

试点碳交易市场的碳减排效应研究

刘 洋

重庆大学公共管理学院, 重庆

收稿日期: 2025年12月29日; 录用日期: 2026年1月27日; 发布日期: 2026年2月6日

摘要

碳交易作为市场化环境规制工具, 是中国落实“双碳”战略目标的关键政策抓手, 亦是推动区域低碳转型的重大制度创新。本文基于2005~2022年中国30个省市区面板数据, 采用多时点双重差分(DID)模型, 系统实证检验试点碳交易市场的碳减排效应及其作用机理。研究发现, 试点碳交易市场显著降低了地区二氧化碳排放量。机制分析显示, 试点碳交易市场主要通过三条路径发挥减排效应: 其一, 通过总量控制效应约束能源消费规模; 其二, 通过结构优化效应驱动能源消费低碳化转型, 降低高碳能源使用; 其三, 通过创新激励效应鼓励绿色技术创新。本研究厘清了试点碳交易市场的减排机制与政策有效性, 为全国碳排放权交易市场建设提供了理论支撑与实践参考。

关键词

碳交易机制, 试点碳交易市场, 碳减排, 多时点双重差分

Study on the Carbon Emission Reduction Effects of Pilot Carbon Trading Markets

Yang Liu

School of Public Policy and Administration, Chongqing University, Chongqing

Received: December 29, 2025; accepted: January 27, 2026; published: February 6, 2026

Abstract

As a market-oriented environmental regulatory tool, carbon trading serves as a key policy lever for China to achieve its “dual carbon” strategic goals and constitutes a major institutional innovation for advancing regional low-carbon transition. Based on panel data of 30 Chinese provinces and municipalities from 2005 to 2022, this study employs a multi-period difference-in-differences (DID) model to systematically and empirically examine the carbon emission reduction effects and underlying mechanisms of pilot carbon trading markets. The results indicate that pilot carbon trading markets have significantly reduced regional carbon dioxide emissions.

Mechanism analysis reveals that carbon trading markets achieve emission reduction through three pathways: first, it constrains the scale of energy consumption through the total amount control effect; second, it drives the low-carbon transition of energy consumption and reduces the use of high-carbon energy sources through the structural optimization effect; third, it encourages green technology innovation through the innovation incentive effect. This research clarifies the emission reduction mechanisms and policy effectiveness of pilot carbon trading markets, providing theoretical support and practical reference for the construction of the national carbon emission trading market.

Keywords

Carbon Trading Mechanism, Pilot Carbon Trading Market, Carbon Emission Reduction, Multi-Period Difference-in-Differences

Copyright © 2026 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. 绪论

碳排放权交易作为一种基于市场的环境规制工具，其核心机理在于通过设定明确的温室气体排放总量上限，并创设可交易的排放配额，从而将气候变化的外部性成本内化为企业的生产成本。该机制通过碳定价释放持续的价格信号，激励减排成本较低的实体率先采取行动，并通过市场交易实现配额资源的优化配置，最终以社会总成本最优的方式达成既定减排目标，从而在理论上有效协调经济发展与环境保护之间的张力。

中国作为负责任的发展中大国，自 2011 年起在多个省市开展碳排放权交易市场试点，并于 2021 年 7 月正式启动全国碳排放权交易市场，率先纳入发电行业。截至 2024 年底，全国碳市场累计运行成效显著，2024 年全年碳排放配额累计成交量达 1.89 亿吨，成交额 181.14 亿元¹。后续碳市场将逐步纳入钢铁、有色、建材、化工等高耗能行业，并致力于引入有偿分配、丰富交易品种等制度创新。

这一系列制度变革并非凭空设计，试点市场的经验证据在其中发挥了举足轻重的作用。在全国碳排放权交易市场于 2021 年正式启动后，试点碳交易市场并未立刻退出，而是形成了与全国市场并行、功能互补的“双轨”运行格局。试点市场在此阶段发挥了独特的“前沿探索”与“压力测试”作用，这种并行架构确保了全国市场在稳健运行的同时，仍能通过试点渠道持续吸收创新养分，形成“以点带面、风险可控”的渐进式改革路径。

本研究立足于中国碳排放交易市场发展，利用 2005~2022 中国 30 个省市的面板数据，采取多时点双重差分(DID)的方法，对试点碳交易市场的碳减排效应及其作用机理做出了实证分析，有助于更清晰地展现出试点碳交易市场的先进引领作用，为中国碳市场的发展提供理论依据与政策建议，从而推动中国碳排放交易市场体系进一步完善。

2. 文献综述

在气候变化的沉重压力下，世界各国都在寻找能够有效减少二氧化碳排放的方法，欧盟于 2008 年率

¹数据来源：高敬. 2024 年全国碳排放权交易市场配额交易及清缴工作结束[N/OL]. 新华社, 2025-01-04 [2026-01-10]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202501/content_6996276.htm.

先建立起碳排放权交易体系，成功通过碳配额和碳价的市场机制，限制了企业的碳排放行为[1]。随后，这一成功经验在国际上被广泛借鉴，碳交易现已被广泛认可为达成碳减排的有效途径[2]。学者们分别从企业层面[3]、市场角度[4]、行业领域[5] [6]、国家维度[7]等不同方面详细检验了欧盟碳排放权交易体系(EU ETS)的有效性及其所带来的碳减排效果。

而针对中国碳交易市场，学者们利用动态 CGE 模型预测了中国碳交易政策可能带来的减排效应，表明碳排放交易政策与碳税的复合实行可以在保证经济效益的同时带来二氧化碳排放量的有效降低[8]。在县域层面，碳交易试点政策通过降低区域化石能源的消费总量、改善能源消费结构有效地降低了区域碳排放[9]。一般而言，环境监管越严格、碳市场越活跃、企业参与度越高的碳交易市场的减排效果越强[9]。而就碳交易市场的具体政策设计出发，碳配额有偿分配方法中的“拍卖法”与“基准法”的效果并没有设置最高目标值的减排“标杆法”来得有效，而在国家核证资源碳减排量(CCER)抵消机制方面，中国唯一具有跨区域交易性质的 CCER 制度并没有发挥其应有的作用，没能成功地激励企业与地区的碳减排创新[10]。此外，若存在机制设计不完善问题，可能导致碳配额价格形成机制扭曲，对碳市场效能产生负面冲击[11]。

在碳交易制度实现碳减排的影响机制上，学者们意见不一。有研究指出交易制度所达成的碳减排的实现，一方面是通过倒逼企业调整自身的产业生产结构与能源消费结构来改变现有碳排放强度，另一方面则是通过激励企业进行技术创新从而降低了未来碳排放[12]。若将进一步将企业徐芬为高碳排企业与低碳排企业，则会发现碳交易制度一方面是通过对高碳排企业施加成本压力、工艺革新动力以及市场导向激励来使得现有碳排放强度逐渐降低，另一方面则是通过对低碳排企业施加市场获益诱惑，并辅以政策支持与创新激励来实现低碳技术的进步与技术溢出效应的增强[13]。

通过上述文献，可以发现。学者们大多以特定地区或特定行业作为研究对象，缺乏对试点碳交易市场更深刻的研究剖析，在碳减排效应的具体作用机制研究上未能梳理清晰。鉴于此，本文将细致地从源头梳理碳排放交易市场的发展与现状，从现实情况出发，审慎地验证试点碳交易市场的碳减排效应。并尝试通过机制分析的方法进一步地验证碳减排效应的作用机理，借此来建立起一个对于试点碳交易市场更全面、详实的认识。

3. 研究设计

3.1. 数据来源

本文基于数据可获取原则选取了中国 30 个省份 2005~2022 年面板数据作为样本，将试点地点作为处理组，其它非试点地区(除西藏及港澳台地区外)作为控制组，构建了多时点双重差分模型对碳交易试点的碳减排效应进行研究。本文所采用的二氧化碳排放量数据来自中国碳核算数据库(CEADs)，能源相关数据来自《中国能源统计年鉴》，人口与就业相关数据部分来自《中国人口和就业统计年鉴》，其他数据均来自历年《中国统计年鉴》以及各省份地区统计年鉴。

3.2. 被解释变量与解释变量

碳减排效应的被解释变量为地区二氧化碳排放量(*carbon*)，单位为百万吨。解释变量为政策干预交乘项。

3.3. 控制变量

本文控制变量的选取基于 Paul Ehrlich 与 John Holdren 所提出的 IPAT 方程，即：

$$I = P \times A \times T \quad (1)$$

其中 I 指环境负荷，在本文中反映为二氧化碳的排放；P 指人口数量；A 指经济因素；T 指技术因素。在此基础上本文分别采取以下控制指标对应上述三个因素：人口规模(*pop*)，采用常住人口数量作为指标；工业体量(*secindus*)，采用第二产业增加值作为指标；产业技术水平(*upindus*)，采用第三产业增加值与产业总增加值的比值作为指标[14]。

碳减排效应被解释变量、解释变量与控制变量的具体说明，如表 1 所示。

Table 1. Variable definitions for carbon emission reduction effects
表 1. 碳减排效应变量说明

变量名称	变量符号	变量说明
二氧化碳排放量	<i>carbon</i>	二氧化碳排放量，取对数
人口规模	<i>pop</i>	常住人口数量，取对数
工业体量	<i>secindus</i>	第二产业增加值，取对数
产业技术水平	<i>upindus</i>	第三产业增加值与第二产业增加值的比值

碳减排效应所用变量的描述性统计结果，如表 2 所示。结果显示样本数量为 30 个省份 15 年的数据，总计 450 个。由于对数据进行了对数预处理，因此各样本平均值都在 10 以下，有利于消除异方差问题。

Table 2. Descriptive statistics of variables for carbon emission reduction effects
表 2. 碳减排效应变量描述统计值

变量	样本数量	平均值	中位数	标准差	最小值	最大值
In <i>carbon</i>	450	5.475	5.471	0.809	2.022	7.438
In <i>pop</i>	450	8.181	8.251	0.748	6.297	9.433
In <i>secindus</i>	450	8.514	8.551	1.057	5.249	10.681
<i>upindus</i>	450	1.174	1.029	0.650	0.527	5.234

3.4. 模型设计

根据上述双重差分模型的原则，为了估计碳排放交易市场建立后所带来的碳减排效应，本文以地区二氧化碳的排放量作为被解释变量，以是否正式启动碳排放交易试点市场构建虚拟变量作为解释变量，加入其他重要控制变量以避免内生性问题，并对部分数值进行取对数处理以保证良好的统计性质，具体模型如下：

$$In Carbon_{it} = \beta_0 + \beta_1 ETS_{it} + \beta_2 Control_{it} + \lambda_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中 *Carbon_{it}* 为被解释变量，代表着各省份的年度二氧化碳排放量；*ETS_{it}* 为交乘项，*ETS_{it}* = 1 时，代表对象既是处理组又受到了碳排放交易试点的政策冲击，其他情况均为 0；*Control_{it}* 为纳入其中的控制变量。

3.5. 机制假设

本文在综合整理了理论基础与文献综述之后，提出了三条有较大可能的作用传导路径，如图 1 所示。分别体现为总量控制效应、结构优化效应以及创新激励效应。其中总量控制效应与结构优化效应反映为碳排放交易市场通过设定碳配额上限以及为碳排放付费等方法倒逼企业减少自身能源消耗，或去使用更

低碳排的燃料。而创新激励效应则反映为，在环境管制的压力下，企业积极采取或研发新型低碳绿色技术，从生产过程、产品技艺、废料处理等多个角度减少释放到空气中的二氧化碳排放。

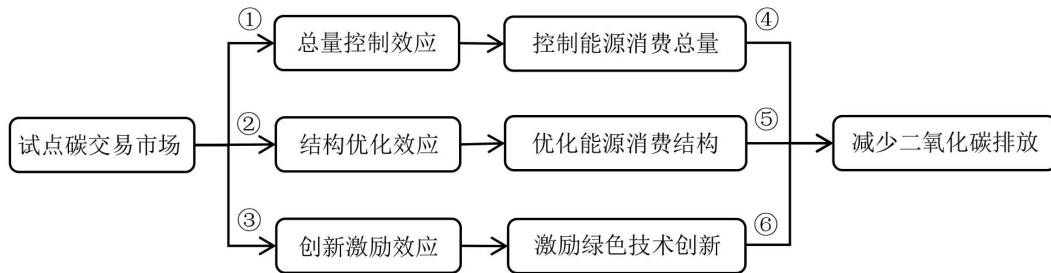


Figure 1. Mechanism of carbon emission reduction effects

图 1. 碳减排效应作用机制

本文将借鉴江艇(2022)做法[15]，对作用路径直接的总量控制效应与结构优化效应，注重于识别政策行为碳排放交易市场的建立对于能源消费总量与能源消费结构的影响与因果关系。而不那么直接与显然的创新激励效应，将其作为中介变量纳入到(2)式中，考察政策实施交乘项系数的显著性与系数是否有明显下降，来考量创新激励是否有可能存在。

为验证总量控制与结构优化效应，本文选取以下变量作为机制变量：能源消费总量(Enetotal)，以省市以标准煤记的能源消费总量衡量；能源消费结构(Enestruc)，采用碳排放系数最大的煤炭消费占能源消费总量的比重来衡量能源消费结构。为验证创新激励效应，本文以类似中介效应的模式，收集省市绿色专利申请数为衡量指标，构建绿色技术创新(tech)作为中介变量间接验证作用链条是否成立。

4. 碳排放交易市场的碳减排效应实证结果

4.1. 基准回归

为了验证试点碳交易市场的区域碳减排效应，本文在固定了个体与时间效应后，采用多时点 DID 进行了回归分析，回归结果如表 3 所示。

表 3 中，列(1)表示不加入任何控制变量的回归结果，交乘项回归系数在 1% 水平上显著为负。列(2)为加入了控制变量的多时点 DID 基准回归结果。其中，交乘项回归系数显著为负，意味着碳排放交易市场的存在显著地降低了试点城市的二氧化碳排放量，该试点政策存在碳减排效应。此外，根据 IPAT 方程加入的控制变量同样显著。地区常住人口系数显著为正，意味着人口的增长会带来能源消费等碳源的增加，即便人口集聚可能会带来技术创新效应[16]，但至少在目前为止仍被人口的规模效应完全抵消。工业产值的系数显著为正，满足前文描述。产业技术水平系数显著为负，产业结构的升级主要通过对一次能源消费格局的改变以及消费增速的减缓来达成二氧化碳排放源头的减少[17]。

Table 3. Baseline regression results of carbon emission reduction effects

表 3. 碳减排效应基准回归结果

变量	(1)	(2)
ETS	-0.217*** (-5.59)	-0.209*** (-4.87)
In pop		1.390*** (3.48)

续表

In secindus	0.721*** (2.84)
upindus	-0.391*** (-4.11)
常数项	5.496*** (609.73)
时间固定效应	是
个体固定效应	是
调整后的 R ²	0.954
	0.957

注: ***、**、*分别表示系数在 1%、5%、10% 水平上显著。下同。

4.2. 平行趋势检验

双重差分模型需满足平行趋势检验, 图 2 为平行趋势检验结果, 结果显示, 0 期以前数据全部不显著, 0 期政策实施后系数开始显著, 平行趋势假设得到满足。

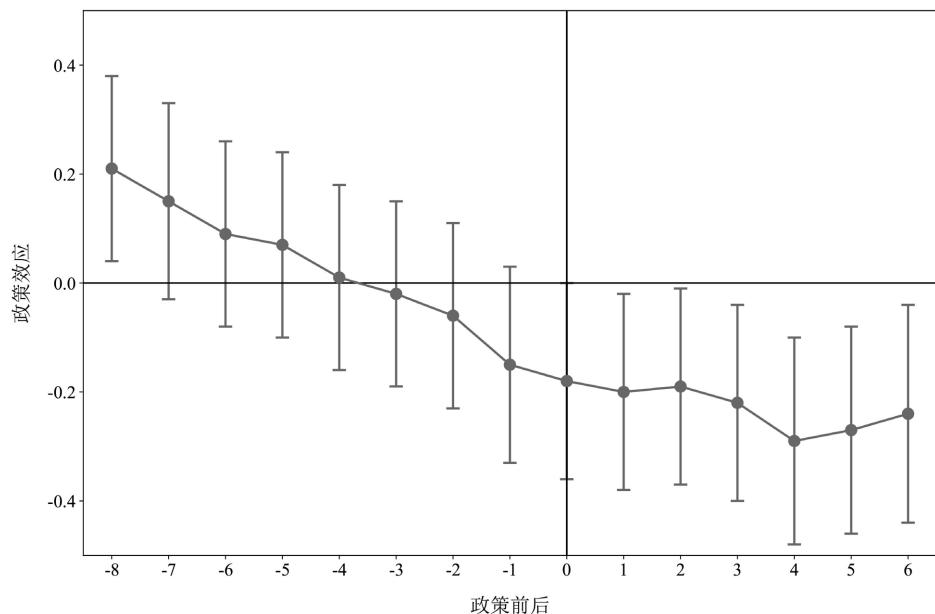


Figure 2. Parallel trend test results of carbon emission reduction effects

图 2. 碳减排效应平行趋势检验结果图

4.3. 安慰剂检验

本文分别构造了伪政策环境与伪处理组以进行反事实检验, 以保证基准回归中的政策效应并不来自其他不可观测的因素。针对政策时间的时间安慰剂检验, 如表 4 所示, $before_i$ 表示政策提前的时间, i 代表着政策所提前的期数, 分别为提前 2 期、3 期、4 期。政策提前后交乘项的回归系数均不显著, 意味着政策效应真实存在, 时间安慰剂检验通过。此外, 本文通过随机取样虚构处理组与政策实施时间进行个体安慰剂检验, 取样次数为 500 次, 样本组回归系数结果值均位于 0.1 p 值以上, 基准回归系数远离随机系数, 个体安慰剂检验同样通过。

Table 4. Temporal placebo test of carbon emission reduction effects
表 4. 碳减排效应时间安慰剂检验

变量	(1)	(2)	(3)
$before_{-2}$	-0.209 (-1.03)		
$before_{-3}$		-0.227 (-1.05)	
$before_{-4}$			-0.256 (-1.16)
控制变量	是	是	是
时间固定效应	是	是	是
个体固定效应	是	是	是

4.4. 其他稳健性检验

为了进一步证明本文所得碳减排效应的可信度, 本文分别替换被解释变量的指标与增补控制变量来进行稳健性检验, 加入了稳健性检验的碳减排效应回归结果, 如表 5 所示。列(3)中, 被解释变量碳排放量的衡量指标从地方二氧化碳排放量替换为了地区能源消费总量, 交乘项结果在 1% 水平下显著, 且与基准回归结果系数符号相同。列(4)中, 用城镇人口与常住人口的比值来反映城镇化率, 将其加入控制变量中进行考察交乘项系数依旧显著, 意味着碳排放交易市场所带来的碳减排效应足够稳健。

Table 5. Robustness test results of carbon emission reduction effects (replacing indicators, adding variables)
表 5. 碳减排效应的稳健性检验结果(替换指标, 增补变量)

变量	(1)	(2) 基准回归	(3) 替换指标	(4) 增补变量
ETS	-0.217*** (-5.59)	-0.209*** (-4.87)	-0.155*** (-7.64)	-0.165*** (-3.49)
In_{pop}		1.390*** (3.48)	1.721*** (9.13)	1.028** (2.38)
$In_{secindus}$		0.721*** (2.84)	0.359*** (2.99)	0.498* (1.82)
$upindus$		-0.391*** (-4.11)	-0.217*** (-4.82)	-0.254** (-2.22)
$[urban]$				1.520** (2.16)
常数项	5.496*** (609.73)	-0.471 (-0.23)	-2.391** (-2.43)	0.078 (0.04)
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
调整后的 R^2	0.954	0.957	0.987	0.957

4.5. 机制分析

4.5.1. 总量控制与结构优化机制的实证研究

总量控制与结构优化效应的回归结果, 如表 6 所示, 能源消费总量与能源消费结构的变量均在 1% 的显著性水平下显著为正, 证明: 能源消费总量的增加与能源消费结构中煤炭的占比提高, 确实会增加二

氧化碳的排放量，这两个变量与二氧化碳排放成正相关，链条④与⑤成立。

Table 6. Regression results of carbon emissions on total energy consumption and energy consumption structure
表 6. 能源消费总量与结构的碳排放回归结果

变量	(1) 能源消费总量	(2) 能源消费结构
<i>Enetotal</i>	1.169*** (14.04)	
<i>Enestruc</i>		0.906*** (15.06)
控制变量	是	是
时间固定效应	是	是
个体固定效应	是	是
调整后的 R ²	0.969	0.971

采用多时点双重差分模型着重证明作用链条①与②。在综合整理了现有文献成果后，本文使用地区发展水平、人口规模、工业体量以及产业技术水平作为能源消费总量的控制变量[18]；使用城镇化率、地区发展水平、工业产业结构(第二产业占GDP比重)、对外开放水平、地方资本存量以及地方技术水平作为能源消费结构的控制变量[19]。模型回归结果如表7所示。(1)列与(3)列为未加入控制变量的回归结果，(2)列与(4)列为加入了回归变量后的基准回归结果。

Table 7. Regression results of total energy consumption and energy consumption structure
表 7. 能源消费总量与结构的回归结果

变量	(1) 总量	(2) 总量	(3) 结构	(4) 结构
<i>ETS</i>	-0.089*** (-4.15)	-0.155*** (-7.64)	-0.163*** (-6.33)	-0.124*** (-4.33)
控制变量	否	是	否	是
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
调整后的 R ²	0.981	0.987	0.922	0.926

上述结果均通过了平行趋势与安慰剂方法的稳健性检验，其基准回归结果可信。结果先是，政策实施交乘项的系数均显著为负，证明碳排放交易市场的存在确实显著地降低了地区的能源消费总量与能源消费结构。由此，链条①与②确实存在。

结合上述实证结果可知，总量控制与结构优化确实是碳排放交易市场碳减排效应的两条作用机制。

4.5.2. 创新激励机制的实证研究

由于创新激励机制的作用路径并不明显也不如总量控制与结构优化机制那样直接，因此本文以类似中介效应的模式，以省市绿色专利申请数为衡量指标，构建绿色技术创新(*tech*)作为变量，借此获取创新激励机制可能存在的旁证[20]。控制变量从经济发展、要素投入以及政府行为三个角度进行衡量，分别使用地区发展水平、人力资本水平、地方资本存量、非农产业结构、政府研发投入作为控制变量[21]。

机制检验的模型设定与中介效应类似，如下：

$$Greentech_{it} = \delta_3 + \delta_4 ETS_{it} + \delta_5 Control_{it} + \lambda_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln Control_{it} = \delta_6 + \delta_7 ETS_{it} + \delta_8 Greentech_{it} + \delta_9 Control_{it} + \lambda_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

表8是(3)式的回归结果,用来碳排放交易试点对技术创新的影响。结果显著,说明碳排放交易市场的存在确实会促进绿色技术的创新,即链条③。表9是(4)式的回归结果,(1)列为未加入中介变量绿色技术创新但加入控制变量的基准回归结果,(2)列为加入中介变量绿色技术创新但未加入控制变量的回归结果,(3)列为既加入中介变量又加入控制变量的基准回归。由表可知,绿色技术创新的系数显著为负,符合技术创新会降低碳排放的基本假设。此外,加入绿色技术创新变量后,政策实施交乘项的系数与显著性有所下降,这说明确实有一部分碳减排效果被“分”走了,即碳排放交易市场的碳减排效应有一部分会通过创新激励来实现。

Table 8. Regression results of technological innovation
表8. 技术创新的回归结果

变量	(1)	(2)
ETS	0.254*** (4.32)	0.111** (1.98)
控制变量	否	是
时间固定效应	是	是
个体固定效应	是	是
调整后的 R ²	0.609	0.674

Table 9. Regression results of carbon emission trading after incorporating technological innovation
表9. 加入技术创新后的碳排放交易回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
ETS	-0.209*** (-4.87)	-0.180*** (-4.64)	-0.195*** (-4.65)
Greentech		-0.145*** (-4.53)	-0.155*** (-4.79)
控制变量	是	否	是
时间固定效应	是	是	是
个体固定效应	是	是	是
调整后的 R ²	0.957	0.956	0.959

5. 结论与政策建议

本文利用2005~2022年中国30个省份的面板数据,构建了多时点DID模型。通过实证方法估计了试点碳交易市场的存在是否带来碳减排。结果表明:碳排放交易市场的存在显著降低了试点地区的二氧化碳排放量,且总量控制、结构优化以及创新激励均为碳排放交易市场碳减排效应的主要作用机制。

基于研究结论,提出如下建议:

(1) 加快全国碳排放权交易市场建设,迭代优化市场运行机制。以碳交易试点政策的成功实践为基础,加快推进全国碳排放权交易市场的一体化建设,系统性吸收试点地区在总量管控、配额分配、市场监管等方面的经验,构建统一开放、竞争有序、监管严格的全国性碳市场体系。推动碳市场管控模式从强度控制向总量控制转型,优化配额分配机制,逐步降低免费配额比例,扩大有偿拍卖覆盖范围与

规模[22]，统一全国碳市场的监测、报告与核查(MRV)体系，规范配额清缴、履约监管流程，建立跨区域协同监管机制，严厉打击市场操纵、数据造假等违法行为，保障市场公平公正运行。

(2) 以碳市场配额约束为核心驱动，推动能源生产消费结构优化，完善新能源产消协同体系。在发电端，依托碳市场对高排放电力企业的约束效应，加快推动电力系统低碳转型，打通电碳衔接关键环节，通过碳价信号激励风电、光伏等新能源行业发展。鼓励分布式新能源项目向高耗能园区、工业企业布局，助力企业通过清洁能源替代降低碳配额消耗，对配套设施完善、弃风弃光率低的用能企业给予配额倾斜，从消费侧夯实碳减排基础。争取形成“碳市场约束激励—新能源产消升级—碳减排成效提升”的良性循环。

(3) 强化创新激励机制，激发企业创新主体活力。应在金融支持方面，引导商业银行、政策性金融机构优化绿色信贷体系，鼓励企业进行低碳技术研发、设备改造、和绿色成果转化。可尝试建立碳市场拍卖收入定向返还机制，设立低碳技术创新专项基金，明确拍卖收入的一定比例专项用于补贴企业低碳技术改造与研发投入，将企业低碳创新投入、技术成果等纳入碳市场奖惩体系，对创新成效突出的企业给予额外激励。

参考文献

- [1] Bel, G. and Joseph, S. (2014) Industrial Emissions Abatement: Untangling the Impact of the EU ETS and the Economic Crisis. Research Institute of Applied Economics (IREA), Working Paper 2014/22 1/23.
- [2] Narassimhan, E., Gallagher, K.S., Koester, S. and Alejo, J.R. (2018) Carbon Pricing in Practice: A Review of Existing Emissions Trading Systems. *Climate Policy*, **18**, 967-991. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1467827>
- [3] Abrell, J., Ndoye Faye, A. and Zachmann, G. (2011) Assessing the Impact of the EU ETS Using Firm Level Data. Bruegel Working Paper.
- [4] Hintermann, B. (2015) Market Power in Emission Permit Markets: Theory and Evidence from the EU ETS. *Environmental and Resource Economics*, **66**, 89-112. <https://doi.org/10.1007/s10640-015-9939-4>
- [5] Hoffmann, V.H. (2007) EU ETS and Investment Decisions: The Case of the German Electricity Industry. *European Management Journal*, **25**, 464-474. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2007.07.008>
- [6] Fageda, X. and Teixidó, J.J. (2022) Pricing Carbon in the Aviation Sector: Evidence from the European Emissions Trading System. *Journal of Environmental Economics and Management*, **111**, Article ID: 102591. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102591>
- [7] Villoria-Sáez, P., Tam, V.W.Y., Río Merino, M.d., Viñas Arrebola, C. and Wang, X. (2016) Effectiveness of Greenhouse-Gas Emission Trading Schemes Implementation: A Review on Legislations. *Journal of Cleaner Production*, **127**, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.148>
- [8] 袁永娜, 石敏俊, 李娜, 等. 碳排放许可的强度分配标准与中国区域经济协调发展——基于 30 省区 CGE 模型的分析[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(1): 60.
- [9] 曹维焕, 钟鼎. 中国碳排放权交易试点对试点地区碳强度及碳减排的影响研究[J]. 商展经济, 2023(5): 104-107.
- [10] Shi, B., Li, N., Gao, Q. and Li, G. (2022) Market Incentives, Carbon Quota Allocation and Carbon Emission Reduction: Evidence from China's Carbon Trading Pilot Policy. *Journal of Environmental Management*, **319**, Article ID: 115650. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115650>
- [11] 张先琪, 贾康. 中国碳交易试点的减排效应与政策机制——基于市场制度特征的视角[J/OL]. 海南大学学报(人文社会科学版): 1-10. <https://doi.org/10.15886/j.cnki.hnus.202204.0105>, 2023-05-10.
- [12] 马兆良, 王良红. 碳交易制度的减排效应研究[J]. 吉林工商学院学报, 2023, 39(1): 22-29.
- [13] 刘传明, 孙喆, 张瑾. 中国碳排放权交易试点的碳减排政策效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(11): 49-58.
- [14] 余硕, 王巧, 张阿城. 技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验[J]. 经济与管理研究, 2020, 41(8): 44-61.
- [15] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
- [16] 陈大峰, 闫周府, 王文鹏. 城市人口规模、产业集聚模式与城市创新——来自 271 个地级及以上城市的经验证据

- [J]. 中国人口科学, 2020(5): 27-40+126.
- [17] 张雷, 黄园淅, 李艳梅, 等. 中国碳排放区域格局变化与减排途径分析[J]. 资源科学, 2010, 32(2): 211-217.
- [18] 李宗佳. 全国能源消费及其影响因素的测度研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林财经大学, 2022.
- [19] 周彦楠, 何则, 马丽, 等. 中国能源消费结构地域分布的时空分异及影响因素[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2247-2257.
- [20] Alesina, A. and Zhuravskaya, E. (2011) Segregation and the Quality of Government in a Cross Section of Countries. *American Economic Review*, **101**, 1872-1911. <https://doi.org/10.1257/aer.101.5.1872>
- [21] 王班班, 赵程. 中国的绿色技术创新——专利统计和影响因素[J]. 工业技术经济, 2019, 38(7): 53-66.
- [22] de Perthuis, C. and Trotignon, R. (2014) Governance of CO₂ Markets: Lessons from the EU ETS. *Energy Policy*, **75**, 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.033>