

文章编号: 1673-1646(2026)02-0088-11

“双碳”背景下技术转移对我国省域碳排放的影响

闫豪¹, 李彦华^{1*}, 王怡涵²



(1. 中北大学 经济与管理学院, 山西 太原 030051; 2. 河南大学 高级金融学院, 河南 郑州 450046)

摘要: “双碳”背景下, 技术转移对省域碳排放的影响方向、效应特征及作用机制, 是区域低碳转型厘清的关键议题。基于2003—2022年中国31省面板数据, 采用分样本检验与面板计量模型方法, 分析其内在影响逻辑。研究发现: 技术转移对省域碳排放呈现显著且稳健的全程增碳特征; 产业结构升级通过提升能效产生负向缓冲作用, 能源消费结构则因加剧化石能源依赖而呈现短期正向中介效应, 两类路径受创新水平调节, 高创新水平地区的增碳效应弱于低创新水平地区。据此本研究提出: 建立技术转移低碳评估体系, 优先引导绿色技术流动; 以创新牵引产业低碳升级, 结合区域禀赋实施差异化政策; 同步扩大清洁能源替代, 构建协同降碳的长效机制。

关键词: 技术转移; 省域碳排放; 创新水平异质性; 多重中介效应

中图分类号: F062.4; X511

文献标识码: A

doi: 10.62756/xbk.1673-1646.2026039

引用格式: 闫豪, 李彦华, 王怡涵. “双碳”背景下技术转移对我国省域碳排放的影响[J]. 中北大学学报(社会科学版), 2026, 42(2): 88-98.

Impacts of Technology Transfer on China's Provincial Carbon Emissions Under the Background of Dual Carbon Goal

YAN Hao¹, Li Yanhua^{1*}, WANG Yihan²

(1. School of Economics and Management, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Advanced Institute of Finance, Henan University, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: In the context of dual carbon goals, the direction of influence, effect characteristics, and the mechanism of action of technology transfer on provincial carbon emission of are key issues that need to be clarified for regional low-carbon transformation. Based on the panel data of 31 provinces in China from 2003 to 2022, adopted sub-sample inspection and panel econometric models, the intrinsic logic was analyzed. The results show that technology transfer has a significant and robust effect of increasing carbon emissions throughout the whole process for the provinces. Industrial structure upgrading forms a negative buffer by improving energy efficiency, and the energy consumption structure shows a short-term positive effect due to the intensification of fossil energy dependence. The two types of paths are regulated by the innovation level, and the carbon increase effect in high-innovation areas is weaker than in low-innovation areas. Accordingly, it is proposed: Establish a low-carbon assessment system for technology transfer, to guide the flow of green technology preferentially; Lead the low-carbon upgrading of industries by innovation, to implement differentiated policies according to regional endowments, And expand the substitution of clean energy simultaneously, to build a collaborative carbon reduction mechanism.

Key words: technology transfer; provincial carbon emissions; heterogeneity of innovation level; multiple intermediary effect

收稿日期: 2025-10-09

基金项目: 2025年山西省研究生教育创新计划研究生学术创新项目: “双碳”战略下技术转移对制造业碳排放的影响研究(2025XS447); 2025年山西省哲学社会科学规划课题经济专项(智库类别): “双链融合”视角下山西光伏产业“链式培育”机制研究(2025ZK101)

作者简介: 闫豪(2002—), 女, 研究生, 从事专业: 工商管理。E-mail: 18335419067@163.com。

*通信作者: 李彦华(1975—), 女, 教授, 硕士生导师, 从事专业: 管理学。E-mail: lyhzbz1@nuc.edu.cn。

在“双碳”战略背景下,我国已将碳达峰、碳中和深度融入经济社会发展全局^[1],先后出台了《2030年前碳达峰行动方案》^[2]《“十四五”节能减排综合工作方案》^[3]等系列政策文件,明确将能源绿色低碳发展作为核心抓手,着力构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。《“十四五”节能减排综合工作方案》特别强调强化绿色低碳发展区域布局^[3],省域作为政策执行的关键单元,其减排成效直接关系到全国“双碳”目标的协同推进。在“全国统筹、分类施策”的战略框架下,探索省域低碳发展的差异化路径成为当前的关键命题。当前,我国省域碳排放格局呈现显著的结构分化,而技术转移作为跨区域创新要素流动的核心载体,其碳效应呈现出显著的复杂性:长三角地区引入新能源相关技术后因配套的高碳产业链而呈现增碳特征;部分中西部省份因技术吸收转化能力有限,陷入“技术引入+排放上升”的困境。2023年,全国碳市场扩容后,环境规制与碳市场机制的联动效应尚未充分显现,如何通过政策优化破解技术转移中的“全程增碳”困境、平衡区域减排能力,成为实践领域亟待突破的关键课题。

从理论逻辑与实践需求的衔接来看,技术转移影响省域碳排放的内在机制仍存在诸多待厘清的维度。一是理论不足,传统“短期增碳、长期减碳”逻辑未考虑中国碳锁定与技术高碳偏向性,全程增碳的动态演化路径尚不明确;二是机制未明,产业结构升级与能源消费结构的中介传导机制缺乏量化验证,二者之间差异化中介特征尚未被充分揭示;三是调节效应未检验,区域创新水平对增碳效应的异质性调节机制,及其在不同区域的具体表现与形成机理亟待解析。上述问题的答案为区域低碳政策的准确性与有效性提供参考。若长期缺乏明确结论,将导致政策制定陷入“重技术转移规模、轻结构优化”的困境,最终制约全国“双碳”目标的协同推进。鉴于此,本文聚焦省域研究尺度,整合分析视角,不仅同时纳入产业结构与能源消费结构的双重中介以解析传导机制,还重点考察创新水平的异质性调节作用,旨在深入揭示技术转移影响省域碳排放的内在逻辑,为破解碳锁定、优化技术转移政策提供理论支撑,助力“双碳”目标下经济高质量发展与生态环境改善的协同推进。

1 文献回顾与研究假设

1.1 文献回顾

1.1.1 技术转移

技术转移作为跨区域创新要素流动的关键载体,

其碳效应的复杂性与区域异质性已成为学界关注焦点。现有研究形成了“减排”与“增碳”的双重争议:孙中等^[4]在分析数字技术转移对环境质量的影响时发现,技术转移的环境效应受区域技术吸收能力与配套条件制约,若转移技术偏向高碳领域,反而可能推高排放;杨静媛等^[5]研究证实,核心城市群与边缘区域的技术转移效率差异进一步加剧区域增碳效应分化;周彦楠等^[6]对粤港澳大湾区清洁能源技术转移的研究虽聚焦清洁技术,但也指出部分创新资源匮乏地区因配套了高碳产业链,即便引入清洁技术仍呈现增碳特征,本质上是“技术转移无效性”向“增碳性”的延伸。

在政策工具协同与中介路径研究方面,李琳娜等^[7]通过实证分析验证了技术转移碳效应存在空间异质性,但未关注“高碳偏向型技术转移”的政策约束缺口。刁海璨和张延群^[8]研究表明,碳市场机制需与环境规制政策协同发力才能激发绿色创新,但该结论未延伸至技术转移领域。张怡宁^[9]等证实技术进步的环境效应受区域吸收能力与配套条件制约,这一结论虽未直接指向技术转移,但为解析“技术转移增碳的区域异质性”提供了借鉴机制;张文蓓等^[10]对长江中游城际技术转移网络的研究虽揭示出其核心驱动因素,但未整合创新水平对“增碳效应”的调节作用。叶云岭等^[11]关于知识产权保护、技术转移与企业持续创新的研究,未延伸至碳排放层面,无法支撑“如何通过创新抑制技术转移增碳”的分析需求。

从理论基础看,技术转移的环境效应研究源于经典理论关于技术进步与环境质量关系的阐释,但传统理论在中国“全程增碳”情境下的适用性存在局限。环境库兹涅茨曲线^[12]首次将技术扩散纳入其分析框架,但其“阶段性减排”假设未考虑碳锁定约束;南北贸易视角下的三重效应理论^[13]指出,技术转移通过规模、结构和技术效应动态博弈作用于碳排放,虽提及“短期增碳”,但默认“长期减碳”,忽视中国高碳产业路径依赖下“全程增碳”的可能;偏向性技术进步理论^[14]强调环境规制对技术转移方向的引导作用,但该理论以“清洁技术可获得性”为前提,无法解释中国省域技术转移多偏向高碳领域的现实。从作用路径看,现有研究认为技术转移可通过“跨越门槛值推动产业升级减排”^[15]和“协同环境规制促进绿色技术进步”^[16],但未意识到,若技术转移未突破高碳产业主导格局,产业升级仅优化高碳产业内部结构,而绿色技术进步却滞后于规模扩张,致使两条路径均无法抵消增碳效应。

区域创新水平的异质性导致技术转移增碳效应存在显著差异。王倩和刘瑞明^[17]的研究表明,高

创新地区凭借较强的技术吸收能力,能通过优化产业结构、提升能源效率部分抵消技术转移的增碳强度,而非传统认知中的“强化减排效果”;低创新地区由于配套能力不足,技术转移的“高碳规模效应”完全占据主导,增碳特征更突出。这种差异在全球价值链视角下更为明显,杨博和王林辉^[18]研究发现,高端嵌入地区可通过技术溢出抑制高碳技术扩张,从而缓解增碳;低端嵌入地区则易陷入高碳锁定,技术转移进一步强化排放增长。这些发现为“创新水平负向调节增碳效应”提供了实证支持。

1.1.2 省域碳排放

省域作为政策执行的核心单元,其碳排放因产业结构、能源禀赋及技术转移偏向性等因素呈现显著分化,且该分化被“高碳型技术转移”进一步放大。王鸿平等^[19]指出,区域低碳发展需政策与技术支撑,但未提及技术转移偏向高碳领域会强化排放分化;乔洪洋和吴三忙^[20]发现,区域经济模式与减排政策的协同差异,既拉大了排放差距,也使得技术转移的增碳效应呈现区域异质性。

省域碳排放空间差异与驱动机制研究围绕“经济增长与碳减排协同”这一主题展开,但现有研究多聚焦技术转移减排潜力,忽视了其可能带来的全程增碳现实。张建伟等^[21]发现技术转移结构影响排放分布,但其结论未充分考虑高碳产业规模扩张的增碳增量;此外,技术转移偏向性会放大省域间排放差距^[22]。

综上所述,现有研究从理论框架、空间特征、作用机制等维度对技术转移与省域碳排放量的关系展开探讨,但仍存在以下关键研究缺口:其一,现有研究多假设技术转移“短期增碳、长期减碳”^[23],未基于省域面板数据系统检验其全程增碳特征,技术转移规模与碳排放量的正向量化关联仍处于模糊状态;其二,现有研究聚焦产业结构升级、能源消费结构优化的减排中介效应,未深入研究短期正向增碳传导的双重机制;其三,现有研究多关注创新水平对减排效应的异质性调节作用,高、低创新地区技术转移增碳效应的差异及其形成机理仍未得到充分解释。

鉴于此,本文聚焦省域尺度,围绕技术转移与省域碳排放的关联,深入探究产业结构升级与能源消费结构的中介作用,并分析地区差异,以此解析技术转移影响省域碳排放的内在逻辑与差异化特征,为省域低碳转型的政策制定提供依据。

1.2 研究假设

1.2.1 技术转移与省域碳排放

碳效应的方向与强度受技术转移类型与区域发展特征的双重约束。从中国省域实践来看,转移技术长期呈现显著的“高碳偏向性”:受产业结构路径依赖与资源禀赋约束,技术转移多集中于钢铁、化工、煤炭加工等传统高耗能产业的效率升级领域,而非清洁能源替代、低碳技术创新等减排导向型技术^[24]。这类技术转移的核心作用是提升高碳产业的生产效率、降低单位产品能耗,但同时会直接带动产能规模的扩张。产能扩张带来的碳排放增量,远超过单位能耗下降实现的减排量,从而形成“效率提升—规模扩张—排放增长”的循环。

从长期来看,技术锁定效应进一步强化了这一增碳机制。研究指出,这种锁定效应阻碍了低碳技术的扩散与应用,导致技术转移的增碳效应未随时间推移呈现衰减或反转,反而因产业规模的持续扩张而强化,呈现出“全程增碳”的特征^[25]。据此,本文提出假设:

H1: 技术转移数量与省域碳排放量显著正相关,且该正向影响在短期和长期均保持稳健,呈现“全程增碳”特征。

1.2.2 产业结构升级的中介作用

技术转移能够为区域产业发展注入新的技术元素,推动产业从传统高耗能、低附加值领域向低能耗、高附加值的新兴领域升级。高附加值产业通常具有更高的生产效率和更低的碳排放量,产业结构优化可通过提升产业能效、优化生产要素在产业间的配置等途径,有效降低单位产出的碳排放。技术转移通过促进产业结构升级转型,进而对省域碳排放产生抑制作用。据此,提出假设:

H2: 产业结构升级在技术转移数量影响省域碳排放量的过程中发挥中介作用。

1.2.3 能源消费结构的中介作用

技术转移有助于区域引进清洁生产技术和先进的能源利用技术。这些技术的应用可推动区域能源消费结构向低碳化转型。能源消费结构的优化可直接减少煤炭、石油等化石能源的消耗,从而降低化石能源燃烧产生的碳排放量。技术转移通过优化能源消费结构,间接抑制了省域碳排放量。基于此,提出假设:

H3: 能源消费结构在技术转移数量影响省域碳排放量的过程中发挥中介作用。

1.2.4 创新水平异质性

创新水平作为调节变量的选择,源于创新系统理论与技术吸收能力理论的核心逻辑:区域创新水平决定了技术转移的应用效率与转型方向,其调节作用主要通过技术吸收、二次创新与效应转化等环节构成的链条实现^[26]。

高创新地区通常拥有更完善的创新体系,包括充足的研发经费、丰富的创新人才以及健全的产学研协同机制。它们更有能力将转移来的技术与本地低碳创新需求相结合,推动技术应用从单纯的高碳效率提升向低碳替代转型拓展,从而削弱技术转移引发的产业规模扩张,降低其碳排放强度。

与之相反,低创新地区的技术吸收与转化能力相对薄弱。受限于创新资源匮乏、产学研协同机制不完善等因素,这些地区对转移技术的应用通常停留在简单复制阶段,却难以开展二次创新或推动低碳技术替代^[27]。因此,在低创新地区,技术转移的规模效应完全占据主导,产业结构升级与能源消费结构优化的中介作用难以有效发挥,从而使技术转移的增碳效应更为突出。基于此,本文提出如下假设:

H4: 创新水平对技术转移数量与省域碳排放量的关系具有异质性调节作用,高创新地区的增碳效应显著弱于低创新地区。

2 研究设计

2.1 变量选取

2.1.1 被解释变量

被解释变量为碳排放水平,它包括两类核心指标:一是二氧化碳排放量(eco_2),借鉴许广月等^[28]的能源消费法测算思路,以“中国各省、市、区县二氧化碳排放量”的专项数据集为基础,匹配各省份不同行业的能源消费数据与政府间气候变化专门委员会(inter-governmental panel on climate change, IPCC)排放系数进行计算,数据经生态环境部温室气体清单报告校

准,并与刘媛等^[29]的碳核算逻辑保持一致,以确保省域统计口径的统一;二是二氧化硫排放总量(eso_2),作为稳健性检验变量,参考姜博艺等^[30]的减污降碳测度规范,采用2003—2022年《中国环境统计年鉴》中由地市监测部门核定的数据,符合统一的工业污染源统计标准,反映区域工业污染特征,可用于验证技术转移的减排效应在大气污染治理中的适用性。

2.1.2 解释变量

核心解释变量为绿色技术转移数量(num)。“双碳”目标下,绿色技术在省域间的流动与扩散是推动区域低碳发展、降低碳排放的核心动力之一。借鉴Zhang等^[31]的研究方法,依托国家知识产权局专利数据库,梳理省域间绿色专利转让、许可等量化数据,将绿色专利转移数量作为评估技术扩散规模的核心指标。绿色专利转移直接体现了省域间绿色技术供给与需求的流动过程,且兼具商业化指向与区域扩散属性。相较于研发投入、绿色专利申请量等间接指标,该指标更为精准,能更好地呈现省域绿色技术转移的实际情况。因此,本研究采用该指标量化省域绿色技术流动态势,为后续分析其对碳排放的影响奠定基础。

2.1.3 中介变量

中介变量含产业结构升级($higdex$)与能源消费结构($enelow$)。产业结构升级参照杨镒泽等^[32]的方法,以第三产业与第二产业增加值比值衡量,经行业权重交叉检验,其测度契合江深哲等^[33]的研究逻辑。能源消费结构则借鉴Fan G等的方法^[34],采用低碳化指数衡量,二者作为中介变量,用以揭示结构转型的减排传导作用。

2.1.4 控制变量

参照以往研究,本文选择经济发展水平($Gdpidx$)、环境规制强度($Envreg$)、对外开放程度($Fdiidx$)、工业化水平($Indlv$)、创新水平($Imolv$)为控制变量,数据来源于2022—2023年《中国统计年鉴》和《中国环境统计年鉴》,具体变量定义见表1。

表 1 变量的定义

变量类型	变量符号	变量名称	变量单位	变量定义
被解释变量	eco_2	二氧化碳排放量	亿吨	各省能源消费数据×行业排放系数
	eso_2	二氧化硫排放量	万吨	《中国环境统计年鉴》地市监测部门年度核定值
解释变量	num	绿色技术转移数量	个	省域间绿色专利转移数量
中介变量	$higdex$	产业结构升级	%	第三产业增加值/第二产业增加值
	$enelow$	能源消费结构	%	(清洁能源消费占比×权重)+(单位GDP能耗系数×权重)合成低碳化指数
	$Gdpidx$	经济发展水平	元/人	人均GDP
	$Envreg$	环境规制强度	%	环境治理投资额/GDP
控制变量	$Fdiidx$	对外开放程度	%	实际利用外商直接投资金额(元)/GDP
	$Indlv$	工业化水平	%	第二产业增加值/GDP
	$Imolv$	创新水平	%	研发经费内部支出/GDP

2.2 计量模型

以下是基于前文研究假设部分构建的面板数据计量模型:

1) 技术转移对碳排放的直接影响(基准回归)

$$ECO_{2it} = \alpha_0 + \alpha_1 Num_{it} + Controls_{it} + \sum Pro_i + \sum Year_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

2) 中介效应模型1——产业结构升级的中介作用

$$HigDex_{it} = \beta_0 + \beta_1 Num_{it} + Controls_{it} + \sum Pro_i + \sum Year_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$ECO_{2it} = \gamma_0 + \gamma_1 Num_{it} + \gamma_2 HigDex_{it} + Controls_{it} + \sum Pro_i + \sum Year_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

3) 中介效应模型2——能源消费结构的中介作用

$$EneLow_{it} = \delta_0 + \delta_1 Num_{it} + Controls_{it} + \sum Province_i + \sum Year_t + \epsilon_{it} \quad (4)$$

$$ECO_{2it} = \theta_0 + \theta_1 Num_{it} + \theta_2 EneLow_{it} + Controls_{it} + \sum Pro_i + \sum Year_t + \epsilon_{it} \quad (5)$$

其中, eco_2 为省域碳排放水平(eso_2 为稳健性检验变量); num 表示绿色专利转移数量; α_1 、 β_1 、 γ_1 、 δ_1 等为本文的主要关注系数; $Controls$ 为控制变量集(包含经济发展水平 $Gdpidx$ 、环境规制强度 $Envreg$ 、对外开放程度 $Fdiidx$ 、工业化水平 $Indlv$ 、创新水平 $Imolv$ 等); $year$ 表示年份固定效应; ϵ 表示随机扰动项; $higdex$ 为产业结构高级化的中介变量; $enelow$ 为能源消费结构的中介变量; 模型中 i 表示省份, t 表示年份。

2.3 数据来源

本文以中国31个省份(不含港澳台地区)为研究对象,由于专利从申请到公开一般存在18个月滞后期,且为保障数据连续性、完整性与科学性,综合考虑后将考察期设定为2003—2022年,共计形成620个省级平衡面板数据观测值。数据来源于2003—2022年《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及国家知识产权局专利数据库和EPS(Economy Prediction System)全球统计数据平台。

专利是衡量技术知识的有效指标,专利转让数量反映了区域创新交互,是衡量技术转移最直接的指标之一。因此,本文基于2010年世界知识产权组织推出的“国际专利分类绿色清单”七大专利分类体系,以绿色专利转移数量作为技术转移的代理变量,参考ZHANG B等^[31]的测度逻辑构建区域绿色技术流动的测度框架;碳排放数据依据IPCC(2006)排放因子法核算,基于各省份能源消费结构

估算二氧化碳排放总量,核算方法与刘媛等^[29]一致,该方法在区域碳排放核算领域应用广泛。控制变量包括经济发展水平、产业结构、环境规制、对外开放程度、工业化水平和创新水平等指标;同时剔除了数据缺失严重或经历行政区划调整的样本,最终形成可用于后续实证分析的省级面板数据。

3 数据特征与可视化分析

3.1 关键年份选取依据

由于2006年是我国低碳政策体系初步构建的关键期,《“十一五”规划纲要》首次将单位GDP能耗降低列为约束性指标,推动省域开启传统产业技术改造,技术转移以“高碳产业升级”为主,呈现“规模效应主导”特征;而2021年是“双碳”目标落地后的攻坚年,《2030年前碳达峰行动方案》出台,省域技术转移向清洁能源、智能装备等领域倾斜,“技术效应+结构效应”逐步主导减排进程,两个年份的政策导向差异直接影响技术转移与碳排放的关联逻辑。同时,这两个年份的数据兼具完整性与代表性。所以在2003—2022年省域面板数据中选取2006年与2021年作为关键对比节点,对核心变量的时间趋势进行可视化分析。

3.2 绿色技术转移数量变化趋势分析

绿色技术转移数量的空间分布,详见图1。2006年,我国绿色技术转移呈现出显著的区域不均衡特征,仅北京等少数地区的转移量相对较高,甘肃、广西、贵州等多数中西部省份的转移量均处于较低水平,整体技术转移活跃度较低;2021年,全国各省份绿色技术转移量均有明显提升,且高转移量覆盖范围大幅扩展,表明全国范围内绿色技术转移的活跃度显著增强,区域间绿色技术的交流与扩散持续向好。

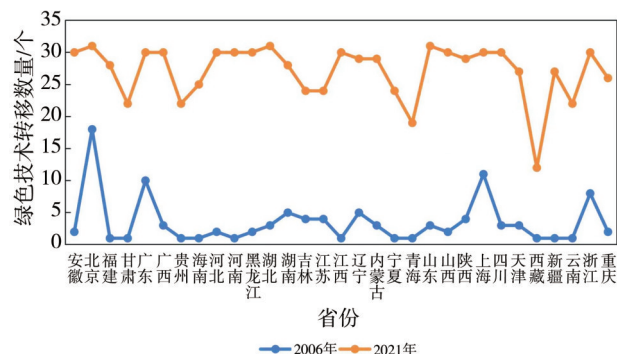


图1 绿色技术转移数量变化趋势图

3.3 CO₂排放量变化趋势分析

CO₂排放量的空间分布,详见图2。2006年,我

国省域CO₂排放已呈现区域差异特征:仅河北等少数地区排放相对偏高,广西、西藏等多数中西部欠发达及生态敏感区域的排放均处于较低区间。2021年,全国多数省份CO₂排放均出现明显增长,高排放区间的覆盖范围显著扩大。这一演变既反映出经济社会发展带动下整体排放规模的增长态势,也为探究绿色技术转移对碳排放的调节作用提供了现实背景。

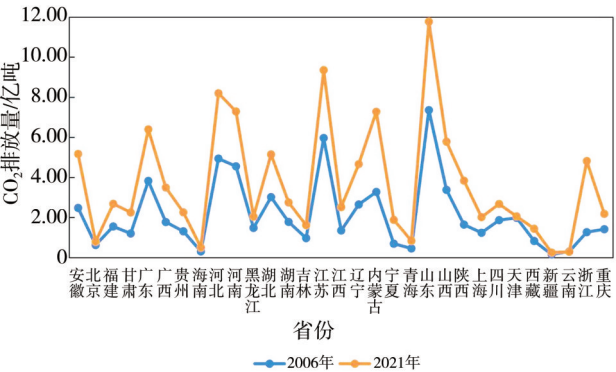


图2 省域CO₂排放量变化趋势图

3.4 产业结构升级变化趋势分析

产业结构的空间分布,详见图3。2006年,我国产业结构在空间上存在显著差异:华北的部分地区产业结构处于较高区间,广大中西部及部分东部区域产业结构水平相对较低;2021年,产业结构的空间格局发生了显著变化,除少数区域外,全国多数省份产业结构向中高值区间集聚,且高值区间覆盖范围有所拓展。这表明随着经济发展与产业政策实施,全国产业结构调整取得一定成效,区域间产业发展的协调性增强,整体产业层次也有所提升。

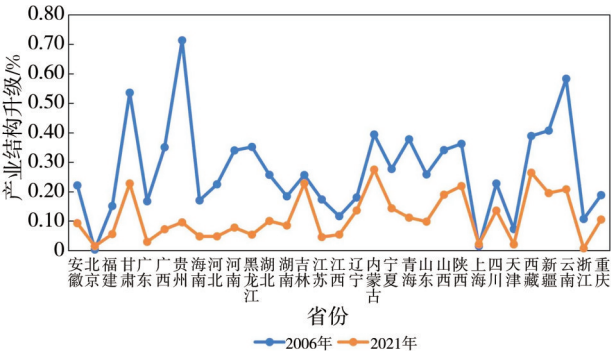


图3 产业结构升级变化趋势图

3.5 能源消费结构变化趋势分析

能源消费结构的分布,详见图4。2006年,我国能源消费结构呈现多元化分布态势,不同区间在空间上均有分布;2021年,高值区间的覆盖范围大幅扩展,全国范围内能源消费结构向高值区间集聚的特

征显著。这既体现了经济发展对能源需求的拉动作用,也反映出能源利用模式随技术进步等因素发生的转变,为研究绿色技术转移与能源消费结构优化的关联性提供了典型的时空演变依据。

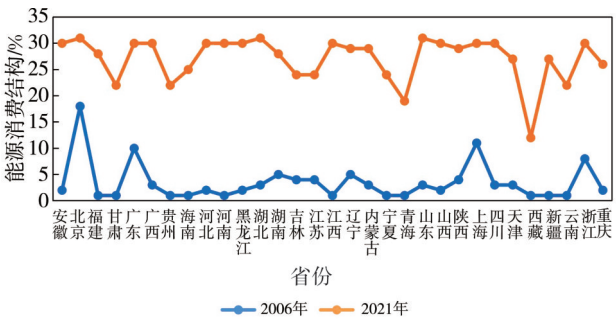


图4 能源消费结构变化趋势图

4 实证结果与分析

4.1 描述性统计

各变量描述性统计分析结果如表2所示:二氧化碳排放量的均值与标准差反映出区域间碳排放和大气污染排放存在显著差异,技术转移数量极值体现绿色技术跨区域流动的不均衡性;产业结构升级和能源消费结构的指标差异,揭示了区域间产业转型与能源低碳转型的进度差异,为后续的实证分析提供了数据支撑。

表2 各变量的描述性统计结果

变量	样本量/个	均值	标准差	最小值	最大值
<i>eso₂</i>	620	52.00	46.00	0.10	200.30
<i>eco₂</i>	620	2.86	2.35	0.12	11.78
<i>num</i>	620	12.80	9.97	1.00	31.00
<i>higdex</i>	620	1.12	0.64	0.49	5.30
<i>enelow</i>	620	5.59	0.41	4.85	7.15
<i>Gdpidx</i>	620	1.17	0.78	0.28	4.93
<i>Envreg</i>	620	227.45	1 268.96	0.00	9 483.62
<i>Fdiidx</i>	620	0.30	0.35	0.01	1.71
<i>Indlv</i>	620	0.33	0.10	0.07	0.56
<i>Innovlv</i>	620	8.73	1.92	1.39	12.40

4.2 相关性分析

为检验变量间的线性关联程度,本文进行Pearson相关性分析,结果如表3所示。就核心变量而言,产业结构升级与二氧化碳排放量显著正相关,验证了产业结构对碳排放存在直接影响。整体而言,各变量间相关性方向与理论预期基本一致,为后续的回归分析提供了合理性支撑。

为进一步检验多重共线性,本文采用VIF检验,检验结果显示所有变量VIF值均小于10,说明模型不存在严重多重共线性问题,详见表4。

表 3 变量间的相关关系

变量	(1)num	(2)eco ₂	(3)higdex	(4)enelow	(5)Gdpidx	(6)Envreg	(7)Fdiidx	(8)Indlv	(9)Innolv
(1)num	1.000								
(2)eco ₂	0.345***	1.000							
(3)higdex	0.456***	-0.216***	1.000						
(4)enelow	0.545***	-0.025	0.628***	1.000					
(5)Gdpidx	0.388***	0.004	0.607***	0.547***	1.000				
(6)Envreg	0.057	0.089**	-0.063	-0.107***	-0.102**	1.000			
(7)Fdiidx	0.140***	0.013	0.297***	0.371***	0.791***	-0.085**	1.000		
(8)Indlv	-0.120***	0.344***	-0.613***	-0.394***	-0.079**	0.039	0.128***	1.000	
(9)Innolv	0.744***	0.495***	0.225***	0.322***	0.509***	0.098**	0.388***	0.269***	1.000

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.1$ 。

表 4 多重共线性检验结果

	VIF	1/VIF
Gdpidx	5.372	0.186
Innolv	4.204	0.238
num	4.065	0.246
higdex	3.789	0.264
Fdiidx	3.448	0.290
Indlv	2.639	0.379
enelow	2.301	0.435
Envreg	1.055	0.948
Mean VIF	3.359	

4.3 基准回归结果

为探究技术转移对省域碳排放量的影响及时间异质性,本文先通过逐步加入控制变量的方式进行基准回归,再进一步将样本划分为短期(2003—2012年)与长期(2013—2022年)两个子样本进行分

时段检验,结果如下:

基准回归结果如表 5 所示:模型 1 仅纳入核心解释变量技术转移(num)时,其显著正向影响碳排放量,表明技术转移初步表现出增碳效应。逐步加入控制变量后(模型 2-4),技术转移的回归系数仍保持显著为正,且模型调整 R^2 从 0.118 逐步提升至 0.347。这说明模型解释力持续增强,技术转移对碳排放的正向影响未因控制变量的加入而发生改变,初步验证了结论的稳健性。

短期子样本(2003—2012年)验证结果如表 6 所示:纳入技术转移变量后,其回归系数在 10% 水平下显著为正,模型 R^2 从 0.670 提升至 0.675。这表明短期内技术转移通过带动高碳产业规模扩张,显著促进了省域碳排放量的增长,与基准回归结论一致。

表 5 各变量的基准回归结果

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
num	8 131 726.099***	9 394 029.254***	10 546 035.031***	2 194 264.702
Gdpidx		-4 395.026***	-4 960.216**	-8 138.644***
Envreg		9 487.748	6 403.781	-509.844
Fdiidx			23 386 810.553	-7 126 091.071
Indlv			9.295e+08***	4.840e+08***
Innolv				62 764 326.689***
_cons	1.817e+08***	2.150e+08***	-1.075e+08***	-3.528e+08***
N	620	620	620	620
R ²	0.119	0.142	0.288	0.353
Adjusted R ²	0.118	0.138	0.283	0.347

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

长期子样本(2013—2022年)验证结果如表 7 所示:技术转移的回归系数在 1% 水平上显著为正,且系数绝对值大于短期样本,模型 R^2 从 0.227 提升至 0.370。这说明长期内技术转移的增碳效应不仅持续存在,而且有所强化。这一结果印证了技术转移长期聚焦高碳产业升级,未实现低碳转型,致使增碳效应并未随时间衰减。

综上,基准回归及短期、长期分样本验证均表明,技术转移对省域碳排放量的正向影响在统计上显著且稳健,呈现“全程增碳”的特征,未出现传统理论预期的长期减碳分化。假设 1 成立。

表 6 短期效应检验结果

	eco ₂	eco ₂
Gdpidx	-1 310.888	-2 571.592
Envreg	-1.56e+04	-1.85e+04
Fdiidx	-9.61e+06	1.10e+06
Indlv	1.51e+07	3.30e+07
Innolv	7.48e+07***	6.98e+07***
num		2.05e+06*
_cons	-3.29e+08***	-2.96e+08***
N	306	306
R ²	0.670	0.675
F	109.688	92.928

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

表 7 长期效应检验结果

	eco_2	eco_2
$Gdpidx$	795.978	2 233.900*
$Envreg$	35 832.552***	19 915.946**
$Fdiidx$	3.24e+07	4.44e+07*
$Indlv$	1.39e+08***	1.68e+08***
$Innov$	3.57e+07***	1.16e+07**
num		2.33e+06***
$_cons$	-7.70e+07	8.39e+07
N	306	306
R^2	0.227	0.370
F	15.887	26.340

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

4.4 中介作用检验

为探究产业结构升级在技术转移影响碳排放过程中的中介效应,本文采用温忠麟^[35]的三步法检验中介效应,该方法是当前分析中介效应的主流方法,参考了杨镒泽等^[32]的研究逻辑,结果如表 8 所示。综合来看,产业结构升级发挥了中介作用,即技术转移可通过推动产业结构升级,进而对碳排放产生抑制效果。因此,假设 2 成立。

表 8 产业结构升级对碳排放的中介效应检验

	$higdex$	eco_2
num	0.025***	2.83e+06***
$Gdpidx$	0.000***	-608.985
$Envreg$	0.000***	8 657.622
$Fdiidx$	-0.504***	-4.76e+07**
$Indlv$	-2.559***	4.94e+06
$Innov$	-0.114***	4.26e+07***
$higdex$		-4.76e+07***
$_cons$	2.308***	-5.12e+07
N	620	620
R^2	0.664	0.629
F	191.929	140.667

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

为检验能源消费结构的中介效应,本文围绕技术转移对省域碳排放的影响进行回归分析,结果如表 9 所示。表明能源消费结构在技术转移影响省域碳排放的过程中起到了中介作用。因此,假设 3 成立。

4.5 稳健性检验

为验证基准回归结果的稳健性,本文通过更换被解释变量进行稳健性检验,结果如表 10 所示:稳健性检验结果与基准回归中技术转移对碳排放的影响方向一致。同时,经济发展水平、环境规制等变量也基本符合理论预期,模型的拟合度 R^2 和显著性 F 值表现良好,说明本文关于技术转移对省域碳排放影响的基准回归结果具有稳健性,研究结论可靠。

表 9 能源消费结构对碳排放的中介效应检验

	$enelow$	eco_2
num	0.020***	8.79e+05
$Gdpidx$	0.000***	-3 829.439**
$Envreg$	-0.000	10 058.909
$Fdiidx$	-0.180***	-1.67e+07
$Indlv$	0.060	1.24e+08**
$Innov$	-0.015	4.86e+07***
$enelow$		3.81e+07***
$_cons$	5.123***	-3.56e+08***
N	620	620
R^2	0.720	0.618
F	249.815	134.786

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

表 10 稳健性检验结果

	eso_2	eso_2
num	-3.04e+05***	-2.43e+05***
$Gdpidx$	300.550***	393.180***
$Envreg$	964.700**	826.200*
$Fdiidx$	-3.24e+05	-5.11e+05
$Indlv$	8.67e+06***	1.22e+07***
$Innov$	-92 780.670	-14 538.680
$higdex$		1.27e+06***
$enelow$		-4.61e+06***
$_cons$	3.38e+06**	2.41e+07***
N	620	620
R^2	0.666	0.700
F	211.393	185.183

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

4.6 内生性检验

为解决内生性问题对结论的干扰,本文通过工具变量处理对技术转移变量进行内生性检验。结果如表 11 所示:技术转移对省域碳排放的回归系数在相关模型中显著为正,这与基准回归的核心结论一致。同时,各变量的回归表现也符合理论逻辑,模型的拟合优度与显著性指标均表现稳定。综上,本文的实证结果具有较强的可靠性。

表 11 内生性检验结果

	num	eco_2	eco_2
num	0.987***	1.99e+06***	2.10e+06***
$Gdpidx$		-3 120.824**	-3 030.310**
$Envreg$		10 991.083	12 661.561
$Fdiidx$		-2.84e+07	-5.00e+07***
$Indlv$		1.18e+08**	-3.56e+07
$Innov$		4.34e+07***	3.87e+07***
$higdex$			-5.81e+07***
$enelow$			6.00e+07***
$_cons$	1.486***	-1.10e+08***	-2.85e+08***
N	589	589	589
R^2	0.922	0.612	0.641
F	6 541.714	145.355	122.752

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

5 进一步分析

5.1 异质性分析

技术转移对省域碳排放量的影响可能因区域特

征存在差异,忽视该差异易导致结论片面且不利于政策精准施策,故需分析其异质性。本文以“创新水平”为分组标准。首先,基于2003—2022年面板数据计算各省份绿色专利数量年均值,再以31个省份年均值的中位数为临界值,将年均值大于等于中位数的省份标记为“高创新地区”,年均值小于中位数的省份标记为“低创新地区”。验证结果如表12所示:高、低创新地区技术转移对碳排放量的回归系数均显著为正,但高创新地区模型拟合度($R^2=0.749$)优于低创新地区($R^2=0.534$),表明创新水平会调节技术转移的碳排放效应。这表明假设4成立。

表 12 地区异质性分析结果

	低创新地区	高创新地区
<i>num</i>	1.43e+06**	1.66e+05
<i>Gdpidx</i>	8 614.525***	-8 592.196***
<i>Envreg</i>	7.60e+08	-9 993.100
<i>Fdiidx</i>	-7.39e+07***	9.53e+06
<i>Indlv</i>	2.68e+08***	-1.76e+08*
<i>Inmolv</i>	2.86e+07***	7.71e+07***
<i>_cons</i>	-1.76e+08***	-2.01e+08***
<i>N</i>	320	300
<i>R</i> ²	0.534	0.749
<i>F</i>	57.006	139.098

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

5.2 产业结构升级的区域差异

技术转移对省域碳排放量的作用并非直接或单一,产业结构升级极有可能在这一影响过程中发挥中介作用。检验结果如表13所示:在高创新地区,技术转移显著推动产业结构升级,产业结构升级显著抑制碳排放;低创新地区技术转移对产业结构升级的推动作用及产业结构升级对碳排放的抑制作用均弱于高创新地区。这反映出高创新地区具有更高的技术吸收与产业转型效率。

表 13 产业结构升级的区域差异

	低创新地区	高创新地区
<i>num</i>	1.66e+06**	7.86e+05
<i>Gdpidx</i>	7 949.667***	-4 640.913**
<i>Envreg</i>	7.17e+08	-8 960.532
<i>Fdiidx</i>	-7.57e+07***	-9.81e+06
<i>Indlv</i>	2.43e+08***	-3.42e+08***
<i>Inmolv</i>	2.87e+07***	7.24e+07***
<i>higdex</i>	-9.49e+06	-4.75e+07***
<i>_cons</i>	-1.54e+08***	-9.90e+07
<i>N</i>	320	300
<i>R</i> ²	0.535	0.757
<i>F</i>	48.821	123.529

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

5.3 能源消费结构的区域差异

技术转移对省域碳排放量的影响往往是间接的,

能源消费结构很可能在其中发挥着中介传导的作用。检验结果如表14所示:高创新地区技术转移显著优化能源消费结构,能源消费结构显著抑制碳排放;在低创新地区,技术转移对能源消费结构的优化作用,以及能源消费结构对碳排放的抑制作用,均弱于高创新地区,这反映出低创新地区技术转化与能源结构调整之间存在协同性不足的问题。

表 14 能源消费结构的区域差异

	低创新地区	高创新地区
<i>num</i>	1.17e+06	-7.10e+05
<i>Gdpidx</i>	8 455.486***	-1.10e+04***
<i>Envreg</i>	7.37e+08	-9 197.386
<i>Fdiidx</i>	-7.02e+07**	9.06e+06
<i>Indlv</i>	2.57e+08***	-9.00e+07
<i>Inmolv</i>	2.84e+07***	7.76e+07***
<i>enelow</i>	1.28e+07	5.88e+07***
<i>_cons</i>	-2.39e+08**	-5.18e+08***
<i>N</i>	320	300
<i>R</i> ²	0.535	0.757
<i>F</i>	48.789	123.413

注:*** $p<0.01$,** $p<0.05$,* $p<0.10$ 。

6 研究结论与实践启示

6.1 研究结论

本文围绕技术转移对省域碳排放的影响展开多维探究,实证结果表明:

其一,技术转移对省域碳排放具有显著且稳健的正向影响,这一现象源于技术转移的“高碳偏向性”即转移技术多聚焦传统高耗能产业效率升级。这一偏向性不仅短期内会带动产业规模扩张,提高能耗与排放,长期还受碳锁定效应约束,未能实现减排转型,最终呈现出“全程增碳”的特征。

其二,产业结构升级和能源消费结构在技术转移影响省域碳排放的过程中发挥差异化的中介作用:产业结构升级虽能通过提升能效产生间接的缓冲效应,但该效应被技术转移的直接增碳效应覆盖,仅发挥部分负向的中介作用;能源消费结构则因高碳产业扩张加剧化石能源依赖,发挥短期正向的中介作用,进一步强化增碳效应。

其三,创新水平存在显著的异质性调节作用:高创新地区凭借更强的技术吸收转化能力,能够更充分地发挥产业结构升级的缓冲作用,削弱技术转移的增碳强度;而低创新地区技术应用局限于高碳产业规模扩张,中介效应被弱化,增碳特征更为突出,体现了创新水平对技术转移增碳效应的差异化调节作用。

6.2 实践启示

6.2.1 差异化引导技术转移

针对技术转移初期导致碳排放增长的特点,各地需在引入技术时同步规划减排路径。高创新地区可依托自身技术转化优势,在引入技术的同时制定并实施低碳生产标准,实现技术升级与减排的同步推进;低创新地区应优先引入低碳导向的技术类型,避免高耗能技术盲目转移,同时借助税收优惠、环保督查等手段抑制高耗能产业的规模扩张。一些高创新地区的实践表明,此类差异化策略有助于平衡技术引入与减排目标的短期冲突。例如,江苏在引入半导体制造技术时,同步出台低碳生产规范,在保障产业升级的同时,将单位产值碳排放控制在行业领先水平。

6.2.2 加速产业与能源中介减排作用释放

各地需持续推进产业结构向低耗能、高附加值方向升级,大力发展绿色低碳产业;同时,优化能源消费结构,加大清洁能源在能源消费中的占比。尤其要推动技术转移与产业、能源结构政策的协同优化,对引入低碳技术并同步实现产业绿色转型的地区,给予双重补贴,以此加速中介效应的减排贡献。浙江的实践可供借鉴,该省在引入光伏组件生产技术的同时,推动纺织业向绿色纤维材料转型,通过“技术转移+产业转型”双补贴政策,不仅提升了产业低碳化水平,也使能源消费中清洁能源占比年均提升三个百分点,充分体现了产业与能源结构中中介效应的释放效能。

6.2.3 强化区域创新能力

国家层面可在高创新地区建设技术转移减排示范基地,总结其将技术转移“短期增碳”转化为“长期减碳”的经验,并向全国推广;低创新地区可通过建设区域创新中心、引入创新型企业等方式提升技术吸收能力,缩短技术转移从“增碳”到“减碳”的转化周期,从源头上削弱短期碳排放效应。深圳的技术转移减排示范基地建设成效显著,该基地引入新能源汽车技术后,联合本地高校攻关电池回收技术,仅用两年就实现了技术转移从“增碳”到“减碳”的转化;榆林则通过建设能源创新中心,引入中科院洁净能源创新研究院团队,在煤炭清洁利用技术转移中将转化周期缩短了近一半,这些实践为不同创新水平的地区提供了可复制的路径参考。

参考文献

[1] 国家能源局.“十四五”现代能源体系规划[EB/OL].

2022-03-22 [2025-08-19]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202203/t20220322_1320016_ext.html?eqid=d328c51c00062245000000066491498b

[2] 国务院.2030年前碳达峰行动方案[EB/OL].2021-10-26 [2025-08-19]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm.

[3] 国务院.“十四五”节能减排综合工作方案[EB/OL].2022-01-24 [2025-08-19]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/24/content_5670202.htm

[4] 孙中瑞,孙勇,虞虎,等.数字技术转移对环境的影响及作用机制[J/OL].环境科学,1-20[2026-01-08].<https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202506111>.

[5] 杨静媛,于灵慧,袁丰.城市群战略实施对中国城际技术转移的差异化影响[J].地理科学,2025,45(9):1923-1937.

[6] 周彦楠,何则,张雅欣,等.粤港澳大湾区清洁能源技术转移的空间路径及其减排效应[J].地理学报,2025,80(5):1261-1281.

[7] 李琳娜,林红英,王宇,等.绿色技术转移与地区环境污染治理[J/OL].当代财经,1-15[2026-01-08].<https://doi.org/10.13676/j.cnki.cn36-1030/f.20250722.004>.

[8] 刁海臻,张延群.碳排放交易、基础研究与实质性绿色创新[J].经济管理,2025,47(7):107-124.

[9] 张怡宁,赵公民,武勇杰.数字化转型如何影响制造业绿色发展?:基于A股上市公司的经验证据[J].中北大学学报(社会科学版),2025,41(1):106-114.

[10] 张文蓓,吕一凡,戴靓,等.长江中游城际技术转移网络的结构演化与驱动机制:基于TeRGM的实证[J].热带地理,2025,45(5):903-915.

[11] 叶云岭,单航,于海潮.知识产权保护、技术转移与企业持续创新[J].当代财经,2025,(11):18-30.

[12] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement [J]. NBER Working Paper, 1991, 3914.

[13] COPELAND B R, TAYLOR M S. North-south trade and the environment[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1994, 109(3): 755-787.

[14] ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN L, et al. The environment and directed technical change [J]. American Economic Review, 2012, 102(1): 131-166.

[15] 陈阳,逯进,于平.技术创新减少环境污染了吗?:来自中国285个城市的经验证据[J].西安交通大学学报(社会科学版),2019,39(1):73-84.

[16] 马淑琴,戴军,温怀德.贸易开放、环境规制与绿色技术进步:基于中国省际数据的空间计量分析[J].国际贸易问题,2019(10):132-145.

[17] 王倩,刘瑞明.技术转移与区域碳排放:创新水平的

- 异质性调节[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(8): 45-54.
- [18] 杨博, 王林辉. 中国工业全球价值链嵌入位置对能源偏向型技术进步的影响[J]. 中国人民大学学报, 2022, 36(1): 135-148.
- [19] 王鸿平, 赵雪, 吴丹. “双碳”背景下经济开发区碳排放环境影响评价及低碳发展措施[J]. 低碳世界, 2025, 15(9): 16-18.
- [20] 乔洪洋, 吴三忙. 碳交易市场协同视角下数字经济对碳排放的影响[J]. 生态经济, 2025, 41(9): 41-51.
- [21] 张建伟, 梁常安, 胡正玉, 等. 黄河流域市际技术转移网络的时空特征[J]. 经济地理, 2020, 40(5): 58-69.
- [22] 绿色和平. 中国省间碳排放情况差异明显[EB/OL]. 2022-01-25[2025-08-25]. <https://www.doc88.com/p-90299411074935.html>.
- [23] 马力. 持续推动交通运输绿色转型[N]. 河南日报, 2025-08-29(06).
- [24] 孙振清, 聂文钰, 李畅. 技术转移的碳减排效应: 助力还是阻力?[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(5): 52-63.
- [25] 孙振清, 刘昕. 技术转移对碳排放影响的双重效应研究: 基于技术锁定效应的视角[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1339-1352.
- [26] GREEN K. National innovation systems: A comparative analysis[J]. R & D Management, 2010, 26(2): 191-192.
- [27] COHEN W M, LEVINTHAL D A. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation [J]. Administrative Science Quarterly, 1990, 35 (1): 128-152.
- [28] 许广月, 宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究: 基于省域面板数据[J]. 中国工业经济, 2010(5): 37-47.
- [29] 刘媛, 李阳. 中国省(市)碳排放特征及减污降碳协同效应初步分析[J]. 环境监控与预警, 2024, 16(4): 143-150.
- [30] 姜博艺, 张涵. 我国减污降碳协同效应的时空特征与策略[J]. 环境工程技术学报, 2025, 15(2): 465-473.
- [31] ZHANG B, TIAN X, He B Y, et al. Measuring the impact of China's green technology transfer on energy intensity in countries along the belt and road[J]. Journal of Environmental Management, 2025, 373: 123691.
- [32] 杨镒泽, 邓琨. 产业结构升级对碳排放的影响研究: 基于绿色全要素生产率视角[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2024, 26(5): 153-160.
- [33] 江深哲, 杜浩锋, 徐铭桂. “双碳”目标下能源与产业双重结构转型[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(2): 109-130.
- [34] FAN G, ZHU A, XU H. Analysis of the impact of industrial structure upgrading and energy structure optimization on carbon emission reduction [J]. Sustainability. 2023; 15(4): 3485-3489.
- [35] 温忠麟, 张雷, 侯杰泰, 等. 中介效应检验程序及其运用[J]. 心理学报, 2004(5): 614-620.