

碳价是否降低了碳排放？

——基于中国碳排放交易试点省市的实证研究

顾心语

江苏大学财经学院，江苏 镇江

收稿日期：2023年6月4日；录用日期：2023年7月7日；发布日期：2023年7月14日

摘要

基于面板门槛模型，采用2014~2021年中国试点碳排放市场省市级面板数据，实证检验了碳价对碳排放的影响存在单一门槛，即碳价对碳排放的影响随着经济发展水平的变化呈现两段不同程度的负相关。当经济发展水平较低时，碳价的变动对企业的影响最为明显，高排放企业会通过加大低碳技术创新力度等手段，来把碳排放控制到一定的限额内，以减少额外的“罚款”，同时多余的碳排放配额也可以放到碳交易市场出售，来获得额外的“收益”。当经济发展水平高于一定的门槛值时，碳价对碳排放的抑制作用相对减弱，可能原因是碳价会随着经济发展水平的升高而升高，较高的碳价给高排放行业带来了较大的经营成本，从而导致在某些方面存在碳减排处理不达标等问题。

关键词

碳价，碳排放，面板门槛模型

Has Carbon Price Reduced Carbon Emissions?

—Empirical Study on Pilot Provinces and Cities for Carbon Emission Trading in China

Xinyu Gu

School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Jun. 4th, 2023; accepted: Jul. 7th, 2023; published: Jul. 14th, 2023

Abstract

Based on the panel threshold model, using the provincial and municipal Panel data of China's pilot

carbon emission market from 2014 to 2021, this paper empirically tests that there is a single threshold for the impact of carbon price on carbon emissions, that is, the impact of carbon price on carbon emissions presents two different levels of negative correlation with the change of economic development level. When the level of economic development is low, the change of carbon price has the most obvious impact on enterprises. High emission enterprises will control carbon emissions to a certain limit by increasing low-carbon technological innovation and other means to reduce additional “fines”. At the same time, the excess carbon emission quota can also be sold in the carbon emission trading market to obtain additional “gains”. When the level of economic development exceeds a certain threshold, the inhibitory effect of carbon prices on carbon emissions is relatively weakened. This may be due to the fact that carbon prices will rise with the increase of economic development level. Higher carbon prices bring significant operating costs to high emission industries, leading to problems such as substandard carbon emission reduction treatment in some aspects.

Keywords

Carbon Price, Carbon Emissions, Panel Threshold Model

Copyright © 2023 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

随着现代化进程不断推进，全球气候变化的问题愈发严峻，温室气体排放量的增加就是造成这种现象的主要原因，这已经成为目前科学界的共识。温室气体被排放到大气中不仅会造成冰川融化、海平面上升等严重后果，还会威胁到人类的生存和社会经济的发展。据中国碳数据库(CEADs)有效数据显示，截止到2022年，中国碳排放量累计约110亿吨，约占全球碳排放量的28.87%。作为一个负责任的大国，中国从全方面积极推动碳减排行动。自2006年6月以来，中国政府在广东省、湖北省、福建省和深圳、上海、北京、天津、重庆等8个地区启动了典型的温室气体减排试点市场。目前，“十四五”规划继续提出单位国内生产总值能源消耗和二氧化碳排放分别降低13.5%、18%的目标，并提出了2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的双碳目标。在碳排放交易体系中，碳价作为一种价格信号机制，可以更直观地反映其对碳排放的影响，因此碳价是否降低了碳排放是值得研究的理论问题，也是亟待解决的现实问题。

2. 文献综述

碳排放交易体系的不断完善，为实现碳排放的目标创造了有利的环境。李云燕[1]等人研究指出绿色金融可通过促进产业高级化抑制碳排放，但抑制效果存在区域差异。Xiaosong Ren [2]研究了金融发展与碳排放之间的非线性关系，指出金融发展在长期内显著减少了碳排放，但没有观察到其短期关系。Li Chen [3]采用双向固定效应模型分析数字经济对碳排放的影响，研究表明数字经济的发展显著降低了碳排放。同时，Jiandong Chen [4]也证明了公众对研发举措的支持可以有效抑制区域碳排放强度，且公共科技支出可以通过投资数字和绿色创新来促进减排。此外，赵双剑[5]等人实证分析了出口多样化可通过优化产业结构和提升绿色技术水平抑制中国的碳排放。林乐芬[6]从中国整体来看绿色基础设施投资与碳排放之间呈现倒U型关系。Heping Huang [7]采用双重差分的方法，研究了低碳试点与碳排放交易政策环境法规都

对碳排放起到抑制作用。

综上所述，国内外学者都对碳排放的内在机理有了一定的研究，但作为市场手段，碳交易可能最主要是通过价格因素来影响碳排放的，碳价是否能降低碳排放，进一步通畅其作用机制有待研究。因此，本文以北京、天津、上海、湖北和广东这五个碳减排试点省市为研究对象，并通过门槛模型来探究碳价对碳排放的影响作用，为碳排放交易市场的发展和双碳目标的实现提供一定的参考。

3. 模型设定与变量选取

3.1. 模型构建

在 Hansen 建立的门槛模型基础上，为探究碳价对碳排放的影响，本文把碳价作为核心解释变量，把经济发展水平作为门槛变量，构建如式(1)所示的门槛模型：

$$\ln C_{it} = \mu_i + \beta_1 \text{EDU} + \beta_2 \text{TECH} + \beta_3 \text{GS} + \beta_4 \text{GF} + \beta_5 \ln \text{CP}_{it} \cdot I(\ln \text{GDP}_{it} \leq \gamma) + \beta_6 \ln \text{CP}_{it} \cdot I(\ln \text{GDP}_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， i 表示省份， t 表示年份， $\ln C$ 为被解释变量； $\ln \text{CP}$ 为核心解释变量； $\ln \text{GDP}$ 为门槛变量； EDU 、 TECH 、 GS 、 GF 为控制变量； β_c 为系数； μ_i 为反映省市之间差异的特征值； ε_{it} 为随机扰动项。

3.2. 变量设定

3.2.1. 被解释变量

碳排放($\ln C$)：根据 2007 年 IPCC 第四次评估报告，温室气体增加的主要来源是化石燃料燃烧，因此本文根据各省市历年终端能源消费数据来进行 CO_2 排放量的测算。计算方法基于 IPCC《国家温室气体排放清单指南》2006 版[8]。

$$C_{it} = \sum E_{ijt} + \eta_{it} \quad (i=5; j=1,2,\dots,9) \quad (2)$$

C_{it} 为 i 省市第 t 年的碳排放总量； E_{ijt} 为 i 省市第 t 年第 j 种能源消费量； η_{it} 为第 j 种能源的碳排放系数。由于原始统计时各种能源的消费均为实物统计量，测算碳排放时必须转换为标准统计量。根据《中国能源统计年鉴》口径，将最终能源消费种类划分为 9 种，包括原煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和电力。9 类能源的转换系数及碳排放系数如表 1 所示，转换系数的计量单位天然气为 t 标煤/万 m^3 、电力为 t 标煤/万 Kwh、其余能源的单位为 kg 标煤/kg，而碳排放系数的单位为 t 碳/t 标准煤。

Table 1. Conversion coefficient and carbon emission coefficient of 9 types of energy

表 1. 9 类能源的转换系数及碳排放系数

	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
标准量转换系数	0.7143	0.9714	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286	13.3	1.229
碳排放系数	0.7476	0.1128	0.5854	0.5532	0.3416	0.5913	0.6176	0.4479	2.2132

注：表 1 中各类能源的标准量系数与碳排放系数均来自于《2009 中国可持续发展战略报告——探索中国特色的低碳道路》[9]。

3.2.2. 核心解释变量

碳价($\ln \text{CP}$)：本文选取北京、天津、上海、湖北和广东这五个试点碳交易市场的碳价数据，并计算每年试点碳交易市场的碳价均值来进行衡量。为保持数据的一致，删除非碳价交易日的的数据，如果某一试

点碳交易市场的某一碳价交易日存在交易数据，而其他市场不存在交易数据，为保持预测的完整性，参考 KNN 思想，对每个缺失值去其前六日的均值来填充缺失值。

3.2.3. 门槛变量

经济发展水平(lnGDP): 一个省份经济发展水平程度与该省份的碳排量的高低有着一定的联系，且大量文献研究表明，二氧化碳排放量与人均收入存在非线性关系。因此本文以选各省份人均国内生产总值作为衡量经济发展水平的指标，并取对数形式。

3.2.4. 控制变量

受教育程度(EDU)，受教育程度越高，环保意识越强，因此本文以该省每十万人口高校平均在校生人数与该省人口的比重来衡量；技术市场发展水平(TECH)，本文用技术市场成交额与国内生产总值的比重来衡量；绿色支持(GS)，本文用财政环境保护支出与财政一般预算支出之比来衡量；绿色基金(GF)，本文用绿色基金总市值与所有基金总市值的比重来衡量。

3.3. 数据来源

本文的数据均来源于统计局、科技部、中国人民银行等权威机构网站以及各种权威统计年鉴，包括全国及各省统计年鉴、环境状况公报及一些专业统计年鉴，如《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国金融年鉴》《国家统计局》。

4. 实证分析

4.1. 描述性统计

变量的描述性统计如表 2 所示。

Table 2. Variable descriptive statistics

表 2. 变量描述性统计表

变量	平均数	标准差	最小值	最大值
lnC	1.068	0.657	0.034	2.547
EDU	8.210	0.255	7.765	8.600
TECH	0.054	0.053	0.006	0.175
GS	0.020	0.003	0.014	0.025
GF	0.059	0.005	0.050	0.068
lnCP	3.345	0.545	2.333	4.467
lnGDP	4.662	0.027	4.569	4.734

4.2. 门槛效应检验

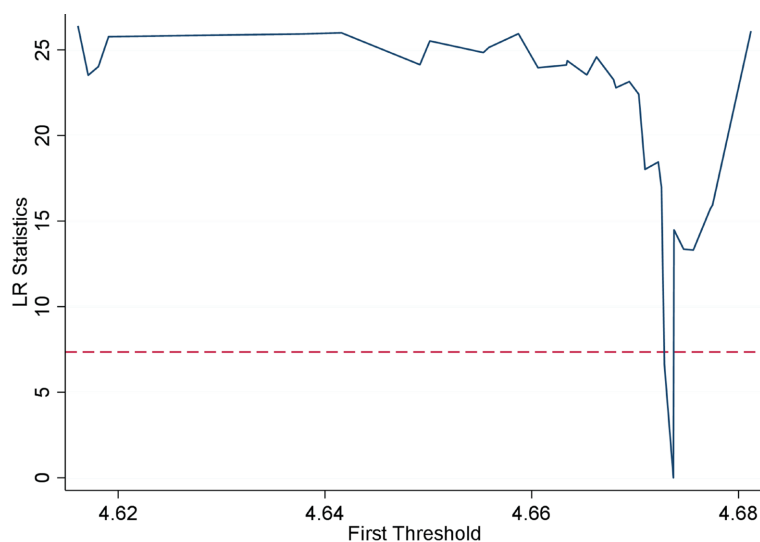
在进行门槛效应分析之前，首先要判断模型的门槛效应是否存在以及可能存在的门槛个数。本文的门槛效应检验结果如表 3 所示，当经济发展水平(lnGDP)为门槛变量时，在 1%的显著性水平下存在单一门槛。在双重门槛检验中，P 值为 0.853 大于 0.1，其未能通过检验。由此，我们可以得知，模型中只存在一个门槛值，因此本文选择单门槛模型进行分析。

Table 3. Threshold effect test**表 3.** 门槛效应检验

门槛个数	F 统计量	P 值	临界值水平		
			10%	5%	1%
单一门槛	33.850	0.003	14.384	18.546	29.516
双重门槛	2.210	0.853	12.469	18.462	37.876

4.3. 门槛估计值检验

为了进一步检验门槛估计值是否为真实值，以及确定门槛值的置信区间，本文做出以经济发展水平(lnGDP)为门槛变量的似然比(LR)趋势图，如图 1 所示。由似然比趋势图可以较为清晰地判断各门槛值以及对应地置信区间，结果如表 4 所示

**Figure 1.** Likelihood ratio (LR) trend chart**图 1.** 似然比(LR)检验**Table 4.** Threshold estimates and confidence intervals**表 4.** 门槛估计值及置信区间

被解释变量	门槛变量	门槛数	门槛值	95%的置信区间
lnC	lnGDP	单一门槛	4.674	(4.673, 4.674)

4.4. 门槛模型结果

最终，门槛模型结果如表 5 所示。总体来看，碳价(lnCP)对碳排放均有显著的抑制作用，同时以经济发展水平作为门槛变量，该作用影响可以具体分为两个阶段。当经济发展水平低于门槛值，即 $\ln\text{GDP} \leq 4.674$ 时，碳价(lnCP)对碳排放的影响系数为-0.099，即碳价每提升 1%，碳排放就会下降 0.099%。当经济发展水平高于门槛值时，即 $\ln\text{GDP} > 4.674$ 时，碳价(lnCP)对碳排放的影响系数为-0.037，即碳价每提升 1%，碳排放就会下降 0.037%，碳排放的削弱性相较于前一阶段减弱。

Table 5. Estimation results of panel threshold model
表 5. 面板门槛模型估计结果

变量	系数估计值	标准误差	t 值	P > t
EDU	2.230	0.235	9.470	0.000
TECH	1.369	0.508	2.700	0.002
GS	10.098	4.706	2.150	0.000
GF	-8.660	3.037	-2.850	0.008
lnCP (lnGDP ≤ 4.674)	-0.099	0.040	-2.460	0.002
lnCP (lnGDP > 4.674)	-0.037	0.035	-1.050	0.001
_cons	-16.738	1.739	-9.630	0.000
BS	600	600	600	600

4.5. 稳健性检验

为检验实证结果是否稳定, 本文在原模型设定的基础上又增加了绿色信贷(GC)和政府财政支出(FIN)两个控制变量进行检验, 如表 6 所示。可以看出, 在增加控制变量后, 碳价对碳排放依然具有显著的抑制作用, 在 1%的显著性水平下通过了单一门槛的检验, 门槛值仍为 4.674, 并且未通过双重门槛检验, 因此可以认为模型是稳健的。

Table 6. Robust test
表 6. 稳健性检验

变量	系数估计值	标准误差	t 值	P > t
EDU	2.063	0.240	8.610	0.000
TECH	1.059	0.494	2.140	0.001
GS	13.842	4.762	2.910	0.007
GF	-13.207	3.510	-3.760	0.001
GC	8.582	3.847	2.230	0.004
FIN	0.972	0.571	1.700	0.000
lnCP (lnGDP ≤ 4.674)	-0.075	0.039	-1.910	0.001
lnCP (lnGDP > 4.674)	-0.020	0.034	-0.580	0.000
_cons	-15.811	1.782	-8.870	0.000
BS	600	600	600	600

5. 结论与讨论

本文采用 2014~2021 年省市级面板数据, 实证检验了碳价对碳排放的影响方向与作用机制。结果显示: 当以经济发展水平为门槛变量时, 碳价对碳排放之间存在两段显著的抑制作用。当经济发展水平较

低时，碳价的变动对企业的影响最为明显，高排放企业会通过加大低碳技术创新力度等手段，来把碳排放控制到一定的限额内，以减少额外的“罚款”，同时多余的碳排放配额也可以放到碳交易市场出售，来获得额外的“收益”。当经济发展水平高于一定的门槛值时，碳价对碳排放的抑制作用相对减弱，可能原因是碳价会随着经济发展水平的提高而升高，较高的碳价给高排放行业带来了较大的经营成本，从而导致在某些方面存在碳减排处理不达标等问题。

基于以上结论，本文提出如下建议：首先，我国需要尽快完善能源与温室气体排放统计数据报告、统计、监测与核查体系，引入第三方核查机构，建立统一的监管标准和监测机制。其次，有关部门应结合中国经济发展水平来设计碳市场定价机制。这样一方面可以增加企业的减排成本，在一定程度上增强企业的碳减排意识，提高碳减排的效率；另一方面可以增强中国在国际碳市场定价中的话语权，有利于碳价稳定在一定的水平。最后，我国碳排放总量目标的设定要综合考虑行业差异区域差异与发展空间、行业特征与竞争力以及碳交易试点的要求，根据宏观经济形势与能源结构变化进行适时调整，以保障碳市场的平稳运行[10]。

参考文献

- [1] 李云燕, 张硕, 张玉泽. 绿色金融视角下中国省域碳排放的时空演变及减排研究[J/OL]. 软科学: 1-15[2023-05-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1268.G3.20230313.1137.006.html>
- [2] Ren, X.S., Zhao, M., Yuan, R. and Li, N. (2023) Influence Mechanism of Financial Development on Carbon Emissions from Multiple Perspectives. *Sustainable Production and Consumption*, **39**, 357-372. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.009>
- [3] Chen, L., Lu, Y.Q., Meng, Y. and Zhao, W.Y. (2023) Research on the Nexus between the Digital Economy and Carbon Emissions: Evidence at China's Province Level. *Journal of Cleaner Production*, **413**, Article ID: 137484. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137484>
- [4] Chen, J.D., Li, Y.Q., Xu, Y.Y., Vardanyan, M., Shen, Z.Y. and Song, M.L. (2023) The Impact of Fiscal Technology Expenditures on Innovation Drive and Carbon emissions in China. *Technological Forecasting and Social Change*, **193**, Article ID: 122631. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122631>
- [5] 赵双剑, 林木西. 出口贸易多样化对中国碳排放的影响[J]. 商业经济研究, 2022(23): 145-149.
- [6] 林乐芬, 杨倩文. 绿色基础设施投资降低了碳排放吗[J]. 现代经济探讨, 2022(12): 29-37. <https://doi.org/10.13891/j.cnki.mer.2022.12.003>
- [7] Huang, H.P. and Yi, M.T. (2023) Impacts and Mechanisms of Heterogeneous Environmental Regulations on Carbon Emissions: An Empirical Research Based on DID Method. *Environmental Impact Assessment Review*, **99**, Article ID: 107039. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107039>
- [8] IPCC (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [9] 中国科学院可持续发展战略研究组. 2009 中国可持续发展战略报告:探索中国特色的低碳道路[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [10] 刘长松. 国外碳排放权交易与碳价波动对我国的启示[J]. 中国物价, 2015(9): 55-58.