

碳价是否有效？基于中国碳价对低碳技术创新的门槛效应研究

顾心语, 李丁丁, 谢敏

江苏大学财经学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2023年5月15日; 录用日期: 2023年7月4日; 发布日期: 2023年7月12日

摘要

基于面板门槛模型, 采用2014~2021年中国试点碳交易市场省市级面板数据, 实证检验了碳价对低碳技术创新的影响存在双门槛, 即在三阶段上碳价对低碳技术创新的促进作用不同, 即碳价对低碳技术创新的影响随着绿色权益的变化呈现不同程度的正相关。当绿色权益较低时, 碳价对低碳技术创新的促进作用较强; 当绿色权益处于中等水平时, 碳价对低碳技术创新的促进作用有所减弱; 当绿色权益处于较高水平时, 碳价对低碳技术创新的促进作用最强。

关键词

碳价, 低碳技术创新, 面板门槛模型

Is Carbon Price Effective? Research on the Threshold Effect of China's Carbon Price on Low Carbon Technology Innovation

Xinyu Gu, Dingding Li, Min Xie

School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: May 15th, 2023; accepted: Jul. 4th, 2023; published: Jul. 12th, 2023

Abstract

Based on the panel threshold model, using the provincial panel data of China's pilot carbon trading market from 2014 to 2021, this paper empirically tests that there are two thresholds for the impact of carbon price on low-carbon technological innovation, that is, the promotion of carbon

price on low-carbon technological innovation is different in three stages, that is, the impact of carbon price on low-carbon technological innovation is positively correlated to varying degrees with the change of green equity. When green rights are low, carbon prices have a strong promoting effect on low-carbon technological innovation; when green rights are at a moderate level, the promoting effect of carbon prices on low-carbon technological innovation weakens; when green rights are at a high level, carbon prices have the strongest promoting effect on low-carbon technological innovation.

Keywords

Carbon Price, Low-Carbon Technology Innovation, 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

自工业革命以来，气候变化多年来一直是全球关注的焦点。至今，全球多个国家和地区已尝试运行碳交易体系并取得一定的成果。欧盟在 2021 年出台了《欧盟适应气候变化战略》，主要是通过技术创新和财政政策来实现碳中和，并且在 2021 年进入到碳排放交易体系的第四阶段[1]；美国在 2007 年已实现碳排放达峰，并积极开发和利用新减碳技术实现碳中和目标[2]。2015 年中国在《巴黎协定》上签署承诺，到 2030 年，能源消耗强度将比 2005 年降低 60%~65%，并且承诺 CO₂ 排放量将在 2030 年左右甚至更早达到峰值。习近平总书记也于 2020 年 9 月，在联合国大会上向世界宣布了要在 2060 年前实现碳中和的目标。近年来，“双碳”目标已经成为全社会共同参与的广泛深刻的系统性变革。作为实现二氧化碳减排和推动经济发展的重要途径，碳交易市场具有较强的公共属性，可以很好的表达目前统一市场的基本特征，而碳价是否有效，也为低碳技术创新提供了一个诠释和解决问题的有益思路。

2. 文献综述

随着碳排放交易体系的不断完善和碳市场数据的累积，国内外学者对碳市场也展开了丰富的研究。Porter and Linde (1995)提出了“波特假说”，认为适当环境规制会促使企业采取较采取低碳创新行为来推动实现盈利和环保的双赢[3]。孟凡生等(2017) [4]从碳税、低碳技术创新投入补贴和碳排放权交易三种环境规制工具入手，利用演化博弈理论方法构建了政府和企业间的博弈模型，研究环境规制对企业低碳技术创新行为的影响机制。Kai Tang 等人(2020) [5]采用 Super-SBM DEA 模型探讨评估了中国指令与控制监管(CCR)对企业绿色创新绩效的影响。此外，Wang (2011) [6]单独研究了碳税政策对企业低碳创新的影响，尤其强调了碳税政策对企业减少碳排放量的正向作用。随后，Meltzer (2014) [7]以美国为例研究了碳税对以低碳为目的的技术创新的影响作用，以及碳税对国际贸易的影响，研究结果表明碳税是推动绿色技术创新的重要途径。

综上所述，碳交易市场的必要性及其重要作用已得到了学者们的广泛论证，碳税、环境规制等都对低碳技术创新具有一定的促进作用，碳排放权交易价格机制作为倡导低碳经济的重要市场手段，对全球范围内控制碳排放具有重要影响，但目前揭示碳价对低碳创新技术诱导作用的研究还较为鲜见，碳交易真正的作用机制并没有得到进一步挖掘和拓展。因此，本文以中国的试点碳交易市场省市为例，建立门

槛模型，从非线性的角度向具有当期市场特征和未来生产要素角色的碳价格来进行研究，以检验碳价对低碳技术创新是否有效，并提出相关的对策建议。

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，为探究碳价对低碳技术创新的非线性关系，本文以碳价作为核心解释变量，绿色权益作为门槛变量，构建如式(1)所示的门槛模型：

$$\ln LCTI_{it} = \mu_i + \beta_1 \ln GDP + \beta_2 TECH + \beta_3 STR + \beta_4 EDU + \beta_5 GI + \beta_6 ER + \beta_7 \ln CP_{it} \cdot I(GR_{it} \leq \gamma) + \beta_8 \ln CP_{it} \cdot I(GR_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， i 表示省份， t 表示年份， $\ln LCTI$ 为被解释变量； $\ln CP$ 为核心解释变量； GR 为门槛变量； $\ln GDP$ 、 $TECH$ 、 STR 、 EDU 、 GI 、 ER 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

低碳技术创新水平($\ln LCTI$)，本文提取了一级类的替代能源生产和节能专利、废物管理二级类的污染控制专利、行政监督设计二级类的碳交易专利，以衡量企业的低碳技术创新。

3.2.2. 核心解释变量

碳价($\ln CP$)：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

绿色权益(GR)：表示绿色权益发展的深度，一方面可以通过市场配置来优化资源配置，以实现可持续发展和构建绿色社会建设，另一方面在交易的过程中可实现绿色低碳技术等方面的创新。本文用碳交易、用能权交易、排污权交易与权益市场交易总额的比重来衡量。

3.2.4. 控制变量

经济发展水平($\ln GDP$)，一个省份经济越发达，越能为低碳技术创新提供良好的基础，因此本文以各省份人均国内生产总值来衡量；科技发展水平($TECH$)，科技发展水平对低碳创新技术有着一定的影响。因此本文选取技术市场成交额与国内生产总值的比重来衡量；产业结构水平(STR)，由于第二产业为碳排放的主要主体，因此本文选取第二产业与生产总值的比重来衡量；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人口高校平均在校生人数与该省人口的比重来衡量；绿色投资(GI)，本文用环境污染治理占 GDP 的比重来衡量；环境规制(ER)，本文从抽样省份的地级市政府工作报告中选取有关“低碳”等环保词频进行统计来衡量。

3.3. 数据来源

本文的数据均来源于国泰安数据库、《中国统计年鉴》《国家统计局》，专利数据来自 Incopat 专利库。

4. 实证分析

4.1. 描述性统计

通过 stata16 分析所得, 变量的描述性统计如表 1 所示。

Table 1. Variable descriptive statistics

表 1. 变量描述性统计表

变量	平均数	标准差	最小值	最大值
lnLCTI	7.472	0.795	5.900	8.691
lnGDP	4.662	0.027	4.569	4.734
TECH	0.054	0.053	0.006	0.175
STR	0.336	0.100	0.160	0.468
EDU	8.210	0.255	7.765	8.600
GI	0.067	0.006	0.059	0.078
ER	0.004	0.001	0.002	0.006
lnCP	3.345	0.545	2.333	4.467
GR	0.067	0.006	0.057	0.078

4.2. 门槛效应检验

根据检验结果如表 2 表示, 当绿色权益(GR)为门槛变量时, F 统计量在单一门槛和二重门槛中, P 值均小于 0.1, 即至少在 10%的置信水平下显著。在三重门槛中, P 值为 0.735 大于 0.1, 则结果不显著。由此, 我们可以得知, 模型中只存在两个门槛值, 因此本文选择双门槛模型进行分析。

Table 2. Threshold effect test

表 2. 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	9.870	0.060	8.828	10.186	15.038
双重门槛	12.590	0.038	8.441	11.005	16.622
三重门槛	4.660	0.735	26.592	31.320	42.992

4.3. 门槛值估计结果

门槛值的估计结果和置信区间如表 3 所示。

Table 3. Threshold estimates and confidence intervals

表 3. 门槛估计值及置信区间

被解释变量	门槛变量	门槛值	95%的置信区间
lnLCTI	GR	0.0661	(0.0661, 0.0689)
		0.0716	(0.0716, 0.0723)

4.4. 门槛显著性检验

门槛的显著性检验如图 1 所示。

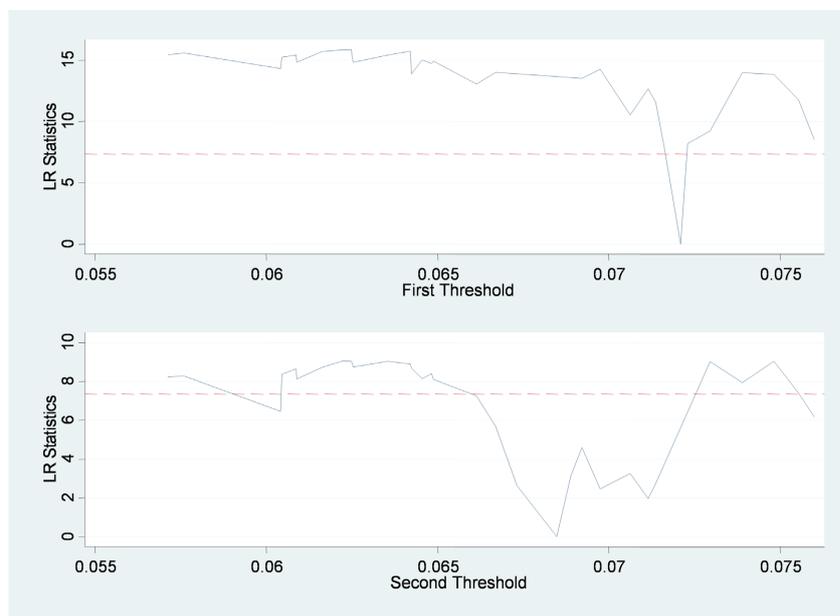


Figure 1. Threshold significance test
图 1. 门槛显著性检验

4.5. 门槛模型结果

最终, 门槛模型结果如表 4 所示。总体来看, 碳价(lnCP)对低碳技术创新均有显著的促进作用, 且促进作用随着绿色权益(GR)程度的提升先减弱后增强。

回归结果显示, 当绿色权益处于较低水平(即 $GR \leq 0.0661$)时, 碳价(lnCP)对低碳技术创新的促进作用较强, 影响系数为 0.067, 即碳价每提升 1%, 低碳技术创新就会增长 0.067%。可能原因是由于绿色权益在社会上的认可程度较低, 此阶段企业低碳技术创新发展亟需碳价来发挥引领作用, 通过给每单位碳排放制定价格, 使企业需要对超额排放部分承担一定的费用, 从而促使企业一方面会通过增加科研人员引进和科技研发支出, 来提高其低碳技术创新发展以实现资源的可持续发展和构建绿色企业建设; 另一方面, 通过低碳创新技术来节约碳配额, 在碳交易市场上“卖碳”来获得额外利润。

当绿色权益(GR)处于中等水平(即 $0.0661 < GR \leq 0.0716$)时, 碳价(lnCP)对低碳技术创新的促进作用有所减弱, 影响系数为 0.002, 即碳价每提升 1%, 低碳技术创新增加 0.002%。可能原因是因为绿色权益水平的提升, 单纯依靠控制碳价很难满足对低碳技术创新的发展需求, 部分企业基于机会主义可能不会将有限的资金用于引进或培养科研人员, 忽视了创新资源方面的积累, 从而导致低碳技术创新水平的下降, 此时碳价的促进作用减弱。

当绿色权益(GR)处于较高水平(即 $GR > 0.0716$)时, 碳价(lnCP)对低碳技术创新的促进作用最强, 影响系数为 0.088, 即碳价每提升 1%, 低碳技术创新就会增长 0.088%。可能原因是通过绿色权益来促进资源最优化配置的成效逐渐显著, 碳价格机制逐渐健全完善, 企业的低碳技术创新意识也逐渐深入到公司发展理念中, 所以此时碳价对企业低碳技术创新的促进作用最为明显, 企业把低碳技术创新作为一种绿色可持续发展方式, 来降低长期生产成本, 以提高市场竞争力和企业环境绩效。

Table 4. Estimation results of panel threshold model
表 4. 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
lnGDP	-3.298	0.980	-3.360	0.002
TECH	-6.126	1.137	-5.390	0.000
STR	-7.411	1.747	-4.240	0.000
EDU	1.331	0.451	2.950	0.007
GI	-6.365	7.349	-0.870	0.000
ER	116.853	39.386	2.970	0.006
lnCP (GR ≤ 0.0661)	0.067	0.077	0.860	0.001
lnCP (0.0661 < GR ≤ 0.0716)	0.002	0.078	0.020	0.000
lnCP (GR > 0.0716)	0.088	0.081	1.100	0.001

5. 结论与讨论

本文立足于中国背景，基于面板门槛模型，采用 2014~2021 年中国试点碳交易市场省级面板数据，实证检验了碳价对低碳技术创新的非线性影响。结果显示：当以绿色权益为门槛变量时，碳价对低碳技术创新之间存在三段促进程度不同的正相关关系。

基于以上结论，本文提出如下建议：因地制宜，因时制宜，充分考虑不同类型工具在不同地区的适应性，合理设计规制的工具组合，切实的为企业提供市场化的支持；提高人们对绿色权益的认识，加大对绿色发展理念的宣传力度，从思想上进行转变，把低碳技术创新作为企业可持续发展方式之一；对推进环境规制从控制命令型向市场激励型过渡转变，为碳减排释放价格信号，通过价格引导机制将资金引导至排放潜力大的行业企业，激励企业低碳技术创新，推动前沿技术创新突破和高排放行业绿色低碳发展的转型，在减少环境污染的同时又能兼顾经济发展；政府可以通过加强对碳交易市场的管理与约束，在不影响市场供求关系的前提下从严确定碳交易指导价格，尤其是对重污染企业的碳交易施加更多限制或收取更高额度的手续费，迫使其进行创新、改进生产工艺以实现节能减排目标。诚然，本文对碳价对低碳技术创新的关系进行研究，取得了一些结论，但是由于样本量有限，碳试点地区发展差异较大，仍存在一些需要进一步的研究。

参考文献

- [1] Dong, H.J., Dai, H.C., Dong, L., et al. (2015) Pursuing Air Pollutant Co-Benefits of CO₂ Mitigation in China: A Provincial Leveled Analysis. *Applied Energy*, **144**, 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.020>
- [2] Rypdal, K., Rive, N., Åström, S., et al. (2007) Nordic Air Quality Co-Benefits from European Post-2012 Climate Policies. *Energy Policy*, **35**, 6309-6322. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.022>
- [3] Michael, E. (1995) Porter and Claas van der Linde. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. *The Journal of Economic Perspectives*, **9**, 97-118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>
- [4] 孟凡生, 韩冰. 政府环境规制对企业低碳技术创新行为的影响机制研究[J]. 预测, 2017, 36(1): 74-80.
- [5] Kai, T., Yuan, Q. and Di, Z. (2020) Does Command-and-Control Regulation Promote Green Innovation Performance? Evidence from China's Industrial Enterprises. *Science of the Total Environment*, **712**, 136362.
- [6] Wang, L. (2011) Carbon Tax Policy and Technological Innovation for Low-Carbon Emission. 2011 *International Conference on Management and Service Science*, Wuhan, 12-14 August 2011, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICMSS.2011.5998649>
- [7] Joshua, M. (2014) A Carbon Tax as a Driver of Green Technology Innovation and the Implications for International Trade. *Energy Law Journal*, **35**, 45-69.