

机器人应用能否促进企业出口？

——基于效率和质量双赢的视角

何小钢，郭晓斌，况雅琴

（江西财经大学 应用经济学院，江西 南昌 330013）

摘要：机器人应用能否成为培育对外贸易新动能的推手，对于中国在双循环格局下实现对外贸易高质量发展至关重要。本文基于国际技术贸易理论，在厘清机器人应用影响企业出口内在逻辑的基础上，使用中国工业企业数据库和中国海关数据库的微观数据，采用双重差分倾向得分匹配法实证检验了机器人应用对企业出口的影响及其作用机制。研究发现：机器人应用显著扩大了企业出口规模，这一正向影响在劳动密集型企业中更为显著。机制检验结果显示，机器人应用通过提高生产率和产品质量促进企业出口，实现了效率和质量的双赢。贸易分解结果显示，机器人应用显著提升了企业出口的扩展边际和数量边际，对集约边际和价格边际的影响不显著。进一步分析发现，企业会进口更多种类和更高质量的进口中间品来匹配机器人应用。本文的研究表明，企业通过应用机器人可望实现质量和效率的双赢，推动对外贸易转型升级。

关键词：机器人应用；企业出口；生产率；产品质量

中图分类号：F49；F746 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-176X(2024)04-0057-14

一、问题的提出

随着人口老龄化加剧和劳动力成本攀升，中国制造业的成本优势越来越小，人口红利逐渐消失，导致中国对外贸易的传统竞争优势不断被削弱。更为重要的是，当面临外部冲击时，这种依赖廉价劳动力的贸易模式会表现出极大的脆弱性^[1]。因此，如何在对外贸易中培育新动能是贸易持续发挥经济增长引擎作用的关键^[2]。

以机器人为核心的智能制造正引领新一轮生产变革。中国将智能制造列为实现制造强国目标的五大工程之一，并强调要推动人工智能与实体经济深度融合。作为工业智能化的重要体现，机

收稿日期：2023-12-05

基金项目：国家社会科学基金重点项目“人工智能对制造业转型升级的影响研究”（23AZD085）；国家自然科学基金项目“机器人应用的就业极化与收入极化效应研究：理论机制、实证识别与政策设计”（72373057）；江西省高校人文社会科学重点研究基地项目“信贷规制政策对企业环境绩效的影响研究”（JD23091）

作者简介：何小钢（1978-），男，江西吉安人，教授，博士，博士生导师，主要从事技术创新与企业发展研究。E-mail: nchxg@126.com

郭晓斌（通讯作者）（1996-），男，江西赣州人，博士研究生，主要从事机器人与国际贸易研究。E-mail: 1664945949@qq.com

况雅琴（1998-），女，江西宜春人，硕士研究生，主要从事机器人与企业成长研究。E-mail: 1125923941@qq.com

机器人正成为衡量一国制造水平和核心竞争力的重要标志。根据国际机器人联合会 (International Federation for Robotics, IFR) 的数据, 中国自 2013 年就已经成为全球最大的机器人应用市场, 并连续 7 年占据榜首。截至 2019 年底, 中国机器人产业规模达到 607.6 亿元, 约占世界总规模的 1/3。如此大规模的机器人应用能否帮助中国制造业突破劳动力成本制约、培育贸易新动能, 对于在双循环格局下实现对外贸易高质量发展至关重要。

机器人的大规模应用与贸易的有机融合正成为推动对外贸易高质量发展的重要手段。一方面, 机器人应用减少了劳动力投入, 实现了生产流程的自动化和智能化, 提高了企业生产率^[3], 改变了企业主要依靠劳动力优势参与国际竞争的方式。另一方面, 机器人应用能够提高重复性工作的稳定性和精确性, 减少生产误差, 提升产品质量^[4], 有助于解决出口产品低质低价的问题。因此, 机器人的大规模应用势必会对中国对外贸易格局产生深远影响。

实际上, 近年来已有学者开始关注智能制造对对外贸易的潜在影响。Goldfarb 和 Trefler^[5] 开创性地将智能制造引入对外贸易的分析中。Artuc 等^[6] 则从机器人视角探讨了智能制造对各国贸易模式、工资和福利的影响, 研究发现, 机器人应用不仅促进了国内出口, 而且促进来自发展中国家的进口。在出口贸易方面, Ndubuisi 和 Avenyo^[7] 利用 1993—2015 年 71 个国家的机器人安装数据, 研究发现, 机器人安装量每增加 10 个百分点, 出口贸易增加 0.4 个百分点。在出口产品质量方面, Destefano 和 Timmis^[4] 研究发现, 机器人应用以极低的误差和极高的可靠性完成高质量的生产。Hong 等^[8] 研究发现, 机器人应用与出口产品质量升级之间存在 U 型关系。基于中国情境, 现有文献主要关注机器人应用对出口产品升级^[9]、出口稳定性^[10]、全球价值链分工^[11]、企业出口模式^[12]、出口产品范围^[13] 和出口产品质量^[14] 等方面的影响, 但鲜有文献关注机器人应用对出口规模的影响, 且现有研究均采用国家层面的数据^[15], 缺乏微观企业层面的研究, 也尚未有文献探讨中国情境下机器人应用是否以及如何影响企业出口。

基于此, 本文可能的边际贡献有三点: 第一, 从研究视角上, 本文的研究为中国从人口红利向技术红利转型提供了经验证据, 有利于培育对外贸易新动能。第二, 从影响机制上, 本文研究发现, 机器人应用通过提高生产率和产品质量促进企业出口, 实现了效率和质量的双赢。其中, 在检验质量效应时, 与现有研究采用单位价值法、需求信息回归推断法和供给需求信息加总测算法度量产品质量不同^[16], 本文基于林德假说^[17] 展开研究, 为度量和识别质量效应提供了新思路。^①第三, 从识别策略上, 本文采用政策评估方法量化了机器人应用的贸易效应。本文采用双重差分倾向得分匹配法识别了机器人应用与企业出口之间的因果关系, 并从贸易边际和进口中间品等方面对机器人应用的贸易效应进行了详细解构。此外, 相较于宏观数据的研究, 本文以是否进口机器人作为企业机器人应用的度量指标, 从微观视角考察了机器人应用对企业出口的影响, 在考察特定的影响机制和企业异质性方面具有独特优势。

二、理论分析与研究假设

第四次工业革命在全球范围内的爆发促进了自动化、数字化等新兴技术的发展, 为培育一国对外贸易发展动能、提高全球贸易地位提供了新的技术路径。早期斯密的绝对优势理论、李嘉图的比较优势理论、克鲁格曼的技术差距贸易模型以及最近发展起来的基于企业异质性的新新贸易理论和基于比较优势的多国多行业贸易结构模型^[18-20], 都从理论上强调了技术差异是各国贸易分工和贸易发展的重要驱动因素。机器人应用作为前沿数字技术应用的重要标志, 对于提升一国的对外贸易具有重要作用。机器人应用有助于企业整合其他数字技术, 降低信息处理成本, 实现更精准的客户画像。通过满足细分领域需求, 企业可以提供多样化的本地制造和定制服务, 从而

^① 林德假说认为, 富裕的消费者通常更愿意为产品质量付费。因此, 高质量产品更有可能进入富裕国家的市场。

拓展出口市场,实现出口规模的扩大。此外,机器人应用实现了生产流程的自动化和智能化,通过提高生产率和产品质量促进企业出口。基于此,本文提出如下假设:

假设1:机器人应用可以促进企业出口。

一方面,机器人应用作为一种通用技术,已成为当今企业生产过程中不可或缺的重要组成部分,对生产率有着重要影响。首先,机器人应用的资本要素价格低于劳动要素价格,企业可以用其替代低技能劳动力,通过减少投入数量和提高产出来提高生产率^[3],还可以通过提高生产速度 and 操作精确度来提高生产率。其次,机器人应用不仅会影响资本和劳动力之间的分配,还会影响劳动力结构。在这个过程中,机器人应用可以促使劳动力向更高的就业技能结构调整^[21],有效推动高技能劳动力与机器人的有机融合,进一步实现生产率的提升。再次,机器人应用还可以通过整合传统生产要素、提高要素质量和配置效率来提高生产率。最后,机器人应用有效地降低了企业的生产成本、运营成本和管理成本,促进企业增加创新投入,进而提高生产率^[13]。另一方面,在Melitz^[19]的企业异质性模型中,企业是否参与对外贸易因生产率而异,只有生产率更高的企业才会自我选择进入出口市场,而生产率较低的企业只能供应国内市场或者停止生产。这主要是因为生产率较高的企业往往是边际成本较低的企业,其可以克服出口市场的沉没成本,通过自我选择效应进入国际市场。综上所述,机器人应用可以提高企业的生产率,而生产率的提高最终成为企业在国内外可持续竞争优势的主要来源,从而促进企业出口。基于此,本文提出如下假设:

假设2a:机器人应用可以通过提高生产率来促进企业出口。

一方面,机器人应用可以提高产品质量。机器人应用不仅可以实现生产过程的标准化,还可以提高重复性工作的精准度,以极低的误差和极高的稳定性完成高质量的生产^[4]。例如,许多机器人被配备更高精度的传感器,从而更准确地判断产品质量是否合格,减少缺陷产品的数量。进一步地,机器人应用作为一种技能偏向性技术进步,不仅可以实现对低技能劳动力的替代^[22],还可以提高生产环节的精确度,兼顾效率与质量。此外,机器人应用通常需要较长的运行时间,这意味着生产过程中使用的中间品要有更高的质量才能实现连续生产。中间品投入可以通过中间产品质量效应、技术溢出效应和产品种类效应来提高产品质量^[23]。另一方面,生产高质量产品往往是一项艰巨的任务,这也是企业参与全球价值链和向发达经济体出口的先决条件。生产高质量产品的企业拥有更高的生产率和企业加成率,这将提高出口竞争力并扩大出口规模。基于此,本文提出如下假设:

假设2b:机器人应用可以通过提高产品质量来促进企业出口。

三、研究设计

(一) 数据来源

本文所使用的数据主要来自2000—2013年中国工业企业数据库和中国海关数据库。中国工业企业数据库覆盖了所有国有企业和规模以上的非国有企业,包含有关企业特征的基本信息(例如,企业名称、所有权、政府附属级别等)以及来自企业资产负债表、损益表和现金流量表的财务信息(例如,债务、中间投入值、产出、税等)。中国海关数据库涵盖了企业所有月度进出口交易数据,并包含每家企业在HS八位码产品层面上每笔交易的价值、数量、价格以及来源国信息。本文借鉴田巍和余森杰^[24]的做法,分两步将中国海关数据库与中国工业企业数据库进行匹配。首先,根据企业名称和年份进行匹配。其次,使用企业的邮政编码和企业电话号码的后七位匹配第一步中未匹配到的研究样本。本文进一步删除了关键变量缺失的研究样本,最终得到了573 956个样本。

(二) 变量定义

1. 被解释变量

本文的被解释变量为企业出口 ($\ln\text{export}$), 采用中国海关数据库提供的企业出口额取自然对数度量。此外, 为避免测量误差的影响, 本文还使用中国工业企业数据库中的出口交货值作为企业出口的度量指标进行稳健性检验。

2. 解释变量

本文的解释变量为机器人应用 (robot)。本文借鉴何小钢等^[25]的做法, 采用海关贸易数据的HS八位码计算企业进口机器人数据,^①通过将企业在同一年进口机器人的每笔交易数据相加, 最终获得该企业进口机器人数量和金额。若企业在样本期间进口过机器人则视为处理组, 且观测时间在首次进口机器人的当年及以后, 机器人应用取值为1,^②否则为0。考虑到不同企业在机器人进口数量和金额上存在差异, 本文将解释变量替换为机器人进口数量的自然对数 ($\ln\text{robot_q}$) 和机器人进口金额的自然对数 ($\ln\text{robot_p}$) 进行稳健性分析。本文使用海关贸易数据度量机器人应用的原因在于: IFR公布的数据表明, 在2013年以前, 中国70%以上的机器人都是从日本、欧洲和北美进口^[25]。2000—2013年, 本文使用中国海关数据计算的中国机器人存量和IFR数据的增长趋势和幅度几乎一致, 但从2014年开始, IFR统计的中国机器人存量开始超过机器人进口存量, 这反映出中国国产机器人产量的增长。以上事实不仅说明本文利用中国海关数据库中的进口机器人数据度量机器人应用是合理的^[26], 而且解释了本文为何使用2013年之前的数据。

3. 机制变量

(1) 生产率 ($\ln p$)。本文分别采用劳动生产率 ($\ln\text{lp1}$) 和全要素生产率 ($\ln p2$) 进行度量。其中, 劳动生产率采用工业总产值除以从业人数的自然对数度量, 全要素生产率采用LP法进行度量。^③ (2) 产品质量 (quality)。根据林德假说, 富裕的消费者通常更愿意为产品质量付费, 高质量产品更有可能进入富裕国家的市场, 采用企业出口的每种产品进入八国集团 (G8) 数量的自然对数 ($\ln\text{quality1}$) 和金额的自然对数 ($\ln\text{quality2}$) 以及进入经合组织国家 (OECD) 数量的自然对数 ($\ln\text{quality3}$) 和金额的自然对数 ($\ln\text{quality4}$) 度量产品质量。如果机器人应用可以提高产品质量, 本文预计企业生产的每产品更多地出口到更富裕国家的市场。

4. 控制变量

(1) 劳动生产率 ($\ln\text{lp1}$), 度量方式同前文。(2) 企业规模 ($\ln\text{employ}$), 采用企业全年平均从业人数的自然对数度量。(3) 企业年龄 ($\ln\text{age}$), 采用调查年份与企业登记注册年份差值的自然对数度量。(4) 资本密集度 ($\ln\text{asset}$), 采用固定资产与企业全年平均从业人数比值的自然对数度量。(5) 融资能力 ($\ln\text{finance}$), 采用利息支出与主营业务产品销售收入比值加1的自然对数度量。(6) 所有权类型, 采用是否国有企业 (nature) 和是否外资企业 (foreign) 度量。

(三) 模型设定

本文主要考察机器人应用对企业出口的影响。一般地, 企业是否进口机器人可被视为自然实验或准自然实验, 那么本文可以通过比较进口机器人企业和未进口机器人企业来直接研究机器人应用对企业出口的影响, 但企业是否进口机器人会受到自身特征的影响, 是一种非随机、自选择的行为^[25]。例如, 规模越大和劳动生产率越高的企业越倾向于进口机器人以实现生产流程的自动化和智能化。与此同时, 规模越大和劳动生产率越高的企业出口规模越大。因此, 进口机器人企业和未进口机器人在出口上的差异可能是由其自身特征而产生的, 若将非随机的样本进行

① 具体识别方法为: 根据HS八位码进口信息和《2007年海关统计商品分类与投入产出部门分类对照表》进行分析, 符合IFR关于工业机器人定义的只有84795010 (多功能工业机器人)、84795090 (多功能工业机器人除外的其他工业机器人) 以及84864031 (IC工厂专用的自动搬运机器人)。

② 这是因为机器人属于固定资产, 且样本的时间跨度为13年, 因而本文假设企业在生产中首次使用机器人后会一直使用。

③ 鉴于2007年以后中国工业企业数据库中间品投入等指标缺失, 为避免估算带来的偏差, 此处仅使用2000—2007年的样本。

估计将产生由自选择偏差引致的内生性问题。为了缓解这一问题，本文首先采用倾向得分匹配法（PSM）寻找与进口机器人企业近似的对照组，然后结合双重差分法（DID）估计机器人应用对企业出口的影响。

本文借鉴李兵和李柔^[27]的做法，选取劳动生产率、企业规模、企业年龄、资本密集度、融资能力、是否国有企业和是否外资企业作为协变量。考虑到企业进口机器人的年份不同，因而与传统PSM不同的是，本文对样本进行逐年匹配。首先，通过Logit回归，在各年子样本中分别估计出进口机器人企业（处理组）和未进口机器人企业（对照组）的概率值，即倾向得分值。其次，根据倾向得分值，在“共同支撑”条件下采用1:3最近邻匹配方法进行匹配。最后，保留并汇总各年匹配成功的样本。

为了考察机器人应用对企业出口的影响，本文基于上述匹配成功的样本，构建如下基准模型：

$$\ln export_{ijt} = \alpha_0 + \alpha_1 robot_{ijt} + \alpha_2 X_{ijt} + \gamma_i + \delta_j + \varepsilon_p + \vartheta_t + \mu_{ijt} \quad (1)$$

其中，下标*i*、*j*、*p*和*t*分别表示企业、行业、地区和年份。*ln export*表示企业出口；*robot*表示机器人应用；*X*表示一系列控制变量的集合，用于控制随时间变化的企业特征。 γ_i 表示企业固定效应， δ_j 表示行业固定效应， ε_p 表示地区固定效应， ϑ_t 表示年份固定效应， μ_{ijt} 表示误差项。

为进一步考察机器人应用对企业出口的作用机制，本文构建如下回归模型：

$$mod_{ijt} = \lambda_0 + \lambda_1 robot_{ijt} + \lambda_2 X_{ijt} + \gamma_i + \delta_j + \varepsilon_p + \vartheta_t + \mu_{ijt} \quad (2)$$

其中，*mod*表示中介变量，分别表示生产率（*lp*）和产品质量（*quality*）。如果 λ_1 符合预期且显著，则说明存在中介效应，即机器人应用可以通过提高生产率和产品质量促进企业出口。其他变量定义同式（1）。

（四）描述性统计

本文从进口机器人企业和未进口机器人企业差异性角度，报告了主要变量的描述性统计结果，如表1所示。（1）规模越大、劳动生产率越高的企业越倾向于进口机器人以实现生产流程的自动化和智能化，若基于全样本进行估计将产生内生性问题。（2）直观上可以判断进口机器人会促进企业出口。当然，更为严谨的判断依赖于进一步的回归分析。

表1 主要变量的描述性统计结果

变量	符号	进口机器人企业		未进口机器人企业		差值	t统计量
		观测值	均值	观测值	均值		
企业出口	lnexport	9 949	15.304	564 007	14.104	-1.200	-57.470***
生产率	lnlp1	9 949	5.923	564 007	5.506	-0.417	-39.939***
	lp2	4 163	7.455	236 000	7.112	-0.343	-12.812***
产品质量	lnquality1	143 075	1.040	7 967 820	0.981	-0.059	-8.416***
	lnquality2	143 075	1.588	7 967 820	1.493	-0.095	-9.328***
	lnquality3	143 075	2.682	7 967 820	2.594	-0.088	-7.921***
	lnquality4	143 075	3.552	7 967 820	3.475	-0.077	-8.419***
企业规模	lnemploy	9 949	6.621	564 007	5.429	-1.193	-87.180***
企业年龄	lnage	9 949	2.260	564 007	2.128	-0.132	-19.894***
资本密集度	lnasset	9 949	4.569	564 007	3.674	-0.894	-66.520***
融资能力	lnfinance	9 949	0.006	564 007	0.011	0.004	16.472***
是否国有企业	nature	9 949	0.014	564 007	0.024	0.011	6.799***
是否外资企业	foreige	9 949	0.639	564 007	0.323	-0.316	-66.875***

注：***代表在1%的水平上显著，均值差异的显著性检验通过两组样本t检验得到。

四、实证结果与分析

(一) 样本匹配效果

在基准回归前, 本文先对各年倾向得分匹配平衡性假设进行检验, 结果如表2所示。相比匹配前, 匹配后的处理组和对照组在劳动生产率、企业规模、企业年龄、资本密集度、融资能力、是否国有企业和是否外资企业间的差异大幅下降, 所有匹配变量的标准偏差的绝对值都小于10%, 这说明处理组和对照组之间的协变量不存在系统性差异, 通过了平衡性检验。这也进一步证明了本文采用PSM-DID方法进行实证分析的可靠性和合理性。

表2 倾向得分匹配平衡性检验结果

变 量	平衡性检验						
	样 本	均 值		标准偏差 (%)	标准偏差 降低程度 (%)	t 检验	
		处理组	对照组			t 统计量	伴随概率
lnlp1	匹配前	5.914	5.513	40.012	97.567	13.981	0
	匹配后	5.914	5.903	1.010		0.232	0.821
lnemploy	匹配前	6.545	5.181	114.407	95.721	41.983	0
	匹配后	6.541	6.482	4.912		1.124	0.261
lnage	匹配前	2.088	1.983	16.422	80.125	5.216	0
	匹配后	2.087	2.067	3.323		0.806	0.424
lnasset	匹配前	4.651	3.698	82.507	95.349	25.916	0
	匹配后	4.652	4.697	-3.909		-0.928	0.359
lnfinance	匹配前	0.006	0.009	-13.607	73.445	-4.377	0
	匹配后	0.006	0.007	-3.606		-0.944	0.345
nature	匹配前	0.016	0.015	0	-132.947	0.025	0.987
	匹配后	0.015	0.016	-0.762		-0.164	0.872
foreige	匹配前	0.879	0.454	101.221	96.223	29.492	0
	匹配后	0.879	0.895	-3.823		-1.251	0.212

(二) 基准回归分析

表3报告了机器人应用对企业出口的基准回归结果。列(1)至列(3)是基于全样本的回归结果, 列(4)至列(6)是基于倾向得分匹配后样本的回归结果。列(1)和列(4)控制了企业和年份固定效应; 列(2)和列(5)进一步加入了企业层面的控制变量; 列(3)和列(6)同时控制了控制变量、企业、年份、地区和行业固定效应。估计结果显示, 列(1)至列(6)的回归系数均为正, 且均在1%的水平上显著, 说明机器人应用促进了企业出口。具体来说, 在全样本回归中, 机器人应用的回归系数为0.151, 且在1%的水平上显著, 说明相比于未进口机器人企业, 进口机器人企业的平均出口额要高15.1%。在倾向得分匹配后样本中, 机器人应用的回归系数为0.118, 且在1%的水平上显著, 说明相比于未进口机器人企业, 进口机器人企业的平均出口额要高11.8%。以上结果表明, 在解决企业自选择问题后, 机器人应用仍然显著地促进了企业出口。基于此, 本文的假设1得以验证。这也与Artuc等^[6]的观点一致, 即机器人应用可能对出口贸易产生颠覆性的影响, 是推动出口贸易的新引擎。

表3中控制变量的回归系数也符合预期。例如, 劳动生产率对企业出口有显著的正向影响, 这与异质企业贸易理论一致。企业规模对企业出口有显著的正向影响, 这与异质性企业贸易理论和以克鲁格曼为代表的规模经济驱动出口的新贸易理论一致。企业年龄对企业出口有显著的正向影响, 说明随着企业年龄的增长, 其生产规模扩大, 管理方式更加成熟, 更有可能扩大企业出口

规模。国有企业对企业出口有显著的负向影响,说明在利润最大化的目标下,非国有企业相较于国有企业,更有动力应用机器人提高生产率和提升产品质量,进而促进出口。

表3 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	全样本			倾向得分匹配后的样本		
robot	0.308*** (6.610)	0.156*** (3.629)	0.151*** (3.528)	0.317*** (6.603)	0.117*** (2.645)	0.118*** (2.663)
lnlp1		0.502*** (89.609)	0.502*** (89.807)		0.523*** (19.691)	0.520*** (19.623)
lnemploy		0.728*** (109.990)	0.728*** (110.239)		0.769*** (23.010)	0.764*** (22.941)
lnage		0.109*** (11.736)	0.109*** (11.794)		0.216*** (3.547)	0.220*** (3.616)
lnasset		0.059*** (16.419)	0.060*** (16.516)		0.120*** (5.148)	0.117*** (5.038)
lnfinance		-0.234* (-1.888)	-0.234* (-1.894)		-1.269* (-1.947)	-1.243* (-1.902)
nature		-0.119*** (-4.054)	-0.117*** (-3.980)		-0.454** (-2.456)	-0.474** (-2.574)
foreign		0.093*** (13.951)	0.092*** (13.735)		0.023 (0.467)	0.025 (0.511)
企业/年份FE	控制	控制	控制	控制	控制	控制
地区/行业FE	不控制	不控制	控制	不控制	不控制	控制
观测值	573 956	573 956	573 956	29 304	29 304	29 304
R ²	0.793	0.811	0.811	0.830	0.845	0.846

注:***、**和*分别代表在1%、5%和10%的水平上显著,括号中为聚类到企业层面上计算的t值。下表同。

(三) 平行趋势检验^①

为了检验双重差分法的共同趋势,本文借鉴曹清峰^[28]的做法,利用事件分析法分析机器人应用对企业出口的动态效应,本文构建模型如下:

$$\ln\text{export}_{ijt} = \rho_0 + \beta_n \sum_{n=-5, n \neq -1}^5 \text{robot}_{ijt}^n + \rho_1 X_{ijt} + \gamma_i + \delta_j + \varepsilon_p + \vartheta_t + \mu_{ijt} \quad (3)$$

其中,robot_{ijt}ⁿ表示企业是否进口机器人的虚拟变量,假定i企业开始采用机器人的年份为y_i,令n = y - y_i;当n < -5时,robot_{ijt}⁻⁵=1,否则为0;以此类推,当n = -4, -3, ..., 3, 4时,robot_{ijt}ⁿ = 1,否则为0;当n > 5时,robot_{ijt}⁻⁵=1,否则为0。在具体的回归中,本文以n = -1为基准年。通过比较式(3)中系数β_n的经济和统计显著性就可以考察机器人应用对企业出口的动态效应。平行趋势结果显示,在匹配后的样本中,系数β_n在企业开始进口机器人之前都不显著(95%的置信区间跟0水平线有交点),这说明开始应用机器人企业与未应用机器人企业在出口额上不存在显著的事前差异,满足平行趋势假设。企业在机器人应用当年并没有实现出口贸易的增长,这意味着机器人应用的贸易效应存在时滞性。进一步地,随着时间的推移,机器人应用对企业出口的影响经历一个先增后减的过程,并在机器人应用后的第三年达到最高值。

(四) 内生性检验^②

PSM-DID可以解决自选择偏误带来的内生性问题。囿于数据的可得性,虽然本文在基准回归

① 平行趋势检验结果未在正文中列出,留存备案。

② 内生性检验结果未在正文中列出,留存备案。

中控制了一些影响企业出口的重要变量,但仍会遗漏一些不可观测或难以度量的变量,这可能导致遗漏变量引起的内生性问题,因而本文采取工具变量法进行处理。本文借鉴Kugler等^[29]、陈媛媛等^[30]的做法,使用韩国、德国、荷兰、美国和葡萄牙五个国家同期同行业机器人渗透率(robot_iv)作为本文的工具变量。首先,这五个国家均是智能制造领域的科技前沿国家,在行业层面机器人渗透率的分布和变化趋势与中国相似,从而满足相关性条件。其次,这五个同领域科技前沿国家的机器人渗透率不会对当前的中国企业出口产生直接影响,满足外生性条件。工具变量的两阶段最小二乘法回归结果中,第一阶段回归结果显示,五个同领域科技前沿国家的机器人渗透率越高,中国企业应用机器人的可能性越大。第二阶段的回归结果显示,在通过工具变量缓解内生性问题后,机器人应用的系数仍为正,且在1%的水平上显著。此外,工具变量检验方面,F统计量为137.269,远大于10%扭曲下对应的临界值16.380,说明不存在弱工具变量问题。Kleibergen-Paap rk LM统计量为126.808,在1%的水平上拒绝了“工具变量不可识别”的原假设。

(五) 稳健性检验^①

1. 变换匹配方法

马氏距离匹配(Mahalanobis Distance Matching, MDM)是通过计算处理组和对照组之间的马氏距离的大小进行匹配,距离最小的一个或几个对照组被匹配为处理组的“反事实”,其最大的优点就是考虑了协变量之间的相关性,消除了量纲的影响。因此,本文用马氏距离匹配代替倾向得分匹配。结果表明,在更换匹配方法后,机器人应用仍然对企业出口有正向的影响,说明本文的基准回归结果是稳健的。

2. 更换匹配比例

倾向得分匹配方法的匹配比例会影响匹配后的样本量,进而影响估计结果。本文将匹配比例换成1:2,估计结果显示,在更换匹配比例后,本文的基准回归结果依然稳健。

3. 变换处理组与对照组

一些企业不仅会进口机器人,还会进口其他类型的资本品。^②现有研究发现,进口其他资本品也会引致出口^[31],这将干扰机器人应用出口效应的识别。为了解决这一问题,本文将同时进口机器人和其他资本品的企业视为处理组,将未进口机器人且进口其他资本品的企业视为对照组。估计结果显示,在变换处理组与对照组后,核心解释变量的系数依然为正,且在5%的水平上显著,说明本文的基准回归结果是稳健的。

4. 替换变量

为了消除变量度量误差对估计结果的影响,本文将核心被解释变量替换为出口交货值,估计结果显示,核心解释变量的系数依然为正,且在1%的水平上显著。另外,本文还将核心解释变量替换为机器人进口数量自然对数(lnrobot_q)和机器人进口金额(lnrobot_p)自然对数进行回归。其中,机器人进口金额以5%的年折旧率进行折旧。回归结果表明,机器人进口数量自然对数和机器人进口金额自然对数的系数均为正,且在1%的水平上显著,说明本文的基准回归结果是稳健的。

5. 排除进口中间品的影响

一些企业不仅会进口机器人,还会进口中间品。康志勇^[32]研究发现,进口中间品会引致企业出口。如果不排除中间品的影响,则会高估机器人应用对企业出口的影响。为了排除这一影响,本文进一步将进口中间品金额的自然对数(lninterme)加入基准回归中重新进行估计。回归

^① 稳健性检验结果未在正文中列出,留存备案。

^② BEC(Broad Economic Classification)将进口产品种类分为消费品、资本品和中间品。根据BEC的标准,本文进一步将企业的进口资本品分为进口机器人和其他进口资本品。

结果显示,机器人应用仍然对企业出口有正向的影响,说明本文的基准回归结果是稳健的。

6.排除机器人贸易中介企业的影响

本文在度量机器人进口企业时,可能存在一些机器人贸易中介企业,这将低估机器人应用对企业出口的影响。这是因为这些企业进口机器人并不是为了生产使用,而是作为中间投入或用于研发后出售。为了排除贸易中介企业对本文结果产生影响,本文借鉴Fan等^[26]的做法,检索企业名称中包含“贸易”“机器”的企业,并将这类企业删除后重新进行估计。结果表明,本文的基准回归结果依然稳健。

7.控制WTO的影响

中国在2001年12月正式加入WTO,促进中国出口迅速增长,但很少有人注意到的事实是,中国的进口增速与出口增速几乎持平。由于关税的降低和一些贸易壁垒的消除,进口品的价格降低,企业为了应对激烈的国际市场竞争,会通过进口机器人以维持竞争地位。为了排除中国加入WTO对本文结果产生影响,本文借鉴何小钢等^[25]的做法,在基准回归中进一步控制四位码行业与2002年虚拟变量^①的交互项。回归结果显示,本文的基准回归结果依然稳健。

(六) 异质性分析

随着人口老龄化加剧和劳动力成本攀升,中国制造业的成本优势越来越小^[1]。当面临劳动力成本上升的压力时,劳动密集型企业可能受到的影响更大^[3]。因此,与非劳动密集型企业相比,劳动密集型企业更有动力应用机器人来降低劳动成本,从而实现生产过程的自动化,因而机器人应用对出口的影响可能在劳动密集型企业中更为显著。为此,本文按劳动密集度^②的中位数将样本分为劳动密集型企业和非劳动密集型企业。企业劳动密集度异质性回归结果如表4所示,机器人应用对劳动密集型企业出口有显著的促进作用,而对非劳动密集型企业影响不显著。可能的原因在于,非劳动密集型企业产品的技术含量相对较高,所需的高技能劳动力无法被机器人替代,弱化了效率效应和质量效应,因而对企业出口的促进作用不显著。相反,劳动密集型企业的产品技术含量相对较低,所需的低技能劳动力可以被机器人替代^[24],劳动密集型企业更有动力应用机器人提高生产率和产品质量。这一结果也在中国人口红利逐渐消失的背景下给予企业一个积极的信号,即机器人应用可以克服劳动力成本的制约,成为企业培育对外贸易新动能。

表4 企业劳动密集度异质性回归结果

变 量	(1)	(2)
	劳动密集型企业	非劳动密集型企业
robot	0.158*** (2.989)	0.082 (1.149)
控制变量	控制	控制
企业/年份/地区/行业FE	控制	控制
观测值	14 655	14 649
R ²	0.863	0.835

五、机制分析与进一步分析

(一) 机制分析

上述分析表明机器人应用能促进企业出口。那么,进一步的问题是:机器人应用是通过何种机制促进企业出口?鉴于此,本文根据前文的理论分析,从效率和质量两个方面分别进行检验。

表5列(1)和列(2)报告了机器人应用对生产率的回归结果,机器人应用的系数分别为

① 中国虽然于2001年12月加入WTO,但关税大幅下降的时间却在2002年。

② 本文以支付给职工以及为职工支付现金的自然对数与销售收入的自然对数之比衡量劳动密集度,该数值越高,说明企业的劳动密集度越高。

0.048和0.039,且分别在1%和5%的水平上显著,说明机器人应用能提高劳动生产率和全要素生产率,以效率提升的方式促进企业出口。基于此,本文的假设2a得以验证。

表5列(3)至列(6)报告了机器人应用对产品质量的回归结果。在列(3)和列(4)中,被解释变量分别是企业出口的每种产品进入G8和OECD数量的自然对数,在列(5)和列(6)中,被解释变量分别是企业出口的每种产品进入G8和OECD出口额的自然对数。回归结果显示,在列(3)和列(4)中,机器人应用的回归系数分别为0.019和0.026,且分别在10%和5%的水平上显著,说明机器人应用使企业的产品进入了更多的富裕国家市场。在列(5)和列(6)中,机器人应用的回归系数分别为0.043和0.052,且均在5%的水平上显著,说明机器人应用企业也从富裕国家的市场中获得了更高的收入。以上分析表明,机器人应用能提高产品质量,以质量提升的方式促进企业出口。基于此,本文的假设2b得以验证。

表5 机制分析回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	劳动生产率	全要素生产率	出口数量(G8)	出口数量(OECD)	出口额(G8)	出口额(OECD)
robot	0.048*** (2.728)	0.039** (2.056)	0.019* (1.897)	0.026** (2.124)	0.043** (1.980)	0.052** (2.264)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业FE	控制	控制	不控制	不控制	不控制	不控制
企业—产品FE	不控制	不控制	控制	控制	控制	控制
年份/地区/行业FE	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	29 304	13596	218 520	218 520	218 520	218 520
R ²	0.898	0.663	0.815	0.827	0.815	0.814

注:列(3)至列(6)括号中为聚类到企业—产品层面上计算的t值。

(二) 进一步分析

1. 贸易边际分析

机器人应用能提高生产率,增加企业利润,激励企业出口更多种类的产品^[13],从而对企业出口二元边际产生重要的影响。为此,本文进一步考察机器人应用对企业出口二元边际的影响。现有文献关于企业出口二元边际定义及估算主要从国家、企业和产品三个维度展开^[30]。本文借鉴施炳展^[33]的做法,从产品层面对企业出口二元边际进行度量,将扩展边际定义为企业出口产品种类的自然对数,将集约边际定义为企业出口产品种类平均出口额的自然对数。^①表6列(1)和列(2)估计结果显示,从扩展边际看,机器人应用的回归系数为0.112,且在1%的水平上显著,说明机器人应用丰富了企业出口产品的种类,优化了企业的扩展边际。从集约边际看,机器人应用的回归系数不显著,其绝对值也远远小于扩展边际下的系数,这一结论与互联网技术对企业出口二元边际的作用相似^[27]。这些结果表明,机器人应用对企业出口的拉动作用主要源于扩展边际而非集约边际。可能的原因在于,一方面,机器人应用可以提高生产率,增加企业利润,激励企业生产更多种类的产品。另一方面,工业流程的自动化可以增加生产的灵活性,降低生产不同产品的成本,丰富企业出口产品的种类,但由于新增出口产品种类的出口额不一定可以达到已有产品类别的同等出口额水平,因而企业出口中产品类别的平均出口额不一定会增加,这使机器人应用对集约边际的影响不显著。

此外,本文借鉴马述忠和郭继文^[34]的做法,从数量边际和价格边际角度对企业出口进行分

① 本文还将扩展边际定义为企业出口国家的数量和产品—国家关系对数量的自然对数,将集约边际定义为出口中国家平均出口额的自然对数和产品—国家关系对平均出口额的自然对数,回归结果与表6列(1)和列(2)相似。

解。本文将数量边际定义为企业出口产品数量的自然对数，将价格边际定义为企业平均每笔订单金额的自然对数。回归结果如表6列（3）和列（4）所示，在数量边际下，机器人应用的回归系数为0.127，且在5%的水平上显著，但在价格边际下，回归系数不显著，且价格边际下的回归系数远远小于数量边际下的回归系数。这些结果表明，机器人应用对企业的出口数量有显著的正向影响，但对企业的出口价格未产生显著影响。可能的原因在于，机器人应用的生产率效应降低了企业出口价格，而机器人应用的产品质量效应则提高了企业出口价格，两者效应相互抵消，因而本文并未观测到机器人应用对企业价格边际有显著的影响。

2. 机器人应用与中间投入之间的互补性

根据理论分析，企业在应用机器人时通常需要较长的运行时间，这意味着生产过程中需要投入更高质量的中间品才能实现连续生产。本文进一步考察企业是否会进口更多种类和更高质量的中间品来补充机器人应用，回归结果如表6列（5）至列（7）所示。列（5）中的被解释变量为企业进口中间品种类的自然对数，机器人应用的回归系数为0.088，且在1%的水平上显著，说明机器人应用能带动企业进口中间品种类的增加。列（6）和列（7）报告了中间品投入质量的估计值，本文借鉴Goldberg等^[35]的做法，本文采用从G8和OECD国家进口中间品金额的自然对数作为中间品投入质量的代理变量。因为较富裕国家在生产高质量产品方面具有比较优势，因而从这些国家进口的中间品往往质量更高。结果显示，机器人应用的回归系数分别为0.413和0.555，且均在1%的水平上显著，说明机器人应用企业更多地从G8和OECD国家进口中间品。综上所述，表5和表6的回归结果基本一致，企业进口更多种类和更高质量的中间品来补充机器人应用，使其能提高生产率和产品质量，从而向较富裕国家市场出口更多产品。

表6 进一步分析回归结果

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	扩展边际	集约边际	数量边际	价格边际	中间品 产品种类	中间品 进口额 (G8)	中间品 进口额 (OECD)
robot	0.112*** (4.627)	0.006 (0.142)	0.127** (2.276)	-0.009 (-0.208)	0.088*** (6.182)	0.413*** (4.951)	0.555*** (6.064)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
企业/年份/地区/行业 FE	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	29 304	29 304	29 304	29 304	29 304	29 304	29 304
R ²	0.814	0.820	0.850	0.824	0.896	0.856	0.849

六、研究结论与政策建议

近年来，随着劳动力成本的上升，中国的人口红利逐渐消失，传统的贸易竞争优势逐渐减弱，寻求新的竞争优势成为培育贸易新动能的关键。机器人应用减少了劳动力投入，实现了生产流程的自动化和智能化，提高了生产率，增强了出口竞争力。同时，机器人应用还能提高产品质量，有助于解决出口产品低质低价的问题。因此，机器人的大规模应用势必会对中国贸易格局产生深远影响。

在此背景下，本文试图从机器人应用这一新技术的视角为稳外贸找到新的竞争优势。本文基于2000—2013年中国工业企业数据库和中国海关数据库的微观数据，采用双重差分倾向得分匹配法考察了机器人应用对企业出口的影响及其作用机制。研究结果表明，相比于未进口机器人企业，进口机器人企业的平均出口额要高11.8%，且这种效应在劳动密集型企业中更为显著，这一结论在经过变换匹配方法、更换匹配比例、变换处理组与对照组、替换变量、排除进口中间品

的影响、排除机器人贸易中介企业的影响、控制WTO的影响等检验后依然稳健。机制分析发现,机器人应用不仅提高了生产率,还提升了产品质量,可以实现效率和质量双赢。同时,企业还会进口更多种类和更高质量的中间品来补充机器人应用。在贸易边际方面,机器人应用显著提升了企业出口的扩展边际和数量边际,对集约边际和价格边际的影响不显著。根据上述研究结论,本文提出如下政策建议:

其一,抓住人工智能发展的重要战略机遇,推动人工智能基础设施建设。人工智能是新科技革命和产业变革的主要驱动力,具有引领效应,有助于推动经济社会向智能化方向发展,引发连锁反应,激发各个领域对智能化的需求。中国需要关注人工智能发展的新趋势和新需求,充分利用智能化场景优势,加强人工智能技术在机器学习、计算机视觉、图像处理和模式识别等方面的应用。同时,还要推进人工智能算力基础设施建设,通过设立国家级人工智能基础研究项目等方式,主攻关键核心技术,加快建立新一代人工智能关键共性技术体系,未雨绸缪地布局智能基础设施,构建数实相融的智能底座^[36]。

其二,推动机器人应用,提升制造业智能化水平,开辟新的出口贸易增长点。本文发现,机器人应用能促进企业出口。中国虽然自2013年就已经成为全球最大的机器人应用市场,但其机器人渗透率远远低于日本、美国等国家。这表明中国机器人市场仍有很大的增长空间。因此,中国应积极宣传企业在生产中应用机器人的优势,给予企业优先的金融服务,为其引进机器人技术提供金融支持,率先推动具备条件的企业应用机器人进行智能化转型升级。政府应及时颁布支持企业智能化改造的配套政策,大力增加对智能化转型企业的财政支持和税收优惠力度,以助力企业实现智能化生产,实现从“中国制造”向“中国智造”的转型升级。

其三,重视机器人技术的应用和研发,通过生产流程自动化和智能化重塑贸易竞争力。本文发现机器人应用不仅有助于提高生产率,还有利于提升产品质量,从而推动新产品出口和拓展新市场。企业应积极参与以机器人为核心的智能基础设施建设,打破传统封闭式作业流程,提升传统产业发展和空间,引领制造业智能化发展。引进更多种类和更高质量的进口中间品,最大限度地发挥机器人应用的生产率效应和产品质量效应,解决劳动力成本上升和产品低质低价导致的对外贸易瓶颈,扩大出口规模和丰富出口产品种类,为中国出口结构转型升级增添动力。

其四,充分考虑企业间差异,因地制宜、因企施策地推广机器人应用。本文发现,机器人应用对中国企业出口的促进作用主要集中在劳动密集型企业。因此,政府可以针对这类企业积极宣传机器人应用在对外贸易中的优势,并考虑尽早推广机器人应用,以扩大出口规模,实现更加稳定和持续的出口增长。对于非劳动密集型企业,政府应提升资金和政策支持力度,提高机器人渗透率,使这些企业也能跟上机器人发展的步伐,从而最大程度地促进对外贸易高质量发展。

参考文献:

- [1] 刘斌,王乃嘉.制造业投入服务化与企业出口的二元边际——基于中国微观企业数据的经验研究[J].中国工业经济,2016(9):59-74.
- [2] 李嘉楠,孙浦阳,唐爱迪.贸易成本、市场整合与生产专业化——基于商品微观价格数据的验证[J].管理世界,2019,35(8):30-43.
- [3] 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.
- [4] DESTEFANO T, TIMMIS J D. Robots and export quality[R]. Policy Research Working Paper No. 9678, 2021.
- [5] GOLDFARB A, TREFLER D. AI and international trade[R]. National Bureau of Economic Research No. w24254, 2018.
- [6] ARTUC E, BASTOS P, RIJKERS B. Robots, tasks and trade[J]. Development research, 2018, 43(3):737-760.
- [7] NDUBUISI G, AVENYO E. Estimating the effects of robotization on exports[R]. United Nations University

- Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology No. 2018046, 2018.
- [8] HONG L, LIU X, ZHAN H, et al. Use of industrial robots and Chinese enterprises' export quality upgrading: evidence from China[J]. *The journal of international trade & economic development*, 2022, 29(6): 1-16.
- [9] 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.
- [10] 金祥义, 张文菲. 人工智能发展与出口持续时间: 稳出口效应存在吗[J]. *世界经济研究*, 2023(4): 3-17.
- [11] 黄亮雄, 林子月, 王贤彬. 工业机器人应用与全球价值链重构——基于出口产品议价能力的视角[J]. *中国工业经济*, 2023(2): 74-92.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 宜红, 顾丽华. 智能制造对出口的影响——基于工业机器人的经验证据[J]. *国际经贸探索*, 2022, 38(4): 4-21.
- [16] 余森杰, 张睿. 中国制造业出口质量的准确衡量: 挑战与解决方法[J]. *经济学(季刊)*, 2017, 16(2): 463-484.
- [17] LINDER S B. An essay on trade and transformation[M]. Stockholm: Almqvist & Wiksell, 1961: 82-109.
- [18] KRUGMAN P A. Technology gap model of international trade[M]. London: Palgrave Macmillan UK, 1985: 35-61.
- [19] MELITZ M J. The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity[J]. *Econometrica*, 2003, 71(6): 1695-1725.
- [20] EATON B, SAMUELSON P A. Technology, geography, and trade[J]. *Econometrica*, 2002, 70(5): 1741-1779.
- [21] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Automation and new tasks: how technology displaces and reinstates labor[J]. *Journal of economic perspectives*, 2019, 33(2): 3-30.
- [22] 綦建红, 付晶晶. “机器换人”时代低技能劳动力何去何从? ——基于中国劳动力动态调查数据的检验[J]. *人口研究*, 2022, 46(4): 114-128.
- [23] 许家云, 毛其淋, 胡鞍钢. 中间品进口与企业出口产品质量升级: 基于中国证据的研究[J]. *世界经济*, 2017, 40(3): 52-75.
- [24] 田巍, 余森杰. 中间品贸易自由化和企业研发: 基于中国数据的经验分析[J]. *世界经济*, 2014, 37(6): 90-112.
- [25] 何小钢, 朱国悦, 冯大威. 工业机器人应用与劳动收入份额——来自中国工业企业的证据[J]. *中国工业经济*, 2023(4): 98-116.
- [26] FAN H, HU Y, TANG L. Labor costs and the adoption of robots in China[J]. *Journal of economic behavior & organization*, 2021, 186(4): 608-631.
- [27] 李兵, 李柔. 互联网与企业出口: 来自中国工业企业的微观经验证据[J]. *世界经济*, 2017, 40(7): 102-125.
- [28] 曹清峰. 国家级新区对区域经济增长的带动效应——基于70大中城市的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2020(7): 43-60.
- [29] KUGLER A D, KUGLER M, RIPANI L, et al. US robots and their impacts in the tropics: evidence from colombian labor markets[R]. National Bureau of Economic Research No. w28034, 2020.
- [30] 陈媛媛, 张竞, 周亚虹. 机器人与劳动力的空间配置[J]. *经济研究*, 2022, 57(1): 172-188.
- [31] 张杰, 郑文平, 陈志远, 等. 进口是否引致了出口: 中国出口奇迹的微观解读[J]. *世界经济*, 2014, 37(6): 3-26.
- [32] 康志勇. 中间品进口与中国企业出口行为研究: “扩展边际”抑或“集约边际”[J]. *国际贸易问题*, 2015(9): 122-132.
- [33] 施炳展. 互联网与国际贸易——基于双边双向网址链接数据的经验分析[J]. *经济研究*, 2016, 51(5): 172-187.
- [34] 马述忠, 郭继文. 制度创新如何影响我国跨境电商出口? ——来自综试区设立的经验证据[J]. *管理世界*, 2022, 38(8): 83-102.
- [35] GOLDBERG P A, KHANDELWAL N P, PETIA T. Trade liberalization and new imported inputs[J]. *The American economic review*, 2009, 99(2): 494-500.
- [36] 朱兰. 人工智能与制造业深度融合: 内涵、机理与路径[J]. *农村金融研究*, 2023(8): 60-69.

Can Robot Application Promote Corporate Exports? Based on the Win-Win Perspective of Efficiency and Quality

HE Xiao-gang, GUO Xiao-bin, KUANG Ya-qin

(School of Applied Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

Summary: In recent years, with the rise of labor costs, China's "demographic dividend" has been gradually disappearing, the traditional competitive advantage of trade has been gradually weakening, and the pursuit for new competitive advantages has become the key to cultivate new trade dynamics. The large-scale application of robots realizes the automation and intelligence of the production process, improves the productivity of enterprises and enhances export competitiveness. At the same time, robots can also improve product quality, helping to alleviate the problem of "low quality and low price" of export products. Therefore, the large-scale application of industrial robots is bound to have a profound impact on China's trade pattern. However, little literature has focused on the impact of robots on the scale of exports, and the few studies have used national-level data and lacked in-depth studies at the micro-firm level, and no literature has yet explored whether and how robots affect firms' exports in the Chinese context.

Based on the theory of technology and international trade, this paper empirically examines the impact of robot application on enterprises' exports and its mechanism by using difference-in-differences propensity score matching method based on clarifying the internal logic of robot application affecting enterprises' exports and using micro-matched data from Chinese Industrial Enterprise Database and China Customs Statistics. It is found that robot application significantly expands firms' export scale, and this positive effect is more significant among labor-intensive firms. This conclusion remains robust after a series of tests. The mechanism test shows that robot application promotes firms' export growth through efficiency and quality effects, realizing a win-win situation for both efficiency and quality. The trade decomposition shows that robot application significantly improves the expansion margin and quantity margin of firms' exports, with no significant effect on the intensive margin and price margin. Further analysis reveals that firms will import more types and higher quality of intermediate goods to match the robot application.

The possible marginal contributions of this paper are threefold. First, this paper provides a new way of thinking to explore the new engine of China's exports. Second, unlike the previous single perspective based on productivity, this paper finds that robot application promotes firms' export growth through efficiency effects and quality effects, realizing a win-win situation for both efficiency and quality. Third, this paper quantifies the trade effect of robot application by enterprises using policy assessment methods, and further deconstructs the trade effect of robot application in detail in terms of trade margins and imported. This paper reveals the impact of robot application on the export of enterprises and its mechanism, and the conclusions not only provide new ideas for cultivating a new engine for China's exports, but also provide references for the governmental departments to introduce and improve the supportive policies for intelligent manufacturing.

Key words: robot application; enterprise export; productivity; product quality

(责任编辑: 徐雅雯)

[DOI]10.19654/j.cnki.cjwtyj.2024.04.005

[引用格式]何小钢,郭晓斌,况雅琴. 机器人应用能否促进企业出口? ——基于效率和质量双赢的视角[J]. 财经问题研究,2024(4):57-70.