

碳排放权交易对控排企业环境绩效的影响

——基于双重机器学习模型

包娣娜, 程业斌*

东华大学旭日工商管理学院, 上海

收稿日期: 2024年10月16日; 录用日期: 2024年10月24日; 发布日期: 2024年11月20日

摘要

自改革开放以来, 我国经济飞速发展, 随之而来的是企业碳排放量与日俱增, 人们的生活受到了极大的影响, 在一定程度上与社会可持续发展理念相悖。碳排放权交易市场作为我国实现双碳目标的工具, 不同于以往强制减排措施, 能有助于企业减少碳排放。本文以2010~2022年沪深A股上市公司为研究对象, 将处于八个碳交易市场试点区域内的上市企业作为处理组, 其他区域的上市企业作为对照组, 通过构建双重机器学习模型来探究碳排放权交易对企业环境绩效的影响及作用机制, 并将全样本按照产权性质、公司规模、行业竞争程度分类, 进行异质性分析。研究发现, 碳交易能提升企业环境绩效水平; 碳交易对非国有、大规模以及行业竞争程度高的企业环境绩效水平的提升作用更显著; 碳排放权交易政策通过提高企业生产效率来提升环境绩效水平, 企业生产效率的确具备中介作用。最后, 本文基于结论提出了相关建议: 1) 完善碳排放权交易体系、2) 加强企业技术创新、3) 加快产业转型升级。

关键词

碳排放权交易, 企业环境绩效, 双重机器学习, 生产效率

The Impact of Carbon Emission Trading on the Environmental Performance of Emission Control Enterprises

—Based on Double/Debiased Machine Learning Model

Dina Bao, Yebin Cheng*

Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai

*通讯作者。

Abstract

Since the reform and opening up, China's economy has developed rapidly. But with it, the carbon emissions of enterprises have been increasing day by day, and people's lives and health have been greatly affected, which to some extent contradicts the concept of sustainable social development. The carbon emissions trading market, as a tool for China to achieve its dual carbon goals, is different from previous mandatory emission reduction measures and can help companies reduce carbon emissions. This article takes A-share listed companies in Shanghai and Shenzhen from 2010 to 2022 as the research object. Listed companies in eight pilot areas of carbon trading markets are used as the treatment group, and listed companies in other areas are used as the control group. A dual machine learning model is constructed to explore the impact and mechanism of carbon emission trading on corporate environmental performance. The entire sample is classified according to property rights, company size, and industry competition level for heterogeneity analysis. Research has found that carbon trading can promote the improvement of corporate environmental performance; Carbon trading has a more significant impact on improving the environmental performance of non-state-owned, large-scale, and highly competitive enterprises in the industry; The carbon emissions trading policy enhances environmental performance by improving the production efficiency of enterprises, and enterprise production efficiency indeed plays a mediating role. Finally, based on the conclusion, this article proposes relevant suggestions: 1) improve the carbon emission trading system, 2) strengthen enterprise technological reform and innovation, and 3) accelerate industrial transformation and upgrading.

Keywords

Carbon Emissions Trading, Corporate Environmental Performance, Double/Debiased Machine Learning, Production Efficiency

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景与文献综述

当前,随着经济发展,人民生活水平有了很大提高,但同时,二氧化碳等温室气体排放量逐年上升。这一变化不仅造成了生存环境遭到破坏,还使人类深受极端天气的迫害。所以,减少二氧化碳等温室气体的排放已刻不容缓。碳排放权交易政策的颁布成为完成目标的有力手段,建立碳交易市场可以使碳排放权变得商品化并以此降低温室气体排放量。2011年10月,我国开始筹备碳市场试点的开展工作,并不断扩大试点区域范围。2013年起,北京、上海、广东、深圳、重庆、天津、湖北、福建八个地区先后开启了碳市场试点工作。截止到2017年,碳排放权交易试点工作已广泛的覆盖了钢铁、化工等30来个行业,约3000家企业。2021年7月16日,全国碳市场交易正式上线,这说明我国已成为全球最大的碳市场。

碳排放权交易市场的运行机制的研究主要包含碳市场的建设、初始碳配额以及碳交易定价三方面。关于碳市场的建设。张墨(2017)觉得就碳交易市场监管的进一步优化而言,健全的法律法规是十分重要的。无论是在申请、审批、交易还是在惩罚、全环节监管管理上,制度的完备都必不可少[1]。Schneider L (2019)总结出了国际上碳交易市场的特征,认为碳排放交易机制的指定与环境的完整性必须同时考虑[2]。范庆泉等(2022)发现进一步强化扶持清洁部门是必然的,为了达到碳排放市场所有参与主体经济利益的帕累

托改进目的, 政府可以根据碳排放权再分配方案促使市场实际交易量低于清洁部门得到的碳排放权数量[3]。关于初始碳配额。Zhu 等(2019)提倡要基于产出去分配碳配额, 免费分配可能会扭曲企业产能[4]。周艳菊(2019)认为政府应当适当合理的利用好市场调节以及宏观调控, 不能直接操控碳价格[5]。宋德勇等(2021)研究发现界定企业碳排放额度以及分配企业初始配额方法的不同皆会影响企业的减排激励[6]。关于碳交易定价。路京京(2019)认为碳价的波动会随着股票市场和金融期权的价格进行变化[7]。Bento (2020)着重探究了碳配额对碳价的影响, 指出欧盟碳价下降是因为碳配额过剩, 这表明企业的减排成本较低[8]。Pukkala (2020)研究发现如果碳交易跨期交易, 碳价也会出现严重的下跌[9]。

中国经济发展正不断迈向绿色低碳经济, 因此, 如何在保护环境的同时还能在环境中获益也成为大家思考的关键问题。赵长红(2019)发现企业放弃高耗能发展模式且转向可替代清洁能源的最大原因在于碳交易价格的不断上涨, 而这一转变行为也极大的促进企业转型升级, 减少了污染物的排放[10]。黄薇(2020)指出碳排放权交易政策能为电力工业减少碳排放提供一条更有效的路径, 通过提高技术改造成本, 企业能以融资或者直接交易的方式去获得额外的碳排放权, 从而进一步的控制碳排放量[11]。陈婉(2020)通过比较中小企业和大型企业, 发现发展规模小、分散发布、数量大、基础管理水平低及生产技术水平差的中小型企业节能降耗效率上大都低于大型企业。此外, 能耗高、碳排放量大的钢铁行业具备一定程度的减排潜质和技术进步的动力, 该行业也很重视碳排放[12]。

综上所述, 尽管碳交易政策的有效性已经获得了许多学者的分析检验, 但因为我国该政策实施的时间不久, 一些基于微观层面的样本数据难以获取, 所以现有文献大部分是从省级或者区域层面去探究, 且从环境政策的角度去研究其对企业环境绩效的文献很少。因此, 厘清碳交易政策对企业环境绩效的影响至关重要。本文选取了碳排放权交易试点政策为准自然实验, 将样本区域集中在试点地区, 重在探究试点地区企业的环境绩效。本文的边际贡献为: 从企业层面这一微观视角实证分析碳排放权交易政策与企业环境绩效之间的关系, 丰富完善了环境政策对企业环境绩效的影响, 且从企业生产效率的角度对该政策影响企业环境绩效的作用机制进行了讨论。

2. 研究假设

本节旨在理论上对碳交易政策减排效应和经济效应的影响机制进行分析, 提出本文的研究假设。

(一) 碳排放权交易影响控排企业环境绩效

目前, 尽管环境污染具备负外部性且环境治理具备正外部性, 但企业在环境管理上的力度仍参差不齐。基于外部性理论, 碳排放权交易能将企业环境污染的负外部性转到其内部的成本里, 逐渐内化环境成本, 引导企业减少环境污染和加强治理污染, 同时展开环境保护工作, 提升环境保护的技术水平, 提高资源使用效率, 在减轻环境污染的负外部性时去强化环境治理的正外部性, 从而提升企业环境绩效。同时, 基于利益相关者理论, 碳排放权交易可以反映出企业在环境管理上的执行情况, 从而影响企业的声誉和利益相关者对企业的评价。企业为了获得利益相关者的认可及在市场上具备竞争优势, 就不得不承担环境治理责任, 积极采取措施, 进而提高企业的环境绩效。此外, 基于绩效管理理论, 企业需要从实际情况和管理需求出发去制定战略目标并在实践中不断优化升级。在碳交易政策下, 企业通过技术、人才、经济等方式进行了综合管理, 在一定程度上改善了环境绩效。因而, 本文提出假设: H1: 碳排放权交易有利于提升控排企业环境绩效。

(二) 碳排放权交易影响控排企业环境绩效的机制

根据前文所述, 碳交易的形成促使企业关注技术工艺的改进创新, 加强对环境绩效的改善, 具体体现在: 一方面, 由于在碳交易市场中碳交易总量是一定的, 所以, 一些碳排放量大的企业在使用完自己的碳配额后就需要向其他有多余配额的企业进行购买, 这就导致生产成本上升。基于外部性理论, 为了

减轻成本负担, 企业不得不升级改善已有的技术工艺以此提高生产效率。碳交易机制可以减轻企业碳排放压力, 内化企业的外部性成本。实施路径如下: 在碳交易市场中, 二氧化碳等污染气体被赋予一定的价格, 不再成为免费的公共资源。所以, 如果企业排放的污染气体超过给予的范围, 要么从碳市场中购买超出的碳配额, 要么就接受处罚。波特假说认为企业只有在完全被动和静态的情况下才会采取消极行为。作为盈利性组织, 企业更乐意使用改善创新已有技术工艺的手段去提升生产效率并且以此降低碳排放量。另一方面, 在碳排放权交易机制运行过程中所产生的减排收益也会刺激企业加强改进技术工艺并以此提升生产效率。碳交易机制的实施不仅可以控制市场上的碳排放总量和改善环境, 还可以使一些企业出售多余的碳排放额并以此获益。因此, 通过提升生产效率以减少碳排放量的行为对于企业而言可以极大的实现其价值, 企业只会大力推行此举。

综合上述分析, 本文认为碳交易机制对企业形成的成本压力和减排利益可以对企业的生产效率产生积极的效果, 而企业生产效率的提高也进一步体现在其环境绩效的提升上。所以, 本文提出假设: H2: 碳排放权交易可以通过生产效率来影响控排企业环境绩效。

3. 研究设计

(一) 样本选取与数据来源

自 2013 年, 深圳、上海、北京、广东、湖北、天津、重庆和福建八个地区先后启动了碳市场交易, 由于试验窗口相对较短, 所以本文主要围绕这八个碳市场试点区域展开研究, 以沪深 A 股所有上市公司为初始样本, 选择 2010~2022 年作为样本区间。由于碳排放权当前的交易体量在资本市场中的份额很小, 因此为保证实证的严谨性与准确性, 本文将八个碳市场内的上市企业均当作控排企业, 采用双重机器学习去考察碳市场的实施如何影响企业环境绩效。为确保样本的精确性, 本文按照以下要求对原始样本进行如下处理: 剔除 2010 年以后上市的企业; 剔除金融类、保险类的企业; 剔除已经退市、ST 和 ST* 的企业; 剔除关键数据缺失的数据。同时为防止极端值的影响, 对筛选后数据进行缩尾处理。本文数据均来源于 Wind 数据库, 华证指数和各省市区政府官网。

(二) 变量定义

被解释变量。本文的被解释变量 EP 为企业环境绩效。由于衡量企业环境绩效的方法目并未存在统一的结果。所以, 参考现有研究, 以环境责任评分来衡量企业环境绩效水平。

解释变量。本文的解释变量 Policy 为上市公司是否为控排企业。本文将八个试点区域内所有的上市企业当作控排企业, 取值为 1, 其他省市的上市企业则为 0。

中介变量。本文的中介变量 Mid 为企业生产效率。其中, 企业生产效率又以企业当年专利申请总量来衡量。

控制变量。参考已有文献做法, 本文选取了以下控制变量: 公司规模(Size)、财务杠杆(Lev)、资产收益率(ROA)、上市时间(Age)、经营活动产生的净现金流(OCF)、公司研发投入(R&D)、政府财政结构(Gov)、经济发展水平(GDP)。

(三) 模型设计

本文参考 Chernozhukov 等[13]提出的一种双重机器学习框架去探究碳排放权交易对企业环境绩效所产生的影响。模型具体如下:

$$EP = \theta_0 Policy + l(X) + U, E[U|X, Policy] = 0 \quad (1)$$

$$Policy = m(X) + V, E[V|X] = 0 \quad (2)$$

其中, EP 为被解释变量, 表示企业环境绩效; Policy 为解释变量, 表示企业是否被纳入控排企业, 设置

控排企业为 1, 否则为 0; $X = (X_1, \dots, X_p)$ 表示控制变量向量; θ_0 即为处理效应。 $m(X)$ 表示解释变量和控制变量之间的关系, V 为误差项。

为考察碳排放权交易是如何对企业环境绩效产生影响的, 本文在双重机器学习框架中引入了中介变量 Mid , 并以两步法进行检验。具体模型为:

$$EP = \theta_0 Policy + l_1(X) + U_1, E[U_1 | X, Policy] = 0 \quad (3)$$

$$Mid = \theta_1 Policy + l_2(X) + U_2, E[U_2 | X, Policy] = 0 \quad (4)$$

$$Policy = m(X) + V, E[V | X] = 0 \quad (5)$$

其中, 若 θ_0 通过了显著性检验就说明碳交易能对企业环境绩效产生影响; θ_1 通过了检验则表明碳交易能对中介变量产生影响; 再以相关文献去支撑中介变量会影响企业环境绩效。因而可以验证中介效应。

4. 实证分析

(一) 双重机器学习模型结果分析

本文使用双重机器学习模型去探索碳交易对企业环境绩效的影响, 分别采取随机森林算法、套索回归和梯度提升进行回归。为确保估计的准确性, 本文还采取了 5 折交叉验证, 样本分割比例为 1:4, 具体结果如表 1 所示。可以看到, 解释变量系数都在 1% 的水平上显著为正。双重机器学习模型的结果表明碳排放权交易政策的确可以促进企业提升环境绩效, 验证了假说 H1。

Table 1. Double machine learning model estimation results

表 1. 双重机器学习模型估计结果

	(1)	(2)	(3)
变量	Random Forest EP	Lasso Regression EP	Gradient Boosting EP
Policy	6.849*** (1.608)	4.421** (1.941)	1.104*** (0.236)
Constant	0.070* (0.042)	-0.017 (0.042)	0.007 (0.054)
控制变量	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制
N	16399	16399	16399

注: ***, **和*分别表示统计结果在 1%、5%和 10%的置信水平上显著; 括号内无特别说明外均为稳健标准误。

(二) 稳健性检验

为确保基准回归结论的稳健性, 本文分别采取控制其他政策干扰和重设机器学习模型进行检验。

1) 控制其他政策干扰。国家发改委在 2010 年颁布了低碳试点政策, 该政策的实施影响了试点区域的碳排放情况, 这使得除了八个碳市场在控排外, 其他省市也可能进行控排, 为排除低碳试点政策的干扰, 本文在原有变量的基础上又加了一个虚拟变量——企业是否在低碳试点城市, 在低碳试点城市取值为 1, 否则为 0。回归结果见表 2 第(1)列, 可以看到解释变量的系数依然显著为正, 与前文基准回归结果

相差不大, 可以排除低碳试点政策的影响。

2) 重设机器学习模型。在基准回归中, 本文构建了部分线性模型, 但解释变量和被解释变量之间也可能存在非线性关系, 使用一般性的交互模型会更符合实际情况。因此, 本文基于双重机器学习模型又构建了一般性的交互式模型:

$$EP = l(\text{Policy}, X) + U \quad (6)$$

$$\text{Policy} = m(X) + V \quad (7)$$

回归结果见表 2 第(2)列, 可以看到, 解释变量的系数依然显著为正, 说明基于原有的部分线性模型所得出的结论成立, 结果稳健。

Table 2. Robustness check
表 2. 稳健性检验

变量	控制其他政策干扰	
	低碳试点政策	重设双重机器学习模型
	(1)	(2)
	EP	EP
Policy	5.175*** (1.328)	0.146** (0.059)
Constant	0.068 (0.042)	
控制变量	控制	控制
个体效应	控制	控制
时间效应	控制	控制
N	14616	14616

注: **、*和*分别表示统计结果在 1%、5%和 10%的置信水平上显著; 括号内无特别说明外均为稳健标准误。

(三) 异质性分析

作为市场型环境规制的碳交易究竟能在哪种环境下才能发挥最大功效是一个值得探讨的问题。因此, 本文从企业特征出发, 具体研究碳交易的政策效果。企业特征被细化为产权性质和企业规模两个层面。关于企业产权性质: 本文将全样本分为了国有企业和非国有企业, 回归结果如表 3 第(1)列和第(2)列所示。可以看出非国有企业控排能对其环境绩效产生显著的正向影响, 但国有企业控排却无显著影响, 这说明相较于国有企业, 碳排放权交易对非国有企业的作用更突出。非国有企业更有活力, 对市场变化的反应灵敏度强, 敏锐地发现碳排放权交易政策的实施可以更大程度上有利于企业的发展, 进而提高了企业的环境绩效水平; 关于企业规模: 本文以企业资产均值为基准, 大于资产均值的为大规模企业, 反之为小规模企业, 回归结果如表 3 第(3)列和第(4)列所示。可以看出, 大规模企业控排对于环境绩效的影响显著为正, 而小规模企业不显著, 这表明大规模企业控排能显著提升企业的环境绩效, 但对小规模企业来说作用不大。大规模企业凭借加强环境管理这一举措提升了社会声誉, 增强利益相关者的信心, 提高了市场竞争优势。大规模企业资源雄厚, 具有良好的规模经济效应, 其规模大小与企业风险承担能力成正比。且其通常具备更健全的内部机制, 会以创新绿色技术和环保投资的方式去提升环境绩效水平, 但小规模企业却偏向于减少产量以及购买治理污染的设备。因此, 综合来看, 大规模企业会更有实力和动力去重

视环保和环境管理, 从而提升环境绩效。

Table 3. Heterogeneity analysis
表 3. 异质性分析

变量	(1) 国有 EP	(2) 非国有 EP	(3) 大规模企业 EP	(4) 小规模企业 EP
Policy	1.120 (0.964)	1.748** (0.876)	3.147*** (0.796)	1.516 (0.938)
Constant	0.053 (0.053)	0.091 (0.067)	0.096* (0.056)	0.026 (0.065)
控制变量	控制	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制	控制
时间效应	控制	控制	控制	控制
N	9509	6890	7716	8683

注: ***, **和*分别表示统计结果在 1%、5%和 10%的置信水平上显著; 括号内无特别说明外均为稳健标准误。

(四) 基于企业生产效率的中介效应分析

前文的理论分析发现碳交易机制的实施能通过生产效率来影响企业的环境绩效。为验证此机制是否成立, 本文使用两步法进行操作, 将生产效率作为中介变量。在基准回归中, 已知解释变量显著影响被解释变量, 所以在此基础上, 本文接着检验了解释变量对中介变量的影响。检验结果如表 4 所示。可以看到解释变量的系数显著为正, 这说明企业控排能促进其提升生产效率。蒋茁(2024)认为企业绿色创新能够提高企业环境绩效, 降低碳排放[14]。马鸽等(2024)也证明了绿色技术创新对提升企业环境绩效具有中介作用[15]。这表明控排企业能通过影响生产效率进而影响企业环境绩效, 即在碳排放权交易政策的实施下, 企业可以通过提高生产效率来提升环境绩效。实证结果符合前文理论分析, 验证了假说 H2。

Table 4. Intermediary mechanism analysis
表 4. 中介机制分析

变量	Mid	EP
Policy	0.019*** (0.003)	
Mid		0.430*** (0.047)
Constant	-1.34e + 16 (6.26e + 15)	0.054 (0.042)
控制变量	控制	控制
个体效应	控制	控制
时间效应	控制	控制
N	16399	16399

注: ***, **和*分别表示统计结果在 1%、5%和 10%的置信水平上显著; 括号内无特别说明外均为稳健标准误。

5. 研究结论与建议

本文以 2010~2022 年我国沪深 A 股上市公司为研究样本, 通过构建双重机器学习模型来探究企业控排对其环境绩效的影响, 并进一步分析了政策效应对于不同产权性质、规模大小的企业环境绩效的影响, 且考察了其中的作用机制, 最后得出的结论如下:

1) 碳交易能提高企业环境绩效。一方面, 碳交易可以为企业带来现时和长远经济收益, 使其主动提升环境绩效; 另一方面, 企业为满足相关利益者需求且获得其认可, 就必须加强环境管理进而提升环境绩效。此外, 企业为缓解环境成本也得开展环保治理, 提升环境绩效。

2) 碳交易对企业环境绩效的提升作用对于不同的产权性质、规模大小的企业来说具有差异化。在产权性质上: 碳排放权交易对非国有企业的环境绩效作用更显著。在公司规模上: 大规模企业控排能显著提升其环境绩效, 但对小规模企业作用不大。

3) 企业的生产效率在碳排放权交易和企业环境绩效之间具有积极的传导作用。为减轻成本以及获得更长远的经济收益, 企业将目光转移到了生产技术的改进创新上, 技术的创新能提升企业的环境绩效, 同时凭借此行为获得的社会支持和竞争优势也不断地支撑企业提升环境绩效。

为了稳健实施碳交易政策和提升企业环境绩效, 本文在结论的基础上提出以下建议:

1) 完善碳排放权交易体系。具体来说, 可以考虑以下几个方面: 设定合理的碳排放配额和目标、制定完善的监管机制、加大执行力度。

2) 加强企业技术创新。企业可以重视生产源头, 通过加大生产技术的研发投入来增强竞争优势和顺应市场发展趋势, 不断提升自身的环境绩效, 从而实现经济和环境的双赢。

3) 加快产业转型升级。企业应具备危机意识, 积极寻找转型驱动力, 改变原有的模式, 向绿色低碳经济转型升级, 以绿色友好形象面对外界, 主动进行环保投资和贯彻绿色环保理念, 提高环境绩效。

参考文献

- [1] 张墨, 王军锋. 区域碳排放权交易的风险辨识与监管机制——以京津冀协同为视角[J]. 南开学报(哲学社会科学版), 2017(6): 76-81.
- [2] Schneider, L. and La Hoz Theuer, S. (2018) Environmental Integrity of International Carbon Market Mechanisms under the Paris Agreement. *Climate Policy*, **19**, 386-400. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1521332>
- [3] 范庆泉, 刘净然, 王竞达. 清洁生产补贴、收入分配失衡与碳排放权再分配机制研究[J]. 世界经济, 2022, 45(7): 50-57.
- [4] Zhu, J., Fan, Y., Deng, X. and Xue, L. (2019) Low-Carbon Innovation Induced by Emissions Trading in China. *Nature Communications*, **10**, Article No. 4088. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12213-6>
- [5] 周艳菊, 胡凤英, 周正龙. 碳税政策下制造商竞争的供应链定价策略和社会福利研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(7): 94-105.
- [6] 宋德勇, 朱文博, 王班班. 中国碳交易试点覆盖企业的微观实证: 碳排放权交易, 配额分配方法与企业绿色创新[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1): 37-47.
- [7] 路京京. 中国碳排放权交易价格的驱动因素与管理制度研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [8] Bento, N. and Gianfrate, G. (2020) Determinants of Internal Carbon Pricing. *Energy Policy*, **143**, Article 111499. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111499>
- [9] Pukkala, T. (2020) At What Carbon Price Forest Cutting Should Stop. *Journal of Forestry Research*, **31**, 713-727. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01101-1>
- [10] 赵长红, 张明明, 吴建军, 袁家海. 碳市场和电力市场耦合研究[J]. 中国环境管理, 2019, 11(4): 105-112.
- [11] 黄薇, 黄晨宏, 李树青. 中国碳市场发展及电力行业参与策略分析[J]. 能源与环境, 2020(1): 2-3.
- [12] 陈婉. 《中小企业节能潜力分析及供应链节能减排政策研究》报告发布通过绿色供应链管理推动中小企业节能减排[J]. 环境经济, 2020(15): 46-49.

- [13] Chernozhukov, V., Chetverikov, D., Demirer, M., *et al.* (2018) Double/Debiased Machine Learning for Treatment and Structural Parameters. *The Econometrics Journal*, **21**, C1-C68.
- [14] 蒋茁. 企业创新对环境绩效影响的研究述评[J]. 特区经济, 2024(6): 137-140.
- [15] 马鸽, 张韬. 低碳政策试点、绿色技术创新与企业环境绩效[J]. 统计与决策, 2024, 40(5): 177-182.