

· 经济管理 ·

DOI:10.16339/j.cnki.hdxbcbj.2024.03.016

# 绿色创新对企业环境绩效的影响研究 ——基于因果森林算法的分析

王耀中,黄选爱,胡尊国

(长沙理工大学 经济与管理学院,湖南 长沙 410114)\*

**摘要:**基于因果森林算法的分析,依据2013—2020年A股359家上市公司样本数据,测度绿色创新对企业环境绩效的影响。结果显示,企业绿色创新有助于降低运营成本和排污费用支出,提升环境绩效。异质性分析揭示,企业绿色创新的环境绩效与其债权结构和股权集中度紧密相关。鉴于此,需完善绿色创新评价体系,优化企业资产负债表,增强股东在环保议题上的影响力等,加速社会绿色转型发展。

**关键词:**绿色创新;企业环境绩效

中图分类号:F275;X32

文献标识码: A

文章编号:1003-7217(2024)03-0125-06

## 一、引言

为实现“双碳”目标,我国陆续推出了一系列旨在节能减排的配套政策,这些政策对企业推行绿色转型策略与绿色创新行为产生了显著影响。绿色创新不仅关乎社会公共利益,也与企业自身可持续发展息息相关。一般地,主动加大对绿色技术的研发投入力度是高科技企业提升竞争优势的重要方式。国有企业进行绿色技术创新或设备清洁化改造的动机来源于市场竞争、环境法规和管理者环保问责等多重因素。推行绿色创新以实现产品差异化,成为许多中小企业生存与发展的关键策略。因此,深入考察企业的外部政策环境与内部治理结构,并进一步分析绿色创新对企业环境绩效的影响效应,具有重要的现实意义。

随着政府环境规制不断强化,学术界对企业绿色创新及其绩效的关注度越来越高。相关文献主要从以下几个方面展开。第一,对绿色创新、财务绩效和环境绩效三者间的辩证分析。有学者认为绿色创新能够推动企业环境绩效增长<sup>[1-3]</sup>。绿色创意产品和绿色工艺可显著提升企业竞争优势<sup>[4]</sup>,其影响效应差异与企业股权结构紧密相关<sup>[5]</sup>。有些学者对此持相反观点,认为企业进行绿色创新行为会增加财务压力,并增加环境绩效不稳定性<sup>[6-8]</sup>。第二,探讨绿色创新与可持续发展的关系。绿色创新是生态文明建设的具体方向,它既遵循企业竞争思维模式<sup>[5]</sup>,

也符合当下ESG投资的理念<sup>[3,6]</sup>,对企业实现可持续发展非常重要<sup>[9, 10]</sup>。上述研究基本认同绿色创新对环境绩效所产生的积极作用<sup>[11, 12]</sup>,即绿色创新技术变革通过优化资源配置降低环境负载<sup>[13]</sup>,减少能源消耗<sup>[14]</sup>。一些学者基于溢出效应视角测量了绿色技术创新带来环境绩效的空间异质性<sup>[15]</sup>。也有研究认为绿色技术变革存在一定程度的能源反弹效应和路径依赖,这会抑制企业环境绩效表现<sup>[16]</sup>。第三,论述绿色金融发展与企业环境绩效的内在逻辑。大量研究围绕绿色信贷<sup>[17, 18]</sup>、绿色证券<sup>[19, 20]</sup>、绿色投资<sup>[1, 21, 22]</sup>三个角度阐述绿色金融政策产生的环境治理效果,一致认为绿色金融有利于企业降低运营成本,同时提高资源使用效率<sup>[17]</sup>。这意味着企业财务绩效、环境绩效和ESG表现能够形成一个相互促进的循环体系<sup>[19]</sup>。

综上所述,现有文献从宏观角度较为完整地解析了绿色创新的经济绩效和“波特效应”<sup>[23]</sup>,但对企业绿色创新的环境绩效的全面评估仍需进一步探讨。特别是绿色创新与企业环境绩效之间的机理,需要深入进行因果分析与检验。基于此,通过选取2013—2020年A股359家上市公司作为研究对象,将绿色专利数量、排污费支出状况分别作为核心解释变量和被解释变量,建立机器学习模型考察绿色创新对企业环境绩效的影响机制。作为识别因果关系的基本框

\* 收稿日期: 2023-03-20; 修回日期: 2024-02-16

基金项目: 国家社会科学基金项目(23BJL094);湖南省社会科学基金项目(23JD020)

作者简介: 王耀中(1953—),男,湖南益阳人,博士,长沙理工大学经济与管理学院教授,博士生导师,研究方向:现代服务业与城市发展;黄选爱(1980—),女,湖南常德人,长沙理工大学经济与管理学院博士研究生,研究方向:数字产业与企业发展;通信作者:胡尊国(1985—),湖南永州人,博士,长沙理工大学副教授,研究方向:产业经济与区域发展。

架,因果森林模型已在各领域得到广泛应用<sup>[24]</sup>。这种准自然实验实证方法能够缓解模型的内生性问题,并降低传统回归分析的局限性<sup>[25,26]</sup>。

## 二、理论分析与研究假设

作为独特的创新形式,企业绿色创新行为蕴含企业竞争力和环境保护的双重内涵<sup>[20]</sup>。随着政府环境规制不断强化,消费者对环保产品需求不断增加,许多企业纷纷进行绿色转型以增强其可持续发展优势<sup>[6]</sup>。然而,企业的绿色转型升级路径及其环境绩效差距明显。

绿色创新是指企业开发和使用新技术、产品、服务和流程以减少生产活动对环境的负面影响,其行为包括提高资源效率,减少废物排放,以及实行绿色化经营管理等。绿色创新有利于企业更好满足环保要求,增强市场竞争力。通过一系列绿色创新行为,企业不仅能够符合严格的环保法规,增强市场竞争力,还能提升整体的环境绩效<sup>[7]</sup>。因此,绿色创新是推动企业实现可持续发展的关键因素,有助于企业在环境、经济和社会三个层面获得较好的平衡。

企业在绿色产品开发和清洁生产等方面的决策和行为受制于企业负债状况和治理结构。股权集中的公司倾向于接受ESG理念,履行长期环保目标的承诺,特别是绿色创新方面的投入<sup>[19]</sup>。高负债企业的绿色活动目标是满足环保合规,其环境绩效常常具有不确定性。因此,企业股权和债务结构的差异可能引发不同的绿色创新效应,从而造成企业环保成效的差异。我国绿色专利申请的主要来源是高耗能和高污染企业,其主要分布在能源、电力、化工、建筑等行业,且财务杠杆率普遍较高。此外,企业是否开发绿色产品或建立绿色生产线很大程度取决于控股股东或企业高级管理者的主观意愿<sup>[24]</sup>。据此,提出:

**假设1** 绿色创新有助于提升企业环境绩效,其绩效表现的异质性很大程度依赖企业债务和股权特征。

尽管绿色创新活动面临“高风险”和“低收益”困境,但市场正向激励和政府绿色发展战略能够一定程度地降低企业绿色创新成本,提高其可持续发展能力。第一,相对于一般创新行为,绿色创新具有更突出的“高风险”和“低收益”特征,这体现在技术方向不确定性和市场不稳定性两个方面。其中,“高风险”可能源于技术不确定性,相较于传统创新技术,绿色创新的失败概率更大<sup>[18]</sup>。市场不稳定性是指消费市场中绿色产品需求难以预测,而且形成合理市场定价机制和绿色消费观是长期过程。第二,企业绿色转型可以减轻环保监管机构的潜在约束,降

低未来现金流风险。特别是那些公开披露大量真实环保信息的绿色企业,能改善这方面的信息不对称,增加资本市场投资者信心,降低企业运营成本<sup>[22]</sup>。因此,绿色创新通过降低成本来推动可持续发展,提升企业的环境绩效。第三,国家实施的绿色信贷政策可降低企业绿色创新的成本。作为绿色信贷实施方,商业银行会根据企业绿色创新活动评估其信用风险<sup>[13]</sup>,并且绿色创新活动被视为衡量企业生态友好、偿付能力和创新绩效的重要指标。例如,一家企业若具备出色的绿色创新或技术能力,它将得到绿色信贷政策支持,企业融资成本会显著降低。此外,绿色创新活动也能提升企业获得绿色财政补贴和“碳积分”收益,以弥补额外的费用支出,降低污染治理成本。据此,提出:

**假设2** 由于绿色信贷和清洁生产补贴等政策的支持,绿色创新活动并未给企业带来过重的财务负担,反而降低了部分企业经营成本。

## 三、研究设计

### (一)数据来源

数据来源包括两个部分:一是上市公司绿色创新数据。参考王馨和王营(2021)的研究<sup>[25]</sup>,将中国研究数据服务平台(CNRDS)获取的A股上市公司专利分类号信息与2010年世界知识产权组织(WIPO)官网上的绿色专利分类号进行匹配,取得公司绿色专利情况。二是企业环境绩效数据。自中国研究数据服务平台、国泰安数据库(CSMAR)和锐思数据库(RESSET)整理而来。

统计样本选自2013年至2020年的A股上市公司。样本的筛选标准如下:(1)排除了所有ST及\*ST上市公司;(2)剔除了未披露或连续披露环境指标信息不足的上市公司。最终获得359家A股上市公司作为研究样本,其中112家上市公司与16个重污染行业有关,占总样本的31.2%。

### (二)变量选取

**处理变量(绿色创新):**采用绿色发明专利申请数量衡量企业绿色创新活动。自2007年《关于落实环保政策法规防范信贷风险的意见》实施以来,我国绿色创新环境经历了两个阶段:第一阶段是2007—2012年,第二阶段是2013—2020年。对两阶段年均绿色发明专利申请数量取对数值后相减,获得绿色创新变化率,该变化率高于中位数的企业被归类到处理组( $W=1$ );反之,归类到控制组( $W=0$ )。

**结果变量(环境绩效):**考虑到数据可获取性,将企业环保治理费用支出(排污费支出率)视为企业绿色创新绩效的重要体现。企业排污费支出率定义为

企业排污费与企业营业总收入的百分比,即企业排污费支出率=(企业排污费支出/企业营业总收入)×100%。排污费支出率越小,意味着企业环境绩效就越好。针对359个企业“种植”因果树,分析企业

绿色创新对环境绩效的影响效应。在因果树分叉(split)过程中,涉及的公司特征协变量包括代理成本、经营成本、国有股持股情况、偿债能力、企业规模、企业价值等16个协变量,具体如表1所示。

表1 变量定义与说明

变量	变量指标	简称	说明
环境绩效	排污费率	cep	排污费支出/营业收入×100%
代理成本	管理费用与营业收入比	agency_cost	管理费用/营业收入
经营成本	营业总成本与总收入比	cost_income	—
国有股持股	国有股比例	state_shares	国有股数量与总股数的比值
偿债能力	资产负债率	asset_liability	负债合计/资产总计
	营业收入增长率	operat_income	(本期-上年同期调整数)/ABS 上年同期 调整数×100%
成长能力	净利润增长率	net_profit	(本期-上年同期调整数)/ABS 上年同期 调整数×100%
董监高持股	管理层持股比例	manage_ownership	管理层持股占公司总股数的比例
	独立董事比例	ndep_director	独立董事占全部董事数比例
股权集中度	第1大股东持股比例	first_shareholder	—
	前3大股东持股比例之和	top3_shareholders	—
经营能力	总资产周转率	asset_turnover	—
两职兼任	是否兼任董事长和CEO	concurrent_post	董事长和CEO是否两职兼任, 1为是,0为否
现金流	经营性现金净流量 与营业收入比	cash_income	—
企业规模	资产总额的对数值	Lnassets	资产总额取自然对数
企业价值	市场价值与总资产账面价值之比	Q	市值/总资产数
财务绩效	资产收益率	ROA	净利润/资产总计×100%

### (三)异质性因果效应(HTE)

结果变量 $Y_i$ 为某企业的环境绩效。企业从事绿色创新活动被视为处理过程,若处理变量 $W_i=1$ ,表明该企业绿色创新变化率高于样本中位数,绿色创新活动相对活跃,否则 $W_i=0$ 。若用 $Y_i(1)$ 和 $Y_i(0)$ 分别表示创新行为活跃企业和创新不太活跃企业的环境绩效表现,两者之差就是处理效应(treatment effect, TE),通过估计协变量条件下条件平均处理效应(CATE),结合因果树以获得因果森林CATE<sup>[26, 27]</sup>。

对企业某维度的平均处理效应进行分析,可以更准确地探讨绿色创新对不同特征公司环境绩效的差异化影响,也就是异质性因果效应(Heterogeneous treatment effects, HTE)。通过对16个特征构成的上市企业协变量空间进行因果森林算法处理并计算权重 $\alpha_i(x)$ ,可以得到用于分析绿色创新干预的HTE估计 $\hat{\tau}$ 。

$$\hat{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i(x) (Y_i - \hat{m}^{(-i)}(X_i)) (Z_i - \hat{e}^{(-i)}(X_i))}{\sum_{i=1}^n \alpha_i(x) (Z_i - \hat{e}^{(-i)}(X_i))^2} \quad (1)$$

其中,  $e(X_i) = P[W_i = 1 | X_i]$  表示倾向得分,  $m(x) = E[Y_i | X_i = x]$  表示创新活动效果期望值。符号 $-i$ 表示“袋外(out-of-bag)”预测,  $Y_i$ 不用于计算 $\hat{m}^{(-i)}(X_i)$ 。依据因果森林算法,能够获得处理概率分布情况(图1)和HTE结果。

从图1可知,倾向得分 $e(x)$ (W\_hat)在0~1之间分布,集中在0.5附近。对企业所有特征 $x$ 而言,符合 $\eta < e(x) < 1 - \eta$ ( $\exists \eta > 0$ ),满足Neyman-Rubin框架中重叠假设(overlap)。上述结果意味着采用因果森林分析绿色创新的环境绩效过程能够找到比较合理的处理组和控制组。

## 四、实证分析

### (一)平均因果效应

因果森林给出了上市企业在不同协变量条件下的因果效应。通过HTE平均值的计算可以得到平均处理效应(ATE),同时也汇报其他几个子样本的平均处理效应:处理组的平均处理效应(ATT)、控制组的平均处理效应(ATC)以及重叠(overlap)部分平均处理效应(ATO)。

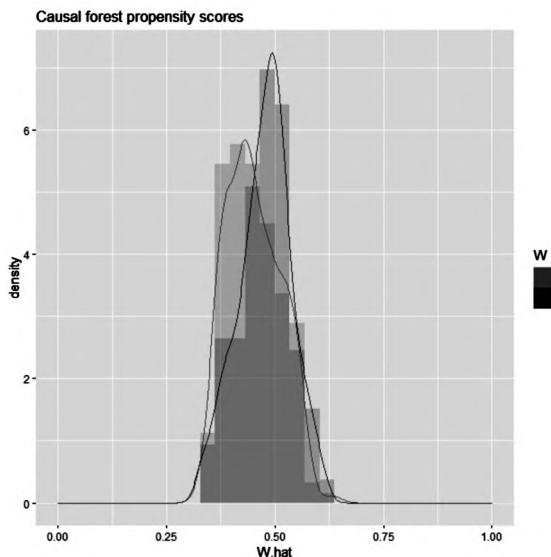


图1 倾向值分布

表2显示ATE、ATT、ATC以及ATO效应值均为负数,这表明绿色创新对排污费支出率产生了负向影响,其平均干预效果为 $-0.015$ (ATE $=-0.015$ ),即样本企业每申请1单位绿色创新专利,其企业排污费支出在营业收入占比平均下降1.5%,表明绿色创新能有效抑制企业排污费支出率的增长,其环境绩效显著。无论是处理组还是控制组,平均干预效果均为负(ATT $=-0.015$ ,ATC $=-0.015$ ,ATO $=-0.014$ ),进一步证实企业实施绿色创新能够在一定程度上提高其环境绩效。实证结果验证了理论假设1。

表2 因果森林估计结果

结果变量	因果类别	效应值
排污费支出率(cep)	ATE	$-0.015 \pm -0.002$
	ATT	$-0.015 \pm -0.006$
	ATC	$-0.015 \pm -0.014$
	ATO	$-0.014 \pm -0.013$

注:“ $\pm$ ”之前的数字表示通过AIPW方法得到估计值,“ $\pm$ ”后面数字表示5%显著水平的下极限误差。

## (二)异质性因果效应

异质性因果效应(HTE)是特指基于样本企业特征层面上的条件平均处理效应(CATE),并通过因果森林算法来估计绿色创新的异质性效果。如图2所示,我们使用企业环境绩效代理变量——排污费支出率(CEP)作为结果变量,并利用因果森林算法进行CATE估计。结果显示,大部分样本企业的CATE主要分布在 $-0.08$ 至 $0$ 的范围内,趋向于 $0$ 的左侧,说明绿色创新对大多数样本企业的排污费支出率产生显著负向影响,即绿色创新有助于降低企业排污费支出在营业收入中的份额,证明绿色

创新能够在一定程度上对企业环境绩效产生积极影响。

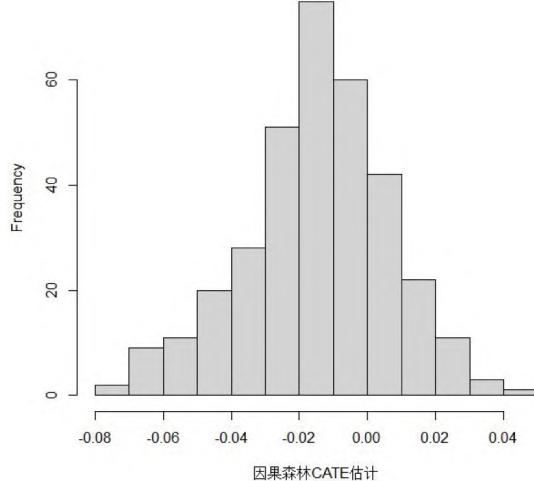


图2 基于企业特征的CATE分布

## (三)机制分析

加大绿色研发投入力度和推动绿色供应链变革可带来更好ESG表现,但企业会产生成本上升的顾虑。对此,需进一步检验绿色创新技术与企业经营成本的关系。采用因果森林模型估计结果见表3,显示了绿色创新对企业经营成本(cost\_income)的平均效果,在10%置信水平下,绿色创新显著降低了企业经营成本。具体来说,2013—2020年期间,每增加一个单位的绿色专利数量,营业总成本与总收入比将下降1.2%(ATE $=-0.012$ ),其中,国家绿色创新补贴和绿色信贷政策发挥了重要作用。异质性因果效应的估计结果进一步证实绿色创新降低了绝大多数样本企业的经营成本,仅有小部分样本企业的CATE为正值。上述结果表明,绿色创新在降低企业经营成本方面有明显效果,这验证了假设2,即绿色创新活动并未给企业带来过重的财务压力,反而有助于很多企业降低经营成本。

表3 因果森林估计结果

结果变量	因果类别	效应值
经营成本(cost_income)	ATE	$-0.012 \pm -0.011$
	ATT	$-0.015 \pm -0.013$
	ATC	$-0.012 \pm -0.018$
	ATO	$-0.012 \pm -0.018$

注:“ $\pm$ ”之前的数字表示通过AIPW方法得到估计值,“ $\pm$ ”后面数字表示10%显著水平的下极限误差。

## (四)异质性分析

上市公司的创新决策与其股权结构和偿债能力有着显著联系。企业股权结构和偿债能力被认为是企业绿色创新的环保成效异质性的关键来源。股权集中的公司通常表现出更强的战略协调能力、更宽广

的发展视野,能更有效地实施长期绿色创新战略,实现ESG战略转型。然而,高债务公司可能更加关注环境规制达标,对提升绿色竞争力不敏感。沉重偿债压力下它们申请绿色创新专利与环境绩效表现并非正向相关。表4给出不同协变量在“种植”因果树过程中的重要性,用于探讨绿色创新对企业环境绩效的异质性效果以及分析企业特征的依赖性问题。

表4 因果树中协变量的重要性

排序	协变量	重要度
1	独立董事比例	0.166
2	资产负债率	0.083
3	经营性现金净流量与营业总收入比	0.072
4	企业资产对数	0.069
5	第1大股东持股比例	0.066
6	管理层持股比例	0.064
7	国有股比例	0.063
8	营业总成本与总收入比	0.063
9	市场价值与总资产账面价值之比	0.060
10	总资产周转率	0.057

表4报告了因果森林模型计算出的重要性排序,显示了各企业特征在因果分析中起到的作用。第1大股东持股、国有股及管理层持股三者比例重要度之和为0.195,而资产负债率的重要性为0.083。这些发现进一步证实了假设1,即企业绿色创新的环境绩效在很大程度上受到其债务和股权结构的影响。高独立董事比例通常意味着企业更加关注长期战略和社会责任,从而更为积极地进行绿色创新。另外,企业资产规模、经营性现金净流量与营业总收入比分别位于重要度排名较高的位置。综上,董事会成员持股情况、偿债能力、股权集中度等因素构成绿色创新环境绩效异质性的重要来源。

#### (五)偏效应分析

将其他协变量固定为中位数,测试两个协变量在不同分位数情况下CATE的偏依赖性,以探讨两个协变量的变化如何影响绿色创新的环境绩效。偏效应分析结果表明,股权集中度的CATE估计值始终为正。股权集中度对绿色创新的环境绩效具有正向作用,进一步检验了假设1。较为集中的股权结构为企业拟定长期战略目标提供了制度基础,但过高的集中度会导致公司治理失衡,限制绿色转型的多元化探索。

#### 五、结论与建议

以2012年实施的《绿色信贷指引》为起点,选取2013—2020年的359家A股上市公司作为研究样

本,采用机器学习的因果推断方法,讨论绿色创新影响企业环境绩效作用机制。结果显示:第一,绿色创新有助于提升企业环境绩效。企业实施绿色创新活动显著降低了其排污费支出在营业收入中的占比。近200家样本企业的个体平均因果效应(CATE)主要分布在0偏左,最大负值达到-0.08。绿色申请专利增加一单位,企业排污费支出份额下降8%。第二,绿色创新并没有提高样本企业经营成本。企业产品开发、绿色技术改造或绿色管理等创新活动对降低企业经营成本产生积极影响,其成本降低主要来源于财政补贴和绿色金融支持,也与企业自身ESG竞争力有关。第三,股权结构和偿债能力是企业绿色创新的环境异质性的重要来源。偏效应分析表明,第一大股东持股比例和前三大股东持股比例是企业绿色创新的绩效异质性的重要影响因素。值得注意的是,股权集中度和资产负债率在影响绿色创新对企业环境绩效的因果关系中,分别排名第一和第二,凸显了这两个变量对绿色创新环保效应的重要性和特殊性。

建议:第一,建立全面绿色创新评价体系,完善企业绿色创新补贴政策。通过加大对评级较高企业的财政补贴和绿色金融支持力度,进一步有效降低企业运营成本,促进绿色技术的开发,提升其环境绩效。第二,推动“高污染”或“高耗能”企业优化资产负债结构,提高其偿债能力。良好的财务状况将支持这些企业在绿色创新活动中投入更多的初始资金并管理潜在风险,提升长远环境绩效。第三,监管机构加强对企业环保信息披露的规范,尤其是对企业在绿色创新方面的活动细节与成果的披露。提高企业的透明度,确保公众和投资者充分了解企业的环保行为和绿色创新成效。第四,制定政策法规赋予股东在年度大会上提出和投票绿色议题的权利,增强股东对企业环保政策的影响力(如股东提案权、明确的投票机制和提高环保信息透明度等),确保股东能够更好参与公司的环保决策过程,推动公司在绿色技术投资和环保管理措施上做出更明智的选择,最终提升公司的环境绩效和社会责任。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Tang M F, Walsh G, Lerner D, et al. Green innovation, managerial concern and firm performance: an empirical study [J]. Business Strategy and the Environment, 2017,27:39—51.

- [3] 廖文龙, 董新凯, 翁鸣, 等. 市场型环境规制的经济效应: 碳排放交易、绿色创新与绿色经济增长[J]. 中国软科学, 2020(6): 159—173.
- [4] Chen Y S, Lai S B, Wen C T. The influence of green innovation performance on corporate advantage in Taiwan[J]. Journal of Business Ethics, 2006, 67(4): 331—339.
- [5] 汪明月, 李颖明, 王子彤. 工业企业不同类型绿色技术创新内在关联与绩效传导路径[J]. 资源科学, 2021, 43(8): 1534—1548.
- [6] Palmer K, Portney O. Tightening environmental standards: the benefit-cost or the no-cost paradigm? [J]. Journal of Economic Perspectives, 1995, 9(4): 119—132.
- [7] Ambec S, Cohen M A, Elgie S, et al. The porter hypothesis at 20: can environmental regulation enhance innovation and competitiveness[J]. Review of Environmental Economics and Policy, 2013, 7(1): 2—22.
- [8] 肖显静, 赵伟. 从技术创新到环境技术创新[J]. 科学技术与辩证法, 2006, 23(4): 80—83.
- [9] Huang J W, Li Y H. Green innovation and performance: the view of organizational capability and social reciprocity [J]. Journal of Business Ethics, 2017, 145(2): 309—324.
- [10] 解学梅, 朱琪玮. 企业绿色创新实践如何破解“和谐共生”难题? [J]. 管理世界, 2021, 37(1): 128—149.
- [11] Costantini V, Crespi F, Marin G, et al. Eco-innovation, sustainable supply chains and environmental performance in European industries[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 155(1): 141—154.
- [12] Kraus S, Rehman S U, Javier Sendra García F. Corporate social responsibility and environmental performance: the mediating role of environmental strategy and green innovation[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020, 160: 120262.
- [13] 孙育红, 张春晓. 改革开放 40 年来我国绿色技术创新的回顾与思考[J]. 广东社会科学, 2018(5): 5—12.
- [14] 王锋正, 姜涛, 郭晓川. 政府质量、环境规制与企业绿色技术创新[J]. 科研管理, 2018, 39(1): 26—33.
- [15] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的  
经验考察[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 46—69.
- [16] 李凯杰, 董丹丹, 韩亚峰. 绿色创新的环境绩效研究——基于空间溢出和回弹效应的检验[J]. 中国软科学, 2020(7): 112—121.
- [17] 王馨, 王营. 绿色信贷政策增进绿色创新研究[J]. 管理世界, 2021, 37(6): 173—188.
- [18] 斯丽娟, 曹昊煜. 绿色信贷政策能够改善企业环境社会责任吗——基于外部约束和内部关注的视角[J]. 中国工业经济, 2022(4): 137—155.
- [19] Baulkaran V. Stock market reaction to green bond issuance [J]. Journal of Asset Management, 2019, 20(1): 331—340.
- [20] 吴育辉, 田亚男, 陈韫妍, 等. 绿色债券发行的溢出效应、作用机理及绩效研究[J]. 管理世界, 2022, 38(6): 176—193.
- [21] Flammer C. Corporate green bonds[J]. Journal of Financial Economics, 2021, 142: 499—516.
- [22] 田利辉, 关欣, 李政, 等. 环境保护税费改革与企业环保投资——基于《环境保护税法》实施的准自然实验[J]. 财经研究, 2022, 48(9): 32—46.
- [23] Wager S, Athey S. Estimation and inference of heterogeneous treatment effects using random forests [J]. Journal of the American Statistical Association, 2018, 113 (523): 1228—1242.
- [24] 胡尊国, 熊云晖, 邓理婕, 等. 区域协调发展战略效果的再评估——来自因果森林算法的异质性处理效应分析[J]. 经济学报, 2022, 9(2): 201—235.
- [25] 王馨, 王营. 环境信息公开的绿色创新效应研究——基于《环境空气质量标准》的准自然实验[J]. 金融研究, 2021(10): 134—152.
- [26] Athey S, Imbens G. Recursive partitioning for recursive partitioning for heterogeneous causal effects[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016, 113(27): 7353—7360.
- [27] 胡尊国, 顾金鑫, 陈颖. “倾斜性”政策、生产部门变迁与南北地区发展差异——来自机器学习的因果推断[J]. 财经研究, 2022, 48(1): 93—107.

(责任编辑:钟瑶,邹彬)

## Green Innovation and Corporate Environmental Performance: Evidence Based on Machine Learning Models

WANG Yaozhong, HUANG Xuan'ai, HU Zunguo

*School of Economics and Management, Changsha University of Science & Technology,  
Changsha, Hunan 410114, China*

**Abstract:** Based on the analysis of the causal forest algorithm and data from a sample of 359 A-share listed companies from 2013 to 2020, this study measures the impact of green innovation on corporate environmental performance. The results show that corporate green innovation helps reduce operating costs and pollution expenses, thereby improving environmental performance. Heterogeneity analysis reveals that the environmental performance of corporate green innovation is closely related to the company's debt structure and equity concentration. In view of this, it is necessary to improve the green innovation evaluation system, optimize corporate balance sheets, and enhance shareholder influence on environmental issues to accelerate the green transition of society.

**Key words:** green innovation; corporate environmental performance