

# 工业机器人应用与国际不平等交换<sup>\*</sup>

黄亮雄 雷亚星 王贤彬

**摘要:**发展中国家和发达国家间的二元格局形成的国际不平等交换,是国际政治经济秩序中的长期典型特征。百年未有之大变局下,以工业机器人为代表的人工智能技术的发明与应用,究竟如何影响国际不平等交换格局,成为重要的国际学术问题。本文基于马克思的国际价值理论,构建2005—2019年间42个发展中国家与27个发达国家之间的国际不平等交换程度指数,进而检验发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异对国家间国际不平等交换程度的影响效应。结果表明,发展中国家与发达国家之间工业机器人应用水平差异的缩小显著降低了国家间的国际不平等交换程度。机制在于,发展中国家缩小与发达国家的工业机器人应用水平差异,显著降低其与发达国家在全劳动生产率与技术水平上的差异,从而降低了国际不平等交换程度。进一步研究发现,较高的对外开放程度、政府治理水平以及追赶发达国家的决心均是该效应发挥作用的重要支撑。

**关键词:**工业机器人 国际不平等交换 国际价值理论

## 一、引言

由于不同经济体国际话语权和国际地位的显著差别,当前的国际经济与分工体系是由发达国家发起和主导的,发展中国家时常在贸易利益分配上居于劣势地位,导致国际贸易利益的分配和流向不平衡(苏丹妮等,2020),从而构成国际不平等交换。根据马克思国际价值理论,不同国家在同一劳动时间内所生产的同种商品的不同量,有不同的国际价值,从而表现为不同的价格,即表现为按各自的国际价值而不同的货币额,从而形成不平等交换的根源。<sup>①</sup>自16世纪全球化以来,发展中国家和发达国家的二元对立格局并没有发生根本改变。时至今日,发达国家对发展中国家的国际剥削愈演愈烈,国际不平等交换现象也将长期存在。然而,随着发展中国家的群体性崛起,“南升北降”的态势愈发清晰(杨长湧等,2020),发展中国家努力尝试在百年未有之大变局中,打破二元结构,改善国际不平等交换。正如党的二十大报告强调“推动全球治理朝着更加公正合理的方向发展。”本文正是站在发展中国家的视角,检验工业机器人应用能否改善发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度。

以工业机器人为代表的人工智能技术的发展日新月异,是新时代背景下新科技革命的关键技术。当前世界范围内正在掀起一股“机器换人”的变革热潮,一国在人工智能领域先进技术的综合运用,反映了其科学技术进步水平,同时也是衡量其国民经济现代化和信息化的重要指标。根据国际机器人联合会在2020年发布的《世界机器人报告》,全球新安装的工业机器人数量从2009年的6万台增加到2019年的37.3万台。<sup>②</sup>世界主要经济体纷纷将工业机器人技术视为未来科技领域的竞争

<sup>\*</sup> 黄亮雄、雷亚星,华南理工大学经济与金融学院,邮政编码:510006,电子邮箱:hlxiong@scut.edu.cn,leiscut090909@126.com;王贤彬,暨南大学经济学院,邮政编码:510632,电子邮箱:wangxianbin123@163.com。基金项目:国家自然科学基金面上项目“中国对外直接投资推动全球价值链重构:基于共建‘一带一路’背景的研究”(72073047);国家自然科学基金面上项目“中国政府创新目标规划的创新效应研究:理论机制、实证识别与政策设计”(72273052);国家社会科学基金重大项目“国土空间用途管制下土地市场整合与溢价共享机制研究”(22&ZD062)。感谢匿名审稿专家的宝贵意见和建议,文责自负。

<sup>①</sup>《马克思恩格斯全集》(第25卷),人民出版社1974年版,第265页。

<sup>②</sup>数据来源于<https://ifr.org/>(国际机器人联合会)。

焦点,并加快了战略部署<sup>①</sup>。

工业机器人不仅在持续地替代人类的工作岗位,而且还改变着世界范围内的生产组织方式与经营管理模式,对全球价值链的动态演化产生重大影响(Backer et al, 2018),甚至冲击着发展中国家和发达国家二元对立下的国际不平等交换格局。根据经典马克思理论,劳动生产率的差异和垄断的技术水平差异会引起国际不平等交换(李真、马艳, 2009)。一些发达国家利用其在科技方面的领先地位垄断人工智能的核心技术,而发展中国家工业机器人的研发能力和技术创新水平较为落后,其国内的工业机器人大多源于从发达国家进口,缺乏领先优势。因此发达国家在国际贸易过程中能获取更多优势,在国际不平等交换中也得到了更多利益。然而,发展中国家也正积极在工业机器人应用上实现“弯道超车”。2019年,中国和印度的工业机器人存量分别达到78.3万台和2.63万台,分别居于世界第1名和第10名。<sup>②</sup>这正冲击着当前不尽平等合理的国际经济秩序,影响着发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度。在此背景下,发展中国家如何抓住工业机器人技术带来的发展机遇,突破与发达国家对立的二元结构,从而改善国际不平等交换地位逐渐成为关键。

本站站在发展中国家的视角,以马克思的国际价值理论为基础,构建2005—2019年间42个发展中国家与27个发达国家之间的国际不平等交换程度指数,采用面板数据检验发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异对国家间国际不平等交换程度的影响效应,剖析其中的作用机制并进行异质性分析。与现有研究相比,本文可能存在的边际创新和贡献体现在以下几点:

第一,现有文献对发展中国家与发达国家之间的国际不平等交换现象进行了大量的定性理论研究,但缺乏指标量化与因素检验的定量分析(Anderson, 2020; Althouse, 2020)。本文基于马克思国际价值理论,不但构建了国际不平等交换量化指标,并基于面板数据模型,采用双向固定效应模型、工具变量法等计量方法实证检验了工业机器人应用对国际不平等交换的影响效应,并进行机制探索和异质性分析。本文对于国际不平等交换的研究更具严谨性和全面性。

第二,以往研究仅呈现了国际秩序、国际分工、劳动生产率、技术水平等方面引致国际不平等交换的因素(马艳、李真, 2009; 李真、马艳, 2011; 王雪婷等, 2017; 马艳等, 2020),忽视了工业机器人应用产生的影响。作为新时代新科技的突出代表,工业机器人应用的重要性不言而喻。本文侧重于检验工业机器人应用对国际不平等交换的影响,不但拓宽了有关国际不平等交换影响因素的研究领域,也为发展中国家突破与发达国家对立的二元结构,改善国际不平等交换地位提供新的政策着力点。

第三,当前关于工业机器人应用的研究方兴未艾(黄旭、董志强, 2019; 闫雪凌等, 2020),也开始注意到工业机器人应用对国际贸易与分工的影响(Obashi & Kimura, 2021; Cali & Presidente, 2021)及其效应在发展中国家和发达国家之间的差异(Artuc et al, 2018; Rodrik, 2018; Stapleton & Webb, 2020; 田云华等, 2020),但并未深入到对国际不平等交换的分析,也没有关注发展中国家在此过程中的得失。本文鲜明地站在发展中国家的角度,试图清晰地检验发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异对国家间不平等交换程度影响的研究,重在探讨发展中国家如何抓住工业机器人应用的机遇,缩小与发达国家的差距,降低不平等交换程度。

## 二、文献综述

马克思国际价值理论提出,国际社会必要劳动时间是国际商品等价交换的依据,即相同价值的商品所包含的劳动时间相等。通常,不同国家“国民劳动的强度和生产率”不同,生产出的商品具有

<sup>①</sup>例如,2019年,俄罗斯发布了《俄罗斯2030年前国家人工智能发展战略》;同年,日本也发布了《人工智能战略2019》;2020年,美国发布第四版《机器人路线图:从互联网到工业机器人》;欧洲创立世界上最大的民间资助工业机器人SPARC创新计划;2021年,中国提出的“十四五”工业机器人产业发展规划明确了“到2025年,我国成为全球工业机器人技术创新策源地、高端制造集聚地和集成应用新高地”的目标。

<sup>②</sup>资料来源于<https://ifr.org/>(国际机器人联合会)。

“不同的国际价值”<sup>①</sup>。当两国发生贸易时,一国用一个单位劳动时间所生产的商品交换另一国多个单位劳动时间所生产的商品,其结果会造成“一国可以不断攫取另一国的一部分剩余劳动而在交换中不付任何代价”<sup>②</sup>,从而使国际超额剩余价值向劳动生产率高的国家转移,即发生“国际不平等交换”(马艳等,2020)。

造成国际不平等交换的因素是多样的,部分学者已经从一国在国际经济体系中的话语权及垄断地位(马艳、李真,2009)、贸易条件及对外贸易商品结构(邵邦、刘孝阳,2013)等角度探讨国际不平等交换,认为发达国家在三个角度均具有比较优势,从而确立了其在国际贸易中的绝对支配地位,并在贸易中获得主导地位以及更强势的发言权,形成“比较优势陷阱”。与本文研究更为相关的是,技术水平差异对国际不平等交换的影响。普雷维什(1949)的“中心—外围”理论认为,技术较发达的国家与技术欠发达的国家分别构成了全球经济的“中心”部分和“外围”部分,前者在工业品的生产和出口上具备优势,后者则以初级产品为主。<sup>③</sup> 具体而言,新的技术更倾向应用于工业品生产与制造部门,促进部门生产效率的提升以及生产要素收入的增加,最终的工业产品的价格随之上涨。与此形成鲜明对比的是,初级产品生产部门的技术革新和应用水平很低,劳动生产率难以提升,生产要素的投入并没有换来较高的边际回报,部门最终成品价格低。技术的失衡使得“中心”国家和“外围”国家之间形成持续的剥削关系,不利于“外围”国家的经济发展。李真和马艳(2011)认为,一国的技术进步是影响固定资本、人力资本以及国际经济制度权力分配的重要因素,并进一步扩大了发达国家与欠发达国家之间的差距。具体到贸易层面,国家间技术水平的差异会使发达国家获得更多的贸易优势和占据更有利的国际分工地位,从而加剧不平等交换。王雪婷等(2017)认为,中心国家和非中心国家之间的技术水平差距会造成其可变资本的复杂劳动程度和生产率产生差异,进而造成国家间交易时的单位劳动价值创造率的差别,最终产生不平等交换。

本文关注的工业机器人与技术进步紧密相连。根据国际机器人联盟的定义,工业机器人是一种可以在三个及以上的轴上编程的可自动控制、可重复编程、有多种用途的机械设备<sup>④</sup>。当前,以工业机器人为代表的人工智能技术是新科技革命的关键技术,其应用水平差异一定程度上反映了国家之间的技术水平差异。在学者们的研究中,对“机器人”的称谓有“智能制造”“人工智能”“机器人”“工业机器人”等,本文尤为关注工业制造部门机器人的应用,统称为“工业机器人”。“机器换人”是当前全球生产的重要趋势,无论是发达国家还是发展中国家都极为重视。关于工业机器人应用影响效应的学术讨论,起初集中于对劳动市场的影响,主要从就业和收入这两个角度进行探讨(Acemoglu & Restrepo, 2018; 闫雪凌等, 2021)。同时,工业机器人应用对经济增长影响的讨论也较为充分(Graetz & Michaels, 2018; 陈彦斌等, 2019; 黄旭、董志强, 2019)。

与本文更为相关的是工业机器人应用对国际贸易与分工的影响。Artuc et al(2018)把工业机器人应用融入南北贸易模型中,其研究表明机器人应用在生产中的强度加大时,同一行业中较不发达的国家进口增加,出口增长也更明显。而北方国家工业机器人的应用虽然在最初降低了劳动力工资,但提高了整体福利水平,同时机器人价格的进一步降低也可能会扭转工资降低带来的不利影响,从而使使得南北国家的出口额增加,两者均受益。Cali & Presidente(2021)以印度尼西亚为例,指出在一个机器人进口强劲增长的发展中国家,机器人的应用提高了生产效率,对就业具有积极的影响,并促进了国际贸易一体化。当然,也有学者指出,工业机器人的应用在国际贸易与分工中并不有益于发展中国家。Rodrik(2018)指出,新技术如工业机器人的应用,在一定程度上会限制并有可能损害发展中国家的经济增长。首先,相比发展中国家,发达国家更倾向于采用工业机器人等新技术来提高生产率,从而在传统劳动密集型产业中占据优势,并逐步摒弃其他国家的劳动力就业机会,降低发

①《资本论》(第一卷),人民出版社2004年版,第645—646页。

②《马克思恩格斯全集》(第46卷下),人民出版社1980年版,第401—402页。

③ 劳尔·普雷维什:《外围资本主义》,商务印书馆2015年版,第11—12页。

④ 资料来源于 <https://ifr.org/>(国际机器人联合会)。

展中国家的贸易收益。其次,随着贸易规模的缩小和贸易比重的降低,发展中国家将逐渐被排挤出全球价值链,从而导致其难以通过劳动力价格的优势来填补技术上的不足,进而加剧不平等交换。综上可知,随着工业机器人应用的拓展以及相关研究的深入,现有研究已经关注到工业机器人应用对发展中国家和发达国家贸易的冲击,也注意到工业机器人应用对发展中国家和发达国家冲击的差异。然而,一方面,甚少论文鲜明地站在发展中国家的角度,探讨发展中国家如何抓住工业机器人应用的机遇,改善与发达国家之间不平等的经济和贸易关系;另一方面,鲜有论文分析工业机器人应用对发展中国家与发达国家之间的国际不平等交换的影响。

### 三、理论假说

经典马克思理论认为,造成国际不平等交换的原因有两个:劳动的生产率差异和物化的技术差异。具体而言,不平等交换的形成由资本主义生产方式所决定,资本积累的一般规律催生国际不平等交换并形成两极分化,一极是发达国家财富的积累,另一极则是欠发达国家贫困的积累。而在国际分工中,国家间资本充裕度的差异会影响一国参与国际分工的广度、深度和形式,一国在技术和劳动生产率等方面的差异则成为一国在国际分工中所处地位的直接决定因素。因此,国际不平等交换的本质是发达国家资本积累对欠发达国家资本积累的控制和支配,这是资本主义形成的必要条件和资本主义发展的必然后果(吴阳芬、曾繁华,2022)。

#### (一)工业机器人应用与全劳动生产率

马克思指出:“各种经济时代的区别,不在于生产什么,而在于怎样生产,用什么劳动资料生产。”<sup>①</sup>同时,马克思也指出:“大工业把巨大的自然力和自然科学并入生产过程,必然大大提高劳动的生产率。”<sup>②</sup>当前的研究大多数认为,工业机器人的应用在产业革新、降低生产成本、技术溢出效应等方面都是提升劳动生产率的重要手段和技术。例如,Ballestar et al(2021)从企业层面研究了工业机器人的使用与劳动生产率之间的关系并指出,无论规模大小,企业在生产过程中投入使用工业机器人可以降低企业的劳动成本,改善企业的绩效指标,并进一步提升企业的劳动生产率。此外,结合机器人与劳动力的相关研究,Berg et al(2016)指出,人所区别于机器人的特殊技能通过与逐渐积累的传统资本和机器人资本相结合,能使行业创造出更多价值和生产力,实现最终劳动生产率的提高。

反映人(劳动者)的生产效率最典型的变量是全劳动生产率。全劳动生产率是指,在所有形式的投入都可以转化为劳动的前提下,生产过程中活劳动投入占社会总产品产出的比重。全劳动生产率能够衡量生产过程中物化劳动投入占社会总产出的比重,从而更准确地衡量劳动投入在经济增长中的贡献(何爱平、李清华,2022)。工业机器人的应用提升了劳动行为的技术质量,使得劳动的复杂程度提高,以机器替代劳动则资本有机构成会随之不断提高,一定程度上会推动全劳动生产率提高(乔晓楠、李欣,2021)。正如马克思所言“由于资本主义生产内部所特有的生产方法的日益发展,一定价值的可变资本所能支配的同数工人或同量劳动力,会在同一时间内推动、加工、生产地消费掉数量不断增加的劳动资料,机器和各种固定资本,原料和辅助材料,——也就是价值量不断增加的不变资本。”<sup>③</sup>

劳动生产率的国别差异决定了国际不平等交换。马克思指出:“在一个国家内,只有超过国民平均水平的强度,才会改变单纯以劳动的持续时间来计量的价值尺度。在以各个国家作为组成部分的世界市场上,情形就不同了。国家不同,劳动的中等强度也就不同;有的国家高些,有的国家低些。于是各国的平均数形成一个阶梯,它的计量单位是世界劳动的平均单位。”<sup>④</sup>因此,生产相同价值的产品时,劳动生产率高的国家所需要的劳动时间更少,商品国别价值更低,从而使其在国际商品交换过程中获得高于其国别价值的那一部分价值,即价值从低劳动生产率国家向高劳动生产率国家转

①②《资本论》(第一卷),人民出版社1975年版,第204、424页。

③《资本论》(第三卷),人民出版社2004年版,第236页。

④《马克思恩格斯全集》(第23卷),人民出版社1972年版,第613—614页。

移,本质上形成了不平等的国际贸易。全劳动生产率的提高能显著促进劳动复杂程度提升,结合马克思理论基础,全劳动生产率高的经济体的劳动复杂程度高,即“复杂劳动”商品,而全劳动生产率低的经济体的劳动复杂程度低,即“简单劳动”商品,“复杂”和“简单”的含义分别对应经济体所生产商品的价值高低,当“复杂劳动”的商品与“简单劳动”的商品发生交换时,就会产生数倍的价值差额,即国际贸易交换过程中的不等量劳动交换(徐春华、刘潇南,2022)。

在此理论上,宋树理(2013)指出,劳动生产率较高的国家可以在不完全竞争的市场环境下转移劳动生产率较低的国家剩余劳动。在全球范围内,当处于不完全竞争的市场环境下,高劳动生产率的经济体能够转移低劳动生产率的经济体的剩余劳动。由此可以看出,发展中国家通过提升劳动生产率,改变全球价值链分工中的不利地位,可以降低出口商品的国别价值,从而在国际交换中避免更多的价值转移,从出口中获得更多利益,降低与发达国家间的国际不平等交换程度。

综上,发展中国家提升工业机器人应用程度,可以提升其劳动生产率,在同一时间内生产出更多的价值。因此,如果发展中国家缩小其与发达国家工业机器人应用水平的差距,可以降低其与发达国家的劳动生产率差距,从而降低发展中国家与发达国家间不平等交换程度。

## (二)工业机器人应用与技术水平

在马克思时代,机器体系是资本主义社会固定资本的物质存在方式,而以工业机器人为代表的人工智能技术则是当代资本主义社会固定资本的物质存在方式,是在加紧吮吸利润的驱动之下不断革新生产资料的产物。工业机器人在发达国家得到应用时,其产品的国别价值由于生产力的提高而低于国际价值,但产品仍以国际价值出卖,发达国家因此从中赚取价值差额,即超额剩余价值,进而获得利润优势。随着工业机器人在世界范围内得到普遍应用,各国的利润开始平均化,发达国家为继续保有超额剩余价值和维持利润优势,在工业机器人等人工智能领域不断革新技术,形成技术优势,达至技术垄断(薛丹妮,2022)。唐宜红和顾丽华(2022)分析了智能制造的异质性并指出,经济较发达的国家在智能制造技术研发及生产上更具优势,而经济落后的国家通常在研发人才、研发投入和科学管理方面较为欠缺。可见,在国际世界中,部分发达国家通过大量的前期投入提前布局工业机器人产业链,并逐步积累核心技术,以此获得超额利润。从全球范围来看,该类产业的投入在各国之间差距很大,从而造成技术发展的严重不平衡。部分欠发达国家由于缺乏技术优势,国内企业未能及时应用人工智能技术。在较长一段时间内,工业机器人技术较发达的国家将会形成技术垄断,并从垄断中获取大量的超额利益,国家间的技术差异与收入差距会逐步扩大,加剧全球财富的两极分化以及国家之间的不平等。而技术垄断的起点就是国家间技术水平的差异。

技术水平差异影响国际不平等交换。根据报酬递增规律,在技术上已经具备优势地位的国家将会更上一层楼,而已经在技术上处于劣势的国家几乎没有后来居上的可能。李真和马艳(2011)构建多因素诱因模型,他们认为在新的经济条件及国际形势下,一个国家参与国际贸易并获得贸易利益的过程中,其技术水平的高低是影响所得利益大小的重要因素,国家间技术水平的差异程度是贸易中不平等交换的决定性因素。吴阳芬和曾繁华(2022)的研究也指出,技术垄断是构成不平等国际分工格局的决定性因素。由于发达国家的原始资本积累以及不断强化的资本主义生产发展模式,其在当今世界体系中占据优势地位,在历次技术革命中,发达国家和落后国家之间的技术差距越来越大,并在世界市场上形成垄断和支配地位,掌控国际经济规则的制定及国际分工体系的塑造,使欠发达国家在国际垄断资本与技术上依附并受制于发达国家。以中国等后发国家为例,其技术进步主要依赖于与发达国家交易时产生的技术溢出效应,通过对发达国家的技术模仿获取后发优势,但在“逆全球化”背景下,以美国为首的西方发达国家进一步加强对技术创新的垄断并有意识地限制技术外溢,这将成为后发国家利用后发优势时的明显阻碍(罗影、汪毅霖,2023)。

工业机器人技术的发展程度在国家间存在差异,发达国家通过前期的技术垄断占据先发优势,并从垄断中获取大量的超额利益,从而形成国际不平等交换。与此同时,随着发展中国家科技的进步,其工业机器人技术的发展也有可能逐步突破垄断,在全球价值链中有一席之地。由此可知,发展

中国家提高工业机器人应用程度,缩小与发达国家工业机器人应用水平的差异,能减少其与发达国家间技术水平的差距,从而降低国际不平等交换程度。

根据上述分析,提出本文的理论假说:发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异的减小能显著降低其与发达国家间的国际不平等交换程度。

#### 四、实证策略与数据说明

##### (一)实证策略

本文站在发展中国家的视角,旨在检验发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差距的缩小能否显著降低二者间国际不平等交换程度,借鉴马艳等(2020)的研究,构建如下计量模型:

$$Tue_{it} = \alpha + \beta Robdens_{it} + X\gamma + \lambda_i + \eta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标  $i$  代表国家, $t$  代表年份。被解释变量  $Tue_{it}$  表示发展中国家  $i$  在  $t$  年与发达国家贸易的相对不平等程度,即二者间的国际不平等交换程度,取对数处理。核心解释变量  $Robdens_{it}$  表示发展中国家  $i$  在  $t$  年与发达国家工业机器人应用水平的差异程度,取对数处理。 $X$  为其他控制变量。 $\lambda_i$ 、 $\eta_t$  分别为国家固定效应和年份固定效应。 $\epsilon_{it}$  为随机扰动项。

系数  $\beta$  的符号与大小衡量发展中国家与发达国家间的工业机器人应用水平差距对二者间国际不平等交换程度的影响程度。如果  $\beta$  显著大于 0,表明发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差距的缩小,增加了二者间的不平等交换程度。如果  $\beta$  显著小于 0,表明发展中国家与发达国家之间工业机器人应用水平差距的缩小,减少了二者间的不平等交换程度。如果  $\beta$  不显著,表明发展中国家与发达国家之间工业机器人应用水平差距并不影响二者间的不平等交换程度。可见,若本文的理论假说成立,系数  $\beta$  将显著小于 0。

##### (二)数据说明

本文主要使用国际机器人联合会(IFR)数据库、世界银行 WDI 和 WGI 数据库、联合国贸易和发展会议 UNCTAD 数据库以及世界劳工组织 ILO 数据库,综合数据的可获性及完整程度,获得了 2005—2019 年间 69 个国家的数据。

在此基础上,结合联合国发布的全球发展报告(2010 年)的国家分类标准,划分为 27 个发达国家和 42 个发展中国家。<sup>①</sup>

在具体的变量指标构建中,本文站在发展中国家的视角,采用发展中国家  $i$  与 27 个发达国家的加权平均值做对比,于是,形成 2005—2019 年间 42 个国家的面板数据。

被解释变量  $Tue_{it}$  为发展中国家  $i$  在  $t$  年与发达国家间的国际不平等交换程度指数。国际贸易中的不平等交换很大程度上与发达国家和欠发达国家生产商品所含的劳动时间有关,在等价交换中,价值相同的商品所包含的劳动时间相等。国家间劳动时间相对差异越大,则发达国家从欠发达国家所获得的价值转移越多,国际不平等交换程度就越大。

因此,本文借鉴马艳等(2017,2020)的方法,采用发展中国家与发达国家之间的单位价值出口商品所包含的劳动时间之比作为国际不平等交换的指标。由于无法准确度量出口商品所包含的劳动时间,本文采用单位净增加值商品所包含的劳动时间近似代替单位价值出口商品所包含的劳动时间。鉴于数据的可获性,本文用国民总收入代替国内生产净值进行计算,一个国家的单位价值出口商品

①27 个发达国家为:日本、韩国、奥地利、比利时、捷克、丹麦、芬兰、法国、德国、希腊、匈牙利、冰岛、爱尔兰、意大利、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、斯洛伐克、西班牙、瑞典、瑞士、英国、加拿大、美国、澳大利亚、新西兰。42 个发展中国家为:中国、印度、印度尼西亚、伊朗、科威特、马来西亚、阿曼、巴基斯坦、菲律宾、卡塔尔、沙特阿拉伯、泰国、土耳其、阿拉伯联合酋长国、乌兹别克斯坦、越南、白俄罗斯、波斯尼亚和黑塞哥维那、保加利亚、克罗地亚、爱沙尼亚、拉脱维亚、立陶宛、马耳他、摩尔多瓦、罗马尼亚、俄罗斯、塞尔维亚、斯洛文尼亚、乌克兰、埃及、摩洛哥、南非、突尼斯、墨西哥、波多黎各、阿根廷、巴西、智利、哥伦比亚、秘鲁、委内瑞拉。

所包含的劳动时间等于当年总劳动时间除以国民总收入。 $Tue_{it}$  计算方式为  $i$  国单位价值出口商品所包含的劳动时间与 27 个发达国家单位价值出口商品所包含的劳动时间的加权值之比。 $Tueing_{it}$  为发展中国家  $i$  在  $t$  年的单位价值出口商品所包含的劳动时间,  $WeightTue_t$  为 27 个发达国家在  $t$  年的单位价值出口商品所包含的劳动时间的加权值。即:

$$Tue_{it} = \frac{Tueing_{it}}{WeightTue_t} \quad (2)$$

$Tueing_{it}$  的计算如式(3), 总劳动时间为年度就业总人数  $\times$  人均每周劳动小时数  $\times$  一年中总周数。 $WeightTue_t$  的加权计算过程如下, 每个国家权重的设定为  $W_1$ , 该权重是以发达国家  $j$  在  $t$  年的变量值占 27 个发达国家在  $t$  年的变量值总和的比, 此权重由年度间 27 个发达国家的该变量值总和决定。 $Tueed_{jt}$  为发达国家  $j$  在  $t$  年的单位价值出口商品所包含的劳动时间。即:

$$Tueing_{it} = \frac{\text{年度就业总人数} \times \text{人均每周劳动小时数} \times \text{一年中总周数}}{\text{国民总收入}} \quad (3)$$

$$WeightTue_t = \sum_{j=1}^{27} (W_{1jt} \cdot Tueed_{jt}) \quad (4)$$

$$W_{1jt} = \frac{Tueed_{jt}}{\sum_{j=1}^{27} Tueed_{jt}} \quad (5)$$

$$Tueed_{jt} = \frac{\text{年度就业总人数} \times \text{人均每周劳动小时数} \times \text{一年中总周数}}{\text{国民总收入}} \quad (6)$$

核心解释变量  $Robdens_{it}$  为发展中国家  $i$  在  $t$  年与发达国家工业机器人应用水平的差异程度, 与国际不平等交换指标 ( $Tue_{it}$ ) 的计算方式一致, 采用发展中国家  $i$  在  $t$  年的工业机器人密度与 27 个发达国家  $t$  年工业机器人密度的加权值之比来衡量, 每个国家的权重设定为  $W_2$ , 该权重是以发达国家  $j$  在  $t$  年的变量值占 27 个发达国家在  $t$  年的变量值总和的比, 此权重由年度间 27 个发达国家的该变量值总和决定。本文借鉴路玮孝和孟夏(2021)的实证模型来计算工业机器人密度, 即一个国家每年的制造业工业机器人存量除以相应的一国年度工业就业人数。其中, 年度工业就业人数为就业总数乘以工业就业份额。具体构造方法如下:

$$Robdens_{it} = \frac{Robdensing_{it}}{WeightRobdens_t} \quad (7)$$

上式  $Robdensing_{it}$  为发展中国家  $i$  在  $t$  年的工业机器人密度,  $WeightRobdens_t$  为 27 个发达国家在  $t$  年的工业机器人密度的加权值, 权重为  $W_2$ , 如式(8)–(11):

$$Robdensing_{it} = \frac{\text{制造业工业机器人存量}}{\text{工业就业份额} \times \text{就业总人数}} \quad (8)$$

$$WeightRobdens_t = \sum_{j=1}^{27} (W_{2jt} \cdot Robdensed_{jt}) \quad (9)$$

$$W_{2jt} = \frac{Robdensed_{jt}}{\sum_{j=1}^{27} Robdensed_{jt}} \quad (10)$$

$$Robdensed_{jt} = \frac{\text{制造业工业机器人存量}}{\text{工业就业份额} \times \text{就业总人数}} \quad (11)$$

国际机器人联合会(IFR)数据库将工业机器人分为农业、狩猎、林业和渔业(agriculture; hunting and forestry; fishing)、采矿和采石业(mining and quarrying)、制造业(manufacturing)等, 在本文所选取的国家中, 并不是所有的样本国家都具有一定规模的农业、狩猎、林业和渔业、采矿和采石业, 考虑到数据的完整性和代表性, 本文计算工业机器人密度时仅使用了制造业的工业机器人

存量。

在控制变量的选取上,参考马艳等(2017,2020)选取指标来衡量发展中国家与发达国家之间的差异,本文选取了经济规模、人口规模、产业结构、出口水平、消费水平、劳动参与状况和政府治理等7个方面。其中, $Gdp_{it}$ 是发展中国家*i*在*t*年的国内生产总值与27个发达国家国内生产总值的加权值之比,衡量经济规模的相对差异; $Pop_{it}$ 是发展中国家*i*在*t*年人口总数与27个发达国家人口总数的加权值之比,衡量人口规模的相对差异; $Indusratio_{it}$ 是发展中国家*i*在*t*年工业生产总值占国内生产总值的比重与27个发达国家工业生产总值占国内生产总值的比重的加权值之比,衡量产业结构的相对差异; $Exports_{it}$ 是发展中国家*i*在*t*年货物和服务出口量与27个发达国家的货物和服务出口量的加权值之比,衡量出口水平的相对差异; $Consump_{it}$ 是发展中国家*i*在*t*年最终消费支出量与27个发达国家的最终消费支出量的加权值之比,衡量消费水平的相对差异; $Rfm_{it}$ 表示发展中国家*i*在*t*年的劳动参与率的男女比率与27个发达国家的劳动参与率的男女比率加权值之比,衡量男性与女性劳动参与情况的差异; $Wgi_{it}$ 是发展中国家*i*在*t*年的全球治理指标总和值与27个发达国家的全球治理指标总和值的加权值之比,衡量政府治理水平差异。全球治理指标(WGI)分为六个维度,分别为话语权和问责、政治稳定性与非暴乱、政府有效性、管制质量、法治程度和腐败控制。每个维度的评估方式为从-2.5到2.5对每个国家赋值,分数越高,该项维度的治理绩效越优。本文将各国六个维度的指标值进行加总,得出各国的WGI值总和,该总和值越高,表明政府治理的有效程度越高。发达国家相关变量的加权计算方法如同式(5)。

同样地,在后文的机制检验上,也使用了发展中国家与发达国家全劳动生产率的相对差异(取对数, $Tlp$ ),以及技术水平(专利数量)的相对差异(取对数, $Patent$ )。

上述数据中,工业机器人存量数据来源于国际机器人联合会(IFR)数据库,人均周劳动小时数据来源于世界劳工组织ILO数据库,国内生产总值、人口总数、货物和服务出口量、最终消费支出量、劳动参与率的男女比率、全劳动生产率和专利数量等来源于世界银行WDI数据库,工业生产总值数据来源于联合国贸易和发展会议UNCTAD数据库,全球治理指标数据来源于世界银行全球治理WGI数据库。其中,被解释变量(国际不平等交换程度指数)与核心解释变量(工业机器人应用程度差异)取对数且变量以2.5%进行缩尾处理。综上,表1为本文主要使用变量的描述性统计。

表1 变量的描述性统计

变量	观测值	平均值	中位数	标准差	最小值	最大值
<i>Tue</i>	623	1.1899	0.4436	0.8743	-0.6697	2.9176
<i>Robdens</i>	551	-5.5222	-3.5280	2.0586	-9.2045	-0.4505
<i>Gdp</i>	624	0.0595	0.0345	0.1236	0.0014	0.8158
<i>Pop</i>	630	0.7476	0.1260	1.8792	0.0032	8.9444
<i>Exports</i>	622	0.1534	0.0668	0.2780	0.0063	1.8279
<i>Consump</i>	623	0.0486	0.0194	0.0973	0.0015	0.6738
<i>Indusratio</i>	627	1.2486	1.1547	0.3589	0.6767	2.1014
<i>Rfm</i>	630	0.7772	0.8184	0.2365	0.3233	1.1145
<i>Wgi</i>	630	-0.0535	-0.1360	0.4310	-0.8144	0.8930
<i>Tlp</i>	624	-1.7156	-1.6653	0.8931	-3.4236	0.0888
<i>Patent</i>	515	-5.3050	-5.1984	1.9836	-8.9947	0.2547

在获得数据的基础上,本文进行国际不平等交换程度变量以及工业机器人应用差异程度变量的统计分析。

图1用折线图呈现了42个发展中国家与发达国家国际不平等交换程度指标(*Tue*)加权值的年度变化。2005—2019年,国际不平等交换程度在波动下降,国际不平等交换程度指标从2005年的



15.94 下降到 2019 年的 8.08,共下降了 49.31%,年均下降 4.51%。换言之,发展中国家与发达国家之间的国际交换愈发平等。如果对每个年度的 42 个发展中国家的值进行纵向比较,可知 2005—2013 年间,越南与发达国家之间的国际不平等交换程度最高,科威特和发达国家之间的国际不平等交换程度最低。2014—2019 年间,越南(2015 年)、巴基斯坦(2014 年;2016—2018 年)与乌兹别克斯坦(2019 年)和发达国家之间的国际不平等交换程度最高,卡塔尔(2014 年)与波多黎各(2015—2019 年)和发达国家之间的国际不平等交换程度最低。

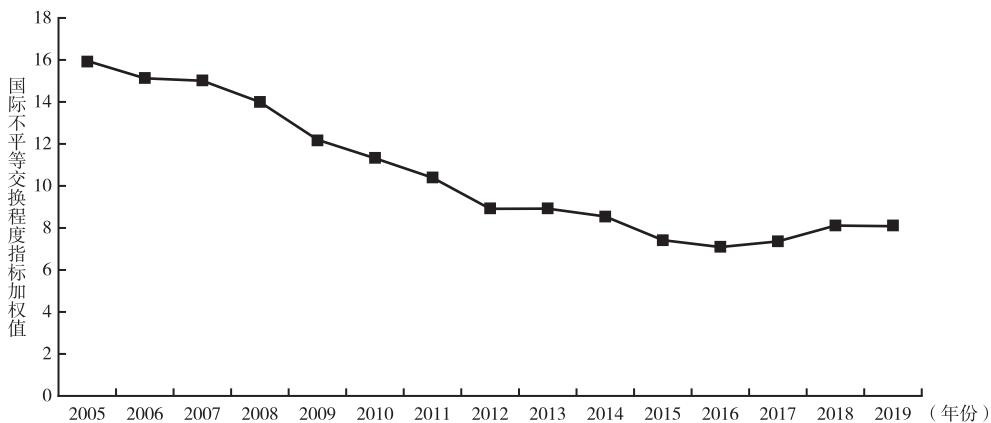


图 1 国际不平等交换程度指标加权值的年度变化

图 2 呈现了发展中国家与发达国家的工业机器人应用程度差异加权值的年度变化。该指数从 2005 年的 0.01 上升到 2019 年的 0.27,即 2005 年发展中国家工业机器人的密度仅是发达国家的 1%,到 2019 年该比值上到 27%,上升了超过 26 倍。发展中国家应用工业机器人的密度愈发接近发达国家,二者的差异在快速缩小。如果对每个年度的 42 个发展中国家的值进行纵向比较,可知 2005—2019 年,斯洛文尼亚与发达国家之间的工业机器人应用程度差异最小,埃及(2005 年)、秘鲁(2006—2007 年;2009—2012 年)、阿拉伯联合酋长国(2008 年)、卡塔尔(2013—2014 年)、巴基斯坦(2015—2017 年)、乌兹别克斯坦(2018—2019 年)与发达国家之间的工业机器人应用程度差异最大。

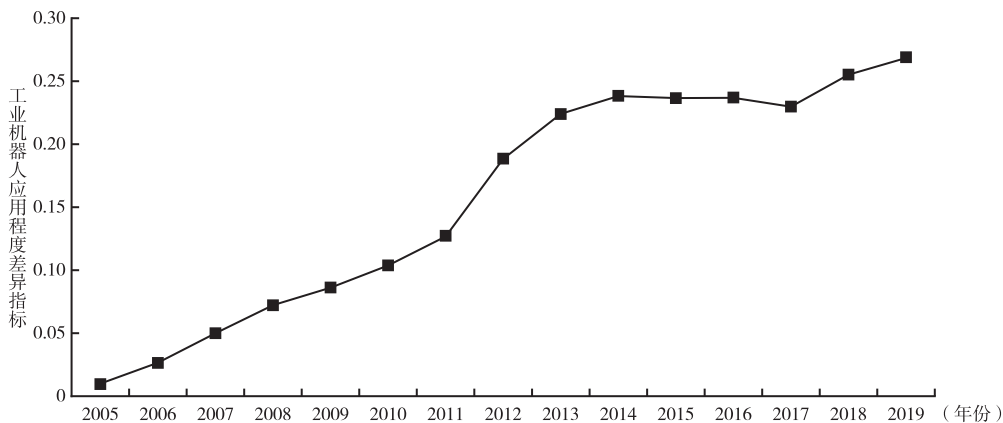


图 2 工业机器人应用程度差异指标加权值的年度变化

## 五、实证分析

### (一) 基准回归

基于回归方程(1),本文旨在检验发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差距的缩小能否显著降低二者间国际不平等交换程度。表 2 是基准回归的结果。

表2 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Robdens</i>	-0.115*** (0.040)	-0.085*** (0.031)	-0.077** (0.029)	-0.076** (0.029)	-0.060** (0.028)
<i>Gdp</i>		-2.793*** (0.372)	-0.505 (0.630)	-0.545 (0.624)	-0.305 (0.645)
<i>Pop</i>		-0.407 (0.751)	-0.487 (0.787)	-0.730 (0.764)	-0.766 (0.775)
<i>Indusratio</i>		-0.121 (0.156)	-0.163 (0.158)	-0.164 (0.156)	-0.191 (0.151)
<i>Exports</i>			-0.197 (0.396)	-0.125 (0.391)	-0.189 (0.435)
<i>Consump</i>			-2.134*** (0.228)	-2.049*** (0.237)	-2.151*** (0.225)
<i>Rfm</i>				0.550 (0.360)	0.393 (0.341)
<i>Wgi</i>					-0.327* (0.164)
常数项	0.419 (0.329)	1.250* (0.700)	1.432** (0.697)	1.174 (0.698)	1.492** (0.607)
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	544	542	541	541	541
R <sup>2</sup>	0.336	0.512	0.534	0.542	0.559

注：(1)括号内为稳健标准误；(2)\*、\*\*和\*\*\*分别表示在10%、5%和1%的水平上显著。下同。

第(1)列对核心解释变量及被解释变量进行回归,控制年份和国家固定效应,此时,核心解释变量发展中国家*i*与发达国家工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)系数为-0.115,在1%水平上显著。第(2)列添加了经济发展层面的三个控制变量,工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)系数为-0.085,仍在1%水平上显著。第(3)列中继续添加了出口与消费水平层面的控制变量,工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)系数为-0.077,仍在5%水平上显著。第(4)列又在第(3)列的基础上添加了劳动参与情况的控制变量,工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)系数为-0.076,仍在5%水平上显著。第(5)列添加了四个层面的控制变量,工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)系数为-0.060,依然在5%水平上显著。

从数值大小上看,发展中国家与发达国家之间的工业机器人密度比值初始小于1,不平等性的比值大于1,因此当两者工业机器人应用水平差距缩小(*Robdens*向1趋近)时,意味着*Robdens*的数值增大,此时*Tue*数值减小(向1趋近),即两者间的不平等程度在下降。基准回归结果一致表明,发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异的缩小显著降低了该发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度,这与理论假说一致。其中,第(5)列回归结果显示,发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异缩小1%,该发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度显著减少0.06%。<sup>①</sup>按此计算,2005—2019年,发展中国家与发达国家的工业机器人密度差异下降了约26倍,在其他条件不变的情况下,推动发展中国家与发达国家的国际不平等交换程度下降超过1.5倍。<sup>②</sup>

①参考马艳等(2020)的实证方法,本文采用的面板数据中存在部分国家的单位价值出口商品所包含的劳动时间小于发达国家的加权值,同时其工业机器人应用水平也小于发达国家的加权值。剔除该类异常数据后,在控制年份固定效应以及国家固定效应的情况下,核心解释变量发展中国家*i*与发达国家工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)的系数为-0.1025,稳健标准误为0.0432,在5%水平上显著,发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异的缩小显著降低了该发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度的结论依然成立。

②我们也尝试按增长率的方式把变量数据回溯到1993年,进行1993—2019年的回归,结果仍与基准回归一致。

(二) 稳健性检验

表 2 验证了发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异的缩小可以显著降低二者间国际不平等交换程度。本部分进行稳健性检验,具体采取以下五种方法:

1. 改变发达国家划分标准。上文采用联合国发布的全球发展报告(2010年)分类标准,框定 27 个国家为发达国家。这里改变发达国家划分标准,以人均 GDP 高于 40000 美元的国家定义为发达国家,共 20 个国家<sup>①</sup>,依然采用 42 个发展中国家与之比较。表 3 显示,同时控制国家和年份固定效应时,无论是否添加控制变量,发展中国家与发达国家工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)的系数均至少在 10% 水平上显著为负,这与表 2 的结果一致。改变发达国家的划分标准后,发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异的缩小显著降低了该发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度,该结论依然成立。

表 3 稳健性检验 I: 改变发达国家的划分标准

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Robdens</i>	-0.114*** (0.040)	-0.083*** (0.031)	-0.074** (0.029)	-0.073** (0.029)	-0.057* (0.028)
常数项	1.083*** (0.335)	1.959*** (0.683)	2.133*** (0.681)	1.846** (0.691)	2.169*** (0.594)
控制变量	无	有	有	有	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	544	542	541	541	541
R <sup>2</sup>	0.309	0.496	0.517	0.526	0.544

注:该表的控制变量 5 列回归采用表 2 对应列的控制变量。

2. 改变变量的加权方法。上文中与 42 个发展中国家对比的是 27 个发达国家的各变量的加权重,其中各个发达国家的权重是以某发达国家该变量占发达国家总和的比重为权重的,此权重由年度间 27 个发达国家的该变量值总和决定。这里更换变量的加权方法:(1)采用算术平均数核算指标;(2)采用某发达国家该变量在期初(2005年)占发达国家总和的比重;(3)采用某发达国家国内生产总值(*Gdp*)占所有发达国家国内生产总值总和的比重;(4)某发达国家人口数(*Pop*)占所有发达国家人口总数总和的比重作为权重。

表 4 的第(1)列采用算术平均数核算指标,核心解释变量 *Robdens* 的系数为 -0.064,在 5% 水平上显著。第(2)列采用某发达国家该变量在期初(2005年)占发达国家总和的比重为权重,*Robdens* 的系数也在 5% 水平上显著为负。第(3)列采用某发达国家国内生产总值占所有发达国家国内生产总值总和的比重作为权重,*Robdens* 的系数仍在 5% 水平上显著为负。第(4)列采用某发达国家人口数占所有发达国家人口总数的比重作为权重,*Robdens* 的系数同样在 5% 水平上显著为负。以上结果与表 2 的结果一致。改变变量的加权方法,发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异的缩小显著降低了该发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度的结论依然成立。

表 4 稳健性检验 II: 改变变量的加权方法

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Robdens</i>	-0.064** (0.029)	-0.060** (0.028)	-0.064** (0.030)	-0.064** (0.028)

<sup>①</sup>这 20 个国家包括:以色列、日本、新加坡、奥地利、比利时、丹麦、芬兰、法国、德国、冰岛、爱尔兰、荷兰、挪威、瑞典、瑞士、英国、加拿大、美国、澳大利亚、新西兰。

续表 4

	(1)	(2)	(3)	(4)
常数项	1.765*** (0.538)	1.437** (0.564)	1.285** (0.585)	1.927*** (0.617)
控制变量	有	有	有	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	541	541	541	541
R <sup>2</sup>	0.595	0.565	0.587	0.584

3. 更换核心解释变量。表 2 采用制造业工业机器人密度的数据,表 5 采用制造业工业机器人存量的数据,依照式(7)–(11)计算发展中国家与发达国家工业机器人应用差异程度(*Robot*)。更换核心解释变量后,表 5 第(1)–(5)列的发展中国家与发达国家工业机器人应用差异程度(*Robot*)系数均为负,且在第(1)–(4)列中至少在 5%水平上显著<sup>①</sup>,于是,更换核心变量后,发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异的缩小显著降低了该发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度的结论依然存在。

表 5 稳健性检验 III:更换核心解释变量

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Robot</i>	-0.097*** (0.034)	-0.066** (0.028)	-0.060** (0.027)	-0.059** (0.027)	-0.043 (0.027)
常数项	0.323 (0.367)	0.930 (0.771)	1.144 (0.766)	0.896 (0.755)	1.349** (0.618)
控制变量	无	有	有	有	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	544	542	541	541	541
R <sup>2</sup>	0.311	0.493	0.519	0.528	0.549

注:该表的控制变量 5 列回归采用表 2 对应列的控制变量。

4. 工具变量法。在上文的模型分析中,遗漏重要变量、存在双向因果关系等因素在一定程度上会引起内生性问题,造成核心解释变量的系数出现偏差。为发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异变量寻找合适的工具变量能有效缓解内生性问题,具体结果由表 6 呈现。<sup>②</sup>

第(1)列参考王晓娟等(2022)的做法,采用发展中国家  $i$  与发达国家工业机器人应用水平的差异程度滞后一期( $L.Robdens$ )作为当期( $Robdens$ )的工具变量,报告了第二阶段的回归结果。此时,弱工具变量的 F 检验的 P 值小于 1%,该工具变量并不是弱工具变量。发展中国家  $i$  与发达国家工业机器人应用水平的差异程度( $Robdens$ )的系数为  $-0.073$ ,在 1%水平上显著。

第(2)列遵循侯俊军等(2020)的思路,选取发展中国家与发达国家之间女性劳动力占劳动力总数的比率的差异( $Laborfemale$ )作为工具变量,该指标的构造方式如式(12)所示。 $Laborfemaleing_{it}$  为发展中国家  $i$  在  $t$  年的女性劳动力占劳动力总数的比率, $Laborfemaleed_t$  为 27 个发达国家在  $t$  年的女性劳动力占劳动力总数的比率的加权值,该权重仍如式(5)以某发达国家该变量占发达国家总和的比重作为权重,此权重由年度间 27 个发达国家的该变量值总和决定, $WeightLaborfemale_t$  为发达国家  $t$  年女性劳动力占劳动力总数比率的加权值。

①第(5)列的发展中国家与发达国家工业机器人应用差异程度(*Robot*)系数也在 15%水平上显著为负。

②表 6 仅报告了工具变量法的第二阶段回归结果,对于第一阶段的结果,有兴趣的读者,可向作者备索。

$$Labor\ female_{it} = \frac{Labor\ female_{ing_{it}}}{Weight\ Labor\ female_{it}} \quad (12)$$

此时, F 检验的  $p$  值为 0.000, 女性劳动力占劳动力总数的比率 ( $Labor\ female$ ) 与发展中国家与发达国家间的工业机器人应用水平差异 ( $Robdens$ ) 存在显著的相关关系, 其并不是弱工具变量。第二阶段回归的工业机器人应用水平差异 ( $Robdens$ ) 系数为 -0.240, 在 1% 水平上显著。

表 6 稳健性检验 IV: 工具变量法

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	$L. Robdens$	$Labor\ female$	$L. Labor\ female$	$Minusrobot$	$Minusinstall$
$Robdens$	-0.073*** (0.017)	-0.240*** (0.045)	-0.309*** (0.071)	-0.300** (0.135)	-0.404*** (0.152)
常数项	0.857*** (0.192)	-0.548 (0.378)	-0.021 (0.341)	-0.821 (0.977)	-1.684 (1.065)
控制变量	有	有	有	有	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
Fp	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
观测值	500	541	525	527	541
R <sup>2</sup>	0.984	0.976	0.972	0.970	0.957

注: Fp 是工具变量的 F 检验的 P 值。

第(3)列采用发展中国家与发达国家之间女性劳动力占劳动力总数的比率差异的滞后一期 ( $L. Labor\ female$ ) 作为工具变量。此时, F 检验的  $p$  值为 0.000, 其并不是弱工具变量。第二阶段回归的工业机器人应用水平差异 ( $Robdens$ ) 系数为 -0.309, 在 1% 水平上显著。

第(4)列采用其他发展中国家的工业机器人总量与  $i$  国工业机器人数量之差 ( $Minusrobot$ ) 作为工具变量。参考杨光和侯钰(2020)的做法, 采用其他发展中国家工业机器人总量与  $i$  国工业机器人数量之差构建工具变量 ( $Minusrobot$ )。变量计算方式如式(13), 其中  $Otherrobot_{it}$  是除  $i$  国外其他 41 个发展中国家的制造业工业机器人总量,  $Robot_{it}$  是  $i$  国制造业工业机器人存量,  $WeightRobot_{it}$  是 27 个发达国家制造业工业机器人存量的加权值, 权重的计算方法仍如式(5)。

$$Minusrobot_{it} = \frac{Otherrobot_{it} - Robot_{it}}{WeightRobot_{it}} \quad (13)$$

此时, F 检验的  $p$  值为 0.010, 同样拒绝该变量为弱工具变量的原假设。第二阶段回归的工业机器人应用水平差异 ( $Robdens$ ) 系数为 -0.300, 在 5% 水平上显著。

第(5)列参考唐宜红和顾丽华(2022)的做法, 使用世界安装工业机器人的数量减去本国安装工业机器人数量之差作为工具变量 ( $Minusinstall$ ), 具体变量构建方式和加权方式与工具变量 ( $Minusrobot$ ) 相同。此时, 弱工具变量的 F 检验的 P 值小于 1%, 该工具变量并不是弱工具变量。发展中国家  $i$  与发达国家工业机器人应用水平的差异程度 ( $Robdens$ ) 的系数为 -0.040, 在 1% 水平上显著。

综上所述, 采用五种工具变量缓解内生性问题之后, 发展中国家与发达国家间的工业机器人应用水平差异减少能显著降低二者的国际不平等交换程度的结论依然存在, 与本文的基准回归结果一致, 该结论是稳健的。

5. 安慰剂检验。表 2 的基准回归结果显示, 发展中国家提升自身的工业机器人应用水平, 能显著降低其与发达国家间的国际不平等交换程度。虽然在基准回归模型中加入了四个层面的控制变量, 并控制了国家固定效应和年份固定效应, 但仍不能完全控制所有的影响因子。工业机器人应用差异与国际不平等交换可能同时受到某个因素影响, 从而使得二者呈现负向关系, 而不是因果关系。为了排除上述可能, 本文参考黄亮雄等(2021)的方法, 在现有数据的基础上, 随机给发展中国家分配

其与发达国家的工业机器人应用差异程度,即构建安慰剂检验的虚拟核心解释变量  $Kfalse$ ,再进行回归,观察发展中国家与发达国家的工业机器人应用差异变量的系数。由于  $Kfalse$  是随机生成的,因此在安慰剂检验中,其估计系数在统计上不会对模型的被解释变量(国际不平等交换程度指数)产生显著影响,与基准回归的  $Robdens$  系数显著不同;反之,若  $Kfalse$  的估计系数与  $Robdens$  的系数差异较小,则说明原模型估计存在识别偏误,有理由怀疑工业机器人应用差异与国际不平等交换之间的因果关系。

为降低小概率事件产生的影响,本部分抽取 500 次、1000 次、2000 次进行回归,抽取方式是重复且随机的,同时,提取虚拟核心解释变量的估计系数,并绘制核密度函数图,结果如图 3 所示。其结果显示,虚拟核心解释变量( $Kfalse$ )的回归系数趋近于 0。而真实核心解释变量( $Robdens$ )的基准回归系数值为  $-0.060$ ,二者相距甚远。由此可反推,未观测的其他因素几乎不会对估计结果产生影响,之前的估计结果是稳健的,发展中国家与发达国家的工业机器人应用差异对国际不平等变换的负向影响更可能是一种因果关系。

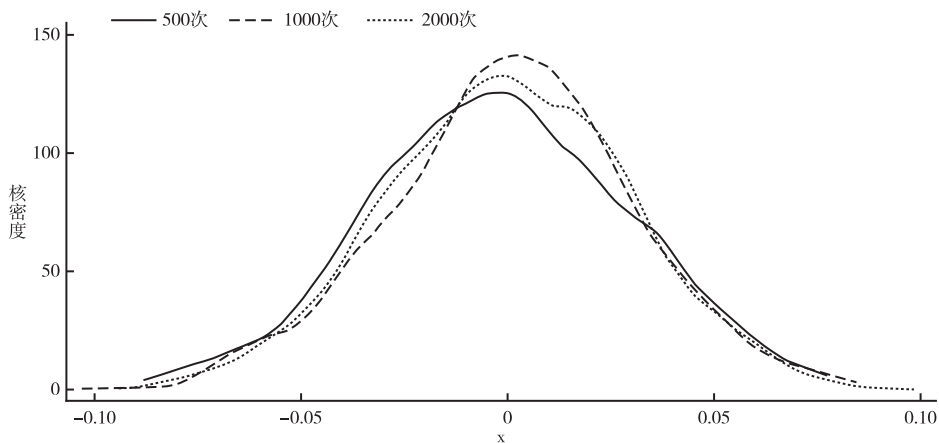


图 3 稳健性检验 V:安慰剂检验

## 六、机制检验

上文采用 2005—2019 年间 42 个发展中国家的面板数据,实证检验了发展中国家缩小与发达国家之间的工业机器人应用水平差距,能显著降低二者间的国际不平等交换程度。本部分将进行机制检验,分析为何工业机器人应用水平差距的缩小能降低发展中国家与发达国家之间的国际不平等交换程度。基于理论假说,本部分将强调发展中国家缩小与发达国家间工业机器人应用水平的差距,能显著降低发展中国家与发达国家间的全劳动生产率以及技术水平的差异,从而实现二者的国际不平等交换程度降低。<sup>①</sup>

具体地,这里的检验采用两步法:第一步,检验工业机器人应用水平差异对全劳动生产率和技术水平差异的影响,即以发展中国家与发达国家在工业机器人应用水平差异程度为核心解释变量,以二者间的全劳动生产率差异或技术水平差异为解释变量。第二步,检验全劳动生产率差异或技术水平差异对发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度的影响,即以发展中国家与发达国家的全劳动生产率差异或技术水平差异为核心解释变量,以国际不平等交换程度为被解释变量。如果本文强调的两大机制成立,第一步回归中的发展中国家与发达国家在工业机器人应用水平差异程度的系

<sup>①</sup>全劳动生产率更多强调的是劳动者(就业人员)出卖体力而获得的生产率,是体现在个人的劳动上。而技术水平更多地体现在物化的器械上,也就是劳动的工具上。对生产而言,人的劳动与劳动的工具相辅相成,往往缺一不可,是生产的两个维度。

数是显著为正;而第二步回归中的全劳动生产率差异或技术水平差异系数是显著为负的。

(一) 缩小全劳动生产率差距机制

以工业机器人为代表的人工智能技术是新一轮科技革命和产业变革与发展的核心力量,在生产、分配、交换、消费等环节都有着重要的影响。“机器换人”,即行业内密集使用工业机器人来替代简单和重复的工作,会在一定程度上提升劳动生产率(Graetz & Michaelles, 2018),而商品生产的劳动生产率是全劳动生产率(荣兆梓、李亚平 2021),全劳动生产率比劳动生产率更为准确和全面地描述了劳动者创造使用价值的能力和水平(戴艳娟、泉弘志, 2014)。因此,本文提出发展中国家缩小与发达国家在工业机器人应用水平上的差异,能减少发展中国家与发达国家在全劳动生产率上的差异,从而减少二者的国际不平等交换程度。全劳动生产率衡量生产过程中物化劳动投入占社会总产出的比重,是反映劳动投入对经济增长贡献的重要指标。具体计算方式为,在所有形式的投入均能转化为劳动时,生产过程中活劳动投入与社会总产品产出之比(何爱平、李清华, 2022)。在具体的实证中,根据马克思的劳动价值论所提出的全劳动生产率的定义和测度方法,借鉴荣兆梓和李亚平(2021)、何爱平和李清华(2022)的做法,采用国内生产总值减去资本折旧,再比上就业人数,来衡量全劳动生产率。其中,资本折旧的估算参考帕金斯(Perkins, 1998)的做法,假定折旧率为5%。然后,以发展中国家*i*与发达国家的加权平均全劳动生产率比值(*Tlp*)为被解释变量,取对数处理。<sup>①</sup> 加权方式与原文的核心解释变量和控制变量一致,如式(14)。核心解释变量仍是发展中国家*i*与发达国家工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)。27个发达国家的全劳动生产率加权值与式(15)计算方法相同,该权重仍如式(5)以某发达国家全劳动生产率占发达国家总和的比值为权重进行加权。若本文的理论假说成立,则核心解释变量的系数应显著大于0。

变量计算方式如下,其中  $Tlping_{it}$  为发展中国家*i*在*t*年的全劳动生产率,  $WeightTlp_i$  为27个发达国家在*t*年全劳动生产率的加权值。表7展示了回归的结果。

表7 机制检验 I: 缩小全劳动生产率差距机制

	被解释变量: <i>Tlp</i>		被解释变量: <i>Tue</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Robdens</i>	0.124*** (0.041)	0.065** (0.028)		
<i>Tlp</i>			-0.982*** (0.011)	-0.991*** (0.014)
常数项	-0.958*** (0.335)	-1.950*** (0.676)	-0.568*** (0.023)	-0.576*** (0.152)
控制变量	无	有	无	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	545	541	623	619
R <sup>2</sup>	0.365	0.597	0.975	0.976

$$Tlp_{it} = \frac{Tlping_{it}}{WeightTlp_i} \tag{14}$$

$$Tlping_{it} = \frac{\text{国内生产总值} - \text{资本折旧}}{\text{就业总人数}} \tag{15}$$

表7呈现的是缩小全劳动生产率差距机制的回归结果。第(1)(2)列是两步法的第一步回归。在同时控制年份固定效应和国家固定效应的情况下, 无论是否添加控制变量, 发展中国家*i*与发达国家工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)系数均至少在5%水平上显著为正, 意味着发展中国家与发达国家在工业机器人应用水平的差异的缩小, 能显著降低二者的全劳动生产率差异。第(3)

<sup>①</sup>数据来源于世界银行 WDI 数据库。

(4)列是两步法的第二步回归。同样地,在双向固定效应下,无论是否添加控制变量,发展中国家*i*与发达国家全劳动生产率的差异(*Tlp*)系数均在1%水平上显著为负,意味着发展中国家与发达国家在全劳动生产率差异上的缩小,能显著降低发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度。从而,本文强调的缩小全劳动生产率差距机制是成立的。

## (二)缩小技术水平差距机制

根据马克思主义经典理论,技术垄断也是国际不平等交换产生的重要原因。多数发达国家凭借自身的技术积累以及创新能力在人工智能技术领域形成先发优势,而发展中国家通过自主研发以及技术模仿使其人工智能技术得到提升,缩短技术鸿沟,打破发达国家的技术垄断地位。为了检验上述分析,本文构建发展中国家与发达国家的技术水平差距变量,以专利数量衡量技术水平,设定 $Patent_{it}$ 为发展中国家*i*在*t*年的专利数量与发达国家的专利数量的加权值之比,取对数处理。<sup>①</sup>一国专利数量是居民申请专利数量与非居民申请专利数量之和,如式(16)。 $Patenting_{it}$ 是发展中国家*i*在*t*年的专利数量, $WeightPatent_t$ 为27个发达国家在*t*年专利数量的加权值,该权重仍如式(5)采用某发展中国家专利数量与27个发达国家专利数量总和的比重为权重。核心解释变量和其他控制变量的设置与回归方程(1)相同。若本文的理论假说成立,则核心解释变量的系数应显著大于0。

$$Patent_{it} = \frac{Patenting_{it}}{WeightPatent_t} \quad (16)$$

表8呈现的是缩小技术水平差距机制的回归结果。第(1)(2)列是两步法的第一步回归。在同时控制年份固定效应和国家固定效应的情况下,无论是否添加控制变量,发展中国家*i*与发达国家工业机器人应用水平的差异程度(*Robdens*)系数均至少在5%水平上显著为正,意味着发展中国家与发达国家在工业机器人应用水平差异的缩小,能显著降低二者的技术水平差距。第(3)(4)列是两步法的第二步回归。同样地,在双向固定效应下,无论是否添加控制变量,发展中国家*i*与发达国家技术水平的差距(*Patent*)系数至少在10%水平上显著为负,意味着发展中国家与发达国家在技术水平差异上的缩小,能显著降低发展中国家与发达国家间的国际不平等交换程度。从而,本文强调的缩小技术水平差距机制是成立的。

表8 机制检验 II:缩小技术水平差距机制

	被解释变量: <i>Patent</i>		被解释变量: <i>Tue</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Robdens</i>	0.202** (0.085)	0.144** (0.068)		
<i>Patent</i>			-23.242** (10.932)	-7.485* (3.945)
常数项	-3.769*** (0.750)	-4.755 (2.995)	7.998*** (0.592)	-34.472*** (11.396)
控制变量	无	有	无	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	462	457	493	490
R <sup>2</sup>	0.067	0.160	0.240	0.734

## 七、异质性检验

至此,本文发现发展中国家通过缩小其与发达国家间的工业机器人应用水平差距,能显著降低其与发达国家之间的国际不平等交换程度,该效应是源于工业机器人应用水平差距的减小,能显著

<sup>①</sup>数据来源于世界银行 WDI 数据库。



缩小发展中国家与发达国家之间的劳动生产率与技术水平的差距。本部分将采用分样本回归的形式进行异质性分析,展现上述效应在不同条件下的差异,从而更加深入地剖析其背后的特征规律。

### (一)国家异质性

1. 对外开放程度异质性。首先分析对外开放程度的异质性。对外贸易发展程度的提高可以扩大工业机器人的应用,一方面,随着贸易开放程度的提高,一个行业的劳动力成本和技术水平会相应提高,进而引起行业平均工资水平和技术研发费用的增加,进而扩大工业机器人的使用规模(陈昊等,2021)。对外贸易依存度,即进出口总额与GDP的比值,是衡量地区对外开放程度的重要指标。由于划分标准需尽可能外生,本文选取样本初始期2005年42个发展中国家的对外贸易依存度中位数( $MOpenness_{05}$ )作为样本划分标准,若2005年某国对外贸易依存度指标( $Openness_{05}$ )大于或等于中位数( $MOpenness_{05}$ ),则划分为对外开放程度较大的国家,若小于中位数( $MOpenness_{05}$ )的为对外开放程度较低的国家。

表9的第(1)(2)列是对外开放程度较大的国家样本,在同时控制年份和国家固定效应的情况下,无论添加其他控制变量与否,发展中国家*i*与发达国家工业机器人应用水平差异变量( $Robdens$ )的系数均在1%水平上显著为负。第(3)(4)列为对外开放程度较小的国家样本,在同时控制年份和国家固定效应的情况下,无论添加其他控制变量与否,发展中国家*i*与发达国家工业机器人应用水平差异变量( $Robdens$ )的系数均不显著。于是,通过缩小发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异降低二者间国际不平等交换程度的效应,更多体现在对外开放程度较大的国家上。

具有足够大的对外开放水平,才能充分保证一国企业积极参与全球价值链的分工体系,深度融入全球价值链分工,更能发挥工业机器人应用对减少国际不平等交换的效应,推动国际经济秩序朝着更偏向发展中国家的方向改革。

表9 异质性检验 I:对外开放程度

	(1)	(2)	(3)	(4)
	$Openness_{05} \geq MOpenness_{05}$		$Openness_{05} < MOpenness_{05}$	
$Robdens$	-0.113*** (0.029)	-0.066*** (0.021)	-0.099 (0.080)	0.002 (0.039)
常数项	0.171 (0.230)	0.531 (0.505)	0.818 (0.666)	2.501** (1.089)
控制变量	无	有	无	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	284	283	260	258
$R^2$	0.284	0.554	0.480	0.722

2. 政府治理水平异质性。根据某发展中国家全球治理指标的变量值是否大于42个国家的全球治理指标( $W_{gi}$ )的中位数,划分高政府治理水平样本和低政府治理水平样本。具体,以2005年42个发展中国家的政府治理水平中位数( $MW_{gi05}$ )作为样本划分标准。若某国样本初始期2005年的全球治理指标值( $W_{gi05}$ )大于或等于中位数( $MW_{gi05}$ ),为高政府治理水平国家样本,小于中位数( $MW_{gi05}$ )的,为低政府治理水平国家样本。

表10的第(1)(2)列反映的是全球治理指标大于或等于中位数( $MW_{gi05}$ )的国家样本,即高政府治理水平国家样本。无论添加控制变量与否,核心解释变量发展中国家与发达国家工业机器人应用水平差异程度( $Robdens$ )的系数均为负,且至少在5%水平上显著。第(3)(4)列是全球治理指标小于中位数的国家样本,即低政府治理水平国家样本。无论添加控制变量与否,核心解释变量发展中国家与发达国家工业机器人应用水平差异程度( $Robdens$ )的系数均不显著。这意味着,发展中国家缩小其与发达国家间工业机器人应用水平的差异,显著降低其与发达国家间国际不平等交换程度的效应,更多体现在高政府治理水平国家之中。

技术发展不仅仅是单一的技术或经济现象,全社会的共同治理也有着重要的作用(孙早、侯玉琳,

2021)。通过对全球治理指标的政府治理水平的异质性分析,可以看出政府治理水平越高的国家,在提升自身的工业机器人应用水平时,可以更显著地降低国际不平等交换程度。可能的原因是政府治理水平更高的国家,通过更合理的管理制度、不断创新的管理程序和更完善的宏观调控,促进企业竞争,从而提高和强化企业和产业的国际竞争优势,并为工业机器人等新兴工业技术的良好应用提供保障。

表 10 异质性检验 II:政府治理水平

	(1)	(2)	(3)	(4)
	$W_{gi05} \geq MW_{gi05}$		$W_{gi05} < MW_{gi05}$	
<i>Robdens</i>	-0.105*** (0.028)	-0.069** (0.033)	-0.084 (0.072)	-0.013 (0.036)
常数项	-0.018 (0.244)	-1.101* (0.614)	1.191* (0.596)	3.599*** (0.964)
控制变量	无	有	无	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	267	266	277	275
R <sup>2</sup>	0.275	0.471	0.452	0.670

## (二) 时间异质性

2008 年全球金融风暴给工业机器人带来了较大的短期影响<sup>①</sup>,因此,工业机器人应用对国际不平等交换的影响效应可能在 2008 年前后存在异质性。为此,本文将样本划分为 2005—2007 年以及 2008—2019 年两个时间段。

如表 11 所示,第(1)(2)列为 2008 年(包含 2008 年)之后的样本,在控制国家和年份固定效应情况下,无论添加控制变量与否,核心解释变量发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异程度(*Robdens*)的系数均在 5%的水平上显著为负。然而,第(3)(4)列为 2008 年以前样本的结果,在控制国家和年份固定效应情况下,无论添加控制变量与否,核心解释变量发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异程度(*Robdens*)的系数均不显著。即缩小发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异降低二者间国际不平等交换程度的效应在 2008 年后成立,但在 2008 年之前并不成立。

其中可能的原因如下:(1)金融危机发生前,创新技术的应用在各个产业中的作用并不均衡,新技术更容易被应用于第三产业,从而加大企业家对第三产业的投资力度,而使其他产业发展不足,不平衡的产业结构为金融危机的爆发埋下了隐患。金融危机后,产业结构的逐步调整使第二产业的发展有了支撑,从而带动了工业机器人在第二产业中更多的应用。(2)金融危机时,以金融资本为代表的虚拟经济急剧膨胀,呈现虚高现象,日渐脱离实体经济,给各国经济带来巨大的负向冲击。由此,金融危机后,各国政府更加注重发展具备创新技术的实体经济,从而为工业机器人的发展带来机遇。(3)国际金融危机后,发展中国家群体逐渐兴起,呈现“南升北降”的趋势,它们对推动全球化朝着更加开放、包容、普惠、平衡、共赢的方向发展的诉求、决心和努力不断增大。由此,发展中国家更为重视工业机器人等新技术的应用,以此降低与发达国家间的不平等交换程度。<sup>②</sup>

①根据国际机器人联合会(IFR)的统计数据,2006 年和 2007 年世界工业机器人的安装量分别为 11.2 万台和 11.9 万台,2008 年和 2009 年分别下降到 11.8 万台和 6 万台,到 2010 年和 2011 年重新恢复至 12.1 万台和 16.6 万台。

②我们得出“缩小发展中国家与发达国家间工业机器人应用水平差异降低二者间国际不平等交换程度的效应在 2008 年后成立,但在 2008 年之前并不成立”。并不是说,2005—2007 年间所有发展中国家在所有年份相比于所有发达国家都不存在此效应。这只是整体意义上,平均意义上的不显著。我们强调的是,如果发展中国家有较强的追赶发达国家的决心,更为重视第二产业发展,在 2005—2007 年,也有可能出现缩小与发达国家的工业机器人应用水平差异,降低与发达国家不平等交换程度的效应;而如果发展中国家追赶发达国家的觉醒不足,不重视第二产业发展,纵使在 2008—2019 年,也有可能缩小与发达国家的工业机器人应用水平差异,但降低与发达国家不平等交换程度的效应没有发生。

表 11 异质性检验 III:金融危机前后

	(1)	(2)	(3)	(4)
	Year ≥ 2008		Year < 2008	
<i>Robdens</i>	-0.120*** (0.042)	-0.064** (0.031)	0.022 (0.026)	0.031 (0.027)
常数项	0.460* (0.270)	1.518** (0.647)	1.580*** (0.192)	-0.713 (0.798)
控制变量	无	有	无	有
年份固定效应	控制	控制	控制	控制
国家固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	464	463	80	78
R <sup>2</sup>	0.244	0.494	0.179	0.571

综合上述异质性检验结果,发展中国家通过缩小与发达国家在工业机器人应用水平的差异,降低其与发达国家国际不平等交换程度,需要有一定的支撑条件:较大的对外开放程度、较高的政府治理水平以及较强的追赶发达国家的决心。

### 八、结论与政策建议

人工智能是新时代获得国际竞争力的关键技术,当前工业机器人已日渐渗透到现代生产的各个环节。发达国家凭借过往的先发优势,在国际生产和分工中占据有利地位,并在贸易过程中攫取发展中国家的剩余价值,从而形成国际不平等交换。

本文站在发展中国家的视角,以经典马克思主义国际价值理论作为理论基础,借鉴马艳等(2020)的研究方法测算发展中国家与发达国家间的国际不平等交换指数,检验发展中国家与发达国家之间工业机器人应用水平差异对国家间的国际不平等交换程度的影响效应。结果表明,发展中国家与发达国家之间工业机器人应用水平差异的缩小显著降低了国际不平等交换程度。

究其机制,发展中国家缩小与发达国家的工业机器人应用水平差异,能显著降低其与发达国家在全劳动生产率与技术水平上的差异,从而降低了其与发达国家的国际不平等交换程度。本文进一步发现,发展中国家缩小与发达国家间的工业机器人应用水平差异从而降低二者间国际不平等交换程度的效应,主要发生在对外开放程度较大和政府治理水平较高的国家,以及2008年国际金融危机之后这一时间段,换言之,要发挥缩小工业机器人应用差异来降低国际不平等交换程度的效应,需要较大的对外开放程度、较高的政府治理水平以及较强的追赶发达国家的决心作为支撑。基于以上的研究结论,本文提出以下政策建议:

第一,积极探索与应用工业机器人技术,减小与发达国家之间的技术差距。发达国家凭借前期资本积累的优势在国际生产与分工中占据生产、经营与技术创新的垄断地位,攫取欠发达国家的剩余价值并强化国际不平等交换。发展中国家应自立自强,积极发展自身人工智能技术,缩小工业机器人应用水平与发达国家之间的差异,降低与发达国家的国际不平等交换程度,这也是本文的核心发现。目前发展中国家需要更多地投入资金资本与人力资本,尝试突破技术垄断,逐步改变发展中国家在国际不平等交换中的劣势地位,向中心国家靠近。

第二,提升对外开放程度,深度融入全球价值链分工体系。本文指出,发展中国家通过缩小与发达国家在工业机器人应用水平的差异,降低其与发达国家国际不平等交换程度,需要有较大的对外开放程度作为支撑。发展中国家应该坚持“引进来”和“走出去”并重的双向高质量开放政策,在开放中引入竞争并形成规模经济,与此同时,在参与全球价值链体系下,通过“干中学”巩固和提升自身的国际竞争力。

第三,努力提升政府治理水平,营造良好营商环境。本文指出,若要形成工业机器人应用差异减少国际不平等交换的效应,需要足够高的政府治理水平作为支撑。因此,发展中国家应该通过“放管

服”改革,提高政府治理水平。同时,以“有效市场+有为政府”作为框架,积极建设“市场化、法治化、国际化”的营商环境,不断创新激励制度及程序,为人工智能技术发展创造空间,完善工业机器人产业,从而强化制造业的国际竞争优势。

第四,坚定追赶发达国家的决心,借助“南南合作”积极推动全球经济治理体系改革。本文强调,发展中国家缩小与发达国家在工业机器人应用水平上的差异,降低其与发达国家间的国际不平等交换程度,需要较强的追赶发达国家的决心作为支撑。2008年国际金融危机后,发展中国家群体性崛起的态势更为明显,并已有能力在国际上提出自己的诉求。因此,发展中国家应该联合起来,积极参与全球经济治理和国际规则的制定,具备更长远的战略目光,积极推动国际规则制定朝着更公正、更合理的方向发展。

#### 参考文献:

- 劳尔·普雷维什,1949:《外围资本主义》,商务印书馆2015年中译本。
- 陈昊 闫雪凌 杨立强,2021:《对外贸易与制造业机器人使用:行业开放促进技术进步的新证据》,《统计研究》第3期。
- 陈彦斌 林晨 陈小亮,2019:《人工智能、老龄化与经济增长》,《经济研究》第7期。
- 戴艳娟 泉弘志,2014:《基于全劳动生产率的中国各产业生产率的测算》,《财经研究》第12期。
- 何爱平 李清华,2022:《数字经济、全劳动生产率与区域经济发展差距》,《经济问题》第9期。
- 侯俊军 张莉窈 钱斌,2020:《“机器换人”对劳动者工作质量的影响——基于广东省制造企业与员工的匹配调查》,《中国人口科学》第4期。
- 黄亮雄 王贤彬 刘淑琳,2021:《经济增长目标与激进城镇化——来自夜间灯光数据的证据》,《世界经济》第6期。
- 黄旭 董志强,2019:《人工智能如何促进经济增长和社会福利提升》,《中央财经大学学报》第11期。
- 李真 马艳,2009:《国际不平等交换理论的再探索》,《当代经济研究》第4期。
- 李真 马艳,2011:《贸易不平等交换的多因素诱因模型与实证研究——来自于多国面板的证据》,《财贸经济》第4期。
- 路玮孝 孟夏,2021:《工业机器人应用、就业市场结构调整与服务贸易发展》,《国际经贸探索》第9期。
- 罗影 汪毅霖,2023:《全球化时代后发大国经济成长的比较优势、后发优势与竞争优势》,《经济学家》第5期。
- 马艳 李俊 王琳,2020:《论“一带一路”的逆不平等性:驳中国“新殖民主义”质疑》,《世界经济》第1期。
- 马艳 李真,2009:《经济全球化下国际不平等交换理论创新及其衍生效应分析》,《海派经济学》第5期。
- 马艳 王宝珠 赵治成 李俊,2017:《全球化背景下国际不平等交融理论与实证研究——来自中国贸易利益不平等的证据》,《财经研究》第3期。
- 乔晓楠 李欣,2021:《异质性资本与技术变迁:反思罗默定理的理论缺陷》,《世界经济》第11期。
- 荣兆梓 李亚平,2021:《全劳动生产率与马克思主义基本增长方程》,《上海经济研究》第1期。
- 邵邦 刘孝阳,2013:《比较优势陷阱:本质、原因与超越》,《当代经济管理》第12期。
- 宋树理,2013:《马克思国际不平等交换思想的动态博弈新解》,《当代经济研究》第5期。
- 苏丹妮 盛斌 邵朝对 陈帅,2020:《全球价值链、本地化产业集聚与企业生产率的互动效应》,《经济研究》第3期。
- 孙早 侯玉琳,2021:《人工智能发展对产业全要素生产率的影响——一个基于中国制造业的经验研究》,《经济学家》第1期。
- 唐宜红 顾丽华,2022:《智能制造对出口的影响——基于工业机器人的经验证据》,《国际经贸探索》第4期。
- 田云华 周燕萍 邹浩 王凌峰,2020:《人工智能技术变革对国际贸易的影响》,《国际贸易》第2期。
- 王晓娟 朱喜安 王颖,2022:《工业机器人应用对制造业就业的影响效应研究》,《数量经济技术经济研究》第4期。
- 王雪婷 孟祥宁 徐茜,2017:《马克思国际价值理论视角下的国际不平等交换研究》,《当代经济研究》第11期。
- 吴阳芬 曾繁华,2022:《国际不平等交换的形成与发展机制》,《河北经贸大学学报》第1期。
- 徐春华 刘潇南,2022:《劳动复杂程度与经济增长》,《财经科学》第9期。
- 薛丹妮,2022:《人工智能资本主义应用的资本逻辑及内在张力》,《深圳大学学报(人文社会科学版)》第5期。
- 闫雪凌 李雯欣 高然,2021:《人工智能技术对我国劳动力市场的冲击和影响》,《产业经济评论》第2期。
- 闫雪凌 朱博楷 马超,2020:《工业机器人使用与制造业就业:来自中国的证据》,《统计研究》第1期。
- 杨光 侯钰,2020:《工业机器人的使用、技术升级与经济增长》,《中国工业经济》第10期。
- 杨长湧 刘栩畅 陈大鹏 张一婷,2020:《百年未有之大变局下的世界经济中长期走势》,《宏观经济研究》第8期。
- Acemoglu, D. & P. Restrepo(2018), “Artificial intelligence, automation and work”, NBER Working Papers, No. 24196.
- Althouse, J. et al(2020), “Ecological macroeconomics in the open economy: Sustainability, unequal exchange and

- policy coordination in a center-periphery model”, *Ecological Economics* 172(C), no. 106628.
- Anderson, E. (2020), “The impact of trade liberalisation on poverty and inequality: Evidence from CGE models”, *Journal of Policy Modeling* 42(6):1208—1227.
- Artuc, E. et al(2018), “Robots, tasks, and trade”, Policy Research Working Paper Series, No. DP14487.
- Backer, K. D. et al(2018), “Industrial robotics and the global organization of production”, OECD Science Technology & Industry Working Papers, No. 2018/03.
- Ballestar, M. T. et al(2021), “Impact of robotics on manufacturing: A longitudinal machine learning perspective”, *Technological Forecasting and Social Change* 162(1), no. 120348.
- Berg, A. et al(2016), “Robots, growth, and inequality”, *Finance and Development* 53(3):10—13.
- Cali, M. & G. Presidente(2021), “Automation and manufacturing performance in a developing country”, World Bank Policy Research Working Paper Series, No. 9653.
- Graetz, G. & G. Michaels(2018), “Robots at work”, *Review of Economics and Statistics* 100(5):753—768.
- Obashi, A. & F. Kimura(2021), “New developments in international production networks: Impact of digital technologies”, *Asian Economic Journal* 35(2):115—141.
- Perkins, D. H. (1998), “Reforming China’s economic system”, *Management World* 26(2):601—645.
- Rodrik, D. (2018), “New technologies, global value chains, and developing economies”, NBER Working Paper, No. 25164.
- Stapleton, K. & M. Webb(2020), “Automation, trade and multinational activity: Micro evidence from Spain”, CSAE Working Paper, No. 16.

## Industrial Robot Application and International Unequal Exchange

HUANG Liangxiong<sup>1</sup> LEI Yaxing<sup>1</sup> WANG Xianbin<sup>2</sup>

(1. South China University of Technology, Guangzhou, China;

2. Jinan University, Guangzhou, China)

**Abstract:** The international unequal exchange formed by the binary opposition between developing and developed countries is a long-term typical feature of the international political and economic order. How the invention and application of artificial intelligence technology represented by industrial robots affect the pattern of international unequal exchange has become an important international academic issue. Based on Marx’s international value theory, this paper constructs an international unequal exchange degree index between 42 developing countries and 27 developed countries from 2005 to 2019, and then tests the impact of the difference in the application level of industrial robots between developing and developed countries on the international unequal exchange degree. The results show that the narrowing of the difference in the application level of industrial robots between developing and developed countries significantly reduces the degree of international unequal exchange between countries. The mechanism lies in that developing countries narrow the difference in the application level of industrial robots with developed countries, and significantly reduce the difference in total labor productivity and technical level with developed countries, resulting the lower degree of international unequal exchange. Further study found that the higher degree of opening to the outside world, the level of government governance and the determination to catch up with developed countries are important supports for the effect.

**Keywords:** Industrial Robots; International Unequal Exchange; International Value Theory

(责任编辑:刘新波)

(校对:刘洪愧)