

工业机器人应用与中国企业 对外直接投资

蒋殿春 卢霄

摘要：本文使用2009—2019年国际机器人联合会公布的工业机器人数据和中国制造业上市公司的微观数据，从投资决策和投资强度两个方面考察了工业机器人应用对中国企业对外直接投资的影响。研究表明：工业机器人应用整体上促进了中国企业的对外直接投资，并主要促进了中国企业对高收入国家（地区）的投资概率和投资强度；机制检验结果显示，工业机器人应用能够通过规模经济效应和创新激励效应两条渠道促进中国企业投资于高收入国家（地区）；异质性分析显示，工业机器人应用对中国企业投资于高收入国家（地区）的促进作用主要集中在非国有企业、沿海地区企业、低外部融资依赖度企业和技术密集型企业；基于投资动机的研究显示，工业机器人应用能够显著促进中国企业在高收入国家（地区）开展商贸服务型及研究开发型对外直接投资，而对当地生产型对外直接投资未产生显著影响。本文研究肯定了工业机器人应用对中国扩大对外开放的积极作用，对促进智能制造高质量发展及推动企业更好地“走出去”具有重要启示。

关键词：工业机器人；对外直接投资；区位选择；投资动机

[中国分类号] F110 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2023) 6-0001-17

引言

作为先进制造业的关键支撑装备，工业机器人的研发、制造和应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。在此背景下，中国政府高度关注工业机器人的发展。2015年颁布的《中国制造2025》将工业机器人的研发与应用列为实现制造强国目标的“十大领域”之一。随后，工业机器人产业的战略地位日益凸显，国务院和各部门先后出台《机器人产业发展规划（2016—2020年）》《智能制造发展规划（2016—2020年）》《“十四五”机器人产业发展规划》《“机器人+”应用行动实施方案》等一系列配套指导文件，促进工业机器人在智能制造领域发挥更大的作用。国际机器人联合会（International Federation of Robotics, IFR）数据显

[收稿日期] 2022-02-27

[基金项目] 教育部人文社科重点研究基地重大项目“数字型跨国公司的理论和政策研究”（22JJD790039）

[作者信息] 蒋殿春：南开大学经济行为与政策模拟实验室、跨国公司研究中心教授；卢霄（通讯作者）：南开大学经济学院博士研究生，电子信箱 luxiao202302@163.com

示, 2009—2019年中国工业机器人库存量从3.73万台增加至78.27万台, 年均增长率为35.58%; 2016年中国工业机器人库存量首次超越日本成为世界第一。此后, 中国工业机器人数量继续强劲增长, 2021年中国工业机器人年安装量高达24.33万台, 同比增长44.48%, 占当年世界总安装量的47.02%, 是同期欧洲和美洲工业机器人年安装量总和(13.50万台)的1.80倍。

工业机器人应用对企业的产出规模、创新活动、生产效率和管理效率具有促进作用, 从而有助于形成企业开展对外直接投资(Outward Foreign Direct Investment, OFDI)的所有权优势。同时, 工业机器人应用能够缩小高收入国家(地区)与中低收入国家(地区)之间的劳动力成本差异(De Backer et al., 2018)^[1], 从而对OFDI的区位选择产生深刻影响。然而, 鲜有研究考察工业机器人应用对中国企业OFDI的影响效应、区位选择及作用机制。近年来, 在贸易摩擦频发、贸易保护主义抬头、国内生产成本上升的国际国内大环境下, 中国OFDI发展迅猛。2009—2021年, 中国OFDI流量从565.29亿美元增长至1788.19亿美元, 年均增长率为10.07%^①。2014年中国对外直接投资金额首次超过实际利用外商直接投资金额, 成为净对外直接投资国, OFDI无疑成为中国企业实现国际化的重要途径。因此, 在各国(地区)纷纷抢占工业机器人市场的背景下, 探究工业机器人应用对中国企业OFDI决策和强度的区位影响及作用机制, 不仅能够为推动企业“走出去”提供有益指导, 而且有助于理解工业机器人应用对实体经济的影响。

相比已有研究, 本文的边际贡献在于: 第一, 在研究视角上, 本文从工业机器人应用的视角考察其对中国企业OFDI决策及强度的影响, 丰富了影响中国企业OFDI因素的研究成果; 第二, 在研究方法上, 基于企业层面的微观数据, 利用巴蒂克工具变量法(Bartik)解决模型潜在的内生性问题, 层层递进式地考察了工业机器人应用对中国企业OFDI的影响效应、区位选择、作用机制及异质性特征; 第三, 在研究内容上, 本文创新性地发现工业机器人应用主要促进了中国企业对高收入国家(地区)的OFDI, 而未显著影响中国企业对中低收入国家(地区)的OFDI, 作用机制为规模经济效应和创新激励效应, 区别于仅从生产率渠道考察工业机器人应用对企业OFDI影响的文献, 从而为中国企业利用工业机器人开拓国际市场提供理论与实证支持。

一、文献综述

(一) 工业机器人的经济效应

工业机器人的最初用途是替代人力完成高重复性或高危险性工作, 因此大量文献关注工业机器人应用对劳动力市场的影响。Autor等(2003)^[2]基于生产任务模型的分析框架研究技术与劳动力在不同任务中的比较优势, 并在此基础上判断技术进步与执行不同任务劳动力之间的替代性和互补性关系, 从而为研究自动化技术对

①以上数据来自国家统计局, 所有百分比由作者计算得出。

劳动力市场的影响提供了基准理论范式。Acemoglu 和 Autor (2011)^[3] 基于生产任务模型的研究显示, 自动化技术会深刻影响劳动力结构, 主要表现为对高技能和低技能劳动力的需求增加, 对中等技能劳动力的需求减少, 即就业极化现象。Acemoglu 和 Restrepo (2017, 2018, 2019)^{[4]-[6]} 则进一步发展了生产任务模型, 认为工业机器人应用既可以通过负向的替代效应降低劳动力就业和工资水平, 也可以通过正向的生产率效应和创造效应提升劳动力就业和工资水平, 影响结果最终取决于上述三种效应的综合作用 (Acemoglu and Restrepo, 2020)^[7], 从而导致相关文献的研究结论不一致。

当前新一轮科技革命和产业变革加速演进, 使得工业机器人的精确性、安全性、稳定性、智能化水平更高且应用领域更加广泛, 有关工业机器人经济效应的研究成果不断涌现。其中, 与本文关系最为密切的是工业机器人应用对企业国际化行为的影响, 吕越等 (2020)^[8]、Alguacil 等 (2022)^[9]、毛其淋和石步超 (2022)^[10] 分别考察了工业机器人应用对企业全球价值链参与度、出口概率及出口模式的影响。然而, 上述研究主要集中于国际贸易领域, 直接研究工业机器人应用与企业 OFDI 的文献相对较少, 并且尚未形成一致结论。通常而言, 工业机器人应用会削弱发展中国家的低劳动力成本优势, 从而减少发达国家对发展中国家的投资外包 (Carbonero et al., 2018)^[11]。但是, 苑文华 (2022)^[12] 基于中国企业层面数据的实证分析表明, 工业机器人应用通过生产率提升效应促进了中国企业对发展中国家的 OFDI, 进一步证实了中国情景下工业机器人应用与企业 OFDI 之间关系的不确定性。总体而言, 有关工业机器人应用能否促进中国企业 OFDI 的实证研究仍有待完善。

(二) 企业 OFDI 的影响因素

第二次世界大战后, 欧美等发达经济体加快 OFDI 进程, 一批大型跨国公司迅速崛起, 这是激发学界深入研究企业开展 OFDI 的内在动因, 并形成了垄断优势理论 (Hymer, 1960)^[13]、内部化理论 (Buckley and Casson, 1976)^[14]、产品生命周期理论 (Vernon, 1966)^[15]、国际生产折衷理论 (Dunning, 1988)^[16] 等一系列国际直接投资主流理论。然而, 上述基于发达经济体提出的国际直接投资理论无法解释 20 世纪 70 年代以来发展中经济体 OFDI 的蓬勃发展, 于是众多学者开始了关于发展中经济体国际直接投资理论的探索, 并形成了包括技术地方化理论 (Lall, 1983)^[17]、技术创新产业升级理论 (Cantwell and Tolentino, 1990)^[18] 等在内的阶段性成果。基于上述理论成果, 已有文献已经非常全面地研究了中国企业 OFDI 的影响因素, 包括企业生产率 (田魏和余森杰, 2012)^[19]、企业融资约束 (刘莉亚等, 2015)^[20]、国内要素市场扭曲 (Chen et al., 2019)^[21]、企业 ESG 优势 (谢红军和吕雪, 2022)^[22] 等。

近年来, 数字技术、人工智能、互联网技术等新一代信息技术的飞速发展对企业 OFDI 的动机和区位选择带来了革命性影响。首先, 信息技术会降低企业开展 OFDI 的动机。比如, 数字化跨国企业可以通过在线平台向全球消费者出售产品, 而无需像传统跨国企业那样通过市场寻求型 OFDI 出售产品及服务 (詹晓宁和欧阳

永福, 2018)^[23]; 也可以通过在线平台购买商业服务而不是进行物质资产的国际化扩张 (Mettler and Williams, 2011)^[24]。其次, 信息技术会提高企业开展 OFDI 的动机。这是因为企业可以通过互联网技术构建一个虚拟的全球运营网络, 从而有助于企业更好地收集和分享信息、监控离岸生产地点、降低企业治理成本, 并在全球范围内为客户提供产品和服务 (UNCTAD, 2017)^[25]。李明洋和张乃丽 (2022)^[26] 基于中国企业数据的实证分析表明, 数字化转型能够通过提升企业生产率促进其 OFDI。最后, 数字经济的发展使企业更愿意投资于那些数字信息技术成熟、研发资源丰富的国家或地区 (蒋殿春和唐浩丹, 2021)^[27]。总体而言, 现有从微观视角研究 OFDI 动机的文献中, 鲜有直接从工业机器人应用视角展开的分析。

(三) 文献述评

上述文献对本文深入理解工业机器人应用与中国企业 OFDI 之间的关系具有重要借鉴意义, 但现有研究主要存在如下三点不足: 一是在研究视角方面, 鲜有文献同时从投资决策和投资强度两个视角来系统考察工业机器人应用对中国企业 OFDI 的影响, 而为数不多的相关研究主要关注投资目的地为发展中国家 (地区) 的情况, 忽视了在中国 OFDI 流量中占比更高、面向高收入国家 (地区) 投资的情况。同时, 尚未有文献从投资动机的视角来深入研究工业机器人应用对中国企业 OFDI 的异质性影响。二是在机制分析方面, 已有研究主要关注工业机器人应用所带来的生产率提升效应, 甚至将其作为唯一的机制变量, 而这一机制变量似乎是工业机器人应用的表征而非根源, 因此需要针对具体问题进行更深层次的挖掘。三是在研究数据方面, 已有研究大多使用发达国家 (地区) 数据或宏观层面数据来考察工业机器人应用的经济效应, 而基于中国企业层面微观数据的研究较少, 这导致其无法全面捕捉个体异质性, 并且为数不多的微观层面的研究因使用不同数据库及不同指标来测算工业机器人渗透度, 导致研究结论不一致。基于此, 本文尝试探究工业机器人应用能否显著促进中国企业的投资决策和投资强度, 对中国企业 OFDI 的区位选择产生何种影响? 其背后的作用机制是什么?

二、理论分析与研究假说

(一) 基准效应分析

虽然企业可以通过 OFDI 的方式在全球范围内优化要素配置、追求自身利润最大化, 但是并非所有企业都有能力开展 OFDI。基于国际生产折衷理论 (Dunning, 1988) 及新新贸易理论 (Helpman et al., 2004)^[28] 关于国际直接投资的条件, 只有那些同时具备所有权优势、内部化优势和区位优势的企业才会选择开展 OFDI, 其中所有权优势是推动企业 OFDI 最重要的因素。鉴于此, 本文从如下两个方面理解工业机器人应用对企业 OFDI 的推动作用: 一是工业机器人应用将为企业带来显著的规模经济优势。工业机器人适用于大规模生产, 虽然其初期投入需要较高的固定成本, 但是能大大降低产品生产过程中的边际成本。相比人工操作, 工业机器人能够长时间不间断地稳定运作, 同时不会随工作时间增加而出现单位时间内产出下降、操作失误及次品率升高等问题, 因此有助于企业在快速扩大生产规模的同时降

低平均生产成本，提高生产效率。二是工业机器人应用有利于增强企业技术优势。工业机器人本身就代表了一种先进的生产和管理技术，其企业生产、管理、销售等环节的应用有助于提高产品质量并促进产品升级换代，同时有助于提高企业的管理效率并通过就业创造效应培养一批熟练掌握自动化技术的创新型人才，从而不断提升企业的创新能力并逐渐形成企业在产品和技术方面的垄断优势。综上所述，工业机器人应用能够激励企业增强以规模经济优势以及产品和技术的垄断优势为核心内容的所有权优势，进而提升企业开展 OFDI 的能力。

由于中国企业对不同收入东道国的投资动机和投资壁垒不同，本文进一步探究工业机器人应用对中国企业 OFDI 的区位影响，即工业机器人应用对中国企业 OFDI 的促进作用究竟集中在投资目的国为高收入国家（地区）的样本中，还是集中在投资目的国为中低收入国家（地区）的样本中？理论上，一方面，中国企业使用工业机器人所形成的所有权优势能够使其跨越高技术壁垒投资于高收入国家（地区），同时高收入国家（地区）拥有更加先进的生产技术和管理模式，对中国企业的高质量发展具有重要的逆向技术溢出效应（Fu et al., 2018）^[29]，使得中国企业在高收入国家（地区）开展 OFDI 的意愿更强；另一方面，工业机器人应用在一定程度上降低了受低劳动力成本驱动的 OFDI，而这类 OFDI 主要集中于中低收入国家（地区）。因此，本文提出以下假说。

假说 1：工业机器人应用能够有效促进中国企业开展 OFDI。

假说 2：工业机器人应用主要促进了中国企业对高收入国家（地区）的 OFDI。

（二）机制分析

第一，工业机器人应用可以通过规模经济效应促进企业 OFDI。工业机器人应用有助于降低企业生产经营成本、扩大企业产出规模，进而实现规模经济，其背后的逻辑主要体现在如下三个方面：首先，在生产环节，工业机器人应用可以通过替代低技能劳动力直接降低企业的工资支出，同时“机器换人”战略使得劳动力的工作岗位更容易被工业机器人所替代，进而削弱了工人的议价能力，最终降低劳动力市场均衡时的工资水平（Acemoglu and Restrepo, 2020）。此外，工业机器人应用可以大幅提高生产精度，减少原材料浪费，从而降低企业的边际生产成本。在企业生产规模扩大的条件下，边际成本的大幅节约有利于降低企业平均生产成本。其次，在管理环节，工业机器人应用能够通过劳动力替代效应推进企业组织扁平化，进而直接提高企业管理效率，同时自动化技术可以通过生产信息的实时反馈降低残次率，提高生产衔接过程的管理信息传递质量（金祥义和张文菲，2022）^[30]，进而间接提高企业管理效率，最终降低企业在管理费用方面的支出。虽然企业需要在短期内支付大量资金用于购置和安装工业机器人，但是长期来看企业获得了工业机器人应用带来的低边际成本优势。毛其淋和石步超（2022）分别以当期、滞后一期和滞后两期的现金流比率衡量企业因使用工业机器人而面临的短期及长期资金压力，研究结果显示，工业机器人虽然会加剧企业当期内源融资约束，但却显著缓解了企业两期后的内源融资约束，说明企业能够在较短时间内消化因使用工业机器人而产生的固定成本，进而形成其成本优势。最后，工业机器人应用也有助于企业以

较高质量的产品占据更大的市场份额。工业机器人可以长时间连续工作，有助于提高企业生产效率进而快速增加企业产量。同时工业机器人应用有助于企业不断提高品控管理水平、稳步提升产品和服务质量，从而获取更多消费需求，并反向激励企业进一步扩大产出规模。随着企业规模经济优势的增强，企业生产率不断提升，OFDI的动力和能力也得以不断强化（Dunning, 1988; Helpman et al., 2004）。

第二，工业机器人应用可以通过激励企业研发创新促进企业 OFDI。一方面，研发创新活动需要投入大量资金，而工业机器人应用能够扩大企业产出规模，当企业将研发成本分摊至数量众多的产品上时，会降低单位产品的研发成本，从而有助于分散自主创新风险，促进企业创新活动（Goldfarb and Trefler, 2018）^[31]；另一方面，工业机器人作为一种新型高质量的自动化资本品，对企业生产活动和创新活动具有重要的技术溢出效应，能够通过资本偏向型技术进步提高工业机器人的边际产出，最终通过效率增进效应促进企业创新活动。具体而言，在研发人员投入方面，资本偏向型技术进步能够创造出高级别的复杂任务，并催生与这种技术进步相匹配的研发创新型高技能劳动力需求（干春晖和姜宏，2022）^[32]。同时，“机器换人”战略倒逼低技能劳动力通过主动学习、接受培训等方式向研发创新型高技能劳动力转变。在研发资金投入方面，资本偏向型技术进步能够降低企业边际生产成本，增加企业利润积累，从而为企业研发创新提供物质基础。而引进工业机器人带来的“创造性破坏”倒逼企业增加研发资金投入以保持自身竞争力（诸竹君，2022）^[33]。在创新产出方面，工业机器人应用有助于实现对企业研发任务的合理配置以及对各研发任务模块的高效整合，并通过对研发过程的实时监测以提高研发成功的概率，进而提高创新效率。企业往往会通过开展技能培训来提高人力资本与自动化技术的适配性，进而增加创新产出。综上所述，工业机器人应用有助于增加企业研发资金和研发人员投入力度、提高创新产出水平、增强自身技术优势，最终激励企业“走出去”（Cantwell and Tolentino, 1990; Dunning, 1988）。综上所述，本文提出以下假说。

假说 3：工业机器人应用可以通过规模经济效应和创新激励效应促进中国企业开展 OFDI。

（三）异质性分析

工业机器人应用对中国企业 OFDI 的影响可能会因企业异质性特征而存在显著差异，因此本文从企业所有制、地理位置、外部融资依赖度和要素密集度四个方面考察工业机器人应用对企业 OFDI 的异质性影响：第一，由于国有企业在国民经济中承担着“稳就业”的重要责任，因此“机器换人”战略短期内无法在国有企业普及（王永钦和董雯，2020）^[34]。相对而言，非国有企业解除劳动力的成本较低，更容易通过使用工业机器人降低生产经营成本，进而促进企业“走出去”。第二，东部沿海地区的市场开放程度更高，并且以技术密集型和资金密集型企业为主，有充足的资金和技术来推动工业机器人的产业化应用，进而通过使用工业机器人提高企业创新能力和生产效率，最终促进企业“走出去”。然而，内陆地区以资源密集型和劳动密集型企业为主，资源禀赋和产业结构特征会使内陆地区陷入“资源诅咒”的困境（原毅军和谢荣辉，2015）^[35]，并且内陆地区仍具有一定的低劳动力

成本优势和相对丰富的劳动力储备,缺乏“走出去”的动力。第三,融资约束是制约企业“走出去”的重要因素,虽然工业机器人应用能够缓解企业长期内源及外源融资约束,但会加剧企业短期内源融资约束,并且从短期至长期的转换过程具有一定时滞(毛其淋和石步超,2022),因此只有那些外部融资依赖度较低、内部资金充足的企业才能够承担因前期购置和安装工业机器人而产生的昂贵费用,最终通过使用工业机器人培育自身“走出去”的所有权优势。第四,汽车制造、电子、化学、制药等技术密集型行业的生产工序本身就适合自动化的大批量生产,工业机器人的普及率更高,因此技术密集型企业更容易通过使用工业机器人实现规模经济。同时,技术密集型企业具有较高的创新能力和吸收能力,能够通过“干中学”的方式较快吸收工业机器人中的先进技术,加强自身技术优势,最终提高企业开展OFDI的能力。因此,本文提出以下假说。

假说4:工业机器人应用对非国有企业、沿海地区企业、低外部融资依赖度企业和技术密集型企业OFDI的促进作用更加显著。

(四) 投资动机分析

本文按照投资动机将企业OFDI划分为商贸服务型、研究开发型、当地生产型和资源寻求型四类(蒋冠宏和蒋殿春,2014^[36];李磊等,2016^[37]),接下来具体分析工业机器人应用对企业开展不同投资动机OFDI的影响:第一,商贸服务型OFDI通过将国内母公司生产的产品出口至东道国市场并提供售后服务,以达到降低出口成本、开拓海外市场的目的,这也是中国企业OFDI的主要方式^①。基于上述理论分析,工业机器人应用有助于扩大企业产出规模,促使企业在满足国内消费需求的基础上将产品出口至海外市场,从而促进商贸服务型OFDI的开展。第二,研究开发型OFDI是指企业通过在技术领先国家(地区)实施跨国并购或建立研发公司以获取先进国家(地区)的领先技术,其显著特征是对企业生产率的要求较高。作为后发国家,中国企业进行OFDI的主要目的之一就是获取先进国家(地区)的领先技术,而工业机器人应用有助于提高中国企业的生产效率和创新能力,进而促进中国企业在先进国家(地区)开展研究开发型OFDI。第三,当地生产型OFDI是直接东道国设立工厂并雇佣当地员工生产产品以满足当地市场需求。一方面,随着中国劳动力成本上升,更多国内企业选择在东南亚和非洲等生产成本较低的国家(地区)生产产品,而工业机器人应用能够通过国内用工成本节约效应阻碍该类当地生产型OFDI;另一方面,近年来中国企业面临较为严重的贸易保护主义,国内企业为了规避各种形式的关税和非关税壁垒,而被迫选择在距离目的国市场较近的东道国生产产品,然后再将产品从东道国出口至目的国,工业机器人应用可以通过增强企业所有权优势来促进该类当地生产型OFDI。综上所述,工业机器人应用对当地生产型OFDI的影响不确定。第四,资源寻求型OFDI的目的是寻求东道国丰富的自然资源,一般投资于油气和矿产资源丰富的国家(地区)。由于

^①在本文的研究样本中,当投资目的国为高收入国家(地区)时,有71.31%的OFDI属于商贸服务型;当将投资目的国扩大至所有国家(地区)时,这一比例提高至72.26%。

在本文的研究样本中，资源寻求型 OFDI 数量较少，因此暂不对此进行分析。据此，本文提出以下假说。

假说 5：工业机器人应用能够有效促进中国企业开展商贸服务型和研究开发型 OFDI，而对当地生产型 OFDI 的影响不确定。

三、数据与实证方法

（一）数据来源与处理

本文主要使用两套数据库：第一套数据库是由 IFR 提供的工业机器人数据，根据中国国民经济行业分类代码与《所有经济活动的国际标准行业分类（第四版）》的对应关系将中国行业就业数据与 IFR 工业机器人数据进行手工匹配；第二套数据库是由国泰安提供的 2009—2019 年^①沪深 A 股上市公司数据库及海外直接投资数据库，参考刘莉亚等（2015）的做法，若关联关系为上市公司的子公司、上市公司的合营企业或上市公司的联营企业，关联方注册地在中国大陆以外，且控股比例超过 10%，则视为上市公司进行了 OFDI。数据处理如下：（1）删除重要变量缺失或不符合会计准则的样本；（2）删除投资于开曼群岛、英属维京群岛和百慕大群岛等传统“避税天堂”以及投资于中国香港、中国澳门和中国台湾的企业；（3）删除证券简称中标记有 ST、PT、*ST 的企业；（4）将所有连续变量进行上下 1% 的缩尾处理以避免异常值的影响；（5）鉴于工业机器人主要应用于制造业领域，因此本文只保留制造业上市公司数据。此外，中国制造业分行业就业数据来自《中国工业统计年鉴》，美国分行业就业数据来自 NBER-CES。

（二）模型设定

本文分别从 OFDI 决策和 OFDI 强度两个角度探究工业机器人应用对中国企业 OFDI 的影响，基准回归模型如下：

$$Prob(ofdi_d_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln CHF_{it} + \gamma X_{it} + \lambda_j + \lambda_p + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$ofdi_i_{it} = \begin{cases} \beta_0 + \beta_1 \ln CHF_{it} + \gamma X_{it} + \lambda_j + \lambda_p + \lambda_t + \varepsilon_{it}, & y^* > 0 \\ 0, & y^* = 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中，下标 i 、 j 、 p 、 t 分别表示企业、行业、省份、年份。 $ofdi_d_{it}$ 表示企业 i 在第 t 年的 OFDI 决策，若企业在当年进行了 OFDI 则取值为 1，否则为 0。本文使用 Probit 模型估计式（1）中工业机器人应用对企业 OFDI 决策的影响。 $ofdi_i_{it}$ 表示企业 i 在第 t 年的 OFDI 强度，使用企业当年新建海外子公司数量加 1 后取对数来衡量。 y^* 应服从正态分布，用于表示潜在的 OFDI 强度。考虑到新建海外子公司数量为正且存在大量零值，此时如果使用 OLS 法对整个样本进行线性回归，其非线性扰动项将被纳入扰动项中，导致估计不一致。因此，本文选用左侧受限点为零的 Tobit 模型估计式（2）中工业机器人应用对企业 OFDI 强度的影响。 X_{it} 表示一组企

^①IFR 数据显示，2009 年之前中国工业机器人的规模较小，同时为避免 2008 年全球金融危机可能带来的干扰，本文将研究起点设为 2009 年，这具有一定的现实意义与合理性。

业层面的控制变量, λ_j 、 λ_p 、 λ_t 分别表示行业、省份、年份固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。 α_1 和 β_1 是本文重点关注的系数, 通过其符号及显著性判断工业机器人应用对中国企业 OFDI 决策和 OFDI 强度的影响, 预期 α_1 和 β_1 均显著为正^①。

(三) 内生性及其处理

本文借鉴王永钦和董雯 (2020) 的做法, 使用美国行业层面的工业机器人数据构造中国企业层面机器人渗透度的工具变量。原因在于: 第一, 美国工业机器人应用水平虽领先于中国, 但具有与中国较为相似的发展趋势^②, 这满足工具变量的相关性条件; 第二, 美国工业机器人应用水平处于全球领先地位, 其发展趋势能够反映该行业的技术进步趋势; 第三, 美国使用工业机器人较少受中国经济因素的影响, 更不会直接影响中国企业 OFDI, 这满足工具变量的外生性条件。

(四) 变量说明

1. 核心解释变量: 工业机器人渗透度

本文的核心解释变量为 $\ln CHF_{it}$, 表示企业层面工业机器人渗透度的对数。借鉴 Acemoglu 和 Restrepo (2020)、王永钦和董雯 (2020) 的做法, 使用各企业占所在行业的劳动力就业份额作为权重, 将行业层面的工业机器人渗透度分解至企业层面, 计算公式为:

$$CHF_{it} = \frac{PWP_{it=2009}}{ManuPWP_{t=2009}} \times \frac{MRCN_{jt}}{LCN_{jt=2009}} \quad (3)$$

其中, CHF_{it} 表示企业 i 第 t 年的机器人渗透度, 权重 $PWP_{it=2009}/ManuPWP_{t=2009}$ 表示制造业企业 i 在 2009 年 (基期) 的雇用人数占制造业所有企业 2009 年 (基期) 雇用人数中位数的比值, $MRCN_{jt}$ 表示中国 j 行业 t 年的工业机器人库存量, $LCN_{jt=2009}$ 表示中国 j 行业 2009 年 (基期) 的就业人数。

2. 工具变量: 美国工业机器人渗透度

本文的工具变量为 $\ln USCHF_{it}$, 表示美国工业机器人渗透度的对数值, 计算公式为:

$$USCHF_{it} = \frac{PWP_{it=2009}}{ManuPWP_{t=2009}} \times \frac{MRUS_{jt}}{LUS_{jt=1990}} \quad (4)$$

其中, $MRUS_{jt}$ 表示美国 j 行业 t 年的工业机器人库存量, $LUS_{jt=1990}$ 表示美国 j 行业 1990 年 (基期) 的就业人数。

3. 控制变量

企业年龄 (Age), 使用当前年份减去企业成立年份加 1 后取对数衡量; 企业规模 ($Size$), 使用企业营业收入的对数值衡量; 资本密集度 ($Capital$), 使用企业固定资产净额与员工人数之比的对数值衡量; 资产负债率 (Lev), 使用企业总负债与总资产的比值衡量; 资产收益率 (ROA), 使用企业净利润与总资产的比值衡量; 固定资产占比 ($Rate$), 使用企业固定资产净额与总资产的比值衡量; 所有制类型

^①限于篇幅, 主要变量间的相关系数及中国企业机器人渗透度与企业新建海外子公司数量关系图可登陆对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

^②限于篇幅, 中国和美国工业机器人库存量变化趋势图及行业层面工业机器人渗透度变化趋势图查阅同前。

(*Soe*)，如果企业为国有企业则 *Soe* 取值为 1，否则为 0；具有海外经历高管占比 (*Oversearate*)，使用具有海外经历高管人数与高管团队总人数的比值衡量。

四、实证结果分析

(一) 基准回归

本文将美国工业机器人渗透度 (*lnUSCHF*) 作为工具变量，分别使用 IV Probit 模型和 IV Tobit 模型检验工业机器人应用对企业 OFDI 决策和 OFDI 强度的影响，回归结果见表 1。第 (1) — (3) 列分别汇报了只加入核心解释变量 (*lnCHF*)、加入控制变量以及行业、省份和年份固定效应的回归结果，此时 *lnCHF* 的系数均在 1% 的水平上显著为正，说明工业机器人应用能够显著提高中国企业开展 OFDI 的可能性。同样，第 (4) — (6) 列中 *lnCHF* 的系数均在 1% 的水平上显著为正，说明工业机器人应用能够显著提升中国企业的 OFDI 强度。此外，工具变量的检验结果显示：表 1 各列均通过了 Wald 检验，同时第一阶段回归的 F 值均显著大于 10，说明本文选择的工具变量是强有效的；第一阶段调整的 R^2 值较高，说明工具变量与内生变量之间具有较强的相关性并具有较高的解释力。综上所述，工业机器人应用有利于促进中国企业的投资决策和投资强度，即假说 1 得证。

表 1 全样本基准回归结果

变量	<i>ofdi_d</i> : IV Probit 模型			<i>ofdi_i</i> : IV Tobit 模型		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>lnCHF</i>	0.179*** (0.021)	0.097*** (0.024)	0.140*** (0.045)	0.283*** (0.031)	0.115*** (0.031)	0.130*** (0.050)
控制变量	否	是	是	否	是	是
行业固定效应	否	否	是	否	否	是
省份固定效应	否	否	是	否	否	是
年份固定效应	否	否	是	否	否	是
Wald 检验	513.02 [0.00]	99.90 [0.00]	34.06 [0.00]	571.38 [0.00]	89.39 [0.00]	24.89 [0.00]
第一阶段 F 值	33 546.42 [0.00]	4 565.71 [0.00]	1 741.76 [0.00]	33 546.42 [0.00]	4 565.71 [0.00]	1 741.76 [0.00]
第一阶段调整 R^2	0.790	0.822	0.938	0.790	0.822	0.938
观测值	8 894	8 892	8 892	8 894	8 892	8 892

注：圆括号内为企业层面聚类的稳健标准误；方括号内为弱工具变量检验的 p 值；限于篇幅未汇报截距项及工具变量第一阶段的回归结果，下表同；*** 表示在 1% 的水平上显著。

(二) 区分投资目的国的回归结果

为检验假说 2，本文按照世界银行的分类标准将投资目的国划分为高收入国家

(地区)和中低收入国家(地区)两类^①,以美国工业机器人渗透度($\ln USCHF$)作为工具变量的回归结果见表2。第(1)、(2)列样本中只保留了投资于高收入国家(地区)的企业和未进行OFDI的企业,第(3)、(4)列样本中只保留了投资于中低收入国家(地区)的企业和未进行OFDI的企业,两列样本中均删除了同时投资于高收入国家(地区)和中低收入国家(地区)的企业。被解释变量 $ofdi_d_high$ 和 $ofdi_i_high$ 分别表示中国企业对高收入国家(地区)的OFDI决策和OFDI强度, $ofdi_d_low$ 和 $ofdi_i_low$ 分别表示中国企业对中低收入国家(地区)的OFDI决策和OFDI强度。可以发现,第(1)、(2)列 $\ln CHF$ 的系数均在1%的水平上显著为正,说明工业机器人应用显著促进了中国企业对高收入国家(地区)的OFDI;第(3)、(4)列 $\ln CHF$ 的系数均不显著,说明工业机器人应用对中国企业投资于中低收入国家(地区)的影响不显著。

表2 区分投资目的国的回归结果

变量	高收入国家		中低收入国家	
	$ofdi_d_high$	$ofdi_i_high$	$ofdi_d_low$	$ofdi_i_low$
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\ln CHF$	0.146*** (0.051)	0.178*** (0.061)	0.142 (0.087)	0.173 (0.106)
Wald 检验	25.77 [0.00]	26.84 [0.00]	10.06 [0.00]	9.88 [0.00]
第一阶段 F 值	1 475.79 [0.00]	1 461.45 [0.00]	1 323.81 [0.00]	1 258.75 [0.00]
第一阶段调整 R^2	0.929	0.929	0.934	0.935
观测值	7 650	7 654	5 930	6 697

注:所有方程加入了控制变量及行业、省份、年份固定效应,下表同;***表示在1%的水平上显著。

(三) 稳健性检验

本文从如下几个方面检验工业机器人应用是否稳健地促进了中国企业对高收入国家(地区)的OFDI:第一,考虑到2013年中国政府提出的“一带一路”倡议及同年开始分多批次建设自由贸易试验区所带来的制度环境变化,可能会对基准回归结果产生影响,因此将制度环境($System$)与 $\ln CHF$ 的交互项引入基准模型中,对于2013年及其之后的年份,将 $System$ 赋值为1,其余年份赋值为0。第二,更换回归模型,使用Logit模型替换基准回归中的Probit模型,重新考察工业机器人应用是否促进了中国企业对高收入国家(地区)的投资决策;使用负二项模型进一

^①世界银行按照人均国民总收入将各经济体划分为高收入国家(地区)、中等收入国家(地区)和低收入国家(地区)(见世界银行官网:<https://data.worldbank.org/cn/country>)。本文按此分类标准,将高收入国家(地区)分为一类,其余国家(地区)为中低收入国家(地区)。

步考察工业机器人应用对中国企业在高收入国家（地区）投资强度的影响^①。第三，更换被解释变量，分别使用企业是否首次开展 OFDI 和企业新建海外子公司累计数量（对其加 1 后取对数）作为 *ofdi_d_high* 和 *ofdi_i_high* 的替代变量。第四，更换解释变量，使用工业机器人安装量替换库存量来重新测算企业层面的工业机器人渗透度，构造新变量 $\ln CHF_2$ 以替换基准变量 $\ln CHF$ 。第五，进一步控制行业一年份固定效应及省份一年份固定效应。上述稳健性检验结果较好地支持了假说 2^②。

五、进一步检验与分析

（一）机制检验

一是规模经济效应。前文理论分析表明工业机器人应用能够降低企业的生产成本和管理成本，有助于企业在扩大产出规模的同时降低平均成本，实现规模经济利益，最终激励企业“走出去”。本文综合使用企业生产成本、管理成本和产出规模三个变量作为衡量规模经济效应 (*Scale*) 的替代指标。具体来说，使用企业营业成本占营业收入的比值衡量生产成本，使用企业管理费用占营业收入的比值衡量管理成本，使用企业本期主营业务收入加上库存商品期末余额减去库存商品期初余额之后的对数值衡量产出规模，引入交互项 $\ln CHF \times Scale$ 的回归结果见表 3 第 (1) — (3) 列^③。可以发现，Panel A 和 Panel B 中第 (1)、(2) 列交互项的系数均显著为负，同时第 (3) 列交互项的系数均显著为正，说明工业机器人应用可以通过降低生产成本和管理成本、扩大产出规模来兑现企业规模经济优势，进而促进其对高收入国家（地区）的 OFDI。即规模经济效应是工业机器人应用促进中国企业投资于高收入国家（地区）的重要渠道之一。

二是创新激励效应。前文理论分析表明，工业机器人应用有助于企业投入更多的研发人员和研发资金并增加其创新产出，进而增强企业“走出去”的能力。为检验工业机器人应用能否通过激励企业创新 (*RD*) 促进企业投资于高收入国家（地区），本文分别使用企业研发人员数量占员工人数的比值、企业研发投入金额占营业收入的比值衡量研发创新活动中的人力投入和资金投入，使用企业无形资产净额占总资产的比值衡量创新产出。引入交互项 $\ln CHF \times RD$ 的回归结果见表 3 第 (4) — (6) 列。可以发现，Panel A 和 Panel B 中第 (4) — (6) 列交互项的系数均显著为正，说明工业机器人应用对企业投资于高收入国家（地区）的促进作用随企业研发人员投入、研发资金投入及创新产出的增加而增强，即创新激励效应是工业机器人应用促进中国企业投资于高收入国家（地区）的重要渠道之一。

^①由于企业在高收入国家（地区）新建海外子公司数量是一个非负、离散的整数，其均值是 0.445，方差是 2.108，方差显著高于均值，数据具有过度分散性，故使用负二项模型进行稳健性检验。

^②限于篇幅，稳健性检验结果查阅同前。

^③调节效应检验和中介效应检验是经济学领域流行的两种机制检验方法。考虑到中介效应检验的内生性颇受质疑，而中介效应修正模型可能会被诟病无法贯通机制变量对 OFDI 的影响，为避免上述问题的困扰，本文使用调节效应进行机制检验。

表3 机制检验结果

变量	规模经济效应			创新激励效应		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Panel A: <i>ofdi_d_high</i>						
<i>lnCHF</i>	0.348*** (0.118)	0.190*** (0.044)	0.098* (0.055)	0.105 (0.064)	0.095* (0.054)	0.111** (0.046)
<i>lnCHF</i> × <i>Scale</i>	-0.236* (0.138)	-0.437*** (0.156)	0.006* (0.003)			
<i>Scale</i>	0.013 (0.491)	2.520*** (0.824)	0.603*** (0.197)			
<i>lnCHF</i> × <i>RD</i>				0.858* (0.486)	0.018*** (0.006)	2.294** (1.028)
<i>RD</i>				-0.340 (0.680)	0.008 (0.009)	0.270 (1.204)
Pseudo R ²	0.185	0.186	0.172	0.160	0.178	0.185
观测值	7 650	7 650	6 347	2 966	5 369	7 636
Panel B: <i>ofdi_i_high</i>						
<i>lnCHF</i>	0.426*** (0.138)	0.241*** (0.051)	0.124* (0.066)	0.110 (0.072)	0.105* (0.062)	0.131** (0.053)
<i>lnCHF</i> × <i>Scale</i>	-0.292* (0.161)	-0.642*** (0.170)	0.008** (0.004)			
<i>Scale</i>	-0.087 (0.588)	3.469*** (0.932)	0.768*** (0.242)			
<i>lnCHF</i> × <i>RD</i>				1.096** (0.552)	0.021*** (0.007)	2.759** (1.199)
<i>RD</i>				-0.512 (0.756)	0.006 (0.008)	0.661 (1.379)
Pseudo R ²	0.148	0.150	0.141	0.132	0.143	0.150
观测值	7 654	7 654	6 422	3 033	5 383	7 640

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

(二) 异质性检验

本文从以下四个方面考察工业机器人应用对中国企业投资于高收入国家（地区）的异质性影响：一是区分企业所有制，在基准回归中引入国有企业虚拟变量（*Soe*）与 *lnCHF* 的交互项；二是区分企业地理位置，按照企业所处省份将其划分为沿海地区企业和内陆地区企业两组，并进行分组回归；三是区分企业外部融资依赖度，借鉴 Rajan 和 Zingales（1998）^[38] 的做法，将企业外部融资依赖度的计算公式设定为：（资本支出-经营活动现金流）/资本支出，按照其中位数将样本划分为高外部融资依赖度和低外部融资依赖度两组，并进行分组回归；四是区分企业要素密集度，将制造业企业划分为技术密集型和低技术密集型两类^①，并进行分组回归。上述异质性检验结果较好地验证了假说4^②。

①技术密集型企业包括化学原料和化学制品制造业，医药制造业，化学纤维制造业，汽车制造业，铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业，电气机械和器材制造业，计算机、通讯和其他电子设备制造业，废弃资源综合利用业，其他制造业等9个行业内的企业。非技术密集型企业包括农副食品加工业，食品制造业，酒、饮料和精制茶制造业，烟草制品业，纺织业，纺织服装、服饰业，皮革、毛皮、羽毛及其制品和鞋业，木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业，家具制造业，造纸和纸制品业，印刷业和记录媒介复制业，文教、工美、体育和娱乐用品制造业，橡胶和塑料制品业，石油、煤炭及其他燃料加工业，非金属矿物制品业，黑色金属冶炼和压延加工业，有色金属冶炼和压延加工业，金属制品业，通用设备制造业，专用设备制造业，仪器仪表制造业，金属制品、机械和设备修理业等22个行业内的企业。

②限于篇幅，异质性检验结果查阅同前。

(三) 投资动机检验

为检验假说5, 本文分别使用 Probit 模型和 Tobit 模型检验工业机器人应用对中国企业在高收入国家(地区)开展商贸服务型、研究开发型和当地生产型 OFDI 决策及强度的影响^①, 回归结果见表 4Panel A。可以发现, 第(1) — (4) 列中 $\ln CHF$ 的系数均显著为正, 说明工业机器人应用能够显著促进中国企业在高收入国家(地区)开展商贸服务型和研究开发型 OFDI。而第(5)、(6) 列中 $\ln CHF$ 的系数均不显著, 说明工业机器人应用未显著影响中国企业在高收入国家(地区)开展当地生产型 OFDI, 导致这一结果的原因可能是中国企业在高收入国家开展当地生产型 OFDI 数量较少。因此, 本文进一步将投资目的国扩展至所有国家(地区), 回归结果见表 4Panel B。此时, 第(1) — (4) 列中 $\ln CHF$ 的系数依然显著为正, 说明工业机器人应用能够显著促进中国企业开展商贸服务型 OFDI 和研究开发型 OFDI。值得注意的是, 第(5)、(6) 列中 $\ln CHF$ 的系数均显著为正, 说明工业机器人应用显著促进了中国企业开展当地生产型 OFDI, 这意味着自动化技术可能会促使中国企业在中低收入国家(地区)开展当地生产型 OFDI, 从而能够在一定程度上缓解中低收入国家(地区)政府对于外资撤离的担忧。

表 4 投资动机检验结果

变量	商贸服务型 OFDI		研究开发型 OFDI		当地生产型 OFDI	
	投资决策	投资强度	投资决策	投资强度	投资决策	投资强度
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Panel A: 投资目的国为高收入国家						
$\ln CHF$	0.197*** (0.052)	0.401*** (0.099)	0.241* (0.139)	0.550** (0.273)	0.120 (0.102)	0.199 (0.167)
PseudoR ²	0.160	0.141	0.296	0.445	0.249	0.315
观测值	6 299	6 832	1 500	6 328	2 862	6 356
Panel B: 投资目的国为全部国家						
$\ln CHF$	0.198*** (0.049)	0.499*** (0.122)	0.239* (0.139)	0.456* (0.256)	0.168** (0.067)	0.362*** (0.140)
PseudoR ²	0.173	0.136	0.300	0.458	0.245	0.223
观测值	6 769	7 094	1 501	6 329	5 428	6 520

注: 第(1)、(2) 列只保留进行商贸服务型 OFDI 和未进行 OFDI 的企业; 第(3)、(4) 列只保留进行研究开发型 OFDI 和未进行 OFDI 的企业; 第(5)、(6) 列只保留进行当地生产型 OFDI 和未进行 OFDI 的企业; 由于只进行资源寻求型 OFDI 的企业数量较少, 此时使用 Probit 模型估计在控制行业、省份和年份固定效应时会存在严重共线性问题, 导致大量企业样本被删除, 无法识别检验结果, 因此不再单独检验; ***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著。

①关于 OFDI 类型的具体识别方法为: 首先, 根据海外直接投资数据库中报告的海外子公司经营范围进行初筛, 比如将经营范围中包含商贸、经贸、商业、贸易、出口、进口、进出口、经销、批发、零售、销售、服务等字样的 OFDI 设定为商贸服务型 OFDI; 其次, 按照企业名称、投资国家和投资年份等信息于互联网进行交叉搜索, 以明确那些在初筛中无法确定的投资; 最后, 删除那些投资类型无法确定的样本。

六、结论与启示

本文使用2009—2019年IFR公布的工业机器人数据及中国制造业上市公司的微观数据,从投资决策和投资强度两个方面考察了工业机器人应用对中国企业OFDI的区位影响及作用机制。研究表明:第一,工业机器人应用显著提高了中国企业OFDI的概率和强度,并主要促进了中国企业对高收入国家(地区)的OFDI,而未显著影响中国企业对中低收入国家(地区)的OFDI,这一核心结论具有良好的稳健性;第二,机制检验结果显示,规模经济效应和创新激励效应是工业机器人应用促进中国企业投资于高收入国家(地区)的重要渠道;第三,异质性分析显示,工业机器人应用对非国有企业、沿海地区企业、低外部融资依赖度企业及技术密集型企业投资于高收入国家(地区)的促进作用更大;第四,在投资动机方面,工业机器人应用有助于促进中国企业在高收入国家(地区)开展商贸服务型OFDI和研究开发型OFDI,而对当地生产型OFDI的影响不显著,当将研究样本扩大至所有投资目的国(地区)后,工业机器人应用对中国企业开展商贸服务型、研究开发型及当地生产型OFDI均具有显著促进作用。

本文研究为客观评估工业机器人应用对企业OFDI的影响提供了来自我国微观企业层面较新的经验证据,对于新时代下中国如何推动智能制造稳步发展及更好实施对外开放战略具有如下政策启示:第一,鼓励企业在生产、管理、销售等各个环节提高工业机器人应用水平,引进并培养一批能够熟练操控工业机器人的高端技术人才,切实利用工业机器人实现规模经济利益,提升企业创新能力,构建企业核心竞争力,最终推动中国企业“走出去”;第二,本文观察到相比非国有企业,工业机器人应用对国有企业OFDI的影响不显著,因此政府应继续深化国有企业改革,加快国有经济布局优化和结构调整,不断增强国有经济活力,发挥国有企业OFDI的主力军作用;第三,考虑到工业机器人应用对不同投资动机企业OFDI的差异化影响,因此政府应针对不同投资动机企业的现实需求提供相应的政策支持,以实现国家整体利益与企业个体利益的有机结合,推进高水平对外开放。

[参考文献]

- [1] DE BACKER K, DESTEFANO T, MENON C, et al. Industrial Robotics and The Global Organisation of Production [R]. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2018, 3.
- [2] AUTOR D H, LEVY F, MURNANE R J. The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration [J]. Quarterly Journal of Economics, 2003, 118 (4): 1279-1333.
- [3] ACEMOGLU D, AUTOR D. Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings [J]. Handbook of Labor Economics, 2011 (4): 1043-1171.
- [4] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Secular Stagnation? The Effect of Aging on Economic Growth in the Age of Automation [J]. American Economic Review, 2017, 107 (5): 174-179.
- [5] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment [J]. American Economic Review, 2018, 108 (6): 1488-1542.

- [6] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Automation and New Tasks; How Technology Displaces and Reinstates Labor [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33 (2): 3-30.
- [7] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and Jobs; Evidence from US Labor Markets [J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128 (6): 2188-2244.
- [8] 吕越, 谷玮, 包群. 人工智能与中国企业参与全球价值链分工 [J]. *中国工业经济*, 2020 (5): 80-98.
- [9] ALGUACIL M, TURCO A L, MARTINEZ-ZARZOSO I. Robot Adoption and Export Performance: Firm-level Evidence from Spain [J]. *Economic Modelling*, 2022 (114): 105912.
- [10] 毛其淋, 石步超. 工业机器人如何影响企业出口模式 [J]. *国际贸易问题*, 2022 (12): 38-53.
- [11] CARBONERO F, ERNST E, WEBER E. Robots Worldwide: The Impact of Automation on Employment and Trade [R]. ILO Working Paper, 2018, 36.
- [12] 苑文华, 路玮孝, 孟夏. 工业机器人应用如何影响中国企业对发展中国家 OFDI——基于中国上市公司的分析 [J]. *世界经济文汇*, 2022 (6): 55-76.
- [13] HYMER S. The International Operations of National Firms: A Study of Direct Foreign Investment [D]. Massachusetts Institute of Technology, 1960.
- [14] BUCKLEY P J, CASSON M. The Future of the Multinational Enterprise [M]. Holmes & Meier Publishers, 1976.
- [15] VERNON R. International Investment and International Trade in the Product Cycle [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1966, 80 (2): 190-207.
- [16] DUNNING J H. The Theory of International Production [J]. *International Trade Journal*, 1988, 3 (1): 21-66.
- [17] LALL S. The New Multinationals: The Spread of Third World Enterprises [M]. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- [18] CANTWELL J, TOLENTINO P E E. Technological Accumulation and Third World Multinationals [D]. University of Reading, 1990.
- [19] 田巍, 余森杰. 企业生产率和企业“走出去”对外直接投资: 基于企业层面数据的实证研究 [J]. *经济学 (季刊)*, 2012, 11 (2): 383-408.
- [20] 刘莉亚, 何彦林, 王照飞, 等. 融资约束会影响中国企业对外直接投资吗? ——基于微观视角的理论和实证分析 [J]. *金融研究*, 2015 (8): 124-140.
- [21] CHEN C, TIAN W, YU M. Outward FDI and Domestic Input Distortions: Evidence from Chinese Firms [J]. *Economic Journal*, 2019, 129 (624): 3025-3057.
- [22] 谢红军, 吕雪. 负责任的国际投资: ESG 与中国 OFDI [J]. *经济研究*, 2022, 57 (3): 83-99.
- [23] 詹晓宁, 欧阳永福. 数字经济下全球投资的新趋势与中国利用外资的新战略 [J]. *管理世界*, 2018, 34 (3): 78-86.
- [24] METTLER A, WILLIAMS A D. The Rise of the Micro-Multinational: How Freelancers and Technology-Savvy Start-Ups are Driving Growth, Jobs and Innovation [J]. *Lisbon Council Policy Brief*, 2011, 5 (3): 1-28.
- [25] UNCTAD. World Investment Report 2017: Investment and The Digital Economy [R]. New York: United Nations, 2017.
- [26] 李明洋, 张乃丽. 企业数字化转型促进还是抑制了“走出去”: 来自中国 A 股上市企业的证据 [J]. *世界经济研究*, 2022 (10): 118-134+137.
- [27] 蒋殿春, 唐浩丹. 数字型跨国并购: 特征及驱动力 [J]. *财贸经济*, 2021, 42 (9): 129-144.
- [28] HELPMAN E, MELITZ M, YEAPLE S R. Export versus FDI with Heterogeneous Firms [J]. *American Economic Review*, 2004, 94 (1): 300-316.
- [29] FU X, HOU J, LIU X. Unpacking the Relationship between Outward Direct Investment and Innovation Performance: Evidence from Chinese Firms [J]. *World Development*, 2018 (102): 111-123.

- [30] 金祥义, 张文菲. 人工智能与企业出口扩张: 贸易革命的技术烙印 [J]. 国际贸易问题, 2022 (9): 70-87.
- [31] GOLDFARB A, TREFLER D. AI and International Trade [R]. NBER Working Paper, 2018, 24254.
- [32] 干春晖, 姜宏. 资本偏向型技术进步新特征及其对劳动力市场的影响机制研究 [J]. 财经研究, 2022, 48 (5): 34-48+79.
- [33] 诸竹君, 袁逸铭, 焦嘉嘉. 工业自动化与制造业创新行为 [J]. 中国工业经济, 2022 (7): 84-102.
- [34] 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 (10): 159-175.
- [35] 原毅军, 谢荣辉. FDI、环境规制与中国工业绿色全要素生产率增长——基于 Luenberger 指数的实证研究 [J]. 国际贸易问题, 2015 (8): 84-93.
- [36] 蒋冠宏, 蒋殿春. 中国企业对外直接投资的“出口效应” [J]. 经济研究, 2014, 49 (5): 160-173.
- [37] 李磊, 白道欢, 冼国明. 对外直接投资如何影响了母国就业? ——基于中国微观企业数据的研究 [J]. 经济研究, 2016, 51 (8): 144-158.
- [38] RAJAN R G, ZINGALES L. Financial Dependence and Growth [J]. American Economic Review, 1998 (88): 393-410.

Industrial Robot Application and Outward Foreign Direct Investment of Chinese Firms

JIANG Dianchun LU Xiao

Abstract: This study examines the impact of industrial robot application on Chinese firms' Outward Foreign Direct Investment (OFDI) in terms of investment decision-making and investment intensity, using data from the International Federation of Robotics (IFR) on industrial robots and listed Chinese manufacturing firms' micro data from the period of 2009 to 2019. The empirical findings demonstrate that, overall, industrial robot application promotes Chinese firms' OFDI, with a significant effect on investment decision-making and investment intensity towards high-income countries. Mechanism tests reveal that industrial robot application facilitates Chinese firms' investment in high-income countries through the channels of scale economies and innovation incentives. Heterogeneity analysis indicates that the promotional effect of industrial robot application is mainly observed in non-state-owned firms, firms located in coastal areas, firms with low external financing dependence, and technology-intensive firms. Furthermore, the study findings on investment motivation indicate that industrial robot application significantly promotes Chinese firms' OFDI in business services and R&D sectors in high-income countries, while showing no significant impact on local production OFDI. This research affirms the positive role of industrial robot application in facilitating China's expansion of outward openness and provides important insights for promoting high-quality development of intelligent manufacturing and facilitating better internationalization of Chinese firms.

Keywords: Industrial Robot; Outward Foreign Direct Investment; Location Choice; Investment Motivation

(责任编辑 王 瀛)