

引用格式:朱泳丽,丁利杰.长三角城市群碳排放强度的空间效应及影响因素:基于产业转移视角[J].资源科学,2022,44(7):1373-1387. [Zhu Y L, Ding L J. Spatial effects and influencing factors of carbon emission intensity in the Yangtze River Delta urban agglomeration: An industrial transfer-based perspective[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1373-1387.] DOI: 10.18402/resci.2022.07.06

长三角城市群碳排放强度的空间效应及影响因素 ——基于产业转移视角

朱泳丽¹,丁利杰^{1,2}

(1. 中国社会科学院大学应用经济学院,北京 102488;2. 河北金融学院,保定 071000)

摘 要:长三角城市群协同发展背景下,城市间产业转移频繁,伴随经济和碳排放的连接,对城市碳排放强度产生的影响成为区域低碳发展需要考虑的重要战略问题。本文采用动态偏离-份额模型测度城市间产业转入和转出量。基于空间全局自相关、反距离空间权重和经济地理权重矩阵下的空间杜宾模型,对2005—2017年26个长三角城市的产业转移动态、碳排放强度的时空演变特征进行研究,在空间溢出视角下对城市碳排放强度的影响因素进行分析。结果表明:①碳排放强度存在显著的空间自相关性,具有明显的空间溢出效应。②长三角城市群内频繁转移的产业多数为非能源密集型产业,产业转移并未产生显著“碳减排”效应。值得注意的是,产业转移的经济影响开始显现,产业转移实际上不利于长三角城市群整体碳排放量减少。③人均GDP与碳排放强度呈现“倒U型”,技术水平与碳排放强度呈现“U型”,存在“技术进步的反弹效应”,人口数的增加降低了碳排放强度,二产比重正向作用于碳排放强度。因此在制订碳减排计划时,需要考虑不同区域生产效率、能耗强度、人力资本等因素,做好产业转入、转出的碳排放强度监测,避免盲目进行产业转移;壮大优势产业,改善产业结构,培育新增长点,发展符合城市自身禀赋的低能耗产业。

关键词:产业转移;动态偏离-份额模型;碳排放强度;空间效应;长三角城市群

DOI: 10.18402/resci.2022.07.06

1 引言

中国加快生态文明建设,积极推动实现2030年和2060年“双碳”目标。2021年12月,中央经济工作会议进一步指出“创造条件尽早实现能耗‘双控’向碳排放总量和强度‘双控’转变”。这一转变体现了中国减排降碳进程中,兼顾能源结构清洁化利用和经济发展的目标。其中,碳排放强度指标综合反映了经济增长和碳排放状况,由于经济基础和发展规划具有区域异质性,从区域布局来看,以城市群为单位的新型城镇化主体,是全国生产力布局的战略支撑点,同时也存在能源消费规模大、环境污染突出的问题^[1,2]。城市群空间布局紧凑,依托交

通、通信等基础设施网络,形成区域间产业转移,加强了城市群内互联互通,推动区域经济协同发展的同时,碳排放的空间溢出效应进一步凸显。那么城市群内产业转入及转出对城市碳排放强度的影响如何?影响城市群碳排放强度的因素有哪些?回答上述问题,对于进一步认识和厘清城市群碳排放强度的空间效应及影响因素具有重要价值,对于合理规划产业转移,协调区域内绿色发展,实现中国碳减排目标具有非常重要的现实意义。基于此,本文选取中国具有战略意义的长三角城市群为研究对象,利用动态-偏离份额模型和空间杜宾模型对2005—2017年26个长三角城市的产业转移动态、碳

收稿日期:2022-02-15 修订日期:2022-04-30

基金项目:中国社会科学院工业经济研究所“双碳目标下产业发展”专题。

作者简介:朱泳丽,女,安徽六安人,博士研究生,研究方向为能源转型与工业绿色发展。E-mail: zhuyongli@ucass.edu.cn

通讯作者:丁利杰,女,河北保定人,博士研究生,研究方向为产业经济、能源经济。E-mail: dinglijie@ucass.edu.cn

排放强度的时空演变特征进行分析,从而定量分析产业转移背景下城市群碳排放强度的空间溢出效应和影响因素。

2 文献综述

最初由于国际间产业转移^[3],国内外开始关注经济发展水平不同的国家间自由贸易带来的“碳转移”“碳泄漏”问题^[4-8],提出“污染天堂”假说。中国不同省份间经济发展水平存在明显差异,关于中国省际间产业转移对碳排放的影响主要存在3种观点:第一种观点认为产业转移将提高转入地的碳排放量,即“污染天堂”假说。研究主要集中于论证经济发达省份向欠发达省份转移污染密集型产业,导致承接产业转移的省份同时承接了碳转移^[9-11]。第二种观点认为产业转移通过技术水平和管理水平的提升能够一定程度上降低转入地的碳排放量。整体上看,“污染天堂”假说在中国并不成立^[12],省际间的“污染避难所”假说并不明显^[13,14]。第三种观点认为产业转移对转入地的碳排放量影响存在不确定性,需要针对不同区域进行异质性分析^[15,16]。随着中国经济转型和区域经济结构调整,东、中、西、东北地区产业间转移趋势显著,影响了碳排放的收敛^[17,18],应充分考虑不同部门的特点和情况^[19,20]。随着碳减排目标的细化和落实,碳排放时空演变和影响因素的研究推进到城市层面^[21-24]。城市群层面分析产业转移对碳排放的研究虽少但仍存在,如以产业转移的发生时间为划分,分析产业转移前后可能对碳排放产生的影响^[25,26],或利用产业结构和区域经济增长指标间接度量产业转移^[27]对碳排放产生的影响。其中,对产业转移的定量研究集中在省级层面,主要存在4种研究方法:基于区位熵原理的国际产业转移指数^[28]、基于产业市场集中度的赫芬达尔指数^[29]、基于区域间投入产出表的产业转移指标^[30]和基于偏离-份额分析的产业转移量^[31],其中区位熵原理和赫芬达尔指数是间接度量产业转移的相对指标,未能度量产业转移的绝对数量,基于区域间投入产出表的指标能够度量产业转移规模,但由于编制年限的限制难以进行连续年份的研究。

省级和城市层面的研究表明,碳排放强度存在一定的空间异质性,在中国呈现西高东低的分布格局^[32-34],有显著的空间关联性^[22,35],针对碳排放强度

的研究应考虑空间因素。空间计量越来越多地应用于碳减排的研究,省域层面^[36-38]和城市层面^[23,39]的研究集中于探讨城市人口规模、产业集聚和经济增长对碳排放量的影响,鲜有研究定量分析产业转移对碳排放强度的影响。

基于以上分析可以看到,从产业转移角度测度“碳转移”的分析较多,主要从国家和省域层面展开,城市群层面研究较少。对产业转移的度量多数基于投入产出表^[40,41],仅基于单一年份或非连续年份测算碳转移量,未能进一步分析影响碳排放量和碳排放强度的因素。由于碳排放强度的空间关联性定量分析应考虑空间因素,本文采用空间计量分析法,从城市层面测度长三角城市群产业转入量和转出量对碳排放强度的影响,并进一步分析影响碳排放强度的其他因素,以考察城市群层面碳排放强度的空间溢出效应及其影响因素。

3 研究方法与数据来源

3.1 研究方法

3.1.1 产业转移量测度

本文考察城市群发展过程中连续年份产业转移动态,借鉴动态偏离-份额模型^[31],测度2005—2017年长三角城市群的产业转移量。

将某一区域看作一个整体,假定其产业增长总量是既定的,由于区域资源、能源禀赋和发展规划的不同,区域内不同产业和城市的增长速度存在差别。受区域发展政策鼓励的城市和产业实现较快发展,其增长速度高于区域内平均增长水平,表现为产业转入;而受发展规划目标限制的城市和产业发展速度较慢,甚至出现负增长,其增长速度低于区域内平均增长水平,表现为产业转出。因此,基于传统的动态偏离-份额模型,根据工业总产值测度城市群内产业转入量和转出量。具体计算公式如下:

$$\dot{Y}_{t,i} = \sum_j (Y_{t,ij} - Y_{t-1,ij}) / \left(\sum_j Y_{t-1,ij} \right) \quad (1)$$

$$\Delta Y(0)_{t,ij} = Y_{t-1,ij} \times \dot{Y}_{t,i} \quad (2)$$

$$y_{t,ij} = Y_{t,ij} - Y_{t-1,ij} - \Delta Y(0)_{t,ij} \quad (3)$$

$$\text{其中:} \quad \sum_{j=1}^{26} y_{t,ij} = 0 \quad (4)$$

2022年7月

式中: Y_{it} 表示 t 年城市群内 i 产业增长率, 由 26 个城市的平均值计算得到; $Y_{t,ij}$ 和 $Y_{t-1,ij}$ 分别表示 j 市第 i 类产业在第 t 期和第 $t-1$ 期的工业总产值; $\Delta Y(0)_{t,ij}$ 表示不发生产业转移假设下 j 市第 i 类产业在 t 期自身总产值; $y_{t,ij}$ 表示 j 市第 i 类产业在第 t 期的产业转移量, 该值为正表示 j 市第 i 类产业在第 t 期产业增长率高于城市群平均增长水平, 为产业转入, 该值为负表示 j 市第 i 类产业在第 t 期产业增长率低于城市群平均增长水平, 为产业转出。

3.1.2 产业转移对碳排放强度影响的模型设计

环境库兹涅茨曲线(EKC)用于验证环境压力随经济增长的变化, STIRPAT(Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology)模型可用于研究环境压力影响因素。本文结合上述理论考察产业转移对碳排放强度的影响。STIRPAT 基本模型为:

$$I = aP^b A^c T^d e \quad (5)$$

式中: I 表示环境压力; P 表示人口数据; A 表示人均收入; T 表示技术水平; e 为误差项; a, b, c, d 为常数。STIRPAT 模型可以对各系数 a, b, c, d 进行估计, 同时允许对模型中各变量进行分解^[42]。本文在 STIRPAT 模型基础上进行拓展, 引入基本面板模型, 对式(5)两边取对数后可以得到:

$$\ln I_{it} = a + b \ln P_{it} + c \ln A_{it} + d \ln T_{it} + e_{it} \quad (6)$$

对式(6)拓展, 将产业转移数据作为核心解释变量引入模型, 考察长三角城市群产业转移对城市碳排放强度的影响。拓展后的模型写成如下形式:

$$\begin{aligned} \ln CIN_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln IN_{it} + \beta_2 \ln OUT_{it} + \\ & \beta_3 \ln POP_{it} + \beta_4 \ln PGDP_{it} + \\ & \beta_5 (\ln PGDP_{it})^2 + \beta_6 \ln PTNT_{it} + \\ & \beta_7 (\ln PTNT_{it})^2 + \beta_8 \ln SEC_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (7)$$

式中: β_0 为截距项; β_1, β_2 分别为产业转入量、产业转出量的回归系数; $\beta_3 - \beta_8$ 分别为控制变量城市人口数、人均收入、人均收入的二次项、技术水平、技术水平的二次项、产业结构的回归系数; α_i 表示个体固定效应; ε_{it} 为随机误差项, 假设服从独立随机分布。这里将城市碳排放强度(CIN)作为环境压力指标, 等式右侧的影响因素和指标选取说明如下:

①产业转入量(IN), 万元。根据上述测度的工业产业转移量 Y_{it} , 将不同年份所有行业转入量分别进行加总得到 t 年份 i 城市的产业转入量。产业转入对城市的影响具有两面性, 一方面, 产业转入引入了新的技术和管理模式, 通过资源的整合, 有利于提升能源利用效率, 降低碳排放强度; 另一方面, 若转入产业多为能源密集型产业, 则将导致转入地碳排放强度上升。②产业转出量(OUT), 万元。根据上述测度的工业产业转移量 Y_{it} , 将不同年份所有行业转出量分别进行加总得到 t 年份 i 城市的产业转出量。产业转出同时对当地经济和碳排放产生影响, 产业转出一方面减少了当地 GDP, 另一方面降低了碳排放量, 因此对碳排放强度的影响取决于两种影响的强弱。③人口数据采用城市人口数(POP), 万人。一是城市人口数量增加, 能源消耗增加, 推动碳排放强度上升, 二是城市人口集聚, 提高能源使用效率, 有利于降低碳排放强度。④人均收入采用城市人均 GDP(PGDP)表示, 元/人, 同时加入其二次项考察碳排放强度和经济增长之间是否符合 EKC 假设。⑤技术水平采用城市专利申请受理量(PTNT)表示, 件。技术进步在不同水平下对碳排放强度的影响, 可能存在“反弹性效应”, 因此本文加入其二次项加以考察。⑥选取城市第二产业增加值占 GDP 比重(SEC)表示产业结构指标碳排放强度, %。80%左右的碳排放由工业部门产生^①, 选取产业结构指标考察其对城市碳排放强度的影响。

3.1.3 碳排放强度的空间相关性分析

已有研究^[22,35]指出碳排放强度存在空间关联性, 若忽略空间因素, 易产生有偏估计, 因此接下来对式(7)进行空间相关性检验, 判断其是否适用于空间计量。本文选取了反距离空间权重矩阵(W1)和经济地理空间权重矩阵(W2), 对不同年份的城市碳排放强度进行全局 Moran's I 检验, 检验碳排放强度的空间自相关性。

根据表 1 全局 Moran's I 可知, 反距离空间权重矩阵(W1)和经济地理空间权重矩阵(W2)下的 Moran's I 均为正值, 且所有年份均通过显著水平检

① 这里根据中国碳核算数据库(CEADs)中 2005—2017 年“中国分部门核算碳排放清单”得到工业部门碳排放量占总碳排放量比重。

表1 2005—2017年长三角26个城市碳排放强度的全局Moran's I统计指标

Table 1 Global Moran's I index of carbon intensity of 26 cities in the Yangtze River Delta, 2005-2017

年份	W1		W2	
	Moran's I	p-value*	Moran's I	p-value*
2005	0.047	0.003	0.463	0.000
2006	0.024	0.020	0.418	0.000
2007	0.013	0.048	0.416	0.000
2008	0.022	0.027	0.414	0.000
2009	0.020	0.029	0.426	0.000
2010	0.015	0.042	0.389	0.000
2011	0.004	0.079	0.370	0.000
2012	0.003	0.085	0.376	0.000
2013	0.022	0.024	0.421	0.000
2014	0.027	0.016	0.414	0.000
2015	0.021	0.027	0.455	0.000
2016	0.025	0.018	0.452	0.000
2017	0.015	0.037	0.395	0.000

注:p-value*为其伴随概率,由蒙特卡洛模拟999次得到。

验,表明城市碳排放强度呈现高值集聚区和低值集聚区的空间正相关特征。城市碳排放强度不仅呈现出地理空间上的空间关联性,在地理和经济的综合空间上也呈现出显著的空间自相关性。因此,选取考虑空间关联因素的空间计量模型。

3.1.4 基于空间相关性的空间计量模型选择

根据空间自相关性的检验结果,对式(7)进行空间维度的拓展,建立空间杜宾模型(SDM):

$$\ln CIN_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln CIN_{it} + \beta_1 \ln IN_{it} + \beta_2 \ln OUT_{it} + \beta_3 \ln POP_{it} + \beta_4 \ln PGDP_{it} + \beta_5 (\ln PGDP_{it})^2 + \beta_6 \ln PTNT_{it} + \beta_7 (\ln PTNT_{it})^2 + \beta_8 \ln SEC_{it} + \alpha_i + \mu_{it} \quad (8)$$

$$\left\{ \mu_{it} = \lambda \sum_{j=1}^n W_{ij} \mu_{it} + \varepsilon_{it}, \mu_{it} \sim N(0, \sigma^2 I) \right\}; \left\{ \varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2 I) \right\}$$

式中: W_{ij} 为空间权重矩阵,本文 $W1$ 为反距离空间权

重矩阵, $W2$ 为经济地理空间权重矩阵, $W2$ 用于稳健性检验; ρ 为空间滞后系数; λ 为空间误差系数。当 $\rho=0$ 时式(8)为空间误差模型(SEM),当 $\lambda=0$ 时式(8)为空间滞后模型(SLM)。 $N(0, \sigma^2 I)$ 表示 μ 是服从正态分布的随机扰动项; σ 是标准差; I 是单位矩阵;本文选用反距离空间权重矩阵($W1$),并应用经济地理空间权重矩阵($W2$)进行稳健性检验。

首先判断式(7)是否适用于空间计量,对式(7)进行拉格朗日乘数(LM)检验^[43],表2中拉格朗日残差项(LM-ERR)、稳健的-拉格朗日残差项(R-LMERR)和拉格朗日滞后项(LM-LAG)、稳健的-拉格朗日滞后项(R-LMLAG)结果表明模型中残差项和滞后项存在空间自相关。因此,采用空间误差模型(SEM)、空间滞后模型(SLM)和空间杜宾模型(SDM)进行检验,判断式(8)适用的空间计量模型。LR检验和Wald检验结果如表3。

根据表3中LR、Wald检验及模型选择结果,显示SDM模型不能退化为SLM和SEM模型。结合LM、LR和Wald检验结果,本文选取SDM模型作为空间计量方法。

3.2 数据来源

本文以长三角26个城市为研究对象,以2005—2017年为时间窗口,参照《2017年国民经济行业分类与代码(GB/T 4754—2017)》对工业行业分类^[44],结合国家统计局公布的工业分行业生产者出厂价

表2 LM检验结果

Table 2 Lag model (LM) test results

模型	LM-ERR	R-LMERR	LM-LAG	R-LMLAG
W1权重	4.746**	20.190***	3.851**	19.295***
W2权重	14.367***	3.301*	11.170***	0.105

注: *、**和***分别表示通过10%、5%和1%的显著性检验。

下同。

表3 LR、Wald检验及模型选择

Table 3 Likelihood-ratio (LR) and Wald tests and model selection

模型	LR-ERR	LR-LAG	Wald-ERR	Wald-LAG	模型选择
W1权重	55.014***	59.280***	49.652***	53.295***	SDM
W1权重	43.090***	48.031***	49.652***	53.295***	SDM(经偏差修正)
W2权重	13.876*	15.145*	13.633*	14.735*	SDM
W2权重	12.741	13.391*	13.633*	14.735*	SDM(经偏差修正)

2022年7月

格指数,合并“汽车制造业”与“铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业”为“交通运输设备制造业”,删除“开采专业及辅助性活动”“其他采矿业”和“金属制品、机械和设备修理业”,最后得到37个工业行业。从各省份和城市统计年鉴获得工业分行业总产值数据后,根据全国工业分行业生产者出厂价格指数对工业总产值数据进行平减,折算为2005年不变价格。利用上述产业转移公式计算得到各城市分行业不同年份产业转移数据。

被解释变量为城市碳排放强度(CIN),根据公式 $CIN_{it} = \frac{CarbonEmission_{it}}{GDP_{it}}$ 计算得到。首先,本文引用2005—2017年城市级碳排放数据^[45],该数据集采用粒子群优化—反向传播(PSO—BP)算法,统一

DMSP/OLS和NPP/VIIRS卫星影像尺度,并利用国家级和省级能源相关碳排放数据,基于夜间灯光数据验证了能源相关数据的有效性,结果表明基于夜间灯光数据模拟的 CO_2 排放是可靠的。其次,以2005年为基年,将各城市GDP根据其生产总值指数进行平减。

解释变量数据来源于各省份和城市统计年鉴、《中国城市统计年鉴》。各变量描述性统计参见表4。

4 结果与分析

4.1 长三角城市群产业转移动态特征

本文将转入量和转出量相加得到的值记为净转移量,转入量和转出量绝对值相加得到的值记为产业转移总量。根据计算结果(图1),2005—2017年,长三角城市中,上海、南京、无锡、杭州、宁波、绍

表4 各变量描述性统计

Table 4 Descriptive statistics of the variables

变量	观测值	均值	最大值	最小值	标准差
被解释变量					
碳排放强度(CIN ,t/万元)	312	3.02	7.39	1.49	1.13
产业转入(IN ,万元)	312	54810.89	2724573.00	0.00	171749.50
产业转出(OUT ,万元)	312	-54810.89	0.00	-2006006.00	153895.10
解释变量					
人均实际GDP($PGDP$,元/人)	312	31956.86	78210.38	7220.18	18126.17
专利数($PTNT$,件)	312	22641.38	141076.00	29.00	27029.22
人口数(POP ,万人)	312	482.72	1455.00	73.11	273.80
二产比重(SEC ,%)	312	51.60	74.73	29.83	7.74

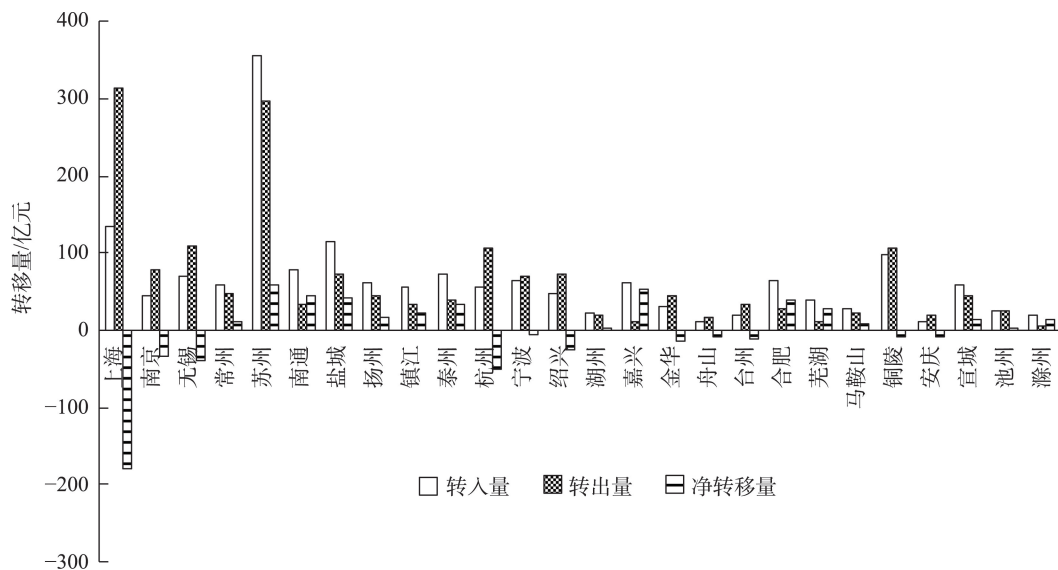


图1 长三角城市工业产业转入量和转出量

Figure 1 Inflow and outflow of urban industrial transfer in the Yangtze River Delta

兴、金华、舟山、台州、铜陵、安庆为净转出城市,上海市转出量和净转出量最高,形成了以上海市为中心的的区域产业转移。常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州、湖州、嘉兴、合肥、芜湖、马鞍山、宣城、池州和滁州为净转入城市,苏州同时存在高转入量和转出量,超越上海产业转移总量,产业转移总量最高。结合地理位置可以看到,净转出城市主要集中于东南方向,净转入城市主要集中于西北

方向。

表5给出了2005—2017年长三角城市群五大最为活跃产业转移情况,按照转移量占比从大到小依次为计算机、通信和其他电子设备制造业,交通运输设备制造业,金属制品业,电气机械及器材制造业,化学原料及化学制品制造业。根据计算结果显示,产业转移规模最大的计算机、通信和其他电子设备制造业能源消耗强度较低,属于技术密集型

表5 2005—2017年长三角城市群行业转移情况

Table 5 Industrial transfer in the Yangtze River Delta urban agglomeration, 2005-2017

计算机、通信和其他电子设备制造业				交通运输设备制造业				金属制品业			
转入地	占比/%	转出地	占比/%	转入地	占比/%	转出地	占比/%	转入地	占比/%	转出地	占比/%
苏州	2.252	上海	3.632	盐城	0.730	南京	0.743	铜陵	1.866	上海	0.797
合肥	0.677	南京	0.584	宁波	0.660	杭州	0.507	嘉兴	0.151	无锡	0.385
南通	0.387	无锡	0.247	苏州	0.415	上海	0.307	泰州	0.149	杭州	0.349
泰州	0.332	宁波	0.135	芜湖	0.140	舟山	0.267	合肥	0.120	金华	0.241
嘉兴	0.212	扬州	0.064	镇江	0.139	南通	0.170	盐城	0.051	宁波	0.141
镇江	0.202	金华	0.037	无锡	0.104	台州	0.159	滁州	0.046	常州	0.123
芜湖	0.136	铜陵	0.033	常州	0.097	绍兴	0.112	芜湖	0.044	苏州	0.082
常州	0.124	绍兴	0.025	泰州	0.065	铜陵	0.111	扬州	0.030	绍兴	0.078
滁州	0.092	舟山	0.002	滁州	0.057	金华	0.089	宣城	0.013	台州	0.073
杭州	0.084	台州	0.001	扬州	0.037	嘉兴	0.033	池州	0.010	南京	0.062
马鞍山	0.071	安庆	0.001	湖州	0.034	安庆	0.030			马鞍山	0.044
宣城	0.045			宣城	0.023	池州	0.004			镇江	0.038
池州	0.014			马鞍山	0.015					南通	0.034
湖州	0.001			合肥	0.013					安庆	0.016
交通运输设备制造业				化学原料及化学制品制造业						湖州	0.009
转入地	占比/%	转出地	占比/%	转入地	占比/%	转出地	占比/%			舟山	0.002
盐城	0.730	南京	0.743	嘉兴	0.343	南京	0.508				
宁波	0.660	杭州	0.507	盐城	0.329	上海	0.487				
苏州	0.415	上海	0.307	南通	0.324	铜陵	0.387				
芜湖	0.140	舟山	0.267	镇江	0.266	无锡	0.345				
镇江	0.139	南通	0.170	泰州	0.266	杭州	0.227				
无锡	0.104	台州	0.159	宁波	0.198	绍兴	0.119				
常州	0.097	绍兴	0.112	扬州	0.147	常州	0.050				
泰州	0.065	铜陵	0.111	宣城	0.126	金华	0.045				
滁州	0.057	金华	0.089	合肥	0.086	安庆	0.039				
扬州	0.037	嘉兴	0.033	滁州	0.062	苏州	0.033				
湖州	0.034	安庆	0.030	芜湖	0.046	舟山	0.015				
宣城	0.023	池州	0.004	马鞍山	0.040	台州	0.014				
马鞍山	0.015			湖州	0.032						
合肥	0.013			池州	0.005						

注:表中百分比数值为2005—2017年加总数据,计算公式为:某城市某产业转入量(转出量)/总产业转移量得到。

2022年7月

行业,有助于转入城市提升技术水平,降低碳排放强度。上海、南京、无锡、宁波、扬州是计算机、通信和其他电子设备制造业的主要转出城市,主要转入城市有苏州、合肥、南通、泰州。五大最为活跃产业中,仅有化学原料及化学制品制造业为能源密集型产业,南京、上海、铜陵、无锡是化学原料及化学制品制造业的主要转出城市,嘉兴、盐城、南通、泰州是主要转入城市。上海是以上五大最为活跃产业转移的主要转出城市。值得关注的是,根据各城市产业转入量排序得到,化学原料及化学制品制造业是滁州和盐城主要转入产业,能源消耗强度高,对当地本就不乐观的产业结构和能源消耗强度产生

更大压力。

4.2 产业转移背景下长三角城市群碳排放强度时空演变特征

根据图2、图3a所示,整体来看2005—2017年长三角城市群碳排放强度呈现微弱“倒U型”,2005—2010年为长三角城市群碳排放强度的上升期,2010—2015年期间整体碳排放强度达到高峰期,2015—2017年碳排放强度有小幅下降,但下降趋势仍不明显,“十一五”和“十二五”期间碳排放强度呈现不同态势。中国“十一五”规划纲要中明确提出“节能减排”指标,但并未明确碳减排指标。“十二五”规划纲要中则明确提出碳排放强度下降指

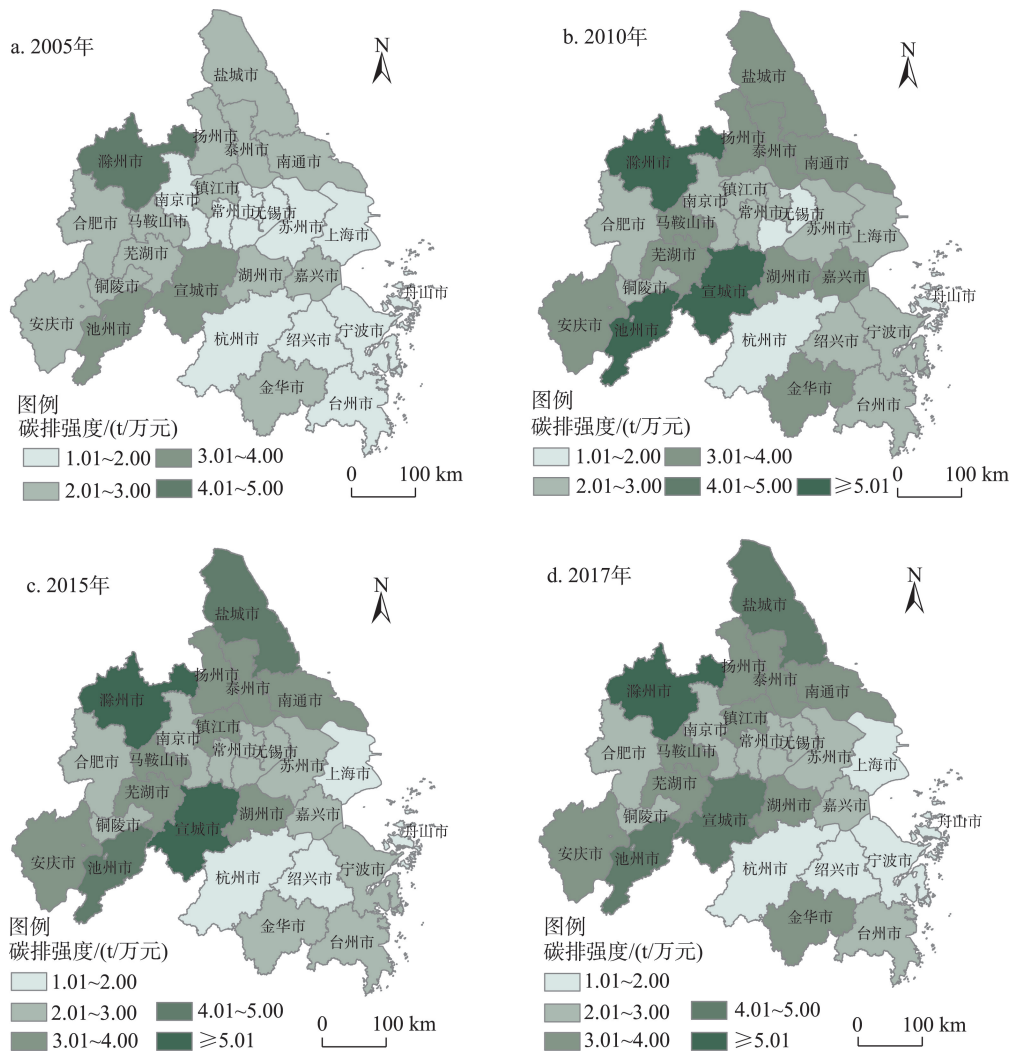


图2 2005年、2010年、2015年和2017年长三角城市群碳排放强度时空格局变化

Figure2 Spatial and temporal patterns of carbon emission intensity in the Yangtze River Delta urban agglomeration, 2005, 2010, 2015, and 2017

注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1822的标准地图制作,底图无修改。

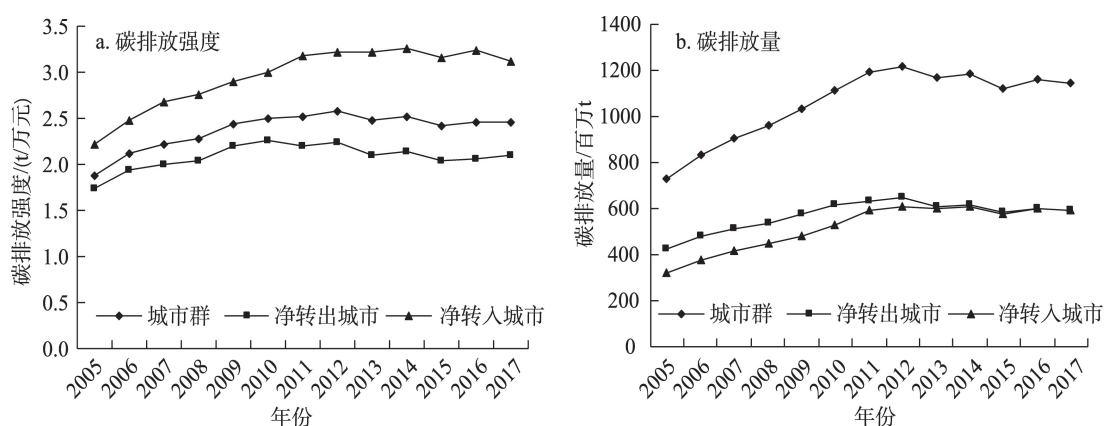


图3 2005—2017年长三角城市群、产业净转入与净转出城市碳排放强度和碳排放量比较

Figure 3 Comparison of carbon intensity and carbon emissions among all cities, net transfer-in cities, and net transfer-out cities in the Yangtze River Delta urban agglomeration, 2005-2017

标。根据本文计算结果显示,自“十二五”规划纲要提出明确的碳减排指标,各地市的降碳任务略见成效,其中舟山、上海、杭州碳排放强度下降幅度最大,部分城市碳排放强度虽上升但幅度减缓。与2005年相比,2017年26个长三角城市中,仅有上海市碳排放强度有所下降,由2005年的1.87 t/万元下降到2017年的1.76 t/万元,其余25个城市碳排放强度均上升,其中碳排放强度上升幅度最大的为盐城市,其次为常州市、镇江市。从空间上看,碳排放强度分布未发生显著变化,截至2017年,碳排放强度最高的为西北部滁州市,达到7.05 t/万元,是长三角城市中唯一一座碳排放强度超过5 t/万元的城市,这与滁州高比例的二产结构以及较低经济发展水平相关,滁州市人均实际GDP仍处于长三角城市下游水平;低碳排放强度城市有东南侧的舟山市、上海市,分别为1.66 t/万元和1.76 t/万元,其中,舟山市碳排放强度一直处于较低水平,2005年碳排放强度为1.31 t/万元。一方面,舟山和上海二产比重均较低。另一方面,舟山市属于海岛城市,具有自己的优势产业,金属船舶制造、船舶修理及拆船、水产品加工为其经济增长贡献了重要力量;上海的劳动力水平、管理水平、技术水平均处于全国领先水平,因此碳排放强度不仅处于长三角城市较低水平,同时处于全国较低水平。

根据对2005—2017年长三角城市群产业净转入和净转出城市的划分,图3展示了长三角城市群

整体碳排放强度以及净转入和净转出城市的碳排放强度。以盐城、苏州为主的净转入城市碳排放强度均值处于3.2 t/万元左右,以上海、杭州为主的净转出城市碳排放强度均值处于1.9 t/万元,长三角城市群整体碳排放强度均值处于2.3 t/万元左右。净转出城市整体经济发展水平更高,碳排放强度更低。随着经济发展水平的提升,城市能源利用效率、技术水平、管理水平提高,使其具有较低的碳排放强度;而经济发展水平较低的城市,缺乏人才吸引力,技术水平和管理水平较低,相同产业比经济发达地区生产的能源使用效率更低,碳排放强度更高,这与城市发展过程中除资源禀赋外的文化软实力相关。

从图3b看到,2012年长三角城市群整体碳排放量达到峰值,随后碳排放总量呈现一定波动性,未呈现明显的下降趋势。2012年以后,产业净转出城市碳排总量呈下降趋势,净转入城市碳排总量则呈现上升趋势。根据本文搜集数据整理,2005—2017年,长三角城市群碳排放总量增长了58.57%,实际GDP增长24.49%,碳排放量增速超过实际GDP增速;净转出城市实际GDP增长21.06%,净转入城市增长30.26%,净转入城市经济增长速度更高;净转出城市碳排放量上升39.54%,净转入城市上升83.62%,伴随经济增长,净转入城市碳排放量大幅增加。这与城市的产业结构、能源利用效率、技术和管理水平有密不可分的关系。根据实际GDP计

2022年7月

算结果,结合图2和图3可以看到,以上海为中心的产业净转出城市生产效率更高,碳排放强度整体处于较低水平。值得注意的是,“十二五”期间,碳排放总量下降,伴随着长三角城市群实际GDP的滑坡。

4.3 碳排放强度变化影响因素分析

经过固定效应检验,选取时间和空间双固定的空间面板杜宾模型对碳排放强度变化的影响因素进行分析,同时采用反距离权重矩阵和经济地理权重矩阵对影响因素进行检验。根据空间面板杜宾模型,其中空间溢出效应可分为直接效应、间接效应和总效应。直接效应表示该区域自变量对因变量的效应,模型中表示该城市影响因素对碳排放强度的效应大小;间接效应表示邻近区域城市影响因素对该城市碳排放强度的效应大小;总效应为直接效应和间接效应之和,表示该城市和邻近区域城市影响因素对该城市碳排放强度的效应大小。

根据表6对碳排放强度影响因素的估计和检验

结果及表7、表8空间溢出效应的分解可知:

(1)产业转移:分别考察产业转入(*IN*)和产业转出(*OUT*)对城市碳排放强度的影响。其中,产业转入对当地碳排放强度未产生显著影响,由于一部分城市承接了能源密集型产业,单位GDP化石能源消耗增加,碳排放强度上升;而产业转入同时引入了新技术,提升了管理水平,有利于企业内部组织优化,降低碳排放强度。两种影响作用下,对城市碳排放强度的最终作用并不显著。产业转出显著提高了当地碳排放强度。一方面,产业转出虽然减少了工业企业能源消耗,城市碳排放量减少,降低了城市碳排放强度。但另一方面,产业转出伴随转出城市GDP的下降,而城市规模、人口集聚和基础设施集中对能源消费产生一定刚性需求,GDP下降幅度大于碳排放减少幅度,不可抑制地导致整体碳排放强度上升。产业转出存在空间溢出效应,直接效应、间接效应和总效应均为正,产业转出提高了城市群碳排放强度。

表6 时间和空间双固定的空间面板杜宾模型估计和检验结果

Table 6 Estimation and test results of the Durbin model of spatially and temporally fixed spatial panel

变量	反距离权重矩阵(<i>W1</i>)		经济地理权重矩阵(<i>W2</i>)	
	SDM FE	SDM FE(经偏差修正)	SDM FE	SDM FE(经偏差修正)
<i>lnIN</i>	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>lnOUT</i>	0.006***	0.006***	0.005**	0.005**
<i>lnPGDP</i>	3.412***	3.316***	3.272***	3.237***
$(\ln PGDP)^2$	-0.207***	-0.202***	-0.200***	-0.198***
<i>lnPTNT</i>	-0.040**	-0.038*	-0.031	-0.031
$(\ln PTNT)^2$	0.004***	0.004***	0.004***	0.004***
<i>lnPOP</i>	-0.691***	-0.696***	-0.696***	-0.700***
<i>lnSEC</i>	0.161***	0.163***	0.181***	0.183***
<i>W1</i> × <i>lnIN</i>	0.021	0.019	0.003	0.003
<i>W1</i> × <i>lnOUT</i>	0.035**	0.031*	0.002	0.002
<i>W1</i> × <i>lnPGDP</i>	19.486***	17.966***	0.435	0.205
<i>W1</i> × $(\ln PGDP)^2$	-0.963***	-0.875***	-0.014	-0.001
<i>W1</i> × <i>lnPTNT</i>	-0.296**	-0.261	0.036	0.038
<i>W1</i> × $(\ln PTNT)^2$	0.035***	0.031***	-0.002	-0.002
<i>W1</i> × <i>lnPOP</i>	0.406	0.608	0.263**	0.305**
<i>W1</i> × <i>lnSEC</i>	-0.776	-0.840	-0.104	-0.113
<i>W1</i> × <i>dep.var.</i>	0.005	0.332***	-0.103	-0.036
<i>R-squared</i>	0.987	0.987	0.985	0.985
<i>sigma</i> ²	0.001	0.002	0.002	0.002
<i>log likelihood</i>	579.576	579.576	559.459	559.459

表7 时间和空间双固定的空间面板杜宾模型的直接效应和间接效应

Table 7 Direct effects and indirect effects of the Durbin model of spatially and temporally fixed space panel

	W1			W2		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
lnIN	0.000	0.022	0.022	0.000	0.002	0.003
lnOUT	0.006***	0.037*	0.043**	0.005**	0.002	0.007
lnPGDP	3.458***	20.370***	23.828***	3.241***	0.143	3.383**
(lnPGDP) ²	-0.209***	-1.006***	-1.216***	-0.198***	0.003	-0.195**
lnPTNT	-0.040**	-0.299	-0.339*	-0.032	0.039	0.007
(lnPTNT) ²	0.004***	0.036***	0.040***	0.004***	-0.002	0.002
lnPOP	-0.690***	0.423	-0.267	-0.703***	0.314**	-0.389***
lnSEC	0.159***	-0.840	-0.681	0.182***	-0.120	0.061

表8 时间和空间双固定的空间面板杜宾模型估计和检验结果(经偏差修正)

Table 8 Direct effects and indirect effects of the Durbin model of spatially and temporally fixed space panel (bias correction)

	W1			W2		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
lnIN	0.000	0.031	0.031	0.000	0.003	0.003
lnOUT	0.007***	0.051*	0.058*	0.005**	0.002	0.007
lnPGDP	3.762***	28.984***	32.746***	3.222***	0.086	3.308*
(lnPGDP) ²	-0.225***	-1.432***	-1.656***	-0.198***	0.007	-0.191**
lnPTNT	-0.045*	-0.409	-0.455	-0.031	0.041	0.009
(lnPTNT) ²	0.005***	0.049**	0.054***	0.004***	-0.002	0.001
lnPOP	-0.689***	0.575	-0.114	-0.706***	0.334**	-0.372**
lnSEC	0.145**	-1.204	-1.058	0.183***	-0.123	0.061

根据产业转入和产业转出的实证分析结果,长三角城市群内频繁转移的产业多数为非能源密集型产业,产业转移并不是碳转移的唯一因素,这一点与省域间产业转移的分析结果具有一致性^[40,46],产业转移也并未产生显著“碳减排”效应。值得注意的是,产业转移的经济影响开始显现,净转出城市GDP增速放缓,净转入城市GDP增速高于净转出城市,但除产业转移外,净转入城市由于经济发展水平、技术水平、管理水平等相对较低,导致较高的碳排放量和碳排放强度。因此,从区域碳减排效果来看,产业转移实际上不利于碳减排。生产效率较高和能源强度较低的地区由于产业净转出创造的工业总产值比重下降,而生产效率较低和能源强度较高的地区由于产业净转入创造的工业总产值比重上升,总体碳排放量增加,净转出城市经济增长幅度下滑,产业转出不利于城市群碳排放强度的降低。

(2)人均GDP:加入人均GDP的二次项考察碳排放强度和经济增长之间是否符合EKC假设。结果表明,人均GDP与碳排放强度之间存在显著的“倒U型”关系,符合EKC假设。随着城市经济发展,能源消耗增加,碳排放强度上升,当经济水平发展到一定程度,越过门槛值,碳排放强度随经济发展下降。经济发展水平对碳排放强度的影响存在空间溢出效应,对周边城市碳排放强度的影响产生了扩散效应。

(3)专利数:专利数的一次项显著为负,二次项显著为正,与人均GDP的“倒U型”相反,表明技术创新水平与碳排放强度之间存在“U型”关系。技术创新首先降低了碳排放强度,碳排放强度下降到一定程度后,技术水平的提高反而提升了碳排放强度。一方面,由于技术进步提升了能源使用效率,降低了碳排放量,进而在初期降低了碳排放强度;另一方面,技术进步提高了能源使用效率,人们获

2022年7月

得了能源使用的便利,能源消费总量增加,同时技术进步带来的碳减排边际效应递减,产生“技术进步的反弹效应”。初期碳排放强度降低的影响消失,碳排放强度开始上升。对于长三角城市群来说,技术进步初期带来了碳排放强度的下降,但技术进步水平仍存在一定瓶颈,突破性进展并未实现,仍停留在较低水平的创新。技术水平对碳排放强度的影响同样存在空间溢出效应,具备一定的传播性。

(4)人口规模:人口规模系数显著为负,表明随着城市人口规模的增加,碳排放强度下降。一方面,城市人口规模扩大、建筑集聚,为集中供暖和用电提供了便利,公共基础设施利用率高,节约能源消耗量,减少能源损耗。另一方面,城市产业集聚,人口向城市集中,高素质技术和管理人才随之增加,极大地提高城市生产效率和能源使用效率,因此,随着城市人口规模的增加,碳排放强度反而下降,如上海作为特大城市碳排放强度较低。

(5)第二产业比重:第二产业比重系数显著为正,意味着随着城市中第二产业比重的增加,能源消耗量增加,碳排放强度随之提高。第二产业占GDP比重每增加1%,碳排放强度增加0.159%。产业结构调整对降低碳排放强度产生重要影响。第二产业比重并不存在空间溢出效应。第二产业比重会受到产业转入转出的影响,但从根本上由城市自身工业发展状况决定。

长三角城市群碳排放强度存在空间关系,因此采用Elhorst的空间计量模型软件分析城市群碳排放强度的影响因素。首先,当模型同时包含空间效应和时间效应,面板数据的时间和空间维度较大时,易产生有偏估计^[48],本文采用偏差修正模型,检验结果稳健。根据表6和表8的偏差修正模型结果可以看到,除回归系数大小、拟合度和方差有微弱变化外,系数方向和显著度未发生变化,保证了结果的稳健性。其次,为防止第二产业比重与产业转入和转出的高度相关产生严重的多重共线性,影响模型结果,删除第二产业这一变量后发现其他变量显著性和系数符号未发生改变,系数大小产生微弱变化,模型结果基本无变化,拟合度提升,因此本文加入第二产业比重这一变量,考察产业结构变化对

碳排放强度的影响。

5 结论与政策启示

5.1 结论

本文采用空间计量方法,从产业转移的视角分析长三角城市群碳排放强度的空间效应及影响因素,根据实证分析结果,得到如下结论:

(1)长三角城市群转移产业以计算机、通信和其他电子设备制造业,交通运输设备制造业,金属制品业,电气机械及器材制造业和化学原料及化学制品制造业为主,仅有化学原料及化学制品制造业为能源密集型产业,形成了以上海为中心的净转出城市。能源密集型产业转移比重较低,这对于转入城市存在利好。净转出城市整体经济发展水平高于净转入城市整体经济发展水平,碳排放强度也低于净转入城市。碳排放强度存在显著的空间自相关性,具有明显的空间溢出效应。

(2)长三角城市群内频繁转移的产业多数为非能源密集型产业,产业转移实际上不利于长三角城市群整体碳排放量减少,而产生的经济影响凸显。生产效率较高和能源强度较低的净转出区由于产业净转出造成工业总产值比重下降,而生产效率较低和能源强度较高的产业净转入地区创造的工业总产值比重上升,总体碳排放量增加,产业转出不利于城市群碳排放强度的降低。与以往研究一致的是^[18-21],本文空间计量结果表明,产业转入并未对长三角城市碳排放强度产生显著影响,对以往研究的补充是,本文结果表明产业转出显著提升了城市群碳排放强度。

(3)产业转移并不是影响碳排放强度的唯一因素。经济增长与碳排放强度之间存在“倒U型”关系,符合环境库兹涅茨曲线假设。技术进步与碳排放强度之间存在“U型”关系,出现“技术进步的反弹效应”。随着城市人口数量增加与集聚,碳排放强度下降,第二产业比重上升导致碳排放强度上升,产业结构调整将对碳排放强度产生重要影响。

5.2 政策启示

根据上述分析得到的政策启示有:

(1)城市绿色低碳发展一方面要考虑到不同区域经济发展的差异性,如产业发展状况、技术水平、能耗强度和人力资本情况。另一方面,需要考虑到

碳排放的空间溢出效应,做好产业转入、转出的碳排放强度监测,避免盲目进行产业转移,实行区域内整体规划。

(2)在制订碳减排计划时,给予产业结构调整一定弹性空间,合理利用区域资源,因势利导,结合不同城市发展具体情况,对不同城市产业碳排放强度进行评估,选择优势城市进行生产,做好整体布局。对产业净转入城市积极进行碳排放强度监测,防止当地经济增长的同时,带来高碳排放量。要保证产业净转出城市的优势产业,不断改进原有生产方式的效率和耗能,维持经济增长点。

(3)积极推动经济发展,通过优化产业结构、技术进步等方式缩短经济增长而碳排放强度上升的阵痛期,发挥优势产业长处,积极寻找符合其资源禀赋的经济增长点。对专利和研发项目进行一定筛选,最大程度发挥技术进步的优势,在城市人口集中区域提高能源利用效率,发挥公共基础设施的作用,培育经济增长新优势,发展符合城市自身禀赋的低能耗产业。

参考文献(References):

- [1] 马丽梅, 张晓. 中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响[J]. 中国工业经济, 2014, (4): 19-31. [Ma L M, Zhang X. The spatial effect of China's haze pollution and the impact from economic change and energy structure[J]. China Industrial Economics, 2014, (4): 19-31.]
- [2] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019, 35(1): 36-60. [Shao S, Zhang K, Dou J M. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China[J]. Management World, 2019, 35(1): 36-60.]
- [3] Copeland B R, Taylor M S. Trade and the environment: A partial synthesis[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1995, 77(3): 765-771.
- [4] Babiker M H. Climate change policy, market structure, and carbon leakage[J]. Journal of International Economics, 2005, 65(2): 421-445.
- [5] Rahel A, Felbermayr G. Kyoto and carbon leakage: An empirical analysis of the carbon content of bilateral trade[J]. Review of Economics and Statistics, 2015, 97: 104-115.
- [6] Yu B Y, Zhao Q Y, Wei Y M. Review of carbon leakage under regionally differentiated climate policies[J]. Science of The Total Environment, 2021, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146765.
- [7] 李晖, 刘卫东, 唐志鹏. 全球贸易隐含碳净转移的空间关联网络特征[J]. 资源科学, 2021, 43(4): 682-692. [Li H, Liu W D, Tang Z P. Spatial correlation network of net carbon transfer in global trade[J]. Resources Science, 2021, 43(4): 682-692.]
- [8] 余娟娟, 龚同. 全球碳转移网络的解构与影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(8): 21-30. [Yu J J, Gong T. Analyzing the deconstruction and influencing factors of the global carbon transfer network[J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(8): 21-30.]
- [9] 肖雁飞, 万子捷, 刘红光. 我国区域产业转移中“碳排放转移”及“碳泄漏”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, 40(2): 75-84. [Xiao Y F, Wan Z J, Liu H G. An empirical study of carbon emission transfer and carbon leakage in regional industrial transfer in China: Analysis based on inter-regional input-output model in 2002 and 2007[J]. Journal of Finance and Economics, 2014, 40(2): 75-84.]
- [10] Xu J, Zhang M, Zhou M, et al. An empirical study on the dynamic effect of regional industrial carbon transfer in China[J]. Ecological Indicators, 2017, 73: 1-10.
- [11] 黄会平, 赵荣钦, 韩宇平. 我国不同区域隐含碳排放流动研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 83-93. [Huang H P, Zhao R Q, Han Y P. Study on embodied carbon emissions flow in different regions of China[J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science Edition), 2019, 40(4): 83-93.]
- [12] 傅京燕, 张春军. 国际贸易、碳泄漏与制造业CO₂排放[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 13-18. [Fu J Y, Zhang C J. International trade, carbon leakage and CO₂ emissions from manufacturing industry[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(3): 13-18.]
- [13] Zhang Z K, Guo J, Hewings G J. The effects of direct trade within China on regional and national CO₂ emissions[J]. Energy Economics, 2014, 46: 161-175.
- [14] 朱金鹤, 王雅莉. 创新补偿抑或遵循成本? 污染光环抑或污染天堂? 绿色全要素生产率视角下双假说的门槛效应与空间溢出效应检验[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(20): 46-54. [Zhu J H, Wang Y L. "Innovation compensation" or "following costs"? "Pollution paradise" or "pollution halo"? The threshold effect of double hypothesis and the test of spatial spillover effect from the perspective of green total factor productivity[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2018, 35(20): 46-54.]
- [15] 张晖, 顾典, 吴霜, 等. 流域生态补偿政策下受偿地区碳减排效应: 以新安江流域为例[J]. 资源科学, 2022, 44(4): 768-779. [Zhang H, Gu D, Wu S, et al. Effect of emission reduction in the compensated areas under the policy of watershed eco-compensation, 2021, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146765.]

2022年7月

- tion: A case study of the Xin'an River Basin[J]. *Resources Science*, 2022, 44(4): 768–779.]
- [16] 韩梦瑶, 刘卫东, 谢满甜, 等. 中国省域碳排放的区域差异及脱钩趋势演变[J]. *资源科学*, 2021, 43(4): 710–721. [Han M Y, Liu W D, Xie Y T, et al. Regional disparity and decoupling evolution of China's carbon emissions by province[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 710–721.]
- [17] Zhao X G, Fan L. Spatial distribution characteristics and convergence of China's regional energy intensity: An industrial transfer perspective[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 233: 903–917.
- [18] 成艾华, 魏后凯. 促进区域产业有序转移与协调发展的碳减排目标设计[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(1): 55–62. [Cheng A H, Wei H K. Target design on carbon reduction of promoting regional industrial transfer orderly and coordinated development[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(1): 55–62.]
- [19] Zheng Y M, Qi J H, Chen X L. The effect of increasing exports on industrial energy intensity in China[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(5): 2688–2698.
- [20] 李艳梅, 孙丽云, 张红丽, 等. 京津冀区域间产业转移对能源消费碳排放强度的影响[J]. *资源科学*, 2017, 39(12): 2275–2286. [Li Y M, Sun L Y, Zhang H L, et al. The impact of interregional transfer of industries on carbon emission intensity of energy consumption in Beijing–Tianjin–Hebei[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2275–2286.]
- [21] 陈江龙, 李平星, 高金龙. 1990–2014年泛长三角地区能源利用碳排放时空格局及影响因素[J]. *地理科学进展*, 2016, 35(12): 1472–1482. [Chen J L, Li P X, Gao J L. Spatiotemporal patterns and influencing factors of carbon emissions in the Pan–Yangtze River Delta Region, 1990–2014[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(12): 1472–1482.]
- [22] 陈操操, 蔡博峰, 孙粉, 等. 京津冀与长三角城市群碳排放的空间聚集效应比较[J]. *中国环境科学*, 2017, 37(11): 4371–4379. [Chen C C, Cai B F, Sun F, et al. Spatial agglomeration effects of carbon dioxide emissions between Beijing–Tianjin–Hebei Region and Yangtze River Delta Region[J]. *China Environmental Science*, 2017, 37(11): 4371–4379.]
- [23] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素[J]. *地理学报*, 2018, 73(3): 414–428. [Wang S J, Su Y X, Zhao Y B. Regional inequality, spatial spillover effects and influencing factors of China's city-level energy-related carbon emissions[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 414–428.]
- [24] 张雪华, 董会忠. “2+26”城市碳排放时空演变特征及其驱动因素研究[J]. *资源开发与市场*, 2021, 37(12): 1448–1456. [Zhang X H, Dong H Z. Study on the spatiotemporal evolution of carbon emissions in “2+26” cities and its driving factors[J]. *Resource Development & Market*, 2021, 37(12): 1448–1456.]
- [25] 李平星, 曹有挥. 产业转移背景下区域工业碳排放时空格局演变: 以泛长三角为例[J]. *地球科学进展*, 2013, 28(8): 939–947. [Li P X, Cao Y H. Spatial and temporal changes of industrial carbon emissions under regional industrial transfer: The case of Pan–Yangtze River Delta[J]. *Advances in Earth Science*, 2013, 28(8): 939–947.]
- [26] 姜宛贝, 韩梦瑶, 唐志鹏, 等. 基于经济发展水平和产业转移视角的碳强度国别对比研究[J]. *资源科学*, 2019, 41(10): 1814–1823. [Jiang W B, Han M Y, Tang Z P, et al. International comparison of carbon intensity from the perspective of economic development levels and industrial transfers[J]. *Resources Science*, 2019, 41(10): 1814–1823.]
- [27] Chen L, Xu L Y, Yang Z F. Accounting carbon emission changes under regional industrial transfer in an urban agglomeration in China's Pearl River Delta[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 167: 110–119.
- [28] Savona M, Schiattarella R. International relocation of production and the growth of services: The case of the “Made in Italy” industries[J]. *Transnational Corporations*, 2004, 13(2): 57–76.
- [29] 张公嵬, 梁琦. 产业转移与资源的空间配置效应研究[J]. *产业经济评论*, 2010, 9(3): 1–21. [Zhang G W, Liang Q. The study of industrial transfer and the spatial allocation of resources[J]. *Review of Industrial Economics*, 2010, 9(3): 1–21.]
- [30] 刘红光, 刘卫东, 刘志高. 区域间产业转移定量测度研究: 基于区域间投入产出表分析[J]. *中国工业经济*, 2011, (6): 79–88. [Liu H G, Liu W D, Liu Z G. The quantitative study on inter-regional industry transfer[J]. *China Industrial Economics*, 2011, (6): 79–88.]
- [31] 成艾华, 赵凡. 基于偏离份额分析的中国区域间产业转移与污染转移的定量测度[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(5): 49–57. [Cheng A H, Zhao F. Quantitative measure on inter-regional industrial transfer and pollution transfer based on the idea of shift share analysis[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(5): 49–57.]
- [32] 程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量[J]. *地理学报*, 2013, 68(10): 1418–1431. [Cheng Y Q, Wang Z Y, Zhang S Z, et al. Spatial econometric analysis of carbon emission intensity and its driving factors from energy consumption in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(10): 1418–1431.]
- [33] 颜艳梅, 王铮, 吴乐英, 等. 中国碳排放强度影响因素对区域差异的作用分析[J]. *环境科学学报*, 2016, 36(9): 3436–3444. [Yan Y M, Wang Z, Wu L Y, et al. Analysis of the determinants of carbon emission intensity on regional differences[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(9): 3436–3444.]

- cumstantiae, 36(9): 3436–3444.]
- [34] 刘贤赵, 高长春, 张勇, 等. 中国省域碳强度空间依赖格局及其影响因素的空间异质性研究[J]. 地理科学, 2018, 38(5): 681–690. [Liu X Z, Gao C C, Zhang Y, et al. Spatial dependence pattern of carbon emission intensity in China's provinces and spatial heterogeneity of its influencing factors[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(5): 681–690.]
- [35] 李慧敏, 杨旭, 吴相利, 等. 时空视角下能源密集型产业结构演变的碳排放效应[J]. 环境科学学报, 2021, 41(5): 2018–2028. [Li H M, Yang X, Wu X L, et al. The carbon emission effect of energy-intensive industrial structure evolution from the perspective of time and space[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(5): 2018–2028.]
- [36] 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, 21(5): 80–86. [Zheng C D, Liu S. Empirical research of carbon emission and economic growth in China based on the spatial econometric analysis[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(5): 80–86.]
- [37] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(1): 67–77. [Ma D L, Chen Z C, Wang L. Spatial econometrics research on inter-provincial carbon emissions efficiency in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(1): 67–77.]
- [38] 万伦来, 左悦. 产城融合对区域碳排放的影响: 基于经济转型升级的中介作用[J]. 安徽大学学报(哲学社会科学版), 2020, 44(5): 114–123. [Wan L L, Zuo Y. The impact of industry-city integration on regional carbon emissions: Based on the mediating effect of economic transformation and upgrading[J]. Journal of Anhui University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2020, 44(5): 114–123.]
- [39] 张华明, 元鹏飞, 朱治双. 中国城市人口规模、产业集聚与碳排放[J]. 中国环境科学, 2021, 41(5): 2459–2470. [Zhang H M, Yuan P F, Zhu Z S. City population size, industrial agglomeration and CO₂ emission in Chinese prefectures[J]. China Environmental Science, 2021, 41(5): 2459–2470.]
- [40] 廖双红, 肖雁飞. 污染产业区域间转移与中部地区碳转移空间特征及启示[J]. 经济地理, 2017, 37(2): 132–140. [Liao S H, Xiao Y F. Pollution industry transfer and carbon transfer space characteristic in midland of China[J]. Economic Geography, 2017, 37(2): 132–140.]
- [41] 王安静, 冯宗宪, 孟渤. 中国30省份的碳排放测算以及碳转移研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2017, 34(8): 89–104. [Wang A J, Feng Z X, Meng B. Measure of carbon emissions and carbon transfers in 30 provinces of China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2017, 34(8): 89–104.]
- [42] Liu Z, Guan D B, Moore S, et al. Steps to China's carbon peak[J]. Nature, 2015, 522(7556): 279–281.
- [43] Anselin L, Florax R. New Directions in Spatial Econometrics[M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2012.
- [44] 中国国家统计局. 2017年国民经济行业分类(GB/T 4754–2017) [EB/OL]. (2017–09–29) [2022–02–15]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjbz/hyflbz/201710/t20171012_1541679.html. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. 2017 National Economic Industry Classification (GB/T 4754_2017) [EB/OL]. (2017–09–29) [2022–02–15]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjbz/hyflbz/201710/t20171012_1541679.html.]
- [45] Chen J D, Gao M, Cheng S L, et al. County-level CO₂ emissions and sequestration in China during 1997–2017[J]. Scientific Data, 2020, 7: 1–12.
- [46] 许静, 周敏, 夏青. 中国省际间产业区域转移的碳排放动态效应及影响机制[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2017, 17(2): 74–85. [Xu J, Zhou M, Xia Q. Dynamic effect and mechanism of carbon emission during regional industrial transfer in China[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition), 2017, 17(2): 74–85.]
- [47] Elhorst J P. Matlab software for spatial panels[J]. International Regional Science Review, 2014, 37(3): 389–405.
- [48] Lee L F, Yu J H. Estimation of spatial autoregressive panel data models with fixed effects[J]. Journal of Econometrics, 2010, 154(2): 165–185.

Spatial effects and influencing factors of carbon emission intensity in the Yangtze River Delta urban agglomeration: An industrial transfer-based perspective

ZHU Yongli¹, DING Lijie^{1,2}

(1. Institute of Industrial Economics, University of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 102488, China;

2. Hebei Finance University, Baoding 071000, China)

Abstract: Under the background of coordinated development of urban agglomerations in the Yangtze River Delta, inter-city industrial transfer is frequent. Due to the connection of the economy and carbon emissions, the impact on urban carbon emission intensity has become an important strategic issue to be considered for regional low-carbon development. In this study, the dynamic shift-share model was employed to measure the amount of industrial transfer in and out of the cities. Based on the spatial global autocorrelation, the spatial Durbin model of inverse distance spatial weight matrix, and economic geographical weight matrix, this study examined the industrial transfer dynamics and the spatial-temporal evolution characteristics of carbon emission intensity of 26 cities in the Yangtze River Delta region from 2005 to 2017, and analyzed the influencing factors of urban carbon emission intensity from the spatial spillover perspective. The results show that: (1) Carbon emission intensity shows significant spatial autocorrelation and spatial spillover effects. (2) Most of the frequently transferred industries in the Yangtze River Delta urban agglomeration are non-energy-intensive industries. Industrial transfer does not produce significant carbon emission reduction effect. It is worth noting that the economic impact of industrial transfer is beginning to emerge, but industrial transfer is not conducive to carbon emission reduction. (3) The relationship between per capita GDP and carbon intensity is inverted U shaped. Technological development level and carbon intensity shows a U-shaped relationship, which indicates the “rebound effect” of the technological progress. Population growth lowers the carbon emission intensity. Proportion of the secondary industry has positive effects on carbon emission intensity. When making carbon emission reduction plans, the production efficiency, energy intensity, and human capital in different regions need to be taken into account. Local governments should monitor the carbon emission intensity when industries are transferred in and out, avoid blind transfer of industries, strengthen competitive industries, improve industrial structure, cultivate new growth points, and develop low energy consumption industry in accordance with cities’ resource endowment.

Key words: industrial transfer; dynamic shift-share model; carbon emission intensity; spatial effect; Yangtze River Delta urban agglomeration