

# 审计技术创新生态网络演进及其价值发现研究

林翰<sup>a</sup>,李昊<sup>b</sup>,李庭燎<sup>c</sup>,孙周宝<sup>a</sup>

(南京审计大学 a. 工程审计学院/江苏省公共工程审计重点实验室;b. 信息工程学院;c. 商学院,江苏 南京 211815)

**[摘要]** 审计技术创新是审计事业高质量发展的技术基础,探索新时代审计技术创新的范式具有重要的理论价值和实践意义。基于审计专利数据,运用社会网络分析方法,构建了审计技术创新生态网络,揭示了审计技术创新生态网络的演化过程,探究了网络位置对创新主体创新绩效的影响。研究表明:审计技术创新生态网络演化呈现出清晰的逻辑模式;创新网络中心度对创新主体的创新绩效有显著积极效应。进一步研究发现,创新生态网络对低生态势生态位创新主体的积极影响大于高生态势生态位创新主体,低生态势生态位创新主体通过融入审计技术创新网络更容易提升创新绩效。

**[关键词]** 审计技术方法;创新绩效;创新生态网络;发明专利;社会网络分析;生态势;生态位

**[中图分类号]** F239.1 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1004-4833(2022)06-0021-11

## 一、引言

审计是党和国家监督体系的重要组成部分,是服务于经济社会发展、提升国家和组织治理能力的重要手段和有效措施<sup>[1-2]</sup>。当前新兴技术飞速发展推动的社会经济变革,深刻改变了组织和社会的结构与运行方式,也给传统的审计技术方法带来了严峻的挑战和重大的困难<sup>[3]</sup>。审计事业的发展需要深刻认识和把握新时代的新特点、新使命和新要求,亟须深入推进审计技术改革创新,夯实高质量发展的技术基础<sup>[4]</sup>。2018年5月23日,在中央审计委员会第一次会议上,习近平总书记强调“要善于运用新技术、新手段,坚持科技强审”<sup>[5]</sup>;中央审计委员会办公室、审计署制定的《“十四五”国家审计工作发展规划》中再次强调“全面贯彻落实现任总书记关于科技强审的要求,加强审计技术方法创新,充分运用现代信息技术开展审计,提高审计质量和效率。”因此,在审计技术创新愈发重要的当下,探索审计技术创新的有效驱动要素具有重要的理论价值和实践意义。

审计技术创新是指审计技术或方法的创新,包括开发新的审计技术或方法或者将已有的技术或方法进行审计应用创新<sup>[6]</sup>,前者强调技术方法的创新,后者旨在把有关的理论研究和发展的成果转化为解决问题的新思路、新方法和新应用,消除传统审计所固有的烦琐和劳动密集型人工处理过程,进而实施效率更高、质量更好、意见更可靠的审计工作。作为面向特定领域的技术创新,审计技术创新同样需要基于现有的思维模式提出新的见解,利用现有的知识和物质,在特定的环境中,本着理想化需要或为满足社会需求,改进或创造新的事物、方法、元素、路径、环境,并获得一定的效果。由于审计工作业务范围广、专业性强、实践性高,单一组织所拥有的知识资源和能力基础无法适应新时代技术创新网络化、生态化的发展趋势<sup>[7-8]</sup>。创新模式需从依赖传统技术创新体系向融入全新的创新生态系统转变,通过不同组织之间的网络协作,深入整合人力、技术、信息、资本等创新要素,推动创新因子有效汇聚,实现价值创造<sup>[9]</sup>。

审计技术创新主体间不断的物质、信息和资源交换,带动了审计技术的融合与创新,同时审计创新管理愈发趋向复杂化,因此有必要从更加全面的视角对审计技术创新过程中的创新合作进行探索。迄今为止,已有的审计技术创新研究大多从技术或需求角度展开,从创新生态网络整体视角出发的探讨不足,因而揭示审计技术创

**[收稿日期]** 2022-09-05

**[基金项目]** 国家自然科学基金面上项目(72271126,71771125,72172061);江苏省高校自然科学基金重大项目(19KJA180002)

**[作者简介]** 林翰(1978—),男,浙江台州人,南京审计大学工程审计学院教授,博士,从事研究技术创新研究;李昊(1997—),男,河南周口人,南京审计大学信息工程学院硕士研究生,从事社会网络分析研究;李庭燎(1978—),男,河南平顶山人,南京审计大学商学院副教授,博士,从事信息系统审计研究,通讯作者,Email:tingliao@263.net;孙周宝(1985—),男,江苏连云港人,南京审计大学工程审计学院讲师,博士,从事社会网络分析研究。

新生态网络的演化过程、内在机理以及价值发现,对于审计技术创新发展具有重要启示。为此,本研究基于创新生态网络的视角,运用社会网络分析方法,通过对我国审计技术创新生态网络进行解构,勾勒以审计技术创新为主体、创新群落为中心的演化特征,辨识创新生态网络对组织创新绩效提升的价值,提出消融审计技术创新“孤岛”的机制,以推动我国审计技术创新能力的跃迁,为审计创新管理实践提供理论支撑,更好发挥审计在党和国家监督体系中的重要作用。本研究的边际贡献是刻画了审计技术创新生态网络的演化过程,论证了审计技术创新生态网络对于审计技术创新主体创新绩效的正面影响,靠近网络中心位置的创新主体表现出更高的创新绩效。审计技术创新生态网络位置对于低生态势生态位创新主体的正向作用相较于高生态势生态位创新主体更明显。

## 二、文献回顾

### (一) 审计技术方法创新理论基础

技术创新是指以获得自主知识产权、掌握核心技术为目标进行的创新活动,是用新技术代替旧技术的过程。技术创新很大程度上能促进社会进步与经济发展,是创新主体获取竞争优势的最主要来源<sup>[7]</sup>。审计技术方法创新是为满足审计需求的变迁、基于当前最新技术而进行的创新活动。现有对审计技术创新的研究大都集中在两方面:一是需求拉动的审计技术创新。社会需求在技术创新活动中扮演着重要角色<sup>[10]</sup>,是技术创新活动的出发点。从历史上看,审计技术的发展是由审计标准的改进与审计需求的变化推动的<sup>[11]</sup>。传统的审计需求主要是处理纸质信息载体,审计技术方法以详细审计、抽样审计为主,主要扮演查账的角色,手工操作较多<sup>[12]</sup>。在大数据环境下,审计数据出现海量、多元、非结构等特征,审计工作量增多,大量的文本数据使审计人员分析的难度增大,传统的审计技术无法满足大数据环境下非结构化数据审计需求<sup>[13]</sup>,审计需求的持续演化促进了审计技术的革新,需要的审计技术方法也日益复杂<sup>[14]</sup>。二是技术进步推动的审计技术创新。审计技术的创新发展是随着科学和管理技术的进步而推进的,现代审计技术和方法体系是在原有基础上从低级向高级、从不完善到比较完善发展起来的<sup>[15]</sup>。新兴技术的出现深刻影响着审计行业的变迁,依靠先进的技术来提高审计技术方法对整个审计行业大有裨益。例如大数据、云计算技术为现代审计提供了新的技术支持,在审计过程中引入大数据技术为审计人员提供新的证据来源,并对审计方式、审计抽样技术、审计报告模式、审计证据搜集等过程的技术变革都产生了深远的影响<sup>[15-16]</sup>。人工智能技术提高了审计数据的获取速度,尤其是自然语言处理和人工神经网络等技术在审计工作中的应用,增强了文本数据的分析效果,避免了人工审查的知识局限与漏判误判<sup>[3,5]</sup>。区块链技术为审计数据带来安全保障,保证了审计数据的真实性和完整性,从根本上降低了信息识别成本,增强了审计过程的透明度和可信度,大幅提升了审计工作效率<sup>[5,17]</sup>。总之,审计环境的变迁导致了审计目标、需求和内容的变化,审计技术方法需结合新兴技术不断革新,从而适应这种变化。

### (二) 创新生态系统理论的内涵构成与演化

创新生态系统的理论概念源于自然生态系统,并被应用到创新管理领域。创新生态系统是系统内的创新主体为了应对外部环境的不确定性,从而发展出基于技术、制度演化的具有动态、共生、可持续发展特征的“生命”系统<sup>[18]</sup>。创新生态系统中的每个创新主体不仅要与其他创新主体竞争合作,还要与其所在的生态网络共生演化,获得新的价值<sup>[19]</sup>。在创新生态系统中,由于创新资源的异质性,企业、政府机构、科研院所等创新主体需要相互竞争与合作,在这样的竞合过程中形成创新群落<sup>[20]</sup>,创新生态系统内涵盖多种核心创新主体以及创新群落。对于创新生态系统的研究思路可以分为微观和宏观两个角度。从微观视角来看,创新生态系统主要研究创新生态系统内创新主体之间的互相作用以及创新主体如何通过创新生态系统实现价值获取<sup>[21]</sup>。在宏观层次上,研究者侧重关注创新生态系统总体特征的概括和体系分类,研究创新生态系统的结构特征、共生演化等层面<sup>[22]</sup>。

创新生态系统本质上是一个存在技术依赖关系的创新生态网络<sup>[9]</sup>,该网络作为新兴的创新驱动力机制,是不断自我创造、自我涌现的组织形式<sup>[23]</sup>。创新生态网络由相互联系依存的网络参与者组成,各个网络参与者之间以及与创新环境之间通过物质流、能量流、信息流的联结传导,形成共生竞合、动态演化的开放复杂网络<sup>[24]</sup>。类似于不同物种在生态系统中形成食物网,技术创新之间也形成相互依存的复杂网络。在这个网络中,任何技术创新都不是独立的,它们建立在其他技术创新的行为之上,依赖于与其他创新互动从而实现共同进化<sup>[25]</sup>。为了促进技术发展和持续创新,创新主体之间在技术创新过程的各环节进行交互协作,遵循共享的制度逻辑,每个

创新主体的创新动作或者彼此之间合作和竞争的关系都会对其他主体产生影响,从而产生共生演化<sup>[26-27]</sup>。共生演化是创新生态网络的核心特征,是网络结构的动态体现,相比传统的技术创新,创新生态网络使得创新主体之间的创新合作由独立发展转向共生演化<sup>[28]</sup>。

### (三) 审计技术创新生态网络

与其他领域的技术创新相似,在审计技术创新活动中,由于外界环境的复杂性,单一的创新主体很难拥有创新所需的全部资源,创新主体之间需要彼此建立合作互助的关系<sup>[29]</sup>,这种关系更有利于创造价值。随着创新主体间的合作关系增多,创新生态网络雏形逐渐形成,审计技术创新需从传统的技术创新方式向创新生态系统转变。本研究认为审计技术创新生态网络是指在审计技术方法创新过程中,创新主体(包括企业、科研机构、大专院校、政府机构、中介机构、个人等)为解决审计过程中面临的挑战,需要多方进行合作,从而形成的多主体、高复杂度的技术创新生态网络。基于以上对审计技术创新与创新生态网络理论的回顾,本研究将审计技术相关专利纳入分析样本,揭示审计技术创新生态网络的演化过程,并检验审计技术创新生态网络对组织创新绩效产生正向影响的机制,丰富了审计创新管理实践理论体系。

## 三、理论分析与假设提出

创新生态网络是一个动态开放的复杂系统,网络演化是创新网络结构动态化特征的体现<sup>[30]</sup>。在演化过程中,创新生态网络将外部输入全新的物质能量有机结合,形成创新机会,进而逐渐优化整个创新生态网络,提升其创新能力,实现原有基础上的吐故纳新<sup>[31]</sup>。创新生态网络的内外因素均有助于网络演化,内部因素主要是网络上创新主体因创新资源流动与整合而互相影响、互相协同,创新主体间关系的微观变化促进创新生态网络的宏观演化<sup>[32-33]</sup>。另外,新主体的加入带来新的创新资源,也成为创新生态网络演化的驱动机制之一<sup>[34]</sup>。创新生态网络演化的外部驱动因素来自信息技术变革和行业需求的变化,新技术与新需求为创新带来新的挑战与方向。创新生态网络遵循自组织演化,且随着网络上的创新主体合作关系不断发展,主体间显现出共生演化的特征<sup>[33]</sup>。创新生态网络不断演化的复杂性为创新网络的价值创造带来机遇,演化的复杂性表现在各个创新主体之间形成的多边依赖关系,这种多边依赖关系对创新网络中的创新主体具有互补性,从而扩大机会空间,使创新主体能够创造新的价值,创新主体必须有能力和适当管理这种复杂性,以保持生存能力与竞争力,促进创新生态网络演化<sup>[9,23]</sup>。

审计技术创新的主要参与者有企业、科研院校和政府机构等,审计技术创新群落构成复杂,有利于形成产学研战略协同效应,促进审计技术创新生态网络宏观演化。随着创新生态网络规模的扩大,网络主体多样性提高,网络结构趋于复杂,进而正向影响网络资源异质性和技术流动,此外,创新主体间的合作关系变化导致网络结构不断变化,提高了网络价值创造能力<sup>[35]</sup>。审计技术创新生态网络不再是围绕某一家企业或其他创新主体而建立的核心节点网络,而是由资源需求、技术合作、社会关系等导向的网络,创新主体之间为满足创新条件,与网络中的其他创新主体相互交换创新资源,建立合作关系。随着网络演化的推进,审计技术创新主体之间的关系密度、合作程度进一步深化,审计技术创新生态网络不断完善,网络结构从松散化向集中化发展。

基于以上分析,本研究提出以下假设  $H_1$ 。

$H_1$ : 审计技术创新生态网络不断演化,创新网络的规模不断扩大,逐渐显现出网络复杂性和主体多样性。

创新生态网络在科学技术进步过程中起着技术“管道”的作用,为创新活动提供各种资源<sup>[36]</sup>,对于创新主体来说,在创新生态网络中的不同位置代表不同的创新资源拥有量和获得新资源的机会,有利的网络位置使创新主体具备获得更多的创新网络流动资源和知识溢出的优势。创新网络中心度是创新主体在创新网络中位置的一种度量,反映创新主体在创新生态网络中靠近核心枢纽的水平,中心度高表明该创新主体处于创新网络的核心位置<sup>[37]</sup>。创新生态网络对创新绩效有正向影响,且不同的网络位置对创新绩效的影响不同,网络的核心创新主体创新绩效高,不同创新生态网络成员之间互补知识资源的共享与组合能够增强创造价值的能力<sup>[38-39]</sup>。随着目前创新需求的快速迭代及新技术的不断涌现,创新生态系统中的互补性组合快速增长,为创新生态网络带来了更多新的价值<sup>[23]</sup>。显然,处于创新生态网络中的创新主体想要实现更高的创新绩效,就需要更好的网络位置。

作为生态学的核心特征,生态位是物种在特定生态系统中的相对位置,描述了物种生存所必需的条件范围,

以及它在生态系统中的生态作用,生态势主要是指物种对环境的现实影响或支配力<sup>[40]</sup>,是影响生态的各种因素的综合作用。在创新生态网络中,创新生态位主要是指创新主体在进行活动时拥有的创新资源<sup>[41]</sup>,用来描述创新活动的跨度与范围。创新生态位高的创新主体,其技术领域范围跨度广,掌握的创新资源充足,有利于自身开展创新活动。因此,在审计技术创新活动中,高生态位的创新主体与其他创新主体的联系更紧密,有利于获得更好的创新资源。低生态位创新主体自身创新实力欠缺,创新资源匮乏,需要通过创新生态网络获取先进的创新资源。创新生态势是创新主体在创新生态网络中的创新势能,取决于创新主体通过自身创新能力在创新生态系统中的表现<sup>[42]</sup>,反映了创新主体在创新生态网络中的重要性。高生态势创新主体开展创新活动较成熟,创新活动转换绩效机制较为完善,拥有较大的竞争优势。

在审计技术创新生态网络演化的过程中,创新主体从低生态势生态位向高生态势生态位演化,从低价值的技术创新向高价值演化,创新生态网络位置的变化带动创新主体创新绩效的变化,使创新主体所涉及的领域变化更加宽泛,创新价值更高。

基于以上分析,本研究提出以下假设 H<sub>2</sub> 至 H<sub>4</sub>。

H<sub>2</sub>: 审计技术创新生态网络中,创新网络中心度高的创新主体,其创新绩效更高。

H<sub>3</sub>: 审计技术创新生态网络中,创新生态势高的创新主体创新绩效更高。

H<sub>4</sub>: 审计技术创新生态网络中,创新生态位高的创新主体创新绩效更高。

#### 四、审计技术创新生态网络解构与演化

##### (一)数据来源

本研究审计技术创新的数据来自 IncoPat 全球专利数据库,IncoPat 收录了全球 120 个国家/组织/地区的超过 1 亿件专利信息,其数据全面可靠,更新及时,每条数据都经过严格的对比测试,体现了全面性、准确性和及时性。特别地,IncoPat 数据库对 20 多个主要国家的专利数据进行特殊收录和加工处理,提供包括专利受让人姓名、专利数量、每项专利被引用次数、专利申请年和授予年等年度信息、法律状态、同族专利、专利引文等信息在内的详尽数据,满足多维度的专利检索分析需求<sup>[43]</sup>。本研究以“审计”为关键词、中国知识产权局为被提交专利申请方进行检索,截至 2020 年 10 月 31 日,共查询到 7147 条相关的专利数据,其中发明专利申请 5188 条,发明专利授权 1384 条,实用新型 486 条和外观设计 89 条,相关专利权利所有者(即创新主体)共有 3187 个。

##### (二)审计技术创新生态网络分析

###### 1. 创新主体

从创新主体类型构成来看,审计技术创新生态网络包含了企业、机关团体、科研院所、大专院校、个人等创新主体。在获取的 3187 个创新主体样本中,企业有 2283 家。虽然企业占了创新主体大多数,但创新主体的类型总体上呈多元化,体现出创新生态网络主体间动态演化和复杂交互的特征。

###### 2. 专利申请数

年度审计技术专利申请数(2000 年 1 月至 2020 年 10 月)如下图 1 所示。从图 1 中可以看出,审计技术专利的申请数量连年上升,其趋势可以 2015 年为界分为两个阶段。在第一阶段(2015 年前),审计技术专利创新处于低速发展阶段,平均年度专利增量低于 100 个;2015 年之后,审计技术创新开始进入高速发展阶段,审计技术专利申请数量由 2015 年的 452 项快速增长至 2019 年的 1298 项。其原因可能是:一方面,2015 年,中共中央办公厅和国务院办公厅联合印发的《关于完善审计制度若干重大问题的框架意见》及《关于实行审计全覆盖的实施意见》,明确了审计全覆盖的主要任务和实施的基本框架,同时提出了创新审计技术方法来适应审计全覆盖的要求<sup>[6,44]</sup>;2016 年,审计署印发《“十三五”国家审计工作发展规划》,明确提出要创新审计管理模式和组织方式,全面推广“总体分析、发现疑点、分散核实、系统研究”的数字化审计方式。另一方面,得益于信息技术的进步,近十年来,大数据、深度学

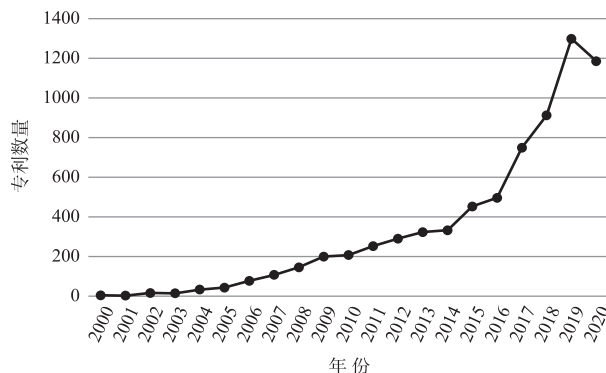


图 1 年度审计技术专利申请数

习、区块链等技术涌现以及大数据审计、智能化审计等现代化审计技术兴起,为审计发展提供了新技术、新方向。审计技术相关方面的创新能力向着科技化、智能化的方向发展,审计技术相关专利数量也因此快速增加。

(三) 审计技术创新生态网络的演化分析

本研究采用 Ucinet 对审计技术创新网络进行研究,首先从时域和地域两个角度来解构审计技术创新生态网络的演化趋势,然后进一步聚焦审计技术创新主体间的互动,以社会网络分析方法凝聚子群进行分析,从而对审计技术创新生态网络演化的内在规律进行初步分析。

1. 时域演化

图2 从时域角度描绘了审计技术创新生态网络创新主体构成的动态演化过程。为便于对照,本研究按照 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年四个时间节点划分,生成基于专利数据的审计技术创新生态网络。图2 中一个节点代表一个创新主体,连线代表两者之间的合作关系。可以发现,2005 年之前,审计技术创新生态网络尚未形成,生态网络中创新主体很少,且大都是自然人,主要是因为这段时间国内企业的信息化条件薄弱,审计工作的对象是传统纸质账目,审计技术匮乏,审计手段落后,创新条件不足<sup>[45]</sup>。2005—2010 年之间,国有企业和科研院所渐渐加入创新生态网络中,如国家电网和南方电网等大型国有企业在创新网络的位置逐渐突出。在这段时间,审计的对象开始由纸质化账单转向电子数据,数据由物理媒介演化为电子与数字媒介,逐步开始通过计算机进行审计数据分析<sup>[46]</sup>。审计环境的变化导致审计对象、审计内容的改变,审计技术方法创新应运而生,审计技术创新生态网络开始进入萌芽期<sup>[6,17]</sup>。2010 年之后,审计技术创新生态系统迎来了飞速发展阶段。从网络规模看,网络的节点由 2010 年的 207 个增加到 2015 年的 452 个、2020 年的 1185 个,网络规模每五年增长一倍多。2010—2015 年,审计技术创新生态网络初步形成,国家电网有限公司等大型国有企业的主导地位更加稳固,审计人员开始在很大程度上借助计算机工作,且审计过程由抽样审计转向持续审计,大数据、云计算技术可以促进持续审计方式的发展<sup>[15]</sup>,使用大数据分析软件高效快捷处理大量的审计数据,更进一步加快了审计技术创新的发展速度。从 2015 年开始,越来越多的高新技术互联网企业加入网络,审计技术创新网络的网络规模提高显著,国家电网有限公司等电力行业创新主体的主导地位更加明显,到 2020 年审计技术创新生态网络发展日趋成熟。

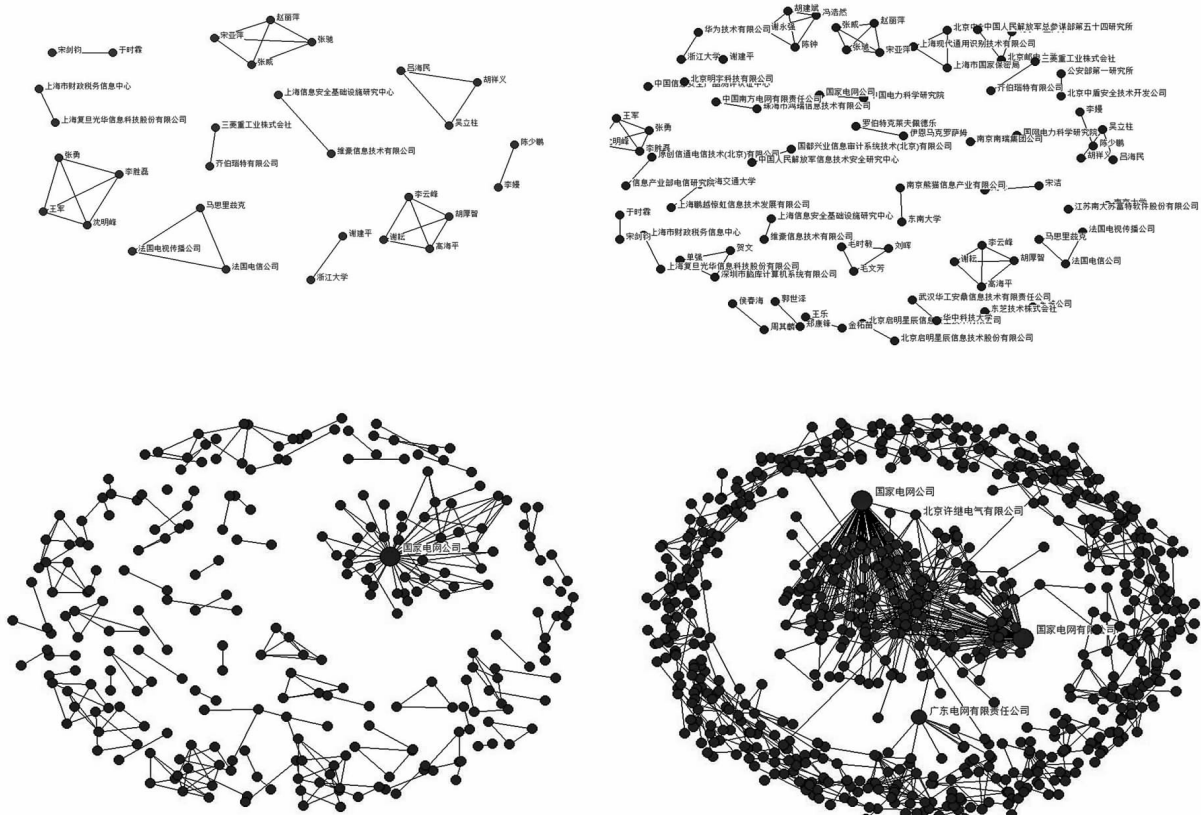


图2 审计技术创新生态网络时域演化图

## 2. 地域演化

图3从地域角度描绘了审计技术创新生态网络创新主体构成的动态演化过程,图中颜色越深表示此区域创新主体数量越多。由图3左上可以看出,2005年,我国审计技术创新主体在京津冀、长三角地区以及珠三角地区有少许分布,这与当地发达的经济条件、良好的发展环境相关;从图3右上可以看出,2005—2010年,“北上广”三地领先优势更加明显,同时川渝地区的审计技术创新开始起步;2010年后,审计技术创新快速辐射到其他地域,以环渤海地区省份和川渝地区为代表,我国审计系统网络成为开放且富有生命力的创新生态网络;2015年后,审计技术创新进入发展快速期,创新生态网络的地域跨度明显增大,创新主体类型和行业变化显著增加,形成了具有高度复杂性、多样性特征的审计技术创新生态网络。

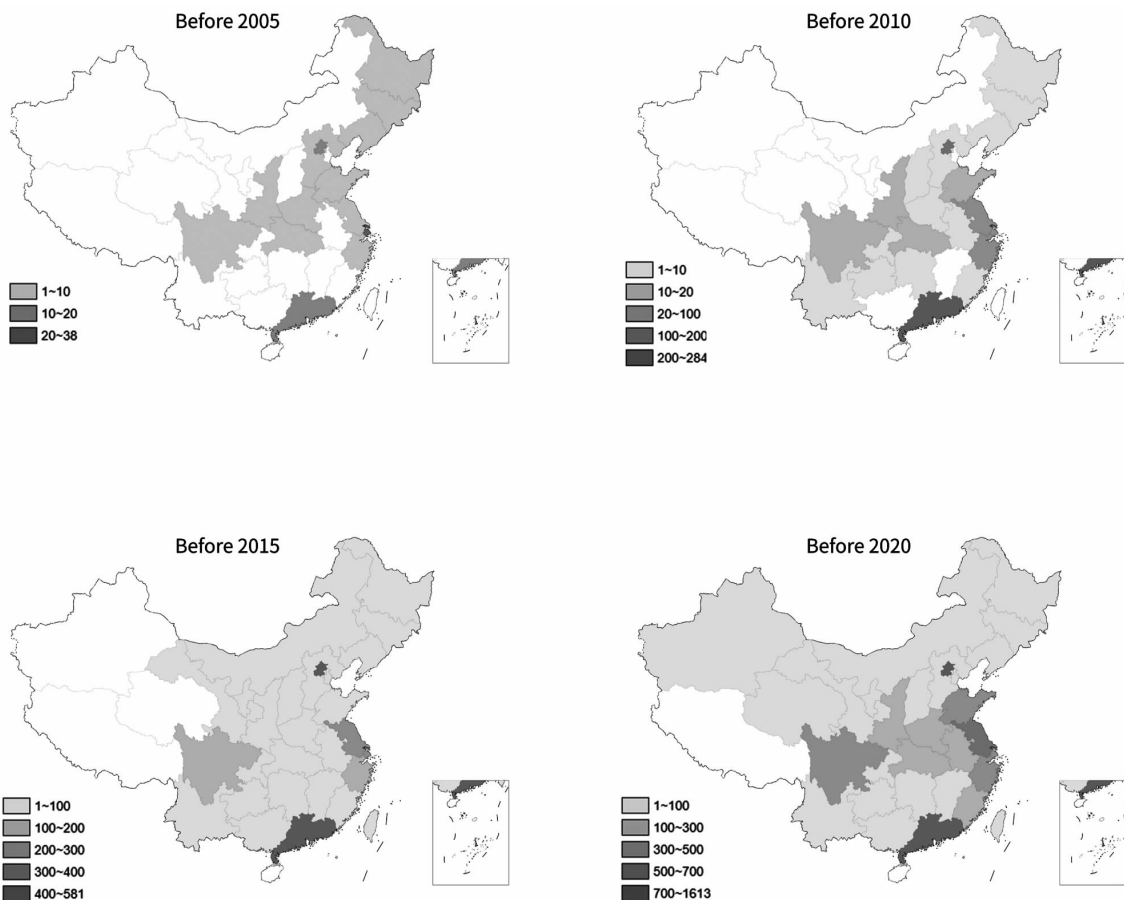


图3 审计技术创新生态网络地域演化图

## 3. 审计技术创新生态网络子群分析

为研究审计技术创新生态网络各个派系的主要成员和领导者,本研究采用凝聚子群分析的成分分析和派系分析方法,具体结果如表1所示。

由成分分析可知,截至2005年,创新网络共有5个成分,各个成分彼此隔离且分布均匀,此时审计技术创新网络撕裂严重;截至2010年,创新网络共有11个成分;截至2015年,创新网络有32个成分,个体数量最多的成分由44个创新主体构成,且大部分创新主体都属于以国家电网公司为主体的商业集团,个体数量排第二的成分仅有8个主体,这时候审计技术创新网络从松散的网络开始凝聚到以国家电网公司为核心的创新网络;截至2020年,创新网络

表1 审计技术创新生态网络成分分析与派系分析

时间段	成分个数	派系个数	参与派系较多的创新主体
2005年	5	5	无
2010年	11	10	无
2015年	32	41	国家电网公司 江苏省电力公司
2020年	65	171	国家电网公司 国家电网有限公司 国网信息通信产业集团有限公司 国网浙江省电力有限公司 国网江苏省电力公司 国网浙江省电力公司 北京国电通网络技术有限公司

中共有 65 个成分,个体数量最多的成分还是以国家电网公司为主体的商业集团,创新主体的个数快速上涨到 219 个,个体数量排在第二的有 2 个成分,由 18 个创新主体构成,分别以南方电网公司和中国移动通信公司为核心。

由派系分析可知,2010 年之前,没有特别突出的创新主体同时参与到多个派系中,并且派系数和成分数差距可以忽略,此时的审计技术创新生态网络较为松散,审计技术合作创新少,申请的审计技术相关专利数量不多,单个的创新主体受到资源、人才等基本条件限制,无法达到更高的创新水准;2010—2015 年间,审计技术创新网络发展迅速,电力行业申请的专利数量增多,国家电网公司是参与派系最多的创新主体,参与了 16 个派系;到 2020 年国家电网公司仍是参与派系最多的创新主体,高达 102 个,由此可知国家电网公司为审计技术创新生态网络的核心成员。创新网络的派系重复高,审计技术创新生态网络各个创新主体之间彼此联系密切,创新能力强、创新资源多的创新主体可以帮助其他个体提高其创新绩效,促使整个创新网络创新力的提升。

本部分通过对审计技术创新生态网络的网络演化初步分析,阐明了审计技术创新网络演化遵循一般网络的演化逻辑,即由简单到复杂。从网络整体层面上看,历年来该创新网络的规模不断扩大,各个创新主体之间开展创新合作的模式呈整体上升趋势,并且在合作方式上呈现出多伙伴合作态势,创新主体的地域分布主要集中在经济发达的地区。从创新主体构成层面来看,审计技术创新生态网络包含了企业、科研机构、大专院校、政府机构等创新主体,国有企业在创新网络中的地位比较突出,国家电网公司及其子公司是整个创新生态网络的关键组成部分。至此,假设  $H_1$  得到验证。

### 五、审计技术创新生态网络的价值分析

为了探究审计技术创新生态网络的价值,本研究进一步实证检验创新主体的网络中心度对其创新绩效的影响。

#### (一) 数据来源

本研究在前文研究的数据基础上,根据 IncoPat 全球专利数据库提供的专利权利企业所有人的工商注册信息,利用国泰安等数据库进一步整理对应企业的其他数据,最终获得 1957 家专利权利企业所有人作为创新网络价值分析的样本,并进一步整合专利价值度、审计创新网络中心度、专利被引用次数等信息。

#### (二) 变量测度

企业的创新生态网络网络中心度由公式(1)计算得出<sup>[42]</sup>,其中  $C_D(N_i)$  表示创新主体的网络中心度,  $x_{ij}$  为创新网络中创新主体  $i$  和  $j$  共同申请的审计技术相关专利。

$$C_D(N_i) = \sum_{j=1}^g x_{ij} (i \neq j) \tag{1}$$

企业专利价值度包括专利战略价值和专利保护价值两个方面<sup>[47]</sup>,具体计算如公式(2)所示。

$$PatentValue = \sum_{i=1}^5 \alpha_i S_i + \sum_{i=1}^5 \beta_i P_i \tag{2}$$

$S_i$  表示专利战略价值指标,包括:专利类型、同族专利引用数量、专利涵盖的 IPC 子领域数量、专利申请人数、是否发生许可和转让。 $P_i$  是指专利保护价值,包括:权利要求数量、是否有诉讼行为、是否有质押保全、是否提出复审请求、是否被宣告无效。

为了控制企业创新主体的其他要素对企业创新绩效的影响,本研究控制变量选取包括:企业年龄(Age)、是否属于高新技术产业(HighTech)、是否属于商业集团(Business-Group)、创新主体所在地区(Location)、企业规模(Size)以及企业所属行业。表 2 描述了所有变量的描述性统计信息,各个变量间的 Pearson 相关系数如表 3 所示。所有变量间的相关系数均小于 0.7,在可接受范围之内。

表 2 变量的描述性统计

变量	观测值	均值	标准差	最大值	最小值
PatentValue	1579	3.233	0.923	1.386	8.709
PatentCitations	1579	0.944	1.241	0	6.435
Age	1579	13.17	7.971	1	64
HighTech	1579	0.908	0.289	0	1
BusinessGroup	1579	0.136	0.343	0	1
Location	1579	0.779	0.415	0	1
Size	1579	9.767	2.792	1	19.97
Degree	1579	0.565	3.952	0	124

表3 变量的 Pearson 相关系数表

变量	1	2	3	4	5	6	7	8
PatentValue	1							
PatentCitations	0.591 ***	1						
Age	0.229 ***	0.298 ***	1					
HighTech	0.066 ***	0.050 **	-0.153 ***	1				
BusinessGroup	0.186 ***	0.085 ***	0.231 ***	0.057 **	1			
Location	0.098 ***	0.096 ***	0.019 ***	-0.008	-0.093 ***	1		
Size	0.292 ***	0.146 ***	0.448 ***	-0.133 ***	0.564 ***	0.001	1	
Degree	0.284 ***	0.165 ***	0.104 ***	0.0260	0.251 ***	0.041 ***	0.250 ***	1

## (三) 实证模型及分析结果

本研究采用广义线性回归模型(GLM)来检验创新主体的网络中心度对其创新绩效的影响,具体结果如表4所示。回归结果表明:创新主体在创新生态网络中的中心度显著地正向影响审计技术专利的价值度,即其创新主体的创新绩效(模型2,  $b=0.051, p<0.001$ )。这清楚地说明组织审计技术创新生态网络中的其他主体保持良好的、紧密的合作,有利于其自身创新绩效的提升,面向审计的技术创新产出也较高,由此可知,假设  $H_2$  成立,即创新网络中心度高的创新主体,其创新绩效更高。对于控制变量而言,企业年龄( $b=0.016, p<0.001$ )、高新技术企业( $b=0.344, p<0.001$ )、企业规模( $b=0.065, p<0.001$ )都能显著影响专利价值度。为了比较创新生态网络对处于不同创新生态势和创新生态位创新主体的效应异质性,本研究采用分组比较的方法。首先通过计算各企业申请的审计技术相关专利的专利价值度总和来刻画其创新生态势,企业申请专利的领域类型总计来刻画其创新生态位<sup>[42]</sup>。按创新生态势、生态位高低区分审计技术创新生态网络中的创新主体,模型3和模型4的结果表明,创新生态势能低( $b=0.062, p<0.001$ )的创新主体受创新网络中心度的正向影响高于创新生态势能高的创新主体( $b=0.037, p<0.001$ );模型5和模型6的结果表明,创新生态位低的创新主体( $b=0.148, p<0.001$ )受创新网络中心度的正向影响高于生态位高的创新主体( $b=0.032, p<0.001$ ),综合上述结果可知,在审计技术创新生态网络中,创新生态势和创新生态位越低的创新主体,创新生态网络中心度对于其创新价值度的正向效应越明显,它们可以通过与其他创新主体合作获得更好的创新资源,通过吸附效应增加其中心度,摆脱创新“孤岛”,促使自身创新绩效的提高。由此证明,假设  $H_3$  与  $H_4$  成立。

表4 审计技术创新网络中心度与专利价值度的关系

变量	因变量:专利价值度					
	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
	全样本	全样本	高生态势能创新主体	低生态势能创新主体	高生态位创新主体	低生态位创新主体
Age	0.016 *** (0.003)	0.016 *** (0.003)	0.020 *** (0.004)	0.002 (0.002)	0.012 ** (0.006)	0.008 *** (0.002)
Location	0.222 *** (0.052)	0.195 *** (0.051)	0.242 *** (0.076)	0.001 (0.025)	0.328 *** (0.102)	0.058 (0.040)
HighTech	0.372 *** (0.077)	0.344 *** (0.075)	0.244 ** (0.117)	-0.008 (0.035)	0.444 *** (0.166)	0.102 * (0.056)
BusinessGroup	0.072 (0.078)	-0.022 (0.076)	0.140 * (0.081)	-0.049 (0.044)	-0.235 * (0.124)	-0.157 * (0.068)
Size	0.077 *** (0.010)	0.065 *** (0.010)	0.010 (0.010)	0.007 (0.005)	0.093 *** (0.019)	0.020 ** (0.008)
Degree		0.051 *** (0.006)	0.037 *** (0.005)	0.062 *** (0.022)	0.032 *** (0.006)	0.148 *** (0.014)
Industry	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	0.704 *** (0.263)	0.877 *** (0.258)	2.675 *** (0.545)	2.161 *** (0.097)	0.780 (0.919)	1.789 *** (0.183)
N	1597	1597	633	964	484	1113
Log likelihood	-2019.392	-1978.811	-696.458	-274.161	-622.249	-905.822

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为最大似然估计值。

为保证模型的稳健性,本研究采用专利被引频次来进一步验证创新主体创新生态网络位置的作用,回归结果如下表5所示,在全样本下,分析结果与前文一致(模型2,  $b=0.041, p<0.001$ ),即创新主体的创新生态网络中心度越高,其创新绩效越高。创新生态位低(模型6,  $b=0.031, p<0.001$ )的创新主体受创新网络中心度的影响高于创新生态位高的创新主体(模型5,  $b=0.080, p<0.001$ ),即创新领域较专一的创新主体,当其网络中心度越高时,其专利被引频次越高,说明低生态位的企业可以通过与创新绩效高的企业合作来提升自身的创新绩效。而对于高生态势的企业而言(模型3,  $b=0.029, p<0.001$ ),审计技术创新生态网络的正向价值大于那些处于低生态势的企业(模型6,  $b=-0.027, N.S.$ ),这是因为高生态势的创新主体通过扩散效应带动其他创新势能低的创新主体,从而增加了自身的专利被引次数。



表5 审计技术创新网络中心度与专利被引频次的关系

变量	因变量:专利价值度					
	模型1 全样本	模型2 全样本	模型3 高生态势能创新主体	模型4 低生态势能创新主体	模型5 高生态位创新主体	模型6 低生态位创新主体
Age	0.047 *** (0.004)	0.047 *** (0.004)	0.059 *** (0.007)	0.028 *** (0.004)	0.064 *** (0.009)	0.032 *** (0.004)
Location	0.279 *** (0.071)	0.257 *** (0.071)	0.291 ** (0.138)	0.115 * (0.064)	0.379 ** (0.157)	0.155 ** (0.071)
HighTech	0.426 *** (0.105)	0.403 *** (0.104)	0.580 *** (0.221)	0.060 (0.091)	0.680 *** (0.256)	0.153 (0.100)
BusinessGroup	0.025 (0.106)	-0.053 (0.106)	-0.225 (0.147)	0.078 (0.113)	-0.342 * (0.190)	-0.062 (0.121)
Size	0.009 (0.014)	-0.000 (0.014)	0.013 (0.018)	-0.041 *** (0.014)	0.022 (0.299)	-0.032 ** (0.014)
Degree		0.041 *** (0.008)	0.029 *** (0.009)	-0.027 (0.056)	0.031 *** (0.010)	0.080 *** (0.025)
Industry	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-1.007 *** (0.359)	-0.865 *** (0.357)	-0.838 (0.982)	0.205 (0.279)	-2.908 ** (1.401)	0.043 (0.326)
N	1597	1597	633	964	484	1113
Log likelihood	-2514.878	-2500.489	-1068.334	-1193.372	-829.61	-1545.784

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为最大似然估计值。

此外,考虑到遗漏变量可能导致的内生性问题,本研究借助两阶段回归模型来检验结果的稳健性。由于审计技术创新生态网络中心度很难找到合适的工具变量,因此本研究运用代理变量的两阶段最小二乘法,即不对现有核心解释变量进行处理,而是从原来的回归模型的残差中拟合出有用的信息再进行第二阶段回归分析。具体做法为:第一阶段用审计技术创新生态网络中心度(Degree)与影响创新网络位置企业层次的变量即企业年龄(Age)、企业规模(Size)、是否为高新技术企业(HighTech)、是否属于商业集团(BusinessGroup)和企业归属地(Lacation)进行回归,拟合残差值(Residual),并将其代入下一阶段的回归中。回归结果与广义线性回归模型结果一致,如模型7所示,审计技术创新网络中心度对专利价值度的影响不变且仍然显著。此外,本研究采用更换因变量衡量指标的方法进一步验证研究结论的可靠性。发明专利是企业创新能力的直接体现,因此可以采用企业申请的审计技术专利个数来测度企业创新主体的创新绩效,结果如模型8所示,回归结果与广义线性回归模型结果一致。综上所述,研究结论具有稳健性。

表6 稳健性检验回归结果

变量	因变量:专利价值度		因变量:专利申请数量
	模型7	模型8	模型8
Age	0.016 *** (0.003)	0.017 *** (0.003)	0.017 *** (0.003)
Location	0.218 *** (0.051)	0.134 *** (0.046)	0.108 ** (0.045)
HighTech	0.374 *** (0.075)	0.311 *** (0.068)	0.285 *** (0.066)
BusinessGroup	0.073 (0.076)	0.134 * (0.069)	0.043 (0.067)
Size	0.076 *** (0.010)	0.051 *** (0.009)	0.039 *** (0.009)
Residual	0.051 *** (0.006)		
Degree			0.049 *** (0.005)
常数项	1.760 *** (0.126)	-0.570 *** (0.114)	-0.430 *** (0.112)
N	1597	1597	1597

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为最大似然估计值。

## 六、结论

技术的快速进步和社会经济的全面发展给传统的审计技术方法带来了严峻的挑战,亟须考量新的审计技术创新模式。生态化发展能构造高效、和谐的产业结构,驱动创新主体不断涌现并使之通过自组织、自调节和自适应的行为方式以及紧密的系统耦合,提升系统效率和产出。本研究基于生态系统的视角,利用1989年至2020年10月的审计技术专利数据,采用社会网络分析法,构建了审计技术创新生态网络,并解构其网络结构,勾勒了我国审计技术创新模式的演化过程,实证解析了创新生态网络提升组织审计技术创新能力的作用机理。结果表明:审计技术创新主体之间通过反复的竞合迭代,形成具有高度复杂性、多样性的审计技术创新生态网络。创新主体在创新生态网络中的中心度正向影响创新主体的创新绩效,并且在创新生态网络中,低生态势生态位的创新主体,创新生态网络中心度对其正向效应高于高生态势生态位的创新主体,在审计技术创新生态网络中,处于中心位置的创新主体具有更高的创新绩效。

本研究的主要理论贡献包括:第一,采用创新生态系统理论,描绘了审计技术创新主体涌现和生态网络演化过程。从地域、时域和网络结构多个维度勾勒出了我国审计技术创新生态网络动态的全景演进过程,为后续的政策制定和制度安排提供了决策基础。第二,揭示了审计技术创新生态网络对于主体创新力提升的作用机理,

即审计技术创新主体的网络中心度对自身的创新绩效具有积极作用。基于创新生态势生态位视角,本研究分析了不同生态势生态位的创新主体在审计技术创新生态网络中获得创新绩效提升的差异化效应:低生态势生态位的创新主体在审计技术创新生态网络中创新绩效的提升更明显。在此基础上,本研究进一步提出了消融审计技术创新“孤岛”的建议。低生态势的创新主体可以通过与高生态势创新主体合作,获得更多创新资源,不断学习演化,摆脱创新“孤岛”,从而实现追赶,同时鼓励创新主体加强专业聚焦,行业深耕能提升创新主体的创新产出价值。

构建审计全要素技术创新生态网络对推动审计事业发展具有重要意义。本研究还得出以下实践启示:对于政府来说,创新资源是审计技术创新的基础,有关部门需合理分配创新资源,培养创新人才,争取最大限度地为低生态势生态位的创新主体创造创新条件。要打造良好的创新环境,保持创新后劲,构建高效实用的创新基础设施。鼓励创新主体向高新技术方向发展,响应国家“科技强审”号召。对于创新执行者来说,首先,要积极发挥处于审计技术创新生态网络中心位置的创新主体的正向作用,为低生态势生态位的创新主体提供技术支持,提高其创新能力,继而带动整个审计技术创新网络提升创新绩效。其次,厘清审计技术创新网络中创新主体的关系,创新主体是驱动创新的基础载体,在制定创新策略时考虑创新环境,因地制宜地选择契合自身的创新主体。最后,突破审计技术的“孤岛”效应,对提高整个审计技术创新生态网络具有重要作用,让低生态势生态位的创新主体尽快融入审计创新生态网络,与网络中其他创新主体实现知识资源共享,促进创新资源流动,消除创新主体之间的技术隔阂。审计技术创新网络通过不断演化,增加创新网络复杂度,扩大创新范围,实现创新“孤岛”之间的联通。

本研究提出审计技术创新生态网络的理论概念,初步分析了其演化特征,但需要在未来展开更加充分的实证研究。本研究还探讨了审计技术创新生态网络对创新绩效提升的影响机制,与一般的技术创新生态网络相比,审计技术有其专门的特性,未来需要将更多创新主体的社会经济属性以及审计属性融入技术创新生态网络,分析其对审计创新生态网络的影响机理。

#### 参考文献:

- [1] 刘家义. 树立科学审计理念发挥审计监督“免疫系统”功能[J]. 求是, 2009(10): 28-30.
- [2] 李嘉明, 杨流. 国家审计与国家监察服务腐败治理的路径探索? ——基于协同视角的思考[J]. 审计与经济研究, 2018(2): 1-9.
- [3] 陈伟, Wally S. 大数据环境下的电子数据审计: 机遇、挑战与方法[J]. 计算机科学, 2016(1): 8-13+34.
- [4] 董大胜. 积极发挥学会职能作用 推进新时代审计事业创新发展[J]. 审计研究, 2020(4): 8-13+15.
- [5] 毕秀玲, 陈帅. 科技新时代下的“审计智能+”建设[J]. 审计研究, 2019(6): 13-21.
- [6] 陈骏, 时现. 审计全覆盖驱动下的审计技术方法创新研究[J]. 审计研究, 2018(5): 22-29.
- [7] Lin H, Zeng S, Liu H, et al. Bridging the gaps or fecklessness? A moderated mediating examination of intermediaries' effects on corporate innovation[J]. Technovation, 2020, 94-95: 102018.
- [8] 陈衍泰, 夏敏, 李欠强, 等. 创新生态系统研究: 定性评价、中国情境与理论方向[J]. 研究与发展管理, 2018(4): 37-53.
- [9] 王宏起, 王卓, 李玥. 创新生态系统价值创造与获取演化路径研究[J]. 科学学研究, 2021(10): 1870-1881.
- [10] Boon W, Edler J. Demand, challenges, and innovation: Making sense of new trends in innovation policy[J]. Science and Public Policy, 2018, 45(4): 435-447.
- [11] Power M K. Auditing and the production of legitimacy[J]. Accounting, Organizations, and Society, 2003, 28(4): 379-394.
- [12] 谢志华. 审计变迁的趋势: 目标、主体和方法[J]. 审计研究, 2008(5): 21-24.
- [13] 刘国城, 王会金. 大数据审计平台构建研究[J]. 审计研究, 2017(6): 36-41.
- [14] 陈毓圭. 对风险导向审计方法的由来及其发展的认识[J]. 会计研究, 2004(2): 58-63.
- [15] 秦荣生. 大数据、云计算技术对审计的影响研究[J]. 审计研究, 2014(6): 23-28.
- [16] Gepp A, Linnenluecke M K, O'Neill T J, et al. Big data techniques in auditing research and practice: Current trends and future opportunities[J]. Journal of Accounting Literature, 2018, 40(6): 102-115.
- [17] 高廷帆, 陈雨军. 区块链技术如何影响审计的未来——一个技术创新与产业生命周期视角[J]. 审计研究, 2019(2): 3-10.
- [18] 刘雪芹, 张贵. 创新生态系统: 创新驱动的本质探源与范式转换[J]. 科技进步与对策, 2016(20): 1-6.
- [19] Moore J F. Predators and prey: A new ecology of competition[J]. Harvard business review, 1993, 71(3): 75-86.
- [20] 欧光军, 杨青, 雷霖. 国家高新区产业集群创新生态能力评价研究[J]. 科研管理, 2018(8): 63-71.
- [21] 赵放, 曾国屏. 多重视角下的创新生态系统[J]. 科学学研究, 2014(12): 1781-1788+1796.
- [22] 谭劲松, 宋娟, 陈晓红. 产业创新生态系统的形成与演进: “架构者”变迁及其战略行为演变[J]. 管理世界, 2021(9): 167-191.

- [23] 柳卸林, 杨培培, 王倩. 创新生态系统——推动创新发展的第四种力量[J]. 科学学研究, 2022(6): 1096-1104.
- [24] 李万, 常静, 王敏杰, 等. 创新3.0与创新生态系统[J]. 科学学研究, 2014(12): 1761-1770.
- [25] Schuster P. Major transitions in evolution and in technology: What they have in common and where they differ[J]. Complexity, 2016, 21(4): 7-13.
- [26] 王发明, 朱美娟. 创新生态系统价值共创行为影响因素分析——基于计划行为理论[J]. 科学学研究, 2018(2): 370-377.
- [27] Ritala P, Almanopoulou A. In defense of 'eco' in innovation ecosystem[J]. Technovation, 2017, 60(4): 39-42.
- [28] 何郁冰, 伍静. 企业生态位对跨组织技术协同创新的影响研究[J]. 科学学研究, 2020(6): 1108-1120.
- [29] 梅亮, 陈劲, 刘洋. 创新生态系统: 源起、知识演进和理论框架[J]. 科学学研究, 2014(12): 1771-1780.
- [30] 张路蓬, 薛澜, 周源, 等. 战略性新兴产业创新网络的演化机理分析——基于中国2000—2015年新能源汽车产业的实证[J]. 科学学研究, 2018(6): 1027-1035.
- [31] 高山行, 谭静. 创新生态系统持续演进机制——基于政府和企业视角[J]. 科学学研究, 2021(5): 900-908.
- [32] 刘兰剑, 项丽琳, 夏青. 基于创新政策的高新技术产业创新生态系统评估研究[J]. 科研管理, 2020(5): 1-9.
- [33] 欧忠辉, 朱祖平, 夏敏, 等. 创新生态系统共生演化模型及仿真研究[J]. 科研管理, 2017(12): 49-57.
- [34] Rosenkopf L, Padula G. Investigating the microstructure of network evolution: Alliance formation in the mobile communications industry[J]. Organization Science, 2008, 19(5): 669-687.
- [35] 王金艳, 曾德明, 徐露允, 等. 结构洞、网络多样性与企业技术标准能力[J]. 科研管理, 2020(12): 195-203.
- [36] Acemoglu D, Akgigit U, Kerr W R. Innovation network. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2016, 113(41): 11483-11488.
- [37] 钱锡红, 杨永福, 徐万里. 企业网络位置、吸收能力与创新绩效——一个交互效应模型[J]. 管理世界, 2010(5): 118-129.
- [38] Pan X F, Song M L, Zhang J, et al. Innovation network, technological learning and innovation performance of high-tech cluster enterprises[J]. Journal of Knowledge Management, 2019, 23(9): 1767-3270.
- [39] 徐建中, 徐莹莹. 企业协同能力、网络位置与技术创新绩效——基于环渤海地区制造业企业的实证分析[J]. 管理评论, 2015(1): 114-125.
- [40] 朱春全. 生态位态势理论与扩充假说[J]. 生态学报, 1997(3): 324-332.
- [41] 解学梅, 刘晓杰. 区域创新生态系统生态位适宜度评价与预测——基于2009—2018年中国30个省市数据实证研究[J]. 科学学研究, 2021(9): 1706-1719.
- [42] 曾赛星, 陈宏权, 金治州, 等. 重大工程创新生态系统演化及创新力提升[J]. 管理世界, 2019(4): 28-38.
- [43] 李雨浓, 王博, 张永忠, 等. 校企专利合作网络的结构特征及其演化分析——以“985高校”为例[J]. 科研管理, 2018(3): 132-140.
- [44] 晏维龙, 韩峰, 汤二子. 新常态下的国家审计变革与发展[J]. 审计与经济研究, 2016(2): 3-13.
- [45] 鲍朔望. 大数据环境下政府采购审计思路和技术方法探讨[J]. 审计研究, 2016(6): 13-18.
- [46] 郑伟, 张立民, 杨莉. 试析大数据环境下的数据式审计模式[J]. 审计研究, 2016(4): 20-27.
- [47] Wang B, Hsieh C H. Measuring the value of patents with fuzzy multiple criteria decision making: insight into the practices of the Industrial Technology Research Institute[J]. Technological Forecasting & Social Change, 2015, 92(11): 263-275.

[责任编辑: 刘 茜]

## Research on the Evolution of the Ecological Network of Audit Technological Innovation and Its Value Discovery

LIN Han<sup>1</sup>, LI Hao<sup>2</sup>, LI Tingliao<sup>3</sup>, SUN Zhoubao<sup>1</sup>

(1. School of Engineering Audit, Jiangsu Key Laboratory of Public Project Audit; 2. School of Information Engineering;  
3. School of Business, Nanjing Audit University, Nanjing 211815, China)

**Abstract:** Audit technological innovation is the technical basis for the high-quality development of auditing. Exploring the paradigm of audit technological innovation in the new era has important theoretical value and practical significance. Based on the audit patent data, this study constructs an ecological network of audit technological innovation by using the social network analysis method, reveals its evolution process and explores the impact of the network location of innovative actors on their innovation performance. The results show that the evolution presents a clear logical model. The centrality of innovation network has a significant positive effect on the performance improvements of innovation entities. It is also observed that for entities with low innovative niche and potential, the positive impact of innovation ecological network is larger than that of the comparative ones. The innovation entities with low ecological niche can more easily improve their innovation performance by integrating into the audit technological innovation network.

**Key Words:** audit technology and methods; innovation performance; innovation ecological network; patent; social network analysis; ecological potential; ecological niche