

人工智能对制造业价值链分工的影响效应研究^①

刘 斌^{1,2} 潘 彤²

(1. 对外经济贸易大学国家对外开放研究院;

2. 对外经济贸易大学中国 WTO 研究院)

研究目标: 利用工业机器人数据深度解析人工智能对全球价值链的影响效应。
研究方法: 通过人工智能与全球价值链行业层面数据的对接, 构建人工智能与全球价值链的计量模型, 运用普通最小二乘法、两阶段最小二乘法、交互项方法等进行经验研究。研究发现: 首先, 总体而言, 人工智能提升了一国行业全球价值链参与程度与分工地位, 这一促进效用主要是通过降低贸易成本、促进技术创新、优化资源配置实现的。与资本配置效率相比, 人工智能对劳动力配置效率的促进作用更明显。其次, 从国家异质性视角分析, 人工智能促进了全球价值链竞争的先动优势, 同时发现, 一国数字贸易开放度越高, 人工智能对全球分工的促进作用越明显。总之, 人工智能的发展, 对优化一国产业结构、提升全球价值链竞争力至关重要。研究创新: 在完成人工智能与全球价值链数据对接的基础上, 探索人工智能的发展对全球价值链的影响效应, 并从贸易成本、技术创新与资源配置等不同视角检验人工智能对全球价值链的影响机制。研究价值: 为全球价值链影响因素的相关研究提供了新的研究视角, 为人工智能相关政策制定提供经验证据。

关键词 人工智能 全球价值链参与 全球价值链分工

中图分类号 F7 **文献标识码** A

DOI:10.13653/j.cnki.jqte.2020.10.002

一、问题的提出

人工智能 (Artificial Intelligence, 简称 AI) 是引领未来的战略性技术。美国、德国、日本等 23 个国家明确将人工智能列入了国家发展战略^②。2017 年国务院印发《新一代人工智能发展规划》, 提出面向 2030 年人工智能发展的指导思想和战略目标。2020 年全球新冠疫情暴发, 人工智能在疫情防控 and 产业链复工中发挥了重要作用。人工智能借助互联网与大

^① 本文获得国家自然科学基金“制造业投入服务化、服务贸易壁垒与国际生产分割”(71973025)、对外经济贸易大学杰出青年学者资助项目(19JQ08)、教育部国别和区域研究专项“中美贸易争端新环境中中欧合作的新使命、新任务与新作为”(19GBQY031)、对外经济贸易大学国家对外开放研究院“WTO 改革背景下产业补贴‘合理性’与‘合规性’问题探讨”(2019YY05)及对外经济贸易大学研究生科研创新基金的资助。潘彤为通讯作者。

^② 美国发布的人工智能政策有《国家人工智能研究和发展战略计划》《人工智能、自动化和经济》《为人工智能的未来做准备》《人工智能白皮书》等。欧盟发布了《2014~2020 年欧洲机器人技术战略研究计划》《地平线 2020 战略——机器人多年度发展战略图》《衡量欧洲研究与创新的未来》《对欧盟机器人民事法律规则委员会的建议草案》《欧盟机器人民事法律规则》等政策或计划。印度 2018 年公布《国家人工智能战略》。

数据技术，通过与制造业深度融合引领新的产业变革。

人工智能如何影响全球价值链分工？首先，从成本视角来看，人工智能通过降低贸易和生产成本，提升生产效率，进而提高企业融入全球价值链的程度，提升其在全球价值链体系中的分工地位。一是智能物流可以实现国际贸易运输、存储、包装、装卸等环节的一体化与层次化，削减运输成本，保证运输效率与准确性。二是人工智能可以减少交易的搜寻匹配成本。借助互联网、大数据和云计算，人工智能在短时间内获取全球市场的消费者需求信息，保障即时化、智能化沟通路径，为贸易伙伴提供更灵活、更准确的生产设计方案。三是基于“机器学习”的人工智能可以降低生产成本（Brynjolfsson 和 McAfee，2017），降低生产过程中的出错率。其次，从创新视角来看，人工智能通过技术创新效应深化全球价值链分工。作为推动新工业革命的通用技术，人工智能具有溢出效用极强的“头雁”效应（郭凯明，2019）。一是人工智能可以提高研发创新效率。利用智能化系统，可以自动判断复杂模型的工艺特征是否可制造、可装配、可拆卸，并且能够智能识别复杂模型设计原理中存在的问题，实现生产模式创新。二是人工智能可以加速场景创新。将线上线下的商业和社交活动塑造成不同的情景模块，并利用多维技术丰富模块内容，通过“跨界”与“深耕”提升企业竞争力。三是人工智能技术的应用不仅会促进新知识的发现，而且能够将既有知识进行排列组合式创新，促进企业价值链地位的提升。最后，从资源配置视角来看，人工智能的发展有利于实现资源优化重组，提高资源配置效率，进而影响全球价值链分工。人工智能从根本上解决了信息不对称和协调沟通效率问题，显著提高了信息流通的效率和质量。例如在智能工厂里，人工智能利用智能视觉、识别系统，即时显示消费需求以及生产过程中剩余资料的供需情况，避免造成资源错配浪费，推动了柔性制造^①。

对该问题的研究具有重要意义，习近平总书记在十九大报告中明确指出“推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”。作为新时代中国科技发展的关键一环，人工智能将为中国实体经济的发展注入新动力，为中国对外贸易建立国际竞争新优势。本文可能的创新之处主要基于以下四个方面。第一，在研究视角方面，本文是国内较早关注人工智能对全球生产分工影响的经验研究，本文的研究可以为今后全球价值链分工影响因素的研究提供一个新的视角。第二，在数据指标方面，本文运用工业机器人的使用密度衡量了人工智能在制造业行业的渗透率，在 Wang 等（2013）方法的基础上，测算了“出口国—出口市场—行业—时间”四维层面全球价值链指标，并与“出口国—行业—时间”三维度工业机器人数据实现了对接。第三，在机制检验方面，本文从贸易成本、技术创新、资源配置等视角剖析了人工智能对全球价值链的影响渠道。第四，在扩展分析方面，本文引入各个行业全球价值链参与度和分工地位与同一行业最高值之间的差距与人工智能的交互项，解析人工智能对全球分工先动优势与后发优势的影响。同时，本文引入人工智能与数字贸易限制指数的交互项考察了数字贸易壁垒在其中的作用。

二、文献综述

本文的研究与以下两类文献密切相关，第一类是全球价值链分工的相关文献，该类文献主要包括全球价值链指标测算及价值链参与和价值链升级的影响因素。第二类是人工智能影

^① 柔性制造是按需生产的先进生产方式，其优点是增强企业的灵活性和应变能力，缩短产品生产周期，提高设备利用率和员工劳动生产率，改善产品质量。

响效应的相关文献。

伴随国际贸易分工格局的变革,与全球价值链相关的指标研究日趋完善。Hummels等(2001)提出的垂直专业化指数从使用和供给两个方面考察经济体参与全球分工的程度。以此为基础,Koopman等(2010)基于增加值贸易将全球价值链参与细分为前向参与和后向参与,并且以两者之差表示全球价值链地位指数。随后众多学者从国家和行业层面对全球价值链进行拓展研究,运用全球贸易分析数据或者各国的投入产出数据对不同国家增加值贸易进行深度解析,对一国整体或者具体行业在全球价值链中的参与度与位置进行测算(Johnson和Noguera,2012;Antras等,2012;Wang等,2013;Koopman等,2014;王岚和李宏艳,2015)。在已有文献研究基础上,Wang等(2017a、2017b)从产出分解的视角对全球价值链的生产、双边贸易流及长度进行全面分解,具体包含前向参与度、后向参与度及生产位置等指标,构建了更加全面、准确的全球价值链指标量化体系。除了指标测算,国内外学者也对一国嵌入全球价值链后参与程度、分工地位的影响因素展开了一系列研究。对于价值链参与的影响因素研究,从贸易成本角度分析发现,地理位置、关税、贸易便利化等是影响全球分工的重要因素,贸易壁垒的减少会深化垂直专业化分工,提升全球价值链参与程度(Hanson等,2005;王孝松等,2017;刘斌等,2019)。从贸易谈判视角分析发现,RTA、FTA签订的深度和灵活度均会影响一国行业参与全球价值链(Orefice和Rocha,2014;Laget等,2018)。除了国家与行业层面的研究,部分学者也从微观层面论证,外商直接投资凭借与跨国公司全球价值链的天然网络联系,强化了企业参与全球价值链的深度(Ma等,2015;罗伟和吕越,2019)。对于价值链升级的影响因素研究,从产业类别分析发现,一国促进知识密集型行业发展、降低对低技能劳动力的依赖有利于促进价值链升级(Timmer等,2014;樊茂清和黄薇,2014)。杨连星和罗玉辉(2017)测定了国家和行业层面对外直接投资逆向技术溢出效应,分析发现其对劳动密集型行业与技术密集型行业分工地位的影响存在异质效应。基于微观角度,众多学者也从FDI、OFDI、制造业服务化等方面论证了价值链升级的影响因素(刘斌等,2015、2016;Kee和Tang,2016)。

社会各界对人工智能的定义并没有达成普遍的共识,传统的AI含义是驱使机器学习人类行为的思考方式,随着理论研究和应用领域的扩大,人工智能成为一门涉猎广泛的科学,但目标依旧是依靠机器完成甚至超越人类智能操作的“复杂工作”^①。国内讨论人工智能与经济增长、劳动力就业、收入不平等的文献与日俱增(曹静和周亚林,2018;陈永伟,2018)。其中Hanson(2001)、Acemoglu和Autor(2011)、Acemoglu和Restrepo(2016)、Aghion等(2017)众多经济学家的研究成果为国内外学者进行拓展研究奠定了理论基础。例如利用国际机器人联合会(The International Federation of Robotics, IFR)发布的工业机器人数据,将其与各国就业市场数据匹配,分析人工智能对劳动力就业的影响效应(Graetz和Michaels,2015;Acemoglu和Restrepo,2017)。Aghion等(2017)基于任务模型,考虑了鲍莫尔成本病,设定任务份额外生给定,分析发现人工智能的普及通过使用更廉价的资本补充或者替代劳动力,从而促进生产率的提升及经济增长。但是Acemoglu和Restrepo(2018)也指出:自动化技术能否合理采用以及教育体系是否能够及时提供这

^① 复杂工作的定义是随着时代的发展和技术的进步而变化的,人工智能的具体目标也自然随着时代的变化而发展。一方面不断获得新的进展;另一方面又转向更有意义、更加困难的目标。

些技能决定了新技术对经济增长与劳动生产率的作用。而且从贸易政策角度分析,知识的外部性很重要,以人工智能为中心的集群政策是不是最佳的,将在很大程度上取决于规模的存在和国际知识的扩散(Goldfarb 和 Trefler, 2019)。国内目前关于人工智能经济影响效应的文献相对稀缺,且主要聚焦于分析对就业与经济增长的作用。全球知名咨询公司 Accenture 在 2017 年发布的《人工智能:助力中国经济增长》中指出:中国人口红利正在减弱,人工智能通过智能自动化、提高劳动力和资本技术、推动创新推动经济增长,到 2035 年人工智能有潜力拉动中国经济年增长率上升 1.6 个百分点。基于 Acemoglu 和 Autor (2011) 的理论模型,孙早和侯玉琳(2019)分析了工业智能化的发展对中国劳动力就业结构的影响效应。而且随着中国老龄化程度的不断提高,人工智能通过提高生产活动的智能化程度、提高资本回报率、提高全要素生产率三条途径及时应对老龄化对经济增长的不利影响(陈彦斌等, 2019)。

三、研究设计

1. 计量模型设定

本文自变量是制造业各个行业人工智能的应用水平(下文核心解释变量统称为人工智能),因变量是各个行业全球价值链参与度与分工地位,建立计量模型如下:

$$GVC_{ijkt} = \beta_0 + \beta_1 IM_{ikt} + \beta Controls + v_j + v_k + v_t + \epsilon_{ijkt} \quad (1)$$

其中,下标 i 、 j 、 k 、 t 分别表示出口国、出口市场、行业、时间。被解释变量 GVC_{ijkt} 表示一国行业全球价值链参与度和分工地位;解释变量 IM_{ikt} 表示 i 国 t 年份 k 行业的工业机器人使用密度; $Controls$ 代表控制变量,具体包括:引力模型控制变量(出口国 GDP、出口市场 GDP、地理距离),经济体特征变量(外商直接投资、劳动生产率、行业资本产出比、简单平均关税); v_j 、 v_k 、 v_t 分别表示出口市场固定效应、行业固定效应、时间固定效应。此外,为降低异方差,计量模型中所有指标均取对数形式。

2. 变量定义

(1) 人工智能测度指标。IFR 发布了“国家—行业—时间”层面的工业机器人数据。本文参考 Acemoglu 和 Restrepo (2017) 的方法,使用工业机器人密度(运用每千名就业人员操作的工业机器人数量表示)作为人工智能的度量指标。具体地,本文对 WIOD2016 版本社会经济账户中的就业数据与工业机器人数据进行对接,计算各国每年细分行业的工业机器人使用密度。

(2) 全球价值链参与度。Koopman 等(2010)测算的 GVC 指标具有较高的代表性并在学术界广泛引用,在此基础上,本文按照 Wang 等(2013)的方法进一步扩展了一国总出口的分解公式,依据出口品价值的最终去向将其细分。价值链参与分为两个部分,包含前向参与和后向参与。首先是前向参与,作为供给者,出口国行业中含有的国内增加值,被出口市场国直接吸收或者再出口到第三国,相对于出口市场来说,出口国为前向参与。其次是后向参与,从消费者的角度,出口国出口的中间品里所包含的出口国上游国家的增加值部分,相对于进口国来说,出口国为后向参与,基于此,本文利用中间品出口到第一个出口市场再出口至第三国的国内增加值和进行中间品贸易导致的国内重复算部分之和占总出口比重表示价值链前向参与;利用来源于出口市场、其他经济体的国外增加值和国外重复计算部分之和占

总出口的比重表示价值链后向参与,两国间的价值链参与等于前向参与和后向参与之和^①,计算公式如下所示:

$$GVC_{ijkt} = (DVA_INT_REX_{ijkt} + MVA_{ijkt} + PDC_{ijkt} + RDV) / TEXP_{ijkt} \quad (2)$$

(3) 全球价值链分工地位。同样参考 Koopman 等 (2010) 的方法,构建全球价值链地位指数,并在盛斌和景光正 (2019) 基础上延伸至行业层面,采用该指标综合反映一国行业的全球分工地位。指数越大,表明一国行业在全球价值链中越处于上游高端环节;反之,指数越小,则表明一国行业在全球价值链中分工地位越低。计算公式如下所示:

$$GVC_{ijkt} = \ln(1 + DVA_INT_REX_{ijkt} / TEXP_{ijkt}) - \ln[1 + (MVA_{ijkt} + OVA_{ijkt}) / TEXP_{ijkt}] \quad (3)$$

其中, GVC_{ijkt} 表示 t 年 i 出口国 k 行业出口到出口市场 j 的全球价值链参与度和地位指数, $DVA_INT_REX_{ijkt}$ 表示 t 年出口国 i 在 k 行业出口至出口市场 j 又出口至第三国的国内增加值部分, MVA_{ijkt} 表示出口国 i 在 t 年 k 行业出口到出口市场 j 中来源于出口市场 j 的国外增加值部分, OVA_{ijkt} 表示出口国 i 在 t 年 k 行业出口到出口市场 j 中来源于其他经济体的国外增加值部分, PDC_{ijkt} 表示重复计算部分包括 DDC 来源于国内投入的重复计算和 FDC 来源于外国投入的重复计算, RDV 表示返回国内增加值, $TEXP_{ijkt}$ 表示出口国 i 在 t 年 k 行业出口到出口市场 j 的出口额。

(4) 控制变量。引力模型变量: ① 出口国 GDP 和出口市场 GDP。一国 GDP 代表该国的市场规模和经济实力。其中, 出口国的经济实力反映了潜在的供给能力, 进口国的经济实力反映了潜在的需求能力。一国经济规模越大, 本地市场效应越大, 贸易往来越频繁, 专业分工也会越细化。② 地理距离。运输成本是贸易成本的主要形式之一, 国际贸易兴衰与运输成本存在紧密联系 (Estevadeordal 等, 2003)。地理距离是决定运输成本的重要因素, 距离越远, 运输成本越高, 产业链空间分离的成本会越高。

经济体特征变量: ① 外商直接投资。Feenstra 和 Hanson (1995) 研究发现跨国公司带来的工序转移对东道国价值链分工地位的提升具有显著的促进效用。外资进入引致的溢出效应促进了东道国企业的技术进步, 提升了管理水平, 增强了企业竞争力, 促进了企业价值链升级 (张鹏杨和唐宜红, 2018)。② 劳动生产率。劳动生产率的差异性及由此决定的生产成本是导致国际生产分工最重要的原因之一。Grossman 等 (2005) 引入了生产率异质性的假定, 发现生产率的差异性决定了国际外包形式。生产率较高的国家 (地区) 通常会外包劳动密集型生产环节, 生产率较低的国家 (地区) 则会进口资本或技术密集型生产环节。本文采用人均国民收入衡量一国劳动生产率 (刘斌等, 2018)。③ 简单平均关税^②。中间品贸易已成为全球生产分工的典型特征, 随着中间品的频繁跨境, 关税对国际生产分工的影响呈现放大效用。另外, 中间品关税的下降提高了高质量和高技术中间品的可获性, 促进了企业价值链升级。④ 行业资本产出比。资本结构对国际生产分工会产生重要影响。资本禀赋反映了一

① 需要说明的是, 由于返回增值也是价值链参与的重要组成部分, 本文将返回增加值也作为价值链参与的构成指标。

② 两国间关税数据来自世界综合贸易解决方案 (WITS) 数据库, 本文参考 Feenstra 和 Ma (2014) 的研究, 采用简单平均有效执行关税, 即存在特惠税率 (PTA) 时使用特惠税率, 不存在特惠关税时用最惠国关税 (MFN), WITS 数据库下产品海关编码存在不同版本, 本文统一为 HS2002, 再与 ISIC Rev4 进行对照, 最后加总到 WIOD 行业, 此外对于欧盟国家关税采用欧盟统一税率。

国资本投资水平,通过影响工业化机械设备投入,进而改变一国产业生产工序的发达程度,并对各国在全球价值链中所处的地位及其增加值利益产生重要影响(韩剑等,2018)。

四、数据处理及实证分析

1. 数据来源

本文全球价值链测算数据来源于世界投入产出数据库(WIOD2016),工业机器人数据来源于IFR,各国GDP、地理距离数据来源于CEPII数据库,外商直接投资数据来源于联合国贸易和发展会议数据(UNCTAD),劳动生产率数据来源于世界银行,关税数据来源于WITS数据库,行业资本产出比数据来自WIOD社会经济账户。WIOD2016版数据库包含43个国家(地区),由于IFR缺少部分国家(地区)工业机器人数据,因此最终使用38个国家(地区)数据^①。经对接后,本文获得“出口国(38个)—出口市场(37个)—时间(2000~2014年,15年)—行业(19个制造业行业)”四维层面的数据。

表1 变量的描述性统计

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值	数据来源
全球价值链参与度	400710	0.41	0.15	-1.38	3.10	WIOD
全球价值链分工地位	400710	-0.09	0.18	-1.90	2.48	WIOD
人工智能	400710	1.00	1.44	0.00	9.13	IFR
出口国GDP	400710	8.10	1.74	3.69	12.07	CEPII
出口市场GDP	400710	8.10	1.74	3.69	12.07	CEPII
地理距离	400710	7.89	1.07	5.09	9.80	CEPII
外商直接投资	400710	9.06	1.55	3.70	12.66	UNCTAD
劳动生产率	400710	9.95	0.92	6.71	11.43	WDI
简单平均关税	400710	0.98	1.13	0.00	5.86	WITS
行业资本产出比	400710	0.67	0.61	0.00	21.54	WIOD

注:本文的描述性统计均为取对数后的展示,各变量的原始单位:人工智能的单位是:台/每千人;出口国GDP、出口市场GDP的单位是:亿美元;地理距离的单位是:公里;外商直接投资的单位是:百万美元;劳动生产率的单位是:美元/人;简单平均关税的单位是:%。

2. 基准回归分析

表2报告了基准回归的估计结果,其中第(1)~(3)列报告了人工智能对全球价值链参与度影响的估计结果。第(1)列为不加入控制变量的回归,人工智能的估计系数显著为正,表明:人工智能促进了出口国制造业行业在全球价值链的参与程度。在此基础上,在第(2)列引入引力模型变量(出口国GDP、出口市场GDP、地理距离),第(3)列加入经济体特征变量(外商直接投资、劳动生产率、行业资本产出比、简单平均关税)。在逐步加入控制变量后,人工智能的估计结果依然显著为正,进一步证实了本文的结论。第(4)~(6)列为人工智能对全球价值链分工地位影响的估计结果。同样在加入控制变量后,人工智能的估计结果依然显著为正,一国人工智能的发展推动制造业实现智能化生产,促进一国行业分工地位的提升。

我们进一步关注控制变量的系数符号和显著性。出口国GDP对全球价值链参与的影响

^① 数据缺失国家和地区:加拿大、墨西哥、塞浦路斯、卢森堡和中国台湾地区。

系数并不稳定, 出口国 GDP 引致的本地市场效用会产生两方面的影响, 一方面, 本地市场效用能够产生规模经济, 但另一方面, 出口国 GDP 越大, 企业会更专注于本地市场, 降低对全球市场的依赖。出口国 GDP 对全球价值链升级的影响显著为正, 与预期完全一致。本地市场效用会提升企业生产效率, 进而提高全球价值链分工地位。地理距离系数显著为负, 两国距离越远, 贸易成本越高, 对国际市场参与度和分工地位均产生负向影响。外商直接投资对全球价值链参与影响显著为正, 跨国公司一直是全球生产分工的主导力量。外商直接投资对全球价值链升级的影响显著为负。这也印证了罗伟和吕越 (2019) 的研究, 外资会因高加工贸易倾向促使出口国制造业在融入全球价值链过程中向下游移动。劳动生产率对全球价值链参与的影响显著为正。行业资本产出比显著为正, 与预期一致。简单平均关税对全球价值链参与的影响显著为负, 关税越低, 出口成本越小, 进而促进一国参与全球分工。

表 2

基准回归

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	全球价值链 参与度	全球价值链 参与度	全球价值链 参与度	全球价值链 分工地位	全球价值链 分工地位	全球价值链 分工地位
人工智能	0.5901*** (3.7393)	0.1173*** (5.6820)	0.3802*** (3.2758)	0.0478*** (3.3028)	0.0718*** (2.8401)	1.0703*** (10.2101)
出口国 GDP		-0.0002 (-0.2237)	-0.0258*** (-31.5380)		0.0032*** (4.4216)	0.2699*** (319.7285)
出口市场 GDP		0.0006 (0.7089)	0.0109*** (22.7320)		0.0003 (0.5494)	0.0253*** (4.6196)
地理距离		-0.0065*** (-24.5787)	-0.0242*** (-51.6466)		-0.0044*** (-22.0759)	-0.1729*** (-138.2051)
外商直接投资			0.0108*** (8.3011)			-0.0071*** (-8.5532)
劳动生产率			0.0111*** (8.5566)			-0.0003 (-0.2620)
行业资本产出比			0.0384*** (12.3426)			0.2672*** (59.0563)
简单平均关税			-0.0019** (-2.7266)			0.0023 (1.2438)
常数项	0.4005*** (254.8307)	0.4533*** (40.4700)	0.4890*** (25.1153)	-0.0876*** (-551.2002)	-0.0815*** (-9.9607)	-0.3038*** (-6.5409)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	400710	400710	400710	400710	400710	400710
R ²	0.2084	0.6093	0.5190	0.9535	0.8425	0.5522

注: 括号内数值为纠正了异方差后的 t 统计量; *、** 和 *** 分别代表在 10%、5% 和 1% 的水平下显著。固定效应包含出口市场、行业和时间固定效应。

3. 稳健性检验

本文稳健性检验分为两大部分，一类是指标度量稳健性检验，另一类是计量方法稳健性检验。

(1) 指标度量的稳健性检验。指标度量稳健性检验主要是通过使用核心变量的替换指标实现的。首先，本文基于国际劳工组织数据计算 38 个国家（地区）整体制造业工业机器人密度，测量覆盖整个制造业的工业机器人渗透度作为人工智能的替换指标进行回归分析。其次，参考 IFR 年度报告的方法，本文再次将 OECD 国家—行业—时间维度的就业数据与工业机器人进行匹配，得到细分行业的工业机器人密度指标进行回归分析。上述估计结果依次为表 3 的第 (1) 和 (2) 列与第 (3) 和 (4) 列，根据结果显示，核心指标人工智能的系数显著为正，证明了本文结论的稳健性。再次，本文参考 Koopman 等（2010）得到各国行业的前向参与、后向参与指标进行回归，根据表 3 的第 (5) 和 (6) 列估计结果可知，人工智能的发展会同时促进一国行业全球价值链的前向参与、后向参与。

表 3 稳健性检验

变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 参与度	(3) 全球价值链 分工地位	(4) 全球价值链 分工地位	(5) 全球价值链 前向参与度	(6) 全球价值链 后向参与度
人工智能	0.0735*** (4.8332)	0.7246*** (3.1252)	0.3299*** (13.2136)	2.4802*** (4.8207)	0.0720*** (3.9953)	0.9272*** (5.6791)
出口国 GDP	0.0043*** (6.6903)	-0.0406*** (-19.2691)	0.0217*** (21.1369)	0.2953*** (53.0131)	0.0042*** (7.4627)	-0.0371*** (-36.1939)
出口市场 GDP	3.5656 (0.9523)	-0.0065*** (-3.8399)	0.0009 (1.3260)	0.1898*** (84.2688)	0.0005 (1.4362)	0.0034** (2.6546)
地理距离	0.0049 (0.4180)	0.0013 (0.6690)	0.0271 (1.2502)	-0.2031*** (-52.4409)	0.0010*** (7.8838)	-0.0119*** (-14.2898)
外商直接投资	0.0001* (1.7158)	0.0161*** (10.6851)	-0.0015*** (-11.6196)	-0.0288*** (-4.0503)	-0.0012*** (-16.5899)	0.0123*** (7.4657)
劳动生产率	-0.0115*** (-12.4557)	-0.0050 (-0.7656)	-0.0444*** (-26.3629)	0.0072 (0.9733)	-0.0055*** (-4.9661)	0.0044** (2.6345)
行业资本产出比	-0.0071*** (-3.9054)	-0.0318 (-1.4693)	-0.0174*** (-5.3335)	0.2681*** (26.4295)	0.0146*** (11.6354)	-0.0063*** (-3.0296)
简单平均关税	-0.0006*** (-3.2839)	-0.0022 (-1.1391)	-0.0016*** (-4.6347)	0.0021 (0.6403)	-0.0005*** (-4.8254)	-0.0050*** (-8.9448)
常数项	0.3103*** (42.3753)	0.5095*** (6.6407)	0.2365*** (16.3799)	-1.5282*** (-18.7479)	0.6506*** (78.7966)	0.4201*** (20.4746)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	21090	283531	21090	283531	400710	400710
R ²	0.9560	0.4837	0.9759	0.5589	0.9368	0.5176

注：同表 2。

(2) 计量方法的稳健性检验。本文计量模型可能存在逆向因果和遗漏变量导致的内生性问题, 由于内生性问题的存在, 计量结果将是有偏的, 因此我们需要寻找合适的工具变量解决估计模型的内生性问题。当下关于人工智能实证分析的文章较少, 因此工具变量选择问题可供参考的文献有限。第一, 本文参考 Acemoglu 和 Restrepo (2017) 的研究, 采用制造业行业人工智能发展随时间变化趋势近似的国家人工智能指标作为出口国核心指标的工具变量。因为人工智能发展规模相似的国家通常在国内市场规模、发展环境、政策等方面具有一致性, 互相之间的人工智能发展模式对于另一方国家来说也会产生重要的借鉴意义。但是各国行业的人工智能发展水平与其他国家的全球分工并不存在相关性。因此本文按照各国行业人工智能发展趋势进行匹配, 表 4 的第 (1) 和 (2) 列引入对照国家的人工智能指标作为工具变量进行回归分析。第二, 本文参照 Adams 和 Smith (2003) 中的研究, 将各国每年发布的关于人工智能的文章数量作为人工智能的另一个工具变量。原因是: 一国人工智能发展水平越高, 该国科研学者和机构参与 AI 领域基础研究的积极性越高, 同时人工智能技术发达的国家能够为研究者提供更多的数据、案例、素材等基础研究条件, 因此在 AI 领域科研产出越多的国家, 反映出该国的人工智能发展水平较高, 但是科研学者的人工智能领域科研产出与全球价值链分工并不存在相关性。本文参考《中国人工智能发展报告 (2018)》^①, 在 Web of Science 检索人工智能关键词^②, 获取 38 个国家 (地区) 15 年里在人工智能领域的论文产出数据作为工具变量引入第 (3) 和 (4) 列进行回归分析。然后在第 (5) 和 (6) 列同时并列引入前述两个工具变量进行解析。表 4 结果显示所有核心解释变量的系数均显著为正, 进一步证实本文结果是稳健的。

表 4 两阶段最小二乘回归估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	工具变量 I 全球价值链 参与度	工具变量 I 全球价值链 分工地位	工具变量 II 全球价值链 参与度	工具变量 II 全球价值链 分工地位	工具变量 I 和 II 全球价值链 参与度	工具变量 I 和 II 全球价值链 分工地位
人工智能	0.0125*** (4.9176)	0.0050*** (12.9804)	0.0352*** (4.8044)	0.0026*** (4.5824)	0.0113*** (4.4502)	0.0023*** (6.7646)
出口国 GDP	-0.0399*** (-34.6164)	-0.0050*** (-2.6089)	-0.0439*** (-19.7760)	0.1302*** (4.6708)	-0.0377*** (-35.5326)	-0.0042*** (-14.7617)
出口市场 GDP	-0.0054*** (-25.5798)	0.0135*** (51.0265)	0.0069*** (6.4934)	0.0002 (0.0733)	0.0033*** (2.7496)	0.0127*** (47.6769)
地理距离	-0.0001 (-0.1448)	-0.0301*** (-78.3583)	-0.0051*** (-4.2325)	-0.0044*** (-6.0800)	-0.0115*** (-12.4919)	-0.0225*** (-66.5275)
外商直接投资	0.0126*** (7.2920)	-0.0006 (-1.4809)	0.0158*** (17.1209)	0.0036*** (2.8238)	0.0126*** (8.1275)	0.0028*** (9.8881)

① 清华大学中国科技政策研究中心 (CISTP) 发布。

② 与之相关的关键词为: 机器学习、自然语言处理、计算机视觉、人脸识别、图像识别、语音识别、语义搜索、语义网络、文本分析、虚拟助手、视觉搜索、预测分析、智能系统等。

(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	工具变量 I 全球价值链 参与度	工具变量 I 全球价值链 分工地位	工具变量 II 全球价值链 参与度	工具变量 II 全球价值链 分工地位	工具变量 I 和 II 全球价值链 参与度	工具变量 I 和 II 全球价值链 分工地位
劳动生产率	0.0044** (2.1848)	0.0048** (2.5478)	-0.0114*** (-3.3476)	-0.0185*** (-4.8225)	0.0034 (1.6192)	0.0131*** (31.9580)
行业资本产出比	-0.0088*** (-3.2380)	0.1010*** (61.9253)	-0.0213*** (-4.5902)	-0.0245 (-1.0917)	-0.0078*** (-3.1774)	0.0776*** (53.2747)
简单平均关税	-0.0078*** (-13.5783)	0.0236*** (64.8660)	-0.0114*** (-14.7753)	0.0003 (0.2003)	-0.0050*** (-9.7960)	0.0187*** (54.6527)
常数项	0.4030*** (17.3362)	0.1899*** (8.1683)	0.5411*** (15.2692)	-0.8410*** (-4.4648)	0.4596*** (17.6699)	-0.0524*** (-8.6224)
Durbin-Wu- Hausman 检验	447.07 [0.0000]	15.77 [0.0001]	835.34 [0.0000]	745.28 [0.0000]	1162.45 [0.0000]	16.58 [0.0000]
Kleibergen-Paap rk LM 统计量	13.018 [0.0003]	5.0e+04 [0.0000]	155.675 [0.0000]	33.087 [0.0000]	13.024 [0.0015]	5.1e+04 [0.0000]
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量	223.095 {16.38}	2.0e+05 {16.38}	157.035 {16.38}	33.095 {16.38}	257.159 {19.93}	1.0e+05 {19.93}
Hansen-overid 统 计量					0.220 [0.6389]	1.997 [0.1577]
第一阶段 F 统计量	295.58	2.0e+05	157.04	33.09	257.16	1.2e+05
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	400710	400710	400710	400710	400710	400710
R ²	0.4710	0.3158	0.4852	-0.5935	0.5188	0.3005

注：() 小括号内数值为纠正了异方差后的 t 统计量；*、**和***分别代表在 10%、5%和 1%的水平下显著。[] 中括号内的值为相应统计量的 P 值；{ } 大括号内的值为 Stock-Yogo 检验 10%水平上的临界值。Durbin-Wu-Hausman 用来检验模型的内生性问题，报告的是 χ^2 统计量及其 P 值，拒绝原假设是合理的；Kleibergen-Paap rk LM 用来检验工具变量与内生变量的相关性，报告的是 LM 统计量及其 P 值，拒绝原假设是合理的；Kleibergen-Paap rk Wald F 用来检验工具变量是否为弱识别，报告的是 F 统计量及其 10%水平下的临界值，超过临界值是合理的。Hansen-overid 是过度识别检验，报告的是 χ^2 统计量及其 P 值，不拒绝原假设是合理的。

4. 机制检验

(1) 贸易成本降低效应的机制检验。人工智能通过降低贸易成本促进生产效率的提升，进而影响全球价值链分工。随着全球分工的不断深化发展，贸易成本已成为解决国际贸易领

域六大疑惑的重要工具,具有丰富的政策含义 (Anderson 和 Wincoop, 2003)。而且贸易成本包含范围较广^①,其测度方法被分为直接测度法和间接测度法。通常直接测度会选取部分可以直接观测得到的贸易成本作为总贸易成本的代表进行分析,例如运输费用和关税壁垒等。间接测度则是通过模型,采取双边贸易成本计算法获取贸易成本的大小。对于直接测度,由于贸易成本构成因素众多,不同国家、不同行业很难统一口径推算统一指标,数据收集需要耗费大量人力、物力。因此国内外学者大部分采用 Novy (2006) 改进后的引力模型融入冰山贸易成本和垄断竞争分析,具体模型设定如下:

$$\tau_{ij} = \tau_{ji} = 1 - [EXP_{ij}EXP_{ji}/(GDP_j - EXP_j)(GDP_i - EXP_i)s_i^2]^{\frac{1}{2\rho-2}} \quad (4)$$

式中 EXP_{ij} 和 EXP_{ji} 分别代表 i 国向 j 国的出口总额和 j 国向 i 国的出口总额,其中 GDP_i 、 EXP_i 和 GDP_j 、 EXP_j 分别代表 i 国和 j 国的 GDP 和总出口, s_i 和 s_j 分别代表两国的可贸易品的比重, τ_{ij} 和 τ_{ji} 分别代表 i 国向 j 国出口的贸易成本和 j 国向 i 国出口的贸易成本,其中 ρ 是替代弹性。为便于计算分析,假设两国的贸易成本以及可贸易品所占比重相等,即 $\tau_{ij} = \tau_{ji}$ 且 $s_i = s_j$ 。并且本文参照施炳展 (2008) 的统一处理方法,设定 $s_i = s_j = 0.8$ 且 $\rho = 8$ 。在此基础,本文引入人工智能与贸易成本的交互项,验证人工智能是否通过降低贸易成本促进一国全球价值链竞争力。估计结果中交互项的系数显著为负,符合预期,证明人工智能的发展,推动了贸易成本的缩减进而促进一国全球价值链参与度的深化和分工地位的提升。

表 5 贸易成本机制检验的估计结果

变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 参与度	(3) 全球价值链 参与度	(4) 全球价值链 分工地位	(5) 全球价值链 分工地位	(6) 全球价值链 分工地位
人工智能	18.6995** (2.3529)	5.5233*** (4.6105)	4.9675*** (4.2070)	0.0259*** (14.2550)	0.0173*** (4.1786)	0.0366*** (8.7721)
贸易成本	0.6009 (1.2958)	-0.9122*** (-14.4921)	-0.9084*** (-14.4184)	-8.8724*** (-12.4576)	-10.3656*** (-18.4956)	-10.3252*** (-18.5118)
人工智能 × 贸易成本	-28.1793** (-2.3283)	-7.6445*** (-4.2308)	-6.7563*** (-3.7947)	-6.0799*** (-9.9600)	-1.6134*** (-15.5672)	-2.2776*** (-24.0266)
出口国 GDP		0.0018*** (2.8463)	0.0008 (1.1183)		-0.0044 (-0.9462)	-0.0074 (-1.4861)
出口市场 GDP		0.0023*** (3.1127)	0.0027*** (3.7374)		0.0118*** (4.4258)	0.0115*** (4.3504)
地理距离		0.0128*** (28.9842)	0.0128*** (28.9735)		-0.0043*** (-19.2012)	-0.0043*** (-18.2742)
外商直接投资			0.0011*** (6.2758)			-0.0020* (-1.8327)

① 涉及政策成本、运输成本、语言成本、信息成本、货币成本、合同成本等。

(续)

变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 参与度	(3) 全球价值链 参与度	(4) 全球价值链 分工地位	(5) 全球价值链 分工地位	(6) 全球价值链 分工地位
劳动生产率			0.0038*** (5.1449)			-0.0063 (-1.2203)
行业资本产出比			-0.0163*** (-18.0945)			0.0846*** (11.5268)
简单平均关税			-0.0008*** (-5.0327)			0.0005 (1.2600)
常数项	0.0071 (0.0230)	0.6765*** (17.4723)	0.6401*** (16.2612)	5.7651*** (12.2586)	6.7734*** (18.3299)	6.8124*** (18.1299)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	400710	400710	400710	400710	400710	400710
R ²	0.5467	0.6093	0.6101	0.4144	0.6149	0.6233

注：同表2。

(2) 技术创新效应的机制检验。本文参考袁建国等(2015)的研究方法,从创新产出和创新投入两个视角度量一国技术创新水平。以专利申请数量衡量一国的创新产出,以研发投入作为创新投入的衡量指标,通过引入人工智能与各国专利申请数量与研发投入^①的交互项,分析人工智能是否通过影响技术创新进而导致各国在全球分工中的变化。估计结果显示交互项的系数显著为正,表明人工智能发展通过促进一国技术创新从而推动其在全球分工竞争中参与度指数和地位指数的提升。为进一步证明结果的稳健性,本文分别引入人工智能与科技文献产出^②的交互项进行回归,计量结果显示,交互项系数显著为正,符合预期。

表6 技术创新机制检验的估计结果

变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 分工地位	(3) 全球价值链 参与度	(4) 全球价值链 分工地位	(5) 全球价值链 参与度	(6) 全球价值链 分工地位
人工智能	-0.0272*** (-12.0502)	-0.0210*** (-25.5898)	-0.0057*** (-5.1997)	-0.0143*** (-27.0437)	-0.0128*** (-3.9560)	-0.0194*** (-11.0849)
专利数量	-0.0015* (-1.8333)	-0.0012*** (-3.7443)				

① 数据来源于世界银行。

② 人工智能推动一国技术创新,因此学术领域的科技产出也会增加,以此进一步提高机制检验的稳健性(由于数据可获得性,缺失2000~2002年数据)。

(续)						
变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 分工地位	(3) 全球价值链 参与度	(4) 全球价值链 分工地位	(5) 全球价值链 参与度	(6) 全球价值链 分工地位
人工智能×专利 数量	0.3450*** (14.8006)	0.1255*** (15.1226)				
研发投入			-0.0088*** (-5.8573)	0.0008 (1.1476)		
人工智能×研发 投入			0.4612*** (12.4886)	0.1369*** (7.2208)		
科技文献产出					0.0133*** (10.9403)	-0.0032* (-1.8994)
人工智能×科技文 献产出					0.1795*** (6.0805)	0.0866*** (5.2453)
出口国 GDP	-0.0016 (-0.4276)	-0.0008 (-0.7317)	0.0019 (0.5856)	-0.0013 (-1.2220)	-0.0411*** (-27.0009)	-0.0005 (-0.3002)
出口市场 GDP	0.0014 (1.5366)	-0.0003 (-0.2728)	0.0012 (1.4395)	-0.0006 (-0.6431)	-0.0038 (-1.0489)	-0.0064*** (-5.0135)
地理距离	0.0061*** (27.9606)	-0.0045*** (-14.4898)	0.0061*** (27.9873)	-0.0046*** (-16.3901)	-0.0146*** (-18.3559)	-0.0043*** (-12.3852)
外商直接投资	-0.0009 (-1.3153)	-0.0020*** (-8.1833)	-0.0006 (-1.0281)	-0.0019*** (-8.6047)	0.0098*** (7.5785)	-0.0011*** (-3.8765)
劳动生产率	0.0003 (0.0837)	-0.0052*** (-4.5623)	0.0027 (0.7824)	-0.0042*** (-4.1237)	0.0127*** (8.4952)	0.0001 (0.0377)
行业资本产出比	0.2102*** (15.9571)	0.0820*** (63.1044)	0.2066*** (15.9948)	0.0822*** (63.7666)	0.0387*** (10.2033)	0.0806*** (55.7470)
简单平均关税	-0.0005 (-0.8684)	0.0010*** (4.0914)	-0.0003 (-0.6046)	0.0015*** (6.2810)	-0.0030*** (-4.6127)	0.0009*** (3.2915)
常数项	0.6747*** (16.3351)	0.0063 (0.4057)	0.6231*** (15.8585)	-0.0083 (-0.5964)	0.5304*** (18.9992)	0.0140 (0.6112)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	400710	400710	400710	400710	320568	320568
R ²	0.3801	0.6212	0.3762	0.6952	0.5670	0.6217

注：同表2。科技文献产出数据来源于世界银行，有部分缺失，因此观测值为320568。

(3) 优化资源配置的机制检验。基于前文机制分析，人工智能的发展有利于实现资源的优化配置。因此，本文参考蒲阿丽和李平（2019）的研究方法构建资源配置效率指标，具体包括各行业的劳动力配置效率（运用行业全部就业人员平均人数除以行业总产值表示）、资

本配置效率（运用行业资本存量除以行业总产值表示）和总体资源配置效率（运用行业劳动力配置效率与资本配置效率的算术平均值表示）。在此基础上，在回归模型中分别引入人工智能与各行业的劳动力配置效率、资本配置效率和总体资源配置效率的交互项，其中第（1）和（2）列是劳动力资源配置效率；第（3）和（4）列是资本资源配置效率；第（5）和（6）列是总体资源配置效率。估计结果中交互项的系数均显著为正，由此证明人工智能的发展通过优化资源配置促进了一国行业全球价值链参与度的深化及分工地位的提升，而且人工智能对劳动力配置效率的促进作用更明显。

表 7 资源配置机制检验的估计结果

变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 分工地位	(3) 全球价值链 参与度	(4) 全球价值链 分工地位	(5) 全球价值链 参与度	(6) 全球价值链 分工地位
人工智能	0.0042*** (12.2311)	-0.0337*** (-14.6454)	-0.0106*** (-9.9091)	-0.0318*** (-12.6300)	-0.0117*** (-10.6697)	-0.0348*** (-14.1020)
资源配置效率	20.1026*** (63.2498)	3.2895 (1.4672)	11.0317*** (3.5395)	16.7325** (2.9516)	11.9717*** (6.3662)	15.5936*** (3.3892)
人工智能×劳动力 资源配置效率	1.2339*** (4.6594)	12.1156*** (12.9961)				
人工智能×资本资 源配置效率			1.1047*** (4.654)	3.8997*** (7.3099)		
人工智能×总体资 源配置效率					2.4489*** (6.9411)	9.3974*** (7.3293)
出口国 GDP	0.0057*** (35.8203)	0.0560*** (34.1072)	0.0144*** (18.5074)	0.0572*** (34.1159)	0.0145*** (18.9088)	0.0564*** (34.7393)
出口市场 GDP	-0.0044*** (-32.2803)	0.0027*** (4.7021)	0.0140*** (21.3671)	0.0028*** (4.8654)	0.0140*** (21.3576)	0.0027*** (4.6566)
地理距离	0.0140*** (80.0464)	-0.0027** (-2.7146)	-0.0211*** (-45.4298)	-0.0037*** (-4.1011)	-0.0211*** (-46.3624)	-0.0031*** (-3.1610)
外商直接投资	-0.0009*** (-6.3498)	-0.0177*** (-6.7945)	-0.0007*** (-0.7663)	-0.0186*** (-7.2091)	-0.0008*** (-0.8494)	-0.0180*** (-7.0498)
劳动生产率	0.0110*** (39.9111)	0.0049** (2.1651)	-0.0005 (-0.5128)	0.0072** (2.7529)	-0.0003 (-0.3276)	0.0054* (2.1043)
行业资本产出比	0.0747*** (63.6360)	0.1018*** (22.3584)	-0.0055** (-0.7063)	0.0485*** (3.7036)	0.0039** (1.3039)	0.0606*** (9.6706)
简单平均关税	-0.0089*** (-45.4674)	0.0171*** (17.1843)	0.0059*** (6.1587)	0.0174*** (13.9711)	0.0059*** (6.1856)	0.0170*** (15.9328)
常数项	0.5239*** (141.4126)	-0.4797*** (-21.1426)	0.1349*** (13.2884)	-0.4847*** (-17.0445)	0.1275*** (13.3028)	-0.4773*** (-18.6553)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	全球价值链参与度	全球价值链分工地位	全球价值链参与度	全球价值链分工地位	全球价值链参与度	全球价值链分工地位
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	400710	400710	400710	400710	400710	400710
R ²	0.6616	0.3938	0.4943	0.3919	0.4945	0.3949

同表 2。

5. 扩展分析

(1) 基于全球价值链分工先动优势与后发优势的扩展分析。如今全球价值链发展已形成分层, 附加值获取日益固化。在全球分工的发展过程中, 对于多数发展中经济体, 由于在全球价值链中一直承包的是加工制造环节, 因此位于价值链的低端位置, 而欧美等发达国家在生产制造中掌握了核心技术, 主要从事研发设计, 同时在品牌营销、售后占据优势, 因此在全球分工中的地位较高。现在世界主要经济体已经认识到人工智能是未来国家之间竞争的关键赛场, 纷纷开始部署人工智能发展战略, 以期占领新一轮科技革命的历史高点。基于此, 本文参考 Bas 和 Causa (2013) 的思路, 计算第 $t-1$ 年制造业行业全球价值链参与度和分工地位与同一行业最高值之间的差距, 在回归模型中引入其与人工智能的交互项, 逐步加入控制变量进行回归, 进一步验证人工智能对一国全球分工的先动优势、后发优势的影响。根据估计结果发现: 不论是全球价值链参与度还是分工地位, 人工智能的发展更有助于提升一国行业全球分工的先动优势。因为随着人工智能技术的成熟, 处于全球价值链低端的国家由于国内工业化程度偏低, 更难越过技术、成本等“门槛”, 加大与全球价值链前沿发展国家的差距。

表 8 基于全球价值链分工先动优势与后发优势的扩展分析估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	全球价值链参与度	全球价值链参与度	全球价值链参与度	全球价值链分工地位	全球价值链分工地位	全球价值链分工地位
人工智能	0.0006*** (1.8030)	0.0006*** (1.6241)	0.0047*** (2.6078)	0.0072*** (5.7965)	0.0072*** (5.7787)	0.0058*** (4.3920)
价值链差距	-0.2820*** (-1.4306)	-0.2818*** (-1.4303)	-0.1746*** (-1.2121)	-0.4416* (-1.9706)	-0.4417* (-1.9695)	-0.4367* (-1.9545)
人工智能×价值链差距	-0.0058*** (-3.2508)	-0.0058*** (-3.1924)	-0.0270*** (-4.8087)	-0.0178*** (-4.5109)	-0.0178*** (-4.2907)	-0.0172*** (-4.1131)
出口国 GDP		-0.0023** (-1.3555)	-0.0063*** (-7.7985)		0.0020 (0.2604)	0.0037 (0.6102)
出口市场 GDP		0.0033*** (0.9163)	0.0040*** (1.2802)		0.0064 (1.2555)	0.0075 (1.3578)

(续)

变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 参与度	(3) 全球价值链 参与度	(4) 全球价值链 分工地位	(5) 全球价值链 分工地位	(6) 全球价值链 分工地位
地理距离		-0.0047*** (-3.4622)	-0.0050*** (-4.5718)		-0.0024* (-2.0940)	-0.0022* (-2.0233)
外商直接投资			0.0001 (0.5349)			-0.0019 (-1.2060)
劳动生产率			0.0026*** (3.0564)			-0.0048 (-1.1594)
行业资本产出比			0.0001 (0.0352)			0.0476** (2.3426)
简单平均关税			-0.0008*** (-4.2059)			-0.0019* (-1.9431)
常数项	0.5292*** (6.3678)	0.5583*** (5.7614)	0.5184*** (7.5618)	0.2384 (1.4934)	0.1893 (1.3168)	0.2062 (1.4135)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
观测值	400710	400710	400710	400710	400710	400710
R ²	0.7022	0.7025	0.7892	0.7622	0.7623	0.7651

注：同表2。

(2) 基于数字贸易壁垒的扩展分析。当前数字贸易成为国际贸易的新趋势，数据既是人工智能的典型特征，也是全球生产分工的核心要素^①，一国数字贸易开放程度势必会产生重要影响。基于此，本文引入数字贸易限制指数与人工智能的交互项^②，分析数字贸易壁垒对人工智能发挥作用的影响。估计结果发现：不论是全球价值链参与度还是分工地位，数字贸易壁垒越高，越不利于人工智能发挥对全球分工的促进作用。

表9 基于数字贸易壁垒的扩展分析估计结果

变量	(1) 全球价值链 参与度	(2) 全球价值链 参与度	(3) 全球价值链 分工地位	(4) 全球价值链 分工地位
人工智能	-0.0028 (-0.0336)	0.0597 (1.1186)	-0.1082 (-1.6063)	-0.0906 (-1.5014)
数字贸易限制指数	-0.3109*** (-5.5952)	-0.3327*** (-5.2931)	-0.5456*** (-8.4854)	-0.5379*** (-7.0098)

① 商务部网址 <http://www.mofcom.gov.cn/article/shangwu>。

② 由于数据的可获得性，OECD中的数字贸易限制指数数据仅包含2014~2016年数据。

(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	全球价值链 参与度	全球价值链 参与度	全球价值链 分工地位	全球价值链 分工地位
数字贸易限制指数×人 工智能	-0.5108*** (-2.7023)	-0.6514*** (-4.2828)	-0.6896*** (-2.7071)	-0.7702*** (-3.0276)
本国 GDP		-0.3695*** (-4.0224)		-0.5000*** (-3.6572)
劳动生产率		0.8930*** (7.6485)		0.8218*** (4.8819)
外商直接投资		0.0083*** (7.6775)		0.0048*** (3.9603)
常数项	0.3994*** (44.0196)	1.3829 (0.9380)	0.3365*** (32.5113)	5.5860** (2.3794)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
出口市场固定效应	控制	控制	控制	控制
观测值	1632	1632	1632	1632
R ²	0.9859	0.9862	0.9647	0.9578

注：同表 2。

五、研究发现及政策建议

自 2013 年起，世界主要经济体开始对人工智能进行战略布局，美国的“先进制造伙伴计划”、德国“工业 4.0”、中国“十三五”国家科技创新规划都涉及人工智能的规划发展。本文以 38 个国家（地区）制造业行业为研究对象，构建人工智能指标考察其对行业价值链参与度和分工地位的影响效应，实证研究发现：首先，人工智能对全球价值链参与和分工地位的提升具有显著的促进作用，在更换人工智能与价值链的测算指标后，估计结果依然稳健；其次，人工智能的影响效应主要通过降低贸易成本、推动技术创新、优化资源配置三条机制实现。在资源配置的机制研究中发现，人工智能对劳动力配置效率的促进作用比资本配置效率更明显；最后，扩展分析发现，人工智能促进了全球价值链分工的先动优势。另外，数字贸易开放度越高，越有利于发挥人工智能在全球生产分工中的积极影响效应。基于此，本文提出的政策建议有以下五点。

第一，利用市场规模优势，全方位推进人工智能与制造业的深度融合。凭借广阔的应用市场和丰富的数据基础，中国人工智能产业迅速成长，但距真正的人工智能强国，依旧任重而道远。2020 年伊始，新冠肺炎疫情的暴发对正在重塑中的全球价值链造成突发性冲击，同时也对未来世界主要经济体的全球价值链风险管理与成本平衡提出更高要求。人工智能可以利用智能化技术优势，在全球供应储备、物流运输规划以及上下游产能协调等领域实现柔性化管理。因此中国应继续推动人工智能与实体经济深度融合，特别是促进人工智能与技术

密集型、知识密集型等高附加值产业的深度融合，增强本土供应链的韧性，促进传统产业的智能化改造和升级，推动产业链、价值链的高端化，在全球价值链分工竞争中争取有利位置。

第二，提升智能物流效率，建立数字智慧港口。人工智能利用智能识别、计算机视觉等新兴技术实现自动化仓储、建设智能物流道路、获取实时信息，大幅降低国际贸易的仓储、运输、物流等成本。因此在物流运输中，对于航空、铁路、公路等干线运输，应建立相应的智能系统中心，将原有小而散的运输个体进行统一调度管理，利用智能化配送解决车货不匹配、返程空载等问题。开发无人化运输，凭借自动化与信息化技术，实现信息与资源的自由流通，规划最佳装卸方案，实现仓储、装配一体化，提高运输效率。对于海路运输，应加速“传统港”向“数字智能港”转变，积极运用自动识别与智能通信技术，促进供应商、代理商、海关与世界港口的集体联动，实现无纸化报关，提高通关效率，全面提升国内港口竞争力。

第三，创新全景式制造业体系，打造智能服务机制。传统制造业企业多数处于全球价值链的低端，无法满足现代化发展需求，因此，亟须进行制造过程与产品智能化升级。首先，依靠数字化与自动化技术，实现产业体系内材料、资源的快速配置，促进材料可控性与装备设计制造过程的有效结合，优化生产流程、开发高性能产品、促进个性化定制，有效解决“用户—产品”二元结合的实践问题。其次，应用智能识别系统，促进其与线下商业、社交活动的有效结合，推进“用户—产品—场景”三元结合，加速制造业全景式创新。提供智能云服务平台，集成制造业大数据、智能算法、资源配置与应用，优化跨平台市场服务机制，实现制造业生产、服务、管理的集中化，提高制造业产业体系运营效率。最后，借助模拟识别技术和丰富的数字化知识库，在虚拟技术环境进行知识排列组合实现可塑性技术创新。

第四，突破技术难关，降低跨国分工的“敲竹杠”风险。当前中国在部分新兴技术产业中高性能半导体、微晶体等零部件及人工智能重要原件仍依赖进口，核心技术存在“卡脖子”难题，高端制造业在全球分工中的竞争力不及欧美等发达国家。因此，政府要保持研发投入力度，引聚高端技术人才，解决人工智能发展的技术、创新难题，促进产业高质量发展，减少重要中间品在全球分工中的“敲竹杠”风险，提升中国在全球分工竞争中的话语权。依托国家新一代人工智能创新发展试验区建设，在不同试验区内，因地制宜地制定区域化特色的发展规划。

第五，主动提出数字贸易的“中国方案”，助推对接人工智能产业网络。一方面，过高的数字贸易壁垒不利于跨境数据流动，严重阻碍人工智能在全球价值链的应用发展。数据要素是推动国家间贸易往来的重要媒介，因此中国要积极利用 WTO、G20 等国际组织与平台，在多边贸易体系框架下争取全球数字贸易规则的制定参与权。在中日韩、RCEP 等区域贸易协定和双边 FTA 谈判中主动推动数字贸易谈判，减少国家间数字贸易壁垒，促进全球价值链的数据流动，为人工智能技术的创新应用提供元素基础和市场后盾。另一方面，人工智能在全球价值链中发挥作用涉及国别之间繁杂的贸易规则与隐私标准。在 WTO 多边贸易体系下，应倡导建立人工智能应用领域统一的贸易规则，制定与人工智能相关的数据流动标准，降低人工智能跨国应用壁垒，加速疏通跨国数据与信息自由流动的智能通道，提高人工智能在全球价值链中自动化、智能化服务效率，以便发挥人工智能的贸易促进作用，提升全球价值链分工竞争优势。

参 考 文 献

- [1] Acemoglu D. , Autor D. , 2011, *Skills Tasks and Technologies Implications for Employment and Earnings* [J], *Handbook of Labor Economics*, 4 (B), 1043~1171.
- [2] Acemoglu D. , Restrepo P. , 2016, *The Race Between Machine and Man-implications of Technology for Growth , Factor Shares and Employment* [R], NBER Working Paper, No 22252.
- [3] Acemoglu D. , Restrepo P. , 2018, *Artificial Intelligence , Automation and Work* [R], NBER Working Paper, No 24196.
- [4] Aghion P. , Jones B. F. , Jones C. I. , 2017, *Artificial Intelligence and Economic Growth* [R], NBER Working Paper, No 23928.
- [5] Anderson J. E. , Wincoop E. , 2003, *Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle* [J], *American Economic Review* , 93 (1), 170~192.
- [6] Antras P. , Chor D. , Fally T. , Hillberry R. , 2012, *Measuring the Upstreamness of Production and Trade Flows* [J], *American Economic Review*, 102 (3), 412~416.
- [7] Bas M. , Causa O. , 2013, *Trade and Product Market Policies in Upstream Sectors and Productivity in Downstream Sectors: Firm-Level Evidence from China* [J], *Journal of Comparative Economics*, 41 (3), 843~862 .
- [8] Brynjolfsson E. , McAfee A. , 2017, *Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future* [M], New York: Norton and Company.
- [9] Estevadeordal A. , Frantz B. , Taylor A. M. , 2003, *The Rise and Fall of World Trade , 1870~1939* [J], *Quarterly Journal of Economics*, 118 (2), 359~407.
- [10] Feenstra R. C. , Hanson G. H. , 1995, *Foreign Investment , Outsourcing and Relative Wages* [R], NBER Working Paper, No 5121.
- [11] Goldfarb A. , Trefler D. , 2019, *Artificial Intelligence and International Trade* [A], in Agrawal J. , Gans J. , Goldfarb A. (eds.), *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda* [C], Chicago: University of Chicago Press.
- [12] Graetz G. , Michaels G. , 2015, *Robots At Work: The Impact on Productivity and Jobs* [R], Centre for Economic Performance, LSE.
- [13] Grossman G. M. , Helpman E. , Szeidl A. , 2005, *Complementarities Between Outsourcing and Foreign Sourcing* [J], *American Economic Review*, 95 (2), 19~24.
- [14] Hanson R. , 2001, *Economic Growth Given Machine Intelligence* [R], Technical Report, University of California, Berkeley.
- [15] Hanson G. H. , Mataloni Jr. R. J. , Slaughter M. J. , 2005, *Vertical Production Networks in Multinational Firms* [J], *Review of Economics and Statistics*, 87 (4), 664~678.
- [16] Hummels D. , Ishii J. , Yi K. M. , 2001, *The Nature and Growth of Vertical Specialization in World Trade* [J], *Journal of International Economics* , 54 (), 75~96.
- [17] Johnson R. C. , Noguera G. , 2012, *Accounting for Intermediates: Production Sharing and Trade in Value Added* [J], *Journal of International Economics*, 86 (2), 224~236.
- [18] Kee H. L. , Tang H. , 2016, *Domestic Value Added in Exports: Theory and Firm Evidence from China* [J], *American Economic Review*, 106 (6), 1402~1436.
- [19] Koopman R. , Powers W. , Wang Z. , Wei S. J. , 2010, *Give Credit to Where Credit is Due: Tracing Value Added in Global Production* [R], NBER Working Paper, No 16426.
- [20] Koopman R. , Wang Z. , Wei S. J. , 2014, *Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports* [J], *American Economic Review*, 104 (2), 459~494.
- [21] Laget E. , Osnago A. , Rocha N. , Ruta M. , 2018, *Deep Trade Agreements and Global Value*

Chains [R], World Bank Policy Research Working Paper, No 8491.

[22] Ma H., Wang Z., Zhu K. F., 2015, *Domestic Content in China's Exports and its Distribution by Firm Ownership* [J], Journal of Comparative Economics, 43 (1), 3~18.

[23] Novy D., 2006, *Is the Iceberg Melting Less Quickly? International Trade Costs after World War II* [R], The Warwick Economics Research Paper Series (TWERPS) 764, University of Warwick.

[24] Orefice G., Rocha N., 2014, *Deep Integration and Production Networks: An Empirical Analysis* [J], World Economy, 37 (1), 106~136.

[25] Timmer M. P., Erumban A., Los B., Stehrer R., Vries G. J., 2014, *Slicing up Global Value Chains* [J], Journal of Economic Perspectives, 28 (2), 99~118.

[26] Wang Z., Wei S. J., Zhu K., 2013, *Quantifying International Production Sharing at the Bilateral and Sector Levels* [R], NBER Working Paper, No 19677.

[27] Wang Z., Wei S. J., Yu X., Zhu K., 2017a, *Characterizing Global Value Chains: Production Length and Upstreamness* [R], NBER Working Paper, No 23261.

[28] Wang Z., Wei S. J., Yu X., Zhu K., 2017b, *Measures of Participation in Global Value Chains and Global Business Cycles* [R], NBER Working Paper, No 23222.

[29] 曹静、周亚林:《人工智能对经济的影响研究进展》[J],《经济学动态》2018年第1期。

[30] 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年第7期。

[31] 陈永伟:《人工智能与经济学:近期文献的一个综述》[J],《东北财经大学学报》2018年第3期。

[32] 樊茂清、黄薇:《基于全球价值链分解的中国贸易产业结构演进研究》[J],《世界经济》2014年第2期。

[33] 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年第7期。

[34] 韩剑、冯帆、姜晓运:《互联网发展与全球价值链嵌入——基于GVC指数的跨国经验研究》[J],《南开经济研究》2018年第4期。

[35] 刘斌、王杰、魏倩:《对外直接投资与价值链参与:分工地位与升级模式》[J],《数量经济技术经济研究》2015年第12期。

[36] 刘斌、王乃嘉、李川川:《贸易便利化与价值链参与——基于世界投入产出数据库的分析》[J],《财经研究》2019年第10期。

[37] 刘斌、王乃嘉、屠新泉:《贸易便利化是否提高了出口中的返回增加值》[J],《世界经济》2018年第8期。

[38] 刘斌、魏倩、吕越、祝坤福:《制造业服务化与价值链升级》[J],《经济研究》2016年第3期。

[39] 罗伟、吕越:《外商直接投资对中国参与全球价值链分工的影响》[J],《世界经济》2019年第5期。

[40] 蒲阿丽、李平:《出口、市场化与资源配置效率的行业异质性分析》[J],《改革》2019年第9期。

[41] 盛斌、景光正:《金融结构、契约环境与全球价值链地位》[J],《世界经济》2019年第4期。

[42] 施炳展:《我国与主要贸易伙伴的贸易成本测定——基于改进的引力模型》[J],《国际贸易问题》2008年第11期。

[43] 孙早、侯玉琳:《工业智能化如何重塑劳动力就业结构》[J],《中国工业经济》2019年第5期。

[44] 王岚、李宏艳:《中国制造业融入全球价值链路径研究——嵌入位置和增值能力的视角》[J],《中国工业经济》2015年第2期。

[45] 王孝松、吕越、赵春明:《贸易壁垒与全球价值链嵌入——以中国遭遇反倾销为例》[J],《中国社会科学》2017年第1期。

[46] 杨连星、罗玉辉:《中国对外直接投资与全球价值链升级》[J],《数量经济技术经济研究》2017年第6期。

[47] 袁建国、后青松、程晨:《企业政治资源的诅咒效应——基于政治关联与企业技术创新的考察》

[J],《管理世界》2015年第1期。

[48] 张鹏杨、唐宜红:《FDI如何提高我国出口企业国内附加值?——基于全球价值链升级的视角》

[J],《数量经济技术经济研究》2018年第7期。

Research on the Impact of Artificial Intelligence on Manufacturing Value Chain Specialization

Liu Bin^{1,2} Pan Tong²

(1. Academy of China Open Economy Studies, University of
International Business and Economics; 2. China Institute for WTO Studies,
University of International Business and Economics)

Research Objectives : Using industrial robot data to deeply analyze the effect of Artificial Intelligence on global value chain. **Research Methods :** Realizing the docking of AI data and global value chain data at the industry level, the paper constructs the econometric model of artificial intelligence and global value chain, applies ordinary least square method, two-stage least square method and interactive term method to conduct empirical research. **Research Findings :** Firstly, generally speaking, the development of AI improves the participation degree and position of a country's industry global value chain, which is mainly achieved by reducing trade costs, promoting technological innovation and optimizing resource allocation. Moreover, compared with the efficiency of capital allocation, artificial intelligence plays a more significant role in promoting the efficiency of labor allocation. Secondly, from the perspective of national heterogeneity, artificial intelligence promotes the first-mover advantage of global value chain competition, and finds that the higher the openness of a country's digital trade, the more obvious the role of artificial intelligence in promoting global value chain. In a word, the development of artificial intelligence is important to optimize a country's industrial structure and enhance the competitiveness of global value chain. **Research Innovations :** On the basis of data docking between AI and GVC, this paper explores the impact of AI development on GVC, and examines the impact mechanism of AI on GVC from the perspectives of trade cost, technological innovation and resource allocation. **Research Value :** It provides a new perspective for the research on the influencing factors of global value chain, and provides empirical evidence for the policy-making of artificial intelligence.

Key Words : Artificial Intelligence; Participation in Global Value Chain; Position in Global Value Chain

JEL Classification : F14

(责任编辑:王喜峰)