

◆刘传江赵晓梦^①

Chuan-jiang Liu Xiao-meng Zhao

我国碳排放的区域空间比较和影响因素研究

Regional Spatial Comparison and Influence Factors of Carbon Emission in China

摘要：准确了解我国碳排放的区域空间分布状况，是合理制定区域碳排放的重要前提，也是新常态经济背景下生态文明建设的必然要求。本文借助全局 Moran'I 指数和局部 Moran'I 指数，运用 ESDA 分析方法，得出 2007 年和 2012 年我国四大地区碳排放的空间分布状况：碳排放量为东部地区 中部地区 东北地区 西部地区，碳排放强度为西部地区 东北地区 中部地区 东部地区。全国各省市的碳排放量在空间上存在明显的正相关关系，东部地区和中部地区各省份碳排放的集聚类型主要以“High-High”和“Low-High”为主，西部地区大部分属于“Low-Low”集聚类型，而东北地区则以“Low-High”集聚为主，并且各省份的碳排放具有明显的空间溢出效应。最后通过 STIRPAT 模型分析可知，对碳排放拉动效应最明显的因素为经济水平（GDP）、人口规模（P）、能源强度（E）和能源结构（CS），而产业结构和城镇化水平并没有对碳排放产生拉动效应。

关键词：区域比较；碳排放；空间分布；STIRPAT 模型

中图分类号：F062.2 **文献标识码：**A

Abstract: The important premise to formulate reasonable regional carbon emission and the inevitable requirement of the construction of ecological civilization is to understand spatial distribution of carbon emission in China. In this paper, using the global Moran 'I index and local Moran' I index and the ESDA analysis method, we know that the space distribution of carbon emission in four regional economy areas is: rank of the amount of

^①作者简介：刘传江，武汉大学经济发展研究中心、人口·资源·环境经济研究中心教授；赵晓梦，武汉大学经济研究所。

基金项目：教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“中部地区低碳产业发展与两型社会建设研究”（11JJD790031）

carbon emission is eastern region>central region>northeast area>western region; and carbon emission intensity is western region> northeast area> central region> eastern region. There is a positive correlation in space of carbon emission in provinces and cities. The agglomeration type of carbon emission in the eastern region and the central region belongs to "High-High" type and "Low-High" type, the western region belongs to the "Low-Low" type, and the northeast region belongs to "Low-High" type. Carbon emission of the province has shown obvious spatial spillover effect. Finally, by the STIRPAT model analysis, we found that the factors of carbon emissions in the pulling effect are most from the economic level (GDP), the size of the population (P), energy intensity (E) and energy structure (CS), while the industrial structure and the urbanization level have no pulling effect on carbon emission.

Key Words: regional comparative; carbon emission; spatial distribution; STIRPAT model

一、引言

在国际方面,为保护地球环境和降低碳排放量,在2009年哥本哈根气候会议上各国都宣布了减排目标,并为实现减排承诺出台了相关的政策。在国内方面,随着中部崛起战略的实施,中部六省(山西、河南、湖北、湖南、安徽、江西)成为了产业转移、碳减排实施的重要承接地。但是传统的“高能耗、高污染、高排放”的经济发展模式已经给环境、资源带来了沉重的代价,因此合理估算我国各省份的碳排放量和比较四大区域(东部地区、中部地区、西部地区和东北地区)碳排放的空间分布都具有重要的意义,对于如何实现工业文明到生态文明发展范式的转型和两型社会的建设也有一定的参考价值。

国内关于碳排放的区域研究主要集中在区域差异方面,而区域差异的测量又以区域划分为基础,区域划分不同,结果也会有所差异。在现有文献中关于碳排放的区域划分主要集中在以下三个方面。一是按照行政地理区域进行划分,以东部、中部和西部三大地区划分较多。二是按照碳排放某一指标的高低进行划分,例如李国志(2010)根据年均碳排放量的高低将全国各省市(自治区)划分为高中低三个碳排放区域,类似地,张珍花等(2011)将其划分为高度、中度和轻度三个碳排放区域。这种划分将二氧化碳的排放特征考虑在内,具有一定的借鉴意义。三是利用聚类分析方法进行划分。涂正革等(2012)通过面板数据构建聚类分析模型,将全国各省市碳排放区域划分为能源重型化、能源较重型化、高能源强度和较高能源强度四个区域;张先锋等(2013)通过K-均值聚类分析,将全国30个省市划分为“低排放-低效率”、“低排放-高效率”、“高排放-低效率”和“高排放-高效率”四个碳排放区域。

关于碳排放的区域差异的研究主要有以下文献。谭丹,黄贤金(2008)通过比较我国东中西部的碳排放总量,发现碳排放量最大的地区为东部,其次是中部,西部地区最少。岳超等(2010)通过计算1995年-2007年我国各省消费数据的碳排放量,结果发现我国区域的人均碳排放量东部地区高于中部地区,西部地区最低。林伯强(2011)对我国碳排放的区域空间分布进行研究,得出我国人均碳排放量东高西低而碳排放强度西高东低的特点,并且人均碳排放的扩散程度高于碳排放强度的扩散程度。杨骞、刘华军(2012)借用Theil指数分析我国三大区域和八大区域的差异,研究表明我国碳排放存在着明显的区域差异,并且区域间碳排放强度的差异程度要高于人均碳排放的差异程度。刘华军、鲍振、杨骞(2013)又专门地对农业的碳排放区域差异进行了测算,研究表明我国农

业碳排放的空间分布区域差距逐渐缩小。孙立成,程发新,李群(2014)通过构建经济特征和地理特征的空间权重矩阵,对我国各省市碳排放转移量进行测算,结果显示碳排放的转出量小于转入量,且东部地区和中部地区具有正的净转移特征。

关于区域碳排放的影响因素,相关学者运用不同的测量方面对其进行了实证研究。林伯强等(2009)将 STIRPAT 模型与对数平均迪式分解法结合,认为除了人均收入外,能源强度,产业结构和能源消费结构都对二氧化碳排放有显著影响,特别是能源强度中的工业能源强度。王锋等(2010)同样采用对数平均 Divisia 指数分解法,对我国 1995-2007 年间能源消费碳排放的驱动因素进行了研究,其结果表明人均 GDP、交通工具数量、人口总量、经济结构、家庭平均年收入是主要的正向驱动因素。宋德勇和卢忠宝(2009)则采用“两阶段”LMDI 方法研究了我国碳排放的影响因素和周期性变化,其研究表明,1990-2005 年间我国四个阶段不同经济增长方式的差异是碳排放波动的重要原因。

通过以上分析可以看出,国内关于区域碳排放的研究方法丰富多样,但同时也要看到运用空间计量方法分析碳排放的空间特征相对较少,分析全国四大区域的碳排放空间分布及空间积聚状况的文献更少。本文试图运用空间计量探讨我国东中西及东北地区碳排放的空间特征,并运用扩展 STIRPAT 模型对碳排放的影响因素进行测量,对全面认识我国的碳排放情况有补充意义。

二、研究方法与数据来源

(一) 探索性数据分析

ESDA (exploratory spatial data analysis) 为探索性数据分析,是一种借助空间统计、具有识别功能的空间数据分析方法,在空间自相关和空间分布随机性的相关研究中有较多应用。它主要借助了现代图形技术和统计学相关理论,用更为直观的方式来表现研究变量的空间分布特征、空间模式等,其本质是数据推动。本文中主要借助了 ESDA 中的全局空间相关性分析和局部空间相关性分析,衡量指标分别为全局 Moran 指数和局部 Moran 指数,通过 Geoda 软件进行计算处理及检验,得出相关结论。

全局相关性分析是对研究对象在整个区域的空间分布情况的总体描述,一般用全局莫兰指数来衡量。Moran 指数 I 的计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{i \neq j} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{i \neq j} w_{ij}}$$

式中, n 是研究对象的总数,本文中为 31; w_{ij} 为空间权重, x_i 为区域 i, x_j 为区域 j, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$,

对于全局 Moran 指数,可以用标准化统计量 $Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}}$ 来检验空间自相关的显著性水平。

Moran 指数 I 的取值范围为[-1,1]。当 I>0 表示具有相同属性的区域聚集在一起，即正相关；当 I<0 表示具有相异属性的区域聚集在一起，即负相关；当 I=0 时，表明不存住空间自相关的关系，属性是随机分布的。

局域空间相关性分析是对研究对象在局部区域的空间分布情况的描述，来检测局部地区是否有相似或相异的观测值聚集，通常用局部莫兰指数来衡量。局部 Moran 指数的计算公式如下：

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{i \neq j} w_{ij} (x_j - \bar{x})$$

当 I 大于 0 时，表示高值属性的区域被高值所包围，即“高一高聚集”；或者低值属性的区域被低值所包围，即“低—低”聚集。当 I 小于 0 时，表示低值属性的区域被高值所包围，即“低—高”聚集；或者高值属性的区域被低值所包围，即“高一低”聚集。

(二) STIRPAT 模型

根据以往相关文献研究，本文选用 STIRPAT 模型分析我国四大区域碳排放的驱动影响因素。STIRPAT 模型是 Diet 在 (1994) 对 IPAT 模型 (Ehrlich 和 Commoner) 的扩展和修正，其表达形式为：

$$I = aP^b A^c T^d e$$

对两边同时取对数可得：

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + e$$

I 表示环境压力，P 表示人口规模，A 表示富裕度，T 表示技术，a、b、c、d 分别表示模型的系数、人口条件指数、财富条件指数和技术条件指数，e 为模型误差项。

根据以往相关文献研究可知二氧化碳排放是由多种因素共同作用造成的结果，本文在建立模型时除了考虑人口规模、富裕程度和技术水平之外，还加入了多个解释变量，包括城市化率（城镇人口比重），能源结构、能源强度、产业结构和对外开放程度（外商投资规模）。扩展之后的 STIRPAT 模型为：

$$\ln C = \ln \alpha + \beta_1 \ln P + \beta_2 \ln URB + \beta_3 \ln GDP + \beta_4 \ln E + \beta_5 \ln CS + \beta_6 \ln I + \beta_7 \ln FDI + \beta_8 \ln APR + \varepsilon$$

其中 C 表示碳排放量，P 表示人口数量，URB 表示城镇化率，GDP 表示经济发展水平，E 表示能源强度，CS 表示能源结构，I 表示产业结构（第二产业生产总值占该地区生产总值的比重），FDI 表示各地区外商投资企业年底投资总额，APR 表示技术创新产生能力（该地区专利授权数与全国专利授权总数比值）。

(三) 数据来源

我国在现阶段还没有碳排放量的统计数据，因此需要对能源消费量进行测算得来。关于碳排放的计算方法，联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 提供了基准方法和部门方法两种。基准方法也可称为参考方法，它忽略了各种能源在不同部门的使用情况，仅仅计算是总体能源使用情况。本

文采用第一种参考方法进行测量，计算公式^①如下：

$$C = \sum E_i \times NCV_i \times CEF_i \times COF_i (i=1,2,3\dots 8)$$

C 表示碳排放量， CO_2 的排放量 $= C \times \frac{44}{12}$ ； E_i 表示第 i 种能源的实物消费量； NCV_i 表示第 i 种

能源的平均低位发热量； CEF_i 表示第 i 种能源消费标准量的碳排放系数； COF_i 表示第 i 种能源的碳氧化系数，按照 IPCC 处理碳氧化系数的方法，将其统一为 1。本文利用《2008 中国能源统计年鉴》和《2013 年中国能源统计年鉴》中的地区能源平衡表，计算了原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、焦炉煤气、其他煤气、其他焦化产品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、液化石油气、炼厂干气、其他石油制品、天然气等 17 种能源的消费量。

表 1：各种能源碳排放系数（单位： $10^4 t / 10^4 t$ ）

能源种类	碳排放系数	能源种类	碳排放系数	能源种类	碳排放系数
原煤	0.7552	其他煤气	0.3542	燃料油	0.6176
洗精煤	0.7552	其他焦化产品	0.6700	液化石油气	0.5035
其他洗煤	0.7552	原油	0.5854	炼厂干气	0.4614
型煤	0.7552	汽油	0.5532	其他石油制品	0.5854
焦炭	0.8547	煤油	0.5737	天然气	0.4479
焦炉煤气	0.3542	柴油	0.5913		

三、中部地区碳排放的省际空间比较

（一）我国四大地区碳排放的分布总特征

利用表 1 中各种能源的碳排放系数和能源统计年鉴中的能源消费量，对我国 31 个省市自治区的碳排放量进行计算，其中西藏自治区的数据缺失，为不影响后面的计算，取当年西部地区各个省份碳排放量的平均值所得。

表 2：2007 年和 2012 年全国 31 个省市碳排放量和碳排放强度

区位	省域	碳排放量 ($10^4 t$)			碳排放强度 ($t / 10^4$ RMB)		
		2007 年	2012 年	增长率	2007 年	2012 年	增长率
东部地区	北京	2896.86	2458.83	-15.12%	0.3097	0.1375	-55.60%
	天津	3088.36	4566.50	47.86%	0.6115	0.3542	-42.08%
	河北	15147.42	19476.36	28.58%	1.1049	0.7329	-33.67%
	上海	5427.44	5434.21	0.12%	0.4453	0.2693	-39.53%

①计算公式参照 IPCC 所指定的《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》的参考方法

	江苏	13571.80	18037.36	32.90%	0.5272	0.3337	-36.71%
	浙江	8956.00	10091.18	12.68%	0.4769	0.2911	-38.96%
	福建	4524.05	6309.31	39.46%	0.4891	0.3202	-34.53%
	山东	19295.31	24254.17	25.70%	0.7431	0.4850	-34.74%
	广东	11726.30	13744.70	17.21%	0.3772	0.2408	-36.16%
	海南	478.46	856.31	78.98%	0.3911	0.2999	-23.32%
	平均	8511.20	10522.89	26.84%	0.5496	0.3465	-37.53%
中部地区	山西	9921.19	13333.96	34.40%	1.7304	1.1008	-36.39%
	安徽	5735.31	8738.20	52.36%	0.7788	0.5077	-34.81%
	江西	3346.09	4280.56	27.93%	0.6084	0.3306	-45.66%
	河南	12541.17	14008.55	11.70%	0.8354	0.4733	-43.35%
	湖北	7154.85	10347.63	44.62%	0.7751	0.4651	-40.00%
	湖南	6537.50	7638.94	16.85%	0.7106	0.3448	-51.48%
	平均	7539.35	9724.64	28.99%	0.9065	0.5371	-41.95%
西部地区	内蒙古	10248.53	18424.05	79.77%	1.6825	1.1602	-31.05%
	广西	3524.20	5142.71	45.93%	0.5917	0.3945	-33.33%
	重庆	2530.68	4149.57	63.97%	0.6139	0.3637	-40.75%
	四川	5656.30	7989.41	41.25%	0.5384	0.3347	-37.84%
	贵州	5370.62	6682.72	24.43%	1.9587	0.9753	-50.21%
	云南	4804.81	5678.85	18.19%	1.0134	0.5508	-45.64%
	西藏	4118.55	7043.99	71.03%	12.0359	10.0481	-16.52%
	陕西	4096.74	7017.12	71.29%	0.7495	0.4855	-35.23%
	甘肃	2895.52	4219.44	45.72%	1.0715	0.7468	-30.30%
	青海	690.50	1002.00	45.11%	0.8812	0.5292	-39.95%
	宁夏	2008.29	3990.33	98.69%	2.2585	1.7043	-24.54%
	新疆	3477.89	6730.69	93.53%	0.9872	0.8968	-9.15%
	平均	4118.55	7043.99	71.03%	2.0319	1.5158	-32.88%
东北地区	辽宁	10274.93	13237.51	28.83%	0.9321	0.5328	-42.84%
	吉林	5312.28	6634.03	24.88%	1.0052	0.5556	-44.72%
	黑龙江	5627.03	7619.67	35.41%	0.7965	0.5565	-30.13%
	平均	7071.41	9163.74	29.59%	0.9113	0.5483	-39.23%

数据来源：《2008 中国能源统计年鉴》和《2013 年中国能源统计年鉴》资料整理计算得出

整体上，自 2007 年至 2012 年我国碳排放总量稳步增加，东部、中部、西部和东北四个地区的碳排放总量在 5 年间均增加了 20% 以上。西部地区碳排放量增幅平均为 71.03%，位居第一，其中宁夏和新疆两个自治区的碳排放量都增加了 90% 以上，增速十分惊人。中部地区在碳排放量基数较大的前提下，碳排放量增幅也高达 28.99%，稍高于东部地区。在碳排放强度方面，四大地区均有了明显的下降，尤其是中部地区下降最为显著。2007 年中部地区的碳排放强度为 0.9065，2012 年下降至 0.5371，下降幅度高达 41.95%。此外，各区域碳排放量均值由高到低进行排序，依次为东部地区、中部地区、东北地区和西部地区；而各区域的碳排放强度均值顺序恰恰与其相反，由高到低依次为西部地区、东北地区、中部地区和东部地区。这与四大地区的经济发展水平有着紧密的联系，

经济越发达的地区，其碳排放量越高。碳排放强度越低，而经济发展越是落后的地区，其碳排放量越低，碳排放强度越高。

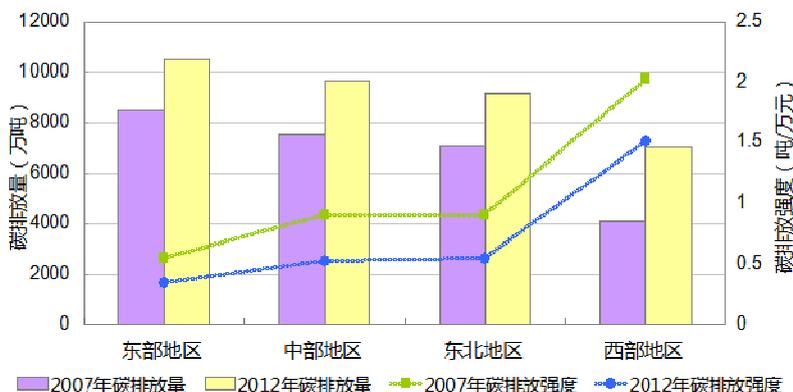


图 1: 2007 年和 2012 年四大地区碳排放量与碳排放强度状况

以碳排放量总量在全国四大地区之间的分配进行分析，2007 年至 2012 年，东北地区的碳排放量占全国碳排放量的比重基本保持不变，中部地区碳排放比重稍微有所降低，但仍保持在 20%以上，西部地区碳排放比重有了明显的增加，而东部地区有了显著地减少。但是这些并不能完全说明中部地区的碳排放量状况。

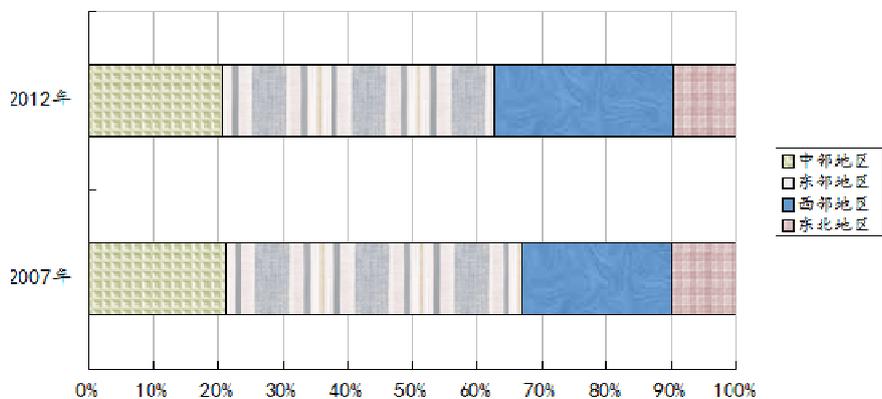


图 2: 2007 年和 2012 年四大地区碳排放分布状况

从中部六省内部进行分析，河南省的碳排放量一直居于六省之首。河南省 2007 年的碳排放量为 12541.17 万吨，2012 年的碳排放量为 14008.55 万吨，增幅仅为 11.70%，远低于其他五个省份。但是由于河南省碳排放量基数很大，所以其碳排量也有了较多的增加，2012 年河南省的碳排放量占据中部地区碳排放量的 24%，将近四分之一。除此之外，中部地区碳排放量较大的是山西省和湖北省，分别为 13333.96 万吨和 10347.63 万吨，安徽和湖南的碳排放总量较少，江西省的碳排放量最少。在碳排放增长速度方面，增长最快的是安徽，增速达到 52.36%，其次是湖北省 44.62%，河南省和湖南省的增长速度最慢。而从碳排放强度进行分析，湖南省的碳排放强度降低了 51.48%，

居于六个省份之首，江西省、河南省和湖北省紧随其后。而山西省的碳排放强度降低的幅度为-36.39%，仅高于安徽省，这与以能源和原材料工业为主体的产业结构有着密切的联系。

总体而言，中部地区碳排放增长速度较慢，但是碳排放总量在全国处于较高水平，仅次于经济发达的东部地区。中部地区的碳排放强度下降最为明显，两年的碳排放强度明显低于东北地区和西部地区，说明中部地区的产业结构较为合理，技术进步较为明显，但是与经济发达的东部地区相比，还有很大的进步空间。中部地区作为经济发展的重要承接区和重要的能源基地，在节能减排和经济发展方式转变方面都面临着巨大的压力。有待于进一步分析和规划，从而实现中部地区的可持续发展。

（二）全局空间相关性分析

全局相关性分析是对研究对象在整个区域的空间分布情况的总体描述，一般用全局莫兰指数来衡量。引入一阶邻接“Queen 标准”权重矩阵，由 Geoda 软件进行相关计算，得出 2007 年和 2012 年碳排放量的全局 Moran 指数分别为 0.2975 和 0.2450，全国个省份的碳排放量在空间上存在者明显的正相关关系，即全国 31 个省市的碳排放量存在高值的空间聚集现象，碳排放量较高的省份，其周围省份的碳排放量也较高，碳排放量较低的省份，其周围省份的碳排放量也较低。随着时间的推移，碳排放量的这种空间集聚程度有所减弱，但是效果并不明显。

表 3：2007 年与 2012 年全国碳排放量的全局 Moran'I 指数与 P 值

数据来源	Moran'I 值	P 值
2008 年中国能源统计年鉴（2007 年）	0.2975	0.01
2013 年中国能源统计年鉴（2012 年）	0.2450	0.03

对全局莫兰指数的显著性进行检验，Z 值的 P 值如表3所示。2007年和2012年全局莫兰指数的 P 值都为0.01和0.03，通过5%的显著性检验（ $P \leq 0.05$ ）。

虽然在全局 Moran 指数在整体上能反映碳排放量在空间上的聚集程度，但是并不能具体量化各个省份碳排放量的集聚类型和集聚程度，下面的局部空间相关性分析正好能弥补这一点。

（三）局域空间相关性分析

局域空间相关性分析是对研究对象在局部区域的空间分布情况的描述，来检测局部地区是否有相似或相异的观测值聚集，通常用局部莫兰指数来衡量。引入一阶邻接“Queen 标准”权重矩阵 (queen contiguity) ，通过 GeoDa 软件对 2007 年和 2012 年我国各省市的碳排放量的局部空间相关性进行聚类分析，结果如图所示：图为 2007 年和 2012 年全国 31 个省份碳排放量莫兰散点图，第 I 象限为“高一高”集聚区域，第 II 象限为“高一低”集聚区域，第 III 象限为“低一低”集聚区域，第 IV 象限是“低一高”区域。

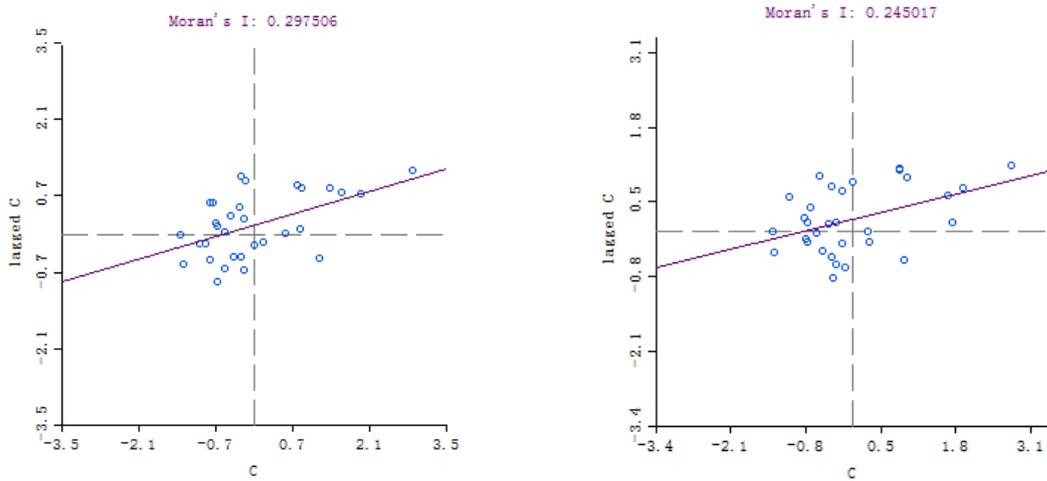


图 3：2007 年和 2012 年各省份碳排放的 Moran's I 散点图

根据 Moran's I 散点图可以看出 2007 年和 2012 年我国各省市的碳排放量的局部空间相关性聚类情况，大部分省份集中在第 I、II、III 象限，为了更好的比较四大地区各个省份的集聚情况，将莫兰散点图绘制成表 4。

表 4：四大地区各省份 Moran's I 散点图局部空间关联性

区位	省域	Moran's I 散点图局部空间关联			
		2007 年		2012 年	
		象限	关联模式	象限	关联模式
东部地区	北京	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H
	天津	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H
	河北	第 I 象限	H-H	第 I 象限	H-H
	上海	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H
	江苏	第 I 象限	H-H	第 I 象限	H-H
	浙江	第 I 象限	H-H	第 I 象限	H-H
	福建	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H
	山东	第 I 象限	H-H	第 I 象限	H-H
	广东	第 IV 象限	H-L	第 IV 象限	H-L
	海南	压线	不明显	压线	不明显
中部地区	山西	第 I 象限	H-H	第一象限	H-H
	安徽	第 II 象限	L-H	第一象限	H-H
	江西	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H
	河南	第 I 象限	H-H	第 I 象限	H-H
	湖北	第 IV 象限	H-L	第 IV 象限	H-L
	湖南	压线	不明显	第 III 象限	L-L
西部地区	内蒙古	第 I 象限	H-H	第 I 象限	H-H
	广西	第 II 象限	L-H	第 III 象限	L-L
	重庆	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L

	四川	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L
	贵州	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L
	云南	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L
	西藏	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L
	陕西	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H
	甘肃	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L
	青海	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L
	宁夏	第 III 象限	L-L	第 II 象限	L-H
	新疆	第 III 象限	L-L	第 III 象限	L-L
	辽宁	第 I 象限	H-H	第 I 象限	H-H
东北地区	吉林	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H
	黑龙江	第 II 象限	L-H	第 II 象限	L-H

2007 年东部地区和中部地区各省份碳排放的集聚类型主要以“H-H”和“L-H”为主，西部地区省份大部分属于“L-L”类型，而东北地区省份则以“L-H”为主。对于中部地区内部而言，山西省和河南省的碳排放属于“H-H”集聚型。因为山西省是以煤炭产业为支撑的能源大省，当其煤炭生产总量增加，运送至毗邻省份的煤炭资源也增加，从而带动周边省份的碳排放量增加；而河南省属于人口大省，能源消费量与人口有着紧密的联系，当居民碳排放活动活跃，从而会影响和带动相邻省份的居民碳排放活动也增加。中部地区的安徽省和江西省属于“L-H”集聚型，即其碳排放量减少时其相邻省份的碳排放量反而增加。湖北省的碳排放属于“H-L”型，即其碳排放量增加时，与其相邻的省份碳排放量减少。而湖南省的莫兰散点位于坐标轴上，集聚类型不明显，其自身碳排放量对与其相邻的其他省份碳排放之间的空间相关性不明显。

与 2007 年相比，2012 年四大地区碳排放的空间集聚类型大致相同，只有四个省份（自治区）发生了变化，主要集中在中部地区的安徽省和湖南省与西部地区的广西壮族自治区和宁夏回族自治区。安徽省的碳排放由“L-H”集聚类型转变为“H-H”集聚，而湖南省的碳排放则由“不明显”转变为“L-H”集聚类型，这与安徽省的碳排放量在 2012 年超过湖南省这一状况相吻合。

为了更直观地观察我国碳排放量的空间分布状况变化和局域之间的相关关系，运用 Geoda 软件做 LISA 地图如图 4 所示。

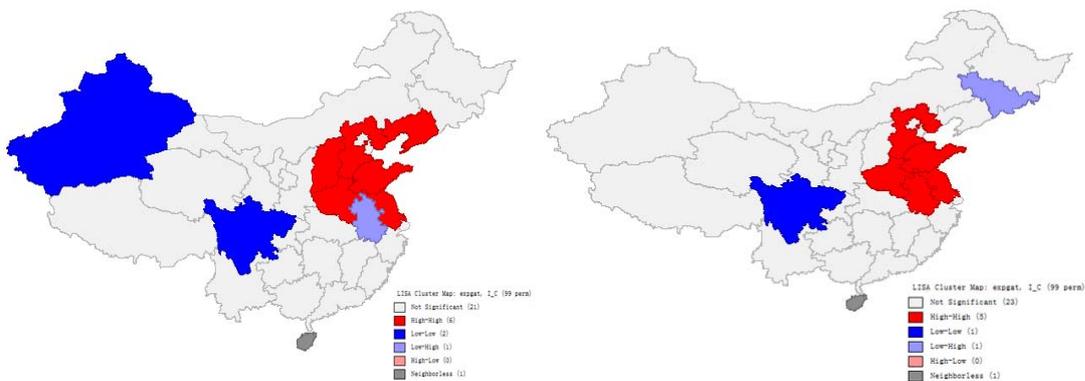


图 4：2007 年与 2012 年全国各省市（自治区）碳排放的 LISA 集聚地图

图 4 中所示省份为集聚效果明显的省份，整体来看，High-High 集聚效果明显的省份为东部地区和中部地区，Low-Low 集聚效果明显的省份全部为西部地区。在 2007 年，High-High 集聚明显的省份有河北省、辽宁省、山西省、河南省、山东省和江苏省，至 2012 年，High-High 集聚省份减少了辽宁省和山西省，增加了安徽省。辽宁省碳排放的 H-H 集聚效果有所降低是因为吉林省碳排放量增幅较小，与此同时吉林省碳排放的“L-H”集聚效果也变得显著起来。而安徽省由 L-H 集聚类型转变为 H-H 集聚类型，说明在中部地区内安徽省的碳排放量有了显著的增加。从 2007 年至 2012 年，Low-Low 集聚效果明显省份减少了新疆，因为 5 年内新疆的碳排放量增加了 93.53%，与其相邻的甘肃、青海和西藏也有了大幅度的增加。

四、碳排放影响因素实证分析

借用 STIRPAT 模型分析碳排放的影响因素，对 2012 年 31 个省份的相关数据进行 OLS 估计，结果如表 5 所示。因为 LM-Lag 在 1% 的显著性水平下通过了检验，而 LM-Error 在 1% 的显著性水平下没有通过检验，因此选用空间滞后模型。加入空间滞后因素的 STIRPAT 模型为：

$$\ln C = \ln \alpha + \rho W \ln C + \beta_1 \ln P + \beta_2 \ln URB + \beta_3 \ln GDP + \beta_4 \ln E + \beta_5 \ln CS + \beta_6 \ln I + \beta_7 \ln FDI + \beta_8 APR + \varepsilon$$

空间加权 OLS 估计结果

检验	MI/DF	值	P 值
Moran's I (error)	-0.149972	-0.6040070	0.5458389
Lagrange Multiplier (lag)	1	6.7489581	0.0093802
Robust LM (lag)	1	7.5507695	0.0059984
Lagrange Multiplier (error)	1	1.4887239	0.2224146
Robust LM (error)	1	2.2905352	0.1301650
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	9.0394933	0.0108918

表 6：空间滞后模型（SLM）估计结果

变量	系数	P 值	变量	系数	P 值
W_C	0.076608	0.0027234 (2.99736)	CS	0.783318	0.0000000 (7.230747)
CONSTANT	-2.539198	0.0523998 (-1.939834)	I	-0.642091	0.0022592 (-3.053874)

P	1.178488	0.0000000 (-6.518312)	URB	-2.788648	0.0000000 (-9.681132)
GDP	1.711393	0.0000000 (7.764627)	FDI	0.294402	0.0004112 (3.53285)
E	0.716580	0.0000018 (4.773616)	APR	-0.031747	0.6233460 (-0.4911138)

通过对空间滞后模型的估计结果，对碳排放的影响因素进行逐一解释分析。

空间权重 (W_C) 对碳排放的影响： W_C 等于 0.0766，其 P 值等于 0.0027 通过了 1% 显著性水平检验。空间权重系数为正值，说明一个地区的碳排放量受到了周边地区碳排放量的正向促进作用，即除了模型设定的影响因素之外，周边地区的碳排放量也是影响该地区碳排放量的主要因素。周边地区碳排放量的增加会促进本地区的碳排放量的增加，产生空间溢出效应。

人口规模 (P) 对碳排放的影响：在空间滞后模型中，人口规模的估计系数显著为正。说明人口规模增加是影响我国各省碳排放规模增加的主要因素。当人口增加 1% 时，碳排放量增加 117.8%。随着人口规模的不断扩大，由能源消费产生的二氧化碳排放会越来越多，并且能源消费的碳排放量占总碳排放量的比重在不断增加。

经济水平 (GDP) 对碳排放的影响：在空间滞后模型中，经济水平的估计系数为 1.711，显著为正，说明我国经济水平的快速增长是碳排放增长最主要的影响因素。当经济水平增加 1% 时对碳排放的贡献率高达 171.1%。在当前阶段，我国处于城镇化、工业化快速发展时期，经济快速发展必然带来碳排放量的快速增加。由 CKC 曲线可知，碳排放量与 GDP 成“倒 U 型”关系，到了经济发展的中后时期，碳排放量会逐渐减少。但是有关研究显示发展中国家的碳排放量拐点是年人均收入等于 24517 美元，因此我国距离曲线的拐点还有较长的时期。

能源强度 (E) 对碳排放的影响：在空间滞后模型中，能源强度的估计系数为 0.7166，显著为正。说明能源强度为碳排放的贡献率很高，能源强度的下降更有利于减少碳排放量，当能源强度下降一个百分点时，碳排放下降 71.6%。能源强度的下降有赖于技术进步，因此，当一个区域引进先进的碳排放减排技术后，可能会引起邻近地区的模仿，从而形成技术进步的外溢，从而进一步形成区域间二氧化碳减排的带动效应，最终共同完成二氧化碳的减排工作。

能源消费结构 (CS) 对碳排放的影响：在空间滞后模型中，能源消费结构的估计系数显著为正。说明煤炭占能源消费比重的下降，有助于二氧化碳排放量的减少。由于我国资源储量以及技术因素，在长期一段时间内，将保持以煤炭为主的能源消费结构。要想缩小二氧化碳的排放规模，必须从调整能源消费结构着手，需要大力发展非化石能源，提高风电、核电、水电、生物质能的应用比重。

产业结构 (I) 对碳排放的影响：与预期结果相反，在空间滞后模型中，产业结构的估计系数显著为负。加入空间因素后，第二产业比重的外溢效应会导致二氧化碳排放的集聚。即是一些地区

的采取了类似“腾笼换鸟”的产业转移政策，把一些高耗能，重污染的工业从发达地区转移到欠发达地区，从而造成了承接产业转移地区二氧化碳排放量的增加。不难说明的是，要完成全国的二氧化碳减排工作，不能仅仅通过转移高耗能，重污染的工业，必须要通过彻底的改变产业结构，大力发展清洁工业和第三产业，才能从根本上缩小二氧化碳的排放规模。

城镇化率（URB）对碳排放的影响：在空间之后模型中，城镇化率的估计系数显著为负，说明随着城镇化进程的进一步加快，人口进一步集聚，会导致碳排放规模的进一步减少，这与人口规模估计结果一致。原因是：人口城镇化水平与碳排放规模呈倒 U 型关系，在城镇化初期，随着城市化率增加会促进碳排放的增加，而随着城市化率的不断升高，到达拐点后，会抑制碳排放总量的增加。

对外开放水平（FDI）对碳排放的影响：外商投资规模的增加会促进碳排放的增减。当外商投资规模增加 1% 时，碳排放增加 29.4%。在当前阶段，外商投资对碳排放的正向促进影响高于其带来技术方面的负向影响。

技术进步（APR）对碳排放的影响没有通过显著性检验。

五、结论

本文通过碳排放量的计算和借助 ESDA 分析方法，得出我国四大地区碳排放的空间分布状况，进而运用 STIRPAT 模型分析影响碳排放的各个因素，主要结论如下：

（1）2007 年至 2012 年，我国四大地区碳排放总量均增加了 20% 以上，西部地区碳排放量增幅平均为 71.03%，中部地区在碳排放量基数较大的前提下，碳排放量增幅也高达 28.99%，稍高于经济发达的东部地区。在碳排放强度方面，四大地区均有了明显的下降，尤其是中部地区下降最为显著。整体状况为：碳排放量，东部地区中部地区东北地区西部地区；碳排放强度，西部地区东北地区中部地区东部地区。

（2）整体上，全国个省份的碳排放量在空间上存在者明显的正相关关系，随着时间的推移，碳排放量的这种空间集聚程度有所减弱，但是效果并不明显。

（3）局部上，东部地区和中部地区各省份碳排放的集聚类型主要以“H-H”和“L-H”为主，西部地区省份大部分属于“L-L”类型，而东北地区省份则以“L-H”为主。对于中部地区内部而言，山西省和河南省的碳排放属于“H-H”集聚型。从集聚效果程度分析，High-High 集聚效果明显的省份为东部地区和中部地区，Low-Low 集聚效果明显的省份全部为西部地区。

（4）碳排放具有明显的空间溢出效应。即除了模型设定的影响因素之外，周边地区的碳排放量也是影响该地区碳排放量的主要因素。周边地区碳排放量的增加会促进本地区的碳排放量的增加，产生空间扩散效果。

（5）对碳排放拉动效应最明显的因素为经济水平（GDP）、人口规模（P）、能源强度（E）和

能源结构（CS）。而产业结构和城镇化水平并没有对碳排放产生拉动效应。此外，外商投资在不同的经济发展阶段对碳排放的影响会有所不同，但是在当前阶段，外商投资的增加会促进碳排放的增加。

参考文献

- [1]谭丹,黄贤金. 我国东、中、西部地区经济发展与碳排放的关联分析及比较[J]. 中国人口资源与环境, 2008,(3).
- [2]林伯强,蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009,(4).
- [3]宋德勇,卢忠宝. 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口资源与环境, 2009,(3).
- [4]李国志,李宗植. 中国二氧化碳排放的区域差异和影响因素研究[J]. 中国人口资源与环境, 2010,(5).
- [5]王锋,吴丽华,杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究, 2010,(2).
- [6]岳超等. 1995-2007年我国省区碳排放及碳强度的分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010,(4).
- [7]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).
- [8]张珍花等. 我国碳排放水平的区域差异及影响因素分析[J]. 经济问题探索, 2011,(11).
- [9]涂正革,谌仁俊. 中国碳排放区域划分与减排路径--基于多指标面板数据的聚类分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2012,(6).
- [10]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, 数量经济技术经济研究[J]. 2012,(5).
- [11]刘传江,黄桂然,章铭. 我国中部六省碳排放量影响因素分解分析[J]. 技术经济, 2013,(1).
- [12]张先锋,韩雪,张庆彩. 基于偏最小二乘模型的碳排放区域差异及影响因素的实证分析[J]. 工业技术经济, 2013,(7).
- [13]刘华军,鲍振,杨骞. 中国农业碳排放的地区差距及其分布动态演进[J]. 农业技术经济, 2013,(3).
- [14]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).
- [15] Heli Lu, Guifang Liu. Spatial effects of carbon dioxide emissions from residential energy consumption: A county-level study using enhanced nocturnal lighting [J]. Applied Energy, 2014, 131:297-306.
- [16] Lei Meng, Ju'eGuo, Jian Chai, Zengkai Zhang. China's regional CO2 emissions: Characteristics, inter regional transfer and emission reduction policies [J]. Energy Policy, 2011, 39: 6136- 6144.