http://www.resourcesindustries.net.cn zycy@cugb.edu.cn

人工智能应用对制造业企业绿色转型的影响研究

张 倩，邢志华

（黑龙江科技大学 管理学院，黑龙江 哈尔滨 150022）

摘 要：制造业企业绿色转型是实现“双碳”目标的有力支撑，以智能化和自动化为核心特征的人工智能应用成为制造业企业智能化升级和绿色转型的新动能。论文基于2010—2023年沪深A股制造业上市公司数据，构建双向固定效应模型和中介效应模型，探究人工智能应用对制造业企业绿色转型的影响效应及作用机制。研究发现：1）人工智能应用能够显著促进制造业企业绿色转型，考虑内生性问题并进行稳健性检验后结论依旧成立；2）机制检验显示，人工智能应用能够发挥成本节约效应、绿色创新效应、低技能劳动力替代效应，并从生产末端治理、生产前端控制、生产流程优化上促进制造业企业绿色转型；3）异质性分析发现，当企业生命周期处于成长期和成熟期、行业属性为低碳行业、位于胡焕庸线东侧地区时，人工智能应用对企业绿色转型的促进效应更强；4）拓展性研究表明，人工智能应用能够促进企业发展与减排遐迩一体，推动经济增长和环境保护协同发展。基于以上研究结论提出应高度重视人工智能技术的绿色价值、推动企业智能制造与绿色转型深度融合、释放人工智能技术的增效与减排双重作用，以智能技术提效扩产、节能降耗助力绿色转型。研究为制造业企业实现数智化、绿色化深度融合与协同发展提供了经验证据。

关键词：人工智能应用；绿色转型；成本节约；绿色创新；制造业企业

中图分类号：F270 **文献标识码**：A **文章编号**：1673－2464（2026）04－0071－15

Impacts of Artificial Intelligence Applications on the Green Transformation of Manufacturing Enterprises

ZHANG Qian, XING Zhihua

(*School of Management*, *Heilongjiang University of Science and Technology*, *Harbin* 150022, *China*)

Abstract: The green transformation of manufacturing enterprises is a strong support for achieving the “dual carbon” goals, and applications of artificial intelligence (AI)—characterized by intelligence and automation—have become a new driver for intelligent upgrading and green transformation in manufacturing. Based on data for Shanghai and Shenzhen A-listed manufacturing firms from 2010 to 2023, this study builds a two-way fixed-effects model and a mediation-effect model to examine the impact of AI applications on manufacturing firms' green transformation and its

收稿日期：2025－10－27；**修订日期**：2025－12－13；**责任编辑**：任宝琴。

网络出版地址：https://link.cnki.net/urlid/11.5426.TD.20260429.1445.014 **DOI**：10.13776/j.cnki.resourcesindustries.20260429.007

基金项目：国家社会科学基金项目（23BGL237）。

第一作者简介：张倩，博士、教授，主要从事资源经济与可持续发展、绿色技术创新等研究。E-mail：zhangqian_0526@163.com

通信作者简介：邢志华，硕士生，主要从事数字经济、绿色创新等研究。E-mail：xzh15938176256@163.com

引用格式：张倩，邢志华，2026. 人工智能应用对制造业企业绿色转型的影响研究[J]. 资源与产业，28(4)：71－85.

ZHANG Qian, *XING Zhihua*, 2026. *Impacts of artificial intelligence applications on the green transformation of manufacturing enterprises*[J]. *Resources & Industries*, 28(4): 71－85.

mechanisms. The results show that: 1) AI applications significantly promote green transformation in manufacturing firms, and the conclusion remains robust after addressing endogeneity and conducting robustness checks; 2) mechanism tests indicate that AI applications contribute through cost-saving effects, green-innovation effects, and substitution of low-skilled labor, and promote green transformation via end-of-pipe treatment, front-end control, and production-process optimization; 3) heterogeneity analysis shows stronger effects when firms are in the growth or maturity stages, when the industry is low-carbon, and when firms are located east of the Huhuanyong Line; and 4) extended analysis suggests that AI applications help integrate enterprise development with emission reduction, promoting coordinated progress in economic growth and environmental protection. Based on these findings, the paper proposes placing greater emphasis on the green value of AI technologies, promoting deeper integration of intelligent manufacturing and green transformation, and releasing AI's dual roles in efficiency enhancement and emission reduction—using intelligent technologies to improve efficiency and expand production while saving energy and reducing consumption to facilitate green transformation. This study provides empirical evidence for manufacturing enterprises to achieve deeper integration and coordinated development of digital intelligence and greening.

Key words: artificial intelligence applications; green transformation; cost savings; green innovation; manufacturing enterprises

0 引言

近年来我国经济高速发展，同时资源消耗和环境污染问题日益凸显，制造业企业作为绿色清洁、低碳转型的重要微观主体，具有发挥关键作用的潜质。党的二十大报告明确提出要“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”。《2024 年国务院政府工作报告》中也提到要在制造业等重点领域做好节能减排。人工智能是新一轮科技革命和产业变革的核心技术，能够通过集成化的数据深度学习对企业生产流程精密控制，实现污染排放实时监测和精准治理，逐渐成为引领技术革命、推动企业绿色转型和高质量发展的重要驱动力量（金祥义等，2023）。然而学术界关于人工智能与制造业企业绿色转型的研究尚处于萌芽阶段，较少文献探讨人工智能对制造业企业绿色转型的影响及其内在机制。鉴于此，制造业企业如何在人工智能背景下绘就绿色转型战略图景，进行以高质量为特征的转型升级，成为亟待解决的重大问题。

现有关于绿色转型影响因素的研究较为丰富。从企业内部层面看：王芳（2024）认为企业需要提高 ESG 表现、强化 ESG 信息披露，从而为绿色低碳转型提供动力；李金昌等（2023）认为数字化转型能够促进企业环境绩效、经济绩效和绿色创新绩效提升，有效赋能企业绿色转型；龚家凤等（2024）分析表明，具有环保背景的审计委员会，能够获取更多绿色转型资源，并提高内部控制质量和提升管理层转型意愿驱动企业绿色转型。从企业外部层面看：马平平等（2024）认为公众环境关注作为非正式环境规制，能够与政府行政处罚形成有效合力，促进企业绿色转型升级；徐洁等（2024）分析表明环保法庭的设立，能够提高环境司法效率和环境治理质量，为企业绿色转型提供激励相容的法治途径；刘珊等（2023）认为绿色金融对制造业企业绿色转型具有撬动引导作用。

在人工智能发展浪潮下，学界围绕其经济效应开展了丰富的研究：孔高文等（2020）认为人工智能发展能够产生“机器代人”现象；吕越等（2020）认为人工智能促进企业参与全球价值链分工；姚加权等（2024）认为人工智能提高企业生产效率和企业价值；王林辉等（2020）认为人工智能加剧劳动收入不平等。

随着粗放发展方式引致的经济增长与环境压力矛盾日趋严峻，越来越多学者注意到人工智能对企业节能减排、绿色创新的积极影响。在节能减排方面：李卫兵等（2023）认为工业机器人使用可以提高企业全要素生产率和能源利用效率，促使企业提高清洁生产水平和降低污染物排放量；金祥义等（2023）认为人工智能应用能够提高生产过程的自动化和智能化水平，发挥智能减排的优势；刘婷婷等（2024）认为在人工智能发展成熟期，人工智能能够优化企业人力资本结构、促进要素合理配置和信息共享提高碳绩效。在绿色创新方面，人工智能可以缓解企业融资约束（占华等，2022）、发挥成本节约效应和知识溢出效应（朱冠平等，2024）促

进企业绿色创新，CEO 绿色经历具有调节作用（辛雅儒等，2024）。此外，部分研究从宏观层面讨论了人工智能对城市绿色发展的影响：吕越等（2023）认为人工智能可以增加减排设备投资、替代低技能劳动力促进城市绿色发展；周杰琦等（2023）认为人工智能通过技术创新和优化产业结构发挥赋能作用，赋能效果呈边际效应递增的非线性特征；周锐波等（2024）认为工业智能化能够促进城市包容性绿色增长，并具有正向空间溢出效应。

整体上看，既有研究大多从宏观层面或企业节能减排、绿色创新等微观层面出发，多角度探讨了人工智能的经济效应与绿色价值，但聚焦人工智能对制造业企业绿色转型影响的研究较少，相应的影响机理和经验证据还十分鲜见，未能系统揭示人工智能在微观制造业企业绿色转型过程中的影响效应与作用机制。鉴于此，本文选取 2010—2023 年中国 A 股制造业上市公司为研究对象，可能的边际贡献如下：1）已有关于制造业企业绿色转型驱动因素的研究多集中于企业 ESG 表现、数字化转型和公众环境关注度等方面，较少关注人工智能这一重要的科技因素，且人工智能的绿色发展效应主要集中于宏观层面，而本文创新性地从微观层面考察人工智能应用如何促进制造业企业绿色转型，是对相关研究的有益补充；2）本文基于“成本节约效应、绿色创新效应、低技能劳动力替代效应”3 个角度，系统分析人工智能应用对制造业企业绿色转型的具体机制，有助于厘清人工智能应用对制造业企业绿色转型的赋能机制与赋能效果；3）在考察人工智能应用促进制造业企业绿色转型的总体特征下，进一步实证检验人工智能对企业全要素生产率与污染排放的单一作用与协同效应，以及人工智能对不同内部特征、行业属性和所处区域制造业企业绿色转型的异质性影响，为政府出台政策措施以更好地鼓励制造业企业人工智能发展、稳步实现绿色转型提供经验证据。

1　理论分析与研究假说

1.1　人工智能应用对制造业企业绿色转型的直接影响

制造业企业绿色转型是一个全局性和系统性过程，其核心和根本要义在于“节能减排”，推动企业从高投入、高产出、高耗能、高污染的传统生产模式，向低碳、节能、高效的生产模式转变（戴翔等，2022）。技术进步是降低污染的长期动能（周杰琦等，2023），人工智能作为引领新工业革命的头雁技术（郭凯明，2019），具有高效率、高精度和持续性的优势，能够促进资源要素有效分配，实现智能化生产，使设备与生产方式更符合绿色可持续的现代化生产需求，在提高自身生产效益同时兼顾生产模式对环境带来的负面影响，释放生产过程低碳化的潜力，是制造业企业实现跨越式发展和绿色转型的新动力。具体而言，人工智能应用的绿色发展效应如下：1）人工智能应用具有技术偏向性特征，通过打造完整高效的智能制造系统，助力企业构建起贯穿生产全链条的智能体系（张帆等，2022），利用人工智能的自动感知学习、自主决策执行及自发适应调整等能力，加强生产过程全方位环境监测，对高污染、高能耗生产环节进行绿色改进，实现全过程废弃物减量化、资源化、无害化，降低能源消耗和环境污染；2）人工智能应用能够推动企业研发、生产、营销等各环节信息互联互通，从而在产品设计、生产过程中实现以消费主体为导向差异化定制参数（周杰琦等，2023），促进企业与消费主体动态反馈与双向互动程度不断提高，帮助企业合理设计产品回收和再利用工序，达到精准生产和高效的节能控制，扩大产品绿色效能，助力企业实现绿色转型；3）根据马歇尔和雅各布斯的集聚理论，“模仿”和“学习”效应可以促进地区间的资源聚集，并以此提高环境绩效（邝劲松等，2024），通过数字算法、智能应用和网络通信等人工智能技术形成多节点、多层次的生态网络（余东华等，2021），有助于邻近地区企业形成高水平的“学习模式”，加速绿色显性隐性知识扩散，以高效化的“集体学习机制”取代知识壁垒下的“囚徒困境”（贺星星等，2024），促进资源要素重新整合与要素供给结构优化，赋能邻近地区企业智能化和绿色化生产，进而提升绿色发展效率。综上所述，提出假说 1。

H1：人工智能应用能够促进制造业企业绿色转型。

1.2　人工智能应用影响企业绿色转型的作用机制

制造业企业生产过程具有高消耗、高排放的特性，生产过程绿色化是实现绿色转型的关键（刘玉

斌等，2023）。人工智能应用具有成本节约效应、绿色创新效应、低技能劳动力替代效应，能够从企业生产末端治理、生产前端控制、生产流程优化中提高企业生产过程的污染治理能力，最终促进企业绿色转型。

1.2.1 成本节约效应

充足的资金是制造业企业进行绿色转型的重要保障，人工智能应用能够促进资本要素积累，使企业有更高水平的盈余资金投入绿色研发活动中。首先，人工智能应用能够提高管理效率降低生产成本。人工智能应用能够削弱不同部门间经济活动的边界性（赵涛等，2020），促进管理信息在不同部门之间点对点传递（金祥义等，2022），有效提升企业管理效率，从而减少相应的管理费用支出，节约管理费用。人工智能应用来还能够强化生产过程中不同要素之间的匹配和协同程度，缓解企业不同生产环节所产生的衔接失误问题，实现更高水平的资源要素整合，有助于加快生产工序的运转效率、促进投入产出最优匹配、拓展企业生产能力与生产可能性边界（袁丽静等，2024），实现工业生产综合成本最小化。其次，人工智能应用能够减少交易的搜寻匹配成本。基于信号传递理论，人工智能应用能够提高企业信息披露质量和信息获取能力，这就使得企业不仅可以在短时间内获取市场的消费者需求信息，促进内部“人财物”与外部客户需求的有效协同，从而为消费者提供更灵活、更准确的生产设计方案，而且能够降低资金供求双方的信息不确定性，获得金融机构和投资者等债权和股权融资，使企业资源能够根据市场变化灵活配置。与此同时，成本降低能够给企业留下更大的利润空间，增加绿色投资有助于企业建立良好的社会声誉，提高环境责任绩效和竞争优势，且近年来《“十四五”工业绿色发展规划》《“十四五”智能制造发展规划》等多项政策提出智能化绿色化融合发展目标，给企业带来了外部压力，因此企业在日常生产运营的时会更加关注环境保护，增加与污染治理相关的减排设备投资，进而在生产末端实现污染减排，推动绿色转型升级。综上所述，提出假说2。

H2：人工智能应用通过成本节约促进制造业企业绿色转型。

1.2.2 绿色创新效应

绿色创新是制造业企业绿色转型的关键着力点（毛其淋等，2024）。人工智能应用能够加强知识溢出、优化创新环境、积累创新要素，推动企业绿色创新的突破。首先，信息稀缺是绿色创新动力不足的重要因素（朱冠平等，2024）。通过建立创新知识共享平台，充分发挥人工智能应用的时空压缩效应和强大的信息检索能力，将分散化的绿色创新相关知识进行集中化处理，可有效减少横向传递中的信息截流和纵向传递间的信息失真问题（章文光等，2021），克服创新知识溢出中存在的时空约束，有助于研发人员更快捷获取绿色创新的关键信息（郑景丽等，2024），实现绿色研发信息传递的及时性和准确性，促进企业绿色创新能力提升。其次，绿色创新往往需要经历多轮的试错过程，人工智能蕴含深度学习、自主操控、跨界融合、群智开放、人机协同等技术，不仅能够为企业绿色创新提供优越的硬件基础条件和数字算法技术支持，还能够为企业绿色创新提供高效的模拟实验环境，支持企业进行多轮不同方案的绿色技术研发，有效节省进行线下实验的时间成本和实验过程中的资源浪费。最后，人工智能应用能够通过分析历史试错数据对未来绿色创新路径进行更正和改善（许家云等，2024），大幅提升研发和创新效率，有助于企业能够以高效方式实现可预期的绿色创新。与此同时，企业绿色创新水平提升能够推动生产工艺朝更加清洁的智能化方向转型发展，改善生产过程中的能耗结构，提高企业能源利用效率，实现绿色偏向性技术与要素结构的合理配置（聂飞等，2022），进而从企业生产前端控制上降低产品生命周期对环境的负面影响，促进污染治理水平的提高。综上所述，提出假说3。

H3：人工智能应用通过绿色创新促进制造业企业绿色转型。

1.2.3 低技能劳动力替代效应

缺乏高端人才是制造业企业绿色转型的重要制约因素之一，人工智能应用能够产生劳动力替代现象，减少常规低技能劳动力需求的同时增加非常规高技能劳动力的需求（姚加权等，2024）。首先，人工智能技术所具有的机器学习、辅助决策、智能调控等功能，能够减少生产流程的衔接失误并降低生产过程中的人为出错率（刘斌等，2020）。人工智能在提升生产效率、增加生产复杂度的同时，以智能机械替代生产过程中的传统劳动力要

素，必然对无须复杂思考的常规低技能岗位的劳动力产生挤出效应（李磊等，2021），如生产、业务、财务与市场人员。其次，技术进步导致新任务增加，实施智能化生产和研发对非常规高技能劳动者的需求愈发强烈，将创造更多高技能劳动力岗位（吕越等，2023），如研发与技术人员，促使人力资本存量水平升级。与此同时，更多知识密集型和技术密集型劳动力加入生产，非常规高技能劳动力与人工智能技术设备形成人才配套，能够加快技术效应释放，提高生产过程的自动化和智能化水平，实现柔性生产和全天候生产，减少人为错误、精细度不足、生产力制约等引发的环境污染，从整个生产流程中加速释放绿色发展效应。综上所述，提出假说 4。

H4：人工智能应用通过替代低技能劳动力促进制造业企业绿色转型。

人工智能应用与制造业企业绿色转型的理论机制与研究假说框架如图 1 所示。

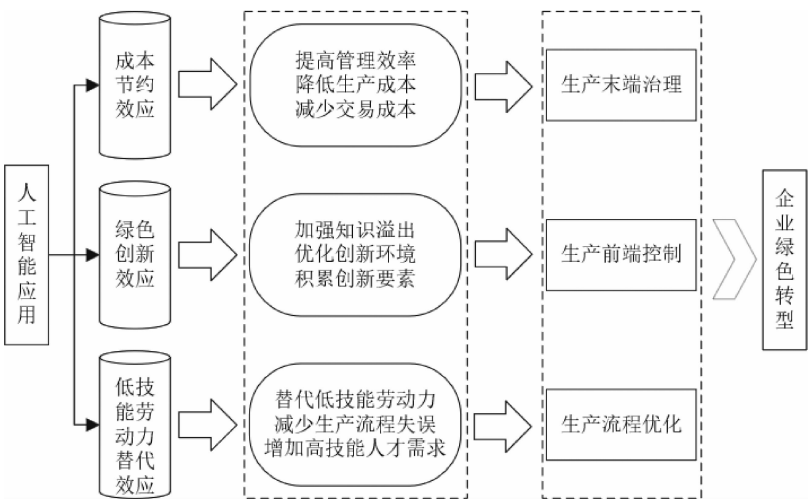


图 1　理论机制与研究假说框架

Fig. 1　Theoretical mechanism and research hypothesis framework

2　研究设计

2.1　样本选择与数据来源

考虑到中国工业机器人的使用在 2010 年之后呈现快速上升趋势（王永钦等，2020），故本文选取 2010—2023 年沪深 A 股制造业上市公司为研究样本，并按照以下条件进行筛选：1）剔除 ST 和 *ST企业样本；2）剔除相关变量严重缺失的样本；3）采用线性插值法补齐核心缺失数据。最终得到 10 906 个样本观测值。

论文中人工智能和企业绿色转型的数据通过采用文本分析法检索企业年报中人工智能和绿色转型相关的关键词统计得到，企业其他层面的微观数据来自国泰安数据库（CSMAR）。

2.2　变量选取

2.2.1　被解释变量

以绿色转型（*GT*）为被解释变量。绿色转型是企业在国家战略导向和政策引导下所作出的战略决策，必然会在年报中予以披露，因此参考 Wang et al .（2024）的研究，采用文本分析法获取年报中企业绿色转型相关词频，以衡量企业绿色转型。具体做法如下：1）根据《环境保护法》《企业环境行为评价技术指南》《绿色制造标准化白皮书》等政策文件，将绿色转型分为 3 个阶段，即感知层面、实践层面、管理层面，对应监测管理、排污治理、技术创新、战略理念、宣传倡议 5 个二级指标，整理出 113 个关键词（图 2）；2）通过 Python 爬虫技术获取上市公司年报，并进行数据清洗，删除含有“摘要”和“注销”等字样的年度报告，只保留最新更新的年度报告；3）基于整理的 113 个关键词利用“Jieba”的中文分词功能进行词频统计，并加 1 取自然对数得到企业绿色转型指标。

2.2.2　解释变量

以人工智能应用（*AI*）为解释变量。参考姚加权等（2024）的研究，首先，从新浪财经网站下载样本上市公司年报并提取文本数据；其次，参考人

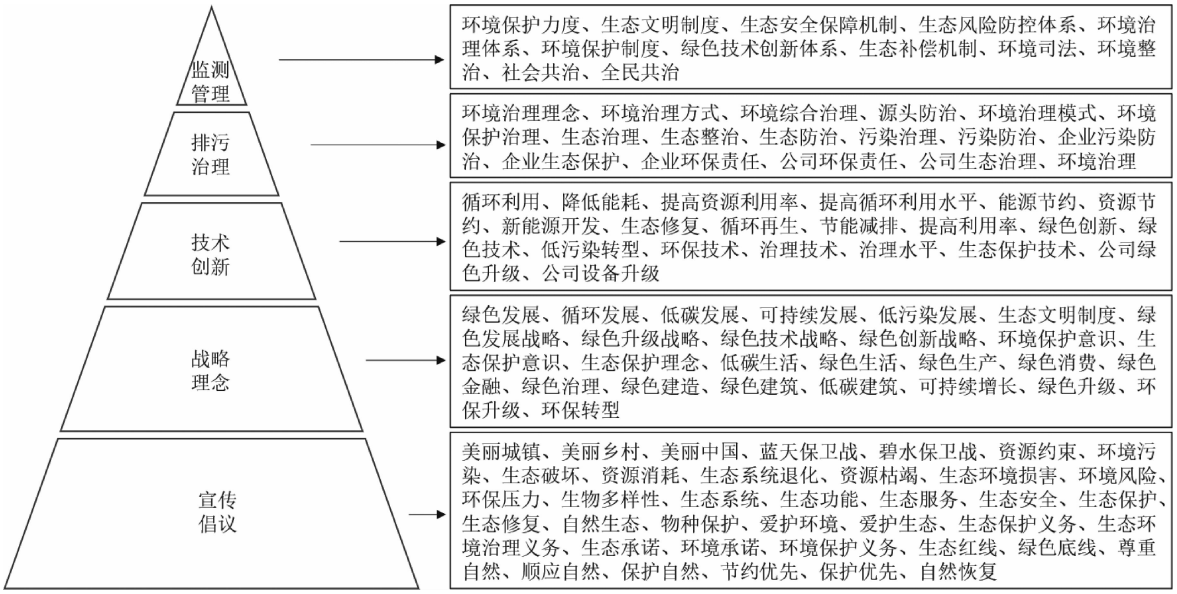


图 2 企业绿色转型关键词

Fig. 2 Keywords of enterprise green transformation

工智能相关研究报告和世界知识产权组织提供的人工智能词表，选取 52 个词语作为种子词，并采用“种子词 + Word2Vec 相似词”方法构建人工智能词典；最后，使用 Python 的“jieba”中文分词功能统计上市公司年报中人工智能词频，并加 1 取自然对数作为企业人工智能指标。

2.2.3 控制变量

参考相关研究（朱冠平等，2024；辛雅儒等，2024；吕越等，2023），在考察企业绿色转型影响因素时，选择以下控制变量：企业年龄（Age）、固定资产占比（Fixed）、存货占比（Inv）、两职合一（Dual）、股权集中度（Top）、账面市值比（*Bm*）、机构投资者持股比例（Inst）、应收账款占比（Rec）。变量具体定义如表 1 所示。

2.3 模型构建

为检验人工智能应用能否促进制造业企业绿色转型，设定公式（1）所示的基准回归模型：

$$GT_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 AI_{it} + \alpha_2 \text{Control}_{it} + \sum \text{Year} + \sum \text{Firm} + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

式中：i 为企业；t 为年份；GT_{it} 为企业绿色转型；AI_{it} 为人工智能应用；Control_{it} 为一系列控制变量；Year 为时间固定效应；Firm 为企业固定效应；ε_{it} 为随机扰动项；α_0 为常数项；α_1 为核心解释变量系数，若其显著为正，表明人工智能能够显著促进企业绿色转型。

表 1 变量定义

Table 1 Variable definition

变量类型	变量名称	变量符号	变量含义
被解释变量	企业绿色转型	*GT*	ln（绿色转型词频 + 1）
解释变量	人工智能应用	*AI*	ln（数字化转型词频 + 1）
控制变量	企业年龄	Age	ln（当年年份 - 上市年份 + 1）
	固定资产占比	Fixed	固定资产净额/总资产
	存货占比	Inv	存货净额/总资产
	两职合一	Dual	董事长与总经理是同一人为 1，否则为 0
	股权集中度	Top	第一大股东持股比例
	账面市值比	*Bm*	企业账面价值/总市值
	机构投资者持股比例	Inst	机构投资者持股总数/流通股本
	应收账款占比	Rec	企业应收账款净额/总资产

3　实证结果及分析

3.1　描述性统计

表 2 为主要变量的描述性统计结果，在样本期间内，共得到 10 906 个观测值，主要报告了均值、中位数、标准差、最小值、最大值以及多重共线性检验。其中 *GT* 最小值为 0.197，最大值为 7.710，均值为 3.290，与已有研究（Wang et al．，2024）较为接近，满足研究条件；*AI* 均值大于中位数，表明各企业 *AI* 呈正偏态分布，且有较大差异；其他控制变量在不同企业之间均表现出明显差异，能够对本次研究能起到较好控制作用。此外，本文还对相关变量进行了多重共线性检验，可以看出 VIF 值均小于 3，远小于 10，表明各变量不存在多重共线性。

表 2　变量描述性统计

Table 2　Descriptive statistics of variables

变量	观测值	均值	中位数	标准差	最小值	最大值	VIF
GT	10 906	3.290	3.194	0.994	0.197	7.710	—
AI	10 906	0.664	0	1.061	0	5.542	1.18
Age	10 906	2.415	2.564	0.709	0	3.467	1.33
Fixed	10 906	0.238	0.208	0.141	0	0.860	1.30
Inv	10 906	0.142	0.124	0.086	0	0.729	1.05
Dual	10 906	0.247	0	0.431	0	1	1.07
Top	10 906	0.332	0.312	0.145	0.002	0.900	1.35
Bm	10 906	1.044	0.730	1.080	0.001	1.490	1.14
Inst	10 906	0.415	0.429	0.230	0	0.915	1.44
Rec	10 906	0.124	0.108	0.093	0	0.685	1.20

3.2　基准回归

基准回归结果如表 3 所示。列（1）为仅加入解释变量 *AI* 的回归结果，此时 *AI* 系数为 0.263，在 1% 的水平显著，初步表明人工智能能够促进企业绿色转型。在列（1）的基础上逐步加入控制变量和控制“时间－企业”固定效应后，列（2）、列（3）结果显示 *AI* 系数均在 1% 水平显著为正，表明人工智能应用能够显著促进企业绿色转型，证实假设 H1 成立。

3.3　稳健性检验

3.3.1　工具变量法

由于绿色化水平较高的企业往往技术更先进、投资回报率更高，这类企业更倾向于进行数字化转型，因此绿色化水平提高可能是企业数字化转型的原因而不是结果，可能存在反向因果关系导致的内生性问题，选取同行业同年度其他企业人工智能的均值和人工智能滞后一期作为工具变量进行内生性检验。表 4 列（1）、列（3）显示，第一阶段选取的工具变量系数均在 1% 水平显著为正，表明行业均值和人工智能滞后一期与当年人工智能具有相关性；列（2）、列（4）显示，第二阶段 LM 和 Wald F 统计量均通过了 1% 水平的显著性检验，表明本文的工具变量通过了弱工具变量检验、过度识别检验，具有外生性，且 *AI* 系数分别为 0.025、0.059，均在 1% 水平显著为正，证明缓解模型内生性问题后，前文结论依旧可靠，再次验证了假设 H1。

表 3　基准回归结果

Table 3　Benchmark regression results

变量	*GT*		
	(1)	(2)	(3)
AI	0.263***	0.175***	0.037***
	(30.533)	(21.329)	(3.834)
Age		0.658***	−0.034
		(50.159)	(−1.283)
Fixed		−0.473***	0.047
		(−7.267)	(0.545)
Inv		−0.547***	0.181
		(−5.707)	(1.417)
Dual		0.102***	0.018
		(5.294)	(0.974)
Top		−0.300***	0.061
		(−4.650)	(0.621)
Bm		0.032***	−0.006
		(3.997)	(−0.566)
Inst		−0.311***	0.024
		(−7.411)	(0.510)
Rec		−0.096	−0.138
		(−1.017)	(−1.044)
常数项	3.115***	1.957***	1.992***
	(289.090)	(42.866)	(30.071)
时间/企业固定	否	否	是
观测值	10 906	10 906	10 906
调整 R^2	0.079	0.284	0.636

注：***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平；括号中为 *t* 值。下同

表 4 工具变量法检验结果

Table 4 Instrumental variable method test results

变量	其他企业人工智能均值		人工智能滞后一期	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	AI	*GT*	*AI*	*GT*
AI		0.025***		0.059***
		(2.752)		(3.530)
工具变量	0.691***		0.621***	
	(31.108)		(72.923)	
控制变量	是	是	是	是
时间/企业固定效应	是	是	是	是
K_P rk LM		885.039***		3 394.452***
C_D Wald F		967.686		5 317.847
观测值	10 906	10 906	10 127	10 127
调整 R^2		0.662		0.624

3.3.2 倾向得分匹配法与熵平衡匹配法

由于在样本选择时部分企业尚未引进人工智能应用，为了在一定程度上缓解样本选择问题所导致的内生性偏误，本文使用倾向得分匹配（PSM）缓解内生性问题。首先，根据样本企业人工智能中位数进行分组，将高于中位数的企业设定为处理组，否则为控制组；其次，选取企业年龄（Age）、固定资产占比（Fixed）、存货占比（Inv）、两职合一（Dual）、股权集中度（Top）、账面市值比（*Bm*）、机构投资者持股比例（Inst）、应收账款占比（Rec）作为协变量；最后，采取 1∶1 最近邻匹配进行匹配。表 5 列（1）结果显示，*AI* 系数为 0.033，通过 1% 水平显著性检验，说明经过 PSM 检验后，假设 H1 依旧成立。同时，由于传统 PSM 法存在对处置效应过度依赖等问题，因此采取熵平衡匹配法（EBM）进行处理，得出处理组和控制组的数据能够满足进行熵估计的要求，分组方式与 PSM 法相同。从表 5 列（2）可以看出 *AI* 系数仍在 1% 水平显著为正，说明经过熵平衡匹配后，假设 H1 依旧成立。

表 5 PSM 和 EBM 检验结果

Table 5 PSM and EBM test results

变量	(1)	(2)
	PSM	EBM
AI	0.033***	0.033***
	(2.599)	(3.427)
控制变量	是	是
时间/企业固定	是	是
观测值	6 706	10 906
调整 R^2	0.560	0.613

3.3.3 其他稳健性检验

1）替换解释变量。使用上市公司年报“管理层讨论与分析”（MD&A）中人工智能关键词数量加 1 取自然对数作为替换变量。表 6 列（1）显示，替换解释变量后，人工智能对企业绿色转型仍有显著的正向影响。

2）替换被解释变量。参考陈福中等（2024）的研究，使用 SBM - GML 模型测算企业绿色全要素生产率。具体来说，资本投入以企业固定资产净额衡量，劳动投入以企业员工数量衡量，能源投入以企业所在城市工业用电量来衡量，期望产出以企业营业收入衡量，非期望产出以工业二氧化硫、工业废水、工业烟粉尘排放量衡量，将基期 GML 值取为 1，并基于该值乘以各年 GML 指数来衡量绿色全要素生产率，并作为企业绿色转型的替换变量，结果如表 6 列（2）所示。可见 *AI* 系数为 0.133，通过 1% 水平显著性检验，表明替换被解释变量通过稳健性检验，本文结论具有稳健性。

3）改变样本区间。2017 年 7 月国务院出台《新一代人工智能发展规划》，人工智能发展上升至国家战略层面，考虑到人工智能相关政策可能对估计结果产生影响，故保留 2017 年及之后的数据重新回归。表 6 列（3）显示，*AI* 系数在 1% 水平显著为正，结果仍与前文结论一致。

4）剔除发达城市。考虑到发达城市经济发展水平较好，资金充足，且拥有较多的建成区面积和常住人口，在全国范围内的政治经济中发挥重要作用，为避免干扰，剔除直辖市、省会城市及深圳市样本进行重新检验，结果见表6 列（4）。*AI* 系数仍旧显著为正，进一步支持本文结果稳健性。

表 6　其他稳健性检验结果

Table 6　Other robustness test results

变量	*GT*			
	（1）	（2）	（3）	（4）
AI	0.051***	0.133***	0.057***	0.033**
	（3.260）	（7.493）	（2.919）	（2.467）
控制变量	是	是	是	是
时间/企业固定	是	是	是	是
观测值	10 906	10 906	5 453	6 114
调整 R^2	0.635	0.391	0.143	0.641

3.4　机制检验

基准回归结果表明，人工智能应用能够促进企业绿色转型。为进一步对人工智能应用促进制造业企业绿色转型的机制进行检验，借鉴江艇（2022）的研究，构建模型（2）。

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} + \beta_2 \text{Control}_{it} + \sum \text{Year} + \sum \text{Firm} + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

式中 *M* 为中介变量，分别代表成本节约效应、绿色创新效应、低技能劳动力替代效应。具体测度方法为：成本节约效应参考黄群慧等（2019）的研究，采用销售费用率（SER）和管理费用率（MER）作为代理变量，分别使用销售费用和管理费用与主营业务收入的比值衡量；绿色创新效应参考王分棉等（2023）的研究，采用绿色创新质量（pat_inv）和绿色创新数量（pat_uty）作为代理变量，分别使用绿色发明专利和绿色实用新型专利数量加 1 取自然对数衡量；低技能劳动力替代效应参考姚加权等（2024）的研究，采用常规低技能劳动力（Routine）和非常规高技能劳动力（Non_Routine）作为代理变量，常规低技能劳动力采用生产、业务、市场和财务人员数量除以企业员工人数衡量，非常规高技能劳动力采用技术和研发人员数量除以企业员工人数衡量。检验结果见表7。

表 7　机制检验结果

Table 7　Mechanism test results

变量	成本节约效应		绿色创新效应		低技能劳动力替代效应	
	SER	MER	pat_inv	pat_uty	Routine	Non_Routine
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）
AI	−0.002***	−0.002*	0.047***	0.014**	−0.006***	0.008***
	（−3.972）	（−1.781）	（6.417）	（2.117）	（2.117）	（7.574）
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间/企业固定	是	是	是	是	是	是
观测值	10 906	10 906	10 906	10 906	10 906	10 906
调整 R^2	−0.031	−0.014	−0.037	−0.059	−0.038	−0.027

由表7 列（1）、列（2）可知，*AI* 系数显著为负，说明人工智能应用可以有效促进企业销售费用率和管理费用率降低，发挥成本节约效应。表7 列（3）、列（4）显示，人工智能应用可以有效促进企业绿色创新提质增量，企业通过使用清洁生产或末端治理技术，有助于从源头上降低产品生命周期对环境的负面影响，减弱企业生产活动对环境的破坏和污染，促进企业绿色转型。表7 列（5）、列

(6) 显示，人工智能应用可以替代企业常规低技能劳动力，并提高对非常规高技能劳动力的需求，高端新质人才不断集聚促使人力资本存量水平升级，加快科技向生产力转化，实现绿色转型。进一步，朱冠平等（2024）研究发现，成本下降后，在其他条件保持不变情形下，企业利润将得到提升，从而为企业绿色转型预留更多资金。金祥义等（2023）研究证明企业绿色创新水平提升能够降低生产过程中资源能源耗损，减少污染排放强度。吕越等（2023）研究认为非常规高技能劳动力能够降低生产过程中的冗余和浪费，避免非必要的污染排放，对企业绿色转型产生正反馈。再结合本文的实证结论可知，人工智能应用能够发挥成本节约效应、绿色创新效应、低技能劳动力替代效应，进而促进企业绿色转型。

4 拓展性研究

4.1 异质性检验

为了进一步探究人工智能应用对制造业企业绿色转型的影响是否会因企业特征、行业属性以及所处地区的不同而呈现异质性，本文将从以下 3 个方面对样本分组进行异质性检验。

4.1.1 企业生命周期阶段

不同生命周期阶段的企业，发展策略、资源禀赋和战略目标不同，对人工智能应用和绿色转型的积极性存在差异。因此，参考刘诗源等（2020）的研究，通过经营现金流净额、投资现金流净额、筹资现金流净额的正负组合来划分企业不同生命周期（表 8）。

表 8 企业不同生命周期阶段

Table 8 Different stages of enterprise life cycle

现金流	成长期		成熟期		衰退期			
	初创期	增长期	成熟期	动荡期	停滞期	萎缩期	衰败期	淘汰期
经营现金流净额	−	+	+	−	+	+	−	−
投资现金流净额	−	−	−	−	+	+	+	+
筹资现金流净额	+	+	−	−	+	−	+	−

表 9 列（1）—（3）显示，人工智能应用对成长期和成熟期企业的绿色转型具有显著促进作用，对衰退期企业绿色转型的影响不显著。可能的原因是，成长期企业为了获得市场立足之地，会积极寻找新的战略增长点，而绿色转型是企业塑造良好形象、获取竞争优势的重要途径，因此企业在将资金用于扩大产能的同时倾向于加大绿色环保投入，提高市场竞争力。成熟期企业经营能力趋向稳定，拥有充裕的资金、成熟的技术体系和高质量人才储备，有能力积极推动人工智能在绿色转型中的应用。衰退期企业通常会出现生产萎缩、效益降低和严重亏损的情况，企业财务状况日益恶化，此时企业倾向于将资金投向常规的生产经营活动，对人工智能应用和绿色转型的关注不足。

4.1.2 企业所属行业碳排放强度

高碳行业深度减排对于实现“双碳”目标至关重要，不同行业属性的企业绿色转型倾向具有差异性。因此，根据 2016 年《国家发展改革委办公厅关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》提出的八大高碳排放行业，其中属于制造业的有钢铁、水泥、有色、石化、造纸、化工、航空行业，将研究样本分为高碳行业和低碳行业进行分组回归，检验结果如表 9 列（4）、列（5）所示。可见，低碳行业分组中 *AI* 系数在 1% 水平显著为正，而高碳行业分组中 *AI* 系数未通过显著性检验。原因可能是，高碳行业往往存在环境特殊性，其进行绿色转型普遍面临多方面技术瓶颈，仅依靠人工智能应用难以改变这些企业的高消耗、高污染属性，而低碳行业本身的业务模式和技术体系与人工智能应用的融合度较高，能够产生较好的绿色化效果。

4.1.3 企业所处区位

胡焕庸线是人口密度与自然环境差异的重要地理学分界，胡焕庸线西侧地广人稀，经济基础相对较弱，而胡焕庸线东侧人口密度高，经济相对发达，因此胡焕庸线两侧的企业在资金、人力资本、技术创新等方面的投资存在差异，导致人工智能应用对企业绿色转型的影响产生差异。因此，以胡焕

庸线为依据对样本企业进行分组回归，检验结果如表 9 列（6）、列（7）所示。可见，人工智能对胡焕庸线东侧企业的绿色转型促进作用更大。可能的原因是，胡焕庸线东侧地区往往拥有更加发达的金融市场、更多高素质人才集聚和更强的技术引进能力，为企业绿色转型提供充足的资金、人才与技术。而胡焕庸线西侧地区企业存在绿色转型资源集聚能力较弱、产业集聚度较低、生产结构趋同等问题，从而限制该区域人工智能应用对企业绿色转型的影响。

表 9　异质性检验结果

Table 9　Heterogeneity test results

变量	生命周期			行业碳排放强度		地理区位	
	成长期	成熟期	衰退期	高碳行业	低碳行业	胡焕庸线东侧	胡焕庸线西侧
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）	（7）
AI	0.047***	0.035**	0.052	0.015	0.042***	0.037***	0.009
	（3.224）	（2.123）	（0.724）	（0.604）	（3.913）	（3.728）	（3.728）
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
时间/企业固定	是	是	是	是	是	是	是
观测值	4 512	4 521	1 873	10 511	395	2 768	8 138
调整 R^2	0.609	0.558	0.381	0.636	0.626	0.637	0.626

4.2　发展与减排协同效应

新古典经济学理论认为，企业在既定技术水平和资源约束下，若将资源向污染治理、绿色生产倾斜会提高企业生产成本，降低企业竞争力，从而抵消环境保护带来的积极效应，对经济增长产生负面效果。在全球气候治理与绿色发展浪潮下，制造业企业经济快速发展同时衍生的环境问题日益凸显，传统发展模式往往以牺牲环境为代价，而单纯的减排措施可能对企业发展产生一定制约。制造业企业绿色转型的目的是为了实现减污降碳，促进绿色效益与经济效益融合发展。然而，已有部分研究认为企业减污降碳等绿色表现可能是以减产为代价的一种权衡行为（韩超等，2020），前述内容已经较为系统地验证了人工智能应用对企业绿色转型的促进作用，那么人工智能应用给企业绿色转型带来的促进作用是否以牺牲企业自身的发展为代价？鉴于此，本文构建如下模型，进一步验证人工智能应用在促进企业绿色转型基础上，能否实现企业发展与减排“遐迩一体”。

$$TFP_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 AI_{it} + \gamma_2 PES_{it} + \gamma_3 AI_{it} \times PES_{it} + \gamma_4 Control_{it} + \sum Year + \sum Firm + \varepsilon_{it}, \quad (3)$$

$$PES_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 AI_{it} + \lambda_2 TFP_{it} + \lambda_3 AI_{it} \times TFP_{it} + \lambda_4 Control_{it} + \sum Year + \sum Firm + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

式中：TFP 为企业发展的代理指标，以 LP 法计算的全要素生产率衡量；PES 为企业减排的代理指标，参考毛捷等（2022）的研究，以工业废气中的二氧化硫、氮氧化物排放量及烟粉尘排放总量与企业总产值的比值并取对数衡量。检验结果见表 10。

表 10　发展与减排协同效应检验结果

Table 10　The synergistic effect between development and emission reduction test results

变量	（1）	（2）	（3）	（4）
	TFP	PES	TFP	PES
AI	0.038***	−0.010***	−0.046***	−0.005***
	（7.423）	（7.423）	（−5.259）	（−5.698）
PES			−5.443***	
			（−5.308）	
AI × PES			0.167***	
			（3.378）	
TFP				−0.119***
				（−4.862）

续表 10

变量	(1) TFP	(2) PES	(3) TFP	(4) PES
$AI \times$ TFP				-0.002**
				(-2.330)
控制变量	是	是	是	是
时间/企业固定	是	是	是	是
观测值	10 906	10 906	10 906	10 906
调整 R^2	0.421	0.125	0.850	0.969

表 10 列（1）、列（2）分别为人工智能应用对企业发展与减排的独立效应，可以看出 *AI* 系数分别为 0.038、-0.010，均通过 1% 水平显著性检验，说明人工智能可以促进企业经济发展和减少污染排放。表 10 列（3）为人工智能应用与企业污染排放交乘项对企业全要素生产率的回归结果，表 10 列（4）为人工智能应用与企业全要素生产率交乘项对企业污染排放的回归结果，结果显示，交乘项系数均通过 5% 水平以上的显著性检验，表明人工智能有助于企业发展与减排协同增效。

5 结论与建议

基于 2010—2023 年沪深 A 股制造业上市公司数据，构建双向固定效应模型和中介效应模型，探究人工智能应用对制造业企业绿色转型的影响效应及作用机制。

1）人工智能应用能够显著促进制造业企业绿色转型，经过工具变量法、倾向得分匹配法（PSM）、熵平衡匹配法（EBM）的内生性检验，以及替换解释变量、替换被解释变量、改变样本区间、剔除发达城市的稳健性检验后结论依旧成立；

2）人工智能应用能够发挥成本节约效应、绿色创新效应和低技能劳动力替代效应，促进企业交易成本与管理成本下降、绿色创新提质增量、减少企业常规低技能劳动力和增加非常规高技能劳动力，使企业有更多的资金进行绿色减排投资，提升企业的治污能力与治污效率，提高企业生产效率，从生产末端治理、生产前端控制和生产流程优化三方面制造业企业绿色转型；

3）当企业生命周期处于成长期和成熟期、行业属性为低碳行业、位于胡焕庸线东侧地区时，人工智能应用对企业绿色转型的促进效应更强；

4）人工智能应用能够促进企业发展与减排遐迩一体，推动经济增长和环境保护协同发展。

基于以上结论，提出如下建议。

1）高度重视人工智能应用的绿色价值，深入实施智能制造和绿色制造工程。企业要积极推动各领域的智能化改造进程，以科技赋能推动“制造”向“智造”转型，充分释放人工智能所具备的高精度、高效率生产特征，努力培育绿色智能制造的新业态、新模式，打造更加智慧、更加绿色、更加清洁的“智慧工厂”和“智能车间”，大幅提升绿色生产工艺和能源使用效率，实现人工智能与绿色转型协同并进。同时，政府应通过系统和多层次的政策体系做好人工智能和绿色转型的顶层设计，在宏观层面引导绿色产业与人工智能技术深度融合，为企业实现经济效益和生态效益统一构建良好的制度环境。

2）充分发挥人工智能应用带来的成本节约效应、绿色创新效应和替代低技能劳动力效应，促进人工智能的绿色发展作用加快显现。从成本节约的角度看，企业应借助人工智能设备打造工业互联网体系，推进生产、经营管理模式的变革，不断增强管理效率和运营能力，促使资金更多地流向绿色转型活动中。从绿色创新的角度看，应加大人工智能在绿色清洁、高科技领域的投入，不断改善和提升企业的研发基础和创新能力，最大限度发挥人工智能在绿色创新方面的“数字红利”，助推绿色创新成为促进污染减排的核心动力。从替代低技能劳动力的角度看，企业加强与高校、科研院所间产学研用相结合，有效补充企业的高技能劳动力，培养人工智能时代所需要的专业人才，提升整体的生产效率和绿色化生产能力，优化劳动力技能结构，为企业绿色转型提供专业人才支撑。

3）持续释放人工智能应用的发展与减排双重作用。一方面，加快推进人工智能与工业制造的深度融合，促进人工智能技术在生产过程中的集成与优化，替代低效率、低产出的生产要素和工序环节，提高企业自身的生产效率，实现产出规模不断扩大；另一方面，深化人工智能在绿色节能场景的应用，充分发挥智能化技术的低污染性和清洁性，构建以智能技术为基础的可持续研发体系，大范围实现绿色技术对传统技术的替代，全面提升能源使用效率，助力绿色转型目标的实现。

参考文献

陈福中，蒋国海，董康银，2024. 数字经济对制造业绿色转型的空间溢出效应[J]. 中国人口·资源与环境，34(5)：114-125.〔Chen Fuzhong，Jiang Guohai，Dong Kangyin，2024. Spatial spillover effects of the digital economy on the green transformation of the manufacturing industry[J]. China Population，Resources and Environment，34(5)：114-125.〕

戴翔，杨双至，2022. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济(9)：83-101.〔Dai Xiang，Yang Shuangzhi，2022. Digital empowerment，source of digital input and green manufacturing[J]. China Industrial Economics (9)：83-101.〕

龚家凤，董小红，2024. 审计委员会环保背景与企业绿色转型[J]. 审计研究(3)：125-136.〔Gong Jiafeng，Dong Xiaohong，2024. Audit committees' environmental background and corporate green transformation[J]. Auditing Research(3)：125-136.〕

郭凯明，2019. 人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动[J]. 管理世界，35(7)：60-77，202-203.〔Guo Kaiming，2019. Artificial intelligence，structural transformation and labor share[J]. Management World，35(7)：60-77，202-203.〕

韩超，陈震，王震，2020. 节能目标约束下企业污染减排效应的机制研究[J]. 中国工业经济(10)：43-61.〔Han Chao，Chen Zhen，Wang Zhen，2020. Study on the mechanism of firms' pollution reduction under the constraint of energy-saving target[J]. China Industrial Economics(10)：43-61.〕

贺星星，阮俊杰，卞彩杏，2024. 人工智能应用促进了长江经济带三大城市群的绿色创新吗?：基于"数字红利"和"数字鸿沟"视角[J]. 经济地理，44(8)：137-147.〔He Xingxing，Ruan Junjie，Bian Caixing，2024. Does artificial intelligence application promote green innovation in three major city clusters of the Yangtze River Economic Belt?：Based on the perspectives of "digital dividend" and "digital divide"[J]. Economic Geography，44(8)：137-147.〕

黄群慧，余泳泽，张松林，2019. 互联网发展与制造业生产率提升：内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济(8)：5-23.〔Huang Qunhui，Yu Yongze，Zhang Songlin，2019. Internet development and productivity growth in manufacturing industry：Internal mechanism and China experiences[J]. China Industrial Economics (8)：5-23.〕

江艇，2022. 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(5)：100-120.〔Jiang Ting，2022. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics(5)：100-120.〕

金祥义，张文菲，2022. 人工智能与企业出口扩张：贸易革命的技术烙印[J]. 国际贸易问题(9)：70-87.〔Jin Xiangyi，Zhang Wenfei，2022. Artificial intelligence and firms' export expansion：The technological mark of trade revolution[J]. Journal of International Trade(9)：70-87.〕

金祥义，张文菲，2023. 人工智能与企业污染减排：智能治理的环境效应[J]. 中国人口·资源与环境，33(8)：138-145.〔Jin Xiangyi，Zhang Wenfei，2023. Artificial intelligence and enterprise pollution reduction：Environmental effects of intelligent governance[J]. China Population，Resources and Environment，33(8)：138-145.〕

孔高文，刘莎莎，孔东民，2020. 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(8)：80-98.〔Kong Gaowen，Liu Shasha，Kong Dongmin，2020. Robots and labor employment：An empirical investigation based on heterogeneity of industries and regions[J]. China Industrial Economics (8)：80-98.〕

邝劲松，杨坤宇，石校菲，等，2024. 省域人工智能发展对绿色全要素生产率的空间效应[J]. 经济地理，44(7)：144-154.〔Kuang Jinsong，Yang Kunyu，Shi Xiaofei，et al.，2024. Spatial effect of provincial artificial intelligence development on green total factor productivity[J]. Economic Geography，44(7)：144-154.〕

李金昌，连港慧，徐蔼婷，2023. "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，40(9)：27-49.〔Li Jinchang，Lian Ganghui，Xu Aiting，2023. Study on the path of enterprise green transformation under the carbon peaking and carbon neutrality goals：An empirical study on digitalization driving greenization[J]. Journal of Quantitative & Technical Economics，40(9)：27-49.〕

李磊，王小霞，包群，2021. 机器人的就业效应：机制与中国经验[J]. 管理世界，37(9)：104-119.〔Li Lei，Wang Xiaoxia，Bao Qun，2021. The employment effect of robots：Mechanism and evidence from China[J]. Management World，37(9)：104-119.〕

李卫兵，李铭洋，2023. 自动化的环保力量：工业机器人应用的减排效应[J]. 上海财经大学学报，25(6)：88-103.〔Li Weibing，Li Mingyang，2023. The environmental power of automation：The emission reduction effect of industrial robot applications[J]. Journal of Shanghai University of Finance and Economics，25(6)：88-103.〕

刘斌，潘彤，2020. 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，37(10)：24-44.〔Liu Bin，Pan Tong，2020. Research on the impact of artificial intelligence on manufacturing value chain specialization[J]. Journal of Quantitative & Technical Economics，37(10)：24-44.〕

刘珊，马莉莉，2023. 绿色金融对制造业企业绿色化转型的影响[J]. 资源科学，45(10)：1992-2008.〔Liu Shan，Ma Lili，2023. Impact of green finance on the green transformation of manufacturing

enterprises[J]. Resources Science, 45(10): 1992-2008.〕

刘诗源, 林志帆, 冷志鹏, 2020. 税收激励提高企业创新水平了吗?: 基于企业生命周期理论的检验[J]. 经济研究, 55(6): 105-121.〔Liu Shiyuan, Lin Zhifan, Leng Zhipeng, 2020. Whether tax incentives stimulate corporate innovation: Empirical evidence based on corporate life cycle theory[J]. Economic Research Journal, 55(6): 105-121.〕

刘婷婷, 周兵, 梁博, 2024. 人工智能、绿色创新与企业碳绩效[J]. 经济体制改革(4): 193-200.〔Liu Tingting, Zhou Bing, Liang Bo, 2024. Artificial intelligence, green innovation and corporate carbon performance[J]. Reform of Economic System(4): 193-200.〕

刘玉斌, 王丹婵, 2023. 数字化对制造业企业绿色转型的影响机制研究[J]. 山西大学学报(哲学社会科学版), 46(6): 138-148.〔Liu Yubin, Wang Danchan, 2023. The impact mechanism of digitalization on the green transformation of manufacturing enterprises[J]. Journal of Shanxi University (Philosophy & Social Science), 46(6): 138-148.〕

吕越, 谷玮, 包群, 2020. 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(5): 80-98.〔Lyu Yue, Gu Wei, Bao Qun, 2020. Artificial intelligence and Chinese enterprises' participate in global value chains[J]. China Industrial Economics(5): 80-98.〕

吕越, 马明会, 陈泳昌, 等, 2023. 人工智能赋能绿色发展[J]. 中国人口·资源与环境, 33(10): 100-111.〔Lyu Yue, Ma Minghui, Chen Yongchang, et al., 2023. Artificial intelligence and green development[J]. China Population, Resources and Environment, 33(10): 100-111.〕

马平平, 张明, 王龙可, 2024. 公众环境关注与企业绿色转型: 政府环境规制与企业内部能力的双重审视[J]. 中国人口·资源与环境, 34(6): 112-123.〔Ma Pingping, Zhang Ming, Wang Longke, 2024. Public environmental concerns and corporate green transformation: The dual examination of government environmental regulations and the internal capacity of enterprises[J]. China Population, Resources and Environment, 34(6): 112-123.〕

毛捷, 郭玉清, 曹婧, 等, 2022. 融资平台债务与环境污染治理[J]. 管理世界, 38(10): 96-118.〔Mao Jie, Guo Yuqing, Cao Jing, et al., 2022. Local government financing vehicle debt and environmental pollution control[J]. Management World, 38(10): 96-118.〕

毛其淋, 石步超, 2024. 通向绿色发展之路:智能制造与企业绿色转型[J]. 世界经济(9): 152-182.〔Mao Qilin, Shi Buchao, 2024. The path to green development: Smart manufacturing and corporate green transformation[J]. The Journal of World Economy(9): 152-182.〕

聂飞, 胡华璐, 李磊, 2022. 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(4): 1-14.〔Nie Fei, Hu Hualu, Li Lei, 2022. How can industrial robots promote green production?: Evidence from Chinese micro-firms[J]. Industrial Economics Research(4): 1-14.〕

王芳, 2024. 企业 ESG 表现与低碳绿色转型: 基于金融政策工具支持的效应评估[J]. 当代财经(1): 152-164.〔Wang Fang, 2024. Enterprise ESG performance and low-carbon green transformation: Effect evaluation based on the support of financial policy instrument[J]. Contemporary Finance & Economics(1): 152-164.〕

王分棉, 贺佳, 陈丽莉, 2023. 连锁董事绿色经历会促进企业绿色创新"增量提质"吗[J]. 中国工业经济(10): 155-173.〔Wang Fenmian, He Jia, Chen Lili, 2023. Will interlocking directors with green experience promote quantity increase and quality improvement of enterprise green innovation[J]. China Industrial Economics(10): 155-173.〕

王林辉, 胡晟明, 董直庆, 2020. 人工智能技术会诱致劳动收入不平等吗: 模型推演与分类评估[J]. 中国工业经济(4): 97-115.〔Wang Linhui, Hu Shengming, Dong Zhiqing, 2020. Will artificial intelligence technology induce labor income inequality: Model deduction and classification evaluation[J]. China Industrial Economics(4): 97-115.〕

王永钦, 董雯, 2020. 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, 55(10): 159-175.〔Wang Yongqin, Dong Wen, 2020. How the rise of robots has affected China's labor market?: Evidence from China's listed manufacturing firms[J]. Economic Research Journal, 55(10): 159-175.〕

辛雅儒, 申晨, 冯锐, 等, 2024. 机器人应用、CEO 绿色经历与企业绿色技术创新[J]. 经济管理, 46(7): 129-145.〔Xin Yaru, Shen Chen, Feng Rui, et al., 2024. CEO green experience, robot application and green technology innovation[J]. Business Management Journal, 46(7): 129-145.〕

徐洁, 李琳, 2024. 环境司法专门化对企业绿色转型的影响及其作用机制[J]. 中国人口·资源与环境, 34(5): 137-148.〔Xu Jie, Li Lin, 2024. Impact of environmental justice specialization on corporate green transformation and its mechanisms[J]. China Population, Resources and Environment, 34(5): 137-148.〕

许家云, 沈含雨, 周新博, 2024. 人工智能发展与企业 ESG 表现[J]. 世界经济研究(9): 120-134, 137.〔Xu Jiayun, Shen Hanyu, Zhou Xinbo, 2024. Artificial intelligence development and corporate ESG performance[J]. The Journal of World Economy(9): 120-134, 137.〕

姚加权, 张锟澎, 郭李鹏, 等, 2024. 人工智能如何提升企业生产效率?: 基于劳动力技能结构调整的视角[J]. 管理世界, 40(2): 101-116.〔Yao Jiaquan, Zhang Kunpeng, Guo Lipeng, et al., 2024. How does artificial intelligence improve firm productivity?: Based on the perspective of labor skill structure adjustment[J]. Management World, 40(2): 101-116.〕

余东华, 李云汉, 2021. 数字经济时代的产业组织创新: 以数字技术驱动的产业链群生态体系为例[J]. 改革(7): 24-43.〔Yu Donghua, Li Yunhan, 2021. The innovation of industrial organization in the era of digital economy: Research on industrial chain-cluster ecosystem driven by digital technology[J]. Reform(7): 24-43.〕

袁丽静, 王婉军, 王国新, 2024. 智能化改造与企业绿色转型: 基于进口工业机器人微观数据的研究[J]. 经济学动态(3): 44-60.

〔Yuan Lijing, Wang Wanjun, Wang Guoxin, 2024. Intelligentized reconstruction and green transformation of enterprises: A study based on micro data of imported industrial robots [J]. Economic Perspectives(3): 44-60.〕

占华, 后梦婷, 檀菲菲, 2022. 智能化发展对中国企业绿色创新的影响: 基于新能源产业上市公司的证据[J]. 资源科学, 44(5): 984-993.〔Zhan Hua, Hou Mengting, Tan Feifei, 2022. Influence of intelligentization on enterprise green innovation: Evidence from listed companies of new energy industry in China[J]. Resources Science, 44(5): 984-993.〕

张帆, 施震凯, 武戈, 2022. 数字经济与环境规制对绿色全要素生产率的影响[J]. 南京社会科学(6): 12-20, 29.〔Zhang Fan, Shi Zhenkai, Wu Ge, 2022. The impact of digital economy and environmental regulation on green total factor productivity [J]. Nanjing Journal of Social Sciences (6): 12-20, 29.〕

章文光, 贾茹, 2021. 人工智能的社会伦理困境: 提升效率、辅助与替代决策[J]. 东岳论丛, 42(8): 92-100, 192.〔Zhang Wenguang, Jia Ru, 2021. The social ethical dilemma of artificial intelligence: Opportunity, efficiency, and uncertain risk[J]. Dong Yue Tribune, 42(8): 92-100, 192.〕

赵涛, 张智, 梁上坤, 2020. 数字经济、创业活跃度与高质量发展: 来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 36(10): 65-76.〔Zhao Tao, Zhang Zhi, Liang Shangkun, 2020. Digital economy, entrepreneurship, and high-quality economic development: Empirical evidence from urban China [J]. Management World, 36(10): 65-76.〕

郑景丽, 王喜虹, 张雪梅, 2024. 人工智能如何影响劳动收入份额: 基于产业结构与企业升级的机制探讨[J]. 南开经济研究(4): 3-22.〔Zheng Jingli, Wang Xihong, Zhang Xuemei, 2024. How does AI affect labor income share?: Based on the mechanism of industrial structure and enterprise upgrading[J]. Nankai Economic Studies(4): 3-22.〕

周杰琦, 陈达, 夏南新, 2023. 人工智能的绿色发展效应: 技术赋能和结构优化[J]. 当代经济科学, 45(5): 30-45.〔Zhou Jieqi, Chen Da, Xia Nanxin, 2023. Green development effects of artificial intelligence: Technological empowerment and structural optimization [J]. Modern Economic Science, 45(5): 30-45.〕

周锐波, 吴云峰, 宋佳晞, 2024. 共生共荣: 工业智能化发展与包容性绿色增长[J]. 中国人口·资源与环境, 34(5): 162-174.〔Zhou Ruibo, Wu Yunfeng, Song Jiaxi, 2024. Symbiosis and coprosperity: Industrial intelligence development and inclusive green growth[J]. China Population, Resources and Environment, 34(5): 162-174.〕

朱冠平, 王琨, 2024. 人工智能应用与制造业企业绿色创新[J]. 工业技术经济, 43(9): 73-81.〔Zhu Guanping, Wang Kun, 2024. Artificial intelligence applications and green innovation in manufacturing firms [J]. Journal of Industrial Technology and Economy, 43(9): 73-81.〕

Wang Lan, Cheng Zhonghua, 2024. Impact of the belt and road initiative on enterprise green transformation [J]. Journal of Cleaner Production, 468: 143043.