

国外创新网络演化机制研究

顾伟男^{1,2,4}, 刘 慧^{1,2,3*}, 王 亮^{1,2,4}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;
3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 创新网络研究是创新地理学研究的热点, 其中创新网络的演化机制是当前创新网络研究的核心问题之一。论文通过CiteSpace知识图谱定量分析和文献深度分析相结合, 对国外创新网络演化机制的研究进行全面解析, 结果表明: ① 网络内生效应, 包括网络的整体特征、根植性、外部性、技术守门员与吸收能力等, 对创新网络的演化主要体现在组织要素对当地的依赖程度、对外部知识的吸收能力, 以及对整体网络的控制能力; ② 网络组织要素的规模、性质和大小等对创新网络的形成演化也有一定的作用; ③ 多维邻近性对于创新网络的形成和演化具有重要作用, 单一邻近性和邻近性之间的综合作用对于创新网络的演化具有阶段性特征; ④ 不同发展阶段创新网络的演化机制不同, 机制之间的组合模式也存在差异。最后, 在总结国外创新网络演化机制研究的主要内容和方法的基础上, 提出了当前该领域研究中存在的不足及未来研究的方向。

关键词: 创新网络; 演化机制; 邻近性; 国外研究

当前, 经济增长的驱动方式逐渐由要素、资本驱动转向创新驱动, 新经济时代的到来促使创新成为社会经济发展的动力源泉和生产方式变革的重要支撑。由于创新是发生在特定的时间和空间上的, 与地理学有着密切的关联。20世纪80年代以来, 以创新空间格局的形成与演化等为主题的创新地理受到经济地理学者越来越多的关注。20世纪90年代以来, 随着全球化的浪潮, 创新要素在全球范围内不断流动, 成为区域获取新知识和技术的重要来源, 并且通过要素流动不断加深了区域间的创新联系与合作。地方空间(space of place)向流的空间(space of flow)转变, 这些流主要以联系的方式存在, 以联系为基础的创新流成为创新网络的基本单元, 创新网络化的空间格局逐渐形成(Castells, 1996)。创新经济活动空间从工业经济时代的全球生产网络(GPN)逐渐迈向知识经济时代的全球创新网络(GIN)。

Freeman(1991)最早提出了创新网络概念, 认为创新网络是基于制度安排的系统内部的创新过程, 网络连接要素主要是企业间的创新合作, 是一种非正式的关系。Nonaka等(1995)认为创新网络是企业间通过交流获取正式文件、规范化知识、隐性知识而形成的正式和非正式联系。因此, 创新网络可以看作是空间范围内各要素之间的流动与相互作用, 形成节点及节点间所形成的联系, 这些节点要素包括大学、企业、研究机构等部门, 这些联系主要是以创新为目的。此外, 创新网络节点要素之间的这种关系在内外部创新环境不断变化的背景下不断变化, 不断调整连接方式, 从而引起创新网络组织结构形态的变化, 在微观上表现为网络节点及节点间连接关系的演化, 在宏观上表现为网络尺度及网络内部结构的变化。受西方经济地理学“关系转向”“制度转向”和“演化转向”的影响, 创新网络的演化过程成为学界探讨的重要议题。

收稿日期: 2019-01-07; 修订日期: 2019-04-19。

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项项目 A 类(XDA20010103)。[Foundation: Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No. XDA20010103.]

第一作者简介: 顾伟男(1993—), 男, 江苏南通人, 博士生, 研究方向为区域发展与区域创新。E-mail: guwn.18b@igsnrr.ac.cn

*通信作者简介: 刘慧(1964—), 女, 陕西西平人, 研究员, 博士生导师, 主要从事区域可持续发展研究。E-mail: liuh@igsnrr.ac.cn

引用格式: 顾伟男, 刘慧, 王亮. 2019. 国外创新网络演化机制研究 [J]. 地理科学进展, 38(12): 1977-1990. [Gu W N, Liu H, Wang L. 2019. International research on the evolution mechanisms of innovation networks. Progress in Geography, 38(12): 1977-1990.]
DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.12.013

国外关于创新网络的研究可以分为以下几个研究阶段(Buchmann, 2015):1991—2000年,国际上关于创新网络的研究处于起步阶段,该阶段处于从工业经济向知识经济转移过渡时期,主要针对于创新网络的概念性描述、技术创新网络的结构及其动态变化分析(Narula et al, 1999)。2000—2010年,关于产业、企业、知识等不同类型的创新网络研究出现,并且向创新网络内部知识溢出、创新要素之间的联系(Bathelt et al, 2004)、创新网络的结构及其演化(Cowan et al, 2004)、创新网络绩效(Inkpen et al, 2005)、创新系统以及创新网络对于区域竞争力提升和经济增长的带动作用(Asheim et al, 2002)等方面过渡。该阶段还引入了社会网络分析方法、邻近性、根植性、吸收能力、结构洞、守门员(Morrison, 2008)等新词汇和新的研究热点,从而引起了学界对创新网络作用机制的研究。2010年以来,创新网络的研究发展到一个新的阶段,主要针对创新网络的内部深层机理进行研究,解释创新网络内部各要素之间相互作用的影响因素,以及对创新网络演化的机理进行剖析(Hoekman et al, 2010; Ter Wal et al, 2011; Balland, 2012; Broekel, 2015)。由于创新网络的发展已进入一个新的阶段,演化机制研究成为当前创新网络研究新的热点主题,因此本文主要针对创新网络的形成与演变机制的研究脉络进行全面深入剖析。此外,国内有关创新网络的研究相比国外起步较晚,且以创新网络的整体结构和内生要素结构的研究居多(王秋玉等, 2016; 刘承良等, 2017),部分学者对创新网络的形成机制也开展了相应的研究(吕国庆等, 2014; 马双等, 2016; 周灿等, 2017),但对创新网络演化机制的研究相对薄弱。因此,梳理国外创新网络演化机制的研究有助于厘清创新网络的深层次机制体系,为国内相关领域的研究提供理论参考。

1 创新网络研究知识图谱分析

为了从整体上把握国内外关于创新网络的研究进展,本文采用CiteSpace文献计量分析和知识可视化方法。CiteSpace软件是由陈超美教授于2004年开发的,该软件主要用于计量和分析科学文献数据信息的可视化,通过文献之间的引用和被引用关系,探究某一研究领域中的“开创性和关键文献”“主流研究方向”以及“前沿领域变化”等(Chen,

2004; Chen, 2006),目前已经得到广泛的应用(刘志高等, 2014; Liu et al, 2015; Liu et al, 2016; 陈明星等, 2019)。根据CiteSpace的操作要求,本文的数据主要来源于Web of Science核心合集,基于客观计量和人工识别对创新网络发文数量、热点文献和高被引作者进行分析。

关于创新网络的检索式,本文参照已有的研究(曾刚, 2016; Fernández-Olmos et al, 2017; 曹贤忠, 2017),设置主题词为TS=“‘innovation network*’ or ‘inventor network*’ or ‘research network*’ or ‘co-invention network*’ or ‘collaboration network*’ or ‘research and development network*’ or ‘co-patent network*’ or ‘co-publication network*’ or ‘alliance network*’ or ‘research collaboration’ or ‘knowledge flows’ or ‘innovation collaboration’”, and Web of Science 类别=“Geography or Urban Studies or Economics or Planning Development”, and 研究方向=“Geography or Urban Studies or Area Studies”, and 文献类型=“Article or Proceedings Paper or Review”, and 语种=“English”。共检索到文献2295篇。

1.1 创新网络研究的发文数量及空间格局

自1986年以来,以创新网络为主题的年度刊发文章数量总体上呈现上升趋势,由1篇(1986年)增长至199篇(2017年);关键词数量也呈现递增趋势,由15个(1994年)增长至1403个(2017年),表明学者们对创新网络的研究兴趣增长显著(图1)。

创新网络的研究具有明显的空间分异特征,发文量较高的地区高度集中在欧洲、北美,呈现出欧洲和北美两极主导的空间格局。从洲际尺度上看(表1),欧洲的文章数量为1801篇,北美洲的文章数

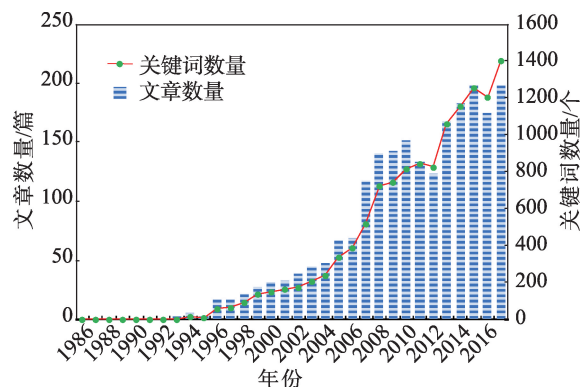


图1 创新网络研究发文量和主题词的年度变化

Fig.1 Annual changes of the number of published articles and keywords under topic of innovation networks

量为 705 篇,亚洲的文章数量为 335 篇,大洋洲的文章数量为 116 篇,南美洲的文章数量为 38 篇,非洲的文章数量为 32 篇,欧洲和美洲的发文数量占比达到 83% 以上。从国别来看,发文量超过 100 篇的国家主要有美国、英国、荷兰、意大利、德国、加拿大、西班牙、法国和瑞典。因此,目前关于创新网络的研究主要集中在北美、欧洲部分国家,这些国家成

为创新网络研究的前沿。

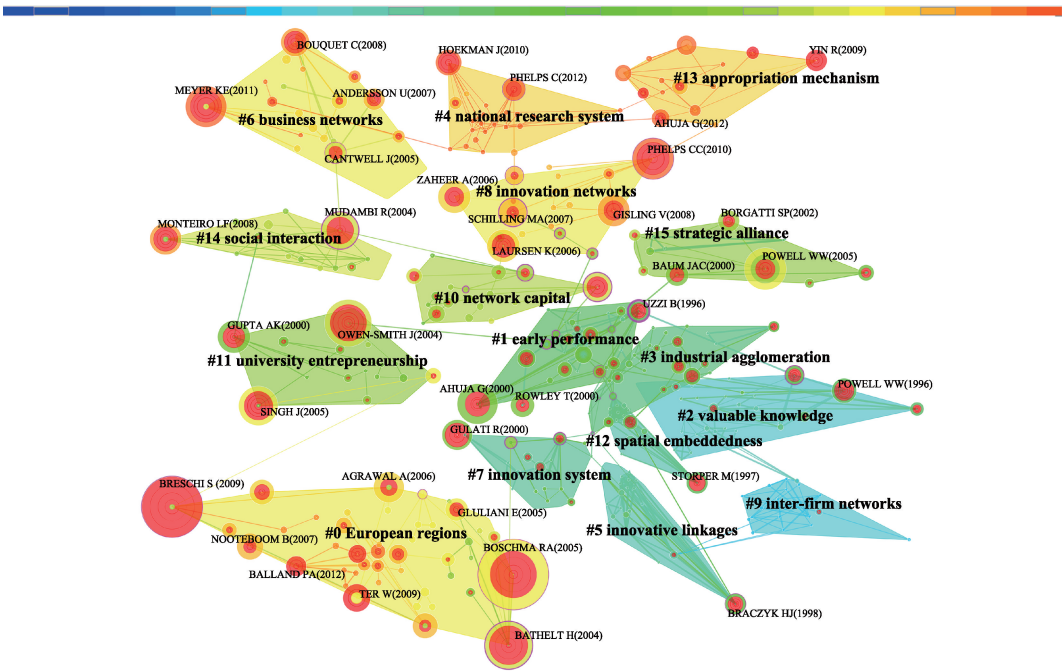
1.2 创新网络研究的文献共被引聚类分析

文献共被引可以反映这些被引文献的研究主题具有密切的联系,对文献共被引进行聚类可以更加直观地反映出研究主题及其动态变化过程,并且能够揭示每个聚类下的共被引作者(图 2)。国外对于创新网络的研究主题是不不断变化的,早期的研究

表 1 各地区关于创新网络研究的发文量(20 篇及以上的国家)

Tab.1 The number of articles on innovation networks in various regions (countries with 20 or more articles)

地区	发文量/篇	地区	发文量/篇	地区	发文量/篇
北美	705	欧洲	1801	奥地利	61
美国	546	英国	379	比利时	52
加拿大	142	荷兰	208	瑞士	49
南美	38	意大利	186	爱尔兰	34
巴西	22	德国	179	葡萄牙	23
大洋洲	116	西班牙	127	亚洲	335
澳大利亚	93	法国	108	中国	98
新西兰	23	瑞典	107	韩国	58
非洲	32	丹麦	73	日本	54
南非	20	芬兰	65	新加坡	26
		挪威	62	以色列	22



注:聚类的规模越大(聚类中的成员数量较多),则编号越小;突现节点以红色圈层标记,表明近期受关注程度较高,被引频次呈突现式增长,高被引文献通常具有开创性。#0 至#15 表示标签号。

图2 文献共被引聚类

Fig.2 Reference co-citation network clusters

主要聚焦于创新网络内部的交流、知识流动过程以及学习型区域,W. W. Powell、M. Storper 等学者的研究在共被引网络中显得尤为重要。近期关于创新网络的研究主要集中在不同尺度的创新网络(business or university or European)、战略联盟网络(strategic alliance)以及这些网络的内在机制(mechanism)、企业家精神(entrepreneurship)等,并且这些聚类词受关注程度比早期的聚类词汇要高,说明这些主题词成为创新网络发展历程中的研究热点。此外,选择这些高共被引的22篇文献进行深度分析(表2),其中2/3的文献主要是关于动态演变(dynamics evolution)、邻近性(proximity)、嵌入(embeddedness)、结构洞(structure holes)等创新网络形成与演变机制问题的研究,以 R. Boschma、H. Bathelt、A. Ter Wal、P. Pond 和 W. W. Powell 等学者为代表的高

被引文献成为整个创新网络研究领域尤其是揭示创新网络演化机理的经典,并且被其所处热点主题领域内的研究者们大量引用。此外,这些文献的引用频次呈现突现增长,未来关于创新网络的研究热点也很有可能在创新网络演化机制研究基础上继续衍生出更多的新主题。

2 创新网络演化机制研究的核心内容

创新网络的形成过程是由网络内部各类节点要素相互作用而产生的外部动力与内在动力所产生的合力引导而实现的。创新网络的演化受到多种机制影响:一是网络结构内生效应,包括网络整体规模和特征、网络性质等网络整体特征以及节点要素的根植性、外部性、吸收能力、小世界性、技术

表2 创新网络研究领域的共被引作者及其高被引文献

Tab.2 Co-citation authors and their highly-cited papers on innovation networks

标签	被引频次	作者	年份	文章标题
#0	61	R. Boschma	2005	Proximity and innovation: A critical assessment
#0	53	S. Breschi	2009	Mobility of skilled workers and co-invention networks: an anatomy of localized knowledge flows
#0	41	H. Bathelt	2004	Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation
#0	27	A. Agrawal	2006	Gone but not forgotten: knowledge flows, labor mobility, and enduring social relationships
#0	27	A. Ter Wal	2009	The dynamics of the inventor network in German biotechnology: geographic proximity versus triadic closure
#0	26	B. Nooteboom	2007	Optimal cognitive distance and absorptive capacity
#0	25	R. Pond	2007	The geographical and institutional proximity of research collaboration
#0	25	O. Sorenson	2006	Complexity, networks and knowledge flow
#1	35	G. Ahuja	2000	Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study
#2	25	W. Powell	1996	Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology
#4	26	J. Hoekman	2010	Research collaboration at a distance: Changing spatial patterns of scientific collaboration within Europe
#6	36	K. Meyer	2011	Multinational enterprises and local contexts: The opportunities and challenges of multiple embeddedness
#8	36	C. Phelps	2010	A longitudinal study of the influence of alliance network structure and composition on firm innovation
#8	29	K. Laursen	2006	Open for Innovation: The role of openness in explaining innovative performance among UK manufacturing firms
#8	28	V. Gilsing	2008	Network embeddedness and exploration of novel technologies: Technological distance, betweenness centrality, density
#8	26	M. Schilling	2007	Interfirm collaboration networks: The impact of large-scale network structure on firm innovation
#11	42	J. Owen-Smith	2004	Knowledge networks as channels and conduits: The effects of spillovers in the Boston biotechnology community
#11	35	J. Singh	2005	Collaborative networks as determinants of knowledge diffusion patterns
#11	29	A. Gupta	2000	Knowledge flows within multinational corporations
#15	32	R. Mudambi	2004	Is knowledge power? Knowledge flows, subsidiary power and rent-seeking within MNCs
#15	28	L. Monteiro	2008	Knowledge flows within multinational corporations: Explaining subsidiary isolation and its performance implications
#15	37	W. W. Powell	2005	Network dynamics and field evolution: The growth of interorganizational collaboration in the life sciences

注:表中第一列“标签”指图2中的标签号。

守门员等网络要素之间的联系;二是网络组织要素特征,包括组织要素的性质、规模和地位;三是多维邻近性的角度,主要包括地理邻近(*geographical proximity*)、社会邻近(*social proximity*)、认知邻近(*cognitive proximity*)、制度邻近(*institutional proximity*)、文化邻近(*cultural proximity*)等。Watts(2003)将创新网络的演化机制划分为网络自身机制、网络上的机制和网络外部机制。网络自身机制表示网络结构内生效应和多维邻近性机制;网络上的机制表示网络组织要素的性质、规模和地位;网络外部机制主要是指区域制度、文化、企业家精神等网络环境特征。

2.1 网络结构内生效应

网络结构内生效应,是指网络整体特征和网络中要素之间的联系程度,主要包括网络的整体规模、网络性质等网络整体特征以及网络根植性、外部性、技术守门员与吸收能力、网络的小世界性等网络要素之间的联系。

网络整体特征是指网络中所有节点要素和线要素的综合集成特征,包括网络整体规模(节点要素数量、平均度、网络密度等)以及网络性质(Graf et al, 2018)。Graf等(2018)以1980—2015年全球光伏产业为例,分析光伏产业知识网络的演化机制,认为网络规模和网络中心势特征能够促进网络内部合作要素的流动。Davids等(2018)认为知识创新网络的作用机制取决于网络的性质类型,如分析型、综合型、象征型知识创新网络所受作用机制存在差异。

网络根植性侧重于强调一切经济行为都植根于其所处的社会网络、环境之中,根植性有助于减少交易成本,如人际关系、信息收集、偏好等,有利于创新网络的形成和扩张。Wanzenböck等(2015)以欧洲部分地区为例,认为根植性通过影响一个区域在网络中的位置,从而对于这些地区研发网络的形成产生重要影响。Graf等也认为以国家光伏产业网络作为世界光伏产业网络中重要的嵌入网络,能够推动全球整体光伏产业创新网络流的产生,并能够带动网络整体的提升。此外,还有一些研究认为本地网络内的一些组织要素拥有较强技术水平和知识能力,并能够通过直接方式获取外部技术和知识,与外部组织要素建立较为密切的联系,这些要素因而被定义为“知识或技术守门员”(Graf, 2011)。守门员在本地网络内进行技术传播和知识

扩散,有利于区域创新网络的形成(Broekel et al, 2018)。Kauffeld等(2013)对德国18个区域的创新网络进行研究,发现大学和大型企业作为机构在区域网络中充当着“守门员”的作用,完成对外来知识的转移和吸收。网络的小世界性是指网络内部形成的联系较为密切的小型网络结构,主要呈现三元闭包网络和多重联系等特征,网络中组织要素的合作者之间也容易产生关联,从而促进高密度、高闭合网络的形成(Glückler, 2007)。

2.2 网络组织要素特征

网络组织要素特征主要包括要素的规模、性质、地位、节点中心度以及其他要素属性,网络内组织要素的不同属性特征对于不同创新网络的演化作用机制是不一样的。

从要素规模看,McKelvey等(2003)和Boschma等(2007)认为大型组织比小型组织更容易产生集聚并推动本地知识创新网络的形成,但是小型企业在创新网络中发挥的作用也不可忽略,此外,大学和企业之间的知识合作网络更容易发生在相同的集聚区内。从主体要素性质来看,创新网络中的核心组织和领导者能够推动网络的演化,Owen-Smith等(2004)研究证实美国波士顿的生物医药创新网络中核心企业可以改变网络的整体结构和信息流的流向;Giuliani等(2005)认为拥有更高知识基础的组织要素之间更容易形成知识流动网络,因为这些高知识基础的组织要素有着更高的知识、技术转移和吸收能力。网络要素的地位会对网络的等级结构产生作用,网络中各要素更倾向于与地位较高的要素进行交流联系,同时,地位较高要素充当与外界进行联系、增强网络整体实力的核心节点(Ter Wal et al, 2011; Huggins et al, 2017; Gui et al, 2018)。Nepelski等(2018)以全球通信技术网络为研究对象,认为一个国家在全球通信技术网络中的地位强烈影响该国与其他国家之间的联系强度,进而影响整体网络结构。Tahmooriesnejad等(2018)对以科学家为节点要素的科研合作网络的研究发现,科学家在网络中的地位和科学家的网络中心度对于节点之间的合作数量具有重要影响,从而也就影响了整体网络的结构。

从要素其他属性看,Mitze等(2019)发现德国生物技术产业创新网络中的中心城市节点和高集聚区域成为网络中的重要节点,并且带动整个网络的发展;此外,他们还发现网络中各区域节点要素的

属性(研发能力、经济发展水平等)对于生物技术创新网络的形成具有重要提升作用。Balland等(2017)以专利网络为例,认为带有复杂专利知识的网络节点更不容易和其他区域的节点相互合作引用。

2.3 多维邻近性

20世纪90年代,以法国邻近动力学派(French School of Proximity)为代表的一些学者引出多维邻近性的概念,并对多维邻近性在创新中的作用进行探讨,他们普遍认为邻近性除了地理邻近(Bunnell et al, 2001)之外,还应该包括认知邻近(Rallet et al, 1999)、组织邻近(Torre et al, 2000)、制度邻近(Ponds et al, 2007)等,不同邻近对于创新网络的影响不同(Boschma, 2005)。近年来,以Boschma等(2010)为代表的学者开始从演化经济地理学视角探讨多维邻近性对创新网络的形成和演化的作用。由于部分邻近性存在相似性和重复性特征,参考Oerlemans等(2005)、Torre等(2005)和Knoben等(2006)的研究,他们认为组织邻近性为主体同属于同一关系空间(归属性程度),主体间组织特征具有一定的相似性,包括组织结构、组织文化、组织制度,以及组织所处的社会关系地位的相似性,与社会、制度、文化邻近性的概念表述重合。因此,本文将多维邻近性重新进行划分,将文化、制度、社会邻近性都归并为组织邻近性,结果如图3所示。

2.3.1 地理邻近性

大部分创新网络学者认为地理邻近是网络形

成的核心,是驱动创新网络形成和发展的首要因素,并且创新网络要素在短距离内能够产生关联(Morgan, 2004)。Bathelt等(2004)认为地理邻近性的重要性体现在区域内根植性的增强,可为区域间或不同组织之间共同应对一些外部风险和不确定因素,以及组织之间知识(尤其是隐性知识)的流动创造有利条件。

Hoekman等(2010)探讨了地理距离对2000—2007年欧洲内部论文合作创新网络演化的影响,发现虽然欧盟境内一体化程度较高,但地理邻近对研发网络的演化一直发挥着不可忽视的作用。Balland等(2013)对1987—2007年全球视频游戏创意产业的企业间网络的演化机制进行分析,认为网络中的企业更倾向于与邻近的企业合作,主要是因为保持创意产业网络技术完整性需要更强的地理邻近性。对于具有密切联系的内部组织关系的网络,地理邻近性依然发挥着重要作用,Cassi、Morrison等(2015)也发现地理邻近对于全球葡萄酒产业研发网络的影响并没有随着全球化的深入而变小。此外,Boschma(2005)还认为地理邻近可以促进创新要素之间的交流学习,但是过度的地理邻近会使本地创新网络对外部知识的吸收能力降低,形成区域内的路径依赖与锁定。

2.3.2 组织邻近性

组织邻近是网络内部主体同属于一个空间组织关系,并且主体要素拥有相似的结构、文化和制

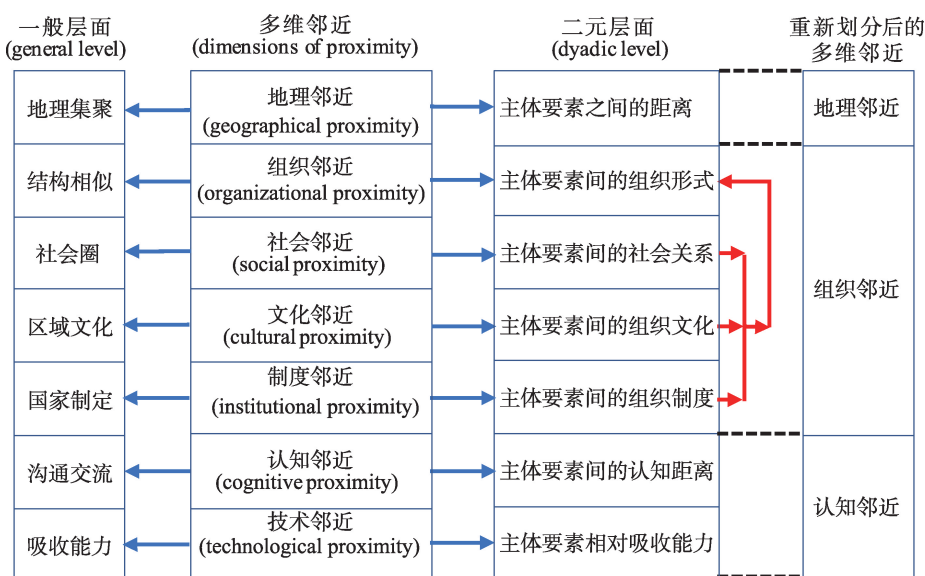


图3 重新划分后的创新网络的邻近性机制

Fig.3 The re-divided multidimensional proximities of innovation networks

度等,是基于集体感和相似感所形成的邻近性,使得合作网络具有“内部化(localization)”的特征(Oerlemans et al, 2005; Caragliu et al, 2015)。组织邻近能够维持网络内部要素之间知识的交换,有效降低合作不确定性,并且减少相应的交易成本(Miorner et al, 2018)。

Singh(2005)认为同一类型企业间引用相同文献的次数较高,更有利于企业间创新网络的形成。Balland等(2013)对全球视频游戏创意产业的企业间网络的演化机制进行分析,发现制度邻近一开始对于企业网络的形成有着重要的驱动作用,但随着全球视频游戏产业网络的演化,制度邻近的重要性逐渐削减。Drejer等(2017)探讨了企业与特定大学合作网络的决定因素,证实由员工推动的关系即社会邻近(以员工和经理的教育地点及专业领域进行衡量)强烈影响企业与特定大学合作网络的形成。但是,Broekel等(2018)认为过度的组织邻近也会对创新网络的演化产生负面作用,使得组织内部各要素之间缺乏灵活的互动机制,形成封闭的网络系统,并且导致过多的知识和技术溢出,不利于网络功能的提升。

2.3.3 认知邻近性

认知邻近是指网络主体拥有相似的知识基础和技术水平(Nooteboom, 2000)。当主体间拥有相似的知识认知基础,他们之间相互交流学习的机会就会增加,认知邻近的作用才会突显出来(Cohen et al, 1990)。

Scherngell等(2011)对中国大陆31个省份在空间上的知识合作网络的影响机制进行分析,发现以技术邻近为主的认知邻近对于知识合作网络的形成具有推动作用。认知邻近有助于提升创新网络中主体要素之间知识基础的相似性,进而促进主体间知识的传播能力,尤其是隐性知识,从而促进主体间创新网络形成类型的多样化和结构的动态化(Balland et al, 2016)。然而 Nooteboom等(2007)和 Romero(2018)认为过度的认知邻近并不会促进网络的演化,如果主体间认知距离太近,一方面会导

致主体间知识基础的异质性降低,知识和技术锁定风险增加,主体间合作的可能性降低,从而抑制了创新网络的变化。

2.3.4 多维邻近性的交互作用

不同邻近性对于创新网络有着独特的作用机制(Balland, 2012),过少的邻近对于特定的创新网络来说有着负向作用,但是过多的地理邻近也可以对创新网络产生负面效应(表3),因此在考察特定的创新网络演化机制的同时,要充分考虑不同邻近性对于创新网络的形成演化是否具有交互影响作用(替代和互补作用),这些影响机制是否会随着网络的变化而变化。

从替代作用看,地理邻近不是知识共享和集体学习的充分必要条件(Torre et al, 2005),其他形式的邻近性在网络要素的流动过程中逐渐取代地理邻近(Autant-Bernard et al, 2007; Maggioni et al, 2007; Agrawal et al, 2008; Breschi et al, 2009; Cassi, Plunket, 2015),当然这些仅限于一个封闭的网络(closure ties)内部,所有这些邻近性都不意味着“距离衰减死亡”。例如,组织邻近能够削弱创新网络组织要素对地理邻近的依赖,尤其是永久性地理邻近,从而形成临时性地理邻近;当认知邻近、社会邻近达到一定阶段时,则会降低对地理邻近的依赖(Torre, 2008; Leszczyńska et al, 2018)。Cassi等(2013)探讨了共同发明者网络与邻近性之间的关系,认为当网络形成之后,组织邻近替代地理邻近成为影响创新网络扩张的重要机制。从互补作用看,非地理邻近可以补偿部分缺乏地理邻近所带来的不利,因为非地理邻近减少了面对面的互动的需要,地理邻近可以对组织、认知邻近的建立和强化起到催化提升作用,共同促进网络的演化(Hansen, 2015; Tanner, 2016; Cao et al, 2019)。创新网络内部组织之间的地理邻近为彼此之间提供了更多面对面交流机会,进而促成了组织间知识、技术等要素的流动传播,使得主体间产生有利于网络演化的信任机制和根植性,从而为网络内部要素组织邻近的形成提供有利基础。Drejer等(2017)探讨企业与特

表3 多维邻近性的形式和特征

Tab.3 Patterns and characteristics of multidimensional proximities

主要维度		过低邻近	过度邻近	解决措施
地理邻近性	主体间的距离	缺少空间外部性	对外程度低,锁定	本地“蜂鸣”和对外连接相结合
组织邻近性	主体间的信任和控制	机会主义	垄断主义	松散耦合系统
认知邻近性	主体间知识和技术相似度	相互间不能理解	创新源头遭到遏制	多样化和完整的知识基础

定大学合作网络的决定因素,结果证实地理距离与社会关系叠加作用于企业高校合作网络的形成。Broekel(2015)从多个层面对德国 R&D 网络演化研究发现,不同邻近性相互依存,并且能够共同引起网络结构及其阶段类型的变化。因此,地理邻近、组织邻近、认知邻近交互作用于创新网络的演化过程中(图4)。

2.4 不同阶段的网络演化机制

创新网络的演化是指网络的内部组织要素数量、规模的变化,带动网络组织要素特征和基于组织要素联系的网络整体结构状态等随着时间的推移而发生的由低级到高级、由简单到复杂的变化过程。以区域创新网络演进过程为依据,将创新网络划分为网络形成阶段、网络扩张阶段与网络成熟阶段3个演进阶段(王缉慈, 2001),不同阶段的网络演化机制存在差异,并且相同的机制在不同阶段作用大小不同。

Boschma等(2007)认为地理邻近以及其他邻近组成的多维邻近在创新网络的不同阶段发挥的作用不同。Balland等(2013)还将全球视频游戏产业网络演化分成4个不同阶段,认为不同阶段的动力机制基本保持稳定,但不同阶段机制的影响权重不同。Broekel等(2012)认为仅有地理邻近和制度邻近贯穿作用于荷兰航空产业知识网络形成和扩张的整个过程,并且作用效果显著,此外,在扩张阶段网络的结构效应和网络节点特征对于创新网络的影响要比邻近性层面的影响明显。因此,根据创新网络演化的不同阶段,将其演化机制归纳为3个不同阶段作用机制的融合,主要包括:创新网络的形成机制、创新网络的扩张机制和创新网络的成熟机

制3个部分。

3 创新网络演化机制研究的主要方法

早期的学者为了揭示创新网络的演化机制,大多从某个产业内部的企业集聚视角剖析集群创新网络的形成过程及不同阶段特征形成的机制,主要是针对一个阶段的作用机制进行分析。伴随演化经济地理学思想和社会网络分析方法的综合引入,后续的研究逐渐开始注重运用创新网络演化模型进行网络内部组织要素之间相互作用的相关实证研究,并且突出了从网络形成、发展到成熟等多个演化阶段的综合机制(Gallaud et al, 2005)。

早期关于创新网络整体或某个时间点创新网络的作用机制多采用多元回归分析方法、结构方程模型、纳入空间权重矩阵的引力模型等(Hoekman et al, 2009)。然而,这些研究的因变量多是网络的某一方面的特征,自变量也是单一的要素。此外,由于网络演化是网络中节点联系数据的变化,是 $n \times n$ 的矩阵形式,因此,传统的计量经济学不能适用于揭示创新网络演化机制的揭示(Broekel et al, 2014)。而二次指派程序模型、随机指数模型、个体行动者随机模型则可以用来检验创新网络中关于矩阵变量之间的关系,包含网络的多个层面。事实上,创新网络的演化过程受网络邻近性及其交互性(Powell et al, 2005)、网络整体要素等组成的网络结构内生性(Balland et al, 2013),以及要素规模、性质、地位等组成的网络组织要素(Glückler et al, 2016)综合机制的影响,而考虑矩阵变量关系的二次指派程序模型仅是考虑单一层次的网络机制,缺乏对网络内生特征、组织要素以及多维邻近等多层次的动态机制的考虑。虽然随机指数模型能够在综合考虑网络机制的前提下探讨网络动因问题,但关注更多的是截面数据,尚存在缺陷(Rivera et al, 2010)。因此,学者们开始引入随机面向对象模型,该模型不仅能够同时考虑邻近性、网络内生性、网络组织要素等机制,还能探讨时间序列下面板数据的网络动态演化机制。

3.1 MRQAP模型

MRQAP(multiple regression quadratic assignment procedure)模型是指多元回归的二次指派程序模型,是一种集合曼特尔检验、二次指派程序和标准最小二乘法(ordinary least squares, OLS)或者Logit回归的一种多元回归程序模型(表4)。该模型

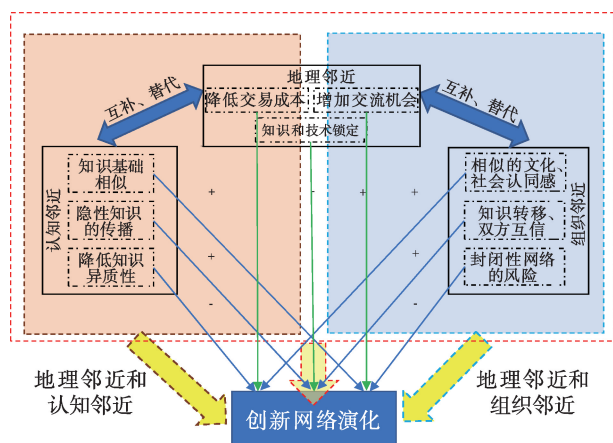


图4 多维邻近性对创新网络演化的交互作用

Fig.4 Interaction of multidimensional proximities on the evolution of innovation networks

能够对2个矩阵中的解释变量和被解释变量进行回归,并且还能够对回归系数进行检验(非参数形式),使用OLS或者Logit形式主要取决于网络数据的类型。它以对矩阵数据的置换为基础,是一种只考虑单个层面下的模型。在分析网络机制时,该模型将关系变量,比如,在企业创新网络中,将不同企业的合作量和企业间的邻近性直接作为因变量和自变量进行多元回归分析。此外,DSP(double-semi-partialing)方法是表述MRQAP模型最好的方法(Dekker et al, 2007)。具体计算公式如下:

$$Y = \alpha\pi(\hat{\varepsilon}_{XM}) + M\mu + E \quad (1)$$

式中: Y 、 X 、 M 和 E 分别代表矩阵为 $n \times n$ 的变量, α 表示估计系数, μ 表示向量系数, $\hat{\varepsilon}_{XM}$ 为残差。Broekel等(2012)采用该回归方法探究了产业创新网络的机制,通过对企业的调查发现,地理、认知、社会等多维邻近性影响着荷兰航空企业之间的创新合作,并且对合作网络的形成起着关键因素。

3.2 ERG模型

ERG(exponential random graph)模型是随机指数模型,其最基本的思想是模拟网络形成的过程,该模型能够在网络形成过程中的某个时间点最大化创建所观察网络的可能性。ERG模型的目的是识别使网络中任何联系出现概率最大化的因素,这些因素具有与观测网络的结构相同的性质。具体计算公式如下:

$$P_r(Y=y) = \left(\frac{1}{k}\right) \exp\left\{\sum_A \mu_A g_A(y)\right\} \quad (2)$$

式中: $P_r(Y=y)$ 代表在指数随机过程中创建的网络(Y)与经验观察的网络(y)具有相同特征的概率; k 是标准化常数, $1/k$ 用来确保概率始终保持在0和1的

范围之内; μ_A 是网络统计量所对应统计项的参数; $g_A(y)$ 代表网络统计数据。网络组成主要包括节点、二元和结构网络3个层面。如果在网络 y 中观察到某个不同层面的网络组成,则其相应的统计值为1,如果不观察到,则为0。Broekel等(2013)采用ERG模型探究了产业内部组织要素以及多维邻近性所形成的创新网络的机制。

3.3 SAOM模型

SAOM(stochastic actor-oriented model)模型是一种用来分析网络演化的动态模型,强调对时间序列数据的分析,描述在一个时间段 $t(n)$ 内($n \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$)网络动态演化过程及机制,并能够同时分析网络主体要素特征、网络内生结构特征及多维邻近性等对网络动态变化的影响。由于网络中的要素是变化的,因此,不同要素之间合作关系的特征变化由选择概率函数决定,概率函数如公式(3)所示。SAOM模型将效用函数作为目标函数,该函数可以为网络中的每个主体要素按最大化原则分配合作伙伴,并分析网络合作关系的演变,效用函数如公式(4)所示。

$$p_i(x^0, x, v, w) = \frac{\exp[f_i(x^0, x, v, w)]}{\sum_{x' \in C(x^0)} \exp[f_i(x^0, x', v, w)]} \quad (3)$$

$$f_i(x^0, x, v, w) = \sum_k \beta_k e_{ki}(x^0, x, v, w) \quad (4)$$

式中: x^0 、 x 、 v 、 w 分别表示某个时间段内网络的初始特征、某个时间段内网络的最终特征、网络中的组织要素属性特征以及多维邻近性机制; x' 表示不同时间段内最终特征的集合; β_k 表示估计参数, e_{ki} 表示网络演化机制。

表4 创新网络演化机制研究方法

Tab.4 Research methods on the evolution mechanisms of innovation networks

	MRQAP	ERG	SAOM
作用	探究多个矩阵中网络单一层次机制的作用效果	探究某个时间截面上网络的多层次机制作用效果	探究网络动态演化的多层次机制作用效果
状态	静态	静态	动态
数据类型	单一层次、截面数据	多层次、截面数据	多层次、时间段数据
适用对象	研发合作网络的多维邻近分析	产业网络的内生要素、邻近性静态分析	企业、技术网络的多层次机制动态分析
优点	操作简易	可以对多层次的数据进行分析	分析时间序列下的动态变化机制
缺点	只能反映单一层次的数据,容易遗漏变量	只能反映单一时间下截面数据的网络机制	操作较为复杂,并且需要很全面的网络数据
典型案例	荷兰航空产业知识网络的多维邻近性(Broekel et al, 2012)	荷兰航空产业知识网络的节点、多维邻近性和结构要素(Broekel et al, 2013)	西班牙玩具产业内企业和技术网络的演化(Balland et al, 2016)

SAOM被认为是当前研究全球和区域创新网络动态变化及其机制的模型,具体包括产业创新网络、R&D知识网络、创新合作网络等(Ter Wal et al, 2009; Maggioni et al, 2011; Anne, 2013; Giuliani, 2013)。Balland等(2016)以技术和企业网络为例,探究这2种网络的演化机制,研究认为网络组织要素特征对于企业创新网络的构建、形成和发展阶段都具有促进作用,而多维邻近性贯穿技术创新网络的发展阶段,并且交互作用于技术创新网络,此外,网络的根植性对企业和技术网络的形成和演化都有一定的刺激作用。

4 研究不足及展望

本文通过CiteSpace知识图谱定量分析和文献深度分析相结合,对国外创新网络演化机制进行梳理总结,得出以下结论:网络内生效应,包括网络的规模和特性、网络根植性、外部性、技术守门员与吸收能力等,对创新网络的演化具有重要作用;网络组织要素特征,包括网络要素的规模、性质和大小等对创新网络的形成演化也有一定的作用;单一邻近性和不同邻近性之间的交互作用对于创新网络的演化具有不同效应;不同发展阶段的创新网络的演化机制不同,机制之间的组合模式也存在差异。但已有的研究仍存在不足,部分议题需要进一步深化。

4.1 多维邻近性的综合分析体系有待建立

邻近性具有多维性特征,不同的学者将邻近性划分成不同类型,但是关于规范形式的邻近性的划分仍存在争议。多个邻近性之间存在内容上的相似性以及概念的重合性和模糊性,在分析创新网络的演化机制时,回归结果容易产生邻近性机制的共线性问题。可见,今后的创新网络多维邻近性机制研究有待建立在一个完善和规范的理论概念框架之上。此外,虽然现有的大部分研究开始关注多维邻近性对于创新网络的作用机制,但是由于邻近性之间并非单独作用于创新网络,多维邻近性之间存在一定的联系。因此,多维邻近性的组合机制,也即多维邻近之间的相互作用、相互替代成为今后创新网络演化机制研究的一个重要关注点,例如地理邻近性可以通过面对面的交流建立互信从而增强社会邻近性,社会邻近也可弥补过度的地理邻近所带来的不良效应,并且多维邻近性的综合作用可以降低单一邻近性的过度而带来的网络风险性增加。

4.2 演化机制的综合维度分析及动态变化研究亟待加强

从创新网络的作用机理来看,创新网络是一个动态变化的过程,而大多数研究主要聚焦在单一层面的机制对创新网络的作用效果,但是创新网络的演化除受邻近性影响外,还受其他多种机制的综合作用。此外,大部分研究是关于驱动创新网络形成演化的机制,但是很少有研究关注机制的变化以及在不同网络演化阶段机制的重要性是否发生变化等,这些问题尚待进一步研究。

因此,未来的研究可聚焦于差异化邻近性、邻近性的互补、网络主体要素特征及网络内生效应等如何在不同尺度及不同演化阶段发挥作用,以及不同机制在不同阶段所发挥的作用大小(图5)。此外,关于区域制度、文化、企业家精神等网络外部环境机制的研究还有待探究。不同演化机制往往是共同作用并相互影响的,因此对不同尺度、不同情境及不同演化阶段中机制之间如何相互作用进行更加系统的综合解析,对完善创新网络机制研究具有一定推进作用。

4.3 不同尺度和层面下的网络演化机制对比分析有待提升

创新网络的研究包含不同空间尺度,有全球创新网络、国家创新网络、区域创新网络、城市创新网络等,以及不同要素层面的创新网络,如产业(企业)创新网络、专利创新网络、知识创新网络等,目前关于不同空间尺度和不同要素层面下的创新网络演化机制的对比分析研究存在明显不足(Fernández-Olmos et al, 2017)。

因此,今后在进一步加强创新网络尺度融合(司月芳等, 2016; 毛熙彦等, 2019)和要素融合研究的同时(全球-地方创新网络、产学研和联盟创新网络等),应不断挖掘不同尺度、不同层面的创新网络演化机制的对比分析,这样才能从更深层次理解不

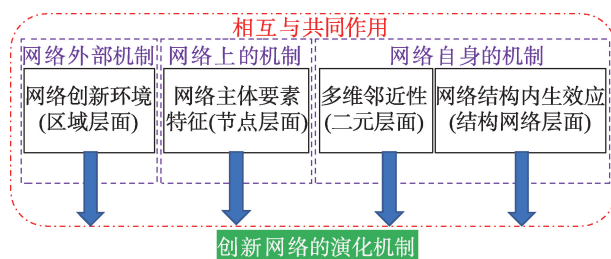


图5 多要素视角下的创新网络演化机制

Fig.5 Evolution mechanisms of innovation networks from the perspective of multiple factors

同尺度和不同要素层面创新网络的演化机制存在的差异及其时间变化,同时,也有助于探索和发现不同演化阶段不同空间尺度和不同要素层面创新网络的演化规律。

参考文献(References)

- 曹贤忠. 2017. 基于全球-地方视角的上海高新技术产业创新网络研究 [D]. 上海: 华东师范大学. [Cao X Z. 2017. Research on the innovation network of Shanghai high technology industry from the perspective of glocal. Shanghai, China: East China Normal University.]
- 陈明星, 隋昱文, 郭莎莎. 2019. 中国新型城镇化在“十九大”后发展的新态势 [J]. 地理研究, 38(1): 181-192. [Chen M X, Sui Y W, Guo S S. 2019. Perspective of China's new urbanization after 19th CPC National Congress. Geographical Research, 38(1): 181-192.]
- 刘承良, 桂钦昌, 段德忠, 等. 2017. 全球科研论文合作网络的结构异质性及其邻近性机理 [J]. 地理学报, 72(4): 737-752. [Liu C L, Gui Q C, Duan D Z, et al. 2017. Structural heterogeneity and proximity mechanism of global scientific collaboration network based on co-authored papers. Acta Geographica Sinica, 72(4): 737-752.]
- 刘志高, 王琛, 李二玲, 等. 2014. 中国经济地理研究进展 [J]. 地理学报, 69(10): 1449-1458. [Liu Z G, Wang C, Li E L, et al. 2014. Research progress of economic geography in China. Acta Geographica Sinica, 69(10): 1449-1458.]
- 毛熙彦, 贺灿飞. 2019. 区域发展的“全球-地方”互动机制研究 [J]. 地理科学进展, 38(10): 1449-1461. [Mao X Y, He C F. 2019. A review of global-local interactions for regional development. Progress in Geography, 38(10): 1449-1461.]
- 吕国庆, 曾刚, 马双, 等. 2014. 产业集群创新网络的演化分析: 以东营市石油装备制造业为例 [J]. 科学学研究, 32(9): 1423-1430. [Lv G Q, Zeng G, Ma S, et al. 2014. The evolutionary study about innovation network of industrial clusters: An empirical analysis on Dongying. Studies in Science of Science, 32(9): 1423-1430.]
- 马双, 曾刚, 吕国庆. 2016. 基于不同空间尺度的上海市装备制造业创新网络演化分析 [J]. 地理科学, 36(8): 1155-1164. [Ma S, Zeng G, Lv G Q. 2016. The space-time evolution of innovation network of Shanghai equipment manufacturing industry at different spatial scales. Scientia Geographica Sinica, 36(8): 1155-1164.]
- 司月芳, 曾刚, 曹贤忠, 等. 2016. 基于全球-地方视角的创新网络研究进展 [J]. 地理科学进展, 35(5): 600-609. [Si Y F, Zeng G, Cao X Z, et al. 2016. Research progress of glocal innovation networks. Progress in Geography, 35(5): 600-609.]
- 王缉慈. 2001. 创新的空间: 企业集群与区域发展 [M]. 北京: 北京大学出版社. [Wang J C. 2001. Innovative spaces: enterprise clusters and regional development. Beijing, China: Peking University Press.]
- 王秋玉, 曾刚, 吕国庆. 2016. 中国装备制造业产学研合作创新网络初探 [J]. 地理学报, 71(2): 251-264. [Wang Q Y, Zeng G, Lv G Q. 2016. Structural evolution of innovation networks of China's equipment manufacturing industry. Acta Geographica Sinica, 71(2): 251-264.]
- 曾刚. 2016. 长江经济带协同创新研究: 创新·合作·空间·治理 [M]. 北京: 经济科学出版社. [Zeng G. 2016. Research on regional innovation cooperation of Yangtze economic zone. Beijing, China: Economic Science Press.]
- 周灿, 曾刚, 宓泽锋, 等. 2017. 区域创新网络模式研究: 以长三角城市群为例 [J]. 地理科学进展, 36(7): 795-805. [Zhou C, Zeng G, Mi Z F, et al. 2017. The study of regional innovation network patterns: Evidence from the Yangtze River Delta Urban Agglomeration. Progress in Geography, 36(7): 795-805.]
- Agrawal A, Kapur D, McHale J. 2008. How do spatial and social proximity influence knowledge flows? Evidence from patent data [J]. Journal of Urban Economics, 64(2): 258-269.
- Anne L J, Ter Wal A L. 2013. The dynamics of the inventor network in German biotechnology: Geographic proximity versus triadic closure [J]. Journal of Economic Geography, 14(3): 589-620.
- Asheim B T, Isaksen A. 2002. Regional innovation systems: The integration of local 'Sticky' and global 'Ubiquitous' knowledge [J]. The Journal of Technology Transfer, 27(1): 77-86.
- Autant-Bernard C, Billand P, Frachisse D, et al. 2007. Social distance versus spatial distance in R&D cooperation: Empirical evidence from European collaboration choices in micro and nanotechnologies [J]. Papers in Regional Science, 86(3): 495-519.
- Balland P A. 2012. Proximity and the evolution of collaboration networks: Evidence from research and development projects within the Global Navigation Satellite System (GNSS) industry [J]. Regional Studies, 46(6): 741-756.
- Balland P A, Belso-Martínez J A, Morrison A. 2016. The dynamics of technical and business knowledge networks in industrial clusters: Embeddedness, status or proximity? [J]. Economic Geography, 92(1): 35-60.
- Balland P A, Rigby D. 2017. The geography of complex knowledge [J]. Economic Geography, 93(1): 1-23.
- Balland P A, Vaan M D, Boschma R. 2013. The dynamics of interfirm networks along the industry life cycle: The case of the global video game industry, 1987-2007 [J]. Journal of Economic Geography, 13(5): 741-765.
- Bathelt H, Malmberg A, Maskell P. 2004. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation [J]. Progress in Human Geography, 28(1): 31-56.

- Boschma R. 2005. Proximity and innovation: A critical assessment [J]. *Regional Studies*, 39(1): 61-74.
- Boschma R, Koen F. 2010. The spatial evolution of innovation networks: A proximity perspective [M]// Boschma R, Martin R. *The handbook of evolutionary economic geography*. Cheltenham, UK: Edward Elgar: 120-135.
- Boschma R, Ter Wal A L. 2007. Knowledge networks and innovative performance in an industrial district: The case of a footwear district in the south of Italy [J]. *Industry and Innovation*, 14(2): 177-199.
- Breschi S, Catalini C. 2009. Mobility of skilled workers and co-invention networks: An anatomy of localized knowledge flows [J]. *Journal of Economic Geography*, 9(4): 439-468.
- Broekel T. 2015. The co-evolution of proximities: A network level study [J]. *Regional Studies*, 49(6): 921-935.
- Broekel T, Balland P A, Burger M, et al. 2014. Modeling knowledge networks in economic geography: A discussion of four methods [J]. *The Annals of Regional Science*, 53(2): 423-452.
- Broekel T, Boschma R. 2012. Knowledge networks in the Dutch aviation industry: The proximity paradox [J]. *Journal of Economic Geography*, 12(2): 409-433.
- Broekel T, Hartog M. 2013. Explaining the structure of inter-organizational networks using exponential random graph models [J]. *Industry and Innovation*, 20(3): 277-295.
- Broekel T, Mueller W. 2018. Critical links in knowledge networks: What about proximities and gatekeeper organisations? [J]. *Industry and Innovation*, 25(10): 919-939.
- Buchmann T. 2015. *The evolution of innovation networks: An Automotive case study* [M]. Wiesbaden, German: Springer Gabler.
- Bunnell T G, Coe N M. 2001. Spaces and scales of innovation [J]. *Progress in Human Geography*, 25(4): 569-589.
- Cao Z, Derudder B, Peng Z W. 2019. Interaction between different forms of proximity in inter-organizational scientific collaboration: The case of medical sciences research network in the Yangtze River Delta region [J]. *Regional Science*, 98(1): 1-32.
- Caragliu A, Nijkamp P. 2015. Space and knowledge spillovers in European regions: The impact of different forms of proximity on spatial knowledge diffusion [J]. *Journal of Economic Geography*, 16(3): 749-774.
- Cassi L, Morrison A, Rabellotti R. 2015. Proximity and scientific collaboration: Evidence from the global wine industry [J]. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie (Journal of Economic & Social Geography)*, 106(2): 205-219.
- Cassi L, Plunket A. 2013. Research collaboration in co-inventor networks: Combining closure, bridging and proximities [J]. *Regional Studies*, 49(6): 936-954.
- Cassi L, Plunket A. 2015. Research collaboration in co-inventor networks: Combining closure [J]. *Regional Studies*, 49(6): 936-954.
- Castells M. 1996. *The rise of the network society* [M]. Oxford, UK: Blackwell.
- Chen C M. 2004. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization [J]. *PNAS*, 101(SI): 5303-5310.
- Chen C M. 2006. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(3): 359-377.
- Cohen W M, Levinthal D A. 1990. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation [J]. *Administrative Science Quarterly*, 35(1): 128-152.
- Cowan R, Jonard N, Ozman M. 2004. Knowledge dynamics in a network industry [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(5): 469-484.
- Davids M, Frenken K. 2018. Proximity, knowledge base and the innovation process: Towards an integrated framework [J]. *Regional Studies*, 52(1): 23-34.
- Dekker D, Krackhardt D, Snijders T A. 2007. Sensitivity of MRQAP tests to collinearity and autocorrelation Conditions [J]. *Psychometrika*, 72(4): 563-581.
- Drejer I, Østergaard C R. 2017. Exploring determinants of firms' collaboration with specific universities: Employee-driven relations and geographical proximity [J]. *Regional Studies*, 51(8): 1192-1205.
- Fernández-Olmos M, Ramírez-Alesón M. 2017. How internal and external factors influence the dynamics of SME technology collaboration networks over time [J]. *Technovation*, 64: 16-27.
- Freeman C. 1991. Networks of innovators: A synthesis of research issues [J]. *Research Policy*, 20(5): 499-514.
- Gallaud D, Torre A. 2005. Geographical proximity and the diffusion of knowledge [M]// Fuchs G, Shapira P. *Rethinking regional innovation and change: Path dependency or regional breakthrough*. New York: Springer: 127-146.
- Giuliani E, Bell M. 2005. The micro-determinants of meso-level learning and innovation: Evidence from a Chilean wine cluster [J]. *Research Policy*, 34(1): 47-68.
- Giuliani E. 2013. Network dynamics in regional clusters: Evidence from Chilean wine cluster [J]. *Research Policy*, 42(8): 1406-1419.
- Glückler J, Doreian P. 2016. Social network analysis and economic geography: Positional, evolutionary and multi-level approaches [J]. *Journal of Economic Geography*, 16(6): 1123-1134.
- Glückler J. 2007. Economic geography and the evolution of networks [J]. *Journal of Economic Geography*, 7(5): 619-

- 634.
- Graf H. 2011. Gatekeepers in regional networks of innovators [J]. *Cambridge Journal of Economics*, 35(1): 173-198.
- Graf H, Kalthaus M. 2018. International research networks: Determinants of country embeddedness [J]. *Research Policy*, 47(7): 1198-1214.
- Gui Q C, Liu C L, Du D B. 2018. Does network position foster knowledge production? Evidence from international scientific collaboration network [J]. *Growth and Change*, 49(4): 594-611.
- Hansen T. 2015. Substitution or overlap? The relations between geographical and non-spatial proximity dimensions in collaborative innovation projects [J]. *Regional Studies*, 49(10): 1672-1684.
- Hoekman J, Frenken K, Tijssen R J W. 2010. Research collaboration at a distance: Changing spatial patterns of scientific collaboration within Europe [J]. *Research Policy*, 39(5): 662-673.
- Hoekman J, Frenken K, VanOort F. 2009. The geography of collaborative knowledge production in Europe [J]. *Annals of Regional Science*, 43(3): 721-738.
- Huggins R, Prokop D. 2017. Network structure and regional innovation: A study of university-industry ties [J]. *Urban Studies*, 54(4): 931-952.
- Inkpen A C, Tsang E W. 2005. Social capital, networks and knowledge transfer [J]. *The Academy of Management Review*, 30(1): 146-165.
- Kauffeld M, Fritsch M. 2013. Who are the knowledge brokers in regional systems of innovation? A multi-actor network analysis [J]. *Regional Studies*, 47(5): 669-685.
- Knoben J, Oerlemans L. 2006. Proximity and inter-organizational collaboration: A literature review [J]. *International Journal of Management Reviews*, 8(2): 71-89.
- Leszczyńska D, Khachlouf N. 2018. How proximity matters in interactive learning and innovation: A study of the Venetian glass industry [J]. *Industry and Innovation*, 25(9): 1-23.
- Liu C L, Gui Q C. 2016. Mapping intellectual structures and dynamics of transport geography research: A scientometric overview from 1982 to 2014 [J]. *Scientometrics*, 109(1): 159-184.
- Liu Z, Yin Y, Liu W, et al. 2015. Visualizing the intellectual structure and evolution of innovation systems research: A bibliometric analysis [J]. *Scientometrics*, 103(1): 135-158.
- Maggioni M A, Nosvelli M, Uberti T E. 2007. Space versus networks in the geography of innovation: A European analysis [J]. *Papers in Regional Science*, 86(3): 471-493.
- Maggioni M, Uberti E. 2011. Networks and geography in the economics of knowledge flows [J]. *Quality and Quantity*, 45(5): 1031-1051.
- McKelvey M, Alm H, Riccaboni M. 2003. Does co-location matter for formal knowledge collaboration in the Swedish biotechnology-pharmaceutical sector? [J]. *Research Policy*, 32(3): 483-501.
- Miørner J, Zukauskaitė E, Trippel M, et al. 2018. Creating institutional preconditions for knowledge flows in cross-border regions [J]. *Environment and Planning C*, 36(2): 201-218.
- Mitze T, Strotebeck F. 2019. Determining factors of interregional research collaboration in Germany's biotech network: Capacity, proximity, policy? [J]. *Technovation*, 80(3): 40-53.
- Morgan K. 2004. The exaggerated death of geography: Learning, proximity and territorial innovation systems [J]. *Journal of Economic Geography*, 4(1): 3-21.
- Morrison A. 2008. Gatekeepers of knowledge within industrial districts: Who they are, how they interact [J]. *Regional Studies*, 42(6): 817-835.
- Narula R, Hagedoorn J. 1999. Innovating through strategic alliances: Moving towards international partnerships and contractual agreements [J]. *Technovation*, 19(5): 283-294.
- Nepelski D, Prato G D. 2018. The structure and evolution of ICT global innovation network [J]. *Industry and Innovation*, 25(10): 940-965.
- Nonaka I, Takeuchi I H. 1995. *The knowledge-creating company* [M]. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Nooteboom B. 2000. Learning by interaction: Absorptive capacity, cognitive distance and governance [J]. *Journal of Management and Governance*, 4(1): 69-92.
- Nooteboom B, Haverbeke W, Duysters G, et al. 2007. Optimal cognitive distance and absorptive capacity [J]. *Research Policy*, 36(7): 1016-1034.
- Oerlemans L, Meeus M. 2005. Do organizational and spatial proximity impact on firm performance? [J]. *Regional Studies*, 39(1): 89-104.
- Owen-Smith J, Powell W W. 2004. Knowledge networks as channels and conduits: The effects of spillovers in the Boston Biotechnology Community [J]. *Organization Science*, 15(1): 5-21.
- Ponds R, Van Oort F, Frenken K. 2007. The geographical and institutional proximity of research collaboration [J]. *Regional Science*, 86(3): 423-443.
- Powell W W, White D R, Koput K W, et al. 2005. Network dynamics and field evolution: The growth of interorganizational collaboration in the life sciences [J]. *American Journal of Sociology*, 110(4): 1132-1205.
- Rallet A, Torre A. 1999. Is geographical proximity necessary in the innovation network in the era of global economy? [J]. *GeoJournal*, 49(4): 373-380.
- Rivera M T, Soderstrom S B, Uzzi B. 2010. Dynamics of dyads in social networks: Assortative, relational, and proximity

- ty mechanisms [J]. *Annual Review of Sociology*, 36: 91-115.
- Romero C C. 2018. Personal and business networks within Chilean biotech [J]. *Industry and Innovation*, 25(9): 1-33.
- Scherngell T, Hu Y J. 2011. Collaborative knowledge production in China: Regional evidence from a Gravity Model approach [J]. *Regional Studies*, 45(6): 755-772.
- Singh J. 2005. Collaborative networks as determinants of knowledge diffusion patterns [J]. *Management Science*, 51(5): 756-770.
- Tahmooresnejad L, Beaudry C. 2018. The importance of collaborative networks in Canadian scientific research [J]. *Industry and Innovation*, 25(10): 990-1029.
- Tanner A. 2016. The emergence of new technology-based industries: The case of fuel cells and its technological relatedness to regional knowledge bases [J]. *Journal of Economic Geography*, 16(3): 611-635.
- Ter Wal A L, Boschma R. 2009. Applying social network analysis in economic geography: Framing some key analytic issues [J]. *The Annals of Regional Science*, 43(3): 739-756.
- Ter Wal A L, Boschma R. 2011. Co-evolution of firms, industries and networks in space [J]. *Regional Studies*, 45(7): 919-933.
- Torre A. 2008. On the role played by temporary geographical proximity in knowledge transmission [J]. *Regional Studies*, 42(6): 869-889.
- Torre A, Gilly J P. 2000. On the analytical dimension of proximity dynamics [J]. *Regional Studies*, 34(2): 169-180.
- Torre A, Rallet A. 2005. Proximity and localization [J]. *Regional Studies*, 39(1): 47-59.
- Wanzenböck I, Scherngell T, Lata R. 2015. Embeddedness of European regions in European Union-funded research and development (R&D) networks: A spatial econometric perspective [J]. *Regional Studies*, 49(10): 1685-1705.
- Watts D J. 2003. *Six degrees: The science of a connected age* [M]. New York, USA: Norton & Company.

International research on the evolution mechanisms of innovation networks

GU Weinan^{1,2,4}, LIU Hui^{1,2,3*}, WANG Liang^{1,2,4}

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China;

3. College of Resource and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The research of innovation networks is a hot topic in innovation geography, and the evolution mechanisms of innovation networks are one of the core issues in the research of innovation networks. Based on CiteSpace knowledge map and deep literature analysis, this article summarizes the international research on the evolution mechanisms of innovation networks. The results show that: The endogenous effects of networks, including the overall characteristics, embeddedness, externality, technology gatekeeper, and absorptive capacity of networks, mainly reflect the evolution of innovation networks in terms of the degree of dependence of organizations on local areas, the absorptive capacity of external knowledge, and the ability to control overall networks. The characteristics of network organizations, which are embodied in the scale, nature, and size of different organizations, also have effects on the evolution of innovation networks. Multidimensional proximities play an important role in the evolution of innovation networks, and the single proximity and multidimensional proximities have periodic characteristics for the evolution of innovation networks. The evolution mechanisms of innovation networks differ at various stages of development, and the combination modes among mechanisms are also different. Finally, based on the analysis of the contents and methods of international research on the evolution mechanisms of innovation networks, the shortcomings of current research and directions for future research are put forward.

Keywords: innovation networks; evolution mechanisms; proximity; international research