

能源价格、发明者特征与引致型绿色技术创新

程时雄 陈 慧

摘要: 能源价格市场化改革在一定程度上激发了企业从事绿色技术创新的积极性。本文基于2012—2022年沪深A股上市公司数据,依据发明经验将发明者划分为绿色技术创新领域的在位者和进入者,进而考察能源价格变动如何影响不同类型发明者的绿色技术创新行为。研究发现,能源价格上涨不仅激励了在位发明者持续开展绿色技术创新,也引致了其他发明者加入绿色研发活动,能源价格信号对绿色技术创新同时具有“深度效应”和“广度效应”。机制分析表明,能源价格通过推动企业增加绿色投资、加强环保培训,并促进生产资本和人力资本向研发型转变,从而对绿色技术创新产生促进作用。异质性分析结果显示,深度效应和广度效应在国有企业、低能耗行业、新能源汽车产业链和高政府环保关注度地区更为明显。进一步分析指出,能源价格上涨对供应链下游企业仅产生“涟漪型”的短时激励作用。此外,从发明者特征角度,绿色技术创新的广度效应有助于提升企业绿色创新效率,而深度效应则有助于同时提高绿色创新效率与质量。本文从发明者特征视角出发,为提升中国绿色技术创新水平提供了理论支持和政策启示。

关键词: 能源价格 引致型绿色技术创新 发明者特征 绿色专利 供应链传导

中图分类号: F272.0

文献标识码: A

文章编号: 1000-7636(2026)06-0080-16

一、问题提出

国家对能源问题一直给予高度重视。《国家发展改革委关于“十四五”时期深化价格机制改革行动方案的通知》(发改价格〔2021〕689号)提出,“到2025年,竞争性领域和环节价格主要由市场决定”“能源资源价格形成机制进一步完善”。目前,发电侧煤电与新能源已全面入市,工商业用户进入市场,能源价格改革基本实现。能源价格市场化构建了类似环境规制的传导路径,驱动企业技术创新,消化成本压力并培育绿色动能。推进能源价格市场化改革,既是实现“双碳”目标的有效手段,也是促进绿色技术创新的重要途径。然而,现有政策多集中于环境规制、财政补贴等维度,对能源价格这一基础性市场信号的关注不足。能源价格直接影响企业成本与创新决策,研究能源价格如何影响绿色创新,可以为能源价格市场化改革提供精准的政策评估与优化依据。

本文的主要边际贡献有三点。一是在研究视角上,本文将能源价格引致的企业绿色技术创新活动按照

收稿日期:2025-08-07;修回日期:2026-05-24

基金项目:国家社会科学基金重点项目“数字贸易促进中国创新体系效能提升的机制及对策研究”(23AJL010);国家自然科学基金青年科学基金项目“数绿技术融合赋能减污降碳协同增效的机制与福利效应研究”(72404080)

作者简介:程时雄 湖北大学商学院教授,武汉,430062;

陈 慧 湖北大学商学院硕士研究生。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

发明者的差异进一步细化为“广度效应”和“深度效应”。发明者是技术创新行为的主体^[1-2],发明者规模和发明经验也会影响企业团队的创新特征^[2]。然而,已有技术创新相关文献较少从发明者层面进行分析^[3-4]。本文进一步将绿色专利发明者划分为绿色技术研发领域的进入者和在位者,并探讨能源价格对两类发明者的引致绿色创新作用。二是在研究内容上,本文聚焦中国情境,从微观企业层面丰富了能源价格引致绿色创新的实证研究。与既有文献多关注发达国家层面^[3-5]或宏观区域层面^[6-7]不同,本文立足于中国企业个体,深入剖析能源价格影响企业内部发明者行为的具体路径。通过识别企业在总体研发投入、研发人员总数、绿色投资及环保培训四个维度的机制分析,为理解要素价格变动如何影响企业绿色创新行为提供了新的微观证据,也为推进能源价格市场化改革提供了政策参考。三是在研究方法上,本文通过构建公司-发明者层面的匹配数据集,实现了对创新“广度效应”与“深度效应”的精准测度。通过软件 Python 对专利数据进行清洗、归类与结构化处理,将原始专利信息转化为可供计量分析的企业与发明者面板数据。该方法不仅提升了研究指标的准确性与颗粒度,也提供了可靠的数据基础,增强了研究结论的解释力与学术可信度。

二、文献综述

与本文相关的文献主要有两支:

一支文献是关于引致型技术创新的研究。引致型技术创新由希克斯(Hicks)提出,指相对要素价格变化会激励节约昂贵要素的创新^[8]。阿西莫格鲁(Acemoglu)为其提供了微观基础^[9],此后研究扩展至资本、土地、劳动力等传统要素^[10]。随着能源重要性上升,能源引致型技术创新研究逐渐增多。波普(Popp)发现能源价格上涨可引致美国私人部门创新^[11]。近期研究指出,燃料税或碳税可诱致绿色技术创新,并使绿色创新总量超过污染创新^[3]。国内学者多关注能源价格对碳排放的影响,少量研究在区域或行业层面发现能源价格可节约能源使用^[7]并提高环境全要素生产率^[12],但缺乏微观层面绿色技术创新的分析。

另一支文献聚焦发明者的发明行为。尼尔森(Nelson)指出公众支持科学的重要性,并关注科研人员的配置问题^[13]。发明者作为劳动与技术资本的双重载体,其研发方向影响企业创新与国家科技进程^[14-15]。本文借鉴已有研究,依据发明经验将创新方向划分为非绿色领域发明者转向绿色创新的新进入者和已有绿色发明经验的在位者,分别为“广度效应”与“深度效应”^[16]。此外,报酬与资助对研发行为具有调节作用。企业根据市场价格信号评估不同研发方向的成本收益,调整内部发明者资源配置^[1]。将创新活动拆解为两种效应,有助于揭示能源价格影响企业绿色创新人员配置的理论路径,并辨析不同发明者行为对创新成果的异质性影响。

综上所述,国外学术界对能源价格引致型技术创新已有一定探讨^[7,11],但国内相关研究仍较少^[6]。原因有二:一是价格形成机制的行政干预残留导致数据失真,本文以2012—2022年数据展开分析,可更有效刻画因果特征;二是能源价格的动态影响缺乏系统观测,多数研究关注碳市场、排污权交易等政策工具,对能源价格涉猎较少。本文从能源价格视角出发,探究其对技术创新与经济转型的作用机制,有助于完善生态环境科技体制机制,推动绿色高质量发展与美丽中国建设。此外,既有文献多探讨能源价格如何引致绿色创新^[3],但对发明者个体作用分析不足。已有研究^[16]虽涉及能源价格对发明者创新行为的引致影响,却忽视了企业作为创新平台的重要作用。因此,探究和完善能源价格引致企业及发明者绿色创新的逻辑链条,具有重要的理论和现实意义。

三、理论分析与研究假设

本部分分析能源价格如何通过企业总体研发投入、研发人员总数、环保培训与绿色投资,引致绿色技术

创新“广度效应”与“深度效应”。具体地,构建价格引致技术创新的基础模型,探讨能源价格信号对绿色技术创新的引致作用;嵌入市场在位-进入理论,从发明者视角分析广度效应与深度效应;从投入视角提出四种机制路径。

(一) 模型基本设定

本文聚焦能源价格变化引致的绿色技术创新“广度效应”与“深度效应”。参考杰克曼等(Jakeman et al.)^[17]的研究,首先假设时期 t 与化石能源要素投入 e 有关的技术创新产出为:

$$Y_{et} = \sum_j R_{ejt} A_{ejt} \quad (1)$$

其中, R_{ejt} 为单位收益, A_{ejt} 为技术水平。该设定避免了传统生产函数中技术进步的来源混杂,便于识别能源价格信号引致的定向技术创新。企业研发总支出为:

$$D_{et} = \left(\sum_j \beta_{ejt} A_{ejt}^\gamma \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2)$$

其中, $\beta_{ejt} > 0$ 是企业 j 的化石能源要素投入 e 相关研发费用的密集参数, $\gamma \in (0,1)$ 是不同研发技术的替代系数,刻画了行业研发活动的结构特征。

企业通过技术创新提高能源效率,节约成本。单位收益 R_{ejt} 定义为边际成本节约的折现总值:

$$R_{ejt} = - \sum_{\tau=t}^{\infty} \frac{\partial C_{ejt}}{\partial A_{ejt}} \times \frac{\theta_\tau}{\theta_t} \quad (3)$$

能源价格上涨使边际成本节约增加,从而提升 R_{ejt} , 增强当期创新动机。在此基础上,引入有效需求与有效价格。设能源市场价格为 P_{ejt} , 需求为 Q_{ejt} 。技术创新提高能源效率,使有效需求下降:

$$\bar{Q}_{ejt} = \frac{Q_{ejt}}{A_{ejt}} \quad (4)$$

为保持成本一致性,有效价格定义为:

$$\bar{P}_{ejt} = P_{ejt} A_{ejt} \quad (5)$$

能源市场价格 P_{ejt} 外生上涨使企业感知的有效价格 \bar{P}_{ejt} 同步上升,激励企业进一步提升 A_{ejt} 以降低有效需求,从而驱动技术创新。该机制揭示了价格信号通过成本感知引致绿色技术创新的微观过程。

(二) 企业均衡求解

根据产出最大化原理求解均衡,可对式(1)、式(2)构造拉格朗日函数:

$$L = \sum_j R_{ejt} A_{ejt} - \lambda [D_{ejt} - \left(\sum_j \beta_{ejt} A_{ejt}^\gamma \right)^{1/\gamma}] \quad (6)$$

求一阶条件得到式(7):

$$A_{ejt} = \delta_t \left(\frac{R_{ejt}}{\beta_{ejt}} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \quad (7)$$

式(7)为推导出的企业最优反应函数,其中 $\delta_t = D_{ejt} / \lambda^{1/(\gamma-1)}$ 。式(7)揭示了企业最优技术水平 A_{ejt} 与创新单位收益 R_{ejt} 正相关,与自身研发密集度参数 β_{ejt} 负相关。指数 $1/(\gamma-1)$ 为负(因 $\gamma < 1$),表明 R_{ejt}/β_{ejt} 的比值对 A_{ejt} 的影响是正向且非线性的,其弹性取决于研发技术的替代系数 γ 。 δ_t 为与总研发支出和影子价格相关的调整项。

将式(4)、式(5)代入式(3),得到绿色技术的创新水平变动对化石能源这一生产要素带来的单位收益

水平,如式(8)所示:

$$R_{ejt} = - \sum_{\tau=t}^{\infty} \frac{\partial C_{ijt}}{\partial A_{ijt}} \times \frac{\theta_{\tau}}{\theta_t} = \frac{Q_{ejt} P_{ejt} I_{ejt}}{A_{ejt}} \quad (8)$$

其中, $I_{ejt} = \sum_{\tau=t}^{\infty} (P_{ej\tau} Q_{ej\tau} A_{ej\tau} \theta_{\tau}) / (P_{ejt} Q_{ejt} A_{ejt} \theta_t)$ 。

将式(8)代入式(7)得到绿色创新与化石能源价格和需求相关的表达式,其中, $L_t = \delta_t^{(\gamma-1)/\gamma}$,

$$A_{ejt} = L_t \left(\frac{Q_{ejt} P_{ejt} I_{ejt}}{\beta_{ejt}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (9)$$

式(9)是模型最终的均衡解,将企业的最优绿色技术创新水平 A_{ejt} 表述为由三组外生或预定因素决定:一是当期市场激励,即当期的化石能源支出总额 ($Q_{ejt} P_{ejt}$);二是跨期预期因子 I_{ejt} ;三是企业自身的研发效率参数 β_{ejt} 。

(三) 绿色技术创新的广度效应与深度效应

本文借鉴产业经济学中“在位者”与“进入者”的概念,将绿色技术创新领域已有经验的发明者视为“在位者”,将此前未从事该领域创新活动的绿色技术发明者定义为“进入者”。据此,将企业绿色技术创新分解为新进入者活动 $A_{ejt,En}$ (广度效应)与在位者活动 $A_{ejt,In}$ (深度效应)。绿色创新总量可表示为:

$$A_{ejt} = A_{ejt,En} + A_{ejt,In} = L_t \left(\frac{P_{ejt} Q_{ejt} I_{ejt}}{\beta_{ejt}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (10)$$

对 P_{ejt} 求偏导,得到:

$$\frac{\partial A_{ejt}}{\partial P_{ejt}} = \frac{\partial A_{ejt,En}}{\partial P_{ejt}} + \frac{\partial A_{ejt,In}}{\partial P_{ejt}} = \frac{L_t Q_{ejt} I_{ejt}}{\gamma \beta_{ejt} \left(\frac{P_{ejt} Q_{ejt} I_{ejt}}{\beta_{ejt}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}} \quad (11)$$

由于 $\partial A_{ejt} / \partial P_{ejt} > 0$,表明化石能源价格对绿色引致型创新存在正向影响^[6]。在此基础上,本文提出以下假设:假设1:能源价格上涨会激励上市公司引入更多未从事过绿色专利发明的新进入者开展绿色创新,即能源价格提高可引致绿色创新的广度效应。

假设2:能源价格上涨会激励上市公司已有绿色专利发明经历的在位发明者持续进行绿色创新,即能源价格提高可引致绿色创新的深度效应。

(四) 绿色技术领域的投入分析

能源价格上涨使企业要素成本上升,为维持利润,企业将增加绿色技术投入,调整能源结构并提高能效。设 D_{ejt} 为绿色创新的要素资本投入,代入相关公式并对能源价格 P_{ejt} 求偏导得:

$$\frac{\partial D_{ejt}}{\partial P_{ejt}} = \frac{\partial D_{ejt}}{\partial A_{ejt}} \times \frac{\partial A_{ejt}}{\partial P_{ejt}} = \frac{\beta_{ejt} L_t Q_{ejt} I_{ejt}}{\gamma \beta_{ejt} \left(\frac{P_{ejt} Q_{ejt} I_{ejt}}{\beta_{ejt}} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}} \quad (12)$$

由于 $\partial D_{ejt} / \partial P_{ejt} > 0$,能源价格上涨会促进企业增加绿色创新要素投入,产生广度效应和深度效应。本文在既有研究基础上^[18-19],将要素投入增加归纳为总体研发投入、研发人员总数、环保培训及绿色投资四种机制,并从研发与绿色两个维度展开分析。

在研发维度上,能源价格上涨虽然能推高运营成本,但增强了企业绿色创新激励。企业会将资本从金融投资转向研发等实体活动^[19],缓解融资约束^[20],扩大研发团队,从而引致绿色创新的广度效应与深度效

应。在绿色维度上,能源价格市场化改革强化资源配置作用^[21],激励企业采纳高效节能技术和替代能源。企业可持续发展意识增强,绿色投资上升,并加强员工(包括发明者)的环保培训。良好的环保意识与知识储备有助于企业识别市场机遇、提升绿色创新能力,最终降低能源成本。据此,本文提出以下假设:

假设3:能源价格上涨使企业将资金转移至研发投入,并增加研发人员聘用,进而引致企业绿色技术创新的广度效应和深度效应。

假设4:能源价格上涨促进企业开展环保培训,并提高绿色投资水平,进而引致企业绿色技术创新的广度效应和深度效应。

四、实证设计

(一) 样本选取与数据来源

本文以2012—2022年沪深A股上市公司为样本。能源价格数据来自《中国价格统计年鉴》,能源消费结构来自中国碳核算数据库(CEADs)。企业绿色技术创新依据《绿色技术专利分类体系》(2023)筛选,并识别为“深度效应”与“广度效应”,再与同期A股上市公司匹配。专利数据源自国家知识产权局,财务数据源自深圳希施玛数据科技有限公司CSMAR中国经济金融研究数据库,行业代码依据《国民经济行业分类标准》(GB/T 4754—2017)。本文根据专利申请地址匹配能源价格,有效解决了同一集团内不同地理位置的分公司面临不同能源价格及差异化创新策略的问题,从而更精确地分析能源价格上涨引致的绿色创新广度效应与深度效应。匹配后,剔除样本期内被ST、*ST、PT的企业、金融类企业及变量缺失的观测值。

(二) 模型设定

为探究能源价格与引致绿色技术创新的因果推断并验证上述假设,本文设定基准回归模型:

$$IGI_{ijt} = \beta_0 + \beta_p \ln Price_{ijt} + \mathbf{X}'_{i,t} \boldsymbol{\beta}_x + \gamma_t + \eta_i + \rho_l + u_{ijt} \quad (13)$$

式中, IGI_{ijt} 指企业的引致型绿色技术创新,本文分别使用绿色技术创新的广度效应和深度效应作为被解释变量,其中广度效应使用第 t 年上市公司 i 在不同省份 j 的分公司中绿色创新领域进入者数量 EE_{ijt} 的自然对数衡量;深度效应使用企业 i 的不同省份 j 的分公司中绿色创新领域在位者在 t 年继续申请绿色专利的发明者数量 IE_{ijt} 的自然对数表示。 $\ln Price_{ijt}$ 是企业 i 在 t 年面临的所处省份 j 的综合能源价格的自然对数值, $\mathbf{X}'_{i,t}$ 指上市公司 i 在 t 年的控制变量向量, γ_t 、 η_i 和 ρ_l 分别表示年份固定效应、企业固定效应和行业固定效应,并采用省份层面的聚类标准误, u_{ijt} 是误差项。

(三) 变量说明

1. 被解释变量

本文的被解释变量为绿色创新广度效应($\ln EE$)和绿色创新深度效应($\ln IE$)。本文的难点之一是准确度和识别绿色创新的“广度效应”和“深度效应”。参考已有研究^[16],以上市公司专利申请表征绿色创新。由于专利在申请时即可影响生产,较授权数据更及时可靠^[4]。具体数据处理步骤如下:从国家知识产权局获取2012—2022年专利明细,根据《绿色技术专利分类体系》识别绿色专利。利用软件Python整合每位发明者所属企业、专利申请地邮编及年份专利数。使用邮编辅助识别用于解决同名问题,发现发明者跨企业流动量较少,仅816例,占比小于1%,可忽略这一影响。判断发明者在识别年份前是否有绿色专利,若无则视为“新进入者”,当年专利计入广度效应,并用上市公司分公司每年新进入者数量(IE)取自然对数;若有则视为“在位者”,当年专利计入深度效应,并用在此位者数量(EE)。汇总至企业层面,并对专利缺失值补0。对

于合作专利则同时计入两类效应,避免低估影响。为进一步排除变量间共线性对回归结果的干扰,本文进行了方差膨胀因子(VIF)检验,结果显示 $VIF = 1.0700$,无明显共线性。按股票代码匹配上市公司数据,得到 2012—2022 年各企业绿色创新的进入者与在位者面板数据。

2. 解释变量

本文的解释变量为能源价格($\ln Price$)。参考王振霞等^[22]的研究,利用各省份能源消费结构及国家层面煤炭、石油价格,加权计算 2012—2022 年各省份综合能源价格。选取煤炭和石油的原因是两者消费占化石能源的 81.89%,且价格数据在《中国价格统计年鉴》中连续并具有可获得性。具体计算步骤为:基于《中国价格统计年鉴》中 2012—2022 年的原煤、原油出厂价格指数,用基期还原法得到全国年度实际价格;从 CEADs 获取各省份分燃料碳排放数据中反推获得煤炭与石油消费量,并换算为标准煤,按公式 $P = (Q_c P_c + Q_o P_o) / (Q_c + Q_o)$ 加权获得各省份综合能源价格(元/吨标煤),并取对数。需要强调的是,本文根据上市公司专利申请地址匹配对应省份的年度能源价格,以精确识别研发成本环境及集团内跨区域创新策略差异。

3. 控制变量

本文控制变量设定如下:(1)企业资本规模($\ln AT$),选取样本中上市公司的企业净资产(单位为亿元)取自然对数来表示;(2)企业劳动力规模($\ln Labor$),选取企业员工数量(单位为人)取自然对数后来衡量,企业的资本规模和劳动力规模共同构成企业规模,一般认为企业规模的大小影响着企业的创新能力^[23];(3)企业信用评价($\ln LB$),银行贷款可以衡量市场投资者对企业信用的评价,因此选取样本中上市公司的企业负债(单位为亿元)取自然对数来表示;(4)企业研发投入($\ln R\&D$),选取样本企业每个自然年在研发方面的投入(单位为亿元)取自然对数来衡量;(5)企业现金流($\ln Cfo$),选取样本企业每个自然年的现金流(单位为亿元)取自然对数来衡量,企业的现金流可表征企业的生存和发展能力,且对企业的绿色技术创新有着决定性作用。

变量的描述性统计结果具体如表 1 所示。

表 1 广度效应描述性统计结果

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>EE</i>	12 055	5.525 4	32.602 2	0	1 103
<i>Price</i>	12 055	2 778.434 2	1 632.578 0	1 144.703 1	8 100.594 2
<i>AT</i>	12 055	643.350 1	2 563.693 0	2.398 1	27 331.900 4
<i>Labor</i>	12 055	18 243.253 2	57 816.639 7	64	570 060
<i>LB</i>	12 055	352.228 9	1 332.038 8	0.103 1	19 725.164 1
<i>R&D</i>	12 055	8.667 5	26.660 8	0.000 0	497.532 3
<i>Cfo</i>	12 055	58.468 3	289.086 3	0.000 7	3 937.679 9

表 2 深度效应描述性统计结果

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>IE</i>	5 267	9.355 4	61.529 0	0	1 691
<i>Price</i>	5 267	2 760.376 3	1 622.594 2	1 144.703 1	8 100.594 2

表2(续)

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
AT	5 267	643.066 6	2 367.953 4	3.8884	27 331.900 4
Labor	5 267	18 589.109 9	55 589.701 5	64	570 060
LB	5267	353.490 8	1 247.187 0	0.120 6	19 725.164 1
R&D	5 267	9.304 1	25.483 8	0.000 3	497.532 3
Cfo	5 267	58.582 4	256.807 4	0.003 0	3 937.679 9

五、实证结果与分析

(一) 基准回归结果

表3报告了能源价格引致企业绿色技术创新的广度效应和深度效应的基准回归结果。

回归结果显示,能源价格的回归系数大多在1%水平下显著为正,表明能源价格上涨既能吸引更多新进入者参与绿色研发(广度效应),也能激励在位者持续开展绿色专利发明(深度效应),假设1和假设2成立。这说明能源市场化虽直接增加了企业成本,但也带来积极影响。一方面可以扩大绿色创新人才储备^[16],另一方面能够促进经验积累。这些绿色创新成果有助于企业节约能源、推动绿色转型,从而部分缓解能源价格上涨的不利影响^[12]。

表3 基准回归结果

变量	广度效应			深度效应		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnPrice	0.172 3*** (7.272 8)	0.251 0*** (6.616 4)	0.252 8*** (2.768 8)	0.215 6*** (5.453 6)	0.421 9*** (6.471 6)	0.425 6* (1.946 1)
lnAT	0.022 3 (0.707 6)	0.272 0*** (3.869 3)	0.270 7*** (3.851 2)	0.113 5** (2.116 6)	0.161 8 (1.507 2)	0.160 3 (1.183 9)
lnLabor	-0.098 0*** (-6.196 1)	0.053 4 (1.151 8)	0.056 8 (1.113 3)	-0.068 5** (-2.518 8)	-0.035 3 (-0.484 2)	-0.034 7 (-0.306 1)
lnLB	0.095 5*** (4.431 5)	-0.127 4*** (-2.984 4)	-0.126 5*** (-2.969 8)	-0.019 0 (-0.500 2)	-0.084 9 (-1.267 1)	-0.084 2 (-1.035 5)
lnR&D	0.125 7*** (13.673 4)	0.055 5*** (2.630 6)	0.056 6** (2.189 3)	0.148 8*** (9.118 5)	0.099 1*** (3.127 4)	0.095 8*** (3.151 8)
lnCfo	0.001 2 (0.108 2)	-0.028 1** (-2.318 9)	-0.028 2** (-2.390 3)	0.004 7 (0.268 5)	-0.034 7** (-1.985 2)	-0.035 0* (-1.886 4)
常数项	-4.818 8*** (-17.883 5)	-5.615 6*** (-6.031 7)	-5.665 3*** (-5.532 0)	-5.470 4*** (-12.172 1)	-5.273 2*** (-3.820 4)	-5.222 8** (-2.334 7)
年份固定效应	未控制	控制	控制	未控制	控制	控制
企业固定效应	未控制	控制	控制	未控制	控制	控制
行业固定效应	未控制	控制	控制	未控制	控制	控制
省份聚类	未控制	未控制	控制	未控制	未控制	控制

表3(续)

变量	广度效应			深度效应		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
样本量	12 055	12 055	12 055	5 267	5 267	5 267
R ²	0.075 6	0.352 2	0.353 8	0.071 2	0.508 0	0.509 2

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平下显著,括号内为稳健标准误,后表同。

(二) 内生性分析

1. 双重差分法

由于能源价格变化对绿色技术创新的广度效应和深度效应的分析可能存在遗漏变量问题,本文以用能权交易试点作为准自然实验,采用双重差分模型代替基准回归模型,以排除其他变量影响并缓解能源价格变化与绿色技术创新两类效应之间的内生性问题。回归结果如表4所示,用能权交易试点政策对企业绿色创新存在正向影响,说明能源价格上升对企业绿色创新存在广度效应和深度效应的引致作用,与本文的主要结论一致。

2. 工具变量法

由于能源价格和绿色技术创新可能存在较为广泛的联系,本文参考王振霞等^[22]的研究,采取工具变量模型来解决内生性问题。以各城市的能源运输成本作为能源价格的工具变量,原因在于:运输成本与能源价格高度相关,且不受单个企业绿色创新水平影响,满足相关性与排他性。表4第一阶段回归结果显示,工具变量系数在1%水平下显著,Kleibergen-Paap rk Wald F统计量和Kleibergen-Paap rk LM统计量均大于10,通过弱工具变量与识别不足检验。第二阶段回归结果显示,广度效应与深度效应的回归系数仍在1%水平下显著为正,与主要结论一致。

表4 内生性分析回归结果

变量	DID 回归		工具变量			
	广度效应	深度效应	广度效应		深度效应	
			第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
<i>Treat×Time</i>	0.161 8** (2.292 8)	0.278 0*** (3.588 1)				
<i>Cost</i>			0.038 6*** (3.765 3)		0.482 0*** (15.295 7)	
<i>lnPrice</i>				2.301 2** (1.970 3)		0.636 3** (2.280 0)
常数项	-4.848 5*** (-4.289 7)	-4.000 2* (-1.880 6)	7.371 2*** (30.731 4)		6.987 3*** (20.819 3)	
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份×企业×行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	5 214	2 293	12 055	12 055	4 830	4 830
Kleibergen-Paap rk Wald F			14.18		329.30	

表4(续)

变量	DID 回归		工具变量			
	广度效应	深度效应	广度效应		深度效应	
			第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
Kleibergen-Paap rk LM			16.28		304.73	
R^2	0.424 0	0.568 5	0.704 7	-0.266 2	0.786 7	0.036 4

(三) 稳健性检验

本文进行了多种稳健性检验。替换绿色创新度量,参考李青原和肖泽华^[24]的研究,仅采用绿色发明专利专利表征实质性创新,同一专利优先按发明授权计算。替换能源价格度量,参考杨冕等^[25]的研究,分别采用燃料动力类价格取自然对数($\ln PriceR1$),以及行业能源消耗强度与能源价格交乘项取自然对数($\ln PriceR2$)。更换回归模型,因被解释变量为计数变量且含大量零值,采用高维固定效应泊松回归,使用专利原始计数。排除同期环境政策影响,剔除“碳排放权交易”与“排污权交易”试点地区企业样本后重新回归。控制极端值,对所有连续变量进行上下1%缩尾处理后重新回归。考虑因果时序与内生性,将核心解释变量与控制变量滞后一期和两期后回归。以上检验结果证明本文结论稳健。限于篇幅,结果备索。

(四) 机制检验

企业主体短期内难以迅速调整能耗水平和生产规模,能源价格升高可直接或间接导致企业主体的运营成本提高。企业为可持续发展以获取利润,将会提高企业在绿色技术领域的各方面投入,从而提高绿色技术创新水平。本部分从四个维度进行机制分析:企业总体研发投入、研发人员总数、环保培训与绿色投资。前三项数据来自CSMAR数据库,绿色投资数据参考张琦等^[26]手工整理自上市公司年报的数据。回归结果如表5所示,由第1列回归结果可知,能源价格上涨增加了企业研发人员数量,表明企业将人力资源向研发部门配置。由第2列回归结果可知,能源价格的提高也增加了企业研发投入,企业将资金从短期经营或金融投资转向长期的研发创新,特别是绿色技术相关研发,假设3成立。由第3列回归结果可知,能源价格提高增加了企业绿色投资金额,说明企业明确导向绿色化、清洁化的资产与技术更新。由回归结果第4列可知,能源价格上升提高了企业环保培训次数,有助于形成组织内部的绿色创新文化,假设4成立。

表5 机制检验回归结果

变量	发明者数量	研发投入	绿色投资	环保培训
$\ln Price$	0.138 6*	0.055 2***	0.028 8***	0.015***
	(1.831 7)	(3.891 3)	(3.744 9)	(0.00 4)
常数项	18.595 8**	2.225 4**	6.852 0***	-0.58 5**
	(2.519 3)	(2.475 1)	(13.791 2)	(0.25 3)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份×企业×行业固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	12 034	12 086	12 224	12 086
R^2	0.915 6	0.940 9	0.978 2	0.461 6

(五) 异质性分析

1. 企业所有制

由于国有企业具有资源与资金优势,开展绿色创新的阻力较小,本文以国有企业哑变量(*SOE*)将样本分为国有与非国有企业,并根据式(13)进行分组回归。表6的结果显示,能源价格对国有企业的广度效应与深度效应的回归系数均显著为正,对非国有企业仅广度效应的回归系数显著,深度效应的回归系数不显著,两者深度效应的差异通过费舍尔检验。原因在于,国有企业兼具政策执行与资源支持,能源成本上升时可同时引致新进入者和在位者进行绿色创新;而非国有企业虽能灵活吸引新进入者,但受制于短期盈利压力,资源多优先配置于能快速盈利的新项目,在位者的创新深度难以明显增加。

2. 行业能耗强度

不同行业的能源消耗强度对绿色技术创新行为有重要影响。本文参考陶锋等^[27]的做法,依据行业代码将企业分为高能耗行业与低能耗行业。表6结果显示,能源价格对绿色创新的深度效应无明显行业差异,广度效应则存在异质性(通过费舍尔检验)。由表6可知,能源价格上涨对高能耗行业的深度效应的回归系数显著为正,但对广度效应回归系数不显著。原因在于高能耗行业生产流程与技术体系较为固化,既有研发团队经验深厚,企业更依赖在位者持续改进能效,而内部人员转向绿色创新的转换成本较高,导致广度扩展滞后。由表6可知,能源价格上涨对低能耗行业的广度效应和深度效应的回归系数均显著。因为低能耗行业本身能耗较低,调整能源结构与进行绿色创新的成本更小,更有动力促进在位者和进入者开展技术创新。

表6 所有制和行业能耗强度异质性分析回归结果

变量	所有制				行业能耗强度			
	广度效应		深度效应		广度效应		深度效应	
	国有企业	非国有企业	国有企业	非国有企业	高能耗行业	低能耗行业	高能耗行业	低能耗行业
<i>lnPrice</i>	0.3707*	0.1635*	0.9205***	-0.1457	-0.0967	0.3971***	0.4340***	0.4140***
	(1.9354)	(1.9727)	(9.4872)	(-1.5262)	(-1.3406)	(8.8651)	(4.1416)	(5.0606)
常数项	-5.8098**	-5.2725***	-8.7054***	-0.9812	-3.4966*	-6.6323***	-6.7785***	-4.4007***
	(-2.0501)	(-3.4640)	(-3.1109)	(-0.5938)	(-1.7760)	(-6.1854)	(-2.7728)	(-2.6044)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份×企业×行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	4297	6664	1972	2849	2782	9272	1343	3924
<i>R</i> ²	0.2925	0.4053	0.4775	0.5658	0.2798	0.3792	0.4615	0.5220
费舍尔检验	0.000***				0.000**			

3. 产业链

中国将新能源汽车产业链定位为战略性新兴产业,其成本与竞争力更容易受能源价格影响。本文参考黄山和陈洲玲^[28]的做法,将样本分为新能源汽车产业链与其他产业链。表7结果显示,能源价格引致的广度效应在产业链间存在显著差异,并通过费舍尔检验,深度效应的回归系数均显著。能源价格上涨对新能源汽车产业链内企业广度效应与深度效应影响的回归系数均显著为正。原因在于,能源价格上涨提高了燃油车使用成本,促使消费者转向新能源汽车,提升产业链需求与资金,进而加强绿色创新。对于非新能源汽车产业链,能源价

格上涨对广度效应的影响不明显,但对深度效应有影响。这是因为传统汽车产业链企业能源依赖性强、技术路径固化,短期内难以吸引新进入者形成广度效应。而成本压力会激励在位者基于既有知识深化改进,产生深度效应。

4. 政府环保关注度

基于企业生态论,政府作为核心制度主体,其环保关注度通过政策信号影响企业绿色创新。参考王帅等^[29]的研究,采用政府工作报告中环境关键词字数占比来度量政府环保关注度。表7的结果显示,广度效应在不同环保关注度地区间存在差异,并通过费舍尔检验,深度效应的回归系数均显著为正。在政府环保关注度低的地区,能源价格上涨仅能促进在位者创新,无法引致新进入者,即广度效应不明显,存在技术路径依赖。原因在于当政策压力弱、预期不稳定时,企业倾向于依赖既有发明者进行渐进改进。在政府环保关注度高的地区,明确的政策导向与稳定预期降低了不确定性,强化了对能源价格的双重激励。能源价格上涨可引致广度效应与深度效应,同时激励进入者和在位者。这表明积极的政府环保关注能提升能源价格信号在绿色创新中的配置效率。

表7 产业链和政府环保关注度异质性分析回归结果

变量	产业链				政府环保关注度			
	广度效应		深度效应		广度效应		深度效应	
	新能源汽车 产业链	非新能源汽车 产业链	新能源汽车 产业链	非新能源汽车 产业链	高环保关注 度地区	低环保关注 度地区	高环保关注 度地区	低环保关注 度地区
lnPrice	0.724 1*** (8.192 2)	0.056 9 (1.425 2)	0.819 2*** (6.062 7)	0.189 0*** (2.744 4)	0.177 3*** (3.863 3)	0.069 8 (0.733 1)	0.383 0*** (4.631 3)	0.805 2*** (3.975 1)
常数项	-10.774 6*** (-4.320 9)	-3.360 4*** (-3.547 1)	-11.139 5*** (-3.446 5)	-1.999 0 (-1.444 2)	-1.376 9 (-1.049 3)	-4.260 1** (-2.573 6)	-5.353 1** (-2.576 6)	-11.007 6*** (-4.105 0)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份×企业×行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	3 063	8 992	1 714	3 553	5 994	5 366	2 544	2 382
R ²	0.341 6	0.335 4	0.449 0	0.556 8	0.372 3	0.429 6	0.505 3	0.560 7
费舍尔检验	0.000***				0.080*			

六、进一步研究

本部分探究能源价格是否在供应链间产生传导效应,并影响全供应链绿色技术创新的广度效应和深度效应,以及这两种效应所代表的发明者特征是否对企业创新效率和创新质量产生不同影响。为解决上述问题,本部分针对能源价格的供应链成本传导效应和发明者特征对企业绿色创新效率和创新质量的影响展开进一步研究。

(一) 供应链成本传导效应

在供应链层面,能源价格上涨会从上游传导至下游,抬高企业生产成本^[25]。分析其对下游企业绿色创新的影响,对中国能源与供应链安全具有重要意义。本文供应链样本参考严兵等^[30]的做法,根据上市公司前五大客户匹配上下游关系;供应链层面数据参考曾艺等^[31]的研究,以下游企业的应付账款及周转率衡量

成本与经营状况,数据来自 CSMAR 数据库。

表 8 的结果说明能源价格上涨沿供应链传导引致的下游绿色创新。第 1 列回归结果显示,上游能源价格上涨会沿供应链传导,使下游企业出现更多绿色技术领域的新进入者,即引致广度效应,有助于扩大全社会绿色创新群体。第 2 列回归结果表明,能源价格上涨对下游企业现有绿色发明者规模(深度效应)影响不明显,说明其引致的下游创新呈“涟漪型”短期刺激效应^[32]。在传导机制方面,第 3 列回归结果显示,能源价格对下游应付账款影响的回归系数显著为正,说明通过提高赊购成本可引致更多发明者转向绿色创新;第 4 列回归结果显示,能源价格降低下游应付账款周转率,表明下游企业偿还债务效率变低,资金调配能力降低,经营状况恶化。综上,能源价格通过成本传导效应,沿供应链可引致下游绿色技术创新的广度效应。

表 8 供应链成本传导效应的进一步分析回归结果

变量	下游企业广度效应	下游企业深度效应	下游企业应付账款	下游企业应付账款周转率
lnPrice	0.1418*** (3.6568)	-0.0495 (-0.2920)	0.0201* (1.8762)	-0.0865** (-2.0252)
常数项	-3.0106*** (-3.0956)	-3.6811 (-1.5727)	-0.4620* (-1.6884)	-6.4541* (-1.7775)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份×企业×行业固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	12089	2472	12104	10561
R ²	0.3720	0.5750	0.9836	0.6116

(二) 从发明者特征角度分析绿色创新效率与绿色创新质量

1. 理论分析

企业绿色创新效率指研发人员规模不变时的创新产出变化^[24]。广度效应对效率的影响具有两面性:新进入者因缺乏领域经验可能短期降低效率,但其跨领域知识溢出可促进效率提升。深度效应则通过增加在位者数量提升团队整体经验,有助于突破关键技术瓶颈,从而提升创新效率。绿色创新质量以发明授权专利占比表征^[33]。广度效应通过扩大研发团队、注入更多劳动资本,促进创新质量上升。深度效应对质量的影响不确定:一方面,在位者的丰富经验可激发创新思维,促进高质量创新^[26];另一方面,在位者可能受限于原有技术路径,仅小幅改进,导致创新质量下降^[34]。

2. 模型设定与变量说明

本部分设定两个计量模型,检验能源价格通过广度效应与深度效应影响绿色创新效率(GIE)与质量(GIQ)的机制:

$$GIE_{ijt}/GIQ_{ijt} = \beta_0 + \beta_P \ln Price_{ijt} + X'_{it} \beta + \eta_i + \gamma_t + \rho_i + u_{ijt} \quad (14)$$

$$GIE_{ijt}/GIQ_{ijt} = \beta_0 + \beta_P IGI_{ijt} + X'_{it} \beta + \eta_i + \gamma_t + \rho_i + u_{ijt} \quad (15)$$

式(14)检验能源价格对GIE_{ijt}与GIQ_{ijt}的总效应。式(15)引入机制变量IGI(广度效应或深度效应),识别两条具体渠道。各变量定义如下:lnPrice_{ijt}为企业i在省份j第t年的综合能源价格的自然对数;IGI_{ijt}分别以lnEE(新进入者数量自然对数)和lnIE(在位者数量自然对数)度量;绿色创新效率以当年绿色专利申请总量与发明者数量之比衡量^[24];绿色创新质量以绿色发明授权专利数占绿色专利申请总量之比衡量。

3. 实证结果

绿色创新效率的回归结果如表 9 所示,列(1)和列(2)绿色创新的广度效应降低当期效率,但促进下一期效率提升,存在滞后的积极影响。这与其他学者的研究发现一致,新进入者的创新能力可短期内接近资深的在位发明者^[35],且这一效应被称为新发明者效应^[36]。列(3)和列(4)表明,深度效应能够提高当期效率,但对下一期的促进效应减弱,说明经验带来的效率提升随时间递减。列(5)则显示能源价格上涨能提高绿色创新效率。综上,能源价格通过同时引致广度效应与深度效应,共同促进企业绿色创新效率的提升。

表 9 绿色创新效率的进一步分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
滞后一期的广度效应	0.019 3 [*] (1.776 7)				
广度效应		-0.066 0 [*] (-1.846 4)			
滞后一期的深度效应			0.026 6 ^{**} (2.046 1)		
深度效应				0.083 5 ^{***} (6.423 9)	
lnPrice					0.060 8 [*] (1.994 9)
常数项	0.598 3 (0.759 2)	0.781 1 (1.077 5)	0.794 7 (0.552 0)	0.665 3 (0.465 9)	4.925 8 (1.482 9)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份×企业×行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	3 710	3 710	2 937	2 937	3 893
R ²	0.445 4	0.448 8	0.451 7	0.460 4	0.314 4

绿色创新质量的回归结果如表 10 所示,列(1)和列(2)中,绿色创新的广度效应对当期及下期绿色创新质量均无明显影响,原因在于新进入者缺乏专用性知识与研发经验,试错成本高,短期内难以提升整体质量^[37]。列(3)和列(4)中,深度效应提高当期绿色创新质量,但对下期无明显影响,原因在于长期专注的研发团队通过技术积累与知识深化,可直接提升创新质量^[38]。列(5)中,能源价格上涨能够促进绿色创新质量提升。综上所述,能源价格对绿色创新质量的提升作用主要来源于深度效应。

表 10 绿色创新质量的进一步分析结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
滞后一期的广度效应	0.002 7 (0.955 2)				
广度效应		-0.003 4 (-1.116 1)			
滞后一期的深度效应			-0.001 7 (-0.473 9)		

表10(续)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
深度效应				0.011 4*** (3.095 5)	
<i>lnPrice</i>					0.022 4** (2.152 6)
常数项	0.831 6** (2.011 7)	0.839 8** (2.045 5)	1.056 0** (2.416 7)	1.058 2** (2.427 5)	1.290 1** (2.219 3)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
年份×企业×行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	3 710	3 710	2 713	2 713	3 893
R^2	0.418 3	0.418 2	0.434 3	0.436 8	0.375 5

七、结论与建议

本文基于中国加快发展新质生产力的大背景,探究能源价格市场化改革对企业绿色技术创新的影响。主要结论如下:第一,能源价格上涨同时激励绿色技术领域的进入者与在位者,即引致绿色创新的广度效应与深度效应。第二,在国有企业、低能耗行业、新能源汽车产业链及高政府环保关注度地区,两种效应均更明显;在高能耗行业、非新能源汽车产业链和低环保关注度地区,仅深度效应明显;非国有企业的广度效应明显。第三,能源价格上涨促使企业将资本和劳动力转向绿色研发,增加绿色投资并开展环保培训,从而引致两种效应。第四,能源价格上涨沿供应链传导,仅引致下游企业绿色创新的广度效应,即短期发挥“涟漪型”作用,而对深度效应无明显影响。第五,广度效应能够提升绿色创新效率,但对质量无明显作用,深度效应同时提升绿色创新效率与质量。

基于研究结论,本文提出以下政策建议:

第一,完善能源价格市场化运行机制。在保障能源安全前提下,深化能源价格形成机制,加强自然垄断环节成本监管,理顺能源价格。能源价格小幅提高有助于企业将资金和劳动力转向绿色研发,促进绿色技术创新,推动经济可持续发展。以能源成本“倒逼”企业绿色转型,可发挥市场配置作用,助力“双碳”目标。

第二,优化发明者绿色转型的过渡机制。能源价格信号可促使更多发明者转向绿色创新,但其初期对创新效率存在滞后影响。应优化转型机制,发挥市场配置作用,薪酬分配向绿色科技人员倾斜,设立绿色转型专项人才基金,提供财务与技术支持;搭建绿色技术知识交流平台,降低试错成本,加快绿色创新成果应用,推动产业绿色转型。

第三,构建发明者持续激励或补偿体系。能源价格市场化对非国有企业的深度效应、高能耗行业的广度效应及供应链下游企业的深度效应激励不足。应为非国有及高能耗企业提供绿色信贷、绿色债券等金融支持;对供应链下游企业,建立股权激励、利润分享、研发成果奖励等持续性激励机制,保障发明者长期创新动力。

参考文献:

- [1] MYERS K. The elasticity of science[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2020, 12(4): 103-134.
 [2] 荣雪云,杨中楷,徐鑫. 发明者特征、技术新颖性和发明质量关系研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2020, 41(10): 93-104.

- [3] CASEY G. Energy efficiency and directed technical change: implications for climate change mitigation[J]. *The Review of Economic Studies*, 2024, 91(1): 192-228.
- [4] 刘金科,肖翊阳. 中国环境保护税与绿色创新:杠杆效应还是挤出效应? [J]. *经济研究*, 2022, 57(1): 72-88.
- [5] ACEMOGLU D, AGHION P, BARRAGE L, et al. Climate change, directed innovation, and energy transition: the long-run consequences of the shale gas revolution[Z]. NBER Working Paper No. 31657, 2023.
- [6] 陈宇峰,朱荣军. 能源价格高涨会诱致技术创新吗? [J]. *经济社会体制比较*, 2018(2): 140-150.
- [7] 吴一平. 外商直接投资、能源价格波动与区域自主创新能力——基于省级动态面板数据的实证研究[J]. *国际贸易问题*, 2008(11): 85-91.
- [8] HICKS J R. *The theory of wages*[M]. London: MacMillan, 1932.
- [9] ACEMOGLU D. Directed technical change[J]. *The Review of Economic Studies*, 2002, 69(4): 781-809.
- [10] 李小平,李小克. 偏向性技术进步与中国工业全要素生产率增长[J]. *经济研究*, 2018, 53(10): 82-96.
- [11] POPP D. Induced innovation and energy prices[J]. *American Economic Review*, 2002, 92(1): 160-180.
- [12] 杨福霞,徐江川,杨冕,等. 能源价格波动、诱导性技术进步与中国环境全要素生产率[J]. *中国管理科学*, 2018, 26(11): 31-41.
- [13] NELSON R R. The simple economics of basic scientific research[J]. *Journal of Political Economy*, 1959, 67(3): 297-306.
- [14] 蔡宏波,韩金镛. 数字技术应用与企业出口表现——以中关村国家自主创新示范区企业为例[J]. *管理世界*, 2024, 40(5): 58-75.
- [15] 刘娜,武亮云,毛荐其. 发明者自我网络动态对知识搜索的影响[J]. *科学学研究*, 2019, 37(4): 689-700.
- [16] DUGOUA E, GERARDEN T D. Induced innovation, inventors, and the energy transition[J]. *American Economic Review: Insights*, 2025, 7(1): 90-106.
- [17] JAKEMAN G, HANSLOW K, HINCHY M, et al. Induced innovations and climate change policy[J]. *Energy Economics*, 2004, 26(6): 937-960.
- [18] AGHION P, DECHEZLEPRÊTRE A, HÉMOUS D, et al. Carbon taxes, path dependency, and directed technical change: evidence from the auto industry[J]. *Journal of Political Economy*, 2016, 124(1): 1-51.
- [19] 段军山,庄旭东. 金融投资行为与企业技术创新——动机分析与经验证据[J]. *中国工业经济*, 2021(1): 155-173.
- [20] 熊灵,闫烁,杨冕. 金融发展、环境规制与工业绿色技术创新——基于偏向性内生增长视角的研究[J]. *中国工业经济*, 2023(12): 99-116.
- [21] 陈力田,朱亚丽,郭磊. 多重制度压力下企业绿色创新响应行为动因研究[J]. *管理学报*, 2018, 15(5): 710-717.
- [22] 王振霞,闫冰倩,王蕾. 能源价格与房地产市场波动——来自中国地级市层面的经验证据[J]. *金融研究*, 2023(2): 1-20.
- [23] 齐绍洲,林岫,崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? ——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. *经济研究*, 2018, 53(12): 129-143.
- [24] 李青原,肖泽华. 异质性环境规制工具与企业绿色创新激励——来自上市企业绿色专利的证据[J]. *经济研究*, 2020, 55(9): 192-208.
- [25] 杨冕,徐江川,杨福霞. 能源价格、资本能效与中国工业部门碳达峰路径[J]. *经济研究*, 2022, 57(12): 69-86.
- [26] 张琦,郑瑶,孔东民. 地区环境治理压力、高管经历与企业环保投资——一项基于《环境空气质量标准(2012)》的准自然实验[J]. *经济研究*, 2019, 54(6): 183-198.
- [27] 陶锋,赵锦瑜,周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. *中国工业经济*, 2021(2): 136-154.
- [28] 黄山,陈洲玲. 基于专利计量和技术生命周期预测的新能源汽车全产业链技术竞争态势研究[J]. *中国科技论坛*, 2023(10): 62-73.
- [29] 王帅,马杰华,李正辉. 政府环境关注度对城市土地资源分配效率的影响[J]. *经济地理*, 2022, 42(12): 186-193.
- [30] 严兵,程敏,王乃合. ESG绿色溢出、供应链传导与企业绿色创新[J]. *经济研究*, 2024, 59(7): 72-91.
- [31] 曾艺,周小昶,冯晨. 减税激励、供应链溢出与稳就业[J]. *管理世界*, 2023, 39(7): 19-29.
- [32] 孙传旺,占妍泓. 电价补贴对新能源制造业企业技术创新的影响——来自风电和光伏装备制造业的证据[J]. *数量经济技术经济研究*, 2023, 40(2): 158-180.
- [33] 黎文靖,郑曼妮. 实质性创新还是策略性创新? ——宏观产业政策对微观企业创新的影响[J]. *经济研究*, 2016, 51(4): 60-73.
- [34] LIAO S H, FEI W C, LIU C T. Relationships between knowledge inertia, organizational learning and organization innovation[J]. *Technovation*, 2008, 28(4): 183-195.
- [35] AKCIGIT U, GRIGSBY J R, NICHOLAS T. The rise of American ingenuity: innovation and inventors of the golden age[Z]. NBER Working Paper No. 23047, 2017.
- [36] NAN D, MARKUS A, OERLEMANS L. Draw to a close: inventor triad dynamics and invention quality[J]. *Industry and Innovation*, 2025, 32(3): 307-338.
- [37] 崔丽,王嘉帅,张帅,等. 企业 ESG 表现、内外部关注与绿色协同创新[J]. *经济与管理研究*, 2026, 47(2): 87-103.
- [38] 郑华章,宋浩洋. 数字政府建设对企业绿色技术创新的影响研究[J]. *首都经济贸易大学学报*, 2026, 28(2): 69-82.

Energy Price, Inventor Characteristics, and Induced Green Technology Innovation

CHENG Shixiong, CHEN Hui

(Hubei University, Wuhan 430062)

Abstract: Within the context of advancing the dual carbon goals, the market-oriented reform of energy prices has raised the cost of energy use and stimulated enterprises' motivation to engage in green technology innovation (GTI). Based on data from A-share listed companies in China from 2012 to 2022, this paper uses Python to identify incumbent and entrant inventors based on their invention experience and analyze the extensive and intensive effects of energy prices on GTI.

The findings show that rising energy prices not only incentivize incumbent inventors to continue engaging in GTI but also induce other inventors to join green research and development (R&D) activities, indicating that energy price signals have both extensive and intensive effects on GTI. Mechanism analysis reveals that energy prices promote GTI by driving enterprises to increase green investment, strengthen environmental training, and shift production capital and human capital toward R&D-oriented activities. Heterogeneity analysis shows that the intensive and extensive effects are more pronounced in state-owned enterprises, as well as enterprises in low energy-consuming industries, the new energy vehicle industry chain, and regions with high government concern for environmental protection. Further analysis indicates that a rise in energy prices only has a short-term incentive effect on downstream enterprises in the supply chain. Moreover, from the perspective of inventor characteristics, the extensive effect of GTI helps improve green innovation efficiency, while the intensive effect contributes to enhancing both green innovation efficiency and quality. Therefore, establishing and improving the market-oriented operation mechanism of energy prices is the key to promoting the efficient and smooth operation of the energy market; optimizing the transition mechanism for inventors' green transformation is an important step in promoting the green transformation of industries; and building a continuous incentive or compensation system for corporate inventors is a necessary measure to ensure sustained GTI.

The contributions of this paper are as follows. First, it refines the effects of energy price-induced GTI activities of enterprises into the extensive effect and intensive effect and explores the distinct impacts on corporate green innovation efficiency and quality, thereby characterizing the mechanism through which energy prices induce green innovation activities. Second, it focuses on the Chinese context and enriches the empirical research on energy price-induced GTI at the micro-enterprise level, providing new micro-evidence for understanding how factor price changes affect corporate green innovation behavior. Third, it constructs an enterprise-inventor matched dataset to achieve precise measurement of the extensive and intensive effects of innovation. This approach not only improves the accuracy and granularity of the research indicators but also enhances the explanatory power and academic credibility of the findings.

Keywords: energy price; induced green technology innovation; inventor characteristics; green patent; supply chain transmission

编校:姜 菜