

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8131.2026.02.010

# 低碳城市建设对生态福利绩效的影响研究

张明斗, 李蒙

(东北财经大学 经济学院, 辽宁 大连 116025)

**摘要:** 低碳城市建设从减少生态消耗与增进综合福利两个方面协同发力, 推动城市发展模式的绿色转型, 进而提升城市生态福利绩效。利用低碳城市试点的准自然实验构建多期双重差分模型, 采用我国274个地级及以上城市2008—2022年的数据分析发现: 低碳城市试点显著提升了试点城市的生态福利绩效; 低碳城市建设主要通过驱动绿色技术创新、降低能源消耗强度、促进公共交通发展3条路径提升生态福利绩效; 低碳城市建设显著促进了“胡焕庸线”东南侧城市、非老工业基地城市、产业结构高级化水平较低城市的生态福利绩效, 而对“胡焕庸线”西北侧城市、老工业基地城市、产业结构高级化水平较高城市生态福利绩效的影响不显著; 低碳城市建设对生态福利绩效的改善具有显著的正向空间溢出效应, 表明低碳政策的辐射扩散效应促进了全域生态福利绩效的整体跃升。本文研究结论为纵深推进低碳城市建设、有效提升城市生态福利绩效提供了理论参考与实践依据。

**关键词:** 生态福利绩效; 低碳城市; 低碳政策; 绿色技术创新; 能源强度; 公共交通; 可持续发展

**中图分类号:** F062.2; F290 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8131(2026)02-0129-16

**引用格式:** 张明斗, 李蒙. 低碳城市建设对生态福利绩效的影响研究[J]. 西部论坛, 2026, 36(2): 129-144.

Zhang Mingdou, Li Meng. The impact of low-carbon city construction on ecological welfare performance[J]. West Forum, 2026, 36(2): 129-144.

## 一、引言

当前, 我国城镇化与工业化进程仍面临着资源环境约束与人民对美好生活向往的双重压力, 粗放型

\* 收稿日期: 2025-11-28; 修回日期: 2026-02-22

基金项目: 辽宁省社会科学规划基金重点建设学科项目(L24ZD029)

作者简介: 张明斗(1983), 男, 山东济宁人; 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事城市经济研究; E-mail: zhangmingdou0537@126.com。李蒙(2002), 男, 山东菏泽人; 硕士研究生, 主要从事产业经济研究; E-mail: 15562757285@163.com。

经济增长惯性引发的资源消耗与污染排放制约着生态环境质量与居民福祉的同步提升。为此,国家层面持续加强制度供给,将生态文明建设上升为国家治理体系的基础性制度安排。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确提出,“坚持绿水青山就是金山银山理念,坚持尊重自然、顺应自然、保护自然,坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主,实施可持续发展战略,完善生态文明领域统筹协调机制,构建生态文明体系,推动经济社会发展全面绿色转型,建设美丽中国。”因此,必须推动城市发展向“更低生态资源消耗、更高福利产出”转型,即不断提升城市生态福利绩效。作为衡量城市可持续发展的核心标尺,生态福利绩效是福利产出与生态资源消耗的实物量之比,其核心在于评估单位生态消耗所能带来的福利水平。相较于侧重资源节约与污染减排的传统绿色发展指标,生态福利绩效更加突出以人为本的导向,注重多维福利的提升,体现了在生态约束下以福利最大化为目标的发展逻辑,本质上揭示了自然生态要素转化为人类福祉的效率,是对生态友好型社会发展水平的深刻表征。

要有效提升城市生态福利绩效,须厘清影响生态福利绩效的各种因素。相关文献对此进行了多方面探讨,包括:人均 GDP 与生态福利绩效存在“U”型关系(Dietz et al., 2010)<sup>[1]</sup>;经济产出贡献率对生态福利绩效具有负向影响,而城市紧凑度与绿化水平则能够通过改善人居环境对生态福利绩效产生正向影响(龙亮军等,2017)<sup>[2]</sup>;城镇化和工业化会抑制生态福利绩效提升,而外商直接投资则会对生态福利绩效产生正向影响(方时姣等,2019)<sup>[3]</sup>;技术进步水平、绿化程度、社会性支出、医疗水平、城镇化水平与生态福利绩效正相关,而工业化和环境规制水平与生态福利绩效负相关(李成宇等,2019)<sup>[4]</sup>;环境污染治理水平和资源利用效率的提高能够增强生态可持续能力,进而促进生态福利绩效提升(董莹等,2024)<sup>[5]</sup>;空气质量生态补偿机制可通过优化要素配置、扩大绿色就业等路径提升生态福利绩效(Wang et al., 2025)<sup>[6]</sup>。总体来看,对于生态福利绩效影响因素的研究还有待拓展和深化,尤其是需要强化对相关战略和政策措施的影响研究,以提升战略有效性和政策针对性。

低碳城市建设作为一项促进城市高质量发展的重要战略举措,旨在通过推广应用低碳技术、节能技术与减排技术等降低城市发展对石化能源的依赖,提升资源利用效率,促进经济社会与生态环境的协调发展。低碳城市建设直接关系到生态福利绩效的核心构成,即在有限的生态资源消耗下实现更多元、更高水平的福利产出。因此,低碳城市试点为考察低碳城市建设对生态福利绩效的影响提供了很好的准自然实验场景。大量实证研究对低碳城市试点的政策效应进行了多维度分析:在环境改善效应方面,低碳城市试点能够通过减少企业排污、促进工业产业结构升级降低城市空气污染,并有效降低碳排放(宋弘等,2019;张华,2020)<sup>[7-8]</sup>。在经济发展效应方面,低碳城市试点不仅有助于吸引外商直接投资(龚梦琪等,2019)<sup>[9]</sup>,还能提高企业就业水平(王锋等,2022)<sup>[10]</sup>,提升企业全要素生产率和可持续发展能力(王贞洁等,2022)<sup>[11]</sup>,促进企业绿色技术创新(徐佳等,2020)<sup>[12]</sup>,引导低碳企业的进入与退出行为(唐哲等,2025)<sup>[13]</sup>,并提高城市居民绿色生活水平(曹翔等,2021)<sup>[14]</sup>。此外,国外的研究发现,低排放区建设能够减少交通污染物、改善空气质量(Sarmiento et al., 2023; Broster et al., 2025)<sup>[15-16]</sup>,不仅降低了可吸入颗粒物和细颗粒物浓度(Malina et al., 2015; Gehrsitz, 2017)<sup>[17-18]</sup>,还降低了心血管疾病、慢性下呼吸道疾病的发生率,产生人口健康效益(Pest el al., 2021; Margaryan, 2021)<sup>[19-20]</sup>,有助于整体公共健康水平提升(Host et al., 2020)<sup>[21]</sup>。

现有文献围绕生态福利绩效的影响因素及低碳城市建设的效应进行了深入探讨,但仍有待深化与拓展。一方面,将低碳政策与生态福利绩效二者置于同一框架下进行严谨因果识别的研究尚显不足,对于低碳城市建设是否促进了生态福利绩效提升还缺乏经验分析;另一方面,低碳城市建设如何促进生态

福利绩效提升的内在机制仍不清晰。有鉴于此,本文在已有研究的基础上,系统分析低碳城市建设对生态福利绩效的影响及其机制,并采用我国 274 个地级及以上城市 2008—2022 年的数据进行实证检验。本文的边际贡献包括:第一,从低碳政策的角度拓展了生态福利绩效的影响因素研究,并为低碳城市试点的生态福利绩效提升效应提供了经验证据,有助于深入认识城市可持续发展的有效路径。第二,从绿色技术创新、能源消耗强度、公共交通发展三个维度探究了低碳城市建设提升生态福利绩效的内在机制,为相关领域的理论和实证研究做了有益补充。第三,进一步考察了低碳城市建设影响生态福利绩效的空间溢出效应以及在地理区位、工业基础、产业结构上的异质性,为低碳政策的精准化设计与差异化实施提供了借鉴和启示。

## 二、理论分析与研究假说

提升生态福利绩效的核心在于以最小的生态资源投入获取最大化的福利产出,其本质是提高“生态投入—福利产出”的转化效率,低碳城市建设的目标与这一逻辑高度契合。低碳城市建设通过系统性的政策干预,从减少生态消耗与增进综合福利两个维度协同发力,推动发展模式的根本性转型,最终实现社会总福利的帕累托改进。在减少生态投入方面,低碳城市建设直接针对资源消耗与污染排放的源头,通过设定碳排放与污染物排放标准,推进落后产能淘汰,推广清洁生产技术及低碳化改造,迫使高能耗、高排放企业要么通过技术升级大幅降低单位产出的能源消耗与废弃物排放,要么退出市场,从而在宏观上显著降低经济发展的生态足迹与环境负荷,实现生态投入的集约化。在增进福利产出方面,低碳城市建设在重视污染防控的同时,致力于培育新的福利增长点。政府通过财政激励、产业政策引导与市场化机制加速高碳产业转型,并系统培育新能源、节能环保、循环经济等绿色产业集群;同时,将低碳理念深度融入城市经济社会发展,优先发展智能化、绿色化的公共交通体系;不仅直接创造了绿色就业与经济增长新动能,也通过改善空气质量、缓解交通拥堵、提升城市宜居性等,多维度提高福利产出的数量与质量。因此,低碳城市建设通过政府干预矫正生态环境领域的市场失灵,综合运用规制、经济与市场等多重政策工具,驱动绿色技术创新、优化产业结构,在降低单位福利产出生态成本的同时,开辟了绿色、高效的福利增长路径,从而在环境约束下实现发展效率与居民福祉的整体跃升。具体的影响机制如图 1 所示。

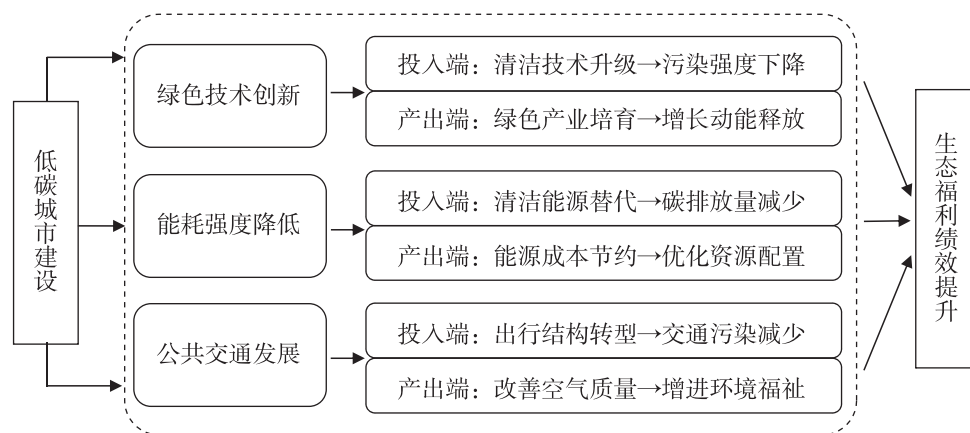


图 1 低碳城市建设影响生态福利绩效的机制

第一,驱动绿色技术创新机制。一方面,低碳城市建设的相关政策能够为企业的研发提供补贴、税收

优惠和知识产权保护等支持,降低了企业进行绿色技术创新的边际成本和风险,使企业有更多资源和动力加大对清洁能源技术、污染治理设备和资源循环利用工艺的研发投入,从而提高企业绿色技术创新水平(徐佳等,2020)<sup>[12]</sup>。同时,在政府主导的示范推广等经验输出机制和市场交易交流中的知识溢出机制作用下,企业的绿色技术得以快速扩散(肖涵月等,2022)<sup>[22]</sup>,不仅通过上下游产业链协同创新形成低碳经济与技术进步的正向循环,而且显著增强区域绿色技术创新能力和产业竞争力。另一方面,绿色技术创新能够提升城市生态福利绩效。从投入端来看,绿色技术创新会驱动高能耗产业绿色化转型,提高资源利用效率,切实缓解经济发展对生态环境产生的压力(孙国锋等,2025)<sup>[23]</sup>;绿色技术创新能够提高污染治理水平,显著减少污染物排放(曹增栋等,2026)<sup>[24]</sup>,降低生态负荷,改善环境质量。从产出端来看,绿色技术创新不仅通过降低环境治理成本节约了社会资源,还通过创造绿色产品、服务和产业催生了新的经济增长点与就业机会,提升了经济社会发展的质量与韧性。因此,低碳城市建设通过驱动绿色技术创新,在降低生态成本的同时拓展绿色高效的福利来源,进而提升城市生态福利绩效。

第二,降低能源消耗强度机制。一方面,低碳城市建设通过约束企业的碳排放,迫使企业加速能源消费结构转型,减少对传统石化能源的使用,从而降低单位产出的能耗与污染排放。低碳城市建设通过推进清洁技术的创新与应用,在提高能源与资源综合利用效率的同时,促进了产业链各环节间的低碳化协同。同时,低碳城市建设通过低碳发展规划与配套政策推动城市产业体系的低碳化转型,不仅有助于摆脱对传统高碳发展的路径依赖,更从结构、技术与管理等多维度促进经济社会的绿色化转型与协同发展,为实现可持续发展探索系统路径(邬彩霞,2021)<sup>[25]</sup>。另一方面,能源消耗强度的降低直接减少了石化能源消耗及伴生的温室气体与污染物排放(戴翔等,2022)<sup>[26]</sup>,能够缓解气候变化压力和生态系统的代谢负荷,并减少环境修复的物资投入和时间成本。当污染物排放减少到一定程度,生态系统自净能力将逐渐显现边际效益;随着环境正外部性的累积,污染物的持续减少将进一步提升生态系统的自净能力,增强生态系统的韧性储备与恢复能力,为生态福利绩效的持续提升提供有力支撑。因此,能源消耗强度的降低不仅会直接减少生态资源消耗,还能通过改善环境质量、节约治理成本、增强生态韧性等多重渠道,促进城市生态福利绩效提升。

第三,促进公共交通发展机制。城市公共交通兼具非竞争性与部分排他性,属于典型的准公共物品。一方面,低碳城市建设强调优先发展公共交通,通过改善公共交通设施建设和优先配置路权资源减轻交通拥堵和污染,缓解“公地悲剧”效应,优化公共资源配置效率。同时,政府制定相关政策,为公共交通发展提供保障,提升公共交通数字化水平,增强公共交通运行效率与服务便捷性,系统性推进公共交通体系的结构升级。另一方面,公共交通发展能够有效提升城市生态福利绩效。公共交通的发展能够吸引更多居民选择公共交通出行,降低私人机动车的使用频率,减少交通领域的化石能源消耗及温室气体与污染物排放,从而改善城市空气质量,提升生态系统服务价值(孙传旺等,2019)<sup>[27]</sup>。空气质量改善与噪声降低等环境正外部性使居民在绿色出行中切实享受到环境福祉。同时,公共交通的发展还能优化交通结构,提升道路资源利用率,缓解城市交通拥堵,降低出行成本,提高通勤效率,促进资源的集约利用(杨浩雄等,2014)<sup>[28]</sup>。因此,低碳城市建设通过发展公共交通,在减少交通系统生态消耗的同时显著增进居民的环境、经济与社会福利,从而促进城市生态福利绩效提升。

基于上述分析,本文提出以下假说:

H1:低碳城市建设显著提升了生态福利绩效。

H2:低碳城市建设能够通过驱动绿色技术创新、降低能源消耗强度、促进公共交通发展3条路径提升生态福利绩效。

### 三、实证研究设计

#### 1. 基准模型设定

本文将分批次推进的低碳城市试点视为一项准自然实验,运用多期双重差分模型识别低碳城市建设对城市生态福利绩效的影响。构建基准模型如式(1)所示:

$$ewp_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 did_{it} + \gamma Control_{it} + \lambda_i + \theta_t + \delta_{it} \quad (1)$$

其中,下标  $i$  和  $t$  分别代表城市和年份,被解释变量  $ewp_{it}$  为  $i$  城市在  $t$  年的生态福利绩效水平,核心解释变量  $did_{it}$  为低碳城市试点政策变量(入选国家低碳省区和低碳城市试点名单当年及以后年份取值为 1,否则取值为 0)<sup>①</sup>;  $Control_{it}$  为一系列影响城市生态福利绩效的控制变量; $\lambda_i$  和  $\theta_t$  分别代表城市固定效应和时间固定效应, $\delta_{it}$  为随机误差项。

(1)城市生态福利绩效的测度方法。早期研究常采用人类福利指标与生态消耗指标的比值来表征生态绩效(Moran et al., 2008)<sup>[29]</sup>,随着研究深入,数据包络分析(DEA)和随机前沿分析(SFA)等成为效率分析的常用方法。DEA 因其无需预设函数形式且能处理多产出问题而被广泛采用,并衍生出 Super-SBM、Super-EBM、广义 DEA 等多种模型。生态福利绩效是福利产出与生态资源消耗的实物量之比,需基于“投入-产出”框架来刻画,因此,通过构建综合指标体系进行 DEA 分析较为科学合理。本文借鉴肖黎明和张仙鹏(2019)<sup>[30]</sup>、龙亮军等(2017)<sup>[2]</sup>的做法,构建城市生态福利绩效评价指标体系如表 1 所示。考虑到传统 DEA 模型在处理松弛变量与非期望产出方面存在局限,本文采用超效率 SBM 模型来测度样本城市的生态福利绩效。该模型将松弛变量直接纳入目标函数,既能有效衡量投入与产出的实际改进空间,又能确保包含非期望产出时的测算精度,在相关效率评估研究中已得到广泛验证与应用,具有良好的可信度(盖美等,2019)<sup>[31]</sup>。具体计算过程可参考相关文献(方时姣等,2019)<sup>[3]</sup>。

表 1 城市生态福利绩效评价指标体系

类别	一级指标	二级指标	指标定义
投入指标	资源消耗	水资源消耗	人均用水量(t/人)
		土地资源消耗	人均城市建设用地面积(m <sup>2</sup> /人)
		能源消耗	人均用电量(kW·h/人)
		基础设施建设投资水平	人均市政公用设施建设固定资产投资额(万元/人)
期望产出	福利水平	环境治理设施投入水平	建成区每平方公里市容环卫专用车辆(台/km <sup>2</sup> )
		生态空间绿化水平	建成区绿地率(%)
		气候调节服务能力	温湿适宜程度(%)
		水资源生态保障水平	综合水质指数
非期望产出	环境污染	污水处理能力	污水处理厂集中处理率(%)
		生活垃圾环保化能力	生活垃圾无害化处理率(%)
		废水污染程度	人均工业废水排放量(t/人)
		废气污染程度	人均二氧化硫排放量(t/人)
		固体废物污染程度	人均城市生活垃圾清运量(t/人)

① 由于部分城市跨批次重复入选或所属省份已纳入上一批试点,参考宋弘等(2019)<sup>[8]</sup>的做法,对于重复试点城市以首次获批年份作为政策冲击时点,纳入试点名单的省份所辖所有城市均视为处理组。

(2)控制变量的选取。参考刘瑞明和赵仁杰(2015)<sup>[32]</sup>、周迪等(2019)<sup>[33]</sup>、白俊红等(2022)<sup>[34]</sup>以及黄寿峰和赵岩(2023)<sup>[35]</sup>的研究,选取以下控制变量:一是政府干预程度(*gov*),以政府财政一般支出与地区生产总值之比衡量;二是金融发展水平(*finance*),以年末金融机构存贷款余额与地区生产总值之比衡量;三是文化设施水平(*culture*),以每百人公共图书馆藏书量的自然对数值衡量;五是互联网普及率(*net*),以每百人互联网用户数衡量;六是人口规模(*pop*),以年末总人口的自然对数值衡量。

## 2. 机制检验模型

借鉴江艇(2022)<sup>[36]</sup>的做法,构建机制检验模型如式(2)所示:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 did_{it} + \gamma Control_{it} + \lambda_i + \theta_t + \delta_{it} \quad (2)$$

其中, $M_{it}$ 表示机制变量,其余变量含义与式(1)一致。根据前文理论分析,选取以下机制变量:第一,参考蒋金荷和黄珊(2024)<sup>[37]</sup>的做法,采用每万人绿色专利申请量(*greenapp*)和每万人绿色专利授权量(*greengrant*)衡量城市绿色技术创新水平,用以检验驱动绿色技术创新机制;第二,参考李豫新等(2023)<sup>[38]</sup>的做法,采用每万元GDP产出能耗衡量能源消耗强度(*ere*),用以检验降低能源消耗强度机制;第三,参考孙传旺等(2019)<sup>[27]</sup>的做法,采用每万人公共交通工具数衡量公共交通发展水平(*public*),用以检验促进公共交通发展机制。

## 3. 样本选择与数据处理

基于数据可得性和完整性,本文以我国274个地级及以上城市为研究样本,样本期间为2008—2022年。所用数据主要来自相应年度的《中国城市建设统计年鉴》《中国城市统计年鉴》以及城市统计公报、EPS数据库等,综合水质指数采用“蔚蓝水质指数”,数据来自“蔚蓝地图”网站(<http://www.ipe.org.cn/>),个别缺失值通过线性插值法补齐。主要变量的描述性统计结果如表2所示。

表2 主要变量描述性统计结果

变量类型	变量名称(符号)	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	生态福利绩效( <i>eup</i> )	4 110	0.463	0.364	0.019	1.538
核心解释变量	低碳城市试点( <i>did</i> )	4 110	0.293	0.455	0.000	1.000
控制变量	政府干预程度( <i>gov</i> )	4 110	0.184	0.084	0.068	0.497
	金融发展水平( <i>finance</i> )	4 110	2.425	1.134	0.923	6.610
	文化设施水平( <i>culture</i> )	4 110	3.680	0.868	1.792	6.297
	互联网普及率( <i>net</i> )	4 110	22.253	14.732	2.121	72.113
	人口规模( <i>pop</i> )	4 110	5.906	0.683	2.923	8.136
机制变量	绿色专利申请量( <i>greenapp</i> )	4 110	0.885	1.506	0.000	14.602
	绿色专利授权量( <i>greengrant</i> )	4 110	0.562	0.965	0.000	10.023
	能源消耗强度( <i>ere</i> )	4 110	0.867	0.536	0.044	4.572
	公共交通发展水平( <i>public</i> )	4 110	3.198	3.019	0.084	25.286

## 四、实证结果分析

### 1. 事前平行趋势分析与基准回归

只有事前平行趋势假设成立,即在政策冲击前处理组与控制组具备统计意义上的趋势一致性,双重

差分模型才能准确识别因果关系。本文借鉴 Deschênes 等 (2017)<sup>[39]</sup> 的做法,采用事件研究法分析低碳城市试点影响城市生态福利绩效的动态效应,以政策实施前一年为基期,检验结果见图 2。政策实施前各期的系数均未通过显著性检验,表明处理组与控制组之间不存在系统性差异,符合事前平行趋势假设的要求;而政策实施之后,系数估计值显著为正,表明低碳城市试点的政策效应显著。表 3 为逐个加入控制变量的基准回归结果,*did* 的回归系数均显著为正,表明低碳城市试点显著提升了试点城市的生态福利绩效,假说 H1 得证。

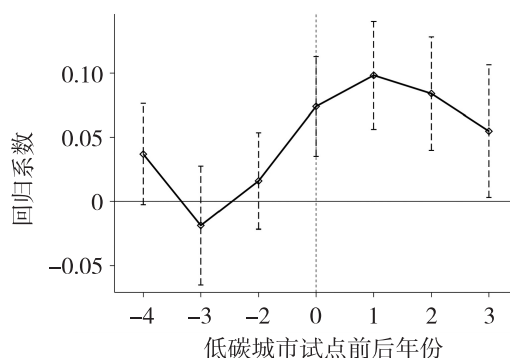


图 2 动态效应分析结果

表 3 基准回归结果

变量	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>
<i>did</i>	0.052** (0.025)	0.056** (0.025)	0.056** (0.025)	0.058** (0.024)	0.057** (0.024)	0.056** (0.024)
<i>gov</i>		0.407** (0.198)	0.215 (0.204)	0.201 (0.205)	0.171 (0.207)	0.187 (0.207)
<i>finance</i>			0.031*** (0.012)	0.029** (0.012)	0.028** (0.012)	0.028** (0.012)
<i>culture</i>				-0.047** (0.023)	-0.047** (0.023)	-0.048** (0.023)
<i>net</i>					-0.002** (0.001)	-0.002** (0.001)
<i>pop</i>						0.068 (0.099)
常数项	0.448*** (0.007)	0.372*** (0.037)	0.332*** (0.041)	0.513*** (0.092)	0.557*** (0.095)	0.153 (0.599)
城市和年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4 110	4 110	4 110	4 110	4 110	4 110
$R^2$	0.656	0.657	0.658	0.660	0.660	0.661

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示显著性水平为 10%、5%和 1%,小括号内数值为聚类至城市层面的标准误,下表同。

## 2. 异质性处理效应诊断与检验

当处理效应在不同处理组或不同时间上存在差异时,传统双向固定效应估计量难以准确识别平均处理效应,从而造成估计结果出现偏误。存在异质性处理效应时,TWFE(Two-way fixed-effects)模型中的事件研究法可能产生严重偏误,特定前置项或滞后项的系数易受其他时期效应的干扰,且明显的事前趋势可能完全源于处理效应的异质性(Sun et al., 2020)<sup>[40]</sup>。针对多期双重差分模型中可能存在的异质性处理效应问题,本文采用三种异质性稳健估计方法进行综合检验:第一,参照 Bacon (2021)<sup>[41]</sup>提出的分

解框架,将传统 2×2 双重差分估计量拆解为如表 4 所示的三类成分,其中,以“从未处理”作为对照组的权重占比达到 83.90%,而存在潜在偏误的“组内比较”的权重仅占 0.09%<sup>①</sup>。由此可知,尽管存在一定异质性处理效应,但对整体估计造成的偏误极为有限。第二,借鉴 De Chaisemartin 和 D’Haultfoeuille (2020)<sup>[42]</sup>的方法,计算得到总权重数为 1 206,其中,正权重占 96.77%,负权重占比仅为 3.23%,表明双向固定效应估计量未受到严重的负权重干扰,模型设定整体合理,不存在显著的异质性偏误问题。第三,采用 Borusyak 等(2024)<sup>[43]</sup>的方法,构建一个适用于处理交错实施与异质性处理效应的双重差分框架,利用尚未受到政策影响的样本构建反事实路径,通过比较处理组在政策实施后的实际值与预测值的差异来识别政策效应,当异质性处理效应不受约束时,估计量呈现出直观的“插补”形式。分析结果如图 3 所示,依然表明低碳城市试点产生了显著的生态福利绩效提升效应,且在政策实施前满足平行趋势假设,进一步证明本文的核心结论是稳健的。

表 4 Bacon 分解结果

Bacon 分解	权重	估计值
时变处理组	0.152	0.048
从未处理 VS 时变处理	0.839	0.054
两者之间	0.009	0.400
Overall DD Estimate	0.056	

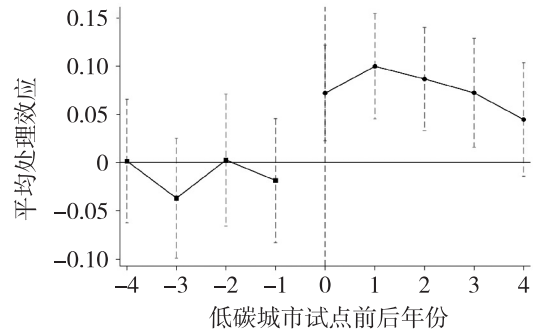


图 3 插补估计量的事件研究结果

### 3. 采用双重机器学习方法的因果识别检验

传统计量方法在处理高维控制变量时往往面临“维数灾难”,而复杂的机器学习算法虽擅长预测与函数拟合,但其直接输出的系数通常存在偏差且缺乏有效的统计推断。双重机器学习在存在高维协变量的复杂设定下,能对核心政策或处理效应进行无偏统计推断,并计算有效的置信区间。因此,本文进一步采用双重机器学习方法进行因果识别,以缓解因函数形式误设和遗漏变量导致的内生性偏误。借鉴张涛和李均超(2023)<sup>[44]</sup>、王茹婷等(2022)<sup>[45]</sup>的做法,设定样本分割比为 1 : 5,控制城市和年份固定效应,引入控制变量二次项,综合运用随机森林、Lasso 回归、弹性网络、岭回归、支持向量机和梯度提升 6 种机器学习方法,分别采用部分线性模型和一般交互式模型进行分析。检验结果见表 5, *did* 的回归系数均在 1%的水平上显著为正,有力验证了本文结论的可靠性。

表 5 双重机器学习方法检验结果

模型	变量	随机森林	Lasso 回归	弹性网络	岭回归	支持向量机	梯度提升
部分线性模型	<i>did</i>	0.074 *** (0.015)	0.048 *** (0.014)	0.049 *** (0.014)	0.048 *** (0.014)	0.056 *** (0.012)	0.052 *** (0.011)
	样本量	4 110	4 110	4 110	4 110	4 110	4 110

<sup>①</sup> Bacon 分解本身不直接解决或修正偏误,而是揭示偏误的来源与严重程度,其中,第三种成分(两者之间)反映的是处理时点不同的处理组个体之间的组内比较,由于其所参照的控制组本身缺乏足够的可比性,可能引发估计偏差。

续表 5

模型	变量	随机森林	Lasso 回归	弹性网络	岭回归	支持向量机	梯度提升
一般交互式模型	<i>did</i>	0.080 *** (0.011)	0.054 *** (0.006)	0.053 *** (0.006)	0.049 *** (0.006)	0.265 *** (0.027)	0.069 *** (0.007)
	样本量	4 110	4 110	4 110	4 110	4 110	4 110

注:所有模型均控制了控制变量的一次项和二次项以及城市和年份固定效应。

#### 4. 内生性处理

为缓解由反向因果关系及遗漏变量所引发的内生性问题,本文参考张兵兵等(2021)<sup>[46]</sup>、朱于珂等(2022)<sup>[47]</sup>做法,构建以下两个工具变量:地形起伏度与年份虚拟变量的交互项(*iv1*)和城市河流密度与年份虚拟变量的交互项(*iv2*)。同时使用两个工具变量进行 2SLS 检验的回归结果见表 6 的 Panel A。Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量大于 Stock-Yogo 检验 10%水平上的临界值,拒绝弱工具变量假设;Kleibergen-Paap rk LM 统计量在 1%水平上显著,表明工具变量与内生变量显著相关;Hansen J 统计量的 *P* 值为 0.281(不显著),通过了过度识别检验。第一阶段的回归结果显示,两个工具变量均与低碳城市试点政策变量显著正相关;第二阶段的回归结果显示,工具变量拟合的政策变量系数显著为正。上述分析结果表明,在有效缓解内生性问题后,低碳城市试点显著提升了城市生态福利绩效的结论依然成立。

表 6 内生性处理和稳健性检验结果

变量	Panel A:工具变量法		Panel B:PSM-DID 检验		Panel C:
	第一阶段	第二阶段	近邻匹配	核匹配	Bootstrap 重抽样
	<i>did</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>
<i>did</i>		0.077 *** (0.027)	0.058 ** (0.027)	0.049 ** (0.024)	0.056 *** (0.015)
<i>iv1</i>	0.367 *** (0.043)				
<i>iv2</i>	1.914 *** (0.313)				
样本量	4 110	4 110	2 807	4 061	4 110
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.917	0.661	0.678	0.664	0.661
KP rk LM		135.211 [0.000]			
KP rkWald F	137.890   19.930				
Hansen J	1.162 [0.281]				
变量	Panel D:	Panel E:	Panel F:		
	提前试点时间	剔除特殊样本	控制相关政策影响		
	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>	<i>ewp</i>
<i>did</i>		0.065 *** (0.025)	0.056 ** (0.024)	0.056 ** (0.024)	0.056 ** (0.024)
<i>fakedid</i>	0.032 (0.020)				
<i>newenergy</i>			0.026 (0.029)		0.025 (0.029)
<i>daqi</i>				0.027 (0.022)	0.026 (0.022)
样本量	4 110	3 562	4 110	4 110	4 110
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.660	0.673	0.661	0.661	0.661

注:中括号内数值为 *P* 值,大括号内数值为 Stock-Yogo 弱识别检验 10%水平上的临界值;所有模型均控制了控制变量和城市及年份固定效应,限于篇幅,控制变量和常数项估计结果略,下表同。

## 5. 稳健性检验

为进一步验证基准回归结果的可靠性,进行以下稳健性检验:第一,PSM-DID 检验。参考石大千等(2018)<sup>[48]</sup>的做法,以控制变量为协变量,分别进行近邻 1:2 匹配和核匹配,采用匹配后的样本重新进行检验,回归结果见表 6 的 Panel B。第二,Bootstrap 重抽样检验。参照齐文浩等(2024)<sup>[49]</sup>的方法,设置 500 次重复抽样,检验结果见表 6 的 Panel C。第三,提前试点时间。参考夏杰长和刘诚(2017)<sup>[50]</sup>的做法,通过将政策实施时间提前一年虚构政策变量(*fakedid*),检验结果见表 6 的 Panel D。第四,剔除特殊样本。为排除新冠疫情的影响,剔除 2020—2021 年的样本后重新进行检验,回归结果见表 6 的 Panel E。第五,控制相关政策影响。在基准模型中纳入“新能源示范城市”(*newenergy*)和“大气污染重点防控区域”(*daqj*)两项政策变量,检验结果见表 6 的 Panel F。上述稳健性检验共同支持了基准回归结果。

此外,本文还参考赵振智等(2021)<sup>[51]</sup>的研究,通过随机抽取处理组的方法进行安慰剂检验。在 274 个城市中随机选取 121 个城市为处理组,其余 153 个城市为控制组,重复进行 1 000 次,检验结果见图 4。伪政策变量的系数估计值集中分布于零点附近,且绝大多数估计值的 *P* 值大于 0.100,基准回归的估计系数(0.056)属于显著异常值,表明真实控制组的生态福利绩效提升由其他偶然因素导致的可能性很小,再次验证了本文结论的稳健性。

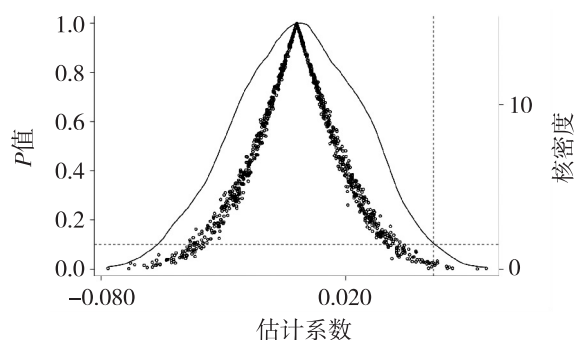


图4 安慰剂检验结果

## 6. 机制检验

机制检验结果见表 7。从驱动绿色技术创新路径看:*did* 对 *greenapp* 和 *greengrant* 的回归系数在 1% 的水平上显著为正,表明低碳城市试点显著提升了试点城市的绿色技术创新水平,这为“波特假说”提供了实证支持。低碳城市试点政策通过设定碳减排目标、推行绿色标准、提供研发支持等形成明确的规制压力与创新导向,激励企业在清洁技术、能效提升与工艺革新等方面增加投入,从而提高绿色技术创新水平;绿色技术创新可直接提升资源利用效率(李成宇等,2019)<sup>[4]</sup>,如通过推广高效设备和优化流程降低单位产出的能源与水耗,从源头上减少生态投入;同时,绿色技术创新能够直接降低污染物与碳排放强度,减少非期望产出(石大千等,2018)<sup>[48]</sup>,从而缓解环境压力,并促进生态福利绩效提升。

从降低能源消耗强度路径来看:*did* 对 *ere* 的回归系数在 10% 的水平上显著为负,表明低碳城市试点显著降低了试点城市的能源消耗强度。能源消费是二氧化碳及大气污染物的主要来源,因而能源消耗强度下降将直接减少非期望产出。这一过程通常伴随着能源结构的清洁化转型,既提高了城市生态环境质量,也减弱了经济增长对石化资源的依赖,增强了生态系统韧性与可持续性。同时,能效提升节约的成本可被重新配置于生产性投资或福利改善领域,进而从多维度提升生态福利绩效。

从促进公共交通发展路径来看:*did* 对 *public* 的回归系数在 5% 的水平上显著为正,表明低碳城市试点显著促进了试点城市的公共交通发展。试点政策通过规划倾斜与设施投入,扩容并升级了公交、地铁等低碳出行方式的供给与服务,能够实现对高碳交通模式的部分结构性替代。公共交通具有运量大、能耗低、排放集中的特征,能够有效降低交通领域的污染物排放,从而改善城市环境质量(梁若冰等,

2016)<sup>[52]</sup>。同时,完善的公交网络有助于优化城市空间布局与交通资源配置,进而有效缓解交通拥堵、节约能源成本,在提升出行可达性与便利性的过程中改善环境质量、增进生活福祉。

综上所述,本文提出的假说 H2 得到验证。

表 7 机制检验结果

变量	<i>greenapp</i>	<i>greengrant</i>	<i>ere</i>	<i>public</i>
<i>did</i>	0.509***(0.124)	0.314***(0.079)	-0.071*(0.039)	0.231**(0.115)
样本量	4 110	4 110	4 110	4 110
$R^2$	0.794	0.758	0.777	0.934

## 五、拓展性研究

### 1. 异质性分析

(1)地理区位异质性。“胡焕庸线”是我国自然地理与人文经济格局的天然分界,两侧城市在发展基础与生态基础等方面存在固有差异,使低碳城市建设的政策效应可能呈现空间异质性。本文参考胡艺(2019)<sup>[53]</sup>的做法,将样本划分为“‘胡焕庸线’东南侧”与“‘胡焕庸线’西北侧”,分别检验的结果见表 8 的 Panel A。低碳城市试点显著促进了“胡焕庸线”东南侧城市的生态福利绩效提升,而对西北侧城市的影响不显著。究其原因,东南侧城市较为成熟的市场机制可高效引导资本、技术、人才等资源要素向绿色创新、公共交通等领域流动,有助于充分发挥低碳政策的生态改善效应,加速生态福利绩效提升;而西北侧城市因经济活动较分散,难以形成政策协同的规模基础,政策外溢效应被空间稀释,削弱了低碳政策的生态福利改善作用。

(2)工业基础异质性。不同城市在工业发展水平和阶段上存在差异,可能导致城市发展战略和政策支持重点不同,从而使低碳城市建设对生态福利绩效的影响表现出异质性。本文根据《全国老工业基地调整改造规划(2013—2022年)》,将样本划分为“老工业基地”和“非老工业基地”两组,分别检验的结果见表 8 的 Panel B。低碳城市试点能够显著提升非老工业基地城市的生态福利绩效,而对老工业基地城市生态福利绩效的影响不明显。其原因在于,老工业基地城市长期以重化工业为主导,产业结构锁定效应强,技术路径依赖深,高碳资产沉淀与设备更新成本高昂,加之传统产业就业压力较大,致使低碳城市建设在短期内难以扭转其生产方式和能源消费结构,生态福利绩效提升较为缓慢。相比之下,非老工业基地城市新兴制造业和现代服务业占比较高,对低碳技术与清洁能源的适应及吸收能力较强,绿色创新与能源优化的边际收益也较高,因而能更快速地实现生态福利绩效的提升。

(3)产业结构异质性。不同城市的产业结构存在显著差异,产业结构的高级化不仅会影响低碳政策的制定和实施,还可能影响具体政策工具与地区产业基础的匹配性,从而产生政策效应的差异。本文参考干春晖等(2011)<sup>[54]</sup>的做法,采用第三产业产值与第二产业产值之比度量产业结构高级化水平(ISU),并依据其中位数将样本划分为“ISU 较高”与“ISU 较低”两组,分别检验的结果见表 8 的 Panel C。低碳城市试点显著提升了产业结构高级化水平较低城市的生态福利绩效,而对产业结构高级化水平较高城市的影响不显著。可能的原因在于,产业结构高级化水平较低的城市往往将政策资源集中投向见效快的末端治理领域,易于在短期内取得显著的生态效益;低碳城市建设通过提供明确的目标指引、财政激励与制度保障,能有效打破其高碳锁定状态,产生显著的生态改善效应。而产业结构高级化水平较高的

城市已进入以第三产业为主导的发展阶段,进一步绿色转型面临技术复杂度高、边际收益递减等挑战,且现行以工业节能改造为主的政策工具与其需求匹配不足,导致政策所能产生的实际生态效益受限。

表 8 异质性分析结果

变量	Panel A:地理区位异质性		Panel B:工业基础异质性		Panel C:产业结构异质性	
	“胡焕庸线”东南侧	“胡焕庸线”西北侧	老工业基地	非老工业基地	ISU 水平较高	ISU 水平较低
<i>did</i>	0.062 <sup>**</sup> (0.026)	0.014(0.052)	0.046(0.037)	0.064 <sup>**</sup> (0.030)	0.018(0.041)	0.101 <sup>***</sup> (0.029)
样本量	3 765	345	1 365	2 745	2 047	2 046
$R^2$	0.665	0.781	0.627	0.666	0.723	0.711

## 2. 空间溢出效应分析

考虑到低碳政策效应和生态福利绩效都可能在地理邻近的城市间产生空间扩散,本文构建空间反距离权重矩阵,选用空间误差模型(SEM)进行空间溢出效应分析(具体过程参见知网附加材料)。分别对空间固定效应、时间固定效应以及时空双固定效应下的空间误差模型进行检验,结果如表 9 所示。时空双固定效应模型具有最高的对数似然值(Log-likelihood),且空间误差系数( $\lambda$ )在 1%的水平上显著,表明该模型能够有效捕捉不可观测因素在时空维度上的相关结构。根据时空双固定效应空间误差模型分析结果,低碳城市试点不仅显著提升了试点城市的生态福利绩效,还对周边城市产生了显著正向空间溢出效应,实现了区域协同的绿色发展。不仅如此,空间误差系数显著为正,意味着驱动城市生态福利绩效提升的未被观测因素之间也存在正向空间依赖性,从而对周边城市产生同向影响,形成间接的空间溢出效应。试点城市在低碳城市建设中产生的创新成果与管理经验,通过人才流动、合作网络与产业链关联等路径在区域中传播,使周边城市得以共享知识外溢,进而提升其资源利用效率与治污能力,而这类知识外溢难以被传统研发指标完全捕捉。此外,环境规制强度与治理模式的区域协同也能驱动生态福利绩效改善的空间溢出,如省级或城市群层面的环保督察、生态补偿机制与绿色考核体系,会促使辖区内的城市在环境治理上趋同,推动区域生态福利绩效整体提升。

表 9 空间误差模型检验结果

变量	空间固定效应	时间固定效应	时空双固定效应
<i>did</i>	0.061 <sup>***</sup> (0.014)	0.049 <sup>***</sup> (0.012)	0.055 <sup>***</sup> (0.014)
$\lambda$	0.719 <sup>***</sup> (0.060)	0.694 <sup>***</sup> (0.068)	0.370 <sup>***</sup> (0.113)
sigma2_e	0.045 <sup>***</sup> (0.001)	0.090 <sup>***</sup> (0.002)	0.045 <sup>***</sup> (0.001)
样本量	4 110	4 110	4 110
$R^2$	0.107	0.252	0.153
Log-likelihood	533.771	-894.813	547.753

## 六、结论与启示

本文将低碳城市试点作为一项准自然实验,采用 2008—2022 年我国 274 个地级及以上城市的数据,通过多期双重差分模型实证检验低碳城市建设对生态福利绩效的影响效应及作用机制,研究发现:其一,低碳城市试点显著提升了试点城市的生态福利绩效,且经过一系列稳健性和内生性检验后该结论依然成立;其二,低碳城市建设能够通过驱动绿色技术创新、降低能源消耗强度、促进公共交通发展 3 条路

径提升生态福利绩效;其三,低碳城市建设对生态福利绩效的提升作用存在地理区位、工业基础、产业结构异质性,表现为在“胡焕庸线”东南侧城市、非老工业基地城市、产业结构高级化水平较低城市中显著,而在“胡焕庸线”西北侧城市、老工业基地城市、产业结构高级化水平较高城市中不显著;其四,低碳城市建设对生态福利绩效的改善具有显著的正向空间溢出效应,表明低碳政策的实施不仅能提升本地生态福利绩效,还可通过经济关联、技术外溢与治理示范等有效推动邻近城市生态福利绩效同步提升。

基于以上结论,本文得到以下启示:第一,优化低碳政策,扩大试点布局。在全面梳理与深入剖析现有试点经验的基础上,分批次、分层次有序扩大政策覆盖范围。通过前期试点城市的数据收集与分析,总结行之有效的政策举措与实施路径,构建可推广的低碳城市建设模式并推广至新一批试点城市。同时,针对不同类型、不同发展阶段的城市,规划与之适配的低碳政策体系和推广节奏,确保政策落地的精准性与有效性。第二,着力促进绿色技术创新、降低能源消耗强度、完善公共交通体系。鼓励企业和科研机构积极研发绿色技术,推动节能环保技术应用,完善技术创新扩散机制,加快技术创新成果普及,以技术创新驱动生态福利绩效提升。同时,加快推广可再生能源,鼓励企业采用节能技术,提升能源利用效率,降低能源消耗强度。另外,政府应加大对公共交通的财政支持力度,加快公交专用道网络布局,提升公共交通的覆盖率与便捷性,充分释放公共交通对生态福利绩效的提升效能。第三,因地制宜,构建差异化的低碳城市建设机制。“胡焕庸线”东南侧城市应充分发挥市场优势,加快低碳技术创新与生态价值转化;西北侧城市需加大政策资源配置力度,通过跨区域治理和绿色产业培育提升政策适配性。加强对老工业基地的精准扶持,加大落后产能淘汰与能源结构转型的财政技术支持力度,重点推动重工业低碳化改造和绿色产业培育,形成政策驱动、产业转型与生态改善的良性循环。产业结构高级化水平较高的城市应着力构建以知识创新网络与绿色消费市场为核心的新型治理体系,探索产业高质量发展与生态福利绩效提升协同共进的有效模式。第四,积极推动区域协同治理,优化政策工具设计并强化空间规划的引导作用,打破行政辖区的治理边界限制,通过产业协同转型、绿色技术共享、跨区域联防联控等实现生态福利绩效的全域跃升。

#### 参考文献:

- [1] Dietz T, Rosa E A, York R. Environmentally efficient well-being: is there a Kuznets curve? [J]. *Applied Geography*, 2010, 32 (1): 21-28.
- [2] 龙亮军,王霞,郭兵. 基于改进 DEA 模型的城市生态福利绩效评价研究——以我国 35 个大中城市为例[J]. *自然资源学报*, 2017, 32 (4): 595-605.
- [3] 方时姣,肖权. 中国区域生态福利绩效水平及其空间效应研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29 (3): 1-10.
- [4] 李成宇,张士强,张伟,等. 中国省际生态福利绩效测算及影响因素研究[J]. *地理科学*, 2019, 39 (12): 1875-1883.
- [5] 董莹,孙玉环,丁娇. 中国生态福利绩效驱动分解研究[J]. *地理学报*, 2024, 79 (5): 1337-1354.
- [6] Wang C, Ling J, Liu Y, et al. Can air quality ecological compensation improve environmental welfare performance? Based on the “win-win-win” perspective of economy-ecology-welfare[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2025, 489 (1): 144604.
- [7] 宋弘,孙雅洁,陈登科. 政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J]. *管理世界*, 2019, 35 (6): 95-108, 195.
- [8] 张华. 低碳城市试点政策能够降低碳排放吗?——来自准自然实验的证据[J]. *经济管理*, 2020, 42 (6): 25-41.
- [9] 龚梦琪,刘海云,姜旭. 中国低碳试点政策对外商直接投资的影响研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29 (6): 50-57.
- [10] 王锋,葛星. 低碳转型冲击就业吗——来自低碳城市试点的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2022, 40 (5): 81-99.

- [11] 王贞洁, 王惠. 低碳城市试点政策与企业高质量发展——基于经济效率与社会效益双视角的检验[J]. 经济管理, 2022, 44 (6): 43-62.
- [12] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济, 2020, 38 (12): 178-196.
- [13] 唐哲, 张清俊, 魏修建. 低碳转型下的企业进入退出——来自低碳城市试点政策的经验证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2025, 42 (4): 157-175.
- [14] 曹翔, 高瑀. 低碳城市试点政策推动了城市居民绿色生活方式形成吗? [J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31 (12): 93-103.
- [15] Sarmiento L, Wgner N, Zaklan A. The air quality and well-being effects of low emission zones[J]. Journal of Public Economics, 2023, 227 (1): 105014.
- [16] Broster S, Terzano K. A systematic review of the pollution and health impacts of low emission zones[J]. Case Studies on Transport Policy, 2025, 19 (1): 101340.
- [17] Malina C, Scheffler F. The impact of low emission zones on particulate matter concentration and public health [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2015, 77: 372-385.
- [18] Gehrsitz M. The effect of low emission zones on air pollution and infant health [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2017, 83: 121-144.
- [19] Pestel N, Wozny F. Health effects of low emission zones: evidence from German hospitals[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2021, 109 (1): 102512.
- [20] Margaryan S. Low emission zones and population health [J]. Journal of Health Economics, 2021, 76 (1): 102402.
- [21] Host S, Cécile Honoré, Joly F, et al. Implementation of various hypothetical low emission zone scenarios in Greater Paris: assessment of fine-scale reduction in exposure and expected health benefits[J]. Environmental Research, 2020, 185 (1): 109405.
- [22] 肖涵月, 孙慧, 王慧, 等. 从“试点”到“扩散”: 低碳城市试点的包容性低碳增长效应分析[J]. 产业经济研究, 2022, 21 (3): 28-40.
- [23] 孙国锋, 王慧. 新发展理念背景下新质生产力推进产业结构升级的效应研究[J]. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2025, 27 (4): 78-91, 159.
- [24] 曹增栋, 涂勤. 供应链网络绿色化与企业污染减排——基于社会网络分析视角[J/OL]. 现代财经(天津财经大学学报), 2026, 46 (2): 93-113.
- [25] 郭彩霞. 中国低碳经济发展的协同效应研究[J]. 管理世界, 2021, 37 (8): 105-117.
- [26] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济, 2022, 40 (9): 83-101.
- [27] 孙传旺, 罗源, 姚昕. 交通基础设施与城市空气污染——来自中国的经验证据[J]. 经济研究, 2019, 54 (8): 136-151.
- [28] 杨浩雄, 李金丹, 张浩, 等. 基于系统动力学的城市交通拥堵治理问题研究[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34 (8): 2135-2143.
- [29] Moran D D, Wackernagel M, Kitzes J A, et al. Measuring sustainable development: nation by nation[J]. Ecological Economics, 2008, 64 (3): 470-474.
- [30] 肖黎明, 张仙鹏. 强可持续发展理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34 (2): 312-324.
- [31] 盖美, 展亚荣. 中国沿海省区海洋生态效率空间格局演化及影响因素分析[J]. 地理科学, 2019, 39 (4): 616-625.
- [32] 刘瑞明, 赵仁杰. 国家高新区推动了地区经济发展吗? ——基于双重差分方法的验证[J]. 管理世界, 2015, 31 (8): 30-38.
- [33] 周迪, 周丰年, 王雪芹. 低碳试点政策对城市碳排放绩效的影响评估及机制分析[J]. 资源科学, 2019, 41 (3): 546-556.
- [34] 白俊红, 张艺璇, 卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. 中国工业经济, 2022, 40 (6): 61-78.
- [35] 黄寿峰, 赵岩. 政务服务信息化与基本公共服务水平[J]. 世界经济, 2023, 46 (8): 32-54.

- [36] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022, 40 (5): 100-120.
- [37] 蒋金荷, 黄珊. 贸易新业态对绿色技术创新的影响研究——来自跨境电商综合试验区政策的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41 (12): 133-154.
- [38] 李豫新, 程洪飞, 倪超军. 能源转型政策与城市绿色创新活力——基于新能源示范城市政策的准自然实验[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33 (1): 137-149.
- [39] Deschênes, Olivier, Greenstone M, Shapiro J S. Defensive investments and the demand for air quality: evidence from the NOx budget program[J]. American Economic Review, 2017, 107 (10): 2958-2989.
- [40] Sun L, Abraham S. Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects[J]. Journal of Econometrics, 2020, 225 (2): 175-199.
- [41] Bacon G A. Difference-in-differences with variation in treatment timing[J]. Journal of Econometrics, 2021, 225 (2): 254-277.
- [42] De Chaisemartin C, D' Haultfoeuille X. Two-way fixed effects estimators with heterogeneous treatment effects [J]. American Economic Review, 2020, 110 (9): 2964-2996.
- [43] Borusyak K, Hull J X, Jaravel X. Revisiting event-study designs: Robust and efficient estimation [J]. Review of Economic Studies, 2024, 91 (6): 3253-3285.
- [44] 张涛, 李均超. 网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距——基于双重机器学习的因果推断[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40 (4): 113-135.
- [45] 王茹婷, 彭方平, 李维, 等. 打破刚性兑付能降低企业融资成本吗? [J]. 管理世界, 2022, 38 (4): 42-64.
- [46] 张兵兵, 周君婷, 闫志俊. 低碳城市试点政策与全要素能源效率提升——来自三批次试点政策实施的准自然实验[J]. 经济评论, 2021, 42 (5): 32-49.
- [47] 朱于珂, 高红贵, 丁奇男, 等. 地方环境目标约束强度对企业绿色创新质量的影响——基于数字经济的调节效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32 (5): 106-119.
- [48] 石大千, 丁海, 卫平, 等. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 2018, 36 (6): 117-135.
- [49] 齐文浩, 宋长兴, 蔡宏波. 自由贸易试验区建设与地区经济安全水平[J]. 中国工业经济, 2024, 42 (3): 119-137.
- [50] 夏杰长, 刘诚. 行政审批改革、交易费用与中国经济增长[J]. 管理世界, 2017, 33 (4): 47-59.
- [51] 赵振智, 程振, 吕德胜. 国家低碳战略提高了企业全要素生产率吗? ——基于低碳城市试点的准自然实验[J]. 产业经济研究, 2021, 20 (6): 101-115.
- [52] 梁若冰, 席鹏辉. 轨道交通对空气污染的异质性影响——基于RDID方法的经验研究[J]. 中国工业经济, 2016, 34 (3): 83-98.
- [53] 胡艺, 张晓卫, 李静. 出口贸易、地理特征与空气污染[J]. 中国工业经济, 2019, 37 (9): 98-116.
- [54] 千春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. 经济研究, 2011, 46 (5): 4-16, 31.

## The Impact of Low-Carbon City Construction on Ecological Welfare Performance

ZHANG Mingdou, LI Meng

(School of Economics, Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, Liaoning, China)

**Summary:** Since the 18th National Congress of the Communist Party of China, China has made systematic progress in ecological civilization construction. Notable achievements in areas such as environmental governance and the use of renewable energy have driven continuous improvement in ecological welfare performance. Against this backdrop, low-carbon city pilot projects, as an important regulatory innovation, aim to promote coordinated development between the economy, society, and the ecological environment by

advancing low-carbon and energy-saving technologies and improving resource utilization efficiency. This aligns with the core orientation of ecological welfare performance, which focuses on people and the comprehensive enhancement of multidimensional well-being. However, existing research lacks a systematic analysis of how low-carbon city construction affects ecological welfare performance, and its effects in terms of net outcomes, transmission mechanisms, and urban heterogeneity remain unclear. Therefore, in-depth research on this issue not only helps reveal the pathways through which policy drives the improvement of ecological well-being but also provides theoretical and empirical references for optimizing urban low-carbon governance systems.

This paper constructs an evaluation system for urban ecological welfare performance. Based on input and output dimensions, it employs a super-efficiency SBM model to measure the ecological welfare performance of 274 prefecture-level and above cities nationwide from 2008 to 2022. In addition, a multi-period difference-in-differences (DID) model is used to empirically examine the impact and mechanisms of low-carbon city construction on ecological welfare performance. The findings reveal that low-carbon city construction significantly enhances ecological welfare performance. This conclusion remains robust after a series of tests, including parallel trend tests and placebo tests. Heterogeneity analysis indicates that low-carbon city construction exerts a more pronounced enhancement effect on ecological welfare performance in cities southeast of the Hu Line, old industrial base cities, and cities with lower levels of industrial structure upgrading. Mechanism analysis shows that green technology innovation, energy intensity optimization, and public transportation development constitute three key pathways through which low-carbon city construction influences ecological welfare performance. Further analysis uncovers a significant positive spatial spillover effect of low-carbon city construction on ecological welfare performance.

Compared with previous studies, the potential marginal contributions of this paper are threefold. First, using low-carbon city pilot policies as a quasi-natural experiment, this paper empirically examines the impact and spatial spillover effects of low-carbon city construction on ecological welfare performance, thereby deepening the theoretical understanding of the connotation of urban sustainable development. Second, this paper investigates heterogeneous factors such as urban geographic location, industrial development foundation, and industrial structure, and elucidates how these factors influence policy outcomes. This provides empirical support for the precise design and differentiated implementation of low-carbon city policies, thereby further expanding the scope of the research. Third, this paper identifies the underlying mechanisms through which low-carbon city construction affects ecological welfare performance from three dimensions: green technology innovation, energy consumption intensity, and public transportation development, offering valuable insights for related research fields.

The findings of this study provide a reference for further advancing low-carbon city construction and broadening the pathways to enhance urban ecological welfare performance. Furthermore, deepening research on the relationship between low-carbon city construction and ecological welfare performance helps refine the theoretical framework of urban sustainable development. It also offers practical guidance for optimizing policy design and achieving the goal of delivering ecological benefits to the people.

**Keywords:** ecological welfare performance; low-carbon city; low-carbon policy; green technology innovation; energy intensity; public transportation; sustainable development

**CLC number:** F062. 2; F290

**Document code:** A

**Article ID:** 1674-8131(2026)02-0129-16

(编辑:刘仁芳;朱 艳)