

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

谢伟丽 石军伟 张起帆

内容提要:人工智能是制造业实现高质量发展的新引擎。本文在构建人工智能、要素禀赋与制造业高质量发展的理论框架基础上,利用2010—2019年中国城市层面数据,采用面板数据模型探讨人工智能影响制造业高质量发展的效应及其作用机制。研究结果显示:人工智能显著促进制造业高质量发展,该结论在一系列稳健性检验后仍然成立。此外,在东中西部地区、资源型及非资源型城市,人工智能对制造业高质量发展的影响效应存在异质性。作用机制分析结果显示,要素禀赋结构优化和人力资本提升在人工智能驱动制造业高质量发展的过程中具有显著的中介效应;金融支持能够显著强化人工智能对制造业高质量发展的驱动效应。本文的研究结论可以为助推人工智能驱动制造业高质量发展提供重要政策参考。

关键词:人工智能 制造业高质量发展 要素禀赋 要素结构优化 人力资本提升 金融支持

中图分类号:F492;F426

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2023)04-0021-18

一、问题提出

在数字经济飞速发展的时代背景下,人工智能技术应用推进产业变革是中国乃至全球制造业发展的重要力量^[1]。中国制造业总量规模已连续十二年位居世界第一,但是还存在大而不强、发展质量效益不高、自主创新能力薄弱、部分关键技术受制于人、“卡脖子”技术缺失等问题^[2-3],这严重阻碍了中国制造业高质量发展和制造强国建设的步伐。在党的二十大报告中,习近平总书记强调“高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务。”因此,深入探讨人工智能与制造业高质量发展这一热点话题,具有重要的现实意义。

人工智能与制造业的深度融合对于促进制造业高质量发展至关重要,以往的研究主要从制造业就业^[4-6]、制造业生产率^[7-8]等维度考察人工智能对制造业发展的影响。最近有学者开始关注人工智能与制造业高质量发展之间的关系。例如,蒋南平等(2021)运用剩余价值等相关理论,提出人工智能通过相对剩余价值、技术水

收稿日期:2022-09-12;修回日期:2023-03-13

基金项目:国家社会科学基金青年项目“数字经济驱动制造业高质量发展的内在机理及实现路径研究”(20CJY026);河南省高等学校重点项目“新时期河南省制造业发展质量测度与提升路径研究”(20A790028)

作者简介:谢伟丽 郑州航空工业管理学院经济学院讲师,郑州,450046;河南大学应用经济学博士后流动站博士后,开封,475005;

石军伟 中南财经政法大学工商管理学院教授、博士生导师,武汉,430073;

张起帆 中原银行股份有限公司投资银行部职员,郑州,450046。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

平、制度条件、经济条件四条路径促进了制造业高质量发展^[8]。但是,他们仅采用工业劳动生产率作为测度省级层面制造业高质量发展的指标,无法凸显高质量发展概念的综合性。唐晓华和迟子茗(2021)利用省级数据测度了制造业高质量发展的综合指标,进而指出,工业智能化对制造业高质量发展具有非线性影响,影响渠道体现在优化劳动力结构、提升生产效率及提高产品质量^[9]。刘松竹等(2022)^[10]、黄东兵等(2022)^[11]基于制造业上市公司数据,验证了人工智能有效促进制造业高质量发展,前者认为技术创新与人力资本提升是重要的影响渠道,后者指出行业竞争能够正向调节人工智能创新能力与企业高质量发展之间的关系。

可以发现,针对不同的研究对象或采用不同的方法和数据,人工智能影响制造业高质量发展的效应和路径的研究结论不尽相同。这也表明此前研究在该问题上尚未达成共识,人工智能如何影响制造业高质量发展的研究还不够充分。首先,相关经验研究主要基于省级层面数据,较之于城市层面数据^[12],其获得的结果往往不够细致。制造业高质量发展具备生产要素、基础设施、产业关联等共用性,并不囿于某一行业,而是受到所在地区的深刻影响,制造业的发展与其所在地区紧密相关^[13]。尤其是城市作为微观的制造业集聚地,相比此前研究中的省级层面更有合理性和针对性。因而,探讨城市层面制造业高质量发展的影响因素及路径更具有代表性。其次,以往的研究虽然提到人力资本是人工智能影响制造业高质量发展的可能机制^[10],但是并没有直接从要素禀赋视角展开系统分析。一系列的研究表明,人工智能技术的应用深刻影响着劳动力、资本、技术等要素领域^[14-16],对传统要素市场形成了巨大的外生冲击,改变了传统的要素禀赋结构。新的要素禀赋结构又会带动制造业对人力资本、金融支持等高级要素的投入,进而提高制造业生产效率,推动制造业高质量发展^[16]。然而,人工智能技术应用是否对要素禀赋产生深刻影响,以及其影响制造业高质量发展的内在机制是什么,还有待进一步探索。

基于以上分析,本文结合人工智能特有的属性,选取城市为区域研究对象,以要素禀赋为视角构建理论分析框架,测度2010—2019年208个城市的人工智能应用水平和制造业高质量发展水平,对人工智能技术应用影响制造业高质量发展的效应和机制进行实证检验,以期构建和选择中国制造业高质量发展的实现路径提供借鉴。

本文可能的边际贡献主要有三个方面:第一,本文从城市层面对制造业高质量发展和人工智能进行了较为全面的测度,能够从更加细微的尺度分析人工智能对制造业高质量发展的综合效应;第二,本文将要素禀赋纳入人工智能与制造业高质量发展的统一框架,验证了要素禀赋结构和人力资本在人工智能影响制造业高质量发展过程中的路径作用,深化了已有的人工智能与制造业高质量发展的相关研究;第三,本文还考察了另一个高级要素——金融支持——在人工智能技术应用与制造业高质量发展之间关系上的调节效应,拓宽了相关文献的研究视野。

二、理论分析与研究假设

人工智能是数字技术发展的高级形式。一方面,人工智能创新投入带来的技术突破,能够直接作用于制造业高质量发展;另一方面,人工智能技术的发展通过传统要素组合优化、要素流通壁垒消除、要素分配格局调整三种作用机制促进要素结构转型^[17],间接地影响制造业高质量发展。

(一) 人工智能对制造业高质量发展的直接影响机制

制造业高质量发展是在制造业各环节实现资源利用效率高、要素结构优化、经济增长效益高、技术创新能力强和生态环境质量优的可持续发展^[18-19]。人工智能与制造业的融合能够提高制造业产业效益,引领制

制造业技术创新,促进制造业绿色发展,从而实现制造业高质量发展。

人工智能技术可以提高制造业产业效益。从宏观层面来说,产业效益是一定时期内产业内所产出的全部有用劳动产品的价值与生产过程中所消耗的物化活动和活劳动价值之比,产业产值和劳动生产率是其主要的构成部分^[20]。人工智能技术在制造业生产活动中的应用,对制造业产值和劳动生产率都产生了影响。其一,人工智能应用对制造业产值具有显著促进效应^[21]。数据收集和 Information 处理是人工智能的基础功能,人工智能技术在应用中可以结合大数据手段,用来高效收集和处理市场信息,缓解信息不对称^[22]。这较好地促进了制造业企业制定科学决策和有效实施生产经营活动,进而降低生产成本,实现制造业产值增加。其二,人工智能可以通过机器学习、技术进步等提高制造业劳动生产率^[8]。一个国家或地区劳动力供给短缺程度越高即劳动力越稀缺,增加劳动力带来的成本就越高,那么其应用工业机器人所产生的价值就越大,人工智能应用通过技术溢出效应对制造业劳动生产率的边际促进作用也越大^[23]。

人工智能应用能够推动制造业技术创新。在数字经济时代,人工智能作为新型经济资源已成为重要的技术变革形式,通过向制造业融合、渗透,促进传统制造业有效实现资源配置,已经成为制造业创新驱动发展的先导力量^[24]。正因为如此,加强人工智能技术在传统制造业中的广泛应用,能够重构原有制造业体系,促使人工智能技术融入产品研发设计、加工制造及售后服务等多个环节,提高生产线的灵活性和适应性,进而提高创新效率和降低研发成本^[25],从而促进制造业技术创新。进一步,人工智能与制造业企业的相互融合能够激发新产品、新技术的产生^[26],人工智能技术的大量应用是制造业技术升级的必经阶段^[27]。因此,在制造业智能化过程中,人工智能通过转变创新方式、转化创新成果和创造新技术促进了制造业技术创新。

人工智能技术能够促进制造业绿色发展。人工智能技术不仅能够推动经济发展,还能够改善环境质量。陈芳和刘松涛(2022)利用长三角城市群的面板数据,研究发现人工智能技术能够通过结构效应、创新效应、人力资本效应显著促进城市绿色发展^[28]。唐晓华和迟子茗(2022)基于省级层面数据分析,发现人工智能与制造业的深度融合有助于提高能源使用率和促进绿色技术创新,从而促进制造业绿色发展^[29]。人工智能在制造业生产环节中的应用,可以优化资源利用、降低污染排放^[30];同时,人工智能环境监测信息系统能够对环境中的污染物排放情况信息进行联网,并将采集到的数据传到“云端”,可以预测及量化污染风险,实时监测生态环境并作出管制反应^[31]。因此,人工智能技术能够在绿色生产、绿色生活及节能减排等方面推动制造业绿色发展。

基于此,本文提出如下假设:

假设 1:人工智能技术应用能够显著推动制造业高质量发展。

(二)人工智能对制造业高质量发展的间接影响机制

在国家竞争优势理论框架下,要素可以划分为初级要素和高级要素两类,其中初级要素为劳动力,高级要素则包含物质资本、人力资本、金融支持、技术等^[32]。与传统的劳动力等初级要素不同,高级要素如人力资本、金融支持的能量密度更高,能够优化要素禀赋结构,进而提升制造业发展质量^[33]。同时,不同地区要素禀赋结构的变化和要素投入比例的变化也有可能对其制造业高质量发展产生影响^[34]。因此,本部分将重点分析要素禀赋结构、人力资本和金融支持对人工智能与制造业发展之间关系的影响。

1. 人工智能、要素禀赋结构与制造业高质量发展

城市要素禀赋结构主要反映资本和劳动力两个要素之间的比例关系^[35],资本和劳动力是推动制造

业产业发展的基础生产要素。人工智能作为资本和劳动力两种生产要素的结合体,能够在更大范围内和以更快速度复制劳动行为,并创造出新的虚拟劳动力,从而使得要素禀赋结构发生变化。一方面,人工智能技术应用于生产活动,会产生劳动力替代效应,改变要素禀赋结构。人工智能会提高生产活动的自动化程度和智能化程度,智能系统和设备的应用可以弱化生产对劳动力要素的依赖,引发资本要素对劳动力要素的替代^[25]。另一方面,人工智能通过优化要素禀赋结构,提高制造业劳动生产率,促进制造业技术创新和绿色发展。作为先进生产力,人工智能能够吸引大量的资本涌入,通过资本替代重复性工作,以智能化促进生产,进而提高制造业劳动生产率^[36]。同时,要素结构优化又能够满足地区制造业发展在信息技术和研发设计上创新的要求,进而促进技术创新;并在技术创新效应和要素禀赋结构优化效应的协同下提高能源利用率,从而促进制造业绿色发展^[37]。正如上文所述,制造业劳动生产率、技术创新和绿色发展都是制造业高质量发展的重要组成部分,因此,人工智能技术应用能够改变要素禀赋结构,而要素禀赋结构的变化会改变制造业生产方式和提升生产质量,进而促进制造业生产率提升、技术创新和绿色发展,从而实现制造业高质量发展。

由此,本文提出如下假设:

假设2:人工智能技术应用通过优化要素禀赋结构推动制造业高质量发展。

2. 人工智能、要素投入与制造业高质量发展

人工智能技术在制造业生产活动中的应用催生了智能制造,减少了重复性和标准化工作岗位对简单劳动力的需求^[7],也增加了高素质劳动力的需求^[38],提升了人力资本水平。其一,人工智能技术的应用和发展能够推动科学家和工程师等科技活动人员进行科学创新^[39],提升人力资本创新能力。其二,人工智能依托于互联网、移动设备等新的信息环境,延展了人的学习能力,加速人力资本积累,提升劳动力素质和质量。其三,人工智能能够促进劳动者的学历和综合能力提升,进而提升人力资本水平^[40]。人力资本积累和高级化能够带动知识密集型产业发展^[41],提高创新效率和生产率^[42],从而促进制造业高质量发展。同时,人力资本具有技术进步的诱发效应,能够通过技术研发和高质量产品,促进制造业高质量发展^[43]。因而,人工智能的发展促进了人力资本的提升,进而推动制造业高质量发展。

金融支持是金融对产业发展的支持,主要指根据特定规律或目标向产业和企业提供资金的过程^[44]。金融支持通过储蓄与投资资金的转化,打通资金短缺部门和盈余部门间的资金流动渠道,进而成为技术创新和产业发展的重要手段^[45],主要通过有效缓解信息不对称、改善企业融资约束、增强数字金融效应作用于人工智能与制造业高质量发展。首先,金融支持能够有效缓解信息不对称问题^[46]。金融支持水平高的地区,资本市场发达程度更高,金融机构信息披露制度也更为健全,能够为制造业企业提供更为系统和全面的金融工具,有利于企业更为充分地了解人工智能技术创新项目和进行创新活动,进而分散投资风险和缓解信息不对称问题。这些问题的优化和缓解能够改善人工智能赋能制造业高质量发展的创新环境。其次,增加有效金融支持是提升资本利用和配置效率的重要方式,亦是满足人工智能技术研发和制造业生产活动中融资需求的关键渠道^[47],改善人工智能赋能制造业高质量发展的资金环境^[48]。最后,在金融支持水平较高的地区,金融基础设施建设更加成熟,金融监管相对完善,有助于数字金融充分发挥对人工智能技术创新的促进作用^[49],促进制造业绿色发展^[50],进而提升制造业发展质量。此外,金融支持能够有效提高地区企业和社会组织发展人工智能技术的积极性^[51],进而促进人工智能技术的广泛应用。也就是说,地区金融支持越高,越有利于提高人工智能应用的广度和深度,这使得人工智能可以向制造业融合、渗透得更深、更有效率,进而强化人工智能对制造业高质量发展的促进作用。

综上所述,本文提出如下假设:

假设 3:人工智能技术应用通过提升人力资本促进制造业高质量发展。

假设 4:金融支持可以强化人工智能技术应用对制造业高质量发展的促进作用。

三、研究设计

(一) 模型设定

为了考察人工智能对制造业高质量发展的直接影响,本文构建如下计量模型进行检验:

$$Mhq_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 AI_{i,t} + \alpha_c CV_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

模型(1)中, $Mhq_{i,t}$ 为城市 i 在 t 时期的制造业高质量发展水平, $AI_{i,t}$ 为城市 i 在 t 时期的人工智能技术应用水平, $CV_{i,t}$ 代表涉及的控制变量; μ_i 表示城市 i 不随时间变化的地区固定效应, δ_t 是时期固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项。

除了模型(1)所体现的直接效应,基于前文关于中介效应的理论分析,本文根据人工智能应用对制造业高质量发展可能存在的影响路径,对要素禀赋结构和人才资本是否为二者之间的中介变量进行检验。参考巴伦和肯尼(Baron & Kenny, 1986)^[52]提出的方法,设定回归模型如下:

$$M_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 AI_{i,t} + \beta_c CV_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$Mhq_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 AI_{i,t} + \theta_2 M_{i,t} + \theta_c CV_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

其中, $M_{i,t}$ 代表中介变量,包括要素禀赋结构($KLstru$)和人力资本(Hr);其他变量与模型(1)中含义一致。根据温忠麟和叶宝娟(2014)^[53]的中介效应检验流程,具体检验步骤为:首先,检验模型(1)中人工智能(AI)指标的回归系数 α_1 是否通过显著性检验,若显著则继续检验,否则表明人工智能对制造业高质量发展不存在显著影响。其次,当 α_1 显著时,如果模型(2)、模型(3)中的 β_1 和 θ_2 都显著,表明存在间接影响。此时,当 θ_1 不显著时,即存在完全中介效应;当 θ_1 显著时, $\beta_1 \theta_2$ 与 θ_1 同方向,表示存在部分中介效应; $\alpha_1 \theta_2$ 与 θ_1 方向相反,则说明存在遮掩效应。

如前文所述,除了因素禀赋结构和人力资本,人工智能对制造业高质量发展的作用还受地区金融支持水平影响。为检验这一间接作用机制,本文将金融支持($Finance_{i,t}$)、人工智能与金融支持的交互项($AI_{i,t} \times Finance_{i,t}$)纳入基准模型中,并以此构建了模型:

$$Mhq_{i,t} = \sigma_0 + \sigma_1 AI_{i,t} + \sigma_2 Finance_{i,t} + \sigma_c CV_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

$$Mhq_{i,t} = \varphi_0 + \varphi_1 AI_{i,t} + \varphi_2 Finance_{i,t} + \varphi_3 AI_{i,t} \times Finance_{i,t} + \varphi_c CV_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

若模型(5)中系数 φ_3 显著为正,则表示金融支持在人工智能技术应用与制造业高质量发展之间的关系中存在正向调节效应。

(二) 变量选取与说明

1. 被解释变量

制造业高质量发展指数(Mhq)。基于制造业高质量发展的内涵和要求,本文借鉴史丹和李鹏(2019)^[54]的做法,考虑城市层面制造业数据的可得性,以产业效益、技术创新和绿色发展三个维度作为衡量城市制造业发展质量的三大方面,涵盖企业利润率、制造业就业比例、劳动生产率、研发投入强度等三级指标,构建中国城市层面制造业高质量发展的评价指标体系(见表1),采用客观赋权的熵值法确定各个三级指标的权重并测算综合得分,将得到的综合得分作为衡量城市制造业高质量发展水平的指数。

表 1 制造业高质量发展评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性
制造业高质量发展指数	产业效益	规模以上工业企业利润总额/规模以上工业企业营业收入	正向
		工业总产值占比	正向
		制造业就业人数占比	正向
		工业总产值/工业就业人数	正向
	技术创新	规模以上工业企业研发内部经费支出/规模以上工业企业营业收入	正向
		每万人专利申请量	正向
		每万人有效发明专利拥有量	正向
	绿色发展	工业二氧化硫排放量/工业总产值	负向
		工业废水排放量/工业总产值	负向
		工业固体废物综合利用率	正向

2. 核心解释变量

目前,工业机器人是在制造业领域应用的主要人工智能技术。本文借鉴阿西莫格鲁和雷斯特雷波 (Acemoglu & Restrepo, 2020)^[55]的做法,采用城市工业机器人密度来衡量人工智能技术应用水平(AI)。城市工业机器人密度反映了机器人的分布密度,即每万人拥有的工业机器人数量。具体计算公式如下:

$$AI_{it} = \sum_{j \in J} \frac{emp_{ij}^t}{emp_i^t} \cdot \frac{robot_j^t}{emp_j^t} \quad (6)$$

其中*i*表示城市,*j*表示行业,*t*表示时间; emp_{ij}^t 表示*t*时期*i*城市*j*行业就业者的数量, emp_i^t 表示*t*时期*i*城市的各行业就业者总数, $\frac{emp_{ij}^t}{emp_i^t}$ 表示*t*时期*i*城市*j*行业就业占比; $robot_j^t$ 表示*t*时期*j*行业的全国城市工业机器人安装数量, emp_j^t 表示*t*时期*j*行业全国就业人数, $\frac{robot_j^t}{emp_j^t}$ 表示*t*时期*j*行业全国层面的城市工业机器人安装密度。本文假设行业内工业机器人的应用水平在各样本城市都是一致的,城市工业机器人密度取决于该地区内各行业的就业份额^[12,56]。此外,本文还采用工业机器人的存量计算工业机器人的存量密度(Robotstock),计算方法与工业机器人的安装密度一致,作为人工智能(AI)稳健性检验的替代指标。

3. 中介变量和调节变量

依据前文理论分析,本文选取要素禀赋结构、人力资本两个中介变量和金融支持作为调节变量衡量要素禀赋状态。具体地:(1)资本劳动结构是资本和劳动的相对比例,是衡量地区要素禀赋结构(KLstru)的常用指标^[57]。借鉴阿西莫格鲁(Acemoglu, 2002)^[58]的研究,本文采用城市资本存量和从业人员数量衡量资本和劳动,计算资本劳动比率衡量资本劳动结构。其中,参考白俊红和刘宇英(2018)^[59]的做法,结合各城市的固定资产投资数据,使用永续盘存法,计算2010年以来在9.6%的折旧率下剔除价格因素后的固定资本存量,这一折旧率是基于省份作为研究对象计算的,与本文以城市作为研究对象比较接近;地区从业人员数量以全社会从业人员总数衡量。(2)人力资本(Hr)。科技活动从业人员创新意识和创新能力更强,因此,本文选用科学研究、技术服务就业人数与年末总人口数的比值作为创新型人力资本的衡量指标。(3)金融支持(Finance)。采用城市金融机构贷款余额占地区生产总值(GDP)的份额度量城市金融支持水平和状况^[60]。

4. 控制变量

为了更加全面地分析城市层面制造业高质量发展过程中人工智能发挥的作用,借鉴阿西莫格鲁和雷斯特雷波(2020)^[55]、赵涛等(2020)^[61]的研究,本文综合考虑经济发展、外商投资、人口、财政及教育方面,将控制变量设定如下:(1)经济发展水平(*lnpgdp*)用人均GDP的自然对数值度量;(2)外商投资水平(*lnfdi*)采用当年实际利用外资额的对数值表示;(3)人口密度(*lnp*)用年末人口总数与行政区域面积之比表示,并取自然对数;(4)财政分权度(*Govern*)用财政预算内收入与财政预算内支出之比来表示;(5)教育投入水平(*Edu*)采用教育支出占地方财政一般预算内支出的比重来表示。

(三) 样本选取与数据来源

本文的样本期设定为2010—2019年,考虑到城市层面相关数据的可得性,剔除数据部分缺失的城市,确定208个样本城市,最终形成了共2080个城市-年的均衡面板数据^①。工业机器人数据来源于国际机器人联合会(IFR),包含各行业的机器人安装量和存量。其他变量数据来自《中国城市统计年鉴》、各省份统计年鉴及部分地级市统计年报等,部分缺失数据采用插值法进行填补。

主要变量的统计性描述见表2。制造业高质量发展指数(*Mhq*)的均值为0.091,标准差为0.068,最小值为0.021,最大值为0.825,说明不同样本城市间的制造业发展质量在考察期内存在较大差异。不同样本城市的人工智能(*AI*)、要素禀赋结构(*KLstru*)、人力资本(*Hr*)、金融支持(*Finance*)及其他控制变量的相关统计值之间亦存在较大差异,这为考察人工智能对制造业高质量发展的影响提供了经验素材。

表2 变量的描述性统计

变量类型	变量名称	变量符号	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	制造业高质量发展	<i>Mhq</i>	2080	0.091	0.068	0.021	0.825
解释变量	人工智能	<i>AI</i>	2080	3.548	3.251	0.032	21.886
中介变量	要素禀赋结构	<i>KLstru</i>	2080	22.685	17.851	0.561	110.687
	人力资本	<i>Hr</i>	2080	0.242	0.443	0.008	5.243
调节变量	金融支持	<i>Finance</i>	2080	0.939	0.560	0.223	9.622
控制变量	经济发展水平	<i>lnpgdp</i>	2080	10.659	0.612	8.576	13.056
	外商投资水平	<i>lnfdi</i>	2080	10.094	2.075	1.099	14.941
	人口密度	<i>lnp</i>	2080	5.931	0.842	1.609	7.923
	财政分权度	<i>Govern</i>	2080	0.483	0.231	0.067	1.541
	教育投入水平	<i>Edu</i>	2080	18.256	3.733	1.774	35.621

四、实证结果分析

(一) 基准回归结果分析

本文采用普通最小二乘(OLS)法对模型(1)进行估计,结果见表3。列(1)至列(3)报告了人工智能对制造业高质量发展影响的估计结果,其中列(2)中没有控制时间固定效应,列(1)和列(3)中同时控制了地

^① 由于2010年以前制造业高质量发展指标体系中部分指标数据及2020年地级市层面部分变量数据缺失较多,本文实证研究的时间期限设定为2010—2019年。在样本选择中,因部分城市制造业高质量发展指标体系中规模以上工业企业内部研发经费指标数据缺失过多,需要剔除该数据缺失的样本,故最终确定208个样本城市。

区固定效应和时间固定效应。列(1)呈现的回归结果没有加入控制变量,人工智能变量的估计系数显著为正,这表明人工智能技术应用显著促进了制造业高质量发展。在此基础上,列(2)和列(3)中纳入了控制变量,其中人工智能变量的回归系数符号仍为正,且通过了1%的显著水平,表明考察期内人工智能技术应用对制造业高质量发展有显著的正向影响。这与唐晓华和迟子茗(2021)^[9]的研究结论一致。由此可见,城市人工智能技术应用能够推动制造业实现智能化生产,提高生产效率,促进城市制造业高质量发展,假设1成立。

此外,在加入了控制变量的列(3)中,经济发展水平的回归系数不显著,这意味着人均GDP的增长并没有使得制造业发展质量有效提升^[61];外商投资的回归系数显著为正,表明外商投资能够显著促进地区制造业发展质量提升;制造业高质量发展与财政分权度之间存在负相关关系;而人口密度和教育经费投入对制造业高质量发展具有显著正向作用。

表3 人工智能影响制造业高质量发展的基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
<i>AI</i>	0.006 9*** (18.827 0)	0.004 1*** (18.363 1)	0.005 7*** (16.102 0)
<i>lnpgdp</i>		-0.003 0 (-1.173 3)	-0.002 1 (-0.561 6)
<i>lnpfdi</i>		0.002 7*** (4.163 9)	0.002 3*** (3.611 3)
<i>lnp</i>		0.186 7*** (14.991 2)	0.174 9*** (14.048 1)
<i>Govern</i>		-0.044 1*** (-5.488 8)	-0.048 7*** (-5.736 7)
<i>Edu</i>		0.000 8*** (3.246 2)	0.000 5* (1.880 0)
常数项	0.064 5*** (42.388 7)	-1.023 2*** (-13.356 7)	-0.954 4*** (-11.851 1)
地区固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	未控制	控制
R^2	0.394	0.447	0.465
样本数	2 080	2 080	2 080

注:列(1)为未加入控制变量的回归结果,列(2)为未控制时间固定效应的回归结果,列(3)为控制时间固定效应的回归结果。括号内为 t 统计量值;***、**和*分别表示在1%、5%和10%的置信水平下显著。后表同。

(二) 内生性问题

为了消除人工智能与地区制造业高质量发展可能存在的反向因果关系和变量遗漏问题,以及提升估计结果的稳健性和可靠性,本文采用工具变量法的两阶段最小二乘估计(IV-2SLS)和系统-广义矩估计(SYS-GMM)来检验内生性问题。首先,参考阿西莫格鲁和雷斯特雷波(2020)^[55]的做法,本文选用同时期美国工业机器人安装密度测算出的相应的样本城市层面人工智能应用水平作为工具变量。选择依据在于:其一,

没有证据表明美国人工智能应用与中国制造业高质量发展之间有直接关系,满足工具变量的外生性假定;其二,美国人工智能应用水平位于全球前列,其人工智能水平可以反映未来发展趋势,且样本期内美国工业机器人应用与中国的发展趋势比较接近。与此同时,本文选择滞后一期的人工智能技术应用水平作为另一个工具变量,考察人工智能技术应用影响制造业高质量发展的稳健性。

表4的IV-2SLS估计结果显示,在使用工具变量估计之后,人工智能促进制造业高质量发展的效应仍然成立,结果均通过了1%水平的显著性检验。此外,列(2)和列(4)中Kleibergen-Paap rk LM统计量的P值均为0.000,表明拒绝原假设“工具变量识别不足”,即不存在识别不足的问题;Kleibergen-Paap Wald rk F统计量分别是1048.701和1792.790,显著大于Stock-Yogo弱识别检验的临界值,即不存在弱工具变量。

此外,本文还选取解释变量制造业高质量发展和核心解释变量人工智能的滞后项作为工具变量,利用SYS-GMM模型进行稳健性分析。表4的SYS-GMM模型回归结果显示,在考虑了内生性之后,解释变量人工智能的回归系数符号为正,并在1%的水平下显著,再次验证了人工智能技术应用对制造业高质量发展的促进作用。序列相关性检验及萨甘(Sargan)检验的P值分别为0.543和0.994,均大于0.1,即满足SYS-GMM的使用条件。

表4 IV-2SLS和SYS-GMM估计结果

变量	IV-2SLS				SYS-GMM
	(1)	(2)	(3)	(4)	
<i>AI</i>	1.1838*** (32.3836)	0.0044*** (4.4479)	0.8861*** (42.3413)	0.0056*** (7.2978)	0.0026*** (4.0501) 1.0997*** (28.7645)
<i>L.Mhq</i>					
<i>lnpgdp</i>	-0.8632*** (-3.3145)	-0.0032 (-0.5491)	0.0752 (0.5791)	-0.0003 (-0.0503)	-0.0536*** (-5.2571)
<i>lnpfdi</i>	0.0121 (0.3669)	0.0023*** (4.7351)	0.0313 (0.9331)	0.0022*** (4.4655)	0.0017*** (2.7723)
<i>lnp</i>	4.2992*** (5.5843)	0.1856*** (7.8833)	0.6218 (1.1201)	0.1832*** (8.6750)	-0.0041** (-2.2474)
<i>Govern</i>	-1.0684*** (-2.8408)	-0.0483*** (-5.3457)	0.5735* (1.8737)	-0.0495*** (-5.1560)	0.0908*** (5.1473)
<i>Edu</i>	0.0183 (1.3884)	0.0005* (1.9014)	-0.0082 (-0.7757)	0.0003 (1.2335)	-0.0012*** (-4.6149)
常数项	-19.4019*** (-3.5735)	-0.9090*** (-5.6298)	-5.7257 (-1.4607)	-0.9016*** (-6.0321)	0.5435*** (5.2406)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> ²		0.924		0.936	
样本数	2080	2080	1872	1872	1872

注:列(1)和列(2)使用美国工业机器人安装密度作为工具变量,列(3)和列(4)以人工智能的滞后一期为工具变量。

(三) 稳健性检验

1. 替换核心变量

一是采用人工智能专利申请数量(*Inpatent*)替换核心解释变量人工智能技术应用水平(*AI*)^[62],估计结果见表5列(1)。二是采用研究设计部分中用工业机器人存量数据计算的存量密度(*Robotstock*)指标,替代衡量人工智能技术应用水平的工业机器人安装密度(*AI*)指标,估计结果见表5列(2)。三是借鉴博尔兰和科埃利(Borland & Coelli,2017)^[63]的做法,利用信息传输、计算机服务和软件业固定资产投资额占GDP的比重(*Invest*)^①作为人工智能(*AI*)的另一个替代变量,估计结果如表5列(3)所示。四是采用单一指标制造业增加值比重替代被解释变量*Mhq*衡量制造业高质量发展水平,估计结果见表5列(4)。结果显示,核心解释变量人工智能技术应用水平的回归系数始终在1%的水平下显著为正,即人工智能技术应用对制造业高质量发展具有驱动作用这一结论是稳健的^②。

表5 替换人工智能技术应用和制造业高质量发展指标的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Inpatent</i>	0.0284*** (16.0467)			
<i>Robotstock</i>		0.0011*** (15.2308)		
<i>Invest</i>			0.0059*** (12.4246)	
<i>AI</i>				0.0038*** (6.3746)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	-1.0624*** (-13.3378)	-0.9578*** (-11.8034)	-1.1168*** (-13.7062)	-1.2076*** (-8.9835)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
R^2	0.465	0.458	0.437	0.641
样本数	2080	2080	2080	2080

注:列(1)—列(4)分别为加入*Inpatent*、*Robotstock*、*Invest*和*AI*的回归结果。

2. 剔除直辖市样本与分阶段回归

直辖市即北京、天津、上海和重庆在经济、人口和区位方面都具有明显的优势,且工业机器人安装密度等人工智能代理变量所反映的可能不仅是基准模型所阐释的效应。因此,本文剔除上述四个样本城市进行回归分析,结果如表6所示。同时,考虑到2013年以后,中央和地方政府关于推动人工智能的政策相继出台,工业机器人应用增速提高,本文以2013年为时间节点,将全样本按时期分为2010—2013年和2014—

① 由于信息传输、计算机服务和软件业固定资产投资额数据只有省级层面数据,本文以各城市固定资产投资总额占全省固定资产投资额的比重为权重,加权求得城市层面的信息传输、计算机服务和软件业固定资产投资额数据。

② 限于篇幅,稳健性检验、机制分析及异质性检验中的相关回归结果没有完全呈现,备案。

2019年两个阶段进行回归,以分析人工智能对制造业高质量发展的阶段性特征,结果见表6。结果表明,人工智能技术应用对制造业高质量发展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。

表6 剔除直辖市样本及分阶段回归结果

变量	剔除直辖市	2010—2013年	2014—2019年
<i>AI</i>	0.0009 [*] (1.8908)	0.0028 ^{***} (8.4966)	0.0056 ^{***} (11.0352)
控制变量	控制	控制	控制
常数项	-0.3839 ^{***} (-4.9344)	-0.2065 ^{***} (-3.1209)	-0.9023 ^{***} (-7.2716)
地区固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
R^2	0.390	0.411	0.519
样本数	520	810	1270

(四) 机制分析

根据前文的理论分析可知,人工智能还可以通过优化要素禀赋结构和提升人力资本助推制造业高质量发展,金融支持也会调节人工智能与制造业高质量发展之间的关系。由此,本文需要对要素禀赋结构和人力资本进行中介效应分析,进而对金融支持的调节效应进行检验。

表7报告了中介效应和调节效应模型的回归结果。结果显示,要素禀赋结构是人工智能影响制造业发展的中介变量,人工智能技术应用能够通过优化要素结构推动制造业高质量发展;人工智能对人力资本、人工智能和人力资本对制造业高质量发展的回归系数均在1%水平上显著为正,这说明人力资本也是人工智能技术应用影响制造业高质量发展的一个中介机制。假设2和假设3得到验证。

为了探讨金融支持在人工智能影响制造业高质量发展中的调节效应,本文将调节变量(*Finance*)、核心解释变量和调节变量生成的交互项($AI \times Finance$)纳入基准回归模型,形成调节效应模型(4),估计结果如表7中的列(6)和列(7)所示。其中,交互项($AI \times Finance$)的回归系数显著为正,这表明金融支持强化了人工智能对制造业高质量发展的促进作用。可见,提高金融支持水平有助于人工智能技术应用对制造业高质量发展驱动效应的发挥,即金融支持度越高的地区,人工智能对制造业高质量发展的驱动作用更为显著。金融支持作为一种高级要素,为地区推动人工智能技术应用和制造业智能化提供了金融资源,助推制造业高质量发展。假设4得到验证。

表7 要素禀赋结构、人力资本的中介效应模型及金融支持的调节效应模型的检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<i>AI</i>	0.0057 ^{***} (16.1020)	0.7502 ^{***} (6.5832)	0.0056 ^{***} (15.4792)	0.0086 ^{***} (5.2115)	0.0049 ^{***} (15.3422)	0.0059 ^{***} (16.4661)	0.0056 ^{***} (17.2715)

表7(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<i>Klstru</i>			0.000 2*** (3.154 6)				
<i>Hr</i>					0.100 4*** (22.769 4)		
<i>Finance</i>						0.006 7*** (4.330 8)	0.010 8*** (7.533 8)
<i>AI×Finance</i>							0.005 4*** (18.904 7)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.954 4*** (-11.851 1)	86.952 9*** (3.374 1)	-0.974 2*** (-12.089 7)	-2.261 2*** (-6.033 1)	-0.727 3*** (-10.114 5)	-0.959 8*** (-11.974 0)	-0.777 4*** (-10.498 8)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.465	0.828	0.468	0.166	0.582	0.471	0.556
样本数	2 080	2 080	2 080	2 080	2 080	2 080	2 080

注:列(1)是制造业高质量发展对人工智能的基准回归结果,列(2)和列(3)为以要素禀赋结构为中介变量的估计结果;列(4)和(5)将人力资本作为中介变量;列(6)和列(7)为调节效应模型的结果。

(五) 异质性检验

1. 地理位置异质性分析

为了考察人工智能对制造业高质量发展的影响在城市层级和区域上的差异性,本文首先将208个样本城市所属区域划分为东部地区、中部地区和西部地区,进而按照所处区位将样本城市划分为沿海城市和内陆城市。表8呈现了模型(1)区域及城市位置差异检验的估计结果。结果显示,东部地区人工智能的回归系数在1%的水平上显著为正,在中部地区和西部地区人工智能的回归系数分别在5%和10%的水平上显著为正,且东部地区人工智能的回归系数大于中部地区和西部地区,说明人工智能技术应用对制造业高质量发展的正向影响在东部地区强于中部地区和西部地区。沿海城市和内陆城市分样本回归中人工智能的系数均显著为正,且沿海城市人工智能的回归系数较大。可能的原因在于,东部地区及沿海城市的人工智能技术应用水平较高^[64],对制造业发展的驱动效应也就更强。

表8 人工智能的城市位置异质性检验

变量	东部地区	中部地区	西部地区	沿海城市	内陆城市
<i>AI</i>	0.006 7*** (8.638 3)	0.000 9** (2.435 1)	0.000 9* (1.890 8)	0.007 9*** (10.978 3)	0.001 0*** (2.647 0)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-1.429 5*** (-6.914 7)	-0.259 0*** (-3.835 4)	-0.383 9*** (-4.934 4)	-1.304 8*** (-6.897 0)	-0.438 1*** (-6.288 2)

表8(续)

变量	东部地区	中部地区	西部地区	沿海城市	内陆城市
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
R^2	0.574	0.501	0.390	0.607	0.325
样本数	730	830	520	720	1360

2. 要素禀赋异质性分析

资源型城市和非资源型城市在要素禀赋结构和要素投入水平等方面有所不同,其在人工智能对制造业高质量发展的作用发挥方面也可能存在差异。因而,本文借鉴余硕等(2020)^[65]的做法,根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020)》将样本城市划分为资源型城市与非资源型城市,分别对两类城市进行基准模型、中介效应模型和调节效应模型的回归检验并比较其异质性,结果如表9和表10所示。表9的结果显示,资源型城市和非资源型城市人工智能技术应用对制造业高质量发展具有显著作用,且要素禀赋结构的中介效应均显著为正。非资源型城市中人工智能及要素禀赋结构的回归系数大于资源型城市,即非资源型城市人工智能技术应用对制造业高质量发展的直接促进作用、人工智能通过优化要素禀赋结构促进制造业高质量发展的中介效应更强。

表9 要素禀赋结构的异质性检验

变量	资源型城市		非资源型城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>AI</i>	0.0028*** (8.4966)	0.0025*** (7.1389)	0.0056*** (11.0352)	0.0055*** (10.7818)
<i>Klstru</i>		0.0002*** (3.8642)		0.0003*** (2.8113)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.2065*** (-3.1209)	-0.2175*** (-3.3169)	-0.9023*** (-7.2716)	-0.9328*** (-7.5114)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
R^2	0.411	0.423	0.519	0.523
样本数	810	810	1270	1270

注:列(1)、列(2)分别为资源型城市基准模型、要素禀赋结构中介效应模型的回归结果;列(3)、列(4)分别为非资源型城市基准模型、要素禀赋结构中介效应模型的回归结果。

进一步地,表10列示了资源型城市和非资源型城市在人力资本中介机制和金融支持调节机制上的异质性检验结果。结果显示,列(1)中人工智能的回归系数和列(2)中人力资本的回归系数均不显著,即对资源型城市而言,人力资本在人工智能与制造业高质量发展之间的传导机制并不存在;而列(3)和列(4)中人工智能、要素结构的回归系数均显著为正,即非资源型城市中人力资本是人工智能技术应用促进制造业高质量发展的一个重要的作用机制。表10中列(5)—列(8)分别报告了资源型城市和非资源型城市金融支持的

调节效应检验结果。从人工智能、金融支持及交互项回归系数的显著性和大小来看:一是地区金融支持水平越高,越有利于人工智能发挥其对制造业高质量发展的促进作用;二是非资源型城市中金融支持对人工智能驱动制造业高质量发展的强化效应更为明显。可能的原因是资源型城市在产业发展过程中主要依赖煤炭、天然气等自然资源,受限于技术水平、人力资本、物质基础等条件影响,这些城市在制造业发展过程中对资源要素的利用效率不高^[6],同时缺乏高素质的人力资本和完备的金融体系,要素禀赋在人工智能赋能制造业高质量发展过程中发挥的作用不显著。相对于资源型城市而言,非资源型城市的经济基础较为雄厚,拥有高素质的人力资本,对资源的依赖性并不高,因而,非资源型城市中人力资本是人工智能促进制造业高质量发展的重要机制,且要素禀赋结构的中介效应、金融支持的调节效应都强于资源型城市。

表 10 人力资本与金融支持机制的异质性检验

变量	人力资本				金融支持			
	资源型城市		非资源型城市		资源型城市		非资源型城市	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>AI</i>	0.000 7 (0.459 4)	0.002 8*** (8.506 8)	0.008 6*** (3.554 3)	0.004 7*** (10.599 2)	0.002 8*** (8.515 2)	0.003 0*** (8.878 1)	0.006 0*** (11.802 0)	0.005 8*** (12.348 9)
<i>Hr</i>		-0.006 8 (-0.792 4)		0.102 2*** (18.904 9)				
<i>Finance</i>					0.000 5 (0.619 6)	0.003 1*** (2.596 8)	0.016 6*** (4.853 9)	0.006 9** (2.136 3)
<i>AI×Finance</i>						0.001 3*** (3.050 4)		0.005 5*** (13.759 4)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.316 7 (-1.091 8)	-0.208 6*** (-3.149 8)	-2.184 0*** (-3.665 4)	-0.679 1*** (-6.241 3)	-0.207 1*** (-3.128 4)	-0.208 5*** (-3.168 8)	-0.952 8*** (-7.726 9)	-0.796 0*** (-6.940 1)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.104	0.412	0.207	0.635	0.412	0.419	0.529	0.597
样本数	810	810	1 270	1 270	810	810	1 270	1 270

注:列(1)和列(2)、列(5)和列(6)分别为资源型城市人力资本中介效应模型和金融支持调节效应的回归结果;列(3)和列(4)、列(7)和列(8)分别为非资源型城市人力资本中介效应模型和金融支持调节效应的回归结果

五、研究结论、理论价值和政策启示

本文从要素禀赋视角,基于2010—2019年的城市层面数据,在测算人工智能技术应用水平和制造业高质量发展指数的基础上,多维度实证检验了人工智能对制造业高质量发展的影响及其作用机制。主要结论如下:第一,人工智能明显地促进了城市制造业高质量发展,通过引入工具变量、SYS-GMM模型、替换解释变量等稳健性检验,该结论依然成立;东部地区、沿海城市及非资源型城市人工智能发展水平较高,人工智能与制造业融合更加深入,人工智能对这些地区制造业高质量发展的影响大于中西部地区、内陆城市及资源

型城市。第二,人工智能发展通过优化要素禀赋结构提升制造业高质量发展,且非资源型城市要素禀赋结构的中介效应强于资源型城市。第三,人力资本在人工智能与制造业高质量发展之间的中介效应得到验证,表明人力资本提升是人工智能驱动制造业高质量发展的一个重要传导机制;异质性检验结果显示在资源型城市中人力资本并没有显著的中介效应,而在非资源型城市中人力资本的中介效应较为显著。第四,金融支持的调节效应亦得到了证实,即人工智能技术应用推动制造业高质量发展的作用在金融支持水平较高的地区更为明显。

相较于以往人工智能与制造业发展的研究成果,本文的理论价值主要体现在以下三个方面:一是利用城市层级数据,证实了人工智能技术应用对制造业高质量发展的驱动效应。已有研究多从省级层面或企业层面来探讨人工智能对制造业发展的影响^[11-12],本文通过多种面板数据模型得出,整体上人工智能对城市制造业高质量发展存在显著的驱动作用,但是分区域的影响存在异质性。本文的研究结论拓展了人工智能和制造业高质量发展的相关研究。二是探明了人工智能对制造业高质量发展的影响路径。当前,对人工智能与制造业发展的研究主要聚焦在制造业就业^[4]、制造业转型升级^[67]及制造业生产率^[7],而针对人工智能对制造业高质量发展的具体影响路径的研究尚存在空间^[9]。本文研究发现要素禀赋结构优化与人力资本提升是人工智能技术应用影响制造业高质量发展的重要作用机制,弥补了人工智能技术应用对制造业高质量发展作用机制研究的不足。三是揭示了金融支持对人工智能驱动制造业高质量发展的强化效应。以往研究发现,金融支持在科技创新驱动省区高质量发展中具有负向调节作用^[68],而在数字经济与城市创新能力中发挥了正向调节作用^[69]。本文通过调节效应模型发现,金融支持对人工智能驱动城市制造业高质量发展起到显著的正向调节作用,丰富了人工智能影响制造业高质量发展的理论研究。

本文政策启示如下:一是在人工智能成为推动制造业高质量发展的新生产力的现实下,为有效发挥人工智能驱动制造业高质量发展的积极作用,应加强新型基础设施建设,完善人工智能与制造业融合的支持体系,充分释放新一代信息技术为制造业高质量发展带来的红利效应。二是深化供给侧结构性改革,提高生产要素质量,推进传统要素禀赋结构升级。对劳动密集型制造业应增加员工职业技能培训,提高劳动力的技能水平;对于资本密集型行业,制造业企业应加强创新管理理念,提高资本的利用率;对于技术密集型行业,应鼓励企业加大基础科研投入,积极与科研机构合作,促进产学研融合发展,努力实现核心技术创新突破。三是应重视高素质创新型人才的培养,企业应加大对劳动者教育投入的力度,积极培养与人工智能相关的高层次人才,提高劳动力素质和供给质量。四是应完善资本市场支撑环境,建立多元融资支持体系,建立健全人工智能与制造业融合的金融支持体系。五是考虑到人工智能对制造业高质量发展效应存在区域差异,在要素禀赋和经济发展水平等存在差异的地区,应因地制宜分区施策,加强区域间的合作,引导区域协调发展。

参考文献:

[1] 高煜. 我国经济高质量发展中人工智能与制造业深度融合的智能化模式选择[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2019, 49(5): 28-35.

- [2] 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.
- [3] 孔存玉,丁志帆. 制造业数字化转型的内在机理与实现路径[J]. 经济体制改革,2021(6):98-105.
- [4] FREY C B, OSBORNE M A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2017, 114: 254-280.
- [5] FURMAN J, SEAMANS R. AI and the Economy[J]. Innovation Policy and the Economy, 2019, 19(1): 161-191.
- [6] GORDON R J. The demise of U. S. economic growth: restatement, rebuttal, and reflections[Z]. NBER Working Paper No. 19895, 2014.
- [7] 郑琼洁,王高凤. 人工智能技术应用与中国制造业企业生产率——兼对“生产率悖论”的再检验[J]. 学习与实践,2021(11):59-69.
- [8] 蒋南平,张明明,王柿林. 人工智能如何促进中国制造业高质量发展[J]. 改革与战略,2021,37(11):72-83.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 黄东兵,王灵均,周承绪,等. 制造企业人工智能创新如何赋能高质量发展——来自中国上市公司的经验证据[J]. 科技进步与对策,2022,39(8):110-120.
- [12] 韩民春,韩青江,夏蕾. 工业机器人应用对制造业就业的影响——基于中国地级市数据的实证研究[J]. 改革,2020(3):22-39.
- [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] 李翠妮,葛晶,赵沙俊一. 人工智能、老龄化与经济高质量发展[J]. 当代经济科学,2022,44(1):77-91.
- [15] 郭艳冰,胡立君. 人工智能、人力资本对产业结构升级的影响研究——来自中国30个省份的经验证据[J]. 软科学,2022,36(5):15-20.
- [16] 何小钢,梁权熙,王善骞. 信息技术、劳动力结构与企业生产率——破解“信息技术生产率悖论”之谜[J]. 管理世界,2019,35(9):65-80.
- [17] 任转转,邓峰. 互联网发展、要素结构转型与制造业高质量发展[J]. 统计与决策,2022,38(6):100-104.
- [18] 罗文,徐光瑞. 中国工业发展质量研究[J]. 中国软科学,2013(1):50-60.
- [19] 余东华. 制造业高质量发展的内涵、路径与动力机制[J]. 产业经济评论,2020(1):13-32.
- [20] 李金华. 中国产业效益:基于宏观层面的实证分析[J]. 统计研究,2006(1):66-70.
- [21] 杜传文,李晴,芮明杰,等. 大规模工业机器人应用与异质性技能劳动力之间的替代互补关系[J]. 中国科技论坛,2018(8):174-182.
- [22] 何玉长,方坤. 人工智能与实体经济融合的理论阐释[J]. 学术月刊,2018,50(5):56-67.
- [23] 宋旭光,左马华青. 工业机器人投入、劳动力供给与劳动生产率[J]. 改革,2019(9):45-54.
- [24] 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.
- [25] 任保平,宋文月. 新一代人工智能和实体经济深度融合促进高质量发展的效应与路径[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版),2019,49(5):6-13.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 陈芳,刘松涛. 人工智能技术能否成为引领城市绿色发展的新引擎[J]. 南京财经大学学报,2022(3):78-86.
- [29] 唐晓华,迟子茗. 工业智能化提升工业绿色发展效率的实证研究[J]. 经济学家,2022(2):43-52.
- [30] 王文军,李琪,刘丹. 论人工智能时代绿色发展的挑战及应对[J]. 西安财经大学学报,2020,33(1):30-36.
- [31] 张伟,李国祥. 环境分权体制下人工智能对环境污染治理的影响[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2021,50(3):121-129.
- [32] PORTER M E. Competitive advantage of nations: creating and sustaining superior performance[M]. London: Simon and Schuster, 2011.
- [33] 马中东,宁朝山. 数字经济、要素配置与制造业质量升级[J]. 经济体制改革,2020(3):24-30.
- [34] 邓洲. 制造业与服务业融合发展的历史逻辑、现实意义与路径探索[J]. 北京工业大学学报(社会科学版),2019,19(4):61-69.
- [35] 李德山,张郑秋,付磊,等. 中国城市PM_{2.5}减排效率的区域差异及其影响机制[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(4):74-85.
- [36] 蒲晓晔,黄鑫. 人工智能赋能中国经济高质量发展的动力问题研究[J]. 西安财经大学学报,2021,34(4):101-109.

- [37] 祝树金, 谢煜, 吴德胜. 制造业服务化的节能效应及其中介机制研究[J]. 财贸经济, 2020, 41(11): 126-140.
- [38] 邵文波, 匡霞, 林文轩. 信息化与高技能劳动力相对需求——基于中国微观企业层面的经验研究[J]. 经济评论, 2018(2): 15-29.
- [39] 师博. 人工智能助推经济高质量发展的机理诠释[J]. 改革, 2020(1): 30-38.
- [40] 谭泓, 张丽华. 人工智能促进人力资本流动与提升[J]. 科学学研究, 2021, 39(5): 833-841.
- [41] 李敏, 孙佳佳, 张婷婷. 人力资本结构高级化对产业结构升级的影响研究——基于中国省级面板数据[J]. 工业技术经济, 2020, 39(8): 72-77.
- [42] 刘智勇, 李海峥, 胡永远, 等. 人力资本结构高级化与经济增长——兼论东中西部地区差距的形成和缩小[J]. 经济研究, 2018, 53(3): 50-63.
- [43] 汪芳, 石鑫. 中国制造业高质量发展水平的测度及影响因素研究[J]. 中国软科学, 2022(2): 22-31.
- [44] 谭波, 邓远建, 黄鹂. 中国主体功能区规划下的区域发展金融支持研究[J]. 中南财经政法大学学报, 2012(3): 80-85.
- [45] 张旭, 赵颖智, 蒋坦. 金融发展有效地促进了制造业结构升级吗? [J]. 宏观质量研究, 2017, 5(2): 51-60.
- [46] CHOWDHURY R H, MAUNG M. Financial market development and the effectiveness of R&D investment: evidence from developed and emerging countries[J]. Research in International Business and Finance, 2012, 26(2): 258-272.
- [47] 郭威, 司孟慧. 金融集聚提升制造业绿色全要素生产率了吗[J]. 现代经济探讨, 2021(6): 38-48.
- [48] 李芳. 促进欠发达地区可持续发展的财政金融支持[J]. 宏观经济管理, 2013(12): 52-53.
- [49] 李朝阳, 潘孟阳, 李建标. 数字金融、信贷可得性与企业创新——基于金融资源水平的调节效应[J]. 预测, 2021, 40(6): 39-46.
- [50] 刘敏楼, 黄旭, 孙俊. 数字金融对绿色发展的影响机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(6): 113-122.
- [51] 臧维, 张延法, 徐磊. 我国人工智能政策文本量化研究——政策现状与前沿趋势[J]. 科技进步与对策, 2021, 38(15): 125-134.
- [52] BARON R M, KENNY D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, 51(6): 1173-1182.
- [53] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [54] 史丹, 李鹏. 中国工业 70 年发展质量演进及其现状评价[J]. 中国工业经济, 2019(9): 5-23.
- [55] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from US labor markets[J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [56] 杜文强. 工业机器人应用促进了产业结构升级吗? ——对 2006—2016 年中国 284 个地级市的实证检验[J]. 西部论坛, 2022, 32(1): 97-110.
- [57] 苏杭, 郑磊, 牟逸飞. 要素禀赋与中国制造业产业升级——基于 WIOD 和中国工业企业数据库的分析[J]. 管理世界, 2017(4): 70-79.
- [58] ACEMOGLU D. Directed technical change[J]. The Review of Economic Studies, 2002, 69(4): 781-809.
- [59] 白俊红, 刘宇英. 对外直接投资能否改善中国的资源错配[J]. 中国工业经济, 2018(1): 60-78.
- [60] 甘星, 刘成昆. 区域金融发展、技术创新与产业结构优化——基于深圳市 2001—2016 年数据的实证研究[J]. 宏观经济研究, 2018(11): 128-138.
- [61] 赵涛, 张智, 梁上坤. 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, 2020, 36(10): 65-76.
- [62] 薛飞, 刘家旗, 付雅梅. 人工智能技术对碳排放的影响[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(24): 1-9.
- [63] BORLAND J, COELLI M. Are robots taking our jobs? [J]. The Australian Economic Review, 2017, 50(4): 377-397.
- [64] 孔巍巍, 谭婷婷. 人工智能对我国就业的影响及对策研究[J]. 理论探讨, 2022(3): 179-184.
- [65] 余硕, 王巧, 张阿城. 技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验[J]. 经济与管理研究, 2020, 41(8): 44-61.
- [66] 易善宇, 尹媛媛. 绿色转型过程中新能源示范城市政策对中国外商直接投资的影响研究[J]. 宏观经济研究, 2022(11): 147-163, 175.
- [67] 付文宇, 李彦, 赵景峰. 人工智能如何影响地区制造业优化升级? ——基于双重中介效应的研究[J]. 经济体制改革, 2020(4): 187-193.
- [68] 肖仁桥, 沈路, 钱丽. 新时代科技创新对中国经济高质量发展的影响[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(4): 1-10.
- [69] 韩璐, 陈松, 梁玲玲. 数字经济、创新环境与城市创新能力[J]. 科研管理, 2021, 42(4): 35-45.

Artificial Intelligence, Factor Endowments and High-quality Development of Manufacturing

—Empirical Evidence from China's 208 Cities

XIE Weili^{1,2}, SHI Junwei³, ZHANG Qifan⁴

(1. Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450046;

2. Henan University, Kaifeng 475005;

3. Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073;

4. Zhongyuan Bank Co., Ltd., Zhengzhou 450046)

Abstract: Artificial intelligence is a new engine for manufacturing to achieve high-quality development. From the perspective of factor endowment, this paper constructs a theoretical framework of artificial intelligence, factor endowment and the high-quality development of manufacturing. It empirically analyzes the impact of artificial intelligence on the high-quality development of manufacturing and its mechanism from the dimensions of factor endowment structure and factor input, using the panel data of 208 prefecture-level cities in China from 2010 to 2019.

The results indicate that artificial intelligence contributes significantly to the high-quality development of manufacturing. This remains valid after robustness tests, including introducing instrumental variables, using the SYS-GMM model, replacing explanatory variables, and conducting stepwise regression. The mechanism analysis shows that factor endowment structure optimization and human capital improvement significantly mediate artificial intelligence, which boost the high-quality development of manufacturing. Furthermore, financial support can also strengthen the driving effect of artificial intelligence on the high-quality development of manufacturing. Specifically, the higher the financial support, the more significant the driving impact of artificial intelligence in the high-quality development of manufacturing. Heterogeneity tests reveal that the driving impact is more potent in eastern regions, coastal cities, and non-resource-based cities than in central and western regions, inland cities, and resource-based cities. Human capital is essential in non-resource cities, and the mediating effect of factor endowment structure and the moderating effect of financial support are stronger than in resource-based cities.

Through theoretic analysis and empirical tests, this paper proves that artificial intelligence is an important driving force in the high-quality development of manufacturing. Both factor structure optimization and human capital improvement are effective transmission mechanisms. Moreover, financial support can positively moderate the driving effect of artificial intelligence on the high-quality development of manufacturing. In addition, the impact of artificial intelligence on the high-quality development of manufacturing is heterogeneous in eastern and central regions, inland and coastal cities, and resource and non-resource-based cities. These conclusions may provide crucial policy references for boosting the high-quality development of artificial intelligence-driven manufacturing.

Keywords: artificial intelligence; high-quality development of manufacturing; factor endowment; factor structure optimization; human capital improvement; financial support

责任编辑:姚望春