

## 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

林伯强 黄光晓

（厦门大学中国能源经济研究中心 厦门大学工商管理博士后流动站

厦门 361005）

**摘要：**我们采用空间计量模型对梯度发展模式下的中国区域碳排放空间特点进行分析，研究发现，中国区域碳排放存在较强的空间相关和空间收敛特征，而且由于现有梯度发展模式强化了空间集聚效应，导致中国区域碳排放呈现“俱乐部收敛”的特征。进一步我们分析了未来中国区域碳排放份额的变化趋势，指出政府在下一步减排政策的制定中应把握区域碳排放的演化趋势，通过建立碳交易市场或碳税等区域碳排放平衡机制，才能更加公平有效地实现中国碳减排目标，同时更好地促进中国区域社会经济的平衡发展。

**关键词：**碳排放；梯度发展模式；空间计量经济学

JEL: 013, Q56, R11

**作者简介：**

林伯强，厦门大学中国能源经济研究中心主任，长江学者特聘教授

黄光晓，厦门大学工商管理博士后流动站博士后

**通讯地址：**厦门大学工商管理博士后流动站 邮编：361005

本文受教育部哲学社会科学研究重大攻关项目“低碳经济转型下的中国碳排放交易体系研究”（编号：10JZD0018）的资助

## 一、 引言

2009 年丹麦哥本哈根举行的全球气候会议上，我国政府承诺到 2020 年将碳排放强度在 2005 年水平上降低 40%到 45%。这一承诺不仅体现了中国作为负责任大国在应对全球气候变化中发挥应有的作用，而且也是充分体现了中国社会经济向绿色低碳的可持续发展模式转变的决心。但是，由于目前我国社会经济发展正处于工业化、城市化中后期阶段，而且一次能源消费结构短期内仍将维持以煤炭为主的现实，碳排放的高峰尚未到来，减排仍将面临经济发展的压力。碳减排不同于节能，它采取的技术手段除了提高能源效率外，还需要进一步改善能源结构（发展新能源和可再生能源）或采取诸如碳收集和捕获技术等，因此经济成本更高，对经济发展的影响也较为负面。此外，碳减排目标的约束对象存在着是针对能源消费端还是针对能源生产端的问题，这就意味着在分配减排任务时会存在较大的区域间利益冲突。由于目前中国的区域发展和资源禀赋存在的较大不平衡，各地区的碳排放水平也呈现出较大差异，而且随着社会经济的发展，减排难度会越来越大，成本也会越来越高。因此必须把握中国省域碳排放的影响因素及演变趋势，在兼顾减排与社会经济发展的前提下，对减排任务进行合理的区域分配，并有针对性地出台相应的产业和能源政策，才能公平有效地以较低的社会经济成本实现减排的目标。

本文采用空间计量模型对中国区域碳排放问题进行探讨，首先分析了梯度发展模式下区域碳排放的空间分布格局，然后从空间相关性和收敛性的角度，分析了造成中国区域碳排放空间特征的影响因素以及区域碳排放份额的演化路径，最后提出在兼顾公平与效率的原则下，通过构建区域碳排放平衡机制，降低减排的总体成本同时促进区域社会经济平衡发展。

## 二、 中国区域碳排放问题的研究

对于中国碳排放问题的研究主要集中在对总量变化的层面，采取的研究方法主要是两种：一是借助人均收入与环境关系的库兹涅茨曲线，对总体碳排放的增长路径进行分析，并估算了人均收入的拐点，如林伯强等（2009）采用平均迪氏分解法（LMDI）和 STIRPA 模型分析了影响中国人均二氧化碳排放的主要因素，并测算了拐点；二是利用因素分解方法（如 Kaya 恒等式等），从经济增长、能源效率、产业结构等角度，分析不同情景下的中国碳排放情形，以及不同影响因素对碳排放的作用机制，如林伯强等（2010）利用扩展的 Kaya 恒等式，分析了城市化进程对中国碳排放的影响。

目前对于区域碳排放问题的研究，主要是采用面板数据对省域或区域的碳排放总体增长趋势或碳排放强度进行分析。比如查冬兰等（2007）将中国划分为 8 个经济区间，通过因式分解的方法，采用 Theil 指数和 Kaya 因子分析了区域能源效率差异对区域人均碳排放的影响，研究发现各省区能源利用效率呈现趋同，但区域间能源效率差距仍较大，直接影响到区域间人均碳排放水平的趋同；许广月等（2010）利用因素分解法估算省域的碳排放量，并对各区域是否存在碳排放库兹涅茨曲线是否存在进行检验，指出中国及其东部和中部地区各省域存在人均碳排放“倒 U 型”曲线，但是西部地区不存在；胡玉莹（2010）从技术效率的角度，利用基于松弛变量的度量方法对区域能源消耗、碳排放与经济可持续发展状况进行分析，并提出由于技术效率较高，东部地区会比中、西部地区提前出现库兹涅茨曲线的拐点。

上述成果虽然对中国的碳排放问题的研究作出许多有益的贡献，但是都忽视了一个重要的问题——区域社会经济发展与碳排放的关系。一个国家或区域的环境质量（污染物排放）是与其社会经济发展的不同阶段密切相关的，具有很强的空间属性，区域内的产业结构、能源结构、技术水平、城市化水平和人口增长等因素，区域间的贸易结构、经济和技术溢出等因素都会影响到污染物排放的总量和构成。区域污染物减排不仅可以通过调整区域内的产业结构、能源结构和技术研发等途径来实现结构性减排，也可以通过区域间的商品贸易、产业转移等途径来实现转移性减排。因此，考虑到中国各地区的区域发展和资源禀赋极不平衡，碳排放不仅体现在总量增长上，更多地是体现在碳排放空间格局的动态演化上。

目前，国内学者也开始从空间计量的视角对区域碳排放问题进行研究。张雷等（2010）从一次能源消费的角度探讨了中国的碳排放总量增长与空间格局变化问题，并提出了产业结构的变化决定区域经济发展和能源消费的基本状态，而多元化产业结构会减缓能源消费和碳排放总量。魏下海等（2011）采用面板数据对我国 29 个省区市的碳排放是否存在库兹涅茨



曲线进行验证，并估算了各个省区市出现“倒 U 型”曲线拐点的时间。宋帮英等（2010）采用空间加权回归模型对我国 30 个省市碳排放影响因素（经济发展水平、产业结构、人口和外商直接投资等）的空间差异性进行了分析。孙传旺（2010）对碳排放强度约束下的中国区域全要素生产率收敛性进行研究，结果表明东部地区的全要素生产率收敛趋势显著，收敛速度快，而西部地区则不存在显著的全要素生产率收敛趋势，进而导致中国区域碳排放强度收敛不一致性。

这些研究虽然从空间计量的视角对区域碳排放问题进行了探讨，但是都没有对区域社会经济发展状况与碳排放水平之间的关系进行深入，尤其是对现有梯度发展模式下，未来区域碳排放的演化趋势缺乏系统性的分析。所谓的梯度发展模式是指不同国家或同一国家的不同地区由于初始禀赋的差异导致在同一时期内区域之间在社会经济发展水平上存在明显的差别，并在一定条件下形成长期的区域社会经济梯次发展的态势或格局。梯度发展模式存在着“极化效应”和“溢出效应”的相互作用，前者是指邻近的落后地区的优质生产要素向先进的中心区域聚集，后者则是指中心区域的生产技术、经验、投资等要素向邻近的落后地区扩散。吕冰洋等（2009）就指出中国区域社会经济不仅呈现“四大经济特区—东部沿海开放城市—东部地区—中、西部地区”梯次发展模式，而且由于区域间的“极化效应”和“溢出效应”相互作用，不同影响因素对于区域间社会经济发展的平衡性会产生不同的影响。

在这种梯度发展模式下，由于不同区域的初始禀赋条件不同，社会经济发展状态也不一样，经济增长速率就会存在差异，而由于碳排放水平与社会经济发展水平密切相关，因此碳排放的增长速率也就会存在差异。新古典经济增长理论认为由于生产要素边际报酬递减，技术外溢，不发达地区的经济发展水平会逐渐追赶上发达地区，即存在经济增长趋同或收敛现象（convergence）。但是 Galor（1996）提出了“俱乐部收敛”（club convergence）的概念，他认为初期社会经济发展水平接近的经济区间内部成员之间存在条件收敛（conditional convergence），但是不同经济区间之间没有收敛的迹象。沈坤荣等（2002）就指出中国东、中、西部地区的区域经济增长不仅存在显著的“俱乐部收敛”特征，而且还存在不同区域省份之间条件收敛的情况。

中国区域社会经济发展中存在的梯度发展模式不仅造成东、中、西部地区社会经济发展巨大差异的主要原因，而且随着经济的发展，区域之间还存在着“俱乐部收敛”的现象，这就造成中国区域碳排放问题的复杂性。因此，借鉴区域经济增长的收敛性理论和空间计量经济学模型可以更好地了解中国区域碳排放的空间特征和演化趋势。

### 三、 中国区域碳排放的空间特征

#### （一）区域碳排放的基本空间特征

首先分析中国区域碳排放水平的空间分布特征，我们采用的是 28 个省区市（西藏、台湾、海南除外，重庆并入四川）的一次能源消耗数据，按每吨标准煤排放 2.19 吨二氧化碳的排放系数来估算区域碳排放量。从图 1 可以看出，区域碳排放水平与区域社会经济发展梯度发展模式有密切联系。碳排放强度的分布趋势来看，总体上表现为西高东低的特征，即西北地区地区和西南地区高，中东部地区低，东部沿海地区明显低于全国平均水平。而从人均碳排放的分布趋势来看，除内蒙、山西、宁夏、辽宁等少数省区外，东部沿海地区明显高于西部内陆及西南地区。究其原因，主要是因为东部沿海地区经济发达、社会发展水平高，且在区域经济发展具有较强的空间集聚效应，因此产业结构较为合理，碳排放强度就较低，而人均碳排放水平高；西北地区为主要能源输出区域，碳排放强度高，人均碳排放水平也高；西南地区则由于社会经济发展落后于东部地区，碳排放强度高，而人均碳排放水平则较低。

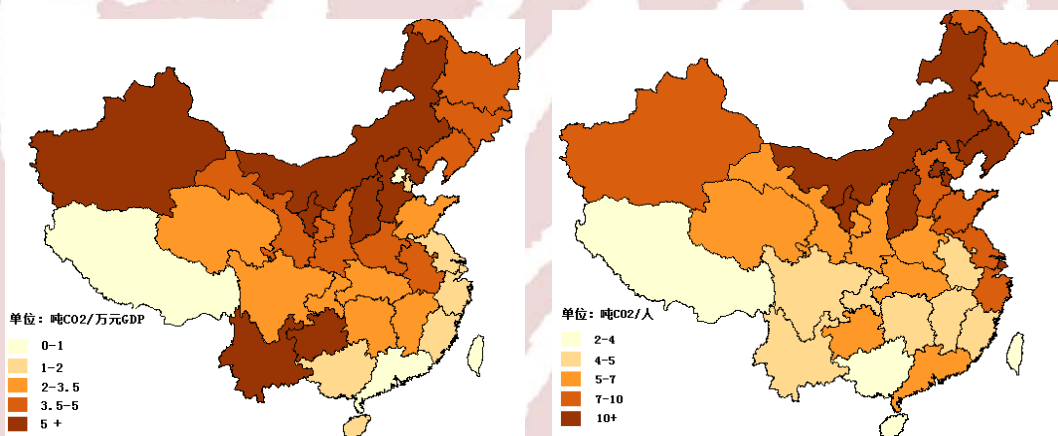


图 1 2009 年中国省区市碳强度（左）及人均碳排放水平（右）的空间分布

注：数据来源于 2009 年的《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》，由空间数据分析软件 GeoDa 来绘制。

#### （二）区域碳排放的空间相关性

区域碳排放的空间分布特征呈现的“梯度”现象说明地理上邻近的省区之间的碳排放水平可能存在相关性。空间计量经济学中对于区域间的某一属性进行探索性空间数据分析通常采用 Moran 指数 I（介于-1 到 1 之间），这是一种全局相关性指标，表示相邻区域的某项属性指标间是相似（接近 1）、相异（接近-1）或者相互独立（接近 0）的关系。计算公式如下：

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

其中， $n$  是地区总数， $w_{ij}$  是空间权重矩阵， $x_i$  为地区  $i$  的属性（碳强度）， $\bar{x}$  为属性的平均值， $S^2$  为属性的方差。

表 1 省区市碳排放强度及人均碳排放水平的 Moran 指数  $I$

年份	碳强度			人均排放		
	$W_{R1}$	$W_{R2}$	$W_{R3}$	$W_{R1}$	$W_{R2}$	$W_{R3}$
1991-1995	0.128	0.101	0.028	0.185	0.148	0.039
1995-1998	0.148	0.126	-0.015	0.179	-0.013	-0.017
1998-2001	0.160	0.091	-0.019	0.205	0.123	-0.025
2002-2005	0.186	0.110	-0.031	0.267	0.197	-0.023
2006-2009	0.193	0.098	-0.020	0.244	0.081	-0.032

注：数据来源于 1991-2009 年的《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》。

从表 1 中可以看出区域碳排放水平的一阶相邻关系<sup>1</sup>的 Moran 指数  $I$  都很显著，说明无论是碳排放强度还是人均碳排放量，在空间分布并非相互独立，邻近省区市之间具有较强的空间正相关性。这就意味着由于区域社会经济发展中相邻省区之间可能存在一定的空间集聚效应，而且随着时间的推移，区域碳排放水平的全局 Moran 指数  $I$  逐渐增大，表明区域碳排放强度和人均碳排放的空间相关性在不断增强。二阶、三阶相邻的 Moran 指数  $I$  明显小于一阶相邻的 Moran 指数  $I$ ，这意味着区域之间的集聚效应随距离衰减，省区间相互影响的范围是有限的。

Ansenlin (1995) 提出了一个局部的 Moran 指数，也称为 LISA (local indicator of spatial association)，用来检验局部地区是否存在空间集聚区，其计算公式如下：

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

通过 Moran 散点图则可以更加直观地分析局部相关性，图 2 中的横坐标为观测值，纵坐标为滞后算子，四个象限将一个区域与其相邻地区的局部相关性关系分为四种类型：第一象限 (HH) 表示本地值高，相邻空间值也高；第二象限 (LH) 表示本地值低，相邻空间值高；第三象限 (LL) 表示本地值低，相邻空间值也低；第四象限 (HL) 表示本地值高，相邻空间值低。

<sup>1</sup> 我们采用的是二分相邻矩阵中拥有共同边界的 Rook 相邻关系，一阶相邻 (WR1) 表示地理上的直接邻近，即区域  $i$  和  $j$  相邻，则为 1，否则为 0；而二阶相邻关系则为不相邻的两个地区都与另外一个地区相邻，则这两个地区为二阶相邻，即“邻居的邻居”，高阶相邻关系可依次类推。

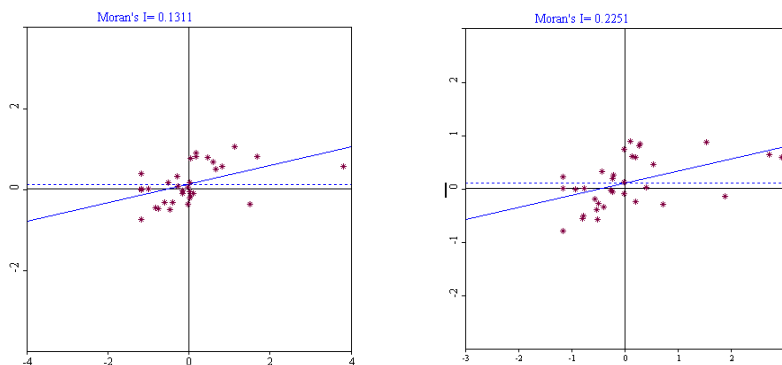


图2 2009年区域碳排放强度（左）和人均碳排放水平（右）的Moran散点图

图2的Moran散点图表明，无论是区域碳排放强度还是人均碳排放，大多数省区市都处于第一和第三象限，即显著表现为HH和LL型的空间相关，这说明存在较明显的“俱乐部”现象。而且，人均碳排放的Moran散点图比碳排放强度扩散程度更高，说明从人均碳排放的角度来看，局部地区的空间相关性更强。这是因为碳排放强度代表的是碳生产效率，与能源效率较为密切，而人均碳排放代表的是总体碳排放水平，与区域的人文社会发展水平的关系更为密切。而由于国内能源效率的差异总体上呈现下降趋势，因此能源效率对区域碳排放水平的空间相关性的影响也随之下降，这与查冬兰等（2007）的结论是一致的。

### （三）碳排放的空间收敛性

中国区域梯度发展模式最大特点就是存在所谓的“俱乐部收敛”现象，也就是相邻省区市之间存在较强的空间集聚效应。经济学上的收敛分析一般采用 $\beta$ 收敛或 $\sigma$ 收敛，前者针对的是总产出增量，后者则是针对总产出存量。 $\beta$ 收敛分为绝对收敛和条件收敛，前者假设经济体初始禀赋仅存在资本水平差异，且收敛后具有相同的稳态条件；后者则认为经济体不仅初始禀赋不同，社会经济特征也存在差异，收敛后的稳态条件也不同，各个经济体会向各自的稳定状态收敛。新古典增长理论采用回归模型来检验绝对收敛，并通过引入诸如人均收入、产业结构等状态变量来检验条件收敛，分析出现收敛现象的原因。

由于我们针对的主要是未来碳排放的增量问题，因此采用 $\beta$ 收敛对区域碳排放的演变情况进行分析。空间计量模型在经济增长收敛回归模型的基础上，引入空间控制变量来判断区域碳排放的空间收敛性。一般采用的空间计量模型有两种，即空间滞后模型（SAM）和空间误差模型（SEM），前者将观测值的空间相关性视为内生的空间滞后变量纳入到经典收敛回归模型中，后者则是通过误差项的变化来体现空间相关性。

区域碳排放的空间绝对收敛可以通过引入空间滞后项来进行检验，即：

$$\frac{1}{T} \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) = \alpha + \beta \ln(E_{it}) + \rho W \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2) \quad (3)$$



其中,  $E_{i,t+T}$  和  $E_{it}$  为地区  $i$  在  $t+T$  和  $t$  时刻的碳强度或人均碳排放量;  $\alpha$  为常数项;  $\beta$  表示向稳态收敛的速度, 如果  $\beta < 0$  存在绝对收敛, 即落后地区的排放增长速度更快;  $\rho$  为空间自回归系数, 用以衡量各地区的相互作用;  $W$  为空间权重矩阵;  $\varepsilon$  为随机误差项。

也可以通过将空间权重矩阵  $W$  引入到误差项中进行检验, 即:

$$\frac{1}{T} \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) = \alpha + \beta \ln(E_{it}) + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} = \lambda W + \mu_{it}, \mu \sim N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

其中,  $\lambda$  为反映回归残差之间空间相关性的参数,  $\mu$  为空间不相关的随机扰动项。

我们仍采用 28 个省市区的面板数据来检验区域碳排放的空间绝对收敛性, 但与经典的回归模型不同, 由于误差项与解释变量  $W$  相关, 且面板数据的残差往往无法满足同方差的经典假设, 最小二乘法不再是无偏的参数估计方法, 一般采用 Anselin (2005)、Lee (2004) 等提出的空间模型极大似然估计法 (ML) 进行估计。

表 2 中国区域碳排放强度与人均碳排放的空间绝对收敛检验结果

系数	碳排放强度		人均碳排放	
	SAM	SEM	SAM	SEM
$\rho$ ( $\lambda$ )	0.283* (1.232)	0.361* (1.769)	0.181* (1.981)	0.220* (1.223)
$\alpha$	-0.006* (-1.223)	0.010* (-1.663)	-0.014* (-1.124)	0.011* (-1.540)
$\beta$	-0.017** (-2.251)	-0.022** (-3.021)	-0.012** (-2.210)	-0.028** (-2.331)
$R^2$	0.426	0.473	0.401	0.356
收敛速度	2.49%	3.24%	1.08%	1.32%

注: \*\*、\*和\*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平, 括号中为  $t$  统计量, 下面各表同。

从表 2 中可以看出, 无论是人均碳排放还是碳排放强度, 都存在增速绝对  $\beta$  收敛, 但碳排放强度的收敛速度要快于人均碳排放。也就是说总体而言, 随着社会经济发展, 技术水平的不断提高, 中国的区域碳排放效率是在不断提高的, 而绝对的人均排放水平也会随之增加。但是由于区域社会经济发展水平存在着较大差异, 直接影响到了人均碳排放增长速度的收敛, 因为落后地区为了赶超发达地区必须加快发展步伐, 不可避免地人均碳排放增速会加快, 而发达地区的工业化和城市化水平较为成熟, 人均碳排放增速也就较为稳定。因此, 未来还是主要从人均碳排放水平的角度出发来审视区域碳减排任务的分配更为合理, 这不仅考虑到减排的成本问题, 还考虑到欠发达地区需要一定的碳排放空间来满足发展的需求。

为了考察区域人均碳排放增长是否存在“俱乐部收敛”问题, 我们引入虚拟变量  $D$  (分



别代表东、中、西部，是则取值 1，否则取值 0)，建立检验俱乐部收敛的空间计量模型，即：

$$\frac{1}{T} \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) = \sum \alpha_j D_j + \sum \beta_j D_j \ln(E_{it}) + \rho W \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2) \quad (5)$$

$$\frac{1}{T} \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) = \sum \alpha_j D_j + \sum \beta_j D_j \ln(E_{it}) + \varepsilon_{it}, \varepsilon_{it} = \lambda W + \mu_{it}, \mu \sim N(0, \sigma^2) \quad (6)$$

表 3 中国区域人均碳排放的俱乐部收敛检验结果

I	SAM 模型			SEM 模型		
	东部	中部	西部	东部	中部	西部
$\alpha$	2.411*	3.843*	2.357**	3.122**	3.715*	2.674**
	(1.332)	(1.602)	(1.223)	(2.772)	(1.921)	(2.441)
$\beta$	-0.188**	-0.452***	-0.032***	-0.219*	-0.543**	-0.077*
	(-1.802)	(-4.219)	(-3.442)	(-1.582)	(-3.887)	(-4.225)
$\rho (\lambda)$	0.076* (1.268)			0.012** (2.601)		
$R^2$	0.990			0.843		
收敛速度	2.08%	1.42%	0.71%	2.25%	1.51%	0.82%

从表 3 中可以看出，SAM 和 SEM 模型中，东、中、西部地区的  $\beta$  系数均为负数，说明东、中、西部地区的人均碳排放增长存在区域内的俱乐部收敛，但是三个地区内部的收敛速度不同，东部地区的收敛最快，中部地区次之，而西部地区的收敛并不显著。这说明，随着社会经济的发展，当较为发达的东、中部地区工业化、城市化达到一定程度后，其人均碳排放增长速度会趋缓，而类似的经济结构和政策环境又使得这些区域内部之间产生收敛；反之，由于西部地区社会经济发展水平较低，仍处于工业化、城市化快速增长的时期，不仅其碳排放增速会持续加大，而且由于西部各省区的资源禀赋差异过大，内蒙、山西、新疆等能源资源省区的人均碳排放增速明显高于非能源输出型的云南、贵州等省区。可见，中国区域碳排放增长与现有的梯度发展模式密切相关，是形成区域碳排放“俱乐部收敛”的重要原因。

进一步我们在公式（3）和（4）的基础上引入产业结构、工业化、城市化水平、能源效率及人均 GDP 等影响因素作为控制变量，建立条件收敛模型，即：

$$\frac{1}{T} \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) = \alpha + \beta \ln(E_{it}) + \sum \gamma_i \ln(X_i) + \rho W \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

$$\frac{1}{T} \ln(E_{i,t+T} / E_{it}) = \alpha + \beta \ln(E_{it}) + \sum \gamma_i \ln(X_i) + \varepsilon_{it}; \varepsilon_{it} = \lambda W + \mu_{it}, \mu \sim N(0, \sigma^2) \quad (8)$$

其中， $X_i$  代表影响区域碳排放的因素，五个控制变量分别为：STR 代表地区 i 的产业结构（第三产业增加值占 GDP 的比重），IND 代表地区 i 的工业化水平（重工业占工业总产

值的比重)，UR 代表地区  $i$  的城市化水平（城镇人口占总人口的比重），EF 代表地区  $i$  的能源效率（能源强度），GDP 代表地区  $i$  的人均 GDP。

表 3 中国区域人均碳排放的空间条件收敛检验结果

I	SAM 模型	SEM 模型
$\alpha$	-0.032* (1.288)	0.011* (1.057)
$\beta$	-0.094*** (-2.713)	-0.061*** (-4.674)
$\gamma_{STR}$	-0.006* (-1.752)	-0.003** (-1.301)
$\gamma_{IND}$	0.039** (1.224)	0.073** (2.143)
$\gamma_{UR}$	0.027*** (4.841)	0.030*** (5.157)
$\gamma_{EF}$	-0.009** (2.252)	0.024** (2.812)
$\gamma_{GDP}$	0.054** (1.357)	0.041 (0.942)
$\rho (\lambda)$	0.714*** (2.883)	0.543*** (3.621)
$R^2$	0.979	0.750
收敛速度	1.91%	1.22%

模型结果显示，区域人均碳排放的增长率与初始水平呈显著的负相关关系，表明区域碳排放强度存在条件  $\beta$  收敛，不同模型获得的收敛速度分别为 1.91% 和 1.22%。表 3 的回归结果表明：①  $\gamma_{STR}$  为负，但不显著。第三产业比重的增加对于区域人均碳排放增长的影响并不显著，这主要是因为中国仍处于工业化、城市化中后期，产业结构的调整可以减少碳排放，但不能改变目前仍依靠重化工业促进经济增长的现状。②  $\gamma_{IND}$  为正，且值非常显著。工业化水平是影响区域人均碳排放增长的最重要因素，当一个地区的工业化水平达到一定程度后，其碳排放增速也就趋于稳定；而对于工业化水平较低的地区，在加快工业发展的同时，人均碳排放增速也会加快，尤其是在资源丰富的西北地区，其在承接东部发达地区产业转移方面具有一定优势，所以人均碳排放增速比西南地区更高。③  $\gamma_{UR}$  为正，且值较显著。城市化对人均碳排放的影响是非常明显的，因为城市人口的能源消费是农村人口的 4 倍左右，而且城市化对基础设施的需求还加大了钢铁、水泥等高耗能、高排放产品的需求，进一步加快人均碳排放的增速。当然城市化水平不同也就直接影响到不同区域人均碳排放的增长，东部地区城市化较高，因此城市化因素对人均碳排放增速的影响低于中西部地区。④  $\gamma_{EF}$  为负，但不显著。能源效率的提高虽然可以减少单位能源消耗，但是考虑由于能源效率的逐渐趋同，其对区域人均碳排放的影响也就较低，当然如果能源价格体系得到进一步改革与完善，能源效率有可能进一步得到提高，从而更好地抑制区域人均碳排放的增速。⑤  $\gamma_{GDP}$  为正，且较为显

著。人均 GDP 代表一个经济区间所处的发展阶段，也就意味着不同的能源消费特征，直接影响人均碳排放增速。由于梯度发展模式下，区域间人均 GDP 差距仍在拉大，而且其演化趋势还存在“俱乐部收敛”现象，这就直接影响到区域人均碳排放增速的收敛。

#### （四）区域碳排放份额的演变趋势

我们借鉴 Poot（2000）的方法，将区域碳排放增量的动态效应分解为相邻（溢出）效应和增长效应，并构建了区域碳排放份额变化的空间动态效应模型，即：

$$S_{it} = \alpha + \beta_{1i}W + \beta_{2i} \log(E_t) + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

其中， $S_{it}$  为  $t$  年  $i$  地区碳排放量占全国的份额， $\sum S_i = 1$ ； $\alpha$  为常数项； $W$  为空间权重矩阵， $\beta_{1i}$  表示  $i$  地区与相邻地区间碳排放份额的竞合关系（ $\beta_{1i} > 0$  表示某一地区的碳排放会受到邻近地区排放的溢出效应影响，其份额会随着邻近地区排放份额的增长而增长， $\beta_{1i} < 0$  表示某一地区受到邻近地区排放的集聚效应的影响，份额随着邻近地区排放份额的增长而下降， $\beta_{1i} = 0$  则表示无显著影响）； $E_t$  表示当年全国碳排放量， $\beta_{2i}$  表示当全国碳排放量增长时，某一地区份额的变化情况（ $\beta_{2i} > 0$  表示正的增长效应，即某一地区碳排放份额会随着全国碳排放量增长而上升， $\beta_{2i} < 0$  则表示负的增长效应，某一地区的排放份额会随着全国碳排放量增长而下降， $\beta_{2i} = 0$  则表示无显著影响）； $\varepsilon$  为随机误差项。从表 4 中看出，中国区域碳排放的份额变化中可以得出未来碳排放增量上各省区市的竞合规律：①经济发达的京津沪和鲁苏浙闽粤等东部沿海省份的份额虽然较大，但趋于稳定，而且在新增排放量中所占的比重呈下降趋势，而且除了天津、山东和福建外基本上出现的是负的增长效应；其中，京津沪、苏鲁对邻近地区如晋冀豫皖蒙等省区产生的溢出效应较为显著，即会产生碳排放的（这主要是因为这些经济发达地区从邻近地区输入能源，这些地区碳排放的增长会拉动邻近地区的碳排放呈现更加快速增长的态势），浙闽粤与周边地区的净相邻效应则不显著。②传统的重工业基地如东北三省的份额有所下降，而中部（两湖、徽赣）的份额有所上升，这些地区的增长效应均不太显著；其中，中部省份受到周边地区溢出效应的影响较为显著，而东北地区 and 西南地区与邻近地区的净相邻效应不显著。③西北和西南地区（云贵川、蒙疆、陕甘宁青、晋冀豫）的增长效应显著为正；其中，西北地区省份受到周边地区溢出效应的影响较为显著，而云贵川与周边地区的净相邻效应则不显著。

表 4 影响区域碳排放份额变化的动态演化分析

地区	$\beta_1$	$\beta_2$	地区	$\beta_1$	$\beta_2$	地区	$\beta_1$	$\beta_2$
北京	0.502**	-0.037**	安徽	-0.418**	0.020***	湖南	0.104***	0.018***
	(2.029)	(-2.287)		(-2.818)	(4.007)		(5.031)	(3.209)
天津	0.464*	0.010**	山东	0.367**	0.008***	湖北	0.157**	0.020**
	(1.903)	(2.750)		(2.561)	(4.088)		(2.592)	(2.400)
河北	-0.359**	0.017***	江苏	0.341	-0.010	四川	0.091*	0.016**
	(-3.512)	(5.029)		(1.007)	(-0.529)		(1.232)	(2.843)
山西	-0.581**	0.041*	上海	0.298*	-0.021**	云南	-0.098*	0.021**
	(-2.029)	(1.629)		(2.029)	(-2.029)		(-1.665)	(2.449)
内蒙古	-0.623*	0.057*	浙江	0.074***	-0.009***	贵州	-0.120**	0.028*
	(-1.477)	(1.791)		(7.141)	(-5.343)		(-2.029)	(2.029)
河南	-0.318*	0.018**	福建	0.086*	0.012*	陕西	-0.284***	0.030***
	(-1.225)	(2.836)		(1.087)	(1.228)		(-7.113)	(6.432)
辽宁	0.227*	0.011	广东	0.100*	-0.020*	甘肃	-0.201*	0.020**
	(1.652)	(1.035)		(1.134)	(-2.911)		(-1.438)	(2.125)
吉林	-0.103*	-0.008*	江西	-0.103***	0.091***	宁夏	-0.244***	0.023***
	(1.884)	(-1.716)		(-6.009)	(4.413)		(-4.030)	(3.335)
黑龙江	-0.098**	0.005*	广西	-0.129	0.085	青海	-0.175**	0.019*
	(-2.353)	(1.820)		(-0.741)	(0.922)		(-2.918)	(1.349)
						新疆	-0.103	0.030*
							(-0.953)	(1.780)

#### 四、结论及政策建议

通过空间计量模型的分析表明，中国特有的梯度发展模式下，区域碳排放存在着空间分布的非均衡性，不仅是在碳生产效率方面，而且在碳排放增量上，表现出京津沪-东部沿海地区-中部地区-西北地区-西南地区这样的“梯度”分布的状况。因此，在制定减排政策时，不能采取简单的“一刀切”方法，否则就会对区域发展和减排活动都产生不利的影响。因为，一方面东部地区可能会加速向中、西部地区转移两高一低产业（高污染、高能耗、低产值），进一步加剧中、西部地区的环境和减排压力；另一方面由于人文社会发展需要一定的人均碳排放空间，过度限制区域尤其是中、西部地区的碳排放量不仅会损害其社会经济发



展，而且会进一步拉大已存在的发展梯度，造成更加不平衡的发展格局。下一步碳减排政策的制定，应该充分考虑到这些空间特性，在兼顾公平和效率的原则下，在确保完成减排承诺的同时，尽量实现减排的成本最小化和区域碳排放的平衡，这样才能在减排的同时，也实现缩小区域发展差距和优化产业布局，增加要素在区域间的合理流动和转移。

未来中国碳减排政策的制定，必须充分考虑碳排放的空间特性，建立以碳排放交易市场或碳排放税为主的区域碳排放平衡机制。所谓的碳排放交易机制也就是“总量控制—交易”（Cap-and-trade）机制，即通过限制总的排放量并将排放指标分配给各个减排主体，形成排放配额的稀缺性，鼓励减排主体通过自身减排行为或市场交易来完成减排任务。考虑到目前中国的实际国情和操作的可行性，可以给各省区市设定一段时期内的减排指标（比如某省到2020年在2005年排放水平的基础上减少10%的排放量），并设定惩罚措施，同时在分配排放配额时可以参照一下三个原则：①从控制增量的角度，重点控制排放水平高、增速又较快的省区，如西北地区的内蒙、山西等省和环渤海地区；适当控制排放水平和增速较为稳定的省区，如两湖、江西、河南等中部省份；适当放宽控制排放水平低、但增速较快的省区，如新疆、青海、甘肃、宁夏等西北省份。②从均衡排放的角度，重点控制具有较强集聚效应的区域，如京津地区；适当控制空间集聚效应不太显著的区域，如苏浙闽粤等沿海省份；适当放宽受到空间扩散效应的区域，如陕甘宁等西北省份和云贵等西南省份。③从均衡发展的角度，经济发达省区要补偿资源、能源输出型和经济欠发达省区，应该是京津沪、东部沿海地区补偿中部、西北和西南地区。这样，就可以形成配额的稀缺性，并通过发达地区向欠发达地区或能源输出型省区购买配额来补贴这些地区，促进这些地区的社会经济发展。碳税机制是含碳量不同的化石燃料收税，同样可以参照上述三个原则，对不同区域征收不同税率的碳税，这样一方面可以促进发达地区减少化石燃料的使用，改善能源结构，同时还能将征收的碳税补贴给欠发达地区，尤其是鼓励资源输出型（西部地区省份）经济转型和补贴最不发达地区的发展补偿其由于减排造成的社会经济发展方面损失。

## 参考文献:

- 1) 查冬兰等, 2007,《地区能源效率与二氧化碳排放的差异性——基于 Kaya 因素分解》,《系统工程》,第 11 期 65~73 页。
- 2) 胡玉莹, 2010,《中国能源消耗、碳排放与经济可持续增长》,《当代财经》,第 2 期 29~37 页。
- 3) 林伯强、蒋竺筠, 2009,《中国二氧化碳的环境库茨涅茨曲线预测及影响因素分析》,《管理世界》,第 4 期 27~37 页。
- 4) 吕冰洋、余丹林, 2009,《中国梯度发展模式下经济效率的增进——基于空间视角的分析》,《中国社会科学》,第 6 期 60~72 页。
- 5) 宋帮英、苏方林, 2010,《我国省域碳排放量与经济发达的 GWR 实证研究》,《财经科学》,第 4 期 41~49 页。
- 6) 沈坤荣、马俊, 2002,《中国经济增长的“俱乐部收敛”特征及成因研究》,《经济研究》,第 1 期 33~40 页。
- 7) 孙传旺等, 2010,《碳强度约束下中国全要素生产率测算与收敛性研究》,《金融研究》,第 5 期 17~34 页。
- 8) 魏下海、余玲铮, 2011,《空间依赖、碳排放与经济增长——重新解读中国的 EKC 假说》,《探索》,第 1 期 100~106 页。
- 9) 许广月、宋德勇, 2010,《中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据》,《中国工业经济》,第 5 期 37~47 页。
- 10) 张雷等, 2010,《中国碳排放区域格局变化与减排途径分析》,《资源科学》,第 32 卷第 2 期 211~218 页。
- 11) Anselin, L. Le Gallo, “Spatial panel econometrics”, In Matyas and P. Sevestre (eds).
- 12) Galor and Oded, “Convergence? Inferences from theoretical models”, The Economic Journal, 1996, 106, pp, 1056-1069.
- 13) Markandya, Anil. et al, “Energy intensity in transition economics: is there convergence towards the EU average”, Energy Economics, 2006, 28, pp, 121-145.
- 14) Lee, L.F., “Asymptotic distribution of maximum likelihood for spatial models”, Econometrica, 2004, 72, pp, 1899-1925.
- 15) Phillips, P. and Hansen, B., “Statistical inference with I(1) processes”, Review of Economic Studies, 57, pp, 99-125

- 16) . Poot, J., “Reflection on local and economy-wide effects of territorial competition” , In P.W. J. Batey, P. Friedrich(eds), “Regional Competition” ,Heidelberg:Springer-Verlag,205-230.

The regional carbon emission trend within the framework of China’s tiered development model: An analysis from a spatial perspective

Boqiang Lin, Guangxiao Huang

**Abstract:** This paper use spatial economics models to carry out an empirical analysis of spatial character of regional carbon emission in china across provinces in china. The results show that there is not only a conditional convergence in regional carbon emission, but also a club convergence has been identified, that is, the neighbor provinces have a certain growth convergence in carbon emission. Otherwise, the analysis also shows that the variance of the industrial and urbanization among different regions affect the growth convergence significantly.

**Key word:** carbon emission; tiered development model; spatial economics