

中国大都市区碳排放时空异质性探测与影响因素 ——以上海市为例

候勃¹ 岳文泽¹ 王腾飞²¹

(1. 浙江大学 土地管理系, 中国浙江 杭州 310058;

2. 华东师范大学 城市与区域科学学院, 中国 上海 200062)

【摘要】:大都市区作为人类社会经济活动最为集中的区域,成为碳排放时空异质性和影响机制研究的典型空间样本。利用2009–2018年上海市面板数据刻画大都市区碳排放时空格局,并运用空间自相关和地理加权回归实证考察大都市区碳排放的影响因素。结果表明:①上海市碳排放呈现逐年增长态势,且存在明显的区域差异性和“中心-外围”式结构特征。②各区碳排放存在显著的空间自相关性,整体上,碳排放总量的热点区域分布在闵行区和松江区,冷点区域分布在嘉定区,而地均/人均碳排放量的空间集聚随时间变化呈现波动特征。③工业产业集聚度和城市绿地面积是影响碳排放总量的重要因素,且存在显著的时空异质性。在此基础上,提出因区制宜的差异化 and 跨区联合治理策略,以期实现碳减排的精准施策。

【关键词】:大都市区 碳排放 时空异质性 地理加权回归 产业集聚

【中图分类号】:X321 **【文献标志码】**:A **【文章编号】**:1000-8462(2020)09-0082-09

改革开放以来,中国经济快速发展的背后是大量能源的消耗和碳排放量的快速增加,严重影响我国生态文明建设的步伐。2012年,中国碳排放总量达到85亿t,已占世界总量的1/4,且同期增长率远高于世界其它主要经济体^[1]。为应对这种紧迫的资源环境问题,我国“十三五”规划纲要提出“主动控制碳排放,落实减排承诺”。大都市区作为人类社会经济活动最为集中和活跃的空间场所,具有典型的碳排放时空特征及驱动机制,同时也面临着更严峻的碳减排任务。因此,在碳减排背景下,城市内部空间尺度碳排放影响因素的时空异质性研究对大都市区碳排放的差异化和跨区联合治理策略的制定具有重要意义。

碳排放的影响因素众多,已有研究集中在化石能源消耗^[2-3]、土地利用类型变化^[4-5]和交通运输方式^[6]等因素对碳排放效应的影响,且多数学者认为生产部门能源强度是影响碳排放的主要因素^[7-15]。需要进一步指出的是,地理学家认为空间存在相互作用机制,因此,某区域的碳排放会受到邻域人口规模、产业类型、区域贸易结构和自然环境等因素的影响^[16-20]。随着空间统计方法的快速发展,越来越多的学者基于空间计量模型分析碳排放的空间关联性和驱动因素的时空异质性^[21-27]。但是,已有研究多是基于城市及其以上尺度运用空间统计方法研究碳排放的区域差异及其影响因素,鲜有文献基于县/区尺度探究大都市内部碳排放时空格局及其影响因素。上海作为长三角城市群的龙头城市,在实现经济增长的同时,碳减排任务也越发严峻。因此,本文以上海大都市区为例,在测度2009–2018年上海市16区碳排放量的基础上,运用地理加权回归等方法探究大都市区碳排放影

基金项目:国家自然科学基金项目(41671533,41871169)

作者简介:候勃(1993–),女,黑龙江牡丹江人,博士研究生。主要研究方向为土地资源管理与空间规划。

E-mail:bobbyhou@zju.edu.cn。岳文泽(1977–),男,安徽凤台人,博士,教授。主要研究方向为土地资源管理与空间规划。E-mail:wzyue@zju.edu.cn。

响因素的时空异质性。研究结果有助于基于小尺度深入理解中国大都市区碳排放的空间规律，揭示人类社会经济系统与自然系统的交互作用及其空间环境效应，为大都市区碳排放的区域联合治理和差异化治理策略提供理论支撑，以期实现精准施策。

1 研究方法数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 空间自相关模型

基于上海市各区碳排放量，运用探索性空间数据分析（ESDA）方法研判上海市碳排放的空间关联特征。ESDA 是针对具有空间依赖性和异质性的数据，以测度研究对象的空间关联为重点，提供一系列空间数据分析方法和可视化技术的集合^[28]。本文借助 ESDA 中的全局空间自相关（Moran's I）和局部空间自相关（LISA 图）对上海市碳排放进行空间关联分析。其中，全局空间自相关用来识别研究区域整体空间相关性，Moran's I 计算公式为：

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

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

式中：n 为区域个数； X_i 为区域 i 的观测值； $\bar{X}$ 为样本平均值； W_{ij} 为空间权重矩阵；

Moran's I 取值区间为 [-1, 1]，该值趋于 1 说明存在空间正自相关关系，即碳排放量较高或较低的区域在空间上趋于集聚；趋于 0 说明随机分布；趋于 -1 说明存在空间负相关关系，区域与相邻区域之间的碳排放存在差异。

为进一步识别局部区域碳排放集聚区位，采用局部空间自相关方法。所得散点图中四个象限分别代表四类局部空间关联类型：第一象限指高一高集聚区，第二象限指低一高集聚区，第三象限指低一低集聚区，第四象限指高一低集聚区。落在一、三象限内的区域意味着空间单元碳排放呈现均质性；而落在二、四象限的区域表示空间单元碳排放呈现异质性。综合局部 Moran's I 的显著水平和散点图可得到 LISA 空间聚类地图，用以识别上海市碳排放热点（高一高集聚区）或冷点区域（低一低集聚区）。

1.1.2 地理加权回归模型

相对于传统回归模型，地理加权回归模型考虑到因素的空间异质性，在模型中纳入空间因子，解决空间关联带来的估计误差^[29]，有助于揭示局域空间单元的碳排放影响因素差异对整体的影响^[30-31]。本文借助 ArcGIS10.2 软件的空间关系建模工具对碳排放进行空间计量分析。构建模型如下：

$$C_i = \alpha_0(x_i, y_i) + \sum_{j=1}^k \alpha_j(x_i, y_i) W_{ij} + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中： C_i 代表碳排放量； W_{ij} 是第 i 个单元碳排放量的第 j 个影响因素； (x_i, y_i) 是第 i 个单元的空间坐标； $\alpha_j(x_i, y_i)$ 是影响因素 j 在第 i 个空间单元的回归系数； ε_i 是随机误差。

1.2 数据来源及处理

已有文献对碳排放影响因素的研究主要集中在土地利用类型、经济规模、人口规模、产业结构、产业集聚和城市绿化等方面^[4-7, 18-26, 32-33], 为上海大都市区碳排放的影响机制分析提供一定的理论基础。另外, 需要指出的是, 不仅各类建筑及其附属设备所用原材料影响碳排放, 而且不同的房屋类型也具有不同的碳排放效应%。考虑数据的可获取性, 本文选取的研究指标及数据来源见表 1。

表 1 研究指标及数据来源

研究内容	研究指标	数据来源
碳排放时空异质性格局探测	上海市及各区碳排放总量、人均碳排放量和地均碳排放量	2009-2018 年上海市《各区、县单位增加值能耗指标公报》和 2010-2019 年上海统计年鉴中的 GDP、常住人口和土地面积
碳排放时空异质性影响因素分析	常住人口、城市绿地面积、工业产业集聚度、商业房屋面积	2012-2017 年上海统计年鉴和各区 2011-2016 年国民经济和社会发展规划公报中的 GDP、常住人口、城市绿地面积、工业主营业务收入、工业总产值和非居住房屋面积（除去工厂）

注:研究年内,上海市主要经历三次行政区划调整,为便于分析,本研究以当前上海市 16 个区为基准,其中,将 2011 年原卢湾区的数据计入黄浦区,2011-2015 年原闸北区的数据计入静安区,原崇明县以崇明区描述。

研究使用标准煤算法测度上海市及各区碳排放总量、人均碳排放量和地均碳排放量。各指标测度公式为:

$$C_{ij} = GDP_{ij} \times \gamma_{ij} \times EF \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

$$PC_{ij} = C_{ij} / P_{ij} \quad (4)$$

$$LC_{ij} = C_{ij} / L_{ij} \quad (5)$$

式中: C_{ij} 、 GDP_{ij} 、 γ_{ij} 分别是第 i 个研究单元第 j 年的碳排放总量、GDP 总量和 GDP 能耗系数;EF 值采用国家发改委能源研究所的推荐值 0.67t/tce, 44 和 12 分别为 CO₂ 和 12C 的摩尔质量; PC_{ij} 和 LC_{ij} 分别为第 i 个研究单元第 j 年的人均碳排放量与地均碳排放量; P_{ij} 和 L_{ij} 分别为第 i 个空间单元第 j 年的人口数量和土地面积。另外, 工业产业集聚度计算公式为:

$$IA = \frac{I_n / GDP_n}{S / GDP_s} \quad (6)$$

式中: I_n 为上海各区的工业总产值; GDP_n 为各区的国内生产总值; S 为上海市的工业总产值; GDP_s 为上海市的国内生产总值。

2 上海市碳排放时空特征

2.1 碳排放总量

依据标准煤算法得到上海市各区碳排放总量（图1）。研究年内，上海市碳排放总体呈现逐年增长趋势，增速约为316.89万t/a，碳排放量由2009年的6878.33万t增加到2018年的10047.20万t，与王铮等对上海碳排放趋势论断^[34]以及曹旭等对上海碳排放的估算值^[35]基本一致。区尺度层面，上海市各区碳排放总量和增速呈现明显的区域差异，即中心城区碳排放总量较少，集聚较多国家级或市级开发区的外围区碳排放总量较大（图2）。其中，浦东新区的碳排放量最大，占全市比例由2009年的35.17%增加到2018年的44.62%，平均增速为206.44万t/a。另外，闵行区和宝山区碳排放量呈现逐年小幅下降趋势，究其原因可能是由于区内产业升级导致一些工厂陆续向区外搬迁，并且积极引进一些高科技产业和现代服务业。

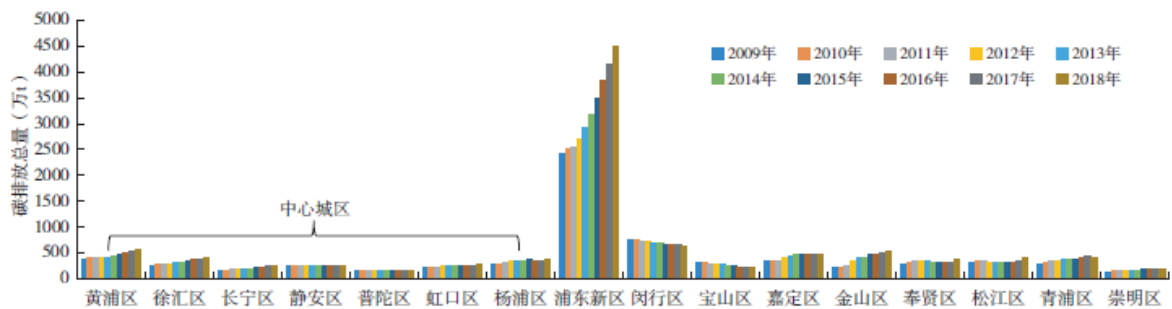
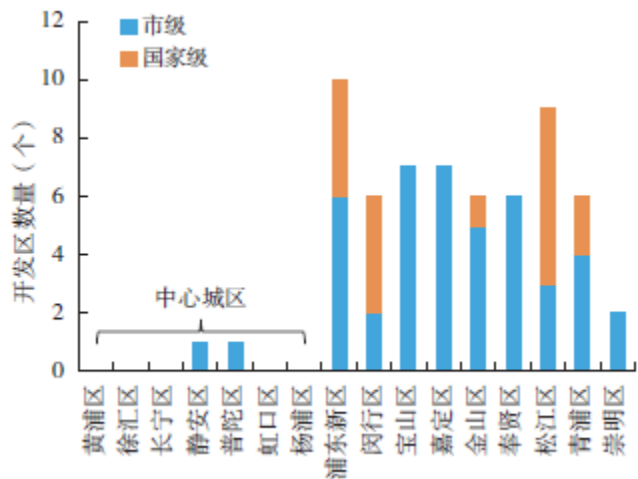


图1 2009-2018年上海市各区碳排放总量



资料来源:2017 上海产业和信息化发展报告。

图2 上海市各区开发区分布情况

2.2 地均碳排放量

借助上海市16区碳排放总量和土地面积得到各区地均碳排放量（图3）。由图3可知，上海市地均碳排放量区域差异明显，即中心城区地均碳排放量较大，外围区地均碳排放量较小。其中，黄浦区的地均碳排放量最大，且以 $0.77 \text{ 万 t/km}^2 \cdot \text{a}$ 的增速增加。虹口区、静安区、徐汇区、长宁区和杨浦区的地均碳排放量次之，基本处于 $0.5\text{--}1 \text{ 万 t/km}^2$ 。这主要是由于中心城区人口密集、商业发达，而土地面积相对较小，增加了地均碳排放量。需要指出的是，浦东新区较低的地均碳排放量主要得益于其较大的土地面积的稀释作用。

2.3 人均碳排放量

借助上海市 16 区碳排放总量和常住人口数量得到各区人均碳排放量。由图 4 可知，整体上，上海市人均碳排放量区际差异明显。其中，黄浦区、浦东新区和金山区的人均碳排放量较大，且整体上呈现逐年递增态势；普陀区和宝山区的人均碳排放量较小，基本在 1000t/人左右；上海市其它区的人均碳排放量基本处于 2000-3000t/人之间，差异不明显。

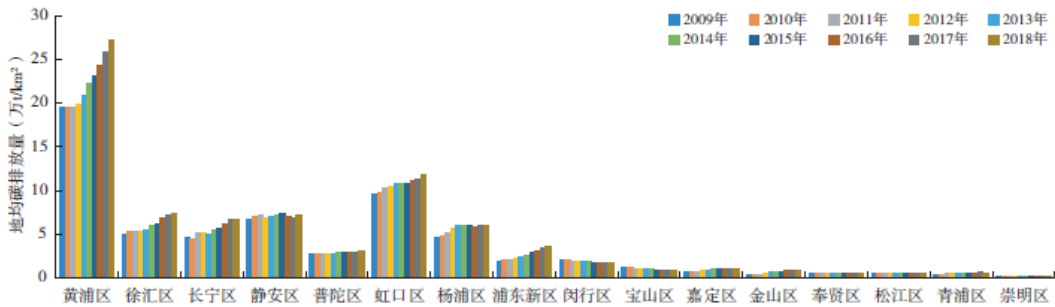


图 3 2009-2018 年上海市各区地均碳排放总量

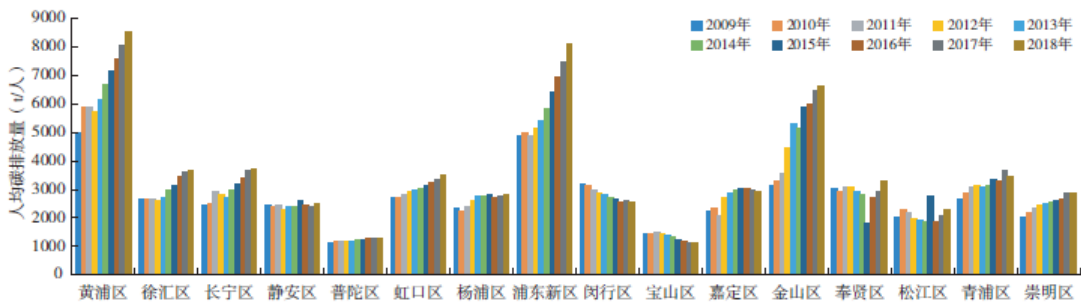


图 4 2009-2018 年上海市各区人均碳排放总量

3 上海市碳排放空间关联特征

3.1 全局空间自相关特征

将上海市碳排放数据导入 GeoDa 软件得到上海市全局 Moran's I (表 2)。由表 2 可知，上海市碳排放总量的 Moran's I 值均为负值，说明 2011-2016 年上海市碳排放总量存在显著的空间负相关性，即上海市各区碳排放存在显著区域差异。2011-2014 年上海市地均碳排放 Moran's I 值均为正值，说明该时期上海市各区地均碳排放存在显著的空间正相关关系，即碳排放强度相似的区呈现集中分布特征。然而，到了 2015 年，上海市地均碳排放 Moran's I 值开始变为负值，说明上海市各区地均碳排放开始呈现区域差异。研究年内，上海市人均碳排放 Moran's I 值波动较大，人均碳排放空间集聚特征不明显。整体上，研究年内上海市碳排放存在空间关联性，碳排放总量和地均碳排放呈现明显的区际差异，人均碳排放的空间集聚特征波动较大。

表 2 2011-2016 年上海市碳排放全局 Moran's I

年份	Moran's I 指数		
	碳排放总量	地均碳排放	人均碳排放

2011	-0.127	0.181	-0.123
2012	-0.123	0.181	-0.123
2013	-0.123	0.181	-0.123
2014	-0.123	0.181	0.181
2015	-0.123	-0.123	-0.123
2016	-0.123	-0.123	0.181

3.2 局部空间自相关特征

3.2.1 碳排放总量局部空间集聚特征

为进一步判识上海市碳排放总量的空间集聚格局,运行 GeoDa 软件的局部空间自相关软件得到表 3。可知,上海市碳排放总量的高一高集聚区和低一低集聚区具有变动性。其中研究年内,上海碳排放的冷点区域基本位于嘉定区,只是在 2015 年并不显著;上海市碳排放总量的热点区域在闵行区和松江区之间变动。可见,集聚众多国家级和市级开发区的闵行区和松江区作为上海市碳排放总量高值集聚区,更容易集中和消耗更多资源,产生并引发邻区碳排放问题。

3.2.2 地均碳排放局部空间集聚特征

由表 4 可知,2011、2012、2013 和 2014 年上海市地均碳排放量仅低一低集聚区和高一高集聚区显著,其中,长宁区、徐汇区、闵行区、奉贤区、金山区、松江区和青浦区为地均碳排放热点区域,崇明区为地均碳排放冷点区域。2015 和 2016 年上海市地均碳排放量空间集聚格局呈现较大变动,其中,浦东新区成为地均碳排放低一高集聚区,黄浦区成为地均碳排放高一低集聚区,而低一低集聚区和高一高集聚区不再显著。

表 3 上海市 2011-2016 年碳排放总量的 LISA 空间集聚性

行政区划	碳排放总量的 LISA 空间集聚性					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
黄浦区	高-低集聚	高-低集聚	高-低集聚	高-低集聚	高-低集聚	高-低集聚
徐汇区	-	-	-	-	-	-
长宁区	-	-	-	-	-	-
静安区	-	-	-	-	-	-
普陀区	-	-	-	-	-	-
虹口区	-	-	-	-	-	-
杨浦区	-	-	-	-	-	-
浦东新区	低-高集聚	低-高集聚	低-高集聚	低-高集聚	低-高集聚	低-高集聚
闵行区	-	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚
宝山区	-	-	-	-	-	-
嘉定区	低-低集聚	低-低集聚	低-低集聚	低-低集聚	-	低-低集聚
金山区	-	-	-	-	-	-
奉贤区	-	-	-	-	-	-
松江区	高-高集聚	-	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-
青浦区	-	-	-	-	-	-

崇明区	-	-	-	-	-	-
-----	---	---	---	---	---	---

注:代表空间集聚性不显著。表 4-表 5 同。

表 4 上海市 2011-2016 年地均碳排放的 LISA 空间集聚性

行政区划	地均碳排放的 LISA 空间集聚性					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
黄浦区	-	-	-	-	高-低集聚	高-低集聚
徐汇区	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-	-
长宁区	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-	-
静安区	-	-	-	-	-	-
普陀区	-	-	-	-	-	-
虹口区	-	-	-	-	-	-
杨浦区	-	-	-	-	-	-
浦东新区	-	-	-	-	低-高集聚	低-高集聚
闵行区	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-	-
宝山区	-	-	-	-	-	-
嘉定区	-	-	-	-	-	-
金山区	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-	-
奉贤区	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-	-
松江区	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-	-
青浦区	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	-	-
崇明区	低-低集聚	低-低集聚	低-低集聚	低-低集聚	-	-

3.2.3 人均碳排放局部空间集聚特征

由表 5 可知, 2011—2016 年上海人均碳排放空间集聚格局变动较大。其中, 2012 年以后, 上海市人均碳排放的低-低集聚区和高-高集聚区才呈现显著性, 但是随时间变化具有变动性特征。整体而言, 上海市人均碳排放的冷点区域基本上位于嘉定区和崇明区, 而热点区域基本位于长宁区、徐汇区、闵行区、松江区、奉贤区和金山区。

4 上海市碳排放总量影响因素的时空异质性分析

首先, 通过普通最小二乘法将有可能存在的影响因素进行多次组合检验, 根据地理加权回归需要解释变量的方差膨胀因子 (VIF) 的值均小于 7.5 的要求, 剔除较高 VIF 值的影响因素, 直到可以进行地理加权回归。最终选取产业集聚度和城市绿地面积作为碳排放总量的解释变量, 将两者的最小二乘法回归结果整理为表 6。

以 2011-2016 年上海市 16 区碳排放总量作为被解释变量, 以各区城市绿地面积和产业集聚度作为解释变量, 进行地理加权回归运算, 得到 2011—2016 年上海各区碳排放总量的影响因素的作用系数 (图 5、图 6) 及其标准化残差 (图 7)。标准化残差主要用于衡量每个系数估计值的可靠性, 超过 2.5 倍标准化残差的区域存在估计偏差。由图 7 可知, 上海各区的回归结果中仅浦东新区的回归拟合效果不理想, 其它区回归拟合效果良好。综合图 5 和图 6 可知, 上海市各区碳排放总量的工业产业集聚度

系数位于-0.08-0.01 之间,而城市绿地面积的作用系数基本位于-0.006%-0 之间,说明上海各区工业产业集聚度和城市绿地均对碳排放起到负向作用,基本上与已有研究结论吻合^[32]。需要指出的是,工业产业集聚度的碳减排效应高于城市绿地的碳减排效应的 1000 倍以上。究其原因,工业产业集聚是同一或相关产业在空间上的高度集中^[36],这种工业产业集聚可能会为企业带来技术的升级和创新,以及能源利用效率的提高,进而一定程度上减少碳排放^[37-45];而绿色植被不仅能够通过光合作用发挥碳汇作用,而且也可以通过呼吸作用成为碳源,两者差值就是绿色植被的碳净吸收量^[46],导致城市绿地对碳排放的影响系数较小。由图 5 可知,工业产业集聚度对上海各区碳排放作用强度存在时空异质性,其中,工业产业集聚度对浦东新区和奉贤区的碳减排作用强度较大,另外,随着时间演进,工业产业集聚度对碳排放的减排作用强度整体上呈现增强趋势。由图 6 可知,城市绿地面积对上海各区碳排放作用强度同样存在时空异质性,其中,徐汇区绿地面积对碳排放负向作用最大,而崇明区绿地面积对碳排放负向作用最小。随着时间演进,城市绿地面积对上海各区碳排放作用强度整体上呈现增强态势。

表 5 上海市 2011-2016 年人均碳排放的 LISA 空间集聚性

行政区划	人均碳排放的 LISA 空间集聚性					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
黄浦区	高-低集聚	高-低集聚	高-低集聚	-	高-低集聚	-
徐汇区	-	-	-	高-高集聚	-	高-高集聚
长宁区	-	-	-	高-高集聚	-	高-高集聚
静安区	-	-	-	-	-	-
普陀区	-	-	-	-	-	-
虹口区	-	-	-	-	-	-
杨浦区	-	-	-	-	-	-
浦东新区	低-高集聚	低-高集聚	低-高集聚	-	低-高集聚	-
闵行区	-	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚
宝山区	-	-	-	-	-	-
嘉定区	-	低-低集聚	低-低集聚	-	低-低集聚	-
金山区	-	-	-	高-高集聚	-	高-高集聚
奉贤区	-	-	-	高-高集聚	-	高-高集聚
松江区	-	-	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚	高-高集聚
青浦区	-	-	-	-	-	-
崇明区	-	-	-	低-低集聚	-	低-低集聚

表 6 2011-2016 年上海市碳排放总量影响因素普通最小二乘法分析结果

变量	概率						VIF					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2011	2012	2013	2014	2015	2016
截距	0.02*	0.30	0.63	0.99	0.63	0.85	-	-	-	-	-	-
城市绿地面积	0.02*	0.05*	0.05*	0.04*	0.06*	0.03*	1.78	2.04	1.91	2.07	2.02	1.99
工业产业集聚度	0.0001*	0.007*	0.03*	0.063*	0.004*	0.005*	6.34	7.36	7.34	7.45	7.23	7.18

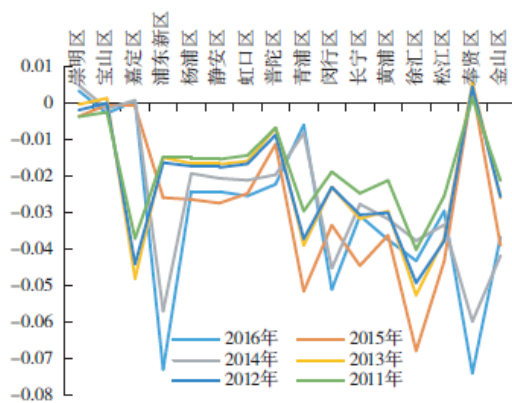


图 5 2011-2016 年上海各区工业产业集聚度对碳排放的作用系数

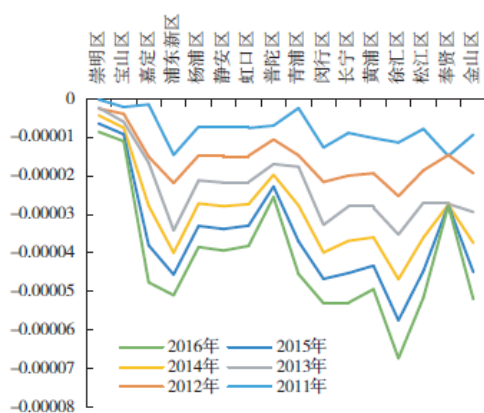


图 6 2011-2016 年上海各区城市绿地面积对碳排放的作用系数

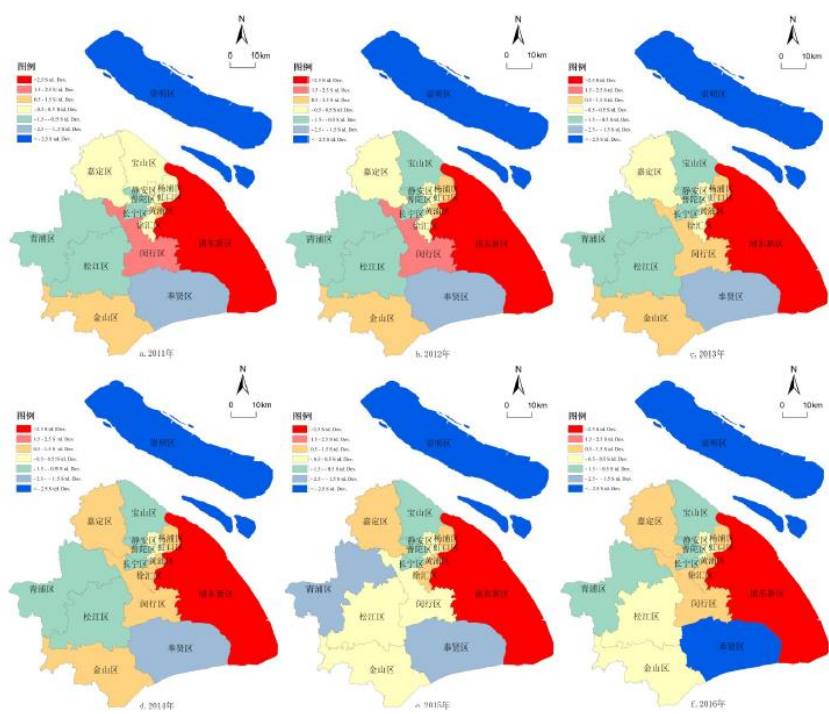


图 7 2011–2016 年上海市各区碳排放地理加权回归的标准化残差

5 结论与讨论

5.1 结论

本文在量化 2009–2018 年上海市及 16 区碳排放总量、人均碳排放量和地均碳排放量的基础上，运用空间自相关和地理加权回归研判了上海市碳排放集聚格局及其影响因素的时空异质性，得到以下结论：

①研究年内，上海市碳排放总量呈持续增长态势，区级尺度上碳排放总量、人均碳排放量和地均碳排放量均存在明显区域差异性，且随时间变化呈现扩大趋势。其中，碳排放总量在大都市区内部呈现“中心城区少，外围区多”的空间特征，而地均碳排放量则呈现“中心城区多，外围区少”的空间格局。

②上海市各区碳排放总量、地均和人均碳排放量均存在显著的空间自相关性。碳排放的空间集聚格局层面，整体上，上海市碳排放总量的热点区域（高一高集聚区）基本分布在闵行区和松江区，冷点区域（低一低集聚区）分布在嘉定区，而地均和人均碳排放空间集聚格局均随时间变化呈现波动特征。

③工业产业集聚度和城市绿化面积均对上海市碳排放总量起到显著的负向作用，且存在明显的时空异质性特征。其中，工业产业集聚度对浦东新区和奉贤区的碳减排作用强度最大，且随时间演进呈递增效势；城市绿化面积对徐汇区碳排放的负向效应最大，且随时间演进作用系数整体上呈现增强态势。

5.2 讨论

①研究结果显示，研究年内上海碳排放总量由 6878.33 万 t 增加到 10047.20 万 t，且以 316.89 万 t/a 的速度增加，面临着艰巨的碳减排任务，同时在空间层面，上海大都市区的碳排放呈现“中心—外围”式结构特征，启示相关部门应采取“中心城区加强低碳生活宣传，外围区加强低碳生产管制+低碳生活宣传”的分区碳排放管治模式。另外，2018 年浦东新区的碳排放总量占到全市的 44.62%，且以 206.44 万 t/a 速度逐年增加，故上海相关部门应强化对浦东新区的监测检查和违规处罚，在保证一定 GDP 增速的前提下适当提升开发区的环境规制强度，使资源和环境成本内部化，以期上海碳排放尽早达到峰值。

②空间的相互作用力使得大都市区碳排放存在空间集聚效应。上海市碳减排相关政策的制定应考虑在闵行区和松江区等高一高集聚区实施跨区的联防联控措施，构建区际之间的碳减排协调机制，形成联合控碳格局，逐渐消除区际政府间博弈对区域联合控碳减排政策的负向效应。

③实证分析证实上海产业集聚和城市绿化在一定程度上可以起到节能减排作用，但是存在一定的空间异质性，这主要是由于各区的发展条件存在差异。因此，根据工业产业集聚度和城市绿化面积对上海各区碳减排的贡献率，上海市相关部门应根据各区实际情况制定差异化的碳减排调控策略。例如，对浦东新区和奉贤区制定更加严格的企业准入规制，淘汰“高投入、高消耗”的粗放式传统产业，并依据本地产业链有选择地引进新能源、新一代互联网信息技术和高端装备制造等新兴产业，培育特色产业集群，通过“集聚效应”和“知识溢出效应”提升本地绿色生产技术水平，从而实现控碳减排目标；适当增加徐汇区、浦东新区、长宁区、黄浦区和闵行区的绿化面积，强化城市绿地的碳吸收效应。

参考文献：

- [1]Liu Z. China's carbon emissions report 2015 [R]. Harvard Kennedy School: Cambridge,UK,2015.

-
- [2]从建辉, 朱婧, 陈楠, 等. 中国城市能源消费碳排放核算方法比较及案例分析[J]. 城市问题, 2014(3):5-11.
- [3]张帅, 袁长伟, 赵小曼. 中国交通运输碳排放空间聚类与关联网络结构分析[J]. 经济地理, 2019, 39(1):122-129.
- [4]曲福田, 卢娜, 冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 21(10):76-83.
- [5]赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋, 等. 区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17):220-229.
- [6]张诗青, 王建伟, 郑文龙. 中国交通运输碳排放及影响因素时空差异分析[J]. 环境科学学报, 2017, 37(12):342-352.
- [7]邓吉祥, 刘晓, 王铮. 中国碳排放的区域差异及演变特征分析与因素分解[J]. 自然资源学报, 2014, 29(2):189-200.
- [8]Greening L A, Davis W B, Schipper L. Decomposition of aggregate carbon emission intensity for the manufacturing sector [J]. Energy Economics, 1998, 20(1): 43-65.
- [9]Greening L A. Effects of human behavior on aggregate carbon emission intensity of personal transportation [J]. Energy Economics, 2004, 26(1): 1-30.
- [10]Schipper L, Murtishaw S, Khrushch M, et al. Carbon emissions from manufacturing energy use in 13 IE A countries [J]. Energy Policy, 2001, 29(9):667- 688.
- [11]Obas J E, Anthony J I. Decomposition analysis of CO₂ emission intensity between oil-producing and non-oil-producing sub-Saharan African countries [J]. Energy Policy, 2006, 34(18):3 599-3 611.
- [12]Bhattacharyya S C, Matsumura W. Changes in the GHG emission intensity in EU-15 [J]. Energy, 2010, 35(8): 3315-3322.
- [13]Simone G, Petra K, Julia K, et al. Long-term changes in CO₂ emissions in Austria and Czechoslovakia [J]. Energy Policy, 2011, 39(2):535-543.
- [14]Ang B W, Liu N. A cross-country analysis of aggregate energy and carbon intensities [J]. Energy Policy, 2006, 34(15): 2398-2404.
- [15]Tunc G I, Türlüt-Aşık S, Akbostanci E. CO₂ emissions vs. CO₂ responsibility [J]. Energy Policy, 2007, 35(2): 855-868.
- [16]谭丹, 黄贤金. 我国东、中、西部地区经济发展与碳排放的关联分析及比较[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(3):54-57.
- [17]岳超, 胡雪洋, 贺灿飞, 等. 1995-2007 年我国省区碳排放及碳强度的分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(4): 510-516.
- [18]姚奕, 倪勤. 中国地区碳强度与 FDI 的空间计量分析[J]. 经济地理, 2011, 31(9):1433-1437.

-
- [19]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.
- [20]李建豹,黄贤金.基于空间面板模型的碳排放影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2015,24(10):1665-1671.
- [21]杜立民.我国二氧化碳排放的影响因素:基于省际面板数据的研究[J].南方经济,2010(11):20-33.
- [22]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.
- [23]杨骞,刘华军.中国二氧化碳排放的区域差异分解及影响因素[J].数量经济技术经济研究,2012(5):36-49.
- [24]刘佳骏,史丹,汪川.中国碳排放空间相关与空间溢出效应研究[J].自然资源学报,2015,30(8):1289-1303.
- [25]严志翰,任丽燕,刘永强,等.浙江省碳排放时空格局及影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2017,26(9):136-144.
- [26]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[J].中国人口·资源与环境,2013,23(7):84-92.
- [27]陈彦光.基于Moran统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J].地理研究,2009,28(6):1449-1463.
- [28]徐建华.地理建模方法[M].北京:科学出版社,2010:84-104.
- [29]吴玉鸣,李建霞.基于地理加权回归模型的省域工业全要素生产率分析[J].经济地理,2006,26(5):748-752.
- [30]武红.中国省域碳减排:时空格局、演变机理及政策建议[J].管理世界,2015(11):3-10.
- [31]袁长伟,芮晓丽,武大勇,等.基于地理加权回归模型的中国省域交通碳减排压力指数[J].中国公路学报,2016,29(6):262-270.
- [32]易艳春,高爽,关卫军.产业集聚、城市人口规模与二氧化碳排放[J].西北人口,2019,40(1):54-64.
- [33]喻燕,卢新海.中国低碳房地产发展问题与对策[J].城市发展研究,2010,17(5):48-51.
- [34]黄蕊,朱永彬,王铮.上海市能源消费趋势和碳排放高峰估计[J].上海经济研究,2010(10):81-90.
- [35]曹昶,樊重俊.上海市碳排放影响因素的灰色关联分析与预测[J].上海理工大学学报,2013,35(5):484-488.
- [36]Krugman P. Geography and trade[M]. Cambridge: MIT Press,1991.
- [37]Otsuka A, Goto M, Sueyoshi T. Energy efficiency and agglomeration economies [J]. Regional Science Policy & Practice, 2014,6(2):195-212.
- [38]乜敏,赵洪海.产业集聚是否促进了低碳发展[J].经济与管理,2013(6):70-75.

-
- [39]林善浪, 张作雄, 刘国平. 技术创新、空间集聚与区域碳生产率[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(5):36-45.
- [40]Ciccone A, Hall R E. Productivity and the density of economic activity [J]. The American Economic Review, 1996(1): 54-70.
- [41]Ciccone A. Input chains and industrialization [J]. Review of Economic Studies, 2002(3):565-587.
- [42]Fujita M, Thisse J F. The Economics of Agglomeration [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [43]Nijkamp P, Verhoef E T. Urban environmental externalities, agglomeration forces, and the technological deus ex Machina[J]. Environment and Planning A, 2008(4):928-947.
- [44]Su Q. The effect of population density, road network density, and congestion on household gasoline consumption in U.S. Urban Areas [J]. Energy Economics, 2011(3):445-452.
- [45]Otsuka A, Goto M, Sueyoshi T. Energy Efficiency and Agglomeration Economies [J]. Regional Science Policy & Practice, 2014(2): 195-212.
- [46]黄柳菁, 张颖, 邓一荣, 等. 城市绿地的碳足迹核算和评估[J]. 林业资源管理, 2017(2):65-73.