

碳交易政策推动火电行业碳减排的效应测度

贺玉环

豫章师范学院经济与管理学院, 江西 南昌

收稿日期: 2025年10月9日; 录用日期: 2025年10月17日; 发布日期: 2025年11月17日

摘要

碳交易政策是实现火电行业碳减排目标的重要市场化手段。为测度碳交易政策是否对火电行业具有碳减排效用, 本文基于2006~2022年省级面板数据, 运用多时点双重差分模型测度碳交易试点政策对火电行业碳减排效应。研究发现, 碳交易政策能显著促进火电行业碳减排, 具体体现在政策实施后试点地区火电行业碳排放量较非试点地区减少12.5%, 但其效应存在滞后性, 且安慰剂检验、倾向得分匹配-双重差分法和更改样本期等稳健性检验验证了结果可靠。该研究为完善碳市场机制助力火电行业减排提供了实证依据与政策参考。

关键词

碳交易政策, 碳市场, 火电行业, 碳减排

Measuring the Effect of Carbon Trading Policy on Carbon Emission Reduction in the Thermal Power Industry

Yuhuan He

School of Economics and Management, Yuzhang Normal University, Nanchang Jiangxi

Received: October 9, 2025; accepted: October 17, 2025; published: November 17, 2025

Abstract

The carbon trading policy is an important market-based instrument for achieving the carbon emission reduction targets of the thermal power industry. To measure whether the carbon trading policy has a carbon-reducing effect on the thermal power industry, this paper employs a multi-period difference-in-differences model to measure the carbon-reducing effect of the carbon trading pilot policy on the thermal power industry based on provincial panel data from 2006 to 2022. The study

finds that the carbon trading policy can significantly promote carbon emission reduction in the thermal power industry. Specifically, after the policy is implemented, the carbon emissions of the thermal power industry in pilot regions are reduced by 12.5% compared with non-pilot regions. However, its effect is lagged. Robustness tests, including placebo tests, propensity score matching-difference-in-differences method, and changing the sample period, verify the reliability of the results. This study provides empirical evidence and policy references for improving the carbon market mechanism to assist carbon emission reduction in the thermal power industry.

Keywords

Carbon Trading Policy, Carbon Market, Thermal Power Industry, Carbon Emission Reduction

Copyright © 2025 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. 引言

全球气候变暖已成为威胁生态系统稳定、制约经济社会可持续发展的全球性挑战[1]。二氧化碳过度排放是这一问题的主要诱因。根据国际能源署报告显示, 2023 年中国二氧化碳排放量达到 126 亿吨, 增长约 565 公吨, 成为全球碳排放增幅最大的国家[2]。其中, 火电行业作为能源生产的核心部门, 其碳排放量占全国总排放量的比重在 40% 以上[3]。在全球气候变暖加剧与“双碳”战略目标推进的双重背景下, 碳交易政策已成为减少碳排放、推动高碳行业绿色转型的重要手段[4]。由此可见, 碳减排特别是火电行业碳减排对“双碳”目标的实现有着关键作用。为此, 测度中国碳市场试点设立以来, 碳交易政策对火电行业碳减排的效用具有重大意义。

要了解火电行业碳排放的规模、结构及变化趋势, 需明确其测度方法。目前学界针对火电行业碳排放测度的研究主要聚焦两个方面: 一是基于计算, 主要有排放因子法[5]、Kaya 恒等式[6]、物料衡算法[7]、质量平衡法[8]和模型模拟法[9]等测量方法; 二是通过现场测试的实测法, 包括实测值法[10]和高准确性 CO₂ 排放连续在线监测法[11]等手段。而对碳交易政策方面的研究, 自中国碳排放权交易试点启动以来, 学界对国内碳市场的研究关注度显著提升。有学者借助理论模型进行事前模拟分析, 着重探究碳交易试点政策的实施成效及其对宏观经济等领域的作用机制[12][13], 或是基于试点数据开展实证研究, 考察碳交易试点对企业股票流动性[14]、企业创新[15]、低碳技术创新[16]、非化石能源发展[17]等方面的影响。然而, 在碳交易政策对火电行业碳减排影响的研究结论并没有形成共识。一方面, 众多研究认为二者影响关系是积极的, 表现在碳交易初期火电企业有较大的减排空间[18], 且碳交易政策会对火电企业的碳排放量形成约束, 进而推动火电企业提升技术水平或投资可再生能源发电, 以减少碳排放量[10][19]。另一方面, 碳配额在碳交易市场无法保持价格稳定与持续流通的情况下, 会存在碳泄漏的风险的消极影响[20]。

综上所述, 众多学者的研究主要聚焦于我国碳交易政策在碳减排中发挥的作用, 但碳市场能否有效降低发电行业的碳排放量还存在分歧。并且, 针对碳交易政策对火电行业碳减排的作用主要从理论方面进行研究, 缺乏实证的支持。基于此, 本文以各省份火电行业碳排放量为研究对象, 选取碳交易试点政策实施前后的相关数据, 从理论和实证系统考察碳交易政策对火电行业碳排放的实际影响效应。与已有研究相比, 本文的边际贡献可能在于: 一是发电行业是首个纳入中国碳市场的行业, 探讨发电行业碳减排能很好地紧扣“双碳”战略推进的现实需求。二是厘清碳交易政策对推动火电行业碳减排的效应, 尝试揭示碳交易试点政策在火电行业的实际减排效果与作用边界, 一定程度上期望为关于碳市场减排成效

的争议提供部分实证参考。

2. 理论分析与研究假设

碳交易政策的核心逻辑源于环境外部性理论与科斯定理。新古典经济学理论指出,环境污染具有典型的负外部性特征,企业的碳排放行为会对生态环境造成损害,但该成本未被纳入企业生产决策,导致社会成本与私人成本脱节,形成“过度排放”的市场失灵问题。碳交易政策通过将碳排放权转化为稀缺性商品,建立市场化的价格发现机制,使碳排放的外部成本内部化,从而倒逼企业调整生产决策以减少排放。

火电企业作为电力市场与碳市场的双重参与主体,其行为决策同时受两大市场机制影响。在电力市场中,电价通过供需关系与竞争机制形成,直接决定企业的发电收益。在碳市场中,碳价通过配额交易机制形成,直接影响企业的碳排放成本[3]。两大市场价格信号的叠加,共同构成火电企业减排决策的核心约束条件。火电行业作为典型的高碳行业,其生产过程高度依赖煤炭等化石能源,碳排放强度若高于政府碳配额,则需在碳市场购买额外碳配额,这将会导致生产成本的增加。但当火电厂凭借显著的规模效应、先进的发电技术及高效的机组运行水平实现低碳生产时,其碳排放量往往低于规定配额,可通过在碳市场出售剩余额度形成额外收益。因此,碳交易政策通过成本约束和收益激励双重机制,对火电企业形成差异化的行为引导,即高排放火电企业为规避配额购买成本,会主动探索减排路径,低排放企业为扩大配额出售收益,会进一步巩固低碳优势,从而实现火电行业碳减排和绿色转型。因此,本文提出以下假设:

假设 H1: 碳交易政策能显著降低火电企业碳排放量。

3. 研究设计

(一) 模型设定

本文主要聚焦于碳交易政策效果的识别问题。在政策评估领域,双重差分法是识别政策或干预措施因果效应的常用方法,它通过设置政策虚拟变量,对比对照组与处理组在政策实施前后的变化差异,进而估算政策产生的净效应。我国碳交易试点政策于 2013 年(北京、天津、上海、广东)、2014(湖北、重庆)和 2016(福建)分批次试行,而多时点双重差分可以评估某一政策在不同时期的实施效果。因此,本文以碳交易市场试点作为准自然实验,构建多时点差分模型研究碳交易政策实施对试点地区和非试点地区碳排放是否存在差异化影响。

$$\ln CO_{2,it} = \beta_0 + \beta_1 DID_{it} + \beta_2 X_{it} + \gamma_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, i 表示省份, t 表示年份; $\ln CO_{2,it}$ 为被解释变量,表示 i 省份在 t 年份的火电行业碳排放量; β_0 为常数项; DID_{it} 是核心解释变量,即碳交易政策虚拟变量,其系数 β_1 为碳交易政策实施对各省份火电行业碳排放的影响效应,若 β_1 小于0且显著,则说明碳交易政策对火电行业碳减排有显著的促进作用; X_{it} 为控制变量,即对碳交易政策以外的其他可能影响火电行业碳排放的因素加以控制; β_2 为控制变量的估计系数; γ_i 是省份固定效应; θ_t 是时间固定效应; ε_{it} 为随机误差项。

(二) 变量选取

1、被解释变量

被解释变量为火电行业碳排放量的对数值($\ln CO_2$)。鉴于当前各省份火电行业的碳排放量缺乏直接的统计数据,且火电行业碳排放主要来源于发电过程中化石能源的燃烧,因此采用 IPCC 发布的因子系数法计算我国火力发电产生的二氧化碳,测算公式为:

$$CO_{2,it} = \sum_{it} E_{ij} \times N_j \times C_j \times F_j \times \frac{44}{12} \quad (2)$$

式(2)中, $CO_{2,it}$ 为 i 省在发电过程中消耗 j 能源产生的碳排放量; E_{ij} 为 i 省 j 能源的消耗量; N_j 、 C_j 、 F_j 分别表示第 j 种能源的平均低位发热量、单位热值含碳量、碳氧化率, 相关参数均来自《综合能耗计算通则》《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单编制指南》; i 表示省份, j 表示能源种类, 具体包括焦炭、原煤、型煤、焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气、其他洗煤、其他煤气、煤矸石、其他焦化产品、其他石油制品、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、石油焦、洗精煤、液化石油气、炼厂干气、天然气、液化天然气等 22 种能源。

根据式(2)测算出 2006~2022 年我国各省份火电行业碳排放量, 如图 1 所示。从试点地区与非试点地区各省份平均碳排放量的变化趋势来看, 在 2013 年碳市场试点政策实施之前, 试点地区与非试点地区火电行业碳排放量总体上均处于上升态势, 且变动趋势较为一致, 但非试点地区的排放量整体高于试点地区。政策实施后, 非试点地区的碳排放量继续保持增长态势, 而试点地区的碳排放量则开始显著下降, 两者之间的排放差距逐渐拉大。从这一变化趋势初步推断, 碳市场试点政策对试点地区火电行业的碳排放量产生了显著的抑制效应。

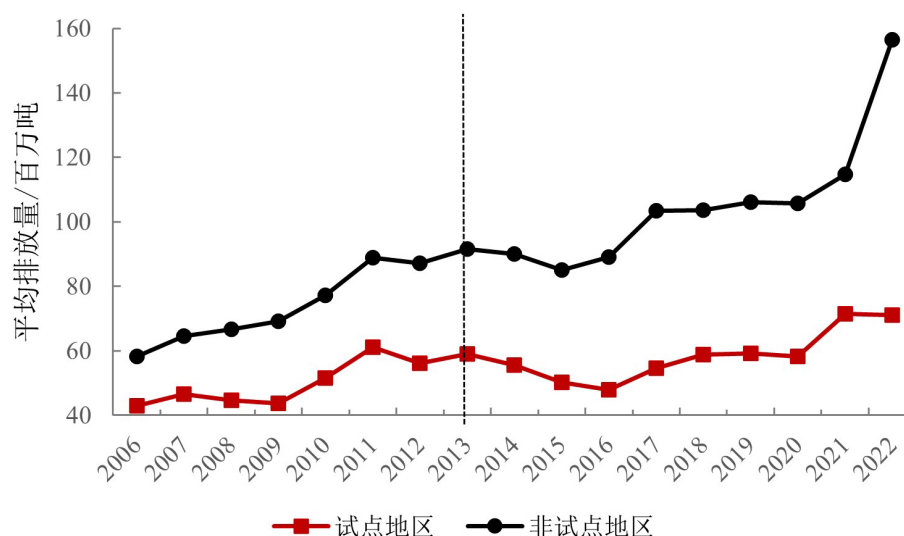


Figure 1. Average carbon emissions of the thermal power industry in pilot and non-pilot areas

图 1. 试点地区与非试点地区火电行业平均碳排放量

2、核心解释变量

核心解释变量为 DID_{it} , 即 $Treat_i \times Post_{it}$ 生成的交互项, 表示 i 省份在 j 年是否实施碳排放交易试点政策。 $Treat_i$ 是政策实施对象的虚拟变量, 处理组为北京、天津、广东、上海、湖北、重庆和福建这七个碳交易试点省份, $Treat_i$ 赋值为 1; 将非试点地区省份作为控制组, $Treat_i$ 赋值为 0。 $Post_{it}$ 是政策实施时间的虚拟变量, 当 i 为北京、天津、广东、上海且 $j \geq 2013$, i 为湖北、重庆且 $j \geq 2014$, 以及 i 为福建且 $j \geq 2016$ 时, $Post_{it}$ 赋值为 1, 其余赋值为 0。

3、控制变量

为控制其他因素对火电行业碳排放的影响, 避免试点地区与非试点地区间受非政策因素的干扰, 确保双重差分模型估计结果的准确性, 选择的控制变量主要包括: ① 经济发展水平: 通常而言, 经济规模扩张可能带动火电需求增加, 进而对碳排放产生正向影响。但由于技术进步和能源效率的提高, 这种关系可能并非线性, 因此采用人均地区生产总值的对数($\ln pgdp$)来衡量地区经济发展。② 产业结构: 第二产业中的重工业是能源消耗和碳排放的主要来源, 产业结构向服务业主导转型会降低对高耗能工业的依赖, 从而可能减少火电碳排放。因此, 以第三产业增加值与第二产业增加值的比重表示产业结构高级化

指标(CH)来衡量产业结构。③ 火电行业规模：选取火力发电量的对数(Lnftpg)作为衡量变量。火电行业规模扩张意味着火力发电量增长，需要投入更多煤炭等化石燃料进行燃烧发电，导致碳排放量增加。④ 能源消费结构：可再生能源在发电过程中几乎无碳排放，其发电量占比的提升能够代替部分火电发电份额，降低火电发电的需求，对应的化石燃料消耗量相应下降，进而减少碳排放量。因此，选择可再生能源发电量占比(RES)来反映我国的火力发电的能源消费结构。⑤ 发电技术效率：选取火电供电标准煤耗的对数(LnPSC)来测度，即煤耗越低，说明发电效率越高，单位发电量的碳排放越少。

(三) 数据来源

鉴于数据的可获取性，本文选取 2006~2022 年期间我国除西藏、港澳台地区之外的 30 个省级行政区的面板数据作为分析对象。碳排放数据主要来源于《中国能源统计年鉴》《综合能耗计算通则》《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》和《省级温室气体清单编制指南》，其他数据来源于《中国统计年鉴》《中国电力年鉴》以及各省的统计年鉴。各变量描述性统计见表 1。

Table 1. Descriptive statistics results of variables

表 1. 变量描述性统计结果

变量	均值	标准差	最小值	最大值
$\ln CO_2$	4.014	0.984	0.829	6.902
DID	-	-	0	1
Lnpdp	10.600	0.631	8.717	12.150
CH	1.252	0.703	0.527	5.244
Lnftpg	6.867	0.908	4.277	8.617
RES	0.244	0.444	0.020	8.750
LnPSC	5.779	0.0960	5.303	6.151

4. 实证结果与分析

(一) 平行趋势检验

平行趋势检验是评估双重差分估计量一致性的重要前提条件，即碳交易市场政策实施前，试点地区和非试点地区火电行业的碳排放变化趋势需保持一致。碳交易试点政策施行后，基于该政策发挥的干预成效，试点地区与非试点地区火电行业在碳排放量上呈现出明显的分化趋势，以此确保双重差分模型能够有效识别出政策对火电行业碳排放的净效应。图 1 中可直观反映出，在政策启动前试点和非试点地区碳排放量的变化趋势基本一致，但若想得到更合理和精确的评估则需进一步检验。因此，本文参考吴茵茵等人[21]的研究，基于事件研究法进行平行趋势检验，结果如图 2 所示。在政策启动前，试点地区与非试点地区在火电行业的碳排放变化趋势一致，表明没有显著差异，满足平行趋势假设。在 2013 年开始实施碳交易试点政策后，由于政策的滞后性，政策效果并没有立即显现，直至 2016 年，试点地区火电行业碳排放量显著下降，影响系数显著为负，并在总体上呈现下降趋势，表明碳交易政策能够产生抑制火电行业碳排放的政策效应。

(二) 基准回归结果

多时点 DID 的基准回归结果如表 2 所示，在省份和年份固定效应后，DID 的系数均为正，且在 1% 水平上显著。在引入控制变量后，DID 的系数为-0.125，表明碳交易市场政策实施后，试点地区火电行业碳排放量减少了 12.5%，即碳交易政策能显著降低火电企业碳排放量，这与研究假设 H1 相符。在控制变量的回归结果来看，经济发展水平在 1%水平上显著为负，这可能是由于经济发展水平提升过程中，产业

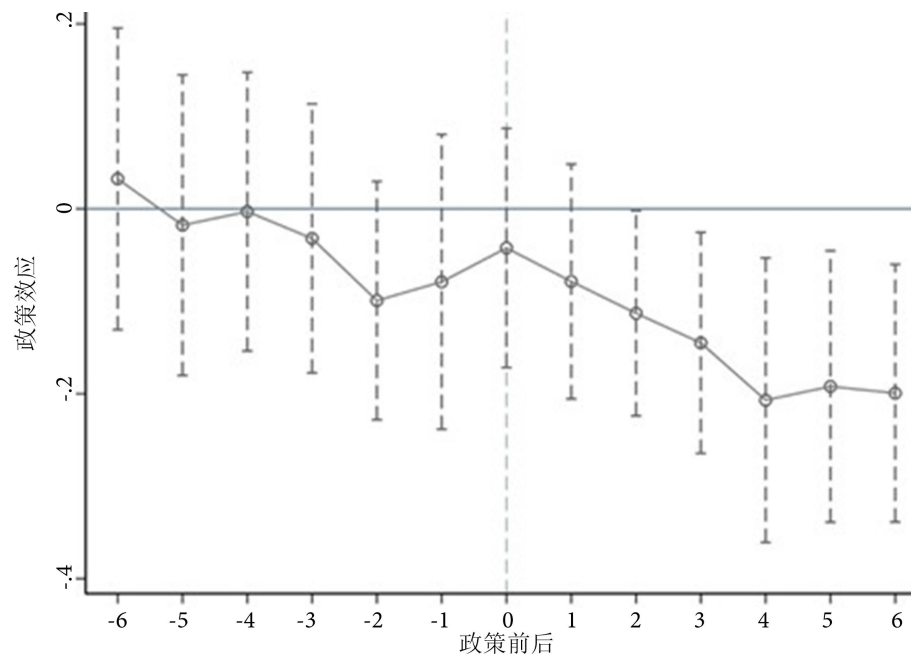


Figure 2. Results of parallel trend test

图 2. 平行趋势检验结果

Table 2. Regression results of the impact of carbon trading policy on carbon emissions in the thermal power industry

表 2. 碳交易政策对火电行业碳排放量影响的回归结果

变量	(1)	(2)
DID	-0.271*** (0.064)	-0.125*** (0.038)
Lnpgdp		-0.575*** (0.121)
CH		-0.200** (0.079)
Lnftpg		1.123*** (0.070)
RES		-0.006 (0.007)
LnPSC		2.750*** (0.471)
常数项	4.048*** (0.015)	-13.221*** (3.440)
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
R ²	0.913	0.964
样本数	510	510

注：**、***分别表示在 5%和 1%的水平下显著，括号内为标准误。列(1)为未添加任何控制变量的回归结果，列(2)为添加控制变量的回归结果。表 3、表 4 同。

结构优化、技术进步等因素推动了能源利用效率提高和低碳经济发展，从而减少火电行业碳排放。产业结构系数显著为负，表明产业高级化发展，能有效促进火电行业碳减排。火电行业规模对火电行业碳排放量的影响为正，即火力发电量越大，火电行业碳排放量越多。可再生能源发电量对火电行业碳排放量的影响不显著，可能是由于当前可再生能源替代规模有限，或其在能源结构中的占比尚未达到有效降低火电碳排放的临界水平。火电供电标准煤耗系数在 1%水平上显著为正，表明火电供电标准煤耗越高，即发电效率越低，单位发电量的碳排放量越大，进而显著推高火电行业整体碳排放量。

(三) 稳健性检验

1、安慰剂检验

为检验实证结果是否受未观测随机变量的影响，验证碳交易政策对火电行业碳减排效应的可靠性，本文通过随机选取实验组和随机设定试点时间进行安慰剂检验，重复 1000 次实验的安慰剂检验结果如图 3 所示。可以看出，垂直于横轴的虚线为基准模型回归系数(-0.125)，其偏离该分布的中心密集区域，处于分布尾部。而模拟生成的“伪政策效应”估计量主要集中在接近 0 的区间内，且都偏离真实回归系数，表明在假设政策未实施的“伪处理”情境下，难以得到与实际政策干预相近的显著减排效应，由此可推断基准回归中碳交易政策对火电行业碳减排的效应并非因随机因素而产生严重偏误。

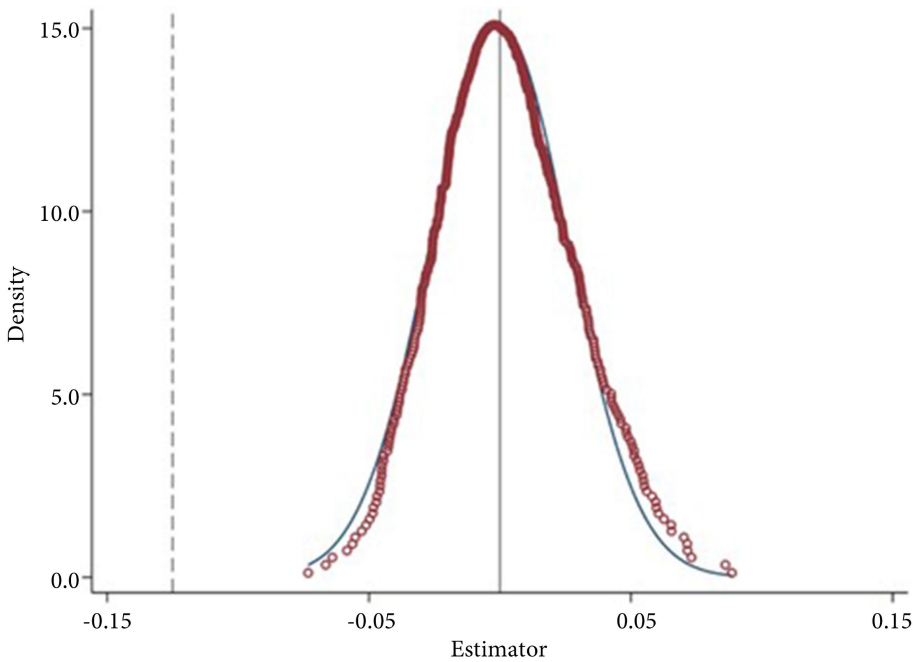


Figure 3. Placebo test results
图 3. 安慰剂检验结果

2、倾向得分匹配 - 双重差分(PSM-DID)

为检验样本选择偏差对估计结果的影响，验证估计结果的准确性，进一步运用 PSM-DID 模型来评估碳交易政策对火电行业碳减排的效用。采用近邻匹配方法对处理组与控制组样本进行匹配，并借助双重差分法估计碳交易政策实施后火电行业碳排放量的变化情况，结果如表 3 所示。回归结果显示，DID 的估计系数为仍在 1%的水平下显著为负，且其他变量估计结果相差不大，这表明在通过倾向得分匹配解决样本选择偏差问题后，碳交易政策对火电行业碳减排的显著促进作用依然存在，与基准回归结论一致，进一步验证了研究结果的稳健性。

Table 3. Regression results of PSM-DID robustness test**表 3.** PSM-DID 稳健性检验回归结果

变量	(1)	(2)
DID	-0.164*** (0.059)	-0.130*** (0.046)
Lnpgdp		-0.322*** (0.108)
CH		-0.057 (0.065)
Lnftpg		1.113*** (0.040)
RES		-0.014 (0.202)
LnPSC		1.346*** (0.516)
常数项	4.109*** (0.013)	-7.921** (3.638)
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
R ²	0.925	0.972
样本数	457	457

3、更改样本期

前文回归结果是基于 2006~2022 年样本数据得到，考虑到疫情可能对相关经济与能源活动产生特殊影响，本文剔除后两年样本数据，将更改样本期(2006~2020 年)后的数据进行双重差分检验，结果如表 4 所示。可以发现，DID 估计系数为负且通过了显著性检验，各控制变量的回归结果也与基准回归呈现出相似规律，这表明即便排除疫情事件的影响，碳交易政策对火电行业碳减排的显著促进作用依然存在，与基准回归结论一致，充分验证了研究结果的稳健性。

Table 4. Regression results of robustness test with altered sample period**表 4.** 更改样本期的稳健性检验回归结果

变量	(1)	(2)
DID	-0.251*** (0.062)	-0.108*** (0.029)
Lnpgdp		-0.611*** (0.117)
CH		-0.235*** (0.073)
Lnftpg		1.217*** (0.042)
RES		-0.001 (0.006)
LnPSC		2.870*** (0.358)

续表

常数项	4.005*** (0.015)	-14.216*** (2.169)
省份固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
R ²	0.918	0.976
样本数	450	450

5. 结论与建议

本文基于多时点差分模型，以 2006~2022 年省级面板数据为样本，实证测度碳交易政策推动火电行业碳减排的效应，得出本文研究结论：碳交易市场能促进火电行业碳减排，具体表现为政策实施后试点地区火电行业碳排放量较非试点地区减少 12.5%，但该减排效应存在一定的滞后性。基于此，本文提出以下建议。

第一，深化碳交易政策在火电行业的实施力度，扩大政策覆盖与执行效能。鉴于碳交易政策能显著推动火电行业碳减排，应进一步强化政策在火电领域的全面落地：将符合条件的地方小火电企业、自备电厂等全部纳入碳市场管控范围，消除政策覆盖盲区；严格配额履约管理，对未足额履行配额义务的企业加大处罚力度，提高违约成本，确保政策约束刚性。同时，建立火电行业碳减排成效与配额分配挂钩机制，对减排成效显著的企业在后续配额分配中给予适当倾斜，形成减排越多、激励越强的正向循环，充分释放政策的减排促进作用。

第二，优化碳市场机制设计，缩短减排效应滞后周期。针对滞后性特征，可完善配额分配动态调整机制，对火电企业的节能改造、技术研发等前期减排投入给予配额奖励，降低企业减排的时间成本与资金压力；同时健全碳价稳定机制，通过设立碳价区间，避免碳价剧烈波动削弱企业减排动力，推动减排效应更快显现。此外，可扩大碳市场覆盖范围，将更多火电关联产业纳入交易体系，形成产业链协同减排格局。

第三，加强政策协同支持，为火电行业减排提供多维保障。在碳交易政策基础上，联动出台财税激励政策，对火电企业的低碳技术研发、可再生能源替代项目给予专项补贴或税收减免，加速技术成果转化与应用；建立跨部门数据共享平台，强化对火电企业碳排放数据的实时监测与核查，确保碳交易数据真实可靠，提升政策执行效率。同时推动电力市场与碳市场协同发力，通过市场化电价机制反映能源低碳价值，引导火电企业优先调度清洁能源机组。

基金项目

豫章师范学院校级课题“碳交易政策推动火电行业碳减排的效用测度”(YZYB-24-08)。

参考文献

[1] 李玉超, 张立杰. 碳交易对绿色低碳技术创新的影响——基于 fsQCA 组态的分析[J]. 技术经济与管理研究, 2025(4): 127-132.

[2] 国际能源署. 2023 全球能源与二氧化碳现状报告[EB/OL]. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2023>, 2025-08-25.

[3] 方德斌, 谢钱姣. 碳市场如何影响火电行业碳减排——碳价格视角[J]. 系统工程理论与实践, 2024(3): 1003-1017.

[4] 肖旦, 张宇新, 姬晓楠, 等. 碳交易政策下基于区块链技术的供应链成员碳减排策略研究[J]. 系统管理学报, 2025.

-
- [5] 林振福, 黄彦璐, 胡旭东, 等. 基于电力流的南方区域电力碳排放核算研究[J]. 技术经济与管理研究, 2024(8): 109-114.
- [6] 赵亚涛, 南新元, 王伟德. 基于 LMDI-SD 方法的火电行业碳排放峰值预测[J]. 计算机仿真, 2019(10): 116-120, 428.
- [7] 郑佳琳, 薄宇, 徐晨曦, 等. 陕西大气污染物与 CO₂ 排放清单及协同减排效应[J]. 中国环境科学, 2025, 45(9): 4872-4887.
- [8] 徐丽笑, 王亚菲. 我国城市碳排放核算: 国际统计标准测度与方法构建[J]. 统计研究, 2022, 39(7): 12-30.
- [9] 李保卫, 胡泽春, 宋永华, 等. 电力碳排放区域分摊的原则与模型[J]. 电网技术, 2012, 36(7): 12-18.
- [10] 卢露. 碳中和背景下完善我国碳排放核算体系的思考[J]. 西南金融, 2021(12): 15-27.
- [11] 蒙毅, 刘玺璞, 牛国平, 等. 高准确性火电厂 CO₂ 排放连续监测系统测点布置的数值模拟研究[J]. 电力科技与环保, 2024, 40(5): 465-476.
- [12] 王一雷, 朱庆华. 不同碳排放权配置方式下供应链长期碳减排决策研究[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(7): 2084-2101.
- [13] 耿文欣, 范英. 碳交易政策是否促进了能源强度的下降?——基于湖北试点碳市场的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 104-113.
- [14] 王翌秋, 谷智超. 碳排放权交易试点政策对企业股票流动性的影响研究[J]. 金融理论与实践, 2024(12): 99-115.
- [15] 范庆泉, 郭文. 碳交易市场对企业创新行为的影响研究[J]. 经济与管理研究, 2025, 46(2): 43-57.
- [16] 张兆鹏, 刘泽棠, 祝金甫. 中国碳交易政策推动低碳技术创新的效用测度——基于多时点双重差分法的实证研究[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(12): 93-104.
- [17] Liu, J. and Zhang, Y. (2021) Has Carbon Emissions Trading System Promoted Non-Fossil Energy Development in China? *Applied Energy*, **302**, Article ID: 117613. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117613>
- [18] 刘楠峰, 范莉莉, 陈肖琳. 碳交易机制下以技术投入为导向的边际减排成本曲线研究——以水泥、火电、煤炭和钢铁行业为例[J]. 中国科技论坛, 2017(7): 57-63, 86.
- [19] 何沚金, 赵洱崇, 宋珏池, 等. 基于碳交易市场下的电力企业碳减排决策研究[J]. 上海节能, 2021(2): 128-136.
- [20] 黎倩婷, 高辉. 基于碳税机制的碳市场与电力市场协同建模[J]. 现代电子技术, 2024, 47(4): 76-84.
- [21] 吴茵茵, 齐杰, 鲜琴, 等. 中国碳市场的碳减排效应研究——基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济, 2021(8): 114-132.