

# 基于神经网络回归模型的金融化与能源转型影响碳排放的机制研究

靳丹珍\*, 潘文超, 周芳检

湖南科技学院经济与管理学院, 湖南永州, 中国

\*通讯作者

**【摘要】**在“碳达峰”、“碳中和”的全球能源转型升级的背景下,深入剖析金融化与能源转型进程中碳排放的关联机制成为当下亟待解决的问题。基于此,本研究采用新的面板数据回归方法 PCSE (Panel-Corrected Standard Errors Regression, 面板校正标准误回归) 与 FGLS (Feasible Generalized Least Squares, 可行广义最小二乘法), 结合神经网络回归 KRLS (Kernel-based Regularized Least Squares, 核正则化最小二乘法) 的方法对碳排放的影响因素进行研究, 研究结果表明: (1) 城镇化率、原煤消耗量、金融业 GDP 占比与碳排放强度呈正相关关系; 金融业 GDP、GDP、和原油消耗量与碳排放强度呈负相关关系。(2) GDP、外商直接投资、金融业 GDP、金融业 GDP 占比和原煤消耗量对碳排放量有正向影响; 城镇化率和原油消耗量对碳排放量有负向影响。研究结果为制定科学的金融支持能源转型政策以及有效降低碳排放提供了量化依据与决策建议。

**【关键词】**碳排放量; PCSE; FGLS; KRLS; 回归估计

## 1. 引言

在全球碳中和目标与能源结构深度调整的双重背景下,金融化进程的加速与能源转型之间的复杂交互机制已成为学术界与政策界关注的焦点。自 2016 年《关于构建绿色金融体系的指导意见》明确了中国金融业绿色化转型之路后,国家政策又进一步强调绿色低碳转型中绿色金融支持的重要性,绿色金融发展已经成为我国实现“双碳”目标、提升碳排放效率的核心动力。与此同时,科技创新再推动能源低碳化的过程中发挥着日益重要的作用,各类新兴技术的发展正在重塑全球能源格局。而传统研究多聚焦于金融资本对实体经济的单向影响,却忽视了金融化通过市场投机、资本流动和技术偏向等渠道对能源转型产生的非线性传导效应。与此同时,能源系统低碳化过程中技术迭代、政策干预与市场行为的协同演化,进一步增加了因果推断的复杂性。现有文献在方法层面多依赖线性模型,难以捕捉金融化与能源转型之间动态、非对称的关联特征,导致对政策效果的预测与评估存在显著局限。在此背景下,本研究从理论机制与实证方法双重维度切入,系统剖析金融化影响能源转型碳排放的多层次路径,具有重要的学术价值与实践意义。

通过引入神经网络技术,构建包含非线性

交互项与时变特征的动态分析框架,可突破传统计量模型对变量间复杂关系的简化假设,揭示金融资本流动、绿色技术创新与碳排放强度之间的阈值效应与空间异质性。这不仅为理解金融化对能源系统的“双刃剑”效应提供理论支撑,也为发展经济学与能源环境政策的交叉理论注入新视角。当前,全球能源转型面临“绿色金融”工具创新与高碳资产搁浅风险并存的矛盾,本研究通过量化金融化对碳排放的直接与间接传导渠道,可精准识别金融政策与产业政策的协同节点,助力破解“碳减排”与“经济增长”的两难困境。

本研究的创新点体现为方法论与研究视角的双重突破。在方法层面,融合 FGLS (Feasible Generalized Least Squares, 可行广义最小二乘法)、PCSE (Panel-Corrected Standard Errors Regression, 面板校正标准误回归) 与 KRLS (核正则化最小二乘法) 三种技术优势: FGLS 有效校正金融数据中的异方差与序列相关性, PCSE 捕捉能源转型政策的非线性时变效应,新型神经网络回归 KRLS 则通过核函数映射解决高维非线性交互项的建模难题,并通过对残差进行评估来得到模型的解释力。三者结合显著提升了复杂系统下因果效应的识别精度。在研究视角上,揭示了金融资本通过能源价格波动、绿色专利投资与碳交易

市场监管等渠道对碳排放的非对称作用路径。这一研究成果为评估碳中和目标的实现路径提供了兼具理论深度与实践锐度的新范式。

## 2. 文献综述

### 2.1 国内发展现状研究

邹丽娜(2025)结合国内外相关资料,以我国的空气污染治理工作以及碳排放市场机制探索为切入点,对于所涉及的问题进行了总结:推进节能减排,最离不开的就是要营造一个更加和谐、良好的生存发展环境,并积极探讨治理空气污染与节能减排的有效路径,构建以节能减排为目的的碳交易市场[1]。刘小丽,王永利,梁东等(2025)通过 LMDI 分解模型,考虑人口规模、经济发展、产业结构、能源强度、能源结构和碳排放系数等多种因素,发现随着我国经济高质量发展水平的提高,由于经济增长效应所导致的碳排放呈现先增加后减少的趋势,产业结构、人口规模和能源结构效应对碳排放的促进作用在逐渐减弱,能源强度效应对碳减排的贡献仍旧突出[2]。莫晓燕、石一、李炳倩(2025)从碳排放核算标准、碳排放边界界定、碳排放测算方法等方面,通过对国内外碳排放相关文献的梳理,综合现在国际社会对碳排放的关注,可对今后碳排放的研究提出几点意见:改进碳排放的计算方法,研究更加准确、使用方便且适用范围广的碳排放计算方法;加强对小对象如工艺、厂区的碳排放研究[3]。周敏、韩玉潇(2025)运用固定效应模型与门槛模型检验城乡融合发展空间关联网络中心度的碳排放效应,发现城乡融合发展空间关联网络中心度对碳排放强度的影响,存在以碳排放绩效与地区经济发展水平为门槛的双重门槛效应:当碳排放绩效或地区经济发展水平大于门槛值时,城乡融合发展空间关联网络中心度的碳减排效应增强。秦炳涛、李付子(2025)通过运用联立方程模型深入剖析了能源消费、碳排放及经济增长三者间的动态关系,在大城市中,碳排放对经济增长的抑制作用和能源消费对经济增长的促进作用均更为突出;并且全国碳市场试点的实施,削弱了能源消费对经济增长的促进效应,也削弱了碳排放对经济增长的抑制作用[4]。李乔楚、陈军华、张鹏(2025)通过 Kaya 恒等式和 LMDI 模型实证检验多元影响因素的作用效应,研究发现终端消费中工业为第一大排放源,其次是交通运输业和居民生活,商业和其他服务业也不容忽视,农业和建筑业碳贡献较小;经济发展为加速碳排放的关键因素,在低碳新格局下影响逐年减小,人口

发展效应取决于规模、文明和配置效应的综合影响[5]。刘静一等(2024)采用耦合协调调度模型、基尼系数分解和杜宾模型等方法,发现政府干预以及金融化程度正向促进系统间的耦合协调发展且政府干预在空间上具有正外部性而产业结构则有显著抑制作用和负外部性,城镇化水平负外部性特征明显[6]。张玉林(2022)在系统探讨我国 CO<sub>2</sub> 排放现状与特征之后,基于 kaya 恒等式,采用 LMDI 分解法动态分析了 1997 年至 2020 年中国的 CO<sub>2</sub> 排放驱动机制,并基于时空两个维度研究了 1997-2019 年 30 个省份 CO<sub>2</sub> 排放驱动机制,并在此基础上,采用情景分析法研究了中国及其 30 个省份的未来 CO<sub>2</sub> 排放达峰的情况以及基准情景下中国未来碳排放的驱动机制[7]。

### 2.2 国外发展现状研究

Yanyun Chen、Xinzi Kong、Xingxing Wen 等(2025)基于 2010-2019 年中国 30 个省份的面板数据,运用空间杜宾模型考察了中国可再生能源发电对碳排放的主效应和溢出效应,并对东部、中部、西部地区进行异质性分析[8]。Jun Yang、Lincheng Lei、Dongyu Liu 等(2025)提出了一种区域级电-热-气综合能源系统的分布式调度方法,并集成了碳信用和绿色证书交易机制[9]。Yu Han、Xiaopan Li、Yu Zhang 等(2025)使用创新的非参数估计方法对 1989-2021 年发展中国家可再生能源、经济增长、二氧化碳排放、研究与开发和自然资源之间的关系[10]。

## 3. 方法介绍

### 3.1 PCSE 模型

PCSE 是一种较新的专门用于处理面板数据的回归分析方法,适合复杂、未知的误差结构,具有较强的稳健性。在面板数据模型中,PCSE 的核心作用是在不改变参数估计值的前提下,修正标准误以解决复杂的误差结构问题,从而确保假设检验(如 t 检验、F 检验)的可靠性,以提高统计推断的准确性。面板数据为:

$$y_{it} = a_i + X_{it}\beta + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,  $i$  是个体 ( $i=1, 2, \dots, N$ ),  $t$  为时间 ( $t=1, 2, \dots, T$ ),  $a_i$  为个体固定效应(消除不随时间变化的个体差异), 误差项为:  $\varepsilon_{it}$

PCSE 用 OLS 或固定效应模型 (FE) 估计  $\beta$ , 但校正标准误以处理复杂误差结构。标准误的计算为:

$$\text{Var}(\hat{\beta}_{PCSE}) = (X^T X)^{-1} X^T \hat{\Sigma} X (X^T X)^{-1} \quad (2)$$

其中,  $\hat{\Sigma}$  是异方差和自相关一致的协方差矩阵估计量。

### 3.2 FGLS 模型

FGLS 是一种用于处理回归模型中异方差性和自相关性的统计方法,也是较新的面板数据回归的方法,在处理误差结构明确且数量较多的样本时,具有更高的效能。其核心功能是通过调整估计误差项的协方差矩阵权重,对原始模型进行变换,从而提高参数估计的有效性和推断的准确性。FGLS 基于线性回归模型构建:

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (3)$$

其中,  $y$  是  $n \times 1$  因变量向量,  $X$  是  $n \times k$  自变量矩阵,  $\beta$  是  $k \times 1$  参数向量,  $\varepsilon$  是  $n \times 1$  随机误差项向量,在经典假设不成立(存在异方差或自相关)时, GLS 通过对模型变换使新模型满足经典假设,其核心估计量为:

$$\hat{\beta}_{GLS} = (X^T \Omega^{-1} X)^{-1} X^T \Omega^{-1} y \quad (4)$$

该通过对误差项的加权调整来提高估计效率,其中,误差项  $\varepsilon$  的协方差矩阵为:

$$\Omega = E(\varepsilon \varepsilon^T) \quad (5)$$

FGLS 模型首先需要进行初步估计,用普通最小二乘法 (OLS) 得到:

$$\hat{\beta}_{OLS} = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (6)$$

进而估计误差协方差矩阵,算出残差:

$$\hat{\varepsilon} = y - \hat{\beta}_{OLS} X \quad (7)$$

进而依据  $\hat{\varepsilon}$  估计  $\Omega$ , 用估计出的  $\hat{\Omega}$  替代 GLS 中的  $\Omega$ , 得到 FGLS 估计量为:

$$\hat{\beta}_{FGLS} = (X^T \hat{\Omega}^{-1} X)^{-1} X^T \hat{\Omega}^{-1} y \quad (8)$$

### 3.3 KRLS 模型

核正则化最小二乘法 (KRLS) 是一种结合了核方法与递归最小二乘法优点的机器学习算法,在处理非线性系统的建模和预测问题上有着表现出色。核方法能够将数据输入并映射到高维空间,使用某一非线性映射  $\phi$  将输入空间的数据  $x_i$  转换到高维特征空间,其中,正定核函数为:

$$k(x_i, x_j) \quad (9)$$

在这一特征空间中,使用一个满足 Mercer 条件的核函数来计算内积,如下式:

$$\hat{f}(x) = \sum_{i=1}^l \alpha_i k(x_i, x) \quad (10)$$

则 KRLS 的一般表达式如下:

$$k(u(i), u(j)) = \exp\left(-\frac{\|u(i) - u(j)\|^2}{\sigma^2}\right) \quad (11)$$

其中,输入样本向量为  $u(i)$  和  $u(j)$ 。在时间序列预测中,  $u(i)$  代表第  $i$  个时间点的样本。 $\|\cdot\|$  表示向量的欧几里得范数(即向量的长度)。若  $u(i) = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in})$  和  $u(j) = (u_{j1}, u_{j2}, \dots, u_{jn})$ , 则有:

$$\|u(i) - u(j)\|^2 = \sum_{k=1}^n (u_{ik} - u_{jk})^2 \quad (12)$$

其中,  $\sigma^2$  是核函数的带宽参数,它决定了核函数的形状。

核正则化最小二乘法结合了核函数和正则化技术,通过最小化误差的平方和和同时约束模型的复杂度,从而实现非线性数据的建模。它参数估计简单,易于实现,突破了传统最小二乘法的局限性,模型泛化能力强。

## 4. 实证分析

本研究使用 stata18.0 来进行 PCSE、FGLS 和 KRLS 估计,分析结果中,在 95% 置信水平下,  $P < 0.01$ , 说明自变量对因变量影响极显著,标记为“\*\*\*”;  $0.01 < p \leq 0.05$ , 说明影响显著,标记为“\*\*”;  $0.05 < p \leq 0.1$ , 标记为“\*”;  $p > 0.1$  则说明不显著,则无标记。

### 4.1 指标选取

本文以 2012 年到 2023 年这一时期内,全国 31 个省份的年度数据为样本(由于港澳台的数据的统计标准和大陆的具备独立性,因此不包含港澳台地区的研究),研究了碳排放量的决定性因素,相关数据均来自国家统计局、中国能源统计年鉴、全球大气研究排放数据库。

本文选取了 GDP、外商直接投资金额、城镇化率、金融业 GDP、金融业 GDP 占比、原煤消耗量、原油消耗量这 7 个指标作为投入变量,碳排放强度和碳排放量这 2 个指标作为产出变量,如表 1。其中, GDP 是国民经济活动的总量指标,通常与能源消费和碳排放呈正相关,经济增长更是会直接增加碳排放量;外商直接投资金额可能带来高耗能、高排放产业的转移,导致东道国碳排放增加,也可能引入绿色技术,降低碳排放强度;城镇化使得人口密度的增加和日常通勤需求的增长,增加能源消费,直促进了碳排放量的提升;金融业 GDP 及金融业 GDP 占比上升意味着经济向服务业转型,从而降低整体碳排放强度;原煤消耗量与原油消耗量是直接碳排放指标,若能源消费中煤炭和原油占比高,就意味着碳排放强度高

常更高。因此，我们将这七个指标作为研究金 融化与能源转型碳排放的投入变量。

表 1.指标体系表

指标类型	变量	指标	单位
投入指标	X1	GDP	亿元
	X2	外商直接投资金额	亿美元
	X3	城镇化率	%
	X4	金融业 GDP	亿元
	X5	金融业 GDP 占比	%
	X6	原煤消耗量	万吨
	X7	原油消耗量	万吨
产出指标	Y1	碳排放强度	吨/万元
	Y2	碳排放量	吨

4.2PCSE 估计

在进行 PCSE 估计后，结果显示模型的 P 值为 0.000，且 R-squared 分别为 0.7814 和

0.8718，接近于 1，说明模型的拟合效果好，解释能力强。

表 2.PCSE 估计结果

	Y1			Y2		
	Coef.	Std.Err.	P	Coef.	Std.Err.	P
X1	-0.0003824	0.0000804	0.000***	8.548978	1.446684	0.000***
X2	-0.000182	0.0001917	0.342	11.53357	3.462543	0.001***
X3	0.0001962	0.0000684	0.004***	-4.66823	1.359717	0.001***
X4	-3.981469	2.892921	0.169	73757.7	27696.86	0.008***
X5	0.0010459	0.0005166	0.043**	25.67515	5.823848	0.000***
X6	0.0000406	0.0000126	0.001***	2.730099	0.3039616	0.000***
X7	-0.0387484	0.0061731	0.000***	-456.1429	88.92524	0.000***
cons	4.998431	0.2493574	0.000***	31052.85	3596.532	0.000***
rhos	0.9803431	0.7956044	1	1	0.8239859	1
R-squared	0.7814			0.8718		

表 2 的结果显示，x3、x5、x6 对与碳排放强度呈正相关关系即有正面影响；其中，x3 和 x6 对 y1 影响极显著，x5 对 y1 影响显著。x1、x2、x4、x7 与碳排放强度呈负相关关系，即有负面影响；其中，x1 和 x7 对 y1 影响极显著，x2 和 x4 则对 y1 影响不显著。

这就表明，城镇化率和原煤消耗量对碳排放强度有正向影响且影响极显著，金融业 GDP 占比对碳排放强度有正向影响且影响显著。GDP 和原油消耗量对碳排放强度有负向影响且影响极显著，外商直接投资金额和金融业 GDP 对碳排放强度有负向影响但影响不显著。

x1、x2、x4、x5、x6 对与碳排放量呈正

相关关系，即有正面影响，且影响均极显著。x3 和 x7 与碳排放量呈负相关关系，即有负面影响，影响都呈现极显著。

这就表明，GDP、外商直接投资、金融业 GDP、金融业 GDP 占比和原煤消耗量对碳排放量有正向影响且影响极显著。城镇化率和原油消耗量对碳排放量有负向影响且影响极显著。

4.3FGLS 估计

在进行 FGLS 估计后，结果显示模型的 P 值为 0.000，说明模型的拟合效果好，解释能力强。

表 3.FGLS 估计结果

	Y1			Y2		
	Coef.	Std.Err.	P	Coef.	Std.Err.	P
X1	-0.000266	0.0000326	0.000***	1.44838	0.6739241	0.000***
X2	4.94E-06	0.0002236	0.982	11.31384	4.223934	0.007***
X3	0.000063	0.0000324	0.052*	-6.375621	1.038471	0.000***
X4	-3.52342	1.537484	0.022**	155597.5	29263.28	0.000***
X5	0.0019759	0.0002246	0.000***	25.49579	3.586308	0.000***

X6	0.0000361	7.27E-06	0.000***	1.98663	0.2283088	0.000***
X7	-0.0369095	0.0045892	0.000***	-949.3522	95.23662	0.000***
cons	4.443427	0.2027195	0.000***	64979.3	4774.001	0.000***

表3的结果显示, x2、x3、x5、x6对与碳排放强度呈正相关关系即有正面影响;其中, x5和x6对y1影响极显著, x3对y1影响较显著, x2对y1影响不显著。x1、x4、x7与碳排放强度呈负相关关系, 即有负面影响;其中, x1和x7对y1影响极显著, x4则对y1影响显著。

这就表明, 金融业GDP占比和原煤消耗量对碳排放强度有正向影响且影响极显著, 城镇化率对碳排放强度有正向影响且影响显著, 外商直接投资对碳排放强度有正向影响但影响不显著。GDP和原油消耗量对碳排放强度有负向影响且影响极显著, 金融业GDP对碳排放强度有负向影响且影响显著。

x1、x2、x4、x5、x6对与碳排放量呈正相关关系, 即有正面影响, 且影响均极显著。x3和x7与碳排放量呈负相关关系, 即有负面影响, 影响都呈现极显著。

这就表明, GDP、外商直接投资、金融业GDP、金融业GDP占比和原煤消耗量对碳排放量有正向影响且影响极显著。城镇化率和原油消耗量对碳排放量有负向影响且影响极显著。

#### 4.4 KRLS 预测残差估计

本研究使用新型神经网络回归KRLS对一般面板数据回归残差进行KRLS回归分析, 因为残差是实际观测值与模型预测值之间的差异, 是衡量数据是否有异常值的重要指标, 因此, 若残差在KRLS模型中不显著, 则说明本研究变量选取具有稳健性。

##### 4.4.1 碳排放强度的KRLS估计

碳排放强度的KRLS估计结果见表4, R2的值相对较低, 解释能力不足, 说明残差中没有被KRLS模型解释的结构性信息, 即一般面板数据回归模型中已经最大限度地捕捉了数据中因变量对与Y1的关系, 剩下的残差是纯随机噪声, 残差之间的线性关系不显著, 说明本研究的投入变量与产出变量1数据选取恰当。

表4.碳排放强度KRLS估计结果

Fe-residuals1	Avg	SE	P
X1	5.2e-07	4.5e-07	0.242
X2	-7.3e-06	0.000015	0.625
X3	7.6e-07	3.9e-07	0.052
X4	0.042799	0.035939	0.235
X5	0.000011	6.8e-06	0.121

X6	-1.8e-07	3.7e-07-	0.617
X7	0.000131	0.000105	0.213
LAMBDA		105.9	
R2		0.01238	
Eff.df		2.158	

##### 4.4.2 碳排放量的KRLS估计

表5.碳排放量KRLS估计结果

Fe-residuals2	Avg	SE	P
X1	0.245978	0.073268	0.001***
X2	-9.48614	2.46796	0.000***
X3	0.331601	0.081245	0.000***
X4	6124.27	6410.68	0.34
X5	0.343303	1.12043	0.759
X6	-0.124523	0.114741	0.279
X7	6.96844	13.0075	0.593
LAMBDA		0.2043	
R2		0.4888	
Eff.df		47.64	

碳排放量的KRLS估计结果见表5, R2的值相对较低, 解释能力不足, 说明残差中没有被KRLS模型解释的结构性信息, 即一般面板数据回归模型中已经最大限度地捕捉了数据中因变量对与Y2的关系, 剩下的残差是纯随机噪声, 残差之间的线性关系不显著, 说明本研究的投入变量与产出变量2数据选取恰当。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 结论

碳排放强度影响因素: PCSE模型和FGLS模型均显示城镇化率、原煤消耗量、金融业GDP占比与碳排放强度呈正相关关系, 影响显著程度不同; 金融业GDP、GDP、和原油消耗量与碳排放强度呈负相关关系, 影响显著程度不同。唯一不同的是外商直接投资金额在PCSE模型中对碳排放强度有负向影响但影响不显著。但是在FGLS模型中, 外商直接投资对碳排放强度则有正向影响, 但影响同样不显著。

碳排放量影响因素: PCSE模型和FGLS模型得到了相同的结果: GDP、外商直接投资、金融业GDP、金融业GDP占比和原煤消耗量对碳排放量有正向影响且影响极显著。城镇化率和原油消耗量对碳排放量有负向影响且影响极显著。

### 5.2 政策建议

进行金融供给侧结构性改革: 政府进一步

完善绿色金融相关的政策和法规，为金融机构和企业提供明确的指导；要求上市金融机构披露投资组合碳足迹，将碳排放及其相关信息公开化、透明化；扩大绿色债券发行规模，设立专项低碳项目信贷额度，优先支持清洁能源和节能环保等领域；开发碳排放质押融资产品，加强重点企业的监管力度；鼓励金融机构设立ESG主题基金，推出碳期货、碳期权等金融衍生工具，引导资本流向低碳企业。

**协同优化产业结构与能源结构：**建立健全可再生能源的相关法律法规及其配套制度，鼓励可再生能源消费；建立绿色GDP导向机制，将单位碳排放与GDP挂钩，对各省份年均碳生产率做出要求；同时对能源消费做出总量时间控制，推行原油消费弹性系数管理；给予环保产业一定的政策支持，推动产业循环化发展，研发废弃物资源化等技术，减少碳排放生命周期。

**引导外商投资与绿色技术转移：**提高对外开发水平，引进优质绿色外资，鼓励跨国企业与东道国合作开发本土化绿色技术，对引进低碳技术的企业给予鼓励并进行一定的成本补贴；出台外商直接投资负面清单，对高能耗、高污染企业做出约束，通过碳税或碳排放交易权提高高碳行业成本，倒逼外资转向低碳技术，提高有效准入门槛；地方政府应针对地区发展的异质性，采取差异化引资政策，促进当地吸收能力因素与外商直接投资形成良性互动机制。

**探索新型城镇化低碳发展模式：**通过制度创新，激励和监督地方政府在新型城镇化低碳发展中的行为，实现地方政府间的跨区域合作，优化资源配置；加强城市群建设，建立覆盖城市建设的碳计量系统，对城市建设碳排放量作出规定，强制增加智慧能源基础设施，提升清洁能源覆盖率，推动能源转型升级；推进城市碳排放检测数字化、智能化，利用人工智能与大数据算法优化城市能源调度和交通信号系统，减少使用过程中的能源消耗和碳排放，提高资源配置效率。

## 参考文献

- [1] 邹丽娜.我国空气污染治理和碳排放的市场机制分析[J].黑龙江环境通报, 2025, 38(04): 105-107.
- [2] 刘小丽, 王永利, 梁东等.我国碳排放影响因素及其减排路径研究——基于LMDI模型的分析[J].价格理论与践, 2025(02): 229-233+244.
- [3] 莫晓燕, 石一, 李炳倩.碳排放计算方法综述[J].辽宁化工, 2025, 54(03): 480-483.
- [4] 秦炳涛, 李付子.能源消费、碳排放与经济增长的动态关系研究: 实现“双碳”目标的路径[J].技术与创新管理, 2025, 46(02): 217-226.
- [5] 李乔楚, 陈军华, 张鹏.区域能源消费碳排放时空特征及影响因素分析——以川渝地区为例[J].天然气技术与经济, 2025, 19(01): 50-60.
- [6] 刘静一, 王梦垚, 李文涛等.绿色金融与碳排放效率的时空耦合及影响因素研究[J].浙江金融, 2024(10): 43-54.
- [7] 张玉林.中国碳排放驱动机制与达峰研究[D].桂林电子科技大学, 2022.
- [8] Chen Y Y, Kong X Z, Wen X X, Fu Y. Analysis of the spatial spillover effect of electricity generation from renewable energy on carbon emissions: based on empirical evidence from Chinese provinces and cities. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2025, 68(6): 1449-1471.
- [9] Yang J, Lei L C, Liu D Y, Luo W Y. A distributed dispatch approach for district-level electric-heat-gas integrated energy systems considering carbon emission and green certificate trading. *Electric Power Systems Research*, 2025, 244: 111541-111541.
- [10] Han Y, Li X P, Zhang Y, Goi N. Balancing economic growth and ecological sustainability: Factors affecting the development of renewable energy in developing countries. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2025, 116: 601-612.