

劳动力市场灵活性、生产率波动与工业 自动化发展*

蒋 为 赵 敏 吉 萍

内容提要:本文在劳动力市场制度约束下的企业跨期要素投入生产模型中嵌入了工业机器人投入决策,探讨了工业机器人相比劳动力在生产率稳定性方面的比较优势,建立了劳动力市场灵活性与工业自动化发展之间的理论关系,分析了劳动力市场制度约束对企业技术选择的影响。基于此,本文采用跨国面板数据估计了广义双重差分模型,检验各国劳动力市场灵活性对不同行业工业自动化发展的影响。本文研究发现,在劳动力生产率波动的驱动下,一国劳动力市场灵活性不足驱动了生产率波动更大与劳动密集度更高的行业加速其工业自动化发展。本文对比了2019年劳动力市场灵活性最低和最高的国家在工业机器人投入中的行业分布,一方面,生产率波动最大和最小行业之间的工业机器人渗透率差距增大了3.85%;另一方面,劳动密集度最高和最低行业之间的工业机器人渗透率差距增大了10.47%。本文的研究结果表明,由于劳动力相比工业机器人而言在生产率上面临更大的波动性,企业在劳动力市场灵活性不足的约束下将通过工业自动化转型来缓解生产率波动所带来的产出损失。工业自动化转型已成为企业缓解本国劳动力市场制度约束的技术选择,不合理的劳动力市场制度设计将诱发过度自动化并危害就业。

关键词:劳动力市场灵活性 生产率波动 劳动密集度 调整成本 工业自动化

作者简介:蒋 为,西南财经大学国际商学院教授,611130;

赵 敏,西南财经大学国际商学院博士研究生,611130;

吉 萍(通讯作者),广西大学经济学院助理教授,530004。

中图分类号:J23 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-8102(2025)03-0091-19

一、引 言

劳动力市场灵活性是一国劳动力市场制度体系的重要特征,主要包括劳动合同变更与解除

* 基金项目:研究阐释党的二十届三中全会精神国家社会科学基金重大专项“促进实体经济和数字经济深度融合的理论机制与实践路径研究”(24ZDA022)。感谢匿名审稿专家的宝贵意见,文责自负。吉萍电子邮箱:jping@gxu.edu.cn。

限制程度、工作安排灵活性、就业能力等内容(Cuñat和Melitz,2012;谢增毅,2017)。解雇保护制度被认为是体现劳动力市场灵活性的核心制度(谢增毅,2017)。从全球发展来看,各国实施的劳动力市场制度各异,尤其在劳动力市场灵活性上存在巨大差异,这也是造成各国经济绩效差异巨大的重要原因。一方面,解雇保护制度立足于维护劳动者权益,为构建稳定的劳动关系提供了保障(谢增毅,2017)。另一方面,严格的解雇保护制度损害了劳动力市场的灵活性,导致企业用工僵化。劳动力市场灵活性不足使得企业在调整劳动力要素时将面临额外的解雇成本,从制度约束方面破坏企业的用工灵活性,加重企业成本负担(Tang,2012;张明昂等,2022)。因此,如何科学合理地设计劳动力市场制度,有效助推和谐劳动关系发展,已成为各国政府亟须解决的重大现实问题。

近年来,工业自动化与劳动力市场之间的关系成为学术界关注的热点问题之一。第四次工业革命以来,机器人技术的兴起驱动了工业自动化的快速发展。越来越多的企业开始采用更具竞争优势的机器人完成生产,在全球出现了“机器换人”的局面(孔高文等,2020;王永钦、董雯,2020)。党的二十大报告明确指出,要“加快发展数字经济,促进数字经济和实体经济深度融合”,将提升工业智能化作为以新质生产力实现经济高质量发展的重大战略方向。国际机器人联合会(IFR)的统计数据显示,2023年中国工业机器人安装量超过27万台,占当年全球工业机器人安装总量的一半以上,是世界第一大工业机器人市场。虽然工业机器人的快速崛起给全球经济发展带来了新机遇,但难以回避的是这一趋势也对全球各个经济体的劳动力市场造成重大冲击,对就业总量与结构均产生了不同程度的影响,这已经成为近年来大量文献关注的焦点(Acemoglu和Restrepo,2018;孔高文等,2020;王永钦、董雯,2020)。面对工业机器人兴起所带来的重大冲击,党的二十届三中全会指出,要“健全促进实体经济和数字经济深度融合制度”,这为我们如何优化设计劳动力市场制度以推动实体经济与数字经济深度融合提出了新的重大问题。

现有研究聚焦工业机器人对劳动力的要素替代效应,着重从工业机器人低成本优势解构自动化技术对劳动力市场的冲击,忽略了工业机器人相对于劳动力在生产率稳定性方面的比较优势。大量研究证实工业机器人在标准化工作任务中表现出比劳动力更强的稳定性,工业机器人操作相较于劳动力操作更能提高产品质量(綦建红、张志彤,2022)。在工业机器人生产率更稳定的相对优势下,人工智能的兴起给劳动力市场制度设计带来了新挑战。劳动力市场制度约束原本通过提高调整成本限制企业的解雇行为来实现对劳动者利益的保障,但由于工业机器人相对于劳动力在生产率稳定性方面更具比较优势,劳动力市场灵活性不足所催生的要素调整成本压力则可能促使企业采取“机器换人”策略加速自动化转型,反而给劳动者就业带来了更大的隐忧。基于此,本文要回答的核心问题是:劳动力市场灵活性不足将如何影响工业自动化发展?政府应当如何在人工智能兴起背景下优化劳动力市场制度设计以实现企业与劳动力的双重利益保障?

本文分别从理论与实证两个层面回答了这些问题,以解析劳动力市场灵活性与工业自动化发展之间的因果关系。在理论层面,本文借鉴张明昂等(2022)对劳动力市场制度约束的理论设定,将劳动力市场灵活性假设嵌入企业跨期用工行为中,参考Acemoglu和Restrepo(2018)对企业生产任务模型的设定,将企业自动化决策引入跨期要素投入与生产决策的理论框架中,构建劳动力市场完全刚性与完全灵活两种情形下企业的自动化决策模型,探索劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展的影响机制。本文理论分析发现,一方面,当劳动力生产率波动加剧时,劳动力市场灵活性不足导致企业解雇劳动力时面临高昂的调整成本,此时前瞻性企业会选择生产率更稳定的工业机器人取代劳动力,从而提升其自动化程度;另一方面,生产率波动驱动的劳动力调整成本在劳动

密集度更高的行业被放大,当行业劳动密集度提高时,前瞻性企业会在前期加大工业机器人投入以逃避劳动力调整成本约束,其自动化程度得以提高。

在实证层面,本文采用1993—2019年的跨国数据,通过构建广义双重差分模型检验了劳动力市场灵活性对工业自动化发展的影响。实证结果发现,一方面,劳动力市场灵活性不足与行业生产率波动的交乘项对工业自动化发展影响的估计系数显著为正,这意味着劳动力市场灵活性不足显著提高了生产率波动更大行业的企业自动化程度;另一方面,劳动力市场灵活性不足与行业劳动密集度的交乘项对工业自动化发展影响的估计系数显著为正,这意味着劳动力市场灵活性不足显著提高了劳动密集度更高行业的企业自动化程度。对于方程估计中可能存在的内生性问题,本文通过采用工具变量法、基于跨国就业政策改革以及基于《中华人民共和国合同法》(以下简称《劳动合同法》)实施的拟自然实验分析对内生性问题进行处理,检验结果表明基准估计结果仍然是稳健的。

本文研究主要与以下三个方面的文献密切相关。首先,本文与劳动力市场灵活性的社会经济效应文献相关。一方面,以往研究证实了劳动力市场制度约束虽然损害了其灵活性,但对劳动者与企业都产生了积极作用。对于劳动者而言,劳动力市场灵活性不足通过限制企业解雇行为以保障劳动者权益,有利于构建稳定的劳动关系(谢增毅,2017)。对于企业而言,劳动力市场灵活性不足则会强化其风险规避趋势,激励企业增加创新投入,加速企业转型升级(高文静等,2022)。另一方面,大量研究聚焦劳动力市场灵活性不足所导致的企业用工僵化,探讨其对企业运行效率与经济效益的消极作用(Cuñat和Melitz,2012;张明昂等,2022),但其理论机理均建立在劳动力市场灵活性不足通过限制企业解雇行为来增加企业对劳动力要素调整成本的基础上。然而,现有文献尚未在人工智能兴起背景下从动态调整成本视角出发探索劳动力市场制度约束的社会经济效益,劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展的影响仍有待探究,这也是本文所聚焦的重要创新之处。

其次,本文与探讨工业自动化发展驱动因素的文献相关。现有大量文献讨论了工业自动化发展的经济效应,包括其对经济增长绩效、劳动力市场绩效、全球价值链分工、工业污染物排放及碳排放等方面的影响(Acemoglu和Restrepo,2018;吕越等,2020;陈媛媛等,2022)。在这些文献中,大量学者聚焦工业机器人对劳动力市场的冲击,仍然少有回答什么因素驱动了机器人在全球的兴起。一些研究考察了人口结构(Acemoglu和Restrepo,2022)和最低工资标准(綦建红、付晶晶,2021)对工业自动化发展的驱动作用,但忽略了劳动力市场制度对工业自动化发展所带来的影响。与本文联系较为密切的文献是陈勇兵等(2023)的研究,他们利用中国进口机器人数据,考察了劳动保护对企业智能转型的驱动作用,认为企业智能制造转型主要受劳动保护所带来的劳动力成本效应驱动,本质上仍然是从工业机器人相对于劳动力的成本优势角度进行解析。而本文从行业生产率波动角度出发,拓展了现有研究的认识。

最后,本文与供给冲击和生产率波动经济效应的文献相关。现有文献主要聚焦资源配置效率讨论生产率波动的直接效应。生产率波动加剧产生了资源配置效率损失,这一现象会因为调整成本的存在而加剧(杨光等,2015)。劳动力市场制度约束会导致企业用工僵化,增加劳动力的调整成本,因此一些文献开始将劳动力市场制度与生产率波动相结合,从动态视角考察生产率波动在劳动力市场制度影响企业行为中的作用机制。例如,Cuñat和Melitz(2012)探讨了劳动力市场灵活性与生产率波动如何塑造贸易模式,认为生产率波动更大的行业在灵活的劳动力市场中更具比较优势。这是由于随着生产率波动的加剧,企业更加依赖于灵活的劳动力市场以实现劳动力资源的最优配置。生产率波动已经成为研究劳动力市场制度时不可忽视的关键因素。在探讨劳动力市场灵活性不足对企业自动化程度的影响时,考察生产率波动在其中的内在机理具有重要的理论与

实践意义。

与现有文献相比,本文从劳动力市场制度入手加深了我们对工业自动化发展的理解,可能的贡献主要体现在以下几个方面。一是本文基于动态调整成本视角解析了劳动力市场制度体系在企业自动化决策中的关键作用,从理论与实证层面探讨了劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展的影响,丰富了工业自动化制度成因的相关研究。二是本文在跨期要素投入与生产决策模型中构建了劳动力市场灵活性不足与工业自动化发展的理论模型,聚焦工业机器人在生产率稳定性方面的比较优势,从行业生产率波动的视角对其中的内在机理进行解析,丰富了工业自动化在不同工业行业中分布差异的相关研究。三是本文基于劳动力市场灵活性不足的现实背景,探讨了自动化转型是企业应对劳动力市场灵活性不足时的重要途径,从而为工业自动化兴起背景下如何设计更加科学合理的劳动力市场制度提供了政策支撑。

二、理论模型

(一)消费者偏好与需求函数

本文假设消费者偏好相同。产品市场由一系列异质性产品组合而成,消费者偏好由这些异质性产品以常替代弹性(CES)的效用函数形式所决定:

$$U = \left[\int_{\omega \in \Omega} q(\omega)^{\frac{\tau-1}{\tau}} d\omega \right]^{\frac{\tau}{\tau-1}} \quad (1)$$

其中, ω 为产品集合 Ω 中的异质性产品, τ 代表异质性产品间的替代弹性, $\tau > 1$, $q(\omega)$ 是产品 ω 的消费总量。通过求解消费者效用最大化问题,可以得到异质性产品 ω 的需求函数:

$$q(\omega) = QP^\tau p(\omega)^{-\tau} \quad (2)$$

其中, Q 代表消费总量, $p(\omega)$ 为异质性产品 ω 的价格水平, P 为价格指数。

(二)厂商生产函数与市场结构

本文假定产品市场是完全竞争的。借鉴 Acemoglu 和 Restrepo(2018)、张明昂等(2022)对模型的基本设定,本文将企业生产函数设定为柯布-道格拉斯(Cobb-Douglas,C-D)形式,由通用资本与中间投入生产完成:

$$Y = X^\alpha K^{1-\alpha} \quad (3)$$

其中, Y 为企业的总产出, X 代表由劳动力或工业机器人生产完成的中间投入, K 为企业投入的通用资本存量, α 代表企业在生产过程中对中间投入的依赖度, $0 < \alpha < 1$ 。参考 Acemoglu 和 Restrepo(2018)的研究,将中间投入 X 的生产方程设定为由劳动力和工业机器人完成的任务生产模型,即将 X 设定为一系列任务产出 $x(i)$ 以CES形式组合的中间投入,企业对中间投入的每个任务 i 采用工业机器人或劳动力进行生产(Autor等,2003;Graetz和Michaels,2018)。本文假定任务 i 随 $\theta(i)_l/\theta(i)_m$ 递增,即劳动力在排序更高的任务中具有比较优势。在生产任务区间 $[0,1]$ 内存在临界任务 l ,当 $i > l$ 时, $\theta(i)_l > \theta(i)_m$,企业完成 $x(i)$ 的生产技术由工资率为 w 的劳动力进行生产;当 $i \leq l$ 时, $\theta(i)_l \leq \theta(i)_m$,此时工业机器人完全可替代劳动力,为实现成本最小化,企业将只投入实际租金

率为 r 的工业机器人生产 $x(i)$ 。中间投入的任务生产方程为：

$$X = \left[\int_0^1 x(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} = \left[\int_0^1 x(i)^\rho di \right]^{\frac{1}{\rho}}, x(i) = \begin{cases} \theta(i)_m m(i), i \in [0, I] \\ \theta(i)_l l(i), i \in (I, 1] \end{cases} \quad (4)$$

其中, $x(i)$ 表示企业在每个任务 i 上的产出, i 为 $[0, 1]$ 上连续的任务, σ 表示生产任务间的替代弹性, $\sigma > 1$, 令 $\rho = (\sigma - 1)/\sigma, 0 < \rho < 1$ 。 $m(i)$ 与 $l(i)$ 分别为企业完成任务 i 时所投入的工业机器人数量与劳动力数量。 $\theta(i)_m$ 为工业机器人生产率, $\theta(i)_l$ 为劳动力生产率。本文假设工业机器人生产率 $\theta(i)_m$ 服从 $[0, 1]$ 区间上的均匀分布; 劳动力生产率 $\theta(i)_l$ 为常数 $\theta_l, \theta_l \in (0, 1)$ 。此时, 企业完成临界任务 I 所要求的临界生产率为 θ_l 。

最终, 本文将任务模型下企业的整体生产函数设定为：

$$\begin{aligned} Y &= \left\{ \int_0^I [\theta(i)_m m(i)]^\rho di + \int_I^1 [\theta(i)_l l(i)]^\rho di \right\}^{\frac{\alpha}{\rho}} K^{1-\alpha} \\ &= [IM^\rho + (1 - I)(\theta_l \times L)^\rho]^\frac{\alpha}{\rho} K^{1-\alpha} \\ &= [\theta_l M^\rho + (1 - \theta_l)(\theta_l \times L)^\rho]^\frac{\alpha}{\rho} K^{1-\alpha} \end{aligned} \quad (5)$$

其中, M 为企业生产中投入的工业机器人总量, L 为劳动力总量, 可知在没有工业机器人要素投入时, α 表示企业生产中对劳动力要素的依赖度, 本文也以 α 表示传统生产模式下的劳动密集度。

(三) 企业的最优决策

为刻画劳动力市场灵活性, 本文参考张明昂等(2022)对劳动力市场制度约束的设定, 采用企业跨期要素投入与生产决策模型。企业面临两个生产阶段, 在每个阶段, 企业需要最优化通用资本 K 、工业机器人 M 和劳动力 L 三种要素的投入。其中, 在第二阶段企业除了雇佣新的劳动力外, 还可以选择与第一阶段劳动力续约或解雇的数量。假设代表性企业两个阶段的生产函数为：

$$Y_t = [\theta_t M_t^\rho + (1 - \theta_t)(\theta_l \times L_t)^\rho]^\frac{\alpha}{\rho} K_t^{1-\alpha} \quad (6)$$

其中, $t=1, 2$ 。 Y_t, M_t, L_t 与 K_t 分别代表第 t 阶段企业的总产出、工业机器人投入量、劳动力投入量与通用资本投入量。本文将通用资本要素价格标准化为 1, 工业机器人和劳动力供给完全无弹性且单位要素价格分别为 r 和 w 。在第一阶段, 劳动力生产率为 θ_l ; 在第二阶段, 劳动力生产率会产生波动, 有 δL_1 单位的劳动力生产率将会下降至 $\xi \theta_l, \delta, \xi \in (0, 1)$ 。因此, 生产率波动取决于下降的可能性 δ 与下降的幅度 ξ 。 δ 越大, 表示劳动力生产率下降的可能性越大, 生产率波动也越大; ξ 越大, 表示生产率下降程度越高, 生产率波动也越大。生产率波动会导致企业遭受效率损失, 企业在第二阶段可以选择是否解雇生产率下降的劳动力数量 $u (0 \leq u \leq \delta L_1)$, 重新雇佣 ΔL_2 单位生产率为 θ_l 的新的劳动力。此时, 在跨期要素投入决策中, 企业对劳动力的调整将会受到劳动力市场灵活性的约束。若劳动力市场灵活性不足, 即存在劳动合同保护的情形下, 企业裁员会受到法律制度的限制, 企业解雇劳动力会面临法律约束与政策惩罚, 从而产生额外的解雇成本。本文假设劳动力之间是替代关系, λ 为解雇 1 单位劳动力所带来的货币损失, 给定产量下企业成本最小

化问题为：

$$\begin{aligned}
 C_{\min} &= K_1 + rM_1 + wL_1 + K_2 + rM_2 + w(L_1 - u + \Delta L_2) + \lambda u \\
 \text{s.t. } Q_1 &= [\theta_1 M_1^\rho + (1 - \theta_1)(\theta_l \times L_1)^\rho]^{\frac{\alpha}{\rho}} K_1^{1-\alpha} \\
 Q_2 &= \left\{ \int_0^{\theta_1} [\theta(i) m(i)]^\rho di + \int_{\theta_1}^1 [\theta_l l(i)]^\rho di \right\}^{\frac{\alpha}{\rho}} K^{1-\alpha} \\
 &= \left\{ \theta_1 M_2^\rho + (1 - \theta_1) \theta_l^\rho [(1 - \delta)L_1 + \Delta L_2]^\rho \right\}^{\frac{\alpha}{\rho}} K_2^{1-\alpha}
 \end{aligned} \tag{7}$$

在跨期要素投入与生产决策模型下,劳动力市场灵活性会对企业的跨期劳动力雇佣及调整决策产生影响(Cuñat 和 Melitz, 2012),劳动力市场制度刚性所引发的劳动力调整成本会驱动企业通过加速生产自动化以逃避劳动力成本约束。为分析跨国间的劳动力市场灵活性差异对工业自动化发展的影响,本文考虑以下两类国家进行比较:劳动力市场完全灵活的国家与劳动力市场完全刚性的国家。当劳动力市场完全灵活时,企业对劳动力要素的调整不会产生额外成本,此时工业机器人要素投入决策与自由市场均衡情形一致;当劳动力市场完全刚性时,企业在调整劳动力要素时会引发高昂的解雇成本,企业将使用工业机器人替代劳动力以实现成本节约。

1. 劳动力市场完全灵活的国家

当一国处于完全灵活的劳动力市场情形时,企业对劳动力进行调整时不会产生额外成本,此时企业解雇员工不受政策限制。在跨期要素投入与生产决策模型下,企业在每个阶段都只投入生产率为 θ_l 的高效率劳动力。在第二阶段,企业将解雇所有生产率下降的劳动力,解雇数量 $u = \delta L_1$,且不存在解雇成本,即 $\lambda u = 0$,重新雇佣生产率为 θ_l 的劳动力 ΔL_2 ,劳动力总量 $L_2 = (1 - \delta)L_1 + \Delta L_2$ 。在完全灵活的劳动力市场情形下求解企业成本最小化问题,得到每个阶段通用资本、劳动力与工业机器人要素的最优投入量分别为 $K_t^{free} = A(\alpha)^\alpha B_1^{(\alpha\rho-\alpha)/\rho} Q_t$, $M_t^{free} = A(\alpha)^{\alpha-1} B_1^{(\alpha\rho-\alpha)/\rho} Q_t$, $L_t^{free} = A(\alpha)^{\alpha-1} B_1^{(\alpha\rho-\alpha)/\rho} Q_t \times [r(1 - \theta_l)/w]^{1/(1-\rho)} \theta_l^{-1}$,其中 $A(\alpha) = (1 - \alpha)r/\alpha\theta_l$, $B_1 = \theta_l + (1 - \theta_l)^{1/(1-\rho)} (r/w)^{\rho/(1-\rho)}$ 。企业在生产活动中所采用的工业机器人规模体现了自动化技术的渗透程度,本文以工业机器人相对于通用资本的投入量 M/K 反映企业在每个生产阶段的自动化程度。在完全灵活的劳动力市场情形下,企业在两个生产阶段的自动化程度无差异:

$$\frac{M_t^{free}}{K_t^{free}} = \frac{1}{A(\alpha)B_1} \tag{8}$$

2. 劳动力市场完全刚性的国家

当一国处于完全刚性的劳动力市场情形时,劳动力市场制度会对企业的劳动力调整行为产生成本约束,从而影响企业的最优自动化决策。在劳动力市场完全刚性的情形下,企业在第二阶段解雇生产率下降的劳动力时会产生足够高昂的解雇成本。因此,企业在此情形下只能选择与第一阶段所有的劳动力续约,承受部分劳动力生产率下降所带来的效率损失,即解雇数量 $u=0$,重新雇佣 ΔL_2 的高效率劳动力。在完全刚性的劳动力市场情形下,求解给定产量下企业成本最小化问题,得到第二阶段通用资本、工业机器人与劳动力的要素需求分别为 $K_2^* = K_2^{free}$, $M_2^* = M_2^{free}$, $L_2^* = L_1 + \Delta L_2 = L_2^{free}$,第二阶段的工业自动化程度为 $M_2^*/K_2^* = M_2^{free}/K_2^{free}$ 。进一步,根据第二阶段的最优决策通过逆序求解可得到企业在

第一阶段中对通用资本、工业机器人与劳动力的最优要素投入量分别为 $K_1^* = A(\alpha)^\alpha B_2(\delta)^{(\alpha\rho-\alpha)/\rho} Q_1, M_1^* = A(\alpha)^{\alpha-1} B_2(\delta)^{(\alpha\rho-\alpha)/\rho} Q_1, L_1^* = A(\alpha)^{\alpha-1} B_2(\delta)^{(\alpha\rho-\alpha)/\rho} Q_1 \times [r(1-\theta_1)/w(1+\delta)]^{-1/\rho} \theta_1^{-1}$ 。①企业第一阶段的最优工业自动化程度为：

$$\frac{M_1^*}{K_1^*} = \frac{1}{A(\alpha)B_2(\delta)} \quad (9)$$

将劳动力市场完全灵活与完全刚性时的工业自动化程度进行比较分析。在第二阶段,两种情形下的工业自动化程度无差异;在第一阶段,劳动力市场完全刚性的工业自动化程度更高。根据式(8)与式(9),劳动力市场完全刚性情形下的工业自动化程度 $M_1^*/K_1^* > M_1^{free}/K_1^{free}$ 。

(四)比较静态分析

上述结果表明,劳动力市场灵活性不足的国家在企业之间难以完成劳动力要素的再配置,企业在生产活动中会投入更多的工业机器人来替代劳动力,从而提升工业自动化程度。根据式(8)与式(9),与完全灵活的劳动力市场相比,完全刚性的劳动力市场情形下工业自动化程度的变化为：

$$\Delta\left(\frac{M}{K}\right) = \frac{M_1^*}{K_1^*} - \frac{M_1^{free}}{K_1^{free}} = \frac{B_1 - B_2(\delta)}{A(\alpha)B_1B_2(\delta)} > 0 \quad (10)$$

根据式(10),与完全灵活的劳动力市场相比,完全刚性的劳动力市场因存在要素调整成本而会提高企业的自动化程度。因此,本文可以从两种情形的对比中得到推论:相比完全灵活的劳动力市场情形,劳动力市场刚性程度(λ)的提升将导致工业自动化程度(M/K)提高。

劳动力生产率具有不稳定性,劳动力生产率的下降是企业调整劳动力雇佣决策的重要动因。为解构生产率波动驱动下劳动力市场灵活性对工业自动化发展影响的内在机制,本文将采用比较静态分析方法,分别基于不同生产率波动与劳动密集度行业的工业自动化分布和特征展开分析。

1.行业生产率波动

生产率波动是企业调整劳动力的关键驱动因素,由此产生的要素调整成本决定了企业的技术选择与自动化决策。为分析劳动力市场灵活性对不同生产率波动行业间的工业自动化发展所产生的影响,本文假设存在生产率波动分别为 δ_1 和 δ_2 的两个行业——行业1和行业2,满足 $\delta_1 < \delta_2$,即行业2的生产率波动大于行业1。本文将采用图1就劳动力市场灵活性对工业自动化发展所带来的影响进行比较静态分析,并从行业生产率波动视角分析这一影响在行业间所产生的工业自动化分布差异。

由于工业自动化程度 $[\Delta(M/K)]$ 与行业生产率波动 δ 满足如下关系：

$$\frac{\partial \Delta(M/K)}{\partial \delta} = \frac{1}{A(\alpha)} \frac{\partial \{ [B_1 - B_2(\delta)] / [B_1 B_2(\delta)] \}}{\partial \delta} > 0 \quad (11)$$

因此,当行业生产率波动由行业1的 δ_1 上升到行业2的 δ_2 时,行业2的自动化程度变化比行业1更快,此时行业1曲线 $f(\Delta(M/K), \lambda, \delta_1)$ 将在行业2曲线 $f(\Delta(M/K), \lambda, \delta_2)$ 的下方。

① 其中, $A(\alpha) = (1-\alpha)r/\alpha\theta_1, B_2(\delta) = \theta_1 + (1-\theta_1)^{1/\rho} (r/w)^{\rho/(1-\rho)} (1+\delta)^{\rho/(\rho-1)}$ 。

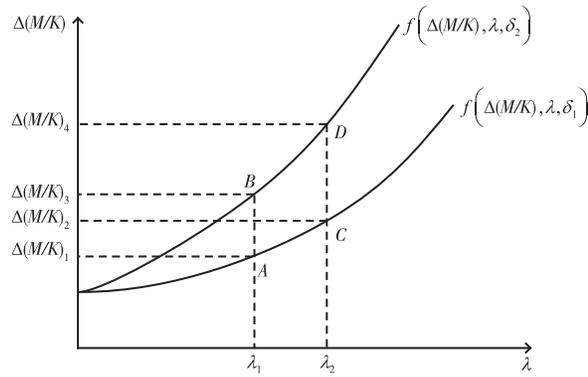


图1 劳动力市场灵活性、生产率波动与工业自动化发展的比较静态分析

根据图1的比较静态分析,劳动力市场刚性程度为 λ_1 的国家在行业生产率波动分别为 δ_1 和 δ_2 的两个行业的工业自动化程度为A点与B点所对应的 $\Delta(M/K)_1$ 和 $\Delta(M/K)_3$;劳动力市场刚性程度为 λ_2 的国家在两个行业的工业自动化程度分别为C点与D点所对应的 $\Delta(M/K)_2$ 与 $\Delta(M/K)_4$ 。本文将C点与D点所对应的工业自动化程度差值和A点与B点所对应的工业自动化程度差值再次差分,可以得到国家与行业维度的双重差分变量:

$$\left[\Delta(M/K)_4 - \Delta(M/K)_2 \right] - \left[\Delta(M/K)_3 - \Delta(M/K)_1 \right] > 0 \quad (12)$$

本文可以得到式(12)中的双重差分变量一定大于0,这说明劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展的影响会因行业生产率波动的增大而有所上升。该行业的劳动力生产率波动(δ)越大,其所引发的效率损失使得企业调整劳动力的意愿越强,劳动力市场灵活性不足所带来的调整成本越高。为缓解成本约束,生产率波动更大的行业会采用更多的工业机器人替代劳动力,导致工业自动化程度提高。据此,本文提出研究假说1。

研究假说1:劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展所产生的正效应将随着行业生产率波动的增大而提升。

2. 行业劳动密集度

生产率波动所带来的要素调整成本在劳动密集度更高的行业被放大,从而进一步影响不同劳动密集度行业的工业自动化发展。为探讨劳动力市场灵活性对不同劳动密集度行业间工业自动化发展所产生的影响,本文假设存在劳动力市场刚性不同的两个国家和劳动密集度不同的两个行业。在这种情景下,假设经济体中存在劳动密集度分别为 α_1 和 α_2 的两个行业——行业1和行业2,满足 $\alpha_1 < \alpha_2$,即行业2的劳动密集度高于行业1。本文在图2中展示了劳动力市场灵活性对企业最优自动化决策变化所带来的影响,分析了这种影响与行业劳动密集度 α 之间的关系。

根据式(10),劳动力市场刚性程度 λ 是工业自动化程度 $\Delta(M/K)$ 的单调递增函数。工业自动化程度与劳动力市场刚性之间的函数关系 $f(\Delta(M/K), \lambda)$ 为向右上方倾斜的一条曲线。

由于工业自动化程度 $\Delta(M/K)$ 与行业劳动密集度 α 满足如下关系:

$$\frac{\partial \Delta(M/K)}{\partial \alpha} = \frac{B_1 - B_2(\delta)}{B_1 B_2(\delta)} \frac{\partial [1/A(\alpha)]}{\partial \alpha} = \frac{B_1 - B_2(\delta)}{A(\alpha)^2 B_1 B_2(\delta)} \frac{r}{\theta_i \alpha^2} > 0 \quad (13)$$

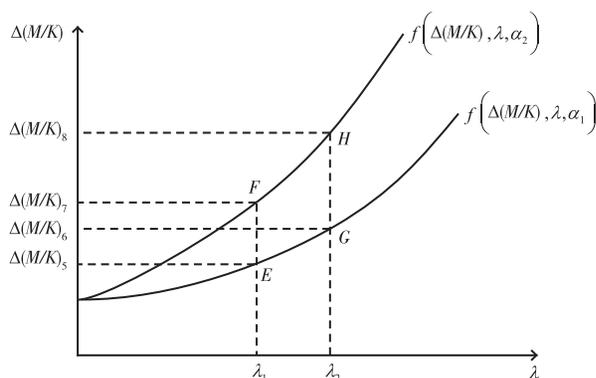


图2 劳动力市场灵活性、劳动密集度与工业自动化发展的比较静态分析

因此,当行业劳动密集度由行业1的 α_1 上升到行业2的 α_2 时,行业2的工业自动化程度变化比行业1更快。此时,行业1曲线 $f(\Delta(M/K), \lambda, \alpha_1)$ 将在行业2曲线 $f(\Delta(M/K), \lambda, \alpha_2)$ 的下方。

根据图2的比较静态分析,劳动力市场刚性程度为 λ_1 的国家在劳动密集度不同的两个行业的工业自动化程度差值为 $\Delta(M/K)_7 - \Delta(M/K)_5$;劳动力市场刚性程度为 λ_2 的国家在两个行业的工业自动化程度差值为 $\Delta(M/K)_8 - \Delta(M/K)_6$ 。本文将两个国家的行业间工业自动化程度差值再次差分,可得双重差分变量:

$$\left[\Delta(M/K)_8 - \Delta(M/K)_6 \right] - \left[\Delta(M/K)_7 - \Delta(M/K)_5 \right] > 0 \quad (14)$$

本文可以得到式(14)中的双重差分变量一定大于0,这说明劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展的影响会因行业劳动密集度的提高而有所上升。该行业的劳动密集度越高,劳动力生产率波动所引发的效率损失越大,此时企业对劳动力进行调整时,劳动力市场灵活性不足所带来的劳动力调整成本在要素密集度更高的行业中进一步放大。为节约劳动力调整成本,劳动密集度更高的行业会扩大工业机器人规模以替代劳动力,导致工业自动化程度进一步提高。据此,本文提出研究假说2。

研究假说2:劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展所产生的正效应将随着行业劳动密集度的提高而提升。

(五)理论模型扩展与特定情景分析^①

本文提出的研究假说建立在一定的理论设定下,其中有两个关键的理论设定将影响本文的理论预测结果是否成立。一是工业机器人生产率比劳动力生产率更稳定的理论设定。一方面,劳动力生产率会产生波动,且在第二阶段有一定概率会下降;另一方面,工业机器人生产率稳定不变。二是劳动力市场灵活性会影响企业的跨期劳动力雇佣及调整决策,对企业的劳动力调整行为产生成本约束,即存在解雇成本。为了进一步讨论以上关键设定,我们对三种特定情景进行分析以探索理论预测的敏感性。一是考虑工业机器人存在升级成本;二是考虑劳动力生产率存在向上波动的可能性;三是考虑劳动力市场灵活性对企业招聘新劳动力的成本约束,即存在工资溢价和招聘困难。此外,我们还从宏观和微观两个视角考虑了人机协同生产特定情景的理论分析。以上特定情景下的理论分析结果均未改变本文的理论预测。

^① 受篇幅所限,每种特定情景下的具体理论推导过程未详细分析,留存备案。

三、数据来源与计量模型设定

(一)数据来源

本文使用 IFR 所提供的工业机器人数据库刻画工业自动化发展。该数据库通过对全球工业机器人供应商进行调查,编制了 75 个国家或地区年度分行业的工业机器人存量与安装量,已被广泛应用于探讨工业自动化发展的相关研究(孔高文等,2020)。本文所采用的各国劳动力市场灵活性数据来源于经济合作与发展组织(OECD)所测算的就业保护指标。本文采用来自标准普尔公司的 Compustat 数据库计算行业生产率波动和行业劳动密集度,该数据库收录了美加地区超过 24000 家上市公司的详尽季度和年度财务报表与财务指标历史数据,包括自 1980 年以来企业的年度销售额、增加值、资本和就业等数据。本文所采用的其他控制变量,如国家经济发展水平、人口规模和人力资本等数据来源于佩恩世界表(PWT)9.0 版本,人口结构数据来源于联合国发布的《2015 年世界人口展望》。通过国家名称、行业和年份对数据进行匹配,本文得到 1993—2019 年全球 50 个国家 13 个制造业行业的面板数据。

(二)计量模型设定

参考 Acemoglu 和 Restrepo(2022)的研究,本文构建广义双重差分模型,以解析劳动力市场灵活性对工业自动化发展的影响及其在不同行业中的分布差异,构造计量方程如下:

$$\frac{Robots_{j,c,t}}{Capital_{j,c,1990}} = \beta^a Labor_{c,t} \times Industry_j^a + \Gamma_{j,t} X_{c,1990} + \alpha_j + \delta_t + \varphi_c + \varepsilon_{j,c,t} \quad (15)$$

其中, j,c,t 分别为行业、国家和年份; $Robots_{j,c,t}$ 为国家 c 行业 j 在第 t 年的工业机器人安装存量; $Capital_{j,c,1990}$ 为1990年国家 c 行业 j 的工业资本存量;^①被解释变量 $Robots_{j,c,t}/Capital_{j,c,1990}$ 表示每一单位资本存量中所含有的工业机器人存量数(分母始终为1990年,以避免行业资本的内生变化); $Labor_{c,t}$ 为国家 c 在第 t 年的劳动力市场灵活性。 $Industry_j^a$ 为行业 j 的特征变量,包括:行业生产率波动($Industry_j^1 = Volatility_j$),能够捕捉到各行业劳动力生产率波动程度;行业劳动密集度($Industry_j^2 = Intensity_j$),刻画了各行业对劳动力的依赖程度。本文在其中加入了一系列基期国家层面的控制变量($X_{c,1990}$)与行业 and 年份虚拟变量($\Gamma_{j,t}$)的交乘项,并控制了国家、行业和年份固定效应(φ_c, α_j 和 δ_t)。将回归方程的各标准误在国家维度进行聚类调整,所有回归结果均按照1990年制造业增加值进行加权回归。 β^a 是本文关注的估计系数,根据研究假说1和研究假说2预测 β^a 的估计系数应显著为正,表示劳动力市场灵活性不足对生产率波动更大行业或劳动密集度更高行业工业自动化发展的促进效应更大。

(三)变量设定^②

1. 劳动力市场灵活性($Labor_{c,t}$)

本文参考 Arestis 等(2020)对劳动力市场灵活性的刻画,使用 OECD 制定的 EPRC 指数作为劳动力市场灵活性的变量测度。该指数值越大,表明就业保护立法越严格,劳动力市场灵活性越低。

^① 参考 Acemoglu 和 Restrepo(2022)的研究,本文使用 PWT 9.0 版本所公布的世界各国按当前购买力平价计算的国家资本存量数据,通过平均行业资本($Capital_{j,c,1990} = Capital_{c,1990}/13$)对工业机器人存量数据进行标准化。

^② 受篇幅所限,描述性统计分析的具体内容未详细汇报,留存备案。

2. 行业生产率波动($Volatility_j$)

本文参考 Cuñat 和 Melitz(2012)的研究,对行业生产率波动进行测度。首先,本文使用 1990—2019 年的 Compustat 数据,利用企业劳动生产率(企业销售额与雇佣劳动力人数之比)的标准差计算得到企业层面的生产率波动:

$$Volatility_{i,j} = \text{Std Dev} \left(\frac{Productivity_{i,j,t} - Productivity_{i,j,t-1}}{Productivity_{i,j,t-1}} \right) \quad (16)$$

其中, $Volatility_{i,j}$ 表示行业 j 企业 i 的生产率波动; $Productivity_{i,j,t}$ 表示行业 j 企业 i 在第 t 年的劳动生产率, $Productivity_{i,j,t} = Sales_{i,j,t}/Employ_{i,j,t}$, $Sales_{i,j,t}$ 表示行业 j 企业 i 在第 t 年的销售额, $Employ_{i,j,t}$ 表示行业 j 企业 i 在第 t 年的雇佣劳动力人数。

其次,本文利用企业雇佣劳动力人数占其所属 6 位北美产业分类体系(NAICS)行业劳动力总数的比重加权至行业层面,计算得到 6 位 NAICS 行业的生产率波动。

最后,本文将 6 位 NAICS 行业与 IFR 行业进行匹配后取均值,最终得到 IFR 中 13 个制造业的生产率波动。

3. 行业劳动密集度($Intensity_j$)

理论模型中的劳动密集度 α 特指在尚未实现工业自动化应用的年份中不同行业对劳动力的依赖程度,因此本文使用 1990 年的 Compustat 数据对行业劳动密集度进行测度(高文静等,2022)。具体测算方式为:参考 Cuñat 和 Melitz(2012)的研究,我们删去了数据库中雇佣劳动力人数、销售额和资产总额小于等于 0 的企业,并将 6 位 NAICS 行业与 IFR 行业进行匹配,最终利用行业劳动力总数与资产总额之比计算得到 IFR 中 13 个制造业的劳动密集度。

4. 工业自动化程度($Robots_{j,c,t}/Capital_{j,c,1990}$)

根据本文理论模型对工业自动化程度的变量设定,我们将工业机器人存量与工业资本存量之比作为工业自动化程度的代理变量,即工业机器人渗透率变量,其单位为“台/百万美元”。其中,分子为国家 c 行业 j 在第 t 年的工业机器人存量,分母为国家 c 行业 j 在 1990 年的工业资本存量,以这一比值来测度该国在该行业的工业自动化程度,该比值越大则工业自动化程度越高。

5. 控制变量

参考 Acemoglu 和 Restrepo(2022)的研究,本文控制以下变量以避免遗漏解释变量所带来的内生性问题,包括经济发展水平、人口规模、人力资本和人口结构。其中,经济发展水平($Pgdp_{c,1993}$)采用 1993 年各国人均 GDP 的对数形式表示;人口规模($Pop_{c,1993}$)采用 1993 年一国人口存量的对数形式表示;人力资本($Cap_{c,1993}$)采用 1993 年一国平均受教育年限表示;人口结构($Dom_{c,1990}$)采用 1990 年 56 岁及以上劳动力人数与 21~55 岁劳动力人数的比值表示。此外,本文还在计量模型中加入了国家固定效应、行业固定效应、年份固定效应,以控制不随国家、行业和年份的改变而发生变化的不可观测因素。

四、实证检验与结果分析

(一) 基准估计结果与分析

本文从行业生产率波动视角,采用广义双重差分模型检验劳动力市场灵活性对工业自动化发展的影响。在此基础上,由于生产率波动所带来的要素调整成本在劳动密集度更高的行业被

放大,因此我们进一步聚焦行业劳动密集度视角,同样采用广义双重差分模型检验劳动力市场灵活性对工业自动化发展的影响,以验证本文提出的研究假说。表1报告了劳动力市场灵活性分别与行业生产率波动和行业劳动密集度的交乘项对工业自动化发展的基准估计结果。其中,表1第(1)列和第(2)列汇报了劳动力市场灵活性和行业生产率波动对工业自动化发展的影响;第(3)列和第(4)列汇报了劳动力市场灵活性和行业劳动密集度的交乘项对工业自动化发展的影响。第(2)列和第(4)列为本文的基准列,在加入所有控制变量和固定效应后,第(2)列结果显示交乘项(Labor×Volatility)对工业自动化程度影响的估计系数在5%的水平下显著为正,这表明劳动力市场灵活性不足对处于生产率波动更大行业的工业自动化发展产生了更大的促进效应,从而改变了一国不同行业的工业自动化发展模式,证实了研究假说1。同样地,第(4)列结果显示交乘项(Labor×Intensity)对工业自动化发展影响的估计系数在1%的水平下显著为正,这表明劳动力市场灵活性不足对处于劳动密集度更高行业的工业自动化发展产生了更为突出的促进作用,从而改变了一国不同行业的工业自动化发展模式,证实了研究假说2。

表1 基准估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Labor×Volatility</i>	0.062* (0.032)	0.072** (0.031)		
<i>Labor×Intensity</i>			0.192** (0.084)	0.240*** (0.077)
人力资本	是	是	是	是
人口结构	是	是	是	是
经济发展水平	否	是	否	是
人口规模	否	是	否	是
行业、国家、年份固定效应	是	是	是	是
调整后的R ²	0.337	0.345	0.342	0.351
样本量	10920	10920	10920	10920

注:*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平下显著,括号内为标准误。下同。

为了解释基准估计系数的经济意义与重要性,本文借鉴Fromenteau等(2019)的计算方法,使用劳动力市场灵活性下降幅度计算其在工业机器人渗透率平均变化中的贡献。在表1第(2)列中,劳动力市场灵活性与行业生产率波动交乘项(Labor×Volatility)的估计系数为0.072,本文利用式(17)计算得到了2019年一国劳动力市场灵活性差异影响工业机器人渗透率在不同生产率波动行业间差距的经济重要性:^①

$$\begin{aligned}
 E & \left[\left(\frac{Robots_{h_v, c_H, 2019}}{Capital_{h_v, c_H, 1990}} - \frac{Robots_{h_v, c_L, 2019}}{Capital_{h_v, c_L, 1990}} \right) - \left(\frac{Robots_{l_v, c_H, 2019}}{Capital_{l_v, c_H, 1990}} - \frac{Robots_{l_v, c_L, 2019}}{Capital_{l_v, c_L, 1990}} \right) \right] \\
 & = \hat{\beta}^2 (Labor_{c_H, 2019} - Labor_{c_L, 2019}) \times (Volatility_{h_v} - Volatility_{l_v}) \\
 & = 0.072 \times (3.611 - 0.093) \times (0.266 - 0.114) \\
 & = 3.85\%
 \end{aligned} \tag{17}$$

以上结果表明,对比2019年劳动力市场灵活性最低和最高国家在工业机器人投入的行业分布变化,生产率波动最大和最小行业之间的工业机器人渗透率差距增大了3.85%,进一步证实了研究假说1。

^① c_H 和 c_L 分别表示劳动力市场灵活性最高和最低的国家, h_v 和 l_v 分别表示生产率波动最大和最小的行业。

进一步,根据相同的测算方法,我们计算得到了2019年一国劳动力市场灵活性差异影响工业机器人渗透率在不同劳动密集度行业间差距的经济重要性,劳动密集度最高和最低行业之间的工业机器人渗透率差距增大了10.47%,证实了研究假说2。

(二)稳健性检验与分析^①

1.劳动力市场灵活性的稳健性分析

借鉴 Botero 等(2004)、Cuñat 和 Melitz(2012)、Arestis 等(2020)对劳动力市场灵活性的刻画方法,本文分别采用集体关系法律指数、1990—2019年 EPRC 指数均值以及 1990—2019年 EPR 指数对劳动力市场灵活性进行刻画,^②以更全面地反映各国的劳动力市场灵活性程度。以上三种指数值越大,表明就业保护立法越严格,劳动力市场灵活性越低。以不同方式测度的劳动力市场灵活性与行业生产率波动或行业劳动密集度交乘项的估计系数仍显著为正,本文在基准估计中对理论预测的检验结果仍然是稳健的。

2.行业变量再测度的稳健性分析

一方面,本文采用人均销售收入对劳动力生产率波动进行再测度;另一方面,本文参考 Vannoorenberghe(2012)的方法对行业生产率波动进行再测度。此外,本文使用 1980 年的 Compustat 数据对行业劳动密集度进行稳健性测度,替换行业生产率波动和行业劳动密集度的实证结果仍表明本文结论的稳健性。

3.工业自动化发展的稳健性分析

借鉴 Acemoglu 和 Restrepo(2022)对工业自动化程度的测度方法,本文采用工业机器人存量与工业就业人数之比对其进行刻画($Robots_{j,c,t}/Employ_{j,c,1990}$)。其中, $Employ_{j,c,1990}$ 为 1990 年国家 c 行业 j 的工业就业人数,本文使用 PWT 9.0 版本公布的每名劳动力工作的小时数来调整就业数据,以考虑各国在劳动力工作时间上的差异性。劳动力市场灵活性与行业生产率波动、行业劳动密集度对工业自动化发展的影响并不随工业自动化程度测度方式的改变而发生变化。

4.计量模型构建偏误的稳健性分析

参考 Acemoglu 和 Restrepo(2022)的做法,本文进一步使用 1993—1997 年、1998—2002 年、2003—2007 年、2008—2012 年、2013—2019 年 5 个子周期内的叠加数据,以平滑各国经济波动和制度变迁对本文研究结论的影响。检验结果显示,本文的研究结论并不随识别策略的改变而发生变化,仍然是稳健的。

5.聚类层级变化的稳健性分析

本文使用国家和年份层面的双聚类标准误来反映序列和同期的跨国相关性。检验结果显示,本文的研究结论并不随聚类层级的改变而发生变化。

6.竞争性假设的排除检验与分析

本文分别从共同第三方因素与行业异质性两个方面来排除竞争性假设对基准结果的影响。一方面,本文考虑并排除大学教育、女性就业、创新投入和文化多样性等国家层面的共同第三方因素对基准结果的影响;另一方面,本文考虑并排除成本替代性、资本专用性、技能互补性、中年工人依赖度和自动化潜力机制对基准结果的影响。竞争性假设的排除检验结果表明,本文的实证结果并不会因加入共同第三方因素而发生变化,也不受其他机制的影响。

^① 受篇幅所限,稳健性检验的回归估计结果和分析过程未详细汇报,留存备索。

^② EPRC 指数衡量的是一国对正式合同工人的解雇规定是否严格(针对个人和集体解雇);EPR 指数则与保护正式工人不受个人解雇有关。

五、内生性处理与分析

工业自动化发展会影响一国劳动力市场,进而对劳动力市场灵活性产生影响。一方面,工业机器人替代效应表明,工业自动化发展会替代部分劳动力,降低劳动力市场的就业水平,减少劳动报酬;另一方面,工业机器人替代效应表明,工业自动化发展会创造新的工作岗位,增加劳动力需求并提高就业率(Acemoglu和Restrepo,2019,2020;王永钦、董雯,2020)。因此,为克服解释变量内生性导致的估计结果偏差问题,本文将通过以下三种方式对该问题进行处理与分析。

(一)基于工具变量法的两阶段估计

首先,借鉴Nunn(2007)的做法,本文按照法律体系定义虚拟变量,将它们作为联合工具变量,与行业生产率波动和行业劳动密集度分别相乘,以此作为工具变量,结果如表2第(1)列和第(2)列所示。其次,借鉴Acemoglu等(2019)选取工具变量的思路,本文选择OECD所制定的1990年各国就业保护立法严格性指数作为劳动力市场灵活性的工具变量,为缓解历史制度对当期经济的干扰,本文按照法律渊源将样本国划分为五组国家,计算同组法源内1990年各国就业保护立法严格性指数的平均值,以此作为一国劳动力市场灵活性的工具变量,结果如表2第(3)列和第(4)列所示。最后,借鉴Mauro(1995)的研究,选取语言的多样性指标作为劳动力市场灵活性的工具变量,结果如表2第(5)列和第(6)列所示。估计结果显示了本文选择工具变量的合理性:三种工具变量第一阶段F统计量均大于10,表明工具变量与本文核心解释变量之间具有很强的相关性;Kleibergen-Paap rk LM统计量均在1%的显著性水平下拒绝原假设,表明工具变量不存在不可识别性;Hansen J统计量均不能在10%的显著性水平下拒绝工具变量为过度识别的原假设,表明工具变量满足外生性要求。劳动力市场灵活性与行业生产率波动、行业劳动密集度交乘项的系数均显著为正,与本文基准估计结果一致。

表2 内生性问题与工具变量回归的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Labor×Volatility</i>	0.204*** (0.025)		0.233*** (0.028)		0.243*** (0.033)	
<i>Labor×Intensity</i>		0.497*** (0.060)		0.572*** (0.072)		0.610*** (0.090)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是	是
国家固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
第一阶段F统计量	29.70 [0.000]	15.96 [0.000]	54.30 [0.000]	29.59 [0.000]	36.66 [0.000]	20.65 [0.000]
Kleibergen-Paap rk LM统计量	1372.838 [0.000]	934.967 [0.000]	580.765 [0.000]	348.979 [0.000]	711.013 [0.000]	467.450 [0.000]
Hansen J统计量	165.269 [1.000]	162.525 [1.000]	42.350 [0.828]	44.110 [0.774]	38.397 [0.920]	39.698 [0.894]
样本量	10049	10049	8424	8424	7995	7995

注:[]内数值为相应检验统计量的p值;Kleibergen-Paap rk LM检验的原假设是“方程存在识别不足问题”,若拒绝原假设则说明工具变量是合理的;Hansen J检验的原假设是“工具变量为过度识别”,若接受原假设则说明工具变量是合理的。

(二)基于跨国就业政策改革的拟自然实验分析^①

借鉴 Ciminelli 等(2022)的做法,本文利用新构建的跨国就业保护立法重大改革数据库对估计结果进行检验。该数据库通过审查 OECD 所报告的各国立法和监管行动,并结合其他特定国家的就业保护资料,识别了各国就业保护立法重大改革行动(Ciminelli 等,2022)。与 OECD 公布的各国就业保护指数相比,该数据库包含 1970—2013 年各国就业保护立法重大改革,为研究外生政策冲击下的工业自动化发展提供了基础。因此,本文以跨国就业保护立法重大改革作为政策冲击,考察在不同生产率波动或劳动密集度的行业中,劳动力市场灵活性对各国工业自动化发展的动态影响,构建动态响应方程如下:

$$\frac{Robots_{j,c,t}}{Capital_{j,c,1990}} = \beta^a R_{c,t} \times Industry_j^a + \sum_{l=1}^k \gamma_l^a R_{c,t+l} \times Industry_j^a + \Gamma_{j,t} X_{c,1990} + \alpha_j + \delta_t + \varphi_c + \varepsilon_{j,c,t} \quad (18)$$

其中, $R_{c,t}$ 代表各国就业政策改革变量,非改革年份为 0,开放改革(劳动力市场灵活性上升)年份为 -1,收紧改革(劳动力市场灵活性下降)年份为 1。 $\sum_{l=1}^k R_{c,t+l}$ 为向前改革虚拟变量,这是为了控制发生在响应范围 $t+k(k>1)$ 内未被 $R_{c,t}$ 捕获的改革,以控制未被 $R_{c,t}$ 捕获的向前改革影响,从而减小模型设定错误所产生的估计偏差。我们关心一系列就业政策改革变量($R_{c,t}$ 、 $R_{c,t+l}$)与行业变量($Industry_j^a$)交乘项的估计系数 β^a 和 γ_l^a , β^a 和 γ_l^a 显著为正,则表明劳动力市场灵活性不足显著促进了生产率波动更大行业或劳动密集度更高行业的工业自动化程度。其他变量含义与前文保持一致。图 3 与图 4 分别显示了在不同生产率波动和劳动密集度的行业中,就业政策改革实施对工业自动化发展的动态影响。结果显示,就业政策重大改革实施 1 年时,对生产率波动更大行业以及劳动密集度更高行业的工业自动化程度产生了更大的影响,这种正效应在就业政策重大改革实施 1 年时达到最大,此后逐渐减小,表明利用就业保护立法重大改革数据衡量劳动力市场灵活性,并采用动态响应方程进行计量检验解决内生性问题后,同样证明了本文结论的稳健性。

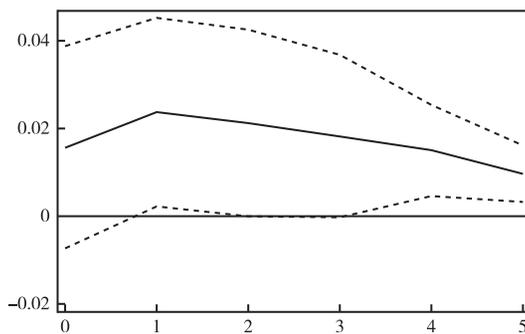


图3 基于行业生产率波动视角的工业自动化发展对跨国就业政策改革的动态响应

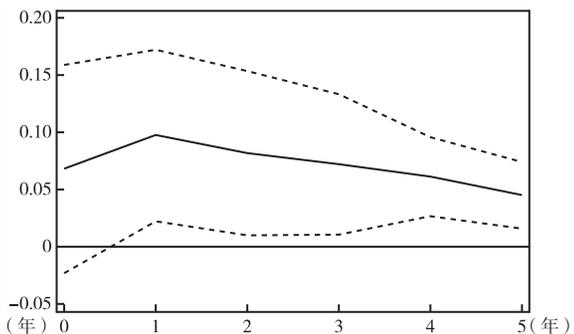


图4 基于行业劳动密集度视角的工业自动化发展对跨国就业政策改革的动态响应

① 受篇幅所限,跨国就业政策改革拟自然实验分析的稳健性检验结果未详细汇报,留存备索。

(三)基于《劳动合同法》的拟自然实验分析^①

结合中国工业企业情境,利用《劳动合同法》实施的拟自然实验提供来自中国企业层面的微观证据,以缓解跨国层面实证所存在的内生性问题。一方面,以《劳动合同法》为代表的雇佣制度约束通过限制企业解雇行为来降低劳动力流动性,进而影响企业最优生产决策和生产效率;另一方面,《劳动合同法》增加了企业雇佣成本,导致机器设备替代劳动力进行任务生产。因此,借鉴高文静等(2022)、张明昂等(2022)对计量模型的设定形式,本文建立如下计量方程:

$$\ln Robot_{i,j,t} = \beta_0 + \beta_1 Industry_j \times Post2008_t + X_{i,j,t} + \gamma_t + \delta_{u,j} + \eta_{j,t} + \varepsilon_{i,j,t} \quad (19)$$

其中, i 代表企业, j 代表CIC(国民经济行业分类)4位数行业, j' 代表CIC 2位数行业, t 代表年份, u 代表城市。被解释变量 $\ln Robot_{i,j,t}$ 表示行业 j 企业 i 在第 t 年进口工业机器人数量(或金额)的对数形式 $Robot_quantity_{i,j,t}$ (或 $Robot_value_{i,j,t}$); $Industry_j$ 表示不同行业的生产率波动或劳动密集度; $Post2008_t$ 代表2008年《劳动合同法》实施后的虚拟变量,2008年及以后取值为1,其余年份取值为0。为避免遗漏解释变量所导致的内生性问题, $X_{i,j,t}$ 中包含了一组可能影响工业机器人进口的控制变量,其中主要包括企业年龄、企业规模、企业负债率、资本密集度、企业出口规模和国有企业虚拟变量。本文也控制了年份固定效应(γ_t)、城市-行业交互固定效应($\delta_{u,j}$)和行业-年份交互固定效应($\eta_{j,t}$)。 $\varepsilon_{i,j,t}$ 为随机扰动项。本文主要关注估计系数 β_1 是否显著为正,若 β_1 显著为正,则表明《劳动合同法》的实施对生产率波动较大行业或劳动密集度较高行业企业自动化程度提升的促进作用更大。表3展示了基于中国企业层面以《劳动合同法》的政策冲击作为拟自然实验的回归结果。估计结果表明,《劳动合同法》的实施对生产率波动更大行业以及劳动密集度更高行业的企业自动化程度提升产生了更为突出的促进效应。

表3 中国《劳动合同法》影响企业自动化发展的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Robot_quantity</i>	<i>Robot_value</i>	<i>Robot_quantity</i>	<i>Robot_value</i>
<i>Volatility</i> × <i>Post2008</i>	0.013*** (0.003)	0.073*** (0.016)		
<i>Intensity</i> × <i>Post2008</i>			0.023*** (0.006)	0.138*** (0.029)
控制变量	是	是	是	是
年份、城市-行业、行业-年份固定效应	是	是	是	是
调整后的R ²	0.057	0.043	0.052	0.040
样本量	2839989	2839989	2567895	2567895

^① 受篇幅所限,基于《劳动合同法》拟自然实验的变量描述性统计、平行趋势检验、安慰剂检验和排除其他政策冲击的回归估计结果未详细汇报,留存备索。

六、结论与建议

人工智能与自动化技术的冲击对劳动力市场制度设计产生了重大挑战。劳动力市场制度约束本来是为了保护劳动者权益所设置的,但其给企业的用工灵活性带来约束,引致的劳动力调整成本损害了企业的劳动力资源配置效率。本文就劳动力市场灵活性对工业自动化发展的影响进行了理论与实证分析。在理论上,本文基于企业跨期要素投入与生产决策模型,将劳动力市场灵活性、行业生产率波动纳入理论模型中,提出了劳动力市场灵活性不足影响工业自动化发展的研究假说。在此基础上,由于生产率波动带来的要素调整成本在劳动密集度更高的行业被放大,进而提高劳动更密集行业的工业自动化程度,因此本文进一步分析了行业劳动密集度在影响劳动力市场灵活性与工业自动化发展之间关系的重要性。生产率波动更大与劳动密集度更高的行业对劳动力市场制度的变化更敏感,劳动力市场灵活性不足所驱动的工业自动化效应将随着行业生产率波动的增大与行业劳动密集度的提高而提升。基于此,本文利用广义双重差分模型剖析了劳动力市场灵活性对工业自动化发展的影响在不同生产率波动与劳动密集度行业间的差异性。研究发现,劳动力市场灵活性不足对工业自动化发展的促进效应在生产率波动更大与劳动密集度更高的行业中被放大。

基于此,本文提出如下政策建议。政府在制定劳动力市场政策时应充分协调劳动力市场灵活性与安全性之间的关系,并针对人工智能与自动化技术革新创新劳动力市场制度设计,在保障劳动者权益的同时适度提高劳动力市场制度的灵活性。具体来看,虽然强化劳动力市场制度约束在短期内有利于维护企业与劳动力之间关系的稳定性,但也可能成为工业自动化兴起和“机器换人”现象产生的重要原因。长期来看,这一制度设计将影响劳动力市场和经济发展的可持续性。随着人工智能技术与自动化技术的快速发展,新的产业、新的业态、新的用工和就业形式不断出现,对劳动力市场灵活性的制度设计也提出了新的要求。一方面,政府在制定劳动力市场制度时应给予企业单方面决定解雇、工作岗位、工作时间和工资等事项的自由度,以及企业和劳动力自行商定上述事项的空间,从而增强企业使用劳动力的意愿,避免本应用来保护劳动者权益的制度安排最终却适得其反,降低劳动力的福利水平并损害其长期利益。另一方面,为缓解劳动力生产率波动引发的失业风险,政府应完善劳动力市场就业保障体系,推进失业保险制度改革与教育培训体系升级,提高劳动力技能水平和就业能力。在人工智能兴起的新时期,只有创新劳动力市场制度设计方案,构建既能保持劳动力市场活力,又能充分分担劳动者失业风险的制度体系,才能促进与数字经济相适应的和谐劳动关系发展。

参考文献:

1. 陈媛媛、张竞、周亚虹:《工业机器人与劳动力的空间配置》,《经济研究》2022年第1期。
2. 陈勇兵、李辉、林雄立:《劳动保护与企业智能制造转型——来自机器人进口的证据》,《数量经济技术经济研究》2023年第6期。
3. 高文静、施新政、陆瑶、王佳琪:《劳动力保护与企业风险——来自2008年新〈劳动合同法〉的证据》,《金融研究》2022年第1期。
4. 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》,《中国工业经济》2020年第8期。
5. 吕越、谷玮、包群:《人工智能与中国企业参与全球价值链分工》,《中国工业经济》2020年第5期。
6. 綦建红、付晶晶:《最低工资政策与工业机器人应用——来自微观企业层面的证据》,《经济科学》2021年第4期。

7. 基建红、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》,《世界经济》2022年第9期。
8. 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》,《经济研究》2020年第10期。
9. 谢增毅:《劳动力市场灵活性与劳动合同法的修改》,《法学研究》2017年第2期。
10. 杨光、孙浦阳、龚刚:《经济波动、成本约束与资源配置》,《经济研究》2015年第2期。
11. 张明昂、施新政、邵小快:《劳动力市场制度约束与企业出口:基于〈劳动合同法〉的证据》,《世界经济》2022年第2期。
12. Acemoglu, D., & Restrepo, P., The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *American Economic Review*, Vol.108, No.6, 2018, pp.1488–1542.
13. Acemoglu, D., Naidu, S., Restrepo, P., & Robinson, J.A., Democracy Does Cause Growth. *Journal of Political Economy*, Vol.127, No.1, 2019, pp.47–100.
14. Acemoglu, D., & Restrepo, P., Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*, Vol.33, No.2, 2019, pp.3–30.
15. Acemoglu, D., & Restrepo, P., Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. *Journal of Political Economy*, Vol.128, No.6, 2020, pp.2188–2244.
16. Acemoglu, D., & Restrepo, P., Demographics and Automation. *The Review of Economic Studies*, Vol.89, No.1, 2022, pp.1–44.
17. Arestis, P., Ferreiro, J., & Gómez, C., Quality of Employment and Employment Protection: Effects of Employment Protection on Temporary and Permanent Employment. *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol.53, No.2, 2020, pp.180–188.
18. Autor, D. H., Levy, F., & Murnane, R. J., The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.118, No.4, 2003, pp.1279–1333.
19. Botero, J.C., Djankov, S., Porta, R.L., Lopez-de-Silanes, F., & Shleifer, A., The Regulation of Labor. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.119, No.4, 2004, pp.1339–1382.
20. Ciminelli, G., Duval, R., & Furceri, D., Employment Protection Deregulation and Labor Shares in Advanced Economies. *Review of Economics and Statistics*, Vol.104, No.6, 2022, pp.1174–1190.
21. Cuñat, A., & Melitz, M.J., Volatility, Labor Market Flexibility, and the Pattern of Comparative Advantage. *Journal of the European Economic Association*, Vol.10, No.2, 2012, pp.225–254.
22. Fromenteau, P., Schymik, J., & Tscheke, J., Foreign Competition and the Durability of US Firm Investments. *The RAND Journal of Economics*, Vol.50, No.3, 2019, pp.532–567.
23. Graetz, G., & Michaels, G., Robots at Work. *Review of Economics and Statistics*, Vol.100, No.5, 2018, pp.753–768.
24. Mauro, P., Corruption and Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.110, No.3, 1995, pp.681–712.
25. Nunn, N., Relationship-Specificity, Incomplete Contracts, and the Pattern of Trade. *Quarterly Journal of Economics*, Vol.122, No.2, 2007, pp.569–600.
26. Tang, H., Labor Market Institutions, Firm-Specific Skills, and Trade Patterns. *Journal of International Economics*, Vol.87, No.2, 2012, pp.337–351.
27. Vannoorenberghe, G., Firm-level Volatility and Exports. *Journal of International Economics*, Vol.86, No.1, 2012, pp.57–67.

Labor Market Flexibility, Productivity Volatility and Development of Industrial Automation

JIANG Wei, ZHAO Min (Southwestern University of Finance and Economics, 611130)

JI Ping (Guangxi University, 530004)

Summary: As industrial robots rapidly rise, the labor markets face significant challenges. Existing research primarily focuses on the substitution effect of industrial robots on labor, overlooking the comparative advantage of robots in enhancing productivity stability. Labor market regulations, traditionally designed to protect workers by raising adjustment costs, may inadvertently pressure firms to adopt automation due to the greater productivity stability of robots. This shift towards automation could potentially worsen

employment prospects for workers. In this context, this paper addresses the core question of how insufficient labor market flexibility affects industrial automation development and how governments should optimize labor market systems in the era of artificial intelligence to protect both firms and workers.

This paper embeds robot input decisions in an intertemporal factor input production model of firms under labor institutional constraints, explores the comparative advantage of industrial robots over labor in enhancing productivity stability, establishes the theoretical relationship between labor market flexibility and the development of industrial automation, and analyzes the impact of labor market institutional constraints on firms' technology choices. Based on transnational panel data from 1993 to 2019, the generalized difference-in-differences model shows that insufficient labor market flexibility significantly promotes the development of industrial automation. Driven by labor productivity fluctuations, this effect is more pronounced in industries with greater labor intensity and higher productivity volatility. This finding suggests that since labor faces greater productivity volatility compared to robots, firms will transform through industrial automation to mitigate output losses from productivity fluctuations under the constraint of inflexible labor markets.

The possible marginal contributions of this paper lie in the following three aspects. First, it examines the crucial role of labor market institutional frameworks in firms' automation decisions from the perspective of dynamic adjustment costs. Second, the paper constructs a theoretical model within the context of intertemporal factor inputs and production decisions, focusing on the comparative advantage of industrial robots in enhancing productivity stability. Finally, the paper discusses how automation transformation serves as a vital strategy for firms to cope with insufficient labor market flexibility, providing policy insights for designing more rational labor market systems in the context of the rise of industrial automation.

The findings yield three key insights. First, the government should effectively balance labor market flexibility and security, ensuring the protection of workers' rights while moderately increasing the flexibility of labor market institutions. Second, the government should grant firms greater autonomy in decisions related to layoffs, job roles, working hours and wages, thereby enhancing firms' willingness to use labor. Third, the government should improve the employment security system by reforming unemployment insurance and upgrading education and training systems. With the rise of artificial intelligence, the innovation of labor market institutions is essential to promoting the development of harmonious labor relations that are aligned with the digital economy.

Keywords: Labor Market Flexibility, Productivity Volatility, Labor Intensity, Adjustment Cost, Industrial Automation

JEL: J23, O33, O43

责任编辑:非同