
碳中和愿景下中国城市形态的 碳排放影响效应研究 ——基于 289 个地级市的数据分析

丛建辉¹

(山西大学, 山西 太原 030006)

【摘要】: 本研究以 2015 年中国 289 个地级市为研究样本, 在分析城市形态对碳排放影响机制基础上, 引入景观格局指数表征五种城市形态, 运用岭回归方法对城市形态与碳排放之间的定量关系进行了探讨, 同时分析了其在三类不同人口密度城市所表现出的影响效应异质性。研究发现: 城市形状复杂度对样本城市碳排放产生负向影响, 城市各类功能区的非均匀分布并不必然增加碳排放; 城市破碎度的增加显著提升碳排放水平, 且在人口稀疏区这种影响程度更高, 说明城市功能区之间的连通性有待加强; 城市中心性对碳排放的负向影响程度较大, 但在人口集聚区城市却表现出正向影响关系, 意味着城市需要灵活选择内部空间结构聚合模式; 城市紧凑度整体提升了碳排放水平, 表明多数城市形态主要满足了几何形状方面的紧凑性但城市功能紧凑性不足; 城市规模扩大对碳排放未产生显著影响。面向碳中和愿景的城市形态调控思路主要包括将碳排放控制指标纳入城市空间规划体系、结合城市功能优化调整城市布局紧凑度、择机实现城市由“单中心”向“多中心”发展模式的转变、推进数字化和智能化技术与城市形态的深度融合以管控城市破碎度等。

【关键词】: 碳中和 城市形态 碳排放 景观格局指数

【中图分类号】: F293 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1002-6924(2021)09-0125-10

一、引言

城市形态是指在一定的社会经济发展阶段, 城市的土地利用与空间布局所呈现出来的系统结构与交互体系^{[1][2][3]}。城市形态通过配置人力物力资源以及影响交通运输架构、基础设施布局等方式影响城市的增长与扩张模式, 进而对城市碳排放产生长期性、根源性影响^{[4][5][6]}。改革开放 40 多年来, 在中国城镇化率保持快速增长的同时, 大多数城市的空间形态也处于不断演变中^[7]。据测算, 未来 10 年中国城镇化率仍将保持年均 1% 的速率增长, 且许多城市将继续经历规模扩张、布局调整与城市更新等深刻转变, 这对如何通过优化城市形态控制碳排放提出了新要求^{[8][9]}。

2020 年 9 月, 习近平总书记在第七十五届联合国大会上向国际社会做出了“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和”的重大政策宣示。碳中和愿景提出以后, 国内相关顶层设计与政策部署明显加快。中国不同城市空间形态对城市碳排放产生怎样的影响? 在新型城镇化进程中如何通过优化城市形态以调控城市碳排放增长路径、避免碳排放的

¹作者简介: 丛建辉, 山西大学经济与管理学院副教授, 主要研究方向: 环境经济政策评估、低碳城市。

基金项目: 国家社科基金重大项目“我国 2030 年前碳排放达峰行动方案研究”(21ZDA085)

长期锁定效应？这些问题的解决将关系到中国碳中和愿景实现的方式与成效。

城市形态与碳排放的关系早已引起了国内外学者的极大关注，相关研究成果较多^{[10][11][12]}。其中，关于中国城市空间形态碳排放效应的研究，主要集中在三个方面。一是从宏观层面探究、比较不同城市形态特征（城市规模扩张、紧凑性、单中心与多中心、形状规则性等）对整个城市碳排放的影响，这方面的研究结论并不一致。以研究较多的城市紧凑性为例，多数研究认为紧凑的城市形态有助于抑制碳排放或提升城市碳排放绩效^{[13][14][15][16]}，也有研究认为城市越紧凑越不利于提高碳排放绩效^{[17][18]}。二是从中间层面探究城市形态对交通、建筑等城市部门碳排放的影响^{[19][20][21]}，这方面的讨论也主要关注紧凑或蔓延型城市形态对具体部门的影响。三是从微观层面探究城市形态对居民出行、家庭居住、商业活动等工作或生活方式碳排放的影响^{[22][23][24][25]}，如 Ma 以北京市为例，考察了城市形态特征对居民工作和非工作出行行为碳排放的影响。

总体来看，现有文献运用多源数据、从多个方面对中国城市形态与碳排放的关系进行了深入探讨，为基于城市形态优化调整的城市碳减排政策制定提供了理论支撑和决策参考，但在以下方面仍然需要拓展。一是在城市形态的表征上多从紧凑度、蔓延度等单一维度进行研究或主要集中在一个方面，可能无法全面反映、客观准确地度量城市空间格局和土地利用结构，也难以显示不同城市形态多样性指标对碳排放的不同影响机制与影响程度；二是当前城市形态研究多以大城市或城市群为分析对象，对全国城市的覆盖面不足，仅有少数几篇文献覆盖了作为新型城镇化建设主体的中小型城市样本^{[26][27]}，而采用大样本以探究城市形态的碳排放效应一般规律及在不同类型城市的异质性，对中国城市碳中和愿景的实现极其重要；三是从城市形态角度面向碳中和愿景提出城市碳排放管控策略的讨论不足。

为弥补以上研究缺口，本研究引入景观生态学中的景观格局指数作为测度城市形态的量化方法，以全国 289 个地级市数据作为研究样本，从城市规模、城市形状复杂度、城市破碎度、城市中心性和城市紧凑度等五个维度表征城市形态，在分析中国城市形态对碳排放关系的影响机制基础上构建相关测度模型，采用岭回归方法探究了城市形态对碳排放的影响方向与影响程度，同时分析了其在三类不同人口密度城市所表现出的影响效应异质性，并基于研究结论提出了面向碳中和愿景的中国城市形态调控思路。本研究旨在识别中国城市形态对碳排放影响的一般规律和调控方向，以提升未来新型城镇化建设中的碳排放效率，促进低碳城市建设与城市碳中和目标实现。

二、城市形态的测度及其对碳排放的影响机制

（一）基于景观格局指数的城市形态测度

从不同的角度和目的出发，城市形态可以有多种表征指标。本文综合相关文献，选取城市规模、城市形状复杂度、城市破碎度、城市中心性、城市紧凑度等五个维度指标来表征城市形态。城市规模代表城市容量大小，与城市人口规模和土地扩张紧密相关^{[28][29]}。城市形状复杂度是相对于城市形状规则度的另一种形式，测量城市不同元素的边界与形状的性质^[30]。城市破碎度代表着城市各斑块的连通性程度，高破碎度即城市斑块之间的分割性显著、碎片化严重，其连接度和可达性较低^{[31][32]}。城市中心性指城市主要功能区的集聚状况，根据集聚状况的不同，现代城市呈现了“单中心”和“多中心”的发展模式^[33]。城市紧凑度与城市分散性相对应，包括功能紧凑、规模紧凑和结构紧凑，针对城市无序蔓延的状况强调土地混合使用和密集开发。五个维度指标出发点和重心不同，共同从结构和布局层面完整的表述了城市形态的不同侧面，又呈现了相互之间的关联性。

城市形态的量化表达方式依赖于其表征指标的具体形式，包括人口密度、建设用地比例、人均道路面积等物理量指标以及景观格局指数等几何指标^{[34][35]}。景观格局指数来源于景观生态学，是通过遥感技术（RS）和地理信息系统（GIS）得到的高度浓缩的景观格局信息。景观格局指数反映了景观结构组成和空间配置特征，可以量化空间异质性及其在景观中的变化^[36]。与其他测度指标相比，景观格局指数能够从微观尺度独立、统一、客观、全面地描述不同类型城市的形态信息，建立景观结构与城市形态变化过程的联系，在城市形态测度中具有独特优势，且已经得到一定程度的开发与应用^[37]。

景观格局指数的选择尚未有一致的标准，本文在参考相关研究基础上^[38]，基于综合、客观、准确的原则，从最能够全面反映景观总体特征的景观尺度水平上，选取了景观总面积、斑块面积变异系数、斑块数量、斑块密度、最大斑块面积指数、斑块结合度、聚合指数等七个指标共同构成城市形态表征指标的测度指标。七个测度指标的具体含义及其与五个城市形态表征指标的对应关系如下。

景观总面积（TA），即景观范围的最大尺度。景观总面积可以从城市规模维度表征城市形态，其数值越大，城市规模越大。

斑块面积变异系数（PSCV），即斑块类型标准差与平均值之间的比值。在景观分析背景下，斑块面积变异系数作为分析空间异质性的基本指标，能够描述城市各斑块面积大小的整体离散性，可以有效衡量城市形状规则程度，较好地反映城市形状复杂度。指标值的大小与城市形状复杂度成正比，指标值越大，则城市形状复杂度越高。

斑块数量（NP）和斑块密度（PD）。斑块数量是景观异质性和破碎度的简单描述，当 NP=1 时，说明整个景观中只有一个斑块；斑块密度与斑块数量相关，也是反映景观破碎度的指标之一，当景观总面积一定时，数值与斑块数量相等。二者的值越大，城市破碎度越高。

最大斑块面积指数（LPI）。最大斑块面积指数即某一斑块型中的最大斑块面积与景观总面积的比值，是对景观优势度与中心性的简单度量。该比例越大，最大斑块中心性越强；若该值等于 100%，则景观仅由一个斑块构成，最大斑块中心性达到最大程度。

斑块结合度（COHESION）和聚合指数（AI）。斑块结合度和聚合指数分别从内聚力、紧实性角度衡量斑块之间的聚集程度，反映了城市紧凑度。二者的值越大，则城市紧凑度越高。

（二）城市形态对碳排放的影响机制

城市形态通过影响土地利用方式、经济功能与效率等，进而以社会行为作用于城市环境系统。同时城市形态是一个复杂、多元的概念，在不同维度上对碳排放具有不同的影响方式^[39]。按照本研究选取的城市维度表征指标，其各自对城市碳排放的具体影响机制如下。

第一，城市规模。城市规模扩大导致城市生产性生活用地扩张并可能导致城市绿地减少，从而影响碳排放；另外，规模扩大的关键要素——人口数量的增多会通过各种中介机制加速能源消耗，影响碳排放量。一般认为，城市规模扩大会增加碳排放。

第二，城市形状复杂度。不同的城市形状复杂度会有相应的交通网络、行业布局方式。一般认为，城市形状复杂度越高，其景观规则程度越低，越容易增加市民的流动性和通勤距离，^[40]进而对碳排放产生正向影响。

第三，城市破碎度。高破碎度的城市形态使得人们的日常活动分散性增强，连接各斑块系统的基础设施建设成本增加，带来更多的交通活动以及由此产生的额外能源消费等，促进碳排放量的增加。^{[41][42]}

第四，城市中心性。关于“单中心”“多中心”城市对碳排放的作用方向，学术界仍存在不同意见。一种观点认为“单中心”城市会增加碳排放，因为“单中心”城市功能更加聚集，导致因生活需求引起的交通、供能需求增加，进而对碳排放产生巨大影响，而“多中心”的城市形态可以分散城市功能，间接地给人们的生产生活提供便利，减少了因向中心过度聚集而产生的交通问题，同时还能缓解单中心模式所造成的热岛效应，间接减少制冷所致的能源消耗，有效降低碳排放。但另一种观点则支持“多中心”城市可能由于各中心之间联系密切而使交通需求增加，进而使碳排放水平增高。

第五,城市紧凑度。城市紧凑度对碳排放的影响也存在较大的争议。一方面,城市紧凑性的提高缩短了出行距离和出行时间,特别是缩短了职住体系的距离,降低了交通障碍的可能性,进而降低碳排放量;^{[43][44]}另一方面,由于城市的高度聚集,城市通风功能下降,强化了城市热岛效应,导致高聚集区的气温比松散地区更高,这直接影响人们的生活方式,如提高了使用空调的频率等,进而增加了碳排放。^[45]

三、样本选取、研究方法与数据来源

(一) 样本选取

城市自然地理条件、经济发展水平及所处城市化阶段等因素的多样性,造就了不同的城市形态类型。中国的城市形态在本国人文环境、政府管理、城市规划思想引导下又有不同于西方城市的特征,^[46]尽可能覆盖更多城市有助于识别其碳排放影响效应的一般性规律。基于这一考虑,本研究拟将 333 个地级市纳入样本(2015 年数据),但由于部分城市碳排放数据缺失,经过核对筛选,最终纳入了全国 289 个城市作为研究样本。

鉴于人口密度与城市发展程度、城市未来增长潜力以及碳排放量之间存在高度相关关系^[47],且 289 个地级市在人口密度方面有较大差异(最大值为汕头市 2501.4 人/平方公里,最小值为林芝地区 1.67 人/平方公里),为提升后续分析的清晰度,本研究进一步按照人口密度指标将 289 个样本城市分为稀疏区、中等区、集聚区三类。稀疏区城市多位于中西部地区,城镇化进程多处于起步阶段,而中等区和集聚区城市则处于快速城镇化或城镇化接近完成阶段。

(二) 研究方法

本文运用 2015 年全国 289 个城市的横截面数据,构建多元回归分析模型测度城市形态与碳排放的定量关系,分析以城市景观指数表征的城市形态与碳排放之间的作用规律及其空间差异。基础模型形式为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \beta_7 x_7 + \lambda_1 k_1 + \lambda_2 k_2 + \lambda_3 k_3 + \varepsilon \quad (1)$$

其中, y 为表示城市碳排放的因变量,用人均碳排放量来测度。 x_1 – x_7 分别代表景观总面积、斑块面积变异系数、斑块数量、斑块密度、最大斑块面积指数、斑块结合度和聚合指数 7 个城市形态测度指标,对应城市规模、城市形状复杂度、城市破碎度、城市中心性、城市紧凑度五个城市形态表征指标。需要指出的是,除城市形态外各地区经济社会发展水平是影响碳排放的重要因素。为此,本文基于环境库兹涅茨曲线(EKC)假说,引入城镇化率(k_1)、人均 GDP(k_2)以及人均 GDP 二次项(k_3)作为模型的控制变量,以提高景观格局指标等变量的解释强度。 β_0 为常数项, ε 代表除上述变量以外的残余项或误差项。

(三) 数据来源

本研究所用碳排放数据来源于生态环境部环境规划院蔡博峰研究团队编制的 2015 年中国城市碳排放数据,该数据是目前经过同行评议、多轮交叉验证、包含城市最为全面的城市碳排放数据集。^[48]景观格局指数基础数据来源于清华大学王灿和宋伟泽研究团队。^[49]城镇化率、人均 GDP 等社会经济数据来源于《2016 年中国城市统计年鉴》、各地级市《2015 年国民经济和社会发展统计公报》和《2016 年政府工作报告》等统计资料。所有基础数据在使用过程中,均进行了归一化、价格指数调整、交叉比对应处理,以保证不同源数据的准确性。

四、城市形态的碳排放影响效应实证分析

（一）描述性统计结果

2015 年全国各地级市人均碳排放量差异较大，最小值仅 0.05 吨/人，最大值达 157.01 吨/人。景观总面积、斑块面积变异系数、斑块数量、斑块密度、最大斑块面积指数、斑块结合度、聚合指数等各解释变量也存在明显区别，特别是斑块密度具有极大的标准差。城市斑块个数最小值为 1，最大值达 1292。2015 年昌都地区城镇化率最小，为 15%；深圳市城镇化率高达 100%。各地人均 GDP 等经济指标最小与最大值间呈现 20 倍左右的差距。上述结果验证了中国城市具有不同的空间形态，城镇化过程具有梯度差异且多数城市尚未完成城镇化，城市形态处于演进过程中。本文通过将稀疏区、中等区、集聚区三种类别的城市各变量分别进行统计分析，发现三类地区间的不同指标值呈显著差异。因此，对各地进行分类回归是一种较优的选择。

（二）多重共线性检验

多重共线性是指在线性回归模型中的解释变量，由于存在高度相关关系而使模型失真的性质。由于景观变量在临近范围内的变化往往表现出对空间位置的依赖关系，具有空间自相关性。因此，为避免出现“伪回归”现象，在多元回归之前，首先对模型进行了多重共线性检验。第一，通过各变量间的相关性分析，发现多个变量间相关系数绝对值大于 0.6。第二，对模型进行多元线性回归之后，发现在研究变量中，有多个变量的方差膨胀因子大于 10。据此推断，基础模型回归效果欠佳，存在多重共线性问题，需要对模型进行优化。

（三）异方差检验

异方差检验是一般回归模型中，保证回归参数估计量具有良好统计性质的必要步骤。结果显示，基础模型中残差的大小随自变量的大小而无序变化，存在异方差问题。对数据做对数化处理，是异方差问题的有效解决办法之一。本文通过对绝对数值（ x_1 、 x_3 、 x_4 、 k_2 ）、标准差较大的相对数值（ x_2 、 x_5 ）对数化处理之后得到模型（2）：

$$\begin{aligned} \ln y = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln x_1 + \alpha_2 \ln x_2 + \alpha_3 \ln x_3 + \alpha_4 \ln x_4 \\ & + \alpha_5 \ln x_5 + \alpha_6 x_6 + \alpha_7 x_7 + a k_1 + b \ln k_2 + c (\ln k_2)^2 \\ & + \varepsilon \end{aligned} \quad (2)$$

（四）城市形态碳排放影响效应的岭回归分析结果

为解决多重共线性问题，选取岭回归方法，借助 SPSS 软件对模型进行处理。岭回归作为一种改善共线性较强数据的有偏估计回归方法，其实质是改良的最小二乘回归方法，但对病态数据的拟合要强于最小二乘法。除此之外，岭回归方法具有操作上的灵活性，能够将定量分析和定性分析巧妙结合，是解决多重共线性问题的有效方法。本研究中，按照岭回归流程进行逐步操作，根据岭轨图，选取 $k=0.01$ ，相较于基础模型（1），稀疏区、中间区和集聚区三种分类和全部城市回归模型拟合优度整体变高。各模型回归方程中的 F 检验均显著，且呈显著性的偏回归系数都符合其经济学意义，说明模型拟合效果较好。

城市破碎度和城市紧凑度对人均碳排放呈显著正向影响。以斑块结合度表示的城市紧凑度指标每提高一个单位，人均碳排放量将增加 0.349 个百分点。这一研究结果与相关学者关于长三角城市的结论一致，但也有较多研究认为提高紧凑度有利于降低碳排放。根据本研究结果，本文认为城市紧凑度提升带来碳排放增长的原因可能是研究时限内多数城市的城市形态主要满足了几何形状方面的紧凑性，但在生产生活方面的功能紧凑性不足，比如职业—居住—商业—休闲活动等的不平衡以及其他社会效率方面的损失，反而增加了交通等领域的碳排放。这一结果也提示未来在新型城镇化过程中需要继续提升城市功能的紧凑性与各类生产生活设施布局的平衡性。城市破碎度正向影响着城市碳排放水平，与其他多数研究的结论较为一致。斑块数量和斑块密度增加 1 百分点分别提升人均碳排放量 0.115 和 0.190 个百分点，这也预示着多数城市尚未形成气候友好型的土地利用模式，

且新开发土地（如新的开发区、工业园区）利用模式未有效减缓市碳压力，这可能与城市斑块之间连通性较差、城市空间结构与交通体系耦合度不高有关。

城市形状复杂度与城市中心性对人均碳排放呈现显著负向影响。其中，城市中心性指标对碳排放的负向影响程度较大，最大斑块面积提升 1 个百分点，相应降低了人均碳排放 0.221 个百分点。这一结果表明，就全国 2015 年的城市情形来看，在城市内部将若干小斑块聚集成一个大斑块、增大城市斑块的连片面积，会显著减少城市碳排放。该研究结果与鼓励“多中心”发展模式的研究不同，更倾向于“单中心”或单核的发展模式，原因可能为样本城市覆盖了全国绝大多数城市，大量城市尚处于城市化中期阶段，通过进一步地集聚更有利于提升碳排放效率。城市形状复杂度以斑块面积偏离平均值的形式表示，该指标的碳排放影响效应为负值，意味着城市各类功能区的非均匀分布并不必然增加碳排放，甚至会产生抑制碳排放的效果。这一结果也与部分已有研究结果不一致，本研究结果支持在城市内部对各类功能区采用灵活有弹性的规模布局，不追求形状的规整性。

在所有表征指标中，本研究未捕捉到城市规模指标对城市碳排放的显著影响。城市规模指标是用景观总面积表示的，这表明在控制其他因素后，就全国城市而言单纯面积因素对碳排放的影响较弱，而更重要的因素是城市结构与功能的组合。

从控制变量来看，城镇化率、人均 GDP 对人均碳排放均呈显著正向影响，人均 GDP 的二次项在全部样本城市中呈负向关系，但统计结果并不显著。这表明：（1）整体来看，当前中国城市社会经济发展水平与碳排放之间具有明显的正相关关系，大部分城市的城镇化建设与经济发展尚未与碳排放脱钩，未来需要进一步处理好发展与减排的关系；（2）城市碳排放的“倒 U 型”环境库兹涅茨曲线特征尚不明显，即碳排放量没有随着经济水平的上升而自动降低，这种规律能否出现尚待观察。

由于本研究覆盖城市样本较多、样本性质差异较大，进一步按人口密度分类观测不同类型城市形态的碳排放影响。人口密度作为一项常用的人口指标，能够大致反映不同城市城镇化率、城市规模以及城市发展水平差异。稀疏区、中间区、集聚区三种类型城市形态的碳排放影响效应在多个指标上表现出了明显的异质性。城市规模指标在全部样本城市中的影响均不明显。城市形状复杂度在三类城市中的影响方向一致，只不过稀疏区城市的影响程度相对于另外两类城市明显偏低。城市破碎度均显著正向影响碳排放，但对稀疏区而言其影响程度明显更高。城市中心性指标在集聚区城市表现出了区别于其他类型城市的影响效应，该指标每增加一个百分点，人均碳排放量增加 0.230 个百分点。这可能是因为就集聚区城市而言，最大斑块的功能已经饱和，继续采用“单中心”模式扩大最大斑块比例，可能会因过度的虹吸效应、交通拥堵等问题增加碳排放。因此，对于集聚区城市来说，“多中心”城市的发展模式更有利于促进城市的降碳工作。城市紧凑度两种表征指标在稀疏区城市中均呈显著正向影响，以聚合指数表示的城市紧凑度在中间区城市呈显著正向影响关系。考虑到稀疏区、中间区城市主要是处于早期或者大规模、快速城镇化进程中的城市，其紧凑度的增强提升了不同斑块之间的连通性，可能增强了各项碳密集型活动的频率，进而增加了碳排放压力。城镇化率指标在中间区城市也呈现了类似的影响效应，而除此之外的其他社会经济发展水平变量在稀疏区和中间区城市均未呈现明显的影响，这可能与该类城市的社会经济发展和能源利用效率关联度较低相关。

五、结论与政策建议

（一）主要结论

本文以 2015 年中国 289 个地级市为研究样本，在详细分析城市形态对碳排放的影响机制基础上，引入景观格局指数，运用岭回归方法对城市规模、城市形状复杂度、城市破碎度、城市中心性、城市紧凑度等五种城市形态表征指标与碳排放之间的定量关系进行了探讨，同时进一步分析了三类不同人口密度城市的城市形态所表现出的碳排放影响效应异质性。研究发现，城市形态不同维度指标对中国城市碳排放产生了显著影响，且对不同人口密度类型城市的影响具有异质性。具体包括：（1）城市形状复杂度对全部样本城市的人均碳排放呈不同程度的负向影响，这意味着城市各类功能区的非均匀分布并不必然增加碳排放；（2）城市破碎度的增加显著提升碳排放水平，且在人口稀疏区影响程度更高，说明城市功能区之间的连通性有待加强；（3）城市中心性对碳排放的负向影响程度较大，但在人口集聚区城市却表现出正向关系，这说明研究期内多数城市“单中心”或单核的发展模式

更有利于碳减排,但随着城市人口密度提高进入城镇化完成阶段则更鼓励“多中心”或多核的发展模式;(4)城市紧凑度整体提升了碳排放水平,特别是对人口密度处于稀疏区、中间区的城市有着显著正向影响,这意味着多数城市主要满足了几何形状方面的紧凑性但城市功能方面的紧凑性不足;(5)未观察到城市规模对碳排放的显著影响,说明单纯城市规模的扩大对城市碳排放而言不具有主导作用;(6)城市化率、人均GDP等社会经济发展指标对城市人均碳排放有重要影响,总体上增加了碳排放,全部样本城市在研究时限内尚未表现出碳排放方面的“倒U型”环境库兹涅茨曲线效应,这进一步证实中国城市的经济发展与碳排放尚未脱钩,需要处理好发展与减排的关系。

(二) 面向碳中和愿景的城市形态调控建议

在碳中和愿景下,城市的碳排放控制“主阵地”作用将进一步凸显。城市空间形态布局因与城市的生产结构、交通结构、建筑结构、居民生活方式等紧密相关,其一旦成型和稳定,将会对城市未来的碳排放产生锁定效应,影响碳中和愿景的实现效率和实现成本。根据本文研究结论,面向碳中和愿景的中国未来城市形态调控路径建议,主要包括以下四大方面。

第一,将碳排放控制指标纳入城市空间规划体系。城市空间规划是城市形态形成的前提和基础,未来的城市空间规划必须将碳排放控制指标纳入决策体系和可行性研究报告中,定期评价其碳排放影响。注重在大型城市基础设施新建项目、旧城改造等城市更新项目以及新开发区和工业园区建设项目规划中进行碳排放评价。

第二,结合城市功能优化调整城市布局紧凑度。根据城市发展阶段,结合城市功能与资源配置状况,通过建设适宜的城市住宅密度、TOD交通系统模式、较优的土地利用混合度、合适的职住平衡体系等,优化城市布局紧凑度,并强化各城市功能板块之间的地理连通性、功能衔接性和开发耦合度。

第三,择机实现城市由“单中心”向“多中心”发展模式的转变。根据人口密度和城镇化进程选择城市发展模式,在城市化的早中期阶段可保持“单中心”发展模式,但应适时向“多中心”模式转变。待城镇化处于高水平阶段时应形成适合城市整体布局的“多中心”发展模式,并优化城市中心内部的功能组合以及畅通城市不同中心之间的联络交流。

第四,推进数字化和智能化技术与城市形态的深度融合。充分利用新型城镇化背景下数字化、智能化技术快速发展的机遇,通过耦合集成业态分布、城市热岛、碳源碳汇、职业分布、居住习惯、消费方式等城市多源大数据信息,自动采集、识别、决策和预测城市微小功能板块的集聚与分散趋势,最大程度地优化和管控城市破碎度带来的碳排放影响。

本文的研究结论是初步的,且主要分析了全国289个地级市2015年的城市形态与碳排放之间的影响效应,研究时间和范围有限。随着中国新型城镇化的快速发展,二者之间的作用方向以及影响程度在时空维度是否会发生变化,是下一步亟需关注的重点问题。

参考文献:

- [1]IEA. World Energy Outlook 2012[Z].Paris:IEA,2012:107-299.
- [2]World Bank Group.Cities and climate change:an urgent agenda[R].Washington D.C.:World Bank, 2010..
- [3]Lindseth, Gard.The Cities for Climate Protection Campaign(CCPC)and The Framing of Local Climate Policy[J].Local Environment, 2004(4):325-336.
- [4]余倩楠,贾文晓,潘晨,等.长三角地区城市形态对区域碳排放影响的时空分异研究[J].中国人口·资源与环境,

2015(11):44-51.

[5]杨文越, 曹小曙. 多尺度交通出行碳排放影响因素研究进展[J]. 地理科学进展, 2019(11):1814-1828.

[6]Liu X, Wang M, Qiang W, et al.Urban form, shrinking cities, and residential carbon emissions:Evidence from Chinese city-regions[J].Applied Energy, 2020(261):1-12.

[7]乔文怡, 李玟, 管卫华, 等. 2016—2050 年中国城镇化水平预测[J]. 经济地理, 2018(2):51-58.

[8]田建国, 王玉海. 中国人口城镇化滞后对碳排放的影响[J]. 环境经济研究, 2019(1):8-21.

[9]桂华. 论新型城镇化与乡村振兴战略的衔接[J]. 贵州社会科学, 2020(9):155-161.

[10]Fouad Khan.Laszlo Pinter, et al.Scaling indicator and planning plane:An indicator and a visual tool for exploring the relationship between urban form, energy efficiency and carbon emissions[J].Ecological indicators, 2016(67):183-192.

[11]Crawford T W.Urban Form as a Technological Driver of Carbon Dioxide Emission:A Structural Human Ecology Analysis of On road and Residential Sectors in the Conterminous U.S. [J].Sustainability, 2020(12):1-20.

[12]Xia C, Xiang M, Fang K, et al.Spatial-temporal distribution of carbon emissions by daily travel and its response to urban form:A case study of Hangzhou, China[J].Journal of Cleaner Production,2020(257):1-11.

[13]Wang S, Liu X, Zhou C, et al.Examining the impacts of socioeconomic factors, urban form, and transportation networks on CO₂emissions in China' s megacities[J].Applied Energy,2017(185):189-200.

[14]Li S, Zhou C, Wang S, et al.Dose urban landscape pattern affect CO₂emission efficiency? Empirical evidence from megacities in China[J].Journal of Cleaner Production,2018(203):164-178.

[15]Wang S, Wang J, Fang C, et al.Estimating the impacts of urban form on CO₂emission efficiency in the Pearl River Delta, China[J].Cities,2018(85):117-129.

[16]Ou J, Liu X, Wang S, et al.Investigating the differentiated impacts of socioeconomic factors and urban forms on CO₂emissions:Empirical evidence from Chinese cities of different developmental levels[J].Journal of Cleaner Production, 2019(226):601-614.

[17]舒心, 夏楚瑜, 李艳, 等. 长三角城市群碳排放与城市用地增长及形态的关系[J]. 生态学报, 2018(17):6302-6313.

[18]Sha W, Chen Y, Wu J, et al.Will polycentric cities cause more CO₂emissions? A case study of 232 Chinese cities[J].Journal of Environmental Sciences,2020(10):33-43.

[19]龙瀛, 毛其智, 杨东峰, 等. 城市形态、交通能耗和环境影响集成的多智能体模型[J]. 地理学报, 2011(8):1033-1044.

-
- [20]杨艳芳, 李慧凤, 郑海霞. 北京市建筑碳排放影响因素研究[J]. 生态经济, 2016(1):72-75.
- [21]Ma J, Zhou S, Mitchell G, et al.CO₂emission from passenger travel in Guangzhou, China:A small area simulation[J]. Applied Geography, 2018(98):121-132.
- [22]He D, Liu H, He K, et al.Energy use of, and CO₂emissions from China's urban passenger transportation sector - Carbon mitigation scenarios upon the transportation mode choices[J].Transportation Research Part A, 2013(53):53-67.
- [23]秦波, 戚斌. 城市形态对家庭建筑碳排放的影响——以北京为例[J]. 国际城市规划, 2013(2):42-46.
- [24]Ma J, Liu Z, Chai Y.The impact of urban form on CO₂emission from work and non-work trips:The case of Beijing, China-ScienceDirect[J].Habitat International, 2015(47):1-10.
- [25]刘修岩, 王利敏, 朱淑文. 城市蔓延提高了家庭的居住碳排放水平吗? ——来自中国南方城市面板数据的证据[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2016(5):101-108.
- [26]郑金铃. 城市、城市群与居民碳排放——基于紧凑空间形态的研究[J]. 经济与管理, 2016(1):89-96.
- [27]郭杰, 丁冠乔, 刘晓曼, 等. 城镇景观格局对区域碳排放影响及其差别化管控研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(10):55-61.
- [28]Jia Y, Tang L, Xu M, et al.Landscape pattern indices for evaluating urban spatial morphology - A case study of Chinese cities[J].Ecological Indicators, 2019(99):27-37.
- [29]黄梦琪, 金钟范. 城市规模如何影响流动人口居留意愿——基于全国流动人口动态监测数据的经验研究[J]. 山西财经大学学报, 2021(7):17-29.
- [30]Li F, Zhou T.Effects of urban form on air quality in China:An analysis based on the spatial autoregressive model[J].Cities, 2019(89):130-140.
- [31]谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报, 2008(10):5020-5026.
- [32]夏铎, 王腾飞, 张京生, 等. 城市景观格局动态及空间自相关研究——以郑州白沙组团为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021(9):131-141.
- [33]范晨璟, 田莉, 申世广, 等. 1990-2015年间苏锡常都市圈城镇与绿色生态空间景观格局演变分析[J]. 现代城市研究, 2018(11):13-19.
- [34]Lee S, Lee B.The influence of urban form on GHG emissions in the U.S.household sector[J].Energy Policy, 2014(68):534-549.
- [35]Song C, Wu L, Xie Y, et al.Air pollution in China:Status and spatiotemporal variations[J].Environmental

pollution, 2017 (227) :334-347.

[36]支林蛟,王锦,刘敏,等.滇中城市群绿色空间格局动态变化多尺度研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2021(5):88-97.

[37]Fang C, Wang S, Li G.Changing urban forms and carbon dioxide emissions in China:A case study of 30 provincial capital cities[J].Applied Energy,2015(158):519-531.

[38]Tao Y, Zhang Z, Ou W, et al.How does urban form influence PM2.5 concentrations:Insights from 350 differentsized cities in the rapidly urbanizing Yangtze River Delta region of China, 1998-2015[J].Cities,2020(98):1082-1097.

[39]张腾飞,杨俊,盛鹏飞.城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J].中国人口·资源与环境,2016(2):47-57.

[40]Wang S, Fang C, Wang Y, et al.Quantifying the relationship between urban development intensity and carbon dioxide emissions using a panel data analysis[J].Ecological Indicators,2015(49):121-131.

[41]Yeh G O, Li X.A Constrained CA Model for the Simulation and Planning of Sustainable Urban Forms by Using GIS[J].Environment and Planning B:Planning and Design,2001(28):733-753.

[42]Ou J, Liu X, Li X, et al.Quantifying the relationship between urban forms and carbon emissions using panel data analysis[J].Landscape Ecology,2013(28):1889-1907.

[43]Lee C.Impacts of urban form on air quality in metropolitan areas in the United States[J].Computers, Environment and Urban Systems,2019(77):1-9.

[44]Wang S, Wang J, Fang C, et al.Estimating the impacts of urban form on CO2emission efficiency in the Pearl River Delta, China[J].Cities,2019(85):117-129.

[45]秦波,邵然.低碳城市与空间结构优化:理念、实证和实践[J].国际城市规划,2011(3):72-77.

[46]毛文峰,陆军.蔓延的城市空间形态影响城市创新质量吗——来自中国地级市层面的经验证据[J].现代经济探讨,2020(4):94-100.

[47]李建豹,黄贤金,孙树臣,等.长三角地区城市土地与能源消费 CO2 排放的时空耦合分析[J].地理研究,2019(9):2188-2201.

[48]Cai B, Cui C, Zhang D, et al.China city-level greenhouse gas emissions inventory in 2015 and uncertainty analysis[J].Applied Energy,2019(253):1-17.

[49]Song W, Zhang X, An K, et al.Quantifying the spillover elasticities of urban built environment configurations on the adjacent traffic CO2emissions in mainland China[J].Applied Energy,2021(283):1-10.