

引用格式: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.] DOI :10.18402/resci.2018.07.14

碳基能源资源流动节点的确定及其研究内容

王宜强¹, 赵媛²

(1. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 日照 276826; 2. 南京师范大学金陵女子学院, 南京 210046)

摘要:从产业和区域两层面,对碳基能源资源流动节点要素进行分析,阐述了当前研究中节点类型划分及其依据,分别确定节点要素为生产节点、中转节点和消费节点这一类型体系以及抽象节点体系等两大节点类型体系。通过解析各类型节点的功能和职能,可知碳基能源资源流动中,节点不仅履行基本的业务职能而且还发挥着流动体系效能和社会经济溢出功能的作用。通过梳理节点研究的内容,从节点功能、节点系统和节点关系三个方面解析了不同类型节点研究的关注点和主要方法。基于以上研究分析认为,碳基能源资源流动节点分析中,节点类型是多样的,既有产业链条中的企业节点研究,也有以区域视角的节点分析,相关研究蕴含于诸如资源科学、物流学、地理学、生态学等多学科之中;不同类型节点研究内容特色鲜明,产业层面的节点研究多以物流学供给链和供给网络以及生态学节点能源利用研究为主,而区域层面的节点研究多为探讨节点空间结构、等级结构和交流关系等。最后,根据碳基能源资源流动节点研究现状指出当前研究不足,并提出加强流动节点理论研究和系统集成研究的学术建议。

关键词:碳基能源;资源流动;节点类型;研究内容;煤炭

DOI :10.18402/resci.2018.07.14

1 引言

当前,资源流动研究已成为资源科学领域最新的研究视角和学科成长点^[1],以煤炭、石油、天然气等国家战略性能源矿产为主要研究对象的碳基能源资源流动研究是目前资源流动研究领域最为活跃的组成部分之一。资源流动研究包含两个层面^[2],其一为“资源在不同地理空间资源势的作用下发生的空间位移(所谓横向流动)”,具有典型的特征;其二为“资源在原态、加工、消费、废弃这一链环运动过程中形态、功能、价值的转化过程(所谓纵向流动)”,具有显著的产业利用特征。在碳基能源资源流动解析中,节点、通道(路径)、流动网络和流场等是这一流动过程中重要的空间构成要素,其中节点一般是指资源需求与供给发生的地点或资源中转运输地点,各节点的供给驱动或需求驱动是产生资源流动的起因^[3],也是资源流动系统中流量、流

向、距离等空间特征的地理控制点^[4]。因此,节点是碳基能源资源流动空间结构的基础要素,是资源流动分析的着重点。目前,碳基能源资源流动节点研究已取得一定成果,如依附于节点之上的资源流量、流向分析以及流量与距离(节点距离)之间的关系研究^[5,6];节点本身的统计分布特征和空间分布特征研究^[7,8];节点通过流量属性相互联系成矢量网络的组织结构研究^[9,10];流动通道以及流场研究中的节点分析^[11,12]等。以上成果均在一定程度上丰富了碳基能源资源流动节点要素的研究。以上文献对节点要素的分析还仅停留在以资源科学视角分析节点流量、流向、节点分布以及流动职能的简单划分的研究阶段,尚未有研究对碳基能源资源流动过程中节点要素的类型、功能、节点关系、节点发展与通道布局以及流动网络的关系进行系统梳理和解析。然而,前述科学问题的系统分析,不仅能够推

收稿日期:2017-12-04 修订日期:2018-05-10

基金项目:山东省高校人文社科项目(J17RA213);国家自然科学基金(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: yqwang54@outlook.com

通讯作者:赵媛, E-mail: zhaoyuan@njnu.edu.cn

进碳基能源资源流动节点要素研究,同时也必将深化对资源流动组织结构和空间结构的理解,甚至对资源流动研究框架的拓展起到重要作用,本文以煤炭资源为代表,意在梳理并解析以上内容。

2 碳基能源资源流动中的节点要素

2.1 碳基能源概念界定

碳基能源是指以碳氢化合物或其衍生物为主要成分,以 CO_2 为主要排放气体的传统化石能源,由古代生物的化石沉积而来,属于一次非可再生能源,如石油、煤炭、天然气等。与太阳能、核能、风能、水能等新能源相比,在资源性质、使用规模以及经济技术效率等方面具有差异性。在资源性质方面,碳基能源属于一次常规能源,与太阳能、风能、水能等可再生能源相比,具有不可再生性;在使用规模方面,碳基能源是当前世界社会经济发展中使用量最大的能源品种,2016年其消费量占世界能源消费总量的85.5%,中国占比为86.7%,在使用比例上远远超过新能源品种;在经济技术效率方面,碳基能源支撑了19世纪到21世纪200多年来人类文明的进步和经济社会发展,在应用广度、技术效率、经济效益等方面具有新能源无法比拟的优势,这也是当前新能源消费占比仍较小的主要原因。

2.2 哈格特空间结构认知理论与节点要素

碳基能源资源流动空间的结构模式符合哈格特空间结构认知理论及其模式^[13]。哈格特空间认知理论从宏观层次将不同研究区域抽象为点,由此识别出区域空间结构的6个几何要素:即运动模式、路径、结点、结点层次、地面、扩散。用这6个要素建立的区域碳基能源资源流动系统的空间结构模式即是以资源源地、汇地为结点、以交通运输线路为连接的占据一定地面、处于扩散过程中的网络,可称之为区域碳基能源资源流动系统的网络空间结构模式。在已有碳基能源资源流动空间要素研究中,郝丽莎等即是根据哈格特空间结构认知理论将石油资源流动的空间结构解析为流动节点、流动关系、通道网络和流场四大要素^[4],而该理论对其他碳基能源同样具有适用性。因此,在碳基能源资源流动研究中,节点、通道(路径)、流动网络和流场等是这一流动过程中重要的空间构成要素,同时也是碳基能源资源流动解析研究的主要依托对象。其中,

节点在整个碳基能源资源流动空间结构中占据核心位置,其不仅发挥一般流动职能的作用,而且承担着指挥、管理、调度、信息等中枢职能^[14],还决定着未来通道建设的走向以及整个流动网络的优化。此外,节点也是资源发生形态转换、功能转化、价值增值的场所。由此,碳基能源资源在不同节点间的位移过程,既发生着典型的空間作用,又兼具显著的产业利用特征,由此决定了节点要素在整个资源流动中的核心地位^[4]。

2.3 一般流动类型节点的确定

资源流动反映了资源从“摇篮”流向“坟墓”的过程^[2],根据资源流动的过程特征(不同流动环节),存在着三种形式的流动节点,即生产节点、中转节点和消费节点。生产节点是资源流动的起点,即资源产生的“摇篮”,强调资源供给对生产的影响,以能源矿场或能源生产基地为代表,履行能源资源生产的职能。中转节点是资源由生产地到消费地的承接点或交流点,是资源由“摇篮”进入“坟墓”的中间阶段,主要包括加工节点、转运节点以及储配节点三种节点类型,强调资源流动的服务功能,注重流动效率的提高与流动成本的节约。以煤炭资源为例(图1),加工节点以洗选煤厂、炼焦厂为代表;转运节点包括铁路货运站、编组站、沿海以及内河运煤港口、公路枢纽等;储配节点包括区域性大型煤炭储配基地、地区煤炭物流中心、煤炭配送中心等。其中,煤炭加工节点的中心职能是对资源的深加工,发挥着资源转化功能和价值增值功能。煤炭转运节点主要发挥着运输组织功能、中转换装功能、装卸储存功能、多式联运功能、信息功能和综合服务功能等^[15]。煤炭储配节点的基本职能则包括集货、存储以及配送等^[16]。在现实中,加工节点、转运

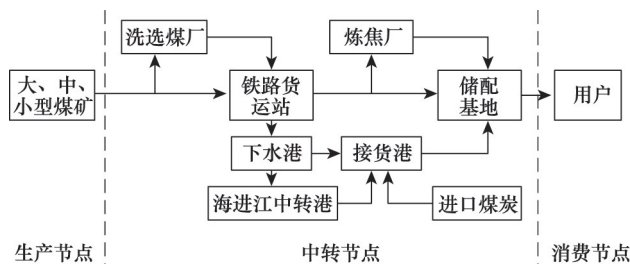


图1 中国煤炭资源流动节点划分

Figure 1 Coal resources flow node division

2018年7月

节点和储配节点的业务功能不仅仅局限于单一的职能领域,而是多功能的,相互融合的。如港口、铁路货运站以及洗选煤厂也兼具煤炭储配的功能,煤炭物流中心和配送中心也兼具煤炭产品的加工职能(不同品种煤炭的包装)和资源集疏的功能等等。消费节点即资源流动的目的地,即资源“坟墓”,注重用户需求对产品生产的影响,如火力发电厂、钢铁厂、水泥厂、化工厂、家庭等耗能单位,履行产品生产过程中资源利用的职能。

2.4 抽象节点的确定

在碳基能源资源流动节点研究中,理想状态是将研究中微观尺度的流动单元如资源矿场、资源中转站、能源消费企业等直接作为资源流动节点。然而,在现实的碳基能源资源流动节点分析中,对于节点流量、流向的研究,尤其是节点格局和流动节点网络的分析,往往由于能源资源流动账户的不够完善而难以进行,从而满足不了微观尺度流动节点研究数据的要求。目前,宏观空间尺度的碳基能源资源流动账户相对比较完善,如《中国能源统计年鉴》^[17]统计了全国省级单位能源生产、消费以及能源交流数据,基本可以满足省域尺度资源流动分析的要求。因此,已有碳基能源资源流动研究中,对于节点分析,尤其是节点格局和节点网络的分析通常采用一种比较折中的办法,即将资源流动所在区域视为内部均质化的抽象节点,以此考察资源流动的流量、流向等特征。

所谓抽象节点,其实质为内部均质化为一点的空间区域,是经济地理学分析中常用的研究范式,交通流^[18]、旅游流^[19]、贸易流^[15]、复杂网络理论^[10]、社会网络理论^[20]等研究中均普遍将县域、城市甚至省域、国家等空间单元抽象为内部均质化为一点的抽象节点来研究相关问题。在能源地理学以及资源流动领域,该研究范式也已普遍应用,如赵媛等将中国省级行政单元抽象为石油资源流动节点,研究了中国石油资源流动源—汇系统空间格局特征^[8]。刘立涛等基于复杂网络理论,将中国与世界其他国家之间的石油进出口流动抽象为由点与线构成的中国石油贸易网络,并通过构建石油资源供应安全模型,从而揭示中国石油资源供应安全演进特征及其主要影响因素^[21]。此外,数量众多的同类型节点

聚集于某一空间,如煤炭消费企业通常集聚于某经济中心之中,为增强研究的可操作性,同时把握宏观趋势,亦可将上述消费企业集聚区抽象为流动节点,并以所在地的平均中心作为其流动重心而落实在空间上^[4]。通常,抽象节点可根据区域能源流动的主要功能划分为输流节点、汇流节点和交流节点三种职能类型。下文以煤炭资源为例解析不同流动节点的职能与功能。

3 节点职能与功能分类

3.1 业务职能

能源资源流动过程是一个由多环节组成,多部门协调,发挥多种流动职能,实现资源生产到资源利用的流动体系。由此,能源资源流动过程也可外在表现为能源资源在产业链条上的移动过程。这一过程既存在着空间的位移,也存在着形态、功能的转化以及价值的增值。而每一环节所对应的产业部门或行业部门都有一定的单位实体作为承载,而这些单位实体就构成了能源资源流动链环中的节点。对于每一个单位实体,要保障整个资源流动的顺利进行,其首要任务就是履行自身在资源流动所对应环节的业务职能,发挥其在资源每一流动环节的功能,保障资源的有效利用和经济活动的顺利运行。

对于不同的流动节点,其业务职能有所不同。①生产节点和消费节点,其业务职能分别为资源生产功能和资源利用功能,其职能的发挥可保障资源的有效供给和资源需求的持续产生,进而形成所在节点的资源势,资源势差则催动资源流动过程的产生,而资源势差的动态变化则又导致资源流量和流向格局的不断演变。②中转节点业务职能的核心在于发挥保障资源流动顺利进行的服务功能,包括加工服务、运输服务和储配服务等。其中,转运节点其运输服务的开展,运输组织与管理职能的发挥是资源流动发生后的首要职能任务,通过不同运输方式的联运功能,由此保障煤炭资源在空间上的持续流动。储配节点的基本职能是对资源实施保管和控制。储配节点服务功能的发挥,会对节点周围地区能源资源形成集聚效应和扩散效应,表现为资源的流入和流出,并根据市场运行规律平衡供需流量。加工节点主要起到调节资源生产与消费在不同资源品种上供需关系的作用。在资源流动过程

中,不只存在资源生产直接到资源消费这一最为简单的流动模式,而资源生产到资源加工再到资源消费则是更为普遍的流动模式。资源加工过程实现了原态资源到特定功能资源产品的转化过程,进而满足特定经济活动的需求^[22]。加工节点职能的发挥使得资源在横向流动的同时,也发生着资源的纵向流动,即资源在加工节点实现了纵横向流动的耦合。

3.2 流动体系效能

资源空间流动是由节点和通道组成的运动链条,节点各司其职,相互联系。在这一运动链条上,节点资源承接与衔接功能、资源汇流与分流功能以及资源信息与管理功能的发挥,可有效保障资源流动的顺畅以及资源流动的网络化发展。①承接与衔接功能。即以资源为纽带,以节点技术、管理为支撑,实现节点之间在资源贸易上的互联互通,由此联结成一个系统,保障资源的顺畅流动。节点的联结使资源在节点与节点之间,节点与通道之间,通道与通道之间互为贯通。尤其是不同运输方式节点之间的资源衔接关系、干线流动与支线流动的衔接关系以及通过储存均衡不同时间的供应流和需求流的衔接关系更为关键,其能否顺畅衔接关系到整个资源流动体系运转的效率水平。②信息与管理功能。资源流动系统中的每一个节点都是一个信息点,节点是连接通道的枢纽,各方面的信息都在节点流进流出。因此,节点是整个资源流动系统信息传递、收集、处理、发送的集中地^[23]。由节点构成的资源流动信息网络是资源流动系统建立的前提条件。同时,资源流动系统的管理功能和指挥功能往往集中于流动节点内,实际上,节点大都是集管理、指挥、调度、信息、衔接及货物处理为一体的资源流动综合服务中心。其功能的发挥体现了资源流动系统运行的效率和水平。因此,信息与管理功能使节点成为资源流动系统的神经枢纽。

3.3 社会经济溢出功能

能源资源空间流动过程是一个完整的链环体系。体系中的链既包括由节点和通道组成的运动链,也包含履行不同节点职能,由部门实体单位所组成的产业链,即以资源为纽带而形成上下游联系的产业链条^[24]。由此,能源资源流动过程也是其产业链条形成和发展的过程。所以,节点职能的发挥

首先促进节点所在地区能源产业和相关产业部门的发展。在产业链的上游所在地,即生产节点及其附近地区,凭借其能源资源禀赋优势,对资源相对匮乏地区形成资源势差,由此造成资源产地能源产量的扩张,从而促进资源产地能源开采、能源加工以及能源运输等工业部门、服务部门的发展。同时,能源生产地向消费地调运资源,是资源空间优化配置的经济过程,必将有效弥补资源消费地能源禀赋不足造成的发展劣势,从而促进能源消费地产业经济发展。其次,节点产业发展还具有显著的产业集聚和产业联动等经济溢出功能。一般而言,履行资源流动职能的部门单位往往选择地理条件优越的区位进行布局,由此,由区位指向及其他集聚因子导致同类型企业或相关企业在节点所在地聚集,而产业集聚进一步吸引相关资源的流入,进而加强此产业集聚效应。同时,产业的快速发展必然会对节点所在地经济发展产生联动作用,促进关联产业和基础产业的发展和升级。再次,能源流动部分节点还具有保障经济安全的作用。如储配节点履行着资源存储和配送的职责,在这一过程中,储配节点通过对存储规模和存储时间的调整,从而形成资源供给与消费之差,即形成一定的隐藏流,由此保障区域煤炭资源供需的顺畅,并防范由市场或人为因素造成的资源供需失衡所带来的不稳定因素。最后,能源消费节点对于清洁能源利用比例的提高(如天然气资源),而造成的资源由产地向消费地的流动,也显著提高了消费节点所在地区的生态效益。

3.4 抽象节点职能与功能划分

通常,在碳基能源资源流动研究中,一般流动类型节点的流动职能和功能较为明确,如煤矿履行煤炭生产的职能、火力发电厂履行煤炭消费的职能、铁路货运站履行煤炭转运的职能等。然而,碳基能源资源流动研究中,抽象节点的流动类型和流动职能需按照一定指标进行划分才能进行职能分类,这也是对碳基能源资源流动节点进一步分析的前提^[25]。资源在不同区域间的流动过程中,各节点所承担的主要流动职能或发挥的流动功能有所区别。通常,资源产消盈余区域向外部输出资源称为资源输流地,资源产消亏损的区域从区外进口资源为资源汇流地,有些区域既是资源输流地又是资源

2018年7月

汇流地,这样的区域称为资源交流地。因此,在能源流动过程中,可将各流动节点简单的划分为单向输流节点、单向汇流节点和双向交流节点三种流动节点类型,分别发挥着能源输出、能源输入和能源交流的功能。因区域资源禀赋、能源消费格局以及区域空间位置等诸多因素的影响,某一区域往往履行着资源流动过程中的某一主要流动职能。一般,学者们引入“自给率”和“流动比率”这两个指标来界定某一区域的主要流动职能^[11]。区域能源资源自给率即生产量与消费需求量的比值,主要用来初步分析区域能源生产、消费和流动特征,测度区域能源资源的流动倾向。“流动比率”,即能源资源流出量与流入量的比值,可进一步量化各节点能源资源流动倾向的大小。如2015年广东煤炭自给率为0,流动比率为0.107,属于资源净补给型,为汇流中心节点,主要承担资源输入的职能;安徽煤炭自给率为85.533%,流动比率为0.619,属于资源基本自给型,为交流中心节点,主要承担资源交流的职能;山西煤炭自给率为260.487%,流动比率为12.694,属于资源净支出型,为输流中心节点,主要承担资源输出的职能。在对抽象节点职能划分的基础上,即可研究分析节点流动属性、节点交流关系和节点流动格局等相关内容。

4 不同类型节点研究视角与研究内容

4.1 节点功能分析

4.1.1 物流学和交通地理学

物流学和交通地理学视角研究能源物流若干基本功能,如储存、转运、装卸和流通加工等,节点分析注重节点本身的供需状况与未来预测、节点技术工艺以及节点物流设施的完善等方面,主要目的在于提高节点上能源设施利用率、能源流通效率或能源物流效率,保障能源流通顺畅和安全。分析主要以中转节点为主,研究方法复杂多样。如对于转运节点的分析,刘宗熹针对港口电煤物流节点,通过建立供需平衡模型以确定节点总体能力规模,并利用层次分析法确定单个节点的能力规模^[26]。李玲运用预测模型、不确定性分析等方法将曹妃甸港区煤炭码头的下水量进行需求预测分析,并与煤炭码头的通过能力作对比,得出曹妃甸港区煤炭物流的发展策略^[27]。对于储配节点的分析,邵雅静通过分

析海运煤库存系统的构成和特点,提出了通过确定高峰期库存量的方法来确定港口库存规模的思想,并建立了基于策略的库存规模模型^[28]。李娜运用串联排队网络理论对宜昌港枝城码头配煤中心生产作业系统进行建模和witness仿真试验,得到宜昌港枝城码头配煤中心成品煤堆场最佳最低库存量和整个装卸工艺的瓶颈及其改进策略^[29]。对于加工节点的分析,刘凤等阐述了一种基于PLC的洗煤厂集中自动化控制系统的组成结构、硬件构成及实现方法,并论述了PLC在本自动化控制系统中的应用及通信方式的实现^[30]。张金山等针对内蒙古某炼焦煤洗煤厂生产系统不完善、设备陈旧落后、工艺系统存在漏洞的问题,对其工艺流程进行了科学规划,并对设备选型提出科学改造方案^[31]。

4.1.2 产业生态学和工业生态学

产业生态学或工业生态学中以能源流动节点中的资源加工、资源利用和资源循环分析为主。主要研究方法包括物质流分析、生命周期分析、工业代谢分析、碳排放与碳足迹以及投入产出分析等,研究多以生产节点和消费节点分析为主。对于生产节点的分析,如王晓琳等运用碳足迹的分析方法和基于生命周期的过程分析法,以盘江集团为例,对煤炭矿区的碳排放源的构成进行了分析^[32]。刘静静等以煤炭企业为研究对象,以煤电产业链为主线,应用全生命周期分析方法,建立了煤炭企业的碳排放测算模型^[33]。安英莉等提出煤炭全生命周期阶段的划分和煤炭生命周期系统清单,基于煤炭全生命周期的5个阶段对徐州地区煤炭环境行为进行了评述^[34]。对于消费节点的分析,如边静虹等选取某典型煤化工企业,采用物料平衡方法核算了该企业硫代谢通量,探讨了其代谢特征^[35]。智静等基于物质流分析框架,以宁东能源(煤)化工基地为案例,构建资源代谢分析指标体系,深入分析基地内不同行业物质代谢规模、效率以及污染结构^[36,37]。田玉前等针对武钢炼铁系统建立多级能源投入产出模型,通过该模型计算焦炭、烧结矿及铁水的能值与能耗^[38]。

4.1.3 资源科学

资源科学主要从资源地理学和资源生态学视角出发,以流动节点能源输出和输入的社会经济溢

出功能为主要研究主题。相关研究尤其对其经济效应、资源效率和生态效应的分析更为关注,研究多以区域研究为主,即以抽象节点为主要研究对象。研究方法多采用定性分析、经济学模型和产业生态学分析方法等,如向量自回归模型、物质流分析、工业代谢分析等。如王宜强等采用向量自回归模型解析了内蒙古煤炭资源流动与其宏观经济发展的相互作用关系^[39]。姜巍等采用资源诅咒系数分析得出煤炭输流节点省份经济发展与煤炭资源开发密切相关,同时又受到资源的“诅咒”的结论^[40]。倪永强通过对资源输流节点与汇流节点之间的能源流量与流向的分析,阐述了能源流动产生的经济与生态效应^[41]。徐增让定性分析了能源开采与消费对输流节点和汇流节点的环境影响^[42]。徐增让等运用物质流分析对山西、山东、辽宁三个节点省份的能源流进行核算,从资源自给率、耗煤产业结构环境影响等方面分析了煤炭流动的资源效率和环境效应^[43]。此外,企业(生产节点、消费节点或加工节点)能源利用效率以及企业发展与所在地区的关系也是研究的重要方面。如王越等运用工业代谢分析方法对某农药化学工业园能源代谢系统进行量化分析^[44]。孙晓惠通过运用煤矿生态产业链网的主要节点(煤炭开采、电厂和煤化工)理论,深入分析煤矿企业与地方经济的协同发展模式^[45]。此外,资源系统中,节点组成以及节点之间的资源流动共同决定了资源网络的稳定性。由此,如何辨识资源节点对网络稳定性贡献成为该领域的研究重点。已有研究主要体现在资源流动的网络分析或可达性分析之中,如通过测度各个流动节点连接度、整个流动网络的平均连接度以及各流动节点连接度与网络平均连接度的比值,来衡量各流动节点对网络发展的相对重要性。同时,通过考察某些关键节点这一比值的发展变化,来揭示其在整个网络发展中相对贡献的变化。如嵇昊威等基于铁路运输网中的节点,采用连接性指标考察了各流动节点在整个流动网络中的相对重要性^[46]。

4.2 节点系统分析

经济地理学和交通地理学是节点系统分析的主要研究视角,研究内容主要包括节点系统的统计分布规律和空间分布规律。研究中,一般将所有节

点简单的划分为两种流动类型,即将所有有资源输出的区域列为输流节点,所有有资源输入的区域列为汇流节点,分别组成资源流动的源地系统和汇地系统。一般不考虑同一类型内部节点之间相互关系,而是通过依附于节点之上的流量以及节点的空间位置直接考察节点系统内部的统计分布特征或空间分布特征。应用较为成熟的相关研究方法有首位度和集中度分析、赫芬达尔-赫希曼指数(HHI指数)、基于分形理论的位序-规模分布法则以及探索性数据分析方法(ESDA)等。研究以抽象节点为主,也包括以能源运输港口为代表的中转节点等。

4.2.1 节点系统等级结构

首位度和集中度分析方法是节点整体分布特征进行统计描述的重要手段,该方法常与节点的等级层次结构分析相结合,从而进一步考察区域碳基能源流组织结构,如成升魁等采用首位度分析方法,通过计算比较煤炭源地和汇地调出、调入首位度等统计量,得出中国煤炭源地和汇地内部的等级结构,并分析得出省际间煤炭流动呈现集中输流,分散汇流的空间特征^[5]。HHI指数可以揭示节点系统的集聚或扩散特征,进而探析节点体系结构调整的宏观脉络。如王伟等以环渤海港口作为研究对象,采用HHI指数识别港口集聚或扩散的特征以及港口体系结构演变规律^[47]。节点间的组织结构及其相互联结关系强烈依赖于节点自身的分布,目前有两种形态的节点分布比较常见,一种是服从泊松分布的随机网络,一种是遵循齐夫法则呈现幂律分布的无标度网络^[9]。然而,在中国主要的能源消费品种中,煤炭和石油资源流动节点的分布既不是泊松分布,也不是幂律分布,而是呈现典型的位序-规模特征,而且位序-规模的强度特征越来越显著。如赵媛等和刘文字等分别研究了中国原油和煤炭资源源地系统和汇地系统的位序-规模分布的变化特征^[7,48]。

4.2.2 节点系统空间结构

在节点的空间分布与状态分析中,地理数据符号化是最为简便的研究方法或手段,即通过对原始数据进行聚类处理再辅以专题地图的表现方法来直观反映节点属性的分布特征,如成升魁等对“一五”至“十五”各省区的煤炭流动地域类型进行了判别,绘制出输流区、汇流区和交流区分布图,并以此

2018年7月

研究中国煤炭资源区域流动的时空过程^[5]。王伟等以中国沿海港口为研究对象,采用地理数据符号化方法刻画了1973—2013年中国沿海港口煤炭运输的空间分异格局及演化^[49]。

探索性空间数据分析能够深度剖析事物的地理空间意义,揭示非典型空间位置,发现不同的空间关联模式,提出不同的空间结构及空间不稳定性特征,目前已广泛应用于社会经济活动与现象的研究中。探索性空间数据分析研究方法中,重心模型^[50]、标准距离和标准差椭圆^[51]、空间聚类分析^[52-54]等是几个比较成熟的研究方法,在碳基能源流抽象节点研究中也已有应用。如赵媛等将中国省级行政单元抽象为原油资源流动节点,分别利用重心模型和标准差椭圆分析源地系统和汇地系统空间分布格局的集中与离散趋势,得出中国原油资源流动源汇系统空间格局的位移和形变特征^[8]。

目前,在节点系统研究中,所采用的研究方法主要用于揭示节点体系的时间演变特征或空间演化特征。但研究中所采用的经典数理统计方法和ESDA方法要么忽略了空间关联特征,要么忽视了时间维度分析,研究仅仅聚焦于截面数据,很大程度上忽视了节点系统空间格局的时间维度变化。因此,整合时间与空间要素,利用时空耦合的方法研究节点流量的空间关系、格局、变迁及机制具有重要意义。探索性时空数据分析(ESTDA)可为以上研究内容提供方法保障,研究方法包括LISA时间路径、LISA转移概率矩阵和LISA时空跃迁等,目前,该方法已应用于旅游经济空间格局以及县域经济空间格局研究中^[55,56]。通过资源流动节点的属性值及其空间滞后随时间的成对移动,LISA时间路径可以测度Moran's I散点图中LISA坐标的稳定性水平,以揭示节点系统中各节点流量在区域范围内的时空协同变化以及确定局部空间差异和资源流动的时空动态性。LISA转移概率矩阵和LISA时空跃迁则能够揭示节点系统内节点流量局部空间结构的稳定性特征。

4.2.3 节点系统类型解析

能源资源空间流动是实现资源时空配置的过程,受区域能源资源丰度、能源工业发展水平、能源流动条件等多种要素的影响。根据各节点在能源

资源空间流动过程中所承担的职能可大体将能源流空间划分为源地系统、汇地系统和源汇复合系统。基于不同的流动职能系统,可通过分析系统内影响各节点资源流动主导要素的组合关系来划分职能系统内各节点的地域类型,相关研究方法包括威弗组合指数(Weaver-Thomas, WT)和阿隆索模型(W. Alons)。如赵媛等、王宜强等采用威弗组合指数分别对中国石油和煤炭源地、汇地系统进行了不同发展类型的划分^[57,58];赵媛等以阿隆索模型为基础,构建区域石油资源流动机制模型,以此对三大流动系统内部节点的流动类型予以划分^[59]。

4.3 节点关系网络分析

4.3.1 节点矢量网络

在节点关系研究中,节点之间通过资源流入和流出而构成的具有方向性的矢量网络分析是较为关注的重点内容。能源在空间上的流动具有方向性和矢量特征,这是由节点的空间位置以及流量的规模决定的,它反映了节点之间的交流关系和联系强度。而众多流动节点通过流量属性相互联系成矢量网络,并形成一定的组织结构,由此可规定能源流动网络中的流动特征。定性分析、复杂网络分析、社会网络分析是较为常用的相关研究方法。已有研究多以较大尺度的区域节点(抽象节点)为研究对象,以考察区域或国家间能源流动或贸易网络结构特征。节点矢量网络结构分析以复杂网络理论或社会网络理论为基础,分析指标主要包括网络密度和互惠性、中心性、异质性或均质性、混合性以及模体分析等。利用以上指标,学者们对世界和中国煤炭、石油、天然气等能源资源流动或贸易的网络结构进行了分析。如姜巍等利用图论定义,将煤炭流通网络抽象描述为一个由各个省为节点所组成的点集和边集构成的连通图,用来测量中国煤炭资源流通网络的顶点度分布、集聚度等指标特征^[9]。马远等利用复杂网络分析方法对“一带一路”沿线国家天然气贸易网络结构特征、微观模式及其影响因素进行分析^[60]。刘建采用社会网络方法分析了国际原油贸易网络的网络密度、中心性及核心节点等指标^[20]。

此外,节点矢量的优化分析以及节点流动矢量的区域系统所形成的流场分析亦是节点关系研究的关注点。如张华等在对中铁路省际煤炭调运

格局进行分析的基础上,构建了铁路省际煤炭调运的优化模型,并对各供给地和需求地的铁路煤炭调配规模和方向进行了重新分配^[61]。王成金等通过城市煤炭资源流O-D矩阵,分析了中国煤炭流场的空间特征,并界定主要集散场及等级体系^[62]。赵媛等以主要源地为标准,根据其流量和流向属性,借助资源位势梯度力将中国石油流动划分为北部、西北、华东和华南四大流场^[11]。

4.3.2 节点物流网络

能源资源从供给节点开始,沿着生产加工各个环节向需求节点移动。每个环节都存在“需求方”和“供给方”的节点对关系,由此形成一条首尾相连的供应链。由拓扑结构可以看出,供应链是一个由企业实体节点或场所节点构成的网络,涉及到生产节点、中转节点和消费节点等整个节点系统,供应链中的企业共同负责能源产品的采购、生产、加工并最终将产品送达顾客等各项活动。能源供应链中存在着三种流,即物流、资金流和信息流。其中,物流由上至下流动,资金流则由下至上流动,而信息流则是双向流动,三种要素流贯穿了节点企业的全部活动。如以矿业集团(包括原煤开采、原煤运输、精煤生产、煤炭销售等)作为原煤及精煤生产商,再通过产品运输环节到达用户,形成以物流为主线,包括信息流及资金流的输入输出关系的煤炭供应链框架(图2)。在能源供应链中,节点是能源

物流业务运作过程中的关键要素,决定了能源输出和输入规模、输出方向、输出距离、输出效率以及发挥能源物流信息处理和物流业务管理的作用。因此,如何有效衔接各物流节点之间的业务关系,提高物流速率,降低物流成本成为物流网络节点关系研究的中心任务。

节点供应链结构、节点配送系统以及节点供应链联盟等是能源物流网络研究中节点关系分析的重点内容。节点供应链结构研究的重点是链中实体节点之间的信息共享与交互、优化决策问题、利益分配问题。如彭晨等提出供应链开放式功能体系结构,并进行了煤炭供应链的优化设计,建立了基于决策中心、实施中心、协调中心的煤炭供应链开放式整体结构模型^[63]。节点配送系统研究主要关注基于储配节点与需求节点供需关系的物流配送优化模型分析。如吕军以“总体配送费用最小”为目标,建立基于遗传算法的多物流中心的成品油物流配送优化模型^[64]。节点供应链联盟,即由供应链上一些相互独立的实体企业(物流节点)或企业内部业务相对独立的部门组成的物流联盟体系,每个节点企业在其优势领域(如制造、分销等)贡献自己的核心业务能力,实现优势互补、风险共担和利益共享。如陈建生等提出了煤炭企业实现物流供应链战略联盟的具体形式,包括煤炭企业-供应商联盟和煤炭企业-用户联盟^[65]。

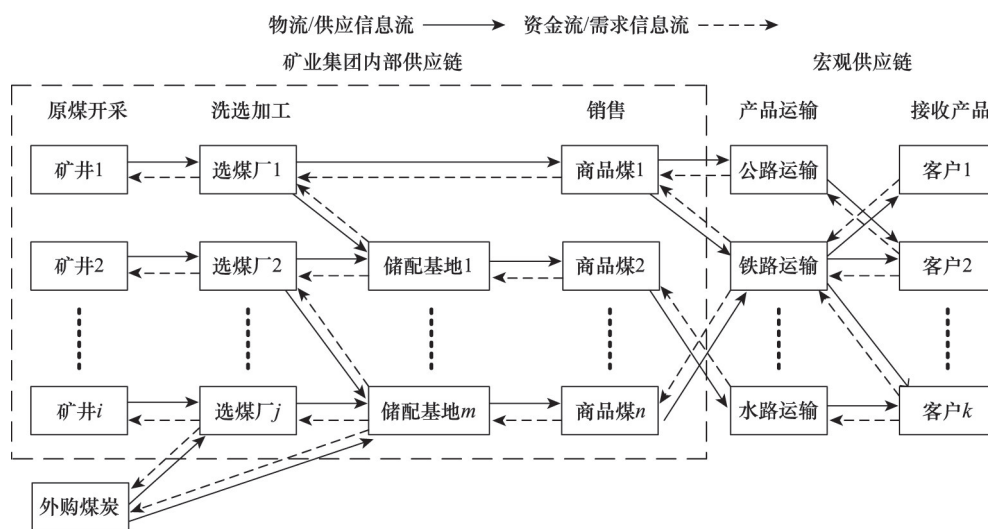


图2 煤炭物流网络节点系统构成和流行为

Figure 2 Coal logistics network node system constitutes and flow behavior

2018年7月

4.3.3 节点通道网络

节点通道网络研究中,主要以交通地理学、交通运输学的视角进行展开,主要涉及生产节点、转运节点和消费节点之间的能源交流关系。通道是能源资源流动的载体,起到联结各个流动节点的作用,其依托节点存在,是节点的延伸。由能源流动节点和通道构成的流动网络中,通道的布局与发展亦时刻影响节点之间的流动关系,可表现在以下几个方面:

(1)不同运输方式的能源流动通过能力有一定的约束性,也存在流动成本的差异,通道运能限制了资源流动的强度,即节点之间的交流强度。如嵇昊威等估算了长三角高速铁路网形成前后江苏省主要铁路运煤线路的运输能力,结果表明在长三角高速铁路建设之前,江苏铁路运煤线路受多种因素制约,煤炭运输压力巨大;随着长三角高铁建设的不断推进,一些铁路运煤线路运能得到释放,由此可有效提高铁路运煤徐州节点与沿江地区各消费节点的交流能力^[66]。

(2)通道建设布局改变了节点流量和流向,并催生新的节点关系的产生,进而影响节点资源交流格局的演变。如柯晓阳等以蒙西至华中地区铁路煤运通道建设为背景,认为新通道将改变华中地区的能源结构和布局,同时影响地区煤炭储配基地和消费企业的发展格局^[67]。蒋惠园等分析蒙西新能源通道建成后对长江重要煤炭港口中转能力、建设以及港口地位造成深远影响,同时也导致了长江煤炭运量和运输方向的变化^[68]。

(3)多式联运使生产节点与需求节点之间的资源交流关系得以实现,转运节点及其衔接功能研究更加受到重视。如刘雷针对煤源、下海港及运输径路,统筹研究蒙东地区煤炭下海需求及铁路通道的合理布局,由此突出了锦州、曹妃甸、绥中等煤炭下海港在蒙东煤炭铁水联运系统的转运节点作用^[69]。赵媛等在分析中国铁路、公路、水路和管道流输通道现状和问题的基础上,提出大力提高水路煤炭运输能力,加快沿海煤炭接卸港的建设,更新长江煤运通道,扩大江海联运的建议^[70]。

(4)流动通道的优化布局(通道的网络密度、连通性和通达性)增加了节点之间的交流机会和交流

规模,降低了流动成本,提高了其流动效率。如杨足膺等运用分形理论研究了中国及各区域原油管网,指出由于全国管网的节点没有全部位于主干管道上,要通过支线管道输送至主干管道,再通过主干管道进行输送,以及东部管网、西部管网及华南管网间还没有管道连通,阻碍了全国原油管网通达能力的提高,进而影响了不同区域节点间原油的流动规模和流动效率^[12]。

(5)节点与通道的运能、空间位置的约束性决定了能源流动网络的结构特征和格局特征。如嵇昊威等基于铁路运输网中的节点(编组站和煤炭下水港口),采用空间距离、时间距离和连接性等指标对煤炭铁路运输网络可达性空间格局进行了研究^[46]。

5 研究述评与展望

节点分析是碳基能源资源流动研究的重要内容,对于探析资源流动的结构模式、空间模式、区域模式以及流动属性、能量转换、功能转变、价值增值和生态效应具有重要意义。通过本文的梳理,得出以下研究认识:

(1)不同研究视角中,节点对象类型的选择不完全相同。根据已有研究学科的性质,可以将节点类型的确定归结为产业领域和区域系统两种划分视角。产业领域以国民经济各行业为依据,以生产到消费这一资源生命周期的上下游行业相互联系的企业为依托,划分碳基能源资源流动的行业节点体系,如物流学对于物流节点的研究和产业生态学对于企业节点能源资源利用的研究等。区域系统则是以碳基能源在空间上的优化配置为依据,以不同区域能源流动矢量或交流关系为基础,划分碳基能源资源流动的区域节点体系,如资源科学对于不同区域或城市能源交流的研究等。由此,以产业为依据的节点的确定,其节点功能和职能具有行业运行的特点,而以区域为依据的节点的确定,其节点功能则具有抽象的流动职能特征。

(2)节点研究具有较宽广的研究视角,且不同学科节点研究的关注点具有较大的差异性。目前,碳基能源资源流动节点研究分散在多个学科、不同研究方向之中,因此研究具有多视角、多学科的特点,如资源科学、物流学、生态学等。其中,资源科学主要从空间结构的角度考察节点系统的空间格

局、从组织结构的角度考察节点系统的等级体系、从要素结构的角度考察节点系统的类型特征以及从复杂网络结构的角度考察节点矢量的联结特征等。物流学主要从物流装备、管理系统和信息系统建设方面考察物流节点的服务功能、从物流产业链业务发展方面考察物流节点之间的衔接关系和结构特征等。生态学则主要从能源利用的角度,考察资源循环、资源利用效率等。由此可知,碳基能源资源流动节点研究具有鲜明的学科特征,资源科学和物流学是节点研究的主要学科研究视角。

(3)碳基能源资源流动节点分析还存在多方面的研究不足,许多方面有待于进一步深入和拓展。如不同类型节点发展布局的着重点有何差异?节点流动效率如何评价、比较以及空间格局如何?物流产业链条中节点关系如何进行有效衔接?节点发展与布局如何推动能源流动网络的优化?节点竞争关系如何影响其服务范围,并对资源流动体系节点关系造成怎么的影响,其作用机制如何?在资源流场区划中,节点布局与组织结构对其划分有何影响?不同运输方式的节点通道网络研究,其研究内容和研究方法是否具有适应性等等。以上研究内容的开展和解决有利于更加深入地认识碳基能源资源流动节点要素的理论内涵。

碳基能源资源流动解析中节点要素的分析最为基础,因此取得的成果也相对较为丰富。以已有研究成果为基础,综合现有研究内容致力于该领域研究思路的梳理。但因研究方法众多,本文在方法的解析与应用方面,并未面面俱到。同时,对碳基能源资源流动不同类型节点的研究内容和研究方法仅仅基于当前该领域的研究现状。然而,研究内容和方法是一个随时间不断发展变化的动态结构,这就要求今后的研究必须不断紧跟该学科发展的脉络与方向。此外,目前多学科的研究现状,导致基于本学科研究思想的实证研究往往各成一家,而缺乏对节点要素研究思想和理论的整合,是今后需要解决的一个现实科学问题。

参考文献(References):

- [1] 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.]
- [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] 成升魁, 甄霖. 资源流动研究的理论框架与决策应用[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 37-44. [Cheng S K, Zhen L. Resource flow: theoretical framework and application for decision making[J]. *Resources Science*, 2007, 29(3): 37-44.]
- [4] 郝丽莎, 赵媛. 石油资源流动空间结构的要素解析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1817-1826. [Hao L S, Zhao Y. Elemental analysis for the spatial structure of oil horizontal flow[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(10): 1817-1826.]
- [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. [Cheng S K, Xu Z R, Shen L. Spatial-temporal process and driving force of interprovincial coal flowing in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 603-612.]
- [6] 赵冰, 王诺. 21世纪初期世界石油流动的空间格局与流场特征研究[J]. 经济地理, 2010, 30(6): 886-892. [Zhao B, Wang N. The spatial structure of the world's oil flow and its flow field characteristics in the beginning of 21st century[J]. *Economic Geography*, 2010, 30(6): 886-892.]
- [7] 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. [Zhao Y, Niu H L, Yang Z Y. Study on the rank-size distribution and variation of crude oil flow in China[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(12): 2-12.]
- [8] 赵媛, 杨足膺, 郝丽莎, 等. 中国石油资源流动源—汇系统空间格局特征[J]. 地理学报, 2012, 67(4): 455-466. [Zhao Y, Yang Z Y, Hao L S, et al. The evolution of spatial displacement pattern of China's crude oil flow source-sink system[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(4): 455-466.]
- [9] 姜巍, 高卫东, 张敏. 中国煤炭资源铁路流通网络结构特征及其演变[J]. 经济地理, 2013, 33(1): 98-104. [Jiang W, Gao W D, Zhang M. China coal resource railway circulation network's structural characteristic and evolvement[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(1): 98-104.]
- [10] 程淑佳, 王肇钧. 复杂网络理论下世界原油贸易空间格局演进研究[J]. 地理科学, 2011, 31(11): 1342-1348. [Cheng S J, Wang Z J. Evolution of spatial pattern of world crude oil trade based on complicated network theory[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(11): 1342-1348.]
- [11] 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. [Zhao Y, Hao L S. The spatial structure of crude oil flow and the characteristic of its flow field in China[J]. *Geographical Research*, 2006, 25(5): 753-764.]

2018年7月

- [12] 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. [Yang Z Y, Zhao Y. Research on structure of China's crude oil pipeline networks based upon fractal theory[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(5): 820–831.]
- [13] Haggett P, Cliff A D, Frey A. Locational Analysis in Human Geography [M]. London: Edward Arnold, 1977.
- [14] 张新林, 赵媛. 基于空间视角的资源流动内涵与构成要素的思考[J]. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1611–1623. [Zhang X L, Zhao Y. Rethinking of connotation and constituent elements of resources flow based on spatial perspective[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(10): 1611–1623.]
- [15] 邱黎明. 煤炭物流网络服务节点选择研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2013. [Qiu L M. The Research on Coal Logistics Network Service Nodes Selection[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013.]
- [16] 姚城. 物流配送中心规划与运作管理[M]. 广州: 广东经济出版社, 2004. [Yao C. Planning and Operation Management of Logistics Distribution Center[M]. Guangzhou: Guangdong Economy Press, 2004.]
- [17] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017. [Energy Statistics Department of the National Bureau of Statistics. China Energy Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.]
- [18] 王成金. 城际交通流空间流场的甄别方法及实证—以中国铁路客流为例[J]. 地理研究, 2009, 28(6): 1464–1475. [Wang C J. Research method of inter-urban traffic flow fields: a case study of railway passenger flow in China[J]. *Geographical Research*, 2009, 28(6): 1464–1475.]
- [19] 张佑印, 顾静, 马耀峰. 旅游流研究的进展、评价与展望[J]. 旅游学刊, 2013, 28(6): 38–46. [Zhang Y Y, Gu J, Ma Y F. Tourist flow: research progress, evaluation and outlook[J]. *Tourism Tribune*, 2013, 28(6): 38–46.]
- [20] 刘建. 基于社会网络的国际原油贸易格局演化研究[J]. 国际贸易问题, 2013, (12): 48–57. [Liu J. Research on international crude oil trade pattern based on social network theory[J]. *Journal of International Trade*, 2013, (12): 48–57.]
- [21] 刘立涛, 沈镭, 刘晓洁, 等. 基于复杂网络理论的中国石油流动格局及供应安全分析[J]. 资源科学, 2017, 39(8): 1431–1443. [Liu L T, Shen L, Liu X J, et al. Spatial-temporal features of China's oil trade network and supply security simulation[J]. *Resources Science*, 2017, 39(8): 1431–1443.]
- [22] 苑蓓, 赵媛, 郝丽莎. 石油资源纵向流动的环境效应分析—以某大型石油炼化企业为例[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2013, 13(1): 78–85. [Yuan B, Zhao Y, Hao L S. Analysis on the environment effects of oil resources vertical flow—taking a large petrochemical enterprise as an example[J]. *Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology Edition)*, 2013, 13(1): 78–85.]
- [23] 李万秋. 物流中心运作与管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003. [Li W Q. Logistic Centre Operation and Management[M]. Beijing: Tsinghua Press, 2003.]
- [24] 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, 21(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, 21(2): 199–200.]
- [25] 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. [Wang Y Q, Zhao Y, Hao L S. Perspectives, main contents and future research of energy resources flow[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(9): 1613–1625.]
- [26] 刘宗熹. 电煤物流网络中港口物流节点规模的确定[D]. 北京: 北京交通大学, 2012. [Liu Z X. Determination of the Node Size of the Port Logistics in the Coal Logistics Network[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.]
- [27] 李玲. 曹妃甸港区煤炭码头物流发展策略与方案设计[D]. 天津: 河北工业大学, 2013. [Li L. Development Strategy and Scheme Design of Coal Terminal Logistics in Caofeidian Port Area [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2013.]
- [28] 邵雅静. 港口海运电煤库存规模研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2013. [Shao Y J. Study on the Scale of Coal Inventory in Port[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2013.]
- [29] 李娜. 现代内河电煤码头物流系统建模与分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008. [Li N. Modeling and Analysis of Logistics System of Modern Inland River Coal Terminal Depot[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.]
- [30] 刘凤, 卜新华, 王静. 洗煤厂集中自动化控制系统设计[J]. 煤矿机械, 2013, 34(6): 255–256. [Liu F, Bu X H, Wang J. Automatic control system design of coal washery [J]. *Coal Mine Machinery*, 2013, 34(6): 255–256.]
- [31] 张金山, 李现龙, 张弘强, 等. 内蒙古某洗煤厂工艺流程改造的研究[J]. 煤炭技术, 2015, 34(3): 273–275. [Zhang J S, Li X L, Zhang H Q, et al. Study on reform of Inner Mongolia coal cleaning plant processing[J]. *Coal Technology*, 2015, 34(3): 273–275.]
- [32] 王晓琳, 姬长生, 张振芳, 等. 基于碳足迹的煤炭矿区碳排放源构成分析[J]. 煤矿安全, 2012, (4): 169–172. [Wang X L, Ji C S, Zhang Z F, et al. Analysis on the composition of carbon emission sources in coal mining areas based on carbon footprint[J]. *Safety in Coal Mines*, 2012, (4): 169–172.]
- [33] 刘静静, 王传生. 煤炭企业的碳排放测算及评价[J]. 煤矿开采, 2013, 18(6): 99–102. [Liu J J, Wang C S. Carbon emission calculation and evaluation of coal enterprise[J]. *Coal Mining Technology*, 2013, 18(6): 99–102.]

- [34] 安英莉,戴文婷,卞正富,等.煤炭全生命周期阶段划分及其环境行为评价—以徐州地区为例[J].中国矿业大学学报,2016,45(2):293–300. [An Y L, Dai W T, Bian Z F, et al. Phase division of whole life cycle of coal and their environment behavior assessment [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2016, 45(2): 293–300.]
- [35] 边静虹,白宏涛,李文超,等.典型煤化工企业硫代谢特征及其质量平衡[J].环境科学学报,2017,37(7):2805–2813. [Bian J H, Bai H T, Li W C, et al. Characteristics of sulfur metabolism and mass balance of a typical coal chemical enterprise [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2017, 37(7): 2805–2813.]
- [36] 智静,乔琦,傅泽强.干旱地区工业系统资源代谢水平分析—以宁东能源煤化工基地为例[J].干旱区地理,2015,38(1):155–162. [Zhi J, Qiao Q, Fu Z Q. Resources metabolism analysis for the Ningdong energy(coal) chemical base in Ningxia Province, China[J]. *Arid Land Geography*, 2015, 38(1): 155–162.]
- [37] 智静,傅泽强,陈燕.宁东能源(煤)化工基地物质流分析[J].干旱区资源与环境,2012,26(9):137–142. [Zhi J, Fu Z Q, Chen Y. Analysis of material metabolism for coal chemical industry base—a case of Ningdong[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(9): 137–142.]
- [38] 田玉前,戴方钦,周章华,等.基于投入产出模型的武钢炼铁系统能耗与节能潜力分析[J].武汉科技大学学报,2015,38(6):424–430. [Tian Y Q, Dai F Q, Zhou Z H, et al. Analysis of energy consumption and energy-saving potential of WISCO ironmaking system based on input-output model[J]. *Journal of Wuhan University of Science and Technology*, 2015, 38(6): 424–430.]
- [39] 王宜强,赵媛.区域煤炭资源流动及其宏观经济效应初探—以内蒙古为例[J].干旱区地理,2015,38(1):163–172. [Wang Y Q, Zhao Y. Regional coal resources flow and its macroeconomic effects: a case of Inner Mongolia[J]. *Arid Land Geography*, 2015, 38(1): 163–172.]
- [40] 姜巍,高卫东.中国煤炭资源供应的时空格局演变及区域经济效益分析[J].经济地理,2011,31(12):2054–2059. [Jiang W, Gao W D. The time-spatial pattern change and regional benefit analysis of china coal resource supply[J]. *Economic Geography*, 2011, 31(12): 2054–2059.]
- [41] 倪永强.资源富集区与贫乏区之间能源流动的经济效应[J].经营与管理,2012,(9):77–79. [Mi Y Q. Energy flow's economic effects among resource-rich areas and poor areas[J]. *Management and Administration*, 2012, (9): 77–79.]
- [42] 徐增让.中国煤炭资源流动的机理、过程及效应研究[D].北京:中国科学院,2007. [Xu Z R. Mechanism, Spatial-Temporal Process and Impact of Coal Resource Flowing in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2007.]
- [43] 徐增让,成升魁.不同省区内部煤炭产业流动及资源环境效应[J].经济地理,2009,29(3):425–430. [Xu Z R, Cheng S K. Coal industrial flow and its resource and environment effects in different provinces[J]. *Economic Geography*, 2009, 29(3): 425–430.]
- [44] 王越,王园,毕军,等.工业园能源代谢分析[J].环境科学研究,2009,22(8):990–994. [Wang Y, Wang Y, Bi J, et al. Energy metabolism analysis of industrial park[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(8): 990–994.]
- [45] 孙晓惠.煤矿企业与地方经济协同发展模式研究[D].青岛:山东科技大学,2010. [Sun X H. Research on Synergetic Development Model Between Coal Mine Enterprises and Local Economy [D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2010.]
- [46] 嵇昊威,赵媛.中国煤炭铁路运输网络可达性空间格局研究[J].地域研究与开发,2014,33(1):6–11. [Ji H W, Zhao Y. The accessibility spatial pattern of coal railway transport network in China [J]. *Areal Research and Development*, 2014, 33(1): 6–11.]
- [47] 王伟,王成金.环渤海地区港口煤炭运输格局演变和动力机制[J].自然资源学报,2014,29(11):1916–1929. [Wang W, Wang C J. Pattern evolution and dynamic mechanism of coal transportation for the ports around Bohai[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(11): 1916–1929.]
- [48] 刘文字,赵媛.中国省际煤炭资源流动的集中程度与位序—规模变化[J].资源科学,2013,35(12):2474–2480. [Liu W Y, Zhao Y. Concentration and rank-size distribution of interprovincial coal flow in China[J]. *Resources Science*, 2013, 35(12): 2474–2480.]
- [49] 王伟,王成金.中国沿海港口煤炭运输的空间分异格局及演化[J].地理学报,2016,71(10):1752–1766. [Wang W, Wang C J. Spatial evolution of coal transportation of coastal ports in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(10): 1752–1766.]
- [50] 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[J].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[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(10): 1153–1160.]
- [51] 王宜强,赵媛.中国天然气资源流动类型、集散特征与格局演化[J].自然资源学报,2015,30(2):248–259. [Wang Y Q, Zhao Y. Flow types, concentration and diffusion feature and spatial structure evolution of natural gas resources in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(2): 248–259.]
- [52] Goodchild M F, Maguire D J. Geographical Information Systems, Principles, Technical Issues, Management Issues and Applications [M]. Indianapolis: John Wiley & Sons, 1999.
- [53] Hampson R, Simeral J, Deadwyler S. Distribution of spatial and non-spatial information in dorsal in hippocampus [J]. *Nature*, 1999, 402(6762): 610–614.
- [54] Wang F H. Quantitative Methods and Applications in GIS [M]. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [55] 李在军,张雅倩,胡美娟,等.新时期中国经济增长的空间格局[J].地理科学,2016,36(8):1134–1140. [Li Z J, Zhang Y Q, Hu M J, et al. Spatial pattern of Chinese economic growth at county level

2018年7月

- in the 21th century[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(8): 1134-1140.]
- [56] 郭永锐, 张捷, 卢韶婧, 等. 中国入境旅游经济空间格局的时空动态性[J]. 地理科学, 2014, 34(11): 1299-1304. [Guo Y R, Zhang J, Lu S J, et al. Spatio-temporal change of the inbound tourism economic development in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(11): 1299-1304.]
- [57] 赵媛, 郝丽莎. 我国石油资源空间流动的地域类型分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1): 93-103. [Zhao Y, Hao L S. Analysis on the region classification of crude oil flow in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 93-103.]
- [58] 王宜强, 赵媛. 中国省域煤炭资源空间流动形成机制的主导要素解析[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 723-732. [Wang Y Q, Zhao Y. Dominant factors analysis of the formation mechanism of provincial coal resource flow in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(4): 723-732.]
- [59] 赵媛, 郝丽莎. 我国石油资源空间流动的形成机制[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 1027-1036. [Zhao Y, Hao L S. The forming mechanism of crude oil flow in China[J]. *Geographical Research*, 2008, 27(5): 1027-1036.]
- [60] 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 Economic Study*, 2017, (3): 109-122.]
- [61] 张华, 吕涛, 李爱彬. 铁路省际煤炭调运的格局及优化[J]. 铁道运输与经济, 2012, 34(2): 14-19. [Zhang H, Lv T, Li A B. The arrangement and optimization of inter provincial coal transportation in railway [J]. *Railway Transport and Economy*, 2012, 34(2): 14-19.]
- [62] 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. [Wang C J, Mo H H, Wang J E. Regularity and pattern of Chinese coal resources flow field [J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(8): 1402-1411.]
- [63] 彭晨, 岳东. 基于开放式功能体系的煤炭供应链结构研究[J]. 煤炭学报, 2003, 28(3): 326-331. [Peng C, Yue D. The research of opening functional structure of coal supply chain[J]. *Journal of China Coal Society*, 2003, 28(3): 326-331.]
- [64] 吕军. 成品油销售物流配送系统的研究与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2009. [Lv J. Research and Implementation of Sales Logistics Distribution System of Refined Oil[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009.]
- [65] 陈建生, 王立杰. 论煤炭企业物流供应链联盟[J]. 管理世界, 2004, (11): 148-149. [Chen J S, Wang L J. Discussion on the logistics supply chain alliance of coal enterprises[J]. *Management World*, 2004, (11): 148-149.]
- [66] 嵇昊威, 赵媛. 长三角高速铁路网建设对江苏省煤炭铁路运输能力的影响[J]. 自然资源学报, 2014, 29(2): 304-312. [Ji H W, Zhao Y. Impact of construction of high-speed railway network in Yangtze River delta on coal railway transport in Jiangsu [J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(2): 304-312.]
- [67] 柯晓阳, 斯敏. 基于北煤南运新通道的湖北能源发展研究[J]. 中国煤炭, 2012, 38(7): 5-8. [Ke X Y, Si M. Comprehensive development of Hubei energy based on coal transportation from north to south[J]. *China Coal*, 2012, 38(7): 5-8.]
- [68] 蒋惠园, 汪浪, 谢奔一, 等. 蒙西新能源通道建设对长江煤炭水运格局的影响分析[J]. 铁道运输与经济, 2013, 35(3): 48-53. [Jiang H Y, Wang L, Xie B Y, et al. Influence of new energy corridor construction in west of Mongolia on coal water transport pattern in Yangtze river area[J]. *Railway Transport and Economy*, 2013, 35(3): 48-53.]
- [69] 刘雷. 蒙东地区煤炭下海铁路通路布局研究[J]. 铁道工程学报, 2012, (6): 1-5. [Liu L. Study on layout of coal-transportation railway corridor for sea-shipping in eastern region of Inner Mongolia [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2012, (6): 1-5.]
- [70] 赵媛, 于鹏. 我国煤炭资源空间流动的基本格局与流输通道[J]. 经济地理, 2007, 27(2): 196-200. [Zhao Y, Yu P. The spatial pattern of coal flow and flowing channel in China[J]. *Economic Geography*, 2007, 27(2): 196-200.]

Nodal study of carbon-based energy resources flow

WANG Yiqiang¹, ZHAO Yuan²

(1. School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, China;

2. Jinling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: From an industrial and regional view we analyzed nodal elements of energy resource flow, and divided node types. Nodes are divided into production nodes, switch nodes and consumption nodes, as well as abstract nodes. By analyzing functions, nodes not only performed a basic business function, but played a role in flow system efficiency function and social economic overflow function. We analyzed the focus and main methods of different nodes from three aspects of node function, node system and node relation. We suggest that types of nodes are diverse. Analysis of enterprise nodes in industrial chains and analysis of nodes from the perspective of regions was also done. The research content of different nodes has distinct features. At the industrial level, most research focuses on the supply chain and supply network with the logistics perspective, as well as energy utilization with the ecology perspective. However, study from a regional view mostly discusses spatial structure, hierarchical structure and communication relationship of nodes. According to the current situation of node research, we point out inadequacies and suggest relevant research directions. For example, strengthening theoretical research and method integration research is necessary.

Key words: carbon-based energy; resources flow; node type; research contents; coal