

2024

The impact of carbon emission trading pilot policy on the efficiency of urban green innovation

Huihui ZHOU

Business School, Ningbo University, China

Hui HUANG

Business School, Ningbo University, China

Follow this and additional works at: <https://jstm.researchcommons.org/journal>

Recommended Citation

ZHOU, Huihui and HUANG, Hui (2024) "The impact of carbon emission trading pilot policy on the efficiency of urban green innovation," *Journal of Science and Technology Management*: Vol. 26: Iss. 2, Article 9.

DOI: 10.16315/j.stm.2024.02.001

Available at: <https://jstm.researchcommons.org/journal/vol26/iss2/9>

This Green and low-carbon innovation is brought to you for free and open access by Journal of Science and Technology Management. It has been accepted for inclusion in Journal of Science and Technology Management by an authorized editor of Journal of Science and Technology Management.

Creative Commons License



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-No Derivative Works 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

碳交易试点政策对城市绿色创新效率的影响

——基于两阶段价值链视角的分析

周慧慧, 黄晖

(宁波大学 商学院, 浙江 宁波 315211)

摘要:从两阶段价值链视角出发,将绿色创新效率分为绿色科技研发效率和绿色成果转化效率,采用2008—2021年中国245个地级市的面板数据,通过双重差分法探究碳交易试点政策对城市绿色创新效率的影响。研究表明,碳交易试点政策的实施能够显著促进两阶段绿色创新效率的提升,并且经过PSM-DID、安慰剂等一系列稳健性检验后得到一致结论。分区域研究表明东部地区城市的碳交易试点政策可以显著地促进两阶段绿色创新效率,而对于中西部的城市来说,碳交易试点政策对绿色成果转化效率的促进作用较为显著,但对绿色科技研发效率的促进作用不明显。非资源型城市和资源型城市对比分析表明碳交易试点政策对非资源型城市两阶段绿色创新效率的提升更为显著,但对资源型城市的绿色科技研发效率和绿色成果转化效率均并未产生显著影响。

关键词:碳交易试点政策;绿色创新效率;双重差分;两阶段价值链

DOI:10.16315/j.stm.2024.02.001

中图分类号:F 273.1 **文献标志码:**A

党的二十大报告指出绿色低碳发展是实现高质量发展的关键环节,创新驱动发展是实现高质量发展的必然选择,实现绿色低碳高质量发展,科技创新是关键。绿色创新兼顾了技术创新活动和环境保护要求,城市绿色创新的提升在推动我国经济发展由高速增长阶段转向以深化供给侧结构性改革为主线的高质量发展阶段发挥着重要作用,更是实现经济增长与环境保护双赢、社会可持续发展的不竭动力^[1]。党和政府在推进绿色创新发展方面进行了一系列改革和探索,以实现经济与环境协调发展为核心的碳交易试点政策便是其中的一项制度创新,也是致力于我国实现“双碳”目标的核心政策工具。2011年,国家发改委下发《关于开展碳排放交易试点工作的通知》,先后将深圳、上海、北京、广东、天津、湖北和重庆7个省市作为碳排放权交易试点地区,碳排放权交易政策也在2013年下半年正式启动交易,实行多年以来表现出巨大的发展潜力。截至2020年11月,各试点省市碳市场累计配额成交量约为4.3亿吨CO₂,累计成交额近100亿人民币,有效

推动了试点省市应对气候变化和控制温室气体排放工作。我国在2021年启动全国碳市场上线交易系统,逐步建立全国碳交易市场。可以说,碳排放权交易政策以2021年为分水岭,分为2个阶段:2011—2021年为试点阶段,2021年后为推行阶段,基本实现局部试点向全面推广的转变。在此背景下,碳交易试点政策能否提升城市绿色创新效率,通过哪些机制影响城市创新效率,不同区域的政策效果是否存在差异。探究和回答上述问题构成了本文的主要内容。

基于以往学者研究,现阶段对于绿色创新效率的相关研究主要聚焦在内涵解读、水平测度以及影响因素分析3个方面。在内涵解读上,学术界普遍认为绿色创新是生态创新、环境创新、可持续创新的重要结合^[2],是传统创新理论和生态环保理念有机统一,可以生产出兼顾经济效益与环境效益有机统一的正外部性^[3]。在微观层面上绿色创新是指企业为实现降污减排、节能降耗、降低成本而研发出的新技术、新产品、新方法^[4];在中观层面上绿色创新是城市为实现区域协调、可持续发展,建成环境友好型城市和创新型城市而探索的新理念新途径^[5];在宏观层面上绿色创新是指为实现人与自然和谐相处,以环境高质量保护促进经济高质量发展,走好降碳、

收稿日期: 2024-02-21

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划项目(19XXJC02ZD-3)

作者简介: 周慧慧(1998—),女,硕士研究生;

黄晖(1974—),女,副教授,硕士生导师。

减污、扩绿、增长之路的创造性活动。在发展水平测度上主流测度方法是数据包络分析(DEA)随机前沿方法(SFA)。如任耀等^[6]基于DEA-RAM模型构建了包含绿色效率、创新效率、经济效率的绿色创新效率模型;曹霞等^[7]利用改进后的随机前沿模型构建了更加有效的估算创新效率的模型。在影响因素方面,影响绿色创新效率的因素主要包括经济发展水平、产业集聚^[8]、环境规制强度、信息化水平、外商投资水平^[9]、产业结构升级、政府干预程度、对外开放程度等。从研究角度来看,部分学者也关注到了对创新效率的分阶段研究^[10],将创新过程分为创新成果研发和创新成果应用2个阶段分别进行分析,还有学者将创新主体分为企业、科研机构 and 高校来分别对其创新效率和影响因素进行研究。但仍存在一些不足之处,现有基于两阶段价值链视角的文献对传统创新研究的关注度更高,但对绿色创新研究的关注则稍显不足。区域绿色创新是集知识创新、研发创新、产品创新于一体的多阶段生产活动,因此,本文基于两阶段价值链视角分阶段深入剖析碳排放交易权试点政策对城市绿色创新效率的影响机制。

碳交易试点政策对绿色创新效率的影响研究归于环境规制能否诱发绿色创新这一类研究^[11]。纵观已有研究,环境规制对绿色创新效率的影响主要分为两类观点:一是,新古典经济学认为环境规制不利于绿色创新效率的提升。部分学者认为环境规制增加了企业降污减排的成本,挤占了研发资金的投入,对企业绿色创新活动产生挤出效应,抑制企业开展绿色科技创新的积极性^[12]。二是,支持“波特假说”^[13]的学者认为恰当合理的环境规制会产生“创新补偿效应”和“先动优势效应”^[14],从而激发城市绿色创新效率的提升。一方面,尽管环境规制会增加企业的生产成本,但从长期来看,企业不会坐以待毙而是选择会主动出击扭转成本增加的市场竞争劣势,会对污染治理技术、清洁工艺、生产流程等方面积极开展绿色技术创新,由此弥补合规成本或产生额外收益使得“创新补偿效应”大于“遵循成本效应”。另一方面,随着人们对美好生活需求的向往,消费者对绿色环保型产品或服务的需求开始盛行,这种消费需求的改变引导企业意识到绿色理念的重要性,从而转变经营理念和策略,积极探索绿色创新途径,对于推动供给端企业进行绿色创新起到了重要作用^[15]。市场风险的降低增强企业进行绿色创新活动的积极性,因此在面对环境规制时,“先动优

势效应”使得企业勇担环保责任,引领绿色创新,提升竞争优势,争夺市场份额。已有研究较为详实地对新古典经济学理论和“波特假说”进行了论证,但研究对象主要是企业、城市群和省级行政区,缺乏地级市层面的数据样本去研究,因此有必要从城市层面去探讨碳交易试点政策的绩效。

本文的创新与研究意义在于:在研究视角上,基于两阶段价值链视角探究碳交易试点政策对城市绿色创新效率的影响,对绿色创新效率的分析更加深入,为城市绿色创新效率的提升路径提供了可供参考的视角,丰富了从创新价值链视角下探究城市绿色创新效率的相关研究;在研究对象上,本文以245个地级市为研究对象,为碳交易试点政策对绿色创新的影响提供了城市层面的证据。

1 理论分析与研究假设

碳交易试点政策是由中央顶层设计综合考虑经济与环境的一项制度改革,充分体现了市场为主、政府为辅的作用机制,其市场自动调节、明晰产权的机制作用以及波特假说下的绿色创新效应表现在以下几个方面:首先,碳交易试点政策作为一种市场激励型环境规制工具对绿色技术创新具有经济激励作用,其赋予碳减排权商品价值从而在市场上得以流通。碳配额富余的城市出让富余的碳排放指标给短缺的城市从而获得经济利益。碳排放权出让方在“激励效应”下^[16],为在碳交易中持续获得经济红利必须进行绿色技术创新;碳排放权受让方在“追赶效应”下,迫于减排成本压力为扭转局面使自身获利也必须进行绿色技术创新。其次,碳排放问题是典型的外部性问题,通过科斯定理明晰产权与市场经济中“看不见的手”自动调节作用,均会使得碳排放配额资源达到合理配置,实现外部成本内部化^[17],进而推动环境与经济“双赢”的实现。最后,“波特假说”认为合理的环境规制会产生“创新补偿效应”,企业面对环境规制时为了达到控排目标并降低减排成本,将在污染末端治理技术、清洁生产工艺、绿色智能装备等方面积极开展绿色技术创新,从而实现绿色发展与创新驱动协调可持续发展。因此,本文认为碳交易试点政策能够激励企业积极进行绿色技术创新。为探究碳交易试点政策如何通过影响绿色技术创新来进一步影响绿色创新效率,本文借鉴胡玉凤等^[18]、张雪梅等^[19]的做法,构建包含碳市场约束的数理模型,试图阐明碳交易试点政策对绿色创

新效率的影响。

1) 企业的生产行为。设碳交易试点政策实施后总碳配额为 Q , 用作市场交易的配额为 q , 则企业实际消耗配额为 $Q - q$ 。假设碳配额价格 P 满足需求函数 $P = a - bq$, 且 $a > 0, b > 0$ 。企业的利润函数为

$$\pi_1 = m(Q - q_1) + Pq_1 \quad (1)$$

其中: m 为单位碳排放所带来的收益, 若将绿色技术创新考虑进去, 设 θ_1 表示创新成本占比, 创新成功后消耗碳排放量减少 λ_1 倍, 剩余碳配额中 μ_1 部分用于市场交易, $0 < \theta_1, \lambda_1, \mu_1 < 1$, 则企业实际消耗碳交易额为 $(1 - \theta_1 \lambda_1)(Q - q_1)$, 用于市场交易碳配额为 $q_2 = q_1 + \theta_1 \lambda_1 \mu_1 (Q - q_1)$, 企业的利润函数为

$$\pi_2 = (1 - \theta_1) [m(Q - q_2) + Pq_2] \quad (2)$$

利润最大化, 求解式(1)、(2)得: $q_1 = \frac{b - m}{2a}, q_2 =$

$$\frac{b - m}{2a} + \theta_1 \lambda_1 \mu_1 \left(Q - \frac{b - m}{2a} \right), \text{ 由于 } \theta_1, \lambda_1, \mu_1 \in (0, 1),$$

故 $q_1 < q_2$ 恒成立, 说明绿色技术创新能够减少企业自身消耗的碳配额, 增加用于市场交易的碳配额。

2) 考虑碳市场约束。考虑绿色创新要素 G 的生产函数为 $Y = Af(K, L, G)$, 由成本最小化得到 C - D 形式成本函数:

$$C(P_K, P_L, P_G, Y) = A^{-1} P_K^\alpha P_L^\beta P_G^\gamma Y \quad (3)$$

其中: α, β, γ 分别表示资本、劳动、绿色创新要素的产出弹性, 且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 。由式(3)对价格 P_G 求偏导, 得绿色创新要素的引致需求为

$$G = \frac{A^{-1} \gamma P_K^\alpha P_L^\beta P_G^\gamma Y}{P_G} \quad (4)$$

令 $P = P_K^\alpha P_L^\beta P_G^\gamma$, 则 $G = \frac{A^{-1} \gamma P Y}{P_G}$, 生产函数 Y 是综合

考虑各项投入要素的产出, 因此将 Y 作为绿色创新的有效产出, 有效产出 Y 与绿色创新要素投入 G 之比作为绿色创新效率, 则绿色创新效率 g 为

$$g = \frac{Y}{G} = \frac{AP_G}{\gamma P} \quad (5)$$

引入碳排量约束的生产函数为

$$Y = A\varphi(Z)(Q - q)^\eta \quad (6)$$

其中: Z 表示各种生产要素的集合。将式(6)代入式(5), 得绿色创新效率表达式为

$$g = \frac{P_G \phi(Y, Z)}{\gamma P (Q - q)} \quad (7)$$

从式(7)可以看出, 绿色创新效率 g 与 $Q - q$ 成反比例关系, 与市场交易的碳配额成正比关系。

由上述理论分析知企业在碳交易试点政策的约束下为实现利润最大化会进行绿色技术创新, 绿色技术创新能够减少企业自身消耗的碳配额, 增加用于市场交易的碳配额, 且绿色创新效率 g 与市场交易的碳配额 q 成正比关系, 最终表现为碳交易试点政策促进绿色创新效率的提升。基于以上分析, 本文提出如下研究假设:

假设 H_1 : 碳交易试点政策有助于城市绿色创新效率的提高。

城市绿色创新是涉及绿色创新资源投入、绿色创新技术研发以及绿色创新成果转化为经济效益和环境优化的共享关联过程。本文基于两阶段价值链理论^[20], 将城市绿色创新过程分为绿色科技研发和绿色成果转化 2 个子过程, 从而打开绿色创新“黑箱”分阶段分析碳交易权试点政策对城市绿色创新的影响。两阶段价值链视角下绿色创新过程, 如图 1 所示。在绿色科技研发阶段投入资本、劳动力等初始资源经过高校、科研机构及部分企业研发机构生产出绿色专利等成果, 在绿色成果转化阶段将绿色发明、专利等作为投入要素经过企业及市场机制形成经济效益和环境效益。由于不同阶段转换载体不同、投入产出要素不同以及涉及管理、制度等因素的差异, 均会造成绿色科技研发效率和绿色成果转化效率的异质性。因此, 本文提出研究假设:

假设 H_2 : 碳交易试点政策对城市绿色科技研发效率和绿色成果转化效率的影响存在异质性。

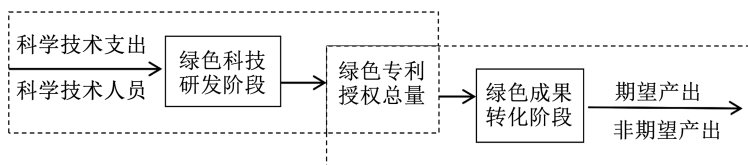


图 1 两阶段价值链视角下绿色创新过程

Fig. 1 The process of green innovation from a two-stage value chain perspective

2 研究设计

2.1 模型构建

将碳交易试点政策视为准自然实验,利用 DID 模型探究碳交易试点政策对城市绿色创新效率的影响,其中设 Period 为时间虚拟变量,由于我国碳交易试点政策开始实施的时间是在 2013 年下半年至 2014 年上半年,考虑到政策的滞后性,因此本文将 2014 年作为时间节点,并以中国正式倡导绿色发展的时间 2008 年作为研究周期的开始时间,2008—2013 年取值为 0,2014—2021 年取值为 1;设 Treat 为分组虚拟变量,选取政策试点省市共 36 个城市作为实验组取值为 1,非试点城市作为对照组取值为 0,构建回归模型如下:

$$gt_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Treat}_{it} \times \text{Period}_{it} + \alpha_2 \sum \text{control}_{it} + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$gp_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Treat}_{it} \times \text{Period}_{it} + \alpha_2 \sum \text{control}_{it} + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

其中: gt_{it} 和 gp_{it} 分别是绿色科技研发效率和绿色成果转化效率。 $\text{Treat}_{it} \times \text{Period}_{it}$ 表示碳排放权交易试点政策,其系数 α_1 是否正向显著是本文实证分析的重点, ε_{it} 为随机误差项。

2.2 变量选取及说明

1) 被解释变量。本文被解释变量为绿色科技研发效率 (gt_{it}) 和绿色成果转化效率 (gp_{it})。创新是企业行为,绿色创新效率与城市的匹配是通过指标测算实现的,参照王晗等^[21]的测算方法,采用超效率 SBM 模型来测算被解释变量,两阶段具体的投入产出指标如下:

初始投入:绿色科技研发阶段的投入指标主要从资本、劳动力、资源投入角度考虑^[22],资本投入选取科学技术支出作为代理变量,劳动力投入选取科技研发人员和水利环境和公共设施管理从业人员作为代理变量,资源投入的指标用供电总量来衡量。

中间产出与投入:参考肖仁桥等^[23]的研究,将各地级市绿色创新专利授权数分别作为绿色科技研发和绿色成果转化 2 个阶段的产出与投入指标。

最终产出:最终产出主要包括期望产出和非期望产出,地区生产总值是衡量期望产出的一般性指标,工业废水、工业 SO_2 、地区 CO_2 排放量用来刻画非期望产出。

2) 解释变量。本文的核心解释变量是碳排放

权交易试点政策交互项 ($\text{Treat} \times \text{Period}$)。若城市位于国家发改委公布的《关于开展碳排放交易试点工作的通知》名单中且在 2014 年政策已经实施,则赋值为 1;否则,赋值为 0。

3) 控制变量。考虑到其他因素对城市绿色创新效率的潜在影响,本文参考现有研究,设置控制变量如下:经济发展水平 (gdp),用各地区人均 GDP 作为代理变量。城市经济发展水平越高意味着科技、人才与资金等创新资源越集聚,企业进行绿色创新的可能性与成功率越高;金融发展 ($fina$),用年末金融机构各项贷款余额与 GDP 之比来表示。发达的金融市场能够实现资金的有效配置及合理利用,从而保障研发资金持续增长以助推企业创新能力的提高;产业结构升级 (ind),用第二产业与第三产业产值之比来衡量。产业结构升级通常会引导资源向效率更高、附加值更高的行业和领域转移,这种资源的优化配置将促使企业加强技术研发和绿色创新;外商投资水平 (fdi),即各地级市以人民币计价的实际利用外资额与地区生产总值之比。外资的有效利用能够破除企业进行创新活动面临的资金约束问题,缓解资金需求压力;政府干预程度 (gov),用各地财政一般预算支出占地区生产总值之的比重衡量。政府通过宣传教育、示范引领等手段能够营造有利于绿色创新的政策环境和舆论氛围,从而有利于企业开展绿色创新;对外开放程度 ($open$),即各地级市以人民币计价的进出口总额与生产总值的比值。对外开放可以使企业进入更广阔的市场,面对更多的竞争和挑战,从而激发企业的创新动力,促使企业不断提高产品和服务质量,保持竞争力;政府扶持 (sup),用科学技术支出与教育支出与地反财政一般公共预算支出之比来表示。政府在科研、教育方面的财政支出有利于基础研究发展与创新型人才培养,进而推动绿色创新;信息化水平 ($ln \ inter$),用各地互联网宽带接入用户数取对数来衡量。高水平的信息基础设施能够使信息高效交换,知识快速共享,从而推动绿色创新效率的提高。

2.3 数据来源与描述性统计

本文选取 2008—2021 年中国 245 个地级市的面板数据进行实证研究,对部分缺失数据采用线性插值法补充并剔除了数据缺失较为严重的地级市。其中,城市层面数据源自《中国城市统计年鉴》,各地级市绿色专利授权量源自中国研究数据服务平台 (CNRDS)。各变量描述性统计,如表 1 所示。

表 1 变量的描述性统计

Tab.1 Descriptive statistics of variables

变量类型	变量名称	变量符号	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	绿色科技研发效率	gt	0.320	0.224	0.018	2.012
	绿色成果转化效率	gp	0.350	0.718	0.001	5.268
解释变量	试点政策	Treat × Period	0.030	0.173	0.000	1.000
	经济发展水平	gdp	4.790	3.147	0.898	16.489
	金融发展水平	fina	0.960	0.556	0.295	3.215
	产业结构升级	ind	1.260	0.562	0.295	3.337
	外商投资水平	fdi	0.090	0.142	0.000	0.732
控制变量	政府干预程度	gov	0.080	0.045	0.012	0.246
	对外开放程度	open	-0.690	1.723	-11.663	1.070
	政府扶持	sup	0.180	0.057	0.011	1.688
	信息化水平	ln inter	3.870	1.072	-3.744	8.551

3 实证结果分析

3.1 平行趋势检验

考虑到满足平行趋势检验是有效运用双重差分模型的重要前提,即分析在碳交易试点政策实施之前,试点城市和非试点城市绿色科技研发效率和绿色成果转化效率的变动是否呈现相同变化趋势。本文借鉴检验平行趋势较为最常用的事件分析法,构造动态模型如下:

$$gt_{it} = \alpha + \sum_{-s}^m \lambda_k D_{it}^k + \gamma \sum \text{control}_{it} + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it}, \quad (10)$$

$$gp_{it} = \alpha + \sum_{-s}^m \lambda_k D_{it}^k + \gamma \sum \text{control}_{it} + \mu_i + \varphi_t + \varepsilon_{it}. \quad (11)$$

其中: D_{it}^k 表示各试点城市开始实行碳交易试点政策的前 s 年、当年和后 m 年的观测值,考虑到政策实施时间与试点数量等因素,取 $s=5, m=5$,且 k 的取值范围为 $[-5, 5]$ 。若 $D_{it}^{k<0}$ ($D_{it}^{k>0}$)表示样本为试点城

市且在政策实施前(后)的第 k 年,则取值为1,其他年份取值为0; $D_{it}^{k=0}$ 表示样本为试点城市且政策实施当年,取值为1,否则取值为0。

本文绘制了绿色科技研发效率和绿色成果转化效率的平行趋势检验图,如图2所示。由图2(a)可知,在基准线左侧,即碳交易试点政策冲击之前,各估计系数 λ_k 均不具有显著性,表明试点城市和非试点城市的绿色科技研发效率不存在显著差异;而政策实施之后的第3、4年交互项系数 λ_k 的95%置信区间未包含0,表明该系数显著,说明实施碳交易试点政策有助于绿色科技研发效率的提高且有一定的滞后性,符合平行趋势检验。由图2(b)可知,政策冲击前,系数 λ_k 未通过显著性检验,说明试点城市和非试点城市的绿色成果转化效率无显著差异;政策实施后第2、3年系数 λ_k 显著为正,实验组的绿色成果转化效率显著超过了控制组,据此可以判断所选数据通过了平行趋势假设前提,可利用双重差分模型评估碳交易试点政策对城市绿色创新效率的影响。

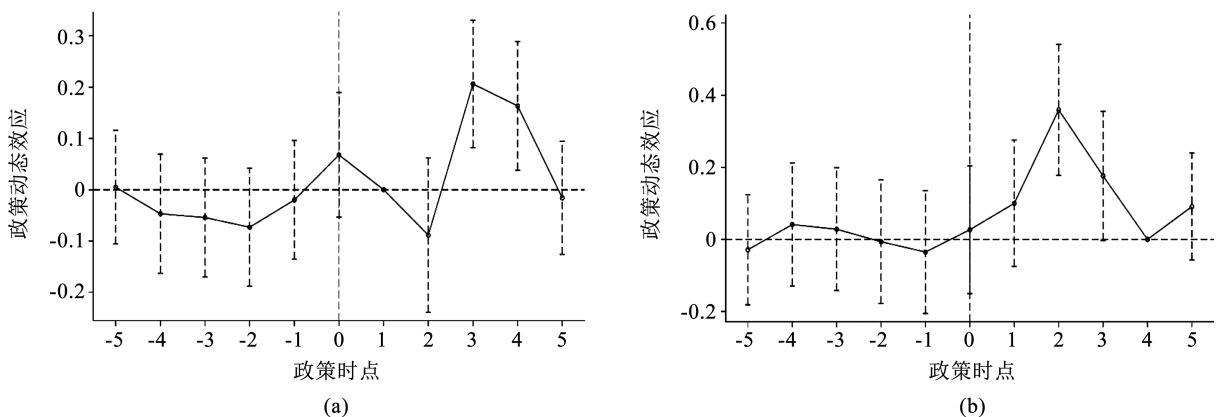


图 2 平行趋势检验

Fig. 2 Parallel trend test

3.2 基准回归分析

碳交易试点政策与两阶段绿色创新效率的基准回归结果,如表2所示。其中第1、3列回归结果未加入控制变量,第2、4列回归结果加入了控制变量。由表2可知,无论是否加入控制变量,政策效应交互项 Treat × Period 的估计系数均显著为正,从而表明碳交易试点政策可以有效提升两阶段绿色创新效率,初步验证了研究假设 H₁。

在绿色科技研发阶段,碳交易试点的政策效应显著为正,表明碳交易试点政策对促进试点城市绿色科技研发起到了推动作用。原因在于,碳交易试点政策以一种市场化环境规制手段,迫使试点城市采取一系列环保法规、环境标准、排污许可证、排污

收费以及绿色补贴等措施来实现高质量发展目标,从而使企业在环保行为中收益,为污染行为买单。在碳交易试点政策约束下,企业为了避免被市场淘汰并最大化利润,必须优化生产设备,更加注重绿色科技研发,使得创新补偿效应高于成本遵循效应,从而提高绿色科技研发效率。在绿色成果转化阶段,碳交易试点政策能够显著提升试点城市绿色成果转化。主要原因在于碳交易试点政策通过买卖碳配额的方式来控制碳排放总量,增加了企业治污费用,企业为扭亏为盈,必须加快研发成果转为生产力产生效益并加快绿色成果市场化进程,以获取利润以弥补环境治理成本和技术研发成本,绿色成果转化效率从而得以提升。

表2 基准回归结果

Tab. 2 Benchmark regression results

变量	绿色科技研发效率		绿色成果转化效率	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Treat × Period	0.053 ** (-0.021)	0.087 *** (-0.021)	0.096 *** (-0.033)	0.120 *** (-0.034)
_cons	1.175 *** (0.051)	1.254 *** (0.080)	0.578 *** (0.101)	0.286 * (0.174)
Control	No	Yes	No	Yes
μ	Yes	Yes	Yes	Yes
φ	Yes	Yes	Yes	Yes
R ²	0.633	0.647	0.490	0.510
N	3 430	3 430	3 430	3 430

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5% 以及 1% 统计水平上显著,下同。

3.3 稳健性检验

3.3.1 PSM-DID 检验

为避免双重差分法产生“选择性偏差”,进一步利用 PSM-DID 对基准回归进行稳健性检验。选用地方经济发展水平、金融发展、产业结构、外商投资水平、政府干预程度、对外开放程度、政府扶持、信息化水平作为协变量。近邻匹配后的平衡性检验结果,如表3所示。由表3可知,样本匹配后,各匹配变量的均值不存在显著差异,其标准化偏差大多数小于 10%,有效减少了处理组和对照组之间的系统性偏差,因此,匹配的平衡性可以接受。进一步采用双重差分法估计分析,结果如表4所示。由表4可知,在控制变量情况下,政策实施后绿色科技研发效率平均提高 8.23%,绿色成果转化效率平均提高 18.0%,且分别在 5% 和 1% 水平上显著,表明碳交易试点政策的实施能够显著提高绿色科技研发和绿色成果转化阶段的创新效率,进一步表明了回归结

果相对稳健。

3.2.2 安慰剂检验

本文借鉴曹清峰^[24]的做法随机生成实验组与控制组进行安慰剂检验,即将实验组中实行碳交易试点政策的城市视为新的控制组;在控制组中选取与实验组样本数相同的城市作为新的实验组,并保持新实验组中碳交易试点政策实施时间、批次与原处理组一致。据此利用新样本重新估计基准模型便可以得到交互项的估计系数,将上述过程重复 500 次,估计结果如图3所示。其中图3(a)、(b)分别为绿色科技研发效率和绿色成果转化效率的参数估计值以及 P 值的分布图。由图3可知,两阶段伪政策双重差分参数估计值绝大多在 0 附近分布且 P 值大都在 10% 以上不显著,表明碳交易试点政策效应表现出了明显的区位导向性。因此,本文通过了安慰剂检验,实证结果不受其他非观测因素干扰,较为稳健。

表 3 PSM-DID 平衡性检验结果
Tab. 3 PSM-DID balance test results

变量	匹配前 (U)	均值		标准偏差/%	T 检验
	匹配后 (M)	实验组	控制组		$P > t $
gdp	U	5.819	4.686	29.7	0.000
	M	5.819	5.751	1.8	0.836
fina	U	0.899	0.964	-11.9	0.053
	M	0.899	0.837	11.4	0.091
ind	U	1.181	1.267	-17.2	0.011
	M	1.181	1.224	-8.6	0.226
fdi	U	0.207	0.075	72.7	0.000
	M	0.207	0.213	-3.8	0.721
gov	U	0.082	0.075	15.2	0.009
	M	0.082	0.077	10.3	0.212
open	U	-1.604	-0.602	-46	0.000
	M	-1.604	-1.477	-5.8	0.565
sup	U	0.203	0.183	36.5	0.000
	M	0.203	0.200	4.7	0.700
ln inter	U	4.356	3.826	43.5	0.000
	M	4.356	4.181	14.3	0.076

表 4 PSM-DID 稳健性检验
Tab. 4 PSM-DID robustness test results

变量	绿色科技研发效率		绿色成果转化效率	
	(1)	(2)	(1)	(2)
Treat × Period	0.089 ** (0.037)	0.082 ** (0.038)	0.149 ** (0.063)	0.180 *** (0.066)
Control	No	Yes	No	Yes
μ	Yes	Yes	Yes	Yes
φ	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.755	0.768	0.527	0.541
N	795	795	795	795

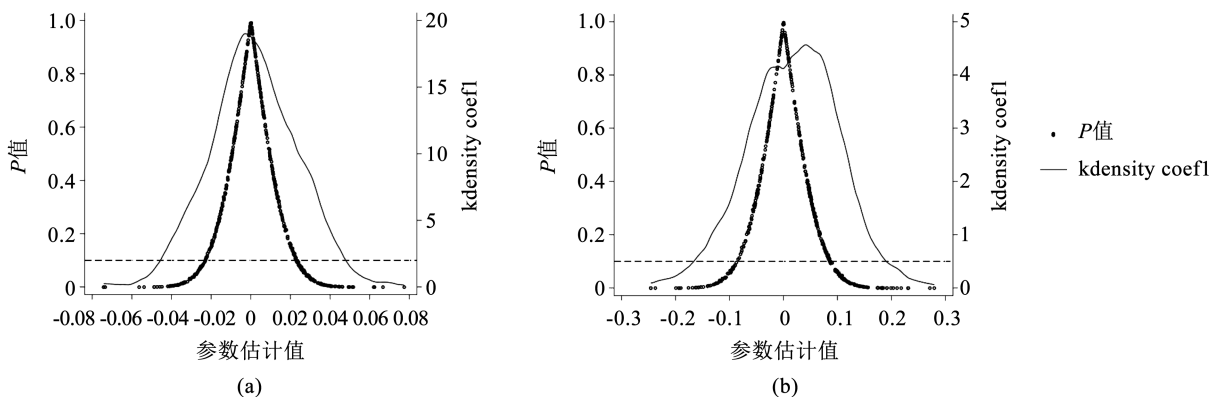


图 3 安慰剂检验

Fig. 3 Placebo test

3.4 异质性分析

3.4.1 城市区位异质性

中国不同区位的城市在经济水平、资源禀赋、产业布局等均存在较大差异。根据《中国统计年鉴》,经济地带划分为东部地区、中部地区、西部地区和东北地区,由于本文研究对象碳交易试点政策试点地区不涉及东北地区城市且西部涉及城市较少,故在以下区域异质性分析中,本文只将样本城市划分为东部城市和中西部城市,结果如表5所示。由表5可知,东部城市的碳交易试点政策对两阶段绿色创新效率的政策效应均显著为正,中西部城市的碳交易试点政策对绿色成果转化效率的政策效应亦为

正,但对绿色科技研发效率并无显著影响。一方面,相比于中西部城市,东部城市的经济发展、基础设施建设、政府治理、产业结构以及科技创新能力等更胜一筹,能够积极有效地使碳交易试点政策落地、生根、发芽,并能够有效调动人员物资去积极探索绿色科技研发;另一方面,在双碳背景下,中西部承接了大量高污染、高碳型产业,面对各种严峻环境问题,且考虑到价值链不同阶段对创新活动的需求、要求及难度不同,地区政府更倾向于将绿色研发成果转化为经济效益与生态效益,因此中西部城市的绿色成果转化效率更为显著。

表5 区位异质性回归结果

Tab. 5 Regional heterogeneity regression results

变量	绿色科技研发效率		绿色成果转化效率	
	东部城市	中西部城市	东部城市	中西部城市
Treat × Period	0.104*** (0.030)	0.025 (0.038)	0.076* (0.045)	0.166*** (0.057)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes
μ	Yes	Yes	Yes	Yes
φ	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.685	0.562	0.528	0.527
N	1 064	2 030	1 064	2 030

3.4.2 城市资源环境异质性

考虑到碳交易试点政策在资源条件不同的城市政策效果可能存在差异,本文依据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》划分样本为资

源型城市和非资源型城市,从资源异质性角度分析碳交易试点政策对绿色科技研发效率和绿色成果转化效率的影响,回归结果如表6所示。

表6 资源异质性回归结果

Tab. 6 Resource heterogeneity regression results

变量	绿色科技研发效率		绿色成果转化效率	
	资源型城市	非资源型城市	资源型城市	非资源型城市
Treat × Period	0.091 (0.080)	0.081*** (0.024)	-0.052 (0.110)	0.159*** (0.039)
Control	Yes	Yes	Yes	Yes
μ	Yes	Yes	Yes	Yes
φ	Yes	Yes	Yes	Yes
R^2	0.685	0.562	0.528	0.527
N	1 428	2 058	1 428	2 058

由表6可知,碳交易试点政策对两阶段绿色创新效率的影响在非资源型城市中均显著为正,而在资源型城市中未表现出显著差异,表明碳交易试点政策的实施有助于提升非资源型城市两阶段绿色创新效率,而对资源型城市的绿色科技研发效率和绿

色成果转化效率都并未产生显著影响。究其原因,一方面,非资源型城市通常以服务业、制造业、科技产业等为主要支柱,其经济发展更依赖于技术创新、人力资本和产业升级,其更需要依赖技术创新来提升竞争力。且非资源型城市往往在城市规划和发

方面更具灵活性,更易承载绿色创新项目,促进城市可持续发展。另一方面资源型城市往往依赖传统的资源开发和加工等资源密集型产业,经济结构单一,缺乏多元经济结构和创新能力,对绿色技术和创新的需求较小,缺乏创新激励和推动力。且资源型城市推动绿色创新时面临着社会环保意识欠缺、资金投入不足、产业转型受阻等方面的种种挑战,增加了绿色创新的难度,制约了碳交易试点政策对两阶段绿色创新效率促进作用的发挥。

4 结论与启示

本文以2008—2021年中国245个地级市的面板数据为研究对象,基于两阶段价值链视角探究碳交易试点政策对城市绿色创新效率的影响。主要得出以下结论:一是,碳交易试点政策的实施能够显著促进两阶段绿色创新效率的提升;二是,对于绿色科技研发效率,碳交易试点政策对东部城市、非资源型城市的促进作用更为显著,而对中西部城市、资源型城市并不显著;三是,对于绿色成果转化效率,碳交易试点政策的实施对东中西部城市以及非资源型城市均有显著提升作用,但对资源型城市不具有明显促进作用。

根据上述研究结果,得到以下政策启示:首先,进一步推进碳交易市场建设。碳交易试点政策对城市绿色创新的积极作用满足城市绿色经济发展需要,为中国积极探索市场型环境规制手段提供了重要方向。因此各地方政府应进一步完善碳市场机制,制定合理的碳排放配额分配机制,确保碳市场供需平衡及价格合理性,提高参与碳交易的积极性,使试点工作进一步落实落深。其次,根据创新价值链不同阶段差异化推进绿色创新。各地区政府应根据绿色科技研发阶段和绿色成果转化阶段的不同特征,一方面建立产学研深度结合的绿色科技研发体系,另一方面,完善高效的创新成果转化机制,加快创新成果转为生产力产生效益的进程。最后,因地制宜制定不同区域试点政策实施方案。对于东部城市和非资源型城市,政府可以设定更为严格的排放标准和配额,激励企业两阶段绿色创新效率进一步提高;对于中西部地区,需要从绿色科技研发阶段入手,在技术引进消化吸收的同时,加强产学研合作的深度和广度;而对于资源型城市,则需双管齐下,在注重创新资源转化为绿色创新成果等产出的同时,关注绿色成果的市場化和商业化。并且政府可以设立碳排放补偿机制,对资源型企业实施减排激励政策,促使企业逐步降低碳排放。

参考文献:

- [1] FRONDEL M, RITTER N, SCHMIDT C M, et al. Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(8): 4048–4056.
- [2] 庄芹芹, 吴滨, 洪群联. 市场导向的绿色技术创新体系: 理论内涵、实践探索与推进策略[J]. *经济学家*, 2020, 32(11): 29–38.
- [3] ZHUANG Q Q, WU B, HONG Q L. Market-oriented green technology innovation system: Theoretical connotation, practical exploration, and promotion strategy[J]. *Economist*, 2020, 32(11): 29–38.
- [4] 郭爱君, 杨春林, 张永年, 等. 数字经济产业发展对城市绿色创新效率的影响: 基于两阶段价值链视角的分析[J]. *城市问题*, 2023, 42(1): 49–59.
- [5] GUO A J, YANG C L, ZHANG Y N, et al. The impact of digital economy industry development on the green innovation efficiency in cities: Based on a two-stage value chain perspective[J]. *Urban Problems*, 2023, 42(1): 49–59.
- [6] 齐绍洲, 林岫, 崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新?: 基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. *经济研究*, 2018, 53(12): 129–143.
- [7] QI S Z, LIN S, CUN J B. Can environmental rights trading markets induce green innovation? Evidence from green patent data of listed companies in China[J]. *Economic Research*, 2018, 53(12): 129–143.
- [8] 邓世成, 吴玉鸣, 东童童. 低碳城市试点政策对城市绿色创新效率的影响: 来自长三角地区的经验证据[J]. *城市发展研究*, 2023, 30(3): 40–48.
- [9] DENG S C, WU Y M, DONG T T. Research on the impact of low-carbon city pilot policy on urban green innovation efficiency: Empirical evidence from the Yangtze River Delta region[J]. *Urban Development Studies*, 2023, 30(3): 40–48.
- [10] 任耀, 牛冲槐, 牛彤, 等. 绿色创新效率的理论模型与实证研究[J]. *管理世界*, 2014, 30(7): 176–177.
- [11] REN Y, NIU C H, NIU T, et al. Theoretical model and empirical research on green innovation efficiency[J]. *Management World*, 2014, 30(7): 176–177.
- [12] 曹霞, 于娟. 绿色低碳视角下中国区域创新效率研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(5): 10–19.
- [13] CAO X, YU J. Research innovation efficiency in China from the green low-carbon perspective[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(5): 10–19.
- [14] WANG Y, WANG J. Does industrial agglomeration facilitate environmental performance: New evidence from urban China? [J]. *Journal of environmental management*, 2019, 47(2): 109–244.
- [15] WU Y, SONG Y, DENG G. Institutional environment, OFDI, and TFP growth: Evidence from China[J]. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2017, 53(9): 2020–2038.
- [16] 陆菊春, 沈春怡. 国家中心城市绿色创新效率的异质性及演变特征[J]. *城市问题*, 2019, 38(2): 21–28.
- [17] LU J C, SHEN C Y. Heterogeneity and evolutionary features of green technological innovation efficiency of national central cities[J]. *Urban Problems*, 2019, 38(2): 21–28.
- [18] 胡求光, 马劲韬. 低碳城市试点政策对绿色技术创新效率的影

- 响研究:基于创新价值链视角的实证检验[J]. 社会科学, 2022,44(1):62-72.
- HU Q G, MA J T. Research on the impact of low-carbon city pilot policies on green technology innovation efficiency: An empirical test based on the innovation value chain perspective [J]. *Social Science*, 2022, 44(1): 62-72.
- [12] STAVINS R N. Experience with market-based environmental policy instruments [J]. *SSRN Electronic Journal*, 2003(9): 355-435.
- [13] PORTER M E, LINDE C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship [J]. *Journal of economic perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [14] 史丹, 李少林. 排污权交易制度与能源利用效率: 对地级及以上城市的测度与实证[J]. *中国工业经济*, 2020, 37(9): 5-23.
- SHI D, LIN S L. Emissions trading system and energy use efficiency: Measurements and empirical evidence for cities at and above the prefecture level [J]. *China Industrial Economy*, 2020, 37(9): 5-23.
- [15] 李创, 王智佳, 王丽萍. 碳排放权交易政策对企业绿色技术创新的影响: 基于工具变量和三重差分的检验[J]. *科学学与科学技术管理*, 2023, 44(5): 15-33.
- LI C, WANG Z J, WANG L P. The impact of carbon emissions trading policy on green technology innovation in enterprises: Empirical examination based on instrumental variables and triple differences [J]. *Science of Science and Management of S. & T.*, 2023, 44(5): 15-33.
- [16] ALBRIZIO S, KOZLUK T, ZIPPERER V. Environmental policies and productivity growth: Evidence across industries and firms [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 81(3): 209-226.
- [17] BERGQUIST A K, SÖDERHOLM K, KINNERDY H, et al. Command-and-control revisited: Environmental compliance and technological change in Swedish industry 1970-1990 [J]. *Ecological Economics*, 2013, 85(1): 6-19.
- [18] 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.
- HU Y F, DING Y Q. Can the carbon emissions trading mechanism balance between corporate benefits and green efficiency? [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(3): 56-64.
- [19] 张雪梅, 卢菲菲. 中国碳交易试点政策对区域能源效率的影响 [J]. *开发研究*, 2021, 37(4): 18-28.
- ZHANG X M, LU F F. The impact of China's carbon emissions trading policy on regional energy efficiency [J]. *Research On Development*, 2021, 37(4): 18-28.
- [20] HANSEN M T, BIRKINSHAW J. The innovation value chain [J]. *Harvard business review*, 2007, 85(6): 121-135.
- [21] 王晗, 何泉吟, 许舜威. 创新型城市试点对绿色创新效率的影响机制 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(4): 105-114.
- WANG H, HE X Y, XU S W. The impact mechanism of innovation city pilot on green innovation efficiency [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(4): 105-114.
- [22] 钱丽, 王文平, 肖仁桥. 共享投入关联视角下中国区域工业企业绿色创新效率差异研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(5): 27-39.
- QIAN L, WANG W P, XIAO R Q. Research on the differences in green innovation efficiency of industrial enterprises in Chinese regions from the perspective of shared input relationships [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(5): 27-39.
- [23] 肖仁桥, 陈小婷, 钱丽. 异质环境规制、政府支持与企业绿色创新效率: 基于两阶段价值链视角 [J]. *财贸研究*, 2022, 33(9): 79-93.
- XIAO R Q, CHEN X T, QIAN L. Heterogeneous environmental regulations, government support, and corporate green innovation efficiency: Based on a two-stage value chain perspective [J]. *Finance and Trade Research*, 2022, 33(9): 79-93.
- [24] 曹清峰. 国家级新区对区域经济增长的带动效应: 基于70大中城市的经验证据 [J]. *中国工业经济*, 2020, 37(7): 43-60.
- CAO Q F. The driving effect of national new areas on regional economic growth: Empirical evidence based on 70 large and medium-sized cities [J]. *China Industrial Economy*, 2020, 37(7): 43-60.

[编辑:刘素菊]

The impact of carbon emission trading pilot policy on the efficiency of urban green innovation: Based on the perspective of the two-stage value chain

ZHOU Huihui, HUANG Hui

(Business School, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The report of the 20th National Congress of the Communist Party of China pointed out that green and low-carbon development is the key to achieving high-quality development, and innovation-driven development is an inevitable choice for achieving high-quality development. Green innovation takes into account both technological innovation activities and environmental protection requirements. The improvement of urban green innovation plays an important role in promoting China's economic development from a high-speed growth stage to a high-quality development stage with deepening supply-side structural reform as the main line, and it is also an inexhaustible driving force for achieving a win-win situation between economic growth and environmental protection, as well as sustain-

able social development. The Party and government have carried out a series of reforms and explorations in promoting green innovation and development. One of the institutional innovations is the carbon trading pilot policy, which aims to achieve the core goal of coordinated development of economy and environment. It is also a core policy tool for China to achieve the goals of reaching peak carbon emissions and carbon neutrality. In 2011, the National Development and Reform Commission issued a notice on carrying out carbon emission trading pilot work, selecting Shenzhen, Shanghai, Beijing, Guangdong, Tianjin, Hubei, and Chongqing as pilot areas for carbon emission trading. The carbon emission trading policy officially started trading in the second half of 2013, showing great development potential over the years. As of November 2020, the cumulative trading volume of carbon quotas in various pilot provinces and cities was about 430 million tons of carbon dioxide, with a cumulative transaction value of nearly 10 billion RMB, effectively promoting the work of pilot provinces and cities in addressing climate change and controlling greenhouse gas emissions. China launched the national carbon market online trading system in 2021, gradually establishing a national carbon trading market. It can be said that the carbon emission trading policy marks a watershed in 2021, divided into two stages: the pilot stage from 2011 to 2021, and the implementation stage after 2021, basically achieving the transformation from local pilot to comprehensive promotion. In this context, this paper explores the causality between carbon trading pilot policies and the efficiency of urban green innovation. We divide the green innovation efficiency into green technology R&D efficiency and green achievement transformation efficiency in perspective of the two-stage innovation value chain. This study aims to discuss the impact of the implementation of carbon emission trading pilot policy on urban green innovation efficiency, the quasi-nature experimental design is conducted with the data of 245 prefecture-level cities in China from 2008 to 2021. The difference-in-difference (DID) methods are adopted to explore and verify the causal relationship between carbon emission trading pilot policy and the efficiency of urban green innovation. The results of this study are as follows: The implementation of the carbon emission trading pilot policy has a positive effect on improving the efficiency of green innovation in the two stages, and the results remain valid after a series of robustness tests such as PSM-DID and placebo. The heterogeneity analysis results denote that the effect of carbon emission policy on urban green innovation efficiency varies among cities of different geographical locations; in the eastern region, carbon emission trading pilot policy plays positive roles in boosting the efficiency of green innovation in the two stages, while for the cities in the central and western regions, the policy can contribute significantly to the improvement of green achievements transformation efficiency, but has no obvious effect on the efficiency of green technology research. Further, it is found that the beneficial effect on the two-stage green innovation efficiency is larger and more significant in non-resource-based cities than in resource-based cities. In non-resource-based cities, the policy promotes green innovation efficiency in the two stages, but doesn't play any role for the cities in the resource-based cities.

Keywords: carbon emission trading pilot policy; green innovation efficiency; DID; two-stage value chain