

中国碳排放的空间关联及其解释

——基于社会网络分析法

张德钢¹, 陆远权^{1,2}

(1. 重庆大学 公共管理学院, 重庆 400030; 2. 重庆师范大学 经济与管理学院, 重庆 401331)

摘要:利用社会网络分析方法(SNA)全新解构了碳排放的空间关联特征,并基于QAP技术揭示了碳排放空间关联的主要影响因素。研究发现:碳排放呈现出复杂的多线程空间网络关联关系。上海、天津、江苏、浙江、广东和福建等东部发达地区的省份处于网络的中心地位,接收了较多的关联关系,甘肃、青海、新疆和贵州等西部欠发达地区省份发送了较多的关联关系,其他省份则主要起到了“传输”和“桥梁”的作用。碳排放可以划分为“双向溢出”“净受益”“净溢出”以及“经纪人”四个功能板块。地理因素、地区间经济发展差异以及环境规制差异对碳排放空间关联具有显著正向影响。

关键词:碳排放;空间关联;社会网络分析;QAP

DOI:10.13956/j. ss. 1001-8409. 2017. 04. 04

中图分类号:F124.5

文献标识码:A

文章编号:1001-8409(2017)04-0015-04

Study on the Spatial Correlation and Explanation of Carbon Emission in China

——Based on Social Network Analysis

ZHANG De-gang¹, LU Yuan-quan^{1,2}

(1. College of Public Administration, Chongqing University, Chongqing 400030;

2. College of Economic and Management, Chongqing Normal University, Chongqing 401331)

Abstract: This paper depicts the characteristics of spatial correlation of provincial carbon emission in china by using social network analysis and studies the influence factors of spatial correlation based on QAP. Results showed that, the spatial correlation of carbon emission has structural features of complex and multithreading spatial network. Shanghai, Tianjin, Jiangsu, Zhejiang, Guangdong, Fujian and some other eastern developed provinces are in the centre position of the network, and receive more correlation relationships, Gansu, Qinghai, Xinjiang, Guizhou and some other western underdeveloped provinces send more correlation relationships, the other provinces mainly play the role of 'transfer' and 'bridge'. The carbon emission can be divided four plats constituted by 'bidirectional spillover plate', 'net benefit plate', 'net spillover plate' and 'broker plate'. Geographical factors, regional disparity of economic development and environment regulation have significant positive influence on spatial correlation relationships carbon emission.

Key words: carbon emission; spatial correlation; social network analysis; QAP

据国际能源署的最新数据显示,2015年全球与能源相关的碳排放总量约为321亿吨,其中30%左右的碳排放在中国产生,中国的碳排放已经超过了美欧之和。值得注意的是,在关注中国碳排放总量的同时,也应看到中国的碳排放分布在区域间的分布并不均衡。2014年,在与能源消费相关的碳排放中,山东的碳排放总量最高,是排名最末位海南的26倍,而宁夏的碳排放强度最大,是排名最末位北京的16倍。碳排放分布在区域间的巨大差异导致在制定减排政策和分配减排任务时必然存在地区间的利益冲突,一

个地区的减排目标能否实现,不仅取决于自身因素,还会受制于其他地区的影响,能否有效控制碳排放越来越依赖于地区间的协调配合。事实上,众多文献研究也证实碳排放放在各地区并非独立存在,而是存在一定的空间关联。肖黎嫻指出省际碳排放具有正的空间自相关性,在局部地区呈现出高值的聚集特征^[1]。林伯强认为中国碳排放存在“俱乐部收敛”和“梯度”分布特征^[2]。苏泳娴基于DM-SP/OLS数据发现碳排放的空间聚集越来越明显,基本形成了“东部沿海城市高高集聚,西部欠发达城市低低集聚”

收稿日期:2016-07-01

基金项目:重庆市教委项目(16SKDJ015、153289);重庆市研究生科研创新项目(CYB15001)

作者简介:张德钢(1987-),男,陕西安康人,博士研究生,研究方向为公共经济与公共政策;陆远权(1966-),男,重庆人,博士、教授、博士生导师,研究方向为公共经济与公共政策。

的格局^[3]。杨骞进一步测算了中国碳排放的区域差异,结果显示碳排放的区域差异主要来源于区域间经济发展的差异^[4]。肖雁飞认为区域间的碳排放转移正在产业转移经济发展背后悄然发生,区域产业转移带来的“碳排放转移”和“碳泄漏”问题越来越突出^[5]。孙立成也发现中国碳排放存在区域间转移,需要合理引导,并充分利用这种溢出效应促进区域经济均衡发展^[6]。显然,这些文献都在一定程度上揭示出了中国碳排放的空间关联特征及其溢出效应。然而,已有研究大都基于地理邻近的视角,只揭示了少量的空间关联关系,而实际上中国省际碳排放可能是一种复杂的网络结构,具有多线程的空间关联关系。与已有研究不同,本文采用一种新的分析方法——社会网络分析法(SNA),全新解构中国省际碳排放的空间关联特征,并基于QAP技术揭示碳排放空间关联的主要影响因素,有助于更加全面地认识中国碳排放的空间关联特征,对于不同地区联动参与碳排放治理具有重要意义。

1 方法与数据

1.1 中国碳排放空间关联网络构建

中国碳排放空间关联网络是各省份碳排放俩俩关联关系的集合,各个省份为空间关联网络中的节点,如果两个省份之间存在关联关系,则可画出一条带有指向性的线将两个节点连接起来,如此便可构成一张碳排放空间关联的网络图。目前,刻画空间关联关系的方法主要有两类:一类是基于VAR模型,采用Granger Causality检验方法,例如李敬^[7]、刘华军^[8]等;另一类是基于引力模型或改进的引力模型,例如侯赞慧^[9]、刘华军^[10]等。由于VAR模型对于时滞的选择十分敏感,往往只适用于时间跨度较长的数据,且不能用于截面总量数据,无法揭示网络结构的动态演进特征。因此,本文借鉴刘华军^[10]的做法,采用改进的引力模型来构建中国碳排放的空间关联网络,基本模型构建如下:

$$G_{ij} = \frac{T_i}{(T_i + T_j)} \frac{\sqrt[3]{P_i T_i E_i} \sqrt[3]{P_j T_j E_j}}{\left(\frac{D_{ij}}{e_i - e_j}\right)^2} \quad (1)$$

其中, i, j 分别代表省份*i*与省份*j*, G 代表省份间的引力, T 代表碳排放总量, P 代表人口规模, E 代表国民生产总值, e 代表人均国民生产总值, D 代表省份之间的距离。

根据式(1)计算出引力矩阵后,对引力矩阵的各行取平均值,若引力高于该行的平均值,则取值为1,表明该行省份和该列省份的碳排放存在关联关系,相应地,在关联网络中画出一条由该行省份指向该列省份的箭线。反之则取值为0,表明该行省份和该列省份的碳排放不存在关联关系,由此便构建出了碳排放的空间关联矩阵。

1.2 中国碳排放空间关联网络特征刻画指标

1.2.1 整体网络特征

网络密度是反映空间网络关联紧密程度的指标。假设空间网络中共有 N 个节点,则最大的可能关系数为 $N(N-1)$ 个,若实际关系数为 M 个,则网络密度的计算公式如下:

$$D = \frac{M}{N(N-1)} \quad (2)$$

关联度是反映网络结构稳健性和脆弱性的指标。设 V 为网络中不可达的点对数目,则可由式(3)测算网络关联度 C :

$$C = 1 - \left[\frac{V}{N(N-1)/2} \right] \quad (3)$$

网络效率是反映网络中存在多余关联程度的指标。设 R 为多余线的条数, $\text{Max}(R)$ 最大可能的多余线的条数,则可由式(4)测算网络效率 E :

$$E = 1 - \frac{R}{\text{max}(R)} \quad (4)$$

网络等级是反映网络成员在网络中支配地位的指标。设 S 为网络中对称地可达的点对数目, $\text{Max}(S)$ 为网络中最大对称地可达的点对数目,则可由式(5)测算网络等级 H :

$$H = 1 - \frac{S}{\text{max}(S)} \quad (5)$$

1.2.2 中心性分析

中心性是衡量网络节点地位和作用的指标,Freeman建议可以用点度中心度、中间中心度和接近中心度等来刻画^[13]。

点度中心度直接反映了节点在网络中的地位。设 n 为网络中某个节点同其他节点直接关联的数目,则可由式(6)计算出点度中心度 PC 。

$$PC = \frac{n}{N-1} \quad (6)$$

中间中心度指一个节点能在多大程度上控制其他节点间的关联关系。设 g_{jk} 表示节点*k*和节点*j*之间存在的捷径数目,可以用 $b_{jk}(i)$ 表示节点*i*对节点*k*和节点*j*的控制能力,即节点*i*处于节点*k*和节点*j*之间的捷径的概率,若节点*k*和节点*j*之间存在的经过节点*i*的捷径数目为 $g_{jk}(i)$,则 $b_{jk}(i) = g_{jk}(i) / g_{jk}$,其中, $k \neq j \neq i$,并且 $j < k$ 。则可由式(7)计算出中间中心度 BC 。

$$BC = \frac{2 \sum_j \sum_k b_{jk}(i)}{3N^2 - 3N + 2} \quad (7)$$

接近中心度反映的是节点不受其他节点控制的程度。设 d 为两个节点间的捷径距离(即捷径中包含的线数),则可由式(8)计算出中间中心度 CC 。

$$CC = \frac{\sum_{j=1}^N d_{ij}}{N-1} \quad (8)$$

1.2.3 块模型分析

块模型分析是一种研究网络位置模型的方法,最早由Boorman和White^[12]提出,Smith和White^[13]、Cassi等^[14]曾用此方法研究过世界经济体系。根据块模型理论,第一步是对成员进行分区,即把各个成员分到各个位置之中。第二步是根据一些标准确定各个块的取值,即各个块是1-块,还是0-块。若以密度指标划分区域,一般而言,可以用整体网络密度作为划分标准。Wasserman和Faust^[15]开发了评价位置内部关系的指标体系(见表1),其中 g_k 表示某个板块中成员数目, g 表示整个网络中的成员数目。

表1 块模型板块划分

位置内部关系的比例	位置接收到的关系比例	
	≈0	>0
$\geq (g_k - 1)/(g - 1)$	双向溢出板块	主受益板块/净受益板块
$\leq (g_k - 1)/(g - 1)$	净溢出板块	经纪人板块

1.3 数据说明

本文测算的碳排放来源于煤炭、天然气、焦炭、燃料油、汽油、煤油和柴油燃烧产生的二氧化碳,参照联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)给出的碳排放折算方法

进行测算。人口数量和 GDP 来源于《中国统计年鉴》。在利用式(1)构建 1995~2014 年的碳排放空间关联关系矩阵时,为剔除价格因素,采用各省份 1995 年为基期的 GDP 平减指数将 GDP 折算为以 1995 年为基期的真实值。由于《中国能源统计年鉴》没有统计西藏的各类能源消费数据,因此,本文的数据包含了除西藏外的其余 30 个省份。

2 中国碳排放空间网络关联的实证分析

2.1 整体网络特征分析

根据式(1)构建起的碳排放的空间关联矩阵,将 2014 年中国 30 个省份的碳排放空间关联关系绘制成可视化的网络图,从图 1 可以看出,碳排放在各省份间存在普遍的关联关系。

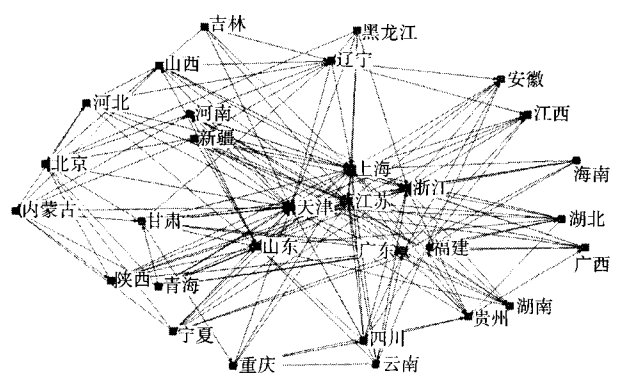


图 1 中国碳排放空间网络图

进一步地,为了反映网络密度及其演变趋势,根据式(2)至式(5)计算出了 1995~2014 年历年的整体网络密度、关联度、网络效率以及网络等级,并绘制成图 2。可以看出,网络密度呈现出上升趋势,从 1995 年的 0.2 提高到了 2014 年的 0.239,关联关系由 1995 年的 174 个增加到了 2014 年的 208 个。1995~2014 年历年的网络关联度都为 1,显示出碳排放存在普遍的空间溢出关系,而不再只是地理邻近的省份才产生溢出关系。碳排放空间网络的网络等级和网络效率均呈现出下降趋势,网络等级由 1995 年的 0.478 下降到了 2014 年的 0.294,网络效率由 1995 年的 0.722 下降到了 2014 年的 0.663,说明碳排放并不存在等级森严的现象,网络结构比较稳定。

依据式(6)至式(8),可以计算出 2014 年省际碳排放空间关联网络的点度中心度、中间中心度和接近中心度。发现总关系数处于前 5 位的分别是上海、天津、江苏、浙江和广东,都是东部发达地区的省份,说明这些省份同其他省份具有较多的直接关联关系,处于网络结构的中心位

置。由于某个省份的关联关系既包括发送的关系数,也包括接收的关系数,接下来分别对接收关系和发送关系处于前 5 名的省份进行分析,接收关系排名前 5 的分别是上海、天津、江苏、浙江和福建,发送关系排名前 5 的分别是甘肃、广东、青海、新疆和贵州,接收关系排名前 5 的省份全部位于东部地区,而发送关系排名前 5 的省份除广东外其余 4 个省份都位于西部地区,表明在碳排放的空间网络关联中,西部地区主要产生溢出,而东部地区省份则从中受益。无论是中间中心度还是接近中心度,排名前 5 的省份都是上海、天津、江苏、浙江、广东,说明其他省份主要通过这 5 个省份作为“桥梁”进而产生关联关系,进一步显示出了这些省份在碳排放空间网络中的重要地位和作用。

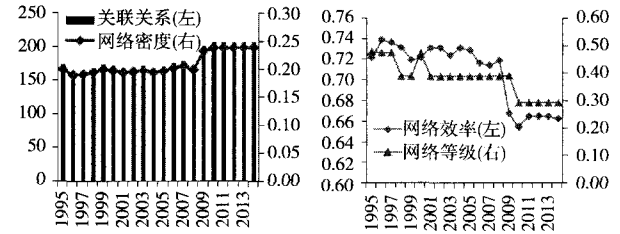


图 2 整体网络结构特征演变趋势

2.2 块模型分析

运用 CONCOR 方法,选择最大分割密度为 2,收敛标准为 0.2,可以将全国 30 个省份划分为 4 个板块,如表 2 所示。第 I 板块的成员包括北京、天津、辽宁、内蒙古和山东 5 个省份,共接收关系 58 个,发送关系 28 个,期望内部关系比例为 14%,实际内部关系比例为 21%,第 I 板块对板块内外均产生了溢出效应,属于“双向溢出板块”;第 II 板块的成员包括广东、江苏、福建、上海和浙江 5 个省份,共接收关系 92 个,发送关系 32 个,期望内部关系比例为 14%,实际内部关系比例为 19%,第 II 板块接收的关系数目显著多于发送的关系数目,属于“净受益板块”;第 III 板块的成员包括吉林、甘肃、河北、宁夏、黑龙江、河南、新疆、青海、山西、陕西 10 个省份,共接收关系 23 个,发送关系 80 个,期望内部关系比例为 31%,实际内部关系比例为 3%,第 III 板块发送的关系数目显著多于接收到的关系数目,属于“净溢出板块”;第 IV 板块的成员包括湖南、重庆、湖北、贵州、云南、广西、安徽、海南、江西、四川 10 个省份,共接收关系 35 个,发送关系 68 个,期望内部关系比例为 31%,实际内部关系比例为 15%,第 IV 板块同其他板块存在较多的关联关系,但板块内部成员间的关联关系则相对较少,属于“经纪人板块”。

表 2 中国碳排放空间关联板块划分

板块	省份数目	接收关系		发送关系		期望内部关系比例	实际内部关系比例	板块类型
		板块内部	板块外部	板块内部	板块外部			
板块 I	5	6	52	6	22	14%	21%	双向溢出板块
板块 II	5	6	86	6	26	14%	19%	净受益板块
板块 III	10	2	21	2	78	31%	3%	净溢出板块
板块 IV	10	10	25	10	58	31%	15%	经纪人板块

3 中国碳排放空间关联的影响因素——基于 QAP 分析法

3.1 模型构建

在分析完中国省际碳排放的空间网络关联特征后,本文对影响碳排放空间关联的因素进行探究。众多研究显

示碳排放的空间溢出与地理因素相关,本地的碳排放不仅取决于自身的控制,还受到邻近地区的影响,因此,本文认为地理邻近是影响碳排放空间关联的因素之一。根据之前的块模型分析,发现碳排放的空间溢出呈现出明显的梯度效应,即发达地区和欠发达地区之间存在更多的溢出关

系,由此,推测经济发展差距越大,越容易产生溢出效应。最后,碳排放之所以能在不同地区之间产生溢出,可能是由于各地环境规制的标准不同,污染企业倾向于选择环境规制较低的地区进行排污,因此,认为地区间的环境规制差异越大,越容易产生溢出效应。由于是关系数据,不能运用传统计量方法进行统计检验,选择基于二次指派程序的 QAP 技术进行分析,并建立如下模型:

$$R=f(G, RGDP, GZ) \quad (9)$$

其中,R为2014年30个省份碳排放的空间关联关系;G为地理邻近矩阵,若两个省份相邻,则取值为1,不相邻则取值为0;RGDP为经济发展差异矩阵,以2014年各省份人均GDP的绝对值差异构建;GZ为环境规制差异矩阵,采用2014年各省份二氧化硫排放量/GDP、氮氧化物排放量/GDP、烟(粉)排放量/GDP、固体废弃物产生量/GDP、能源消费量/GDP、工业污染治理投资/工业增加值、PM2.5年均浓度7个指标经过标准化处理后合成环境规制强度指数,并藉此构建环境规制的差异矩阵。

3.2 QAP 回归分析

QAP 回归分析的原理为:首先,运用因变量矩阵对应的长向量对自变量矩阵的长向量进行多元回归分析。其次,对因变量和自变量矩阵的各行与各列同时进行随机置换,重复计算足够多次,并保存回归系数结果及判定系数。最后,根据回归系数及判定系数的分布,判断其显著性水平。选择5000次随机置换,并将得到的结果报告在表3中。

结果显示,地理邻近的回归系数为0.288,且在1%的水平上显著,表明地理位置相邻的省份,碳排放更容易产生溢出。经济发展差异的回归系数为0.094,且在1%的水平上显著,表明省际经济发展差异越大,碳排放的空间溢出越明显。环境规制差异的回归系数为0.238,且在10%的水平上显著,表明省际环境规制差异越大,碳排放的空间溢出也越明显。观察标准化后的回归系数,可以发现对碳排放空间关联关系影响作用最强的是地区经济发展差异。

表3 QAP 回归分析结果

变量	非标准化 回归系数	标准化 回归系数	显著性 概率值	概率1	概率2
G	0.288	0.241	0.000	0.000	1.000
RGDP	0.094	0.440	0.000	0.000	1.000
GZ	0.238	0.064	0.067	0.067	0.933
INTERCEPT	-0.061	0.000	0.000	0.000	0.000

4 结论及建议

本文利用一种新的分析方法——社会网络分析法(SNA),全新解构了中国省际碳排放的空间关联特征,并基于QAP技术揭示了中国省际碳排放空间关联的影响因素。结果显示:①碳排放的空间关联已经突破了传统的地理限制,呈现出复杂的多线程的空间网络关联关系,存在普遍的空间溢出效应。②1995~2014年,网络密度提高了19.54%,网络效率下降了8.18%,网络等级下降了38.43%,网络关联度始终保持为1,表明碳排放的空间关联网络结构逐渐趋于稳定。③上海、天津、江苏、浙江、广东和福建等东部发达地区的省份处于网络的中心地位,接收了较多的关联关系,甘肃、青海、新疆和贵州等西部欠发达地区省份发送了较多的关联关系,其他省份则主要起到

了“传输”和“桥梁”的作用。④碳排放可以划分为“双向溢出”“净受益”“净溢出”以及“经纪人”4个功能板块。⑤地理因素、地区间的环境规制差异以及经济发展差异对碳排放空间关联具有显著的正向影响。

以上研究结论蕴含着如下政策启示:①在碳排放的治理上,需要树立空间观念和系统观念,突出联动协同的治理理念,从更加广泛的区域协同上着手治理。②地区间的环境规制差异,容易造成碳排放在区域间转移,然而,鉴于中国不同地区经济发展、产业结构、资源环境禀赋的巨大差异,各地区的环境政策不可搞“一刀切”,但更不可差异过大,否则会加剧碳排放的空间溢出。目前,尤为值得警惕的是东部地区为治理环境污染和淘汰落后产能,将高污染、高能耗产业向中西部欠发达地区转移而产生“碳转移”和“碳遗漏”问题。通过制定合适的省际环境政策阻断碳排放的溢出“管道”是一个可行的做法。③减少碳排放空间溢出的根本措施是促进落后地区经济发展,但这并不意味着要落后地区达到和发达地区相同的经济规模和增长速度,而是应该通过市场一体化建设,保持要素和人口的自由流动,促进地区人均GDP和增速的趋同。

参考文献:

- [1] 肖黎娜,王润,杨德伟,等. 中国省际碳排放极化格局研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,11:21-27.
- [2] 林伯强,黄光晓. 梯度发展模式下中国区域碳排放的演化趋势——基于空间分析的视角[J]. 金融研究,2011,12:35-46.
- [3] 苏泳娴,陈修治,叶玉瑶,等. 基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理[J]. 地理学报,2013,11:1513-1526.
- [4] 杨骞,刘华军. 中国二氧化碳排放的区域差异分解及影响因素——基于1995~2009年省际面板数据的研究[J]. 数量经济技术经济研究,2012,5:36-49,148.
- [5] 肖雁飞,万子捷,刘红光. 我国区域产业转移中“碳排放转移”及“碳遗漏”实证研究——基于2002年、2007年区域间投入产出模型的分析[J]. 财经研究,2014,2:75-84.
- [6] 孙立成,程发新,李群. 区域碳排放空间转移特征及其经济溢出效应[J]. 中国人口·资源与环境,2014,8:17-23.
- [7] 李敬,陈澍,万广华,等. 中国区域经济增长的空间关联及其解释——基于网络分析方法[J]. 经济研究,2014,11:4-16.
- [8] 刘华军,何礼伟. 中国省际经济增长的空间关联网络结构——基于非线性Granger因果检验方法的再考察[J]. 财经研究,2016,2:97-107.
- [9] 侯赞慧,刘志彪,岳中刚. 长三角区域经济一体化进程的社会网络分析[J]. 中国软科学,2009,12:90-101.
- [10] 刘华军,刘传明,孙亚男. 中国能源消费的空间关联网络结构特征及其效应研究[J]. 中国工业经济,2015,5:83-95.
- [11] Freeman L C. Centrality in Social Networks: Conceptual Classification[J]. Social Networks, 1979, 1.
- [12] Boorman S A, White H C. Social Structure from Multiple Networks. II. Role Structures[J]. American Journal of Sociology, 1976, 81(6):N-A.
- [13] Smith D A, White D R. Structure and Dynamics of the Global Economy Network Analysis of International Trade 1965-1980[J]. Social Forces, 1992, 70(4):857-894.
- [14] Cassi L, Morrison A, Wal A L J T. The Evolution of Trade and Scientific Collaboration Networks in the Global Wine Sector: A Longitudinal Study Using Network Analysis[J]. Economic Geography, 2012, 88(3):311-334.
- [15] Wasserman S, K Faust. Social Network Analysis: Methods and Applications[M]. Cambridge, Cambridge University Press, 1994.

(责任编辑:辜 萍)