

# 工业机器人如何影响出口竞争： “价格竞争”还是“质量竞争”

初晓，张丹蕾，赵勇

**[摘要]** 工业机器人技术的快速发展及其在生产领域中的广泛应用驱动全球贸易分工格局演变。厘清工业机器人影响出口的竞争机制，对于一国在日益激烈的国际竞争中占据主动至关重要。与以往文献主要关注机器人在供给侧的影响不同，本文同时在供给侧与需求侧两端考察出口竞争机制。实证分析表明，工业机器人通过“价格竞争”和“质量竞争”共同促进企业出口，但“价格竞争”占主导地位，这一结论在进行工具变量检验和稳健性检验后依然成立。拓展分析发现，工业机器人使用缩短了出口产品的“价格阶梯”和“质量阶梯”，降低了产品价格和质量差异。此外，本文还发现，产品替代弹性和贸易成本的增加强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制，而出口目的地市场竞争的加剧则强化了“质量竞争”机制。本文的研究有助于理解工业机器人在推动中国对外贸易高质量发展中的作用，为可能出现的全球贸易分工格局调整提供有效的应对之策。

**[关键词]** 工业机器人； 出口贸易； 价格竞争； 质量竞争

**[中图分类号]** F424 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2024)06-0099-18

## 一、引言

习近平总书记指出，“机器人革命”有望成为“第三次工业革命”的一个切入点和重要增长点，将影响全球制造业格局。近年来，中国经济增长面临来自国外和国内的双重压力，就外部压力而言，地缘政治冲突、逆全球化导致全球不确定性显著增加，企业经营风险随之增加；对于内部压力而言，国内人口红利摊薄，劳动力比较优势正在削弱，企业生产成本逐渐上升。在此背景下，代表工业领域革新力量的新质生产力首次被提出，工业机器人与智能制造成为核心要素。随着人工智能技术的融入与加持，工业机器人不仅在重复性工作中替代劳动力，更通过学习和自适应特点，成为国内企业增强竞争力的重要方式之一。

理论上，在相同产品类别下，企业出口竞争力来源于两个方面：一是“价格竞争”（即生产率优

**[收稿日期]** 2023-11-29

**[基金项目]** 国家社会科学基金一般项目“人工智能与出口贸易高质量发展研究”（批准号20BJY195）。

**[作者简介]** 初晓，中国银行研究院研究员，经济学博士；张丹蕾，中国人民大学经济学院博士研究生；赵勇，中国人民大学经济学院教授，博士生导师，经济学博士。通讯作者：赵勇，电子邮箱：joyong@ruc.edu.cn。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见，文责自负。

势)。以 Melitz (2003) 为代表的新新贸易理论指出,企业生产率是决定企业出口行为的关键,企业生产率提升可以降低边际成本从而降低出口产品价格,最终促进出口。二是“质量竞争”(即产品质量优势)。越来越多的研究表明,成功的出口企业平均产品质量更高,质量更高的产品更容易受到国外市场的追捧,从而更容易出口 (Bernard et al., 2003; Melitz, 2003; Chaney, 2008; Verhoogen, 2008; Johnson, 2012; Eckel et al., 2015)。在全球贸易格局重塑的当下,厘清工业机器人影响企业出口的竞争机制,对一国在日益激烈的国际竞争中占据主动至关重要。梳理已有文献可知,现有研究大多基于新新贸易理论,从生产率单一视角出发解释工业机器人影响出口的竞争机制,但只从生产率的角度讨论工业机器人影响企业出口竞争机制的做法并不全面,也无法体现工业机器人生产的特殊性。事实上,工业机器人除了具备较高的生产率之外,还具备更高的智能化水平和生产精度,可以带来产品质量的显著改善。

与以往文献侧重于供给侧分析不同,本文构建了一个局部均衡的异质性企业贸易模型,从供给侧与需求侧两端同时考察工业机器人对出口竞争机制的影响。该模型的不同之处在于,企业出口不仅取决于企业生产率,还与企业出口产品质量相关。具体而言,本文模型具有两个异质性维度:一是生产率维度,工业机器人通过作用于企业生产率,从而影响企业生产边际成本,最终在供给侧影响产品价格;二是产品质量维度,工业机器人带来的产品质量改变,通过影响企业最优定价的加成率,进而在需求侧对产品价格造成冲击。上述两个异质性维度分别对应工业机器人影响出口的“价格竞争”机制和“质量竞争”机制。本文实证结果为上述理论研究提供支撑,实证结果表明,工业机器人影响出口的竞争机制以“价格竞争”为主导,且缩小了各国出口同类型产品的价格与质量差距,即缩短了“价格阶梯”与“质量阶梯”。此外,产品替代弹性、贸易成本增加强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制,出口目的地市场的竞争加剧则强化了“质量竞争”机制。

相较于现有研究,本文研究贡献体现在以下方面:①将研究视角聚焦于工业机器人对出口竞争机制的影响。尽管已有研究证实了工业机器人对出口贸易的积极作用,认为在宏观层面上工业机器人带来的生产效率提升可以促进南北国家之间的出口贸易增长 (Artuc et al., 2023),在微观层面上工业机器人有助于提高企业生产效率并降低产品价格 (Graetz and Michaels, 2018)、提高出口产品复杂度 (Gu, 2019)、出口产品质量 (蔡震坤和綦建红, 2021; Hong et al., 2022; Lu et al., 2023) 以及出口产品议价能力 (黄亮雄等, 2023),但大多数研究都是从单方面考察工业机器人对出口的影响,尚未有文献就工业机器人影响出口的竞争机制进行系统分析。与上述文献不同,本文从工业机器人影响出口竞争机制的视角出发,通过理论模型与实证检验着重梳理和分析工业机器人如何通过“价格竞争”与“质量竞争”这两种不同的竞争机制最终作用于出口。②将工业机器人投入带来的需求冲击和供给冲击纳入统一的分析框架。已有文献对工业机器人影响的分析大多集中于供给侧,未考虑需求条件的变化 (Acemoglu and Restrepo, 2020; Artuc et al., 2023; Duan et al., 2023)。本文理论模型放松了产品质量同质以及需求曲线不变的假设,认为工业机器人的使用一方面影响了企业生产的边际成本,另一方面还通过对产品质量的影响作用于企业最优定价的加成率,两种力量共同引起企业出口产品价格变化,表明机器人在供给侧与需求侧两端同时影响企业出口竞争机制。③验证了工业机器人对“价格阶梯”和“质量阶梯”的影响。已有研究发现,各国生产的产品质量和价格存在较大差异 (Schott, 2004; Hummels and Klenow, 2005; Hallak and Sivadasan, 2009; Johnson, 2012),但鲜有研究围绕这些差异的来源进行解释。本文利用理论与实证模型推理并检验了工业机器人对出口产品价格与质量差异的影响,明确其在

国际贸易分工方面发挥的作用。此外,本文还验证了产品替代弹性、贸易成本以及出口目的地市场竞争程度对工业机器人影响出口竞争机制的调节作用,丰富了机器人与出口相关的研究。

余文安排如下:第二部分是理论模型,构建包含工业机器人生产特点的异质性企业贸易模型,从理论上解释工业机器人对出口竞争机制的影响;第三部分为模型构建、指标说明和数据来源;第四部分为工业机器人影响出口的竞争机制检验;第五部分为工业机器人影响出口竞争机制的拓展分析;第六部分是研究结论与政策建议。

## 二、理论分析

本文构建了一个局部均衡的异质性企业贸易模型,认为工业机器人同时在供给侧与需求侧影响企业出口。具体而言,从供给侧看,工业机器人通过影响企业生产率,作用于企业边际成本,进而对出口产品价格产生影响。从需求侧看,工业机器人通过影响产品质量,进而引起产品需求变化,作用于企业最优定价的加成率,进而对出口产品价格造成冲击。

### 1. 需求分析

假设垄断竞争条件下消费者具有常替代弹性(CES)效用函数如下:

$$U = \left[ \int_{i \in \Omega} (\lambda_i q_i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

其中, $q_i$ 表示消费者对产品*i*的需求数量, $\lambda_i$ 表示产品*i*的质量, $\Omega$ 表示消费者可能购买的商品集合, $\sigma > 1$ 用以表示产品间的替代弹性。在消费者的最优选择下,产品*i*在国外市场上的消费数量满足:

$$q_i = (p_i^c)^{-\sigma} \lambda_i^{\sigma-1} EP^{\sigma-1} \quad (2)$$

其中, $p_i^c$ 表示产品*i*在国外市场上的零售价格, $E$ 表示国外市场总支出, $P$ 是与CES效用函数对应的价格指数。由式(2)可知,产品质量 $\lambda_i$ 直接影响国外市场需求,当产品质量变化时,企业面临的需求曲线也会发生相应变动。

### 2. 供给分析

对于企业的生产方式,本文借鉴 Acemoglu and Restrepo(2020)的方法,将工业机器人替代劳动力生产的过程加入企业生产模型,假定企业的生产函数如下:

$$X_i = A_i \min \{x_i(v)\} \quad (3)$$

其中, $X_i$ 表示产品*i*的总生产量, $A_i$ 表示企业生产率系数,假设每一个企业都要通过一系列连续的生产任务 $v(v \in [0, 1])$ 才能完成生产过程,在生产 $X_i$ 单位产品*i*的过程中, $x_i(v)$ 是专业化于任务*v*的产量,这些任务按固定的比例组合。同时,对于企业生产产品*i*过程中的任务 $v, [0, \theta_i]$ 可以用工业机器人来操作, $(\theta_i, 1]$ 则只能由劳动力来完成。工业机器人和劳动力在每个任务中的生产率分别为 $\varphi_M$ 和 $\varphi_L$ ,且工业机器人的生产率显著高于劳动力的生产率,即 $\varphi_M > \varphi_L$ 。由此可得企业生产产品*i*过程中任务*v*的生产函数:

$$x_i(v) = \begin{cases} \varphi_M M_i(v) + \varphi_L L_i(v), & v \leq \theta_i \\ \varphi_L L_i(v), & v > \theta_i \end{cases} \quad (4)$$

其中, $M_i(v)$ 和 $L_i(v)$ 分别是企业生产产品*i*任务*v*过程中工业机器人和劳动力的投入量,在产出

水平一定的基本条件下, 加总所有任务, 由企业成本最小化原则可以得到企业生产产品  $i$  所需要的劳动力和工业机器人总需求:

$$L_i = \frac{(1 - \theta_i) X_i}{\varphi_L A_i}, M_i = \frac{\theta_i X_i}{\varphi_M A_i} \quad (5)$$

假定工业机器人的租金价格为  $R$ , 劳动力工资为  $W$ , 则可以进一步得到企业生产产品  $i$  的边际成本:

$$MC_i = \frac{W(1 - \theta_i)}{\varphi_L A_i} + \frac{R\theta_i}{\varphi_M A_i} \quad (6)$$

其中,  $\varphi_L R < \varphi_M W$ , 以确保企业采用工业机器人生产是有利可图的。

除企业生产率外, 还有第二个异质性来源, 即产品质量。由于企业生产投入主要包括劳动力和工业机器人两种, 不同组合可能导致生产产品的质量存在差异, 因此, 本文进一步放松企业产品质量恒定不变的假定, 假设企业生产产品  $i$  过程中的任务  $v$  时, 工业机器人生产的质量为  $\bar{\xi}_i + \varepsilon_i$ , 劳动力生产的质量为  $\bar{\rho}_i + \mu_i$ 。其中,  $\bar{\xi}_i$  和  $\bar{\rho}_i$  分别为工业机器人和劳动力生产的平均质量,  $\varepsilon_i \in (-\varepsilon, \varepsilon)$  且  $\varepsilon_i \sim N(0, \varepsilon^2)$ ,  $\mu_i \in (-\mu, \mu)$  且  $\mu_i \sim N(0, \mu^2)$ 。由于生产过程中工业机器人操作的规范性和标准化程度更高, 所以其生产的产品质量均值更高且质量方差更小, 因此, 假定  $\bar{\xi}_i > \bar{\rho}_i$ , 且  $\varepsilon^2 < \mu^2$ 。在企业成本最小化条件下, 投入工业机器人和劳动力进行生产, 可以得到产品  $i$  的平均质量为:

$$\lambda_i = \theta_i \bar{\xi}_i + (1 - \theta_i) \bar{\rho}_i \quad (7)$$

由式(7)可知, 企业生产产品  $i$  的平均质量  $\lambda_i$  随着企业生产自动化程度  $\theta_i$  的提高而提升。进一步地, 结合工业机器人标准化生产特点, 本文定义“质量阶梯”为同一产品不同个体质量的最大值与最小值之差, 可得产品  $i$  的质量阶梯为:

$$\lambda_i^{max} - \lambda_i^{min} = 2\theta_i \varepsilon + 2(1 - \theta_i) \mu \quad (8)$$

根据式(8)可以推断出, 工业机器人在提高产品质量的同时, 也缩小了企业生产产品的“质量阶梯”。

### 3. 均衡分析

考虑到分销成本在产品的最终零售价中所占的比重高达 40%—60% (Burstein et al., 2003), 在企业向海外市场出口产品的过程中, 需要支付的成本还应包括每单位产品的分销成本。因此, 企业销售  $i$  产品的零售价  $p_i^c$  与出口价格  $p_i$  呈现如下关系:

$$p_i^c = p_i + \eta \lambda_i \quad (9)$$

其中,  $p_i$  表示产品  $i$  的出口价格,  $\eta$  表示销售 1 单位产品的分销费用。一般来说, 质量更高的产品在营销、广告等环节的投入往往更高, 因此, 分销成本随质量的提高而增加 (Berman et al., 2012)。企业选择最优的产量以最大化利润进行生产, 利润函数为:

$$\pi_i = p_i^c q_i - WL_i - RM_i - \eta \lambda_i q_i - f \quad (10)$$

其中,  $f$  为企业进入出口市场的固定成本。结合式(9), 由企业利润最大化原则可得产品  $i$  的最优出口价格为:

$$p_i = \frac{\sigma}{\sigma - 1} \left( 1 + \frac{\eta \lambda_i}{\tau \sigma MC_i} \right) \tau MC_i \quad (11)$$

其中,  $\tau$  为“冰山运输成本” ( $\tau > 1$ )。可以看出, 式(11)反映的仍然是企业的边际成本加成定价



方式,工业机器人的使用一是影响了边际成本的大小,二是通过对产品质量的影响作用于企业最优定价的加成率,这两种力量的存在最终导致了出口价格的变化。进一步地,对式(11)等号两边取对数并对企业生产自动化程度 $\theta_i$ 求导,可得:

$$\underbrace{\frac{\partial \ln p_i}{\partial \ln \theta_i}}_{\text{净效应}} = \underbrace{\frac{\sigma \tau \theta_i}{\sigma \tau MC_i + \eta \lambda_i} \frac{\partial MC_i}{\partial \theta_i}}_{\text{“价格竞争”机制}} + \underbrace{\frac{\eta \theta_i}{\sigma \tau MC_i + \eta \lambda_i} \frac{\partial \lambda_i}{\partial \theta_i}}_{\text{“质量竞争”机制}} \quad (12)$$

式(12)等号右边的第一项和第二项分别对应工业机器人投入变化对企业边际生产成本和产品质量的影响。由式(6)和式(7)可知, $\partial MC_i / \partial \theta_i < 0$ , $\partial \lambda_i / \partial \theta_i > 0$ ,从而式(12)等号右边的第一项小于0,表明企业的边际生产成本随着企业生产自动化程度的提高而下降,从而对出口产品价格产生向下的驱动力,该过程被定义为工业机器人影响出口的“价格竞争”机制。同时,式(12)等号右边的第二项大于0,表明企业生产的产品质量随企业生产自动化程度的提高而提高,进而对出口产品价格产生向上的驱动力,该过程被定义为工业机器人影响出口的“质量竞争”机制。可以看出,企业生产自动化程度的提高对出口产品价格影响的净效应具有不确定性,其取决于“价格竞争”机制和“质量竞争”机制孰强孰弱。据此,本文提出:

假说1:工业机器人不仅通过“价格竞争”机制引起出口产品价格下降,还通过“质量竞争”机制引起出口产品价格提高,最终对出口产品价格影响的净效应具有不确定性,取决于两种竞争机制的强弱。

此外,式(11)和式(12)还表明,产品替代弹性对工业机器人影响企业加成率发挥了调节作用。一般而言,产品可替代性越强,企业市场势力越弱,相应的最优定价的加成率越小。为考察产品替代弹性如何作用于工业机器人影响企业出口竞争的机制,进一步将 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i$ 对产品替代弹性 $\sigma$ 求偏导<sup>①</sup>可得:

$$\frac{\partial(\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i)}{\partial \sigma} = \frac{\eta \tau \theta_i}{(\sigma \tau MC_i + \eta \lambda_i)^2} \frac{\varphi_L R \bar{Q}_i - \varphi_M W \bar{\xi}_i}{\varphi_L \varphi_M A_i} < 0 \quad (13)$$

由式(13)可知, $\partial(\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i) / \partial \sigma < 0$ ,表明随着 $\sigma$ 增加, $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i$ 减小。由于 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i$ 的符号无法确定,如果 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i > 0$ , $\sigma$ 增加则弱化了 $\ln \theta_i$ 对 $\ln p_i$ 的正向作用,即弱化“质量竞争”机制,强化“价格竞争”机制;如果 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i < 0$ , $\sigma$ 增加导致 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i$ 减小,但绝对值增加,因此,同样强化了“价格竞争”机制。据此,本文提出:

假说2:产品替代弹性提高强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制。

此外,由式(11)和式(12)可知,除产品替代弹性外,贸易成本也是影响企业出口的重要因素,对工业机器人影响出口竞争机制发挥调节作用。为考察这一调节作用,本文将 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i$ 对“冰山运输成本” $\tau$ 求偏导,可得:

$$\frac{\partial(\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i)}{\partial \tau} = \frac{\eta \sigma \theta_i}{(\sigma \tau MC_i + \eta \lambda_i)^2} \frac{\varphi_L R \bar{Q}_i - \varphi_M W \bar{\xi}_i}{\varphi_L \varphi_M A_i} < 0 \quad (14)$$

$\partial(\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i) / \partial \tau < 0$ ,表明随着 $\tau$ 增加, $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i$ 减小。尽管 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i$ 的正负存在不确定性,但无论 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i > 0$ 还是 $\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i < 0$ , $\tau$ 的增加均强化了“价格竞争”机制。据此,本文提出:

假说3:贸易成本提高强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制。

① 在理论模型的设定中, $\sigma$ 和 $\tau$ 未出现在产品质量表达式里,因此未对产品质量求偏导。

### 三、模型构建、指标说明和数据来源

#### 1. 计量模型设定

正如理论模型推导结果所示,工业机器人影响出口竞争机制包括两种作用相反的路径:一是“价格竞争”,即工业机器人提升企业生产率,降低出口产品价格;二是“质量竞争”,即工业机器人提高企业出口产品质量,抬升出口产品价格。“价格竞争”与“质量竞争”两种机制共同作用并最终体现为出口产品价格上升或下降。因此,本文实证考察工业机器人影响出口竞争机制主要分三步:

(1)考察工业机器人影响出口产品价格的净效应。结合本文设定的回归模型,若式(15)中系数 $\beta_1$ 显著为负,表示工业机器人显著降低了出口产品价格,意味着工业机器人对出口竞争机制的影响主要表现为“价格竞争”,但是否存在“质量竞争”无法判断。

(2)为进一步验证工业机器人影响出口的“质量竞争”机制,本文将出口产品质量作为被解释变量纳入回归模型,考察工业机器人是否提升了出口产品质量。若式(16)中系数 $\beta_1$ 显著为正,则表示工业机器人显著提升了出口产品质量,即“质量竞争”存在。此时结合式(15)中系数 $\beta_1$ 显著为负的结论,可知工业机器人对出口竞争机制的影响是“价格竞争”和“质量竞争”共存,但“价格竞争”占主导。若式(15)中系数 $\beta_1$ 显著为正,则表示工业机器人应用显著提升了出口产品价格,此时说明工业机器人对出口竞争机制的影响主要表现为“质量竞争”,但“价格竞争”仍然是不确定的。

(3)为了验证“价格竞争”,进一步考察工业机器人是否降低了出口产品“质量调整后的价格”,若式(17)中系数 $\beta_1$ 显著为负,即表示“价格竞争”存在。此时结合式(15)中系数 $\beta_1$ 显著为正的结论,可知工业机器人对出口竞争机制的影响是“价格竞争”和“质量竞争”共存,但“质量竞争”占主导。

$$P_{ijht} = \beta_0 + \beta_1 Robot_{iht} + \gamma X_{iht} + \delta X_{jt} + \rho X_{ijt} + \varphi_i + \mu_j + \sigma_t + \tau_h + \varepsilon_{ijht} \quad (15)$$

$$Q_{ijht} = \beta_0 + \beta_1 Robot_{iht} + \gamma X_{iht} + \delta X_{jt} + \rho X_{ijt} + \varphi_i + \mu_j + \sigma_t + \tau_h + \varepsilon_{ijht} \quad (16)$$

$$P\_adj_{ijht} = \beta_0 + \beta_1 Robot_{iht} + \gamma X_{iht} + \delta X_{jt} + \rho X_{ijt} + \varphi_i + \mu_j + \sigma_t + \tau_h + \varepsilon_{ijht} \quad (17)$$

其中, $h \in H$ , $i$ 为出口国, $j$ 为进口国, $h$ 为HS6位代码产品, $H$ 表示ISIC第4版2位代码行业, $t$ 为年份。对于被解释变量而言, $P_{ijht}$ 表示*i*国出口到*j*国*t*年HS6位产品的价格,用出口额/出口数量表示<sup>①</sup>; $Q_{ijht}$ 表示*i*国出口到*j*国*t*年HS6位产品代码下的出口产品质量; $P\_adj_{ijht}$ 表示“质量调整后的价格”(Hallak and Schott, 2011),用 $\ln P_{ijht} - \ln Q_{ijht}$ 衡量。对于核心解释变量而言, $Robot_{iht}$ 表示*i*国*H*行业*t*年工业机器人存量, $X_{iht}$ 表示出口国—行业—年份维度的控制变量, $X_{jt}$ 表示进口国—年份维度的控制变量, $X_{ijt}$ 表示进口国—出口国—年份维度的控制变量, $\varphi_i$ 、 $\mu_j$ 、 $\tau_h$ 分别表示不随时间变化的出口国、进口国和产品层面的固定效应, $\sigma_t$ 则表示仅在时间层面有所变化的时间固定效应, $\varepsilon_{ijht}$ 表示误差分布项。

#### 2. 指标说明

(1)出口产品价格。CEPII BACI提供了历年出口国出口到目的国的产品总额(单位:千美元)和

<sup>①</sup> CEPII BACI数据库基于联合国贸易数据库将出口产品的度量单位进行了统一,出口产品的数量均转化为以公吨为计量单位。

总量(单位:公吨),本文采用出口产品总额与出口产品总量的比值来表示出口产品价格。

(2)出口产品质量。本文借鉴 Khandelwal(2010)的方法,采用嵌套 Logit 模型对出口产品质量进行测算,并参考施炳展等(2013)的处理方法,对出口产品质量进行标准化处理,标准化后的产品质量在 0—1 之间。

(3)工业机器人指标。国际工业机器人联合会(IFR)对工业机器人的定义来自国际标准化组织。根据这一定义,工业机器人指的是具有以下特征的机器:可以进行重新编程以被灵活机动地运用到其他生产流程中、具有多种使用用途、允许存在物理改变(地理位置的移动)以及被安装在三个或更多轴上的多用途机械手。本文借鉴 Acemoglu and Restrepo(2017)的方法,采用工业机器人存量指标来度量。

(4)其他控制变量。本文分别在出口国—行业—年份维度、进口国—年份维度以及进口国—出口国—年份维度三种维度进行控制:对于出口国—行业—年份维度而言,控制了出口国行业年份层面的生产效率、工资水平、人均资本以及总产出水平。生产效率采用一国行业增加值/行业总就业人数来表示,工资水平则采用一国行业的工资水平来表示,人均资本采用行业固定资本/行业总就业人数来表示,总产出水平用一国行业增加值来表示。对于进口国—年份维度而言,考虑到进口国市场规模和竞争程度同样影响双边贸易往来,本文进一步控制了进口国 GDP 和人均 GDP 的基本经济情况。此外,由于汇率变化是影响国际贸易的重要因素,因此,本文在进口国—出口国—年份层面控制双边贸易伙伴国的汇率变化。

### 3. 数据来源及描述性统计

本文使用的工业机器人数据来自 IFR 数据库,贸易数据来自 CEPII BACI 数据库,控制变量来自世界银行、UNIDO 数据库、WIOD 数据库以及 EU KLEMS 数据库。各指标变量基本情况见表 1。通过将 IFR 数据库、CEPII BACI 数据库、世界银行数据、WIOD 数据库、EU KLEMS 数据库以及 UNIDO 数据库合并,最终本文获得了 1995—2017 年涵盖 69 个出口国家(或地区)、213 个进口国家(或地区)、4511 个 HS6 位产品以及 15 个 ISIC 2 位行业的数据样本。其中,对于工业机器人存量指标,采用  $\log(x + 1)$  的对数形式。

表 1 描述性统计

变量名称	变量维度	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
ln 出口产品价格	出口国—进口国— HS6 位产品—年份	116290211	2.5038	1.8541	-10.2979	19.7468
出口产品质量		113013549	0.4974	0.3011	0.0000	1.0000
ln 工业机器人存量	出口国—ISIC 行业— 年份	118173381	3.0381	3.2772	0.0000	12.4298
ln 生产效率		112503541	10.7099	1.0630	0.7290	18.7472
ln 工资水平		112991164	21.7827	1.8224	10.7488	25.7243
ln 人均资本		93785244	8.8680	1.0027	-1.9903	15.5178
ln 总产出水平		113191741	22.7045	1.9110	6.2897	26.9740
ln GDP	进口国—年份	113678982	25.6289	2.1232	16.2158	30.6007
ln 人均 GDP		113678982	9.0542	1.4515	4.6308	11.5416
ln 双边汇率	进口国—出口国—年份	116421218	0.6327	3.4645	-14.8720	24.1723

#### 四、工业机器人影响出口的竞争机制检验

通过理论分析可以得知,工业机器人影响出口的竞争机制可以表现为“价格竞争”和“质量竞争”两种方式,但何种竞争方式占主导(即对出口产品价格影响的净效应是什么),还需进一步实证检验。基于此,本部分从实证角度重点分析工业机器人影响出口的竞争机制。

##### 1. 基准回归

针对式(15)一式(17),本部分采用普通最小二乘法进行回归分析,表2汇报了相应的回归结果。表2第(1)、(2)列被解释变量为出口产品价格,用于考察工业机器人对出口产品价格影响的净效应;第(3)、(4)列被解释变量为产品质量,用于考察“质量竞争”机制;第(5)、(6)列被解释变量为质量调整后的价格,用于考察“价格竞争”机制。表2第(1)、(3)、(5)列同时控制了出口国、进口国、产品和年份层面的固定效应,表2第(2)、(4)、(6)控制了更为严格的固定效应,用以缓解不可观测因素对回归结果准确性的影响。同时,考虑到加总变量对个体变量回归有可能产生 Moulton 偏误,所以采用聚类在出口国一年份层面的稳健标准差以纠正普通标准差的向下偏误。回归结果显示,工业机器人显著提升出口产品质量和降低质量调整后的价格,即存在“质量竞争”与“价格竞争”。进一步地,工业机器人对出口产品价格影响的净效应显著为负,说明“价格竞争”占主导,由此验证假说1。

表2 基准回归结果

	净效应		质量竞争		价格竞争	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ln工业机器人存量	-0.0063*** (-4.8026)	-0.0034*** (-2.6419)	0.0036*** (7.7710)	0.0035*** (6.4872)	-0.0087*** (-6.0394)	-0.0057*** (-3.9380)
控制变量	是	是	是	是	是	是
出口国固定效应	是	否	是	否	是	否
进口国固定效应	是	否	是	否	是	否
产品固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	否	是	否	是	否
进口国—出口国固定效应	否	是	否	是	否	是
进口国一年份固定效应	否	是	否	是	否	是
出口国一年份固定效应	否	是	否	是	否	是
观测值	87320949	87320791	85223938	85223772	85005552	85005385
R <sup>2</sup>	0.6148	0.6327	0.0314	0.1374	0.5903	0.6127

注: \*、\*\*和\*\*\*分别代表10%、5%和1%的显著性水平,括号内数值为基于聚类在出口国一年份层面的稳健标准差计算的t值。下表同。

##### 2. 工具变量检验

本文工具变量参考Blanchard and Olney(2017)、Zhao et al.(2024)的构建方法,构建思路见图1。具体而言,考虑到国家*i*安装使用的工业机器人来源主要包括两种:国内生产和国外进口。由前者决定的工业机器人安装量受本国自身经济发展影响,例如会受到国内企业出口行为以及其他遗漏

的国内经济变量的影响,从而产生逆向因果和遗漏变量的内生性问题。对于进口的工业机器人,进口量取决于本国(即*i*国)的经济属性(“拉动因素”)与机器人出口国*c*国的经济属性(“推动因素”),相对而言,来自出口国*c*国的“推动因素”比本国(即*i*国)的“拉动因素”更为外生。如果可以梳理影响工业机器人进口的外生“推动因素”,并仅使用影响工业机器人进口的潜在外生驱动因素来构建工具变量,则可以更好地满足工具变量外生的条件。

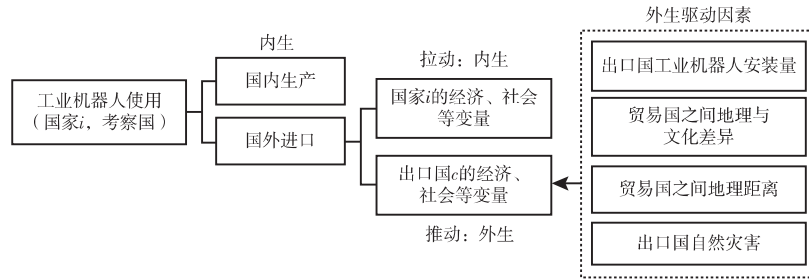


图1 工具变量构建思路

基于此,本文首先通过式(18)得到由外生驱动因素构建的本国(即*i*国)从*c*国进口机器人数量的拟合值。其中, $imp\_robot_{ict}$ 表示工业机器人进口国*i*国(即本文考察的产品出口国)在*t*年从*c*国进口的工业机器人数量。根据Acemoglu and Restrepo(2020),本文选择HS6位代码为847950的产品进口数据表示工业机器人进口。 $robot_{ct}$ 表示第*t*年出口国*c*国安装的工业机器人总量。 $\gamma_t$ 、 $\gamma_i$ 和 $\gamma_c$ 分别为年份、工业机器人进口国和工业机器人出口国固定效应。 $\varepsilon_{ict}$ 是扰动项。通过对式(18)回归,可以得到相应回归系数,进而得到工业机器人进口的拟合值 $\hat{y}_{ict} = e^{\hat{\alpha} + \hat{\beta} \ln(robot_{ct}) + \hat{\gamma}_i + \hat{\gamma}_c}$ 。

$$\ln imp\_robot_{ict} = \alpha + \beta \ln robot_{ct} + \gamma_t + \gamma_i + \gamma_c + \varepsilon_{ict} \quad (18)$$

从式(18)回归中可以看出,拟合值 $\hat{y}_{ict}$ 是工业机器人出口国(即*c*国)经济属性的函数,因此,外生于工业机器人进口国*i*国的企业出口行为。本文进一步将*i*国的工业机器人进口拟合值在其进口伙伴国*c*国的层面上加总,取对数后再乘以样本期初(1995年)*i*国*H*行业的工业机器人存量占比 $\omega_{ih,1995}$ ,即可得到本文的工具变量:

$$robot\_IV_{ih} = \omega_{ih,1995} \times \ln \left( \sum_{c=1}^{N_j} \hat{y}_{ict} \right) \quad (19)$$

其中, $N_j$ 是向*i*国出口工业机器人的国家*c*的总数。此外,为确保回归结果稳健,本文在式(18)的基础上增加控制变量,加入进口国—出口国双边地理和文化特征(包括共同边界、共同语言和殖民关系变量)、双边地理距离与年份固定效应交互项以及影响工业机器人进口需求的外生变量(如出口国*c*国的自然灾害,包括干旱、地震和山体滑坡等),以构建更严格的工具变量( $robot\_IV\_strict_{ih}$ ),作为稳健性检验。

表3展示了工业机器人影响出口竞争机制的工具变量检验结果。其中,第(1)—(3)列采用 $robot\_IV_{ih}$ 作为工具变量,第(4)—(6)列采用 $robot\_IV\_strict_{ih}$ 作为工具变量。可以发现,回归结果均与基准回归结果保持一致。在净效应的工具变量检验中,工业机器人回归系数显著为负,表明工业机器人对出口竞争机制的影响中“价格竞争”占主导。在“质量竞争”与“价格竞争”机制的工具变量检验中,回归结果同样稳健,表明工业机器人影响出口的“质量竞争”与“价格竞争”机制并存。工具变量回归结果中KP-F值均大于60,表明回归结果不存在弱工具变量问题。

表3 工业机器人影响出口竞争机制的工具变量检验

	工具变量: $robot\_IV_{it}$			工具变量: $robot\_IV\_strict_{it}$		
	(1) 净效应	(2) 质量竞争	(3) 价格竞争	(4) 净效应	(5) 质量竞争	(6) 价格竞争
ln工业机器人存量	-0.0393* (-1.9624)	0.0199*** (3.7524)	-0.0548** (-2.4858)	-0.0423** (-2.0448)	0.0234*** (4.2583)	-0.0601*** (-2.6285)
第一阶段回归						
$robot\_IV_{it}$	0.2984*** (8.1369)	0.2972*** (8.1287)	0.2970*** (8.1282)			
$robot\_IV\_strict_{it}$				0.2602*** (8.1349)	0.2591*** (8.1241)	0.2589*** (8.1221)
控制变量	是	是	是	是	是	是
产品固定效应	是	是	是	是	是	是
出口国一年份固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国一年份固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国—出口国固定效应	是	是	是	是	是	是
KP—F值	66.209	66.076	66.067	66.177	66.000	65.968
观测值	25233745	24699937	24667715	25233745	24699937	24667715

### 3. 稳健性检验

本文采用三种方式对回归结果进行稳健性检验:①替换核心指标。替换出口产品价格、产品质量及质量调整后的价格指标,替换工业机器人相关指标。②更换不同聚类标准,以充分考虑组内相关对回归结果造成的影响。③剔除异常值,以克服回归样本中各国之间贸易产品信息可能存在的一定程度的统计偏误。回归结果包含三个回归面板,Panel A、Panel B和Panel C分别展示了工业机器人对出口产品价格影响的净效应、“质量竞争”与“价格竞争”稳健性检验结果。①

(1)排除测量误差对结果的影响。一方面,关于工业机器人对出口产品价格影响的净效应考察。考虑到出口产品价格可能存在统计误差,为减少测度偏误和内生性,采用价格排序来作为出口产品价格的替代指标。回归结果可以看出,工业机器人对价格排名的作用结果显著为正,即工业机器人降低了企业出口产品价格(价格排名上升,表明出口产品价格下降),验证了本文基准回归结论。另一方面,本文参考Khandelwal(2010)的做法,将贸易伙伴国之间的双边汇率水平以及贸易两国之间的地理距离与石油价格的交互项作为工具变量,利用两阶段最小二乘法估计出口产品质量。相应地,根据新构建的出口产品质量指标,进一步可得到新的质量调整后的价格指标,回归结果依然稳健。

(2)对工业机器人存量的进一步估算。基于前文分析可知,现有文献关于工业机器人存量折旧率的选择暂无统一标准。Artuc et al.(2023)采用10%的折旧率对工业机器人存量进行资产盘存。Graetz and Michaels(2018)在分析工业机器人的经济贡献时,除了对工业机器人折旧采用10%的折旧率之外,同时还采用了5%、15%两种不同的折旧率标准。本部分参考Graetz and Michaels(2018)的做法,在5%、10%、15%三个不同折旧率水平,对工业机器人存量进行折旧。

① 稳健性分析结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。



同时,考虑到IFR数据库所呈现的数据中,大约有30%的工业机器人没有被归类到任何行业,本文在基准回归部分借鉴Acemoglu and Restrepo(2017)的处理方法,将这些未分类的工业机器人安装量按比例分配给各个行业。为确保回归结果不会受到未分类行业工业机器人的影响,本文进一步针对未经行业调整的工业机器人存量指标进行回归。此外,考虑到部分文献衡量不同行业工业机器人应用情况时,采用人均工业机器人存量这一指标来表示该行业工业机器人使用密集度(Dauth et al., 2018; Krenz et al., 2021),因此,本文同样构建该类指标用以替换原有核心解释变量。利用10%折旧率进行折旧后的工业机器人存量、未经行业调整的工业机器人存量以及人均工业机器人存量三种指标对工业机器人指标进行替换,回归结果均表现出较好的稳健性。

(3)聚类层面的选择。Angrist and Pischke(2008)指出,模型选取的数据间可能存在相关性,而相关性最重要的表现形式就是组内相关,但关于聚类到何种层面的问题尚未有定论。不同学者在研究不同问题时会选择不同层面进行聚类分析,甚至相同样本也存在着选取不同聚类层面进行回归的情况。例如,与本文使用相同数据库的文献有:Schott(2008)使用CEPII BACI数据分析中国出口产品复杂度问题,采用聚类在出口层面的回归结果;Crino and Epifani(2012)在分析生产率、出口产品质量和出口行为问题时,聚类层面为行业层面;Alcalá(2016)在分析产品专业化与出口产品质量时,聚类层面为国家层面。因此,为纠正OLS估计在面板数据中可能存在的低估标准误的缺陷,本文采用不同的聚类层面进行稳健性检验。可以发现,聚类在出口国—产品—年份层面的稳健标准差相应发生变化,但回归系数与显著性并未发生实质性改变。

(4)排除极端值对结果的干扰。回归样本中可能存在部分行业出口产品价格、出口产品质量以及质量调整后的价格显著高于或者低于行业均值的情况。这部分极端值的存在,一方面可能是由于统计偏误所导致,由此造成回归结果存在内生性问题;另一方面,如若并非统计偏差,那么极大值或者极小值的存在可能会干扰其他样本的回归结果,导致本文的回归结果缺乏一般性和普遍性。基于此,本文进一步剔除出口产品价格、出口产品质量以及质量调整后的价格高于90分位数和低于10分位数的样本,从而确保本文的回归结果更具说服力。剔除极端值的回归结果依然表现出较好的稳健性。

## 五、工业机器人影响出口竞争机制的拓展分析

理论模型部分,除分析工业机器人对出口竞争机制的影响外,还发现工业机器人会缩短产品的“质量阶梯”,并提出产品替代弹性和贸易成本会对工业机器人影响出口竞争机制产生调节作用。为验证理论分析中的观点和假说在实证上是否成立,以及从更多视角探究工业机器人对出口竞争机制的影响,本部分进行如下拓展分析:①考察工业机器人对出口产品“价格阶梯”和“质量阶梯”的影响;②探究产品替代弹性和贸易成本对工业机器人影响出口竞争机制的调节效应;③考察出口目的地市场竞争程度的异质性影响。

### 1. 出口产品“价格阶梯”与“质量阶梯”

结合理论模型,由于生产过程中工业机器人操作的规范性和标准化程度更高,其生产的产品质量更高,质量方差更小( $\bar{\xi}_i > \bar{\rho}_i$ 且 $\sigma^2 < \mu^2$ )。因此,相较于劳动力生产而言,工业机器人使得不同企业生产同一产品的质量差距逐步缩小,即工业机器人降低了“质量阶梯”。此外,工业机器人也可能导致不同企业的边际成本趋同,由此缩小产品价格差距,即“价格阶梯”。基于此,本部分针对

“价格阶梯”与“质量阶梯”进行检验。具体而言,“价格阶梯”和“质量阶梯”反映了不同国家出口的不同种类的产品(HS 6位代码一致)之间价格和质量的差距,若“价格阶梯”和“质量阶梯”减小,则说明各国同产品之间的竞争更加激烈,比较优势相对收敛。核心解释变量  $Robot_{ht}$  为工业机器人存量指标,此处对应于产品所在行业一年份层面;被解释变量  $Ladder_{iht}$  为出口产品“价格阶梯”或“质量阶梯”,表示进口国  $i$  在  $t$  年  $H$  行业下进口所有的  $h$  产品价格或质量的差距(Khandelwal, 2010),回归模型如下:

$$Ladder_{iht} = \beta_0 + \beta_1 Robot_{ht} + \gamma X_{iht} + \delta X_i + \varphi_i + \sigma_t + \tau_h + \varepsilon_{iht} \quad (20)$$

表4展示了工业机器人对出口产品“价格阶梯”与产品“质量阶梯”影响的回归结果,第(1)~(4)列依次控制了不同层面的固定效应并采用聚类在不同层面的稳健标准差。从表4的回归结果中可以看出,在替换并使用了不同维度的固定效应以及采用聚类在不同层面的稳健标准差之后,结论依然稳健。工业机器人对“价格阶梯”和“质量阶梯”的影响均显著为负,说明在工业机器人的作用下,各国同一产品出口价格和出口质量差距正在逐渐缩小,这意味着各国贸易相对比较优势正在收敛。当然,各国产品价格和产品质量的趋同,也可能进一步导致企业开拓新产品,从而提升自身比较优势,为企业研发创新提供潜在激励。

表4 出口产品“价格阶梯”与“质量阶梯”回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
Panle A:“价格阶梯”检验				
ln 工业机器人存量	-0.0070*** (-15.3914)	-0.0053*** (-11.7672)	-0.0070*** (-15.1795)	-0.0053*** (-12.3898)
观测值	13029095	13029095	13029095	13029095
R <sup>2</sup>	0.4358	0.4567	0.4358	0.4567
Panle B:“质量阶梯”检验				
ln 工业机器人存量	-0.0007*** (-17.9982)	-0.0004*** (-11.6005)	-0.0007*** (-10.8218)	-0.0004*** (-8.2281)
控制变量	是	是	是	是
产品固定效应	是	是	是	是
进口国固定效应	是	否	是	否
年份固定效应	是	否	是	否
进口国一年份固定效应	否	是	否	是
聚类	产品	产品	进口国一年份	进口国一年份
观测值	11128414	11128414	11128414	11128414
R <sup>2</sup>	0.2103	0.2405	0.2103	0.2405

注:括号内数值为基于聚类在不同层面的稳健标准差计算的t值。下表同。

## 2. 产品替代弹性的差异

产品替代弹性作为决定企业加成率的最主要因素之一,直接影响企业加成的空间和产品定价。如果某种产品的替代弹性较高,则意味着该产品在市场上可以被很多其他产品所替代,企业往往倾

向于以更低的价格出售。结合前文的理论分析,由 $\partial(\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i) / \partial \sigma < 0$ 可知,产品替代弹性提高强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制(假说2)。为验证这一假说,本文考察了产品替代弹性对工业机器人影响出口竞争机制的调节作用。在基准回归模型中,加入ln替代弹性 $\times$ ln工业机器人存量的交互项进行回归<sup>①</sup>。表5第(1)、(3)、(5)列聚类在出口国一年份层面,第(2)、(4)、(6)列聚类在出口国—产品一年份层面。可以发现,对于净效应而言,ln替代弹性 $\times$ ln工业机器人存量的交互项显著为负,表明产品替代弹性的增加强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制主导作用,验证了假说2。对于“质量竞争”机制而言,从理论模型可以看出,产品替代弹性 $\sigma$ 并未出现在产品质量表达式中,因此,未发挥对产品质量的调节作用。从实证回归结果看,ln替代弹性 $\times$ ln工业机器人存量的交互项不显著,与本文理论模型结论一致。可能的原因在于,随着某种产品可替代性增强,其面临的市场竞争程度越大,提高生产率降低产品价格往往是企业容易实现的方式,产品替代弹性对产品质量的调节作用可能并不明显。

表5 关于产品替代弹性的检验

	净效应		质量竞争		价格竞争	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ln工业机器人存量	-0.0012 (-0.8269)	-0.0012*** (-4.0619)	0.0036*** (6.5336)	0.0036*** (45.9501)	-0.0036** (-2.3162)	-0.0036*** (-11.4609)
ln替代弹性 $\times$ ln工业机器人存量	-0.0008** (-2.1721)	-0.0008*** (-8.9878)	-0.00001 (-0.2285)	-0.00001 (-0.6235)	-0.0007* (-1.8567)	-0.0007*** (-7.5972)
控制变量	是	是	是	是	是	是
产品固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国—出口国固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国—年份固定效应	是	是	是	是	是	是
出口国—年份固定效应	是	是	是	是	是	是
聚类	出口国— 年份	出口国— 产品—年份	出口国— 年份	出口国— 产品—年份	出口国— 年份	出口国— 产品—年份
观测值	75941428	75941428	74123323	74123323	73951856	73951856
R <sup>2</sup>	0.6291	0.6291	0.1366	0.1366	0.6094	0.6094

### 3. 贸易成本的作用

除产品替代弹性外,理论分析还发现,贸易成本也会对工业机器人影响出口的竞争机制产生调节作用。由 $\partial(\partial \ln p_i / \partial \ln \theta_i) / \partial \tau < 0$ 可知,贸易成本增加强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制(假说3)。考虑到影响贸易成本的最直接因素之一就是运输成本,双边贸易国之间地理距离越远,企业面临的生产成本与不确定性越高,需要培育更高的产品竞争优势。因此,为验证假说3,本文在基准回归模型基础上,加入ln地理距离 $\times$ ln工业机器人存量交互项进行回归,验证贸易成本对工业机器人影响出口竞争机制的调节作用。表6第(1)—(3)列采用两国居住人口最多的

① 产品替代弹性数据来源于Soderbery(2015)。

城市之间的地理距离来衡量两国地理距离,第(4)一(6)列则采用两国首都之间地理距离来衡量两国地理距离,地理距离数据来源于CEPII BACI数据库。回归结果显示,贸易成本增加强化了工业机器人影响出口贸易的“价格竞争”,验证了假说3。值得注意的是,在前文理论模型中,“冰山运输成本” $\tau$ 也未进入产品质量的表达式,对产品质量不存在调节作用。但表6回归结果显示,贸易成本显著强化了工业机器人影响出口的“质量竞争”机制,与理论模型结论并不完全一致。可能的原因在于,理论模型较为简化,更为复杂的现实情况可能导致实证结果与理论结论不符。从已有文献可以看出,部分学者关注到贸易成本对产品质量的影响,认为由于冰山运输成本的存在,质量更高的产品往往被送到地理位置相对更远的国家(Hummels and Skiba, 2004),与本文实证结论一致。

表6 关于贸易成本的检验

	两国居住人口最多的城市地理距离			两国首都之间地理距离		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	净效应	质量竞争	价格竞争	净效应	质量竞争	价格竞争
ln工业机器人存量	0.0094** (2.3047)	-0.0044*** (-2.6222)	0.0124*** (2.7315)	0.0089** (2.1787)	-0.0044*** (-2.6223)	0.0120*** (2.6268)
ln地理距离×ln工业机器人存量	-0.0017*** (-3.3288)	0.0009*** (4.6595)	-0.0023*** (-4.1200)	-0.0016*** (-3.2009)	0.0009*** (4.6356)	-0.0022*** (-4.0137)
控制变量	是	是	是	是	是	是
产品固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国—出口国固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国—年份固定效应	是	是	是	是	是	是
出口国—年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	75424637	73567177	73368595	75424637	73567177	73368595
R <sup>2</sup>	0.6235	0.1323	0.6033	0.6235	0.1323	0.6033

注:括号内数值为基于聚类在出口国—年份层面的稳健标准差计算的t值。

#### 4. 市场竞争程度的影响

在理论模型中,产品质量仅取决于企业生产自动化程度。实际上,产品质量还可能因出口目的地市场竞争程度的差异而不同。一般而言,出口到市场规模越大的国家,产品质量越高。这是因为,一个国家市场规模越大,市场竞争程度越激烈(Melitz and Ottaviano, 2008; Ding and Niu, 2019),消费者对产品质量的期望和要求也越高,因此,只有高质量的产品才能市场中占据一席之地。基于此,本文在基准回归模型中,进一步纳入ln出口目的国GDP×ln工业机器人存量交互项,用以检验出口目的地市场异质性影响。表7汇报了相应的回归结果,第(1)、(3)、(5)列聚类在出口国—年份层面,第(2)、(4)、(6)列聚类在出口国—产品—年份层面。可以看出,无论是净效应、质量竞争还是价格竞争,出口目的国GDP与工业机器人交互项系数均显著为正,说明随着出口目的地市场竞争程度的增加,工业机器人影响出口的“价格竞争”机制逐渐削弱,“质量竞争”机制有所提升。

表7 关于出口目的地市场竞争的检验

	净效应		质量竞争		价格竞争	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ln工业机器人存量	-0.0250*** (-5.5006)	-0.0250*** (-21.1126)	-0.0055*** (-4.7254)	-0.0055*** (-20.2027)	-0.0192*** (-4.2760)	-0.0192*** (-15.0373)
ln出口目的国GDP×ln工业机器人存量	0.0008*** (4.6909)	0.0008*** (18.8227)	0.0004*** (6.9260)	0.0004*** (34.0237)	0.0005*** (2.9486)	0.0005* (10.9243)
控制变量	是	是	是	是	是	是
产品固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国—出口国固定效应	是	是	是	是	是	是
进口国—年份固定效应	是	是	是	是	是	是
出口国—年份固定效应	是	是	是	是	是	是
聚类	出口国— 年份	出口国— 产品—年份	出口国— 年份	出口国— 产品—年份	出口国— 年份	出口国— 产品—年份
观测值	87320791	87320791	85223772	85223772	85005385	85005385
R <sup>2</sup>	0.6327	0.6327	0.1375	0.1375	0.6127	0.6127

注：括号内数值为基于聚类在不同层面的稳健标准差计算的t值。

## 六、结论与政策建议

本文研究为中国如何实现高质量对外贸易发展提供了参考建议。构建“更高水平开放型经济新体制”是党中央做出的重大战略决策。以工业机器人为核心载体的工业智能化时代,促进机器人与国际贸易的有机融合是推动中国构建更高水平开放型经济新体制以及对外贸易高质量发展的关键。厘清工业机器人影响出口的竞争机制,有助于更好地理解和发挥机器人在推动中国对外贸易高质量发展中的作用。本文研究发现:①理论上,工业机器人可以通过提高企业生产率和出口产品质量两种方式影响企业出口产品价格,进而影响出口贸易。具体而言:一是工业机器人影响企业生产率,主要通过决定企业生产的边际成本从而在供给侧影响产品价格;二是工业机器人提升企业生产的产品质量,通过决定产品的市场需求影响企业加成率,进而在需求侧引起产品价格变化,最终工业机器人影响出口产品价格的净效应取决于“价格竞争”机制和“质量竞争”机制发挥的相对作用程度。②实证结果表明,工业机器人影响出口既包括“价格竞争”机制也包括“质量竞争”机制,但“价格竞争”机制占主导。在经过替换核心指标、剔除异常值等一系列稳健性检验、工具变量检验后,上述结论依然是稳健的。③工业机器人显著缩短了出口产品的“价格阶梯”和“质量阶梯”,产品替代弹性、贸易成本增加显著强化了工业机器人影响出口的“价格竞争”机制,出口目的地市场竞争加剧则强化了“质量竞争”机制。基于以上结论,本文有如下政策启示:

(1)引导企业转型升级,由“价格竞争”转向“质量竞争”。现阶段,中国人口红利摊薄,劳动力比较优势逐渐被弱化,一味追逐“价格竞争”并非维持经济长期稳定发展的良策。因此,应当引导企业参与出口贸易的方式积极转向“质量竞争”,发挥工业机器人应用对提高企业生产率优势和质量优势的作用,在明确自我定位的前提下,敢于突破传统的生产方式,抓住工业智能化变革这一机遇,尽快实现自动化生产,利用先进的信息技术和管理理念提高研发、管理、制造和服务水平,通过科学的管理流程、管理标准,建立高效合理的生产经营体系。

(2)推动企业自动化生产的普及,积极拓展新市场。在未来的国际竞争中,自动化生产将是企业参与国际竞争的核心力量,有条件的企业应未雨绸缪,尽可能加入自动化生产行列,从本质上提升企业的核心竞争力。此外,对于已实现自动化生产的企业,一方面应研判自动化生产为现阶段企业发展带来的生产空间,确保自动化生产发挥最大的利用价值;另一方面,随着工业机器人的应用,各国生产产品差异可能逐渐缩小,价格差距也呈现部分收敛,企业应积极研发新产品,在不同市场形成自身产品的比较优势,逐步分散国际贸易中面临的不确定性风险。

(3)建立健全中国工业机器人产业发展的政策体系。中国应增强对工业机器人产业的研发投入,大力支持工业机器人产业自主研发、技术创新,从而促使其全面发展。加大工业机器人相关科研人员培养力度,可在部分科技大学设立工业机器人相关的特色专业,培养专业对口的特有人才,同时定向就业,引导这部分人才走向自动化生产企业或者科研院所。拓宽融资资金,设立“专项基金”,缓解工业机器人产业发展资金不足的瓶颈。制定相应的鼓励措施,包括研发补贴、重大技术装备补贴等,积极鼓励工业机器人产业自主创新。积极促进工业机器人行业应用示范,确定行业发展方向和发展目标,提高工业机器人的行业标准,提升其在国际市场的知名度,建立良好的品牌声誉,促使国产工业机器人行业更加持续健康发展。

本文研究展望如下:现有研究对可变成本和固定成本的作用给予了高度关注,但是对分销成本的研究存在不足。本文在理论模型部分引入了分销成本的作用,从而保证了生产—贸易—销售的链条形成完整闭环。然而,囿于数据限制,本文对分销成本的作用机制并未深入讨论。未来在数据可得性提高的情况下,可进一步测度分销成本并讨论其发挥的作用。

#### 〔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):17-33.
- [2]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.
- [3]施炳展,王有鑫,李坤望.中国出口产品品质测度及其决定因素[J].世界经济,2013,(9):69-93.
- [4]Acemoglu, D., and P. Restrepo. Secular Stagnation? The Effect of Aging on Economic Growth in the Age of Automation[J]. *American Economic Review*, 2017, 107(5): 174-179.
- [5]Acemoglu, D., and P. Restrepo. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets[J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [6]Alcalá, F. Specialization across Goods and Export Quality[J]. *Journal of International Economics*, 2016, 98: 216-232.
- [7]Angrist, J. D., and J. S. Pischke. *Mostly Harmless Econometrics*[M]. New Jersey: Princeton University Press, 2008.
- [8]Artuc, E., P. Bastos, and B. Rijkers. Robots, Tasks, and Trade[J]. *Journal of International Economics*, <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2023.103828>, 2023.
- [9]Berman, N., P. Martin, and T. Mayer. How Do Different Exporters React to Exchange Rate Changes [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2012, 127(1): 437-492.
- [10]Bernard, A. B., J. Eaton, J. B. Jensen, and S. Kortum. Plants and Productivity in International Trade [J]. *American Economic Review*, 2003, 93(4): 1268-1290.
- [11]Burstain, A. T., C. N. Joao, and R. Sergio. Distribution Costs and Real Exchange Rate Dynamics during Exchange-Rate-Based Stabilizations[J]. *Journal of Monetary Economics*, 2003, 50(6):1189-1214.
- [12]Blanchard, E. J., and W. W. Olney. Globalization and Human Capital Investment: Export Composition Drives Educational Attainment[J]. *Journal of International Economics*, 2017, 106:165-183.



- [13] Chaney, T. Distorted Gravity: The Intensive and Extensive Margins of International Trade [J]. *American Economic Review*, 2008, 98(4): 1707–1721.
- [14] Crino, R., and P. Epifani. Productivity, Quality and Export Behaviour [J]. *Economic Journal*, 2012, 122(565): 1206–1243.
- [15] Dauth, W., S. Findeisen, J. Suedekum, and N. Woessner. Adjusting to Robots: Worker-Level Evidence [R]. Opportunity and Inclusive Growth Institute Working Paper, 2018.
- [16] Ding, C., and Y. Niu. Market Size, Competition, and Firm Productivity for Manufacturing in China [J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2019, 74: 81–98.
- [17] Duan, D., S. Chen, Z. Feng, and J. Li. Industrial Robots and Firm Productivity [J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2023, 67: 388–406.
- [18] Eckel, C., L. Iacovone, B. Javorcik, and J. P. Neary. Multi-Product Firms at Home and away: Cost-Versus Quality-Based Competence [J]. *Journal of International Economics*, 2015, 95(2): 216–232.
- [19] Graetz, G., and G. Michaels. Robots at Work [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2018, 100(5): 753–768.
- [20] Gu, L. The Impact of Intelligent Manufacturing on Export Sophistication: Evidence from Industrial Robots [J]. *International Journal of Business and Management*, 2019, 14(12): 183–190.
- [21] Hallak, J. C., and J. Sivadasan. Firms' Exporting Behavior Under Quality Constraints [R]. NBER Working Paper, 2009.
- [22] Hallak, J. C., and P. K. Schott. Estimating Cross-country Differences in Product Quality [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2011, 126(1): 417–474.
- [23] Hong, L., X. Liu, H. Zhan, and F. Han. Use of Industrial Robots and Chinese Enterprises' Export Quality Upgrading: Evidence from China [J]. *Journal of International Trade & Economic Development*, 2022, 31(6): 860–875.
- [24] Hummels, D., and A. Skiba. Shipping the Good Apples Out? An Empirical Confirmation of the Alchian-Allen Conjecture [J]. *Journal of Political Economy*, 2004, 112(6): 1384–1402.
- [25] Hummels, D., and P. J. Klenow. The Variety and Quality of a Nation's Exports [J]. *American Economic Review*, 2005, 95(3): 704–723.
- [26] Johnson, R. C. Trade and Prices with Heterogeneous Firms [J]. *Journal of International Economics*, 2012, 86(1): 43–56.
- [27] Khandelwal, A. The Long and Short (of) Quality Ladders [J]. *Review of Economic Studies*, 2010, 77(4): 1450–1476.
- [28] Krenz, A., K. Pretzner, and H. Strulik. Robots, Reshoring, and the Lot of Low-Skilled Workers [J]. *European Economic Review*, <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103744>, 2021.
- [29] Lu, J., T. Wang, Y. Yuan, and H. Chen. Do Industrial Robots Improve Export Product Quality of Multi-Product Enterprises? Evidence in China [J]. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2023, 60(8): 1691–1715.
- [30] Melitz, M. J. The Impact of Trade on Intra-Industry Reallocations and Aggregate Industry Productivity [J]. *Econometrica*, 2003, 71(6): 1695–1725.
- [31] Melitz, M. J., and G. I. P. Ottaviano. Market Size, Trade, and Productivity [J]. *Review of Economic Studies*, 2008, 75(1): 295–316.
- [32] Schott, P. K. Across-Product Versus Within-Product Specialization in International Trade [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2004, 119(2): 647–678.
- [33] Schott, P. K. The Relative Sophistication of Chinese Exports [J]. *Economic Policy*, 2008, 23(53): 6–49.
- [34] Soderbery, A. Estimating Import Supply and Demand Elasticities: Analysis and Implications [J]. *Journal of International Economics*, 2015, 96(1): 1–17.
- [35] Verhoogen, E. A. Trade, Quality Upgrading, and Wage Inequality in the Mexican Manufacturing Sector [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2008, 123(2): 489–530.
- [36] Zhao, Y., Y. Da, W. Lili, and Y. Yihua. The Rise of Artificial Intelligence, the Fall of Human Wellbeing [J]. *International Journal of Social Welfare*, 2024, 33(1): 75–105.

## How Industrial Robots Affect Export Competition:

### “Price Competition” or “Quality Competition”

CHU Xiao<sup>1</sup>, ZHANG Dan-lei<sup>2</sup>, ZHAO Yong<sup>2</sup>

(1. Research Institute, Bank of China;

2. School of Economics, Renmin University of China)

**Abstract:** In the post-pandemic era, China's economic growth faces dual pressures from both foreign and domestic sources, and cultivating the core competitiveness of enterprises has become an important aspect of the current stage. In this context, new quality productive forces have been proposed for the first time, with industrial robots and intelligent manufacturing becoming core elements. An increasing number of studies indicate that industrial robots have a positive impact on export trade. However, there is relatively little literature on how industrial robots affect the export competition mechanism of enterprises.

Unlike previous literature mainly focusing on the impact of robots on the supply side, this theoretical model relaxes the assumptions of homogeneous product quality and unchanged demand curve. Productivity is no longer the only factor determining a company's exports. The use of industrial robots affects not only the marginal cost of production but also the markup rate of the company's optimal pricing through the impact on product quality. Both forces jointly cause changes in the price of a company's exported products. This article carries out empirical tests by using the product-year data of HS-6 products from exporting countries to importing countries from 1995 to 2017. The article finds that industrial robots jointly promote enterprise exports through “price competition” and “quality competition”, but “price competition” dominates. Industrial robots have shortened the “price ladder” and “quality ladder” of exported products. The increase in product substitution elasticity and trade costs significantly strengthens the “price competition” mechanism of industrial robots affecting exports, while the intensification of competition in the export destination market strengthens the “quality competition” mechanism.

This article focuses for the first time on the impact of industrial robots on export competition mechanisms, enriching research related to industrial robots and export competition mechanisms. This article integrates the demand and supply shocks brought about by the application of industrial robots into a unified analytical framework, filling gaps in existing research. This article verifies the impact of industrial robots on the “price ladder” and “quality ladder”, analyzes the moderating effects of product substitution elasticity, trade costs, and market competition on the export competition mechanism of industrial robots, and expands research conclusions of existing literature. First, this article emphasizes the importance of industrial robots in cultivating the core competitiveness of enterprises and promoting high-quality development of China's foreign trade, promoting the popularization of automated production in enterprises. Second, we should guide enterprises to “transform and upgrade” and actively cultivate their “quality competition” advantages. Third, we should fully understand that industrial robots will intensify external competition and challenges by reducing the price and quality differences of exported products. Fourth, enterprises should adopt differentiated strategies based on different trade costs, degree of competition in export destination markets, and different alternative elastic products.

**Keywords:** industrial robot; export trade; price competition; quality competition

**JEL Classification:** F11 F14 P21

[责任编辑:张永坤]