

低碳城市建设对城市碳排放强度的影响 效应与机制

——基于低碳城市试点政策的准自然实验

邹叶倩,熊国保

(东华理工大学 经济与管理学院,江西南昌 330013)

摘要:文章采用准自然实验的研究设计,利用2006—2021年间中国272个地级市的面板数据集,通过多期双重差分方法系统评估低碳城市试点政策对城市碳排放强度的影响效果及其传导机制。研究表明:政策实施后试点城市碳排放强度呈现显著下降趋势,政策主要通过推动产业结构升级、促进环境治理规模扩大、助推城市创新水平提升等实现碳减排。同时,低碳城市建设的减碳效果存在区域异质性、资源禀赋异质性与行政级别异质性,东部、中部地区以及非资源型城市的减碳成效尤为突出。低碳城市试点政策不仅加速了全国减碳进程,还为全球碳减排贡献了独具中国智慧的解决策略。

关键词:低碳城市试点政策;碳排放强度;碳达峰;碳中和;双重差分模型

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:1008-9004(2025)05-0078-07

在“双碳”目标引领下,低碳城市试点已成为我国实现经济社会发展全面绿色转型的核心政策工具。作为全球碳排放的重点源头,城市贡献了约60%的温室气体排放量,这一特征在中国尤为显著。为应对环境保护与经济发展的双重挑战,中国积极承担国际减排责任,并制定了明确的减排目标:力争于2030年前实现碳达峰、2060年前达成碳中和。为实现这一战略构想,中国创新性地实施了分批次低碳城市试点政策,通过2010年、2012年和2017年三批试点工作的开展逐步构建起全国性低碳城市网络。

在低碳城市试点工作不断开展与政策体系不断完善背景下,以下议题亟待深入探讨:低碳城市试点政策推行后的碳减排作用机理涉及哪些维度?政策效果是否具有差异性?系统研究和科学解答相关问题,对于巩固低碳试点成效、深化碳减排效果以及推进“双碳”目标实现具有多重战略价值。

一、文献综述

现有与本研究议题相契合的文献可划分为以下三大类别。首先,环境效应评估表明,低碳城市试点政策对改善城市环境质量产生了显著影响,该政策的实施有效降低了城市大气污染物浓度(如PM2.5、SO₂等)、工业废气排放量以及空气污

染指数(API)等关键环境指标。^[1-2]政策干预还产生了其他环境效益,即城市生态效率、能源利用效率与城市工业水资源绿色效率均得到了系统性提升。^[3]城市工业污染物排放量呈现出持续下降的趋势。^[4]其次,经济效应评估表明,低碳城市试点政策对外商直接投资产生了抑制作用,但研究同时发现该政策能够推进试点地区企业向更高质量的发展阶段迈进。^[5]另有部分学者考察了政策对旅游业发展、城市财富积累的影响,这些研究普遍证实了低碳城市建设对经济发展的正向激励作用。^[6]最后,社会效应评估表明,低碳城市试点政策能够刺激就业市场,促进企业层面的就业;也能在一定程度上缓解收入不平衡,助力共同富裕的实现。^[7]

已有关于低碳城市试点政策的研究取得了丰硕成果,但仍然存在不足:第一,既有研究普遍将能源结构优化等视为低碳城市试点政策影响城市碳排放的核心传导机制,鲜少考虑环境治理规模在其中起到的作用;第二,现有研究在考察城市异质性时往往局限于区位特征与规模差异,而对于行政等级与资源禀赋缺乏必要考量。相较于已有研究,本研究的创新性主要体现在以下两个方面:其一,在传统分析框架基础上,引入环境治理规模这一较新的作用路径,系统考察其在低碳城市试

收稿日期:2025-07-14

基金项目:江西省社科规划基金项目(22WT59)“数字经济推动江西公共机构节能工作数智化转型研究”

作者简介:邹叶倩(2001-),女,硕士,研究方向:公共政策分析。

熊国保(1970-),男,教授,博士,研究方向:资源与环境经济。

点政策影响城市碳排放强度过程中的中介效应;其二,通过构建包含城市行政层级与资源禀赋特征的异质性分析框架,揭示了不同城市类型下政策效果的差异性,进而提出低碳城市建设应遵循因地制宜的原则。这些发现不仅拓展了低碳城市政策的理论解释维度,也为制定差异化的城市低碳发展策略提供了实证依据。

二、理论分析与研究假设

(一) 低碳城市试点政策对城市碳排放强度的影响

低碳城市试点政策通过多元化环境规制工具推动碳减排,具体表现为:1.激励绿色低碳产业发展,倒逼高污染企业转型,促进产业结构优化升级;2.推广低碳生产消费模式及完善公共交通网络;3.提高清洁能源使用比重,从供给侧减少碳排放。

据此,本研究提出假设一。

假设一: 低碳城市试点政策能够降低碳排放强度。

(二) 低碳城市试点政策对城市碳排放强度的作用机制

低碳城市试点政策通过培育区域特色低碳产业、强化环境监管和实施市场化激励措施推动碳减排。该政策在农业领域促进循环农业本土化应用,在工业领域推动节能技术升级以降低能耗密集型行业碳排放,并在服务业领域构建绿色低碳体系。同时,通过提高排污费和碳交易税等合规成本,政策显著增加“三高”企业运营压力,加速其退出或转型。此外,税收优惠和财政补贴引导资源向战略性新兴产业流动,促进产业结构升级,有效降低碳排放量和强度。

据此,本研究提出假设二。

假设二: 低碳城市试点政策能够促进产业结构升级,从而降低碳排放强度。

低碳城市试点政策作为可持续发展的重要工具,通过培育绿色新兴产业与改造传统产业促进经济高质量发展。经济发展水平的提升可为环境治理积累必要的财政资金、技术人才等要素资源,通过规模效应实现环境治理成本的边际递减。这一政策路径验证了环境库兹涅茨曲线理论,即经济发展到高级阶段后可引导环境治理规模扩大,形成良性循环。

据此,本研究提出假设三。

假设三: 低碳城市试点政策能够推动环境治理规模扩大,从而降低碳排放强度。

基于波特假说,低碳城市试点政策一方面通过政府环境规制手段(如强制减排目标)将环保成本内部化,倒逼企业开展低碳技术创新、产生创新补偿效应。另一方面,政策通过研发平台建设、绿色技术推广和财政资源配置加速低碳技术研发与应用。二者相互作用形成技术创新与政策引导的良性互动并促进城市技术创新水平的提高,实现了碳排放量和强度的显著降低。

据此,本研究提出假设四。

假设四: 低碳城市试点政策能够促进城市技

术创新,从而降低碳排放强度。

三、研究方法与数据来源

(一) 样本说明

本研究样本中三批试点城市名单存在部分重叠,以昆明市为例,其被列入第二批试点城市,而云南省则属于第一批试点省份,参照宋弘等的处理方法,^[1]将昆明市的试点时间定为 2010 年。并且,鉴于第二批试点的实施时间已接近年底,考虑到政策引发的冲击难以于当年充分显现,参照宋弘等的做法,^[1]将第二批低碳城市试点政策的实施时间定为 2013 年。

(二) 模型构建

由于各省市并非在同一时间推行低碳城市试点政策,本研究借鉴宋弘等、郭丰等文献的思路,^[1-8]基于渐进双重差分设计评估处理组与对照组在政策干预前后碳排放强度的动态差异,构建的渐进双重差分模型如下:

$$Cit = \alpha + \beta Policy_{it} + \theta X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中,Cit 是被解释变量,表示城市 i 在 t 时期的碳排放强度;Policy_{it} 是核心解释变量,表示城市 i 在 t 时期是否为低碳试点城市;X_{it} 表示控制变量集合; μ_i 表示个体固定效应; λ_t 表示时间固定效应; ϵ_{it} 是随机扰动项。 β 代表的是低碳城市试点政策对城市碳排放强度的影响,本研究预计 β 将显著为负。

(三) 变量说明

1. 被解释变量

碳排放强度,本研究参照张华、吴建新等的碳排放核算体系对城市碳排放总量进行标准化测算,^[9-10]并采用自然对数形式处理数据。碳排放强度基于王连芬等的研究,^[11]用单位 GDP 的碳排放量表示。

2. 核心解释变量

核心解释变量为 Policy_{it}=treat × post, 该变量衡量了低碳城市试点政策对城市碳排放强度所产生的净效应。

3. 控制变量

为减少遗漏变量偏误对估计产生的影响,本研究参考张华、黄寰等、别奥等的研究,^[9,12-13]在核心解释变量之外选取了一系列的控制变量,包括经济发展水平(Pgdp)、人口密度(Pop)、政府干预程度(Gov)、金融发展水平(Fin)、外商投资水平(Fdi)。

4. 机制变量

本研究参考王华星等、邢华等、余硕等的研究,^[2-3,14]选取产业结构升级、环境治理规模、城市创新水平作为机制变量,变量定义见表 1。

以上所有指标的相关数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》,部分缺失值采用线性插值法进行补充,变量定义如表 1 所示。

表1 变量的定义与处理

变量类别	变量名称	变量定义
核心解释变量	低碳试点政策	城市当年是否实施低碳试点政策
被解释变量	碳排放强度	碳排放总量 / 实际 GDP
	人口密度	地级市总人口与行政区域面积比值的自然对数
	经济发展水平	人均 GDP 的自然对数
控制变量	政府干预程度	政府财政预算支出与 GDP 的比值
	金融发展水平	年末金融机构各项存贷款余额与 GDP 的比值
	外商投资水平	外商直接投资总额与地区生产总值的比值
	产业结构升级	第三产业增加值与第二产业增加值比值
机制变量	环境治理规模	水利、环境和公共设施管理从业人数
	城市技术创新	城市创新指数

四、实证结果

(一) 基准回归

如表2所示,在控制其他变量的情况下,政策

实施使城市碳排放强度下降 27.1 个百分点,说明低碳城市试点政策对碳排放强度具有显著抑制作用,假设一得证。

表2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
policy	-0.185*	-0.196**	-0.203**	-0.275***	-0.276***	-0.271***
	(0.1)	(0.094)	(0.094)	(0.093)	(0.093)	(0.094)
Pgdp		-2.714***	-2.721***	-3.178***	-3.117***	-3.122***
		(0.119)	(0.119)	(0.123)	(0.129)	(0.129)
Pop			0.313*	0.288*	0.295*	0.295*
			(0.17)	(0.167)	(0.167)	(0.167)
Gov				-6.195***	-6.456***	-6.481***
				(0.518)	(0.543)	(0.548)
Fin					0.073	0.074
					(0.045)	(0.045)
Fdi						0.587
						(1.761)
常数项	6.828***	32.795***	31.073***	36.318***	35.603***	35.631***
	(0.089)	(1.142)	(1.475)	(1.515)	(1.578)	(1.581)
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	4,352	4,352	4,352	4,352	4,352	4,352
R2	0.41	0.477	0.478	0.495	0.496	0.496

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

(二)稳健性检验

1.平行趋势检验

双重差分模型的适用性依赖于处理组与对照组在政策实施前不存在趋势性差异这一基本前提,本研究采用事件研究法构建了如下模型对平行趋势假设进行检验,

$$Cit = \alpha + \sum_{k=-4}^{k=3} \beta_k D_{it} + \theta X_{it} + \mu_i + \lambda t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中,D_{it}是一组虚拟变量,如果城市*i*在*t*时期属于处理组,则取值为1,反之为0。 $-4 \leq k \leq 3, k \neq -1$,其余各变量的符号含义与模型(1)一致。本研究关注的重点在系数 β_k ,该系数用于衡量在*k*时期处理组与对照组碳排放强度的差别。若政策实施前 β_k 值无显著差异、政策实施后 β_k 值显著异于0则视为满足平行趋势假设。

如图1所示,政策干预前各期 β_k 的95%置信区间均包含零值(满足平行趋势假设),而干预后呈现显著负效应且置信区间偏离零值,验证了双重差分模型的适用性。

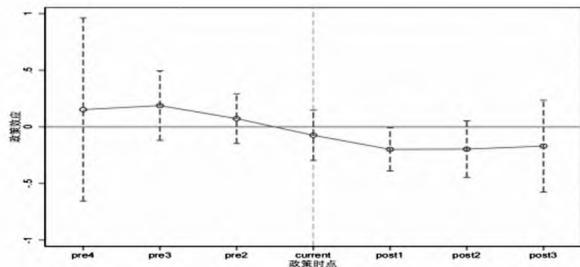


图 1 政策平行趋势检验图

2.安慰剂检验

本研究采用王峰等的随机化检验方法通过500次随机抽样模拟构建安慰剂检验。^[15]如图2所示,处理组系数呈零值附近随机分布,而实际政策效应显著偏离该分布,有效排除了随机因素和模型设定的干扰,表明低碳城市试点政策的碳减排效应具有统计显著性。

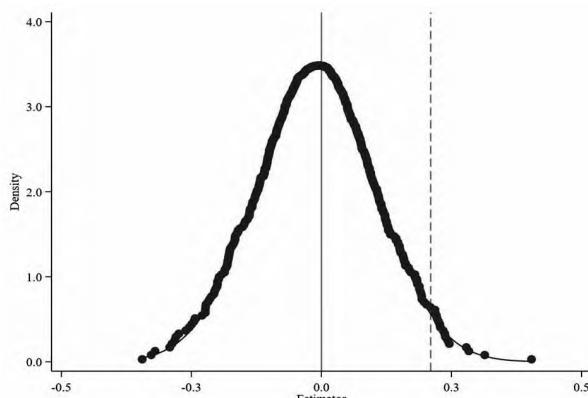


图 2 安慰剂检验图

3.剔除样本极端值

为控制极端样本对回归结果的潜在偏误,本研究借鉴刘瑞明等的做法对城市碳排放强度数据进行了双侧1%缩尾处理。^[16]如表3所示,核心解释变量的估计系数仍保持负向显著,证实该政策于降低城市碳排放强度方面取得了切实效果。

表 3 剔除样本极端值

变量	碳排放强度缩尾 1%
policy	-0.175** (0.07)
Pgdp	-2.733*** (0.097)
Pop	0.234* (0.125)
Gov	-4.844*** (0.412)
Fin	0.096*** (0.034)
Fdi	0.475 (1.324)
常数项	31.641*** (1.188)
年份固定效应	是
城市固定效应	是
观测值	4,352
R2	0.594

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

4.排除其他政策干扰

如表4所示,在控制智慧城市试点政策与碳排放权交易试点政策的潜在影响后,核心解释变量回归系数仍然显著为负值,与基准回归结果相互印证,进一步说明本研究结论稳健。

表4 排除其他政策干扰

变量	-1	-2
	排除智慧城市政策干扰	排除碳排放权交易政策干扰
Policy	-0.271*** (0.094)	-0.267*** (0.099)
did	0.179** -0.085	-0.02 (0.128)
Pgdp	-3.129*** (0.129)	-3.122*** (0.129)
Pop	0.317* (0.167)	0.297* (0.167)
Gov	-6.417*** (0.549)	-6.477*** (0.549)
Fin	0.072 (0.045)	0.073 (0.045)
Fdi	0.427 (1.762)	0.559 (1.77)
常数项	35.570*** (1.58)	35.621*** (1.582)
年份固定效应	是	是
城市固定效应	是	是
观测值	4,352	4,352
R2	0.496	0.496

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

(三) 异质性检验

1. 城市区位异质性

如表 5 所示, 东部和中部地区的政策效应显著为负, 西部地区却呈现正向影响。这种区域差异主要源于东部和中部地区凭借较高的人口密度、经济发展水平、创新能力和完善的金融基础设施, 有效实现了“波特效应”。而西部地区由于承接能源密集型产业转移、依赖资源投入型发展模式以及创新系统不完善等因素, 导致政策效果受限。

2. 资源禀赋异质性

如表 5 所示, 非资源型城市的政策效应显著为负, 资源型城市的政策效果不显著。这一差异主要

源于资源型城市因长期依赖化石能源形成单一经济结构和技术路径依赖, 导致产业结构僵化、转型困难。相比之下, 非资源型城市凭借多元化的经济结构更易实现低碳转型, 与既有研究结论相印证。

3. 行政级别异质性

如表 5 所示, 两类城市的碳排放强度均呈现出下降趋势, 但地级市的减排效果更为突出。这一差异主要源于副省级城市因规模庞大、经济结构复杂导致政策执行难度较高; 而地级市凭借相对简单的经济结构和较高的政策执行灵活性, 更易取得较好的政策实施效果。

表 5 异质性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	东部	中部	西部	资源型城市	非资源型城市	地级市	副省级城市
policy	-0.602*** (0.071)	-0.797*** (0.213)	0.473** (0.221)	0.026 (0.147)	-0.360*** (0.115)	-0.336*** (0.096)	-0.051* (0.028)
Pgdp	-1.603*** (0.064)	-2.225*** (0.096)	-3.150*** (0.117)	-2.667*** (0.077)	-2.275*** (0.074)	-2.479*** (0.056)	-0.433*** (0.028)
Pop	0.683* (0.398)	0.103 (0.378)	0.043 (0.245)	0.307 (0.233)	0.176 (0.235)	0.172 (0.173)	0.494*** (0.1)
Gov	-2.851*** (0.536)	-6.248*** (0.972)	-8.324*** (0.959)	-6.123*** (0.687)	-5.823*** (0.724)	-5.773*** (0.512)	-1.901*** (0.619)
Fin	0.122*** (0.04)	0.281*** (0.064)	0.198* (0.108)	0.214*** (0.065)	0.267*** (0.05)	0.241*** (0.041)	-0.039** (0.018)
Fdi	-0.132 (1.438)	4.049 (3.294)	2.459 (6.366)	3.904 (3.244)	-0.938 (2.13)	-0.127 (1.897)	0.930** (0.437)
常数项	16.309*** (2.345)	27.095*** (2.32)	39.124*** (1.64)	31.729*** (1.421)	26.929*** (1.565)	29.810*** (1.101)	2.777*** (0.671)
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是	是
观测值	1,584	1,568	1,200	1,744	2,608	4,112	240
R2	0.546	0.44	0.57	0.561	0.44	0.497	0.804

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

(四)机制检验

本研究借鉴刘梦莎等的研究方法,^[17] 对低碳

城市试点政策影响城市碳排放强度的机制进行了检验,构建了以下机制检验模型:

$$Medit = \beta_1 Policy_{it} + \theta X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

式(3)中,Medit 为中介变量, β_1 是试点政策虚拟变量的系数估计值, 其余各变量的符号含义与模型(1)一致。如表 6 所示, Policy 的系数在所有模型中

均显著为正,证实该政策通过促进产业结构升级、扩大环境治理规模和提高城市创新水平三条路径有效降低了城市碳排放强度,假设二、三、四得证。

表 6 机制检验

变量	(1)	(2)	(3)
	结构效应	规模效应	创新效应
Policy	0.025* (0.015)	0.140*** (0.022)	38.075*** (4.758)
控制变量	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
观测值	4,352	4,352	4,352
R2	0.601	0.112	0.12

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

五、结论和政策建议

(一) 结论

低碳城市试点政策是中国践行“双碳”战略目标、推动低碳转型发展的关键举措，也是应对全球气候变化的重要手段。本研究得出了以下主要结论：1. 低碳城市试点政策能够降低城市碳排放强度，实证结果在经过一系列稳健性检验后仍然成立。2. 异质性分析表明城市区位和资源禀赋、行政级别等差异使得东部、中部城市、非资源型城市以及非副省级城市表现出更加显著的政策效应。3. 机制分析揭示，低碳城市试点政策有利于实现城市产业结构升级、促进城市环境治理规模扩大、推动城市创新水平提升，政策通过以上三个途径显著降低了城市碳排放强度。

(二) 政策建议

首先，应逐步扩大低碳城市试点政策的覆盖范围。根据本文研究结果，低碳城市建设能够有效抑制试点城市碳排放强度，这表明政策执行后取得了积极成效。鉴于首批试点政策实施至今已逾15年，政府部门在政策执行和监管方面已积累了丰富的实践经验，具备了进一步扩大政策实施范围的条件。因此，未来应考虑分阶段、分区域扩大试点规模，尤其是在政策效果更为突出的东部和中部地区。

其次，各城市应探索符合自身实际情况的低碳发展模式。本研究的异质性分析结果显示，低碳城市试点政策在抑制碳排放强度方面的政策效应具有显著的空间差异。各城市需深入剖析自身经济结构、资源禀赋及环境约束条件，以此为基础，量身定制绿色低碳发展道路。西部地区应优化产业承接策略、完善创新生态系统、加强人才引进与留存、加大财政和金融支持、加强区域合作。资源型城市需推动经济结构多元化、加强技术创新、优化能源结构、完善政策支持、加强基础设施建设、推动体制机制改革。国家层面应建立健全低碳发展的评价与激励机制，对不同城市的低碳发展成效进行客观评估，并根据评估结果给予相应的政策倾斜，以确保低碳城市试点政策能够在全国范围内取得更加均衡、显著的效果。

最后，进一步完善对地方官员的考核机制。应将环境质量、污染治理和生态修复等指标纳入政绩评价体系并赋予实质性权重，改变当前以经济指标为主的考核导向。建立“环保一票否决”的刚

性问责制度，对环保不达标地区的主要领导实施晋升限制。还需构建多元监督体系，通过环境信息公开和公众参与机制（如举报奖励制度）形成社会监督合力，从而有效解决地方政府在环境保护与经济增长之间的权衡困境。

参考文献：

- [1]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(6):95-108+195.
- [2]王华星,石大千.新型城镇化有助于缓解雾霾污染吗——来自低碳城市建设的经验证据[J].山西财经大学学报,2019(10):15-27.
- [3]余硕,王巧,张阿城.技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验[J].经济与管理研究,2020(8):44-61.
- [4]陈华脉,刘满风,黄蕾.低碳城市试点政策的工业污染减排效应评估——基于空间双重差分模型的实证分析[J].生态经济,2024(12):177-185.
- [5]何兵,于秀秀.促进还是抑制:低碳城市试点对外商直接投资的影响[J].西部论坛,2025(1):51-64.
- [6]温永林,张阿城,王巧.低碳城市建设与旅游业发展——来自中国城市的经验证据[J].旅游科学,2024(1):101-119.
- [7]张明斗,王亚男.低碳政策试点、区域非均衡与城市财富增长[J].山西财经大学学报,2022(8):1-16.
- [8]郭丰,任毅.低碳城市试点政策能够促进城市低碳发展吗? [J].当代经济管理,2024(3):26-37.
- [9]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(6):25-41.
- [10]吴建新,郭智勇.基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J].统计研究,2016(1):54-60.
- [11]王连芬,赵园,王良健.低碳试点城市的减碳效果及机制研究[J].地理研究,2022(7):1898-1912.
- [12]黄寰,何广,肖义.低碳城市试点政策的碳减排效应[J].资源科学,2023(5):1044-1058.
- [13]别奥,杨上广,束云霞.城市电商化转型能否促进碳减排?——来自国家电子商务示范城市试点的经验证据[J].产业经济研究,2023(4):1-14.
- [14]邢华,李向阳.减污降碳:低碳城市试点的协同效应[J].干旱区资源与环境,2024(5):10-19.
- [15]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(5):81-99.
- [16]刘瑞明,李林,亢延锐,等.景点评选、政府公共服务供给与地区旅游经济发展[J].中国工业经济,2018(2):118-136.
- [17]刘梦莎,邵淇,阮青松.数字化转型对企业债务融资成本的影响研究[J].财经问题研究,2023(1):63-72.

（责任编辑：钟宇）

（上接第74页）

- [3]王京京,卫佳佳.时间序列下北京市建筑运行碳排放变化特征与情景模拟[J].北京工业大学学报,2022(3):48.
- [4]崔世华.湖北省土地利用碳排放时空演变及土地利用优化研究[D].武汉:湖北大学,2022.
- [5]周镇宇.格网尺度下路网与土地利用碳排放效应及其耦合关系研究——以长三角为例[D].上海:东华大学,2023.

- [6]张扬,陈雨露,张杨,等.成渝城市群“三生空间”时空格局与耦合协调分析[J].地域研究与开发,2022(5):119-125.
- [7]包金花.交通可达性与经济发展水平的耦合协调关系和空间效应分析——以内蒙古自治区为例[D].呼和浩特:内蒙古财经大学,2023.

（责任编辑：钟宇）