中国建立大型煤炭生产基

地的战略部署,未来“S”分布线的省份将陆续退出煤炭开采市场,转向净汇流地,对煤炭的吸引力进一步加大。

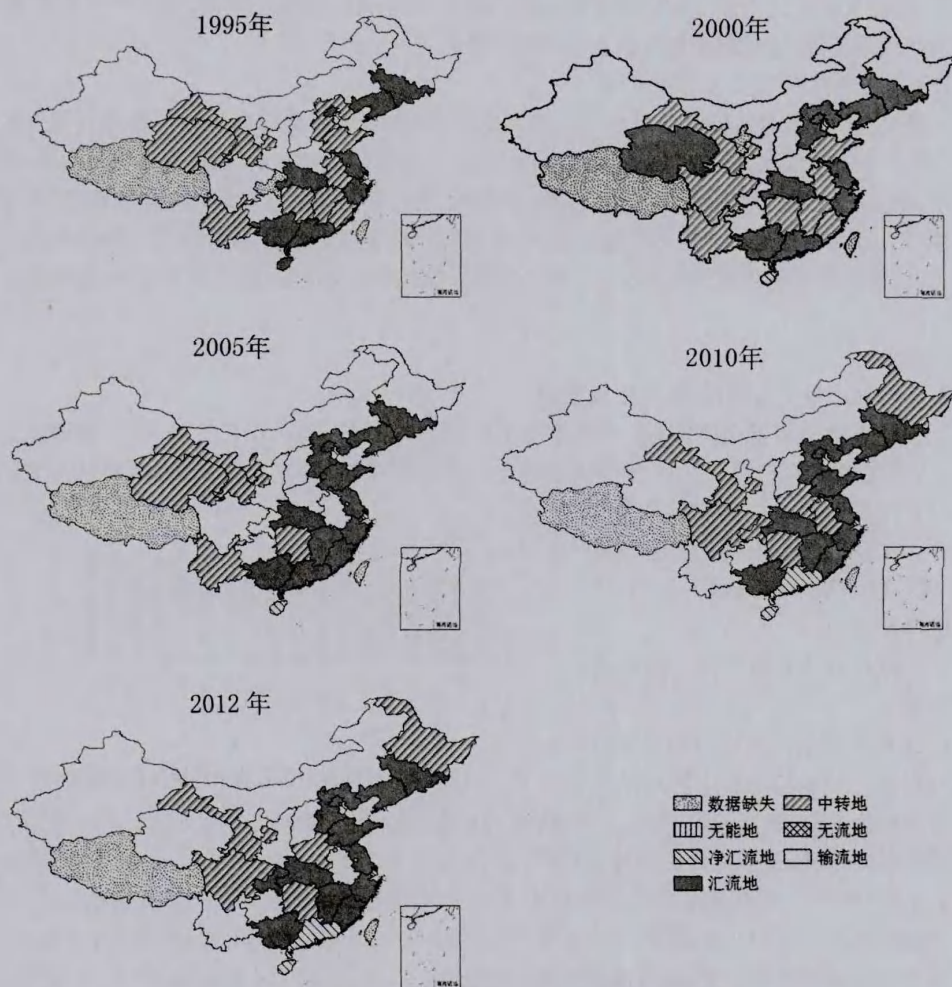


图2 1995年~2012年煤炭流动空间格局演进过程

2.1.3 煤炭基地集中输流,格局稳定

根据第三次全国煤田预测研究报告,中国90%以上的煤炭分布于昆仑山-秦岭-大别山以北地区,包括内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃和河北6省;南方储量不足10%,集中在云南、贵州和四川三省。煤炭输流地数量变化小,与资源空间布局基本一致,主要分布于山西、陕西、内蒙古西部、云南、贵州、四川和新疆(图2);这是因为煤炭在中国能源供应体系中起步早、发展快,形成稳定供应圈。1995年与2012年,这七大地区煤炭总产量分别占全国的49%、71%,其分别占全国总的64%、80%,说明煤炭产地逐渐集中且产量加大,而自身消纳能力小,成为中国主要的煤炭输流地。2012年新疆从煤炭储备基地升级为第14个大型煤炭基地后,疆内调出与自产比由2005年的8.2%上升至2012年的21.1%,中国煤炭生产重心逐渐西移,东西向流量比重将进一步上升。

2010年后黑龙江、河南从输流地转为中转地,但两者情况相异。1995至2012年间,黑龙江煤炭生产量年均增长约0.83%,而消费量年均增长4.9%,本地生产速率明显低于消费增长速率,转而向就近的内蒙古东部煤炭基地调入填补;河南是大型煤炭基地,由于紧邻晋陕,除担当产煤重任外,也是煤炭南下和东向的重要交点。

2.1.4 中转地向内陆移动,数量缩减

受“S”形汇流地的辐射作用和进口煤炭的冲击,中转地逐渐向内陆地区移动且数量减少。1995年中转地有9个,围绕于输流地周边,2012年数量减为5个。数量变化归为两类:需求增加型,如环渤海从中转地转向汇流地,黑龙江、河南和四川从输流地转向中转地;资源导向型,如云南、青海从中转地转向输流地。安徽煤炭职能类型不稳定,在中转地与输流地之间变化;安徽既是大型煤炭基地,又处于生产端与消费端的中间位置,起着承东启西、接南进北的作用。

2.2 石油

2.2.1 石油产量增长缓慢,对外依赖增加

中国石油受资源条件限制,产量徘徊不前(图3),1995年~2012年,年均产量增速为1.9%,消费增速为6.6%。2012年中国石油生产量占全球5%,排名第四;石油消费量占全球13.1%,仅次于美国的19.8%,排名第二^[11]。2012年中国石油的自给率不到44%,供需缺口越来越大,对外依赖度持续增加。

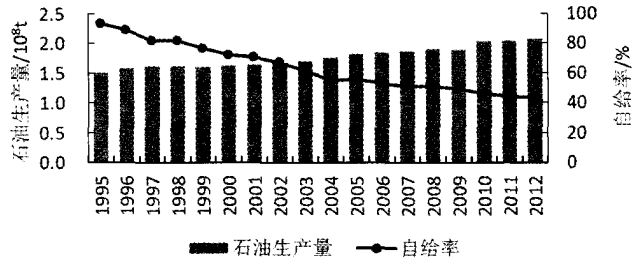


图3 1995年~2012年中国石油生产量与自给率变化

2.2.2 依托石化分散汇流,南北逐渐连通

1995年石油汇流地分布于秦岭淮河以南,与输流地和中转地形成

相呼应的南北结构;1995年~2012年,内蒙古直接由输流地转向汇流地,辽宁、河南经历了由输流转向中转、最后成为汇流地的过程;到2012年汇流地数量多分布广,形成一个南北连通的区域(图4)。其中,净汇流地主要集中于中部、东部和华南地区,呈三角形,包括北京、山西、安徽、浙江、福建、江西、湖南、重庆和贵州;云南、广西、海南、上海和四川的石油生产量小,2012年平均自给率不足2%,具有退出石油开采的趋势。中国石化工业具有“东西强、中部弱”,“北方强、南方弱”,“沿海强、内地弱”的空间格局特点^[12]。基于此,汇流地可细分为两类:石化工业集聚的长三角、珠三角和环渤海,是“北油南运”、“西油东运”和“海油登陆”三股油的交汇地,已建成第一、二批国家石油储备基地;内陆和西南地区,石化工业发展势头强,石油资源匮乏,是国家石油储备基地三期选址的备选地。

2.2.3 管网一体集中输流,格局趋于成熟

中国石油资源分布极不均匀,集中于东部、西部和近海,占全国可采量的85%^[13-15]。1995年有7个石油输流地,经历了长庆油田的稳步增产和青海油田的衰竭,到2012年缩减为4个,分别是黑龙江、天津、山西和新疆(图4)。黑龙江大庆油田石油产量始终保持全国第一,2012年产量占全国的18.6%。天津位于渤海湾中心,石油向周边区域输流与消纳作用随时间增强,既有输流能力,也具备中转性质;2012年R达321%,现有一座30万吨级原油码头,24个石化泊位^[16],是东北原油西进入关和环渤海进口原油快速中转的枢纽^[17]。新疆已替代兰州

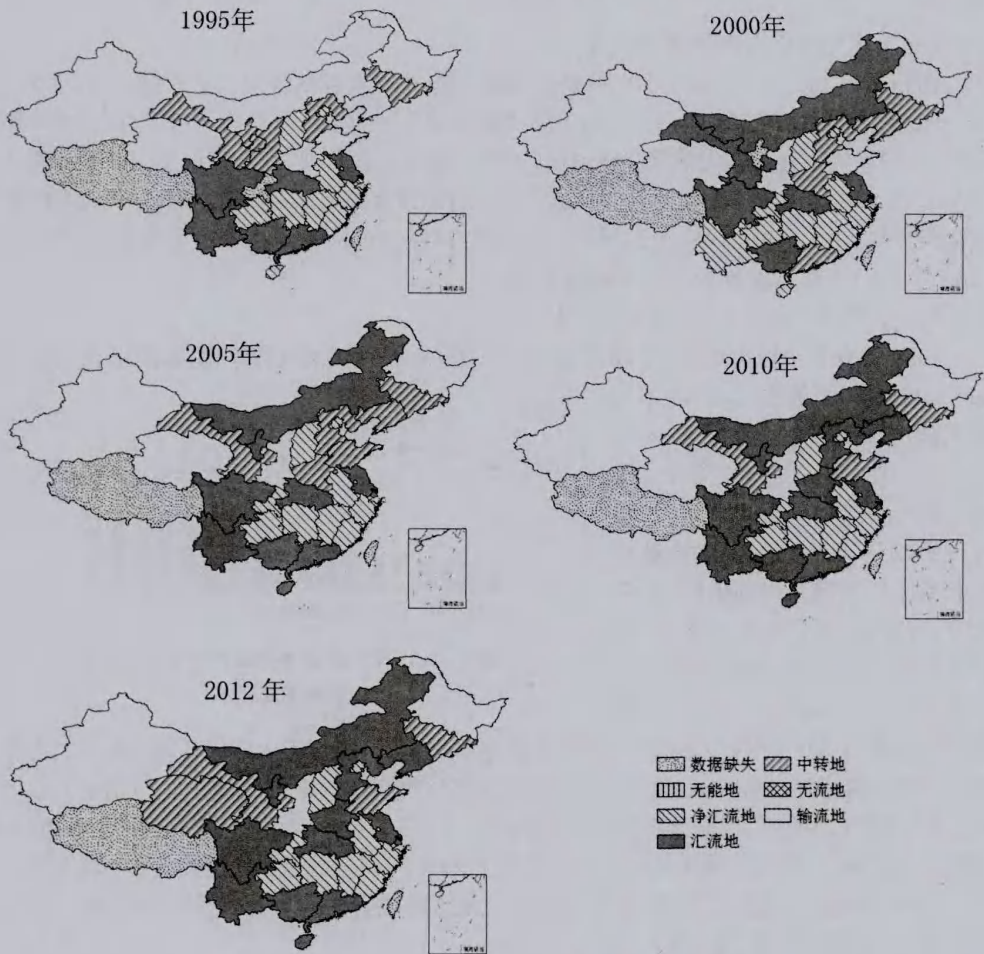


图4 1995年~2012年石油流动空间格局演进过程

成为中国西部最大的石化工业基地,作为中国西部原油与成品油管道的起点和中哈原油管道的节点,新疆已在独山子和鄯善建成两座国家石油储备基地,扮演着“承外启内”的角色。

2.2.4 中转缓冲作用明显,格局基本稳定

石油中转格局稳定且数量变化小,中转省份每年4个左右,分布于秦岭淮河线以北(图4)。吉林是唯一一个保持中转地位不变的省份;作为汇流与输流的缓冲区,吉林省内有中大型石化加工企业,除消费自产原油外,少量从上游黑龙江调入填补。渤海湾在1995年~2012年地位演变过程丰富,一方面天津为石油高位势地,北京为石油低位势地,对天津来油有强吸纳力,该相对地位将长期保持不变。另一方面辽宁、河北和山东的职能类型变化趋势一致,均由于本地生产量基本不变、需求量大幅增长而导致自给率下降,该三省对中俄原油、天津和海上来油有强吸纳力。以辽宁为例,能源输入量不断增加,能源自给率从1995年的118%降为2012年的20%。甘肃兰州集石油储备、跨省调度、区域调节功能为一体,2012年能源自给率达206%,利用兰青铁路和西部原油管道,吸引青海和新疆的原油,加工后将成品油通过兰成渝管道、兰郑长管道运往西南和华东地区,对原油具有明显的截流作用。

2.3 天然气

2.3.1 自给率先增后减,西气海气并举

1995年~2005年,天然气生产量少且增长平缓,生产及输送管道水平低(图5);2005年后,产量呈指数增长,2007年由自给自足转为净进口。一方面西气东输一线工程于2004年底投产、国家提出建设四大油气战略通道,天然气逐渐受到重视,天然气占全国能源消费比重从2005年的2.9%增至2012年的5.3%。另一方面国家采取储近用远原则,建设大型沿海液化天然气(LNG)接收站,引进国外气源,进口量从2006年的74.5万t增至2012年的1468万t,2012年占世界LNG贸易量约6.2%。

2.3.2 三大经济区强汇流,面积逐步扩大

1995年有5个汇流地,2012年增至20个(图6),中国天然气流动范围增加,流动里程加长。与煤炭、石油不同,2005年之前天然气在长江以南大面积区域未得到使用,包括安徽、浙江、福建、江西、湖南、广西和海南;2005年~2012年,天然气汇流地逐渐扩大且集中于沿海与中部地区,其中北京、安徽、浙江、福建、湖南、广西和贵州是净汇流地,对西气和海气有强引流作用;湖北、江西省份职能类型不稳定,自产气量少,2012年平均自给率不足8%,具有退出天然气开采的趋势。近年来国家加快推进环渤海、长三角与珠三角三大经济区的煤改气工程,带动天然气需求大幅增长。在“西气东输”与“海气登陆”两股力量的作用下,三大经济区对天然气有强吸纳作用,并辐射到内陆地区,形成大片区的汇流地。计划于2018年引进的俄罗斯进口天然气将与中亚气、大连LNG成为东北三省主要气源,届时东北地区将成为又一个大型天然气汇流地,有效缓解老工业基地用气紧张局面。

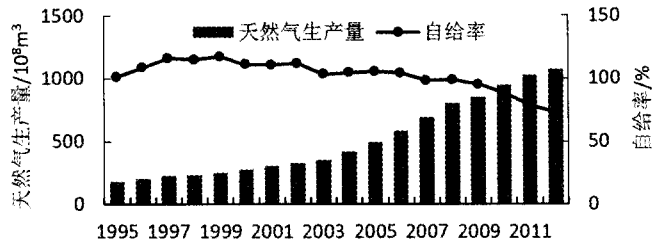


图5 1995年~2012年中国天然气生产量与自给率变化

2.3.3 四大气区集中输流,格局初成形

在常规天然气资源总量中,西部地区约占55%,东部占10%,海域占28%^[18]。天然气输流地数量变化经历了从少到多、再减少的过程(图6),2005年之前的供应格局较为混乱,目前集中于新疆、青海、四川、陕西和内蒙古五省,形成一个稳定供气的封闭区域。新疆和青海两省由无流地转为输流地,且输气规模日益增加,其中新疆本省调出量从2005年的50.18亿增至2012年的151.06亿,年均增长率为17%,说明西气东输工程自投产以来输送效果凸显。长庆气区产量居全国气区之首,所产天然气通过陕京线与西二线,向北京、天津和上海等40多个大中城市供气。西南气区是全国首个天然气产量超百亿的气区,天然气主要销往四川、重庆、云南、贵州、湖南和湖北等六省(市、区),2010年在四川和重庆的市场占有率超过80%^[19]。

2.3.4 中转规模小进小出,格局不稳定

1995年天然气以省内平衡为主,有10个无流地,无中转地;到2012年中转地增至4个(图6)。中转地数量少、格局不稳定,未形成输流与汇流之间的缓冲区。山西、吉林和广东三省的中转地位较稳定,但中转性质各有不同。山西、吉林两省以本地供应为主,小进小出,对天然气的中转作用较弱。山西自产煤层气,2012年自产气量33.6亿,达当地市场供应量的

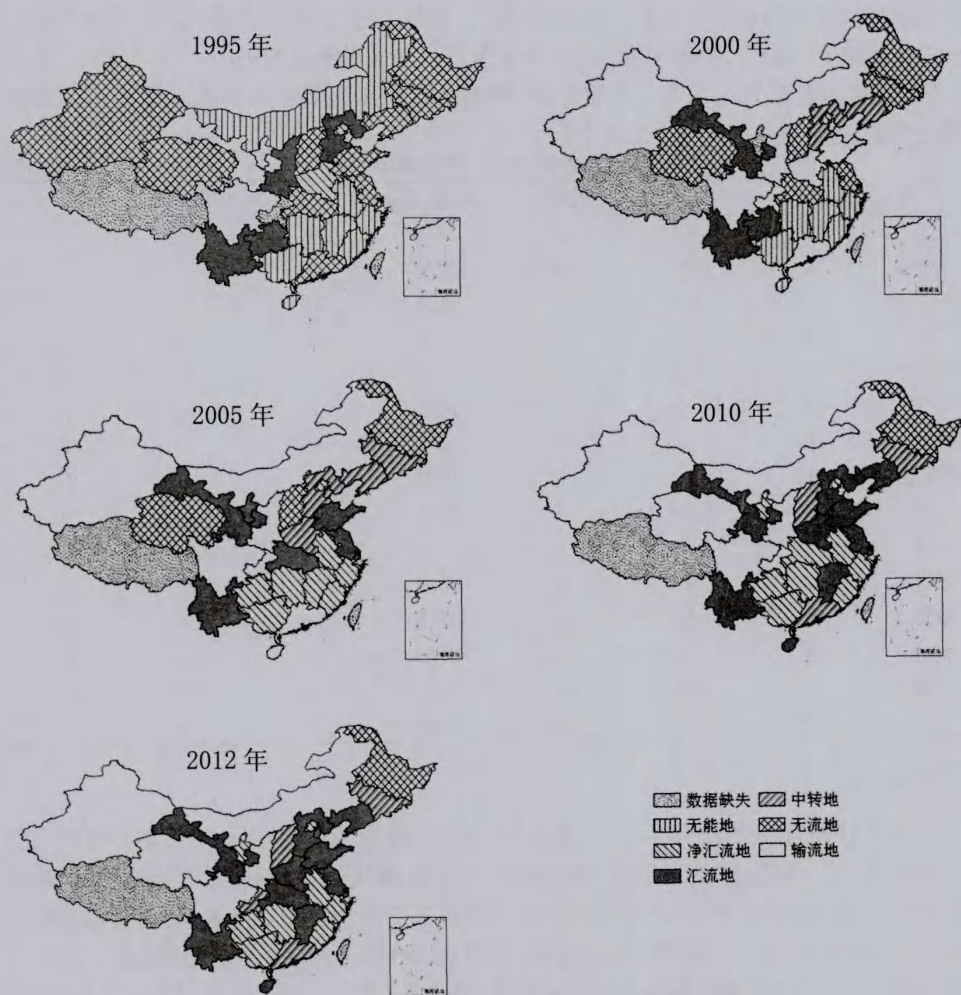


图6 1995年~2012年天然气流动空间格局演进过程

90%, 而中转量仅为 42%; 东北主干网建设缓慢, 吉林形成了少产少用、多产多用的被动供气格局, 于 2010 年投产的长岭气田使吉林的天然气自给率在 2012 年达 99.6%, 接近自给自足状态。广东经历了由无流转向输流、形成目前中转地的过程, 2012 年接收的国外 LNG 约 82% 用于本地消费, 17% 中转至港澳。可以看出, 广东依赖进口 LNG, 对粤港澳地区中转作用大, 而对周边其他省份贡献小。凭借自身工业与地缘优势, 广东具有发展为天然气中转大省的潜力, 对周边地区的辐射作用将在未来凸显。

3 能源中转规模对比

本节利用流动率衡量中转规模, 针对煤炭、石油和天然气三者流速做对比分析; 理论上, 能源流速越快, 中转规模越大。2012 年各省(市、区)能源流动率见表 3, 有如下特点: 1) 三种能源相比, 石油的中转规模最大, 其特点是大进大出; 2) 除中转地外, 输流地如天津, 汇流地如上海、海南等同时具备中转性质, 说明沿海地区在中国石油调运体系中扮演着双重角色;

3) 煤炭在省际之间调运频繁,同时本地消费量大,导致上海(汇流)、青海(输流)的煤炭流动率大于中转地(黑龙江、河南、甘肃、四川和湖南);4)与煤炭和石油不同,天然气在 22 个省(市、区)的流动率为 0,只在产气区和具备 LNG 接收站的沿海城市有少量的流动,具有以本地供应为主,省与省之间交流少的特点。

表 3 2012 年各省(市、区)能源流动率值

(单位:%)

省(市、区)	煤炭	石油	天然气	省(市、区)	煤炭	石油	天然气
北京	24	44	0	河南	16	17	0
天津	0	321	41	湖北	0	1	0
河北	26	108	0	湖南	14	4	0
山西	9	0	42	广东	0	17	13
内蒙古	9	13	0	广西	10	82	0
辽宁	7	52	0	海南	0	143	35
吉林	19	7	0	重庆	15	0	29
黑龙江	22	92	0	四川	2	0	21
上海	46	108	0	贵州	1	0	0
江苏	8	56	0	云南	20	0	0
浙江	0	89	0	山西	11	10	0
安徽	26	16	0	甘肃	34	206	0
福建	4	5	0	青海	64	50	0
江西	6	57	0	宁夏	33	95	10
山东	9	88	0	新疆	0	0	0

4 结论

本文将 1995 年~2012 年中国 30 个省(市、区)在煤炭、石油和天然气供需方面的职能类型划分成 7 种,主要分析了汇流地、输流地和中转地。煤炭、石油和天然气汇流地均大片地集中于华东和中南部区域,以沿海地区为主,在“西部能源”和“海上能源”的两股力量作用下,汇流地向内陆扩大且逐渐靠近胡焕庸线,说明能源消费与人口分布的趋势基本一致。中国能源流动均呈现集中输流和分散汇流的特点,缺乏具有特定中转职能的片区或省份。未来需加快煤炭应急储备设施建设、加快沿海地区 LNG 国家战略储备基地建设,进一步增加煤炭与天然气的中转规模,以提高中国能源供应水平和保障能源安全。

本文多次利用层次聚类法,得出与实际情况更加符合的属性划分效果,避免了简单的聚类导致结果与实际偏倚的缺陷。不足表现在指标的局限性,自给率衡量能源的流向,但不能解释能源从哪来、到哪去;中转规模与流速、流量成正比,而流动率只能衡量能源的流速。

参考文献:

- [1] 段雯娟. 未来天然气产量将与石油“二分天下”[J]. 地球, 2014(002):80-83.
- [2] 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[J]. 自然资源学报, 2014, 29(9):1613-1625.
- [3] Todd D, Jin F J. Interregional coal flows in China and the problem of transport bottlenecks[J]. Applied Geography, 1997, 17(3):215-230.
- [4] 赵媛, 牛海玲, 杨足膺. 我国石油资源流流量位序-规模的分布特征变化[J]. 地理研究, 2010, 29(12):2-12.
- [5] 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[J]. 地理学报, 2008, 63(6):603-612.
- [6] 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.

- [7] 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[J]. 自然资源学报, 2009, 24(8):1402-1411.
- [8] 杨足膺,赵媛. 基于分形理论的中国原油管道网络结构研究[J]. 自然资源学报, 2012, 27(5):820-831.
- [9] 陈雅琳,高吉喜,李咏红,等. 江苏省煤炭资源流转及影响因素分析[J]. 资源科学, 2010, 32(7):1259-1265.
- [10] 杨足膺,赵媛,黄克龙. 中国石油资源空间流动的驱动机制分析[J]. 地理研究, 2014, 33(5):863-875.
- [11] BP世界能源统计2013[EB/OL]. http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf, 2013.
- [12] 张文忠,董科国,田山川. 中国石化工业发展和区位变迁轨迹[J]. 地理研究, 2009(5):1378-1388.
- [13] 石油、天然气、煤层气、油页岩、油砂资源评价成果[N]. 中国国土资源报, 2008-08-18(007).
- [14] “十一五”全国油气资源动态评价成果喜人[N]. 中国国土资源部, 2011-11-25(006).
- [15] 全国油气资源动态评价(2012)成果丰硕[N]. 中国国土资源报. 2014-01-09(006).
- [16] 薛力强,陈昕妍. 天津实华原油商业储备基地奠基[EB/OL]. <http://news.xinmin.cn/rollnews/2012/07/20/15585873.html>, 2012-07-20.
- [17] 赵媛,郝丽莎. 20世纪末期中国石油资源空间流动格局与流场特征[J]. 地理研究, 2006, 25(5):753-764.
- [18] 李建忠,郑民,张国生,等. 中国常规与非常规天然气资源潜力及发展前景[J]. 石油学报, 2012, 33(A01):89-98.
- [19] 全晓波. 盘点2010中国十大产气区[N]. 中国能源报, 2011-01-31(07).

Spatial-temporal process of regional energy flows in China

WANG Lan-ti^{1,2,3}, CAI Guo-tian^{1,2}, ZHAO Dai-qing^{1,2}

(1. Energy Strategy Research Center of Guangzhou Institute of Energy Conversion, Guangzhou 510640, China; 2. Renewable Energy Laboratory of Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Imbalance of energy's production and consumption leads to energy's large-scale flows in the space with the constantly changing flow patterns, which needs vertical and horizontal perspectives to analyze. This article constructed indicators to measure the direction and velocity of regional energy flows. Through multiple hierarchical clustering, 30 provinces (cities, districts) in the coal, crude oil and natural gas during 1995-2012 were divided into 7 flow function types, and input place, transit place and output place were mainly analyzed. Conclusions are as follows: Firstly, coal transport frequently between provinces in moderate size, which represents coastal input, steady output, and inland transit. Secondly, crude oil flow in large scale, which represents dispersed input, centralized output, and transit hub. Thirdly, natural gas is mainly self-sufficiency, which represents economic-circle, input multi-source supply, and small-scale transit. Overall, distribution axis of energy consumption in China gradually closes to the Hu's line, consistent with the trend of population.

Key words: energy flow; spatial pattern; cluster analysis; regional characteristics