

## 市区碳排放时空演变及其影响因素研究

何嘉欣

(广州欣达环保科技有限公司, 广东 广州 510000)

**摘要:**城市化发展进程下,当前的城市群已经成为潜在碳排放快速增长区,"碳达峰碳中和"发展背景下对碳排放的时空演变特征与影响因素分析显得尤为重要。本文通过掌握城市碳排放的时空演变格局,揭露影响因素存在的时间与空间异质性,从中发现当前市区碳排放整体呈现出逐渐上涨的趋势,碳排放具有空间差异,人均排放量存在着空间聚集的格局。通常城市碳排放会受到经济发展、能源强度以及人口规模等因素的影响。

**关键词:**碳排放;时空演变;影响因素;时空异质性

**中图分类号:**X321

**文献标识码:**A

**文章编号:**1004-7344(2022)44-0187-03

## 0 引言

当今经济社会的发展往往依赖于对能源的耗费,这在一定程度上造成了二氧化碳的大面积与大规模排放,从而引发资源环境问题。城市碳排放重量占全球75%左右,我国有大约80%的碳排放是来源于市区,所以对市区碳排放情况的时空演变分析至关重要。

## 1 研究方法与数据来源

## 1.1 碳排放量测算

采用某地区城市群当中多个地级市面板数据,根据城市统计年鉴与能源消费情况,掌握城市能源消耗的总量,其中包含了对煤和石油的消耗,依靠BP碳排放计算器中的二氧化碳排放系数,对碳排放总量、人均与地均排放量加以测算分析,相应计算如式(1)至式(3)所示。

$$C_{ij} = \text{energy}_{ij} \times 2.493; \quad (1)$$

$$N_{ij} = C_{ij} \div L_{ij}; \quad (2)$$

$$M_{ij} = C_{ij} \div P_{ij}。 \quad (3)$$

式中: $C_{ij}$ ——第*i*个研究单元第*j*年的碳排放总量; $N_{ij}$ ——*i*单元*j*年地均碳排放量; $M_{ij}$ ——*i*单元*j*年人均碳排放量; $L_{ij}$ ——第*i*单元第*j*年土地面积; $M_{ij}$ ——同样条件下的人口数量;2.493——碳排放系数。

根据上述条件代入式(1),即可完成碳排放总量的计算分析<sup>[1]</sup>。

## 1.2 空间自相关模型

根据市区碳排放情况,采用ESDA方法进行碳排放空间关联特征的分析,该方法也叫作空间数据分析法,一般是针对存在空间依赖性或者异质性数据,以市区空间关联作为关键,从中提出的空间数据分析方法,完成对市区碳排放空间关联分析,借助方法的全局空间自相关与局部空间自相关情况,完成碳排放空间关

联分析。其中全局空间自相关计算如式(4)所示。

$$I = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X}) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}。 \quad (4)$$

式中: $n$ ——市区数量; $X_i$ ——市区*i*的观测值; $\bar{X}$ ——样本的平均值; $W_{ij}$ ——空间权重矩阵。

公式当中的 $S^2$ 计算如式(5)所示。

$$S^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n。 \quad (5)$$

全域空间自相关取值 $[-1, 1]$ ,当取值接近于1,说明该指标具有空间正自相关的关系,也就是说碳排放量偏高或者偏低的城市会呈现出空间集聚的特征。当取值接近于0时,说明碳排放量会呈现出随机分布的状态。取值接近于-1时,说明碳排放量呈现出空间负相关的关系,城市与城市间的碳排放有着一定的差异。

为更好地识别局部碳排放情况的集聚区位,通常可使用局部空间自相关法,按照散点图获得LISA空间聚类图,以此用于识别市区碳排放的热点与冷点区域<sup>[2]</sup>。

## 1.3 时空地理加权回归模型

该模型简称GTWR模型,它能够突破以往的GWR模型样本量受限问题,保持样本数据的稳定性,将时间维度根据实际情况引入模型中,从而解决时空的平稳性问题,使数据判断与预估更有效。具体模型如式(6)所示。

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i, t_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i) X_{ik} + \varepsilon_i。 \quad (6)$$

式中: $Y$ ——被解释变量; $X$ ——解释变量; $i$ ——样本城市; $u, v$ ——城市坐标; $t$ ——时间; $\beta_0(u_i, v_i, t_i)$ ——截距项; $\sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i, t_i)$ ——针对解释变量的估计系数。

当 $\beta > 0$ 时,说明 $X$ 与 $Y$ 之间属于正相关的关系; $\beta < 0$ 时,说明 $X$ 和 $Y$ 之间属于负相关的关系。式(6)中 $\varepsilon_i$ 属于随机扰动项。本文采用了高斯函数法,使时空维

度信息能够被有效结合在一起,具体情况如式(7)所示。

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

$$w_{ij}^{ST} = \exp \left[ - \left( \frac{\lambda \left[ (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 \right] + \mu (t_i - t_j)^2}{b_{ST}^2} \right) \right] \quad (7)$$

其中:ij指的是样本城市,λ和μ都是用来衡量空间距离影响的比例因子。公式当中的 $b_{ST}$ 指的是时空权函数的带宽情况,该模型与公式也是计算碳排放总量的重要公式。

#### 1.4 指标选取与数据来源

按照IPAT理论,本文认为城市化发展进程中环境压力一般会受城市人口规模、贫富情况、技术水平几方面影响,所以指标的选择需要从“人口”“经济”“技术”几部分入手,人口指标上选择和碳排放有关联的指标,比如“人口规模”;经济方面选择“经济发展水平”“城市化率”指标;技术上选择“工业结构”与“能源强度”指标。根据城市统计年鉴与EPS数据平台获得统计年鉴数据,掌握城市人均GDP和第二产业比重情况,从而了解单位土地面积与人口的碳排放量。

### 2 市区碳排放时空特征

依据上文提到的碳排放量计算公式,计算某地区内多个城市在10年间的碳排放总量情况、地均与人均碳排放量。2008—2018年间市区碳排放总量整体呈现出逐年上涨的趋势,碳排放总量从5亿t上升到6.6亿t,增速达到了1500万t/年。市区的碳排放量在2017年有所下降,说明该城市在发展期间加大了对生态环保事业的重视,同时着力于节能产业与绿色建筑的发展,这在一定程度上减少了碳排放量的生成。碳排放量与土地面积有关,市区地均碳排放量从5600t/km<sup>2</sup>上升到2018年的9800t/km<sup>2</sup>,当城市土地面积扩大时,土地对于碳排放有所稀释效果,所以地均碳排放量将会有所减少。

整体来看市区碳排放总量在这10年间有着逐渐增长的发展趋势,碳排放集中于经济发展水平较高、人口聚集以及工业产业区域,这会造成人均与地均碳排放量的波动上涨<sup>[9]</sup>。

### 3 市区碳排放空间关联特征

#### 3.1 全域空间自相关特征

根据城市面板数据计算市区全局莫兰指数,具体如表1所示。

市区碳排放总量与地均排放全局莫兰指数为负值,说明十年来市区碳排放情况分散于不同地区。人均碳排放指数全局莫兰指数有所上升,说明期间有着空间正自相关性,人均碳排放比较相近的区域产生了集聚效应。

表1 市区碳排放全局莫兰指数

年份	碳排放总量	地均碳排放量	人均碳排放量
2008	-0.214	-0.095	0.207
2010	-0.180	-0.070	0.291
2012	-0.192	-0.063	0.332
2014	-0.191	-0.064	0.325
2016	-0.199	-0.107	0.301
2018	-0.204	-0.136	0.179

总体来看,市区碳排放有着明显的空间关联性,碳排放总量和地均排放量具有地市间的差异,人均排放量在空间集聚效应下比较稳定<sup>[9]</sup>。

#### 3.2 局部空间自相关特征

对城市碳排放总量展开局部空间自相关研究。碳排放总量中的城市在这十年内没有产生明显的“高高”或“低低”集聚,而是有着比较稳定的“高-低”集聚或者“低-高”集聚,市区内会消耗较多能源,但不会造成周围地区碳排放量的增加。表2为不同能源折标准煤参考系数情况,需根据表中数据进行能源耗费情况的计算。表2中1kgce指的是1kg标准煤当量,液态与气态能源会采用kg或m<sup>3</sup>为计量单位。

表2 能源折标准煤参考系数

能源种类	标准煤转换系数/(kgce/kg)
原煤	0.7143
柴油	1.4571
焦炭	0.9714
汽油	1.4714
天然气	1.3300

### 4 碳排放总量影响因素的时空异质性

从上文提到的人口、经济、技术几方面分析碳排放影响因素,采用最小二乘法提出没有显著影响因素,将“工业结构”影响因素剔除后,剩下的4个驱动因子都会对碳排放有影响,方差膨胀因子小于10。利用时空地理加权回归分析,自动优化模型带宽,时空距离参数比值是1,对驱动因子展开回归计算,时空地理加权回归模型的AIC结果是-754.155,模型拟合度R<sup>2</sup>结果为0.999407。采用最小二乘法后,将模型拟合度提升0.01557,再将模型AIC结果下降416.27,此时GTWR方法对于回归模型的分析结果有着一定的提升。图1为能源强度与经济发展水平驱动因素回归系数的时间演化情况,图2为人口规模与城市化率的时间演化情况<sup>[9]</sup>。

综合不同影响因素的实际情况,得知“能源强度”、“经济发展水平”以及“人口规模”这几项因素都对市区碳排放有着正向影响作用,作用强度基本保持于1的城市化水平的正向影响相对偏弱。具体情况如下:①能源强度驱动效力是所有影响因素中最显著的一个,该

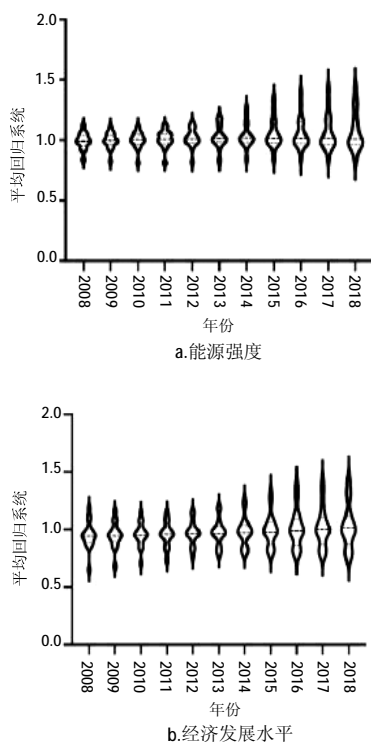


图1 能源强度与经济发展水平 GTWR 回归系数随时间演化的小提琴图

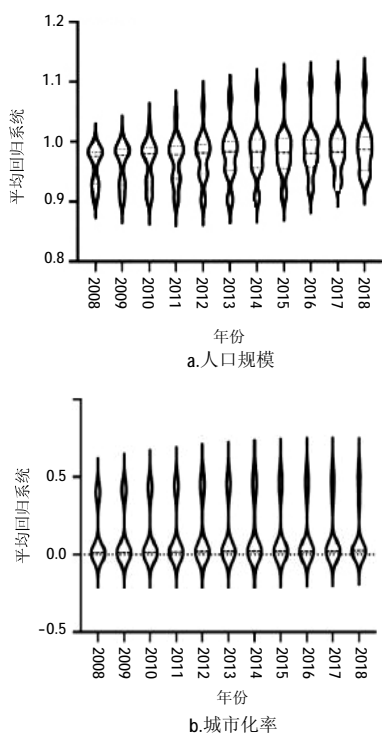


图2 人口规模与城市化率 GTWR 回归系数随时间演化的小提琴图

因素对碳排放的平均回归系数达到了 1.0310, 说明正向影响十分明显, 十年间能源强度的回归系数只是呈现出幅度较小的增长, 但离散程度有所增大, 说明不同

市区的区位不一样, 资源优势会让产业结构与能源消耗有着明显的差异。比如城市采取煤改气的政策, 使煤炭消费量有所降低, 但技术限制导致产业的转型还不够彻底, 煤炭依然在能源消费中占据着较大的比重, 从而引发了市区之间经济发展不平衡的现状。②经济发展水平对于碳排放量的控制有着一定的驱动力, 该指标的回归系数是 0.9797, 说明经济发展水平与碳排放之间有着正相关的关系, 离散程度整体为先减小再增大。“十一五”规划中明确的提出了关于减排的要求, 这让城市经济发展水平导致的碳排放影响程度比较相近, 后续经济发展水平依然是碳排放的最主要正向因素。③人口规模的平均回归系数是 0.9743, 离散程度不断减小, 说明城市人口增加会扩大生产规模, 导致能源与资源的消耗逐渐加剧。④城市化水平的回归系数是 0.1234, 说明市区存在减排效益源于城市发展。空间分布上能源强度回归系数有着两边高、中间低的特点, 市区碳排放有着空间自相关性, 回归系数的较快增长可以说明社会经济的发展促进产业升级与转型, 但是无法对碳排放形成明显的正向作用<sup>[6]</sup>。

## 5 结语

总而言之, 当前城市发展提出了让市区成为城市群发展的重要动力源的要求, 市区是人口密集且产业基础雄厚的地区, 市区经济发展水平较高, 人口规模较大, 在追求城市经济发展的同时也要注意生态环境与经济之间的相互协调。

## 参考文献

- [1] 韦彦汀, 李思佳, 张华. 成渝城市群的碳排放时空演变特征及其影响因素分析[J/OL]. 中国环境科学: 1-10 (2022-06-16) [2022-08-10]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2201.X.20220615.1708.032.html>.
- [2] 陆张维, 吴亚琪. 浙江省都市区碳排放时空演变及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2022, 37(6): 1524-1539.
- [3] 宋苑震, 曾坚, 王森, 等. 中国县域碳排放时空演变与异质性[J/OL]. 环境科学: 1-22 (2022-06-02) [2022-08-08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1895.X.20220601.1757.003.html>.
- [4] 王兆峰, 李竹, 吴卫. 长江经济带不同等级城市碳排放的时空演变及其影响因素[J]. 环境科学研究, 2022, 35(10): 2273-2281.
- [5] 骆倩雯. 市、区碳排放强度要降 3%左右[N]. 北京日报, 2022-03-05(6).
- [6] 王星. 城市化对碳排放影响的区域分异性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.

作者简介: 何嘉欣(1990—), 女, 汉族, 广东广州人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事环保与低碳咨询等工作。