

工业机器人进口与企业出口技术复杂度

左瑞瑞

(浙江大学, 浙江 杭州 310000)

摘 要: 本文基于 2000~2013 年中国工业企业数据库和海关数据库企业层面的合并数据, 研究了工业机器人进口对企业出口技术复杂度的影响。研究发现, 工业机器人进口显著提高中国企业出口技术复杂度。这一结论在使用严口径和宽口径度量工业机器人进口、控制时变省份特征和行业特征以及考虑极端值后依然成立; 使用滞后项和进口关税分别作为工具变量以及利用首次进口工业机器人构建多期 DID 模型检验内生性后, 结论仍然稳健。异质性分析表明, 工业机器人进口的影响主要体现在非国有企业, 同时存在于大企业和中小企业、资本密集型和劳动密集型行业, 并且对大企业和劳动密集型行业的影响更大。提高企业生产率和促进研发创新是工业机器人进口促进企业出口技术复杂度的机制。本文对推动外贸高质量发展具有启示意义, 一方面应鼓励高端工业机器人进口, 另一方面应加大工业机器人国内研发投入和完善配套措施。

关键词: 出口技术复杂度; 工业机器人; 生产率; 研发创新

中图分类号: F746.17

文献标识码: A

文章编号: 1006-1894 (2023) 05-0034-14

中国工业机器人应用量近年来快速增长。根据中国机器人产业联盟的统计, 自 2013 年以来, 中国已连续 9 年成为世界最大的工业机器人消费国, 2015~2020 年, 工业机器人密度 (万人拥有的工业机器人数量) 从 49 台快速增加到 246 台 (黄孝武和焦骛, 2023)。根据国际机器人联合会的统计, 2021 年中国工业机器人安装量达到 24.33 万台, 占全球工业机器人总安装量的一半, 位居全球第一, 同比增长 44%。中国使用的大多数工业机器人主要依靠进口, 进口占比超过 70%。^①根据海关总署的统计, 2021 年中国工业机器人进口额达到 21.96 亿美元, 同比增长 39%; 其中多功能工业机器人进口占比最高, 达到 67%。中国对外贸易经历了高速增长, 但是外贸总体大而不强 (张洪胜和张小龙, 2021), 原因之一是出口技术复杂度比较低。如何提升出口技术复杂度和出口竞争力进而实现对外贸易高质量发展是中国面临的现实问题。那么, 工业机器人进口对中国企业出口技术复杂度是否产生了影响? 影响效应有多大? 影响机制是什么? 本文将回答这些问题。

作者简介: 左瑞瑞, 浙江大学经济学院访问学者, 广西工商职业技术学院副教授, 研究方向: 跨境电商。

基金项目: 2022 年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目 “数字化背景下广西跨境电商企业智能运营策略研究” (项目编号: 2022KY1364)。

^① https://www.sohu.com/a/496802946_100034932。

一、文献综述

（一）工业机器人进口的相关研究

与工业机器人相关的研究可分为与工业机器人应用相关的研究和与工业机器人进口相关的研究。由于本文聚焦工业机器人进口带来的影响，因此重点综述与工业机器人进口相关的研究，这方面研究大体可以分为3个方面。首先是工业机器人进口对生产率的影响。李丫丫和潘安（2017）实证研究了工业机器人进口贸易通过技术溢出效应促进了中国制造业生产率提升。李磊和徐大策（2020）研究发现机器人进口总体上会提高劳动生产率。其次是工业机器人进口对就业和工资差距的影响。李磊等（2021）发现工业机器人进口会增加劳动需求。王小霞和李磊（2020）发现工业机器人进口通过替代效应和规模效应加剧了劳动力就业波动。陈东和姚笛（2022）发现机器人进口总体上会提高企业间工资差距，主要原因是机器人进口的生产率效应和产出规模效应大于替代效应。最后是工业机器人进口对经济转型升级、绿色发展、出口产品质量和范围等的影响。邓仲良和屈小博（2021）发现，机器人进口主要通过生产效率提高和要素配置结构优化促进了制造业转型升级。Huang等（2022）发现，机器人进口会提高中国企业能源利用效率。蔡震坤和綦建红（2021）发现，机器人进口有利于提高企业出口产品质量。綦建红和张志彤（2022）发现，机器人进口总体上会扩大企业的出口产品范围，不仅通过生产率提高和成本下降提高效率，而且通过驱动绿色转型提升质量。还有研究分析了机器人进口的影响因素，Fan等（2021）发现最低工资上升会提高企业的机器人进口。

（二）出口技术复杂度的决定因素

出口技术复杂度方面有非常丰富的研究成果。较早的研究集中于测算和比较出口技术复杂度，戴翔和张二震（2011）测算比较了中国与发达经济体的出口技术复杂度，杜传忠和张丽（2013）测算了中国工业制成品的国内技术复杂度并分析了其动态变迁，丁小义和胡双丹（2013）使用国内增加值方法测算了中国出口复杂度。也有研究关注出口技术复杂度的影响因素，包括基础设施（王永进等，2010）、产品内分工和制度质量（戴翔和金碚，2014）、金融发展（齐俊妍等，2011）、全球价值链嵌入（刘维林等，2014）、贸易自由化（Nguyen，2016；盛斌和毛其淋，2017；Su et al.，2020）、经济增长和技术创新（郭晶和杨艳，2010；Weldemicael，2014；Kočenda and Poghosyan，2018）、知识产权保护（代中强等，2015）、文化多样性（Fan et al.，2018）、对外直接投资（陈俊聪，2015；Rehman and Ding，2020）等。还有一些研究开始关注数字经济时代的新因素对出口技术复杂度的影响，徐晔等（2022）考察了智能制造、Atasoy（2021）分析了数字化和数字产品进口、夏杰长等（2022）探讨了数字经济、齐俊妍和强华俊（2022）研究了跨境数据流动和数字服务投入等对出口技术复杂度的影响。

通过以上文献梳理，笔者发现目前尚没有研究聚焦工业机器人进口对中国企业

出口技术复杂度的影响,本文希望在这方面有所补充,本文的边际贡献体现在3个方面。第一,本文从工业机器人进口视角探究企业出口技术复杂度的关键影响因素,而以往研究主要关注贸易自由化、基础设施、数字产品进口等因素对出口技术复杂度的推动作用。第二,本文探讨了工业机器人进口的异质性影响,发现工业机器人进口的影响主要体现在非国有企业,并且对大企业和劳动密集型行业的影响更大。第三,本文从提升企业生产率和促进研发创新两个角度考察了工业机器人进口作用于企业出口技术复杂度的机制。工业机器人通过替代简单劳动提高了企业生产率,通过与其他要素协同促进了企业创新。

二、实证设计

(一) 实证模型

参考李磊等(2021)的研究,本文构建如下回归方程估计工业机器人进口对企业出口技术复杂度的影响:

$$\ln ESI_{it} = \alpha + \phi \ln robot_{it} + X\beta + \eta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 表示企业, t 表示年份。 ESI_{it} 是企业 i 在 t 年的出口技术复杂度,具体计算方法见下文。 $robot_{it}$ 表示企业 i 在 t 年的工业机器人进口,本文使用严口径和宽口径两种方法测算工业机器人进口额。 X 是企业层面的控制变量。 η_i 表示企业固定效应,本文通过其控制不随时间变化的企业特征。 η_t 是年份固定效应,本文通过其控制每年宏观经济因素。 ε_{it} 是随机扰动项。因此, ϕ 是本文感兴趣的系数,它度量了工业机器人进口每增加1%,所带来的企业出口技术复杂度的变化幅度。

(二) 变量说明

被解释变量:出口技术复杂度(ESI)。本文参考Hausmann等(2007)的方法,利用CEPII-BACI数据库计算HS 6编码产品 j 的出口技术复杂度 ESI_{jt} :

$$ESI_{jt} = \sum_c \frac{(x_{jct} / X_{ct})}{\sum_c x_{jct} / X_{ct}} \times PCGDP_{ct} \quad (2)$$

其中, c 表示经济体, t 表示年份。 x_{jct} 表示经济体 c 产品 j 在 t 年的出口额。 X_{ct} 表示经济体 c 在 t 年的总出口。 $PCGDP_{ct}$ 是经济体 c 在 t 年的人均GDP。出口技术复杂度反映的是出口竞争力与人均GDP收入的乘积,假设高收入国家会生产高技术水平的产品。产品非同质性可能导致出口复杂度存在“虚假技术繁荣”情况(许斌等,2008),因此下文选择出口产品质量进一步优化。

在计算产品 j 的出口技术复杂度后,本文根据中国海关数据库企业出口产品类别(HS 6编码层面)和出口额计算加权平均的企业出口技术复杂度:

$$ESI_{it} = \sum_j \left(\frac{X_{jit}}{X_{it}} \right) \times ESI_{jt} \quad (3)$$

其中, i 表示企业, j 表示产品, t 表示时间。式(2)假定所有产品同质,但现

实中产品间具有异质性。鉴于此,本文参考 Khandelwal 等 (2013) 的框架,提出扩展的需求残差法,用以计算世界出口产品质量,对产品层面的出口技术复杂度进行调整。拓展的 Khandelwal 等 (2013) 的框架方程如下:

$$\ln qt_{xjct} + \sigma \ln p_{xjct} = FE_j + FE_{xt} + FE_{ct} + \eta_{xjct} \quad (4)$$

其中, x 表示出口国, j 表示产品 (HS 6 编码), c 表示进口国, t 表示年份, qt_{xjct} 和 p_{xjct} 分别是出口国 x 在 t 年向进口国 c 出口的产品 j 的数量和价格。式 (4) 控制了产品固定效应,用以控制出口产品异质性特征;控制了出口国与年份联合固定效应,用以控制对产品供给具有重要影响的出口国技术水平和要素供给条件等因素;还控制了进口国与年份联合固定效应,用以控制进口国价格指数和收入水平等需求侧因素。 η_{xjct} 为扰动项。产品质量 $\ln \lambda_{xjct}$ 估计结果来自扰动项 η_{xjct} , $\ln \lambda_{xjct} = \eta_{xjct} / (\sigma - 1)$, 其中 σ 为产品需求替代弹性,数据来自 Broda 和 Weinstein (2006) 估计的 HS 3 位行业层面的估计结果。

由于加工贸易出口中蕴含了进口成分,本文参考齐俊妍和王岚 (2015)、于欢等 (2022) 的研究,仅保留和测算一般贸易的出口技术复杂度。

核心解释变量:工业机器人进口 (*robot*)。本文根据 Acemoglu 和 Restrepo (2020)、王小霞和李磊 (2020)、李磊等 (2021) 的研究,采用表 1 所示的两种方法度量机器人进口。从严格的角度而言,HS 8 编码识别的机器人较为准确。从宽松的角度而言,HS 6 编码涵盖的机器人更为广泛。本文将 HS 8 编码和 HS 6 编码与海关数据库相匹配,得到每个企业每年的工业机器人进口额。

本文控制了如下企业层面变量:(1)企业规模 (*size*),使用企业总资产度量企业规模;(2)企业年龄 (*age*),使用样本当年减去企业成立年份加 1 计算企业年龄;(3)企业融资约束 (*fc*),参考孙灵燕和李荣林 (2012) 的做法,使用利息支出与固定资产净值的比值度量企业融资约束;(4)企业资本密集度 (*klr*),使用固定资产净值与员工人数的比值计算资本密集度。

表 1 严口径和宽口径对应的机器人 HS 编码

序号	严口径		宽口径	
	HS 8 编码	机器人名称	HS 6 编码	机器人名称
1	84864031	工厂自动搬运机器人	851531	电弧 (包括等离子) 焊接机器人
2	84289040	搬运机器人	847950	多功能机器人、其他多功能机器人和 机器人末端操纵装置
3	85152120	电阻焊接机器人	851521	其他电阻焊接机器人、汽车生产线电阻焊接机器人
4	85153120	电弧焊接机器人	851580	其他激光焊接机器人、汽车生产线激光焊接机器人
5	85158010	激光焊接机器人	842489	喷涂机器人
6	84248920	喷涂机器人	842890	搬运机器人
7	84795090	其他工业机器人	848640	IC 工厂专用的自动搬运机器人
8	84795010	多功能工业机器人		

(三) 数据来源与处理

本文数据来自中国工业企业数据库、中国海关数据库和国家统计局地区年度数

据。2000~2013 年工业企业数据库提供了所有国有企业和年销售额在 500 万元（2011 年及以后年份为 2,000 万元）人民币以上的非国有企业的生产和财务数据。2000~2019 年中国海关数据提供了产品层面详细的进出口数据。本文参照余森杰（2011）、马述忠和张洪胜（2017）的做法，

对中国工业企业数据库和中国海关数据库进行处理和匹配：首先，借鉴 Ahn 等（2011）的做法剔除贸易中间商；其次，剔除关键变量缺失或员工人数低于 10 人的样本；再次，使用企业名称以及邮政编码+电话号码的后 7 位合并中国工业企业数据库和中国海关数据库，在邮政编码或电话号码缺失的年份仅使用企业名称进行合并。经过上述处理之后，最后本文得到包含 375,000 个观测值、103,968 个企业的非平衡企业面板数据。表 2 报告了主要变量的描述性统计结果，除了资本密集度变量的观测值为 314,000 个外，其余变量的观测值均为 375,000 个。

表 2 主要变量描述性统计结果

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
lnESI	307,000	5.572	2.775	0	13.720
lnrobot	307,000	0.064	0.870	0	18.077
lnsize	307,000	11.049	1.569	0.693	20.618
lnage	307,000	2.263	0.583	0	7.607
lnfc	307,000	0.052	0.137	0	7.530
lnklr	307,000	-4.119	1.436	-15.010	-0.001

三、实证结果

（一）基准结果

表 3 汇报了基准回归结果。列（1）仅加入核心解释变量，列（2）~ 列（4）依次加入更多企业层面控制变量，这 4 列均控制了企业固定效应和年份固定效应。从表 3 的回归结果来看，无论是否加入企业层面控制变量，lnrobot 的估计系数均显著为正，且通过 1% 显著性水平检验，初步表明企业使用工业机器人会促进出口技术复杂度的提升。列（4）是完整的估计结果，结果显示，企业工业机器人进口增加 1%，其出口技术复杂度显著提升 0.3177%。对其可能的解释是，人工智能的应用有利于提升企业生产效率，促进企业研发新产品，在其他条件不变的情形下，企业

表 3 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	lnESI	lnESI	lnESI	lnESI
lnrobot	0.2463*** (0.0139)	0.1574*** (0.0138)	0.1570*** (0.0138)	0.3177*** (0.0164)
lnsize		0.6399*** (0.0217)	0.6057*** (0.0218)	0.7127*** (0.0229)
lnage			0.6984*** (0.0503)	0.6289*** (0.0506)
lnfc				-0.5574*** (0.0744)
lnklr				0.3089*** (0.0157)
Constant	10.8518*** (0.0799)	4.2341*** (0.2438)	3.0096*** (0.2588)	2.3761*** (0.2658)
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	258,505	258,496	258,370	250,788
调整的 R ²	0.7951	0.7970	0.7974	0.7967

注：括号内数值为企业层面聚类的标准差；*、**和*** 分别表示 10%、5% 和 1% 显著性水平。下表同。

生产效率和新产品数量往往与出口技术复杂度正相关（樊海潮和郭光远，2015）。已有研究发现，工业机器人能够替代重复性和简单工作任务，大幅提高企业生产率（余玲铮等，2021）。同时，既有研究证实，工业机器人的使用通过多重效应，比如效率增进、技能互补、技术选择和竞争作用于企业创新行为（诸竹君等，2022）。生产率提

高和创新活动改善都有利于提高企业出口技术复杂度。

列(4)其他变量系数显示,企业资产规模越大、成立年限越长和资本密集度越高,越具有更高的出口技术复杂度;融资约束越大的企业,越具有更低的出口技术复杂度,这均与经济学直觉一致。

(二) 稳健性检验

1. 宽口径度量工业机器人进口

在基准回归中,我们采用严口径即在HS 8编码层面度量企业工业机器人进口。为了考察估计结果的稳健性,我们采用宽口径即在HS 6编码层面度量企业工业机器人进口。估计结果见表4列(1)。结果显示, $\ln robot$ 的估计系数显著为正,表明企业工业机器人进口显著促进了出口技术复杂度的提升,与基准结果一致。具体而言,企业工业机器人进口增加1%,其出口技术复杂度显著提升0.4515%,略微高于基准回归结果,这与工业机器人进口的度量口径放宽有关。

2. 控制时变省份特征

中国各省份经济特征存在较大差异,这有可能影响企业的出口技术复杂度。王永进等(2010)发现基础设施显著提高一国出口技术复杂度,但各省的基础设施存在较大差异。此外,各省份对外开放度也存在较大差异。盛斌和毛其淋(2017)证实贸易开放是企业出口技术复杂度的重要影响因素。为了控制时变的省份特征,本文加入了省份 $\times$ 年份固定效应,结果见表4列(2)。结果显示, $\ln robot$ 的估计系数显著为正,表明企业工业机器人进口显著促进了出口技术复杂度的提升,与基准结果一致。具体而言,企业工业机器人进口增加1%,其出口技术复杂度显著提升0.3211%,与基准回归结果极为接近,说明控制时变省份特征不改变主要结论。

3. 控制时变行业特征

行业层面的技术冲击、竞争程度和资本密集度可能影响行业内部企业的出口技术复杂度。本文通过控制时变行业固定效应来控制这些行业特征,检验基准结果的稳健性,结果见表4列(3)。结果显示,工业机器人进口的估计系数显著为正,表明企业工业机器人进口显著促进了出口技术复杂度的提升,与基准结果一致。具体而言,企业工业机器人进口增加1%,出口技术复杂度显著提升0.3136%,与基准回归结果极为接近,说明本文基准回归结果可靠。

4. 考虑极端值的影响

本文对所有变量进行缩尾处理,即使用1%和99%分位数值替换分位数之外的取值,检验基准结果的稳健性,结果见表4列(4)。结果表明,工业机器人进口的估计系数显著为正,表明企业工业机器人进口显著促进了出口技术复杂度的提升,与基准结果一致。具体而言,企业工业机器人进口增加1%,其出口技术复杂度显著提升0.3136%,与基准回归结果极为接近,说明本文基准回归结果可靠。

5. 加入更多控制变量

影响出口技术复杂度的因素较多,在实证设计时,要把工业机器人进口对企业

表 4 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	lnESI	lnESI	lnESI	lnESI	lnESI
	宽口径	时变省份特征	时变行业特征	缩尾处理	控制更多变量
lnrobot	0.4515*** (0.0236)	0.3211*** (0.0164)	0.3136*** (0.0161)	0.3136*** (0.0161)	0.2608*** (0.0100)
lnsize	0.4984*** (0.0241)	0.7098*** (0.0228)	0.6683*** (0.0224)	0.6683*** (0.0224)	0.1620*** (0.0253)
lnage	0.6099*** (0.0474)	0.6346*** (0.0502)	0.6416*** (0.0488)	0.6416*** (0.0488)	0.4655*** (0.0477)
lnfc	0.0144 (0.0726)	-0.5600*** (0.0748)	-0.4545*** (0.0729)	-0.4545*** (0.0729)	-0.0364 (0.0720)
lnklr	0.0759*** (0.0176)	0.3089*** (0.0157)	0.2869*** (0.0155)	0.2869*** (0.0155)	0.2470*** (0.0182)
lnfpacf					4.2326*** (0.1330)
lnrd					0.0225*** (0.0049)
email					0.0018 (0.0274)
lnexpint					1.9234*** (0.0485)
Constant	2.4889*** (0.2492)	2.3760*** (0.2672)	2.7758*** (0.2626)	2.7758*** (0.2626)	-4.0531*** (0.3501)
企业固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	否	否	是	是
省份年份固定效应	否	是	是	是	否
行业年份固定效应	否	否	是	是	否
观测值	275,517	250,788	250,292	250,292	249,970
调整的 R^2	0.7930	0.7974	0.8034	0.8034	0.8076

出口技术复杂度产生的影响剥离出来, 需要控制这些影响因素。因此, 我们在前文的基础上进一步控制可能对出口技术复杂度产生影响的因素, 包括企业生产率、研发投入、企业互联网应用水平以及出口强度。本文使用 ACF (Akerberg et al., 2015) 方法度量企业生产率, 使用研发费用度量研发投入 (为了保证观测值数量, 使用零替换缺失值), 借鉴施炳展和李建桐 (2020) 的做法, 使用是否具有电子邮箱度量企业互联网应用水平, 使用出口交货值占总产出的比率度量出口强度。结果见表 4 列 (5)。结果显示, 在控制了更多变量后, 工业机器人进口仍然对企业出口技术复杂度具有显著的正面影响。与此同时, 从新加入的控制变量来看: 企业生产率越高, 企业出口技术复杂度越高, 与经济学理论较为一致; 研发投入越高, 企业出口技术复杂度越高, 也符合理论预期; 企业出口强度越大, 企业出口技术复杂度越高, 可能的原因是出口强度的提高有利于企业扩大生产规模和积累经验, 进而促进出口技术复杂度的提升。同时也看到, 企业互联网使用水平的系数虽然为正但并不显著, 说明互联网应用水平对企业出口技术复杂度没有显著影响, 一方面可能是因为本文使用电子邮箱度量互联网水平存在偏差, 另一方面也可能是互联网确实不具有显著影响。

以上结果表明, 不管是采用宽口径还是严口径度量企业工业机器人进口, 是否

控制时变省份固定效应或时变行业固定效应,以及是否考虑极端值的影响,估计结果均未发生实质性变化,说明本文的基准估计结果稳健。

(三) 异质性分析

1. 所有制异质性

不同所有制企业在生产技术和资源配置方面存在显著差异(龙小宁等,2018),而这会明显影响企业出口技术复杂度。本文根据注册登记类型把企业划分为国有企业、民营企业 and 外资企业进行回归。从表5可以看出,对国有企业而言,核心变量 $\ln robot$ 的估计系数并不显著。^①列(2)~列(3)显示,对民营企业 and 外资企业的影响均在1%显著性水平上为正,表明非国有企业使用工业机器人能显著提升企业出口技术复杂度。通过比较列(2)和列(3)的系数大小可以看出,外资企业使用工业机器人对出口技术复杂度的提升作用更大。原因可能是,国有企业激励较弱,管理人员对企业绩效关注度不足(田利辉和张伟,2013),因此,没有激励通过工业机器人进口提升出口技术复杂度,而民营企业 and 外资企业拥有通过工业机器人进口提升出口技术复杂度的激励。这一结果提醒我们,民营企业作为推动中国贸易高质量发展的重要力量,可以通过扩大工业机器人的使用范围促进出口质量的提升,摆脱出口产品低端的标签,推动中国出口贸易高质量发展。

2. 不同规模企业异质性

我们根据企业总资产的中位数,把总样本划分为大企业(总资产高于中位数的企业)和中小企业(总资产低于中位数的企业),然后进行分样本回归。从表6可以看出, $\ln robot$ 估计系数均在1%显著性水平上为正,说明企业使用工业机器人能够显著提升大企业 and 中小企业的出口技术复杂度。比较列(1)和列(2)的估计系数发现,工业机器人进口提高1%,有利于大企业出口技术复杂度提高0.4076%,有利于中小企业出口技术复杂度提高0.2276%,对大企业出口技术复杂度的影响是对中小企业影响的将近两倍。这一结果表明,对于大企业而言,使用工业机器人更有利于其出口技术复杂度升级。

3. 不同行业异质性

我们根据资本劳动比率(资本密集度)的中位数,把总样本划分为资本密集型企业(资本劳动比率高于中位数的企业)和劳动密集型企业(资本劳动比率低于中

表5 不同所有制回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	$\ln ESI$ 国有企业	$\ln ESI$ 民营企业	$\ln ESI$ 外资企业
$\ln robot$	0.0673 (0.0642)	0.3024*** (0.0365)	0.3180*** (0.0193)
$\ln size$	0.7801** (0.3881)	0.6700*** (0.0533)	0.7082*** (0.0279)
$\ln age$	0.7902** (0.3930)	0.3260*** (0.1106)	0.9412*** (0.0637)
$\ln fc$	0.1213 (1.5279)	-0.5704*** (0.1450)	-0.5489*** (0.1108)
$\ln klr$	0.2333 (0.1884)	0.2780*** (0.0360)	0.3079*** (0.0187)
<i>Constant</i>	-0.7365 (4.6362)	3.2402*** (0.6303)	2.1383*** (0.3247)
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
观测值	2,914	45,318	163,350
调整的 R^2	0.6690	0.8222	0.8025

① 本文样本数据3类企业的观测值数量排序及其显著性与既有研究比如蔡震坤和蔡建红(2021)相一致。当然这一结果可能与观测值数量有关,国有企业观测值数量最少,可能是导致其不显著的一个原因。

位数的企业), 然后进行分样本回归。从表 6 可以看出, $\ln robot$ 估计系数均在 1% 显著性水平上为正, 说明企业使用工业机器人能够显著提升资本密集型企业 and 劳动密集型企业的出口技术复杂度。比较列 (3) 和列 (4) 的估计系数发现, 工业机器人进口提高 1%, 有利于资本密集型企业出口技术复杂度提高 0.2261%, 有利于劳动密集型企业出口技术复杂度提高 0.4208%, 对劳动密集型企业出口技术复杂度的影响是对资本密集型企业影响的将近两倍。这一结果表明, 对于劳动密集型企业而言, 使用工业机器人更有利于其出口技术复杂度升级。

表 6 不同规模和不同行业回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	$\ln ESI$ 大企业	$\ln ESI$ 中小企业	$\ln ESI$ 资本密集型行业	$\ln ESI$ 劳动密集型行业
$\ln robot$	0.4076*** (0.0281)	0.2276*** (0.0193)	0.2261*** (0.0194)	0.4208*** (0.0293)
$\ln size$	0.9188*** (0.0467)	0.5657*** (0.0285)	0.5624*** (0.0244)	0.9048*** (0.0459)
$\ln age$	0.7114*** (0.0759)	0.5244*** (0.0601)	0.3777*** (0.0544)	0.8006*** (0.0838)
$\ln fc$	-0.9554*** (0.1250)	-0.1776* (0.0966)	-0.3982*** (0.0778)	-0.6584* (0.3373)
$\ln klr$	0.4005*** (0.0272)	0.2378*** (0.0185)	0.1394*** (0.0204)	0.5189*** (0.0341)
<i>Constant</i>	-1.1949** (0.5787)	5.1566*** (0.3051)	5.6487*** (0.2772)	-0.9354* (0.5535)
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	128,851	113,130	115,567	120,837
调整的 R^2	0.7931	0.8210	0.8267	0.7862

表 7 内生性结果

变量	(1)	(2)	(3)
	$\ln ESI$ 滞后期 作为 IV	$\ln ESI$ 进口关税 作为 IV	DID 模型
$\ln robot$	0.3020*** (0.0622)	0.3324*** (0.0517)	
$treat \times post$			0.2728*** (0.0235)
$\ln size$	0.5769*** (0.0314)	0.7689*** (0.0240)	0.7499*** (0.0218)
$\ln age$	0.2000*** (0.0769)	0.6865*** (0.0515)	0.6732*** (0.0475)
$\ln fc$	-0.5655*** (0.1058)	-0.1052 (0.0793)	-0.3783*** (0.0716)
$\ln klr$	0.2995*** (0.0341)	-0.0003 (0.0271)	0.2083*** (0.0137)
Kleibergen-Paap rk Wald F Statistic	2,348	4,386	
企业固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
观测值	125,376	250,700	275,517
调整的 R^2	0.0120	0.0032	0.7925

(四) 内生性分析

基准回归可能存在内生性问题, 本文使用 3 种方法进行处理。一是利用工业机器人进口的滞后项作为工具变量, 二是使用 HS 6 编码进口关税作为工具变量, 三是参考 Bessen 等 (2019)、Greenstone 等 (2022) 的做法, 利用首次进口工业机器人作为外生冲击, 构建多期 DID 模型。

1. 滞后期作为工具变量 (IV)

由于滞后期是天然的工具变量, 因此本文使用工业机器人进口的滞后一期作为工具变量, 回归结果见表 7 列 (1)。第一阶段的 Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量为 2,348, 远远大于临界值 16.38, 说明不存在弱工具变量问题。第二阶段结果显示, 工业机器人进口的估计系数显著为正, 说明工业机器人进口显著提高企业出口技术复杂度, 证实了基准结果稳健。

2. 进口关税作为工具变量 (IV)

工业机器人进口显著取决于进口关税, 进口关税越低, 越有利于企业进口工业机器人。因此, 理论上进口关税是企业工业机器人进口的最优工具变量。HS 6 编码层

面的进口关税数据来自 WITS。回归结果见表 7 列 (2)。第一阶段的 Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量为 4,386, 远远大于临界值 16.38, 说明不存在弱工具变量问题。第二阶段结果显示, 工业机器人进口的估计系数显著为正, 说明工业机器人进口显著提高企业出口技术复杂度, 证实了基准结果稳健。

3. 使用首次进口工业机器人构建 DID 模型

本文使用企业首次进口工业机器人作为外生冲击, 构建多期 DID 模型。具体模型设定如下:

$$\ln ESI_{it} = \alpha + \phi treat_i \times post_{it} + X\beta + \eta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中, i 表示企业, t 表示年份, $treat_i$ 是处理组虚拟变量, 如果企业 i 在样本期间进口工业机器人, 则取值为 1, 否则取值为 0。 $post_{it}$ 是进口工业机器人时间虚拟变量, 首次进口工业机器人当年及之后年份取值为 1, 否则取值为 0。其余变量与式 (1) 一致。

DID 回归结果见表 7 列 (3)。结果显示, $treat_i \times post_{it}$ 的估计系数显著为正, 表明有工业机器人进口的企业相对于没有的企业, 在进口工业机器人之后, 企业出口技术复杂度明显提高。

4. 考虑处理组异质性

多期 DID 可能将较早采用机器人的企业作为较晚采用机器人企业的控制组, 使估计产生偏误。为此, 本文采用两种方法予以解决。首先, 使用 Goodman-Bacon (2021) 的分解, 发现负权重占比仅为 15.26%, 说明不合适的处理效应占比较小, 本文基准结果稳健。其次, 本文使用 De Chaisemartin 和 d'Haultfoeuille (2020) 的做法, 考虑处理组异质性, 得到双重交互项的估计系数是 0.2105 且在 1% 水平显著, 进一步验证了本文结果的稳健性。

四、机制分析

本部分分析工业机器人进口作用于企业出口技术复杂度的生产率机制和创新机制。

(一) 生产率机制

较多研究证实工业机器人的使用会提高生产率, 比如李丫丫和潘安 (2017)、李磊和徐大策 (2020)。本文借鉴吕越等 (2023) 的做法, 使用如下方程检验工业机器人进口是否通过提高生产率提升了企业出口技术复杂度:

$$\ln TFP_{it} = \alpha + \phi \ln robot_{it} + X\beta + \eta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

$$\ln ESI_{it} = \alpha + \phi \ln robot_{it} + \psi \ln robot_{it} \times \ln TFP_{it} + \phi \ln TFP_{it} + X\beta + \eta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

其中 $\ln TFP_{it}$ 是使用 ACF 方法 (Akerberg et al., 2015) 估计得到的企业全要素生产率。预期式 (6) 的估计系数 ϕ 为正, 表明工业机器人进口有利于提高企业生产率。同时预期 ψ 系数为正, 表明工业机器人进口对生产率高的企业的出口技术复杂度具有更大的影响, 即通过提高生产率促进了出口技术复杂度的提升。

表 8 列 (1) 和列 (2) 报告了生产率机制的检验结果。列 (1) 显示工业机器人

人进口对企业全要素生产率的影响显著为正（0.0138），说明工业机器人进口提高了企业全要素生产率；列（2）显示工业机器人进口与生产率交互项的符号显著为正（0.5891），说明工业机器人进口通过提高生产率促进了企业出口技术复杂度提升。

（二）创新机制

本文构建如下方程检验工业机器人进口是否通过提高研发投入促进了企业出口技术复杂度的提升：

$$\ln RD_{it} = \alpha + \phi \ln robot_{it} + X\beta + \eta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

$$\ln ESI_{it} = \alpha + \phi \ln robot_{it} + \psi \ln robot_{it} \times \ln RD_{it} + \phi \ln RD_{it} + X\beta + \eta_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

其中 $\ln RD_{it}$ 是企业研发投入。预期式（8）的估计系数 ϕ 为正，表明工业机器人进口有利于提高企业研发投入。同时，预期 ψ 系数为正，表明工业机器人进口对研发投入高的企业的出口技术复杂度具有更大的影响，即通过提高研发投入促进了出口技术复杂度的提升。

表8列（3）和列（4）报告了创新机制的检验结果。列（3）显示工业机器人进口对企业研发投入的影响显著为正（0.1673），说明工业机器人进口增加了企业研发投入；列（4）显示工业机器人进口与研发投入交互项的符号显著为正（0.0200），说明工业机器人进口通过提高创新水平促进了企业出口技术复杂度提升。

五、结论与政策启示

本文利用2000~2013年中国工业企业数据库和中国海关数据库企业层面数据，实证研究了工业机器人进口对企业出口技术复杂度的影响。结果发现，工业机器人进口显著提高企业出口技术复杂度；平均而言，工业机器人进口增加1%，促进企业出口技术复杂度显著提升0.3177%。这一结论在使用了严口径和宽口径度量机器人进口、控制时变省份特征和行业特征以及考虑极端值后依然成立。使用滞后项和进口关税分别作为工具变量以及利用首次进口工业机器人构建多期DID模型检验内生性后，结论仍然稳健。异质性分析表明，工业机器人进口的影响主要体现在非国有企业，同时存在于大规模和小规模企业、资本密集型和劳动密集型企业，并且对大企业和劳动密集型企业的影响更大。提升企业生产率和促进研发创新是工业机器人进口促进企业出口技术复杂度提升的机制。

在当前新一轮技术革命迅速发展的背景下，本文研究结果对推动中国外贸高质量发展具有重要启示意义和鲜明政策含义。第一，当前中国正处于对外贸易高质量发展的转型阶段，出口技术复杂度是贸易高质量发展的重要体现，政府应当制定适当的产业政策，培育与壮大一批本土企业，加快导入人工智能技术，鼓励企业应用人工智能进行转型升级，实现本地产业与人工智能的深度融合，从而促进企业出口技术复杂度升级。第二，应鼓励高端工业机器人进口，特别是国内紧缺机器人的进口，可以通过降低关税、达成双边或多边贸易协定予以实现。发达经济体市场在中国外贸市场中具有举足轻重的地位。对于以发达经济体为主要采购市场的企业，政

府可以在世贸组织规则允许的范围
内,对这些企业的工人机器人应用
与升级进行全方位的支持,培育一
批应用工人机器人的龙头外贸企业,
持续对源自这些经济体的工业机器
人予以贸易便利举措,巩固这些企
业从发达经济体采购工业机器人的
渠道。第三,大力支持民营企业 and
外资企业通过机器人进口提高出口
技术复杂度。民营企业日益成为对
外贸易的主力军和领头羊,政府应
该使用财税优惠政策、减免租金等
方式给予大力支持。劳动密集型企业
是中国对外贸易的重要力量,政府
应当鼓励劳动密集型企业通过采用
工业机器人等智能化设备实现转型
升级,提升出口产品复杂度,进而
增强国际竞争力和获取更大的贸易
利润。应该重点关注较大的贸易

表 8 机制分析回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	$\ln TFP$	$\ln ESI$	$\ln rd$	$\ln ESI$
$\ln robot$	0.0138*** (0.0015)	0.7686** (0.3563)	0.1673*** (0.0266)	0.4945*** (0.0500)
$\ln robot \times \ln TFP$		0.5891*** (0.1679)		
$\ln robot \times \ln rd$				0.0200*** (0.0038)
$\ln TFP$		2.8502*** (0.1227)		
$\ln rd$				0.0069 (0.0056)
$\ln size$	0.0318*** (0.0009)	0.4836*** (0.0225)	0.0862*** (0.0094)	0.6103*** (0.0209)
$\ln age$	0.0180*** (0.0013)	0.6378*** (0.0411)	0.2060*** (0.0236)	0.7138*** (0.0387)
$\ln fc$	0.0637*** (0.0031)	-0.5957*** (0.0639)	0.0381 (0.0242)	-0.3777*** (0.0611)
$\ln klr$	0.0032*** (0.0005)	0.1538*** (0.0114)	0.0518*** (0.0051)	0.1768*** (0.0110)
Constant	1.5477*** (0.0093)	0.3404 (0.3038)	-0.8104*** (0.0984)	4.3634*** (0.2199)
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	250,472	250,472	275,504	275,504
调整的 R^2	0.7654	0.7975	0.2639	0.7926

企业,政府可以引导这类企业进行智能化转型,以对其他中小贸易企业形成辐射带动作用,共同促进对外贸易企业产品复杂度的提升,进而实现对外贸易高质量发展。第四,应加大工业机器人的国内研发投入和配套措施完善。新发展格局构建本质上应该实现自立自强,通过自主研发和协同创新实现高端工业机器人的国内自主供给。因此,通过建设协同创新平台和改进研发激励机制,促进自主研发是根本途径。第五,推进5G和大数据等基础设施的建设,整合政产学研用等资源,汇聚人工智能创新创业资源,为企业人工智能技术的应用提供基础保障。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 陈东, 姚笛. 人工智能扩大了企业间的工资差距吗?——来自中国工业企业的证据 [J]. 经济科学, 2022, (3).
- [3] 陈俊聪. 对外直接投资对服务出口技术复杂度的影响——基于跨国动态面板数据模型的实证研究 [J]. 国际贸易问题, 2015, (12).
- [4] 戴翔, 金碚. 产品内分工、制度质量与出口技术复杂度 [J]. 经济研究, 2014, (7).
- [5] 戴翔, 张二震. 中国出口技术复杂度真的赶上发达国家了吗 [J]. 国际贸易问题, 2011, (7).
- [6] 代中强等. 知识产权保护、经济发展与服务贸易出口技术复杂度 [J]. 财贸经济, 2015, (7).
- [7] 邓仲良, 屈小博. 工业机器人发展与制造业转型升级——基于中国工业机器人使用的调查 [J]. 改革, 2021, (8).

- [8] 丁小义,胡双丹.基于国内增值的中国出口复杂度测度分析——兼论“Rodrik 悖论”[J].国际贸易问题,2013,(4).
- [9] 杜传忠,张丽.中国工业制成品出口的国内技术复杂度测算及其动态变迁——基于国际垂直专业化分工的视角[J].中国工业经济,2013,(12).
- [10] 樊海潮,郭光远.出口价格、出口质量与生产率间的关系:中国的证据[J].世界经济,2015,(2).
- [11] 郭晶,杨艳.经济增长、技术创新与我国高技术制造业出口复杂度研究[J].国际贸易问题,2010,(12).
- [12] 黄孝武,焦骛.经济政策不确定性能够促进工业智能化投资吗——来自中国省级工业机器人进口数据的经验证据[J].科技进步与对策,2023,(1).
- [13] 李磊等.机器人的就业效应:机制与中国经验[J].管理世界,2021,(9).
- [14] 李磊,徐大策.机器人能否提升企业劳动生产率?——机制与事实[J].产业经济研究,2020,(3).
- [15] 李丫丫,潘安.工业机器人进口对中国制造业生产率提升的机理及实证研究[J].世界经济研究,2017,(3).
- [16] 刘维林等.全球价值链嵌入对中国出口技术复杂度的影响[J].中国工业经济,2014,(6).
- [17] 龙小宁等.知识产权保护的价值有多大?——来自中国上市公司专利数据的经验证据[J].金融研究,2018,(8).
- [18] 吕越等.人工智能与全球价值链网络深化[J].数量经济技术经济研究,2023,(1).
- [19] 马述忠,张洪胜.集群商业信用与企业出口——对中国出口扩张奇迹的一种解释[J].经济研究,2017,(1).
- [20] 齐俊妍,强华俊.跨境数据流动限制、数字服务投入与制造业出口技术复杂度[J].产业经济研究,2022,(1).
- [21] 齐俊妍,王岚.贸易转型、技术升级和中国出口品国内完全技术含量演进[J].世界经济,2015,(3).
- [22] 齐俊妍等.金融发展与出口技术复杂度[J].世界经济,2011,(7).
- [23] 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,(9).
- [24] 盛斌,毛其淋.进口贸易自由化是否影响了中国制造业出口技术复杂度[J].世界经济,2017,(12).
- [25] 施炳展,李建桐.互联网是否促进了分工:来自中国制造业企业的证据[J].管理世界,2020,(4).
- [26] 孙灵燕,李荣林.融资约束限制中国企业出口参与吗?[J].经济学(季刊),2012,(1).
- [27] 田利辉,张伟.政治关联影响我国上市公司长期绩效的三大效应[J].经济研究,2013,(11).
- [28] 王小霞,李磊.工业机器人加剧了就业波动吗——基于中国工业机器人进口视角[J].国际贸易问题,2020,(12).
- [29] 王永进等.基础设施如何提升了出口技术复杂度?[J].经济研究,2010,(7).
- [30] 夏杰长等.数字经济对中国出口技术复杂度的影响研究[J].社会科学战线,2022,(2).
- [31] 徐晔等.智能制造、劳动力技能结构与出口技术复杂度[J].财贸研究,2022,(3).
- [32] 许斌.技术升级与中国出口竞争力[J].国际经济评论,2008,(3).
- [33] 于欢等.数字产品进口如何影响中国企业出口技术复杂度[J].国际贸易问题,2022,(3).
- [34] 余玲铮等.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,(1).
- [35] 余森杰.加工贸易、企业生产率和关税减免——来自中国产品面的证据[J].经济学(季刊),2011,(4).
- [36] 张洪胜,张小龙.跨境电商平台促进全球普惠贸易:理论机制、典型事实和政策建议[J].国际商务研究,2021,(4).
- [37] 诸竹君等.工业自动化与制造业创新行为[J].中国工业经济,2022,(7).
- [38] Acemoglu,D.,Restrepo,P.Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets[J].Journal of Political Economy,2020,128(6).
- [39] Akerberg,D. A.,et al.Identification Properties of Recent Production Function Estimators[J].Econometrica,2015,83(6).
- [40] Ahn,J. B.,et al.The Role of Intermediaries in Facilitating Trade[J].Journal of International Economics,2011,84(1).
- [41] Atasoy,B. S.The Determinants of Export Sophistication: Does Digitalization Matter?[J].International Journal of Finance & Economics,2021,26(4).
- [42] Bessen,J.,et alAutomatic Reaction—What Happens to Workers at Firms That Automate?[R].CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis,2019,(390).

- [43] Broda, C., Weinstein, D. E. Globalization and the Gains from Variety[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2006, 121(2).
- [44] De Chaisemartin, C., d'Haultfoeuille, X. Two-way Fixed Effects Estimators with Heterogeneous Treatment Effects[J]. American Economic Review, 2020, 110(9).
- [45] Fan, Z., et al. Cultural Diversity and Export Sophistication[J]. International Review of Economics & Finance, 2018, 58.
- [46] Fan, H., et al. Labor Costs and the Adoption of Robots in China[J]. Journal of Economic Behavior & Organization, 2021, 186.
- [47] Goodman-Bacon, A. Difference-in-Differences With Variation in Treatment Timing[J]. Journal of Econometrics, 2021, 225(2).
- [48] Greenstone, M., et al. Can Technology Solve the Principal-Agent Problem? Evidence from China's War on Air Pollution[J]. American Economic Review: Insights, 2022, 4(1).
- [49] Hausmann, R., et al. What You Export Matters[J]. Journal of Economic Growth, 2007, 12(1).
- [50] Huang, G., et al. Robot Adoption and Energy Performance: Evidence From Chinese Industrial Firms[J]. Energy Economics, 2022, 107.
- [51] Khandelwal, A. K., et al. Trade Liberalization and Embedded Institutional Reform: Evidence From Chinese Exporters[J]. American Economic Review, 2013, 103(6).
- [52] Kočenda, E., Poghosyan, K. Export Sophistication: A Dynamic Panel Data Approach[J]. Emerging Markets Finance and Trade, 2018, 54(12).
- [53] Nguyen, D. X. Trade Liberalization and Export Sophistication in Vietnam[J]. The Journal of International Trade & Economic Development, 2016, 25(8).
- [54] Rehman, F. U., Ding, Y. The Nexus between Outward Foreign Direct Investment and Export Sophistication: New Evidence From China[J]. Applied Economics Letters, 2020, 27(5).
- [55] Su, X., et al. Services Trade Restrictiveness and Manufacturing Export Sophistication[J]. The North American Journal of Economics and Finance, 2020, 51.
- [56] Weldemicael, E. Technology, Trade Costs and Export Sophistication[J]. The World Economy, 2014, 37(1).

Industrial Robot Imports and Firm Export Sophistication

ZUO Ruirui

Abstract: Based on the combined data of China's industrial enterprise database and customs database from 2000 to 2013, this paper studies the impact of imported industrial robots on firm export sophistication. The study finds that the import of industrial robots has significantly increased the export sophistication of Chinese enterprises. This conclusion holds even after using strict- and wide-caliber measurements of robot imports, controlling for time-varying province and industry characteristics, and considering extreme values. The conclusion remains robust after using the lag term and import tariff as instrumental variables and building a multi-period DID model with the first import of industrial robots as exogenous shock to test for endogeneity. Heterogeneity analysis shows that the impact of industrial robot imports is mainly reflected in non-state-owned enterprises, and exists in both large-scale and small-scale enterprises, capital-intensive and labor-intensive industries, and has a greater impact on large enterprises and labor-intensive industries. Improving the productivity of enterprises and promoting R&D innovation is the mechanism by which the import of industrial robots promotes the export sophistication of enterprises. This paper has implications for promoting the high-quality development of foreign trade. On the one hand, the import of high-end industrial robots should be encouraged, and on the other, the domestic R&D investment of industrial robots and the improvement of supporting measures should be increased.

Keywords: export sophistication; industrial robots; productivity; R&D innovation

(责任编辑: 张建华)