

工业机器人如何影响企业出口模式

毛其淋 石步超

摘要：工业机器人为制造业转型升级赋能，是制造业企业打通直接出口渠道和提高生产经营效益的重要依托。本文通过匹配国际机器人联盟（IFR）提供的机器人数据和中国企业出口数据，首次系统地研究了工业机器人对企业出口模式选择的影响。结果表明，工业机器人显著提高了企业选择直接出口模式的概率，且工业机器人对直接出口模式选择的促进效应在民营性质、行业技术密集度中等、行业集中度低和地区知识产权保护程度高的企业中更加显著。长期内源融资约束缓解、外源融资约束缓解、技术创新和人力资本深化是工业机器人影响企业出口模式选择的重要渠道。本文进一步基于产业关联视角进行研究，发现下游行业应用工业机器人促进上游行业企业出口模式转变，并且工业机器人还显著推动企业由间接出口模式向直接出口模式转变，进而延长出口持续时间，增强盈利能力和成长潜力。本文拓展和深化了工业机器人经济效应评估的研究，并为中国推动工业机器人更好地服务于企业出口模式优化以及高质量发展提供了决策参考。

关键词：工业机器人；直接出口；出口模式变革；产业关联

[中图分类号] F752.62 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2022) 12-0038-16

一、引言与文献综述

目前，我国正处于全球制造业格局调整和国内经济发展方式转变的关键路口，技术革新成为核心驱动因素。着眼于“工业革命4.0”的核心——工业智能化技术，我国政府提出了通过推动以人工智能、大数据为代表的新一代信息技术同制造业先进生产技术深度融合，实现创新驱动发展的战略。2015年我国在《中国制造2025》中提出将智能制造作为两化融合的主攻方向，2016年在《机器人产业发展规划》中详细制定了机器人发展目标，2017年将人工智能上升为国家战略，2021年将加快推动机器人产业高质量发展作为国家经济发展、人民生活和社会治理的重要组成。

[收稿日期] 2022-07-26

[基金项目] 国家自然科学基金项目“贸易开放与我国制造业产能利用率：因果效应、机制及对策研究”（72073074）；国家社会科学基金重点项目“构建更高层次开放型经济体系研究”（22AZD054）；2022年度中国科协科技智库青年人才计划“工业机器人与中国贸易高质量发展问题研究”（20220615ZZ07110265）

[作者信息] 毛其淋：南开大学跨国公司研究中心、经济学院教授，博士生导师；石步超（通讯作者）：南开大学经济学院博士研究生，电子信箱 shibuchao12@163.com

目前,已有研究围绕工业机器人对劳动力就业的影响展开了丰富的讨论(Acemoglu and Restrepo, 2018a^[1]; 2018b^[2]; 2020^[3]; Graetz and Michaels, 2018^[4]; 王永钦和董雯, 2020^[5])。渐有学者开始探讨工业机器人对出口行为和出口质量的影响。其中, Alguacil 等(2022)^[6]研究发现工业机器人可以提高出口概率、出口存续期、出口销售额和出口份额。吕越等(2020)^[7]、刘斌和潘彤(2020)^[8]研究发现,工业机器人对中国企业和出口国家的全球价值链参与度均具有显著的提高作用。蔡震坤和綦建红(2021)^[9]研究发现,企业可以通过使用工业机器人提高生产率并降低贸易成本,从而提高出口质量。韩峰和庄宗武(2022)^[10]研究发现,工业机器人的使用可以提高生产率并增加中间品种类,从而提高出口国内附加值。但尚未有文献关注工业机器人是否以及如何影响企业出口模式选择。

出口模式作为企业转型升级的重要依托,对于企业持久发展影响深远。出口模式指企业进入国外市场的方式,可根据企业是否依赖贸易中间商出口,分为间接出口和直接出口两种模式。其中,间接出口可协助企业节约短期出口固定成本,但会导致契约不完整、贸易中间商服务加价、出口学习机会受限、对海外市场控制不足等问题,限制了企业出口需求的持续增长(Blomstermo et al., 2006^[11]; Haddad and Muir, 2021^[12]; Di Cintio, 2020^[13])。相比之下,直接出口虽然需要企业承担额外的短期出口固定成本,但从长期发展的视角来看,企业可享有出口可变成本降低、出口学习效应提高、技术溢出效应增强的显著优势(Wu et al., 2007^[14]; Davies and Jeppesen, 2015^[15]; Bai et al., 2017^[16])。目前,中国正处于国内经济模式提质转型、全球贸易竞争激烈的关键阶段,摆脱贸易中介的束缚,建立直接出口渠道对制造业企业持久发展具有重要意义。借助工业机器人,企业可以替代低技能劳动力进而节省劳动成本以缓解内源融资约束;可以增加固定资产价值,享受政府信誉背书进而缓解外源融资约束;可以提高人力资本水平,倒逼技术创新,进而提升企业生产率。据此,应用工业机器人可为企业直接出口渠道提供充足的资金支持和技术支撑。

与既有文献相比,本文的边际贡献在于:第一,研究视角上,首次系统考察了工业机器人对中国企业出口模式选择及其转变的影响,从智能化、信息化转型视角丰富了企业出口模式变革驱动因素的研究,为发展中国家抓住工业智能化发展机遇,转变企业发展模式提供理论支撑;第二,理论机制上,发现长期内源融资约束缓解、外源融资约束缓解、技术创新和人力资本深化是工业机器人影响企业出口模式选择的重要传导机制,较好地回答了如何借助工业机器人有效促进企业出口模式转变的关键问题;第三,研究方法上,构造了美国机器人行业渗透度等多个工具变量,可以准确识别工业机器人对企业出口模式的因果效应;第四,政策含义上,为现阶段政府继续推进落实工业机器人政策,增强对国外市场的控制力和影响力以及进一步推动出口转型升级提供了有益的理论指导,为企业有效实现出口模式的深层变革与经营绩效的持续改善提供新的思路。

二、理论分析与研究假说

工业机器人通过以下几种方式促使企业出口模式转变：

第一，工业机器人加剧企业短期内源融资约束，缓解长期内源以及外源融资约束，进而影响企业出口模式转变。在购入使用工业机器人之初，企业需要支出高昂的设备购买和安装费用，从而增加了现金流压力，进而加剧内源融资约束（王永钦和董雯，2020）。随着工业机器人使用时间的延长，工业机器人的“低可变成本”优势逐渐凸显，表现为智能化工业生产设备通过替代低技能劳动力直接减少工资支出（Koch et al., 2021）^[17]，通过提高低技能劳动力供给市场的竞争程度削弱劳动力的议价能力，间接降低均衡工资水平（Acemoglu and Restrepo, 2020），进而有助于增加企业现金流，缓解长期内源融资约束。此外，工业机器人作为重要的固定资产，具有较高的市场价值和较强的变现能力，可以被债权方视为企业偿债能力的有效保证，从而提高了债权方的借贷意愿（文东伟和冼国明，2014）^[18]。应用工业机器人的企业还可以享受诸如财政补贴、税收减免、产业基金设置等多项融资优惠政策，这既直接缓解了企业的资金约束，又借助政府背书向债权方传递企业高质量、高信用的信号，降低了债权方与企业之间的信息不对称，进而缓解了外源融资约束（卢盛峰和陈思霞，2017）^[19]。融资约束缓解将提高企业承担直接出口固定成本的能力，此时，在增加长期利润，保护产品秘密性，增强市场控制等好处的吸引下，企业会选择直接出口模式（Chan, 2019^[20]；蒋冠宏，2016^[21]）。

第二，工业机器人还会推动企业过程创新和研发创新，进而使其选择直接出口模式。从过程创新角度来看，工业机器人有助于提高生产过程中重复性任务的准确性和精确度，进而有助于企业节约生产成本，降低质量损失（Kromann and Sorensen, 2019）^[22]。从研发创新角度来看，工业机器人通过提升企业下游生产端生产能力，为上游研发创新提供实现基础，使得企业预期研发收益实现概率有效增加，有助于增强企业研发创新意愿（Kim et al., 2011）^[23]。此外，工业机器人引致的下游生产能力提升还将倒逼上游研发创新，只有上下游联合创新才能真正提升整合创新能力（王康等，2019）^[24]。工业机器人引致的过程创新具有降低成本的规模效应，可以促使企业扩大产量并增加利润，且有助于企业提高生产速度，降低生产损耗，更好地适应竞争性市场对生产效率的要求。工业机器人倒逼的研发创新有助于企业创造新产品，丰富产品种类，从而扩大企业产品出口的范围并增加对出口市场的控制力（Ganotakis and Love, 2011）^[25]。因此，工业机器人的创新效应促使企业选择直接出口模式。

第三，工业机器人通过改变劳动需求结构和提升劳动供给质量来提高企业人力资本水平，进而促使企业选择直接出口模式。从劳动需求角度来看，工业机器人在操作、焊接、装配、清洁等生产复杂性低的环节上替代低技能劳动力（Graetz and Michaels, 2018；Acemoglu and Restrepo, 2019^[26]），并在设计、开发、安装、操控等生产复杂性高的环节上增加对高技能劳动力的需求（Xie et al., 2021）^[27]，进而

实现企业整体劳动力的需求结构升级。市场均衡要求劳动力供给结构升级同劳动力需求结构升级相匹配。具体而言,机器人对劳动力的替代效应倒逼企业现有劳动力提升个体技能水平以降低失业风险(Furman and Seamans, 2019)^[28],技能溢价提高吸引劳动力通过提升个体技能水平实现工资跨越(Acemoglu and Restrepo, 2020)。为满足机器人应用下生产任务的技能偏向性要求,企业还会通过增加劳动力培训投入,完善在职培训制度,鼓励劳动力参与技能大赛等多种途径提高人力资本水平,进而发挥机器人的生产率效应。人力资本是提升企业管理质量,改善企业生产效率的关键因素。人力资本水平提高通过提高决策质量,优化管理程序提高了企业管理质量(丁一兵和刘紫薇, 2020)^[29],降低了出口不确定性和风险,有助于提高企业绩效,并推动企业选择直接出口模式。人力资本水平提高还将进一步推动企业战略创新和组织创新进而支持和加速技术创新(Makowski and Kajikawa, 2021)^[30]。因此,工业机器人促进企业人力资本深化,进而促进其出口模式转型。

根据以上分析,本文提出如下研究假说。

假说1:在其他条件不变的情况下,工业机器人的应用提高了企业直接出口倾向。

假说2:长期内源融资约束缓解、外源融资约束缓解、技术创新和人力资本升级是工业机器人影响企业出口模式选择的重要渠道。

三、模型、方法与数据

(一) 计量模型

本文旨在研究工业机器人对企业出口模式选择的影响,构建如下线性概率模型:

$$Mode_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 Exposure_firm_{ijt} + \alpha_2 X_{ijt} + \varphi_j + \lambda_t + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

其中,下标*i*代表行业,*j*代表企业,*t*代表时间。被解释变量 $Mode_{ijt}$ 为*i*行业*j*企业在*t*年的出口模式,若企业在工业企业数据库和海关贸易数据库中均有出口记录,则认为其选择直接出口,取值为1;若企业在工业企业数据库中有出口记录而在海关贸易数据库中没有出口记录,则认为其通过贸易中介间接出口,取值为0(Bai et al., 2017)。

核心解释变量 $Exposure_firm_{ijt}$ 为*i*行业*j*企业在*t*年的工业机器人渗透度,用于刻画中国企业的工业机器人应用水平。本文借鉴王永钦和董雯(2020)进行构造:

$$Exposure_firm_{ijt} = \frac{L_{ij, t=2000}}{Med_L_{i, t=2000}} \times \frac{R_{it}}{L_{i, t=2000}} \quad (2)$$

其中, $L_{ij, t=2000}$ 代表*i*行业*j*企业在2000年的从业人数, $Med_L_{i, t=2000}$ 代表*i*行业在2000年的从业人数中位数,两者之比代表2000年*j*企业在*i*行业内的相对从业人数份额; R_{it} 代表*i*行业*t*年的工业机器人存量, $L_{i, t=2000}$ 代表*i*行业在2000年的从业人数,两者之比代表*i*行业*t*年工业机器人渗透度^①。

X_{ijt} 为控制变量,包括企业规模($Size_{ijt}$)、企业年龄(Age_{ijt})、资本密集度

①若企业在2000年之后才进入样本,则以企业进入样本的首个年份进行计算。

($Capital_intensity_{ijt}$)、市场势力($Power_{ijt}$)、国有企业虚拟变量($Soesdum_{ijt}$)、外资企业虚拟变量($Foreidum_{ijt}$)、行业集中度(HHI_{it})、行业中间品关税($Inputtariff_{it}$)、行业最终品关税($Outputtariff_{it}$)。此外,本文还控制了企业固定效应 φ_j 和年份固定效应 λ_t , ε_{ijt} 为随机误差项。

(二) 内生性问题处理

工业机器人与企业出口模式可能存在反向因果关系,导致工业机器人变量具有内生性。从技术动因来看,企业在建立直接出口渠道时已耗费高固定成本,希望建立更持久的出口关系,因而倾向于提高技术水平以获取长期竞争优势。从资金动因来看,直接出口有助于企业降低生产成本和出口可变成本,为安装使用工业机器人设备提供资金支持。因此,不可观测的遗漏变量和测量误差也可能会导致内生性问题。鉴于此,本文采用2SLS法识别工业机器人对企业出口模式选择的因果效应。

借鉴Acemoglu和Restrepo(2020),本文构造美国机器人行业渗透度(IV_indus_{it})作为中国企业工业机器人应用水平的工具变量。选择美国机器人行业渗透度的原因在于:(1)相关性。近年来中美两国在科技、工业、贸易等方面竞争激烈,不仅机器人应用水平在世界范围内均处于领先地位,而且机器人行业分布也十分相似^①。(2)外生性。国外机器人应用与影响中国企业出口模式的本土因素无关。具体地,美国机器人行业渗透度的构造如下:

$$IV_indus_{it} = \frac{R_{it}^{US}}{L_{it=2000}^{US}} \quad (3)$$

其中, R_{it}^{US} 代表美国*i*行业在*t*年的工业机器人存量, $L_{it=2000}^{US}$ 代表美国*i*行业在2000年的从业人员数量^②。

(三) 数据来源

本文的企业层面数据来自中国工业企业数据库以及海关贸易数据库,行业层面机器人数据来自国际机器人联盟(IFR),地区层面数据来自《中国统计年鉴》,时间跨度为2000—2013年。本文首先借鉴Yu(2015)^[31]的方法将中国工业企业数据库与海关贸易数据库进行合并,其次将上述企业数据与机器人数据进行合并,并对CIC2位行业代码按国际标准行业分类(ISIC Rev 4.0)进行调整,最终匹配生成15个行业^③。为了提高样本数据质量,还删除了从业人员平均人数小于8或缺失、企业年龄缺失、固定资产合计非正或缺失、工业总产值非正或缺失、工业销售产值非正或缺失的样本,并对所有连续变量进行前后1%的缩尾处理。

四、实证结果与分析

(一) 基准回归

本文采用2SLS法考察工业机器人对中国企业出口模式的影响,使用美国机器

①囿于篇幅,美国机器人行业渗透度和中国机器人行业渗透度的散点图可登录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数据来自NBER—CES制造业数据库(1987 SIC行业分类标准版本)。

③囿于篇幅,行业匹配结果查阅同前。

人行业渗透度作为工具变量，回归结果报告于表1。第(1)列仅加入工业机器人企业渗透度 (*Exposure_firm*)，回归结果显示，*Exposure_firm* 的系数在1%水平上显著为正，初步表明工业机器人应用显著促进了企业对直接出口模式的选择。在逐渐加入各个控制变量后，得到第(6)列，结果显示工业机器人应用程度每提高1单位，企业选择直接出口的概率提高20.3%，从而较好地验证了假说1。

表1 基准回归结果

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Exposure_firm</i>	0.1524*** (0.0432)	0.1415*** (0.0428)	0.1335*** (0.0424)	0.1374*** (0.0424)	0.1475*** (0.0442)	0.2029*** (0.0681)
<i>Size</i>		0.0256*** (0.0012)	0.0450*** (0.0015)	0.0437*** (0.0015)	0.0436*** (0.0015)	0.0438*** (0.0015)
<i>Age</i>		0.0056*** (0.0020)	0.0031 (0.0020)	0.0053*** (0.0019)	0.0054*** (0.0019)	0.0055*** (0.0019)
<i>Capital_intensity</i>			0.0262*** (0.0010)	0.0256*** (0.0010)	0.0256*** (0.0010)	0.0256*** (0.0010)
<i>Power</i>			0.0232*** (0.0084)	0.0230*** (0.0084)	0.0230*** (0.0084)	0.0235*** (0.0085)
<i>Soesdum</i>				-0.0015 (0.0127)	-0.0013 (0.0127)	-0.0023 (0.0128)
<i>Foreidum</i>				0.1370*** (0.0069)	0.1370*** (0.0069)	0.1366*** (0.0069)
<i>HHI</i>					-0.4269 (0.2997)	-0.3764 (0.3037)
<i>Inputtariff</i>						-0.0001 (0.0002)
<i>Outputtariff</i>						-0.0004 (0.0005)
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	-0.0015	0.0010	0.0047	0.0093	0.0091	0.0091
N	748 664	737 598	737 439	737 439	737 439	728 192
Kleibergen-Paap rk LM	103.0942 [0.0000]	101.5044 [0.0000]	101.2277 [0.0000]	101.1980 [0.0000]	97.8082 [0.0000]	90.4788 [0.0000]
Kleibergen-Paap rk Wald F	111.7473	110.0386	109.7329	109.7031	106.1939	97.6613

注：圆括号内汇报了企业层面聚类稳健标准误；方括号内汇报了不可识别检验的p值；*、**和***分别表示在10%、5%和1%的显著性水平下拒绝原假设。下表同。

表1底部报告了工具变量合理性的检验结果，各列均通过了Kleibergen-Paap rk LM检验（不可识别检验），另外，Kleibergen-Paap rk Wald F统计量明显大于Stock-Yogo weak ID检验（弱工具变量检验）10%水平对应的临界值，说明工具变量和内生变量具有较强的相关性，不存在弱工具变量问题。由于“恰好识别”情

况下无法直接检验工具变量外生性,本文借鉴 Conley 等 (2012)^[32],在不断改变工具变量违反外生性的程度 δ 的情况下,机器人渗透度估计系数的置信区间始终为正,说明即使考虑工具变量非严格外生的情况,工业机器人应用提高企业直接出口概率的结论依然稳健^①。

(二) 稳健性检验

为保证回归结果的稳健性,本文进行了如下检验:(1)构造3个工具变量进行回归,一是国外工业机器人行业渗透度,用中国主要贸易伙伴国^②工业机器人行业渗透度的25%分位数(*IV_exptrade25*)衡量;二是国外工业机器人密度,用中国主要贸易伙伴国工业机器人行业密度的25%分位数(*IV_dentrade25*)衡量(Graetz and Michaels, 2018)^③;三是借鉴 Stapleton 和 Webb (2020)^[33],构造可替代人力劳动的工业机器人价值(*IV_replacability*),由“行业可替代性 \times 1999年中国人均GDP \times 全球机器人存量”计算得到。(2)采用企业直接出口额占总出口额的比例作为出口模式的连续指标进行检验(Bai et al., 2017)。(3)采用IV—Probit模型和两阶段Logit模型进行检验。(4)将样本划分为2008年金融危机发生之前和之后两个子样本进行回归。(5)借鉴许和连等(2020)^[34]、Gan等(2016)^[35]、李波和蒋殿春(2019)^[36]、龙小宁等(2014)^[37],分别构建出口加工区虚拟变量(*Epzdum*)、城市最低工资的对数(*Minwage*)、2007年各行业劳动密集度与《劳动合同法》实施时间虚拟变量的交互项(*Labourint07* \times *Law08*)、2007年行业所得税税率与企业所得税改革实施时间虚拟变量的交互项(*Taxrate07* \times *Post08*),来控制出口加工区政策、最低工资政策、《劳动合同法》和企业所得税改革的影响。(6)剔除美国工业机器人行业渗透度极端值^④重新进行回归。(7)保留在2000—2013年内持续经营的企业进行回归。通过上述稳健性检验发现,本文的核心结论未发生改变^⑤。

(三) 异质性分析

1. 企业所有制异质性

本文根据所有制类型将样本划分为国有企业、外资企业和民营企业,并将回归结果依次报告于表2第(1)—(3)列。结果显示,工业机器人对国有企业出口模式选择没有显著影响,而对外资企业与民营企业出口模式选择具有显著正向影响,且组间系数差异检验显示对后者的促进作用更大。这可能是因为,多数非国有企业尤其是民营企业的经营规模有限、资金流动约束较强,难以承担高额固定成本因而选择间接出口,工业机器人促使这类企业提质降本,提高效益,进而为直接出口提供支持;而国有企业财政补贴多、市场势力大、生产管理体制老化,因而通过

①囿于篇幅,详细图形和回归结果查阅同前。

②选择2013年与中国贸易额最大的美国、日本、韩国、德国和澳大利亚作为工具变量的构造对象。

③同时构造了主要贸易伙伴国机器人行业渗透度和密度的25%、50%和75%分位数,以渗透度为例,通过绘制不同分位数同中国机器人行业渗透度的关系,发现25%分位数的相关性最强。

④行业22(橡胶和塑料制品业)、26—27(计算机、电子、光学产品和电力设备制造业)和29(汽车制造业)。

⑤囿于篇幅,稳健性检验结果查阅同前。

技术创新缩短出口渠道的动机不强，限制了工业机器人积极效应的发挥。

2. 行业技术密集度异质性

本文将样本划分为低技术密集型、中等技术密集型和高技术密集型行业三类进行回归。表2第(4)—(6)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等水平的企业的直接出口概率，而对高技术和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，高技术行业内企业建立直接出口渠道所受制约因素少，使用工业机器人以缓解相关约束，改变出口行为的动机不足；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，对出口模式的作用较为有限；而中等技术行业内企业转变出口模式动机较强、技术发展较快，技术进步对出口模式选择的影响也就较为显著。

表2 企业所有制和行业技术密集度异质性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	国有企业	外资企业	民营企业	低技术行业	中等技术行业	高技术行业
<i>Exposure_firm</i>	0.0882 (0.1072)	0.1879** (0.0901)	0.5866*** (0.1438)	-1.9479 (1.3099)	0.1808** (0.0721)	0.0392 (0.8540)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	-0.0018	0.0012	0.0017	0.0113	0.0065	0.0103
N	16 342	358 317	354 133	305 217	277 573	145 402

3. 行业集中度异质性

行业集中度越低，意味着行业内竞争越激烈，企业通过应用工业机器人取得技术领先、生产率提高等多方面竞争优势的动机越强，因而工业机器人对企业出口模式的影响也越明显。本文以所有行业 *HHI* 的中位数为界将样本划分为低集中度（低 *HHI*）行业和高集中度（高 *HHI*）行业子样本。表3第(1)、(2)列显示，工业机器人应用对低集中度行业内企业直接出口概率的提升效应大于对高集中度行业内企业的影响，且通过了组间系数差异检验，印证了本文的研究假说。

4. 区域知识产权保护程度异质性

中国的不同地区在知识产权保护程度方面存在较大的差异，区域知识产权保护程度越高，意味着企业工业机器人相关技术的研发溢出风险越低，进而应用工业机器人的期望收益越高。本文根据《中国分省份市场化指数报告（2018）》（王小鲁等，2019）^[38] 将样本分为高知识产权保护程度区域和低知识产权保护程度区域子样本。表3第(3)、(4)列显示，工业机器人应用对高知识产权保护程度区域内企业直接出口概率的提升效应明显高于对低知识产权保护程度区域内企业的影响，且通过了组间系数差异检验，与本文的研究假说相符。

表3 行业集中度和区域知识产权保护程度异质性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	低集中度行业	高集中度行业	低知识产权保护程度地区	高知识产权保护程度地区
<i>Exposure_firm</i>	4.4205*** (1.0502)	0.3646*** (0.0819)	0.1438* (0.0820)	0.2249** (0.0938)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R ²	0.0098	-0.0007	0.0028	0.0104
N	379 409	348 783	77 998	650 194

(四) 影响机制检验

首先是融资约束渠道。本文以现金流比率 (*Cash*) 来衡量企业内源融资约束, 并分别以机器人企业渗透度当期、滞后一期和滞后两期为自变量来考察工业机器人通过影响短期、长期内源融资约束, 对企业出口模式产生的影响。表4第(1)列显示, 工业机器人应用显著加剧了当期企业内源融资约束, 第(2)列在基准回归的基础上引入 *Cash*, 显示工业机器人应用通过收紧企业当期内源融资约束降低企业直接出口概率的效应不显著。第(3)、(4)列显示内源融资约束缓解的渠道作用在滞后一期时也不明显。第(5)、(6)列以滞后两期工业机器人渗透度为自变量, 其中第(5)列表明工业机器人显著缓解了企业两期后的内源融资约束, 第(6)列 *Cash* 的估计系数显著为正, 表明内源融资约束的缓解有利于促进企业选择

表4 机制回归结果(一)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	现金流比率	出口模式	现金流比率	出口模式	现金流比率	出口模式
<i>Exposure_firm</i>	-0.2430** (0.0752)	0.0933* (0.0567)				
L. <i>Exposure_firm</i>			0.1119 (0.0730)	0.1593* (0.0882)		
L2. <i>Exposure_firm</i>					0.5395*** (0.1320)	0.4334** (0.2171)
<i>Cash</i>		0.0031 (0.0046)		0.0018 (0.0022)		0.0063** (0.0031)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.1793	0.1262	0.0263	0.0108	0.0225	0.0076
N	450 771	450 771	355 966	355 966	266 731	266 731

直接出口模式，即工业机器人对内源融资约束的缓解具有滞后效应，其通过缓解长期间内源融资约束（滞后两期）促使企业直接出口。本文以流动性（*Liquidity*）和应付账款比率（*Rece*）衡量企业外部融资约束。表5第（1）—（4）列结果表明，工业机器人应用水平提高有助于缓解企业外部融资约束，进而促使企业选择直接出口模式。

表5 机制回归结果（二）

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	流动性	出口模式	应付账款比率	出口模式	发明专利申请量	出口模式
<i>Exposure_firm</i>	0.6168*** (0.1556)	0.1960*** (0.0679)	0.1925*** (0.0295)	0.2659*** (0.0606)	1.2191*** (0.1214)	0.1969*** (0.1214)
<i>Liquidity</i>		0.0015*** (0.0003)				
<i>Rece</i>				0.0239** (0.0023)		
<i>Invpatent</i>						0.0049** (0.0021)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.0164	0.0094	0.0025	0.0039	-0.0099	0.0092
N	713 755	713 755	579 644	579 644	728 192	728 192
变量	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
	实用新型申请量	出口模式	生产率(OP法)	出口模式	人均培训投入	出口模式
<i>Exposure_firm</i>	2.4516*** (0.2419)	0.1783*** (0.0683)	1.3345*** (0.1739)	0.1485** (0.0619)	0.2097*** (0.0589)	0.1982*** (0.0679)
<i>Utapatent</i>		0.0100*** (0.0015)				
<i>TFP_op</i>				0.0066*** (0.0009)		
<i>Humcap</i>						0.0228*** (0.0031)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.0184	0.0064	0.1053	0.0117	0.0910	0.0094
N	698 951	698 951	584 142	584 142	728 128	728 128

其次是技术创新渠道。本文利用发明专利申请量 (*Invpatent*) 和实用新型专利申请量 (*Utipatent*) 衡量研发创新, 并利用以 OP 法测算的生产率 (*TFP_op*) 衡量过程创新^①。表 5 第 (5) — (10) 列分别报告了研发创新渠道和过程创新渠道的估计结果, 可见工业机器人应用能够推动企业发明专利申请量和实用新型专利申请量增加, 进而促进研发创新, 并推动企业生产率提高, 进而促进过程创新, 最终促使企业选择直接出口模式。

最后是人力资本深化渠道。本文以人均培训投入^② (*Humcap*) 衡量人力资本深化, 并将回归结果报告于表 5 第 (11)、(12) 列。其中, 第 (11) 列表明工业机器人显著促进企业人力资本深化。第 (12) 列在基准回归的基础上加入 *Humcap*, 结果表明企业人力资本深化是推动企业选择直接出口模式的重要因素。

五、进一步分析

(一) 产业关联视角下工业机器人对企业出口模式的影响

一个行业的机器人应用水平对本行业企业的出口模式产生直接影响, 是否还通过产业前向关联和后向关联对其上下游行业企业的出口模式产生间接影响? 本文借鉴 Acemoglu 等 (2016)^[39] 的做法, 利用 2000 年中国投入产出表构建行业关联权重, 以检验机器人应用的产业链传导效应, 设定如下回归模型:

$$Mode_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 Exposure_firm_{ijt} + \alpha_2 Upstream_{it} + \alpha_3 Downstream_{it} + \alpha_4 X_{ijt} + \varphi_j + \lambda_t + \varepsilon_{ijt} \quad (4)$$

其中, 下标 i 、 j 、 t 分别表示行业、企业、年份; $Mode_{ijt}$ 表示企业是否选择直接出口模式; $Exposure_firm_{ijt}$ 表示企业的机器人渗透度; $Upstream_{it}$ 表示 i 行业下游行业加权机器人渗透度; $Downstream_{it}$ 表示 i 行业上游行业加权机器人渗透度。

$$Upstream_{it} = \sum_k (Output\%_{i \rightarrow k} - 1_{k=i}) \times \frac{R_{kt}}{L_{i, t=2000}} \quad (5)$$

$$Downstream_{it} = \sum_k (Input\%_{i \rightarrow k} - 1_{k=i}) \times \frac{R_{kt}}{L_{i, t=2000}} \quad (6)$$

其中, $Output\%_{i \rightarrow k} - 1_{k=i}$ 表示 i 行业与下游行业 k 的关联系数, $1_{k=i}$ 是 $k=i$ 时取 1、其他时刻取 0 的指示函数; $Input\%_{i \rightarrow k} - 1_{k=i}$ 表示 i 行业与上游行业 k 的关联系数。

机器人的产业关联效应回归结果如表 6 第 (1) 列所示, *Upstream* 的系数显著为正, 说明下游行业机器人应用显著促进上游行业企业选择直接出口模式, 而 *Downstream* 的系数不显著。原因可能在于, 下游行业企业应用机器人所带来的内

①由于工业企业数据库中工业增加值和中间品投入指标在 2008—2010 年缺失, 因此以 OP 法测算的生产率缺少 2008—2010 年数据。囿于篇幅, 以 LP 法和 ACF 法测算的生产率的渠道回归结果查阅同前。

②由于工业企业数据库中企业培训经费投入在 2008—2013 年缺失, 借鉴李波和蒋殿春 (2019) 的方法对其进行补齐, 并对其进行加 1 取对数的处理。

源资金束紧可以通过外源融资渠道进行弥补,进而减少对上游企业直接出口模式抉择的负向影响;而上游行业机器人应用所带来的中间品成本抬升则直接传导至下游企业,进而对其选择直接出口模式产生负向影响。受技术和知识溢出效应以及成本抬升效应的双重影响,上游应用机器人对下游行业出口模式决策不产生显著影响。

(二) 工业机器人、出口模式转变与企业绩效

前文系统评估了工业机器人对企业是否选择直接出口模式的影响及具体作用机制,但并未区分出口模式转变的动态效应和保持不变的静态效应,继而难以全面刻画工业机器人对在位企业出口模式动态演变的影响。鉴于此,本部分考察工业机器人对企业出口模式转变的动态影响及对企业绩效的进一步影响。首先,构造企业出口模式转变指标(*Modechange*),当企业由间接出口向直接出口转变时取1,反之取0。表6第(2)列报告了以*Modechange*为因变量的回归结果,可见工业机器人渗透度每增加1个单位,企业由间接出口转向直接出口的概率上升39.47%。

本文更感兴趣的是,工业机器人引致的出口模式转变会对企业绩效产生怎样的影响?对此,选取企业出口持续时间、盈利能力和企业成长作为企业绩效的代理变量。其中,企业出口持续时间为企业从进入国外市场到退出国外市场所经历的时间长度^①,设定cloglog离散时间生存分析模型进行回归:

$$\begin{aligned} \text{cloglog}(1 - h_{ijt}) = & \gamma_0 + \gamma_1 \text{Exposure_firm}_{ijt} + \gamma_2 \text{Modechange}_{ijt} \\ & + \gamma_3 \text{Exposure_firm}_{ijt} \times \text{Modechange}_{ijt} + \gamma_4 X_{ijt} \\ & + \varphi_i + \lambda_{it} + \varepsilon_{ijt} \end{aligned} \quad (7)$$

其中, h_{ijt} 表示离散风险概率,即企业在出口持续期内停止出口的概率; $\text{Exposure_firm}_{ijt} \times \text{Modechange}_{ijt}$ 为企业机器人渗透度和企业出口模式转变的交互项, γ_3 刻画了工业机器人通过影响企业出口模式转变对企业出口持续时间的影响; φ_i 为行业固定效应, λ_{it} 为行业—年份固定效应。其余设定同前文一致。表6第(3)列报告了式(7)的回归结果,可以看到 γ_3 显著为负,表明工业机器人应用通过推动企业出口模式由间接出口向直接出口转变降低了企业出口中止概率,延长了企业出口持续时间。

此外,本文考察了工业机器人通过推动企业出口模式转变对企业出口盈利能力(*Rate*)和成长性(*Growth*)的影响,前者用利润率衡量,后者用企业从业人数增长率衡量。表6第(4)列表明工业机器人通过推动企业由间接出口向直接出口转变促进了企业盈利能力的增强。这与Lin(2017)^[40]的结果相似,可能是因为企业出口模式转变既可以避免贸易中介加价,从而提高出口边际利润;又可以通过干中学效应和技术反向溢出效应实现降本增效,增加生产利润。第(5)列表明工业机器人通过推动企业由间接出口向直接出口转变提高了企业成长能力,说明出口模式转变通过促使企业建立更为直接的国外市场信息获取渠道和产品分销渠道,深化了企业对国外市场的认知和把控,为企业实现高质量增长创造机会。

^①由于无法判断企业在2000年之前的出口情况,本文将样本压缩至2001—2013年。

表6 进一步分析回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	产业链传导	出口模式转变	出口持续时间	盈利能力	企业成长
<i>Exposure_firm</i>	0.1919 *** (0.0685)	0.3947 *** (0.1131)	-0.8361 *** (0.0314)	0.0188 *** (0.0038)	0.1007 *** (0.0140)
<i>Upstream</i>	0.0048 ** (0.0023)				
<i>Downstream</i>	-0.0014 (0.0023)				
<i>Modechange</i>			-0.3845 *** (0.0344)	0.0059 *** (0.0013)	0.0554 *** (0.0059)
<i>Exposure_firm</i> × <i>Modechange</i>			-0.3258 *** (0.0924)	0.0135 ** (0.0061)	0.0655 ** (0.0327)
控制变量	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	否	否	否
年份固定效应	是	是	否	否	否
行业固定效应	否	否	是	是	是
行业×年份固定效应	否	否	是	是	是
R ²	0.0093	-0.0032		-0.0736	-0.1336
N	728 192	193 353	193 353	161 097	186 865

六、结论与政策启示

全球数字经济即将进入智能化阶段，以工业机器人为引擎引领制造业转型升级，培育国际竞争优势成为中国出口转型的重要策略。本文通过匹配机器人数据和中国企业出口数据，采用2SLS法系统评估了工业机器人与企业出口模式的因果关系。结果显示：（1）工业机器人显著促进企业选择直接出口模式。（2）工业机器人对直接出口模式选择的促进效应主要体现在民营企业、行业技术集中度中等和集中度低、地区知识产权保护程度高的企业中。（3）长期内源融资约束缓解、外源融资约束缓解、技术创新和人力资本深化是工业机器人影响企业出口模式选择的渠道。（4）下游行业应用工业机器人对上游行业企业选择直接出口模式具有促进作用，并且工业机器人推动了企业由间接出口模式向直接出口模式的动态转变，进而延长了企业出口持续时间，提升了企业盈利能力，并促进了企业成长。

本研究对在新一轮科技和产业变革下驱动企业出口模式变革具有重要政策意义。第一，政府和企业应大力推动工业智能化技术进步和深层次应用，将工业机器人作为转变出口模式的重要驱动力，带动经济高质高效发展。特别是对于当前所处行业技术集中度不高且竞争激烈的企业，深化工业机器人的应用有助于其提高生产率，弥补技术劣势，进而建立直接出口渠道。第二，继续推进国有企业混合所有制、股权多元制改革，解决官僚化问题，从而改善当前工业机器人对国有企业出口模式影响不显著的现状。提高行业市场化程度，促进公平竞争，进而增强企业创新

动机。形成关于工业机器人等新型技术成果的知识产权保护法律法规体系,让企业的知识成果和创新效益得到充分保护。第三,引导、支持各级政府资金和市场资本对工业机器人企业优先投资,从而协助企业降低融资约束。此外,企业应增加在高素质劳动力、研发创新等方面的投入,使工业机器人应用能够真正提高生产率,促进技术创新。

[参考文献]

- [1] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The Race between Machine and Man; Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment [J]. *American Economic Review*, 2018a, 108 (6): 1488-1542.
- [2] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Artificial Intelligence, Automation and Work [R]. NBER Working Paper, 2018b, No. 24196.
- [3] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and Jobs; Evidence from US Labor Markets [J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128 (6): 2188-2244.
- [4] GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at Work [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2018, 100 (5): 753-768.
- [5] 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.
- [6] ALGUACIL M, TURCO A L, MARTINEZ-ZARZOSO I. Robot Adoption and Export Performance: Firm-level Evidence from Spain [J]. *Economic Modelling*, 2022, 114: No. 105912.
- [7] 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.
- [8] 刘斌, 潘彤. 人工智能对制造业价值链分工的影响效应研究 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2020 (10): 24-44.
- [9] 蔡震坤, 綦建红. 工业机器人的应用是否提升了企业出口产品质量——来自中国企业数据的证据 [J]. *国际贸易问题*, 2021 (10): 17-33.
- [10] 韩峰, 庄宗武. 国内大市场、人工智能应用与制造业出口国内附加值 [J]. *世界经济研究*, 2022 (5): 33-47.
- [11] BLOMSTERMO A, SHARMA D D, SALLIS J. Choice of Foreign Market Entry Mode in Service Firms [J]. *International Marketing Review*, 2006, 23 (2): 211-229.
- [12] HADDAD V, MUIR T. Do Intermediaries Matter for Aggregate Asset Prices? [J]. *The Journal of Finance*, 2021, 76 (6): 2719-2761.
- [13] DI CINTIO M. Knowledge and Export Modes: Which Export Strategy Boosts Firms Knowledge Acquisition? [J]. *Review of Economic Analysis*, 2020, 12 (4): 461-483.
- [14] WU F, SINKOVICS R R, CAVUSGIL S T. Overcoming Export Manufacturers' Dilemma in International Expansion [J]. *Journal of International Business Studies*, 2007, 38 (2): 283-302.
- [15] DAVIES R B, JEPPESEN T. Export Mode, Firm Heterogeneity, and Source Country Characteristics [J]. *Review of World Economics*, 2015, 151 (2): 169-195.
- [16] BAI X, KRISHNA K, MA H. How You Export Matters: Export Mode, Learning and Productivity in China [J]. *Journal of International Economics*, 2017, 104 (1): 122-137.
- [17] KOCH M, MANUYLOV I, SMOLKA M. Robots and Firms [J]. *The Economic Journal*, 2021, 131 (638): 2553-2584.
- [18] 文东伟, 洗国明. 企业异质性、融资约束与中国制造业企业的出口 [J]. *金融研究*, 2014 (4): 98-113.

- [19] 卢盛峰, 陈思霞. 政府偏袒缓解了企业融资约束吗? ——来自中国的准自然实验 [J]. 管理世界, 2017 (5): 51-65.
- [20] CHAN J M. Financial Frictions and Trade Intermediation: Theory and Evidence [J]. European Economic Review, 2019, 119: 567-593.
- [21] 蒋冠宏. 融资约束与中国企业出口方式选择 [J]. 财贸经济, 2016 (5): 106-118.
- [22] KROMANN L, SORENSEN A. Automation, Performance and International Competition: A Firm-level Comparison of Process Innovation [J]. Economic Policy, 2019, 34 (100): 691-722.
- [23] KIM S K, LEE B G, PARK B S, et al. The Effect of R&D, Technology Commercialization Capabilities and Innovation Performance [J]. Technological and Economic Development of Economy, 2011, 17 (4): 563-578.
- [24] 王康, 李逸飞, 李静, 等. 孵化器何以促进企业创新? ——来自中关村海淀科技园的微观证据 [J]. 管理世界, 2019 (11): 102-118.
- [25] GANOTAKIS P, LOVE J H. R&D, Product Innovation, and Exporting: Evidence from UK New Technology Based Firms [R]. Oxford Economic Papers, 2011, 63 (2): 279-306.
- [26] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor [J]. Journal of Economic Perspectives, 2019, 33 (2): 3-30.
- [27] XIE M, DING L, XIA Y. Does Artificial Intelligence Affect the Pattern of Skill Demand? Evidence from Chinese Manufacturing Firms [J]. Economic Modelling, 2021, 96: 295-309.
- [28] FURMAN J, SEAMANS R. AI and the Economy [J]. Innovation Policy and the Economy, 2019, 19 (1): 161-191.
- [29] 丁一兵, 刘紫薇. 中国人力资本的全球流动与企业“走出去”微观绩效 [J]. 中国工业经济, 2020 (3): 119-136.
- [30] MAKOWSKI P T, KAJIKAWA Y. Automation-driven Innovation Management? Toward Innovation-Automation-Strategy Cycle [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 168: No. 120723.
- [31] YU M. Processing Trade, Tariff Reductions and Firm Productivity: Evidence from Chinese Firms [J]. The Economic Journal, 2015, 125 (585): 943-988.
- [32] CONLEY T G, HANSEN C B, ROSSI P E. Plausibly Exogenous [J]. Review of Economics and Statistics, 2012, 94 (1): 260-272.
- [33] STAPLETON K, WEBB M. Automation, Trade and Multinational Activity: Micro Evidence from Spain [R]. CSAE Working Paper, 2020, No. 16.
- [34] 许和连, 金友森, 王海成. 银企距离与出口贸易转型升级 [J]. 经济研究, 2020 (11): 174-190.
- [35] GAN L, HERNANDEZ M A, MA S. The Higher Costs of Doing Business in China: Minimum Wages and Firms' Export Behavior [J]. Journal of International Economics, 2016, 100: 81-94.
- [36] 李波, 蒋殿春. 劳动保护与制造业生产率进步 [J]. 世界经济, 2019 (11): 74-98.
- [37] 龙小宁, 朱艳丽, 蔡伟贤, 等. 基于空间计量模型的中国县级政府间税收竞争的实证分析 [J]. 经济研究, 2014 (8): 41-53.
- [38] 王小鲁, 樊纲, 胡李鹏. 中国分省份市场化指数报告 (2018) [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2019.
- [39] ACEMOGLU D, AKCIGIT U, KERR W. Networks and the Macroeconomy: An Empirical Exploration [J]. NBER Macroeconomics Annual, 2016, 30 (1): 273-335.
- [40] LIN F. Credit Constraints, Export Mode and Firm Performance: An Investigation of China's Private Enterprises [J]. Pacific Economic Review, 2017, 22 (1): 123-143.

How Do Industrial Robots Affect Enterprises' Export Mode

MAO Qilin SHI Buchao

Abstract: Industrial robots have been facilitating the transformation and upgrading of manufacturing industry, and have become an important basis for manufacturing firms to engage in direct export and improve operational performance. For the first time, this paper systematically examines the impact of industrial robots on enterprises' export mode selection by matching the robot data from the International Federation of Robotics (IFR) with the export data of Chinese enterprises. The empirical results indicate that industrial robots significantly increase the probability of selecting the direct export mode, and the positive effect is greater for private-owned firms, firms in industries with medium technological intensity or low concentration and firms in regions with strong intellectual property rights protection. The mechanism tests verify that industrial robots affect enterprises' export mode selection mainly by easing long-term internal financial constraints and external financial constraints, promoting technological innovation and deepening human capital. Furthermore, from the perspective of industrial linkage, we find that industrial robots used in the downstream industry promote enterprises in the upstream industry to convert the export mode. And the export mode converting effect of industrial robots further extends the duration of export, increases profitability and the growth potential. Our research supplements the literature on comprehensively evaluating the economic effects of industrial robots, and provides policy implications for China to make industrial robots further optimize enterprises' export mode and promote their high-quality development.

Keywords: Industrial Robots; Direct Export; Export Mode Converting; Industrial Linkage

(责任编辑 张晨烨)