

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2025.02.008

碳排放权交易对建筑业绿色发展水平的影响

张立新, 王智超, 颜世强, 靳诗华

(青岛理工大学 管理工程学院, 山东 青岛 266525)

摘要: “双碳”目标下, 碳排放权交易政策作为市场激励型环境规制的重要手段, 对各行行业的低碳发展有着重要意义。基于2007—2021年中国各省份、直辖市的面板数据, 采用多期双重差分法实证分析了碳排放权交易政策对建筑业绿色发展水平的影响。结果表明: 实施碳排放权交易政策可显著提升建筑业绿色发展水平, 这一提升可通过技术创新、建筑业能源结构转型等作用机制实现, 其中中介效应值为0.015和0.046。鉴于此, 需建立更完善的碳排放权交易体系、更明确的交易规则和市场机制, 以实现建筑业绿色发展。

关键词: 碳排放权交易; 多期双重差分法; 建筑业绿色发展; 技术创新; 能源结构转型

中图分类号: F124.5; X37 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9833(2025)02-0052-08

引文格式: 张立新, 王智超, 颜世强, 等. 碳排放权交易对建筑业绿色发展水平的影响[J]. 湖南工业大学学报, 2025, 39(2): 52-59.

Impact of Carbon Emissions Trading on the Level of Green Development of the Construction Industry

ZHANG Lixin, WANG Zhichao, YAN Shiqiang, JIN Shihua

(Department of Management Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao Shandong 266525, China)

Abstract: Under the development goal of “carbon emissions, carbon neutrality”, carbon emission trading policies, as an important means of market-based environmental regulation, is of great significance to the low-carbon development in various industries. On the basis of panel data from various provinces and municipalities in China from 2007 to 2021, an empirical study has been conducted for an analysis of the impact of carbon emission trading policies on the green development level of the construction industry by using the double differential method. The research results indicate that an implementation of carbon emission trading policies helps to significantly improve the level of green development in the construction industry. This improvement can be achieved through such mechanisms as technological innovation and energy structure transformation in the construction industry, with mediation values of 0.015 and 0.046, respectively. In view of this, it is necessary to establish a more comprehensive carbon emission trading system, much clearer trading rules and market mechanisms so as to realize the green development in the construction industry.

Keywords: carbon emissions trading; double differential method; green development in the construction industry; technological innovation; energy structure transformation

1 研究背景

2011年之前, 中国只能通过参与国际清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)^[1]间接

参与国际碳交易市场。2011年, 国家发展与改革委员会设立北京、上海、广东、天津、重庆、湖北和深圳为碳排放权交易试点区域^[2]。2020年设定的“双碳”目标更为全国碳排放权交易提供了推动力。2021年,

收稿日期: 2024-03-06

作者简介: 张立新, 男, 青岛理工大学副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为工程项目管理, E-mail: zlx@qtech.edu.cn

全国碳排放权交易市场线上交易正式启动。碳排放权交易政策的实施为各行业低碳转型奠定了坚实基础,并为应对气候变化提供了灵活的市场机制。

建筑业在经济发展中发挥了重要作用,但在其发展过程中,既消耗了大量资源和能源,也产生了大量温室气体,给环境带来巨大影响。2021年我国建筑全过程碳排放总量约为41亿tCO₂,约为我国碳排放总量的50%^[3]。因此,将建筑碳排放纳入碳交易体系设计,既有助于减少建筑碳排放,又有利于健全我国碳交易机制。因此,在建筑业可持续绿色发展理念下,深入研究碳排放权交易政策对建筑业绿色发展水平的影响及其传导机理,促进绿色低碳转型,完善碳交易机制,具有重要的理论价值。

自碳排放权交易试点政策实施以来,学者们的研究主要集中在对政策效应评估方面。徐洪亮等^[4]认为,碳排放权交易市场的建立和完善,促进和推动了产业发展向清洁、低碳转型。魏晓楠等^[5]通过双重差分方法,验证了碳排放权交易制度可剥离工业企业的政策性负担,硬化企业预算软约束。王琪^[6]认为,碳排放权交易政策的执行能有效增强企业投资效益。其发现,尽管小规模企业在政策执行后的投资效率未明显增加,但大型企业的投资效率却明显提升。肖卫国等^[7]认为,通过碳排放权交易,外商可进行对内直接投资,即外商直接投资(inward foreign direct investment, IFDI),这有助于提高绿色全要素生产效率。曹翔等^[8]表示,碳交易政策对试点地区的碳中和和技术创新起积极作用,这种推动在政策执行后的短期和长期都非常明显,且在长期内效果更显著。左喜梅^[9]的研究揭示,通过绿色金融提供的各种服务和工具,碳排放权交易有助于资金流向低碳技术的研发和相关产业,进一步推动碳排放的减少。Wang H.等^[10]指出,碳交易制度与低碳经济的转型间有着某种程度的正向关联,该关系有助于在环境和经济上取得双赢效果。郑璐^[11]以高能耗能源行业为研究对象,对绿色全要素生产率(green total factor productivity, GTFP)指数及其能源来源进行分析,提供适用于我国能源行业和其他高能耗行业的政策建议。苏辉航等^[12]研究发现,在非国有建筑企业和大规模建筑企业中绿色创新具更明显的正向影响。马兆良等^[13]采用多期双重差分法(DID)模型评估碳交易如何影响绿色低碳发展以及其作用原理,其结果揭示碳交易在试点地区有助于推动绿色和低碳发展。

通过分析已有研究发现,学者们现有研究主要聚焦于碳排放权交易政策对减排的效应估计、绿色全要素生产率及可持续发展的影响,而围绕碳排放权交易政策对某一行业尤其是建筑业绿色发展的相关

研究较少。基于此,本文拟借助EBM(epsilon-based measure)模型,计算建筑业绿色发展指数,同时采用多期双重差分法分析碳排放权交易政策对建筑业的影响机制,并探讨碳交易机制对建筑业绿色发展的作用和影响,在此基础上,提出相应的政策建议。

2 理论假说

碳排放权交易政策作为一种市场导向型环境规制,旨在减少CO₂等的排放。它将CO₂排放权视为可交易商品,以达到降低排放总量的目标。该制度常由政府或监管机构向企业和组织分配一定量碳排放权,这些排放权代表了它们在特定时间内可排放的温室气体体积。企业和组织如果超出其分配的排放权,就需购买额外的排放权,而若排放量低于其分配的排放权,就可将其余的排放权出售。在鼓励减排成本相对较低企业的同时,也限制了减排成本较高企业购买配额并完成减排任务^[14]。这种交易机制使得建筑业不得不将碳排放量作为成本的一部分。较低碳排放边际成本单位可从碳排放交易中获得额外收入;较高碳排放边际成本单位为保持原有生产技术和商业利润,会损害经营利润^[15],因此提出假设1。

假设1 碳排放权交易政策的实施会提升建筑业绿色发展水平。

波特假说^[16]认为,环境规制可促进技术创新,以降低生产过程中的环境污染和资源消耗,从而提高生产效率和降低成本。根据波特假说,高碳排放建筑业企业在碳排放权交易政策成本增加压力时,会寻求新的技术创新,以满足企业利润和碳排放权交易政策的要求,这种创新有助于提高建筑业企业的绿色发展水平。然而,波特假说也受到一些质疑^[17-19],有学者认为碳排放权交易政策会对建筑业企业造成负担,导致成本上升,甚至可能导致建筑企业外迁或关闭,从而降低建筑业绿色发展水平,据此提出假设2。

假设2 碳排放权交易政策会通过技术创新提高建筑业绿色发展水平。

碳排放权交易政策还可通过影响建筑业能源结构来影响建筑业绿色发展水平。由于碳排放权交易政策会对建筑业企业的碳排放量产生经济影响,因此建筑业企业可能会以降低碳排放量为目标进行能源结构转型,以避免额外成本。因此寻求更清洁、更低碳的能源来源,例如可再生能源、清洁燃料或提高能源利用效率。这会导致企业减少对高碳能源的依赖,加速能源结构向低碳方向转型,从而降低碳排放量,提高建筑业绿色发展水平。因此提出假设3。

假设3 碳排放权交易政策会通过影响建筑业能源结构来提高建筑业绿色发展水平。

3 模型设计

3.1 多期双重差分法

多期双重差分法因可以很好地避免非主要探究因素对结果的影响,常被用于分析政策实施的影响。本文以 2007—2021 年为观察期,以 2014 年为北京、天津、上海、广东(深圳隶属广东,但基于数据的易得性,数据不包含深圳)、重庆的政策实施节点,以 2016 年为福建的政策实施节点。将政策实施的省市称为实验组,将未实行政策的省市称为控制组。采用多期 DID 模型探究碳排放权交易政策对建筑业绿色发展水平的影响。具体模型如下:

$$GD_{it} = \alpha + \beta_1 DID + \beta_2 \eta_{\text{control}} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: GD_{it} 为省份 i 在 t 年份的建筑业绿色发展指数; η_{control} 为控制变量; DID 为核心解释变量,即时间虚拟变量 η_{time} 与地区虚拟变量 η_{treat} 的交互项 $\eta_{\text{time}} * \eta_{\text{treat}}$; μ_i 、 λ_t 分别为省市和时间固定效应; ε_{it} 为随机误差项。

3.2 中介效应模型

为了检验碳排放权交易政策能否通过科技创新对建筑业绿色发展水平产生间接作用,本文借鉴文献[20—23]的研究结果,采用分步回归法,将技术创新作为中介变量,构建如下中介效应模型:

$$TE_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DID + \gamma_2 \eta_{\text{control}} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$GD_{it} = \omega_0 + \omega_1 TE + \omega_2 \eta_{\text{control}} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式(2)(3)中: TE 为技术创新; γ 、 ω 为参数。

如果 γ_1 和 ω_1 均显著,则证明碳排放权交易政策可通过技术创新影响建筑业绿色发展水平。此外, γ_1 与 ω_1 的乘积为中介效应的大小:若 $\gamma_1 * \omega_1$ 与 β_1 符号相同,则证明碳排放权交易可通过影响技术创新进而影响建筑业绿色发展水平,即存在值为 $\gamma_1 * \omega_1$ 的中介效应;若 $\gamma_1 * \omega_1$ 与 β_1 符号相反,则证明碳排放权交易政策可通过影响政府创新偏好进而影响建筑业绿色发展水平的遮掩效应为 $\gamma_1 * \omega_1$,即技术创新起到的间接作用一定程度上掩盖了碳排放权交易政策对建筑业绿色发展水平的真实影响效果。

最后,为了验证技术创新是否为完全中介效应,构建式(4):

$$GD_{it} = \theta_0 + \theta_1 DID + \theta_2 TE + \theta_3 \eta_{\text{control}} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: θ 为参数,若 θ_1 显著,则证明碳排放权交易政策既可以直接影响建筑业绿色发展水平,又可以通过技术创新产生部分中介效应;若 θ_1 不显著,则说明碳排放权交易政策仅通过技术创新的间接效应对建筑业绿色发展水平产生完全中介效应。

同理,为检验能源结构中介效应,构建以下模型:

$$ES_{it} = \delta_0 + \delta_1 DID + \delta_2 \eta_{\text{control}} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$GD_{it} = \rho_0 + \rho_1 DID + \rho_2 \eta_{\text{control}} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$GD_{it} = \psi_0 + \psi_1 DID + \psi_2 ES + \psi_3 \eta_{\text{control}} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式(5)~(7)中: ES 为能源结构; δ 、 ρ 、 ψ 为各自参数。

3.3 变量选取与数据来源

1) 因变量——建筑业绿色发展指数。本研究采用 EBM 模型和 GML (global Malmquist-Luenberger) 指数的 EBM-GML 方法测度绿色全要素生产率^[24-27]。并对 GML 指数进行累计转换处理,得到建筑业的绿色发展指数。模型使用的投入指标为资本、能源、机械和劳动力。分别以各省市建筑业总资产、能源消耗量(万 t 标准煤)、自有设备年末施工总功率和从业人数为标准;以竣工面积和建筑业总产值为期望产出;以 CO_2 排放量为非期望产出;建筑行业的碳排放包括由直接能源消耗产生的直接碳排放和建筑材料使用产生的间接碳排放两大类。本研究利用张智慧等^[28]的研究方法,选取了直接使用的煤炭、石油、原油等 20 种能源,以及建筑业生产中常用的水泥、玻璃等 5 种建筑材料,将它们作为建筑行业的碳排放来源。

具体模型如下:

$$r^* = \min \frac{\theta - \varepsilon_x \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i^- s_i^-}{x_{ik}}}{\varphi + \varepsilon_y \sum_{r=1}^s \frac{\omega_r^+ s_r^+}{y_{rk}} + \varepsilon_b \sum_{p=1}^q \frac{\omega_p^{b-} s_p^{b-}}{b_{pk}}},$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{ik}, & i=1, 2, \dots, m; \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^+ = \phi y_{rk}, & r=1, 2, \dots, s; \\ \sum_{j=1}^n b_{pj} \lambda_j + s_p^{b-} = \phi b_{pk}, & p=1, 2, \dots, q; \\ \lambda \geq 0, s_r^+ \geq 0, s_p^{b-} \geq 0. \end{cases}$$

式中: r^* 为规模报酬可变情况下的最佳效率; x_{ik} 、 y_{rk} 、 b_{pk} 分别为第 k 个决策单元的第 i 种投入、第 r 种产出、第 p 种非期望产出; m 、 s 、 q 分别为投入、期望和非期望产出的数量; ε 为非径向部分重要程度; θ 和 ϕ 为径向规划参数; λ 为决策单元线性组合系数; ω_i^- 、 ω_r^+ 、 ω_p^{b-} 、 s_i^- 、 s_r^+ 、 s_p^{b-} 分别为第 i 种投入、第 r 种期望产出、第 p 种非期望产出的权重和松弛量。

$$GML = \frac{1 + B_N^M(x^t, y^t, b^t, y^t, -b^t)}{1 + B_N^M(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, -x^{t+1}, y^{t+1}, -b^{t+1})},$$

式中: GML 为全球 Malmquist-Luenberger 指数,用于比较不同地区在不同时间段内的效率差异, $B_N^M(x^t, y^t, b^t, y^t, -b^t)$ 、 $B_N^M(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}, -x^{t+1}, y^{t+1}, -b^{t+1})$ 分别为每个决策单元在第 t 时期及第 $t+1$ 时期的全局方向距离函数。

本文用文献[29]的方法,对 GML 指数进行累计

转换处理,以2007年为基准,令其建筑业绿色发展水平为1,以2008—2021年建筑业GML指数进行累乘,即可得2008—2021年建筑业绿色发展水平。

2)核心解释变量——碳排放权交易。核心解释变量 DID 选取碳排放权交易政策实施时间与试点地区虚拟变量的相乘项($\eta_{time}*\eta_{treat}$)。选用碳排放权交易试点省市北京、天津、上海、广东、重庆、福建作为实验组,以其余24省市为控制组(由于数据易得性,控制组不包括西藏和港澳台地区)。

3)中介变量。技术创新水平(TE)选用国家知识产权局(CNIPA)发布的建筑业专利发明授权数量取对数来衡量。能源结构(ES)选用建筑业电力消耗量占能源消耗总量的比例表示。数据经缩尾处理,并剔除观测值明显异常的样本及数据缺失样本。

4)控制变量。基于可行性、科学性原则,在参考国内外相关研究成果的基础上,选取以下控制变量:经济发展水平(DEL),以人均GDP衡量;建筑业发展程度(CD),以建筑业总产值与GDP比值表示;外资投资水平(INV),以外资直接投资(FDI)与GDP比值表示,其中FDI按每年的外汇比率转换为人民币;政府干预程度(GI),以政府财政支出占GDP比值表示;信息化水平(INF),以邮电业务总量与GDP比值表示。

3.4 数据来源

因数据的可获得性,本文选用2007—2021年中国的30个省级行政区(不包括西藏、港澳台地区)的面板数据。数据来源于国家统计局、历年《中国统计年鉴》《中国建筑业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》。变量描述性统计结果见表1。

表1 变量描述性统计结果

Table 1 Descriptive statistical results of variables

变量名称	符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
建筑业绿色发展水平	GD	420	1.399	0.375	0.533	3.216
经济发展水平	DEL	420	9.483	52.22	0.939	71.1
建筑业发展程度	CD	420	0.224	0.092	0.002	0.564
外资投资水平	INV	420	0.020	0.016	0	0.082
政府干预程度	GI	420	0.239	0.100	0.087	0.643
信息化水平	INF	420	0.064	0.050	0.014	0.290
能源结构	ES	420	0.021	0.013	0.002	0.088
技术创新	TE	420	5.007	1.661	0	8.245

4 实证检验与结果分析

4.1 碳排放权交易对建筑业绿色发展指数综合影响

4.1.1 PSM-DID模型检验

碳排放权交易试点的选择由政府根据各地区发展情况确定,碳交易试点实施可能存在试点样本的自

选择效应并非完全外生,故本文借鉴文献[30—32]的研究成果,采用倾向得分匹配法应用于双重差分法(PSM-DID)来解决内生性问题。首先,以控制变量作为协变量,采用核匹配方法为每个试点省份找到可进行比较的城市配对,这些城市在观察期内并未进行碳排放权交易,但在政策实施前与试点省份的特征基本一致。PSM处理前后的匹配变量平衡性检验结果见表2。分析表2中数据可知,匹配后偏差值小于10%,且 P 值大于0.5,符合平衡性检验要求。

表2 平衡性检验结果

Table 2 Balance test results

变量	匹配前/ 后(U/M)	均值		标准偏差		T检验	
		实验组	控制组	偏差	减少/%	t 值	$P \geq t $
DEL	U	4.296 30	4.490 00	-7.6	68.4	-0.58	0.564
	M	4.296 30	4.234 10	2.4		0.17	0.865
CD	U	0.208 95	0.211 74	-3.4	94.1	-0.26	0.798
	M	0.208 95	0.208 80	0.2		0.01	0.989
INV	U	0.020 02	0.019 17	5.6	64.2	0.44	0.663
	M	0.020 02	0.019 72	2.0		0.13	0.896
INF	U	0.050 60	0.051 95	-4.5	77.8	-0.32	0.747
	M	0.050 60	0.050 89	-1.0		-0.07	0.945
GI	U	0.240 62	0.239 11	1.6	-31.3	0.12	0.902
	M	0.240 62	0.242 57	-2.1		-0.15	0.885

4.1.2 基准回归与PSM-DID检验结果分析

采用多期DID模型和PSM-DID模型检验碳排放权政策对建筑业绿色发展的影响,结果见表3。

表3 碳交易对建筑业发展的影响回归结果

Table 3 Regression results of impact of carbon trading on the construction industry development

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	DIDGD	DIDGD	DIDGD	PSM-DIDGD
DID	0.512*(0.061)	0.415*(0.082)	0.408*(0.082)	0.337*(0.073)
DEL			0.009(0.008)	0.008(0.010)
CD			0.021(0.179)	0.337**(0.140)
INV			-1.027(0.763)	-1.596(1.198)
INF			0.537(1.224)	3.520*(1.046)
GI			-0.165(0.288)	-0.237(0.253)
Constant	1.331*(0.008)	1.344*(0.010)	1.318*(0.117)	1.101*(0.093)
Observations	420	420	420	235
R^2	0.530	0.651	0.655	0.700
yearfix	NO	YES	YES	YES
idfix	YES	YES	YES	YES

注: *、**、***分别表示在1%、5%、10%的水平下显著,括号内为 t 值,下同。

表3中,列(1)仅控制地区和时间控制效应,列(2)采用双固定效应模型,列(3)在列(2)的基础上加入控制变量,列(4)采用PSM处理后的数据进行回归。由表可知, DID 对 GD 在(1)~(3)列的回归系数均显著,说明碳排放权交易政策会提升

建筑业绿色发展指数，假设 1 成立。第（4）列表明，经过 PSM 处理数据后，核心解释变量的回归系数为正，保障了结果的稳健性。

4.2 平行趋势检验

多期 DID 模型必须满足平行趋势检验。如果此条件不被接受，那么 *GD* 的变动可能并非由碳排放权交易政策的执行所导致。因此，有必要检查在政策执行之前，实验组与对照组是否展现出类似的变动模式。平行趋势检验结果见图 1。图中垂直于横轴的带盖短直线是各期数与处理组虚拟变量的交乘项回归系数的 95% 置信区间。可看到，在期数为 0（2016 年，即政策实施年份）以前，系数均不显著（95% 置信区间没有越过系数为 0 的水平线）。而在政策实施后的年份，系数基本显著（期数为 1 时略不显著，说明该政策的影响具有一定的时滞性），这一结果验证了平行趋势假设的准确性。

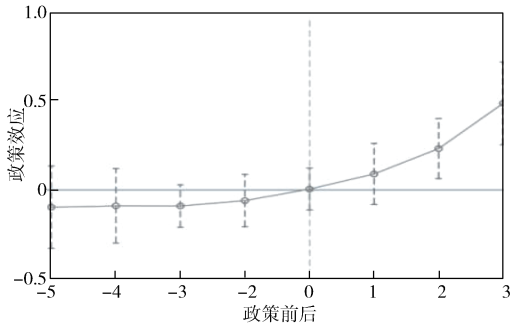


图 1 平行趋势检验结果

Fig. 1 Parallel trend test results

4.3 安慰剂检验

基准回归中虽已加入控制变量，但仍可能出现某些随机变量，这些变量可能会在政策实施前的实验组与对照组之间，除了碳排放权交易政策外，对政策评估造成潜在影响，从而使得之前的假设不再适用。因此，本研究基于文献 [33–35] 的研究成果，使用安慰剂进行检测，并对交互项进行 500 次随机选择，得到图 2 所示安慰剂检验交互项回归系数分布图。

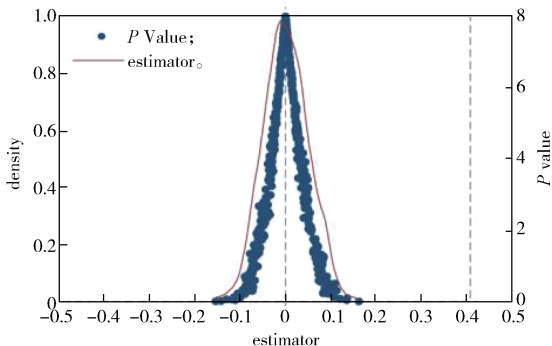


图 2 安慰剂检验交互项回归系数分布图

Fig. 2 Distribution chart of regression coefficients for placebo test interaction terms

如图 2 所示，随机抽样系数为 0，且遵循正态分布模式。从偏离基准回归得到的回归系数看，其对应的 *P* 值在 10% 的范围内并不明显，这说明虚拟交互项并不会对建筑行业的绿色发展产生影响。通过安慰剂测试，确认了回归分析的稳定性。

4.4 更换被解释变量的计量方式

本文对建筑业绿色发展水平的计量方式是采用 EBM-GML 指数方法计算建筑业绿色全要素生产率后累乘得到的。为检验回归结果的稳健性，采用 SBM-GML 指数方法计算建筑业绿色全要素生产率，再计算得到建筑业绿色发展水平指数进行回归，最终的回归结果为显著，假设 1 仍然成立。

5 中介效应分析

5.1 技术创新的中介效应

对式（2）和（3）进行回归，检验碳排放权交易是否可通过技术创新间接影响建筑业绿色发展水平，结果见表 4。可知模型 2 中 γ_1 为 0.123，模型 3 中 ω_1 为 0.120，均显著且为正，两者中介效应值为 0.015。这证明碳排放权交易政策可通过技术创新影响建筑业绿色发展水平，假设 2 成立。对式（4）进行回归，模型中 θ_1 显著，说明存在部分中介效应。这证明碳排放权交易政策既可直接影响建筑业绿色发展水平，又可通过技术创新间接影响建筑业绿色发展水平。

5.2 能源结构转型的中介效应

对式（5）和（6）进行回归，检验碳排放权交易是否可通过能源结构转型间接影响建筑业绿色发展水平，结果见表 4。

表 4 中介变量检验结果

Table 4 Intermediate variable test results						
变量	模型 2TE	模型 3GD	模型 4GD	模型 5ES	模型 6GD	模型 7GD
<i>DID</i>	0.123*** (0.072)		0.368* (0.095)	0.005** (0.002)		0.349* (0.101)
<i>ES</i>					9.203*** (4.869)	7.070 (4.617)
<i>TE</i>		0.120* (0.066)	0.107* (0.062)			
控制变量	是	是	是	是	是	是
地区控制	是	是	是	是	是	是
时间控制	是	是	是	是	是	是
Constant	4.883* (0.113)	0.818** (0.334)	0.864* (0.312)	0.021* (0.001)	1.228* (0.157)	1.256* (0.145)
观测值	359	359	359	359	359	359
<i>R</i> ²	0.973	0.690	0.716	0.899	0.695	0.717

由表 4 可知，模型 5 中 δ_1 和模型 6 中 ρ_1 均显著且为正，其中介效应值为 0.046。证明碳排放权交易

政策可通过能源结构转型影响建筑业绿色发展水平,假设3成立。对式(7)进行回归,模型7中 ψ_1 显著,说明存在部分中介效应。证明碳交易既可以直接影响建筑业绿色发展水平,又可以通过能源结构转型间接影响建筑业绿色发展水平。

6 结论和启示

碳排放权交易对推动绿色建筑、提高能源利用效率、加大对绿色技术创新的投入,促使建筑业向更环保、可持续发展的方向发展、提升建筑业绿色发展水平有着重要的意义,也是实现“双碳”目标不可缺少的一部分。本文以我国2014年左右实施的碳排放权交易试点省份作为实验组,采用2007—2021年期间我国30个省份、直辖市(西藏和港澳台地区除外)的面板数据,利用多期DID模型、PSM-DID模型检验碳排放权政策对建筑业绿色发展水平的影响,并探究了技术创新及能源结构转型的中介效应。

6.1 研究结论

1)碳排放权交易政策的实施能够显著提升建筑业绿色发展水平,表明该政策能够实现减少碳排放的同时实现建筑企业的可持续发展,为下一步政策展开提供了有利支撑。在经过倾向得分匹配、平行趋势检验、安慰剂检验等稳健性检验之后,结果仍然成立,充分证明了碳排放权政策实施的合理性。

2)进一步分析发现,碳排放权交易政策虽给建筑企业增加了环境支出的成本,但可依此激励企业进行技术创新,并以此减少碳排放量、提高建筑业环保水平、提升建筑业绿色发展水平、助力可持续发展。

3)碳排放权交易还可通过能源结构转型提升建筑业绿色发展水平。为避免额外成本,建筑业会寻求更清洁、更低碳的能源以减少对高碳排放能源的依赖,从而降低碳排放量,提高建筑业绿色发展水平。

6.2 讨论

研究的同时也有不足之处,如在选取指标时,由于建筑业碳排放量计算的多方性、复杂性及数据获取资料等原因,计算的因素并不全面。本研究采用了两种中介效应探讨碳排放权交易政策对建筑业绿色发展的中介效应影响,尚未完善碳交易政策对建筑业绿色发展水平的作用路径。结论分析方面仅针对多期双重差分法的结果得出,并没有对政策影响进行预测。

6.3 政策建议

1)碳排放权交易政策对建筑业绿色可持续发展具有重要影响,虽然碳排放权交易政策在我国已试点实施多年,且近几年也已全面实施,但碳排放权交易体系尚未完善、交易规模和市场活跃度还远不如发达

国家。因此,需要建立更加完善的碳排放权交易体系,完善公平与效率兼备的碳交易机制,鼓励企业积极参与碳交易市场,提供有利于建筑业发展和碳排放目标的可行路径。政府可以通过税收政策、财政补贴等手段,激励建筑企业投入绿色技术和设施,建立健全的碳排放监测和数据统计体系,加强对建筑业碳排放情况的监测和评估,以确保碳排放交易政策广泛执行。

2)在技术创新方面,政府可以设立专项资金,支持建筑业绿色技术研发和应用。鼓励建筑相关企业开展节能减排技术创新,推动绿色建筑材料和节能设备的研发和应用。加强对绿色建筑标准和认证体系的建设和管理,确保其科学合理、权威可靠。鼓励企业按照绿色建筑标准进行设计和施工,推动建筑业向更环保、更可持续发展的方向发展。可以通过建立技术转移平台、组织技术培训等方式,促进绿色建筑技术的传播和普及,帮助企业掌握和应用先进的节能减排技术,推动整个行业的绿色转型。

3)在能源结构转型方面,可以制定更为严格的能源消耗标准,推动建筑业采用电力,减少对化石能源的依赖。此外,政府可以通过财政政策和金融支持,鼓励企业投入可再生能源和清洁能源项目,推动能源结构的转型升级。建立清洁能源示范项目,提供政策支持和资金扶持,鼓励建筑企业在示范项目和示范区内采用清洁能源技术,展示清洁能源在建筑业中的应用效果,促进建筑行业向清洁能源转型。

参考文献:

- [1] DUANM S, HAITES E. Implementing the Clean Development Mechanism in China[J]. International Review for Environmental Strategies, 2006, 6(1): 153-168.
- [2] 张立龙. 碳排放权交易试点工作将展开[J]. 企业技术进步, 2012(7): 17.
ZHANG Lilong. Carbon Emissions Trading Pilot Program to be Launched[J]. Enterprise Technology Progress, 2012(7): 17.
- [3] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2023: 城市能源系统专题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023: 26-27.
Building Energy Efficiency Research Center, Tsinghua University. Annual Development Research Report on Building Energy Efficiency in China 2023: Topic on Urban Energy Systems[M]. Beijing: China Building Industry Publishing House, 2023: 26-27.
- [4] 徐洪亮, 吴飞, 徐海洋. 碳排放权交易与商品市场比较优势研究[J]. 中国市场, 2023(30): 11-14.
XU Hongliang, WU Fei, XU Haiyang. Research on

- Carbon Emission Trading and Comparative Advantage of Commodity Market[J]. China Market, 2023(30): 11-14.
- [5] 魏晓楠, 孙传旺. 退出政府补贴与提高企业经济绩效能否兼得?: 基于碳排放权交易试点准自然实验[J]. 统计研究, 2023, 40(10): 16-29.
- WEIXiaonan, SUNChuanwang. Can Withdrawal of Government Subsidies and Improvement of Corporate Economic Performance be Combined: Based on a Quasi-Natural Experiment of Carbon Emission Right Trading Pilot[J]. Statistical Research, 2023, 40(10): 16-29.
- [6] 王 琪. 碳排放权交易制度对企业投资效率的影响研究: 基于碳排放交易试点政策的准自然实验[J]. 现代商业, 2023(16): 177-180.
- WANG Qi. Research on the Influence of Carbon Emissions Trading System on Enterprise Investment Efficiency: Quasi-Natural Experiment Based on the Pilot Policy of Carbon Emissions Trading[J]. Modern Business, 2023(16): 177-180.
- [7] 肖卫国, 张语芮. 碳排放权交易对制造业绿色全要素生产率的影响研究[J]. 重庆社会科学, 2023(7): 19-34.
- XIAO Weiguo, ZHANG Yurui. Carbon Emission Trading and Green Total Factor Productivity of Manufacturing Industry[J]. Chongqing Social Sciences, 2023(7): 19-34.
- [8] 曹 翔, 苏馨儿. 碳排放权交易试点政策是否促进了碳中和技术创新?[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(7): 94-104.
- CAO Xiang, SU Xiner. Has the Carbon Emissions Trading Pilot Policy Promoted Carbon Neutrality Technology Innovation?[J]. China Population, Resources and Environment, 2023, 33(7): 94-104.
- [9] 左喜梅. 碳排放权交易促进绿色金融减排路径研究[J]. 企业经济, 2023, 42(7): 141-150.
- ZUO Ximei. Research on Path of Carbon Emission Trading Promoting Green Finance Emission Reduction[J]. Enterprise Economy, 2023, 42(7): 141-150.
- [10] WANG H, CHEN Z P, WU X Y, et al. Can a Carbon Trading System Promote the Transformation of a Low-Carbon Economy Under the Framework of the Porter Hypothesis?: Empirical Analysis Based on the PSM-DID Method[J]. Energy Policy, 2019, 129: 930-938.
- [11] 郑 璐. 碳交易政策对电力行业绿色全要素生产率的影响路径研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- ZHENG Lu. The Impact Path of Carbon Trading Policy on Green Total Factor Productivity in Power Industry[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2022.
- [12] 苏辉航, 陈随海. 碳排放权交易政策对建筑企业绿色创新的影响研究: 基于中国上市公司数据的准自然实验[J]. 企业改革与管理, 2023(10): 45-47.
- SU Huihang, CHEN Suihai. Research on the Impact of Carbon Emission Trading Policy on Green Innovation of Construction Enterprises: Quasi-Natural Experiment Based on the Data of Listed Companies in China[J]. Enterprise Reform and Management, 2023(10): 45-47.
- [13] 马兆良, 徐晓庆. 碳交易如何影响绿色低碳发展?: 基于多期 DID 与连续 DID 的经验研究[J/OL]. 科学与管理, 2023: 1-15. (2023-08-02). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1020.G3.20230802.1135.002.html>.
- MA Zhaoliang, XU Xiaoqing. How Does Carbon Trading Affect Green and Low-Carbon Development?: Empirical Research Based on Multi-Period DID and Continuous DID[J/OL]. Science and Management, 2023: 1-15. (2023-08-02). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1020.G3.20230802.1135.002.html>.
- [14] 胡 迪, 袁梦怡. 市场型环境规制能促进碳中和目标实现吗[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(14): 103-113.
- HU Di, YUAN Mengyi. Can Market-Based Environmental Regulation Promote China to Achieve the Goal of Carbon Neutrality[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2023, 40(14): 103-113.
- [15] 许文立, 孙 磊. 市场激励型环境规制与能源消费结构转型: 来自中国碳排放权交易试点的经验证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, 40(7): 133-155.
- XU Wenli, SUN Lei. Market-Incentive Environmental Regulation and Energy Consumption Structure Transformation[J]. Journal of Quantitative & Technological Economics, 2023, 40(7): 133-155.
- [16] PAN X F, PU C X, YUAN S, et al. Effect of Chinese Pilots Carbon Emission Trading Scheme on Enterprises' Total Factor Productivity: The Moderating Role of Government Participation and Carbon Trading Market Efficiency[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 316: 115228.
- [17] PORTER M E, VANDERLINDE C. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship[J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4): 97-118.
- [18] 贾智杰, 林伯强, 温师燕. 碳排放权交易试点与全要素生产率: 兼论波特假说、技术溢出与污染天堂[J]. 经济学动态, 2023(3): 66-86.
- JIA Zhijie, LIN Boqiang, WEN Shiyan. Carbon Trading Pilots and Total Factor Productivity: With Discussions on Porter Hypothesis, Technology Diffusion and Pollution Paradise[J]. Economic Perspectives, 2023(3): 66-86.
- [19] YUAN B L, XIANG Q L. Environmental Regulation, Industrial Innovation and Green Development of Chinese Manufacturing: Based on an Extended CDM Model[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 176: 895-908.
- [20] 李 政, 杨思莹. 财政分权、政府创新偏好与区域创新效率[J]. 管理世界, 2018, 34(12): 29-42, 110, 193-194.
- LI Zheng, YANG Siying. Fiscal Decentralization, Government Innovation Preferences and Regional Innovation Efficiency[J]. Management World, 2018,

- 34(12): 29-42, 110, 193-194.
- [21] 姚小剑, 杜旭蕊. 碳排放权交易政策对绿色全要素生产率影响研究: 基于 PSM-DID 方法实证检验 [J]. 西安石油大学学报 (社会科学版), 2023, 32(5): 1-10. YAO Xiaojian, DU Xurui. Study on the Influence of Carbon Emissions Trading Policy on Green Total Factor Productivity: An Empirical Test Based on PSM-DID Method[J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Social Science Edition), 2023, 32(5): 1-10.
- [22] BARON R M, KENNY D A. The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, 51(6): 1173-1182.
- [23] 叶 子, 钟涨宝, 万江红. 参与合作社对柑橘种植户绿色生产转型的影响研究 [J/OL]. 中国农业资源与区划, 2023: 1-14. (2023-12-06). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20231206.1311.022.html>. YE Zi, ZHONG Zhangbao, WAN Jianghong. Research on the Impact of Participating in Cooperatives on the Green Production Transformation of Citrus Growers[J/OL]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023: 1-14. (2023-12-06). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20231206.1311.022.html>.
- [24] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6): 429-444.
- [25] TONE K. A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [26] TONE K, TSUTSUI M. An Epsilon-Based Measure of Efficiency in DEA: A Third Pole of Technical Efficiency[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3): 1554-1563.
- [27] OH D H. A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index[J]. Journal of Productivity Analysis, 2010, 34(3): 183-197.
- [28] 张智慧, 刘睿劼. 基于投入产出分析的建筑业碳排放核算 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2013, 53(1): 53-57. ZHANG Zhihui, LIU Ruijie. Carbon Emissions in the Construction Sector Based on Input-Output Analyses[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2013, 53(1): 53-57.
- [29] 白芙蓉, 闫俊茹. “双碳”目标下异质性环境规制对建筑业绿色发展的影响研究 [J]. 生态经济, 2023, 39(6): 79-85. BAI Furong, YAN Junru. Research on the Impact of Heterogeneous Environmental Regulation on the Green Development of Construction Industry Under the Goal of “DoubleCarbon” [J]. Ecological Economy, 2023, 39(6): 79-85.
- [30] 刘 晔, 张训常, 蓝晓燕. 国有企业混合所有制改革对全要素生产率的影响: 基于 PSM-DID 方法的实证研究 [J]. 财政研究, 2016(10): 63-75. LIU Ye, ZHANG Xunchang, LAN Xiaoyan. The Influence of the Mixed Ownership Reform on the Total Factor Productivity of the State Owned Enterprises: An Empirical Study Based on PSM-DID Method[J]. Public Finance Research, 2016(10): 63-75.
- [31] 丁 宁, 任亦依, 左 颖. 绿色信贷政策得不偿失还是得偿所愿?: 基于资源配置视角的 PSM-DID 成本效率分析 [J]. 金融研究, 2020(4): 112-130. DING Ning, REN Yinong, ZUO Ying. Do the Losses of the Green-Credit Policy Outweigh the Gains? APSM-DID Cost-Efficiency Analysis Based on Resource Allocation[J]. Journal of Financial Research, 2020(4): 112-130.
- [32] 陈丽娟, 沈 鸿. 制造业服务化如何影响企业绩效和要素结构: 基于上市公司数据的 PSM-DID 实证分析 [J]. 经济学动态, 2017(5): 64-77. CHEN Lixian, SHEN Hong. How Does Manufacturing Service Affect Enterprise Performance and Factor Structure: An Empirical Analysis Based on PSM-DID Data of Listed Companies[J]. Economic Perspectives, 2017(5): 64-77.
- [33] 刘瑞明, 毛 宇, 亢延锟. 制度松绑、市场活力激发与旅游经济发展: 来自中国文化体制改革的证据 [J]. 经济研究, 2020, 55(1): 115-131. LIU Ruiming, MAO Yu, KANG Yankun. Deregulation, Market Vitality and Tourism Economy Development: Evidence from Chinese Cultural System Reform[J]. Economic Research Journal, 2020, 55(1): 115-131.
- [34] LI P, LU Y, WANG J. Does Flattening Government Improve Economic Performance? Evidence from China[J]. Journal of Development Economics, 2016, 123: 18-37.
- [35] CANTONID, CHEN Y Y, YANGD Y, et al. Curriculum and Ideology[J]. Journal of Political Economy, 2017, 125(2): 338-392.

(责任编辑: 廖友媛)