

机器人的贸易增长效应研究： 来自中国工业企业的证据

沈坤荣 乔刚 王冠宇

摘要：工业机器人和人工智能技术的深度融合给经济活动带来了深刻影响，成为微观企业智能化转型和提升出口能力的重要途径。本文匹配了中国制造业行业机器人数据、工业企业和海关的微观数据，考察了机器人应用与企业出口规模之间的关系。研究发现，机器人对企业出口有显著的促进作用，且在多重稳健性检验和使用工具变量的因果识别后结论依然成立。机器人应用对出口的促进作用通过提高生产效率、降低生产成本来增强企业出口竞争力。在非国有企业、规模小的企业、非技术密集型企业 and 行业集中度高的企业中，机器人对出口的促进作用更大。本文研究结论为提高企业出口竞争力提供了可行借鉴。

关键词：贸易增长效应；企业出口；工业机器人；出口竞争力

[中图分类号] F426 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2023) 10-0090-19

一、引言和文献综述

出口作为拉动经济增长的传统“三驾马车”之一，也是促使中国成为全球第二大经济体和贸易大国的强大动力（He and Zhang, 2010）^[1]。自加入WTO以来，中国出口规模实现了快速扩张，但中国出口贸易的粗放型增长模式在很长一段时间被诟病（张明志和季克佳，2018）^[2]，在出口技术和出口产品质量等方面与西方发达贸易强国之间还有很大差距，与世界领先水平相距甚远（李坤望等，2014）^[3]，这与我国出口贸易整体规模形成强烈反差。在新冠疫情冲击和全球贸易保护主义抬头的影 响下，伴随着劳动力低成本优势逐渐消失，传统的竞争性贸易优势正在稳步减弱（Fan et al., 2021）^[4]。近年来，我国增速呈现递减趋势。因此，如何在贸易中获得新的竞争优势，提升出口能力以及优化出口结构已成为中国出口企业迫切需要解决的问题。人工智能技术已成为促进产业转型升级和企业技术创新的重要手段，是一个国家增强核心竞争力的关键途径。同时人工智能将会影响一国贸易发展

[收稿日期] 2023-02-19

[基金项目] 国家社会科学基金重大项目“我国高质量发展的能力基础、能力结构与推进机制”（批准号19ZDA049）

[作者信息] 沈坤荣：南京大学商学院教授；乔刚（通讯作者）：南京大学商学院博士研究生，电子信箱DG21020015@smail.nju.edu.cn；王冠宇：南京大学商学院博士研究生

模式 (Goldfarb and Trefler, 2018)^[5]。其中,工业机器人技术不仅在打造企业出口竞争力、占领国际贸易制高点方面发挥重要作用,还能够提升我国应对其他发展中国家低劳动力成本竞争与发达国家“再工业化”挤压冲击的能力。毋庸置疑,企业出口能力的提升是推动出口持续增长的关键所在。

党的二十大报告明确提出,坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,推进新型工业化,加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国;推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。与此同时,西方发达国家积极引导海外制造业回归本国(刘戒骄,2011)^[6]。面对国内增长动能转换和国外制造业回流的双重挤压,2015年国务院印发《中国制造2025》强国战略,将高档数控机床和机器人归入到发展制造强国的十大重点领域。自此,机器人成为推动企业智能化转型和实现从“制造大国”向“智能强国”转变的重要力量。根据国际机器人联合会(IFR)统计数据,中国工业机器人存量从1999年550台增长到2019年13.99万台,年均增长率达到22.77%。从图1中可以看出,从2016年开始,中国成为世界上工业机器人保有量最多的国家。工业机器人的大规模应用势必对企业生产活动产生巨大影响,但其能否提升中国企业参与国际市场的竞争力,增强企业的出口能力却尚未可知,且机器人能否通过赋能企业出口,重塑全球竞争体系也有待进一步探讨。

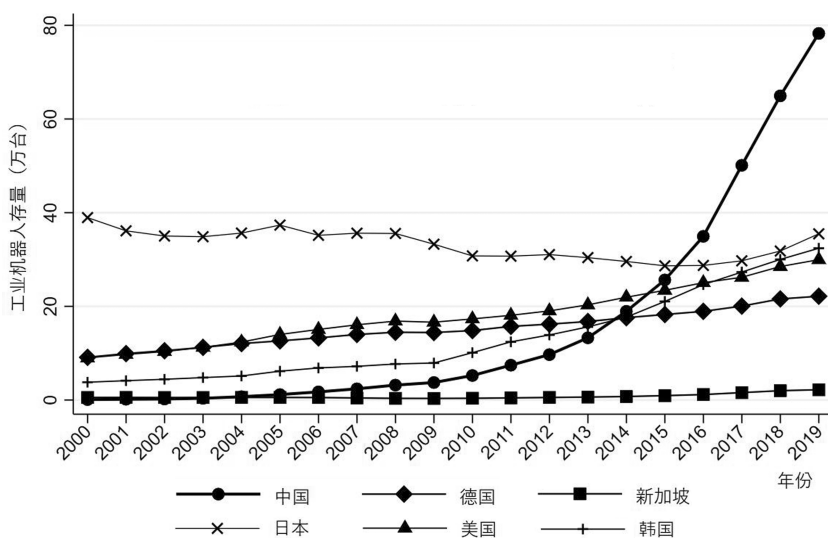


图1 2000—2019年全球主要国家工业机器人存量

数据来源: IFR。

现有研究多集中于探讨机器人应用对就业的影响。近年来以机器人对贸易影响为主题的研究开始兴起。在出口概率和出口规模方面, Alguacil等(2020)^[7]研究了机器人对西班牙企业出口的影响, 结果发现机器人显著增加了企业的出口概率和出口销售额。Cao和Tang(2021)^[8]使用中国制造业行业层面的机器人存量数据, 用来刻画制造业行业机器人密度, 探讨机器人对企业出口的影响, 结果表明

机器人显著促进了企业出口。在出口产品质量方面，有学者研究了机器人如何影响企业出口产品质量（De Stefano and Timmis, 2021）^[9]。国内学者们更多关注机器人如何影响企业出口范围与出口产品多样化（綦建红和张志彤, 2022）^[10]，机器人对出口模式的选择（毛其淋和石步超, 2022）^[11]、出口技术复杂度（杜两省和马雯, 2022）^[12]，以及出口交货值（金祥义和张文菲, 2022）^[13]的影响。其中出口产品多样化、出口模式、出口技术复杂度、出口交货值以及出口规模和增长率均是贸易高质量发展的重要组成部分，而贸易增长更是贸易高质量发展的重中之重。因此，本文关注企业出口贸易增长，尤其是出口规模和出口增长率，这更为直观地反映出机器人对贸易发展和推动中国企业深度融合全球市场的积极作用，是对以往文献的有效补充。本文系统性实证研究了机器人如何影响中国企业出口表现，在重塑全球贸易竞争力的背景下，有利于解决出口增长乏力的问题。

本文使用2000—2014年中国工业企业数据库、海关数据库和国际机器人联合会（IFR）2000—2014年各行业工业机器人数据，进一步采用“巴蒂克工具变量”（Bartik 变量）构造了中国工业企业层面的工业机器人渗透度指标，研究了机器人应用对企业出口的影响。与已有文献相比，本文的创新之处和研究意义为：首先，伴随着出口引擎拉动经济增长的作用不断减弱，以及构建“双循环”发展格局对企业出口提质增效提出了更高要求的背景下，本文采用企业层面的微观数据来衡量机器人渗透度，系统检验了机器人对中国工业企业出口的影响，这为推进企业自动化生产、提升出口能力提供了经验证据。其次，本文剖析了机器人应用对企业出口水平影响的微观机制，发现机器人应用深刻地改变了企业自身生产效率和生产成本，这对研究机器人如何更好地提升企业出口能力具有现实意义。本文研究结论有助于进一步通过政策和制度的统筹与协调，发挥机器人对我国企业出口规模的促进作用，最终助力于优化我国出口结构和经济高质量发展。

二、理论分析与研究假说

工业机器人被誉为当代工业之魂，从出现伊始就备受经济学家的广泛关注。较多学者研究了机器人应用如何影响就业市场（Acemoglu and Restrepo, 2020^[14]；Graetz and Michaels, 2018^[15]；王永钦和董雯, 2020^[16]；李磊等, 2021^[17]；孔高文等, 2020^[18]）、劳动报酬与收入差距（Acemoglu and Autor, 2012^[19]；王林辉等, 2020^[20]）。有关机器人的贸易效应方面，学者们指出在经济全球化的趋势中，新技术的应用可能对企业生产成本、国际分工和贸易产生重要影响（Eaton and Kortum, 2012）^[21]。Brynjolfsson 等（2019）^[22]探讨了人工智能对国际贸易的影响，结果发现，人工智能能够显著降低贸易中的语言障碍，促进出口增长。随着人工智能和工业机器人技术的普及，对重塑全球经济活动和全球价值链具有关键性作用。Goldfarb 和 Trefler（2018）研究了智能化与国际贸易的关系，其认为如果发展智能化产业的知识来自国内，则战略性贸易生产政策可以有效提高本土企业竞争力。

尽管发达国家通过大力发展先进制造业，并借助机器人参与生产，削弱了发展中国家低劳动力成本优势，从而不断促进制造业回流母国，影响了国际分工。同时，活动的减少也导致生产贸易和整体贸易额的下降（Faber, 2020）^[23]，但从长期来看，使用机器人的国家和地区会增加彼此之间的贸易往来。Artuc 等（2018）^[24]将机器人引入南北贸易模型中，研究发现机器人应用通过降低生产成本，影响最终产品和中间产品的贸易，从而促进了南北国家贸易额的增加。从经验事实上看，机器人的使用对欠发达经济体的进出口均产生了显著的积极影响。Stapleton 和 Webb（2020）^[25]发现机器人应用增加了西班牙企业对低收入国家的进口。Alguacil 等（2022）^[26]使用西班牙企业，研究了机器人应用对企业出口的影响，结果发现机器人使用增加了企业出口概率和出口额。Cali 和 Presidente（2021）^[27]基于发展中国家视角，利用印尼制造业数据，进一步证实了机器人的应用能够促进贸易额的增长。综上所述，本文认为机器人应用对企业出口存在积极影响。

虽然学者们就机器人如何影响就业问题争论不休，但有关机器人对生产效率的影响这一问题基本达成了共识。Koch 等（2021）^[28]认为产出规模较大、生产率较高的企业使用机器人的可能性更高，且使用机器人后企业生产率会得到提升。机器人在短期和长期内对全要素生产率（TFP）的提升作用均有积极影响，随着机器人应用规模的扩大，企业 TFP 也会不断增加（杨光和侯钰，2020）^[29]。Graetz 和 Michaels（2018）使用 1993—2007 年 17 个国家行业的机器人面板数据，检验了机器人对生产率的影响。研究结果表明，机器人使用量的增加对年劳动生产率的增长贡献了约 0.36 个百分点，同时提高了全要素生产率并降低了产出价格。

本文认为机器人对生产率的影响可能通过以下途径实现：（1）机器人的使用推动了企业智能化转型，提高了企业自动化水平，能够在程序化、流程化的任务中发挥比较优势，替代低效率人工，从而节省了劳动力成本，实现了生产任务的“智能化与自动化”，全面提升企业生产效率（王永钦和董雯，2020）。（2）机器人开发与应用创造了大量新的任务，涌现出诸如机器人工程师、系统集成工程师、开发与结构工程师等新职业，增加了对高技能劳动力需求，最终实现了更高的生产率水平。（3）机器人通过与传统要素整合，提高要素质量和分配效率，进而提高企业生产率。同时机器人还能够通过提升企业人力资本水平，从而提高企业的创新能力（黄先海等，2023）^[30]，最终带来生产率的提升。（4）与其他自动化机械不同的是，机器人具有一定的能动性，可以进行机器学习，这一特点使得机器人成为执行特定任务的最佳选择，并能通过缩短生产时间和提高操作精度大幅提升劳动生产率（Alguacil et al., 2020）。（5）机器人本身是一种高精密度智能设备，在高精度要求的小型电子元件搬运和组装、汽车零件的精密焊接以及严格误差范围内的金属产品切割等任务中均有广泛应用（Tilley, 2017）^[31]。相比工人在生产线上可能出现操作失误，导致产品质量和生产效率下降，机器人搭载传感器能及时有效地察

觉生产过程中出现的偏差，极大降低了产品生产的次品率，减少了返工概率，进而促进了生产率的大幅提升。因此，生产率提升是机器人参与生产活动的最直接表现。据此，本文提出假说1。

假说1：在其他条件相同的情况下，机器人应用通过提高企业生产率，使得企业获得出口竞争优势，扩大出口规模。

机器人应用不仅能够提高企业生产率，还会引起生产成本发生明显变化。机器人应用对人力成本的影响尚无定论。一方面，机器人能够通过替代低端劳动力所带来的劳动力成本的节省显著促进企业参与全球价值链水平的攀升（吕越等，2020）^[32]；另一方面，机器人的高效率特征为企业培育了核心竞争力，带来了市场占有率的提升和生产规模的扩张，促使企业增加对劳动力的需求，从而提高了企业平均工资水平和劳动力成本（余铃铮等，2021）^[33]。但机器人应用使得企业在生产、流通等环节降低对劳动力的依赖（魏下海等，2021）^[34]，很多工作实现自动化，降低了生产成本，具体表现为直接影响了生产的可变成本和固定成本。首先，机器人等智能化生产能够发挥规模效应，通过提高生产效率和资源配置效率来降低生产的可变成本（Bonfiglioli et al., 2020）^[35]；其次，机器人对生产成本的直接影响包含机器人的购买成本和管理成本（綦建红和张志彤，2022）。尽管机器人购置成本会产生一定的固定成本，但机器人参与生产不仅可以取代部分劳动力，还可以淘汰其它程序化生产的固定设备和冗余的机器。与此同时，机器人应用能够重塑企业生产经营体系，降低监管成本、运营成本、供应成本以及调整成本，最终，机器人的使用降低了企业固定成本的投入。综上所述，本文认为机器人对生产成本的影响表现为生产中可变成本的下降以及优化了现有固定资产和管理运营体系。由此，本文提出假说2。

假说2：在其他条件相同的情况下，机器人应用通过降低生产成本，扩大出口规模。

三、数据与模型构建

（一）工业机器人渗透度的测量与分布特征

本文使用的工业机器人数据来源于IFR统计的全球各国分行业工业机器人统计数量，这也是目前最权威的工业机器人统计数据。由于工业机器人主要应用在制造业领域，本文参照《GB/T4754-2011国民经济行业分类与代码》将中国制造业两位数行业分类代码统一到2011年标准，并对照《所有经济活动的国际标准行业分类（第四版）》与中国国民经济行业分类代码的关系，将中国制造业分行业就业人数与IFR统计的工业机器人数据进行匹配，从而获取本文研究的工业机器人数据，国民经济行业标准与国际经济活动行业标准的对应关系如表1所示。本文实证研究部分采用2000—2014年中国工业企业和海关匹配数据进行分析。其中中国制造业分行业就业员工数据来源于《中国统计年鉴》，美国制造业分行业数据来自NBER-CES。

表1 制造业分行业两位数行业分类代码对应关系

制造业行业	《GB/T4754—2011 国民经济行业分类与代码》	《所有经济活动的国际 标准行业分类（第四版）》
食品、饮料、烟草	13、14、15、16	10、11、12
纺织、服装、皮革	17、18、19	13、14、15
木材加工及家具制造	20、21	16、31
造纸及印刷制造业	22、23	17、18
塑料和化学制品	25、26、27、28、29	19、20、21、22
非金属矿物制品业	30	23
基本金属	31、32	24
金属制品业	33	25
电力设备与计算机、电子产品、光学产品制造	39、40	26、27
工业机械与设备制造	34、35、38	28
交通运输设备制造业	36、37	29、30
其他制造业	24、41、42、43	32、33

借鉴 Acemoglu 和 Restrepo (2020)、王永钦和董雯 (2020), 本文采用“巴蒂克工具变量” (Bartik 变量) 构造中国工业企业层面的工业机器人渗透度指标。具体测算方法如下:

$$robot_{ijt} = \frac{producer_{ijt=2000}}{manuproducer_{t=2000}} \times \frac{rs_{jt}}{labor_{jt=2000}} \quad (1)$$

其中, rs_{jt} 表示中国制造业 j 行业在 t 年的工业机器人存量, $labor_{jt=2000}$ 表示中国制造业 j 行业在 2000 年 (基期) 的从业人数, 工业机器人存量与行业从业人数比值衡量了中国制造业分行业历年的工业机器人渗透度。 $robot_{ijt}$ 表示 j 行业 i 企业在 t 年的工业机器人渗透度; $producer_{ijt=2000}$ 表示制造业 j 行业 i 企业 2000 年 (基期) 的员工人数在行业中的占比; $manuproducer_{t=2000}$ 表示 2000 年制造业所有企业员工人数在行业中占比的中位数。将企业员工人数在行业中的占比与制造业所有企业员工人数在行业中占比中位数的比值作为权重, 可以把工业机器人行业层面的数据分解到企业层面, 从而分析企业层面工业机器人的渗透度。在内生性检验中, 本文使用美国制造业行业机器人渗透度指标作为中国制造业行业机器人渗透度的工具变量, 其测算方法与式 (1) 类似。

工业机器人渗透度能较好反映制造业各个行业机器人具体应用情况。如表 2 所示, 中国制造业工业机器人渗透度最高的为交通运输设备制造业, 包括汽车制造业与铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业, 2014 年汽车制造业机器人存量为 6.76 万台, 机器人渗透度最低的是木材加工及家具制造业。与信息化、数字化相关的制造业机器人渗透度比传统制造业渗透度高, 各行业机器人渗透度差异化较大。美国制造业整体上工业机器人渗透度高于中国, 中美工业机器人在资本密集型行业 (如交通运输设备、电子设备) 渗透度较高, 在劳动密集型制造业 (如木材家具、造纸印刷) 领域机器人应用较少。

表2 中国和美国制造业分行业工业机器人渗透度

制造业行业	2000-2014年中国工业机器人渗透度 (台/万人)	2000-2014年美国工业机器人渗透度 (台/万人)
食品、饮料、烟草	20.85	20.45
纺织、服装、皮革	33.69	0.13
木材加工及家具制造	3.19	0.18
造纸及印刷制造业	8.40	0.39
塑料和化学制品	44.42	34.23
非金属矿物制品业	16.49	1.87
基本金属	20.64	10.14
金属制品业	17.47	32.61
电力设备与计算机、电子产品、光学产品制造	34.09	49.47
工业机械和设备	35.99	4.87
交通运输设备制造业	53.79	225.81
其他制造业	9.47	23.88

图2展示了2000—2014年中国与美国工业机器人渗透度对比变化，虽然中国工业机器人渗透度整体上低于美国，但中美工业机器人渗透度最高的行业均是交通运输设备制造业，其增速高于其他行业。机器人渗透度较高的领域也相同，如电力设备与计算机、电子产品、光学产品制造、塑料和化学制品业，说明中国和美国工业机器人发展表现相同的趋势。

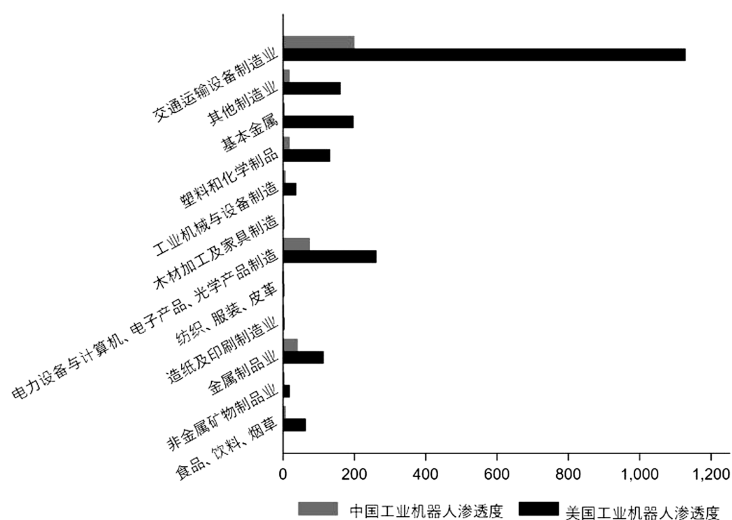


图2 中国与美国工业机器人渗透度对比 (2000—2014)

(二) 海关数据库与工业企业数据匹配

本文使用的企业出口数据来自中国海关数据库,并将海关数据库与工业企业数据进行匹配,整合两大数据库即可得到本研究使用的样本。本文采用递进的匹配方法,首先,根据企业名称对两个数据库进行全字段匹配;其次,将没有匹配上的样本,进一步按照企业地址、电话号码、邮政编码、法定代表人等信息进行合并处理。由于工业企业数据库在调查过程中存在一些填报错误导致样本失真问题,参照以往文献(Brandt et al., 2012)^[36]的做法,本文对数据库进行以下处理:(1)删除年末从业人员合计数小于8的样本;(2)删除工业总产值、流动资产合计、固定资产合计以及营业收入合计小于0的样本;(3)删除流动资产合计、固定资产合计大于资产总计的样本;(4)删除工业增加值大于营业收入合计的样本;(5)删除资产负债比小于0且大于1的样本。鉴于本文重点研究机器人如何影响企业出口规模,并未区分出口的具体产品,因而在企业层面汇总产品数据;考虑到2010年工企数据库存在大量财务指标缺失,作剔除2010年样本处理。

(三) 模型构建与变量选择

以引力模型为基础,参照金祥义和戴金平(2019)^[37]的研究方法,本研究将实证模型设定为:

$$\ln value_{it} = \alpha + \beta \ln robot_{it} + \gamma X_{it} + \lambda_t + \sigma_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,下标*i*、*t*分别表示企业和年份。 $\ln value_{it}$ 表示企业*i*在*t*年出口贸易额的对数形式。 $\ln robot_{it}$ 为本文的核心解释变量,表示*i*企业在*t*年的工业机器人渗透度的对数形式,其测算方法如前文所述。本文的控制变量向量 X_{it} 主要包括企业财务特征和企业基本特点指标,具体包括:(1)企业资产收益率(*roa*),用企业净利润与总资产比值表示,其数值越大说明投资回报越高。(2)资产周转率(*ast*),以企业产品销售收入与企业总资产比值表示,资产周转率越高,企业投入生产的资金越充足,企业经营越有效率。(3)企业资产负债率(*lev*),以企业负债总额与资产总额之比表示,正常范围一般在40%~70%之间,资产负债率越高说明企业所欠债务越多,还本付息能力越差,企业面临的风险越高、经营压力也越大。(4)企业年龄(*age*),用观测年份减去企业成立年份之差加1表示,以衡量企业生命周期内具有的成长规律和企业所积累的生产、经营以及管理经验。(5)企业规模(*size*),用企业资产总额的对数值表示,以反映企业的经营规模情况。(6)员工薪酬总额(*wage*),用企业应付工资薪酬总额的对数值表示,主要反映企业的劳动力成本。(7)资本劳动比(*cl*),以企业总资产与企业员工总数之比衡量,以反映企业的生产技术密集程度。最后,本文还控制了时间固定效应(λ_t)、企业固定效应(σ_i)以控制城市层面不随时间变化的因素, ε_{it} 为随机扰动项,用来控制其他未观测变量对企业出口产生的影响。此外,在下文实证回归中还考虑了以下固定效应:鉴于制造业分行业存在一定差异,本文进一步纳入行业层面固定效应,以控制对企业出口

造成的潜在影响；城市固定效应，以控制城市层面不随时间变化的因素。式（2）采用企业层面聚类标准误进行回归。

本文主要变量描述性统计结果信息见表3。

表3 主要变量描述性统计

变量	变量名称	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
<i>lnvalue</i>	出口贸易额取对数	81 977	14. 541	2. 027	8. 121	19. 147
<i>lnrobot</i>	机器人渗透度取对数	81 977	0. 596	1. 567	0	7. 104
<i>lnrobot iv</i>	美国机器人渗透度取对数	81 977	1. 027	1. 847	0	7. 388
<i>roa</i>	资产收益率	81 977	0. 043	0. 093	-0. 211	0. 46
<i>ast</i>	资产周转率	81 977	1. 451	1. 217	0. 133	7. 811
<i>lev</i>	资产负债率	81 977	0. 507	0. 239	0. 017	0. 97
<i>age</i>	企业年龄取对数	81 977	2. 422	0. 586	0. 693	4. 025
<i>size</i>	企业规模取对数	81 977	10. 941	1. 504	8. 068	15. 226
<i>cl</i>	资本劳动比取对数	81 977	5. 193	1. 125	2. 752	8. 165
<i>wage</i>	员工薪酬取对数	81 977	8. 452	1. 389	5. 308	12. 224

四、工业机器人影响企业出口的实证结果分析

（一）基准回归

工业机器人对企业出口水平影响的基准回归结果见表4。首先，列（1）仅考虑了机器人渗透度对企业出口额的影响，结果显示机器人渗透度系数显著为正，且在1%水平上显著，表明企业机器人渗透度能够显著促进企业出口规模提升。其次，本文在列（2）中加入了时间固定效应，控制了时间趋势产生的影响，结果仍表明机器人能够显著促进企业出口增长。再次，考虑了企业自身特征变化也会影响其出口行为，在列（3）中本文控制了企业固定效应和企业层面控制变量。在加入企业固定效应和控制变量后，机器人估计系数有所下降，但仍在1%水平上显著为正，表明中国机器人渗透度对企业出口有显著的促进作用。列（4）进一步加入行业和城市固定效应，在控制行业和城市层面不随时间变化的因素对企业出口的潜在影响后，结果发现机器人渗透度对企业出口仍有促进作用，且这一效应在1%水平上依然显著。企业面临的工业机器人渗透度每增加10个百分点，企业出口贸易额平均增加0.361个百分点，表明回归结果具有一定稳健性。

表4 基准回归结果

变量	Invalue	Invalue	Invalue	Invalue
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>lnrobot</i>	0.2634*** (0.0060)	0.2118*** (0.0143)	0.0375*** (0.0081)	0.0361*** (0.0081)
控制变量	NO	NO	YES	YES
时间固定效应	NO	YES	YES	YES
企业固定效应	NO	NO	YES	YES
行业固定效应	NO	NO	NO	YES
城市固定效应	NO	NO	NO	YES
N	81 977	81 977	81 977	81 977
R ²	0.0415	0.0599	0.7642	0.7638

注：***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平下显著，括号内为企业聚类标准误，下表同。

(二) 稳健性与内生性检验

1. 稳健性检验^①

更换被解释变量指标。为克服变量测量误差和代理变量选择的恰当性问题，从而验证基准回归结果的准确性，本文采用企业出口贸易数量 (*lnquantity*) 替换贸易额进行回归，贸易数量也是衡量企业出口能力的重要指标。结果表明机器人能够促进出口贸易额和贸易数量增长，与基准回归结果保持一致。基准回归主要考虑机器人对出口贸易额绝对量的影响，在这里本文进一步考虑机器人如何影响出口相对量，结果表明机器人不仅能够促进出口额增长，还能提高企业出口增长率。

更换核心解释变量指标。本文核心解释变量是根据 Bartik 工具变量方法进行测算得到的，该方法只是间接估算了企业的机器人应用，并不能完全反映企业采用机器人的实际情况，本文使用行业机器人渗透度 (*lnrobot_indus*) 作为企业使用机器人的代理变量。结果与本文主要的研究发现保持一致。

排除机器人中间商的影响。在中国企业数据库中部分企业可能是机器人制造商或中间商，其机器人存量主要用于中间品投入或者研发。参考 Fan 等 (2021) 的做法，本文通过搜索工业企业数据库的企业名称中是否包含“机器人”一词，若包含就将其视为机器人中间商。在剔除这些企业样本后重新进行回归，估计结果同基准结果相比并无显著差异。

更换机器人数据。考虑到本文样本期为 2000—2014 年，而在这一时期当中，

^①限于篇幅，稳健性回归结果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。

中国企业使用的机器人绝大多数依赖进口，国产机器人占比较低（李磊等，2021）。国际机器人联合会（IFR）数据显示，在2013年之前，中国超过70%以上的机器人通过进口替代。本文进一步使用机器人进口数据作为企业使用机器人的代理变量。在识别企业机器人应用方面，本文通过海关统计的进出口机器人产品HS8位编码^①在进口数据中检索机器人进口记录，将有进口机器人记录的企业标识为机器人应用企业。再将识别后的进口企业数据与海关—工企出口数据进行匹配，最终得到是否使用机器人、企业出口数据以及企业层面的财务指标，主要控制变量的选取与前文相同。核心解释变量：*robot*为是否使用机器人，*lnrobot_value*和*lnrobot_quantity*以机器人进口金额和进口数量来衡量企业的机器人应用指标。结果表明机器人对企业出口的显著促进作用仍然存在，这与本文主要的研究结论保持一致。

安慰剂检验。为进一步考虑机器人对企业出口的促进作用是否真实有效，本文采用安慰剂检验（placebo test）进行验证。基于随机抽样的回归结果再次表明，机器人对企业出口的显著促进作用是真实存在的，其估计结果并未受到数据偏差及其他非观测随机因素的干扰。

2. 内生性检验

内生性处理。考虑到企业采用工业机器人可能是受到“招工难”“招工贵”的影响，进而迫使其推广工业机器人的使用。倒逼机制使得出口表现好或差的企业，都有动力通过使用机器人进行智能化生产，实现智能化转型升级的目标，这导致反向因果的内生性问题。本文采用美国制造业分行业工业机器人数据构造中国制造业企业工业机器人渗透度工具变量。尽管中美两国存在较大差距，美国工业机器人整体应用水平领先中国，但中国工业机器人发展趋势、主要应用领域与美国同期较为接近（如图1、图2所示）；美国科技长期处于世界前列，引导着全球前沿技术进步的方向，对各国科技发展产生了直接或间接的影响。

与此同时，美国工业机器人发展也位居世界领先地位，其发展趋势可以客观反映该产业的技术前沿和技术进步趋势；已有文献表明中美产业之间存在紧密联系，如Hsieh和Klenow（2009）^[38]使用美国劳动力市场结构作为研究中国和印度资源错配的对照组，Che和Zhang（2018）^[39]采用美国各行业人力资本密度均值来衡量中国各产业人力资本密度的特征。孔高文等（2020）参照类似做法，采用美国各行业职位数据表征中国各行业职位变化情况。因此，美国各行业工业机器人对中国企业出口的影响应该仅反映相对外生技术进步产生的影响，对中国企业出口的影响主要反映同类行业技术特点的变化，因此其满足工具变量的相关性特征。并且，其与影响中国机器人应用的其他本土因素无关，因而满足工具变量的外生性要求。将美国机器人作为中国制造业行业工业机器人应用的工具变

^①海关库中机器人产品HS8位编码：喷涂机器人（84248920）、搬运机器人（84289040）、多功能机器人（84795010）、IC工厂自动搬运机器人（84864031）、电阻焊接机器人（85152120）、电弧焊接机器人（85153120）、激光焊接机器人（85158010）、其他机器人（84795090）。

量，有利于缓解内生性问题。

工具变量具体测算方法如下：

$$robot_iv_{ijt} = \frac{producer_{ijt=2000}}{manproducer_{t=2000}} \times \frac{America_rs_{jt}}{America_labor_{jt=2000}} \quad (3)$$

其中 $robot_iv_{ijt}$ 表示中国制造业 j 行业 i 企业在 t 年的工业机器人渗透度的工具变量； $America_rs_{jt}$ 表示美国 j 行业在 t 年的工业机器人存量，用来表征中国制造业分行业的机器人应用变化； $America_labor_{jt=2000}$ 表示美国 j 行业 2000 年（基期）的就业人数，将美国制造业分行业的工业机器人存量与分行业就业人数的比值表示美国制造业行业的工业机器人渗透度。此外，美国由于过早“去工业化”，造成其制造业外流导致产业空心化，因此美国机器人可能并不具有代表性。相反，德国与日本一直是世界范围内的工业强国，其先进制造业的发展长期处于全球领先地位，且机器人龙头企业中，德国和日本占据其三，这使得中国机器人产业发展同德国和日本的机器人发展紧密相关。

本文进一步使用德国和日本制造业分行业的机器人渗透度，构造中国制造业分行业的工具变量（ $robot_etr$ ），德国与日本制造业各行业就业人数均来源于 WORLD KLEMS 数据库，回归结果详见表 5。

表 5 内生性回归结果

变量	美国机器人作为 IV		德日机器人作为 IV	
	第一阶段	第二阶段	第一阶段	第二阶段
	(lnrobot)	(lnvalue)	(lnrobot)	(lnvalue)
	(1)	(2)	(3)	(4)
lnrobot		0.0833*** (0.0163)		0.1831*** (0.0311)
lnrobot_iv	0.3917*** (0.0031)			
lnrobot_etr			0.7064*** (0.0141)	
控制变量	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES
企业固定效应	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES
N	81 977	81 977	81 977	81 977
R ²		0.0841		0.0752
第一阶段 F 值	2 028.97		337.81	
KP-F 统计值		15 844.66		2 512.06

注：Stock-Yogo 弱工具变量检验在 10% 显著性水平下对应的上限值为 16.38。

表5列(1) — (2)为使用美国机器人渗透度作为工具变量的回归结果,列(3) — (4)是使用日本和德国机器人渗透度作为工具变量的回归结果。第一阶段回归结果报告了 \lnrobot_{iv} 、 \lnrobot_{etr} 与 \lnrobot 之间均呈现出显著正相关,表明中国的机器人应用与美、德、日等发达国家的机器人发展高度相关。所有一阶段回归的F值均大于10,拒绝了弱工具变量的原假设。同时,与工具变量识别不足检验统计量对应的P值拒绝了工具变量与核心解释变量无关的假设,表明本文选取的工具变量有效。列(2)和列(4)为工具变量的第二阶段回归结果,机器人渗透度的系数均在1%水平上显著为正。在考虑内生性问题后,机器人对中国工业企业出口依然具有显著促进作用,这与本文的主要研究发现保持一致。

五、工业机器人应用对企业出口规模的影响机制与异质性分析

(一) 机制分析

前文研究结果表明,机器人应用能够显著促进企业出口规模提升,而这一促进作用背后的机制如何,有待进一步考察。结合文章理论部分,机器人影响企业出口规模的机制可能包含企业生产率,也可能包括生产成本,机制检验模型设定如下:

$$y_{it} = \alpha_1 + \beta_1 \lnrobot_{it} + \gamma_1 X_{it} + \lambda_t + \sigma_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, y_{it} 是机器人应用影响企业出口规模的机制变量,方程(4)检验了机器人应用对企业出口影响的作用机制,控制变量与基准回归模型保持一致。本文继续采用美国机器人密度作为中国机器人的工具变量进行2SLS回归。

1. 生产率机制

已有文献普遍认为企业使用机器人能够显著提升企业生产率水平(Graetz and Michaels, 2018; 杨光和侯钰, 2020),从而有利于降低企业生产成本,提升企业出口能力,扩大其出口贸易。首先,本文使用劳动生产率作为企业生产率的代理变量(*productivity*)。表6列(1)报告了劳动生产率机制的回归结果,结果显示机器人能够显著促进企业生产率的提升,且在1%水平上显著。其次,本文还采用GMM方法测算企业全要素生产率(*tfp_gmm*)。从列(2)可以看出,机器人对TFP依然有显著促进作用,表明机器人能够通过提升企业生产率来促进出口规模增长。可能的原因在于,机器人等智能化生产,取代了部分低效率工人,同时能够与技能工人协同生产,有助于企业提高资源配置效率和生产能力,而生产率是决定企业出口的重要因素,生产率的提升能够对企业出口决策产生促进作用。由此可见,以上机制分析较好的验证了本文假说1。

2. 生产成本机制

“成本节约”效应是机器人影响出口的另一重要机制。企业使用机器人不仅能够通过提高生产率影响企业的生产和运营成本,进而降低企业的可变生产成本;还能够通过提高供应链管理效率影响企业的管理费用等方式直接与企业固定成本相关联。参照已有研究,本文使用营业成本作为企业可变成本的代理变量(*var_cost*),将管理费用、财务费用以及销售费用之和作为企业固定成本(*fix_cost*)的衡量指

标(符大海和鲁成浩, 2021)^[40]。表6列(3)和列(4)分别表示机器人对企业可变成本和固定成本的回归结果, 可以看出机器人对企业可变成本和固定成本均有显著的负向影响, 且分别在1%和5%水平上显著, 表明机器人应用整体上降低了企业生产成本。具体而言, 企业使用机器人能够明显降低其可变生产成本和固定生产成本。究其原因, 机器人智能化生产提高了企业生产和流通的效率, 以部分自动化和“无人工厂”为代表的智能生产极大促进了生产效率和资源配置效率, 从而降低了企业可变生产成本。此外, 机器人重塑了企业生产与管理体系, 降低了固定成本投入。而生产成本的下降会带来产品利润的增加, 提高企业在出口市场上的竞争力, 最终促进企业出口规模扩张。据此, 以上分析证实了本文假说2。

表6 机器人影响企业出口的机制分析

变量	生产效率		生产成本	
	<i>productivity</i>	<i>tfp_gmm</i>	<i>var_cost</i>	<i>fix_cost</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>lnrobot</i>	0.0295*** (0.0037)	0.0176** (0.0081)	-0.0212*** (0.0072)	-0.0113** (0.0049)
控制变量	YES	YES	YES	YES
一阶段回归				
<i>lnrobot_iv</i>	0.4410*** (0.0030)	0.5267*** (0.0103)	2.1738*** (0.1137)	0.5510*** (0.0033)
一阶段 F 值	2 759.53	353.07	46.14	3 620.85
控制变量	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES
企业固定效应	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES
N	73 695	10 870	6 190	65 850
R ²	0.6834	0.5971	0.6202	0.3688
KP-F 统计值	21 718.65	2 597.716	365.743	28 580.25

注: Stock-Yogo 弱工具变量检验在10%的显著性水平下对应的上限值16.38。

(二) 异质性分析

为了进一步探究工业机器人渗透度对企业出口贸易影响的异质性特征, 本文立足于生产率和生产成本机制, 从企业所有制、企业规模、企业密集型和行业集中度等视角, 深入剖析机器人渗透度带来的差异性影响。结果如表7所示。

企业所有制异质性。企业所有制不同将会导致企业在资源配置、智能化转型升级和技术水平上存在较大差异, 而这种差异最终体现为生产率差距。回归结果显示, 在控制其他变量后, 在非国有企业中, 机器人应用对企业出口有显著的促进作用。

用。相对于非国有企业，国有企业机器人渗透度对企业出口影响不明显。可能的原因在于，尽管国有企业在计划经济时代下的“铁饭碗”雇佣制度被打破，但国企仍然是承担“稳就业”重要责任的主体（王永钦和董雯，2020），大规模实行“机器换人”成本较高。这使得国有企业无法借助智能化技术提升生产效率和降低生产成本，故出口增加幅度不明显。相比之下，非国有企业在实施“机器换人”计划时受到的阻力较小，在生产和雇佣方面更为灵活，有利于推进企业智能化转型与数字化改造，能更好地发挥机器人的生产率效应和成本效应。

企业规模异质性。企业规模不同导致的技术创新、管理能力等差异，最终会体现在生产效率和生产成本方面，故机器人对规模不同的企业出口规模的影响可能有所不同。参照金祥义和戴金平（2019）的研究，本文使用企业从业人数衡量企业规模。结果显示，机器人应用显著促进了规模大的企业和规模的小企业出口增加，对小企业的促进作用更大。^①可能的原因在于，小企业在调整生产经营模式上更具灵活性；同时小企业在创新政策方面的机会大于大企业（李丹丹，2022）^[41]，为了达到提升市场份额的目的，更容易激发小企业的潜能并实施智能化生产战略，借助机器人应用提升生产效率和低成本效应，最终促进出口增长。而大企业所拥有的资金储备、技术创新能力以及完善管理体系，能够保证其发挥高效生产模式和规模化生产带来的低成本效应，也有利于提升出口市场份额。但相较小企业，大企业可能在智能化转型和生产模式转变方面缺乏灵活性，故机器人对其出口促进作用弱于小企业。

企业密集型异质性。鉴于机器人本身属于新技术应用，那么，机器人对出口的影响是否会反映在技术密集型企业中？参照吕越等（2020）的做法将样本分为两组：技术密集型企业和非技术密集型企业。回归表明，在非技术密集型企业样本中，机器人应用对企业出口的促进作用较为明显，而对技术密集型企业的出口影响不大。究其原因，非技术密集型企业的发展通常较为平稳，对于企业的技术水平和科研水平要求并不高。当出现技术更迭换代时，其更倾向于选择购买新设备，并通过机器人的应用提升其自身生产效率。与此同时，技术密集型企业的投入产出周期较长，其研发投入占比较高（蔡震坤和綦建红，2021）^[42]，势必会削减投入生产经营中的资金，且研发可能会扭曲企业资源配置，降低经营效率。

行业集中度异质性。行业集中度反映了资源集中或分散情况，这与企业资源配置效率紧密相关。本文使用赫芬达尔—赫希曼指数（HHI）作为行业集中度代理变量（王永钦和董雯，2020），并根据行业集中度将样本分为行业集中度高和行业集中度低两组分别进行回归。结果表明，在行业集中度高的样本中，机器人应用对企业出口有显著的促进作用；而在行业集中度低的样本中，机器人对企业出口的促进作用并不明显。其可能的原因在于，拥有垄断地位的大企业使用机器人进行生产具有规模经济效应，因为其能够承担前期投入的较高固定成本（购买机器人设备支出），从而实现生产的低边际成本。同时，机器人具有高效率生产模式，能够进一步提高企业垄断能力，提升其出口能力。在集中度较低的行业中，每一家企业的市

^①组间系数差异检验对应P值为0.02，说明机器人对企业出口的影响存在规模异质性。

场势力均较小，企业难以支付高昂的固定投入成本，智能化转型受阻，限制了对其出口的促进作用。

表7 异质性考察

变量	企业所有制		企业规模		企业密集型		行业集中度	
	国有企业	非国有企业	规模大	规模小	技术密集型	非技术密集型	集中度高	集中度低
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>lnvalue</i>	<i>lnvalue</i>	<i>lnvalue</i>	<i>lnvalue</i>	<i>lnvalue</i>	<i>lnvalue</i>	<i>lnvalue</i>	<i>lnvalue</i>
<i>lnrobot</i>	0.0441 (0.0371)	0.0310*** (0.0081)	0.0257*** (0.0092)	0.0420** (0.0176)	-0.0076 (0.0178)	0.0444*** (0.0091)	0.0345*** (0.0103)	0.0190 (0.0129)
控制变量	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
企业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
行业固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES	YES
N	6 180	75 659	40 837	39 287	18 247	63 089	40 129	40 154
R ²	0.6387	0.7761	0.7465	0.7415	0.7862	0.7630	0.7628	0.7571

六、结论与政策启示

在智能制造时代，工业机器人等新技术兴起必将变革传统生产模式，加速企业智能化转型，对企业竞争力和出口表现产生深刻影响。在理论层面，本文深入探讨了机器人影响企业出口的作用渠道，发现机器人能够提升企业生产率和降低生产成本，提高企业出口竞争力，进而促进企业出口规模增长。以理论分析为基础，本文利用IFR公布的工业机器人行业层面数据、中国工业企业和海关库的微观数据，实证检验了企业使用机器人对出口的影响。实证结果表明，工业机器人应用对企业出口有显著的促进作用。在经过更换核心变量、剔除机器人中间商、安慰剂检验、使用进口机器人数据以及工具变量回归等一系列稳健性检验后，机器人对企业出口的正向影响依然存在。机制检验分析发现机器人应用主要通过提高企业生产效率、降低生产成本等途径促进企业出口规模扩张。机器人应用对企业出口的作用具有明显的异质性特征，对非国有企业、规模较小的企业、非技术密集型企业 and 行业集中度较高的企业促进作用更为明显。

本文的研究结论为理解新兴技术发展推动企业智能化生产，对企业出口水平的影响和政策制定提供了经验证据。第一，近年来中国出口一直面临保护主义压力，第四次工业革命将以工业机器人技术为代表性突破，为提升企业出口能力提供了契机。在未来全球贸易竞争体系中，大规模、高效智能化生产将是大势所趋，工业机器人技术能够赋予出口企业更强的生产能力和更大的出口竞争优势，中国应率先推动有条件的企业逐步应用机器人进行智能化转型升级。政府部门应

及时出台配套企业智能化改造政策,大力增加对智能化转型企业的财政支持和税收优惠力度,助力企业实现智能化生产。第二,要进一步促进国有企业深化改革,适当降低对国有企业的政策约束。提升资源配置能力,将推动国有企业走向机器人等智能化发展的“快车道”,全面提升其生产能力和出口表现。还应支持和鼓励技术密集型企业进行研发创新活动,树立长远发展目标。在市场高度分散的行业中,企业市场势力较小,很难应对智能化转型所需要的固定成本。对此,政府部门应提供资金补助和税收融资优惠政策,助力中小企业顺利进行智能化生产。第三,中国应进一步扩大对外贸易开放度,鼓励更多的企业参与到国际市场当中。应借助机器人技术帮助有条件的企业克服出口障碍,发挥好机器人应用的规模效应、生产率效应和低成本效应,提升企业出口竞争力。不断推进机器人等智能化技术与实体经济的深度融合,让机器人成为推动中国贸易高质量发展不可或缺的重要力量。

[参考文献]

- [1] HE D, ZHANG W. How Dependent is the Chinese Economy on Exports and in What Sense Has Its Growth been Export-led? [J]. *Journal of Asian Economics*, 2010, 21 (1): 87-104.
- [2] 张明志, 季克佳. 人民币汇率变动对中国制造业企业出口产品质量的影响 [J]. *中国工业经济*, 2018 (1): 5-23.
- [3] 李坤望, 蒋为, 宋立刚. 中国出口产品品质变动之谜: 基于市场进入的微观解释 [J]. *中国社会科学*, 2014 (3): 80-103.
- [4] FAN H, HU Y, TANG L. Labor Costs and the Adoption of Robots in China [J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2021, 186: 608-631.
- [5] GOLDFARB A, TREFLER D. AI and International Trade [R]. NBER Working Paper, 2018, No. 24254.
- [6] 刘戒骄. 美国再工业化及其思考 [J]. *中共中央党校学报*, 2011, 15 (2): 41-46.
- [7] ALGUACIL M, LO TURCO A, MARTÍNEZ-ZARZOSO I. What is so Special about Robots and Trade? [R]. SSRN Working Paper, 2020, No. 3756787.
- [8] CAO Y, TANG H. Robots, Productivity, and Firm Exports [R]. SSRN Working Paper, 2021, No. 3980375.
- [9] DE STEFANO T, TIMMIS J. Robots and Export Quality [R]. World Bank Policy Research Working Paper, 2021, No. 9678.
- [10] 綦建红, 张志彤. 机器人应用与出口产品范围调整: 效率与质量能否兼得 [J]. *世界经济*, 2022, 45 (9): 3-31.
- [11] 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.
- [12] 杜两省, 马雯. 机器人的应用对我国出口升级的影响研究 [J]. *当代财经*, 2022 (10): 115-125.
- [13] 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.
- [14] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets [J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128 (6): 2188-2244.
- [15] GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at Work [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2018, 100 (5): 753-768.
- [16] 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, 55 (10): 159-175.
- [17] 李磊, 王小霞, 包群. 机器人的就业效应: 机制与中国经验 [J]. *管理世界*, 2021, 37 (9): 104-119.

- [18] 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 (8): 80-98.
- [19] ACEMOGLU D, AUTOR D. What Does Human Capital Do? A Review of Goldin and Katz's *The Race between Education and Technology* [J]. *Journal of Economic Literature*, 2012, 50 (2): 426-463.
- [20] 王林辉, 胡晟明, 董直庆. 人工智能技术会诱致劳动收入不平等吗——模型推演与分类评估 [J]. 中国工业经济, 2020 (4): 97-115.
- [21] EATON J, KORTUM S. Putting Ricardo to Work [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2012, 26 (2): 65-90.
- [22] BRYNJOLFSSON E, HUI X, LIU M. Does Machine Translation Affect International Trade? Evidence from a Large Digital Platform [J]. *Management Science*, 2019, 65 (12): 5449-5460.
- [23] FABER M. Robots and Reshoring: Evidence from Mexican Labor Markets [J]. *Journal of International Economics*, 2020, 127: 103384.
- [24] ARTUC E, BASTOS P, RIJKERS B. Robots, Tasks, and Trade [R]. SSRN Working Paper, 2018, No. DP14487.
- [25] STAPLETON K, WEBB M. Automation, Trade and Multinational Activity: Micro Evidence from Spain [R]. SSRN Working Paper, 2020, No. 3681143.
- [26] ALGUACIL M, TURCO A L, MARTÍNEZ-ZARZOSO I. Robot Adoption and Export Performance: Firm-level Evidence from Spain [J]. *Economic Modelling*, 2022, 114: 105912.
- [27] CALI M, PRESIDENTE G. Automation and Manufacturing Performance in a Developing Country [R]. World Bank Policy Research Working Paper, 2021, No. 9653.
- [28] KOCH M, MANUYLOV I, SMOLKA M. Robots and Firms [J]. *The Economic Journal*, 2021, 131 (638): 2553-2584.
- [29] 杨光, 侯钰. 工业机器人的使用、技术升级与经济增长 [J]. 中国工业经济, 2020 (10): 138-156.
- [30] 黄先海, 虞柳明, 袁逸铭. 工业机器人与企业创新——基于人力资本视角 [J]. 科学学研究, 2023, 41 (2): 356-368.
- [31] TILLEY J. Automation, Robotics, and the Factory of the Future [J]. McKinsey & Company, 2017, 67 (1): 67-72.
- [32] 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.
- [33] 余玲铮, 魏下海, 孙中伟, 等. 工业机器人、工作任务与非常规能力溢价——来自制造业“企业—工人”匹配调查的证据 [J]. 管理世界, 2021, 37 (1): 47-59.
- [34] 魏下海, 郭凯明, 吴春秀. 数字技术、用工成本与企业搬迁选择 [J]. 中国人口科学, 2021 (1): 104-116.
- [35] BONFIGLIOLI A, CRINO R, FADINGER H, et al. Robot Imports and Firm-level Outcomes [R]. SSRN Working Paper, 2020, No. DP14593.
- [36] BRANDT L, VAN BIESEBROECK J, ZHANG Y. Creative Accounting or Creative Destruction? Firm-level Productivity Growth in Chinese Manufacturing [J]. *Journal of Development Economics*, 2012, 97 (2): 339-351.
- [37] 金祥义, 戴金平. 有效信息披露与企业出口表现 [J]. 世界经济, 2019, 42 (5): 99-122.
- [38] HSIEH C T, KLENOW P J. Misallocation and Manufacturing TFP in China and India [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2009, 124 (4): 1403-1448.
- [39] CHE Y, ZHANG L. Human Capital, Technology Adoption and Firm Performance: Impacts of China's Higher Education Expansion in the Late 1990s [J]. *The Economic Journal*, 2018, 128 (614): 2282-2320.
- [40] 符大海, 鲁成浩. 服务业开放促进贸易方式转型——企业层面的理论和中国的经验 [J]. 中国工业经济, 2021 (7): 156-174.
- [41] 李丹丹. 政府研发补贴对企业创新绩效的影响研究——基于企业规模和产权异质性视角 [J]. 经济学报, 2022, 9 (1): 141-161.
- [42] 蔡震坤, 基建红. 工业机器人的应用是否提升了企业出口产品质量——来自中国企业的证据 [J]. 国际贸易问题, 2021 (10): 17-33.

Research on the Trade Growth Effect of Technology-seeking Robots: Evidence from Chinese Industrial Enterprises

SHEN Kunrong QIAO Gang WANG Guanyu

Abstract: The deep integration of industrial robots and artificial intelligence technology has had a profound impact on economic activities, also becoming an important path for enterprises intelligent transformation and enhancing export capabilities. This article matches data on industrial robots in the Chinese manufacturing industry with microdata from industrial enterprises and customs, examining the relationship between robot adoption and the scale of enterprise exports. The research finds that using robots promotes enterprise exports significantly, and this conclusion remains valid after conducting multiple robustness tests and using instrumental variables for causal identification. The promotion of exports by robot adoption is achieved through enhancing production efficiency and reducing production costs, thereby improving the competitiveness of enterprises in export. In non-state-owned enterprises, smaller-scale enterprises, non-technology-intensive enterprises, and highly concentrated industries, the effect of robots on export promotion is more pronounced. The findings of this research provide practical insights for enhancing enterprise export competitiveness.

Keywords: Trade Growth Effects; Enterprise Exports; Industrial Robots; Export Competitiveness

(责任编辑 白光)