

人工智能驱动制造业高质量发展的多维效应及作用机制研究

欧进锋¹, 叶祥松²

(1. 岭南师范学院 商学院, 广东 湛江 524048; 2. 广州大学 经济与统计学院, 广东 广州 510320)

[摘要]从产业链技术层、应用层和平台层三个维度,分类整理我国 2010—2022 年间共计 93.95 万条人工智能专利申请数据,以此构建核心解释变量,实证检验人工智能驱动制造业高质量发展的多维效应及作用机制。研究发现,人工智能驱动制造业高质量发展的多维效应存在结构性差异,技术层和平台层变量的系数显著为正,而应用层变量的系数不显著。异质性检验表明,制造业高端化和智能化分维度下人工智能的回归系数显著为正,而绿色化分维度下人工智能的回归系数显著为负。作用机制分析显示,人工智能主要通过提高劳动生产率的方式推动制造业高质量发展,而人力资本高级化和消费需求升级的传导机制不显著。据此,从加强人工智能在制造业领域的渗透应用、推动人工智能与制造业区域协同、推动人工智能细分领域发展、发挥劳动生产率对制造业的促进作用四个方面提出政策建议。

[关键词]人工智能;高质量发展;制造业;渠道效应;制造强国;科技创新;智能制造

[中图分类号]F062.3 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1004-4833(2025)04-0104-12

一、引言及文献综述

改革开放以来,我国持续发展社会生产力,深度融入全球产业分工体系,逐步构建起门类齐全的现代工业体系,取得举世瞩目的经济成就,国内生产总值由 1978 年的 0.36 万亿元跃升至 2024 年的 134.91 万亿元。经过长期高速增长之后,我国制造业结构失衡的深层次矛盾和问题日益凸显,产业囿于“技术依赖”、“低端锁定”、“国际话语权缺失”等多重困境^[1],阻碍了我国由制造大国向制造强国的战略转型。以高端芯片产业为例,国内企业大多处于低附加值的芯片封装测试环节,芯片设计、生产等高附加值环节仍被以美国为代表的西方发达国家所垄断。在此背景下,党的二十大报告提出,“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”。作为当前科技发展的重要战略领域,人工智能正成为赋能制造业高质量发展的核心突破口。人工智能凭借大数据、前沿算法与互联网等核心技术的跨越式发展,正推动千行百业发生深层次变革。世界各国或地区把发展人工智能摆在重要战略地位,抢占人工智能发展的主动权和国际话语权。当前,我国政府已在全力支持人工智能发展,并将其视为经济发展、产业变革的新引擎。那么,人工智能在制造业领域的应用能否有效推动我国制造业实现高质量发展转型?其作用机制的具体表现又是怎样的?深入探究上述问题,对准确把握人工智能与制造业高质量发展之间的关联具有重要意义:一方面,有利于揭示人工智能驱动制造业高质量发展的内在逻辑,理解两者融合发展的本质内涵;另一方面,能够促进人工智能与制造业的深度融合,为政府相关部门制定政策提供参考依据。

与本文研究主题密切相关的文献主要有三个方面。一是人工智能发展水平测度研究。学界主要从工业机器人数量和综合指数两个方面测度人工智能发展水平^[2]。工业机器人是智能制造系统中制造技术的重要组成部分,也是人工智能应用于制造业的主要方式。工业机器人的应用程度已被视为评估人工智能发展水平的重要测度指标,主要包括工业机器人存量数、工业机器人进口数、工业机器人应用密度等指标。然而,人工智能发展水平并非只是反映工业机器人技术发展程度,而是对人工智能各方面的全方位综合考量。为此,学界构建综合指标体系测算人工智能发展水平,主要涵盖技术创新基础、智能产业化、产业智能化等维度指标^[3]。此外,部分学

[收稿日期]2024-12-26

[基金项目]国家社会科学基金重点项目(21AJY019)

[作者简介]欧进锋(1989—),男,广东高州人,岭南师范学院商学院讲师,博士,从事产业经济、区域经济研究, E-mail: oujf2008@foxmail.com; 叶祥松(1957—),男,湖北赤壁人,广州大学经济与统计学院教授,博士生导师,从事产业经济、政治经济学研究,通讯作者, E-mail: ye_jm501@163.com。

者运用文本挖掘方法对非格式化文本展开研究,构建智能化指数测算人工智能发展水平^[4]。二是制造业高质量发展的测度及影响因素研究。制造业高质量发展具有经济效益高、创新能力强、产业结构优化和发展模式绿色的显著特征。学者们主要运用单一指标和多维指标体系两种方法测度制造业高质量发展水平。单一指标主要包括制造业全要素生产率、制造业劳动生产率、制造业增加值占 GDP 的比值、出口产品技术复杂度^[5]等。然而这种测度方法仅能体现制造业的某一方面,容易忽视制造业高质量发展的其他重要因素。针对此不足,学者们构建多维度指标体系展开测度研究,主要包括创新驱动、质量效益、绿色发展、结构优化、开放发展、产品质量、风险控制等维度指标^[6]。关于制造业高质量发展的影响因素,学界已展开了广泛研究,技术创新、消费需求、产业政策、数字技术和人力资本等因素显著影响制造业高质量发展水平^[7]。三是人工智能与制造业高质量发展的影响效应研究。人工智能的经济效应领域涌现出大量文献,研究内容主要涉及人工智能与经济增长、产业升级、劳动就业与收入分配等主题^[8]。学界主要从制造业生产率、产业结构优化两个方面探讨人工智能对制造业高质量发展的影响,归纳为技术赋能机制和结构优化机制。第一,技术赋能机制。工业智能技术有利于提高制造业全要素生产率。一方面,人工智能技术通过自动化程序,提高了生产线的灵活性和响应速度,显著提升企业生产效率。另一方面,人工智能借助数据分析和机器学习,帮助企业更精准地预测市场需求,实现资源配置的优化。第二,产业结构优化机制。学者们通常把人工智能视为自动化技术发展的最新形式,探讨人工智能的增长效应、收入效应和相对价格效应对产业结构优化的影响,主要从需求端和供给侧两个维度展开。肖旭与戚聿东研究发现,产业智能化转型能够有效提升产业运行效率,促进不同产业间的跨界融合,重塑产业组织竞争格局,强化各领域生产要素投入的协同运用,优化生产要素配置效能,进而推动产业结构跃升^[9]。师博分析指出,人工智能依托市场容量效应,与大数据、物联网等技术深度融合发展的过程中,会激发技术外溢效应,助力传统产业向智能化方向转型升级^[10]。路玮孝与孟夏的研究表明,工业机器人的推广应用促使大量劳动力向服务业领域流动,这种跨部门的劳动力优化流动有效促进了生产性服务业发展,进而加速了产业结构向“软化”方向演进^[3]。何玉梅和赵欣灏则认为,人工智能通过技术创新效应、资源配置效应以及消费升级效应推动产业结构优化^[11]。戴魁早等学者研究发现,人工智能通过强化对高技术产业劳动生产率及技术溢出效应的差异化作用,推动工业内部结构实现优化升级^[12]。此外,还有部分学者聚焦于人工智能与全球价值链攀升的关联研究,并进一步剖析其对产业结构优化的作用机理^[13]。

已有文献为人工智能对制造业高质量发展的影响研究提供了丰富且深刻的见解,但仍存在不足之处:其一,在人工智能发展水平测度方面,学界尚无统一标准,主要包括工业机器人和综合指数两种测度思路。然而,工业机器人相关指标测算和智能产业化发展水平测算均要设定较严格的假设,例如以制造业各行业就业人数的占比近似工业机器人在各行业的分布比例,由此测算的人工智能发展水平与实际情况可能存在较大的偏差,这将会影响实证结果的可靠性。其二,制造业高质量发展是一个内涵丰富且复杂的系统,学界在其测度研究上尚未达成共识。单一测度指标具有清晰的内涵,但其测度结果可能存在片面性。部分文献尝试基于新发展理念构建指标体系进行测度,但对制造业高质量发展的内涵剖析不够深入,未能凸显制造业的独特性和未来发展趋势,导致测度结果缺乏可比性。其三,已有文献主要集中在人工智能与制造业某一细分领域的分析,例如制造业全要素生产率、制造业结构优化、制造业全球价值链攀升、出口产品技术复杂度等,然而探讨人工智能对制造业高质量发展直接影响效应的研究成果相对匮乏,人工智能对制造业高质量发展的影响效应及传导机制尚未形成清晰认知,需要结合经验数据展开实证分析。

本文可能的边际贡献在三个方面:第一,挖掘人工智能专利数据特征,使用国际专利分类标准整理人工智能专利申请数据,将国际专利分类与战略性新兴产业分类进行全面对照,根据人工智能产业链技术层、应用层和平台层三个方面,分类统计人工智能专利数量,以此测度我国人工智能发展水平,避免因严格假设带来的测量误差。同时,探讨人工智能不同技术领域发展水平对制造业高质量发展的异质性影响效应,详细阐述不同技术领域的赋能成效,进一步丰富已有文献研究结论。第二,借鉴现有文献研究成果,从“高端化、智能化、绿色化”三个维度构建指标体系测算我国制造业高质量发展水平。与已有指标体系相比,本文构建的指标体系以新发展理念为引领,紧扣制造业“高端化、智能化和绿色化”的内涵,契合制造业发展的特点与未来趋势,涵盖了经济效应、结构优化、技术创新、环境保护、数字基础设施等多方面指标,有利于提高测算结果的准确性和有效性,是对制造业高质量发展测度研究的边际拓展。第三,从理论探究与实证分析两个维度出发,深入剖析人工智能驱动

制造业高质量发展的多维效应及其作用机制。

二、理论分析与研究假设

(一)人工智能驱动制造业高质量发展的多维效应

从人工智能产业链的技术层、应用层和平台层三个维度切入,能够有效揭示人工智能在技术支撑、应用落地和产业协同等方面对制造业高质量发展的多维效应。首先,产业链技术层是人工智能发展的基础,主要包括算法优化、芯片设计、操作系统开发等领域。人工智能技术创新不仅能够显著降低应用成本,还能全方位提升智能系统的性能与可靠性,为制造业高质量发展提供强大的技术支撑。一方面,人工智能技术的广泛应用使得制造企业能够快速、准确地获取市场信息,实现生产过程的数字化监测和管理,提升企业生产组织效率,形成高效协同的生产与服务模式,推动企业生产向智能化、精准化和高效化发展。另一方面,人工智能技术迭代具有无限可能性,智能产业方兴未艾,尚未形成严重的技术垄断格局,政府可借此契机,通过科学制定人工智能发展战略,为制造业高质量发展创造条件,夯实人工智能赋能制造业高质量发展的技术基础。其次,产业链应用层是人工智能价值释放的终端,主要聚焦智能消费设备制造与应用软件开发两大板块,这是制造业高质量发展的直接助推器。以智能穿戴设备为代表的制造产品,深度融合了语音识别、图像识别等人工智能技术,极大地简化了产品交互流程,拓展了丰富多元的功能。这不仅拉动了消费市场智能产品的强劲需求,还倒逼制造企业加快智能化转型步伐,加大在智能生产设备的投入力度,促使制造业向高端化、智能化和绿色化方向发展。同时,各类应用软件依托人工智能算法精准实现个性化推荐,协助制造业企业深度洞察市场细分需求,定位目标客户群体,研发适配不同消费场景的智能产品,全方位赋能制造业高质量发展。最后,产业链平台层是连接人工智能技术与应用的桥梁。平台层以信息系统集成服务为核心,通过搭建数据处理、模型训练、应用开发等一站式服务平台,加速人工智能技术在制造业中的普及与应用,促进人工智能与产业的深度融合。一方面,服务平台为制造业各环节企业营造了互联互通的企业生态,实现订单、生产进度、物流配送等信息的实时交互,推动企业间协同制造,提升整体产业效率^[10]。另一方面,一站式服务平台打通企业内部及产业链上下游的数据流通渠道,打破数据孤岛。制造企业能借此获取多源、全面的数据,为生产决策提供精准依据,实现生产流程的优化与资源高效配置。据此,本文提出假设 H_1 。

H_1 : 人工智能对制造业高质量发展具有正向促进效应。

(二)人工智能驱动制造业高质量发展的作用机制

1. 人力资本高级化机制

人工智能通过人力资本高级化,推动制造业高质量发展。人力资本作为技能与知识的核心载体,是驱动经济高质量发展的关键要素。人力资本高级化是影响人工智能在制造业高质量发展中发挥赋能作用的重要因素。人工智能技术能够提升生产任务的复杂化和专业化程度,催生新岗位的创造效应,要求更高素质的人力资本来适应新技术的变迁,此时社会对中高技能劳动力的需求增大,相应地低技能劳动力逐步被工业机器人替代,出现“机器换人”现象。人工智能对劳动力市场的替代效应和创造效应引致了劳动力市场供需结构性矛盾^[11],这将会改变生产要素结构,推动人力资本高级化。一方面,在市场机制的调节下,劳动力市场供需结构实现动态耦合互动,这不仅加速了劳动力要素的流动与配置优化,还倒逼企业加大劳动力禀赋的提升力度,增加人力资本投资,培育具备高技能、高素质的劳动力。人工智能与人力资本的深度融合与有效匹配,显著地促进了制造业高质量发展。另一方面,人工智能推动更多劳动力转向技能要求更高的新兴岗位,加速人力资本快速积累,为制造业高质量发展注入关键动力。与此同时,高端人力资本蕴含的异质性知识,为人工智能技术的持续创新营造了良好环境。特别是隐性知识的流动与共享,作为知识创新的助推器,能够有效促进知识外溢和加快技术扩散进程,持续提升制造业的技术创新能力,从而有力推动制造业高质量发展。

2. 劳动生产率提高机制

人工智能通过提高劳动生产率,推动制造业高质量发展。劳动生产率是综合反映一个国家或地区工业竞争力强弱的重要体现,提高劳动生产率是实现制造业高质量发展的关键驱动力。历史经验表明,每一轮重大技术革新都会对劳动力市场产生深远影响,而人工智能技术的突破性进展尤为突出,将会显著提高劳动生产率水平。一方面,人工智能释放出显著的技术红利,其在产业领域的广泛渗透与深度应用,正驱动制造业生产方式向自动

化、数字化方向加速转型。生产方式的数字化与自动化水平的提升,会同步带动单位劳动生产率的提高。同时,劳动生产率的提高为企业带来了更多的经济效益和利润空间,使得企业有更多的资金和资源投入到人工智能技术的研发和应用,促使更多的人工智能技术在制造业部门中应用渗透,进一步提高生产过程的自动化和智能化程度。另一方面,人工智能驱动产业组织形态革新,其通过优化企业管理效能与决策执行效率对劳动生产率提升产生显著作用。伴随人工智能与互联网、大数据技术的深度融合,数字化平台正逐步演变为新型生产组织形态。数字平台通过推动企业间的协同联动,促成信息知识的实时互通,有效缓解信息不对称问题,降低交易和管理成本,提高资源配置效率和产业运作流畅度,进而提高劳动生产率。这一变革为制造业高质量发展提供了强大动力,加速产业向数字化、智能化转型的进程,助推制造业高质量发展。

3. 消费需求升级机制

人工智能通过消费需求升级,推动制造业高质量发展。消费需求升级是指消费者追求更高品质、更具个性化产品和服务的趋势,反映了消费结构、品质与方式的全面提升。消费需求升级是新兴产业发展的根本动力,居民消费结构升级有利于推动制造业技术创新、产品结构优化以及产品质量和服务水平提升,进而驱动制造业高质量发展。人工智能主要从供给侧和需求端两个方面驱动消费需求升级。从供给侧看,人工智能技术凭借其强大的数据处理与分析能力,实现对消费者偏好及行为模式的精准剖析,进而助力企业更深入地洞察市场需求。企业通过大数据分析和机器学习,可以实时获得消费者的反馈和需求变化,进而调整产品设计和生产策略,创造出新型智能消费产品。同时,人工智能还能辅助企业进行产品创新,开发出更符合消费者预期的高智能化、高附加值产品,推动产业向更高质量、更高效益的方向发展。从需求端看,随着人工智能技术的不断进步与应用,消费者对智能化、个性化产品的需求不断增加。智能消费品需求升级倒逼制造企业不断进行技术创新和产品升级,推动产品向高端化、智能化和绿色化方向发展。居民对智能消费品的需求升级,推动人工智能产品与服务供给向更高质量发展。人工智能赋能智能产品市场实现供需匹配,提高消费需求升级的数量和质量。人工智能产业供给与居民智能服务及产品需求的耦合互动,推动智能制造供给能力持续提升和人工智能应用场景不断拓展,形成了需求牵引供给、供给创造需求的良性循环,这一良性循环有利于推动制造业高质量发展。据此,本文提出假设 H_2 。

H_2 : 人工智能通过人力资本高级化、劳动生产率和消费需求升级渠道推动制造业高质量发展。

三、模型设定、变量选取与数据说明

(一) 模型设定

1. 基准回归模型

根据 H_1 , 本文构建基准回归模型验证人工智能对制造业高质量发展的直接效应, 具体模型如下:

$$Hqd_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln AI_{it} + \alpha_c \ln Z_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, Hqd_{it} 为省份 i 第 t 年制造业高质量发展水平, AI_{it} 为省份 i 第 t 年人工智能发展水平; Z_{it} 为一系列控制变量, 包括经济发展水平、市场规模、对外开放程度、政府支持力度四个变量; μ_i 表示个体固定效应; δ_t 表示时间固定效应; ε_{it} 表示随机干扰项; α_0 为模型的截距项, α_1 为人工智能对制造业高质量发展的影响系数, α_c 为控制变量的回归系数向量。

2. 渠道效应模型

根据 H_2 , 人工智能通过人力资本高级化、劳动生产率和消费需求升级三个渠道间接推动制造业高质量发展。借鉴 B-K 因果关系分析流程, 本文构造渠道效应模型检验人工智能对制造业高质量发展的间接效应, 具体步骤如下: 首先, 开展基准模型回归, 检验人工智能对制造业高质量发展的回归系数 α_1 是否显著不等于零; 其次, 在基准模型系数 α_1 通过显著性检验的基础上, 分别构建渠道变量 M_{it} 对人工智能的线性回归方程, 进一步检验人工智能的回归系数; 最后, 开展被解释变量对核心解释变量和渠道变量的回归分析, 通过检验模型回归系数的显著性来判断渠道效应是否存在。渠道变量包括人力资本高级化 ($\ln Hc_{it}$)、劳动生产率 ($\ln Labor_{it}$) 和消费需求升级 ($\ln Cons_{it}$) 三个变量, 模型设定具体如下:

$$\ln M_{it} = \beta_0 + \theta \ln AI_{it} + \beta_c \ln Z_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$Hqd_{it} = \delta_0 + \vartheta \ln AI_{it} + \gamma \ln M_{it} + \delta_c \ln Z_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

(二) 变量选取

1. 被解释变量

制造业高质量发展是一个复杂系统,具有丰富的内涵。2022 年 10 月 16 日,党的二十大报告首次提出,“推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”,明确了制造业高质量发展的方向。“高端化、智能化、绿色化”构成了制造业高质量发展的核心内涵。为此,本文从“高端化、智能化、绿色化”三个维度构建评价指标体系(表 1),运用熵权法测算制造业高质量发展指数。各维度指标说明具体如下。

本文从创新基础、结构优化和经济效益三个方面测算制造业高端化水平,包括 11 个指标。第一,创新基础是制造业高质量发展的重要动力。本文选择规上工业企业发明专利申请数、规上工业企业 R&D 人员全时当量、规上工业企业 R&D 经费支出占工业总产值的比值和规上工业企业开设研发机构的企业数 4 个指标予以表征。发明专利申请数反映了制造业高端化的技术实力与积累,R&D 人员全时当量、R&D 经费支出比值及开设研发机构的企业数量反映了制造业创新投入

的强度与基础。第二,结构优化是制造业高端化的必然趋势,高技术产业的蓬勃发展更是制造业高端化的主要特征。本文选择高技术产业与规上工业企业营业收入的比值、高技术产业与规上工业企业从业人数的比值和高技术产业与规上工业企业新产品销售收入的比值 3 个指标予以表征。第三,高端制造业通常具有高附加值、高利润率等特点,经济效益的提升是制造业高端化的直接体现。经济效益主要表现在盈利能力、成本控制、资产运营效率和资产流动性等方面。本文选择规上工业企业营业收入利润率、规上工业企业成本费用利润率、规上工业企业总资产贡献率和规上工业企业流动资产周转率 4 个指标予以表征。

本文从智能转型投入、智能转型效益和智能基础设施三个方面测算制造业智能化水平,包括 10 个指标。第一,技术改造经费、新产品开发经费和固定资产投资额是制造业智能化转型的物质基础,也是衡量企业智能化转型进度与成效的重要依据。本文选择高技术产业技术改造经费支出、高技术产业新产品开发经费支出和高技术产业新增固定资产投资额 3 个指标予以表征。第二,智能制造的主要发展方向聚焦于高技术产业,高技术产业的智能转型效益则是制造业智能化水平的直接表现。本文选择高技术产业人均营业利润、高技术产业人均营业收入和高技术产业新产品销售收入占营业收入的比值 3 个指标予以表征。上述指标从不同角度反映了高技术产业智能转型的效益,既考虑企业的经济效益和运营效率,又兼顾企业的创新能力和市场竞争力。第三,智能基础设施是支撑制造业智能化运行的基石,主要体现在宽带普及度、网络传输能力、通信便捷性等方面。本文选择每百人互联网宽带接入用户数、每平方公里长途光缆线路长度、移动电话普及率和每万人域名拥有量 4 个指标予以表征。

本文从污染排放强度、资源消耗强度和污染治理强度三个方面测算制造业绿色化水平,包括 6 个指标。第一,污染排放强度是衡量制造业生产活动对环境影响的重要指标,将污染排放强度纳入指标体系,有利于刻画制造业向绿色、低碳、循环方向转型的成效。本文选择万元工业产值工业固体废物产生量、万元工业产值工业危险废物产生量和万元工业产值二氧化硫排放量 3 个指标予以表征。第二,资源消耗强度是衡量资源利用效率的关

表 1 制造业高质量发展评价指标体系

维度	一级指标	二级指标	属性	权重均值
高端化	创新基础	规上工业企业发明专利申请数	正向	0.071
		规上工业企业 R&D 人员全时当量	正向	0.063
		规上工业企业 R&D 经费支出占工业总产值的比值	正向	0.033
		规上工业企业开设研发机构的企业数	正向	0.100
	结构优化	高技术产业与规上工业企业营业收入的比值	正向	0.031
		高技术产业与规上工业企业从业人数的比值	正向	0.023
		高技术产业与规上工业企业新产品销售收入的比值	正向	0.029
	经济效益	规上工业企业营业收入利润率	正向	0.016
		规上工业企业成本费用利润率	正向	0.019
		规上工业企业总资产贡献率	正向	0.017
		规上工业企业流动资产周转率	正向	0.024
智能化	智能转型投入	高技术产业技术改造经费支出	正向	0.088
		高技术产业新产品开发经费支出	正向	0.088
		高技术产业新增固定资产投资额	正向	0.056
	智能转型效益	高技术产业人均营业利润	正向	0.025
		高技术产业人均营业收入	正向	0.026
		高技术产业新产品销售收入占营业收入的比值	正向	0.025
	智能基础设施	每百人互联网宽带接入用户数	正向	0.028
		每平方公里长途光缆线路长度	正向	0.028
		移动电话普及率	正向	0.041
		每万人域名拥有量	正向	0.088
绿色化	污染排放强度	万元工业产值工业固体废物产生量	负向	0.004
		万元工业产值危险废物产生量	负向	0.005
		万元工业产值二氧化硫排放量	负向	0.010
	资源消耗强度	万元工业产值用水量	负向	0.015
		万元工业产值电力消费量	负向	0.009
	污染治理强度	工业污染治理投资额占工业总产值的比值	正向	0.040

键指标,也是制造业绿色化发展的重要内容。本文选择万元工业产值用水量和万元工业产值电力消费量 2 个指标予以表征。第三,污染治理强度是指企业为减少污染排放所采取的措施和投入的力度,本文选择工业污染治理投资额占工业总产值的比值予以表征。上述 6 个指标能够有效刻画制造业在绿色化发展过程中污染排放强度、资源消耗、污染治理的变化情况。

2. 核心解释变量

近年来,人工智能领域的专利申请活动显著增多,学者们使用专利数量衡量人工智能技术的创新程度及应用广度。本研究选取人工智能专利数量作为衡量人工智能发展水平的指标,主要基于以下三方面考量:第一,人工智能发展水平的差异本质上源于技术创新能力的差距,而专利是评估人工智能技术创新产出水平的核心指标。第二,人工智能专利数据的权威性和可靠性,专利数据通常来源于官方机构,例如国家知识产权局和世界知识产权组织等。统计数据的权威性和可靠性有助于确保测度结果的客观性和准确性。第三,专利数据具有可量化、可追溯、易分类的特点,通过对人工智能专利的分类统计,可以深入了解人工智能不同技术领域的发展情况。2021 年 2 月 7 日,国家知识产权局颁布的《战略性新兴产业分类与国际专利分类参照关系表(2021)(试行)》,为战略性新兴产业专利与经济活动的关联分析提供统计依据。为此,本文使用国际专利分类提取整理我国人工智能专利申请数据,并根据人工智能产业链技术层、应用层和平台层三个方面,分类统计人工智能专利数量,进而探讨人工智能细分领域发展水平对制造业高质量发展的影响效应。表 2 呈现了 2010—2022 年我国人工智能专利分类统计数据。本文选择各省区市人工智能专利申请数量加 1 取自然对数测度人工智能发展水平。

表 2 2010—2022 年中国人工智能专利申请总量及占比

产业链	新兴产业分类	细分行业	国际专利分类	专利数量/万件	占比
技术层	人工智能软件开发	基础软件开发	G06F40A61B5/0476、A61B/0478G05B15/02G06K9/66G07C9/00G08B19/00G08B25/10	13.55	14.42%
应用层	人工智能软件开发 智能消费相关设备制造	应用软件开发 可穿戴智能设备制造 智能无人飞行器 其他智能消费设备制造 其他电子设备制造	G06N3/063G06N3/10G06N3/12G06N5/00G06N5/02G06N5/04G06F3/01G06N3/04G06N3/06G06F9/44G06F9/455G06N3/00G05D1/02G05D1/08G05D1/10G05D1/12G05D1/16	27.19	28.94%
平台层	人工智能系统服务	信息系统集成服务	G06K9/00G06K9/62G06N3/02G06N3/08G16HA61B5*(不含 A61B5/0476A61B5/0478)	53.21	56.64%

注:国际专利分类号后加“*”表示包括国际专利分类该层级及以下所有分类号,对于需排除的分类号加括号予以说明。

3. 其他变量

中介变量测度说明如下:人力资本高级化(Hc_{it})采用各省每万人普通高等学校在校学生人数测度;劳动生产率($Labor_{it}$)采用规上工业企业主营业务收入与规上工业企业平均从业人员年平均数的比值测度;消费需求升级($Cons_{it}$)采用人均消费支出衡量。控制变量测度说明如下:经济发展水平($Pgdp_{it}$)选择地区人均 GDP 测度;市场规模($Marc_{it}$)采用各省份 GDP 占国内生产总值的比重衡量;对外开放程度($Open_{it}$)采用各地区进出口总额占 GDP 的比重衡量;政府支持力度(Gov_{it})采用科技创新经费总额占政府一般公共财政支出总额的比重测算。上述变量在模型中均取其自然对数值。

(三) 数据说明

本文以我国 30 个省区市为研究样本,研究期间为 2010—2022 年,不包括港澳台及西藏地区。人工智能专利申请数据来源于国家知识产权局专利数据库。专利数据处理说明如下:检索上市公司 2010—2022 年申请的专利名称,筛选出名称里包含“自动”“智能”“人工智能”关键词的专利记录,再根据上市公司注册地址匹配至相应省区市,最终汇总得到各省区市各年份的人工智能专利数据。制造业高端化、智能化和绿色化维度指标及其他变量指标的数据来源于相应年份的《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国工业统计年鉴》,部分缺失的数据通过线性插值法予以补全。

四、实证过程与结果分析

(一) 基准模型回归结果分析

本文运用 Hausman 检验确定回归模型的适用类型。检验结果表明, Hausman 检验统计量值为 22.71,且通过

1% 显著性水平检验,由此判定应选择固定效应模型。为此,本文运用固定效应模型对人工智能影响制造业高质量发展的效应展开实证分析,估计结果详见表 3。为缓解模型遗漏变量可能引发的内生性问题,表 3 第(1)列至第(4)列依次将控制变量、省份固定效应、年份固定效应以及省份和年份固定效应加入回归模型。第(1)列为加入控制变量的回归结果,lnai 的系数在 10% 的水平下显著为正,表明人工智能显著地提高制造业高质量发展水平。在第(1)列的基础上,第(2)列和第(3)列分别增加了省份固定效应和年份固定效应,lnai 的系数均在 1% 的显著水平下为正,进一步说明人工智能促进制造业高质量发展。第(4)列同时考虑控制变量、省份固定效应和年份固定效应,lnai 的系数仍然显著为正。当人工

智能发展水平每提升 1% 时,制造业高质量发展指数会相应增加约 0.0112 个单位。回归结果表明,人工智能对制造业高质量发展具有显著促进效应,这与前文 H_1 分析相一致。考虑到人工智能技术迭代是一个时间积累的过程,同时人工智能技术应用也需要配套的技术、基础设施以及产业组织结构等,人工智能的赋能效应具有显著的滞后性。为此,本文在基准模型中分别加入人工智能滞后 1 期及 2 期变量,回归结果详见表 3 第(5)列至第(6)列。结果表明,人工智能滞后 1 期与 2 期变量对制造业高质量发展均具有显著促进效应,其回归系数均通过 10% 水平的显著性检验,表明人工智能对制造业高质量发展的影响具有显著的持续促进作用。

(二) 内生性检验

通常而言,制造业发展水平较高的省份,往往展现对人工智能技术更为强烈的需求,这种需求驱动了这些省份在人工智能领域的发展,因而人工智能整体发展水平也相对较高,这种反向因果关系将会导致模型估计结果存在偏差。本文采用工具变量法处理模型潜在的内生性问题,并运用两阶段最小二乘法(2SLS)展开参数估计,相关估计结果详见表 4。工具变量包括人工智能滞后一期(L1.lnai)、地形起伏度与人工智能企业存量数自然对数的交互项($qfd \times lncom$)两个变量。人工智能滞后一期变量满足工具变量相关性和

外生性的基本要求:从相关性看,人工智能滞后一期变量与当期人工智能发展水平存在相关性;从外生性看,人工智能滞后一期变量与当期制造业高质量发展水平不相关。同时,为提高内生性检验估计结果的稳健性,本文构造双维度工具变量,选择地形起伏度与人工智能企业存量数自然对数的交互项作为工具变量,并将其检验结果与人工智能滞后一期变量的检验结果相互校验,进一步增强基准模型回归结论的可信度。一方面,从地形起伏度维度看:地形起伏度与制造业高质量发展水平不相关,满足外生性要求,这是因为地形起伏度是脱离经济系统的外生变量,不会影响制造业高质量发展水平;然而,地形起伏度与人工智能发展水平两者却密切相关,满足

表 3 基准模型回归结果

变量	(1) hqd	(2) hqd	(3) hqd	(4) hqd	(5) hqd	(6) hqd
lnai	0.00741 * (0.00389)	0.0147 *** (0.00524)	0.0153 *** (0.00546)	0.0112 * (0.00568)		
L1.lnai					0.0107 * (0.00565)	
L2.lnai						0.0107 * (0.00594)
lnpgdp	-0.0317 * (0.0184)	-0.0638 *** (0.0235)	0.0550 ** (0.0249)	0.118 * (0.0605)	0.107 * (0.0631)	0.107 (0.0668)
lnmarc	0.0964 *** (0.0129)	0.120 *** (0.0231)	0.0501 *** (0.0179)	-0.0222 (0.0539)	-0.00904 (0.0559)	0.000888 (0.0594)
lnopen	0.00338 (0.00346)	-0.0000468 (0.00346)	0.000494 (0.00514)	-0.00521 (0.00539)	-0.00488 (0.00539)	-0.00594 (0.00559)
lngov	0.0233 ** (0.00999)	0.0129 (0.0103)	0.0174 * (0.00932)	0.0155 (0.00952)	0.00986 (0.00968)	0.0000959 (0.0104)
省份固定效应	否	是	否	是	是	是
年份固定效应	否	否	是	是	是	是
_cons	0.700 *** (0.0589)	0.747 *** (0.0880)	0.405 *** (0.104)	0.0707 (0.265)	0.0577 (0.285)	0.0325 (0.308)
N	390	390	390	390	360	330
R ²	0.087	0.097	0.031	0.300	0.275	0.281

注: * 表示 $p < 0.1$, ** 表示 $p < 0.05$, *** 表示 $p < 0.01$, 括号内数值为标准误差,下同。

表 4 内生性检验结果

变量	(1)		(2)	
	2SLS 一阶段 回归	2SLS 二阶段 回归	2SLS 一阶段 回归	2SLS 二阶段 回归
lnai		0.0131 ** (0.00544)		0.0170 ** (0.00828)
L1.lnai	0.8893 *** (0.03736)			
$qfd \times lncom$			0.0575 *** (0.00653)	
第一阶段 F 统计量	566.34 ***		77.57 ***	
Kleibergen-Paap rk LM		91.379 ***		43.824 ***
Cragg-Donald Wald F		2399.877 [16.38]		70.156 [16.38]
N	360	360	390	390
R ²		0.743		0.731

相关性要求,这是因为地区的地形起伏度相对较低,能为信息传输网络与智能基础设施的建设完善提供更有利的物理环境,有助于降低建设成本和提高建设效率,推动当地人工智能产业蓬勃发展。另一方面,从人工智能企业存量数维度看:人工智能企业存量数不会直接影响制造业高质量发展水平,满足外生性要求,因为单凭人工智能企业数量多少未必能直接促进制造业高质量发展;但是,人工智能企业存量数与人工智能发展水平却密切相关,满足相关性要求,因为人工智能企业作为智能产业的微观主体,对各地区人工智能产业发展起到至关重要的作用,人工智能企业存量数越高,越能促进地区人工智能发展。据上可得,地形起伏度与人工智能企业存量自然对数交互项也满足工具变量外生性和相关性的基本要求。样本期内各省份人工智能企业存量数源于天眼查数据库。本文通过提取公司名称中含有“人工智能”字段的企业明细,根据企业注册地址匹配对应省份,进而汇总得出各省份人工智能企业存量数。由表4实证结果可得,两个工具变量在第一阶段的F统计量均在1%显著性水平下通过检验,内生变量与工具变量的统计关联性显著。进一步观察第一阶段的回归系数,工具变量对应的系数值分别为0.8893和0.0575,且在1%水平下显著为正,这一结果表明上述两个工具变量对内生变量具有显著的解释力。为进一步检验工具变量的有效性,本文对工具变量进行了不可识别检验和弱工具变量检验。不可识别检验结果表明,Kleibergen-Paap rk LM统计量分别为91.379和43.824,均在1%显著性水平下拒绝工具变量识别不足的原假设,表明实证模型不存在识别不足问题。同时,弱工具变量检验的Cragg-Donald Wald F统计量分别为2399.877和70.156,均超过Stock-Yogo weak ID test在10%显著性水平的临界值16.38,说明模型选取的工具变量不存在弱工具变量问题。此外,第二阶段回归结果表明,基准模型引入工具变量进行内生性检验后,人工智能的回归系数分别为0.0131和0.0170,均在5%水平下显著为正,系数值均超过基准模型估计的0.0112,这些进一步印证了基准模型的结论,即人工智能对制造业高质量发展具有显著促进作用。

(三)稳健性检验

1. 替换核心解释变量

如前文所述,人工智能企业作为智能产业发展的微观主体,地区人工智能企业存量数在一定程度上能够反映地区人工智能发展水平。人工智能企业数量不仅代表着技术创新与研发能力的基础,还反映了产业链上下游的协同程度及市场应用的广度。为此,本文选取人工智能企业存量数的自然对数测度人工智能发展水平,回归结果见表5第(1)列。结果表明,人工智能对制造业高质量发展仍具有促进作用,其影响效应在1%的显著性水平上为正,这一结果为基准回归结论的稳健性提供了有力支撑。

2. 异常值处理

缩尾作为一种数据预处理技术,能够有效减少异常值对模型估计结果的影响。为此,本文对核心解释变量与被解释变量实施5%分位数的缩尾处理,具体回归结果详见表5第(2)列。实证结果表明,即便经过缩尾处理,人工智能对制造业高质量发展的正向驱动效应仍显著,其回归系数数值为0.0151,且通过了1%显著性水平检验,进一步说明了基准回归结果是稳健性的。

3. 拓展模型与更换估计方法

鉴于制造业高质量发展存在显著的路径依赖特征,历史发展水平往往会对当期发展水平产生延续效应。为此,本文将被解释变量滞后一期纳入解释变量体系,构建动态面板回归模型,并使用系统广义矩估计法估计模型参数,回归结果详见表5第(3)列。系统广义矩估计法需完成两项检验:一是序列相关性检验,即验证估计方程中随机扰动项不存在序列相关性;二是过度识别检验,即确认模型所选工具变量未出现过度识别问题。自相关检验可以通过残差序列相关性检验 $AR(n)$ 来判断,过度识别检验可以运用Hansen检验来判断。检验结果表明, $AR(2)$ 卡方统计量为1.49,未能通过10%显著性水平检验,表明不存在二阶序列相关,即模型内生性问题得以解决。Hansen检验卡方统计量为5.64,可在5%显著性水平下接受原假设,工具变量与误差项不相关,表明模型中所使用的工具变量是有效的。此外,人工智能和制造业高质量发展指数滞后项所对应的回归系数均显著大于

表5 稳健性检验结果

变量	(1) <i>hqd</i>	(2) <i>hqd</i>	(3) <i>hqd</i>
<i>lnai</i>			0.0123 * (0.00647)
<i>lnaicom</i>	0.00465 *** (0.00171)		
<i>lnai_sw</i>		0.0151 *** (0.00506)	
<i>L1.hqd</i>			0.524 *** (0.193)
<i>AR(1)</i>			-2.60 ***
<i>AR(2)</i>			1.49
Hansen 统计量			5.64 *

注: $AR(n)$ 表示Arellano-Bond Test, n 表示滞后阶数,原假设为“残差序列无自相关”。Hansen检验为过度识别检验,原假设为“工具变量与误差项不相关”。第(4)列被解释变量的工具变量设定为 $gmm(hqd, lag(2\ 3)\ collapse)$ 。

零。人工智能发展水平每提升 1%,制造业高质量发展指数会相应提高约 0.0123 个单位,表明人工智能对制造业高质量发展具有显著的促进作用。这一结论与基准回归结果相互印证,再次表明基准回归结果是稳健的。

(四) 多维效应检验

本文将国际专利分类编码与人工智能产业分类进行全面直接对照,从人工智能产业链的技术层、应用层和平台层三个维度分类统计人工智能专利申请数量,以此表征人工智能细分领域发展水平,进而探讨其驱动制造业高质量发展的多维效应,回归结果详见表 6 第(1)列至第(3)列。

人工智能技术层变量 $\ln ait$ 的回归系数为 0.0108,通过 5% 显著性水平检验,表明人工智能基础软件与核心技术的突破,显著推动制造业高质量发展。人工智能应用层变量 $\ln aiy$ 的回归系数虽为 0.0085,但未能通过 10% 水平的显著性检验,人工智能应用层发展水平的提高未能显著促进制造业高质量发展。人工智能平台层变量 $\ln aip$ 的回归系数为 0.0141,在 5% 水平下显著为正,其回归系数略大于变量 $\ln aiy$ 的回归系数。相比之下,人工智能平台层发展水平提升所带来的正向促进作用更加明显。技术层和平台层变量的回归系数显著为正,应用层变量的回归系数虽为正数,但未能通过显著性检验。可能的解释是:第一,人工智能技术层是人工智能发展的基石,主要包括算法优化、芯片设计、操作系统开发等内容,这些领域的技术突破能够有效降低人工智能的应用成本,提高智能系统的性能与可靠性,为制造业高质量发展提供强大的技术支撑。第二,人工智能平台层作为连接技术与应用的重要桥梁,通过搭建数据处理、模型训练、应用开发等一站式服务平台,有效降低中小型企业应用人工智能的门槛,促进人工智能与产业的深度融合,加速人工智能技术在制造业中的普及与应用,推动产业链上下游的协同创新,对制造业高质量发展也具有显著促进效应。第三,人工智能应用层直接关联到智能消费相关设备制造及应用软件开发等行业,其发展虽对提升制造业智能化水平有积极作用,但受限于技术落地难度、市场需求匹配度及用户习惯培养等因素,人工智能对制造业高质量发展的促进作用尚未充分显现,后续随着智能制造产品应用场景与商业模式不断完善,人工智能应用层的促进效应可能会逐步显现。

表 6 人工智能不同细分领域异质性检验结果

变量	(1) <i>hqd</i>	(2) <i>hqd</i>	(3) <i>hqd</i>
$\ln ait$	0.0108 ** (0.00515)		
$\ln aiy$		0.00847 (0.00546)	
$\ln aip$			0.0141 ** (0.00629)
N	390	390	390
R ²	0.301	0.297	0.302

(五) 异质性检验

1. 分区域异质性检验

本文根据 2011 年 6 月 13 日国家统计局关于经济地域的界定,把总体分为东部、中部、西部和东北四个子样本进行分组回归,检验人工智能对制造业高质量发展的差异化影响效应,结果详见表 7 第(1)列至第(4)列。总体而言,子样本回归模型中人工智能的回归系数具有显著的区域差异,东部、中部及东北三个地区的回归系数在 10% 水平下显著为正,人工智能对制造业高质量发展具有促进作用,而西部地区的回归系数为负数但不显著。人工智能对制造业高质量的影响效应呈现显著的区域异质性,可能的原因是各区域在经济基础、产业体系、政策环境、技术与人才储备等方面存在差异。东部地区凭借其雄厚的经济基础和完善的产业体系,为人工智能技术的快速发展和广泛应用提供了肥沃土壤,有效地推动了制造业向高端化、智能化、绿色化转型。东北地区作为老工业基地,传统制造业转型升级需求迫切,人工智能技术的快速发展为其提供了新的动力。中部地区则依托其完善的制造业体系和区域协同优势,通过引入人工智能技术实现技术升级和生产效率提升;同时加强与东部地区的交流合作,借鉴先进经验和技术成果,促进人工智能与制造业深度融合。然而,西部地区经济基础相对薄弱,产业体系不完善,其制造业在结构和技术水平上可能尚未达到能够充分吸纳并有效利用人工智能技术的阶段。此外,考虑到东部地区人工智能发展水平整体领先于其他三个地区,中部、西部和东北部地区人工智能发展水平的区域间差异相对较小。本文将总体划分为东部地区和非东部地区两个子样本进行回归分析,如表 7 第(5)列所示,实证结果再次表明人工智能对制造业高质量发展的影响效应呈现显著的区域异质性。

表 7 区域异质性检验结果

变量	(1) 东部 <i>hqd</i>	(2) 中部 <i>hqd</i>	(3) 西部 <i>hqd</i>	(4) 东北 <i>hqd</i>	(5) 非东部 <i>hqd</i>
$\ln ai$	0.0287 * (0.0173)	0.0105 * (0.0053)	-0.0102 (0.0081)	0.0245 * (0.0136)	0.0056 (0.0045)
N	130	78	143	39	260
R ²	0.514	0.737	0.460	0.926	0.471

2. 制造业高质量发展分维度检验

为进一步探讨人工智能对制造业高质量发展分维度影响的具体效应,本文运用熵权法测算制造业高质量发展“高端化、绿色化、智能化”维度的分指数,并将其作为被解释变量对基准模型进行回归分析。如表8第(1)列至第(3)列所示,人工智能对制造业高质量发展三大维度分指数的回归系数具有结构异质性。高端化和智能化分维度下人工智能的回归系数显著为正,然而绿色化分维度下

人工智能的回归系数显著为负。表8第(1)列展示了高端化维度的检验结果,人工智能的回归系数为0.0224,显著高于基准回归模型的0.0112,且通过1%水平的显著性检验,表明人工智能显著推动制造业高端化。表8第(2)列显示了智能化维度的检验结果,人工智能的回归系数为0.0131,略低于高端化维度的系数,也通过了10%水平的显著性检验,表明人工智能能够显著推动制造业智能化。高端化维度和智能化维度的回归结果与理论预期相一致。表8第(3)列展示了绿色化维度的检验结果,人工智能的回归系数为-0.0514,且在1%水平上显著为负,表明人工智能能够显著降低制造业绿色化发展水平。对此,可能的解释是:一是技术应用的局限性,尽管人工智能技术在理论上能够优化生产流程,提高资源使用效率,但若技术实施不当或缺乏配套环保措施时,人工智能可能无法显著减少污染物的排放,甚至可能因技术更新带来的额外能耗而增加排放;二是替代效应与转型阵痛,人工智能的引入可能替代了部分传统生产方式,然而人工智能赋能效应具有滞后性,在新的智能化生产方式完全成熟并体现出其绿色优势之前,可能会经历一段绿色化水平下降的转型阵痛期。

表8 制造业高质量发展分维度异质性检验结果

变量	(1) 高端化	(2) 智能化	(3) 绿色化
lnai	0.0224 *** (0.00675)	0.0131 * (0.00708)	-0.0514 *** (0.0162)
N	390	390	390
R ²	0.310	0.231	0.187

五、作用机制分析

前文假设H₂理论阐释了人工智能间接推动制造业高质量发展的作用机制。为此,本文构建渠道效应模型,实证检验人工智能对制造业高质量发展的作用机制,结果详见表9第(2)列至第(7)列。

(一)人力资本高级化机制

表9第(2)列至第(3)列汇报了人力资本高级化渠道效应的检验结果。如表9第(2)列所示,人工智能的回归系数为正,且通过1%水平的显著性检验,表明人工智能显著促进人力资本高级化。人工智能发展水平每增加1%,人力资本总量提升0.0450%,人工智能推动了人力资本的积累和提升。在此基础上,表9第(3)列同时把人工智能和人力资本高级化两个变量加入估计模型,其回归系数分

别为0.0101和0.0223。其中,人工智能的回归系数通过10%水平的显著性检验,说明模型即使考虑人力资本高级化渠道变量的影响之外,人工智能对制造业高质量发展仍然具有直接影响效应,这意味了人工智能驱动制造业高质量发展还存在其他变量的传导路径。值得注意的是,表9第(1)列基准模型人工智能的回归系数,显著大于表9第(3)列渠道效应模型中人工智能的回归系数,这也从侧面验证了人工智能对制造业高质量发展的影响并非局限于某一种形式,它同时存在着直接效应和间接效应。人力资本高级化的回归系数不显著,说明人力资本高级化作为渠道变量并没有显著解释人工智能对制造业高质量发展的影响。对此,可能的解释有两个:一是人力资本高级化的时滞性,人力资本高级化对制造业高质量发展的影响可能具有长期性,短期内由于技术更新、人员培训、组织结构调整等成本的存在,人力资本高级化可能无法立即显现出其对制造业高质量发展的促进效应。二是经济结构的复杂性,制造业高质量发展受到多种因素的影响,包括市场需求、政策环境、资源分配等,人力资本高级化可能只是其中之一,可能其影响程度受到控制变量的制约,或被其他更强或更直接的因素所掩盖了。

(二)劳动生产率提高机制

表9第(4)列至第(5)列汇报了劳动生产率提高渠道效应的检验结果。如表9第(4)列所示,人工智能的回

表9 作用机制检验结果

变量	基准模型	人力资本高级化		劳动生产率提高		消费需求升级	
	(1) hqd	(2) lnhc	(3) hqd	(4) lnlabor	(5) hqd	(6) lncons	(7) hqd
lnai	0.0112 * (0.00568)	0.0450 *** (0.0128)	0.0101 * (0.00578)	0.0328 ** (0.0137)	0.00725 (0.00550)	-0.00897 (0.0126)	0.0113 ** (0.00569)
lnhc			0.0223 (0.0240)				
lnlabor					0.123 *** (0.0213)		
lncons							0.0170 (0.0244)
N	390	390	390	390	390	390	390
R ²	0.300	0.785	0.301	0.907	0.357	0.902	0.301

归系数为正,且通过 1% 水平的显著性检验,说明人工智能显著提高劳动生产率。人工智能发展水平每增加 1%,劳动生产率提升 0.0328 个百分点。在此基础上,表 9 第(5)列同时把人工智能和劳动生产率两个变量加入估计模型,其回归系数分别为 0.0073 和 0.123。从经济意义上看,人工智能和劳动生产率与制造业高质量发展之间呈正相关。人工智能的回归系数未能通过 10% 水平的显著性检验,然而劳动生产率的回归系数却通过 1% 水平的显著性检验。换言之,模型控制劳动生产率变量之后,人工智能对制造业高质量发展的直接效应不显著了,而劳动生产率对制造业高质量发展的影响效应仍然显著。这表明人工智能本身不直接决定制造业高质量发展水平,人工智能对制造业高质量发展的影响是通过劳动生产率渠道变量完全实现的。劳动生产率存在完全渠道效应的可能解释是:一方面,人工智能作为一种先进的技术手段,其对制造业的影响往往是间接的,主要通过提高生产效率、优化生产流程、降低成本等方式来提升劳动生产率,进而推动制造业高质量发展;另一方面,劳动生产率是衡量制造业高质量发展水平的重要指标之一,人工智能对制造业高质量发展的促进作用需借助劳动生产率的提高来得以呈现。

(三)消费需求升级机制

表 9 第(6)列至第(7)列汇报了消费需求升级渠道效应的检验结果。在表 9 第(6)列中,人工智能的回归系数为负,未能通过 10% 水平显著性检验,表明人工智能对消费需求升级并未产生显著影响。由于人工智能的回归系数不显著,模型无法进一步检验人工智能推动消费需求升级进而促进制造业高质量发展的传导机制。值得注意的是,表 9 第(7)列人工智能的回归系数与基准模型人工智能的回归系数基本一致,均在 10% 的水平下显著。这表明基准模型增加消费需求升级变量后,人工智能的系数值和显著性并未发生显著变化,从侧面说明了人工智能不能通过消费需求升级的方式间接推动制造业高质量发展。上述结论可能的原因是:一方面,人工智能在制造业中的应用主要集中在生产环节,主要通过提高生产效率、优化资源配置和降低生产成本等方式推动制造业高质量发展,这种推动作用并未能直接转化为消费需求升级动力,因为消费需求升级更多依赖于居民收入水平。另一方面,人工智能在消费领域的应用还处于初级阶段,尚未形成大规模的市场效应。

六、结论与政策启示

本文对人工智能推动制造业高质量发展的多维效应及其作用机制展开了实证分析。研究发现:(1)人工智能对制造业高质量发展水平的提升具有显著作用,且在处理内生性问题以及实施多项稳健性检验后,该结论依然稳健;人工智能在驱动制造业高质量发展过程中,其多维效应呈现出明显的差异化特征,技术层和平台层变量的系数显著为正,而应用层变量的系数不显著。(2)人工智能驱动制造业高质量发展的影响效应存在显著异质性。一是区域差异性,东部、中部及东北地区人工智能对制造业高质量发展具有显著促进效应,而西部地区不显著。二是高质量发展结构异质性,高端化和智能化分维度下人工智能的回归系数显著为正,而绿色化分维度下的系数显著为负。(3)人工智能主要通过提高劳动生产率的方式促进制造业高质量发展,人力资本高级化和消费需求升级的传导机制不显著。据此,本文提出如下政策建议:

第一,增强人工智能在制造业领域的渗透与应用程度。一是构建人工智能与制造业深度融合的政策框架,明确融合目标、路径及阶段性任务,为企业智能化转型提供清晰指引。二是实施“智能制造”示范工程,选取重点行业、龙头企业开展人工智能应用示范,激发全行业智能化升级的热情与动力。三是加大财政金融支持力度,设立专项基金,为制造业企业提供低息贷款、风险投资等多元化融资渠道,降低其智能化改造成本。四是优化营商环境,简化审批流程,降低市场准入门槛,鼓励更多企业投身于人工智能与制造业的融合创新实践。

第二,因地制宜推动人工智能与制造业区域协同发展。对于东部、中部及东北地区,应进一步强化人工智能与制造业的深度融合,东部地区应发挥引领作用,打造人工智能与制造业融合创新高地,支持建设世界级先进制造业集群;中部和东北地区则需加快人工智能技术引进与消化,利用人工智能赋能传统产业转型升级;西部地区应加大政策倾斜力度,通过设立专项基金、税收优惠等措施,鼓励企业引入人工智能技术,提升智能制造水平。

第三,精准施策推动人工智能细分领域高质量发展。首先,重点扶持人工智能技术层和平台层的发展,加大对核心算法、芯片、操作系统等关键技术的研发投入,推动核心技术突破与平台体系建设,构建自主可控的人工智能产业生态。其次,针对应用层发展尚不充分和促进效应不显著的现状,应强化政策引导与市场培育,通过示范项目、应用场景的打造,加速应用层技术的成熟与普及,同时鼓励企业积极探索人工智能与制造业融合的新模

式、新业态,激发应用层创新活力。最后,建立跨层级的协同机制,促进技术层、平台层与应用层之间的有机衔接与互动,形成人工智能赋能制造业高质量发展的良性循环,确保各层级技术的协同发展与综合效能的最大化。

第四,充分发挥劳动生产率对制造业高质量发展的作用。一是优化政策环境,为采用人工智能技术的企业提供税收减免和研发补贴。二是建立人工智能与制造业融合的创新示范区,集中展示并推广高效自动化生产线、智能工厂等成功案例,引导传统制造业转型升级,同时提供技术咨询、诊断服务,帮助企业精准识别并实施劳动生产率提升方案。三是强化人才支撑体系,鼓励企业开展内部培训,提升员工对智能技术的适应与应用能力,特别是要加强高技能人才和复合型人才的培养与引进。四是推动跨行业协作,建立人工智能与制造业交流平台,促进技术、经验共享,加速人工智能技术向更多细分领域渗透。

参考文献:

- [1] 裴长洪,刘洪愧. 构建新发展格局科学内涵研究[J]. 中国工业经济,2021(6):5-22.
- [2] 郭凯明. 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,2019(7):60-77+202-203.
- [3] 路玮孝,孟夏. 工业机器人应用、就业市场结构调整与服务贸易发展[J]. 国际经贸探索,2021(9):4-20.
- [4] 姚加权,张银澎,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(2):101-116+133+117-122.
- [5] 曹伟,冯颖姣,余晨阳,等. 人民币汇率变动、企业创新与制造业全要素生产率[J]. 经济研究,2022(3):65-82.
- [6] 曲立,王璐,李桓永. 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(9):45-61.
- [7] 唐晓华,迟子茗. 工业智能化对制造业高质量发展的影响研究[J]. 当代财经,2021(5):102-114.
- [8] 程文. 人工智能、索洛悖论与高质量发展:通用目的技术扩散的视角[J]. 经济研究,2021(10):22-38.
- [9] 肖旭,戚聿东. 产业数字化转型的价值维度与理论逻辑[J]. 改革,2019(8):61-70.
- [10] 师博. 人工智能促进新时代中国经济结构转型升级的路径选择[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版),2019(5):14-20.
- [11] 何玉梅,赵欣源. 新型数字基础设施能够推动产业结构升级吗——来自中国272个地级市的经验证据[J]. 科技进步与对策,2021(17):79-86.
- [12] 戴魁早,吴婷莉,潘爱民. 人工智能与工业结构升级[J]. 暨南学报(哲学社会科学版),2022(10):17-35.
- [13] 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.

[责任编辑:杨志辉]

Research on the Multidimensional Effects and Mechanisms of AI-Driven High-Quality Development in the Manufacturing Industry

OU Jinfeng¹, YE Xiangsong²

(1. Business School, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China;

2. School of Economics and Statistics, Guangzhou University, Guangzhou 510320, China)

Abstract: As a subversive digital technology, artificial intelligence has become an important engine to drive the high-quality development of manufacturing industry. Different from the previous comprehensive measurement perspective, this paper classifies 939, 500 patent application data of artificial intelligence in China from 2010 to 2022 from three dimensions: industrial chain technology layer, application layer and platform layer, so as to construct core explanatory variables and empirically test the multi-dimensional effect and mechanism of artificial intelligence driving the high-quality development of manufacturing industry. It is found that there are structural differences in the multi-dimensional effects of artificial intelligence driving the high-quality development of manufacturing industry. The coefficients of variables in technology layer and platform layer are significantly positive, while the coefficients of variables in application layer are not significant. Heterogeneity test shows that the regression coefficient of artificial intelligence is significantly positive under the high-end and intelligent dimensions of manufacturing, while the regression coefficient of artificial intelligence is significantly negative under the green dimensions. The analysis of action mechanism shows that artificial intelligence mainly promotes the high-quality development of manufacturing industry by improving labor productivity, and the transmission mechanism of human capital upgrading and consumer demand upgrading is not significant. Accordingly, this paper puts forward policy suggestions from four aspects: strengthening the infiltration and application of artificial intelligence in manufacturing industry, promoting the regional cooperation between artificial intelligence and manufacturing industry, promoting the development of artificial intelligence segmentation, and giving play to the role of labor productivity in promoting manufacturing industry.

Key Words: artificial intelligence; high-quality development; manufacturing industry; channel effect; manufacturing power; sci-tech innovation; intelligent manufacturing