

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.05.011

张建锋, 伍旺, 张应良. 碳交易促进地方环境治理投资降低研究——基于碳交易试点的准自然实验[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(5): 128-140.

碳交易促进地方环境治理投资降低研究

——基于碳交易试点的准自然实验

张建锋, 伍旺, 张应良

西南大学 商贸学院, 重庆 荣昌 402460

摘要: 选取 30 个省级行政区 2004—2021 年的面板数据, 将实施碳交易的 6 个试点省份作为处理组, 采用双重差分法(DID)、面板分位数回归、链式中介效应模型探究碳交易政策试点对省域工业污染治理投资、环境基础设施建设投资的影响、异质性及其实实现机制。结果发现: ① 碳交易政策实施能显著降低试点省份工业污染治理、环境基础设施建设投资。② 碳交易政策实施对工业污染治理、环境基础设施建设投资影响表现出区域异质性和非线性特征; 碳交易政策对西部地区两类环境治理投资都具有显著的降低作用, 中部地区影响总体不显著, 东部地区仅对工业污染治理投资影响显著; 0.1 到 0.9 分位点, 碳交易对工业污染治理投资降低的影响呈现出持续提升并在最高分位点显著下降态势, 对环境基础设施建设投资降低的影响呈现出持续下降趋势, 在最高分位点影响不显著。③ 碳交易政策主要依托产业结构升级和能源消费结构调整间接降低省域环境治理投资; 碳交易政策通过促进产业结构升级并与能源消费结构调整协同降低环境基础设施建设投资, 其能源消费结构调整的独立中介效应不显著; 碳交易政策能够依托产业结构升级、能源消费结构调整及其相互作用间接降低工业污染治理投资。因此, 促进碳交易政策的效应释放, 有必要制定差异化的激励政策, 大力推进碳交易全国大市场的健康发展, 并在政策制定和实施中提高碳交易的包容性和协调性, 从而协同推进碳交易、产业结构升级和能源消费结构调整。

关键词: 碳交易政策; 环境治理投资; 影响效应; 影响机制

中图分类号: F062.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2025)05-0128-13

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A Study on the Effect and Mechanism of Carbon Trading to Promote the Reduction of Provincial Investment in Environmental Governance

——Based on a Quasi-Natural Experiment of Carbon Trading Pilot

收稿日期: 2025-02-10

基金项目: 重庆社会科学规划博士培育项目(2021BS077); 中央高校基本科研业务费项目(SWU2109515); 国家社会科学基金重点项目(21AZD032); 西南大学教师党支部“揭榜挂帅”项目(SWU2409401)。

作者简介: 张建锋, 博士研究生, 讲师, 主要从事经济组织与制度、绿色低碳发展研究。

ZHANG Jianfeng, WU Wang, ZHANG Yingliang

Business College, Southwest University, Rongchang Chongqing 402460, China

Abstract: As an effective market-based tool for environmental governance, carbon trading has a significant impact on provincial investment on environmental governance. Based on the panel data from 30 provincial administrative regions for the period of 2004—2021, this paper employs double difference models (DID), panel quantile regression, and chain mediation effects models to investigate the impacts and impacts heterogeneity and mechanisms of carbon trading policies on provincial industrial pollution control investment, and environmental infrastructure construction investment. The conclusions are as followed. Firstly, the implementation of carbon trading policies can significantly reduce provincial investment on industrial pollution control and environmental infrastructure construction. Secondly, the impact of carbon trading policies on industrial pollution control and environmental infrastructure investment showed regional heterogeneity and non-linear characteristics. Carbon trading in western regions had a significant reducing effect on both types of environmental governance investments, while the impact in central regions was generally insignificant, and the reduction effect on industrial pollution control investment in eastern provinces was significant. The impact of carbon trading on industrial pollution control investment continuous to increase according to the own investment intensity of province, showing a significant decline at the highest percentile, and the impact on environmental infrastructure investment showed a trend of first increasing and then decreasing, with no significant impact at the highest percentile. The third, the effects of carbon trading policies on provincial environmental governance investment mainly relied on industrial structure upgrading and energy structure adjustment, which showed regional heterogeneity. The mediating effect of carbon trading policies on environmental infrastructure investment was significant. Promoting industrial structure upgrading and its synergy with energy consumption structure adjustment helped to reduce the effect, and the mediating effect of energy consumption structure adjustment was insignificant. Carbon trading policies can not only indirectly reduce industrial pollution control investment, but also indirectly promote the reduction of investment in industrial pollution control by relying on industrial structure upgrading, energy structure adjustment, and their interaction. Regionally, carbon trading policies significantly promoted the industrial structure upgrading and energy consumption structure transformation in western pilot areas, and directly and indirectly reduced environmental governance investment. The impact in central regions was insignificant, and eastern regions mainly relied on industrial structure upgrading to boost the reducing industrial pollution control investment. To promote the release of the effects of carbon trading policy, it is necessary to formulate differentiated incentive policies for carbon trading based on local conditions, and vigorously promote the development of a unified national carbon trading market. Tailor-made policies should be introduced to enhance the inclusiveness and coordination of carbon trading. To optimize local environmental governance resources allocation, it is needed to collaboratively advance the carbon trading, industrial structure upgrading, and energy consumption structure optimization.

Key words: carbon trading policy; provincial investment on environmental governance; effects; mechanisms

2019年,联合国环境规划署发布的《2019年排放差距报告》指出,如果2020—2030年全球温室气体不能以年均7.6%的降速减排,将会引发毁灭性的气候灾难^[1]。中国政府历来重视生态文明建设与市场、社会协同发力,但2023年中国CO₂排放量仍居全球前列,占全球CO₂排放量的35%,人均排放量比发达经济体高出15%(数据来源:2023年11月,联合国环境署发布的《2023年排放差距报告》),生态环境治理形势依然严峻。如何长效推进以碳减排为重要组成的生态环境治理,保障生态文明建设与经济社会高质量发展协同耦合,是摆在世界各国政府特别是中国政府面前亟待解决的现实问题^[2]。实践表明,碳交易能通过促进技术创新、推动产业结构升级,协同其他环境治理政策显著提升全要素能源效率^[3]、全要素碳效率^[4]、环境全要素生产率^[5],显著降低碳排放量及排放强度^[6],并有助于协同推进减污降碳。2011年,国家发展改革委员会发布通知,在北京市、天津市、上海市、重庆市、广东省、湖北省、深圳市等7地开展碳交易试点。2021年6月,中国生态环境部等多部委宣布全国碳交易市场开启,将碳交易推向全国,为依托碳交易市场助推中国生态环境治理创造了条件。但要如期实现“碳达峰,碳中和”战略目标,需要优化环境治理资源配置,在充分发挥市场和政府作用的同时,强化二者的协同。

现有研究主要关注碳交易的降碳效应、减污降碳协同效应及其实现机制,对碳交易在地方环境治理投资方面的外部效应关注不足,其影响及机制尚未得到有效揭示。本文选取2004—2021年中国30个省级行政区面板的数据,采用双重差分法(DID)、面板分位数回归模型和链式中介效应模型,探究了碳交易政策对省域工业污染治理投资、环境基础设施建设投资的影响、异质性及主要作用机制,并提出效应持续释放的政策方向,有助于拓展碳交易效应及地方环境治理策略选择研究。

1 文献综述与研究假设

1.1 文献综述

1.1.1 碳交易环境治理效应及其机制研究

效应研究主要集中在中观和微观层面。中观层面主要基于省域、市(县)域或产业面板数据,采用DID或DID拓展方法展开。学者们基本认为,碳交易有助于地区降低碳排放,促进碳减排目标实现^[7-9],有助于协同推进污染物减排^[10-13],推进区域绿色发展^[14-18];有助于刺激持续的经济红利,实现波特效应^[19]。异质性分析发现,在资源型地区^[20],东部地区^[21]、大城市及工业化程度高的城市^[5],金融深化及对外开放程度高的地区^[22],在环境执法严与市场化程度高的重工业行业^[23],碳交易的减排助推效应更加突出。微观层面主要基于上市公司数据进行验证。学者们基本认为,碳交易政策有助于诱导企业增加创新投资^[24],提升企业投资效率、改变投资结构^[25];有助于显著提升企业金融化水平,引导实体企业“脱虚向实”,进而显著促进碳减排^[26]、提升环境绩效^[27-28]。部分研究则认为碳交易实际成效具有不确定性^[29]、非线性^[15]特征;效应及其强度存在异质性^[30]、时滞性,实施初期能源强度降低效应不显著^[31]。此外,效应释放会受制于较高监测、核查成本,排放量较大、排放源较集中的行业效应更加明显^[32]。

机制研究主要通过中介效应模型、调节效应模型展开。学者们基本认为,碳交易政策依托产业结构升级和资源配置效率提升^[33,20],地区绿色技术发展和产业结构升级^[34-35],能源结构优化^[36],技术改进^[37],产业结构优化和信息技术发展^[38],碳交易配额价格和碳交易市场规模扩大等措施^[39],通过缓解地方产能过剩^[40],进而助推环境治理效应的实现。经济发展、技术研发层级、对外开放等也有助于释放碳交易政策的减排效应^[41]。部分研究发现,碳交易主要通过降低能源消耗而非转变产业结构来促进碳减排^[42];长期来看能源结构转型会阻碍碳交易减排效应释放^[36];提升技术能力是效应释放的主渠道,产业结构升级的中介效应不显著^[43]。

1.1.2 政府为主的地方环境治理投资及其影响研究

学者们主要集中在环境治理投资及其治理效应、投资的影响因素方面。鉴于环境污染的负外部性及其

引致的市场失灵效应,经济学家普遍认为需要通过向污染者征税或收费来间接实现污染成本内部化、倒逼主体减污^[44-46],并应重视政府的作用。部分新制度经济学派则认为,交易效率提升、产权明晰与市场化配置,有助于破解外部性问题^[47]。环境治理应以事前环境规制为主,充分发挥以排污(放)权交易为主的市场化治理机制作用^[29]。鉴于环境治理的复杂性、持续性及外部性,仍需要发挥政府的政策规制、投资引领与诱导作用^[48],而政府环境治理投资受中央—地方财政分权^[49]、污染水平与财政收入能力^[50]、相邻省份投资强度^[51]、上级环境规制强度和民生压力^[52]等影响。

1.1.3 文献述评

以往的研究要么单独关注碳交易的环境治理效应及其机制,要么单独聚焦政府为主的地方环境治理投资及其影响,较少有研究将二者结合起来探究碳交易政策对地方环境治理投资的影响,因此不利于有效揭示碳交易市场机制与政府机制的互动关系。相较于以往的研究,本研究的边际贡献在于:① 聚焦碳交易政策的地方环境治理投资效应,从工业污染治理投资、环境基础设施建设投资两个维度测度其影响效应、异质性及机制,有助于丰富碳交易的外部效应研究;② 在 DID 基准回归和稳健性检验基础上,采用分样本回归、面板分位数回归验证了碳交易政策对地方环境治理投资降低效应的异质性,并采用链式中介效应模型验证产业结构升级、能源消费结构调整及其相互作用的中介效应,突破了现有效应、异质性及其作用机制分析存在的局限性。

1.2 碳交易政策对地方环境治理投资影响及机制研究假设

1.2.1 碳交易政策对地方环境治理投资影响及异质性研究假设

碳交易政策的实施具有绿色减排、促进经济绿色发展等效应^[14]。考虑到碳排放总量以及碳排放配额的有限性,完备的碳交易市场会依托市场机制,诱导优势企业技术创新,倒逼劣势企业技术改良或产业退出,进而实现节能降耗减排^[43]。在技术升级受制情况下,劣势企业会倾向于向外部购买碳排放配额^[44]。碳交易政策的实施,有助于从需求侧降低地方环境治理投资需求,进而降低环境治理投资额度。① 在排放权总量控制基础上,依托排放权管制直接限制企业碳(污)排放,促进碳(污)排放总量下降;② 依托市场机制,激励企业推进以节能、降耗、减污降碳为导向的技术革新,实现绿色高质量发展;③ 依托市场竞争机制,淘汰落后产能、促进原有产业升级,同时诱导新兴产业发育成长,优化区域产业结构,在高质量发展过程中降低环境污染。各省级区域在经济、社会、制度、技术等多维度存在显著差异,必然引致碳交易降低地方环境治理投资效应的区域异质性。由于地方环境治理投资受前期投资规模与强度的影响,碳交易的政策效应必然在环境治理投资强度和维度上呈现出显著的区域异质性。综合以上分析,提出研究假设 1。

假设 1: 碳交易政策实施有助于降低地方环境治理投资,其效应在区域、环境治理投资两个维度上存在异质性。

1.2.2 碳交易政策助推地方环境治理投资降低作用机制研究假设

碳交易政策及排放权规制促使企业通过技术革新等方式改善能源消费结构(降低煤炭占比)^[45],提高能源效率、降低生产过程中的碳排放量,从需求维度助推地方环境污染治理投资减少^[48]。碳交易政策、碳交易依托市场机制有助于倒逼高污染、高能耗产业或企业技术革新、产业转型升级,同时助推产业结构优化^[45]。碳交易政策也会向社会传递区域产业准入的政策导向,间接引导区域产业转型升级、产业结构调整。此外,碳交易政策有助于推进碳交易市场规模扩大,进一步推进企业技术革新,实现碳交易的减排效应^[39];有助于依托经济增长、产业结构高级化^[53]促进经济高质量发展,进而影响地方政府治理的物质基础与投资选择;有助于诱导企业推进能源消费结构调整,降低污染的机会成本,进而降低地方污染治理投资需求。综合以上分析,提出研究假设 2。

假设 2: 碳交易政策除直接促进地方环境治理投资降低外,还通过区域能源消费结构调整、产业结构

升级间接助推地方环境治理投资减少。

2 基准模型与数据来源

2.1 基准模型建立

将碳交易试点视为准自然实验,利用双重差分法(DID)评估碳交易试点对省域环境治理投资的影响及异质性。基准模型为:

$$industry_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 du \times dt + \alpha_2 X_{it} + \eta_i + \gamma_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$environment_{it} = \beta_0 + \beta_1 du \times dt + \beta_2 X_{it} + \eta_i + \gamma_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

式中: $du \times dt$ 为政策实施的虚拟变量; du 为是否实施碳交易试点政策的虚拟变量, $du=1$ 表示特定省域实施碳交易试点, $du=0$ 则表示未实施碳交易试点; dt 为碳交易试点实施时间的虚拟变量, $dt=0$ 表示政策实施时间点之前, $dt=1$ 表示政策实施时间点及其之后; $industry_{it}$ 代表工业污染治理投资, $environment_{it}$ 代表环境基础设施建设投资,本文从这两个维度衡量省域环境治理投资强度; X_{it} 为控制变量,主要考虑碳效率、外商直接投资、人均地区生产总值、城市化率、人口密度、社会科学研究与试验发展经费、财政自给能力等因素; α_0 、 β_0 代表常数项; α_1 、 β_1 是核心解释变量的影响系数,分别表征碳交易政策试点对地方工业污染治理投资、环境基础设施建设投资的影响大小及方向; α_2 、 β_2 是控制变量的影响系数,表征控制变量对地方工业污染治理投资、环境基础设施建设投资的影响大小及方向; η_i 表示省级行政区的个体固定效应; γ_t 为时间固定效应; ϵ_{it} 表示扰动项随机误差。

2.2 指标选取

2.2.1 被解释变量

地方环境治理投资。以省域“工业污染治理投资占国内生产总值(GDP)的比例”(*industry*)和“环境基础设施建设投资占地方一般公共预算支出的比例”(*environment*)两个指标来表征。

2.2.2 核心解释变量

碳交易政策试点。以分组虚拟变量和时间虚拟变量的交互项($dudt$)来表征。根据 DID 模型,构建两个虚拟变量:①处理组和对照组。处理组为碳交易试点省级行政区,设定为 1;对照组为非试点省级行政区,设定为 0。②政策实施时间。以国家发展改革委员会推动碳交易试点的 2011 年为政策实施基准年,2011 年之前年份设定为 0,2011 年及之后年份设定为 1。

2.2.3 控制变量

综合理论分析和现有文献,选择如下控制变量:①碳效率(ce)。借鉴高煜君等^[22]的方法,采用省级行政区碳排放量与可比价 GDP(可比价 GDP 计算选择以 2004 年为基期,利用 GDP 指数进行调整计算)的比值表示,用以衡量地区经济发展的碳排放强度。②外商直接投资(fdi)。鉴于数据的可得性与统计口径的一致性,采用年末外商投资企业投资总额表示,用以衡量“污染天堂”假说对环境治理的影响。③人均地区生产总值($agdp$)。以省级行政区 GDP 与年末总人口的比值表示,用以衡量地方经济发展水平在财力保障、产业结构等方面的综合影响。④城市化率($urban1$)。基于邵帅等^[5]的研究,以省级行政区城市常住人口与年末常住总人口的比值表示,用以衡量城镇人口规模在污染排放与人力资本支撑等方面的综合影响。⑤城区人口密度($rkmd$)。以省级行政区年末总人口与城市总面积的比值表示,用以衡量城市面积、人口集中度等的综合影响。⑥科学研究与试验发展经费(rd)。以社会研究与试验发展(R&D)经费与可比价 GDP 比值表示,用以衡量省级行政区科学研究投资强度对技术创新与创新生态的综合影响。⑦财政自给率($czzj$)。以一般公共预算收入与一般公共预算支出的比值表示,用以衡量地区经济发展水平、政府财政能力、财权与事权平衡程度的综合影响。各变量(含中介变量)描述性统计见表 1。

表 1 变量描述性统计

变量	样本	均值	标准差	最小值	最大值
<i>industry</i>	540	0.001 499 1	0.001 444 7	8.55e-06	0.011 033 9
<i>environment</i>	540	0.038 350 8	0.023 518 9	0.003 716 5	0.232 904 3
<i>agd p</i>	540	31 491.78	20 548.13	4 224.898	126 887.7
<i>urban1</i>	540	0.550 605 2	0.142 873 8	0.262 779 2	0.895 833 3
<i>rkmd</i>	540	2 709.024	1 290.171	186	6 307
<i>czzj</i>	540	0.503 233 8	0.191 606 7	0.148 264 7	0.950 863 6
<i>lnfdi</i>	540	8.240 411	1.519 462	4.049 032	12.584 76
<i>rd</i>	540	0.015 677 9	0.011 004 9	0.001 802 5	0.064 729 2
<i>lnce</i>	540	1.089 659	0.734 702	-1.358 058	2.724 082
<i>nyjg</i>	540	0.575 229 3	0.185 837 1	0.011 063	0.938 887 2
<i>cyjg</i>	540	1.208 634	0.666 375 9	0.527 051 1	5.244 01

2.2.4 中介变量

① 产业结构升级(*cyjg*)。以省域第三产业增加值与第二产业增加值的比值表示,用以衡量碳交易对第二、第三产业发展影响及其对环境治理能力与治理需求的影响;② 能源消费结构调整(*nyjg*)。以万吨标准煤为标准的煤炭消费总量与能源消费总量的比值表示,用以衡量能源消耗结构所表征的产业结构、能源效率对地方环境治理能力与治理需求的影响。

2.3 样本选择与数据来源

综合考虑数据可得性、统计口径一致性以及政策效应释放可能存在的滞后性,将研究年份区间设定为2004—2021年,并将深圳市合并到广东省(由于数据可得性,未考虑西藏和港澳台地区)。为规避异方差问题,本研究对相关变量均取自然对数。

在研究数据中,工业污染治理投资、省级行政区 GDP 及 GDP 指数、研究与试验发展经费、城区面积、外商投资企业投资总额、人口规模等数据来自国家统计局网站;环境基础设施建设投资、能源消费实物量等来自《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》。碳排放量依据《中国能源统计年鉴》中煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气等实物消费量及相应的单位碳排放系数计算得到,煤炭消费总量、能源消费总量依据《中国能源统计年鉴》各主要煤品、能源消费实物量及标准煤折算系数计算,以万吨标准煤计量。其他数据来自各省份统计年鉴。

3 基准模型估计与分析

3.1 平行趋势检验

采用“*tvdiff*”命令进行平行趋势检验。分别以工业污染治理投资占省域 GDP 比例、环境污染治理投资占一般公共预算支出比例为因变量进行“*tvdiff*”检验,均通过了政策起始前期数为 7、政策起始后期数为 5 的平行趋势检验。以工业污染治理投资占省域 GDP 比例为因变量进行“*tvdiff*”检验,在对应的“*the leads*”检验中, $F(1, 29) = 3.18$,大于 F 值的概率为 0.084 9;“*the time trend*”检验中, $F(1, 29) = 3.82$,大于 F 值的概率为 0.060 4。以环境基础设施建设投资占一般公共预算支出比例为因变量进行“*tvdiff*”检验,在对应的“*the leads*”检验中, $F(1, 29) = 1.23$,大于 F 值的概率为 0.276 0;“*the time trend*”检验中, $F(1, 29) = 0.46$,大于 F 值的概率为 0.502 4。平行趋势检验结果验证了本研究采用 DID 模型的可行性。

3.2 模型估计与分析

3.2.1 模型估计与结果

通过变量相关性检验发现,城镇化率与人均 GDP、rd 存在非常高的相关性,故在后续模型估计中未包含城镇化率指标。本研究采用逐步回归法依次进行了不加入控制变量、加入控制变量的 DID 模型回归,结果如表 2 所示。

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	lnindustry	lnindustry	lnenvironment	lnenvironment
<i>dudt</i>	-0.555 0** (-0.217 3)	-0.345 3** (-0.156 1)	-0.365 9* (-0.193 7)	-0.472 4** (-0.193 6)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制
<i>_cons</i>	-6.392 8*** (-0.094 6)	-2.988 6 (-5.613 1)	-3.104 7*** (-0.067 7)	-8.069 9* (-4.658 5)
R^2	0.597 3	0.630 7	0.199	0.319 4
<i>N</i>	540	540	540	540

注: *_cons* 为常数项, R^2 为拟合优度, *N* 为样本量, 括号内为 *t* 检验值; * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 分别表示差异具有统计学意义。下同。

3.2.2 回归结果分析

由表 2 列(1)、列(2)结果可知,在加入控制变量前后,核心解释变量均通过了 $p < 0.05$ 的显著性水平检验,影响显著为负。两种情况下的回归结果综合表明,碳交易政策对试点省域工业污染治理投资占地区 GDP 比例变化具有显著的负向影响,有利于显著降低地方工业污染治理投资强度。

表 2 列(3)、列(4)结果显示,在未加入控制变量情况下,核心解释变量通过了 $p < 0.1$ 的显著性水平检验;加入控制变量后,回归结果通过了 $p < 0.05$ 的显著性水平检验,影响均显著为负,且影响程度显著增加。两种情况下的回归结果综合表明,碳交易政策对试点省域地方环境基础设施建设投资占地方一般公共预算支出比例变化具有显著的负向影响,有利于显著降低地方环境基础设施建设投资强度。

4 稳健性检验

为进一步验证基准回归结果的稳健性,本研究依次进行了安慰剂检验、反事实检验、动态时间窗检验和全部缩尾检验,检验结果为回归结果的可靠性提供了依据。

1) 安慰剂检验。随机选取个体作为处理组进行 1 000 次 DID 回归试验。综合核心解释变量系数的核密度估计图和 *t* 值的核密度估计图,以及基准回归实际系数值(分别是 -0.345 3、-0.472 4)发现,安慰剂检验所得估计系数主要集中在零点附近,与真实值差异明显,且绝大多数估计系数在统计学意义上都不显著,表明估计结果不是偶然得到的^[48],受到其他政策和随机因素的影响较小,验证了基准回归结果和结论的可靠性。

2) 反事实检验、动态时间窗检验、全部缩尾检验。将政策实施时间提前到 2008 年、2009 年、2010 年,并进行 3 期结合的反事实检验;取时间跨度为 2008—2021 年进行动态时间窗检验;对全部数据进行 1%~99%缩尾处理后进行 DID 回归检验,结果如表 3 所示。与基准回归结果(表 2)对照可知,反事实检验中核心解释变量的影响显著性、影响方向均发生显著变化,反向印证了基准回归结果的可靠性;动态时间窗检验、全部缩尾检验中无论是否加入控制变量,核心解释变量 *dudt* 的影响显著性、影响方向均未发生显著变化,仅影响程度发生了微弱变化,进一步验证了基准回归结果的可靠性。

表 3 稳健性检验及结果

检验类型	变量及指标	检验模型结果			
		(1)	(2)	(3)	(4)
		<i>lnindustry</i>	<i>lnindustry</i>	<i>lnenvironment</i>	<i>lnenvironment</i>
反事实检验	<i>dudt</i>	0.580 2*** (-0.158 5)	0.072 9 (-0.170 8)	0.332 3 (-0.206 8)	0.352 4* (-0.180 1)
	控制变量	未控制	控制	未控制	控制
	<i>_cons</i>	-6.932 4*** (-0.005 3)	-1.846 (-3.079 1)	-3.452 3*** (-0.006 9)	-11.921 6*** (-4.171 7)
	R^2	0.015 1	0.520 9	0.018 1	0.299 8
	<i>N</i>	540	540	540	540
			检验模型结果		
	变量	(1)	(2)	(3)	(4)
		<i>lnindustry</i>	<i>lnindustry</i>	<i>lnenvironment</i>	<i>lnenvironment</i>
动态时间窗检验	<i>dudt</i>	-0.534 1** (-0.214 2)	-0.550 0*** (-0.158 5)	-0.464 6* (-0.256 5)	-0.464 5** (-0.222 7)
	控制变量	未控制	控制	未控制	控制
	<i>_cons</i>	-6.422 1*** (-0.075 3)	8.232 1 (-7.885 6)	-3.526 9*** (-0.074 5)	-12.037 0* (-6.206 9)
	R^2	0.562 2	0.595	0.185 3	0.341 4
	<i>N</i>	420	420	420	420
			检验模型结果		
	变量	(1)	(2)	(3)	(4)
		<i>lnindustry</i>	<i>lnindustry</i>	<i>lnenvironment</i>	<i>lnenvironment</i>
全部缩尾检验	<i>dudt</i>	-0.500 3** (-0.199)	-0.404 6*** (-0.136 7)	-0.341 2* (-0.179 9)	-0.465 9** (-0.178)
	控制变量	未控制	控制	未控制	控制
	<i>_cons</i>	-6.402 2*** (-0.093 1)	1.626 7 (-5.330 3)	-3.104 7*** (-0.067 6)	-6.491 5 (-4.535 5)
	R^2	0.604 1	0.635 6	0.206 1	0.326 6
	<i>N</i>	540	540	540	540

5 异质性检验

采用分区域子样本回归探讨碳交易政策对省域环境治理投资影响的异质性。鉴于试点地域未包含东北地区省份,且试点地域明显较少,本研究将 30 个省级行政区分为东部、中部、西部,分别对应 12 个、9 个、9 个省级行政区。回归模型及方法与基准回归相同,结果见表 4。3 个地区碳交易政策都显著降低了工业污染治理投资强度,降幅大小排序符合经济和现实逻辑,西部最大、中部次之,东部最小。碳交易政策主要对西部地区环境基础设施建设投资强度具有显著影响,且影响为负,对中部、东部影响不显著。

表 4 碳交易政策对东、中、西部地区环境治理投资影响的异质性

回归模型	西部地区		中部地区		东部地区		
	核心解释变量	R^2	核心解释变量	R^2	核心解释变量	R^2	
	系数及显著性		系数及显著性		系数及显著性		
$\ln industry$	未加入控制变量	-0.826 8 *** (-0.169 3)	0.664 3	-0.642 1 *** (-0.182 1)	0.627	-0.465 9 (-0.339 1)	0.618 6
	加入控制变量	-0.581 1 *** (-0.125 2)	0.711 2	-0.362 8 (-0.282 6)	0.705 5	-0.578 9 *** (-0.254 4)	0.675 6
	N	162		162		216	
$\ln environment$	未加入控制变量	-0.508 5 ** (-0.165 2)	0.187 1	0.085 4 (-0.158 4)	0.246 4	-0.2404 (-0.238 5)	0.618 6
	加入控制变量	-0.9321 *** (-0.130 4)	0.330 4	0.089 1 (-0.192 4)	0.524 2	-0.353 (-0.277 5)	0.675 6
	N	162		162		216	

采用面板分位数回归验证碳交易政策对不同工业污染治理投资强度、环境基础设施建设投资强度下的效应异质性。借鉴以往的研究,将分位点设为 0.1、0.25、0.5、0.75、0.9,验证结果如表 5 所示。碳交易政策对不同省份工业污染治理投资强度、地方环境基础设施建设投资强度的影响均存在明显的异质性和非线性。从分位点 0.1 到 0.75,碳交易政策对工业污染治理投资强度的影响呈显著增强态势,最高分位点的效应显著下降,且其助推降低幅度最低,表明碳交易政策能显著降低工业污染治理投资强度。投资强度越高,降低效应越显著。投资强度最高的省份,其降低效应最低。分位点 0.1 到 0.75 情况下碳交易对地方环境基础设施建设投资强度的影响效应整体呈现出持续下降趋势,0.9 分位点下影响效应不显著,0.1 分位点下影响效应值最大,表明随着环境基础设施建设投资强度增加,碳交易政策的助降效应逐步降低。环境治理投资强度越低的省份,碳交易政策的助降效应越明显。

表 5 基于分位数回归的碳交易政策对地方环境治理投资影响的异质性检验结果

因变量	指标及变量	模型回归结果				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$\ln industry$	分位点	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
	$dudt$	-0.207 4 *** (-0.02 6)	-0.253 2 *** (-0.022 1)	-0.357 2 *** (-0.006 3)	-0.393 8 *** (-0.023 8)	-0.108 5 *** (-0.022 9)
	控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
	N	540	540	540	540	540
	$\ln environment$	-1	-2	-3	-4	-5
$\ln environment$	分位点	0.1	0.25	0.5	0.75	0.9
	$dudt$	-1.009 9 *** (-0.013 5)	-0.446 0 *** (-0.066 7)	-0.139 4 *** (-0.013)	-0.109 5 ** (-0.050 7)	0.043 9 (-0.062 5)
	控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
	N	540	540	540	540	540

6 机制检验

从产业结构升级、能源消费结构调整两个维度验证碳交易政策助推地方环境治理投资减少的作用机

制。考虑到产业结构升级、能源消费结构调整存在互促进作用,采用链式中介效应模型进行验证,结果如表 6 所示。

碳交易对环境基础设施建设投资降低的直接效应及总效应显著为负,产业结构升级、产业结构升级与能源消费结构调整联合的中介效应也显著为负,但能源消费结构调整的独立中介效应不显著,表明除直接降低作用外,碳交易还依托产业结构升级、产业结构升级与能源消费结构调整的协同作用促进环境基础设施建设投资减少。碳交易政策未能依托能源消费结构调整进而促进地方环境治理投资降低。碳交易政策对工业污染治理直接效应及总效应显著为负,产业结构升级、能源消费结构调整及其相互作用的影响也显著为负,表明除直接降低作用外,碳交易还依托产业结构升级、能源消费结构调整以及二者协同作用降低工业污染治理投资。

表 6 碳交易政策对地方环境治理投资影响的作用机制检验

检验对象	效应	效应估计值	偏回归系数	标准误	95%置信区间	
碳交易的环境 基础设施建设 投资中介效应 检验	直接效应	-0.404 793 1*	0.008 751 4	0.093 108 87	-0.575 734 9	-0.220 252 1
					-0.595 954 7	-0.225 167
	间接效应—能源结构	0.011 680 72	-0.002 196	0.039 142 96	-0.065 393 2	0.089 946 8
					-0.055 877 2	0.098 908 1
	间接效应—产业结构	-0.049 823 67*	-0.000 937 5	0.023 733 01	-0.100 941 6	-0.011 761 3
				-0.110 646 9	-0.014 417 5	
	间接效应—联合效应	-0.089 454 09*	0.001 311 6	0.025 242 45	-0.141 035 2	-0.044 739 6
					-0.151 876 1	-0.049 894 1
	总效应	-0.532 390 14*	0.006 929 5	0.094 722 5	-0.711 869	-0.347 450 9
					-0.724 608 1	-0.359 498 7
碳交易的工业 污染治理投资 中介效应检验	直接效应	-0.393 097 02*	-0.009 129	0.112 734 19	-0.626 962 4	-0.192 366
					-0.604 840 2	-0.156 938 7
	间接效应—能源结构	-0.265 026 95*	0.006 190 2	0.076 859 75	-0.414 097 6	-0.114 143 8
					-0.474 970 2	-0.139 676 1
	间接效应—产业结构	-0.052 100 26*	-0.001 707 1	0.026 022 38	-0.113 162 1	-0.012 390 3
				-0.119 849 7	-0.013 947 5	
	间接效应—联合效应	-0.093 541 5*	-0.002 568 3	0.034 054 22	-0.170 065 6	-0.033 778 9
					-0.155 329 9	-0.028 346 6
	总效应	-0.803 765 71*	-0.007 214 1	0.118 450 97	-1.055 51	-0.590 870 4
					-1.043 52	-0.589 793 5

注: * 表示通过显著性检验,效应显著。判断依据是 Bootstrap 方法得到的 95%置信区间是否包含 0,如果 95%置信区间不包含 0,说明中介效应在统计上显著,反之则效应不显著。

7 研究结论与政策建议

7.1 研究结论

1) 碳交易政策能显著降低试点省域环境治理投资强度。DID 基准回归及多重稳健性检验表明,碳交易试点政策有助于显著降低试点省域工业污染治理投资和环境基础设施建设投资强度。

2) 碳交易政策的地方环境治理投资降低效应存在显著的异质性。一方面,碳交易政策对西部试点地区工业污染治理投资、环境基础设施建设均有显著的助降作用,中部地区助降作用不显著,东部地区的助降

效应集中在工业污染治理投资上。另一方面,碳交易政策对环境治理投资助降效应受地方环境治理投资水平影响显著,效应呈非线性状态。从0.1分位点到0.9分位点,碳交易政策试点对工业污染治理投资强度的助降效应呈现出显著增强态势,最高分位点效应最低;对环境基础设施建设投资强度的助降效应呈持续降低趋势,最高分位点效应不显著。

3) 碳交易政策主要依托产业结构升级和能源结构调整两条路径对省域环境治理投资产生影响。碳交易政策能通过促进产业结构升级及其与能源消费结构调整协同作用降低环境基础设施建设投资强度,但能源消费结构调整的独立中介效应不显著。碳交易政策能通过促进产业结构升级、能源消费结构调整及二者的协同作用联合降低工业污染治理投资。

7.2 政策建议

1) 大力推进碳交易全国一体化市场的发育成长。① 要健全完善碳交易市场健康发展的激励政策,正向引导、反向倒逼企业主动参与碳排放权交易;② 基于“双碳”目标科学测算碳排放动态总量,在碳排放总量动态控制基础上优化碳排放配额;③ 健全和完善碳排放权交易,特别是跨区域交易的价格生成机制、多方权益保护机制以及市场规范化运行机制;④ 促进新一代信息技术的融合创新,着力提升基础设施构架的同时,提高碳排放权配置的精准性和效率性。

2) 提高碳排放权交易的包容性和协调性。① 大力推进西部、中部地区碳交易市场发育成长,依托碳交易降低中、西部地区工业污染治理投资、环境基础设施建设投资,促进环境治理资源优化配置;② 权衡区域经济社会发展、产业结构、能源结构以及环境治理投资间的协同性,考虑环境治理投资强度的区域异质性,制定符合地域实际的环境治理和碳交易激励政策。

3) 协同推进碳交易、产业结构升级和能源结构调整。① 要聚集政策优化并创造条件,依托碳交易及其他工具持续推进产业结构升级,充分释放产业结构升级的间接助推效应;② 创造条件激活碳交易在能源消费结构调整中的作用,充分释放能源消费结构调整的间接助推效应。

参考文献:

- [1] 柴麒敏,徐华清. 全球温室气体排放差距报告评述与政策建议 [J]. 世界环境, 2020(2): 55-58.
- [2] 张希良,张达,余润心. 中国特色全国碳市场设计理论与实践 [J]. 管理世界, 2021, 37(8): 80-95.
- [3] 罗世华,王栋. 碳交易政策对省域全要素能源效率的影响效应 [J]. 经济地理, 2022, 42(7): 53-61.
- [4] 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.
- [5] 邵帅,李兴. 市场导向型低碳政策能否推动经济高质量发展?——来自碳排放权交易试点的证据 [J]. 广东社会科学, 2022(2): 33-45.
- [6] 陈道平,廖海凤,谭洪. 中国碳交易政策的减排效应及其机制研究 [J]. 技术经济, 2022, 41(7): 106-119.
- [7] CUI L B, FAN Y, ZHU L, et al. How Will the Emissions Trading Scheme Save Cost for Achieving China's 2020 Carbon Intensity Reduction Target? [J]. Applied Energy, 2014, 136: 1043-1052.
- [8] DONG Z Q, WANG H, WANG S X, et al. The Validity of Carbon Emission Trading Policies: Evidence from a Quasi-Natural Experiment in China [J]. Advances in Climate Change Research, 2020, 11(2): 102-109.
- [9] 晋洪涛,项乐乐,陈方. 粮食主产区种植业低碳发展效率测算与差异化补偿研究 [J]. 河南农业大学学报, 2025, 59(1): 167-178.
- [10] CHENG X, YU Z Y, GAO J Y, et al. Governance Effects of Pollution Reduction and Carbon Mitigation of Carbon Emission Trading Policy in China [J]. Environmental Research, 2024, 252: 119074.
- [11] XIAN B T, WANG Y N, XU Y L, et al. Assessment of the Co-Benefits of China's Carbon Trading Policy on Carbon Emissions Reduction and Air Pollution Control in Multiple Sectors [J]. Economic Analysis and Policy, 2024, 81:

1322-1335.

- [12] CHEN L, WANG D, SHI R Y. Can China's Carbon Emissions Trading System Achieve the Synergistic Effect of Carbon Reduction and Pollution Control? [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(15): 8932.
- [13] 郭晓滕, 王子龙, 王立. 基于不同单元尺度下黑土区阿什河流域碳储量时空变化与预测 [J]. *东北农业大学学报*, 2024, 55(6): 78-89.
- [14] 钱丽, 魏圆圆, 肖仁桥, 等. 碳交易试点政策对中国区域经济绿色增长的影响机制研究 [J]. *技术经济*, 2023, 42(4): 110-124.
- [15] HU H S. The Impact of Carbon Emissions Trading on Green Total Factor Productivity Based on Evidence from a Quasi-Natural Experiment [J]. *Scientific Reports*, 2025, 15: 3642.
- [16] 孙玉环, 许子易, 董莹. 中国碳交易价格提高对地区经济增长的作用机制分析——基于技术进步效应和要素资源配置效应视角 [J]. *统计研究*, 2025, 42(1): 88-99.
- [17] 毕文泰, 梁远, 陈素云, 等. “双碳”目标下农业企业数字化转型与绿色发展的耦合协调关系 [J]. *河南农业大学学报*, (2024-11-27) [2025-01-28]. DOI: 10.16445/j.cnki.1000-2340.20241127.002.
- [18] 李金峰, 陈琳贺, 杭艳红, 等. 东北黑土区土地利用碳排放演变及预测研究 [J]. *东北农业大学学报*, 2023, 54(10): 79-88.
- [19] DONG F, DAI Y J, ZHANG S N, et al. Can a Carbon Emission Trading Scheme Generate the Porter Effect? Evidence from Pilot Areas in China [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 653: 565-577.
- [20] 向仙虹, 张瀚月, 孙慧. 碳交易试点政策对特殊类型地区工业碳效率的政策效应分析 [J]. *生态经济*, 2023, 39(9): 13-22.
- [21] 杨达, 丁川. 碳交易政策的减排效应及空间溢出——基于 SCM 和 S-DID 方法的中国经验实证分析 [J]. *中国行政管理*, 2023, 39(5): 132-140.
- [22] 高煜君, 田涛. 碳交易对试点省市碳效率的影响机制研究 [J]. *经济问题探索*, 2022(3): 106-119.
- [23] HU Y C, REN S G, WANG Y J, et al. Can Carbon Emission Trading Scheme Achieve Energy Conservation and Emission Reduction? Evidence from the Industrial Sector in China [J]. *Energy Economics*, 2020, 85: 104590.
- [24] 李大元, 黄鹤, 张璐. 碳交易规制强度能否促进企业创新投入? ——CEO 年龄和公司年龄的联合调节作用 [J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2021, 27(6): 17-31.
- [25] 张涛, 吴梦萱, 周立宏. 碳排放权交易是否促进企业投资效率? ——基于碳排放权交易试点的准实验 [J]. *浙江社会科学*, 2022(1): 39-47, 157-158.
- [26] 齐绍洲, 段博慧. 碳交易政策对企业金融化的影响研究 [J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2022, 42(5): 63-71.
- [27] ZHOU R, LOU J J, HE B. Greening Corporate Environmental, Social, and Governance Performance: The Impact of China's Carbon Emissions Trading Pilot Policy on Listed Companies [J]. *Sustainability*, 2025, 17(3): 963.
- [28] LI N, ZHANG H L, ZHANG X Y, et al. Does Market-Based Environmental Regulatory Policy Improve Corporate Environmental Performance? Evidence from Carbon Emission Trading in China [J]. *Sustainability*, 2025, 17(2): 623.
- [29] 诸思齐, 蔡晶晶. 提前公告的减排政策是否会导致绿色悖论? ——来自欧盟碳排放权交易体系的证据 [J]. *环境经济研究*, 2020, 5(4): 11-29.
- [30] ZHANG H, WU J Y. The Energy Saving and Emission Reduction Effect of Carbon Trading Pilot Policy in China: Evidence from a Quasi-Natural Experiment [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(15): 9272.
- [31] 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.
- [32] 石敏俊, 袁永娜, 周晟吕, 等. 碳减排政策: 碳税、碳交易还是两者兼之? [J]. *管理科学学报*, 2013, 16(9): 9-19.
- [33] 张彩江, 李章雯, 周雨. 碳交易试点政策能否实现区域减排? [J]. *软科学*, 2021, 35(10): 93-99.

- [34] ZHANG X F, FAN D C. Research on the Synergistic Emission Reduction Effect of Carbon Emission Trading and Green Financial Policy [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 367: 121924.
- [35] ZOU K T, HU Y, WU S W. Can Carbon Emissions Trading Policies Promote both the Quantity and Quality of Urban Green Technological Innovation? Evidence from China [J]. *Sustainability*, 2025, 17(2): 778.
- [36] LI Z G, WANG J. Spatial Spillover Effect of Carbon Emission Trading on Carbon Emission Reduction: Empirical Data from Pilot Regions in China [J]. *Energy*, 2022, 251: 123906.
- [37] 余萍, 刘纪显. 碳交易市场规模的绿色和经济增长效应研究 [J]. *中国软科学*, 2020(4): 46-55.
- [38] WU Q Y. Price and Scale Effects of China's Carbon Emission Trading System Pilots on Emission Reduction [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 314: 115054.
- [39] SHI B B, LI N, GAO Q, et al. Market Incentives, Carbon Quota Allocation and Carbon Emission Reduction: Evidence from China's Carbon Trading Pilot Policy [J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 319: 115650.
- [40] 陈向阳, 戴尔. “增量规制”还是“存量优化”——碳交易制度对中国城市第二产业产能过剩的影响 [J]. *中国地质大学学报(社会科学版)*, 2023, 23(5): 16-30.
- [41] XUAN D, MA X W, SHANG Y P. Can China's Policy of Carbon Emission Trading Promote Carbon Emission Reduction? [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 270: 122383.
- [42] LIN B Q, HUANG C C. Analysis of Emission Reduction Effects of Carbon Trading: Market Mechanism or Government Intervention? [J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 33: 28-37.
- [43] FENG X C, ZHAO Y P, YAN R Y. Does Carbon Emission Trading Policy Has Emission Reduction Effect? —An Empirical Study Based on Quasi-Natural Experiment Method [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 351: 119791.
- [44] PEARCE D. The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming [J]. *The Economic Journal*, 1991, 101(407): 938-948.
- [45] 马草原, 周亚雄. 配套型环境税、技术进步与污染治理——基于新经济地理学的分析 [J]. *南开经济研究*, 2015(2): 118-135.
- [46] ROY A. Does Carbon Tax Promote Green Trade and Comparative Advantages: Evidence from Panel Difference-in-Difference (DID) Causal Experiment [J]. *Environmental Economics and Policy Studies*, 2025, 27: 331-352.
- [47] COASE R H. The Problem of Social Cost [J]. *The Journal of Law and Economics*, 1960, 3: 1-44.
- [48] 宋弘, 孙雅洁, 陈登科. 政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究 [J]. *管理世界*, 2019, 35(6): 95-108, 195.
- [49] 金殿臣, 陈昕, 陈旭. 财政分权、环保投入与污染治理——基于中国省级面板的实证研究 [J]. *宁夏社会科学*, 2020(4): 77-85.
- [50] 周尚思. 地方财政能力与环境污染治理: 来自中国城市的证据 [J]. *财政科学*, 2022(10): 82-97.
- [51] 朱欢. 中国环境污染治理投资的空间非均衡性——基于相对剥夺理论 [J]. *技术经济*, 2019, 38(1): 81-88.
- [52] 马光荣, 刘孟鑫, 戚庆源. 政府间环境事权划分与污染治理——基于省以下环保机构垂直化改革的研究 [J]. *财经经济*, 2023, 44(8): 22-37.
- [53] ZHANG H, LV X Y. The Impact of Carbon Emissions Trading Policy on Regional Economy and Pollution Reductions in Chinese Provinces [J]. *Atmosphere*, 2024, 15(11): 1362.

责任编辑 夏娟

周梦媛