

# 最低工资标准与工业智能化： 基于替代效应与互补效应的分析

阳立高, 黄浩乾

(长沙理工大学 经济与管理学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**文章采用2006—2019年我国30个省份最低工资标准与IFR公布的机器人数据,探究了最低工资标准对工业智能化的影响及其作用机制。实证检验发现:最低工资标准对我国工业智能化有着显著的促进作用;最低工资标准对工业智能化的影响在东部地区与低技术行业更为强烈;最低工资标准会通过替代效应与互补效应来促进工业智能化程度的提升。根据研究结论提出以下政策建议:对最低工资标准的制定需因地制宜;要加大人才引进力度,加强职业培训;要加强劳动力市场建设,完善劳动力社会保障制度。

**关键词:**最低工资标准;工业智能化;替代效应;互补效应

[中图分类号]F043 [文献标识码]A [文章编号]1672-934X(2022)04-0049-16

DOI:10.16573/j.cnki.1672-934x.2022.04.006

## Minimum Wage Standards and Industrial Intelligence: An Analysis Based on Substitution Effect and Complementary Effect

Yang Ligao, Huang Haoqian

(School of Economics & Management, Changsha University of Science & Technology,  
Changsha, Hunan 410114, China)

**Abstract:** Based on the minimum wage standards of 30 provinces in China from 2006 to 2019 and the robot data published by IFR, this paper explores the impact of minimum wage standards on industrial intelligence and its mechanism. The empirical results show that minimum wage standards have a significant role in promoting industrial intelligence in China, that its impact on industrial intelligence is more intense in eastern China and low-technology industries, and that it will promote the improvement of industrial intelligence through substitution effect and complementary effect. Accordingly, the following proposals have been put forward: The formulation of minimum wage standards should be based on local conditions, step up efforts to introduce talents as well as strengthen vocational training, and strengthen to construct the labor market and improve the social security system for the labor force.

**Key words:** minimum wage standards; industrial intelligence; substitution effect; complementary effect

收稿日期:2022-05-14

基金项目:国家社会科学基金重点项目(18AJL008);湖南省社会科学成果评审委员会重大课题(XSP20ZDA005)

作者简介:阳立高(1978—),男,教授,主要从事技术创新与产业发展研究;

黄浩乾(1997—),男,硕士研究生,研究方向为产业经济学与技术创新。

## 一、引言

当前,以人工智能技术为核心的新一轮科技革命蓬勃兴起,人工智能技术正在与各行各业不断融合,对现有的产业形态、商业模式与生活方式产生了深刻影响。国际市场研究机构(Research and Markets)最新报告预测,2027年全球人工智能解决方案总额将达到2 820亿美元,且2022—2027年复合年增长率将达到28.6%;全球无监督机器学习市场将达到143亿美元,预测期内复合年增长率为21.8%。<sup>①</sup>为了更好地提升工业智能化程度,各国出台了相应的政策。美国在2016年发布了《国家人工智能研究和发展战略计划》,为保证能够产生新的人工智能技术提出了相应的战略与建议;日本在2015年发布的《机器人新战略》中提出了三大核心目标,为确保日本机器人领域在世界的领先地位制定了五年计划;韩国在2019年通过了“人工智能国家战略”,旨在推广智能化生产技术,加快国家机器人化速度;加拿大在2017年发布的《泛加拿大人工智能战略》中明确指出,将在AI研发及人才培养方面提供1.25亿加元的资金支持。

近年来,工业智能已经逐渐成为我国高度重视的领域。习近平总书记在中央政治局第九次集体学习时对人工智能给予高度评价。自2015年以来,我国相继发布了《“互联网+”人工智能三年行动实施方案》《新一代人工智能发展规划》《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018—2020年)》等十几份文件,旨在推动工业智能化快速发展。国际机器人联合会(IFR)发布的《世界机器人2021工业机器人报告》显示,2020年有71%的工业机器人部署在亚洲,其中中国的安装量增长了20%,出货量为16.84万台,这是有记录以来单个国家的最高数值。此外,我国目前工厂运作的工业机器人数量达到了创纪录的94.30万台,同比增长21%,即将突破100万台大关。<sup>②</sup>当前,学者研究

的焦点主要是工业智能化所带来的影响,而关于工业智能化背后的原因鲜有学者进行探讨。据统计,自2004年实施《最低工资规定》以来,各省最低工资标准一直呈现上升趋势。从各省份最低工资标准数据来看,2004年全国各省份月最低工资标准最高为635元;截至2021年,全国范围内的月最低工资标准最高已达到2 590元,从2004至2021年月最低工资标准增长达到了308%。由上可知,目前,我国最低工资标准呈现快速增长的趋势,且工业智能化的发展势头同样迅猛,那么最低工资标准上涨是否推动了工业智能化程度提升?如果是,那么这中间的机制又是什么?这些问题的答案,对我国进一步推进工业智能化建设,实现经济高质量发展具有重要的现实意义。

目前,关于工业智能化的相关研究,主要集中于探讨工业智能化对劳动力市场、全要素生产率和创新等方面的影响。关于工业智能化对劳动力市场的影响,可以说在人口红利不断削弱、老龄化问题不断凸显的背景下,工业智能化的发展既可以推动经济的增长,又可以缓解老龄化程度不断加深所带来的问题。但工业智能化程度的不断加强对劳动力市场产生何种影响一直是学术界争论的焦点。部分学者认为工业智能化会对劳动力市场产生积极影响。谢璐等认为,人工智能对就业具有破坏性的替代效应、创造性的补偿效应和跨期的时间效应<sup>[1]</sup>。破坏性的替代效应主要是指随着人工智能的大量使用,会对原有的就业人群和就业结构产生冲击,造成技术性失业或结构性失业。创造性的补偿效应主要是指通过人工智能的大量使用,形成新行业和新需求,相应增加对新技术劳动者的需要,进而增加就业。跨期的时间效应主要是指人工智能的发展与应用规模在短期和长期是不一样的,这对就业的短期影响和长期影响也会是不一样的。宋旭光等通过实证研究发现,工业机器人的投入使用能够显著增加劳动生产率,且与劳动力之间存在互补和替代效应<sup>[2]</sup>。

王晓娟等通过实证研究发现,短期内机器人使用对就业存在负向冲击,而长期来看,机器人使用对就业影响更多表现为创造效应<sup>[3]</sup>。但大部分学者认为工业智能化对劳动力市场产生消极影响。Acemoglu等分析了1990—2007年工业机器人使用量的增加对美国劳动力市场的影响,发现机器人的使用减少了就业和工资<sup>[4]</sup>。Beaudry等研究发现,智能化技术的使用会促使高技能劳动力从事低技能工作,造成的结果是大量低技能劳动力失业以及就业结构呈现极化趋势<sup>[5]</sup>。闫雪凌等通过实证研究发现,机器人的使用显著减少了岗位数量,且机器人的就业效应存在明显的行业异质性<sup>[6]</sup>。

关于工业智能化对全要素生产率的影响。乔晓楠等认为,人工智能对劳动生产率的影响包含两条路径:一是人工智能技术的使用存在替代作用,通过替代大量常规性工作,员工有更多的时间去从事创造性工作;二是人工智能技术的使用和员工之间存在互补效应,员工可以突破自身极限,增强劳动能力<sup>[7]</sup>。李廉水等通过实证研究发现,智能化对全要素生产率的增加有显著的正向作用,且作用强度存在明显的地区异质性<sup>[8]</sup>。刘亮等基于中国制造业的样本数据,通过实证研究发现,人工智能能够促进全要素生产率的增长,对于不同行业来说,中高技术行业的影响效应更强<sup>[9]</sup>。

关于工业智能化对创新的影响。陈岩等通过梳理2005—2019年129篇公开发表的智能服务和企业创新相关文献,认为智能服务对企业创新的影响机制主要包括协同机制和替代机制<sup>[10]</sup>。周文辉等以尚品宅配作为研究对象,从员工赋能和顾客赋能的视角出发,认为数字化赋能对企业创新有着明显的正向作用<sup>[11]</sup>。余菲菲等采用案例分析法,认为数字技术赋能对企业技术创新影响的机制包括三个方面:以技术整合为中心的产业链协同创新、以产品智能化为中心的开放式创新、以消费者个性化需求为导向的两端创新<sup>[12]</sup>。张龙鹏等基于2001—

2016年中国企业的样本数据,通过实证研究发现,人工智能产业融合显著促进了技术创新数量和质量提升,且产业技术水平越高,人工智能技术融合表现出的技术创新效应越强<sup>[13]</sup>。

关于工业智能化影响因素的研究,学者们的研究成果并不多。Acemoglu等研究发现,老龄化速度加快会促进工业智能化技术的广泛使用与发展<sup>[14]</sup>。Cheng等根据中国企业的调查数据研究发现,劳动力出现短缺与用工成本提高正加速制造业的机器人化<sup>[15]</sup>。Fan等依据工业企业数据库和海关数据库研究发现,企业劳动力成本是影响企业是否使用机器人的主要因素<sup>[16]</sup>。另外,关于最低工资标准的提高对工业企业自动化的影响,也有学者初步进行了分析。例如,綦建红等依据2000—2013年中国工业企业数据库和海关数据库,探讨最低工资政策对工业机器人应用的影响效应,结果表明,《最低工资规定》的实施对工业机器人应用有着显著的正向作用,而且最低工资政策主要通过成本替代效应和政策遵从加强来促进工业机器人应用<sup>[17]</sup>。王小霞等也依据2000—2013年中国工业企业数据库和海关数据库,实证分析最低工资标准提高对工业企业自动化的影响效应,结果表明,最低工资标准的提高会加快企业自动化程度的提高,而且最低工资主要通过成本替代效应加快工业企业自动化的步伐<sup>[18]</sup>。

综上所述,目前学术界主要集中探讨了工业智能化对劳动力市场、全要素生产率和创新等方面的影响,而关于工业智能化影响因素的研究并不多。区别于既有文献,本文的边际贡献在于:一是进一步完善了最低工资标准对工业企业自动化的影响机制。已有文献发现,最低工资标准会通过替代效应提升工业企业自动化程度,但是忽视了最低工资标准的互补效应对工业企业自动化的影响。本文则拓展了最低工资标准对工业企业自动化的影响机制,从最低工资标准的替代效应机制与互补效应机制来探讨最低工资标准对工业企业自动化的影响。

二是采用 2006—2019 年的统计数据,实证检验最低工资标准对工业企业自动化的影响,使研究结论更为可靠。蔡建红等的研究样本时间均为 2000—2013 年<sup>[17-18]</sup>,但是 2006 年以前,我国工业企业自动化发展很缓慢,工业机器人的使用也是寥寥无几,2013 年以后,工业机器人的新安装量才出现大幅度增加<sup>[6]</sup>,因此以上研究可能存在样本选择偏误。

## 二、机制分析

已有研究发现,《最低工资规定》的实施是工资成本不断提升的根本原因之一<sup>[19]</sup>。在劳动力成本不断上涨的情况下,企业资本以及其他要素成本都会不断上涨,进一步引发企业成本的上升<sup>[20]</sup>,企业正常经营变得愈发困难。Harasztosi 等通过研究匈牙利 2000 年后最低工资标准的快速增长,发现最低工资上升对企业利润率有负向影响<sup>[21]</sup>。Du 等借助企业层面的数据,研究发现最低工资标准的调整对企业出口的比较优势有负向影响,降低了出口概率<sup>[22]</sup>。为减小企业盈利所受到的不利影响,企业很可能会进行生产要素的替换,加快企业智能化转型的进程。Hicks 认为,生产要素之间存在相互替代的关系,一种生产要素的相对价格上升时,企业会减少对该生产要素的需求,转而使用其他生产要素来进行替代<sup>[23]</sup>。例如,当工人工资上涨时,企业会减少劳动要素的需求,用技术和资本代替劳动要素进而达到预期的生产目标。Aaronson 等研究发现,最低工资上升对低技能员工成本有正向影响,因而企业将技术与员工进行替代来达到预定生产目标<sup>[24]</sup>。因此,《最低工资规定》的实施存在要素替代效应,使追求利润最大化的企业减少对劳动要素的需求,选择用资本和技术要素来替代劳动,例如,引入工业机器人等智能化生产技术,加快企业机器人化的速度。尤其是当最低工资标准快速上涨时,企业经营风险增加,盈利空间减小,企业生存与竞争所面临的局面愈加严峻<sup>[25]</sup>。

Murphy 等研究发现,工资成本的上升对行业的转型升级有正向影响<sup>[26]</sup>。朱兰等借助广东省制造业相关数据,使用 Probit 模型探讨人工成本与企业转型方式选择之间的关系,通过实证研究发现,人工成本上升对制造业转型升级有显著的正效应,提高了企业“机器换人”的概率;通过分样本回归发现,企业转型升级概率会受地区与行业比较优势的影响<sup>[27]</sup>。王小霞等基于 2002—2007 年专利申请数据,通过实证研究发现,最低工资上升对企业转型升级有显著的正向影响,且在创新水平与企业类型方面存在明显的异质性<sup>[28]</sup>。为应对最低工资标准不断提高所带来的影响,企业可能通过“机器换人”的方法来提高自身工业智能化程度,进而提高自身生产效率。

基于此,本文提出假说 H1:最低工资标准的提高会通过生产要素之间的替代,推动行业加快“机器换人”的速度,从而提高工业智能化程度。

人才是产业发展的基础和关键所在。作为国家及业界广泛关注的领域,工业智能的快速发展需要人才进行支撑。例如,作为工业 4.0 的重要代表,工业机器人的日常维护、安装等都需要专业人才参与。工业智能是一项复杂的系统工程,其发展所需要的专业人才必须具备全面的综合能力。只有人才与工业智能进行协作,才能有效促进工业智能化程度的提高。Flug 等研究发现,机器设备的引入对企业高技能劳动力的需求有正向影响<sup>[29]</sup>。李建强等基于资本—技能互补理论,认为先进设备的引进使得企业必须雇佣高技能劳动力与之进行匹配<sup>[30]</sup>。最低工资标准的快速增长对劳动力工资的影响日渐显著。一方面,工资水平处于最低工资标准以下的劳动力,最低工资标准的增长必然会对其工资水平产生正向作用;另一方面,《最低工资规定》的实施对高工资水平劳动力也会产生影响。最低工资标准的提高大幅度提升了雇佣低技能劳动力的成本,可能会使得

企业更加青睐于高技能劳动力,由市场供给和需求理论可知,高技能劳动力的工资水平会相应增加。此外,为了保证工资行为存在激励效应,企业在制定不同技能劳动力的工资标准时需保持一定的工资差。因此,最低工资标准的不断调整使得低技能劳动力工资水平提高的同时,也可能对高技能劳动力的工资水平产生促进作用。张世伟等通过分析最低工资标准的收入分配效应,发现《最低工资规定》的实施对低技能劳动力的工资水平有显著的正向作用<sup>[31]</sup>。贾朋等基于中国健康与营养调查数据,通过实证研究发现,《最低工资规定》的实施对高工资水平的劳动力存在溢出效应,显著提高了高收入群体的工资<sup>[32]</sup>。总之,最低工资标准的提高不仅会促进低技能人员工资水平的提升,也会对高技能人员的工资水平产生更强的促进作用。高工资更受劳动力的青睐,更容易吸引高技能劳动力,形成人才集聚,使得高技能劳动力与工业智能相互协作,二者产生互补效应,从而推进工业智能化的进程。同时,最低工资的提高促使企业更加注重员工在职培训,通过增加在职培训方面的支出以提高员工的技能和素质。Acemoglu 等认为,企业增加培训支出,其真实回报可能会超过以工资衡量的培训回报<sup>[33]</sup>。在实施《最低工资规定》后,企业培训带来的实际收益可能会远大于其产生的实际成本,理性的企业必然会注重员工的在职培训,提高员工的基本技能与工作素养。Acemoglu 等研究发现,最低工资标准越高,高技能员工将会有更多的培训机会<sup>[34]</sup>。培训成本的增加,会对企业自身的员工结构进行改善,增加本地区高技能劳动力占比,形成人才集聚,使得高技能劳动力与工业智能进行协作,产生互补效应,进而促进工业智能化程度的提高。

基于此,本文提出假说 H2:最低工资标准的提高会通过高技能劳动力与工业智能进行协作产生互补效应,从而加快机器人化的速度,提高工业智能化程度。

### 三、研究设计

#### (一)研究样本与数据来源

本文以 2006—2019 年我国各省份的数据作为研究对象,考虑到数据的可获得性,主要以除西藏自治区及港澳台地区以外的 30 个省份的相关数据为主。上述数据源于国际机器人联合会(IFR)、《中国统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》。

#### (二)变量选取

##### 1. 被解释变量

本文采用机器人安装密度( $Rob$ )作为工业智能化的代理变量,数据源于 2006—2019 年国际机器人联合会(IFR),该数据在学术界已经得到了广泛认可。与工业机器人进口贸易数据相比,该数据能够更好地反映工业机器人的使用情况。由于 IFR 公布的机器人安装数据属于行业层面,并不能直接反映我国各省份的机器人安装情况,因此本文借鉴康茜、林光华和芦婷婷、祝志勇的测算方法<sup>[35-36]</sup>,对样本数据作出处理。具体公式如下:

$$Rob_{it} = \sum_{j=1}^n (R_{jt} \times I_{ijt}) \quad (1)$$

其中, $Rob_{it}$  代表  $i$  省  $t$  年的机器人安装密度, $R_{jt}$  代表  $j$  行业  $t$  年的工业机器人安装量, $I_{ijt}$  代表  $i$  省  $j$  行业  $t$  年就业人数占当年就业总数的比重。

由于 IFR 所公布数据的行业分类标准与我国的不完全一致,因而本文行业分类方法借鉴闫雪凌等的成果<sup>[6]</sup>,将 IFR 公布的 14 个行业大类与我国国民经济行业分类进行匹配。考虑到制造业细分代码在 2006—2019 年有 GB/T4754—2002、GB/T4754—2011 和 GB/T4754—2017 三个版本,铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业这个大类的 2006—2011 年就业数据缺失,为保持一致性,本文只计算除铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业之外 13 个行业大类的机器人安装密度,并进行对数化处理。

## 2. 解释变量

本文所使用的最低工资数据主要来自各省份政府网站、政策法规、统计公告等,首先得到县级层面 2006—2019 年的最低工资标准(*Minimum*)数据。在所收集的县级层面数据基础上,本文根据最低工资标准调整的时间节点进行区域调整与时间调整,得到地级层面的最低工资标准;<sup>③</sup>再以各省份地级层面 GDP 占该省 GDP 的比重为权数进行加权平均计算,最终得到省级层面的最低工资标准。为消除异方差,减少数据的波动,对解释变量最低工资标准还进行了对数化处理。

## 3. 控制变量

(1)经济发展水平(*GDP*)为工业智能化提供坚实的经济基础,对工业智能化程度的提高产生影响,因此本文用各省份 GDP 与该省常住人口的比值来衡量,并进行对数化处理;(2)交通设施水平(*Traffic*)的提高可能会降低区位约束,打破机器人安装的长距离限制,对工业智能化程度的提高产生影响,因此本文用各省份公路里程数与该省省域面积的比值衡量;(3)城镇化水平(*Urbanization*)能保障工业智能化程度提高所需的劳动力,因此本文用各省份城镇人口占该省总人口的比重衡量;(4)对外开放程度(*Open*)是加快推进产业结构优化升级的关键因素,因此本文用各省份进出口总额占该省 GDP 的比重衡量;(5)固定资产投资水平(*Asset*)会对行业流动资金产生影响,影响行业智能化程度的提高,因此本文用各省份固定资产投资总额与该省常住人口的比值衡量。以上数据均源于 2007—2020 年的《中国统计年鉴》。

## (三)基准模型设定

根据上文的理论分析,最低工资标准的提高对工业智能化程度的提升有明显的正向作用。为进一步探讨最低工资标准对工业智能化的影响,本文将机器人安装密度取对数(*LnRob*-

*b<sub>it</sub>*)作为被解释变量的衡量指标;最低工资标准取对数(*LnMinimum<sub>it</sub>*)作为解释变量的衡量指标;选取经济发展水平取对数(*LnGDP<sub>it</sub>*)、交通设施水平(*Traffic<sub>it</sub>*)、固定资产投资水平(*Asset<sub>it</sub>*)、城镇化水平(*Urbanization<sub>it</sub>*)、对外开放程度(*Open<sub>it</sub>*)作为控制变量,设定如下基准计量模型:

$$\begin{aligned} \text{LnRob}_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \text{LnMinimum}_{it} + \beta_1 \text{LnGDP}_{it} + \\ & \beta_2 \text{Traffic}_{it} + \beta_3 \text{Asset}_{it} + \beta_4 \text{Urbanization}_{it} + \\ & \beta_5 \text{Open}_{it} + \delta_i + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

其中,*i* 表示省份,*t* 表示年份; $\alpha_0$  为常数项, $\alpha_1$  为解释变量所对应的系数, $\beta_1 - \beta_5$  为相应控制变量所对应的系数, $\delta$  为省份固定效应, $\epsilon$  为随机误差项。

## 四、实证分析

### (一)描述性统计

表 1 为上述变量的描述性统计结果。从统计结果可以看出,最低工资标准(*Minimum*)最大值为 2 455.12,最小值为 322.06,说明各省份之间最低工资标准存在较大差异且出现了快速增长的情况;机器人安装密度(*Rob*)最大值为 143 562.13,最小值为 14.25,最大值与最小值差距有超 140 000 之多,这表明近年来我国机器人化的速度明显迅猛增长,智能化生产已经是大势所趋,工业智能化程度显著提高。

### (二)基准回归结果

表 2 报告了最低工资标准变化对工业智能化程度影响的基准回归结果。其中,列(1)报告了在控制省份效应且不加入相关控制变量的情况下,最低工资标准变动的回归结果。列(2)报告了加入相关控制变量的回归结果。从估计结果可以看出,*LnMinimum* 对 *LnRob* 的影响效应均在 1% 的水平上显著为正。具体来看,在不加入控制变量的情况下,*LnMinimum* 每增加 1%,*LnRob* 将提高 3%;加入控制变量之后,*LnMinimum* 每增加 1%,*LnRob* 将提高 1.60%。

表 1 描述性统计

	变量含义	样本数	标准差	最小值	中位数	最大值
<i>Minimum</i>	最低工资标准	420	444.83	322.06	1 049.74	2 455.12
<i>Rob</i>	机器人安装密度	420	13 435.66	14.25	1 611.96	143 562.13
<i>Urbanization</i>	城镇化水平	420	0.14	0.27	0.53	0.90
<i>Traffic</i>	交通设施水平	420	0.48	0.07	0.86	2.13
<i>Open</i>	对外开放程度	420	0.32	0.01	0.15	1.67
<i>Asset</i>	固定资产投资水平	420	1.83	0.28	2.76	8.86
<i>GDP</i>	经济发展水平	420	26 767.39	6 103.00	35 808.00	164 563.00

表 2 基准回归

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>FE</i>	<i>FE</i>	<i>Q25</i>	<i>Q50</i>	<i>Q75</i>
	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>
<i>LnMinimum</i>	3.001 6*** (70.692 2)	1.606 9*** (11.552 0)	1.436 5*** (6.552 9)	1.801 5*** (4.070 6)	2.024 6*** (8.251 9)
<i>LnGDP</i>		1.121 9*** (6.702 9)	1.402 5*** (4.771 2)	1.461 3*** (3.963 7)	1.250 7*** (4.952 0)
<i>Asset</i>		-0.069 8*** (-3.168 2)	0.051 8 (0.674 6)	0.063 4 (0.595 5)	0.032 1 (0.553 0)
<i>Traffic</i>		1.233 8*** (4.950 4)	1.634 5*** (14.066 4)	1.365 1*** (5.623 3)	0.632 1*** (4.059 2)
<i>Urbanization</i>		1.346 8 (1.243 4)	-5.171 8*** (-6.456 9)	-6.279 4*** (-4.609 5)	-3.300 1** (-2.232 3)
<i>Open</i>		-1.163 2*** (-6.208 0)	-0.274 0 (-1.022 0)	0.249 7 (0.664 9)	0.252 6 (1.260 2)
控制变量	否	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	否	否	否
样本量	420	420	420	420	420
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.922 2	0.946 2	0.542 6	0.554 6	0.590 5

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%、10%的显著性水平,括号内为*t*值。下同。

因此,实证结果显示了最低工资标准的提高有利于工业智能化程度的提高。表2列(3)–(5)报告了三个分位点(0.25、0.5、0.75)下最低工资标准与工业智能化的关系,结果表明,最低工资标准在机器人安装密度较高的地区作用力度更大,主要原因可能是机器人安装密度较高的地区最低工资标准较高,企业进行生产经营活动受到的影响较大,进行智能化转型的意愿更强。从实证检验结果看出,最低工资标准的提高能够促进机器人安装密度的提高,意味着《最

低工资规定》的实施能加速我国企业智能化转型的进程。其中存在的原因可能包含两个方面:一方面,最低工资标准存在替代效应,它的提高会使企业进行要素替代,选择用资本和技术替代劳动要素,加快机器人化的速度,进而提高工业智能化程度,提高生产效率,以达到预定的生产目标;另一方面,最低工资标准存在互补效应,它的提高会影响本地区的高技能劳动力占比,而高技能劳动力和工业智能相互协作产生互补效应,从而促进企业工业智能化程度的提高。

从控制变量来看,经济发展水平( $LnGDP$ )对机器人安装密度( $LnRob$ )的影响效应在 1% 的水平上显著为正,说明经济发展水平的提高能够促进工业智能化程度的提高,可能的原因在于经济水平越高的省份,技术水平越高,自身具备较高的规模效应,有利于工业智能化程度的提高。固定资产投资水平( $Asset$ )对机器人安装密度( $LnRob$ )的影响效应在 1% 的水平上显著为负,说明固定资产投资水平抑制了工业智能化程度的提高,可能的原因在于行业固定资产持有量过多,可能会导致行业流动资金过少,行业的发展受到了限制,长此以往对行业的智能转型产生负向影响。交通设施水平( $Traffic$ )对机器人安装密度( $LnRob$ )的影响效应在 1% 的水平上显著为正,说明交通设施水平能够显著提高工业智能化程度,可能原因在于交通设施水平越高,区位约束越小,机器人的安装打破长距离限制,更有利于工业智能化程度的提高。城镇化水平( $Urbanization$ )对机器人安装密度( $LnRob$ )的影响效应为正但不显著,可能的原因在于城镇化水平的提高意味着大量农村人口涌入城市,劳动力的数量大幅度增加,需要大量的就业岗位,企业的智能化发展需要劳动力,短期内对工业智能化程度的提高产生影响,但伴随着城镇化的不断加快,劳动力供给不断增加,而就业岗位毕竟有限,过少的岗位面对过多的劳动力,劳动力供给增加所带来的有利影响受到了削弱,对企业智能化转型所产生的有利影响也受到了削弱。对外开放程度( $Open$ )对机器人安装密度( $LnRob$ )的影响效应在 1% 的水平上显著为负,说明对外开放程度抑制了工业智能化程度的提高,可能的原因在于对外开放程度过高,意味着我国的外贸依存度过高,由此可能会带来一系列问题,如外贸摩擦增加、就业市场波动、不稳定因素增加等,对我国企业的智能转型产生负向影响。

### (三)稳健性检验

为了确保上述实证结论的稳健性,本文通过一系列稳健性检验重新研究最低工资标准对工业智能化的影响。

#### 1. 更换核心变量

一方面,为避免解释变量核算方法可能带来的实证结果误差,确保实证检验结果的可靠性,本文更换解释变量的核算方法来检验实证结果的稳健性。借鉴杨思莹等的方法<sup>[37]</sup>,用最低工资标准的相对指标进行重新测度,即使用最低工资标准与各省份城镇居民消费性支出的比值衡量,以此反映最低工资标准对居民消费的相对水平,回归结果如表 3 列(1)所示。从表 3 列(1)的估计结果来看,在更换最低工资标准的核算方法后,最低工资标准( $LnMinimum^1$ )对工业智能( $LnRob$ )的影响效应仍在 1% 的水平上显著为正。

另一方面,为了防止被解释变量测算误差对估计结果的影响,进一步检验最低工资标准提高促进工业智能化程度提高结论的稳健性,本文更换被解释变量的测算方法来检验实证结果的稳健性。借鉴康茜、林光华和芦婷婷、祝志勇的研究成果<sup>[35-36]</sup>,用机器人存量密度作为工业智能化的衡量指标。具体公式依旧和公式(1)保持一致,将  $Rob_{it}$  更换为  $Rob_{it}^1$ ,代表  $i$  省  $t$  年的工业机器人存量密度; $R_{jt}$  更换为  $R_{jt}^1$ ,代表  $j$  行业  $t$  年的工业机器人存量。回归结果如表 3 列(2)所示。从表 3 列(2)的回归结果来看,在更换工业智能化的测算方法后,工业智能化( $LnRob^1$ )受最低工资标准( $LnMinimum$ )影响的效应仍在 1% 的水平上显著为正。

#### 2. 考虑政策影响

在本文的研究期间内,政策的不断变化可能会对回归结果产生影响,其中最为明显的就是 2008 年《劳动合同法》的实施<sup>[17]</sup>。此外,Fan 等认为,2013 年之后中国机器人数量的爆发式增长受到“中国制造 2025”和“十三五”规划的



表3 稳健性检验

	更换解释变量	更换被解释变量	考虑政策影响	
	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i> <sup>1</sup>	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>
<i>LnMinimum</i>		2.157 1*** (10.607 9)	1.569 8*** (11.068 5)	1.035 2*** (5.628 8)
<i>LnMinimum</i> <sup>1</sup>	4.710 6* (1.655 8)			
<i>LnGDP</i>	2.357 0*** (15.979 7)	-0.481 1* (-1.966 1)	1.088 4*** (6.363 9)	1.898 3*** (9.664 3)
<i>Asset</i>	-0.042 5* (-1.664 7)	-0.009 0 (-0.279 4)	-0.070 5*** (-3.158 9)	-0.111 1** (-2.140 5)
<i>Traffic</i>	1.096 1*** (3.791 4)	-0.552 5** (-2.017 2)	1.150 0*** (4.462 1)	1.816 9*** (4.633 6)
<i>Urbanization</i>	2.613 4** (2.085 9)	1.189 9*** (3.266 0)	2.218 2* (1.962 3)	-3.770 3** (-2.515 4)
<i>Open</i>	-1.644 3*** (-7.534 9)	4.258 9*** (2.689 6)	-1.264 1*** (-6.466 3)	-0.474 5** (-1.974 8)
省份固定效应	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
样本量	420	420	390	210
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.928 1	0.839 3	0.946 5	0.927 3

影响,政府制定的一系列扶持政策加快了企业机器人化的速度<sup>[16]</sup>。为验证本文的实证结果并非受政策实施的影响,本文分别剔除 2008 年与 2013—2019 年的数据样本,回归结果如表 3 列(3)、列(4)所示。从表 3 列(3)、列(4)的回归结果来看,排除上述政策的影响并不会更改最低工资标准估计系数的符号方向与显著性水平,本文的估计结果仍具有较高的稳健性。

3. 调整样本数据

考虑到我国高科技产业大多集中在北京市、上海市、广东省、江苏省、浙江省,因而本文在原有样本的基础上剔除这些省(市)的样本数据,结果如表 4 列(5)所示。此外,考虑到直辖市有着特殊的政治经济环境,可能会对实证结果产生影响,因而本文在原有样本的基础上剔除北京市、上海市、重庆市、天津市的样本数据,结果如表 4 列(6)。从实证结果来看,最低工资

标准估计系数的符号方向并未发生变化,且在 1%的水平上显著。因此,在调整样本数据后,最低工资标准对工业智能化存在正向影响的结论仍具有可靠性。

4. 缩尾与截尾处理

考虑到极端值可能会对估计结果产生影响,本文对被解释变量机器人安装密度进行前后 1%的缩尾与截尾处理,结果如表 4 列(7)、列(8)所示。从表 4 列(7)、列(8)的实证结果可知,最低工资标准(*LnMinimum*)对工业智能化(*LnRob*)的影响依然为正,且在 1%的水平上显著。这表明,剔除被解释变量的极端值后,最低工资标准促进工业智能化程度提高的实证结论依然具有稳健性。

综上所述,经过一系列稳健性检验后,本文研究结论依然成立:最低工资标准的提高有利于工业智能化程度的增强。

表 4 其他稳健性检验

	调整样本		1%双边缩尾	1%双边截尾
	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>	<i>LnRob</i>
<i>LnMinimum</i>			1.663 2*** (11.951 8)	1.692 1*** (12.209 6)
<i>LnMinimum</i> <sup>2</sup>	1.606 1*** (10.650 0)			
<i>LnMinimum</i> <sup>3</sup>		1.485 7*** (9.403 2)		
<i>LnGDP</i>	0.901 4*** (5.224 7)	0.991 4*** (5.392 4)	1.007 8*** (6.018 6)	1.079 6*** (6.443 3)
<i>Asset</i>	-0.038 3 (-1.639 1)	-0.064 0*** (-2.678 3)	-0.063 7*** (-2.887 8)	-0.068 6*** (-3.147 2)
<i>Traffic</i>	1.400 4*** (5.380 4)	1.115 0*** (3.453 3)	1.326 9*** (5.322 2)	1.239 5*** (4.987 6)
<i>Urbanization</i>	2.062 6 (1.647 7)	3.049 2** (2.397 9)	1.393 8 (1.286 3)	1.086 5 (1.007 9)
<i>Open</i>	0.136 6 (0.449 9)	-1.374 9*** (-5.748 2)	-1.029 5*** (-5.492 3)	-0.915 8*** (-4.671 3)
省份固定效应	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是
样本量	350	364	420	412
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.945 4	0.942 2	0.945 2	0.946 4

#### (四)内生性分析

考虑到内生性问题可能会造成估计系数有偏,为了尽可能降低实证结论受内生性问题所带来的影响,本文将从以下几方面进行处理。

首先,控制变量滞后一期。考虑到控制变量与工业智能化之间可能会存在反向因果关系,借鉴杨思莹等的方法<sup>[37]</sup>,本文将所有的控制变量进行滞后一期处理,并代入模型(2)进行重新回归,结果如表 5 列(1)所示。从表 5 列(1)结果可以看出,最低工资标准(*LnMinimum*)估计系数的符号方向并未发生变化,且在 1%的水平上显著。因此,在所有控制变量进行滞后一期处理后,最低工资标准对工业智能化存在正向影响的结论仍具有可靠性。

其次,添加更多的控制变量。作为一项持

续演进、迭代提升的系统工程,工业智能化的实现需要长期坚持。在此过程中,工业智能化会受到来自经济系统中诸多因素的影响,如经济发展水平、市场化水平等,受数据可获得性限制,本文尚无法控制全部有关变量,这使得前述的实证结论会有一定程度上的遗漏变量问题。基于上述考虑,本文在原有控制变量的基础上进一步加入常住人口数(*People*)、劳动力结构(*Labstruc*)、金融发展水平(*Finance*)、教育投入(*Edu*)、市场规模(*Market*)、产业发展水平(*Industry*)等变量。具体而言,常住人口数,用各省份常住人口数衡量,并进行对数化处理;劳动力结构,借鉴阳立高等的测度方法<sup>[38]</sup>,用各省份总抚养比衡量,其中包含少儿抚养比和老年赡养比;金融发展水平,用各省份存贷款余额

占该省 GDP 的比重衡量;教育支出,用各省份财政支出中教育支出占该省 GDP 的比重衡量;市场规模,用各省份 GDP 占当年全国 GDP 的比重衡量;产业发展水平,用各省份第三产业产值占该省 GDP 的比重衡量。上述控制变量均源于 2007—2020 年的《中国统计年鉴》。将上述控制变量代入模型(2)重新进行估计,结果如表 5 列(2)所示。从表 5 列(2)的估计结果来看,最低工资标准( $LnMinimum$ )对工业智能化( $LnRob$ )的影响效应依然为正,且在 1%的水平上显著。因此,在添加控制变量的前提下,最低工资标准对工业智能化依然表现为促进作用,与前述结论保持一致。

最后,工具变量法。本文选择滞后一期的最低工资标准作为工具变量( $IV$ )进行内生性检验,并采用两阶段最小二乘法(2SLS)重新进行回归,结果如表 5 列(3)所示。从表 5 列(3)估计结果可以看出,最低工资标准( $LnMinimum$ )的估计系数为正,且在 1%水平上显著。因此,在使用工具变量进行内生性分析之后,最低工资标准估计系数的符号方向与显著性水平并未改变,最低工资标准依然对工业智能化产生正向影响。

前述估计结果表明,控制了模型的内生性问题后,最低工资标准促进工业智能化这一结论依旧成立。

### (五)机制分析

前文实证结果表明,最低工资标准的提高可以促进工业智能化程度的提升。深入剖析其作用机制,本文认为,最低工资标准可以通过替代效应与互补效应两种机制对工业智能化程度的提升产生影响。

最低工资标准的提高使得企业用工成本增加,对员工的工资水平有显著正向作用<sup>[39]</sup>,工资成本的增加对企业的正常经营产生影响。根据要素替代理论,企业通过减少对劳动要素的需求,用资本和技术代替劳动要素进而达到预期的生产目标。因此,《最低工资规定》的实施存在替代效应,本文用工资水平作为中介变量

表 5 内生性分析

	(1)	(2)	(3)
	$LnRob$	$LnRob$	$LnRob$
$LnMinimum$	1.546 5*** (9.618 7)	1.136 3*** (8.003 8)	2.369 5*** (9.977 6)
$L.LnGDP$	-0.697 6*** (3.839 6)		
$L.Asset$	-0.014 3 (-0.560 8)		
$L.Traffic$	1.261 4*** (4.313 4)		
$L.Urbanization$	2.730 7** (2.338 8)		
$L.Open$	-1.190 1*** (-5.925 8)		
$LnGDP$		1.613 7*** (10.338 2)	0.935 1*** (4.037 6)
$Asset$		-0.042 8** (-2.027 6)	-0.033 4 (-0.799 5)
$Traffic$		0.830 6*** (3.668 0)	1.348 0*** (14.820 9)
$Urbanization$		0.936 8 (0.963 6)	-4.135 9*** (-6.512 6)
$Open$		-0.702 3*** (-3.681 6)	0.207 7 (1.061 4)
$LnPeople$		2.185 5*** (4.749 8)	
$Labstruc$		0.028 2*** (6.475 5)	
$Finance$		0.053 9** (2.141 2)	
$Edu$		-5.392 6** (-2.362 1)	
$Market$		-25.443 1*** (-4.638 0)	
$Industry$		-0.345 9** (-2.155 5)	
省份固定效应	是	是	是
更多控制变量	否	是	否
控制变量	是	是	是
样本量	390	420	390
$R^2$	0.933 9	0.958 8	0.749 6

对该机制进行探讨。此外,《最低工资规定》的实施使得本地区高技能劳动力占比增加,形成人才集聚,使得高技能劳动力与工业智能相互协作,产生互补效应,从而提升工业智能化程度。因此,《最低工资规定》的实施存在互补效应,本文用高技能劳动力占比作为中介变量对该机制进行探讨。借鉴 Baron 等的中介效应模型构建思路<sup>[40]</sup>,设定模型如下:

$$\ln Rob_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Minimum_{it} + \sum_{m=1}^5 \beta_m Z_{it}^m + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln Average_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln Minimum_{it} + \sum_{m=1}^5 \varphi_m Z_{it}^m + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln Rob_{it} = \phi_0 + \phi_1 \ln Minimum_{it} + \phi_2 \ln Average_{it} + \sum_{m=1}^5 \eta_m Z_{it}^m + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$Technology_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln Minimum_{it} + \sum_{m=1}^5 \varphi_m Z_{it}^m + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\ln Rob_{it} = \phi_0 + \phi_1 \ln Minimum_{it} + \phi_2 Technology_{it} + \sum_{m=1}^5 \eta_m Z_{it}^m + \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

上式中,中介变量 *Average*、*Technology* 分别为工资水平和高技能劳动力占比。其中,工资水平采用职工平均工资衡量,并进行对数化处理,数据源于 2007—2020 年的《中国人口和就业统计年鉴》;高技能劳动力占比采用高技术产业就业人数与总就业人数的比值来衡量,产业的分类参照刘娜等的方法<sup>[41]</sup>,数据源于 2007—2020 年的《中国统计年鉴》。*Z* 为控制变量集,*i* 为省份,*t* 为年份,*m* 为控制变量个数, $\delta$  为省份固定效应, $\varepsilon$  为随机误差项。

温忠麟等认为,当回归系数  $\alpha_1$  显著时,如果回归系数  $\gamma_1$  和  $\phi_2$  显著性水平保持一致,说明存在间接效应,当  $\phi_1$  不显著时,则存在完全中介效应;当  $\phi_1$  显著时,若回归系数  $\gamma_1 \phi_2$  与  $\phi_1$  符号方向相同,则存在部分中介效应,若回

归系数  $\gamma_1 \phi_2$  与  $\phi_1$  符号方向相反,则存在遮掩效应<sup>[42]</sup>。

最低工资标准对工业智能化的机制检验结果如表 6 所示,列(1)为模型(3)的实证结果,列(2)为模型(4)的实证结果,列(3)为模型(5)的实证结果,列(4)为模型(6)的实证结果,列(5)为模型(7)的实证结果。

列(2)机制检验结果表明,在以职工平均工资(*LnAverage*)为被解释变量且控制影响因素的情况下,最低工资标准(*LnMinimum*)的回归系数( $\gamma_1$ )在 1% 的水平上显著为正,可以清晰地看出最低工资标准可以促进职工平均工资的增加。由列(3)的机制检验结果可知:中介变量职工平均工资(*LnAverage*)回归系数( $\phi_2$ ) 在 1% 的水平上显著为正;解释变量最低工资标准(*LnMinimum*)的回归系数( $\phi_1$ ) 在 1% 的水平上显著为正。此时, $\gamma_1 \phi_2$  与  $\phi_1$  同号,说明职工平均工资(*LnAverage*)在最低工资标准(*LnMinimum*)与工业智能化(*LnRob*)之间存在部分中介效应。《最低工资规定》的实施使得企业工资成本的增加,对企业的正常经营带来更大压力。企业通过减少对劳动要素的需求,用资本与技术要素替代劳动,如引入工业机器人和生产线改造等,加快“机器换人”的速度,进而提高工业智能化程度,改善目前所面临的困境。

列(4)机制检验结果表明,在以高技能劳动力占比(*Technology*)为被解释变量且控制影响因素的情况下,最低工资标准(*LnMinimum*)的回归系数( $\gamma_1$ ) 在 1% 的水平上显著为正,可以清晰地看出最低工资标准的提高可以促进高技能劳动力占比的增加。由列(5)的机制检验结果可知:中介变量高技能劳动力占比(*Technology*)回归系数( $\phi_2$ ) 在 1% 的水平上显著为正;解释变量最低工资标准(*LnMinimum*)的回归系数( $\phi_1$ ) 在 1% 的水平上显著为正。此时, $\gamma_1 \phi_2$  与  $\phi_1$  同号,说明高技能劳动力占比(*Technology*)在最低工资标准(*LnMinimum*)

表 6 机制分析

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	<i>LnRob</i>	<i>LnAverage</i>	<i>LnRob</i>	<i>Technology</i>	<i>LnRob</i>
<i>LnMinimum</i>	1.606 9*** (11.552 0)	0.400 5*** (13.651 4)	0.781 9*** (5.114 3)	0.022 9*** (3.852 2)	1.458 4*** (10.693 0)
<i>LnAverage</i>			2.059 8*** (9.439 2)		
<i>Technology</i>					6.481 6*** (5.643 6)
<i>LnGDP</i>	1.121 9*** (6.702 9)	0.560 6*** (15.881 0)	-0.032 9 (-0.169 1)	-0.004 1 (0.575 3)	1.095 2*** (6.798 3)
<i>Asset</i>	-0.069 8*** (-3.168 2)	-0.010 1** (-2.168 8)	-0.049 1** (-2.453 2)	-0.000 3 (-0.352 9)	-0.067 7*** (-3.190 8)
<i>Traffic</i>	1.233 8*** (4.950 4)	0.043 6 (0.830 1)	1.143 9*** (5.084 6)	0.032 5*** (3.054 5)	1.022 8*** (4.214 9)
<i>Urbanization</i>	1.346 8 (1.243 4)	0.430 3* (1.883 5)	0.460 5 (0.469 2)	-0.111 6** (-2.410 7)	2.070 4** (1.971 8)
<i>Open</i>	-1.163 2*** (-6.208 0)	-0.281 8*** (-7.131 5)	-0.582 7*** (-3.240 3)	-0.035 7*** (-0.459 2)	-0.931 7*** (-5.039 5)
省份固定效应	是	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是	是
样本量	420	420	420	420	420
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.946 2	0.978 0	0.956 3	0.398 8	0.950 2

与工业智能化(*LnRob*)之间存在部分中介效应。自 2004 年实施《最低工资规定》以来,最低工资标准一直保持上升趋势,导致企业生存与竞争局面变得愈发严峻。为了尽可能减小最低工资标准上升所带来的影响,企业通过提高本地区高技能劳动力占比,产生人才集聚,使得高技能劳动力和工业智能二者相互协作,产生互补效应,进而促进地区工业智能化程度的提高。

通过上述分析可知,替代效应和互补效应在最低工资标准与工业智能化之间存在部分中介效应,验证了假说 H1、假说 H2。

(六)异质性分析

本文分别从地区异质性与行业异质性两个层面对最低工资标准与工业智能化的关系进行异质性考察。

1. 地区异质性

不同地区在经济发展水平、市场化水平等方

面存在较大差异,而这些差异的存在可能使得最低工资标准对工业智能化的影响效应存在地区异质性。因此,本文将全国 30 个省份划分为东、中、西部地区,进一步从地区的视角对工业智能化受最低工资标准变化影响的效应进行更加详细的考察,具体结果如表 7 列(1)–(3)所示。结果显示,东部、中部与西部地区工业智能化程度(*LnRob*)提高受最低工资标准(*LnMinimum*)的影响均在 1%的水平上显著为正且正向作用从东到西依次递减。具体来看,最低工资标准(*LnMinimum*)每提高 1%,东部、中部与西部地区的机器人安装密度(*LnRob*)将分别提高 2.25%、1.38%、0.52%。其中的主要原因,可能是由于我国的东部地区经济发展水平高,有着良好的营商环境,且东部地区的大多数行业结构优化升级程度较高,创新水平较高,这些都为企业的智能化转型奠定了良好的基础条件。此外,东

部地区最低工资标准较高,企业用工成本增加所带来的影响较大,企业进行智能化转型的意愿更强。

## 2. 行业异质性

《最低工资规定》的实施对行业的影响存在显著差异<sup>[39]</sup>。由于低技术行业劳动投入较大,因此最低工资标准的调整可能对低技术行业有显著影响。基于此,本文参照《高技术制造业产业分类(2017)》,将行业划分为高技术行业与低技术行业两类,进一步从行业的视角对工业智能化受最低工资标准变化影响的效应进行更加详细的考察,具体结果如表 7 列(4)、列(5)所示。结果表明,最低工资标准对高技术行业与

低技术行业工业智能化(*LnRob*)的影响效应均为正,且在 1%的水平上显著;低技术行业的估计系数明显高于高技术行业的估计系数。具体来看,最低工资标准(*LnMinimum*)每提高 1%,高技术与低技术行业的机器人安装密度将分别提高 1.45%、2.31%。其中的原因,可能是由于低技术行业往往属于劳动密集型行业,劳动投入较大,受《最低工资规定》实施影响的力度较大,迫切希望引入人工智能技术,加快“机器换人”的速度,进而保持自身竞争力。此外,低技术行业往往技术壁垒较低,存在高替代风险,行业竞争较为激烈,因此行业进行智能化转型的意愿更强。

表 7 异质性分析

	(1) 东部 <i>LnRob</i>	(2) 中部 <i>LnRob</i>	(3) 西部 <i>LnRob</i>	(4) 高技术行业 <i>LnRob</i>	(5) 低技术行业 <i>LnRob</i>
<i>LnMinimum</i>	2.257 2*** (10.178 5)	1.385 1*** (6.146 8)	0.527 8** (2.348 7)	1.450 9*** (6.821 2)	2.314 7*** (17.072 9)
<i>LnGDP</i>	1.028 7*** (4.048 5)	1.360 9*** (5.309 5)	1.018 9*** (3.682 3)	1.071 6*** (4.186 7)	1.102 6*** (6.401 6)
<i>Asset</i>	-0.114 3*** (-4.003 8)	0.053 5 (1.375 5)	-0.019 4 (-0.569 4)	-0.100 0*** (-2.966 8)	-0.043 2** (-2.095 2)
<i>Traffic</i>	-0.107 6 (-0.259 7)	0.255 2 (0.546 9)	-0.292 9 (-0.770 0)	0.363 2 (0.953 1)	0.752 9*** (3.072 9)
<i>Urbanization</i>	1.993 0 (1.477 1)	2.125 5 (1.387 7)	9.930 2*** (4.033 8)	6.839 5*** (4.129 3)	7.371 3*** (6.776 5)
<i>Open</i>	-1.240 8*** (-5.562 4)	0.360 2 (0.341 3)	3.277 1*** (5.104 1)	-1.273 7*** (-4.445 5)	-2.244 5*** (-11.506 3)
省份固定效应	是	是	是	是	是
控制变量	是	是	是	是	是
样本量	154	112	154	840	4 158
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.968 0	0.970 2	0.949 2	0.801 2	0.779 5

## 五、结论与政策启示

自 2004 年实施《最低工资规定》以来,各省份最低工资标准一直处于快速增长的趋势,使得企业用工成本不断增加,对企业的正常经营活动造成影响,且工业智能发展迅猛并逐渐引起了国家及业界的广泛关注。鉴于此,本文采

用 2006—2019 年我国各省份最低工资标准与 IFR 公布的机器人数据,考察了最低工资标准的提高对工业智能化的影响及其作用机制。研究发现,最低工资标准对工业智能化程度的提高有显著的正向作用,在通过稳健性检验和内生性分析后,这一结论依然成立。在进行分样本回归后发现,最低工资标准对工业智能化依

然具有正向作用,且影响效应具有明显的地区和行业异质性。进一步检验作用机制后发现,最低工资标准通过替代效应与互补效应来促进工业智能化程度的提升。

基于以上研究结论,本文提出下述政策性启示。一是对最低工资标准的制定要因地制宜。最低工资标准的制定不能盲目跟风,应该秉承因地制宜、实事求是的原则,综合考虑所处地区,具体情况具体分析。本文研究表明,最低工资标准对中西部地区工业智能化程度提高的正向作用较小,这是由于中西部地区经济发展水平相对落后,低端劳动力多的缘故。因此政府应制定一套扶持政策,如减税降费、政府补助等,合理降低中西部地区的各类支出,通过政策引导从而发挥《最低工资规定》实施的正向作用,促进中西部地区工业智能化程度的提高,推动其转型升级。二是要加大人才引进力度,加强职业培训。机制检验结果表明,《最低工资规定》的实施具有互补效应,最低工资的快速增长会通过高技能劳动力与工业智能相互协作,产生互补效应,从而加快机器人化的速度,提高工业智能化程度。政府应制定相应的人才引进政策,进一步加强职业技能培训,提高本地区高技能人才占比,形成人才集聚,使高技能人才与工业智能相互协作,从而促进工业智能化程度的提高。三是要加强劳动力市场建设,完善劳动力社会保障制度。机制检验结果表明,《最低工资规定》的实施具有替代效应,最低工资的快速增长,使企业通过技术、资本要素与劳动要素之间的替代达到预定的生产目标,可能对劳动力的就业和收入造成影响。因此,政府要进一步加强劳动力市场建设,完善劳动力社会保障制度,以减少新一轮科技革命导致的失业和收入差距增加。

#### [注释]

① 来自 Research and Markets。

② 来自《世界机器人 2021 工业机器人报告》。

③ 关于最低工资标准数据,主要从以下两个方面进行处理:一是通过区域调整将县级层面的月最低工资标准数据调整成地级层面。大部分省份的最低工资并不是按照城市划分,而是按月将最低工资分为几类,例如,2015 年 1 月至 2015 年 12 月 A 省月最低工资标准分为  $a_1$  元/月、 $a_2$  元/月、 $a_3$  元/月和  $a_4$  元/月四档,其中地级市  $\beta$  市有  $b_1$  个县区适用的月最低工资标准为  $a_1$  元/月,其余  $b_2$  个县区适用的月最低工资为  $a_2$  元/月,那么  $\beta$  市月最低工资标准为  $(a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2) / (b_1 + b_2) = c$  元/月。二是通过时间调整将已经过区域整理的地级月最低工资标准数据加权平均成年度月平均数据。例如,经过区域调整, $\beta$  市 2007 年 7 月 1 日至 2008 年 6 月 30 日月最低工资标准为  $d$  元/月、2008 年 7 月 1 日至 2009 年 6 月 30 日的月最低工资标准为  $e$  元/月,那么  $\beta$  市 2008 年全年的月最低工资标准为  $(d \times 6 + e \times 6) / 12 = f$  元/月。

#### [参考文献]

- [1] 谢璐,韩文龙,陈翥. 人工智能对就业的多重效应及影响[J]. 当代经济研究,2019(9):33-41.
- [2] 宋旭光,左马华青. 工业机器人投入、劳动力供给与劳动生产率[J]. 改革,2019(9):45-54.
- [3] 王晓娟,朱喜安,王颖. 工业机器人应用对制造业就业的影响效应研究[J]. 数量经济技术经济研究,2022(4):88-106.
- [4] Acemoglu D, Restrepo P. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets[J]. Journal of Political Economy, 2020, 128(06):2188-2244.
- [5] Beaudry P, Green D A, Sand B M. The Great Reversal in the Demand for Skill and Cognitive Tasks[J]. Journal of Labor Economics, 2016, 34(S1): S199-S247.
- [6] 闫雪凌,朱博楷,马超. 工业机器人使用与制造业就业:来自中国的证据[J]. 统计研究,2020(1):74-87.
- [7] 乔晓楠,郝艳萍. 人工智能与现代化经济体系建设[J]. 经济纵横,2018(6):81-91.
- [8] 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):609-618,722.
- [9] 刘亮,胡国良. 人工智能与全要素生产率——证伪“生产率悖论”的中国证据[J]. 江海学刊,2020(3):118-123.
- [10] 陈岩,张李叶子,李飞,等. 智能服务对数字化时代企业创新的影响[J]. 科研管理,2020(9):51-64.
- [11] 周文辉,王鹏程,杨苗. 数字化赋能促进大规模定制技术创新[J]. 科学学研究,2018(8):1516-1523.
- [12] 余菲菲,王丽婷. 数字技术赋能我国制造企业技术创新

- 路径研究[J]. 科研管理, 2022(4): 11-19.
- [13] 张龙鹏, 张双志. 技术赋能: 人工智能与产业融合发展的技术创新效应[J]. 财经科学, 2020(6): 74-88.
- [14] Acemoglu D, Restrepo P. Demographics and Automation[J]. The Review of Economic Studies, 2022, 89(01): 1-44.
- [15] Cheng H, Jia R, Li D, et al. The Rise of Robots in China[J]. Journal of Economic Perspectives, 2019, 33(02): 71-88.
- [16] Fan H, Hu Y, Tang L. Labor Costs and the Adoption of Robots in China[J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2021, 186(06): 608-631.
- [17] 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[J]. 经济科学, 2021(4): 99-114.
- [18] 王小霞, 李磊, 蒋殿春. 最低工资上升是否会加速工业企业自动化? ——来自中国机器人进口的思考[J]. 当代经济科学, 2021(3): 32-43.
- [19] 马双, 张劼, 朱喜. 最低工资对中国就业和工资水平的影响[J]. 经济研究, 2012(5): 132-146.
- [20] 孙楚仁, 张卡, 章韬. 最低工资一定会减少企业的出口吗[J]. 世界经济, 2013(8): 100-124.
- [21] Harasztsi P, Lindner A. Who Pays for the Minimum Wage? [J]. American Economic Review, 2019, 109(08): 2693-2727.
- [22] Du P, Wang S. The Effect of Minimum Wage on Firm Markup: Evidence from China[J]. Economic Modelling, 2020, 86(C): 241-250.
- [23] Hicks J. The Theory of Wages[M]. London: Palgrave Macmillan, 1963.
- [24] Aaronson D, Phelan B J. Wage Shocks and the Technological Substitution of Low-Wage Jobs[J]. The Economic Journal, 2019, 129(617): 1-34.
- [25] Wang J, Gunderson M. Adjustments to Minimum Wages in China: Cost-Neutral Offsets[J]. Relations Industrielles, 2015, 70(03): 510-531.
- [26] Murphy K M, Shleifer A, Vishny R W. Industrialization and the Big Push[J]. Journal of Political Economy, 1989, 97(05): 1003-1026.
- [27] 朱兰, 王勇. 人工成本与制造业企业转型升级[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2022(2): 118-132.
- [28] 王小霞, 蒋殿春, 李磊. 最低工资上升会倒逼制造业企业转型升级吗? ——基于专利申请数据的经验分析[J]. 财经研究, 2018(12): 126-137.
- [29] Flug K, Hercowitz Z. Equipment Investment and the Relative Demand for Skilled Labor: International Evidence[J]. Review of Economic Dynamics, 2000, 3(03): 461-485.
- [30] 李建强, 高翔, 赵西亮. 最低工资与企业创新[J]. 金融研究, 2020(12): 132-150.
- [31] 张世伟, 万相昱, 曲洋. 公共政策的行为微观模拟模型及其应用[J]. 数量经济技术经济研究, 2009(8): 57-70.
- [32] 贾朋, 张世伟. 最低工资标准提升的溢出效应[J]. 统计研究, 2013(4): 37-41.
- [33] Acemoglu D, Pischke J S. The Structure of Wages and Investment in General Training [J]. Journal of Political Economy, 1999, 107(03): 539-572.
- [34] Acemoglu D, Pischke J S. Minimum Wages and On-the-Job Training[J]. Research in Labor Economics, 2003, 22(03): 159-202.
- [35] 康茜, 林光华. 工业机器人与农民工就业: 替代抑或促进[J]. 山西财经大学学报, 2021(2): 43-56.
- [36] 芦婷婷, 祝志勇. 人工智能是否会降低劳动收入份额——基于固定效应模型和面板分位数模型的检验[J]. 山西财经大学学报, 2021(11): 29-41.
- [37] 杨思莹, 路京京, 李政. 最低工资标准与科技创新: 倒逼还是抑制? [J]. 上海财经大学学报, 2020(5): 18-32, 78.
- [38] 阳立高, 龚世豪, 韩峰. 劳动力供给变化对制造业结构优化的影响研究[J]. 财经研究, 2017(2): 122-134.
- [39] 蒋灵多, 陆毅. 最低工资标准能否抑制僵尸企业的形成[J]. 中国工业经济, 2017(11): 118-136.
- [40] Baron R M, Kenny D A. The Moderator-Mediator Variable Distinction in Social Psychological Research: Conceptual, Strategic, and Statistical Considerations [J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, 51(06): 1173-1182.
- [41] 刘娜, 陈安平. 创新的工资溢价——基于流动人口的研究[J]. 经济科学, 2021(6): 115-129.
- [42] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014(5): 731-745.