doi. 10. 3724/1005-0566. 20260312

数字创新网络嵌入能否拓展城市实体技术创新边界：基于中国294个城市的实证研究

付振康[1]，彭启宁[2,3]，朱庆华[1]

（1. 南京大学信息管理学院，江苏　南京　210023；
2. 中国科学院成都文献情报中心，四川 成都　610299；
3. 中国科学院大学经济管理学院，北京　100190）

摘　要：实体经济产业技术创新突破是推动经济高质量发展和加快形成新质生产力的重要动力。本文基于2011—2023年中国294个城市的面板数据，考察了数字创新网络嵌入对城市实体技术创新边界的影响。研究发现，数字创新网络嵌入显著拓展了城市实体技术创新边界。机制分析表明，数字创新网络通过提升数字技术创新能力、促进数实融合和激发创业活力，优化实体技术创新中的知识生产、知识应用与知识价值实现过程，进而推动实体技术创新边界拓展。异质性分析表明：地方政府数字技术关注度强化了这一作用，而城市数字经济发展水平和知识产权保护强度对其具有一定弱化效应；该作用在资源禀赋较高的城市中更为显著。研究结论为推进数字经济与实体经济深度融合、促进实体经济高质量发展以及区域创新发展提供了经验证据和政策启示。

关键词：数字创新网络；数字经济；实体经济；区域创新；技术创新边界

中图分类号：F293. 1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1005－0566(2026)03－0135－14

Can digital innovation network embedding expand the boundaries of regional technological innovation? Empirical evidence from 294 cities in China

FU Zhenkang[1], PENG Qining[2,3], ZHU Qinghua[1]

(1. *School of Information Management*, *Nanjing University*, *Nanjing* 210023, *China*;
2. *National Science Library* (*Chengdu*), *Chinese Academy Sciences*, *Chengdu* 610299, *China*;
3. *School of Economics and Management*, *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100190, *China*)

Abstract: Technological innovation breakthroughs in the real economy are important driver of high-quality economic development and the accelerated formation of new quality productive forces. Using panel data for 294 Chinese cities from 2011 to 2023, this study examines the impact of digital innovation network embeddedness on the technological innovation boundary of the urban real economy. The findings show that digital innovation network embeddedness significantly expands this boundary. Mechanism analysis indicates that digital innovation networks optimize knowledge production, knowledge application, and knowledge value realization in real-economy technological innovation by enhancing digital

基金项目：国家社会科学基金重大项目(22&ZD327)；江苏省研究生科研创新划项目(KYCX24_0104)。

作者简介：付振康(1996—)，男，山东泰安人，南京大学信息管理学院，博士研究生，研究方向为技术与创新管理、区域创新、知识产权情报。通信作者：彭启宁。

technological innovation capability, promoting the integration of the digital and real economies, and stimulating entrepreneurial vitality, thereby expanding the technological innovation boundary. Heterogeneity analysis further shows that local governments' attention to digital technology strengthens this effect, whereas the level of urban digital economy development and the strength of intellectual property protection weaken it to some extent. In addition, the effect is more pronounced in cities with higher resource endowments. These findings provide empirical evidence and policy implications for deepening the integration of the digital and real economies, promoting high-quality development of the real economy, and advancing regional innovation-driven development.

Key words: digital innovation network; digital economy; real economy; regional innovation; technological innovation boundaries

实体经济是立国之本、强国之基和富国之源，是现代产业体系的压舱石，也是提升综合国力和国际竞争力的关键力量，为中国式现代化奠定了坚实的物质根基[1]。党的二十大报告强调，应把经济发展重点聚焦于实体经济，同时加快推动创新驱动发展战略，以创新为引擎促进实体经济高质量发展。2025 年政府工作报告也提出了“提升国家创新体系整体效能”的战略部署，进一步明确了创新在经济高质量转型发展过程中的重要作用。然而，原始创新能力薄弱、区域同质化竞争和路径依赖等问题，对实体经济的发展形成一定掣肘。如何摆脱固有创新模式和路径依赖，发挥各地区的比较优势，有效盘活和优化创新资源组合配置，推动区域实体经济产业技术创新突破，以技术创新增量带动实体经济发展增量，进而实现因地制宜发展新质生产力的战略目标成为急需深入探究的问题。

创新网络作为实现区域协调发展的基础载体，其在优化资源配置、促进创新主体协同和推动价值共创方面发挥着重要作用[2]，是解决上述问题的关键。但是，传统创新网络仍然存在创新资源分散、协同效率低下以及地理距离约束等问题[3-4]，导致整体创新效能偏低，不利于推动实体技术创新的突破式发展。在数字化浪潮下，人工智能、大数据和云计算等关键数字技术克服了传统创新网络的局限，使人才、技术、知识、资本等创新要素突破时空限制，实现更高效的跨域流动与协同配置[5]，推动城市之间形成以数字创新为纽带的网络化空间结构。相较于传统创新网络，这种以数字技术为底座的数字创新网络更有利于推动数字技术向实体产业渗透[6]，促进创新主体利用数字技术，整合多元创新资源和新型发展动能，催生新业态和新模式，进而重塑实体经济中的知识流动与创新生成逻辑[7]，推动实体产业技术创新突破与产业能级提升。然而，现有研究对于数字创新网络的关注仍较为匮乏，数字创新网络如何赋能区域实体技术创新成为亟待研究的重要问题。基于此，本文提出以下研究问题：城市数字创新网络嵌入能否以及通过何种路径拓展实体技术创新边界？

为探究上述问题，本文从实体技术创新边界拓展的视角，考察数字创新网络驱动实体技术创新的内在机制。不同于以创新产出数量或技术改进幅度为核心的传统创新绩效视角，技术创新边界更强调技术创新活动在技术搜索空间及其演化轨迹上的结构性变化，关注创新主体是否突破既有技术领域组合与路径约束，进入新的技术空间开展重组性创新[8]。与利用式或增量式创新主要沿既有技术轨道进行渐进改进、技术领域结构相对稳定不同[9]，技术创新边界拓展并不以单一技术性能提升为目标，而是更加注重跨技术领域的知识重构，其核心在于打破原有技术组合结构，推动技术体系向新的领域和应用空间延伸[8,10-11]。与探索式创新相比，二者同属高强度、根本性和激进性的异质性创新活动[8-9]，但在内涵上仍存在差异。探索式创新主要强调知识获取方式和学习深度的变化，更关注在既有技术范畴内通过引入新知识、新技能开展试验性探索，以拓展知识广度并更新知识基础[9]，但并不必然突破原有技术轨道。相较之下，技术创新边界拓展更突出技术搜索空间的外延扩张以及创新轨迹对既有技术路径的显著偏离，其结果通常

表现为新技术领域的生成、新技术组合的涌现以及既有技术范式适用范围的突破[8, 10, 12]。因此，技术创新边界拓展可以被视为介于探索式创新与技术范式变革之间的一种关键创新形态。它并不必然意味着对既有技术范式的完全替代，而是通过跨领域融合与技术重组推动技术体系发生结构性演化，并为更深层次的技术跃迁与技术路径颠覆奠定基础。

现有研究表明，技术创新边界拓展所对应的异质性创新活动，通常具有高度复杂、系统耦合和层级分化等特征，并伴随较高的不确定性、投入成本与研发周期[4]。在资源禀赋差异显著以及主流市场进入壁垒约束下，仅依靠组织内部知识与资源，往往难以支撑此类创新活动的有效开展。这意味着，技术创新边界拓展在更大程度上依赖于创新网络的外部支撑。数字创新网络依托开放接口和多源数据汇聚机制[6]，能够推动分散于不同行业、地域及学科边界之外的异质性知识与应用场景加速汇聚[13]，为创新主体提供更广阔的要素重组空间，从而缓解技术路径锁定，持续激发异质性创新潜力。同时，数字创新网络还有助于降低交易成本、知识搜索成本和时空障碍[4]，释放数据要素赋能传统生产要素的潜力[14]，进而为实体产业技术创新和产业能级提升注入持续动力。由此，数字创新网络所带来的异质性创新资源及兼具专有性与流动性的数字生产要素，可能成为城市实体产业深化数实融合、实现跨越式发展的重要突破口。

本文在现有的研究基础上，利用中国城市之间数字技术联合申请专利数据构建了城市尺度下的数字创新网络，采用专利的 IPC 分类号测度城市实体技术创新边界，构建了 294 个城市 2011—2023 年的面板数据，实证检验数字创新网络嵌入对于区域实体技术创新边界拓展的影响以及潜在的机制路径，以期为深化实体经济和数字经济深度融合，推动城市经济高质量发展和新质生产力发展提供经验支撑和政策启示。本文的边际贡献主要体现在以下 3 个方面：第一，从区域协同创新网络视角出发，进一步揭示数字经济情境下区域协同创新网络组织形态与区域创新绩效之间的内在联系；第二，围绕实体产业技术创新突破与产业能级提升这一核心问题，丰富了影响实体技术创新边界拓展的因素研究；第三，基于创新价值链理论，从技术创新价值实现过程的视角出发，为城市数字创新网络嵌入影响城市实体技术创新边界的作用机制提供了新的解释路径。

一、理论分析与研究假设

（一）数字创新网络嵌入与城市实体技术创新边界

数字创新网络本质上是以数字技术和数据要素为基础的知识创造体系，网络内多元主体围绕知识生成、整合与传播展开持续互动。结合熊彼特“创新即要素重组”[15]、知识基础观[16]和创新价值链理论[17]，本文认为，城市嵌入数字创新网络后，实体技术创新实质上是创新主体依托区域内优势资源与区域间互补性资源，完成知识生产、知识应用与价值实现的动态过程。具体而言，在知识生产阶段，数字创新网络作为资源配置机制，拓展了异质性资源的获取范围，夯实了创新的资源基础；在知识应用阶段，数字化手段提升了资源搜索、匹配与整合效率，增强了创新主体识别技术机会和开展跨域融合的能力；在价值实现阶段，跨区域协同进一步形成价值共创机制，推动创新成果向新产业、新业态和新场景转化，并通过反馈效应持续优化网络结构。由此，数字创新网络嵌入通过改变资源获取方式、提升资源配置效率和优化价值实现路径，深刻影响城市实体产业技术创新进程，并推动实体技术创新边界拓展。

在资源获取维度，数字创新网络改变了创新要素的获取方式，为实体技术创新边界拓展提供了必要条件。相较于一般创新活动，技术创新边界拓展对异质性知识资源的依赖更强，而此类资源往往分散于不同地区创新主体之中，受地理距离、认知差异和制度约束影响，获取成本较高、效率较低。数字创新网络则凭借高连接性、异质性和多中心结构，突破了传统网络的空间约束与资

源分割,使城市能够在更大范围内高效连接知识、人才、资本和数据等创新要素[3],从而降低跨区域知识流动门槛,拓展资源获取范围,提升资源发现与协同效率。创新主体据此能够更快识别并吸收外部异质性资源,在自身资源基础上持续积累多元创新要素,为实体技术创新边界拓展提供支撑。

在配置效率维度,数据作为数字创新网络的核心生产要素,会重塑资源整合与重组方式,并提升实体技术创新边界拓展过程中的资源配置效率。随着城市嵌入数字创新网络,城市间协同互动不断增强,创新要素逐步沉淀并汇聚形成数据要素[18]。数据要素具有可复制、非竞争性和快速流动等特征,使原本分散于不同城市的创新资源能够在统一框架下实现快速对接与重组。网络中的多元主体据此能够更高效地搜索、编排并整合创新资源,形成系统性数字化解决方案。这不仅提升了资源匹配度和利用效率,也增强了城市在复杂环境下开展跨域要素重组和资源编排的能力,从而有助于突破既有路径依赖,推动实体技术创新边界持续拓展,并带动产品架构、商业模式和应用场景迭代。

在价值实现维度,数字创新网络嵌入不仅优化了技术成果的扩散路径和市场转化机制,也强化了推动实体技术创新边界拓展的内生激励作用。一方面,数字平台和网络化生态通过降低技术扩散门槛、提高用户反馈速度和市场匹配效率,使创新成果能够更快地由概念原型转化为商业化应用。这种更高效的价值实现路径提升了创新回报的可预期性,强化了创新主体持续探索实体技术新领域和新应用空间的激励。另一方面,网络中的多边协同形成价值共创机制,促进知识再利用和成果多元转化。不同类型创新主体围绕同一技术成果开展多样化价值延伸活动,增强了创新成果的溢出效应与跨领域适应性,从而推动实体技术在新的产业链节点、新兴消费场景和区域发展空间中实现再造。

基于上述分析,本文提出以下核心假设。

假设 1:数字创新网络嵌入能够拓展城市实体技术创新边界。

(二)数字创新网络嵌入拓展城市实体技术创新边界的作用机制

1. 数字技术创新机制

数字创新网络嵌入有助于提升城市数字技术创新能力,扩展数字知识存量,为实体技术领域的重组创新提供知识基础和技术机会,进而增强城市实体技术创新重组能力。依托数字创新网络多中心、高连接和跨域协同的结构特征,城市能够更广泛地链接外部创新主体,拓展数字技术知识搜索空间,提升知识边界跨越和多元知识组合的可能性[4],从而为数字技术持续创新提供异质性知识基础。在此过程中,城市间跨学科知识转化、数据要素流动与技术信号整合不断强化,进一步推动技术路径重构和组织模式优化,提升城市数字技术创新能力。更为重要的是,数字技术创新能力提升拓展了区域技术知识搜索空间,降低了知识获取成本,并提高了实体技术知识生产效率[19]。随着数字知识与实体技术知识在创新过程中的融合积累,城市数字知识存量不断扩张,进而弥补实体技术创新边界拓展过程的知识基础约束,为实体技术领域重组创新提供方向和条件[20]。基于此,本文提出以下假设。

假设 2:数字创新网络嵌入能够提升城市数字技术创新能力,进而拓展城市实体技术创新边界。

2. 数实融合赋能机制

数字创新网络嵌入有助于提升城市实体经济产业的数实融合水平,进而增强城市实体技术创新过程中的资源整合与应用能力。随着城市嵌入数字创新网络,数据、算法、算力等数字要素与实体技术创新要素在“设计—制造—服务”链条中实现高效协同,显著降低了跨环节研发、沟通与试错成本[21]。在这一过程中,数字技术不再只是连接各类要素的媒介,而是深度嵌入知识生成、技术演化和产业重构全过程[22]。依托云协同平台、数字孪生、边缘计算和人工智能等关键数字技术,创新主体能够实现设计、制造与服

务的一体化联动,推动数据、驱动知识更快转化为可执行的创新活动。由此,数实融合进一步促进“产品—服务—数据”深度耦合,催生服务型制造、柔性定制、远程运维等新模式和新场景,并重塑传统产业创新价值链。与此同时,数实融合水平提升也增强了区域创新主体在技术融合、场景拓展和不确定性需求下的组织韧性与系统集成能力。因此,数字创新网络通过提升城市数实融合水平,强化资源整合与应用能力,为城市实现实体技术跃迁和传统产业重构提供了重要支撑。基于此,本文提出以下假设。

假设3:数字创新网络嵌入能够提升城市数实融合水平,进而拓展城市实体技术创新边界。

3. 创业活力提升机制

数字创新网络嵌入还能够提升城市创新主体的创业活力,进而优化实体技术知识创新成果的价值实现过程。数字创新网络依托平台化治理结构和低门槛技术工具,降低了创业进入壁垒,促进了创新主体之间的高频互动与资源链接,推动形成具有快速反馈和持续迭代特征的创新创业生态[23]。在这一过程中,信息不对称程度下降,资源配置更加灵活,创业者能够更快获取技术、市场、资本和用户反馈等多维资源,加速技术原型向商业化应用转化[24]。创业活力的提升进一步推动新产品、新业态和新场景不断涌现,促使技术成果突破既有产业范式和组织模式约束,带动实体技术应用边界外延扩展。由此,区域经济能够在“创新—创业—再创新”的动态循环中持续积累新动能,从而推动实体技术创新实现边界跃迁[25]。综上,本文提出以下假设。

假设4:数字创新网络嵌入能够提高城市创新主体的创业活力,进而拓展城市实体技术创新边界。

本文构建的逻辑概念模型如图1所示。

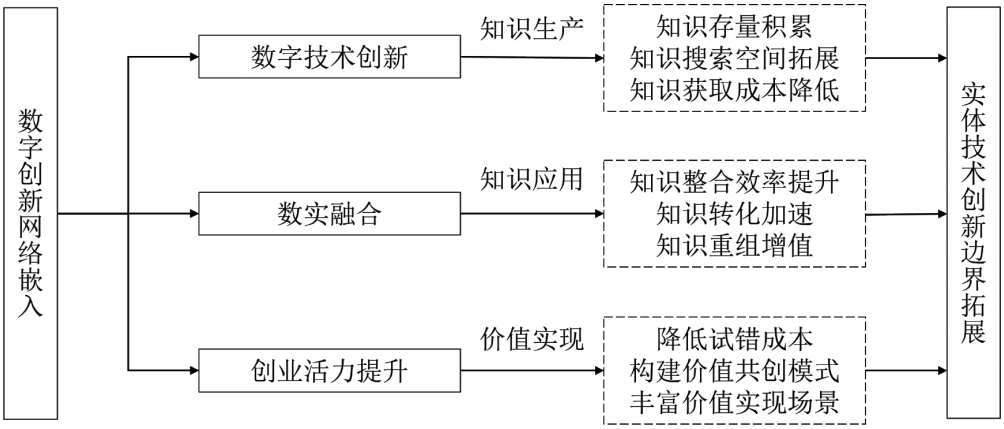


图1　城市数字创新网络嵌入促进实体技术创新边界拓展的逻辑框架

二、研究设计

(一)变量测度

1. 区域实体技术创新边界

本文采用实体技术所涉及的新技术领域数量衡量实体技术创新边界。具体而言,参考黄先海等[10]的做法,本文将城市层面发明专利申请的IPC主分类号与国家知识产权局发布的《数字经济核心产业分类与国际专利分类参照关系表(2023)》(以下简称《参照关系表》)进行匹配。若某项专利的IPC主分类号能够在《参照关系表》中找到对应关系,则将其识别为数字技术专利;否则,将其界定为实体技术专利。在此基础上,借鉴沈坤荣等[8]对企业实体技术创新边界的测度思路,本文在IPC大组层面汇总各城市历年发明专利申请所涉及的实体技术领域,并将其界定为城市既有实体技术领域技术池。若某城市当年新增专利涉及的IPC大组此前从未出现,则将该IPC大组认定为该城市当年的新实体技术领域。进一步地,本文对城市—年份层面新增实体技术领域的数量进行加总,并在加1后取自然对数,构造城市实体技术创新边界指

标,记为 *TechBound*。*TechBound* 数值越大,表明城市实体技术创新边界拓展程度越高。为更全面刻画城市实体技术创新边界拓展,本文进一步构建技术空间相似度指标(*TechPro*)、技术多样化指标(*Diversity*)和新技术组合指标(*NumTechComb*),将其作为城市实体技术创新边界拓展的替代性测度进行稳健性检验。

城市技术空间相似度指标可定义为城市在 t 年全部专利所形成的技术向量空间与 $t-1$ 年技术向量空间之间的相似度,该指标能够刻画城市技术创新轨迹的演化特征。具体而言,指标值越大,表明城市当期技术空间与上一期越接近,技术研发活动更多沿既有技术轨道展开;指标值越小,则说明城市技术创新相对偏离原有技术路径,开始进入新的技术搜索空间。技术空间相似度指标的计算公式为:

$$TechPro_{c,t} = \frac{T_{c,t} \cdot T'_{c,t-1}}{\sqrt{(T_{c,t} \times T'_{c,t})(T_{c,t} \times T'_{c,t} - 1)}} \quad (1)$$

式中,$T_{c,t}$ 表示城市 c 第 t 年的 IPC 小类代码的空间向量分布,$T_c = (x_{c,1}, x_{c,2}, \cdots\cdots x_{c,1})$,$x_{c,k}$ 为城市 c 在 k 类技术领域当中的专利申请量占专利申请总量的比重。

技术多样化衡量城市不同实体技术领域的技术丰富度。本文基于信息熵思想,从技术领域的"集中"与"分散"程度出发,对城市实体技术多样化水平进行测度。该指标同时考虑技术领域的类别数量及各领域专利申请数量分布。指标值越大,表明城市技术多样化程度越高,技术创新边界越宽。本文参考卞元超等[26]的做法,公式为各个城市的技术多样化指标:

$$Diversity_{c,t} = \sum_{k=1}^{n} Patent_{ct}^{k} \ln\left(\frac{1}{Patent_{ct}^{k}}\right) \quad (2)$$

式中,$Patent_{ct}^{s}$ 是 IPC 四位码所表示的技术小类 s 的专利申请量占城市 c 第 t 年专利申请总量的比重。n 为城市 c 第 t 年涉及的 IPC 小类总量。

对于新技术组合数量,本文采用专利所涉及的 IPC 小类技术组合进行测度。具体而言,本文在 IPC 小类组合层面,汇总各城市历年发明专利申请所涉及的技术组合,构建城市既有技术组合集合。若某城市当年新申请专利中包含的 IPC 小类组合此前未曾出现,则将其认定为新技术组合。进一步地,对城市—年份层面新增技术组合的数量进行加总,并在加 1 后取自然对数,构造新技术组合指标(*NumTechComb*)。

2. 数字创新网络

本文基于合作专利申请数据构建城市数字创新网络。具体做法是:在识别出的数字技术专利中,筛选申请人数量不少于 2 的联合申请专利,提取申请人的企业工商注册地址,并借助高德地图地址解析工具识别申请人所在城市,形成"专利申请号—申请人城市"对应数据。在此基础上,采用全部计数法,以城市为节点、城市间合作次数为边权重,逐年构建城市数字创新网络。只要同一件专利中同时出现一对城市,即记为两城市间发生一次合作;若申请人均位于同一城市,则不计入网络。本文采用网络的加权程度中心度(*wdegree*)衡量城市嵌入数字创新网络的程度。该指标同时考虑节点连接数量及边权强度,能够较好刻画城市在网络中的连接地位及其与其他城市的联系强度。*wdegree* 越大,表明城市数字创新网络嵌入程度越高。其计算公式为:

$$wdegree_{c,t} = \sum_{i \in N(c)} w_{ci,t} \quad (3)$$

式中,$wdegree_{c,t}$ 表示城市 c 在第 t 年的数字创新网络中的加权度。$N(c)$ 表示在数字创新网络当中与城市 c 直接相连的邻居节点的集合。$w_{ci,t}$ 表示在第 t 年的数字创新网络当中城市 c 和城市 i 之间的边权重。

3. 控制变量

为缓解遗漏变量可能带来的估计偏误,本文在模型中控制以下城市层面变量:经济发展水平(*PGDP*),以人均 GDP 加 1 取自然对数衡量;研发投入强度(*RDE*),以科学技术支出占 GDP 比重衡量;教育投入强度(*EDE*),以教育支出占 GDP 比重衡量;人力资本水平(*HC*),以城市就业人员数量加 1

取自然对数衡量;产业结构高级化水平(*INDUST*),以第三产业产值与第二产业产值之比衡量;资本投入水平(*INVEST*),以全社会固定资产投资总额加1取自然对数衡量;金融发展水平(*FID*),以年末金融机构存贷款余额与地区生产总值之比衡量;政府干预水平(*Gov*),以财政支出占GDP比重衡量。

(二)样本选择与数据来源

基于数据可得性和样本完整性,本文选取2011—2023年294个城市作为研究样本。数字创新网络和实体技术创新边界相关数据均来源于国家知识产权局专利数据库。考虑到专利从申请到公开存在一定时滞,为尽可能降低由此带来的系统性偏差,本文系统收集了1985—2024年国家知识产权局公开的全部发明专利和实用新型专利申请数据。经过去重并剔除关键信息缺失样本后,最终获得3 969.5万条专利申请记录。城市层面控制变量主要来源于历年《中国城市统计年鉴》《中国城乡建设统计年鉴》《中国科技统计年鉴》,并辅以各省市统计公报和统计年鉴。对少量缺失值,采用线性插值法进行补充,最终得到包含3 307个城市—年份观测值的不平衡面板数据。数据描述性统结果详见表1。

表1　数据描述性统计分析结果

变量	观测值	均值	标准差	最大值	最小值
TechBound	3 307	2.550	0.605	4.255	0.301
wdegree	3 307	1.585	0.792	4.479	0.301
PGDP	3 307	4.732	0.231	5.423	3.925
RDE	3 307	0.003	0.003	0.063	0
EDE	3 307	0.054	0.092	1.648	0.009
HC	3 307	1.578	0.386	2.994	0
INSDUST	3 307	1.155	0.631	5.929	0.113
INVEST	3 307	0.797	0.486	8.635	0
FID	3 307	2.758	1.336	21.302	0.001
Gov	3 307	0.189	0.103	0.916	0.028

(三)模型设定

本文采用双向固定效应模型进行基准回归,以检验数字创新网络对区域实体技术创新边界的影响。具体设定为:

$$TechBound_{c,t} = \alpha_0 + \alpha_1 wdegree_{c,t} + \alpha_2 X_{c,t} + \gamma_t + \mu_c + \varepsilon_{c,t} \quad (4)$$

式(4)中,$TechBound_{c,t}$表示城市c在第t年的实体技术创新边界,$wdegree_{c,t}$表示城市c在第t年的数字创新网络嵌入程度,$X_{c,t}$表示城市层面的控制变量集合,γ_t、μ_c分别为年份固定效应和城市固定效应,$\varepsilon_{c,t}$为随机扰动项。α_1为数字创新网络嵌入程度的回归系数,若其显著为正,则表明数字创新网络嵌入对城市实体技术创新边界的拓展具有显著正向作用,从而验证本文理论假说。

三、实证结果及分析

(一)基准回归结果分析

表1报告了数字创新网络嵌入对城市实体技术创新边界的基准回归结果。列(1)仅考察城市数字创新网络嵌入程度对实体技术创新边界的影响;列(2)在此基础上加入控制变量;列(3)进一步控制年份固定效应;列(4)同时引入年份和城市固定效应。结果显示,*wdegree*的回归系数均在1%水平显著为正,表明数字创新网络嵌入能够显著扩大城市实体技术创新边界,即嵌入程度越高,城市的实体技术创新空间越大。在控制城市层面相关变量、年份固定效应和城市固定效应后,*wdegree*的回归系数为0.042 8,并在1%显著水平均为正,表明城市在数字创新网络中的嵌入程度每提高1%,其对实体技术创新边界的拓展效应将增加约0.043%,这一结果与本文理论分析中的预期一致,假设1得以支持。

表2　基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	TechBound	*TechBound*	*TechBound*	*TechBound*
wdegree	0.576***	0.257**	0.190***	0.043*
	(0.009	(0.011	(0.023)	(0.017
常数项	1.637**	0.280	0.738**	1.285***
	(0.015)	(0.172)	(0.217	(0.271)
观测值	3 307	3 307	3 307	3 307
R^2值	0.570	0.763	0.792	0.948
控制变量	否	是	是	是
年份固定效应	否	否	是	是
城市固定效应	否	否	否	是

注:***、**、*分别表示在$p<0.01$、$p<0.05$、$p<0.10$时有统计学意义。括号内为稳健标准误。后续回归分析均控制年份和城市固定效应。若无特殊情况,下同。

(一)内生性检验

本文内生性问题的主要来源是反向因果问题。具体而言,实体技术创新能力较强、创新边界

更易拓展的城市,往往具有更强的创新资源集聚能力、技术合作基础和跨区域链接能力,因此也更可能在数字创新网络中处于更高的嵌入位置。基于此,本文构建了两类工具变量,采用两阶段最小二乘估计(2SLS)方法进行分析,以确保估计结果的稳健性。

首先,本文选取某城市所在省份当年其他城市加权程度中心度的均值(剔除该城市自身)作为第一类工具变量(*iv*1)。在相关性方面,同一省份内城市在地理邻近、产业联系和政策环境等方面具有较强相似性,其数字创新网络嵌入程度往往存在明显关联,因此省内其他城市的网络嵌入水平与本城市的网络嵌入程度高度相关。在外生性方面,单个城市在数字创新网络中的嵌入程度通常不足以影响整个省份其他城市的网络连接状态,因而该工具变量不会直接作用于本城市实体技术创新边界,基本满足工具变量的外生性要求。

第二,通过剔除加权程度中心度分布处于前10%的城市,构建虚拟数字创新网络,进而估计工具变量。以基准回归式(4)为例,可以将 $wdegree_{c,t}$ 拆分为以下两个部分:

$$wdegree_{c,t} = wdegree_drop_{c,t} + \Delta wdegree_{c,t} \tag{5}$$

式(5)中,$wdegre_drop_{c,t}$ 表示剔除数字创新网络中加权程度中心度排名前 10% 城市节点后的虚拟网络中,城市 c 在年份 t 的嵌入程度;而 $\Delta wdegree_{c,t}$ 则表示将这些前 10% 的高中心度城市节点重新纳入网络后,该城市嵌入程度的变化量。由于加权程度中心度值排名靠前的城市是数字创新网络中的关键枢纽节点,所以 $wdegree_{c,t}$ 得主要信息来源于 $\Delta wdegree_{c,t}$,$wdegre_drop_{c,t}$ 所提供的信息量有限,即可以得到 $cov(\Delta wdegree_{c,t}, wdegree_drop_{c,t} \mid X_{c,t}) = 0$。同时,在数字创新网络当中,加权程度中心度值高的节点通常有更多的资源和信息流动的机会,这使得它们不仅仅集中在某一小圈子内,而是在整个网络中发挥作用。这些城市节点可能通过协作和资源分配等方式影响多个节点,但它们与某一城市之间的关系可能并不是直接、频繁的。此外,对于度值较小的城市节点而言,更加倾向于择优连接,而非进行全局连接。因此,尽管度值排名靠前的城市是整个创新网络中的重要节点,但对于某一城市节点来说是相对外生的。基于此,可以进一步得到 $cov(\Delta wdegree_{c,t}, \varepsilon_{c,t} \mid X_{c,t}) = 0$。相应地,式(4)可以进一步修改为:

$$TechBound_{c,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta wdegree_{c,t} + \alpha_2 X_{c,t} + \gamma_t + \mu_c + \delta_{c,t} \tag{6}$$

式(6)中,$\delta_{c,t} = \alpha_1 wdegree_drop_{c,t} + \varepsilon_{c,t}$。根据上述分析,对于基准回归模型,可以使用根据虚拟网络构建的变量 $\Delta wdegree_{c,t}$ 作为核心解释变量 $wdegree_{c,t}$ 的工具变量(*iv*2)。

2SLS 模型的估计结果如表 3 所示。结果显示:针对两个工具变量的 KP – LM 检验,p 值均在 1% 水平显著,表明不存在工具变量识别不足的问题;Wald F 检验值分别为 20.323 和 11 000,均高于 Stock-Yogo 弱工具变量检验的 10% 临界值 16.38,说明弱工具变量问题不显著。表 3 中列(1)和列(3)显示,*iv*1 和 *iv*2 的回归系数在 1% 显著水平均为正,表明工具变量满足相关性要求。进一步地,在列(2)和列(4)中,*wdegree* 的回归系数在 1% 显著水平均为正,说明在控制内生性影响后,数字创新网络嵌入对城市实体技术创新边界的促进作用仍然显著,支持了本文基准回归结果。

表 3　内生性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	wdegree	*TechBound*	*wdegree*	*TechBound*
wdegree	—	0.378 8 ** (0.153 8)	—	0.052 *** (0.014)
*iv*1	0.352 *** (0.103)	—	—	—
*iv*2	—	—	0.830 *** (0.011)	—
常数项	1.235 ** (0.543)	—	0.077 (0.228)	—
观测值	3 254		2 913	
KP-LM 统计量	12.774 ***		738.530 ***	
F 统计量	20.323		11 000	
R^2 值	0.881 1	−0.349 5	0.965 8	0.036 1
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是

(三)稳健性检验

1. 替换被解释变量

为检验结论稳健性,本文采用前文所述替代性指标重新测度城市实体技术创新边界并进行回归,结果见表4。列(1)以城市实体技术空间相似度为被解释变量,*wdegree* 的回归系数在1%水平上显著为负,表明数字创新网络嵌入降低了城市实体技术演化路径的相似性,即有助于拓展技术创新边界。列(2)以城市实体技术多样化指标为被解释变量,*wdegree* 的回归系数在1%水平上显著为正,说明数字创新网络嵌入提升了城市实体技术创新的多样化程度。列(3)以新技术组合数量为被解释变量,结果显示 *wdegree* 显著促进了新技术组合的产生,表明数字创新网络有助于扩大技术创新范围并推动重组性创新。列(4)和列(5)进一步采用IPC小组层面的实体技术创新边界及新增技术组合数量进行测度,结果仍然稳健。总体来看,在采用不同替代性指标后,数字创新网络对城市实体技术创新边界的拓展效应依然显著,本文结论得到进一步支持。

表4　稳健性检验一

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	TechPro	*Diversity*	*NumTech Comb*	*TechBound_ sub*	*NumTech Comb_sub*
wdegree	-0.017***	0.067***	0.044***	0.053***	0.055***
	(0.005)	(0.019)	(0.012)	(0.011)	(0.012)
常数项	0.534***	1.650***	1.380***	1.373***	1.616***
	(0.131)	(0.472)	(0.293)	(0.249)	(0.279)
观测值	3 307	3 307	3 307	3 307	3 307
R^2值	0.607	0.876	0.940	0.940	0.926
控制变量	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是

2. 替换解释变量

考虑到采用城市节点的加权程度中心度作为数字创新网络嵌入的代理变量会存在一定的局限性,本文进一步采用接近中心度测度了数字创新网络嵌入程度,重新进行回归分析的结果如表5列(1)所示。结果表明,使用接近中心度作为代理变量的回归系数依然在1%水平显著为正,进一步支持了基准回归结果。

3. 改变时间序列

考虑到专利成果的形成需要一定的时间,同时数字创新网络的嵌入在短期内通常不会发生剧烈波动,具有一定的结构惯性。因此,本文以 $t+1$ 期的城市实体技术创新边界作为被解释变量进行回归分析,结果见表5列(2)。回归显示,*wdegree* 的系数仍显著为正,与基准回归结果一致。

4. 剔除特殊样本

鉴于北京、上海、广州和深圳4个一线城市在经济规模、区域辐射能力以及创新发展中的核心地位可能对研究结果产生特殊影响,从而影响结论的普遍性。本文剔除了这4个城市样本,并重新进行回归分析,结果如表5列(3)所示。从表5可以发现,在剔除了这些特殊城市后,不影响本文的研究结论。

5. 排除其他技术创新网络影响

在本文的基准回归部分分析了数字创新网络对于城市实体技术创新边界的影响,但是仍然无法排除其他创新网络对于实体技术创新边界的影响。基于此,本文筛选出城市之间的所有合作申请专利后,进一步排除数字技术专利构建了非数字技术专利所构成的传统创新网络,在基准回归的基础上进一步加入传统创新网络作为控制变量,最终回归结果如表5列(4)所示。结果显示,在加入传统创新网络后,数字创新网络对于城市实体技术创新边界的影响依然在1%置信水平显著为正。

表5　稳健性检验二

变量	替换解释变量	改变时间序列	剔除特殊样本	加入传统创新网络
	(1)	(2)	(3)	(4)
	TechBound	*L. TechBound*	*TechBound*	*TechBound*
closeness	0.070***	—	—	—
	(0.020)			
wdegree	—	0.033**	0.044***	0.034**
		(0.013)	(0.012)	(0.017)
tradition	—	—	—	0.027
				(0.020)
常数项	1.286***	1.223***	1.172***	1.323***
	(0.273)	(0.321)	(0.275)	(0.459)
观测值	3 307	2 932	3 254	3 307
R^2值	0.947	0.949	0.943	0.948
控制变量	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是

四、进一步分析

(一)机制检验

本部分根据上文理论分析提到的数字技术创新(*DigitalTech*)、数实融合赋能(*TechCov*)和创业活力提升(*EntreAct*)三条机制路径,构建机制检验模型为:

$$mechanism_{c,t} = \alpha_0 + \alpha_1 wdegree_{c,t} + \alpha_2 X_{c,t} + \gamma_t + \mu_c + \varepsilon_{c,t} \quad (7)$$

$$TechBound_{c,t} = \beta_0 + \beta_1 wdegree_{c,t} + \beta_2 mechanism_{c,t} + \beta_3 X_{c,t} + \gamma_t + \mu_c + \varepsilon_{c,t} \quad (8)$$

式(7)和式(8)中,$mechanism_{c,t}$ 代表本文的 3 个机制变量,其他变量均与基准回归模型相同。

1. 数字技术创新机制

本文理论分析认为,数字创新网络嵌入能够提升城市数字技术创新能力,扩展数字技术知识存量,进而促进数字技术知识与实体技术知识的跨领域融合,最终推动城市实体技术创新边界拓展。基于此,本文进一步检验数字技术创新能力提升的中介机制。在数字技术创新能力测度方面,参考孙勇等[27]的方法,在识别出的数字技术专利基础上,依据国家知识产权局发布的《关键数字技术专利分类体系(2023)》,从人工智能、高端芯片、量子信息、物联网、区块链、工业互联网和元宇宙 7 类关键数字技术出发,构造城市数字技术创新指标。具体地,按照关键数字技术 IPC 分类映射关系,识别城市内单独申请或同城联合申请的关键数字技术专利,并以年度关键数字技术专利申请量加 1 取自然对数衡量城市数字技术创新能力,记为 *DigitalTech*。该指标值越大,表明城市数字技术创新能力越强。中介效应检验结果见表 6 列(1)和列(2)。其中,列(1)显示,数字创新网络嵌入对城市数字技术创新能力的影响在 1% 水平上显著为正;列(2)进一步表明,在纳入机制变量 *DigitalTech* 后,数字技术创新能力对城市实体技术创新边界的影响显著为正。上述结果说明,提升数字技术创新能力是数字创新网络嵌入拓展城市实体技术创新边界的重要作用机制之一,假设 2 得到验证。

2. 数实融合赋能机制

本文理论分析表明,数字创新网络嵌入能够提升城市数实融合水平,进而增强创新主体在创新过程中的知识整合与应用能力,为实体技术跃迁和传统产业重构提供支撑。基于此,本文进一步检验数实融合水平提升是否构成数字创新网络拓展城市实体技术创新边界的重要机制。在数实融合水平测度方面,参考周密等[28]的方法,基于技术驱动产业融合的视角,使用中国专利申请数据,在提取每条专利的分类号信息获得技术关联数据的基础上,利用技术—产业之间的对应关系,将技术关联数据映射为产业融合数据,以此测算数实融合水平,检验结果见表 6 列(3)和列(4)。列(3)显示,数字创新网络嵌入对城市数实融合水平的影响在 1% 水平上显著为正;列(4)进一步表明,在基准回归模型中加入数实融合水平变量后,其系数仍在 1% 水平上显著为正。上述结果说明,提升数实融合水平是数字创新网络嵌入拓展城市实体技术创新边界的重要机制之一,从而支持了本文假设 3。

3. 创业活力提升机制

本文理论分析认为,创业活力是城市实体技术创新过程中重要的知识价值实现机制。数字创新网络嵌入有助于激发相关产业创业活力,而创业活力提升将进一步促进实体技术知识扩散与应用场景拓展。基于此,本文进一步检验创业活力的中介机制。考虑到城市人口规模差异,参考蔡运坤等[29]的方法,以城市人口为标准化基数,采用每百人口中新注册的非数字经济核心产业企业数量加 1 取自然对数衡量城市创业活力。该指标值越大,表明城市实体技术领域创业活力越强。检验结果见表 6 列(5)和列(6)。结果显示,数字创新网络对城市创业活力的影响在 1% 水平上显著为正,创业活力对城市实体技术创新边界的影响也在 1% 水平上显著为正。这说明,数字创新网络能够提升城市的创业活力,使得城市内实体经济领域相关的创新主体能够根据新场景、新业态和新需求开展技术创新活动,延伸并拓宽了实体技术成果的应用场域,进而促进了实体技术在新技术空间和技术领域内的技术研发。由此,假设 4 得到了支持。

表 6　机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	DigitalTech	*TechBound*	*TechCov*	*TechBound*	*EntreAct*	*TechBound*
wdegree	0.030 ** (0.014)	0.027 *** (0.009)	0.095 *** (0.008)	0.026 ** (0.012)	0.281 *** (0.070)	0.042 *** (0.011)
DigitalTech	—	0.544 *** (0.015)	—	—	—	—
TechCov	—	—	—	0.182 *** (0.022)	—	—
EntreAct	—	—	—	—	—	0.004 *** (0.002)
常数项	−0.214 (0.357)	1.401 *** (0.194)	0.640 *** (0.234)	1.168 *** (0.274)	1.673 (2.117)	1.278 *** (0.270)
观测值	3 306	3 306	3 306	3 306	3 306	3 306
R^2值	0.955	0.974	0.927	0.949	0.549	0.948
控制变量	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是

(二)异质性分析

1. 政府数字技术关注度

在数字中国战略持续推进背景下,地方政府围绕数字经济、数字技术和新质生产力陆续出台相关政策与规划,以加强数字基础设施建设、提升数据要素和数字技术供给能力,并推动数字产业化与产业数字化协同发展。政府数字技术关注度反映了地方政府在数字技术领域的政策投入和治理重心,也体现了其对数字化转型和创新驱动发展的重视程度。数字技术关注度较高的城市,通常具有更强的数字战略意识和制度响应能力,不仅更积极嵌入数字创新网络,推动跨区域数据、知识和技术流动,也更有条件促进数字技术与实体技术深度融合。对创新主体而言,较高的政策关注度意味着更强的政策引导、资源支持和制度保障,从而有助于其在研发、生产和市场响应等环节引入数字技术,提升异质性知识吸收、技术路径重组和创新边界拓展能力。基于此,本文参考解洪涛等[30]的做法,采用文本挖掘方法,依据 2011—2023 年各市政府工作报告中数字技术相关关键词词频测度政府数字技术关注度,并按中位数将样本划分为高关注组和低关注组进行分组回归,结果见表 7 列(1)和列(2)。结果表明,相较于数字技术关注度较低的城市,数字创新网络对高关注度城市实体技术创新边界的拓展作用更强。说明政府的政策支持是数字创新网络发挥作用的重要制度条件。

2. 数字经济发展水平

考虑到不同数字经济发展水平城市的数字创新网络嵌入对其实体技术创新边界的拓展效应可能存在一定差异,本文参考赵涛等[31]的做法,结合城市层面相关数据可获得性,从互联网发展和数字金融普惠两个维度构建城市数字经济发展水平测度指标体系,并采用主成分分析法进行指标赋权和指数测度,按照年度中位数将数字经济发展水平分为较低和较高两组。表 7 列(3)和列(4)显示了不同数字经济发展水平下,数字创新网络对城市实体技术创新边界的影响差异。因此可以发现,相较于数字经济发展水平较高的城市而言,数字创新网络对数字经济发展水平较低城市的实体技术创新边界拓展作用更加显著,这一结果也与郭爱君等[32]对于数字技术与区域创新质量的非线性关系讨论结果一致。一方面,数字经济发展水平较低的城市在网络中往往更多承担资源吸收者或中介节点角色,本地创新基础和资源储备相对薄弱,因而更依赖网络嵌入带来的知识获取与资源整合机会。在此情形下,数字创新网络更有助于其突破既有创新路径约束,拓展实体技术创新边界。另一方面,依据路径依赖理论,数字经济发展水平较高的城市在数字基础设施、技术应用和创新体系方面已相对成熟,容易形成围绕既有技术路径和应用场景的“数字舒适区”。这会在一定程度上降低其对外部异质性知识和跨领域技术组合的依赖,进而削弱通过网络嵌入获取颠覆性知识、推动技术边界拓展的边际效应。相比之下,后发城市受既有技术范式锁定的约束较弱,更易借助网络嵌入发挥后发优势,吸收异质性知识[33],从而在技术创新边界拓展上表现出更高的边际收益。

3. 知识产权保护强度

知识产权保护是区域制度环境的重要组成部分,直接影响知识生产、扩散与商业化过程,并进而影响外部知识要素嵌入区域创新系统的效率。参考沈国兵等[34]的做法,本文以人民法院知识产权审判结案数与地区生产总值之比衡量城市知识产权保护强度,并按年度中位数将样本划分为高保护组和低保护组。表 7 列(5)和列(6)的回归结果显示,数字创新网络嵌入对知识产权保护较弱城市实体技术创新边界的拓展作

用更强。这一结果表明,数字创新网络具有一定的制度补偿效应。在知识产权保护较弱地区,传统制度激励不足,创新主体更易受到模仿风险和产权纠纷约束,从而抑制知识投入与合作意愿。数字创新网络则通过平台化连接和多主体互动,降低信息壁垒与合作摩擦,促进知识共享、跨域连接和资源重组,从而在一定程度上弥补制度环境不足,提升城市吸收和整合外部异质性知识的能力。相比之下,在知识产权保护较强、制度环境较完善的城市,网络嵌入与制度保障之间存在一定替代关系,数字创新网络的边际作用相对较弱。

表 7　异质性检验一

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	政府数字技术关注度		数字经济发展水平		知识产权保护强度	
	较低	较高	较低	较高	较低	较高
wdegree	0.037 ** (0.018)	0.040 ** (0.016)	0.035 ** (0.016)	0.033 * (0.018)	0.048 *** (0.017)	0.040 *** (0.014)
常数项	1.509 *** (0.446)	1.227 *** (0.412)	0.454 (0.506)	2.844 *** (0.410)	0.308 (0.415)	2.177 *** (0.422)
观测值	1 510	1 759	1 629	1 629	1 638	1 624
R^2值	0.936	0.958	0.897	0.966	0.901	0.964
控制变量	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是

4. 区域资源禀赋

本文进一步考察区位差异所对应的资源禀赋差异,是否会影响数字创新网络对实体技术创新边界的拓展效应。为此,本文分别从胡焕庸线、城市区位和城市等级 3 个维度展开空间异质性分析。首先,以胡焕庸线为界进行分组回归,表 8 列(1)和列(2)显示,数字创新网络对胡焕庸线西北侧城市的实体技术创新边界拓展作用并不显著,而对东南侧城市具有显著正向影响。其次,按东部、中部和西部地区进行分组回归,表 8 列(3)~列(5)表明,数字创新网络对东部城市实体技术创新边界的拓展效应最强,其次为中部城市,对西部城市的作用不显著。最后,参考兰秀娟等[35]的做法,将样本划分为中心城市和外围城市,结果见表列(6)~列(7)。结果显示,数字创新网络对两类城市的实体技术创新边界均具有显著促进作用,但对中心城市的作用更强。上述结果表明,数字创新网络的边界拓展效应存在明显的空间异质性。相较于区位条件较弱、资源禀赋不足的城市,嵌入能力更强、区位条件更优、资源禀赋更高的城市,更能依托网络联系整合跨域创新资源、提升知识转化效率,并推动实体技术创新边界拓展。相反,处于区位劣势和资源约束下的城市,较难充分释放数字创新网络的创新增益。

表 8　异质性检验二

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	胡焕庸线		城市区位		城市等级		
	西北侧	东南侧	东部地区	中部地区	西部地区	中心城市	外围城市
wdegree	−0.015 (0.041)	0.048 *** (0.012)	0.082 *** (0.017)	0.076 *** (0.017)	−0.018 (0.019)	0.093 *** (0.034)	0.048 *** (0.012)
常数项	2.267 *** (0.834)	0.950 *** (0.296)	0.938 ** (0.411)	0.608 (0.483)	2.487 *** (0.532)	−0.034 (0.818)	1.060 *** (0.291)
观测值	311	2 995	1 213	1 122	971	412	2 894
R^2值	0.898	0.948	0.968	0.933	0.917	0.955	0.926
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是	是

五、结论与政策启示

本文基于 2011—2023 年城市间数字技术专利联合申请数据,运用社会网络分析和复杂网络分析方法,构建城市数字创新网络,系统考察了数字创新网络嵌入对城市实体技术创新边界的影响。研究发现,数字创新网络嵌入显著拓展了城市实体技术创新边界,且在经过稳健性检验和内生性处理后,该结论依然成立。机制分析表明,数字创新网络主要通过提升数字技术创新能力、促进数实融合和激发创业活力,优化知识生产、知识应用与知识价值实现过程,进而推动实体技术创新边界拓展。异质性分析进一步表明,这一作用受到城市制度环境和资源禀赋的共同影响,在政府数字技术关注度较高、数字经济发展水平和知识产权保护强度较低以及资源禀赋较高的城市中表现得更为明显。基于上述研究结论,本文提出如下

政策建议。

(1)因地制宜探索实施数实融合发展战略,破解不同发展阶段的“内生约束”与“路径依赖”。政府施策应从“大水漫灌”转向“精准滴灌”,建构长效化和差异化制度供给模式与政策引导体系。针对数字经济先发城市,应警惕陷入既有技术轨道的“数字舒适区”。政策重点应从单纯的应用普及转向支持颠覆性重组,鼓励优势核心创新主体利用网络连接异质性数字知识资源,开展跨学科、跨领域的“无人区”技术探索,打破技术锁定,推动实体技术向价值链高端延伸。针对数字经济后发城市,应充分利用后发优势实施“借网借智”策略。重点在于降低中小企业的入网门槛和试错成本,推广云服务、数字孪生和工业互联网数字化平台,通过复制和引入先发城市的成熟数字解决方案,以低成本、快节奏的方式实现实体产业技术边界的快速外延与追赶。同时,中小城市和资源相对薄弱地区应立足产业基础与场景优势,在农业、能源、交通等领域发展特色化数字创新,形成“场景牵引—技术协同—制度配套”的突破路径,减少对发达城市的依赖。

(2)构建技术与制度双向赋能的治理机制,精准弥合区域法治环境差异。异质性分析结果显示,数字创新网络在知识产权保护较弱的地区发挥了显著的“制度补偿”效应。因此,政策制定应超越单一的法律供给视角,根据区域法治水平的异质性,从数据要素治理与知识产权治理两个维度,构建差异化的双向赋能体系。对于知识产权保护相对薄弱的地区,实施“以技术补制度”的替代性赋能策略。鉴于法治环境完善具有长期性和滞后性,政府应优先支持可信数据空间建设与敏捷的数据要素治理。鼓励采用隐私计算、区块链确权等技术手段,构建数据可用不可见的安全流通环境,将单纯的外部法律约束转化为网络内部的技术信任机制。通过建立这种低成本、高可信的数据要素流通规则,弥补区域行政司法保护的短板,降低企业跨区域协作中的契约风险,在制度洼地中通过技术治理手段激发实体技术创新的活力。对于知识产权保护较为完善的地区,实施以制度促技术的增效性赋能策略。在制度成本较低的优势环境下,应推动创新网络向高阶的知识产权治理形态升级。政策重心应从基础保护转向高价值专利培育与标准引领,支持区域内领军企业利用完善的法律环境进行前瞻性布局,主导技术标准的制定与专利池的构建。旨在通过制度优势加速技术成果的资产化与标准化进程,将区域良好的法治环境转化为产业竞争中的技术壁垒优势与行业话语权。

(3)创新跨区域协同模式,突破资源禀赋的空间断层与“马太效应”。研究发现资源禀赋较差的城市及外围城市在数字创新网络嵌入中获益较少,必须通过模式创新打破地理区位对实体技术创新的制约。针对中西部及资源匮乏城市,应探索建立“逆向创新飞地”模式。支持此类城市在东部数字经济发达区域设立研发飞地或人才孵化器,就地利用发达地区的数字人才和数据资源进行研发,再将成果回传本地进行产业化落地,配合“东数西算”战略形成“东智西借”的跨区域协同新范式。针对城市群内的外围城市,应避免同质化竞争,以防范中心城市对优质资源的过度虹吸。建立“产业链长制”配套机制,引导中心城市开放特定的数字应用场景给外围城市,形成“中心城市做核心技术研发,外围城市做场景应用与硬件制造”的错位协同模式,确保外围城市能有效承接技术溢出,实现区域实体经济的均衡发展。

参考文献:

[1]夏杰长. 中国式现代化视域下实体经济的高质量发展[J]. 改革, 2022(10): 1-11.

[2]陈博潮, 王贤彬. 创新网络、关键核心技术与研发资源配置:基于跨区域跨技术知识溢出网络模型[J]. 数量经济技术经济研究, 2025, 42(9): 157-179.

[3]邓慧慧, 刘宇佳, 王强. 中国数字技术城市网络的空间结构研究:兼论网络型城市群建设[J]. 中国工业经济, 2022(9): 121-139.

[4]杨震宁, 袁梓晋. 数字创新网络嵌入与关键核心技术攻关[J]. 中国工业经济, 2025(5): 156-173.

[5] DADASHPOOR H, YOUSEFI Z. Centralization or decentralization? a review on the effects of information and communication technology on urban spatial structure [J]. Cities, 2018, 78: 194-205.

[6]PAN Junyu, CIFUENTES-FAURA J, ZHAO Xin, et al. Unlocking the impact of digital technology progress and entry dynamics on firm's total factor productivity in Chinese industries [J]. Global finance journal, 2024, 60: 100957.
[7]洪银兴, 任保平. 数字经济与实体经济深度融合的内涵和途径[J]. 中国工业经济, 2023(2): 5-16.
[8]沈坤荣, 林剑威, 傅元海. 网络基础设施建设、信息可得性与企业创新边界[J]. 中国工业经济, 2023(1): 57-75.
[9]MARCH J G. Exploration and exploitation in organizational learning [J]. Organization science, 1991, 2(1): 71-87.
[10]黄先海, 高亚兴. 数字知识存量、数实技术融合与企业实体技术创新边界[J]. 经济学动态, 2025(3): 36-53.
[11]徐承红, 林敏, 董紫娴. 数字技术应用能否拓展区域创新技术边界 [J]. 财经科学, 2025(3): 86-101.
[12] BYUN S K, OH J M, XIA Han. Incremental vs. breakthrough innovation: the role of technology spillovers [J]. Social science electronic publishing, 2021, 67(3): 1329-1992.
[13] 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.
[14]方若楠, 崔兴华, 闫中晓. 中国城市数字经济关联网络的结构特征与内生机制分析[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2025, 45(2): 22-38.
[15]SCHUMPETER J A. The theory of economic development [M]. Boston: Harvard University Press, 1934: 98-99.
[16]GRANT R M. Toward a knowledge-based theory of the firm [J]. Strategic management journal, 2014, 17(S2): 109-122.
[17]HANSEN M T, HANSENJULIAN M T, BIRKINSHAW B. The innovation value chain [J]. Harvard business review, 2007, 85(6): 121-130.
[18]余传鹏, 黎展锋, 林春培, 等. 数字创新网络嵌入对制造企业新产品开发绩效的影响研究[J]. 管理世界, 2024, 40(5): 154-176.
[19] WU L, LOU B, HITT L. Data analytics supports decentralized innovation [J]. Management science, 2019, 65(11): 5091-5109.
[20] FLEMING L. Recombinant uncertainty in technological search [J]. Management science, 2001, 47(1): v-204.
[21]LYYTINEN K, YOO Y, RICHARD BOLAND J. Digital product innovation within four classes of innovation networks [J]. Information systems journal, 2016, 26(1): 47-75.
[22]刘洋, 董久钰, 魏江. 数字创新管理:理论框架与未来研究[J]. 管理世界, 2020, 36(7): 198-217,219.
[23]NAMBISAN S, WRIGHT M, FELDMAN M. The digital transformation of innovation and entrepreneurship: progress, challenges and key themes [J]. Research policy, 2019, 48(8).
[24] AUTIO E, NAMBISAN S, THOMAS L, et al. Digital affordances, spatial affordances, and the genesis of entrepreneurial ecosystems [J]. Strategic entrepreneurship journal, 2018, 12(1): 72-95.
[25] MALECKI E J. Entrepreneurship and entrepreneurial ecosystems [J]. Geography compass, 2018, 12(3): 1-21.
[26]卞元超, 白俊红. 全国统一大市场、地区技术多样化与企业技术复杂度[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(6): 129-150.
[27]孙勇, 樊杰, 刘汉初, 等. 长三角地区数字技术创新时空格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(2): 124-133.
[28]周密, 王雷, 郭佳宏. 新质生产力背景下数实融合的测算与时空比较:基于专利共分类方法的研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(7): 5-27.
[29]蔡运坤, 周京奎, 袁旺平. 数据要素共享与城市创业活力:来自公共数据开放的经验证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, 41(8): 5-25.
[30]解洪涛, 王嘉庆. 数字化赋能全过程人民民主:人大预算联网监督改革实践与成效分析[J]. 财政研究, 2024(1): 45-60.
[31]赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展:来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
[32]郭爱君, 徐莺歌, 杨春林. 数字技术、产业结构与城市创新质量的非线性关系:基于中国 282 个城市的实证研究[J]. 经济问题探索, 2025(4): 90-106.
[33]王连, 檀晶, 李钰焜. 数字技术创新对区域协调发展的影响研究:来自城市数字专利的经验证据[J]. 首都经济贸易大学学报, 2025, 27(4): 49-65.
[34]沈国兵, 黄铄珺. 城市层面知识产权保护对中国企业引进外资的影响[J]. 财贸经济, 2019, 40(12): 143-157.
[35]兰秀娟, 张卫国, 裴璇. 我国中心—外围城市经济发展差异及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(6): 45-65.