

能源转型政策对城市环境绩效的影响——基于新能源示范城市的准自然实验

罗晨¹ 郭鉉韬¹ 郑炜曦¹ 潘福斌²

1. 厦门理工学院国际教育学院, 中国·福建 厦门 361000

2. 厦门理工学院经济与管理学院, 中国·福建 厦门 361005

摘要: 在全球气候变化与环境污染加剧的背景下, 能源转型成为实现可持续发展的关键路径。论文基于新能源示范城市的准自然实验, 运用双重差分(DID)模型, 探究能源转型政策对城市环境绩效的影响。研究表明, 能源转型政策显著提升了城市环境绩效, 且在大规模城市和非资源型城市中效果更为显著。通过机制分析发现, 绿色技术创新和环境规制强度是能源转型政策影响城市环境绩效的重要传导路径。进一步的异质性分析显示, 中小规模城市和资源型城市在经济基础、技术水平和政策执行力方面存在不足, 导致政策效果有限。论文的研究为优化能源转型政策提供科学依据, 有助于提升城市环境绩效, 推动绿色可持续发展。

关键词: 能源转型政策; 城市环境绩效; 绿色技术创新; 环境规制强度

The Impact of Energy Transition Policies on Urban Environmental Performance — A Quasi Natural Experiment Based on New Energy Demonstration Cities

Chen Luo¹ Zhongtao Guo¹ Weixi Zheng¹ Fubin Pan²

1. School of International Education, Xiamen University of Technology, Xiamen, Fujian, 361000, China

2. School of Economics and Management, Xiamen University of Technology, Xiamen, Fujian, 361005, China

Abstract: Against the backdrop of global climate change and worsening environmental pollution, energy transformation has become a key path to achieving sustainable development. This article is based on a quasi natural experiment of new energy demonstration cities, using a difference in differences (DID) model to explore the impact of energy transition policies on urban environmental performance. The research results indicate that energy transition policies have significantly improved urban environmental performance, and the effect is more significant in large-scale cities and non resource based cities. Through mechanism analysis, it is found that green technology innovation and environmental regulation intensity are important transmission paths for the impact of energy transition policies on urban environmental performance. Further heterogeneity analysis shows that small and medium-sized cities and resource-based cities have deficiencies in economic foundation, technological level, and policy implementation, resulting in limited policy effectiveness. This study provides a scientific basis for optimizing energy transition policies, which can help improve urban environmental performance and promote green and sustainable development.

Keywords: energy transition policies; urban environmental performance; green technology innovation; environmental regulation intensity

0 前言

在工业化与城市化快速发展的进程中, 环境污染问题日益凸显, 中国的能源利用结构与产业结构暴露出诸多不合理之处, 新能源示范城市建设应运而生^[1-3]。本研究聚焦能源转型政策对城市绩效的影响, 以新能源示范城市为对象, 采用准自然实验框架, 运用双重差分模型评估政策效应。首先, 通过基准回归分析检验能源转型政策对环境绩效的总体影响; 其次, 继而通过平行趋势检验和稳健性检验验证模型可靠性, 并充分确保模型假设的合理性; 进一步探讨绿色技术创新与环境规制强度在政策影响过程中的中介传导机制;

最后, 通过异质性分析揭示政策效果的差异化表现。本研究的数据来源广泛且权威, 涵盖城市层面的环境绩效数据、经济数据以及政策实施情况等多方面内容。

1 综述

近年来, 随着能源转型的加速推进, 越来越多的学者开始关注能源转型政策对城市环境绩效的影响, 并开展一系列实证研究。①能源效率政策对环境绩效具有显著促进作用。例如, 尹庆民与吴秀琳(2019)针对长江经济带的研究表明, 工业领域能源效率政策能有效提升环境效率^[4]; 李海

东等（2012）通过改进的 ISBM-DEA 模型对区域环境效率进行研究，政策与市场机制协同可进一步强化区域环境效率提升效果^[5]。②政策效果存在显著区域分异。例如，王璐璐等（2024）揭示资源型地区面临更大转型挑战但潜力突出，而经济发达地区政策适配性更强^[6]；王毅等（2023）基于长期面板数据分析指出，政策短期可能冲击经济增长与就业，但长期将促进绿色产业升级并创造新经济动能^[7]。

尽管已有研究在一定程度上揭示了能源转型政策对城市环境绩效的影响机制和效果，但仍存在一些不足之处。①多集中于单一政策效应分析，对多政策协同作用机制的研究相对薄弱。②对于能源转型政策影响城市环境绩效的区域差异、长期与短期影响等方面的研究还不够深入，缺乏系统的实证分析。

2 理论分析与研究假设

2.1 能源转型政策对城市环境绩效的直接影响

能源转型需平衡异质性特征，若忽视地区、产业及群体差异将导致能源成本分配失衡，需通过政策设计与补偿机制实现公平与可持续转型^[8]。并且，能源转型是一个复杂、漫长且不可逆的过程，受到多种经济、社会因素影响，亦存在显著的政策驱动特征^[9]。因此，能源转型政策不仅能解决当前环境问题面临的困境，更能引领城市发展走向绿色、低碳、创新的可持续道路。通过补贴新能源产业、加大绿色技术创新、优化资源配置等。从多维度对城市环境绩效施加影响，形成复杂而有序的作用机制。

据此提出假设 H1：能源转型政策对环境绩效具有显著促进影响。

2.2 能源转型政策对城市环境绩效的间接影响

能源转型政策与绿色技术创新形成双向驱动机制，这种机制深刻影响着城市环境绩效。一方面，政策为绿色技术创新提供导向与资金支持。另一方面，绿色技术创新通过产业竞争优势促进就业和经济增长，形成环境绩效提升闭环。经济发达城市因企业资源禀赋优势，在政策激励下更易形成研发投入与绿色技术突破的良性循环。该机制需依托金融支持、对外开放与经济基础的协同作用，使能源转型政策成为环境绩效提升的关键传导路径。

据此提出假设 H2：能源转型通过绿色技术创新对环境绩效产生影响。

能源转型政策通过构建多元能源体系推动结构优化与绿色转型。从环境规制强度来看，新能源示范城市政策形成“倒逼机制”，通过环境治理考核压力倒逼地方政府提升规制强度严格的环境法规和强力的监管，促使企业增加环保设备投入、改进清洁生产技术、采用清洁能源等，积极响应能源转型政策。在产业结构升级上，政策引导资源向绿色产业集聚，通过化解高耗能高污染行业过剩产能实现环境治理目标^[10]。推动能源产业从“资源—资本双主导”向“技术—资本双主导”

转型，加速产业技术交叉融合并催生新业态^[10-11]。

据此提出假设 H3：能源转型通过环境规制对环境绩效产生影响。

3 研究设计

3.1 模型构建

论文旨在研究能源转型政策对城市环境绩效的影响，采用双重差分模型进行实证分析。双重差分法通过比较政策实施前后处理组与对照组的变化，能够有效识别政策的净效应^[12]。论文将新能源示范城市政策视为一项准自然实验，借鉴史丹等^[13]的检验思路，在 276 个地级市中进行 1000 次随机抽样，每次抽样随机选出 60 个城市作为实验组，其余 216 个城市作为控制组，构建 DID 模型如下：

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 did_{it} + \sum_{k=1}^K \beta_k X_{kit} + \delta_i + \sigma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中： i 为城市， t 为年份， Y_{it} 为被解释变量， $did_{it}=tri \times pot$ 表示城市环境绩效。交互项为双重差分模型主要解释变量。其中， tri 为城市分组虚拟变量，政策试点城市取值为 1，其余城市取值为 0； pot 为时间分组虚拟变量， did_{it} 项的系数 α_1 为处理效应。 X_{kit} 为控制变量，分别包括经济发展水平、能源消费强度、对外开放水平、金融发展水平和产业结构升级； α_0 为常数项。 δ_i 为城市个体固定效应， σ_t 为时间固定效应， ε_{it} 为随机干扰项。通过上述模型构建和检验，论文能够全面评估能源转型政策对城市环境绩效的影响。

3.2 变量选取

3.2.1 被解释变量

基于投入导向的超效率 DEA 模型，对城市的环境绩效进行评价，并利用面板数据模型分析了环境绩效变动的影响因素。环境绩效是衡量某一企业、行业或地区创造单位价值产生的环境影响的大小。根据 Picazo^[14]、Camarero 等学者的研究，环境绩效指数可以用非参数相对效率评价模型 DEA 方法来计算。DEA 是通过确定生产前沿面，以相对效率概念为基础发展起来的一种效率评价方法，可对同一类型的各决策单元的相对有效性进行评定和排序。Andersen 建立了基于投入导向的超效率 DEA 模型，使相对有效决策单元之间也能进行效率高低的比较。

3.2.2 核心解释变量

论文以能源转型政策虚拟变量（ $Treat \times Post$ ）为核心解释变量，用能源转型政策实施时间（ $Post$ ）和新能源示范试验城市（ $Treat$ ）两者的乘积项衡量。

3.2.3 中介变量

论文的中介变量参考孟醒和朱平芳（2025）^[15]的研究，包括绿色技术创新和环境规制强度。绿色技术创新参考林子秋和李应博（2022）^[16]的研究方法，利用绿色发明专利授权数来衡量；环境规制强度利用城市层面的碳排放量除以第二产业产值增加值衡量。

3.2.4 控制变量

论文选取以下指标作为控制变量：①经济发展水平通过地区生产总值进行表征；②能源消费强度以电力消费量除以地区生产总值的比值衡量^[17]。③对外开放水平以外商直接投资额占地区生产总值的比重衡量；④金融发展水平以金融机构年末贷款余额衡量；⑤产业结构升级利用各地级市第三产业增加值占第二产业增加值的比重衡量。

3.3 数据来源与描述性统计

选取 2011—2020 年中国 276 个地级及以上城市的平衡面板数据为研究样本，评估新能源示范城市的能源转型政策对环境绩效的影响。相关数据来自《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国区域经济发展统计年鉴》《中国能源统计年鉴》、各省市统计年鉴及统计公报、万得（Wind）数据库、中国碳排放数据库（CEADs）以及污染源普查数据集。缺失数据采用算术平均法或线性插值法补齐。各个变量描述性统计分析结果如表 1 所示。

4 实证结果分析

4.1 基准回归

从表 2 的基准回归结果来看，能源转型政策（DIDit）对城市环境绩效（EP）在多数模型设定下呈现出显著的正向影响。在模型（1）中，DIDit 的系数为 0.0397 且在 1% 的水平上显著，表明能源转型政策的实施能有效提升城市环境绩效。随着模型逐步加入控制变量，DIDit 的系数有所变化，但在模型（6）中仍保持 0.00728 且在 1% 水平上显著。控制变量方面，经济发展水平（FDEV）在各模型中系数始终显著为正，意味着较高经济发展水平有助于提升环境绩效。金融发展水平（TS）在模型（5）和（6）中显著为正，说明金融发展对环境绩效有积极作用；对外开放水平（LED）在模型（4）中显著为正，产业结构升级（ECI）在模型（5）中其系数显著为正，均对环境绩效产生良好影响，整体结果表明能源转型政策及一系列因素对城市环境绩效有复杂但总积极的作用，见表 2。

表 1 描述性统计分析结果

变量类型	变量名称	符号	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	环境绩效	EP	0.335	0.129	0.103	1.166
解释变量	能源转型政策	DIDit	0.147	0.354	0	1
中介变量	绿色技术创新	GTI	2.627	1.688	-2.303	7.966
	环境规制强度	ENV	0.0712	0.0733	0	0.732
控制变量	经济发展水平	FDEV	9.587	0.957	6.779	12.87
	能源消费强度	FDI	0.790	0.450	0.0808	3.922
	对外开放水平	LED	0.224	0.120	0.0439	1.307
	金融发展水平	TS	1.130	0.711	0	12.21
	产业结构升级	ECI	3.132	0.0725	2.389	4.573

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	EP	EP	EP	EP	EP	EP
DIDit	0.0397*** (4.24)	0.0138* (1.82)	0.0119* (1.84)	0.00960** (1.82)	0.00669* (1.85)	0.00728*** (2.93)
FDEV		1.98e-09*** (6.72)	1.94e-09*** (6.54)	1.95e-09*** (6.58)	1.87e-09*** (6.55)	1.87e-09*** (6.56)
FDI			-0.00763 (-0.92)	-0.00998 (-1.19)	-0.00602 (-0.68)	-0.00652 (-0.74)
LED				0.114** (2.01)	0.0443 (0.71)	0.0448 (0.71)
TS					0.0227*** (3.08)	0.0228*** (3.07)
ECI						0.0000344** (2.23)
个体固定	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是
常数项	0.329*** (227.28)	0.284*** (39.60)	0.291*** (27.18)	0.268*** (17.56)	0.257*** (16.82)	0.250*** (15.73)
N	2760	2760	2760	2760	2760	2760

4.2 平行趋势检验

论文选取新能源示范城市政策实施的当期为基础期，对政策实施前 2 年和实施后 3 年进行平行趋势假设检验，图 1 展示了平行趋势检验结果。图 1 所示结果表明，新能源示范城市能源转型政策实施前（pre-3 至 pre-2），试点城市与非试点城市的动态效应值基本收敛，表明两组城市的环境绩效变化趋势相似。政策实施后（current 及 post 阶段），试点城市的动态效应值显著高于控制组，且这一差异随时间推移持续扩大。研究样本通过了平行趋势检验。

4.3 稳健性检验

4.3.1 安慰剂检验

如图 2 所示，处理组的估计系数在横轴 [-0.010, 0.020] 范围内呈现出明显的集中趋势。其中，蓝色散点所代表的实际 P 值密集分布在 0 值附近（左侧纵轴），而红色核密度曲线则在原点处形成了显著的峰值（右侧纵轴）。这表明，安慰剂组中未观察到的效应并非源于其他潜在混杂因素或统计噪声的干扰。因此，该检验结果强有力地支持了研究假

设：能源转型政策能够显著提升环境绩效，且这一效应具有明确的因果指向，而非偶然现象。

4.3.2 缩尾处理

经过缩尾处理后，能源转型政策（DIDit_winsor）对城市环境绩效（EP_winsor）的影响在模型（1）中系数为 0.00713 且在 5% 的水平上显著。这表明即使在剔除异常值后，能源转型政策仍对城市环境绩效有积极的显著影响。与未缩尾处理的模型（2）相比，DIDit 的系数为 0.00477 且在 1% 的水平上显著，说明缩尾处理并未显著改变能源转型政策对环境绩效的正向影响。控制变量方面，经济发展水平（FDEV）、金融发展水平（TS）等在缩尾处理后仍保持显著，进一步验证了其对环境绩效的积极影响。结果表明，能源转型政策对城市环境绩效的提升具有稳健性。这可能是因为能源转型政策在实施过程中，通过推动新能源的利用和减少传统高污染能源的依赖，有效降低了城市的污染物排放。这些因素共同作用，使得能源转型政策对城市环境绩效的积极影响在缩尾处理依然显著。

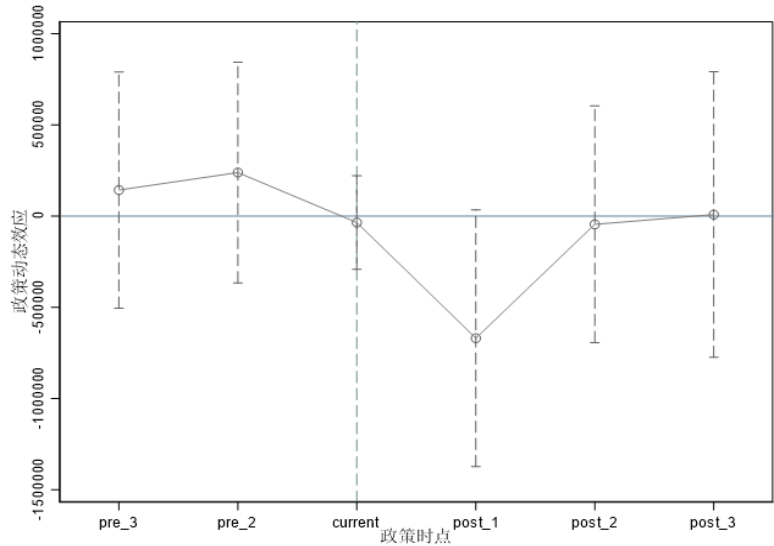


图 1 平行趋势检验

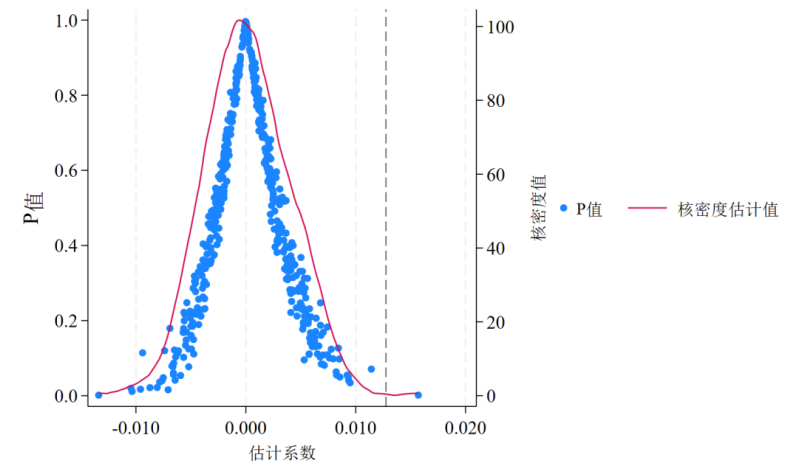


图 2 系数散点、核密度估计

4.3.3 剔除直辖市

能源转型政策（DIDit）对城市环境绩效（EP）的影响在模型（2）中系数为 0.00477 且在 1% 的水平上显著。这表明即使在剔除直辖市后，能源转型政策仍对城市环境绩效有积极的显著影响。与未剔除直辖市的模型（1）相比，DIDit 的系数为 0.00713 且在 5% 的水平上显著，说明剔除直辖市并未显著改变能源转型政策对环境绩效的正向影响。控制变量方面，经济发展水平（FDEV）、金融发展水平（TS）等在剔除直辖市后仍保持显著，进一步验证其对环境绩效的积极影响。结果表明，能源转型政策对城市环境绩效的提升在非直辖市样本中依然具有稳健性，见表 3。

表 3 稳健性检验结果

变量	(1)	(2)
	EP_winsor	EP
DIDit_winsor	0.00713**	
	0.93	
DIDit		0.00477***
		0.61
控制变量	是	是
个体固定	是	是
时间固定	是	是
常数项	0.249***	0.252***
	16.17	15.79
N	2760	2720

4.4 作用机制

机制分析结果揭示能源转型政策（DIDit）对城市环境绩效（EP）的影响机制。在模型（1）中，DIDit 对 GTI 的系数为 193.9 且在 1% 的水平上显著，表明能源转型政策显著促进了绿色技术创新。在模型（2）中，DIDit 对 EP 的系数为 0.0238 且在 5% 的水平上显著，表明能源转型政策对环境绩效有直接的正向影响。在模型（3）中，DIDit 对 ENV 的系数为 0.0283 且在 5% 的水平上显著，表明能源转型政策显著增强了环境规制强度。在模型（4）中，ENV 对 EP 的系数为 -0.350 且在 5% 的水平上显著，表明环境规制强度的增强进一步改善了城市环境绩效。结果表明，能源转型政策通过促进绿色技术创新和加强环境规制强度，间接提升城市环境绩效，见表 4。

4.5 异质性分析

异质性分析结果揭示能源转型政策（DIDit）对城市环境绩效（EP）的影响在不同城市特征下的差异。从整体来看，能源转型政策在大规模城市和非资源型城市中的影响更为显著。在模型（1）中，DIDit 对大规模城市的系数为 0.0137 且在 5% 的水平上显著，表明能源转型政策在大规模城市中对环境绩效有积极影响。在模型（4）中，DIDit 对非资源型城市的系数为 0.0145 且在 5% 的水平上显著，表明能源转型政策在非资源型城市中对环境绩效也有积极影响。然而，在中小规模城市和资源型城市中，DIDit 的系数不显著

甚至为负，表明能源转型政策在这些城市中的效果有限。这些结果表明，能源转型政策的影响在不同城市类型中存在显著的异质性，见表 5。

表 4 机制分析结果

变量	(1)	(2)	(1)	(4)
	GTI	EP	ENV	EP
DIDit	193.9***	0.0238**	0.0283**	0.0827**
	(4.42)	(2.26)	(2.78)	(2.06)
GTI		-0.0000854**		
		(-2.23)		
ENV				-0.350**
				(-2.23)
控制变量	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
常数项	-1057.1***	0.160***	0.0935***	0.282***
	(-16.23)	(3.36)	(17.38)	(15.38)
N	2760	2760	2760	2760

表 5 异质性分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	大规模	中小规模	资源型	非资源型
DIDit	0.0137**	-0.000143*	-0.00651*	0.0145**
	(2.11)	(-1.87)	(-1.77)	(2.4)
控制变量	是	是	是	是
个体固定	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
常数项	0.172***	0.265***	0.212***	0.241***
	(4.92)	(12.70)	(9.09)	(11.46)
N	980	1750	1100	1630

5 结语

本研究基于新能源示范城市准自然实验，采用双重差分模型（DID）证实能源转型政策显著提升环境绩效且效果稳健。机制分析揭示，绿色技术创新和环境规制强度是重要传导路径。异质性分析显示政策效果因城市类型差异显著分化。研究贡献体现三方面：①实证检验政策有效性，②揭示作用机制的理论内核，③阐明政策效果的异质性特征，为差异化施策提供依据。

基于此提出政策建议。政策的执行和监管是确保能源转型政策效果的关键。政府应强化政策执行监管体系，构建责任考核机制，确保各级政府部门协同推进。同时，加强对企业环境行为的监管，加强跨部门协同并严惩违规排放。此外，推动信息公开和公众参与，提高政策透明度，接受社会监督。例如，建立企业碳账户，鼓励金融机构和企业主动披露碳排放信息，促进绿色消费和生产。

参考文献：

[1] 徐喆,吕杰.环境规制与新能源产业发展:演化逻辑及优化路径[J].内蒙古社会科学,2023,44(1):124-130.

[2] 李福柱,张欣然.中国新能源示范城市的绿色低碳发展效应[J].资源科学,2023,45(8):1590-1603.

- [3] 姜浩,邓峰.新能源示范城市建设的减污降碳协同治理效应研究[J/OL].软科学,1-17[2025-02-12].
- [4] 尹庆民,吴秀琳.环境约束下长江经济带工业能源环境效率差异评价与成因识别研究[J].科技管理研究,2019,39(6):240-247.
- [5] 李海东,汪斌,熊贝贝,等.基于改进的ISBM-DEA模型的区域环境效率实证研究[J].系统工程,2012,30(7):86-93.
- [6] 王璐璐,唐葆君.“不可能三角”视角下城市能源系统转型研究:文献综述[J].煤炭经济研究,2024,44(6):16-25.
- [7] 王毅,蔡舒雅,李晓婷,等.中国能源的“不可能三角”真的不可能吗——基于耦合协调度模型的实证检验[J].世界地理研究,2024,33(8):87-101.
- [8] 张艳,李丁.论能源转型正义性的困境与实现[J].江淮论坛,2024(6):124-130.
- [9] 宋国君,王语苓,姜艺婧.基于“双碳”目标的碳排放控制政策设计[J].中国人口·资源与环境,2021,31(9):55-63.
- [10] 国务院.国务院印发《关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》[EB/OL].
- [11] 汪啸,李楠,王震.中国能源转型形势与政策建议[J].油气储运,2022,41(8):885-891.
- [12] 张爱国,李双江,杨朝均,等.中国环境污染治理投资的区域差异及其成因分析[J].环境污染与防治,2024,46(12):1845-1851.
- [13] 史丹,李少林.排污权交易制度与能源利用效率:对地级及以上城市的测度与实证[J].中国工业经济,2020(9):5-23.
- [14] Picazo-Tadeo A J, Reig-Martínez E, Gómez-Limón J A. Assessing Farming Eco-Efficiency: A Data Envelopment Analysis Approach[J]. Journal of Environmental Management,2011(92):1154-1164.
- [15] 孟醒,朱平芳.数字基建驱动绿色创新的效应与机制研究——基于“宽带中国”战略的政策实验[J].经济与管理研究,2025,46(1):90-108.
- [16] 林子秋,李应博.知识作用视角下城市间环境规制异质性与绿色创新质量研究[J].科技进步与对策,2022,39(21):33-44.
- [17] 张恒硕,李绍萍,颜冰.用能权交易制度与城市能源消费[J].中南财经政法大学学报,2024(5):124-137.