

机器人应用对劳动参与的影响： 机制与经验证据^{*}

汪伟¹ 王建楠² 魏下海³ 吴梦萱⁴

摘 要 基于中国劳动力动态调查2012年、2014年和2016年数据,结合城市层面的机器人安装密度数据,本文考察了机器人应用对个体劳动参与决策的影响。实证结果表明:(1)机器人应用每上升10%,个体的劳动参与率显著增加2.31%,且该结论在经过一系列检验后依然保持稳健。(2)机制分析显示,机器人应用有利于增加就业、促进技能提升与匹配、改善工作状况、优化劳动者状态,进而提高个体劳动参与。(3)异质性分析显示,不同群体受机器人应用的影响存在差异,其对女性、中青年、健康群体以及低技能和高技能个体的劳动参与促进作用更为显著。基于此,本文认为中国可以通过推动机器人应用的发展来释放潜在劳动力,缓解因人口老龄化和少子化所造成的劳动力短缺;同时,政府也需要事先防范机器人应用可能引发的劳动参与不平等問題,促进劳动力市场的公平健康发展。

关键词 机器人应用;劳动参与;劳动力供给

0 引言

劳动力是最富有产出的生产要素,从长期来看一个国家的总体福祉主要取决于该国人民从事工作的意愿(Ehrenberg and Smith, 2018)。然而,我国目前却面临着劳动参与率不断下滑的问题。根据国际劳工组织测算的结果显示,中国15~64岁年龄人口劳动参与率由2000年的82.1%下滑至2022年的75.9%,20年减少了约6.2个百分点,损失了接

^{*} 本研究受国家社科基金重大项目“全面实施供给侧结构性改革研究”(22ZDA049)、国家社科基金项目“人口老龄化的收入不平等效应及对策研究”(23VRC052)、福建省社会科学基金重点项目“人工智能对福建劳动力市场的重塑机制与包容性就业政策研究”(FJ2026A005)、上海高校东方学者特聘教授支持计划(2023140001)、中央高校基本科研业务费项目(2024110355, 2023110395, 2023110310, CXJJ-2024-351, CXJJ-2024-359)、上海财经大学校立科研项目“中国人口与经济高质量协调发展研究”(2025110511)的资助。感谢匿名审稿专家的建设性修改意见,文责自负。

1 汪伟,上海财经大学公共管理学院、中国式现代化研究院教授, E-mail: wangwei_5533@126.com。

2 王建楠,上海财经大学公共管理学院博士研究生, E-mail: jnwang@stu.sufe.edu.cn。

3 魏下海,华侨大学经济与金融学院教授, E-mail: xiahaiwei2005@126.com。

4 吴梦萱(通信作者),上海财经大学公共管理学院博士研究生, E-mail: wumengxuan233@163.com。

近6000万名劳动力供给^①。这其中一方面是由于我国法定退休年龄偏低,存在老年劳动参与率较低的问题(汪伟和王文鹏,2021);另一方面是与近几十年来中国15~64岁女性劳动参与率的不断下降有关,从1990年的79.39%下降到2019年的68.57%(梁建章等,2023)。与此同时,我国还面临着严峻的人口老龄化与少子化挑战。2022年我国65岁及以上人口占比达14.9%,已进入深度人口老龄化时代,并且出生人口数量也在不断下降,2022年我国人口出生率首次跌破7‰,人口自然增长率由正转负,未来劳动力供给规模呈现萎缩的趋势。劳动力供给的下降加上已有的人力资源得不到充分利用,无疑会加剧劳动力供需失衡。此外,大量适龄劳动力“躺平”,不仅会降低人民的幸福感和获得感,还有可能危害社会的长治久安。因此,探究如何提升个体劳动参与,释放大量潜在的劳动力具有重要的现实意义。

在劳动力供给下降的同时,机器人在企业中的应用也日益普及。自2008年以来,中国机器人使用覆盖率呈持续上升态势,截至2017年已经超过10%,年均增长率超过20%(程虹等,2018)。目前,中国工业机器人安装量继续保持高速增长,根据国际机器人联合会(International Federation of Robotics, IFR)报告,2022年全世界工业机器人安装量为55万台,其中中国的安装量高达29万台,占比超50%。同时,工信部统计数据显示,2021年我国工业机器人应用覆盖国民经济60个大类、168个行业中类,连续9年成为全球最大的工业机器人应用国^②。机器人的大规模应用有助于推动我国产业转型升级,提升经济发展质量,但同时也会对劳动力市场产生巨大的影响。面对社会经济的新形势,习近平总书记指出:“新一轮科技革命和产业变革有力推动了经济发展,也对就业和收入分配带来深刻影响,包括一些负面影响,需要有效应对和解决。”那么在这种情形下,机器人应用会对劳动参与产生何种影响?是人机协同提升劳动参与,起到锦上添花的作用,还是机器换人降低劳动参与,造成零和博弈的困境?厘清两者之间的关系,有利于防范新兴技术对劳动力市场造成的负面影响,起到稳民生、保就业的重要作用。

事实上,技术进步会对劳动力市场产生巨大的影响,经济学家很早就注意到了这点。20世纪初,Keynes(1931)在探讨经济发展和就业问题时就提出了技术进步可能导致“技术性失业”的观点。随着机器人浪潮的兴起,技术对劳动力市场的影响愈加显著。目前已有不少学者围绕机器人应用的后果产出了一系列研究成果。一方面,部分文献认为机器人应用主要体现的是“替代效应”,会将个体挤出劳动力市场(David, 2017; Frey and Osborne, 2017; Acemoglu and Restrepo, 2020; 王永钦和董雯, 2020; 闫雪凌等, 2020; Giuntella et al., 2022)。另一方面,也有研究发现机器人应用在破坏现有劳动力市场秩序的同时,能够推动经济的增长,并创造大量新的就业机会,体现了熊彼特的创造性破坏效应(Schumpeter, 2017; Trajtenberg, 2018; Acemoglu and Restrepo, 2020; 魏下海等, 2020)。还有学者认为机器人应用对劳动者的影响与其自身属性有关,包括性别、年龄、技能水平、

① 根据国家统计局最新数据,2022年中国劳动年龄人口(15~64岁)为96289万人,劳动参与率下降6.2%会导致劳动年龄人口供给减少 $96289 \times 6.2\% = 5969.918$ 万,约6000万人。

② 我国机器人产业迈向中高端(科技视点)-人民日报(<https://gxt.hebei.gov.cn/hbgyhxxht/xwzx32/snxw40/938070/index.html>)。

工作性质等(David, 2017; 魏下海等, 2020)。

总的来看,无论是发达国家还是发展中国家相关的文献,有关机器人应用对就业的影响目前尚未达成一致,并且缺乏对个体劳动力市场进出决策,即劳动参与的关注。基于此,本文利用2012—2016年中国劳动力动态调查数据,结合机器人安装密度在不同年份不同城市间的差异以及城市层面的宏观数据,考察了机器人应用对个体劳动参与的影响,有力地补充了现有文献。本文基于多维固定效应模型的回归结果显示:(1)机器人应用的扩张显著提升了个体的劳动参与率,机器人应用每上升10%,个体的劳动参与率显著增加2.31%,相当于均值的3.06%。(2)机制分析表明,机器人应用对劳动参与的积极影响主要来源于其对就业、技能提升与匹配、工作状况以及劳动者状态的正面效果。(3)机器人应用对劳动参与的影响存在异质性,正向促进作用主要存在于女性、中青年、健康状况佳以及技能水平为低和高的群体中。

与以往研究相比,本文的边际贡献主要体现在三个方面:第一,就业规模取决于劳动需求和供给双方的决策,但现有文献主要基于就业数量考察机器人应用对就业的影响。机器人应用的扩张不仅会影响就业,还会导致年龄偏大、教育水平偏低的劳动者因长期找不到工作而丧失信心退出劳动力市场,并进一步引发隐蔽性失业问题。在这种情况下,忽略机器人应用对个体劳动市场参与决策的作用,会严重低估其影响。本文将研究问题聚焦于劳动参与,深入探究机器人应用对个体劳动市场参与决策的影响,能够有效地补充相关研究。第二,现有研究大多基于国家、城市或是企业层面探究机器人应用的影响后果,缺乏对劳动者层面的关注。本文基于微观个体视角,从就业与收入、技能提升与匹配、工作状况、劳动者状态等多个维度探讨了机器人应用影响其劳动参与的内在逻辑。多种渠道的综合分析有助于全面理解机器人应用对个体劳动参与的影响机制。第三,论文详细探讨机器人应用对不同群体劳动参与影响的异质性,在人机共存时代为更好地促进个体的劳动参与,预防就业机会不平等提供了有益的政策启示。

本文的结构安排如下:第1节是文献综述与理论分析;第2节是机器人应用对劳动参与影响的研究设计;第3节是实证分析,包括基准回归结果、内生性控制和其他稳健性检验;第4节探讨了机器人应用对劳动参与的影响机制和异质性;第5节是结论与政策建议。

1 文献综述与理论分析

劳动参与关系着一个国家劳动力供给的规模,有着极其重要的地位,众多学者围绕着该主题产出了一系列的研究成果。从研究层次来看,现有关于劳动参与影响因素的研究可以分为宏观和微观两个层面。宏观层面主要集中在税收、房价、最低工资等方面。其中,个税免征额有助于促进中低收入群体的劳动参与(毛畅果和徐东烁,2024),最低工资政策能够提升女性和城镇老年人的劳动供给(颜迪等,2023),而房价上涨会引发居民劳动参与率下降(冯苑,2020)。微观层面的研究则关注于家庭资产、人口特征等因素的影响。其中,家庭资产方面,财富的增加会对个体的劳动参与产生显著的抑制作用(胡元瑞等,2021;宁光杰和刘会欣,2022;余家林等,2022)。人口特征方面,生育子女数量的增加会显著降低城镇已婚女性的劳动供给(张川川,2011),而低收入适龄未婚儿子的存在会增加父

母的劳动参与(李琴等,2023)。

从研究群体来看,基于女性和老年个体劳动参与率较低的现实情况,不少学者对此展开了相关研究。具体地,由于中国男主外女主内的分工模式,母职惩罚和家庭照料等女性相关的研究主题一直备受关注。其中,母职惩罚方面,已有不少文献指出生育会显著降低女性的劳动参与(鄢伟波和安磊,2021;杨凡和何雨辰,2022;王美艳,2023),并且这一情况随着子女数量的增多而愈加严重(胡荣和谷婧,2023)。而托育服务社会化(曲玥等,2022)、男性育儿参与(王希茜和何宗樾,2022)则被证明是提升女性劳动参与的有效方式。家庭照料方面,除儿童照料外,家庭老年照料与女性劳动参与之间存在替代效应,为父母提供照料帮助的女性的劳动参与率将会显著降低(范红丽和陈璐,2015)。对应地,长护险在一定程度上能促进女性劳动供给的提升(于新亮等,2021)。其他方面,性别身份认同(方颖等,2021)、宗族文化(程佳朦,2021)和宗教信仰(阮荣平和刘力,2021)也被证明会对女性劳动市场参与决策产生显著的影响。此外,针对中老年群体的研究,现有文献主要关注养老金、隔代照料和退休决策等因素的影响。研究发现,养老金水平对中国低龄老年人劳动参与率和劳动参与时间均会产生显著的负向影响(赵明等,2022),降低养老保险费率有利于促进延迟退休,增加社会老年劳动供给(汪伟和王文鹏,2021)。隔代照料会降低老年人的劳动供给(王建英等,2021;赵建国和王净净,2021;孙玉环等,2022)。退休会对个体劳动参与产生显著的负面影响,在办理退休手续后,养老保险参保女性的劳动参与率会下降40%,男性劳动参与率会下降47%(封进和韩旭,2017)。

这些研究为理解个体的劳动参与决策提供了有益的信息。然而截至目前,现有文献大多忽视了机器人应用对劳动参与的影响,相关的分析集中在人力资本投资(刘甲楠和邢春冰,2024)、岗位转换(王林辉等,2023)、就业选址(魏下海等,2020;陈媛媛等,2022)等领域。尽管这些研究并未全面讨论机器人应用对个体劳动力市场进出决策的影响及其作用机制,但两者的关系已经初现端倪。理论上而言,机器人有着重塑劳动力市场的作用,对需求和供给两方面都会产生冲击,进而影响个体的劳动参与决策。

从劳动力需求的角度来看,一方面,机器人应用有助于促进经济的增长(杨光和侯钰,2020),通过扩大生产创造更多的就业机会,提高个体参与劳动的概率。例如,李磊等(2021)基于中国微观企业数据检验机器人使用对中国工业企业就业的影响的研究发现,企业的劳动力需求会因机器人使用显著上升。王晓娟等(2022)的研究也表明,虽然短期工业机器人应用对制造业就业数量存在负向冲击,但长期更多地表现为创造效应。另一方面,机器人也会产生替代效应,降低对劳动力的需求,阻碍个体进入劳动力市场。例如,Acemoglu and Restrepo(2020)的研究发现,就业率会随人均机器人的安装量下降。孔高文等(2020)的研究表明机器人应用规模扩大会显著降低本地未来一年的劳动力就业水平。王永钦和董雯(2020)的实证结果也显示,机器人应用对企业的劳动力需求产生一定的替代效应。周广肃等(2021)的研究发现,智能化对中国劳动就业产生了明显的替代作用,减少了就业人数的增长。王林辉等(2023)的分析认为,中国19.05%的劳动就业面临高替代风险。

从劳动力供给的角度来看,一方面,机器人应用会通过影响工作机会,对个体的劳动力供给决策产生作用。根据工作搜寻理论,当机器人应用主要体现为创造效应时,搜寻工作边际成本的降低有利于个体快速发现就业岗位和机会,进而促进其劳动供给的增加,反

之则会阻碍其进入劳动力市场。另一方面,补偿性工资差异表明工作岗位的特征会影响劳动者的决策(Smith,2010)。因此,机器人应用对工作条件的作用也会导致个体的劳动参与概率发生变化。在这方面,一部分研究表明机器人应用会削弱工人的劳动控制权(Braverman,1998)、对技能造成毁灭性破坏(Noble,2017)、降低劳动关系稳定性(许怡和叶欣,2020)、导致工人过度劳动(Wei et al.,2024)、加剧药物滥用(Venkataramani and O'Brien,2020)、损害心理健康(Abeliansky et al.,2024),致使工作条件恶化,降低个体劳动参与意愿甚至迫使其从劳动市场退出。但也有研究发现,机器人应用可以减少工伤(Gihleb et al.,2022;Liu et al.,2024)、替代人工完成危险任务(Ishida et al.,2006)、减轻工人的体力负担(Gunadi and Ryu,2021),改善工作条件,吸引个体进入劳动力市场并抑制其退出。因此,机器人应用对劳动力供给影响的方向并不确定。

总的来看,现有文献在讨论劳动力市场参与决策时,缺乏对机器人应用的关注。同时,理论分析显示,机器人应用对个体劳动参与具有双重影响,具体方向仍有待于实证检验。鉴于此,本文将中国劳动力动态调查数据(CLDS)、IFR 机器人数据和宏观层面地级市数据有机结合,实证考察机器人应用对个体劳动参与决策的作用,从多个维度揭示其影响机制,并深入探讨其影响的异质性,有力地拓展了文献的边际。

2 机器人应用对劳动参与影响的研究设计

2.1 模型设定

本文试图探究机器人应用是否会影响个体的劳动参与决策,因此设立以下基准回归模型进行实证检验

$$\text{Par}_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \text{Install}_{jt-1} + \delta X_{it} + \eta X_{jt-1} + \varphi_j + \gamma_t + \varphi_j \times t + \epsilon_{ijt} \quad (1)$$

在模型中, i 代表个体, j 代表城市, t 代表年份。其中 Par_{ijt} 为被解释变量,表示 j 城市的个体 i 在第 t 年是否参与到劳动力市场中,是则为1,否则为0; Install_{jt-1} 代表测算的 j 城市滞后一期的机器人应用; X_{it} 为个体层面一系列控制变量的合集; X_{jt-1} 为滞后一期的城市层面一系列控制变量的合集; φ_j 为城市固定效应、 γ_t 为年份固定效应、 $\varphi_j \times t$ 为城市随年份变化的线性趋势、 ϵ_{ijt} 表示随机扰动项。

2.2 数据来源

本文微观个体的数据来源于2012年、2014年和2016年中国劳动力动态调查数据(China Labor-force Dynamic Survey,CLDS)。该调查由中山大学主持,对全国覆盖全面并且样本量充足,内容权威可靠,具有代表性。机器人的数据来源于IFR,城市层面的数据来源于历年的《中国城市统计年鉴》。

2.3 变量设计

本文主要研究个体的劳动参与,因此将筛选年龄设定在16~65岁。对于核心被解释变量劳动参与的界定,参照马双等(2017)的研究,将以下类型的个体定义为参与劳动力市

场:一是有工作;二是目前失业但正在寻找工作。对于核心解释变量城市层面的机器人应用,由于 IFR 数据中只有全国层面各行业的机器人安装量,无法直接获取城市层面机器人安装数据。因此,参照魏下海等(2020)的研究,将 IFR 数据集与第二次全国经济普查工业企业数据结合,通过 Bartik 工具变量法计算各个城市的机器人应用情况,这是既有文献的常用做法(魏下海等,2020;Acemoglu and Restrepo, 2020; Goldsmith-Pinkham et al., 2020;陈媛媛等,2022)。

控制变量方面,本文主要考虑了个人和城市两个层面的变量。其中,个人层面,主要将一些影响个人劳动供给决策的变量纳入到回归中,包括年龄、年龄的平方、性别、政治面貌、健康状况、受教育程度等(马双等,2017;冯苑,2020;胡元瑞等,2021;李楠和何雄,2023;唐婧,2023;颜迪等,2023)。城市层面,参考现有的研究(钱圆圆等,2023;王林辉等,2023),选取同时影响机器人应用与地区就业的控制变量,以解决可能存在的遗漏变量问题。具体包括地区的经济发展水平,用取对数城市 GDP 来表示;人口规模,用取对数城市年平均人口来表示;产业结构,用第三产业规模/第二产业规模来表示;财政规模,用政府财政支出/GDP 表示。其中,GDP 以 2000 年为基期进行平减。

为了避免异常值的干扰,本文还对数据做了以下处理,剔除各变量缺失或为负值、回答存在自相矛盾^①等存在异常的样本。在经过筛选后得到约 4.4 万个观测值,具体各变量的描述性统计见表 1。

表 1 描述统计表

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
劳动参与	43961	0.754	0.431	0	1
机器人应用(台/百万人,取对数)	43961	5.521	0.892	2.485	7.742
年龄	43961	43.239	13.350	16	65
年龄二次项(年龄 ² /100)	43961	20.479	11.119	2.560	42.250
男性	43961	0.487	0.500	0	1
中共党员	43961	0.082	0.275	0	1
农村户口	43961	0.705	0.456	0	1
健康状况	43961	3.676	0.976	1	5
受教育年限	43961	8.872	4.026	0	23
城市 GDP(取对数)	43961	16.351	0.999	14.005	18.580
人口规模(取对数)	43961	6.117	0.607	4.579	8.107
产业结构(三产规模/二产规模)	43961	0.912	0.399	0.274	3.294
财政规模(政府财政支出/GDP)	43961	0.178	0.104	0.059	0.649

数据来源:IFR、CLDS、《中国城市统计年鉴》。

3 机器人应用对劳动参与影响的实证分析

3.1 基准回归结果

表 2 报告了基准回归的结果,其中列(1)~(4)采用 OLS 的估计方法。由于被解释变

^① 有部分无工作群体回答自己有寻找工作,但在具体询问做了哪些与找工作相关的事时又回答什么都没做,存在自相矛盾。

量为是否参与劳动力市场的二值虚拟变量,在列(5)采用 Probit 方法进行估计来对照。从列(1)~(5)的结果可知,机器人应用的估计系数在 1%的水平上显著为正,说明机器人应用能够对个体劳动参与产生积极影响。

表 2 基准回归结果(被解释变量:劳动参与)

	OLS				Probit
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
机器人应用	0.113 *** (0.039)	0.118 *** (0.036)	0.135 *** (0.037)	0.231 *** (0.078)	0.241 *** (0.079)
年龄		0.073 *** (0.002)	0.073 *** (0.002)	0.073 *** (0.002)	0.062 *** (0.001)
年龄二次项		-0.089 *** (0.003)	-0.089 *** (0.003)	-0.089 *** (0.003)	-0.076 *** (0.002)
男性		0.153 *** (0.008)	0.153 *** (0.008)	0.153 *** (0.008)	0.156 *** (0.006)
中共党员		0.051 *** (0.008)	0.051 *** (0.008)	0.051 *** (0.008)	0.058 *** (0.009)
农村户口		0.109 *** (0.010)	0.109 *** (0.010)	0.108 *** (0.010)	0.096 *** (0.010)
健康状况		0.030 *** (0.003)	0.030 *** (0.003)	0.031 *** (0.003)	0.032 *** (0.003)
受教育年限		0.008 *** (0.001)	0.008 *** (0.001)	0.008 *** (0.001)	0.006 *** (0.001)
城市 GDP			0.137 (0.102)	0.217 (0.240)	0.229 (0.232)
人口规模			-0.062 (0.167)	0.105 (0.335)	0.143 (0.344)
产业结构			-0.057 * (0.034)	-0.018 (0.102)	-0.059 (0.099)
财政规模			-0.215 (0.210)	-0.510 (0.470)	-0.462 (0.435)
年份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
城市线性时间趋势	NO	NO	NO	Yes	Yes
N	43961	43961	43961	43961	43907
R ²	0.045	0.228	0.228	0.237	

注:Yes 表示控制相应的特征变量。Probit 报告的为平均边际效应的结果。***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著,括号内为聚类到城市层面的标准误。

控制变量方面,基准回归的结果为我们理解个体劳动参与的影响因素也提供了一些信息。年龄方面,与李楠和何雄(2023)的研究一致,个体的劳动参与会随着年龄的提升而显著增加,同时呈现倒 U 型。性别方面,在控制其他条件不变的情况下,男性的劳动参与

要显著高于女性,这也与现实情况相吻合。政治面貌方面,党员身份能够显著提升个体的劳动参与。户籍方面,农村居民的劳动参与率要高于城市居民,这也与现有文献一致(王临风等,2018)。同时,与直觉一致,健康状况越好的个体劳动参与率越高。此外,受教育年限越高的个体参与到劳动力市场的概率也越高。另外,城市层面一些特征变量方面,城市 GDP、人口规模、产业结构和财政规模的回归系数均不显著。

3.2 内生性控制

地区的机器人引入可能与当地的经济状况有关,因而机器人应用对劳动参与的提升作用反映的可能是当地经济增长对就业的影响。在这种情况下,OLS 估计可能是有偏的,即存在潜在的内生性问题,因此本文通过构建工具变量进行估计。关于城市机器人应用的工具变量构造,借鉴 Acemoglu and Restrepo(2020)的方法,以机器人进口来源国对中国各城市的机器人覆盖度作为工具变量。这样做的理由在于,目前我国工业系统所使用的机器人有相当高的比例依赖进口,进口来源国主要是美国、日本、德国、瑞典、韩国。从理论上讲,这五个国家对中国的机器人出口会直接影响到中国的机器人应用,从而满足工具变量的相关性条件。而进口来源国机器人应用不会直接影响个体的劳动参与决策,也就满足了工具变量的外生性条件。

表 3 展示了采用工具变量估计的结果。从列(1)可知,选取的工具变量与机器人应用相关性较强,在 1%的统计性水平上显著。列(2)展示了第二阶段的回归结果,可以发现机器人应用对个体的劳动参与具有显著的正向影响。由于被解释变量劳动参与为二值虚拟变量,因此本文进一步利用 Probit 模型并结合工具变量估计验证结果的稳健性。根据列(3)的估计结果可知,机器人应用能够显著提升个体的劳动参与概率,证实了基准回归结论的稳健性,本文提供了确凿的经验证据。

表 3 工具变量检验(被解释变量:劳动参与)

	(1)	(2)	(3)
	First-stage	Second-stage(OLS)	Second-stage(Probit)
工具变量	0.221 *** (0.031)		
机器人应用		0.235 * (0.130)	0.245 * (0.524)
控制变量	Yes	Yes	Yes
不可识别检验		16.753	
P 值		0.000	
N	43961	43961	43907
R ²		0.193	

注:采用与基准回归同样的控制变量,Yes 表示控制相应的特征变量。P 值对应的为不可识别检验的结果。IV-Probit 报告的为平均边际效应的结果。***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著,括号内为聚类到城市层面的标准误。

3.3 其他稳健性检验

3.3.1 替换核心解释变量

由于采用 Bartik 工具变量测算的机器人应用会将初始行业份额相同的地区视作具有相同冲击,这样构造的变量可能会存在测量误差问题(Aghion et al.,2023)。因此,本文利用中国海关进出口的数据对机器人应用重新测度,以此来做进一步的稳健性检验。具体地,参考 Acemoglu and Restrepo(2022)和樊海潮等(2024)的研究,首先将 HS8 位码为 84795010(多功能工业机器人)和 84795090(机器人、末端操纵装置以及其他工业机器人)的产品标记为机器人。其次,基于高德地图地理编码接口,根据海关数据中企业的地址或名称对经纬度进行解析来判断其所处于的行政区划。最后,在地级市—年份层面上对金额进行汇总并以 2000 年为基期进行平减,然后除以年平均人口数量作为机器人应用的测度指标。表 4 为替换核心解释变量的回归结果。其中,列(1)为+1 取对数后的结果。同时,为避免+1 取对数可能改变数据分布的问题(Chen and Roth,2024),论文在列(2)展示了未取对数直接回归的结果。可以看到在考虑了潜在的测量误差后,机器人应用依然显著提升了个体的劳动参与。

表 4 替换核心解释变量

	(1)	(2)
	+1 取对数	未取对数
机器人应用	0.083*** (0.006)	0.026** (0.014)
控制变量	Yes	Yes
N	43961	43961
R ²	0.237	0.237

注:采用与基准回归同样的控制变量,Yes 表示控制相应的特征变量。***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著,括号内为聚类到城市层面的标准误。

3.3.2 对样本进行更严格的限定

为确保文章结论的稳健性,本文还进行了一系列的稳健性检验。首先,对劳动参与的条件做进一步限定,要求个体不仅在没有工作后找过工作,还需要在上周有工作机会可以开始工作,以确保个体报告的劳动参与意愿更加真实可信。因此,将上周有工作机会但不能开始工作的劳动参与重设为 0 进行稳健性检验。从表 5 列(1)的结果可以看到,采用更严格的标准限定劳动参与并不会影响结果的可信性。其次,16~24 岁部分个体有较大的概率处于受教育阶段,同时考虑到中国女性职工 50 岁、女干部 55 岁和男性 60 岁退休年龄的设置,因此剔除这两类劳动参与概率不高的样本进行稳健性检验,从列(2)的结果可以看到,实证结论依然没有改变。

此外,由于丧失劳动能力的个体可能无法选择是否参与劳动市场,因此参照马双等(2017)的研究,将没有工作且没有找工作的主要原因为“受自身健康状况的限制”的个体剔除来进行稳健性检验,从列(3)的结果可以看到,回归结论没有改变。另外,由于在 2012—2016 年间中国机器人的应用主要集中在制造业(见图 1),为确保分析结果的稳健

表 5 稳健性检验(被解释变量:劳动参与)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
机器人应用	0.236 *** (0.079)	0.168 ** (0.076)	0.215 *** (0.074)	0.201 * (0.102)	0.226 *** (0.084)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	43961	31921	41481	14851	40034
R ²	0.239	0.149	0.231	0.430	0.239

注:采用与基准回归同样的控制变量,Yes 表示控制相应的特征变量。***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著,括号内为聚类到城市层面的标准误。

性,本文将受机器人应用影响较小的行业剔除,重新进行实证检验。表 5 中列(4)的结果显示,机器人对劳动参与的影响显著为正,结论依然保持一致。

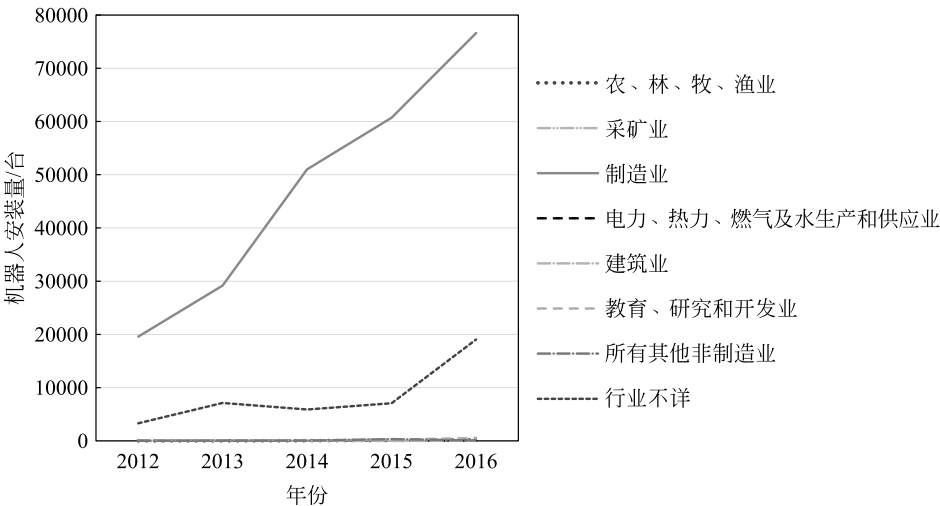


图 1 2012—2016 年 IFR 分行业机器人安装量

最后,流动人口也是需要关注的群体。虽然存在机器人应用提升流动人口劳动参与的可能,但也有研究表明机器人应用会影响流动人口就业选址(魏下海等,2020;陈媛媛等,2022)。在第二种情况下,估计系数反映的是机器人应用对不同劳动参与意愿个体吸引或排斥的作用,而并非对个体劳动市场参与决策的影响。这将会干扰识别结果的准确性,因此将这部分群体剔除并进行稳健性检验。表 5 列(5)的回归结果显示,在处理后,机器人应用每上升 10%,个体参与劳动力市场的概率将增加 2.26%,并在 1% 的水平下显著,与原有结论基本一致。总体来看,随着机器人应用的增加,个体参与劳动力市场的概率会上升。

4 机器人应用对劳动参与影响的进一步分析

4.1 影响机制分析

借助中国劳动力动态调查数据中有关劳动者的丰富内容,本文得以从多个维度分析机器人应用对个体劳动参与的影响,深入探讨其作用机制,具体包括就业与收入、技能提

升与匹配、工作状况和劳动者状态等四条渠道。

就业与收入方面,就业机会和收入是影响个体劳动市场参与决策最关键的驱动因素。广泛的就业机会降低工作搜寻的成本,从而促使个体更容易加入劳动力市场。同时,收入水平对个体的劳动参与意愿也具有显著影响,当潜在的工作收入低于个体的保留工资时,他们往往选择不参与工作。表6的Panel A部分为基于就业和收入机制进行检验的结果。可以看到,机器人应用体现更多的是岗位的创造效应,能够显著促进个体就业,并且随着机器人应用的深入推进,个体从事全职工作的概率也会更高。但无论是从取对数收入还是收入满意度来看,机器人应用的影响都不显著,收入效应并不成立。原因可能与劳动力市场的调整需要时间有关,因而短期内机器人应用对整体工资水平的影响尚未显现,导致其系数并不显著。

表6 机制分析(解释变量:机器人应用)

因变量	回归系数	标准误	控制变量	N	R ²
Panel A: 就业与收入					
就业	0.182 **	0.089	Yes	43961	0.249
全职工作	0.303 **	0.13	Yes	31459	0.116
取对数收入	-0.135	0.371	Yes	29876	0.278
收入满意度	0.095	0.186	Yes	37041	0.077
Panel B: 技能提升与匹配					
专业技术资格证书	0.159 **	0.062	Yes	43956	0.219
能力和技能使用	0.898 ***	0.243	Yes	33329	0.076
工作合作者	0.995 ***	0.315	Yes	30278	0.092
Panel C: 工作状况					
工作安全性	0.848 ***	0.254	Yes	36455	0.077
工作环境	0.678 ***	0.232	Yes	36570	0.080
工作时间	0.714 ***	0.203	Yes	36465	0.070
Panel D: 劳动者状态					
晋升机会	-0.391	0.368	Yes	19018	0.084
工作有趣	0.562 **	0.242	Yes	32802	0.060
他人给予工作的尊重	0.757 ***	0.264	Yes	33984	0.095
在工作中表达意见的机会	0.619 **	0.29	Yes	28708	0.079
整体满意度	0.393 *	0.236	Yes	36712	0.090

注:采用与基准回归同样的控制变量,Yes表示控制相应的特征变量。***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,括号内为聚类到城市层面的标准误。

技能提升与匹配方面,人力资本作为影响个体劳动供给的重要因素,其水平越高,个体退出劳动力市场的影子成本也就越高。技能匹配不仅涉及个体与岗位间的契合,还包括个体在团队中的技能协同。良好的技能匹配能够提高劳动者的工作满意度和促进自我价值实现,从而激励他们在劳动力市场中保持活跃。表6的Panel B部分展示了基于技能提升和使用机制进行检验的结果。可以看到,随着机器人的广泛应用,个体拥有专业技术

资格证书的概率将显著上升。同时,个体对自身能力和技能使用以及工作合作者的满意度也随之提升。

工作状况方面,相较于事故频发、环境恶劣、需要加班且时间不稳定的岗位,良好的工作状况更能吸引个体就业,更可能降低劳动者退出劳动力市场的概率。表6的Panel C部分为基于工作状况进行检验的结果。可以看到,机器人应用显著提高了个体对工作安全的满意度,这可能是因为机器人能够承担高风险任务,从而减少人工在危险环境中的暴露。这一发现也与机器人应用对工作环境满意度产生的正面影响相一致。此外,机器人应用还有助于提升个体对工作时间的满意度,原因可能在于机器人应用使得生产场所更加固定,工作时间也更加规律。

最后,劳动者状态对劳动参与也起着至关重要的作用,个体从工作中获得的满足感越低,其退出劳动力市场的可能性就越高。表6的Panel D部分展示了相应的回归结果。可以看到,虽然机器人应用并不能提升个体的晋升机会,但人机互动会使得其认为工作更加有趣、表达意见的机会更多、更加有尊严,并且从整体来看,机器人应用每上升10%,个体整体的工作满意度能够显著提升0.0393。

4.2 异质性分析

根据劳动者的各项特征属性,本部分着重考察了不同性别、年龄、户籍状况、健康状况以及技能水平个体劳动参与受机器人应用变化影响的异质性,这有助于政府有针对性地制定提升劳动参与率的政策。

从性别来看,机器人应用对女性劳动参与的促进效果更明显。表7的列(1)、(2)是按个体性别进行分组考察机器人应用影响异质性的回归结果。可以发现,机器人应用对女性组别劳动参与率的积极影响更大,并且与男性组别的系数差异显著。这可能是因为机器人应用弥补了不同性别之间的体力差距。具体地,机器人应用每上升10%,其劳动参与率增加3.82%,相较于均值提升5.66%,并且在1%的统计水平下显著。结合中国女性低劳动参与率的现状,推广机器人应用可能有望激发大量潜在的女性劳动力。

从年龄来看,机器人应用对年龄在35岁及以下的青年人劳动参与的影响更大。虽然表7列(3)~(5)分组回归的结果显示机器人应用对35(不含)至50岁(含)个体的劳动参与也有积极影响,但与50岁以上个体的估计系数之间的差异不显著。这可能是因为相较于老年人,中青年劳动力剩余的职业生涯更长,学习能力也更强,更容易将机器人的冲击转化为机遇,而老年人则更多地采取适应性策略。具体地,机器人应用每上升10%,青年个体的劳动参与率显著增加3.33%,约为均值的4.46%。同时,由于该群体的劳动参与率较低,机器人应用的增长也有助于劳动供给的提升。

从户籍状况来看,机器人应用的上升对城乡人口的劳动参与有类似的影响。表7中列(6)、(7)为按户籍类型划分后的回归结果。可以看到,机器人应用每上升10%,农业户籍的个体劳动参与率将增加1.94%,相当于均值的2.49%;对城市户籍的个体而言,机器人应用每上升10%,其劳动参与率将增加2.28%,相当于均值的3.29%。虽然机器人应用对城市户籍人口劳动参与影响的估计系数略高于农村,但组间系数差异检验的结果表明两者之间没有显著差异。同时,由于城市的平均劳动参与率(69.4%)低于农村(77.9%),机器

人应用可能有助于缩小城乡劳动参与差距。

表 7 异质性分析 I (被解释变量:劳动参与)

	性别		年龄			城乡	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	男	女	年龄≤35	35<年龄≤50	50<年龄	农村	城市
机器人应用	0.068 (0.087)	0.382*** (0.102)	0.333*** (0.095)	0.150* (0.078)	0.190 (0.150)	0.194** (0.090)	0.228* (0.116)
P 值	0.000		0.000	0.550	0.039	0.562	
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	21409	22552	12881	16219	14860	31006	12946
Within mean	0.837	0.675	0.747	0.872	0.630	0.779	0.694
R ²	0.252	0.208	0.354	0.133	0.284	0.201	0.404

注：采用与基准回归同样的控制变量，Yes 表示控制相应的特征变量。P 值对应的为不同组别间系数似不相关检验的结果，其中列(3)、(4)、(5)分别为列(3)和(4)、列(4)和(5)、列(3)和(5)之间回归系数差异的检验结果。Within mean 对应的为劳动参与的组内均值。***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著，括号内为聚类到城市层面的标准误。

从健康状况来看，本文按照个体的健康状况将样本划分为差、中、优三个组别。其中，非常不健康和比较不健康为健康状况差的一组；健康状况一般的划分为中等组；健康和非常健康划分为健康状况优的一组，并据此进行异质性分析。根据表 8 中健康状况的回归结果，机器人应用对健康状况为中和优个体的劳动参与影响正向显著，机器人应用每上升 10%，其劳动参与率增加约 2.4 个百分点，约为均值的 3.12%。相反，对于健康状况较差的个体没有显著影响，这可能是这部分群体自身的特征所决定的，他们本身的劳动参与率也较低。

表 8 异质性分析 II (被解释变量:劳动参与)

	健康状况			技能水平		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	差	中	优	低	中	高
机器人应用	0.096 (0.170)	0.239** (0.100)	0.248*** (0.083)	0.326*** (0.125)	0.083 (0.071)	0.228* (0.137)
P 值	0.058	0.808	0.026	0.000	0.010	0.108
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	5402	11948	26609	14591	23369	5993
Within mean	0.629	0.767	0.773	0.722	0.747	0.856
R ²	0.254	0.259	0.250	0.236	0.294	0.338

注：采用与基准回归同样的控制变量，Yes 表示控制相应的特征变量。P 值对应的为不同组别间系数似不相关检验的结果，其中列(1)、(2)、(3)分别为列(1)和(2)、列(2)和(3)、列(1)和(3)之间回归系数差异的检验结果；列(4)、(5)、(6)分别为列(4)和(5)、列(5)和(6)、列(4)和(6)之间回归系数差异的检验结果。Within mean 对应的为劳动参与的组内均值。***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著，括号内为聚类到城市层面的标准误。

从技能水平来看，本文根据个体的受教育状况，将接受 9 年教育及以下的个体划分为低技能组，将接受 10 年及以上至 15 年(含)教育的个体划分为中技能组，将接受 16 年及以

上教育的个体划分为高技能组并进行异质性分析。根据表8中列(4)~(6)部分的回归结果,机器人应用对低技能和高技能个体劳动参与率影响显著,但对于中技能个体劳动参与的影响不显著,表现出工作极化的特征^①。具体地,对于低技能劳动者,机器人应用上升10%,其劳动参与率增加3.26%,约为均值的4.52%;对于高技能劳动者,机器人应用的影响较小,仅为2.28%,约为均值的2.66%,这可能与这部分群体的劳动参与率本身就较高有关。不过,似不相关检验的结果表明机器人应用对这两部分群体之间的影响不存在显著差异。

5 结论与政策建议

本文基于中国劳动力动态调查2012年、2014年、2016年三期调查数据,以及各城市机器人安装密度的差异,考察了机器人应用对个体劳动参与的影响。研究结果显示,在控制个体特征、城市宏观经济特征、时间固定效应、城市固定效应以及城市随时间的线性趋势后,机器人应用能够显著促进个体的劳动参与。具体地,机器人应用每上升10%,个体劳动参与率将显著增加2.31%,相较于均值提升3.06个百分点,并且该结论在一系列检验后依然保持稳健。

机制分析表明,机器人应用对个体就业、技能提升与匹配、工作状况、劳动者状态等各个方面都能产生积极影响,进而促进其劳动参与的提升。其中,就业方面,机器人应用能够显著提升个体的就业率以及参与全职工作的概率;技能提升与匹配方面,机器人应用会对个体拥有专业资格证书的概率产生显著的积极影响,并且有助于提升个体的能力和技能以及对工作合作者的满意度;工作状况方面,随着机器人应用水平的提升,个体的工作安全性、工作环境和工作时间满意度也将上升;劳动者状态方面,机器人应用还会使个体认为工作更有趣,提升其在工作中表达意见机会的满意度,获得更多的尊重。总体来看,机器人应用每上升10%,劳动者对工作的整体满意度将上升0.039。

进一步分析显示,机器人应用对不同类型群体劳动参与的影响存在异质性。从性别来看,工业机器人应用上升10%,女性的劳动参与将显著增加3.82个百分点,约为均值的5.66%,但对男性的劳动参与没有显著影响。年龄的差异也会造成影响的异质性,机器人应用对35岁及以下的青年人劳动参与的促进作用最大,机器人应用每上升10%,劳动参与率将提升3.33个百分点,约为均值的4.46%。同时,城乡居民的劳动参与都随着机器人应用而上升,并且两者之间没有显著差异,机器人应用每上升10%,个体劳动参与将上涨1.94~2.28个百分点,约为两者均值的2.49%~3.29%。另外,根据健康状况不同,机器人应用对个体劳动参与的影响也存在显著差异。机器人应用对健康状况为中和优个体的劳动参与率的影响最显著,机器人应用每上涨10%,其劳动参与率显著增加2.4个百分点,约为均值的3.12%。此外,机器人应用对不同技能劳动者的影响呈现极化的特征。对技能水平低和技能水平高的个体,机器人应用每上升10%,其劳动参与率显著增加2.28~3.26个百分点,约为均值的2.66%~4.52%,但对中等技能劳动者的劳动参与的影响不

^① 工作极化是指高技能和低技能职业的就业份额同时迅速增加,但中等技能职业就业份额反而下降的异常现象(Goos and Manning, 2007),有大量论文对该现象进行研究(Goos et al., 2009, 2014; Oesch and Rodríguez Menés, 2011; Peugny, 2019)。

显著。

本文具有如下政策启示:首先,机器人应用有助于促进个体的劳动参与,对于释放现有潜在劳动力,以及缓解未来中国因人口老龄化和少子化所造成的劳动力短缺具有重要作用。因此,政府可以采取鼓励企业投资于机器人技术,例如提供税收优惠、补贴或贷款支持等,以促进机器人应用的普及和发展,从而吸引个体进入劳动力市场。其次,政府可以通过职业培训和技能提升计划,帮助具有劳动参与意愿的个体适应新的工作环境和技术需求,提高他们的就业竞争力。最后,考虑到机器人应用对不同群体劳动参与的影响存在异质性,所以应当防范机器人扩张可能产生的就业机会不平等,促进劳动力市场的公平健康发展。

参考文献

- 陈媛媛,张竞,周亚虹. 2022. 工业机器人与劳动力的空间配置[J]. 经济研究, 57(1): 172-188.
- Chen Y Y, Zhang J, Zhou Y H. 2022. Industrial robots and spatial allocation of labor[J]. *Economic Research Journal*, 57(1): 172-188. (in Chinese)
- 程虹,陈文津,李唐. 2018. 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, 6(3): 1-21.
- Cheng H, Chen W J, Li T. 2018. Robots in China: Status, future and impact—Empirical evidence from the china employer-employee survey (CEES)[J]. *Journal of Macro-Quality Research*, 6(3): 1-21. (in Chinese)
- 程佳滕. 2021. 传统宗族文化如何影响已婚女性劳动参与? [J]. 中国经济问题, (4): 133-145.
- Cheng J M. 2021. Chinese clan culture and married female labor force participation[J]. *China Economic Studies*, (4): 133-145. (in Chinese)
- 樊海潮,胡一川,唐立鑫. 2024. 最低工资和机器人使用:广延边际和集约边际的差异性影响[J]. 经济学(季刊), 24(2): 341-359.
- Fan H C, Hu Y C, Tang L X. 2024. Minimum wage and robots adoption: Differences in extensive margin and intensive margin[J]. *China Economic Quarterly*, 24(2): 341-359. (in Chinese)
- 范红丽,陈璐. 2015. 替代效应还是收入效应?——家庭老年照料对女性劳动参与率的影响[J]. 人口与经济, (1): 91-98.
- Fan H L, Chen L. 2015. Substitution or income effect?: The impact of family care for elderly parents on the female employment in China[J]. *Population & Economics*, (1): 91-98. (in Chinese)
- 方颖,蓝嘉俊,杨阳. 2021. 性别身份认同对女性劳动供给和家庭收入结构的影响——教育与城乡差异的视角[J]. 经济学(季刊), 21(5): 1711-1730.
- Fang Y, Lan J J, Yang Y. 2021. The impact of gender identity on female labor supply and household income structure—Perspectives from education and rural-urban differences[J]. *China Economic Quarterly*, 21(5): 1711-1730. (in Chinese)
- 封进,韩旭. 2017. 退休年龄制度对家庭照料和劳动参与的影响[J]. 世界经济, 40(6): 145-166.
- Feng J, Han X. 2017. The impact of retirement age policy on household care provision and labor participation in China [J]. *The Journal of World Economy*, 40(6): 145-166. (in Chinese)
- 冯苑. 2020. 城市高房价会抑制居民劳动参与吗? [J]. 财经研究, 46(10): 154-168.
- Feng Y. 2020. Will high urban housing prices inhibit labor participation? [J]. *Journal of Finance and Economics*, 46(10): 154-168. (in Chinese)
- 胡荣,谷婧. 2023. 母职、家庭庇护与女性的劳动力市场参与[J]. 社会学评论, 11(3): 131-153.
- Hu R, Gu J. 2023. Motherhood, family patronage and women's employment[J]. *Sociological Review of China*,

- 11(3): 131-153. (in Chinese)
- 胡元瑞, 田成志, 吕萍. 2021. “家里有房, 工作不慌”: 父辈住房财富与青年子女劳动参与[J]. 财经研究, 47(8): 79-93.
- Hu Y R, Tian C Z, Lv P. 2021. “Wealth at home, no panic at work”: Parents' housing wealth and youth labor participation[J]. *Journal of Finance and Economics*, 47(8): 79-93. (in Chinese)
- 孔高文, 刘莎莎, 孔东民. 2022. 机器人与就业——基于行业与地区异质性的探索性分析[J]. 中国工业经济, (8): 80-98.
- Kong G W, Liu L L, Kong D M. 2022. Robots and labor employment—An empirical investigation based on heterogeneity of industries and regions[J]. *China Industrial Economics*, (8): 80-98. (in Chinese)
- 李磊, 王小霞, 包群. 2021. 机器人的就业效应: 机制与中国经验[J]. 管理世界, 37(9): 104-119.
- Li L, Wang X X, Bao Q. 2021. The employment effect of robots: Mechanism and evidence from China[J]. *Journal of Management World*, 37(9): 104-119. (in Chinese)
- 李楠, 何雄. 2023. 数字普惠金融对已婚女性劳动参与的影响——基于子女不同受教育阶段的讨论[J]. 财经论丛, (9): 59-68.
- Li N, He X. 2023. Effects of digital inclusive finance on married women's labor participation: From the perspective of children's educational stage[J]. *Collected Essays on Finance and Economics*, (9): 59-68. (in Chinese)
- 李琴, 丁倩, 李大胜. 2023. 未婚子女及其特征对农村中老年人劳动参与的影响分析[J]. 人口与发展, 29(5): 53-64.
- Li Q, Ding Q, Li D S. 2023. The influence of the number of children and their characteristics on the labor participation of the elderly in rural areas[J]. *Population and Development*, 29(5): 53-64. (in Chinese)
- 梁建章, 任泽平, 黄文政, 等. 2023. 中国女性职业发展报告 2023 版[R].
- Liang J Z, Ren Z P, Huang W Z, et al. 2023. Report on the career development of Chinese women 2023 edition [R]. (in Chinese)
- 刘甲楠, 邢春冰. 2024. 人工智能、劳动力需求与人力资本投资[J]. 人口研究, 48(1): 68-84.
- Liu J N, Xing C B. 2024. Artificial intelligence, labor demand, and human capital investments[J]. *Population Research*, 48(1): 68-84. (in Chinese)
- 马双, 李雪莲, 蔡栋梁. 2017. 最低工资与已婚女性劳动参与[J]. 经济研究, 52(6): 153-168.
- Ma S, Li X L, Cai D L. 2017. Minimum wage and labor force participation of married women[J]. *Economic Research Journal*, 52(6): 153-168. (in Chinese)
- 毛畅果, 徐东烁. 2024. 新个人所得税改革对中低收入群体劳动供给的影响——基于中国家庭追踪调查的研究[J]. 人口与经济, (1): 47-61.
- Mao C G, Xu D S. 2024. The impact of the new individual income tax reform on the labor supply of middle and low income groups: Evidence from China family panel studies[J]. *Population & Economics*, (1): 47-61. (in Chinese)
- 宁光杰, 刘会欣. 2022. 老龄化背景下家庭财产对女性劳动参与的影响研究[J]. 劳动经济研究, 10(4): 56-80.
- Ning G J, Liu H X. 2022. The impact of household property on female labor participation under population aging [J]. *Studies in Labor Economics*, 10(4): 56-80. (in Chinese)
- 钱圆圆, 王林辉, 姜昊. 2023. 机器人应用与劳动就业: 基于任务偏向视角的经验分析[J]. 求是学刊, 50(6): 52-63.
- Qian Y Y, Wang L H, Jiang H. 2023. Robots application and employment: An empirical analysis based on task-biased perspective[J]. *Seeking Truth*, 50(6): 52-63. (in Chinese)
- 曲玥, 程杰, 李冰冰. 2022. 托育服务对女性劳动参与和经济产出的影响[J]. 人口研究, 46(5): 33-47.
- Qu Y, Cheng J, Li B B. 2022. The impact of childcare services on female labor participation and economic output [J]. *Population Research*, 46(5): 33-47. (in Chinese)
- 阮荣平, 刘力. 2021. 中国城镇女性劳动参与行为——一个文化视角的新解释[J]. 世界经济文汇, (2): 20-36.

- Ruan R P, Liu L. 2021. Female labor force participation puzzle in urban China: A new interpretation from cultural perspective[J]. *World Economic Papers*, (2): 20-36. (in Chinese)
- 孙玉环,王如玉,董莹. 2022. 隔代照料对中老年人劳动供给的影响及内在机制分析[J]. *劳动经济研究*, 10(3): 26-43.
- Sun Y H, Wang R Y, Dong Y. 2022. Impact and influence mechanism of intergenerational care on the labor supply of middle-aged and elderly people[J]. *Studies in Labor Economics*, 10(3): 26-43. (in Chinese)
- 唐婧. 2023. 健康对劳动供给的影响研究进展[J]. *经济学动态*, (8): 133-147.
- Tang J. 2023. Research progress on the impact of health on labor supply[J]. *Economic Perspectives*, (8): 133-147. (in Chinese)
- 王建英,何冰,沈璐越,等. 2021. 隔代抚养对农村中老年人劳动供给的影响——基于 CHARLS 面板数据的实证研究[J]. *劳动经济研究*, 9(6): 40-71.
- Wang J Y, He B, Shen L Y, et al. 2021. The impacts of caring for grandchildren on grandparents' labor supply among rural elders: An empirical study based on CHARLS panel data[J]. *Studies in Labor Economics*, 9(6): 40-71. (in Chinese)
- 王临风,余玲铮,金钊. 2018. 性别失衡、婚姻挤压与个体劳动参与[J]. *劳动经济研究*, 6(3): 75-96.
- Wang L F, Yu L Z, Jin Z. 2018. Sex imbalance, marriage squeeze and labor market supply[J]. *Studies in Labor Economics*, 6(3): 75-96. (in Chinese)
- 王林辉,钱圆圆,宋冬林,等. 2023. 机器人应用的岗位转换效应及就业敏感性群体特征——来自微观个体层面的经验证据[J]. *经济研究*, 58(7): 69-85.
- Wang L H, Qian Y Y, Song D L, et al. 2023. The job transition effects and employment sensitivity among specific groups of robot applications: Empirical evidence from a micro-individual level perspective[J]. *Economic Research Journal*, 58(7): 69-85. (in Chinese)
- 王美艳. 2023. 婚姻生育状况对劳动参与的影响研究[J]. *学术研究*, (11): 90-97.
- Wang M Y. 2023. Marriage, childbearing and labor participation for females[J]. *Academic Research*, (11): 90-97. (in Chinese)
- 汪伟,王文鹏. 2021. 预期寿命、养老保险降费与老年劳动供给: 兼论中国退休政策改革[J]. *管理世界*, 37(9): 119-133, 157.
- Wang W, Wang W P. 2021. Life expectancy, pension contribution rate reduction and elderly labor supply with a discussion on Chinese retirement policy reform[J]. *Journal of Management World*, 37(9): 119-133, 157. (in Chinese)
- 王晓娟,朱喜安,王颖. 2022. 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*, 39(4): 88-106.
- Wang X J, Zhu X A, Wang Y. 2022. The impact of robot application on manufacturing employment[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 39(4): 88-106. (in Chinese)
- 王希茜,何宗樾. 2022. 男性育儿参与、家庭传统文化观念与女性劳动供给[J]. *中央财经大学学报*, (9): 88-103.
- Wang X Q, He Z Y. 2022. Men's childcare involvement, traditional family culture and female labor supply[J]. *Journal of Central University of Finance & Economics*, (9): 88-103. (in Chinese)
- 王永钦,董雯. 2020. 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*, 55(10): 159-175.
- Wang Y Q, Dong W. 2020. How the rise of robots has affected China's labor market: Evidence from China's listed manufacturing firms[J]. *Economic Research Journal*, 55(10): 159-175. (in Chinese)
- 魏下海,张沛康,杜宇洪. 2020. 机器人如何重塑城市劳动力市场: 移民工作任务的视角[J]. *经济学动态*, (10): 92-109.
- Wei X H, Zhang P K, Du Y H. 2020. How robots reshape the urban labor market: From a perspective of

- migrants' job tasks[J]. *Economic Perspectives*, (10): 92-109. (in Chinese)
- 许怡, 叶欣. 2020. 技术升级劳动降级? ——基于三家“机器换人”工厂的社会学考察[J]. *社会学研究*, 35(3): 23-46, 242.
- Xu Y, Ye X. 2020. Technology upgrading and labor degrading? —A sociological study of three robotized factories [J]. *Sociological Studies*, 35(3): 23-46, 242. (in Chinese)
- 颜迪, 张尉, 罗楚亮. 2023. 最低工资与城镇老年劳动参与[J]. *财经研究*, 49(3): 110-124.
- Yan D, Zhang W, Luo C L. 2023. Minimum wage and labor participation of the elderly in urban China[J]. *Journal of Finance and Economics*, 49(3): 110-124. (in Chinese)
- 鄢伟波, 安磊. 2021. 中国女性劳动供给为何降低: 来自流动人口的证据[J]. *世界经济*, 44(12): 104-130.
- Yan W B, An L. 2021. Why has the women's labor supply in China declined? New evidence from the migrants[J]. *The Journal of World Economy*, 44(12): 104-130. (in Chinese)
- 闫雪凌, 朱博楷, 马超. 2020. 工业机器人使用与制造业就业: 来自中国的证据[J]. *统计研究*, 37(1): 74-87.
- Yan X L, Zhu B K, Ma C. 2020. Employment under robot impact: Evidence from China manufacturing[J]. *Statistical Research*, 37(1): 74-87. (in Chinese)
- 杨凡, 何雨辰. 2022. 中国女性劳动供给中的“母职惩罚”[J]. *人口研究*, 46(5): 63-77.
- Yang F, He Y C. 2022. Motherhood penalty on Chinese women in labor market[J]. *Population Research*, 46(5): 63-77. (in Chinese)
- 杨光, 侯钰. 2020. 工业机器人的使用、技术升级与经济增长[J]. *中国工业经济*, (10): 138-156.
- Yang G, Hou Y. 2020. The usage of industry robots, technology upgrade and economic growth[J]. *China Industrial Economics*, (10): 138-156. (in Chinese)
- 余家林, 杨梦俊, 付明卫. 2022. 中国劳动参与率为何下降? ——基于财富效应的视角[J]. *财经研究*, 48(6): 94-108.
- Yu J L, Yang M J, Fu M W. 2022. Why does China's labor participation rate fall? Based on the perspective of wealth[J]. *Journal of Finance and Economics*, 48(6): 94-108. (in Chinese)
- 于新亮, 黄俊铭, 康琢, 等. 2021. 老年照护保障与女性劳动参与——基于中国农村长期护理保险试点的政策效果评估[J]. *中国农村经济*, (11): 125-144.
- Yu X L, Huang J M, Kang Z, et al. 2021. Elderly care security and female labor participation: Policy effects evaluation of long-term care insurance in rural China[J]. *Chinese Rural Economy*, (11): 125-144. (in Chinese)
- 张川川. 2011. 子女数量对已婚女性劳动供给和工资的影响[J]. *人口与经济*, (5): 29-35.
- Zhang C C. 2011. Impacts of number of children on the labor supply and wage earnings of married women[J]. *Population & Economics*, (5): 29-35. (in Chinese)
- 赵建国, 王净净. 2021. “逆向反哺”、子女结构与老年人口劳动参与[J]. *人口与发展*, 27(2): 17-28.
- Zhao J G, Wang J J. 2021. “Reverse Feeding”, the structure of children and the labor participation of the elderly population[J]. *Population and Development*, 27(2): 17-28. (in Chinese)
- 赵明, 王晓军, 李子文. 2022. 养老金水平对低龄老年人劳动参与的影响[J]. *人口研究*, 46(4): 69-83.
- Zhao M, Wang X J, Li Z W. 2022. The effect of pension on labor participation of the young old in China[J]. *Population Research*, 46(4): 69-83. (in Chinese)
- 周广肃, 李力行, 孟岭生. 2021. 智能化对中国劳动力市场的影响——基于就业广度和强度的分析[J]. *金融研究*, (6): 39-58.
- Zhou G S, Li L X, Meng L S. 2021. The impact of automation and artificial intelligence on China's labor market: Quantity and intensity of employment[J]. *Journal of Financial Research*, (6): 39-58. (in Chinese)
- Abeliansky A L, Beulmann M, Prettnner K. 2024. Are they coming for us? Industrial robots and the mental health of workers[J]. *Research Policy*, 53(3): 104956.
- Acemoglu D, Restrepo P. 2020. Robots and jobs: Evidence from US labor markets[J]. *Journal of Political Economy*, 128(6): 2188-2244.

- Acemoglu D, Restrepo P. 2022. Demographics and automation[J]. *The Review of Economic Studies*, 89(1): 1-44.
- Aghion P, Antonin C, Bunel S, et al. 2023. The effects of automation on labor demand. A survey of the recent literature[M]//Ing L Y, Grossman G M. *Robots and AI: A New Economic Era*. London: Routledge, 15-39.
- Braverman H. 1998. Labor and monopoly capital: The degradation of work in the twentieth century[M]. 25th ed. New York: Monthly Review Press.
- Chen J F, Roth J. 2024. Logs with zeros? Some problems and solutions[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 139(2): 891-936.
- David B. 2017. Computer technology and probable job destructions in Japan: An evaluation[J]. *Journal of the Japanese and International Economies*, 43: 77-87.
- Ehrenberg R G, Smith R S. 2018. Modern labor economics: Theory and public policy[M]. 13th ed. New York: Routledge.
- Frey C B, Osborne M A. 2017. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 114: 254-280.
- Gihleb R, Giuntella O, Stella L, et al. 2022. Industrial robots, workers' safety, and health[J]. *Labour Economics*, 78: 102205.
- Giuntella O, Lu Y, Wang T Y. 2022. How do workers and households adjust to robots? Evidence from China[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research.
- Goldsmith-Pinkham P, Sorkin I, Swift H. 2020. Bartik instruments: What, when, why, and how[J]. *American Economic Review*, 110(8): 2586-2624.
- Goos M, Manning A. 2007. Lousy and lovely jobs: The rising polarization of work in Britain[J]. *Review of Economics and Statistics*, 89(1): 118-133.
- Goos M, Manning A, Salomons A. 2009. Job polarization in Europe[J]. *American Economic Review*, 99(2): 58-63.
- Goos M, Manning A, Salomons A. 2014. Explaining job polarization: Routine-biased technological change and offshoring[J]. *American Economic Review*, 104(8): 2509-2526.
- Gunadi C, Ryu H. 2021. Does the rise of robotic technology make people healthier? [J]. *Health Economics*, 30(9): 2047-2062.
- Ishida H, Tanaka H, Taniguchi H, et al. 2006. Mobile robot navigation using vision and olfaction to search for a gas/odor source[J]. *Autonomous Robots*, 20(3): 231-238.
- Keynes J M. 1931. *Essays in persuasion*[M]. London: Maomillan.
- Liu Q R, Luo S, Seamans R. 2024. Pain or anxiety? The health consequences of rising robot adoption in China[J]. *Economics Letters*, 236: 111582.
- Noble D. 2017. *Forces of production: A social history of industrial automation*[M]. New York: Routledge.
- Oesch D, Rodríguez Menés J. 2011. Upgrading or polarization? Occupational change in Britain, Germany, Spain and Switzerland, 1990—2008[J]. *Socio-Economic Review*, 9(3): 503-531.
- Peugny C. 2019. The decline in middle-skilled employment in 12 European countries: New evidence for job polarisation[J]. *Research & Politics*, 6(1): 2053168018823131.
- Schumpeter J A. 2017. *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*[M]. New York: Routledge.
- Smith A. 2010. *The wealth of nations: An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*[M]. Harriman House Limited.
- Trajtenberg M. 2018. AI as the next GPT: A political-economy perspective[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research.
- Venkataramani A S, O'Brien R. 2020. Economic opportunity, drug overdose mortality, and disability[R]. Madison: University of Wisconsin-Madison.
- Wei X H, Xu J W, Cao H. 2024. Production automation upgrades and the mystery of workers' overwork: Evidence

from a manufacturing employer-employee matching survey in China [J]. *Journal of Asian Economics*, 91: 101711.

The Impact of Robot Application on Labor Participation: Mechanisms and Empirical Evidence

Wei Wang^{1,2} Jiannan Wang¹ Xiahai Wei³ Mengxuan Wu¹

(1. School of Public Administration and Policy, Shanghai University of
Finance and Economics;

2. Chinese Modernization Institute, Shanghai University of Finance and Economics;

3. School of Economics and Finance, Huaqiao University)

Abstract Based on data from the China Labor Dynamics Survey for 2012, 2014, and 2016, combined with city-level data on the density of robot installations, this paper examines the impact of robot applications on individual labor market entry and exit decisions. The empirical results show that (1) for every 10% rise in robot application, an individual's labor force participation rate significantly increases by 2.31%, and the finding remains robust after a series of tests. (2) Mechanistic analyses show that robot application contribute to increasing employment, facilitating skills upgrading and matching, improving work conditions, optimizing worker status, and thus increasing individual workforce participation. (3) Heterogeneity analysis shows that the impact of robot application varies across different groups, with more significant effects on labor force participation for women, young and middle-aged people, individuals with good health, and individuals with low and high skills. Based on research findings, this paper suggests that China can unleash the potential labor force by promoting the development of robot application to alleviate the labor shortage caused by population aging and childlessness. At the same time, the government also needs to preempt the problem of unequal labor participation that may be triggered by the application of robots and promote the fair and healthy development of the labor market.

JEL Classification J20, O33