

工业机器人应用引致了中国劳动技能 结构两极化吗？

魏嘉辉¹, 顾乃华², 纪祥裕³

(1.仲恺农业工程学院 经贸学院, 广东 广州 510225; 2.暨南大学 产业经济研究院, 广东 广州 510632;
3.广东金融学院 经济贸易学院, 广东 广州 510521)

摘要:工业机器人应用推动了中国经济高质量发展,但其对不同工作岗位的差异化影响是中国共同富裕进程中亟须关注的重要问题。文章基于国际机器人联合会(IFR)数据和中国劳动力动态调查(CLDS)数据,从岗位技能需求视角分析了工业机器人应用对中国劳动技能结构的影响。研究发现,工业机器人应用通过劳动控制效应降低常规岗位技能需求,通过任务创造效应降低常规岗位技能需求、提高非常规岗位技能需求,进而引致中国劳动技能结构两极化。异质性分析发现,灵活用工和社交任务嵌入有助于缓解劳动控制效应;获得技能证书、签订长期劳动合同和增强劳动保障有助于缩小任务创造效应在岗位间的影响差异。进一步研究发现,曾在工业常规岗位工作且发生就业流动的样本中,约有79.4%的劳动者转向了平均技能掌握时长更短的其他行业工作;工业机器人应用还造成了工资收入、工作尊重和晋升机会两极化的不良影响。文章结论为缓解中国劳动技能结构两极化问题提供了有益参考,有助于促进更充分、更高质量的就业。

关键词:工业机器人;劳动技能;两极化;劳动控制效应;任务创造效应

中图分类号: F240 文献标识码: A 文章编号: 1009-0150(2025)04-0094-15

一、引言

现有研究常把工业机器人看作技能偏向型技术,认为其在替代常规岗位的同时也与非常规岗位互补(Piva等, 2005; Acemoglu和Restrepo, 2018; 胡晟明等, 2021)。由于常规任务往往是技术含量较低的重复工作,而非常规任务经常需要人类知识和技能的参与,工业机器人也被视为“破坏性创新”技术之一。在劳动力市场供求关系的长期影响下,工业机器人应用有助于促进劳动技能不断升级(何小钢和刘叩明, 2023; 陈琳等, 2024),这种劳动技能结构升级的单向趋势被总结为单极化趋势(Acemoglu和Restrepo, 2020a)。然而,近期不少研究发现,在大规模工业机器人应用的背景下,各国并没有表现出明显的劳动技能结构升级态势,反而出现劳动技能结构两极化现象。劳动技能结构两极化主要是指劳动力市场上高、低技能岗位或者常规、非常规岗位需求同时增加,而中技能岗位、中间层岗位需求减少的现象(Graetz和Michaels, 2018)。例如,伴

收稿日期:2024-10-12

基金项目:国家自然科学基金青年项目“产业融合背景下中国破解关键中间品供给不足的机理、实证与政策研究”(72403051);
广东省哲学社会科学基金青年项目“工业智能化背景下广东高质量就业的机制与对策研究”(GD23YYJ31)。

作者简介:魏嘉辉(1991—),男,广东广州人,仲恺农业工程学院经贸学院讲师;
顾乃华(1977—),男,江苏响水人,暨南大学产业经济研究院研究员(通信作者);
纪祥裕(1992—),男,广东普宁人,广东金融学院经济贸易学院讲师。

随着工业机器人等技术的应用,美国在过去的30年间低技能工人就业人数和比例持续上升(Acemoglu和Autor, 2011);西欧16个国家在1993—2010年间普遍出现教育年限、工资收入两极化的现象(Goos等, 2014);中国也出现了初中和高中学历劳动力需求逐渐减少,小学及以下、大学学历劳动力需求逐渐增加的现象(孙早和侯玉琳, 2019)。由此可见,工业机器人应用对劳动技能结构可能产生了两极化而非单极化的影响。换言之,工业机器人应用不仅会创造高技能任务,也可能催生出类似“机器看守者”的低技能岗位。

单极化和两极化表面上看仅是劳动技能结构演化趋势的不同表现,但二者的经济影响却存在很大差异。相较于单极化,两极化在看似稳定的失业率背后创造了群体差异不断扩大的就业陷阱,易引发收入差距扩大和社会分层问题。2021年,中国工业和信息化部联合多部门发布了《“十四五”机器人产业发展规划》,旨在将中国打造成为全球机器人技术创新和应用的前沿阵地。然而,更大规模的技术应用也意味着更广泛的任务更替,可能会产生劳动技能结构两极化的不良影响。党的二十大报告指出,共同富裕是社会主义的本质要求,是中国式现代化的重要特征。在此背景下,探究工业机器人应用对劳动技能结构的影响,有助于揭示技术与劳动力市场的深层联系,从而对寻找技术进步与社会公平之间的平衡路径具有重要意义。

工业机器人应用如何影响中国劳动技能结构,既有文献尚未形成统一的研究结论。政治经济学的相关研究基于劳动过程和劳动组织视角,认为机器应用增强了资本对劳动的控制,使生产中的技术和知识转移至工程师和经理人手中,导致工人技能水平下降(马克思, 2004)。而劳动经济学的相关研究则聚焦就业数量或工资收入在不同岗位间的相对变化(杨虎涛和冯鹏程, 2020)。部分研究支持单极化的结论,认为技术应用偏向创造高技能岗位,有助于促进劳动技能结构升级(何小钢和刘叩明, 2023; 陈琳等, 2024);也有部分研究支持两极化的结论,认为技术应用偏向挤出中技能岗位,导致劳动技能结构的两极化和收入差距的扩大(Acemoglu和Autor, 2011; 孙早和侯玉琳, 2019)。既有研究对工业机器人应用如何影响劳动技能结构的争议可能源于研究视角的差异。由于就业数量、工资收入和学历受宏观因素影响较大,实证分析过程中容易存在遗漏变量或互为因果的问题,进而导致研究结论出现偏差。与此同时,随着近年来中国扶贫政策的持续推行和高等教育规模的不断扩张,工资和学历水平的整体上升趋势也可能掩盖工业机器人应用对低技能任务的创造作用,从而对研究结论产生干扰。基于此,本文尝试从岗位技能需求视角展开实证分析:如果工业机器人应用导致不同岗位之间的技能需求差异扩大,则一定程度上支持了工业机器人应用引致劳动技能结构两极化的结论;反之,则支持单极化的结论。通过匹配国际机器人联合会(IFR, International Federation of Robotics)的工业机器人应用数据和中国劳动力动态调查(CLDS, China Labor-force Dynamics Survey)数据进行实证研究,本文发现工业机器人应用通过劳动控制效应和任务创造效应引致劳动技能结构两极化。围绕这两种影响效应,本文分别从签订长期劳动合同、灵活用工、增强劳动保障、获得技能证书和嵌入社交任务的视角展开异质性分析,并据此提出缓解劳动技能结构两极化的对策建议。

本文的可能贡献如下:首先,相较于既有研究基于就业数量结构、收入结构、学历结构等视角研究技术应用对就业的影响,本文基于岗位技能需求视角展开分析,发现工业机器人应用引致中国劳动技能结构两极化。其次,与既有研究大多从社会学与政治经济学视角对劳动技能变迁进行理论探讨和案例分析相比,本文通过匹配IFR数据和CLDS数据进行了实证分析,发现劳动控制效应和任务创造效应是工业机器人应用引致劳动技能结构两极化的重要原因。最后,相较于既有研究普遍通过逻辑推演的方式提出优化路径,本文基于多重异质性分析的实证方法提出了缓解中国劳动技能结构两极化的对策建议。

二、理论分析与研究假说

关于技术应用如何影响劳动技能变迁的研究存在“去技能”“再技能”两种对立的观点。“去技能”的论著可以追溯至马克思主义政治经济学的劳动过程论。该理论认为，机器应用的本质是减少生产活动对劳动数量的依赖，而劳动技能蕴含的价值随机器投入不断降低（马克思，2004）。Braverman（1998）沿着这一思路，把上述逻辑归纳为对劳动的控制，即机器应用将生产过程切割为细分的标准化单元，而劳动者从负责生产的多个环节变成仅负责其中的一个环节，从而失去了对整体工作的掌控。此时，劳动者的“生产概念”与“执行操作”分离，技能水平被不断降低（Jackson和Kanik, 2020）。与此同时，技能水平的下降进一步降低了劳动者在生产过程中的“话语权”，使其无法自主决定工作内容，因而机器就如同“钢铁枷锁”一般对劳动形成了控制，并进一步降低劳动者的技能水平（赵磊和厉基巍, 2023）。“再技能”的观点主要包括技术构建论和社会构建论。其中，技术构建论的代表理论为技能偏向型技术理论（Skill-biased Technical Change Theory）。该理论认为，由于高技能劳动者具备更强的学习和创造能力，相较于低技能劳动者，往往更易掌握新技能并应用于实际生产（卫羚, 2009），因而技术应用重塑了劳动技能结构（余玲铮等, 2021；王林辉等, 2022, 2023）。社会构建论的代表理论为组织变革假说（Skill-biased Organization Change）。该理论认为，社会组织、网络和经济等因素是引致劳动技能变迁的原因，相较于技术构建论，其更强调社会经济变化对劳动技能的塑造（臧雷振等, 2024）。

工业机器人作为第四次工业革命的技术代表，对劳动技能变迁的影响很难由单一理论进行阐述，须结合多种影响路径和群体差异展开分析。21世纪以来，中国产业不断融合发展，对工业就业的定义也随之扩展，不仅包括传统意义上的一线车间工人，也包括研发、设备维护、销售和财务等人员。如果按照工作性质划分，可以把与一线车间工人性质相近的操作岗位划分为常规岗位，如装配、喷涂、搬运、分拣和上下料工人等，把其余衍生岗位划分为非常规岗位，如技术研究人员、产品经理、财务管理人和运营管理人员等。由于常规岗位的工作任务易于被技术替代，在劳动控制论的逻辑下，工业机器人应用可能会降低其岗位技能需求，进而带来“去技能”的负面影响；而由于非常规岗位劳动者存在禀赋优势，在技术构建论和社会构建论的逻辑下，工业机器人应用可能提高其岗位技能需求，进而带来“再技能”的正面影响。为此，本文提出以下假说：

假说1：工业机器人应用因降低常规岗位技能需求、同时提高非常规岗位技能需求而引致劳动技能结构两极化。

由于工业机器人具有资本属性，根据劳动控制论，其应用不可避免地加强了对劳动过程的管理和约束。此时，要分析工业机器人应用是否引致“去技能”的负面影响，关键在于讨论是否仍有劳动者滞留生产车间。如果工业机器人应用并未彻底实现生产流程自动化，那么在岗工人承担的任务数量将有所减少（Silva和Lima, 2017），其岗位技能需求也因此而下降，即从需要掌握多项技能弱化为单一技能，从需要理解生产流程退化为专注具体操作（许怡和叶欣, 2020）。考虑到以上效应来自工业机器人应用对劳动过程的控制，本文将其总结为“劳动控制效应”。

对于是否仍有劳动者滞留生产车间的问题，Aghion等（2017）构建了一个工作任务内生替代的生产模型，以描述工业机器人等智能设备与就业之间的关系。在该模型下，尽管那些重复性高、技能需求低的工作任务在技术层面极易被取代，但由于要素间存在成本差异，部分低技能劳动者依然被保留，从而阻止了全面自动化的发生。根据2023年《中国劳动统计年鉴》，2022年全国就业人员职业构成中，生产人员、运输设备操作人员及相关人员的职业占比约为21.5%，一定程度上表明工业机器人应用尚未完全淘汰常规岗位劳动者，劳动控制效应的负面

影响仍可能发生。相较于常规岗位,非常规岗位由于承担了更多的社交、创造和情感类任务,在工业机器人应用过程中能够保持一定的工作自主性和灵活性,因而其受到的劳动控制效应影响较小。为此,本文提出以下假说:

假说2:工业机器人应用通过劳动控制效应降低常规岗位技能需求。

由于工业机器人应用同时存在关于生产任务的替代效应和创造效应(Acemoglu和Restrepo, 2018),根据技术构建论,要厘清工业机器人应用对劳动技能结构的影响,关键在于分析被创造任务与被替代任务之间的技能需求差异。如果新创造任务的复杂程度更高,在劳动力市场的长期影响下,工业机器人应用将推动劳动技能结构升级;如果新创造任务的复杂程度更低,则可能导致劳动技能结构降级。考虑到上述影响源于新创造任务带来的技能相对需求变化,本文把该影响路径总结为“任务创造效应”。

对于任务创造效应如何影响岗位技能需求的问题,一方面,相较于传统机器设备依靠电力驱动传动轴、杠杆和齿轮的直观机械结构,工业机器人集成了先进传感器、控制器和智能算法,其应用也创造了程序编写、数据分析和系统开发等工作岗位(魏嘉辉和顾乃华, 2024a)。因为这些岗位的技能需求较高,所以工业机器人应用将带来“再技能”的正面影响。另一方面,由于工业机器人在启动、调试和运转时伴随着大量能源消耗,企业为了降低资金和时间成本,往往安排专门人员负责机器监督、安全管理和日志收集等工作。而这些工作既不需要劳动者具备快速反应和思维判断能力,也不需要掌握具体的操作技能,因而工业机器人应用可能会进一步使劳动者从“概念分离”过渡到“操作分离”,从而带来“去技能”的负面影响(许怡和邓韵雪, 2023)。进一步地,由于非常规岗位劳动者普遍学习能力更强,获得新技能相对容易,工业机器人应用创造的复杂任务更多的是由这部分群体承担,而创造的简单任务则更多的是由常规岗位劳动者承担(Hall, 2010)。因此,本文提出以下假说:

假说3:工业机器人应用通过任务创造效应降低常规岗位技能需求、同时提高非常规岗位技能需求。

三、实证分析

(一) 实证策略与数据处理

按照上述理论分析,工业机器人应用对劳动技能变迁具有重要影响。然而,作为关键生产要素,雇佣人员的技能水平也可能反向影响企业的工业机器人应用决策,尤其是当单位产出蕴含的劳动成本高于工业机器人应用成本时,会引致更多的“机器换人”(许和连等, 2024)。为了缓解该互为因果导致的内生性问题,本文利用国家-行业层面的IFR工业机器人应用数据和巴蒂克工具变量的构建方法,生成城市层面的工业机器人应用水平,并将其作为解释变量,与个体层面的CLDS调查数据匹配后展开实证分析。由于个体的岗位技能需求难以影响城市层面的工业机器人应用,反向因果的干扰得以有效抑制。在回归方程的设置上,虽然CLDS数据同时包含新增和追访样本,但由于追访样本中连续两期回答本文关键变量的个体数量不足,无法在个体层面构建面板数据进行回归分析。为此,本文以个体所在城市、职业大类和调查年份组成三维面板数据展开实证分析,回归模型如下:

$$comp_{ipct} = \alpha_0 + \alpha_1 robot_{ct} + \alpha_2 X_{it} + \alpha_3 Z_{ct} + \mu_p + \theta_c + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标*i*、*p*、*c*、*t*分别指向个体、职业、城市和年份; *comp*为岗位技能需求, *robot*为工业机器人应用, *X*为一系列个体层面的控制变量, *Z*为城市层面的控制变量, ε 为随机扰动项, α 为回归系数, μ_p 、 θ_c 、 λ_t 分别为职业固定、城市固定和时间固定。其中,职业固定以被调查人员目前职业

的前三位码进行固定,包含个体所处行业和岗位信息。

解释变量方面,本文参考Acemoglu 和 Restrepo (2020b)、王永钦和董雯 (2020)的构建逻辑,基于IFR工业机器人行业数据,通过巴蒂克工具变量的方式构建工业机器人应用水平指标。具体地,按照魏嘉辉和顾乃华 (2024b)的做法,分别把IFR工业行业分类、《国民经济行业分类 (GB/T 4754-2011)》匹配至18种工业行业分类,再按照以下方式建立指标:

$$robot_{ct} = \sum_j \frac{lab_{jc,t=2008}}{lab_{c,t=2008}} \times \frac{\Delta oper_{jt}}{lab_{j,t=2008}} \quad (2)$$

其中, $robot_{ct}$ 为城市 c 年份 t 的工业机器人应用; $lab_{jc,t=2008}/lab_{c,t=2008}$ 为基准年份的城市 c 行业 j 就业人数占全部就业人数的比例; $\Delta oper_{jt}$ 为行业 j 年份 t 的工业机器人保有量变动。值得注意的是,由于CLDS数据包含较多的建筑业、采矿业以及电力、热力、燃气与水生产和供应业的从业个体,相较于现有研究的14种或15种制造业行业的匹配结果(孔高文等, 2020),本文进一步纳入这三个工业行业进行考察。此外,本文以2008年为基准年份,原因在于以下两方面:一是由于中国工业机器人安装量在2011年后才开始大幅增长,2008年仍处于相对初始水平;二是由于无法直接获得中国城市层面分工业行业的就业人数,本文参考魏下海等 (2020)的研究,基于国家统计局于2008年发起的第二次全国经济普查,在城市-工业行业层面加总企业雇佣人数进行计算。以上变量的构建利用了巴蒂克工具变量的构建方法,把全国行业层面的工业机器人应用增长分配至城市,此时,各年份虚拟的工业机器人应用增长与真实增长高度相关,同时又与个体当年的岗位技能需求无关,因而进一步缓解了内生性问题。

在研究对象上,由于岗位技能需求包括教育程度、工作条件、职业技术语言能力等多个维度,须寻找综合变量进行代理分析。通常的量化方法为:一是对其进行降维处理,在得到综合衡量岗位技能需求的变量后再进行回归分析;二是把岗位技能需求转化为能够互相比较的货币收入或者学习时间(谢杰等, 2022)。为了避免技能维度分析不全面等问题,本文选择第二种方法进行处理。具体地,以CLDS问卷中的提问“您认为目前工作所需技能掌握时间为多少”作为岗位技能需求的代理变量,其回答共有八个等级,分别为一天、几天、大约一周、不到一个月、一个月到三个月、超过三个月而不到一年、一至三年、三年以上,分别以数字1-8表示。

在回归策略上,本文通过分组回归的方式分别检验工业机器人应用对常规、非常规岗位技能掌握时长的影响。其中,常规、非常规岗位的划分基于2015年的《职业分类与代码 (GB/T 6565-2015)》。把工业品生产操作人员、农产品加工生产人员和常规办事人员,且首位职业代码为3、5、6的样本划分为常规岗位;把单位管理人员、工业技术研究开发人员和各种服务人员,且首位职业代码为1、2、4的样本划分为非常规岗位。在该分类下,如果工业机器人应用导致常规岗位技能掌握时长减少,而非常规岗位技能掌握时长增加,则一定程度上验证了假说1。

(二) 变量说明

由于被解释变量为个体对技能掌握时长的主观判断,回归时需要控制多方面因素带来的干扰。在个体层面,控制个体特征、能力、经历和工作环境相关变量,包括性别、年龄段、受教育年限、户口性质、户口是否在本地、是否有固定工作场所、单位是否为国有或集体性质、是否全职工作、是否参加工会以及健康状况。其中,性别上男性取值为1,女性取值为0;年龄段以30岁以下、30~40岁、40~50岁、50~60岁进行划分,通过数字1~4表示;受教育年限以小学6年、初中9年、高中、职高或中专12年、大专15年、本科16年、硕士及以上19年进行划分;健康状况包括五个等级,分别为有传染病、有慢性疾病、一般、比较健康和非常健康,分别以数字1~5表示;是否全职工作、户口是否在本地、是否有固定工作场所、单位是否为国有或集体性质、是否参加工会均以数字0和1表示,0为否定,1为肯定。在城市层面,考虑到互联网应用、教育资源和就业环

境对岗位技能需求的影响,本文分别控制以下变量:地区互联网水平,以城市电信业务收入占地区生产总值的比值衡量;师生比,以城市中等、高等院校教师人数与学生人数的比值衡量;产业结构,以城市第三产业产出占地区生产总值的比值衡量;内资企业占比,以规模以上工业内资企业占全部企业数量的比值衡量;外商投资水平,以平均汇率换算后的外商实际投资额与地区生产总值的比值衡量。

机制检验方面,本文分别通过作品内容自主决定程度和快速反应与思考能力来验证劳动控制效应和任务创造效应。根据理论分析,工业机器人应用将生产过程分解为更细小、更具体的标准单元,使劳动者无法参与生产的多个环节,进而对其形成约束和控制。因此,本文将CLDS问卷中“您认为作品内容有多大程度由自己决定”的问题作为中介变量来验证劳动控制效应,其回答包括完全由他人决定、部分由自己决定以及完全由自己决定三个等级,分别以数字1-3表示,其数值越大,表示作品内容自主决定程度越强。任务创造效应方面,根据理论分析,工业机器人应用同时创造简单和复杂两种工作任务,而工作任务的复杂程度差异往往体现在其对劳动者思维、快速反应和创造能力的需求上。为此,本文以CLDS问卷中“您的工作是否需要快速反应和思考能力”作为中介变量进行检验,其回答包括“很少”“有时”“经常”三个等级,分别以数字1-3表示,其数值越大,表示快速反应与思考能力的需求越高。在上述中介变量的构建下,劳动者作品内容的自主决定程度反映了从多项技能弱化为单一技能的“去技能”过程,这种任务由多到少的变化最终体现在技能掌握时长的减少中;快速反应与思考能力则突出体现新创造任务的复杂程度,即若新任务相较于旧任务更加复杂,则技能掌握时长增加,反之则减少。

(三)数据来源与描述性统计

本文基于CLDS数据组成2012年、2014年、2016年和2018年的混合截面数据进行回归分析。限于本文的研究主题,只选取处于工作状态且非追访样本作为研究对象。在剔除过去一年无工作、年龄大于60岁、自答行业大类非工业以及无法进行岗位分类的样本后,共得到2 832个样本,其中常规岗位、非常规岗位样本分别为2 392个和440个。数据来源方面,工业机器人行业安装量、保有量数据来自IFR;被解释变量、个体层面控制变量的相关数据来自CLDS;城市层面控制变量的相关数据来自《中国城市统计年鉴》和《地区统计年鉴》;2008年的城市层面分工业行业就业人数基于第二次全国经济普查数据,在城市-工业行业层面加总企业雇佣人数计算得到;全国分工业行业的就业数据来自《中国劳动统计年鉴》;平均汇率数据来自中国人民银行网站。部分城市层面非连续缺失变量采用时间序列线性插值法补充。^①

(四)基准回归

基准回归结果报告于表1。考虑到不同调查年份之间的调查规范、调查团队和所处宏观经济环境存在较大差异,即年份内各城市样本之间具有一定的相关性,本文在基准回归中将标准误聚类至调查年份。此时,由于调查年份的聚类组数较少,自由度的下降使基准回归t检验的临界值要求更高。而为了验证基准回归的结论,在后续稳健性检验中将标准误进一步聚类至城市。表1中第(2)、(3)列结果显示,工业机器人应用显著降低了常规岗位技能掌握时长,同时显著提高了非常规岗位技能掌握时长,因而引致中国劳动技能结构两极化,由此验证了假说1。表1第(1)列结果显示,在总样本下,工业机器人应用对技能掌握时长的影响显著为负,但该结论可能因CLDS数据中常规岗位样本数量更多所致,并不能因此说明工业机器人应用引致了全社会“去技能”的趋势。

根据就业补偿理论,工业机器人应用对部分生产任务的替代能由新任务补偿,而任务更替

^①限于篇幅,描述性统计表格未列示,留存备索。

将带来旧技能淘汰和新技能获得,这有利于就业技能的不断更新。然而,新任务的产生并不必然等同于技能复杂程度的增加,也可能引致技能难度的不断降低,分别包括劳动控制和创造简单任务两种情形。一方面,由于工业机器人应用不断替代既有的生产任务,生产工序不断细分,劳动者可能从掌握全过程的生产技能逐渐转变为仅负责生产的某一工序。例如,过去电子产品组装工人需理解各零部件的工作原理,而在工业机器人应用下仅需负责产品固定和上下料工作,产生“概念”与“执行”的分离。另一方面,工业机器人技术作为典型的资本品,其应用必然伴随机器看守、监管等安全管理工作,这些岗位只需保证生产线不发生卡顿而无其他技能要求,导致部分生产工人从概念分离进一步过渡至操作分离,沦为机器辅助和边缘劳动力(许怡和叶欣,2020)。显然,伴随部分常规群体的去技能,以工程师、自动化专业技术人员等为主的非常规人员在工业机器人应用下将迎来技能升级的新机遇,复杂程度越高、替代力越强的机器设备,在研究开发、设计、程序化上需要越多的技能支持,因而工业机器人等智能技术应用下易造成不同群体间劳动技能结构的两极化。

(五)稳健性检验^①

1. 替换被解释变量。基准回归采用了技能掌握时长代理岗位技能需求,但由于该变量在各等级之间并非平滑增长,其回归系数的经济学含义难以解释,因此,本文把技能掌握时长的各个等级转换为天数的对数值进行稳健性检验。具体而言,将几天转化为3天、大约一周转化为7天、不到一个月转化为30天、一到三个月转化为60天、超三个月而不到一年转化为180天、一到三年转化为720天、三年以上转化为1 000天,结果表明,每单位工业机器人应用水平的增加将降低约6.5%的常规岗位技能学习天数,同时提高约18.4%的非常规岗位技能学习天数。
2. 替换解释变量。本文基准回归基于工业机器人保有量变动,采用巴蒂克工具变量的方式构建解释变量。为了提高基准回归结论的稳健性,本文将式(2)中的工业机器人保有量变动替换为滞后一年的工业机器人安装量进行稳健性检验,回归结论与基准回归结论保持一致。
3. 缩小样本范围。考虑到实际经济环境中部分群体对岗位技能需求变化不敏感,本文分别剔除临近退休、有传染病或慢性病、曾在本单位生育和家族企业就业的样本进行稳健性检验,结果显示,样本调整后的回归结论均与基准回归结论保持一致。
4. 采用城市聚类标准误和全面广义差分变换(FGLS)回归。由于同一地区不同年份的样本之间可能存在相关性,本文把标准误聚类至城市层面进行检验。同时,考虑到可能存在组间异方差、组内自相关和同期相关等问题,本文进一步采用FGLS回归进行检验(李廉水等,2020),结果显示,上述回归结论均与基准回归结论保持一致。
5. 基于城市层面构建技能掌握时长的动态指标。受限于混合截面数据,基准回归的被解释变量为静态指标,无法直观反映工业机器人减少或增加技能掌握时长的动态影响。为此,本文基于城市层面构建动态指标进行稳健性检验:首先,分别计算各城市常规与非常规岗位技能掌握时长的年度均值;其次,以2012年为基期,区分常规、非常规岗位,以各年度均值与基期均值的比值作为技能掌握时长的动态指标;最后,将该动态指标作为被解释变量,在城市层面进行

表1 基准回归

	总样本	常规	非常规
robot	-0.051 [*] (-2.999)	-0.075 ^{**} (-5.571)	0.174 ^{**} (4.493)
常数项	1.601 (1.621)	-0.428 (-0.610)	9.636 (1.183)
样本数量	2 832	2 392	440
城市、职业与年份固定	控制	控制	控制
经验p值			0.014

注:“*”、“**”和“***”分别代表10%、5%和1%的显著性水平;括号内为t值。“经验p值”为费舍尔组合检验(Permutation Test)抽样500次的p值。限于篇幅,个体、城市层面控制变量回归结果未列示,留存备索。下同。

^①限于篇幅,稳健性检验的相关结果未列示,留存备索。

回归分析。结果显示,其回归结论与基准回归结论保持一致。

6. 置换检验(Permutation Test)。为排除遗漏变量和其他随机因素对回归结论的干扰,本文基于式(2)进行置换检验。具体而言,随机匹配城市就业结构和工业机器人行业应用水平500次,分别进行回归并记录回归系数,再通过核密度估计得到概率密度图。结果显示,常规岗位样本与非常规岗位样本的解释变量系数均值均接近于零,并且与基准回归中的系数大小存在明显差异,说明基准回归结果并非由不可观测的其他因素所驱动。

(六) 内生性处理

为进一步缓解潜在的内生性问题,本文分别基于国外工业机器人应用水平和滞后一期解释变量构建工具变量进行两阶段最小二乘法(2SLS)回归。国外工业机器人应用水平方面,参考魏下海等(2020)的做法,选取瑞典、荷兰、法国、加拿大、巴西、马来西亚、斯洛伐克7个工业机器人应用较多的国家,以其工业机器人应用水平之和为工具变量,具体按照以下方式计算:

$$robot_{ct}^l = \sum_j \frac{lab_{jc,t=2008}}{lab_{c,t=2008}} \frac{\Delta oper_{jt}^l}{lab_{j,t=2008}} \quad (3)$$

$$ro_iv_{ct} = \sum_l robot_{ct}^l \quad (4)$$

其中, $l = SE, NL, FR, CA, BR, MY, SK$, 分别代表瑞典、荷兰、法国、加拿大、巴西、马来西亚、斯洛伐克。由于国外行业层面的工业机器人应用情况能够反映中国同类行业技术特征(王永钦和董雯, 2020),而国外工业机器人应用不会直接影响国内岗位技能需求,因而该工具变量同时满足相关性和排他性要求。类似地,考虑到滞后一期的工业机器人应用水平与调查年份的应用水平相关,但又与调查年份的岗位技能需求无关,因而可以采用滞后一期的工业机器人应用水平作为工具变量进行2SLS回归分析。

表2和表3分别报告了国外工业机器人应用水平和滞后一期解释变量作为工具变量的内生性处理结果。其中,第(1)、(2)列分别为直接把解释变量替换为工具变量的简约式回归结果;第(3)、(4)列分别为关于常规岗位的2SLS第一、二阶段回归结果;第(5)、(6)列分别为关于非常规岗位的2SLS第一、二阶段回归结果。从中可知,无论采用国外工业机器人应用水平还是滞后一期解释变量作为工具变量,简约式回归下的结论与基准回归结论一致。2SLS回归下,两种工具变量的第一阶段回归系数均显著为正,并且弱工具变量检验的F值均大于10%的边界值,表明两种工具变量分别与解释变量显著正相关。在第二阶段回归中,解释变量对常规岗位技能需求的影响系数均显著为负,而对非常规岗位技能需求的影响系数均显著为正,与基准回归结论保持一致。内生性检验发现,两种工具变量关于常规、非常规岗位的p值均小于0.1,表明2SLS的回归系数相较于基准均出现了显著变化。

表2 内生性处理:国外工业机器人应用

	简约式		2SLS			
	常规	非常规	常规		非常规	
			robot	comp	robot	comp
robot				-0.059**(-3.591)		0.266**(3.840)
ro_iv	-0.706*(-2.571)	3.153***(4.263)	12.053*** (8.988)		11.852*** (8.766)	
样本数量	2392	440	2392	2392	440	440
Kleibergen-Paap rk			80.780		76.847	
Wald F值			0.059		0.090	
Endogeneity test p-value						
经验p值	0.012		0.012			

表3 内生性处理:滞后一期解释变量

	简约式		2SLS			
	常规	非常规	常规		非常规	
			<i>robot</i>	<i>comp</i>	<i>robot</i>	<i>comp</i>
<i>robot</i>				-0.068**(-5.481)		0.266**(6.050)
<i>l.robot</i>	-0.073**(-4.418)	0.248*** (5.738)	1.113*** (20.423)		1.099*** (21.273)	
样本数量	2392	440	2392	2392	440	440
Kleibergen-Paap rk				417.101		45.523
Wald F值				0.082		0.059
Endogeneity test p-value						
经验p值	0.012		0.014			

(七)机制分析

理论分析发现,工业机器人应用引致劳动技能结构两极化的原因来自劳动控制效应和任务创造效应。为了检验上述机制,本文参考江艇(2022)的方法,分别以作品内容自主决定程度和快速反应与思考能力作为中介变量展开机制分析,回归结果报告于表4。其中,第(1)、(2)列结果显示,工业机器人应用对常规岗位作品内容自主决定程度的影响显著为正,而对非常规岗位影响不明显。在此基础上,对两组回归系数进行重复抽样500次的费舍尔组合检验,结果在5%的水平下拒绝回归系数无差异的原假设,由此验证假说2。表4第(3)、(4)列显示,工业机器人应用分别显著降低和提高了常规、非常规岗位的快速反应与思考能力需求,由此验证假说3。

表4 机制检验:劳动控制效应与任务创造效应

	劳动控制效应		任务创造效应	
	常规	非常规	常规	非常规
<i>robot</i>	-0.029**(-3.827)	0.055(1.071)	-0.027*(-2.363)	0.051** (3.502)
样本数量	2392	440	2392	440
经验p值	0.012		0.070	

四、异质性分析

缓解工业机器人应用引致的劳动技能结构两极化,关键在于缓解劳动控制效应及缩小任务创造效应在岗位间的影响差异。由于劳动控制效应源于生产流程标准化给劳动者带来的刚性约束,须探索更加灵活的用工模式以增强劳动者工作自主性;而由于任务创造效应的岗位异质性影响源于劳动者禀赋差异,须针对常规岗位群体,通过技能训练和新任务分配的方式提升其任务适配能力。为此,本文从灵活用工模式、技能证书获得与社交任务嵌入展开异质性分析。

(一)灵活用工模式

近年来,随着互联网技术的不断发展,越来越多的劳动者参与到用工方式更加灵活的零工经济中(曹晖和曹力予,2024)。由于工业零工可以自主选择工作地点、工作机会和工作安排(莫怡青和李力行,2022;王欢欢等,2022),零工经济的发展在一定程度上可以缓解劳动控制效应。然而,工业零工往往与企业签订短期劳动合同或不签订合同,此时企业可能倾向于对其派发简单任务,而对于相对稳定的内部员工派发复杂任务,依然可能引致劳动技能结构的两极化和贫富差距的扩大(Alvarado, 2014; 李红阳和邵敏, 2018)。为此,本文基于工业零工的灵活用工和不稳定契约的两大特征,分别构建其与解释变量的交互项展开异质性分析。具体地,前者以CLDS问卷中“您的工作是否需要固定的工作场所”的问题进行代理,后者以签订的劳动合同时长是否大于1年进行代理。回归结果报告于表5。

表5 异质性分析: 稳定契约与固定工作场所

	稳定契约				固定工作场所			
	任务创造效应		劳动控制效应		任务创造效应		劳动控制效应	
	常规	非常规	常规	非常规	常规	非常规	常规	非常规
<i>robot</i> × <i>var</i>	0.040 [*] (3.041)	-0.054 ^{***} (-9.209)	-0.007 (-0.736)	-0.004 (-0.289)	-0.028 (-1.452)	0.000 (0.011)	-0.014 [*] (-2.625)	-0.039 (-1.165)
<i>robot</i>	-0.036 ^{**} (-3.779)	0.093 ^{**} (3.741)	-0.028 ^{**} (-5.444)	0.054 (1.315)	-0.001 (-0.062)	0.050 (1.252)	-0.016 (-1.318)	0.096 (1.248)
<i>var</i>	0.024 (0.275)	0.191 (1.320)	0.037 (0.685)	0.162 (1.784)	0.056 (0.434)	-0.160 ^{**} (-5.387)	-0.040 (-0.527)	0.024 (0.183)
样本数量	2392	440	2392	440	2392	440	2392	440
经验p值	0.004		0.468		0.218		0.216	

注:*var*分别代表劳动合同是否大于1、是否有固定工作场所。

表5第(1)–(4)列显示,稳定契约对发生在常规、非常规岗位上的任务创造效应分别呈现显著的正向、负向调节作用。究其原因,常规岗位劳动者在市场上较难获得长期劳动合同,这种不稳定性迫使其优先保证短期收入而非人力资本投资;相对而言,非常规岗位劳动者在市场上获得长期劳动合同相对容易,因而刚性的劳动契约难以对其“再技能”形成有效激励,反而降低了其获得新技能的积极性。表5第(5)–(8)列显示,无固定工作场所对常规岗位劳动者的工作内容自主决定程度存在显著的正向调节作用,而对非常规岗位的影响不明显。因此,灵活用工有助于缓解劳动控制效应,但其不稳定契约的特征也可能加剧劳动技能结构两极化。

按照上述结论,为零工就业群体提供稳定的劳动合同有助于缓解工业机器人应用导致的劳动技能结构两极化影响,但在现实经济环境中,稳定契约和灵活用工往往不可兼得,需要为零工就业群体建立更多的权益保障。党的二十大报告指出,要支持和规范发展新就业形态,完善劳动者权益保障制度,加强灵活就业和新就业形态劳动者权益保障。在此背景下,表6围绕任务创造效应,进一步汇报了常规、非常规岗位关于社会保险、公积金和企业年金的异质性分析结果。其中,社会保险基于劳动者的养老、工伤、失业、生育、医疗保险进行计算,每增加一个类别取值加1,公积金与企业年金按照同样方法计算。结果发现,“五险”和“二金”均对发生在常规岗位上的任务创造效应有显著的正向调节作用,而对发生在非常规岗位上的影响不明显,并且组间差异检验显示拒绝系数不存在明显差异的原假设。

表6 异质性分析: 社会保险、公积金与企业年金

	社会保险			公积金与企业年金	
	常规	非常规		常规	非常规
<i>robot</i> ×社会保险	0.005 ^{**} (5.309)	-0.013(-2.251)	<i>robot</i> ×公积金与企业年金	0.044 ^{***} (6.932)	-0.011(-0.820)
<i>robot</i>	-0.036 [*] (-2.665)	0.098 ^{***} (7.673)	<i>robot</i>	-0.033 [*] (-2.973)	0.054 ^{**} (4.532)
社会保险	0.064 [*] (2.551)	0.029(0.573)	公积金与企业年金	0.056(1.269)	0.050(0.593)
样本数量	2392	440	样本数量	2364	430
经验p值	0.038		经验p值	0.064	

总体看来,灵活用工确实有助于缓解偏向常规岗位的劳动控制效应,但其不稳定契约的特征也扩大了任务创造效应在岗位间的影响差异。因此,需要完善零工就业群体的社会保险、公积金与企业年金等权益保障,使其在保持工作自主性的基础上提高就业稳定性。

(二) 技能证书获得与社交任务嵌入

由于非常规岗位劳动者具有更强的学习能力和更高的技能水平,工业机器人应用创造的

高技能任务主要由这部分人员承担,而工业机器人应用创造的低技能、无技能任务主要由常规岗位人员承担。在该逻辑下,技能提升能够帮助常规岗位劳动者匹配高技能工作任务,进而缩小任务创造效应在岗位间的影响差异。因此,本文基于个体拥有技能证书的数量,通过生成其与解释变量的交互项进行异质性分析,结果报告于表7第(1)–(4)列。从中可知,技能证书数量对发生在常规岗位上的任务创造效应有显著的正向调节作用,而对发生在非常规岗位上的影响不明显,并且无法拒绝组间系数不存在差异的原假设。该影响产生岗位异质性的原因可能在于,技能证书数量的作用存在边际收益递减,换言之,由于常规岗位劳动者技能处于较低水平,其获得技能证书对匹配高技能工作任务的效果更加明显。因此,常规岗位劳动者技能的提升有助于缩小禀赋差异,是缓解劳动技能结构两极化的重要路径。

表7 异质性分析:技能证书获得与社交任务嵌入

	技能证书获得				社交任务嵌入			
	任务创造效应		劳动控制效应		任务创造效应		劳动控制效应	
	常规	非常规	常规	非常规	常规	非常规	常规	非常规
<i>robot</i> × <i>var</i>	0.048 [*] (2.847)	0.009 (0.542)	0.004 (0.510)	-0.010 (-1.252)	-0.009 (-2.175)	0.006 (0.248)	0.011 [*] (8.086)	0.005 ^{***} (72.884)
<i>robot</i>	-0.031 ^{**} (-3.701)	0.043 [*] (2.359)	-0.029 ^{**} (-3.726)	0.054 (1.119)	0.148 (2.395)	0.133 (0.390)	-0.223 [*] (-6.927)	0.290 (5.147)
<i>var</i>	-0.006 (-0.183)	0.100 (1.042)	0.032 (1.547)	0.126 [*] (2.918)	0.025 (0.924)	0.020 (0.244)	-0.005 (-1.536)	-0.005 (-0.162)
样本数量	2392	440	2392	440	1016	173	1016	173
经验p值	0.054		0.222		0.228		0.314	

注:*var*分别代表技能证书数量、社交任务嵌入。

工业机器人的比较优势集中于程式化任务,而人类的比较优势则体现在社会互动、情景判断和抽象推理等非程式化任务上(Acemoglu和Restrepo, 2018)。因此,在常规岗位中嵌入社交任务,促进劳动者技能转型,可能有助于缓解工业机器人应用导致的劳动技能结构两极化影响。本文基于CLDS数据中描述劳动者承担社交任务情况的多个变量,包括顾客服务接触、供应商客户接触、领导接触、上级部门接触、平级同事接触、来宾接触和其他单位接触7项任务,通过求和的方式构建社交任务强度指标,并建立该指标与解释变量的交互项进行异质性分析。各变量的回答均包括四个等级,分别为从不、很少、有时和经常,以数字1–4表示。值得注意的是,除以上7个变量外,CLDS问卷中还包括下级部门接触和下级同事接触两项回复,但由于其数据缺失严重,本文在回归时予以剔除。以上异质性分析结果报告于表7第(5)–(8)列,从中可知,对于常规和非常规岗位,嵌入社交任务均有助于缓解劳动控制效应。在现实生产活动中,劳动者要实现从承担常规操作任务到承担研发、创造和管理等非常规任务的“职业垂直晋升”相对困难,而转向社交相关岗位的“职业水平流动”相对容易(魏嘉辉和顾乃华, 2024b),因而社交任务嵌入是有效缓解劳动技能结构两极化的重要路径。

五、进一步研究

劳动技能结构两极化可能进一步向工资收入、工作尊重和晋升机会等维度延伸,导致多重社会后果,需作进一步的检验和分析。与此同时,本文的基准回归为针对工业在岗人员的实证研究,没有考虑劳动转移的情形。由于工业机器人应用推动了部分常规岗位劳动者转移至其他行业,此时岗位技能需求的变化也需进一步讨论。

(一) 工资收入、工作尊重与晋升机会

按照基准回归的结论,在中国工业机器人广泛应用的背景下,常规岗位技能需求可能持续降低,而非常规岗位技能需求日益提升,这或将引致一系列的社会后果。首先,由于所在岗位的技能需求是个体在劳动力市场上的价值体现,劳动技能结构两极化将导致工资收入两极化,即造成“技能溢价”现象(胡晨明等,2021;谢杰等,2022)。其次,劳动技能结构两极化使部分群体社会地位下降,加剧劳动者分层,并减少部分劳动者的工作尊重和幸福感(Sandblad,2023)。最后,劳动技能结构两极化还可能引发晋升机会的不平等,限制部分个体的职业发展,导致其陷入就业的“低端锁定”(Acemoglu和Restrepo,2020a)。为此,本文进一步分析工业机器人应用对工资收入、工作尊重和晋升机会的影响。其中,工资收入以“最近一年工资收入(元)”进行加1取对数来衡量,工作尊重以CLDS问卷中“最近工作获得尊重评价”来衡量,晋升机会以“最近工作晋升评价”来衡量。工作尊重和晋升机会的回答均包括非常不符合、比较不符合、无所谓、比较符合和非常符合五个等级,分别以数字1-5表示,回归结果如表8所示。从中可知,工业机器人应用对非常规岗位劳动者的工资收入、工作尊重和晋升机会均呈现显著的正向影响,而对常规岗位均呈现显著的负向影响。因此,工业机器人应用可能会进一步扩大贫富差距、加剧劳动者分层,不利于共同富裕目标的实现,亟需政府等有关部门对其进行干预。

表8 进一步研究:工资收入、工作尊重与晋升机会

	工资收入		工作尊重		晋升机会	
	常规	非常规	常规	非常规	常规	非常规
robot	-0.020*(-2.412)	0.143*(2.376)	-0.043**(-6.248)	0.143***(6.071)	-0.057*(-3.053)	0.067*(4.001)
样本数量	2392	440	1653	326	1109	274
经验p值	0.000		0.000		0.030	

(二) 常规岗位流动与技能掌握时长

常规岗位人员流动的影响包括工业内部跨行业流动、跨产业流动和流向失业三种情形。由于失业没有岗位技能需求,流向失业一定程度上可视为导致劳动技能降级。而工业内部的跨行业流动本质上仍属于工业在业的情形,基准回归已经将其纳入考虑。因此,在考虑存在就业流动的情况下,分析劳动技能结构变化的关键在于分析跨产业流动的情形。由于CLDS数据为混合截面数据,在无法形成个体追踪面板数据的情况下,需追溯劳动者前一份工作的情况进行比较分析(石智雷,2017),这就需要以劳动者前一份工作的结束年份为基准匹配解释变量(魏嘉辉和顾乃华,2024b)。然而,受本文关键变量的限制,该方法会丢失大量研究样本,导致回归无法进行。为此,本文基于CLDS数据中关于劳动者前一份工作的职业代码进行如下讨论:

首先,筛选出劳动者前一份工作的职业代码首位为6的样本,以此近似识别个体曾经在工业常规岗位工作;其次,剔除非在业、非工作年龄、自答目前工作行业大类为工业或无法进一步识别具体行业的样本,共得到2160个样本;最后,分别计算样本中各行业的人数比例、平均技能掌握时长,并与本文基准回归中的工业常规岗位样本的平均技能掌握时长进行比较分析。结果如图1所示。从流向比例来看,农林牧渔为劳动者最大的流向目标,占样本的33.1%;后续分别为批发零售、贸易和餐饮业,社会服务,交通运输、仓储及邮电业,分别占27.7%、15.3%和11.1%;其余行业流向比例均不足4%。该结果反映了工业常规岗位的流向集中于低技能需求的农业劳动、外卖服务、网约车服务、家政服务、销售服务和餐饮服务等工作,与现实认知相符。平均技能掌握时长方面,农林牧渔,批发零售、贸易和餐饮业,社会服务,卫生、体育和社会福利业,地质勘查业、水利管理业五大行业各自的平均技能掌握时长低于工业常规岗位。结合流向和平均技能掌握时长来看,样本中接近79.4%的个体流向平均技能掌握时长更短的行业,因而考虑存在常规岗位就业流动的情况下,工业机器人应用依然可能引致劳动技能结构两极化。

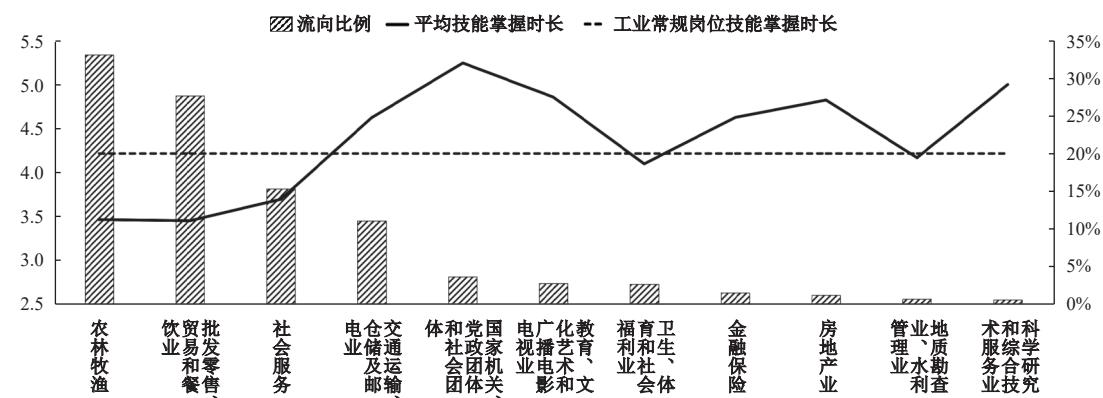


图1 常规岗位流动与技能掌握时长

六、研究结论与政策启示

本文基于常规-非常规岗位分类框架检验工业机器人应用对中国劳动技能结构的影响。研究发现,工业机器人应用分别降低了常规、非常规岗位技能需求,引致了劳动技能结构两极化。机制分析发现,工业机器人应用通过切割和标准化生产流程,对劳动过程形成约束和控制,进而降低了常规岗位技能需求;工业机器人应用通过创造复杂生产任务提高非常规岗位技能需求,同时通过创造简单生产任务降低常规岗位技能需求。为缓解劳动技能结构两极化,本文分别从灵活用工模式、技能证书获得与社交任务嵌入的视角展开异质性分析,发现签订长期劳动合同、增强劳动保障以及获得技能证书有助于缩小工业机器人的任务创造效应在不同岗位间的影响差异,而灵活用工、社交任务嵌入有助于缓解偏向常规岗位的劳动控制效应。进一步研究发现,曾在工业常规岗位工作且发生就业流动的样本中,约79.4%的劳动者转向了平均技能掌握时长更短的其他行业工作;而伴随劳动技能结构两极化,工业机器人应用同时引起常规、非常规岗位的工资收入、工作尊重和晋升机会两极化,需要引起社会更多的关注。

本文的政策启示为:第一,技能培训是缓解工业机器人应用“去技能”冲击的根本路径。建议搭建互联网平台、学校和公共图书馆三位一体的再教育体系,并针对不同职业、岗位、学历和年龄的劳动者分别设计技能提升任务,杜绝“一刀切”形式的技能培训安排,从而满足不同劳动群体的技能升级需求。第二,促进常规岗位劳动者承担非程式化任务,有助于发挥人类比较优势,是缓解劳动控制效应的重要路径。因此,建议公共部门牵头、用人单位协助,搭建区域性职业流转信息服务平台。同时,在平台中嵌入技能培训、健康服务和法律咨询等配套功能,吸引用人单位和劳动者注册登记,进而推动就业合理流转,减少技术性失业的发生。第三,随着互联网技术的不断发展,工业零工、服务业零工等新就业形态不断涌现,成为中国劳动力市场不可或缺的重要组成部分。虽然这部分劳动者工作相对灵活,但其往往与用人单位签订临时劳动合同,难以承担企业长期项目或核心工作任务,因而需要探索劳动契约更加稳定、劳动保障更加健全的灵活用工模式。因此,建议有关部门搭建项目对接、人才对接公共服务平台,并基于平台建立背景调查、劳动合同签订、社保缴纳、户籍安排与子女教育等配套保障,积极推动“非正规零工”向“正规零工”转变,通过规范用工关系和增强社会保障做稳做实中国零工经济。

主要参考文献:

- [1]曹晖,曹力予.数字技能对学历-工作不匹配的影响——基于中国家庭追踪调查数据的实证分析[J].劳动经济研究,2024,(1).

- [2] 陈琳,高悦蓬,余林徽. 人工智能如何改变企业对劳动力的需求?——来自招聘平台大数据的分析[J]. *管理世界*,2024,(6).
- [3] 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).
- [4] 胡晟明,王林辉,董直庆. 工业机器人应用与劳动技能溢价——理论假说与行业证据[J]. *产业经济研究*,2021,(4).
- [5] 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).
- [6] 李红阳,邵敏. 临时性就业对劳动者工资收入的影响[J]. *财经研究*,2018,(1).
- [7] 李廉水,鲍怡发,刘军. 智能化对中国制造业全要素生产率的影响研究[J]. *科学学研究*,2020,(4).
- [8] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. *中国工业经济*,2022,(5).
- [9] 马克思. 资本论[M]. 北京:人民出版社,2004.
- [10] 莫怡青,李力行. 零工经济对创业的影响——以外卖平台的兴起为例[J]. *管理世界*,2022,(2).
- [11] 石智雷. 有多少农民工实现了职业上升?——人力资本、行业分割与农民工职业垂直流动[J]. *人口与经济*,2017,(6).
- [12] 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).
- [13] 王欢欢,胡冬敏,张际. 最低工资制度、劳动合同期限与企业用工形式[J]. *经济学(季刊)*,2022,(4).
- [14] 王林辉,钱圆圆,董直庆. 人工智能应用对劳动工资的影响及偏向性研究[J]. *中国人口科学*,2022,(4).
- [15] 王林辉,钱圆圆,宋冬林,等. 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*,2023,(7).
- [16] 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).
- [17] 卫羚. 兰登·温纳技术哲学思想的解读——技术决定论与社会决定论的桥梁[J]. *福建论坛(人文社会科学版)*,2009,(9).
- [18] 魏嘉辉,顾乃华. 跨产业“人机互补”:工业机器人应用与关联服务业就业[J]. *南方经济*,2024a,(7).
- [19] 魏嘉辉,顾乃华. 工业机器人与中国生产工人职业流动[J]. *经济与管理研究*,2024b,(3).
- [20] 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).
- [21] 谢杰,过重阳,陈科杰,等. 最低工资、工业自动化与技能溢价[J]. *中国工业经济*,2022,(9).
- [22] 许和连,赵泽昊,金友森. 人力资本如何驱动企业工业机器人应用?——基于中国“高校扩招”的准自然实验[J]. *数量经济技术经济研究*,2024,(9).
- [23] 许怡,邓韵雪. 机器人时代的制造业岗位技能水平变化研究——基于“复杂性—自主性”框架下的案例分析[J]. *福建论坛(人文社会科学版)*,2023,(11).
- [24] 许怡,叶欣. 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*,2020,(3).
- [25] 杨虎涛,冯鹏程. 去技能化理论被证伪了吗?——基于就业极化与技能溢价的考察[J]. *当代经济研究*,2020,(10).
- [26] 余玲静,张沛康,魏下海. 机器人如何影响劳动力市场雇佣关系:“技术—技能”重塑机制的解释[J]. *学术研究*,2021,(2).
- [27] 瞿雷振,温宇涵,陈浩. 数字时代的技术与社会:多维技能变迁的挑战与应对策略[J]. *人文杂志*,2024,(1).
- [28] 赵磊,厉基巍. 与数字技术同行:技术与技能互构视角下的劳动过程研究——以外卖骑手为例[J]. *新视野*,2023,(6).
- [29] Acemoglu D, Autor D. Chapter 12 - skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings [J]. *Handbook of Labor Economics*, 2011, 4: 1043–1171.
- [30] 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.
- [31] Acemoglu D, Restrepo P. The wrong kind of AI? Artificial intelligence and the future of labour demand [J]. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 2020, a,13(1): 25–35.
- [32] Acemoglu D, Restrepo P. Robots and jobs: Evidence from US labor markets [J]. *Journal of Political Economy*, 2020, b,128(6): 2188–2244.
- [33] Aghion P, Jones B F, Jones C I. Artificial intelligence and economic growth[R]. NBER Working Paper, No. 23928, 2017.
- [34] Alvarado L K A. The effects of fixed-term contracts on workers in Colombia [J]. *Cuadernos de Economía*, 2014, 33(63): 421–446.

- [35] Braverman H. Labor and monopoly capital: The degradation of work in the twentieth century[M]. New York: Monthly Review Press, 1998.
- [36] Goos M, Manning A, Salomons A. Explaining job polarization: Routine-biased technological change and offshoring [J]. *American Economic Review*, 2014, 104(8): 2509–2526.
- [37] Graetz G, Michaels G. Robots at work [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 2018, 100(5): 753–768.
- [38] Hall R. Renewing and revising the engagement between labour process theory and technology[A]. Smith C, Thompson P. *Working life*[M]. London: Palgrave Macmillan, 2010.
- [39] Jackson M O, Kanik Z. How automation that substitutes for labor affects production networks, growth, and income inequality[R]. SSRN Working Paper, 2020.
- [40] Piva M, Santarelli E, Vivarelli M. The skill bias effect of technological and organisational change: Evidence and policy implications [J]. *Research Policy*, 2005, 34(2): 141–157.
- [41] Sandblad A. On professional skill in the age of digital technology [J]. *AI & Society*, 2023, 38(5): 1925–1933.
- [42] Silva H C, Lima F. Technology, employment and skills: A look into job duration [J]. *Research Policy*, 2017, 46(8): 1519–1530.

Does the Application of Industrial Robots Lead to a Polarization of Labor Skill Structure in China?

Wei Jiahui¹, Gu Naihua², Ji Xiangyu³

(1. College of Economy and Trade, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangdong Guangzhou 510225, China; 2. Institute of Industrial Economics, Jinan University, Guangdong Guangzhou 510632, China; 3. School of Economics and Trade, Guangdong University of Finance, Guangdong Guangzhou 510521, China)

Summary: The application of industrial robots has promoted the high-quality development of China's economy, but its differentiated impact on various job positions is an important issue that urgently needs attention in the process of China's common prosperity. Leveraging data from the International Federation of Robotics (IFR) and the China Labor-force Dynamics Survey (CLDS), this paper empirically examines the impact of industrial robot applications on China's labor skill structure from the perspective of position skill requirements. The findings reveal that the application of industrial robots reduces the skill requirements of routine positions through the labor control effect, and reduces the skill requirements of non-routine positions through the task creation effect, leading to a polarization of China's labor skill structure. Heterogeneity analysis indicates that strategies such as flexible employment and social task embedding help mitigate the labor control effect; obtaining skill certificates, signing long-term contracts, and enhancing labor security help narrow the differential impact of the task creation effect. Further study finds that, nearly 79.4% of individuals who previously engaged in routine industrial positions and experienced job mobility have transitioned to other industries with less skill acquisition time. Moreover, the application of industrial robots has led to adverse consequences, including polarization of wage income, job respect, and promotion opportunity. The conclusions drawn in this paper contribute to alleviating the polarization of China's labor skill structure and promoting full and high-quality employment.

Key words: industrial robots; labor skill; polarization; labor control effect; task creation effect

(责任编辑: 王西民)