

doi. 10. 3724/1005-0566. 20260912

科产融合视角下核心技术转移网络的演化机制与韧性研究

赵晓琴¹, 王志睿¹, 孙德华¹, 赵悦辰²

(1. 新疆大学经济与管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;

2. 新疆财经大学经济学院, 新疆 乌鲁木齐 830012)

摘要: 科技创新与产业创新的深度融合(科产融合)是培育新质生产力的核心路径,而关键核心技术的跨界转移则是该融合行为最直观的核心体现。基于 2015—2024 年中国专利转让数据,本文综合运用 LDA 主题模型精准识别关键核心技术,创新性地构建了“学研机构—企业”二模网络。在此基础上,运用时间指数随机图模型(TERGM)探究了网络演化的内在机制,并进一步仿真剖析了网络的韧性与底线安全。研究发现:第一,网络演化存在显著的路径依赖与“马太效应”,既有合作基础与供应链关系网络为核心技术跨界流转提供了坚实的信任基础;第二,驱动网络演化的主体因素呈现非对称性,学研机构的“硬实力”与企业的“软实力”是两大关键驱动力;第三,网络演化机制表现出显著的产业异质性,传统产业网络的“核心—边缘”主导性最强,而新兴与未来产业的结构化合作网络尚未发育成熟;第四,技术转移网络存在效率优先与底线安全的结构性错配。虽然马太效应驱动了技术资源向少数核心节点的高效集聚,但也造就了网络极高的结构脆弱性,过度依赖传统产业枢纽使得网络在面临核心节点冲击时极易发生断链风险;在防范极端冲击的韧性表现上,由企业主导的多元合作结构正取代单一学研机构,成为维护跨界技术协同底线安全与产业安全的关键支撑。

关键词: 科产融合; 技术转移; 关键核心技术; 二模网络; TERGM

中图分类号: F273. 1

文献标识码:

文章编号: 1005-0566(2026)09-0157-17

Research on evolution mechanism and resilience of core technology transfer network from the perspective of industry-research integration

ZHAO Xiaoqin¹, WANG Zhirui¹, SUN Dehua¹, ZHAO Yuechen²

(1. School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;

2. School of Economics, Xinjiang University of Finance and Economics, Urumqi, Xinjiang 830012, China)

Abstract: Integrating Technological Innovation with Industrial Innovation (the “Tech-Industry Integration”) represents the core pathway for cultivating new quality productive forces, and the cross-sectoral transfer of key core technologies is the most direct manifestation of this integration. Using China’s patent assignment data from 2015 to 2024, this paper employs the LDA topic model to precisely identify key core technologies and innovatively constructs a two-mode

基金项目: 自治区研究生科研(实践)创新项目“科产融合视角下技术转移网络演化动力研究”(XJ2026G062); 国家自然科学基金地区项目“上市公司连锁董事网络结构与投资效率研究”(72062029); 国家自然科学基金地区项目“企业政治关联经济后果及金融契约缓解其负向经济影响的研究”(71563051)。

作者简介: 赵晓琴(1977—), 女, 新疆伊犁人, 新疆大学经济与管理学院副教授、博士生导师, 研究方向为公司治理, 组织行为。通信作者: 王志睿。

(“academic-research institutions” and “enterprises”) network. On this basis, we apply the Temporal Exponential Random Graph Model (TERGM) to investigate the intrinsic mechanisms of network evolution and further conduct simulations to examine network resilience and bottom-line security. The findings are fourfold. First, the network evolution exhibits significant path dependence and a “Matthew effect”, whereby prior collaboration ties and supply-chain relationships provide a solid trust foundation for cross-sectoral technology flows. Second, the driving factors of network evolution are asymmetrical across agents: the “hard power” of academic-research institutions and the “soft power” of enterprises are the two primary drivers. Third, the evolutionary mechanisms display marked industrial heterogeneity—the “core-periphery” structure is most dominant in traditional industries, whereas structured cooperative networks in emerging and future industries remain underdeveloped. Fourth, while agglomerative evolution entails a high “vulnerability” risk due to over-reliance on a few hubs, in terms of resilience against extreme shocks, enterprise-led diversified cooperative structures are increasingly replacing single academic-research institutions as the key pillar for safeguarding the bottom-line security of cross-sectoral technology coordination and industrial security.

Key words: industry-academia integration; technology transfer; key core technologies; second-order network; TERGM

科技创新与产业创新深度融合(科产融合)是培育新质生产力的核心路径。2025 年 10 月,党的二十届四中全会明确指出,加快高水平科技自立自强,引领发展新质生产力,必须加强原始创新和关键核心技术攻关,推动科技创新和产业创新深度融合。在这一体系中,学研机构主导的基础研究与原始创新构成了科技创新的供给端,为知识创造提供基础支撑;而企业主导的技术迭代与成果转化则构成了产业创新的核心平台,以突破现有产业约束。两者间的有效链接与良性循环,已成为加快建设现代化产业体系的根本驱动力。

实现科技创新与产业创新深度融合的关键机制在于产学研主体的协同互动。从科产融合的微观本质来看,专利技术尤其是关键核心技术的跨界转移不仅是打通知识供给侧与需求侧的桥梁,更是科产融合行为最直观、最核心的体现。科技创新通过基础研究为产业升级提供底层支撑,而产业创新以市场需求为导向打造全新产业生态,两者的深度融合高度依赖于技术转移网络这一结构化载体。该网络不仅直接决定了科技成果从实验室走向生产线、从创新策源地辐射至产业生态圈的效率与广度,更承载着跨组织知识溢出与资源配置的关键功能。特别是在当前复杂严峻的外部技术竞争与科技制裁背景下,技术转移网络的韧性已不再仅仅是一个网络拓扑学概念,其本质更是事关国家宏观层面的产业安全。特别是在关键核心技术领域,其网络韧性直接决定了产业链

供应链在遭遇外部极端冲击时能否保持自主可控与底线安全。因此,深入剖析大规模专利转让所映射的国内技术转移网络演化与韧性规律,尤其是不同产业领域(如新兴产业与传统产业)面临的外部威胁与底线安全要求异质性所引发的网络韧性机制是否有差异,这些对于理解创新链与产业链如何协同突破关键核心技术、加速科技成果向现实生产力高效转化,具有不可替代的现实意义。

基于此,立足于科产融合的系统性视角,本文可能的边际贡献有以下几个方面。第一,拓展了科产融合的网络分析框架。本文跳出传统同质化单模网络的局限,创新性构建“学研机构—企业”二模转移网络并引入 LDA 主题模型精准识别核心技术,从微观拓扑结构上更真实地还原了科技成果从供给端向需求端跨界转化的双向协同轨迹。第二,深化了技术转移网络演化的底层逻辑与双向驱动机制。运用 TERGM 系统剥离了内生偏好(如星型依附的马太效应)与外生网络协变量(供应链嵌入)的协同驱动,并证实了学研机构“硬实力”与企业“软实力”在促成技术转移中的非对称性驱动作用,为科产融合提供了新的微观理论解释。第三,将网络韧性评估的理论内涵升华至“产业安全”维度。突破了既有研究仅停留在拓扑结构抗毁性测试的局限,将韧性仿真与网络演化的结构脆弱性深度绑定。通过对不同类型产业的异质性抗冲击能力对比,为极端外部冲击下保障国家核心产业链供应链的底线安全与自主可控提供了异质性防御思路。在研究方法视角

上,本文通过 TERGM 实证与仿真模拟的互补印证,突破了单一视角的局限,深入剖析了网络自发演化中集聚效率与抗风险韧性的结构性错配,为防范系统性产业风险提供了深层次的理论洞察。

一、文献综述

技术转移作为连接科学研究与产业应用的桥梁,是实现科产融合的关键环节。技术转移泛指技术由供给者向需求者流动的过程,是知识转化为现实生产力的关键^[1]。随着全球科技竞争的加剧,研究者的视点逐渐从一般性技术向“关键核心技术”与“高价值技术”转移。关键核心技术具备高投入、高风险、高技术门槛等特征,是国家战略安全和产业竞争力的核心支撑^[2]。研究表明,产学研协同创新能够为企业异质性与资金支持,是突破关键核心技术瓶颈的有效路径。然而,当前中国高校与科研院所的科技成果转化整体偏低,如何打通“基础研究—技术攻关—产业应用”的链条,实现科产深度融合,已成为亟待解决的现实问题。

随着网络科学的发展,学者们广泛基于专利转让与合作数据构建技术转移网络,综合运用社会网络分析等方法探究其拓扑特征与时空演变。在宏观层面,全球、国家、城市群相关研究普遍证实,技术转移网络呈现出显著的空间非均衡性与“核心—边缘”结构。例如,中国高质量技术转移网络正由早期的“单核驱动”逐渐演变为以东部沿海城市为枢纽的“多中心互动”与“梯形”架构^[3-5]。在微观层面,企业、高校、科研机构等创新主体间的技术交互日益频繁。企业间的技术转移在产业链不同环节呈现出非均衡分布,而产学研合作网络则呈现出由随机松散向集聚化发展的特征^[6],网络中的顶尖高校与科研机构往往扮演着技术溢出的核心策源地角色。

在揭示了网络结构的宏微观特征之后,探究驱动技术转移网络演化的内在与外在因素成为现有研究的另一核心命题。首先是外生驱动因素,主要包括创新主体的节点属性,如知识存量、吸收能力、组织声誉,以及主体间的多维邻近性,如地理、认知、制度与技术邻近性等^[7]。研究表明,地理距离的增加会阻碍隐性知识的传递,而供应链关系

网络、风险投资网络等“软环境”的嵌入,能够为技术转移提供坚实的信任基础与资金保障^[6,8]。其次是内生网络动力机制。随着网络动力学模型的发展,学者开始运用时间指数随机图模型(TERGM)挖掘网络底层的自组织规律。实证发现,技术转移网络的演变高度遵循“路径依赖”与“偏好依附”机制,表现出显著的马太效应、互惠效应以及闭合效应^[5],即既存的合作关系和较高的网络中心度能够显著促进新联结的生成。基于此,网络韧性的研究逐渐成为评估这种内生结构抗风险能力的重要方向。现有研究从网络节点、结构和群落等维度构建了韧性测度体系,并证实了创新合作的互惠性及交互性是强化网络韧性的重要驱动因素^[9],同时核心节点抗风险能力与网络密度对结构韧性具有显著的正向影响^[10]。此外,最新研究还进一步利用指数随机图模型揭示了网络匹配性与内生结构在抵御外部冲击、维持产业创新网络韧性方面的关键作用^[11]。然而,现有关于技术转移网络韧性的研究大多仍停留在拓扑结构的抗毁性测试层面,鲜有文献从“产业安全”这一本质视角对其进行理论升华。事实上,产业安全是科产融合的底线要求,技术网络一旦在遭遇卡脖子或核心节点瘫痪时发生崩溃,将直接引致产业链的系统性断裂。此外,不同产业的技术转移网络在演化动力与结构上存在天然异质性。例如,人工智能、新一代信息技术等新兴产业作为大国博弈的焦点,其网络韧性关乎国家核心竞争力与极端安全;而传统产业的网络韧性则更多关乎国民经济的平稳运行。因此,将韧性研究置于产业安全视角下,并针对不同战略定位的产业领域开展横向对比分析,已成为深化科产融合与网络安全理论的迫切需求。

随着研究的不断深化,为了更精准地刻画异质性主体的协同水平与抗风险能力,研究视角逐步从单模网络转向了二模网络。早期的技术转移研究大多将不同类型的创新主体(如高校与企业)做同质化处理,或将高校—企业间的转移数据直接投影、简化为城市间的单模网络进行分析。然而,投影方法容易导致主体异质性信息的严重丢

失^[12]。近年来,部分学者开始呼吁保留创新系统的异质性特征,构建“高校/科研院所—企业”或“技术—企业”的二模网络进行直接分析。二模网络不仅能够真实反映技术供给端(学研机构)与需求端(企业)之间的跨界融合过程,还能更精准地测度产学研协同的结构洞与互动强度。但目前,运用 TERGM 等前沿动态模型对二模技术转移网络进行长时序演化分析的文献依然较为稀缺。

综合来看,现有研究在揭示技术转移网络演化规律方面取得了丰硕成果,但仍存在以下可拓展空间:第一,现有文献多聚焦于一般性技术或单一主体的单模网络演化,较少将“关键核心技术”与“产学研二模网络”相结合进行探讨;第二,当前对技术转移影响机制的分析多停留在外生计量层面,缺乏在科产融合战略视角下,对学研机构与企业相互选择的内生网络动力机制及其稳定性的深入剖析。

二、研究设计

(一)网络的构建

1. 技术转移网络数据来源与处理

本文所用专利数据源自国家知识产权局。依据 2015 年《深化科技体制改革实施方案》、2017 年《国家技术转移体系建设方案》以及“十四五”“十五五”规划推动科技创新与产业融合的关键节点,研究区间设为 2015 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日,共包含 368.85 万条中国专利明细数据。

(1) 识别专利流转关系。将“申请人”“受让人”按主体数量拆分为独立字段,如“天津大学;中国电力科学研究院”拆为转让人 1、转让人 2;同时删除申请人与受让人类型相同及字段不完整的数据。

(2) 关系类型匹配及组合。将转让人与受让人名称与天眼查数据库匹配,获取机构类型并区分产学研属性;对多主体进行两两排列组合,仅保留高校/科研院所与企业之间的专利转移关系。

(3) 关键核心技术识别。参考刘建华等^[13],综合运用 LDA 模型与专利指标测度法:首先,对专利名称和摘要预处理后,利用 LDA 识别技术主题,并将战略性新兴产业等关键技术领域与主题映射;其次,以 IPC 分类号前 4 位统计各技术领域专利数量占比作为领域权重,并以主题概率与领域权重的乘积作为核心技术综合得分,按二八法则取前 20% 作为关键核心技术;最后,为体现有效合作与深度,仅保留转让关系共现频次大于 2 的数据。

(4) 基于前文的数据处理,进一步对高校/科研院所—企业技术转移的特征进行统计分析,可以发现以下结果。①从高校/科研院所主体分布来看,技术输出能力呈现显著的梯度差异,高校是技术转移的核心供给主体,其中浙江工业大学以 1 524 件专利转移量位居首位,杭州电子科技大学、重庆邮电大学分别以 1 106 件、1 058 件位列第二与第三位,第一梯队机构的专利转移规模均突破千件量级;排名第十位的北京航空航天大学转移量为 555 件, TOP10 内部首位机构输出规模约为末位的 2.75 倍,反映出不同机构间技术转化效能存在明显层级分化。从主体属性来看, TOP10 机构中理工类高校占据 9 席,仅中国电力科学研究院为科研院所,表明现阶段我国科产融合技术转移的供给侧以高校为绝对主导,理工类高校凭借与产业需求高度契合的学科布局,成为技术成果输出的核心载体。

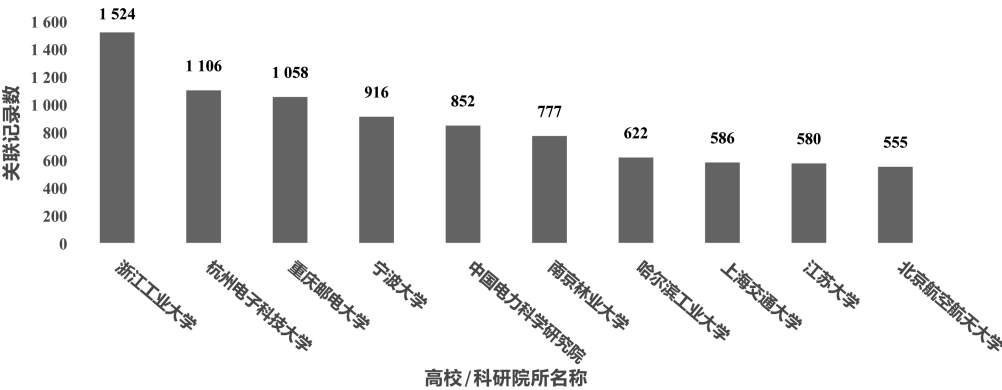


图1 高校/科研院所技术转移核心主体 TOP10

②从企业主体规模结构来看,中小微企业构成技术吸纳的核心群体,企业规模与外部技术依赖度呈现负向关联特征。经统计发现,不同规模企业在技术转移的关联规模及占比分布,数据显示,微型企业占比达 40.35%,小型企业占比为 34.45%,小微企业合计占比超过 74%;相比之下,大型企业与中型企业占比仅分别为 14.22% 与 9.91%。可能原因在于中小微企业普遍面临内部研发资源禀赋不足、技术积累薄弱的约束,因而对高校院所的外部技术成果具有更高的依赖程度,通过专利引进实现技术升级是其创新发展的重要路径;而大型企业通常具备完善的内部研发体系与自主创新能力,外部技术引进在其技术来源结构中占比相对较低。

③从高校/科研院所—企业双侧的产业关联来看,技术转移的产业分布呈现明显的结构性错配,新兴产业已成为供需对接的核心领域。在高校/科研院所层面,高校院所输出的传统产业相关专利共计 21 299 件,显著高于新兴产业的 10 716

件,未来产业相关技术成果仅 212 件,表明当前高校科研产出仍以传统产业技术为核心构成,新兴与未来产业的技术供给规模相对有限。在企业层面,企业吸纳的新兴产业相关专利达 21 818 件,已超过传统产业的 10 350 件,未来产业相关专利为 59 件,反映出市场端对新兴产业技术的需求更为旺盛。双侧对比可见,传统产业领域存在技术供给相对过剩而市场需求不足的矛盾,新兴产业领域则呈现需求强劲但供给支撑不足的特征,未来产业技术的供需两端均处于起步培育阶段,整体产业适配性存在结构性缺口。

④从区域空间分布来看,技术转移呈现高度集聚的空间格局,科教资源禀赋与产业发展水平共同塑造了区域分化特征。图 2 为供给端与需求端所属省份的技术转移规模 TOP10 分布,空间集聚特征十分突出。在高校/科研院所层面,北京市、浙江省、江苏省的专利输出量位列前三,分别达到 5 535 件、4 905 件、4 547 件,京津冀、长三角等科教资源密集区域是技术成果的核心输出地,

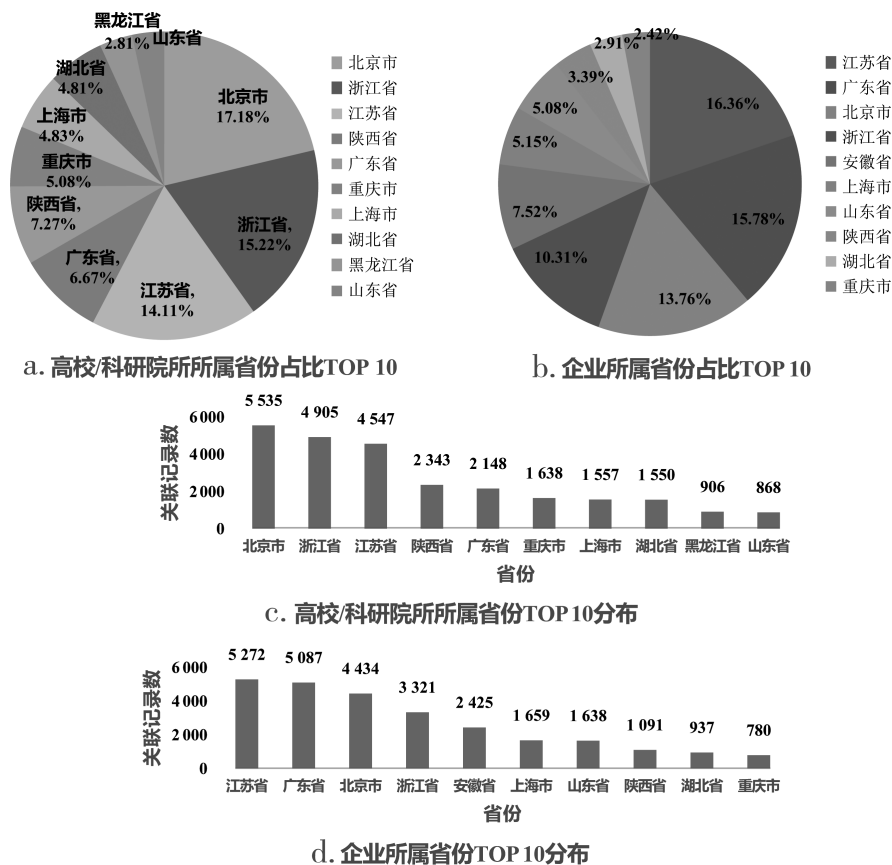


图2 高校/科研院所—企业所属省份 TOP 10 分布

技术供给的空间格局与区域科教资源禀赋高度协同。在企业层面,江苏省、广东省、北京市的专利吸纳量位居前三,分别为 5 272 件、5 087 件、4 434 件,长三角、珠三角及京津冀等产业经济发达地区同时也是技术需求的核心承载区。总体而言,技术转移的头部省份同时承担技术输出与吸纳的双重功能,省际技术流动主要围绕核心经济圈展开,技术转移的空间分布呈现出与区域创新能力高度一致的梯度分化特征。

2. 科产融合视角下技术转移二模网络的构建

本文根据高校/科研院所与企业的专利转移关系,构建高校/科研院所—企业的技术转移网络模型。高校/科研院所—企业的二模技术转移网络是指以高校、科研院所与企业为节点单元,以高校/科研院所与企业的专利转移关系为连边的网络。具体地,使用 Python 对数据进行处理,构建 0-1 矩阵,表示高校/科研院所—企业的技术转移二模网络,矩阵中“1”代表具有专利转移关系,“0”代表没有。

(二) 时间指数随机图模型构建

静态二模 ERGM 模型可实现对网络形成及演化机制的分析,但仅适用于网络截面数据。本研究参考 Hanneke 等^[14]提出的时间指数随机图模型,在 ERGM 的基础上引入时间维度,将多期技术转移网络视为一个整体进行估计。借鉴 Broekel 等^[15]的研究,考虑 TERGM 模型在二模网络数据中的适用性,将学研机构与企业的技术转移网络作为研究对象,构建包含内生结构变量、时间依赖项、节点属性和网络协变量在内的分析框架,建立的二模 TERGM 模型为:

$$P(Y^t | \theta, Y^{t-1}, X) = \frac{1}{c} \exp(\theta_0 \text{edges} + \theta_1 \text{star2} + \theta_2 \text{star3} + \theta_3 \text{star4} + \theta_4 \text{nodecov} + \theta_5 \text{edgecov} + \theta_6 \text{stability}) \quad (1)$$

式(1)中: Y^t 和 Y^{t-1} 分别表示 t 和 $t-1$ 时期技术转移网络; θ 表示待估计参数; $P(Y^t | \theta, Y^{t-1})$ 表示参数 θ 对于多期技术转移网络关系演变的影响概率; $1/c$ 为归一化参数,使得概率介于 0 和 1 之间。edges 是技术转移关系网络中的边变量,可以

看成常数项。内生机制解释变量包括:ostar2(二星)、ostar3(三星)、ostar4(四星)和 stability(时间依赖项)。外生机制解释变量包括:nodecov(节点属性)、edgecov(网络协变量)。

(三) 变量说明

1. 被解释变量

本文选取 2015—2024 年参与专利转移的 630 家学研机构与 3 533 家企业作为节点,以节点之间的关键核心技术转移关系构建网络连边,以此得到技术转移网络。本文主要使用天眼查匹配网络节点属性变量与网络协变量数据,部分缺失数据采用插值法补齐。

2. 内生结构变量

内生结构变量用于刻画网络自身拓扑结构对技术转移关系形成的影响。在二模网络分析中,星型结构被广泛用于检验复杂连接关系的演化特征。为此,参考 Wang 等^[16]的研究,本文除纳入基础的边效应外,重点引入了学研机构与企业的二星、三星及四星结构变量。这不仅能更精准地反映科产融合中多主体间的技术集聚与扩散效应,还能有效提升 TERGM 模型的拟合度与解释力。

3. 节点属性

在技术转移网络中,学研机构与企业的相关属性会对技术转移关系产生重要影响,节点属性的影响机制是探讨技术转移网络形成的一项重要机制^[4]。考虑到学研机构与企业节点属性的差异性,因此本文选取硬实力与软实力来体现创新主体的创新能力。硬实力为规模(Sizing)与资质证书(QC),规模包含企业与科研院所的规模大小及高校的类型分类,资质证书为学研机构与企业在某领域内的专业能力和资质水平^[17]。软实力为商标信息(TI)、标准信息(SI)与软件著作权(SC),商标信息(TI)是企业的相关领域的品牌资质,标准信息是学研机构在某些领域所具备的资质信息,软件著作权是指企业与学研机构对知识产权的保护程度^[18]。在技术转移网络影响因素分析中,本文分别从资源与能力、知识产权与创新成果的硬实力与软实力维度,分析节点属性对技术转移关系形成的影响。

4. 网络协变量

网络协变量用于考察创新主体间其他类型的网络关系对技术转移网络演化的溢出效应。在专利转移实践中,技术转移关系的建立往往依赖于主体间既有的供应链网络^[19]。一方面,中小企业可依托供应链网络获取融资机遇并提升创新能力^[20];另一方面,链主企业的技术优势也能通过供应链产生知识溢出^[21]。因此,本文选取“供应关系”作为网络协变量,基于企查查数据库中的供应商与客户信息构建实体间的供应关系网络。若科研机构与企业间存在供应关系则赋值为1,反之为0。

5. 时间依赖项

TERGM 通过引入时间依赖项来捕捉网络演化的动态特征与时序规律。本文选取稳定性 (Stability) 指标来观测网络的时间依赖性。技术转移关系的形成具有较强的路径依赖性与延续性^[22],由于科研机构与企业的经济基础、创新水平、政策环境及市场环境在短期内不会发生剧烈变动,这些相对固化的条件共同塑造了主体在网络中地位的差异性与稳定性,使得前一期的技术转移网络结构往往不会随时间推移产生大幅波动。具体解释变量的释义与测度如表1所示。

表1 TERGM 变量设定及解释

类别	变量	示意图	机制	解释
内生结构变量	Edges		边	基础效应
	star2		二星	是否倾向形成二星结构
	Star3		三星	是否倾向形成三星结构
	Star4		四星	是否倾向形成四星结构
时间依赖	Stability		稳定性	当期节点之间的关系是否容易受上期网络影响
节点属性	Nodecov(Sizing)		马太效应	规模大的节点是否越倾向于联结
	Nodecov(QC)		马太效应	资质证书多的节点是否越倾向于联结
	Nodecov(TI)		马太效应	商标信息全的节点是否越倾向于联结
	Nodecov(SC)		马太效应	软件著作权多的节点是否越倾向于联结
网络协变量	Edgecov		邻近性	具有供应关系的节点是否越倾向于联结

6. 韧性与稳定性测度指标

为进一步探究技术转移网络在遭受外部冲击或内部断链风险时的抗风险能力(即前文提及的

网络韧性与稳定性),本文参考王坤等^[23]的研究,引入复杂网络鲁棒性测度指标及蓄意攻击策略。

首先,以全局效率和最大连通子图规模作为网络整体稳定性的核心响应变量。全局效率用于衡量整体网络中技术信息传递的流通效率;最大连通子图规模则反映网络的结构凝聚力,该值越大代表连通区域包含的产学研机构越多,科产融合的协同基本盘越稳固。

其次,为了模拟蓄意攻击场景并甄别关键枢纽的脆弱性,本文基于节点三类中心性指标设定节点移除规则:①强度中心性,衡量节点在网络中直接建立技术转移连边的绝对数量,用于识别直连资源最丰富的核心主体;②介数中心性,衡量节点在技术转移最短路径上充当“桥梁”的中介频率,用于识别控制信息与资源交换的关键中转站(如中介服务型企业);③接近中心性,反映某节点到其余所有节点的平均距离,距离越短则该主体的信息传播与资源搜寻优势越强。此外,针对局部子结构的脆弱性测试,本文将局部产学研“星型结构”作为结构攻击的靶标,以期全面评估由于核心节点或局部生态圈瘫痪对技术转移网络整体韧性造成的衰减效应。

三、实证结果分析

(一)技术转移网络拓扑结构与演化特征

在对技术转移网络演化驱动力进行实证检验前,本文从整体网络特征、局部星型结构及重点主体特征三个维度,对2015—2024年科产融合视角下技术转移网络的基本拓扑演化规律进行刻画。

(1)网络整体规模持续扩张,但全局效率仍有瓶颈。由表2可见,2015—2024年,网络总节点数从172个跃升至1050个,网络边数从119条增长至923条,最大连通子图规模同步从20飙升至390。这表明,越来越多的产学研主体通过技术转移关系相互连接,科产融合趋势不断增强。然而,10年间网络的全局效率虽有翻倍提升(由0.0147升至0.0344),但绝对数值依然偏低,说明网络内尚未达到高度连通状态,存在大量外围小团体,跨组织协同的信息流通成本依然较高。

(2)核心—边缘结构凸显,企业主导作用不断

攀升。如表 3 所示,从星型结构及节点占比演化来看,技术转移网络的中心化程度逐年提高。企业节点在网络中的占比从 2015 年的 60% 攀升并稳定在 75% 左右,且企业主导的星型结构数量大幅增加,表明企业在科技成果转化中发挥着越发核心的主导地位。

(3) 关键节点更迭,专业服务型机构成为科产融合新中枢。表 4 中对历年处于核心位置的重点主体进行中心度测算结果显示,早期的技术转移大多依附于国家电网等大型国企庞大的系统性需

求;而随着市场化演进,知识产权运营公司、科技咨询服务公司等专业型“中介枢纽企业”的排名迅速攀升并占据核心位置。这标志着技术转移正从基于项目或特定关系的离散活动,向基于专业平台与市场机制的系统性创新生态模式演变。

(二) 基准结果分析

本文基于 R 语言中的“btergm”程序包进行模型估计,采用极大伪似然估计方法(MPLE)迭代至参数收敛,最终的基准实证结果如表 5 所示。为检验模型设定的稳健性并清晰展现各维度变量的增量解释力,本文采用了分步回归策略:模型 1 仅纳入基础网络边与内生结构变量;模型 2 加入时间依赖项(稳定性);模型 3 进一步引入节点属性变量;模型 4 在此基础上纳入“供应关系”这一外生网络协变量,构成全维度的综合解释框架。

由于包含学研机构(b1)和企业(b2)的二模技术转移网络特征较为复杂,模型 4 全面涵盖了内生结构偏好、关系延续性、主体异质性能力以及外部网络嵌入等多重机制,因此下文主要基于模型 4 的回归结果展开深入探讨。

首先,在模型 1 至模型 4 中,基础边的系数均显著为负。这表明,技术转移网络整体呈现稀疏特征,学研机构与企业之间建立核心技术转移关系仍存在较高的门槛或交易成本。

(1) 从内生结构效应看,企业与学研机构的二星结构效应系数均显著为正,证实了技术转移网络的演化存在显著的马太效应与优序连接机制。即已经拥有较多合作伙伴的节点,在后续演化中更容易吸引新伙伴,推动网络向“核心—边缘”结构演化。进一步观察学研机构的高阶星型结构发现,其三星结构系数显著为负而四星结构系数显著为正,反映出学研机构对网络演化的影响呈现先抑制后促进的“倒 U 型”向外拓展态势:初期的过度集聚可能会产生资源拥挤并限制网络扩张,但随着合作广度与深度的进一步突破,将有利于打造更完善的技术转移网络。此外,学研机构的星型结构效应远比企业显著,这与前文的网络拓扑特征相呼应,表明当前网络仍高度依赖少数中心化学研机构进行连边扩散,企业端的结构化参

表 2 整体网络特征

指标	2015 年	2018 年	2021 年	2024 年
总节点数	172	470	730	1050
边数	119	335	624	923
最大连通子图规模	20	23	151	390
全局效率	0.014 667	0.005 973	0.020 448	0.034 448
企业节点数	105	321	572	740
企业节点占比/%	61.05	68.30	78.36	70.48
高校节点数	43	102	127	232
高校节点占比/%	25.00	21.70	17.40	22.10
科研院所节点数	24	47	31	78
科研院所节点占比/%	13.95	10.00	4.25	7.43
学研机构节点数	67	149	158	310

表 3 星型结构特征

指标	2015 年	2018 年	2021 年	2024 年
整体二星结构数量	27	40	51	64
整体三星结构数量	6	18	22	41
整体四星结构数量	4	10	13	31
学研机构二星结构数量	20	32	27	44
学研机构三星结构数量	5	17	18	35
学研机构四星结构数量	4	10	11	24
企业二星结构数量	7	8	24	20
企业三星结构数量	1	1	4	6
企业四星结构数量	0	0	2	7

表 4 创新主体排名

排名	2015 年	2018 年	2021 年	2022 年	2023 年	2024 年
学研机构	中国电力科学研究院	苏州大学	北京航空航天大学	南京林业大学	宁波大学	重庆邮电大学
	重庆大学	南京信息工程大学	杭州电子科技大学	杭州电子科技大学	杭州电子科技大学	杭州电子科技大学
	中国科学院微电子研究所	南京工业大学	江苏大学	浙江工业大学	武汉大学	宁波大学
企业	国家电网公司	国家电网公司	国家电网有限公司	合肥九州龙腾科技成果转化有限公司	合肥九州龙腾科技成果转化有限公司	合肥名龙电子科技有限公司
	国网上海市电力公司	广州知容捷知识产权服务有限公司	赛特斯信息科技股份有限公司	合肥名龙电子科技有限公司	深圳万知达科技有限公司	合肥智慧龙机械设计公司有限公司
	江苏中科昇链通信技术有限公司	江苏源源山富数码喷绘科技有限公司	中咨数据有限公司	合肥智慧龙机械设计公司有限公司	合肥名龙电子科技有限公司	深圳万知达科技有限公司

与度仍显不足。

(2)在时间依赖项中,稳定性指标在各模型中的系数均具有高数值且显著为正,凸显了技术转移网络极强的路径依赖性与关系延续性。这表明,历史存在的转移关系在后续演化中被维持或重复激活的概率极高,网络表现出明显的合作惯性与关系记忆。在实际转移过程中,主体间前期积累的初始信任、磨合的沟通机制与形成的合作惯例,能有效克服技术交易的不确定性,极大降低后续技术转移的沟通与协作成本。

(3)从节点属性看,学研机构与企业在网络演化中的驱动因素呈现出明显的非对称性特征。就企业而言,其“软实力”指标(商标信息与软件著作权)对关系形成具有显著正向影响。这表明,市场品牌意识强、知识转化落地能力高的企业,更有动力主动搜寻并对接学研机构,以此加速科技成果的商业化应用并反哺自身市场竞争力。就学研机构而言,其“硬实力”指标(机构规模与资质证书)发挥了显著的促进作用。规模庞大、科研设施完善的高校与院所在技术供给上具备天然优势;同时,特定领域的资质证书作为官方授权与专业认可,直接充当了技术实力的信号传递机制,有效增强了其知识产出的权威性与对企业的吸引力。

(4)从网络协变量看,供应关系网络对技术转移网络的生成产生了显著的正向溢出效应。这说明产业链上下游的既有业务合作能够为技术转移提供信任基础。如果创新主体间已具备供应链合作基础,将有效打破技术交易的信息壁垒,促使双方更积极地开展科技创新成果的产业化转化。这一结果也有力印证了科产融合的现实可行路径。

从科产融合的实际情况来看,这种显著的马太效应与星型结构不仅是拓扑结构的体现,更是创新资源向链主企业或顶尖科研院所定向富集的产业现实写照。在科技创新向产业创新转化的过程中,少数具备强大技术策源能力的高校或具备强吸收转化能力的大型企业,充当了科产融合的超级蓄水池与分发节点。它们通过品牌效应和技

术壁垒吸引了大量边缘节点的依附,形成了以其为核心的区域或产业创新生态圈。这种机制有效降低了信息不对称和跨界搜索成本,是现阶段中国科产协同创新中新型举国体制与市场机制共同作用的微观映射。

表5 TERGM 基准实证结果

统计量	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
<i>edges</i>	-9.321 9*** (0.15)	-6.683 9*** (0.15)	-7.385 6*** (0.22)	-7.451 9*** (0.23)
<i>b1star2</i>	0.438 5*** (0.05)	0.404 3*** (0.06)	0.384 6*** (0.06)	0.385 8*** (0.06)
<i>b2star2</i>	0.365 4** (0.11)	0.324 7* (0.11)	0.300 0* (0.13)	0.304 0* (0.12)
<i>b1star3</i>	-0.027 1*** (0.01)	-0.025 0** (0.01)	-0.023 8** (0.01)	-0.023 8** (0.01)
<i>b2star3</i>	0.013 2 (0.067)	0.014 0 (0.08)	0.019 4 (0.07)	0.018 9 (0.08)
<i>b1star4</i>	0.000 8* (0.00)	0.000 7* (0.00)	0.000 7* (0.00)	0.000 7* (0.00)
<i>b2star4</i>	-0.004 1 (0.01)	-0.003 9 (0.02)	-0.004 4 (0.01)	-0.004 3 (0.01)
<i>edgecov. memory[[i]]</i>	—	2.582 5*** (0.07)	2.566 2*** (0.07)	2.491 4*** (0.07)
<i>b1cov. sizing1</i>	—	—	0.104 2*** (0.02)	0.104 3*** (0.02)
<i>b1cov. QC1</i>	—	—	0.002 7* (0.00)	0.019 0** (0.01)
<i>b1cov. SC1</i>	—	—	0.002 0 (0.00)	0.001 4 (0.00)
<i>b1cov. SI1</i>	—	—	0.019 0*** (0.01)	0.001 2 (0.01)
<i>b2cov. sizing2</i>	—	—	-0.011 0 (0.03)	-0.021 7 (0.02)
<i>b2cov. TI2</i>	—	—	0.008 6*** (0.00)	0.008 4*** (0.00)
<i>b2cov. SC2</i>	—	—	0.016 3*** (0.00)	0.013 1** (0.00)
<i>b2cov. QC2</i>	—	—	-0.002 4 (0.01)	-0.006 0 (0.01)
<i>edgecov. SCN[[i]]</i>	—	—	—	2.079 7*** (0.11)
<i>Num. obs</i>	19 994 652	19 994 652	19 994 652	19 994 652

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%的统计水平上显著;括号内为标准误。下同。

(三)稳健性检验

为验证模型的稳健性,研究在模型4的基础上采用延长时间间隔^[24]与划分时间窗口期^[25]两种方法进行检验。稳健性结果如表6所示,首先,在更稀疏的时间间隔下检验技术转移网络演化的影响因素,故将时间间隔调整为1年得到模型5,实证结果与模型4基本一致;其次,依据国发〔2015〕64号与“十四五”规划纲要将时间阶段划分为2015—2019年与2020—2024年,得到模型6与模型7,通过对比分析发现,技术转移网络逐渐成熟,企业的主导作用逐渐突出,企业的市场导向和成

果转化能力成为技术转移网络演化的关键驱动因素,表明企业与学研机构之间的技术转移从早期的探索过程转向了更加明确的市场化和产品化导向。然而,模型 5 与模型 7 也表明规模较大的企业在技术转移过程中可能偏向于保守,其保守策略不利于技术转移网络的形成演化。综上所述,模型 4~模型 7 均验证了研究结论的可靠性,并进一步揭示了技术转移网络演化的动态机制,为企业主导下的科技创新与产业创新深度融合提供了实证依据。

表 6 TERGM 稳健性结果

统计量	模型 4 (2015—2024)	模型 5 (1 年间隔)	模型 6 (2015—2019)	模型 7 (2020—2024)
edges	-7.451 9 *** (0.23)	-7.658 4 *** (0.23)	-7.917 6 *** (0.36)	-7.031 4 *** (0.26)
b1star2	0.385 8 *** (0.06)	0.352 7 *** (0.10)	0.641 6 * (0.34)	0.366 9 *** (0.03)
b2star2	0.304 0 * (0.12)	0.239 2 (0.25)	0.492 2 (0.43)	0.184 6 (0.17)
b1star3	-0.023 8 ** (0.01)	-0.020 7 (0.03)	-0.059 7 (0.13)	-0.026 1 *** (0.01)
b2star3	0.018 9 (0.08)	0.030 9 (0.49)	0.026 7 (0.37)	0.039 4 (0.15)
b1star4	0.000 7 * (0.00)	0.000 6 (0.00)	0.002 5 (0.02)	0.000 9 *** (0.00)
b2star4	-0.004 3 (0.01)	-0.005 0 (0.36)	-0.011 7 (0.12)	-0.005 8 (0.04)
edgescov. memory[[i]]	2.491 4 *** (0.07)	2.084 4 *** (0.08)	2.713 3 *** (0.20)	2.494 7 *** (0.04)
b1cov. sizing1	0.104 3 *** (0.02)	0.124 9 *** (0.02)	0.087 1 ** (0.03)	0.095 4 *** (0.02)
b1cov. QC1	0.019 0 ** (0.01)	0.011 5 ** (0.00)	0.013 3 (0.02)	0.015 9 * (0.01)
b1cov. SC1	0.001 4 (0.00)	0.000 5 (0.01)	-0.002 5 (0.02)	-0.001 0 (0.00)
b1cov. SI1	0.001 2 (0.01)	0.000 1 (0.01)	0.014 0 (0.01)	0.000 9 (0.00)
b2cov. sizing2	-0.021 7 (0.02)	-0.068 6 * (0.03)	0.060 7 (0.04)	-0.069 6 ** (0.02)
b2cov. TI2	0.008 4 *** (0.00)	0.008 8 *** (0.00)	0.005 1 (0.00)	0.008 7 *** (0.00)
b2cov. SC2	0.013 1 ** (0.00)	0.007 5 (0.02)	0.020 9 (0.04)	0.013 5 ** (0.00)
b2cov. QC2	-0.006 0 (0.01)	-0.007 1 (0.01)	-0.000 2 (0.01)	-0.005 9 (0.01)
edgescov. SCN[[i]]	2.079 7 *** (0.11)	2.101 1 *** (0.07)	2.229 1 *** (0.26)	2.081 5 *** (0.11)
Num. obs	19 994 652	8 886 512	8 886 512	8 886 512

(四) 异质性分析

为检验不同产业下技术转移的规律差异,按照《关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》将全样本划分为传统产业、新兴产业、未来产业三个子样本^[26],分别开展 TERGM 模型估计,对应的异质性结果如表 7 所示,模型 8 至模型 10 分别对应三大产业的估计结果。从回归结果来看,技术转移网络的形成机制呈现显著的产业异质性特征。内生结构效应层面,传统产

业的学研机构二星结构显著为 0.898 9,远高于全产业基准模型与新兴产业,表明传统产业技术转移的马太效应更强,学研端核心节点的网络主导性更为突出;企业端二星结构效应仅在传统产业显著为正,新兴产业中该系数未通过显著性检验,表明传统产业企业的合作拓展意愿更强,新兴产业企业的结构化参与度仍显不足。而未来产业子样本的所有核心变量均未通过显著性检验,说明该领域技术转移网络仍处于萌芽培育阶段,尚未形成稳定的演化机制。上述结果为分产业制定精准的科产融合扶持政策提供了实证依据。

表 7 TERGM 异质性结果

统计量	模型 4 全产业	模型 8 传统产业	模型 9 新兴产业	模型 10 未来产业
edges	-7.451 9 *** (0.23)	-7.048 4 *** (0.21)	-7.517 2 *** (0.20)	-10.163 0 (45.25)
b1star2	0.385 8 *** (0.06)	0.898 9 *** (0.14)	0.523 8 *** (0.04)	5.087 7 (5.75)
b2star2	0.304 0 * (0.12)	0.330 2 * (0.14)	0.251 1 (0.15)	-26.425 0 (149.46)
b1star3	-0.023 8 ** (0.01)	-0.146 1 ** (0.06)	-0.045 7 *** (0.01)	-28.773 0 (NA)
b2star3	0.018 9 (0.08)	0.011 7 (0.12)	0.045 4 (0.14)	—
b1star4	0.000 7 * (0.00)	0.011 3 (0.01)	0.001 9 ** (0.00)	—
b2star4	-0.004 3 (0.01)	-0.003 3 (0.04)	-0.008 6 (0.05)	—
edgescov. memory[[i]]	2.491 4 *** (0.07)	2.642 6 *** (0.08)	2.483 1 *** (0.04)	—
b1cov. sizing1	0.104 3 *** (0.02)	0.090 7 *** (0.02)	0.117 7 *** (0.01)	0.230 0 (0.19)
b1cov. QC1	0.019 0 ** (0.01)	0.017 5 *** (0.01)	0.018 6 ** (0.01)	0.037 3 (4.70)
b1cov. SC1	0.001 4 (0.00)	-0.004 8 (0.00)	0.002 1 (0.01)	-11.457 0 (2.46)
b1cov. SI1	0.001 2 (0.01)	0.001 1 (0.00)	0.002 1 (0.00)	—
b2cov. sizing2	-0.021 7 (0.02)	-0.019 8 (0.03)	-0.022 0 (0.02)	0.208 5 (46.12)
b2cov. TI2	0.008 4 *** (0.00)	0.012 6 *** (0.00)	0.005 8 ** (0.00)	-0.000 2 (18.26)
b2cov. SC2	0.013 1 ** (0.00)	0.009 6 * (0.00)	0.015 2 * (0.01)	0.253 0 (7.47)
b2cov. QC2	-0.006 0 (0.01)	-0.015 1 (0.01)	-0.002 7 (0.01)	-0.740 3 (82.94)
edgescov. SCN[[i]]	2.079 7 *** (0.11)	2.093 7 *** (0.13)	2.069 4 *** (0.10)	—
Num. obs	19 994 652	6 034 626	13 931 721	—

(五) 不同产业类型技术转移网络韧性与稳定性演变

本节探讨科产融合在集聚效率与抗风险韧性之间的权衡,通过与 TERGM 的结论形成关键互补,进而为防范系统性产业安全风险提供更

深层次的理论依据。前文的 TERGM 实证结果揭示了技术转移网络演化的效率逻辑,即为了降低跨界协作的信息不对称与搜寻成本,网络底层自发遵循“马太效应”与优序连接机制,促使资源向传统产业等少数核心主体高度集聚。TERGM 解释了网络极化结构“为何产生”,本节的仿真分析则从底线安全逻辑出发,揭示这种结构在遭遇极端外部冲击(如核心企业断链)时的“潜在代价”,即追求短期转化效率的网络内生演化机制,不可避免地以牺牲长期的网络冗余度为代价。

另一方面,前述产业异质性 TERGM 估计结果揭示,核心技术转移网络的演化机制在传统产业、新兴产业与未来产业间呈现显著分化特征,传统产业的网络集聚效应与马太效应最为突出,学研与企业两类核心节点的网络主导作用显著,新兴产业的结构化联结程度仍显不足,未来产业则尚未形成稳定的演化逻辑。这种产业间差异化的网络集聚态势与结构演化规律,必然会对整体网络的韧性水平与抗风险能力产生深刻影响。这意味着科产融合网络在自发演化过程中产生了高度的“中心依赖性”。这种由演化机制塑造的拓扑结构,虽然提升了资源集聚效率,但也极大增加了系统性风险——一旦充当枢纽的学研机构或链主企业受到外部冲击,极易引发“牵一发而动全身”的断链危机。为此,本节以全局效率和最大连通子

图规模为韧性测度指标,通过 Python 仿真,根据节点所属的产业属性将整体网络中的主体划分为传统、新兴与未来产业三类,进一步探究在针对同一网络中不同产业领域的节点进行攻击(移除核心节点)与结构攻击(移除星型结构)时,整体网络稳定性的变化。

1. 针对整体网络中不同产业节点的攻击下韧性及稳定性演变特征

图3、图4展示了2024年在统一的二模网络框架内,针对不同产业属性节点实施攻击策略后整体网络韧性的变化。仿真结果显示,整体网络中属于传统产业的核心节点对维持网络稳定性的支撑作用最为突出,新兴产业属性的节点次之,未来产业属性的节点对全局网络效能的影响十分有限;同时,资源集聚能力更强的高中心性产业节点发挥着主导支撑作用,这也意味着掌握稳定技术资源的产业主体已成为推动科产融合的关键力量。

图5、图6展示的2015—2024年网络韧性仿真结果表明,技术转移网络对产业维度蓄意节点攻击的脆弱性随时间推移逐渐暴露。从演化动态来看,传统产业节点攻击始终是对网络韧性冲击最强的类型,新兴产业节点的破坏力随科产融合进程推进逐步增强,而未来产业节点移除甚至在部分年份表现出对网络效率的微弱正向优化作用。这说明,少数承载技术流转核心功能的传统

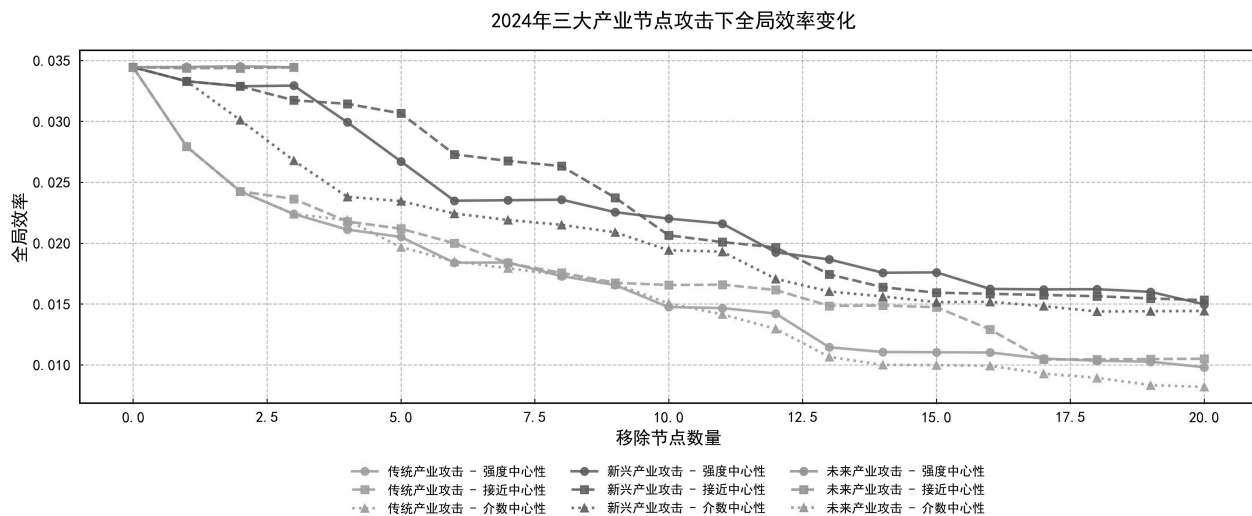


图3 2024年不同节点攻击策略下的全局效率变化

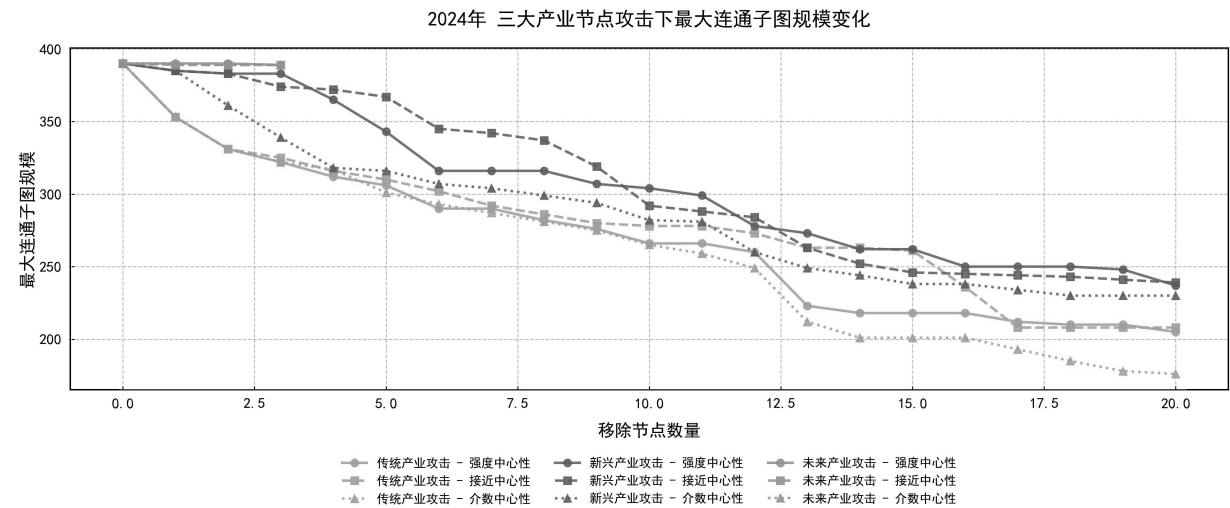


图 4 2024 年不同节点攻击策略下的最大连通子图规模变化

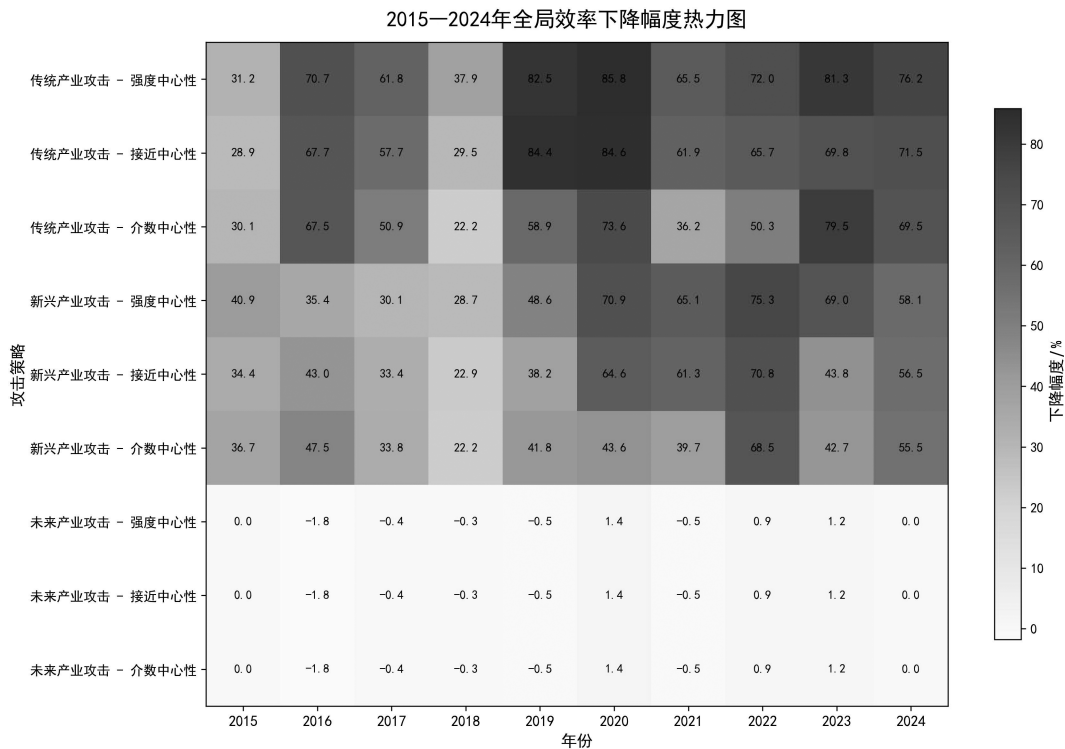


图 5 节点攻击策略下 2015—2024 年全球效率下降幅度热力图

产业枢纽主体,以及逐步成长为新增长极的新兴产业核心节点,已共同成为维持整个技术转移网络连通性与运转效率的关键支撑。

2. 针对整体网络中不同产业局部结构的攻击下韧性及稳定性演变特征

图 7 与图 8 展示了 2024 年三大产业不同层级结构攻击策略下网络韧性的变化。在二模技术转移网络中,部分未来产业形成的独立合作群组对

网络全局效率及最大连通子图规模的贡献十分有限,甚至存在结构性冗余,可能原因是这类群组仅在产业内部形成闭环合作,未与各产业网络建立深度联结,致使其在全局层面沦为技术流转的孤岛结构。此外,在针对传统与新兴产业高等级星型结构的攻击下,网络稳定性表现出明显的下滑趋势,这或许源于网络中这些产业主体的辐射带动作用过于集中,合作结构的系统性变动将对大量

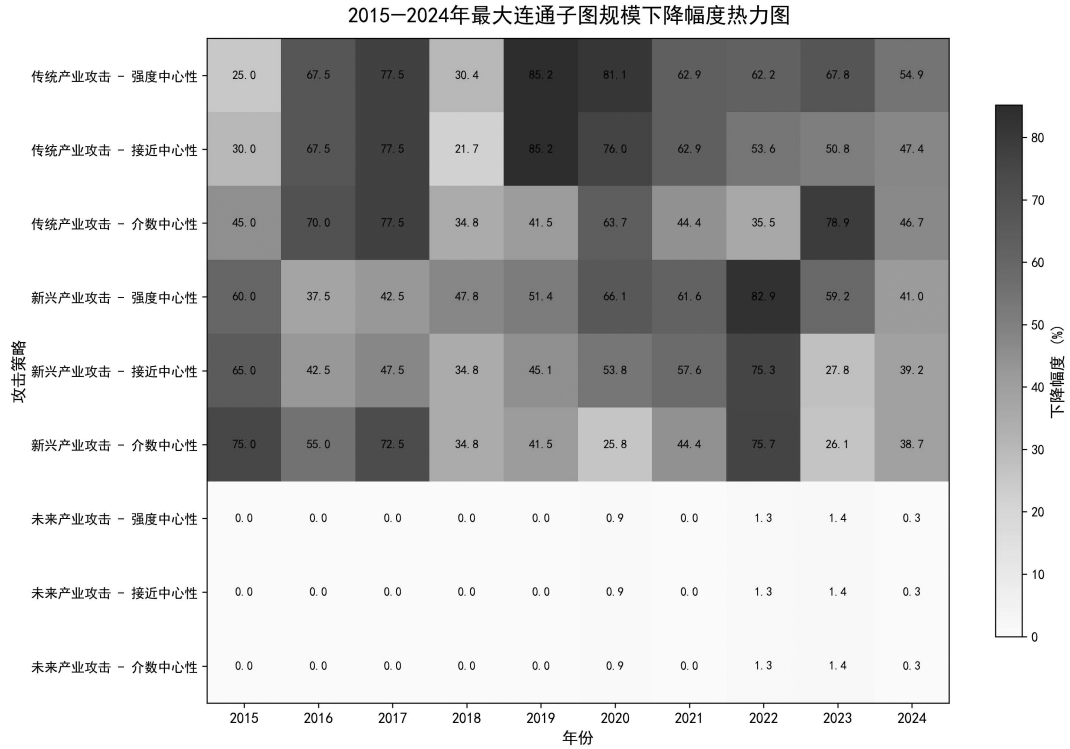


图6 节点攻击策略下2015—2024年最大连通子图规模下降幅度热力图

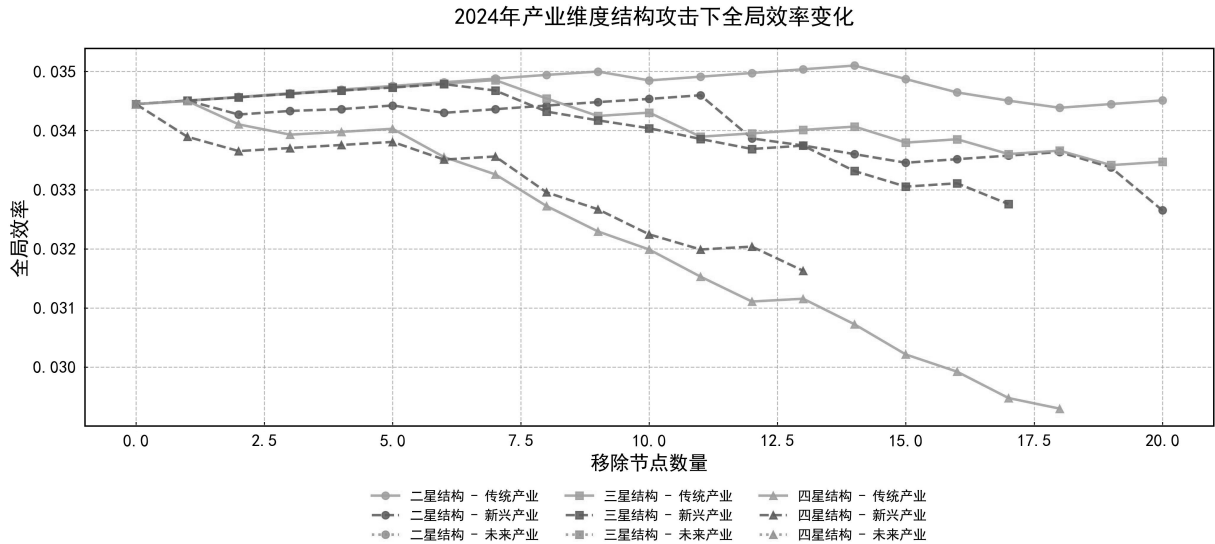


图7 2024年不同结构攻击策略下的全局效率变化

外围配套主体的网络嵌入程度产生较大影响。换言之,若产业集群中断与外围主体的合作联结,后者将难以有效嵌入技术转移网络,进而被排除在科产融合的进程之外。

图9、图10中的2015—2024年网络韧性仿真结果显示,相较于单一核心节点的蓄意攻击,剔除局部星型结构对整体网络韧性的冲击幅度相对更

小,但清晰反映出不同产业合作模式的稳定性差异与演化规律。分析发现,部分由未来产业主导的小规模星型合作普遍存在结构性冗余,因缺乏与各产业主体的跨类交互而长期处于网络边缘,对全局技术转移效率的支撑作用较弱。相反,由传统产业主导的多主体合作网络结构历经长期演化,展现出更强的体系化支撑能力,尽管其核心结

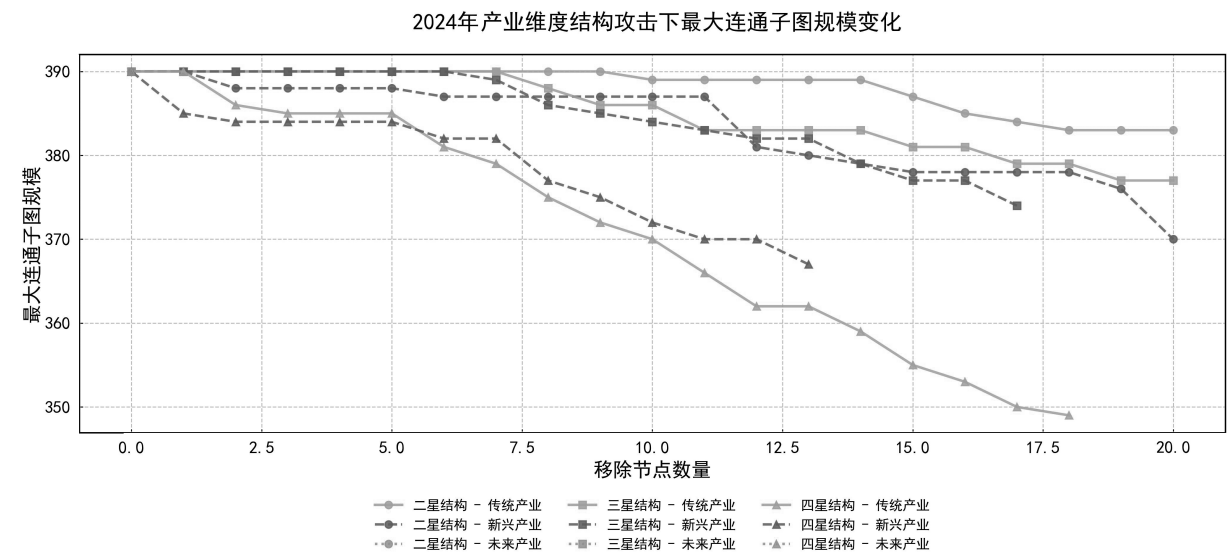


图 8 2024 年不同结构攻击策略下的最大连通子图规模变化

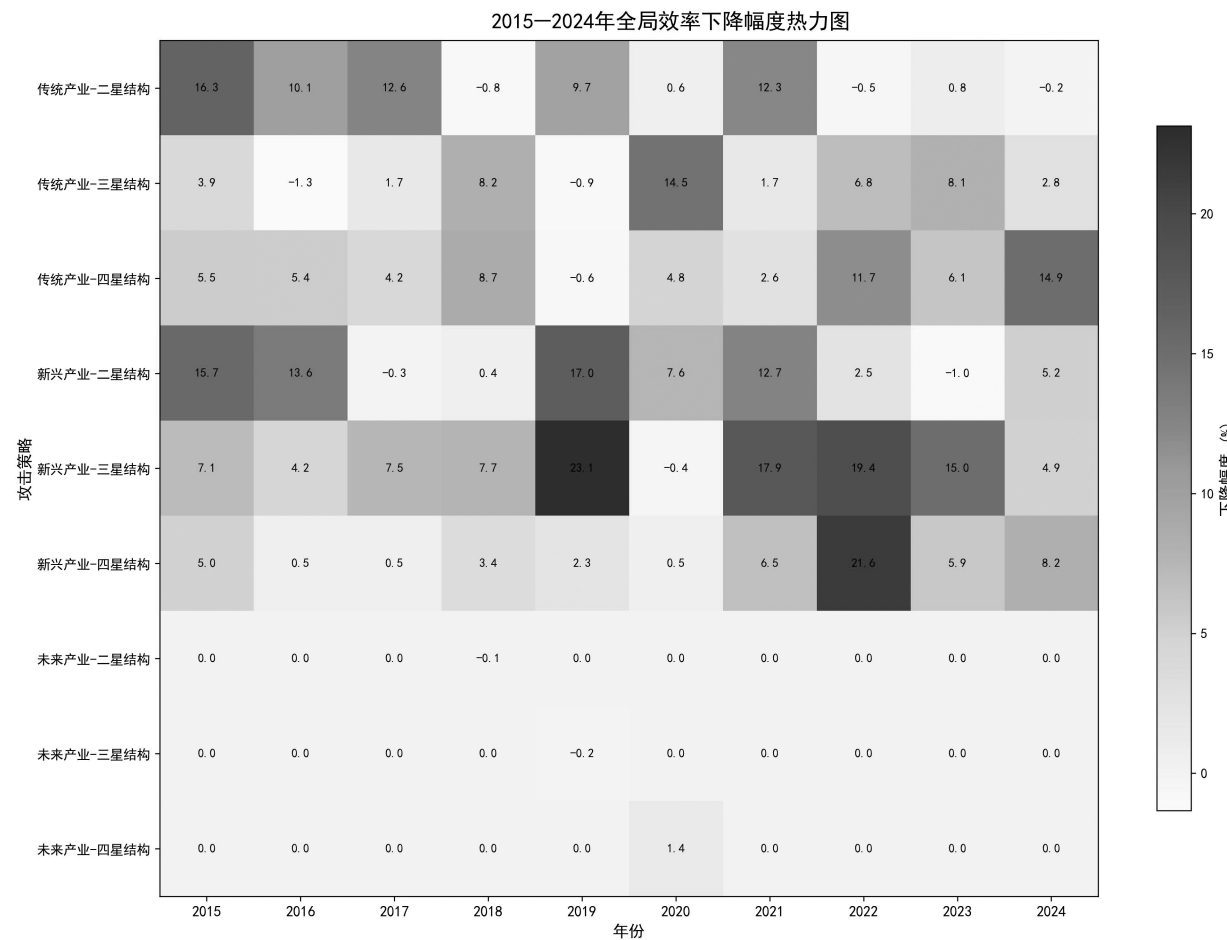


图 9 结构攻击策略下 2015—2024 年全球效率下降幅度热力图

构失效会引发较强冲击,但仍是网络整体稳定性的核心载体;新兴产业的合作结构则处于快速成长阶段,高等级星型结构的网络权重持续提升,其

对网络韧性的影响力也呈现逐年增强的态势。

综合来看,当前科产融合视角下的核心技术转移网络在规模扩张与层级深化的同时,也潜藏着

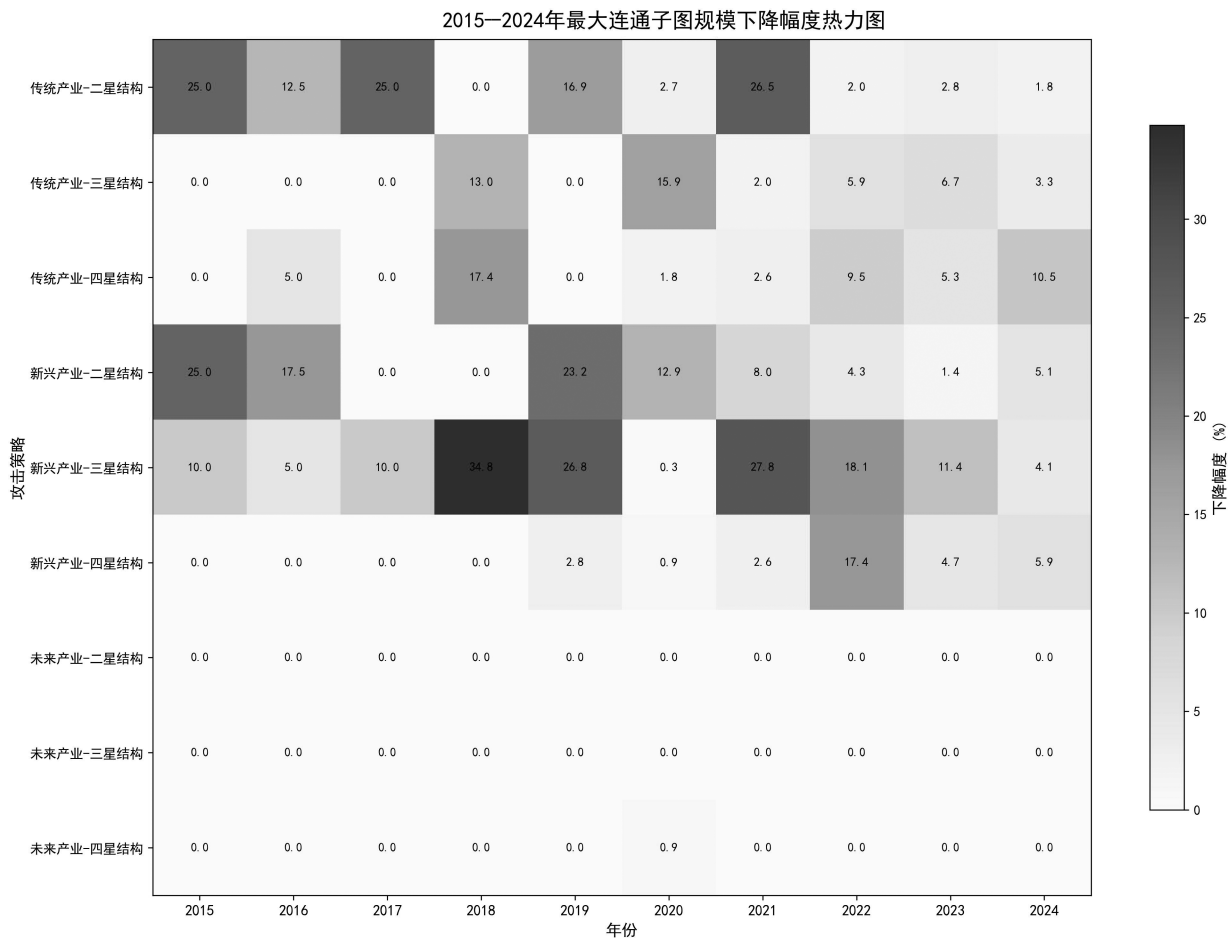


图 10 结构攻击策略下 2015—2024 年最大连通子图规模下降幅度热力图

显著的“结构性脆弱”风险——网络的正常运转高度依赖传统产业核心节点与高等级合作结构的支撑,新兴产业的枢纽功能尚未完全成熟,未来产业仍处于网络外围未形成有效补充。因此,培育具备高韧性的核心技术转移网络,不能仅停留在单一产业的主体培育与单点合作拓展,而应打破传统产业核心主体的路径依赖与垄断性联结,强化新兴产业的传导枢纽功能,推动未来产业深度嵌入全局技术流转体系,加快构建多产业层级协同、多元创新主体联动的共生型科产融合生态。

四、研究结论与政策建议

(一) 研究结论

基于 2015—2024 年大规模专利转让数据,本文精准识别出关键核心技术并构建了学研机构与企业的二模网络。运用 TERGM 从多维视角系统剖析了科产融合背景下技术转移网络演化的动力机制,并从产业安全视角仿真剖析了网络的韧性与稳定性。

研究得出以下核心结论。

第一,网络演化底层逻辑高度遵循路径依赖与“马太效应”。高网络中心度的创新主体更容易吸引新联结的生成,网络向“核心—边缘”演化;同时,实体间的既有供应关系发挥了显著的正向溢出效应,产业链上的商业信任基础有效克服了技术交易的不确定性。

第二,驱动技术跨界转移的主体能力呈现显著的非对称性特征。学研机构的规模与官方资质等“硬实力”是向外输出核心技术的关键信号;而企业强烈的市场导向与知识产权保护等“软实力”,则是驱动其主动寻求技术对接、完成产业化落地的核心引擎。

第三,网络演化的内生驱动机制存在显著的产业异质性。传统产业由于发展较为成熟,学研机构与企业的结构化集聚效应最为强烈;新兴产业的节点协同度在逐步提升但星型结构支撑稍显薄弱;未

来产业的技术转移体系尚处萌芽期,缺乏稳定的多边协同演化逻辑。

第四,网络在演化过程中存在效率优先与底线安全的结构性错配。TERGM 实证表明,马太效应驱动了技术资源向少数节点高效集聚;而仿真分析则进一步揭示,恰恰是这种过度集中的内生结构,造就了网络极高的结构脆弱性。当前网络对传统产业核心节点的过度依赖,使其在遭遇蓄意攻击时极易发生断链风险。因此,打破演化初期的自然路径依赖,培育多元共生、去中心化的网络结构,是平衡资源配置效率与维持产业网络底线安全的关键策略。

(二)政策建议

基于上述结论,为推动科技创新与产业创新深度融合、优化国家技术转移网络布局,本文提出以下政策建议。

第一,实施“分层分类、精准施策”的网络治理策略,防范系统性脆弱风险并优化网络结构。针对技术转移网络固有的路径依赖与马太效应导致的“核心—边缘”高度集聚及高脆弱性风险,政策制定应超越“平均发力”的传统思路。一方面,对于已形成核心枢纽地位的顶尖科研机构,政策重点应从鼓励其扩大连接规模转向引导其深化连接质量,打破单一科研机构主导所带来的局部“信息孤岛”与结构性冗余,促使其星型结构从简单的中心辐射向深度协同的多边网络演化。另一方面,应通过设立专项对接基金、构建区域性技术转移“经纪人”网络等方式,为网络中处于边缘位置的中小型科研机构和企业创造更多“弱连接”机会,打破少数机构的垄断性闭环,分散单点失效带来的结构崩溃风险,激发网络的整体活力与抗冲击韧性。特别应防范在核心技术遭受外部“卡脖子”封锁时,因个别超级节点失效而引发的系统性技术断供风险。

第二,构建“能力互补、激励相容”的主体培育体系,强化企业在科产融合中的主导与枢纽作用。鉴于科研机构与企业驱动因素的异质性以及仿真结果中企业对维持网络稳定性日益凸显的关键作

用,政策应差异化赋能。对科研机构,应改革评价体系,加大其获取行业关键资质、建设中试平台的支持力度,系统提升其“硬实力”的可转化性。对企业,尤其是展现出强介数中心性的中介型与枢纽型企业,应给予重点政策倾斜与资源支持,如税收优惠、研发加计扣除等,激励其加大自主知识产权布局以提升“软实力”。同时,应设计基于长期合作绩效的后补助机制,鼓励这些枢纽企业发挥信息桥梁与资源整合功能,牵头建立多方参与的技术转移连通子图,使科研机构的知识产出与企业的市场网络形成强韧性的激励闭环。

第三,推动“链网融合、区域协同”的生态建设,打造高韧性的共生型创新生态群落。政策应高度重视并利用供应关系网络对技术转移的赋能作用,实施产业链与创新链的深度耦合战略。鼓励链主企业开放供应链场景,牵头组建以关键技术突破为导向的创新联盟,将单一的点对点技术合作深度嵌入既有的多边产业协作网络中,依托企业主导的多方合作结构来增强技术转移的整体稳定性。国家创新政策需体现产业与空间双重针对性:传统产业应重点打破技术路径锁定与垄断网络,新兴产业需加大扶持促成多方技术联盟以提升抗毁能力,未来产业则需发挥政府引导基金作用加速技术节点的互联互通。面对显著的地区差异,国家创新政策需体现空间针对性。东部地区应侧重于营造国际化的创新生态,支持建设世界级的技术交易市场;中西部地区则应重点弥补市场机制短板,培育专业化的科技服务机构,提升本地企业的承接力与再创新能力。通过区域间功能互补与梯度发展,最终在全国范围内形成由企业主导、多元创新主体广泛参与、具备高抗冲击韧性的科产融合新格局。

最后,本文的研究亦存在一定的局限性,为未来的深化研究指明了方向。首先,在科产融合网络的数据表征上,本文主要聚焦于专利的跨界转移,侧重于考察科技成果向产业侧转化应用的实质性落地效果。然而,科技创新与产业创新的深度融合是一个覆盖全链条的系统工程,除了专利

转移,产学研合作申请专利等前端协同模式同样是创新融合的重要表现。由于本文使用的二模网络节点样本量已较为庞大,受限于网络演化模型(TERGM)的计算复杂度限制,未能将合作申请网络一并纳入。未来的研究可进一步扩充多维网络数据源,特别是将“产学研联合申请专利后又实现专利实质性转移”的全生命周期链路纳入研究框架,从而更完整、立体地刻画我国科技创新与产业创新深度融合的演化全貌。

参考文献:

- [1]甄红线,孙晓玉,邬通. 科技成果转移转化与新质生产力培育[J]. 管理科学学报,2025,28(10):1-21. 2025. 10. 001.
- [2]于艺楠,金鑫,李元亨. 技术转移与企业关键核心技术突破[J]. 财经论丛,2025:1-17.
- [3]叶雷,张婷,曹贤忠,等. 中国校企技术转移网络的时空特征及形成机制[J]. 经济地理,2023,43(4):105-113.
- [4]叶雷,曹贤忠,宓泽锋,等. 中国高校技术转移网络的时空特征及影响因素:基于高校—城市二模网络视角[J]. 地理研究,2023,42(1):69-85.
- [5]李金昌,徐琴一,徐蒿婷. 中国高质量技术转移网络的演化与内生机制研究[J]. 科研管理,2026,47(4):1-11.
- [6]邢泽宇. 产学研合作双模网络嵌入对创新主体双元创新的影响研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2020.
- [7]张鑫,曹霞. 知识单元特征对校企技术转移网络的作用机理:基于专利数据的 MERGMs 实证研究[J]. 科学学与科学技术管理,2025(3):108-126.
- [8]王震,谢赤. 绿色技术创新如何突破同质壁垒和虹吸效应? [J]. 科学学研究,2025,43(5):1014-1026 + 1051.
- [9]徐维祥,周建平,周梦瑶,等. 长三角协同创新网络韧性演化及驱动机制研究[J]. 科技进步与对策,2022,39(3):40-49.
- [10]王玉珊,王光辉. 中国城市技术创新网络结构韧性演化特征与影响因素[J]. 科技管理研究,2023,43(19):71-78.
- [11]杨伟,李福玲,张晓泉. 创新网络内生因素对结构韧性的影响研究:以上海人工智能产业为例[J]. 科研管理,2025,46(7):13-23.
- [12]吴江,林平,黄晓,等. 图情领域二模网络研究:概念、脉络及应用[J]. 情报学报,2024,43(9):1116-1128.
- [13]刘建华,陈子洹,王慧扬. 融合双层专利挖掘与技术结构的关键核心技术识别:以超硬材料为例[J]. 情报杂志,2025,44(12):107-117.
- [14]HANNEKE S, FU W, XING E P. Discrete temporal models of social networks[J]. 2010.
- [15]BROEKEL, T, BEDNARZ M. Disentangling link formation and dissolution in spatial networks: an application of a two-mode STERGM to a project-based R&D network in the German biotechnology industry [J]. Networks and spatial economics, 2018, 18(3): 677-704.
- [16]WANG P, ROBINS G, PATTISON P, et al. Social selection models for multilevel networks[J]. Social Networks, 2016, 44: 346-362.
- [17]成程,王一出,田轩,等. 对外开放制度创新、全球创新网络嵌入与中国科技国际影响力[J]. 管理世界,2024,40(10):16-43.
- [18]肖振红,赫博文,马睿. 工业智能化对区域绿色创新绩效的影响研究:基于知识产权保护的门槛效应[J/OL]. 科研管理,1-16[2025-12-25].
- [19]赵晓阳,衣长军,廖佳. 供应链网络位置能否提升企业创新多样性水平? [J]. 中国管理科学,2023,31(12):340-349.
- [20]张茜,胡海青,薛萌,等. 供应链网络结构、中小企业创新能力与供应链融资绩效:一个有调节的中介效应[J]. 系统管理学报,2025,34(3):823-836.
- [21]范合君,郑铮,吴婷,等. “链主”企业创新如何带动链上企业创新[J]. 经济学动态,2025(10):18-36.
- [22]LEIFELD P, CRANMER S J, DESMARAIS B A. Temporal exponential random graph models with btergm: Estimation and bootstrap confidence intervals[J]. Journal of statistical software, 2018, 83: 1-36.
- [23]王坤,陈祥泰,黄震方. 旅游流网络结构韧性特征变化及其影响因素:以贵州省为例[J]. 经济地理,2024,44(3):229-240.
- [24]路优. RCEP 区域价值链网络韧性演化与影响机制研究[J]. 经济问题探索,2025(10):132-156.
- [25]王崇锋,孔雯. 基于二模 ERGM 模型的企业技术创新行为同群效应研究:以 5G 通讯技术领域为例[J]. 科技进步与对策,2023,40(21):66-76.
- [26]汪红驹,丁少斌. 资本市场融资主体结构与经济增长动能:理论分析与跨国实证[J]. 中国软科学,2025(4):214-224.