

# 最低工资政策与工业机器人应用<sup>\*</sup>

## ——来自微观企业层面的证据

綦建红 付晶晶

(山东大学经济学院 山东济南 250100)

**摘要:** 本文采用2000—2013年中国工业企业数据库和海关数据库的匹配数据,研究最低工资政策对工业机器人应用的影响与作用机制,并考察机器人应用对最低工资政策制定初衷的反向冲击。研究发现,最低工资政策显著促进了工业机器人应用,且在大规模和平均工资较低企业、自动化程度高和劳动密集型行业、南方城市和超大特大城市中更为显著;最低工资政策主要通过用工成本上涨和政策遵从加强来促进工业机器人应用。而工业机器人应用通过增加技能组成工资,提升了劳动者的整体就业和工资水平,但对不同企业间劳动者收入差距的影响尚不明朗,对最低工资政策的冲击仍需未雨绸缪。

**关键词:** 最低工资政策 工业机器人 技能组成 利润分享 双重差分法

**中图分类号:** F249.24 F425 **JEL 分类号:** F16 J21

### 一、引言

改革开放以来的很长一段时间里,中国凭借低廉的成本优势显著提升了“中国制造”在全球经济格局中的影响力。然而,近年来人口老龄化趋势日益明显,人口红利逐渐消失,低成本优势不再(陆旻和蔡昉,2016)。据国家统计局数据,2000—2019年中国城市平均工资上升了近9倍,其中最低工资标准的不断调整是工资上涨极为重要的因素之一。一方面,最低工资政策于2004年在全国范围内实施,是政府保障劳动者权益、促进社会公平的重要手段;另一方面,最低工资上调会增加企业用工成本、压缩企业利润空间,逐渐削弱制造业的成本竞争优势,给企业带来严峻挑战。随着人工智能时代的到来,中国企业为应对劳动力短缺和用工成本上涨带来的挑战,有可能会加快智能化的步伐。据国际机器人联合会(IFR)的报道,中国工业机器人的应用数量迅猛增加,自2013年以来已成为全球规模最大、增速最快的机器人市场。

尽管从劳动力市场制度出发研究机器人应用,是一项有趣且有意义的研究(Acemoglu和Restrepo,2018a),但令人遗憾的是,最低工资这一外生政策是否是影响工业机器人在企业层面应用的制度因素,从已有文献中尚无确切答案。本文使用最低工资政策作为劳动力市场制度的代理变量,不仅考察其是否促进了工业机器人在企业层面的

<sup>\*</sup> 本文为国家社会科学基金重大项目“‘一带一路’国家金融生态多样性对中国海外投资效率的影响研究”(项目编号:17ZDA040)、国家社会科学基金重大项目“新旧动能转换机制设计及路径选择研究”(项目编号:18ZDA078)、国家社会科学基金一般项目“人工智能与出口贸易高质量发展研究”(项目编号:20BJY195)的阶段性成果。作者感谢匿名审稿专家在本文写作过程中提出的宝贵意见。文责自负。

应用,而且还进一步思考了工业机器人应用对最低工资制定初衷的冲击,从而更加全面地识别工业机器人应用对劳动力市场的影响,据此制定合理的机器人产业政策,对于推进中国智能化进程、实现经济高质量发展意义重大。

本文可能的边际贡献有二:其一,在研究视角方面,本文从劳动力市场制度出发,以2004年《最低工资规定》这一强制性措施的出台作为“准自然实验”,使用双重差分模型考察最低工资政策能否通过提升企业平均工资和政策遵从力度渠道,促进工业机器人应用;其二,在内容拓展方面,本文进一步考察了工业机器人对劳动力市场的影响,认为最低工资政策不仅直接影响劳动力市场,还会通过影响工业机器人应用间接影响劳动力市场,该结论补充了最低工资政策影响劳动力市场的间接渠道,丰富了最低工资政策对劳动力市场影响的相关研究。

## 二、文献综述

以往文献重点研究的是机器人应用对劳动力市场的冲击,鲜有文献考察是什么因素(特别是劳动力市场因素)导致了工业机器人的应用。

机器人应用对劳动力市场的冲击,主要作用于两个方面:一是在劳动力就业和收入水平方面,学者们尚未达成一致结论。有的学者认为,机器人对劳动者存在“替代效应”(Borjas和Freeman,2019)。例如,Acemoglu和Restrepo(2020)以美国1990—2007年劳动力市场为例,发现千名工人中每增加一台机器人,就业人口比率会下降0.18%—0.34%,工资会下降0.25%—0.5%。然而,有的学者认为机器人存在“创造效应”(Acemoglu等,2020b)。例如,Dekle(2020)以日本为例,发现机器人应用增加了对劳动力的需求,对日本就业产生了积极影响。还有的学者认为,机器人在短期内会呈现“替代效应”,长期则呈现为“创造效应”(Acemoglu和Restrepo,2018b)。例如,孔高文等(2020)发现,尽管机器人大规模应用会显著降低本地未来一年的就业水平,但从中长期看,机器人的使用不仅会增加劳动力需求,而且会提高其报酬水平。二是在劳动者收入差距方面,大多数学者认为,机器人应用扩大了劳动者之间的收入差距,进一步加剧了劳动力市场的不平等(Guerreiro等,2017),这种收入差距的扩大主要体现为低技能和低收入人群受损,高技能和高收入人群获益(Acemoglu和Restrepo,2018c)。然而,也有学者提出,产业智能化提升了低收入人群的工资水平,缓解了社会收入不平等的程度(杨飞和范从来,2020)。

尽管围绕机器人的研究与日俱增,但鲜有学者探讨机器人应用的原因。Acemoglu和Restrepo(2018a)从人口学角度出发,认为人口老龄化会导致工业机器人更密集的使用和发展。Cheng等(2019)使用企业调查数据,发现劳动力短缺和劳动力成本上升是中国企业使用机器人的根本原因。Fan等(2021)使用中国工业企业数据库和海关数据库的匹配数据,按照HS6位编码识别企业进口机器人的记录,以最低工资标准的对数值作为劳动力成本的代理变量,研究了劳动力成本对中国企业使用机器人的影响。

与此同时,梳理最低工资政策的相关文献有助于厘清最低工资政策对工业机器人应用的影响机制。已有研究表明,最低工资政策会对企业产生成本效应、激励效应、替代效应和创新效应(马双和赖漫桐,2020),其中成本效应和替代效应是主要的影响渠道。前者认为企业用工成本增加是最低工资标准上涨对企业最直接的影响;后者提出当最低工资标准提升导致企业用工成本增加时,企业可能会选择使用机器来代替人工以提高生

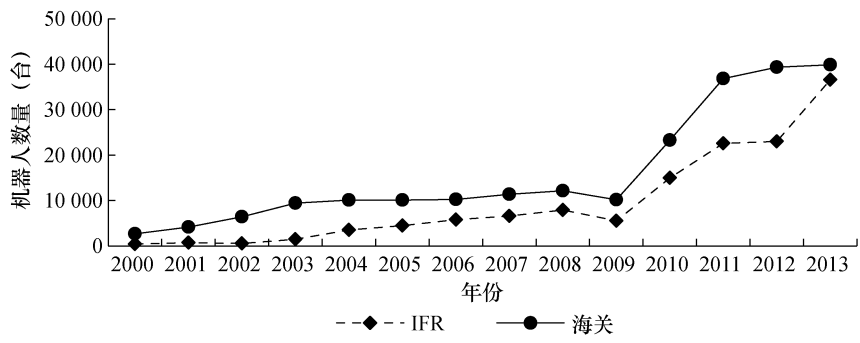
产效率（刘子兰等，2020）。根据 Gan 等（2016）的研究，最低工资标准在 2004 年前后的执行力度存在显著差异。虽然大多省份在 1994—2003 年实行了这一制度，但是最低工资标准的水平、调整频次和执行力度对企业的影响十分有限，而 2004 年《最低工资规定》的颁布使得最低工资政策效力和执行力度有所加强，企业也更好地贯彻和执行最低工资政策（蒋灵多和陆毅，2017）。上述文献为本文研究最低工资政策对企业使用机器人的影响渠道提供了思路。

### 三、数据与特征事实

#### （一）数据来源

本文使用 2000—2013 年中国工业企业数据库、海关数据库、城市最低工资数据和国泰安城市数据库的匹配数据。本文采用中国海关数据库中企业进口机器人数据作为机器人应用的代理变量，主要基于三点考虑：一是尽管以进口数量作为机器人应用的做法会忽略国产机器人和代工机器人部分，导致系数低估，但同时也忽略了贸易中间商和机器人制造商，导致系数高估，这在一定程度上控制了误差范围；二是目前机器人的权威使用数据来自 IFR，如图 1 所示，无论是海关进口机器人数量，还是 IFR 机器人应用数量，二者总体保持一致，说明机器人进口一定程度上可以反映机器人应用状况；三是囿于企业层面的机器人应用数据不可得，已有文献多采用企业进口机器人作为机器人应用的代理变量（Acemoglu 和 Restrepo，2018a；Fan 等，2021）。但是，本文数据也存在一定的局限性，如前文所述，由于企业层面使用国产和代工机器人的数据无法获取，有可能存在低估现象；对海关数据库和中国工业企业数据库匹配时，匹配成功的进口机器人企业约占进口机器人总企业数的 48.4%，出现了一半左右的样本损失。

图 1 中国工业机器人使用数量与进口数量对比



本文数据匹配过程如下。首先，与 Fan 等（2021）不同，本文按照 HS 8 位编码筛选企业进口机器人的数据<sup>①</sup>；其次，借鉴 Upward 等（2013）的做法，本文对企业进口机器人数据和中国工业企业数据库进行匹配，获得本文的基础数据；最后，城市最低工资数据由笔者从地方政府网站、政府公报和人社部网站等手工搜集而得，并将所得的 285 个

① 机器人 HS 8 位编码比 HS 6 位编码更准确，包括 84248920（喷涂机器人）、84289040（搬运机器人）、84795010（多功能工业机器人）、84795090（其他工业机器人）、84864031（工厂自动搬运机器人）、85152120（电阻焊接机器人）、85153120（电弧焊接机器人）和 85158010（激光焊接机器人）。

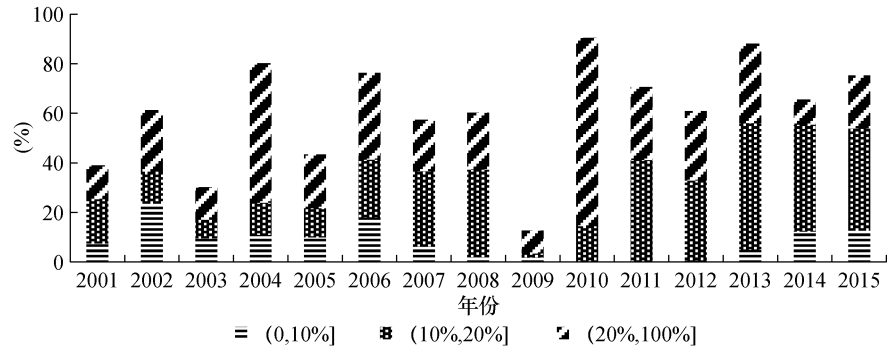
城市最低工资数据与国泰安城市数据库进行匹配,获得城市面板数据库后,再与基础数据进行最终的匹配。在数据处理时,本文根据国家统计局公布的CPI数据(以2000年为基期)对各名义变量进行平减处理;同时为减少极端值的影响,对所有连续变量均做前后1%水平的缩尾处理。最终,本文得到2000—2013年285个城市869758家企业的数据,其中进口机器人企业2196家,非进口机器人企业867562家,共计3111883条观测值。

(二) 特征事实

1. 最低工资标准不断提升

2004年3月,最低工资政策在全国全面推广。图2为2001—2015年最低工资标准提升比例分布图,图例为城市最低工资标准与上一年相比的提升比例区间,纵坐标为满足城市最低工资标准提升比例区间的城市数量占总城市数量的比例。可以看出,最低工资标准连年提升,除2009年受金融危机影响提升幅度较小外,其余年份均有较大涨幅。

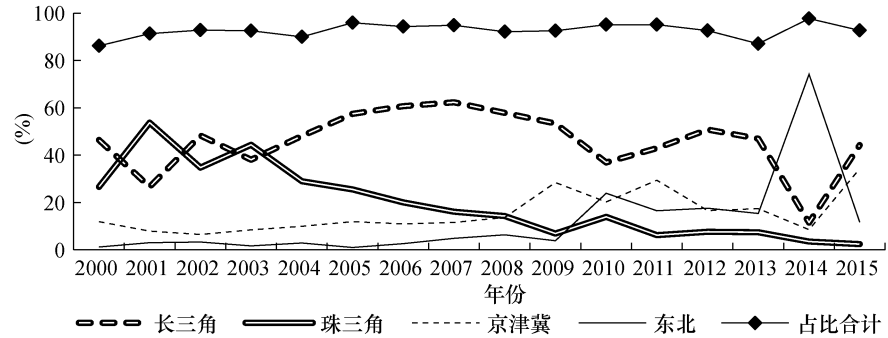
图2 2001—2015年最低工资标准提升比例分布



2. 工业机器人应用数量持续增加

图3为主要城市群进口机器人数量占全国总进口机器人数量的比例。其中,长三角地区是全国进口机器人最多的地区,2007年占比高达62%;其次是京津冀地区,于2008年超过珠三角,成为进口机器人第二大城市群。图中所示四个城市群进口机器人数量占全国比重超过90%,说明工业机器人应用具有较高的空间集聚效应。

图3 主要城市群进口机器人占全国比重



进一步具体到城市层面,表1展示了代表性年份进口机器人排名前十的城市。一方面,工业机器人的应用集中在沿海发达地区。另一方面,近年来进口机器人前十的城市

整体变化不大，这在一定程度上说明了机器人应用具有“马太效应”，即经济越发达的地区越倾向于使用机器人，而机器人的使用又能进一步促进经济增长，从而造成“穷者越穷，富者越富”的效应。

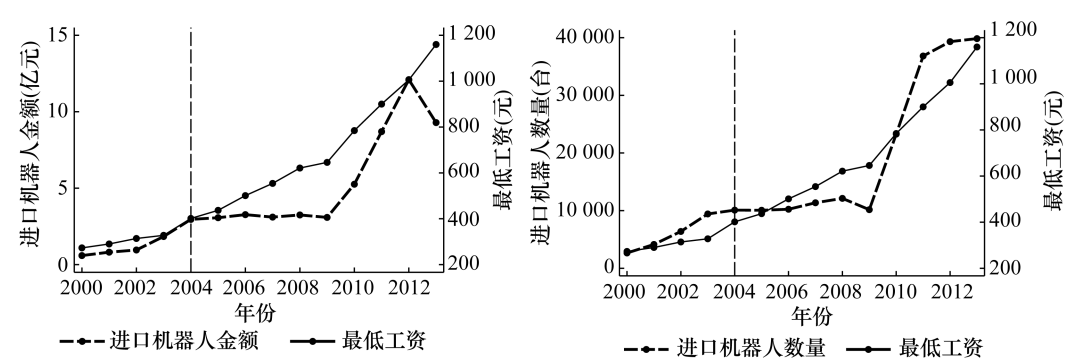
表1 代表性年份进口机器人排名前十的城市

排 名	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年	
	城市	数量	城市	数量	城市	数量	城市	数量
1	上海市	355	上海市	1 686	上海市	1 756	上海市	7 530
2	苏州市	101	苏州市	1 533	牡丹江市	1 750	北京市	6 196
3	天津市	93	深圳市	1 025	唐山市	1 266	牡丹江市	2 303
4	福州市	84	北京市	401	深圳市	818	苏州市	1 990
5	东莞市	70	东莞市	277	苏州市	660	唐山市	1 585
6	深圳市	66	天津市	214	北京市	167	威海市	636
7	中山市	54	唐山市	102	广州市	130	沈阳市	514
8	佛山市	33	武汉市	89	南通市	95	杭州市	492
9	北京市	32	珠海市	88	无锡市	77	柳州市	406
10	珠海市	29	南通市	83	东莞市	71	盐城市	386

3. 最低工资标准提升与工业机器人应用量持续上涨

为了考察最低工资标准的提升能否促进工业机器人应用的增加，本文分别绘制了全国年均最低工资标准与全国进口机器人总金额和总数量的趋势图（见图4）。主坐标轴为进口机器人金额（数量），次坐标轴为最低工资标准，可以看出，最低工资标准连年上涨，与之相伴的是机器人进口金额和数量均呈逐年增加态势，除2009年受金融危机的影响进口有所下降外，二者上涨趋势大致相同，表明最低工资标准与工业机器人应用呈正相关关系。但是，该结论是否成立还需要用科学的计量方法加以验证。

图4 2000—2013 年最低工资与工业机器人应用的趋势



四、实证设计与结果

(一) 模型设定

本文借鉴蒋灵多和陆毅（2017），以2004年《最低工资规定》颁布作为准自然实验，构建双重差分模型探讨最低工资政策对企业使用机器人的影响，模型设定如下：

$$Val_{it} = \alpha + \beta Treat_i \times Post\ 04_t + \gamma F_{it} + \chi C_{jt} + \mu_h + \mu_j + \mu_t + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中,  $i$  表示企业,  $j$  表示城市,  $h$  表示行业,  $t$  表示年份。  $Val_{it}$  为企业进口机器人的金额;  $Treat_i$  定义为, 若企业在 2004 年前一期的平均工资低于 2004 年企业所在城市最低工资水平, 则为处理组, 取值为 1, 否则为对照组, 取值为 0。  $Post\ 04_t$  定义为, 将 2004 年以后赋值为 1, 2004 年以前赋值为 0, 2004 年赋值为 5/6。  $F_{it}$  为企业层面的控制变量, 包括资产负债率 ( $Alr$ )、企业年龄 ( $Age$ )、资本密集度 ( $Capdes$ )、是否出口 ( $Export$ ) 和是否是国有企业 ( $State$ )。  $C_{jt}$  为城市层面的控制变量, 包括城市 GDP ( $Gdp$ )、GDP 增长率 ( $Growth$ ) 和总人口 ( $Pop$ )。同时, 本文还控制了城市固定效应 ( $\mu_j$ )、行业固定效应 ( $\mu_h$ ) 和年份固定效应 ( $\mu_t$ ),  $\varepsilon_{ijt}$  为随机扰动项。

## (二) 基准回归结果

表 2 第 (1) — (2) 列汇报了基准回归结果。<sup>①</sup> 估计结果显示, 无论是否加入控制变量, 核心解释变量  $Treat_i \times Post\ 04_t$  的系数均在 1% 水平上显著为正, 表明与对照组相比, 最低工资政策显著促进了工业机器人在处理组中的应用。以第 (2) 列的估计系数为例, 在 2004 年最低工资政策实施后, 相较于对照组企业, 处理组企业使用机器人的金额平均提升了 0.8 个百分点, 最低工资政策的实施显著促进了工业机器人在企业层面的应用。

## (三) 稳健性检验

### 1. 平行趋势检验

双重差分模型最重要的前提是满足平行趋势, 即检验政策实施前处理组与对照组之间的趋势应是平行的且不存在显著性差异。为此, 本文构建如下计量模型进行平行趋势检验:

$$Val_{it} = \alpha + \sum_{t=2001}^{2003} \beta_t Treat_i \times Year_t + \gamma F_{it} + \chi C_{jt} + \mu_h + \mu_j + \mu_t + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

其中,  $Year_t$  为年份虚拟变量,  $\beta_t$  表示以 2000 年为基期的 2001 年、2002 年和 2003 年的系数估计值, 其他变量定义与模型 (1) 相同。表 2 第 (3) 列的估计结果表明,  $\beta_t$  在 2001—2003 年均不显著, 说明处理组和对照组在最低工资政策实施前不存在显著性差异, 满足平行趋势假定。

### 2. 改变处理组和对照组划分方式

除基准模型对处理组和对照组的划分方式外, 本文还借鉴廖冠民和陈燕 (2014) 的做法, 根据企业劳动密集度 (员工工资与销售收入之比) 划分处理组和对照组。第一种方式为, 计算样本期间每一家企业各年度劳动密集度的平均值, 若企业劳动密集度的均值大于样本中位数,  $Treat1$  取值为 1, 否则为 0, 结果如表 2 第 (4) 列所示。第二种方式为, 若企业在 2004 年前一期的劳动密集度高于当年所有企业劳动密集度的中位数,  $Treat2$  取值为 1, 否则为 0, 结果如表 2 第 (6) 列所示。同时, 为保证劳动密集度指标选取的可靠性, 本文将劳动密集度指标替换为员工人数与销售收入之比并分别对上述两种方式再次回归, 结果如表 2 第 (5) 列和第 (7) 列所示。上述结果均表明, 基准回归结果具有较好的稳健性。

<sup>①</sup> 因篇幅所限, 本文仅汇报了核心变量的估计结果, 省略了各变量的统计性描述和其余结果, 感兴趣的读者可在《经济科学》官网论文页面“附录与扩展”栏目下载。



### 3. 工具变量法

虽然双重差分模型能够较好地缓解内生性问题,但遗漏变量和测量误差等仍有可能对基准结果产生影响。为此,本文使用同年该省其他城市的平均最低工资作为工具变量,一方面,某城市中的企业使用机器人不应受到同省份其他城市最低工资水平的影响,满足外生性要求;另一方面,由于最低工资由省级政府制定,某一城市的最低工资水平很可能受到同省其他城市的影响,满足相关性要求。工具变量的 2SLS 估计结果如表 2 第 (8) 列所示。第一阶段的  $F$  统计量为  $2.1 \times 10^7$ ,远大于 10% 水平的临界值,故拒绝弱工具变量假设;第二阶段的回归结果显示,核心解释变量的系数与显著性仍与基准结果保持一致,说明即使考虑潜在的内生性问题,基准回归结果依然成立。

表 2 基准回归与稳健性检验

	基准回归		稳健性检验					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$Treat_i \times Post04_t$	0.006*** (0.002)	0.008*** (0.002)						0.008*** (0.002)
$Treat_i \times Year_{01}$			0.006 (0.005)					
$Treat_i \times Year_{02}$			0.003 (0.005)					
$Treat_i \times Year_{03}$			0.014 (0.009)					
$Treat1_i \times Post04_t$				0.017*** (0.001)	0.020*** (0.001)			
$Treat2_i \times Post04_t$						0.012*** (0.001)	0.013*** (0.001)	
控制变量	否	是	是	是	是	是	是	是
样本量	3 005 608	2 981 044	444 845	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 977 041
$R^2$	0.013	0.015	0.021	0.015	0.015	0.015	0.015	0.001

注:括号内为稳健标准误;\*\*\*、\*\*和\*分别为 1%、5%和 10%的显著性水平;因篇幅所限,本文在汇报所有结果时均省略了城市固定效应、行业固定效应和年份固定效应;后同。

### 4. PSM-DID

首先,本文通过处理变量  $Treat$  对协变量进行 Logit 回归,获得倾向得分值;其次,采用 1:5 近邻匹配方法为处理组企业寻找合适的对照组企业;最后,对匹配后的样本进行 DID 估计。为保证匹配结果的可靠性,本文还进行了匹配平衡性检验,结果表明,匹配后各匹配变量标准偏差的绝对值均小于 1%,且各匹配变量在处理组和对照组之间并不存在显著差异,表明匹配结果较好。PSM-DID 结果如表 3 第 (1) 列所示,基准回归结果仍然稳健。

### 5. 核心变量替换

一方面,本文将核心解释变量更改为连续变量最低工资标准对数 ( $Mwage$ ),如表 3 第 (2) 列所示;另一方面,本文将被解释变量进口机器人金额分别替换为进口机器人数量 ( $Qua$ ) 和进口机器人密度 ( $Den$ ) 的对数值,如表 3 第 (3) — (4) 列所示。结果

均表明，基准结果仍然稳健。

表 3 其他稳健性检验

	PSM-DID	核心变量替换			排除其他政策		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
$Treat_i \times Post04_i$	0.009*** (0.003)		0.001*** (0.000)	0.001** (0.001)	0.009*** (0.003)	0.011*** (0.003)	0.008*** (0.002)
$Mwage$		0.012*** (0.003)					
$Treat_i \times Post08_i$					0.011** (0.005)		
$Treat_i \times Post13_i$						0.021* (0.011)	
样本量	2 449 849	2 964 797	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 683 082
$R^2$	0.018	0.015	0.013	0.011	0.015	0.015	0.016

## 6. 排除其他政策的影响

在本文样本期里，劳动力市场政策不断变化，其中 2008 年实施的《劳动合同法》最为典型。为检验本文的基准结果是否是由《劳动合同法》而非最低工资政策所致，本文设置《劳动合同法》的交互项  $Treat_i \times Post08_i$ ， $Post08$  定义为，2008 年及以后取值为 1，2008 年以前取值为 0，结果如表 3 第（5）列所示。与此同时，根据 Fan 等（2021），2013 年后中国工业机器人数量飙升受到“中国制造 2025”和“十三五”规划的影响，政府通过补贴等方式鼓励企业进行“机器换人”。为排除上述政策的影响，本文采取两种方式处理，一是引入  $Treat_i \times Post13_i$  再次进行回归， $Post13$  定义为，2013 年设为 1，2013 年以前为 0，结果如表 3 第（6）列所示；二是剔除 2013 年的数据，选取 2000—2012 年数据再次回归，结果如表 3 第（7）列所示。上述结果均表明，核心解释变量仍与基准结果保持一致。因此，即使考虑上述政策的影响，本文基准回归结果仍具有较高的可信度。

## 7. 排除平均工资在城市最低工资左右的企业的干扰

在基准模型中，并未考虑如何处理平均工资在城市最低工资水平左右的企业。为此，本文将  $Treat$  替换为“若企业在 2004 年前一期的平均工资低于 2004 年企业所在城市最低工资水平的 90%（95%、99%、101%、105%、110%），则定义为处理组”，结果如表 4 所示。核心解释变量的系数与显著性均与基准回归结果保持一致，说明基准回归结果具有较高的可信度。

表 4 排除平均工资在城市最低工资左右的企业的干扰

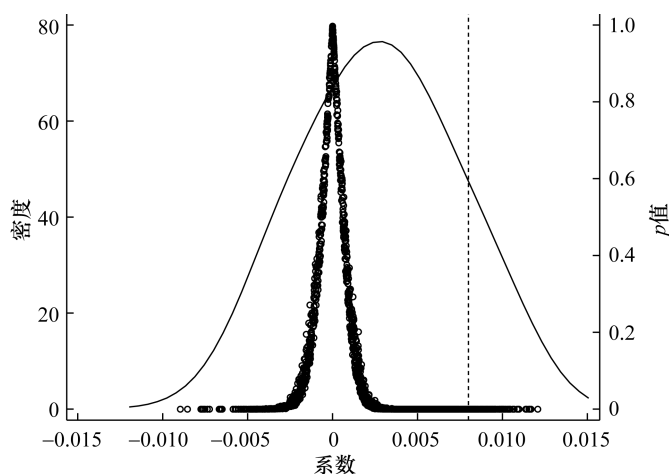
	90%	95%	99%	101%	105%	110%
$Treat_i \times Post04_i$	0.008*** (0.002)	0.008*** (0.002)	0.007*** (0.002)	0.007*** (0.002)	0.006*** (0.002)	0.005*** (0.002)
样本量	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 981 044
$R^2$	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015



## 8. 安慰剂检验

为检验基准回归结果是否由不可观测的因素造成, 本文通过随机抽取实验组进行安慰剂检验。若工业机器人应用是由最低工资政策实施导致的, 则随机抽样的核心解释变量系数应在 0 附近或显著性极差。为确保安慰剂检验结果的可信度, 本文进行了 2 000 次随机抽样。图 5 汇报了安慰剂检验的结果, 估计结果表明, 2 000 次随机抽取实验组后回归估计系数在 0 附近, 其均值为 0.00271, 而基准回归结果 0.008 超过安慰剂检验的 90% 分位 (0.0079)。进一步绘制了相应的  $p$  值后发现, 大多数估计系数的  $p$  值大于 0.1, 表明安慰剂估计的系数多不显著, 说明基准回归结果具有很好的稳健性。

图 5 安慰剂检验



### (四) 异质性考察

本文分别从企业异质性、行业异质性和城市异质性三个层面对最低工资政策和工业机器人应用的关系进行异质性考察。

#### 1. 企业异质性

在企业规模方面, 不同规模的企业可能会做出不同的智能化选择。大中型企业拥有强大的资金实力, 工业机器人有利于其更好地形成规模经济, 提高生产效率; 而中小企业往往面临资金不足、融资困难等困境, 难以负担机器人购置、运行、维修和保养的成本, 限制了其自动化发展。为验证这一观点, 借鉴 Hau 等 (2020), 本文将员工数少于或等于 1 000 人的企业定义为中小型企业, 员工数超过 1 000 人的企业定义为大型企业, 结果如表 5A 所示。可以看出, 与预期一致, 最低工资政策主要促进了机器人在大型企业中的应用。

在企业平均工资水平方面, 不同工资水平的企业对最低工资政策变化的反应是异质的。本文根据企业平均工资的中位数将全样本划分为高工资企业和低工资企业。表 5A 估计结果显示, 最低工资对工业机器人的促进作用在平均工资较低的企业中较为显著, 表明平均工资较低的企业较易受到最低工资政策的冲击, 由于其对用工成本更敏感, 且成本承受能力更弱, 因此对机器人的需求更为强烈, 这与 Gan 等 (2016) 等的研究保持一致。

## 2. 行业异质性

借鉴 Acemoglu 等（2020b）的做法，本文以可调整的机器人渗透率（APR）指数作为划分标准，将行业划分为高自动化行业 and 低自动化行业。APR 指数越大，表明机器人渗透率越高，相应的行业自动化水平越高；反之，在 APR 指数低的行业中机器人渗透率较低，行业自动化程度也相应下降。表 5B 结果显示，最低工资显著促进了机器人在高自动化行业中的应用，可能的原因是，自动化程度较高的行业本身已形成较高的规模效应，工业机器人应用带来的投入产出比较高，具备了使用工业机器人的优势（Acemoglu 和 Restrepo，2018c）。

同时，劳动密集度不同的行业受最低工资政策的影响也不相同，根据以往研究，最低工资政策使劳动密集型行业受到的影响程度较大（蒋灵多和陆毅，2017）。为此，延续前文做法，本文按照劳动密集度（员工工资与销售收入之比）将样本行业分为劳动密集型行业和非劳动密集型行业两类，即计算样本期间每一行业各年度劳动密集度的平均值，若行业劳动密集度的均值大于样本中位数，则该行业为劳动密集型行业，否则为非劳动密集型行业。表 5B 结果表明，最低工资政策对工业机器人应用的促进作用在劳动密集型行业中较大。可能原因是劳动密集型行业劳动投入占比较高，因此《最低工资规定》的出台使得劳动密集型行业的劳动力成本提升幅度较大，企业进行“机器换人”的需求也更加迫切。

表 5 异质性考察

A. 企业异质性考察	大型企业	中小型企业	高平均工资	低平均工资
$Treat_i \times Post04_i$	0.102 *** (0.030)	0.002 (0.001)	0.010 ** (0.004)	0.006 *** (0.002)
样本量	114 353	2 866 685	1 487 090	1 493 954
B. 行业异质性考察	高 APR	低 APR	劳动密集型	非劳动密集型
$Treat_i \times Post04_i$	0.009 ** (0.004)	0.002 (0.003)	0.019 *** (0.005)	-0.000 (0.002)
样本量	1 233 864	854 250	1 322 177	1 658 867
C. 城市异质性考察	南方城市	北方城市	超大特大城市	其他城市
$Treat_i \times Post04_i$	0.011 *** (0.003)	-0.002 * (0.001)	0.017 *** (0.006)	0.003 * (0.002)
样本量	2 431 718	549 325	762 157	2 218 886

## 3. 城市异质性

企业所处城市的经济发展水平不仅会影响最低工资标准的制定，而且会影响工业机器人的应用。本文分别就城市的地理区位和城市规模对城市进行异质性考察。

从区域角度看，我国发展的不平衡性出现了“南快北慢”的新特征（盛来运等，2018）。为探讨最低工资政策对南北方城市的影响，本文从经济地理视角进行南北划分。<sup>①</sup> 表 5C 结果表明，最低工资政策对工业机器人应用的促进作用在南方城市较大。究

<sup>①</sup> 北方城市包括北京市、天津市和黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃、新疆、青海 11 个省份（自治区）所包含的城市，其余城市为南方城市。

其原因，与北方城市相比，南方城市经济发展水平更高，最低工资标准也更高，对企业生产成本的影响程度更大，企业进行“机器换人”的动力更强。

从城市规模看，城市规模既反映了城市的经济发展状况，也反映出城市的人口数量，而这两者均与最低工资标准的制定和工业机器人应用息息相关。为此，本文根据《2019年城市建设统计年鉴》，将城市划分为超大特大城市和其他规模城市。<sup>①</sup>表5C结果表明，最低工资政策对工业机器人的促进作用在超大特大城市中较大。一方面，超大特大城市的最低工资标准较高，加重了企业的成本负担，促进了工业机器人的应用；另一方面，超大特大城市对机器人产业发展的支持力度和补贴力度要高于其他城市，而政府补贴也是促使企业使用机器人的一个重要因素（Cheng等，2019）。

#### （五）影响机制检验

上述实证结果表明，最低工资政策显著促进了工业机器人应用。究其作用机制，本文认为最低工资政策能够通过提升企业用工成本和加强政策遵从两条途径促进工业机器人应用。因此，本文使用常规的中介效应模型进行检验，模型设定如下：

$$M_{it} = \alpha + \lambda Treat_{it} \times Post04_t + \gamma F_{it} + \chi C_{jt} + \mu_h + \mu_j + \mu_t + \varepsilon_{ijt} \quad (3)$$

$$Val_{it} = \alpha + \psi Treat_{it} \times Post04_t + \eta M_{it} + \gamma F_{it} + \chi C_{jt} + \mu_h + \mu_j + \mu_t + \varepsilon_{ijt} \quad (4)$$

其中， $M_{it}$ 分别为企业用工成本（ $Qy wage$ ）与政策遵从力度（ $Policy$ ），前者以企业平均工资水平表示，计算方法为企业当年应付工资总额与员工数比值的对数形式；后者借鉴刘子兰等（2020）的做法，以地级市内企业平均工资水平低于当地最低工资的企业占比表示，占比越高说明政策遵从力度越低。其他变量符号与模型（1）相同。若 $\lambda$ 和 $\eta$ 均显著，表明中介效应显著，在此基础上，如 $\psi$ 不显著，则为完全中介效应。

##### 1. 用工成本效应

最低工资政策实施会增加企业用工成本，提高企业平均工资水平（蒋灵多和陆毅，2017）。表6第（1）列的结果证实了这一结论，核心解释变量 $Treat_{it} \times Post04_t$ 的系数在1%水平上显著为正，表明最低工资政策实施显著提高了企业的用工成本；第（2）列为模型（4）的估计结果， $Qy wage$ 的系数在1%水平上显著为正，说明企业用工成本的提高显著促进了工业机器人的应用。同时， $\lambda$ 、 $\eta$ 和 $\psi$ 的系数显著， $\lambda \times \eta$ 与 $\psi$ 的符号相同，说明存在部分中介效应。据计算，企业用工成本的中介效应占总效应的比例为20.1%，即最低工资政策明显增加了企业用工成本，是促进工业机器人应用的最重要原因。

##### 2. 政策遵从效应

自2004年《最低工资规定》出台以来，企业对最低工资标准的遵从力度明显提升（Gan等，2016）。表6第（3）—（4）列为政策遵从力度的机制检验结果。与成本机制类似，第（3）列表明2004年最低工资政策的实施显著提高了政策遵从力度，第（4）列估计结果显示 $Policy$ 的系数在1%水平上显著为负，表明政策遵从力度的加强显著促进了工业机器人的应用。 $\lambda$ 、 $\eta$ 和 $\psi$ 的系数显著，且 $\lambda \times \eta$ 与 $\psi$ 的符号相同，存在部分中介效应。据计算，政策遵从力度的中介效应占总效应的比例为8%，说明政策遵从力度同样是最低工资政策促进工业机器人应用的影响机制之一。

① 超大特大城市包括北京市、天津市、沈阳市、上海市、南京市、杭州市、武汉市、广州市、深圳市、青岛市、东莞市、成都市、西安市、重庆市、郑州市和济南市共16个城市。

表 6 影响渠道检验

	用工成本效应		政策遵从效应	
	<i>Qy wage</i> (1)	<i>Val</i> (2)	<i>Policy</i> (3)	<i>Val</i> (4)
$Treat_i \times Post 04_i$	0.401 *** (0.009)	0.006 *** (0.002)	-0.004 *** (0.000)	0.008 *** (0.002)
<i>Qy wage</i>		0.004 *** (0.000)		
<i>Policy</i>				-0.016 *** (0.004)
样本量	2 981 044	2 981 044	2 981 044	2 981 044
$R^2$	0.343	0.015	0.929	0.015

## 五、反向思考与讨论

### (一) 工业机器人应用对劳动力雇佣和工资的影响

最低工资政策的初衷是维护劳动者权益，稳定劳动者就业，提高劳动者收入水平。本文思考的第一个问题是，最低工资政策在促进工业机器人应用的同时，是进一步增加还是减少了劳动力雇佣与工资水平，即工业机器人应用对劳动力市场的影响是与最低工资制定的初衷相一致还是相违背。为此，本文使用滞后一期的机器人金额作为核心解释变量，分别用企业员工数 (*Labor*) 和员工平均工资水平 (*Qy wage*) 作为被解释变量，构建如下计量模型：

$$N_{it} = \alpha + \varphi Val_{i,t-1} + \gamma F_{it} + \chi C_{jt} + \mu_h + \mu_j + \mu_t + \varepsilon_{ijt} \quad (5)$$

其中， $Val_{i,t-1}$  为滞后一期的机器人金额， $N$  分别代表企业员工数 (*Labor*) 和员工平均工资水平 (*Qy wage*)，其他变量符号同模型 (1)。

表 7 中第 (1) — (2) 列为模型 (5) 的估计结果，可以看出， $Val_{i,t-1}$  对企业员工数和员工平均工资水平的系数均在 1% 水平上显著为正，表明工业机器人的应用显著增加了企业劳动力雇佣和工资水平，这意味着从整体水平看，工业机器人的应用增加了劳动者的工资水平，在一定程度上与最低工资政策制定的初衷相一致。根据现有研究，多数文献认为工业机器人减少了中国的劳动力就业，尤其在短期内会降低本地的就业水平，对工资水平的影响则无定论 (王永钦和董雯，2020；孔高文等，2020)。但是，也有部分学者认为，在就业方面，工业机器人虽然替代了体力劳动，但也为失业的劳动力创造了就业机会，整体上增加了劳动力雇佣 (Li 等，2020)。特别值得一提的是，在区分劳动者异质性后，机器人虽然会替代中等教育程度的劳动力，但同时提高了高教育程度和低教育程度劳动力的就业 (孙早和侯玉琳，2019)。在区分短期影响和长期影响后，从中长期看，机器人所产生的替代效应可能会被生产力效应和就业创造效应所抵消。在工资方面，产业智能化显著提高了劳动者的工资水平 (杨飞和范从来，2020)，这一观点在一定程度上得到了孔高文等 (2020) 的支持。由此可见，本文的研究结论与部分已有文献保持一致。

### (二) 劳动者工资的提升来源：来自企业工资的分解

本文思考的第二个问题是，工业机器人的应用显著提升了劳动者的工资水平，那么

提升来源是什么，而对提升来源的厘清有助于更好地发挥机器人对劳动者收入的促进作用。根据刘灿雷和王永进（2019），企业工资主要由技能组成工资和利润分享工资两部分构成，前者指的是劳动者工资收入完全取决于其自身的技能水平，后者是指技能相同的员工在经营绩效越好的企业就职所获得的工资水平越高，员工工资由企业利润决定。由于企业员工技能组成数据不可获得，本文借鉴刘灿雷和王永进（2019）的做法，将企业层面的工资分解为技能组成工资（*Skill\_wage*）和利润分享工资（*Profit\_wage*），并在此基础上识别工业机器人使用对劳动者收入提升的影响渠道，回归结果如表 7 所示。

表 7 中第（3）列和第（4）列分别为工业机器人应用对技能组成工资和利润分享工资的回归结果。可以看出， $Val_{i,t-1}$  的系数对技能组成工资影响在 1% 水平上显著为正，而对利润分享工资则无显著影响，表明工业机器人的应用显著提升了技能组成工资，即工业机器人应用主要通过提升技能组成工资来增加劳动者收入水平，而在利润分享工资方面作用有限。

表 7 机器人应用对劳动者工资水平的影响

	劳动力雇佣和工资		企业工资分解	
	<i>Labor</i> (1)	<i>Qy wage</i> (2)	<i>Skill_wage</i> (3)	<i>Profit_wage</i> (4)
$Val_{i,t-1}$	0.125 *** (0.002)	0.072 *** (0.002)	0.038 *** (0.001)	0.001 (0.001)
样本量	1 786 895	1 786 895	1 080 591	1 080 591
$R^2$	0.455	0.270	0.299	0.251

### （三）工业机器人应用对企业间工资差距的影响

近年来，诸多学者基于微观企业数据研究发现，同一行业内不同企业间的工资差距是造成社会整体收入不平等的重要原因（Helpman 等，2017）。为此，本文思考的第三个问题是，工业机器人的应用提高了劳动者的绝对工资水平，但是从相对视角看，工业机器人是扩大还是缩小了企业间的工资差距？

为了考察同一行业内机器人“是否使用”和“使用数量”对企业间工资差距的影响，本文使用行业内滞后一期的是否进口机器人（ $Import_{h,t-1}$ ）和进口机器人金额（ $Val_{h,t-1}$ ）作为核心解释变量，分别用企业间工资差距的泰尔指数（ $Qy wage_{th}$ ）、技能组成差距的泰尔指数（ $Skill\_wage_{th}$ ）和利润分享差距的泰尔指数（ $Profit\_wage_{th}$ ）作为被解释变量进行回归，控制变量也相应采用行业均值，估计结果如表 8 所示。

表 8 工业机器人应用与企业间工资差距的回归结果

	$Qy wage_{th}$ (1)	$Qy wage_{th}$ (2)	$Skill\_wage_{th}$ (3)	$Skill\_wage_{th}$ (4)	$Profit\_wage_{th}$ (5)	$Profit\_wage_{th}$ (6)
$Import_{h,t-1}$	-0.0004 (0.000)		-0.0003 (0.001)		-0.001 (0.001)	
$Val_{h,t-1}$		-0.00003 (0.000)		-0.00002 (0.000)		-0.00004 (0.000)
样本量	6 097	6 097	6 097	6 097	6 097	6 097
$R^2$	0.527	0.527	0.685	0.685	0.535	0.535

表8的结果表明,不论采用行业是否使用机器人,还是采用机器人进口金额作为核心解释变量,工业机器人对同一行业内不同企业间的工资差距、技能组成工资差距和利润分享工资差距的影响系数都很小,且不显著,收入分配效应尚不明朗。可能的原因在于,中国目前工业机器人的应用还处于起步阶段,工业机器人渗透率相对于韩国、新加坡和德国等发达国家来说仍有很大的提升空间,因此目前对劳动者收入差距的作用效果尚不明显。如前所述,最低工资政策的初衷在于保障劳动者的权益,尤其是保障低收入和低技能劳动者的权益,其目的之一是缩小社会收入差距。在考察企业间工资的“马太效应”后发现,现阶段工业机器人应用对劳动者收入差距的影响并不明朗,因此,工业机器人是否冲击了最低工资政策的制定初衷,尚需时日加以观察。

## 六、结论与政策启示

本文采用2000—2013年中国工业企业数据库、中国海关数据库、笔者手工搜集的城市最低工资数据和国泰安城市数据库四套数据库的匹配数据,建立面板固定效应模型,旨在考察最低工资政策对工业机器人应用的影响及其作用机制,并在此基础上反思工业机器人应用对最低工资政策制定初衷的影响。实证结果表明,其一,最低工资政策显著促进了工业机器人应用,在采取平行趋势检验、安慰剂检验等一系列稳健性检验后,这一结果依然成立。其二,中介效应模型表明,企业用工成本增加和政策遵从力度加强是最低工资政策促进工业机器人应用的重要影响机制。其三,最低工资对工业机器人应用存在异质性影响,其促进作用在大规模和平均工资较低企业、自动化程度高和劳动密集型行业、南方城市和超大特大城市中更为显著。其四,通过进一步思考工业机器人应用对最低工资政策制定初衷的冲击,发现工业机器人的应用通过增加技能组成工资,显著提升了劳动者整体就业和工资水平,在一定程度上与最低工资政策制定的初衷相一致,但是现阶段工业机器人对劳动者收入差距的作用效果尚不明朗,仍需持续关注。

本文的研究结论对于更好地保障劳动者的权益和有序推进中国企业智能化进程具有如下政策启示:

一方面,最低工资政策引致的用工成本上涨会推动工业机器人应用,而工业机器人应用在整体水平上,并未导致“替代效应”的发生,而是能够产生“创造效应”,提高劳动者的整体就业和收入水平。因此,各地政府需因地制宜,制定适宜的机器人发展政策,稳步推进工业机器人产业健康有序发展。本文研究表明,工业机器人的应用多集中在经济发达的城市,且其多被大型企业所使用,为尽可能地将机器人红利惠及更多人群,北方城市和中小型城市要充分借鉴南方城市和超大特大城市推广机器人的成功经验,制定适宜自身的机器人产业发展政策;同时,增大对机器人产业的资金扶持,降低企业使用机器人的成本,尤其是增加对中小企业的补贴,以推动企业转型升级,实现更高质量地发展。

另一方面,由于现阶段工业机器人应用对劳动者收入差距的影响还不明确,学者们需使用更多的微观调研数据,持续关注工业机器人应用对劳动力市场的影响,尤其是对劳动者收入差距的影响,防止社会收入差距进一步扩大,及时为政府有关部门建言献策。同时,政府既要充分引导和发挥工业机器人的正向溢出效应,又要未雨绸缪,警惕工业机器人大规模应用可能带来的社会收入差距扩大等问题,通过采取对低技能劳动者进行



技能培训、完善社会保障体系、推进税收制度改革等措施,充分保障劳动者的合法权益,进一步缩小贫富差距。

### 参考文献:

1. 蒋灵多、陆毅:《最低工资政策能否抑制新僵尸企业的形成》[J],《中国工业经济》2017年第11期,第118—136页。
2. 孔高文、刘莎莎、孔东民:《机器人与就业——基于行业与地区异质性的探索性分析》[J],《中国工业经济》2020年第8期,第80—98页。
3. 廖冠民、陈燕:《劳动保护、劳动密集度与经营弹性:基于2008年〈劳动合同法〉的实证检验》[J],《经济科学》2014年第2期,第91—103页。
4. 刘灿雷、王永进:《出口扩张与企业间工资差距:影响与机制》[J],《世界经济》2019年第12期,第99—120页。
5. 刘子兰、刘辉、杨汝岱:《最低工资制度对企业社会保险参保积极性的影响——基于中国工业企业数据库的分析》[J],《经济学》(季刊)2020年第4期,第1267—1290页。
6. 陆旸、蔡昉:《从人口红利到改革红利:基于中国潜在增长率的模拟》[J],《世界经济》2016年第1期,第3—23页。
7. 马双、赖漫桐:《劳动力成本外生上涨与FDI进入:基于最低工资视角》[J],《中国工业经济》2020年第6期,第81—99页。
8. 盛来运、郑鑫、周平、李拓:《我国经济发展南北差距扩大的原因分析》[J],《管理世界》2018年第9期,第16—24页。
9. 孙早、侯玉琳:《工业智能化如何重塑劳动力就业结构》[J],《中国工业经济》2019年第5期,第61—79页。
10. 王永钦、董雯:《机器人的兴起如何影响中国劳动力市场?——来自制造业上市公司的证据》[J],《经济研究》2020年第10期,第159—175页。
11. 杨飞、范从来:《产业智能化是否有利于中国益贫式发展?》[J],《经济研究》2020年第5期,第150—165页。
12. Acemoglu, D., Lelarge, C., Restrepo, P., 2020, “Competing with Robots: Firm-Level Evidence from France”[J], *AEA Papers and Proceedings*, Vol. 110: 383-388.
13. Acemoglu, D., Restrepo, P., 2018a, “Demographics and Automation”[D], NBER Working Paper, No. 24421.
14. Acemoglu, D., Restrepo, P., 2018b, “Low-Skill and High-Skill Automation”[J], *Journal of Human Capital*, Vol. 12, No. 2: 204-232.
15. Acemoglu, D., Restrepo, P., 2018c, “Artificial Intelligence, Automation and Work”[D], NBER Working Paper, No. 24196.
16. Acemoglu, D., Restrepo, P., 2020, “Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets”[J], *Journal of Political Economy*, Vol. 128, No. 6: 2188-2244.
17. Borjas, G. J., Freeman, R. B., 2019, “From Immigrants to Robots: The Changing Locus of Substitutes for Workers”[D], NBER Working Papers, No. 25438.
18. Cheng, H., Jia, R., Li, D., Li, H., 2019, “The Rise of Robots in China”[J], *Journal of Economic*

*Perspectives*, Vol. 33, No. 2: 71-88.

19. Dekle, R. , 2020, “Robots and Industrial Labor: Evidence from Japan” [J] , *Journal of the Japanese and International Economies*, Vol. 58, No. 4.
20. Fan, H. , Hu, Y. , Tang, L. , 2021, “Labor Costs and the Adoption of Robots in China” [J] , *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 186, No. 6: 608-631.
21. Gan, L. , Hernandez, M. A. , Ma, S. , 2016, “The Higher Costs of Doing Business in China: Minimum Wages and Firms’ Export Behavior” [J] , *Journal of International Economics*, Vol. 100: 81-94.
22. Guerreiro, J. , Rebelo, S. , Teles, P. , 2017, “Should Robots be Taxed?” [D] , NBER Working Papers, No. 23806.
23. Hau, H. , Huang, Y. , Wang, G. , 2020, “Firm Response to Competitive Shocks: Evidence from China’s Minimum Wage Policy” [J] , *The Review of Economic Studies*, Vol. 87, No. 6: 2639-2671.
24. Helpman, E. , Itskhoki, O. , Muendler, M. A. , Redding, S. J. , 2017, “Trade and Inequality: From Theory to Estimation” [J] , *The Review of Economic Studies*, Vol. 84, No. 1: 357-405.
25. Li, X. , Hui, E. C. , Lang, W. , Zheng, S. , Qin, X. , 2020, “Transition from Factor-Driven to Innovation-Driven Urbanization in China: A Study of Manufacturing Industry Automation in Dongguan City” [J] , *China Economic Review*, Vol. 59, No. 101382.
26. Upward, R. , Wang, Z. , Zheng, J. , 2013, “Weighing China’s Export Basket: The Domestic Content and Technology Intensity of Chinese Exports” [J] , *Journal of Comparative Economics*, Vol. 41, No. 2: 527-543.

## **Minimum Wage Policy and Industrial Robot Application: Evidence from Firms in China**

Qi Jianhong, Fu Jingjing

( Department of Economics, Shandong University )

**Abstract:** Based on the Chinese Annual Survey of Industrial Firms and the customs database from 2000 to 2013, this paper studies the impact of minimum wage policy on industrial robot application and its mechanism, and then investigates the impact of robot application on the original intention of minimum wage policy. The results show that the minimum wage policy significantly promotes the application of industrial robots, which is more significant in large-scale and lower wage firms, highly automatic and labor-intensive industries, the southern cities and megacities. The increase in labor cost and the strengthening of policy compliance are the important mechanisms. It is further found that industrial robot application can improve the workers’ overall employment and wage through increasing the wage of different workforce compositions, but the effect on income gap between laborers in different firms is not obvious and the impact on the minimum wage policy needs continuous attention.

**Keywords:** minimum wage policy; industrial robot; workforce composition; profit-sharing; DID

**JEL Classification:** F16; J21