

# 工业机器人应用对地区经济差距的影响研究

陈明生<sup>1</sup>, 郑玉璐<sup>1</sup>, 姚 笛<sup>2</sup>

(1. 中国政法大学 商学院, 北京 100088; 2. 山东大学 经济学院, 山东 济南 250100)

**摘 要:** 工业机器人的应用在地区经济发展中起到愈加重要的作用, 然而该作用的有效发挥与地区的比较优势息息相关。文章采用 2006—2019 年中国 274 个城市的面板数据, 考察了工业机器人应用对地区经济差距的影响及作用机制。研究发现, 工业机器人应用在整体上会显著缩小地区经济差距, 但从阶段变化上来看, 工业机器人应用对地区经济差距的影响呈现出第一阶段缩小、第二阶段扩大的变化趋势。机制分析表明, 虽然工业机器人应用通过提高地区技术比较优势扩大了地区经济差距, 但是工业机器人应用通过降低地区劳动力和资本比较优势对地区经济差距的缩小作用更加明显, 同时生产率比较优势的渠道作用在现阶段不能有效发挥。异质性分析发现, 工业机器人应用对地区经济差距的缩小作用在工业机器人应用水平较高、配套基础设施条件较为完善和人力资本水平较高的城市尤为突出。文章结论对于在工业机器人应用不断普及的背景下, 促进区域协调发展, 实现经济高质量发展具有重要的政策启示。

**关键词:** 地区经济差距; 工业机器人应用; 比较优势

**中图分类号:** F127; F49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-9952(2024)01-0139-15

**DOI:** 10.16538/j.cnki.jfe.20231019.401

## 一、引言与文献综述

促进区域协调发展, 构建优势互补、高质量发展的区域经济布局, 这是建设社会主义现代化国家的重要任务之一。然而, 地区经济差距较大是中国经济发展不平衡不充分的体现(李兰冰和刘秉镰, 2020)。地区经济差距制约着中国区域经济的协调发展。与此同时, 2021 年在工业和信息化部等部门印发的《“十四五”机器人产业发展规划》中提出, 要“大力推进机器人的应用, 培育壮大与机器人应用相关的产业发展”。自 2013 年以来, 中国的工业机器人安装量持续不断上升, 2021 年中国的工业机器人安装量增长了 51%, 运行存量已突破 100 万台。<sup>①</sup> 工业机器人应用正在影响各行各业, 各地方政府也在积极推进工业机器人应用, 力争抓住工业机器人发展的机遇以促进本地区的经济增长。然而, 不同地区的工业机器人应用水平存在较大差异(孔高文等, 2020), 其对地区经济增长的影响可能会存在明显区别, 最终重塑地区经济发展格局。工业机器人作为人工智能在生产领域应用的主要载体(Bessen 等, 2019; 孙早和陈玉洁, 2023),

收稿日期: 2023-04-04

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(21YJA790004); 中国政法大学 2022—2023 学年博士研究生创新实践一般项目(2022BSCX17)

作者简介: 陈明生(1973—), 男, 江西赣州人, 中国政法大学商学院教授;

郑玉璐(1994—), 女, 河南驻马店人, 中国政法大学商学院博士研究生;

姚 笛(1995—)(通讯作者), 男, 安徽阜阳人, 山东大学经济学院博士研究生。

<sup>①</sup> 详细请见国际机器人联合会(IFR)发布的《2022 年全球机器人报告》。

具有替代性、协同性与创造性的技术经济特征。随着“机器换人”情况不断发生,工业机器人应用将会成为改变各地区比较优势的重要因素之一(刘灿雷等, 2023), 并对地区经济差距产生重要影响。

地区比较优势包括劳动力和资本比较优势、技术比较优势与生产率比较优势(李力行和申广军, 2015)。从理论上来看, 一方面, 工业机器人应用的协同性会带来投入产出效率的提高, 促使全要素生产率提升(杨光和侯钰, 2020), 同时, 工业机器人应用的创造性能够提高研发效率, 有助于技术进步, 进而增强地区的生产率比较优势和技术比较优势, 实现经济的转型升级; 另一方面, 工业机器人会对不匹配的劳动力尤其是低技能劳动力造成强有力的替代影响, 使得过去依赖低劳动力成本实现经济快速增长的方式难以为继, 从而削弱当地的劳动力和资本比较优势。然而在现实中, 由于各地区工业机器人应用的不平衡性特征较为突出, 且工业机器人应用所需要的人力资本、基础设施等配套因素的分布也存在地区差异。在以劳动密集型产业为主向更高技术含量产业智能转型升级的过程中, 各地区在经济发展中通过应用工业机器人所获得的比较优势也不同, 这必然会引起地区经济差距产生变化。因此, 在“机器换人”情况不断发生的背景下, 工业机器人应用能否重塑地区经济发展格局? 其背后的作用机制是什么? 清晰地考察这些问题不仅能丰富和拓展工业机器人应用的相关研究, 而且对于构建高质量发展的区域经济布局也具有重要意义。

通过对现有文献的梳理来看, 早期文献主要集中于探讨工业机器人应用对收入分配的影响。从规模性收入分配来看, 由于机器人与不同技能、不同岗位和不同性别的劳动力匹配度不同, 这可能导致技能劳动收入差距(Acemoglu 和 Restrepo, 2018; 王永钦和董雯, 2023)、任务劳动收入差距(Stähler, 2021; 余玲玲等, 2021)以及性别收入差距(孙早和韩颖, 2022; 许健等, 2022)等问题的出现。从功能性收入分配来看, 工业机器人应用可以被视为资本不断深化的过程, 会引致资本和劳动在国民收入中的占比发生变动(何小钢等, 2023)。但是“机器换人”的过程中也会创造出新的岗位, 并不必然导致劳动收入份额的下降(金陈飞等, 2020)。随着工业机器人应用对国民经济各行业渗透程度不断加深, 其在经济发展过程中发挥的系统性作用日益得到认可, 越来越多的学者不再满足于研究工业机器人应用对微观个体收入差距的影响, 逐渐开始关注工业机器人应用在地区经济发展中的重要作用。

近年来, 工业机器人应用与经济发展相关主题的研究明显增多。大部分学者认为工业机器人应用能明显促进经济增长(Graetz 和 Michaels, 2018; 杨光和侯钰, 2020)。但工业机器人应用也会对经济增长产生负向作用, 即机器人与劳动力之间会形成竞争关系, 造成劳动者收入和社会投资的减少(Gasteiger 和 Prettnner, 2017), 并且技术和技能之间的错配削弱了工业机器人应用对生产率的提升作用(Acemoglu 和 Restrepo, 2018), 最终阻碍经济增长。工业机器人应用在对经济增长产生作用的同时也不可避免地对地区经济差距造成影响。在经济发展过程中, 更多国家通过依赖丰富的劳动力资源实现经济飞速增长, 但工业机器人的使用会明显降低发展中国家和新兴市场经济体原有要素的比较优势(Korinek 和 Stiglitz, 2021), 造成发展中经济体的经济增速放缓, 加剧发展不平衡(Berg 等, 2016); 刘春艳和赵军(2023)基于跨国面板数据也发现, 工业机器人应用有利于缩小全球的经济鸿沟, 但目前无法缩小发达国家与发展中国家间的经济差距。然而, 一些学者得到了不一样的结果。许健等(2022)认为工业机器人应用会显著降低各省份的基尼系数, 这有利于实现共同富裕。部分学者发现工业机器人应用对地区经济差距的影响具有异质性。金玥昀等(2023)以中国地级市层面的数据研究得出, 工业机器人应用有利于缩小中国区域间的经济差距, 并且在中国的中西部地区表现得更为显著。而韩永辉等(2023)得出了不同

结论,工业机器人应用有利于东部、中部以及东北地区的经济增长,但对西部地区影响不显著。魏嘉辉等(2022)研究发现,工业机器人在非技术密集制造业地区和技术密集制造业地区的应用效果有明显区别。

目前关于工业机器人应用对地区经济差距影响的研究,虽然在数据使用和理论分析上取得了较为明显的进展,但是学术界并未形成统一的研究结论。因此,本文基于比较优势、先发优势和后发优势理论,深入考察了工业机器人应用对地区经济差距的影响。研究发现,工业机器人应用在整体上会显著缩小地区经济差距,但在阶段变化上来看,其对地区经济差距的影响呈现出第一阶段缩小、第二阶段扩大的变化特征。机制分析表明,产生这一结果是因为工业机器人应用对劳动力和资本比较优势的负向影响较大和对技术比较优势的积极影响相对较小,同时生产率比较优势的渠道作用在现阶段并不显著。异质性分析表明,工业机器人应用对地区经济差距的缩小作用与工业机器人应用水平、配套基础设施水平和人力资本水平等因素密切相关。

通过梳理现有文献可以得出,关于工业机器人应用对地区经济差距的影响研究仍存在研究深度不足和聚焦性不强等问题。因此,本文试图从以下方面对现有研究进行拓展:其一,在中国经济转型的现实背景下,基于2006—2019年城市层面面板数据考察了工业机器人应用对地区经济差距的影响,从理论和实证上对现有研究作进一步补充;其二,立足各地区的劳动力和资本比较优势、技术比较优势和生产率比较优势,探讨工业机器人应用影响地区经济差距的作用机制,说明各地区结合本地区的要素禀赋差异合理应用工业机器人的必要性。

本文剩余的结构安排如下:第二部分为理论机制分析;第三部分为变量选择与特征事实;第四部分为模型构建与实证检验;第五部分为研究结论与政策建议。

## 二、理论机制分析

### (一)工业机器人应用对地区经济差距的影响

先发优势也就是“首动者优势”(First Mover Advantage),指的是最先采取行动引进技术的先行者所拥有的竞争优势。后发优势则指后进入者可以通过学习或模仿先行者所积累的大量技术,学到先行者在之前发展过程当中的经验与教训(Barro 和 Sala-i-Martin, 1997; 樊纲, 2020)。近年来,工业机器人实现了大规模应用,但由于所处自然地理位置、自身禀赋结构等方面存在较大差异,经济发展程度不同的地区在工业机器人应用水平上也存在着明显区别,这也深刻影响着地区经济发展格局的变动。一方面,相对于经济较为落后地区,人力资本、新型基础设施等禀赋条件优越的经济较为发达地区在新技术的应用中显然更具优势,更有可能成为工业机器人应用的“先行者”,能够有效释放工业机器人应用的技术“红利”,带动高附加值的资本技术密集型产业发展,促进地区经济增长,扩大地区经济差距;另一方面,在政府的大力支持下,工业机器人的普及应用也会替代低技能劳动者,虽然这在一定程度上节约了劳动成本和提高了生产效率,但是政府对企业应用工业机器人的过度支持、工业机器人应用对劳动要素的大量替代等也可能带来负向作用,如挤占了支持其他新技术的政策资源、短期内导致本地的劳动力加速外流等,对处于主要地位的劳动密集型产业造成巨大冲击,从而会抑制经济较为发达地区的经济增长,这在一定程度上缩小了地区之间的经济差距。因此,在“机器换人”的进程中,虽然经济较为发达地区作为“先行者”可以享受到工业机器人应用带来比较优势的“红利”,但也需要经历比较优势转换过程中的负面影响,使得工业机器人应用对地区经济差距的影响存在不确定性。

### (二)工业机器人应用对地区经济差距的影响机制分析

根据新结构经济学理论,每个地区在不同的发展阶段会根据要素禀赋结构决定的比较优势

来选择技术,进而推动当地的经济增长(林毅夫和付才辉,2022)。而作为具备替代性、创造性和协同性技术经济特征的工业机器人等新一代信息技术,必然会通过改变地区的比较优势而使得各地区的经济增长存在差异。机制影响具体如图 1 所示。

首先,工业机器人应用的替代性会通过改变地区的劳动力和资本比较优势影响地区经济差距。从直观上看,企业是否选择“机器换人”是对工业机器人资本和劳动力两种要素成本的权衡,如果使用机器人能降低成本,企业会选择应用工业机器人,否则继续使用劳动力。由于工业机器人具有比以往技术更强的替代性,在越来越多的生产任务中逐步替代劳动者,尤其是低技能劳动者,从而削弱了应用工业机器人的企业的劳动力和资本比较优势,但这同时节约了劳动力成本,有利于提升地区竞争力。然而,这并未考虑到地区经济发展的系统性。一方面,工业机器人应用正处于发展前期,政府对应用工业机器人的企业进行大量补贴。在扣除政府补贴的机会成本后,反而可能使得地区经济发展的综合收益缩小甚至为负。同时,由于劳动力市场摩擦的存在,被工业机器人替代的劳动力会被分配到低于机会成本的其他任务中,导致了劳动资源错配,这不利于地区经济竞争力的提升,最终缩小了地区经济差距。另一方面,在经济较为发达地区,被替代的部分劳动者短期内无法找到相同技能要求的工作,难以摆脱失业状态,转而流向经济较为落后地区寻找工作,这有利于减弱经济较为落后地区劳动力和资本比较优势的下降程度。低技能劳动者进入经济较为落后地区不仅会促进与当地比较优势相适应的劳动密集型产业增长,还会使得经济较为发达地区的劳动密集型产业随之转移到劳动力和资本比较优势更明显的经济较为落后地区,进而有利于缩小地区经济差距。

其次,工业机器人应用的创造性会通过改变地区的技术比较优势影响地区经济差距。工业机器人作为人工智能等新一代信息技术的重要应用载体,所具备的创造性特征使其可以在诸多领域有效改善技术研发效率,通过知识生产来促进技术进步(蔡跃洲和陈楠,2019)。但创造性的充分发挥取决于当地人力资本、基础设施等配套条件的完善程度(陈东和姚笛,2022)。相对于经济较为落后地区,经济较为发达的地区不仅可以吸引更多的高技能劳动者,而且能通过其拥有的资金、管理能力优势为工业机器人发展和普及应用提供良好的基础设施和营商环境,使得工业机器人在地区经济发展过程中扮演更重要的角色。因此,由于具有促进工业机器人发展及应用的综合优势,经济较为发达地区将会得到更多工业机器人应用所释放的技术“红利”,这可能扩大了地区间的经济发展差距。

最后,工业机器人应用的协同性会通过改变地区的生产率比较优势影响地区经济差距。工业机器人应用在企业生产中的合理应用有助于节约劳动力成本,扩大企业的生产能力,在一定程度上能够促进地区生产率比较优势的提升。但在一些条件下,工业机器人的应用反而并不利于地区生产率比较优势的提高:一是工业机器人应用范围存在一定的界限,在无须使用智能机器设备的部门应用工业机器人技术反而会出现资源浪费现象(Acemoglu 和 Restrepo, 2018),此时企业不仅无法因为工业机器人而获得优势,甚至还会因挤占其他有效投入而引发劳动生产率下降;二是工业机器人的应用场景拓展过快可能使得劳动能力无法快速满足工业机器人技术应用的要求,产生人机协作不和谐的现象,引发劳动生产率损失;三是工业机器人的应用主要集中在制造业,被工业机器人替代的低技能劳动者在流入其他地区的同时,也可能会流入到当地劳动生产效率更低的低端服务业中。因此,相对于经济较为落后地区,经济较为发达地区合理应用工业机器人有利于提升生产率比较优势,然而,工业机器人的过快普及也会存在上述不利于增强地区生产率比较优势的情况,使得工业机器人在短期内并不会通过生产率比较优势引起地区经济差距明显变动。

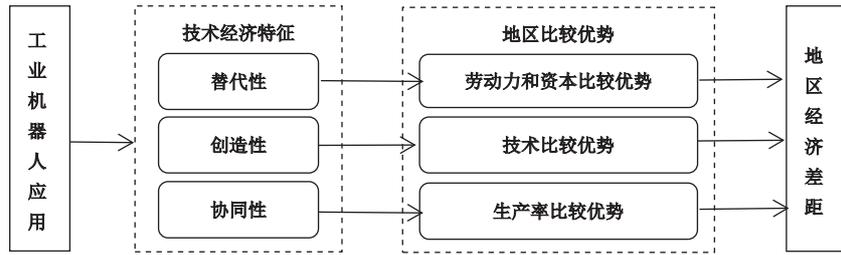


图 1 工业机器人应用对地区经济差距的影响机制图

### 三、变量选择与特征事实

#### (一)数据来源

基于工业机器人数据的可获得性，本文以 2006—2019 年 274 个地级及以上城市的面板数据为考察样本。其中，工业机器人的数据来源于国际机器人联合会(IFR)，IFR 从 2006 年开始提供中国年度分行业的工业机器人安装数据，参考陈媛媛等(2022)的研究，本文将 IFR 提供的行业代码与中国《国民经济行业分类》(GB/T4 754-2002)进行匹配，得到 2006—2019 年我国 274 个城市的工业机器人数据。构建其他变量所需数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》《中经网统计数据库》《中国劳动统计年鉴》《中国统计年鉴》和《国际统计年鉴》等，其中的个别缺失数据通过插值法进行补齐。

#### (二)变量说明

##### 1. 核心变量

地区经济差距( $Yd$ )。本文参考倪鹏飞等(2014)的研究，使用各城市人均  $GDP$  对数离差衡量地区经济差距：

$$Yd_{ct} = |\ln pgdp_{ct} - \ln pgdp_t| \quad (1)$$

其中， $c$  表示城市， $t$  表示时间； $pgdp_{ct}$  表示各城市的人均  $GDP$ ， $pgdp_t$  表示全国的人均  $GDP$ 。

工业机器人应用( $Robot$ )。本文借鉴 Acemoglu 和 Restrepo(2020)、陈媛媛等(2022)的研究，依据 Bartik 变量的思路构造工业机器人渗透度变量，具体见式(2)。同时，为了增强本文研究结论的可信性，考虑更长时间趋势上的实证结果，本文通过参考綦建红和张志彤(2022)的研究，利用 2001—2015 年中国海关数据库的进口机器人数量表示工业机器人应用，以考察工业机器人应用对地区经济差距的影响。

$$Robot_{ct} = \sum_{i \in I} I_{i,c}^{2005} \frac{Robot_{i,t}}{L_{i,2005}} \quad (2)$$

其中， $Robot_{ct}$  为  $c$  城市  $t$  年的工业机器人渗透度； $Robots_{i,t}$  为全国层面  $i$  行业在  $t$  年的工业机器人安装流量； $L_{i,2005}$  为  $i$  行业 2005 年的就业总人数，来源于《中国劳动统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》； $I_{i,c}^{2005}$  表示 2005 年  $c$  城市  $i$  行业的就业人数占城市  $c$  总就业人数的比例，这一比例从 2005 年 1% 人口抽样调查微观数据计算得到。

##### 2. 控制变量

在控制变量方面，考虑到工业机器人应用对地区经济差距的影响还会受到遗漏变量的影响，因此，本文参考杨光和侯钰(2020)等文献，引入以下控制变量：(1)政府干预( $gov$ )。政府行为是影响地区经济发展的重要因素，而地方政府的财政支出是其干预经济发展的主要手段。因此，本文利用各城市的财政支出与  $GDP$  的比值表示政府干预程度。(2)社会消费能力( $prs$ )。本文通过各城市社会消费品零售总额与  $GDP$  的比值衡量城市的社会消费能力。(3)经济开放度。

我国各城市对外开放程度存在的巨大差异,是导致地区经济发展不均衡的重要原因之一,本文通过外资依存度和贸易依存度来表示经济开放度。外资依存度(*fdi*),采用各城市实际利用外资金额与 *GDP* 的比例衡量。贸易依存度(*open*),利用各城市的进出口总额与 *GDP* 的比值表示。(4)金融发展水平(*df*)。金融发展水平与地区经济差距息息相关(吕承超和宋洁,2020),本文通过各城市年末贷款余额与 *GDP* 的比值衡量各城市的金融发展水平。(5)产业结构升级。产业结构的变迁升级对地区经济差距具有显著影响(裴延峰,2022),本文参考裴延峰(2022)和干春晖等(2011)的研究,分别从产业结构合理化(*sh*)和产业结构高级化(*sg*)衡量产业结构升级。产业结构合理化通过采用广义熵的方法,将第一、第二和第三产业的产值占总产值的比重进行加权平均,在结构偏离度的基础上将其转化为相对指标。产业结构高级化用第三产业产值与第二产业产值之比加以衡量。本文变量的描述性统计结果见表 1。

表 1 变量的描述性统计

变量	变量符号	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
地区经济差距	<i>Yd</i>	3836	0.467	0.325	0.0005	1.747
工业机器人应用	<i>Robot</i>	3836	0.079	0.144	0.00003	1.574
政府干预	<i>gov</i>	3836	0.172	0.084	0.015	1.485
社会消费能力	<i>prs</i>	3836	0.369	0.108	0.026	1.013
外资依存度	<i>fdi</i>	3836	0.019	0.021	0	0.569
贸易依存度	<i>open</i>	3836	0.195	0.337	0.0003	3.499
金融发展水平	<i>df</i>	3836	0.924	0.583	0.075	9.622
产业结构合理化	<i>sh</i>	3836	4.874	0.212	4.539	6.939
产业结构高级化	<i>sg</i>	3836	0.902	0.492	0.094	5.168

### (三)典型事实分析

#### 1. 地区经济差距的变化趋势

为了考察地区经济差距的整体变化情况,本文首先以各城市的人均 *GDP* 为基础分别绘制了地区经济差距 *Yd*、基尼系数和泰尔指数的趋势图,演变趋势如图 2 所示。从整体来看,地区经济差距 *Yd*、基尼系数和泰尔指数三者呈现下降的趋势,表明在 2006—2019 年之间,中国各地区之间的经济差距整体有缩小的趋势。在 2006 年至 2011 年期间,地区经济差距 *Yd*、基尼系数和泰尔指数的下降速度较快,说明各城市之间的地区经济差距在快速缩小。在 2011 年至 2019 年期间,地区经济差距 *Yd*、基尼系数和泰尔指数整体呈现出小幅上升趋势,而地区经济差距 *Yd* 的上升趋势较为明显,但这并未影响地区经济差距的整体下降态势。

其次,本文进一步绘制了地区经济差距 *Yd* 的核密度图,从而分析地区经济差距 *Yd* 的分布状况。图 3 为 2006 年、2010 年、2014 年和 2019 年这 4 个年度各城市地区经济差距的核密度曲线图。其中,横轴为地区经济差距的变化情况,纵轴为不同城市地区经济差距的分布密度。从整体来看,核密度曲线的左半部分向右平移,而右半部分向左平移,表明地区经济差距的值逐渐向中间靠拢。从波峰变化情况来看,地区经济差距的核密度曲线有两个波峰,其中主波峰在左侧,波峰高度呈现出由低到高再到低的状态,次波峰在右侧,并逐渐升高,甚至有超越主波峰的趋势,说明地区经济差距存在扩大的趋势。从延伸情况来看,核密度曲线向右延伸的长度不断缩短,意味着少数城市与其他城市地区经济差距过大的现象得到了一定缓解。由此可见,中国各城市之间的总体地区经济差距仍然较大,在面临机器人等新技术不断普及应用的背景下,如何采取有效的措施以促进区域协调发展是个重要问题。

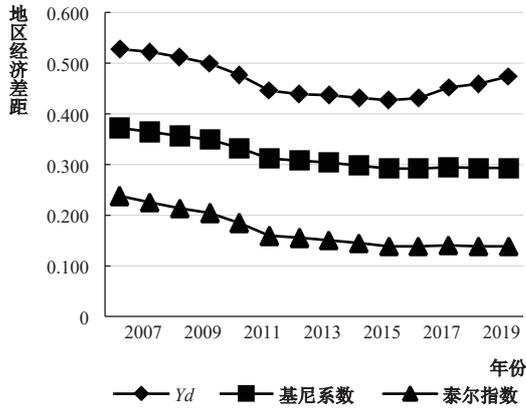


图2 地区经济差距的变化趋势

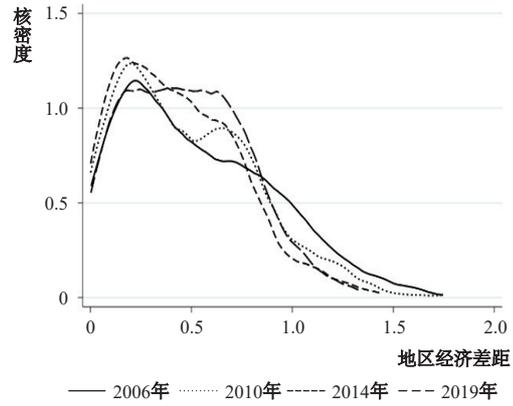


图3 地区经济差距的核密度图

### 2. 工业机器人应用的变化趋势

为了考察工业机器人应用水平的变化趋势，本文绘制了中国各城市每年工业机器人安装量和渗透度的时间趋势图。从整体来看，除各城市工业机器人安装流量和安装流量渗透度个别年份有所下降外，无论是各城市工业机器人安装流量和存量，还是各城市工业机器人安装流量渗透度和存量渗透度，均呈现出逐渐增加的趋势。工业机器人应用水平在2006—2013年期间稳步上升，而在2013—2019年快速上升。2012年前后正是深度学习和互联网等科技快速发展的时期，这说明在机器人技术愈加成熟和相关配套基础设施愈加完善的背景下，工业机器人在各城市的应用变得越来越广泛。

### 3. 各城市工业机器人应用与地区经济差距的初步分析

为了初步判断工业机器人应用对地区经济差距的影响，结合图2和图4中地区经济差距和工业机器人应用的变化趋势，可以看出两者整体呈现相反方向的变动特征。在2006—2019年期间，无论是各城市的工业机器人安装量还是工业机器人安装量渗透度均在逐年上升，而在2006—2016年期间，地区经济差距呈现逐年下降的趋势，在2016—2019年期间，地区经济差距则表现出逐渐上升的特征。从两者的变化趋势可以初步判定，在工业机器人应用的前期阶段，工业机器人应用可能会缩小地区经济差距，但随着“机器换人”情况不断发生，工业机器人应用可能会扩大地区经济差距。然而，该结论是否成立还需要进一步加以验证。

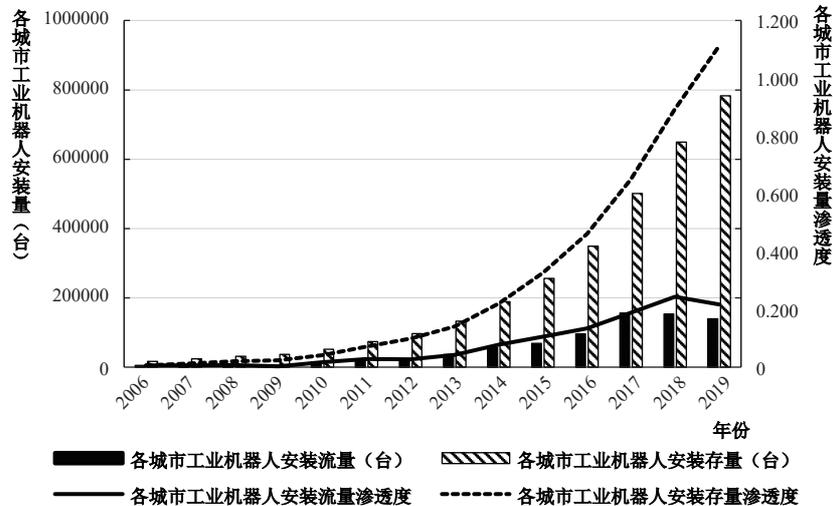


图4 工业机器人应用的变化趋势

## 四、实证检验

### (一)模型构建和基准回归结果

为了验证工业机器人应用与地区经济差距之间的关系,本文构建相应的实证模型进行分析,根据 Hausman 检验结果选取考虑城市和时间因素的双重固定效应模型:

$$Yd_{ct} = a_0 + a_1 Robot_{ct} + Control_{ct} + \mu_c + \nu_t + \varepsilon_{ct} \quad (3)$$

其中,  $c$  表示城市,  $t$  表示时间;  $Yd_{ct}$  表示地区经济差距,  $Robot_{ct}$  表示工业机器人应用,  $Control_{ct}$  表示控制变量集,包括政府干预( $gov_{ct}$ )、社会消费能力( $prs_{ct}$ )、外资依存度( $fdi_{ct}$ )、贸易依存度( $open_{ct}$ )、金融发展水平( $df_{ct}$ )、产业结构合理化( $sh_{ct}$ )和产业结构高级化( $sg_{ct}$ );  $\mu_c$  表示城市固定效应,  $\nu_t$  表示时间固定效应,  $\varepsilon_{ct}$  表示随机扰动项。

表 2 列(1)、列(2)分别汇报了未加入控制变量和加入控制变量时工业机器人应用对地区经济差距影响的回归结果。列(4)、列(5)汇报了进口机器人数量对地区经济差距影响的回归结果。从回归结果来看,工业机器人应用对地区经济差距的影响在 1% 的显著性水平下显著为负,说明现阶段工业机器人应用在整体上缩小了地区经济差距。原因可能是,工业机器人技术已经日益渗透到国民经济的各个方面,其所具有的协同性和创造性有助于提高技术比较优势,促进地区经济增长。然而,工业机器人技术的替代性会显著削弱地区经济差距,在一定程度上抑制了经济增长。相较于经济较为落后地区,经济较为发达地区的工业机器人应用水平较高,虽然能够获得更为明显的技术比较优势增幅,但在现阶段对该地区的劳动力和资本比较优势冲击也较大,因此工业机器人应用整体上缩小了其与经济较为落后地区的经济差距。

本文在考察了工业机器人应用对地区经济差距的基准回归结果后,进一步加入了工业机器人应用的二次项,以分析工业机器人应用对地区经济差距的阶段演化趋势。然而,生产要素和技术在一个地区的集聚会产生有利于地区经济增长的集聚效应,但过度集聚会导致“拥塞效应”,降低地区生产要素的回报,阻碍地区经济增长(杨仁发, 2013; 于斌斌等, 2015)。而工业机器人应用作为最新的前沿技术,其对地区经济差距的阶段影响可能会受到产业过度集聚带来的“拥塞效应”的干扰。故本文借鉴赵建群(2011)的思路,利用赫芬达尔指数(HHI)测度各个地区的产业集聚水平,并将该变量的一次项和二次项加入到实证模型中,以控制可能存在的“拥塞效应”对实证回归结果的影响。表 2 列(3)、列(6)分别汇报了工业机器人渗透度和进口工业机器人数量对地区经济差距阶段性影响的实证结果,发现无论是使用工业机器人渗透度还是进口工业机器人数量进行回归,其对地区经济差距的影响均呈阶段性特征,即工业机器人应用在第一阶段会缩小地区经济差距,而在第二阶段会扩大地区经济差距。这是因为,相对于经济较为落后地区,尽管工业机器人应用在第一阶段过度削弱了经济较为发达地区劳动力和资本比较优势,这在一定程度上缩小了地区经济差距,但是随着“机器换人”情况不断发生,工业机器人应用在第二阶段不仅会持续增强地区的技术研发效率,而且劳动者与智能机器设备的协同性也会与日俱增,这有助于增强地区技术比较优势和生产率比较优势,从而扩大地区经济差距。

从表 2 列(2)控制变量的估计结果来看,政府干预( $gov$ )、社会消费能力( $prs$ )、产业结构合理化( $sh$ )和产业结构高级化( $sg$ )对地区经济差距的影响显著为正。这是因为,政府财政政策的倾斜和社会消费能力的增强会促进经济增长,而经济较为发达地区的政府财政支出规模较大和社会消费能力较强,可以刺激经济实现较快的增长,最终形成“强者越强、弱者越弱”的局面,导致地区经济差距扩大。产业结构合理化( $sh$ )和产业结构高级化( $sg$ )会显著扩大地区经济差距,

说明中国目前的产业结构合理化和高级化发展并不均衡。作为资本、技术等禀赋条件较好的经济发达地区,往往会进行产业结构的转型升级,促进产业结构的合理化和高级化,而这些地区也能培育新的经济发展优势,从而拉大与经济较为落后地区的经济差距。

表 2 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Yd</i>	<i>Yd</i>	<i>Yd</i>	<i>Yd</i>	<i>Yd</i>	<i>Yd</i>
<i>Robot</i>	-0.281*** (0.0257)	-0.216*** (0.0273)	-0.315*** (0.0629)	-0.133*** (0.0242)	-0.131*** (0.0240)	-0.348*** (0.0786)
<i>Robot</i> <sup>2</sup>			0.086* (0.0492)			0.078*** (0.0268)
<i>gov</i>		0.520*** (0.0532)	0.513*** (0.0536)		0.079* (0.0457)	0.078* (0.0460)
<i>prs</i>		0.236*** (0.0453)	0.232*** (0.0453)		0.058* (0.0316)	0.059* (0.0315)
<i>fdi</i>		0.099 (0.1448)	0.091 (0.1450)		0.725*** (0.1145)	0.713*** (0.1144)
<i>open</i>		0.030 (0.0191)	0.027 (0.0191)		0.041*** (0.0078)	0.041*** (0.0078)
<i>df</i>		-0.010 (0.0072)	-0.0106 (0.0072)		0.013 (0.0089)	0.012 (0.0089)
<i>sh</i>		0.048** (0.0211)	0.048** (0.0211)		0.009 (0.018)	0.010 (0.018)
<i>sg</i>		0.141*** (0.0114)	0.143*** (0.0115)		0.045*** (0.0077)	0.045*** (0.0078)
<i>HHI</i>			0.133 (0.2625)			-0.630** (0.2593)
<i>HHI</i> <sup>2</sup>			-0.209 (0.2752)			0.718*** (0.2718)
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>Constant</i>	0.529*** (0.0081)	0.042 (0.1037)	0.022 (0.1198)	0.545*** (0.0083)	0.394*** (0.0890)	0.528*** (0.1056)
<i>N</i>	3836	3836	3836	4110	4110	4110
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.095	0.196	0.198	0.107	0.133	0.136

注:括号中为标准误,\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,下表同。

## (二)稳健性检验<sup>①</sup>

### 1. 内生性问题

第一,本文参考盛丹和卜文超(2022)、董直庆等(2023)的研究,采用美国工业机器人渗透度作为工具变量  $IV_1$ 。选取该工具变量的理由是,美国工业机器人的应用水平在全球处于领先地位,并且其变化趋势与中国的工业机器人渗透度变化趋势较为相似。同时,美国工业机器人渗透度并不会直接影响中国的地区经济差距。因此,选取美国工业机器人渗透度作为工具变量同

<sup>①</sup> 限于篇幅,省略分析表格,读者若是感兴趣可向作者索取。

时满足工具变量的相关性和排他性条件。根据回归结果,美国工业机器人渗透度对核心解释变量的影响在 1% 的显著性水平下显著为正,且 *Kleibergen-Paap rk F* 值检验拒绝了弱工具变量假设,工业机器人渗透度对地区经济差距的影响显著为负,表明工业机器人应用会显著缩小地区经济差距,这与本文的基准回归结果基本一致。

第二,本文参考 Acemoglu 和 Restrepo(2020)的研究思路,计算了与中国工业机器人应用变化趋势相同的美国、德国和韩国加权平均工业机器人渗透度,作为工具变量  $IV_2$  进行内生性检验,该工具变量也满足相关性和排他性的要求。根据回归结果,该工具变量对工业机器人应用的影响在 1% 的显著性水平下显著为正,并且 *Kleibergen-Paap rk F* 值为 144.668,远大于 10% 显著性水平上的临界值,排除了弱工具变量的问题。根据回归结果,工业机器人应用仍在 1% 的显著性水平下显著,说明工业机器人应用能够缩小地区经济差距,因此本文结论是稳健的。

## 2. 更换核心变量

第一,更换被解释变量。本文以全国每年的人均 GDP 为基础对被解释变量进行标准化处理,具体的构建指标过程如式(4)所示,式中变量定义同前。第二,更换核心解释变量。为了增强结论的可信性,本文采用计算核心解释变量的方法,即利用机器人安装存量再次计算工业机器人渗透度作为衡量工业机器人应用的指标。根据回归结果,回归系数的符号与显著性均与基准结果一致,说明本文结论是稳健的。

$$Yd_{ct} = \left| \frac{\ln pgdp_{ct} - \ln pgdp_t}{\ln pgdp_t} \right| \quad (4)$$

## 3. 缩尾处理

本文对所有基准回归结果中用到的变量数据在 1% 和 99% 的分位上进行了缩尾处理。根据回归结果,工业机器人应用对地区经济差距的影响仍然在 1% 的显著性水平下显著为负。

## 4. 改变样本范围

考虑到北京市、天津市、上海市和重庆市四个直辖市的资源相对较为集中,在工业机器人的发展与应用方面具有较好的条件,本文对这四个直辖市的数据进行删除后再次进行回归。回归结果并未发生改变,说明本文结论是稳健的。

## 5. 考虑工业机器人应用城市的产业特征

根据 IFR 数据库可知,在中国各行业工业机器人安装量占比中,交通运输业和电子电气产品制造业的工业机器人安装量占比远远高于其他行业,从而有可能主导最终的回归结果。因此,本文参考 Giuntella 等(2022)和董雪兵等(2022)的研究,分别剔除交通运输业和剔除交通运输业、电子电气产品制造业后重新测度工业机器人渗透度指标,并将其分别加入到实证模型中进行相应检验。根据回归结果,工业机器人应用对地区经济差距的影响仍然显著为负,说明本文结论是稳健的。

## 6. 排除其他事件干扰

其一,2008 年金融危机作为一个外生冲击事件,会对各城市的经济增长带来一定的负面冲击,使得经济较为发达地区和经济较为落后地区的经济增长速度放缓,引起地区经济差距的变动。因此,本文删除了受 2008 年金融危机影响最为严重的 2008 年至 2010 年的样本数据,并在此基础上进行相应的回归估计。其二,近年来,信息通信技术(ICT)作为驱动数字经济发展的核心技术得到了快速发展,而 ICT 在促进各城市的工业机器人应用的同时,也会对地区经济差距产生重要影响。因此,本文在考虑数据可得性的前提下,参考綦建红和张志彤(2022)的研究,在基准回归模型中加入各省每平方公里长途光缆密度、各省每人互联网宽带接入端口数、移动电

话普及率指标,以控制 ICT 技术发展对基准结论可能产生的影响,数据来源于《中经网统计数据库》《中国第三产业统计年鉴》等。根据回归结果,在控制了上述干扰事件后,工业机器人应用对地区经济差距的影响与基准回归结果一致,说明本文结论是稳健的。

### 7. 其他遗漏变量可能带来的偏误

本文参考王伟同等(2019)的研究,利用可观测变量度量未观测变量带来偏误的可能性,尽可能地消除因遗漏变量带来的内生性问题。其中,本文选取了 1 种有限集和 2 种全集,有限集仅控制城市固定效应,全集包括基准回归结果中的所有控制变量以及在此基础上进一步控制与 ICT 相关的控制变量,从而产生了 2 种组合。根据分析结果,由其他遗漏变量带来偏误的可能性是很小的,表明基准回归结果是稳健的。

### (三)机制检验

根据基准回归结果可知,工业机器人应用显著缩小了地区经济差距,有必要进一步考察其中的作用机制。在实证分析时涉及到的地区比较优势变化指标,本文参考李力行和申广军(2015)的思路,分别从劳动力和资本比较优势变化(LCA)、技术比较优势变化(TCA)、生产率比较优势变化(PCA)三个方面加以体现:

劳动力和资本比较优势变化(LCA)。本文借鉴张军等(2004)、陆瑶等(2017)的研究,采用各城市在岗职工平均人数与资本存量比值的变动衡量劳动力和资本比较优势变化。

技术比较优势变化(TCA)。本文借鉴官建成等(2008)的研究,采用各城市发明专利授权数的变动衡量技术比较优势变化,数据来源于中国研究数据服务平台(CNRDS)。

生产率比较优势变化(PCA)。本文使用 DEA-Malmquist 方法测算城市生产率指标,该指标本身代表着生产率水平的变动,可以用来衡量生产率比较优势变化。在测算生产率时,产出变量指标采用各城市的 GDP 表示,而投入变量指标包括劳动力投入和资本投入。其中,劳动力投入用各城市的就业人数衡量;资本投入指标参考张军等(2004)的研究,以 2005 年为基期通过永续盘存法计算得出的资本存量表示。

表 3 汇报了作用机制的实证回归结果。列(1)、列(3)和列(5)是不加工具变量的实证结果,而列(2)、列(4)和列(6)是利用工具变量  $IV_i$  进行回归得到的实证结果。可以发现,无论是否加入工具变量,实证回归结果均未发生显著变化。列(1)、列(2)和列(3)、列(4)的回归结果显示,工业机器人应用对劳动力和资本比较优势变化以及技术比较优势变化的影响分别显著为负和显著为正,表明工业机器人应用在增强地区技术比较优势的同时也削弱了该地区的劳动力和资本比较优势。列(5)、列(6)的回归结果显示,工业机器人应用并不会显著引起生产率比较优势的变动。结合基准回归结果可以发现,工业机器人应用对劳动力和资本比较优势的削弱作用甚至超过了其对技术比较优势的增强作用,成为地区经济差距缩小的主要原由。这是因为,一般来讲,经济较为发达地区的工业机器人应用水平要大于经济较为落后地区,尽管工业机器人应用可以提高研发效率,增强了经济较为发达地区的技术比较优势,但是工业机器人应用对低技能劳动者的替代作用也更强,使得经济较为发达地区的大量低技能劳动者被替代,促使低技能劳动者转移到工业机器人应用水平较低的经济较为落后地区,最终导致经济较为发达地区的劳动力和资本比较优势下降更为明显。短期内,经济较为发达地区在进行智能转型升级时将经历“阵痛期”,这甚至超过了技术比较优势增强带来的“利好”,客观上缩小了其与经济较为落后地区的经济差距。但是,未来随着经济较为发达地区逐渐度过智能转型升级的“阵痛期”,地区经济差距可能会扩大。生产率比较优势在现阶段为什么没有发挥显著的渠道作用?其背后的原因

可能是,工业机器人应用虽然有助于节约劳动力成本和扩大产能,促进生产率比较优势的提升,但也导致被替代的部分劳动力流向了生产率较低的服务业,同时过快的智能化也会造成人机协同程度降低,不利于地区生产率比较优势的提升,最终使工业机器人应用无法通过生产率比较优势变化对地区经济差距产生影响。

表 3 机制检验回归结果

	劳动力和资本比较优势变化		技术比较优势变化		生产率比较优势变化	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>LCA</i>	<i>LCA</i>	<i>TCA</i>	<i>TCA</i>	<i>PCA</i>	<i>PCA</i>
<i>Robot</i>	-0.238*** (0.0306)	-0.417*** (0.1387)	0.126** (0.0631)	0.960*** (0.2714)	0.0005 (0.0184)	0.022 (0.0796)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	3836	3836	3836	3836	3836	3836
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.109		0.109		0.371	

(四)异质性分析

为了检验工业机器人资本积累程度对地区经济差距所起的作用,本文以工业机器人应用水平的均值作为划分标准,将城市分为工业机器人应用水平较高的城市和工业机器人应用水平较低的城市,考察工业机器人应用对地区经济差距的影响。根据回归结果,在工业机器人应用水平较高的城市,工业机器人应用会缩小地区经济差距,而在工业机器人应用水平较低的城市,工业机器人应用会扩大地区经济差距。这可能是因为,在工业机器人应用水平较高的城市,工业机器人的替代作用较强,导致大量相关职业的劳动者失业,降低了这些城市的劳动力和资本比较优势,从而对地区经济差距的缩小作用也更为显著。而在工业机器人应用水平较低的城市,工业机器人的替代性并不强,对劳动力和资本比较优势的冲击并不大,同时,在工业机器人应用水平较低的城市,当引入工业机器人设备时所产生的边际收益更大,对技术比较优势的增强作用更强,最终造成了地区经济差距的扩大。

深度学习技术的不断进步为智能机器人发展提供了充足的数据基础和强大的算力支撑(蔡跃洲和陈楠, 2019),从 2012 年开始深度学习才逐渐呈现出爆发式发展的态势,这为工业机器人的普及应用提供了良好的配套技术条件。同时,考虑到深度学习技术从发展到促进工业机器人技术应用可能具有一定的滞后性,本文以 2013 年为界限,将总体的研究样本分为 2013 年及以前和 2013 年以后两个样本。根据回归结果,工业机器人应用对地区经济差距的缩小作用在 2013 年以后更加显著。这说明在 2013 年后工业机器人应用水平的大幅度提升导致其对劳动力的替代作用增强,使得工业机器人对地区经济差距的缩小作用愈加明显。

工业机器人应用的有效发挥与当地的人力资本水平匹配程度息息相关(胡晟明等, 2021)。在城市层面的数据中,大多数学者采用各城市中每万人在校大学生数衡量地区人力资本。然而,有些城市存在高校少但地区人力资本水平较高的情况。为了解决这一问题,本文使用各城市相对人均 GDP 对省级劳动者平均受教育年限进行加权,并计算得出各城市的人力资本水平,即人力资本水平=各省劳动者平均受教育年限/(各城市人均 GDP/各省份人均 GDP)。其中,各省份劳动者的平均受教育年限通过教育年限法计算得出,本文按照教育年限法将受教育程度分为小学、初中、高中及中专、大专、大学本科和研究生六个层级,其对应的受教育年限分别为 6 年、9 年、12 年、15 年、16 年和 19 年。按照 2006—2019 年各城市的人力资本均值将样本分为人力资本水平较高的城市和人力资本水平较低的城市。根据回归结果,在人力资本水平较高的城市,

工业机器人应用会显著缩小地区经济差距。而在人力资本水平较低的城市，工业机器人应用对地区经济差距的作用不显著。背后的原因是，人力资本水平较高的城市能为工业机器人的普及应用提供更多的人才支持，而随着工业机器人应用水平不断提高，其对低技能劳动者的替代作用也随之增强，对地区经济差距的缩小作用也更加显著。

## 五、结论与政策建议

本文采用 2006—2019 年中国城市层面的面板数据，考察了工业机器人应用对地区经济差距的影响及作用机制。研究发现：其一，工业机器人应用有利于缩小地区经济差距，但是从阶段变化上来看，工业机器人应用对地区经济差距的影响呈现出先缩小后扩大的变化趋势；其二，机制分析表明，相较于工业机器人应用通过提高地区技术比较优势扩大地区经济差距，工业机器人应用通过降低劳动力和资本比较优势缩小地区经济差距的作用更加明显，同时工业机器人应用对生产率比较优势的影响并不显著；其三，异质性考察发现，工业机器人应用对地区经济差距的缩小作用在工业机器人应用水平较高的城市、配套基础设施条件较为完善的城市以及人力资本水平较高的城市更为明显。

在工业机器人应用不断普及的背景下，本文结论对于促进区域协调发展，实现经济高质量发展具有重要的政策启示。首先，由于工业机器人应用有利于缩小地区经济差距，因此应该加快机器人普及应用，促进地区经济转型升级，但也要警惕机器人应用带来的地区比较优势转换完成后可能会扩大地区经济差距。其次，各地区在推广工业机器人应用的过程中，要缓解地区由劳动力和资本比较优势向技术比较优势转换时带来的冲击，注意在引进工业机器人技术时应结合地区实际情况平稳地推进工业机器人技术普及。企业要进行产业智能转型升级，使得员工掌握应用工业机器人等新技术。在通过应用工业机器人增强技术比较优势的同时，也要防止劳动力和资本比较优势快速下降对地区经济发展产生不利影响，尽量实现产业智能转型与区域协调发展的动态平衡。最后，考虑到工业机器人应用对地区经济差距的缩小作用受到多种因素的影响，政府在制定相关政策时，应考虑当地的工业机器人应用水平、配套基础设施条件和人力资本水平等因素，进行精准施策。

### 主要参考文献：

- [1]蔡跃洲,陈楠.新技术革命下人工智能与高质量增长、高质量就业[J].数量经济技术经济研究,2019,(5):3-22.
- [2]陈媛媛,张竞,周亚虹.机器人与劳动力的空间配置[J].经济研究,2022,(1):172-188.
- [3]董雪兵,潘登,池若楠.工业机器人如何重塑中国就业结构[J].经济学动态,2022,(12):51-66.
- [4]董直庆,姜昊,王林辉.“头部化”抑或“均等化”:人工智能技术会改变企业规模分布吗?[J].数量经济技术经济研究,2023,(2):113-135.
- [5]樊纲.“发展悖论”与发展经济学的“特征性问题”[J].管理世界,2020,(4):34-39.
- [6]干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011,(5):4-16.
- [7]官建成,高霞,徐念龙.运用h-指数评价专利质量与国际比较[J].科学学研究,2008,(5):932-937.
- [8]韩永辉,刘洋,王贤彬.人工智能对区域经济增长的异质性影响与机制识别——基于中国“机器换人”的实证检验[J].学术研究,2023,(2):97-104.
- [9]何小钢,朱国悦,冯大威.工业机器人应用与劳动收入份额——来自中国工业企业的证据[J].中国工业经济,2023,(4):98-116.
- [10]胡晟明,王林辉,朱利莹.工业机器人应用存在人力资本提升效应吗?[J].财经研究,2021,(6):61-75.
- [11]金陈飞,吴杨,池仁勇,等.人工智能提升企业劳动收入份额了吗?[J].科学学研究,2020,(1):54-62.

- [12]金玥昀, 潘士远, 詹御涛, 等. 机器人应用对区域经济收敛的影响[J]. 浙江社会科学, 2023, (1): 28-37.
- [13]孔高文, 刘莎莎, 孔东民. 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, 2020, (8): 80-98.
- [14]李兰冰, 刘秉镰. “十四五”时期中国区域经济发展的重大问题展望[J]. 管理世界, 2020, (5): 36-51.
- [15]李力行, 申广军. 经济开发区、地区比较优势与产业结构调整[J]. 经济学(季刊), 2015, (3): 885-910.
- [16]林毅夫, 付才辉. 比较优势与竞争优势: 新结构经济学的视角[J]. 经济研究, 2022, (5): 23-33.
- [17]刘灿雷, 姜丽, 高超. 工业机器人与比较优势——基于跨国制造业数据的实证分析[J]. 国际贸易问题, 2023, (3): 158-174.
- [18]刘春艳, 赵军. 工业机器人应用缩小了全球经济鸿沟吗[J]. 国际商务(对外经济贸易大学学报), 2023, (4): 69-83.
- [19]陆瑶, 施新政, 刘璐瑶. 劳动力保护与盈余管理——基于最低工资政策变动的实证分析[J]. 管理世界, 2017, (3): 146-158.
- [20]吕承超, 宋洁. 金融发展缩小了我国地区经济差距吗——基于关系数据分析范式[J]. 经济学家, 2020, (9): 42-52.
- [21]倪鹏飞, 刘伟, 黄斯赫. 证券市场、资本空间配置与区域经济协调发展——基于空间经济学的研究视角[J]. 经济研究, 2014, (5): 121-132.
- [22]裴延峰. 中国产业结构变迁的空间不平衡对地区经济差距的影响[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, (3): 3-23.
- [23]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.
- [24]盛丹, 卜文超. 机器人使用与中国企业的污染排放[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, (9): 157-176.
- [25]孙早, 陈玉洁. 机器人角色、生产分割与生产方式转换[J]. 中国工业经济, 2023, (4): 5-23.
- [26]孙早, 韩颖. 人工智能会加剧性别工资差距吗?——基于我国工业部门的经验研究[J]. 统计研究, 2022, (3): 102-116.
- [27]王伟同, 谢佳松, 张玲. 人口迁移的地区代际流动偏好: 微观证据与影响机制[J]. 管理世界, 2019, (7): 89-103.
- [28]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.
- [29]魏嘉辉, 顾乃华, 韦东明. 工业机器人与中国制造业地区发展差距: 后发优势还是先发优势?[J]. 经济与管理研究, 2022, (1): 59-71.
- [30]许健, 季康先, 刘晓亭, 等. 工业机器人应用、性别工资差距与共同富裕[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, (9): 134-156.
- [31]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.
- [32]杨仁发. 产业集聚与地区工资差距——基于我国 269 个城市的实证研究[J]. 管理世界, 2013, (8): 41-52.
- [33]于斌斌, 杨宏翔, 金刚. 产业集聚能提高地区经济效率吗?——基于中国城市数据的空间计量分析[J]. 中南财经政法大学学报, 2015, (3): 121-130.
- [34]余玲铮, 魏下海, 孙中伟, 等. 工业机器人、工作任务与非常规能力溢价——来自制造业“企业—工人”匹配调查的证据[J]. 管理世界, 2021, (1): 47-59.
- [35]张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. 经济研究, 2004, (10): 35-44.
- [36]赵建群. 论赫芬达尔指数对市场集中状况的计量偏误[J]. 数量经济技术经济研究, 2011, (12): 132-145.
- [37]Acemoglu D, Restrepo P. The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment[J]. *American Economic Review*, 2018, 108(6): 1488-1542.
- [38]Acemoglu D, Restrepo P. Robots and jobs: Evidence from US Labor Markets[J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [39]Barro R J, Sala-i-Martin X. Technological diffusion, convergence, and growth[J]. *Journal of Economic Growth*, 1997, 2(1): 1-26.
- [40]Berg A, Buffie E F, Zanna L F. Robots, growth, and inequality: The robot revolution could have negative implications for equality[J]. *Finance & Development*, 2016, 53(3): 10-13.

- [41] Bessen J, Goos M, Salomons A, et al. Automatic reaction-What happens to workers at firms that automate?[R]. CPB Discussion Paper No. 390, 2019.
- [42] Giuntella O, Lu Y, Wang T Y. How do workers and households adjust to robots? Evidence from China[R]. NBER Working Paper No. 30707, 2022.
- [43] Graetz G, Michaels G. Robots at work[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 2018, 100(5): 753–768.
- [44] Stähler N. The impact of aging and automation on the macroeconomy and inequality[J]. *Journal of Macroeconomics*, 2021, 67: 103278.

## The Impact of Industrial Robot Application on Regional Economic Disparity

Chen Mingsheng<sup>1</sup>, Zheng Yulu<sup>1</sup>, Yao Di<sup>2</sup>

(1. School of Business, China University of Political Science and Law, Beijing 100088, China;

2. School of Economics, Shandong University, Jinan 250100, China)

**Summary:** As the phenomenon of “replacement of man by machines” intensifies, industrial robot application inevitably causes changes in regional comparative advantages, and plays a more and more important role in reshaping the pattern of regional economic development. Therefore, based on the panel data of 274 cities in China from 2006 to 2019, this paper examines the impact of industrial robot application on regional economic disparity and its mechanism.

This paper finds that: First, industrial robot application significantly reduces regional economic disparity on the whole, but in terms of the stage change, the impact of industrial robot application on regional economic disparity shows a changing trend of narrowing in the first stage and widening in the second stage. Second, mechanism analysis shows that although industrial robot application expands regional economic disparity by improving regional technology comparative advantages, the role of industrial robot application in narrowing regional economic disparity by reducing regional labor-capital comparative advantages is more significant, while the channel role of productivity comparative advantages cannot be effectively played at the current stage. Third, heterogeneity analysis shows that the narrowing effect of industrial robot application on regional economic disparity is particularly prominent in cities with a higher level of industrial robot application, better supporting infrastructure conditions, and a higher level of human capital. The findings provide an important basis for guiding industrial robot application to promote the coordinated development of the region.

Compared with the existing literature, the contributions of this paper are as follows: First, it utilizes the techno-economic characteristics of industrial robot application, the “New Solow Paradox”, and other related theories, sinks the research sample to the city level, and examines the impact of industrial robot application on regional economic disparity by using city-level panel data from 2006 to 2019, further theoretically and empirically supplementing existing research. Second, based on the comparative advantages of labor-capital, technology, and productivity in each region, it explores the transmission mechanism of industrial robot application on regional economic disparity, and explains the necessity for each region to rationally promote industrial robot application in light of local factor endowment conditions.

**Key words:** regional economic disparity; industrial robot application; comparative advantages

(责任编辑 顾 坚)