环境规制、技术创新与企业绩效
——基于石化行业 VOCs 排污收费政策的准自然实验

刘学之，段朵朵，张勃，孙祥栋*

（北京化工大学经济管理学院，北京 100029）

【摘　要】 文章以2015—2019年中国石化行业337家上市公司为研究样本，运用双重差分模型验证了当期环境规制对后一期企业绩效的正向影响。进一步的中介效应检验发现，环境规制主要通过技术创新促进企业绩效的提高，从而验证了中国石化行业“波特假说”的存在。此外文章还发现环境规制影响企业绩效的效果及作用机制存在显著的区域差异，东、中部地区表现出显著正向影响，均支持“波特假说”，西部地区则影响不明显。基于上述研究，文章认为促进石化行业的绿色低碳发展，需进一步加大石化行业生态环境保护的政策实施力度、促进石化行业企业的科技投入并注重区域差异。

【关键词】 环境规制；技术创新；企业绩效；VOCs排污收费政策

【中图分类号】F273.1；X322　　【文章编号】1674-6252（2021）02-0094-09

【文献标识码】A　　【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2021.02.094

引言

针对我国面临的环境污染严重、资源约束趋紧、生态系统退化的严峻形势[1]，习近平总书记反复倡导“绿水青山就是金山银山”的发展理念，并在党的十九大报告中明确指出必须坚持以节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式以及生活方式。石油化工行业（以下简称石化行业）产品覆盖面广、产业链长，是我国重要支柱产业之一，是国民经济的重要组成部分；同时由于能耗高、工序复杂，石化行业也是当前我国环境治理的重点领域。

石化行业产生的挥发性有机物（VOCs）是形成臭氧（O_3）和细颗粒物（$PM_{2.5}$）污染的重要前体物，主要包括非甲烷烃类（烷烃、烯烃、炔烃、芳香烃等）、含氧有机物（醛、酮、醇、醚等）、含氯有机物、含氮有机物、含硫有机物等成分。为了促使石化行业企业减少 VOCs 排放，提高 VOCs 污染控制技术，改善生活和生态环境质量，2015 年财政部、国家发展改革委、原环境保护部制定了《挥发性有机物排污收费试点办法》（财税〔2015〕71 号），并于 2015 年 10 月 1 日起在各省（区、市）陆续实施。2018 年 1 月 1 日《中华人民共和国环境保护税法》施行后，施行两年多的挥发性有机物排污收费政策退出了历史舞台，我国对 VOCs 也不再单独征收排污费。因此，2015 年 10 月—2018 年 1 月在北京、上海、广东等 21 个省份开展的石化行业 VOCs 排污收费试点工作为我们提供了一个探讨石化行业环境规制与经济绩效关系的准自然实验样本①。本文将基于双重差分模型（DID 模型），准确评估石化行业 VOCs 排污收费政策影响企业绩效的效果及机制，以便为我国环境规制政策的后续优化提供决策参考。

1 文献述评

目前环境规制对于企业绩效的影响主要存在三种观点，分别为“抑制假说”“促进假说”“不确定假说”。“抑制假说”认为环境规制与企业绩效负相关，也即

资助项目： 国家重点研发计划项目（SQ2020YF042633）；上市公司环境信息、披露评价项目（HS20180003）；中央高校基本科研业务费项目（buctrc201932、buctrc 202022、PT2013、PT2020）；国家自然科学基金（71333001、71702116）；北京市教育委员会社科计划重点项目（SZ20171003824）。

作者简介： 刘学之（1967—），女，教授，硕士生导师，博士，研究方向为可持续发展经济学、低碳经济理论与政策、企业社会责任等，E-mail：liuxuezhi678@163.com。

*** 责任作者：** 孙祥栋（1986—），男，副教授，硕士生导师，博士，主要研究方向为城市经济、能源经济，E-mail：sunxiangdong@mail.buct.edu.cn。

① 而同期的其他环境规制政策对全行业具有普遍约束意义，如 2016 年 9 月为了推动石化和化学工业结构调整和转型升级，促进质量和效益提高而开始施行的《石化和化学工业发展规划（2016—2020 年）》等。

环境规制会给企业带来增加成本的困扰，主要表现在外部污染治理费用的增加以及为适应当前政策所提高的创新投入，会对生产、销售产生新的压力，从而影响企业经济绩效。传统的新古典经济学家 Walley 等提出在正常情况下，环境保护会给个人或厂商带来额外的私人成本，是对社会产生正外部效应的典型，但环境保护产生的成本并没有使企业得到补偿，反而使得企业在同行业中的竞争力下降，进而影响企业绩效[2]。Barbera 认为企业在减排压力下，污染治理成本提高将会导致化工、钢铁等行业生产率下降 0.1～0.3，环境规制与企业生产率之间负相关[3]。Gray 等研究也发现受政府环境规制影响，污染减排成本越高的企业生产率水平越低，进而导致企业经营绩效降低[4]。“促进假说”认为环境规制与企业绩效正相关：在环境规制的影响下，企业积极创新生产，会在符合当前政策要求的条件下，增加生产效率，提高企业竞争力，减少由于污染排放所带来的罚款等额外支出，同时也会形成行业壁垒，提高小微企业进入市场的门槛，在弥补创新投入成本的基础上，提高企业的经济效益。Porter 提出的“波特假说”强调受环境规制影响的企业在合理的监管强度下，必然会考虑企业改造转型，更新环保设备，创新生产技术，从而提高企业竞争和经济效益[5]。Lin、Bi 指出环境规制会对技术创新产生积极的拉动效应，在帮助企业减排的同时，生产更受市场所欢迎的环保产品，提高市场竞争，合理强度下的环境规制将会带来环境保护、企业竞争以及经济增长之间的“三赢”[6, 7]。Testa 等以建筑行业企业为研究对象，发现严格的环境规制对加大先进技术设备、创新产品的投资和提高企业业绩都具有积极的推动力[8]。“不确定假说”认为环境规制对企业绩效的影响具有不确定性：当环境规制给企业带来的成本占总成本的比例很小时，可能不会对企业绩效产生显著影响；但同时只有适当或有效的环境规制才能促使企业选择技术创新；此外环境规制的实施时机也会对政策效果造成影响。Sanchez-Vargas 等认为环境规制与生产率之间的关系实际上是非线性的，并且表示许多关于环境规制不同影响的争论应当归结于行业的异质性[9]。

国内学者对环境规制的研究不断增多，且由于实证样本选择的不同而结论各异。叶红雨等以 229 家重污染行业上市公司为样本，认为环境规制负向影响企业绩效[10]；赵霄伟基于地级市以上城市工业的面板数据[11]、黄清煌等基于中国 30 个省份的面板数据[12]也得出了环境规制负向影响经济绩效的结论。相反地，涂红星等以国内六大水污染密集型行业上市公司为样本，认为环境管制对其中 5 个行业的公司绩效具有显著的促进作用[13]；李树等基于重污染行业上市公司的样本[14]、张慧霞基于沪深 A 股工业上市企业的样本[15]、李志学等基于中国火力发电企业的样本[16]也得出了一致的结论。另外，环境规制的“不确定假说”也有不少研究结论支持。姚林如等在研究分析不同环境规制对企业绩效的影响时，以规模以上大中型工业企业为样本的实证研究发现环境规制对企业绩效的影响受环境规制类型的不同而存在差异，企业绩效与命令型环境规制工具呈显著负相关，与市场型环境规制工具呈显著正相关[17]；邹国伟等基于双重差分法分析工业企业数据样本，认为环境规制政策的严格落实会促进企业绩效的提高，但当政策执行存在偏差时，既不存在“创新补偿说”，也不存在“遵循成本说”，从而就不对企业绩效产生影响[18]。

近年来，针对环境规制的“促进假说”，国内部分学者也探讨了环境规制促进经济绩效的传导机制。颉茂华等采用结构—行为—绩效（SCP）范式验证了环境规制是通过技术创新路径来提高企业绩效的[19]。刘和旺等在探究环境规制强度对企业全要素生产率的影响机制时，采用 Olley and Pakes（OP）和 Levinsohn and Pertrin（LP）半参数方法估算全要素生产率（TFP），通过面板固定效应模型分析认为环境规制对企业全要素生产率的积极影响是通过技术创新进行传导的，验证了“强波特假说”的成立[20]。李冬琴采用多元回归分析研究了环境政策工具及其交互项对环境技术创新和企业绩效的影响，认为在环境政策对企业绩效的影响中环境技术创新表现出完全中介作用[21]。在肯定技术进步路径的基础上，申晨等认为结构效应是“促进假说”的另一条作用路径[22]。除此之外，还有学者认为环保投资也是环境规制促进企业绩效的重要原因[23]。

综合国内外研究现状可以发现，目前环境规制对企业绩效影响的相关研究取得了很大的进展。学者们对于现存的不同理论观点都给予了充分的理论探讨和充足的实证支持。但是环境规制对企业绩效的影响依然还有较大的拓展空间，值得进一步探究，主要表现为以下两点：一是缺乏聚焦于行业、企业中微观层面的“因果关系”推断，尤其缺少聚焦石化行业的实证分析。已有研究或者基于宏观资料探讨“环境规制”这一大概念的政策实施效果，或者基于行业、企业中微观数据探讨了环境规制与经济绩效的“相关关系”，而中微观层面准自然实验样本的缺失，导致了相关理论假说的中微观层面实证支撑不足。二是现有

研究缺少探讨环境规制影响经济绩效的效果及其机制的时序演进关系，而明确环境规制传导至并经济绩效并产生影响的“时间间隔”，有利于准确认识相关政策的实施效果，从而更好地进行政策优化调整。基于以上两点不足，本文从中微观层面出发，使用政策评估经济学工具，在探索相关变量滞后期的基础上，研究 VOCs 排污收费政策对石化行业上市公司企业绩效的影响效果及因果机理。

2 模型方法及数据处理

2.1 基准双重差分模型

双重差分（DID）模型是一种被广泛使用的政策评估工具。本文将 VOCs 排污收费政策实施视为一项“准自然实验”，将石化行业中属于政策实施范围的上市公司作为实验组，把行业内其他上市公司作为对照组。由表 1 可以看出，从 2015 年起，北京、上海、广东、安徽首先开始试点，随后又有 17 个省份陆续加入试点。

表 1 各试点省份 VOCs 排污收费政策时间

政策实施时间	省份
2015 年	北京市、上海市、广东省、安徽省
2016 年	四川省、湖南省、辽宁省、天津市、山东省、河北省、浙江省、海南省、山西省、江苏省、湖北省、江西省
2017 年	福建省、陕西省、广西壮族自治区、河南省、新疆维吾尔自治区

各试点省份政策实施的时间点不同，无法满足传统倍差法对政策实施时间点相同的要求，因此本文采取多期倍差法，赋予各试点省份石化行业上市公司不同的政策实施时间点，重点关注交互项的符号和显著性。构建以下模型评估 VOCs 排污收费政策对石化行业上市公司企业绩效的影响：

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{treat}_i \times \text{time}_t + \alpha_2 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中：下标 i 表示石化行业上市公司；t 表示时间；Y_{it} 表示企业 i 在年份 t 的绩效；treat 表示 VOCs 排污收费试点政策的虚拟变量，试点范围取值为 1，非试点范围取值为 0；time 表示 VOCs 排污收费政策在试点省份实施时间的虚拟变量，根据各试点省份开始实施政策的时间节点，实施政策当年及随后的年份取 1，政策实施前的年份取 0；X_{it} 表示影响企业绩效的其他控制变量；α_0 表示常数项；α_1 表示交互项的系数；α_2 表示控制变量的系数；μ_i 表示企业固定效应；γ_t 表示时间固定效应；ε_{it} 表示随机扰动项。

按照模型设计，双重交乘项的系数就是本文所研究的 VOCs 排污收费政策对石化行业上市公司企业绩效的影响。

2.2 DID 模型的稳健性检验

使用 DID 模型的前提是实验组和对照组满足平行趋势假设，即在没有 VOCs 排污收费政策的干预下，实验组和对照组中的企业绩效变化趋势是一致的。为了保证 DID 模型估计结果的可靠性，本文设计了 DID 模型的平行趋势假设检验。主要通过以下模型进行检验：

$$Y_{it} = \xi_0 + \sum_{m=-2}^{1} \beta_m d_m \times \text{treat}_i + \xi_1 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中，d_m 表示年份与政策开始实施时间差的虚拟变量，若年份 =2017，该省（区、市）政策实施时间为 2016 时，则时间差虚拟变量 d_1 为 1，d_{-2}，d_{-1}，d_0 均为 0；$d_m \times \text{treat}_i$ 表示生成的时间差虚拟变量与实验组虚拟变量的交互项；ξ_0 表示常数项；β_m 表示交互项的系数；ξ_1 表示控制变量的系数。

2.3 样本选择与指标选取

2.3.1 样本选择

参照《挥发性有机物排污收费试点办法》，并根据《国民经济行业分类》（GB/T 4754—2011）①，明确界定 VOCs 排污收费试点行业范围，主要涉及原油加工及石油制品制造、有机化学原料制造、初级形态塑料及合成树脂制造、合成橡胶制造、合成纤维单（聚合）体制造、仓储业等行业，如表 2 所示。参照上述行业分类，基于 Wind 数据库，按照地域相近的原则，选取属于“实施政策省份的石化行业大类或不实施政策省份的特定行业细类”的上市公司作为研究样本（不包括 ST 及 *ST 公司）。处理后样本容量为 337 家上市公司，其中处理组样本 97 家，对照组样本 240 家，共 1496 个观测值。

3.3.2 指标选取

（1）被解释变量。本文的被解释变量是企业绩效。在现有研究中，用来衡量企业绩效的指标主要有总资产回报率 [14]、利润率 [24]、主营业务利润率 [25] 等。考虑到大量文献选择总资产报酬率（ROA）作为企业

① 因为《挥发性有机物排污收费试点办法》中对 VOCs 排污收费试点行业范围的划分依据是《国民经济分类》（GB/T 4754–2011），当时未发布最新标准（GB/T 4754–2017），因此，本文基于前者展开研究。

表2　VOCs排污收费试点行业范围

试点行业	行业类别		说明
	代码	类别名称	
石油化工	C2511	原油加工及石油制品制造	指从天然原油、人造原油中提炼液态或气态燃料以及石油制品的生产活动
	C2614	有机化学原料制造	指以石油馏分、天然气等为原料，生产有机化学品的工业
	C2651	初级形态塑料及合成树脂制造	包括通用塑料、工程塑料、功能高分子塑料的制造
	C2652	合成橡胶制造	指人造橡胶或合成橡胶及高分子弹性体的生产活动
	C2653	合成纤维单（聚合）体制造	指以石油、天然气、煤等为主要原料，用有机合成的方法制成合成纤维单体或聚合体的生产活动
	G5990	仓储业	指含汽油、柴油等挥发性有机液体化学品的储存活动

注：行业分类依据为《国民经济行业分类》（GB/T 4754—2011）

绩效的衡量指标，因此本文也选择总资产报酬率衡量企业绩效。

（2）解释变量。环境规制的度量至今还没有一个统一的标准，一般是根据研究侧重点不同而选择不同的代理变量进行衡量，有使用污染物排放水平或治理投入进行测度的[26-28]，也有使用政策实施节点的虚拟变量进行测度的[18]。考虑到本文优先考察VOCs排污收费政策与企业绩效的因果效应，因此本文的解释变量是实验组别虚拟变量和政策实施时点虚拟变量的交互项。

（3）控制变量。企业绩效的影响因素较多，为尽可能地避免因遗漏变量而导致的内生性问题以及估计结果的偏误，笔者充分梳理了现有研究文献，并发现企业规模[29]、资产负债率[30]、资产流动性[31]、企业存续年限[32]是影响企业绩效的最主要因素。基于现有实证经验，本文引入资产负债率（LEV）、企业规模（SIZE）、资产流动性（LIQ）、企业存续年限（AGE）作为控制变量，从而尽可能使实验组与对照组处于相似的外生环境中。相关变量的描述性统计如表3所示，描述性统计中各变量观测值数量存在略微差异，主要由于样本企业中部分指标个别数据缺失。

3 实证检验与分析

3.1 基本回归结果

基于式（1）及相关控制变量的选取，文章首先分析了VOCs排污收费政策对石化行业上市公司企业绩效的影响，结果如表4所示。表4第（1）列中列示了交互项（当期）对企业绩效的回归结果，第（2）至（5）列为依次引入控制变量后的回归结果，综合五次回归结果可以发现，政策实施当期对企业绩效的影响符号为正，但在10%的概率水平上不显著。现实中，试点省份VOCs排污收费政策的开始时间并非全部发生于年度初期，相反地，大部分发生于年中或年末，因此若仍使用当年的财务绩效作为被解释变量，会大大减弱解释力度。理论上，“波特假说”认为环保政策对经济产生影响的主要途径是促进企业进行技术创新或采用创新性技术进而影响企业绩效，虽然可能在短期内增加成本，但

表3　描述性统计

变量	变量定义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
ROA	净利润/期末总资产	1 496	6.806 486	6.615 45	−30.300 7	46.606 7
LEV	负债总额/资产总额	1 496	36.433 31	17.949 8	2.711	122.941 1
SIZE	员工人数的自然对数	1 494	7.1897 09	1.153 58	4.488 636	13.020 58
LIQ	流动资产/总资产	1 496	52.548 08	16.931 67	8.313 4	97.300 2
AGE	企业存续年限的自然对数	1 496	2.822 001	0.365 222	0.693 147 2	4.094 345

表4　政策实施当期与企业绩效的回归结果

变量	（1）ROA	（2）ROA	（3）ROA	（4）ROA	（5）ROA
treat×time	1.271 （0.906）	1.238 （0.887）	1.324 （0.883）	1.170 （0.876）	1.156 （0.875）
LEV	—	−0.119*** （0.025 2）	−0.124*** （0.026 5）	−0.096 0*** （0.026 9）	−0.099 4*** （0.028 3）
SIZE	—	—	0.891 （0.760）	1.643** （0.738）	1.751** （0.750）
LIQ	—	—	—	0.105*** （0.0278）	0.104*** （0.028 4）
AGE	—	—	—	—	−3.342 （4.360）
常数	7.557*** （0.442）	12.08*** （0.978）	6.068 （5.063）	−5.621 （5.292）	2.763 （12.64）
观测值数量	1 496	1 496	1 494	1 494	1 494
R^2	0.026	0.074	0.076	0.097	0.098

注：括号中的为稳健标准误。*** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.1$

在长期内可以提升企业生产效率，增加企业竞争力、促进经济增长。也就是说短期内，VOCs 排污收费政策不会提高石化行业上市公司企业绩效。

基于以上分析结果，同时参考余伟等的研究，充分考虑政策实施效应具有一定的滞后性 [33]，本文采用滞后一期的交互项进行回归分析，结果如表 5 所示。表 5 中第（1）列为滞后一期的交互项对企业绩效的回归结果，我们发现 VOCs 排污收费政策实施对企业绩效呈现正向影响。第（2）至（5）列为依次引入控制变量后的回归结果，可以发现滞后一期的交互项的估计系数符号和显著性水平没有发生实质性改变，均表现为正向影响。以引入完整控制变量的第（5）列回归结果进行具体分析，VOCs 排污收费政策的实施使 ROA 提高了 1.647 个百分点，并在 5% 置信水平上通过显著性检验。

表5 政策实施（滞后一期）与企业绩效的回归结果

变量	（1） ROA	（2） ROA	（3） ROA	（4） ROA	（5） ROA
treat × time	1.599* （0.848）	1.790** （0.808）	1.807** （0.808）	1.677** （0.789）	1.647** （0.792）
LEV	—	−0.119*** （0.031 9）	−0.125*** （0.033 9）	−0.104*** （0.036 0）	−0.108*** （0.036 6）
SIZE	—	—	0.808 （0.955）	1.350 （0.936）	1.467 （0.949）
LIQ	—	—	—	0.074 9** （0.030 0）	0.073 6** （0.030 3）
AGE	—	—	—	—	−5.975 （5.656）
常数	5.122*** （0.336）	9.342*** （1.212）	3.640 （6.576）	−4.971 （6.930）	11.89 （17.89）
观测值数量	1 163	1 163	1 163	1 163	1 163
R^2	0.044	0.088	0.089	0.099	0.101

注：括号中的为稳健标准误，*** 表示 $p < 0.01$，** 表示 $p < 0.05$，* 表示 $p < 0.1$

控制变量的估计结果也和预期基本一致：资产负债率越高，越不利于企业绩效的提高；企业规模越大，越有利于企业绩效的提高；企业流动性越强，越有利于企业绩效的提高；而企业存续年限与企业绩效关系不显著。

3.2 稳健性检验

为保证研究结论的可靠性，本文进一步实施平行趋势检验。平行趋势检验结果如表 6 所示。可以看出政策实施前两年（$d_{-2} \times$ treat）、前一年（$d_{-1} \times$ treat）的虚拟变量对企业 ROA 的影响均不显著，符合平行趋势假设。同时政策实施当年（$d_0 \times$ treat）不显著，政策实施后一年（$d_1 \times$ treat）显著，进一步证实了前文采用政策虚拟变量滞后一期所得回归结果的稳健性，也即证实了政策实施显著地促进了企业绩效的提高，但存在一定的滞后性。

表6 平行趋势检验结果

变量	（1） ROA
$d_{-2} \times$ treat	−0.260 （1.767）
$d_{-1} \times$ treat	−0.625 （1.108）
$d_0 \times$ treat	0.474 （0.687）
$d_1 \times$ treat	1.410*** （0.526）
控制变量	控制
观测值数量	1 494
R^2	0.103

注：括号中的为稳健标准误，*** 表示 $p < 0.01$，** 表示 $p < 0.05$，* 表示 $p < 0.1$

3.3 影响机制检验

前文实证结果得出 VOCs 排污收费政策对石化行业上市公司企业绩效会产生促进作用，“波特假说”认为环境规制会使企业加大创新投入，积极推动绿色技术的研发、环保设备的升级，从而使企业生产效率得以提高 [20]，企业竞争力得以提升，同时还能够降低企业的排污费用，实现环保与效益的双赢。沿着“波特假说”的理论脉络，本文进一步探讨石化行业 VOCs 排污收费政策对企业绩效的影响机制，即 VOCs 排污收费政策是否通过技术创新促进了企业绩效的增长。在寻找技术创新的衡量指标时，采用现有研究中的普遍做法，将研发支出作为衡量指标。同时为了避免异方差的影响，参考毛剑峰等以及严焰等的做法，将研发支出取对数处理 [34, 35]。进一步地，本文选择将当期研发支出作为中介变量引入实证方程，主要从企业实际运营角度考虑，当年研发费用支出大多是由企业上年预算决定，这在很大程度上回避了内生性问题。相关做法也在已有研究中得到了论证 [36–39]。

根据基准 DID 模型（滞后一期）的计算结果，文章进一步采用逐步回归法进行“波特假说”的中介效应检验，在表 5 实证回归结果的基础上，根据式（3）检验交互项对假定的中介变量化技术创新 TEC 的影响，最后，在式（1）的基础上引入中介变量 TEC 构建式（4）进行进一步实证。

$$\mathrm{TEC}_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \mathrm{treat}_i \times \mathrm{time}_t + \gamma_2 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$ROA_{it} = \theta_0 + \theta_1 treat_i \times time_t + \theta_2 TEC_{it} + \theta_3 X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

中介效应检验的回归结果如表7所示（其中观测值数量存在差异的原因主要在于样本企业存在缺失个别年份科技创新的数据）。表中第（1）列为基准DID（滞后一期）结果，表中第（2）列为交互项与中介变量的回归结果，交互项系数在1%置信水平上显著为正，说明实施VOCs排污收费政策，会增加下一年度上市公司的研发支出，也即促进企业的技术创新；表中第（3）列为在基准DID模型（滞后一期）的基础上引入中介变量的回归结果，交互项系数为正但不能拒绝0假设，中介变量在5%置信水平上显著为正。从而论证了石化行业VOCs排污收费政策的实施使企业加大研发投入，推动技术创新，推动企业绩效提高。

表7　中介效应检验回归结果

变量	（1） ROA	（2） TEC	（3） ROA
treat×time	1.647** （0.792）	0.440*** （0.0698）	1.254 （0.789）
TEC	—	—	1.661** （0.681）
控制变量	控制	不控制	控制
常数	11.89 （17.89）	17.63*** （0.0187）	−9.920 （18.87）
观测值数量	1 163	1 135	1 135
R^2	0.101	0.067	0.119

注：括号中的为稳健标准误，*** 表示 $p < 0.01$，** 表示 $p < 0.05$，* 表示 $p < 0.1$

3.4 异质性分析

进一步地，考虑到地区差异性，根据国家统计局对东中西地区[①]的划分，文章依次对不同区域进行实证分析及中介效应检验，检验结果如表8所示（观测值个数存在差异的原因主要在于样本企业存在缺失个别年份科技创新的数据）。表中第（1）列、第（4）列、第（7）列为基准DID（滞后一期）模型回归结果，第（2）列、第（5）列、第（8）列为引入中介变量后的回归结果，第（3）列、第（6）列、第（9）列为中介变量与滞后一期交互项的回归结果。

分区域看，第（1）～（3）列为东部地区的分析结果。从第（1）列可以看出，交互项系数为1.632，在10%置信水平上通过显著性检验，表示VOCs排污收费政策的实施使ROA提高1.632个百分点，即政策的实施对东部地区石化行业上市公司的企业绩效呈现显著的促进作用。从第（2）列、第（3）列可以看出，政策的积极效果是通过促进技术创新的提高，从而实现企业绩效的增长，存在完全中介效应。第（4）～（6）列为中部地区的分析结果。从第（4）列可以看出，交互项系数为2.735，在5%置信水平上通过显著性检验，表示VOCs排污收费政策的实施使ROA提高2.735个单位，VOCs排污收费政策对中部地区石化行业上市公司的企业绩效也呈现出显著的促进作用，并且其影响机制与东部地区相同，与东部地区存在差异的是，在引入中介变量后，交互项系数依然显著但绝对值略有降低，如表中第（5）列结果所示，表明技术创新在政策对企业绩效的影响机制中体现出的是部分中介效应。第（7）～（9）列为西部地区的分析结果。从第（7）列可以看出，VOCs排污收费政策对西部地区石化行业上市公司企业绩效的影响不显著。但是从第（9）列可以看出，政策的实施对技术创新同样存在显著的促进作用。总体上看，VOCs排污收费政策对东中西不同地区的影响具有区域差异性，具体表现为对中部地区石化行业上市公司企业绩效的促进作用最强且最显著，东部次之，西部则无显著影响；VOCs排污收费政策在东中区域的影响机制与全样本的结果保持一致，表现为通过促进企业技术创新，提高企业绩效的传导路径，西部地区的技术创新补偿作用不显著。

针对环境规制对企业绩效的促进效果在东、中、西部地区存在的差异性，文章推断主要是由于区域发展阶段的不同。东部地区经济发展一直处于国内领先地位，且现阶段企业绿色技术水平本身处于一个较高的地位，在污染减排方面已取得显著成效，能够较大程度地降低排污收费的成本，因而新的环境规制对企业绩效的提升效果不及中部；中部地区现阶段经济发展水平虽然不及东部，但正因为当前基准低，所以环境规制在中部地区发挥的创新补偿作用最为明显；而西部发展相对落后，为了促进经济发展，政府往往给予很多优惠政策，在一定程度上可以弥补企业关于VOCs排污收费政策所应付出的成本，虽然环境规制在西部地区表现为正效应，但并不是主要由环境规制

① 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南等11个省份；中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南等8个省份；西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等12个省份。

表 8 不同地区模型回归结果

变量	东部			中部			西部		
	（1）ROA	（2）ROA	（3）TEC	（4）ROA	（5）ROA	（6）TEC	（7）ROA	（8）ROA	（9）TEC
treat × time	1.632*	1.15	0.427***	2.735**	2.598**	0.300***	1.193	1.057	0.981**
	−0.967	−0.942	−0.074 7	−1.158	−1.177	−0.090 5	−0.978	−1.024	−0.428
LEV	−0.086 2**	−0.082 3**	—	−0.055 2	−0.067 5	—	−0.276***	−0.275***	—
	−0.037 8	−0.035 6		−0.068 3	−0.067 4		−0.025	−0.025 5	
SIZE	1.531	0.38	—	−0.063 3	−0.649	—	1.2	0.789	—
	−1.124	−1.597		−2.157	−1.845		−1.066	−1.215	
LIQ	0.086 6**	0.077 4**	—	0.124*	0.083	—	−0.101*	−0.096 6	—
	−0.034	−0.034 8		−0.072 3	−0.066 6		−0.059 4	−0.059	
AGE	−1.827	−2.264	—	−15.71	−15.28	—	−20.75***	−19.19***	—
	−5.95	−5.824		−20.9	−20.4		−6.356	−6.764	
TEC	—	1.778*	—	—	3.133**	—	—	0.27	—
		−0.926			−1.474			−0.352	
常数	−2.172	−23.97	17.64***	47.79	−2.966	17.72***	71.74***	65.13***	17.33***
	−18.73	−20.35	−0.022 5	−67.55	−71.47	−0.0164	−18.16	−20.92	−0.046
观测值数量	893	871	871	174	171	171	96	93	93
R^2	0.094	0.111	0.075	0.137	0.172	0.051	0.649	0.651	0.073

注：括号中的为稳健标准误，*** 表示 $p < 0.01$, ** 表示 $p < 0.05$, * 表示 $p < 0.1$

的实施造成的，这也正是环境规制对西部地区企业绩效不显著的原因。

针对技术创新的中介效应在东、中部地区存在的差异性①，本文推断主要是由于企业发展路径的不同。东部地区经济基础雄厚，产业集聚度高 [40]，企业在竞争激烈的市场中谋求更高的发展主要取决于技术创新，因此技术创新在东部地区体现出完全中介效应。中部地区由于硬性条件的限制，在诸多方面都有可提高的空间，并非完全依赖技术创新才能促进企业经营绩效的提高，尤其对于企业快速成长阶段，技术创新并不是唯一的必经之路，这就解释了为什么技术创新在中部地区体现出的是部分中介效应。

4 结论与政策启示

本文以 VOCs 排污收费政策为准自然实验，基于石化行业 337 家上市公司数据，在平行趋势检验的基础上，运用双重差分模型，实证研究了 VOCs 排污收费政策对石化行业上市公司企业绩效的影响结果及因果机制，得到以下三点结论：

一是环境规制对石化行业企业绩效的正向影响具有滞后性。VOCs 排污收费政策实施当期对企业绩效的影响不显著，而政策的实施对次年企业绩效具有显著的正向影响，使得企业 ROA 平均提高了 1.677 个百分点。二是环境规制对石化行业企业绩效的促进作用是通过企业的技术创新实现的。企业受到环境规制后，为减少或避免由于污染排放而造成的环保支出，会通过加大研发投入以升级环保设备、创新新技术，从而实现了减少污染排放与提高企业绩效的双赢局面，论证了“波特假说”在中国石化行业的有效性。三是环境规制对石化行业企业绩效的影响具有区域差异性。VOCs 排污收费政策的实施对东、中地区具有显著的正向影响，对西部地区则无显著影响。政策的实施通过技术创新（完全中介）使东部地区企业 ROA 平均提高了 1.632 个百分点，使中部地区企业 ROA 平均提高了 2.735 个百分点。

根据以上研究结论，本文的政策启示有：第一，扩充 VOCs 的征税品种。加强生态文明建设，进一步加大石化行业生态环境保护的政策实施力度。考虑到 VOCs 是近地面臭氧、二次细粒子生成的重要前体物，治理 VOCs 对控制臭氧、$PM_{2.5}$，改善大气环境质量具有迫切的现实意义，建议进一步完善并丰富纳入征税范围的 VOCs 种类，在提升石化企业经济绩效的同时，实现环境保护。第二，坚持推进科技创新。进一步加强石化行业企业的科技投入，聚焦石化行业发展的共性、关键技术的研发，鼓励企业开展创新活动，将环境规制的压力转化为企业绩效增长的动力。第三，西部地区的环境规制需因地制宜。需在优化西部地区石化行业发展环境、提升西部地区石化企业的内生发展动力的基础上，合理划定环境规制强度区间，探索依

① 西部地区环境规制对企业绩效无显著影响，因此不做分析。

靠环境规制驱动企业增长的可能路径。

参考文献

[1] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要第一篇 指导思想、主要目标和发展理念 [J] 领导决策信息，2016(12): 2-7.

[2] WALLEY N, WHITEHEAD B. It's not easy being green[J]. Harvard business review, 1994, 72(3): 46-51.

[3] BARBERA A J, MCCONNELL V D. The impact of environmental regulations on industry productivity: direct and indirect effects[J]. Journal of environmental economics and management, 1990, 18(1): 50-65.

[4] GRAY W B, SHADBEGIAN R J. Plant vintage, technology, and environmental regulation[J]. Journal of environmental economics and management, 2003, 46(3): 384-402.

[5] PORTER M E. America's green strategy[J]. Scientific American, 1991, 264(4): 168.

[6] LIN MH, YANG YZ. Environmental regulation and technology innovation: evidence from China[J]. Energy procedia, 2011, 5: 572-576.

[7] BI G B, SONG W, ZHOU P, et al. Does environmental regulation affect energy efficiency in China's thermal power generation? Empirical evidence from a slacks-based DEA model[J]. Energy policy, 2014, 66: 537-546.

[8] TESTA F, IRALDO F, FREY M. The effect of environmental regulation on firms' competitive performance: the case of the building & construction sector in some EU regions[J]. Journal of environmental management, 2011, 92(9): 2136-2144.

[9] SANCHEZ-VARGAS A, MANSILLA-SANCHEZ R, AGUILAR-IBARRA A. An empirical analysis of the nonlinear relationship between environmental regulation and manufacturing productivity[J]. Journal of applied economics, 2013, 16(2): 357-372.

[10] 叶红雨，杨静 . 环境规制对企业绩效影响的实证研究——基于企业社会责任的调节作用 [J]. 山东财经大学学报，2020, 32(2): 99-107.

[11] 赵霄伟 . 环境规制、环境规制竞争与地区工业经济增长——基于空间 Durbin 面板模型的实证研究 [J]. 国际贸易问题，2014(7): 82-92.

[12] 黄清煌，高明 . 环境规制对经济增长的数量和质量效应——基于联立方程的检验 [J]. 经济学家，2016(4): 53-62.

[13] 涂红星，肖序 . 环境管制会影响公司绩效吗 ?——以中国 6 大水污染密集型行业为例 [J]. 财经论丛，2013(5): 112-117.

[14] 李树，赵晓乐，娄昌龙 . 环境规制与企业绩效——基于代理成本的视角 [J]. 首都经济贸易大学学报，2016, 18(2): 89-97.

[15] 张慧霞 . 环境规制、动态创新能力与企业财务绩效 [J]. 财会通讯，2020(24): 54-57.

[16] 李志学，杨媛 . 环境规制政策对能源企业绩效的影响——以火力发电企业为例 [J]. 财会月刊，2011(33): 55-58.

[17] 姚林如，杨海军，王笑 . 不同环境规制工具对企业绩效的影响分析 [J]. 财经论丛，2017(12): 107-113.

[18] 邹国伟，周振江 . 环境规制、政府竞争与工业企业绩效——基于双重差分法的研究 [J]. 中南财经政法大学学报，2018(6): 13-21, 158-159.

[19] 颉茂华，王瑾，刘冬梅 . 环境规制、技术创新与企业经营绩效 [J]. 南开管理评论，2014, 17(6): 106-113.

[20] 刘和旺，郑世林，左文婷 . 环境规制对企业全要素生产率的影响机制研究 [J]. 科研管理，2016, 37(5): 33-41.

[21] 李冬琴 . 环境政策工具组合、环境技术创新与绩效 [J]. 科学学研究，2018, 36(12): 2270-2279.

[22] 申晨，李胜兰，黄亮雄 . 异质性环境规制对中国工业绿色转型的影响机理研究——基于中介效应的实证分析 [J]. 南开经济研究，2018(5): 95-114.

[23] 胡元林，李茜 . 环境规制对企业绩效的影响——以企业环保投资为传导变量 [J]. 科技与经济，2016, 29(1): 72-76.

[24] 郑丽霞 . 环境规制、执行偏差与企业绩效——基于“两控区”政策的双重差分法研究 [D]. 广州 : 暨南大学，2018.

[25] 张源 . 药品监管对中国制药企业绩效的影响及其机制初探 [J]. 中国药学杂志，2019, 54(6): 506-510.

[26] 肖晓军，杨志强，曾荷 . 环境规制视角下贸易出口对中国绿色全要素生产率的影响——基于省际面板数据的非线性实证检验 [J]. 软科学，2020, 34(10): 18-24.

[27] 原毅军，谢荣辉 . FDI、环境规制与中国工业绿色全要素生产率增长——基于 Luenberger 指数的实证研究 [J]. 国际贸易问题，2015(8): 84-93.

[28] 罗能生，王玉泽 . 财政分权、环境规制与区域生态效率——基于动态空间杜宾模型的实证研究 [J]. 中国人口 · 资源与环境，2017, 27(4): 110-118.

[29] 高磊，庞守林 . 基于风险承担视角的资本结构与企业绩效研究 [J]. 大连理工大学学报 (社会科学版)，2017, 38(3): 18-23.

[30] 杨晔，王鹏，李怡虹，等 . 财政补贴对企业研发投入和绩效的影响研究——来自中国创业板上市公司的经验证据 [J]. 财经论丛，2015(1): 24-31.

[31] 詹新寰 . 中国体育产业上市公司营运资金结构对企业绩效的影响——基于对我国 17 家体育产业上市公司的实证研究 [J]. 武汉体育学院学报，2013, 47(9): 28-34.

[32] 刘莉亚，何彦林，王照飞，等 . 融资约束会影响中国企业对外直接投资吗 ?——基于微观视角的理论和实证分析 [J]. 金融研究，2015(8): 124-140.

[33] 余伟，陈强，陈华 . 环境规制、技术创新与经营绩效——基于 37 个工业行业的实证分析 [J]. 科研管理，2017, 38(2): 18-25.

[34] 毛剑峰，李志雄 . 管理层股权激励、研发支出与企业绩效的关系研究 [J]. 统计与决策，2016(9): 186-188.

[35] 严焰，池仁勇 . R&D 投入、技术获取模式与企业创新绩效——基于浙江省高技术企业的实证 [J]. 科研管理，2013, 34(5): 48-55.

[36] 李璐，张婉婷 . 研发投入对我国制造类企业绩效影响研究 [J]. 科技进步与对策，2013, 30(24): 80-85.

[37] 梁莱歆，张永榜 . 我国高新技术企业 R&D 投入与绩效现状调查分析 [J]. 研究与发展管理，2006, 18(1): 47-51, 58.

[38] 鲁盛潭，方旻 . 高科技、高成长性企业 R&D 投入与企业绩效的相关性分析 [J]. 财会月刊，2011(36): 12-15.

[39] 解维敏，唐清泉 . 企业研发投入与实际绩效 : 破题 A 股上市公司 [J]. 改革，2011(3): 100-107.

[40] 刘加林，严立冬 . 环境规制对我国区域技术创新差异性的影响——基于省级面板数据的分析 [J]. 科技进步与对策，2011, 28(1): 32-36.

（下转133页）

生态保护效益为优先，制定出不违反法律原则和法的严肃性等的环境刑事诉讼专门规定，酌情考虑从宽情节。更长远地，未来若能有一部环境诉讼专门立法，通过体系化的归纳、梳理和扩充来弥补环境诉讼领域的缺漏和症结，以上问题便能真正地迎刃而解。

参考文献

[1] 陈怀顺，赵晓英 . 西北地区不同类型区生态恢复的途径与措施 [J]. 草业科学 , 2000, 17(5): 65-68.

[2] 赵星，安然 . 环境犯罪对传统刑罚目的之挑战与应对 [J]. 法学杂志 , 2009, 30(4): 44-46.

[3] 李建明 . 错案追究中的形而上学错误 [J]. 法学研究 , 2000, 22(3): 87-94.

[4] 王超 . 虚置的程序对刑事二审功能的实践分析 [J]. 中外法学 , 2007, 19(2): 188-200.

[5] 李锐，冉雪瑛，刘俊佚 . “积极修复生态环境”在环境刑事案件中量刑适用研究 [EB/OL]. (2019-02-16). http://cdfy.chinacourt.gov.cn/article/detail/2019/07/id/4178131.shtml.

[6] 刘蕊 . 环境犯罪治理中刑事和解扩张适用及法律规制 [J]. 理论月刊 , 2020(7): 133-143.

The Legal Nature of Ecological Restoration Behavior During the Appeal Period of Environmental Criminal Litigation

GUO Wu, LI Mengyao*

(School of Environment Law, Gansu University of Political Science and Law, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The behavior of ecological environment restoration during the appeal period of environmental criminal litigation has been gradually investigated by some local courts as the circumstances of leniency and commutation in the second instance procedure. Although this is beneficial to encourage the environmental criminal defendants to actively fulfill the environmental restoration obligations, it may break the traditional remedy and error correction measures of the second instance if it is rashly included into the consideration of lenient sentencing without any specific preconditions, which caused contradictions and deviations in the realization of the second-instance function of environmental criminal litigation. Therefore, the legal nature of ecological restoration behavior during the appeal period should be clearly attributed to the circumstances of commutation after the judgment. In order to resolve such conflicts, China needs to formulate corresponding special laws and regulations, applicable principles and supporting system measures in time, so as to maximize the effectiveness of ecological restoration in environmental criminal proceedings.

Keywords: ecological restoration behavior; lenient treatment; environmental criminal procedure; appeal period; second instance procedure

（上接101页）

Environmental Regulation, Technological Innovation and Enterprise Performance—Based on the Quasi-Natural Experiment of VOCs Pollution Charging Policy in the Petrochemical Industry

LIU Xuezhi, DUAN Duoduo, ZHANG Bo, SUN Xiangdong*

(School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The paper used 337 listed companies in China's petrochemical industry from 2015 to 2019 as research samples to verify the positive impact of current environmental regulations on the company's performance in the subsequent period by differences-in-differences method. The further test of the intermediary effect found that environmental regulations mainly improve enterprise performance through technological innovation, thereby verifying the existence of the Porter Hypothesis in China's petrochemical industry. In addition, the paper also found that there are significant regional differences in the effect and mechanism of environmental regulation on enterprise performance. The eastern and central regions showed significant positive effects, and both supported the Porter Hypothesis, while the western regions had no obvious influence. To promote the green and low-carbon development of the petrochemical industry, it is necessary to further increase the implementation of environmental protection policies in petrochemical industry, promote the the scientific and technological investment of petrochemical enterprises and focus on regional differences.

Keywords: environmental regulation; technological innovation; enterprise performance; VOCs pollution charging policy