



1981年创刊

全国中文核心期刊——贸易经济类核心期刊

中文社会科学引文索引(CSSCI)来源期刊

中国人文社会科学核心期刊

全国高校社科名刊

北京市高校人文社科学报名刊

ISSN 1009-6116

CN 11-4509/C

北京工商大学

学报

(社会科学版)

Journal of Beijing Technology and Business University (Social Sciences)



BEIJING GONGSHANG DAXUE XUEBAO SHEHUI KEXUE BAN



微信公众号



域出版邀请码: tg3666

2025 5

Vol.40 No.245

北京工商大学学报

(社会科学版)

JOURNAL OF BEIJING TECHNOLOGY AND BUSINESS UNIVERSITY (SOCIAL SCIENCES)

2025 年第 5 期 (双月刊)

(第 40 卷 总第 245 期)

学术委员会 (以姓氏拼音为序)

丁俊发 高培勇 高铁生 何明珂 黄先开 纪良纲
贾 康 荆林波 李 飞 李朝鲜 李 实 刘 伟
柳思维 裴长洪 任兴洲 宋 则 谭向勇 王化成
王立彦 王文举 文 魁 吴卫星 夏春玉 谢志华
徐从才 周守华 庄贵军 张新民 赵 忠

主 编: 黄先开

常务副主编: 毛新述

副 主 编: 陈真玲 刘 冰

编辑部主任: 王沈南

BEIJING GONGSHANG DAXUE XUEBAO SHEHUI KEXUE BAN

目 次

· 专家特稿 ·

“十五五”时期数据要素市场化配置改革的理论探讨与策略措施 欧阳日辉 徐远彬(1)

· 数字贸易与经济 ·

公共数据基准定价模式的构建与实现路径 冯永琦 苗湘愉 朱文佩(12)

统一大市场建设如何驱动新质生产力发展? 李 智 任 禛(22)

企业家精神与企业对外直接投资 余官胜 郭妙梅 李坛霖(34)

· 数字管理与会计 ·

人工智能应用、高管认知水平与企业 ESG 表现 王梦凯 李 英 王金东(46)

企业家精神何以促进企业新质生产力形成: 机理与实证 岳宇君 晏 渡(59)

国资监管体制改革与国有企业 ESG 表现

——来自国有资本投资运营公司改革试点的证据 杨李娟 张益宁 熊凌云(72)

· 数字金融与风险管理 ·

人工智能应用如何赋能企业投资效率

——基于资源配置效率和投资决策质量的视角 张 萌 杨潇怡 张永琄(87)

工业机器人应用如何推动企业技术追赶 王 莹 汪皓宇(101)

· 数字监管与法治 ·

论多元统一的中国数据登记体系 许 可 王灵娟(115)

个人过度信贷的复合型规制路径 赵天书(125)

Contents

• Feature •

Theoretical Discussion and Strategic Measures on the Reform of Market-Oriented Allocation of Data Elements During the 15th Five-Year Plan Period	OUYANG Rihui & XU Yuanbin(1)
---	-------------------------------

• Digital Trade and Economy •

Construction and Implementation Path of a Public Data Benchmark Pricing Model	FENG Yongqi, MIAO Xiangyu & ZHU Wenpei(12)
How Does the Construction of a Unified National Market Drive the Development of New Quality Productive Forces?	LI Zhi & REN Zhen(22)
Entrepreneurship and Corporate Outward Foreign Direct Investment	YU Guansheng, GUO Miaomei & LI Tanlin(34)

• Digital Management and Accounting •

Artificial Intelligence Applications, Executive Cognition, and Corporate ESG Performance	WANG Mengkai, LI Ying & WANG Jindong(46)
How Does Entrepreneurship Facilitate the Cultivation of New Quality Productive Forces in Enterprises: Mechanism and Empirical Evidence	YUE Yujun & YAN Du(59)
Reform of the State-Owned Assets Supervision and Administration System and ESG Performance of State-Owned Enterprises —Evidence from the Pilot Reform of State-Owned Capital Investment and Operation Companies	YANG Lijuan, ZHANG Yining & XIONG Lingyun(72)

• Digital Finance and Risk Management •

How Can Artificial Intelligence Applications Empower Corporate Investment Efficiency —From the Perspectives of Resource Allocation Efficiency and Investment Decision-Making Quality	ZHANG Meng, YANG Xiaoyi & ZHANG Yongshen(87)
How Do Industrial Robots Applications Promote Enterprises' Technological Catch-Up?	WANG Ying & WANG Haoyu(101)

• Digital Regulation and Rule of Law •

Diversified and Unified Data Registration System in China	XU Ke & WANG Lingjuan(115)
Composite Regulation Path of Excessive Personal Credit	ZHAO Tianshu(125)

执行编辑：邓 艳

法律顾问：杜云峰

封面设计：孙 进

北京工商大学学报 (社会科学版)

JOURNAL OF BEIJING TECHNOLOGY AND BUSINESS UNIVERSITY (SOCIAL SCIENCES)

2025年第5期 (双月刊)

(第40卷 总第245期)

1981年创刊

出版日期：2025年9月18日

主管单位：北京市教育委员会

主办单位：北京工商大学

编辑出版：北京工商大学学报编辑部

地址：北京市海淀区阜成路33号

邮政编码：100048

电话：(010) 68984614

(010) 68986079

投稿网址：<http://btbusxb.ijournals.cn>

电子信箱：xuebao@pub.btbu.edu.cn

印刷单位：北京科信印刷有限公司

国外订购：中国国际图书贸易集团有限公司

(北京市399信箱)

Administrated by:

Beijing Municipal Commission of Education

Sponsored by:

Beijing Technology and Business University

Edited and Published by:

Editorial Board of Journal of Beijing Technology and Business University (Social Sciences)

Add: 33 Fucheng Road, Haidian District, Beijing 100048, China

Tel: (+86 10) 68984614

(+86 10) 68986079

Paper Submission Website: <http://btbusxb.ijournals.cn>

Email: xuebao@pub.btbu.edu.cn

Subscription Overseas:

China Interational Book Trading Corporation

(P.O.Box 399 Beijing, China)

中国标准连续出版物号： $\frac{\text{ISSN } 1009-6116}{\text{CN } 11-4509/C}$

国外发行代号：BM4029

定 价：20.00元



doi: 10.12085/j.issn.1009-6116.2025.05.009

引用格式: 王莹, 汪皓宇. 工业机器人应用如何推动企业技术追赶[J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2025, 40(5): 101-114.

WANG Ying, WANG Haoyu. How do industrial robots applications promote enterprises' technological catch-up? [J]. Journal of Beijing Technology and Business University (Social Sciences), 2025, 40(5): 101-114.

工业机器人应用如何推动企业技术追赶

王莹^{1,2}, 汪皓宇²

(1. 河海大学马克思主义学院, 江苏 南京 211100; 2. 南京审计大学会计学院, 江苏 南京 211815)



摘要: 作为工业智能化的核心体现, 工业机器人为企业促进技术进步、培育新质生产力提供了重要契机。基于2007—2022年中国A股制造业上市公司数据, 实证检验了工业机器人应用对企业技术追赶的影响及作用机制。研究发现, 工业机器人应用推动了制造企业的技术追赶, 且通过降低企业权益资本成本推动了技术追赶; 科技金融政策与企业内部控制质量在工业机器人应用推动企业技术追赶中发挥了正向调节作用。异质性分析结果表明, 上述推动作用仅在中高技术制造业企业中显著存在。进一步分析发现, 工业机器人应用促进企业技术进步的行为特征源于企业的主动追赶, 而非被动应对。因此, 企业应强化智能化设备投入、优化融资结构, 并结合政策红利与内部管理优化, 促进技术追赶; 政府则需优先在中高技术领域构建示范效应, 并强化低端产业基础能力建设, 助力企业实现技术追赶。

关键词: 工业机器人; 技术追赶; 权益资本成本; 科技金融; 内部控制

中图分类号: F424; F273; F062.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-6116(2025)05-0101-14

一、问题的提出

当前, 逆全球化趋势加剧, 复杂多变的国际发展环境推动全球竞争格局持续演变, 国际形势的不确定性愈发凸显。技术是当前经济增长的核心驱动力之一, 世界各国正不断调整科技战略, 寄希望于科技, 以寻求“突围”。党的二十大报告明确指出, 必须坚持创新是第一动力, 深入实施创新驱动发展战略, 开辟发展新领域新赛道, 不断塑造发展新动能新优势。党的二十届三中全会进一步强调, 要推动技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级, 催生新产业、新模式、新动能, 发展以高技术、高效能、高质量为特征的生产力。然而, 作为发展新质生产力的重要微观基石,

中国企业长期面临自主创新能力薄弱以及关键核心技术受制于人的困境^[1]。同时, 传统经营模式难以适应数字时代的快速变革, 生产效率偏低、管理决策滞后等问题屡见不鲜^[2], 严重制约了企业向“新质”发展的转型升级, 甚至威胁到宏观经济的安全与稳定。因此, 新时代如何推动企业实现技术攀升, 从“跟跑”迈向“并跑”乃至“领跑”的跨越, 已成为企业转型过程中亟须破解的核心痛点与关键难点。

数字经济时代, 以人工智能、大数据、物联网、云计算为代表的新兴技术深度融合发展, 推动了基础设施数字化与智能化升级, 加速了制造业生产方式和管理模式的变革。技术范式转换叠加市

收稿日期: 2025-03-23

基金项目: 江苏省研究生科研与实践创新计划项目“董事会非正式层级对企业经营风险影响机制研究”(KYCX24_2355)。

作者简介: 王莹(1984—), 女, 江苏泰兴人, 河海大学马克思主义学院博士研究生, 南京审计大学会计学院助理研究员, 研究方向为会计学、中国近现代政治思想史;

汪皓宇(2000—), 男, 新疆伊犁人, 南京审计大学会计学院会计学硕士研究生, 研究方向为公司治理与企业创新。

场需求快速迭代,为企业技术追赶创造了重要机遇,企业技术进步的“机会窗口”日益显现。作为新一轮科技革命的重要成果,工业机器人已成为当前企业技术转型的典型代表。实践中,工业机器人不仅取代了传统高耗能、低效率的作业模式,还通过提升生产效率、过程精度和柔性制造能力,推动企业重塑生产流程、构建智能制造体系,带来了实质性的技术能力跃升。例如,南京钢铁集团依托覆盖全流程的工业机器人体系,构建“智造+经验+生态”一体化智慧运营中心,打造行业首个跨空间、跨边界的数字孪生工厂,通过百万级数据点位实时驱动生产决策,为传统钢铁业注入智能化跃迁的核心动能,实现了从技术追赶到全球领跑的质变飞跃。从整体趋势看,2023年中国新增工业机器人安装量达到27.63万台,约占全球总量的51%,远超美国、日本、韩国和德国总和^①。其应用领域已经突破传统制造业范畴,向医疗、教育、物流等服务业延伸,持续赋能企业生产运营模式创新,为企业技术追赶提供了可能。

已有文献对工业机器人应用的经济与组织效应展开了多维度探讨,聚焦其对企业就业结构与劳动力替代^[3]、出口质量^[4]、创新^[5]、绿色发展^[6]、价值链重构^[7]等方面的影响,从不同角度揭示了工业机器人应用在生产、环境与组织体系中的经济后果,为本文的研究提供了重要基础。然而,这些研究大多聚焦生产效率提升、成本优化或全要素生产率变动,较少从技术追赶视角考察工业机器人对企业内生技术能力升级的实质性作用。部分文献即便关注到企业技术水平的提升,也多聚焦其在统计意义上的增长^[8]。与此同时,关于企业技术追赶的文献较多地探讨了追赶路径,且研究范式多为理论分析或案例研究^[9],实证研究的文献主要从数字化转型^[10]、绿色信贷^[11]、环境规制^[12]等视角讨论了企业实现技术追赶的动因,对智能制造类技术介入过程的系统探讨较少。尽管部分文献探讨了机器人与企业创新活动之间的关联^[13],但创新活动关注创新产出水平或技术复杂性的提升,难以刻画企业是否真正实现了对前沿技术的追赶。尤其是在企业面临前沿技术投入高、风险大、资金回收周期长等现实约束背景下,资金获取能力逐渐成为影响技术追赶进程的关键变量。有鉴于此,探讨企业如

何借助工业机器人等智能制造技术改善外部投资者预期、降低资本成本,进而缓解融资约束、提升战略性研发能力,成为一个重要议题。因此,本文拟在吸收前人研究成果的基础上,尝试从以工业机器人为代表的新一代智能制造技术切入,剖析其如何通过改善融资环境、激发战略主动性,推动企业实现技术跃升,进而拓宽现有研究的边界。

本文可能的边际贡献有两个。第一,拓展了工业机器人应用经济后果以及企业技术追赶动因的研究维度。现有文献对工业机器人应用的探讨多集中于其对企业组织变革、创新、生产效率、劳动力配置及生态环境的影响,而关于技术追赶动因的研究主要关注数字化转型^[10]、绿色信贷^[11]、环境规制^[12]等,本文则进一步从工业智能化视角切入,探讨了工业机器人应用对企业技术追赶的具体效应。第二,深化了对工业机器人促进技术追赶机制的理解,强调了金融渠道的作用。针对工业机器人应用如何影响企业技术追赶这一核心问题,本文聚焦权益资本成本这一关键金融机制路径,将技术应用、金融市场与企业创新行为联系起来,为理解智能制造的经济传导机制提供了新的分析思路。

二、理论分析与研究假说

在全球迈入第四次工业革命的历史进程中,机器人与自动化技术的深度渗透正在系统性地重构企业的生产经营模式。企业应用工业机器人不仅能够实现生产效率跃升与产品质量突破,还可以在技术竞争格局中构筑起差异化优势。

(一) 工业机器人应用对企业技术追赶的影响

后发优势理论认为,与先发企业间的技术差距构成后发企业实现技术追赶的潜在优势^[14]。后发企业通过模仿先进技术、借鉴组织经验,不仅能够加快技术进步、缩小与先发企业的技术差距,还可以在技术学习和消化吸收过程中培育自主创新能力,实现技术能力的持续升级。同时,相较于先发企业因转换成本而面临的路径依赖困境,后发企业可以通过抢先布局新兴技术领域或细分市场,开启“机会窗口”,规避传统技术路径的锁定效应,实现技术追赶“弯道超车”。后发企业通过工业机器人应用展开模仿创新,既能够借助知识溢出效应推动技术能力的“二次开发”,还可以通过重构资源要素结构

强化对机会窗口的响应能力,形成技术追赶的复合驱动效应。

其一,工业机器人技术的引入为企业技术模仿与知识重构提供了系统化路径。基于罗默的知识溢出理论,机器人技术所带来的新知识体系能够帮助企业跳出思维定式,更灵活地应对复杂问题。通过人类的编程和指导,工业机器人能够执行复杂的任务,并在大量的示范数据中学习和优化其性能,从而加快企业技术创新的步伐。在模仿学习、强化学习与深度学习技术的辅助下,企业积极采纳自动化、数字化和智能化的生产方式,通过“干中学”模式快速掌握新技能,提高自适应能力与智能化水平,加快了对先进技术与前沿知识的吸收^[13]。这种技术采纳不仅有利于企业对传统生产工具进行革新,还可以通过上下游协同联动和全产业链互联互通,确保需求端与供给端的高效对接^[15],提升生产效率并释放更多资源用于技术创新,以实现持续的技术进步。此外,工业机器人能够驱动企业对现有知识体系进行重构,成为推动技术追赶的有力工具。配备数字孪生技术的工业机器人,在涉及经验或技巧等隐性知识的传统非自动化领域,能够辅助经验丰富的劳动者将隐性知识显性化或者数字化,从而实现高质量信息和隐性知识的快速转移与共享,扩充企业知识库,拓展企业知识边界,为技术创新活动提供丰富的资源和强大的驱动力。因此,企业学习、模仿先进技术并改进自身知识体系,将为其技术追赶持续注入活力,从而成为其迈向技术高端化的关键推动力量。

其二,工业机器人通过提升资源配置效率强化了企业识别与把握机遇的能力。在创新资本方面,工业机器人作为一项新兴技术,不仅能够提高企业的资本使用效率,还可以增加资本边际产出,使资本替代劳动力变得更为经济,从而提升企业的资本质量并加速资本深化^[16],为企业创新活动提供硬件支持。同时,机器人技术所体现的较高自动化与智能化水平,将成为企业向外界传递其技术升级意图与能力的重要信号^[17],能够增强投资者对企业高成长性的预期,缓解因信息不对称所导致的融资成本推升问题,有助于提高企业获得权益资本的可能性与效率,提升研发资金的可得性,以支持企业技术追赶行为。在创新人力方

面,工业机器人应用表现出明显的技能偏向性特征,在替代常规性、重复性低技能劳动的同时,也使企业对高技能劳动力的需求日益增加^[3]。一方面,工业机器人会承担部分常规性的手工劳动^[18],缓解企业用工成本升高带来的经营压力,并将释放出的部分劳动力进行再教育以及重新分类,改善劳动力错配状况^[19],提升整体人力资本效率,助力企业技术追赶;另一方面,基于资本—技能互补理论,工业机器人应用将引致对专业技能型劳动力的更高需求。这类高素质人才凭借其精湛的专业技能和知识应用能力,不仅能够快速掌握并运用先进技术,还可以通过专业能力助推企业内部搭建知识密度网^[13],增大知识溢出效应,使企业得以更快识别新兴技术转型中的创新机会^[20]。此时,后发企业既可以通过优化既有资源结构巩固技术追赶基础,又能够依托动态能力提前布局技术空白领域。当行业出现技术范式转换时,具备资源弹性重组能力的企业可以快速整合新兴技术,在新细分市场中实现从“后发”向“先发”转型。

基于上述分析,本文提出如下研究假说。

H1:工业机器人应用能够推动企业技术追赶。

(二)工业机器人应用、权益资本成本与企业技术追赶

作为技术追赶发展的“血液系统”,持续稳定的资金供给是技术升级的关键支持^[21]。相较于债务融资固化的本息偿付要求与创新周期产生的期限错配,股权融资既能够规避刚性兑付压力^[22],还能够为企业带来技术协同、市场渠道等战略性资源,形成资本与能力的双重赋能,成为支撑企业技术追赶的更优选择。工业机器人应用通过改善企业的经营表现、提升治理水平与市场形象,有利于降低企业权益资本成本,从而成为企业技术追赶过程中重要的融资辅助推手。

首先,在生产经营方面,工业机器人应用推动了智能化生产,有助于企业降低边际成本,产生规模效应,增强盈利可持续性^[23]。这种稳定的经营表现降低了企业现金流波动所带来的不确定性,能够提升资本市场对企业偿债能力与长期价值创造的信心^[24],降低融资风险溢价^[25],推动权益资本成本下降。其次,在公司治理方面,工业机器人

应用下生产数据的全流程可追溯性驱动企业治理机制变革,提高了其内部治理水平^[26],从而能够有效降低代理成本与道德风险,减少投资者的风险补偿要求,并为企业创新投入提供更稳定的治理环境。最后,在资本市场反应方面,工业机器人的大规模应用不仅标志着企业在生产智能化、流程优化和技术整合等方面具备较强的能力,同时也向资本市场传递出企业具有较高技术实力与产品质量的积极信号^[17],有助于缓解投资者的信息不对称,增强资本市场对企业未来增长潜力的正向预期,从而降低了投资者要求的风险补偿率。此时,工业机器人应用所带来的更有利的资本获取条件,进一步增强了企业对技术投入的财务支持能力,有助于推动企业持续加大研发投入、加快知识吸收与技术模仿进程,从而为其技术追赶提供坚实保障。由此可见,工业机器人应用通过改善经营绩效、优化治理机制以及释放正向信号,降低了企业的权益资本成本,为其技术追赶提供了资金支持。

基于上述分析,本文提出如下研究假说。

H2: 工业机器人应用通过降低企业权益资本成本,推动企业实现技术追赶。

三、研究设计

(一) 样本选取与数据来源

本文选取2007—2022年中国A股制造业上市公司作为初始样本,并进行以下筛选:(1)剔除ST或*ST的公司;(2)剔除存在缺失值和净资产为负值的样本;(3)剔除金融行业样本;(4)剔除经营范围包含工业机器人研发销售的样本;(5)剔除自主研发获得工业机器人专利的样本^②。经过整理,共获得19 564家公司一年度观测值。相关工业机器人应用的数据来源于国际机器人联合会(IFR);上市公司财务数据和公司治理信息来源于国泰安(CSMAR)数据库。此外,行业分类参考多个版本的《国民经济行业分类与代码》及IFR行业分类代码。为了减弱极端值对实证结果的干扰,本文对所有连续型变量在1%和99%分位点进行了缩尾处理。

(二) 变量定义

1. 被解释变量: 技术追赶程度(*Dist*)

参考Albrizio et al.^[27]、金祥义和孙梦玲^[11]以及白雪洁、程钰娇^[10]的做法,本文将企业的技术

追赶程度定义为企业当前技术水平与行业前沿技术水平之间的差异。计算公式如下:

$$Dist_{it} = \ln(TFP_{it}/TFP_t^{max}) \quad (1)$$

其中, TFP_{it} 代表企业*i*在第*t*期基于OP法计算得到的全要素生产率,而 TFP_t^{max} 是指第*t*期同一行业中全要素生产率最高企业的全要素生产率水平,代表该行业的前沿技术水平。*Dist*反映了企业的技术追赶程度,数值越大,意味着企业越接近行业前沿,技术差距越小,企业技术追赶的表现越好;数值越小,企业与行业前沿的技术距离越远,技术差距越大,技术追赶的表现越差。

2. 解释变量: 工业机器人应用(*Robots*)

借鉴Acemoglu & Restrepo^[28]和王永钦、董雯^[3]的研究思路,构建上市公司层面的工业机器人应用指标。本文先利用式(2)计算行业层面工业机器人应用(PR_{jt}^{CN}), MR_{jt}^{CN} 表示*j*行业第*t*期工业机器人存量, $L_{j,t=2010}$ 表示*j*行业基期(2010年)就业人数。再利用式(3)计算企业层面工业机器人应用程度($Robot_{it}^{CN}$),即使用企业2011年生产部门员工占比($PWP_{i,t=2011}$)与当年所有企业生产部门员工占比中位数($MPWP_{t=2011}$)的比值作为权重。

$$PR_{jt}^{CN} = MR_{jt}^{CN}/L_{j,t=2010}^{CN} \quad (2)$$

$$Robots_{it}^{CN} = (PWP_{i,t=2011}/MPWP_{t=2011}) PR_{jt}^{CN} \quad (3)$$

3. 中介变量: 权益资本成本(*CoE*)

参考肖翔等^[29]的做法,权益资本成本分别采用CAPM模型以及OJ模型进行测算。具体而言,先利用CAPM模型计算权益资本成本(CoE_{CAPM}):

$$CoE_{CAPM} = r_f + \beta(r_m - r_f) \quad (4)$$

其中, r_f 为无风险利率,采用一年期定期存款的加权平均利率替代; β 系数为风险指数,衡量个别股票相对于整个股市的价格波动情况; $r_m - r_f$ 为市场风险溢价。

再利用OJ模型进行计算,得到企业的权益资本成本(CoE_{OJ}):

$$CoE_{OJ_{it}} = A + \sqrt{A^2 + \frac{EPS_{i,t+1}}{P_{it}}(g - g_p)} \quad (5)$$

其中, $EPS_{i,t+1}$ 为分析师对企业*i*基于第*t*期预测的第*t+1*期的每股收益; $A = \frac{1}{2} \left(g_p + \frac{DPS_{i,t+1}}{P_{it}} \right)$, $g = \frac{EPS_{i,t+2} - EPS_{i,t+1}}{EPS_{i,t+1}}$; $DPS_{i,t+1}$ 为企业

i 在第 $t+1$ 期每股股利的预期值,等于企业 i 过去三年平均股利分配率乘以分析师预测的第 $t+1$ 期每股收益; g_p 反映整个市场经济的长期平均增长水平,本文借鉴已有研究的常规做法, g_p 取 5%。

4. 调节变量

本文的调节变量为科技金融政策($ScFin$)以及内部控制质量(IC)。借鉴已有研究^[30]的做法,科技金融政策根据国家公布的两批次“促进科技和金融结合试点名单”进行赋值。如果企业 i 注册地位于试点城市区域,从纳入名单的当年及其后续年份变量取值为 1,否则为 0。同时,参考曹晶等^[31]的

做法,内部控制质量采用迪博中国上市公司内部控制信息披露指数加 1 取自然对数进行度量。

5. 控制变量

本文借鉴王永钦、董雯^[3]的做法,选取如下控制变量:公司财务特征变量,包括公司规模($Size$)、资产负债率(Lev)、营业收入增长率($Growth$)、总资产收益率(ROA)、存货占比(INV)、经营杠杆(OL);公司治理特征变量,包括董事会规模($Board$)、独立董事比例($Indep$)、第一大股东持股比例($Top1$)、两职合一($Dual$)、股权集中度($Herfindahl3$)、公司年龄($FirmAge$)。变量定义见表 1。

表 1 变量定义

变量类型	变量名称	变量符号	变量说明
被解释变量	技术追赶程度	$Dist$	采用技术水平与行业前沿技术水平之间的差异计算
解释变量	工业机器人应用	$Robots$	采用工业机器人存量计算得出
中介变量	权益资本成本	CoE_CAPM	参考上文公式(4)计算得出
		CoE_OJ	参考上文公式(5)计算得出
调节变量	科技金融政策	$ScFin$	采用“促进科技和金融结合试点名单”进行赋值
	内部控制质量	IC	迪博中国上市公司内部控制信息披露指数加 1 取自然对数
控制变量	公司规模	$Size$	样本公司员工总人数取自然对数
	资产负债率	Lev	总负债/总资产
	营业收入增长率	$Growth$	(本年营业收入总额-上年营业收入总额)/上年营业收入总额
	总资产收益率	ROA	净利润/平均资产总额
	存货占比	INV	存货/资产总额
	经营杠杆	OL	息税前利润变动率/产销量变动率
	董事会规模	$Board$	上市公司董事会人数取自然对数
	独立董事比例	$Indep$	上市公司独立董事/董事会人数
	第一大股东持股比例	$Top1$	样本公司第一大股东持股比例
	两职合一	$Dual$	董事长和总理由一人兼任时取值为 1,否则为 0
	股权集中度	$Herfindahl3$	公司前 3 位大股东持股比例的平方和
	公司年龄	$FirmAge$	公司成立年限加 1 取自然对数

(三) 模型构建

为了检验工业机器人应用对企业技术追赶程度的影响,基于前述研究思路,本文设定如下模型:

$$Dist_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Robots_{it} + \alpha_2 X_{it} + \lambda_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

(6)

其中 $Dist$ 表示技术追赶程度, $Robots$ 表示工业

机器人应用, λ_i 和 λ_t 分别表示行业和年份固定效应, X 为一系列控制变量, ε 为随机扰动项。系数 α_1 反映了工业机器人应用对企业技术追赶的影响。

(四) 描述性统计分析

表 2 为变量的描述性统计结果。企业技术追赶程度($Dist$)的均值为 -0.256,中位数为

-0.258 标准差为 0.121,最大值为 0.000,最小值为 -0.618,即大部分企业的技术水平与行业前沿差距较小,但仍有少数企业远离行业前沿。工业机器人应用(*Robots*)的均值为 0.065,中位数为

0.063,标准差为 0.038,最大值为 0.160,最小值为 0.000,表明工业机器人在不同企业中的应用程度存在明显差异。其他变量分布与已有文献相似,此处不再赘述。

表 2 变量的描述性统计结果

变量	观测值	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
<i>Dist</i>	19 564	-0.256	0.121	-0.618	-0.258	0.000
<i>Robots</i>	19 564	0.065	0.038	0.000	0.063	0.160
<i>CoE_CAPM</i>	19 564	0.093	0.023	0.012	0.094	0.162
<i>CoE_OJ</i>	12 117	0.137	0.040	0.055	0.133	0.284
<i>ScFin</i>	19 564	0.430	0.495	0	0	1
<i>IC</i>	19 564	3.498	0.361	1.946	3.614	3.876
<i>Size</i>	19 564	7.759	1.083	4.890	7.693	11.043
<i>Lev</i>	19 564	0.412	0.194	0.058	0.407	1.059
<i>Growth</i>	19 564	0.177	0.407	-0.641	0.115	3.146
<i>ROA</i>	19 564	0.043	0.068	-0.315	0.041	0.236
<i>INV</i>	19 564	0.143	0.092	0.000	0.124	0.679
<i>OL</i>	19 564	1.494	1.023	-2.582	1.349	6.462
<i>Board</i>	19 564	2.123	0.193	1.609	2.197	2.708
<i>Indep</i>	19 564	0.374	0.053	0.308	0.333	0.571
<i>Top1</i>	19 564	0.335	0.141	0.084	0.314	0.738
<i>Dual</i>	19 564	0.293	0.455	0	0	1
<i>Herfindahl3</i>	19 564	0.149	0.106	0.012	0.122	0.546
<i>FirmAge</i>	19 564	2.845	0.347	1.792	2.890	3.526

四、实证结果与分析

(一) 基准回归结果分析

工业机器人应用影响企业技术追赶程度的基准回归结果如表 3 所示。在未考虑控制变量的情况下,列(1)显示,工业机器人应用(*Robots*)在 1% 的水平下显著且系数为正;列(2)和列(3)在进一步控制企业财务及治理相关变量后,工业机器人应用(*Robots*)的系数分别为 0.107 和 0.108,变量依然在 1% 的水平下显著。以列(3)为例,工业机器人应用(*Robots*)每增加 1 个单位,企业技术追赶程度(*Dist*)将提高 1.60% ($0.108 \times 0.038 / 0.256 \times 100\%$)。这反映出本文的研究结论具有一定的经济意义。由此可见,工业机器人应用显著缩小了企业技术差距,即帮助企业实现了技术追

赶,H1 得到验证。

(二) 内生性处理

1. 工具变量法

技术升级后,企业有可能进一步拓展机器人等工具应用,因此可能会出现反向因果问题。为此,本文采用工具变量法进行稳健性检验。在进行工具变量分析时,需要先识别与企业工业机器人应用(*Robots*)高度相关,但与企业技术追赶程度(*Dist*)不直接相关的外生变量,进而解决潜在的内生性问题,得到更为准确的估计结果。参考杜善重等^[32]的思路,本文选择地区光缆密度(*IV*)作为工具变量进行检验,同时纳入地区层面固定效应。一方面,传感器作为工业机器人的关键元件,其制造离不开光纤,因此各地区

表 3 工业机器人应用影响企业技术追赶程度的基准回归结果

变量	Dist		
	(1)	(2)	(3)
<i>Robots</i>	0.103 *** (5.011)	0.107 *** (6.619)	0.108 *** (6.747)
<i>Size</i>		0.035 *** (22.149)	0.032 *** (19.881)
<i>Lev</i>		0.161 *** (17.372)	0.159 *** (17.225)
<i>Growth</i>		0.010 *** (4.754)	0.011 *** (5.180)
<i>ROA</i>		0.479 *** (25.218)	0.468 *** (24.581)
<i>INV</i>		0.063 *** (3.291)	0.063 *** (3.339)
<i>OL</i>		-0.005 *** (-7.280)	-0.006 *** (-7.482)
<i>Board</i>			0.036 *** (4.336)
<i>Indep</i>			0.047 * (1.693)
<i>Top1</i>			-0.008 (-0.236)
<i>Dual</i>			-0.014 *** (-5.230)
<i>Herfindahl3</i>			0.075 (1.595)
<i>FirmAge</i>			0.011 ** (2.182)
行业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
常数项	-0.263 *** (-112.621)	-0.626 *** (-53.150)	-0.732 *** (-25.125)
观测值	19 564	19 564	19 564
调整后 R ²	0.216	0.476	0.484

注:***、**和* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著;括号内为公司聚类调整后的 T 值。

光缆密度与工业机器人应用水平之间存在密切关联,满足相关性要求;另一方面,光缆的铺设主要由地区基础设施建设决定,属于外生变量,且不受企业技术创新水平的影响,满足外生性要求。工具变量法回归结果如表 4 所示。列(1)中,地区光缆密度(*IV*)的回归系数为 3.458,变量在 1% 的水平下显著,说明地区光缆密度与企业工业机器人应用存在相关性;列(2)中,工业机器人应用(*Robots*) 在 10% 的水平下显著且系数为正;同时,模型也通过了工具变量相关检验,表明基准回归结果稳健。

2. Heckman 两阶段法

鉴于企业采用工业机器人的决策可能并非随机的,而是会受到某些不可观测因素的影响,本文采用 Heckman 两阶段法以更精确地评估工业机器人应用带来的企业技术追赶效应。在第一阶段,本文构建 Probit 模型,以工业机器人应用(*Robots*) 的行业年度中位数为基准设定虚拟变量,并引入地区光缆密度作为工具变量。通过该模型的回归分析,计算得到逆米尔斯比率(*IMR*)。在第二阶段将 *IMR* 纳入模型进行拟合,回归结果如表 4 的列(3)和列(4)所示。不难发现,在控制样本选择偏差后,工业机器人应用(*Robots*) 依然在 1% 的水平下显著且系数依然为正,即核心结论依然成立。

(三) 稳健性检验

1. 替换变量度量方式

本文计算技术差距空间时利用企业全要素生产率的计算方法存在多样化,为此本文分别采用 OLS、FE 以及 GMM 方法重新测算全要素生产率,表 5 的列(1)~列(3)为通过不同计算方式重新衡量的全要素生产率。此外,诸多生产技术往往来自美国,行业领军地位的衡量亦可以参照美国行业的生产技术水平。为此,列(4)中,采用美国相关数据作为行业前沿技术,进一步分析企业技术追赶效应,能够比较和验证本文的基准回归结果,从而确保研究结论的可靠性。最后,考虑到前文采用的指标更侧重于衡量“差距”而非动态的“追赶”过程,为了更直接地捕捉“技术追赶”的内涵,即技术水平的动态提升速度或相对于前沿的接近程度的变化,列(5)中,构建动态追赶指标(*Dist_Diff*),其定义为研究对象在第 *t* 期的技术

表 4 内生性处理: 工具变量法与 Heckman 两阶段法回归结果

变量	工具变量法		Heckman 两阶段法	
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
	<i>Robots</i>	<i>Dist</i>	<i>Robots</i>	<i>Dist</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>IV</i>	3.458*** (4.71)		122.770** (2.539)	
<i>Robots</i>		2.748* (1.90)		0.178*** (5.958)
<i>IMR</i>				-0.004*** (-2.580)
控制变量	是	是	是	是
行业、年份、省份固定效应	是	是	是	是
观测值	19 564	19 564	19 564	19 564
调整后 R ²		-0.519		0.484
Kleibergen-Paap rk LM 值	6.124**			
	22.191			
Kleibergen-Paap rk Wald F 值	[16.38]			

注: ***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著; 小括号内为公司聚类调整后的 T 值; 中括号内为在 10% 的水平下 Stock-Yogo 弱工具变量识别 F 检验的临界值。

表 5 稳健性检验: 替换变量的度量方式回归结果

变量	<i>Dist_OLS</i>	<i>Dist_FE</i>	<i>Dist_GMM</i>	<i>Dist_USA</i>	<i>Dist_Diff</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Robots</i>	0.064*** (6.004)	0.061*** (5.969)	0.118*** (6.164)	0.746*** (5.493)	0.013** (2.339)
控制变量	是	是	是	是	是
行业、年份固定效应	是	是	是	是	是
行业 × 年份固定效应	否	否	否	否	是
观测值	19 564	19 564	19 564	16 526	15 348
调整后 R ²	0.739	0.760	0.456	0.711	0.714

注: ***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著; 括号内为公司聚类调整后的 T 值。

差距与第 $t-1$ 期的对应值之差, 同时控制行业随年份变化的固定效应。在替换变量的度量方式后, 基准回归结果依然稳健。

2. 考虑滞后期影响

考虑到工业机器人应用对企业技术追赶的作用可能存在滞后效应, 本文将解释变量滞后 1~3 期, 分别代入模型(6)中进行检验, 观测工业机器人应用对企业技术追赶的影响。结果如表 6 的列

(1)~列(3)所示。在对变量进行不同滞后期处理后, 工业机器人应用的系数分别为 0.068、0.096 和 0.077, 变量均在 1% 的水平下显著, 表明本文的核心结论仍然成立。

3. 加入其他控制变量

人工智能技术与工业机器人的结合, 使得机器人不仅能够执行简单的预设任务, 还可以适应新的任务和环境, 执行更复杂的工作。同时, 人工

表 6 稳健性检验:解释变量滞后 1~3 期与加入其他控制变量回归结果

变量	Dist			
	滞后 1 期 (1)	滞后 2 期 (2)	滞后 3 期 (3)	加入其他控制变量 (4)
X	0.068*** (3.626)	0.096*** (4.650)	0.077*** (3.483)	0.107*** (6.675)
AI				0.007*** (5.437)
控制变量	是	是	是	是
行业、年份固定效应	是	是	是	是
观测值	15 354	13 114	11 239	19 564
调整后 R^2	0.491	0.500	0.508	0.487

注:***、**和* 分别表示在 1%、5%和 10%的水平下显著;括号内为公司聚类调整后的 T 值;在列(1)~列(4)中, X 分别取 $Robots_{-1}$ 、 $Robots_{-2}$ 、 $Robots_{-3}$ 和 $Robots$ 。

智能技术也为企业带来了管理流程的优化以及生产效率和准确性的提升。为了确保回归结果可靠,本文在式(6)的基础上纳入企业人工智能应用(AI)这一控制变量,具体以企业年度报告中关于人工智能的词频数来度量 AI ,将其纳入模型后,回归结果如表 6 的列(4)所示,工业机器人应用($Robots$) 在 1%的水平下显著且系数为正,说明基准回归结果具有稳健性。

4. 其他稳健性检验

(1) 变换固定效应。模型引入高维交互固定效应,能够更为精确地控制不随时间变化的个体

特征,从而减少遗漏变量偏误^[33]。本文考虑企业层面的固定效应以及行业和年份、地区和年份的高维交互固定效应,以捕捉行业和地区特定趋势和时间趋势对企业技术差距的潜在影响,进而更准确地估计出工业机器人渗透度对企业技术追赶的因果效应。表 7 的列(1)和列(2)展示了变换固定效应的结果。不难发现,基准回归结果稳健。

(2) 安慰剂检验。本文将样本数据集的所有观测值中工业机器人应用($Robots$)的取值全部提取,再将这些数值逐个随机地分配到各观测值中,得到虚假工业机器人应用($Robots_F$),并重新对

表 7 其他稳健性检验回归结果

变量	Dist				
	高维交互 固定效应 (1)	变换固定 效应 (2)	安慰剂 检验 (3)	排除一线 城市影响 (4)	排除金融 危机影响 (5)
$Robots$	0.095*** (6.142)	0.048*** (4.661)		0.119*** (5.480)	0.088*** (4.961)
$Robots_F$			-0.002 (-0.106)		
控制变量	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	否	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
公司固定效应	否	是	否	否	否
行业×年份固定效应	是	否	否	否	否
地区×年份固定效应	是	否	否	否	否
观测值	19 564	19 564	19 564	13 019	15 344
调整后 R^2	0.562	0.804	0.483	0.490	0.494

注:***、**和* 分别表示在 1%、5%和 10%的水平下显著;括号内为公司聚类调整后的 T 值。

式(6)进行回归。表7的列(3)展示了安慰剂检验结果,虚假工业机器人应用并不显著,验证了基准回归结果的稳健性。

(3) 排除其他因素影响。本文还排除了企业所属区域发展水平和特定事件冲击的影响效应,即排除了一线城市影响和金融危机影响,结果分别为表7的列(4)和列(5)所示。工业机器人应用(*Robots*)仍然均在1%的水平下显著且系数仍然为正,表明本文的核心结论可靠。

(四) 机制分析

本文借鉴江艇^[34]的研究思路,检验权益资本成本的作用机制是否成立,回归结果如表8所示。列(2)中,工业机器人应用(*Robots*)在1%的水平下显著且系数为负,表明工业机器人应用能够显著抑制权益资本成本,即工业机器人应用每增加1个单位,企业权益资本成本(*CoE_CAPM*)将降低0.376%($0.009\ 22 \times 0.038/0.093\ 1 \times 100\%$);同时,列(3)中,工业机器人应用(*Robots*)在1%的水平下显著且系数为负,进一步验证中介机制成立,工业机器人应用每增加1个单位,企业权益资本成本(*CoE_OJ*)将降低2.246%($0.025\ 3 \times 0.038/0.042\ 8 \times 100\%$)。上述结果综合表明,降低企业权益资本成本是工业机器人应用推动企业技术追赶的重要路径。由此,H2得到验证。

表8 机制分析回归结果

变量	<i>Dist</i> (1)	<i>CoE_CAPM</i> (2)	<i>CoE_OJ</i> (3)
<i>Robots</i>	0.108 *** (6.747)	-0.009 *** (-3.145)	-0.025 *** (-2.733)
控制变量	是	是	是
行业、年份固定效应	是	是	是
观测值	19 564	19 564	12 117
调整后 R^2	0.484	0.239	0.174

注:***、**和* 分别表示在1%、5%和10%的水平下显著;括号内为公司聚类调整后的T值。

(五) 调节效应分析

工业机器人应用在降低企业权益资本成本、推动技术升级的进程中,科技金融与内部控制分别从外部支持和内部治理层面为企业构筑了“双防线”。具体而言,科技金融不仅为企业提供了

充足的资金和先进的信息化服务,缓解了其技术创新初期的融资难和资金紧张问题,还通过降低融资成本、提升信贷质量和增强投资者信心,间接提升了企业对技术风险的承受能力。同时,高水平的科技金融支持使得企业更容易获得多样化的金融资源,并利用大数据、区块链等新兴技术对财务和运营风险进行实时监控和精准预警,推动企业代理成本降低^[30],从而实现内部创新资源的高效配置,促进了技术追赶和产业升级。此外,健全的内部控制机制作为企业内部治理的重要保障,通过建立风险评估、内部审计和信息披露等方面的制度,能够及时发现并纠正研发和生产运营中的潜在问题,对资金使用、成本控制和预算执行进行全方位监督,并借助流程优化和决策支持提升管理层应对市场波动和技术变革的反应能力^[35]。二者的协同作用既保障了技术升级所需的资源供给,又确保了创新过程的可控性,为工业机器人等先进技术的应用推动产业转型提供了稳健的实施环境。

基于此,本文借助科技金融政策以及内部控制质量进行调节效应检验。为了避免多重共线性问题,本文先对解释变量与调节变量进行中心化处理,随后将二者的交乘项纳入基准回归模型展开分析,回归结果如表9所示。列(1)中,工业机器人应用(*Robots*)和科技金融政策(*ScFin*)均在1%的水平下显著且系数均为正,同时二者交乘项(*Robots* × *ScFin*)在5%的水平下显著且系数为正。这表明,科技金融政策能在工业机器人应用推动企业技术追赶的过程中起到协同赋能作用。列(2)中,工业机器人应用(*Robots*)和内部控制质量(*IC*)分别在1%和5%的水平下显著且系数均为正,同时交乘项(*Robots* × *IC*)在5%的水平下显著且系数为正。这表明,有效的内部控制能够保障工业机器人应用在推动企业技术升级过程中的风险可控。

(六) 异质性分析

制造业技术层级的梯度差异深刻影响着机器人技术的应用效能。其中,高技术制造业往往拥有较高的自动化需求、复杂的生产流程以及更强的吸收与消化新技术的能力。同时,高技术制造业具有较多的研发投入和技术积累,能够更快地将机器人技术与现有生产系统深度融合,实现工

表 9 科技金融政策和内部控制质量的调节效应 回归结果		
变量	Dist	
	科技金融政策 (1)	内部控制质量 (2)
Robots	0.077 *** (3.530)	0.100 *** (5.889)
ScFin	0.019 *** (4.830)	
Robots × ScFin	0.065 ** (2.080)	
IC		0.009 ** (2.010)
Robots × IC		0.128 ** (2.039)
控制变量	是	是
行业、年份固定效应	是	是
观测值	19 564	19 564
调整后 R ²	0.491	0.484

注:***、**和* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著;括号内为公司聚类调整后的 T 值。

艺流程的重构和优化,从而得以更充分地利用工业机器人应用带来的技术溢出效应,促进企业技术创新与升级。相反,低技术制造业由于生产流程较为简单、自动化程度有限,其对工业机器人应用的反馈主要局限于生产效率的改进,在技术升级方面则表现出较弱的推动效应^[36]。有鉴于此,本文参考李安等^[37]的研究思路,将样本划分为低技术制造业以及中高技术制造业两组并分别进行实证检验。

本文利用 T 检验和 Wilxcon 检验,观测处于不同行业企业的技术差距是否存在显著差异。表 10 列示了针对企业技术差距的 T 检验和 Wilxcon 检验结果。不难发现,均值和中位数均表明,处于不同技术水平制造业的企业,其技术差距呈现显著差异,这为观测工业机器人应用对处于行业技术差异的企业技术追赶产生的差异化影响提供了空间。

基于行业技术差异的异质性分析结果如

表 10 单变量分析结果		
Dist	均值	中位数
低技术制造业	-0.191	-0.186
中高技术制造业	-0.268	-0.270
差异	0.077	0.084
T 统计量	32.144 ***	31.322 ***

注:***、**和* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著。

表 11 所示。列(1)中,在低技术制造业组别中,工业机器人应用(Robots)系数为正但变量不具有统计学上的显著意义;列(2)中,在中高技术制造业组别中,工业机器人应用(Robots)在 1% 的水平下显著且系数为正。在技术差异较大的中高技术制造业企业,工业机器人应用凭借其智能化与自动化优势,更能够推动企业突破技术瓶颈,实现技术追赶;而在低技术制造业企业,可能由于技术同质化程度较高,技术差距较小,工业机器人的作用尚未充分显现,进一步验证了行业技术禀赋对工业机器人应用的差异效果。

表 11 基于行业技术的异质性分析回归结果		
变量	Dist	
	低技术制造业 (1)	中高技术制造业 (2)
Robots	0.073 (1.642)	0.112 *** (6.514)
控制变量	是	是
行业、年份固定效应	是	是
观测值	2 874	16 690
调整后 R ²	0.430	0.466

注:***、**和* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著;括号内为公司聚类调整后的 T 值。

五、进一步分析

既有研究发现,在市场竞争压力下,落后企业通常会主动与先进企业进行交流学习,通过模仿与跟随的方式快速适应智能化转型。此外,外部环境的强制压力,如政策要求,往往迫使部分企业进行技术升级,以满足新的行业标准。然而,这种被动的技术升级往往缺乏创新动力,导致企业在技术追赶过程中难以形成核心竞争力。相比之

下,主动追赶的企业更倾向于通过研发投资和创新活动来提升自身技术水平。这种策略虽然需要较大的前期投入,但长期来看有助于企业构建持续的竞争优势。因此,企业技术追赶行为的主动与被动特征,不仅反映了企业对市场和技术变化的响应速度,也决定了其在行业竞争中的地位和发展潜力。

有鉴于此,本文借鉴范合君等^[38]的做法,具体思路为:假如上一年度某企业的技术差距空间比同行业其他企业的均值低,则这种落差越大,企业在本年度越可能通过跟随模仿等行为来保证自己的合法性;反之,如果顺差越大,企业在本年度越可能继续主动加速工业机器人的应用以保证自己在群体中的领先地位。进一步地,本文将企业在上一年度的技术追赶程度($Dist_{-1}$)与同期同行业内其他企业的技术追赶程度均值进行比较,构建两个变量:一是行业顺差($Ind_Distance > 0$),即企业的技术追赶程度大于行业均值;二是行业落差($|Ind_Distance < 0|$),即企业的技术追赶程度小于行业均值。最终,本文将这两个变量与企业的技术追赶程度($Dist$)进行回归分析,以探讨工业机器人应用对企业技术追赶的影响是主动追赶还是被动追赶。回归结果如表 12 所示,回归系数分别为 0.845 和 -0.808,两个变量均在 1% 的水平下显著。这表明,当技术追赶程度高于行业均值时,企业并没有“原地踏步”或“不知进取”,相反,会进一步采用主动学习策略;当技术追赶程度低于行业均值时,企业受到行业其他企业压力的影

响,在技术追赶进程中会产生消极反馈。因此,这一特征分析进一步表明,工业机器人应用对技术追赶的驱动并非单纯源于外部压力下的被动“补课”,而是通过降低权益资本成本为主动追赶提供资源支撑,从而将工业机器人技术优势转化为持续的技术位势提升。

六、研究结论与启示

本文以 2007—2022 年中国 A 股制造业上市公司为样本,实证考察了工业机器人应用对企业技术追赶的影响及作用机理。结果表明:首先,工业机器人应用推动了企业技术追赶,这一效应通过降低企业权益资本成本得以实现;其次,科技金融政策与内部控制质量对工业机器人应用促进技术追赶存在协同效应;再次,工业机器人应用对企业技术追赶的促进作用仅在中高技术制造业中显著存在;最后,工业机器人应用促进企业技术进步的行为特征源于企业的主动追赶,而非被动应对。

上述结论具有以下启示。首先,工业机器人应用通过降低权益资本成本的中介路径显著驱动了技术追赶。因此,企业应强化智能化设备投入并优化融资结构,通过提升投资者信心与直接融资比例促进创新,实现工业机器人应用的技术追赶效应。同时,企业还需平衡技术升级投入与短期现金流压力,避免过度杠杆化的风险。其次,从行业异质性分析结果来看,政府在推行工业机器人应用时应遵循行业特点,制定差异化政策。依据技术梯度适配规律,优先以中高技术领域为突破口构建示范效应;同时,强化低端产业基础能力建设,提供基础技术支持,形成阶梯式协同发展格局,助力企业技术追赶。最后,科技金融政策与企业内部控制质量发挥着正向调节作用,能够有效提升工业机器人应用效果。企业可以结合外部政策红利,优化内部管理,完善创新激励机制,构建动态创新模式;同时,在财务层面强化技术投入的预算管控与风险预警,通过政策引导与内控规范的双重调节,确保创新资源精准投放,为企业实现技术追赶提供可靠保障。

注 释:

①数据来源:国际机器人联合会《2024 年世界机器人报告》。

②鉴于样本选择中剔除了经营范围包含工业机器人

表 12 企业技术追赶行为特征回归结果

变量	$Dist$	
	行业顺差 (1)	行业落差 (2)
$Ind_Distance > 0$	0.845 *** (57.553)	
$ Ind_Distance < 0 $		-0.808 *** (-56.450)
控制变量	是	是
行业、年份固定效应	是	是
观测值	7 608	7 746
调整后 R^2	0.719	0.723

注:***、**和* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平下显著;括号内为公司聚类调整后的 T 值。

及获得了自主研发工业机器人专利的企业,本文基于研究主题的明确定位作出如下解释:本文关注的是工业机器人应用对制造业企业技术追赶的影响,重点考察工业机器人技术作为生产工具对企业技术能力和创新表现的促进作用,而非工业机器人研发或生产带来的经济效应。涉及工业机器人研发和生产的企业,其技术发展路径、资源配置和创新机制与一般制造业企业存在明显差异。将其纳入样本,可能干扰实证分析中工业机器人应用对企业技术追赶真实效应的识别。此外,这类企业的技术进步更多依赖核心技术创新,而非工业机器人应用,因此将其剔除有助于保持样本的同质性和研究结果的针对性。

参考文献:

- [1]王一鸣.百年大变局、高质量发展与构建新发展格局[J].管理世界,2020(12):1-13.
- [2]郭海,杨主恩.从数字技术到数字创业:内涵、特征与内在联系[J].外国经济与管理,2021(9):3-23.
- [3]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.
- [4]初晓,张丹蕾,赵勇.工业机器人如何影响出口竞争“价格竞争”还是“质量竞争”[J].中国工业经济,2024(6):99-116.
- [5]诸竹君,袁逸铭,焦嘉嘉.工业自动化与制造业创新行为[J].中国工业经济,2022(7):84-102.
- [6]周锐波,吴云峰,宋佳晔.共生共荣:工业智能化发展与包容性绿色增长[J].中国人口·资源与环境,2024(5):162-174.
- [7]黄亮雄,林子月,王贤彬.工业机器人应用与全球价值链重构——基于出口产品议价能力的视角[J].中国工业经济,2023(2):74-92.
- [8]谢雁翔,覃家琦,金振,等.企业工业智能化与全要素生产率提升——基于制造业上市公司的经验证据[J].科学学与科学技术管理,2023(11):148-165.
- [9]张艺,陈凯华,周志勇.后发国家产业核心技术追赶的产学研合作创新机制——基于中国高铁产业的案例分析[J].管理世界,2024(11):20-48.
- [10]白雪洁,程钰娇.数字化转型、技术选择与企业技术攀升[J].产业经济研究,2024(2):30-44.
- [11]金祥义,孙梦玲.绿色信贷推动了企业技术追赶吗?[J].上海财经大学学报,2024(5):60-74.
- [12]吕鹏,黄送钦.环境规制压力会促进企业转型升级吗[J].南开管理评论,2021(4):116-129.
- [13]黄先海,虞柳明,袁逸铭.机器人与企业创新——基于人力资本视角[J].科学学研究,2023(2):356-368.
- [14]MIAO Y, SONG J, LEE K, et al. Technological catch-up by east Asian firms: trends, issues, and future research agenda [J]. Asia Pacific Journal of Management, 2018, 35(3): 639-669.
- [15]申杰,昌忠泽.工业智能化赋能民营中小企业高质量发展——基于“专精特新”视角的研究[J].现代经济探讨,2024(5):52-64.
- [16]何茜茜,高翔,黄建忠.工业机器人应用与制造业产业链供应链韧性提升——来自中国企业全球价值链嵌入的证据[J].国际贸易问题,2024(2):71-89.
- [17]黄启斌,熊曦,宋婷婷,等.智能制造能力对制造型企业竞争优势的影响机制研究[J].经济问题,2023(3):76-83.
- [18]李磊,王小霞,包群.机器人的就业效应:机制与中国经验[J].管理世界,2021(9):104-119.
- [19]王启超,孙广生.智能化的“去错配”效应与全要素生产率增长[J].管理评论,2024(4):39-48.
- [20]SUN X, LI H, GHOSAL V. Firm-level human capital and innovation: evidence from China [J]. China Economic Review, 2020, 59: 101388.
- [21]陈海强,韩乾,吴锴.融资约束抑制技术效率提升吗?——基于制造业微观数据的实证研究[J].金融研究,2015(10):148-162.
- [22]李汇东,唐跃军,左晶晶.用自己的钱还是用别人的钱创新?——基于中国上市公司融资结构与公司创新的研究[J].金融研究,2013(2):170-183.
- [23]杜亚光,何瑛,金振,等.人工智能与企业客户稳定性——基于中国工业机器人应用的证据[J].经济问题,2024(2):48-56.
- [24]AROURI M, PIJOURLET G. CSR performance and the value of cash holdings: international evidence [J]. Journal of Business Ethics, 2017, 140(2): 263-284.
- [25]金献坤,徐莉萍,辛宇.企业数字化与权益资本成本[J].财经研究,2023(9):79-93.
- [26]倪静洁,郭檬楠.工业机器人应用如何影响企业内部控制质量?[J].经济与管理研究,2023(6):19-37.
- [27]ALBRIZIO S, KOZLUK T, ZIPPERER V. Environmental policies and productivity growth: evidence across industries and firms [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2017, 81(1): 209-226.
- [28]ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from US labor markets [J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [29]肖翔,赵天骄,贾丽桓.社会责任信息披露与融资成本[J].北京工商大学学报(社会科学版),2019(5):69-80.

- [30] 钱水土, 张宇. 科技金融发展对企业研发投入的影响研究[J]. 科学学研究, 2017(9): 1320-1325.
- [31] 曹晶, 杨德明, 陆明. 工业互联网平台的价值创造作用: 平台赋能的视角[J]. 会计研究, 2025(6): 164-179.
- [32] 杜善重, 李卓, 马连福. 机器人应用如何影响企业技术创新——来自中国制造业上市公司的经验证据[J]. 系统工程理论与实践, 2024(2): 485-502.
- [33] 姚加权, 张锬澎, 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): 101-122.
- [34] 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.
- [35] 王亚男, 戴文涛. 内部控制抑制还是促进企业创新? ——中国的逻辑[J]. 审计与经济研究, 2019(6): 19-32.
- [36] 李丫丫, 潘安. 工业机器人进口对中国制造业生产率提升的机理及实证研究[J]. 世界经济研究, 2017(3): 87-96.
- [37] 李安, 李士梅, 尹逊之. 技术创新、数字化投入与中国制造业国际竞争力[J]. 北京工商大学学报(社会科学版), 2023(5): 60-72.
- [38] 范合君, 吴婷, 何思锦. 企业数字化的产业链联动效应研究[J]. 中国工业经济, 2023(3): 115-132.

How Do Industrial Robots Applications Promote Enterprises' Technological Catch-Up?

WANG Ying^{1,2} & WANG Haoyu²

(1. School of Marxism, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 211100, China;

2. School of Accounting, Nanjing Audit University, Nanjing, Jiangsu 211815, China)

Abstract: As the core carrier of industrial intelligence, industrial robots present significant opportunities for advancing enterprises' technological progress and fostering new quality productive forces. Using data from China's A-share listed manufacturing companies from 2007 to 2022, this study empirically examines the impact of industrial robots applications on enterprises' technological catch-up and the underlying mechanism. The findings reveal that industrial robots applications significantly drive technological catch-up among manufacturing companies, primarily by reducing the cost of equity capital. Moreover, science and technology finance policies and corporate internal control positively moderate the relationship between industrial robots applications and technological catch-up. Heterogeneity analysis shows that the driving effect of industrial robots applications is particularly pronounced in medium- and high-tech manufacturing companies. Further analysis confirms that the technological advancement driven by industrial robots applications stems from enterprises' proactive catch-up strategies rather than passive responses. These results suggest that enterprises should increase investment in intelligent equipment, optimize financing structures, and leverage policy incentives in tandem with internal governance improvements to facilitate technological catch-up. Meanwhile, the government should prioritize demonstration projects in medium- and high-tech industries and enhance foundational capabilities in low-end industries to support enterprises' technological catch-up.

Key Words: industrial robots; technological catch-up; cost of equity capital; science and technology finance; internal control

(责任编辑 王沈南 责任校对 邓 艳)