

省域一次能源 CO₂ 排放的空间计量经济分析

马军杰¹, 陈震², 尤建新²

(1. 同济大学法学院, 上海 200092; 2. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 本文结合 STIRPAT 扩展模型, 依据一次能源消耗数据测算了 1990—2006 年中国 30 个省(区、市)的碳排放量, 并对潜在影响因子进行了分析。结果显示, 中国省域二氧化碳排放呈现出明显的空间自相关性, 其中能源强度、人口增长率、经济发展水平是区域二氧化碳排放的主要驱动因子, 而城市化水平与区域碳排放未表现出明显的相关特征。同时, 省域二氧化碳排放存在空间相关性和空间异质性并存的现象。而显著性检验结果显示, 这种现象是系统过程的作用结果。区域的经济水平及经济结构与二氧化碳排放水平在空间上存在耦合现象。这意味着, 在制定区域环保和能源政策及措施时, 必须对碳排放及其影响因子的空间相互作用机制进行综合分析。

关键词: 一次能源; CO₂ 排放; 空间自相关; 省域

中图分类号: F064.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2010)12-0062-06

中国作为世界上最大的温室气体排放国家, 目前仍处于以资本和能源密集化为特征的工业化中后期, 其城市化水平与社会消费需求还在持续提升。人口规模、城镇化规模、工业化进程、消费模式等因子, 既是推动中国能源发展的重要因素, 也决定了中国控制温室气体排放的难度。随着“碳排放”逐渐成为经济发展所必须考量的重要指标, 我国于 2006 年 12 月发布的《气候变化国家评估报告》中首先提出要走低碳经济发展道路; 此后, 2009 年提出到 2020 年实现单位 GDP 二氧化碳排放量比 2005 年降低 40%~45% 的目标。而中国未来的发展需要争取更大的温室气体排放空间, 这就需要在国家战略高度集中优势资源形成整体合力, 在多个目标层面上进行详细规划。然而, 我国以煤为主的能源结构在短期内很难发生改变, 对二氧化碳排放进行控制, 必须对各方面的影响因子加以综合考察, 因此, 了解中国巨大的二氧化碳排放的推动因素及其作用机制尤为关键。

现有关于中国碳排放空间格局的研究, 主要是针对区域碳排放进行的时间序列分析。如岳瑞锋等根据 1990—2007 年我国各省域的能源碳排放强度和人均排放指标, 利用聚类分析法, 对各省域的类型迁移规律进行了初步研究^[1]。此外, 还有许多研究者按照三大地带的划分方法对我国省域二氧化碳的

排放情况进行了分析^[2-7]。但这些研究并未对碳排放指标进行空间检验, 也未考察影响因子对碳排放是否具有空间效应, 并开展相应的空间回归模型分析。时间序列分析主要被用来研究碳排放与经济增长之间的关系, 未考虑空间联系的截面数据分析同样也只用用来研究区域碳排放与社会经济之间的关系。而空间回归分析则主要是研究碳排放与社会、经济等因子之间的空间关系。目前还未发现碳排放的空间格局的描述统计及成因计量分析的文献, 可见有关区域碳排放与社会、经济增长的空间相似性或差异的研究处于空缺状态。

1 空间自相关指数与探索性空间数据分析

探索性空间数据分析(exploratory spatial data analysis, ESDA) 是一系列空间数据分析方法和技术的集合, 以空间关联测度为核心, 通过对事物或现象空间分布格局的描述与可视化, 发现空间集聚和空间异常, 揭示研究对象之间的空间相互作用机制^[8]。空间自相关反映的是一个区域单元上的某种地理现象或某一属性值与邻近区域单元上同一现象或属性值的相关程度, 可使用全局指标和局部指标两种不同等级的指标加以度量。

Moran 指数和 Geary 比率是两个用来度量空间自相关的全局指标。本文采用的是 Moran 指数,

收稿日期: 2010-08-25

基金项目: 国家科技支撑计划课题“低碳经济发展评价指标、战略规划与配套政策研究”(2009BAC62B01)

作者简介: 马军杰(1978—), 男, 山西人, 同济大学法学院理学讲师, 博士, 研究方向: 低碳经济、区域经济、法经济学; 陈震(1984—), 男, 山东人, 同济大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向: 低碳经济、科技创新; 尤建新(1961—), 男, 江苏人, 同济大学经济与管理学院教授, 博士, 研究方向: 管理理论与工业工程、科技发展与管理。

定义如下:

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (1)$$

式(1)中,

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2;$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

其中: x_i 为区域 i 的观测值; W_{ij} 为空间权重矩阵。空间权重矩阵的定义是空间统计学与传统统计学的重要区别之一, 是利用 ESDA 技术进行空间探索分析的前提和基础。通常定义一个二元对称空间权重矩阵 $W_{n \times n}$ 来表达 n 个位置的空间邻近关系, 这种关系可根据邻接标准或距离标准来度量。

空间权重矩阵有多种规则, 常用的有两种:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当区域 } i \text{ 和 } j \text{ 相邻接} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}; \quad (2)$$

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当区域 } i \text{ 和 } j \text{ 的距离小于 } d \\ 0, & \text{其他} \end{cases}。 \quad (3)$$

检验统计量是否为标准化 Z 值, 可用式(4)检验 n 个区域是否存在空间自相关关系:

$$Z(d) = \frac{I(d) - E(I)}{\sqrt{VAR(I)}} \quad (4)$$

根据式(4)计算出检验统计量, 可对有意义的空间关联进行显著性检验。式(4)中的均值和方差都是理论上的均值和标准方差。对于不同的数据样本分布假设和空间自相关的性质, 这些理论值是变动的, 由此带来 Z_i 的改变, 显著性检验也要随之改变。

2 中国省域一次能源二氧化碳排放水平计算

中国区域自然地理条件、经济、社会、科技、人口和文化的地域空间差异显著, 传统的全国二氧化碳排放的时间序列数据分析无法揭示这种显著的区域空间差异对碳排放的影响范围和程度。空间差异的存在使得时间序列回归方法不再适合于揭示经济发展与碳排放之间的复杂关系, 也难以得出真正反映碳排放实践的分析结论。在碳排放问题研究中, 不能仅仅局限于使用时间序列数据, 还应该对存在空间效应的截面数据进行分析。此外, 相比总量约束, 能源利用的结构性约束对中国的经济发展具有更为深刻的影响^[9-10]。因此, 本研究基于区域能源消费的需求函数, 采用空间统计与空间计量方法模型, 就中国省域的经济增长、人口、能源效率等因素对碳排放的影响进行实证分析, 检测区域碳排放的空间依

赖性及经济增长、人口、能源效率对碳排放的空间作用机制。本文根据《新中国五十五年统计数据汇编》、《中国能源年鉴》以及《中国统计年鉴》的能源消耗数据测算我国 1990—2006 年的碳排放量。省域碳排放量(C)采用式(6)进行估算:

$$C = \sum_i^n \sum_j^m (E_{ij} \times F_j) \quad (5)$$

式(5)中: C 为省域碳排放量矢量; E 为各种一次能源的碳消费标准量; i 为省份下标; j 为能源类型; F_j 为 i 类能源的碳排放系数。这里采用的计算公式主要参考了徐国泉等提出并改进的碳排放量分解模型中的算法。由于该公式的算法已得到认可^[11-13], 因此采用该公式计算得到的碳排放量是可靠的。通过查阅有关文献, 收集有关能源消耗的碳排放系数并进行比较计算, 最终取平均值来确定各能源的消耗碳排放系数。一次能源的标准煤转化系数和碳排放系数见表 1 和表 2。

表 1 一次能源的标准煤转化系数

能源类型	原煤	原油	天然气
转化系数	0.7143	1.4286	1.33

表 2 一次能源的碳排放系数 吨/吨标煤

数据来源	煤炭消耗碳排放系数	石油消耗碳排放系数	天然气消耗碳排放系数
美国能源署(DOE)/ 美国能源情报署(EIA)	0.702	0.478	0.389
日本能源经济研究所 (IEE Japan)	0.756	0.586	0.449
国家科委气候变化项目 (MOST CH)	0.726	0.583	0.409
徐国泉	0.7476	0.5825	0.4435
平均值	0.7329	0.5574	0.4226

根据 York 的 STRIRPAT 扩展模型计算省域碳排放水平^[14]:

$$\ln I_{it} = a + b_1(\ln P_{it}) + b_2(\ln U_{it}) + c(\ln A_{it}) + d(\ln T_{it}) + e_{it} \quad (7)$$

其中: I_n 表示二氧化碳排放量; i 指地区或国家; t 指年份; P 表示人口数量; U 代表城市发展水平; A 代表人均 GDP; T 表示能源强度。计算结果见表 3。

表 4 归纳了中国省域二氧化碳排放的 Moran's I 指数及其显著性检验结果。为了使分析数据更为可信, 样本时间序列扩展至 1990 年。同时, 由于重庆市在 1999 年前仍属于四川省, 因此在进行分析时将其剔除。为了消除数据波动的影响, 本文采用 1990—2006 年平均数据来分析我国省域碳排放的全局空间分布。从表 4 可看出, 1990—2006 年的

碳排放均表现出明显的空间自相关性,且这种自相关性有加强的趋势。显著性检验结果显示,这种自相关性来自于系统过程的作用结果。

表 3 省域多年碳排放水平及其影响因子的平均值

地区	<i>I</i> (吨标准煤)	<i>P</i> (万人)	<i>U</i> (%)	<i>A</i> (元/人)	<i>T</i> (吨标准煤/万元)
安徽	4332.15	6216.20	33.47	6979.73	1.32
北京	2147.56	1489.68	81.83	34494.53	1.14
福建	2333.05	3512.00	45.62	15681.98	0.91
甘肃	2665.37	2596.41	28.37	5674.17	2.52
广东	6426.78	8677.84	59.56	18761.73	0.89
广西	1757.32	4721.80	32.14	6619.25	1.24
贵州	4036.53	3756.17	26.07	3909.57	3.70
海南	263.26	815.57	43.80	9017.57	0.94
河北	8587.43	6812.89	34.07	11473.64	2.03
河南	8250.30	9480.60	28.77	8500.52	1.44
黑龙江	5264.48	3792.40	52.71	12033.74	1.54
湖北	4747.68	5889.14	42.41	9651.10	1.45
湖南	3869.15	6492.56	35.15	8186.43	1.30
吉林	3771.65	2715.74	51.72	10308.43	1.84
江苏	8653.90	7458.96	47.83	18567.71	0.91
江西	2205.83	4264.80	34.45	7286.57	1.12
辽宁	10144.97	4231.20	57.31	15368.43	1.92
内蒙古	6016.76	2384.54	46.17	10891.35	2.57
宁夏	1544.15	585.86	39.24	7520.00	4.56
青海	440.25	536.26	37.76	7848.25	3.05
山东	12385.93	9186.40	43.03	15163.06	1.28
山西	11647.69	3334.63	40.01	8563.71	3.56
陕西	3470.82	3690.50	36.20	7338.57	1.56
上海	4021.60	1744.00	88.70	46252.71	1.01
四川	3968.13	8426.28	31.33	7133.86	1.59
天津	2402.12	1030.77	74.28	27936.46	1.29
新疆	3009.95	1976.02	36.30	10396.00	2.20
云南	2885.53	4400.81	27.79	6268.86	1.75
浙江	5774.79	4790.11	53.73	21231.38	0.96
重庆	1630.29	2989.40	41.66	8202.00	1.41

表 4 中国省域碳排放的 Moran's I 指数

年份	<i>I</i>	<i>E(I)</i>	<i>MEAN</i>	<i>sd</i>	<i>P</i>	<i>Z</i>
2006	0.3125	-0.0345	-0.0364	0.1173	0.005	2.958227
2005	0.3294	-0.0345	-0.0313	0.1161	0.003	3.134367
2004	0.3039	-0.0345	-0.029	0.1183	0.01	2.860524
2003	0.2784	-0.0345	-0.033	0.1176	0.013	2.660714
2000	0.0846	-0.0345	-0.0332	0.1145	0.149	1.040175
1999	0.1861	-0.0345	-0.0303	0.1162	0.037	1.898451
1990	0.2211	-0.0345	-0.0371	0.1164	0.023	2.195876
平均	0.2997	-0.0345	-0.0278	0.1147	0.007	2.913688

注:鉴于数据的可获得性和原始数据中部分因子的统计口径不一致,为了保证模型分析结果的精确性,因此对数据进行了筛选。

图 1 展示了我国省域二氧化碳年度平均排放情况。图 2 和图 3 的 Moran's I 散点图刻画了 1990—2006 年我国二氧化碳排放的局域空间相关性(LISA),表 5 对其所表达的内容进行了解释和总结。

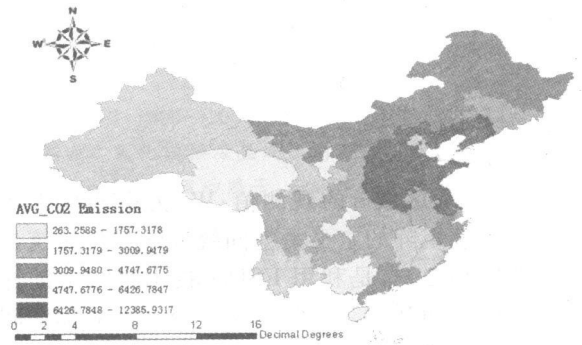


图 1 1990—2006 年中国省域二氧化碳年度平均排放情况示意图

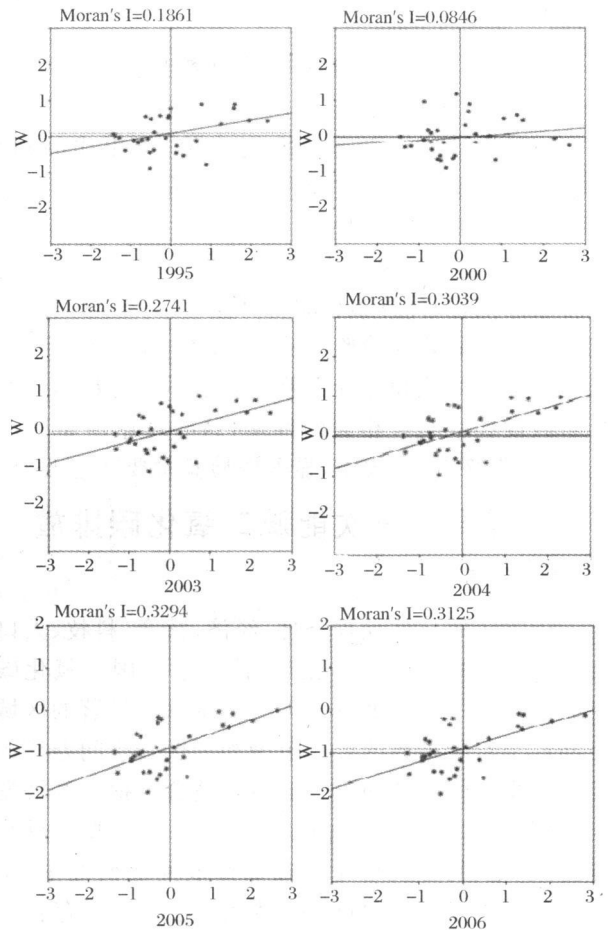


图 2 部分年份的中国省域二氧化碳排放 Moran's I 散点图

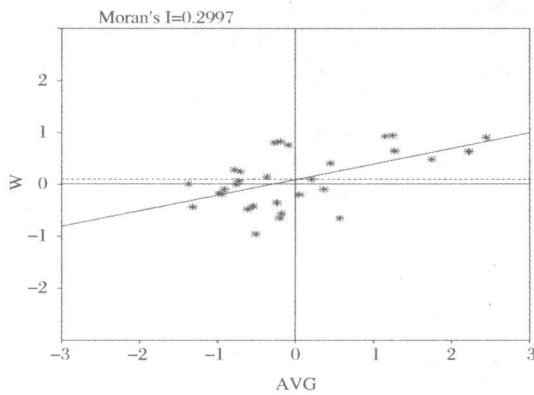


图 3 中国省域碳年度平均碳排放 Moran's I 散点图

表 5 Moran's I 散点图解释

象限	省域碳排放 (2006 年)	平均省域碳排放 (1999—2006 年)	比例 (%)
高-高	山东、山西、河北、辽宁、河南、江苏、内蒙古、黑龙江	山东、山西、河北、辽宁、河南、江苏、内蒙古、黑龙江	26.7
低-高	陕西、安徽、吉林、上海、福建、天津、北京	陕西、安徽、吉林、上海、福建、天津、北京	23.3
低-低	湖北、湖南、贵州、四川、云南、新疆、甘肃、江西、广西、宁夏、重庆、青海	湖南、贵州、四川、云南、新疆、甘肃、江西、广西、宁夏、重庆、青海	36.7
高-低	广东、浙江	湖北、广东、浙江	10
海南介于低-高与低-低象限之间			3.3

注:表中的“比例”表示位于该象限的省区数量占全部省区数量的比例。

3 我国省域一次能源碳排放推动力分析

事实上,社会经济活动在空间维度上是存在空间依赖与空间相关性的。IPCC 第三工作组第三次评估报告决策者摘要指出,在未来的研究当中,需要综合分析减排措施对陆地系统碳流入和流出的影响以及地理工程领域内的一些基本问题。而经典的计量经济学模型中关于均质空间和样本独立同分布的假定,以及 Gauss-Markov、解释变量固定等严格假定,包括经典经济学理论中空间事物无关联及均质性假定,造成在使用普通最小二乘法进行模型估计均有可能导致在实际应用中出现模型设定偏差问题,进而使得在分析异常复杂的经济系统和因素变量之间的交互影响时,尤其是解决横截面数据存在的空间自相关性和空间异质性问题时,经典的计量线性回归模型无法胜任^[15]。而空间经济学模型中解释变量对被解释变量的影响在不同区域可能是不同的,因而可以有效地解决空间异质环境中的空间依赖与空间相关性等问题。因此,由诺奖获得者保

罗?克鲁格曼等学者所提出并主导的空间经济理论更被视为不完全竞争与收益递增革命的第四次浪潮。较为经典的空间计量经济模型主要有空间滞后模型与空间误差模型等,其计算方法如下:

(1) 空间滞后模型(spatial lag model, SLM):

$$\begin{cases} y = \rho W_1 y + X\beta + \mu \\ \mu = \lambda W_2 \mu + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2 I_n) \end{cases} \quad (8)$$

其中, y 为因变量; X 为 $n \times k$ 的外生解释变量矩阵; ρ 与 λ 为空间回归系数, W 为 $n \times n$ 阶的空间权重矩阵, 一般用邻接矩阵; $W_1 y$ 为空间滞后因变量; ε 为随机误差项向量。

(2) 空间误差模型(spatial error model, SEM):

$$\begin{cases} y = X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon = \lambda W \varepsilon + \mu \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2 I_n) \end{cases} \quad (9)$$

其中, ε 为随机误差项向量; λ 为 $n \times 1$ 阶的截面因变量向量的空间误差系数; μ 为正态分布的随机误差项向量。参数 λ 衡量了样本观察值的空间依赖作用, 即相邻地区的观察值 y 对本地区的观察值 y 的影响方向和程度; 参数 β 反映了自变量 X 对因变量 y 的影响。SEM 的空间依赖作用存在于扰动误差项中, 度量了邻接地区关于因变量的误差冲击对本地区观察值的影响程度。

表 6 中国省域碳排放的 OLS 回归分析结果

Var	Coefficient	Std Error	t Statistic	Prob
Constant	-12.8190	1.2348	-10.3810	0.0000
lnP	1.2296	0.0691	17.8021	0.0000
lnU	0.5060	0.4079	1.2406	0.2263
lnA	0.9022	0.2295	3.9311	0.0006
lnT	1.5483	0.1221	12.6811	0.0000
R ²	0.9326			
F	101.3350			
LogL	4.2143			
AIC	1.5715			
SC	8.5775			

(1) 通过比较可发现: SEM 中 R^2 为 94.35%, 大于 OLS 的 93.26% 与 SLM 中的 94.20%; SEM 中 LogL 为 4.4653, 大于 OLS 的 4.2143 与 SLM 中的 4.2265; SEM 中 AIC 和 SC 检验值分别为 1.0693 和 8.0753, 小于 OLS 的结果 (1.5715, 8.5775) 和 SLM 的结果 (3.5469, 11.9541)。因此, 可以认为空间误差模型的模拟效果最好。

(2) 从空间误差模型的分析结果来看, 在 0.0238 的显著性水平下 $\rho\lambda$ 为 0.2714, 这意味着中国省域二氧化碳排放存在着强烈的空间自相关性, 也就是说, 在全局尺度上邻近省域的碳排放表现出相似的特性。

表 7 中国省域碳排放的空间计量模型计算结果

Var	SLM				SEM			
	Coefficient	Std. E	t	P	Coefficient	Std. E	t	P
Constant	- 12 9204	1. 2759	- 10 1266	0 0000	- 12 1956	1. 1795	- 10 3393	0 0000
lnP	1 2364	0 0752	16 4470	0 0000	1 2072	0 0653	18 4945	0 0000
lnU	0 5057	0 3723	1 3583	0 1744	0 4370	0 3966	1 1018	0 2705
lnA	0 9111	0 2168	4 2034	0 0000	0 8842	0 2291	3 8594	0 0001
lnT	1 5612	0 1366	11 4291	0 0000	1 5206	0 1194	12 7363	0 0000
ρ/λ	- 0 0052	0 0325	- 0 1595	0 0873	0 2714	0 2303	1 1787	0 0238
Model diagnostics	Value	P			Value	P		
R squared	0 9420				0 9435			
LogL	4 2265				4 4653			
LR	0 0246	0 0875			0 5021	0 0478		
AIC	3 5469				1 0693			
SC	11 9541				8 0753			

(3)SEM 中 lnT 的系数为 1.52, 这表示能源强度仍然是影响二氧化碳排放的主要驱动因子; SLM 和 SEM 中 lnP 的系数分别是 1.2364 和 1.2072, 这表示人口数量也是影响能源碳排放的重要因素, 这主要归因于人民生活水平的不断提高导致能源需求增长; SLM 与 SEM 中 lnA 的系数分别为 0.9111 和 0.8842, 这表明能源消耗仍然是中国经济增长的重要动力。SEM 中 lnU 的系数表明, 区域城市化水平对二氧化碳排放的影响不是很大。

4 结论

本文采用空间计量经济分析方法对我国一次能源的二氧化碳排放情况进行了研究。在全局尺度上, 我国邻近省域的碳排放水平表现出较强的空间相似性。具体来说, 我国有 63.4% 的省份具有与周围区域较为相似的碳排放水平, 其中排放水平较高的省份主要集中在我国东部地区, 尤其是环渤海地区, 具体省份如山东、山西、河北、辽宁、河南等; 排放水平较低的省份则集中分布在我国中、西部地区, 包括湖北、湖南、江西、贵州、四川、重庆、云南、广西以及西北地区的新疆、甘肃、宁夏、青海等。另外, 33.3% 的省份与周边区域的碳排放水平有较大差异, 也就是说, 中国省域碳排放水平既存在空间依赖性, 也存在空间异质现象, 其中陕西、安徽、吉林、上海、福建天津、北京等省市的碳排放水平与周围地区相比明显较低; 而广东、浙江等省份的碳排放水平则明显高于周围地区。因此, 空间(溢出)效应对我国二氧化碳排放的格局具有重要影响。

事实上, 区域经济发展水平及产业结构与二氧化碳排放水平在空间上存在较高的耦合。在本文中, 人均 GDP 作为衡量地区经济发展水平的核心指标, 与二氧化碳排放存在明显的正相关关系。我国经济最发达的三个地区——环渤海、长三角、珠三角

地区的二氧化碳排放水平明显高于其他省区, 这与大多数文献所得的“我国经济增长依赖于资源投入及能源消耗”的结论相一致。然而, 区域经济结构差异对地区二氧化碳排放结构特征的影响则更为显著。以环渤海地区为例, 山东、山西、河北、辽宁等省目前仍然是以能源重化、工业为主的国有大、中型企业的集聚区, 且第三产业中的现代服务业比重较小; 北京、天津的第三产业比重明显较高, 产业结构特征相对较“轻”, 处于工业化后期阶段。可以说, 环渤海地区以能源重化、工业为主的产业空间分布结构与前文中有关该地区二氧化碳排放的空间分布特征高度一致, 都是以“京-津”地区为核心所形成的“中心-外围”结构。而处于长三角与珠三角地区的大多数城市的经济发展水平较快, 第三产业的比重较高, 因此其二氧化碳排放水平相对于环渤海地区较低。但是, 以广东和浙江为核心的长三角及珠三角地区相对于周边地区来说仍然是二氧化碳排放的高值区, 其中广东的产业结构依然偏“重”, 其中电子信息、石油化工、电器机械等行业占有较高比例; 而上海较低的碳排放水平显然与其较高的现代服务业的发展水平是分不开的。

除了经济发展水平和产业结构外, 影响区域二氧化碳排放水平的因素还包括能源强度、人口、城市化水平以及资源禀赋等^[6]。我国正处于以资本和能源密集化为特征的工业化中后期, 大量的基础设施和工业化基础设施建设需要大量的钢铁、水泥、机械等耗能产品。能源强度取决于能源利用效率和技术发展水平, 它是对碳排放强度起决定作用的核心因子。一般来说, 经济增长会引起技术、制度的变革和经济结构的演进, 从而可实现依靠科技进步和提高产品附加值来降低区域碳排放水平。我国能源强度较低的省份主要位于东部经济较发达地区, 而中、西部地区的第二产业的比重较高, 同时能源利用效

率低下,二氧化碳排放水平与能源强度呈高度正相关。此外,本文的模型分析结果显示,区域碳排放强度与采用城市人口比重来表示的城市化水平之间未表现出明显的相关关系。这是由于城市的快速发展一方面会相应地提高地区第三产业的比重、优化地区产业结构,另一方面,从长期来看,不完全竞争条件下的规模收益递增、人口和经济要素的集聚以及相应的知识、技术溢出会提高整个区域的能源利用效率——当然这还取决于地区经济发展水平。同时,本文并未从产业链上对投入要素的能源消耗进行产品生命周期分析,这也必然会造成上述结果。事实上,对城市基础设施建设所引起的碳排放和城市生产、生活中所形成的碳排放进行量化分析,需要构建更为精确和合理的审计及分析框架,这显然超出了本文的研究范畴。

区域的经济展方式与政策导向对区域自身和周围地区的二氧化碳排放具有重要影响。区域碳排放的控制不仅需要政策的干预,以打破经济增长和二氧化碳排放间的相关关系,同时还应当优化地区的经济结构、控制人口数量、引入节能技术、加强技术研发和能源管理,从而提高能源利用效率,清洁能源结构。此外,还应当利用空间溢出效应,发挥城市的带动作用,从“低碳实验区建设”和“传统产业的低碳化改造”两个方向降低区域二氧化碳减排强度。

参考文献

- [1] 岳瑞锋,朱永杰. 1990—2007年中国能源碳排放的省域聚类分析[J]. 技术经济, 2010, 29(3): 40-45.
- [2] 张雷. 中国一次能源消费的碳排放区域格局变化[J]. 地理研究, 2006, 125(11): 1-9
- [3] 胡初枝,黄贤金,钟太洋,等. 中国碳排放特征及其动态演进分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(3): 38-42.

- [4] 徐国泉,刘则渊,姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995-2004[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 158-161.
- [5] 汪刚,冯霄. 基于能量集成的 CO₂ 减排量的确定[J]. 化工进展, 2006, 25(12): 1467-1470.
- [6] 王铮,朱永彬. 我国各省区碳排放量状况及减排对策研究[J]. 战略与决策研究, 2008, 23(2): 109-115.
- [7] 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, 18(3): 54-57.
- [8] ANSELIN L. Spatial Econometrics: Methods and Models [M]. Dordrecht: Kluwer Academic, 1988.
- [9] FISHER-VANDEN K, JEFFERSON G H, LIU H, et al. What is driving China's decline in energy intensity? [J]. Resource and Energy Economics, 2004, 26(1): 77-97.
- [10] 魏一鸣,刘翠兰,范英,等. 中国能源报告 2008 碳排放研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 100-109.
- [11] 查冬兰,周德群. 地区能源效率与二氧化碳排放的差异性——基于 Kaya 因素分解[J]. 系统工程, 2007, 25(11): 65-71.
- [12] 主春杰,马忠玉,王灿,等. 中国能源消费导致的 CO₂ 排放量的差异特征分析[J]. 生态环境, 2006, 15(5): 1029-1034.
- [13] 李影. 能源消费与经济增长的灰色关联度分析——基于能源结构约束的视角[J]. 技术经济, 2010, 29(3): 95-99.
- [14] YORK R, ROSA E A, DIETZ T. STIRPAT, IPAT and imPACT: analytics tools for unpacking the driving forces of environmental impacts(periodical style) [J]. Ecological Economics, 2003, 3: 351-365.
- [15] Ma Junjie, Liu Xia, You Jianxin, et al. Spatial econometric analysis of China's provincial CO₂ emissions[Z]. The 2009 International Symposium on Applied Computing and Computational Sciences, 2009: 452-456.
- [16] PETERS G P, WEBER C L, GUAN D, et al. China's growing CO₂ emissions: a race between increasing consumption and efficiency gains[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(17): 5939-5944.

Spatial Econometric Analysis on China's Provincial Primary Energy-Related Carbon Dioxide Emission

Ma Junjie¹, Chen Zhen², You Jianxin²

(1. School of Law, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on an extended STIRPAT model and spatial autoregressive model, this paper investigates the energy related CO₂ emission of 30 provinces in China from 1990 to 2006 and the underlying driving factors. The result shows that the provincial CO₂ emission is characterized by the spatial autocorrelation, and energy intensity, population growth and economic development are the main contributors to the provincial CO₂ emission, while urbanization is not an inevitable factor. There is the coexistence of spatial autocorrelation and spatial heterogeneity in the provincial CO₂ emission, which is due to a systematic process. There exists spatial couple between carbon emission and regional economic development & structure, which means that the spatial interaction mechanism between carbon emission and its impact factors must be taken into account when making regional policies and measures on environmental protection and energy consumption.

Key words: primary energy; carbon dioxide emission; spatial autocorrelation; province