



科学学研究
Studies in Science of Science
ISSN 1003-2053, CN 11-1805/G3

《科学学研究》网络首发论文

题目：工业机器人对民营企业就业的影响研究
作者：白俊红，丁声悱
DOI：10.16192/j.cnki.1003-2053.20251222.001
收稿日期：2025-06-18
网络首发日期：2025-12-22
引用格式：白俊红，丁声悱. 工业机器人对民营企业就业的影响研究[J/OL]. 科学学研究.
<https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20251222.001>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

工业机器人对民营企业就业的影响研究

白俊红, 丁声悱

(南京师范大学 商学院, 江苏南京 210023)

摘要: 伴随着工业机器人应用的日益成熟与普及, 其对民营企业就业产生何种影响值得关注。本文在理论分析工业机器人应用影响民营企业就业内在机理的基础上, 采用中国工业企业微观数据, 实证考察了工业机器人应用对民营企业就业的影响。研究发现, 工业机器人应用对民营企业就业产生显著的负向影响, 且这一影响在一系列稳健性检验以后依然成立。机制检验表明, 工业机器人应用通过降低民营企业劳动力成本, 提高民营企业生产率, 对其就业产生显著影响。研究还发现, 机器人应用对民营企业就业的替代效应, 在沿海地区、劳动密集程度较高以及低技术行业企业劳动者中表现的更为明显。本文结论为有效应对机器人应用对民营企业就业的冲击, 进而为中国“稳就业、保民生”相关政策的科学制定提供参考。

关键词: 工业机器人; 民营企业; 就业

中图分类号: F270.3

文献标识码: A

近年来, 伴随着大数据、云计算、物联网以及人工智能等新兴技术的迅猛发展, 以工业机器人为代表的自动化技术日益在企业生产运作中得到广泛应用, 其在赋能企业降本增效和提质升级的同时, 也使得人们开始关注“机器换人”对劳动力市场的影响^[1-9], 但有关中国民营企业如何适应工业机器人应用的冲击仍然知之甚少。与国有企业等公有制经济相比, 中国民营企业数量众多, 机制也更为灵活, 特别是, 面对机器人对就业民生等的影响, 民营企业无须承担更多政策性任务而可以直接根据市场变化对“机器换人”的成本收益做出判断与抉择。因而, 当前阶段, 面对复杂的国内外经济形势, 深入考察机器人应用对民营企业就业的影响, 无疑对于加快形成同新质生产力相适应的生产关系以及政府相关部门“稳就业、保民生”相关政策的科学制定具有重要意义。

就业是最大的民生。改革开放以来, 中国民营企业发展迅速, 规模不断壮大, 已然成为吸纳城乡劳动力就业的主要渠道^[10,11]。然而, 近年来, 由于外部环境的复杂变化, 民营企业发展亦受到一定程度的冲击。特别是面对当前的就业形势, 如何更好地支持民营企业发展, 充分发挥其就业“吸纳器”“蓄水池”功能, 已然成为学界和政界共同关注的一项重要议题。党的二十届三中全会强调, “坚持致力于为非公有制经济发展营造良好环境和提供更多机会的方针政策”。这无疑为提振民营企业信心, 促进民营企业发展奠定了坚实基础。然而, 除了政策保障外, 民营企业的持续发展, 还离不开技术等的有效支撑。但遗憾的是, 技术进步, 特别是工业机器人这一先进技术的日益普及应用, 究竟对民营企业就业发展产生何种影响? 是促进还是抑制了民营企业就业? 尚缺乏详实的论证。本文即对此进行了充分关注。本文研究不仅在一定程度上弥补和丰富了工业机器人应用与就业关系的研究文献, 同时亦可为新时期中国民营企业有效应对工业机器人冲击, 进而增进活力和就业提供启示。

1 文献回顾与研究假设

1.1 文献回顾

(1) 工业机器人应用的经济效应

工业机器人作为一项新型智能制造技术, 能够通过设定系统参数, 远程调用机器人程序

收稿日期: 2025-06-18; 修回日期: 2025-11-23

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(21&ZD122; 25&ZD092); 江苏省基础研究专项资金(软科学研究)(BR2024016)

作者简介: 白俊红(1982-), 男, 教授, 博士生导师, 通讯作者, E-mail: nsdbjh@126.com。丁声悱(2000-), 女, 博士研究生。

并运行,被广泛应用于多个工业领域。随着大数据、5G、云计算等数字新技术的融合与演进,越来越多的企业引进并学习使用工业机器人。近年来,一些学者分析了工业机器人应用在拉动国家和地区经济增长^[12,13]、促进生产率提升^[14]、参与全球价值链分工^[15]以及影响劳动力空间配置^[16]等方面发挥的重要作用,进而从不同角度为工业机器人应用产生的宏观经济效应提供了经验证据。与此同时,也有一些研究从进出口贸易、企业经营以及工资收入等角度,在微观层面实证考察了工业机器人应用的微观机制与效应。其一,在进出口贸易方面,工业机器人应用可能会对企业规模、市场竞争、知识创造及扩散产生作用,进而影响国际贸易中的比较优势^[17]。毛其淋和石步超^[18]研究发现,工业机器人的广泛应用对企业直接出口模式选择具有正向促进效应,从而优化了企业出口模式。其二,在企业经营方面,程虹等^[19]认为,机器人使用对中国企业的生产效率、质量能力和管理效率具有重要的促进效应,并在一定程度上降低了企业经营的不确定性风险。进一步地,李磊等^[20]研究结果表明,企业在使用工业机器人后,降低了其退出风险和概率。其三,在工资收入方面,王永钦和董雯^[21]研究发现工业机器人的应用显著拉大了高技能劳动力和低技能劳动力之间的收入差距,并对制造业部门的本地居民和流动人口工资性收入具有显著的负向影响。

(2) 工业机器人应用与就业

围绕着工业机器人应用是否存在“换人”的现象,现有文献着重考察研究了工业机器人应用对劳动力市场就业的影响,但尚未得到一致的结论。一些学者研究发现,工业机器人应用存在明显的生产率提升^[8]、企业产出规模扩大以及产品市场份额提高^[2]等效应,有利于创造更多新的工作岗位,加大劳动力的市场需求。而另一些学者的研究则发现,工业机器人应用具有岗位创造效应的同时,也可能在诸多生产环节上产生对劳动者的替代,使得劳动力的市场需求减少,产生岗位替代效应^[1,3,9],进而对就业产生负向冲击。

不仅如此,学者们还进一步地考察了工业机器人应用对不同技能水平、不同性别劳动力以及不同地区就业的影响效应。Acemoglu 和 Restrepo^[3]认为,工业机器人应用,使得美国劳动力就业需求,在不同技能水平上出现了“两极化”现象,即对中等技能劳动力需求呈递减趋势,而对低等和高等技能劳动力需求呈递增趋势。汪前元等^[22]研究发现,工业智能化水平的提高可能会降低低技能各类就业量和中技能劳动者就业量及女性劳动者就业量。孙早和侯玉琳^[23]通过分不同地理区域的研究发现,北部沿海、黄河中游和东北地区的工业智能化发展将会使得这些地区出现就业“两极化”现象,而东部沿海和南部沿海地区则在过高生活成本的作用下呈现出“单极极化”趋势,主要表现为对小学及以下教育程度劳动力的替代。

纵观已有文献,尽管有关机器人应用的经济影响研究已取得较为丰硕的成果,这对本文具有重要的启示和借鉴意义。但遗憾的是,这些文献尚未在中国情境下就民营企业就业展开深入研究。那么,在中国制度情境下,工业机器人应用将对民营企业就业产生何种影响?其作用机制是什么?接下来,本文即从成本负担和生产率提升视角,分析机器人应用对民营企业就业的影响机理。

1.2 研究假设

近年来,民营企业凭借自身的活力和韧性,规模与实力迅速壮大,呈现出高质量发展的新趋势。然而,伴随着劳动力成本的上升和机器人应用更高的效率,企业的生产要素和生产条件亦逐渐向自动化发展,从而一定程度上改变了民营企业的发展动力与生产率水平。基于此,本文主要从成本负担和生产率提升两个方面分析工业机器人应用对民营企业就业的影响。

第一,工业机器人应用有助于降低民营企业成本负担,从而对其就业产生替代效应。中国于2004年颁布了《最低工资规定》,要求调整企业职工最低工资标准,在一定程度上提升了工人的最低收入水平和议薪能力,提高了劳动力成本^[20]。特别是,近年来,中国正面临着生育率低、人口负担比高以及人口老龄化趋势加快等发展瓶颈^[16],使得企业用工成本在一定程度上也随之上升。劳动力成本作为企业经营过程中最为重要甚至最大的一项成本支出,

对企业的经营发展尤为关键。特别是对于民营企业而言，其与市场更为接近，对劳动力成本变化的反应亦更为敏感，总是试图以最少的投入获取最大的利益。在此情形下，当存在较强的成本约束时，民营企业将及时根据边际成本变化调整市场竞争策略，以降低劳动力成本上升的影响。尤其是近年来，伴随着工业机器人、自动化技术的日益成熟与普及，工业机器人应用的相对价格亦快速下降。由此，对于知识和技能水平相对较低的民营企业而言，随着劳动力成本的上升，面对成本的硬性约束，将及时应用机器人设备等来替代人力劳动^[24]，并主动学习和应用自动化生产模式，进行转型升级，以适应市场的变化。综上，在工业机器人应用的赋能下，民营企业将充分考虑和发挥工业机器人的成本优势，利用机器人来替代劳动力执行任务，从而降低了劳动力的市场需求，对就业产生不利影响。

第二，工业机器人应用有助于提升民营企业生产率，从而减少对劳动力雇佣的需求。新经济增长理论认为，技术进步作为生产其他产品的新知识，是促进企业生产效率变革和经济增长的重要动力。机器人与传统要素增强型技术进步的不同之处在于，其具备学习执行简单的、机械性的常规工作任务的能力，能够较快地掌握操作技能，实现自动化生产，从而有助于企业在同等条件下生产更多的产品或提供更多服务，带来生产率的提高。理论上讲，生产率的提升，一方面，有利于促进企业生产力水平的提高和产品价格的降低，从而有助于带来更多的销售订单和市场份额，促进企业生产规模的扩大，并藉此增加对非自动化生产环节的劳动力需求^[25]。但另一方面，在企业生产率提高时，其资源利用效率亦随之上升，因而在产出或市场需求有限的情况下，可能会降低对劳动力的需求，减少劳动力雇佣。Graetz 和 Michaels^[12]在考察不同国家不同行业中机器人使用差异时发现，工业机器人应用有效提升了劳动生产率，但减少了低技能工人的就业机会。就中国现实而言，中国大部分民营企业先天资源禀赋较差^[26]，但市场竞争性较强而规模相对较小，这也使得其员工中从事程序化和反复性工作的劳动力比重较大，知识和技能水平较低。因而伴随着机器人应用所带来的生产率提高，以效率为导向的民营企业更具动力以机器换人来完成生产任务。即使生产率提高可能引致生产规模扩大而催生一部分就业岗位，但由于中国民营企业规模普遍相对较小，且面对有限的市场需求和激烈的市场竞争，总体而言依然将采用生产率更高的机器人来替代劳动力，整体上产生替代效应。

综合上述分析，本文提出如下两个假设：

H1：工业机器人应用将使民营企业更多地采用机器来替代劳动力，进而降低了其就业。

H2：工业机器人应用有利于降低民营企业成本，提高民营企业生产率，从而对其就业产生替代效应。

2 研究设计

2.1 计量模型设定

为了检验工业机器人应用对中国民营企业就业的影响，本文构建如下的计量模型：

$$\ln empe_{it} = \alpha + \beta \Delta IRA_{it} + X'_{it} \gamma + \sigma_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， $\ln empe_{it}$ 表示民营企业 i 在时间 t 的全部从业人员数量对数； ΔIRA_{it} 表示民营企业 i 的工业机器人应用情况，其根据民营企业 i 所属行业的构成加权计算得到 $t-1$ 到 t 时间段内企业每千名劳动者所拥有的工业机器人变化量。 X'_{it} 为一系列控制变量。 σ_i 为企业固定效应， μ_t 为年份固定效应， ε_{it} 为随机扰动项。

2.2 变量描述

(1) 被解释变量

民营企业就业 ($\ln empe$)。现有文献关于民营企业就业人员数据大多来源于《全国私营企业抽样调查数据》《中国工业企业数据库》以及中国 A 股民营上市公司就业人员等。其中，《全国私营企业抽样调查数据》为每两年一次的抽样统计调查，这也使得其难以连续地

反映中国民营企业就业人员的变化,同时考虑到民营经济主要经营者多为中小微型私营企业,而民营上市公司数量相对较少,吸纳就业能力有限,无法全面地反映民营企业就业情况,因此结合本文的研究目的,本文采用中国国家统计局提供的《中国工业企业数据库》企业信息,将登记注册类型为私营独资企业、私营股份有限公司、私营合伙企业以及私营有限责任公司的企业作为研究对象,使用企业全部从业人员数量表征民营企业就业。

(2) 核心解释变量

民营企业工业机器人应用情况 (IRA)。为评估中国民营企业工业机器人应用水平,本文参考王永钦和董雯^[1]以及 Acemoglu 和 Restrepo^[3]基于一般均衡模型提出的 Bartik 工具变量构造思路,结合中国民营企业就业分布以及国际机器人联合会 (IFR) 公布的各行业机器人人数的变化,构造中国民营企业层面的机器人渗透度指标,使用民营企业人均工业机器人变化量来衡量其工业机器人运行情况。

首先,本文根据中国行业分类和国际机器人联合会 (IFR) 对机器人运行量的行业分类,与中国工业企业数据库所公布的行业名称进行匹配,并按照 15 个行业分类对工业机器人运行量进行统计^①。其次,通过构造工业机器人使用量的 Bartik 变量,计算全国人均工业机器人人数,并将行业层面的工业机器人应用情况分解至企业层面^[1]。最后,加权计算得到 $t-1$ 到 t 时间段内各民营企业每千名劳动者拥有的机器人变化量。具体公式为:

$$\Delta IRA_{it} = \frac{PE_{i,2005}}{PE_{p,2005}} \times \frac{Robots_{p,t} - Robots_{p,t-1}}{Employee_{p,2005}} \quad (2)$$

其中, $Robots_{p,t}$ 为全国层面 t 时间 p 行业的工业机器人使用量。参考陈媛媛等^[16],为避免工业机器人应用对企业劳动力市场可能产生的干扰,就业变量使用初始年份 2005 年数据。

$Employee_{p,2005}$ 代表 2005 年全国 p 行业的就业总人数 (单位为千人)。 $\frac{PE_{i,2005}}{PE_{p,2005}}$ 表示 2005 年民营企业 i 的就业人数与其所对应的行业 p 中所有民营企业总就业人数的比值。

(3) 控制变量

为保证实证结果的可靠性,本文进一步对以下变量进行了控制:企业年龄 ($\ln age$): 将当前年份减去企业成立年份加 1,并对其取对数,来表示企业年龄。企业资产负债比 ($\ln cdr$): 以企业资产总数与企业负债合计总数比重的对数来衡量企业资产负债比。企业存货占比 ($\ln stock$): 以企业存货总量与企业工业总产值比重的对数来表示企业存货占比情况。企业是否出口 ($export$): 以企业是否存在出口交货行为为依据,当企业出口交货值大于 0 时,则为出口企业,取值为 1,反之为 0。企业盈利能力 (ROA): 以企业利润总额占总资产的比重来衡量企业盈利能力。企业生产规模 ($\ln size$): 采用营业收入的对数来对企业生产规模进行控制。

2.3 数据说明

本文利用 2006—2015 年中国工业企业数据,对企业登记注册类型进行筛选后,以民营企业为样本对象展开研究。本文数据主要来源于《中国工业企业数据库》《中国城市统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》《中国海关数据库》以及 2005 年 1% 人口抽样调查微观数据。进一步地,考虑到原始数据可能存在的样本信息缺失及失真问题,本文对其进行了如下处理:

(1) 对民营企业样本进行识别、筛选和匹配; (2) 剔除重要指标数据存在缺失的民营企业样本; (3) 将数据库中的行业分类代码统一调整为国家行业分类标准; (4) 剔除明显不符合会计原则的观测值样本,包括流动资产以及固定资产净值均大于总资产、累计折旧小于当期折旧、企业代码缺失的观测值; (5) 平减相关名义指标; (6) 个别缺失值采用线性插值

^① 具体包括采矿业、电子产品制造业、纺织及服装制品业、非金属矿物制品业、公共事业、教育和科研、金属冶炼业、金属制品业、木制品及家具制造业、其他制造业、汽车制造业、设备制造业、食品与饮料制造业、塑料制品业和化工业、造纸和印刷制品业。

法补齐；（7）对极端值进行 1%分位的缩尾处理。

3 实证结果与分析

3.1 基准回归

表 1 报告了工业机器人应用对民营企业就业影响的估计结果。本文分别采用混合回归模型和固定效应模型对样本数据进行估计。列（1）为 OLS 回归结果，列（2）和列（3）则在列（1）的基础上，分别加入了企业固定效应和年份固定效应，列（4）则同时加入了企业和年份固定效应。从估计结果来看，在同时控制企业和年份固定效应后，核心解释变量工业机器人应用（IRA）的估计系数在 1%的统计水平上显著为负，一定程度上表明工业机器人的广泛应用对民营企业就业产生了显著的负向影响。

表 1 基准回归结果

Table 1 Benchmark regression results				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	lnempe	lnempe	lnempe	lnempe
IRA	0.0636 (0.0395)	-0.0536 (0.0334)	-0.1761*** (0.0313)	-0.2938*** (0.0359)
lnage	0.3979*** (0.0041)	0.5262*** (0.0054)	0.1682*** (0.0049)	0.2086*** (0.0118)
lncdr	0.0051*** (0.0018)	0.0167*** (0.0020)	0.0007 (0.0018)	0.0121*** (0.0020)
lnstock	0.0321*** (0.0011)	0.0097*** (0.0013)	0.0255*** (0.0011)	0.0031** (0.0013)
export	0.2089*** (0.0034)	0.1773*** (0.0038)	0.1689*** (0.0034)	0.1188*** (0.0038)
ROA	0.0169*** (0.0052)	0.0145*** (0.0041)	0.0152*** (0.0051)	0.0132*** (0.0041)
lnsize	0.3680*** (0.0021)	0.2819*** (0.0027)	0.3319*** (0.0021)	0.2527*** (0.0026)
Constant	-0.0309 (0.0194)	0.5599*** (0.0244)	0.8605*** (0.0224)	1.5835*** (0.0327)
企业固定效应	NO	YES	NO	YES
年份固定效应	NO	NO	YES	YES
Observations	772369	772369	772369	772369
R-squared	0.2389	0.2440	0.2903	0.2939

注：括号内数值为聚类到企业层面的稳健标准误；***、**、* 分别表示参数的估计值在 1%、5%和 10% 的统计水平上显著。后表同。

3.2 考虑内生性问题

上文结果表明，工业机器人应用对民营企业就业产生了显著的负向冲击。然而需要注意的是，模型中仍可能存在不可观测、无法获取等因素产生的遗漏变量偏差以及双向因果问题，并由此导致估计结果的偏误。进一步地，本文将采用工具变量两阶段最小二乘法进行再估计，以尽量克服潜在内生性问题的影响。

借鉴 Acemoglu 和 Restrepo^[3]，基于 Bartik 工具变量构造思路，采用在机器人技术应用方面处于优势地位，并与中国拥有相似发展趋势国家的工业机器人渗透度作为工具变量。一方面，机器人发展处于领先和优势地位的国家，一直是中国追随学习的重要对象，其机器人

发展引领着中国机器人的发展，满足相关性条件；另一方面，国外机器人的应用发展，主要影响国外劳动力的就业，而不太可能通过影响本国机器人应用之外的其他因素而影响到本国的就业，满足外生性的要求。具体地，本文将 IFR 公布的工业机器人运行量数据与 WORLD KLEMS 数据库中按国家和行业划分的从业人员数据进行识别匹配，计算各个国家不同时间段内工业机器人应用的渗透度，然后从中选出领先于中国且与中国发展趋势类似的国家（见图 1），并将这些国家的工业机器人渗透度作为工具变量。测算公式如下：

$$\Delta IRA_{it}^{Foreign} = \frac{1}{n} \sum_j \frac{PE_{i,2005}}{PE_{p,2005}} \times \frac{Robots_{p,t}^j - Robots_{p,t-1}^j}{Employee_{p,2005}^j} \quad (3)$$

其中， $Robots_{p,t}^j$ 表示 t 年国家 j 在行业 p 的工业机器人运行量， $Employee_{p,2005}^j$ 表示 2005 年国家 j 在行业 p 的就业人数， $\frac{PE_{i,2005}}{PE_{p,2005}}$ 表示 2005 年民营企业 i 的就业人数与其所对应的行业 p 中所有民营企业总就业人数的比值， n 为领先国家数。

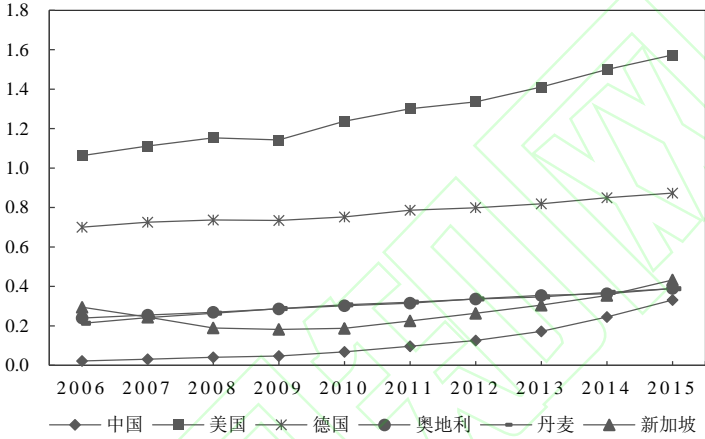


图 1 六国工业机器人应用渗透度变化趋势

Figure 1 Trends in industrial robot application penetration across six countries

回归结果如表 2 中的列（1）和（2）所示。可以发现，工具变量对中国民营企业工业机器人有显著的正向影响，与预期一致。此外，Kleibergen-Paap rk Wald F 值为 147.352，排除了弱工具变量的可能性。这在一定程度上表明，本文在采用工具变量考虑可能存在的内生性以后，工业机器人应用对中国民营企业就业有显著负向影响的结论依然成立。

表 2 工具变量回归结果

Table 2 Instrumental variable regression results		
变量	(1)	(2)
	IRA	lnempe
	First-stage	2SLS
IRA		-0.6893*** (0.0820)
IV	1.0947*** (0.0891)	
K-P F-stat		147.3520
控制变量	YES	YES
企业固定效应	YES	YES
年份固定效应	YES	YES
Observations	782223	762635
R-squared	0.7182	0.0730

3.3 稳健性检验

（1）替换被解释变量

除了私营企业之外，个体工商户也是民营经济的重要组成部分，因此，本文使用《中国城市统计年鉴》公布的城镇私营和个体从业人员数来表征民营企业就业人数，对被解释变量进行替换，并加入一系列城市层面的控制变量^①。回归结果如表3列（1）所示。核心解释变量 *IRA* 系数显著为负，结果具有稳健性。

（2）进一步放松生产规模的限制

当工业机器人应用致使企业生产率提高时，可能会促进企业生产规模和产出水平的提升，从而增进对劳动力的需求，产生就业创造效应。因而，本文前文在构建计量模型时对企业生产规模进行了控制。那么，如果放松生产规模限制，机器人应用究竟会对民营企业就业产生怎样的影响呢？基于这一考虑，本文进一步放松对企业生产规模的限制，即删除计量模型中的企业规模（*lnsize*）变量，重新进行回归，结果如表3列（2）所示。估计结果表明，在放松这一限制后，工业机器人对民营企业就业依然具有显著的负向影响。正如上文理论分析部分所言，尽管生产率提高可能新增一部分就业岗位，但由于中国民营企业规模普遍较小，市场占有率有限，因而面对劳动力成本的上升和激烈的市场竞争，依然将采用效率更高的机器人来替换劳动力，整体上表现出替代效应。

（3）工业机器人应用的其他度量

本文拟通过更换工业机器人应用水平的测度方式，将中国工业企业数据与中国海关数据库进行匹配，利用海关数据库中提供的工业机器人进口规模数量作为企业工业机器人应用水平的代理指标，进行稳健性检验。回归估计结果报告于表3第（3）列。结果表明，在更换核心解释变量的度量方法后，*IRA* 系数依然显著为负。

（4）加入多维固定效应

虽然本文已在基准回归模型中加入企业和年份固定效应，但民营企业层面就业水平有可能会受到行业发展及地区政策等不可观测因素的干扰。为了尽可能排除潜在的遗漏变量偏误，本文分别在回归模型中加入“行业—年份”和“省份—年份”固定效应。回归结果如表3列（4）和列（5）所示。从估计结果来看，尽管工业机器人应用的估计系数大小有所变化，但仍然显著为负。

（5）排除其他外生冲击的影响

除了工业机器人应用之外，全球性金融危机的爆发以及2008年1月1日开始实施的《中华人民共和国劳动合同法》也在本文研究的窗口期内。考虑到这些外生冲击亦可能会对民营企业就业产生影响，本文进一步将研究观测区间设置在2009—2015年，重新对计量模型进行回归估计，结果汇报于表3中第（6）列，*IRA* 系数仍显著为负，结果依然具有稳健性。

^① 城市层面控制变量主要包括：（1）产业结构（*structure*）。本文以地区第三产业产值占比来表示产业结构。（2）市场规模（*wholesale*）。本文采用社会消费品零售总额与GDP的比值来衡量各个城市的市场规模。（3）工资水平（*lnperwage*）。本文采用地区在岗职工平均工资的对数来衡量地区工资水平。（4）进出口贸易（*trade*）。本文采用地区进出口贸易总额占GDP的比重来测度。（5）政府干预（*govern*）。本文采用地区政府支出与GDP之比来衡量政府干预规模。与此同时，本文还将国际机器人联合会公布的行业层面工业机器人运行情况分解至城市层面，加权计算各地区每千名劳动者所拥有的机器人变化量。

表 3 稳健性检验

Table 3 Robustness test results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	lnempe	lnempe	lnempe	lnempe	lnempe	lnempe
	替换被解释变量	放松生产规模限制	工业机器人其他度量	行业-年份固定效应	省份-年份固定效应	排除其他外生冲击
<i>IRA</i>	-0.2541*** (0.0667)	-0.4705*** (0.0451)	-0.0100*** (0.0013)	-0.3585*** (0.0503)	-0.2865*** (0.0359)	-0.2443*** (0.0291)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
企业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
行业-年份固定效应	NO	NO	NO	YES	NO	NO
省份-年份固定效应	NO	NO	NO	NO	YES	NO
Observations	3990	559249	287448	772369	772369	480331
<i>R-squared</i>	0.2131	0.2916	0.3958	0.2998	0.2985	0.2712

3.4 机制检验

为了进一步检验工业机器人应用能否通过降低民营企业成本和提高生产率对其就业产生影响, 本文构建如下中介模型, 对上述机制进行检验。

$$mediate_{it} = \alpha + \delta \Delta IRA_{it} + X'_{it} \gamma + \sigma_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, $mediate_{it}$ 为机制变量, 包括成本负担机制变量 ($\ln wage_{it}$) 和生产率机制变量 (TFP_{it}), 而其余变量与前文保持一致。

(1) 成本负担效应检验

工业机器人应用有助于降低民营企业的劳动力成本, 从而激励其以机器换人。本文采用民营企业应付职工薪酬的对数来表征其劳动力成本负担。回归结果如表 4 的列 (1) 所示。从列 (1) 来看, IRA 的估计系数显著为负, 一定程度上表明工业机器人应用显著降低了民营企业的劳动力成本, 进而对其就业产生替代。正如前文所述, 民营企业与市场更为接近, 成本约束性也相对较强, 因而面对劳动力成本的持续上升和工业机器人应用范围的不断扩大, 通过工业机器人实现对劳动力的替代, 有利于节约成本, 从而也降低了民营企业的就业水平。本文的第一条机制得到验证。

(2) 生产率提升效应检验

工业机器人应用有利于提升民营企业的生产率水平, 进而降低其对劳动力的需求, 对就业产生负向影响。本文分别采用 OP 方法和 LP 方法测算民营企业全要素生产率。回归结果如表 4 的列 (2) 和 (3) 所示。从估计结果来看, IRA 的估计系数均显著为正, 一定程度上表明工业机器人应用促进了民营企业生产率的提升。进一步, 本文放松对生产规模的限制, 结果报告于表 4 的列 (4) 和 (5)。可以看出, 放松生产规模限制以后, 工业机器人应用对民营企业生产率依然有显著的正向影响。这些结果也表明, 无论民营企业应用工业机器人促进生产率提高以后, 其生产规模是否会扩大, 均会对其就业产生替代效应。本文第二条机制亦得到验证。

表 4 机制检验结果

Table 4 Mechanism test results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>lnwage</i>	<i>TFP_OP</i>	<i>TFP_LP</i>	<i>TFP_OP</i>	<i>TFP_LP</i>
<i>IRA</i>	-0.0547*** (0.0163)	0.2005*** (0.0298)	0.1137*** (0.0213)	0.2029*** (0.0299)	0.0981*** (0.0203)
<i>lnsize</i>	0.2763*** (0.0027)	-0.0401*** (0.0035)	0.1083*** (0.0034)		
其余控制变量	YES	YES	YES	YES	YES
企业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	753463	499325	510689	504578	517399
R-squared	0.4154	0.0097	0.2982	0.0084	0.2924

3.5 异质性检验

(1) 基于区位特征的异质性检验

从地理区位来看,民营企业所处不同地区在经济实力、发展空间、区位优势等方面存在一定差异,这也可能使得各地区民营企业工业机器人应用水平并不完全一致。因此,本文根据企业经营所在地将样本划分为沿海地区民营企业和内陆地区民营企业两组^①进行回归,结果如表 5 列(1)和列(2)所示。从估计结果来看,两组样本 *IRA* 的估计系数均显著为负,而沿海地区民营企业样本的 *IRA* 估计系数绝对值要大于内陆地区,这也在一定程度上表明工业机器人应用对沿海地区民营企业就业的负向冲击影响更大。相比于内陆地区,中国沿海地区民营企业无论是在资金实力还是市场化水平方面均相对较高,这也使得其更有能力和动力应用机器人来降低成本和提高生产率,实现对劳动力的替代。

(2) 基于企业劳动密集程度的异质性检验

相较而言,劳动密集程度高的民营企业往往工作技术含量较低,操作流程简单,因此更容易实现机器人对劳动力的替代。本文采用企业员工数与总资产的比值来衡量民营企业的劳动密集程度^[27],并以中位数为标准,将样本划分为劳动密集程度较高企业和较低企业。回归结果如表 5 列(3)和列(4)所示。从估计结果来看,两组中 *IRA* 估计系数均显著为负,但劳动密集程度较高民营企业的估计系数绝对值相对更大。这一结果也在一定程度上表明,工业机器人应用对两组民营企业的就业水平均有显著的负向影响,但对劳动密集程度更高民营企业的就业冲击更大。

(3) 基于行业的异质性检验

不同行业民营企业工业机器人普及和应用的程度不同,因而对劳动力就业的冲击也可能存在差异。一般情况下,相比于高技术行业,低技术行业的民营企业往往在生产和经营过程中雇佣了大量从事简单、机械、重复型工作任务的劳动力。进一步地,本文参考国家统计局发布的《高技术产业(制造业)分类(2017)》^②,根据民营企业所属行业类型,将其划分为高技术行业民营企业与低技术行业民营企业进行回归,结果报告于表 5 第(5)和(6)列。从估计结果来看,低技术行业民营企业分组样本中 *IRA* 估计系数的绝对值明显大于高技术行业民营企业,即低技术行业民营企业的劳动力在面临人工智能、机器人等先进技术影响时,更易被其所替代,就业冲击更大。

① 对于沿海地区和内陆地区的划分,本文主要依据中国国家统计局划分的八大经济区域,将北部沿海、东部沿海、南部沿海省份划定为沿海地区,其他省份划定为内陆地区。

② 本分类规定的高技术产业(制造业)是指国民经济行业中 R&D 投入强度相对高的制造业行业,具体包括:医药制造,航空、航天器及设备制造,电子及通信设备制造,计算机及办公设备制造,医疗仪器设备及仪器仪表制造,信息化学品制造等 6 大类。

表 5 异质性检验结果

Table 5 Heterogeneity test results

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
变量	<i>lnempe</i>	<i>lnempe</i>	<i>lnempe</i>	<i>lnempe</i>	<i>lnempe</i>	<i>lnempe</i>
	沿海地区	内陆地区	劳动密集 程度较高	劳动密集 程度较低	高技术 行业	低技术 行业
<i>IRA</i>	-0.3414*** (0.0488)	-0.2354*** (0.0528)	-0.2435*** (0.0382)	-0.1414*** (0.0453)	-0.3191*** (0.0390)	-1.6161*** (0.2280)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES
企业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	583770	188599	417004	355365	261483	504781
<i>R-squared</i>	0.2962	0.2900	0.2222	0.4825	0.3274	0.2782

4 结论与启示

4.1 研究结论

本文基于中国工业企业数据库中的民营企业样本数据,在理论分析工业机器人应用影响民营企业就业的基础上,实证考察了工业机器人应用对中国民营企业就业的影响。研究发现:

(1) 考察期内工业机器人应用对中国民营企业就业具有显著的负向影响,并且在替换被解释变量、放松生产规模限制、更换工业机器人应用度量方式、加入多维固定效应以及排除其他外生冲击的影响等一系列检验之后,结果依然稳健。(2) 机制检验表明,无论是从成本负担角度,还是从生产率提升视角,工业机器人应用对民营企业就业水平均产生了显著的负向影响。(3) 工业机器人应用对沿海地区、劳动密集程度较高以及低技术行业企业的劳动者冲击更为明显,替代效应更强。

4.2 研究贡献

本文的贡献主要体现在:第一,本文系统考察了工业机器人应用对民营企业就业的影响,有利于弥补和丰富工业机器人应用与就业关系的研究文献。第二,本文结合中国制度情境,就民营企业应用机器人的就业效应及机理展开深入研究,为深入理解工业机器人应用与民营企业就业之间的内在联系提供理论支撑。第三,本文还进一步基于企业区位特征、要素密集度以及所属行业等视角进行了异质性分析,更为细致全面地提供了工业机器人应用影响民营企业就业的经验证据,从而为相关部门推进民营企业就业高质量发展提供更具针对性的政策建议。

4.3 政策启示

本文研究结论的政策内涵在于:第一,深刻把握工业机器人应用发展的趋势,不断提升民营企业劳动者对新技术的适应能力。对于劳动者而言,应密切关注所处行业相关技术的发展趋势,主动学习并及时掌握各种知识和技能,增强自身综合素养,提高职业竞争力。对于政府相关部门而言,积极发展职业教育和技能培训体系,加强对劳动者的知识技能培育,不断提升民营企业劳动者的职业技能水平,提高劳动力市场的供需匹配效率,进而促进全社会就业水平的整体提升。第二,根据不同类型民营企业的具体情况,制定针对性强的就业扶持政策,从而有效缓解机器人应用对就业的不利影响。结合不同类型民营企业就业的具体情况,因地制宜地,有针对性地制定促进就业的相关政策,加强对沿海地区、劳动密集程度较高以及低技术行业民营企业员工的引导和扶持力度,以尽可能地降低机器人应用的不利冲击。第三,切实加强和完善社会保障及再就业服务体系建设,为失业人员提供良好的生活保障和再就业服务。机器人应用不可避免地会带来一部分劳动者的失业,这就需要政府相关部门进一

步加强社会保障体系建设,有序扩大社会保障覆盖范围和支持力度,从而有效减轻失业人员的生活压力。当然,从长效机制来看,更为重要的是应进一步加强对失业人员再就业服务体系的建设,充分利用大数据、互联网等现代信息技术,积极搭建更加快捷方便的公共就业服务平台,加强对失业人员的再就业引导与服务,从而切实有效地应用机器人的冲击,提高就业水平。

参考文献:

- [1] 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. Wang Y Q, Dong W. How the rise of robots has affected China's labor market: Evidence from China's listed manufacturing firms[J]. Economic Research Journal, 2020, (10):159-175.
- [2] 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. Li L, Wang X X, Bao Q. The employment effect of robots: mechanism and evidence from China[J]. Management World, 2021, (9):104-119.
- [3] Acemoglu D, Restrepo P. Robots and jobs: Evidence from US labor markets[J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(6):2188-2244.
- [4] Giuntella O, Lu Y, Wang T. How do workers and households adjust to robots? Evidence from China[J]. NBER Working paper, 2020, No.30707.
- [5] 何小钢,刘叩明.机器人、工作任务与就业极化效应——来自中国工业企业的证据[J].数量经济技术经济研究,2023,(4):52-71. He X G, Liu K M. Robots, job tasks and employment polarization effect: Evidence from China's industrial enterprises[J]. The Journal of Quantitative and Technical Economics, 2023, (4):52-71.
- [6] 梁莱歆,冯延超.民营企业政治关联、雇员规模与薪酬成本[J].中国工业经济,2010,(10):127-137. Liang L X, Feng Y C. Political connection of private firm, number of employees and labor cost[J]. China Industrial Economy, 2010, (10):127-137.
- [7] Song Z, Storesletten K, Zilibotti F. Growing like China[J]. American Economic Review, 2011, 101(1):196-233.
- [8] 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.
- [9] Autor D H. Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation[J]. Journal of Economic Perspectives, 2015, 29(3):3-30.
- [10] Berg A, Buffie E, Zanna L F. Should we fear the robot revolution?(The correct answer is Yes)[J]. Journal of Monetary Economics, 2018, 97(8):117-148.
- [11] Dauth W, Findeisen S, Suedekum J, Woessner N. The adjustment of labor markets to robots[J]. Journal of the European Economic Association, 2021, 19(6):3104-3153.
- [12] Graetz G, Michaels G. Robots at work[J]. The Review of Economics and Statistics, 2018, 100(5):753-768.
- [13] 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. Yang G, Hou Y. The usage of industry robots, technology upgrade and economic growth[J]. China Industrial Economy, 2020, (10):138-156.
- [14] 陈东,秦子洋.人工智能与包容性增长——来自全球工业机器人使用的证据[J].经济研究,2022,(4):85-102. Chen D, Qin Z Y. Artificial intelligence and inclusive growth: Evidence from international robot data[J]. Economic Research Journal, 2022, (4):85-102.
- [15] 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. Lü Y, Gu W, Bao Q. Artificial intelligence and Chinese enterprises' participate in global value chains[J]. China Industrial Economy, 2020, (5):80-98.
- [16] 陈媛媛,张竞,周亚虹.工业机器人与劳动力的空间配置[J].经济研究,2022,(1):172-188. Chen Y Y,

- Zhang J, Zhou Y H. Industrial Robots and Spatial Allocation of Labor[J]. Economic Research Journal, 2022, (1):172-188.
- [17] Goldfarb A, Trefler D. AI and international trade[J]. NBER Working Paper, 2018, No.24254.
- [18] 毛其淋, 石步超. 工业机器人如何影响企业出口模式[J]. 国际贸易问题, 2022, (12):38-53. Mao Q L, Shi B C. How do industrial robots affect enterprises' export mode[J]. Journal of International Trade, 2022, (12):38-53.
- [19] 程虹, 陈文津, 李唐. 机器人在中国: 现状、未来与影响——来自中国企业-劳动力匹配调查(CEES)的经验证据[J]. 宏观质量研究, 2018, 6(3):1-21. Cheng H, Chen W J, Li T. Robots in China: Status, future and impact--empirical evidence from the China employer-employee survey(CEES)[J]. Journal of Macro-quality Research, 2018, 6(3):1-21.
- [20] 李磊, 马欢, 徐刚. 最低工资、机器人使用与企业退出[J]. 世界经济, 2023, (1):121-145. Li L, Ma H, Xu G. Minimum wage, industrial robots and corporate exit[J]. The Journal of World Economy, 2023, (1):121-145.
- [21] 王永钦, 董雯. 人机之间: 机器人兴起对中国劳动者收入的影响[J]. 世界经济, 2023, (7):88-115. Wang Y Q, Dong W. Of machines and men: How the rise of robots affects China's labor income[J]. The Journal of World Economy, 2023, (7):88-115.
- [22] 汪前元, 魏守道, 金山, 陈辉. 工业智能化的就业效应研究——基于劳动者技能和性别空间计量分析[J]. 管理世界, 2022, 38(10):110-126. Wang Q Y, Wei S D, Jin S, Chen H. A research on the effect of industrial intelligence on employment: Based on spatial econometric analysis of laborers' skills and genders[J]. Management World, 2022, 38(10):110-126.
- [23] 孙早, 侯玉琳. 工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J]. 中国工业经济, 2019, (5):61-79. Sun Z, Hou Y L. How does industrial intelligence reshape the employment structure of Chinese labor force[J]. China Industrial Economy, 2019, (5):61-79.
- [24] Vergeer R, Kleinknecht A. Jobs versus Productivity? The causal link from wages to labor productivity growth[J]. TU Delft Innovation Systems Discussion Papers, 2007, IS,1.
- [25] Acemoglu D, Restrepo P. Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor[J]. Journal of Political Economy, 2019, 33(2):3-30.
- [26] 沈灏. 转型经济环境下社会资本和组织学习对企业战略变化的影响——基于国有企业和民营企业的对比分析[J]. 经济管理, 2017, 39 (6): 69-85. Shen H. The effects of social capital and organizational learning on strategic change speed under dynamic environments: A comparative analysis between SOEs and private firms[J]. Business Management Journal, 2017, 39 (6): 69-85.
- [27] 施新政, 高文静, 陆瑶, 李蒙蒙. 资本市场配置效率与劳动收入份额——来自股权分置改革的证据[J]. 经济研究, 2019, 54(12):21-37. Shi X Z, Gao W J, Lu Y, Li M M. Efficient resource allocation and labor income share: Evidence from the split-share structure reform[J]. Economic Research Journal, 2019, 54(12):21-37.

Research on the impact of industrial robots on employment in private enterprises

BAI Jun-hong, DING Sheng-yi

(School of Business, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: With the rapid development and application of industrial robots, its impact on employment in private enterprises deserves attention. China operates as a socialist market economy where public ownership predominates alongside the coexistence of multiple forms of ownership. Compared to state-owned enterprises and other public-sector entities, private enterprises are numerous, possess more flexible mechanisms, and are more market-oriented. In particular, when

confronting the impact of industrial robot applications on employment and people's lives, private enterprises are not burdened with additional policy mandates. They may directly assess the cost-benefit ratio of automation based on market dynamics, thereby making informed decisions to better adapt to market developments. Therefore, at the present stage, in the face of complex domestic and international economic conditions, conducting an in-depth examination of the impact of robotics applications on employment within private enterprises is important. This will objectively reflect the current market-driven challenges posed by robotics adoption in China, thereby accelerating the formation of production relations compatible with new-quality productive forces. Furthermore, it will also facilitate the scientific formulation of relevant government policies aimed at keeping employment and safeguarding people's lives.

This paper employs sample data from private enterprises within China's industrial enterprise database. By constructing Bartik variables, it decomposes the operational volume of industrial robots at the sector level in China—as published by the International Federation of Robotics (IFR)—down to the enterprise level. Building upon theoretical analysis of how industrial robot applications impact employment in private enterprises, it empirically examines the effect of robot applications on employment within private enterprises. This paper finds that the application of industrial robots during the observation period exerts a significant negative impact on employment within private enterprises. This result remains robust after conducting a series of tests, including replacing the dependent variable, relaxing production scale restrictions, altering the measurement method for industrial robot application, incorporating multidimensional fixed effects, and controlling for other exogenous shocks. The mechanism test shows that industrial robot applications have a significant impact on employment in private enterprises by reducing their labor costs and increasing their productivity. Heterogeneity tests conducted based on firm location characteristics, labour intensity, and worker skill structures reveal that the impact of industrial robot adoption is more pronounced in coastal regions, among labour-intensive enterprises, and for workers with lower skill levels, where substitution effects are stronger. This paper further examines heterogeneity across firm location characteristics, labour intensity levels, and worker skill structures. The study finds that the substitution effect of robot application on private enterprise employment is more obvious in coastal areas, more labor-intensive, low-tech industry enterprises, and workers with lower skill levels.

The findings of this study have significant policy implication. With the development of the times and technological progress, the application of industrial robots to enhance enterprise production operations has become an irreversible trend. However, while the adoption of new technologies such as industrial robots reduces corporate costs and enhances production precision and efficiency, it also exerts a profound impact on the employment market. This necessitates that relevant government departments assess the situation carefully, recognizing the potential impact of industrial robot applications on the labour market while encouraging its adoption. They must establish robust employment services and social security systems to enhance workers' skills and strengthen their protection, thereby effectively addressing the implications of robotics.

Key words: industrial robots; private enterprises; employment