

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

蔡震坤 綦建红

摘要：本文采用2000—2015年中国海关数据库和工业企业数据库的微观匹配数据，考察了工业机器人应用对中国企业出口产品质量的影响、作用机制与动态效应。估计结果发现，工业机器人的应用显著提高了出口产品质量，这一结论在经过一系列检验后依然稳健。基于中介效应的作用机制分析发现，使用工业机器人能够提升企业全要素生产率，降低边际成本，从而实现出口产品质量的提升，这种提升效果在大规模企业、非高新技术企业、非国有企业中更为明显。基于动态视角的拓展研究进一步发现，工业机器人的应用会带来贸易拓展效应，但新建贸易关系的产品质量相对较低；也会带来市场份额的重新分配，低质量产品将从中高质量产品中抢夺市场份额，引发激烈的竞争效应；还会带来先发优势效应，即率先使用工业机器人的企业获得的质量提升效果远高于平均水平。

关键词：出口产品质量；工业机器人；竞争效应

[中图分类号] F74 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2021) 10-0017-17

一、引言与文献综述

出口产品质量一直是经济增长和国际贸易领域的热点问题。长期以来，中国出口产品的低质化特征明显，在国际市场中的拓展主要依靠出口规模的扩张。然而，仅依赖出口规模的扩张难以推动一国经济的持续高质量增长，稳步提升出口产品质量才是长久之计（Rodrik, 2006）^[1]。出口产品质量代表了一个国家的产业和企业在国际市场的竞争力（Hallak and Schott, 2011^[2]；Feenstra and Romalis, 2014^[3]），提高出口产品质量是提升中国制造业国际市场地位、改变目前“大而不强”现状

[收稿日期] 2021-03-16

[基金项目] 国家社科基金重大项目“‘一带一路’国家金融生态多样性对中国海外投资效率的影响研究”（17ZDA040）；国家社科基金重大项目“新旧动能转换机制设计及路径选择研究”（18ZDA078）；国家社科基金一般项目“人工智能与出口贸易高质量发展研究”（20BJY195）

[作者信息] 蔡震坤：山东大学经济学院博士研究生；綦建红：山东大学经济学院教授、博士生导师，山东大学人工智能与经济研究中心，电子邮箱：qijianhong@sdu.edu.cn

的有效途径，也是改善中国宏观经济增长质量的重要微观基础。

反观现实，由于各发达国家不断加强对自身技术的保护，发展中国家难以在短时间内依靠自身条件提高技术水平和产品质量（Hausmann and Rodrik, 2003）^[4]；与此同时，中国也正面临人口老龄化、劳动力成本上升、外需不确定性加剧等诸多不利状况，内外双重困境为产品质量的提升带来了重重阻碍。21世纪以来，随着人工智能技术的不断发展，现代化的工业机器人（下文简称为机器人）应运而生，作为现代制造业中集诸多学科先进技术于一体的重要装备，工业机器人凭借其对企业生产率的显著促进作用（Jäger et al., 2015^[5]；Graetz and Michaels, 2018^[6]；Acemoglu et al., 2020^[7]），为打破上述困境、提升出口产品质量提供了新的可能和机遇。尤其是在当前中国“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，研究工业机器人对出口产品质量的影响具有重要的现实意义。

工业机器人自诞生之日起就备受经济学家的关注，但在过去一段时间内，囿于企业层面数据的缺乏（Felten et al., 2018^[8]；Cheng et al., 2019^[9]），对工业机器人经济绩效的研究主要集中在就业、劳动收入份额、技术进步与经济增长等宏观层面。在就业方面，持乐观态度的学者认为自动化技术不会对就业产生显著影响（Graetz and Michaels, 2018），即使降低了制造业就业水平，也会将岗位转移至服务业（Dauth et al., 2017）^[10]；但是，以Acemoglu和Restrepo（2020）^[11]为代表的学者则认为机器人会降低就业人口比率和实际工资水平。尽管尚无定论，但学者们逐渐接受了机器人同时存在替代效应和互补效应的观点（Acemoglu and Restrepo, 2019^[12]；郭凯明, 2019^[13]），研究的焦点也逐渐转变为二者孰强孰弱。在劳动收入份额方面，Hemous和Olsen（2014）^[14]的研究发现机器人会导致收入不平等经历一个先加剧、后逐渐恢复的过程，这与Acemoglu和Restrepo（2018a）^[15]的结论不谋而合。在技术进步与经济增长方面，有的学者认为以机器人为代表的人工智能可以较好地应对老龄化的冲击，促进经济增长和益贫式发展（陈彦斌等, 2019^[16]；杨飞和范从来, 2020^[17]；杨光和侯钰, 2020^[18]）；但是也有学者认为，在新技术和劳动者技能不匹配、机器人与劳动力过度竞争等情况下，机器人反而会阻碍生产率的提升（Acemoglu and Restrepo, 2018a），甚至导致经济停滞（Gasteiger and Prettnner, 2017）^[19]。

近年来，以Acemoglu和Restrepo（2018b）^[20]、Blanas等（2019）^[21]、Bonfiglioli等（2020）^[22]为代表的学者另辟蹊径，将企业进口机器人金额作为使用机器人的代理变量，这一创新性做法将机器人绩效的研究迅速带入了微观层面。已有文献主要从企业规模、生产率、市场份额等角度出发，考察了机器人的微观经济效应。Koch等（2019）^[23]、Cheng等（2019）和Bonfiglioli等（2020）均发现，规模更大、生产效率更高的企业使用机器人的可能性更大。在使用机器人后，企业生产率往往会得到显著的提高（Jäger et al., 2015；Graetz and Michaels, 2018；Acemoglu et al., 2020），进而对其他企业乃至整个行业产生显著影响。Bonfiglioli等（2020）发现机器人在提高企业生产率、降低可变成本的同时，会从未使用机器人的企业手中抢夺市场份额。Acemoglu等（2020）亦发现使用机器人的企业总体就业增长加快，但其扩张是以牺牲竞争对手的就业率为代价的。然而，已有研究主要

针对发达国家,并鲜少涉及企业出口。当前,中国已经成为全球第一大机器人应用市场,同时也是世界最大的贸易出口国。在可预见的将来,以机器人为代表的智能化将深刻地影响和改变中国的贸易格局(贾根良,2016)^[24]。

与已有文献相比,本文可能的创新点在于:其一,在研究视角方面,在当前中国“双循环”格局对企业出口提质增效提出更高要求的背景下,本文以中国出口企业作为研究对象,从出口产品质量的视角研究了机器人对企业高质量出口的影响,具有较强的现实意义;其二,在研究内容方面,以机器人使用的虚拟变量作为核心变量,不仅从理论和实证角度考察了使用机器人对出口产品质量的影响与作用机制,而且探究了机器人在贸易拓展、产品竞争和先发优势等方面对出口产品质量的动态效应;其三,在研究结论方面,本文证实了机器人对出口产品质量的提升作用,并进一步验证了机器人会带来贸易拓展效应、产品竞争效应和先发优势效应,从而为有条件的中国企业尽早启动机器人应用计划提供理论依据。

二、理论基础

本文首先在 Acemoglu 和 Restrepo (2018b, 2019) 基于任务层面的理论基础,参照 Blanas 等 (2019) 的做法,将企业生产函数表示为:

$$Q = (\alpha^{\frac{1}{\sigma}} K^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + (1-\alpha)^{\frac{1}{\sigma}} L^{\frac{\sigma-1}{\sigma}})^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

其中,自动化任务由资本要素 K 生产,份额由 α 表示。未自动化任务由劳动力要素 L 生产,份额可表示为 $1-\alpha$ 。 $\sigma \in (0, \infty)$ 表示不同任务间的替代弹性。若以 w_K 代表资本要素价格, w_L 代表低技能劳动力要素价格,则 Q 对 α 求导,可得:

$$\frac{\partial Q}{\partial \alpha} = \frac{1}{\sigma-1} \alpha^{\frac{1-\sigma}{\sigma}} Q^{\frac{1}{\sigma}} K^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \left(1 - \left(\frac{w_K}{w_L} \right)^{\sigma-1} \right) \quad (2)$$

机器人技术的发展和普及,导致价格下降,从而使 w_K/w_L 低于原均衡水平,此时企业提升自动化任务的份额 α ,将使产出 Q 得到提高。Acemoglu 和 Restrepo (2019) 认为最直接的原因是机器人提高了企业生产率。在此基础上,本文参照 Khandelwal 等 (2013)^[25]、Martin 和 Mejean (2014)^[26] 的做法,将产品质量纳入 Melitz (2003)^[27] 的异质性企业理论框架下,得到企业面临的由产品质量表示的需求函数:

$$q(\omega) = \lambda(\omega)^{\rho-1} \frac{p(\omega)^{-\rho}}{P_0^{1-\rho}} Y \quad (3)$$

其中, $\lambda(\omega)$ 、 $p(\omega)$ 和 $q(\omega)$ 分别代表产品 ω 的质量、价格和需求量, Y 为目的国总支出,替代弹性 $\rho > 1$ 。若企业出口某产品时可以通过选择不同的质量和价格组合,来达到出口利润最大化,则企业将产品出口至某国的利润函数为:

$$\pi = \left(p(\omega) - \frac{c(\omega)\lambda(\omega)^\varepsilon}{\varphi} \right) \lambda(\omega)^{\rho-1} \frac{p(\omega)^{-\rho}}{P_0^{1-\rho}} Y - f(\omega)\lambda(\omega)^\eta \quad (4)$$

其中, $c(\omega)$ 表示不同企业在生产标准质量产品时的平均边际成本, φ 代表企业的全要素生产率, $\varepsilon > 0$ 代表边际成本对产品质量的弹性,则 $c(\omega)\lambda(\omega)^\varepsilon/\varphi$ 表示经

质量和生产率调整后的边际成本; $f(\omega)$ 代表未以加价形式体现在 $p(\omega)$ 中的出口成本, $\eta > 0$ 代表出口成本对产品质量的弹性, 则 $f(\omega)\lambda(\omega)^\eta$ 表示经质量调整后的出口成本。求解最大化 (4) 式的一阶条件, 可得:

$$p(\omega) = \frac{\rho}{\rho - 1} \frac{c(\omega)}{\varphi} \lambda(\omega)^\varepsilon \quad (5)$$

$$q(\omega) = \lambda(\omega)^{\rho-1-\rho\varepsilon} \left(\frac{\rho}{\rho - 1} \frac{c(\omega)}{\varphi} \right)^{-\rho} \frac{Y}{P_0^{1-\rho}} \quad (6)$$

为保证需求的质量弹性为正, 需满足 $\varepsilon < (\rho - 1)/\rho$, 由于 $\rho > 1$, 故 $\varepsilon \in (0, 1)$ 。将 (5) 式代入 (4) 式后, 前半部分 $\lambda(\omega)$ 的次数为 $(\rho - 1)(1 - \varepsilon)$, 为保证利润函数不发散, 需进一步满足后半部分 $\lambda(\omega)$ 的次数 $\eta > (\rho - 1)(1 - \varepsilon)$, 否则企业所选质量将趋向于无穷, 不存在最优解。此时, 利润最大化的质量条件可表示为:

$$\lambda(\omega)^{\eta - (\rho - 1)(1 - \varepsilon)} = \frac{(1 - \varepsilon) Y}{f(\omega) \eta P_0^{1-\rho}} \left(\frac{\rho - 1}{\rho} \right)^\rho \left(\frac{\varphi}{c(\omega)} \right)^{\rho-1} \quad (7)$$

在满足 $\varepsilon \in (0, 1)$, $\eta > (\rho - 1)(1 - \varepsilon)$ 的前提下, 出口产品质量与生产率 φ 成正比, 与经生产率调整的边际成本 $c(\omega)/\varphi$ 成反比。根据前文的讨论, 可做出如下判断: 企业使用机器人可以提高生产率, 降低边际成本, 从而提升出口产品质量。

三、典型化事实

(一) 数据来源与处理

本文数据来源于 2000—2015 年中国海关数据库和中国工业企业数据库。在匹配前, 本文删除了两库中关键指标缺失以及明显异常的观测值。按照联合国统计司网站提供的转码表, 本文将各年份海关出口数据的 HS8 位编码统一对应至 1996 版的 HS6 位编码, 并合并至企业—产品—目的国—年份维度。

在判断企业应用机器人方面, 本文参照 Acemoglu 和 Restrepo (2018a)、Blanas 等 (2019) 的做法, 采用企业的机器人进口数据作为机器人使用的代理变量。首先, 按照机器人产品的 HS8 位编码^①, 从进口数据中检索出机器人的进口记录, 共得到 5549 家企业; 然后, 将工业企业数据与机器人进口数据进行匹配, 识别出 2683 家企业有过机器人进口记录; 最后, 将识别后的工业企业数据与上述海关出口数据进行匹配, 得到四维观测值 15508555 条。其中, 使用过机器人的企业有 2510 家, 观测值 828038 条。换言之, 在 2683 家进口过机器人企业中, 仅有 173 家未参与出口。该特征事实表明, 企业进口机器人与自身的出口行为有着密切的联系。

(二) 出口产品质量测度

为了测算 i 企业在 t 年对 c 国出口的 h 产品的质量, 将下标带入 (3) 式后, 两

^① 根据产品编码, 机器人在 HS8 位编码体系中涉及 84864031 (工厂自动搬运机器人)、84289040 (搬运机器人)、85152120 (电阻焊接机器人)、85153120 (电弧焊接机器人)、85158010 (激光焊接机器人)、84248920 (喷涂机器人)、84795090 (其他机器人)、84795010 (多功能机器人) 共 8 种。HS8 位编码在判断机器人方面, 要比 HS6 位编码更为准确。

边取对数得： $\ln q_{icht} = (\rho - 1)\ln \lambda_{icht} - \rho \ln p_{icht} + (\rho - 1)\ln P_{ct} + \ln Y_{ct}$ ，以此构建如下回归方程：

$$\ln q_{icht} = \psi_{ct} - \rho \ln p_{icht} + e_{icht} \quad (8)$$

其中， $\psi_{ct} = (\rho - 1)\ln P_{ct} + \ln Y_{ct}$ 代表目的国的固定效应； $e_{icht} = (\rho - 1)\ln \lambda_{icht}$ 中包含出口产品质量的信息。据此，产品质量可表示为：

$$quality_{icht} = \ln \lambda_{icht} = \frac{e_{icht}}{\rho - 1} \quad (9)$$

本文参照施炳展（2014）^[28]等的做法，使用固定效应模型对每种 HS 产品进行逐一估计，并测算残差。为消除未知参数，且使测度出的产品质量可以在不同产品、不同时期之间进行比较，对公式（10）中的产品质量进行中心化处理，得到取值区间在 $[0, 1]$ 的、可在各层面进行加总的无单位质量指标：

$$Quality_{icht} = \frac{quality_{icht} - \min quality_{icht}}{\max quality_{icht} - \min quality_{icht}} \quad (10)$$

（三）企业使用机器人与出口产品质量的关系初探

为了初步观察企业使用机器人与出口产品质量的关系，本文在图 1 中绘制了 2000—2015 年每年使用机器人的企业数量、进口机器人的数量，以及使用和未使用机器人的企业的出口产品质量。

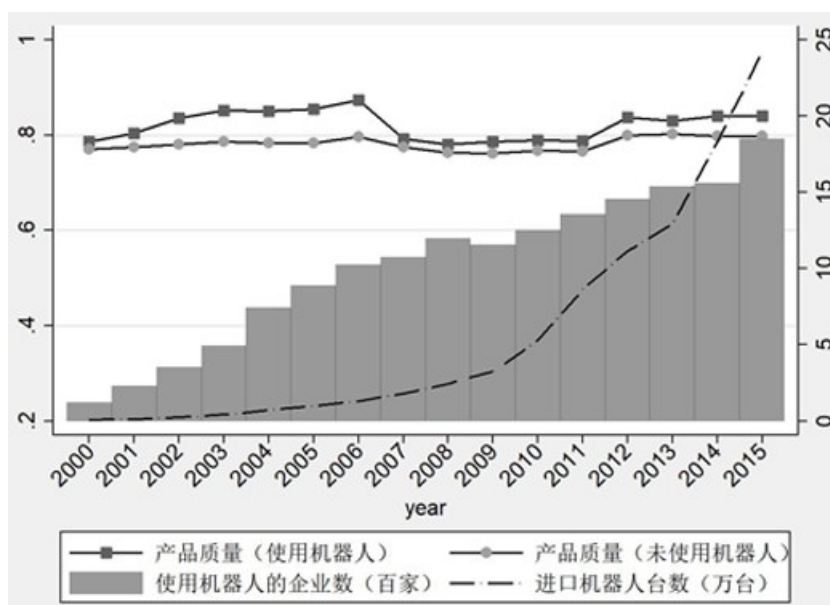


图 1 机器人进口与出口产品质量的变化趋势

数据来源：根据中国工业企业数据和海关贸易数据整理。

在图 1 中，产品质量由各年份所有产品的质量按照出口金额加权得出。可以看出，使用机器人的企业在整体上高于未使用机器人的企业。在此基础上，本文进一

步依照是否使用机器人，将企业分为未使用机器人、使用机器人前和使用机器人后三种情形，在表1中展示了每种情形下企业规模 (*Lab*，以企业员工数量对数衡量)、生产率 (*Tfp*，使用LP法估计) 和产品质量 (*Quality*) 的基本统计特征。考虑到高质量产品的出口金额通常较大，可能导致加权后的质量无法充分反映质量较低产品的信息，故此处使用产品质量的算术平均值。通过对比表1中各指标的均值和分位数，大体可总结出以下特征事实：

(1) 使用过机器人的企业的规模和生产率明显高于未使用过的企业，这可能意味着企业在使用机器人的决策上具有自选择效应；此外，机器人的使用还伴随着企业规模的扩张和生产率的提高，这与现有文献的结论基本一致 (Koch et al., 2019; Cheng et al., 2019; Bonfiglioli et al., 2020)。

(2) 关于出口产品质量，使用机器人的企业在均值和中位数方面均明显低于未使用机器人的企业，但这一情形在高分位数发生了逆转。这可能意味着企业使用机器人的动机大体上可分为两类：一类是其产品质量较低，在竞争中处于弱势地位，期望通过使用机器人来改善当前处境；另一类则是产品质量较高、竞争力较强，期望通过引入机器人来巩固和扩大自身优势。结合图1的信息，可发现产品质量的加权平均值明显高于算术平均值，表明高质量产品的确拥有更高的金额权重。

(3) 企业在使用机器人后，出口产品质量的均值和各分位数普遍有所提升，其中高分位数的提升幅度更大。但机器人是否真的能够提升企业产品质量，并不能完全由分布的变化来反映，准确的结论需要通过更严谨的计量分析来证实。

表1 机器人与出口产品质量的基本关系

指标	<i>Lab</i>		<i>Tfp</i>		<i>Quality</i>			
	均值	中位数	均值	中位数	均值	中位数	90%分位数	99%分位数
未使用机器人	5.47	5.52	6.97	6.88	0.5487	0.5577	0.7236	0.8535
使用机器人前	6.28	6.21	7.54	7.46	0.5094	0.5120	0.7304	0.8754
使用机器人后	6.62	6.55	7.64	7.52	0.5106	0.5120	0.7305	0.8800

四、实证设计与结果

(一) 变量与模型设定

为了比较企业出口产品质量在使用机器人前后发生了何种变化，本文将出口产品质量 (*Quality*) 作为被解释变量，是否使用过机器人 (*Rob*) 作为核心解释变量，在企业第一次进口机器人之前取值为0，之后 (含进口当年) 取值为1。

企业层面控制变量的选取参照樊海潮和郭光远 (2015)^[29] 的做法，包括：员工工资 (*Wage*)，以企业应付职工薪酬与在职员工之比的对数形式衡量，反映了生产要素的质量；资本劳动比 (*Cl*)，以企业总资产与在职员工之比的对数形式衡量，反映了企业的生产技术；职工人数 (*Lab*) 的对数用于反映企业的雇佣和规模情况；固定资产 (*Cap*) 的对数反映企业的资产结构；企业年龄 (*Age*)，以观测年度

与企业成立时间之差表示,反映企业经验和创新动力等无形特征。上述变量的统计性描述如表2所示。

表2 描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
<i>Quality</i>	828 038	0.511	0.168	0	1
<i>Rob</i>	17 628	0.683	0.465	0	1
<i>Wage</i>	17 628	3.469	0.807	1.173	7.812
<i>Cl</i>	17 628	5.989	1.060	2.960	10.296
<i>Lab</i>	17 628	6.511	1.232	3.045	10.309
<i>Cap</i>	17 628	11.299	1.574	6.526	16.339
<i>Age</i>	17 628	9.898	7.055	0	102

无论是 Pearson 相关系数检验,还是 VIF (方差膨胀因子) 检验,均证明各变量之间不存在严重的共线性问题。据此,设定基准模型如下:

$$Quality_{icht} = \alpha + \beta Rob_{it} + \sum \gamma Control_{it} + \xi_{ich} + \mu_t + \varepsilon_{icht} \quad (11)$$

其中, ξ_{ich} 为个体(企业—目的国—产品)固定效应; μ_t 为时间固定效应; ε_{icht} 为随机扰动项,包含其他未被观测到的影响出口产品质量的因素。

(二) 基准回归结果

表3汇报了基于模型(11)的基准回归结果。其中,第(1)—(2)列为全样本下的回归结果,第(3)—(4)列仅保留使用机器人的企业样本。结果显示,无论是否纳入控制变量和是否加入对照组,核心解释变量 *Rob* 均在1%的水平上高度显著,这表明机器人的使用确实有助于提高产品质量。对比第(1)和第(3)列的结果,可发现企业在使用机器人后,产品质量“相对提高”了0.0118,“净提高”了0.0076。第(2)和第(4)列情况也与之类似。导致“净提高”小于“相对提高”的可能原因在于,在机器人逐渐普及的环境中,未使用机器人的企业将直面更加严峻的竞争,其出口产品质量可能会因竞争对手使用机器人而降低,从而成为内生的对照组。因此,如无说明,本文后续的分析将仅保留使用机器人的企业样本。从控制变量的估计结果看,雇用质量越高、资本劳动比越高,员工人数越多,其产品质量越高,与樊海潮和郭光远(2015)等已有研究结论保持一致。

(三) 稳健性与内生性检验

为了验证基准回归结果的可靠性,本文还进行了如下稳健性检验:

1. 更换核心变量

为方便比较,前文对出口质量进行了中心化处理,表4第(1)列参照 Broda 和 Weinstein (2006)^[30]、樊海潮和郭光远(2015)的做法,使用未中心化的出口质量(*quality*)进行稳健性检验,其中,弹性系数设定为10。表4第(2)和(3)列将核心解释变量分别替换为企业每年进口机器人金额的对数 *Rob_flow* 和累计进口机器人金额的对数 *Rob_accu*,进行稳健性检验。以上结果均与基准结论保持一致。

表3 基准回归结果

变量	全体样本		使用机器人的企业样本	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Rob</i>	0.0119*** (21.43)	0.0109*** (19.57)	0.0075*** (12.24)	0.0060*** (9.78)
<i>Wage</i>		0.0070*** (81.87)		0.0068*** (14.84)
<i>Cl</i>		0.0089*** (71.57)		0.0149*** (19.41)
<i>Lab</i>		0.0187*** (129.68)		0.0247*** (29.88)
<i>Cap</i>		0.0002* (1.94)		0.0004 (0.67)
<i>Age</i>		-0.00002*** (-3.39)		-0.00002 (-0.21)
<i>Cons</i>	0.5224*** (1793.36)	0.3539*** (288.71)	0.4716*** (361.18)	0.1852*** (22.85)
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes
企业—目的国—产品 FE	Yes	Yes	Yes	Yes
N	15 605 937	15 605 937	828 038	828 038
R ²	0.0112	0.0168	0.0199	0.0268

注：括号内为个体层面聚类稳健标准误计算的 *t* 值，***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平上显著。下同。

2. 更换数据维度

与基准模型基于企业—目的国—产品层面的贸易关系进行估计不同，本文还基于其他两类贸易关系（企业—目的国、企业—产品）分别进行检验，同时将被解释变量替换为相应层面的加权质量，并对个体效应做出相应调整，结果见表4第（4）和（5）列，核心解释变量依然显著为正，再次验证了本文基准结论的稳健性。

表4 稳健性检验

变量	<i>quality</i>	<i>Quality</i>	<i>Quality</i>	<i>Quality</i>	<i>Quality</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Rob</i>	0.0126*** (9.97)			0.0072*** (7.11)	0.0030** (2.39)
<i>Rob_flow</i>		0.0004*** (6.40)			
<i>Rob_accu</i>			0.0009*** (9.76)		
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
企业—目的国—产品 FE	Yes	Yes	Yes		
企业—目的国 FE				Yes	
企业—产品 FE					Yes
N	828 038	828 038	828 038	233 487	227 734
R ²	0.0273	0.0266	0.0268	0.0547	0.0278

3. 内生性处理

企业使用机器人有可能存在“自选择”效应，即规模越大、生产率越高，使用机器人的可能性更高，因此，样本选择可能存在偏差；此外，遗漏变量、逆向因果等原因同样可能产生内生性，即产品质量越高（或越低）的企业，越有可能使用机器人。

(1) 本文使用 Heckman 两步法对使用机器人的企业样本选择偏差进行校正。首先使用面板 Probit 模型对企业层面的全体样本进行估计，控制变量与基准回归保持一致，将计算出的逆米尔斯比率（IMR）匹配至企业—目的国—产品层面，并加入基准模型。结果见表 5 第（1）列，核心解释变量不仅依然显著为正，且系数大小也与基准结果接近。

(2) 考虑到越来越多的学者将机器人使用作为人工智能时代的技术冲击，且不同企业开始使用机器人的时点不尽相同，本文还采用广义 DID 中的多时点 DID 模型对全样本进行估计。在模型（12）中，将使用过机器人的企业划入处理组（*Treat*），取值为 1，反之则为 0；*Post* 为处理期虚拟变量，仅当处理组个体进入处理期后取值为 1，其余均为 0，其他与基准模型保持一致。限于篇幅，表 5 第（2）列仅报告了当期平均处理效应，F 统计量为 0.13，通过了平行趋势检验，验证了本文结论的稳健性。

$$Quality_{icht} = \alpha + \sum_{s=-2}^2 \beta_s Treat_{ich} \times Post_{icht+s} + \sum \gamma Control_{it} + \xi_{ich} + \mu_t + \varepsilon_{icht} \quad (12)$$

表 5 内生性处理

变量	Heckman 两步法	多时点 DID	2SLS	
	<i>Quality</i>	<i>Quality</i>	ΔRob	$\Delta Quality$
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Rob</i>	0.0060*** (9.88)	0.0051** (2.53)		
ΔRob				0.0246*** (4.18)
<i>Suitability</i>			0.0147*** (68.90)	
<i>Rob_P</i>			-0.0270*** (-24.32)	
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes
企业—目的国—产品 FE	Yes	Yes	Yes	Yes
Hansen J				1.104
Kleibergen-Paap F				2683.34
N	828 038	549 870	316 486	316 486
R ²	0.0269	0.0224		

(3) 基准回归中选取机器人进口作为机器人使用的代理变量，并使用固定效应模型，已经在一定程度上缓解了来自行业和企业内生性。但为稳健起见，本文

采用两阶段最小二乘法 (2SLS) 来进一步处理潜在的内生性问题。

首先, 参照 Bonfiglioli 等 (2020) 的做法, 选取企业所在行业对机器人的适应性指标作为第一个工具变量, 即每个行业 j 内机器人资本占行业总资本之比的对数。由于适应性指标为行业层面变量, 故可视为外生, 其计算公式为:

$$Suitability_{jt} = \ln \frac{1 + \sum_{i \in j} rob_stock_{it}}{\sum_{i \in j} fas_stock_{it}} \quad (13)$$

其次, 考虑到国际市场上机器人价格的波动是由全球技术进步所驱动, 与单一企业不相关, 故选取机器人进口价格水平作为第二个工具变量。将行业 j 内的 m 类型机器人年均价以固定资产投资价格指数进行平减后, 按照其进口金额占当年该行业机器人进口总金额的权重进行加总, 最后取其对数形式。计算公式为:

$$Rob_P_{jt} = \ln \sum_{m=1}^8 \left(P_{jmt} \frac{V_{jmt}}{\sum_{m=1}^8 V_{jmt}} \right) \quad (14)$$

最后, 本文参照 Bonfiglioli 等 (2020) 的做法, 使用 2SLS 对组内一阶差分后的数据进行估计, 结果见表 5 第 (3) — (4) 列。第一阶段结果显示, *Suitability* 的系数显著为正, *Rob_P* 的系数显著为负, 表明行业对机器人的适应程度越高、机器人进口价格越低, 越有利于机器人的普及, 符合理论预期; 第二阶段的结果中, 核心解释变量的系数依旧显著为正, 与基准回归结果保持一致。其中, Hansen J 统计量显示不能在 10% 的显著性水平上拒绝“工具变量均外生”的原假设; Kleibergen-Paap F 统计量均远大于临界值, 表明不存在弱工具变量, 因此工具变量的选择满足相关性和排他性约束, 总体上合理有效。

(四) 影响机制检验

现有文献普遍认为企业使用机器人能够提高自身生产率, 从而降低边际成本, 而前文中的理论分析也表明, 生产率的提高能够提升企业出口产品质量。据此, 本文将企业全要素生产率 (*Tfp*) 和边际成本 (*Mc*) 作为中介变量, 在控制产品价格的前提下采用常规的中介效应模型加以检验。其中, 前者采用 LP 方法测算; 后者则在企业层面计算企业加成率后, 将其匹配至企业—目的国—产品层面, 从而测算出边际成本。鉴于 2007 年以后工业企业数据库的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。

表 6 第 (1) 列首先报告了使用 2000—2007 年样本的基本结果, 尽管样本量骤减, 但核心解释变量系数依旧显著。第 (2) 和 (4) 列中的结果表明, 企业使用机器人提高了自身的全要素生产率, 降低了企业的边际成本, 这与前文的理论分析相一致。第 (3) 和 (5) 列在第 (1) 列的基础上, 分别加入了 *Tfp* 和 *Mc*。其中 *Tfp* 系数显著为正, 表明生产率越高, 企业的产品质量就越高; *Mc* 系数显著为负, 表明在相同的价格下, 产品的边际成本越低, 产品质量也越高。此外, 第 (3) 和 (5) 列中, *Rob* 的系数大小与显著性均明显下降, 由此可判断提升企业生产率和降低生产成本是机器人提高产品质量的主要渠道, 验证了理论基础部分的判断。

表6 影响机制检验

变量	<i>Quality</i>	<i>Tfp</i>	<i>Quality</i>	<i>Mc</i>	<i>Quality</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Rob</i>	0.0050 *** (3.80)	0.0228 *** (5.31)	0.0045 *** (3.42)	-0.0691 *** (-18.00)	0.0032 ** (2.44)
<i>Tfp</i>			0.0218 *** (16.49)		
<i>Mc</i>					-0.0261 *** (-18.63)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
企业—目的国—产品 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	206 754	206 754	206 754	206 754	206 754
R ²	0.0365	0.4026	0.0402	0.9195	0.0417

五、基于企业异质性的分组检验

前文验证了机器人对企业出口产品质量的影响及其作用机制，与理论基础部分相吻合。本文进一步从企业规模、技术特征、所有权类型等不同特征出发，探讨机器人对异质性企业出口产品质量的影响。

1. 基于企业规模。不同规模企业的实力、经验、要素构成和决策模式均有较大差异，这些因素将决定企业是否有能力、有必要引进机器人。根据国家统计局印发的《统计上大中小微型企业划分办法（2017）》，本文将工业企业中营业收入在4亿元以上、且从业人员在1000人以上的企业归为大型企业，其余则归为中小企业，并对不同规模的企业进行了分组回归，结果如表7第（1）和（2）列所示。不论是大型企业还是中小企业，使用机器人对出口产品质量的影响均显著为正，但对大型企业的提升效果更加明显。可能的原因在于，大型企业在运用先进生产技术方面经验更多，更倾向进行大批量生产，更容易实现规模经济，有效利用机器人的可能性更大（Jäger et al., 2015）。使用机器人一方面可以替代中低技能劳动力以节省成本，另一方面可以通过与高技能劳动力形成互补，优化企业内部结构，形成可持续发展的良性循环。对于中小企业来说，根据自身情况调整传统要素的投入比例来控制成本，可能较之使用机器人更有优势。

表7 异质性检验

分组标准	大型	中小型	高新	非高新	国有	私营	外资
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<i>Rob</i>	0.0067 *** (8.97)	0.0034 *** (3.01)	0.0027 (1.61)	0.0061 *** (8.96)	0.0048 (1.09)	0.0041 ** (2.35)	0.0059 *** (6.99)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
企业—目的国—产品 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	597 149	230 889	214 762	613 276	192 49	117 795	476 080
R ²	0.0256	0.0210	0.0223	0.0292	0.0448	0.0361	0.0246

2. 基于行业技术特性。不同技术特性的企业技术先进程度和劳动力素质存在较大差异,使用机器人的影响可能不同。依据《高新技术企业认定管理办法》和《国家重点支持的高新技术领域》,本文按照工业企业数据库中的行业分类进行甄别,将满足《办法》标准的企业归为高新企业,否则归为非高新企业。表7第(3)和(4)列的结果显示,高新企业系数并不显著,非高新企业系数则显著为正。可能的原因是,一方面,高新技术企业的典型特征是研发投入占比较高,对要素的需求偏向于高技能劳动力,其从事的工作往往具有较高的不可替代性,而机器人受当前技术发展水平的限制,尚不适宜在这类企业全面普及;另一方面,即使采用机器人,高新技术企业也往往更倾向于利用机器人带来的效率提升,来培育企业的技术优势,以寻求在长期内增加其市场力量,逐渐在行业中占据主导地位(Autor et al., 2020)^[31],而非在短期内以降价的形式将利益传递给消费者(Bonfiglioli et al., 2020)。

3. 基于所有权类型。企业在资源配置效率和技术水平上因所有权的不同存在较大差异,因此,本文以企业各类资本金中占实收资本比重最高的资本类型(相对控股)作为判定依据,选取国有、私营和外资三类企业进行分组回归,结果见表7第(5) — (7)列。与私营企业和外资企业相比,国有企业的系数不显著,这可能是因为国有企业通常人员变动程度较小,机器人替代低技能劳动力、提升生产率的作用难以得到发挥。

六、动态效应拓展

机器人的应用除了能够显著提升企业的出口产品质量外,还可能引发一系列动态效应。本文从贸易拓展效应、产品竞争效应和先发优势效应等方面着手,更加完整地考察了机器人的应用对企业出口产品质量的动态影响。

(一) 贸易拓展效应:既有关系 VS 新建关系

企业生产率的提升将提高自身的价值函数(Melitz, 2003),从而达到某些出口市场的最低生产率水平,因此,机器人的使用可能会促使企业开启对新市场的出口。据本文统计,企业在使用机器人后出口目的国个数和产品种类平均分别增加了4.8和9个,贸易关系数量平均增加了39.2个。此外,本文参照胡翠等(2015)^[32]的做法,采用常用的赫芬达尔指数形式,从企业层面出口多样性(Div)的角度进行了验证。该指标取值范围为[0, 1],取值越小代表出口多样性程度越高。其计算公式为:

$$Div_{it} = \sum_c \sum_h \left(\frac{Export_{icht}}{\sum_c \sum_h Export_{icht}} \right)^2 \quad (15)$$

表8第(1)列的结果表明,机器人显著提高了企业出口多样性,证实了机器人为企业带来的贸易拓展效应。为进一步探究贸易拓展效应对产品质量的影响,本文根据贸易关系建立于使用机器人之前还是之后,将其划分为既有贸易关系和新建贸易关系两类,并据此生成虚拟变量Newrel,前者赋值为0,后者赋值为1。由于

同一贸易关系的 *Newrel* 取值要么全部为 0，要么全部为 1，且新建贸易关系的 *Rob* 取值均为 1，故以 *Newrel* 为解释变量，使用组间估计量（BE）代表二者间的质量差异。第（2）列的结果表明新建贸易关系的产品质量显著低于既有贸易关系。而第（3）—（4）列报告的贸易关系持续到 1 年后和 3 年后的情况，表明二者间的质量差距随时间推移缩小到一定程度后，会保持在一个较为稳定的水平。

表 8 贸易拓展效应

变量	<i>Div</i>	<i>Quality</i>	<i>Quality</i>	<i>Quality</i>	<i>Quality</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Rob</i>	-0.0282*** (-5.02)				0.0075*** (10.94)
<i>Newrel</i>		-0.0246*** (-44.39)	-0.0154*** (-21.02)	-0.0158*** (-16.46)	
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
企业 FE	Yes				
企业—目的国—产品 FE					Yes
N	701 821	828 038	516 799	305 812	378 917
R ²	0.0280	0.0251	0.0327	0.0312	0.0335

究其原因，企业对新市场的出口通常存在较高的不确定性，为确认自身在该市场的盈利能力，往往会在出口初期进行试探性质的“出口试验”（Albornoz et al., 2012）^[33]，而“出口试验”的失败概率通常较高，因此规模较小，质量普遍偏低。与此同时，即使企业生产率在使用机器人后得以提高，可能也仅达到新市场的准入门槛，产品质量难以与既有贸易关系相比，但成功进入新市场仍能使企业获利。鉴于新建贸易关系可能影响估计结果，且既有贸易关系的质量变化能够更加完整地反映机器人所带来的影响，第（5）列在基准回归的基础上，剔除了新建贸易关系，结果显示机器人对既有贸易关系的提升效果高于基准回归结果，进一步印证了新建贸易关系产品质量相对较低的结论。

（二）产品竞争效应：低质量产品 VS 中高质量产品

机器人在提高企业生产率、降低可变成本的同时，还可能从其他未使用机器人的企业手中夺取市场份额（Bonfiglioli et al., 2020），呈现出竞争效应。本文使用的质量测度方法意味着，在相同的价格下出口数量越多则质量越高，若某种产品的出口总规模不发生较大变化，部分产品质量的上升必然伴随着其他同类产品质量的下降，故上述竞争效应可能在产品质量层面得到体现。考虑到竞争带来的此消彼长最可能发生在初始质量差异较大的产品之间，本文以每个贸易关系初始年份的质量在当年所有样本中所处的分位数水平为判断标准，将贸易关系划分为低质量（<50%）、中质量（50%~90%）、高质量（>90%）三组，使用既有贸易关系样本进行分组回归。由于分组不随年份变动，故可排除动态分组带来的内生性。

表 9 第（1）—（3）列的样本中仅包含使用机器人的企业，其中低质量组的

系数显著为正，且远高于基准回归水平，这表明对于产品质量较低的企业来说，机器人带来的提升效果非常明显；然而中高质量组的系数均显著为负，表明尽管使用了机器人，其产品质量依旧出现了下滑，这证明了机器人的使用确实会带来市场份额的重新分配，同样使用机器人，低质量组将从中高质量组中抢夺市场份额。尽管中高质量组在使用机器人后出现了质量下滑，但这并不意味着使用机器人产生了不好的影响。本文在（4）—（6）列中分别加入了相应分位数的对照样本，再次进行了分组检验，结果显示，除低质量组系数依旧显著为正外，中高质量组的系数也均由负转正。这种质量绝对降低、相对提高的现象隐含着—个事实：初始质量在中高分位数范围、但未使用机器人的企业的贸易关系（即对照组），其产品质量遭受了更为严重的负面影响，而使用机器人则能够在一定程度上减弱这种负面影响。

表9 产品竞争效应

分组标准	绝对质量变化（无对照组）			相对质量变化（有对照组）		
	<50%	50%~90%	>90%	<50%	50%~90%	>90%
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Rob</i>	0.0118*** (13.51)	-0.0037*** (-3.23)	-0.0084*** (-3.73)	0.0061*** (9.04)	0.0027*** (2.77)	0.0042** (2.06)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
企业—目的国—产品 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	245 104	103 389	30 424	8 349 259	5 732 217	1 072 786
R ²	0.0996	0.0094	0.0649	0.0858	0.0097	0.0956

（三）先发优势效应：先行者 VS 跟随者

企业应用机器人的先后顺序，同样可能对质量提升效果造成影响。为了验证在机器人的使用上是否存在先发优势，本文将使用机器人的企业分为两类：第一类是在行业内率先使用机器人的先行者；第二类则是察觉自身出口产品质量受到负面影响，也开始使用机器人的跟随者。在保持质量分位数分组的情况下，使用既有贸易关系样本，对先行者和跟随者进行分组回归。

表10第（1）—（2）列首先报告了全样本下的结果，先行者的更高系数验证了先发优势的存在。而第（3）和（7）列中的先行者，相较于第（4）和（8）列的跟随者，也均有明显优势。具体而言，与未区分先行者时的系数（0.0118）相比，低质量组的先行者获得的提升效果再度大幅增加（0.0173）；高质量组在质量绝对降低的背景下（-0.0084），先行者的产品质量却能够实现逆势大幅增长（0.0225）；中质量组的变化并未显示出典型特征，可能是因为率先使用机器人的企业在内部进行了有针对性的资源再倾斜，由于低质量产品的边际投入产出比更高，高质量产品则代表着企业的核心竞争力，企业更倾向于“两端抓”，而选择性地放弃中等质量产品。竞争效应和先发优势的存在，也进一步印证了本文在特征事实中“不同企业使用机器人动机不同”的猜测。

表 10 先发优势效应

分组标准	全样本		<50%		50%~90%		>90%	
	先行者	跟随者	先行者	跟随者	先行者	跟随者	先行者	跟随者
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>Rob</i>	0.0130 ^{***} (4.26)	0.0064 ^{***} (8.59)	0.0173 ^{***} (3.83)	0.0113 ^{***} (11.69)	-0.0079 ^{**} (-1.96)	-0.0030 ^{**} (-2.43)	0.0225 ^{**} (2.39)	-0.0098 ^{***} (-4.09)
<i>Control</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
年份 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
企业—目的国—产品 FE	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	48 902	330 015	33 318	211 786	12 271	91 118	3 313	27 111
R ²	0.0699	0.0301	0.1369	0.0942	0.0288	0.0092	0.0700	0.0679

七、结论与政策建议

本文使用 2000–2015 年中国海关数据库和工业企业数据库的微观匹配数据，通过更换变量、数据维度、估计方法和模型等多种方式，在尽可能克服内生性的前提下考察了机器人的使用对企业出口产品质量的影响。基准估计结果和稳健性检验均表明，机器人的使用显著提升了企业出口产品质量；基于中介效应的机制分析表明，机器人的使用主要通过提升全要素生产率，降低企业边际成本的途径来影响出口产品质量。基于企业异质性的分组回归结果显示，机器人对大型企业、非高新企业和非国有企业出口产品质量的提升效果更明显。基于动态视角的拓展研究进一步发现，机器人的使用将会带来贸易拓展效应，但新建贸易关系的产品质量相对较低；还会带来市场份额的重新分配，提升幅度更大的低质量产品将抢夺中高质量产品的市场份额，从而引发激烈的竞争效应；而率先使用机器人的企业获得的提升效果远高于平均水平，存在明显的先发优势。

基于以上分析，本文提出以下政策建议：其一，在未来的国际竞争中，高效率、大规模的自动化生产将成为主流，机器人的使用能够赋予企业更强的产品质量竞争力，尤其是率先使用机器人的企业还可获得一定的先发优势。因此，有条件的中国企业应当未雨绸缪，尽早启动机器人的应用计划，以适应人工智能时代的大势所趋。其二，机器人的本质是一种具有替代技术特征的高价值固定资产，由于不同的企业的规模、实力、技术水平、市场和所处行业等特征各有千秋，并非所有的企业都适合使用机器人，且使用效果也不尽相同，产品质量处于较低水平的企业，使用机器人获得的提升效果最为明显，这也为深陷“低价低质”泥潭的中国企业提供了摆脱困境的一个思路。其三，尽管当前许多未使用机器人的企业依旧能够在国际市场中生存，甚至还拥有一定的优势，但为了在将来的竞争中占据有利地位，企业应当在明确自我定位的前提下，敢于打破传统的生产模式，抓住当前机器人普及的机遇期，在借助机器人提升出口产品质量的同时，争取在贸易拓展、产品竞争和先发优势等方面收获更多的自动化收益。

[参考文献]

- [1] RODRIK D. What is so Special about China's Exports? [J]. *China and World Economy*, 2006, 14 (5): 1-19.
- [2] HALLAK J C, SCHOTT P K. Estimation Cross-country Differences in Product Quality [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2011, 126 (1): 417-447.
- [3] FEENSTRA R C, ROMALIS J. International Prices and Endogenous Quality [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2014, 129 (2): 477-527.
- [4] HAUSMANN R, RODRIK D. Economic Development as Self-discovery [J]. *Journal of Development Economics*, 2003, 72 (2): 603-633.
- [5] JÄGER A, MOLL C, SOM O, ZANKER C, LICHTNER R. Analysis of the Impact of Robotic Systems on Employment in the European Union [R]. Publications Office of the EU, 2015.
- [6] GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at Work [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2018, 100 (5): 753-768.
- [7] ACEMOGLU D, LELARGE C, RESTREPO P. Competing with Robots: Firm-level Evidence from France [J]. *AEA Papers and Proceedings*, 2020, 110 (5): 383-388.
- [8] FELTEN E W, RAJ M, SEAMANS R. A Method to Link Advances in Artificial Intelligence to Occupational Abilities [J]. *AEA Papers and Proceedings*, 2018, 108 (5): 54-57.
- [9] CHENG H, JIA R, LI D, LI H. The Rise of Robots in China [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33 (2): 71-88.
- [10] DAUTH W, FINDEISEN S, SUEDEKUM J, WOESSNER N. German Robots: The Impact of Industrial Robots on Workers [R]. CEPR Discussion Paper, 2017, 12306.
- [11] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets [J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128 (6): 2188-2244.
- [12] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 2019, 33 (2): 3-30.
- [13] 郭凯明. 人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动 [J]. *管理世界*, 2019 (7): 60-77.
- [14] HEMOUS D, OLSEN M. The Rise of The Machines: Automation, Horizontal Innovation and Income Inequality [R]. CEPR Discussion Paper, 2014, 10244.
- [15] 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.
- [16] 陈彦斌, 林晨, 陈小亮. 人工智能、老龄化与经济增长 [J]. *经济研究*, 2019 (7): 47-63.
- [17] 杨飞, 范从来. 产业智能化是否有利于中国益贫式发展? [J]. *经济研究*, 2020 (5): 150-165.
- [18] 杨光, 候钰. 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.
- [19] GASTEIGER E, PRETTNER K. A Note on Automation, Stagnation, and the Implication of a Robot Tax [R]. School of Business & Economics Discussion Paper, 2017.
- [20] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Demographics and Automation [R]. NBER Working Paper, 2018b, 24421.
- [21] BLANAS S, GANCIA G, LEE S Y. Who is Afraid of Machines? [J]. *Economic Policy*, 2019, 34 (100): 627-690.
- [22] BONFIGLIOLI A, CRINÒ R, FADINGER H, GANCIA G. Robot Imports and Firm-level Outcomes [R]. CESifo Working Paper, 2020, 8741.
- [23] KOCH M, MANUYLOV I, SMOLKA M. Robots and Firms [R]. CESifo Working Paper, 2019, 7608.
- [24] 贾根良. 第三次工业革命与工业智能化 [J]. *中国社会科学*, 2016 (6): 87-106.
- [25] KHANDELWAL A K, SCHOTT P K, WEI S J. Trade Liberalization and Embedded Institutional Reform: Evidence from Chinese Exporters [J]. *American Economic Review*, 2013, 103 (6): 2169-2195.

- [26] MARTIN J, MEJEAN I. Low-wage Country Competition and Quality Content of High-wage Country Exports [J]. *Journal of International Economics*, 2014, 93 (1): 140-152.
- [27] MELITZ M. The Impact of Trade on Intra-industry Reallocation and Aggregate Industry Productivity [J]. *Econometrica*, 2003, 71 (6): 1695-1725.
- [28] 施炳展. 中国企业出口产品质量异质性: 测度与事实 [J]. *经济学 (季刊)*, 2014 (1): 263-284.
- [29] 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): 58-85.
- [30] BRODA C, WEINSTEIN D. Globalization and the Gains from Variety. [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2006, 121 (2): 541-585.
- [31] AUTOR D, DORN D, KATZ L F, PATTERSON C, REENEN J V. The Fall of the Labor Share and the Rise of Superstar Firms [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2020, 135 (2): 645-709.
- [32] 胡翠, 林发勤, 唐宜红. 基于“贸易引致学习”的出口获益研究 [J]. *经济研究*, 2015 (3): 172-186.
- [33] ALBORNOZ F, PARDO H, CORCOS G, ORNELAS E. Sequential Exporting [J]. *Journal of International Economics*, 2012, 88 (1): 17-31.

(责任编辑 蒋荣兵)

Does the Adoption of Industrial Robots Upgrade the Export Product Quality —Evidence from Chinese Manufacturing Enterprises

CAI Zhenkun QI Jianhong

Abstract: Based on the matched micro data from the Chinese Customs database and the Chinese industrial enterprise database for 2000-2015, this paper analyzes the impact, mechanism and dynamic effects of the use of industrial robots on the product quality of Chinese manufacturing enterprises' exports. The empirical results show that the adoption of robots has a significantly positive effect on upgrading the quality of manufacturing enterprises' products, which remains robust after a series of checks. Additionally, the analysis of the mechanism of intermediary effect shows that the use of industrial robots promotes the total factor productivity (TFP), and reduces the marginal costs of the enterprises, thus leading to an upgrade in the export product quality. Moreover, the quality upgrading effect is particularly prominent in large enterprises, non-high-tech enterprises and non-state-owned enterprises. Finally, extended research from dynamic perspectives further shows that the adoption of industrial robots could bring about a trade expansion, but that the product quality of the newly established trade relations could be relatively low. This could cause a redistribution of the market share, with low-quality products seizing a share from the medium and high-quality products, producing a competition effect. And it could also bring a first-move advantage, namely the enterprises that take the lead in adopting the robots early on are likely to have an advantage over those who follow them in the effect of quality upgrading.

Keywords: Export Product Quality; Industrial Robots; Competition Effect