

机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响研究

张国胜^{1,2}, 魏心贤¹

(1. 云南大学经济学院, 云南 昆明 650500;
2. 云南大学云南数字经济研究院, 云南 昆明 650500)

摘要: 机器人应用能够带来普遍的经济增长红利, 但并不会以“涓流”的形式自然而然地均等化惠及所有地区。从劳动力参与、劳动力错配、劳动力技能及劳动力收入4个维度, 基于地级市层面数据深入探讨机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响及作用渠道。研究发现: 机器人应用是助推经济增长的重要驱动力, 但其在我国南方带来的经济增长速度要明显高于北方, 致使经济增长呈现“南快北慢”格局, 表现为机器人应用引致经济增长“南橘北枳”。作用渠道分析发现: 在促进劳动力参与、缓解劳动力错配、提升劳动力技能、提高劳动力收入的4个维度上, 机器人应用在我国南北的影响具有非对称的特征, 其在南方的赋能效果均要明显优于北方, 这是导致我国经济增长“南橘北枳”的重要原因。研究结果为中国区域经济差距提供了新的解释, 也为推动机器人更好地服务于经济高质量发展提供了参考。

关键词: 机器人应用; 劳动力; 非对称; 经济增长

中图分类号: F241.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2025)05-0001-11

Research on the “south-orange-north-tangerine” effect of robot applications on economic growth

ZHANG Guosheng^{1,2}, WEI Xinxian¹

(1. School of Economics, Yunnan University, Kunming 650500, China;
2. Research Institute of Yunnan Digital Economics, Yunnan University, Kunming 650500, China)

Abstract: While robot applications generate widespread economic growth dividends, these benefits do not naturally trickle down equally across all regions. This study examines the “south-orange-north-tangerine” effect of robot applications on economic growth and its underlying mechanisms through four dimensions—labor participation, labor mismatch, labor skills, and labor income—using prefecture-level city data. The findings reveal that robot applications serve as a significant driver of economic growth, but their impact is markedly stronger in southern China than in the north, creating a “fast-south, slow-north” divergence akin to the phenomenon where “oranges thrive in the south but turn into tangerines in the north.” Mechanism analysis demonstrates asymmetric effects across the four dimensions; robot applications significantly outperform in southern China regarding labor participation promotion, mismatch alleviation, skill enhancement, and income growth. This asymmetric empowerment effect is a key factor behind the “south-orange-north-tange-

收稿日期: 2024-10-17 修回日期: 2025-03-30

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“推进以农业转移人口市民化为首要任务的新型城镇化研究”(21ZDA068); 国家社会科学基金重点项目“我国户籍制度城乡双向改革与新型城镇化研究”(20AJL012); 云南省教育厅科学研究基金项目“工业机器人应用缩小了南北地区经济差距吗? ——基于城市就业的经验证据”(2024Y085)。

作者简介: 张国胜(1977—), 男, 湖南临湘人, 云南大学经济学院(云南数字经济研究院)教授、博士生导师, 经济学博士, 研究方向为数字经济、发展经济。通信作者: 魏心贤。

rine" pattern in China's economic growth. The study provides new insights into regional economic disparities and offers policy implications for leveraging robots to foster high-quality economic development.

Key words: robot applications; labor force; asymmetry; economic growth

在全球新一轮科技革命和产业变革的背景下,机器人应用成为各个国家实施再工业化和抢占科技发展制高点的重要途径,在各级政府多次制定的系列政策推动下,机器人在中国得到了快速发展。根据国际机器人联合会(IFR)发布的报告,中国工业机器人的保有量,在2006年时只有3400台,到2014年超过10万台,到2021年就突破了100万台,成为首个保有量超百万的国家,截至2023年底,总保有量已达到175.5万台,占全球总保有量(428.2万台)的41%;在年度新安装量方面,从2014年的5.7万台到2019年的14.5万台,再到2023年新安装的27.63万台,占2023年全球总安装量(54.13万台)的51%,新安装量连续9年位居全球第一。机器人数量增长是全国趋势,但因地区经济水平和产业结构差异,机器人应用密度呈现出明显的区域差异,珠三角(广州、深圳、东莞)和长三角(上海、苏州、杭州)等东部沿海城市显著领先于中西部(重庆、武汉、成都),但随着经济发展和智能制造的持续推进,中西部地区的机器人密度也有望迎头赶上。与此同时,中国经济“南快北慢”的增长格局,在经济进入新常态后日益突显,已成为区域发展不平衡的典型特征,引发了党和政府的高度重视。从机器人应用来看,技术变革的偏向性与南北产业禀赋差异,使其产生的经济增长红利不会以“涓流”的形式均等化惠及地所有地区,导致其对中国区域经济产生非对称的影响^[1]。因此,在经济增长“南快北慢”现象随着机器人广泛应用而不断凸显的背景下,探明机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响及作用渠道,不仅有助于我们理解经济增长“南橘北枳”的发生过程,也能为指导地区及时调整产业结构以释放更多技术红利提供参考。

一、文献综述

从区域经济增长差距扩大的成因来看,已有研究从新古典经济学、古典区位论、空间经济学等视角对区域经济增长差距进行解释^[2-3],也有研

究从经济基础、技术效率、产业禀赋以及区域战略等视角探讨中国区域差距的演化历程^[4-6]。有学者认为,区域经济增长差距主要体现在增长动力上,如创新和教育带来的技术效率才是经济增长的关键驱动力,其对经济增长的贡献高低是导致区域经济增长差距大小的重要原因^[7];也有学者认为,产业禀赋作为解构经济最核心的结构形式,是影响区域经济增长的重要结构性因素^[8]。从机器人应用的经济效应来看,现有文献主要聚焦于效率变革和劳动力冲击两方面:其一,有学者认为机器人应用可以通过提高资本劳动比、改善劳动者人力资本禀赋、提升既定投入要素配置效率的三重路径机制,加速产业升级迭代和驱动要素优化重组,最终重塑经济增长格局^[9];其二,以机器人为代表的生产制造技术进步会对地区的劳动力产生深刻但方向相反的双重冲击,部分文献从偏向性技术进步视角出发,认为机器人应用最终对劳动力市场的整体作用为显著替代,然而也有学者认为机器人应用对劳动力市场的整体影响是以互补为主导^[10]。聚焦于本文机器人应用影响经济增长“南橘北枳”的主题,已有少数研究初步探讨了机器人应用对区域经济增长的影响,指出技术基础和产业结构差异会阻碍区域经济增长甚至扩大差距^[11-12]。尽管有学者探讨了机器人应用对不同区域就业结构、收入分配及经济增长的异质性影响,却鲜有从机器人冲击劳动力的多维视角来考察宏观经济增长格局的变化^[13-14]。

本文探讨机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响及作用渠道,之所以将机器人应用对劳动力的整体影响细分为劳动力参与、劳动力错配、劳动力技能及劳动力收入4个维度,其原因主要是以下几个方面。第一,劳动力四维分析涵盖了机器人冲击劳动力在4个维度上的独特作用,有效避免了单一维度分析的片面性。其中,劳动力参与考虑了机器人对就业总量的影响,揭示了劳动力市场的活跃程度及潜在的劳动力资源;劳动力错配

分析了机器人对劳动力资源配置效率的影响,反映了不同地区、行业间劳动力需求结构的变化;劳动力技能评估了机器人对劳动力市场总体结构的影响,揭示了劳动力在市场中的竞争力以及对技术变革的适应能力;劳动力收入则衡量了机器人对劳动力经济收益的影响,反映了劳动者的福利水平和消费能力。第二,劳动力四维分析中的每个维度都对经济增长有着独特的作用和贡献,只有综合考虑这4个方面,才能全面、准确、立体地理解劳动力在机器人应用冲击下的整体状态和变化趋势,以及这些冲击如何作用于经济增长的“南橘北枳”。劳动力参与提高意味着劳动力资源被更多利用从而为经济增长提供充足动力,劳动力错配减少意味着劳动力资源被更优配置从而促进经济高效增长,劳动力技能提升意味着产业升级和技术创新从而促使经济高质量增长,劳动力收入增加意味着刺激消费拉动内需从而为经济增长提供持续动力。第三,除本文所选取的劳动力参与、劳动力错配、劳动力技能及劳动力收入这4个维度以外,还可以从劳动力流动、劳动力效率、劳动力心理及劳动力教育等方面来衡量机器人应用对劳动力的冲击。虽然劳动力流动和劳动力效率对区域间的经济增长格局有着直接且显著的影响,但考虑到其与本文已选取的劳动力错配和劳动力收入指标有很强的相关性,因此劳动力流动和劳动力效率未被纳入本文的分析框架。而对于劳动力心理和劳动力教育,由于其与经济增长的关系相对较为间接,且在现有研究中尚未形成成熟的量化指标和理论支撑,因此暂不纳入本文的分析框架。

与既有研究相比,本文的贡献可能体现在以下3个方面。第一,拓展研究视角。本文从机器人应用非对称影响劳动力的角度来解释经济增长“南橘北枳”,为理解机器人技术变革背景下区域经济格局演变提供了更为全面和细致的视角。第二,厘清作用渠道。本文深入探讨了机器人应用在劳动力参与、劳动力错配、劳动力技能及劳动力收入4个维度上的非对称影响,并详细分析了这些影响如何作用于经济增长“南橘北枳”。第三,补

充全新证据。本文基于数据颗粒度更小的地级市层面数据,进一步丰富了关于机器人应用影响经济增长“南橘北枳”的证据。

二、理论分析

(一)机器人应用、劳动力参与和经济增长“南橘北枳”

劳动力是生产过程中的关键要素,就业的促进不仅被视为经济增长的前提条件,也是经济持续增长的有力保障。劳动力参与能够反映出就业机会的多寡、劳动力市场的活跃性大小以及劳动力的参与程度,因此劳动力参与是影响经济增长活力和动力的重要因素。就业替代、技能互补和效率增进3个方面综合表明,在机器人广泛应用的浪潮下,劳动力与机器人是能够共存的,甚至机器人应用产生的技能互补效应和效率增进效应,超过其对劳动力的就业替代效应,创造出更多就业岗位从而提高地区劳动力参与,进而促进经济增长^[15]。产业技术禀赋的差异,使得机器人应用的就业替代效应在北方表现得更为明显,而技能互补效应则在南方表现得更为明显,这种差异反映了一种非对称的冲击^[16]。第一,从就业替代来看。机器人在重复性、常规性及程序化的任务劳动方面比人力更具优势,在既有技术条件下对认知技能、非常规任务的替代性相对较弱。一旦机器人介入生产环节,最先替代的将是那些需要消耗较多体力的常规任务劳动力。就南方而言,其拥有产业现代化程度不断提高且规模较大的优势,即使少量从事低技术工作的劳动力被机器人挤出,也更有可能在该地区的其他行业再就业^[17];就北方而言,由于其先进制造业和现代服务业支撑不足、传统工业中高技能岗位所占比例较小,机器人应用导致的劳动岗位被机器人取代、劳动需求被削减的替代效应在北方尤其明显,且制造业就业的下降会连带着服务业的缩减,从而降低了其对劳动力的吸纳能力,这进一步放大了就业替代降低劳动力参与的影响^[18]。第二,从技能互补来看。机器人应用后新创造的非常规任务类型就业岗位通常聚集在技术密集行业^[19],南方存在大量以技术和知识密集为特点、更多依赖高技能劳动投入

的生产活动,相较北方具有明显的技术优势,从而引致技能互补对劳动力参与的正向作用在南方更为明显^[20]。

(二) 机器人应用、劳动力错配与经济增长“南橘北枳”

劳动力错配会导致生产效率损失,从而削弱经济增长的潜力和动力。而劳动力错配的缓解意味着劳动力配置得到优化,这将有效缓解某些行业或地区的劳动力过剩或短缺,促进劳动力资源的更高效利用,从而使实际产出效率大幅提升,对地区经济增长产生积极的推动作用。机器人广泛应用后作用于生产效率变革,引致企业规模扩大、行业边界拓展以及产业裂变,这将加速劳动要素的流动,促进劳动要素跨企业、跨行业及跨产业进行重组、升级与再配置,从而有效缓解劳动力供给与就业岗位需求的错配^[21]。但南方在产业技术禀赋上的比较优势,使得机器人对劳动力错配的缓解作用在南方体现得更为明显,这导致了一种南北方非对称的缓解效果。第一,跨企业配置。机器人作为一种任务偏向型技术,将替代劳动力完成更多生产任务,导致非技术密集企业中常规任务型劳动者的失业压力陡增,出现“机器驱逐劳动”的情况,而切换工作任务时又需要劳动力具有一定的技术能力库存^[22],这就使得非技术密集企业中的许多劳动力在跨企业转移时,北方相较南方面临更大的匹配压力。第二,跨行业配置。不断进步的机器人技术将直接对低效率企业造成负向冲击,导致低生产率企业无奈退出市场连带着就业岗位消失,行业就业规模的收缩无疑不利于地区劳动力跨行业配置缓解错配,这对北方缓解劳动力错配形成了更多的阻碍。第三,跨产业配置。机器人在高技术密度制造业广泛应用时,新岗位创造效应将占据主导位置,并通过“就业乘数”连带着生产性服务业、高端服务业的就业扩张和结构升级,而且就业乘数的大小在很大程度上取决于制造业部门的技术密度^[23],北方相较南方具有制造业技术密度更低且第三产业发展不足的特征,使得劳动力跨产业配置缓解错配在北方表现得不如南方。

(三) 机器人应用、劳动力技能与经济增长“南橘北枳”

技能劳动力占比提升不仅意味着有效劳动投入量增大,而且能够赋能地区大力发展高新技术产业和新经济,有利于释放地区经济增长的新动能,其对经济增长的贡献最终都会体现为劳动生产率和竞争力的提高^[24],因此劳动力技能的提升将有利于地区的经济增长。机器人的应用促使技能工作岗位的就业份额和能力溢价持续攀升,这不仅在需求层面上创造出大量技能岗位,吸纳更多技能劳动力涌入,而且在供给层面上机器人技术的复杂先进性和高技能劳动者的更高权益将倒逼和激励劳动力不断升级自身技能,产生岗位需求和劳动力供给的双向效应,最终将促使地区就业劳动力的技能水平不断提升^[15]。然而,机器人应用所创造的新技能岗位要求可能在南北方产生非对称的影响,进而促使南北方的劳动力技能水平出现明显的异质性变化。机器人应用创造的新岗位的技术复杂度通常较高,高技术密度部门的技能岗位要求效应明显高于低技术密度部门。南方存在大量新兴行业和领域且都以技术密集型行业为主,促使其从高技能岗位要求上涨中获得更多份额,由此显著提升了南方就业劳动力的技能水平;北方集聚的往往是资本密集型、非技术密集型的行业,难以通过机器人创造技能岗位的方式增加足够多的技能劳动力需求^[23],同时由于行业现有劳动力的技能水平可能难以匹配或适应新创造技能岗位的需求,导致即使存在技能劳动力的需求也无法被充分满足,由此压低了北方劳动力技能水平的提升空间^[25]。

(四) 机器人应用、劳动力收入与经济增长“南橘北枳”

基于凯恩斯消费理论与内生增长框架,收入增长与经济增长存在双向互动关系。一方面,劳动力收入提升不仅会通过刺激消费需求激活乘数机制直接带动经济增长,而且会引致人力资本投资提升全要素生产率,进而增强经济增长的内生动力;另一方面,经济增长会通过产出扩张提高均衡工资和教育投资提升人力资本两条路径反哺劳

动力收入,形成良性循环。机器人的广泛应用,将从效率变革和岗位更迭两条渠道影响劳动力收入。一方面,带来更加细化的分工,通过标准化作业流程的方式高精度、高效率地完成工作任务,从而促进劳动力工资水平上涨^[15];另一方面,引发岗位更迭效应,通过生产要素的自然流动从局部均衡向一般均衡演进,提升劳动力市场的均衡工资^[26]。无论南北方,劳动生产率的提高都能够为地区更高水平的劳动力收入提供支撑。然而,机器人应用通过岗位更迭效应,可能在南北方之间产生非对称的影响,导致劳动力收入变化出现明显的南北异质性。当机器人介入生产环节并逐渐接手常规任务,使得职业向更高层次流动产生岗位更迭效应时,劳动力收入的变化更加突出了机器人与技能劳动力的互补关系,这就使得劳动力收入整体由非技术密集行业向技术密集行业集中^[19]。南方具有行业技术较为密集、技能劳动力占比较高的优势,自然更容易借助机器人应用提升劳动力的收入水平,北方则从事流程化、规则化工作的常规劳动力较为聚集、技能劳动力集聚规模相对较小等原因,导致技能劳动力工资溢价引致的劳动力收入提高在北方表现较弱。

综上所述,在机器人应用促进劳动力参与、缓解劳动力错配、提升劳动力技能、提高劳动力收入4个维度上,南方都要明显优于北方,致使经济增长呈现“南快北慢”格局,表现为机器人应用引致经济增长“南橘北枳”。在后续的研究中,本文将采用反向的逻辑,先检验机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响,后从劳动力参与、劳动力错配、劳动力技能及劳动力收入4个维度验证其作用渠道。

三、研究设计

(一)数据来源

机器人数据来源于IFR。该组织提供了中国年度细分行业的机器人存量数据和当年新增安装量数据,是目前世界范围内最权威的机器人统计数据。根据既有文献的通行做法,在计算城市层面机器人密度时,各地级市(地区、自治州、盟)不同行业的就业人数来源于第二次全国经济普查数

据,地级市层面变量的基础数据主要来源于各年份对应的《中国城市统计年鉴》和《中国区域经济统计年鉴》,价格指数等其他变量数据来自历年《中国统计年鉴》《中国信息年鉴》以及相关省份统计年鉴,所有货币价值的数据以2008年不变价计算。样本选择方面,本文基于地级市层面数据展开研究,经过数据清洗和匹配处理后,最终样本涵盖258个地级市2008—2019年的数据,总观测值3167个。

(二)变量定义

1. 解释变量:城市机器人密度 $\times$ 是否北方城市

是否北方城市(*norcit*)采用二值虚拟变量表示,根据秦岭—淮河的南北地理划分标准,位于北方的地级市取值为1,位于南方的地级市取值为0。城市机器人密度指标,借鉴学者基于“巴蒂克工具变量”思想^[26],即假设不同地区每个行业的人均机器人应用量一致来构造区域层面“机器人密度”指标的方法。首先,将国际机器人联合会(International Federation of Robotics, IFR)数据的行业分类参照2002年制定的国民经济行业分类国家标准进行分类统计,得到中国各行业机器人的运行量数据(当年安装量和保有量),其行业主要分为农林牧渔业、制造业、采矿业、电力、燃气和用水供给、建筑业、教育 and 研究,以及其他大类行业;其次,以2008年第二次全国经济普查的年份为基准来计算中国城市各细分行业的就业人数^[18],并据此得到中国各城市总就业人数以及城市各细分行业的机器人数量权重;最后,基于上述计算得到的数据测度出中国各地级市的机器人密度。具体计算公式如下:

$$robot_{ct} = \sum_{i=1}^s \frac{employ_{cit_0}}{employ_{it_0}} \times \frac{robnum_{it}}{employ_{ct_0}} \quad (1)$$

式(1)中, s 表示城市各行业的合集, $robot_{ct}$ 为 c 城市在 t 年的机器人安装密度, $employ_{cit_0}$ 为 c 城市 i 行业在基期2008年的就业人数, $employ_{it_0}$ 为全国层面 i 行业在基期2008年的总就业人数, $robnum_{it}$ 为全国层面 i 行业在 t 年的机器人总安装量, $employ_{ct_0}$ 为 c 城市在基期2008年的总就业人

数(单位为万人)。加总各城市细分行业的机器人安装量与城市总就业人数的比值,便得到城市层面的机器人安装密度。

2. 被解释变量:城市经济增速

本文重点从机器人应用的角度探讨经济增长“南橘北枳”的问题,即考察城市机器人密度增加是否使得南方城市的经济增速更快,从而拉大与北方城市的经济差距。对此,本文用城市的 GDP 增长率来衡量城市的经济增速。

3. 控制变量

参考过往研究,本文选取的控制变量主要分为 4 类:第一类控制变量是城市的资本特征,包括居民储蓄、固定资产投资水平(固定资产投资额/GDP)、外商投资水平(实际使用外资金额/GDP);第二类控制变量是城市的人口特征,包括年平均人口、人力资本水平(大学生人数/十万人);第三类控制变量是城市的其他特征,包括工业化水平(工业用电/人)、城镇化率(城市建设用地面积/辖区面积)、资源禀赋(采矿业从业人数/全部从业人员数);第四类控制变量是年份、城市等固定效应。

(三)模型设定

为检验机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响,借鉴相关研究^[27],构建基准回归模型如下:

$$gdpgror_{ct} = \alpha_0 + \alpha_1 robot_{ct} + \alpha_2 robot_{ct} \times norcit_c + \alpha_3 X_{ct} + \theta_c + \mu_t + \varepsilon_{ct} \quad (2)$$

式(2)中, $gdpgror_{ct}$ 表示城市 c 在第 t 年的 GDP 增速; $robot_{ct}$ 表示城市 c 在第 t 年的机器人安装密度; $norcit_c$ 表示城市 c 是否位于秦岭—淮河以北; X_{ct} 表示前文所述的一系列城市层面的控制变量; θ_c 表示城市固定效应; μ_t 表示年份固定效应, ε_{ct} 为随机误差项,下标 c 和 t 分别表示城市和年份。本文回归模型均控制了城市和年份双向固定效应,以规避这两个层面的其他相关因素对结果的扰动。

四、实证分析

(一)基准回归

本文基于中国 258 个地级市 2008—2019 年的面板数据,运用双向固定效应模型考察机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响,不同模型设定

的基准估计结果如表 1 所示。第(1)列只控制城市固定效应和年份固定效应;第(2)列又控制城市的资本特征变量;第(3)列又加入城市的人口特征变量;第(4)列进一步控制了城市其他特征变量。分析表 1 结果发现:在回归中依次加入城市的资本特征变量、人口特征变量及其他控制变量后,机器人应用的估计系数均显著为正,交互项 ($robot \times norcit$) 的估计系数虽稍微有所浮动,但始终显著为负。这些结果皆表明,在其他条件不变的情况下,机器人应用整体上提高了南北城市的经济增速,但其对经济增速的提高效果在南北城市并不一致,在南方城市带来的经济增速提高效果要明显好于北方城市,致使经济增长呈现“南快北慢”格局,表现为机器人应用引致经济增长“南橘北枳”。

基准回归结论很好地印证了前文的理论预期,即机器人应用作为一种技术进步,在提高南北城市经济增速的同时,不可避免地南北城市的经济增长产生非对称影响,在南方城市带来的经济增速提高效果要明显好于北方城市,由此使得经济增长“南橘北枳”。同时,基准回归结论也与当前南北经济格局相吻合,即在机器人应用浪潮下,无论东部还是中西部地区,南方城市均呈现出蓬勃发展势头,而部分北方城市则出现了空心化和收缩现象,南北城市体系的空间经济格局愈发表现为“马太效应”^[28]。

表 1 基准估计结果

变量	$gdpgror_{ct}$			
	(1)	(2)	(3)	(4)
$robot$	1.874 ** (0.766)	2.120 *** (0.688)	2.087 *** (0.747)	2.157 ** (0.809)
$robot \times norcit$	-1.378 * (0.805)	-1.361 ** (0.611)	-1.421 ** (0.601)	-1.480 ** (0.553)
资本特征控制变量	否	是	是	是
人口特征控制变量	否	否	是	是
其他特征控制变量	否	否	否	是
城市/年份固定效应	是	是	是	是
样本量	3 167	2 875	2 827	2 567
调整 R^2	0.501	0.514	0.510	0.498

注:圆括号内数值为聚类标准误;***、**、* 分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.10$ 时有统计学意义。下同。

(二)内生性

本文所涉及的研究问题可能存在潜在的由反向因果引起的内生性问题,即各行业应用机器人

可能是对城市经济增速变化的适应性反应。借鉴 Acemoglu 等^[26]的方法,计算美国对中国各城市的机器人覆盖度作为工具变量 IV1。为确保研究结论的可靠性,本文还进一步参考许健等^[29]的研究,选取机器人安装量行业分布与中国正相关的国家,具体选取美国、韩国、德国、荷兰和葡萄牙的机器人密度来构建工具变量 IV2。构造思想上与核心解释变量相同,使用美国单一国家机器人数据构造工具变量时,将式(1)的 $robnum_{it}$ 变量数据替换为美国层面 i 行业在 t 年的机器人总安装量,新得到的 $robot_{it}$ 便表示美国对中国各城市的机器人覆盖度,即工具变量 IV1;使用 5 个行业分布正相关国家的机器人数据构造工具变量时,计算 5 个国家对中国各城市的机器人覆盖度均值,即工具变量 IV2。工具变量的选取必须满足相关性和外生性两个条件:一是美国的机器人应用水平全球领先,在一定程度上反映了行业的技术特征,其余 4 个国家在各行业的机器人应用情况也与中国高度类似,因此工具变量存在着较强的相关性;二是国外机器人的应用水平变化比较类似外生的技术进步,很难直接影响到中国各城市的经济增长,外生性条件能够保证。

工具变量的估计结果如表 2 所示,统计量 Kleibergen-Paap rk LM 和 Kleibergen-Paap rk Wald F 表明,工具变量通过了不可识别检验且不存在弱工具变量问题,第二阶段的估计结果如第(2)列、第(4)列所示,交互项 ($robot \times norcit$) 的估计系数显著为负,且都通过了 5% 水平的显著性检验,与基准回归的检验结果基本一致。这表明,在借助工具变量克服潜在内生性问题后,机器人应用引致经济增长“南橘北枳”的结论依然成立。

(三)稳健性

本文基于不同情形进行一系列的稳健性检验,主要包括更换模型、替换变量、调整样本和控制遗漏变量。

1. 更换模型

基准模型中采用交互项 ($robot \times norcit$) 来比较南北分组回归系数,在估计过程中采用省份聚

类的稳健标准误以控制潜在异方差问题,并允许所有变量在南北两组间存在系数差异,这一设定可能带来额外的估计偏误风险。为确保研究结论的稳健性,本文通过引入额外交互项并调整聚类层级进行再检验。由表 3 的第(1)列、第(2)列可知,交互项系数的大小和方向基本不变。这表明,基准结论对不同计量模型的敏感性较低,前文的研究结论是稳健可靠的。

表 2 工具变量的估计结果

变量	IV1		IV2	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
$iv1$	1.269 *** (0.074)	—	—	—
$iv1 \times norcit$	2.630 *** (0.061)	—	—	—
$iv2$	—	—	1.982 *** (0.130)	—
$iv2 \times norcit$	—	—	4.426 *** (0.151)	—
$robot$	—	2.104 * (1.099)	—	2.102 ** (0.763)
$robot \times norcit$	—	-1.511 *** (0.544)	—	-1.645 ** (0.623)
Kleibergen-Paap rk LM	18.962 [0.000]	—	18.284 [0.000]	—
Kleibergen-Paap Wald F	123.919 {7.03}	—	92.963 {7.03}	—
双向固定效应	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
样本量	2 567	2 567	2 567	2 567
调整 R^2	0.038	0.038	0.038	0.038

注:方括号内数值为 p 值;中括号内数值为 Stock-Yogo 弱识别检验在 $p < 0.10$ 水平上的临界值。

2. 替换变量

首先,为避免核心变量测度误差对基准结果造成偏误,将基准基于安装量的机器人密度替换为保有量重新测算;其次,考虑到机器人应用的渐进性特征及其经济效应的时滞性,对核心解释变量进行滞后一期处理^[29]。表 3 第(3)列、第(4)列汇报了替换核心解释变量后的回归结果,发现核心解释变量的系数方向不变且均显著,检验结果与前文主要实证结果相一致,再次验证了前述估计结果的可靠性。

3. 调整样本

(1)剔除极端。为控制极端值对估计结果的潜在偏误,本文对核心变量进行上下 1% 的缩尾处理。

(2)插值补齐。为处理样本数据缺失导致的连续性问题,本文对临近年份数据采用线性插补法填补或运用省级数据匹配补充。

(3)年份转折。2011 年以来,中国进入经济增速换挡期、产业结构调整期和新旧动能转换期的“三期叠加”的经济新常态,为避免新常态下经济结构调整对研究结论的潜在影响,本文选取 2015 年以前的经济数据进行稳健性检验。

(4)去除沿海。南方沿海城市在对外开放程度和外贸活跃度方面普遍优于北方沿海城市,这种开放型经济的梯度差异显著强化了南北沿海地区的发展差距,为控制这一因素的影响,本文在剔除沿海省份城市样本后重新进行回归检验。以上回归结果如表 4 所示,结果发现核心变量的回归系数及统计显著性均保持稳定,表明本文的核心结论是稳健的。

表 3 更换模型和替换变量的估计结果

变量	gdpgrorat			
	(1)	(2)	(3)	(4)
robot	2.251 ** (0.819)	2.251 *** (0.579)	—	—
robot × norcit	-1.825 ** (0.820)	-1.825 *** (0.498)	—	—
robot_1	—	—	1.427 ** (0.695)	—
robot_1 × norcit	—	—	-1.005 ** (0.372)	—
l. robot	—	—	—	1.361 ** (0.610)
l. robot × norcit	—	—	—	-0.854 ** (0.409)
双向固定效应	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
样本量	2 567	2 567	2 567	2 326
调整 R ²	0.498	0.498	0.497	0.485

4. 控制遗漏变量

经济增长“南橘北枳”的形成,是自然地理、经济基础、要素禀赋等各种因素长期作用的结果,因此基准回归难免会出现遗漏关键控制变量的情况。如能够改变经济增速的外部冲击也可能同时影响企业是否应用机器人的决策,而这可能会造成估计结果的内生性偏误。

(1)技术创新。南方在创新要素(人才、机构、产出)聚集方面显著领先北方,这种技术创新梯度差异也会间接通过产业结构转型拉大南北经济增

速差距。控制创新水平 *innlev* (每万人发明专利数)后,表 5 第(1)列显示核心结论依然成立。可以认为,城市创新因素并不会实质性干扰机器人应用引致经济增长“南橘北枳”的结论。

(2)外贸出口。长三角、珠三角等南方城市群的外贸优势明显,而北方(除京津冀外)开放型经济的拉动作用有限。控制贸易开放度 *traope* (出口额/GDP)后,表 5 第(2)列显示核心结论不变。

(3)制度成本。市场化改革是影响和重塑中国南北经济格局的重要外部力量,南方市场化发育较早、调整步伐更快、适应性也更强,而北方受计划经济影响更深,市场发育相对滞后。控制市场化水平 *marlev* (城镇私营和个体从业人数/总从业人数)后,表 5 第(3)列结果保持稳健。

(4)全部控制。表 5 第(4)列同时控制上述所有变量,交互项系数依显著为负,充分证实机器人应用引致经济增长“南橘北枳”的结论具有强稳健性。

表 4 调整样本的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	剔除极端	插值补齐	年份转折	去除沿海
robot	1.204 ** (0.507)	1.904 ** (0.772)	3.113 ** (1.507)	1.829 ** (0.695)
robot × norcit	-1.202 ** (0.476)	-1.356 ** (0.556)	-4.403 *** (1.495)	-1.549 ** (0.597)
双向固定效应	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
样本量	2 492	2 750	1 669	1 053
调整 R ²	0.694	0.518	0.344	0.391

表 5 控制遗漏变量的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	技术创新	外贸出口	制度成本	全部控制
robot	1.834 ** (0.781)	2.309 ** (0.892)	2.146 ** (0.813)	2.076 ** (0.869)
robot × norcit	-1.384 ** (0.532)	-1.507 *** (0.529)	-1.477 ** (0.554)	-1.375 ** (0.519)
innlev	0.155 ** (0.062)	—	—	0.122 ** (0.051)
traope	—	-0.311 (0.993)	—	0.063 (0.983)
marlev	—	—	-0.461 (0.444)	-0.477 (0.421)
双向固定效应	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
样本量	2 558	2 331	2 567	2 323
调整 R ²	0.499	0.485	0.498	0.485

五、作用渠道

基准回归结果显示,机器人应用致使经济增

长呈现“南快北慢”格局,由此形成经济增长“南橘北枳”的特征。根据理论分析,本部分将依次从劳动力参与、劳动力错配、劳动力技能及劳动收入4个维度,实证检验机器人应用引致经济增长“南橘北枳”的作用渠道。

(一)渠道一:劳动力参与

理论分析部分表明,劳动投入是提高经济产出的核心要素,而机器人应用通过就业替代、技能互补及效率增进影响劳动力就业时,对南北方劳动力参与的促进效果并不相同。表6第(1)列用交互项检验了机器人应用对南北方劳动力参与的非对称影响,其中劳动力参与 *popstr* 用城市总就业人口占年平均人口的比重表示。回归结果显示,机器人应用的系数显著为正且核心交互项的系数显著为负。由此表明:机器人应用整体上促进了南北城市的劳动力参与,但其在南方城市带来的劳动力参与促进作用要明显好于北方城市,致使经济增长呈现“南快北慢”格局,由此形成经济增长“南橘北枳”的特征。

(二)渠道二:劳动力错配

根据前文理论分析,缓解劳动力错配是抑制效率损失促进经济增长的重要因素,而机器人应用加速劳动力流动促进其跨企业、跨行业及跨产业优化配置时,对南北方劳动力错配的缓解程度并不一致。表6第(2)列用交互项检验了机器人应用对南北方劳动力错配的非对称影响,其中劳动力错配 *ablabmisind* 的定义与白俊红等^[21]的设定一致,只是为了直观反映缓解程度进行了取反处理。回归结果显示,机器人应用的系数显著为正且核心交互项的系数显著为负。由此表明,机器人应用整体上缓解了南北城市的劳动力错配,但其在南方城市带来的劳动力错配缓解作用要明显好于北方城市,致使经济增长呈现“南快北慢”格局,由此形成经济增长“南橘北枳”的特征。

(三)渠道三:劳动力技能

理论分析部分表明,劳动力技能升级通过提升有效劳动供给显著拉动经济增长,而机器人应用通过需求供给双向效应促进劳动力技能升级时,对南北方劳动力技能的提升效应存在显著差

异。表6第(3)列用交互项检验了机器人应用对南北方劳动力技能的非对称影响,劳动力技能 *prohigski* 用城市技能密集型行业的从业人数占比表示。结果显示,机器人应用的系数显著为正且核心交互项的系数显著为负。由此表明:机器人应用整体上提升了南北城市的劳动力技能水平,但其在南方城市带来的劳动力技能提升效应要明显大于北方城市,致使经济增长呈现“南快北慢”格局,由此形成经济增长“南橘北枳”的特征。

(四)渠道四:劳动力收入

根据前文理论分析,劳动力收入的增加将为更高水平消费提供支撑进而拉动地区经济快速增长,而机器人应用通过效率变革和岗位更迭影响劳动力市场工资时,对南北方劳动力收入增长的促进效果呈现异质特征。表6第(4)列用交互项检验了机器人应用对南北方劳动力收入的非对称影响,其中劳动力收入 *dutwag* 用城市在职职工平均工资来衡量。回归结果显示,机器人应用的系数显著为正且核心交互项的系数显著为负。由此表明,机器人应用对南北方劳动力收入产生分化效应,其在南方城市提高劳动力收入水平,而在北方城市甚至表现为降低劳动力收入水平。分化效应可能主要源于北方聚集了大量从事流程化、规则化工作的常规劳动力,机器人应用引发了技术性失业与低技能岗位需求萎缩,致使形成“南升北降”的收入格局,由此强化了经济增长“南橘北枳”的发展特征。

表6 渠道检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>popstr</i>	<i>ablabmisind</i>	<i>prohigski</i>	<i>dutwag</i>
<i>robot</i>	0.082 *** (0.015)	0.088 *** (0.030)	0.020 * (0.011)	2 756.169 ** (1 064.927)
<i>robot × norcit</i>	-0.042 *** (0.012)	-0.057 * (0.030)	-0.008 * (0.004)	-4 370.038 *** (1 038.625)
控制变量	是	是	是	是
双向固定效应	是	是	是	是
样本量	2 751	2 746	2 746	2 735
调整 R^2	0.787	0.534	0.943	0.891

六、结论与政策建议

(一)主要结论

本文在从劳动力参与、劳动力错配、劳动力技

能、劳动力收入 4 个维度理论分析机器人应用非对称影响南北方劳动力的基础上,综合利用 IFR 数据和 2008 年第二次全国经济普查数据测算出各地级市机器人密度,并匹配 2008—2019 年城市变量,运用时间与城市维度的双向固定效应模型和工具变量法,从城市层面实证检验了机器人应用对经济增长“南橘北枳”的影响及作用渠道。主要结论如下:机器人应用整体上提高了南北城市的经济增速,但其在南方城市带来的经济增速提高效果要明显好于北方城市,致使呈现“南快北慢”格局,由此形成经济增长“南橘北枳”的特征。就作用渠道而言:机器人应用整体上促进了劳动力参与,但在南方的促进效果比北方更为明显;机器人应用整体上缓解了劳动力错配,但对南方的缓解作用比北方更为明显;机器人应用整体上提升了劳动力技能,但在南方的提升表现比北方更为明显;机器人应用提高了南方的劳动力收入,但降低了北方的劳动力收入。总结来说,机器人应用在劳动力四维作用渠道(参与促进、错配缓解、技能提升、收入提高)上的赋能效果,南方均要显著优于北方,四维作用渠道的非对称表现共同致使经济增长呈现“南快北慢”格局,推动形成经济增长“南橘北枳”的特征。

(二)政策建议

第一,推动机器人广泛深度应用。虽然机器人应用带来区域经济增长差距,但机器人应用仍然是助推经济增长的重要驱动力,因此建议政府通过积极引导和支持,促进机器人更广泛应用。比如可以增加对机器人技术研发的投入,通过建立机器人技术孵化中心和搭建产学研合作平台等方式促进不同区域、不同产业之间的技术合作与知识交流,鼓励南北方在机器人应用方面的经验、资源共享;可以制定实施针对机器人应用的税收优惠政策及财政补贴政策,合理引导社会资本进入机器人生产的核心环节,建立健全以市场资金为主体、财政资金为引导的多元融资支持体系,通过降低技术升级的资金成本和技术门槛来充分激励企业应用机器人实现智能化升级,特别是

对中小企业;可以积极加大新型网络基础设施、数据算力基础设施以及新技术基础设施等建设,助力工业智能发展,为机器人的广泛应用提供必要物理条件。

第二,加快推动北方产业结构转型升级。为有效缩小南北经济差距,亟须在北方实施一系列针对性的产业结构优化与升级措施。要着力推进北方的产学研紧密结合,探索传统产业转型升级与重构的必要条件,鼓励北方努力挖掘自身要素禀赋结构的潜在比较优势,总体上以做强优势产业为主线,因地制宜地制订产业规划,加速培育经济增长新动力;要加快北方产业结构调整优化,在整顿传统低效率企业化解低效过剩产能的前提下,通过积极引入资金和先进技术,重构符合北方特点的以价值链为核心的产业体系,目标是有效构建新型产业发展格局;要通过升级改造现有部门和提高主导产业技术含量等方式,加快北方的传统产业转型升级,推动现有产业不断向高附加值、高技术等方向转型,努力提升北方的产业竞争力以缓解南北经济增长差距。

第三,制定有区域差异性的导向性政策。特别关注北方,通过政策倾斜和资金支持,确保机器人应用的技术红利能够均衡分配。针对劳动力参与在南方的促进效果比北方更为明显的情况,需要完善就业培训制度及再就业政策,为受机器人冲击的劳动力提供技能培训和再就业机会;针对北方缓解劳动力错配时面临较大匹配压力和市场扭曲的情况,需要完善社会保障和教育医疗等公共服务的跨区域统筹,减少劳动力流动的制度壁垒,促进劳动力在区域间和行业间有效流动再配置;针对南方在技能提升方面的表现优于北方的情况,需要健全职业教育和技能培训,由政府、学校和企业联合行动,共同搭建技能培训平台,提升劳动力的技能水平和适应机器人应用的能力,弥合劳动者技能与雇主需求之间的缺口,帮助中低技能劳动力跨越就业门槛;针对北方的劳动力收入可能面临负向抑制的情况,需要健全社会保障政策,确保劳动者的权益得到保障,通过实行政策

激励措施,促进企业和劳动者之间在收入分配问题上建立起和谐稳定的雇佣关系。

参考文献:

- [1] 蔡昉. 经济学如何迎接新技术革命? [J]. 劳动经济研究, 2019(2): 3-20.
- [2] 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.
- [3] 陈明生, 郑玉璐, 姚笛. 工业机器人应用对地区经济差距的影响研究[J]. 财经研究, 2024, 50(1): 139-153.
- [4] 刘秉镰, 朱俊丰, 周玉龙. 中国区域经济理论演进与未来展望[J]. 管理世界, 2020, 36(2): 182-194.
- [5] 安树伟, 李瑞鹏. 东西差距还是南北差距? 1978 年以来中国区域差距的演变与机理分析[J]. 中国软科学, 2023(4): 109-120.
- [6] 刘学良, 沈扬扬, 李实, 等. 我国南北差距的历史演变与趋势研判[J]. 华南师范大学学报(社会科学版), 2024(3): 16-29.
- [7] 刘华军, 李超, 彭莹. 中国绿色全要素生产率的地区差距及区域协同提升研究[J]. 中国人口科学, 2018(4): 30-41.
- [8] 王家庭, 袁春来, 贺沛翔. 我国南北差距的定量测度、时空演进及驱动因素[J]. 学习与实践, 2023(4): 40-51.
- [9] 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.
- [10] 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, 37(1): 47-59.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] XIN B G, YE X P. Robotics applications, inclusive employment and income disparity [J]. Technology in society, 2024, 78(10): 21-26.
- [14] ENZO V, FABIANO C, MAURO G. Robotization, employment, and income: regional asymmetries and long-run policies in the euro area [J]. Journal of evolutionary economics, 2023, 33(3): 31-35.
- [15] 刘甲楠, 邢春冰. 人工智能、劳动力需求与人力资本投资 [J]. 人口研究, 2024, 48(1): 68-84.
- [16] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Automation and new tasks: how technology displaces and reinstates labor [J]. Journal of economic perspectives, 2019, 33(2): 3-30.
- [17] 盛来运, 郑鑫, 周平, 等. 我国经济发展南北差距扩大的原因分析[J]. 管理世界, 2018, 34(9): 16-24.
- [18] 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, 57(1): 172-188.
- [19] 张川川. 地区就业乘数: 制造业就业对服务业就业的影响[J]. 世界经济, 2015, 38(6): 70-87.
- [20] 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, 55(10): 159-175.
- [21] 白俊红, 刘宇英. 对外直接投资能否改善中国的资源错配[J]. 中国工业经济, 2018(1): 60-78.
- [22] 袁志刚, 解栋栋. 中国劳动力错配对 TFP 的影响分析[J]. 经济研究, 2011, 46(7): 4-17.
- [23] 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, 37(9): 104-119.
- [24] 陈井安, 王学人. 人才红利效应与中国经济持续增长[J]. 经济学动态, 2012(5): 33-36.
- [25] 魏下海, 张沛康, 杜宇洪. 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, 2020(10): 92-109.
- [26] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from us labor markets [J]. Journal of political economy, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [27] HERING L, PONCET S. Market access and individual wages: evidence from China [J]. The review of economics and statistics, 2010, 92(1): 145-159.
- [28] 王书斌. 工业智能化升级与城市层级结构分化[J]. 世界经济, 2020, 43(12): 102-125.
- [29] 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, 39(9): 134-156.

(本文责编: 润泽)