

智能驱动与企业绿色创新

——基于国家人工智能试验区的准自然实验

高华川¹, 王划璞¹, 董珍²

(1. 天津财经大学 统计学院, 天津 300222; 2. 贵州大学 数学与统计学院, 贵州 贵阳 550025)

[摘要] 在应对全球气候变化和推动经济高质量发展的大背景下,以人工智能为核心的新一代信息技术能否推动全面绿色转型和实现“双碳”目标,已成为国家发展战略的重要议题。文章以国家新一代人工智能创新发展试验区作为准自然实验,基于2014—2022年A股上市公司数据,采用交叠DID研究了人工智能试验区对企业绿色创新的影响及其作用机制。研究结果表明,人工智能试验区的建立有效地促进了试验区内企业绿色创新,这一结论在经过一系列稳健性检验之后依然成立。机制分析发现,人工智能试验区不仅能够通过提升企业社会信任度、增加政府环保补助和加强企业间的研发合作来优化企业绿色创新的外部环境,还能通过提高企业资源配置效率、提升不确定性感知程度和增加研发投入来改善企业内部经营状况,从而对企业绿色创新发展形成激励。异质性分析发现,当地区环境规制强度较低、行业市场竞争程度较高、企业规模较大以及企业管理层具有环保背景时,这一促进效应更为显著。此外,人工智能试验区对企业绿色创新的促进效果在数量和质量上都较为显著。文章回应了人工智能试验区的建立能否促进企业绿色创新这一重要问题,为我国加快人工智能与绿色创新的融合发展提供了经验证据和政策参考。

[关键词] 绿色创新;人工智能创新发展试验区;交叠DID

[中图分类号] F124, F273.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-6973(2024)06-0055-15

一、引言

随着我国现代化建设的不断推进和人民生活水平的不断提高,生态环境在人民生活幸福指数中的地位不断凸显。党的二十大报告指出,推动经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节。企业作为绿色生产力的提升者、绿色转型的实践者、环境法规的引领者,对促进经济发展方式的绿色转型和提升绿色技术创新水平具有不可或缺的推动作用。在这一背景下,人工智能技术作为绿色创新发展的重要支撑,正展现出其巨大的潜力和价值。2023年,我国人工智能核心

[收稿日期] 2024-09-20

[基金项目] 国家社会科学基金一般项目“基于文本大数据的政策效应评价的方法与应用研究”(20BTJ058)。

[作者简介] 高华川(1983—),男,河北唐山人,天津财经大学统计学院副教授,主要研究方向为计量经济学理论与应用、因果推断;王划璞(1998—),女,河南郑州人,天津财经大学统计学院硕士研究生,研究方向为政策评估;董珍(1978—),女,山东济南人,数量经济学博士,贵州大学数学与统计学院校聘副教授,研究方向为因果推断、政策评估。

产业规模显著扩大,达到了 5784 亿元,并以 13.9% 的增速持续攀升。同时,生成式人工智能的企业采纳率已提升至 15%,市场规模更是高达约 14.4 万亿元^①。这些数据充分展示了人工智能技术的迅猛发展和广泛应用,预示着其在不同行业中的融合将更加深入,为推动我国经济社会向绿色化、低碳化转型提供了强有力的技术保障。我国建立国家新一代人工智能创新发展试验区(以下简称人工智能试验区)的目的在于构建有利于人工智能发展的良好生态,促进科技、产业、金融集聚,产出一批重大原创科技成果,创新一批切实有效的政策工具,解决人工智能科技和产业化重大问题,探索智能社会建设新路径,实现可持续发展。因此,人工智能试验区的建立为企业绿色创新提供了新的机遇,加速企业向绿色低碳经济转型的步伐。人工智能与绿色创新的深度融合已成为一种不可逆转的趋势。那么,人工智能试验区的建立能否显著促进企业的绿色创新?人工智能试验区通过哪些作用渠道来影响绿色创新?人工智能试验区对企业绿色创新影响是否因地区、行业或企业特征的差异而有所不同?这些问题关乎人工智能试验区建立的有效性和试点政策的后续推进。

现有的研究未能对这些问题做出回答。一方面,大量文献聚焦于人工智能的实施障碍、决策、运营、商业模式^[1]以及更广泛的实现目标上。在创新领域,既有文献主要关注如何赋能并加速数字创新^[2]、推动产品与服务创新^[3]、促进负责任创新实践^[4],但对于数字技术与绿色创新之间的联系在很大程度上尚未得到探索。此外,许多学者从宏观层面出发,研究了人工智能如何影响区域经济增长^[5],这对于我国经济发展起到了积极的推动作用。但是,“绿水青山就是金山银山”的理念强调环境保护也是一种重要的经济发展方式。因此,有必要进一步探索人工智能在绿色创新中的作用,以实现经济发展与环境保护的双赢目标。另一方面,关于绿色创新影响因素的探讨,现有研究主要围绕环境污染问题展开,如雾霾污染的治理需求^[6-7]、环境规制政策的有效性^[8-9]以及环境信息的透明度提升^[10]。这些研究强调外部环境压力和内部资源管理对绿色创新行为的双重驱动作用,未考虑数字智能技术对绿色创新的提升。尤为值得关注的是,近年来一些前沿研究开始触及智能制造^[11]和工业机器人应用^[12]与绿色创新之间的潜在联系,揭示人工智能技术在提升生产效率、优化资源配置、减少环境污染等方面的巨大潜力。然而,尽管这些研究触及了人工智能技术在绿色转型中的重要作用,但它们往往侧重于具体技术应用的案例分析,缺乏对人工智能作为核心驱动力在企业绿色创新过程中系统性影响方面的深入探讨。

鉴于此,本文从微观层面出发,系统分析了人工智能试验区对企业绿色创新的影响,不仅从企业绿色创新的外部环境和内部经营状况两个维度深入研究了传导机制,还探讨了不同地区、行业以及企业特征的异质性分析。基于这些分析,本文提出了针对性的建议,以促进更广泛意义上的绿色发展,对利用数字技术促进可持续发展的理论研究和政策实践具有重要意义。

本文基于 2014—2022 年我国 A 股上市公司数据,考察了于 2019 年、2020 年和 2021 年分批建立的人工智能试验区对企业绿色创新的影响。研究发现:(1)人工智能试验区的建立显著地促进了试点地区内企业的绿色创新,且对绿色创新数量和绿色创新质量都有提升作用;(2)人工智能试验区通过优化企业绿色创新外部环境和改善内部经营状况促进企业绿色创新;(3)当地区环境规制强度较低、行业市场竞争程度较高、企业规模较大以及企业管理层具有环保背景时,这一提升效应更为明显。本文的边际贡献主要体现在以下三个方面:(1)理论研究上,本文创新性讨论了人工智能

① 数据来源于 2024 年世界智能产业博览发布的《中国新一代人工智能科技产业发展报告 2024》。

试验区对企业绿色创新的促进效果,不仅回应了建立人工智能试验区能否促进企业绿色创新这一重要问题,而且为稳步推进人工智能试验区的建立和发展提供了实证支持和政策建议;(2)研究视角上,从企业绿色创新外部环境和内部经营状况两个视角,探究了人工智能试验区促进企业绿色创新的微观作用机制,明确了智能驱动影响企业绿色创新的理论逻辑和实际表现,丰富了人工智能试验区的相关研究;(3)研究内容上,基于地区、行业、企业三个层面来展开异质性分析,发现人工智能试验区对企业绿色创新的影响因环境规制强度、市场竞争强度、企业规模以及企业管理者是否具有环保背景而存在差异,这为人工智能试验区进行特色化与差异化探索提供了理论依据。

二、政策背景与理论假说

(一)政策背景

近年来,我国高度重视人工智能的发展应用,相继发布了一系列重要文件。为深入贯彻习近平总书记关于人工智能的系列重要指示精神,有效执行《国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知》的部署要求,确保人工智能试验区建立的有序推进,科技部制定了《国家新一代人工智能创新发展试验区建立工作指引》。自2019年起,上海和北京率先建立人工智能试验区,随后深圳、杭州、天津、合肥及德清等地也相继加入。2020年,成都、重庆、济南、西安、武汉、广州6市也建立了试验区。在此基础上,2021年科技部发布修订版工作指引,苏州、长沙、沈阳、哈尔滨、郑州5市亦成为试验区成员。截至2022年8月,全国共有18个城市和地区获批建立人工智能试验区,各地因地制宜,利用区域资源优势和产业集聚效应,提升产业核心竞争力,推动试验区高质量发展,构建人工智能发展的健康生态,树立新一代人工智能创新发展的标杆。

综合来看,人工智能试验区的建立不仅为企业提供了丰富的创新资源和平台,还通过政策引导和市场激励促进了人工智能技术在绿色创新领域的应用和突破。试验区已经成为探索人工智能与绿色创新深度融合的重要阵地,为构建绿色低碳经济体系提供了有力支持。展望未来,随着技术的不断进步和政策的持续优化,人工智能与绿色创新的结合将更加紧密,有望推动形成高效、环保、可持续发展的生产和生活方式,为实现经济社会的绿色转型和高质量发展注入新的动能。

(二)理论假说

1. 人工智能试验区对企业绿色创新的影响

人工智能试验区的建立致力于推动人工智能技术与绿色创新及可持续发展的深度融合,通过技术创新实现能效的显著提升和资源的优化配置,进而推动低碳经济的转型与发展。一方面,试验区的建立往往伴随着政府的政策支持。通过制定鼓励性政策,政府能够激发企业在绿色技术研发、推广和应用方面的积极性,从而增强企业研发投入力度和创新动力,促进绿色创新的快速发展。另一方面,人工智能技术在基础设施优化和数据处理方面发挥着重要作用。人工智能可以高效处理和分析大规模数据,帮助企业深入理解环境影响和资源利用状况。这为企业的绿色创新提供了坚实的数据支撑和科学的决策依据,提升了企业在绿色技术领域的创新能力和效率。由此可以看出,人工智能试验区对企业绿色创新具有积极的综合影响,为企业绿色创新提供了有力支持,推动了绿色创新的快速发展。基于上述分析,本文提出假说H1:人工智能试验区的建立能够显著促进企业绿色创新。

2. 人工智能试验区推动企业绿色创新的作用机制

一方面,人工智能试验区可以通过提升社会信任度、增加政府环保补贴和促进研发合作三种途

径来优化企业绿色创新的外部环境。具体而言,其一,社会信任作为一种隐性的非正式制度,对于推动企业参与市场竞争、开展技术创新具有重要的现实意义。通过试验区的建立,企业可以在政策法规、管理规范和技术标准等方面发挥先行先试作用,形成更加完备的政策体系,从而提升社会信任度。当社会信任水平较高时,企业会遵循“信任忠诚”逻辑提高企业绿色创新水平^[13]。其二,政府的环保补贴是缓解企业资金压力和激发创新活力的关键举措,其不仅为企业绿色创新提供了资金支持,而且向市场传递了鼓励研发的积极信号,吸引更多投资者关注并支持这一领域。同时,随着人工智能试验区的建立,政策支持的增加能够进一步帮助企业降低市场风险,提升市场竞争力,推动技术进步和创新。其三,上市企业在进行绿色科技创新研发时,往往面临相对较高的研发风险,通过合作研发、引进先进技术以及加强创新知识的共享与交流,企业可以显著减少绿色科技创新活动中的不确定性,从而降低创新风险^[14]。人工智能试验区为企业间的协同创新搭建了桥梁,提供了一个优质的平台,使得企业能够共享资源以加速研发进程,极大地提升了研发效率。

另一方面,人工智能试验区还可以通过改善内部经营状况对企业绿色创新能力产生积极影响,具体表现为提高企业资源配置效率、提升企业不确定性感知程度以及加强企业研发投入。其一,人工智能试验区通过汇聚与整合优质的资源,为企业铺设了一条更为高效的资源配置之路。企业凭借人工智能试验区的优势更精准地洞察市场需求,快速响应市场变化,从而极大地提高了人力和资本资源的利用效率。同时,资源配置效率的提升,有助于企业降低生产和运营的成本,节省的成本能够重新投入研发和推广绿色技术。其二,企业在进行技术层面革新的同时往往也伴随着风险和不确定性。因此,在这一过程中,企业可能会面临收益与风险的双重挑战。面对外部环境不确定性的增加,企业会采取预防性措施,通过采用数字化和智能化的生产及管理模式,以减少不确定性和成本^[15]。此外,人工智能试验区通过提供政策支持和指导,帮助企业提升对政策不确定性的感知能力,提前预判风险,制定并实施合理的预防措施。其三,人工智能试验区的建立为企业提供了一个促进研发投入和技术创新的有利环境。试验区往往会设定技术研发的方向,鼓励企业从事绿色、环保、节能等方面的技术创新,以促进可持续发展。随着市场对绿色产品和技术需求的不断增长,企业通过增加研发投入,能够更快地开发出满足市场需求的创新产品,从而在竞争中获得优势。基于以上分析,本文提出假说 H2:人工智能试验区不仅通过提升社会信任度、增加政府环保补贴和加强研发合作来优化企业绿色创新的外部环境,还通过提高企业资源配置效率、提升不确定性感知程度和增加研发投入来改善内部经营状况,从而提升企业绿色创新能力。

三、研究设计

(一)模型设定

交叠 DID(Staggered Difference-in-Differences)要求数据为多期面板数据,控制组个体在所有时期均未受到政策干预,处理组个体开始受到政策干预的时间不完全相同,并且不允许政策退出。因此,交叠 DID 尤其适用于试点类政策在不同地区或行业等分批推出的情况。鉴于人工智能试验区分别于 2019 年、2020 年、2021 年分批建立,本文采用交叠 DID 来考察人工智能试验区的建立对企业绿色创新的影响。具体模型设定如下:

$$Patent_{it} = \alpha + \beta AI_{it} + \gamma X_{it} + \varphi_i + \delta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, i 代表企业; t 代表年份;被解释变量 $Patent_{it}$ 代表企业 i 在 t 年的绿色创新;核心解释变量

AI_{it} 表示企业 i 所在城市在 t 年是否建立人工智能试验区,若企业 i 所在城市在 t 年建立了试验区,则取值为 1,否则为 0; X_{it} 表示控制变量,包括企业和城市两个层面; φ_i 和 δ_t 分别是企业和年份固定效应。

(二)变量说明

1. 被解释变量

被解释变量为企业绿色创新(Patent)。本文借鉴胡洁等的方法^[16],使用绿色专利授权数量来衡量上市企业绿色创新。专利授权数量不仅是技术创新成果的直接体现,同时也是衡量企业实质性绿色创新水平的重要标准。相较于绿色专利申请量,经授权的绿色专利往往具备更高的质量和可靠性,因此选择绿色专利授权数量作为衡量企业绿色创新的指标。

2. 核心解释变量

人工智能试验区(AI)是本文的核心解释变量,用于表示企业 i 所在城市在 t 年是否建立人工智能试验区,若企业 i 所在城市在 t 年建立了试验区,则取值为 1,否则为 0。考虑到 2019 年 11 月在德清县建立的首个县域试验区无法获取上市公司数据,因此未将其纳入本文的研究范围。

3. 控制变量

借鉴李金昌等的研究思路^[17],本文选取了一系列可能影响企业绿色创新的企业层面控制变量和城市层面控制变量。本文选取的企业层面控制变量如下:(1)企业规模(Size),以年末总资产取自然对数衡量;(2)企业年龄(Age),以会计年度与企业成立年份之差的自然对数衡量;(3)企业产权性质(SOE),非国有企业取 0,国有企业取 1;(4)资产负债率(Lev),使用总负债与总资产的比值衡量;(5)员工人数(Employee),以员工人数的自然对数衡量。本文选取的城市层面的控制变量如下:(1)经济发展水平(pgdp),用人均 GDP 的自然对数表示;(2)财政支出(Gov),以地方财政一般预算内支出占地区 GDP 的比重表示;(3)科学技术水平(tech),用科学支出占地方财政一般预算内支出比重衡量。

(三)数据来源与描述性统计

本文以 2014—2022 年我国 A 股上市公司为研究对象。绿色专利授权数量(Patent)由国家知识产权专利数据库(SIOP)和世界知识产权组织(WIPO)的国际专利分类绿色清单匹配得到,其中包括发明专利和实用新型专利。上市公司基本特征数据来源于国泰安(CSMAR)数据库。城市控制变量来源于《中国城市统计年鉴》和地方统计局。本文按照以下三个步骤对原始数据进行处理:(1)剔除缺失数据严重的上市企业;(2)剔除金融业上市企业;(3)对连续变量进行双侧 1%的缩尾处理。最终得到 2418 家上市公司共 21762 个年度观测值。

表 1 描述性统计

变量	变量测度	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
Patent	绿色专利授权数量	21723	5.887	30.704	0	1154
AI	是否建立人工智能试验区	21762	0.179	0.384	0	1
SOE	产权性质	21179	0.411	0.492	0	1
Size	企业规模	21746	22.495	1.329	19.142	26.164
Lev	资产负债率	21746	0.451	0.208	0.050	0.945
Employee	员工人数的自然对数	21743	7.805	1.285	4.419	11.086
Age	企业年龄	21746	3.012	0.290	1.792	3.526
pgdp	经济发展水平	21399	11.485	0.480	9.227	12.456
Gov	财政支出	21250	0.163	0.077	0.044	2.060
tech	科学技术水平	21432	0.042	0.027	0.001	0.178

四、实证结果与分析

(一)基准回归

表2汇报了企业绿色创新对人工智能试验区的基准回归结果。其中,列(1)为仅考虑加入固定效应时的估计结果;列(2)为加入企业层面控制变量时的估计结果;列(3)在加入企业层面控制变量的基础上进一步加入城市层面控制变量。由表2可以看出,核心解释变量 AI_{it} 的系数均在1%水平上显著为正,表明人工智能试验区的建立显著促进企业绿色创新。基于此,假说 H1 得证。

表2 基准回归结果

变量	(1) <i>Patent</i>	(2) <i>Patent</i>	(3) <i>Patent</i>
<i>AI</i>	2.318*** (0.812)	2.494*** (0.793)	2.413*** (0.794)
企业控制变量	否	是	是
城市控制变量	否	否	是
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
观测值	21723	21132	20611
R^2 值	0.761	0.768	0.768

注:***、**、* 分别代表1%、5%、10%的显著性水平,括号中的数值为企业层面的聚类稳健标准误。以下各表同

(二)稳健性检验

1. 平行趋势检验

交叠 DID 的关键识别条件是平行趋势假定,即如果没有建立人工智能试验区,处理组和控制组的企业绿色创新应该存在相同的变化趋势。本文使用事件研究法进行平行趋势检验,具体设定如下:

$$Patent_{it} = \alpha + \sum_{l=-4}^3 \beta_l D_{it}^l + \gamma' X_{it} + \varphi_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中, l 为事件研究法的相对时间, D_{it}^l 表示相对时间为 l 的虚拟变量,其余各变量的符号含义与式(1)中的符号含义相同。关键系数为 β_l , 其反映了试验区建立前后的动态处理效应。

平行趋势检验结果如图1所示,建立人工智能试验区之前各期系数估计值均不显著,说明在试验区建立之前,试验区和非试验区企业绿色创新发展并无显著差异,而政策实施之后,试验区企业绿色创新显著高于非试验区企业,表明通过了平行趋势检验。

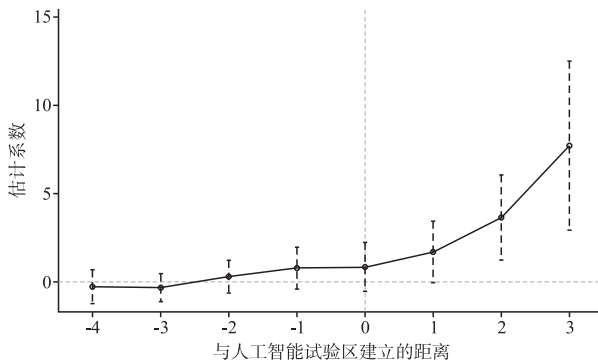


图1 交叠 DID 模型的平行趋势检验

2. 安慰剂检验

为了进一步考察人工智能试验区对企业绿色创新的影响在多大程度上受到随机因素的干扰,

本文采用了山东大学陈强教授等提出的安慰剂检验方法^①。首先,从样本中无放回地随机抽取若干企业作为“伪处理个体”进行 DID 估计,如此重复 1000 次即可得到安慰剂效应的经验分布。然后,由真实处理效应估计值在安慰剂效应的经验分布中所处的位置得到经验 p 值。图 2 展示了安慰剂检验结果,其中的直方图和核密度曲线均代表安慰剂效应的经验分布,右侧实线为真实处理效应的估计值,其右边经验 p 值为零,表明通过了安慰剂检验。

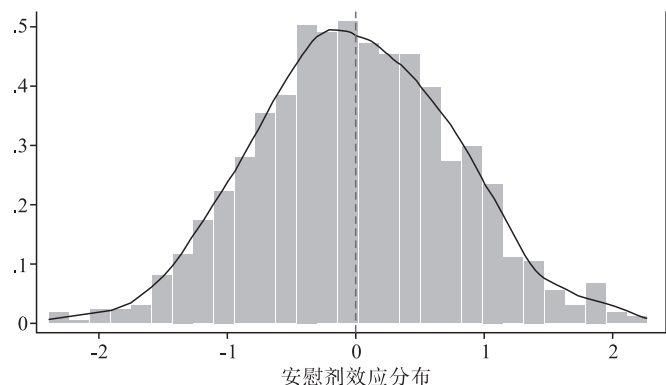


图 2 安慰剂检验

3. DID 处理效应异质性与估计

De'Chaisemartin 和 D'Haultfoeulle^[18]以及 Goodman-Bacon^[19]的研究表明,交叠 DID 可能会存在组间或者不同时点处理效应的异质性,这可能会导致基于双向固定效应模型(TWFE)得到的系数估计值受到负权重的影响,进而影响回归结果的稳健性。本文参考 Goodman-Bacon 的研究^[20],利用培根分解,将 TWFE 的 DID 估计量分解为三组,并计算各组的系数值和权重。如表 3 所示,TWFE 估计量最终平均处理效应为 2.351。从分解结果可以进一步看出,“晚期建立人工智能试验区的企业(处理组)VS 早期建立人工智能试验区的企业(控制组)”这一类“坏的控制组”的 2×2DID 估计量所占权重仅为 3.4%,占比很小,说明本文采用 TWFE 估计量不存在严重偏误。

表 3 培根分解权重表

TWFE 估计量	2.351	
“2×2”DID 的分组类型	权重	平均 DID 估计量
早处理组(处理组)VS 晚处理组(控制组)	0.074	1.214
晚处理组(处理组)VS 早处理组(控制组)	0.034	-3.867
处理组(处理组)VS 从未处理组(控制组)	0.892	2.686

本文进一步分别采用组别—时期平均处理效应^[20]、插补估计量^[21]和堆叠回归估计量^[22]三类异质性稳健估计量重新进行回归。估计结果如表 4 所示,与基准回归一致。

表 4 异质性处理效应下的稳健估计量

估计方法	估计结果
组别—时期平均处理效应	2.036*
(Callaway 和 Sant'Anna,2021)	(1.189)

^① Chen Q, Qi J, Yan G. Didplacebo: Stata module for in-time, in-space and mixed placebo tests for estimating difference-in-differences (DID) models. 2023. <https://econpapers.repec.org/software/bocbocode/s459225.htm>.

估计方法	估计结果
插补估计量 (Borusyak 等, 2024)	2.792*** (0.925)
堆叠回归估计量 (Cengiz 等, 2019)	2.515*** (0.797)

4. 其他稳健性检验

本文继续进行了其他四种稳健性检验,以验证基准回归结果的可靠性和稳健性。

(1)替换被解释变量测度方法。本文重新构建企业绿色创新指标并依次回归。具体而言,本文参考了方先明和那晋领的方法^[23],选取了当年独立申请的绿色专利数量(*GreInitot*)和当年独立授权的绿色专利数量(*Greacquire*)替换被解释变量重新进行回归,回归结果如表5所示。由表5的回归结果可知,在两组回归中,核心解释变量的回归系数均显著为正,表明前文的回归结果依然稳健。

表5 稳健性检验:替换被解释变量测度方法

变量	(1) <i>GreInitot</i>	(2) <i>Greacquire</i>
<i>AI</i>	2.214*** (0.747)	2.075*** (0.611)
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
观测值	20611	20611
R^2 值	0.786	0.752

(2)排除其他政策的干扰。在本文的考察期内,《中华人民共和国环境保护法》、绿色金融改革创新试验区试点政策、国家级大数据综合试验区试点政策、创新型城市试点政策均与本文密切相关。为了排除2015年出台的环境保护法的干扰,将2015年之前的样本剔除后重新进行回归。对于其他三个试点政策,在基准回归模型中分别加入了它们的虚拟变量。具体来说,如果企业*i*所在城市在*t*年实施这些政策,则对应的虚拟变量赋值为1,否则为0。回归结果如表6列(1)至列(4)所示,核心解释变量系数仍在1%的水平上显著为正且估计结果与基准回归结果相似,表明在排除相关政策影响后,核心结果依旧稳健。

表6 稳健性检验:排除其他政策的干扰

变量	环境保护法 (1)	绿色金融改革创新试验区 (2)	大数据综合试验区 (3)	创新型城市试点政策 (4)
<i>AI</i>	2.065*** (0.720)	2.400*** (0.790)	2.127*** (0.706)	2.412*** (0.797)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	18318	20611	20611	20611
R^2 值	0.780	0.768	0.768	0.768

(3)PSM-DID。本文应用PSM-DID验证基准回归结果的稳健性。首先,使用Logit回归模型估计每个企业的倾向得分。其次,根据倾向得分匹配方法,选择与处理组企业倾向得分最相似的

控制组企业进行配对。这种方法有助于减少不同企业间在绿色创新能力上的系统性差异,从而更准确地评估人工智能试验区政策的影响。最后,采用最近邻匹配、半径匹配和核密度匹配估计方法来验证结果的可靠性。结果如表7所示,核心解释变量 AI_{it} 的系数估计值均在1%的水平上显著为正,进一步证实了上述研究结论的稳健性。

表7 稳健性检验:PSM-DID

变量	PSM-DID		
	(1) 最近邻匹配	(2) 半径匹配	(3) 核密度匹配
AI	2.413*** (0.794)	2.413*** (0.794)	2.413*** (0.794)
控制变量	是	是	是
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
观测值	20611	20609	20611
R^2 值	0.768	0.768	0.768

(4)改变聚类层级。考虑到同一行业内或同一省份内的企业在绿色创新上可能表现出相似性,以及不同行业或省份间企业在绿色创新上可能存在差异,故本文分别使用省份层面和行业层面的聚类稳健标准误重新进行回归。回归结果如表8列(1)和列(2)所示,可以看出即使改变聚类层级,核心解释变量的回归系数依然显著为正。

表8 稳健性检验:改变聚类层级

变量	(1)	(2)
	省份	行业
AI	2.413* (1.243)	2.413* (1.269)
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
观测值	20611	20611
R^2 值	0.768	0.768

五、进一步分析

(一)机制分析

结合表2的基本回归结果以及参考江艇的研究^[24],本文从企业外部和内部两个角度进行了中介效应分析。

1. 优化企业绿色创新外部环境

人工智能试验区的建立可能对企业的外部环境造成一定的影响,进而间接影响企业绿色创新表现。本文从社会信任、政府环保补助、研发合作三方面进行验证。首先,利用张维迎和柯荣住的信任调查数据^[25]作为本文社会信任的衡量指标。其次,本文借鉴程博和方瑜茜的方法^[26],使用企业当年收到政府环保补贴金额占企业总资产的比例来衡量政府环保补助(GreGovAm),该比重越大,说明政府对企业的环保补助越多。最后,人工智能试验区可以促进企业之间的研发合作和资源共享,借鉴张治锋的中介路径检验^[27],本文采用上市公司联合申请绿色专利总数(GreInjtot)来

衡量研发合作。

表9列(1)至列(3)依次展示了试验区的建立对社会信任、政府环保补助、研发合作三个机制变量的影响。从结果可以看出,核心解释变量的回归系数均显著为正,表明人工智能试验区通过提升企业社会信任度、增加政府环保补助和加强企业间的研发合作来促进企业绿色创新。

2. 改善企业的内部经营状况

本文从企业的资源配置效率、不确定性感知程度以及研发投入三个途径来验证人工智能试验区对企业内部经营状况产生的影响,以及对企业绿色创新的影响。具体方法如下:本文借鉴 Richardson 的度量方法^[28],用残差绝对值来衡量企业资源配置效率(ineff),该数值越大代表企业资源配置效率越差;借鉴何超等的研究方法^[29],统计每个上市公司年报中 MD&A 部分不确定性相关词汇的出现频率,以此来衡量企业不确定性感知程度(Uwordnl);研发投入(RD)则用研发投入金额表示。

表9列(4)至列(6)依次展示了人工智能试验区对企业资源配置效率、不确定性感知程度和研发投入三个机制变量的影响。其中,企业资源配置效率的回归系数显著为负,不确定性感知程度和研发投入的回归系数显著为正,这进一步说明人工智能试验区通过提高企业资源配置效率、提升企业不确定性感知程度和增加研发投入来促进企业绿色创新发展这一机制存在。

以上分析结果验证了人工智能试验区通过优化绿色创新外部环境和改善企业内部经营状况来促进企业绿色创新,支持了假说 H2。

表9 机制分析

变量	外部绿色创新环境			内部经营状况		
	(1) trust3	(2) GreGovAm	(3) GreInjtot	(4) ineff	(5) Uwordnl	(6) RD
AI	0.018*** (0.007)	0.002* (0.001)	0.179* (0.101)	-0.006** (0.003)	0.006* (0.003)	1.810*** (0.446)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	20650	20650	20611	20279	20460	17849
R ² 值	0.986	0.467	0.728	0.640	0.507	0.824

(二)异质性分析

为了进一步分析人工智能试验区对企业绿色创新的异质性影响,本部分将从地区、行业和企业三方面展开异质性分析。

1. 地区层面异质性分析

环境规制强度。为了探究地区环境规制强度的异质性如何影响人工智能试验区的建立对企业绿色创新的作用效果,本文参考陈诗一和陈登科的方法^[30],借助 Python 软件对政府工作报告进行分词处理,分别统计了省级政府工作报告中与环境规制相关的关键词的词频,根据其中位数将企业样本分为高环境规制组和低环境规制组。回归结果如表10的列(1)和列(2)所示,环境规制强度较低的地区企业的系数显著为正,进一步结合组间系数检验可以得出,人工智能试验区对环境规制强度较低的地区企业绿色创新的促进作用更为明显。波特假说指出,适当的环境规制可以刺激企业

进行技术创新。因此,在环境规制较高的地区,企业早已在较强的环境规制力度下采取了多种绿色创新行为,其绿色创新水平较高;在环境规制较低的地区,企业面临的环保压力相对较小,可能缺乏足够的内在动力去主动进行绿色创新,导致其绿色创新水平较低。当企业已经处于较高的绿色创新水平时,政策冲击产生的边际效应较小,而在环境规制较低的地区,相同的政策冲击可能会产生更大的边际效应。

2. 行业层面异质性分析

市场竞争程度。创新是推动企业不断前进的内在驱动力,而提升创新能力已成为企业在竞争激烈的市场中站稳脚跟、实现长远发展的关键要素^[31]。人工智能无疑会对整个市场的竞争程度产生巨大影响,而这种市场环境效应也必然深刻影响企业绿色创新决策。因此,本文基于勒纳指数(Lerner)衡量行业层面的市场竞争程度,勒纳指数越小,表明行业竞争度越大,并根据其中位数将样本划分为高、低两组。从表10的列(3)和列(4)可以看出,市场竞争程度通过了组间系数检验,人工智能试验区对市场竞争程度较高行业的企业绿色创新促进效果更为显著。这主要有以下两方面的原因:一方面,人工智能技术具有高度的开放性和共享性,能够促进知识在不同企业间的快速传播和应用,在竞争激烈的行业中,企业更倾向于通过合作和知识共享来提升自身的创新能力,以应对市场压力;另一方面,市场竞争程度较高的行业产品具有更新换代快、技术创新需求大、消费者对品质和服务的要求高等特点,在这样的环境下,企业需要不断寻求技术创新,提高产品质量和降低生产成本,以应对激烈的市场竞争。

3. 企业层面异质性分析

企业规模。为了更全面地理解不同规模的上市公司在面对政策变化时的行为差异,本文采用企业总资产来衡量企业规模,并根据其均值将样本划分为大规模和小规模企业,进一步探讨人工智能试验区对不同规模企业的绿色创新效应。回归结果如表10的列(5)和列(6)所示,在大规模企业中,核心解释变量的系数在5%的水平上显著为正,而在小规模企业中则不显著,且组间系数差异检验显示两组系数存在显著差异,这表明人工智能试验区对大规模企业的绿色创新促进作用更为明显。原因在于规模越大的企业具有更成熟的技术研发体系和更完善的管理体系,这有助于它们更有效地吸收和整合人工智能试验区提供的新技术和新方法。此外,绿色创新通常伴随着较高的不确定性和风险,规模较大的企业通常具有更强的风险管理能力,能够承受绿色创新过程中可能遇到的失败和损失,从而推动绿色创新活动的快速发展。

表10 异质性分析结果

变量	环境规制强度		市场竞争程度		企业规模		管理层环保背景	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	高	低	高	低	大	小	是	否
AI	0.779 (0.702)	4.275*** (1.191)	6.350*** (2.194)	1.045 (0.680)	3.419** (1.499)	0.198 (0.176)	5.685** (2.837)	1.756** (0.761)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
观测值	13022	7488	9066	10634	9331	11096	1887	17889
R ² 值	0.801	0.830	0.782	0.810	0.778	0.616	0.812	0.792
组间系数检验	经验 P 值=0.000		经验 P 值=0.000		经验 P 值=0.002		经验 P 值=0.046	

管理层环保背景。为进一步探讨管理层是否具有环保背景这一企业特征异质性如何影响人工智能试验区对企业绿色创新的作用效果,本文参考王辉等的方法^[32],查询管理层个人简历信息,若存在环保关键词即认定其具有环保背景。由表10列(7)列(8)的回归结果可知,不论管理层是否具有环保背景,核心解释变量的系数均显著为正。进一步结合组间系数检验可知,人工智能试验区对管理层具有环保背景的企业的绿色创新促进作用更明显。由此表明,当管理层具有环保背景时,更认同和支持环保创新,倾向于将环保理念融入企业的战略规划发展中,人工智能试验区提供的环保政策和资源也更容易获得这些管理层的认可和支持,从而将资源投入到绿色技术和可持续发展项目中,以推动企业实现环保目标。

(三)创新专利异质性分析

人工智能作为一种强大的支撑技术,在生产过程中通过提升绿色生产效率、优化资源配置、降低能源消耗和碳排放来发挥作用,进而激发企业的绿色技术创新能力。因此,人工智能试验区对企业绿色创新的促进效果应当是全面的,既涵盖了数量上的增加,也包括质量上的提升。目前,人工智能试验区对企业绿色创新的促进效果,尤其是其对创新数量的增加和创新质量的提升,仍需进一步深入研究。

本文借鉴王馨和王营的方法^[33],将绿色发明专利授权数量和绿色实用新型专利授权数量加总得到绿色创新总量,用绿色实用新型专利授权数量(*Uma*)来衡量绿色创新数量,用绿色发明专利授权数量(*Inven*)来衡量绿色创新质量,再分别用绿色实用新型专利授权数量和绿色发明专利授权数量来替换式(1)的被解释变量进行回归,结果如表11列(1)和列(2)所示。由结果可知,核心解释变量的系数均显著为正,表明人工智能试验区对企业绿色创新的促进效果在数量和质量上都较为明显,进一步验证了人工智能试验区在激发企业绿色创新方面的贡献,在保证绿色创新数量增加的同时,也实现了绿色创新质量的显著提升。

表11 专利异质性分析

变量	(1) <i>Inven</i>	(2) <i>Uma</i>
<i>AI</i>	0.852* (0.449)	1.561*** (0.544)
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
观测值	20611	20611
<i>R</i> ² 值	0.773	0.688

六、研究结论与政策建议

(一)研究结论

当今经济的快速发展使得资源枯竭与生态破坏等环境挑战日益凸显,绿色发展成为时代热点。绿色创新位于创新驱动战略与可持续发展理念的交汇点上,因此如何促进企业绿色创新,提高绿色创新数量和质量,推动社会可持续发展成为重要课题。本文从人工智能角度切入,考察了人工智能试验区政策对企业绿色创新的影响。具体而言,本文借助国家新一代人工智能创新发展试验区这

一准自然实验,利用2014—2022年我国A股上市公司数据,在企业层面细致地考察了人工智能试验区的建立对企业绿色创新的影响。研究发现,人工智能试验区的建立显著促进了试点地区内企业绿色创新,不但有效增加了企业绿色创新数量,还提升了企业绿色创新质量。机制分析发现,从外部来看,人工智能试验区通过提升企业社会信任度、增加政府环保补助和加强企业间的研发合作来推动企业绿色创新;从内部来看,人工智能试验区通过提高企业资源配置效率,提升企业不确定性感知程度和增加研发投入来促进企业绿色创新发展。异质性分析发现,人工智能试验区的建立对企业绿色创新推动效果在地区环境规制强度较低、行业市场竞争强度较高、企业规模较大以及管理层具有环保背景时更为显著。

(二)政策启示

基于上述研究结论,本文的政策启示如下:

第一,稳步推进人工智能试验区试点扩增,全面提升企业绿色创新。特别是在那些已经建立起完善的人工智能基础设施并拥有良好产业环境的城市,尽管尚未被正式纳入试验区布局,但它们在人工智能领域的发展潜力巨大。一方面,企业通过深入借鉴先行试验区的宝贵经验,逐步构建出一套高效可行的绿色创新模式,为人工智能试验区未来的扩展和品质提升提供有价值的参考。另一方面,为避免政策或技术频繁变动带来的不利影响,应当首先确保绿色创新的数量稳步增长,同时深入研究和追求绿色创新的质量,以确保人工智能试验区能够富有成效地持续推进。

第二,政企协同合作,优化人工智能试验区的政策框架和支持措施,实现经济与环境的双重效益。一方面,通过透明公开的信息披露和严格的监管,增强公众对人工智能试验区建立和企业绿色创新的信任。政府应加大金融支持力度,设立绿色创新专项基金和优化贷款政策,积极推动人工智能试验区内的产学研合作,鼓励高校、科研机构与企业开展深度合作,共同研发绿色创新技术,加速科技成果的转化和应用。另一方面,企业应优化内部管理流程,利用人工智能技术,实现对企业运营全过程的精准控制。同时,利用试验区搭建研发合作平台,吸引高端人才聚集,并加强对人才的培训,提高其创新能力和素质,为企业绿色创新提供坚实的人才保障。此外,企业应提升对外部环境 and 市场变化的敏感度,建立完善的风险评估机制,对潜在风险进行量化分析,及时捕捉新的创新机会,把握政策机遇,加强自身研发能力,积极参与到绿色创新的实践中。

第三,在人工智能试验区稳步建立过程中,需充分考虑政策影响的异质性,开展特色化和差异化的绿色创新实践。鉴于地区、行业和企业性质的不同,人工智能试验区政策对企业绿色创新的影响也会有所差异。首先,针对地区差异,对于环境规制强度较高的地区,应持续强化监管力度,确保政策的有效执行。着重提升环境规制强度较低地区的企业对绿色创新重要性的认识,加强绿色创新的宣传和教育,制定优惠政策,鼓励企业将绿色创新纳入长期发展战略。其次,在行业层面,针对市场竞争激烈的行业,应发挥行业领军企业的引领作用,分享绿色创新经验和成果,建立行业绿色创新交流平台,加快企业间绿色创新技术和信息的流通。同时也需加强行业监管,防止不良竞争阻碍绿色创新。最后,小规模企业应首先认识到风险管理在绿色创新中的重要性,应与其他大型企业或研究机构建立合作关系,共同分担绿色创新的风险,采取分阶段、小步快跑的策略,以降低整体风险,进而取得绿色创新领域的突破性进展。针对管理层具备环保背景的企业,应充分利用其优势,将环保理念贯穿于企业管理和决策之中,加强环保宣传和培训教育,增强整个团队的环保意识,共同推动企业绿色创新性发展。

[参 考 文 献]

- [1] Sjödin D, Parida V, Palmié M, et al. How AI capabilities enable business model innovation: Scaling AI through co-evolutionary processes and feedback loops[J]. *Journal of Business Research*, 2021:574—587.
- [2] 王繁,刘永强,周天华.人工智能引领高等教育数字化创新发展[J]. *中国高等教育*, 2024(Z1):9—12.
- [3] Naeem R, Kohtamäki M, Parida V. Artificial intelligence enabled product-service innovation: Past achievements and future directions[J]. *Review of Managerial Science*, 2024: 1—44.
- [4] 费艳颖,刘彩薇.负责任创新视角下央地人工智能政策异质性研究[J]. *中国科技论坛*, 2021(11):40—50.
- [5] 韩永辉,刘洋,王贤彬.人工智能对区域经济增长的异质性影响与机制识别——基于中国“机器换人”的实证检验[J]. *学术研究*, 2023(02):97—104.
- [6] 韦东明,顾乃华,刘育杰.雾霾治理、地方政府行为和绿色经济高质量发展——来自中国县域的证据[J]. *经济科学*, 2022(04):64—77.
- [7] 李子豪,白婷婷.政府环保支出、绿色技术创新与雾霾污染[J]. *科研管理*, 2021,42(02):52—63.
- [8] 郭俊杰,方颖,郭晔.环境规制、短期失败容忍与企业绿色创新——来自绿色信贷政策实践的的证据[J]. *经济研究*, 2024,59(03):112—129.
- [9] 杨嵘,许晶晶,于枫敏,等.产业转移对高技术产业绿色创新效率的影响——基于环境规制的调节作用[J]. *创新科技*, 2021,21(12):60—68.
- [10] 王莹,冯佳浩.政府环境信息公开的绿色创新效应研究[J]. *科研管理*, 2023,44(06):117—125.
- [11] 王贤彬,林彩斌.智能制造、技术整合与绿色技术创新[J]. *环境经济研究*, 2023,8(04):1—23.
- [12] 聂飞,胡华璐,李磊.工业机器人何以促进绿色生产?——来自中国微观企业的证据[J]. *产业经济研究*, 2022(04):1—14.
- [13] 尹建华,双琦.“忠诚”还是“利用”:社会信任对企业绿色创新水平的影响研究[J]. *研究与发展管理*, 2022, 34(04):38—50.
- [14] 马艳艳,刘凤朝,姜滨滨,等.企业跨组织研发合作广度和深度对创新绩效的影响——基于中国工业企业数据的实证[J]. *科研管理*, 2014,35(06):33—40.
- [15] 杜传忠,曹效喜,刘书彤.人工智能与高新技术企业竞争力:机制与效应[J]. *商业经济与管理*, 2024(02):30—49.
- [16] 胡洁,于宪荣,韩一鸣.ESG评级能否促进企业绿色转型?——基于多时点双重差分法的验证[J]. *数量经济技术经济研究*, 2023,40(07):90—111.
- [17] 李金昌,连港慧,徐蔼婷.“双碳”愿景下企业绿色转型的破局之道——数字化驱动绿色化的实证研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2023,40(09):27—49.
- [18] De' Chaisemartin C, D' Haultfoeuille X. Two-way fixed effects estimators with heterogeneous treatment effects[J]. *American Economic Review*, 2020, 110(9): 2964—2996.
- [19] Goodman-Bacon A. Difference-in-differences with variation in treatment timing[J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 254—277.
- [20] Callaway B, Sant' Anna P H C. Difference-in-differences with multiple time periods[J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 200—230.
- [21] Borusyak K, Jaravel X, Spiess J. Revisiting event-study designs: Robust and efficient estimation[J]. *Review of Economic Studies*, 2024: rdae007.
- [22] Cengiz D, Dube A, Lindner A, et. al. The effect of minimum wages on low-wage jobs[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2019, 134(3): 1405—1454.
- [23] 方先明,那晋领.创业板上市公司绿色创新溢酬研究[J]. *经济研究*, 2020,55(10):106—123.
- [24] 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. *中国工业经济*, 2022(05):100—120.
- [25] 张维迎,柯荣住.信任及其解释:来自中国的跨省调查分析[J]. *经济研究*, 2002(10):59—70.
- [26] 程博,方瑜茜.环境规制“组合拳”与环保补贴绩效[J]. *财会月刊*, 2021(22):28—37.
- [27] 张治锋.知识产权保护对企业绿色创新效率的影响[J]. *统计与决策*, 2023,39(23):184—188.

- [28] Richardson S. Over-investment of free cash flow[J]. Review of Accounting Studies, 2006,11 (2-3):159-189.
- [29] 何超,李延喜,徐润香.企业不确定性感知对创新决策的影响研究[J].管理学报,2023,20(04):543-557.
- [30] 陈诗一,陈登科.雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J].经济研究,2018,53(02):20-34.
- [31] 刘畅,张念明.增值税留抵退税对企业绿色技术创新的激励效应[J].中南财经政法大学学报,2024(03):57-69.
- [32] 王辉,林伟芬,谢锐.高管环保背景与绿色投资者进入[J].数量经济技术经济研究,2022,39(12):173-194.
- [33] 王馨,王莹.绿色信贷政策增进绿色创新研究[J].管理世界,2021,37(06):173-188.

(责任编辑:蒋萍)

Intelligent Driving and Enterprise Green Innovation: A Quasi-Natural Experiment Based on the National Artificial Intelligence Pilot Zone

GAO Hua-chuan¹, WANG Hua-pu¹, DONG Zhen²

(1. School of Statistics, Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222;

2. School of Mathematics and Statistics, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025)

Abstract: In the context of addressing global climate change and promoting high-quality economic development, whether the new generation of information technology, with artificial intelligence as the core, can drive comprehensive green transformation and achieve the "dual carbon" goals has become an important issue in national development strategy. This dissertation leverages the establishment of the National New Generation Artificial Intelligence Innovation and Development Pilot Zone as a quasi-natural experiment, using data from A-share listed companies from 2014 to 2022, and employing a staggered DID approach to evaluate the impact of the artificial intelligence pilot zone on the green innovation of enterprises and its underlying mechanism. The findings reveal that the establishment of the artificial intelligence pilot area has effectively fostered green innovation among enterprises in the pilot area, and this conclusion is still valid across a series of robustness checks. Mechanism analysis indicates that the artificial intelligence pilot zone can not only optimize the external environment for enterprise green innovation by enhancing corporate social trust, increasing government environmental protection subsidies, and strengthening R&D cooperation among enterprises, but also improve the internal operations by improving enterprise resource allocation efficiency, heightening uncertainty perception of enterprises and boosting R&D investment, so as to form incentives for enterprises to pursue green innovation and development. A heterogeneity analysis shows that this enhancement effect is more significant under specific conditions: regions with lower environmental regulation intensity, industries with higher market competition, larger enterprise, and enterprises led by management with an environmental protection background. In addition, the artificial intelligence pilot zone has been shown to significantly promote green innovation of enterprises in terms of both quantity and quality. This dissertation addresses the important question of whether establishing artificial intelligence pilot areas can promote green innovation of enterprises, and provides empirical evidence and policy reference to accelerate the integration and development of artificial intelligence and green innovation in China.

Key words: green innovation; artificial intelligence innovation and development pilot zone; staggered difference-in-differences