人工智能赋能制造业新质生产力的机理与路径

张 淞，吴忠才，旷燕君

（湖南理工学院经济与管理学院，岳阳 414000）

摘要：人工智能（AI）驱动新一轮科技革命正处于加速演进中，人工智能在制造业的广泛应用赋能制造业新质生产力发展颇受关注。围绕人工智能技术如何驱动制造业新质生产力发展，构建一套系统的评估指标体系，基于2011—2022年中国省级面板数据，使用熵权法测算人工智能和制造业新质生产力指数，旨在深度剖析其赋能效应的具体表现与内在作用路径。分析结果表明：人工智能技术对于制造业新质生产力的提升具有显著的积极推动作用；机制检验表明人工智能可以通过技术创新和人力资本推动制造业新质生产力发展；人工智能的应用存在异质性，对制造业新质生产力发展水平高的地区、沿海地区以及南方地区的制造业新质生产力促进效应更为明显。

关键词：人工智能（AI）；制造业新质生产力；科技创新；人力资本；区域异质性

中图分类号：F249.2 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)07－0134－10

制造业作为立国之本、强国之基，是支撑国民经济持续健康发展的支柱产业。历经多年发展，中国已跻身制造大国行列，在国际环境变化与国内经济结构调整的双重驱动下，制造业顺应转型升级的时代要求，亟须推动传统发展模式向科技驱动转型。在此时代背景下，如何推动制造业与科技革命同频共振，成为当下亟待破解的重要课题。人工智能作为引领产业变革的战略性技术，可以通过驱动生产方式与创新路径的系统性重构，为制造业新质生产力的培育注入全新动力。从实践来看，无论是海尔基于人工智能视觉的“零缺陷”全检体系，还是三一重工依托设备互联实现的预测性维护与服务化转型，均表明人工智能正从效率提升、质量精进与模式创新等多个维度，推动制造业向智能化、绿色化、高端化方向演进，成为塑造未来发展新优势的核心引擎。

制造业作为中国国民经济的根基与创新发展的前沿阵地，尽管具备良好的数字化基础，但其关键核心技术难题正日益成为制约高质量发展的突出瓶颈。与此同时，人工智能的广泛应用将大力提升制造业的生产效率和产品质量，但在实现提质增效的同时，自动化与智能化的升级改造也将对传统制造业带来冲击。所以，如何在推进人工智能广泛应用的同时保持制造业新质生产力的稳定发展，是关系中国经济发展与社会稳定的重大问题。因此，聚焦人工智能对制造业新质生产力的影响机制与实现路径，重点探讨以下问题：人工智能是否显著促进制造业新质生产力的发展？在这一过程中，科技创新与人力资本升级是否发挥关键中介作用？其影响效果是否存在区域异质性？为回应上述问题，构建理论分析框架，基于中国省级层面数据，综合运用熵权法测度、中介效应模型与异质性分析等方法，实证检验人工智能影响制造业新质生产力的内在机理，以期为相关政策的制定提供参考。

与现有研究相比，本文的边际贡献在于：①将人工智能与制造业新质生产力纳入统一分析框架，并构建指标体系评价人工智能和制造业新质生产力发展水平，为后续相关研究提供方法借鉴与决策参考；②从科技创新与人力资本双路径揭示人工智能促进制造业新质生产力发展的影响机制，为理解人工智能促进制造业新质生产力的赋能机制提供更细致的经验证据；③深入探讨人工智能在促进制造业新质生产力发展过程中不同区域间的差异化表现，对不同地区制定不同力度的人工智能赋能政策具有重要参考价值。

1 文献综述

1.1 新质生产力的理论内涵及测度

自“新质生产力”这一理论构想提出以来，便迅

收稿日期：2025-11-10

基金项目：教育部人文社科规划基金（20YJA790068）

作者简介：张淞（2001—），男，湖南衡阳人，硕士研究生，研究方向为区域经济学；吴忠才（1973—），男，湖南汨罗人，博士，教授，硕士研究生导师，研究方向为数字经济；旷燕君（2001—），女，湖南衡阳人，硕士研究生，研究方向为区域经济学。

速成为学术界关注的焦点,其核心定义与理论框架引发了学者们的广泛探讨与多维解析。新质生产力以其拥有科学技术、创新驱动以及绿色低碳3个维度的特性而区别于传统的生产力[1],是以科技创新为主导,符合高质量发展要求的生产力,是一种更先进的生产力质态,也是能提升社会生活品质的生产力[2]。关于新质生产力的内涵,石敏俊等[3]认为新质生产力的核心内涵在于人力资本累积和全要素生产率对经济产出的贡献。而卢林和施建军[4]、刘文祥和赵庆寺[5]、周文和许凌云[6]将新质生产力拆分理解,认为"新"是新质生产力的深层驱动,"新"主要体现在突破关键性和颠覆性技术及其应用上。"质"是新质生产力的追求目标,"质"强调在创新驱动的基础上,通过技术突破增强生产力发展的创新动力。"生产力"则是新质生产力的中心内涵,其核心是信息新技术的融合聚变和技术的突破带来的创新驱动。

在关注新质生产力内涵的同时,学界也在不断探索新质生产力该如何评价测算。为对"新质生产力"这一概念进行量化分析,多数学者依据其理论内核来设计相应的评估框架。在此过程中,一种主流的研究范式是基于生产力系统的核心构成要素,即劳动者、劳动资料与劳动对象,来搭建综合性的评价指标体系[7]。有学者从科技创新、产业升级和发展条件3个方面评价新质生产力[8]。也有部分学者则致力于提升研究的精细化程度,将关注点聚焦于农业领域。这些研究通常以农业生产中的3大核心要素:劳动者、劳动对象与劳动资料作为基本框架,开发一套针对农业新质生产力的评估体系[9]。此外,还存在一种企业新质生产力的评估框架,其设计是基于4个关键视角:硬科技、软科技、活劳动以及物化劳动[10-11]。本文的研究对象是省级层面的制造业新质生产力,参考卢江等[12]、曲立等[13]的研究,构建制造业新质生产力评价指标体系。

1.2　人工智能的理论内涵及测度

随着人工智能技术的持续进步,学术界越来越关注人工智能技术在各领域对经济和社会的影响,探索人工智能技术在现实世界中的理论意义,成为许多学者研究的方向。宏观层面,人工智能可以加快中国式现代化发展进程,其对信息化水平高的地区以及东部地区的促进作用明显比信息化水平低的地区以及中西部地区的促进作用要强[14]。同时,人工智能能显著降低污染排放强度,赋能中国绿色高质量发展[15]。中观层面,人工智能发展可以促进产业结构高级化和合理化水平,推动产业结构转型升级[16],还能够优化区域创新环境、赋能区域技术创新水平提升[17]。微观层面,人工智能技术的应用使机器变得更智能,提高了机器效率;同时也促使劳动力通过教育和培训提升自身素质,成为新质劳动力,提高劳动效率[18]。

在对人工智能发展水平进行量化时,学术圈内存在两种主流的研究路径。其中,一部分研究倾向于采用基于单一维度的衡量标准,与之相对,另一部分研究则致力于设计综合性的评价指标体系来系统衡量人工智能的发展水准。在采用单维度量度的研究中,有的学者使用文本分析方法,采用上市公司专利申请书中人工智能专利数加1的自然对数,或者采用上市公司年报与专利文本,运用机器学习方法生成人工智能词典[19],进一步细化到制造业公司年报文本,构建人工智能术语词典[20]来测度企业人工智能的发展水平。也有学者使用工业机器人密度来表示人工智能指数[21]。关于多指标构建评价体系,一是以《新一代人工智能发展规划》为基础和根据科学、系统、可行性的原则,该指标体系的框架主要涵盖3大支柱:支撑人工智能发展的基础环境、驱动其进步的知识创新能力,以及其在市场中的产业竞争实力[22]。二是根据《国家创新指数报告—2020》,从智能环境支撑、技术创造产出、产业竞争表现3个维度,构建人工智能发展综合评价指标体系,并运用熵值法测算人工智能指数。在本文中采用多指标构建评价体系的方法,借鉴杨仁发和陆瑶[21]、周杰琦等[23]、欧进锋[24]的研究,首先设计了一套用于全面评估人工智能发展状况的指标系统,进而采用熵值法为各省份的发展状况计算出一个综合指数,以此作为后续分析的基础。

1.3　人工智能与制造业新质生产力相关研究

人工智能作为新型劳动工具的典型代表,符合新质生产力发展要求。其不仅可以通过提高创新能力、能源效率和数字化水平,3条渠道促进新质生产力提升[25],还可以通过创新驱动、人员激励、劳动力配置,3种效应推动企业新质生产力的发展。一方面,比起成立时间较晚、小规模企业,人工智能更能促进成立较早、大规模企业新质生产力发展,而且促进效果在高科技、高竞争性行业更显著[26-27]。另一方面,人工智能也可以显著促进专精特新"小巨人"企业的新质生产力水平[28]。

制造业作为一个传统行业,其如何科学合理地适应人工智能带来的发展红利也成了学者们研究

的方向。部分学者进行了理论阐释，从人工智能应用所产生的新型生产力主体、工具、对象、方式4个方面，论述了人工智能如何驱动制造业新质生产力形成。从数据驱动、创新促进、要素配置、市场竞争4种效应出发，阐述了人工智能驱动制造业新质生产力价值创造的作用机制[29]。而也有学者从实证的角度出发研究人工智能对制造业企业新质生产力的影响机制，通过实证研究，得出了人工智能的赋能路径体现在多个维度：它不仅能驱动创新体系实现能级跃迁，优化劳动力的学历背景与技能构成，还能显著提高供应链内部的协同效率，释放其对全要素生产率的正向效应，从而赋能制造业新质生产力[20]，还可以从企业数字创新能力、数据要素利用能力以及人工智能政策赋能制造业企业新质生产力[30]。但通过对相关文献分析发现，如今大多学者都是聚焦于制造业企业新质生产力的研究，研究人工智能对地域制造业新质生产力的影响机制以及路径的文献还不多。为此，现针对地域制造业新质生产力，从宏观的角度剖析人工智能技术如何作用于不同区域制造业的新质生产力，并深入考察其内在的作用路径及因地区差异而呈现出的不同影响效果。

2 理论分析与研究假设

2.1 人工智能对制造业新质生产力的直接影响

制造业领域的新质生产力，其本质承袭了该理论关于“新”与“质”的核心界定，并遵循着推动新质生产力发展的基本规律[11]。人工智能应用具有技术偏向性特征。人工智能技术与制造业的深度融合，能够推动地区制造业实现整体技术能级的跃升，并为其注入强大的创新动能，同时加速其绿色转型进程。这些积极效应的最终汇聚，共同构成了制造业新质生产力的提升路径。此外，人工智能的应用本身即提升制造业技术水准的关键驱动力。智能技术浪潮下，人工智能正重构产业基础要素，其与工业体系的有机整合加速生产要素重组，成为驱动现代工业体系升级的核心动能。这种技术范式革新通过赋能生产流程优化，正在重塑实体经济的价值创造模式。正因为如此，加强人工智能技术在制造业的普遍应用，能够重构制造业传统体系，促使人工智能技术融入产品研发全链条，提高生产线的劳动力数量和物质资本使用效率，进而提高创新效率和降低研发成本[31]。制造业技术升级离不开人工智能技术的深度应用[32]。因此，在智能转型背景下，人工智能驱动产业技术范式迭代，通过重塑技术研发模式、加速知识转化效率及催生前沿技术体系，持续释放制造业技术创新势能，提高制造业技术水平。

人工智能应用可以提高制造业创新能力。制造业企业将智能机器和自动化技术投入生产各环节，不仅能让智能机器完成人类无法胜任的高强度、高精度、高危险的任务，保证生产的持续和稳定[29]，还能通过替代低技能劳动力，显著减少因生产环节依赖中低技能劳动力所导致的精度缺陷与效率瓶颈，进而缓解由此产生的资源错配与不必要的损耗[15]，提高生产效率，而生产率越高，越有助于缓解融资约束，从而使制造业有更多的资金开发创新项目，提高制造业创新能力。

人工智能技术在驱动制造业经济绩效增长的同时，也为其绿色转型提供了关键助力，展现出双轮驱动的协同效应。人工智能凭借其在激发绿色技术创新、优化生产流程效率以及引导产业结构向高级化演进等方面的作用，为新质生产力的孕育提供了关键支撑，进而成为驱动制造业实现绿色低碳转型的重要力量[33]。人工智能应用可以重构制造业生产链条，其融合多维信息对生产过程实现动态追踪与效能评估，通过预判市场需求与自主调节运行参数，完成资源动态分配与优化配置。这种闭环控制体系革新了工业能耗管理模式，实现能效跃升与资源耗损双优化，从而推动制造业绿色发展[29]。因此，认为人工智能可以赋能制造业新质生产力，并提出如下假设。

H1：人工智能对制造业新质生产力具有显著的正向推动作用。

2.2 人工智能对制造业新质生产力的影响机制

2.2.1 人工智能通过促进科技创新影响制造业新质生产力

人工智能作为新一轮科技革命核心引擎，驱动着科技创新能力的提升。在市场不确定性增强的环境下，人工智能极大地提高了制造业收集信息和处理信息的能力，它能及时捕捉用户需求，通过神经网络算法处理大量的跨领域数据，预测分析消费者的创新需求并将其反馈至研发环节。研发人员则能借助人工智能技术模拟创新过程，且经过不断积累经验，制订最优的创新方案，生产出满足大众需求的新产品，有效打破了需求和研发之间的壁垒，提高了研发部门自主创新能力。区域创新能力的增强可以促进新质生产力提升[25]，创新能力的提高可以促进生产要素的拓展，实现要素驱动向创新

驱动的动力转型,从而推动制造业持续地进行科技创新,科技创新加快了制造业部门的技术革新,推动了企业技术和模式改进,优化企业的内部管理和资源调配,推动产业结构做出与新时代相适应的调整,探索出适合新发展格局的发展路径,从而加速制造业新质生产力的发展。因此,认为人工智能可以通过促进技术创新来赋能制造业新质生产力,并提出如下假设。

H2:人工智能通过促进科技创新赋能制造业新质生产力。

2.2.2　人工智能通过促进人力资本影响制造业新质生产力

在知识经济时代,作为知识与技术核心载体的人力资本已成为驱动产业发展的战略要素。然而现阶段,中国专业化人力资本的积累尚显薄弱,这一结构性短板对劳动密集型与资本密集型产业向以技术为核心驱动的发展模式转型构成了制约。值得关注的是,人工智能技术的广泛应用正在重构产业格局:一方面通过生产流程智能化升级提高全要素生产率,另一方面促使劳动力结构优化调整,这种变革效应将有效激发人力资本迭代更新,形成支撑产业转型升级的内生动力。

从人工智能与人力资本的关系来看,人工智能的应用可以创造虚拟劳动力,对不同的劳动力产生不一样的替代效应[34],劳动力从事具有单一性、重复性、常规性特点的工作更容易被替代。同时,低技能劳动力被人工智能替代,这代表生产活动中知识型与技术型劳动者的比重将不断增加。此种人力资本结构的变化,不仅能减少生产环节的资源错配与无效损耗,还有助于克服因依赖中低技能劳动力所致的工艺精度低、效率天花板等问题,从而从源头上减轻对环境的压力。另一方面,被解放的劳动力会主动或被动提升技能水平,通过参加专项技能培训提高自身素质,从而使人工智能技术能更容易与高技能、高素质劳动力结合[31],进一步发挥生产率效应,促进企业生产率提高。因此,认为人工智能可以通过提高人力资本来赋能制造业新质生产力,并提出如下假设。

H3:人工智能通过促进人力资本赋能制造业新质生产力。

3　研究设计

3.1　计量模型构建

3.1.1　基准回归模型

为检验人工智能对制造业企业新质生产力的影响效应,借鉴吕越等[15]的研究,设计模型进行检验。

$$\mathrm{ManPro}_{i,t}=\beta_0+\beta_1\mathrm{AI}_{i,t}+\beta_2X_{i,t}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{i,t} \tag{1}$$

式中:下标 i 和 t 分别为省份和年份;被解释变量 ManPro 为制造业企业新质生产力,以制造业新质生产力评价指数来衡量;核心解释变量 AI 为人工智能水平,采用人工智能评价指数衡量;X 为其他控制变量;γ_i 和 μ_t 分别为省份固定效应和年份固定效应;$\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项;β_0 为常数项;β_1、β_2 为系数。

3.1.2　作用机理模型

由于传统三步法在估计参数时可能不一致,导致无法准确判断中介效应的存在性和解释力度,且检验效能较低,有时可能无法揭示实际存在的中介效应。为了进一步检验人工智能应用赋能制造企业创新绩效的作用机制,借鉴江艇[35]提出的两步法中介效应检验方法,在模型的基础上,构建如下中介效应模型:

$$\ln\mathrm{Media}=\beta_0+\beta_1\mathrm{AI}_{i,t}+rX_{i,t}+\gamma_i+\mu_t+\varepsilon_{i,t} \tag{2}$$

式中:lnMedia 为中介变量;r 为系数。

3.2　变量描述

3.2.1　被解释变量:制造业新质生产力(ManPro)

目前,中国制造业新质生产力测度研究还处于起步阶段,对其测度体系的内涵及建构原则还缺乏深入探讨。虽然有学者在企业层面探讨了制造业新质生产力评价体系的构建,但是在省级层面构建制造业新质生产力评价指标体系的文献还比较少,因此,借鉴卢江等[12]、曲立等[13]的研究,构建含 3 个维度的指标体系(表 1),并通过熵值法测算出制造业新质生产力指数。

3.2.2　核心解释变量:人工智能(AI)

要科学评估人工智能对制造业新质生产力所产生的推动作用,首要前提在于对其自身的发展水平进行有效且可靠的量化。现有研究普遍以工业机器人数据为核心测度指标,然而人工智能作为具有范式革新意义的通用技术,其拥有深度渗透性和多维度协同性的技术特征,单一维度的工业机器人应用指标难以全面刻画人工智能技术的综合经济社会效应。因此,借鉴杨仁发和陆瑶[21]、周杰琦等[23]、欧进锋[24]的研究,设计一个综合性的评估框架,更为系统地刻画中国人工智能的发展前景。这一做法不仅拓宽了研究视野,也有助于缓解因单一

表 1　制造业新质生产力指标体系及指标权重

维度层	要素层	指标层	属性	权重
科技	创新能力	规模以上工业企业产业创新经费	正向	0.185 8
		国内专利授权数	正向	0.223 9
		高技术产业业务收入	正向	0.239 1
	技术水平	规模以上工业企业 R&D 人员全时当量	正向	0.197 7
绿色	资源节约	能源消费量/国内生产总值	负向	0.017 8
		工业用水量/国内生产总值	负向	0.013 4
		工业固体废物综合利用量/产生量	正向	0.034 6
	环境友好	工业废水排放/国内生产总值	负向	0.019 0
		工业 SO_2 排放/国内生产总值	负向	0.006 7
		规模以上工业企业总利润/国内生产总值	正向	0.004 1
产业	竞争能力	规模以上工业企业资产总额/国内生产总值	正向	0.049 6
		规模以上工业企业总资产利润率	正向	0.006 1
	盈利能力	规模以上工业企业利润率	正向	0.002 2

代理变量存在测量误差而可能导致的模型内生性偏误。表 2 显示，该框架主要包含 3 大支柱：智能化、技术水平与产业竞争表现。在研究过程中，首先依据该框架收集了 3 个一级指标、10 个二级指标的数据，继而采用熵值法对 2011—2022 年省级面板数据进行综合测算，最终合成一个反映人工智能发展水平的综合指数。该指数的数值与人工智能的发展程度呈正相关。

3.2.3　控制变量

参考已有相关文献，选取如下控制变量：①环境规制(ER)。新质生产力本质上是绿色生产力，新质生产力发展离不开环境规制的有效制约与引导，采用工业污染治理投资与工业增加值的比值表示。②政府干预(GOV)。政府是驱动新质生产力发展的重要主体，政府投资能够提升新质生产力发展水平。采用政府一般财政支出与各省 GDP 的比值表示。③物流效率(LOG)。由于人工智能的发展需要大量的高端机器设备支持，而机器设备能否安全地运输到相应企业则取决于物流业的成熟度，所以用全国各地物流效率衡量物流业的发展，采用各地区货物周转量表示。④工业化水平(INL)。以第二产业占比表示。⑤规模以上工业企业数(NUIN)。人工智能的发展需要大量且持续的资金投入，而且智能技术也需要一定的载体，规模以上工业企业在智能制造方面走在前列，在人工智能领域也具有更大的优势，是影响人工智能发展的重要力量，采用规模以上工业企业数取对数表示。

表 2　人工智能指标体系及指标权重

维度层	要素层	指标层	属性	权重
智能化	工业机器人应用	工业机器人应用密度	正向	0.055 1
	服务业智能化	(固定)互联网宽带接入用户	正向	0.029 8
	基础设施支持	研究与试验发展(R&D)经费内部支出	正向	0.051 6
		研究与试验发展(R&D)经费投入强度	正向	0.028 1
		光缆线路长度/省域面积	正向	0.058 5
	科研开发支持	科学研究和技术服务业法人单位数	正向	0.054 9
	技术人才支持	信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员	正向	0.052 6
		高技术产业平均从业人员	正向	0.074 2
		科学研究和技术服务业城镇单位就业人员	正向	0.031 9
技术水平	物质创造产出	高新技术产品开发项目数	正向	0.075 2
		软件业务收入	正向	0.086 7
	知识创造产出	研究与开发机构科技论文发表数/各省人数	正向	0.114 8
		研究与开发机构发明专利数/各省人数	正向	0.125 9
	人工智能专利	人工智能专利申请数量	正向	0.089 7
人工智能产业竞争表现	企业营运	高技术产业利润总额/高技术企业数	正向	0.009 2
		高技术产业主营业务收入/高技术产业从业人数	正向	0.009 8
	资本运作	高技术产业投资额/高技术企业数	正向	0.052 2

3.2.4　中介变量

依据前文理论分析，选取科技创新、人力资本两个中介变量。①科技创新(TEC)。专利被认为是科技创新的核心指标，而专利又包括专利授权和专利申请，考虑到专利授权具有滞后性，同时为了提高精确度，进一步采用每 10 万人人工智能专利申请数来对科技创新进行刻画。②人力资本(HR)。人力资本一直是科技发展的主要驱动力，由于相对于其他从业者，科技活动从业人员与人工智能技术的关系更为密切，对人工智能技术的发展影响更大。基于此，将区域内从事科学研究与技术服务业的人员数量占该地区常住人口总数的比例，作为衡量其人力资本水平的代理变量。

3.3　数据说明

研究所使用的数据为 2011—2022 年中国 30 个省份(因数据缺失，未包含西藏地区和港澳台地区)的面板数据。数据来源具体包括国家统计局、《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国高技术产业统计

年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》和各地方统计年鉴以及国际机器人联合会(IFR),个别缺失数据采用插值法和增长率法予以补充。

对于研究样本时间跨度的说明:①由于2024年相关数据需要从2025年各统计年鉴中获取,但目前2025年版的各统计年鉴还没有发布,所以研究样本无法更新至2024年及以后。②在进行实证研究时绝大多数样本可取的最新数据均到2022年,而且其中存在某些数据尤为缺失的情况,如人工智能指标中关于机器人应用密度的测算需要使用IFR工业机器人数据,而该数据在2019年之后就不再公布。此外,关于知识创造产出这一栏中两个指标的数据在中国科技统计年鉴里也只更新到2019年便不再公布。所以为了实证研究的严谨性和科学性将研究样本截至2022年。

4　实证分析

4.1　描述性统计

表3汇报了变量的描述性统计结果。人工智能技术指数的分布区间为0.007～0.652,均值为0.091,其数值的显著波动揭示了该技术在中国各省份间的应用水平参差不齐。制造业新质生产力的最大值为0.841,最小值为0.059,这反映出各省份在该项指标上的表现存在明显的分化。此外,其他变量的统计特征与学界已有研究成果相吻合。

4.2　基准回归分析

表4为基于模型(1)的回归结果。其中,列(1)为未控制固定效应的回归结果;列(2)为加入控制省份固定效应,未控制时间固定效应的回归结果;列(3)为同时控制了省份固定效应、时间固定效应的回归结果。从结果看,在不控制固定效应和仅控制个体固定效应以及同时控制个体和时间固定效应中,所关注的核心解释变量人工智能(AI)的回归系数皆在1%水平上显著为正,表明人工智能有助于促进制造业新质生产力发展。据此,假设H1得以验证。

4.3　内生性分析

尽管基准回归显示人工智能对制造业新质生产力存在显著促进作用,但需警惕二者可能存在的反向因果关联:制造业新质生产力的发展会通过提升需求结构,反过来对人工智能技术提出更高要求并加速其迭代,进而形成双向反馈循环,导致估计偏误。为应对这一内生性问题,借鉴徐浩等[18]的做法,选取滞后1期的人工智能(L.AI)作为工具变量,并采用两阶段最小二乘法(2SLS)进行估计。该选择的合理性在于,上一期的人工智能水平与当期人工智能水平高度相关,同时当期的制造业新质生产力难以影响过去已形成的人工智能发展基础,从而有效识别出人工智能对制造业新质生产力的净效应。表5的检验结果支持了这一策略:第1阶段回归第(1)列中L.AI的系数为1.086且在1%水平上显著,证实了工具变量的相关性,表明了滞后1期

表4　基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	ManPro	ManPro	ManPro
AI	0.696***	0.692***	0.674***
	(0.033)	(0.034)	(0.043)
ENRE	0.000	0.000	0.000
	(0.000)	(0.000)	(0.000)
GOV	0.090*	0.063	0.106*
	(0.052)	(0.055)	(0.064)
LOG	0.010*	0.009	0.009
	(0.006)	(0.006)	(0.006)
INL	−0.032	−0.042	−0.058
	(0.032)	(0.032)	(0.067)
NUIN	0.048***	0.050***	0.046***
	(0.007)	(0.008)	(0.010)
常数项	−0.419***	−0.567***	−0.544***
	(0.067)	(0.067)	(0.076)
样本数	360	360	360
R^2	0.727	0.963	0.963
id	No	Yes	Yes
year	No	No	Yes

注:*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著;括号内为标准误。

表3　变量描述性统计

变量类型	变量名称	变量符号	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
核心解释变量	人工智能	AI	360	0.091	0.101	0.007	0.652
被解释变量	制造业新质生产力	ManPro	360	0.168	0.125	0.059	0.841
中介变量	科技创新	TEC	360	5.35	13.176	0.035	129.685
	人力资本	HR	360	0.004	0.005	0.001	0.033
控制变量	环境规制	ENRE	360	31.703	34.498	0.624	309.838
	政府干预	GOV	360	0.259	0.111	0.105	0.758
	物流效率	LOG	360	8.259	0.970	5.988	10.436
	工业化水平	INL	360	0.424	0.088	0.158	0.590
	规上工业企业数	NUIN	360	8.865	1.194	5.814	11.166

表 5　内生性检验结果

变量	(1)	(2)
	AI	ManPro
L. AI	1.086***	
	(0.028)	
AI		0.663***
		(0.111)
ENRE	−0.000	0.000**
	(0.000)	(0.000)
GOV	−0.022*	0.138***
	(0.012)	(0.044)
LOG	0.001	0.003
	(0.001)	(0.005)
INL	0.023	−0.085
	(0.015)	(0.069)
NUIN	−0.001	0.052***
	(0.002)	(0.011)
常数项	0.002	−0.549***
	(0.021)	(0.088)
样本数	330	330
R^2	0.998	0.968
id	Yes	Yes
year	Yes	Yes

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著；括号内为标准误。

人工智能发展水平是合适的工具变量；列(2)报告了第 2 阶段的回归结果，显示人工智能的回归系数为 0.663，同样通过了 1%的显著性检验，表明在消除了可能存在的内生性问题之后，人工智能对制造业新质生产力依然具有正向显著的促进作用。可见，在控制内生性的前提下假设 H1 依然稳健有效。

4.4　稳健性检验

4.4.1　替换解释变量

为评估基准回归结果的稳健性，借鉴刘松竹等[36]的思路，进一步选取了两种替代性的代理变量，即滞后 1 期的人工智能(L. AI)与工业机器人安装密度(ANAI)，并利用模型(1)重新进行估计。由表 6 列(1)、列(2)的结果可知，在更换测度指标后，人工智能的估计系数依然在 1%的水平上显著为正，且其方向和数值范围与基准回归相比未发生根本性变化。这表明，前文关于人工智能显著促进新质生产力的核心结论是稳健可靠的。

4.4.2　剔除直辖市样本与分阶段回归

参考谢伟丽等[37]的方法，剔除北京、天津、上海和重庆 4 个在经济、人口等方面都具有明显优势的直辖市，同时以 2013 年为时间节点，将全样本按时期分为 2010—2013 年和 2014—2022 年两个阶段进行回归分析，结果见表 7。列(1)报告了未分时期的回归结果，显示人工智能的回归系数为 1.088，在 1%的水平上显著为正，这表明人工智能发展水平对制造业新质生产力发展水平具有显著的正向推动作用；列(2)报告了 2010—2013 年的回归结果，显示人工智能的回归系数为 1.013，同样通过了 1%的

表 6　稳健性检验结果

变量	(1)	(2)
	ManPro	ManPro
L. AI	0.720***	
	(0.049)	
ANAI		0.333***
		(0.017)
GOV	0.123*	0.067
	(0.065)	(0.057)
LOG	0.004	0.019***
	(0.006)	(0.005)
ENRE	0.000	0.000***
	(0.000)	(0.000)
INL	−0.070	0.198***
	(0.071)	(0.058)
NUIN	0.052***	0.005
	(0.011)	(0.009)
常数项	−0.552***	−0.102
	(0.084)	(0.067)
样本数	330	360
R^2	0.968	0.971
id	Yes	Yes
year	Yes	Yes

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著；括号内为标准误。

表 7　剔除直辖市样本及分阶段回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	ManPro	ManPro	ManPro
AI	1.088***	1.013***	0.642***
	(0.036)	(0.173)	(0.049)
ENRE	0.000*	0.000	0.000
	(0.000)	(0.000)	(0.000)
GOV	0.034	0.005	0.240***
	(0.046)	(0.117)	(0.077)
LOG	−0.001	0.003	−0.003
	(0.004)	(0.006)	(0.007)
INL	0.018	0.016	−0.097
	(0.047)	(0.090)	(0.078)
NUIN	0.012	0.019	0.052***
	(0.007)	(0.020)	(0.013)
常数项	0.071	−0.282	−0.536***
	(0.069)	(0.188)	(0.098)
样本数	312	90	270
R^2	0.986	0.996	0.975
id	Yes	Yes	Yes
year	Yes	Yes	Yes

注：*、**、***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著；括号内为标准误。

显著性检验，第(3)列报告了2014—2022年的回归结果，显示人工智能的回归系数为0.642，同样通过了1%的显著性检验。结果表明，人工智能对制造业新质生产力的正向影响和显著性与基准估计结果一致，再次印证了前文结论的稳健性。

4.5　作用机理检验

根据前文的理论分析和研究设计，采用中介效应模型实证分析人工智能通过促进科技创新和人力资本来赋能制造业新质生产力的作用机制。中介效应检验结果见表8。

表8　中介效应检验结果

变量	(1)	(2)	(3)
	ManPro	TEC	HR
AI	0.674***	16.146***	0.007***
	(0.043)	(0.892)	(0.001)
GOV	0.000	−1.448	0.004*
	(0.000)	(1.325)	(0.002)
LOG	0.106*	−0.154	0.000
	(0.064)	(0.124)	(0.000)
ENRE	0.009	0.000	−0.000
	(0.006)	(0.001)	(0.000)
INL	−0.058	3.255**	0.002
	(0.067)	(1.386)	(0.002)
NUIN	0.046***	−0.933***	−0.001*
	(0.010)	(0.208)	(0.000)
常数项	−0.544***	7.373***	0.027***
	(0.076)	(1.581)	(0.002)
样本数	360	360	360
R^2	0.963	0.858	0.978
id	Yes	Yes	Yes
year	Yes	Yes	Yes

注：*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著；括号内为标准误。

表8列(1)显示人工智能对制造业新质生产力具有显著正向影响，列(2)表明人工智能在1%的水平上显著提高科技创新水平，证明科技创新水平存在显著中介效应，科技创新为制造业生产各环节提供技术支持，提高制造业产线智能制造水平，提高生产效率，从而推动制造业新质生产力发展，因此假设H2得证。列(3)表明人工智能在1%水平上显著促进人力资本水平，证明人力资本存在显著中介效应，人力资本与智能机器深度融合，能有效降低制造业的资源损耗，推动制造业新质生产力发展，假设H3得证。

4.6　区域异质性分析

根据中国海关数据库各省工业机器人的进口数据，进口量较高的省份明显集中在长三角、珠三角等东部沿海地带。鉴于这些区域在宏观经济基础、公共设施完备度以及劳动力整体素养方面普遍更具优势，可以预见，人工智能技术所产生的赋能效果将会表现出明显的地区差异性。为验证这一猜想，将所有样本省份划分为沿海与非沿海两组进行对比分析，同时以秦岭淮河为分界线，把省份分成南方省份和北方省份进行比较，在此基础上进行异质性检验，结果见表9，每列均加入了控制变量、并同时控制了区域和年份固定效应。

表9列(1)、列(2)分别表示北方地区和南方地区，回归结果表明，在两组样本中，人工智能应用的估计系数均在1%的显著性水平上显著为正。进一步对比系数大小可以发现，南方地区的估计值明显高于北方地区，这表明人工智能技术对制造业新质生产力的赋能效果，在南方呈现出更为突出的优势。造成这一差异的潜在原因可能包括南方地区拥有经济结构、产业基础与地理区位的综合优势。作为改革开放前沿，南方地区的长三角、珠三角聚集了密集的制造业集群与数字经济体，为人工智能技术提供了丰富的应用场景。智能制造优化了电子、汽车等产业链，智慧物流提升了跨境电商效率，金融科技在深港等地加速迭代。同时，南方拥有更完善的数字基础设施，不仅5G基站与数据中心密度大于北方地区，而且还受腾讯、阿里等科技巨头公司的影响，更容易形成技术-资本-人才的正向循环。相较之下，北方重工业占比更高，传统产业数字化转型相对滞后。钢铁、煤炭这些行业转型升级相对较慢，需要更长时间来适应新技术，导致人工智能应用推广较慢，从而对制造业新质生产力的影响不如南方。

表9　区域异质性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	北方地区	南方地区	沿海地区	非沿海地区
AI	0.200***	1.030***	1.045***	0.253***
	(0.038)	(0.063)	(0.050)	(0.056)
ENRE	0.000	−0.000	−0.000**	0.000**
	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)
GOV	0.098**	−0.047	0.166	−0.024
	(0.044)	(0.138)	(0.109)	(0.064)
LOG	0.013**	−0.016**	0.006	−0.012
	(0.006)	(0.007)	(0.005)	(0.012)
INL	0.048	0.001	0.332***	−0.169**
	(0.052)	(0.112)	(0.100)	(0.071)
NUIN	0.001	0.063***	−0.005	0.055***
	(0.008)	(0.019)	(0.013)	(0.012)
常数项	−0.060	−0.309	0.023	−0.260**
	(0.063)	(0.200)	(0.118)	(0.124)
样本数	180	180	132	228
R^2	0.963	0.981	0.991	0.862
id	Yes	Yes	Yes	Yes
year	Yes	Yes	Yes	Yes

注：*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著；括号内为标准误。

表9列(3)、列(4)分别表示沿海地区和非沿海地区，可以看出，沿海地区的系数为1.045，非沿海地区的系数为0.253，两类样本下人工智能应用的影响系数均在1%的显著性水平上显著为正，这说明比起非沿海地区，人工智能应用对沿海地区制造业新质生产力的提升效应更大。可能的原因是，沿海地区由于经济开放度高、产业数字化基础优越，所以比起非沿海地区，有更多的先进制造业和数字经济集群，为人工智能提供智能制造、智慧港口、跨境电商等丰富应用场景。此外，沿海地区依托自贸区政策优势和全球贸易节点地位，比起非沿海地区，更易吸引国际资本与高端人才。所以导致了人工智能对非沿海地区制造业新质生产力发展的影响不如沿海地区。

5 结论与政策建议

5.1 结论

(1)人工智能可以促进制造业新质生产力发展，该结论在经历剔除直辖市样本与分阶段回归、替换解释变量一系列的稳健性检验后，均保持高度可靠。

(2)关于影响路径检验揭示，人工智能可以通过优化人力资本、提高科技创新促进制造业企业新质生产力发展。

(3)异质性分析结果显示，相比于北方地区和非沿海地区，人工智能应用赋能制造业新质生产力的作用在南方地区和沿海地区中更大。

5.2 建议

(1)将人工智能作为核心先导产业加以培育，并加速其向现代工业体系的全面渗透与赋能。具体的实施路径包括优先部署新一代智能信息基础设施，构建支撑产业智能转型的协同服务平台。其核心目的在于通过制度性交易成本的下降，形成激励相容的市场环境，系统性驱动制造业向以知识、技术和数据为关键要素的高级形态演进，助力制造业新质生产力发展。通过构建智能化监管体系，加强人工智能对内外部市场环境的监控和分析，针对复杂风险构建预警模型和应急方案，提升制造业风险防控能力。对于各区域制造业而言，有必要将培育新质生产力提升至战略核心高度，使其核心理念深度贯穿于制造业的整体发展战略之中，以此系统性地推动制造业新质生产力发展。

(2)需要持续强化技术创新与人力资本在驱动制造业新质生产力提升中的关键传导渠道功能。具体而言，在技术层面，应着力增强区域创新体系的整体效能，深化产学研协同机制，以加速创新成果向现实生产力的转化应用。在人才层面，则需紧扣制造业升级的具体需求，加强专业人才的引进与培育工作，并配套构建起科学合理的人才管理与激励制度。加强人才结构战略性调整，培育复合型数字工匠。在提升人力资本质量方面，核心在于营造一个有利于人才成长与发展的生态系统。这意味着需要针对不同层次、不同类型的人才，实施差异化的管理和激励机制，并保障人才在市场上的顺畅流动。

(3)实证分析揭示了人工智能区域赋能不同地区的制造业新质生产力的异质性，这要求相关政策须具备高度针对性。政府可运用财政补贴、税收优惠等工具，精准支持企业在智能技术引进、应用与研发环节的投入，并重点向赋能效应更显著的南方、沿海及新质生产力高的地区倾斜，以强化其比较优势。基于人工智能在不同区域的发展规模与促进效果存在梯度差异的事实，各地应立足自身的经济基础、技术应用阶段与产业升级需求，制定差异化的发展路径，最终构建起优势互补、协同联动的区域产业新格局。

参考文献

[1] 陈龙. 新质生产力的出场逻辑、核心内涵与实现路径[J]. 人文杂志，2024(5)：11-20.

[2] 胡洪彬. 习近平总书记关于新质生产力重要论述的理论逻辑与实践进路[J]. 经济学家，2023(12)：16-25.

[3] 石敏俊，陈岭楠，王志凯，等. 新质生产力的科学内涵与绿色发展[J]. 中国环境管理，2024，16(3)：5-9.

[4] 卢林，施建军. 从传统生产力到新质生产力：内涵延拓、系统跃升与未来展望[J]. 中国经济问题，2024(5)：47-56.

[5] 刘文祥，赵庆寺. 习近平关于新质生产力重要论述的深刻内涵、重大意义与实践要求[J]. 江西财经大学学报，2024(4)：13-23.

[6] 周文，许凌云. 论新质生产力：内涵特征与重要着力点[J]. 改革，2023(10)：1-13.

[7] 张哲，李季刚，汤努尔·哈力克. 中国新质生产力发展水平测度与时空演进[J]. 统计与决策，2024，40(9)：18-23.

[8] 孙丽伟，郭俊华. 新质生产力评价指标体系构建与实证测度[J]. 统计与决策，2024，40(9)：5-11.

[9] 朱迪，叶林祥. 中国农业新质生产力：水平测度与动态演变[J]. 统计与决策，2024，40(9)：24-30.

[10] 宋佳，张金昌，潘艺. ESG发展对企业新质生产力影响的研究：来自中国A股上市企业的经验证据[J]. 当代经济管理，2024，46(6)：1-11.

[11] 师栋楷. 数字普惠金融对制造业企业新质生产力的影响

及作用机理[J]. 经济问题，2024(12)：78-87.
[12] 卢江，郭子昂，王煜萍. 新质生产力发展水平、区域差异与提升路径[J]. 重庆大学学报(社会科学版)，2024，30(3)：1-17.
[13] 曲立，王璐，季桓永. 中国区域制造业高质量发展测度分析[J]. 数量经济技术经济研究，2021，38(9)：45-61.
[14] 黄宇宁. 人工智能对中国式现代化的影响：兼论新质生产力的作用机制[J]. 西北民族大学学报(哲学社会科学版)，2024.
[15] 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，2023，33(10)：100-111.
[16] 韦东明，顾乃华，韩永辉. 人工智能推动了产业结构转型升级吗：基于中国工业机器人数据的实证检验[J]. 财经科学，2021(10)：70-83.
[17] 陈伟，邓堯，杨柏，等. 人工智能能否赋能区域技术创新：创新环境的中介效应[J]. 科技进步与对策，2024，41(10)：57-66.
[18] 徐浩，肖毅，祝志勇，等. 人工智能赋能新质生产力的机制与效用研究：基于生产力要素新质化视角[J]. 当代财经，2024.
[19] 姚加权，张锟澎，郭李鹏，等. 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，2024，40(2)：101-116，133.
[20] 宁楠，惠宁. 人工智能驱动制造业新质生产力发展：基于全要素生产率的视角[J]. 经济问题探索，2025(1)：1-22.
[21] 杨仁发，陆瑶. 人工智能对制造业高质量发展的影响研究[J]. 华东经济管理，2023，37(4)：65-76.
[22] 顾国达，马文景. 人工智能综合发展指数的构建及应用[J]. 数量经济技术经济研究，2021，38(1)：117-134.
[23] 周杰琦，陈达，夏南新. 人工智能、产业结构优化与绿色发展效率：理论分析和经验证据[J]. 现代财经(天津财经大学学报)，2023，43(4)：96-113.
[24] 欧进锋. 新一代人工智能与中国产业结构优化：理论与实证[D]. 广州：广州大学，2024.
[25] 何元浪，袁健红. 人工智能发展与新质生产力提升：理论机制与实证检验[J]. 科技进步与对策，2025，42(11)：1-11.
[26] 张轩铭，田甜. 人工智能与战略性新兴企业新质生产力：基于劳动力结构调整和要素增益技术变迁的视角[J]. 山西财经大学学报，2024，46(9)：89-99.
[27] 袁辉，韩居伯. 人工智能助推新质生产力发展研究[J]. 现代经济探讨，2024(10)：10-19.
[28] 任优生，于津平. 人工智能何以催生专精特新小巨人企业新质生产力？[J]. 现代经济探讨，2024(11)：102-112.
[29] 惠宁，杨金璇，许潇丹. 论人工智能对制造业新质生产力影响的逻辑机理[J]. 北京工业大学学报(社会科学版)，2025，25(3)：50-62.
[30] 徐红丹，王玖河. 人工智能与制造企业新质生产力：基于双重机器学习模型[J]. 软科学，2025，39(5)：26-33.
[31] 范晓男，孟繁琨，鲍晓娜，等. 人工智能对制造企业是否存在“生产率悖论”[J]. 科技进步与对策，2020，37(14)：125-134.
[32] 宁光杰，张雪凯. 劳动力流转与资本深化：当前中国企业机器替代劳动的新解释[J]. 中国工业经济，2021(6)：42-60.
[33] 许潇丹，惠宁. 人工智能对工业绿色低碳发展的影响研究[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版)，2024，53(6)：74-86.
[34] 李怀政，田晓宇，吴虹. 人工智能渗透、劳动生产率与中国制造业出口韧性提升[J]. 西北人口，2023，44(6)：29-42.
[35] 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(5)：100-120.
[36] 刘松竹，肖生鹏，梁运文. 人工智能与中国制造业企业高质量发展[J]. 江汉论坛，2022(7)：24-31.
[37] 谢伟丽，石军伟，张起帆. 人工智能、要素禀赋与制造业高质量发展：来自中国208个城市的经验证据[J]. 经济与管理研究，2023，44(4)：21-38.

Mechanism and Path of Artificial Intelligence Enabling New Quality Productivity in Manufacturing Industry

ZHANG Song，WU Zhongcai，KUANG Yanjun

(School of Economics and Management，Hunan Institute of Science and Technology，Yueyang 414000，China)

Abstract：The artificial intelligence(AI)-driven new round of technological revolution is accelerating，with the widespread application of artificial intelligence in manufacturing gaining significant attention for its role in empowering the development of new-quality productive forces in the sector. To explore how AI technology drives the development of new-quality productive forces in manufacturing，a systematic evaluation index system was constructed. Panel data from Chinese provinces from 2011 to 2022 were used，and the entropy weight method was employed to calculate AI and manufacturing new-quality productive force indices，aiming to deeply analyze the specific manifestations and underlying pathways of the enabling effect. The analysis reveals three key findings：AI technology exerts a significant positive influence on enhancing new-quality productive forces in manufacturing. Mechanism tests indicate that AI promotes the development of new-quality productive forces through technological innovation and human capital. The application of AI exhibits heterogeneity，with its promotional effects being more pronounced in regions with higher levels of new-quality productive forces development，coastal areas，and southern regions.

Keywords：artificial intelligence(AI)；new quality productivity in manufacturing；technological innovation；human capital；regional heterogeneity