

人工智能对企业污染排放的影响效应研究

王 薇 梁 超

摘 要:在人工智能蓬勃发展的新阶段,企业应用人工智能有助于促进绿色高质量发展。以 2008—2021 年中国沪深 A 股上市公司为研究对象,检验人工智能对企业污染排放的影响。研究发现,企业采用人工智能可以显著减少企业的污染排放。在一系列稳健性检验下,上述结果保持不变。异质性分析表明,人工智能对东部地区企业、国有企业、劳动密集型企业、非技术密集型企业和大规模企业污染排放的抑制效应更为明显。机制分析表明,人工智能通过减少企业的劳动力雇佣和提高企业全要素生产率降低企业的污染排放。

关键词:人工智能;企业污染排放;绿色低碳;高质量发展

中图分类号:F49 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7543(2024)11-0072-12

加强环境保护和生态文明建设是中国承担大国责任、展现大国担当的重要体现。党的二十届三中全会指出,要“加快推进新型工业化,培育壮大先进制造业集群,推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”。人工智能可以在实时监测污染排放、精准治理污染和优化清洁生产模式等方面发挥重要作用,驱动工业生产流程向绿色化方向转型。因此,需要推动人工智能在工业生产中的运用以实现生产绿色化转型。然而,不可忽视的是,中国经济转型升级过程中仍然存在着部分行业智能化投入不足、企业生产管理效率低下等问题。本文探讨企业使用人工智能对其污染排放的影响,在微观层面可为企业减排降污、绿色转型提供新视角,在宏观层面可为破解经济发展与环境污染两难困境、打造绿色高质量发展新增长点提供新动能。

本文以 2008—2021 年中国沪深 A 股上市

公司为研究对象,匹配全国税收调查数据中的企业污染物排放等信息,考察人工智能的使用与企业污染排放之间的关系。本研究可能的边际贡献体现在以下方面:第一,本文建立多元回归模型实证检验了人工智能对企业污染排放的影响效应,研究发现人工智能可以有效降低企业的污染排放,而劳动力替代和全要素生产率提升是其有效机制。第二,在研究数据上,本文选取的样本为 2008—2021 年上市公司样本,且匹配了全国税收调查数据,将企业污染相关研究的时间范围延伸至 2021 年。第三,本文从企业微观层面考察人工智能的减排降污效应,为人工智能的相关经济社会影响提供了新的视角。

一、相关文献综述与研究假说的提出

(一)相关文献综述

与本研究相关的文献主要有两支。

基金项目:国家自然科学基金面上项目“中国基础教育资源的时空错配及其优化研究”(72374126);国家自然科学基金面上项目“减污降碳视角下长江经济带种养结合循环农业的生态经济效率:时空演进与提升策略”(42371306);山东省泰山学者工程资助项目(tsqn202306088)。

作者简介:王薇,华中农业大学科学技术发展研究院编辑,华中农业大学农业绿色低碳发展实验室研究员;梁超(通信作者),山东大学经济研究院研究员。

第一支文献侧重于讨论企业污染减排的影响因素。从国际贸易的视角来看,韩峰等发现数字化转型能够显著降低企业的污染排放水平^[1]。以中国加入世界贸易组织为外生冲击,陈登科研究发现贸易壁垒下降通过有偏技术进步来降低企业主要污染物的排放强度^[2]。Pei 等利用中国制造业企业数据,对比出口企业与非出口企业,发现与非出口企业相比,出口企业作出了更多的减排努力,总体更加清洁环保^[3]。在环境规制方面,现有文献针对环境规制能否发挥治理效应进行了大量的研究,但仍然存在分歧。部分文献发现环境规制能够发挥积极的治理效应。陈诗一等以工业污染企业为研究样本,通过双重差分法研究发现,当排污费提高时,企业污染水平显著下降,大型企业和中小型企业降低污染排放时所采取的路径有所不同^[4]。步晓宁等研究发现,政府实施节能采购政策显著抑制了企业污染排放,同时提高了企业产量和绿色全要素生产率^[5]。然而,部分文献则对环境规制的作用提出了质疑。梁平汉和高楠从“政企合谋”视角出发,发现地方政府和污染企业之间会通过合谋来降低环境规制政策的减排效应^[6]。韩超等研究发现,环境规制对企业减排行为的影响是非线性的,短期内环境规制的实施可以促进企业减排,但在规制政策实施末期减排激励有所松懈,即二者间存在 U 型关系^[7]。在技术创新方面,韩峰等以上市公司为研究样本,发现数字化转型通过绿色技术创新效应降低企业的污染排放水平,肯定了技术创新在减少污染排放和推动环境治理方面的积极作用^[1]。Chen 等借助于跨国数据,就技术创新与环境污染间的关系展开检验,发现一个国家的全球化水平越高,技术创新对减少污染排放的影响就越明显^[8]。申晨荣等则得出了相反的结论,认为数字技术创新会对企业污染减排产生显著负向影响,原因可能是创新能力不足、创新效率不高^[9]。此外,还有文献从对外投资^[10]、税收激励^[11]、产业集聚^[12]等角度出发,分

析其对企业污染排放的影响,并试图验证环境库兹涅茨曲线假说、污染避风港假说等。

第二支文献主要分析了人工智能发展带来的经济后果。作为新一代信息技术,人工智能是支撑新一轮科技革命和产业变革的通用技术之一,广泛应用于经济社会各部门,促使经济社会组织运行发生深刻变革。目前,相关研究主要聚焦于人工智能对经济增长和技术创新的积极作用,以及人工智能技术对劳动力市场的影响。基于经济增长视角,蔡跃洲等认为,新一代人工智能基于其渗透性、替代性、协同性和创新性等特征,通过要素替代、效率提升和知识创造等多条路径,促进了经济增长^[13]。杨光等^[14]、Graetz 等^[15]的研究也得到了类似的结论,均认为人工智能作为新兴的数字技术,能够产生显著的经济增长效应。基于技术创新视角,人工智能作为一种知识生产元技术,可以直接作用于科研创新流程。Rammer 等发现,人工智能技术已广泛应用于流程创新,为德国企业部门节省了约 6% 的年度总成本^[16]。Liu 等发现人工智能可以通过多种方式推动技术创新,如加大企业研发投入、促进企业人才队伍建设等^[17]。基于劳动力就业视角,近年来越来越多学者开始研究人工智能所带来的劳动力替代效应,并得到了较为一致的结论,即随着人工智能的不断发展,传统劳动力可能逐渐被机器所替代^[18-19]。从整体上看,Xie 等发现人工智能降低了中国所有地区对技能劳动力的需求,只在东部地区增加了对高技能劳动力的需求^[20]。孔高文等发现人工智能发展明显降低了中国劳动力市场的就业水平^[21]。从行业结构来看,李磊等利用中国的微观企业数据检验了机器人的就业效应,发现机器人使用的就业效应在不同行业之间存在较大差异^[22]。何勤等发现人工智能水平显著降低了制造业就业份额^[23]。此外,刘斌等通过人工智能与全球价值链行业层面数据的对接,考察了人工智能对全球价值链的影响效应,发现人工智能提升了一国行业

在全球价值链的参与程度与分工地位^[24]。吕越等的研究也证实了这一点^[25]。

综上所述,国内外关于人工智能的研究为分析人工智能的经济后果奠定了良好的基础,但仍存在一定的改进空间。首先,人工智能技术是一种新的技术形态,研究其对环境污染的影响具有现实意义。虽然既有文献已从诸多视角探讨人工智能的影响效应,但较少关注到人工智能对企业污染排放的影响,其中更是缺乏定量分析和理论机制探讨。其次,虽然有少部分学者开始关注人工智能与企业污染排放间的关系^[26-28],但受到工业企业数据等方面的限制,实证研究选取的数据仍停留在2013年左右。然而,人工智能的广泛发展是在2011年之后。那么,在人工智能蓬勃发展时期,人工智能是否影响企业污染排放,其中的作用机制是什么?准确回答上述问题,不仅有助于深入理解人工智能与企业污染排放间的关系,而且可为实现中国制造业绿色转型提供指导和参考。

(二)研究假说的提出

Panayotou认为规模扩张效应、技术创新效应和结构转型效应是技术进步影响环境污染的主要因素^[29]。当技术创新效应大于规模扩张效应时,较高水平的技术进步具有高效率、低损耗的特点。技术进步可以促进清洁技术的规模化应用,形成减少污染、推动产业结构向技术密集型和知识密集型方向发展的“良性互动”^[30]。波特假说强调了企业通过提升技术创新水平来提高能源利用效率和降低污染排放强度,从而在充满竞争的环境中实现盈利增长和减少污染排放的双赢目标。追根溯源,技术创新是治理企业污染的根本。作为新一代信息技术的代表,人工智能具有绿色属性^[31],在生产领域的应用可以有效提高减排效率^[32]。首先,人工智能可以优化生产流程抑制环境污染。相较于智能化生产流程,传统生产流程更多地依赖人工操作和经验判断,且缺乏实时数据支持,可能存在资源浪费和污染排放

不合理的情况。而智能化生产流程依赖传感器、物联网设备等技术采集实时数据,通过数据分析和机器学习算法进行实时监控和预测,能够提升生产流程的标准化水平和生产效率,降低单位产出的资源能源消耗,进而降低生产过程中的污染物排放量^[33]。同时,智能化生产流程倾向于实现高度自动化,通过自动化设备和智能控制系统实现生产过程的自动化运行和调整,可以降低废物产生和能源的使用,从而减少污染排放。其次,人工智能技术可以通过绿色技术创新降低污染排放的强度。人工智能技术的自动工具属性可以有效提高创新资源配置效率,降低绿色技术研发成本,实现高效低损耗的绿色技术创新,从而通过智能化的生产方式降低污染排放强度、提高污染治理能力^[34]。最后,人工智能的预警系统能够识别出潜在的污染源和异常情况,可以在污染问题发生之前采取相关措施,降低企业的污染排放规模。基于此,提出如下研究假说:

H1:企业使用人工智能可以降低其污染排放。

人工智能技术能够削减企业用工成本,节约企业在生产经营过程中的资金投入,从而提高企业治污能力、降低企业污染排放强度。由于近年来生育率持续下降,劳动力短缺所造成的用工成本增加逐渐成为企业发展不可避免的问题,而人工智能可以被用来替代一些重复性、低附加值的工作,如简单的数据处理、文件整理等。这样可以减少企业对低技能劳动力的需求,从而降低劳动力成本。同时,人工智能技术可以优化生产流程,提高资源利用率和生产效率,通过智能排查、预测性维护和实时监控,企业可以更有效地利用现有的劳动力和设备,减少不必要的人力投入,降低生产成本。当企业面临用工难、用工成本高等问题时,企业会积极引进人工智能,缓解对传统劳动力的依赖程度,进而有效降低企业面临的劳动力支付成本,并产生了明显的劳动力替代效应^[21]。基于此,提出如下研究假说:

H2:人工智能通过降低企业劳动力成本来

实现降污减排。

人工智能技术可以提升企业的全要素生产率,进而提高企业的能源利用效率,促进能源结构转型,帮助企业实现降污减排。一方面,利用人工智能的预测能力,企业能够更准确地预测市场需求、原材料价格波动等走向,有针对性地调整生产计划,根据客户需求生产个性化产品,这既能提升客户满意度和市场竞争力,又能减少资源的浪费和库存积压,从而提升全要素生产率。另一方面,基于机器学习和视觉识别技术,人工智能可以精密控制生产流程、实时监测生产过程,及时发现并解决突发问题,提高产品的质量和附加值,从而促进全要素生产率的提升。与此同时,全要素生产率的提升又可以带动企业更加有效地利用生产要素,降低单位产品的生产成本,推动企业在生产过程中减少资源浪费、促进能源利用效率提升。全要素生产率的提升意味着企业能够以更低的成本和投入产出不低于过去的产值,这种生产效率的改进可以让企业减少单位产出上的各类要素投入,从而减少生产环节的污染排放和能源消耗,促进企业实现降污减排。基于此,提出如下研究假说:

H3:人工智能通过提升企业全要素生产率来实现降污减排。

二、研究设计

(一)数据来源

本文采用2008—2021年沪深A股上市公司面板数据展开研究,剔除了金融行业、ST股和*ST股企业。由于传统的企业排污监测数据信息仅到2014年,因而本文通过全国税收调查数据获得上述上市公司企业层面的污染物排放量和各类控制变量信息。全国税收调查数据由政府相关部门按照分层随机抽样方法向企业发放调查表,调查内容涉及企业的各类基本特征、财务指标、税费缴纳、能源消费、污染排放等信息。其他数据主要来自国泰安CSMAR数据库。

(二)模型构建

为检验人工智能对企业污染排放的影响,本文构建如下计量模型:

$$Pollution_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 AI_{it} + \alpha_2 X_{it} + \delta_j + \lambda_t + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中, $Pollution_{it}$ 是企业污染排放水平, AI_{it} 为企业应用人工智能的程度, X_{it} 是控制变量, j 和 t 分别代表行业和时间, δ_j 和 λ_t 分别为行业固定效应和时间固定效应, ε_{ijt} 是随机误差项。

(三)变量定义

本文关注的被解释变量是企业层面的污染排放水平($Pollution_{it}$),包括工业废气中的二氧化硫和氮氧化物排放量,以及工业废水中的化学需氧量和氨氮排放量。具体而言,参考毛婕等的做法^[35],首先根据《排污费征收标准管理办法》确定污染当量值,然后将前述四类污染物排放量进行标准化处理,将其折算为统一的污染当量数,最后将各指标加总后取对数(加1取对数),由此得到一个综合指标,可以刻画上市企业的整体污染排放水平。

本文关注的核心解释变量是企业层面使用人工智能的水平(AI_{it})。企业在现实生产过程中对于人工智能的应用程度会深刻影响企业的雇佣劳动力数量和就业结构。在以往的研究中,学者们通常采用全要素生产率、专利授权数等指标度量企业的人工智能使用水平。由于目前我国人工智能技术的应用仍然处于较为初步的阶段,企业内部“机器或设备换人”是人工智能影响劳动力就业或企业雇佣决策的主要途径之一,因而本文以人均机器账面价值衡量人工智能的使用水平。相较之下,全要素生产率、专利授权数等指标不仅受到人工智能使用水平的影响,而且受到其他各类因素的影响,比如企业是否属于高科技企业等。因此,这里借鉴何勤等^[23]、孙文远等^[36]等文献的做法,以企业的人均机器账面价值来衡量其人工智能使用程度,即, $AI = \text{机器账面价值总额} / \text{员工总人数}$ 。

本文的控制变量主要有企业资产规模($Size$)、

以赫芬达尔指数衡量的垄断指数(*HHI*)、以企业总资产与总负债之比衡量的总资产收益率(*ROA*)、固定资产占比(*Fixed*)、资产负债率(*Lev*)、企业年龄(*Age*)、营业收入(*Income*)。变量定义见表1。

三、实证分析

(一)描述性统计

核心变量的描述性统计结果见表2。由表2可知,企业污染排放 *Pollution* 的均值为0.143,最小值为0.126,最大值为0.151,与以往研究调查的情况基本一致。人工智能使用程度的最小值为0,最大值为1,标准差为0.027。

(二)基准回归

根据模型(1)进行回归,表3(下页)报告了人工智能对企业污染排放的影响。列(1)为未添

加控制变量和固定效应的估计结果,列(2)为添加了控制变量的基准回归分析结果,列(3)在列(2)的基础上加入行业固定效应和年份固定效应,所有回归中标准误聚类到企业层面。可以看出,*AI* 的估计系数始终为负,尤其是列(3)在1%的水平上显著。由表3的回归结果可知,企业对人工智能的应用显著减少了其污染排放水平。从控制变量系数来看,在控制行业与年份固定效应后,很多控制变量的系数不再显著,可能的原因是这些变量与行业和年份的固定效应存在一定程度的多重共线。

人工智能对企业污染排放产生抑制效应的可能原因如下:第一,相较于人工操作,人工智能使得机器运作在一些常规性、复杂性劳动方面具有较大的比较优势^[37]。人工智能技术能够分析大量数据,优化生产流程和资源利用效率,从而降

表1 变量定义

变量类型	变量名称	变量符号	变量定义
解释变量	企业污染排放	<i>Pollution</i>	具体计算参见文中表述
被解释变量	人工智能使用程度	<i>AI</i>	机器账面价值总额与员工总人数之比
控制变量	资产规模	<i>Size</i>	企业资产规模取对数
	垄断指数	<i>HHI</i>	赫芬达尔指数
	总资产收益率	<i>ROA</i>	企业总资产与总负债之比
	固定资产占比	<i>Fixed</i>	企业固定资产与总资产之比
	资产负债率	<i>Lev</i>	企业负债总额与资产总额之比
	企业年龄	<i>Age</i>	公司上市年龄加1取对数
	营业收入	<i>Income</i>	企业营业收入取对数

表2 变量描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	中位数	最小值	最大值
<i>Pollution</i>	25 497	0.143	0.006	0.144	0.126	0.151
<i>AI</i>	25 497	0.004	0.027	0	0	1
<i>ROA</i>	25 497	0.022	0.451	0.034	-48.316	8.441
<i>Size</i>	25 497	22.170	1.371	22.015	14.759	28.636
<i>Income</i>	25 497	21.448	1.503	21.339	17.393	25.479
<i>HHI</i>	25 497	0.151	0.148	0.101	0.032	1
<i>Lev</i>	25 497	0.480	1.381	0.439	0.008	178.345
<i>Fixed</i>	25 497	0.222	0.169	0.186	0	0.954
<i>Age</i>	25 497	2.239	0.731	2.398	0	3.434

低能源消耗和减少废弃物排放。第二,人工智能系统可以实时监测与环境相关的数据和生产过程中的各类参数,并预测可能会产生污染的情况,有助于及时采取措施来减少污染排放。第三,人工智能在能源管理方面的应用,如智能照明、智能供暖等技术,可以帮助企业减少能源消耗,降低对环境的负面影响。第四,利用人工智能技术进行设备状态监测和预测性维护,可以降低设备发生故障的频率,从而降低生产过程中的污染排放。

(三)稳健性检验

1. 更换被解释变量

为检验人工智能对企业排放影响的稳健

性,这里引入企业废气排放指标作为被解释变量进行考察。企业废气排放指标由二氧化硫和氮氧化物排放量计算得到,具体而言,对上述两种废气排放量进行标准化处理,折合成污染当量数并加总取对数(加1取对数)。表4(下页)列(1)的结果显示,人工智能在10%的水平上显著降低了企业的气体污染排放水平,与基准回归结论一致。

2. 更换回归样本

制造业作为工业企业中污染排放的主体行业,是全球温室气体排放的主要来源之一。而在制造业企业中,大量的专用设备(尤其是计算机、通信和其他电子设备)被用于人工智能相关的生产活动。这里将回归限定在制造业的企业样本中,结果如表4列(2)。核心解释变量回归系数在1%水平上保持显著,再次证明了基准回归结论的稳健性。

3. 剔除特殊年份

考虑到2020年新冠疫情的干扰,本文剔除2020年的样本后进行分析,结果如表4列(3)所示。结果表明,在剔除疫情影响后,人工智能使用与企业污染排放间的回归系数依然为负,且在1%的水平上显著。

4. 剔除直辖市

由于中国的直辖市行政级别较高、市场资源较为丰富,整体而言经济环境较为宽松,多数企业更愿意将办公场所设立在这些城市。这里仅保留普通地级市样本,依然按照模型(1)进行回归,结果如表4列(4)所示。结果表明,在剔除直辖市的企业样本后,人工智能使用与企业污染排放间的回归系数依然显著为负。

5. 滞后一期

随着企业对人工智能的应用程度不断提升,企业污染排放强度明显减少。同时,如果企业污染排放量过高,那么企业很可能会受到相关监管部门的监督,从而不得不增加对人工智能设备的投资。为缓解双向因果问题所造成的估计偏

表3 基准回归

	(1)	(2)	(3)
	<i>Pollution</i>	<i>Pollution</i>	<i>Pollution</i>
<i>AI</i>	-0.067*** (-3.01)	-0.039* (-1.77)	-0.016*** (-3.22)
<i>ROA</i>		-0.003*** (-7.28)	-0.000* (-1.87)
<i>Size</i>		0.001*** (21.37)	-0.000 (-0.27)
<i>Income</i>		-0.000*** (-6.91)	0.000 (1.21)
<i>HHI</i>		-0.004*** (-19.60)	0.000 (0.23)
<i>Lev</i>		-0.000*** (-6.51)	-0.000 (-1.14)
<i>Fixed</i>		-0.005*** (-24.91)	-0.000 (-1.03)
<i>Age</i>		-0.000*** (-6.90)	-0.000** (-2.06)
<i>Constant</i>	0.143*** (4 044.87)	0.127*** (223.13)	0.129*** (338.72)
行业固定效应	No	No	Yes
年份固定效应	No	No	Yes
<i>N</i>	25 838	25 497	25 497
<i>R</i> ²	0.032	0.077	0.962

注:括号内为t值,*、**、***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著。以下各表同。

误,在此使用滞后一期的 AI 水平作为解释变量,按照模型(1)重新进行回归。回归结果如表 4 列(5)所示,滞后一期的 AI 系数仍在 1%的水平上显著为负。

6.控制企业固定效应

前文基准回归中控制了行业固定效应和年份固定效应,为应对企业层面的遗漏变量导致的内生性问题,这里进一步控制企业固定效应展开考察。结果如表 4 列(6)所示,可以发现在控制企业固定效应影响后,人工智能对污染排放的影响有所下降,但仍然在 5%的水平上保持显著,这进一步验证了前文基本回归结果的可靠性。

四、进一步分析

(一)异质性检验

为进一步考察不同内外部环境对人工智能与企业污染减排之间关系的影响,本文分别从企业所处地域、企业产权性质、行业劳动密集度、行业技术密集度和企业规模五个方面展开考察。

1.地域异质性

不同地区的经济结构各不相同,有些地区可能更加依赖于传统产业,而另一些地区可能更

注重高科技和创新。因此,不同地区企业人工智能的应用水平对其减排降污的影响效果也可能不同。为分析人工智能应用程度对不同地区的企业污染排放的异质影响,这里把观测数据划分为东部地区企业、中部地区企业和西部地区企业三个子样本分别进行回归。表 5(下页)列(1)一(3)结果显示,人工智能在 1%的水平上显著降低了东部地区企业的污染排放,但在中部、西部地区企业样本中,核心解释变量 AI 的回归系数虽然为负,但并不显著。这可能是因为相较于中西部地区,东部地区经济更发达、技术更先进、人力资源更丰富,同时政府对企业创新给予的支持力度更大,从而使得东部地区人工智能所带来的企业污染减排效果更优于中西部地区。

2.产权异质性

国有企业和非国有企业在经营理念、决策机制和市场竞争方面存在显著差异,因而人工智能使用程度对这两类企业的污染排放可能产生异质性影响。为分析不同产权性质企业人工智能应用程度对企业污染排放影响的差异,这里根据企业的所有制性质将企业分为国有企业和非国有企业,结果见表 5 列(4)一(5)所示。结果表明,相较于非国有企业,国有企业人工智能对企

表 4 稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	log 废气排放	制造业	剔除 2020 年	剔除直辖市	滞后一期	控制企业固定效应
AI	-0.959* (-1.92)	-0.019*** (-7.690)	-0.019*** (-7.67)	-0.020*** (-3.76)		-0.011** (-2.23)
$L.AI$					-0.025*** (-4.13)	
$Constant$	6.321*** (141.17)	0.129*** (282.38)	0.129*** (304.28)	0.129*** (216.38)	0.131*** (187.25)	0.177*** (124.61)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
行业固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	
企业固定效应						Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	25 497	18 967	22 018	13 529	11 544	23 696
R^2	0.838	0.957	0.962	0.960	0.950	0.973

表 5 异质性回归结果(一)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	东部地区	中部地区	西部地区	国企	非国企
<i>AI</i>	-0.021*** (-4.21)	-0.021 (-0.61)	-0.002 (-0.18)	-0.022*** (-12.14)	-0.001 (-0.12)
<i>Constant</i>	0.129*** (252.33)	0.129*** (156.71)	0.129*** (147.65)	0.130*** (204.42)	0.128*** (242.53)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
行业固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	17 556	4 268	3 669	10 098	15 399
<i>R</i> ²	0.959	0.967	0.967	0.971	0.946

业降污减排效果更显著。这可能是因为,国有企业与政府部门联系更加紧密,在获取新技术运用、财政、税收、融资等其他优惠政策的支持方面有更大的优势,因而国有企业将人工智能等技术深度应用到生产经营环节中的能力更强,使得其降污减排的表现得到进一步提高。

3.行业劳动密集度异质性

资本密集型企业依赖大量的资本投入,而劳动密集型企业则以劳动力投入为主。通过生产要素密度来分析人工智能使用对企业污染排放的影响,有助于深入理解不同类型企业在面临人工智能等科技变革时的差异性挑战和机遇。基于此,本文把观测数据划分为劳动密集型企业而非劳动密集型企业两个子样本进行检验。表 6(下页)列(1)、列(2)的结果表明,人工智能在 1%的水平上显著降低了劳动密集型企业的污染排放,但对于非劳动密集型企业的污染排放并不存在显著影响。对于劳动密集型企业而言,人工智能的应用使得传统劳动力被人工智能取代的可能性大大提高,因人工操作失误所带来的环境污染问题会相应减少,所以人工智能的引入对其污染排放所产生的抑制效应更加明显。

4.行业技术密集度异质性

这里依据行业绿色全要素能源效率的中位数,将样本数据划分为技术密集型企业而非技

术密集型企业两个子样本分别进行检验。结果表明,相较于技术密集型企业,人工智能的应用显著降低了非技术密集型企业的污染排放,这可能是因为,相较于技术密集型企业,非技术密集型企业自动化程度或机械化程度较低,需要大量的人工操作,容易出现人工操作失误导致的污染问题,而人工智能在这些行业的应用能够避免这些问题,从而促进企业降污减排。

5.规模异质性

企业的能源消耗和污染减排需求因企业规模的不同而呈现差异,这里依据企业规模进行异质性检验。本文以中位数为划分依据,把观测数据划分为大规模企业和小规模企业两个子样本。由表 6 列(5)、列(6)的结果可以看出,相较于小规模企业,人工智能对大规模企业的污染减排效果更显著,这可能是由于大规模企业对能源的需求更高,污染排放需求也随之提高。因此,相较于小规模企业,推动大规模企业污染减排是政府工作的重点。在此背景下,大规模企业需要投入更多资金购买节能减排设备,采用节能减排技术来推动企业绿色化发展。

(二)机制分析

1.劳动力成本

企业的劳动力成本对企业的污染排放有着显著的影响。基于最低工资调整冲击的证据表明,企业会通过机器替代人工以减少劳动力雇佣

表 6 异质性回归结果(二)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	劳动密集型	非劳动密集型	技术密集型	非技术密集型	规模小	规模大
<i>AI</i>	-0.023*** (-9.86)	0.027 (0.94)	-0.025 (-1.05)	-0.016*** (-3.51)	-0.023 (-0.77)	-0.015** (-2.33)
<i>Constant</i>	0.129*** (155.80)	0.129*** (284.06)	0.130*** (193.60)	0.129*** (258.38)	0.129*** (171.59)	0.129*** (149.90)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
行业固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	7 000	18 497	11 287	14 210	12 674	12 823
<i>R</i> ²	0.964	0.957	0.950	0.965	0.946	0.961

从而降低污染排放水平。人工智能技术的发展与应用对就业产生的创造效应或就业替代效应都会对企业雇员数量产生影响^[24]。本文以企业员工数量作为企业劳动力情况的代理指标进行考察,结果如表 7 列(1)所示。可以发现,企业应用人工智能能够显著减少企业雇佣的员工数量。通过降低企业劳动力成本以提高企业的污染治理能力,可能是因为随着人工智能应用水平的提升,企业生产过程中的自动化水平和智能化水平得到提高,减少了企业对传统劳动力要素的投入需求,进而降低企业的劳动力成本。同时,随着劳动力成本的下降,企业将有更多的资金投入环境治理、创新等方面,从而提高企业的绿色化水平。

2. 全要素生产率

全要素生产率是衡量生产率水平的有效指标,企业的生产率水平越高表明其技术水平和管控能力越高,这都有助于降低企业在生产经营过程中的污染排放。这里以全要素生产率作为机制变量展开研究,结果如表 7 列(2)所示。可以发现,人工智能能够显著促进企业全要素生产率提升。而企业全要素生产率的提高既可以源于技术进步,又可以通过生产要素的重新组合优化资源配置,即在生产要素投入之外资本、劳动、能源及其他要素的优化组合和管理改善。这可能是由于人工智能运用于生产经营从而优化企业

生产流程。除此之外,人工智能技术具有较强的外溢性,能够促使企业采用其他新兴生产技术来提高生产效率,从而降低企业污染排放。

五、研究结论与政策建议

本文以人均机器账面价值来衡量企业人工智能应用水平,基于2008—2021年中国沪深A股上市公司数据,实证检验了人工智能应用对企业污染排放的影响及其作用机制。研究发现:第一,人工智能应用显著降低了企业污染物排放,且这一结论在经过多种稳健性检验后依然成立。第二,人工智能的降污减排效应具有明显的异质性,从地区异质性来看,在东部地区的企业中,这一效应十分显著,但在中西部地区的

表 7 机制分析

	(1)	(2)
	<i>Labor</i>	<i>TFP</i>
<i>AI</i>	-1.749** (-2.25)	0.412*** (3.35)
<i>Constant</i>	-0.638*** (-12.92)	-0.032*** (-13.43)
控制变量	Yes	Yes
行业固定效应	Yes	Yes
年份固定效应	Yes	Yes
<i>N</i>	25 500	24 369
<i>R</i> ²	0.166	0.830

企业中,该效应并不显著;从企业异质性来看,国有企业、劳动密集型企业、非技术密集型企业、大规模企业中人工智能的降污减排效应更为显著。第三,人工智能应用的降污减排效应主要通过降低劳动力成本和提高企业全要素生产率来实现。

基于上述结论,提出如下政策建议:

第一,在促进绿色高质量发展的过程中,鼓励企业加大对人工智能技术的投入。企业采用人工智能可以降低其污染排放水平,从而产生对社会的外部正向回报,这意味着人工智能的采纳和应用水平可以带来正外部性。因此,在追求绿色高质量发展的新阶段,政府可以鼓励甚至补贴企业的人工智能研发和应用,这有助于产生正向的社会收益。

第二,在推广人工智能技术的过程中,政府应有针对性地制定相关政策措施。对于中西部地区企业、非国有企业、非劳动密集型企业、技术密集型企业、小规模企业,人工智能的减污降排效应并不显著,对此政府可以实施精准帮扶,通过财政补贴、税收减免的形式向该类企业提供资金支持和税收优惠,降低其研发和应用人工智能的经济成本,提高其在人工智能领域的投入积极性。对于东部地区企业、国有企业、劳动密集型企业、非技术密集型企业、大规模企业,人工智能对污染排放的抑制作用已取得一定成效,政府应继续鼓励并支持其对人工智能技术的开发利用,同时还可以鼓励企业进行技术合作,打破信息壁垒,促进技术创新成果的共享,形成全方位的人工智能产业联动效应^[38]。

第三,在加快人工智能推广和应用的同时,要加强环境规制,增强企业的环保意识和社会责任感。环保部门要坚决贯彻落实现有法律法规,健全人工智能监管体系,加强环保信息披露,通过严格的执法来确保企业遵守环保法规,并对违规行为进行严惩,以强化企业环保意识。与此同时,政府还可以通过提供环保奖励和补贴,

激励企业采用更环保的生产技术和管理手段,促使其在生产过程中更注重利用人工智能等先进技术来提高效率和降污减排。**Reform**

参考文献

- [1]韩峰,黄敏,姜竹青.企业数字化、网络地位与污染减排[J].世界经济,2024(2):204-232.
- [2]陈登科.贸易壁垒下降与环境污染改善——来自中国企业污染数据的新证据[J].经济研究,2020(12):98-114.
- [3]PEI J, STURM B, YU A. Are exporters more environmentally friendly? A re-appraisal that uses China's micro-data[J]. The World Economy, 2021, 44(5): 1402-1427.
- [4]陈诗一,张建鹏,刘朝良.环境规制、融资约束与企业污染减排——来自排污费标准调整的证据[J].金融研究,2021(9):51-71.
- [5]步晓宁,赵丽华.自愿性环境规制与企业污染排放——基于政府节能采购政策的实证检验[J].财经研究,2022(4):49-63.
- [6]梁平汉,高楠.人事变更、法制环境和地方环境污染[J].管理世界,2014(6):65-78.
- [7]韩超,王震,田蕾.环境规制驱动减排的机制:污染处理行为与资源再配置效应[J].世界经济,2021(8):82-105.
- [8]CHEN Y, LEE C C. Does technological innovation reduce CO₂ emissions? Cross-country evidence[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 263: 121550.
- [9]申晨荣,高波.数字技术创新、跨行业技术溢出与企业环境绩效——基于上市公司数字专利研发视角[J].山西财经大学学报,2023(12):1-15.
- [10]刘晓丹,闫帅.对外直接投资对母国企业污染排放的影响[J].国际贸易问题,2023(2):143-157.
- [11]吕越,张昊天,薛进军,等.税收激励会促进企

- 业污染减排吗——来自增值税转型改革的经验证据[J].中国工业经济,2023(2):112-130.
- [12]苏丹妮,盛斌.产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据[J].经济学(季刊),2021(5):1793-1816.
- [13]蔡跃洲,陈楠.新技术革命下人工智能与高质量增长、高质量就业[J].数量经济技术经济研究,2019(5):3-22.
- [14]杨光,侯钰.工业机器人的使用、技术升级与经济增长[J].中国工业经济,2020(10):138-156.
- [15]GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at work [J]. Review of Economics and Statistics, 2018, 100(5): 753-768.
- [16]RAMMER C, FERNANDEZ G P, CZARNITZKI D. Artificial intelligence and industrial innovation: Evidence from German firm-level data[J]. Research Policy, 2022, 51(7): 104555.
- [17]LIU J, CHANG H H, FORREST Y L, et al. Influence of artificial intelligence on technological innovation: Evidence from the panel data of China's manufacturing sectors [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020, 158: 120142.
- [18]ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: Evidence from US labor markets [J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [19]屈小博,黄海.机器人应用、人机适配与工资效应[J].世界经济,2024(10):186-220.
- [20]XIE M M, DING L, XIA Y, et al. Does artificial intelligence affect the pattern of skill demand? Evidence from Chinese manufacturing firms[J]. Economic Modelling, 2021, 96: 295-309.
- [21]孔高文,刘莎莎,孔东民.机器人与就业——基于行业与地区异质性的探索性分析[J].中国工业经济,2020(8):80-98.
- [22]李磊,王小霞,包群.机器人的就业效应:机制与中国经验[J].管理世界,2021(9):104-119.
- [23]何勤,李雅宁,程雅馨,等.人工智能技术应用对就业的影响及作用机制研究——来自制造业企业的微观证据[J].中国软科学, 2020(S1):213-222.
- [24]刘斌,潘彤.人工智能对制造业价值链分工的影响效应研究[J].数量经济技术经济研究,2020(10):24-44.
- [25]吕越,谷玮,包群.人工智能与中国企业参与全球价值链分工[J].中国工业经济,2020(5):80-98.
- [26]林熙,刘啟仁,冯桂媚.智能制造与绿色发展:基于工业机器人进口视角[J].世界经济,2023(8):3-31.
- [27]吕越,马明会,陈泳昌,等.人工智能赋能绿色发展[J].中国人口·资源与环境,2023(10):100-111.
- [28]陈昊,闫雪凌,朱博楷.机器人使用影响污染排放的机制和实证研究[J].中国经济问题, 2021(5):126-138.
- [29]PANAYOTOU T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development [Z]. Working Papers, 1993, No.238: 1-45.
- [30]ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN L, et al. The environment and directed technical change[J]. The American Economic Review, 2012, 102(1): 131-166.
- [31]BAG S, PRETORIUS J H C. Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: Proposal of a research framework[J]. International Journal

- of Organizational Analysis, 2022, 30(4): 864–898.
- [32] VIVANCO D F, KEMP R, VANDER VOET E. How to deal with the rebound effect? A policy-oriented approach[J]. Energy Policy, 2016, 94:114–125
- [33] FORSLID R, OKUBO T, ULLTVEIT-MOE K H. Why are firms that export cleaner? International trade, abatement and environmental emissions[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2018, 91:166–183.
- [34] LEE C C, QIN S, LI Y Y. Does industrial robot application promote green technology innovation in the manufacturing industry? [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 183: 121893.
- [35] 毛捷, 郭玉清, 曹婧, 等. 融资平台债务与环境污染治理[J]. 管理世界, 2022(10): 96–109.
- [36] 孙文远, 刘于山. 人工智能对劳动力市场的影响机制研究[J]. 华东经济管理, 2023(3): 1–9.
- [37] 王永钦, 董雯. 机器人的兴起如何影响中国劳动力市场? ——来自制造业上市公司的证据[J]. 经济研究, 2020(10): 159–175.
- [38] 朱兰. 人工智能与制造业深度融合: 内涵、机理与路径[J]. 农村金融研究, 2023(8): 60–69.

Research on the Impact of Artificial Intelligence on Corporate Pollution Emissions

WANG Wei LIANG Chao

Abstract: In the new stage of booming development of artificial intelligence, the application of artificial intelligence by enterprises can help promote green and high-quality development. This article takes Chinese A-share listed companies from 2008 to 2021 as the research object to examine the impact of artificial intelligence on corporate pollution emissions. Research has found that the adoption of artificial intelligence by enterprises can significantly reduce their pollution emissions. Under a series of robustness tests, the above results remain unchanged. Heterogeneity analysis shows that artificial intelligence has a more significant inhibitory effect on pollution emissions from enterprises in the eastern region, state-owned enterprises, labor-intensive enterprises, non technology intensive enterprises, and large-scale enterprises. Mechanism analysis shows that artificial intelligence reduces labor employment and improves total factor productivity to reduce pollution emissions.

Key words: artificial intelligence; corporate pollution emissions; green and low-carbon; high-quality development

(责任编辑: 文丰安)