

人工智能技术对制造业全球 价值链地位的影响研究 ——基于人工智能专利数据的实证分析

屠年松, 肖 涛

(昆明理工大学管理与经济学院, 云南 昆明 650093)

摘 要: 人工智能发展可以为中国制造业全球价值链地位提升带来新的竞争力。利用 2010—2022 年中国省级制造业的面板数据, 实证检验人工智能技术进步对中国制造业全球价值链地位的影响。研究发现: 在样本期中, 人工智能技术可显著促进制造业全球价值链地位的提升, 该结论经过内生性处理和稳健性检验后依然成立; 人工智能技术对制造业全球价值链地位的促进效应区位异质性明显, 中国东部地区与对外开放水平高的省份中促进效果更好; 机制检验发现, 人工智能技术可通过促进科技创新和产业结构升级, 间接提升制造业全球价值链地位; 空间效应分析表明, 人工智能技术对制造业全球价值链地位的影响存在明显的空间溢出效应。

关键词: 人工智能; 制造业; 全球价值链; 中介效应; 空间溢出效应

中图分类号: F424.3 **文献标识码:** A

DOI:10.13580/j.cnki.fstc.2025.02.012

Research on the Impact of Artificial Intelligence Technology on the Global Value Chain Position of the Manufacturing Industry: An Empirical Analysis Based on AI Patent Data

Tu Niansong, Xiao Tao

(School of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The development of artificial intelligence can bring new competitive advantages to the global value chain position of China's manufacturing industry. Using panel data from Chinese provincial manufacturing industries from 2010 to 2022, this study empirically examines the impact of AI technology advancement on the global value chain position of China's manufacturing sector. The research finds that AI technology significantly enhances the global value chain position of manufacturing during the sample period, and this conclusion remains valid after addressing endogeneity and conducting robustness checks. The effect of AI technology on the global value chain position of manufacturing shows notable regional heterogeneity, with more significant effects in China's eastern regions and provinces with higher levels of openness. Mechanism analysis reveals that AI technology indirectly improves the global value chain position of manufacturing by promoting technological innovation and industrial upgrading. Spatial effect analysis indicates that AI technology has a

基金项目: 国家自然科学基金项目“区域价值链合作视角下 GMS 制造业价值链演进机理与升级路径研究”(72063020)。

收稿日期: 2024-03-29

作者简介: 屠年松(1962—), 男, 云南会泽人, 教授、博士生导师, 研究方向为国际贸易和产业经济等。

significant spatial spillover effect on the global value chain position of manufacturing.

Key words: Artificial intelligence; Manufacturing industry; Global value chain; Mediation effect; Spatial spillover effect.

0 引言

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的相关文献。关于“人工智能”的标准定义,社会各界并没有达到普遍共识。目前,最为广泛接受的定义是“人工智能是根据对环境的感知,做出合理的行动,并获得最大收益的计算机程序”^[1]。Graetz等^[2]发现工业机器人的应用对劳动生产率和经济的总增长都作出了显著贡献,机器人对中等技术工人的影响很大,但对高技术的工人的就业没有显著影响。Frey等^[3]研究发现,随着技术的进步,低技能工人将重新分配到不易受计算机化影响的任务,即需要有创造性和社会智能的任务。温湖炜等^[4]对中国制造业上市公司进行研究发现,企业的智能化发展能显著促进其全要素生产率提升。如果工业机器人的生产存在规模经济,其成本就会下降,进而会使得更多的行业 and 部门选择使用工业机器人,进而促进全要素生产力的提高,最终促进经济增长^[5]。陈东等^[6]发现人工智能总体上缩小了劳动者在产业内的收入差距,同时也带来产业间的负面溢出效应,加剧产业间劳动者的收入差距。另一类与本文研究较为相关的是关于全球价值链地位的相关文献。众多学者从国家、行业和企业层面对全球价值链地位进行拓展分析,构建出多种指标体系对一国、一行业或企业在全价值链中的地位进行测算^[7-9]。除了指标测算,学者也对全球价值链地位的影响因素进行深入研究。杜新建^[10]经过数理推导和理论推演,证实制造业服务化能推动全球价值链升级,并利用实证进行了进一步佐证。余海燕等^[11]通过实证检验,发现对外直接投资能影响母国全球价值链地位,发达国家和发展中国家之间有较强的异质性;而中国的对外直接投资可显著提升全球价值链地位。从政策视角出发,贸易政策可显著促进全球价值链地位攀升,但产业政策并不显著,同时贸易政策还通过促进产品质量升级进而促进产业升级^[12]。从人工智能角度看,现在已有文献得出人工智能发展对全球价值链地位提升有益的结论,吕越等^[13]从微观企业层面分析人工智能对企业参与全球价值链分工

的影响,刘斌等^[14]在世界各国各行业层面,利用工业机器人数据,解析其对全球价值链的影响效应。

通过梳理相关文献发现,现有研究成果已经较为丰富,但有关人工智能与全球价值链地位的文献都是在工业机器人的视角下展开的。事实上,国内有关人工智能的数据相对缺乏,并且人工智能发展水平的测算方法尚不完善,工业机器人数据也仅截止到2019年,由于携带智能算法的机器人投入时间较短,难以反映人工智能技术应用的客观水平,所以用工业机器人相关数据来表征具有一定的局限性^[15]。本文基于2010—2022年中国30个省份面板数据,从专利视角刻画人工智能的技术发展水平,分析人工智能技术进步对中国制造业全球价值链地位的赋能作用。本文的贡献可能在于:第一,在人工智能技术创新的新视角下再考察人工智能对制造业全球价值链地位的影响,为人工智能助推制造业全球价值链地位攀升提供理论支持和实证依据。第二,分析人工智能技术提升制造业全球价值链地位的传导机制,从促进技术创新和产业结构升级两个途径进行验证,为制造业全球价值链地位提升提供路径参考。第三,考虑到高新技术产业往往具有空间溢出的特征,本文首次将空间计量模型纳入人工智能技术对制造业全球价值链地位影响的分析框架,以图填补相关研究的不足。

1 理论基础

1.1 人工智能技术与制造业全球价值链地位

从现有研究看,一方面,制造业智能化要依赖于高端技术人才,可以促进科技进步^[16]。人工智能为制造业注入了创新的动力,通过机器学习和大数据分析,企业能够更好地理解市场需求、优化产品设计,并加速研发过程;另一方面,制造业智能化可通过推动技术进步,进而显著促进制造业全要素生产率的提升^[17]。人工智能技术可通过自动化、智能化的生产流程,提高了生产效率,减少生产成本,提高整体生产效能;人工智能的应用还能够优化人力资源的配置,机器人和自动化技术能够完成繁琐、危险的任务,释放人

力资源用于更高级别的工作,更进一步提升整体生产效率。本文借鉴 Aghion 等^[18]关于人工智能与经济增长的研究,建立人工智能与生产效率和水平影响理论模型:

$$\varphi = \left(\int_0^1 X_i^\rho di \right)^{\frac{1}{\rho}} \quad (1)$$

$$\omega = \left(\int_0^1 X_i^\theta di \right)^{\frac{1}{\theta}} \quad (2)$$

式(1)(2)中, X 表示提升生产率 φ 和技术水平 ω 的生产要素投入,可分为人工智能投入和非人工智能投入, ρ 和 θ 表示要素投入的替代参数, $\rho \leq 1$ 且 $\rho \neq 0$, $\theta \leq 1$ 且 $\theta \neq 0$ 。

$$X = \begin{cases} A & \text{人工智能投入} \\ U & \text{非人工智能投入} \end{cases} \quad (3)$$

若生产率和提升来源于人工智能投入,那么 $X=A$, 反之, $X=U$ 。生产率 φ 和技术水平 ω 则可以进一步表示为人工智能投入 A 和非人工智能投入 U 的函数:

$$\varphi = \left[\beta \left(\frac{A}{\beta} \right)^\rho + (1-\beta) \left(\frac{U}{1-\beta} \right)^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad (4)$$

$$\omega = \left[\gamma \left(\frac{A}{\gamma} \right)^\theta + (1-\gamma) \left(\frac{U}{1-\gamma} \right)^\theta \right]^{\frac{1}{\theta}} \quad (5)$$

式(4)(5)中, β 表示运用人工智能投入 A 产品的比例, γ 表示运用非人工智能投入要素 U 产品的比例。

为了探究全球价值链地位、企业技术水平和生产率三者之间的关系,借鉴 Hallak 等^[19]的研究

$$E(\varphi, \omega) = \left[\frac{1-\pi_{mc}}{\pi_{fc}} \frac{\omega}{f} \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right)^\sigma \left(\frac{\varphi}{c} \right)^{\sigma-1} \frac{R}{P} \right]^{\frac{1}{\pi_{fc} - (1-\pi_{mc})(\sigma-1)}} \quad (9)$$

式(9)中, $\pi_{fc} - (1-\pi_{mc})(\sigma-1) > 0$, 也表明了生产率 φ 和技术水平 ω 将直接影响全球价值链地位。在式(4)(5)中, φ 和 ω 表示为人工智能

模型,构建弹性不变的垄断竞争需求模型为:

$$N_z = p_z^{-\sigma} E_z^{(\sigma-1)} \frac{R}{P} \quad (6)$$

式(6)中, N_z 表示产品 z 的需求, E_z 表示产品 z 的全球价值链地位, R 表示外部支出水平, σ 表示各产品间的替代弹性,且 $\sigma > 1$, P 为价格指数,且 $P = \int p_z^{1-\sigma} E_z^{\sigma-1} dz$

由式(6)可知, z 产品的需求与其全球价值链地位之间是正向关系。企业的异质性来源于生产率 φ 和技术水平 ω 的不同,生产率 φ 表示企业以低边际成本生产产品的能力,生产率越高,边际成本越低,企业的边际成本可表示为全球价值链地位 E 和生产率 φ 的函数,即:

$$MC(E, \varphi) = \frac{c}{\varphi} E^{\pi_{mc}} \quad (7)$$

式(7)中, π_{mc} 表示边际成本的质量弹性, $\pi_{mc} > 0$, c 为常数。 ω 表示企业的技术水平,生产技术水平越高,企业的固定成本则就越低。企业的固定成本可表示为:

$$FC(E, \omega) = \frac{c}{\omega} E^{\pi_{fc}} + FC_0 \quad (8)$$

式(8)中, π_{fc} 表示固定成本的质量弹性,且 $\pi_{fc} > 0$, FC_0 为设备日常运转的固定成本, f 为常数。结合式(6)~(8),可以得到企业利润最大化时的全球价值链地位 E 可表示为生产率 φ 和技术水平 ω 的函数:

$$E(A) = \left[\frac{1-\pi_{mc}}{\pi_{fc}} \frac{\left[\gamma \left(\frac{A}{\gamma} \right)^\theta + (1-\gamma) \left(\frac{U}{1-\gamma} \right)^\theta \right]^{\frac{1}{\theta}}}{f} \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right)^\sigma \left(\frac{\left[\beta \left(\frac{A}{\beta} \right)^\rho + (1-\beta) \left(\frac{U}{1-\beta} \right)^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}}}{c} \right)^{\sigma-1} \frac{R}{P} \right]^{\frac{1}{\pi_{fc} - (1-\pi_{mc})(\sigma-1)}} \quad (10)$$

为便于分析,假设要素投入的替代参数 $\rho \rightarrow 0$, $\theta \rightarrow 0$, 式(10)即可表示为:

$$E(A) = \left[\frac{1-\pi_{mc}}{\pi_{fc}} \frac{A^\gamma \Gamma^{1-\gamma}}{f} \left(\frac{\sigma-1}{\sigma} \right)^\sigma \left(\frac{A^\beta \Gamma^{1-\beta}}{c} \right)^{\sigma-1} \frac{R}{P} \right]^{\frac{1}{\pi_{fc} - (1-\pi_{mc})(\sigma-1)}} \quad (11)$$

式(11)对 A 求偏导得:

$$\frac{\partial E(A)}{\partial A} = \frac{(\gamma + \beta(\sigma - 1)) \left[\frac{1 - \pi_{mc}}{\pi_{fc}} \frac{I^{1-\gamma}}{f} \left(\frac{\sigma - 1}{\sigma} \right)^\sigma \left(\frac{I^{1-\beta}}{c} \right)^{\sigma-1} \frac{R}{P} \right]^{\frac{1}{\pi_{fc} - (1 - \pi_{mc})(\sigma - 1)}}}{\pi_{fc} - (1 - \pi_{mc})(\sigma - 1)} A^{\frac{\gamma + \beta(\sigma - 1)}{\pi_{fc} - (1 - \pi_{mc})(\sigma - 1)} - 1} \quad (12)$$

由上述推导过程可知, $\sigma > 0$, $\pi_{mc} > 0$, $\pi_{fc} > 0$, $\pi_{fc} - (1 - \pi_{mc})(\sigma - 1) > 0$, 可以得出 $\partial E(A)/\partial A > 0$, 这就说明人工智能投入与全球价值链地位呈正相关, 人工智能有助于全球价值链地位的提升。因此, 提出假设 H_1 : 人工智能水平提升可以使制造业行业全球价值链地位攀升。

1.2 人工智能技术影响制造业全球价值链地位的机制分析

在新一轮的科技革命背景下, 为了保持竞争力, 企业通常会加大在创新和研发方面的投入, 以提升产品竞争力、扩大市场份额, 并争取垄断地位。作为数字技术发展的高级阶段, 人工智能具有显著的技术溢出效应和推动作用, 能够增强企业对先进技术的学习与吸收能力, 从而促进产品技术的进步^[20]。人工智能是新一代科技革命中技术进步的集中体现, 能促进企业技术进步并提高创新效率^[21]。人工智能的应用促进了科技创新的各个环节, 从问题识别到解决方案的设计, 再到实验验证和应用推广, 都为科学家和研究人员提供了更为高效、智能的工具和方法。一方面, 科技创新可以优化企业资源配置、生产流程和生产工艺, 通过先进的设计和制造技术, 企业能够实现更为定制化和个性化的生产, 提高产品附加值, 更好地适应全球市场的多样性。另一方面, 借助人工智能技术, 研发人员有了更为高效、智能的工具和方法, 通过不断积累经验, 可以打破一些专精尖领域的技术壁垒, 生产出更满足人民需求的产品, 使中国制造业在全球价值链中占据更有竞争力的地位。因此, 本文提出假设 H_2 : 人工智能技术可以提升科技创新能力来促进制造业全球价值链地位攀升。

人工智能可通过提升生产率和创造就业岗位, 对产业结构产生促进作用, 显著提升产业结构高级化和合理化水平^[22]。人工智能也可调整劳动力结构, 优化人力资本水平, 带动产业结构高级化和合理化^[23]。智能化生产嵌入生产流程, 会提升生产效率和质量, 降低生产成本, 引领产业向高端化方向发展; 人工智能技术应用也会催生一

系列高科技产业, 如人工智能软件开发、智能制造、机器人技术等, 这些新兴产业对传统产业结构具有颠覆性影响, 推动产业结构向高科技、高附加值领域转型。而中国在全球价值链中长期处于被“俘获”地位, 为实现制造强国战略, 就要使“中国制造”演变为“中国创造”, 在全球价值链中由“低端”关系变为“高端”地位^[24]。调整产业结构, 促进产业结构升级, 有利于中国制造业在战略层面上从上述问题中“突围”。产业结构升级能合理调整中国资源配置, 有利于生产要素的合理流动, 促进传统产业转型, 加速技术变革, 进而提升制造业全球价值链地位。基于此, 本文提出假设 H_3 : 人工智能技术可以促进制造业产业结构升级来提升制造业全球价值链地位。

1.3 人工智能技术影响制造业全球价值链地位的空间溢出效应

根据地理学第一定律, 地物之间的相关性和距离有关。中国各省区之间相互依赖, 相互影响, 随着时间的推移和中国基础设施建设的完善, 各地区之间的贸易壁垒已经逐渐消失, 因此, 产品和要素在各个省区间的可以更加自由的流动, 这就使得中国不同省区间空间溢出效应与日俱增^[25]。随着人工智能技术的不断进步, 其渗透性和协同性特征突破了时空和地理限制, 从而对制造业产生了广泛而深远的影响。人工智能发展会带来知识溢出效应和平台溢出效应, 为周边地区带来“技术红利”和智能化服务平台, 有效提升周边地区资源配置效率和全要素生产率^[26]。高新技术产业的发展也会加强市场竞争, 使得周边区域必须跟上脚步, 推动整个区域制造业生产效率提升和产品技术含量进步。除此之外, 地理上的邻接也会给人才流动带来便利, 拥有高水平的技术人才会很大程度上促进区域内人工智能产业的发展, 增强区域内制造业的竞争力。综上所述, 人工智能对制造业全球价值链地位的空间效应主要体现在技术溢出效应、竞争效应和人才流动效应等方面, 在这些效应的共同作用下, 人工智能在本地区的应用和发展很可能会促进邻近地区制造

业全球价值链地位的上升。因此,本文提出假设H₄:人工智能对制造业全球价值链地位的影响存在空间溢出效应。

2 研究设计

2.1 变量定义

(1)被解释变量:全球价值链地位(ESI)。本文使用2010—2022年中国大陆30个省份的面板数据(西藏地区数据缺失严重,予以剔除),基于数据可得性,使用Hausmann等^[7]的方法对中国省级层面的制造业全球价值链地位进行测度。

首先,计算某省某一行业的出口技术复杂度:

$$PRODY_{jit} = \sum \frac{(x_{jit}/X_{it})}{\sum (x_{jit}/X_{it})} \times PGDP_{it} \quad (13)$$

式中, j 代表某一行业, i 代表省份, t 代表某一年份, x_{jit} 为 t 年 i 省份 j 行业的出口额, X_{it} 为 i 省份 t 年的总出口, $PGDP_{it}$ 为 t 年 i 省份的人均GDP, $PRODY_{jit}$ 为 i 省份 t 年 j 行业的出口技术复杂度。

该省份的出口技术复杂度的公式为:

$$ESI_{it} = \sum_j \frac{x_{jit}}{X_{it}} PRODY_{jit} \quad (14)$$

式中, x_{jit}/X_{it} 表示 t 年 i 省份 j 行业出口额占 t 年 i 省份总出口的比重, ESI_{it} 为 t 年份 i 省份的出口技术复杂度。为了消除异方差,在实证中对其做取对数处理,本文用此来衡量 i 省份的全球价值链地位,记作ESI。

(2)解释变量:人工智能(AI)。学术界衡量人工智能的方法主要有两种,一是用国际机器人联合会公布的工业机器人数据来构造人工智能指标^[13-14,20];二是用人工智能专利数据作为人工智能技术发展的代理变量^[27]。由于专利数据能够更加客观、全面地反映技术进步和渗透应用水平,也可有效度量企业在技术创新领域所做的努力和投入,所以本文选用专利数据来表征人工智能技术应用水平。具体做法为:根据《战略性新兴产业分类与国际专利分类参照关系表(2021)》中人工智能专利分类号,从国家知识产权局检索得到,考虑到某些地区的专利申请量为0,所以在此处以人工智能专利申请量加1取对数来表征。

(3)中介变量:技术创新能力(Inno)和产业结构升级(Inst)。现有文献衡量技术创新指标主要有研究与试验发展(RD)投入、专利申请数量、专利

授予数量和新产品销售收入等,本文参考原毅军等^[28]的研究,选用新产品销售收入来作为技术创新能力的代理变量。借鉴学者相关研究,本文用各省第三产业增加值在地区生产总值中所占的比例来衡量各省的产业结构升级。

(4)控制变量。为避免遗漏变量带来的内生性问题,提升回归的精确度,借鉴学者的相关研究,本文控制以下变量:外商直接投资水平(FDI),用外商直接投资额与地区生产总值的比重表示FDI;对外开放程度(OPEN),用进出口总额与地区生产总值的比重表示;交通基础设施水平(INFR),用各省份货运总量取对数表示;人力资本水平(UNIV),用当年高等学生在校人数与该年份全省总人数的比值表示人力资本水平;经济发展水平(PGDP),用人均GDP取自然对数来测度各省经济发展水平。

2.2 模型设定

本文构建模型检验人工智能水平对制造业全球价值链地位的影响:

$$ESI_{it} = \alpha + \alpha_1 \times AI_{it} + \sum_{u=1}^5 \alpha_u \times Control + \mu_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (15)$$

式中, ESI_{it} 为被解释变量全球价值链地位; AI_{it} 为核心解释变量人工智能水平; i 代表省份, $i=1,2,\dots,30$; t 代表年份; u 表示控制变量个数, $Control$ 表示控制变量; μ_i 、 μ_t 、分别为省份、时间的固定效应; ε_{it} 为随机扰动项。

为了考察人工智能水平影响制造业全球价值链地位的具体机制,参考江艇^[29]的中介效应检验思路,在式(15)的基础上,重点检验解释变量(人工智能水平)与中介变量(技术创新能力和产业结构升级)之间的因果机制。基于此,构建如下检验模型,即:

$$MED_{it} = \beta_1 + \beta_2 \times AI_{it} + \beta_3 \times Control + \mu_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

其中, MED 表示中介变量,具体是指技术创新能力(Inno)和产业结构升级(Inst),其余变量定义与式(15)相同。

根据理论基础的研究内容,为了考察人工智能可能对制造业全球价值链地位存在空间溢出效应,建立如下空间杜宾模型进行空间计量分析:

$$ESI_{it} = \alpha + \rho WESI_{it} + \alpha_1 AI_{it} + \alpha_2 WAI_{it} + \alpha_3 \times$$

$Contral + \mu_i + \mu_t + \varepsilon_{it}$ (17)

其中， W 表示空间权重矩阵； ρ 表示空间自回归系数，反映被解释变量的空间相关性； $WESI_{it}$ 表示制造业全球价值链地位的空间滞后项； WAI_{it} 表示人工智能的空间滞后项；其余变量含义与上文相同。

2.3 数据说明

由于西藏、香港、澳门和台湾的数据缺失，本文最终选取 2010 年—2022 年 30 个省份的面板数据为研究样本。全球价值链的基础数据来源于国研网，选取对外贸易数据库中各省出口数据；中介变量和相关控制变量的原始数据来源于《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》以及各省的统计年鉴。缺失数据采用插值法或均值法补充。

3 实证结果分析

3.1 基准回归分析

首先，采用普通最小二乘法 (OLS) 进行基准回归，目的是初步检验人工智能发展对制造业全球价值链地位的影响，列 (1) 为不加入控制变量和固定效应的回归结果，结果显示人工智能发展对制造业全球价值链地位的回归系数为 0.099，且通过 1% 的显著性检验，这表明人工智能发展与制造业全球价值链地位之间存在正相关关系，列 (2) 加入了控制变量，其显著性和符号未变，进一步表明了这种正相关关系。进一步地，在列 (2) 的基础上逐步加入时间固定效应和省份固定效应，发现其调整 R^2 逐渐提高，说明双向固定效应拟合程度最好。结果从直观上看，无论是否考虑控制变量和固定效应，人工智能均可显著促进制造业全球价值链地位攀升，列 (4) 结果显示，人工智能水平提升 1 个百分点，制造业全球价值链地位将提升 0.028 个百分点。由此可见，人工智能技术水平提升是制造业全球价值链地位提升的一种具体路径，也验证了假设 H_1 成立。

3.2 内生性处理

本文的回归估计可能存在内生性问题，人工智能技术水平和全球价值链地位之间可能存在互为因果关系，从而产生联立性偏误，制造业全球价值链地位的提升可能会让企业加大研发投入，加快引进高新技术，更新更好的生产设备，使得

人工智能技术水平提升。基于此，本文采用两种方法进行内生性问题的处理。

表 1 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	ESI	ESI	ESI	ESI
AI	0.099*** (18.583)	0.139*** (17.724)	0.160*** (12.302)	0.028** (2.104)
INFR		-0.064*** (-4.302)	0.083 (1.301)	-0.034 (-0.968)
PGDP		-0.030 (-0.832)	0.123 (1.600)	-0.003 (-0.100)
FDI		-0.004 (-0.958)	-0.002 (-0.611)	0.005** (2.343)
OPEN		-0.111*** (-6.991)	0.010 (0.438)	0.003 (0.280)
UNIV		0.232 (1.174)	1.795*** (4.714)	0.229 (0.672)
Constant		9.495*** (24.120)	5.571*** (5.819)	8.752*** (16.550)
时间固定效应	否	否	否	是
省份固定效应	否	否	是	是
Observations	390	390	390	390
R-squared	0.471	0.625	0.908	0.985

注：括号内为 t 值或 z 值，*、** 和 *** 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平显著，下同。

(1) 对人工智能这一解释变量进行时滞处理，将人工智能水平滞后 1 期作为工具变量进行检验。表 2 列 (1) 为回归结果，Kleibergen 统计量显示不存在弱工具变量问题，不可识别检验和 Hansen 检验均强烈拒绝原假设，证明工具变量有效；人工智能的系数在 5% 的水平上显著为正，与基准回归的结果一致，证明基准回归结果是稳健的。

(2) 工具变量法。参考黄群慧等^[30]的方法，选取各个省份在 1984 年的邮局数量作为人工智能的工具变量。其内在逻辑在于，历史上邮局的布局在一定程度上会影响互联网、数字经济和人工智能等新一代信息技术的空间布局，但是却对现在的制造业发展难以产生影响，而现在制造业融入全球价值链不会对历史上电信基础设施产生影响，所以满足工具变量的要求。考虑到该工具变量是截面形式，再以 1984 年每百万人邮局数与上一年全国信息服务技术收入的乘积作为面板工具变量进行检验，结果见表 2 列 (2)，Kleibergen 统计量和 Paap rk LM 统计量拒绝了“弱工具变量”和

“识别不足”假设，说明选取的工具变量是合理的。对制造业全球价值链地位的促进作用依然是显著的分析结果表明，在考虑内生性问题后，人工智能显著的。

表 2 内生性处理和稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	ESI	ESI	ESI	ESI	ESI	ESI
AI	0.029** (2.130)	0.194*** (14.681)		0.027** (2.160)	0.023** (2.173)	0.030** (2.189)
Robot			0.029* (0.065)			
Constant	9.133*** (18.537)		8.790*** (16.051)	8.719*** (16.848)	8.756*** (14.530)	8.801*** (19.739)
控制变量	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是	是	是
Kleibergen	840.99	337.13				
Paap rk LM	19.37***	18.49***				
Hansen	0.000	0.000				
Observations	360	360	300	360	338	382
R-squared	0.903	0.889	0.980	0.985	0.984	0.985

3.3 稳健性检验

上文通过内生性处理认为基准回归结果有一定的可靠性，为进一步加强结论的稳健性，本文做出以下稳健性检验。

(1) 替换核心解释变量。前文提到，目前学术界衡量人工智能的方法主要有两种，本文选用的是人工智能的专利数来表征人工智能发展水平，此外还有学者采用工业机器人安装密度来作为人工智能的代理变量，因此，现选用工业机器人安装密度进行稳健性检验，结果见表 2 列(3)。

(2) 考虑到外在冲击。2020 年的全球疫情大暴发可能会对基准回归结果产生影响，故而在这里剔除 2020 年的样本进行基准回归，其结果见表 2 列(4)。

(3) 剔除直辖市。由于直辖市的平均经济发展水平和技术水平都选超其他省份，因此除四大直辖市样本重新进行回归检验，结果见表 2 列(5)。

(4) 异常值处理。数据中的极端值可能会使人工智能对制造业全球价值链地位的影响作用产生偏误，这里采用 1% 的双边缩尾处理后重新进行回归，结果见表 2 列(6)。结果显示，稳健性检验的方法全部通过，与基准回归一致，证明本文的结论十分稳健。

3.4 异质性分析

中国幅员辽阔，各地区之间自然条件、资源禀赋和经济水平差异很大，那么，是否存在因区位因素导致人工智能对制造业全球价值链地位产生的不同的影响？相比于中西部地区，中国东部地区经济发展水平和对外开放程度较高，其高新技术产业发展水平也较高，因此，本文将中国 30 个省份样本分为东部地区和中西部地区进行区域异质性分析，结果见表 3 列(1)(2)。回归结果发现，人工智能对制造业全球价值链地位的影响在中西部地区并不显著，但在东部地区却通过了 1% 水平的显著性检验，其显著性与主回归相比明显提升，系数大小也显著提高。本文认为可能的原因是东部地区的人工智能发展水平较高，其经济实力雄厚、基础设施完善、人才储备充足，能为人工智能促进制造业全球价值链地位提升提供丰富的要素支撑，而中西部地区相反，无法为人工智能赋能制造业提供稳定的要素保障。所以，中西部地区省份应借助第四次工业革命的浪潮，为高新技术产业提供高质量的人才队伍和基础设施，以便让人工智能技术的赋能效应得到充分展现。

通过上述分析发现人工智能对制造业全球价值链地位的影响具有很强的区域异质性，并且其

影响在中西部地区并不显著，而在东部地区却表现出很强的赋能作用。中国地理上的东部地区都为沿海地区，作为对外开放的“桥头堡”，东部地区对外开放程度明显高于中西部地区，为了厘清不同的对外开放程度是否会造成人工智能对制造业全球价值链地位产生影响的差异，本文将对外开放程度以中位数划分，把样本分为高水平对外开放省份和低水平对外开放省份，分别进行异质检验，检验结果见表 3 列 (3) (4)。结果显示，在高水平对外开放省份样本中，人工智能的估计系数显著为正，且系数与主回归相比有明显提升。但低水平对外开放省份样本中，人工智能的估计系数却不显著。可见在对外开放程度高的地区，人工智能对制造业全球价值链才会有明显的促进效果。因此，在新的发展格局下，低水平对外开放省份要加深对高水平对外开放的理解，引进和发展人工智能技术等高新科技，激发和释放人工智能对制造业全球价值链的赋能作用。

表 3 异质性分析结果

变量名	(1)	(2)	(3)	(4)
	ESI	ESI	ESI	ESI
AI	0.098*** (5.400)	0.002 (0.123)	0.059** (2.195)	0.007 (0.422)
Constant	9.065*** (27.723)	8.660*** (11.882)	9.375*** (22.358)	8.698*** (9.281)
控制变量	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
省份固定效应	是	是	是	是
Observations	142	248	195	195
R-squared	0.988	0.989	0.988	0.988

4 拓展分析

4.1 影响机制分析

为了考察人工智能水平影响制造业全球价值链地位的具体作用机制，根据前文理论基础部分的研究，这里主要从科技创新和产业结构升级两

个渠道进行考察。人工智能对制造业全球价值链地位的提升作用见表 1 列 (4)，这里需要检验式 (16) 的回归结果。

表 4 列 (1) 显示，人工智能对科技创新的估计系数在 1% 的水平下显著为正，表明人工智能技术进步能显著提升各省制造业科技创新能力。而制造业攀升全球价值链高端的关键在于企业形成创新能力，得益于中国超大市场规模，吸引全球创新要素，通过提升自主创新能力和科技自立自强，实现高端嵌入全球价值链^[31]。为了结论的稳健，在式 (15) 的基础上，将科技创新作为解释变量，验证科技创新对制造业全球价值链地位的影响，结果见表 4 列 (2) 所示，结果表明科技创新可以推动制造业全球价值链提升。综合来看，“人工智能水平进步—科技创新—制造业 GVC 攀升”的传导路径是合理的，验证了假设 H₂ 是成立的。

表 4 列 (3) 显示，人工智能对产业结构升级的估计系数在 1% 的水平显著为正，表明人工智能可以和制造业相互联系，推动各个产业协调融合发展，从而促进产业结构升级。随着中国高质量发展和供给侧改革的深化，第二产业由高速增长向高质量发展转变，第三产业发展的“质”和“量”都在不断提升，所以中国产业结构升级在不断深化。根据“微笑曲线”理论，中国制造业要想获取更高利润、提升全球价值链地位，就要从“微笑曲线”曲线两端的研发设计和品牌服务进行升级，而产业结构升级能推动产品质量提升和产品服务升级，进而提升产品附加值，促进产业全球价值链攀升。因此，人工智能通过促进产业结构升级进而推动制造业全球价值链地位攀升的路径是合理的。为了检验结论的稳健性，本文将产业结构升级作为解释变量带入式 (15) 中，进行回归检验，结果见表 4 列 (4)。结果显示，产业结构升级与制造业全球价值链地位呈正相关，验证了上述渠道的合理性，也证明了假设 H₃ 是成立的。

表 4 影响机制分析及稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Inno	ESI	Inst	ESI	ESI	Inno	Inst
AI	0.190*** (6.002)		0.404*** (4.379)				

续表4

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Inno	ESI	Inst	ESI	ESI	Inno	Inst
Inno		0.144 ^{***} (3.910)					
Inst				0.015 [*] (1.830)			
Robot					0.147 ^{***} (17.290)	0.208 ^{***} (7.472)	0.443 ^{***} (4.298)
Constant	6.765 ^{**} (2.363)	1.479 (1.171)	3.535 (0.590)	-0.254 (-0.150)	7.757 ^{***} (22.531)	-3.633 ^{***} (-2.671)	-2.633 (-0.629)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是			
省份固定效应	是	是	是	是			
Observations	390	390	390	390	300	300	300
R-squared	0.959	0.713	0.207	0.792			

为了验证上述影响机制的可靠性，本文还进行
影响机制分析的稳健性检验。选用工业机器人安装
密度作为人工智能的代理变量，重新进行中介效应
检验，参考刘鑫鑫等^[32]的方法，采用广义最小二乘
法进行回归，可以缓解异方差和序列相关带来的问
题，回归结果见表 4 列 (5)~(7)，分别为工业机器
人安装密度对制造业全球价值链地位、科技创新水
平和产业结构升级的影响。结果显示，人工智能对
制造业全球价值链地位的提升依然是显著的，对科
技创新和产业结构升级有很强的正向作用，进一步
证明了科技创新和产业结构升级是人工智能对制造
业全球价值链影响的作用渠道。

4.2 空间效应分析

(1)构建空间权重矩阵。借鉴魏新颖等^[33]的
研究，本文设定以下地理距离权重矩阵， d_{ij} 为两个
省份省级行政中心之间的距离，其倒数表示权重，
相距越远，权重越小。

$$W_1 = \begin{cases} 0, & i = j \\ 1/d_{ij}^2, & i \neq j \end{cases} \tag{18}$$

先进技术的渗透应用在经济水平相近和
地理位置相邻的区域更容易实现，在综合各省份
在地理区位和经济属性两方面因素后本文构建了
如下经济地理空间权重矩阵， \bar{Q}_i 和 \bar{Q}_j 表示 i 地区和
 j 地区实际人均 GDP。

$$W_2 = \begin{cases} 0, & i = j \\ ((\bar{Q}_i \times \bar{Q}_j)/d_{ij}^2), & i \neq j \end{cases} \tag{19}$$

(2)空间相关性检验和模型选择。首先分别使
用上述矩阵对制造业全球价值链进行空间自相关检
验(莫兰指数检验)，在两种情况下，莫兰指数均大
于 0，且都显著，这就表明使用空间计量的合理性。
其次，进行 LM 检验，判断是否具有空间误差效应
和空间滞后效应，结果见表 5。在两种矩阵下，LM
检验和 Roubust-LM 检验下，p 值均通过显著性检
验，说明存在空间误差和空间滞后效应，拒绝使用
混合面板回归，并初步选择空间杜宾模型(SDM)。

表 5 LM 检验结果

变量		地理距离		经济地理	
		统计值	p 值	统计值	p 值
空间误差	空间自相关	12.70 ^{***}	0.00	8.55 ^{***}	0.00
	LM 检验	144.19 ^{***}	0.00	67.59 ^{***}	0.00
	R-LM 检验	242.98 ^{***}	0.00	98.19 ^{***}	0.00
空间滞后	LM 检验	184.02 ^{***}	0.00	33.72 ^{***}	0.00
	R-LM 检验	101.75 ^{***}	0.00	34.31 ^{***}	0.00

(3)空间计量实证结果分析。根据 Hausman 检
验的结果，选择固定效应模型，按照式 (17) 的设
定，本文在上述两个矩阵的设定下分别进行了空
间杜宾模型回归，结果见表 7。事后 LR 检验的结
果可以看出空间杜宾模型不能退化成空间误差模
型和空间滞后模型，进一步证明了选择空间杜宾
模型的合理性。表 6 列 (1)(5) 的回归结果显示，
在两个空间权重矩阵下，人工智能的系数在 1% 的

水平下显著为正，空间自相关系数都通过了 1%置信水平下的显著性检验，说明存在空间溢出效应，即某省份的人工智能水平会影响周边省份的制造业全球价值链地位。

表 6 列 (2) ~ (4) 和列 (6) ~ (8) 为两个矩阵基于 SDM 模型的空间溢出效应分解。在地理距离权重矩阵下，人工智能水平的直接效应和间接效应的回归系数分别为 0.025、0.062，且至少在 5% 的统计水平上显著为正；总效应回归系数为 0.087，在 1% 的统计水平下显著为正。在经济地理空间权重矩阵下，直接效应、间接效应和总效应的回归

系数均在 1% 的水平下显著为正，证明本省和邻省的人工智能水平提升都会对本省制造业全球价值链地位产生明显的正向驱动作用。进一步研究发现，不论是在地理距离权重矩阵还是经济地理空间权重矩阵下，间接效应系数都明显大于直接效应系数，这表明在全国范围内看，人工智能的空间溢出效应超过了本地区的人工智能水平创新的作用，由此也印证了高技术产业具有明显的外部性和高渗透性的特征。因此看出，人工智能的空间溢出对制造业全球价值链地位提升具有重要作用，假设 H₄ 得证。

表 6 空间计量回归结果

变量	地理距离权重矩阵				经济地理空间权重矩阵			
	(1) SDM	(2) Direct	(3) Indirect	(4) Total	(5) SDM	(6) Direct	(7) Indirect	(8) Total
AI	0.021 *** (3.481)	0.025 *** (3.801)	0.062 ** (2.023)	0.087 *** (2.622)	0.019 *** (2.781)	0.026 *** (3.712)	0.073 *** (4.139)	0.099 *** (4.876)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是	是	是
省份固定	是	是	是	是	是	是	是	是
ρ		0.852 *** (34.562)				0.762 *** (27.127)		
sigma2_e	0.001 *** (13.559)				0.001 *** (13.374)			
Observations	390	390	390	390	390	390	390	390
R-squared	0.896	0.896	0.896	0.896	0.723	0.723	0.723	0.723
LR Lag	38.89				70.72			
LR Err	35.87				67.76			

5 结论和政策建议

当前，全球价值链分工体系面临一系列要素的冲击，正产生着深刻的变化和调整。随着人工智能这一先进技术的发展，给各国重建在全球价值链分工中的地位创造了新的机遇。本文利用 2010—2022 年省级制造业的面板数据，实证检验了人工智能技术对制造业全球价值链地位的影响程度、异质特征、作用机制与空间效应。研究表明：第一，人工智能技术对制造业全球价值链地位存在显著的正向影响，在经过内生性处理和稳健性检验后依然成立。第二，人工智能对制造业全球价值链地位的影响具有异质性，相比于中西

部地区和低水平对外开放省份，人工智能对制造业全球价值链地位的促进效果在中国东部地区和高水平对外开放省份展现的更为明显。第三，科技创新和产业结构升级是人工智能影响制造业全球价值链地位的作用渠道。第四，不同省份的制造业全球价值链地位存在空间依赖性，人工智能对制造业全球价值链地位影响存在空间溢出效应。

基于研究结论，本文提出以下建议。

(1) 人工智能技术发展可显著促进中国制造业全球价值链地位攀升，所以在未来可以作为提升中国对外贸易质量的政策选择。政府应制定支持人工智能技术在制造业中应用的政策，包括财政激励、

税收优惠等,同时要完善基础设施建设,提高与人工智能发展的相关的配套设施水平;企业可以积极投入研发,建立科技创新团队,培养相关人才。

(2)针对不同地区的发展异质性差异,要因地制宜,做出有针对性的政策。东部地区应保持高水平对外开放,引入高新技术,发展人工智能科技,把握好现有优势,同时也可以发挥带头作用,帮扶落后地区,引领全国人工智能技术发展;中西部地区要利用好数字智能时代的红利,推动高水平开放,积极引进发达地区的技术,培养和吸引高素质人才,以便让人工智能技术赋能制造业全球价值链升级的效果充分展现。

(3)企业要努力提升技术创新水平,政府可以

为企业提供支持政策,共同去推动制造业产业结构升级,为人工智能技术驱动制造业全球价值链攀升提供强劲动能。一方面,利用人工智能可以带动企业技术进步的特点,释放创新活力,加大技术研发投入,推动技术变革。另一方面,要加快高技术产业的发展,为传统制造业产业转型和升级奠定基础,促进其智能化发展。

(4)合理评估人工智能技术的空间溢出作用,利用其强大的辐射带动作用,推动各省份制造业对外贸易的协调发展。同时,国家可搭建人工智能技术协同发展平台,补贴激励高新技术的分享,鼓励各区域之间的合作,创造出各省制造业协调发展的局面。

参考文献:

- [1]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.
- [2]GRAETZ G, MICHAELS G. Robots at work: The impact on productivity and jobs[R]. Centre for Economic Performance, 2015.
- [3]FREY B, OSBORNE M A. The future of employment: How susceptible are jobs to computerization[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2017, 114: 254-280.
- [4]温湖炜,钟启明.智能化发展对企业全要素生产率的影响:来自制造业上市公司的证据[J].中国科技论坛,2021(1):84-94.
- [5]杨光,侯钰.工业机器人的使用、技术升级与经济增长[J].中国工业经济,2020(10):138-156.
- [6]陈东,秦子洋.人工智能与包容性增长:来自全球工业机器人使用的证据[J].经济研究,2022,57(4):85-102.
- [7]HAUSMANN R, JASON H, DANI R. What you export matters[J]. Journal of Economic Growth, 2007(12):1-25.
- [8]KOOPMAN R, POWERS W, WANG Z, et al. Give credit where credit is due: Tracing value added in global production chains[R]. National Bureau of Economic Research, 2010.
- [9]UPWARD R, WANG Z, ZHENG J. Weighing China's export basket: The domestic content and technology intensity of Chinese exports[J]. Journal of Comparative Economics, 2013, 41(2):527-543.
- [10]杜新建.制造业服务化对全球价值链升级的影响[J].中国科技论坛,2019(12):75-82,90.
- [11]余海燕,沈桂龙.对外直接投资对母国全球价值链地位影响的实证研究[J].世界经济研究,2020(3):107-120,137.
- [12]张玉兰,崔日明,郭广珍.产业政策、贸易政策与产业升级:基于全球价值链视角[J].国际贸易问题,2020(7):111-128.
- [13]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.
- [14]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,2020,37(10):24-44.
- [15]陈楠,蔡跃洲.人工智能技术创新与区域经济协调发展:基于专利数据的技术发展状况及区域影响分析[J].经济与管理研究,2023,44(3):16-40.
- [16]李廉水,石喜爱,刘军.中国制造业40年:智能化进程与展望[J].中国软科学,2019(1):1-9,30.
- [17]李廉水,鲍怡发,刘军.智能化对中国制造业全要素生产率的影响研究[J].科学学研究,2020,38(4):609-618,722.
- [18]AGHION P, JONES B F, JOENS C I. Artificial intelligence and economic growth[R]. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2017.
- [19]HALLAK J C, SIVADASAN J. Productivity, quality and exporting behavior under minimum quality constraints[R]. Munich: University Library of Munich, 2008.
- [20]张兵兵,陈静,朱晶,等.人工智能与企业出口技术复杂度提升[J].国际贸易问题,2023(8):143-157.
- [21]米晋宏,江凌文,李正图.人工智能技术应用推进中国制造业升级研究[J].人文杂志,2020(9):46-55.
- [22]韦东明,顾乃华,韩永辉.人工智能推动了产业结构转型升级吗:基于中国工业机器人数据的实证检验[J].财经科学,2021(10):70-83.
- [23]张万里,刘婕.人工智能对产业结构升级的影响机制研究:基于资本-技能互补的理论分析[J].经济经纬,2023,40(2):

99-110.

- [24] 刘志彪, 张杰. 从融入全球价值链到构建国家价值链: 中国产业升级的战略思考[J]. 学术月刊, 2009, 41(9): 59-68.
- [25] 潘文卿. 中国的区域关联与经济增长的空间溢出效应[J]. 经济研究, 2012, 47(1): 54-65.
- [26] 姜伟, 李萍. 人工智能与全要素生产率: “技术红利”还是“技术鸿沟”[J]. 统计与信息论坛, 2022, 37(5): 26-35.
- [27] DAMIOLI G, WAN ROY V, VERTESY. The impact of artificial intelligence on labor productivity[J]. Eurasian Business Review, 2021, 11(1): 1-25.
- [28] 原毅军, 郭然. 生产性服务业集聚、制造业集聚与技术创新: 基于省级面板数据的实证研究[J]. 经济学家, 2018(5): 23-31.
- [29] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
- [30] 黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济, 2019(8): 5-23.
- [31] 孔静, 傅元海. 科技自立自强与制造业全球价值链高端: 嵌入机制与路径[J]. 经济学家, 2023(8): 65-75.
- [32] 刘鑫鑫, 韩先锋. 人工智能与制造业韧性: 内在机制与实证检验[J]. 经济管理, 2023, 45(11): 48-67.
- [33] 魏新颖, 王宏伟, 徐海龙. 高技术产业技术创新的空间关联与溢出效应[J]. 经济问题探索, 2019(10): 155-164.

(责任编辑 申秋红)

(上接第 64 页)

- [14] TEECE D J. Profiting from innovation in the digital economy: Enabling technologies, standards, and licensing models in the wireless world[J]. Research Policy, 2018, 47(8): 1367-1387.
- [15] NAMBISAN S, LYYTINEN K, MAJCHRZAK A, et al. Digital innovation management[J]. MIS Quarterly, 2017, 41(1): 223-238.
- [16] PETRIGLIERI G, ASHFORD S J, WRZESNIEWSKI A. Agony and ecstasy in the gig economy: Cultivating holding environments for precarious and personalized work identities[J]. Administrative Science Quarterly, 2019, 64(1): 124-170.
- [17] 余江, 孟庆时, 张越, 等. 数字创新: 创新研究新视角的探索及启示[J]. 科学学研究, 2017, 35(7): 1103-1111.
- [18] 陈凯华. 加快推进创新发展数字化转型[J]. 瞭望, 2020(52): 24-26.
- [19] 张超, 陈凯华, 穆荣平. 数字创新生态系统: 理论构建与未来研究[J]. 科研管理, 2021, 42(3): 1-11.
- [20] 刘经涛, 宁连举, 高琦芳. 数字创新生态系统: 内涵、特征与运行机制[J]. 科技管理研究, 2023, 43(22): 13-22.
- [21] 刘开强, 沈玮, 谭乐, 等. 新时期支撑高质量科技创新的科技管理发展路径与对策研究[J]. 中国科学基金, 2023, 37(4): 675-681.
- [22] 陈套. 科学研究范式转型与组织模式嬗变[J]. 科学管理研究, 2020, 38(6): 53-57.
- [23] KAPOOR K K, TAMILMANI K, RANA N P, et al. Advances in social media research: Past, present and future[J]. Information Systems Frontiers, 2018, 20(3): 531-558.
- [24] GROVER P, KAR A K, DAVIES G. Technology enabled health: Insights from twitter analytics with a socio-technical perspective[J]. International Journal of Information Management, 2018, 43: 85-97.
- [25] TIWANA A. The knowledge management toolkit: Practical techniques for building a knowledge management system[M]. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2000.
- [26] 张艳丽, 王丹彤. 创新生态系统视角下基于 SD 模型的企业知识创新研究[J]. 科学管理研究, 2020, 38(4): 90-97.
- [27] 张超, 陈凯华, 穆荣平. 数字创新生态系统: 理论构建与未来研究[J]. 科研管理, 2021, 42(3): 1-11.
- [28] 李佳钰, 张贵, 李涛. 创新生态系统的演化机理分析: 基于知识内能视角[J]. 系统科学学报, 2021, 29(1): 87-91.
- [29] 李佳钰, 张贵, 李涛. 知识能量流动的系统动力学建模与仿真研究: 基于创新生态系统视角[J]. 软科学, 2019, 33(12): 13-22.
- [30] 尹西明, 陈泰伦, 金琚, 等. 数字基础设施如何促进区域高质量发展: 基于中国 279 个地级市的实证研究[J]. 中国软科学, 2023(12): 90-101.
- [31] 尹西明, 陈劲, 王华峰, 等. 强化科技创新引领 加快发展新质生产力[J/OL]. 科学学与科学技术管理, 1-10[2024-11-04]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1117.g3.20240221.1012.002.html>.

(责任编辑 沈蓉)