

段德忠, 杜德斌, 谌颖, 等. 中国城市创新网络的时空复杂性及生长机制研究[J]. 地理科学, 2018, 38(11): 1759-1768. [Duan Dezhong, Du Debin, Chen Ying et al. Spatial-temporal Complexity and Growth Mechanism of City Innovation Network in China. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(11): 1759-1768.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.11.003

中国城市创新网络的时空复杂性及生长机制研究

段德忠^{1,2}, 杜德斌^{1,2}, 谌颖², 翟庆华^{1,2}

(1. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062; 2. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200062)

摘要:以国家知识产权局专利转让记录为数据源, 采用大数据挖掘与分析技术、空间分析技术、复杂网络模型和负二项回归模型, 系统描绘了2001~2015年中国城市创新网络的拓扑结构、空间结构和生长机制。研究发现: ① 中国城市创新网络规模迅速扩张, 在两极分化下涌现出显著的小世界性和等级层次性, 以北京、上海、深圳为核心的核心-边缘格局不断强化; ② 以三角结构为基础的中国城市创新网络的四边形格局逐渐形成, 京津、长三角、珠三角是中国城市专利转移的核心三角; ③ 中国城市创新网络的生长与城市科技创新实力显著相关, 且受到地理距离的阻抗作用, 凸显出强烈的地理邻近性, 另外城市经济发展水平相似度和产业结构相似度也是影响城市创新网络生长的重要因素。

关键词: 专利转让; 城市创新网络; 结构异质性; 时空演化; 生长机制

中图分类号: K902 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2018)11-1759-10

进入21世纪以来, 随着全球化深入发展和产业价值链的细化分解, 创新资源越来越明显地突破组织的、地域的、国家的界限, 在全球范围内自由流动, 世界进入以创新要素全球流动为特征的开放创新时代^[1]。在此背景下, 以跨国公司为主导的全球技术创新网络与以大学为主导的全球知识创新网络及地方创新系统叠加耦合, 交织成立体化的全球-地方创新网络^[2]。在这个全球-地方创新网络中, 国家间的科技竞争已经转化至以城市为基本空间单元的全球科技创新中心的竞争上, 谁拥有世界级的科技创新城市, 谁就能最大程度吸引全球创新要素, 从而在国际竞争中获得战略主动权^[1,3]。当前, 北京、上海、深圳纷纷努力建设全球有影响力的科技创新中心, 武汉、成都、重庆等城市也努力创建国家科技创新中心, 试图在这个全球-地方创新网络中占据有利地位。《“十三五”国家科技创新规划》指出, 深入实施创新驱动发展战略, 必须建设高效协同的国家创新体系。因此, 探讨中国城市创新网络的结构复杂

性及其生长机理具有重要的现实意义。

在人文社会科学空间转向和新经济地理学关系-文化转向的碰撞下, 创新网络逐渐成为研究区域知识溢出、创新与技术扩散、区域发展路径、创新集群等现实问题的主要途径^[4,5]。综合现有创新网络研究发现, 较为一致的集中于创新网络特征的揭示: 研究内容包括创新网络的拓扑性质^[6,7]、创新网络的空间格局^[8,9]、创新网络的演化过程^[10,11]、以邻近性机理为主的创新网络演化机制^[12-15]等; 研究尺度涉及范围颇广, 从以企业、组织为代表的微观创新主体^[16], 至以城市、区域、国家甚至全球的宏观空间单元^[17,18]; 研究方法多基于复杂网络理论, 应用系列网络模型和空间计量模型对网络特征进行挖掘。研究结果普遍揭示出创新网络的无标度性、小世界性、等级层次性、空间集聚性等特性^[19-21], 也广泛验证了认知邻近性、社会邻近性、组织邻近性、制度邻近性以及地理邻近性是影响创新网络演化的重要因素^[22-24]。然而在这一一致性的背后, 也凸显了诸多分歧, 而其中最大的分歧就在

收稿日期: 2017-11-11; **修订日期:** 2018-01-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471108)、上海哲学社会科学规划项目(2018EJL003)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China(41471108), Philosophical and Social Science Foundation of Shanghai(2018EJL003).]

作者简介: 段德忠(1989-), 男, 江苏溧阳人, 博士后, 主要从事创新地理学研究。E-mail: dezhong_tuan@163.com

通讯作者: 翟庆华, 副教授。E-mail: qzhai@re.ecnu.edu.cn

于创新网络邻接矩阵的构建上。对于创新网络而言,大部分学者采用参量替代方法来建构创新网络,如以科研论文合作为代表的知识合作^[24,25],以联合申请专利为代表的技术合作^[26],以企业空间组织为代表的跨国公司研发合作^[27,28]成为城市创新网络的3种主要构建方法。还有少部分学者采用模型拟合来建构网络,多以区域创新实力评价为基础,基于创新空间引力重构重力模型测度区域创新联系强度及格局^[29]。

虽然在科技全球化下,当今世界已进入一个被称为“国际合作”的时代。但与论文不同,专利因排他性,以及直接与个人或企业经济利益和行业地位挂钩从而使得“合作”在专利领域显得“势单力薄”,且多表现在以个人为单位的专利申请,或以政府组织的国际技术合作上。而以企业为单位的专利申请,尤其是全球顶尖科技创新型企业,因其力保技术的独立性基本不存在专利合作申请的情况,这造成合作专利数量在整个专利申请量中所占比重较小,不能够体现整个创新技术领域的复杂动态联系,因而以往以专利合作为媒介构建的创新网络就值得商榷。通过检索中国国家知识产权局(SIPO)和美国专利与商标局(USPTO)关于专利申请、专利合作和专利转移数据库发现,以专利权转让为体现的“专利收购”和以技术复制为体现的“专利许可”是专利领域产生联系的主要方式。其中“专利许可”多发生在大企业之间,“专利转让”则多发生在企业与个人之间,或大企业与小企业之间。由于中国技术市场创新独角兽企业数量有限,使得技术市场中专利许可量较专利转让量少之甚多,2015年中国技术市场专利许可量18 072件,而专利转让量则达到117 069件。事实上,以专利转让为媒介构建区域创新网络已经成为当前学术界的主流,但多集中于省级空间尺度的规律揭示^[30-32]。

基于此,本文以国家知识产权局专利检索及分析平台2001~2015年专利转让记录为数据源,采用大数据挖掘与分析技术、地理信息编码技术获取341个中国城市间(包括4个直辖市;286个地级市;14个地区;3个盟;30个自治州;4个省直管县级市:潜江市、天门市、仙桃市和济源市)专利转移信息,采用复杂网络和空间统计方法,绘制了中国城市创新网络的动态演化图谱,并应用负二项式回归和引力模型研究了中国城市创新网络的生长

机制,以尝试做出有益的补充。

1 研究方法

1.1 以专利转让为媒介的城市创新网络建构

基于大数据挖掘与分析技术、地理信息编码技术,以城市间的专利转让量为媒介,从而构建中国城市创新网络,具体思路如下:

1) 专利转让数据挖掘:采用大数据挖掘手段,以国家知识产权局专利检索及分析平台为数据源,通过检索专利法律状态关键词——“转移”,从而获取2001~2015年中国专利转让详情数据,共计648 654条。在剔除国际间(193 775条)和地址无法识别(7 263条)的专利转让记录后,得到本文最终数据447 616条专利转让记录^[33,34]。

2) 专利空间信息提取:以邮编库网站(www.youbianku.com)关于地级市邮政编码归类数据库为数据源,同时考虑到行政区划调整带来的邮政编码归属问题,本文以国家统计局发布的2015年县及县以上行政区划代码(发布日期:2016-08-09)为修正依据,从而获取中国341个城市33 610个邮政编码。

3) 网络建构:借鉴图论构造中国城市创新网络连通图 $G=(V, E)$, $N=|V|$ 为网络节点(城市)数, $M=|E|$ 为网络边(城市间的专利转让关系)数。中国城市创新网络的建构,使得可以借助系列网络统计特征量(加权度中心性、加权邻近中心性和加权介数中心性)来研究中国城市创新网络的等级层次性^[24]。

1.2 城市创新网络生长机制测度模型

鉴于城市间的专利转移量为非负整数,且被解释变量的方差明显大于期望,存在“过度分散”。因此,引力模型和负二项式回归方法被引入研究中国城市创新网络的生长机制^[24,35]:

$$TT_{ij} = \alpha + \beta_1 PatApl_i + \beta_2 PatApl_j + \beta_3 GeoDis_{ij} + \beta_4 EcoSim_{ij} + \beta_5 IndStr_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

式中, α 为常数项; ε_{ij} 为随机误差项; TT_{ij} 为城市*i*与城市*j*之间的专利转移量,也是本文的被解释变量; $PatApl_i$ 和 $PatApl_j$ 分别为城市*i*与城市*j*的专利申请量,同时作为引力模型中城市质量的代理变量; $GeoDis_{ij}$ 为城市*i*与城市*j*之间的地理距离; $EcoSim_{ij}$ 为城市*i*与城市*j*的经济发展水平相似度虚拟变量,如果两城市地区生产总值皆高于地区生产总值的均值(全国城市地区生产总值的均值),则赋值为1,否则为0; $IndStr_{ij}$ 为城市*i*与城市*j*之间的产业结构相似度,通过构建产业结构相似度模型来

测算^[31],计算公式如下:

$$IndStr_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^k [(Ind_{i,k} - \overline{Ind}_i)(Ind_{j,k} - \overline{Ind}_j)]}{\sqrt{\sum_{k=1}^k (Ind_{i,k} - \overline{Ind}_i)^2 \sum_{k=1}^k (Ind_{j,k} - \overline{Ind}_j)^2}} \quad (2)$$

式中, $IndStr_{ij}$ 为城市 i 和城市 j 的产业结构相似度, $Ind_{i,k}$ 为城市 i 产业 k 的产出占总产出的比重, \overline{Ind}_i 是 $Ind_{i,k}$ 的均值, k 是产业的数量。由于本文采取划分时段来研究中国城市创新网络的时空演化及其生长机制,因此上述变量皆采用各时段平均值进行回归,其中各市专利申请量来源于国家知识产权局专利检索及分析数据库;各市 GDP 和各产业产值则以 2002~2016 年的中国城市统计年鉴为基础,以各省、市、自治区的统计年鉴为补充;城市间的距离则基于 ArcGIS 空间分析技术获取城市间的直线距离。

2 中国城市创新网络的时空复杂性

2.1 两极分化显著,但网络关系密切

2001~2015 年,中国城市创新网络规模迅速扩

张,网络中节点数和边数分别由 2005 年末的 274 个和 703 条增加至 2015 年末的 338 个和 6 447 条,网络 e 值(网络中边数与节点数之比)更是由 2005 年末的 2.57 上升至 2015 年末的 19.07,表明中国城市创新网络逐渐由一稀疏网络生长为稠密的复杂网络,但在复杂性发育的过程中,中国城市创新网络节点发育呈现出显著的差异性,两极分化严重(表 1)。

由加权度中心性和加权介数中心性测度的节点在网络中绝对地位凸显出中国城市创新网络两极分化严重,其中加权度中心性的变异系数在这 15 a 中保持在 3.1 以上,基尼系数也接近 0.8,加权介数中心性测度的变异系数更是维持在 4.5 以上,基尼系数保持在 0.9 左右,表明在参与创新技术转移的城市数量不断增加情境下,中国城市创新网络呈现出强劲的离散趋势和极度不均衡特征。

加权邻近中心性测度是网络中的关系地位,即节点与网络中心的关系紧密程度。2001~2015 年,北京市以绝对优势的专利转移量始终占据网络中心地位,而网络中其他城市节点中大部分都与北京市产生直接的创新技术联系(2001~2005

表 1 2001~2015 年中国城市创新网络复杂性统计特征量

Table 1 Statistics of complexity of city innovation network in China from 2001 to 2015

统计特征	统计指标	2001~2005 年	2006~2010 年	2011~2015 年
网络规模	节点数	274	319	338
	边数	703	2362	6447
	密度	0.025	0.047	0.107
	网络直径	6(9)	5(8)	4(8)
小世界性	平均聚类系数	0.420(0.025)	0.501(0.024)	0.606(0.026)
	平均路径长度	2.739(2.829)	2.314(2.745)	1.968(2.742)
无标度性	加权度中心性幂律拟合	$y=4828.3x^{-1.481}$ ($R^2=0.9496$)	$y=60759x^{-1.631}$ ($R^2=0.8821$)	$y=493821x^{-1.713}$ ($R^2=0.8103$)
	加权度中心性指数拟合	$y=72.556e^{-0.021x}$ ($R^2=0.9172$)	$y=428.71e^{-0.018x}$ ($R^2=0.9466$)	$y=2628.4e^{-0.018x}$ ($R^2=0.9336$)
度中心性	平均加权度	26.288	119.937	602.138
	度中心势	0.967	0.975	0.975
	变异系数	3.267	3.302	3.152
	基尼系数	0.794	0.799	0.794
邻近中心性	平均邻近性	0.375	0.441	0.514
	邻近中心势	0.650	0.621	0.679
	变异系数	0.159	0.136	0.111
	基尼系数	0.088	0.074	0.053
介数中心性	平均介数	202.598	208.220	167.484
	变异系数	4.680	5.072	4.588
	基尼系数	0.895	0.900	0.891

注:括号内数值为同等规模随机网络的统计特征值。

年,236个城市节点中有116个城市直接与北京产生联系;2006~2010年,318个城市节点中有212个城市直接与北京市产生联系;2011~2015年,338个城市有302个城市直接与北京市产生联系),因而城市节点的加权邻近中心性的变异系数和基尼系数皆较小,表明虽然中国城市创新网络两极分化显著,但网络关系非常密切。

2.2 渐失无标度性,小世界性表现强劲

2001~2015年,伴随着规模的迅速扩张,中国城市创新网络逐渐失去其无标度特性,向小世界网络演化(表1):2001~2005年,虽然中国城市创新网络的平均聚类系数(0.420)显著大于同等规模的随机网络^①(0.025),但平均路径长度(2.739)与同等规模的随机网络(2.829)非常接近,小世界特征不太明显。另外,加权度中心性的位序-规模分布函数呈现出良好的幂律分布,优于指数分布,表现出的一定的无标度特性。

2006~2015年,与同等规模随机网络相比,中国城市创新网络均具有较大的平均聚类系数和较小的平均路径长度,且随着时间的推移,网络的平均聚类系数和平均路径长度分别呈现出明显上升和下降的趋势,其中网络平均聚类系数由2005年末的0.420上升至2015年末的0.606,网络平均路径长度由2005年末的2.739下降至2015年的1.968,中国城市创新网络的小世界特性愈发强劲。另外,网络直径也由2005年末的6下降至2015年末的4,而且期间2个时段的加权度中心性的位序-规模分布函数均呈现出良好的指数分布,拟合精度明显高于幂律分布。

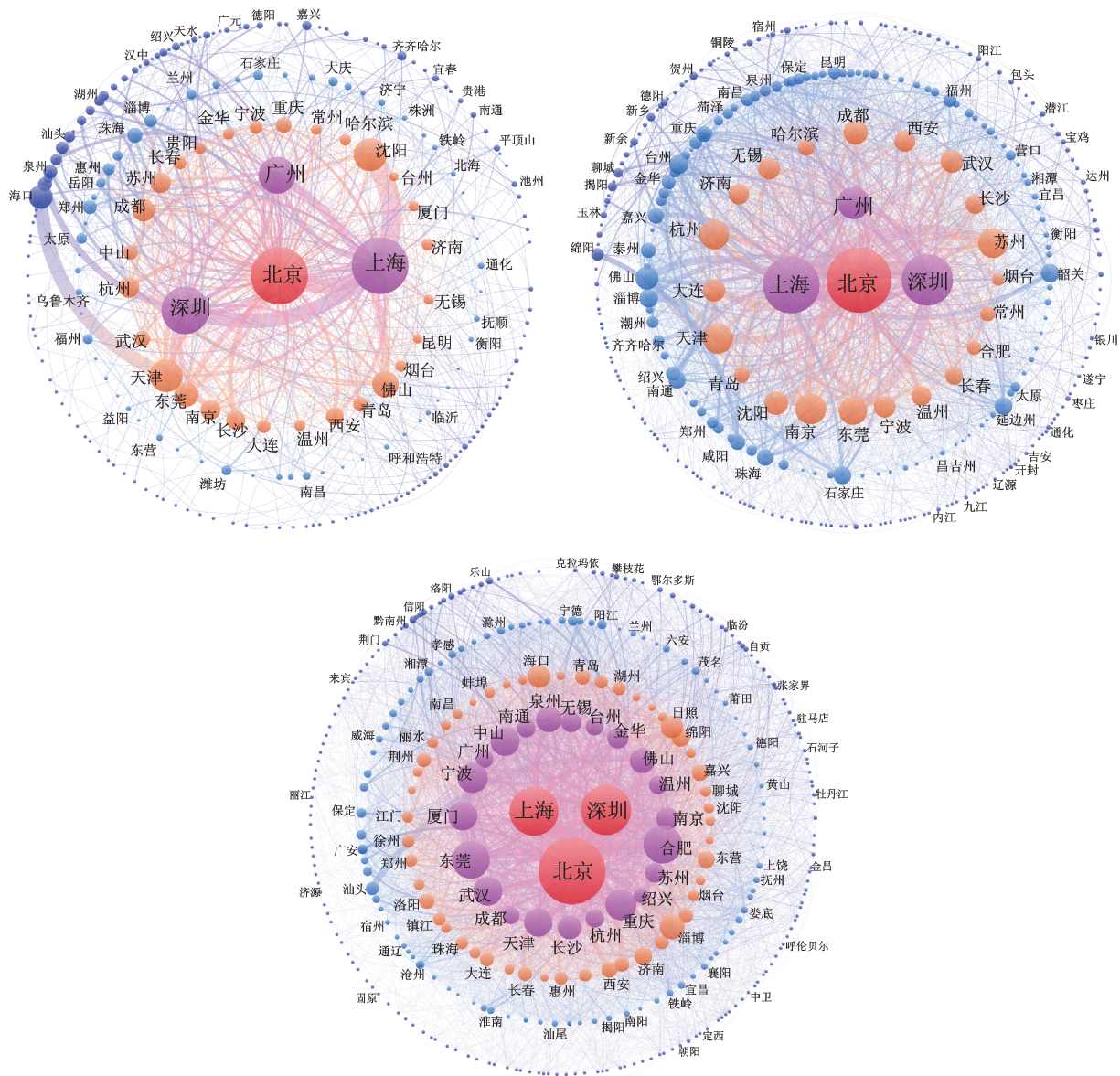
2.3 等级层次性涌现,核心边缘格局显著

中心势是衡量整个网络中心化程度的重要指标,2001~2015年,中国城市创新网络的度中心势基本维持在0.97左右,邻近中心势也基本维持在0.65左右,表明整个网络具有比较明显的向某个城市或某些城市集中的趋势,存在显著的“核心-边缘”结构(表1)。而根据加权度中心性,基于Pajek块模型分析中的层次聚类算法(Hierarchical clustering)识别的中国城市创新网络的等级层次性也印证了这一点。2001~2015年,中国城市创新网络由单核心圈层结构向多核心圈层结构渐进发育,涌现出金字塔结构的等次层次性,以北京、上海、深圳为核心的“中心-外围”格局不断夯实(图1)。

2001~2010年,中国城市创新网络明显形成了以北京为单核心的圈层结构,北京市在2001~2005年和2006~2010年这2个时段分别以779件和4674件的专利转移量位居全国之首,成为网络核心。上海、深圳和广州3个城市以稍低于北京的专利转移量,从而构成了此阶段中国城市创新网络的第二圈层,这3个城市各项指标大致相当,网络性质相似,且皆承担着全国或区域性的技术集散中心角色。而在第三至第五圈层上,2001~2005年和2006~2010年这2个时段产生了细微的差别。其中,2001~2005年,位居第三圈层的城市多达28个,以长三角地区和珠三角地区城市居多,也涵盖诸如武汉、成都、长沙、哈尔滨这些中西部地区的省会城市;位居第四圈层和第五圈层的城市分别有59个和183个,这些城市大多位于中西部地区,专利转移量较少或仅与少数城市产生技术联系,如海口市,虽然其专利转移量达到135个,但仅与天津这一个城市产生技术联系。2006~2010年,位居第三圈层的城市减少至21个,诸如台州、金华、贵阳、哈尔滨、昆明等城市皆退至第四圈层,第三圈层的城市仍然集中在长三角地区和珠三角地区;位居第四圈层的城市增加至101个,多为东部沿海地区科技创新实力相对较弱的城市和中西部地区科技创新实力相对发达的城市;其余193个城市组成第五圈层,主要为中西部地区科技创新实力相对较弱的城市。

2011~2015年,中国城市创新网络由上一阶段的以北京为核心的单中心圈层结构进化为以北京、上海、深圳为核心的多中心圈层结构,虽然此阶段北京市仍然以24469件的专利转移量遥遥领先,位居全国首位,但上海、深圳的专利转移量也分别达到13687件和13104件,逐渐拉大与其他城市的差距,从而跻身核心圈层。位居第二圈层的城市数量达到22个,除武汉、成都、长沙、重庆和天津以外,其余城市皆位于长三角和珠三角地区,其中,苏州以8029件的专利转移量位居全国第四,南通以7667件的专利转移量位居全国第五。第三圈层的城市数量也增加至50个,以东部沿海其他地区城市(如山东半岛城市群地区)和中西部科技创新实力相对较强的城市组成;第四圈层和第五圈层的城市数量分别为91个和154个,多为中西部地区科技创新实力相对较弱的城市。

① 随机网络生成方法:基于Gephi软件,用同一时段相同节点数,按0.05的连接率生成。



图中节点大小与该节点的加权重中心性成正比,边粗细与专利转移数量正相关

图1 2001~2015年中国城市创新网络的等级层次结构演化

Fig.1 Evolution of hierarchical structure of city innovation network in China from 2001 to 2015

2.4 以三角为架构的四边形格局逐渐清晰

基于ArcGIS网络分析平台,将中国城市创新网络拓扑关系转换至空间联系,从而建构中国城市创新空间网络数据库(图2)。研究发现,2001~2015年,三角结构是中国城市创新网络生长的基础组织单元,京津地区,长三角地区和珠三角地区组成了中国城市创新网络的核心三角,同时随着城市科技创新实力的增强,成渝地区逐渐成为中国中西部地区的创新技术集散中心,与京津地区,长三角地区和珠三角地区共同架构了中国城市创

新网络的四边形格局:

2001~2005年,虽然中国城市创新网络274个节点仅生成703条边,但这一稀疏的网络仍然孕育出中国城市创新网络的三角框架雏形结构,如京津地区-长三角地区-珠三角地区;京津地区-辽中南地区-长三角地区;辽中南地区-长三角地区-珠三角地区,这4个地区之间的专利转移量占到整体的86.45%。这种三角雏形结构也使得中国专利转移多以跨区域进行,其中,沈阳与上海之间的专利转移量为183件,成为此阶段空间联系最为紧密的

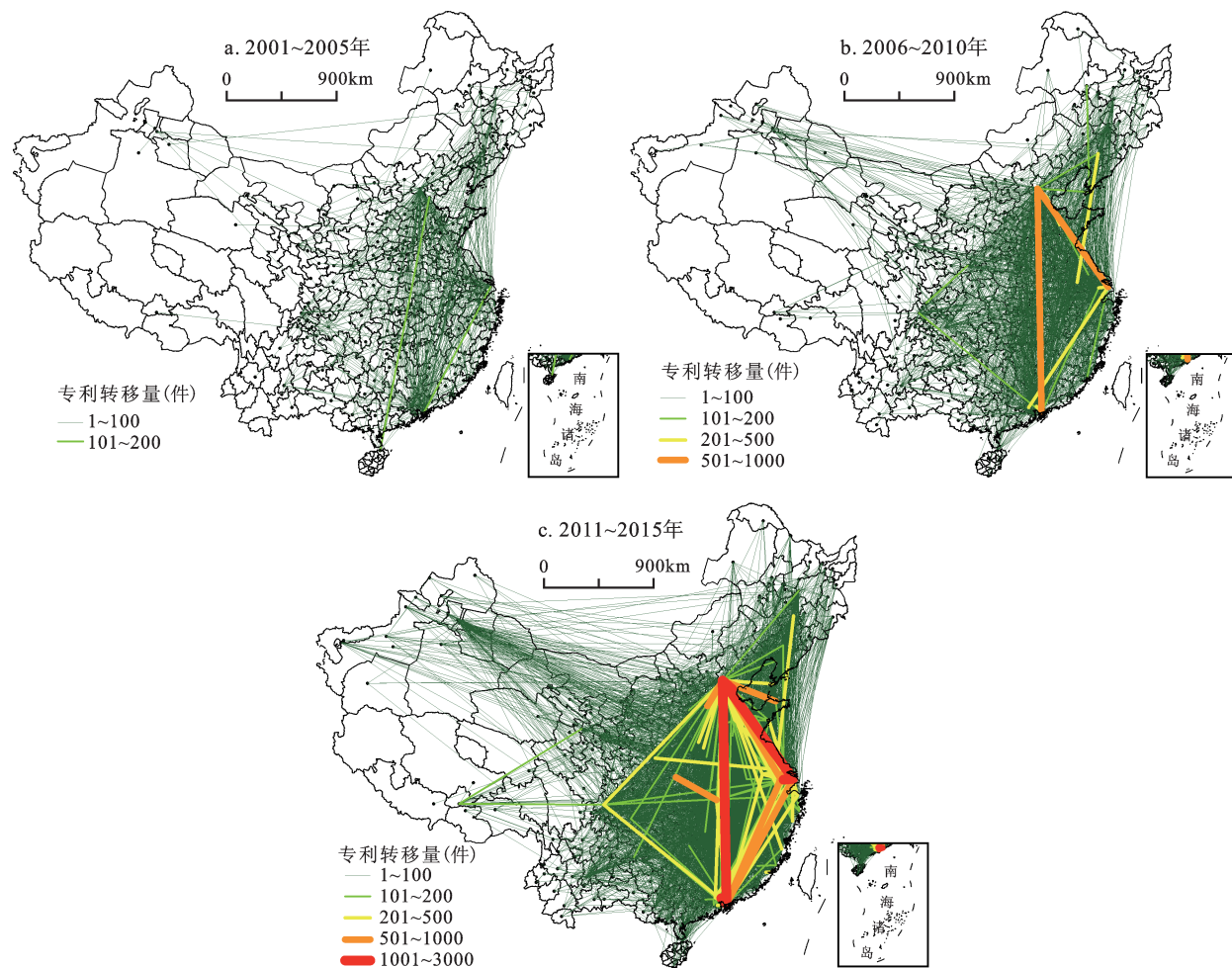


图2 2001~2015年中国城市创新网络的时空演化格局

Fig.2 Spatial-temporal evolution pattern of city innovation network in China from 2001 to 2015

2个城市,上海和深圳之间的专利转移量为129件,上海和北京之间的专利转移量为126件,天津和海口之间的专利转移量为120件。

2006~2010年,随着城市科技创新实力的迅速提升,城市间的创新联系也迅速增加,中国城市创新网络的三角框架雏形结构继续生长,除上一阶段的三个三角结构外,这阶段还生长出京津地区-成渝地区-珠三角地区、珠三角地区-成渝地区-长三角地区,京津地区-关中地区-珠三角地区等若干个跨区域专利转移三角结构,而京津地区-长三角地区-珠三角地区的三角结构逐渐成为中国城市创新网络的核心三角,其中北京和深圳之间的专利转移量达到601件,成为此阶段创新联系最为密切的2个城市,北京和上海之间的专利转移量也达到548件,位居第二。另外,中国城市专利转移

也由上一阶段倾向于跨区域活动转向此阶段跨区域和区域内转移并重,如长三角地区的上海和苏州之间的专利转移量就达到345件,位居第三;京津地区的北京和天津之间的专利转移量也达到240件,位居第六。

2011~2015年,京津地区-长三角地区-珠三角地区这一核心三角在中国城市创新网络中的地位趋于稳固,其中北京和上海之间的专利转移量达到2073件,深圳和北京之间的专利转移量也达到1458件,深圳和上海之间的专利转移量为743件。这一阶段,中国城市创新网络继续发育出多个三角结构,如京津地区-山东半岛地区-辽中南地区,京津地区-关中地区-长三角地区,京津地区-山东半岛地区-长三角地区,长三角地区-闽南地区-珠三角地区,京津地区-成渝地区-长三角地区等。在这些三角架构生长发育的过程中,中国

城市创新网络以三角为架构的四边形格局逐渐清晰,除京津地区、长三角地区、珠三角地区外,以成都为核心的成渝地区逐渐生长为中国中西部地区的创新技术集散中心。但相较于上2个阶段,中国城市创新网络在这一阶段更加注重区域内的专利转移,城市技术转移的地理邻近性特征逐渐凸显,如上海和苏州之间的专利转移量达到1 556件,位居第二;深圳和东莞之间的专利转移量为1 077件,位居第四;北京和天津之间的专利转移量为1 023件,位居第五;深圳和惠州之间的专利转移量也达到789件,位居第七。

3 中国城市创新网络的生长机制

通过对模型进行检验发现,样本方差远大于样本均值,而且Alpha的置信区间在5%的显著性水平上拒绝“过度分散”参数“Alpha=0”的原假设,即本文使用引力模型和负二项回归方法正确^[31],模型的回归结果如表2所示。

表2 中国城市创新网络生长机制的负二项回归结果

	2001~2005年	2006~2010年	2011~2015年
城市 <i>i</i> 专利申请量	1.632*** (0.268)	2.039*** (0.156)	2.935*** (0.127)
城市 <i>j</i> 专利申请量	1.692*** (0.240)	2.118*** (0.173)	2.987*** (0.111)
经济发展水平相似度	0.280** (0.144)	0.629*** (0.100)	0.726*** (0.070)
地理距离	0.117 (0.722)	-2.003*** (0.235)	-2.875*** (0.196)
产业结构相似度	0.450 (0.379)	0.818*** (0.324)	0.510*** (0.228)
常数	-0.301 (-0.361)	0.278 (0.317)	-0.937 (0.230)
样本量	704	2362	6447
Alpha	0.824	1.049	1.172
Wald chi2	113.83	464.03	2086.18
Prob > chi2	0.0000	0.0000	0.0000
Log pseudolikelihood	-1623.4576	-6289.9496	-19412.097

注:** $P < 0.05$,*** $P < 0.01$;括号内数字为标准误差。

2001~2015年,城市专利申请量是影响城市创新网络生长的重要因素,且影响程度呈持续强化趋势。城市间专利转让规模与各自的专利申

请规模成正比,即申请的专利越多,两城之间存在技术交易的可能性及交易量越大,表明中国城市创新网络存在显著的强强联合、合作共赢的网络演化态势,这与以往以专利合作为媒介构建的城市创新网络和以专利转让构建的省际创新网络的研究结论一致。2001~2015年,城市经济发展水平对城市间专利技术转移的影响程度逐渐提升,突显出中国城市专利技术转移越来越多的发生在经济发展水平相近的城市之间,城市间的经济发展水平越接近,相应的技术需求越一致,越能促进技术交易规模,这与城市创新网络演化机制中的经济邻近性分析结论一致,如任龙等对中国各省城之间的专利交易机制研究发现,省际经济水平差距越大,专利交易量就越少^[31]。

2001~2015年,城市间的地理距离对城市专利技术转移的阻抗作用愈发凸显,即城市之间的地理距离与交易的专利数量呈显著的负相关。其中,2001~2005年城市间的地理距离对城市专利技术转移的影响还不显著,而进入后2个时段则涌现出了显著的阻抗作用,2001~2005年,中国城市技术转移的平均地理距离为833.92 km,而大于这一距离的城市技术转移样本量有297个,且这297个样本量专利转移总量为1 748件,占整体数量的比重达到57.48%。而2006~2010年和2011~2015年,中国城市技术转移的平均地理距离分别达到856.40 km和917.90 km,且大于这一距离的城市技术转移样本量分别有994个和2 664个,而在这994和2 664个样本量中,专利转移总量分别只占到总体41.79%和36.95%,由此可见虽然中国城市技术转移的距离不断在增加,但长距离的技术转移量占整体比重却不断下降,中国城市创新网络生长的地理邻近性逐渐凸显。

2001~2015年,城市产业结构相似度对城市创新网络生长的影响程度呈现出波动下降的趋势,但仍然对城市间专利技术转移产生正相关影响。其中,2001~2005年城市间的产业结构相似度对城市专利技术转移的影响还不显著,而后2个阶段则对城市专利技术转移产生了一定的正向影响,即城市间产业体系越相近,则技术转移量就越大。这一研究结论与已有关于省际技术转移网络研究结论不一致^[31],表明城市产业结构相似度对城市创新网络生长的影响存在空间尺度依赖性,但随着影响程度的降低,这种尺度依赖性也在降低。

4 结论

本文以国家知识产权局专利转让记录为数据来源,采用大数据挖掘与分析技术、空间分析技术和负二项回归模型,系统描绘了2001~2015年中国城市创新网络的拓扑结构、空间结构和生长机制,得出以下结论:

1) 2001~2015年,中国城市创新网络规模迅速扩张,逐渐由一稀疏网络生长为稠密的复杂网络,且在复杂性发育的过程中渐失其无标度特性,小世界性越发强劲;另外,15年间中国城市创新网络由单核心圈层结构向多核心圈层结构渐进发育,涌现出金字塔结构的等次层次性,以北京、上海、深圳为核心的“中心-外围”格局不断夯实。

2) 2001~2015年,三角结构是中国城市创新网络生长的基础组织单元,京津地区,长三角地区和珠三角地区组成了中国城市创新网络的核心三角,同时随着城市科技创新实力的增强,成渝地区逐渐成为中国中西部地区的创新技术集散中心,与京津地区,长三角地区和珠三角地区共同架构了中国城市创新网络的四边形格局。

3) 生长机制上,通过引力模型和负二项式回归分析发现,中国城市创新网络生长与以专利申请量为代表的城市科技创新实力显著正相关,且受到地理距离的阻抗作用,突显出强烈的地理邻近性。经济发展水平相似度和产业结构相似度也是影响城市创新网络生长的重要因素,但经济发展水平相似度对城市创新网络生长的影响程度逐渐提升,而产业结构相似度对城市创新网络生长的影响程度呈现波动下降的趋势。

参考文献(References):

- [1] 杜德斌. 全球科技创新中心: 动力与模式[M]. 上海: 上海人民出版社, 2015:9-16. [Du Debin. Global S&E innovation center: Motivation and model. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2015:9-16.]
- [2] 司月芳,曾刚,曹贤忠,等. 基于全球—地方视角的创新网络研究进展[J]. 地理科学进展, 2016, 35(5): 600-609. [Si Yuefang, Zeng Gang, Cao Xianzhong et al. Research progress of global innovation networks. Progress in Geography, 2016,35(5): 600-609.]
- [3] 段德忠, 杜德斌, 刘承良. 上海和北京城市创新空间结构的时空演化模式[J]. 地理学报, 2015, 70(12): 1911-1925. [Duan Dezhong, Du Debin, Liu Chengliang. Spatial-temporal evolution mode of urban innovation spatial structure: A case study of

- Shanghai and Beijing. Acta Geographica Sinica, 2015,70(12): 1911-1925.]
- [4] 吕拉昌,黄茹,廖倩. 创新地理学研究的几个理论问题[J]. 地理科学, 2016, 36(5):653-661. [Lyu Lachang, Huang Ru, Liao Qian. Several theoretical issues on innovation geography. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36 (5): 653-661.]
- [5] 连远强. 国外创新网络研究述评与区域共生创新战略[J]. 人文地理, 2016(1):26-32. [Lian Yuanqiang. A review of foreign literature of innovation network and regional symbiotic innovation strategy. Human Geography, 2016(1):26-32.]
- [6] 李丹丹,汪涛,魏也华,等. 中国城市尺度科学知识网络与技术知识网络结构的时空复杂性[J]. 地理研究, 2015, 34(3): 525-540. [Li Dandan, Wang Tao, Wei Yehua et al. Spatial and temporal complexity of scientific knowledge network and technological knowledge network on China's urban scale. Geographical Research, 2015, 34(3): 525-540.]
- [7] Li D D, Wei D Y H, Wang T. Spatial and temporal evolution of urban innovation network in China[J]. Habitat International, 2015(49): 484-496.
- [8] Lifener I, Hennemann S. Structural holes and new dimensions of distance: the spatial configuration of the scientific knowledge network of China's optical technology sector[J]. Environment and Planning A, 2011(43): 810-829.
- [9] Huallacháin B Ó, Lee D S. Urban centers and networks of co-invention in American biotechnology[J]. Annals of Regional Science, 2014, 52(3): 799-823.
- [10] Powell W W, White D R, Koput K W. Network dynamics and field evolution: The growth of inter-organizational collaboration in the life sciences[J]. American Journal of Sociology, 2005, (110): 1132-1205.
- [11] Li P, Bathelt H, Wang J. Network dynamics and cluster evolution: changing trajectories of the aluminum extrusion industry in Dali, China[J]. Journal of Economic Geography, 2012,12: 127-155.
- [12] Boschma R A. Proximity and innovation: a critical assessment [J]. Regional Studies, 2005(39):61-74.
- [13] Torre A, Gilly J P. On the analytical dimension of proximity dynamics[J]. Regional Studies, 2000, 34(2): 169-180.
- [14] Bouba-Olga O, Carrincazeaux C, Coris M et al. Proximity dynamics, social networks and innovation[J]. Regional Studies, 2015, 49(6): 901-906.
- [15] 汪涛, Hennemann S, Lifener I, 等. 知识网络空间结构演化及对NIS建设的启示——以我国生物技术知识为例[J]. 地理研究, 2011, 30(10): 1861-1872. [Wang Tao, Hennemann S, Lifener I et al. Spatial structure evolution of knowledge network and its impact on the NIS: Case study of biotechnology in China. Geographical Research, 2011, 30(10): 1861-1872.]
- [16] Broekel T, Boschma R. Knowledge networks in the Dutch aviation industry: The proximity paradox[J]. Journal of Economic Geography, 2012, 12(2): 409-433.
- [17] Hoekman J, Frenken K, Van Oort F. The geography of collabor-

- ative knowledge production in Europe[J]. *The Annals of Regional Science*, 2009, 43(3): 721-738.
- [18] De Prato G, Nepelski D. Global technological collaboration network: Network analysis of international co-inventions[J]. *The Journal of Technology Transfer*, 2014, 39(3): 358-375.
- [19] 李丹丹, 汪涛, 周辉. 基于不同时空尺度的知识溢出网络结构特征研究[J]. *地理科学*, 2013, 33(10): 1180-1187. [Li Dandan, Wang Tao, Zhou Hui. The structural characteristics of knowledge spillover networks based on different spatial and temporal scales. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(10): 1180-1187.]
- [20] Leydesdorff L, Wagner C S, Park H W et al. International collaboration in science: The global map and the network[J]. *El Profesional de la Información*, 2013, 22(1): 87-95.
- [21] 王秋玉, 曾刚, 吕国庆. 中国装备制造业产学研合作创新网络初探[J]. *地理学报*, 2016, 71(2): 251-264. [Wang Qiuyu, Zeng Gang, Lyu Guoqing. Structural evolution of innovation networks of China's equipment manufacturing industry. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(2): 251-264.]
- [22] 吕国庆, 曾刚, 郭金龙. 长三角装备制造业产学研创新网络体系的演化分析[J]. *地理科学*, 2014, 34(9): 1051-1059. [Lyu Guoqing, Zeng Gang, Guo Jinlong. Innovation network system of industry-university-research institute of equipment manufacturing industry in the Changjiang River Delta. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(9): 1051-1059.]
- [23] 吕国庆, 曾刚, 顾娜娜. 基于地理邻近与社会邻近的创新网络动态演化分析——以我国装备制造业为例[J]. *中国软科学*, 2014, (5):98-106. [Lyu Guoqing, Zeng Gang, Gu Nana. Dynamic evolution of innovation network in China's equipment manufacturing industry: Geographic proximity versus social proximity. *China Soft Science*, 2014(5):98-106.]
- [24] 刘承良, 桂钦昌, 段德忠, 等. 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*, 2017, 71(4):737-752. [Liu Chengliang, Gui Qingchang, Duan Dezhong et al. Structural heterogeneity and proximity mechanism of global scientific collaboration network based on co-authored papers. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 71(4):737-752.]
- [25] Scherngell T, Hu Y. Collaborative knowledge production in China: Regional evidence from a gravity model approach[J]. *Regional Studies*, 2011, 45(6): 755-772.
- [26] TerWal A L J. Cluster emergence and network evolution: A longitudinal analysis of the inventor network in Sophia-Antipolis [J]. *Regional Studies*, 2013, 47(5): 651-668.
- [27] 祝影, 杜德斌. 跨国公司研发全球化的空间组织研究[J]. *经济地理*, 2005, 25(5): 620-623. [Zhu Ying, Du Debin. The spatial organization of R&D globalization by multinational corporations. *Economic Geography*, 2005, 25(5): 620-623.]
- [28] Zhang H Y. How does agglomeration promote the product innovation of Chinese firms?[J]. *China Economic Review*, 2015 (35): 105-120.
- [29] 吕拉昌, 梁政骥, 黄茹. 中国主要城市间的创新联系研究[J]. *地理科学*, 2015, 35(1): 30-37. [Lyu Lachang, Liang Zhengji, Huang Ru. The innovation linkage among Chinese major cities. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(1): 30-37.]
- [30] 潘雄锋, 张静, 米谷. 中国区际技术转移的空间格局演变及内部差异研究[J]. *科学学研究*, 2017, 35(2):240-246. [Pan Xiong-feng, Zhang Jing, Mi Gu. Spatial pattern evolution and inner differences of Chinese interregional technology transfer. *Studies in Science of Science*, 2017, 35(2):240-246.]
- [31] 任龙, 姜学民, 傅晓晓. 基于专利权转移的中国区域技术流动网络研究[J]. *科学学研究*, 2016, 34(7):993-1004. [Ren Long, Jiang Xuemin, Fu Xiaoxiao. Preliminary consideration of central and local scientific responsibility and expenditure division—Based on the research of integrated management department of science and technology. *Studies in Science of Science*, 2016, 34(7): 993-1004.]
- [32] 刘凤朝, 马荣康. 区域间技术转移的网络结构及空间分布特征研究[J]. *科学学研究*, 2013, 31(4):529-536. [Liu Fengchao, Ma Rongkang. Study on the network structure and spatial distribution of inter-regional technology transfer. *Studies in Science of Science*, 2013, 31(4):529-536.]
- [33] 段德忠, 杜德斌, 谌颖, 等. 中国城市创新技术转移格局与影响因素[J]. *地理学报*, 2018, 73(4): 738-754. [Duan Dezhong, Du Debin, Chen Ying et al. Technology transfer in China's city system: Process, pattern and influencing factors. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73 (4): 738-754.]
- [34] 段德忠. 中国城市技术转移的空间演化研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2018:155-157. [Duan Dezhong. Spatial evolution of technology transfer in China city system. Shanghai: East China Normal University, 2018:155-157.]
- [35] 杨凡, 杜德斌, 段德忠, 等. 城市内部研发密集型制造业的空间分布与区位选择模式——以北京、上海为例[J]. *地理科学*, 2017, 37(4):492-501. [Yang Fan, Du Debin, Duan Dezhong et al. The intra-metropolitan location of R&D-intensive manufacturing in Beijing and Shanghai. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(4):492-501.]

Spatial-temporal Complexity and Growth Mechanism of City Innovation Network in China

Duan Dezhong^{1,2}, Du Debin^{1,2}, Chen Ying², Zhai Qinghua^{1,2}

(1. *Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China;*

2. *School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)*

Abstract: At present, China's city innovation system is gradually taking shape. As the core component of innovation resources, innovative technology represented by patents has become the focus of competition among all cities. Its gathering and diffusion channels urgently need to build a compatible city technology transfer system. The construction of a national technology transfer system in line with the law of science and technology innovation, the law of technology transfer and the law of industrial development is an inevitable choice for serving the strategy of innovation development. Based on data mining from National Intellectual Property Office of China, the heterogeneities and its evolution characteristics of city innovation network depicted by patent transfer in topology and space from 2001 to 2015 were sketched using lots of visualizing tools such as Pajek, Gephi, VOSviewer, ArcGIS, and so on. Topologically, from 2001 to 2015, with the increasing number of cities involved in technology transfer, China city innovation network has emerged a significant small-world feature with the smaller average path length and the extremely large cluster coefficient compared to its counterpart. In addition, the entire network presents a core-periphery structure with hierarchies, which dominated by Beijing, Shanghai and Shenzhen. Spatially, the quadrilateral pattern of China city innovation network based on the triangular structure is gradually formed. Last but not least, the growth mechanism of city innovation network were also verified by correlational analysis, negative binomial regression approach and gravity model of STATA. The growth of city innovation network in China is significantly related to the technological innovation strength represented by the number of patent application. The findings further confirm that geographical distance has weakened cross-city patents transfer. Meanwhile, the similarity of economic development and industrial structure between cities are also important factors influencing the growth of city innovation network.

Key words: patent transfer; city innovation network; structural heterogeneity; spatial-temporal evolution; growth mechanism