

· 产业经济 ·

人工智能应用如何影响企业创新宽度?

王钰, 唐要家

(浙江财经大学 经济学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 人工智能是引领新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力, 如何充分释放人工智能促进创新和经济高质量发展的潜力是当前的重要课题。本文基于2011—2019年中国沪深A股制造业上市公司数据, 采用多维固定效应模型实证研究了人工智能应用对企业创新宽度的影响及其作用机制。研究结果显示: 人工智能应用能显著拓展企业创新宽度; 人工智能应用对企业创新宽度的影响在中小企业、市场竞争力强、融资约束小和高科技行业的企业更明显; 人工智能应用通过提高企业研发成功率、提升企业运营效率和增强企业竞争优势拓展企业创新宽度; 人工智能应用滞后则会制约企业拓展创新宽度。充分释放人工智能应用促进高质量创新潜力的政策重点是: 构建人工智能应用拓展企业创新宽度的创新生态, 形成人工智能应用驱动创新的市场环境和政策环境, 增强企业技术迭代能力以实现可持续创新。

关键词: 人工智能应用; 企业创新宽度; 研发成功率; 运营效率; 竞争优势

中图分类号: F204 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-176X(2024)02-0038-13

一、问题的提出

人工智能是引领新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力, 如何充分释放人工智能促进创新和经济高质量发展的潜力是当前的重要课题。国家主席习近平在金砖国家领导人第十四次会晤上的讲话中指出: “谁能把握大数据、人工智能等新经济发展机遇, 谁就把准了时代脉搏。”党的二十大报告提出: “高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务。”2023年中央经济工作会议提出: “要大力推进新型工业化, 发展数字经济, 加快推动人工智能发展。”人工智能应用是促进经济高质量发展及传统产业数字化转型的重要抓手, 创新是引领高质量发展的第一动力。

关于人工智能对经济增长的影响已基本达成共识, 即人工智能会提升生产率, 进而促进经济增长。人工智能应用对经济增长影响的研究主要是回答Solow^[1]提出的“索洛悖论”, 即人工智能应用为什么没有及时体现为生产率的大幅提升。Acemoglu等^[2]指出, 人工智能应用带来的生产率提升主要体现在IT密集行业而非制造业。但Aghion等^[3]将人工智能作为自动化技术引入经济增长模型, 结果发现, 人工智能应用水平的提高缓解了制约经济增长的“鲍莫尔成本病”。

收稿日期: 2023-11-28

基金项目: 国家社会科学基金项目“常态化监管下数据与算法反垄断监管研究”(23BJY003); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“数字经济数据-算法-平台三位一体关系与反垄断政策创新研究”(22JJD790008)

作者简介: 王钰(1994-), 女, 山东临沂人, 博士研究生, 主要从事数字经济和企业创新研究。E-mail: wyuluyao@163.com
唐要家(通讯作者)(1971-), 男, 辽宁瓦房店人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事数字经济理论与政策研究。E-mail: yaojiatang@163.com

Graetz和Michaels^[4]使用国家层面数据估计了工业机器人应用的经济贡献,结果发现,工业机器人应用使得劳动生产率提高了0.36%。杨光和侯钰^[5]指出,工业机器人不仅可以直接促进经济增长,还可以通过提升全要素生产率拉动经济增长。然而,陈楠和蔡跃洲^[6]基于2010—2019年中国省际面板数据研究发现,人工智能显著扩大了中国经济增长规模,但没有提升经济增长速度。这类研究主要聚焦于经济增长问题本身,具体关注人工智能对宏观层面生产效率的影响。虽然上述研究都指出了人工智能对生产率和经济增长的促进作用,但对人工智能促进经济增长机制的解释相对不够。人工智能主要是一种通用目的技术创新,人工智能应用赋能创新是促进生产率提升和经济增长的根本动力,但上述研究没有对此进行进一步的分析。

关于人工智能影响创新的机制,主要包括提升研发效率、增强管理决策能力和促进产品创新等机制。首先,Agrawal等^[7]将知识创造过程视为重组已有知识的过程,人工智能的发展不仅帮助人们发现新知识,还帮助人们对已有知识进行有效分组。Cockburn等^[8]指出,人工智能技术极大地加快了研发速度,提升了研发效率。Agrawal等^[9]指出,人工智能可以通过有效搜索和重新组合更广泛的知识提高知识生产能力,从而加速经济增长。Liu等^[10]利用行业层面的机器人数据研究人工智能对中国制造业技术创新的影响,结果发现,机器人应用通过加速知识创造和技术溢出、提高学习和吸收能力以及增加研发和人才投入促进创新。其次,邓悦和蒋琬仪^[11]基于工业机器人数据实证检验发现,人工智能通过增强企业管理能力促进创新,具体体现在人工智能提高了管理效率和数字化管理能力,并推动企业人力资本结构年轻化和高技能化。Kakatkar等^[12]通过案例分析指出,人工智能通过促进信息反馈增强创新管理决策,进而促进企业创新。最后,Babina等^[13]指出,人工智能应用通过促进产品创新提高企业市场价值。Tekic等^[14]指出,人工智能技术应用带来的突破式创新将引致更多的产品创新、流程创新和商业模式创新,所以企业更加倾向于进行突破式创新以获得竞争优势。

人工智能对创新的影响主要体现为创新质量提高,而创新宽度是反映人工智能驱动创新质量提高的重要维度。Wang和Von Tunzelmann^[15]与Kaplan和Vakili^[16]指出,创新宽度是区分突破式创新和渐进式创新的重要维度。与渐进式创新相比,突破式创新的主要特点在于,技术属于全新技术领域,使得企业技术类型更加多样,会明显拓展企业创新宽度^[17-18]。创新宽度代表了更大的持续创新空间和更高的创新质量。人工智能技术可以突破“知识负担”并高效率地重组知识,显著降低研发不确定性,从而拓展创新宽度,实现质量更高的创新突破^[19]。Johnson等^[20]指出,人工智能对创新的影响主要体现在拓展研发活动范围。因此,拓展创新宽度是人工智能应用的根本特征,这也被称为人工智能应用的“多面性特质”^[13]。本文参考Wang和Von Tunzelmann^[15]与Zhong等^[21]的企业创新宽度概念,将企业开发新技术领域视为企业拓展创新宽度。

本文主要从企业创新宽度角度解释人工智能应用影响创新的作用机制,与以往文献相比,本文可能的边际贡献主要体现在以下两个方面:一方面,从企业创新宽度这一更加契合人工智能应用促进创新的新视角来解释人工智能的创新驱动效应;另一方面,验证了人工智能应用通过提高企业研发成功率、提升企业运营效率和增强企业竞争优势三种机制拓展企业创新宽度,从而揭示了人工智能促进企业创新宽度的内在机理。

二、理论分析与研究假设

在创新经济学理论研究中,创新深度和创新宽度是反映创新质量的两个互补性维度。创新深度是指在既有知识范围内进行持续深入的创新;创新宽度指企业创新产出所涉及的知识和技术领域范围的拓展。拓展创新宽度意味着企业选择在全新的知识和技术领域进行创新活动,开发新技术,拓宽创新边界。随着人工智能技术的广泛应用,人工智能技术重构了企业创新模式,创新宽度成为创新质量的主导维度^[3,9]。拓展创新宽度所开发的全新知识和技术领域为企业持续创新奠

定了基础, 所以拓展创新宽度所带来的创新潜力更大^[22]。

首先, 人工智能应用带来了创新激励转向。人工智能应用能迅速模仿创新宽度不变的创新, 与此同时, 创新宽度拓展的创新难以被竞争对手模仿, 从而带来更高的创新收益^[14]。因此, 人工智能应用使企业具有更强的激励拓展创新宽度。其次, 人工智能应用带来的创新模式会引发更多的企业拓展创新宽度。人工智能应用所引发的创新本质上是由数据和算法驱动的, 而数据和算法具有资产通用性和非竞争性的独特经济属性, 可以在多领域广泛应用^[23]。这意味着数据和算法驱动的创新具有显著的范围经济特点, 多领域应用会使创新收益更高, 所以人工智能应用本身会引发多领域的技术应用和创新。最后, 人工智能应用所引发的消费者需求变化会拓展企业创新宽度。数字经济是规模经济、范围经济与网络效应相结合的一种新经济形态。在新经济形态下, 拓展企业创新宽度能更好地满足多样化消费需求, 且跨界经营能显著增加专利成果商业化应用的收益^[24], 为拓展企业创新宽度提供了现实基础。基于此, 笔者提出如下假设:

假设 1: 人工智能应用能拓展企业创新宽度。

人工智能应用所带来的企业研发成功率提高会拓展企业创新宽度。首先, 人工智能应用打破了知识发现的认知维度约束。Cowen^[25]与Gordon^[26]指出, 好的想法是一种稀缺品, 知识发现从根本上制约了创新产出。Jones^[27]指出, 由于人处理知识信息能力的局限会产生“知识负担”问题, 越是宽领域的知识, 这一问题越突出, 从而制约创新宽度拓展。人工智能具有高效搜索和处理大范围数据信息的能力, 采用算法对数据信息进行运算分析并自动化决策。此时, 机器成为重要的创新者。人工智能应用改变了传统的人作为创新主体的创新模式, 形成了人机交互的创新模式。人机交互打破了传统的知识发现维度约束^[23], 可以更高效地处理多领域知识信息, 从而拓展企业创新宽度。其次, 人工智能应用大幅降低了创新风险约束。因为拓展企业创新宽度的突破性更强, 研发投入更多, 所以导致企业拓展创新宽度的意愿较低。人工智能应用可以提供接近现实场景的创新测试训练, 且基于大数据的高效率分析有助于提高研发决策的科学性^[12]和创新产出的通用性, 从而显著降低创新不确定性风险, 由此导致拓展创新宽度具有高创新性和低风险性的特征^[28], 有利于拓展企业创新宽度。最后, 人工智能应用引发了开放式创新, 打破了互补资源整合的外部约束。在传统经济下, 创新所需的互补资源整合面临非常高的外部制度成本, 而人工智能应用打破了组织间的边界, 可以在虚拟空间进行更广范围的数字化互补资源整合^[29], 从而拓展企业创新宽度。基于此, 笔者提出如下假设:

假设 2a: 人工智能应用通过提高企业研发成功率拓展企业创新宽度。

人工智能应用所带来的运营效率提升会拓展企业创新宽度。首先, 人工智能应用更有利于企业增加创新投入。在传统经济下, 高生产成本和低利润回报限制了企业的研发经费投入, 高利润的大企业更有能力进行创新活动^[30]。数字经济时代, 企业通过人工智能应用实现智能化生产, 这会大幅提升企业运营效率, 显著降低企业生产成本, 由此企业有充足的研发经费, 从而拓展企业创新宽度^[31]。其次, 人工智能应用改变了生产组织模式。人工智能应用推动企业进行全面且深入的数智化转型, 企业可以通过数字化数据和智能化虚拟空间将原本分散进行的业务流程整合在一起, 也整合了企业所有的资源信息^[32]。这种集成化的组织经营模式提升了企业运营效率, 从而拓展了企业创新宽度。最后, 人工智能应用增强了企业创新弹性。人工智能技术显著提高了企业运营决策效率, 强大的数据分析能力使企业能在更大范围内迅速识别有利的商业机会^[33]。为了迅速抓住多市场领域的商业机会, 企业会增强其创新弹性^[34], 从而拓展企业创新宽度。基于此, 笔者提出如下假设:

假设 2b: 人工智能应用通过提升企业运营效率拓展企业创新宽度。

人工智能应用所带来的竞争优势增强会拓展企业创新宽度。首先, 人工智能应用强化了企业的创新竞争。数字经济时代, 企业间竞争的关键在于动态创新^[35], 拓展创新宽度有利于企业进

进一步增强竞争优势,因而企业有较强激励拓展创新宽度。其次,人工智能应用加剧了企业间的生态竞争。人工智能应用不仅能增强企业单个业务部门的竞争优势,还能增强整体的生态竞争优势^[33]。商业生态涉及多元主体、多维互补性资源和多领域业务,为了保持这种生态竞争优势,企业有较强激励拓展创新宽度^[36]。最后,人工智能应用会形成企业创新宽度自强化机制。人工智能赋能的优势企业往往掌握了大量的数据、数字技术和数字人才等创新资源^[37],从而具有较强的创新能力,同时跨界经营带来的各种创新资源的持续生成和整合优化为拓展创新宽度提供了动力,由此不断驱动优势企业拓展创新宽度。据此,笔者提出如下假设:

假设2c: 人工智能应用通过增强企业竞争优势拓展企业创新宽度。

三、研究设计

(一) 变量选取

1. 被解释变量

本文被解释变量是企业创新宽度(Invhhi)。当前创新宽度测度是一个尚未解决的问题,在少有的创新宽度相关实证研究中,学者使用调查问卷数据测度创新宽度^[38],但基于个人偏好的问卷设计和小样本数据难以客观全面地反映企业创新宽度。为了相对客观地衡量企业创新宽度,本文借鉴张杰和郑文平^[39]与沈坤荣等^[18]的测度方法,采用企业专利所属的国际专利分类(International Patent Classification, IPC)号的大组信息内部差异度衡量企业创新宽度。国际专利分类号的信息差异越大,意味着该创新专利涉及越多领域的复杂知识,更加难以被模仿,创新突破性更强,即表现为更广的创新宽度。

本文参照赫芬达尔—赫希曼指数的思路,先测度企业单个专利创新宽度。具体测度方法如下: $Invhhi_u = 1 - \sum \alpha^2$ 。其中, $Invhhi_u$ 表示企业单个专利创新宽度; α 表示专利分类号中各大组分类所占比重。 $Invhhi_u$ 数值越大,表示企业在各大组层面专利分类号之间存在的差异越明显,也就是说企业为获得该创新专利所使用的知识宽度越宽,该创新专利的质量相对更好。然后根据企业一年份将企业单个专利创新宽度信息加总到企业层面。张杰和郑文平^[39]指出,由于企业专利分布不均且存在极端值问题,相对来说使用中位数加总方法更加适宜。因此,本文在基准回归部分基于中位数法衡量企业创新宽度。

2. 解释变量

本文解释变量是人工智能应用(AI)。本文参考王永钦和董雯^[40]与Acemoglu和Restrepo^[41]的做法,使用巴蒂克工具变量法构造中国制造业企业层面的机器人渗透度指标。具体测度方法如下: 本文先构建中国行业层面的机器人渗透度指标, $PAIIN_{jt}^{CH} = AIIN_{jt}^{CH} / L_{j,t=2010}^{CH}$ 。其中, $PAIIN_{jt}^{CH}$ 表示中国j行业t年的机器人渗透度; $AIIN_{jt}^{CH}$ 表示中国j行业t年的机器人存量; $L_{j,t=2010}^{CH}$ 表示中国j行业2010年(基期)的就业人数。然后基于生产部门员工占比,将行业层面数据分解至企业层面,得到企业层面的机器人渗透度指标, $PAIEN_{ijt}^{CH} = (PSP_{ij,t=2011} / ManuPSP_{t=2011}) (AIIN_{jt}^{CH} / L_{j,t=2010}^{CH})$ 。其中, $PAIEN_{ijt}^{CH}$ 表示j行业i企业t年的机器人渗透度, $PSP_{ij,t=2011}$ 表示当处于2011年(基期)时, j行业i企业的生产部门员工占比, $ManuPSP_{t=2011}$ 表示2011年所有行业企业生产部门员工占比的中位数。

3. 中介变量

企业研发成功率(Success), 本文参考孙薇和叶初升^[42]的做法,采用企业当年申请的发明专利中最终被授权的比例衡量。企业运营效率(Operation), 本文选取企业期间费用作为企业运营效率的代理变量,采用销售费用、管理费用、财务费用之和与企业总资产的比值衡量企业期间费用。企业竞争优势(Compete), 本文参考周志方等^[43]的做法,采用企业营业收入增长率与行业营业收入增长率之差衡量。

4. 控制变量

市场规模 (Size), 采用企业总资产的自然对数衡量; 股权制衡度 (Balance), 采用第二大股东到第五大股东持股比例之和与第一大股东持股比例的比值衡量; 第一大股东持股比例 (Top1), 采用第一大股东持股数量与总股数的比值衡量; 企业年龄 (Age), 采用企业成立年限加1的自然对数衡量; 市场结构 (Cr), 采用行业内最大的前十家企业的营业收入占行业营业收入的比值衡量; 总资产净利润率 (ROA), 采用净利润与总资产平均余额的比值衡量; 所有权性质 (SOE), 国有企业取值为1, 否则取值为0; 高新技术企业 (Hightech), 如果是高新技术企业, 取值为1, 否则取值为0。

(二) 模型构建

为了检验人工智能应用对企业创新宽度的影响, 本文构建如下计量模型:

$$\text{Invhhi}_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{AI}_{ijt} + \alpha_2 X_{ijt} + \mu_i + \lambda_j + \delta_t + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中, i 、 j 和 t 分别表示企业、行业和年份; X_{ijt} 表示上述一系列控制变量; μ_i 、 λ_j 和 δ_t 分别表示企业固定效应、行业固定效应和年份固定效应; ε_{ijt} 表示随机扰动项。

(三) 数据来源

本文以2011—2019年中国沪深A股制造业上市公司数据为研究样本, 剔除当年被ST、*ST和PT的样本, 剔除关键指标缺失过多或明显不合理的样本, 最终得到制造业27类子行业1207个企业的8141个观测值。本文相关数据主要来源于CSMAR数据库、CNRDS数据库、企业年报、IFR、NBER-CES、《中国统计年鉴》、《中国工业统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》, 经笔者手工搜集、整理和计算得到。表1是本文主要变量的描述性统计结果。

表1 主要变量的描述性统计结果

变量	符号	观测值	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
企业创新宽度	Invhhi	8 141	0.295	0.326	0.273	0.000	0.900
人工智能应用	AI	8 141	2.732	2.683	1.333	0.002	6.401
企业研发成功率	Success	8 141	0.912	0.940	0.100	0.218	1.000
企业运营效率	Operation	8 141	0.101	0.083	0.067	0.002	0.684
企业竞争优势	Compete	8 141	0.051	0.000	0.327	-0.759	2.238
市场规模	Size	8 141	22.262	22.093	1.169	19.095	27.468
股权制衡度	Balance	8 141	0.702	0.545	0.582	0.006	3.616
第一大股东持股比例	Top1	8 141	0.333	0.310	0.142	0.030	0.900
企业年龄	Age	8 141	2.807	2.833	0.354	1.099	3.970
市场结构	Cr	8 141	0.599	0.609	0.166	0.278	1.000
总资产净利润率	ROA	8 141	0.038	0.036	0.066	-0.817	0.399
所有权性质	SOE	8 141	0.335	0	0.472	0	1
高新技术企业	Hightech	8 141	0.601	1	0.490	0	1

四、实证结果与分析

(一) 基准回归结果

表2是人工智能应用对企业创新宽度影响的基准回归结果。表2列(1)仅控制了企业固定效应和年份固定效应, 表2列(2)在列(1)基础上引入行业固定效应, 表2列(3)在列(1)基础上引入控制变量, 表2列(4)同时引入控制变量以及企业固定效应、行业固定效应和年份固定效应。从上述回归结果可以看出, 人工智能应用的回归系数均显著为正, 这表明人工智能应用增加了企业在新技术领域的专利数量, 显著拓展了企业创新宽度。假设1得到验证。

表2 基准回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
AI	0.028*** (3.013)	0.054*** (5.259)	0.028*** (3.076)	0.060*** (5.488)
Size			-0.025*** (-2.969)	-0.025*** (-2.953)
Balance			0.022* (1.676)	0.023* (1.742)
Top1			0.177*** (2.717)	0.193*** (2.981)
Age			0.034 (0.661)	0.009 (0.169)
Cr			-0.053 (-0.905)	0.029 (0.417)
ROA			-0.011 (-0.206)	-0.003 (-0.047)
SOE			0.010 (0.445)	-0.005 (-0.228)
Hightech			0.019** (2.039)	0.020** (2.141)
企业/年份FE	控制	控制	控制	控制
行业FE	不控制	控制	不控制	控制
常数项	0.220*** (8.808)	0.148*** (5.325)	0.626*** (2.686)	0.553** (2.383)
观测值	8 141	8 141	8 141	8 141
R ²	0.475	0.480	0.477	0.482

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

(二) 内生性处理

受数据可得性限制，本文使用巴蒂克工具变量法将行业层面数据分解到企业层面，通常企业层面的创新行为不会直接影响行业层面的人工智能应用，直觉上来看并没有反向因果问题，并且Borusyak等^[44]指出，巴蒂克工具变量的外生性可以来自份额的外生性或冲击的外生性。本文初始份额基于生产部门员工占比，而冲击部分相当于使用了行业层面的数据，使得人工智能应用的外生性要求更容易被满足。本文人工智能应用已经尽量满足外生性要求，但基准回归结果的可靠性仍会受到遗漏变量和反向因果问题的影响。对此，本文使用工具变量法缓解内生性问题。

1. 基于美国机器人数据的工具变量

本文参考王永钦和董雯^[40]的做法，基于美国行业层面工业机器人数据构建中国企业层面机器人渗透度的工具变量： $PAIENUS_{ijt} = (PSP_{ijt=2011} / ManuPSP_{t=2011})(AIIN_{jt}^{US} / L_{jt=1990}^{US})$ 。其中， $PAIENUS_{ijt}$ 表示基于美国机器人数据的中国j行业i企业t年的机器人渗透度； $AIIN_{jt}^{US}$ 表示美国j行业t年的工业机器人存量或安装值； $L_{jt=1990}^{US}$ 表示美国j行业1990年（基期）的就业人数； $AIIN_{jt}^{US} / L_{jt=1990}^{US}$ 表示美国j行业t年的机器人渗透度。

中国和美国的人工智能发展水平和趋势具有相似性，因而满足工具变量的相关性要求。同时中国企业自主选择创新宽度的行为受美国机器人应用水平的直接影响较弱，因而基本满足工具变量排他性要求。表3列（1）和列（2）汇报了基于美国机器人数据的工具变量回归结果，Kleibergen-Paap rk LM值拒绝了工具变量识别不足假设、Cragg-Donald Wald F值拒绝了弱工具变量假设，因而本文选取的工具变量相对合理。利用工具变量法缓解内生性问题后，人工智能应用仍能拓展企业创新宽度，证实了本文基准回归结果的稳健性。

2. 基于行业机器人适应度的工具变量

本文参考Bonfiglioli等^[45]与綦建红和张志彤^[46]的做法，将企业所在行业机器人适应度指标(Suitability)作为人工智能应用的工具变量，具体采用投资机器人数据衡量。该工具变量反映了行业内企业应用机器人的适应度，高机器人适应度的行业更加适合应用人工智能技术，由此说明该工具变量和人工智能应用具有强相关性。与此同时，本文被解释变量企业创新宽度是企业层面指标，行业机器人适应度工具变量属于行业层面指标，所以二者基本没有直接关联，满足排他性

要求。表3列(3)和列(4)的回归结果显示,工具变量选取相对合理可靠,人工智能应用能拓展企业创新宽度,再次证实了本文基准回归结果的稳健性。

表3 工具变量回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	第一阶段 AI	第二阶段 Invhhi	第一阶段 AI	第二阶段 Invhhi
AI		0.060* (1.882)		0.173* (1.728)
PAIENUS	1.177*** (10.494)			
Suitability			0.237*** (5.042)	
Size	0.056*** (3.147)	-0.018** (-2.102)	0.046** (2.565)	-0.031** (-2.441)
Balance	-0.020 (-0.895)	0.012 (0.890)	0.009 (0.385)	0.026 (1.508)
Top1	-0.410*** (-3.149)	0.143** (2.064)	-0.190 (-1.464)	0.203** (2.205)
Age	0.120 (0.979)	-0.003 (-0.059)	0.144 (0.757)	-0.022 (-0.263)
Cr	-3.318*** (-31.084)	0.070 (0.559)	-1.457*** (-7.459)	0.103 (0.547)
ROA	-0.234*** (-2.975)	-0.003 (-0.059)	-0.285*** (-4.631)	0.056 (0.830)
SOE	0.118** (2.436)	0.007 (0.297)	0.102** (2.150)	0.009 (0.275)
Hightech	0.003 (0.145)	0.025** (2.460)	0.001 (0.026)	0.024* (1.843)
企业/行业/年份 FE	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.734 (-1.128)	0.201 (0.723)	-0.150 (-0.179)	-0.137 (-0.276)
观测值	6 724	6 724	5 722	5 722
F 值	466.679		124.333	
LM 值	493.386 [0.000]		50.284 [0.000]	

注:中括号内为P值。

(三) 稳健性检验^①

1. 更换被解释变量的衡量方式

其一,基准回归中企业创新宽度是根据中位数法测算的,此处采用均值法测算企业创新宽度(Invhhi₁)。其二,前文从国际专利分类号的大组信息内部差异度方面衡量企业创新宽度,考虑到国际专利分类号主要由部、大类、小类、大组和小组构成,呈分类等级递降关系,其中大组信息只是国际专利分类号中相对细化的一种分类标准,本文进一步测度了基于更加细化的分类标准小组和基于更加宽泛的分类标准小类的企业创新宽度(Invhhi₂和Invhhi₃)。其三,与独立创新相比,较高的企业联合创新水平在一定程度上说明了企业创新所含专利类型的复杂度,本文参考李万利等^[47]的做法,采用企业联合申请专利数量加1的自然对数衡量企业创新宽度(Jointinv)。替换被解释变量衡量方式的回归结果均支持人工智能应用显著拓展企业创新宽度这一结论。

2. 更换解释变量的衡量方式

本文采用每年的机器人安装量衡量人工智能应用(AI₂)。替换解释变量衡量方式的结果显示,人工智能应用能拓展企业创新宽度,这表明本文基准回归结果是稳健的。

3. 剔除直辖市样本

直辖市的政策环境可能不同于其他地区,存在干扰回归结果的可能。本文采用剔除直辖市的样本进行回归,人工智能应用的回归系数仍显著为正,与基准回归结果一致。

4. 增加控制变量

数字经济的迅速发展催生出新技术和新业态,本文参考唐要家等^[35]的做法,采用企业数字化转型水平(Dig)来表征数字经济对企业的影响,并在回归中加以控制,观察在增加该控制变

^① 稳健性检验结果未在正文中列出,留存备案。

量后回归结果是否发生显著变化。引入企业数字化转型水平的回归结果显示,人工智能应用能拓展企业创新宽度。这表明数字经济发展不会造成本文回归结果的系统性偏差,在考虑数字经济发展的影响后,本文的结论仍具有稳健性。

(四) 异质性分析

1. 企业规模异质性

人工智能应用对不同规模企业拓展创新宽度的影响可能不同。本文按照企业规模中位数,将高于中位数的企业划分为大企业,取值为1,否则划分为中小企业,取值为0。表4列(1)和列(2)的回归结果显示,人工智能应用的回归系数均显著为正,中小企业人工智能应用的回归系数大于大企业,且通过了组间差异检验,这表明人工智能应用对拓展中小企业创新宽度的影响更明显。可能的原因是,大企业固定资产多,而中小企业能更灵活地整合资源,进行开放式创新。

2. 市场竞争力异质性

人工智能应用对企业创新的影响与市场竞争力密不可分。一般而言,市场竞争力越强,企业获得创新收益的可能性越高,因而越有激励拓展企业创新宽度。本文根据市场结构中位数进行分组回归,考察人工智能应用在不同市场竞争力下对企业创新宽度的影响。表4列(3)和列(4)的回归结果显示,人工智能应用的回归系数均显著为正,市场竞争力强的企业人工智能应用的回归系数远大于市场竞争力弱的企业,且通过了组间差异检验,这表明人工智能应用对市场竞争力强的企业创新宽度的影响更明显。

表4 企业规模及市场竞争力异质性回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	大企业	中小企业	市场竞争力弱	市场竞争力强
AI	0.067*** (3.767)	0.075*** (4.407)	0.038** (2.275)	0.101*** (5.897)
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业/行业/年份FE	控制	控制	控制	控制
常数项	1.480*** (2.843)	0.181 (0.441)	0.897** (2.471)	0.326 (0.941)
观测值	3 997	4 005	3 917	4 048
R ²	0.522	0.510	0.510	0.523
组间差异检验P值	0.004		0.000	

3. 融资约束异质性

人工智能应用能提高企业研发成功率。在研发资金充裕的企业,人工智能算法和数据积累更充足,提高研发成功率的能力更突出,更有利于拓展企业创新宽度。而且人工智能应用需要数字化人才、基础设施硬件与数字化软件的协同作用。强融资约束导致企业缺少资金,不敢也不能进行互补性投资,因而人工智能应用对企业创新宽度的影响相对不敏感。本文以SA指数和KZ指数衡量企业所面临的融资约束,企业融资约束程度高于融资约束中位数的,取值为1,否则取值为0。表5列(1)—列(4)的回归结果显示,分组回归通过了组间系数差异检验,人工智能应用对融资约束小的企业创新宽度的影响更明显。

4. 行业异质性

对于正处于技术快速变化行业中的企业,人工智能应用拓展其创新宽度的作用可能更大。这些企业更需要及时追踪市场和技术变化以应对市场竞争,因而人工智能应用可以提升信息传递效率。本文以是否属于高科技行业进行分组,高科技行业,取值为1,否则取值为0。表5列(5)和列(6)的回归结果显示,在高科技行业,人工智能应用显著拓展了企业创新宽度,在非高科技行业,人工智能应用对企业创新宽度的影响不显著。

表5 融资约束及行业异质性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	低SA	高SA	低KZ	高KZ	高科技行业	非高科技行业
AI	0.055*** (2.874)	0.049*** (2.821)	0.075*** (4.206)	0.053*** (3.282)	0.076*** (6.386)	0.046 (1.254)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业/行业/年份FE	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.156 (-0.211)	0.694** (1.998)	0.321 (0.792)	0.611* (1.800)	0.544** (2.221)	-0.154 (-0.196)
观测值	4 008	4 016	3 799	4 094	6 826	1 296
R ²	0.516	0.528	0.568	0.492	0.491	0.454
组间差异检验P值	0.000		0.021		0.001	

五、机制检验与进一步分析

(一) 机制检验

根据前文所述, 人工智能应用主要通过提高企业研发成功率、提升企业运营效率和增强企业竞争优势拓展企业创新宽度。本文参考刘梦莎等^[48]的做法, 重点检验人工智能应用对上述一系列中介变量的影响, 构建如下计量模型:

$$\text{Med}_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \text{AI}_{ijt} + \beta_2 X_{ijt} + \mu_i + \lambda_j + \delta_t + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

其中, Med_{ijt} 表示上述一系列中介变量, 其他变量的含义同模型(1)。

机制检验结果如表6所示。表6列(1)的回归结果显示, 人工智能应用能显著提高企业研发成功率, 从而拓展了企业创新宽度。假设2a得到验证。表6列(2)的回归结果显示, 人工智能应用显著降低了企业期间费用, 即提高了企业运营效率, 从而拓展了企业创新宽度。假设2b得到验证。表6列(3)的回归结果显示, 人工智能应用显著增强了企业竞争优势, 从而拓展了企业创新宽度。假设2c得到验证。

表6 机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)
	Success	Operation	Compete
AI	0.017*** (3.874)	-0.008*** (-3.185)	0.026* (1.680)
控制变量	控制	控制	控制
企业/行业/年份FE	控制	控制	控制
常数项	0.665*** (7.340)	0.457*** (9.808)	-4.012*** (-9.702)
观测值	8 141	8 141	8 141
R ²	0.490	0.868	0.293

(二) 进一步分析

为了考察人工智能应用对企业创新宽度的动态影响。一方面, 本文参考王永钦和董雯^[40]的做法, 引入滞后一期的制造业机器人渗透度变量, 采用分布滞后模型检验人工智能应用对企业创新宽度的动态影响, 回归结果如表7列(1)所示; 另一方面, 考虑到中国制造业应用机器人的数据时长相对有限, 本文参考王晓娟等^[49]的做法, 选取美国制造业机器人渗透度 AI_{us} 作为代理变量, 采用分布滞后模型检验人工智能应用对企业创新宽度的动态影响, 回归结果如表7列(2)所示。滞后一期的人工智能应用对企业创新宽度的影响显著为负, 这可能是由于技术更新过快, 如果没有及时更新人工智能应用, 会导致人工智能迅速过期贬值, 从而无法拓展企业创新宽度。

如果上述推断成立,那么高新技术企业应该更容易出现上述情况。因此,本文按是否属于高新技术企业进行分组回归,表7列(3)和列(4)分别是高新技术企业和非高新技术企业的回归结果。滞后一期的人工智能应用对高新技术企业创新宽度的影响显著为负,对非高新技术企业的影
响不显著。因此,未及时更新迭代的人工智能应用会制约企业拓展创新宽度。

表7 进一步分析结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
AI	0.099*** (5.197)		0.130*** (4.338)	0.059** (2.135)
L. AI	-0.036** (-2.571)		-0.063** (-2.548)	-0.019 (-1.143)
AI _{US}		0.001** (1.963)		
L. AI _{US}		-0.001** (-2.444)		
控制变量	控制	控制	控制	控制
企业/行业/年份FE	控制	控制	控制	控制
常数项	0.962*** (3.188)	1.086*** (3.271)	0.974** (2.488)	0.870 (1.354)
观测值	6 431	5 221	3 886	2 406
R ²	0.512	0.519	0.533	0.552

六、研究结论与政策启示

人工智能应用飞速发展将极大地提升企业创新绩效,通过人工智能应用促进创新是实现数字经济高质量发展的关键所在。本文基于2011—2019年中国沪深A股制造业上市公司数据,采用多维固定效应模型实证研究了人工智能应用对企业创新宽度的影响及其作用机制。研究结果显示:人工智能应用能显著拓展企业创新宽度;人工智能应用对企业创新宽度的影响在中小企业、市场竞争力强、融资约束小和高科技行业的企业更明显;人工智能应用通过提高企业研发成功率、提升企业运营效率和增强企业竞争优势拓展企业创新宽度;人工智能应用滞后则会制约企业拓展创新宽度。根据上述研究结论,笔者得到如下政策启示:

第一,构建人工智能应用拓展企业创新宽度的创新生态。人工智能是高质量创新的重要驱动力,应深入推进企业智能化转型,全面重构企业研发创新组织方式,形成有利于多元知识整合、生产和开发应用的战略规划与组织文化。健全数据开放共享制度,为人工智能算法测试训练提供充足的多维度高质量数据集。打破制约互补性创新资源整合的各种制度壁垒,打造开放创新生态。积极培育人工智能驱动创新成果的多领域商业化应用,推动范围经济驱动的新产业和新模式的发展,为拓展企业创新宽度提供多领域应用场景。

第二,形成人工智能应用驱动创新的市场环境和政策环境。建立公私合作的创新经费投入体制,政府应设立专项基金推动基础性或行业性的创新活动,同时积极发展风险投资,引导和鼓励各类社会资本投入,为人工智能驱动的创新提供稳定持续的资本保障。完善反垄断常态化措施,持续加强和改进反垄断执法,禁止各种基于大数据和人工智能的垄断行为,保护市场的竞争性,从而促进企业创新。避免实施一刀切的智能化转型政策,应对不同行业和企业实行差别化的智能化转型政策,应根据不同行业人工智能应用的创新宽度拓展效应来分层推进,并加大中小企业人工智能技术应用的支持力度,形成不同类型企业协同创新组织体系。

第三,增强企业技术迭代能力以实现可持续创新。为了避免人工智能应用滞后阻碍企业拓展创新宽度,应持续提升企业技术更新迭代能力,形成自强化的迭代升级机制。企业应建立人工智能应用战略规划,重视人工智能应用与升级能力建设,注重人工智能专业人才储备和企业员工人工智能技能培训,稳步推进人工智能技术应用提升,形成人工智能技术更新迭代的自强化机制。

参考文献:

- [1] SOLOW R. We'd better watch out[J]. *New York times book review*, 1987, 12(36): 1-2.
- [2] ACEMOGLU D, AUTOR D, DORN D, et al. Return of the Solow paradox? IT, productivity, and employment in US manufacturing[J]. *The American economic review*, 2014, 104(5): 394-399.
- [3] AGHION P, JONES B F, JONES C I. Artificial intelligence and economic growth[C]//AGRAWAL A, GANS J, GOLDFARB A. *Economics of artificial intelligence: an agenda*. Chicago: University of Chicago Press, 2019: 237-282.
- [4] GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at work[J]. *Review of economics and statistics*, 2018, 100(5): 753-768.
- [5] 杨光, 侯钰. 工业机器人的使用、技术升级与经济增长[J]. *中国工业经济*, 2020(10): 138-156.
- [6] 陈楠, 蔡跃洲. 人工智能、承接能力与中国经济增长——新“索洛悖论”和基于AI专利的实证分析[J]. *经济动态*, 2022(11): 39-57.
- [7] AGRAWAL A, GANS J S, GOLDFARB A. Prediction, judgment and complexity: a theory of decision making and artificial intelligence[R]. NBER Working Papers No.3103156, 2018.
- [8] COCKBURN I M, HENDERSON R, STERN S. The impact of artificial intelligence on innovation: an exploratory analysis[C]// AGRAWAL A, GANS J, GOLDFARB A. *Economics of artificial intelligence: an agenda*. Chicago: University of Chicago Press, 2019: 115-152.
- [9] AGRAWAL A, GANS J S, GOLDFARB A. Artificial intelligence: the ambiguous labor market impact of automating prediction[J]. *Journal of economic perspectives*, 2019, 33(2): 31-50.
- [10] LIU J, CHANG H, FORREST J Y L, et al. Influence of artificial intelligence on technological innovation: evidence from the panel data of China's manufacturing sectors[J]. *Technological forecasting and social change*, 2020, 158(9): 120142.
- [11] 邓悦, 蒋琬仪. 工业机器人、管理能力与企业技术创新[J]. *中国软科学*, 2022(11): 129-141.
- [12] KAKATKAR C, BILGRAM V, FÜLLER J. Innovation analytics: leveraging artificial intelligence in the innovation process[J]. *Business horizons*, 2020, 63(2): 171-181.
- [13] BABINA T, FEDYK A, HE A, et al. Artificial intelligence, firm growth, and product innovation[J]. *Journal of financial economics*, 2024, 151(1): 103745.
- [14] TEKIC Z, COSIC I, KATALINIC B. Manufacturing and the rise of artificial intelligence: innovation challenges [C]//KATALINIC B. *Proceedings of the 30th DAAAM international symposium*. Vienna: DAAAM International Press, 2019: 192-196.
- [15] WANG Q, VON TUNZELMANN N. Complexity and the functions of the firm: breadth and depth[J]. *Research policy*, 2000, 29(8): 805-818.
- [16] KAPLAN S, VAKILI K. The double-edged sword of recombination in breakthrough innovation [J]. *Strategic management journal*, 2015, 36(10): 1435-1457.
- [17] BYUN S K, OH J M, XIA H. Incremental vs. breakthrough innovation: the role of technology spillovers [J]. *Management science*, 2021, 67(3): 1779-1802.
- [18] 沈坤荣, 林剑威, 傅元海. 网络基础设施建设、信息可得性与企业创新边界[J]. *中国工业经济*, 2023(1): 57-75.
- [19] GRASHOF N, KOPKA A. Artificial intelligence and radical innovation: an opportunity for all companies? [J]. *Small business economics*, 2023, 61(2): 771-797.
- [20] JOHNSON P C, LAURELL C, OTS M, et al. Digital innovation and the effects of artificial intelligence on firms' research and development-automation or augmentation, exploration or exploitation? [J]. *Technological forecasting and social change*, 2022, 179(6): 121636.
- [21] ZHONG W, MA Z, TONG T W, et al. Customer concentration, executive attention, and firm search behavior[J]. *Academy of management journal*, 2021, 64(5): 1625-1647.
- [22] ACEMOGLU D, AKCIGIT U, CELIK M A. Radical and incremental innovation: the roles of firms, managers, and innovators[J]. *American economic journal: macroeconomics*, 2022, 14(3): 199-249.
- [23] VERGANTI R, VENDRAMINELLI L, IANSITI M. Innovation and design in the age of artificial intelligence [J]. *Journal of product innovation management*, 2020, 37(3): 212-227.

- [24] JACOBIDES M G, CENNAMO C, GAWER A. Towards a theory of ecosystems[J]. *Strategic management journal*, 2018, 39(8):2255-2276.
- [25] COWEN T. The great stagnation: how America ate all the low-hanging fruit of modern history, got sick, and will (eventually) feel better[M]. New York: Dutton Press, 2011: 1-11.
- [26] GORDON R. The rise and fall of American growth: the U.S. standard of living since the civil war[M]. Princeton: Princeton University Press, 2016:533-566.
- [27] JONES B F. The burden of knowledge and the “death of the renaissance man”: is innovation getting harder?[J]. *The review of economic studies*, 2009, 76(1):283-317.
- [28] TRUONG Y, PAPAGIANNIDIS S. Artificial intelligence as an enabler for innovation: a review and future research agenda[J]. *Technological forecasting and social change*, 2022, 183(10):121852.
- [29] DENG Y, CHEN L, LIM K. AI in innovation: how does AI impact recombinant complexity? [C]// SONJA T. *Academy of management proceedings*. New York: Academy of Management, 2023, (2):13359.
- [30] SCHUMPETER J A. *Capitalism, socialism and democracy*[M]. New York: Harper Press, 1942:59-156.
- [31] RAMMER C, FERNÁNDEZ G P, CZARNITZKI D. Artificial intelligence and industrial innovation: evidence from German firm-level data[J]. *Research policy*, 2022, 51(7):104555.
- [32] 贾少谦,单宇.科技企业数字服务化过程中的资源集成机制——基于单案例的探索性研究[J].*财经问题研究*, 2024(1):86-100.
- [33] 焦豪.数字平台生态观:数字经济时代的管理理论新视角[J].*中国工业经济*, 2023(7):122-141.
- [34] 杨金玉,彭秋萍,葛震霆.数字化转型的客户传染效应——供应商创新视角[J].*中国工业经济*, 2022(8):156-174.
- [35] 唐要家,王钰,唐春晖.数字经济、市场结构与创新绩效[J].*中国工业经济*, 2022(10):62-80.
- [36] SANTORO G, VRONTIS D, THRASSOU A, et al. The internet of things: building a knowledge management system for open innovation and knowledge management capacity[J]. *Technological forecasting and social change*, 2018, 136(11):347-354.
- [37] HAMILTON J R, TEE S W, MAXWELL S J. AI and firm competitiveness[R]. *Proceedings of the International Conference on Electronic Business*, 2023.
- [38] DEL CARPIO GALLEGOS J, OSTOS MARIÑO J, BREMSER K. The influence of absorptive capacity, sources of information and technological acquisition in the technological innovation breadth of manufacturing companies [J]. *European accounting and management review*, 2018, 4(2):1-28.
- [39] 张杰,郑文平.创新追赶战略抑制了中国专利质量么?[J].*经济研究*, 2018(5):28-41.
- [40] 王永钦,董雯.机器人的兴起如何影响中国劳动力市场?——来自制造业上市公司的证据[J].*经济研究*, 2020(10):159-175.
- [41] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from U. S. labor markets [J]. *Journal of political economy*, 2020, 128(6):2188-2244.
- [42] 孙薇,叶初升.政府采购何以牵动企业创新——兼论需求侧政策“拉力”与供给侧政策“推力”的协同[J].*中国工业经济*, 2023(1):1-19.
- [43] 周志方,张明月,张凌燕,等.碳风险管理会“差异促进”企业竞争优势吗?[J].*西安交通大学学报(社会科学版)*, 2021(3):81-92.
- [44] BORUSYAK K, HULL P, JARAVEL X. Quasi-experimental shift-share research designs[J]. *Review of economic studies*, 2022, 89(1):181-213.
- [45] BONFIGLIOLI A, CRINÒ R, FADINGER H, et al. Robot imports and firm-level outcomes[R]. *CESifo Working Paper Series No.8741*, 2020.
- [46] 綦建红,张志彤.机器人应用与出口产品范围调整:效率与质量能否兼得[J].*世界经济*, 2022(9):3-31.
- [47] 李万利,潘文东,袁凯彬.企业数字化转型与中国实体经济发展[J].*数量经济技术经济研究*, 2022(9):5-25.
- [48] 刘梦莎,邵淇,阮青松.数字化转型对企业债务融资成本的影响研究[J].*财经问题研究*, 2023(1):63-72.
- [49] 王晓娟,朱喜安,王颖.工业机器人应用对制造业就业的影响效应研究[J].*数量经济技术经济研究*, 2022(4):88-106.

How Does Artificial Intelligence Application Affect Enterprises' Innovation Breadth?

WANG Yu, TANG Yao-jia

(School of Economics, Zhejiang University of Finance and Economics, Hangzhou 310018, China)

Summary: Artificial intelligence is an important driving force for leading a new round of technological revolution and industrial transformation. The development and integrated application of artificial intelligence technology has become an important new driving force for enterprise innovation, restructuring enterprise innovation models, and comprehensively enhancing the quality of innovation. How to seize the innovation opportunity brought by artificial intelligence technology and achieve high-quality innovation has become the key issue for the implementation of innovation-driven development strategy. As artificial intelligence is a new general-purpose technology, the development and application of artificial intelligence technology provide a new impetus for the broadening of innovation. Innovation breadth is the most important dimension to observe and explain the impact of artificial intelligence application on innovation, and the primary manifestation of high-quality innovation driven by artificial intelligence. Therefore, to seize the new opportunities for innovation breakthroughs brought by artificial intelligence, it is essential to understand the mechanism of artificial intelligence application driving innovation breadth.

Based on the data of Chinese A-share manufacturing listed enterprises from 2011 to 2019, this paper uses a multidimensional fixed effect model to empirically test the impact of artificial intelligence application on enterprises' innovation breadth and its mechanism. The research results show that artificial intelligence application can significantly broaden enterprises' innovation breadth and improve innovation quality. The influence of artificial intelligence application on innovation breadth is more significant in small and medium-sized enterprises, enterprises with strong market competitiveness and low financing constraints, and high-tech enterprises. The application of artificial intelligence broadens enterprises' innovation breadth by increasing research and development success rate, improving operational efficiency and enhancing competitive advantage.

Compared with previous literature, the marginal contributions of this paper are primarily reflected in the following aspects. First, this paper explains the innovation-driven effect of artificial intelligence more scientifically from the new perspective of innovation breadth, which is more in line with artificial intelligence application to promote innovation, and deepens the analytical framework of the impact of artificial intelligence on innovation. Second, this paper verifies that the application of artificial intelligence broadens enterprises' innovation breadth by increasing research and development success rate, improving operational efficiency and enhancing competitive advantage, so as to reveal the internal mechanism of artificial intelligence promoting enterprise innovation breadth. The conclusions of this paper provide empirical evidence and practical insights for giving full play to the innovation breadth broadening effect of artificial intelligence application.

Key words: artificial intelligence application; enterprises' innovation breadth; research and development success rate; operational efficiency; competitive advantage

(责任编辑: 孙 艳)

[DOI]10.19654/j.cnki.cjwtyj.2024.02.004

[引用格式]王钰,唐要家. 人工智能应用如何影响企业创新宽度?[J]. 财经问题研究,2024(2):38-50.