

# 基于城市化的浙江省湾区经济带碳排放 时空分布特征及影响因素分析

沈杨<sup>1</sup>, 汪聪聪<sup>2</sup>, 高超<sup>2</sup>, 丁镭<sup>1</sup>

(1. 宁波职业技术学院商贸外语学院, 宁波 315800; 2. 宁波大学地理与空间信息技术系, 宁波 315211)

**摘要:** 基于 STIRPAT 扩展模型与 2003-2017 年浙江省湾区经济带面板数据, 分析碳排放时空分布特征并应用时空地理加权回归模型(GTWR)实证考察城市化视角下碳排放的驱动机制及其时空异质性。结果表明:(1)浙江省湾区经济带各地市碳排放规模逐年增加但增幅不大, 增速放缓, 碳排放量差异明显, 碳排放强度逐年下降, 空间上呈现自西南向东北逐渐加大的趋势;(2)经济发展水平和对外开放程度是碳排放的主导因素, 其他依次为能源消费结构、技术进步和城市化;(3)各影响因素呈现较强的时空异质性, 不同时间、地区各驱动要素的波动方向和强度并不相同。在此基础上具体分析各地区碳排放驱动因素影响情况, 为实现区域差异化碳减排策略提供指导。

**关键词:** 城市化; 碳排放; GTWR 模型; 湾区经济带

城市是全球碳排放的主要区域, 城市化和城市扩张过程必然会对碳循环和气候变化产生深远影响<sup>[1]</sup>。据国际能源署估计, 2006-2030 年, 来自城市消费能源排放的二氧化碳排放将以 1.8% 的速度增长, 而同期城市在全球二氧化碳排放量中的占比将从 71% 增长到 76%<sup>[2]</sup>。研究城市化与碳排放之间的联系, 探讨城市化如何影响碳排放, 促进城市化与生态环境和谐发展等问题引发学术界广泛关注。浙江省当前正谋划建设“世界级大湾区”, 欲将湾区经济带打造为浙江省区域经济发展的新引擎和增长极。浙江湾区经济带涵盖了杭州、宁波、嘉兴、绍兴、湖州、台州、温州、义乌等城市, 未来发展格局为“一环、一带、一通道”, 即环杭州湾经济区、甬台温临港产业带和义甬舟开放大通道。受能源结构、产业结构等影响, 浙江的经济转型发展过程给环境带来较大压力, 如碳排放量持续走高, 各类极端天气气候现象频繁出现。因此, 科学地认识湾区经济带碳排放的时空格局及影响因素, 对于浙江省现阶段低碳转型及高质量发展和“生态湾区”“美丽湾区”建设具有重要意义。

国内外学者从不同视角运用多种方法对城市化与碳排放的关系展开研究, 其结果可归纳为三种类型: 一是城市化有利于减少碳排放, 因为随着人口集聚, 公共服务和基础设施产生规模效应, 加上科技不断进步, 单位 GDP 所消耗能源和碳排放量随之降低<sup>[3]</sup>; 二是城市化进程会加剧碳排放强度<sup>[4-7]</sup>; 三是城市化与碳排放之间不存在显著相关性<sup>[8,9]</sup>。碳排放受城市化的影响较为复杂, 表现为涉及因素多、传导过程复杂, 但总体而言, 其

收稿日期: 2019-05-24; 修订日期: 2019-08-27

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划课题 (19NDJC011Z); 浙江省软科学研究计划项目 (2019C35108)

作者简介: 沈杨 (1969-), 女, 安徽宣城人, 硕士, 教授, 主要从事环境经济、生态旅游研究。

E-mail: 0502009@nbpt.edu.cn

通讯作者: 高超 (1978-), 男, 安徽全椒人, 博士, 教授, 主要从事洪涝灾害风险评估分析、气候变化与水文水资源研究。E-mail: gaoqinchaol@163.com

驱动因素主要有人口规模、经济水平、技术因素、产业结构、能源消费结构以及对外开放程度<sup>[10-13]</sup>。Dong等<sup>[14]</sup>研究了中国城市化对温室气体排放的影响,发现城市化冲击对温室气体排放的影响呈倒驼峰形。原嫒等<sup>[15]</sup>指出提高服务业与制造业的关联水平有助于降低碳排放。研究方法上侧重于构建模型进行计量研究,如:投入产出分析法、固定效应模型、时间序列回归模型、“IPAT”环境污染模型、STIRPAT模型、Granger因果检验等<sup>[16-19]</sup>。近年来,国内学者开始热衷于运用空间计量模型来分析碳排放时空分布特征及影响因素,如李丹丹等<sup>[20]</sup>采取地理加权回归模型(GWR)对中国省域碳排放影响因素及其影响程度的时空分布进行实证研究,结果显示,影响碳排放量各驱动因素在省级区域空间上存在显著差异,碳排放的驱动因子存在明显的时空异质性。此外,马丽等<sup>[21]</sup>从碳转移的角度分析国际制造业产业转移与碳排放的时空耦合效应,指出高碳负荷行业由发达国家向发展中国家转移,新兴工业化国家和地区制造业碳排放逐步提高。

通过区域一体化促进全局一体化是发展长三角经济带高质量一体化的有效措施,浙江省湾区经济带建设是长三角多元一体化路径的具体表现。旧金山湾区、纽约湾区和东京湾区等世界三大湾区曾经都发生过环境污染问题,浙江湾区经济带的建设如何避免历史重演?碳排放和城市化本身是一个复杂的综合系统,涉及多部门多行业多因素的相互作用,而目前学界采取的分析方法囿于样本和变量数,其结果可能与现实情况有偏差;城市化在不同地区具有相关性、空间异质性和外溢性<sup>[22]</sup>,各驱动因素对不同地区碳排放影响程度也存在不同<sup>[23]</sup>,而既有研究侧重于从全局角度分析碳排放形成机理,对同一影响因素时空差异的研究相对较少。鉴于此,本文依据城市能源平衡表来构建浙江省湾区经济带各城市的碳排放核算方法,分析碳排放的时空分布特征;在此基础上,应用时空地理加权回归模型(GTWR),对传统地理加权回归模型进行优化,扩展了时间维度,即对碳排放各驱动因素影响程度的空间异质性从时空角度进行探析,同时对环境库兹涅茨曲线(EKC)进行验证,以期为实现湾区低碳转型发展、制定区域节能减排政策提供参考。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 时空地理加权回归模型(GTWR)

传统地理加权回归模型(GWR)由于截面数据样本量有限,在具体使用过程中有下列不足,如解释稳定性受样本量限制,因而不能估计模型参数。时空地理加权回归模型则有效地突破了这一局限,将时间维度引入到地理加权回归模型,解决空间和时间非平稳性问题,使得估计更加有效,模型如式(1)<sup>[24]</sup>:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中:  $Y$  与  $X$  分别为被解释变量和解释变量;  $i$  为样本地区;  $u$ 、 $v$  为样本地区坐标;  $t$  为时间;  $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$  为截距项;  $\beta_k(u_i, v_i, t_i)$  为解释变量估计系数;  $\beta > 0$  表示解释变量与被解释变量呈正相关,反之则为负相关;  $\varepsilon_i$  为随机扰动项。

GTWR的核心是空间权函数的选取,数据的空间关联性通过空间权重矩阵构建来实现,本文时空地理加权回归模型运用Huang等<sup>[24]</sup>提出的高斯函数法时空权函数和时空距离,将时空二维度的信息相结合。

$$d_{ij}^{ST} = \sqrt{\lambda[(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \mu(t_i - t_j)^2} \quad (2)$$

$$w_{ij}^{ST} = \exp\left\{-\left(\frac{\lambda[(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2] + \mu(t_i - t_j)^2}{b_{ST}^2}\right)\right\} \quad (3)$$

式中:  $i$ 、 $j$  为不同样本地区; 参数 $\lambda$ 和 $\mu$ 是衡量不相关度量系统中的空间和时间距离不同影响的比例因子;  $b_{ST}$  为时空权函数带宽。

## 1.2 实证模型构建

本文通过改进 STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology) 模型同时引入环境库兹涅茨曲线对浙江省湾区经济带碳排放展开实证研究。

Dietz 等<sup>[25]</sup>建立的 STIRPAT 模型具体如下:

$$I_i = a \times P_i^b \times A_i^c \times T_i^d \times e_i \quad (4)$$

式中:  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为模型系数;  $I$ 、 $P$ 、 $A$ 、 $T$  分别为环境压力、人口规模、富裕程度、技术水平;  $e$  为模型误差项。STIRPAT 模型的优势表现在各系数可以作为参数估计, 其中各影响因素也可适当分解<sup>[22]</sup>, 本文根据浙江省碳排放时空分布特征及其影响因素的复杂性对 STIRPAT 模型进行相应的拓展与改进, 考虑到诸如对外开放程度、城市化水平、产业结构、能源消费结构等因素也会对碳排放存在影响<sup>[10,16]</sup>, 因此将这类因素分别纳入模型并对公式两边取对数, 具体表现形式如式 (5):

$$\ln CI_{it} = \alpha_{it} + \sum_{k=1}^p \beta_{kit} (\ln X_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中:  $CI$  表示碳排放;  $X$  表示影响碳排放的一组解释变量, 包含城市化水平、能源消费结构、土地利用、经济发展水平、产业结构、人口集聚、对外开放程度和技术进步, 为验证环境库兹涅茨曲线假说是否成立, 模型中还增加人均 GDP 的平方项, 变量详情见表 1。

表 1 相关变量的定义及统计描述

Table 1 Definition and the statistical description of all relevant variables used in the study

变量	变量含义	单位	均值	标准差	最小值	最大值
碳强度 $CI$	单位 GDP 二氧化碳排放量	kg/元	13.64	9.17	2.42	47.16
城市化水平 $UR$	城镇常住人口占总人口比例	%	59.55	11.17	17.56	76.8
能源消费结构 $ECS$	煤炭消费占能源消费总量比例	%	60.73	10.44	39.28	84.24
土地利用 $CON$	城市建设用地占市区面积比例	%	9.65	5.62	1.78	30.15
经济发展水平 $PGDP$	人均 GDP	万元	63113.37	26779.19	21335	135113
产业结构 $2^{nd}$	第二产业产值占 GDP 比例	%	49.95	6.56	33	60
人口集聚 $PDEN$	单位面积常住人口数	人/km <sup>2</sup>	606.6	166.4	212.08	1189.27
对外开放程度 $OPEN$	外商直接投资	万美元	140267.7	161961	3120	720900
技术进步 $EI$	单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	0.68	0.19	0.34	1.18

## 1.3 数据来源

2018年5月28日浙江省政府对外宣布浙江省大湾区建设战略。本文选取近15年来相关数据考察区域内碳排放时空演变特征, 为湾区经济带未来发展提供参考。由于缺乏高质量的碳排放数据, 目前中国城市尺度的碳排放核算方法和体系并不完善, 故基于 IPCC 领土排放核算法, 利用一次能源消费量乘各自碳排放系数, 再求和得到碳排放数据<sup>[23]</sup>, 该核算结果与之前的国家和省级碳排放核算的方法和结构保持一致, 从而保证其具有可

比性和可验证性。研究所需数据均来源于浙江省湾区经济带各地市统计年鉴（2004-2018年）。

## 2 结果分析

### 2.1 浙江省湾区经济带碳排放时空分布特征

浙江省湾区经济带9地市在城市化水平、经济基础、产业结构等方面存在显著差异，因此其碳排放规模和强度也具有较大异质性。为进一步研究湾区碳排放的区域差异及其未来变化趋势，此部分将从湾区9地市2003-2017年的碳排放规模格局及变化和碳排放强度格局及变化两方面展开讨论。

宁波、杭州、嘉兴和绍兴是湾区碳排放规模最大的四个城市，排放量超过湾区排放总量的一半，其中宁波碳排放量始终高居榜首，受高碳锁定效应影响，未来减排压力较大。从柱状图的对比来看，湾区经济带各城市碳排放逐年增加但增幅不大，增速放缓。杭州2003-2017年增幅最小，年均增幅0.20%，至2017年已呈下降趋势；其次是绍兴和湖州，分别为3.40%和4.30%。舟山年均增幅最大，达到27.27%，但舟山2003年的碳排放处于湾区最低水平，所以15年来碳排放规模并不是很大（图1）。鉴于区域内碳排放分布不均，湾区未来整体碳减排可能面临较大困难。

在空间上，浙江省湾区经济带碳排放强度呈现自东北向西南渐弱的态势，说明湾区东部和北部的碳排放强度较大，而西南部地市低碳发展过程较为明显。具体而言，杭

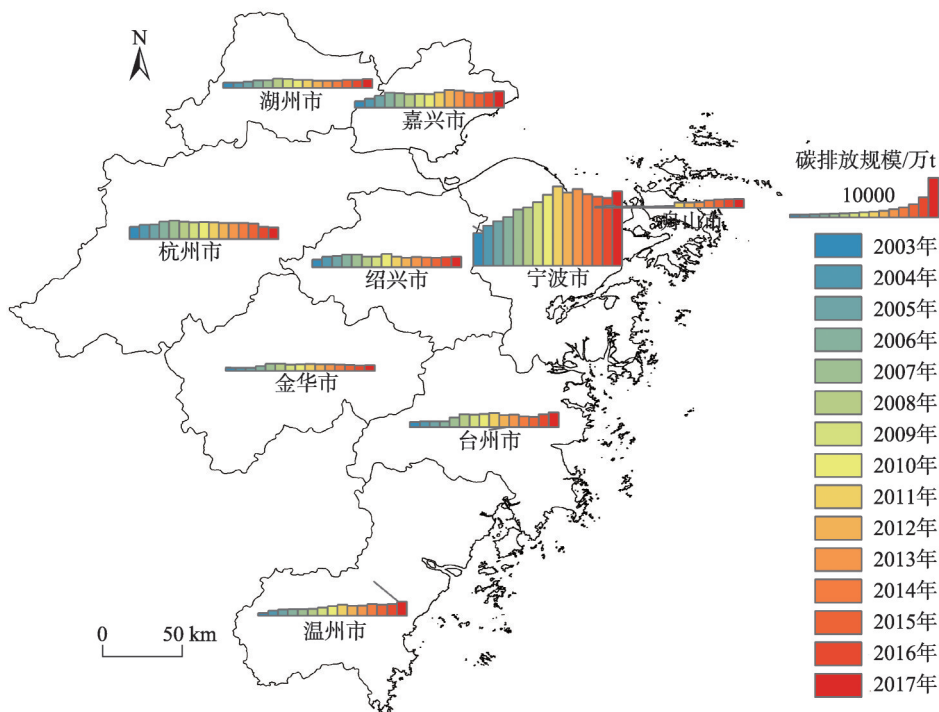


图1 浙江省湾区经济带碳排放规模时空变化

Fig. 1 Spatial and temporal variations of carbon emissions in the bay area economic zone of Zhejiang province



州、金华和温州单位GDP碳排放较低,而湖州、嘉兴、宁波和舟山单位GDP碳排放处于较高水平。通过柱状图的对比可知,自2003年以来湾区各市单位GDP碳排放基本都呈下降趋势,尤其是2005年中国承诺2020年减排目标以后,各地都严格落实所制定的科学发展规划,加上浙江省湾区经济带各地市GDP保持了良好的增速态势,碳排放强度降低幅度更大。其中宁波、湖州、绍兴和杭州下降幅度最大,这4个城市均是浙江省湾区经济快速发展地区,碳排放增幅小说明低碳经济战略在浙江省湾区发展中起到很大的作用,其经济发展的能源依赖性正在逐步降低。2003-2017年,杭州碳排放强度年平均降低11.93%以上,湖州、绍兴和宁波等城市的碳排放强度年均降幅处于6.14%~11.93%之间,表明其基于低碳排放的经济发展质量在大幅度提升(图2)。这些区域若按目前的趋势持续降低碳强度,2020年的减排目标的提前实现将非常乐观。

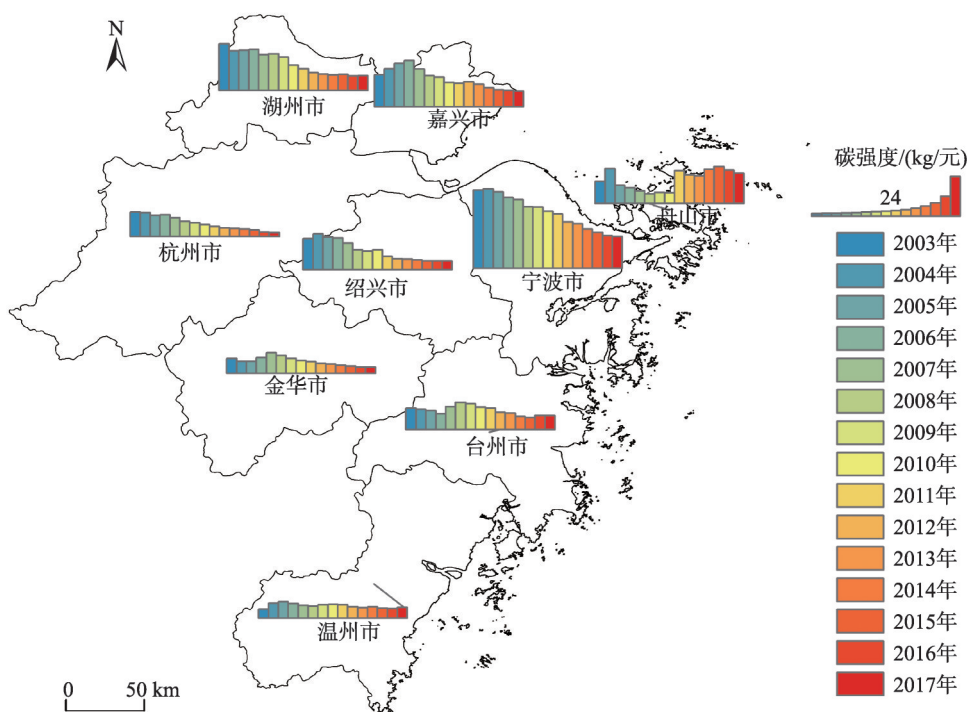


图2 浙江省湾区经济带碳排放强度时空变化

Fig. 2 Spatial and temporal variations of carbon emissions intensity in the bay area economic zone of Zhejiang province

## 2.2 浙江省湾区经济带碳排放影响因素分析

由于浙江省湾区经济带碳排放呈不均衡的时空分布特征,碳排放具有时空非平稳性,在研究湾区碳排放强度时,各影响因素对碳排放的贡献不同,并且各城市碳排放影响因素存在较大差异,需从局部探讨湾区碳排放强度的时空异质性。本文基于2003-2017年浙江省湾区经济带各地市面板数据,对不同时间湾区各城市碳排放影响因素参数运用时空加权回归模型(GTWR)进行估计。

### 2.2.1 GTWR实证结果

为避免多重共线性的问题存在,对各解释变量运用SPSS 20.0软件进行相关分析,发现方差膨胀因子(VIF)均在10以内,显示没有明显的多重共线影响,可进行下一步的

回归分析。利用 ArcGIS 10.2 时空地理加权回归分析模块, 自动优化设置带宽, 并将时空距离参数比值设置为 1, 进行影响因素的回归系数计算、分析。

选取 AIC 准则和拟合优度  $R^2$  作为模型置信度评价指标, 结果见表 2。时空地理加权回归模型 AIC 为 146.6570, 模型拟合度  $R^2$  为 0.9747, 较普通最小二乘法回归模型的  $R^2$  提高 0.4570, AIC 降低 125.0349, 由此可见综合考虑空间异质性和时间维度的 GTWR 方法对模型分析确有提高。

基于 2003-2017 年浙江省湾区经济带面板数据, 运用 GTWR 模型对不同时间各地区碳排放的影响因素进行参数估计, 探讨浙江省湾区经济带碳排放各影响因素对碳排放影响的时空异质性, 描述统计结果如表 3 所示。由表 3 可知, 城市化水平、经济发展水平、产业结构、对外开放程度、技术进步等因素回归系数变异较大, 说明在研究湾区碳排放时, 各个城市碳排放影响因素存在较大差异, 需从局部考虑碳排放的时空异质性。

表 3 影响因素回归系数描述统计

Table 3 Descriptive statistics of regression coefficients of influencing factors

变量	最小值	最大值	平均值	中值	标准差
<i>PGDP</i>	-3.7778	5.9542	0.9007	0.6793	1.7537
<i>OPEN</i>	-0.7314	4.3881	0.6819	0.2712	1.1031
$2^{nd}$	-2.5147	2.6651	-0.6059	-0.8170	0.8839
<i>UR</i>	-0.7369	3.3144	0.1508	-0.0366	0.7089
<i>EI</i>	-0.5005	1.2328	0.1673	0.0998	0.4375
<i>CON</i>	-0.5975	1.0518	-0.0225	-0.0479	0.2983
<i>ECS</i>	-0.5648	0.7399	0.1728	0.2378	0.2705
<i>PDEN</i>	-0.3742	0.6028	-0.0256	-0.0344	0.1290

### 2.2.2 各影响因素的时间演化

对不同时间内湾区各区域碳排放影响因素运用 GTWR 模型进行回归分析, 得到各影响因素在不同时空位置上对碳排放的贡献系数, 进而绘制各系数随时间变化的箱线图以观测其在时间上的演变趋势, 详见图 3。具体到各因素而言:

(1) 经济发展水平 (*PGDP*) 对碳排放的贡献无疑非常明显, 经济发展水平带来的正向影响表现在湾区经济带内大多数地区, 仅有少数几个城市的回归系数为负。随着经济发展水平的提升, 经济发展方式逐渐优化, 低碳经济战略的制定以及碳减排目标的提出, 使得经济发展造成的碳排放得以控制, 影响程度波动下降。

(2) 类似于经济发展水平, 对外开放程度 (*OPEN*) 对湾区大部分城市碳排放的影响为正向, 回归系数随时间先下降后趋于平稳, 并且离散程度逐渐缩小。外商投资的增加会进一步扩大生产规模, 带来更大的能源、资源消耗, 从而加剧碳排放。

(3) 在“十五”期间, 能源消费结构 (*ECS*) 对大多地区碳排放的贡献为负, “十一五”以来, 随着城市化工业化进程不断推进, 对能源资源的消耗进一步加大, 进而导致大量碳排放, 能源消费结构回归系数不断上升, 变为正向影响。然而这一增加趋势在“十二五”以后开始趋于稳定, 这主要得益于一系列能源消费结构优化政策, 尤其是《浙

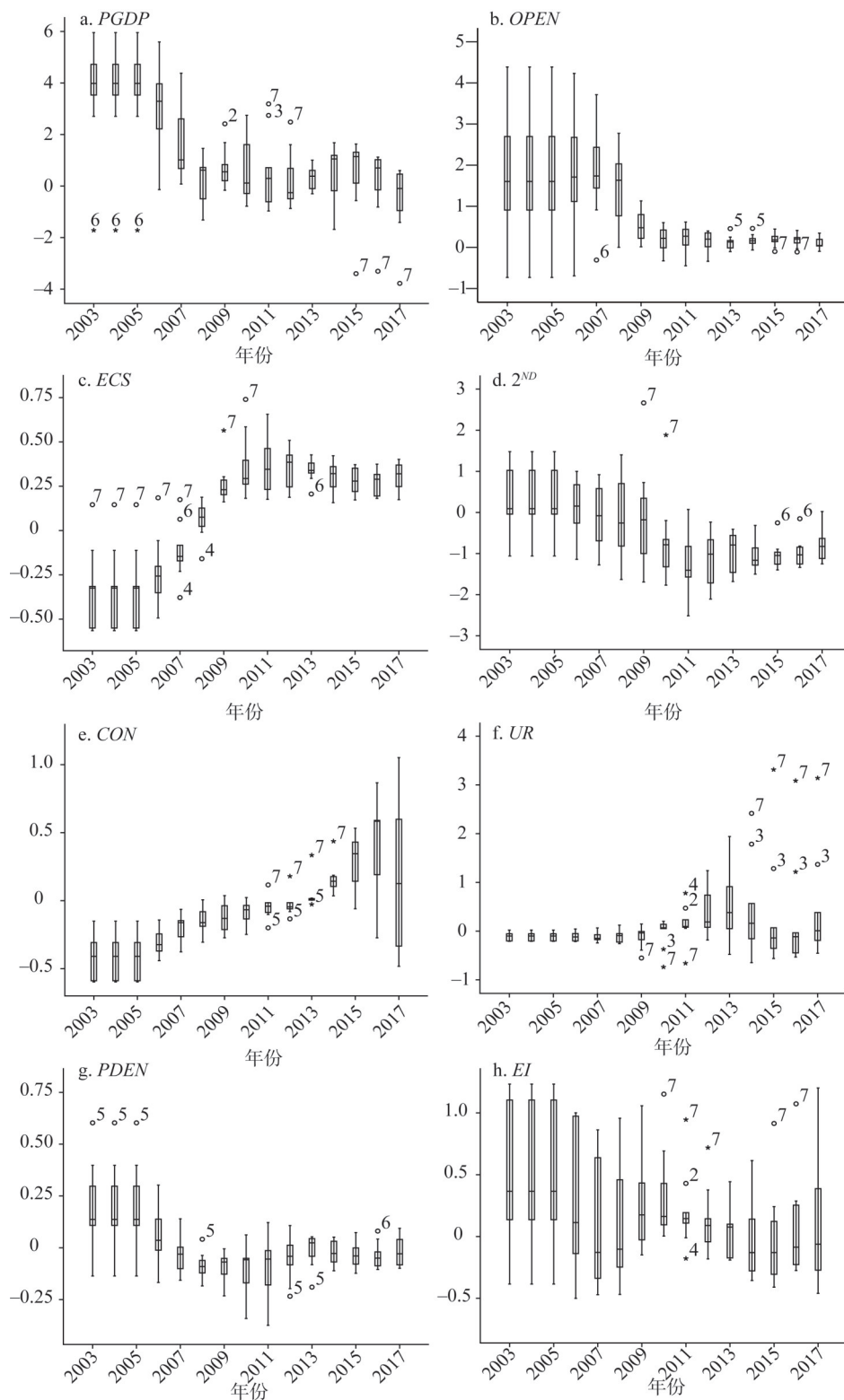


图3 GTWR回归系数的时间序列变化趋势

Fig. 3 Time series change trend of GTWR regression coefficients

江省“十二五”和中长期能源结构优化方案》的实施,使得太阳能发电、水电、核电、风电等可再生能源和新能源开始占据一定消费比例,说明优化能源消费结构是降低碳排放规模的关键因素。

(4) 产业结构 ( $2^{ND}$ ) 对碳排放的影响在研究期间大多呈负相关性,即碳排放强度随着第二产业比例的减少会不降反升。城镇化快速推进过程中,居民住房增加和城市基础设施建设对钢铁、水泥等重化工产品产生大量需求,而在城市化发展初期,城镇工业结构还没有得到充分的转型升级,当工业占比降低所减少的碳排放小于城市化能耗增加带来的碳排放时,产业结构与碳排放强度就会表现为负相关<sup>[12]</sup>。研究期内,产业结构回归系数波动下降且城市间差异减小,说明产业结构对碳排放的影响程度在减弱,并且存在一定的空间依赖效应,工业化依然是加剧碳排放的主要因素。

(5) 与产业结构相似,土地利用 ( $CON$ ) 对碳排放强度的影响在研究期间也大多呈负相关性,不同的是,其回归系数表现为波动增加的趋势,在研究后期基本为正向影响,因为这一阶段城市化快速发展,城镇数量不断增加,引起房地产业、建筑行业蓬勃发展,城市建筑施工面积急速增加,粗放低效的城市扩张方式导致碳排放强度的上升。

(6) 城市化水平 ( $UR$ ) 回归系数在2003-2017年间呈现出由负到正,再由正变负的倒V型变化趋势。在研究初期,由于城市化发展战略的部署和实施,城市化水平的提高会对碳排放产生一定抑制作用,但随着城市化进程的不断推进,回归系数在2010年开始反弹,这是因为城镇人口激增,对能源资源的消费需求不断扩大,致使碳排放量持续上升。而后2014年《国家新型城镇规划》的提出使得城市化进入新阶段,坚持以人为本,以绿色低碳理念引领社会生活和消费,城市化水平回归系数开始降低,最终对碳排放产生负向影响。

(7) 人口集聚 ( $PDEN$ ) 与碳排放的回归系数在研究期间基本为负,说明人口集聚有利于节能减排。这主要是因为人口集聚通过发挥成本优化效应,引导经济活动和生产要素在空间上集聚,共享基础设施,从而提高能源和资源综合利用效率,同时也最大程度地节约减排成本,便于政府部门的集中监管,这为集中治理碳排放问题提供可能。

(8) 研究初期,技术进步 ( $EI$ ) 对碳排放的贡献率为正,而后在正负之间不断波动,最终负向影响居多。一方面,通过低碳生产技术提升能源利用效率以降低单位GDP能耗与污染排放。另一方面,随着城市化进程加快,产业结构转型升级,发展重点逐渐由工业转向现代服务业和高新技术产业,这在很大程度上促进能源强度下降。

各影响因素变化趋势说明浙江省湾区经济带碳排放因地理位置邻近而相互影响,体现城市空间的相互作用力;在城市化不同阶段,主导因素及其影响范围具有明显区位差异,这对于明确城市功能定位和发展方向有一定指导意义。

### 2.2.3 碳排放影响因素空间异质性

GTWR模型的优势表现在既可以计算不同时间空间影响因素的回归系数,还能够将回归系数通过ArcGIS 10.2进行可视化表达,以便更加直观地探究局域地区碳排放各因素影响程度的差异,这也是GTWR模型的一大特色。

碳排放各影响因素回归系数的时空变化分布如图4显示,城市化水平对本地区碳排放影响较大的城市有杭州、温州、舟山和宁波。回归系数没有呈现一致的正相关或负相关关系,回归系数跨度较大,从-0.453~3.140之间正负均有分布。城市化水平系数为正且绝对值最大的是舟山,其次为宁波,表明城市化进程会加剧碳排放。“十二五规划”



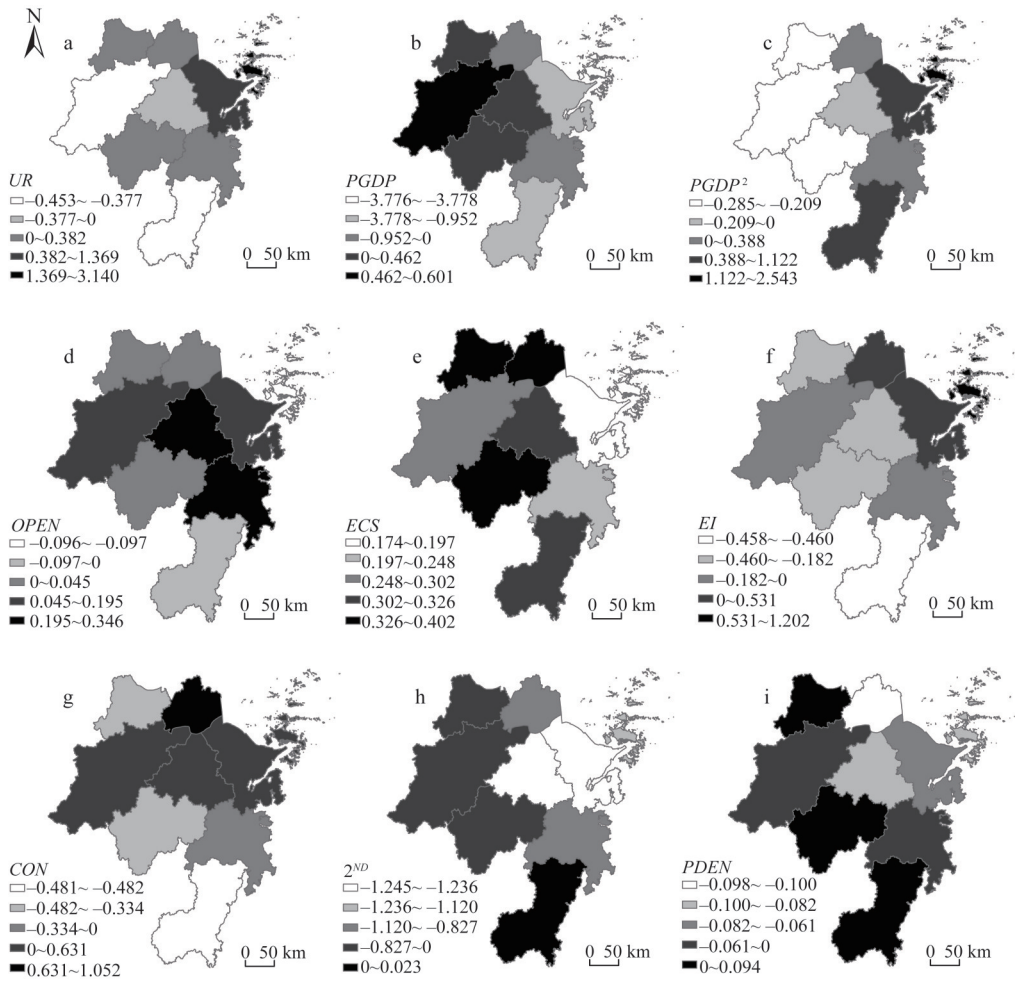


图4 浙江省湾区经济带碳排放影响因素系数分布

Fig. 4 Spatial distribution patterns of the factor coefficient in the bay area economic zone of Zhejiang province

明确提出要重点推进浙江舟山群岛新区发展, 由此促进了舟山城市化水平不断提高, 人口、产业及各项经济活动集聚, 其生产消费行为导致了碳排放的提升; 系数为负且绝对值较大的是杭州和温州, 其次为绍兴, 城市化发展对碳排放产生一定抑制作用。杭州作为低碳试点城市, 其生产消费模式以低碳、可持续发展为主, 积极推进能源和产业结构优化升级, 强化节能减排科技创新能力, 能够有效控制碳排放。

经济发展水平系数为正的城市中, 绝对值最大的是杭州, 其次为湖州、绍兴和金华; 系数为负的城市中, 绝对值最大的是舟山, 其次是宁波和温州。经济发展水平与碳排放的关系存在两种情形: 一是在湾区经济带西部的湖州、杭州、金华和绍兴等城市, 经济发展水平因子的回归系数为正, 而其平方项 ( $PGDP^2$ ) 系数为负, 表明这些城市碳排放与经济发展水平之间存在库兹涅茨曲线, 在经济发展初期, 碳排放随经济发展水平的提高而增加; 当经济增长到一定程度后, 碳排放开始随经济发展水平的提高而降低, 即碳排放与经济发展水平呈倒U型关系。二是在湾区经济带东南部的嘉兴、宁波、舟山、台州和温州等城市, 经济发展水平对碳排放的回归系数为负, 而其平方项系数为

正,表明这些城市碳排放与经济发展水平呈U型关系,收入水平较低阶段,碳排放随收入上升而降低,收入水平较高阶段,碳排放随收入上升而增加。

对外开放程度与碳排放回归系数整体为正,表明对外开放程度越高,碳排放强度越大,影响程度较大的为绍兴和台州,其次为杭州和宁波,影响程度较弱的是湖州、嘉兴和金华;而在舟山和温州,该系数为负,表明这两个城市对外开放程度有利于降低碳排放。

能源消费结构影响程度较大的为湖州、嘉兴和金华,其次为绍兴和温州,影响程度较弱的是宁波和舟山。

技术进步对本地区碳排放有加剧效应的城市主要集中在湾区经济带东北部,影响程度最大的是舟山,其次为嘉兴和宁波,技术进步系数为负的城市中,绝对值最大的是温州,其次为湖州、金华和绍兴。

土地利用系数正负均有分布,回归系数为负的城市中,绝对值最大的是温州,其次为湖州和金华,主要是因为该区域城市土地的集约利用方式,致使资源能源配置合理,有助于其利用效率的提高,实现节能减排。回归系数为正的城市中,值最大的是嘉兴,其次为杭州、绍兴、宁波和舟山,表明这类城市土地利用因子与碳排放呈正相关关系,主要是因为该区域城市发展方式较为粗放,房地产过度发展、城市“摊大饼式”扩张、土地低效利用等问题对资源和能源消耗造成极大浪费,导致碳排放的增加。

产业结构影响程度较大的为绍兴和宁波,其次为舟山,影响程度较弱的是杭州、湖州和金华。浙江湾区经济带各市产业发展不一,杭州第三产业占比最高,金融、电子商务、旅游业等较为发达,湖州第二产业和第三产业占比相当,以轻工制造业、电子产业和旅游业为主,产业结构相对低碳环保。宁波和绍兴均以传统纺织、钢铁、化工等高能耗、高排放产业为主导,产业结构亟待优化。

人口集聚与碳排放回归系数波动不大,整体看来,人口集聚对本地区碳排放有加剧效应的城市主要为湖州、金华和温州。其他地区则呈负相关关系,影响程度最大的是嘉兴,其次为绍兴和舟山。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

浙江省湾区经济带建设在城市化与产业发展过程中具有区域性规划特色,是促进区域经济社会发展的平台和手段,同时也是长江三角洲高质量综合开发的重要组成部分。本文在浙江省工业化中后期暨大力发展湾区经济带的背景下,选取2003-2017年浙江省湾区经济带面板数据,综合GTWR和STIRPAT扩展模型,对碳排放时空分布特征以及城市化进程与碳排放之间的关系展开深入分析,为实现绿色低碳的经济发展方式和碳减排政策制定做出积极探索。主要结论如下:

(1) 2003-2017年浙江省湾区经济带碳排放规模逐年增加但增幅不大,增速放缓,各地市碳排放量差异明显。宁波碳排放始终高居不下,面临较大的碳减排压力,但自“十二五”以来,碳排放规模得到有效控制,增速开始放缓;杭州碳排放增幅最小,至2017年碳排放已呈下降趋势。相应地,碳排放强度逐年下降,空间上呈现自西南向东北逐渐加大的趋势,其中杭州、金华和温州单位GDP碳排放处于湾区较低水平,而湖州、嘉

兴、宁波和舟山单位GDP碳排放相对较高。

(2) 经济发展水平和对外开放程度是导致碳排放最主要的因素,其他依次是能源消费结构、技术进步和城市化。这说明城市化对碳排放确有重要影响,引入城市化变量能够更为清晰地探究不同城市化发展阶段对能源需求和碳排放的影响,政策上可以通过控制这些影响因素来实现碳减排。

(3) 碳排放与经济发展水平之间存在环境库兹涅茨曲线,即碳排放与经济发展水平呈倒U型关系,在经济发展水平较低时,碳排放随人均收入的提高而增加,当经济发展到一定程度后,碳排放开始随经济发展水平的提高而降低。

(4) 碳排放影响因素存在显著空间异质性,城市化对碳排放影响较大的城市为舟山、宁波和嘉兴,在舟山和宁波呈现正相关,城市化进程会加剧碳排放,而在杭州、温州和绍兴为负相关,城市化进程对碳排放有抑制作用;经济发展水平对碳排放影响较大的城市有湖州、杭州、绍兴和金华,在杭州、湖州、绍兴和金华呈现正相关,碳排放随经济发展水平提高而增加,在舟山、宁波和温州呈现负相关,经济发展能够有效控制碳排放;对外开放程度对碳排放影响较大的城市为绍兴、台州、杭州和宁波,二者呈正相关,对外开放程度越高,碳排放强度越大,而在舟山和温州,对外开放有利于降低碳排放;能源消费结构对碳排放主要为正向影响,影响程度较强的城市为湖州、嘉兴和金华,影响程度较弱的是宁波和舟山;技术进步对碳排放影响较大的城市为舟山、宁波和嘉兴,二者呈正相关,而温州、湖州、金华和绍兴等城市技术进步能够抑制本地区碳排放;土地利用对碳排放影响较大的城市为湖州、嘉兴、绍兴、宁波和舟山,在温州、湖州和金华呈负相关,嘉兴、杭州、绍兴和宁波呈正相关;产业结构对碳排放影响较大的城市为绍兴、宁波和舟山,除温州产业结构与碳排放呈正相关,其余城市皆为负相关;人口集聚对碳排放影响较大的城市为嘉兴、温州和金华,具有加剧效应的城市主要为湖州、金华和温州,其他地区则呈负相关。

### 3.2 讨论

(1) 浙江省湾区经济带各地市碳排放差异明显,整体呈好转迹象,碳排放强度逐年下降,以杭州为例,其碳排放强度在2003-2017年期间年平均降低11.93%以上,这意味着能够超额实现政府承诺的到2020年单位GDP碳排放比2005年下降40%~45%的减排目标。其他城市如宁波、湖州、绍兴等的碳排放强度年均降幅处于6.14%~11.93%之间,通过制定实施可持续发展的环境能源政策,升级优化能源消费结构和产业结构,浙江省湾区经济带有望在2030年之前实现碳排放达峰以及碳强度比2005年降低60%~65%。

(2) 长期以来,浙江省城市化工业化进程、社会经济发展阶段以及煤炭的价格优势,决定以工业为主的产业结构和以煤为主的能源消费结构,这一情形在短期内难以改变,但可以通过节能和提高能源综合利用效率来降低二氧化碳增量,具体而言,政府需要增加投入,研发推广绿色环保的生产技术,提升清洁生产水平,加强对光伏发电、风电、核电、海洋能等低碳零碳能源的开发使用。对外开放程度对碳排放的正向影响主要是因为大量的FDI流入到污染密集型产业之中,这也从侧面验证“污染避难所”假说。浙江省湾区经济带应该制定更加严格的环境准入规制,有选择地引进和利用外资,通过“示范效应”和“溢出效应”提升当地环保技术水平,从而实现节能减排。

(3) 未来湾区经济仍将以较快速度增长,伴随城市化进程的推进,经济发展与环境



之间的矛盾愈发突出。虽然二氧化碳环境库兹涅茨曲线的趋势难以扭转,但在不同的环境规制及经济增长方式下,碳排放与经济增长之间的关系不同,导致两者之间的倒U型曲线有不同的特征。因此,通过积极的政策引导,使能源和环境成本内部化,能改变曲线的形状,使曲线趋于平缓,甚至提前达到拐点<sup>[11]</sup>。由于中国提出的碳强度目标与GDP直接相关,强制性碳减排势必会以牺牲现阶段经济增长和城市化进程为代价,从现在到2030年,是浙江省打造湾区经济带的关键时期,为保证经济发展方式转换的顺利完成,浙江湾区的碳减排应该是一个循序渐进、自我约束的过程。具体而言,可以在保证一定的GDP增速前提下,通过适当控制城市化速度、制定和执行积极的能源政策、升级调整产业和能源结构来降低碳排放。此外,城市化进程也必然伴随着居民生活方式的改变,而后者直接决定着能源消费,政府可以通过舆论宣传及政策导向引导居民形成绿色生活方式实现碳减排。

(4) 随着城市化程度不断加深,经济发展水平、产业结构、城市化水平、对外开放程度和能源消费结构等影响因子对不同地区碳排放的影响不尽相同,表明各地区发展不均衡,致使影响碳排放的因素在每个地区对碳排放贡献率存在差异。鉴于此,应充分考查各地区的实际发展状况制定差异化碳减排调控策略,如杭州作为低强度高排放区,应积极减少碳排放总量,维持碳排放强度,大力发展新一代信息技术和高端装备制造业;宁波、嘉兴等碳排放规模和碳强度双高城市,减排格局较为严峻,应积极减少碳排放总量,降低碳排放强度。具体而言:可推动科技创新走廊建设,提高资源综合利用效率,充分引入现代化服务业和以信息技术为基础的高端制造业,带动传统产业转型升级等。

### 参考文献(References):

- [1] 李宇,刘薇. 微观尺度城市碳排放理论、方法与实证研究. 北京: 科学出版社, 2017: 1-5. [LI Y, LIU W. Theory, Method and Empirical Study of Urban Carbon Emissions at the Microscopic Scale. Beijing: Science Press, 2017: 1-5.]
- [2] SHAN Y L, GUAN D B, LIU J H, et al. Methodology and applications of city level CO<sub>2</sub> emission accounts in China. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161: 1215-1225.
- [3] 吴殿廷, 吴昊, 姜晔. 碳排放强度及其变化: 基于截面数据定量分析的初步推断. *地理研究*, 2011, 30(4): 579-589. [WU D T, WU H, JIANG Y. A research on influencing factors of carbon emission intensity. *Geographical Research*, 2011, 30(4): 579-589.]
- [4] WANG Z, CUI C, PENG S. How do urbanization and consumption patterns affect carbon emissions in China? A decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 211: 1201-1208.
- [5] 关海玲, 陈建成, 曹文. 碳排放与城市化关系的实证. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(4): 111-116. [GUAN H L, CHEN J C, CAO W. Empirical research on relationship between carbon emissions and urbanization. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(4): 111-116.]
- [6] 周葵, 戴小文. 中国城市化进程与碳排放量关系的实证研究. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(4): 41-48. [ZHOU K, DAI X W. An empirical study on the relationship between urbanization and carbon emissions in China. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(4): 41-48.]
- [7] YORK R. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960-2025. *Social Science Research*, 2007, 36(3): 855-872.
- [8] 姬世东, 吴昊, 王铮. 贸易开放、城市化发展和二氧化碳排放: 基于中国城市面板数据的边限协整检验分析. *经济问题*, 2013, (12): 31-35. [JI S D, WU H, WANG Z. Openness to trade, urbanization and carbon dioxide emissions: Based on panel data of China's urban bound co-integration analysis. *On Economic Problems*, 2013, (12): 31-35.]
- [9] RAFIQ S, SALIM R, NIELSEN I. Urbanization, openness, emissions, and energy intensity: A study of increasingly urbanized emerging economies. *Energy Economics*, 2016, 56: 20-28.



- [10] 孙艳伟, 李加林, 李伟芳, 等. 海岛城市碳排放测度及其影响因素分析: 以浙江省舟山市为例. 地理研究, 2018, 37(5): 1023-1033. [SUN Y W, LI J L, LI W F, et al. Estimating the carbon emissions and influencing factors of island city: A case study in Zhoushan Islands, Zhejiang province. *Geographical Research*, 2018, 37(5): 1023-1033.]
- [11] 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. 管理世界, 2009, (4): 27-36. [LIN B Q, JIANG Z J. Environmental Kuznets Curve prediction and influencing factors analysis of carbon dioxide in China. *Management World*, 2009, (4): 27-36.]
- [12] 邱立新, 徐海涛. 中国城市群碳排放时空演变及影响因素分析. 软科学, 2018, 32(1): 109-113. [QIU L X, XU H T. Analysis of spatial-temporal evolution and impact factors of urban agglomerations carbon emissions in China. *Soft Science*, 2018, 32(1): 109-113.]
- [13] 袁长伟, 张帅, 焦萍, 等. 中国省域交通运输全要素碳排放效率时空变化及影响因素研究. 资源科学, 2017, 39(4): 687-697. [YUAN C W, ZHANG S, JIAO P, et al. Temporal and spatial variation and influencing factors research on total factor efficiency for transportation carbon emissions in China. *Resources Science*, 2017, 39(4): 687-697.]
- [14] DONG X Y, YUAN G Q. China's greenhouse gas emissions' dynamic effects in the process of its urbanization: A perspective from shocks decomposition under long-term constraints. *Energy Procedia*, 2011, 5: 1660-1665.
- [15] 原娜, 席强敏, 李国平. 产业关联水平对碳排放演化的影响机理及效应研究: 基于欧盟27国投入产出数据的实证分析. 自然资源学报, 2017, 32(5): 841-853. [YUAN Y, XI Q M, LI G P. The impact of industrial relevancy on regional carbon emission: An empirical analysis based on the input-output data of EU countries. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 841-853.]
- [16] 陈邦丽, 徐美萍. 中国碳排放影响因素分析: 基于面板数据STIRPAT-Alasso模型实证研究. 生态经济, 2018, 34(1): 20-24, 48. [CHEN B L, XU L P. Analysis of influence factors of carbon emissions in China: An empirical study by STIRPAT-Alasso model using panel data. *Ecological Economy*, 2018, 34(1): 20-24, 48.]
- [17] 崔盼盼, 张艳平, 张丽君, 等. 中国省域隐含碳排放及其驱动机理时空演变分析. 自然资源学报, 2018, 33(5): 879-892. [CUI P P, ZHANG Y P, ZHANG L J, et al. Analysis on the spatial and temporal evolution of indirect carbon emissions and its driving mechanism in China. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 879-892.]
- [18] GAM I, BEN R J. Electricity demand in Tunisia. *Energy Policy*, 2012, 45: 714-720.
- [19] 赵巧芝, 闫庆友. 基于投入产出的中国行业碳排放及减排效果模拟. 自然资源学报, 2017, 32(9): 1528-1541. [ZHAO Q Z, YAN Q Y. Simulation of industrial carbon emissions and its reduction in China based on input-output model. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(9): 1528-1541.]
- [20] 李丹丹, 刘锐, 陈动. 中国省域碳排放及其驱动因子的时空异质性研究. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(7): 84-92. [LI D D, LIU R, CHEN D. Research on spacetime heterogeneity of carbon emission and influencing factors in provinces of China. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(7): 84-92.]
- [21] 马丽, 张琳. 国际制造业转移与碳转移的时空耦合效应. 资源科学, 2017, 39(12): 2408-2419. [MA L, ZHANG L. Spatio-temporal coupling relationship between international manufacturing transfer and CO<sub>2</sub> emissions. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2408-2419.]
- [22] 秦耀辰, 荣培君, 杨群涛, 等. 城市化对碳排放影响研究进展. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1526-1534. [QIN Y C, RONG P J, YANG Q T, et al. Research progress of impact of urbanization on carbon emissions. *Progress in Geography*, 2014, 33(11): 1526-1534.]
- [23] 李建豹, 黄贤金, 吴常艳, 等. 中国省域碳排放影响因素的空间异质性分析. 经济地理, 2015, 35(11): 21-28. [LI J B, HUANG X J, WU C Y, et al. Analysis of spatial heterogeneity impact factors on carbon emissions in China. *Economic Geography*, 2015, 35(11): 21-28.]
- [24] HUANG B, WU B, BARRY M. Geographically and temporally weighted regression for modeling spatio-temporal variation in house prices. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(3): 383-401.
- [25] DIETZ T, ROSA E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology. *Human Ecology Review*, 1994, 2(1): 277-300.

## Spatio-temporal distribution and its influencing factors of carbon emissions in economic zone of Zhejiang Bay Area based on urbanization

SHEN Yang<sup>1</sup>, WANG Cong-cong<sup>2</sup>, GAO Chao<sup>2</sup>, DING Lei<sup>1</sup>

(1. Institute of Business Foreign Languages, Ningbo Polytechnic, Ningbo 315800, Zhejiang, China;

2. Department of Geography and Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

**Abstract:** Urbanization becomes the primary source of carbon emissions and energy demand growth in China with industrialization entering the middle-later stages. With the current high-consumption and high-emission urban development model, the resulting resource consumption and carbon emissions become a major environmental issue and a sustainability problem. Based on the panel data of the bay area economic zone of Zhejiang province from 2003 to 2017, this paper analyzed the overall spatial and temporal distribution characteristics of carbon emissions of the economic zone. The main sources of carbon emissions will be studied in detail by incorporating the urbanization level, energy consumption structure, land use, economic development level, industrial structure, population agglomeration, openness, and technological progress into the STIRPAT (the Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) extended model. We further investigated the driving mechanism of carbon emissions and spatial and temporal heterogeneity of carbon emissions from the perspective of urbanization using the geographically and temporally weighted regression (GTWR). The results showed that: (1) The scale of carbon emissions has increased with time, but the growth rate has not been large with a decreasing growth rate. Carbon emissions in different regions are significantly different. The carbon emission is less intense through the years with a spatial distribution pattern of increasing from the southwest to the northeast. (2) The level of economic development and the degree of openness to the outside world are the dominant factors that affect the carbon emission level, followed by energy consumption structure, technological progress, and urbanization. (3) These influencing factors show substantial spatiotemporal heterogeneity that the direction and intensity of the fluctuations of various driving factors vary from time to time and region to region. This paper analyzed the impact of the driving factors of carbon emissions in the economic zone of Zhejiang Bay Area explicitly, providing scientific support for the implementation of regionally differentiated carbon emission reduction strategies. It is necessary to fully examine the actual development of each region to formulate a differentiated carbon emission reduction regulation strategy. In particular, these measures should be taken into consideration for reducing carbon emissions in the area: enhancing the efficiency of comprehensive utilization of resources by accelerating the construction of science and technology innovation corridors, and promoting the transformation and upgrading of traditional industries by fully introducing modern service industries and high-end manufacturing based on information technology.

**Keywords:** urbanization; carbon emissions; GTWR model; bay area economic zone