

碳交易试点政策对碳市场企业产出的影响

沈 妮

重庆理工大学经济金融学院, 重庆

收稿日期: 2024年10月11日; 录用日期: 2024年10月22日; 发布日期: 2024年12月12日

摘 要

碳排放权交易在中国的绿色发展路径探索中占据重要地位, 其政策效果备受关注。本文通过手工整理匹配中国碳交易试点地区的控排企业名单与税收调查数据, 从理论和实际两个角度测算企业生产效率, 评估碳交易政策效果。理论上, 通过非参数环境生产技术模型测算各个碳市场在命令控制型和市场交易型两种模型假设下的企业潜在产出及变动比重, 发现市场交易模型中的潜在产出水平更高, 控排企业在碳市场中资源配置效率提升、经济潜力更大; 实际效果采用倾向得分匹配-双重差分法(PSM-DID)评估, 结果发现不同碳市场的政策效应具有显著异质性, 上海、深圳碳市场出现短期负效应, 反映出市场设立初期对企业造成一定的生产和减排压力; 但广东碳市场显示政策有效, 表明碳试点政策有助于提升企业生产效率。总的来看, 碳交易政策能够实现理论上更高的企业产出, 但实际情况中不同碳市场的政策效果各不相同。

关键词

碳排放权交易, 企业产出, 非参数环境生产技术模型, PSM-DID

The Impact of Carbon Trading Pilot Policies on Firm Output in Carbon Markets

Ni Shen

School of Economics and Finance, Chongqing University of Technology, Chongqing

Received: Oct. 11th, 2024; accepted: Oct. 22nd, 2024; published: Dec. 12th, 2024

Abstract

Carbon emissions trading plays a pivotal role in China's exploration of a green development path, and its policy effects have garnered significant attention. This paper evaluates the effectiveness of carbon trading policies by manually matching the list of emission-controlled enterprises in China's carbon trading pilot regions with tax survey data and examining firm production efficiency from

文章引用: 沈妮. 碳交易试点政策对碳市场企业产出的影响[J]. 世界经济探索, 2024, 13(4): 468-479.

DOI: 10.12677/wer.2024.134053

both theoretical and practical perspectives. Theoretically, by employing a non-parametric environmental production technology model, we estimate the potential output and its changing proportion of firms under two hypothetical models: command-and-control and market-based trading, in various carbon markets. The results reveal higher potential output levels in the market-based trading model, indicating improved resource allocation efficiency and greater economic potential for emission-controlled firms in carbon markets. For practical effects, we use the PSM-DID method to assess policy impacts and find significant heterogeneity in policy effects across different carbon markets. Short-term negative effects emerge in the Shanghai and Shenzhen carbon markets, reflecting initial production and emission reduction pressures on firms during the market's establishment. However, the Guangdong carbon market demonstrates policy effectiveness, suggesting that carbon pilot policies can enhance firm production efficiency. Overall, carbon trading policies can theoretically achieve higher firm output, but the policy effects vary in practice across different carbon markets.

Keywords

Carbon Emissions Trading, Firm Output, Non-Parametric Environmental Production Technology Model, PSM-DID

Copyright © 2024 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

随着生产水平的提高与生产方式的发展,各国及地区越发认识到气候环境问题的重要性,减少温室气体排放成为国际共识。中国一直积极参与国际气候治理,提出“双碳”目标,探索绿色低碳转型路径。自2011年批准试点以来,中国从2013年陆续在北京、天津、上海等7个省市地区开展碳排放权交易试点工作,充分展现了中国立足能源资源禀赋,深入推动绿色低碳发展的信心与决心。

本文通过对中国碳排放权试点市场的控排企业数据分析,从理论和实际两方面实证企业生产效率以及政策有效性。通过构建理论模型,得出在市场交易条件下的企业潜在产出水平,并通过倾向得分匹配-双重差分法实证检验在现实情况下的政策效果是否显著,并给出相应的建议,帮助完善碳排放权交易体系并促进产业绿色发展。

2. 文献综述

现有文献对碳排放权交易的政策效果研究主要围绕环境效应和经济效应开展。作为典型的市场化能源政策,碳排放权交易具有实现资源有效配置、显著降低减排成本的理论优势[1]。为了更好地实现节能减排,众多学者对碳交易的环境效应展开研究。一种观点认为,碳交易政策的减排效果显著,市场是有效率的[2]。在我国碳市场效率研究中,有从宏观层面上检验得出碳市场政策的有效性[3],也有立足于微观层面,如碳市场政策对钢铁行业的碳减排效率具有显著促进作用[4][5],不仅能降低碳排放,碳交易政策还能产生协同减排效应,实现有效降低PM2.5和二氧化硫的污染水平[6]。另一种观点认为,碳交易政策并不一定降低碳排放或者说碳效率低下。Daskalakis和Markellos研究了欧洲市场的效率,并证实了市场是低效和不成熟的[7]。刘传明发现碳交易政策降低了试点地区的二氧化碳排放,但是由于经济发展和产业结构等原因减排效果具有显著的区域异质性[8]。

碳交易机制作为绿色低碳发展的重要战略之一,其带来的经济效应同样备受关注。现有文献从多维度探究碳交易政策的经济效应。不少文献通过企业全要素生产率指标评估碳交易政策效果[9]-[11]。兼顾

环境因素的绿色经济效率也常被用做政策效果指标[12]。任晓松等选择用工业增加值占工业二氧化碳排放量的比值衡量工业碳生产率[13]，实证结果显示碳交易政策显著实现了“降碳促经”，但存在一定程度的区域异质性，广东、重庆等地的政策效应不显著。SBM 模型也常用来测度碳绩效[14] [15]。然而，碳交易是否能够发挥“波特效应”，实现经济与环境的双重红利以及其中的机制仍有待进一步研究[16]。

综上所述，现有文献关于碳排放权交易政策效应的研究较为丰富，并通过多种手段和方法量化政策效果，但从理论设计与实际检验两方面考察政策效应的研究较少。基于此，本文的边际贡献主要有以下两方面：1) 运用非参数环境生产技术模型测算命令控制假设和市场交易假设下的企业潜在产出水平，理论上评估政策能够实现的企业最佳产出；2) 采用理论与实际相结合的方式评估碳交易政策效应，为搭建成熟碳市场体系、实现双碳目标提供不同考察视角。

3. 研究方法

3.1. 测量碳市场控排企业的潜在产出

为了估计碳排放权交易试点政策在试点地区的潜在产出水平，本文应用非参数环境生产技术模型评估。假定生产决策单元存在投入要素 $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$ ，联合生产得到总产出水平为 $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$ 。本文中产出分为期望产出 y (总产值) 和非期望产出 b (二氧化碳排放量)，投入 x 包括资本 K 和劳动 L 两大要素。因此，环境生产可行性集合为：

$$P(x) = \{y : b, x \text{ 可以生产 } y\}, b, x \in R_+^N \quad (1)$$

环境评估研究中，Fare *et al.* 提出的弱可处置环境生产技术得到广泛应用[17]，本文沿用弱可处置和零结合性理论假设，构造含有非期望产出的 DEA 模型，用以研究碳排放权交易试点地区的控排企业生产活动的潜在产出，以及基于市场交易假设下企业能够提高的潜在产出水平。

3.1.1. 命令控制型模型假设

在给定的资本 K 、劳动 L 投入水平和污染排放量(二氧化碳排放量)下，企业的产出 y 最大化，用以估计在当前排污条件下的潜在产出，模型如下：

$$\begin{aligned} & \max y_i^p \\ \text{s.t. } & \sum_{j=1}^J z_j y_j \geq y_i^p \\ & \sum_{j=1}^J z_j b_j \leq b_i, i=1, \dots, J \\ & \sum_{j=1}^J z_j x_{jn} \leq x_{in}, n=1, \dots, N \\ & \sum_{j=1}^J z_j = 1 \\ & z_j \geq 0, j=1, \dots, J \end{aligned} \quad (2)$$

其中， y_i^p 表示企业 i 在最优生产技术下的潜在产出水平。通过线性规划求解式(2)，可得到该企业该时期的潜在产出 y_i^p ，以及产出水平的潜在提升空间 $(y_i^p - y_i)$ ，即实际产出与潜在产出之间的差距，同样地，可得到所有试点地区控排企业产出的潜在提升空间。

3.1.2. 市场交易型模型假设

碳排放权交易市场放开了二氧化碳排放量的指标给定条件。因此，碳排放权交易市场最优配置意味

着在给定二氧化碳排放总量一定的条件下，各个试点市场内的不同企业之间可以进行碳排放权的自由交易，以期实现边际产出最大化。基于式(2)，可得碳交易市场的模型如下：

$$\begin{aligned}
 & \max \sum_{i=1}^J y_i^q \\
 & \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^J z_j y_j \geq y_i^q, i=1, \dots, J \\
 & \quad \sum_{j=1}^J z_j b_j \leq b_i^q, i=1, \dots, J \\
 & \quad \sum_{j=1}^J z_j x_{jn} \leq x_{in}, i=1, \dots, J; n=1, \dots, N \\
 & \quad \sum_{j=1}^J z_j = 1 \\
 & \quad z_j \geq 0, j=1, \dots, J \\
 & \quad \sum_{i=1}^J b_i^q \leq \sum_{i=1}^J b_i
 \end{aligned} \tag{3}$$

与命令控制型模型最大的差别在于，一是式(3)放松了对各个企业的二氧化碳排放量(b_i^q)的约束条件，允许二氧化碳排放权在市场内自由配置；二是规定了市场内交易后的二氧化碳排放总量不能超过初始市场规定的排放总量，即 $\sum b_i^q \leq \sum b_i, i=1, \dots, J$ 。这两点约束条件的设置满足了碳排放权交易市场机制的基本要求。

根据模型假设， y_i^p 和 y_i^q 分别在命令控制和市场交易两种情形下的潜在产出，即在前沿面上的最佳产出水平， $(y_i^p - y_i)$ 和 $(y_i^q - y_i)$ 表示两种情形下实际产出与潜在产出之间的差距，而本文的潜在经济效应提升空间指的是 $y_i^q - y_i^p$ ，是基于命令控制型环境规制下的潜在产出，在碳排放权市场内充分进行自由交易，各要素实现最优配置后，潜在产出还能提升的部分，即 $(y_i^q - y_i) - (y_i^p - y_i) = y_i^q - y_i^p$ 。

3.2. 双重差分法检验碳交易试点政策效应

本文分别对碳市场控排企业进行政策效应检验。根据当地政策颁布时点，本文设置试点地区的控排企业为实验组，其他企业为对照组，构造双重差分模型：

$$y_{itp} = \alpha_0 + \alpha_1 treat_{itp} + \alpha_2 post_{itp} + \alpha_3 treatpost_{itp} + \mu_{itp} \tag{4}$$

其中，虚拟变量 $treatpost_{itp}$ 作为 $treat_{itp}$ 和 $post_{itp}$ 的交乘项，其系数 α_3 体现了试点地区的控排企业在政策实施期间相较于非试点地区的经济产出变化。通过模型(4)反映出碳交易试点政策是否对实际产出产生作用，同时是否有助于提升该碳市场的产出水平。另外，基于准自然实验对照组随机选取的原则，试点地区的控排企业名单由政府公布，不具有随机性，本文选择一些控制变量避免严重偏误，优化后的模型如下：

$$\ln y_{it} = \beta_1 + \beta_2 treatpost_{it} + \beta_3 \ln K_{it} + \beta_4 \ln L_{it} + \beta_5 \ln ce_{it} + \gamma_t + \varepsilon_i + \mu_{it} \tag{5}$$

其中， $treatpost_{it}$ 系数 β_2 代表了碳交易试点政策对产出的影响，若 β_2 显著为正，则表示政策有助于提升地区的经济产出水平，释放经济潜力。在增加的控制变量中，资本(K)和劳动(L)是企业生产经营活动的关键要素， ce 代表了企业的环境规制。为消除异方差等问题，本文对相关变量取对数处理。同时，本文还增加了个体固定效应 ε_i 和年份固定效应 γ_t 保证结果的有效性。

3.3. 变量选取和数据来源

本文立足于碳排放权交易试点这一事实，将市场型环境规制的研究深入到微观企业层面，利用

2007~2016 年企业税收调查数据，测算试点地区的控排企业的潜在产出以及潜在产出提升空间并考察实际政策效果。

由于北京地区 2013 年控排企业名单不对外公布，湖北 2014 年才设立碳市场，所以本文的研究对象是碳排放权交易市场中的控排企业，包含自 2013 年起开始开展试点工作的深圳、上海、广东、天津和重庆¹共 5 个官方试点地区。为统一测算标准，本文假设各个碳市场之间相互独立，并选定 2013 年为 5 个碳市场的开市时间，即政策效果前一年 2012 年的税收调查数据，与试点地区的碳排放单位名单进行匹配，匹配结果如表 1。

Table 1. Matching sample size of emission control enterprises in pilot areas
表 1. 试点地区控排企业匹配样本量

年份	上海	天津	广东	深圳	重庆
2013	145	91	142	519	155
2014	145	85	148	511	155
2015	145	79	141	506	155
2016	247	79	137	592	155

为有效降低估计结果偏误，本文采用倾向得分匹配法选取非控排企业作为对照组样本。在运用 DEA 模型测算控排企业的潜在产出时，投入变量选取方面，采用企业固定资产作为资本投入变量，企业年平均从业人数作为劳动投入变量。而产出变量分为期望产出和非期望产出，本文的控排企业总产值代表期望产出，部分缺失值由企业销售产值近似代替；二氧化碳排放量作为非期望产出，由于二氧化碳排放量的数据并未官方披露，参考涂正革和谌仁俊的计算方法[18]，二氧化碳排放量由企业直接排放和间接排放两部分构成，结合税收调查数据中的年度煤炭消耗量、油消耗量(汽煤柴燃料等)等化石能源消耗量和电力消耗量，采用最广泛的 2006 年 IPCC 排放因子法计算：

$$ce_{ri} = ce_{ri_direct} + ce_{ri_indirect} = \sum AD_{ri_j} \times EF_j + AD_{ri_elec} \times EF_{ri_elec} \quad (6)$$

具体而言，企业的二氧化碳排放量由两部分构成，一部分是该地区企业 j 类能源消耗量 AD_{ri_j} 与对应的碳排放因子 EF_j 综合得到的直接二氧化碳排放量 ce_{ri_direct} ，另一部分由该企业电力消耗量 AD_{ri_elec} 与对应的碳排放因子 EF_{ri_elec} 相乘得到的间接二氧化碳排放量 $ce_{ri_indirect}$ 。

4. 实证分析

4.1. 碳市场控排企业潜在产出测算结果

本文对命令控制型和市场交易型两种情形下的试点地区的控排企业的潜在产出进行测算，得到前沿面上的潜在产出结果，然后通过二者的差值与实际产出之间的比值得到最终需要的潜在产出提升空间。

根据式(2)、(3)，本文对 2013 年 5 个试点地区的控排企业进行了潜在产出及变动测算，得到结果如表 2 所示。可以看到，命令控制假设下的潜在产出全部高于实际产出，说明试点地区的企业在 2012 年未实现最优配置下的最佳产出，在控制碳排放量的情形下能够达到相较于实际产出更高的产出水平。将市场交易假设下的潜在产出与实际产出相比，同样发现在碳市场自由交易下，企业的产出水平存在潜在提高。而潜在产出的变动可见，相较于命令控制假设，市场交易假设下的潜在产出增加幅度更大，五个试

¹ 重庆碳市场 2014 年开市，本文沿用重庆政府官网公布的 2013 年控排企业名录近似替代 2013~2016 年重庆碳市场控排企业。

点地区的潜在产出均有不同程度的提升，提升潜在产出水平最大的是上海，达到 1631.84 亿元，其次是深圳 1337.27 亿元、天津 688.60 亿元、广东 360.35 亿元和重庆 244.63 亿元，说明进行碳市场交易的控排企业的资源配置更充分，能够实现更大的潜在产出和经济效应提升。

Table 2. Potential output changes due to ETS in 2013
表 2. 2013 年碳排放交易市场导致的潜在产出变动

	实际产出(亿元)	命令控制下 潜在产出(亿元)	市场交易下 潜在产出(亿元)	潜在产出变动 (亿元)	潜在产出 变动比重
上海	5280.77	7733.59	9365.43	1631.84	30.90%
天津	3635.81	23147.21	23835.80	688.60	18.94%
广东	3914.30	12144.93	12505.28	360.35	9.21%
深圳	9420.70	37832.11	39169.39	1337.27	14.20%
重庆	2367.68	7009.41	7254.03	244.63	10.33%

通过计算潜在产出变动占实际产出的比重，表示碳市场交易能够对控排企业经济效益的提升空间。其中，上海控排企业的潜在产出变动比重最高，达到 30.90%，市场交易假设下潜在产出也远高于其他地区的控排企业，意味着上海碳市场存在巨大的经济潜力，若能实现碳市场的高效运作，在市场交易中实现资源的最优配置，理论上将最大程度提升上海碳市场参与企业的产出水平。碳市场交易机制下，其他地区的企业潜在产出也有不同程度的提升，天津控排企业的潜在产出提升 18.94%，深圳 14.20%，重庆和广东潜在产出变动较小，但也有 10.33%和 9.21%的提升。结合控排企业数量可以看到，2013 年，上海参与碳市场交易企业为 145 家，潜在产出提升比重最大意味着这些企业未实现充分的市场交易，资源配置效率有待提升，而深圳 519 家控排企业参与碳市场交易，潜在产出提升空间为 14.20%，比上海碳市场要低 16.7%，可能是由于深圳碳市场参与企业的数量较多，企业整体规模较大，实际产出水平更高，拉低了潜在产出变动比重，而 2013 年上海碳市场的参与企业属于试点阶段，参与企业数量较少，最终使得潜在产出变动比重最大。由此可见，为了提高企业实际产出、释放经济动能，扩大碳市场规模加入更多的参与企业，建立统一的全国碳排放权交易市场是应有之举。

4.2. PSM-DID 方法检验碳排放权交易试点的政策效果

4.2.1. 倾向得分匹配结果

本文选取劳动(lnL)、资本(lnK)和二氧化碳排放量(lnce)作为匹配变量，选用一对一最近邻匹配方法，同时，因为假设 5 个试点碳市场的运行互相独立，一个地区的对照组只能从该地区的非控排企业选出，最终得到与 5 个试点地区处理组相匹配的对照组。以天津为例，采用 logit 模型回归估计倾向得分，观测结果显示 623 个处理组样本均在共同取值范围中，1:1 匹配找到最接近倾向得分的对照组样本企业，得到与处理组相对应的 623 家对照组企业，每个处理组个体与对照组个体一一匹配。同理，匹配其他试点地区的处理组企业，得到深圳、上海、广东和重庆的对照组样本数量(存在不同处理组中的企业匹配到同一家对照组企业的情况)，如表 3 所示。

为保证匹配样本的数据平衡，进行平衡性检验。以天津为例，表 4 给出了天津碳市场的检验结果报告，匹配变量 lnK 和 lnce 的标准偏差，其绝对值在匹配后都小于 5%，匹配之后的 t 统计量都不显著，而匹配变量 lnL 的标准偏差为 11.5%，相比于 10%的显著标准差异不大，在可接受范围内，另外，lnL 匹配之后的 t 统计量为 0.102 不显著，因此，本文选取的匹配变量和匹配方法是合理的。

Table 3. Propensity score matches the number of samples
表 3. 倾向得分匹配样本量

	天津	上海	广东	深圳	重庆
处理组	623	1109	952	2864	1213
对照组	623	850	922	2824	1213

Table 4. Propensity score matches the results of balance test in Tianjin
表 4. 天津倾向得分匹配平衡性检验结果

变量名称		均值		标准偏差 (%)	标准偏差 减少幅度(%)	t 统计量	t 检验 p > t
		处理组	对照组				
lnK	匹配前	12.553	8.1672	176.7	98.9	40.64	0.000
	匹配后	12.553	12.506	1.9		0.35	0.724
lnL	匹配前	6.3586	4.298	148.3	92.2	37.38	0.000
	匹配后	6.3586	6.1981	11.5		1.63	0.102
lnce	匹配前	12.318	7.5365	170.7	99.4	40.04	0.000
	匹配后	12.318	12.345	-1.0		-0.17	0.866

4.2.2. 双重差分估计结果

基于倾向得分匹配结果，为探究碳排放权交易试点政策对企业实际产出的影响，本文采用双重差分法对模型(4)、(5)进行估计，报告结果如下表 5 和表 6。各地区的回归结果展现了不同的政策效应，反映出碳排放权交易试点政策在不同地区对企业实际产出的异质性影响。

首先，上海和深圳地区的回归结果表明，碳排放权交易政策在短期内对企业产出产生了显著的负向影响。在上海地区，模型(4)和模型(5)的 *treatpost* 系数分别为-0.341 ($p < 0.05$)和-0.274 ($p < 0.1$)，深圳地区的 *treatpost* 系数分别为-0.408 ($p < 0.01$)和-0.233 ($p < 0.1$)。这表明在政策实施初期，碳排放权交易政策增加了企业的生产成本，导致产出水平下降。可能的原因在于，控排企业需要进行技术改造和工艺调整以应对碳排放配额的限制，进而在短期内对企业运营带来了较大的负担。同时，上海读取的资本投入(lnK)在 10%的显著性水平上显著为正，深圳地区的劳动力投入(lnL)在 1%水平上显著，表明资本和劳动力要素对产出的贡献依然较大，可能部分抵消了政策带来的负面冲击。

其次，广东地区的回归结果与上海和深圳形成鲜明对比，显示出碳排放权交易政策对企业产出的显著正向影响。*Treatpost* 系数在两个模型中分别为 0.386 ($p < 0.1$)和 0.435 ($p < 0.05$)，通过了统计显著性检验，表明碳排放权交易政策在广东地区有效推动了企业的产出增长。广东作为经济发达地区，其企业在碳交易市场的适应能力较强，能够更快地通过技术创新和生产调整实现减排目标，同时维持产出水平的提升。此外，能源消耗(lnce)的系数显著为正，表明在广东地区，能源投入对企业产出具有重要促进作用，碳交易政策并未对能源使用产生过度约束，反而在能源效率提升的背景下促成了产出的增长。

综合来看，不同地区的碳排放权交易试点政策对企业产出的影响存在显著异质性。上海、深圳等地区表现出短期的负向政策效应，反映出试点初期企业面临较大的成本压力；而广东等地区则体现出正向的政策效应，表明碳排放权交易试点政策在这些地区已初步发挥了促进企业产出提升的作用。这些差异表明，碳排放权交易政策的实施效果不仅取决于地区的经济发展水平和市场环境，还与当地企业的适应能力、产业结构以及政策执行力度密切相关。

Table 5. The impact of the pilot policy of carbon trading on the output of enterprises I
表 5. 碳排放权交易试点政策对企业产出的影响 I

VARIABLES	(4)上海 lny	(5)上海 lny	(4)深圳 lny	(5)深圳 lny	(4)广东 lny	(5)广东 lny
treatpost	-0.341** (0.148)	-0.274* (0.158)	-0.408*** (0.146)	-0.233* (0.124)	0.386* (0.224)	0.435** (0.217)
lnce		0.111*** (0.020)		0.056* (0.030)		0.164** (0.069)
lnL		0.057 (0.119)		0.537*** (0.155)		0.882*** (0.241)
lnK		0.122* (0.067)		0.025 (0.022)		-0.255* (0.133)
Constant	13.694*** (0.050)	10.438*** (0.836)	11.627*** (0.066)	8.120*** (0.797)	11.178*** (0.105)	7.253*** (1.389)
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	1280	1280	4338	4338	1169	1169
R ²	0.695	0.712	0.883	0.897	0.915	0.942

Robust standard errors in parentheses; ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1。

Table 6. The impact of the pilot policy of carbon trading on the output of enterprises II
表 6. 碳排放权交易试点政策对企业产出的影响 II

VARIABLES	(4)天津 lny	(5)天津 lny	(4)重庆 lny	(5)重庆 lny
treatpost	-0.407 (0.294)	-0.308 (0.292)	-0.246* (0.143)	-0.128 (0.135)
lnce		0.068 (0.044)		0.068*** (0.016)
lnL		0.745*** (0.201)		0.577*** (0.073)
lnK		0.086 (0.057)		0.135*** (0.050)
Constant	13.053*** (0.287)	6.353*** (1.155)	12.291*** (0.116)	6.269*** (0.679)
时间固定效应	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是
观测值	1246	1246	2426	2426
R ²	0.133	0.173	0.037	0.119

Robust standard errors in parentheses; ***p < 0.01, **p < 0.05, *p < 0.1。

4.2.3. 平行趋势检验

采用双重差分法的前提条件需要模型满足平行趋势假设，因此本文进行平行趋势检验。以试点地区的政策实施年份为政策时点，上海、天津、广东、深圳的政策时点为 2013 年，均有六期事前趋势检验，三期事后趋势检验，而重庆的碳市场上线交易时间为 2014 年，则平行趋势检验中有七期事前趋势检验，两期事后趋势检验。5 个试点地区均通过平行趋势检验，图 1 展示了上海地区的平行趋势检验结果，其他试点地区见附录图 1~4。

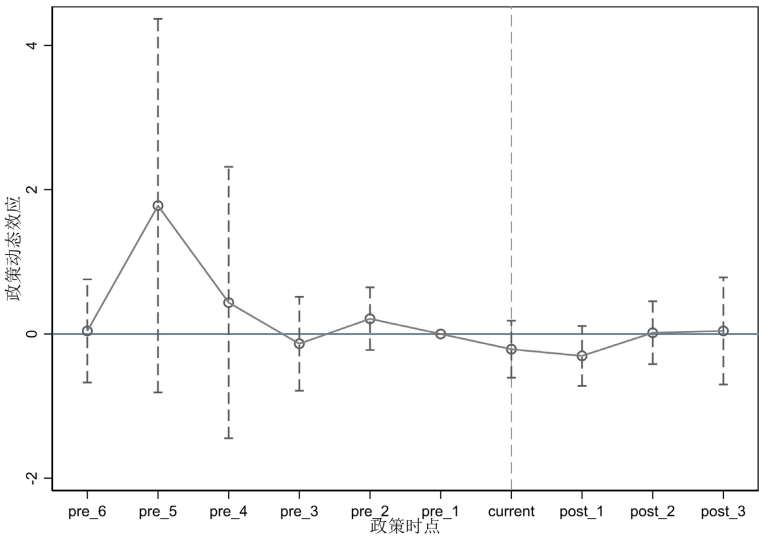


Figure 1. Parallel trend test of carbon trading policy impact on firms' output in Shanghai
图 1. 上海地区碳交易政策对企业产出影响的平行趋势检验

5. 结论与建议

本文对比分析中国碳排放权交易试点地区的运行效果，通过采用非参数环境生产技术模型评估碳交易政策下控排企业的潜在产出，并通过倾向得分匹配-双重差分法实证检验政策效果，得到以下结论：第一，相比于命令控制假设，中国碳交易试点政策下的潜在产出提升空间较高。本文构建了非参数环境生产技术模型，从理论上测算了碳市场交易条件下控排企业能够实现更高的产出水平。第二，碳市场对部分试点地区企业政策有效，碳交易市场体系仍需进一步完善。本文通过 PSM-DID 对当前碳市场下的控排企业和非控排企业实际产出进行政策检验，得出上海、深圳、广东试点地区的碳政策有效，而其他地区的碳政策效果不显著。

综上，市场交易型政策在理论上能够实现比命令控制型更高的潜在产出水平，但从实际来看效果不佳，需要政府参与加以协助。因此，为了规范碳市场、帮助企业实现更高生产水平、提升碳效率，中国的碳交易试点政策应该进一步完善。第一，政府可以采用潜在产出指标判断碳市场内行业的经济潜力和资源配置效率，并据此提出相关能源使用量的参考标准；第二，从当前碳市场政策实施有效性来看，不同碳市场的政策效果存在差异，需要持续推进产业结构升级，淘汰落后产能，提升企业生产效率；第三，加强碳市场管理体系制度完善和监管力度，通过制定更加明确的碳交易流程，降低交易成本，从而实现资源的有效配置。

参考文献

[1] 刘海英, 王钰. 用能权与碳排放权可交易政策组合下的经济红利效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(5): 1-10.

- [2] Wang, X., Huang, J. and Liu, H. (2022) Can China's Carbon Trading Policy Help Achieve Carbon Neutrality? A Study of Policy Effects from the Five-Sphere Integrated Plan Perspective. *Journal of Environmental Management*, **305**, Article ID: 114357. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114357>
- [3] Feng, X., Zhao, Y. and Yan, R. (2024) Does Carbon Emission Trading Policy Has Emission Reduction Effect? An Empirical Study Based on Quasi-Natural Experiment Method. *Journal of Environmental Management*, **351**, Article ID: 119791. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119791>
- [4] 王喜平, 王素静. 碳交易政策对我国钢铁行业碳排放效率的影响[J]. 科技管理研究, 2022, 42(1): 171-176.
- [5] 宋德勇, 朱文博, 王班班. 中国碳交易试点覆盖企业的微观实证: 碳排放权交易、配额分配方法与企业绿色创新[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1): 37-47.
- [6] 张国兴, 樊萌萌, 马睿琨, 林伟纯. 碳交易政策的协同减排效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(3): 1-10.
- [7] Daskalakis, G. and Markellos, R.N. (2008) Are the European Carbon Markets Efficient. *Review of Futures Markets*, **17**, 103-128.
- [8] 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.
- [9] Pan, X., Pu, C., Yuan, S. and Xu, H. (2022) Effect of Chinese Pilots Carbon Emission Trading Scheme on Enterprises' Total Factor Productivity: The Moderating Role of Government Participation and Carbon Trading Market Efficiency. *Journal of Environmental Management*, **316**, Article ID: 115228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115228>
- [10] Xiao, J., Li, G., Zhu, B., Xie, L., Hu, Y. and Huang, J. (2021) Evaluating the Impact of Carbon Emissions Trading Scheme on Chinese Firms' Total Factor Productivity. *Journal of Cleaner Production*, **306**, Article ID: 127104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127104>
- [11] 胡珺, 方祺, 龙文滨. 碳排放规制、企业减排激励与全要素生产率——基于中国碳排放权交易机制的自然实验[J]. 经济研究, 2023, 58(4): 77-94.
- [12] Chen, L. and Wang, K. (2022) The Spatial Spillover Effect of Low-Carbon City Pilot Scheme on Green Efficiency in China's Cities: Evidence from a Quasi-Natural Experiment. *Energy Economics*, **110**, Article ID: 106018. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106018>
- [13] 任晓松, 马茜, 刘宇佳, 赵国浩. 碳交易政策对工业碳生产率的影响及传导机制[J]. 中国环境科学, 2021, 41(11): 5427-5437.
- [14] Lin, X., Zhu, X., Han, Y., Geng, Z. and Liu, L. (2020) Economy and Carbon Dioxide Emissions Effects of Energy Structures in the World: Evidence Based on SBM-DEA Model. *Science of The Total Environment*, **729**, Article ID: 138947. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138947>
- [15] 徐英启, 程钰, 王晶晶. 中国资源型城市碳排放效率时空演变与绿色技术创新影响[J]. 地理研究, 2023, 42(3): 878-894.
- [16] Ding, J., Liu, B. and Shao, X. (2022) Spatial Effects of Industrial Synergistic Agglomeration and Regional Green Development Efficiency: Evidence from China. *Energy Economics*, **112**, Article ID: 106156. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106156>
- [17] Färe, R., Grosskopf, S. and Pasurka, C.A. (2013) Tradable Permits and Unrealized Gains from Trade. *Energy Economics*, **40**, 416-424. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.07.015>
- [18] 涂正革, 谌仁俊. 排污权交易机制在中国能否实现波特效应? [J]. 经济研究, 2015, 50(7): 160-173.

附录

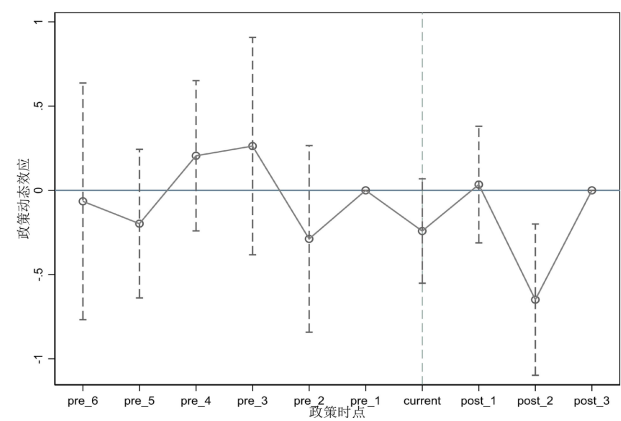


Figure A1. Parallel trend test of carbon trading policy impact on firms' output in Shenzhen
附录图 1. 深圳地区碳交易政策对企业产出影响的平行趋势检验

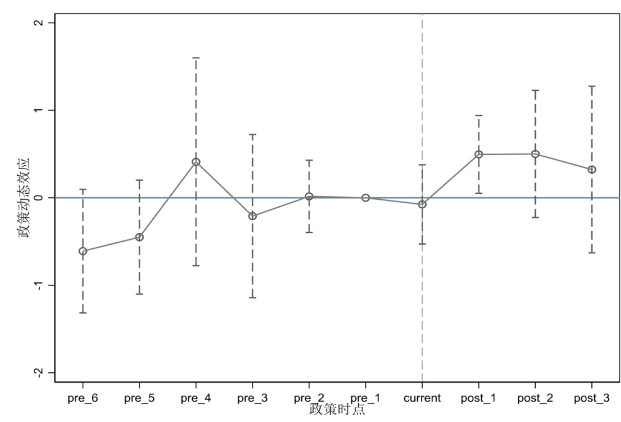


Figure A2. Parallel trend test of carbon trading policy impact on firms' output in Guangdong
附录图 2. 广东地区碳交易政策对企业产出影响的平行趋势检验

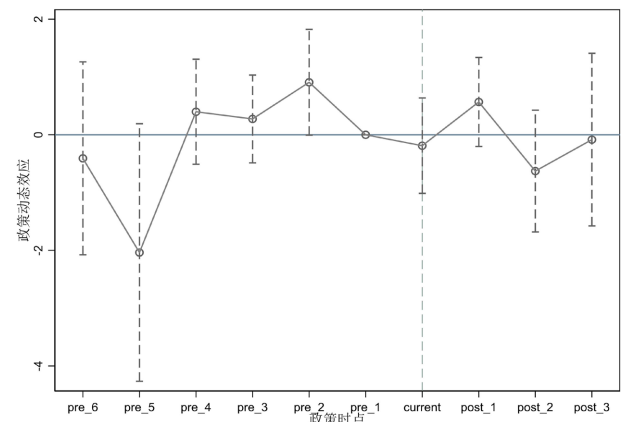


Figure A3. Parallel trend test of carbon trading policy impact on firms' output in Tianjin
附录图 3. 天津地区碳交易政策对企业产出影响的平行趋势检验

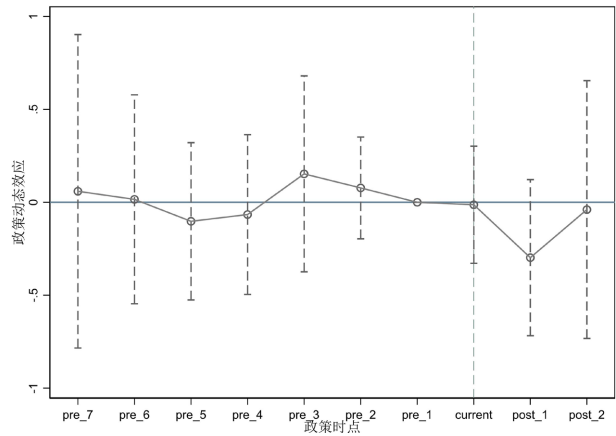


Figure A4. Parallel trend test of carbon trading policy impact on firms' output in Chongqing

附录图 4. 重庆地区碳交易政策对企业产出影响的平行趋势检验