

工业机器人应用对企业纵向边界变革的影响

——基于中国企业进口机器人的经验证据

洪联英 曾亦闻 吴雨奇

(湖南师范大学 商学院, 湖南 长沙 410081)

[摘要] 工业智能化正在改变企业纵向边界及其生产组织方式, 但鲜有文献关注这一动向。本文使用 2005-2014 年中国企业进口机器人数据和 PSM-DID 估计方法, 从企业组织方式视角, 研究工业机器人应用对企业纵向边界变化的影响。结果发现: 机器人的应用推动工业企业的纵向边界缩小; 该结果在进行稳健性和内生性检验后依然成立。但是, 工业机器人的应用对企业纵向边界的影响具有异质性, 只是在中国非国有企业、行业竞争度高的企业、中高技术行业, 以及分布在东部企业, 工业机器人应用显著缩小了企业纵向边界; 通过交互效应检验发现, 交易成本降低和全要素生产率水平提升, 是工业机器人影响企业纵向边界缩小的作用机制。这一结果揭示机器人应用推动着企业组织方式由垂直型组织结构向扁平化组织结构变革, 为中国智能制造业走向及其全球价值链重构提供新的经验证据。

[关键词] 工业机器人; 企业纵向边界; 企业组织方式变更

The influence of industrial robot application on the change of the vertical boundaries of enterprises

HONG Lianying, ZENG Yiwen, WU Yuqi

(Business school of Hunan Normal University, Changsha, Hunan 410081, China)

[Abstract] Although Industrial intelligence is changing the vertical boundaries of enterprises and the mode of business organization, there is little literature on this trend. This paper uses the data of imported robots of Chinese enterprises from 2005 to 2014 and PSM-DID method to empirically test the impact of industrial robot applications on the changes in the vertical boundaries of enterprises from the perspective of enterprise production organization. The results show that the application of industrial robots reduces the vertical boundaries of enterprises. The result remains robust after the robustness test and endogenous analysis. However, the application of industrial robots exhibits heterogeneous effects on the changes in the vertical boundaries of enterprises. Only non-state-owned enterprises, enterprises with high industrial competition, medium and high-tech industries, and enterprises distributed in the east in China, the application of industrial robots significantly reduces the vertical boundaries of enterprises. The reduction in transaction cost and the improvement of total factor productivity are the mechanisms of industrial robots affecting the narrowing of the vertical boundaries of enterprises through the interaction effect test. This result reveals that the application of robots promotes the transformation of enterprise production organization from vertical organization structure to flat organization structure, and provides empirical evidence for the formulation of appropriate national development plans for industrial smart manufacturing.

[Keywords] industrial robot; vertical boundary of enterprise; change of business organization

作者简介:

洪联英 (1972-), 湖南师范大学商学院国贸系主任, 教授, 博士生导师, 研究方向: 国际贸易与投资, 产业经济; 曾亦闻, 湖南师范大学商学院硕士研究生; 吴雨奇, 湖南大学经济与贸易学院, 博士研究生。

联系电话: 15970753511

电子邮箱: 281443891@qq.com

通信地址: 长沙市岳麓区麓山路 36 号湖南师范大学商学院 (410081)

工业机器人对企业纵向边界变革的影响

——基于中国企业进口机器人的经验证据

【摘要】 工业智能化正在改变企业纵向边界及其生产组织方式，但鲜有文献关注这一动向。本文使用 2005-2014 年中国企业进口机器人数据和 PSM-DID 估计方法，从企业组织方式视角，研究工业机器人应用对企业纵向边界变化的影响。结果发现：机器人的应用推动工业企业的纵向边界缩小；该结果在进行稳健性和内生性检验后依然成立。但是，工业机器人的应用对企业纵向边界的影响具有异质性，只是在中国非国有企业、行业竞争度高的企业、中高技术行业，以及分布在东部企业，工业机器人应用显著缩小了企业纵向边界；通过交互效应检验发现，交易成本降低和全要素生产率水平提升，是工业机器人影响企业纵向边界缩小的作用机制。这一结果揭示机器人应用推动着企业组织方式由垂直型组织结构向扁平化组织结构变革，为中国智能制造走向及其全球价值链重构提供新的经验证据。

【关键词】 工业机器人；企业纵向边界；企业组织方式变更

【中图分类号】 F434.3;F727

【文献标识码】 A

【文章编号】

一、引言

技术发展史表明，历次工业技术革命均推动了企业生产方式变革和技术环境转变。新一代人工智能技术有别于其他工业技术，既可以通过常规计算机技术以既定程序执行生产任务，又具备生物智能的自学习、自适应和自行动属性，与传统制造业深度融合，不仅推动传统生产方式向智能化转型，而且会改变要素禀赋条件及地理区位对企业边界的限制，推动企业重新选址、迁移流动与集聚而形成新的业务环境。换言之，工业机器人的应用正在改变企业纵向边界和管理其业务环境内部与跨业务环境关系的方式，原有的垂直型组织方式难以适应环境的快速变化，极有可能导致新的管理问题，并对新一轮产业发展新格局的形成产生重要影响。

实际上，企业究竟是选择垂直化组织方式还是扁平化组织方式，一直备受学者们的关注。按照 Coase（1937）的思想，垂直型组织方式的出现是应对市场交易成本过高而产生的，但是，垂直型组织结构对应的是集权，存在着“部门墙”，使得企业是有边界的。通常来说，企业纵向边界越大，表明企业偏爱垂直型组织方式；相反，企业纵向边界越小，企业越偏向选择扁平化组织方式。然而，现有文献表明，新兴技术的应用对企业纵向边界和组织结构的影响是模糊的（Harasim,1993; Afuah,2003）。如 Malone et al.（1987）Lewis and Sappington（1991），Brynjolfsson et al（1994）等人认为，信息技术的运用降低了信息搜集、加工和传递的时间与资金成本，能有效地降低市场交易成本，企业纵向边界呈现扩大的趋势。Earle et al.（2006）则认为，信息技术的应用对企业外部协调成本的节约效果更为显著，企业倾向于采取“市场购买”的方式，使得企业纵向边界不断缩小。互联网的应用能够降低资产专用性、信息不对称和机会主义行为倾向，会降低企业交易成本（Afuah,2003; Hitt, 1999），企业纵向边界趋于缩小。而 Chen and Kamal(2016)则从互联网信息和通信技术结合视角，认为这些技术的采用降低企业协调成本，影响企业跨国边界的重组，但在生产规范更容易以电子格式编码的行业中，跨国企业的纵向边界缩小（Kohler 和 Smolka, 2014; 2021）。显然，这些文献较为详细地分析企业边界变化的技术影响因素，但关于新兴技术应用对企业边界的影响关系是不清晰的，而且缺少从工业机器人应用视角的研究。随着机器人在制造业领域的大规模应用，理清其与企业纵向边界的影响关系及其作用机理，对数智化背景下应对企业组织方式变更的发展战略是至关重要的。

本文基于中国企业纵向边界变化的经验证据，探讨工业机器人应用对企业组织方式变革的影

响。我们认为，工业机器人的大规模应用，不仅会降低企业交易成本，而且会提高全要素生产率水平，正是通过这两个机制的共同作用，促进企业纵向边界缩小，使得企业由垂直型组织方式向扁平化组织方式变革。过往文献都只是从 Coase (1937) 和 Williamson (1985) 的交易成本框架，认为企业纵向边界是内部管控成本与外部交易成本权衡的结果，当新兴技术应用有利于企业内部的组织管理，企业管制成本会降低，企业偏向垂直型组织方式，使得企业边界扩大 (Fernandez 和 Nieto, 2006)；当新兴技术应用促进企业与外部的信息沟通，降低企业外部交易成本，企业偏向扁平化组织方式，使得企业边界缩小 (Malone 等, 1987)。由于单从交易成本视角考虑，得出的结论是不一致的。实际上，机器人应用对企业纵向边界的影响，除了要从外部交易成本考虑外，更需要从全要素生产率水平上考虑。作为新兴技术，工业机器人不仅可以在一些单调、繁杂、高时长的工作中替代人力劳动，还具有可自动控制、重复编程、完成多目标任务的特征，这促进企业提高生产率水平。而生产率水平的提高，又进一步影响企业纵向边界的变动 (Kohler 和 Smolka, 2021)，因为高生产率企业一般规模较大，中间品购入需求较高，需要的分销渠道也越多，而机器人的应用有利于企业将更多环节外包给其他企业，缩小了企业纵向边界，使得扁平化组织方式更流行。

为验证上述假说，我们运用 2005-2014 年中国工业企业进口机器人的数据，并运用 PSM-DID 估计方法进行实证检验。实证结果表明：工业机器人的应用推动企业的纵向边界缩小；该结果在进行系列稳健性和内生性检验后依然成立。交易成本降低和全要素生产率水平提升，是工业机器人影响企业纵向边界缩小的两个作用机制。此外，工业机器人的应用对企业纵向边界的影响具有异质性，目前只是在非国有企业、行业竞争度高的企业、中高技术行业，以及分布在中国东部企业，工业机器人应用显著缩小了企业纵向边界。

本文边际贡献体现在：(1) 本文从企业组织方式新视角，依据工业机器人可编程和拟人化的典型特征，分析工业机器人应用对企业纵向边界的影响，扩展了工业机器人应用的企业影响效应。现有文献主要聚焦人工智能技术应用的经济影响和生产结果，较少研究其对企业组织行为的影响。如机器人使用对经济产出与生产率的影响 (Aghion 等, 2017; Graetz and Michaels, 2018)、对劳动力就业的影响 (Furman and Seamans, 2019; Acemoglu and Restrepo, 2018)、对要素收入分配及劳动者报酬的影响 (Hémous and Olsen, 2022)，以及对进出口贸易的影响 (Artuc et al. 2018) 等。这些文献没有深入到企业生产内部，探讨工业机器人应用与企业组织方式的关系问题。

(2) 从交易成本和全要素生产率两个机制，理清工业机器人应用与企业纵向边界的影响关系，揭示了工业机器人应用推动企业垂直型组织方式向扁平化组织方式变革。现有文献主要基于交易成本理论研究新兴技术对企业边界变化的影响，得出两者关系的结论是不一致的，如有的文献认为是新技术应用扩大了企业纵向边界，而有的文献则认为新技术应用缩小了企业边界。本文认为，要理清这一关系，要突破交易成本理论单一层面，要从交易成本和全要素生产率两个层面来分析其作用机理，从而理清两者的关系，即工业机器人应用对企业纵向边界产生收缩效应，这对数字化背景下如何应对企业组织方式变革和商业模式的转变提供新的启示。

余下结构安排如下：第二节为理论框架与研究假说；第三节为模型构建、变量设计和数据说明；第四节为实证检验工业机器人应用对企业纵向边界变化的影响；第五节为进一步的机制检验；最后为结论与启示。

二、理论框架与研究假设

1、工业机器人的主要应用功能

按照国际标准组织 (ISO 8373:2012) 定义，工业机器人是指具有实现自动控制、可再编程、不低于 3 个可编程轴的、能够自动执行某些操作的工业自动化设备。换言之，工业机器人可以根据人工智能技术制定的原则纲领行动。与传统工业设备相比，工业机器人具有众多优势，如机器人具有易用性，智能化水平高，生产效率及安全性高，易于管理等。实际上，这些优势主要得益于机器人

的两大应用功能:

(1) 拟人化。工业机器人首先是连接技术与生产的载体, 能够将新兴技术引入到生产之中, 利用计算机编写出自动化程序, 将多个生产步骤合为一体, 实现“智能自动化”过程。在这一过程中, 工业机器人能够借助人工智能技术所具备的分解、模拟和延伸人类脑力劳动的性能, 去完成由生产线上的劳动力无法完成的任务, 具备劳动力替代和超越原有操作范围的能力 (Acemoglu and Restrepo, 2020)。工业机器人在实现复杂体力任务的自动化过程中具有劳动者无可比拟的效率优势, 发挥着提升生产率水平的功能。

(2) 可编程。工业机器人具备可重复编程的特性, 可在不进行物理更改的情况下更改任务程序, 通过程序设计连接技术与生产, 让企业可以清晰地知道每天的生产量, 合理根据产能去接收订单、产品生产和库存管理。随着多机器人协同、控制、通信等技术进步, 机器人从被单向控制向自己存储、自己应用数据方向发展, 逐渐信息化和互联网化 (Acemoglu and Restrepo, 2018), 发挥节约交易成本的功能。

2、工业机器人、全要素生产率与企业纵向边界

作为一项通用技术, 工业机器人的使用早已摆脱早期“信息技术生产率悖论”问题 (Milgrom and Roberts, 1990; Brynjolfsson and Hitt, 1996), 其与实体经济的深度融合, 可以显著促进企业生产率的增长 (Graetz and Michaels, 2018)。一方面, 工业机器人技术通过补充、替代人类劳动执行复杂任务, 给企业带来要素配置优化和生产管理方式升级, 促进生产系统中各要素综合生产率的提升 (Makridaki, 2017, Acemoglu and Restrepo, 2020)。Kromann 等 (2019) 的研究显示, 机器人强度每增加一个标准差, 全要素生产率就会增加 6.5% 以上。另一方面, 与一次性购进设备或者使用某项技术相比, 工业机器人更能体现出现代工业技术的高效益、软硬件结合等特点, 在改变传统的机械制造模式的同时, 也通过长期资本积累和自动化深化进一步促进了生产效率的改善。

实际上, 生产率水平的提高, 将进一步影响企业纵向边界的变动 (Kohler 和 Smolka, 2021)。依据 Kohler 和 Smolka (2014), 企业根据生产率水平自行选择企业组织方式, 更高的生产率水平会推动企业在供应商强度低的行业中进行垂直一体化, 企业纵向边界扩大, 而在供应商强度较高的行业中进行扁平化外包, 企业边界缩小。一般地, 智能制造行业的生产率水平较高, 其中间品购入需求较高, 分销渠道也较多, 机器人的应用有利于企业将更多的生产环节外包给其他企业, 缩小了企业纵向边界, 使得企业组织方式向扁平化方向演进。

3、工业机器人、交易成本与企业纵向边界

Williamson (1975) 在 Coase (1937) 的交易成本思想上, 认同企业纵向边界的决策取决于交易成本的大小, 但他还强调, 垂直型组织方式在克服组织失效方面具有一系列潜在优势, 这些优势体现在适应有限理性、机会主义、不确定性、小数目交易关系、信息阻塞和交易环境氛围等人的因素与环境因素方面。但是, 垂直型组织方式对应的是集权, 其优势也会受到组织规模和交易限度、运用激励与控制工具的有效性等组织形式问题的限制。相反, 扁平化组织方式对应的是分权, 分权下的组织独立性更强, 传统的“部门墙”不复存在, 组织运行效率提高。这就是说, 企业纵向边界会因交易成本的变化而被调整, 以期适应企业组织方式的变革。在此基础上, Williamson (1985) 进一步提出, 资产专用性、信息不对称和机会主义是刻画交易成本的三个维度, 这为企业纵向边界的变化提供调整依据。

按照这三个维度, 工业机器人应用虽然提高企业资产专用性, 但由于其拟人化和可编程等功能, 信息获取快速化、平行化, 有效扩大管理范围, 使得垂直型组织结构被“压缩”为扁平化的组织结构。一方面, 工业机器人的智能化和可编程功能, 可以预测现有知识的哪些组合将产生有用的新发现的能力 (Agrawal et al., 2018; Cockburn et al., 2018), 让企业可以清晰地知道每天的生产量, 合理根据产能去接收订单、产品生产和库存管理, 有效降低企业内部的管控成本, 由此带来企业分工与合作的变化, 推动生产活动向中间组织形式 (战略联盟、虚拟组织) 演进, 使得企业纵向边界收缩。另一方面, 工业机器人通过智能化、信息化和网络化管理, 有效减少搜索成本和信息成本,

弥补市场交易双方的地理距离，降低企业与交易对手在签订契约过程中所需要付出的协商、谈判成本(Ellyson and Ellison, 2014; Goldfarb and Tucker, 2019)，推动企业重新选址、迁移流动与集聚而导致企业边界变化。由于机器人技术应用对交易成本的节约更大一些(Malone, 1987)，促使企业将更多的活动交由准市场去完成，导致企业纵向边界缩小。

综上所述，本文得出如下理论分析框架和研究假设：

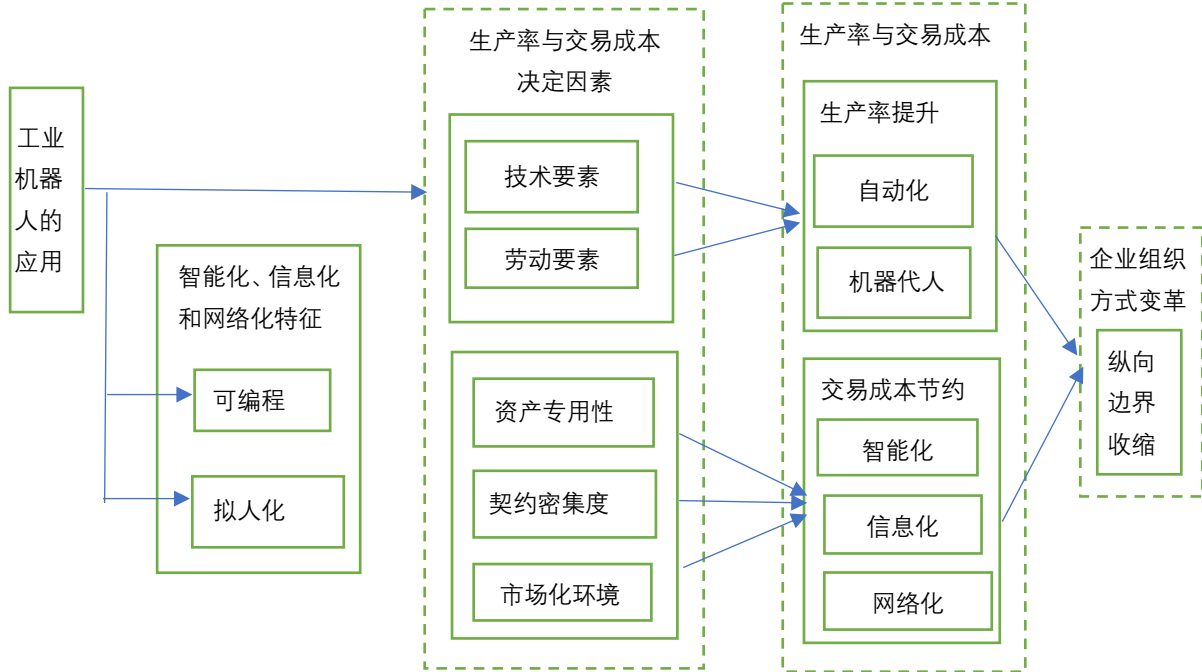


图 1. 理论分析框架

假设 1: 工业机器人的应用推动了制造业企业边界的纵向分离，使得企业纵向边界缩小。

三、研究设计

1、模型构建

企业进口工业机器人的行为可能具有非随机性，是一些企业自发的、有选择性的行为。为了避免本文基本模型的估计结果可能因个体的自选择问题而产生估计偏差，本文使用 PSM-DID 的方法对其进行检验，设定样本内进口过机器人的企业为 1，为处理组；如果为 PSM 处理后的非进口机器人的企业，则为 0，属于对照组。构建的基本检验模型为：

$$VAS_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 treat + \alpha_2 time + \beta policy + \sum Controls + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中 $VAS_{i,t}$ 代表 i 企业在 t 年的纵向一体化程度， $treat$ 是用来区分处理组和对照组的 0-1 变量，如果样本为进口机器人的企业，则 $treat$ 为 1，为处理组；如果为 PSM 处理后的非进口机器人的企业，则 $treat$ 为 0，属于对照组。 $time$ 是二维虚拟变量， $time = 1$ 表示企业进口机器人之后的时期， $time = 0$ 表示企业进口机器人之前的时期。 $policy$ 为 $treat$ 和 $time$ 的交乘项， $policy$ 前面的系数 β 反映了进口机器人前后企业纵向边界的平均变化情况。 $Controls$ 为包含企业和地区层面的一系列控制变量，此外，模型还加入了年份和企业层面的固定效应。

在倾向得分匹配的过程中，本文选择的匹配方法是 1:1 近邻匹配，匹配变量集包括企业规模 ($size$)、企业年龄对数 ($lnage$)、企业产权性质 ($state$)、人均产出水平对数 ($output\ per\ capita$)，同时还控制了年份固定效应、个体固定效应。本文得到了 6315 个未进口过机器人企业匹配观测值。从表 1 的匹配结果可以看出，在匹配之前，各个协变量的 p 值均小于 0.1，这说明实验组与对照组的样本间存在显著差异，而进行 1:1 近邻匹配之后， p 值都升至大于 0.1，这说明匹配之后实验组与对

对照组各个协变量之间没有明显差异，匹配质量较好。此外，本文还进行了平行趋势检验，结果如图1，企业进口机器人之前估计系数在0附近波动，而在进口机器人第3年后，系数显著为负。这表明，处理组和控制组在进口机器人之前差异不明显，满足平行趋势的前提假设。在政策时点之后，进口机器人对企业纵向边界的负向效应在进口机器人3年之后的持续几年内持续增长，然后趋于平稳。

表1 PSM 匹配质量结果

变量	Unmatched Matched	Mean		%bias	%reduct bias	t-test		V(T)/ V(C)
		Treated	Control			t	p> t	
size	U	12.358	9.98	151.2		173.99	0.000	1.31*
	M	12.361	12.353	0.6	99.6	0.39	0.697	1.00*
lnage	U	1.9877	1.859	16.0		15.78	0.000	0.72*
	M	1.9864	1.9848	0.2	98.7	0.15	0.879	0.70*
state	U	0.01251	0.03668	-15.6		-13.78	0.000	
	M	0.01255	0.01076	1.2	92.6	1.25	0.212	
output per capita	U	6.0558	5.6237	37.5		41.15	0.000	1.14*
	M	6.0568	6.0443	1.1	97.1	0.76	0.446	0.89*

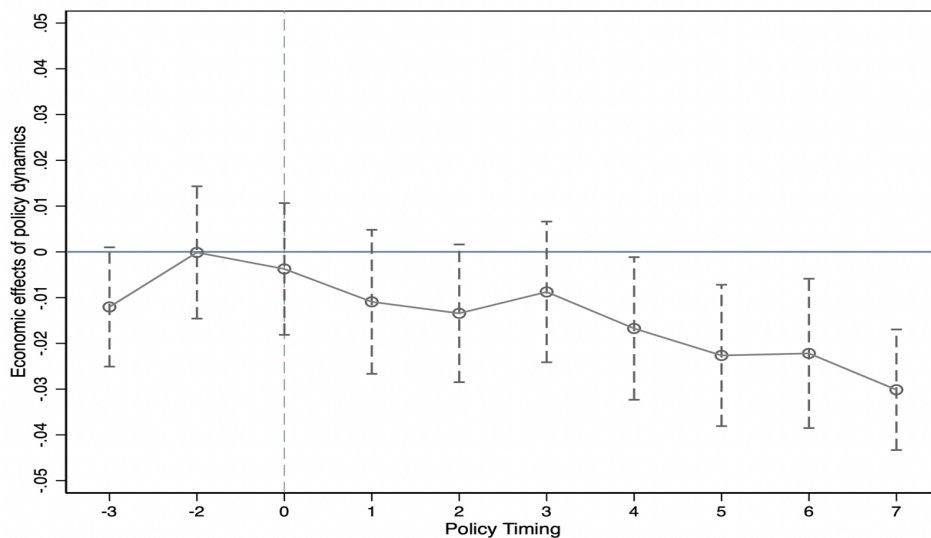


图1 平行趋势检验图

2、变量设置和数据说明

本文利用 2005-2014 年的中国微观企业层面面板数据考察机器人应用对企业纵向边界的影响，工业机器人进口数据来自于中国海关数据库，通过统计分析，我们发现样本内进口过工业机器人的企业有 3612 家。企业层面数据主要来源于中国工业企业数据库，该数据库涵盖了全部国有企业和部分非国有企业（主营业务收入达到 500 万及以上）。由于该数据库存在填报错误等数据失真情况，本文借鉴 (Brandt et al., 2012; Feenstra et al., 2018) 对数据进行以下处理：(1) 将缺少主要财务信息的样本删除，例如总资产、固定资产、主营业务收入等；(2) 将从业人数少于 8 人的企业排除；(3) 依据现有国际通用会计准则，删除了固定资产规模大于总资产、固定资产净额大于总资产、流动资产规模大于总资产、企业代码及企业名称缺失、成立月份大于 12 或小于 1 的不合理的企业样本。中国就业数据主要来源于《中国工业统计年鉴》，地区层面控制变量数据主要来源于中国城市统计年鉴，各个国家工业机器人安装量以及存量数据来源于 IFR 数据库，德国、美国各行业就业人员总数来源于 WORLD KLEMS 数据库。

(1) 因变量：垂直一体化程度 (VAS)。按照测度垂直一体化的代表性方法 (Ademan, 1955; Stehrer et al., 2012)： $VAS = \text{增加值} / \text{营业收入}$ ，其中，增加值采用企业主营业务收入与主营业务成本之差表示，销售收入用该企业主营业务收入表示。企业垂直一体化程度采用价值增值法度量，

主要原因在于产业分工导致最终产品的生产被分为多个环节，每个环节都创造一定程度的增加值，这些环节所创造的增加值之和等于最终产品的增加值，因此当企业垂直一体化程度加大时，*增加值/营业收入*的数值会相应增加，当企业垂直一体化程度降低时，*增加值/营业收入*的数值会相应减少。因此，本文将该比值作为垂直一体化程度的代理变量。但该指标没有考虑到企业所处产业链位置获得的附加值不同带来的偏差，本文将在后面的模型回归中使用相应的控制变量减轻此种偏差，具体在后面的控制变量定义中进行详细说明。

(2) 自变量：企业机器人应用水平 (*robot*)。根据 ISO 8373:2012 定义，本文选择 8 个 HS8 位码作为工业机器人产品来源¹，并借鉴 (Acemoglu & Restrepo, 2018) 方法，采用企业是否进口工业机器人构造机器人应用程度，以此反映企业层面的工业智能化水平，数据来源于中国海关数据库。采用企业是否进口工业机器人反映企业层面的工业智能化水平的原因在于：第一，工业机器人是目前应用较为广泛的智能化设备，是工业智能化的重要成果。而且相比于构建指标体系的方法，使用工业机器人衡量工业智能化水平能够有效缓解内生性问题。第二，中国企业的机器人使用绝大部分来自进口。根据 IFR 的数据，中国超过 70% 的机器人需求在 2013 年之前依赖于国外进口。第三，不论是 IFR 数据库还是中国机器人产业联盟提供的数据，都只是行业层面或国家层面的机器人年安装量，并不是企业层面机器人的应用信息，无法实现本文研究企业层级的问题。图 1 展示了 2005-2014 年中国企业应用机器人的发展趋势，可以看出机器人进口数量与国际机器人联合会 (IFR) 统计的中国机器人安装流量不仅走势相同，机器人进口数量的总和也与权威的 IFR 安装流量统计相近，表明以机器人进口数量作为机器人应用程度的合理性。

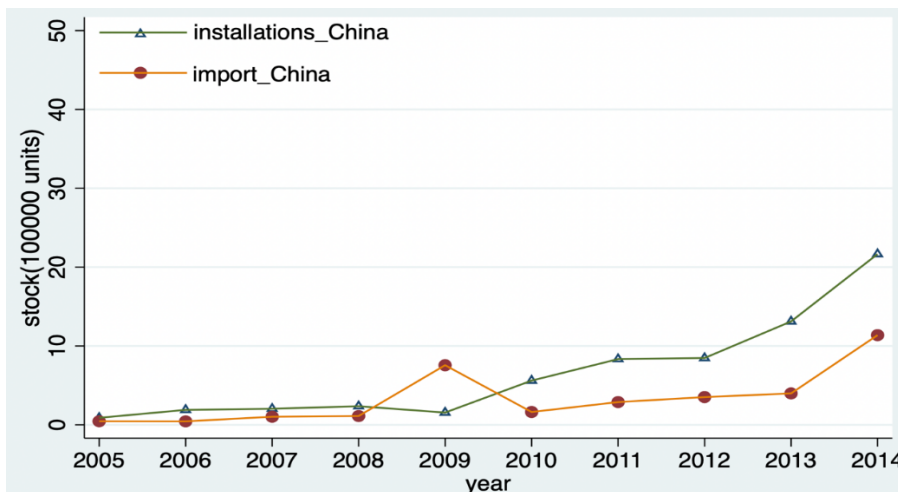


图 2 2005-2014 年中国进口机器人数量与安装流量的变化

(3) 控制变量：为控制其他因素影响被解释变量造成对模型估计结果的偏误，我们分别从企业层面和地区层面引入控制变量。企业层面的控制变量包括企业规模 (*size*)，用企业总资产对数表示，规模较大的企业由于经营能力强、资金雄厚，其垂直一体化动机也较强；企业年龄 (*age*) 及平方项，用调查年份与企业登记注册年份之差测算，并取对数处理。企业在行业里经营时间越长，积累的经验越丰富，企业自身的实力越强，在行业内的交易成本也会下降，垂直型组织方式动机减弱；融资能力 (*financing capacity*)，用企业利息支出占总债务比重表示。企业融资成本影响企业沿产业链扩张的能力，因此是决定企业垂直型组织结构的重要因素，融资成本低的企业，具备更大的纵向一体化能力，相反，融资成本高的企业，具备更小的纵向一体化能力；地区层面的控制变量包括企业所在省份市场化水平 (*market*)，用企业所在省份的市场化指数表示，地区的市场化进程越差，法律

¹ 本文选择 8 个 HS8 位码作为工业机器人产品来源，包括 84795010 (多功能机器人)、84864031 (集成电路工厂专用的自动搬运机器人)、84289040 (搬运机器人)、84248920 (喷涂机器人)、85153120 (电弧焊接机器人)、85152120 (电阻焊接机器人)、85158010 (激光焊接机器人)、84795010 (多功能工业机器人)

对产权的保护越弱，契约执行的成本也比较高，此时，企业更愿意进行纵向一体化生产以节约交易成本；企业所在地级市经济发展水平 (*gdp*)，用企业所在地级市人均 GDP 的自然对数表示，地区经济发展水平对企业纵向一体化行为也存在影响；交通运输能力 (*community*)，用各省份货物运输量的对数表示。交通运输能力是决定企业与外部市场交易的重要变量，交通运输能力强的地区，可以节约货物运输成本和时间，从而节约交易成本，对于工业企业影响更加显著。

主要变量描述性统计结果如表 2 所示，企业垂直一体化程度 *VAS* 的均值和标准差分别为 0.2104 和 0.1632，说明不同企业的垂直一体化程度存在较大差异。*lnrobot_value* 的均值和标准差分别为 3.9079 和 5.2454，且 25% 分位数和 75% 分位数分别为 0.000 和 10.0468，也表明不同企业的工业机器人应用水平差异较大。

variable	N	mean	sd	p25	p50	p75
VAS	11010	0.2104	0.1632	0.1033	0.1701	0.2646
policy	11010	0.3613	0.4804	0.0000	0.0000	1.0000
lnrobot_value	11010	3.9079	5.2454	0.0000	0.0000	10.0468
size	11010	12.4361	1.6598	11.2981	12.2932	13.3834
lnage	11010	2.0759	0.7702	1.6094	2.1972	2.5649
lnage_2	11010	4.9024	3.1293	2.5903	4.8278	6.5790
roa	11010	0.0368	0.1220	-0.0131	0.0168	0.0713
financing capacity	11010	0.0208	0.1203	0.0000	0.0086	0.0267
gdp	11,010	10.9772	0.7116	10.5832	11.0430	11.4183
market	11,010	8.3596	1.5991	7.2600	8.4400	9.4200
community	11010	11.7957	0.6517	11.4168	11.9269	12.2186

四、实证结果分析

1、基准回归

工业机器人进口可能是非随机，是一些企业自发的、有选择性的行为。因此，本文基本模型的估计结果可能因个体的自选择问题而产生估计偏差。因此，本文使用倾向得分匹配法，寻找那些与进口了机器人的企业具有相同特征但未发生机器人进口的企业作为“反事实”对照组，以获取机器人应用对企业纵向边界的净影响。具体过程如下：第一步，利用 1:1 近邻匹配法寻找对照组。根据现有理论分析，选择以下变量作为协变量：企业规模 (*size*)、企业年龄 (*lnage*)、企业产权性质 (*state*)、人均产出水平 (*output per capita*)。第二步，利用双重差分法估计机器人进口对企业纵向边界影响的平均处理效应。根据第一步得到的匹配结果，双重差分法的计量模型设定如下：

$$VAS_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 treat + \alpha_2 time + \beta policy + \sum Controls + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

表 3 报告 2005-2014 年间使用机器人对中国企业纵向边界的影响的基准估计结果。列 (1) 为交互项 *policy* 是否进口机器人对企业纵向边界 *VAS* 的回归结果，列 (2) 进一步加入企业层面的控制变量，列 (3) 进一步加入地区层面的控制变量，列 (3) 结果显示，交互项的系数在 1% 的水平下显著为负，说明相比于未进口机器人的企业，使用机器人企业的纵向边界显著低了 1.7 个百分点。以上结果表明企业应用机器人使企业趋于专业化发展，纵向边界缩短。

表 3 基准回归检验

VARIABLES	(1) VAS	(2) VAS	(3) VAS
policy	-0.014** (-2.06)	-0.019*** (-2.84)	-0.019*** (-2.87)
size		0.028*** (5.11)	0.029*** (5.12)
lnage		0.069*** (5.30)	0.071*** (5.34)

lnage ₂		-0.014***	-0.014***
		(-3.68)	(-3.82)
roa		0.119***	0.119***
		(4.11)	(4.05)
financing capacity		-0.037	-0.035
		(-0.86)	(-0.82)
gdp			0.015***
			(2.42)
market			-0.023***
			(-7.00)
community			-0.023**
			(-2.57)
Constant	0.193***	-0.186***	0.114
	(42.46)	(-3.15)	(0.88)
个体固定效应	控制	控制	控制
年份固定效应	控制	控制	控制
Observations	11,010	11,010	11,010
R-squared	0.604	0.624	0.629

注：括号内为经企业层面聚类调整后的t统计量，***，**，* 分别表示在1%、5%、10%的水平下显著。

2、稳健性检验

(1) 工具变量法估计。分别使用 GMM 方法和 2SLS 法进行回归，参照 (Dauth et al.,2021) 分别采用美国、德国工业机器人数据构造工具变量²，第一，在样本期内美国和德国机器人应用水平虽领先于中国，但其发展趋势与中国同期比较接近，见图 3。第二，美国、德国的工业机器人渗透度受发展中国家影响较低，对中国制造业企业生产组织方式的影响仅能通过工业智能化这一途径实现，因此具有排他性。本文后续还进行 Hansen J 检验验证了两个工具变量的外生性条件。结果如表 4 第(1)、(2) 列，结果依然稳健。

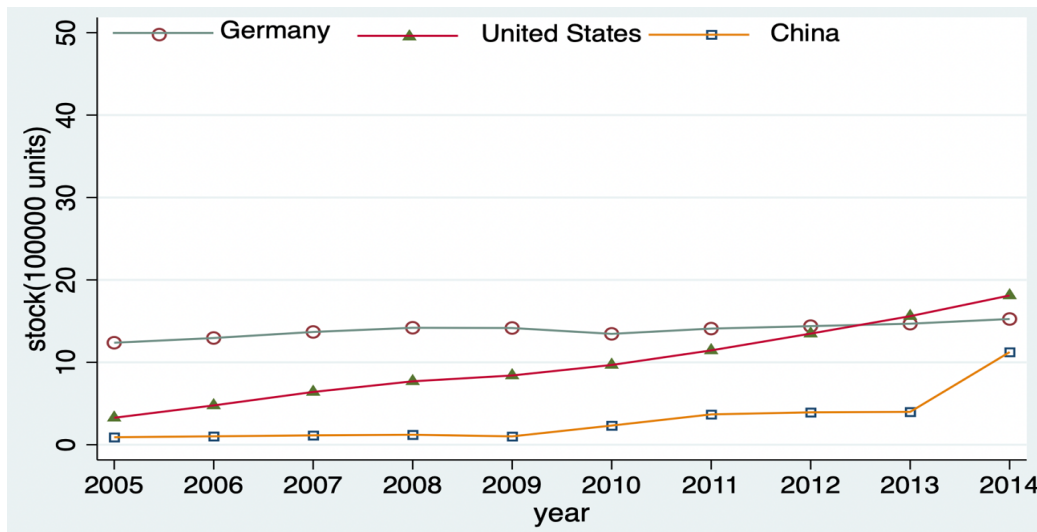


图 3 样本期内美国、德国与中国的工业机器人应用水平趋势比较

(2) 改变企业工业智能化程度的衡量。考虑到工业机器人的大小和用途等可能存在差异，采用工业机器人进口金额能够更好地反映机器设备的自动化水平。因此，本节将机器人进口金额作为解释变量进行重新回归，由表 4 第 (3) 列结果可知，结果依然稳健。

(3) 其他外生因素。首先，由于本文的研究区间是 2005-2014 年，2008 年爆发的全球金融危

² 借鉴 (Acemoglu&Restrepo, 2020) 的做法，构造美国、德国企业层面的机器人渗透率，具体公式如下：

$$robot_{us}(ger)_{jit} = \frac{EMP_{jit=2005}}{ManuEMP_{t=2005}} \times \frac{MR_{it}^{CH}}{L_{it=2005}^{CH}}$$

其中 $EMP_{jit=2005}$ 表示 2005 年 (基期) i 行业 j 企业雇佣人数。此外，工具变量的选取均通过了 Kleibergen - Paap rk LM 检验、Cragg - Donald Wald F 检验以及 Hansen J 检验。

机对中国经济带来了一定的影响，故剔除 2008 年进行回归。结果如表 4 第（4）列，可知，排除了以上外生因素干扰后，工业机器人的应用对我国企业纵向边界的影响依然显著为负且影响程度不大。综上，本文基准分析中的研究结论较为稳健，可靠性较高。

VARIABLES	(2) GMM法	(3) 2SLS法	(3) 替换解释变量	(4) 排除政策冲击
Invalue_time			-0.001** (-2.50)	
policy	-0.177** (-2.29)	-0.007*** (-3.23)		-0.018*** (-2.76)
size	-0.002** (-2.27)	-0.001 (-1.11)	0.029*** (5.13)	0.030*** (5.17)
lnage	0.065*** (4.43)	0.047*** (6.32)	0.070*** (5.32)	0.070*** (5.24)
lnage_2	-0.011*** (-3.74)	-0.008*** (-4.30)	-0.014*** (-3.82)	-0.014*** (-3.75)
roa	0.233*** (19.30)	0.233*** (13.08)	0.119*** (4.06)	0.120*** (4.03)
financing capacity	-0.036** (-2.34)	-0.026** (-2.32)	-0.036 (-0.83)	-0.033 (-0.78)
gdp	0.029*** (3.22)	0.019*** (4.14)	0.015** (2.48)	0.015** (2.48)
market	-0.004** (-2.17)	-0.008*** (-5.73)	-0.023*** (-6.93)	-0.023*** (-6.90)
community	-0.009*** (-2.83)	-0.009*** (-3.48)	-0.023** (-2.57)	-0.024** (-2.56)
Constant	0.027 (0.29)	0.135*** (2.71)	0.099 (0.81)	0.092 (0.74)
个体	控制	控制	控制	控制
年份	控制	控制	控制	控制
Observations	10805	9,854	9,854	10,830
R-squared	0.203	0.646	0.646	0.633

注：括号内为经企业层面聚类调整后的 t 统计量，***，**，* 分别表示在 1%、5%、10%的水平下显著。

3、异质性分析

（1）企业产权性质的异质性。考虑到工业智能化可能对不同所有制类型企业的企业边界产生不同影响，本文通过企业实收资本比例划分企业所有制类型，具体地，将国有资本比例超过 50%的企业定义为国有企业，其余的定义为非国有企业，把子样本分别进行回归，结果如表 5 第（1）、（2）列，结果显示，非国有企业系数显著为负，国有企业系数为正但不显著，说明相较于非国有企业，工业机器人的应用缩短国有企业纵向边界的作用较小。因为国有企业具有天然的政企联系，能获得更多的政策扶持和税收优惠，缺乏对外界竞争压力的感知，导致国有企业缺乏主动创新能力，难以利用工业机器人的优势进行技术创新，因此，国企在工业机器人的应用下，其纵向边界的变化相对更小。而非国有企业因为资源基础弱、获取难度大，对于智能政策扶持的渴求度更高，政策利好的边际效应更明显，因此，非国有企业在市场竞争压力下会主动利用工业机器人的应用进行技术创新，优化资源配置。因此，工业机器人的应用对非国有企业纵向边界的影响效果更为明显。

（2）行业竞争程度的异质性。既有研究表明，行业竞争程度会影响企业的交易对象选择范围，进而影响企业现有供应链合作关系的不确定性（Acemoglu et al., 2010）。当某公司所在行业竞争程度比较激烈时，意味着其上下游企业即便切断与该公司的合作关系，在该公司同行业公司中寻找新的合作对象的可行性也很高。因此，当行业竞争程度较高时，公司遭遇外部交易对手“敲竹杠”的可能性更高，工业机器人对其所属企业外部交易成本的降低效果更为显著。为了验证上述猜测，用行业赫芬达尔指数度量企业所在行业竞争程度，并按照样本期间行业竞争程度的均值将样本划分为

高行业竞争程度和低行业竞争程度的样本。回归结果如表 5 第 (3) - (4) 列所示，在高行业竞争程度的样本，工业机器人的应用对企业边界的影响更为显著。

表 5 企业所有权和行业竞争程度的异质性分析结果

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)
	国有 VAS	非国有 VAS	高竞争程度行业 VAS	低竞争程度行业 VAS
policy	0.016 (0.78)	-0.020*** (-2.87)	-0.032*** (-2.62)	-0.007 (-0.76)
size	0.047** (1.99)	0.028*** (4.76)	0.035*** (3.57)	0.031*** (3.99)
lnage	0.165*** (3.29)	0.073*** (5.19)	0.080*** (3.30)	0.063*** (3.05)
lnage_2	-0.030*** (-3.10)	-0.015*** (-3.36)	-0.006 (-0.69)	-0.015*** (-2.98)
roa	-0.067 (-0.55)	0.119*** (3.98)	0.092** (2.28)	0.136*** (4.32)
financing capacity	0.481 (0.86)	-0.038 (-0.88)	-0.058* (-1.77)	0.025 (0.15)
gdp	0.062 (1.54)	0.014** (2.19)	0.067*** (4.30)	0.005 (0.55)
market	-0.037*** (-3.33)	-0.024*** (-6.79)	-0.034*** (-6.26)	-0.025*** (-4.93)
community	-0.015 (-0.46)	-0.027*** (-2.79)	-0.031* (-1.89)	-0.022 (-1.64)
Constant	-0.829 (-1.38)	0.187 (1.46)	-0.353 (-1.62)	0.183 (0.98)
个体	控制	控制	控制	控制
年份	控制	控制	控制	控制
Observations	655	10,355	4,466	6,544
R-squared	0.721	0.628	0.667	0.639

注：括号内为经企业层面聚类调整后的 t 统计量，***，**，* 分别表示在 1%、5%、10%的水平下显著。

(3) 行业技术密集度的异质性。本文按照 OECD 行业划分标准，将样本划分为高技术密集型、中高技术密集型、中低技术密集型以及低技术密集型四类进行回归。表 6 第 (1) - (4) 列显示，工业机器人应用显著提高了行业技术密集度处于中高水平的企业的纵向边界，而对高技术和中低技术、低技术密集型行业影响不显著。导致这一结果的原因可能是，高技术行业内企业改变企业生产组织方式所制约因素少，使用工业机器人以缓解相关约束、改变企业纵向边界的动机不足；受技术扩散周期影响，低技术行业内企业的工业机器人发展相对滞后，对企业纵向边界的影响较为有限。而中高技术行业内企业转变分工方式动机较强、技术发展较快，工业机器人应用对企业纵向边界的影响也就较为显著。

(4) 地区选择的异质性。鉴于不同地区的工业智能化水平不同，本文接着将全国不同省份划分为东部、中西部两大地区，分样本探究不同地区的工业智能化水平对企业边界的差异化影响。回归结果如表 6 第 (5) - (6) 列所示。解释变量在东部为负向显著，在中西部样本中则为不显著。原因可能是相对于中西部地区，东部地区具有更加发达完备的互联网基础设施、庞大而高效的市场、先进的数字创新能力、大量的高端数字人才，其企业的工业智能化程度会高于中西部地区，因此工业机器人应用对东部地区企业纵向边界影响更加显著。

表 6 行业技术密集程度和地区选择异质性分析结果

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	高技术 VAS	中高技术 VAS	中低技术 VAS	低技术 VAS	东部 VAS	中西部 VAS
policy	-0.012 (-1.37)	-0.056*** (-3.21)	-0.033 (-1.60)	-0.028 (-0.87)	-0.021*** (-2.96)	-0.006 (-0.35)
size	0.024***	0.026**	0.039***	-0.003	0.029***	0.007

	(2.93)	(2.05)	(3.73)	(-0.06)	(4.87)	(0.51)
lnage	0.041*	0.121***	0.012	0.075	0.072***	0.093**
	(1.84)	(4.09)	(0.39)	(1.01)	(5.33)	(2.32)
lnage_2	0.002	-0.023***	-0.005	-0.014	-0.015***	-0.019*
	(0.23)	(-3.26)	(-0.71)	(-0.58)	(-3.73)	(-1.88)
roa	0.078**	0.105	0.220***	0.263	0.114***	0.200*
	(2.56)	(1.34)	(4.96)	(1.33)	(3.81)	(1.96)
financing capacity	-0.407**	0.268	-0.050	-0.067***	-0.009	-0.058***
	(-2.20)	(0.81)	(-0.22)	(-4.67)	(-0.06)	(-3.32)
gdp	0.111***	0.013	0.008	0.030	0.016**	0.029
	(4.73)	(0.75)	(0.65)	(1.28)	(2.52)	(0.59)
market	-0.026***	-0.040***	-0.029***	-0.050**	-0.026***	-0.028
	(-5.03)	(-4.77)	(-3.63)	(-2.00)	(-7.32)	(-1.44)
community	0.008	-0.031	-0.010	-0.067	-0.044***	0.052*
	(0.48)	(-1.46)	(-0.50)	(-0.99)	(-4.17)	(1.83)
Constant	-1.172***	0.351	0.018	0.990	0.353***	-0.655
	(-4.34)	(1.16)	(0.07)	(0.81)	(2.61)	(-1.01)
个体	控制	控制	控制	控制	控制	控制
年份	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Observations	3,798	2,797	3,610	805	9,191	1,819
R-squared	0.632	0.697	0.637	0.742	0.630	0.663

注：括号内为经企业层面聚类调整后的 t 统计量，***，**，* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平下显著。

五、进一步机制检验

1、工业机器人应用与企业交易成本变化的机制检验

工业机器人的应用可能通过降低企业交易成本进而促使企业纵向边界缩小。由此，本文预期，如果工业机器人的应用缩短企业纵向边界确实是通过降低企业交易成本来实现，那么工业机器人的应用应当更有利于那些外部交易成本原本就比较高的企业，从而对这类企业的纵向边界的缩短效果更加显著。由于难以对企业的外部交易成本进行直接度量，本文依据 Williamson (1985) 交易成本的三个维度，分别从企业、行业、地区三个层面来刻画企业的交易成本，对企业交易成本机制进行检验。

(1) 企业层面，本文使用资产专用性来测度交易成本。参考 (Cushing and Mccarty, 1996) 构建的资产专用性指数方程度量资产专用性。即 $SI = EXP(-0.0801 + 0.1523Rec - 0.5749Inv + 0.6872PPE + 0.1980NC)$ ，其中， Rec 为应收账款与总资产的比值， Inv 为存货与总资产的比值， PPE 为固定资产与总资产的比值， ONC 为其他非流动资产与总资产的比值， SI 越大，资产专用性越低。本文构造虚拟变量 L_{SI} ，若 SI 低于样本中位数，则虚拟变量 L_{SI} 取值为 1，否则为 0。接着将 L_{SI} 及交乘项 $policy_L_{SI}$ 放入模型中进行检验。表 7 第 (1) 列结果显示， $policy_L_{SI}$ 的系数在 1% 水平上显著为负，表明企业资产专用性越高，工业机器人的应用对企业纵向边界的缩短作用越显著，与预期一致。

(2) 行业层面，本文使用行业契约密集度来反映行业交易成本。契约密集度是指企业所在行业签订的产品契约的流程化水平与制式化程度，契约密集度越高，说明契约越不制式化，交易双方在订约时需要进行谈判协调，意味着较高的交易成本。参考 Nunn(2007)，采用行业契约密集度衡量企业面临的契约制式化程度，该指标值越高，表示行业契约的制式化程度越低，相应的外部交易成本越高。具体地，构造虚拟变量 $H_Contract$ ，若 $Contract$ 高于样本中位数，则虚拟变量 $H_Contract$ 取值为 1，否则为 0，接着将 $H_Contract$ 及交乘项 $policy_H_Contract$ 放入模型中进行检验。表 7 第 (2) 列结果显示， $policy_H_Contract$ 的系数在 1% 水平上显著为负，表明行业契约密集度越高，工业机器人的应用对企业纵向边界的缩短作用越显著，与预期一致。

(3) 地区层面，本文使用市场化水平来反映契约环境交易成本。市场化水平较低的地区，契约环境往往较差，市场主体之间发生“敲竹杠”或违约的概率较高，因此，当企业位于市场化水平较

低的地区时，其所面临的外部交易成本往往也较高。本文利用企业所处省份的市场化指数度量地区市场化水平，具体地，构造虚拟变量 L_Market ，若 $Market$ 低于样本中位数，则虚拟变量 L_Market 取值为1，否则为0，接着将 L_Market 及交乘项 $policy_L_Market$ 放入模型中进行检验。表7第(3)列结果显示， $policy_L_Market$ 的系数在1%水平上显著为负，表明契约环境密集度越高，工业机器人的应用对企业纵向边界的缩短作用越显著，与预期一致。

表7 交易成本机制检验结果

VARIABLES	(1) VAS	(2) VAS	(3) VAS
$policy_SI_index$	-0.018** (-1.99)		
SI_index	0.029*** (3.72)		
$policy_H_Contract$		-0.027*** (-2.91)	
$H_Contract$		0.014 (1.64)	
$policy_L_Market$			-0.017** (-2.06)
L_Market			-0.053*** (-6.11)
$policy$	-0.008 (-0.97)	-0.001 (-0.08)	-0.009 (-1.14)
$size$	0.026*** (4.58)	0.028*** (4.99)	0.030*** (5.14)
$lnage$	0.072*** (5.41)	0.072*** (5.44)	0.064*** (4.76)
$lnage_2$	-0.015*** (-4.00)	-0.015*** (-3.89)	-0.012*** (-3.26)
roa	0.118*** (3.99)	0.116*** (4.03)	0.124*** (4.31)
$financing\ capacity$	-0.043 (-1.01)	-0.035 (-0.81)	-0.034 (-0.80)
gdp	0.014** (2.30)	0.016*** (2.60)	0.010 (1.63)
$community$	-0.024*** (-2.62)	-0.024*** (-2.67)	-0.064*** (-5.62)
$market$	-0.023*** (-6.98)	-0.023*** (-7.01)	0.013*** (2.64)
Constant	0.134 (1.08)	0.103 (0.84)	0.310** (2.40)
个体	控制	控制	控制
年份	控制	控制	控制
Observations	11,010	11,010	11,010
R-squared	0.631	0.631	0.640

注：括号内为经企业层面聚类调整后的t统计量，***，**，*分别表示在1%、5%、10%的水平下显著。

2、工业机器人应用与企业生产率变化的机制检验

本文借鉴主流的LP法和OP方法来估计企业全要素生产率，分别得到LP法计算出来的企业全要素生产率 ln_tfp_lp 和OP法算出的企业全要素生产率 tfp_op 。表8第(1)列和第(3)列考察是否进口机器人对企业全要素生产率的影响，从第(1)列和第(3)列结果可知，工业机器人的应用显著提高了企业全要素生产率。进一步，本文构造虚拟变量 $L_ln_tfp_lp$ 和 L_tfp_op ，若企业全要素生产率低于样本中位数，则虚拟变量取值为1，否则为0。接下来，本文分别将 $L_ln_tfp_lp$ 和交乘项 $policy_L_ln_tfp_lp$ ， L_tfp_op 和交乘项 $policy_L_tfp_op$ 放入模型中进行检验。表8第(2)列和第(4)

列结果显示, *policy_L_lntfp_lp*和*policy_L_tfp_op*的系数在 1%水平上显著为负, 说明在企业全要素生产率较低的样本中, 工业机器人的应用对企业纵向边界的缩短效果更加显著。结合第 (1) - (4) 列, 总体证实了企业生产率机制, 即工业机器人的应用通过提高企业全要素生产率缩短了企业纵向边界。

表 8 全要素生产率机制检验结果

VARIABLES	(1) lntfp_lp	(2) VAS	(3) tfp_op	(4) VAS
policy	0.082** (2.34)	-0.023*** (-3.34)	0.062*** (3.25)	-0.018** (-2.53)
policy_L_lntfp_lp		-0.021** (-2.17)		
policy_L_tfp_op				-0.029*** (-2.91)
L_lntfp_lp		0.101*** (11.03)		
L_tfp_op				0.052*** (4.74)
size	0.414*** (8.77)	0.041*** (6.47)	0.496*** (22.17)	0.035*** (5.72)
lnage	-0.018 (-0.23)	0.074*** (5.91)	0.225*** (5.29)	0.077*** (5.84)
lnage_2	-0.012 (-0.51)	-0.017*** (-4.54)	-0.033* (-1.92)	-0.015*** (-3.98)
roa	0.949*** (4.32)	0.147*** (4.93)	0.011 (0.20)	0.117*** (4.08)
financing capacity	0.348 (1.45)	0.005 (0.12)	0.154 (0.61)	-0.030 (-0.74)
gdp	-0.097*** (-2.67)	0.010* (1.68)	-0.050** (-2.34)	0.014** (2.36)
community	0.140*** (2.96)	-0.017* (-1.91)	-0.002 (-0.04)	-0.023** (-2.52)
market	0.090*** (4.82)	-0.020*** (-6.30)	0.036*** (3.01)	-0.023*** (-6.85)
Constant	1.153 (1.47)	-0.134 (-1.07)	1.576*** (3.50)	-0.002 (-0.01)
个体	控制	控制	控制	控制
年份	控制	控制	控制	控制
Observations	11,000	11,010	11,010	11,010
R-squared	0.287	0.659	0.649	0.635

注: 括号内为经企业层面聚类调整后的 t 统计量, ***, **, * 分别表示在 1%、5%、10%的水平下显著。

六、结论与启示

工业智能化正在改变企业纵向边界及其管理其业务环境内部和跨业务环境关系的方式, 但鲜有文献关注这一动向。本文使用 2005-2014 年中国企业进口机器人数据和 PSM-DID 估计方法, 从企业组织方式视角, 研究工业机器人应用对企业纵向边界变化的影响。研究发现: (1) 工业机器人的应用对企业纵向边界的影响显著为负, 表明工业机器人的应用推动企业纵向分离, 纵向边界缩小, 该结果在进行稳健性检验之后依然稳健。(2) 工业机器人的应用对企业纵向边界的影响具有异质性, 表现在对东部地区企业、非国有企业、高竞争程度行业以及中高技术密集型行业的纵向边界缩小效应更为显著, 而对中西部地区企业、国有企业、低竞争程度行业以及和高技术、中低技术、低技术密集型行业的影响效果不显著。(3) 通过交互效应进行机制检验发现: 工业机器人的应用主要是通过降低企业交易成本和提升全要素生产率水平, 推动企业纵向边界缩小。这一结果揭示了工业智能化推动着企业组织方式由垂直型组织结构向扁平化组织结构变革, 这一动向为工业智能化背景下

如何应对企业组织方式和商业模式的变革提供了新的启示:

(1) 工业机器人的推广应用引致企业纵向边界收缩,推动着企业生产组织方式由垂直型组织结构向扁平化组织结构变革,这一变革将改变企业间的关系,使得企业间的竞合关系更加富有灵活性,需要企业更好地满足消费者多样化的需求以及价值链的细分,但同时也给产业部门和行业组织的协调管理带来一定挑战。(2) 工业机器人的应用虽然促进企业纵向边界收缩,推动企业生产组织方式改变,但若地区、产业之间存在较大差异,则不仅会影响到地区分工水平,甚至也会影响到地区经济水平,因此,需要实施差异化的机器人应用推广政策。(3) 工业机器人的快速推广和应用,将会改变一些发展中国家(如中国)过去参与全球垂直一体化的生产组织方式,以及制造业参与全球生产体系的专业化分工模式,值得这些国家关注和应对。

参考文献

- [1] Acemoglu D, P. Aghion, R. Griffith, F. Zilibotti. Vertical Integration and Technology: Theory and Evidence [J]. *Journal of European Economic Association*. 2010, 8(5), pp. 989-1033.
- [2] Acemoglu, D. and Restrepo, P. "Demographics and Automation", NBER Working Paper, 2018, No. 24421
- [3] Acemoglu, D. and Restrepo, P. Artificial Intelligence, Automation and Work. NBER Working Paper, 2018, No. 24196.
- [4] Acemoglu, D., and P. Restrepo. Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*, 2020, 128(6), 2188-2244.
- [5] Adelman, M. A. Concept and statistical Measurement of Vertical Integration [A]. Stigler, G. J. *Business Concentration and Price Policy* [C]. Princeton: Princeton University Press, 1955
- [6] Aghion P., Benjamin F. Jones & Charles I. Jones. Artificial Intelligence and Economic Growth [J]. 2017, NBER Working Paper 23928.
- [7] Artuc E, Christiaensen L, Winkler H. Does Automation in Rich Countries Hurt Developing Ones? Evidence from the U.S. and Mexico [J]. *Policy Research Working Paper Series*, 2019.
- [8] Artuc, E., Bastos, P. & Rijkers, B. *Robots, Tasks and Trade*, The World Bank, 2018.
- [9] Afuah, A., *Redefining Firm Boundaries in the Face of the Internet: Are Firms Really Shrinking?* [J]. *Academy of Management Review*, 2003, 28(1): 34-53.
- [10] Brandt, L., Johannes Van Biesebroeck, Yifan Zhang. Creative accounting or creative destruction? Firm-level productivity growth in China [J]. *Journal of Development Economics*. 2012, Vol 97(2): 339-351.
- [11] Brynjolfsson, E. and Hitt, L. Paradox Lost? Firm-Level Evidence on the Returns to Information Systems Spending [J]. *Management Science*, 1996, 42, 541-558.
- [12] Coase R. H. The Nature of the Firm [J]. *Economica*, 1937, 4(16): 386-405.
- [13] Cushing W W, McCarty D E. "Asset Specificity and Corporate Governance: An Empirical Test" [J]. *Managerial Finance*, 1996, 22(2): 16-28
- [14] Dauth, W., S. Findeisen, J. Suedekum, and N. Woessner. "The Adjustment of Labor Markets to Robots". *Journal of the European Economic Association*, Forthcoming, 2021.
- [15] Ellison, G. and S. F. Ellison. "Match Quality, Search and the Internet Market for Used Books", MIT Working Paper, 2014.
- [16] Fernandez, Z., and J. M. Nieto. The Internet: Competitive Strategy and Boundaries of the Firm [J]. *Internet Journal of Technology Management*, 2006, 35(1-4): 182-195
- [17] Furman, J. & Robert Seamans. AI and the Economy [J]. NBER Working Paper, 2019, No. 24689.
- [18] Graetz, G., & Michaels, G. Robots at Work [J]. *The Review of Economics and Statistics*. 2018, 100: 753-768.

- [19] Goldfarb, A., and C. Tucker. Digital Economics[J]. *Journal of Economic Literature*, 2019, 57 (1): 3-43.
- [20] Hémous, D. and Morten Olsen. The Rise of the Machines: Automation, Horizontal Innovation, and Income Inequality[J]. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2022, vol. 14(1): 179-223.
- [21] Cockburn Iain M., Rebecca Henderson & Scott Stern. The Impact of Artificial Intelligence on Innovation[J]. NBER Working Paper 24449. 2018. DOI 10.3386/w24449.
- [22] Kromann L., Malchow-Møller N., Skaksen J.R., Sørensen A. Automation and Productivity? A Cross-country, Cross-industry Comparison. *Industrial and Corporate Change*. 2019. 29, 265–287.
- [23] Malone, T. W, J. Yates, and R. I. Benjamin. Electronic Markets and Electronic Hierarchies[J]. *Communications of the ACM*, 1987,30(6)
- [24] Makridakis P. S., The forthcoming Artificial Intelligence revolution: Its impact on society and firms. *Futures*. 2017, Volume 90: 46-60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>
- [25] Milgrom, P. and John Roberts. The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization[J]. *American Economic Review*, 1990, Vol. 80(3):511-28.
- [26] Nunn, N., Relationship-Specificity, Incomplete Contracts, and the Pattern of Trade[J], *Quarterly Journal of Economics*, 2007, 122(2), 569-600
- [27] Feenstra Robert C., Philip Luck, Maurice Obstfeld, Katheryn N. Russ. In Search of the Armington Elasticity[J]. *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, 2018, vol. 100(1): 135-150
- [28] Stehrer, R., N. Foster, and G.D. Vries Value Added and Factors in Trade: A Comprehensive Approach [R]. WIOD Working Paper, 2012, No:80.
- [29] Williamson, Oliver. Transaction-Cost Economics: The Governance of Contractual Relations", *Journal of Law and Economics*, 1979, Vol. 22(2) :233-261.
- [30] Williamson, O.E. *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications: A Study of Internal Organization*. The Free Press, New York. 1975.
- [31] Williamson, O.E. *The Economic Institutions of Capitalism*[M]. New York: Free Press, 1985.
- [32] Kohler, Wilhelm & Smolka, Marcel. Global sourcing and firm selection[J]. *Economics Letters*. [33] 2014, 124(3): 411-415.
- [34] Kohler W., M. Smolka. Productivity and firm boundaries[J]. *European Economic Review*. 2021, Volume 135, 103724.
- [35] Harasim L. Collaborating in cyberspace: using computer conferences as a group learning environment [J]. *Interactive Learning Environments*, 1993, 3(2) : 119 – 130.
- [36] Lewis T. R, David E. M. Sappington. Technological change and the boundaries of the firm [J]. *The American Economic Review*, 1991, 81 (4) :887 – 900.
- [37] Earle J. S., Pagano U., Lesi M. Information technology, organizational form, and transition to the market[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2006, 60(4) : 471 – 489.
- [38] Afuah A. Redefining firm boundaries in the face of the internet: are firms really shrinking? [J]. *The Academy of Management Review*, 2003, 28(1) : 34 – 53.
- [39] Hitt L M. Information technology and firm boundaries: evidence from panel data [J]. *Information Systems Research*, 1999, 10(2) : 134 – 149.
- [40] Chen W., F Kamal. The impact of information and communication technology adoption on multinational firm boundary decisions[J]. *Journal of International Business Studies*, 2016 (47): 563–576.