

doi. 10. 3724/1005-0566. 20260104

数字技术创新赋能中国城市产业链地位提升： 基于复杂网络的视角

张天硕¹, 戚聿东²

(1. 北京信息科技大学商学院, 北京 102206; 2. 北京师范大学经济与工商管理学院, 北京 100875)

摘要: 数字技术创新正驱动产业向网络化、数字化和智能化发展, 为提高产业链网络地位创造了有利条件。本文从复杂网络的视角, 实证研究数字技术创新对中国城市层面产业链网络地位提升的影响。研究发现: 数字技术创新对中国产业链网络地位具有显著的促进作用, 且对需求端的促进作用更强。机制分析表明: 数字技术创新通过“头雁”效应与优化要素资源配置双路径提高了产业链网络地位。异质性分析表明: 在城市维度, 数字技术创新对普通地级市的影响较强; 在行业维度, 技术密集型产业和劳动密集型产业的创新红利更突出; 在创新维度, 实用新型专利对产业链网络地位的提升作用更明显。研究结果对于把握新一轮科技革命、加速实现产业链现代化具有现实价值和深远意义。

关键词: 数字技术创新、城市产业链、产业链中心度、复杂网络

中图分类号: F49

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2026)01-0041-11

Digital technology innovation empowering the network status of city industrial chains: A complex network perspective

ZHANG Tianshuo¹, QI Yudong²

(1. Business School, Beijing Information Science & Technology University, Beijing 102206, China;

2. Business School, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Digital technology innovation is driving industries toward networking, digitalization, and intelligent development, creating favorable conditions for enhancing the network status of industrial chains. This paper empirically investigates the impact of digital technology innovation on the enhancement of industrial chain network status at the city level in China from a complex network perspective. The findings reveal that digital technology innovation significantly promotes the network status of China's industrial chains, with a stronger effect on the demand side. Mechanism analysis indicates that digital technology innovation improves industrial chain network status through dual pathways: the “leading-goose” effect and the optimization of factor resource allocation. Heterogeneity analysis shows that: in the city dimension, the impact of digital innovation is stronger for ordinary prefecture-level cities; in the industry dimension, the innovation dividend is more substantial for technology-intensive and labor-intensive industries; in the digital technology innovation dimension, utility model patents play a relatively more significant role in enhancing industrial chain network status. The study holds practical value and profound significance for seizing the opportunities presented by the new round of

基金项目: 北京市习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心 2025 年重大项目“新一轮科技革命和产业变革趋势及对我国影响研究”(25LLIJA121)。

作者简介: 张天硕(1993—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 北京信息技术大学讲师, 博士, 研究方向为数字经济、数字技术创新、产业链等。通信作者: 戚聿东。

technological revolution and industrial transformation and for accelerating the modernization of industrial chains.

Key words: digital technology innovation; city industrial chain; industrial chain centrality; complex network

随着产业链现代化战略的推进,城市作为技术与产业协同演化的重要空间单元,其在全国产业链网络中的地位日益重要。党的二十大报告明确提出,要把“建设现代化产业体系”作为推动高质量发展的核心任务,而产业链网络地位,即城市与行业节点在全国产业链网络中的资源控制力、抗风险能力及协同能力等,是衡量国家经济现代化水平的关键标尺^[1]。当前,人工智能、大数据和云计算等数字技术正以前所未有的速度迭代更新,这些技术创新不仅为全球产业链重构提供了新动能,也推动了产业地理格局的深刻变化。在此背景下,如何通过城市层面的数字技术创新突破传统的“中心—边缘”结构,实现产业链网络地位的跃升,成为推动国家经济高质量发展的重要战略命题。

现有研究普遍认为数字技术的出现对产业链分工地位具有正向促进作用。数字技术通过提高产业链各个环节的生产率^[2]、减少运输、降低信息搜寻成本^[3]、缓解信息不对称和信息摩擦风险^[4]、人力资本结构升级效应^[5]等途径影响产业链分工。当然,也有少部分学者强调了数字经济在赋能产业链发展的同时,会放大其风险。数字经济推动劳动密集型的生产任务实现自动化、智能化,部分机器生产的环节可能返回到发达国家^[6],使发达国家与发展中国家的全球产业链贸易范围缩小。在行业层面,制造业产业链是学界关注的重点,数字技术与制造业不断融合,促进制造业及相关产业的智能化转型升级,改变制造业的生产模式和组织方式,提高了产业链分工效率^[7-8]。

尽管上述研究为理解数字技术与产业链网络的互动提供了重要视角,但在城市层面数字技术创新如何具体影响产业链网络地位的研究仍显不足。尤其是在中国城市与行业的具体背景下,如何通过数字技术创新精准提升城市在产业链网络中的话语权,以及这一过程中的机制与路径,仍是一个亟待深入探讨的核心问题。因此,本文提出研究问题:城市数字技术创新是否能够显著提升

城市在全国产业链网络中的整体地位,又是通过何种机制实现的,不同城市与行业的表现是否存在显著差异?本文对这些问题的系统解答,为“数字中国”战略下的产业链现代化提供新的微观实证证据与政策建议。

基于上述研究问题,本文构建了中国城市层面的产业链网络中心度指标,利用 PageRank 与 CheiRank 中心度对跨区域价值流动进行量化分析,深入探讨数字经济创新如何影响城市在产业链网络中的地位,并揭示其中的作用机制与路径。本研究的创新之处在于:一是聚焦城市层面数字技术创新对产业链网络地位的直接影响,提供了具有针对性的建议;二是系统剖析了“头雁”效应与要素禀赋对产业链地位提升的作用机制,弥补了当前研究对数字技术创新路径及其影响力传导机制探讨的不足;三是通过比较分析不同城市与行业的异质性效果,进一步丰富了产业链地位研究的维度与层次,为政策制定者提供了更具操作性的建议。

一、理论机制与研究假设

(一)数字技术创新提升城市产业链网络地位

复杂网络理论指出,网络中心度用于衡量行动者在网络系统中枢纽程度和对资源的获取与控制程度,直接反映了其在网络中的支配能力及地位。城市作为产业链网络中的节点,其资源控制力、抗风险能力和枢纽属性均受到其在网络中心地位的影响。目前,数字技术作为当今应用范围最广、辐射带动作用最强、汇聚创新要素最多的技术创新领域,与现代产业深度融合,不仅改变了微观企业的产品形态、生产流程、组织结构及商业模式^[9],还对宏观层面经济社会和产业发展各领域产生深远影响。数字技术创新迭代推动产业向网络化、信息化和智能化方向发展,增强了城市在产业链中的资源调配能力、连通性等,使得城市能够更好地融入产业链的演化。

城市在产业链网络中的位置与其在供应链和需求链中的角色密切相关,需求链通常更直接地

与市场需求和资源吸引力相关,而供应链则更多地涉及生产环节和资源配置。因此,数字技术创新对城市在需求链和供应链中的中心度提升作用会略有差异,数字技术创新对城市在需求链中的促进作用更强。需求链本质上是信息密集型的,其效率高度依赖于对市场信号如消费者偏好、订单波动、价格变化的捕获、传递与反馈。数字技术创新通过大数据分析、人工智能等技术提高城市在需求链中的响应能力,使得城市能够更高效地响应市场需求,优化产品和服务供应。这种创新增强了城市的市场连接性和竞争力,从而提升了城市在需求链中的 PageRank 中心度。相比之下,供应链是物理和信息复合型的,其核心瓶颈不仅在于信息,更在于物理世界的生产工艺、设备精度、原材料特性及物流实体流转。数字技术对物理过程的改进往往需要与重型资产、复杂工艺和长周期技术迭代深度融合,其赋能速度与深度自然受到物理规律的刚性约束。

基于上述分析,本文提出以下假设。

假设 1:数字技术创新对提升城市产业链网络地位具有显著正向促进作用,并且在需求链中的促进作用强于供应链。

(二)数字技术创新通过“头雁”效应提升城市产业链网络地位

2018 年 10 月,习近平总书记在中共中央政治局第九次集体学习时强调指出:“人工智能是引领这一轮科技革命和产业变革的战略性技术,具有溢出带动性很强的‘头雁’效应。”这种“头雁”效应,可被理解为以人工智能、大数据等为代表的数字技术作为新工业革命的通用技术,在激发各行业经济活力、助力产业链网络地位提高的促进作用,主要体现在“领先”和“引领”这两方面。

一方面是领先突破。数字技术驱动数字产业优先嵌入全国产业链网络,成为提升城市产业链网络地位的先锋载体。国务院印发的《“十四五”数字经济发展规划》提出,到 2025 年我国数字经济核心产业增加值占 GDP 比重将达到 10%,这为我国数字技术的发展创造了巨大的产业空间。在自身具有市场规模优势或领先技术优势的领域,

数字企业充分发挥其“链长”功能,打造高质量产业共同体和现代产业集群的龙头力量,推动城市成为产业链中的关键节点^[10]。此外,专精特新“小巨人”企业将越来越多地集中在高端数字产业,推动城市率先建立跨区域产业关联,提高城市在产业链网络中的地位。

另一方面是引领升级。数字技术对其关联部门产生直接或间接的影响,提升了传统企业的数字化水平,提高了生产经营效率和灵活度。数字技术在农业、制造业及服务业等领域推动产业升级,提升了各行业主导城市的资源控制力与抗风险能力。此外,随着数字技术在我国一、二、三产业中的渗透率持续增高,企业将战略重心向服务、设计等高附加值领域迁移,是突破传统“低端锁定”效应的关键。

基于上述分析,本文提出以下假设。

假设 2:数字技术创新通过“头雁”效应促进城市产业链网络地位提升。

(三)数字技术创新通过优化要素资源配置提升城市产业链网络地位

数字技术创新通过提升全要素生产率与培育数据要素,优化了城市的资源配置,进而提升了城市在产业链中的地位。

在提高全要素生产率方面。一是,由于数字技术的广泛应用和冲击,企业所面临的技术前沿领域已不再局限于传统的范畴,而是随着技术的不断进步和创新而不断拓展与变化。数字技术创新水平较高的城市及行业可以用成本较低的资本要素代替劳动要素。二是,优化资源利用率。数字平台能够有效盘活并整合各类零散与休眠资源,推动产业链全流程的要素优化配置,从而显著提升其综合利用效率。三是,提高供需链运行效率。数字技术也能促进供需匹配,合理调整生产计划,避免对要素资源的浪费。具体而言,数字技术在状态可见性、需求预判性与流程可信性方面的赋能,共同驱动了要素配置的协同优化,最终转化为城市在网络中节点控制力的实质性增强^[11]。在数据要素培育与流动方面,数字技术推动数据成为核心生产要素。根据赫克歇尔—俄林模型,一

个地区的要素禀赋是决定其比较优势的关键因素。换言之,要素禀赋影响着其在产业链网络中所扮演的角色地位^[12]。随着数字技术创新水平的不断提高,数据要素的作用日益加大,重塑了市场化配置中的要素体系和数字化时代的竞争资源构成^[13]。地区依据其要素禀赋实现专业化:技术富集区主导技术密集型生产,而资源丰裕区则专攻初级产品。在现代社会生产循环中,数据要素已与自然资源、劳动力和资本等传统生产要素并驾齐驱,各个城市将依托其自身要素优势,在产业链各个环节中发挥优势。由此可见,通过优化要素资源配置,可以有效地提升城市及其相关行业在产业链网络中的地位。

基于上述分析,本文提出以下假设。

假设 3:数字技术创新通过优化要素资源配置促进城市产业链网络地位提升。

二、研究设计

(一)模型设定

为精准检验数字技术创新对国内城市产业链网络地位的影响,本文在理论机制分析基础上,构建多维度面板计量模型,具体设定是:

$$\ln Centrality_{ijt} = \beta_0 + \beta_1 \ln DI_{ijt} + \beta_2 Control_{ijt} + \gamma_i + \eta_j + \varphi_t + \epsilon_{ijt} \quad (1)$$

$$\ln Centrality_{ijt}^{PR} = \beta_0 + \beta_1 \ln DI_{ijt} + \beta_2 Control_{ijt} + \gamma_i + \eta_j + \varphi_t + \epsilon_{ijt} \quad (2)$$

$$\ln Centrality_{ijt}^{CR} = \beta_0 + \beta_1 \ln DI_{ijt} + \beta_2 Control_{ijt} + \gamma_i + \eta_j + \varphi_t + \epsilon_{ijt} \quad (3)$$

其中, i 为城市, j 为行业, t 为年份。被解释变量 $Centrality_{ijt}$ 为第 t 年城市 i 在行业 j 的总体中心度,是 PageRank 中心度和 CheiRank 中心度的均值。因此, $\ln Centrality_{ijt}$ 表示第 t 年城市 i 所在行业 j 的国内产业链网络地位的对数; $\ln Centrality_{ijt}^{PR}$ 表示第 t 年城市 i 所在行业 j 在国内需求链网络地位的对数; $\ln Centrality_{ijt}^{CR}$ 表示第 t 年城市 i 所在行业 j 在国内供应链网络地位的对数。

解释变量 $\ln DI_{ijt}$ 代表第 t 年城市 i 在行业 j 的数字技术创新水平,用数字技术专利申请数量的对数来表示。 $Control_{ijt}$ 表示一系列控制变量, φ_t 为年份固定效应, γ_i 为城市固定效应, η_j 为行业固定

效应, ϵ_{ijt} 为随机扰动项,其他为待估系数。

(二)变量测度与说明

1. 被解释变量:中国城市产业链网络地位

本文的核心被解释变量是中国城市在产业链网络中的地位,用城市产业链网络的中心度 (Centrality) 进行衡量。中心度衡量的是节点在复杂网络中相对于其他节点的重要性。在产业链网络中,城市的中心度反映了该城市在供应链和需求链中的资源控制力和资源吸引力。本文分别使用 PageRank 中心度、CheiRank 中心度和 TotalRank 中心度来衡量中国城市在产业链中的网络地位。

PageRank 中心度是衡量城市在产业链需求端的网络地位,反映了城市作为核心需求方的资源吸引力。在产业链网络中,PageRank 中心度越高,其在获取资源、技术、信息等方面越占据主导地位,意味着其经济体系作为“客户”的重要性越强,其需求能通过复杂的投入产出关系层层传递,有效拉动上游众多产业的发展。这体现了该城市在整个网络中强大的资源吸引力与市场话语权,即“买家的力量”。

CheiRank 中心度是衡量城市在产业链供给端的网络地位,反映了城市作为关键供给方的资源控制力。在产业链网络中,CheiRank 中心度越高,其能够控制的生产和供应资源越多,代表其作为“供应商”的角色越核心,其产品与服务广泛且关键地渗透到下游众多产业中。这体现了该城市强大的资源控制力、技术辐射力与供应链韧性,即“卖家的力量”。

TotalRank 中心度反映城市在产业链网络中的整体地位,是 PageRank 和 CheiRank 中心度的均值。TotalRank 中心度综合了上述供需两侧的影响力,旨在刻画一个城市在全局产业链网络中基于价值循环的综合枢纽地位与不可替代性,综合了城市在需求链和供应链中的地位,表示该城市在产业链网络中的总体话语权、资源控制能力、抗风险能力及协同能力。通过这对指标,可以超越简单的直接关联,从网络全局的视角,动态地捕捉到城市之间通过直接与间接联系所形成的影响力,从而更加科学、立体地衡量其产业链网络地位。

PageRank 中心度和 CheiRank 中心度为矩阵最大特征值所对应的特征向量,其取值不仅来自节点的直接联系,也反映了复杂网络结构下间接的高阶联系,被计算为节点的基准中心度与其高阶网络传递效应的加权和。本文参考 Criscuolo 等^[14]、曲如晓等^[15]及王陆舰等^[16]的研究,使用加权邻接矩阵来构建 PageRank 和 CheiRank 中心度的计算模型。具体而言,设有向加权邻接矩阵用来反映节点之间的联系强度, I 为 $N \times N$ 阶单位矩阵, e 为单位列向量, S 和 S^* 为马尔可夫链随机转移矩阵, α 为阻尼系数(damping factor), N 为矩阵可能出现的最大节点数。

PageRank 中心度和 CheiRank 中心度的矩阵表达式为:

$$c_{PR} = \frac{1 - \alpha}{N} (I - \alpha S)^{-1} e \quad (4)$$

$$c_{CR} = \frac{1 - \alpha}{N} (I - \alpha S^*)^{-1} e \quad (5)$$

数据来自中国碳核算数据库(CEADs)提供的城市级投入产出表,涵盖了 313 个城市和 42 个行业。因此,我们构建了一个 $13\,146 \times 13\,146$ 阶的加权邻接矩阵,通过上述公式计算出各个城市—行业节点的 PageRank 和 CheiRank 中心度,精确衡量每个城市在产业链中的中心地位。

2. 核心解释变量:数字技术创新水平

数字技术创新是指将数字组件与物理组件进行组合,以创造新产品、服务或商业模式等的创新过程^[17]。它是一个多层次、多维度的概念,既包括数字技术本身的创新发展,也涵盖由其推动的商业模式、组织架构乃至社会文化等多方面的变革^[18]。从广义上看,大数据、云计算、人工智能、物联网等前沿数字技术的开发与应用过程,均可视为数字技术创新。

本文的核心解释变量是中国各个城市不同行业的数字技术创新水平,用数字技术专利申请数量来表示。具体方法为:首先对照国家统计局发布的《战略性新兴产业分类(2018)》类别,根据专利战略性新兴产业分类代码,筛选出归属为新一代信息技术产业的专利作为数字技术专利,对 2012 年、2015 年和 2017 年的国内数字技术专利进

行检索及下载;其次,将数字技术的国民经济分类与国内投入产出表的行业分类进行对照匹配;最后,根据行业匹配规则,利用 PyCharm 将数字技术专利数据按照 CEADs 数据库的 313 个城市和 42 个行业进行多维度、一对多匹配,并汇总整理得到相应城市及行业的数字技术专利数量,用以衡量数字技术创新水平。数据来源为 incoPat 数据库,数据样本涵盖了历年世界各国在知识产权局申请公开的所有专利数据。本文所使用的专利信息包括:申请号、公开公告号、申请日、专利类型、IPC 主分类号、技术分类号、专利城市代码、新兴产业分类号等。

3. 控制变量

经济发展水平($\ln gdp$):对每个地级市当年价格的地区生产总值,进行取对数处理,数据来源为历年《中国城市统计年鉴》;人力资本水平($\ln peo$):选取城市各年度年末总人口数来衡量,进行取对数处理。数据来源为历年《中国劳动统计年鉴》;城市公共支出($\ln expend$):选取一般公共支出作为各城市公共支出的代理指标,进行取对数处理,数据来源为历年《中国统计年鉴》。互联网普及率($\ln internet$):用每万人互联网入户数的对数值表示,数据来源为历年《中国科技统计年鉴》;行业规模($\ln ipeo$):选取各行业人员数衡量行业规模,进行取对数处理,数据来源为历年《中国劳动统计年鉴》;行业研发能力($\ln iird$):选取各行业研发机构数衡量,进行取对数处理,数据来源为历年《中国科技统计年鉴》。详见表 1。

表 1 描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
$\ln Centrality$	39 438	-1.629	1.644	-3.912	4.789
$\ln Centrality^{PR}$	39 438	-1.676	1.612	-3.912	5.48
$\ln Centrality^{CR}$	39 438	-1.803	1.723	-3.912	4.391
$\ln DI$	39 438	0.955	1.723	0	10.649
$\ln gdp$	34 566	15.675	1.155	12.453	19.54
$\ln peo$	34 734	5.901	0.697	2.986	8.129
$\ln expend$	34 734	14.859	0.729	12.187	18.139
$\ln internet$	34 230	4.113	0.896	1.792	7.094
$\ln ipeo$	39 438	5.236	1.343	1.872	7.936
$\ln iird$	38 186	2.582	1.838	0	7.152

三、实证结果分析

(一)基准回归结果

基于前文理论分析和研究设计,本文对数字

技术创新如何影响城市产业链网络地位进行经验探究。表 2 为基准回归结果。第(1)列~第(6)列均同时控制了城市、行业和年份固定效应。第(1)列~第(2)列反映数字技术创新对总体中心度(TotalRank)的估计结果,第(1)列仅控制城市、行业和年份固定效应,第(2)列进一步加入控制变量。第(3)列~第(4)列为需求链中心度(PageRank)估计结果,第(3)列仅控制城市、行业和年份固定效应,第(4)列进一步增加了控制变量。第(5)列~第(6)列为供应链中心度(CheiRank)回归结果,第(5)列仅控制城市、行业和年份固定效应,第(6)列增加了控制变量。从回归结果可以看到,影响系数均在 1% 水平显著为正,说明数字技术创新显著促进中国城市产业链网络地位提升。同时,需求链的回归结果第(3)列和第(4)列,分别大于供应链的回归结果第(5)列,第(4)列和第(6)列。因此,可以看出,数字技术创新对需求链中心度的影响,均高于对供应链中心度的影响。由此验证假设 1。

表 2 数字技术创新对中国城市产业链网络地位影响的基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	lnCentrality	lnCentrality	lnCentrality ^{PR}	lnCentrality ^{PR}	lnCentrality ^{CR}	lnCentrality ^{CR}
lnDI	0.171 7 *** (0.006)	0.175 5 *** (0.007 3)	0.185 1 *** (0.005 8)	0.186 0 *** (0.007 1)	0.155 8 *** (0.006 4)	0.168 0 *** (0.007 9)
常数项	-1.793 *** (0.007 7)	-12.474 *** (1.108 5)	-1.853 0 *** (0.007 5)	-14.568 *** (1.273 4)	-1.9521 *** (0.008 1)	-12.223 *** (1.489 3)
控制变量	未控制	控制	未控制	控制	未控制	控制
N	39 438	31 896	39 438	31 896	39 438	31 896
R ²	0.605 4	0.599 4	0.619 3	0.620 3	0.597 2	0.588 1

注:***、**、* 分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.10$ 时有统计学意义。括号内的值为聚类稳健标准误,所有回归均控制了城市、行业和年份固定效应。若无特殊说明,下表同。

数字技术在需求侧的应用,能够赋能城市企业更精准、敏捷地捕捉、响应乃至创造终端市场需

求,从而在以客户为中心的需求链网络中占据信息枢纽和决策核心地位。相比之下,在供给侧,数字技术主要通过提升生产效率与供应链协同来强化地位,其价值创造路径相对传统,边际提升空间可能受限。这一差异揭示了数字经济时代产业链竞争的制高点已发生转移。过去,拥有低成本、大规模的供给能力是城市竞争力的核心。而在当前,竞争的优势越来越体现为对复杂、动态的市场需求的快速响应与定义能力。数字技术对需求链网络地位的更强促进作用表明,能够更好地利用数字技术去理解市场、触达用户、主导标准的城市,就能在产业价值链中获取更大的话语权和收益分配权。这标志着城市产业发展逻辑正从供给驱动迈向需求牵引,从生产中心转向价值中心。

(二)内生性讨论

在本文研究中,内生性问题的主要来源应是反向因果问题。反向因果关系表现为中国城市产业链的网络地位会反过来影响城市的数字技术创新。因此,本文选取工具变量进行两阶段最小二乘估计(Two Stage Least Square, 2SLS),以验证实证结果的可靠性。本文选取的工具变量仅与数字技术创新相关,而与产业链网络地位无关,选取的工具变量仅能通过数字技术创新对产业链网络地位产生作用。借鉴黄群慧等^[19]、唐要家等^[20]的方法,本文采用 1984 年各城市的每万人邮局数量(post)作为数字技术创新水平的工具变量一,每百人固定电话订购数作为数字技术创新水平(tel)的工具变量二。回归结果见表 3。前 3 列为使用每

表 3 内生性分析:工具变量法

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	lnCentrality	lnCentrality ^{PR}	lnCentrality ^{CR}	lnCentrality	lnCentrality ^{PR}	lnCentrality ^{CR}
post	0.707 *** (0.065 5)	0.701 8 *** (0.063 6)	0.611 6 *** (0.065 3)	—	—	—
tel	—	—	—	0.739 *** (0.072 8)	0.687 *** (0.068 8)	0.687 *** (0.068 8)
常数项	-4.267 *** (0.177 1)	-4.154 3 *** (0.171 9)	-4.572 5 *** (0.176 7)	-4.198 *** (0.191 4)	-4.186 9 *** (0.180 9)	-4.186 9 *** (0.180 9)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Kleibergen-Paap rk LM	257.639 (0.000 0)	257.639 (0.000 0)	257.639 (0.000 0)	214.720 (0.000 0)	214.720 (0.000 0)	214.720 (0.000 0)
Kleibergen-Paap rk Wald F	260.073 (16.38)	260.073 (16.38)	260.073 (16.38)	216.404 (16.38)	216.404 (16.38)	216.404 (16.38)
N	27 216	27 216	27 216	27 216	27 216	27 216

注:Kleibergen-Paap rk LM 为识别不足检验统计量,Kleibergen-Paap rk Wald F 为弱工具变量检验统计量。小括号内为稳健标准误,中括号内为对应统计量的 P 值,大括号内为 Stock-Yogo 在 10% 水平上的临界值。

万人邮局数量作为数字技术创新水平的工具变量,后3列为使用每百人固定电话订购数作为工具变量。主要解释变量的系数显著为正,说明数字技术创新促进了产业网络的后向中心度和前向中心度。另外,表中报告了 *KP-LM* 统计量和 *F* 统计量,表明工具变量通过了识别不足检验和弱工具变量检验,证明工具变量的有效性,进一步印证了前文基准回归分析所得出的结论。

(三)稳健性检验

为进一步考察数字技术创新水平对城市产业链网络地位的影响,本文从替换解释变量、改变被解释变量测度方式、考虑网络滞后效应这几个方面,验证基准回归结果的稳健性。

1. 替换解释变量

考虑到数字技术创新数量的视角相对单一,并且可能存在“创新崇拜”“重数量,轻质量”等创新现象^[21]。地方政府资源配给也可能存在“劣币驱逐良币”效应,带来大量创新泡沫。这种创新泡沫可能会在一定程度上扭曲企业自主创新行为,使创新数量的增长并不等同于创新水平的提升。基于此,本文从专利质量角度对城市数字技术创新的创新质量(*quality*)进行衡量,并实证探究中国城市创新质量的对产业链网络地位的影响。参考刘霞等^[22]的研究,以被引用总次数作为专利质量,数据来自 incoPat 专利数据库。表4是将数字技术专利质量作为解释变量的回归结果,影响系数均显著为正,表明数字技术创新质量对城市产业链网络地位具有促进作用。

表4 稳健性检验:替换解释变量

变量	(1)	(2)	(3)
	$\ln Centrality$	$\ln Centrality^{PR}$	$\ln Centrality^{CR}$
$\ln quality$	0.035 1 ** (0.016 1)	0.049 *** (0.015 9)	0.044 8 *** (0.015 4)
常数项	-10.240 7 *** (1.049 7)	-15.601 3 *** (1.310 9)	-10.0169 *** (0.972 3)
控制变量	控制	控制	控制
<i>N</i>	33 978	31 422	33 978
R^2	0.584 6	0.611 3	0.591

2. 改变被解释变量测度方式

本文中采用的中心度指标是原有中心度指标的变体,综合考虑了网络联系广度、网络节点强度和网络方向性等多种要素,是具有一定创新性的网络

中心度指标。而在复杂网络分析中,传统网络指标度数中心度(*degree centrality*)也被广泛用来衡量网络地位。为进一步验证本文结论的稳健性,计算出城市产业链网络总体度数中心度($\ln C$)、出度中心度($\ln C_{out}$)和入度中心度($\ln C_{in}$),并对其进行回归。由表5可知,数字技术创新对城市产业链网络度数中心度具有显著的正向影响。

表5 稳健性检验:改变被解释变量测度方式

变量	(1)	(2)	(3)
	$\ln C$	$\ln C_{out}$	$\ln C_{in}$
$\ln DI$	0.097 5 *** (0.008 7)	0.130 2 *** (0.013 6)	0.115 4 *** (0.013 9)
常数项	-10.424 *** (0.987 5)	-13.502 *** (0.837 2)	-9.968 *** (0.746 5)
控制变量	控制	控制	控制
<i>N</i>	31 896	31 896	31 896
R^2	0.769 3	0.784 2	0.795 2

3. 考虑滞后效应

考虑到数字创新技术的吸收和应用可能存在滞后性,同时技术溢出和传递需要时间,因此创新对中国产业链网络地位的促进作用可能存在一定的滞后效应。基于此,本文对专利数据中心度进行滞后一年处理,采用2011年、2014年、2016年的专利数据进行回归。结果如表6所示,滞后的数字技术专利对中国产业链中心度、后向中心度、前向中心度存在显著的促进效应,且与基准回归基本保持一致。

表6 稳健性检验:滞后效应

变量	(1)	(2)	(3)
	$\ln Centrality$	$\ln Centrality^{PR}$	$\ln Centrality^{CR}$
$\ln DI-1$	0.176 *** (0.007 4)	0.187 7 *** (0.007 2)	0.168 5 *** (0.008)
常数项	-13.993 7 *** (1.366)	-14.969 6 *** (1.272 7)	-12.592 1 *** (1.488 1)
控制变量	控制	控制	控制
<i>N</i>	31 896	31 896	31 896
R^2	0.599 2	0.620 2	0.587 9

四、机制检验与拓展分析

前文主要考察了数字技术创新对城市产业链网络地位的影响,并发现数字技术创新对中国城市的产业链网络地位具有显著促进作用。下面进一步展开讨论,分别考察城市层面、行业层面及数字技术创新层面等对城市产业链网络地位的差异化影响。

(一)作用机制检验

1.“头雁”效应的机制检验

根据前文分析,数字技术创新的“头雁”效应体现为自身领先、引领关联产业,因此,为验证这一效应,本文从技术扩散与研发带动两个维度选取代理变量。代理变量 1:专利引用量(*Incite*)反映数字技术的外溢扩散能力,引用量越高,说明技术被其他产业借鉴的程度越强,引领作用越显著。代理变量 2:行业研发投入(*lnrd_input*):反映数字技术对产业创新活动的带动能力,投入越高,说明数字技术激发的领先创新效应越突出。回归结果如表 7 所示,第(1)列和第(2)列回归系数均显著为正,这表明“头雁”效应是数字技术创新提升产业链网络地位的有效路径。

“头雁”效应的本质是创新活动从点状突破向网络协同的演进,数字技术创新成果会通过人才流动、知识扩散、产业关联、标准引领等渠道,向产业链上下游及周边区域溢出。这一机制的经济内涵在于,数字技术创新使城市的产业链竞争力从一种资产优势转变为一种关系优势或生态优势。在这个过程中,数字技术创新不仅自身能提升产业链网络地位,还能通过技术外溢与研发带动,间接推动城市在产业链网络中形成枢纽优势。由此,验证了本文假设 2。

表 7 机制检验:“头雁”效应

变量	(1)	(2)
	<i>Incite</i>	<i>lnrd_input</i>
<i>lnDI</i>	0.027 9 *** (0.003 2)	0.032 9 *** (0.002 8)
常数项	-2.069 3 *** (0.673 6)	2.475 1 *** (0.538 2)
控制变量	控制	控制
<i>yN</i>	31 896	32 736
<i>R</i> ²	0.971 4	0.962 9

2. 优化要素资源配置的机制检验

数字技术作为通用技术,具有高渗透性,传统产业通过数字技术装备和数据要素的出现,生产效率得以提升。经济学家们很早就关注到创新和技术进步对生产率提升的重要性,因此,本文选择要素配置效率作为优化要素资源的代理变量。参照田友春等^[23]的方法,本文将实际 GDP 作为产出指标,将资本存量(用永续盘存法核算)、全社会从业人员作为投入指标测算了固定效应模型(FE)和演化的随机效应模型(SFA)的全要素生产率,并根

据计算结果进行回归分析。回归结果如表 8 所示,无论是用 FE 的测算方法还是 SFA 的测算方法,回归系数结果均显著为正。

传统的经济增长在很大程度上依赖于资本与劳动力等要素投入的持续追加,是一种外延式、规模驱动的增长。而数字技术通过优化要素资源配置,开创了一条依靠优化组合与提升效率来实现增长的内涵式道路。这意味着,一个城市能否在未来的产业链竞争中胜出,关键不再仅仅在于它拥有多少存量要素,而更在于它是否具备利用数字技术将这些要素激活并配置到最优位置的体系和能力,最终牢固确立其在该产业链网络中的核心枢纽地位。数字技术通过信息对称化、流程自动化与决策智能化,缓解了资源错配,使生产要素能够更快、更准地流向产业链中价值创造效率更高的环节与节点城市。由此,验证了本文假设 3。

表 8 机制检验:优化要素资源配置

变量	(1)	(2)
	<i>FE</i>	<i>SFA</i>
<i>lnDI</i>	0.002 6 *** (0.000 5)	0.001 ** (0.000 5)
常数项	1.030 3 *** (0.079 2)	0.701 6 *** (0.071 7)
控制变量	控制	控制
<i>N</i>	31 896	34 566
<i>R</i> ²	0.830 5	0.829 3

(二)拓展分析

1. 城市层面:基于行政等级的异质性分析

行政等级是塑造中国城市发展轨迹与资源获取能力的核心制度因素。为精准识别数字技术创新对不同能级城市产业链地位的差异化影响,本文将全国 313 个城市分为直辖市、省会城市与普通地级市。因直辖市和省会城市在资源分配、政策支持、交通便利性等方面具有一定的相似性,因此,本文将直辖市与省会城市归类为一组进行回归(见表 9)。结果显示,数字技术创新对两组城市产业链网络地位的提升均有显著的促进作用,非省会城市的影响系数将近直辖市及省会城市的两倍。对于直辖市与省会城市而言,其产业链网络地位已由历史积淀的行政中心功能、完备的基础设施及庞大的存量资本等传统优势所共同铸就,数字技术创新仅是众多驱动因素中的一员。而非省会城市在缺乏资源倾斜的情况下,产业发展的影响因素更多地取决于产业本身的技术水平。数

字技术恰恰为此类城市提供了一条打破资源枷锁、实现“换道超车”的可行路径。通过广泛应用数字技术,普通地级市的企业能够以更低的成本接入广域市场、优化生产流程、提升运营效率,从而显著增强其在区域乃至全国产业链分工中的竞争力与不可替代性。因此,数字技术创新对非省会城市的影响占比更大,影响作用更明显。

表 9 基于行政等级的分组回归结果

变量	(1)	(2)
	省会及直辖市中心度	非省会中心度
$\ln DI$	0.116 3 *** (0.020 4)	0.243 7 *** (0.005 6)
常数项	-26.297 2 *** (5.733 2)	-16.384 7 *** (1.623 2)
控制变量	控制	控制
N	3 278	28 118
R^2	0.623 9	0.523 2

2. 行业层面:基于技术密集度的异质性分析

行业内在特征是塑造数字技术创新赋能效果的关键情境。不同行业在技术构成、要素结构、创新范式与价值链位置上的本质差异,决定了数字技术融入其生产函数的方式与深度存在系统性区别,进而引致其对产业链网络地位的影响呈现显著的行业异质性。为精确捕捉这一结构性差异,本文依据行业核心生产要素的差异,将样本划分为技术密集型、资本密集型和劳动密集型三大类进行分组检验(见表 10)。回归结果表明,数字技术创新对劳动密集型与技术密集型产业的促进作用显著,而对资本密集型产业的影响相对有限。

对于技术密集型产业,其核心竞争力源于持续的研发创新与知识积累。数字技术能够直接嵌入知识生产与应用的核心环节,通过增强研发过程中的模拟仿真、数据挖掘与协同设计能力,显著加速关键核心技术的突破与应用。同时,数字技术赋能了知识的编码、传播与复用,深刻改变了技术创新范式,从而提升技术密集型产业的全要素生产率及其在全球创新网络中的节点控制力。而对于资本密集型产业来说,其发展高度依赖规模化的固定资产投入,此类产业的技术进步路径往往依赖于既有技术轨道的持续性改进,其核心竞争力构筑于资本壁垒与规模经济之上。因此,数字技术虽能带来边际效率改善,但难以在短期内颠覆其以资本和规模为核心的价值创造逻辑,导

致数字创新的边际贡献相对有限。对于劳动密集型产业来说,数字技术创新对于产业的数据资源价值及节约人力成本的优势作用在一定程度上推动了产业链网络地位的提升。

表 10 基于技术密集度的分组回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	劳动密集型	资本密集型	技术密集型
$\ln DI$	0.105 5 *** (0.019 1)	0.053 3 *** (0.011 1)	0.140 7 *** (0.016 7)
常数项	-13.378 5 *** (2.002)	-19.610 8 *** (1.904)	-16.158 *** (2.438 8)
控制变量	控制	控制	控制
N	13 243	11 354	7 299
R^2	0.620 5	0.658 2	0.681

3. 创新层面:基于专利类型的异质性分析

数字技术创新类型多元,不同类型专利映射出差异化创新路径,对城市产业链网络地位影响各有侧重。中国的专利申请以发明专利(*invent*)、实用新型(*utility*)这两类为主,本文将专利按照公开类型分组检验整体上,二类专利对产业链中心度有显著的提升作用。但是两种专利对产业链网络地位的提升作用存在较明显的差异,无论是中心度、后向中心度还是前向中心度,实用新型专利对产业链网络地位的提升作用相对更明显。从创新属性来看,发明专利侧重于原理突破与前沿探索,而实用新型专利则更具应用性与实践性,它通常直接面向生产制造环节中的具体问题,致力于工艺流程改良、产品性能优化或使用便利性提升,使其与产业链的实际运行联系更为紧密。从转化效率来看,实用新型专利具有研发周期短、技术落地快的显著优势。在瞬息万变的市场环境中,短、平、快的创新能更迅速地转化为现实生产力,直接帮助企业降本增效、提升产品竞争力,从而对城市在产业链网络中的地位产生立竿见影的提升效果。本文的发现并非简单地比较专利类型的优劣,而是揭示出在推动产业链地位提升的进程中,除了仰望星空式的原始创新,那些与产业实践深度融合、能够快速响应市场需求的迭代式和应用型技术创新,同样扮演着至关重要且不可替代的角色。这一结论为众多正处于产业升级爬坡阶段的普通地级市提供了重要的政策启示,即在鼓励原始创新的同时,也应大力培育和支持能够直接赋能传统产业的应用型技术研发与转化。

表 11 基于专利类型的分组回归结果

变量	(3)	(1)	(2)	(6)	(4)	(5)
	lnCentrality	lnCentrality ^{PR}	lnCentrality ^{CR}	lnCentrality	lnCentrality ^{PR}	lnCentrality ^{CR}
lninvent	0.160 6 *** (0.007 1)	0.168 5 *** (0.006 9)	0.158 9 *** (0.007 8)	—	—	—
lnutility	—	—	—	0.205 1 *** (0.008 2)	0.218 2 *** (0.007 9)	0.192 9 *** (0.008 9)
常数项	-13.591 9 *** (1.367)	-14.567 1 *** (1.273 8)	-12.158 5 *** (1.489)	-13.618 5 *** (1.365 8)	-14.573 6 *** (1.272)	-12.257 6 *** (1.489 5)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	31 896	31 896	31 896	31 896	31 896	31 896
R ²	0.598 4	0.619	0.587 7	0.600	0.621 1	0.588 4

六、结论对策建议

(一)研究结论

本文基于 2012 年、2015 年和 2017 年中国城市层面投入产出数据与数字技术专利数据,采用 PageRank 和 CheiRank 中心度方法测度城市产业链网络地位,系统探究数字技术创新对其的影响及机制,主要结论如下:数字技术创新对城市产业链网络地位具有显著正向驱动作用。基准回归与内生性检验均证实,城市数字技术创新水平每提升 1%,城市产业链总体地位显著提升 17.17%。从资源流动方向看,数字技术创新对需求端后向中心度(PageRank)的促进作用强于供给端前向中心度(CheiRank),说明需求牵引型数字创新更易形成产业链枢纽优势。机制检验显示,数字技术创新通过“头雁”牵引与要素协同双路径影响城市产业链网络地位。异质性分析表明:在城市维度,直辖市及省会城市的数字创新效应显著低于普通地级市,且对西部地区和中部地区的影响大于其他地区;在行业维度,技术密集型产业和劳动密集型产业的创新红利更突出;在数字技术创新维度,实用新型专利对产业链网络地位的提升作用相对更明显。

(二)对策建议

1. 强化核心技术创新,提升网络韧性与控制力

改革开放以来,我国坚持对外开放,积极吸引消化吸收国外先进技术,重大科技创新成果竞相涌入。然而,我国科技创新基础尚不牢固,原始创新能力有待提高,关键领域核心技术受制于人的局面仍未得到根本改变。习近平总书记强调“必须切实提高我国关键核心技术创新能力,把科技发展主动权牢牢掌握在自己手里,为我国发展提供有力科技保障”。加强核心数字技术创新对保障我国产业链安全稳定、防止关键时刻“掉链子”、增强产业链自主可控能力、稳固产业链网络地位

具有重要作用。为此,应强化政府在关键核心技术攻坚中的组织者角色。通过更具前瞻性的产业规划与更具针对性的制度供给,系统性地弥补市场在长期性、战略性创新投入上的不足。特别是要优化“链长”等产业治理机制的设计,使其在识别产业链薄弱环节、协调跨部门创新资源、引导创新方向等方面发挥核心枢纽作用。通过这种有为政府与有效市场的紧密结合,集中力量在关系国家产业安全的重点领域实现突破,将技术领先优势固化为持久的产业链韧性与控制力。

2. 分层推进技术渗透,实现城市与产业协同发展

数字技术与实体经济的融合发展拓宽了产业链新场景,提高传统产业的数字化渗透率、激励产业链网络中各个主体城市数字技术创新应用,实现跨产业部门的信息流畅共享,进而增强产业链内各成员间的协作能力,提升整个产业链的竞争力和市场地位。一方面,按城市能级制定阶梯化渗透路径,如北上广深等高能级城市,聚焦技术原创和标准输出,建设产业链数字孪生平台,主导国际标准制定。中低能级城市推行场景驱动及链式改造,选择一至两个优势产业,导入成熟技术,降低中小企业数字化成本。另一方面,结合区域发展特征,以京津冀、长三角等城市群为试点,建立数字技术专利共享库与产业链分工协作平台,促进核心城市与中小城市的创新资源互补。还可建立产业链内部的数据共享平台,实现信息的透明化和实时更新,促进各环节之间的信息同步和资源共享。通过对数字技术渗透率的提升,结合城市区域发展特色,产业链各环节专注于自身核心优势,推动产业分工更加细化和专业化,从而占据更有利的地位。

3. 培育数字产业链主企业,打造产业网络核心节点

通常情况下,由于业务领域的广泛性和企业

实力的显著差异,产业链中往往存在一个或少数几个核心企业,它们扮演着领导者的角色,也是具有“头雁效应”的核心企业。这些核心企业在战略、业务或技术方面的变革,也会对其他企业产生深远影响。因此,充分利用这些核心企业和集成平台的引领作用,能够显著提升整个产业链的生产效率、生产质量和技术水平。一些大型数字平台企业在行业中占据重要地位,其连接着大量的企业客户和消费者,拥有强大的规模实力,通常具备出色的大数据收集和处理能力,选择这些平台企业作为“链主”企业将在推广数据接口和质量标准方面具有显著优势。再者,数字企业通过知识扩散与技术溢出,显著提升了传统企业的运营效率和市场响应能力。这一赋能效应促使传统企业能够将有限的资源重新配置到研发、品牌、营销等高端服务环节,推动我国产业向具有更高附加值和话语权的两端延伸,从而奠定了在产业链网络中更为有利的分工地位。核心企业作为行业或产业引领者往往具有较强的前瞻性和影响力,核心企业的率先发展会通过先进的技术和产业组织方式,大幅度带动产业链上下游企业一同进步。因此,政策着力点应聚焦于构建支撑专精特新企业发展的良性生态体系。通过精准培育一批在细分领域具备专业化优势的“小巨人”企业,并强化其与产业链核心企业的协同创新,能够有效填补技术空白、增强产业链的节点控制力。随着数字化转型的深入,这些专注于高端数字产业的“小巨人”企业,将凭借其深厚的技术积淀成为提升我国产业链整体网络地位的核心驱动力。

参考文献:

- [1] 戚聿东,张天硕. 数字经济赋能产业链现代化的机理与路径[J]. 中共中央党校(国家行政学院)学报,2024,28(2):88-95.
- [2] 江小涓,孟丽君. 内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环:国际经验与中国实践[J]. 管理世界,2021,37(1):1-19.
- [3] 刘斌,顾聪. 互联网是否驱动了双边价值链关联[J]. 中国工业经济,2019(11):98-116.
- [4] 张鹏杨,张硕. 数字全球价值链参与如何稳定企业产出波动[J]. 经济管理,2022,44(7):5-22.
- [5] 齐俊妍,任奕达. 数字经济渗透对全球价值链分工地位的影响:基于行业异质性的跨国经验研究[J]. 国际贸易问题,2021(9):105-121.
- [6] BALDWIN R, VENABLES A J. Spiders and snakes: offshoring and agglomeration in the global economy[J]. Journal of international economics, 2013, 90(2): 245-254.
- [7] BANGA K. Digital technologies and product upgrading in global value chains: empirical evidence from Indian manufacturing firms[J]. The European journal of development research, 2021, 34(1):1-26.
- [8] 吕越,陈帅,盛斌. 嵌入全球价值链会导致中国制造的“低端锁定”吗? [J]. 管理世界, 2018, 34(8):11-29.
- [9] NAMBISSANS, LYYTINEN K, MAJCHRAZK A, et al. Digital innovation management: reinventing innovation management research in a digital world[J]. MIS quarterly, 2017, 41(1):223-238.
- [10] 王娜,张倩肖,胡静寅. 产业链“链长制”如何影响企业韧性:理论依据与经验事实[J]. 中国软科学,2024(10):43-55.
- [11] 张天硕,王陆舰,武艳芳. 数字化水平对全球价值链网络地位的影响研究[J]. 经济经纬,2024,41(3):54-67.
- [12] ANTRAS P. Conceptual aspects of global value chains [J]. The world bank economic review, 2020, 34(3):551-574.
- [13] 王静. 数智供应链金融赋能产业链供应链安全稳定高效发展[J]. 中国软科学,2025(3):43-56.
- [14] CRISCUOLO C, TIMMIS J. The changing structure of global value chains: are central hubs key for productivity? [J]. International productivity monitor, 2018 (34): 64-80.
- [15] 曲如晓,王陆舰,邓颖. 全球产业链中心地位与中国企业创新:基于复杂网络视角[J]. 世界经济,2025,48(6):39-68.
- [16] 王陆舰,邓颖,张天硕. 中国在全球产业链网络中的地位演变[J]. 国际贸易,2023(12):15-28.
- [17] YOO Y, HENFRIDSSON O, LYYTINEN K. Research commentary-the new organizing logic of digital innovation: an agenda for information systems research. [J]. Information systems research, 2010, 21(4):724-735.
- [18] 黄勃,李海彤,刘俊岐,等. 数字技术创新与中国企业高质量发展:来自企业数字专利的证据[J]. 经济研究, 2023,58(3):97-115.
- [19] 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.
- [20] 唐要家,王钰,唐春晖. 数字经济、市场结构与创新绩效[J]. 中国工业经济,2022(10):62-80.
- [21] 余泳泽,张先轺. 要素禀赋、适宜性创新模式选择与全要素生产率提升[J]. 管理世界,2015(9):13-31,187.
- [22] 刘霞,曲如晓,张天硕. 外国专利的产业关联效应:技术扩散还是竞争封锁[J]. 经济管理,2023,45(11):89-111.
- [23] 田友春,卢盛荣,靳来群. 方法、数据与全要素生产率测算差异[J]. 数量经济技术经济研究,2017,34(12):22-40.