

命令控制型环境规制对碳市场价格的影响

——来自中央环保督察的准自然实验

高红贵, 许莹莹, 朱于珂

摘 要: 碳排放权交易市场的良好发展是实现“双碳”目标的关键一环。当前, 中国碳市场交易价格显著偏低, 将加大“双碳”目标达成的阻力。命令控制型环境规制作为市场外部因素, 对碳价产生较大影响。本文以中央环保督察为例, 基于 2014—2020 年试点地区的碳市场交易数据, 运用双重差分法进行了研究。结果表明: 命令控制型环境规制将推动碳价上涨, 促进碳市场的发展。这一现象的形成机制包括: (1) 严格的环境规制政策会通过降低碳配额供给, 推动碳价上升; (2) 严格的环境规制政策倒逼企业技术创新, 从而促进碳价上升。进一步的研究发现, 命令控制型环境规制还将促进碳交易活跃度。为落实“双碳”承诺, 未来应加强碳市场的建设并构建成熟合理的环境规制政策体系。

关键词: 命令控制型环境规制; 碳市场; 碳价; 双重差分法

中图分类号: F124.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2022)03-0054-13

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2022.03.003

一、引 言

目前, 我国环境规制政策体系构建尚不完善, 与实现经济发展目标和“双碳”目标的要求仍存在较大差距。碳市场是国家推进绿色金融体系建设、促进绿色创新发展的重大考量之一, 同时, 双管齐下的复合环境规制政策组合也是经济逆全球化、新冠肺炎疫情后, 助力实现“双碳”目标的重要战略选择, 更是加快经济高质量发展的关键手段^[1], 因此, 研究命令控制型与市场激励型环境规制之间的关联关系, 深入考察命令控制型环境规制对碳市场的影响, 准确识别命令控制型环境规制对碳价产生的政策效应, 全面揭示命令控制型环境规制影响碳市场的作用机制, 既能在理论上阐释“双政策”并行的优势, 同时对于优化碳市场建设、稳步推动碳价提升、助推经济可持续高质量发展具有重要现实意义。鉴于此, 本文基于 2014—2020 年 8 个试点地区的月度面板数据, 运用双重差分法研究中央环保督察这一命令型环境规制对碳市场价格的影响, 以期为准确预测碳价波动、推进碳市场稳定向好运行提供参考。

基金项目: 国家社会科学基金项目“城市群战略下中心城市人口集聚的时空演变与空间效应研究”(20BRK019); 湖北省高等学校哲学社会科学研究重大项目(省社科基金前期资助项目)“湖北省能源消耗强度和总量双控制度下产业链低碳转型研究”(21ZD010); 中央高校基本科研费资助项目“经济生态化和生态经济化绿色创新发展研究”(2722022EK024)

作者简介: 高红贵, 中南财经政法大学经济学院教授、博士生导师, gaohg1964@126.com (湖北 武汉 430073); 许莹莹, 中南财经政法大学经济学院博士研究生; 朱于珂, 中南财经政法大学经济学院博士研究生

二、文献综述与理论假设

(一) 文献回顾

中国的环境规制多以命令控制型政策为主、市场激励型政策为辅。命令控制型政策依靠政府强制力实施,传导迅速且实施效果可确定;市场激励型政策则需要利用市场或建立新市场,更具有“内部约束性”且更能激发创新、降低成本^{[2][3]}。已有研究表明,复合减排政策的治理效果、成本控制、风险防范和创新激励往往优于单一政策^[4]。要打好中国未来长达四十年的环境治理“攻坚战”,两类环境规制政策手段不仅缺一不可,并且还需要相互促进。命令控制型政策效果快速,市场激励型政策企业接受度更高且更有利于企业长期发展,只有两者在各自的调控范围内发挥优势并深度协调配合,才能有力推动气候任务在全国范围内按时达成。

当前,我国碳市场建设虽然已经取得了初步成效,但仍然不够成熟,存在市场不够活跃、碳金融产品较少、区域发展不平衡等问题^[5]。种种因素降低了碳市场信息传导机制的畅通度,引发剧烈且频繁的碳价波动,导致市场无法给予企业明确的价格信号,降低了企业参与碳交易的积极性。定价是市场最为核心的功能,也是交易能否顺利进行的决定性因素。聚焦碳市场,碳价更是激励减排技术革新的原动力,稳定碳价的长期向好是建立成熟碳排放权交易市场的重中之重。然而,中国目前的碳排放系统碳价不仅波动剧烈,且显著偏低,以当前的碳价格为基础将很难实现“双碳”减排目标^{[6][7]}。要保持碳价的稳步增长趋势、提高碳市场的有效性,关键在于对影响碳价的因素的准确把握。

国内外学者已对影响碳价的因素做出了一定论证:一是市场内部因素,包括碳排放权配额分配^[8]、碳交易制度、碳市场信息披露的完整性和透明性^[9]等;二是市场外部因素,包括宏观经济形势^[10]、能源价格^[11]、国外碳市场、环境质量^[12]、政府政策等。关于政府政策对碳价影响这一话题,仅有少数学者指出:国际碳市场碳价每次暴涨暴跌的产生都与国际减排政策的颁布或重大突发事件的发生有关,政策会对碳价走势产生显著影响,并导致碳价发生结构性变化^[13]。当前,政策对碳价的影响这一领域的研究数量较少,且针对国际碳市场,缺乏针对中国碳市场的相关研究。

综上,已有研究往往仅将碳市场视作环境规制手段,并着重探讨碳交易体系的建立对改善空气质量的作用,鲜有学者讨论其他环境政策对碳市场的影响。此外,当前国内外多数研究只针对欧盟等成熟市场,少数国内研究也仅针对中国的某一个试点市场,鲜有研究基于更为全面和详细的中国碳市场交易数据分析中国情况,使得国内碳市场相关研究结论的普适性大大降低。全国碳市场交易不足一年,还没有公开且可获得的数据,试点地区碳市场交易也还不足十年,早期数据处于起始阶段且数据量不足,直接增加了较为完整且可用于研究的数据的获取难度,缺乏针对中国碳市场的政府环境政策对碳价影响的研究。

全国统一碳市场的构建模式和具体制度体系源于多年来试点地区碳市场的运行经验,以试点地区碳交易数据作为研究样本,探索并预期全国统一碳市场建立后的碳价干预内在机制是有据可依且合适的。基于此,本文试图转换单一环境管制政策的研究视角,将典型的市場激励型政策——碳排放权交易看作金融市场,采用2014—2020年8个试点地区的月度碳价数据,运用双重差分法研究命令控制型政策对碳市场价格的影响,以期对环境政策协调研究提供参考。本文的边际贡献可能在于:(1)研究内容上,现有研究大多聚焦命令控制型环境规制或市场激励型环境规制的“单政策”绩效研究,本文从理论上分析了命令控制型环境规制对市场激励型环境规制的作用机制,并借助碳市场这一准自然试验的研究场景,实证验证了中央环保督察对碳市场及其市场价格的促进作用和机制,丰富了命令控制型与市场激励型环境规制“双政策”协同发展的理论研究体系。(2)在数据与

方法上,采用详实的碳排放权交易数据作为研究样本,通过双重差分法进行实证检验,减少了宏观样本研究所产生的估计偏误,提升了实证结果与研究结论的稳健性与可靠性,可以为全国碳市场相关环境规制政策的制定提供微观证据。(3)理论指导实践上,通过理论分析、政策效应识别与机制分析,验证了严格的命令控制型环境规制政策会推动碳市场发展、促进碳价增长,并分析了其理论机制,可以完善中国碳市场价格形成机理的理论体系,也有助于推动环境政策协同治理框架的构建和环境政策系统的落地。

(二) 基本假设

自气候变化从外交事务领域问题上升至国家发展问题以来,中国气候治理政策的演进历程主要经历了从“督企”向“督政与督企并重”过渡的两个阶段。不同于以往仅监管污染企业,2015年7月《环境保护督察方案(试行)》提出的中央环保督察机制是中国环境治理的一大创新,其根据群众举报、走访调查,直接督察各级地方党委政府和部门,对地方政企的追责力度及晋升影响远超河长制、湖长制等传统“督政”手段,产生了极大的震慑力^[14]。中央环保督察制作为极富中国特色的环境规制制度体系的重要组成部分,属于典型的命令控制型环境规制。而碳排放权交易机制则属于典型的市场激励型环境规制。相较于其他市场,碳市场具有突出的金融市场属性,其赋予“碳”经济价值特性,使“碳”既肩负经济责任又具备经济机会,并以市场手段将碳减排任务分配至控排企业,可以灵活且有效率地降低碳减排成本^[15]。自2011年国家发展和改革委员会批准开展碳市场试点工作以来,北京、上海、广东、深圳、天津、重庆、湖北和福建八个试点地区积累了大量具有借鉴意义的经验和模式,也一定程度上显著提高了当地的空气质量。在总结我国试点地区现有不足并借鉴国外碳市场已有经验的基础上,我国于2021年7月依托上海环境能源交易所建立全国碳排放权交易市场体系并在发电行业率先启动碳排放权交易。随着交易品种与交易量的增加,我国已成为全球最大的碳排放权交易市场。

在中国,以中央环保督察制为代表的命令控制型环境规制手段,会对以碳排放交易机制为代表的市场激励型环境规制产生正向影响。一方面,命令控制型政策的良好实现将为碳市场提供正向信号,并通过增强碳的供给和需求加快市场流动性、调整碳价、推进碳市场的良好运行;另一方面,命令控制型环境规制作为一种政策机制,必然将对碳市场乃至碳价产生影响^[16]。命令控制型政策规制力度的增强将向地方和企业传达中央对环境治理的重视程度,督促地方政府更快完善碳市场内部制度,建立社会、企业和个人参与碳交易的信心,促进碳市场的平稳运行和碳价的上升。碳市场的构建和运行也将有助于提升全国能效,是落实碳减排命令控制型政策的重要内容。

基于以上分析,本文提出假设1:命令控制型环境规制对碳市场会产生正向影响,推动碳价上升。

(三) 机制分析

碳市场中二氧化碳配额的供给与需求是影响碳价的重要因素。严格的命令控制型环境规制通过影响碳市场中二氧化碳配额量的供给量与需求量进而对碳价产生影响。具体来说,严格的环境规制分别通过影响碳配额和企业技术创新,增强碳市场交易活跃度,推动碳价上升,对碳市场的发展产生促进作用。

1. 以碳配额作为中介因素。碳配额的供给一方面受限于整个碳市场的配额总量,另一方面由企业的真实排放量决定。而碳配额的需求则受企业排污成本与生产规模等因素的直接影响。当前,碳排放权的分配方式分为两种:由政府直接下发的免费分配方式和在二级市场上进行交易的有偿分配方式。从免费分配方式的角度来看,命令控制型环境规制对节能减排提出了更高的要求目标,为了实现更高的环保目标,政策机制设计者会适当削减一定的免费碳配额供给量,从而达到有效控制碳排放总量的目的。因此,在碳交易市场中的碳配额供给总量会随着命令控制型环境规制的增强而

减少。同时,免费发放配额量的降低也会导致碳排放配额市场需求的上升。市场中碳供给的下降和碳需求的上升共同提升了碳交易的活跃度,从而联合引致碳价上涨。从有偿分配方式的角度来看,当环境规制强度增加时,企业的排污成本提升,碳排放权价格与企业排污成本价格的比值下降,促使企业更倾向于不出售碳配额,甚至是购买碳配额以节约排污处罚收费成本。碳排放权市场需求的扩大和市场供给的缩减会共同活跃市场交易,推动碳市场中碳价的上涨。

据此,本文提出假设 2:严格的命令控制型环境规制通过影响碳配额,促进碳市场活跃度,推动碳价上升。

2. 以企业技术创新作为中介因素。从企业节约成本的角度来看,更严格的环境规制提升了企业的碳排放成本,使得企业为了节约排放成本对碳排放配额的需求更加迫切,从需求端增加市场交易活跃度,推动碳价上升。同时,由于环境规制力度的增强,排放配额的缩减与排放处罚力度的上升在直接提升碳排放成本的同时,致使企业需要对减排投入更多的人力、物力与财力,间接使得技术创新成本相较以往显得更为便宜,降低了企业技术创新的相对成本。此时,为了节约碳排放成本,企业在环境规制的作用下往往会选择进行技术创新^[17],致力于使创新补偿效应超过遵循成本效应。对于拥有一定资金、技术基础的资金、技术密集型企业,更严厉的命令控制型环境规制对其的创新激励效应更为显著。讨论企业技术创新对碳价的影响可以从两个角度来看。一方面,从企业个体的角度看,企业通过提高研发投入,可以使得本企业更少地购买碳配额,或者省下更多的碳配额用于出售。那么,致力于提高技术的企业将更希望碳价上升,这对于企业来说是有利可图的,其因为提高技术而花费的成本可以一定程度上通过节约、出售碳配额得到补偿。换言之,创新能力强的企业有机会、有激励节约和创造更多的碳排放配额,并将其交易给高能耗、高排放或者创新能力较弱的企业,以创造利润。这将在供给端提供更多的可供交易的碳排放权,进而促进碳排放权的交易流通和活跃度,增强碳交易市场的流动性,推动碳价上涨。另一方面,从整个市场的视角看,可以将碳配额视为一种商品,企业研发成本的投入会提高碳配额中所蕴含的技术含量,并通过提高商品成本间接提高售价,即从供给端导致碳交易市场中企业出售的碳价上升。此外,短期内,市场中的技术仍然存在一定的壁垒,必然会拉动碳价上升并仅仅使得拥有更多技术的企业从中获利。只有从长期来说,技术壁垒被打破,整个市场的技术水平得到整体提升,碳价才会因此逐渐下降,然而从目前的现实情况来看,整个市场的绿色技术水平仍未达到理想状态。

据此,本文提出假设 3:严格的环境规制通过促进企业技术创新,提高碳市场活跃度,推动碳价上涨。

三、基准模型、数据与变量说明

(一) 建立基准模型

为了分析环境规制对我国碳交易市场价格发展的影响,参考罗知等的方法^[18],采用双重差分法,以中央环保督察为例,以环境规制力度和环保督察虚拟变量的交互项作为核心解释变量,用 8 个试点碳排放权交易所的碳交易数据作为被解释变量,建立具体基准模型如下:

$$CCETE_{i,t} = \alpha ER_{i,t} \times Post_{i,t} + \beta X_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中, i 代表地区, t 代表时间。 $CCETE_{i,t}$ 代表 i 地区 t 时间碳排放权交易所的碳交易价格(碳价)。 $ER_{i,t}$ 代表 i 地区 t 时间的环境规制力度。 $Post_{i,t}$ 代表 i 地区 t 时间中央环保督察的实施情况,为时间虚拟变量。如果 i 地区 t 时间受到督察影响,则取值为 1;如果 i 地区 t 时间未受到督察影响,则取值为 0。 $X_{i,t}$ 为一系列控制变量,包括各地区的居民消费价格指数、工业增加值增加速度、工业企业原煤产量、人均 GDP、产业结构、人口总量和高等院校在校学生数。 γ_t 为时间固定效应,

μ_i 为各地区的个体固定效应, $\varepsilon_{i,t}$ 为误差项。该模型在传统双重差分模型单独控制政策变量的基础上, 引入环境规制力度变量与政策实施变量的交互项, 充分利用了面板数据的特点, 便于控制更多不可观测的遗漏变量^[18]。

（二）变量说明与数据来源

1. 对环境规制力度的度量。环境政策的制定与实施是为了增加环境治理投入以降低污染、节约资源。基于这种思路, 参考 Naughton^[19]、安孟等^[20]的做法, 首先选取空气质量指数 (AQI) 衡量地区污染程度, 数值越大, 空气质量越差, 污染程度越大。考虑到环境规制力度并不一定与污染程度总呈正相关关系, 污染严重也有可能是源于弱力度的规制, 因此, 用单位产值污染治理设施运行费用 (TC) 对 AQI 进行修正, 最后得到环境规制力度 $ER_{it} = AQI_{it} / TC_{it}$ 。环境规制力度增强不仅表现为污染严重程度的降低, 还表现为环境治理投入的增加。

2. 控制变量的选择。碳排放、碳市场与经济发展密切相关, 为了使得地区间具有可比性, 有必要对不同地区经济发展的异质性特征进行控制。同时, 地区化石能源的消耗也将通过增加碳排放影响碳市场交易活动, 为了提高实证结果的准确性, 也应考虑将其作为控制变量之一。因此, 借鉴已有文献, 本文共设定如下影响碳市场的控制变量: (1) 地区经济发展水平, 具体以人均 GDP 的对数值及其平方项计算; (2) 产业结构, 具体以第三产业占地区 GDP 的比重表示; (3) 经济集聚程度, 具体以年末人口总量的对数值表示; (4) 消费水平, 具体以各地区的居民消费价格指数表征; (5) 工业化水平, 具体以工业生产总值的增加速度表征; (6) 人力资本水平, 具体以地区高等院校在校学生数占地区总人口的比重表征; (7) 地区化石能源产量, 具体以各个地区工业企业原煤产量的对数计算。

3. 数据来源。以 8 个碳交易试点市场作为样本, 构造 2014 年 1 月—2020 年 12 月的月度面板数据。其中, 碳市场相关数据来源于碳交易网公布的每日碳行情数据, 碳价数据选择碳行情中的成交价表示, 碳交易量数据选择碳行情中的交易量表示。由于碳交易网中公布的是每日数据, 本文进一步计算了成交价的月度平均值和交易量的月度加总值表征碳价和碳交易量。环境规制力度的度量数据来源于中国环境监测总站、《中国环境统计年鉴》和各地方统计局。由于中国环境监测总站公布的空气质量指数为每日数据, 本文进一步计算了空气质量指数的月度平均值表征 AQI。中央环保督察的督查时间和各地方整改方案的公开时间参考王岭等^[14]、刘张立等^[21]的研究。其他控制变量包括居民消费价格指数、工业生产总值、工业企业原煤产量、人均 GDP、产业结构、人口总量和高等院校在校学生数等的月度数据均源于国家统计局、各地方统计局、《中国统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》计算而得。

四、实证结果及分析

（一）基准回归结果

基准实证结果如表 1 所示。表 1 的第 (1) 列仅控制了地区固定效应和时间固定效应, 未加入任何其他控制变量; 第 (2) 列在第 (1) 列的基础上, 加入了居民消费价格指数、工业增加值增加速度、工业企业原煤产量三个控制变量; 第 (3) 列在第 (2) 列的基础上又加入了人均 GDP、产业结构、人口总量、高等院校在校学生数四个控制变量。由表 1 可知, (1) — (3) 列中 $ER_i \times Post_t$ 的系数均显著为正, 说明无论是否加入控制变量, 环境规制力度的加强都会推动碳价的上升, 因此, 假设 1 得以证明。控制变量中, 人均 GDP、工业增加值增加速度、居民消费价格指数、产业结构、人口总量和工业企业原煤产量的回归系数均为正且显著, 高等院校在校学生数的系数为负但并不显著, 表明地区经济扩张、工业发展过快、居民消费增长、产业转型升级、人口规模增长和化石能源产量增

表 1 基准实证结果

变量	(1)	(2)	(3)
$ER_i \times Post_t$	0.319 [*] (1.88)	0.841 ^{***} (3.65)	0.688 ^{***} (2.90)
控制变量	No	Yes	Yes
时间和地区固定效应	Yes	Yes	Yes
样本量	672	672	672
R^2	0.649	0.675	0.726

注：括号里数字为每个解释变量系数估计的 $t(z)$ 值，*、**、*** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

加均会促进碳价的上涨。这样的结果也较为符合以往的研究结果^{[10][21]}。经济扩张、工业加速发展、居民消费增长和人口规模的增长都会导致能耗增加，提升碳排放权的需求度，推动碳价上升。产业转型升级则会倒逼企业技术创新，使得优先取得研发成果减排降耗的企业剩余更多的碳排放权以供交易盈利，提高交易流动性并推动碳价。化石能源产量的提升会导致化石能源价格的下降，从而促使工厂燃烧更多的化石能源，加重碳排放，进而增强企业对碳配额的需求，推动碳价上涨。

(二) 识别假定检验

尽管前文已经发现了严格命令控制型政策对碳价的推动作用，但如果模型受到自选择偏误、遗漏变量等问题的干扰，将影响结果的有效性，本文进一步运用事件分析法和安慰剂检验进行识别假定检验。

1. 事件分析。借鉴 McGavock 等^[22]、吴茵茵等^[23]的方法，本文进一步基于事件分析的研究框架，评估政策的动态效应。具体做法如模型 2 所示，将月度面板数据整合为年度面板数据，构建中央环保督察政策实施前和推行后若干年的环境规制政策力度哑变量，被解释变量仍然采用碳价。

$$CCETE_{i,t} = \alpha_{-2}D_{-2} + \alpha_{-1}D_{-1} + \alpha_0D_0 + \alpha_1D_1 + \alpha_2D_2 + \alpha_3D_3 + \beta X_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \epsilon_{i,t} \quad (2)$$

其中， D_0 是中央环保督察政策开始推行年份的交乘项， D_{-j} 代表中央环保督察政策推行前第 j 年的交乘项， D_j 代表中央环保督察政策推行后第 j 年的交乘项。由于中央环保督察在各个地区开始推行的时间不一致，因此，不同地区的 D_j 取值并不相同。

图 1 报告了 D_j 的系数大小及其对应的 95% 置信区间。可以看到，中央环保督察政策推行前年

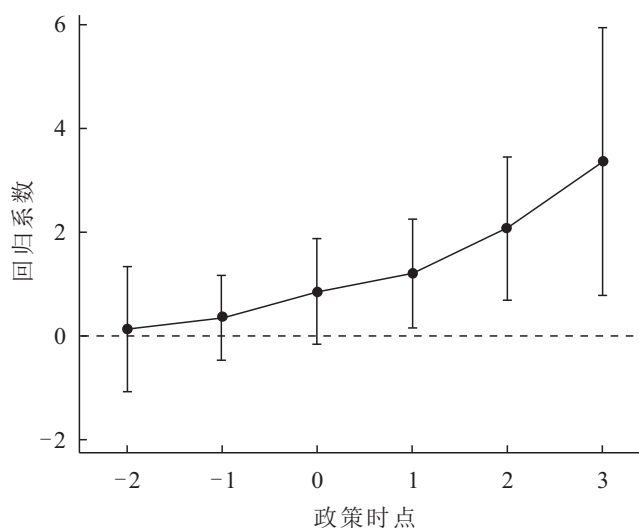


图 1 环境规制政策的动态效应

注：垂直于横轴的实线表示 95% 置信区间。

份的交乘项系数均未通过 5% 的显著性水平, 说明碳价的变动趋势满足平行趋势假设。因此, 碳价的显著上升是命令控制型环境规制政策推行的结果, 而不是事前差异的结果。政策推行当年对应的系数未通过 5% 的显著性检验, 但通过了 10% 的显著性检验; 政策推行一年及以后的对应系数均通过了 5% 的显著性检验, 说明政策效果的实现具有一定的滞后性。同时, 观察图 1 中的系数大小可以发现, 总体上为增大趋势, 即环境规制政策力度对碳价的正向影响逐渐增大且具有时间持续性, 说明它对碳价上升所产生的推动作用长期存在的, 进一步佐证了假设 1。

2. 安慰剂检验。为检验基准回归结果的可靠性, 排除命令控制型环境规制政策推动碳价上涨效应受到潜在遗漏变量威胁的可能性, 进一步参考 Chetty 等^[24]、沈坤荣等^[25]非参置换检验的做法进行安慰剂检验。具体来说, 通过对各个地区和政策时间进行 500 次不重复的随机抽样并运用双重差分法回归, 获得如图 2 所示的虚拟随机样本回归系数的分布情况。从回归分布图中可知, 虚拟样本的估计结果在 0 值附近呈正态分布, 而基准回归的估计系数则完全落在非参置换检验系数分布的小概率区间, 即本文的基准回归结果通过了安慰剂检验, 潜在遗漏变量对基准回归的估计结果并未造成干扰。

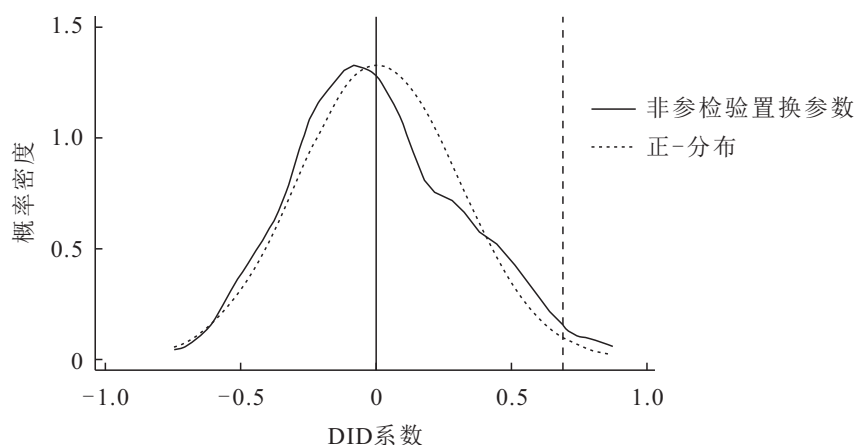


图 2 安慰剂检验系数经验累积分布

（三）稳健性分析

为了保证实证结果的可靠性, 本文还进行了其他三类稳健性检验。

1. 剔除异常值。碳行情每日数据中成交价数据存在一定的缺失, 其中, (1) 福建碳市场于 2016 年底才建成并投入试点, 碳交易网仅公布了福建碳市场 2017 年 1 月 8 日以后的成交价数据, 因此, 福建碳市场 2014 年 1 月—2016 年 12 月的成交价以 0 元进行补充。(2) 碳交易网仅公布了湖北碳市场 2014 年 4 月 1 日以后的交易数据、重庆碳市场 2014 年 6 月 18 日以后的交易数据, 因此, 2014 年 1 月—2014 年 3 月湖北碳市场的成交价数据和 2014 年 1 月—2014 年 5 月重庆碳市场的成交价数据以 0 元进行补充。(3) 碳交易市场节假日休市且不进行交易, 因此, 节假日的成交价数据以节假日前最后一个交易日碳交易网公布的收盘价进行补充。由于本文的碳价数据采用了成交价的月度平均值表征, 因此, 第 (3) 点数据缺失并不会对实证结果造成较大影响。第 (1) 和第 (2) 点数据缺失对实证结果的影响较大, 故本文在稳健性检验部分对福建碳市场数据和 2014 年碳市场数据进行了删减。如表 2 的第 (1) 和第 (2) 列所示, 第 (1) 列删除了福建碳市场数据, 第 (2) 列在第 (1) 列的基础上删除了 2014 年 1 月—2014 年 6 月的数据, 删减数据后的实证结果仍然支持基准检验的结论, 且第 (2) 列的结果相比基准回归 R^2 有所上升, 对模型的解释力更好。

2. 考虑到政策会有滞后效应。中央环保督察组在督察期间会要求地方对相关问题“边督边改”, 并在督察期后反馈督察意见, 要求各地方政府制定并公开详细的整改方案, 因此, 在表 2 的

第(3)列,本文不再用督查时间作为时间节点,而选用督查时间后的整改方案公开时间作为时间节点。考虑政策滞后性的稳健性检验结果仍然支持基准检验的结论。

3. 更换被解释变量。根据供求关系,碳价的提升会导致碳交易量的下降,表2的第(4)列更换被解释变量为碳交易量,检验环境政策规制力度与碳交易量之间的相关关系是否为负。结果证实,环境政策规制力度与碳交易量之间呈显著的负相关关系,从侧面说明环境政策规制力度与碳价之间应呈正相关关系。

表2 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
$ER_i \times Post_t$	0.356** (2.11)	0.399* (1.80)	0.663*** (3.20)	-0.579* (-1.78)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
时间和地区固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	588	546	672	672
R^2	0.725	0.775	0.726	0.345

注:括号里数字为每个解释变量系数估计的 $t(z)$ 值,*、**、*** 分别表示在 10%、5%和 1%的显著性水平上显著。

五、内生性问题及排除其他外部冲击的干扰

(一) 内生性问题

上述回归检验仍然可能存在内生性问题,本文试图寻找合适的工具变量解决该问题。合适的工具变量应满足两个条件,一是严格外生,二是与内生解释变量相关。一个地区的工业企业资产总量是外生的。在严格的环境规制下,地区中工业企业资产总量越庞大,工业企业数量越多,会给当地节能减排行动带来越大的阻力。但使用工业企业资产总量作为工具变量可能存在问题:一个地区的工业企业资产总量越庞大,企业个数越多,越有利于该地区的经济发展,即工业企业资产总量可能会通过经济状况渠道影响该地区的碳市场,导致工具变量失效。国内外文献往往会通过控制工具变量影响被解释变量的相关潜在因素来解决这个问题^[26]。在本文的回归检验中,已控制了多个刻画宏观经济发展状况的变量,因而能够解决工具变量通过经济发展途径影响碳市场的问题,保持了工业企业资产总量作为工具变量的排斥性。2SLS的回归结果见表3第(1)列,显示使用了工业企业资产总量作为工具变量后, $ER_i \times Post_t$ 系数仍然显著为正,与基准回归结果保持一致,且第一阶段 F 检验值大于 10,即工业企业资产总量不是个弱工具。

另外,本文也尝试选取“河长制”政策作为工具变量。“河长制”严格外生,且是典型的考核问责制环境规制手段,其自 2007 年在江苏省首创,2014 年以来在各省市迅猛推行,并在 2018 年得到全面推行,8 个碳市场试点地区均在 2014 年后开始推行“河长制”。本文进一步构建了 8 个试点地区的“河长制”政策演进虚拟变量,数据来源于官方文件、新闻报道及知网文献。“河长制”作为工具变量的回归结果见表 3 第(2)列,可以看到 $ER_i \times Post_t$ 系数仍然显著为正,且第一阶段 F 检验值大于 10,不存在弱工具问题。

表3 内生性检验

变量	(1)	(2)
$ER_i \times Post_t$	1.251* (1.71)	1.072*** (2.65)
控制变量	Yes	Yes
时间和地区固定效应	Yes	Yes
样本量	672	672
R^2	0.631	0.677
第一阶段 F 值	10.405	15.279

注:括号里数字为每个解释变量系数估计的 $t(z)$ 值,*、**、*** 分别表示在 10%、5%和 1%的显著性水平上显著。

（二）排除外部冲击的干扰

如果双重差分法混淆了其他政策或外部冲击的效果，则会影响结果的有效性。碳市场试点以来，对中国经济影响较大的外部冲击共有两次，分别是2018年3月23日开始的中美贸易战和2019年12月8日开始的新冠肺炎疫情。已有研究证明，中美贸易战和新冠肺炎疫情均对碳市场造成冲击^{[27][28]}，但这并不对本文的研究结果造成影响。一方面，本文的实证模型中，解释变量采用的是一个具有强度波动的、环境

规制力度与环境规制政策相结合的复合变量，并非传统的0-1变量，很难有其他经济政策或外部冲击在8个试点地区与环境政策呈现同步的强度波动。另一方面，表4的第（1）列和第（2）列分别加入了中美贸易战和新冠疫情的虚拟变量作为控制变量，检验结果中 $ER_i \times Post_t$ 系数仍然显著为正，排除了混淆外部冲击效果的可能性。

表4 排除外部冲击干扰后的回归结果

变量	(1)	(2)
$ER_i \times Post_t$	0.608*** (2.90)	0.607*** (2.79)
控制变量	Yes	Yes
时间和地区固定效应	Yes	Yes
样本量	672	672
R^2	0.726	0.710

注：括号里数字为每个解释变量系数估计的 $t(z)$ 值，*、**、***分别表示在10%、5%和1%的显著性水平上显著。

六、机制分析

上述回归结果表明，环境规制政策力度的加强会推动碳市场价格的上升。理论假说部分已经分析了造成这种现象的原因：（1）一个区域的环境管制力度越大，污染排放控制就越严格，碳配额也会减少，即碳排放权的供给数量下降，从而有利于碳价上升；（2）环境管制政策会促进企业技术革新，在有偿分配方式下，研发能力强的控排企业有动力进行节能减碳技术创新，从而将更多剩余的碳额度出售给技术落后、碳配额不够的控排企业，推动碳价的长期上涨。

为了验证环境管制通过降低碳配额供给促进碳价上升，需要检验环境管制力度对碳配额供给的影响及碳配额供给对碳价的影响。碳配额的数据并未公开，但是碳配额发放总量是根据控排企业当年实际生产情况，核定其实际应发配额，汇总得到地区配额总量^[29]，因此，可以用地方工业企业产成品总金额表征碳配额供给。本文建立如下模型进行检验：

$$CQS_{i,t} = \alpha ER_{i,t} \times Post_{i,t} + \beta X_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \epsilon_{i,t} \quad (3)$$

$$CCETE_{i,t} = \alpha CQS_{i,t} + \beta X_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

其中， i 代表地区， t 代表时间。 $CQS_{i,t}$ 代表 i 地区 t 时间碳配额供给。其他变量与基准回归模型一致。

回归结果如表5所示，第（1）列的结果显著为负，表明环境管制力度的加强会降低碳配额供给；第（2）列的结果也显著为负，表明较低的碳配额供给会导致碳市场碳价的上涨。模型3、模型4的检验结果共同证明了环境管制通过降低碳配额供给促进碳价上升。

表5 中介机制：碳配额供给

(1) $CQS_{i,t}$		(2) $CCETE_{i,t}$	
$ER_i \times Post_t$	-0.190*** (-7.38)	$CQS_{i,t}$	-1.137*** (-3.48)
控制变量	Yes	控制变量	Yes
时间和地区固定效应	Yes	时间和地区固定效应	Yes
样本量	672	样本量	672
R^2	0.792	R^2	0.731

注：括号里数字为每个解释变量系数估计的 $t(z)$ 值，*、**、***分别表示在10%、5%和1%的显著性水平上显著。

为了验证环境管制会通过推动企业技术创新影响碳价，本文选用规模以上工业企业投入的R&D经费表征企业技术创新，并建立如下两个模型分别检验环境管制力度对企业研发的影响和企业研发对碳价的影响。具体为：

$$Innovation_{i,t} = \alpha ER_{i,t} \times Post_{i,t} + \beta X_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \epsilon_{i,t} \tag{5}$$

$$CCETE_{i,t} = \alpha Innovation_{i,t} + \beta X_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \epsilon_{i,t} \tag{6}$$

其中， i 代表地区， t 代表时间。 $Innovation_{i,t}$ 代表 i 地区 t 时间企业技术创新程度。其他变量与基准回归模型一致。

回归结果如表 6 所示，第（1）列的结果显著为正，表明环境管制力度的加强会增加规模以上工业企业的研发投入，促进企业技术创新；第（2）列的结果也同样显著为正，表明更多的研发投入会推动碳市场碳价的上涨。模型 5、模型 6 的检验结果共同证明了环境管制会通过推动企业技术革新支持碳价长期向好发展。

表 6 中介机制：企业技术革新

(1) $Innovation_{i,t}$		(2) $CCETE_{i,t}$	
$ER_i \times Post_t$	0.050*** (5.64)	$Innovation_{i,t}$	1.633*** (3.11)
控制变量	Yes	控制变量	Yes
时间和地区固定效应	Yes	时间和地区固定效应	Yes
样本量	672	样本量	672
R^2	0.725	R^2	0.617

注：括号里数字为每个解释变量系数估计的 $t(z)$ 值，*、**、*** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

上述研究已从碳配额供给和企业技术创新角度阐述了环境规制政策力度如何作用于碳价，然而碳市场的繁荣不仅应当体现在碳价长期稳定的增长上，也应体现在市场流动性和活跃度的提高上^[30]。环境规制政策力度的增强是否同时也能一定程度上提升碳市场的流动性呢？本文根据碳行情每日数据，整合得到各试点地区每月碳交易成交天数，建立模型 7 进行验证。

$$CCETED_{i,t} = \alpha ER_{i,t} \times Post_{i,t} + \beta X_{i,t} + \gamma_t + \mu_i + \epsilon_{i,t} \tag{7}$$

其中， i 代表地区， t 代表时间。 $CCETED_{i,t}$ 代表 i 地区 t 时间碳交易成交天数。其他变量与基准回归模型一致。

回归结果如表 7 所示，第（1）列是没有加入控制变量的结果，第（2）是加入控制变量的结果，第（3）列是考虑政策滞后性，用中央环保督察整改方案公开时间替换督查时间作为时间节点后的结果。第（1）—（3）列的结果均为正，表明环境管制政策力度的加强会促进碳市场流动性和

表 7 碳市场活跃度的检验

变量	(1)	(2)	(3)
$ER_i \times Post_t$	0.091 (0.94)	0.443*** (3.77)	0.358*** (3.22)
控制变量	No	Yes	Yes
时间和地区固定效应	Yes	Yes	Yes
样本量	672	672	672
R^2	0.369	0.417	0.414

注：括号里数字为每个解释变量系数估计的 $t(z)$ 值，*、**、*** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

活跃度。第(1)列的结果虽然不显著,但 P 值为0.113,接近在10%的显著性水平上显著。结合之前的实证结果,可见采取强有力的环境规制政策会在一定程度上推动碳市场的发展。

七、结论与启示

碳达峰、碳中和目标时间紧、任务重,需要成熟、合适的环境规制政策体系协助其达成。本文构建了2014—2020年的月度面板数据,以中央环保督察环境规制政策为例,运用双重差分法验证了命令控制型环境规制政策对碳市场中交易价格的影响,并讨论了其中的作用机制。实证结果表明,严格有力的环境规制会推动碳价上涨,促进碳市场良好发展。本文认为这种现象的产生源于两种可能的机制:一是严格的环境规制政策会通过降低碳排放权额度供给增强其稀缺性,同时,环境规制力度的增强也会使得市场需求方数量上升,两者共同推动了碳交易的活跃度和碳价的上涨;二是严格的环境规制政策会倒逼企业技术创新,企业因技术创新节约的配额量和提高的成本增加碳排放权的供给,从而提高碳交易市场流动性,推动碳价的上升。未来,随着全国统一碳市场的逐步成熟,具有合理约束力的碳价机制将会加快形成,包括扩大碳市场的分配方式、投资主体、交易产品、交易方式和一系列风险管理措施等。从长期来看,无论是宏观政策干预的连续性和稳定性,还是微观交易机制的设计和交易市场的开放程度等都将影响企业的主体行为和碳市场的价格形成。未来也将有更多的能源类企业和金融机构在考虑更为长期的经营决策和投资行为时将碳价和其他气候风险纳入到经营战略和风险评估当中。这些不同层面、多维度的衡量将直接提高碳价在企业决策者心中的影响力,并从单一市场或行业向更多关联市场和行业辐射。

据此,本文提出如下建议:(1)基于实证结果,命令控制型环境规制政策会推动碳价上升,促进碳市场发展。一方面,各地方政府应尽快开展调查研究,不断提炼试点地区的成功经验,加速推动全国统一碳市场的健全,同时地方政府间也应加强区间协调与监督检查工作,不仅要实时监测和分析当地碳市场的碳价、碳交易活跃度、碳交易量等多维数据,也要通过借鉴、学习、参考政策实施具有正向反馈的地区经验教训,将可复制推广的方法和制度创新及时形成案例,加速改进和健全本地区碳市场的制度体系。另一方面,在构建碳市场的过程中,应善用市场外部政策和手段,尤其注重命令控制型政策与市场激励型政策的相互融合、相互促进和协同发展。在政策制定过程中,各地区应从上层设计入手,详细考虑各政策规制间的制衡、共生关系,构建分类型、分阶段、分部门的成熟合理的可落地环境规制政策体系。在监督过程中,上级政府也应不定期实地考察和跟踪,根据各地方差异化的环境规制政策体系给予符合当地异质性的支持指导。(2)基于中介机制的实证结果,在推广全国统一碳市场构建时,要注重相关配套设施的完善。一方面,积极树立绿色政绩观,将环境治理成效作为约束性条件纳入政府考核体系,将既消化城市污染存量问题,又控制发展中形成的污染增量问题作为地方环境治理目标,提高地方官员对政策设计和落实质量的重视程度。另一方面,科技进步是解决节能降耗问题的关键,政府应加大支持力度,促进控排企业技术革新速度提升,有效结合、利用命令控制型和市场激励型环境规制政策对企业进行约束,并通过复合型的环境规制政策体系提高控排企业技术的研发意愿和投入。同时提高企业的市场准入门槛,倒逼企业以科技创新驱动内生发展,加大科技资源投入,主动贯彻执行绿色产品认证制度。最后,建立公众参与驱动机制,准许个人进入碳市场交易,并通过拓展环保宣教、维权、信访、举报、奖励渠道,将个人的参与意愿与热情转化为具体行动。在完善碳市场内部制度和环境规制政策体系的构建过程中,只有建立政府、企业与公众的三方驱动机制,才能举全社会之力量共同打赢“污染防治”战役。

参考文献

- [1] 莫建雷,段宏波,范英,等.《巴黎协定》中我国能源和气候政策目标:综合评估与政策选择[J]. 经济研究, 2018(9).
- [2] 钱浩祺,吴力波,任飞州.从“鞭打快牛”到效率驱动:中国区域间碳排放权分配机制研究[J]. 经济研究, 2019(3).
- [3] 王茹.碳税与碳交易政策有效协同研究——基于要素嵌入修正的多源流理论分析[J]. 财政研究, 2021(7).
- [4] Pizer, W. A. Combining price and quantity controls to mitigate global climate change[J]. *Journal of Public Economics*, 2002(3).
- [5] 王倩,高翠云.碳交易体系助力中国避免碳陷阱、促进碳脱钩的效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(9).
- [6] Wang, K., Y. M. Wei. China's regional industrial energy efficiency and carbon emissions abatement costs[J]. *Applied Energy*, 2014(10).
- [7] Tang, B. J., C. J. Ji, Y. J. Hu, et al. Optimal carbon allowance price in China's carbon emission trading system: Perspective from the multi-sectoral marginal abatement cost[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 253.
- [8] 魏立佳,彭妍,刘潇.碳市场的稳定机制:一项实验经济学研究[J]. 中国工业经济, 2018(4).
- [9] 张希良,张达,余润心.中国特色全国碳市场设计理论与实践[J]. 管理世界, 2021(8).
- [10] Christiansen, A. C., A. Arvanitakis, K. Tangen, et al. Price determinants in the EU emissions trading scheme [J]. *Climate Policy*, 2011(1).
- [11] Mansanet-Bataller, M., A. Pardo, E. Valor. CO₂ prices, energy and weather[J]. *The Energy Journal*, 2007(3).
- [12] Alberola, E., J. Chevallier, B. Chèze. Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005—2007[J]. *Energy Policy*, 2007(2).
- [13] 朱帮助.国际碳市场价格驱动力研究——以欧盟排放交易体系为例[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2014(3).
- [14] 王岭,刘相锋,熊艳.中央环保督察与空气污染治理——基于地级城市微观面板数据的实证分析[J]. 中国工业经济, 2019(10).
- [15] 樊威,陈维韬.碳金融市场风险形成机理与防范机制研究[J]. 福建论坛(人文社会科学版), 2019(5).
- [16] 易兰,杨历,李朝鹏,等.欧盟碳价影响因素研究及其对中国的启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2017(6).
- [17] 胡珺,黄楠,沈洪涛.市场激励型环境规制可以推动企业技术创新吗?——基于中国碳排放权交易机制的自然实验[J]. 金融研究, 2020(1).
- [18] 罗知,齐博成.环境规制的产业转移升级效应与银行协同发展效应——来自长江流域水污染治理的证据[J]. 经济研究, 2021(2).
- [19] Naughton, H. T. To shut down or to shift: Multinationals and environmental regulation[J]. *Ecological Economics*, 2014(6).
- [20] 安孟,张诚,朱冠平.环境规制强度提升了中国经济增长质量吗[J]. 统计与信息论坛, 2021(7).
- [21] 刘张立,吴建南.中央环保督察改善空气质量了吗?——基于双重差分模型的实证研究[J]. 公共行政评论, 2019(2).
- [22] McGavock, T. Here waits the bride? The effect of Ethiopia's child marriage law[J]. *Journal of Development Economics*, 2020, 149.
- [23] 吴茵茵,齐杰,鲜琴,等.中国碳市场的碳减排效应研究——基于市场机制与行政干预的协同作用视角[J]. 中国工业经济, 2021(8).
- [24] Chetty, R., A. Looney, K. Kroft. Salience and taxation: Theory and evidence[J]. *American Economic Review*, 2009(4).
- [25] 沈坤荣,金刚.中国地方政府环境治理的政策效应——基于“河长制”演进的研究[J]. 中国社会科学, 2018(5).
- [26] Cao, G. X., W. Xu. Multifractal features of EUA and CER futures markets by using multifractal detrended

- fluctuation analysis based on empirical model decomposition[J]. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2016, 83.
- [27] 刘建和, 温从乐, 梁佳丽. 贸易战背景下碳市场与能源市场溢出效应研究[J]. 工业技术经济, 2021(7).
- [28] 田永, 李瑞强, 刘文静. COVID-19 疫情前后欧盟碳金融市场的配额拍卖价格及启示——基于碳达峰、碳中和背景[J]. 价格月刊, 2021(8).
- [29] 崔也光, 周畅, 齐英. 配额管制与市场披露促进了企业参加碳交易吗?——基于试点地区上市公司的检验[J]. 中央财经大学学报, 2018(7).
- [30] 傅京燕, 章扬帆, 谢子雄. 制度设计影响了碳市场流动性吗——基于中国试点地区的研究[J]. 财贸经济, 2017(8).

Impact of Command Controlled Environmental Regulation on Carbon Price: Experiment Based on Central Environmental Protection Inspector

GAO Hong-gui, XU Ying-ying, ZHU Yu-ke

Abstract: Good development of the CCETE is a key part to achieve the goal of carbon peaking and carbon neutrality. At present, transaction price of CCETE is significantly low, which will increase the resistance to the goal. Command and control environmental regulations are taken as external factors in the market, which will have a greater impact on carbon price. Taking the central environmental protection inspector as an example, using DID method, this paper analyzes the market transaction data of eight pilot regions from 2014 to 2020. The results show that command-and-control environmental regulations will boost carbon prices and promote the development of the carbon market. The formation mechanism of this phenomenon are as follows: 1) Strict environmental regulation policies will boost carbon prices by reducing the supply of carbon allowances; 2) Strict environmental regulation policies will force enterprises to take technological innovation, thus boosting carbon price. Further research finds that command-controlled environmental regulation will also promote the activity of carbon trading. In order to implement carbon peaking and carbon neutrality, we should enhance carbon market and construct a mature and reasonable environmental regulation policy system.

Key words: command-and-control environmental regulation; CCETE; carbon price; DID

(责任编辑 朱 蓓)