数字经济产业创新网络对城市创新效率的影响

林小爱，张甲辰

（南京理工大学知识产权学院，南京 210094）

摘要：当数字经济成为全球创新引擎，优化创新网络、提升城市创新效率至关重要。为揭示数字经济产业创新网络嵌入对城市创新效率的影响以及知识产权保护的调节作用，基于2016—2023年285个中国地级市数字经济产业合作专利数据构建创新网络，运用社会网络分析法测算各城市网络结构嵌入与关系嵌入指标，结合DEA-SBM（数据包络分析-松弛变量）模型测度城市创新效率，并通过Tobit面板模型及调节效应检验进行实证分析。研究发现：网络结构嵌入与关系嵌入均对城市创新效率产生显著正向影响；知识产权保护在网络嵌入与创新效率的关系中发挥正向调节作用，强化了结构嵌入与关系嵌入的积极效应。最后，揭示数字经济背景下创新网络影响城市创新效率的多层次机制，为优化区域创新系统与制定差异化数字创新政策提供实证依据。

关键词：数字经济；创新网络；网络嵌入；创新效率；知识产权保护

中图分类号：F202 **文献标志码：**A **文章编号：**1671－1807(2026)09－0080－10

数字经济是新兴技术和先进生产力的典型代表，已成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。截至2023年全球已有多个国家或地区数字经济总量超33万亿美元，占GDP比重60%，增速远超同期GDP增速，展现出数字经济强大的发展韧性与增长潜力[1]。中国数字经济产业规模在2023年达到53.9万亿元，占GDP比重42.8%，对经济增长贡献率为66.45%，这标志着数字经济已成为驱动中国经济高质量发展的核心引擎[2]。然而，在数字经济产业蓬勃发展的同时，其内部创新协同机制与区域资源配置不平衡问题也日益凸显，尽管中国数字经济专利数量增长迅速，但专利质量优势尚不明显，区域间创新资源分布与协同创新能力存在显著差异[3]。这意味着，单纯依靠要素投入已不足以支撑数字经济高质量发展，如何通过优化创新主体间的合作模式与网络结构以提升整体创新效率，成为学术界和产业界共同面临的核心挑战。

一方面，创新网络研究已逐渐成为创新主题研究的主要范式。现有研究深刻揭示网络结构[4-5]与关系属性[6]是影响知识流动与创新绩效的核心机制，基于专利[7]或论文合作数据构建网络已趋向成熟，从单一合作网络到复杂超网络模型[8]，分析工具也不断得以优化。然而，现有研究多主要聚焦于传统地理边界[9]或成熟产业[10-11]，对于技术迭代迅速、组织形态虚拟化的数字经济语境下的适用性有待检验。另一方面，创新效率与数字经济二者影响关系已成为实证研究的主要研究对象。现有研究证实数字经济通过优化创新资源配置[12]、改善创新环境[13]等路径对区域及企业创新效率产生显著促进作用，并探讨可能存在的非线性[14]或空间溢出效应[15]。这些研究普遍将数字经济视为一种同质化“宏观环境”或“技术集群”，却忽视其内在、作为“合作网络”的根本属性。由此，数字经济产业创新网络究竟能否切实影响城市创新效率？其中的影响机理又是如何具体体现？这些亟待学界系统性阐释。

现以数字经济产业为研究对象，运用社会网络分析法，以中国地级市和直辖市为创新单元，研究数字经济网络结构与关系嵌入对城市创新效率的影响。一方面，紧扣创新驱动发展与数字中国建设战略导向，从创新网络视角切入，系统揭示数字经济产业创新网络嵌入影响城市创新效率的多层次机制，为国家创新体系治理，优化创新资源配置提供理论支撑。另一方面，从“区域创新能力不平衡”等现实问题出发，识别网络位置与关系特征对创新

收稿日期：2025-12-03

基金项目：江苏现代财税治理协同创新中心项目（20JSXT09）

作者简介：林小爱（1976—），女，浙江江山人，博士，副教授，研究方向为知识产权运营、知识产权金融；张甲辰（2000—），男，河南郑州人，硕士研究生，研究方向为知识产权管理。

效率的影响,并深入剖析知识产权保护的制度赋能效应,有助于引导各地区因地制宜地制定网络融入策略与创新环境优化政策,增强城市在数字时代的创新韧性与竞争动能。

1 理论分析与研究假设

1.1 数字经济产业创新网络结构嵌入对城市创新效率的影响

社会网络理论与网络嵌入理论强调创新主体嵌入于复杂交织网络中,所实施的行为决策由其所处网络中的位置和关系决定。当创新主体在网络中所处位置越核心,越能获得有价值、不易仿制等特点的异质性资源,越能给创新主体带来竞争优势。当创新主体与网络合作伙伴关系越牢固,获取知识资源的整体成本越低,所面临各种不确定性冲击越小,也越有利于提升其技术创新绩效[16]。通过探讨网络中心度与结构洞两种不同网络结构嵌入特征,结合分析关系强度与关系质量两种不同网络关系嵌入属性,探究城市主体在网络中的位置和关系对城市创新的直接影响。

创新生态系统理论认为,创新生态系统是由人、技术、产品、服务和环境等多种要素构成的有机整体,绝非独立个体行为,也不是简单的网络连接[17]。正式制度指由政府等机构颁布的法律法规与政策体系。良好的正式制度环境能够有效规制创新行为,营造良好创新环境[18]。当今,知识产权保护,作为影响创新最重要的正式制度之一,能够有效保障创新主体在创新过程中的合法权益,为创新提供环境支撑[19]。在探究网络嵌入对城市创新影响的基础上,将知识产权保护纳入研究体系中,揭示其对网络嵌入与城市创新之间关系的调节作用。

1.1.1 中心度与城市创新效率

中心度是衡量节点在网络中位置的关键指标,常用度数中心度、接近中心度和中介中心度表征。较度数中心度和中介中心度,接近中心度更能从“信息传递效率”的本质层面刻画城市在数字经济产业创新网络中的核心地位。因此,以接近中心度表征中心度。

首先,在网络中高中心度的创新主体到达其他主体的平均路径最短,能以较短的时间接触到网络中分散的新知识、前沿技术、市场需求等信息,使其在信息获取上具备天然优势,加速创新所需的知识要素输入过程[20-21]。其次,高中心度代表创新主体较少通过中介而直接与其他主体相连,具有较高的独立性,降低对外部中介的依赖性,防止在创新资源获取中陷入被动。同时也减少了中间节点的过滤和误读,提高对不同信息源的比对和甄别能力,减少信息失真风险[22-23]。最后,高中心度意味着创新主体在创新网络中具有一定的声望和权威性,容易出现人才虹吸效应,吸引大量优质人才聚集,为识别、获取资源价值提供关键支持[24]。基于此,提出如下假设。

H1-1:城市在数字经济产业创新网络中的中心度越高,其创新效率越高。

1.1.2 结构洞与城市创新效率

结构洞代表网络中某节点与其他彼此之间没有直接的联系节点发生关联,该节点所占据的位置就是结构洞,用来衡量网络中节点之间的非冗余联系[25]。一方面,位于结构洞位置的创新主体具备获取信息和资源重组优势。结构洞通常连接着两个或多个彼此隔绝的网络团体,这些网络团体通常分布在不同行业和领域,拥有不同知识体系、技术成果,位于结构洞位置的创新主体可以同时从多个无交集的网络团体中获取差异化创新资源[26]。此外,创新的本质是知识创造性重组,创新主体拥有的异质性资源越多,越容易带来技术重组机会,产生突破式创新[27]。另一方面,位于结构洞位置的创新主体具备资源控制优势。占据结构洞位置的创新主体扮演着“网络中介”的角色,是连接多个网络团体的主要渠道,也是传递不同团体之间信息资源的重要中介。因此,位于结构洞位置的创新主体可以优先筛选出对自身最有价值的资源,也能通过控制信息传递方向和速度,从而创造有利竞争环境[28]。基于此,提出如下假设。

H1-2:城市在数字经济产业创新网络中占据的结构洞越丰富,其创新效率越高。

1.2 数字经济产业创新网络关系嵌入对城市创新效率的影响

1.2.1 关系强度与城市创新效率

基于社会网络理论,将网络中创新主体间的互动频率表征为关系强度。它对创新的影响机理主要体现在3个方面:①高关系强度促进隐性知识与稀缺资源的深度流动[29]。频繁的合作关系有助于合作双方建立稳定畅通的沟通交流渠道,这将积极促进一些非实体性、高度依赖情景的隐性创新资源,如研发经验、管理实践等,得以顺畅高效地流动。同时,基于频繁合作带来的相对信任与共赢机会,合作双方也更愿意分享核心、未公开的创新资

源，这种高价值的创新资源为实现突破式创新奠定了合作基础。②高关系强度强化信任互惠，优化创新资源配置。高关系强度使合作双方信任互惠程度进一步加深，显著防止机会主义风险的发生，有效减少合作中的各种不确定性。随着这些不确定性降低，用于合作谈判、监督与协调中的交易成本也相应降低，促使更多创新资源从防范合作风险转向提高价值创造[30]。③高关系强度提升协同效能，缩短创新周期。高关系强度的合作伙伴往往具有更高水准的合作默契和问题解决能力，这在一定程度上缩短了投入产出的过程，无形中加快创新节奏，缩短创新周期，从而提高创新效率[31]。基于此，提出如下假设。

H2-1：城市在数字经济产业创新网络中的关系强度越高，其创新效率越高。

1.2.2 关系质量与城市创新效率

与关系强度关注短期、当下的互动效率不同，关系质量更侧重长期合作与投入带来的“资本存量”。运用创新主体间具有合作关系的时间年限表征合作关系质量，其对创新的影响机理主要体现在两方面：①高关系质量深化信任基础，降低关系嵌入成本。高关系质量意味着创新主体间合作期限相对长期，其信任关系深化为情感认同，使合作双方从短期的利益交换，转向长期互利共赢，共担合作中的风险。长期的合作关系也促使双方形成一套“惯例化”合作制度，较建立短期的新合作关系而言，前者所需的成本通常更低，并有助于提高创新主体的创新效率[32]。②驱动专用资产投入，提升协同创新效能。高关系质量使得合作双方提高了对合作专用资产的投入，如构建合作研发平台、创新实验室等，提高协同创新的精准度与默契度，从而提高创新效率[33]。基于此，提出如下假设。

H2-2：城市在数字经济产业创新网络中的关系质量越高，其创新效率越高。

1.3 知识产权保护对网络嵌入与城市创新效率的调节作用

创新主体的行为与动机内生于其所处的社会制度环境[24]，创新成功与否最终取决于创新成果能否被社会制度环境所接受。因此，在讨论数字经济产业创新网络嵌入对城市创新效率的影响时，城市间制度环境差异不容忽略[25]。知识产权保护强度作为创新过程中最重要的正式制度环境之一，一方面，影响着创新主体在网络中是选择“开放协作”还是“知识锁定”，另一方面，也决定了网络中的资源与知识能否在高效流动时，保障原创者的核心利益，从而提升网络的结构与关系潜力，正向提升创新效率。因此，将知识产权保护纳入分析框架，重点考察其在网络嵌入与城市创新效率关系中的调节效应。

数字经济发展激发创新主体的创新活力，若知识产权保护力度较小，则会损害创新主体利益，挫伤创新积极性。相反，适当的知识产权保护力度，不仅能吸引创新要素聚集，推动创新资源流动，维护创新主体权益，还能营造互信互惠的市场环境，降低合作中的谈判与协调成本，降低合作的不确定性风险，进而影响网络嵌入与城市创新效率之间的关系[34]。在网络结构嵌入中，中心度较高的城市位于网络的核心位置，传递信息与资源的速度较快，在此过程中知识溢出效应也更强，容易产生“搭便车”行为，而较强知识产权保护力度则为信息与资源的传递保驾护航，防止创新主体因担忧资源外泄而“知识锁定”。位于结构洞位置的城市，除了掌握大量异质性知识外，还享受知识重组带来的利益。当知识产权保护力度较低时，其整合的独特知识组合极易被模仿抄袭，抑制城市对结构洞经营的积极性；当知识产权保护力度较强时，其作为“信息中介”的权益得到了保障，鼓舞城市去发现、整合更多异质性知识的动力。在网络关系嵌入中，关系强度高的城市之间往往伴随着隐性知识传递。若知识产权保护力度较弱，则存在创新主体核心知识被泄露的风险，使合作仅存在表层；而知识产权保护力度较强，则降低深度合作时双方知识泄露风险。关系质量高的城市之间伴随着互信互惠的关系基础，知识产权保护则进一步强化这种关系基础。

基于此，提出如下假设。

H3-1：知识产权保护强化网络结构嵌入对城市创新效率的正向影响；

H3-2：知识产权保护强化网络关系嵌入对城市创新效率的正向影响。

理论模型如图1所示。

2 数据获取与网络构建

2.1 数据获取与处理

2016年，中共中央办公厅、国务院印发《国家信息化发展战略纲要》，确立了推动信息化与工业化深度融合的核心方向，并为后续加快发展数字产业化和产业数字化奠定了战略基础。此后数字经济产业开始迅速发展，成为推动科技创新的主要力

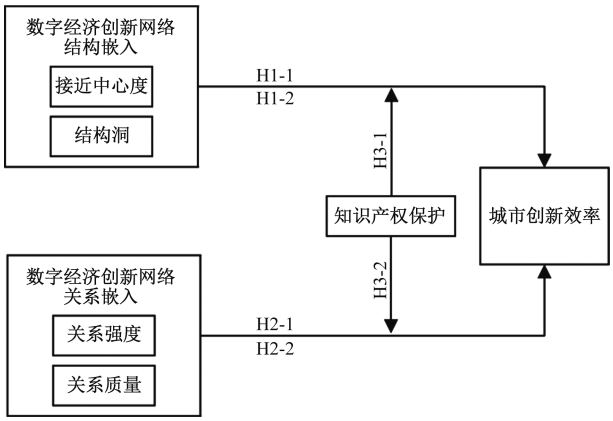


图 1　理论模型

量。专利是创新的重要成果,尤其是发明专利具有较高的技术与经济价值。基于此,选取 2016—2023 年的数字经济核心产业发明专利为数据基础。参考国家知识产权局发布的《数字经济核心产业专利统计分析报告(2024)》中国际专利分类参照关系表构建专利检索式[3],排除港澳台、新疆和西藏数据缺失地区,共得到129 931条城市层面合作专利数据。数据处理流程如图 2 所示。

2.2　网络构建

构建创新网络需生成创新合作矩阵。使用 Python 对合作专利数据逐年处理后得到创新合作矩阵,使用 Gephi 对网络进行可视化,节点代表参与合作创新的城市,连边代表城市之间的合作关系,连边粗细代表两个节点之间的合作次数。由图 3 可得,随着时间的推移,城市节点之间的连线越来越密集,且部分城市之间的连线较粗,尤其是在网络的核心区域,说明网络愈加复杂。此外,网络整体呈现出“核心-边缘”结构,图中始终有少数节点处于网络的绝对中心位置,这些节点拥有大量、粗壮的连接线,表明它们是整个网络的枢纽城市,承担着信息中转、资源调配和知识溢出的关键功能。而边缘节点则通过单条或少数几条连接线与核心枢纽直接相连,形成“辐射-依附”结构。

2.3　数字经济产业创新网络特征演化分析

数字经济产业创新网络规模扩张且连接深化。由表 1 可得,数字经济产业创新网络呈现“规模扩张,合作深化”的演化特征。从网络参与主体看,节点从 218 个增至 283 个,这一扩张趋势与《“十四五”数字经济发展规划》将全面深化数字技术与实体经济在各地区、各行业的融合应用作为核心任务高度契合,越来越多的中西部城市通过承接东部地区产业转移、建设数字产业基地等方式嵌入创新网络,

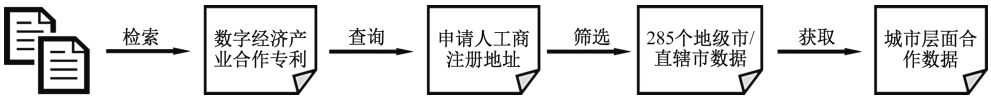


图 2　数据处理流程

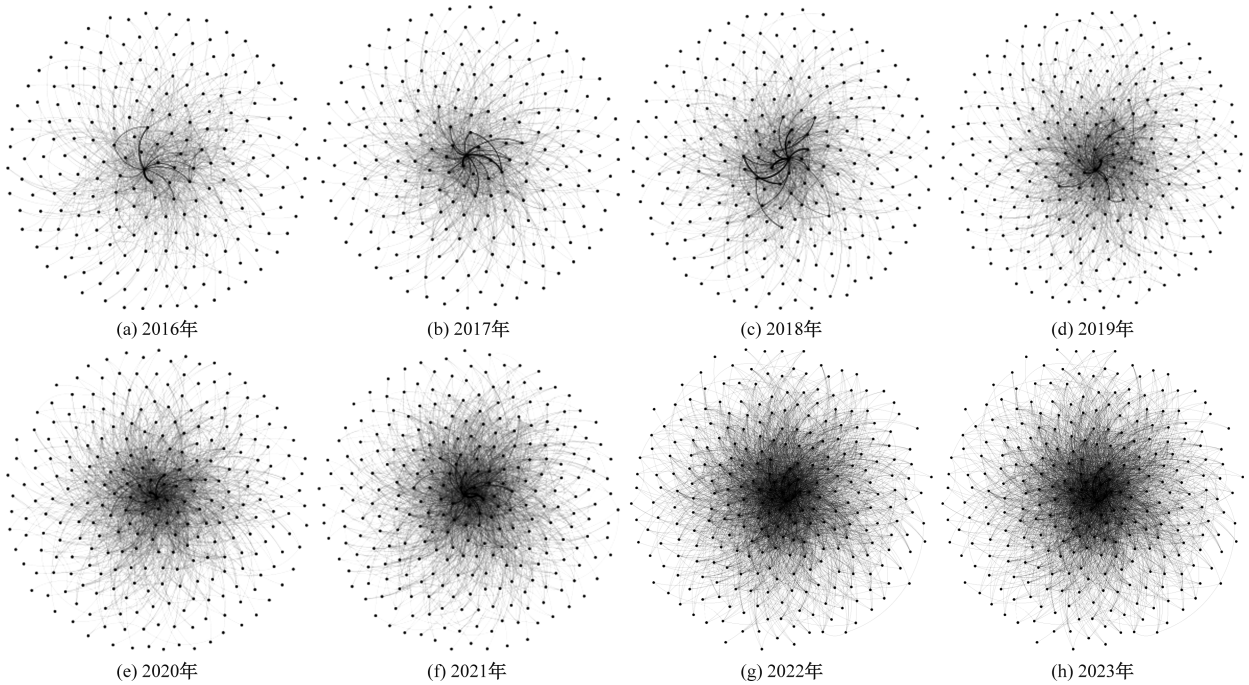


图 3　2016—2023 年数字经济核心产业创新网络

表 1　2016—2023 年城市数字经济产业创新网络指标测度

统计量	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
网络规模	218	216	238	261	267	272	282	283
网络联结边数	917	1 052	1 256	1 641	2 008	2 500	3 171	3 676
网络直径	5	4	5	5	5	4	4	4
网络密度	0.039	0.045	0.045	0.048	0.057	0.068	0.080	0.092
平均度值	8.41	9.74	10.55	12.57	15.04	18.38	22.48	25.97
平均加权度	134.44	173.90	166.33	200.98	271.74	369.83	533.07	692.33
平均聚类系数	0.713	0.717	0.68	0.707	0.686	0.679	0.676	0.681
平均路径长度	2.354	2.325	2.314	2.259	2.230	2.111	2.036	1.992
模块化系数	0.021	0.105	0.141	0.098	0.076	0.072	0.082	0.137

数据来源：根据 Gephi 和 Ucinet 分析工具计算所得。

打破数字经济发展主要集中在东部沿海地区的地理局限。从网络连接强度看，联结边数从 917 条增至3 676条，平均加权度从 134.44 增至 692.33，表明网络演化已从寻求“合作广度”转为“合作深度”，随着合作频次增加，创新主体间信任程度与合作默契逐步提高，合作模式从单一技术合作转为共建研发中心、共享实验设施等系统合作，进一步促进主体间深层次协同创新。从网络结构特征看，网络密度从 0.039 提升至 0.092，网络直径从 5 降至 4，并保持稳定，反映出城市间更趋向于直接合作，因地理位置带来的创新资源流动阻碍显著降低，为创新效率的提升奠定了网络结构基础。

数字经济产业创新网络的小世界特性逐渐增强。2016—2023 年，网络平均聚类系数始终维持在 0.7 左右的较高水平，而其平均路径长度则从 2.354 降至 1.992，符合小世界聚类系数较高且平均路径长度较短的典型特征。高聚类系数意味着城市间形成了紧密的合作社群，同一社群内的城市往往具有相似的产业，频繁的互动促进产业隐性知识的快速流动[35]。平均路径长度逐渐缩短则表明城市之间更容易建立合作关系，边缘城市与核心城市的“距离”显著拉近，体现了网络“去中心化”的趋势。例如，贵阳通过建立“中国数谷”嵌入创新网络，其与北京、上海等核心城市的合作路径从“贵阳-成都-上海”的间接合作，转变为直接合作，使边缘城市跨越地理和资源劣势。这样的网络演化特征不仅提升了单个城市的创新效率，更优化了全国创新资源的配置效率，为区域创新协调发展提供了网络支撑。

3　研究设计

3.1　变量定义

3.1.1　被解释变量

被解释变量为城市创新效率（Eff）。数据包络分析（data envelopment analysis，DEA）是一种非参数评价方法，可以用于评估具有多个输入和多个输出单位的效率水平。传统 DEA 模型未能充分考虑投入与产出的非径向松弛变量，其效率测度可能存在偏差，为达到更准确衡量效率的目的，采用可直接处理松弛变量（SBM）的 DEA-SBM 模型测量各城市创新效率。以创新资本、人力投入、能源消耗作为投入指标，以科学技术支出表征创新资本投入，以科学研究、技术服务人员数量代表人力资源投入，以全社会用电量表征能源消耗；同时，以科技产出和经济产出作为产出指标，分别以地区年申请专利数量和规模以上工业企业总利润额表征，以中国 285 个地级市为样本，计算 2016—2023 年相关数据。

3.1.2　解释变量

解释变量包含数字经济产业创新网络结构嵌入和关系嵌入两种指标。网络结构嵌入以创新网络中心度（C_i）和结构洞（ES_i）表征，网络中心度刻画网络节点在网络中的地位，计算公式为

$$C_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N} d_{ij}} \tag{1}$$

式中：j 为除去城市 i 的其余城市主体；d_{ij} 为城市 i 和城市 j 之间的最短距离。

结构洞刻画网络节点对信息与资源的控制能力，而有效规模、限制度是用以表征结构洞的两种常用指标。较限制度而言，有效规模直接衡量一个节点的非冗余连接的数量，更能体现节点整体的影响力和桥接性[25]。因此，采用有效规模表征结构洞，计算公式为

$$ES_i = \sum_{j}^{n}\left(1 - \sum_{q} p_{iq} m_{jq}\right),\ q \neq i, j \tag{2}$$

式中：ES_i 为城市 i 的结构洞有效规模；p_{iq} 为城市 i 与城市 q 的关系所占比例；m_{jq} 为城市 j 到城市 q 关系的边际强度；q 为排除城市 i 和 j 后网络中的其他城市。

网络关系嵌入以创新网络关系强度（AT_i）和关

系质量(PQ_i)表征。关系强度借鉴 Stea 等[36]的做法,通过计算城市在网络中的平均联结次数表征,计算公式为

$$AT_i = \frac{w_i}{c_i} \tag{3}$$

式中:AT_i 为城市 i 的关系强度;w_i 为城市 i 的加权度数中心度;c_i 为城市 i 的度数中心度。

关系质量参考王海军和束超慧[37]的研究,从城市自我中心网络出发,采用城市与其合作伙伴联合申请专利年次数的平均值测度,计算公式为

$$PQ_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_{ij}}{n} \tag{4}$$

式中:PQ_i 为城市 i 关系质量指数;P_{ij} 为城市 i 与城市 j 的合作年次数;n 为与城市 i 有合作关系的城市数量。

3.1.3 调节变量

调节变量为知识产权保护指数(IPP)。使用地级市各年份知识产权案件审结数表征城市知识产权保护[38]。由于地级市层面知识产权案件审结数并未被公布,参考沈国兵和黄铄珺[39]的研究,以北大法宝司法案例库收录的各地区知识产权代表性案件审结数作为地区知识产权案件审结数代理变量。此外,考虑到城市规模的影响,使用城市人口总数进行去规模处理,计算公式为

$$IPP_{it} = \frac{IPPcourt_{it}}{TP_{it}} \tag{5}$$

式中:IPP_{it} 为城市 i 在 t 年知识产权保护指数;$IPPcourt_{it}$ 为城市 i 在 t 年知识产权案件审结数;TP_{it} 为城市 i 在 t 年人口总数。

3.1.4 控制变量

为降低因遗漏变量带来估计偏差,选取以下 7 个变量作为控制变量,具体包括:经济发展(ED),采用人均地区生产总值对数表示;城市规模(TPO),采用城市常住人口总数对数表示;信息基础设施(IFR),采用互联网宽带接入用户数与城市常住人口总数的比值表示;教育水平(EL),采用年末高校在校生数量对数表示;对外开放度(DOO),采用年末进出口总额占地区生产总值比例表示;金融发展水平(FIN),采用年末金融机构人民币各项贷款余额占地区生产总值比例表示;产业结构(IS),采用城市第三产业产值占地区生产总值的比例作为产业结构的代理变量。

3.2 样本选取与模型设定

在 285 个城市数据基础上,进一步排除各个年份中没有参与创新网络的地级市,最终获得 2016—2023 年非平衡面板数据,共计2 037个样本。通过 DEA-SBM 测度的城市创新效率属于双端截断数据,Tobit 模型适用于因变量存在"截断"或"删失"情况下的回归分析。因此,使用 Tobit 模型进行面板回归,Tobit 回归基本形式为

$$\begin{cases} y_{it}^{*} = \alpha + \beta x_{it} + \varepsilon_{it}, & i = 1,2,\cdots,n \\ y_{it} = y_{it}^{*}, & y_{it}^{*} > 0 \\ y_{it} = 0, & y_{it}^{*} \leqslant 0 \end{cases} \tag{6}$$

式中:y_{it}^{*} 为潜变量;y_{it} 为被解释变量;x_{it} 为解释变量;β 为系数;α 为常数项;ε_{it} 为随机干扰项。

基于此,构建本研究基准回归模型:

$$Eff_{it} = \alpha + \beta_1 NEIT_{it} + \sum_k \beta_k Control_{it} + \varepsilon_{it} \tag{7}$$

式中:Eff_{it} 为城市 i 在 t 年的创新效率值;$NEIT_{it}$ 为城市 i 在 t 年数字经济产业创新网络嵌入指标观测值;$Control_{it}$ 为控制变量;β_1、β_k 为估计系数。

为检验知识产权保护在数字经济产业创新网络嵌入对城市创新效率影响中的调节效应,在上述模型中引入知识产权保护与数字经济产业创新网络结构嵌入和关系嵌入交互项进行检验,构建调节效应模型:

$$Eff_{it} = \alpha + \beta_1 NEIT_{it} + \beta_2 IPP_{it} + \beta_3 NEIT_{it} \times IPP_{it} + \sum_k \beta_k Control_{it} + \varepsilon_{it} \tag{8}$$

3.3 实证结果分析

3.3.1 描述性统计

通过 Stata16.0 对 2016—2023 年的2 037组样本进行统计性描述,结果见表 2。在样本期内,创新效率的平均值仅有 0.573,表明城市创新资源的利用能力和创新产出能力有待进一步提高。结构洞和关系强度指数的标准差分别为 19.450 和 5.104,说明不同城市的资源控制能力和合作深度差异较大,而中心度和关系质量的标准差较小,说明数据较为平稳。此外,检验所有变量的多重共线性,发现所有变量的 VIF(方差膨胀因子)均小于 5,表明数据之间不存在严重的多重共线性问题。

3.3.2 基准回归分析

数字经济产业创新网络结构嵌入和关系嵌入对城市创新效率的影响回归结果见表 3。列(1)为网络中心度对城市创新效率的影响,其中网络中心度的估计系数为0.152 5,通过了 1%显著性检验,说明城市在网络中的中心度越高,城市创新效率越高,验证了假设 H1-1;列(2)为结构洞对城市创新效率的影响,结构洞的估计系数为 0.001 2,并

表 2　变量描述性统计与多重共线性检验结果

变量	样本数	平均值	中位值	最小值	最大值	标准差	VIF
Eff	2 037	0.573	0.546	0.350	1.000	0.124	—
C_i	2 037	0.489	0.487	0.283	0.936	0.075	4.17
ES_i	2 037	9.112	2.500	1.000	219.700	19.450	4.58
AT_i	2 037	4.152	2.667	1.000	78.890	5.104	3.06
PQ_i	2 037	1.998	2.000	1.000	7.5000	0.818	1.63
IPP_i	2 037	0.379	0.110	0.000	23.100	1.216	1.32
ED	2 037	11.040	11.000	9.384	15.680	0.501	2.32
TPO	2 037	5.961	5.979	3.045	8.136	0.665	2.37
IFR	2 037	3.641	3.235	0.082	88.740	2.602	1.43
EL	2 037	10.910	10.840	6.526	14.210	1.248	3.37
DOO	2 037	0.212	0.102	0.000	9.578	0.375	1.28
FIN	2 037	1.287	1.093	0.151	12.820	0.723	1.70
IS	2 037	52.667	52.100	17.010	84.850	9.855	1.52

数据来源：根据 Gephi 和 Ucinet 两种工具计算所得。

表 3　数字经济产业创新网络嵌入对城市创新效率影响基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Eff	Eff	Eff	Eff
C_i	0.152 5***			
	(0.052 5)			
ES_i		0.001 2***		
		(0.000 2)		
AT_i			0.003 6***	
			(0.000 6)	
PQ_i				0.010 3***
				(0.003 7)
ED	0.009 4	0.008 8	0.010 0	0.011 4
	(0.008 4)	(0.008 3)	(0.008 2)	(0.008 3)
TPO	0.017 8*	0.010 7	0.015 1	0.017 4*
	(0.010 1)	(0.010 0)	(0.010 0)	(0.010 1)
IFR	0.005 5***	0.005 6***	0.005 7***	0.005 5***
	(0.000 9)	(0.000 9)	(0.000 9)	(0.000 9)
EL	−0.018 4***	−0.018 9***	−0.018 1***	−0.016 2***
	(0.005 3)	(0.005 2)	(0.005 2)	(0.005 3)
DOO	0.003 2	0.003 1	0.000 9	0.004 5
	(0.006 8)	(0.006 8)	(0.006 8)	(0.006 8)
FIN	−0.003 5	−0.006 2	−0.004 2	−0.003 4
	(0.004 3)	(0.004 3)	(0.004 3)	(0.004 3)
IS	−0.002 1***	−0.002 1***	−0.002 1***	−0.002 0***
	(0.000 4)	(0.000 4)	(0.000 4)	(0.000 4)
常数项	0.633 8***	0.756 0***	0.699 2***	0.644 8***
	(0.098 9)	(0.100 7)	(0.098 7)	(0.099 4)
样本数	2 037	2 037	2 037	2 037

注：***、**、* 分别代表在 1%、5%、10%水平下显著；括号内为标准误。

且通过了 1%显著性检验，表明城市在网络中占据的结构洞有效规模越多，城市创新效率越高，实验结果与假设 H1-2 一致，假设得证。列(3)引入关系强度作为自变量，以检验数字经济产业创新网络的关系强度对城市创新效率的影响。表 3 显示，关系强度的估计系数为0.003 6，通过 1%水平显著性检验，表明城市在网络中合作的关系强度越强，城市创新效率越高，假设 H2-1 通过检验。列(4)探究关系质量对城市创新效率的影响，从回归结果可以看出，关系质量的估计系数为0.010 3，并通过 1%显著性检验，表明城市与其合作伙伴之间的关系质量越高，越能促进城市创新效率，假设 H2-2 得到验证。

3.3.3　稳健性检验

为检验基准回归的可靠性，采取以下方法进行稳健性检验，因篇幅限制，回归结果省略，留存备索。

(1)更换计量模型。将 Tobit 模型更换为双向固定效应模型重新进行回归检验，其中中心度通过 10%显著性检验，结构洞与关系强度均通过 1%显著性检验，关系质量则在 5%水平下显著。结果表明，无论采用哪种计量模型，其结果均通过了显著性检验，因此可以得出基准回归是高度稳健的。

(2)数据缩尾。对各变量分布特征进行分析，发现解释变量存在极端值，可能会对回归结果产生影响，将数据进行 1%和 99%的双端缩尾，以消除极端值给实验带来的误差。对缩尾后的回归结果进行分析，发现网络结构和关系嵌入均通过 1%显著性检验，再次证明基准回归是高度稳健的。

3.3.4　调节效应回归分析

知识产权保护反映地方对科技创新成果的重视程度，当知识产权保护力度越强，越能激发创新主体的创新动力，吸引更多优质创新主体前来寻求合作。在前文基础上，引入知识产权保护作为调节变量，结果见表 4。列(1)研究知识产权保护对中心度影响城市创新效率的调节作用，交互项估计系数

为0.077 6,网络中心度估计系数为0.155 1,并且均通过1%显著性检验,可以得出知识产权保护促进网络中心度对城市创新效率的正向影响。列(2)研究知识产权保护对结构洞影响城市创新效率的调节作用,交互项估计系数为0.000 1,通过5%显著性检验,结构洞估计系数为0.001 1,通过1%显著性检验,说明知识产权保护促进结构洞对城市创新效率的正向影响。综上,知识产权保护促进了数字经济产业创新网络结构嵌入对城市创新效率的正向影响,假设H3-1通过检验。列(3)研究知识产权保护对关系强度影响城市创新效率的调节作用,交互项估计系数为0.000 4,通过10%显著性检验,关系强度估计系数为0.003 3,通过1%显著性检验,说明知识产权保护促进关系强度对城市创新效率的正向影响。列(4)研究知识产权保护对关系质量影响城市创新效率的调节作用,交互项估计系数为0.011 5,通过1%显著性检验,关系质量估计系数为0.007 9,通过5%显著性检验,说明知识产权保护促进关系质量对城市创新效率的正向影响。综上,知识产权保护促进了数字经济产业创新网络关系嵌入对城市创新效率的正向影响,假设H3-2通过检验。

表4 知识产权保护对数字经济产业创新网络嵌入的调节效应

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Eff	Eff	Eff	Eff
C_i	0.155 1*** (0.052 3)			
ES_i		0.001 1*** (0.000 2)		
AT_i			0.003 3*** (0.000 6)	
PQ_i				0.007 9** (0.003 7)
IPP_i	−0.006 3** (0.003 2)	−0.000 5 (0.002 5)	−0.000 3 (0.002 6)	−0.008 6*** (0.002 8)
$C_i \times IPP_i$	0.077 6*** (0.022 1)			
$ES_i \times IPP_i$		0.000 1** (0.000 0)		
$AT_i \times IPP_i$			0.000 4* (0.000 2)	
$PQ_i \times IPP_i$				0.011 5*** (0.002 0)
Controls	Yes	Yes	Yes	Yes
常数项	0.734 3*** (0.102 8)	0.777 2*** (0.101 2)	0.728 6*** (0.099 1)	0.656 9*** (0.099 8)
样本数	2 037	2 037	2 037	2 037

注:***、**、*分别代表在1%、5%、10%水平下显著;括号内为标准误。

4 结论与建议

4.1 研究结论

(1)数字经济产业创新网络呈现规模扩张与结构优化并行的演化趋势。研究发现,2016—2023年,网络参与城市从218个增至283个,联结边数增长超300%,表明创新网络规模迅速扩张。网络密度提升、平均路径长度缩短,则体现数字经济跨越时空限制、促进跨区域直接合作的结构优势。小世界特性的增强与"核心-边缘"结构的调整,共同推动了信息流动与知识重组效率,为城市创新效率的整体提升奠定了结构性基础。

(2)网络结构与关系嵌入对城市创新效率均具有显著正向影响。研究假设H1-1和H1-2通过检验,说明城市在网络中的中心度和结构洞分别通过提升信息获取效率、控制异质资源流动等机制,显著提升创新效率。研究假设H2-1和H2-2通过检验,说明关系强度与关系质量通过增强信任基础、降低合作成本、促进隐性知识共享等路径,进一步强化了协同创新效能,揭示了数字经济产业创新网络影响城市创新效率的多层次机理。

(3)知识产权保护在网络嵌入与创新效率之间发挥正向调节作用。研究假设H3-1和H3-2通过检验,说明较强的知识产权保护力度,能够有效缓解网络中心位置和结构洞城市在知识溢出过程中的"搭便车"风险,增强其开放协作意愿。此外,知识产权保护降低了深度合作中的知识泄露风险,促进了长期信任与专用资产投入。研究表明制度环境是激活网络资源、保障数字创新合作可持续性的关键支撑,为区域差异化创新政策提供了制度层面的启示。

4.2 研究贡献

(1)以城市为研究对象,丰富城市层面创新相关研究内容。城市是创新的重要载体,以城市为节点构建数字经济产业创新网络,测度城市在网络中的结构与关系嵌入水平对城市创新效率的影响,从城市层面提出政策启示,弥补现有研究多集中在省域、企业或产业中,对城市网络构建、演化分析、创新影响方面的不足,增强了研究的微观基础与政策针对性。

(2)构建数字经济产业创新网络,拓展数字经济与城市创新交叉研究方法。创新网络已成为研究创新的重要范式,通过构建数字经济产业创新网络,分析网络结构与关系特征对城市创新效率的影响机理,解决现有研究多集中在数字经济与城市创

新二者直接线性影响，而不能揭示具体作用机制的问题，使研究结论更科学，同时也为政策启示提供具体理论依据。

4.3 政策建议

（1）优化数字经济产业创新网络结构特征与关系属性。①通过设立专项资金与搭建全国性对接平台，降低中小城市参与协同创新的制度性与资源性门槛，增强创新网络的包容性；②在弱势地区择优布局数字创新基地，推动建立城市间“结对合作”机制，以点带面促进区域协同，培育结构均衡的多中心创新网络；③引导合作模式由短期项目向共建实验室、联合研发等长效机制转变，鼓励核心城市适度外包非核心环节，打破网络结构固化。

（2）构建适应数字经济的知识产权保护体系。既要健全地方知识产权保护体系，推动司法服务下沉与案件公开，加快专业法庭建设，为创新活动提供坚实的制度保障；又要构建跨区域知识产权协作机制，强化异地执法与联合调查能力，并在合作前期明确权益分配，以降低跨域创新合作风险；还要提升对关键城市的专项保护与侵权监测服务，维护其异质资源整合优势，激发网络结构创新活力。

（3）优化区域差异化发展战略布局。①东部依托长三角、京津冀、珠三角打造数字经济共同体，推动上海、北京、深圳开放前沿技术资源并设立高价值专利奖励基金，实现“质效双优”；②中部地区培育武汉、郑州、长沙等核心城市占据结构洞，与东西部开展异质合作，破解知识僵化；③西部优先建数字基础设施，在优势城市设创新研发基地，前置技术需求，以差异化策略提升各区域城市创新效率。

参考文献

[1] 全球数字经济白皮书(2024)[R]. 北京：中国信息通信研究院，2024.

[2] 袁维海，周健鹏. 数字化转型对企业新质生产力的影响[J]. 华东经济管理，2024，38(12)：9-20.

[3] 数字经济核心产业专利统计分析报告(2024)[R]. 北京：国家知识产权局，2024.

[4] ZHANG C，ZHOU B，TIAN X. Political connections and green innovation：the role of a corporate entrepreneurship strategy in state-owned enterprises[J]. Journal of Business Research，2022，146：375-384.

[5] YOON J，PARK H W. Triple helix dynamics of South Korea's innovation system：a network analysis of inter-regional technological collaborations [J]. Quality & Quantity，2017，51(3)：989-1007.

[6] 侯光文，刘青青，刘启雷. 双重价值链嵌入与创新绩效倒U型关系研究：企业数字化的中介作用与组织韧性的调节作用[J]. 科技进步与对策，2023，40(11)：31-39.

[7] 冯瑜满，马丽，金凤君. 中国人工智能创新合作网络的时空格局及其影响因素分析[J]. 地理科学，2025，45(1)：130-140.

[8] 马涛，郭进利. 基于加权超图的产学研合作申请专利超网络模型：以上海电子信息产业为例[J]. 技术经济，2019，38(6)：109-118，124.

[9] 尤宇，刘云，赵瑞雪. 本土创新网络与全球创新网络耦合协同性测度：基于中国省域数据的实证分析[J]. 科学学研究，2024，42(7)：1513-1526.

[10] 余辉，周晶，吴昀璟，等. “知识-合作”网络视角下产业链技术发展态势分析：以新能源汽车产业为例[J]. 情报理论与实践，2025，48(6)：113-122.

[11] LI X，LI X，DING S. Effect of knowledge network embedding on exploitative and exploratory innovation：evidence from Chinese advanced manufacturing firms[J]. Technology Analysis & Strategic Management，2024，36(11)：3477-3491.

[12] 兰梓睿，刘保留. 数字经济与创新要素配置效率：影响效应与作用机制[J]. 统计与决策，2025，41(18)：89-94.

[13] 李明贤，邓晶晶. 数字经济发展对企业绿色技术创新的影响效应及机制研究[J]. 生态经济，2025，41(6)：59-67.

[14] 王鹏，张可盈. 数字经济对区域创新效率的影响[J]. 统计与决策，2025，41(2)：131-136.

[15] 庄赟，林鑫城，刘乃全，等. 数实融合发展对区域创新能力的空间效应及异质性研究[J]. 区域经济评论，2025(4)：84-98.

[16] GE C，LÜ W，WANG J. The impact of digital technology innovation network embedding on firms' innovation performance：the role of knowledge acquisition and digital transformation [J]. Sustainability，2023，15(8)：6938.

[17] TALMAR M，WALRAVE B，PODOYNITSYNA K S，et al. Mapping，analyzing and designing innovation ecosystems：the ecosystem pie model[J]. Long Range Planning，2020，53(4)：101850.

[18] WANG C，YI J，KAFOUROS M，et al. Under what institutional conditions do business groups enhance innovation performance? [J]. Journal of Business Research，2015，68(3)：694-702.

[19] 刘思明，张新宇，王文静，等. 知识产权保护对人工智能技术创新的影响研究[J]. 科研管理，2025，46(10)：82-92.

[20] LAURSEN K，SALTER A J. The paradox of openness：appropriability，external search and collaboration[J]. Research Policy，2014，43(5)：867-878.

[21] 段玉婷，王玉荣，卓苏凡. 产业互联网下企业创新“竞合”网络与创新绩效[J]. 技术经济，2021，40(8)：51-62.

[22] 肖久灵,韩玉冰. 企业网络位置、关系强度与技术创新绩效:以OLED产业为例[J]. 科技和产业,2022,22(7):1-9.
[23] IBARRA H, ANDREWS S B. Power, social influence, and sense making: effects of network centrality and proximity on employee perceptions[J]. Administrative Science Quarterly, 1993, 38(2): 277-303.
[24] 苏屹,梁德智,孙笑明. 资源价值视角下网络位置对区域创新绩效的影响研究[J]. 科研管理,2024,45(11):47-56.
[25] BURT R S. Structural holes and good ideas[J]. American Journal of Sociology, 2004, 110(2): 349-399.
[26] GUO M, YANG N, WANG J, et al. How do structural holes promote network expansion? [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 173: 121129.
[27] 孙笑明,刘偲,苏屹,等. 预研情境下关键研发者创新绩效提升:知识网络与合作网络的组合视角[J]. 管理评论,2023,35(2):135-146.
[28] 何喜军,董颖,武玉英,等. 多层网络下企业技术创新能力影响因素及机理研究:以中国半导体行业上市公司为例[J]. 管理评论,2025,37(4):98-112.
[29] 彭华涛,韩一佳,范丹. 高价值专利知识网络嵌入与企业高质量发展:创业行为的调节作用[J]. 中国科技论坛,2025(1):78-87.
[30] FUSILLO F, MONTRESOR S, BURLINA C, et al. Regional technological diversification and the global network of embodied R&D: evidence from the exposure of European regions[J]. Regional Studies, 2024, 58(7): 1410-1424.
[31] 吴兴宇,王满. 产学研协同创新视角下联盟网络嵌入对创新绩效的影响[J]. 科技进步与对策,2020,37(3):16-23.
[32] 刘俊婉,巩晓云,徐硕,等. 基于关系链接的科研团队创新绩效影响机制研究[J]. 软科学,2025,39(2):115-123.
[33] 陈珊. 基于交易费用的产学研合作治理机制探讨[J]. 现代商业,2020(17):96-97.
[34] 仇怡,高聪. 数字经济发展对绿色创新效率提升的全过程驱动效应:基于创新价值链视角[J]. 湘潭大学学报(哲学社会科学版),2025,49(4):72-79.
[35] 张婷,吴宏. 京津冀城市群绿色技术专利合作网络演化及影响因素研究[J]. 科技创业月刊,2025,38(8):88-97.
[36] STEA D, PEDERSEN T, SODA G. Keep or drop? the origin and evolution of knowledge relationships in organizations[J]. British Journal of Management, 2022, 33(3): 1517-1534.
[37] 王海军,束超慧. 模块化对颠覆性技术创新的影响机制研究:创新网络嵌入的中介作用[J]. 科学与管理,2026,46(1):1-11.
[38] 袁杏桃. 知识产权保护、新质生产力与高技术产业创新韧性[J]. 软科学,2025,39(10):19-25,48.
[39] 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.

Impact of Digital Economy Innovation Network on Urban Innovation Efficiency

LIN Xiaoai, ZHANG Jiachen

(School of Intellectual Property, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: As the digital economy becomes the global engine of innovation, optimizing innovation networks and enhancing urban innovation efficiency are of paramount importance. To investigate the impact of digital economy innovation network embeddedness on urban innovation efficiency and the moderating role of intellectual property protection, an innovation network was constructed based on digital economy industry collaboration patent data from 285 Chinese prefecture-level cities spanning 2016 to 2023. Social network analysis was used to calculate indicators for urban network structural embeddedness and relational embeddedness. Urban innovation efficiency was measured by the DEA-SBM(data envelopment analysis-slack-based measure) model, and empirical analysis was conducted via Tobit panel regression and moderating effect tests. The findings are as follows. Both network structural embeddedness and relational embeddedness exert significant positive effects on urban innovation efficiency. Intellectual property protection plays a positive moderating role in the relationship between network embeddedness and innovation efficiency, strengthening the positive effects of structural and relational embeddedness. Finally, multi-level mechanisms through which innovation networks influence urban innovation efficiency in the context of digital economy are elucidated, providing empirical evidence for optimizing regional innovation systems and formulating differentiated digital innovation policies.

Keywords: digital economy; innovation network; network embedding; innovation efficiency; intellectual property protection