

市场型环境规制、碳减排与企业环境绩效： 来自中国碳市场的证据

李雪松, 杨 泉, 周 敏

(武汉大学经济与管理学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 中国碳市场政策的持续推进, 标志着环境规制体系逐步从命令控制型向市场激励型转变, 准确测度碳市场作为环境规制工具的政策效应对于碳达峰碳中和的实现具有重要意义。基于 A 股上市企业 ESG 环境得分和财务数据, 运用主成分分析法改进的 BP 神经网络模型估算的上市公司碳排放强度, 并使用多时点 DID 模型实证检验发电行业全国碳排放权交易市场对于参与企业碳排放量及环境表现的影响。研究结果显示: 发电行业全国碳市场的推行显著降低了参与企业的碳排放量, 并提升了企业 ESG 环境得分; 发电行业全国碳市场可以通过提高控排企业的创新水平来改善企业环境绩效。因此, 中国应逐步扩大碳市场覆盖的行业和范围, 引导企业不断加大创新投入, 通过技术创新提高污染治理能力。

关键词: 市场型环境规制; 全国碳市场; 企业环境绩效; 企业技术创新

中图分类号: F403

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2024)08-0200-11

Market based environmental regulation, carbon emissions, and corporate environmental performance: Evidence from China's carbon market

LI Xuesong, YANG Quan, ZHOU Min

(Economics and Management School of Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: China's continued advancement of its carbon market policy signifies a shift from a command-and-control to a market incentive-based environmental regulation system. Accurately assessing the policy effects of the carbon market as an environmental regulatory tool is crucial for achieving carbon peak and neutrality. This paper uses ESG environmental scores and financial data from A-share listed companies, employing a BP neural network model improved by principal component analysis to estimate the carbon emission intensity of these companies. It also uses a multi-timepoint DID model to empirically test the impact of the national carbon emission trading market in the power sector on the carbon emissions and environmental performance of these companies. The results show that the national carbon market significantly reduces carbon emissions and improves the ESG environmental scores of companies in the power sector. It also enhances corporate environmental performance by boosting innovation levels in emission control. Consequently, China should gradually expand the range of industries covered by the carbon market, encourage companies to increase their innovation efforts, and enhance pollution control capabilities through technological updates.

Key words: market-based environmental regulation; national carbon market; corporate environmental performance; corporate technological innovation

收稿日期: 2024-03-08 修回日期: 2024-06-03

基金项目: 科学技术部国家重点研发计划项目“订单驱动的制造产业链完整性评估和风险预警理论”(2022YFB3300140); 国家社会科学基金一般项目“农业补贴对环境效率的影响机制与政策优化研究”(20BJL038); 国家社会科学基金重大项目“城市群协同创新带动大中小城市协调发展研究”(23&ZD068)。

作者简介: 李雪松(1974—), 男, 湖北襄阳人, 武汉大学经济与管理学院教授, 研究方向为区域经济可持续发展。通信作者: 李雪松。

一、问题的提出与文献综述

实现碳达峰碳中和的目标,是贯彻新发展理念、推动高质量发展的内在要求。进一步推动碳达峰碳中和目标的实现,不仅有利于促进发展方式绿色转型,更能从推动创新驱动发展、经济结构优化和增长动能转换的角度加快形成新质生产力,为高质量发展提供有力支撑。近年来,包括欧盟、美国、韩国在内的许多重要的国家和地区均出台了一揽子减碳政策,致力于碳达峰碳中和目标的实现。2021年7月,欧盟委员会发布了“减碳55”(Fit for 55)计划,并公布碳边境调整机制(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)第一版立法草案;2021年1月20日,美国重返《巴黎协定》,并于同年11月发布《迈向2050年净零排放的长期战略》;2021年4月,韩国成为东亚第一个宣布彻底放弃海外煤电投资的国家,并将更多的高污染行业纳入韩国碳市场的覆盖范围。各国在减碳方面的积极行动证明了实现碳中和碳达峰目标的实现符合人类命运共同体的根本利益。

建立碳排放权交易市场是中国减碳重要政策工具之一。自2013年6月开启碳排放权交易试点以来,中国二氧化碳排放量的增速相较此前显著趋缓。在实际的碳市场碳排放权交易中,碳排放权在初始分配和市场交易阶段具备不同特点。第一阶段,碳排放权交易行政属性较强。从具体流程来看,生态环境部首先制定碳排放总额及分配方案,各省级环境主管部门再具体执行分配方案,在生态环境部设定的总额范围内向企业等市场主体分配具体的排放配额;第二阶段,碳排放权交易市场属性较强,碳排放权作为具有财产价值的电子凭证,可以在市场主体之间实现平等交易,因而具备了商品属性,可以通过自由交易提高买卖双方共同利益,进而实现市场主体的低碳转型^[1]。中国从2013年起在包括北京、天津、上海等在内的8个省份试行碳排放权交易试点,发电行业全国碳排放权交易市场于2021年7月16日启动上线交易。相较于末端治理,碳排放权交易市场政策通过激励机制来促进能源环境效率的提高,能够充分发挥市场的调节作用,是减少碳排放的重要举

措。在此背景下,准确测度作为市场型环境规制工具的碳排放权交易市场的政策效应,对于中国碳达峰、碳中和工作的加速推进具备重要意义。

在中国碳市场减碳效应的测度上,尽管有魏庆坡等^[2]的研究认为碳市场政策对碳排放具有一定的促进作用,且碳市场政策和绿色电力政策的共同作用对碳排放的抑制作用比绿色电力政策单独作用要差,但大多数学者仍然认为碳排放权交易政策有利于低碳减排,且在区域、产业、企业层面均具有显著效应。刘海英等^[3]以287个地级市样本数据评估了碳交易机制的减排效应,研究发现碳交易试点对试点地区能源环境效率有显著促进作用;段玉婉等^[4]从全球化市场的角度测度了中国碳排放权交易市场与欧盟实施的“碳边境调节机制”的政策影响,结果显著证明碳市场有助于降低碳排放、优化产业结构;胡剑波等^[5]基于部门投入产出数据讨论了碳配额与边际减排效应的评估问题,发现不同产业部门所具有的减排潜力存在异质性,合理评估和调整二氧化碳配额将有助于缓解资源错配的问题;Cui等^[6]的研究利用国家税收调查数据库计算得到的企业碳排放数据测度了碳市场的减排效应,证明了碳市场在企业层面减排的有效性;潘敏等^[7]利用175家A股上市公司的数据,采用双重差分法,验证了碳排放交易试点在降低上市公司碳排放方面的作用。

关于碳排放权交易市场的作用机制研究,部分学者认为环境规制与技术创新的关系具有不确定性,其根源主要来源于规制的对象、环境政策工具的类型以及环境规制与经济发展可能同时存在门槛效应等因素^[8];胡珺等^[9]的研究表明,碳排放规制显著提升了控排企业的创新水平,且碳市场的流动程度会影响该机制的作用水平。许多研究从微观企业层面出发,实证研究支持“波特效应”假说。技术创新作为第一生产力,不仅是推动经济发展的主要动力,而且也是解决环境问题的关键要素,企业面临减排压力,会通过提高能源利用效率、生产替代能源、优化生产设备、加强创新投入等方式促进碳排放达标,实现发展与绿色的协调统一^[10-12]。夏晖等^[13]的研究表明在电力行业,

环境规制带来的企业创新能够缓解气候转型风险对碳排放效率的负面效应。除了创新,环境规制影响下的高管环保意识、碳排放权交易市场活力,乃至规制政策的扩散模式都会对区域、企业的减排效果产生影响^[14-16]。

综上所述,现有文献对碳排放权交易市场减排效应和作用机制的研究颇丰,但对碳排放权交易市场如何影响微观企业环境绩效缺乏中国的证据;大部分研究环境规制对微观企业影响的文献都集中在讨论低碳城市试点政策、碳排放权交易试点政策对区域和企业的影响,讨论发电行业全国碳排放权交易市场对企业创新和环境绩效影响的研究尚存缺口。因此,厘清作为市场型环境规制工具的发电行业全国碳市场能否降低碳排放,以及相应的作用机制至关重要。本文的边际贡献如下:微观企业层面分析上测度了 2021 年 7 月启动的发电行业全国碳排放权交易市场对企业碳排放量及环境绩效的影响,并从企业创新的角度对该政策影响企业环境表现的作用机制进行了探讨,具有较好的时效性。

二、政策背景和研究假设

本节旨在梳理中国碳排放交易政策演变,系统分析政策演变下中国碳排放的现状及区域布局,并在阐述碳市场理论上对碳市场减排效应的影响机制进行分析,提出本文的关键理论假设。

(一)政策背景

1. 清洁发展机制建设阶段(1997—2012 年)

1997—2012 年是中国碳排放权交易政策第一阶段——清洁发展机制建设阶段。1997 年《京都协议书》提出的清洁发展机制是现存唯一国际公认的碳交易机制,允许发达国家和非发达国家进行项目级的减排量抵消额的转让、获得。2012 年以前,中国主要通过参与清洁发展机制(CDM)项目来治理碳排放,且主要依赖于政府政策引导,企业主观能动性较差。中国参与清洁发展机制项目起步于 2005 年,并在 2008—2012 年高速发展,截至 2012 年,中国已注册 CDM 项目数有 1 819 个,2012 年后进入后京都时代,中国清洁发展机制项目增长乏力,主要原因一方面是欧盟规定 2013 年后严格限制减排量大

的 CDM 项目注册,严重限制了中国参与 CDM 项目,根据联合国清洁发展机制官网数据,2014 年后中国 CDM 项目新注册数持续为 0;另一方面,2013 年开始中国碳排放权交易试点陆续启动,逐渐替代清洁发展机制。

2. 碳排放权交易试点建设阶段(2013—2016 年)

2013—2016 年是中国碳排放权交易政策第二阶段——碳排放权交易试点建设阶段。2012 年年底的巴厘岛会议标志着后京都时代到来,凭借市场交易手段构建了温室气体排放权交易机制。在此背景下,中国也开启了碳排放权交易市场建设工作。按照“十二五”规划纲要关于“逐步建立碳排放交易市场”的要求,2011 年中国在深圳、上海、北京、广东、天津、湖北、重庆等 7 个省市启动了碳排放权交易试点工作;2011 年 10 月,国家发展改革委批准在北京、天津、上海等 7 个省份开展碳排放权交易试点工作,交易覆盖钢铁、电力、水泥等 20 多个行业,中国碳排放权交易试点政策梳理见表 1。

2013 年起,中国借鉴欧盟碳市场机制,全力着手建立中国碳市场。2013 年 6 月,深圳市碳排放权交易试点率先开展交易;2013 年年底,上海市、北京市、广东省和天津市的碳排放权交易试点陆续启动交易;2014 年上半年湖北省、重庆市的碳排放权交易试点也启动交易;2016 年 12 月,福建省启动碳排放权交易试点,成为国内第 8 个碳交易试点地区。我国 8 个碳排放权交易试点的启动直接促进了碳减排,也为全国推行积累了经验。中国碳排放权交易试点实施明细见表 2。

表 1 中国碳排放权交易试点政策梳理

日期	颁发部门	政策内容
2011-10-29	国家发展改革委	《国家发展改革委办公厅关于开展碳排放权交易试点工作的通知》
2012-06-13	国家发展改革委	《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》
2014-01-13	国家发展改革委	《关于组织开展重点企(事)业单位温室气体排放报告工作的通知》
2014-12-10	国家发展改革委	《碳排放权交易管理暂行办法》
2015-05-14	国家发展改革委	《关于落实全国碳排放权交易市场建设有关工作安排的通知》
2013-10-15 2014-12-03 2015-07-06	国家发展改革委	《24 个行业企业温室气体核算办法与报告指南(试行)》分 3 批发布

表 2 中国碳排放权交易试点实施明细

碳市场	启动时间	监管机构	覆盖行业
深圳	2013-06-18	深圳市生态环境局	发电、供水、大型公共建筑、制造业、公共交通
上海	2013-11-26	上海市生态环境局	发电、化工、石化、钢铁、航空、电子、有色等
北京	2013-11-28	北京市生态环境局	电力、热力、水泥、石化、其他工业、服务业、交通运输
广东	2013-12-19	广东省生态环境厅	电力、水泥、钢铁、石化、造纸和民航
天津	2013-12-26	天津市生态环境局	电力、热力、钢铁、化工、石化、油气开采、建材、造纸、航空
湖北	2014-04-02	湖北省生态环境厅	电力、钢铁、水泥、化工、石化、造纸、热力及热电联产、玻璃及其他建材、纺织、汽车制造、设备制造、食品饮料、陶瓷制造、医药、有色金属、其他金属制品
重庆	2014-06-19	重庆市生态环境局	电力、电解铝、铁合金、电石、烧碱、水泥、钢铁
福建	2017-01-09	福建省生态环保厅	电力、石化、化工、建材、钢铁、有色金属、造纸、航空和陶瓷

资料来源:地方政府网站。

3. 碳排放权交易试点建设阶段(2017 年至今)

2017 年至今是中国碳排放权交易政策第三阶段——全国碳排放权交易市场建设阶段。2017 年 12 月国家发展改革委印发相关文件,正式启动中国碳排放交易市场;2020 年年底,生态环境部印发《2019—2020 年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案(发电行业)》,启动全国碳市场第一个履约周期;2021 年 7 月发电行业全国碳市场正式上线交易。

建设全国统一碳排放权交易市场是基于碳排放权交易试点的成功经验,进一步完善中国碳市场政策的重要举措(见表 3),是控制和减少温室气体排放、推动经济发展方式低碳转型的市场化手段,也是加强生态文明建设、落实大国担当、实现国际减排承诺的重要政策工具。

(二)研究假设

在碳市场的理论框架下^[17],政府将既定的排放总量划分成若干份排放配额,再将排放配额分配给不同的市场主体。有的市场主体由于排放规

模大于初始分配的排放额,需要购买额外的排放额度,有的市场主体由于排放规模小于初始分配的排放额,需要出售多余的排放额度。不同需求的市场主体在碳市场中根据各自需要自由买卖排放额度,实现了排放额度的优化配置,最终形成能够满足各主体需要的出清状态。因此,在交易成本为零的情况下,碳市场帮助企业将其污染的外部性内部化,达到资源的最优配置从而实现社会层面的减排。对政府而言,其调控一般有两种方式:一是直接限制所有企业主体的排放量,二是建立排放协调制度促进不同企业主体之间达成排放量的优化组合。相较于直接限制排放量,建立排放协调制度更能兼顾减排与发展的双重目标,根据科斯定理,在产权界定明晰的条件下,交易成本越接近于零,则越可能达到帕累托最优。

表 3 全国碳排放权交易市场政策梳理

日期	颁发部门	政策内容
2016-01-11	国家发展改革委	《关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》
2016-10-27	国务院	《“十三五”控制温室气体排放工作方案》
2017-12-18	国家发展改革委	《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》
2019-03-29	生态环境部	《碳排放权交易管理暂行条例(征求意见稿)》
2019-09-30	生态环境部	《2019 年发电行业重点排放单位二氧化碳排放配额分配实施方案(试算版)》
2019-12-27	生态环境部	《关于做好 2019 年度碳排放报告与核查及发电行业重点排放单位名单报送相关工作的通知》
2020-12-29	生态环境部	《2019—2020 年全国碳排放权交易配额总量设定与分配实施方案(发电行业)》
2021-01-09	生态环境部	《全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》
2021-02-01	生态环境部	《碳排放权交易管理办法(试行)》
2021-03-29	生态环境部	《企业温室气体排放报告核查指南(试行)》
2021-03-29	生态环境部	《关于加强企业温室气体排放报告管理相关工作的通知》
2021-03-30	生态环境部	《碳排放权交易管理暂行条例(草案修改稿)》
2021-05-17	生态环境部	《碳排放权登记交易结算管理规则(实行)》

在面临环境污染等负外部性问题时,只要满足产权明晰且不存在交易成本的前提,则可以通过市场手段解决负外部性问题,从碳市场的具体

情况来看,碳市场将碳排放权作为交易对象,碳排放权在初始分配给市场主体后均具备明确的产权归属,同时,全国性碳排放权交易市场的建立有助于大幅降低交易成本。据此,提出假设 1:根据科斯定理中所提出的“产权明晰以获得资源配置效率”的基本论断,碳市场能使污染的外部性内部化,从而达到降低企业碳排放量的效果。

碳排放权交易主要通过价格机制来将污染产生的负外部性予以内部化,进而达到全社会总排放量的限额要求。从理论层面来看,碳市场是否有效的前提条件在于企业 在市场购买碳排放配额的价格与其减少排放导致的潜在成本是否相同,因此在做出决策时,企业主要考虑的因素包括自身因减排导致的边际产出损失、超额排放导致的额外成本、以及购买额外碳排放额度产生的成本。

对于初始碳排放额度不足的企业而言,其面临环境污染的成本压力,具备通过技术创新缓解环境成本压力的驱动力。碳排放权交易机制对企业污染排放实施总量控制,对初始分配的碳排放额不足的企业而言,其一般面临两种选择:一是不改变生产计划,通过购买额外的碳排放权来弥补自身超额排放的碳总量;二是改变自身原有生产计划,通过降低总产出的方式降低碳排放量,保证自身排放量不超过初始分配得到的排放额度,这两种路径选择均会导致企业自身利润规模的减少。因此,一方面企业会倾向于通过提高全要素生产效率来增加利润,进而对冲环境成本增加带

来的利润下降,另一方面企业有更大的驱动力加强创新投入,从生产线源头减少排放,以环保型生产工艺取代粗放型生产工艺,进而从根本上缓解环境成本压力。

对于初始碳排放额度富余的企业而言,其存在通过技术创新获得潜在收益的动机。从企业创新投入的特征来看,创新往往具备长周期、不稳定、风险高、成本大等缺点,因此企业经营者尤其是中小型企业经营者自发进行创新投入的动机不强。在引入碳排放交易制度后,一方面,企业创新投入可以提高能源环境效率^[18],直接降低成本增加利润;另一方面,自主创新能降低企业在既定产能规划下的碳排放规模,在满足自身碳排放量限制的前提下,可以将多余的碳排放额度在市场出售,赚取额外的收益,以此弥补此前对技术创新进行的成本投入,因此企业经营者进行创新投入的动机亦会有所增强。

通过机制分析,碳排放权交易制度会对企业生产经营决策产生影响。一方面,碳排放权交易试点通过带给碳排放额度不足的企业成本压力倒逼企业进行技术革新,进而改善企业环境绩效;另一方面,碳排放权交易试点诱导碳排放额度富余的企业进行技术革新,通过进一步改善自身环境绩效来获取额外收益。因此综合来看,碳排放交易机制有助于提高推动企业加大技术创新投入,进而会使得纳入碳排放权交易试点的企业具备更好的环境表现(见图1)。据此,提出假设2:碳排放权交易机制可以提高微观企业环境绩效。

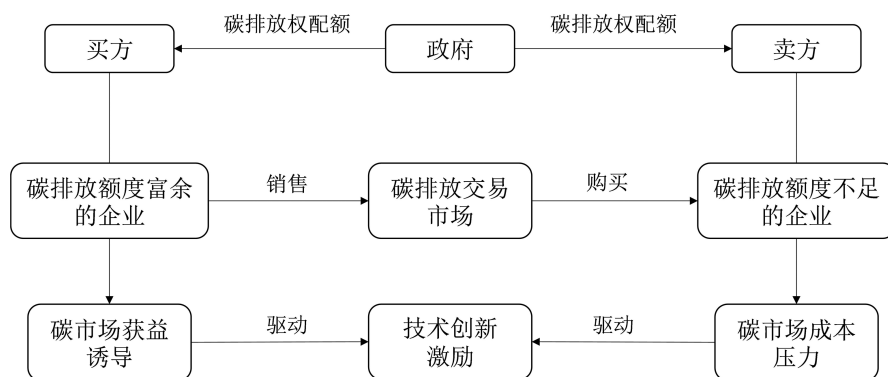


图1 碳市场对微观企业环境绩效与创新的作用机理

“波特假说”基于动态视角将环境规制产生的外部性放在中长期时间维度进行考虑,认为合理的环境政策能在一定程度上对企业创新起到正向促进作用,从而进一步推动企业环境绩效的提升乃至企业整体竞争力的强化^[19]。合理的环境政策能在一定程度上对企业带来“创新补偿效应”,进而既提高企业的环境绩效表现,更能从整体维度提升企业创新能力。据此,提出假设3:碳排放权交易作为市场激励型环境规制政策通过诱发企业创新来改善企业的环境表现。

三、模型设定与实证分析

碳排放额度不足的企业具有环境污染的成本压力,而碳排放额度富余的企业受到技术创新潜在收益的诱导,均会通过提升技术创新来提升企业环境绩效。本节模型旨在验证碳市场对企业减碳和环境绩效的影响。

(一)基准模型设定

本文采用多时点双重差分模型衡量2021年7月16日启动的全国碳排放交易市场(发电行业)的推行对高碳排放行业的上市企业产生的政策冲击差异,具体模型如式(1)。

$$Carbon_{it} = \alpha + \mu_i + \gamma_t + \theta DID_{it} + \beta X_{it} + \epsilon_{it} \quad (1)$$

样本限定在2018—2023年A股上市企业,由于中国目前8省市碳排放权交易试点和发电行业全国碳排放权交易市场同时运行,因此2021年7月后全国发电行业企业和2018年后碳排放权交易试点的高碳排放行业的企业均受到政策冲击,本文将纳入全国碳排放权交易市场的发电行业和纳入碳排放权交易试点的企业作为实验组,将未纳入实验组企业作为对照组,纳入碳市场的上市公司名单和进入碳市场的时间来自CSMAR数据库,经手工核对整理得到。 i 代表不同企业, t 代表不同时间。

(二)数据来源与说明

1. 核心解释变量为 DID_{it} ,是碳排放权交易市场推行的虚拟变量,根据各地碳市场试点企业名

单和发电行业全国碳排放权交易市场企业名单整理而成,若该公司在某年的上半年被纳入碳市场交易范围,则 $DID_{it} = 1$,否则 $DID_{it} = 0$, DID_{it} 的系数 θ 即为碳排放权交易市场的推行带来的碳排放权交易市场效应。

2. $Carbon_{it}$ 为被解释变量,分别使用基于主成分分析法(PCT)修正的神经网络模型预测的上市公司2018—2023年二氧化碳排放强度、企业ESG环境得分作为企业的二氧化碳排放量和环境表现的代理变量,多种数据相互验证、相互补充证明实证结果的稳健性。

在研究市场型环境规制工具的减排效果时,当前的大部分文献都集中在研究2013—2017年开展的各省碳市场试点政策或是低碳城市试点政策,且使用的大多是省市、行业级别的数据。事实上碳市场试点政策主要针对的是企业层面的微观主体,只从省市或是行业层面研究缺乏微观数据的经验支撑,很难精准评估政策效果。然而,由于碳排放信息统计口径不一、监管部门对上市公司尚不存在强制披露要求等等原因,现阶段基本不存在可以直接获取的企业碳排放数据,大部分从企业层面出发的减排研究也是使用二氧化碳排放因子估算得到的数据^[6-20]或是使用少量上市公司自主披露的排放数据^[21],因为样本量较少、时效性较差、存在统计误差或是自选择问题难以用来研究2021年7月开展的发电行业全国碳排放权交易市场。因此,本文使用PCT改进的BP神经网络模型来估计其余A股上市公司的碳排放数据。该模型采用已知的175家上市公司碳排放强度数据作为训练集,将A股上市公司的基本属性、财务数据、各个机构的ESG环境评级数据和华证碳中和评级等多个维度的数据作为预测集,使用具有4层隐藏层的前馈网络估算2018—2023年A股上市公司的碳排放量。其中已知的训练集数据部分为企业自主披露数据,来自于企业环境责任报告或ESG报告,部分为根据企业披露的能源消耗量按照碳排放因子手工计算得到的二氧化碳排放量

数据。使用 PCT 改进的目的主要是去除变量间可能隐藏的共线性问题,提高算法的稳定性。估计结果的 MSE 值稳定在 $3.4e-4$ 左右,表明具有一定的解释力度。对所有估计结果均取对数处理以缩小量纲不一致带来的估计误差(见图 2)。

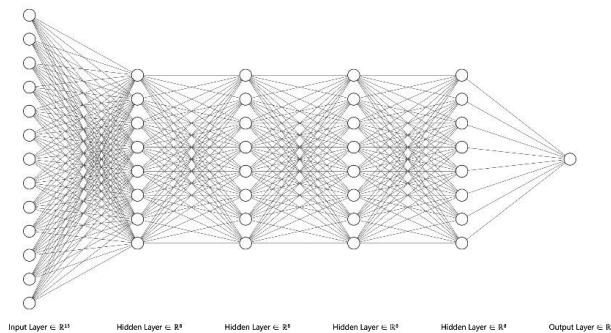


图 2 PCT 改进的 BP 神经网络结构

ESG 为环境、社会与治理(environment, social, governance)的缩写,一般由第三方机构对企业的环境、社会 and 治理 3 个维度的表现进行评分,得分越高代表该维度企业越优秀。唐棣等^[21]的研究认为,碳中和政策的制定可以通过激发投资者的自律性和社群性进而对企业的 ESG 评分产生正向影响;碳排放权交易试点政策对企业 ESG 评分中的“E”,即环境维度的绩效产生了显著的正向作用^[14],因此使用 ESG 评分作为衡量企业在碳减排方面环境表现的替代变量具有一定的理论依据。万得 ESG 环境得分从上市企业的环境管理、能源与气候变化、水资源、原材料与废弃物处理等方面进行打分,强调企业碳中和目标的实现以及在节能减排方面的努力,相对于其他机构的单项环境评分对于企业环境绩效的评价更为全面具体,具体细则见表 4。为拉长政策前后样本期,本文使用的是半年度 ESG 环境得分数据。

3. X_{it} 表示控制变量合计,在参考相关研究的基础上,本文加入的主要控制变量微观企业层面的有资产负债率、现金流比率、研发支出等指标,中观层面的人均 GDP、第二产业占比、第三产业占比指标,对相关指标取对数处理; μ_i 表示企业固定效应, λ_t 表示时间固定效应, ϵ_{ict} 表示模型误差项。

表 4 万得 ESG 环境得分构成

维度	具体评价指标举例
环境管理	环境管理体系与制度、突发环境风险事件应急预案、环境保护相关培训、环保总投入、环保总投入占营业收入比例等
能源与气候变化	能源管理体系与制度、能源管理目标与规划、清洁能源可再生能源使用、节能减排、能源消耗总量及能耗强度、各类能源(燃油、蒸汽、电力、天然气、煤炭等)消耗总量及能耗强度、气候变化管理目标与规划、识别与应对气候变化风险、温室气体排放量及排放强度等
水资源	水源管理体系与制度、水源地保护、节约用水相关措施、用水量及用水强度、水循环与再利用总量、水循环与再利用等
原材料与废弃物	废弃物管理体系与制度、废弃物管理目标与规划、废弃物处理、产生的有害废弃物总量及强度、产生的无害废弃物总量及强度、回收再利用废弃物总量及强度等
废气	废气管理体系与制度、废气管理目标与规划、减少废气排放措施、各类废气(挥发性有机化合物、氮氧化物、硫氧化物、悬浮粒子与颗粒物)排放量及排放强度等
废水	废水管理体系与制度、废水管理目标与规划、减少废水污染物排放相关措施、废水排放量及排放强度、各类化学物质(氨氮、化学需氧量等)排放量及排放强度等
生物多样性	生物栖息地保护、生物多样性管理体系与制度等
绿色建造	绿色建造管理体系与制度、建筑产业化、绿色施工、绿色建筑总面积及单位营收面积、绿色建筑认证项目数量、绿色建筑认证项目比例、环境社会风险审查等
绿色金融	绿色金融产品、负责任投资、ESG 风险培训、绿色信贷余额、绿色投资总额、绿色投资规模占比、承销绿色债券总额、承销绿色债券规模占比等

数据来源:Wind。

(三) 基准回归结果

基准回归结果见表 5 第(1)、第(2)列模型的结果,在同时控制个体、时间和地区固定效应的前提下,神经网络估算得到的碳排放量和 ESG 环境管理得分的结果在 1% 的水平上均显著。其中碳市场政策对碳排放量的影响为负,为 -0.02 ,印证了假设 1 的观点,即在微观企业层面碳市场政策的实施将有助于企业减少碳排放量。碳市场对企业 ESG 环境得分的影响为 0.246 ,表明碳市场试点和发电行业全国碳市场政策的施行确实会敦促企业重视自身环境责任的履行,推动环境管理水平的提升进而改善企业环境绩效,假设 2 成立。企业碳排放量和 ESG 环境得分的回归结果相互印证了结论的稳健性,发电行业全国碳市场的实施会对参

与企业的环境表现产生显著的正向作用。

表5 双重差分基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	$Carbon_{it}$	ESG_{it}	$Carbon_{it}$	ESG_{it}
DID_{it}	-0.020 *** (-3.29)	0.246 *** (0.044)	-0.024 *** (0.0072)	0.168 * (0.091)
Controls	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
Constant	0.939 *** (344.58)	6.672 (24.670)	0.938 *** (0.002)	2.887 ** (1.339)
Observations	10 193	45 891	9 362	26 397
R^2	0.151	0.127	0.138	0.705

注：括号内为采用稳健 Robust 估计的 t 值；*、**、*** 分别表示在 $p < 0.10$ 、 $p < 0.05$ 和 $p < 0.01$ 时有统计学意义。下同。

(四) 平行趋势检验

使用 DID 方法评价碳市场对高碳行业产生的冲击效应时,必要的前提条件是在碳市场推行之前,参与碳市场的实验组和未参与碳市场的控制组必须具备相同的发展趋势。对平行趋势检验的回归模型如下:

$$Carbon_{it} = \alpha + \sum_{-3}^3 \delta_i DID_{i,t-a} + \gamma Z_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中, $Carbon_{it}$ 表示被解释变量企业的估计碳排放量; $DID_{i,t-a}$ 为构造的虚拟变量,如果某上市公司 i 在 $t-a$ 时期实行了碳市场政策,则 $t-a=1$, 否则 $t-a=0$,对分布较少的年份进行缩尾处理,将政策期前后统一缩尾处理为三期; δ_0 为碳市场实施当期的效果; δ_{-3} 、 δ_{-2} 、 δ_{-1} 分别为碳市场实施前 3 期、2 期、1 期的效果,将政策提前两期作为基准期; δ_1 、 δ_2 、 δ_3 为碳市场实施后 1 期、2 期、3 期的效果。

检验结果如图 3 所示,政策提前期的结果 $DID_{i,t-a}$ 不显著,置信区间范围包含了 0,表明碳排放交易试点政策实施前后实验组和控制组并不存在显著差异,平行趋势假设得以满足。政策期后三期系数均显著为负,表明全国碳市场的事实对发电行业企业的减碳行为有显著促进作用。使用 ESG 环境得分作为碳排放代理变量的模型也均通过了平行趋势检验,进一步验证了结果的稳健性。

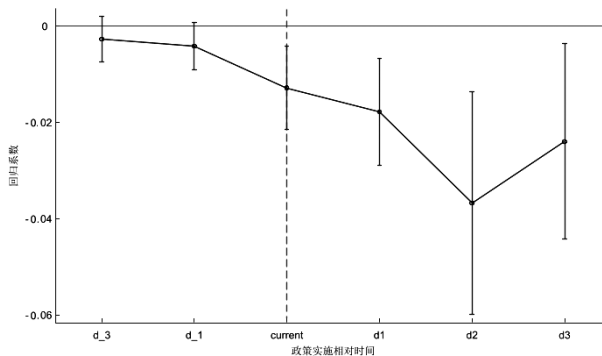


图3 双重差分法平行趋势检验

(五) 稳健性检验

为进一步验证基准回归的稳健性,剔除碳排放权交易试点地区的企业,剩下 2021 年启动的发电行业全国市场的 54 家参与企业作为实验组,直接验证全国碳排放权交易市场的启动对于发电行业产生的影响。实证结果见表 5 第(3)列、第(4)列,结论与基准回归基本一致,仅系数大小有所差异,表明碳市场的实施对于发电行业企业的碳排放有显著抑制作用,对企业的环境表现显著的提升作用,再次证明了本文主回归结果具备较强的稳健性。

(六) 异质性分析

虽然基准模型已经论证了发电行业全国碳排放权交易市场对提高企业环境绩效的有效性,但不同地区的政策效果可能存在一定差异。深入探讨地区上可能存在的异质性问题有助于深入理解全国碳排放权交易市场的作用机制和外界条件。因此,本部分分别对东部地区和非东部地区(中部、西部和东北地区)全国碳排放权交易市场的减排效应的异质性进行讨论。

表 6 报告了多期双重差分估计的平均处理效果,第(1)列的结果显示,在控制了时间、个体、地区、行业固定效应后,发电行业全国碳排放权交易市场的实施使得东部地区中受碳市场影响的企业 ESG 环境得分显著提升,在 1% 的水平下显著,而检验 2 结果显示,在控制了时间、个体、地区、行业固定效应后,发电行业全国碳排放权交易市场的实施对非东部地区试点省市的受碳市场影响的企业 ESG 环境得分并无显著影响。非东部地区发电

行业全国碳排放权交易市场对企业 ESG 环境得分的影响显著弱于东部地区,这个地区异质效应一方面可能归因于这个地区异质性效应可能归因于中部、西部和东北地区被纳入碳市场交易的企业以高碳排放量的能源行业企业为主,2021 年、2022 年受疫情、能源保供等多种因素影响,对于一些经营困难的企业约束有所降低。加之目前全国发电行业碳市场仍以“事后分配”的免费配额分配制度为主,相对于东部地区,中西部和东北地区碳市场政策的减碳效果更加有限。

表 6 按地区分组的多时点双重差分回归结果

变量	(1)	(2)
	ESG_{it}	ESG_{it}
DID_{it}	0.379 *** (0.055)	-0.014 (0.074)
时间固定效应	是	是
个体固定效应	是	是
地区固定效应	是	是
行业固定效应	是	是
Constant	1.463 (2.031)	1.409 (3.005)
Observations	32 913	12 978
R^2	0.116	0.153

四、拓展性讨论

(一) 企业创新机制检验

根据前文设置的假设 3,市场型环境规制可以推动企业增加研发投入,通过创新提高能源利用效率或是改进生产效率来抵消外部性内在化带来的不利影响。虽然已有文献对 2013—2017 年各省开放的碳排放权交易试点政策对上市公司创新机制的影响进行了验证,但目前尚且缺少对 2021 年 7 月开放的发电行业全国碳市场政策效应的检测。因此,本文参照胡珏等^[9]的做法,建立多时点双重差分模型:

$$Innovation_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 DID_{ijt} + \beta_2 Z_{ijt} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{ijt} \quad (3)$$

式(3)中, $Innovation_{ijt}$ 代表衡量企业创新的被解释变量,包括企业研发投入($R\&D$)和专利申请量($patent_{it}$)。为确保实验组在进入政策期前后有充足的样本期,本文使用的是 2010—2023 年中国 A 股上市公司数据,数据来自万得数据库和全

球知识产权数据库(ORBIS Intellectual Property)。 DID_{ijt} 代表碳排放权交易市场的政策变量,既包含了 2013—2017 年的各省开展的碳市场试点,也包含了 2021 年 7 月展开的发电行业全国碳排放权交易市场政策,实验组为所有碳排放权交易重点排放企业名单内的上市公司,来自 CSMAR 数据库,对照组为未被纳入的上市公司。 Z_{ijt} 为控制变量的集合, μ_i 代表企业固定效应, γ_t 代表时间固定效应, ε_{ijt} 为模型误差项。具体变量设置见表 7。

表 7 创新机制检验模型的变量定义及计算方法

变量符号	变量名称	计算方法
$R\&D$	研发投入	$\ln(\text{研发费用})$
$patent_{it}$	专利申请	$\ln(1 + \text{所有种类专利申请量})$
Lev	财务杠杆	总负债/总资产
$Capital$	固定资产	会计期末固定资产总计
$Cash$	现金流比率	经营活动产生的现金流量净额/营业收入
Soe	产权性质	实控人性性质,非国有实控人为 1,国有为 0
Tax	所得税费用	会计期末所得税费用总计
Roa	盈利能力	会计期末利润总额合计
Dev	发展能力	营业收入同比增长率

表 8 报告了企业创新机制检验的结果,其中第(1)列为使用上市公司专利申请量作为企业创新水平代理变量的结果,第(2)列为使用研发费用作为企业创新代理变量的结果,模型均通过了平行趋势检验。碳市场的政策效应显著,且交互项系数保持一致,分别为 0.268 和 0.463,在 1% 的水平上显著。通过替换被解释变量企业创新水平,两个模型相互印证了结果的稳健性,说明无论是各省

表 8 创新机制检验模型回归结果

变量	(1)	(2)
	$patent_{it}$	$R\&D$
DID_{ijt}	0.268 *** (3.38)	0.463 *** (4.41)
Controls	是	是
个体固定效应	是	是
时间固定效应	是	是
Constant	2.433 *** (22.28)	21.120 *** (184.61)
Observations	22 031	10 124
R^2	0.113	0.271

份的碳市场试点还是发电行业全国碳市场都具有“波特效应”,能够通过倒逼企业创新来改善企业的环境表现,而且这种效应不会受到控制变量的影响,支持了本文的假设3。

(二)平行趋势检验

创新机制检验模型的平行趋势检验采用事件研究法,模型设置如下所示。其中, $innovation_{ijt}$ 表示上市公司的研发费用, DID_{jt-a} 为构造的虚拟变量,如果某公司 i 在 $t-a$ 时期列入了碳市场清单,则 $t-a=1$, 否则 $t-a=0$ 。 δ_{-1} 为加入碳市场前一年的效果,作为基准期, δ_{-5} 、 δ_{-4} 、 δ_{-3} 、 δ_{-2} 、 δ_0 分别为进入碳市场前5期、4期、3期、2期、0期的效果, δ_1 、 δ_2 、 δ_3 、 δ_4 为进入碳市场后1期、2期、3期、4期的效果。由于年份跨度较大,样本期较多,因此对分布较少的年份统一采取了缩尾处理。

$$innovation_{it} = \alpha + \sum_{t=-5}^4 \delta_t DID_{it-a} + \gamma Z_{jt} + \delta_i + v_t + \varepsilon_{ijt} \quad (4)$$

检验结果如图4所示,不难发现政策期前系数均不显著,政策实施当期开始系数显著不为0,至政策期后第三期逐渐不显著,说明碳市场政策推动企业创新的效果在长期并不持续,这可能是因为当前中国碳市场政策的影响力较为局限,市场活力不高,在给予企业成本压力、倒逼企业进行长期创新方面效果有限。总之,可以认为碳市场政策对创新存在显著影响,满足平行趋势假设。

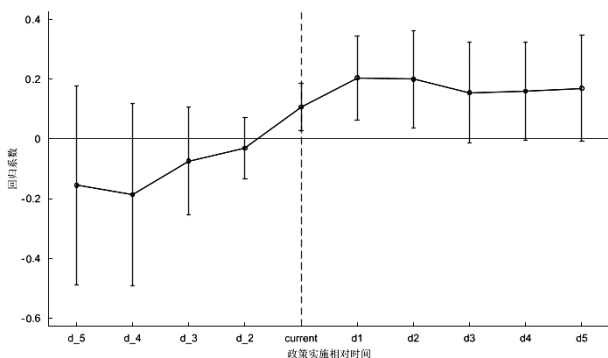


图4 平行趋势检验

五、结论与政策启示

(一)结论

碳市场的启动会使参与碳市场的企业碳排

放强度系数降低0.02,ESG环境得分系数显著提升0.246,碳市场政策对东部地区的参与企业影响作用明显,对非东部地区企业效果并不显著。同时,通过使用上市公司专利申请量和研发费用构建多时点双重差分模型证明了碳排放权交易机制的实施显著推动了参与碳市场企业的技术创新行为。

(二)政策启示

1. 继续坚持全面推行碳排放权交易市场等市场激励型环境政策,进一步拓宽不同行业参与碳排放交易的范围,推动更多企业主体参与碳排放交易。目前中国碳排放交易市场覆盖的行业仍较为单一、民间市场主体缺乏参与途径,导致碳市场的影响力非常有限。一方面,当前仅发电行业纳入碳市场,仍有过半高碳排放量行业未纳入,建议进一步纳入水泥、钢铁等其他高耗能行业,尽早覆盖大多数高碳型行业;另一方面,建议放开民间市场主体参与碳市场的门槛和限制,政府可牵头开展普惠性碳市场体系建设,推动更多市场主体自发参与碳市场交易。

2. 关注碳市场政策实施的地域差异,针对不同资源禀赋和产业结构省市制定符合其现状、切实可行的减碳策略。现有碳市场试点在东部与非东部地区在减碳的政策效果上存在明显差距,这可能是因为“事后分配”的免费配额分配方法对中西部地区高碳行业企业的减碳作用有限,未来全国性碳市场的建立应充分考虑不同地区产业和能源结构上的差距,结合行业和国际先进水平适当提高对部分地区高碳行业的管控要求。

3. 逐步扩展强制披露碳排放信息的企业名单,从法律层面确立企业碳排放量披露制度,规范碳排放统计口径和标准。目前除了被纳入碳市场的企业外,我国还没有出台关于强制披露碳排放信息的正式文件,选择自主披露碳排放信息的企业很少,且披露信息的标准十分混乱。监管部门加快出台适用于全行业的碳排放信息披露标准,进一步扩大强制披露的企业范围将有利于增强企

业的减碳意识,减少全国性全行业碳排放权交易市场推广的阻力。

4. 引导企业不断加大创新投入,通过技术更新提高污染治理能力。碳排放交易机制的建立有助于企业加强创新投入提高环境绩效,要进一步发挥以碳市场为代表的市场型环境工具在推动企业增强创新动力、加大创新投入方面的正向驱动作用,引导企业从生产线源头减少排放,以环保型生产工艺取代粗放型生产工艺,进而从根本上缓解环境成本压力,加快形成资源节约型和环境友好型的经济发展模式。

参考文献:

- [1]叶强,高超越,姜广鑫. 大数据环境下我国未来区块链碳市场体系设计[J]. 管理世界,2022,38(1):229-249.
- [2]魏庆坡,安岗,涂永前. 碳交易市场与绿色电力政策的互动机理与实证研究[J]. 中国软科学,2023(5):198-206.
- [3]刘海英,郭文琪. 碳排放权交易政策试点与能源环境效率:来自中国 287 个地级市的实证检验[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2022,42(5):72-86.
- [4]段玉婉,蔡龙飞,陈一文. 全球化背景下中国碳市场的减排和福利效应[J]. 经济研究,2023,58(7):121-138.
- [5]胡剑波,李潇潇,王蕾. 效率视角下中国产业部门隐含碳配额及边际减排成本研究[J]. 中国软科学,2023(12):134-142.
- [6] CUI J, WANG C, ZHANG J, et al. The effectiveness of China's regional carbon market pilots in reducing firm emissions[J]. LSE research online documents on economics, 2021,118(52): e2109912118.
- [7]潘敏,王晨. 碳排放权交易试点阶段企业减排效应研究[J]. 经济纵横,2022(10):73-81.
- [8] DUAN M., TIAN Z, ZHAO Y, et al. Interactions and coordination between carbon emissions trading and other direct carbon mitigation policies in China-Science Direct[J]. Energy research & social science, 2017(33):59-69.
- [9]胡珺,黄楠,沈洪涛. 市场激励型环境规制可以推动企业技术创新吗:基于中国碳排放权交易机制的自然实验[J]. 金融研究,2020(1):171-189.
- [10]徐佳,崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济,2020,(12):178-196.
- [11]胡江峰,黄庆华,潘欣欣. 碳排放交易制度与企业创新质量:抑制还是促进[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(2):49-59.
- [12]胡玉凤,丁友强. 碳排放权交易机制能否兼顾企业效益与绿色效率? [J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(3):56-64.
- [13]夏晖,陈曦,闻月. 政策视角下转型气候风险对能源企业碳排放效率的影响[J]. 中国软科学,2023(S1):118-124.
- [14]孔晓旭,张新旭,唐晓萌. 碳排放权交易试点政策对企业 ESG 表现的影响[J]. 统计与决策,2024,40(3):174-178.
- [15] DENG Z, LI D Y, PANG T, et al. Effectiveness of pilot carbon emissions trading systems in China[J]. Climate policy, 2018,18(8):992-101
- [16]郑石明,尤朝春. 中国低碳城市试点政策扩散模式及减污效应[J]. 中国软科学,2023(10):98-108.
- [17]郭敏平,张翔,王遥. 基于理论机制与国际实践的全碳市场建设建议[J]. 环境保护,2022,50(22):25-31.
- [18]何可,朱信凯,李凡略. 聚“碳”成“能”:碳交易政策如何缓解农村能源贫困? [J]. 管理世界,2023,39(12):122-144.
- [19] MARTIN R, MU L, M, De, PREUX L B, et al. Industry compensation under relocation risk: a firm-level analysis of the eu emissions trading scheme? [J]. American economic review, 2014, 104(8):2482-2508.
- [20]王浩,刘敬哲,张丽宏. 碳排放与资产定价:来自中国上市公司的证据[J]. 经济学报,2022,9(2):28-75.
- [21]唐棣,金星晔. 碳中和背景下 ESG 投资者行为及相关研究前沿:综述与扩展[J]. 经济研究,2023,58(9):190-208.

(本文责编:希 文)