

碳减排是否存在空间溢出效应?

——基于省际面板数据的空间计量检验

徐盈之, 王书斌

摘要: 为了深入探究我国省际碳减排活动对周边省份碳排放的影响作用, 本文以溢出效应为切入点, 首先考察了我国省际碳排放的空间相关性, 检验了碳减排空间溢出效应的存在性, 然后提出碳减排空间溢出效应的若干理论假设, 最后从空间维度出发, 分别针对我国整体及东中西三大区域, 研究了 2006—2012 年省际碳减排活动的空间溢出效应。研究结果表明, 我国省际碳排放总体呈现空间正相关关系, 但其空间异质性趋势明显; 碳减排存在空间溢出效应, 且碳减排的空间溢出效应具有明显的空间差异性。本文据此提出了相关的对策建议。

关键词: 碳减排; 空间溢出效应; 空间杜宾模型

中图分类号: F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2015)01-0041-10

一、引言

为实现哥本哈根气候峰会的减排目标, 中国已将节能减排作为约束性指标纳入到国民经济和社会发展的长期规划。国家“十二五”规划纲要明确指出“十二五”期间我国单位国内生产总值能耗应降低 16% 左右, 规模以上单位工业增加值能耗应减少 21%。这说明碳减排目标的实现程度已成为中央衡量各级政府在推进两型社会构建、促进经济结构调整和加快经济发展方式转变等方面取得成效的关键指标。迫于政绩压力, 各级政府均积极推进本地区低碳经济转型, 努力推动经济与碳排放的脱钩式发展。在此过程中, 值得我们思考的一个问题是: 各地政府在本地区实现碳减排过程中, 能否对周边区域碳排放产生空间溢出效应? 若能, 将产生何种影响? 这些空间溢出影响又是通过哪些机制和渠道实现的?

近年来, 有关碳减排问题引起了国内外学者的关注。碳减排政策研究主要集中于限制工业能耗、资助节能减排技术研发、鼓励节能项目投资、建立节能服务中介机构等方面^{[1][2][3][4][5]}。在碳减排的影响因素方面, 学者们从经济结构、人口、收入等不同角度展开了分析^{[6][7][8][9]}。Guo 指出科技创新是降低碳排放的重要因素^[10]; Choi 等认为重工业发展和基础设施建设是导致中国高碳排放的主要原因^[11]; Satterthwaite 则通过研究人口增长和城市化对碳排放影响, 指出城市人口增多是导致碳排放增加的主要原因^[12]。因此, 政府通过调整经济结构、资助低碳技术研发和倡导低碳社会等, 进行了碳减排^[13]。关于碳排放空间效应方面, 国内较具代表性的有: 郑长德等应用空间计量模型对我国各省

基金项目: 江苏省社科基金重点项目“江苏发展绿色、低碳、循环经济研究”(14EYA003); 中国浦东干部学院 2014 年度长三角改革发展研究课题“长三角环境污染综合治理机制研究”(CELAP2014-YZD-09); 江苏省高校哲学社会科学研究重点项目“江苏省大学科技园与地方高新区协同创新体制机制研究”(2013ZDIXM029); 江苏省高校“青蓝工程”项目

作者简介: 徐盈之, 东南大学经济与管理学院教授、博士生导师(江苏 南京 211189); 王书斌, 东南大学经济与管理学院博士研究生

经济增长与碳排放之间的关系进行研究,结果表明经济增长与碳排放呈现正相关关系^[14];陈青青等则运用空间滞后模型分析我国省际碳排放的影响因素,研究表明煤炭消费比重提高及人口增长均会明显增加碳排放量^[15];孙庆刚等探讨了能源强度的空间溢出效应,发现能源强度的空间溢出效应十分明显,且城镇化率、工业化和开放度对能源强度具有较强解释力^[16]。

上述研究从不同角度分析了我国碳减排的影响因素,但现有文献对碳减排影响因素进行分析时较少考虑这些因素的空间溢出机理及对周边地区的碳排放影响。鉴于此,本文尝试以此为切入点,分析我国省际碳减排活动对各省碳排放的直接影响以及对相邻省份碳排放的空间溢出影响。此外,由于我国幅员辽阔,各省省情以及碳减排目标差异明显,所以碳减排的空间溢出影响也存在显著差异,但从经济社会发展现状和碳减排目标的空间分布特征来看,总体呈现出东、中、西三大地带的空间格局。因此,本文不仅进行全域分析,还将针对东、中、西三大区域进行局域研究。首先检验我国省际碳排放的空间相关性,然后分析碳减排的空间溢出效应,据此提出相应的理论假设,并选定指标和设定空间计量模型,最后运用2006—2012年的省际面板数据,从全域和局域两个层面考察碳减排的直接影响和空间溢出效应,对理论假设进行验证。本文的结构安排如下:第二部分为中国省际碳排放的空间相关性检验;第三部分为理论假设与模型设定;第四部分为实证结果分析;第五部分为结论与对策建议。

二、中国省际碳排放的空间相关性检验

空间相关性是指各地区间的某种地理现象或某个属性值存在一定程度的空间相互作用,可分为空间依赖性和空间异质性。空间依赖性即为相邻地区间存在较为相似的属性,空间异质性则反映出相邻地区间属性差异较大^[17]。本部分将应用 Moran's I 指数来测度我国省际碳排放的空间相关性特征。

(一) Moran's I 指数分解法

判断区域变量是否存在空间相关性的方法有 Moran's I 指数检验、极大似然 LM-Error 检验以及极大似然 LM-Lag 检验等。其中,最常用的是 Moran's I 检验,其表达式如公式(1)所示^[17]:

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

其中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$, Y_i 代表第 i 个地区的观测值, W_{ij} 为二进制的邻接空间权重矩阵。由于西藏相关数据缺失,本文构建了30个省市自治区的空间权重矩阵,相邻区域之间取值为1,不相邻则取0。由于海南省地理位置特殊,构建矩阵时假定其仅与广东省相邻。Moran's I 指数值在-1与1之间,值愈接近1,越表明具有相似属性的空间单元产生集聚;值愈接近-1,越表明具有相异属性的空间单元产生集聚。如果 Moran's I 指数接近或等于0,表明空间单元属性属于随机分布状态。

但 Moran's I 指数是对空间相关性的整体进行评估,容易忽略空间过程的潜在不稳定性,特别是对于空间差异较大的空间过程,因此需要进一步考虑是否存在观测值的高值或低值局部集聚现象,以及空间相关性的全局评估在多大程度上掩盖了反常的局部状况或小范围的局部不稳定性。为解决上述问题,本文借鉴了 Zhang 等^[18]提出的 Moran's I 分解法。

在对观测值空间关联性质的考量方面,将 Moran's I 指数分解为 I_h 、 I_c 、 I_n 三部分,其中 I_h 为高值空间相关度,代表高于平均水平的观测值在空间上的集聚程度; I_c 为低值空间相关度,代表低于平均水平的观测值在空间上的集聚程度; I_n 为负空间相关度,表示高低不同观测值在空间上的集聚程度。 I_h 、 I_c 、 I_n 如公式(2) — (5) 所示:

$$I = I_h + I_c + I_n \quad (2)$$

$$I_h = \frac{\sum_{i \in A_h} \sum_{j \in A_h} W_{ij} (Y_i - \bar{Y}) (Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (3)$$

$$I_c = \frac{\sum_{i \in A_c} \sum_{j \in A_c} W_{ij} (Y_i - \bar{Y}) (Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4)$$

$$I_n = \frac{\sum_{i \in A_h} \sum_{j \in A_c} (W_{ij} + W_{ji}) (Y_i - \bar{Y}) (Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (5)$$

其中, A_h 、 A_c 分别表示高于与低于全国平均值的省份的集合。

(二) 省际碳排放的空间相关性描述

本文运用我国 2006—2012 年省际碳排放的数据测算得到各种类型的 Moran's I 指数值, 其变化趋势如图 1 所示。

由图 1 可以看出, 2006—2012 年间我国省际碳排放的综合空间相关度为正, 说明在样本期内, 我国省际碳排放存在“马太效应”, 即碳排放较高的省份倾向于与其他具有较高碳排放的省份相邻近, 而碳排放较低的省份倾向于与其他具有较低碳排放的省份相邻近。

从四种类型的空间相关度演变过程来看, (1) 综合空间相关度一直表现为下降趋势, 从 2006 年的 0.205 下降到 2012 年的 0.159, 表明我国省际碳排放的空间依赖性呈逐年衰减态势。(2) 高值空间相关度从 2006 年的 0.414 增加到 2009 年的 0.449, 再降到 2012 年的 0.41, 基本保持原态; 此外, 通过数值对比可看出, 高值集聚是我国省际碳排放空间关系的主要形式。(3) 低值空间相关度在四类空间相关度中绝对值最小, 说明我国省际碳排放的低值集聚现象表现较为不明显。(4) 负空间相关度表现出缓慢下降的变化趋势, 从 2006 年的 -0.329 下降到 2012 年的 -0.393, 表明我国省际碳排放的空间异质性特征愈加明显, 空间“极化”效应正在增强。

上述分析证实我国省际碳排放的空间关系并非为随机分布, 而是呈现出一定的空间规律性。由于省际碳排放的高低与碳减排效果密切相关, 因此有理由认为省际碳减排活动也可以通过空间溢出效应对相邻省份的碳排放产生影响。同时, 本文认为, 若不考虑空间因素, 仅运用普通面板模型分析碳减排活动对省际碳排放的影响可能会存在一定的偏差。因此, 本文接下来将首先分析碳减排的若干空间溢出效应机理, 并据此提出相关理论假设, 然后从空间维度出发, 借助空间计量模型, 对碳减排可能存在的空间溢出效应进行验证。

三、理论假设与模型设定

(一) 理论假设

参考已有研究成果, 认为碳减排的空间溢出效应主要受到以下四种因素的影响, 即发展低碳技术、提升工业化水平、倡导低碳消费和提高碳减排政策力度。本文就此四种影响因素对周边地区碳排放的空间溢出效应及其作用机理展开分析, 并提出如下假设:

1. 发展低碳技术。发展低碳技术是碳减排的一项重要影响因素, 一方面可以通过改造现有产业

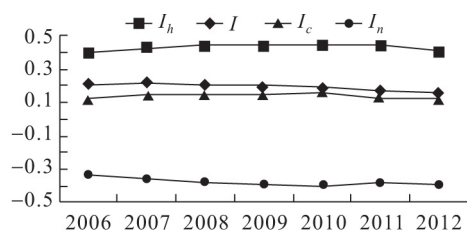


图 1 我国省际碳排放的 Moran's I 指数值
数据来源: 根据《中国能源统计年鉴》(2013) 相关数据计算整理而成。

的生产流程,降低生产过程中的碳排放;另一方面还有助于促进低碳环保产业的兴起与发展,推动地区产业实现低碳化转型。在空间溢出方面,低碳技术发达的地区通过投资、技术交流与合作等方式,促进其他地区低碳技术发展。根据空间距离衰减的特征,地区越邻近,越有利于技术传播,因此与低碳技术发达地区相邻的地区,可利用技术溢出效应,提升本地区低碳技术水平,从而达到降低碳排放的效果。

假设 1: 低碳技术发展存在正向空间溢出效应,有助于促进周边地区实现碳减排。

2. 提升工业化水平。工业化水平的提高会对碳减排起到促进作用。工业发展初期,工业化往往意味着能源消耗和废弃物排放的大量增加。随着工业化水平提高,逐步由粗放型发展方式转变为依赖技术和知识的发展模式,从而导致部分“双高”传统产业被淘汰或外移。综合交通、经济、社会文化等因素,传统产业外移时将更倾向于向周边地区转移,从而对周边地区的碳排放产生负面影响。

假设 2: 工业化水平提高存在负向空间溢出效应,将会导致周边地区碳排放增加。

3. 抑制高碳产品市场需求扩张。高碳产品需求旺盛是导致高碳产业快速扩张的重要驱动因素,高碳产业扩张则会推高地区的碳排放量。因此,推广低碳生活理念,倡导低碳消费方式,抑制高碳产品需求,能够有效遏制碳排放的增加。如果与高碳产品需求较大的地区相邻,将受到“极化影响”,即在市场驱动下,高碳产业向市场需求较大的地区集聚,从而间接降低了本地区的碳排放。

假设 3: 高碳产品市场需求扩张存在正向空间溢出效应,即有利于降低周边地区碳排放。

4. 提高碳减排政策力度。政府往往会通过强制关闭高碳排放企业或项目、鼓励企业低碳化改造等手段,直接作用于导致高碳排放的环节,降低碳排放。其空间溢出效应可能存在两种结果:一种是发生在政府碳减排政绩竞争激烈的环境中,各地政府迫于竞争压力会竞相加强碳减排政策力度,产生有利于共同实现碳减排的“竞争效应”;另一种是发生在碳减排政绩竞争较弱的情况下,推行较为严格碳减排政策的地区会产生“挤出效应”,即一些高碳产业会选择外迁至政策较为宽松的周边地区,结果推高了周边地区碳排放。

假设 4: 碳减排政策力度的提高存在双向空间溢出效应,既可能促进周边地区碳排放的降低,也可能推高周边地区的碳排放。

(二) 变量选择

1. 因变量。碳排放量能够较为直观地反映出上述四种影响因素对碳排放的影响,其变化是反映碳减排成效的重要指标。因此,本文选取碳排放量作为因变量。

2. 解释变量。

(1) R&D 经费支出 (X_1): 作为碳减排工作的一项重要环节,应用低碳技术、创新和改进现有产业工艺流程降低碳排放,或通过技术创新促进低碳产业发展。由于缺少低碳技术的直接相关统计数据,本文用反映地区综合科研能力指标的 R&D 经费支出来代表低碳技术水平。

(2) 高新技术产业规模 (X_2): 高新技术产业发展规模是衡量地区工业高级化水平的关键指标,为促进碳减排并提高工业竞争力,各地政府正努力发展高新技术产业,降低地区经济发展对传统工业的依赖程度,充分利用高新技术产业的高附加值和低碳排放优势。本文用高新技术产业产值来表示工业化水平。

(3) 城市人口规模 (X_3): 市场对高碳产品的需求会推动高碳产业发展,对实现碳减排具有负面影响。一般而言,高碳产品需求与人口规模成正比,而城市居民对高碳产品的需求又远大于农村地区,因此本文用城市人口规模衡量高碳产品需求规模。

(4) 节能环保财政支出 (X_4): 政府作为碳减排工作的实施主体,通过行政手段直接作用于导致高碳排放的环节,能够实现降低碳排放。因此本文用政府节能环保财政支出来反映碳减排政策力度。

本文研究时段为 2006—2012 年,旨在对刚结束的“十一五”时期我国省际碳减排的空间溢出效应进行考察。西藏相关数据缺失,故加以剔除。所以本文选取的样本为 2006—2012 年 30 个省的省级面板数据。数据主要来自《中国能源统计年鉴》(2013),《中国统计年鉴》(2007—2013),《中国高

技术产业统计年鉴》(2007—2013),《中国科技统计年鉴》(2007—2013)及《中国财政年鉴》(2007—2013)。

(三) 模型设定

首先需要明确空间计量模型的具体形式。本文选择空间杜宾模型(SDM),理由如下:空间杜宾模型与其他空间计量模型最大区别在于模型中同时含有空间滞后因变量和空间滞后自变量。本文意在考察碳减排及其影响因素对周边地区碳减排的影响,空间杜宾模型能用于考察因变量受到本地区自变量和周边地区因变量和自变量的影响^[18],选用此模型更符合本文研究目的。空间杜宾模型表达式如下^[19]:

$$Y_{it} = \rho W_{ij} Y_{jt} + X_{it} \beta + \theta W_{ij} X_{jt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中, Y 为因变量; X 为 $n \times k$ 的外生自变量矩阵; W 为 $n \times n$ 的空间权重矩阵; ρ 、 θ 为空间自回归系数; WY 、 WX 为空间滞后变量; μ_i 和 λ_t 分别表示空间效应和时间效应; ε_{it} 为随机误差项。指标的具体含义为:因变量 Y 表示碳排放,自变量 X 包括 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 ,分别表示R&D经费支出、高新技术产业产值、城市人口规模和节能环保财政支出。

在模型效应选择方面,根据误差成分分解的不同可分为固定效应和随机效应。固定效应模型主要是考察随时间变化的变量对因变量的影响,不随时间变化的变量被排斥在外。而随机效应模型在应用前需明确不随时间变化的变量是否与因变量或其他自变量相关^[20]。本文的各变量均随时间而变化,故本文选取固定效应。此外,本文是进行分区域分析,各区域地理位置相对固定,受时间变化影响比受地理因素影响更为明显,故选择时间固定效应模型。

四、实证结果分析

以下将从两个层面对我国省际碳减排的直接影响和空间溢出效应进行实证分析:一是对我国整体进行全域分析;二是对我国东、中、西三大区域进行局域对比分析。结果如表1所示。

从回归结果看,各变量与碳排放量均具有密切联系,但同一变量在各模型间却存在差异。拟合度 R^2 和对数似然值Log-likelihood表明,四个模型均具有良好的回归效果和较好的解释能力。在模型的固定效应检验方面,四个模型的 χ^2 值也均通过了显著性检验,证明了采用时间固定效应回归的合理性。

(一) 全域分析

1. 空间相关度。我国省际碳排放的空间相关度系数为0.217,且通过了1%的显著性检验,说明我国省际碳排放存在较为明显的空间依赖性,与第二部分的研究结果一致。

表1 SDM模型回归结果

变量名称	全域	东部地区	中部地区	西部地区
ρ	0.217*** (7.654)	0.573*** (14.225)	0.053 (0.741)	0.131*** (3.541)
β_1	-1.803*** (-6.631)	-1.474*** (-5.455)	-15.730*** (-4.846)	-10.128*** (-8.800)
β_2	-0.141* (-1.680)	-0.267** (-2.151)	0.767 (0.693)	1.153*** (2.685)
β_3	2.289*** (3.297)	4.113*** (8.432)	3.817*** (4.013)	2.462*** (6.394)
β_4	-0.073** (-2.152)	-0.101* (-1.661)	-0.277* (-1.715)	0.064 (0.512)
θ_1	-0.323* (-1.653)	-2.248*** (-6.461)	9.502*** (4.958)	-2.527*** (-7.199)

θ_2	-0.023 (-0.441)	0.351*** (5.313)	0.703*** (2.647)	-0.367 (-0.868)
θ_3	-1.088*** (-3.301)	-2.063*** (-11.268)	-0.325* (-1.808)	-0.286* (-1.655)
θ_4	0.048*** (4.122)	-0.092*** (-1.998)	0.041 (0.686)	0.220*** (4.279)
R^2	0.992	0.986	0.953	0.981
Log-likelihood	-1 254.718	-570.892	-433.624	-430.853
固定效应检验 χ^2	582.870***	19.040***	8.660*	11.450**

注: 括号内为 t 值; *、**、*** 分别代表参数估计值在 10%、5%、1% 的置信水平上显著。

2. R&D 经费支出。R&D 经费支出对碳排放直接影响系数为 -1.803, 通过了 1% 显著性检验, 说明 R&D 经费支出与本省碳排放之间存在负相关关系, 即 R&D 经费支出越高, 越有助于本省碳排放降低。且 R&D 经费支出每提升 1 个单位, 本省碳排放量将降低 1.803 个单位。

R&D 经费支出对碳排放的空间溢出影响系数为 -0.323, 且通过了 10% 的显著性检验, 说明 R&D 经费支出对周边省份碳减排具有促进作用, 即发展低碳技术对碳减排存在正向空间溢出效应, 符合假设 1 的预期。且经费支出提升每 1 个单位, 会造成周边省份碳排放降低 0.323 个单位, 但要小于直接影响系数。以上表明, 提高 R&D 经费支出不但对本省碳排放的降低具有促进作用, 还能有效降低周边省份碳排放。

3. 高新技术产业规模。高新技术产业规模对碳排放的直接影响系数为 -0.141, 通过了 10% 的显著性检验, 说明发展高新技术产业对本省碳排放存在较弱的负向作用, 与通常认为的提高工业化水平有助于实现碳减排的预期效果不相吻合。究其原因, 可能是通过提升工业化水平促进碳减排存在“门槛效应”, 即当一个地区工业化水平发展到一定程度之后才会出现传统产业外迁现象。如果地区工业化水平未达到门槛值, 传统产业不会产生明显外迁行为, 反而会因工业规模扩大, 导致碳排放增加。我国各省工业化水平差异显著, 发展高新技术产业对本省碳排放的影响也具有较大差异, 部分发达地区如北京、上海等, 已跨越门槛值, 传统工业正被逐步“挤”至周边省份, 本地区碳排放因此得到抑制, 而大部分发展中省份往往存在高新技术产业与传统产业共同发展的格局, 最终使得碳排放明显增加。因此, 对于我国整体而言, 发展高新技术产业还未能对省域碳排放下降产生显著促进作用。

高新技术产业规模对碳排放的空间溢出影响系数也较小, 仅为 -0.023, 且未通过显著性检验, 表明高新技术产业发展未产生空间溢出效应, 与假设 2 的预期不符。本文认为其原因可能是, 只有在发达地区才会产生高新技术产业“挤出”传统产业的现象, 从而形成空间溢出效应, 而在全国范围内该空间溢出效应不具有普遍性。

4. 城市人口规模。城市人口规模对碳排放的直接影响系数为 2.289, 且通过了 1% 的显著性检验, 说明城市人口规模每上升 1 个单位, 本省碳排放则会增加 2.289 个单位, 两者呈现出强正相关关系。分析表明, 随着城市生活水平的提高, 城市居民对高碳产品消费能力提升, 城市人口规模扩张已成为了推动本省碳排放增加的关键要素。

城市人口规模对碳排放的空间溢出影响系数为 -1.088, 且通过了 1% 的显著性检验, 说明城市人口规模与邻近省份碳排放量之间存在显著负相关关系, 即城市人口规模扩张所带来的高碳产品市场需求扩大对碳减排存在正向空间溢出效应, 与假设 3 的预期一致。综上所述, 城市人口规模扩张在推动本省高碳产业发展的同时, 能吸引邻近省份高碳产业迁入, 最终导致本省碳排放增加和邻近省份碳排放减少。

5. 节能环保财政支出。节能环保财政支出对碳排放的直接影响系数为 -0.073, 通过了 5% 的显著性检验, 说明节能环保财政支出对本省碳减排存在较弱的正向促进作用, 即节能环保支出每增加 1

个单位,本省份碳排放将减少 0.073 个单位。这说明从全国整体来看,政府依靠行政干预手段,通过增加节能环保财政支出促进碳减排的效果并不理想。

节能环保财政支出对碳排放的空间溢出影响系数通过了 1% 的显著性检验,其系数为 0.048,说明节能环保财政支出对邻近省份的碳减排存在负向空间溢出效应。表明我国整体上各省政府碳减排政策对邻近省份碳排放的影响是“挤出效应”大于“竞争效应”,即相邻省份政府间并不普遍存在激烈的碳减排政绩竞争现象,从而不会出现各省政府竞相加强碳减排政策力度的局面,而更多的是因与一些碳减排政策力度较大省份相邻,致使其接受了从碳减排政策力度较大省份外迁出去的高碳产业,最终推高了本省碳排放。

(二) 局域分析

在东、中、西三大区域的模型中,从各解释变量的系数及其显著性来看,不同地区之间存在着一定的共性和差异性。通过比较,大致可得出以下结论:

1. 空间相关度。我国三大区域省际碳排放的空间相关度系数分别为 0.573、0.053、0.131,其中中部地区未通过显著性检验。这表明三大地区空间正相关程度存在较大差异,且东部地区最强,西部次之,中部表现最弱;东、西部地区省际碳排放趋同效应明显,中部地区则异质化现象凸显。本文认为东部地区各省份经济较为发达,其碳排放量普遍高于全国平均值,从而表现出高碳排放空间集聚现象;与东部地区相反,西部地区工业基础较为薄弱,导致碳排放量一般低于全国平均值,从而呈现出低碳排放空间集聚态势;而中部地区地处东、西部之间,各省在经济基础、产业结构和人口规模上差异悬殊,导致各省之间碳排放差距较大。中部地区既包含碳排放量处于全国前列的省份,如内蒙古、山西、河南和湖北,也包括碳排放量较小的省份,如黑龙江、安徽、江西和湖南,最终形成空间分异明显的省际碳排放格局。

2. R&D 经费支出。在三大区域中,R&D 经费支出对碳排放的直接影响系数分别为 -1.474、-15.73、-10.128,且均通过了 1% 的显著性检验,说明在三大地区,R&D 经费支出对本省碳减排均有明显的促进作用。中部地区 R&D 经费支出对本省碳减排作用效果最为明显,西部地区次之,东部地区效果最差。其原因可能是我国中、西部地区产业发展正处于技术升级阶段,技术发展对节约能耗和减少碳排起到了关键性作用,此时增加 R&D 经费支出,大力发展低碳技术恰好能够极大满足中西部地区产业低碳化转型的需要。

R&D 经费支出对碳排放的空间溢出影响系数分别为 -2.248、9.502、-2.527,均通过了 1% 的显著性检验。这说明在东、西部省份,如果与科研较发达省份相邻,能够通过接受邻近省份溢出的低碳技术,有效降低碳排放,这与假设 1 的预期相一致;而中部省份影响系数符号为正,即本省碳排放与周边省份科技实力呈正比,显然与现实不符,可能的解释为中部省份科技实力提高更多是推动了本省及周边省份经济规模扩张,增加了碳排放,这也反映出中部地区科技实力提高对减少碳排放的作用较为微弱。值得注意的是,东部地区空间溢出影响系数低于直接影响系数,而西部地区空间溢出影响系数高于直接影响系数。这说明东部地区通过低碳技术的空间溢出效应对整个地区的碳减排贡献更大,这也符合东部地区存在较为明显的技术溢出效应这一客观事实;而西部省份发展低碳技术则更有利于降低本省碳排放。

3. 高新技术产业规模。高新技术产业规模对三大区域省际碳排放的直接影响系数分别为 -0.267、0.767、1.153,其中中部地区未通过 10% 的显著性检验。结果说明,在东部地区发展高新技术产业对本省碳排放会产生负向作用,在中部地区作用不显著,西部地区为正向作用,表明碳减排效果随工业发展程度提高而趋于明显,同时也印证了前文提出的通过提升工业化水平来降低碳排放存在“门槛效应”这一原因假说。

高新技术产业规模的空间溢出影响系数分别为 0.351、0.703、-0.367,其中西部地区未通过 10% 的显著性检验。这说明东、中部省份发展高新技术产业能够导致邻近省份碳排放增加,与假设 2 的预期一致,而西部地区还未形成明显的空间溢出效应。综上,东部省份发展高新技术产业对于促进

本省碳减排起到了良好的效果,但高能耗、高碳排的传统产业外迁却造成了邻近省份碳排放增加。中部省份发展高新技术产业对本省碳排放直接影响较小,可能的原因是高新技术产业发展促进了工业规模扩张,推动碳排放增加,一定程度上抵消了工业化水平提高所带来的碳减排效果;而其存在负向空间溢出效应的缘由大概是中部省份间经济联系较为紧密,某一省份高新技术产业发展会对邻近省份经济产生推动作用,致使邻近省份碳排放增长。西部省份高新技术产业发展与本省碳排放成正比,其原因可能是该地区工业化水平未达到“门槛值”,传统产业规模并未因工业化水平提高而降低,高新技术产业和传统产业共同发展最终共同推高了本省碳排放;而高新技术产业发展不存在显著空间溢出效应的原因大概在于西部地区省份间经济发展关联性较弱,某一省份工业化水平提高不能有效带动邻近省份经济发展,从而不会产生明显的空间溢出间接影响。

4. 城市人口规模。城市人口规模对三大区域的碳排放直接影响系数分别为 4.113、3.817、2.462,且均通过了 1% 的显著性检验,说明城市人口规模扩张能够明显推动三大区域省际碳排放增加。东部地区城市人口规模对本省碳排放推动作用最强,中部地区次之,最后是西部地区。这显然与城市居民生活水平密切相关,东部地区城市居民收入相较其他两个地区更高,对高碳产品的需求量也相对更大,导致城市人口规模对碳排放增加产生更强的推动作用。

城市人口规模的空间溢出影响系数分别为 -2.063、-0.325、-0.286,表明三大区域的城市人口规模均对碳减排具有正向空间溢出效应,与假设 3 预期一致。东部地区城市人口规模的空间溢出效应最大,说明东部地区城市人口规模对高碳产业的吸引力最强,吸引高碳产业向城市人口规模较大省份集聚,进而降低了城市人口规模较小省份的碳排放。

5. 节能环保财政支出。提高节能环保财政支出对三大区域省际碳排放的直接影响系数分别为 -0.101、-0.277、0.064,其中西部地区未通过 10% 的显著性检验。结果表明,增加东、中部地区节能环保财政支出对本省碳减排作用较为明显,而西部地区表现不显著。其原因可能是,“十一五”期间,相对于东、中部地区,西部地区承担的碳减排任务相对较轻,政府的碳减排政绩压力较小,因而该区域的碳减排政策未能有效促进碳减排。

提高节能环保财政支出的空间溢出效应影响系数分别为 -0.092、0.041、0.22,其中中部地区未通过 10% 的显著性检验,这对假设 4 进行了检验。结果表明,东部省份提高节能环保财政支出有利于降低邻近省份的碳排放,即对碳减排具有正向空间溢出效应;中部省份无空间溢出效应;西部省份对碳减排存在负向空间溢出效应。其原因在于东部地区的碳减排任务最为繁重,政府间碳减排政绩竞争较为激烈,进而出现碳减排政策的“竞争效应”,最终促进了各省碳减排;西部地区的碳减排政绩压力最小,因而表现为碳减排政策的“挤出效应”;而中部地区的“竞争效应”与“挤出效应”相互抵消,所以未表现出明显的空间溢出效应。

五、结论与对策建议

本文从空间维度出发,以空间溢出为切入点,重点探索了我国省际碳减排的空间溢出效应。首先通过 Moran's I 分析考察了我国省际碳排放存在的空间相关性,然后提出了碳减排空间溢出效应的若干理论假设并选定空间杜宾模型,从全域和局域两个层面分析了 2006—2012 年我国省际单位碳减排的各种影响因素对碳排放的直接影响和空间溢出效应影响。主要结论有:(1) 省际碳排放主要表现为空间正相关关系,且以高值集聚的空间格局为主,但空间异质性趋势较为明显;(2) 就全国整体而言,提高 R&D 经费支出能促进本省及相邻省份的碳减排,增加高新技术产业规模能够促进本省碳减排,但其空间溢出影响不明显,城市人口规模扩张在增加本省碳排放的同时能够通过空间溢出影响减少相邻省份碳排放,扩大节能环保财政支出在降低本省碳排放的同时却会增加相邻省份的碳排放;(3) 就东中西三大区域而言,碳减排的直接影响和空间溢出效应影响具有明显的空间差异性。

结合上述研究结论,本文提出如下对策建议:

首先,在低碳技术发展方面。鉴于提高 R&D 经费支出对碳减排的显著影响,应进一步加大科研投入,尤其是低碳技术研发方面。政府应强调“以需为本”,注重民用、工业生产等需求,大力加强低碳技术的开发应用和推广普及。在东部地区,技术外溢效应对促进碳减排作用突出,政府除了应增加低碳技术科研投入,还应着重加强省际低碳技术的交流与合作,通过建设与完善碳减排技术中介服务机构、构建低碳技术交流平台等方式,进一步强化低碳技术外溢效应并对其进行充分利用。对于中、西部省份,应积极推进实用的低碳技术,重点培育大型低碳科技项目,加强省际交流与学习,从而增强低碳技术的溢出效应。

其次,在提升工业化水平方面。通过发展高新技术产业提升工业化水平,对于东部省份碳减排的直接促进作用最为明显,但其存在负向空间溢出效应。所以该地区应提高转入产业的准入标准,限制“双高”产业的迁入。在中部地区,发展高新技术产业不能对本省碳排放产生显著影响,说明中部省份的工业化水平已接近“门槛值”,应进一步提升其工业化水平,助其早日跨越门槛,从而为碳减排发挥作用。中部省份间的经济关联性较强,工业化水平较高的省份通过经济带动作用可以促进邻近省份碳排放增加。这就要求工业化水平较低的邻近省份抓住经济发展机会,快速提高自身工业化水平,同时还应尽量避免对高能耗、高排放产业的过度依赖。而西部省份发展高新技术产业会导致碳排放增加,说明其工业化水平还远未到达“门槛值”。政府一方面应限制钢铁、有色金属、水泥等“三高”行业的发展,另一方面应积极改造传统行业,鼓励发展高新技术产业,全面提升工业化水平。

再次,在抑制高碳产品需求方面。城市人口规模对碳排放增加的推动作用十分明显,尤其是在东部地区。这意味着抑制高碳产品需求是推进碳减排工作的重要环节。在城市化进程中,政府应大力倡导低碳社会、低碳城市、低碳生活,向老百姓宣传节能减排理念,鼓励民众积极参与节能减排,用财税政策引导家庭节能减排,动员践行低碳生活,缓解城市化和人口增长给碳排放增加造成的压力。

最后,在碳减排政策方面。鉴于节能环保财政支出对碳减排作用效果较弱,各地方政府,尤其是西部地区,应一方面加强碳减排行政干涉力度,增加节能环保财政支出;另一方面应完善低碳财政补贴制度,提高大型节能环保项目的财政补助等,以增强碳减排的政策作用。另外,碳减排任务的分配能够对碳减排政策效果及其直接影响和空间溢出效应产生重要影响,如东部地区承担的碳减排任务较重,反而促使该地区政府间形成了政绩竞争的良好局面,从而获得了较好的碳减排效果。因而,中央政府在为各省分派碳减排任务时,在不影响经济发展的前提下,应循序渐进地提高中、西部地区的碳减排要求。

参考文献

- [1] Sinton J. M. Levine Q. Y. Wang. Energy efficiency in China: Accomplishments and challenges [J]. *Energy Policy*, 1998 (11).
- [2] Sinton J. D. Fridley. *Status Report on Energy Efficiency Policy and Programs in China: Recent and Related Developments* [Z]. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory 2000.
- [3] Wang Q. Y. J. Sinton M. Levine. *China's Energy Conservation Policies and Their Implement, 1980 to the Present and Beyond* [Z]. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 1995.
- [4] Jiang B. Z. Sun M. Liu. China's energy development strategy under the low-carbon economy [J]. *Energy* 2010 35.
- [5] Hou J. P. Zhang Y. Tian et al. Developing low-carbon economy: Action, challenges and solutions for energy saving in China [J]. *Renewable Energy* 2011 36.
- [6] Liu S. J. J. Lu C. Lewis. Grey relation performance correlation among economics, energy use and carbon dioxide emission in Taiwan [J]. *Energy Policy* 2007 (3).
- [7] Jiusto S. An indicator framework for assessing US state carbon emissions reduction efforts (with baseline trends from 1990 to 2001) [J]. *Energy Policy* 2008 36.
- [8] Soytaş U. R. Sari B. T. Ewing. Energy consumption, income and carbon emissions in United State [J]. *Ecological E-*

- conomics* 2007 62.
- [9] Niu S. W. ,Y. X. Ding ,Y. Z. Niu ,et al. Economic growth ,energy conservation and emissions reduction: A comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries [J]. *Energy Policy* 2011 (4) .
- [10] Guo C. Z. Z. X. Fu. Current situation of energy consumption and measures taken for energy saving in the iron and steel industry in China [J]. *Energy* 2010 35.
- [11] Choi ,Y. ,N. Zhang ,P. Zhou. Efficiency and abatement costs of energy-related CO₂ emissions in China: A slacks-based efficiency measure [J]. *Applied Energy* 2012 98.
- [12] Satterthwaite ,D. The implications of population growth and urbanization for climate change [J]. *Environment Urbanization* 2009 (2) .
- [13] Wang K. ,Y. M. Wei ,X. Zhang. Energy and emissions efficiency patterns of Chinese regions: A multi-directional efficiency analysis [J]. *Applied Energy* 2013 104.
- [14] 郑长德 ,刘帅. 基于空间计量经济学的碳排放与经济增长分析 [J]. 中国人口·资源与环境 2011 (5) .
- [15] 陈青青 ,龙志和. 中国省级 CO₂ 排放影响因素的空间计量分析 [J]. 中国人口·资源与环境 2011 (11) .
- [16] 孙庆刚 ,郭菊娥 ,师博. 中国省域间能源强度空间溢出效应分析 [J]. 中国人口·资源与环境 2013 (11) .
- [17] 冯涛 ,赵会玉 ,杜苗苗. 外商在华直接投资区域聚集非均衡性的实证研究 [J]. 经济学(季刊) 2008 (2) .
- [18] Zhang T. I. ,G. Lin. A decomposition of Moran's I for clustering detection [J]. *Computational Statistics & Data Analysis* 2007 51.
- [19] 齐昕 ,王雅莉. 城市化经济发展空间溢出效应的实证研究——基于“城”、“市”和“城市化”的视角 [J]. 财经研究 2013 (6) .
- [20] Mundlak ,Y. On the pooling of time series and cross section data [J]. *Econometrica* 1978 46.

(责任编辑 朱 蓓)