

# 科学驱动视角下产业创新网络与生态主体研究

——以5G产业为例

朱卫杰<sup>1</sup>, 韩武成<sup>1</sup>, 鲁若愚<sup>1</sup>, 雷家骥<sup>2</sup>, 李天柱<sup>3</sup>

(1. 电子科技大学 经济与管理学院, 成都 611731; 2. 清华大学 经济管理学院, 北京 100084;

3. 贵州财经大学 工商管理学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 利用产业科学关联度指标清晰界定科学驱动的产业与创新, 通过社会网络分析方法探究其在整个产业中的网络地位及其作用, 并挖掘产业创新生态参与主体的网络关系。研究发现: 科学驱动的创新成果处于网络中心位置, 更容易被频繁的引用, 能够为其他创新成果提供经验输出和知识依赖, 成为驱动创新发展的基石, 同时科学驱动的创新成果审查周期和技术覆盖广度在数值上显著大于“技术驱动的创新”, 表明其能够产生高价值技术的可能性更大; 科学驱动的产业是科学驱动的创新大量汇聚的产业, 是整个行业发展的关键核心技术, 具备取得、协调及配置资源的能力, 能够整合内外部信息和知识资源, 通过频繁的交流、协作带动其他产业的共同发展, 为产业的形成演化奠定基础; 在科学驱动的产业中, 创新主体之间网络结构紧密, 产学研协同融合体系发挥重要作用, 企业占据主体地位成为创新的主体和参与科学研究的主体, 而大学等公共机构的创新成果传播速度更快, 在创新网络中的中心性地位具有不可替代的优势。

**关键词:** 科学驱动的创新; 科学驱动的产业; 创新网络; 创新生态

**中图分类号:** G301; F403.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2023)6-0001-12

## 一、引言

科学知识的发展及其在技术中的应用是社会和经济发展的关键驱动力(Mulligan et al, 2022; Shibata et al, 2010), 并对技术变革、经济增长和组织的竞争优势获取具有重要意义(Wong et al, 2022; Van Looy et al, 2007)。科学突破对产业发展的助推作用逐渐增强, 产业创新的驱动要素也发生转变, 传统的“技术驱动”型(technology-driven)的创新已不能满足社会经济发展与国际竞争的要求, 正在加速向“科学驱动”型(science-driven)的创新模式变迁(胥和平和雷家骥, 2021; Hohberger, 2016)。由科学驱动的创新发展而来的“科学驱动的产业”, 在国家创新战略体系中的地位举足轻重(朱卫杰等, 2022), 是国家经济发展的新引擎和新动力, 是核心技术攻关的关键, 必将带动新一轮的产业革命(李天柱等, 2021; 张庆芝等, 2015)。当今国际科技和产业竞争日趋激烈, 必须要加强基础研究、突破科学理论, 培育并加快发展“科学驱动的产业”, 推动“卡脖子”技术的攻克, 实现我国高质量发展(李欣融等, 2022)。因而, 亟需深入探究“科学驱动的产业”其创新规律、创新网络与产业生态等, 然而学者们对科学驱动的产业与创新在推动产业发展、催生新兴产业进程中的作用与机理缺乏关注, 研究不够深入, 且对“科学驱动的创新”与“技术驱动的创新”之间的差异缺乏定量化的研究, 同时对“科学驱动的产业”创新生态主体的网络地位、功能定位挖掘和认识不够充分。本文拟从科学驱动的视角出发, 利用全球5G产业2000—2021年23197件发明专利成果进行深入分析, 试图探索以下几个问题:

(1) 从微观视角出发, 科学驱动的创新是否存在显著地异于其他创新成果的特点, 如何对技术创新产生影响, 并在推动产业发展中发挥何种作用?

(2) 从中观视角出发, 科学驱动的产业具备什么样的特点, 在整个行业中如何发挥作用从而带动其他产业的发展?

(3) 从创新生态视角出发, 科学驱动的产业中各创新主体之间的联动网络如何, 不同类型的创新主体发挥什么样的作用, 以及如何发挥主体效用以利于科学驱动的产业?

**收稿日期:** 2023-02-14

**基金项目:** 国家自然科学基金“科学驱动的产业创新: 理论、案例与政策”(L2124026)

**作者简介:** 朱卫杰, 电子科技大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向: 创新与创业管理; 韩武成, 电子科技大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向: 技术创新管理; 鲁若愚, 博士, 电子科技大学经济与管理学院教授, 博士研究生导师, 研究方向: 创新与创业管理; 雷家骥, 博士, 清华大学经济管理学院教授, 清华大学中国企业成长与经济安全研究中心主任, 博士研究生导师, 研究方向: 创新创业与企业成长、国家经济安全; 李天柱, 博士, 贵州财经大学工商管理学院教授, 研究方向: 技术创新管理。

## 二、理论综述

### (一) 科学驱动的创新

科学改变了创新者的研究过程,它引导技术创新利用有用的组合,消除毫无结果的研究路径,并能够激励技术创新的持续性(Fleming and Sorenson, 2004)。经济学之父亚当·斯密在 18 世纪就关注到创新的来源,认为创新可以以经验为基础,或者以科学为基础(樊春良和樊天, 2020)。然而随着科学与技术联系愈加紧密,学界从 20 世纪 70 年代才开始关注“科学驱动的创新及其产业”,Jensen 等(2007)在此基础上不断深化,对技术创新的模式总结归纳,将亚当·斯密的观点归为基于科学技术的创新模式(STI-mode)和基于经验的创新模式(DUI-mode),更进一步,根据创新的知识来源差异,将创新划分为科学驱动的创新和技术驱动的创新两种模式(Kahin and Foray, 2006)。前者是基于发展中的科学研究,创新者主要来自学术界,通常指由科学研究直接推动、强烈依赖于科学发现的创新(朱卫杰等, 2022)。科学与技术之间愈发强烈的依存关系催生了科学驱动的创新,根据 Stokes(2011)对不同研究类型的定义,研究可以分为纯基础研究(Bohr 象限)、纯应用研究(Edison 象限)和需求启发的应用基础研究(Pasteur 象限),如图 1 所示。技术创新越来越以科学为基础,巴斯德型研究(Pasteur 象限)的重要性在科技进步中的作用也更加凸显。在巴斯德象限中,没有科学知识就无法实现先进技术,基础研究以技术需求为导向,发展“科学驱动的产业”就是要用基础科学研究来解决迫切、强烈且巨大的现实需求(Salter and Martin, 2001)。一般来说,科学驱动的创新常发生在知识尚未被很好编码的“发展中科学领域”,具备创立一个新产业或改变已有产业的潜力(Cardinal et al, 2001)。Fleming 和 Sorenson (2004)就认为科学知识解释了现象发生的原因,并有助于预测新的实验,为发明者提供基础知识,科学知识为问题提供新的和有希望的解决方案,并有助于消除没有希望的发展路线,其普遍性使其适用于广泛的技术领域,并且可以作为未来发展的地图。因而,在“科学驱动的产业”中,创新活动其本质上是衔接了链条前端的科学研究和链条后端的技术研发,将科学研究产生的知识扩散至技术创新(樊霞和宋丽, 2017),科学驱动的创新活动正是这样,在“发展中的科学领域”催生进一步的发明活动,进而为产业的形成演化奠定基础。



图 1 Donald E. Stokes 研究类型

因而,在“科学驱动的产业”中,创新活动其本质上是衔接了链条前端的科学研究和链条后端的技术研发,将科学研究产生的知识扩散至技术创新(樊霞和宋丽, 2017),科学驱动的创新活动正是这样,在“发展中的科学领域”催生进一步的发明活动,进而为产业的形成演化奠定基础。

学术界目前关于科学驱动的创新定量研究方法以专利引文分析法为主(Narin et al, 1976),以专利引用科学文献的数量或比例测算创新的科学关联度(Huang et al, 2015),亦有学者称之为科学强度或科学邻近度,因此以存在非专利参考文献的专利成果代表科学驱动的创新是一个较为成熟的量化方法,科学关联度也将作为本文区分科学驱动的创新的一个关键指标。在科学关联度指标中,非专利参考文献表明存在现有的某种科学知识,该知识对专利权利要求的新颖性、创造性和适用性进行了背景引导(Michel and Bettels, 2001),科学关联度可以视为科学发现与技术发展之间“距离”指标,专利中存在越多的科学文献参考,被认为该技术越接近科学活动,科学研究通过将尚未连接的技术知识元素建立连接并促进重大创新的产出(Fleming and Sorenson, 2004)。基于目前为数不多的有关科学驱动的创新研究发现,技术创新对科学知识存在着不同程度的依赖,引用科学文献较多的专利存在着较高的科学关联度,蕴含更多的科学知识,相应的技术更有价值(李梦柯等, 2022),如在对半导体和生物技术产业的实证分析中发现,科学关联度较高的专利扩散速度快于低强度或中等强度的专利(Hohberger, 2016);同样在制药和化学领域,Sorenson 和 Fleming(2004)发现引用科学驱动的创新扩散速度更快,创新成果也相对拥有更高的技术价值和经济价值(Harhoff et al, 2003)。Gittelman 和 Kogut(2003)的研究表明具有高科学强度的专利,即科学驱动的创新成果更容易被频繁的引用,此外, Petruzzelli 等(2015)发现在科学驱动的创新中,科学知识的使用对组织的绩效能够产生积极影响,从基于企业层面的研究发现企业专利引用科学文献的数量增加能够显著提升技术创新绩效(Nagaoka, 2007), Genin 和 Levesque(2023)则从知识视角指出学术界与工业界创新主体间的知识流动对科学驱动的创新有显著影响,企业与公共机构合作并获得科学知识能够提高其创新与经济绩效(Jin and Li, 2022)。开展科学驱动的创新需要更加关注开放式创新的协作范式,以降低组织知识获取的 OI 过程(inbound, outbound, coupled)中的潜在风险或成本,减少决策错误的可能性(Yildirim et al, 2022)。一系列研究表明,科学驱动的创新基于对科学知识的吸收,拉近了科学与技术的距离,并拥有其他创新成果所不具备的特征,在技术创新活动中作为一类特殊的创新成果,能够对产业发展、组织绩效产生显著的影响。但是,目前针对科学驱动的创新相关研究成果仍然不够丰富,且多数集中在投资、科学知识获取、创造科学价值及商业化层面,对其本质

的探究及在产业发展中的作用相关研究较少(Woodfield et al, 2023)。

## (二)科学驱动的产业

随着科学驱动的创新模式研究的深入,学者发现部分产业显著的依赖科学研究,对应于科学驱动的创新,出现了科学驱动的产业,并成为研究热点。从产业形成的视角,Pavitt(1998)将产业细分为“科学驱动的产业(science-driven industries)”“生产密集型产业(production intensive industries)”和“供应商主导的产业(supplier-dominated industries)”,并提出科学驱动的产业更加依赖科学技术的突破,创新的主体更多是高校、科研院所等以科学研究为主的非营利性的公共机构。而从创新发展的知识来源视角,国内学者将产业划分为科学驱动的产业和技术驱动的产业(雷家骕和林苞,2014)。学者们通过研究发现,“科学驱动的产业”发展强烈地依赖于科学研究,产业的技术进步主要由科学驱动的创新推动(张鹏和雷家骕,2015),通过案例研究,发现其具备一些显著有别于“技术驱动的创新”的典型特征:如研究型大学和公共研究机构是“科学驱动的创新”的重要来源和主体,科学研究的不确定性带来收益的巨大风险,科学知识基础高度异质性和高度复杂性,科学研究投入的周期较长等等(陈劲等,2013)。

通常,学者们将与科学研究关联度较高的产业称为“科学驱动的产业”,与“科学驱动的创新”一致,也普遍采取“产业-科学关联度指标”进行甄别,即产业中引用非专利文献的创新成果数量占比(Petruzzelli et al, 2015)。普遍认为在“科学驱动的产业”中,创新成果显著的依赖科学理论的发现与突破,其最主要的创新来源则是大学、科研机构、企业内部的研发组织等(李扬等,2017),科学驱动的产业更易激发探索性创新战略而带来更高的组织创新绩效(Tu et al, 2022)。而产学研合作在“科学驱动的产业”中将会发挥更大的效用,多样化的科学知识来源对产业的发展带来不同的效果(Duong et al, 2022),通过产学研合作可以有效地将基础研究与产业发展进行链接,避免学术研究与现实应用脱轨,帮助科学研究以应用为导向,更能加速科技成果转化。与之对应的,与科学研究相关性较弱的产业被称为“技术驱动的产业”,它依赖技术经验,需要整合组织内外部的技术资源并不断积累经验(林苞和雷家骕,2014)。因此,可以说科学驱动的产业是存在大量科学创新的产业,是科学驱动的创新大量汇聚的产业,与“技术驱动的产业”相比更加依赖科学知识,与科学知识的联系更为紧密。

## (三)科学驱动的产业生态主体构成

产业的创新生态主体构成主要包括企业、大专院校、科研单位、机关团体,甚至个人等,而科学驱动的产业中,传统观点普遍认为技术轨道主要取决于公共机构的科学突破,如大专院校、科研单位、机关团体等非以盈利为目的的组织。大量学者的研究表明,科学驱动的创新,主要依赖公共机构的基础研究突破(Pavitt et al, 1989),着重强调了公共机构在创新中的主体地位,较为典型的如诺贝尔奖成果中有51.2%的科学发现诞生于大学,18.97%的科学发现诞生于公共机构,足以表明科研机构对科学驱动的创新更加重要;大学和研究机构参与创新的程度很高,产学研是最典型的创新模式(张庆芝等,2018)。Jaffe和Trajtenberg(1996)的研究表明大学的专利更能够被频繁地引用,而政府专利的引用率却低于企业专利,但政府知识的衰减速度较慢。Bacchiocchi和Montobbio(2009)还证明了嵌入大学和公共研究专利中的知识往往比公司知识传播得更快,而且这些影响因国家而异。复杂的技术拉近了科学与技术的距离,科学技术越先进、越复杂,公共部门(大学和研究机构)的作用就越重要(Lei et al, 2016),缩小公共部门和行业之间的差距并促进两者之间的合作在很大程度上成为国家和区域层面研发战略制定的重要方向(Kanama and Kondo, 2007)。因此,在科学驱动的产业中,多数学者认为复杂而系统化的科学知识是创新的关键驱动力,公共研究部门如高校、科研机构等占据产业创新生态的主导地位,在创新链前端和研发早期发挥着重要作用。

而随着科学与技术之间强烈的互动和反馈,企业也被迫参与或投资于基础研究,以获得更广泛的信息网络并使得企业能够维持竞争优势(Nathan, 1990),并逐渐形成了科学驱动的企业,企业创新成功的关键要素也转化为获取科学知识的能力,与高校、科研机构等建立协同合作关系能够强化这一能力。科学知识资本对企业愈发重要(Wong et al, 2022),企业参与公共机构的科学发现过程是科学驱动创新的一种重要形式(Zhou et al, 2022),科学驱动的企业在新技术商业化和科学突破方面发挥着重要作用,企业会跨越科学领域的界限,进入商业领域,并利用学术研究和获得资助来生存(Fini et al, 2019, Mason et al, 2019)。科学驱动的企业往往面临着相互矛盾的制度逻辑,在参与科学研究的同时,也要求注重效率和利润的商业逻辑(Schou, 2023)。科学研究是企业外部监控和评价科技发展的基础,大量企业为了获取知识资源,建立了内部研究团队。企业之所以需要参与科学研究,其最为主要的驱动因素是将研究成果转化为最终产品的前景诱惑(Cardinal and Hatfield, 2000)。因而企业的科学能力也成为关注的热点,即便科学研究具有极大不确定性和发现的偶然性,但良好的科学能力可提高实现创新的概率,企业科学能力所需的领先科学知识来源是多样化的,或与科研机构合作,或建立多功能的新型研发组织(温珂等,2012;Coriat et al, 2003)。陈劲等(2007)就对

企业的科学能力进行了详细的要素解析,但值得一提的是企业科学能力的形成过程是复杂的,非线性化的,需要突破多重的阻碍(柳卸林和高广宇,2011)。与此同时,合作是知识创造的重要前提,企业创新管理者在复杂的组织间利用社会资本可以改善知识创造(Tootell et al, 2021)。“科学驱动的产业”生态主体之间的合作互动是多方面和复杂的,其特征是多个主体、组织和机构之间的动态互动(Johnson et al, 2023),其中合作的类型多样化(Kim and Kim, 2022)、生态系统结构也能对科学驱动的产业绩效产生积极影响(Kriz et al, 2022)。因此,在科学驱动的产业生态中,不同主体类型的作用存在差异,企业作为创新主体的地位不容忽视,传统以公共机构为主的观点需要进一步的挖掘和探究。

随着科技的发展和产业竞争的加剧,科学驱动的产业与创新逐渐成为学术界研究的热点,学者们关注其创新过程(Styhre et al, 2010)、研发周期和投入、研发风险(Cardinal and Lei, 2000)、创新影响、知识基础(Pisano, 2010)及组织决策方面,认为科学驱动的创新不是一个简单的有序和线性过程,而是集科学理论、实验框架、设备技术等各类资源于一体的、综合的、复杂的科学成果的产生过程,具有独特性和难以复制性,建立在发展中的科学知识基础之上,而非来自成熟的工业知识;科学驱动的创新需要整合多样化的学科知识,不断的知识积累,漫长的研发持续时间和极高的长期投资风险(Walter et al, 1996)。然而,科学驱动的产业与创新在推动产业发展并催生一个成熟产业的过程中所发挥的作用研究仍旧不够深入,对“科学驱动的创新”与“技术驱动的创新”之间的差异缺乏深度且定量化的研究,对产业中不同类型创新主体的网络生态及网络效用挖掘不足且认识较为片面,未体现出“科学驱动的企业”这一创新主体的产业主导地位,这也是本文拟关注和解决的关键问题。

### 三、研究设计

#### (一)量化指标

产业科学关联度是甄别“科学驱动的产业与创新”的成熟指标,来源于创新成果对非专利文献(NPL)的引用。专利作为创新成果的重要载体,从专利文本中挖掘产业技术、探索科学技术互动关联等研究一直是学术界重要的议题(魏红芹和周成,2018),深入剖析科学驱动的产业与创新能够为技术创新提供方向,降低研发风险,提高创新质量(黄鲁成等,2017)。非专利文献的引用直观反映了科学与技术发展之间的联系,可以解释为科学到技术的交换过程(Meyer, 2002)或两者之间的相关性,而其数量也被用作技术机会的衡量标准(van Looy et al, 2006)。产业科学关联度指标对科学和技术的关联进行了基准测试和评估,代表了产业创新的源泉及发展动力,有助于识别与基础科学高度相关的产业领域,同时亦能判断哪些产业发展对科学研究的依赖程度较低。产业科学关联度的计算借鉴张鹏和雷家骕(2015)的研究如式(1)所示。

$$\text{产业科学关联度} = \frac{PNPL}{P_{total}} \quad (1)$$

其中:PNPL为所有专利中有非专利文献(non-patent-literature, NPL)引用的专利数;P<sub>total</sub>为某个细分产业的专利总数。

因此,本文将包含非专利文献(NPL)引用的专利作为“科学驱动的创新”的衡量指标,而将产业科学关联度高于全产业的细分领域作为“科学驱动的产业”的衡量指标。

#### (二)数据来源

在研究对象与数据来源上,为深入探究科学驱动的创新在推动产业发展中的作用,以及产业创新主体之间的网络生态与关系联动,本文以5G通讯产业为研究对象,Marsili(2001)曾归纳出与科学知识高度相关的行业,即科学驱动的产业,其中包括生物技术、医药、电子通讯和化学制品等,5G产业作为电子通讯产业的研究热点,在物联网、云计算和智能交互等方面,为信息生态系统提供了支撑(闫洪波和赵莹超,2020),属于典型的科学驱动的产业。根据5G产业核心技术,包括高频段传输、新型多天线传输、设备间直接通信D2D(device to device)、同时同频全双工和新型网络构架等(Marzetta, 2010),结合前人研究,利用IncoPat专利信息检索分析平台作为5G技术专利数据的信息来源,并剔除实用新型与外观设计专利,只保留发明专利,检索出全球5G产业共计23197件发明专利,时间跨度为2000—2021年(图2)<sup>①</sup>。

<sup>①</sup> 检索式为:TIAB=(5G OR “the fifthth generation” OR “the 5th generation” OR C-RAN OR Cloud-RAN OR F-OFDM OR Massive MIMO OR MMW OR “mm wave” OR “MillimeterWave” OR “Ultra Dense Network” OR “Pattern Division Multiple Access” OR “Nonorthogonal Multiple Access” OR SDN OR NFV OR D2D NOT 2G NOT 2.5G NOT 3GNOT 4G) AND IPC=H04\*,其中,\*代表泛指,IPC=H04\*表示所有以“H04”开头的IPC分类号。

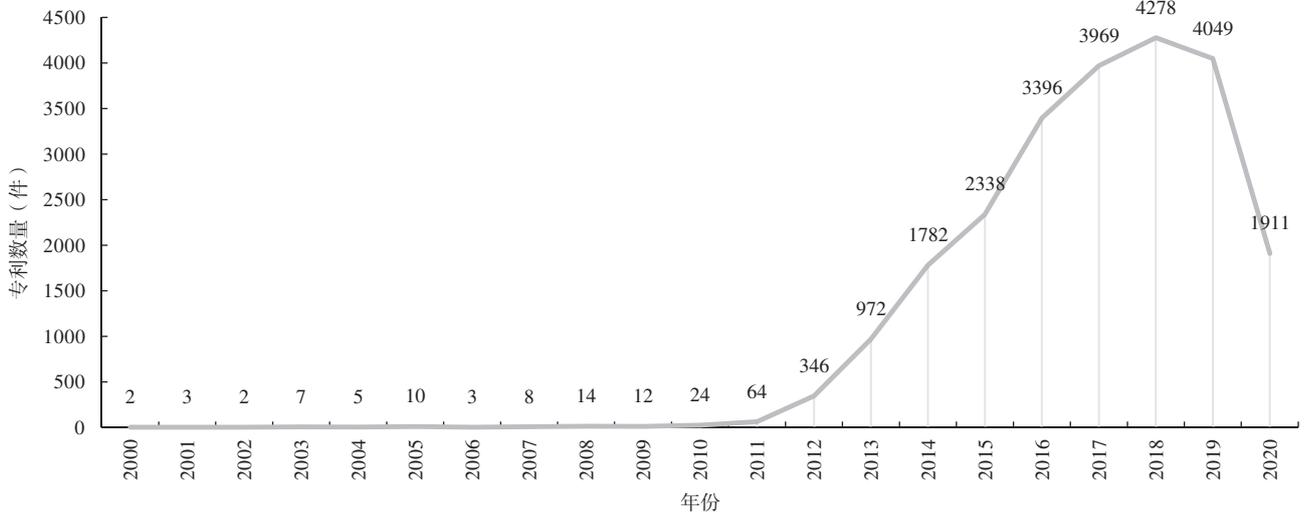


图2 全球5G产业2000—2021年发明专利数量变化

### (三)研究方法

在产业创新网络、创新生态的研究中,社会网络分析方法是探究网络关系的有效且广泛的应用方法,创新网络是企业获取资源、打造竞争优势的重要手段,利用专利引用网络、主体合作网络,可以对研究对象进行准确的描述和测量,从行业层面、技术层面等将5G技术领域内的合作关系完整呈现出来(钟祖昌等,2022)。网络中心性代表了网络节点的位置属性,Marsden(2002)指出网络中心性能够反映网络中节点取得、协调及配置资源的能力。其中,度数中心性代表节点合作关系的数量(Borgatti and Halgin, 2011)。度数中心性越高的创新主体与创新成果,代表其合作关系数量越多、网络关系越密切,能够更加频繁的通过交流、协作来获取丰富的知识和经验,更有效的整合内外部信息与知识(张克群等,2022)。度数中心性的计算方法:假设在合作网络中有  $n$  个节点,节点  $A$  与另外  $k$  个节点存在合作关系,那么节点  $A$  的度数中心性为

$$\text{度数中心性} = \frac{k}{n-1} \quad (2)$$

因此,在研究方法上,本文主要采用社会网络分析方法,利用Ucinet社会网络分析软件,在微观层面挖掘“科学驱动的创新”在产业中的网络地位,在中观层面探讨“科学驱动的产业”如何影响其他细分产业,并分析产业生态主体的构成与网络联系。此外,为了辨析“科学驱动的创新”与其他创新成果的差异,也采用了独立样本  $T$  检验等数理统计方法。

## 四、结果讨论

### (一)科学驱动的创新

#### 1. 描述性统计分析

5G产业检索的23197件专利中,按照产业科学关联度指标,隶属于“科学驱动的创新”9370件,占比仅40.4%,但其被引总次数达到13092次,被引占比高达62.95%,平均被引次数5.02,远高于“技术驱动的创新”。而在申请人与发明人数量上差异并不明显,在审查周期与技术覆盖广度上存在差异,需要进一步的实证检验(表1)。

#### 2. 独立样本 $T$ 检验

为探究“科学驱动的创新”成果与“技术驱动的创新”之间的差异,本文采取独立样本  $T$  检验。可以看出,在0.001的显著性水平上,两类创新成果在审查周期、技术覆盖广度、被引证次数三个指标上存在显著的差异,从平均值的差值可以看出,“科学驱动的创新”成果审查周期要显著的长于“技术驱动的创新”,技术覆盖广度,即创新成果的技术领域分布要显著的大于“技术驱动的创新”,最为明显的特征是,“科学驱动的创新”成果的被引次数显著高于“技术驱动的创新”(表2)。

表 1 “科学驱动的创新”描述性统计结果

指标	分类	均值	标准差	标准误差平均值	指标	分类	均值	标准差	标准误差平均值
申请人数量	科学驱动的创新	1.12	0.743	0.008	技术覆盖广度	科学驱动的创新	3.42	2.242	0.023
	技术驱动的创新	1.12	0.658	0.006		技术驱动的创新	3.02	1.756	0.015
发明人数量	科学驱动的创新	3.56	2.121	0.022	被引证次数	科学驱动的创新	5.02	14.023	0.274
	技术驱动的创新	3.54	2.673	0.023		技术驱动的创新	3.37	6.407	0.134
审查周期	科学驱动的创新	21.98	17.268	0.178					
	技术驱动的创新	18.36	16.975	0.144					

注:其中技术覆盖广度指专利的IPC分类覆盖数量。

表 2 两类创新成果的独立样本 T 检验

指标	方差齐性假设	F	显著性	t	自由度	显著性		平均值差值
						单侧 P	双侧 P	
申请人数量	假定等方差	0.094	0.759	0.084	23196	0.467	0.933	0.001
	不假定等方差			0.082	18450.318	0.467	0.935	0.001
发明人数量	假定等方差	88.567	<.001	0.74	23174	0.23	0.459	0.024
	不假定等方差			0.773	22618.062	0.22	0.439	0.024
审查周期	假定等方差	161.207	<.001	15.81	23196	<.001	<.001	3.616
	不假定等方差			15.758	19880.444	<.001	<.001	3.616
技术覆盖广度	假定等方差	528.332	<.001	15.122	23196	<.001	<.001	0.398
	不假定等方差			14.44	16805.768	<.001	<.001	0.398
被引证次数	假定等方差	30.924	<.001	5.145	4892	<.001	<.001	1.642
	不假定等方差			5.374	3757.707	<.001	<.001	1.642

### 3. 网络结构分析

为进一步探索创新成果之间的网络关系,本文筛选 5G 产业中被引靠前的 200 个专利,形成专利引用矩阵,利用 NetDraw 软件勾画出网络视图(图 3),可以明显看出,专利之间的引用网络呈松散状,联系并不紧密,网络密度较低。网络中心度排名靠前的 30 个专利,其中 27 个(如 US10341311B2、US9866483B2 等)均隶属于“科学驱动的创新”,可以看到,“科学驱动的创新”在整个产业中处于网络中心地位,对其他节点的影响较大,在整体网络中是最基础同时也是最核心的创新成果,控制能力较强。

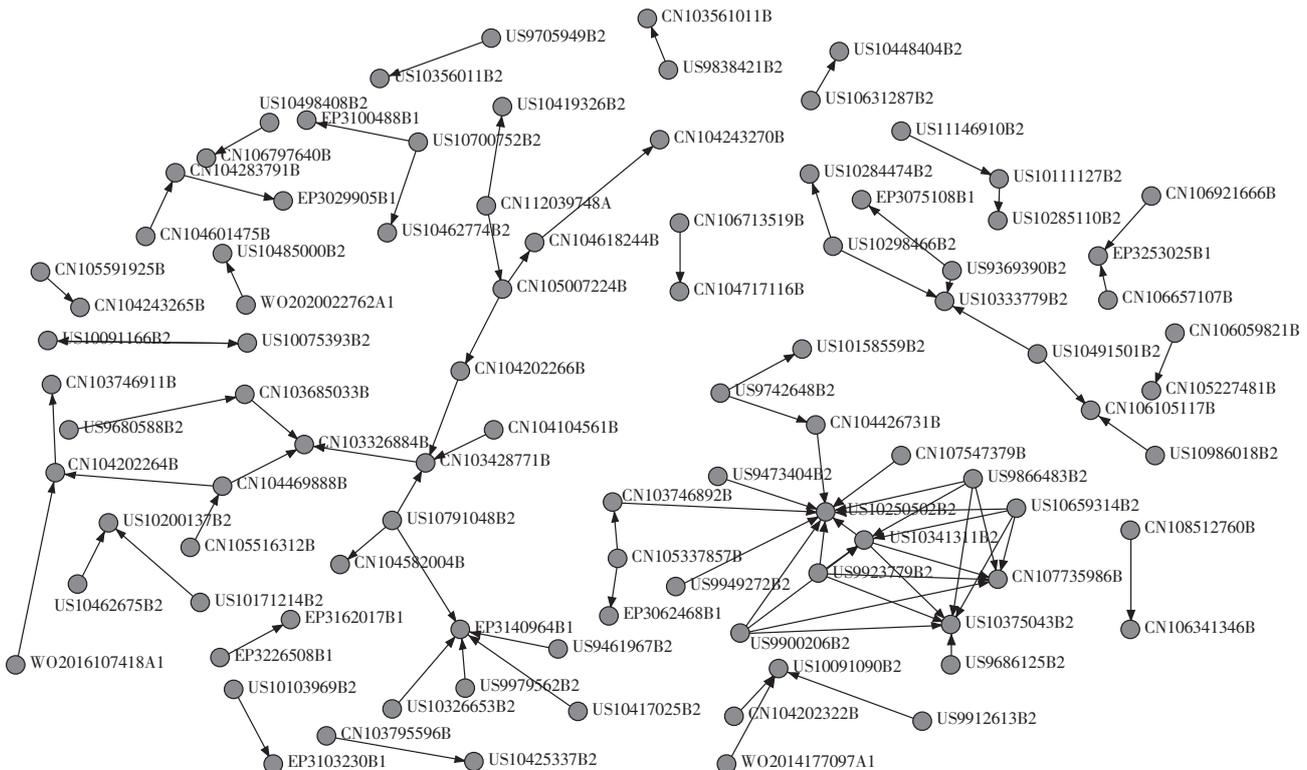


图 3 “科学驱动的创新”网络结构图

## (二)科学驱动的产业

### 1. 科学关联度排序

本文为量化甄别科学驱动的产业,利用国际专利分类法(IPC)三级分类,将5G产业划分为773个细分产业,并筛选出其中发明专利申请量在100件以上的细分产业,共计46个,计算各细分产业的科学关联度,即非专利文献的引用率(*NPL*),利用科学关联度进行排序,并赋予每个细分产业序号,其中排名靠前的细分产业则被界定为更倾向于“科学驱动的产业”,便于进一步的网络分析(表3)。

### 2. 网络结构分析

本文利用引用网络刻画46个细分产业之间的网络结构图,可以明显看出,各细分产业之间网络联系紧密,呈现中心辐射状的星形结构,排序靠前的细分产业在网络中往往处于中心位置,也就是说“科学驱动的产业”在网络结构中拥有较高的网络中心度(图4)。因而,“科学驱动的产业”在整体产业结构中,对其他细分产业能够产生深远的影响,囊括了整个行业发展的关键核心技术,具备取得、协调及配置资源的能力,能够整合内外部信息和知识资源,通过频繁的交流、协作带动其他产业的共同发展,从而为产业演化奠定基础。

表3 5G行业下各细分产业科学关联度排序

科学驱动的产业			技术驱动的产业		
排名	细分产业	产业科学关联度(%)	排名	细分产业	产业科学关联度(%)
1	H04W4/00	76.9	46	H04N7/18	6.2
2	H04L12/28	54.0	45	H04W88/08	25.4
3	H04B7/04	53.5	44	H04W24/02	26.2
4	H04W36/14	52.8	43	H04W4/02	29.2
5	H04L12/751	51.5	42	H04L29/12	29.5
6	H04L12/721	50.2	41	H04W16/18	29.6
7	H04L5/00	48.6	40	H04W24/08	29.9
8	H04J11/00	48.1	39	H04W48/16	32.9
9	H04L1/00	48.0	38	H04L29/08	33.4
10	H04W36/00	47.5	37	H04W12/06	35.5
11	H04B7/0413	47.1	36	H04W52/02	35.5
12	H04B7/0456	47.1	35	H04L12/801	36.3
13	H04L12/70	46.3	34	H04W76/10	37.5
14	H04W24/10	45.6	33	H04B7/08	38.5
15	H04B7/06	44.9	32	H04W28/02	38.8
16	H04W56/00	44.6	31	H04W28/08	38.9
17	H04L1/18	44.5	30	H04L12/46	39.7
18	H04W28/06	44.4	29	H04L12/741	39.8
19	H04W74/08	44.1	28	H04L12/24	40.0
20	H04W72/12	43.8	27	H04L29/06	40.8
21	H04L12/26	43.1	26	H04W64/00	41.7
22	H04W72/04	43.1	25	H04L27/26	42.0
23	H04W74/00	42.8	24	H04W48/18	42.8

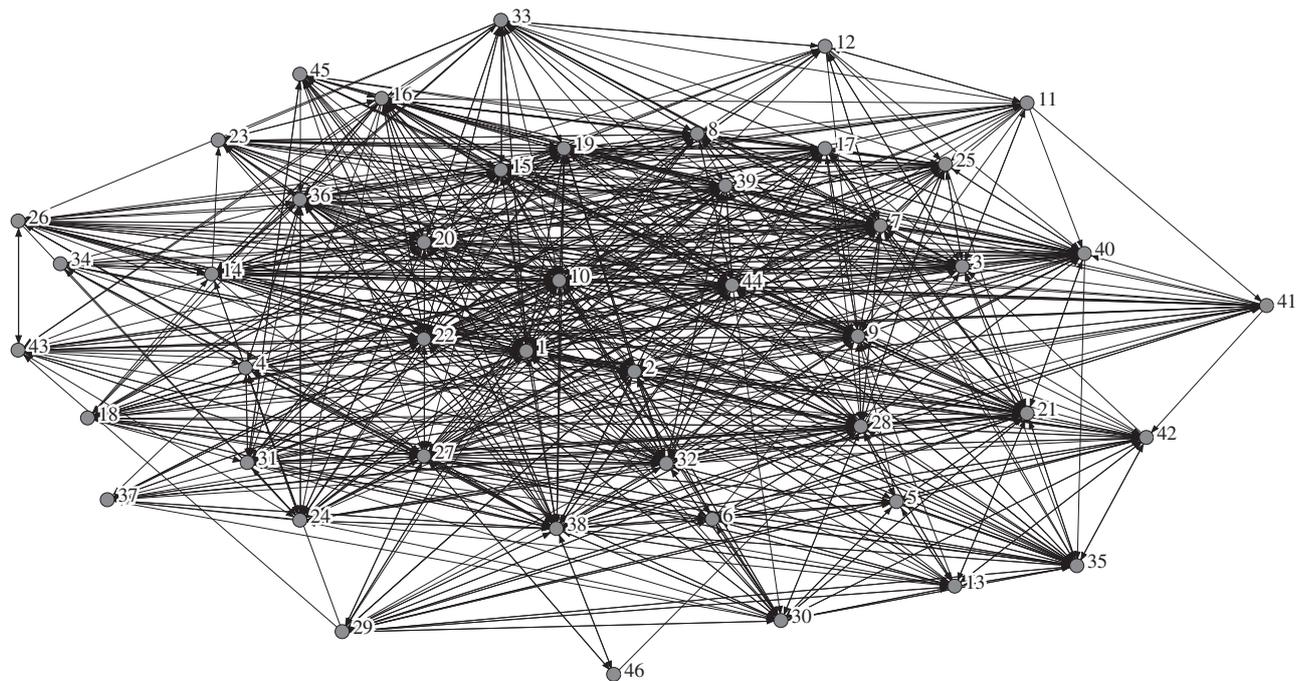


图4 5G行业下各细分产业网络结构图

## (三)创新生态主体

在5G产业的创新生态主体网络中,各类创新主体之间网络结构紧密,企业与高校、科研院所之间的互动频繁,产学研协同融合体系在科学驱动的产业中的作用更加凸显,任何一个组织均无法在脱离其他组织的情况下独立发展,科学知识以其开放性的特点成为整个产业发展的基石,在创新成果的体现即是频繁而大规模

的互相引用。而在主体的构成中,网络中心度排名靠前的为华为(Huawei)、三星(Samsung)、AT&T Intellectual Property、中兴(ZTE)、Cisco等,不难发现企业占据主体地位,无论是专利申请量或网络中心性,企业都占据绝对的领先地位,这与以往学者研究的创新源泉主要来源于公共机构的结论有所出入,可见创新来源与创新成果的主体类型并非“科学驱动的产业”典型特征,随着科学与技术之间强烈的互动和反馈,企业为获得更广泛的信息网络并维持竞争优势也在不断的加大基础研究投入,激发大量“科学驱动的创新”(图5)。

然而,需要注意的是,大学、研究机构等公共机构在网络中仍然发挥着重要作用。将专利申请量前100位与网络中心度排名前100位的申请人进行对比分析,发现进入全球专利申请量前100的公共机构有10位,而进入网络中心度排名前100位的公共机构申请人则多达22位,且将专利申请量排名与网络中心度排名对比后发现,除了韩国电子通信研究院(Electronics and Telecommunications Research Institute)外,绝大多数公共机构排名呈现出显著提升,如北京邮电大学网络中心度排名提升了11位,电子科技大学提升16位,西安交通大学提升36位。此外,未进入专利申请量前100的公共机构,还包括工业技术研究院(Industrial Technology Research Institute)网络中心度排名16位,清华大学排名50位,浙江工商大学、上海交通大学、浙江大学等12个公共机构网络中心度排名在前100位(图6)。大学、科研组织等公共机构虽然在专利申请量上不如企业,但在网络中心度上仍然占据重要的地位,公共机构的创新成果能够产生较大的影响效用,嵌入大学等公共机

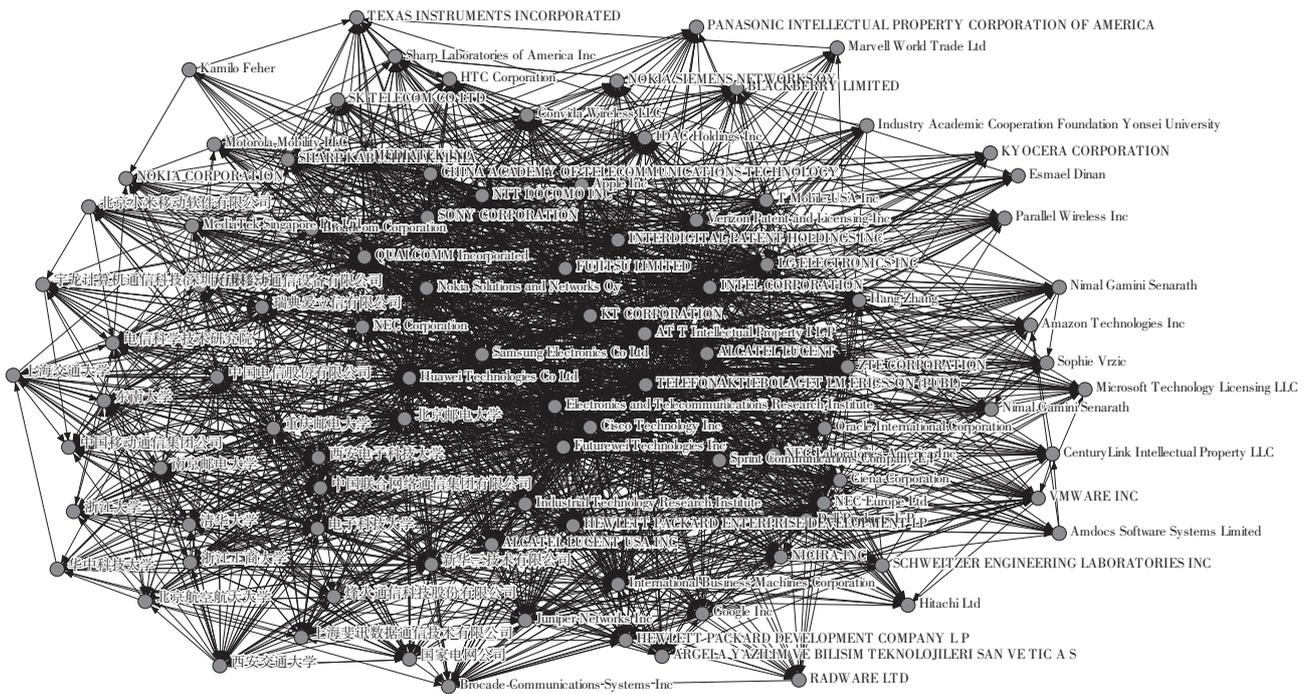


图5 5G行业创新生态主体网络结构图

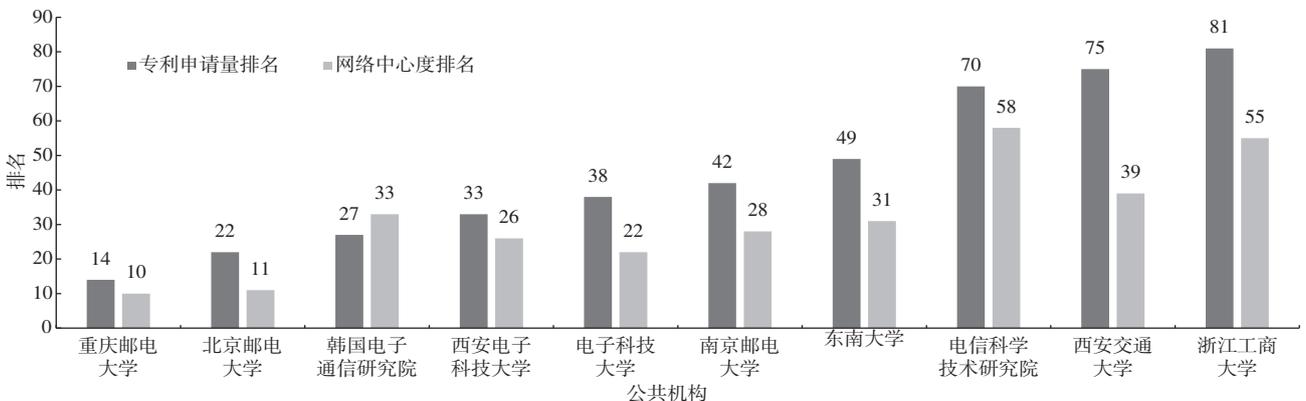


图6 公共机构专利申请量排名与网络中心度排名对比

构专利中的知识往往比公司知识传播得更快,因此缩小公共部门和行业之间的差距并促进两者之间的合作在很大程度上能够为产业发展提供助益。

## 五、结论与展望

### (一)研究结论

本文从科学驱动的视角出发,利用产业科学关联度指标,清晰界定“科学驱动的产业与创新”,以5G产业为研究对象,利用社会网络分析方法探究科学驱动的产业与创新在整个产业中的网络地位及其作用,并对网络的生态主体构成进行分析,探究产业创新生态的参与主体及网络关系,挖掘不同类型主体在产业创新生态中的定位。研究发现:

(1)从微观层面出发,科学驱动的创新具有较高的科学关联度,创新的源泉及发展动力主要来源于科学知识,创新成果更容易被频繁的引用;在整个创新网络中,科学驱动的创新成果处于网络中心地位,且点出度显著高于点入度,能够为其他创新成果提供经验输出和知识依赖,成为驱动创新发展的基石,然而整体网络结构较为松散,表明微观视角的创新网络并非中心辐射状的星形网络,而是跟随科学的发展在不断的动态演化中。同时,通过与“技术驱动的创新成果”进行对比发现,科学驱动的创新成果审查周期要显著的长于“技术驱动的创新”,从一定程度上也表明,科学驱动的创新成果技术含量较高,衍生出高价值专利的可能性也较大;科学驱动的创新成果技术覆盖广度显著的大于“技术驱动的创新”,说明科学知识的搜索利用能够提高创新成果的技术宽度,增大了其技术元素的碰撞和聚合,并能够提高其高价值全新技术突破的可能性。

(2)从中观层面出发,科学驱动的细分产业拥有较高的产业科学关联度,是科学驱动的创新大量汇聚的产业,在整个行业中处于网络中心地位,且网络结构较为紧密,呈现中心辐射状的星形结构,表明科学驱动的产业是整个行业发展的关键核心技术领域,具备取得、协调及配置资源的能力,能够整合内外部信息和知识资源,通过频繁的交流、协作带动其他产业的共同发展,为产业的形成演化奠定基础。

(3)从创新生态主体出发,科学驱动的产业中各类创新主体之间网络结构紧密,呈现频繁的互动状态,产学研协同融合体系在科学驱动的产业中发挥重要作用,联结基础研究与产业发展,能够为产业的技术需求提供根本性保障;产业的创新显著来源于科学发现,但大学和科研机构已经不再是单一的创新来源,企业开始占据主体地位成为创新的主体和参与科学研究的主体,企业参与基础研究能够获取信息网络资源并维持竞争优势;然而,需要注意的是,大学等公共机构的创新成果虽然在数量上不占据主导优势,但往往能够被频繁地引用,知识传播速度更快,在创新网络中的中心性具有不可替代的优势。

### (二)研究局限与展望

本文以科学驱动的视角,将非专利文献引用(NPL)作为产业科学关联度指标用于量化“科学驱动的产业与创新”,虽然该指标与方法在学界应用广泛,直观代表了技术对科学依赖的线性度量,但仍然存在较大的局限性,因此在未来的研究中,需要进一步探究“科学驱动的产业与创新”的量化指标,拓展甄别范式。此外,本文利用社会网络分析方法探究“科学驱动的产业”创新网络关联与创新生态构成,旨在表明科学驱动的产业与创新在产业形成、发展、演化中的重要作用,呼吁更多的学者关注该领域,起到抛砖引玉的效果,为我国亟待解决的重大现实问题提供理论参考。未来可挖掘的研究方向较为广阔,如在微观层面挖掘科学驱动的创新其创新链的内在结构、科学驱动型企业创新绩效的影响因素,在中观层面从科学驱动视角探索产业演化机制与规律,从宏观层面深入剖析国家创新体系的构建与影响因素等。

### 参考文献

- [1] 陈劲,赵晓婷,梁靓,2013.科学驱动的创新[J].科学学与科学技术管理,34(6):3-7.
- [2] 陈劲,郑育艺,邱嘉铭,余芳珍,2007.企业科学能力概念的讨论与界定[J].科学学研究,(S2):210-214.
- [3] 樊春良,樊天,2020.国家创新系统观的产生与发展——思想演进与政策应用[J].科学学与科学技术管理,41(5):89-115.
- [4] 樊霞,宋丽,2017.科学驱动的创新与产业技术能力构建——基于中日美生物技术产业的比较分析[J].科学学与科学技术管理,38(3):3-11.
- [5] 方帅,李欣融,雷家骥,2022.基于科学的企业内部治理问题:文献综述与研究展望[J].科技进步与对策,39(16):1-8.
- [6] 黄鲁成,石媛媛,吴菲菲,等,2017.基于技术视角的新兴产业关联研究——以3D打印相关产业为例[J].管理评论,29(2):47-58.

- [ 7 ] 雷家骥, 林苞, 2014. 中国追赶发达国家应特别关注科学驱动的创新及其产业[J]. 理论探讨, (2): 76-79.
- [ 8 ] 李梦柯, 王芳, 赵兰香, 2023. 科学知识特征对基于科学的创新绩效的影响——基于仪器产业的分析[J]. 科学学研究, 41(4): 708-717.
- [ 9 ] 李天柱, 高皓天, 王亚东, 2021. 高端科学仪器的创新特性与产业发展思路[J]. 科技和产业, 21(2): 109-114.
- [ 10 ] 李欣融, 张庆芝, 雷家骥, 2022. 基于科学的创新: 研究回顾与展望[J]. 科研管理, 43(1): 1-13.
- [ 11 ] 李扬, 樊霞, 章熙春, 2017. 产业科学关联度视角下的产学研合作关系强度及创新质量研究[J]. 科学学与科学技术管理, 38(12): 12-25.
- [ 12 ] 林苞, 雷家骥, 2014. 科学驱动的创新与技术驱动的创新: 兼论科学-技术关系的“部门”模式[J]. 科学学研究, 32(9): 1289-1296.
- [ 13 ] 柳卸林, 高广宇, 2011. 企业如何利用科学[J]. 科学学与科学技术管理, 32(9): 5-10, 22.
- [ 14 ] 王婧, 雷家骥, 2022. “基于科学的企业”主导逻辑研究——以同方威视为例[J]. 科研管理, 43(11): 1-10.
- [ 15 ] 魏红芹, 周成, 2018. 专利间知识流动与技术融合趋势研究[J]. 科技进步与对策, 35(22): 17-22.
- [ 16 ] 温珂, 苏宏宇, 宋琦, 2012. 基于过程管理的科研机构合作创新能力理论研究[J]. 科学学研究, 30(5): 793-800.
- [ 17 ] 胥和平, 雷家骥, 2021. 前瞻布局基于科学的产业创新[J]. 经济导刊, (4): 32-35.
- [ 18 ] 闫洪波, 赵莹超, 2020. 第五代移动通信技术专利情报实证分析[J]. 科技管理研究, 40(2): 196-200.
- [ 19 ] 张克群, 张文, 汪程, 2022. 知识组合新颖性、网络特征与核心发明人关系研究[J]. 情报杂志, 41(1): 185-191.
- [ 20 ] 张鹏, 雷家骥, 2015. 科学驱动的创新与产业: 相关概念探究与典型产业识别[J]. 科学学研究, 33(9): 1313-1323, 1356.
- [ 21 ] 张庆芝, 段勇倩, 雷家骥, 2015. 科学驱动的创新研究: 以诺贝尔奖科学成果到商业产品为例[J]. 科学学研究, 33(12): 1770-1778, 1866.
- [ 22 ] 张庆芝, 李慧聪, 雷家骥, 2018. 科学家参与学术创业的程度及对成果商业化的影响[J]. 技术经济与管理研究, (3): 55-58.
- [ 23 ] 钟祖昌, 余佩璇, 肖宵, 等, 2022. 高技术产品出口贸易网络构建对一国或地区全球价值链分工位置的影响研究: 基于社会网络分析的视角[J]. 管理评论, 34(3): 127-140.
- [ 24 ] 朱卫杰, 鲁若愚, 李天柱, 2022. 基于科学的产业: 一种新的量化甄别范式[J/OL]. 科学学研究, 9: 1-20[2023-05-19]. DOI: 10.16192/j.cnki.1003-2053.20220922.002.
- [ 25 ] BACCHIOCCHI E, MONTOBBIO F, 2009. Knowledge diffusion from university and public research. A comparison between US, Japan and Europe using patent citations[J]. The Journal of Technology Transfer, 34(2): 169-181.
- [ 26 ] BORGATTI S P, HALGIN D S, 2011. On network theory[J]. Organization Science, 22(5): 1168-1181.
- [ 27 ] CARDINAL L B, ALESSANDRI T M, Turner S F, 2001. Knowledge codifiability, resources, and science-driven innovation [J]. Journal of Knowledge Management, 5(2): 195-204.
- [ 28 ] CARDINAL L B, HATFIELD D E, 2000. Internal knowledge generation: The research laboratory and innovative productivity in the pharmaceutical industry[J]. Journal of Engineering and Technology Management, 17(3-4): 247-271.
- [ 29 ] CARDINAL L B, LEI D, 2000. Structuring research and development teams in the technological conversion process [J]. Team Performance Management, 6(3): 1-62.
- [ 30 ] CORIAT B, ORSI F, WEINSTEIN O, 2003. Does biotech reflect a new science-driven innovation regime?[J]. Industry and Innovation, 10(3): 231-253.
- [ 31 ] DE SILVA M, GOKHBERG L, MEISSNER D, et al, 2021. Addressing societal challenges through the simultaneous generation of social and business values: A conceptual framework for science-based co-creation [J]. Technovation, 104: 102268.
- [ 32 ] DUONG P A N, VOORDECKERS W, HUYBRECHTS J, et al, 2022. On external knowledge sources and innovation performance: Family versus non-family firms[J]. Technovation, 114: 14.
- [ 33 ] FINI R, RASMUSSEN E, WIKLUND J, et al, 2019. Theories from the lab: How research on science commercialization can contribute to management studies[J]. Journal of Management Studies, 56(5): 865-894.
- [ 34 ] FLEMING L, SORENSON O, 2004. Science as a map in technological search[J]. Strategic Management Journal, 25(8-9): 909-928.
- [ 35 ] GENIN A L, LEVESQUE M, 2023. Interorganizational knowledge flows in academia-industry collaboration: The economic impacts of science-based firm innovation[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 70(5): 1823-1837.
- [ 36 ] GITTELMAN M, KOGUT B, 2003. Does good science lead to valuable knowledge? Biotechnology firms and the evolutionary logic of citation patterns[J]. Management Science, 49(4): 366-382.
- [ 37 ] HARHOFF D, SCHERER F M, VOPEL K, 2003. Citations, family size, opposition and the value of patent rights [J]. Research Policy, 32(8): 1343-1363.
- [ 38 ] HOHBERGER J, 2016. Diffusion of science-driven inventions [J]. Technological Forecasting and Social Change, 104: 66-77.

- [39] HUANG M H, YANG H W, CHEN D Z, 2015. Increasing science and technology linkage in fuel cells: A cross citation analysis of papers and patents[J]. *Journal of informetrics*, 9(2): 237-249.
- [40] JAFFE A B, TRAJTENBERG M, 1996. Flows of knowledge from universities and federal laboratories: Modeling the flow of patent citations over time and across institutional and geographic boundaries [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(23): 12671-12677.
- [41] JENSEN M B, JOHNSON B, LORENZ E, et al, 2007. Forms of knowledge and modes of innovation [J]. *Research Policy*, 36(5): 680-693.
- [42] JIN J, LI M, 2022. Innovate with whom? The bridging effect of organizational learning capability for knowledge-intensive SMEs[J]. *Asian Journal of Technology Innovation*, 12(8): 1-27.
- [43] JOHNSON D, GIANIODIS P T, HARRISON R T, et al, 2023. From laboratory to clinic: Science commercialization within university-centered entrepreneurial ecosystems[J]. *R&D Management*, 53(1): 3-23.
- [44] KAHIN B, FORAY D, 2006. Interactive learning, social capital, and economic performance[J]. *Advancing Knowledge and the Knowledge Economy*, 63-74.
- [45] KANAMA D, KONDO A, 2007. The limitations of the technology roadmap and importance of new management tools in science-driven innovation: The case of nanotechnology in Japan [J/OL]. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2007.4419565>.
- [46] KIM J, KIM W, 2022. The intensity and diversity of R&D partner types and product development: Do product innovation types and industry sectors matter?[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 184: 19.
- [47] KRIZ A, RUMYANTSEVA M, WELCH C, 2022. How science-based start-ups and their entrepreneurial ecosystems co-evolve: A process study[J]. *Industrial Marketing Management*, 105: 439-452.
- [48] LEI J, LIN B, SHA S, 2016. Catching-up pattern among countries in science-driven industries: A case study in pharmaceutical industry[J]. *Journal of Industrial Integration and Management*, 1(1): 1650004.
- [49] MARSDEN P V, 2002. Egocentric and sociocentric measures of network centralities[J]. *Social Networks*, 24(4): 407-422.
- [50] MARSILI O, 2001. *The anatomy and evolution of industries*[M]. London: Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, 124-426.
- [51] MARZETTA T L, 2010. Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas [J]. *IEEE transactions on wireless communications*, 9(11): 3590-3600.
- [52] MASON K, FRIESL M, FORD C J, 2019. Markets under the microscope: Making scientific discoveries valuable through choreographed contestations[J]. *Journal of Management Studies*, 56(5): 966-999.
- [53] MEYER M, 2002. Tracing knowledge flows in innovation systems: An informatics perspective on future research on science-driven innovation[J]. *Economic System Research*, 14: 323-341.
- [54] MICHEL J, BETTELS B, 2001. Patent citation analysis. A closer look at the basic input data from patent search reports[J]. *Scientometrics*, 51(1): 185-201.
- [55] MULLIGAN K, LENIHAN H, DORAN J, et al, 2022. Harnessing the science base: Results from a national programme using publicly-funded research centres to reshape firms' R&D[J]. *Research Policy*, 51(4): 15.
- [56] NAGAOKA S, 2007. Assessing the R&D management of a firm in terms of speed and science linkage: Evidence from the US patents[J]. *Journal of Economics & Management Strategy*, 16(1): 129-156.
- [57] NARIN F, PINSKI G, GEE H H, 1976. Structure of the biomedical literature [J]. *Journal of the American Society for Information Science*, 27(1): 25-45.
- [58] NATHAN R, 1990. Why do firms do basic research(with their own money)?[J]. *Research Policy*, 19(2): 165-174.
- [59] PAVITT K, 1998. The social shaping of the national science base[J]. *Research Policy*, 27(8): 793-805.
- [60] PAVITT K, ROBSON M, TOWNSEND J, 1989. Technological accumulation, diversification and organization in UK companies[J]. *Management Science*, 35(1): 81-99.
- [61] PETRUZZELLI A M, ROTOLO D, ALBINO V, 2015. Determinants of patent citations in biotechnology: An analysis of patent influence across the industrial and organizational boundaries[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 91: 208-221.
- [62] PISANO G P, 2010. The evolution of science-based business: Innovating how we innovate [J]. *Industrial and Corporate Change*, 19(2): 465-482.
- [63] SALTER A J, MARTIN B R, 2001. The economic benefits of publicly funded basic research: A critical review[J]. *Research Policy*, 30(3): 509-532.
- [64] SCHOU P K, 2023. Coming apart while scaling up—Adoption of logics and the fragmentation of organizational identity in science-based ventures[J]. *Journal of Management Studies*, 60(3): 688-721.
- [65] SHIBATA N, KAJIKAWA Y, SAKATA I, 2010. Extracting the commercialization gap between science and technology—Case study of a solar cell[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(7): 1147-1155.
- [66] SORENSON O, FLEMING L, 2004. Science and the diffusion of knowledge[J]. *Research Policy*, 33(10): 1615-1634.

- [67] STOKES D E, 2011. Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation [M]. Washington: Brookings Institution Press, 10-20.
- [68] STYHRE A, WIKMALM L, OLILLA S, et al, 2010. Garbage-can decision making and the accommodation of uncertainty in new drug development work[J]. *Creativity and Innovation Management*, 19(2): 134-146.
- [69] TOOTELL A, KYRIAZIS E, BILLSBERRY J, et al, 2021. Knowledge creation in complex inter-organizational arrangements: Understanding the barriers and enablers of university-industry knowledge creation in science-based cooperation[J]. *Journal of Knowledge Management*, 25(4): 743-769.
- [70] TU Y H, ZHANG L L, LI X, 2022. Industry development tendency and innovation strategy preference of five typical industries under the background of low-carbon sustainable development in China[J/OL]. *Complexity*. <https://doi.org/10.1155/2022/4418669>.
- [71] VAN LOOY B, DEBACKERE K, CALLAERT J, et al, 2006. Scientific capabilities and technological performance of national innovation systems: An exploration of emerging industrial relevant research domains[J]. *Scientometrics*, 66(2): 295-310.
- [72] VAN LOOY B, MAGERMAN T, DEBACKERE K, 2007. Developing technology in the vicinity of science: An examination of the relationship between science intensity (of patents) and technological productivity within the field of biotechnology[J]. *Scientometrics*, 70(2): 441-458.
- [73] WALTER W P, KENNETH W K, LAUREL S D, 1996. Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology[J]. *Administrative Science Quarterly*, 41(1): 116-145.
- [74] WONG C Y, NI F C, SUGANO T, 2022. Detouring route of SMEs in post catching-up conditions: Context and dilemmas behind the quest for science-based business model innovation[J]. *Asian Journal of Technology Innovation*, 30(3): 519-537.
- [75] WOODFIELD P J, OOI Y M, HUSTED K, 2023. Commercialisation patterns of scientific knowledge in traditional low- and medium-tech industries[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 189: 11.
- [76] YILDIRIM E, MURAT A I, DABIC M, et al, 2022. A multi-stage decision making model for determining a suitable innovation structure using an open innovation approach[J]. *Journal of Business Research*, 147: 379-391.
- [77] ZHOU M, ZHANG Y J, LEI J S, et al, 2022. Early firm engagement, government research funding, and the privatization of public knowledge[J]. *Scientometrics*, 127(8): 4797-4826.

## Research on Innovation Network and Ecological Subject of Industries from the Science-driven Perspective: Take 5G Industry as An Example

Zhu Weijie<sup>1</sup>, Han Wucheng<sup>1</sup>, Lu Ruoyu<sup>1</sup>, Lei Jiasu<sup>2</sup>, Li Tianzhu<sup>3</sup>

(1. School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China;

2. School of Economics and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. School of Business Administration, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Science-driven Industry and Innovation was defined with the industrial-science correlation method, social network analysis was used to explore the network status and role of science-driven Industry and Innovation in the entire industry, and the participants' network relationship of industrial innovation ecology was analyzed. The results show that science-driven innovation achievements are at the center of the network, which can provide experience output and knowledge dependence for other innovation achievements, and become the cornerstone of innovation-driven development. At the same time, the examination cycle of science-driven innovation achievements should be significantly longer than "technology-driven innovation", the technology coverage is significantly wider than "technology-driven innovation", and science-driven innovation can improve the possibility of high-value technology breakthrough. Science-driven industries are the industries where a large number of science-driven innovations converge. They are the key technologies for the development of the entire industry. They have the ability to obtain, coordinate and allocate resources, integrate internal and external information and knowledge resources, drive the common development of other industries through frequent exchanges and cooperation, and lay the foundation for the formation and evolution of the industry. The network structure between innovation subjects is tight. The industry-university research (IUR) cooperation system plays an important role in the science-driven industry. Enterprises occupy the dominant position as the main subject of innovation and participate in scientific research, while public institutions such as universities have faster dissemination of innovation results, and their central position in the innovation network has irreplaceable advantages.

**Keywords:** science-driven innovation; science-driven industry; innovation network; innovation ecology