

人工智能与企业出口技术复杂度提升

张兵兵 陈静 朱晶 闫志俊

摘要：人工智能是技术进步的集中体现，是驱动经济高质量发展的重要手段。本文从理论层面揭示了人工智能影响企业出口技术复杂度的作用机制并将中国企业数据库、中国海关数据库与国际机器人联合会提供的工业机器人数据相匹配，实证检验了人工智能对企业出口技术复杂度的影响。研究表明：人工智能技术能够显著提升企业出口技术复杂度，该结论在替换指标测算、调整样本数据与缓解内生性后依然稳健。异质性分析发现：人工智能应用对一般贸易型企业、低融资约束行业企业、高市场化水平区域企业出口技术复杂度的提升作用更为显著。机制检验发现：人工智能可以通过促进企业创新和优化企业要素配置结构两条渠道提升出口技术复杂度。此外，全国统一大市场建设及人力资本提升对人工智能促进企业出口技术复杂度提升存在显著的正向强化效应。因此，持续推进全国统一大市场建设，促进高端要素自由流动，充分释放人力资本提升红利是强化人工智能促进企业出口技术复杂度提升，着力推动经济高质量发展的重要途径。

关键词：人工智能；出口技术复杂度；要素配置结构；统一大市场

[中图分类号] F74 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2023) 8-0143-15

一、引言及文献综述

改革开放以来，我国积极参与全球价值链分工，贸易规模迅速扩大，但我国低端嵌入全球价值链的模式形成了“低质高速”的出口增长模式（李坤望等，2014）^[1]，使得出口技术含量低、贸易“大而不强”问题愈发凸显。而如何从出口大国转型为出口强国是实现我国经济高质量发展进程中必须解决的难题之一。党的二十大报告指出：“依托我国超大规模市场优势，以国内大循环吸引全球资源要素，增强国内国际两个市场两种资源联动效应，提升贸易投资合作质量和水平”。出口技术复杂度作为衡量一国出口产品结构和质量的重要指标，综合反映了一国的要素禀赋、贸易结构和生产技术水平（Hausmann et al., 2007）^[2]，出口技术复杂

[收稿日期] 2023-02-07

[基金项目] 国家社会科学一般项目“‘双循环’赋能中国经济高质量发展的实践路径研究”（21BJL102）；国家社科基金一般项目“我国居民劳动收入和财产性收入渠道研究”（18BJL118）

[作者信息] 张兵兵（通讯作者）：南京农业大学经济管理学院教授、南京农业大学金善宝农业现代化发展研究院研究员，电子信箱 fankev@vip.163.com；陈静：南京农业大学经济管理学院硕士研究生；朱晶：南京农业大学经济管理学院教授；闫志俊：南京师范大学商学院副教授

度的提升不仅能够带动经济“量”的增长，更能促进“质”的提升（戴翔和郑岚，2015）^[3]。因此，对如何持续提升出口技术复杂度展开深入探究，不仅具有重要的理论意义，也对加快构建新发展格局，提升国际循环质量和水平具有重要的现实意义。

人工智能是根据对环境的感知，做出合理的行动，并获得最大效益的计算机程序，涵盖了工业机器人、服务机器人、智能化供应链等应用（田云华等，2020）^[4]。提升企业出口技术复杂度不仅是推动我国贸易高质量发展的重要路径，也是我国深度融入国际经济大循环，充分掌握对外开放主动性的有力抓手。理论上讲，人工智能可以通过促进企业创新和优化要素配置结构提升企业出口技术复杂度。具体而言，人工智能是技术进步的集中体现，与前沿技术的接触可以提升企业在激烈市场竞争中的创新意愿，信息技术与制造技术的深度融合可以提升制造业企业劳动生产率（Grartz and Michaels, 2018）^[5]，使得企业更有能力承担高技术含量产品的研发成本，提高企业创新能力，而创新研发能够促进出口技术复杂度提升（毛其淋和方森辉，2018）^[6]。企业生产方式的变革和要素结构的优化将显著提升产品的技术含量，从而提高其出口技术复杂度（祝树金等，2009）^[7]。人工智能具有网络化、智能化、协同化和替代性特征，其可以通过赋能劳动、资本等传统要素，优化传统要素配置结构，并通过增加数据要素配置比重来促进企业出口技术复杂度提升。有鉴于此，本文在厘清人工智能影响企业出口技术复杂度内在机理的基础上，运用规范的计量方法对上述作用机制进行实证检验。这不仅是对人工智能引致的经济绩效相关研究的拓展，其研究结论也可为我国摆脱全球价值链“低端锁定”困境提供借鉴。

目前，与本文研究相关的文献主要有两类。一类是人工智能应用于制造业引致的出口贸易效应提升。人工智能与制造业的结合可通过提高生产率和降低贸易成本来扩大国际贸易规模（田云华等，2020），还可以通过提升产品质量来提高一国出口水平（唐宜红和顾丽华，2022）^[8]。蔡震坤和綦建红（2021）^[9]研究发现，工业机器人的应用能显著提高制造业企业出口产品质量，这一效应主要通过提高企业全要素生产率、降低边际成本来实现。唐青青等（2021）^[10]也研究得出了类似的结论，并进一步发现，人工智能对低生产率企业的促进作用更加明显。人工智能应用可以通过降低贸易成本、提高生产率、促进技术创新等途径来提高一国的全球价值链参与程度和分工地位（刘斌和潘彤，2020^[11]；吕越等，2020^[12]）。由此可看出，人工智能应用于制造业企业，对于扩大企业出口贸易和提升国际分工具有积极作用。

另一类与本文研究较为密切的文献是考察技术进步对出口技术复杂度的影响。钞小静等（2020）^[13]的实证研究表明，数字基础设施建设能够通过技术扩散效应提升地区出口技术复杂度。李宏与乔越（2021）^[14]研究发现，数字化转型能够通过扩大市场规模以及为新产品赋能提高制造业出口技术复杂度。朱勤等（2021）^[15]研究发现，互联网发展通过人力资本效应和技术创新效应对城市出口

技术复杂度产生显著正向影响。现有研究还发现,数字技术对城市出口规模、出口质量均存在正向影响,并利用国家层面数据证明了数字化转型对制造业出口技术复杂度提升的促进作用(党琳等,2021)^[16]。技术进步对出口技术复杂度的正向影响被学者们广泛认可。徐晔等(2022)^[17]利用中国省级层面数据实证研究,认为人工智能与制造业的结合能显著提升出口技术复杂度,而优化劳动技能结构是其重要的传导渠道。

通过梳理相关文献发现,现有研究成果较为丰富,但仍存一些可以拓展的空间:(1)现有研究多基于行业或区域层面,并从数字基础设施建设、互联网发展等不同角度探讨出口技术复杂度的影响因素,但从微观企业视角切入,深入考察人工智能对企业出口技术复杂度影响的文献还相对较少。此外,虽然已有文献探究了人工智能对企业出口贸易的影响,但其研究视角主要聚焦于分析贸易量的增长效应或全球价值链分工变化,并未考虑人工智能对企业不同出口产品技术含量差异的影响。(2)既有文献关于人工智能与企业出口技术复杂度的影响机制研究尚不丰富,两者之间尚未构建清晰的理论分析框架,人工智能对企业出口技术复杂度的影响机制仍需在理论层面进行深入分析。(3)现有关于出口技术复杂度影响因素的研究中,鲜有文献在考虑全国统一大市场建设以及人力资本水平提升条件下,进一步考察其对人工智能影响企业出口技术复杂度的具体影响。

相较于已有文献,本文的边际贡献在于:第一,研究视角上,本文从微观企业视角分析了人工智能对中国制造业企业出口技术复杂度的影响,在一定程度上扩充了人工智能与国际贸易相关问题的研究领域。第二,理论探索上,本文从企业自身创新能力和要素配置结构优化效应两个维度,揭示了人工智能对企业出口技术复杂度的作用机理,丰富了人工智能的出口贸易效应影响机制方面的研究。第三,研究内容上,本文除了研究人工智能对企业出口技术复杂度的影响外,还深入分析了全国统一大市场建设以及人力资本水平对人工智能影响企业出口技术复杂度提升的正向促进效应,为寻求人工智能如何更好地促进企业出口技术复杂度的提升提供了经验支持。

二、理论机制与研究假说

出口技术复杂度是反映出口产品技术含量的重要指标,其大小主要取决于出口产品的技术进步(何琨玟等,2023)^[18]。理论上讲,随着人工智能与制造业企业深度融合,数字化、网络化等技术不断融入企业生产、营销和研发等环节,企业能有效利用互联网、大数据等技术快速收集市场上的各类数据,并对消费者偏好和市场需求做出精准分析,这有利于降低企业的市场风险与研发成本,促进企业开展更多的创新活动,从而达到提高出口技术复杂度的目的(马兆良等,2022)^[19]。同时,在企业生产过程中,以工业机器人为典型应用的人工智能技术也提高了企业制造的技术水平。自动化和智能化系统提高了资源利用效率和产品质量(李丫丫和潘安,2017)^[20],提升了企业出口技术复杂度。此外,人工智能融合制造业发展的过程中

还表现出优良的资源配置能力。人工智能通过引入数据生产要素，提升了企业生产要素结构中高端生产要素占比，进而有利于提升产品所蕴含的技术含量，提升企业出口技术复杂度。另一方面，人工智能的应用会对劳动力素质提出更高的要求，具体表现为非技能或低技能劳动力逐渐被高技能劳动力取代，而高技能劳动力在制造业企业生产中更能发挥创新效应，推动制造业企业产品技术提升，从而促进出口技术复杂度提高（徐晔等，2022）。基于此，本文提出如下假说。

假说1：人工智能可以促进企业出口技术复杂度提升。

具体来看，人工智能通过提高创新意愿和创新能力，提升企业出口技术复杂度。首先，在提升创新意愿方面，人工智能技术应用能够以低成本和高效率方式规划最优产品研发方案，并最大限度探寻产品创新的边界，激发企业进行创新研发活动的积极性（曹章露等，2022）^[21]，促进出口产品技术含量提升。另一方面，在新一轮科技革命背景下，颠覆性技术不断涌现，企业竞争环境更加复杂多变，为了保持全球竞争力，企业会选择加大创新研发投入来提高产品竞争力、扩大市场份额，从而获取垄断地位（Aghion et al.，2009）^[22]。人工智能是新一代科技革命中技术进步的集中体现，企业应用人工智能不仅是作为生产工具，更是作为提升自身竞争力的机遇。因此，企业更愿意增加创新投入，提高出口产品技术含量。其次，在提高创新能力方面。人工智能作为数字技术发展的高级阶段，有着较强的溢出性和带动作用（郭凯明，2019）^[23]。这种技术溢出效应有利于提高企业对先进技术的学习和吸收能力，推动产品技术的提升（袁其刚等，2022）^[24]。同时，人工智能还能通过对企业资源最大化利用，减少生产过程中的不必要损耗，降低生产成本等方面以提升企业生产效率（徐晔等，2022）。而高生产率企业通常具有较强的竞争力与盈利能力，更有能力承担高技术含量产品的研发成本，通过提高自身创新投入（于欢等，2022）^[25]，进而促进企业出口技术复杂度提升。基于此，本文提出以下假说。

假说2：人工智能可以通过企业创新促进企业出口技术复杂度的提升。

人工智能还可以通过优化要素配置结构，提高出口技术复杂度。首先，人工智能通常以资本、技术替代劳动力的形式参与生产。当企业大范围应用人工智能技术时，劳动力在企业要素配置结构比例有所下降，而资本与技术等要素比重随之上升。这促进了要素结构优化升级，有利于实现企业产品技术含量提升，进而提高产品出口技术复杂度。其次，人工智能在制造业中的应用，不但可以有效减少重复性、标准化岗位对普通劳动力的需求，即存在对低技能劳动力“替代效应”，还可以增加技术与研发岗位对专业化的高技能人才的需求，即存在对高技能劳动力的“创造效应”。而这种“替代效应”和“创造效应”会对企业乃至行业的劳动力结构进行动态调整，改变企业技能员工与非技能员工占比，从而为提升企业产品技术复杂度夯实基础（毛其淋，2019）^[26]。最后，数据作为高端生产要素，具有可复制共享、传输快捷、边际成本极低的优良特征。企业通过应用人工智能，使得海量数据经过信息提炼与解读，转化为创造性知识，从而提升企业创新水平和创新效率。人工智能还通过物联

网、工业互联网等平台,实现了数据要素与其他生产要素之间的高效联动,从而提高劳动力、资本、技术等生产要素的配置效率,以有限的要素投入形成更高技术含量的产出(李娟和刘爱峰,2022)^[27]。基于此,本文提出如下假说。

假说3:人工智能可以通过优化要素配置结构促进企业出口技术复杂度提升。

三、模型构建、变量选取与数据来源

(一) 模型构建

本文运用固定效应模型考察人工智能对企业出口技术复杂度的影响:

$$\lnnests_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 ai_{jt} + \beta_2 X_{ijt} + \delta_t + v_i + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

公式(1)中,下标*i*表示企业、*j*表示行业、*t*表示年份。 \lnnests_{ijt} 为*j*行业*i*企业在第*t*年的出口技术复杂度; ai_{jt} 表示*j*行业在第*t*年的人工智能应用水平; X_{ijt} 为控制变量; δ_t 为年份固定效应; v_i 是企业固定效应; ε_{ijt} 为随机扰动项。

(二) 变量说明

1. 核心被解释变量:企业出口技术复杂度(\lnnests)

Hausmann等(2007)使用总量贸易核算方法来测算产品维度的出口技术复杂度,但有学者认为,使用总量贸易测算会高估一国的出口技术结构与含量(郭亦玮等,2012)^[28]。对此,丁小义和胡双丹(2013)^[29]剔除进口中间品对产品出口技术复杂度的直接贡献和间接贡献,构建出口净技术复杂度指数来测度中国出口的真实技术含量。本文借鉴丁小义和胡双丹(2013)的方法,并利用Hummels等(2001)^[30]提出的垂直专业化指数,对Hausmann等(2007)产品技术复杂度的经典测算方法进行改进^①。

2. 核心解释变量:人工智能(ai)

学界主流以工业机器人来衡量人工智能的使用(Acemoglu and Restrepo, 2018^[31]; Blanas et al., 2019^[32])。因此,本文利用国际机器人联合会(IRF)公布的中国工业机器人数据来构造人工智能指标。首先,考虑我国统计体系中行业分类标准与IRF所使用的行业分类(ISIC)不完全一致,本文参考吕越等(2020)的方法,将IRF数据与《国民经济行业分类》中制造业行业二位编码进行匹配;其次,本文收集制造业各细分行业从业人员数;最后,利用制造业各细分行业每千人所拥有的工业机器人数量衡量行业人工智能应用密度水平。

3. 控制变量

在参考以往文献的基础上,本文选择企业规模(\lnsize)、企业年龄(\lnage)、融资约束(\lnfin)和行业竞争程度(\lnhhi)作为控制变量^②。

^①限于篇幅,企业出口技术复杂度的测算方法留存备案,读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

^②限于篇幅,控制变量的测算方法留存备案,读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

(三) 数据来源

本文的数据来源主要包括三部分：其一，基于2000—2013^①年CEPII-BACI数据库（世界贸易数据库）、2016年WIOD（投入产出表数据库）投入产出表与世界银行数据测算产品技术复杂度，并匹配中国海关进出口数据库与中国工业企业数据库，获得企业出口技术复杂度指标；其二，利用国际机器人联合会数据与历年《中国劳动统计年鉴》构建制造业细分行业人工智能密度指标；其三，利用中国工业企业数据库数据，计算得到各控制变量。

四、实证结果分析

(一) 基准回归结果

本文利用固定效应模型识别人工智能对企业出口技术复杂度的影响，基准回归结果如表1所示。第(1)列为未纳入控制变量的回归结果，自变量人工智能应用水平的估计系数在1%水平上显著为正。第(2)—(5)列为逐步引入控制变量的回归结果，可以看出人工智能变量的估计系数依然在1%的水平上显著为正。初步的回归结果表明，人工智能可以促进企业出口技术复杂度的提升。

表1 基准回归

变量	lnnets				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>ai</i>	0.0041 *** (0.000)	0.0041 *** (0.000)	0.0041 *** (0.000)	0.0041 *** (0.000)	0.0042 *** (0.000)
<i>lnsize</i>		-0.0029 *** (0.001)	-0.0031 *** (0.001)	-0.0031 *** (0.001)	-0.0032 *** (0.001)
<i>lnage</i>			0.0025 (0.002)	0.0025 (0.002)	0.0026 (0.002)
<i>fin</i>				0.0013 (0.001)	0.0014 (0.001)
<i>lnhhi</i>					-0.0047 *** (0.001)
<i>_cons</i>	9.5974 *** (0.005)	9.6263 *** (0.012)	9.6247 *** (0.012)	9.6251 *** (0.012)	9.6051 *** (0.013)
年份固定效应	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是
观测值	393 898	393 898	393 898	393 898	393 898
R ²	0.196	0.196	0.196	0.196	0.197

注：括号内为稳健标准误，*、**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著，回归结果聚类到企业层面标准误，下表同。

^①考虑到2010年工业企业数据缺乏固定资产、工业产值、流动资产合计、利润总额、利息支出、应付账款、应交税费、营业费用、营业利润、主营业务成本、主营业务收入等数据，质量较差，因此本文剔除2010年数据。

(二) 稳健性检验

本文从替换变量测算方法、调整样本区间、样本数据筛选、内生性检验四方面进行稳健性检验：(1) 本文分别采用分行业机器人、未经垂直专业化指数调整的出口技术复杂度指数来表征人工智能和企业出口技术复杂度水平，降低变量测算误差对回归结果的影响。同时，把控制变量一阶滞后，再次进行稳健性检验。(2) 本文剔除质量较差的2010年数据，将样本区间调整为2000—2009年。同时，由于2005年以前，中国对工业机器人的应用水平较低，而在2005年后却呈上涨态势。为排除2000—2005年的极端化数据的影响，本文保留2006—2013年的样本数据进行分析。(3) 本文采用缩尾1%和断尾1%来消除异常值影响，并剔除直辖市和省会城市等特殊样本进行分析。(4) 本文选取美国各行业人工智能应用水平作为工具变量，展开内生性检验。结果显示稳健性检验全部通过，证明本文的核心结论十分稳健^①。

(三) 异质性分析

本文从企业层面、行业层面、地区层面三个维度探讨人工智能对企业出口技术复杂度的异质性影响。

1. 企业层面

本文将企业分为一般贸易企业和加工贸易企业分别进行回归。表2第(1)—(2)列报告的结果显示，人工智能更有利于促进一般贸易企业出口技术复杂度提升。从事加工贸易的企业主要利用国内廉价劳动力与土地等要素从事生产，对人工智能需求与利用并不高（韩峰和庄宗武，2022）^[33]，因此，人工智能对加工贸易企业的影响并不显著。

表2 企业层面的异质性检验

变量	lnnets				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	一般贸易企业	加工贸易企业	外资企业	民营企业	国有企业
<i>ai</i>	0.0045 *** (0.000)	0.0011 (0.001)	0.0048 *** (0.000)	0.0035 *** (0.000)	-0.0014 (0.003)
- <i>cons</i>	9.5843 *** (0.016)	9.7466 *** (0.026)	9.5975 *** (0.017)	9.6584 *** (0.023)	9.7558 *** (0.107)
控制变量	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是
观测值	295 455	98 443	218 928	164 205	10 765
R ²	0.203	0.186	0.248	0.106	0.179

^①限于篇幅，稳健性检验结果留存备索，读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

不同所有制企业在生产率水平、资源配置效率与管理方式上可能存在较大差异。因此,本文将企业分为外资、民营和国有三种类型进行分组回归,结果如表2第(3)一(5)列所示。相比于外资企业与民营企业,人工智能对国有企业出口技术复杂度提升的影响并不显著。国有企业通常存续时间较长,国有企业通常人员变动程度较小,人工智能优化要素配置的作用难以得到发挥,进而抑制人工智能对企业出口技术复杂度的提升效果。

2. 行业层面

本文通过劳动、资本和技术密集型行业三个子样本进行异质性检验^①,结果显示,劳动密集型行业与资本密集型行业企业人工智能的估计系数显著为正,而技术密集型行业企业系数则不显著^②。当前人工智能技术的发展往往局限于模仿自动化技术以节约劳动力成本,而忽略对关键技术的研发破局(孙早与侯玉琳,2021)^[34],而技术密集型行业具有较高的创新与研发需求,本身对要素的需求偏向于高技能劳动力等高级要素,人工智能对高端要素的替代性较弱,难以发挥要素优化配置效应。

若行业整体融资约束越小,企业融资成本越低,则企业拥有更强能力实现生产要素的替代与升级。因此融资约束较低行业的企业应用人工智能,可以高效地优化高端要素配置。本文借鉴王永钦和董雯(2020)^[35]的方法,将同一行业内企业融资约束的中位数作为行业层面的融资约束水平,并根据制造业全行业融资约束水平的中位数,将行业划分为高融资约束行业 and 低融资约束行业,分别进行回归分析。结果显示,人工智能对低融资约束行业企业出口技术复杂度的提升作用更显著。

3. 地区层面

本文依据《中国分省份市场化指数报告(2008)》中各省市市场化指数,将样本数据分为市场化程度高、中、低三个子样本进行分组回归^③。结果显示,人工智能更能显著提高中、高市场化水平地区的出口技术复杂度。市场化程度较高的地区,劳动力、专利在产品市场的流动性较强,更有助于区域生产要素的整合与优化配置,为人工智能发挥作用提供了良好的条件。

本文还根据中国《2020 数字经济发展指数(DEPI)》白皮书中的相关指

①劳动密集型行业包括农副食品加工业、食品制造业、酒、饮料和精制茶制造业、烟草制造业、纺织业、纺织服装、服饰业、皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业、木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业、家具制造业、造纸及纸制品业、印刷和记录媒介复制业、文教、工美、体育和娱乐用品制造业、橡胶和塑料制品业、其他制造业等14个行业;资本密集型行业包括石油、煤炭及其他燃料加工业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼和压延加工业、有色金属冶炼和压延加工业、金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业和仪器仪表制造业、废弃资源综合利用业等9个行业;技术密集型行业包括医药制造业、化学原料和化学制品制造业、化学纤维制造业、汽车制造业、铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业、电气机械及器材制造业、计算机、通信和其他电子设备制造业、金属制品、机械和设备修理业等8个行业。

②限于篇幅,行业层面和地区层面异质性检验结果留存备案,读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

③限于篇幅,两种全国统一大市场建设指标的测算方法留存备案,读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

标,将样本数据分为数字化程度高、中、低三组进行区域异质性检验。结果显示,在数字化发展水平较高的地区,人工智能对企业出口技术复杂度的促进作用更为显著。数字化发展水平较高的地区不仅在数字基础建设方面具有一定领先优势,并且还具有充沛的人力资本储备以及较为集聚的产业,有利于高级要素的流通与配置,因而人工智能的正向影响更大。

(四) 机制检验

人工智能通过促进企业创新和优化要素配置结构两条机制提升企业出口技术复杂度。本文借鉴 Baron 和 Shapiro (2022)^[36]的方法,采用机制分析的两步法进行实证检验,模型如下:

$$innova_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 ai_{jt} + \beta_2 X_{ijt} + \delta_t + v_i + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

$$lnnets_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 innova_{ijt} + \beta_2 X_{ijt} + \delta_t + v_i + \varepsilon_{ijt} \quad (3)$$

其中, $innova_{ijt}$ 为 t 年 j 行业 i 企业的创新研发水平。本文参考李文贵和余明桂(2015)^[37]的方法,利用企业研究开发费占企业产品销售总额的比重来衡量企业创新。表3第(1)列的回归结果显示,人工智能变量的估计系数显著为正,表明人工智能应用会促进企业创新。第(2)列的回归结果显示,企业创新变量的估计系数显著为正,这说明企业创新可以促进企业出口技术复杂度提升。

$$struct_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 ai_{jt} + \beta_2 X_{ijt} + \delta_t + v_i + \varepsilon_{ijt} \quad (4)$$

$$lnnets_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 struct_{ijt} + \beta_2 X_{ijt} + \delta_t + v_i + \varepsilon_{ijt} \quad (5)$$

表3 机制检验

变量	lnnets							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	<i>innova</i>	<i>lnnets</i>	<i>lnkl</i>	<i>lnnets</i>	<i>skill</i>	<i>lnnets</i>	<i>level</i>	<i>lnnets</i>
<i>ai</i>	0.0135*** (0.002)		0.0035*** (0.001)		0.0591*** (0.002)		0.0006*** (0.000)	
<i>innova</i>		0.0013*** (0.000)						
<i>lnkl</i>				0.0032*** (0.001)				
<i>skill</i>						0.0014*** (0.000)		
<i>level</i>								0.0789*** (0.008)
<i>_cons</i>	4.5136*** (0.084)	9.6005*** (0.013)	-0.9947*** (0.059)	9.6094*** (0.013)	0.3926*** (0.094)	9.6058*** (0.013)	0.0351*** (0.005)	9.6035*** (0.013)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
观测值	391 355	391 355	393 898	393 898	393 898	393 898	393 898	393 898
R ²	0.221	0.195	0.137	0.195	0.649	0.195	0.671	0.196

其中,变量 $struct_{ijt}$ 为要素配置水平,借鉴袁淳等(2021)^[38]的思路分别从企业、行业 and 地区三个维度衡量。具体而言:本文利用企业资本劳动比($\ln kl$)来反映企业层面的要素配置结构;使用各行业 R&D 从业人员占非 R&D 从业人员的比重表示要素配置结构($skill$);借鉴李治国和王杰(2021)^[39]的方法,从数据要素管理、数据开发应用、数据传播共享以及数据应用环境等维度采用熵值法测算区域层面的数据要素配置比重($level$)。从表3的第(3)、(5)和(7)列结果看出,人工智能显著提高了企业、行业和区域层面的要素配置水平。同时,表3第(4)、(6)和(8)列结果显示,要素配置的优化又促进了企业出口技术复杂度的提升。

五、基于统一大市场建设和人力资本提升的拓展性分析

(一) 基于统一大市场建设的拓展性分析

由前文的理论机制分析可知,优化要素配置是人工智能发挥作用的重要环节。因此,高效率、低门槛、快速度的要素流通更能促进人工智能对企业出口技术复杂度的提升作用。但是在我国市场经济发展历程中,存在着阻碍要素流通的国内市场分割现象(刘志彪和孔令池,2021)^[40]。市场分割带来的要素市场价格扭曲导致价格机制失灵,市场无法根据价格信号实现要素资源的最优配置,抑制了企业生产效率的提升,不利于出口技术复杂度提升(毛其淋,2013)^[41]。

全国统一大市场建设通过制定全国层面统一的市场制度规则,打破了地方保护和市场分割,能提高生产要素的流通速度与配置效率,强化人工智能对出口技术复杂度的提升效应。此外,全国统一大市场建设还能发挥超大市场的潜力。超大市场带来的规模经济效应和分工优势,既能稀释人工智能应用过程中高额的前期投入,降低企业的成本风险,促进人工智能技术的应用与外溢,又能使企业在生产和出口中收益递增,促进研发投入和技术升级,进而提升出口技术复杂度。

本文借鉴张杰等(2011)^[42]构建要素市场扭曲指数的方法,构建两种全国统一大市场建设指数($unity$)^①。在此基础上,对核心解释变量与调节变量进行中心化处理,来验证全国统一大市场建设在人工智能影响企业出口技术复杂度的调节作用。表4第(1) — (2)列的结果显示, $ai \times unity1$ 和 $ai \times unity2$ 回归系数显著为正,说明统一大市场建设水平提升会强化人工智能对企业出口技术复杂度的促进作用。

(二) 人工智能、人力资本与出口技术复杂度

企业所在区域的人力资本提升可以扩大高质量劳动力供给、增强企业吸收能力、与人工智能应用形成良性互动,强化人工智对企业出口技术复杂度的提升作用。此外,企业内部高素质劳动力的提升,能够增强其对先进技术的模仿和创新,

①限于篇幅,两种全国统一大市场建设指标的测算方法留存备案,读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

从而促进人工智能对出口技术复杂度的提升。

表4 拓展性分析

变量	lnnets			
	统一大市场		人力资本	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>ai</i>	0.0043 *** (0.000)	0.0047 *** (0.000)	0.0037 *** (0.000)	0.0051 *** (0.000)
<i>unity1</i>	0.4370 *** (0.068)			
<i>ai×unity1</i>	0.0610 *** (0.012)			
<i>unity2</i>		-0.0011 (0.001)		
<i>ai×unity2</i>		0.0017 *** (0.000)		
<i>human1</i>			0.0272 *** (0.008)	
<i>ai×human1</i>			0.0017 *** (0.001)	
<i>human2</i>				-0.0158 (0.038)
<i>ai×human2</i>				0.0353 *** (0.011)
<i>_cons</i>	9.5904 *** (0.013)	9.6034 *** (0.013)	9.6368 *** (0.015)	9.6077 *** (0.013)
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
观测值	393 898	393 893	393 898	393 898
R ²	0.197	0.197	0.197	0.197

本文采取两种方式测度人力资本水平：一是，采取各地区高等院校在校生成数量的对数表示 (*human1*)；二是，构采用高等院校在校生成数量和地区劳动力总数之比表征 (*human2*)。表4第(3) — (4)列结果显示，*ai×human1*和*ai×human2*的回归系数显著为正，说明人力资本提升会强化人工智能对企业出口技术复杂度的促进作用。

六、结语与启示

本文对人工智能影响企业出口技术复杂度理论机制进行解析并基于2000—2013年中国工业企业数据库和中国海关数据库以及国际机器人联合会数据构建企业层面数据，实证检验了人工智能对企业出口技术复杂度的具体影响。结果显示：

人工智能显著促进了制造业企业出口技术复杂度提升,这一结论分别在替换指标测算、调整样本数据与缓解内生性等多重检验下依然稳健。异质性分析表明:从企业层面来看,人工智能对一般贸易型企业、非国有企业出口技术复杂度促进作用更加显著;从行业层面来看,人工智能更有利于提升非技术密集型行业、低融资约束行业企业的出口技术复杂度;从地区层面来看,人工智能对市场化程度较高区域、数字化发展水平较高区域企业出口技术复杂度的影响更为显著。人工智能可以通过促进企业创新和优化企业要素配置结构两条渠道提升出口技术复杂度。此外,拓展性分析还表明,全国统一大市场建设和人力资本提升可以强化人工智能对企业出口技术复杂度提升的促进效应。

本研究对于如何利用人工智能推动我国企业出口技术复杂度提升具有重要政策启示:

第一,政府应把握人工智能应用优势,稳步推进企业智能化转型,明晰人工智能赋能出口竞争力升级的实践路径。一方面,积极推动企业数字化、智能化转型,政府可以出台相关政策,对企业利用人工智能实现智能化转型给予引导和支持。另一方面,在广泛推动人工智能与制造业的深度融合的基础上,仍要注意对人工智能不能止步于应用,更要注重研发与创新。政府应对人工智能研发的核心领域建立完善与系统性的补贴政策和支撑体系,保证稳定的研发资金投入,大力推进对人才的支持与补贴,助力已有研究加快取得突破性进展并顺利融合应用到实体产业。

第二,企业应结合自身优势,分类有序推进人工智能应用。首先,针对出口贸易企业和国有企业,应深化企业改革,激活发展动力。人工智能对制造业企业出口技术复杂度的推动作用主要集中在一般贸易企业与非国有企业,政府可以通过专项补贴、税收优惠等方式激励加工贸易企业对人工智能应用;通过优化国有企业管理制度,推进人才更新换代,增加生产与创新活力。其次,针对高融资约束行业,政府可以通过推进金融发展,降低企业融资约束与创新成本,保障智能化发展企业提升出口技术复杂度。最后,针对不同地区企业,鼓励地区实行差异化发展。对于市场化与数字化发展较好的区域,应推动人工智能研发投入与配套基础设施建设,积极探索产业前沿发展;对于市场化和数字化发展落后的地区,则应对其进行补助与帮扶,使人工智能应用切实赋能企业,进而推动区域内企业发展。

第三,全力推进全国统一大市场建设,促进制造业出口技术复杂度提升。我国应进一步破除地方政府区域保护思想,减少地区行政审批,放开市场准入条件,激活要素流通活力,维护市场公平竞争环境,全面推进统一大市场建设,从而为企业营造鼓励改革与创新的成长空间,为利用人工智能提高企业出口技术复杂度、推动我国产业向全球价值链高端跃升提供良好社会环境与制度保障。

第四,提升劳动力技能和素质,不断积累人力资本。人力资本在人工智能推动企业出口技术复杂度提升发挥重要促进作用。因此,地方政府要积极制定

相关政策提升人力资本水平。首先,教育部门应注重人才培养政策制定,结合新一代科技革命浪潮的现实需求,动态调整人工智能领域的学科布局和人才培养规划;其次,针对部分因人工智能应用引起的结构性失业,地方政府应出台相关政策,加快落实失业人员学习、培训与技能提升,满足人工智能时代的岗位新需求;最后,地方政府还应注重高端人才引进政策制定,用完善的制度设计助力人才和企业共赢,为企业和行业的智能化转型升级储备人力资本,推动经济高质量发展。

[参考文献]

- [1] 李坤望, 蒋为, 宋立刚. 中国出口产品品质变动之谜: 基于市场进入的微观解释 [J]. 中国社会科学, 2014 (3): 80-103+206.
- [2] HAUSMANN R, HWANG J, RODRIK D. What You Export Matters [J]. Journal of Economic Growth, 2007, 12 (1): 1-25.
- [3] 戴翔, 郑岚. 制度质量如何影响中国攀升全球价值链 [J]. 国际贸易问题, 2015 (12): 51-63+132.
- [4] 田云华, 周燕萍, 邹浩, 等. 人工智能技术变革对国际贸易的影响 [J]. 国际贸易, 2020 (2): 24-31.
- [5] GRARTZ G, MICHAELS G. Robots at Work [J]. Review of Economics and Statistics, 2018, 100 (5): 753-768.
- [6] 毛其淋, 方森辉. 创新驱动与中国制造业企业出口技术复杂度 [J]. 世界经济与政治论坛, 2018 (2): 1-24.
- [7] 祝树金, 陈艳, 谢锐. “龙象之争”与“龙象共舞”——基于出口技术结构的中印贸易关系分析 [J]. 统计研究, 2009 (4): 25-32.
- [8] 唐宜红, 顾丽华. 智能制造对出口的影响——基于工业机器人的经验证据 [J]. 国际经贸探索, 2022 (4): 4-21.
- [9] 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.
- [10] 唐青青, 白东北, 王珏. 人工智能对出口产品质量促进的异质效应与影响路径 [J]. 现代财经 (天津财经大学学报), 2021 (12): 94-110.
- [11] 刘斌, 潘彤. 人工智能对制造业价值链分工的影响效应研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2020 (10): 24-44.
- [12] 吕越, 谷玮, 包群. 人工智能与中国企业参与全球价值链分工 [J]. 中国工业经济, 2020 (5): 80-98.
- [13] 钞小静, 薛志欣, 孙艺鸣. 新型数字基础设施如何影响对外贸易升级——来自中国地级及以上城市的经验证据 [J]. 经济科学, 2020 (3): 46-59.
- [14] 李宏, 乔越. 数字化转型提高了制造业出口技术复杂度吗? ——基于国家信息化发展战略的拟自然实验 [J]. 山西大学学报 (哲学社会科学版), 2021 (5): 108-118.
- [15] 朱勤, 于海静, 李兵涛. 互联网发展与城市出口技术复杂度提升 [J]. 浙江社会科学, 2021 (10): 4-11+62+155.
- [16] 党琳, 李雪松, 申烁. 制造业行业数字化转型与其出口技术复杂度提升 [J]. 国际贸易问题, 2021 (6): 32-47.
- [17] 徐晔, 朱婕, 陶长琪. 智能制造、劳动力技能结构与出口技术复杂度 [J]. 财贸研究, 2022 (3): 16-27.
- [18] 何琨玟, 马莉莉, 任玥萱. 数据赋能出口技术复杂度提升的机制与路径研究 [J]. 中国软科学, 2023 (4): 54-65.
- [19] 马兆良, 许博强, 田淑英. 数字经济、研发创新与出口技术复杂度——基于中国省际面板数据的经验

- 研究 [J]. 安庆师范大学学报 (社会科学版), 2022 (3): 90-98.
- [20] 李丫丫, 潘安. 工业机器人进口对中国制造业生产率提升的机理及实证研究 [J]. 世界经济研究, 2017 (3): 87-96+136.
- [21] 曹章露, 谭玉松, 赵贺. 人工智能技术与企业转型方向——基于中国私营企业调查数据的分析 [J]. 学术交流, 2022 (7): 108-123.
- [22] AGHION P, BLUNDELL R, GRIFFITH R, et al. The Effects of Entry on Incumbent Innovation and Productivity [J]. The Review of Economics and Statistics, 2009, 91 (1): 20-32.
- [23] 郭凯明. 人工智能发展、产业结构转型升级与劳动收入份额变动 [J]. 管理世界, 2019 (7): 60-77+202-203.
- [24] 袁其刚, 嵇泳盛, 于舒皓. 人工智能促进了制造业企业出口产品升级吗? ——基于技术复杂度视角的分析 [J]. 产业经济评论, 2022 (3): 69-82.
- [25] 于欢, 姚莉, 何欢浪. 数字产品进口如何影响中国企业出口技术复杂度 [J]. 国际贸易问题, 2022 (3): 35-50.
- [26] 毛其淋. 人力资本推动中国加工贸易升级了吗? [J]. 经济研究, 2019 (1): 52-67.
- [27] 李娟, 刘爱峰. 数字经济驱动中国经济高质量发展的逻辑机理与实现路径 [J]. 新疆社会科学, 2022 (3): 47-56.
- [28] 郭亦玮, 郭晶, 杨艳. 基于非竞争型投入占用产出模型的中国制造业出口复杂度测度分析 [J]. 管理世界, 2012 (5): 182-183.
- [29] 丁小义, 胡双丹. 基于国内增值的中国出口复杂度测度分析——兼论“Rodrik 悖论” [J]. 国际贸易问题, 2013 (4): 40-50.
- [30] HUMMELS D, ISHII J, YI K M. The Nature and Growth of Vertical Specialization in World Trade [J]. Journal of International Economics, 2001, 54 (1): 75-96.
- [31] ACEMOGLU D, RESTREPO P. The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment [J]. American Economic Review, 2018, 108 (6): 1488-1542.
- [32] BLANAS S, GANCIA G, LEE S Y. Who is Afraid of Machines? [J]. Economic Policy, 2019, 34 (100): 627-690.
- [33] 韩峰, 庄宗武. 国内大市场、人工智能应用与制造业出口国内附加值 [J]. 世界经济研究, 2022 (5): 33-47+135.
- [34] 孙早, 侯玉琳. 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 [J]. 经济学家, 2021 (1): 32-42.
- [35] 王永钦, 董雯. 机器人的兴起如何影响中国劳动力市场? ——来自制造业上市公司的证据 [J]. 经济研究, 2020 (10): 159-175.
- [36] BARON E J, SHAPIRO M. School Spending and Student Outcomes: Evidence from Revenue Limit Elections in Wisconsin [J]. American Economic Journal; Economic Policy, 2022, 14 (1): 1-39.
- [37] 李文贵, 余明桂. 民营化企业的股权结构与企业创新 [J]. 管理世界, 2015 (4): 112-125.
- [38] 袁淳, 肖土盛, 耿春晓, 等. 数字化转型与企业分工: 专业化还是纵向一体化 [J]. 中国工业经济, 2021 (9): 137-155.
- [39] 李治国, 王杰. 数字经济发展、数据要素配置与制造业生产率提升 [J]. 经济学家, 2021 (10): 41-50.
- [40] 刘志彪, 孔令池. 从分割走向整合: 推进国内统一大市场建设的阻力与对策 [J]. 中国工业经济, 2021 (8): 20-36.
- [41] 毛其淋. 要素市场扭曲与中国工业企业生产率——基于贸易自由化视角的分析 [J]. 金融研究, 2013 (2): 156-169.
- [42] 张杰, 周晓艳, 李勇. 要素市场扭曲抑制了中国企业 R&D? [J]. 经济研究, 2011 (8): 78-91.

Artificial Intelligence and Increased Technological Complexity of Enterprise Exports

ZHANG Bingbing CHEN Jing ZHU Jing YAN Zhijun

Abstract: Artificial intelligence is a concentrated embodiment of technological progress and an important means to drive high-quality economic development. This article first reveals the mechanism through which artificial intelligence affects the technological complexity of enterprise exports at a theoretical level. Then, by matching China's industrial enterprise database, China customs database, and industrial robot data provided by the International Federation of Robotics, this paper empirically tests the impact of artificial intelligence on the technological complexity of enterprise exports. The study shows that artificial intelligence technology can significantly enhance the technological complexity of enterprise exports. This conclusion remains robust after substituting indicators, adjusting sample data, and mitigating endogeneity. Heterogeneity analysis reveals that the application of artificial intelligence has a more significant effect on enhancing the export technological complexity of general trade enterprises, industries with low financing constraints, and regions with high levels of marketization. Mechanism testing reveals that artificial intelligence is able to enhance export technological complexity through two channels: promoting enterprise innovation and optimizing enterprise factor allocation structure. In addition, the construction of a unified national market and the enhancement of human capital have a significantly positive reinforcing effect on the promotion of export technological complexity by artificial intelligence. Therefore, continuously advancing the construction of a unified national market, promoting the free flow of high-end factors, and fully unleashing the bonus of human capital enhancement are strategies to strengthen the promotion of export technological complexity by using artificial intelligence, and also are important pathways to promote a high-quality economic development.

Keywords: Artificial Intelligence; Export Technological Complexity; Factor Allocation Structure; Unified National Market

(责任编辑 白光)