

最低工资和机器人使用：广延边际和 集约边际的差异性影响

樊海潮 胡一川 唐立鑫*

摘要：本文发现最低工资上升导致企业使用机器人的概率增加（广延边际）。对于已经采用机器人生产的企业，最低工资上升不影响使用机器人的数量（集约边际），因为劳动力成本变化会同时带来两个相反的效应，即替代效应和规模效应。就集约边际而言，最低工资的作用在产品替代弹性高的行业更大。就广延边际而言，最低工资上升对生产率高的企业是否使用机器人的影响更大。本文的发现对中国基本实现新型工业化的 2035 远景目标提供了参考。

关键词：最低工资；劳动力成本；工业机器人

DOI：10.13821/j.cnki.ceq.2024.02.01

一、引言

改革开放四十多年来，中国经济实现了高速增长。党的十九大报告指出，中国的经济已经由高速增长阶段转向高质量发展阶段，这是针对中国经济发展条件和发展阶段变化作出的重大判断。这一发展模式的转变，意味着要转变以往靠低价劳动力投入、简单规模扩张的粗放式增长方式，要进行产业转型升级，实现提高经济增长质量以及良性经济循环的目标。最终产品质量的提高，离不开中间投入品质量的上升（Bastos et al., 2018; Fan et al., 2018a; 樊海潮等, 2020）。因此，在产业转型升级过程中，几大要素投入的升级至关重要。在人力资本方面，需要提高劳动力的教育水平，同产业结构升级相辅相成。在资本品投入方面，需要提升生产过程中间产品的质量，有助于提升生产效率，增强最终产品的国际竞争力。2020 年 10 月通过的《“十四五”规划纲要》中对于实现高质量经济发展过程中，如何提升中间产品的质量和生产效率，使中国成为一个制造强国提出了明确目标。2035 年远景目标明确指出，到 2035 年中国要“基本实现新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化，建成现代化经济体系”。在现代化制造企业中，工业机器人是“四化”建设的重要推动力量。机器人在生产过程中的广泛使用，不仅能够提升中间产品的质量，从而帮助产品质量升

* 樊海潮，复旦大学世界经济研究所、复旦大学经济学院；胡一川，同济大学经济与管理学院；唐立鑫，暨南大学经济与社会研究院。通信作者及地址：胡一川，上海市四平路 1500 号，200092；电话：13817631745；E-mail: huyichuan175@gmail.com。樊海潮感谢国家自然科学基金应急管理项目（72341008）和面上项目（72373030）的支持；胡一川感谢国家自然科学基金青年项目（72203159）的支持；唐立鑫感谢国家自然科学基金青年项目（71903071）和面上项目（72373049）的支持。

级,也能够促进对劳动者教育水平的关注和人力资本的投入。了解企业使用工业机器人的情况及其影响因素,对落实“十四五”发展规划以及高质量经济发展目标具有重要意义。

根据国际机器人联合会(International Federation of Robotics, IFR)报告,全球范围内大量使用工业机器人的国家主要有美国、日本和德国等,其主要特点是劳动力成本较高,科学技术发展水平也较高。因此,工业机器人的使用与一国的劳动力成本及技术发展水平密切相关。而过去20年间随着我国人口红利的消失,劳动力成本逐渐提高,机器人的使用量也显著增加。IFR发布的《全球机器人报告2020》显示,21世纪初中国企业生产过程中使用工业机器人的情况仍很罕见,全国使用的机器人存量不足2000个。2009年之后中国企业使用工业机器人的数量快速增长,到2019年新安装使用的工业机器人数量达到140500个,位列全球第一。

基于以上初步发现,本文研究劳动力成本变化对于企业使用工业机器人的影响。2004年颁布的《最低工资规定》在全国范围内确立并开始实施最低工资制度。接着,2008年《中华人民共和国劳动合同法》的施行进一步强化了最低工资制度。这些法律变化强化了最低工资规定,增加了企业的用工违法成本,为我们研究劳动力成本变化对企业使用机器人的影响提供了基点。

我们研究最低工资上升对企业机器人使用在两个方面决策的影响:广延边际和集约边际。首先,我们探讨企业是否使用机器人的决策,即广延边际的影响。其次,如果企业已经使用机器人,我们探讨企业使用机器人数量上的决策,即集约边际的影响。基于Helpman et al.,(2004)的模型,企业生产函数中,工人和机器人是替代品。企业比较使用机器人带来的边际收益与安装机器人的成本。我们引申出四个可供检验的假设命题。第一,企业使用机器人的概率随着工资上升而上升。第二,生产率越高的企业,工资上升对其是否使用机器人的概率影响越大。第三,对于采用机器人生产的厂商,工资上升对使用机器人数量的影响不确定,因为替代效应(劳动力成本上升后机器人对劳动力的替代)和规模效应(生产成本上升抬升产品价格后,产品需求减少带来的生产规模萎缩)的作用相反。第四,工资上升对使用机器人数量的负向影响在产品替代弹性较高的行业更大,与企业生产率无关。

我们收集了丰富的企业层面数据对上述四个命题展开检验。数据来源主要有最低工资数据、中国工业企业数据、省级统计年鉴以及CEIC提供的城市层面社会经济数据。企业的机器人使用情况来自中国海关进出口数据。^①将这些数据合并之后,我们得到了一个包含350451家企业、2004年到2012年的企业一年度面板数据。在实证设计中,我们考虑了可能存在的内生性问题。由于企业是否使用工业机器人的决策除了受到当地最低工资影响之外,还可能与地方的社会经济条件相关。我们以边界城市配对的数据结构开展研究(Dube et al., 2010),并加上企业固定效应和城市配对一年份固定效应,用来控制大部分的遗漏变量问题。

实证结果基本支持模型提出的命题。最低工资上升导致企业使用机器人的概率增

^① 2012年前中国企业使用的工业机器人大部分为进口,故海关数据能够反映出企业层面使用机器人的情况。

加，且这一效应主要存在于2008年到2012年。这说明在《劳动合同法》实施后，全国性劳动力成本增加带来了企业使用机器人概率的上升。我们的基准结果表明，在2008年至2012年，最低工资每上涨10%会使企业使用机器人概率提升0.114个百分点，效应的规模大小约为企业平均机器人使用概率的60%。在集约边际方面，对于已经采用机器人生产的企业来说，最低工资上升不影响企业使用机器人的数量。这是因为劳动力成本变化会同时带来相反的两个效应，即替代效应和规模效应。因此，最低工资对机器人使用在集约边际上的影响是不确定的。

我们对模型提出的假设进行了进一步的实证检验。我们首先分离和识别了集约边际的规模效应与替代效应。利用不同行业产品需求弹性的异质性，我们验证了最低工资上升对使用机器人数量的负向规模效应在产品替代弹性较高的行业更大。其次，我们计算了机器人数量和劳动力数量的比例，该比例去除了规模效应，只反映替代效应。我们验证了去除规模效应后，最低工资上升对使用机器人集约边际的正向影响。最后，我们计算了企业的全要素生产率，将其与最低工资以及两个研究时间段的三重交叉纳入回归。结果显示，最低工资上升对企业使用机器人的概率的影响在生产率高的企业中更大，该效果仅存在于2008年之后，与模型预测的结果一致。而对于已经使用机器人的企业，全要素生产率对于最低工资的调节作用不显著，在2008年前后两个时间段内分别检验也不显著。这些异质性的结果有助于理解不同企业机器人使用情况的差异，为各地制定有针对性的政策提供参考。

目前，研究最低工资上涨对中国境内企业影响的文献日益增多（Fang and Lin, 2015; Gan et al., 2016; Hau et al., 2020; Huang et al., 2014; Long and Yang, 2016; Mayneris et al., 2018; 刘贯春等, 2017; 马双, 2012; 马双和邱光前, 2016; 王欢欢等, 2019; 张军等, 2017）。如马双等（2012）研究了最低工资上涨与企业平均工资、企业雇佣人数的关系以及最低工资上涨与外资进入的关系。马双和邱光前（2016）发现了最低工资上涨对劳动密集型产品出口价格上涨的推动作用。刘贯春等（2017）发现最低工资标准上升有利于改善资源错配。另外，张军等（2017）从就业正规化的角度分析了最低工资的影响。王欢欢等（2019）研究了2004年最低工资制度在法律上强化后对企业对外直接投资概率的影响。本文是在以上几篇文献的基础上做了重要推进。我们的研究发现企业使用机器人与使用劳动力存在替代关系，这是与对外直接投资不同的一种替代关系，也是在资本对劳动力替代的研究领域进一步探讨。

此外，本文的研究亦加深了对劳动力成本与企业机器人使用决策关系的理解。大量文献集中讨论机器人的使用对劳动力产生的替代（Acemoglu et al., 2020; Dixon et al., 2020; Fan et al., 2021; Giuntella et al., 2019; Koch et al., 2021）。其中有少部分文献探讨影响企业使用机器人的因素（Cheng et al., 2019）。对机器人使用的研究大都基于IFR数据（Acemoglu and Restrepo, 2022; Graetz and Michaels, 2018; 王永钦和董雯, 2020）。其中，王永钦和董雯（2020）利用行业数据估算企业的机器人渗透度，发现了机器人应用于企业劳动力需求之间的替代效用。相比之下，我们使用海关数据，能够直接反映企业层面的机器人使用情况，这与Humlum（2019）和Fan et al.（2021）中的数据处理相似。与Humlum（2019）研究机器人应用和劳动力市场动态之间的关系不同，我们聚焦于中国劳动力成本上升和机器人采用之间的因果关系。与Fan et al.（2021）不

同,我们聚焦于最低工资对企业机器人的使用在广延边际和集约边际上影响的差异。在集约边际的模型和实证检验中,我们构建了机器人使用比例的因变量,用产品的需求弹性做异质性检验,目的在于区分集约边际上的替代效应与规模效应。

最后,我们的文章还与同时讨论广延边际和集约边际的文献相关(Chaney, 2008; Gopinath and Neiman, 2014; Fan et al., 2018b)。Chaney (2008) 在 Melitz 模型的基础上引入异质性的出口成本,发现国际贸易中产品的替代弹性对集约边际和广延边际的影响存在差异。Gopinath and Neiman (2014) 研究阿根廷危机对企业进口中间品行为的影响时,发现广延边际上停止进口中间品的企业数量并未明显减少,但微观数据显示在集约边际上企业内部的进口量波动较大。与既有研究广延边际和集约边际差异的文献相比,我们探讨了最低工资法实施后企业使用机器人决策在广延边际和集约边际上的差异。

文章的其余部分安排如下:第二部分介绍了研究背景,包括中国最低工资制度以及工业机器人的使用情况;第三部分建立了理论模型;第四部分是实证设计、数据来源和描述性统计;第五部分给出了基准实证结果;第六部分是进一步的实证检验;第七部分为结论。

二、研究背景:最低工资和机器人使用

(一) 中国的最低工资制度

中国全国性的最低工资立法始于1993年,并于1994年被写入《劳动法》。法律规定,省级行政单位应当考虑不同区域经济发展和行业的特点,制定相应的最低工资率。但是这一规定并未得到全面有效的执行。2004年原劳动和社会保障部制定了《最低工资规定》,加强了最低工资制度的执行力度,大幅度提高了企业违反最低工资规定向劳动者支付的赔偿金。自此中国的最低工资法律制度得以在全国范围内确立并且实施,因此我们的实证研究时间段选择从2004年开始。已有文献利用这一事件研究最低工资对于企业决策的影响(Gan et al., 2016; Fan et al., 2018c; 王欢欢等, 2019)。

《最低工资规定》要求省级政府单位在设定最低工资标准时应当参考当地城镇居民经济发展水平、消费价格指数、就业状况、职工平均工资等因素。地方政府能够灵活地设定各地的最低工资,在实际实施过程中拥有较大的自主权。因此在下述实证研究过程中,我们将一系列城市人口、经济发展指标纳入控制变量,控制这些可能影响最低工资设定的因素。

《中华人民共和国劳动合同法》自2008年1月1日起施行。《劳动合同法》强调对于劳动者的保护,有效推动了企业遵循最低工资标准,强化了最低工资制度的落实程度。王欢欢等(2019)总结了2008年《劳动合同法》推动最低工资法律制度发展的三个影响。其一,《劳动合同法》塑造了更严格的整体监管环境。其二,法律促进了用人单位与劳动者之间劳动合同的普遍订立,显著提高了劳动者的维权意识。其三,《劳动合同法》扩大了最低工资标准的适用范围,显著收窄了企业适用的自主范围。总体而言,2008年之后全国性的劳动力成本显著上升。最低工资法律制度的强化使得各个地区最低工资上涨,企业劳动力成本随之上升,因此在实证分析中我们以2008年作为时间段分割点。

（二）机器人使用

本文研究的对象为工业机器人，根据 ISO 8373: 2012 的定义，工业机器人是指位置可以固定或移动，能够实现自动控制、可重复编程、多功能多用处、末端操作器的位置要在 3 个或 3 个以上自由度内可编程的工业自动化设备。^① Graetz and Michaels (2018) 以及 Acemoglu and Restrepo (2022) 等研究对象即为该定义下的工业机器人。IFR 对全世界机器人技术的使用情况进行了调查研究和分析，是世界上与机器人技术相关的权威国际组织。根据 Cheng et al., (2019) 的研究，2013 年中国是世界上使用工业机器人数量第五的国家。2016 年中国使用工业机器人的数量超过日本，成为世界上使用工业机器人数量最多的国家，占据全球 19% 的份额。

中国使用的工业机器人的来源在过去 10 年间发生了较大的改变。在 2012 年之前，大部分的工业机器人来自进口。IFR 的报告显示 2012 年中国新增使用的 23 000 个机器人中，仅约 3 000 个机器人为本土供应商制造，而此前中国本土制造的机器人数量更少。为了改变这一状况，2013 年底工业和信息化部发布《关于推进工业机器人产业发展的指导意见》，提出到 2020 年要培育 3 至 5 家具有国际竞争力的龙头企业和 8 至 10 个配套产业集群，高端机器人方面国产机器人占据 45% 左右的市场份额。2015 年国务院印发《中国制造 2025》，将高档数控机床和机器人列为十大重点发展领域，并写进中国实现制造强国的第一个十年行动纲领。2020 年发布的“十四五”规划中，更是明确将基本实现新型工业化纳入 2035 年远景目标，工业机器人的使用是实现这一目标的重要推动力量。一系列政府规划出台的同时，各级政府纷纷加大了在机器人相关行业的投入，鼓励机器人创新和研发。2012—2017 年中国本土制造的机器人数量以年均 86% 的增速增长，2017 年中国新增的工业机器人中约 30% 为本土制造 (Cheng et al., 2019)。

我们的实证研究中企业层面使用机器人的情况来源于海关数据，即企业进口机器人的数量。由于中国本土制造机器人的数量在 2012 年之后快速增加，我们的实证研究的样本结束时间选在 2012 年，从而能反映企业实际使用机器人的情况。且 2012 年后政府部门加大了对机器人行业的补贴和投资，将样本结束期选在 2012 年能够排除这些非劳动力成本的变化对企业使用机器人决策的影响。

三、模 型

我们通过一个简单模型研究企业使用机器人的决策。考虑一个拥有 L 数量人口的国家，每个工人无弹性地提供一单位的劳动。

（一）偏好和禀赋

假设经济中存在一个代表性消费者，效用函数如下：

$$U = \left[\int_{\omega \in \Omega} y(\omega)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} d\omega \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

^① 见 <https://www.iso.org/standard/55890.html>，访问时间：2021 年 10 月 30 日。

ω 代表在异质性产品部门的某一种产品；其中 $y(\omega)$ 为对异质商品 ω 的消费量； $\sigma > 1$ 是不同种类商品间的替代弹性。

对消费者效用最大化问题求解可得如下对 ω 商品的需求函数：

$$y(\omega) = p(\omega)^{-\sigma} P^{\sigma-1} E,$$

其中 $p(\omega)$ 是 ω 商品的价格； P 是总价格指数； E 是消费者在异质性商品上的总花费。

(二) 企业行为

在异质性产品行业中的每个企业生产一种产品。这些企业的生产率不同，生产率为 φ 的企业生产函数如下^①：

$$y(\varphi) = \varphi \min_{s \in [0,1]} (l(s) + b(s)m(s)),$$

其中 $l(s)$ 和 $m(s)$ 表示在任务 s 中使用的工人和机器人的数量， $b(s)$ 是衡量工人和机器人之间相对生产率的参数。 $b(s)$ 衡量机器人在不同任务间的比较优势。基于 Acemoglu and Autor (2011)，通过假设 $b(s)$ 连续可微且严格递减，我们将 Ricardian 关系 (Dornbusch et al., 1977) 包含进我们的理论模型。因此，存在临界值 s^* ，当任务在 $s < s^*$ 时拥有机器人的厂商使用机器人进行生产，任务在 $s > s^*$ 时使用劳动进行生产，其中

$$b(s^*) = \frac{R_{robot}}{\omega}.$$

为了在生产中使用机器人，厂商需支付固定成本以安装机器人。假设固定成本为 $f \cdot \epsilon$ ，其中 $\epsilon \in (0, \infty)$ 是累积分布函数 (CDF) 为 $G(\epsilon)$ 的随机变量。CDF $G(\epsilon)$ 均值为 1 且与 φ 的分布相独立。

(三) 企业使用机器人决策

为了简化模型，我们考虑劳动力工资 ω 与机器人租金 R_{robot} 为固定时的局部均衡。在消费者的需求下，每个厂商通过比较在生产中是否使用机器人的利润决定是否在生产中使用机器人。给定劳动力工资和机器人租金，厂商在广延边际上比较生产是否使用机器人的利润。

厂商不使用机器人的利润如下式：

$$\pi_o(\varphi) = \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \frac{\omega}{\varphi} \right)^{1-\sigma} P^{\sigma-1} E.$$

与之相比，同一厂商使用机器人时的利润为：

$$\pi_r(\varphi) = \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)\varphi} ds + \frac{(1-s^*)\omega}{\varphi} \right) \right)^{1-\sigma} P^{\sigma-1} E - f \cdot \epsilon.$$

因此，一个厂商会使用机器人的充要条件为：

^① 理论模型沿用了文献设定，假设生产函数中工人和机器人存在线性的完全替代关系。该假设对本文后面四个命题的推出不是必要的。我们也可以假设企业生产函数是工人和机器人的 CES 函数或者 Cobb-Douglas 函数。广延边际主要来源于工资上涨提高了使用劳动力的成本，从而企业会选择从全部使用劳动力改为部分使用劳动力部分使用机器人。对于集约边际，存在替代效应和规模效应两方面的影响。改变生产函数后，广延边际始终存在。因此，机器人使用对劳动力的替代效应依然存在。另一方面，无论任何生产函数，劳动力成本的上升都会导致企业生产成本的增加，进而减少企业产量，从而降低企业对机器人的需求。因此，规模效应带来的对机器人使用的减少也始终存在。

$$\frac{1}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)\varphi} ds + \frac{(1-s^*)\omega}{\varphi} \right) \right)^{1-\sigma} P^{\sigma-1} E - \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \frac{\omega}{\varphi} \right)^{1-\sigma} P^{\sigma-1} E > f \cdot \epsilon.$$

由于使用机器人需支付固定成本，只有生产率更高的企业才倾向于使用机器人。重写上一方程可得：

$$\epsilon < \epsilon^* = \frac{\Psi}{\varphi^{1-\sigma} f} \left(\left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)} ds + (1-s^*)\omega \right)^{1-\sigma} - \omega^{1-\sigma} \right),$$

其中 $\Psi = \frac{P^{\sigma-1} E}{\sigma} \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \right)^{1-\sigma}$ ，厂商使用机器人的概率为 $\Pr(\epsilon < \epsilon^*(\varphi)) = G(\epsilon^*(\varphi))$ 。

工资上升对使用机器人概率的影响为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pr(\epsilon < \epsilon^*)}{\partial \omega} &= \frac{(\sigma-1)\Psi}{\varphi^{1-\sigma} f} g(\epsilon^*) \\ &\quad \times \left(\omega^{-\sigma} - \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)} ds + (1-s^*)\omega \right)^{-\sigma} (1-s^*) \right) > 0, \end{aligned}$$

其中不等式源自 $\left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)} ds + (1-s^*)\omega \right)^{-\sigma} (1-s^*)$ ，其对 s^* 递减， $s^*=0$ 时此项等于 $\omega^{-\sigma}$ ， $s^*=1$ 时此项等于 0。因此，有命题 1 成立：

命题 1 给定生产率，厂商使用机器人的概率随工资上升而上升。

为了研究异质性影响，我们分别对 φ 求二阶导数：

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \Pr(\epsilon < \epsilon^*)}{\partial \omega \partial \varphi} &= \left(g(\epsilon^*) + \frac{\partial g(\epsilon^*)}{\partial \epsilon} \epsilon^* \right) \frac{(\sigma-1)^2 \Psi}{\varphi^{2-\sigma} f} \\ &\quad \times \left(\omega^{-\sigma} - \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)} ds + (1-s^*)\omega \right)^{-\sigma} (1-s^*) \right). \end{aligned}$$

如果 ϵ 服从正态分布，我们有 $\frac{\partial^2 \Pr(\epsilon < \epsilon^* | \varphi)}{\partial \omega \partial \varphi} > 0$ 。因此，我们可得如下命题 2：

命题 2 生产率越高的企业，工资上升对其使用机器人的概率影响越大。

采用机器人的厂商使用机器人的数量等于

$$Q = \int_0^{s^*} \frac{1}{b(s)\varphi} ds \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)\varphi} ds + \frac{(1-s^*)\omega}{\varphi} \right) \right)^{-\sigma} P^{\sigma-1} E.$$

与广延边际不同，劳动力成本上升对集约边际有两个相反的效应：

$$\frac{\partial \ln Q}{\partial \omega} = \underbrace{\frac{1}{b(s^*)} \frac{\partial s^*}{\partial \omega}}_{\text{替代效应} > 0} - \underbrace{\sigma \frac{1-s^*}{\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)} ds + (1-s^*)\omega}}_{\text{规模效应} < 0}.$$

在上式等式右侧，第一项为替代效应。由于 $b(s^*) = \frac{R_{robot}}{\omega}$ ，第一项可被写为：

$$-\frac{1}{\int_0^{s^*} \frac{1}{b(s)} ds} \frac{Robot}{\frac{\partial b(s^*)}{\partial s^*} \omega^2}.$$

因为 $b(s)$ 随 s 递减，因此本项大于零；第二项为规模效应小于零。从而可得如下命题：

命题 3 劳动力成本上升的集约边际影响有两个相反的效应，对已经采用机器人生产

产的厂商使用机器人数量的总体影响不明确。

在集约边际上(定义为采用机器人生产的厂商所使用机器人的数量),最低工资的上升有两个相反的效应。除了上文强调的替代效应,还存在反方向的规模效应。特别地,劳动力成本的上升可能导致产出的价格上升并减少产量,从而降低企业对机器人的需求。所以,劳动力成本提高对采用机器人生产的厂商使用机器人数量的总体影响是不明确的。上面关于 $\frac{\partial \ln Q}{\partial w}$ 的表达式中,工资上升对使用机器人数量的负向规模效应与产品替代弹性在产品替代弹性比较高的行业更大。为了研究集约边际的异质性影响,我们分别对 σ 和 φ 求二阶导数,可得:

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial w \partial \sigma} < 0; \quad \frac{\partial^2 Q}{\partial w \partial \varphi} = 0.$$

因此,我们可得如下命题4:

命题4 工资上升对使用机器人数量在集约边际上的负向影响在产品替代弹性比较高的行业更大。不同于广延边际,工资上升的影响在集约边际上与企业生产率无关。

将模型用于数据需要劳动力成本的外生变化。我们采用城市间最低工资的变化,Li et al. (2012)表明最低工资变动与中国劳动力成本的上升紧密相关。理论上Burdett and Mortensen (1998)和Van Den Berg (2003)表明即使公司的工资已经超过最低工资,最低工资的增加也会增加公司支付的工资。

四、实证设计、数据和度量

(一) 实证设计

我们利用实证数据来检验上述模型给出的四个命题。企业使用机器人的概率以及数量除了受到当地最低工资的影响外,还可能与地方的社会经济条件有关。为了控制这些地区层面的影响因素我们遵循Dube et al., (2010)的方法,以边界城市配对的数据结构展开实证研究,两个分属不同省份的城市若有共同的省级行政边界则视为一对。一个配对组中的两个相邻城市的最低工资是由各自省级政府设定,而这两个城市其他自然条件和经济条件较为相似,可以被城市配对一年份固定效应控制。而同一个城市可能位于多个城市配对组之中^①,为了解决重复性问题,在回归分析中我们将每个观测值出现的次数作为权重,汇报加权最小二乘的估计结果。由于北京、天津、上海和重庆四个直辖市是省级行政单位,我们在配对中将其去除。最终的匹配结果形成了279个城市配对,共包含210个城市。

为了检验2008年前后最低工资对于企业机器人使用的广延边际和集约边际的影响,我们构造如下的实证方程:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \log(mwage_{it-1}) \times Pre2008 + \beta_2 \log(mwage_{it-1}) \times Post2008 + \beta_3 Z_{it-1} + \varphi_i + \varphi_{pt} + \varepsilon_{it}. \quad (1)$$

^① 例如江苏省的南京市同时与安徽省的滁州市和安徽省的马鞍山市相邻,故南京市同时位于南京—滁州以及南京—马鞍山配对组中。

方程中 Y_{it} 衡量企业 i 在年份 t 使用过机器人的情况。在广延边际检验中， Y_{it} 是一个虚拟变量：如果企业 i 在年份 t 使用过机器人，则 $Y_{it}=1$ ；否则 $Y_{it}=0$ 。在集约边际的检验中，我们将样本限制在样本时间区间内已经使用过机器人的企业。 Y_{it} 是企业 i 累积到年份 t 时刻使用过的机器人数量，我们将这个数量加1取自然对数值衡量企业使用机器人的集约边际。

$\log(mwage_{c,t-1})$ 是城市 c 在 $t-1$ 年的最低工资对数值。 $Pre2008$ 和 $Post2008$ 是两个虚拟变量，分别在2008年前以及2008年后取值为1。 $Z_{c,t-1}$ 为城市层面的控制变量，包含城市人口、城市人均GDP、城市价格水平以及城市失业率。我们也控制了劳动力特征，包含省级女性劳动力比例以及省级高学历（本科及以上）劳动力比例。由于企业需要时间来应对最低工资调整，所有自变量相较于因变量滞后一年。

φ_i 是企业固定效应，我们关注的系数 β_1 和 β_2 分别衡量最低工资上升对于同一个企业在不同年份中机器人使用决策的边际影响。

（二）数据来源

首先，最低工资等省级及城市层面的数据。由于城市最低工资数据缺乏统一来源，我们手动从地方政府网站、政府公告和地方人力资源和社会保障事业统计公报收集相关的信息。该数据已经应用于其他中国最低工资问题的研究（Fan et al., 2018c；王欢欢等，2019）。其他城市和省级层面的数据均来自CEIC经济数据库以及省级统计年鉴。

其次，企业层面的数据来源于中国工业企业数据库。中国工业企业数据库涵盖了丰富的企业层面信息，包括企业名称、地点、员工信息、所有权结构、资产负债表、利润表和现金流量表等财务信息。2007年前该数据库覆盖了所有的国有企业，以及年销售额大于500万元的大、中型非国有企业。2007年后该数据库剔除了年销售额小于500万元的小型国有企业。2011年后数据库覆盖范围做了调整，只包含年销售额高于2000万元的企业。这一数据库被广泛应用于中国企业层面的研究（Gan et al., 2016；樊海潮和郭光远，2015；樊海潮和张丽娜，2018）。

最后，企业进口机器人的信息来源于中国海关进出口数据。这一统计数据提供了以企业-产品-贸易国家形式整理的所有进出口相关信息，包含进出口产品价值、数量、进口来源国或者出口目标国以及企业的联系信息，产品信息以HS 8位码呈现。我们按照Acemoglu and Restrepo (2022) 的处理方法，将HS 6位码为847950（多功能机器人和机器人末端装置）的产品标记为机器人，该HS 6位码对应两类HS 8位码的产品：84795010（多功能工业机器人）和84795090（机器人、末端操纵装置以及其他工业机器人）。我们利用海关数据统计主要基于两个原因：第一，IFR提供的机器人统计数据仅局限在国家-行业层面，无法得到企业层面的机器人使用情况信息；第二，企业调查数据（Cheng et al., 2019；Koch et al., 2021）覆盖的时间段较短。相较之下，海关数据能提供较长时间段企业层面的机器人进口信息。而海关数据无法反映企业使用本土制造的机器人数量，但正如在第二部分研究背景中所介绍，2012年之前中国企业大部分使用的工业机器人均为进口，因此我们认为在2004—2012年的研究时间段内，海关数据能够较好地反映出中国企业实际使用机器人的状况。

(三) 描述性统计

在收集完上述三个来源的数据之后,我们按照 Fan et al. (2015) 的方法将海关数据与工业企业数据库合并,而后利用企业行政区划代码将城市最低工资及其他城市层面数据合并。我们选取的样本时间区间为 2004 年至 2012 年:2004 年《最低工资规定》实施前最低工资法无法有效地落实,企业使用机器人的情况也比较罕见;2012 年后本土制造的机器人数量增加,且政府为了落实《中国制造 2025》纲领对于机器人行业加大了补贴。最终我们形成的企业-年度面板数据包括 350 451 家企业,共 2 191 421 个观测值。其中 630 家企业在该段时间内曾进口过机器人,我们在这个子样本中进行最低工资对机器人使用集约边际效果的检验。

各个变量的描述性统计如表 1 所示。中国企业在这段样本时间段内使用机器人的比例非常低,仅为 0.12%。在 630 家曾进口过机器人的企业样本中,企业平均使用进口机器人的数量为 10.292 个,中位数为 2;企业平均使用的进口机器人价值为 34.3 万美元,中位数为 3.26 万美元。均值和中位数的差异表明企业使用机器人的情况极为不平均,大部分企业仅使用 1 个或者 2 个机器人。

表 1 描述性统计

	观测量	均值	标准差	中位数
城市控制变量(城市-年度样本)				
<i>Monthly minimum wage (yuan)</i>	1 625	497.249	182.175	460
<i>City population (thousands)</i>	1 625	3 921.682	2 329.416	3 460
<i>City GDP per capita (yuan)</i>	1 625	17 861.92	16 273.66	12 786
<i>City price level</i>	1 625	2.206	0.907	1.962
<i>Unemployment rate</i>	1 625	0.073	0.053	0.067
<i>Female Ratio</i>	1 625	0.498	0.009	0.498
<i>University Ratio</i>	1 625	0.077	0.027	0.075
广延边际检验样本				
<i>Adoption Probability</i>	2 191 421	0.0012	0.035	0
<i>TFP</i>	1 383 828	5.975	1.004	5.988
<i>Skill intensity</i>	1 749 207	0.048	0.028	0.035
集约边际检验样本				
<i>Robot Quantity</i>	3 700	10.292	68.074	2.000
<i>Robot Value</i>	3 546	343 291	1 622 576	32 600
<i>TFP</i>	2 262	1.173	0.447	1.095
<i>Skill intensity</i>	1 914	0.074	0.025	0.072

五、基准回归结果

为了检验理论模型的预测,我们基于模型(1)检验最低工资上升对于企业是否使

用机器人以及使用机器人数量的决策在2008年前后的变化，表2展示了基准回归的结果，所有回归均加入了企业固定效应以及城市配对-年份固定效应。前两列回归的因变量是企业是否使用机器人的虚拟变量。第(1)列的回归结果显示，最低工资与2008年前的交互项回归系数并不显著，而最低工资与2008年后的交互项回归系数为正，且在5%水平下显著。回归系数和显著性水平均高于最低工资与2008年前的交互项。在第(2)列回归中，我们进一步控制了城市的特征，结果依然稳健。最低工资对于企业采用机器人概率的正向影响主要集中在2008年之后，2008年新劳动法实施后，企业遵循强制性的最低工资规定，全国范围内劳动力成本提升。我们的实证结果发现劳动力成本上升使得企业使用机器人的概率增加，支持命题1。经济意义上，在2008年至2012年的时间段，最低工资上涨10%，企业使用机器人的概率上升0.114个百分点。考虑到在这个时间段内，企业使用机器人的平均概率仅为0.19%，10%的最低工资上涨使得机器人使用的概率提升约为机器人平均使用概率的60%。

表2 基准回归

	广延边际		集约边际	
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\log \text{minwage} \times \text{pre2008}$	0.0003 (0.0006)	0.0003 (0.0006)	0.7624 (1.9056)	-1.9172 (1.7705)
$\log \text{minwage} \times \text{post2008}$	0.0116** (0.0055)	0.0114** (0.0052)	1.3380 (2.2578)	-1.9869 (1.6087)
$\log \text{Population}$		0.0008 (0.0007)		3.7381 (2.4908)
$\log \text{GDP per capita}$		-0.0002 (0.0009)		-0.7180 (1.7133)
$\log \text{Price Level}$		0.0011* (0.0006)		1.2011 (0.9672)
Unemployment Rate		-0.0050 (0.0032)		15.3161* (8.8204)
Female Ratio		0.0435** (0.0207)		-7.8527* (4.1110)
University Ratio		-0.0236** (0.0110)		8.0342 (8.4205)
企业固定效应	是	是	是	是
城市配对-年份固定效应	是	是	是	是
观测值	2 191 421	2 191 421	3 456	3 456
R^2	0.851	0.851	0.848	0.850

注：***、**、* 分别表示1%、5%、10%的显著性水平。括号中为聚集到城市层面的标准误差。

表2的第(3)、(4)列检验最低工资对于企业使用机器人数量的影响。我们在630个进口过机器人的企业样本中开展回归，因变量为企业累积使用工业机器人的数量加1的对数值。第(3)列的回归显示最低工资对于企业使用机器人数量的效果在两个时间段

内都统计意义上不显著,与命题3的结论相符合。第(4)列回归中我们加入城市的控制变量,结论并未发生改变。

我们对实证结果进行了一系列稳健性检验。首先,我们探讨了遗漏变量的影响。我们的基准回归模型已较为严格地控制了企业固定效应和城市配对一年份固定效应,但仍可能存在同时影响最低工资和企业机器人决策的遗漏变量。我们加入了城市层面的进出口水平和资本性存量,以及企业层面的员工数、资本存量和销售额变量,发现实证结论并未改变。其次,我们不再在城市配对数据结构中展开回归,而是将所有城市的企业都纳入回归中,我们发现最低工资上升仍然只影响企业使用机器人决策的广延边际而非集约边际。最后,我们利用工具变量进行两阶段最小二乘估计。第一个工具变量是同一年份该城市所在省份所有城市的平均最低工资。第二个工具变量借鉴了 Bai et al. (2021) 的做法。在每一个年份,我们将所有地级市的人均 GDP 进行排序,并且分成 20 个组别。对于一个城市最低工资这个内生变量,我们选取与该城市同一组别中的其他城市的最低工资平均值作为工具变量。工具变量回归结果同基准回归相似,最低工资对于企业使用机器人广延边际和集约边际的影响不同。

六、进一步的实证检验

最低劳动力成本上升对于集约边际的影响有规模效应和替代效应两个相反的效应。为了分离和识别规模效应与替代效应,我们首先讨论产品需求弹性的异质性作用,验证最低工资上升对使用机器人数量的负向规模效应在产品替代弹性较高的行业更大。接着,我们计算机器人数量和劳动力数量的比例,验证去除规模效应后,最低工资上升对使用机器人集约边际的正向影响。最后,命题2和命题4中指出不同生产率对于最低工资带来的异质性影响。我们利用企业的全要素生产率(TFP)作为企业生产率的衡量指标,检验企业生产率、最低工资和机器人使用之间的关系。

(一) 区分集约边际的规模效应和替代效应

最低劳动力成本上升对于集约边际的影响有规模效应和替代效应两个相反的效应。替代效应是指工业机器人和劳动力是相互替代的生产要素。当劳动力成本升高时,企业会选择少使用劳动力,多使用工业机器人。规模效应是指当劳动力成本上升时,企业产出的价格上升,企业产量下降。这会导致企业对于工业机器人的需求下降。命题4指出,

集约边际的规模效应 $\left[\sigma \frac{1-s^*}{\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)} ds + (1-s^*)\omega} \right]$ 会因企业生产产品的需求弹性不同而不同。

商品需求弹性越强,商品价格上升引起的需求量下降越大,企业产量下降越大,从而对工业机器人的需求下降越大,即机器人数量对于最低工资(ω)和产品需求弹性(σ)的二阶偏导数小于0。

我们利用 Broda and Weinstein (2006) 给出的商品价格弹性数据,按照4位国家经济行业分类代码(CIC)匹配计算出每一个行业产出的需求弹性。我们将该需求弹性与

最低工资水平的交乘项加入回归方程中，结果如表3所示。第(1)列的结果显示，最低工资水平与行业产出的需求弹性交叉项显著为负，即企业产出需求弹性越强，规模效应越大，劳动力成本上升会带来机器人需求数量的下降。在第(2)列回归中，我们进一步研究在两个时间段内需求弹性的不同作用。我们分别加入最低工资、行业产出需求弹性与两个时间段的三重交叉项，以及所有对应的二重交叉项。结果显示两个三重交叉项均显著为负，且在2008年后的系数更大。这说明规模效应在产出需求弹性更大的行业负向作用更大的现象在两个时间段中都成立，且在2008年后更为明显。

表3 产品需求弹性的差异性影响

	集约边际	
	(1)	(2)
<i>logminwage</i>	-1.8741 (1.8020)	
<i>logminwage</i> × <i>Elasticity</i>	-0.0066** (0.0026)	
<i>logminwage</i> × <i>pre2008</i>		-1.9022 (1.7869)
<i>logminwage</i> × <i>post2008</i>		-1.7947 (1.6343)
<i>Elasticity</i> × <i>post2008</i>		0.5328 (0.3149)
<i>logminwage</i> × <i>Elasticity</i> × <i>pre2008</i>		-0.0067** (0.0031)
<i>logminwage</i> × <i>Elasticity</i> × <i>post2008</i>		-0.0854* (0.0461)
城市控制变量	是	是
年份固定效应	是	是
企业固定效应	是	是
城市配对-年份固定效应	是	是
观测值	3 456	3 456
R^2	0.851	0.851

注：***、**、* 分别表示1%、5%、10%的显著性水平。括号中为聚集到城市层面后的标准误差。

表3通过讨论产品需求弹性的异质性作用，说明了规模效应在不同行业上的差异性影响。下面我们将使用机器人和劳动力数量的比例进一步研究替代效应的作用。在理论模型中，我们计算出最优的机器人数量 Q 和劳动力数量 L 分别满足：

$$Q = \int_0^{s^*} \frac{1}{b(s)\varphi} ds \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)\varphi} ds + \frac{(1-s^*)\omega}{\varphi} \right) \right)^{-\sigma} P^{\sigma-1} E,$$

$$L = \int_{s^*}^1 \frac{1}{\varphi} ds \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{robot}}{b(s)\varphi} ds + \frac{(1-s^*)\omega}{\varphi} \right) \right)^{-\sigma} P^{\sigma-1} E.$$

基于上面两式,可知机器人数量与劳动力数量比值 $\left(\frac{Q}{L}\right)$ 满足:

$$\frac{Q}{L} = \frac{\int_0^{s^*} \frac{1}{b(s)\varphi} ds}{\int_{s^*}^1 \frac{1}{\varphi} ds}$$

该式表明机器人使用数量和劳动力数量的比例不受规模效应的影响,只反映替代效应。^①同样,计算机器人使用数量与企业总工资比值也能够剔除规模效应的作用。我们将这两个比例作为被解释变量放入回归中,区分规模效应和替代效应,回归结果如表4所示。最低工资与2008年前的交互项系数在所有回归中均不显著,而最低工资与2008年后的交互项回归系数均为正,且在第(1)、(2)和(4)列中10%水平下显著。这一回归结果显示,以剔除了规模效应之后的机器人使用比例来衡量,2008年之后最低工资上涨使得机器人使用比例上升,两者之间存在着替代关系。在表2的基准回归结果中,我们发现最低工资水平与企业使用机器人的数量没有显著的关系,这是因为企业使用机器人的数量反映了规模效应和替代效应的综合效果。表4中的被解释变量为企业机器人使用比例,剔除了规模效应的作用之后,我们发现了最低工资带来的替代效应。

表4 区分替代效应与规模效应

	机器人数量/劳动力数量		机器人数量/总工资	
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\log \text{minwage} \times \text{pre2008}$	0.0010 (0.0037)	0.0033 (0.0087)	0.0002 (0.0004)	0.0010 (0.0006)
$\log \text{minwage} \times \text{post2008}$	0.0147* (0.0079)	0.0175* (0.0097)	0.0003 (0.0004)	0.0016* (0.0009)
$\log \text{Population}$		-0.0049 (0.0066)		-0.0002 (0.0007)
$\log \text{GDP per capita}$		-0.0051 (0.0066)		-0.0012 (0.0010)
$\log \text{Price Level}$		0.0001 (0.0089)		-0.0012 (0.0010)
Unemployment Rate		0.0008 (0.0175)		-0.0006 (0.0014)
Female Ratio		-0.0761** (0.0280)		0.0035 (0.0035)

① 这里我们没有用机器人使用数量和销售值的比例。这是因为机器人使用数量和销售值的比值等于:

$$\frac{Q}{\text{Sale}} = \int_0^{s^*} \frac{1}{b(s)\varphi} ds \left(\frac{\sigma}{\sigma-1} \left(\int_0^{s^*} \frac{R_{\text{robot}}}{b(s)\varphi} ds + \frac{(1-s^*)w}{\varphi} \right) \right)^{-1} P^{\sigma-1} E,$$

其依然同时包含替代效应和规模效应。

(续表)

	机器人数量/劳动力数量		机器人数量/总工资	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>University Ratio</i>		-0.0127 (0.0525)		-0.0001 (0.0013)
企业固定效应	是	是	是	是
城市配对-年份固定效应	是	是	是	是
观测值	3 456	3 456	3 456	3 456
R^2	0.942	0.942	0.828	0.829

注：***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。括号中为聚集到城市层面的标准误差。

(二) 企业生产率

为了检验命题 2 和命题 4 中企业生产率的异质性影响，我们引入企业的生产率与最低工资的交叉项，企业的生产率使用全要素生产率 (TFP) 衡量。由于企业使用机器人之后生产率可能会发生改变，我们在回归中采用企业初始 TFP，即企业在样本中最早年份时的 TFP。TFP 按照 Olley and Pakes (1996) 的方法进行计算。回归结果如表 5 所示。列 (1) 的结果显示初始 TFP 高的企业，最低工资上升对于企业使用机器人概率的影响更大，符合命题 2 的结论。而列 (3) 的结果显示，在使用过机器人的企业样本中，最低工资水平对于使用机器人数量的影响不受到企业初始生产率的调节作用，实证结论支持命题 4 的结论。

表 5 的基本回归表明最低工资对于企业使用机器人的概率影响主要发生在 2008 年后的区段，因此我们也在异质性检验中分别考察在不同时间段 TFP 的调节作用。我们在回归中加入最低工资、TFP 和时间段的三重交叉项，以及所有对应的二重交叉项。在广延边际的影响上，第 (2) 列的结果显示最低工资对于企业是否使用机器人的影响仅存在于 2008 年之后。在第 (4) 列的检验中，我们发现最低工资在两个时间段均不显著影响企业使用机器人的数量。

表 5 对不同 TFP 企业的差异性影响

	广延边际		集约边际	
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\log \text{minwage}$	-0.0029** (0.0013)		0.0544 (1.8455)	
$\log \text{minwage} \times \text{TFP}$			-0.2470 (0.3275)	
$\log \text{minwage} \times \text{pre2008}$		0.0005 (0.0022)		0.3371 (1.9369)
$\log \text{minwage} \times \text{post2008}$		0.0073 (0.0054)		0.2842 (2.5395)

(续表)

	广延边际		集约边际	
	(1)	(2)	(3)	(4)
$TFP \times post2008$		-0.0065*		-7.1499
		(0.0038)		(6.8144)
$\log minwage \times TFP \times pre2008$		0.0000		-0.0262
		(0.0003)		(0.4570)
$\log minwage \times TFP \times post2008$		0.0011**		1.0247
		(0.0005)		(0.8736)
城市控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
城市配对-年份固定效应	是	是	是	是
观测值	1 383 826	1 383 826	2 064	2 064
R^2	0.719	0.720	0.764	0.765

注:***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平。括号中为聚集到城市层面后的标准误差。

七、结 论

随着工业化进程的不断深入以及劳动力成本的升高,工业机器人在中国走向制造强国、实现新型工业化进程中发挥着愈加重要的作用。本文利用最低工资变化以及 2008 年《劳动合同法》的施行对于劳动力成本的冲击进行研究,从理论和实证两个方面证实了最低工资上升导致企业使用机器人概率增加。这一现象主要存在于在 2008 年到 2012 年这一时间段。对于已经应用机器人的企业,最低工资上升并不会导致企业增加机器人的使用量。本文发现,就集约边际而言,最低工资的作用在产品替代弹性比较高的行业更大。就广延边际而言,最低工资上升对于生产率高的企业是否使用机器人的影响更大。

在最低工资法律健全且最低工资不断上涨的背景下,劳动者的福利逐渐增加。而对于企业而言,以往低劳动力成本生产带来的红利不断下降。企业可以选择使用机器人降低生产成本,增加自身利润。在推广机器人使用的过程中,我国应该充分意识到机器人使用的两面性。一方面,应该充分发挥国内的市场优势,扩大机器人研发投入、降低使用机器人的成本,以促使更多的企业选择使用工业机器人生产,完成向新型工业化的转型。另一方面,应该充分重视使用机器人代替工人所产生的失业等负面影响。整体来看中国各地经济发展水平各异,劳动力成本差异很大,因此不同企业的机器人使用情况很不相同。本文的结果有助于理解企业做出是否使用机器人以及使用数量决策的原因,帮助各地政府制定相应的政策,引导企业做出最合适的选择,以向制造强国以及 2035 远景目标稳步迈进。

参 考 文 献

- [1] Acemoglu, D., and D. Autor, "Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings", In *Handbook of Labor Economics*, 2011, 4, 1043-1171.
- [2] Acemoglu, D., C. LeLarge, and P. Restrepo, "Competing with Robots: Firm-level Evidence from France", *AEA Papers and Proceedings*, 2020, 110, 383-88.
- [3] Acemoglu, D., and P. Restrepo, "Demographics and Automation", *The Review of Economic Studies*, 2022, 89 (1), 1-44.
- [4] Bai, X., A. Chatterjee, K. Krishna, and H. Ma, "Trade and Minimum Wages in General Equilibrium: Theory and Evidence", *Journal of International Economics*, 2021, 133, 1035-53.
- [5] Bastos, P., E. Verhoogen, and J. Silva, "Export Destinations and Input Prices", *American Economic Review*, 2018, 108 (2), 353-392.
- [6] Broda, C., and D. E. Weinstein, "Globalization and the Gains from Variety", *Quarterly Journal of Economics*, 2006, 121 (2), 541-585.
- [7] Burdett, K., and D. T. Mortensen, "Wage Differentials, Employer Size, and Unemployment", *International Economic Review*, 1998, 257-273.
- [8] Chaney, T., "Distorted Gravity: The Intensive and Extensive Margins of International Trade", *American Economic Review*, 2008, 98 (4), 1707-1721.
- [9] Cheng, H., R. X. Jia, D. D. Li, and H. B. Li, "The Rise of Robots in China", *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33 (2), 71-88.
- [10] Dixon, J., B. Hong, and L. Wu, *Employment Consequences of Robots: Firm-level Evidence*. Ontario: Statistics Canada, 2020.
- [11] Dornbusch, R., S. Fischer, and P. A. Samuelson, "Comparative Advantage, Trade, and Payments in a Ricardian Model with a Continuum of Goods", *American Economic Review*, 1977, 67 (5), 823-839.
- [12] Dube, A., T. W. Lester, and M. Reich, "Minimum Wage Effects across State Borders: Estimates Using Contiguous Counties", *Review of Economics and Statistics*, 2010, 92 (4), 945-964.
- [13] Fan, H. C., E. L.-C. Lai, and Y. A. Li, "Credit Constraints, Quality, and Export Prices: Theory and Evidence from China", *Journal of Comparative Economics*, 2015, 43 (2), 390-416.
- [14] Fan, H. C., Y. A. Li, and S. R. Yeaple, "On the Relationship between Quality and Productivity: Evidence from China's Accession to the WTO", *Journal of International Economics*, 2018a, 110, 28-49.
- [15] Fan, H. C., Y. A. Li, and C. C. Zhao, "Margins of Imports, Forward-looking Firms, and Exchange Rate Movements", *Journal of International Money and Finance*, 2018b, 81, 185-202.
- [16] Fan, H. C., F. Q. Lin, and L. X. Tang, "Minimum Wage and Outward FDI from China", *Journal Development Economics*, 2018c, 135, 1-19.
- [17] Fan, H. C., Y. C. Hu, and L. X. Tang, "Labor Costs and the Adoption of Robots in China", *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2021, 186, 608-631.
- [18] 樊海潮、郭光远, "出口价格、出口质量与生产率间的关系: 中国的证据", 《世界经济》, 2015年第2期, 第58—85页。
- [19] 樊海潮、张丽娜, "中间品贸易与中美贸易摩擦的福利效应: 基于理论与量化分析的研究", 《中国工业经济》, 2018年第9期, 第41—59页。
- [20] 樊海潮、利亚波、张丽娜, "进口产品种类、质量与企业出口产品价格", 《世界经济》, 2020年第5期, 第97—121页。
- [21] Fang, T., and C. Lin, "Minimum Wages and Employment in China", *IZA Journal of Labor Policy*, 2015, 4 (1), 1-30.
- [22] Gan, L., M. A. Hernandez, and S. Ma, "The Higher Costs of Doing Business in China: Minimum Wages and

- Firms' Export Behavior", *Journal of International Economics*, 2016, 100, 81-94.
- [23] Giuntella, O., Y. Lu, and T. Wang, "Is an Army of Robots Marching on Chinese Jobs?", 2019, *Working Paper*.
- [24] Gopinath, G., and B. Neiman, "Trade Adjustment and Productivity in Large Crises", *American Economic Review*, 2014, 104 (3), 793-831.
- [25] Graetz, G., and G. Michaels, "Robots at Work", *Review of Economics and Statistics*, 2018, 100 (5), 753-768.
- [26] Hau, H., Y. Huang, and G. W. Wang, "Firm Response to Competitive Shocks: Evidence from China's Minimum Wage Policy", *Review of Economic Studies*, 2020, 87 (6), 2639-2671.
- [27] Helpman, E., M. J. Melitz, and S. E. Yeaple, "Export versus FDI with Heterogeneous Firms", *American Economic Review*, 2004, 94 (1), 300-316.
- [28] Huang, Y., P. Loungani, and G. W. Wang, "Minimum Wages and Firm Employment: Evidence from China", 2014, *Working Paper*.
- [29] Humlum, A., "Robot Adoption and Labor Market Dynamics", 2019, *Working Paper*.
- [30] Koch, M., I. Manuylov, and M. Smolka, "Robots and Firms", *The Economic Journal*, 2021, 131 (638), 2553-2584.
- [31] Li, H., L. Li, B. Z. Wu, and Y. Y. Xiong, "The End of Cheap Chinese Labor", *Journal of Economic Perspectives*, 2012, 26 (4), 57-74.
- [32] 刘贯春、陈登科、丰超, "最低工资标准的资源错配效应及其作用机制分析", 《中国工业经济》, 2017年第7期, 第62—80页。
- [33] Long, C., and J. Yang, "How Do Firms Respond to Minimum Wage Regulation in China? Evidence from Chinese Private Firms", *China Economic Review*, 2016, 38, 267-284.
- [34] 马双、张劼、朱喜, "最低工资对中国就业和工资水平的影响", 《经济研究》, 2012年第5期, 第132—146页。
- [35] 马双、邱光前, "最低工资对中国劳动密集型出口产品价格的影响", 《世界经济》, 2016年第11期, 第80—103页。
- [36] Mayneris, F., S. Poncet, and T. Zhang, "Improving or Disappearing: Firm-level Adjustments to Minimum Wages in China", *Journal of Development Economics*, 2018, 135, 20-42.
- [37] Olley, G. S., and A. Pakes, "The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry", *Econometrica*, 1996, 64 (6), 1263-1297.
- [38] Van Den Berg, G. J., "Multiple Equilibria and Minimum Wages in Labor Markets with Informational Frictions and Heterogeneous Production Technologies", *International Economic Review*, 2003, 44 (4), 1337-57.
- [39] 王欢欢、樊海潮、唐立鑫, "最低工资、法律制度变化和企业对外直接投资", 《管理世界》, 2019年第11期, 第38—51+230—231页。
- [40] 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, 第159—175页。
- [41] 张军、赵达、周龙飞, "最低工资标准提高对就业正规化的影响", 《中国工业经济》, 2017年第1期, 第81—97页。

Minimum Wage and Robots Adoption: Differences in Extensive Margin and Intensive Margin

FAN Haichao

(Fudan University)

HU Yichuan*

(Tongji University)

TANG Lixin

(Jinan University)

Abstract: Higher minimum wages increase firms' probability of adopting industrial robots (the extensive margin). However, for firms that have already adopted industrial robots, the increase in minimum wage has no effect on the number of adopted robots (the intensive margin), because the increase in minimum wage has two competing effects, namely a substitution effect and a scale effect. The impact on the intensive margin is larger in industries with higher product substitution elasticity, while the impact on the extensive margin is larger in firms with higher productivity. Our research enriches the literature on the relation between labor costs and industrial robots.

Keywords: minimum wage; labor cost; industrial robot

JEL Classification: J30, J24, O33

* Corresponding Author: Hu Yichuan, School of Economics and Management, Tongji University, 1500 Siping Road, Shanghai 200092, China; Tel: 86-13817631745; E-mail: huyichuan175@gmail.com.