

生态环境大数据治理促进绿色创新了吗： 基于环境风险管控与协同治理的分析

窦智¹, 韩永辉²

(1. 河北经贸大学经济学院, 河北 石家庄 050061;

2. 广东外语外贸大学广东国际战略研究院, 广东 广州 510420)

摘要: 加快构建生态环境大数据治理平台、促进数字中国建设与绿色发展协同共进, 是健全生态文明体系、实现智慧护航绿水青山的关键驱动力。将《生态环境监测网络建设方案》的实施作为准自然实验, 基于中国上市公司面板数据样本, 运用双重差分法分析了生态环境大数据治理政策对企业绿色创新的影响效应。研究发现: (1) 生态环境大数据治理促进了存在环境风险的企业实施绿色创新, 这是通过克服环保机构人员不足、加大环保处罚力度、强化企业绿色意识和增加环境支出来实现的; (2) 环境监测设备、网络设施完善的情况下, 生态环境大数据治理更能促进企业绿色发明专利申请量的增加; (3) 信息化法规、动态监测和联防体系的健全是促进生态环境大数据治理精准化、助力绿色实质性创新的关键。面对新时期更加复杂的环境治理问题, 深入分析生态环境大数据治理对绿色创新的影响及内在机制, 有助于为中国构建现代化环境治理体系和推动新质生产力发展提供新的经验证据, 并对现有理论予以拓展和补充。

关键词: 生态环境大数据治理; 环境风险; 协同治理; 绿色创新

中图分类号: F420

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2025)09-0154-12

Does eco-environmental big data governance promote green innovation: based on the analysis of environmental risk control and collaborative governance

DOU Zhi¹, HAN Yonghui²

(1. School of Economics, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China;

2. Guangdong Institute for International Strategies, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510420, China)

Abstract: Accelerating the construction of eco-environmental big data governance platform, promoting the coordinated progress of Digital China construction and green development, are the key driving forces to improve the ecological civilization system, realize the intelligent escort of green water and green mountains. Based on panel data samples of Chinese listed companies, this paper takes the implementation of the Construction Plan of Eco-environmental Environment Monitoring Network as a quasi natural experiment, and uses the Difference-in-Difference method to examine the impact of eco-environmental big data governance policy on enterprise green innovation. The research finds that: (1) eco-environmental big data governance has promoted the enterprises with environmental risk to increase green innovation, which is achieved by overcoming the shortage of the environmental protection institutions staff, increasing

收稿日期: 2025-01-27 修回日期: 2025-08-30

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(21&ZD074); 国家自然科学基金资助项目(72073037); 广东省自然科学基金杰出青年项目(2022B1515020008); 河北经贸大学“京津冀协同发展”专项(JXT2024YB06)。

作者简介: 窦智(1984—), 男, 河北经贸大学经济学院讲师。通信作者: 韩永辉。

the severity of environmental penalties, enhancing enterprises' green awareness and increasing environmental expenditure. (2) With the improvement of regional environmental monitoring equipment and network facilities, eco-environmental big data governance can better promote the increase of enterprises' green invention patent applications. (3) The perfection of informatization laws, dynamic monitoring and joint defense system are the key to promoting the precision of environmental big data governance and supporting green substantive innovation. Faced with more complex environmental governance issues in the new era, the thorough analysis on the impact of eco-environmental protection big data governance on green innovation and its internal mechanism, can provide new for China to build empirical evidence the modern environmental governance system and promote the development of new quality productivity, which is an expansion and supplement for existing theories.

Key words: eco-environmental big data governance; environmental risk; collaborative governance; green innovation

一、问题提出

生态环境大数据治理是基于大数据、云计算等新兴数字技术,对环境数据进行深度挖掘和分析,并广泛调动公众监督,实现环境监管智能化、规范化和精准化的新型环境治理模式。这是践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念、实现经济绿色转型和推动新质生产力发展的内在要求。习近平总书记在党的二十届三中全会中强调“新质生产力本身就是绿色生产力”。健全生态环境治理体系、推动绿色创新与新质生产力的协同发展,是加快经济社会绿色转型的必然要求。绿色创新则是实现绿色转型的重要手段,是指利用绿色技术来减少企业环境污染,生产绿色产品和提升市场竞争力,最终实现经济效益和环境保护的双赢。新的时期,中国政府在依托环境治理推动绿色转型的过程中面临着新的挑战,主要表现为涉及的监管部门众多、管理过程复杂、驱动因素日益多样化、要素协调联动的难度不断加大^[1]。这需要更加注重精准防控、依法治污和科学决策,并建立健全多主体共同参与、实现良性互动的新型环境治理体系。

中国生态环境治理体系和治理能力尚处于初级阶段,随着污染防治攻坚战日渐升级和环境治理范围的逐步扩大,单凭传统的治理手段难以做到实时监测和协同治污,还需强化环保监管信息化建设,运用大数据分析手段提升环境治理效率和绿色创新水平。这是践行中国特色社会主义制度、优化环境治理体系、推动国家治理现代化的重要驱动力。利用大数据、云计算、人工智能等新

兴数字技术,实时监测大气成分、水源质量等的动态变化,对生态环境进行数据采集、挖掘和深度分析,有助于更为精准地实施环境风险评估,推动环境监测的信息化、数字化和智能化,打造政府、企业和公众共同参与的新型环境治理模式,提升环境执法效率,助力“碳达峰、碳中和”目标和绿色创新的实现。当前,生态环境大数据治理的节能减排效果和绿色创新效应正受到广泛关注,是一个值得深入思考和研究的问题。

学界关于环境规制与污染治理、绿色创新等的研究已取得了丰富成果^[2-4]。现有文献从环境执法^[5]、排污权交易^[6]、环境信息公开^[7]、税收制度^[8]及绿色金融^[9-10]等方面论述了环境政策工具对节能减排、绿色创新和绿色全要素生产率等的影响,以进一步检验“波特假说”在中国是否成立。随着数字技术和环境经济理论不断发展,基于技术升级、投资效率和交易成本等机制,一些学者深入分析了数字经济、智慧城市建设等的绿色创新效应^[11-14],证明了数字经济通过赋能技术进步、优化资源配置和创新组织管理等路径促进了绿色创新,为政府和学界开展相关研究提供了重要的借鉴和参考。

综合环境规制和数字经济领域的研究视角,一些学者开始关注生态环境大数据治理对污染信息公开和环境表现的影响。研究表明,地方政府迫于环境绩效考核的压力而掩盖真实的环境污染信息。“污染源动态监测站”的成立则有助于中央政府凭借大数据监测网络,对污染源进行实时追踪,识别地方政府操纵污染数据的行为^[15],促进区

域环境信息披露的公开透明和环境考核的公正合理^[16]。污染数据被区域自动化监测站点收集整理并汇总到监测总站后,官方生态环境网站的信息便得到了及时更新,公众可依据官方权威数据对地方政府环境治理行为予以监督,促进环境治理效率的提升^[17]。新时代背景下,绿色创新比资源节约要更加重要。以环境数字化技术为基础,通过“制度变革”推动环境治理方式的转变,以进一步推动企业绿色创新,是深化生态文明建设、加快实体经济绿色转型的必由之路。因此,本文分析生态环境大数据建设对企业绿色创新的影响,试图深入研究和努力解决以下问题:①生态环境大数据治理是否促进了企业绿色创新,其影响绿色创新的具体路径如何;②怎样完善相关协同治理机制,以更有效激励企业的绿色创新。

本文边际贡献主要包含以下 3 点。①基于制度层面,从环境风险管控的视角,分析了生态环境大数据治理的绿色创新效应。制度不健全以及由此引发的市场失灵是环境治理现代化的核心障碍。现有文献多基于环境规制、数字技术赋能绿色创新或绿色生产率等方面展开研究,并未从制度视角分析数字化环境治理体系的创新效应。本文基于《生态环境监测网络建设方案》的政策冲击和环境风险管控的视角,从制度层面论证了生态环境大数据治理能够对存在环境风险的企业实施精准监控和管理,发挥其赋能绿色发展的新引擎作用。这为更全面、深入地理解环境规制如何促进高质量发展提供了启示,拓展了数字经济和环境经济领域的研究。②深入探寻结论的作用机制以及对创新质量的影响。本文从环境部门人员供给、环保处罚、环保意识和绿色投入等视角,验证了生态环境大数据治理能够克服传统治理模式的不足带来的“市场失灵”影响,促进企业绿色创新。然而,在上述过程中,存在企业为迎合政府而实施环保投资,导致绿色创新质量低下的现象。这为“波特假说”在中国的检验提供了新的证据。③结合区域环境监测设备、网络设施、信息化法规和动态监测、联防联控体系等异质性分析,深入挖掘生态环

境大数据治理促进“绿色创新质量”提升的互补性机制。本文基于环境风险管控和协同治理的视角,证明了生态环境大数据治理需要依托完善的环境监测设备和网络设施、健全的信息化法规和联防联控体系,才能推动实质性绿色创新。这对创建“协同治理”的环境大数据监管模式、推动绿色核心技术创新等提供了相应的参考。

后文的结构主要如下:第二部分是政策背景、内容及进展;第三部分为理论分析与研究假说;第四部分是实证研究设计;第五部分为实证结果分析;第六部分梳理了本文的结论,并据此提出较有针对性的政策建议。

二、政策背景、内容及进展

(一) 政策背景与基本内容

为了实现数据整合与共享,创新生态环境监管模式和提升科学决策能力,2015 年 7 月,国务院颁布了《生态环境监测网络建设方案》(以下简称《建设方案》),对开展生态环境大数据治理提出了全局性的指导意见,这是中国数字化环境治理的政策基石。其主要内容包括:①运用“卫星遥感、污染源自动监测”等先进技术和设备,全面布局环境监测网点,针对重点排污企业建立污染源在线监控系统;②开展环境大数据分析,建立统一、实时和高效的环境监测机制,推进生态环境监测的信息互联和数据共享;③对污染源实时追踪和分析,鼓励第三方环境评级机构参与污染监测和评价;④健全污染源监测的法律法规,统一监测规范和评价标准,对环境数据的篡改、造假等行为予以打击;⑤充分运用财政手段支持污染监测设备的研发和维护,不断提高环保人员的专业素养和待遇津贴。《建设方案》主张依托大数据平台来深度挖掘环境监测信息,力争在 2020 年,初步建成陆地、海洋和高空之间的一体化协作体系,实现对污染物监测的全覆盖和数据共享。

(二) 政策进展

《建设方案》特别强调了要建立健全“重点污染源监测制度”,要求各级环保部门建立和完善污染源监测的法律法规,严格监督重点排污企业的

环境自我监测情况,督促其不断完善污染源在线监控系统,及时披露污染物排放信息。图1显示了2011—2021年中国污染源法规累计数与上市公司绿色专利申请量之间的关系^①。自2015年该方案实施以来,污染源监测法规累计数呈现出了更快的增长趋势,上市公司绿色专利申请量曲线也出现了明显的向上弯折状态。《建设方案》推动了污染源监测法规的进一步出台和完善,污染源监测法规为环保部门提供了更细化的环境管理方案,为其更好地监控企业的排污行为提供了相应的法律依据,对上市公司的绿色生产行为起到了相应的促进作用。

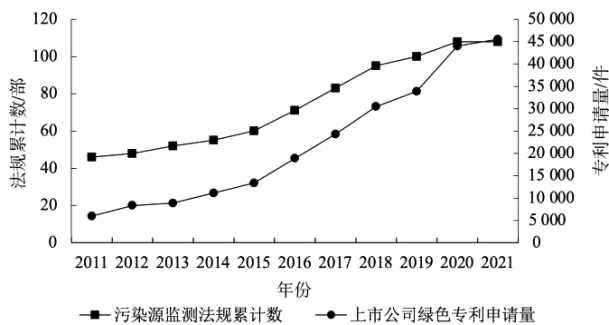


图1 2011—2021年中国污染源监测法规数与上市公司绿色专利申请量

数据来源:北大法宝数据库、中国研究数据服务平台(CNRDS)。

通过建设一体化环境监测网络,《生态环境监测网络建设方案》为环境大数据治理奠定了良好的基础,推动了“生态环境监测大数据平台”的建立,并在2016—2020年取得阶段性成效。在2016—2018年,政府主要致力于完成环境大数据治理基础设施建设,构建相关保障体系以及开展试点工作,形成了数据采集、整理和应用的基础模式。在2019—2020年,大数据技术在环境治理领域的应用步伐加快,相关项目数量快速增加,技术标准、网络安全规范以及大数据应用的新业态模式等均在这一时期形成。进入“十四五”时期,生态环境大数据治理覆盖的范围进一步扩大,相关技术和监测手段也日趋成熟^②。

三、理论分析与研究假说

(一)主效应:生态环境大数据治理对企业绿色创新的影响

(1)波特假说理论。传统环境经济学理论认为环境规制会导致企业成本增加,生产率和经营绩效会出现下降。然而,修正的环境经济学理论——“波特假说”指出,科学的环境规制通过“技术效应”弥补了环境规制带来的成本上升,提高了企业劳动生产率^[18]。生态环境大数据治理通过智慧网络监测、污染源自动监控等手段提升了环境规制效率,实现了“波特效应”和企业绿色转型。

(2)外部性理论。当缺乏有效环境规制手段,导致污染成本未被纳入生产成本时,企业将缺乏动力去履行环保责任^[19],导致绿色创新供给不足。生态环境大数据治理能够通过污染源自动监控等手段实施精准监测,追溯到排污源头,使企业违规排污被监测到的可能性大幅提升,促使企业污染成本“内部化”,通过“污染惩罚效应”倒逼其提高资源利用率^[20],开展有利于减少污染排放的绿色创新活动。

(3)交易成本理论。大数据技术能帮助监管部门整合孤立化、碎片化的信息,防止出现“信息孤岛”^[21],并通过对污染物空间分布进行实时追踪和监测,进而快速准确地判断污染物排放位置和排放量^[22],降低了环保部门信息搜寻成本。外部投资者也能根据公开的排污信息,更好地了解企业是否存在环保粉饰行为,从舆情监督方面强化企业的环境治理责任,迫使其加大环保投资和绿色创新的力度。因此,本文提出第1个假说。

假说1:生态环境大数据治理显著提升了面临环境风险的企业的绿色创新水平。

(二)影响路径:生态环境大数据治理影响绿色创新的机制

生态环境大数据治理实现了污染监管的智能化、便捷化和精细化,解决了环境监察执法人员不足的问题。尤其是遥感卫星技术的使用,进一步

① 污染源监测法规通过在北大法宝中输入“污染源”关键词,统计了历年污染源监测法规中,截至当年依然有效的法规累计数。

② 资料来源于《中国大数据应用发展报告 No. 6(2022)》:“生态环境大数据建设发展阶段与展望”。

强化了对气候变化、污染排放动态趋势的实时监控,将传统单纯依靠人力监管手段转向依托在线污染监测系统的大数据分析模式。这便于媒体和公众获取环境信息并实施环保监督^[23],对环境违法企业给予相应的处罚,促使具有环境风险的企业积极履行环境责任,提高其对绿色创新的重视^[24]。因此,高效的智慧化环境监管机制下,企业将树立绿色环保意识,积极研发节能减排技术和产品生产,不断提升绿色创新能力。综上,本文提出第 2 个假说:

假说 2:生态环境大数据治理通过克服环境监察人员不足、加大环保处罚力度、增强环保意识和增加绿色投入来促进企业绿色创新。

(三)异质性分析:协同治理机制的互补性作用

1. 环境监测设备和互联网的硬设施保障

区域监测设备是政府获取污染数据和评估环境治理效应的基石。《建设方案》提出了要“依靠智能化终端设备,强化卫星遥感技术、自动化监测系统的应用,建立和完善生态环境大数据治理平台”。气象站、水文监测设施、自动化采集设备等是生态环境大数据治理体系的重要载体^[25]。监测设备通过实时捕获污染数据强化了自上而下的问责机制,倒逼企业提升污染治理水平^[26]。社会公众可依据监测站点发布的污染排放信息,通过诉诸法律或拨打环保热线等途径加以维权,对监管部门予以监督。面临高昂环保处罚和负面报道时,企业将不得不加大绿色技术投入,以谋求长远发展。

生态环境大数据治理涉及数字化基础设施建设,网络设施则是大数据信息生成的重要平台,能够将生产、物流与销售等环节联系起来^[27],降低市场交易成本,避免区域数字产业出现“空心化”状态,充分发挥了要素“集聚效应”^[28],为绿色新动能的研发提供重要支撑^[29]。其次,“互联网+”为社会公众深度参与生态环境大数据治理提供了良好的平台。气象部门和环境监测部门通过互联网及时发布各类监测数据,民众借助微博、论坛等及时表达环保诉求,从而强化了信息开放与数据共

享^[30],实现了“互联网+”战略与“生态环境大数据治理”的配合,形成促进绿色创新的“协同效应”。本文据此提出假说 3。

假说 3:监测设备和互联网设施较好的情况下,生态环境大数据治理更能促进绿色创新。

2. 信息化法规和动态监测、联防联控体系的软环境支撑

推动信息化建设和实现数据共享是降低信息获取成本、提升环境治理效率和推动企业创新的必然要求。然而,数据共享也给政府监管带来了巨大的挑战。一旦数据信息被泄露给无关部门,将严重威胁国家安全和企业自身竞争力。因此,兼顾数据共享与信息保护是数据要素使用和交易的重要前提^[31-32],更是激励企业致力于核心技术创新的关键^[33],只有这样才能为生态环境大数据治理提供可靠的安全保障机制,更好地激励企业持续开展绿色创新。

生态环境大数据治理需要建立区域“动态监测、联防联控”体系,以促进环境信息的公开透明并提升风险管理能力。一方面,动态执法终端、在线直播和污染源自动监控等的完善,进一步确保了污染信息的即时公开和实时更新,强化了公众对企业环境表现的监督。另一方面,鉴于区域政府在生态环境治理中可能存在“搭便车”行为,以及污染物排放的空间传导效应,中央政府必须明确环境责任归属,建立跨区域、跨部门的“联防、联控”体系^[34],避免生态环境大数据治理过程中的“不作为”和“各自为政”现象,进一步释放生态环境大数据治理的绿色创新效应。本文据此提出假说 4。

假说 4:区域信息化法规的健全和动态监测、联防体系的完善,更有利于生态环境大数据治理促进企业绿色创新。

四、实证研究设计

(一)样本选取及数据来源

本文以中国 A 股非金融上市企业 2011—2021 年的数据作为研究样本,并剔除已被暂停上市的企业样本、金融行业和房地产行业样本,检验生态环境大数据治理对企业绿色创新的影响。实

证涉及的数据来源如下:绿色专利申请量、企业是否受到环保处罚或是否有污染排放、省级层面的环境监测设备数量和动态监测、联防机制的文本关键词数量等数据来自中国研究数据服务平台(CNRDS);企业绿色意识、绿色专利被引用量等数据来自色诺芬数据库(CCER);各省信息化法规累计量数据通过北大法宝获取;其余数据均来自国泰安(CSMAR)数据库。

(二) 计量模型及描述性统计

本文主要通过双重差分模型检验生态环境大数据治理政策对企业绿色创新的影响。

$$Innov_{i,t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 Post_t \times Treat_i + \alpha_2 Control_{i,t} + Firm_i + Year_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

式(1)中,被解释变量 $Innov_{i,t+1}$ 表示第 i 个企业在第 $t+1$ 年集团公司合计的绿色创新产出水平,即各类绿色专利申请量加 1 之和的自然对数^③,包括绿色发明专利申请量 ($\ln Inv_{i,t+1}$) 和绿色实用新型专利申请量 ($\ln Ut_i_{i,t+1}$),若 i 企业在第 t 年专利申请量数据缺失,则用 0 来补齐;本文用 i 企业“是否存在环境风险”表示虚拟变量 $Treat_i$,若企业在《建设方案》实施当年及前 6 年(2009—2015 年)中受到过环保处罚或有过污染物排放,则表明企业存在环境风险^[35], $Treat_i$ 取值为 1,即为处理组,否则取值为 0,即为控制组; $Post_t$ 代表《建设方案》是否实施,将观测值所属年份位于 2015 年

当年及其之后的 $Post_t$ 取值为 1,否则为 0; $Post_t \times Treat_i$ 为核心解释变量,该变量的系数反映了处理组企业相对于控制组企业在政策实施前后的绿色创新变化程度; $Control_{i,t}$ 表示控制变量,包括企业年龄 ($\ln Age$, (企业上市年份 - 成立年份)的对数)、企业规模 ($\ln Asset$, 企业资产总额的对数,将其进行 1% 的缩尾处理)、企业性质 ($State$, 是否为国有企业,是国有企业则为 1; 否则为 0)、有形资产占比 ($TanRatio$, 年末有形资产总额/年末资产总额)、盈利能力 (ROA , 净利润/总资产平均余额)、经营能力 (LAZ , 营业收入/流动资产平均可用额)、负债率 ($Debt_Asset$, 年末负债总额/年末资产总额)、现金流占比 ($Cash_Asset$, 年末经营性现金流净额/年末资产总额); $Firm_i$ 代表企业个体固定效应, $Year_t$ 代表年份固定效应, $\varepsilon_{i,t}$ 代表扰动项。

(三) 平行趋势分析

本文首先考察《生态环境监测网络建设方案》实施前后处理组和控制组的变化趋势,结果如图 2 所示。《建设方案》于 2015 年开始实施,在实施之前的 3 年中,《建设方案》对企业各绿色创新变量均没有显著影响。这说明在该方案实施前,处理组(存在环境风险的企业)和控制组(不存在环境风险的企业)绿色创新产出的变化趋势基本是一致的。然而,《建设方案》实施后的 6 年中,绿色专利申请量的系数基本显著为正。

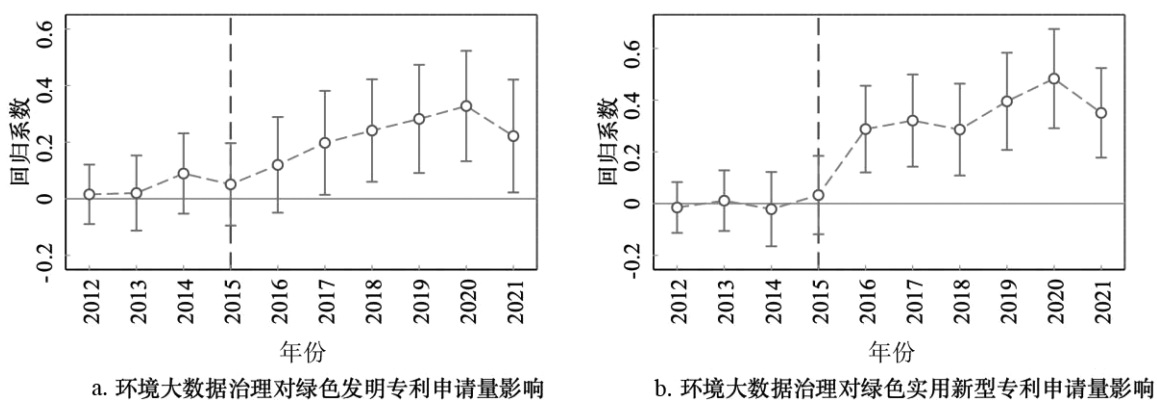


图 2 平行趋势分析

③ 一方面,由于政策在当年出台后,其实际产生效果的时间通常具有一定的滞后性;另一方面,当期政策的出台很可能是由于当期企业创新产出而引起的。因此,本文将被解释变量滞后一期,即使用第 $t+1$ 期,这有助于缓解政策与创新产出之间的反向因果关系。

五、实证结果分析

(一) 基准回归结果

本文基于式(1)的计量模型,采用双重差分方法,验证生态环境大数据治理政策的实施对企业绿色创新的影响。表1第(1)列和第(3)列结果显示,未加入控制变量时,生态环境大数据治理对企业绿色创新的影响至少在5%水平上显著为正;加入控制变量后,第(2)列和第(4)列结果显示,生态环境大数据治理政策依然推动了企业实施绿色创新,这一新型环境政策工具带来了“经济”与“环境”双赢的结果。在环境政策执行中,要提高污染数据监测的准确性和环境执法的透明化,需要借助数字化技术对企业和相关部门进行全程监督。倡导绿色发展、推动产业朝着绿色化方向转型是未来的发展趋势,生态环境大数据治理政策推动产业转型升级、提升产业绿色技术竞争力的作用不容小觑。以大数据、云计算、互联网、人工智能为代表的数字化技术贯穿于生态环境大数据平台建设、环保数据收集、环境政策评估等方面,推动着实体经济的绿色转型升级。

表1 基准回归

变量	lnInw	lnInw	lnUti	lnUti
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Post × Treat</i>	0.112 6 ** (1.97)	0.173 0 *** (3.12)	0.264 0 *** (4.61)	0.312 5 *** (5.57)
控制变量	不控制	控制	不控制	控制
年份效应	控制	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.091 3	0.115 7	0.094 2	0.111 0
<i>N</i>	30 203	30 203	30 203	30 203

注:***、**、*分别代表 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.10$ 时有统计学意义。括号中是 *t* 统计量,使用聚类稳健标准误回归;*R*² 为拟合优度。下同。

生态环境大数据治理促使企业加大环保投入力度,积极主动实施绿色创新。然而,为了满足政府环保合规性要求,企业是否存在追求创新数量、忽视绿色创新质量的机会主义行为呢?相比实用新型专利,研发难度更高的发明专利反映了技术的根本性变革,更能彰显创新质量^[36]。此外,专利被引用次数越多,说明该专利市场价值越大,创新质量也越高。因此,本文采用下一期绿色发明专利申请量

占绿色专利申请总量的比重 ($InwRatio_{i,t+1}$)、绿色专利被引用次数加1之和的对数 ($lnCite_{i,t+1}$) 来衡量“绿色创新质量”,而用绿色实用新型专利申请量占绿色专利申请总量比重来衡量“绿色创新数量” ($UtiRatio_{i,t+1}$),以验证该政策对创新质量和创新数量的影响差异。

表2显示,生态环境大数据治理提升了绿色实用新型专利申请量占比,却导致了绿色发明专利申请量占比的下降和绿色专利被引用次数的减少。可见,生态环境大数据治理政策实施过程中,如果缺乏创新质量激励机制或创新风险分担机制,企业将为了迎合环保要求和获取创新补助而实施低质量绿色创新。

表2 基于绿色创新质量的进一步分析

变量	<i>InwRatio</i>	<i>UtiRatio</i>	<i>lnCite</i>
	(1)	(2)	(3)
<i>Post × Treat</i>	-0.073 4 *** (-3.33)	0.045 1 ** (2.00)	-0.126 2 * (-1.93)
控制变量	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.036 2	0.029 1	0.095 2
<i>N</i>	30 203	30 203	30 203

(二) 影响机制

1. 基于环保机构人员投入的机制检验

生态环境监测网络平台摒弃了传统单纯依赖人力监管的模式。因此,本文从环保机构人员投入角度,利用三重差分方法检验政策促进绿色创新的影响机制。具体而言,本文采用企业注册地所在省的环保机构人数除以机构总数来衡量区域环保机构人员投入,即“各省国家级省级辐射监测机构人员数、国家级省级环保信息机构人员数与国家级省级环境监察机构人员数之和除以上述机构总数”。 $InsPeo_j$ 表示第 *j* 个省的环保机构人员投入,若政策实施当年(2015年)该省环保机构人员投入小于各省人员投入的中位数,则该省环保机构人员投入较少, $InsPeo_j$ 取值为1,否则为0,即为环保机构人员投入较多。

表3显示, $Post_i \times Treat_i \times InsPeo_j$ 对绿色创新

的影响均显著为正,即生态环境大数据治理通过自动化、在线实时监控等手段替代了传统人力,能更有效监管污染物排放情况,提升企业绿色创新水平^④。

表3 环保人员数量的机制检验

变量	lnInv	lnUti
	(1)	(2)
<i>Post</i> × <i>Treat</i>	0.056 9 (0.70)	0.182 7 *** (2.70)
<i>Post</i> × <i>InsPeo</i>	-0.060 5 ** (-2.45)	-0.006 8 (-0.28)
<i>Post</i> × <i>Treat</i> × <i>InsPeo</i>	0.232 1 ** (2.10)	0.248 8 ** (2.29)
控制变量	控制	控制
年份效应	控制	控制
个体效应	控制	控制
<i>R</i> ²	0.116 5	0.111 5
<i>N</i>	30 203	30 203

2. 基于环保处罚、绿色意识和环保投资的机制检验

生态环境大数据治理克服了环保人员不足缺陷后,是否强化了对环境违法行为的打击力度呢?本文选取第*i*个企业当期面临的环保处罚金额加1后的对数($\ln Puni_{i,t}$),用来衡量对环境违法行为的打击力度,以验证另一个作用机制。表4第(1)列显示,生态环境大数据治理强化了对环境违法行为的惩处,对违规企业起到了震慑作用。通过自动化、在线实时监控等手段替代传统人力,监管部门能更精准地监测污染物排放情况,为实施环保处罚提供了更多的参考依据,进而倒逼企业实施绿色技术改造。

生态环境大数据治理强化了对违规企业的惩处力度。为了应对环境影响评价和政府合规性要求,树立可持续发展意识、不断革新绿色技术和改进生产方法,才是企业获得持久竞争力的根本保障^[37]。因此,企业绿色意识和绿色投入是本文要验证的另外两个重要机制。具体而言,本文选取

上市公司*i*在第*t*年是否制定环保管理制度体系($Manage_{i,t}$)来衡量企业的绿色意识,若制定了该体系,则 $Manage_{i,t}$ 取值为1,否则取值为0,采用Probit回归方法^⑤,以验证绿色意识的增强是否是《建设方案》促进绿色创新的机制。在绿色投入指标方面,本文采用*i*企业在第*t*年环保投资额加1后的对数($\ln Invest_{i,t}$)加以衡量,以验证绿色投入的增加是否是该方案促进绿色创新的另一个机制。表4第(2)列~第(3)列表明,《建设方案》显著增强了企业的绿色意识,促使其增加环保投入,最终增加了绿色创新产出。

表4 环保处罚、绿色意识和环保投资的机制检验

变量	lnPuni	Manage	lnInvest
	(1)	(2)	(3)
<i>Treat</i>	—	0.394 6 *** (4.09)	—
<i>Post</i> × <i>Treat</i>	0.794 9 *** (7.22)	0.192 8 ** (2.24)	1.263 4 *** (5.68)
控制变量	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制
个体效应	控制	—	控制
行业效应	—	控制	—
<i>R</i> ²	0.074 4	—	0.033 4
伪 <i>R</i> ²	—	0.196 7	—
<i>N</i>	30 203	25 839	30 203

(三)分样本检验

1. 基于环境监测设备和互联网设施的分样本检验

生态环境大数据平台的创建和发展离不开监测设备的支撑。本文选取与各省大气污染、高空探测和卫星云图等相关的环境监测设备的数量所占比重,衡量环境监测设备完善程度。若环境监测设备完善程度大于其年度一省份中位数,则被认为是监测设备较完善地区;否则为监测设备不完善地区,以验证该政策在两组样

④ 由于已控制了企业个体固定效应($Firm_i$)和年份固定效应($Year_t$),故不再放入政策冲击($Post_t$)、企业环境表现($Treat_t$)和环保机构人员投入($InsPeo_j$)3个单独的虚拟变量;回归方程中也不再放入环境表现和环保机构人员投入交互项($Treat_t \times InsPeo_j$),避免与企业个体固定效应同时放入而产生共线性。

⑤ Probit回归无法控制企业个体固定效应,因此本文加入了单独的企业环境风险虚拟变量($Treat$),同时控制年份固定效应和行业固定效应。

本中创新效应的差异^⑥。

表 5 显示,环境监测设备完善的地区,生态环境大数据治理对绿色发明专利申请量有显著的正向促进作用,而在环境监测设备不完善的地区,该促进作用并不显著,且对绿色实用新型专利申请量的影响并无显著差异。这是因为:研发周期较短、难度较小的实用新型专利体现为“策略性创新”,这类创新极易导致企业污染治理效果不佳,从而失去政府支持。相比之下,绿色发明专利更涉及核心技术探索,属于“实质性创新”,能更有效地减少污染物排放,使企业获得更持久的市场竞争力^[38-39]。环境监测设备是政府获取一手环境信息,从源头上监控污染排放所依托的重要设施。这有助于督促企业减少环境治理投机行为,通过绿色实质性创新真正提升排污效果。

表 5 基于环境监测设备的分样本检验

变量	lnInw	lnUti	lnInw	lnUti
	环境监测设备完善		环境监测设备不完善	
<i>Post × Treat</i>	0.274 0*** (3.49)	0.390 7*** (4.57)	0.079 5 (1.02)	0.183 3** (2.37)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制	控制
经验 P 值	0.040 0	0.020 0	0.040 0	0.020 0
<i>R</i> ²	0.114 3	0.115 6	0.112 7	0.105 9
<i>N</i>	14 340	14 340	15 863	15 863

注:经验 P 值是采用组间差异系数 Fisher's Permutation 检验法,依据自助抽样回归进行 50 次随机抽样后得到的结果,下同。

网络设施也是开展生态环境大数据治理、强化数据可获得性的重要支撑。基于此,本文使用各省互联网宽带接入端口数除以各省城市宽带接入用户数,衡量区域互联网设施完善程度,若大于年度一省份互联网完善程度中位数,则被视为网络设施较完善组,否则为网络设施不完善组,以检验生态环境大数据治理对这两组样本企业绿色创新的影响差异。表 6 显示,互联网设施较完善的地区,生态环境大数据治理才能激励企业实施绿色

发明创新。这是由于:互联网是实现环境动态监测的重要基础设施,并强化了市场竞争机制,使企业不断尝试新技术,迈向高水平发明创新^[40]。

表 6 基于互联网设施的分样本检验

变量	lnInw	lnUti	lnInw	lnUti
	互联网设施较好		互联网设施较差	
<i>Post × Treat</i>	0.276 9*** (3.16)	0.283 6*** (3.71)	0.082 1 (1.38)	0.260 3*** (3.30)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制	控制
经验 P 值	0.000 0	0.440 0	0.000 0	0.440 0
<i>R</i> ²	0.132 3	0.124 0	0.092 5	0.097 7
<i>N</i>	14 662	14 662	15 541	15 541

2. 基于信息化法规和动态监测、联防机制的分样本检验

建立完善的信息化法规体系,是提升生态环境大数据治理效能,充分发挥信息系统的网络监测功能和数据分析作用的法治保障。本文以各省信息化法规累计数衡量地区信息化立法完善程度^⑦。若企业所在省信息化法规累计数高于年度一省份法规累计数的中位数,则将该省视为信息化法规较完善组,否则为不完善组。

表 7 显示,信息化法规较完善的区域,核心解释变量(*Post × Treat*)对绿色发明专利申请量的影响在 1% 水平上显著为正,而在信息化法规不完善的地区并没有显著影响。这是因为:在完善数据

表 7 基于信息化法规的分样本检验

变量	lnInw	lnUti	lnInw	lnUti
	信息化法规完善		信息化法规不完善	
<i>Post × Treat</i>	0.426 6*** (3.58)	0.312 6*** (3.18)	0.099 1 (1.61)	0.268 7*** (3.86)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制	控制
经验 P 值	0.000 0	0.320 0	0.000 0	0.320 0
<i>R</i> ²	0.105 0	0.114 6	0.128 1	0.117 3
<i>N</i>	10 657	10 657	19 546	19 546

⑥ 环境监测设备完善程度为地面观测业务站点、高空探测业务站点、大气成分观测业务站点、大气本底站站点与卫星云图接收业务站点数量之和,除以全部观测站数量。全部观测站包括上述所有观测站,除此之外,还有自动气象站、天气雷达观测业务站、农业气象观测业务站、生态与农业气象试验业务站、海洋气象台站、闪电定位监测业务站、太阳辐射观测业务站、沙尘暴监测业务站、紫外线观测业务站、酸雨观测业务站和臭氧观测业务站。

⑦ 信息化法规指标通过在北大法宝中分别输入“信息化”和“大数据”关键词,统计上述地方性法规、地方政府规章等条例的累计数(截至当年依然有效)而得到。

安全保障体系、明确权利归属的情况下,政府能够更便捷、高效地对企业的环境治理实施大数据监测,更准确地评估企业绿色创新的价值,将公共资金投入最具市场价值的绿色创新活动中去,提升企业的内在创新质量。

完善区域动态监测、联防体系,是推动生态环境大数据治理高效运行、赋能绿色创新的重要驱动力。本文将各省数字经济政策以及环境注意力中涉及的“动态监测、监测预警、动态监控、智能监测、协同治理、协同治污、联防、联控”等关键词数量进行加总,将其与各省数字经济政策文本总字数与环境注意力文本总字数之和相除,衡量地区“动态监测、联防机制”健全程度。若该数值大于年度一省份中该数值的中位数,则将该地区视为动态监测、联防机制健全的地区,否则为不健全的地区。

表8显示,在动态监测、联防机制健全的地区,生态环境大数据治理对绿色发明创新具有显著的正向影响,而上述机制不健全的地区则没有这种影响。可见,建立跨区域的“联防联控”机制,有助于规避环境风险预警不足和区域市场分割问题,并有针对性地建立风险补偿机制,激励企业投身更高风险的绿色实质性创新。

表8 基于联防机制的分样本检验

变量	lnInv	lnUti	lnInv	lnUti
	动态监测、 联防机制健全		动态监测、 联防机制不健全	
Post × Treat	0.314 4*** (3.60)	0.402 9*** (4.93)	0.047 0 (0.72)	0.209 6*** (3.02)
控制变量	控制	控制	控制	控制
年份效应	控制	控制	控制	控制
个体效应	控制	控制	控制	控制
经验P值	0.020 0	0.040 0	0.020 0	0.040 0
R ²	0.117 8	0.105 9	0.102 8	0.101 1
N	13 655	13 655	16 548	16 548

(四) 稳健性检验

为验证结论的可靠性,本文进行了如下稳健性检验:①用下一期绿色专利授权量替换被解释变量,以是否受到环保处罚来重新构造环境风险

虚拟变量;②通过随机抽取部分企业为处理组,另一部分为控制组,进行了安慰剂检验;③经过倾向得分匹配后,重新进行双重差分检验;④排除同时期其他政策干扰的检验,并以上市公司“所在行业的污染排放强度平均值”作为划分处理组和控制组的工具变量,进行两阶段最小二乘回归,处理内生性问题。上述结果均验证了本文回归结论是稳健的。

六、结论与政策建议

(一) 结论

本文采用双重差分方法,分析了生态环境大数据治理对企业绿色创新的影响及机制,得到的结论如下:①生态环境大数据治理克服了环保机构人员匮乏的缺陷,提高了环保处罚力度,增强了企业的绿色意识和环保投入力度,最终促进了环境风险较高的企业绿色创新水平的提升;②区域环境监测设备和互联网设施的改善,是实现监控智能化和协同化、强化生态环境大数据治理“连接效能”和促进绿色实质性创新的硬措施;③信息化法规的完善和动态监测、联防机制的健全,有助于完善数据信息披露和提高风险管理能力,最终提升企业绿色创新质量。

(二) 政策建议

第一,建立统一规范的生态环境大数据治理平台,重点监测环境表现较差企业的绿色生产状况,并健全多元共治体系。首先,要实现生态环境大数据治理全国一盘棋的目标,需要先由省级政府制定本省统一的环境大数据平台标准,有效对接辖区市县的平台建设,并通过财政补贴对偏远地区给予技术服务和运营维护的支持。其次,要严格监察环境表现较差企业的环境治理状况,利用智慧监测手段使排污数据公开透明化,提高其不履行环境责任时的受处罚力度,促使其真正实施绿色生产。最后,要依托第三方机构对采集环境数据的真实性进行科学评估,并充分调动公众参与监督的积极性。

第二,持续改善环境监测设备,大力完善落

后地区的互联网设施建设,强化环境监控的智能化与协同化。首先,要重视区域污染源自动监控系统与在线监测仪器的配备,充分整合区域地面污染监控站、气象观测站、空中卫星遥感监测设备等公布的数据,实现污染监测的立体化、可视化,尤其在重污染区域布设高精度实时监测设备,强化污染源动态监测与预警体系建设。其次,政府要通过财政补贴、技术援助等手段扶持网络设施条件较差的地区,提高人均互联网端口接入数,并加快 5G、6G 等网络基建和降费提速的步伐。

第三,进一步出台和完善信息化、数据治理等法律法规,以“指标量化”方式健全地方政府环境动态监测和联防联控体系。政府要出台和完善信息化、数据保护促进等领域的法规,规范环境数据的采集和使用,确保数据安全和隐私保护,增强企业的环境信息披露意愿,推动跨区域、跨部门的环保数据共享。此外,还需深入推进监管各流程的指标量化,将数据平台开放程度、污染物跨区域转移是否得到控制、环境执法协作会商制度的健全性等指标纳入长期考评体系,并适时进行动态调整,避免环境治理中的“搭便车”行为。

参考文献:

- [1]王运涛,王国强,王桥,张庆竹. 我国生态环境大数据发展现状与展望[J]. 中国工程科学,2022,24(5):56-62.
- [2]ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN L, HEMOUS D. The environment and directed technical change[J]. *American economic review*, 2012, 102(1): 131-166.
- [3]XIE R H, YUAN Y J, HUANG J J. Different types of environmental regulations and heterogeneous influence on “green” productivity: evidence from China[J]. *Ecological economics*, 2017, 132: 104-112.
- [4]郭进. 环境规制对绿色技术创新的影响:“波特效应”的中国证据[J]. 财贸经济,2019,40(3):147-160.
- [5]HE, Q, QIU B. Environmental enforcement actions and corporate green innovation[J]. *Journal of corporate finance*, 2025, 91: 102711.
- [6]LIU M, SHAN Y, LI Y. Study on the effect of carbon trading regulation on green innovation and heterogeneity analysis from China[J]. *Energy policy*, 2022, 171: 113290.
- [7]王馨,王莹. 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.
- [8]QI Y, ZHANG J, CHEN J. Tax incentives, environmental regulation and firms’ emission reduction strategies: evidence from China [J]. *Journal of environmental economics and management*, 2023, 117: 102750.
- [9]FLAMMER C. Corporate green bonds [J]. *Journal of financial economics*, 2021, 142(2):499-516.
- [10]崔惠玉,王宝珠,徐颖. 绿色金融创新、金融资源配置与企业污染减排[J]. 中国工业经济,2023(10):118-136.
- [11]石大千,丁海,卫平等. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济,2018(6):117-135.
- [12]HITTINGER E, JARAMILLO P. Internet of things: energy boon or bane? [J]. *Science*, 2019, 364(6438): 326-328.
- [13]YI M, LIU Y, SHENG M S, et al. Effects of digital economy on carbon emission reduction: new evidence from China[J]. *Energy policy*, 2022, 171: 113271.
- [14]DIAN J, SONG T, LI S. Facilitating or inhibiting? spatial effects of the digital economy affecting urban green technology innovation[J]. *Energy economics*, 2024, 129: 107223.
- [15]GREENSTONE M, HE G, JIA R, et al. Can technology solve the principal-agent problem? evidence from China’s war on air pollution [J]. *American economic review: Insights*, 2022, 4(1): 54-70.
- [16]沈坤荣,周力. 地方政府竞争、垂直型环境规制与污染回流效应[J]. 经济研究,2020,55(3):35-49.
- [17]潘旭文,付文林. 环境信息公开与地区空气质量:基于PM_{2.5}监测的准自然实验分析[J]. 财经研究,2022,48(5):110-124.
- [18]PORTER M E, LINDE C V D. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. *Journal of economic perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [19]陈彦龙,谌仁俊,李明轲. 环保考核对各类主体绿色创新活力的影响[J]. 数量经济技术经济研究,2023,40(12):194-214.
- [20]韩国高,刘田广,庞明川. 生态环境智慧监测与企业环境信息粉饰[J]. 世界经济,2025,48(7):3-35.

- [21] 许宪春,任雪,常子豪. 大数据与绿色发展[J]. 中国工业经济,2019(4):5-22.
- [22] WANG H, LI Y, LIN W, et al. How does digital technology promote carbon emission reduction? empirical evidence based on e-commerce pilot city policy in China[J]. Journal of environmental management, 2023, 325: 116524.
- [23] TU M, ZHANG B, XU J, et al. Mass media, information and demand for environmental quality: evidence from the “Under the Dome” [J]. Journal of development economics, 2020, 143: 102402.
- [24] 柯劭婧,马欧阳,许年行. 竞争对手环保处罚的溢出效应研究:基于企业绿色创新的视角[J]. 管理科学学报, 2023,26(6):21-38.
- [25] HE G, LIU T, ZHOU M. Straw burning, PM_{2.5}, and death: evidence from China [J]. Journal of development economics, 2020, 145: 102468.
- [26] AXBARD S, DENG Z. Informed enforcement: lessons from pollution monitoring in china [J]. American economic journal: applied economics, 2024, 16 (1): 213-252.
- [27] GOLDFARB A, TUCKER C. Digital economics [J]. Journal of economic literature, 2019, 57 (1): 3-43.
- [28] 马茜,廖薏,张红兵. 网络基础设施建设、知识流动与城市包容性绿色增长:基于调节中介与链式中介的综合分析框架[J]. 统计研究,2024,41(8):98-111.
- [29] TANG C, XU Y, HAO Y, et al. What is the role of telecommunications infrastructure construction in green technology innovation? a firm-level analysis for China [J]. Energy economics, 2021, 103: 105576.
- [30] DONG F, LI Y, QIN C, et al. Information infrastructure and greenhouse gas emission performance in urban China: a difference-in-differences analysis [J]. Journal of environmental management, 2022, 316: 115252.
- [31] ACQUISTI A, TAYLOR C, WAGMAN L. The economics of privacy[J]. Journal of economic literature, 2016, 54(2): 442-492.
- [32] NAGARAJ A. Does copyright affect reuse? evidence from Google Books and Wikipedia [J]. Management science, 2018, 64 (7): 3091-3107.
- [33] 徐翔,赵墨非,李涛,等. 数据要素与企业创新:基于研发竞争的视角[J]. 经济研究,2023,58(2):39-56.
- [34] 胡志高,李光勤,曹建华. 环境规制视角下的区域大气污染联合治理:分区方案设计、协同状态评价及影响因素分析[J]. 中国工业经济,2019(5):24-42.
- [35] 邱牧远,殷红. 生态文明建设背景下企业 ESG 表现与融资成本 [J]. 数量经济技术经济研究,2019,36(3): 108-123.
- [36] 窦智,韩永辉,王贤彬. 关联担保风险管控促进企业创新了吗?:基于担保圈法规的准自然实验[J]. 财经研究, 2023,49(5):49-63.
- [37] 李哲,薛淞. 政府环境影响评价制度与企业绿色技术创新[J]. 金融研究,2024(3):94-112.
- [38] 姜广省,卢建词,李维安. 绿色投资者发挥作用吗?:来自企业参与绿色治理的经验研究[J]. 金融研究,2021(5):117-134.
- [39] 韩永辉,窦智. 产融合作政策促进企业绿色创新了吗:基于试点政策与上市公司数据的实验[J]. 学术研究, 2025(6):100-108.
- [40] VERHOEVEN D, BAKKER J, VEUGELERS R. Measuring technological novelty with patent-based indicators [J]. Research policy, 2016, 45 (3): 707-723.

(本文责编:默 黎)