doi：10. 12068/j. issn. 1005－3026. 2026. 20250003

新《环保法》实施的减污降碳协同效应研究

靳宝玲，韩 颖，朱悦宏
（东北大学 工商管理学院，辽宁 沈阳 110169）

摘 要：以新《环保法》实施作为准自然实验，运用数据包络分析（DEA）模型、双重差分模型和工具变量法等多种计量分析方法，探讨命令控制型环境规制的减污降碳协同效应. 研究发现：在新《环保法》的约束下，重污染企业减污降碳协同效应显著提升，且对国有企业和减排压力较高地区企业有更为显著的正向影响. 机制研究揭示创新补偿效应是新《环保法》实施影响重污染企业减污降碳协同效应的主要机制. 本文为验证新《环保法》实施的减污降碳协同效应提供了微观证据，为实现企业社会效应、经济效应与环境效应提供了理论支持.

关 键 词：命令控制型环境规制；新《环保法》；减污降碳协同效应；双重差分模型；重污染企业
中图分类号：F 272.3 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-3026（2026）03-0148-09

Research on Synergistic Effect of Reducing Pollution and Carbon Emissions in Implementation of New *Environmental Protection Law*

JIN Bao-ling, *HAN Ying*, *ZHU Yue-hong*
（School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: HAN Ying, E-mail: yinghan2021@126.com）

Abstract: By using the implementation of the new *Environmental Protection Law* as a quasi-natural experiment, various econometric analysis methods were employed, including the data envelopment analysis (DEA) model, the difference-in-differences model, and instrumental variable approaches, to explore the synergistic effect of reducing pollution and carbon emissions under command-and-control environmental regulations. The findings reveal that under the constraints of the new *Environmental Protection Law*, a significant enhancement in the synergistic effect of reducing pollution and carbon emissions is seen in the highly polluting enterprises. Moreover, this positive influence is particularly pronounced for state-owned enterprises and for enterprises located in regions with higher pressures for emission reduction. Mechanism research reveals that the "innovation compensation effect" is the main mechanism by which the implementation of the new *Environmental Protection Law* influences the synergistic effect of reducing pollution and carbon emissions in highly polluting enterprises. This paper provides micro-level evidence to validate the synergistic effect of reducing pollution and carbon emissions under the implementation of the new *Environmental Protection Law*, offering theoretical support for achieving enterprises' social, economic, and environmental benefits.

Key words: command-and-control environmental regulation; new *Environmental Protection Law*; synergistic effect of reducing pollution and carbon emissions; difference-in-differences model; highly polluting enterprise

发达国家的实证研究表明，在众多方法中， 由政府主导的命令控制型环境规制仍然占主导

收稿日期：2025-01-08
基金项目：辽宁省社科规划基金资助项目（L24BJY013）.
作者简介：靳宝玲（1992—），女，辽宁阜新人，东北大学博士研究生.
通信作者：韩 颖，E-mail：yinghan2021@126.com.

地位[1],是减少环境污染和温室气体排放的重要驱动力.党的十九届四中全会提出,构建完善的生态环境保护法律体系,加强法律法规间的衔接是生态文明建设的重要基石[2].鉴于此,将生态文明建设全面融入依法治国理念,从法治层面出发,推动“美丽中国”建设及双碳目标进程显得尤为关键.1989年,中国颁布并实施了《中华人民共和国环境保护法》(简称“旧《环保法》”).但旧《环保法》存在监管不力和执行不到位的问题,导致污染企业合规动机不足,生态环境治理形势依然严峻.2015年,《中华人民共和国环境保护法》(简称为“新《环保法》”)正式实施.新《环保法》作为一种命令控制型环境规制的重要手段,被誉为“史上最严”的环境保护法律[3].选择新《环保法》的实施作为外生政策冲击构建准自然实验来考察命令控制型环境规制对企业减污降碳协同效应的影响,主要基于以下原因:

第一,新《环保法》的出台具有较强的外生性.新《环保法》是有为政府为保护和改善生活与生态环境,防治污染和其他公害,保障人体健康,促进社会主义现代化建设而制定的法律,其颁布与实施更多地源于政府行为,企业主动干预政府加强立法和执法力度的可能性极低,因此该法的实施对于企业而言可以视作完全外生,利用该法作为外生冲击进行研究可在较大程度上缓解研究中的内生性问题[4];第二,有助于从微观视角补充命令控制型环境规制对减污降碳协同效应影响的实证研究;第三,截至2023年9月,新《环保法》修订版中没有直接、专门涉及碳排放的独立条款,但其为环境保护和污染控制提供了广义上的法律框架,这在一定程度上支持了碳排放管理.

当前,新《环保法》在地区层面的污染治理效应得到证实,部分研究从企业经济绩效[5]、全要素生产率[6]、企业融资[7]、技术创新[8]等方面考察了新《环保法》实施的社会效应和经济效应,而直接分析新《环保法》实施对企业环境效应影响的研究并不多见,且关于其对企业减污降碳协同效应的影响及其微观机制的研究尚属空白.我国在减污降碳协同治理方面的法律体系尚未健全.对现行环境法规的实施效果、作用机制以及实践执行中存在的差异进行深入评估,有利于发现法律体系的薄弱环节和缺陷,推动法律体系的系统整合与优化,提高法规的实施效率,以及促进政策创新与多领域协同发展.基于此,在微观企业层面值得关注和探究的问题是:新《环保法》的实施是否能提升企业减污降碳协同效应水平?如果成立,其作用机制是怎样的?对于来自企业内部和外部的差异,其作用效果是否存在异质性?回答以上问题,有助于从微观层面评估新《环保法》实施的政策效果,为进一步完善新《环保法》及其配套法律法规措施提供政策参考.

与发达国家先解决环境污染问题、再应对气候变化问题不同,中国目前处于两大问题叠加阶段,既要减污,又要同步控碳.从理论依据来看,减污与降碳之所以能够展现出显著的协同效应,其核心依据在于它们在自然属性上的紧密联系以及大气中发生的复杂化学反应.大气污染物与温室气体主要来源于化石燃料燃烧、工业过程、农业和其他土地利用以及废弃物处理等,其排放呈现明显的同根、同源和同过程特征,为实现减污与降碳的协同提供了可行依据.联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)1990年第一次评估报告指出大气污染会直接和间接影响气候变化,而IPCC 2007年的第四次评估报告进一步明确指出,大气污染物与温室气体通过大气气溶胶紧密耦合在一起[9].IPCC报告仅提供了协同效应的广泛定义,因此各国家或机构对其有不同的理解.本文对减污降碳协同效应的概念界定为:旨在治理大气污染物的政策同时有助于缓解二氧化碳排放,或旨在缓解二氧化碳排放的措施可以同时降低大气污染物的排放,体现了生态环境治理与减缓气候变化的有机融合.

研究减污降碳协同效应的核心价值源于对环境污染与气候变化问题同根、同源、同过程的深刻认识以及协同治理思维的内在要求.尽管现有政策工具分别针对大气污染物排放或温室气体排放设定目标,但这恰恰反映了早期治理策略的局限性.事实上,将减污与降碳割裂看待和治理,存在效率损失和潜在冲突风险.针对单一目标(如只脱硫脱硝)的末端治理技术,虽然能减少特定污染物,但往往需要额外能耗,可能导致碳排放不降反增[10].反之,单纯追求降碳可能对特定污染物的减排效果有限,甚至忽略某些重要环境风险.

从现实需求来看,当前我国生态文明建设已迈入以降碳为核心战略方向、强调减污降碳协同增效的新阶段.协同推动减污降碳,不仅是深化污染防治攻坚的关键路径,更是为高质量发展增添绿色底蕴、增进民生福祉的必然要求;然而,减污降碳协同治理体系的构建仍任重道远,亟需修

订完善现有环境标准,推动大气污染物排放与碳排放控制体系的融合.这一过程并非颠覆现有生态环境保护制度框架,而是强调在其基础上有机融入降碳目标,实现减污降碳相关制度的有效整合与衔接[11].

在减污降碳协同效应测度方面,现有研究主要包括两类:第一类为单一指标法,包括交叉弹性分析法、协同控制效应坐标系、单位污染物减排成本评价、耦合协调度和脱钩指数等,主要用于评估协同减排控制措施或主体的治理绩效[12];第二类为综合指标分析法,指从经济发展、规模结构、创新技术、环境治理等不同维度选取多个指标构建减污降碳协同效应评价体系[13].综合评价体系涵盖多个维度,但指标选取较为主观,评估过程具有复杂性、系统性和不确定性.也有学者利用DEA模型从减排效率、损益偏离度和边际减排成本视角测算减污降碳协同效应[14].DEA模型无需预先设定生产函数的具体形态,从而避免了传统方法中对生产函数形式的依赖,能够减少主观因素带来的误差.

1 理论分析与研究假设

新《环保法》实施对企业减污降碳协同效应的直接影响主要包括惩戒措施和奖励措施两个方面.在惩戒措施方面,新《环保法》的违规惩处力度比旧《环保法》更加严厉,对环境违法行为的震慑力和执行力得到提升,企业依法合规动机增强;在奖励措施方面,新《环保法》提出政府可以对符合特定条件的节能减排项目给予财政补贴和税收优惠,降低企业环保治理成本,激励企业进行绿色创新技术研发的积极性[15].基于以上分析,提出假说1:新《环保法》能够提升重污染企业的减污降碳协同效应.

关于命令控制型环境规制对环境治理的影响主要存在两种理论争议,即"遵循成本说"[16]和"创新补偿说"[17]."遵循成本说"认为严格的环境规制增加了企业合规成本[18].从企业角度来看,在有限资源的约束下,部分消极应对的企业采取降低生产率的方式以达到污染排放标准,这种现象在重污染企业中尤为明显.采取积极应对策略的企业通过增加环境治理投资寻求清洁替代能源或调整要素投入,但这也增加了企业环境治理成本,挤占了生产要素投资.另有部分文献证实了新《环保法》具有"创新补偿"效应.李晓青等[19]、王晓祺等[20]、江三良等[21]指出,新《环保法》的实施能够发挥"波特效应",通过强化法律法规的约束力、减少隐瞒环境信息的机会主义行为,产生创新补偿的净收益.在新《环保法》的合规压力下,企业为了规避环境和经济双重风险,不得不调整发展战略,转向绿色、低碳的生产模式.基于以上分析,提出假说2:新《环保法》通过"创新补偿效应"弥补合规成本的负向影响,进而提高重污染企业的减污降碳协同效应.

2 研究设计

2.1 样本选择与数据来源

选择2011—2021年沪深A股上市公司作为初始样本,将其分为重污染企业和非重污染企业.剔除样本股票简称中带有特别处理标识(ST)、退市风险标识(*ST)或暂停上市标识(PT)的非正常交易上市公司;剔除金融保险业上市公司;剔除相关数据缺失严重的上市公司.运用线性插值法补齐个别上市公司的部分缺失数据.最终得到8 354个观测值的非平衡面板数据,其中重污染企业共3 246个观测值,非重污染企业共5 108个观测值.关于重污染企业和非重污染企业的界定,借鉴潘爱玲等[22]的研究进行划分.数据主要来自于国泰安数据库(CSMAR)、中国研究数据服务平台数据库(CNRDS)、万得数据库(Wind)和中华人民共和国国家知识产权局.

2.2 模型构建

从全要素视角来看,提高减污降碳协同效应可以看作是在平衡经济产出的前提下减少相关投入和污染物排放的过程.作为一种非参数方法,DEA方法能够分析环境治理进程中"多投入—多产出"的转换关系,进而反映减污降碳协同效应[23].构建基于非径向距离函数(NDDF)的减污降碳协同效应测算模型.NDDF模型的投入变量包括资本、劳动力和能源;产出变量包括期望产出和非期望产出.资本投入指企业固定资产净额;劳动投入指企业员工数;能源投入为企业用电量,以企业从业人员占城市城镇就业人员比重乘以企业所在城市工业用电量进行换算;期望产出为企业营业收入;非期望产出包括企业二氧化碳排放量和企业二氧化硫排放量.企业固定资产净额和企业营业收入以2007年为基期进行平减处理.NDDF模型如式(1)所示:

$$\left.\begin{aligned}&\mathbf{ND}_T(K,L,E,Y,C,P;\boldsymbol{g})=\max\left(\omega_K\beta_K+\omega_L\beta_L+\omega_E\beta_E+\omega_Y\beta_Y+\omega_C\beta_C+\omega_P\beta_P\right),\\&\text{s.t.}\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\lambda_{it}K_{it}\leqslant K-\beta_K g_K,\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\lambda_{it}L_{it}\leqslant L-\beta_L g_L,\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\lambda_{it}E_{it}\leqslant E-\beta_E g_E,\ \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\lambda_{it}Y_{it}\geqslant Y+\beta_Y g_Y,\\&\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\lambda_{it}C_{it}=C-\beta_C g_C,\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}\lambda_{it}P_{it}=P-\beta_P g_P,\lambda_{it},\beta_K,\beta_L,\beta_E,\beta_Y,\beta_C,\beta_P\geqslant 0.\end{aligned}\right\}\tag{1}$$

其中:i表示企业;t表示年份;N为企业总数;T为统计年份;K为资本存量;L为劳动力;E为能源消费总量;Y为国内生产总值;C为二氧化碳排放量;P为大气污染物排放量;λ_{it}为构造包络所有观测值凸组合的强度变量,意味着生产技术具有规模报酬不变的特征;$\boldsymbol{\omega}=(\omega_K,\omega_L,\omega_E,\omega_Y,\omega_C,\omega_P)^{\mathrm{T}}$表示各投入产出变量的权重;$\boldsymbol{g}=(g_K,g_L,g_E,g_Y,g_C,g_P)$为方向向量;松弛向量$\boldsymbol{\beta}=(\beta_K,\beta_L,\beta_E,\beta_Y,\beta_C,\beta_P)^{\mathrm{T}}\geqslant 0$为生产函数中各投入产出要素变化的比例.参照文献[24],设置权重向量为$\boldsymbol{\omega}=(1/9,1/9,1/9,1/3,1/6,1/6)^{\mathrm{T}}$.设置对应的方向向量为$\boldsymbol{g}=(-g_K,-g_L,-g_E,g_Y,-g_C,-g_P)$,最优解为$\boldsymbol{\beta}^*=(\beta_K^*,\beta_L^*,\beta_E^*,\beta_Y^*,\beta_C^*,\beta_P^*)^{\mathrm{T}}$.资本存量、劳动力、能源消费总量、国内生产总值、二氧化碳排放量和大气污染物排放量的目标值分别为$K_{it}-\beta^*_{K,it}\times g^*_{K,it}$,$L_{it}-\beta^*_{L,it}\times g^*_{L,it}$,$E_{it}-\beta^*_{E,it}\times g^*_{E,it}$,$Y_{it}+\beta^*_{Y,it}\times g^*_{Y,it}$,$C_{it}-\beta^*_{C,it}\times g^*_{C,it}$,$P_{it}-\beta^*_{P,it}\times g^*_{P,it}$.若$\boldsymbol{\beta}^*=0$,说明该决策单元(DMU)在现有投入与产出水平上已经实现了最优.

以目标大气污染物排放量与实际大气污染物排放量的比值代表减污水平(PRP),以目标二氧化碳排放量与实际二氧化碳排放量的比值代表降碳水平(CRP).最后,对两者进行加权来定义减污降碳协同效应(ERPC):

$$\mathrm{PRP}_{it}=\frac{(P_{it}-\beta^*_{P,it}\times g^*_{P,it})/(Y_{it}+\beta^*_{Y,it}\times g^*_{Y,it})}{P_{it}/Y_{it}},\tag{2}$$

$$\mathrm{CRP}_{it}=\frac{(C_{it}-\beta^*_{C,it}\times g^*_{C,it})/(Y_{it}+\beta^*_{Y,it}\times g^*_{Y,it})}{C_{it}/Y_{it}},\tag{3}$$

$$\mathrm{ERPC}_{it}=\frac{1}{2}(\mathrm{PRP}_{it}+\mathrm{CRP}_{it})=\frac{1}{2}\left[\frac{(P_{it}-\beta^*_{P,it}\times g^*_{P,it})/(Y_{it}+\beta^*_{Y,it}\times g^*_{Y,it})}{P_{it}/Y_{it}}+\frac{(C_{it}-\beta^*_{C,it}\times g^*_{C,it})/(Y_{it}+\beta^*_{Y,it}\times g^*_{Y,it})}{C_{it}/Y_{it}}\right].\tag{4}$$

ERPC∈[0,1],其数值越大,表明减污降碳协同效应水平越高.当ERPC等于1时,说明该企业位于生产前沿边界上,即达到最高水平.

文献[25]的研究构建的双重差分(DID)模型为

$$\mathrm{ERPC}_{it}=\alpha_0+\alpha_1\mathrm{Treat}_{it}\times\mathrm{Time}_{it}+\alpha\mathrm{Controls}_{it}+\gamma_i+\eta_t+\varepsilon_{it}.\tag{5}$$

式中:ERPC_{it}为企业i在第t年的减污降碳协同效应;Treat_{it}表示是否为重污染企业;Time_{it}表示新《环保法》是否实施;$\mathrm{Controls}_{it}$表示控制变量集合;γ_i,η_t和ε_{it}分别为企业固定效应、时间固定效应和误差项.

2.3　变量定义

被解释变量为企业减污降碳协同效应(ERPC),由NDDF模型测算得出.

解释变量为Treat×Time,其中Treat和Time分别为组别和时间虚拟变量.若企业属于重污染行业,则Treat取值为1;否则Treat取值为0.在2015年之前,Time取值为0;在2015年及之后,Time取值为1.若企业为重污染企业且在2015年及之后,则Treat×Time取值为1;否则,Treat×Time取值为0.

控制变量包括企业规模(Size)、资产负债率(Lev)、营业收入增长率(Growth)、应收账款占比(REC)、存货占比(INV)、股权集中度(OPL)、现金流比率(Cash)、企业上市年限(LAge)、管理层平均年龄(TAge)、董监高是否具有金融背景(Fin)、董监高是否具有海外背景(Over)、所得税率(ITR)、独立董事比例(Indep)、资本密集度(CAP).各变量描述见表1.

3　实证研究结果

3.1　基准回归分析

基准回归结果见表2.无论是否加入控制变量、企业固定效应和时间固定效应,Treat×Time的系数估计值至少在5%的水平上显著为正.采用(3)列模型进行分析,在样本期内,与非重污染企业相比,新《环保法》的实施使得重污染企业的减污降碳协同效应增加了2.58%.上述结果表明,新《环保法》实施对重污染企业的减污降碳协同效应产生了正向影响,假说1得到验证.

3.2　稳健性检验

3.2.1　平行趋势检验

以新《环保法》实施的前一期(记为"-1"期)为基期,采用事件研究法进行平行趋势检验.如图1所示,在新《环保法》实施前,重污染企业和非重污染企业之间不存在显著差异.2015年之后,重污染企业的减污降碳协同效应显著高于非重污染企业,并且这种差异呈现上升趋势,说明新《环保法》的减污降碳协同效应随时间递增且具有持续性.

表 1 变量描述

Table 1 Description of variables

变量类型	变量符号	变量定义
被解释变量	ERPC	见NDDF模型
解释变量	Treat×Time	政策虚拟变量与时间效应的乘积
控制变量	Size	年总资产的自然对数
	Lev	年末总负债除以年末总资产
	Growth	本年营业收入除以上一年营业收入再减1
	REC	应收账款净额除以总资产
	INV	存货净额除以总资产
	OPL	第一大股东持股数量除以总股数
	Cash	经营活动产生的现金流量净额除以总资产
	LAge	当年年份减去上市年份加1再取自然对数
	TAge	董监高年龄的平均数
	Fin	现任的“董、监、高”中是否有人具有金融背景
	Over	现任的“董、监、高”中是否有人具有海外背景
	ITR	所得税除以利润总额
	Indep	独立董事除以董事人数
	CAP	总资产除以营业收入

表 2 基准回归结果

Table 2 Results of baseline regression

变量	(1)	(2)	(3)
Treat×Time	0. 020 4**	0. 052 0***	0. 025 8**
	(0. 008 1)	(0. 006 9)	(0. 012 9)
Size		0. 068 7***	0. 049 3***
		(0. 003 8)	(0. 011 9)
Lev		−0. 135 0***	−0. 035 6
		(0. 020 2)	(0. 035 0)
Growth		0. 023 8***	0. 022 4**
		(0. 005 1)	(0. 007 0)
REC		0. 358 0***	0. 124 0
		(0. 045 6)	(0. 081 0)
INV		0. 167 0***	0. 103 0**
		(0. 025 1)	(0. 046 7)
OPL		−0. 000 9**	−0. 000 9
		(0. 000 3)	(0. 000 6)
Cash		0. 092 5**	0. 069 4
		(0. 035 1)	(0. 043 6)
LAge		0. 102 0***	−0. 008 0
		(0. 008 1)	(0. 022 4)
TAge		−0. 000 5	−0. 003 6*
		(0. 001 2)	(0. 001 8)
Fin		0. 007 9	−0. 001 1
		(0. 005 5)	(0. 006 9)
Over		0. 006 4	−0. 004 8
		(0. 005 5)	(0. 008 2)
ITR		0. 003 4	0. 004 6
		(0. 012 1)	(0. 013 1)
Indep		0. 001 0*	0. 000 5
		(0. 000 5)	(0. 000 6)
CAP		−0. 019 5***	−0. 023 6***
		(0. 001 5)	(0. 003 2)
常数项	−0. 574 0***	−2. 270 0***	−1. 424 0***
	(0. 006 9)	(0. 082 9)	(0. 265 2)
控制变量	否	是	是
企业固定	是	否	是
时间固定	是	否	是
样本量	8 354	8 354	8 354
调整 R^2	0. 075 6	0. 102 9	0. 200 8

注:括号内为标准误;*,**,***分别表示在10%,5%,1%的水平上显著;以下各表同.

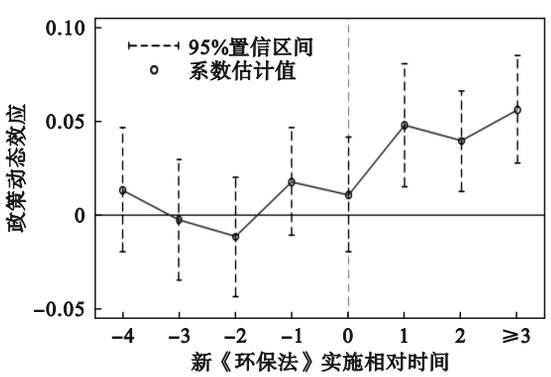


图 1 平行趋势检验

Fig. 1 Parallel trend test

3.2.2 安慰剂检验

为排除随机性因素的影响,提高研究结果的稳健性,进行安慰剂检验.由计算机随机生成处

理组和对照组,并重复抽取500次.如图2所示,Treat×Time的回归系数集中在零点附近,大部分回归系数结果不显著.基准回归中系数的估计值0.025 8属于小概率事件,通过了安慰剂检验.

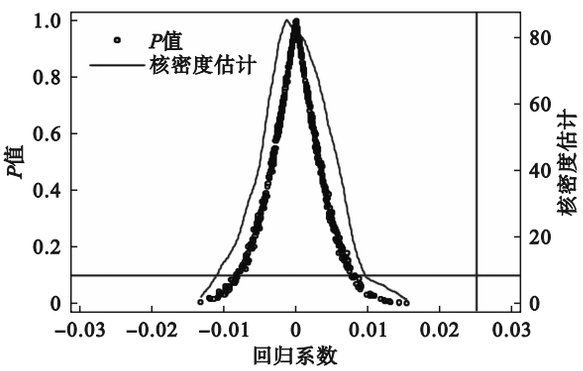


图2　安慰剂检验

Fig. 2　Placebo test

3.2.3　工具变量法

使用空气流通系数(Ventil)和企业注册地所在城市建成区绿化覆盖率(GR)作为新《环保法》实施的工具变量.空气流通系数通常反映某一地区的自然气象或地理条件,这些因素会影响污染物的扩散能力,满足相关性假设.空气流通系数通常由自然条件(如地形、气候)决定,与经济社会因素(如GDP、产业布局)无直接关联,满足外生性假设[26].提高绿化覆盖率是对污染环境、破坏生态行为进行替代性补偿的一种措施,反映当地政府对环境治理的重视程度,影响新《环保法》的实施力度.而绿化覆盖率一般由政府部门规划制定,在短期内很难影响企业的减污降碳协同效应,因此该工具变量满足相关性和外生性两个假设[27].表3报告了工具变量回归结果.Ventil和GR的系数估计值在至少5%的水平上显著为正,表明Ventil和GR与新《环保法》的实施高度相关.同时,Cragg−Donald Wald F检验统计量为21.502,大于在10%偏误水平下的临界值(19.930),表明模型不存在弱工具变量问题.Treat×Time的回归系数也在5%的水平上显著为正,Hansen J检验不显著(*P*值为0.924),不存在过度识别问题.在缓解潜在内生性后,本文假设1依然成立,即新《环保法》实施显著提升了重污染企业减污降碳协同效应.

表3　工具变量检验

Table 3　Instrumental variable test

变量	(1)	(2)
	第一阶段	第二阶段
Ventil	0.000 1**	
	(0.000 1)	
GR	0.751 4***	
	(0.269 6)	
Treat×Time		0.481 2**
		(0.210 6)
控制变量	是	是
企业固定	是	是
时间固定	是	是
样本量	8 343	8 343
不可识别检验(Kleibergen−Paap rk LM statistic)	9.646 0***	
内生性检验(Endogeneity test of endogenous)regressors	5.396 0**	

3.2.4　控制其他政策的影响

为了排除研究期内酸雨控制区和二氧化硫污染控制区(两控区)、《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》(低碳试点)、《关于调整排污费征收标准等有关问题的通知》(费用调整)和《大气污染防治行动计划》(《大气十条》)政策的干扰,在基准模型中分别控制了企业所在省份或城市是否为两控区、低碳试点、费用调整和《大气十条》与时间趋势的交互项.如表4所示,Treat×Time的估计系数均显著为正,表明基准回归结果存在稳健性.

3.2.5　其他稳健性检验

第一,改变测算方法,替换被解释变量.利用耦合协调度模型测算减污降碳协同效应(ERPCR)[28].第二,排除样本研究区间的影响.为避免2020年爆发的新冠疫情对实体经济的冲击,将本研究区间限定为2012—2019年,即新《环保法》实施的前三年和后四年.第三,剔除特殊样本.考虑到北京市、天津市、上海市和重庆市四个直辖市在政治、经济等方面的重要地位,将其剔

除后重新进行回归分析.如表5所示,Treat×Time的系数为正并在至少5%的水平上通过显著性检验,证明基准回归结果的可信性.

表4 其他政策的影响

Table 4 Impact of other policies

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
Treat×Time	0.020 9**	0.023 2**	0.022 0**	0.015 7*
	(0.008 0)	(0.008 5)	(0.008 0)	(0.008 1)
常数项	−1.422 0***	−1.444 0***	−1.432 0***	−1.435 0***
	(0.132 6)	(0.138 8)	(0.132 6)	(0.132 5)
控制变量	是	是	是	是
企业固定	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是
样本量	8 354	7 609	8 354	8 354
调整R^2	0.121 0	0.117 8	0.121 3	0.123 3

表5 其他稳健性检验

Table 5 Other robustness tests

变量	(1)	(2)	(3)
Treat×Time	0.094 4***	0.026 1**	0.042 2***
	(0.025 8)	(0.009 5)	(0.009 0)
常数项	−7.482 0***	−1.559 0***	−1.675 0***
	(0.475 2)	(0.199 4)	(0.152 9)
控制变量	是	是	是
企业固定	是	是	是
时间固定	是	是	是
样本量	8 354	5 672	6 556
调整R^2	0.492 5	0.036 6	0.110 4

3.2.6 异质性分析

企业所有制异质性分析.构建企业所有制变量SOE,若企业为国有企业,则SOE赋值为1;若企业为非国有企业,则SOE赋值为0.如表6的(1)列所示,Treat×Time×SOE的估计系数为正并在1%的水平上通过显著性检验.与非国有企业相比,国有企业具有政治属性和社会属性,在环境治理中起到引领作用,新《环保法》实施对其减污降碳协同效应的影响更大[29].非国有企业以利益最大化为目标,更看重企业财务绩效,相比国有企业,其主动治理环境问题的积极性较低.

地区减排压力异质性分析.构建地区减排压力变量DER,若企业所在地区为较高减排压力地区,则DER赋值为1;若企业所在地区为较低减排压力地区,则DER赋值为0.如表6的(2)列所示,Treat×Time×DER的估计系数为正并在5%的水平上通过显著性检验.结果表明,新《环保法》实施的减污降碳协同效应对处于较高减排压力地区的企业更明显.

表6 异质性分析结果

Table 6 Results of heterogeneity analysis

变量	(1)	(2)
Treat×Time×SOE	0.048 1***	
	(0.008 8)	
Treat×Time×DER		0.022 1**
		(0.009 3)
常数项	−1.480 0***	−1.415 0***
	(0.132 9)	(0.132 6)
控制变量	是	是
企业固定	是	是
时间固定	是	是
样本量	8 354	8 354
调整R^2	0.122 4	0.119 6

3.3 机制分析

本文分别将策略性创新(GESV)和实质性创新(GEQV)[30]作为“创新补偿效应”的代理变量进行回归分析,以揭示新《环保法》影响减污降碳协同效应的内在机理.

表7的结果说明,新《环保法》提高了企业策略性创新(GESV),但对实质性创新(GEQV)的影响不显著,表明该法规在促进企业技术创新方面具有选择性.绿色技术创新,尤其是实质性创新,通常是一个周期长、回报慢的过程,其进程受企业自身经济条件、研发投入以及技术积累等多方面因素的影响.在新《环保法》的强制压力下,企业往往倾向于采取更新设备、改进末端排放处理等策略来实现减污降碳协同治理,即在原有技术范式内进行技术改进或引入,而非根本性的技术创新.这种倾向在一定程度上反映了企业在面临环保法规压力时的短期行为,即企业通过策略性绿色创新来满足政府的环境监管或信息披露要求.尽管如此,新《环保法》无疑为企业创新提供了外部动力,但未能充分激发企业进行高质量绿色技术创新的内在需求.综上,研究假说2得以验证.

表7 机制分析结果

Table 7 Results of mechanism analysis

变量	(1)	(2)
	GESV	GEQV
Treat×Time	0.157 0***	0.039 1
	(0.025 7)	(0.024 9)
常数项	−7.583 0***	−8.233 0***
	(0.426 2)	(0.412 3)
控制变量	是	是
企业固定	是	是
时间固定	是	是
样本量	8 354	8 354
调整R^2	0.139 8	0.127 8

4　研究结论和政策建议

新《环保法》的实施对重污染企业的减污降碳产生了显著的正向影响,通过一系列内生性检验和稳健性检验确认了结果的可靠性.同时,这一正向影响在企业所有制和地区减排压力方面存在异质性.机制研究表明,新《环保法》通过“创新补偿效应”提升了重污染企业的减污降碳协同效应.但值得注意的是,新《环保法》并未提高企业实质性创新,企业倾向于通过追求创新“数量”和“速度”来释放创新信号,以迎合政府的监管和创新战略.基于以上分析,本文提出以下政策建议:

第一,构建“减污降碳”法治体系,充分赋予地方政府更多的决策权和执行权,促进地方环境政策的差异化和精细化.

第二,加强对非国有企业的政策引导和激励,推动非国有企业履行环保责任,在严格实施法律法规的同时,分阶段推进不同地区企业的环保改造工作.

第三,建立企业减污降碳协同治理激励机制,提供资金和技术支持,激发企业持续进行环保投资和技术创新的积极性.

参考文献:

[1] Zhang Y F, Zhang Y. Impact of environmental regulation on ecological efficiency under the background of new *Environmental Protection Law*[J]. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 2020, 21(6): 2296-2304.

[2] Huang L S, Zhou R, Wang Q S. Toward better governance of the marine environment: an examination of the revision of China's marine *Environmental Protection Law* in 2023 [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2024, 11: 1398720.

[3] Cai W G, Ye P Y. How does environmental regulation influence enterprises' total factor productivity? a quasi-natural experiment based on China's new environmental protection law[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 276: 124105.

[4] Cui G H, Zhang Y, Ma J W, et al. Does environmental regulation affect the labor income share of manufacturing enterprises? evidence from China [J]. *Economic Modelling*, 2023, 123: 106251.

[5] Qu X H, Xia J. Environmental regulation and firms' trans-regional investment: evidence from the implementation of the new *Environmental Protection Law* [J]. *Finance Research Letters*, 2024, 67: 105792.

[6] 袁嘉琪, 卜伟, 唐雨妮. 环境规制、要素配置对工业绿色全要素生产率的影响: 产出补偿还是创新补偿[J]. 管理评论, 2023, 35(10): 45-62.
(Yuan Jia-qi, Bu Wei, Tang Yu-ni. The influence of environmental regulation and factor allocation on industrial green total factor productivity: output compensation or innovation compensation[J]. *Management Review*, 2023, 35(10): 45-62.)

[7] 史永东, 陈火亮, 宋明勇. 环境规制影响企业融资约束吗? 基于新《环保法》的准自然实验[J]. 证券市场导报, 2022(8): 8-19.
(Shi Yong-dong, Chen Huo-liang, Song Ming-yong. Do environmental regulations affect corporate financing constraints? quasi-natural experimental analysis based on the new *Environmental Protection Law*[J]. *Securities Market Herald*, 2022(8): 8-19.)

[8] Liu S, Liu H M, Chen X Y. Does environmental regulation promote corporate green investment? evidence from China's new *Environmental Protection Law* [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2024, 26(5): 12589-12618.

[9] Venkataraman C, Bhushan M, Dey S, et al. Indian network project on carbonaceous aerosol emissions, source apportionment and climate impacts (COALESCE) [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2020, 101(7): E1052-E1068.

[10] 朱廷钰, 刘霄龙. 中国钢铁行业“超低排放”向“减污降碳”过渡的技术思考[J]. 过程工程学报, 2022, 22(10): 1360-1367.
(Zhu Ting-yu, Liu Xiao-long. Technical consideration on the transition from “ultra-low emissions” to “reduction of pollution and carbon emissions” in China's iron and steel industry[J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2022, 22(10): 1360-1367.)

[11] 任洋. 论减污降碳“三协同”: 理念、制度与主体协同[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2023, 53(4): 49-59.
(Ren Yang. Research on the “three synergies” of reduction of pollution and carbon emissions: conceptual synergy, institutional synergy and subject synergy [J]. *Journal of Northwest University* (*Philosophy and Social Sciences Edition*), 2023, 53(4): 49-59.)

[12] Zhang Q Y, Cai B F, Wang M D, et al. City level CO_2 and local air pollutants co-control performance evaluation: a case study of 113 key environmental protection cities in China[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2022, 13(1): 118-130.

[13] 康哲, 李巍, 刘伟. 黄河流域城市群工业减污降碳影响因素与策略[J]. 中国环境科学, 2023, 43(4): 1946-1956.
(Kang Zhe, Li Wei, Liu Wei. Influencing factors and promoting measures of industrial pollution abatement and carbon reduction of the city clusters in the Yellow River Basin[J]. *China Environmental Science*, 2023, 43(4): 1946-1956.)

[14] 王慧, 孙慧, 肖涵月, 等. 碳达峰约束下减污降碳的协同增效及其路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(11): 96-108.
(Wang Hui, Sun Hui, Xiao Han-yue, et al. Synergistic effects and paths of pollution and carbon reduction under the constraint of carbon peak goal [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(11): 96-108.)

[15] Fang Z M, Kong X R, Sensoy A, et al. Government's awareness of environmental protection and corporate green innovation: a natural experiment from the new *Environmental Protection Law* in China [J]. *Economic Analysis and Policy*, 2021, 70: 294-312.

[16] Porter M E, van der Linde C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.

[17] Zhang Y, Zhang J K. Environmental governance and regional green development: evidence from China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 447: 141643.

[18] Antweiler W, Copeland B R, Taylor M S. Is free trade

good for the environment? [J]. *The American Economic Review*, 2001, 91(4): 877-908.

[19] 李晓青, 张亚洲. 环境规制对企业绿色创新的影响: 基于新《环保法》实践的分析[J]. 厦门理工学院学报, 2023, 31(6): 66-74.
(Li Xiao-qing, Zhang Ya-zhou. Impact of environmental regulation on enterprise green innovation: evidence from implementation of the new *Environmental Protection Law* [J]. *Journal of Xiamen University of Technology*, 2023, 31(6): 66-74.)

[20] 王晓祺, 郝双光, 张俊民. 新《环保法》与企业绿色创新: "倒逼"抑或"挤出"?[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(7): 107-117.
(Wang Xiao-qi, Hao Shuang-guang, Zhang Jun-min. new *Environmental Protection Law* and corporate green innovation: forcing or forcing out?[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(7): 107-117.)

[21] 江三良, 吴海强. 新《环保法》提升了企业绿色创新质量吗? ——基于新《环保法》实施的准自然实验[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2024, 38(6): 82-100.
(Jiang San-liang, Wu Hai-qiang. Dose the new Environmental Protection Law promote the quality of green innovation of enterprises: based on a quasi-natural experiment of the new *Environmental Protection Law*[J]. *Journal of Chongqing University of Technology* (*Social Science*), 2024, 38(6): 82-100.)

[22] 潘爱玲, 刘昕, 邱金龙, 等. 媒体压力下的绿色并购能否促使重污染企业实现实质性转型[J]. 中国工业经济, 2019(2): 174-192.
(Pan Ai-ling, Liu Xin, Qiu Jin-long, et al. Can green M & a of heavy polluting enterprises achieve substantial transformation under the pressure of media [J]. *China Industrial Economics*, 2019(2): 174-192.)

[23] Jin B L, Han Y, Kou P. Dynamically evaluating the comprehensive efficiency of technological innovation and low-carbon economy in China s industrial sectors[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2023, 86, 101480.

[24] 金刚, 沈坤荣, 孙雨亭. 气候变化的经济后果真的"亲贫"吗[J]. 中国工业经济, 2020(9): 42-60.
(Jin Gang, Shen Kun-rong, Sun Yu-ting. Is the economic consequences of climate change really pro-poor[J]. *China Industrial Economics*, 2020(9): 42-60.)

[25] Gao S Y, Guan X, Tang R, et al. Resource curse, economic efficiency and green recovery based on three-subject framework [J]. *Resources Policy*, 2023, 85: 103894.

[26] 陈启斐, 黄必银, 吴金龙. 产业承接与内陆地区空气质量: 来自国家级承接产业转移示范的证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(2): 151-170.
(Chen Qi-fei, Huang Bi-yin, Wu Jin-long. Industrial undertaking and air quality in inland: evidence from national demonstration of industrial undertaking transfer[J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2024, 41(2): 151-170.)

[27] 戴静怡, 曹媛, 陈操操. 城市减污降碳协同增效内涵、潜力与路径[J]. 中国环境管理, 2023, 15(2): 30-37.
(Dai Jing-yi, Cao Yuan, Chen Cao-cao. Synergistic connotations, potential and paths of urban pollution and carbon emissions reduction [J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2023, 15(2): 30-37.)

[28] 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.
(Song De-yong, Chen Liang, Wang Ban-ban. How environmental trading achieve the synergistic effects of pollution and carbon reduction: theoretical and empirical evidence [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2024, 41(2): 171-192.)

[29] Liu M D, Shadbegian R, Zhang B. Does environmental regulation affect labor demand in China? evidence from the textile printing and dyeing industry [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 86: 277-294.

[30] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济, 2020(12): 178-196.
(Xu Jia, Cui Jing-bo. Low-carbon cities and firms' green technological innovation[J]. *China Industrial Economics*, 2020(12): 178-196.)