

# 城市碳中和的多维影响因素研究进展与理论框架 ——基于经济、技术、政策与社会视角的文献综述

王伟 沈佳欣

北京建筑大学城市经济与管理学院, 中国·北京 100044

**摘要:** 城市是全球能源消费和碳排放的主要承担者, 其碳中和进程受经济、技术、制度和社会等多方面的影响。本文对相关文献进行了系统的整理, 从经济规模和产业结构、技术创新和碳计量方法、政策评估和规划引导、公众参与和空间格局四个方面归纳了各个因素的作用方向和作用机制。其研究表明, 经济规模扩大仍然是造成碳排放增长的主要正向驱动因素, 与此同时产业结构升级和绿色技术进步已经开始产生显著的抑制效应; 政策制度和空间规划为碳减排提供框架性保障; 居民行为和城市空间形态通过微观行为调节和生态增汇产生间接影响。

**关键词:** 城市碳中和; 影响因素; 经济发展; 低碳技术创新; 政策评估; 综述

## Research Progress and Theoretical Framework of Multidimensional Influencing Factors for Urban Carbon Neutrality: A Literature Review from Economic, Technological, Policy, and Social Perspectives

Wang Wei, Shen Jiaxin

School of Urban Economics and Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, China Beijing 100044

**Abstract:** As the primary contributors to global energy consumption and carbon emissions, cities are subject to a complex interplay of economic, technological, institutional, and social factors in their carbon neutrality pathways. This paper provides a literature review of the relevant literature, synthesizing the influencing factors from four dimensions: economic scale and industrial structure, technological innovation and carbon accounting methods, policy evaluation and planning guidance, and public participation and spatial patterns. The findings indicate that while economic expansion remains the main positive driver of carbon emissions, industrial upgrading and green technological progress have begun to exert significant inhibiting effects. Policy institutions and spatial planning offer a framework for emission reduction, whereas residential behavior and urban morphology indirectly influence the process through micro-level behavioral adjustments and ecological carbon-sink enhancement.

**Keywords:** Urban carbon neutrality; Influencing factors; Economic development; Low-carbon technology innovation; Policy evaluation; Literature review

## 0 引言

全球气候变化已经成了人类社会所面临的重大挑战。2020 年 9 月, 中国在第 75 届联合国大会上正式提出“2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和”的目标。就城市而言, 它是能源消耗和碳排放的主要来源, 它消耗了全球 67%~76% 的最终能源, 贡献了全球化石燃料燃烧相关 CO<sub>2</sub> 排放量的 71%~75%<sup>[1]</sup>。因此以城市为主体推进碳中和目标的实现, 具有深刻的实践意义。科学识别并系统解析影响城市碳中和的多维因素, 是制定差异化减排路径、优化政策组合、引导技术创新和空间治理的前提。只有深

入理解经济、技术、制度和行为等要素的交互机理, 才能有效破解城市碳排放的锁定效应, 把碳中和目标由宏观愿景变为可操作、可评估的实践方案。

在学术领域, 已涌现大量关于城市碳中和影响因素的相关研究。石铁矛等通过耦合协调模型与回归分析的组合方法, 定量识别了影响人工-自然碳汇协同固碳效能的关键空间因子, 并系统揭示了城市复合碳汇空间固碳效应的空间分异驱动机制<sup>[2]</sup>。翁异静从转型主体切入, 构建城市绿色转型要素体系, 经相关性筛选出 17 项关键要素, 并借助 DEMATEL-ISM 剖析其层级作用关系, 提出绿色生

活能力是根源性驱动,产业结构、资源节控与需求潜力构成底层基础保障的结论<sup>[3]</sup>。熊圳双通过泰尔系数刻画 2022 年中国 296 个地级市的净碳汇空间分布特征,发现 GDP 与人口规模呈负向抑制,技术进步呈正向促进且东南沿海更强;建成区扩张与零散开发有抑制效应,而形状复杂度则促进且东部更显著;生态空间上,斑块规模扩大、景观边界稳定及适度破碎性共同构成净碳汇的核心保障<sup>[4]</sup>。但仍存在以下两方面不足:一方面,现有研究多聚焦于单一城市或城市群的静态分析,缺乏跨区域、跨阶段的动态比较;另一方面,微观层面(居民低碳行为与城市空间形态)的定量研究仍较薄弱,数据获取与建模方法受限。

基于上述分析,本文提出以下研究问题:不同发展阶段和区域类型的城市在碳中和影响因素上是否存在显著差异,其动态演化特征如何?居民低碳行为与城市空间格局通过哪些微观调节和生态增汇途径影响碳中和目标,其量化关系与政策启示是什么?

## 1 核心概念与理论基础

城市碳中和是指城市行政区域内,人类活动产生的二氧化碳排放量通过碳汇和负排放技术实现净零平衡的状态,其内涵包括能源、产业、建筑、交通、土地利用等各个领域。多维影响因素是作用于城市碳排放与碳汇动态平衡过程的各种变量,按照其属性可以分为社会经济、技术条件、制度环境、空间行为等几类。在理论支撑上,环境库兹涅茨曲线假说为认识经济发展和碳排放之间存在的阶段性联系给予分析切入点,脱钩理论则进一步说明了经济增长与碳排放“同步增长-相对脱钩-绝对脱钩”的发展规律。城市代谢理论把城市当作一个物质和能量流动的系统,给从全过程角度认识碳排放关键节点提供系统论的基础。创新扩散理论可以解释低碳技术在城市中被采用和传播的机制,制度经济学理论则给政策工具的设计和评价提供学理依据。上述理论分别支撑了本文经济、技术、政策和社会四个维度的评估,使后续文献梳理有理论之基,避免陷入零散的经验总结。

## 2 不同因素对城市碳中和的影响

城市碳中和进程不是由一个变量决定的,而是经济规模、技术路径、制度设计、空间行为等众多力量相互作用的结果。不同的因素在影响方向、作用强度、时空尺度上各有特点,并且相互之间经常存在增强或者制约的耦合关系。为了全面认识它的内在逻辑,本文从经济因素、技术因素、政策因素和社会因素四个方面进行分层梳理。经济因素是碳排放的驱动力,技术因素是减排的杠杆,政策因

素是制度框架和行动指引,社会因素是居民行为和空间格局的微观调节和生态增汇,四个因素共同构成了理解城市碳中和多维影响机制的整体框架(图 1)。

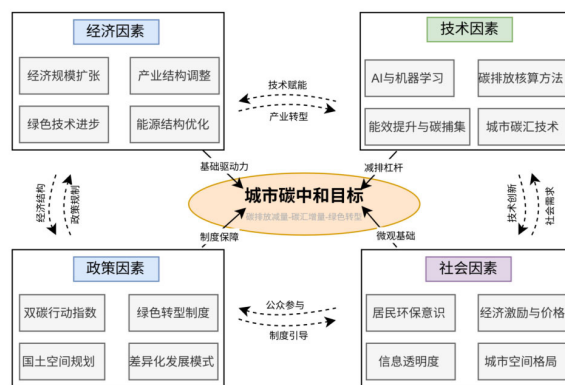


图1 城市碳中和多维影响因素交互分析框架

### 2.1 经济因素

经济发展与碳排放之间的关系是城市碳中和研究的主要问题。大量研究表明,经济规模的扩大是导致城市碳排放增加的主要正向因素。章睿等用 LMDI 和 Kaya 恒等式对上海市碳排放驱动力进行分析,得出经济规模扩张和人口增长是造成城市碳排放增长的正向因素<sup>[5]</sup>,经济增长贡献最大,该研究认为在基准情景下,碳排放将一直高位运行,只有依靠深度脱碳和电气化转型,才能描绘出理想的低碳转型路径。

在产业结构层面,学者们普遍认为产业结构优化升级对碳排放具有显著的抑制效应。王盛等以苏州市规模以上工业为研究对象,在经典 Kaya 恒等式基础上引入产业结构、能源消费结构及外来电比例等因素,发现产业结构调整对工业碳排放的抑制作用日益显现<sup>[6]</sup>。周会祥基于我国超大型城市 2007—2020 年面板数据,采用 STIRPAT 模型研究发现,产业结构变动对超大型城市碳排放具有显著负向影响<sup>[7]</sup>。

从城市经济与碳中和的协同演进角度看,李曼琪和陈少强采用弹性系数法考察了 2000—2020 年中国城市经济发展与碳中和的时空演化进程,发现自 2010 年以来,越来越多的城市逐步实现经济与碳中和协同发展,空间上呈现由东部和中部地区向西部地区推进的趋势<sup>[8]</sup>。然部分老工业基地和资源型城市开始缺乏经济增长动力,面临趋近或背离碳中和的困境,需要采取差异化、多元化的碳中和路径。

就绿色发展效率而言,何宇等把碳中和量当作非期望产出,用 SBM 模型和 Global Malmquist-Luenberger 指数来测算 2004—2017 年中国 276 个地级市的绿色发展效率,发现传统 GTFP 核算框架对于城市碳排放总量的高估<sup>[9]</sup>,而

绿色技术进步又是提高中国城市绿色全要素生产率的主要因素。该发现表明经济增长质量同碳减排之间存在着协同的可能。

建筑业属于城市碳排放的主要部分,其经济影响较大。俞雅乖等根据四大国家级城市群面板数据得出结论,认为建筑业经济水平会促进能源碳排放<sup>[10]</sup>,但是能源结构会抑制能源碳排放,说明在经济发展过程中优化能源结构是实现建筑业减排的关键。

## 2.2 技术因素

技术创新对于城市碳中和起着越来越重要的作用,它的影响可以分为两个方面,即碳计量方法的改进和减排路径的拓展。从碳计量和分析方法上讲,人工智能技术的运用已经改变了城市碳达峰、碳中和的规划范式。潘浩之等就城市碳排放研究中空间非线性、城市异质性、数据可得性这三个问题提出用机器学习、土地利用和空间形态演化模拟、系统集成和“自下而上”碳排放计量等方法支撑空间规划<sup>[11]</sup>。通过芝加哥和斯德哥尔摩的实践案例,该研究展示了整合城市扩张异质性分析、土地利用预测和分门类精细空间碳计量的空间人工智能模型,对于城市碳排放的测算精准度有着很大帮助。

在交通领域,陆化普和冯海霞认为中国交通碳排放有三个特点,即占比大、增速快、达峰慢,交通运输领域碳排放年均增速保持在 5% 以上,公路运输占交通领域碳排放总量的 86.76%<sup>[12]</sup>。该研究认为,碳减排路径上需要重视碳排放计算方法标准统一、交通能源结构优化、运输方式调整这三个方面。

就建筑和城市供热领域,魏存等人建立起包含供应侧和使用侧的城市供热全场景碳排放预测模型,并以黑龙江省为例做情景分析,发现电网结构、供热结构、建筑节能改造等对于供热碳排放的影响机制<sup>[13]</sup>。通过此研究可以发现,技术进步带来的能效提高是抑制碳排放增长的关键途径之一。

在城市碳汇技术层面,李和平等运用 BP 神经网络模型对成渝双城地区景观格局的碳汇效应进行定量分析,发现碳汇用地的景观形态、构成和分布对植被固碳有显著影响<sup>[14]</sup>。景观形状指数与植被固碳呈正相关,林地和草地的景观类型比例与植被固碳呈正相关。这一研究为城市景观规划的碳汇导向优化提供了技术支撑。嵇雨桐等则运用网状 Meta 分析方法,系统评估了 34 个城市公园绿地碳汇能力影响因素,将影响因素划分为设计形态、生境组成、种植方式、管护形式和外部环境五大聚类,发现设计形态和

管护形式对提升碳汇能力的效果最为稳定<sup>[15]</sup>。

## 2.3 政策因素

政策制度是引导和驱动城市碳中和的重要保障变量,政策制度为社会方面提供了规范,通过对社会日常准则的调整,从此角度规范居民碳排放的行为。现有研究从政策评估、制度设计和规划引导等角度探讨了政策因素的作用机制。

在政策评估方面,张保留等使用考虑决策者偏好的层次分析法,创建出包含 3 个准则层、7 个要素层、14 个具体指标的城市碳达峰碳中和行动指数评价体系<sup>[16]</sup>。对中心城市的评估表明,一线经济发达和低碳试点城市的碳达峰中和综合表现更优,北京、深圳、武汉、上海、青岛等城市得分靠前,但是大部分城市仍然存在着达峰意愿不强、统计信息披露制度缺失等状况,所以城市的政策评估需要进一步进行规范,同时需让各城市进一步了解碳达峰的重要性。

就城市绿色转型的制度设计而言,翁异静等人用 DEMATEL-ISM-MICMAC 方法创建出碳中和目标下城市绿色转型的四层三阶多级递阶结构模型<sup>[3]</sup>,找出 17 个主要因素,认为绿色生活能力为根源性因素,产业结构分布、资源消耗节控、绿色需求潜力为基本保障因素,绿色技术创新、环境规制力度、环境治理效果为关键推动力量,绿色资源配置及基础设施建设为重要基础。从战略和发展路径上来说,周会祥比较研究了我国超大型城市碳达峰碳中和发展模式,总结出综合低碳、低碳生产、低碳科技、低碳生活四种模式,北京、深圳属于综合低碳模式,其他城市则侧重于单一维度的低碳发展<sup>[7]</sup>。由此可知,不同的城市要按照自身的禀赋来选择差异化的政策组合,这样可以让政策制定者在实现碳中和目标的过程中做出更准确的决策。

在城市空间规划的政策引导方面,刘亚丽等以重庆市为例,构建了涵盖空间绩效提升、产业创新发展、能源优化利用和生态环境管控四大领域的绿色指标体系<sup>[17]</sup>。该指标体系锚固了生态、环境、开发、保护、创新、绿色、低碳、循环、交通、市政十个维度,旨在将碳中和目标落实到国土空间规划的编制与实施管理之中。石铁矛等则从城市复合碳汇空间视角出发,运用熵权-TOPSIS 模型和耦合协调模型,揭示了城市空间固碳效能的空间影响机制,提出了增汇目标下的多尺度空间优化方法<sup>[2]</sup>。

## 2.4 社会因素

城市居民在日常生活中的低碳行为选择,涉及通勤方

式、住宅能耗、废弃物处理及消费偏好等行为,其不仅决定居民部门的碳排放水平,还会通过市场需求信号间接推动技术端的能力升级和结构优化,从而整体提升城市碳中和的实现进程。

朱玉姣等根据知识图谱分析发现,城市居民低碳行为研究的主要问题集中在基础理论、行为意愿理论和行为主体三个方面,低碳政策对研究有很强的引导和推动作用<sup>[18]</sup>。岳艺敏把公众参与机制当作城市公共交通低碳发展路径分析的框架<sup>[19]</sup>,表明公众在低碳交通转型中起着主体的作用。从居民支付意愿和参与行为的角度出发,相关实证研究显示了居民环保意识、经济激励、信息透明度对低碳消费行为的影响。

根据计划行为理论(TPB)的研究可知,低碳消费行为为态度、主观规范和感知行为控制共同影响着居民的低碳消费行为意愿<sup>[20]</sup>;而根据价值-信念-规范理论(VBN)的研究则进一步说明了环境价值观不但直接作用于居民的选择意愿,而且通过环境态度等中介路径产生间接影响<sup>[21]</sup>。上述研究共同表明,居民层面的行为改变是碳中和行动体系中不可或缺的微观基础。

城市空间格局对碳中和的影响由碳源和碳汇两个渠道共同发挥作用。在碳源端,城市扩张形态直接决定碳排放水平。杜海波等用地理探测器对长三角碳源/碳汇时空特征进行了分析,认为城市扩张、经济产业集聚、人口高密度分布、紧凑的城市形态是造成碳排放与碳汇差距扩大的主要因素<sup>[22]</sup>,生态空间的增加可以有效地降低碳排放。在碳汇端,熊圳双等利用地理加权回归模型识别出中国296个地级市净碳汇的社会经济和空间影响因素<sup>[4]</sup>,发现城市净碳汇呈现“西高东低”的空间格局,GDP和人口规模对净碳汇形成产生抑制效应,说明技术进步具有促进作用。

### 3 结论与展望

#### 3.1 主要研究结论

通过对以上文献的梳理可以得出如下结论:

第一,经济规模扩张是碳排放增长的主要驱动力,但是产业结构优化和绿色技术进步可以有效地抑制这种效应。不同类型城市经济和碳中和协同演进路径存在明显的异质性,老工业基地、资源型城市所承受的转型压力更大。

第二,技术创新给城市碳中和赋予了重要的支撑,人工智能在碳排放计量、空间规划等各个领域都有巨大的发展潜力,BP神经网络等机器学习方法在碳汇效应分析中的应用越来越成熟。

第三,政策制度通过构建评估体系、设计绿色转型制

度、引导空间规划等途径发挥作用,决策者偏好以及制度框架设计都会对碳中和工作的成效造成影响。

#### 3.2 研究展望

目前的研究在方法创新和实证深度方面已经取得了一定的成果,但是还有以下几个可以深化的方向,即多维度因素的交互机制研究还比较少,经济发展、技术创新和政策制度之间的协同效应还没有得到充分的揭示;现有的研究大多只对某个城市或者城市群进行静态的分析,缺少跨区域、跨阶段的动态比较研究;居民行为层面的微观数据获取和定量建模仍然很薄弱,行为经济学视角的分析亟需加强;伴随着数据可得性的提高,大语言模型和多源遥感数据融合在碳排放预测和情景分析中的应用将会成为未来研究的一个新方向。

#### 参考文献:

- [1] 孙尧光. 中国50个城市2000-2015年二氧化碳排放特征研究[D]. 南京大学, 2019.
- [2] 石铁矛, 高杨, 王迪. 双碳目标下城市空间碳固存与增汇路径研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2024,40(2):193-202.
- [3] 翁异静, 杨月, 杜磊. 碳中和目标下城市绿色转型的要素解构与系统重建[J]. 生态经济, 2023,39(6):93-100.
- [4] 熊圳双, 李世杰, 刘庆芳等. 中国城市净碳汇的空间特征及影响因素[J]. 环境工程技术学报, 2026,16(1):54-66.
- [5] 章睿, 张波, 宋学行等. 基于LMDI与Kaya恒等式的上海市碳排放驱动力分析及预测[J/OL]. 环境工程学报, 1-14[2026-07-25]. <https://link.cnki.net/urlid/11.5591.X.20260321.1712.018>.
- [6] 王盛, 谈健, 马亚辉等. 多重不确定性下基于LMDI的城市工业碳排放量影响因素分析及预测:以苏州市为例[J]. 综合智慧能源, 2022,44(2):1-7.
- [7] 周会祥. 我国超大型城市碳达峰碳中和发展模式比较研究[J]. 北京联合大学学报(人文社会科学版), 2023,21(2):114-124.DOI:10.16255/j.cnki.11-5117c.2023.0024.
- [8] 李曼琪, 陈少强. 中国城市经济发展与碳中和协同演进研究[J]. 城市与环境研究, 2022(4):94-110.
- [9] 何宇, 田杰鑫, 陈珍珍. 碳中和背景下中国城市绿色发展效率研究[J]. 生态经济, 2022,38(7):92-98.
- [10] 俞雅乖, 沈盼熠, 李瑜婷. 国家级城市群建筑业碳排放量及其分解效应的空间分异[J]. 新疆财经, 2022(4):19-28.DOI:10.16716/j.cnki.65-1030/f.2022.04.002.
- [11] 潘浩之, 施睿, 杨天人. 人工智能在城市碳达峰、

碳中和规划与治理中的应用[J]. 国际城市规划, 2022,37(6): 26-34.DOI:10.19830/j.upi.2022.422.

[12] 陆化普, 冯海霞. 交通领域实现碳中和的分析与思考[J]. 可持续发展经济导刊, 2022(Z1):63-67.

[13] 魏存, 李若冰, 王健等. 碳中和背景下城市供热碳排放预测与分析[J]. 建筑科学, 2023,39(12):10-19+60. DOI:10.13614/j.cnki.11-1962/tu.2023.12.02.

[14] 李和平, 谢鑫, 李聪聪. 成渝双城地区景观格局的碳汇效应与优化建议——基于 BP 神经网络的分析和预测[J]. 城市发展研究, 2023,30(1):92-102.

[15] 嵇雨桐, 林添怿, 刘恋等. 城市公园绿地碳汇能力影响因素的网状荟萃 (Meta) 分析[J]. 风景园林, 2025, 32(1):23-31.

[16] 张保留, 白梓函, 张楠等. 城市碳达峰碳中和行动评估方法与应用[J]. 环境科学, 2023,44(7):3649-3659. DOI:10.13227/j.hjks.202208091.

[17] 刘亚丽, 曹春霞, 张臻等. 山地城市国土空间碳排放格局与绿色指标体系构建研究——以重庆市为例[J]. 城乡规划, 2024(3):43-52.

[18] 朱玉姣, 宋佳佳. 城市居民低碳行为研究知识图谱分析[J]. 黑龙江科学, 2023,14(1):1-6.

[19] 岳艺敏, 但家丽, 李想等. 公众参与视角下城市公共交通低碳发展路径研究[J]. 大众标准化, 2022(1):103-105.

[20] 谭可欣, 陈伟鹏, 潘雁钦. 碳中和背景下居民低碳消费行为影响因素研究——以广深莞佛四市居民为例[J]. 科技创新与生产力, 2023,44(11):53-56.

[21] 贾亚娟, 范子珩, 张新奇. 环境价值观对居民绿色低碳生活方式选择意愿的影响——基于环境态度的中介作用[J]. 干旱区资源与环境, 2023,37(12):1-9.DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2023.273.

[22] 杜海波, 杨山, 李振亚等. 碳中和目标下长三角碳源 / 汇时空特征及其影响因素[J]. 环境科学, 2024, 45(12):6848-6857.DOI:10.13227/j.hjks.202312107.

作者简介: 王伟 (1996-), 男, 内蒙古集宁人, 北京建筑大学在读硕士研究生, 研究方向: 建筑环境影响评价与碳排放。