

# 减污降碳协同增效的补偿机制研究

李强 吴璇

安徽财经大学, 安徽 蚌埠 233030

**摘要:** 合理补偿相关治理主体是实现减污降碳协同增效的重要举措。文章基于2003—2021年地级及以上城市与上市公司面板数据,采用多期双重差分方法实证考查政府补偿和市场补偿政策的减污降碳协同增效绩效及其传导机制。研究发现:政府补偿和市场补偿政策均能够显著降低环境污染与碳排放,且政府补偿政策的减污降碳效果更佳,但从经济、环境、气候效益共赢的角度看,仅市场补偿政策能提升减污降碳协同治理效率;机制检验表明,政府补偿政策通过加强地方政府跨辖区治理合作及提升环保财政支出实现减污降碳协同治理,而市场补偿政策则通过激励辖区企业加大环境投资与绿色技术创新实现减污降碳协同增效;异质性分析表明晋升激励较强地区更易实现减污降碳协同增效,要素市场发育初始程度较低地区会获得更大程度的减污降碳协同增效绩效。因此,应进一步健全政府的横向生态补偿制度,优化地区间环保成本与收益的分担机制;完善以排污权交易为主的市场补偿体系,激励企业提高对绿色技术的投资与应用范围;结合地区晋升激励与要素市场发育程度差异精准施策,充分释放补偿机制对减污降碳协同增效的制度效能。

**关键词:** 空气质量生态补偿;政府补偿;排污权交易;市场补偿;减污降碳

**中图分类号:** F062.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-3805(2026)04-0075-15

**基金项目:** 国家社会科学基金后期资助项目“异质性环境政策的减污降碳协同效应研究”(25FJLB051)

**作者简介:** 李强,安徽财经大学经济学院,教授,博士生导师,研究方向为资源与环境经济学。

## 一、问题的提出

“十四五”时期,我国面临“生态环境根本改善”和碳达峰碳中和两大目标任务,实现减污降碳一体谋划、协同推进是必然选择。从区域发展实践看,长三角发展受大气污染、土地资源紧缺、江河“跨界污染”等环境问题的严重制约,生态治理、减排降碳与经济高质量发展间存在矛盾<sup>[1]</sup>。理论上,环境污染与碳排放同根同源,且与规制原理相似,说明两者协同治理科学可行。较之环境污染,碳排放与经济社会发展联系更为紧密,碳排放治理的经济社会影响也更加深远,要实现减污降碳协同治理,势必对治理主体间的利益分配及补偿工作有更高要求。

环境治理是一项系统工程,治理措施回报慢,社会利益牵涉面广,存在治理效果反复的现象。地方治理主体成本分担与利益分配失衡一直是问题所在<sup>[2]</sup>。在现行治理结构背景下,各级政府需要将有限的注意力分配到辖区经济建设、环境治理等多项事务中<sup>[3]</sup>,由于环境污染及其治理效果容易溢出行政边界,地方政府倾向于采取“搭便车”策略,将注意力集中于经济发展,并有选择地执行环境治理政策<sup>[4]</sup>。对于辖区企业而言,生态环境产权归属不清,其环保投资无法获取来自受益方的利益补偿,引发市场主体对公共利益的忽视,造成环境污染加剧及环保投资不足。事实上,我国早在1979年就提出“污染者付费”并全面实行排污收费制度,通过明确企业治污责任督促相关责任方加

强环境治理,也为地方政府开展环境治理工作提供资金支持。但统一规定的收费标准普遍低于企业实际减排成本,污染企业往往选择缴纳排污费而不是加强污染治理,地方政府也难以获取充足的环境治理资金,并未有效改善地区环境状况<sup>[5]</sup>。在此背景下,我国按照“谁开发谁保护、谁受益谁补偿”原则建立横向补偿机制,推动空气质量生态补偿与排污权交易制度建设,调节地方政府、企业与公众间的利益关系,引导激励地方治理主体参与环境治理工作<sup>[6-7]</sup>。不同补偿模式各有优缺点,政府补偿存在灵活度低、管理成本高昂等问题,市场补偿则面临交易萎缩、市场无序的潜在挑战<sup>[8]</sup>。当前,面对降碳、减污、扩绿、增长的多重目标,探究现有补偿机制能否有效调节各主体利益关系、协同推进减污降碳具有重要现实意义。

从研究脉络来看,现有学者较多探讨市场补偿政策的减污降碳效果<sup>[9-10]</sup>,对不同类型补偿政策减污降碳效果和成本效益异质性关注不足。鉴于此,本文围绕地方政府及市场主体减污降碳利益失衡问题,结合空气质量生态补偿与排污权交易的制度实践,实证分析政府主导和市场主导的生态补偿政策能否实现“由污及碳”的协同降碳效果,及其在治理效率与成本效益方面的差异。较之已有文献,本文的边际贡献在于:第一,聚焦减污降碳工作中各主体的利益补偿问题,将生态补偿、排污权交易以及减污降碳纳入统一的分析框架,重点比较不同类型补偿政策对减污降碳协同增效的差异化影响,研究视角较为新颖;第二,从调节地方政府与市场主体利益关系的角度出发,分别阐释空气质量生态补偿与排污权交易影响减污降碳协同增效的机制路径,丰富减污降碳相关治理问题的分析思路;第三,聚焦政府与市场机制的特征,分别从晋升激励与市场发育角度考查政府补偿和市场补偿政策在不同地区的异质性效果,对于进一步优化生态补偿政策体系具有参考价值。

## 二、制度背景

生态补偿是指通过惩罚生态损害活动补偿生态保护行为激励社会各界参与环境治理的环境经济政策<sup>[11]</sup>。我国生态补偿制度建设贯穿着环境治理政策实践始终,一直是生态环境政策体系的重要组成部分,其发展历程梳理如下。

1979年,全国人大常委会颁布《中华人民共和国环境保护法(试行)》,标志着我国正式建立排污收费制度,初步体现生态补偿思想。1990年,《国务院关于加强环境保护工作的决定》的发布标志着生态补偿制度正式进入政策实践阶段。此后,我国逐步推进生态环境建设工程,并在2005年“十一五”规划中提出“谁开发谁保护,谁受益谁补偿”的原则,推动森林、草原、湿地、流域等多领域生态补偿制度建设。2011年,我国设立重点生态功能区,通过加大财政转移支付力度,进一步完善纵向生态补偿机制。

上述纵向制度建设仅是生态补偿制度的“冰山一角”。横向生态补偿根据运作机制差异,分为“政府补偿”与“市场补偿”两种核心类型。政府补偿是政府基于生态环境的公共属性和环境治理目标,通过财政资金投入、转移支付以及行政激励等方式,对承担生态保护责任或改善环境治理的主体给予经济激励,以矫正环境治理的负外部性,促进实现生态保护目标。市场补偿则是以市场机制为基础,明确生态环境资源产权,建立交易平台,形成资源市场价格,使得生态保护或污染治理主体能够获得经济收益,进而降低其治理成本并激励环境改善。生态补偿作为上位概念,重在回答“谁污染(保护),谁承担成本(获得补偿)”的问题,而政府补偿与市场补偿则作为下位概念,重在回答“如何补偿”的问题。

为解决跨区域生态环境治理问题,山东省于2014年率先实施空气质量生态补偿政策,通过空气质量排名和财政奖惩机制,实现区域间环境治理成本补偿,成为我国横向生态补偿制度的重要探索。空气质量生态补偿的主体是中央和地方财政,资金来源于财政转移支付或专项资金,首要

目标是解决环境污染问题。该制度创新将环境治理成本“内部化”于政府财政体系之内，是政府运用财政工具纠正环境负外部性的重要制度安排，同时也是政府补偿机制的典型代表。截至2021年，全国131个城市实施空气质量生态补偿政策。

除政府主导的生态补偿政策，亦向环境治理领域引入市场机制。作为重要的环境市场化治理工具，排污权交易是市场化生态补偿的主要政策载体。从政策延续上看，排污权交易以排污收费制度为基础，通过允许企业买卖排污许可实现排污费市场定价，进一步完成企业污染治理与收益的重新分配，实质上是市场导向的横向生态补偿制度。不同于纵向补偿政策，横向补偿政策直接解决生态环境提供方与受益方之间的利益补偿问题，因此环境治理效果可能更为明显。同时，考虑到碳污具有同根同源及规制原理相似的特殊性质，两大补偿政策对于加快大气污染治理乃至减污降碳协同增效具有积极意义，为比较分析政府主导及市场主导的减污降碳协同治理补偿机制提供契机。

### 三、理论机制与研究假说

#### （一）政府补偿影响减污降碳协同增效的机制分析

地方政府是我国生态补偿政策实践的重要主体，土地、河流等生态环境载体均属于国家，地方政府被赋予对辖区自然资源与生态环境的管辖权，相应地成为中央政府生态补偿财政资金的受偿主体。环境污染及碳排放具有较强的外溢性，整个区域减污降碳治理效果由本地与周边地区治理投入水平共同决定。当污染物随自然力扩散发生跨区域外溢时，碳污净输入地区将承担更多的环境治理成本，而碳污净输出地区则可以在“搭便车”中获得额外收益，地方政府之间存在纵向生态补偿机制难以解决的成本分担与利益分配失衡问题。

以空气质量生态补偿为代表的政府补偿政策作为横向生态补偿机制，能够协调地方政府间利益关系，推动减污与降碳的治理。一方面，该政策借助奖惩机制实现区域间治理成本共担与利益共享，缓解“搭便车”和逐底竞争问题，激励地方政府加强跨区域联合治理<sup>[12]</sup>。同时，考虑碳污均存在跨区域外溢问题，空气质量生态补偿政策能够同时减少碳排放与环境污染，实现减污降碳协同治理。另一方面，该政策通过定期发布空气质量排名和财政奖惩加大地方政府环境治理压力，并扩展其生态治理资金来源，提高环境治理投入水平。但从环境效益、气候效益以及经济效益多重视角看，空气质量生态补偿政策效率水平有待提升。由上级政府统一制定奖惩标准，此时地区间减污降碳治理资金分配并非处于均衡状态，各地区减污降碳单位成本也不相等，减污降碳治理资金配置效率较低，在实现减污降碳的同时存在较高治理成本，因此难以提升减污降碳协同效率。

在此基础上，本文构建两地横向补偿博弈模型进行数理分析。第一，假设两个同质地区 $i=1, 2$ 。每个地区的地方政府减污降碳治理投入为 $e_i$ 。第二，政府治理定义为同时减少污染物和碳排放的投入，因为二者同源，故将其简化为一个变量。由于政府对环境污染和碳排放的治理具有扩散效应，定义政府治理的外溢效应为 $Q_i=e_i+\alpha e_j$ （ $\alpha$ 为外溢系数，取值范围位于0~1之间）。第三，政府治理的成本为 $C(e_i)=\frac{c}{2}e_i^2$ ，凸性成本。当政府实施减污降碳治理任务时，前期成本较低，但当治理深入后，成本逐渐上升，因此该成本函数满足边际成本递增的假定。此外，政府治理带来的收益来自两个方面，一是政府官员因环境改善带来的晋升激励、民生收益，该收益与治理效果呈正相关，因此简化为 $B(Q_i)=\beta Q_i$ 。二是环境治理较差地区向较好地区的经济补偿 $T$ ，若地区 $i$ 的改善 $Q_i$ 高于地区 $j$ ，获得补偿 $T$ ，另一方支付 $T$ ，若相等则无转移。经济补偿 $T$ 由上级政府统一制定，属于外生参数。基于以上假设，得出地区 $i$ 政府环境治理的收益函数：

$$U_i=\beta(e_i+\alpha e_j)-\frac{c}{2}e_i^2+T(e_i-e_j) \quad (1)$$

首先对 $e_i$ 求一阶偏导，得 $\frac{\partial U_i}{\partial e_i}=\frac{\partial}{\partial e_i}[\beta(e_i+\alpha e_j)]-\frac{\partial}{\partial e_i}(\frac{c}{2}e_i^2)+\frac{\partial}{\partial e_i}[T(e_i-e_j)]$ ，分段求偏导后得到一

阶条件为  $\frac{\partial U_i}{\partial e_i} = \beta - ce_i + T = 0$ 。由于两个地区完全同质, 均衡时  $e_i = e_j = e^*$ , 在该博弈模型中对称纳什均衡解为  $e^* = \frac{\beta + T}{c}$ 。当无经济补偿时( $T=0$ ), 政府治污的均衡效益仅为  $\frac{\beta}{c}$ 。可见, 经济补偿  $T$  直接提高地方政府减污降碳治理的意愿与努力。

然而, 充分考虑全社会整体效益时, 两地总的收益函数为  $\max \sum_{i=1}^2 [\beta \{e_i + \alpha e_j\} - \frac{c}{2} e_i^2]$ , 因为经济补偿  $T$  是地区间的纯粹再分配, 所以不计入总福利。单个经济体的一阶条件为  $\beta(1 + \alpha) - ce_i = 0$ , 得出政府最优治理水平为  $e_i^{opt} = \frac{\beta(1 + \alpha)}{c}$ 。横向补偿均衡下的政府收益为  $e^* = \frac{\beta + T}{c}$ 。要实现均衡下政府治理力度社会最优, 即  $e^* = e_i^{opt}$ , 必须满足  $T = \beta\alpha$ 。但在现实中, 经济补偿  $T$  由上级政府统一制定, 与特定参数无关, 因此  $T$  很难恰好等于  $\beta\alpha$ 。一旦偏离, 地区治理效益就偏离社会最优。此外, 如果考虑地区异质性, 统一的  $T$  将使地区间边际减排成本不再相等, 造成治理资源配置效率的损失, 即有损减污降碳协同效率。基于以上理论分析, 提出如下假说:

H1: 围绕空气质量的横向政府补偿政策通过协调保护地区与受益地区间利益关系, 有效加强跨辖区治理合作及提升环保财政支出, 有助于加快减污降碳协同治理; 但由于补偿标准制定灵活性较低, 难以提升减污降碳协同治理效率。

## (二) 市场补偿影响减污降碳协同增效的机制分析

生态补偿机制的有效运行依赖市场主体积极参与。福利经济学认为, 环境污染实质上是一种私人利益与社会利益背离引发的市场失灵现象, 需要市场主体环境治理行为予以合理补偿并对破坏环境行为适度惩罚。我国早期推行的排污收费制度虽旨在约束企业排污行为, 但是收费标准长期低于治污成本, 加之监管部门难以精准核算企业真实的治污成本, 企业往往选择缴纳排污费后继续污染而非治理, 制度约束效果有限。因此, 仅依靠排污收费难以缓解政府对企业“庇古税”式的补偿与惩罚困境, 而这也为以排污权交易为首的市场化补偿工具发挥作用留下空间。

排污权交易这一市场补偿政策能够有效协调企业利益与社会利益, 加快推进减污降碳协同治理。一方面, 该政策允许企业交易排污指标, 使其根据自身治理成本和技术水平灵活调整排放行为, 降低减排阻力, 提高环保投资水平。另一方面, 合理且严格执行的环境政策虽在短时间内增加企业经营成本, 但从长期来看, 也倒逼企业重新审视生产经营状况, 激励企业加强技术创新投入, 提升能源等生产要素的利用效率, 显著减少环境污染物与碳排放, 通过技术创新降低治理成本、获取市场收益<sup>[13]</sup>。此外, 排污权交易借助市场配置实现企业间减排资源优化, 使不同技术水平企业达到边际减排成本均衡的状态, 降低减污降碳对经济活动的影响, 显著提升协同治理效率。

在此基础上, 继续假定地方政府环境治理投入为  $e_i$ , 地区  $i$  内有  $n$  家异质性企业, 企业  $k$  初始排放许可量为  $x_k^0$ , 地方政府通过治理, 使得辖区内企业排放总量控制在  $\lambda e_i$ , 即企业需要完成的总减排任务为  $\sum_{k=1}^n a_k = \lambda e_i$ , 其中  $a_k$  为企业  $k$  的减排量。若不实行排污权交易, 即企业存在固定的排污配额, 则各企业的平均排污额为  $\bar{a} = \frac{\lambda e_i}{n}$ , 但由于企业治理成本  $C_k$  各异, 统一减排下各企业边际成本  $c_k \bar{a}$  不相等, 资源配置无效率, 这也是排污权交易的起点。在政府允许企业自由交易排污配额后, 企业  $k$  的决策转变为在满足配额约束前提下, 最小化治理成本与排污权交易成本, 即为  $\min \Pi_k = \frac{c_k}{2} a_k^2 + p_i(a_k - \bar{a})$ , 其中  $p_i$  为地区  $i$  排污权市场的均衡价格, 同样, 企业减排成本也满足边际

成本递增。此时对  $a_k$  求一阶偏导, 可得  $\frac{\partial \Pi_k}{\partial a_k} = c_k a_k - p_i = 0$ , 进而求解后可得企业最优减排量  $a_k^* = \frac{p_i}{c_k}$ 。

均衡时所有企业的边际治理成本  $c_k a_k^*$  都等于市场价格  $p_i$ 。在均衡成本固定时, 企业的成本系数  $c_k$  越小, 即技术水平越高,  $a_k^*$  越大, 企业承担更多的减排任务, 市场自发实现减排资源的最优配置。

与此同时, 当所有企业的减排量之和等于政府所设定的总配额时, 该市场实现出清, 即  $\sum_{k=1}^n a_k^* = \lambda e_i$ , 将企业最优减排量  $a_k^* = \frac{p_i}{c_k}$  代入上式整理后可得均衡价格  $p_i = \frac{\lambda e_i}{\sum_{k=1}^n (\frac{1}{c_k})}$ 。因此, 在排污权

交易机制下, 企业  $k$  的最优治理成本为  $\frac{c_k (a_k^*)^2}{2} = \frac{c_k \left(\frac{p_i}{c_k}\right)^2}{2} = \frac{p_i^2}{2c_k}$ 。因此, 地区治理的总成本为  $\sum_{k=1}^n \frac{p_i^2}{2c_k}$ , 在无交易时, 企业均以  $\bar{a}$  为标准减排, 总成本为  $\sum_{k=1}^n \frac{c_k (\bar{a})^2}{2}$ , 不难发现交易机制下的总成本严格低于无交易的情况, 说明排污权交易实现了静态配置效率改进。

最后, 引入绿色技术创新。企业可以通过创新投入  $I_k$  降低治理成本,  $c_k(I_k) = c_k^0 - \delta I_k$ , 其中  $c_k^0$  为初期企业治理成本,  $\delta$  为创新的成本降低效率。创新成本为  $\frac{\kappa}{2} I_k^2$ , 依旧满足边际成本递增。因为排污权交易价格为  $p_i$ , 在引入绿色技术创新后, 企业的减排成本为  $\frac{p_i^2}{2c_k(I_k)}$ , 所以企业的总目标函数为  $\min \frac{p_i^2}{2c_k(I_k)} + \frac{\kappa}{2} I_k^2$ , 此时对  $I_k$  求偏导并令其为 0, 整理后得到一阶条件为  $\frac{\delta p_i^2}{2[c_k(I_k)]^2} = \kappa I_k$ , 对上述一阶条件做关于  $p_i$  的微分, 可得  $\frac{dI_k^*}{dp_i} > 0$ , 即排污权价格  $p_i$  越高, 企业最优创新投入  $I_k^*$  越大, 进而降低企业自身边际治理成本  $c_k(I_k^*)$ 。排污权交易机制在静态上通过边际成本均等化提升治理资源配置效率, 在动态上通过价格信号激励绿色技术创新, 两者共同作用, 最终提升地区减污降碳协同治理效率。基于以上理论分析, 提出如下假说:

H2: 市场补偿政策能够解决市场主体利益失衡问题, 促进企业加大环境投资及绿色技术创新, 最终提高减污降碳协同治理水平, 提升减污降碳协同治理效率。

### (三) 政府晋升激励的异质性分析

干部晋升激励深刻影响地方政府的环境治理动机。山东省在推行空气质量生态补偿政策的基础上<sup>①</sup>, 配套建立干部考核奖惩与生态补偿联动机制, 旨在充分发挥公共财政资金的引导作用, 调动各地的治理积极性与主观能动性。在晋升激励的作用下, 政府将减污降碳、污染综合治理列为核心考核任务, 持续加大生态环保领域投入。一方面, 晋升激励能够有效提升地方治理的积极性。政府会统筹利用生态补偿资金, 投向重点领域减污降碳项目, 提升环境综合治理水平。另一方面, 政治激励会倒逼地方政府积极回应环境信息公开产生的外部监督压力<sup>[14]</sup>, 将公众视角引入治理过程, 监督政府生态补偿政策落地效果。综上所述, 将环境保护作为晋升激励并纳入传统干部晋升体系, 能够显著推动区域生态环境改善, 降低污染物排放水平<sup>[15]</sup>, 提升区域减污降碳综合效率。基于以上理论分析, 提出如下假说:

H3: 晋升激励能够有效提升地方政府减污降碳工作的主动性, 强化政府补偿对减污降碳协同效率的积极作用。

① 资料来源:《关于〈山东省环境空气质量生态补偿暂行办法〉的解读》, 参见 [http://www.sdein.gov.cn/dtxx/zcjd/201404/t20140414\\_773434.html](http://www.sdein.gov.cn/dtxx/zcjd/201404/t20140414_773434.html)。

#### (四) 要素市场发育程度异质性分析

排污权交易政策的核心是推动企业排污量实现市场化配置,能够有效平衡私人利益与社会利益的关系,借助经济手段激励辖区污染企业强化减污降碳协同治理。但若一个地区要素市场初始发育程度较高,包括化石、能源在内的生产要素与资源实现较高度度的市场化配置,帕累托改进的幅度与范围将明显减小,所以这一市场补偿政策对企业减污降碳协同治理的激励程度也将相对有限。与之相对应的是,当一个地区要素市场初始发育程度较低时,生产要素市场化配置环境尚不完善,存在较大的优化空间,以排污权交易为代表的市场补偿政策将有效打破资源配置存在的市场壁垒,释放帕累托改进空间,发挥市场激励作用,进而提升市场主体通过绿色技术与数字技术创新实现节能、减排、降污的动力与成效。基于以上理论分析,提出如下假说:

H4: 要素市场初始发育水平对减污降碳协同效率存在显著影响。在要素市场化程度较高的地区,市场补偿带来的治理成效相对有限;反之,在要素市场化程度偏低的地区,市场补偿能够发挥更积极作用。

### 四、研究设计

#### (一) 数据说明

本文同时采用2003—2021年全国地级及以上城市与沪深A股上市公司面板数据进行计量检验。城市层面,剔除数据严重缺失的城市,选取282个地级及以上城市的5358个样本观测值,无特别说明变量的数据来源为《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》,缺失数据根据各省市统计年鉴、统计公报或年平均增长率补齐。企业层面,剔除\*ST、ST、PT、STPT类、金融业以及未分配利润为负的企业,并对企业层面连续变量进行上下1%缩尾处理。数据处理及分析在Stata18中完成。

#### (二) 变量选取

1. 被解释变量。本文的被解释变量是环境污染 $Poll$ 、碳排放 $Lnc$ 以及减污降碳协同治理效率 $Lngtfp$ 。根据2022年《减污降碳协同增效实施方案》,加强减污降碳协同推进旨在实现环境效益、气候效益、经济效益的多赢,因此本文同时考虑减污降碳效果与效率。对于环境污染 $Poll$ ,考虑到地区环境治理工作包括水污染、大气污染、固体污染等多个领域,因此选取工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟(粉)尘排放量等工业三废数据,并采用全局熵值法将上述指标合成为综合指数衡量;对于碳排放 $Lnc$ ,由于我国并未统计并公布地级市层面碳排放数据,本文基于橡树岭大气成分分析中心(CDIAC)碳排放栅格数据,使用ArcGis10.3按区划加总得到2003—2021年全国282个城市碳排放数据,并取其自然对数衡量;对于减污降碳协同治理效率 $Lngtfp$ ,参考李强等<sup>[16]</sup>的做法,选取劳动、资本以及能源作为投入,实际GDP为期望产出,环境污染与碳排放强度为非期望产出,为避免经济规模差异对效率测算的影响,选用碳排放强度(碳排放水平与实际GDP比值的自然对数)衡量,采用规模报酬可变的Super-SBM模型测度ML指数并以2003年为基期逐年累乘,最后取自然对数衡量地方减污降碳协同治理效率,与之对应,分别选取环境污染、碳排放强度作为唯一非期望产出,测算减污效率( $Lnpollution$ )与降碳效率( $Lncarbon$ )。

2. 核心解释变量。本文的核心解释变量是反映政府补偿及市场补偿政策实施情况的虚拟变量 $Ec$ 、 $Et$ 。其中,以空气质量生态补偿政策衡量政府补偿政策 $Ec$ ,若第 $i$ 个城市在第 $t$ 年开始实施空气质量生态补偿政策,当年及以后 $Ec$ 设置为1,否则 $Ec$ 设置为0;研究参考吴朝霞等<sup>[17]</sup>的方法,以排污权交易二级市场建立情况反映市场补偿政策 $Et$ ,若第 $i$ 个城市在第 $t$ 年建立起排污权交易二级市场,即实施排污权交易政策,进行市场补偿,当年及以后 $Et$ 设置为1,否则 $Et$ 设置为0。此外,为检验市场补偿政策的作用机制,将上市公司 $Et_{i,t}$ 与所在城市 $Et_{i,t}$ 保持相同设定。

3. 控制变量。为减轻因遗漏变量引发的内生性干扰,本文纳入一系列控制变量。城市层面:经济发展 $Lnagdp$ (地区实际生产总值的自然对数值);财政压力 $Fd$ (地区财政收支差额与地区财政收入

的比值)；外商直接投资  $Fdi$ (外商直接投资额占GDP的比重)；交通基础设施  $Lninf$ (地区人均道路面积的自然对数值)；人口集聚  $Lnpop$ (地区人口密度的自然对数值)；人力资本  $Hr$ (高等学校在校学生数与地区常住人口数的比值)；政府科技支出  $Se$ (地区财政科技支出占地区财政支出的比值)。企业层面：企业规模  $Scale$ (企业资产规模的自然对数值)；资产收益率  $ROA$ (净利润与总资产之比)；现金比率  $Cash\_ratio$ (经营活动产生的现金流量净额与流动负债之比)；固定资产比率  $FAR$ (固定资产与资产总额之比)；产权性质  $State\_enterprise$ (国有企业赋值为1，否则为0)；资产密集度  $Capital\_intensity$ (总资产与销售收入之比)。

主要变量描述性统计见表1。

表1 主要变量描述性统计

| 层面   | 含义         | 符号                   | 观测值    | 均值      | 标准差    | 最小值      | 最大值     |
|------|------------|----------------------|--------|---------|--------|----------|---------|
| 城市层面 | 环境污染       | $Poll$               | 5 358  | 0.0589  | 0.0588 | 0.0001   | 0.6613  |
|      | 碳排放        | $Lnc$                | 5 358  | 6.2130  | 0.9344 | 3.0459   | 9.0176  |
|      | 减污降碳协同治理效率 | $Lngtfp$             | 5 358  | -1.0549 | 0.3770 | -2.1842  | 0.9275  |
|      | 减污效率       | $Lnpollution$        | 5 358  | -0.3327 | 0.8054 | -4.6032  | 3.8045  |
|      | 降碳效率       | $Lncarbon$           | 5 358  | -0.2745 | 0.8394 | -5.1889  | 2.5213  |
|      | 政府补偿政策     | $Ec$                 | 5 358  | 0.1312  | 0.3377 | 0        | 1       |
|      | 市场补偿政策     | $Et$                 | 5 358  | 0.2426  | 0.4287 | 0        | 1       |
|      | 经济发展       | $Lnagdp$             | 5 358  | 6.6496  | 1.0391 | 3.4586   | 10.3006 |
|      | 财政压力       | $Fd$                 | 5 358  | 1.7977  | 1.8027 | -0.2304  | 17.0250 |
|      | 外商直接投资     | $Fdi$                | 5 358  | 0.0221  | 0.0512 | 0        | 1.2820  |
|      | 交通基础设施     | $Lninf$              | 5 358  | 2.5450  | 0.5523 | 0.0103   | 4.0955  |
|      | 人口集聚       | $Lnpop$              | 5 358  | 7.8496  | 0.8860 | 3.2958   | 9.9081  |
|      | 人力资本       | $Hr$                 | 5 358  | 0.0157  | 0.0192 | 0.0001   | 0.1260  |
|      | 政府科技支出     | $Se$                 | 5 358  | 0.0118  | 0.0211 | 0        | 0.6387  |
| 企业层面 | 企业规模       | $Scale$              | 36 707 | 22.0853 | 1.3076 | 18.6160  | 28.6365 |
|      | 资产收益率      | $ROA$                | 36 707 | 0.0489  | 0.0488 | -0.6419  | 0.6042  |
|      | 现金比率       | $Cash\_ratio$        | 36 706 | 0.2573  | 0.5548 | -15.3086 | 34.7565 |
|      | 固定资产比率     | $FAR$                | 36 707 | 0.2224  | 0.1675 | -0.2063  | 0.9709  |
|      | 产权性质       | $State\_enterprise$  | 36 601 | 0.4131  | 0.4924 | 0        | 1       |
|      | 资本密集度      | $Capital\_intensity$ | 36 705 | 0.6534  | 0.6747 | -2.4288  | 7.2111  |

（三）模型建立

1. 基准回归模型。为实证检验政府主导及市场主导补偿政策能否实现减污降碳协同增效，建立如下多期双重差分模型：

$$y_{i,t} = \alpha_0 + \beta_0 Policy_{i,t} + X_{i,t} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_{i,t}$$

(1)

式中， $i$ 、 $t$ 分别表示城市和年份； $y_{i,t}$ 表示被解释变量，包括环境污染  $Poll$ 、碳排放  $Lnc$  及减污降碳协同治理效率  $Lngtfp$ ； $Policy$ 表示政策虚拟变量，包括空气质量生态补偿政策虚拟变量  $Ec_{it}$ 及排污权交易政策虚拟变量  $Et_{it}$ ； $X_{i,t}$ 表示宏观层面控制变量向量； $\lambda_i$ 、 $\mu_t$ 分别表示地区固定效应和年份固定效应； $\varepsilon_{i,t}$ 表示随机误差项。 $\beta_0$ 即为本文关注的政策效应。

2. 机制检验模型。为进一步开展机制检验，从宏观与微观两个视角出发，探讨政府补偿政策与市场补偿政策的作用机制。宏观视角，针对政府补偿政策，参考江艇<sup>[18]</sup>两步法思路，将机制变量直接替换基准回归模型的被解释变量，检验政府补偿政策通过跨辖区治理合作、提高环保财政支出发挥作用；进一步从微观企业视角实证检验市场补偿政策的作用机制，考虑到不同行业受政策影响差异

较大, 双重差分模型难以满足平行趋势假定, 因此构建如下多期三重差分模型:

$$m_{j,t+1} = \alpha_1 + \theta_1 Et_{j,t} \times Indust_{j,t} + \beta_1 Et_{j,t} + \rho_1 Indust_{j,t} + X_{j,t} + \lambda_j + \mu_t + \varepsilon_{j,t} \quad (2)$$

式中,  $j$ 、 $t$  分别表示企业和年份;  $m_{j,t+1}$  表示提前一期的机制变量, 包括环保投资  $Invest$  及绿色创新  $Patent$ ;  $Indust_{j,t}$  表示行业属性虚拟变量, 若企业所在行业为制造业, 设置为 1, 否则为 0;  $X_{j,t}$  表示微观层面控制变量向量;  $\lambda_j$ 、 $\mu_t$  分别表示企业固定效应和年份固定效应;  $\varepsilon_{j,t}$  表示随机误差项。  $\theta_1$  为本文关注的机制传导效应。其他变量含义同式(1)。

## 五、实证结果

### (一) 基准回归结果

本文基于多期双重差分模型估计式(1), 考查政府补偿以及市场补偿政策的减污降碳协同增效绩效, 相关结果见表 2 列(1)。列(1~3)依次展示政府补偿政策  $Ec$  对环境污染  $Poll$ 、碳排放  $Lnc$  及减污降碳协同治理效率  $Lngtfp$  的回归结果, 可见政府补偿政策对环境污染以及碳排放的影响系数显著为负, 对减污降碳协同治理效率的影响系数为正但不显著, 表明政府补偿政策能够显著减少环境污染与碳排放, 不过无法提升减污降碳协同治理效率。列(4~6)依次给出了市场补偿政策  $Et$  对环境污染  $Poll$ 、碳排放  $Lnc$  以及减污降碳协同治理效率  $Lngtfp$  的回归结果, 结果显示市场补偿政策对环境污染及碳排放的影响系数显著为负, 对减污降碳协同治理效率的影响系数显著为正, 表明市场补偿政策不仅显著减少环境污染与碳排放, 还能够促进减污降碳协同治理效率提升。比较两大补偿政策效果, 市场补偿政策在减污降碳效果方面不及政府补偿政策, 但在协同治理效率方面明显优于政府补偿政策。

表 2 生态补偿政策对减污降碳协同增效的影响(1)

| 变量名称   | (1)<br>环境污染           | (2)<br>碳排放            | (3)<br>协同治理效率          | (4)<br>环境污染           | (5)<br>碳排放           | (6)<br>协同治理效率          |
|--------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| 政府补偿政策 | -0.0092***<br>(-4.96) | -0.0346***<br>(-9.15) | 0.0154<br>(1.43)       |                       |                      |                        |
| 市场补偿政策 |                       |                       |                        | -0.0148***<br>(-8.54) | -0.0099**<br>(-2.02) | 0.0745***<br>(7.40)    |
| 经济发展   | 0.0142***<br>(3.92)   | 0.0984***<br>(11.35)  | 0.4736***<br>(21.03)   | 0.0145***<br>(4.13)   | 0.0949***<br>(10.68) | 0.4680***<br>(21.26)   |
| 财政压力   | 0.0003<br>(0.72)      | 0.0019<br>(0.58)      | -0.0002<br>(-0.04)     | 0.0010**<br>(2.31)    | 0.0037<br>(1.14)     | -0.0022<br>(-0.48)     |
| 外商直接投资 | -0.0194<br>(-1.44)    | 0.0453<br>(1.21)      | -0.0766<br>(-0.51)     | -0.0158<br>(-1.20)    | 0.0476<br>(1.37)     | -0.0951<br>(-0.62)     |
| 交通基础设施 | 0.0029*<br>(1.78)     | 0.0113***<br>(2.85)   | -0.0044<br>(-0.40)     | 0.0026<br>(1.58)      | 0.0122***<br>(3.06)  | -0.0016<br>(-0.14)     |
| 人口集聚   | -0.0012*<br>(-1.89)   | 0.0109***<br>(4.19)   | 0.0106*<br>(1.83)      | -0.0015**<br>(-2.39)  | 0.0108***<br>(4.15)  | 0.0123**<br>(2.15)     |
| 人力资本   | -0.2309***<br>(-2.81) | 0.3992*<br>(1.75)     | 1.5490**<br>(2.17)     | -0.2375***<br>(-2.95) | 0.4055*<br>(1.76)    | 1.5938**<br>(2.26)     |
| 政府科技支出 | -0.0346*<br>(-1.92)   | -0.0355<br>(-0.90)    | 0.1439<br>(1.03)       | -0.0342*<br>(-1.89)   | -0.0376<br>(-0.98)   | 0.1393<br>(1.01)       |
| 常数项    | -0.0433<br>(-1.33)    | 7.0880***<br>(93.78)  | -5.0791***<br>(-24.17) | -0.0456<br>(-1.44)    | 7.1199***<br>(91.87) | -5.0314***<br>(-24.38) |
| 城市固定   | 控制                    | 控制                    | 控制                     | 控制                    | 控制                   | 控制                     |
| 年份固定   | 控制                    | 控制                    | 控制                     | 控制                    | 控制                   | 控制                     |
| 观测值    | 5 358                 | 5 358                 | 5 358                  | 5 358                 | 5 358                | 5 358                  |
| $R^2$  | 0.771                 | 0.994                 | 0.768                  | 0.774                 | 0.994                | 0.770                  |

注: \* $P < 0.1$ 、\*\* $P < 0.05$ 、\*\*\* $P < 0.01$ , 括号内为稳健标准误, 下同。

表3列(2)为政府补偿政策对单一效率维度的影响结果，回归结果与表3列(1)一致，政府补偿政策对减污与降碳效率的影响不显著，市场补偿政策对减污与降碳效率的影响依旧显著为正，说明政府补偿政策带来的效率改善独立于减污降碳规模，是政策优化要素配置、激励绿色创新形成的真实治理效果。

表3 生态补偿政策对减污降碳协同增效的影响(2)

|        | (1)<br>减污效率           | (2)<br>降碳效率            | (3)<br>减污效率           | (4)<br>降碳效率            |
|--------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 政府补偿政策 | 0.0135<br>(0.0261)    | 0.0121<br>(0.0260)     |                       |                        |
| 市场补偿政策 |                       |                        | 0.1707***<br>(0.0244) | 0.1912***<br>(0.0248)  |
| 常数项    | -0.8386**<br>(0.3851) | -1.1718***<br>(0.3886) | -0.8120**<br>(0.3785) | -1.1465***<br>(0.3820) |
| 观测值    | 5 358                 | 5 358                  | 5 358                 | 5 358                  |
| $R^2$  | 0.6891                | 0.7129                 | 0.6919                | 0.7160                 |

注：囿于篇幅，暂不展示控制变量回归结果。

(二) 稳健性检验<sup>②</sup>

1. 平行趋势检验。双重差分有效估计的前提是满足平行趋势假定，即两大补偿政策实施之前实验组与对照组被解释变量的变化趋势不存在显著差异。基于此，本文采用事件研究法考查两大补偿政策的动态效应，借以进行平行趋势检验。检验结果为，在政府补偿或市场补偿政策实施之前，政策系数均不显著异于零，即在相关政策实施之前，实施政策城市与未实施政策城市的环境污染、碳排放以及减污降碳协同治理效率变化趋势并不存在显著差异，通过平行趋势检验。

2. PSM-DID 检验。为排除自选择偏误的干扰，借助倾向得分匹配方法进行PSM-DID 检验。选取控制变量作为匹配变量，使用k 近邻卡尺匹配筛选出与实验组特征一致的对照组，并基于匹配筛选后的样本数据进行双重差分估计。较之基准回归结果，无论是空气质量生态补偿还是排污权交易，政策虚拟变量 $Ec$ 、 $Et$ 对环境污染 $Poll$ 、碳排放 $Lnc$ 以及减污降碳协同治理效率 $Lngtfp$ 影响系数的显著性和绝对值均未发生明显变化，表明自选择偏误对双重差分估计造成的干扰较小，增强基准回归结果的稳健性。

3. 安慰剂检验。为排除不可观测因素的干扰，采取随机生成政策虚拟变量的方式进行多期双重差分的安慰剂检验。检验结果为，无论是政府补偿还是市场补偿，500次随机试验的政策变量系数值和 $P$ 值均服从近似正态分布，且集中于0 值附近。与此同时，虚构的政策变量系数均值都接近于零，通过安慰剂检验，进一步增强基准回归结果的稳健性。

(三) 内生性检验

1. 控制可观测的时变混淆因素。政策试点城市的选择并非随机，其与地理位置、经济基础、环境状况等先决条件或因素存在一定的相关性。在时间趋势的作用下，这些因素可能对减污降碳协同增效产生不同程度的影响，因此在基准回归模型中加入先决变量与时间趋势的交互项，以验证是否存在影响回归结果的可能。“两控区”是酸雨控制区或者二氧化硫污染控制区的简称，1998 年1 月，国务院根据《中华人民共和国大气污染防治法》划定控制区。本文以此政策作为先决变量，引

<sup>②</sup> 囿于篇幅，稳健性检验结果留存备案。

入基准回归模型。回归结果见表4,当控制先决变量后,回归系数并未发生明显变化,基本排除试点城市非随机选择对基准回归结论的潜在影响。

表4 控制可观测的时变混淆因素

|           | (1)<br>环境污染            | (2)<br>碳排放             | (3)<br>协同治理效率          | (4)<br>环境污染            | (5)<br>碳排放            | (6)<br>协同治理效率          |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| 政府补偿政策    | -0.0098***<br>(0.0037) | -0.0356***<br>(0.0076) | 0.0179<br>(0.0226)     |                        |                       |                        |
| 市场补偿政策    |                        |                        |                        | -0.0133***<br>(0.0041) | -0.0062<br>(0.0139)   | 0.0671***<br>(0.0233)  |
| $TCZ\_t$  | 0<br>(0.0016)          | 0.0013<br>(0.0054)     | 0.0505***<br>(0.0152)  | 0.0001<br>(0.0016)     | 0.0014<br>(0.0054)    | 0.0502***<br>(0.0152)  |
| $TCZ\_t2$ | -0.0001<br>(0.0002)    | -0.0011*<br>(0.0006)   | -0.0039**<br>(0.0017)  | -0.0001<br>(0.0002)    | -0.0011*<br>(0.0006)  | -0.0039**<br>(0.0017)  |
| $TCZ\_t3$ | 0.0000<br>(0.0000)     | 0.0000**<br>(0.0000)   | 0.0001*<br>(0.0001)    | 0.0000<br>(0.0000)     | 0.0000**<br>(0.0000)  | 0.0001**<br>(0.0001)   |
| 常数项       | -0.0053<br>(0.0600)    | 5.5071***<br>(0.1139)  | -4.5279***<br>(0.3560) | -0.0040<br>(0.0583)    | 5.5231***<br>(0.1173) | -4.5187***<br>(0.3469) |
| 观测值       | 5 358                  | 5 358                  | 5 358                  | 5 358                  | 5 358                 | 5 358                  |
| $R^2$     | 0.7669                 | 0.9934                 | 0.7599                 | 0.7684                 | 0.9933                | 0.7617                 |

注:控制变量、城市效应和年份效应均已控制,囿于篇幅,暂不标注。下同。

2.排除同期政策干扰。为检验时变混淆因素对回归结果的影响,进一步排除同期实施的其他环境政策。自2016年全面启动实施的中央生态环境保护督察是党中央、国务院推进生态文明建设的重大制度创新。参考唐文亮等<sup>[19]</sup>做法,构建HBDC为0~1变量,当时间落入督察组进驻期间时该变量为1,否则为0。回归结果见表5,在加入同期政策变量后回归结果与基准回归一致,并未发生明显变化,说明基准估计识别的减污降碳效应归因于政府与市场两类补偿政策,而非同期其他环境政策的叠加效应,潜在的时变混淆因素未对核心实证结果产生影响。

表5 排除同期政策干扰

|        | (1)<br>环境污染           | (2)<br>碳排放             | (3)<br>协同治理效率          | (4)<br>环境污染            | (5)<br>碳排放             | (6)<br>协同治理效率          |
|--------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 政府补偿政策 | -0.0095**<br>(0.0039) | -0.0341***<br>(0.0078) | 0.0163<br>(0.0228)     |                        |                        |                        |
| 市场补偿政策 |                       |                        |                        | -0.0148***<br>(0.0043) | -0.0099<br>(0.0139)    | 0.0745***<br>(0.0242)  |
| $HBDC$ | 0.0045**<br>(0.0018)  | -0.0058**<br>(0.0028)  | -0.0105<br>(0.0088)    | 0.0035*<br>(0.0018)    | -0.0091***<br>(0.0028) | -0.0086<br>(0.0089)    |
| 常数项    | -0.0301<br>(0.0605)   | 5.4409***<br>(0.1189)  | -4.2984***<br>(0.3642) | -0.0272<br>(0.0587)    | 5.4583***<br>(0.1214)  | -4.2953***<br>(0.3540) |
| 观测值    | 5 358                 | 5 358                  | 5 358                  | 5 358                  | 5 358                  | 5 358                  |
| $R^2$  | 0.7578                | 0.9932                 | 0.7542                 | 0.7601                 | 0.9931                 | 0.7565                 |

#### (四) 机制检验

机理分析指出,政府补偿政策能够加强跨辖区合作治理并提高环保财政支出,有助于减污降碳

协同治理；市场补偿机制能够激励企业加大环境投资与绿色技术创新，实现减污降碳协同治理。

1. 政府补偿机制。政府补偿政策的机制变量是跨区域合作治理 *Coope* 及环境财政支出 *Finan*。关于跨区域合作治理 *Coope*，采用地方政府工作报告中合作治理相关词数<sup>③</sup>占总词数比重衡量。关于环境财政支出，本文从省市统计年鉴与政府信息公开申请平台获取到2007—2010年财政环保支出及2011—2021年的节能环保支出，采用财政环保支出(节能环保支出)与地区生产总值比值的自然对数值衡量环境财政支出 *Finan*，同时考虑2011年财政环保支出分项变更为节能环保支出后与减污降碳工作关联更大，因此采用2011—2021年的节能环保支出与地区生产总值比值的自然对数值直接衡量减污降碳财政支出 *Finan\_2011*。基于此，分别以上述机制变量替换式(1)中的被解释变量后进行机制检验，相关结果见表6。政府补偿政策 *Ec* 对跨区域合作治理 *Coope*、环境财政支出 *Finan* 以及减污降碳财政支出 *Finan\_2011* 的影响系数均显著为正，表明其显著提升地方政府跨辖区合作治理程度，提升政府环保财政支出水平。

碳污均存在跨区域的负外部性特征，政府补偿政策能够提升地方政府跨区域合作治理程度，推动实现合作治理。政府间合作治理在应对减污与降碳等充满碎片化的复杂问题挑战上展现出强大潜力<sup>[20]</sup>。与此同时，中央政府对环境治理的奖惩制度进一步激发了该潜力，使得地方政府间合作治理成为环境治理博弈中稳定的均衡策略<sup>[21]</sup>，提升了政府减污降碳力度。因此，地方政府的跨区域合作治理是化解碳污跨区域负外部性问题与提升减污降碳协同效率的重要路径<sup>[22]</sup>。此外，政府补偿政策的实施会提升政府环境财政支出，而地方政府环境财政支出有助于改善生态环境质量，抑制污染物排放与减少二氧化碳排放<sup>[23-24]</sup>，进而推动减污降碳协同治理水平的提升，H1得证。

表6 机制检验估计结果

| 变量                                           | (1)<br>跨区域合作治理      | (2)<br>环境财政支出        | (3)<br>减污降碳财政支出      | (4)<br>企业环保投资      | (5)<br>企业绿色创新        |
|----------------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| 政府补偿政策                                       | 0.015***<br>(4.27)  | 0.147***<br>(5.09)   | 0.095***<br>(3.50)   |                    |                      |
| 制造业政策处理<br>效应变量<br><i>Et</i> × <i>Indust</i> |                     |                      |                      | 0.051*<br>(1.85)   | 0.121**<br>(2.53)    |
| 市场补偿政策                                       |                     |                      |                      | -0.092<br>(-1.36)  | -0.115***<br>(-2.83) |
| 制造业企业虚拟<br>变量 <i>Indust</i>                  |                     |                      |                      | 0.015<br>(0.50)    | 0.135***<br>(3.20)   |
| 常数项                                          | 0.1721***<br>(4.97) | 5.0022***<br>(18.34) | 5.0431***<br>(20.10) | 1.485***<br>(2.99) | -1.753***<br>(-5.11) |
| 观测值                                          | 4 022               | 4 029                | 2 963                | 26 966             | 31 790               |
| <i>R</i> <sup>2</sup>                        | 0.329               | 0.629                | 0.73                 | 0.074              | 0.063                |

2. 市场补偿机制。市场补偿政策的机制变量是企业环保投资 *Invest*、企业绿色创新 *Patent*。企业环保投资 *Invest*，采用企业环保支出与销售收入之比衡量。企业绿色创新 *Patent*，参考Liao et al.<sup>[25]</sup>的做法，采用企业绿色发明专利申请量的自然对数值衡量。基于此，分别以上述机制变量作为式(2)中的被解释变量进行机制检验，相关结果见表6列(4~5)。从中可知，三重差分变量 *Et*×*Indust* 对企业环保

③ 跨区域合作治理词汇：环保协同、协同发展、协同治理、交界地区、联防、联控、联治、区域合作、优势互补、合作共赢、共同推进、保护协作、协同治污。

投资 *Invest* 及企业绿色创新 *Patent* 的影响系数均显著为正, 表明市场补偿政策能够显著促进辖区制造业上市公司加大环保投资及绿色技术创新。

企业是污染物排放的主体。市场补偿政策通过市场化手段和制度压力将企业环境问题内部化, 一方面, 企业通过市场补偿对冲投入成本, 改善盈利预期, 激励增加环保投资, 加之企业环保投资具有行业同群效应, 因此能够显著提升企业在减污与降碳等环境治理方面的价值<sup>[26]</sup>; 另一方面, 企业加大绿色技术、数字技术创新是实现绿色转型的关键<sup>[27]</sup>, 通过收益激励引导企业开展绿色技术研发、加快专利申请, 环保投入落地与绿色技术迭代形成合力, 推动污染治理与碳减排, 最终提升减污降碳协同效率, H2 得证。

#### (五) 异质性分析

第一, 本文参考纪志宏等<sup>[28]</sup>的做法, 利用 CCER 数据库<sup>[29]</sup>, 将市委书记年龄是否不高于 54 岁作为衡量晋升激励强弱标准进行分组检验, 相关结果见表 7。从中得知, 无论市委书记年龄是否高于 54 岁, 政府补偿政策均能够显著减少环境污染与碳排放。但从影响系数来看, 市委书记年龄不高于 54 岁时, 政府补偿政策的减污降碳效应更大。不仅如此, 仅当晋升激励较强时, 政府补偿政策能够促进减污降碳协同治理效率提升。上述结果表明, 政府人员的晋升激励能够增强政府减污降碳的积极性, 进而提高政府补偿政策对减污降碳协同效率的积极影响, H3 得证。

表 7 晋升激励强弱的分组回归结果

| 项目                    | (1)                  | (2)                  | (3)                   | (4)                 | (5)                  | (6)                   |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
|                       | 市委书记年龄≤54 岁          |                      |                       | 市委书记年龄>54 岁         |                      |                       |
|                       | 环境污染                 | 碳排放                  | 协同治理效率                | 环境污染                | 碳排放                  | 协同治理效率                |
| 政府补偿政策                | -0.010***<br>(-4.37) | -0.032***<br>(-4.86) | 0.028*<br>(1.72)      | -0.009**<br>(-2.47) | -0.026***<br>(-5.96) | -0.026<br>(-1.58)     |
| 常数项                   | 0.233***<br>(20.93)  | 7.519***<br>(157.80) | -1.763***<br>(-19.54) | 0.059***<br>(3.34)  | 7.925***<br>(267.38) | -1.206***<br>(-11.15) |
| 观测值                   | 3 361                | 3 361                | 3 361                 | 1 989               | 1 989                | 1989                  |
| <i>R</i> <sup>2</sup> | 0.814                | 0.992                | 0.768                 | 0.798               | 0.998                | 0.849                 |

第二, 为考查市场补偿政策是否在要素市场发育初始程度高低地区具有异质性, 以排污权交易政策实施第一年(2008)省份层面市场化指数的要素市场发育程度作为划分标准进行分组检验, 相关结果见表 8。从中得知, 市场补偿政策在要素市场发育初始程度低的地区能够显著促进减污降碳协同增效, 在要素市场发育初始程度高的地区只能降低环境污染而不能降低碳排放, 并未实现减污降碳协同治理。上述结果表明, 市场补偿政策在要素市场发育缓慢地区能够实现更大程度的减污降碳协同增效, H4 得证。

表 8 要素市场发育初始程度高低的分组回归结果

|                       | (1)                  | (2)                  | (3)                   | (4)                  | (5)                  | (6)                   |
|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
|                       | 要素市场发育初始程度高          |                      |                       | 要素市场发育初始程度低          |                      |                       |
|                       | 环境污染                 | 碳排放                  | 协同治理效率                | 环境污染                 | 碳排放                  | 协同治理效率                |
| 市场补偿政策                | -0.013***<br>(-4.41) | 0.007<br>(0.96)      | 0.041***<br>(2.91)    | -0.017***<br>(-8.52) | -0.020***<br>(-2.92) | 0.102***<br>(6.65)    |
| 常数项                   | 0.082***<br>(6.74)   | 7.891***<br>(224.26) | -1.104***<br>(-10.39) | 0.102***<br>(8.52)   | 6.430***<br>(163.6)  | -2.305***<br>(-21.09) |
| 观测值                   | 2 603                | 2 603                | 2 603                 | 2 755                | 2 755                | 2 755                 |
| <i>R</i> <sup>2</sup> | 0.806                | 0.994                | 0.758                 | 0.698                | 0.993                | 0.761                 |

## 六、结论与政策建议

### (一) 结论

面对降碳、减污、扩绿、增长多重任务，迫切需要充分调动地方主体积极性，实现减污降碳协同治理。本文围绕地方政府及辖区企业等主体动力缺失问题，以空气质量生态补偿和排污权交易政策为例，系统考查政府补偿及市场补偿政策的减污降碳协同增效绩效与传导机制。主要研究结论：第一，在空气质量生态补偿制度生效的背景下，政府补偿政策构建地方政府减污降碳协同增效补偿机制，能够协调保护地区与受益地区间的利益关系，进而实现减污降碳协同治理，但由于补偿标准制定灵活性较低，难以提升减污降碳协同治理效率；以排污权交易为典型的市場补偿政策能够解决市场主体利益失衡问题，进而提升减污降碳协同治理水平及减污降碳协同治理效率。第二，机制检验表明，政府补偿政策能够加强地方政府跨辖区治理合作并提高环保财政支出，进而有助于加快减污降碳协同治理；市场补偿政策能够激励辖区企业加大环境投资及绿色技术创新，最终显著改善减污降碳协同治理水平。第三，异质性分析表明，以空气质量生态补偿为例的政府补偿政策效果会受到晋升激励机制干扰，即在晋升激励较强地区实现更为明显的减污降碳协同增效；以排污权交易为例的市场补偿政策效果会受到“市场环境”影响，即在要素市场发育程度较低地区获得更大程度的减污降碳协同增效绩效。

### (二) 政策建议

第一，针对条块分割背景下污染外溢引发的地方政府减污降碳利益受损问题，上级政府需要持续加强纵向财政转移支付及横向生态补偿制度建设，既要通过层层分拨的财政补偿扩充地方政府环境治理资金池，为高效开展减污降碳协同治理工作提供资金保障，也要通过建立健全地方政府间生态资金补偿机制，协调处理好环境保护地区与受益地区围绕环境治理工作的利益纠纷，形成地区间减污降碳成本共担与收益共享机制，助力地区减污降碳协同增效。

第二，针对“搭便车”行为引发的市场主体减污降碳利益受损问题，地方政府需要持续完善以“污染者付费”为核心思想的排污权交易制度建设，扩大排污权交易市场试点范围，在更大区域内实现对企业节能减排与环境治理投资的资金补偿，强化对企业排污权益履行情况的事后监督与结算，优化围绕减污降碳目标的排污权益价格形成机制，进而以更高的市场交易价格和利益补偿激励环保企业参与其中，为减污降碳协同增效提供支持。

第三，根据实际状况因地制宜地优化并实施各类生态补偿政策。政府补偿政策的主要目的应是充分发挥财政资金对地方政府治理行为的积极引导作用，而环境质量考核与奖惩仅作为激励地方政府强化治理的补充手段，以避免财政资金、优惠政策向生态环境治理领域过度聚集，这对于经济发展相对滞后、财政资金较为匮乏的地区尤为重要。同时，实施市场补偿政策也应关注地区要素市场发育状况，积极整合各类资源要素市场，培育用能权、碳排放权等环境权益交易市场，避免资源环境市场化机制重复建设、低效运行，防止企业为同一生产过程向各类市场重复支付高额环境权益费用，要素市场发育程度较高的地区尤应予以重视。

## 参考文献

- [1] 李强, 魏巍. 长三角环境治理政策组合绩效评估与优化研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2024.
- [2] 王红梅, 邢华, 魏仁科. 大气污染区域治理中的地方利益关系及其协调: 以京津冀为例[J]. 华东师范大学学报(哲学社会科学版), 2016, 48(5): 133-139+195.
- [3] 王印红, 李萌竹. 地方政府生态环境治理注意力研究——基于30个省市政府工作报告(2006—2015)文本分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(2): 28-35.

- [4] Chen W, Wang G, Xu N, et al. Promoting or inhibiting? New-type urbanization and urban carbon emissions efficiency in China[J]. Cities, 2023, 140(9): 1-15.
- [5] 王敏, 冯宗宪. 排污税能够提高环境质量吗[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 73-77.
- [6] 张海峰, 沈坤荣, 梁若冰, 等. 生态补偿奖惩机制改革对大气污染治理的优势效应研究[J]. 管理世界, 2024, 40(6): 114-133.
- [7] 李永友, 文云飞. 中国排污权交易政策有效性研究——基于自然实验的实证分析[J]. 经济学家, 2016(5): 19-28.
- [8] 高玫. 流域生态补偿模式比较与选择[J]. 江西社会科学, 2013, 33(11): 44-48.
- [9] 张雪纯, 曹霞, 宋林壕. 碳排放交易制度的减污降碳效应研究——基于合成控制法的实证分析[J]. 自然资源学报, 2024, 39(3): 712-730.
- [10] Li C G, Jin H, Tan Y Y. Synergistic effects of a carbon emissions trading scheme on carbon emissions and air pollution: The case of China[J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 2024, 20(4): 1112-1124.
- [11] 毛显强, 钟瑜, 张胜. 生态补偿的理论探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2002(4): 40-43.
- [12] 戴胜利, 李筱雅. 流域生态补偿协同共担机制的运作逻辑——以新安江流域为例[J]. 行政论坛, 2022, 29(6): 109-117.
- [13] 宋德勇, 陈梁, 王班班. 环境权益交易如何实现减污降碳协同增效: 理论与经验证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(2): 171-192.
- [14] 李强, 金川. 环境信息公开对减污降碳协同治理的影响[J]. 生态文明研究, 2026(2): 47-69.
- [15] 韩国高, 张超. 财政分权和晋升激励对城市环境污染的影响——兼论绿色考核对我国环境治理的重要性[J]. 城市问题, 2018(2): 25-35.
- [16] 李强, 李媛, 唐幼明. 减污降碳协同治理的公众参与机制研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2025, 27(6): 26-42+56.
- [17] 吴朝霞, 潘琪, 胡素丹. 排污权交易试点能否促进绿色发展[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2021, 24(3): 82-90.
- [18] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
- [19] 唐文亮, 万攀兵, 杨冕. 中央环保督察的异质性减排效应与政策时效性[J]. 财贸经济, 2025, 46(5): 159-176.
- [20] 徐国冲. 迈向合作治理: 从新公共管理运动说起[J]. 江海学刊, 2023(2): 117-126+256.
- [21] 何奇龙, 李琴英, 李晶. 污染产业转移下府际间合作治理大气污染的演化博弈分析[J]. 运筹与管理, 2020, 29(4): 86-92.
- [22] 范如国, 吴婷. 考虑多重异质性的区域环境合作治理小世界网络演化博弈研究[J]. 管理工程学报, 2025, 39(1): 140-154.
- [23] 李淑瑞, 薛钢. 省以下生态转移支付制度环境保护激励效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(1): 138-145.
- [24] 梅辉扬, 傅志华. 地方节能环保支出对减污降碳协同增效的影响[J]. 北京社会科学, 2026(3): 59-73.
- [25] Liao Z J, Xu L J, Zhang M N. Green finance policy instrument mix and firms' environmental innovation: Does firm life-cycle stage matter? [J]. Sustainable Development, 2024, 32(5): 4535-4544.
- [26] 陈霖波, 赵玉, 张健, 等. 制度压力下企业环保投资同群效应研究[J]. 管理现代化, 2025, 45(6): 115-124.
- [27] 付国梅, 唐加福, 刘娟. 人工智能是否赋能企业绿色转型——基于社会需求理论视角[J/OL]. 南开管理评论, 1-17[2026-07-14]. <https://link.cnki.net/urlid/12.1288.f.20260518.1446.004>.
- [28] 纪志宏, 周黎安, 王鹏, 等. 地方官员晋升激励与银行信贷——来自中国城市商业银行的经验证据[J]. 金融研究, 2014(1): 1-15.
- [29] 姚洋, 席天扬, 李力行, 等. 选拔、培养和激励——来自CCER官员数据库的证据[J]. 经济学(季刊), 2020, 19(3): 1017-1040.

(责任编辑: 肖舒苑)

## Study on the Compensation Mechanism for Synergies between Pollution Reduction and Carbon Reduction

LI Qiang WU Xuan

Anhui University of Finance and Economics, Bengbu 233030, Anhui, China

**Abstract:** Reasonable compensation for governance subjects is essential in achieving synergistic pollution and carbon reduction. Based on prefecture-level city panel data and listed firm data from 2003 to 2021, this study employs a multi-period difference-in-differences model to examine the effects and mechanisms of governmental and market-based compensation policies. The results show that: (1) Both types of compensation policies significantly reduce pollution and carbon emissions, with government compensation exhibiting stronger reduction effects. However, only market-based compensation improves the efficiency of synergistic pollution and carbon reduction from economic, environmental, and climate perspectives. (2) Mechanism analysis indicates that government compensation promotes collaborative governance by enhancing intergovernmental cooperation and increasing environmental fiscal expenditure, while market-based compensation improves synergy efficiency by stimulating corporate environmental investment and green innovation. (3) Heterogeneity analysis reveals that the effectiveness of government compensation is strengthened by promotion incentives, whereas the impact of market-based compensation depends on the market environment, with stronger effects observed in regions with lower initial market development factor. Therefore, we should further enhance the government's horizontal ecological compensation system and optimize the mechanism for sharing environmental protection costs and benefits among regions; refine the market-based compensation system—centered on emissions trading—to incentivize enterprises to increase investment in and expand the application of green technologies; and implement targeted policies that consider regional development incentives and variations in the maturity of factor markets will fully unleash the institutional effectiveness of the compensation mechanism, achieving synergistic benefits for both pollution reduction and carbon mitigation.

**Key words:** ecological compensation for air quality; government compensation; emission trading; market compensation; reduce pollution and carbon