
基于创新合作联系的城市网络格局分析

——以长江经济带为例^{*1}

王丰龙^{1,2} 曾刚^{1,2,3*} 叶琴³ 陈弘挺³

(1. 华东师范大学中国现代城市研究中心, 上海 200062;

2. 华东师范大学城市发展研究院, 上海 200062;

3. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200241)

【摘要】: 现有城市地理研究主要基于重力模型、客货流网络和连锁模型等方法刻画城市网络。这些方法或是仅仅基于假设而可能与事实不符, 或是数据难以获取, 或是过于强调城市间的等级关系。通过引入合作专利数据, 探索更加真实、平等的城市网络衡量方法。基于对长江经济带城市间创新联系的实证分析, 发现目前城市间的创新联系以公司间(尤其是总部-分支机构间)合作为主; 城市间创新联系存在非对称性和空间差异; 实际创新联系与重力模型估算的创新联系存在正相关关系, 但是相关系数不高; 城市间创新联系的规模-位序符合 Zipf 定律, 且存在两个无标度区; 城市间创新联系受空间距离、行政级别、产业结构相似程度等影响, 反映了距离衰减定律、行政区经济和产业链分工等规律对城市创新联系的解释力。

【关键词】: 城市网络; 创新合作; 重力模型; Zipf 定律; 长江经济带

【中图分类号】: K901 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2017)06-0797-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201706001

随着信息技术进步、跨国公司崛起和全球自由贸易深化, 城市间的联系越来越紧密。这种联系很难用距离衰减定律和城镇

¹ 收稿日期: 2016-11-18; 修回日期: 2017-02-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“层级式产业集群内部技术权力突破与创新升级研究”(41371147) [National Natural Science Foundation of China(41371147)]; 国家自然科学基金青年基金项目“中国城市居民幸福感的空间格局及其变化机制的多尺度研究”(41601144) [National Natural Science Foundation of China (41601144)]; 上海市科委软科学项目“基于长江经济带发展战略的长三角科技创新合作研究”(15692100700) [Soft Science Research Project of Science and Technology Commission of Shanghai Municipality (15692100700)]; 国家社会科学基金重大项目(10ZD&016) [National Social Science Foundation of China (10ZD&016)]

作者简介: 王丰龙(1988~), 男, 讲师, 博士, 主要从事主观幸福感和长江经济带等研究. E-mail: flwang@iud.ecnu.edu.cn

***通讯作者** E-mail: gzeng@re.ecnu.edu.cn

等级体系等传统城市地理学理论解释^[1]。为此,很多学者试图提出新的理论视角和模型。Sassen^[2]认为,制造功能的全球扩散和金融等高级生产性服务业的整合推动了全球城市的产生;Castells^[3]提出了有别于传统“地方空间”的“流空间”,认为目前全球支配性功能主要以网络形式相互联系,世界城市是这些网络的核心节点;与Harris等^[4]将城市内部组织关系作为城市本质相对,Taylor^[5]把城市之间的联系看作城市的“第二本质”,并提出与中心地理论相对的中心流理论(Central Flow Theory)^[6]和刻画世界城市网络的连锁网络(Inter-locking Network)算法^[7, 8]。目前,世界城市网络分析已经成为城市地理学主流的研究方法。如Meijers^[9]提出,目前城市地理研究出现了从中心地理论向网络模型的范式转换(paradigmshift);Urban Studies杂志2010年刊出世界城市网络研究专辑^[10];很多中国学者也引进并采用全球城市网络分析方法考察国内城市网络的特征^[11~15]。

然而,受数据可获得性的限制,世界城市网络研究一直存在“理论高深而实证贫乏”的困境^[16, 17],数据质量问题是城市网络早期研究“不干净的小秘密”(dirty little secret)^[18]。目前城市网络研究主要采用三类数据,每类都存在一定的局限。首先,很多早期研究采用各个城市的人口数、客运量等属性数据分析城市网络^[11, 17]。如周一星等^[19]主要利用不同城市客运量和航班数分析中国城市的网络结构;顾朝林等^[20~22]运用重力模型测算城市等级和空间联系强度;Xie等^[23]基于建成用地斑块生成等级化城镇结构网络;王海江等^[24]运用城市流模型分析我国中心城市对外服务的能力、等级及其空间分布。由于这些研究基于城市自身属性的数据,对城市间的联系基于距离衰减等假设估算,因此无法反映城市间真实的网络联系,其结论可能与实际情况不符——如城市网络中距离很远的城市可以具有密切的联系,规模大的城市在城市网络中的地位不一定重要^[25]。第二,还有很多研究采用城市间基础设施或流量数据衡量城市网络。如不少学者采用航空乘客流的O-D数据^[26~29]、互联网主干网络^[30, 31]或跨国精英移民的流动轨迹^[32, 33]分析全球城市的等级结构和联系特征;最近还有研究采用大数据分析城市间的信息联系^[34, 35]。不过,一方面由于公开发布的O-D数据非常少,而对精英移民等访谈的样本量有限,因此这种方法难以普及^[11];另一方面,采用流量数据容易高估中转站等的作用——如旅游城市或大数据存储中心虽然对外联系很多,但不一定处于网络核心。第三,近期对城市网络的分析主要基于公司总部-分支机构数据。以Taylor为首的GaWC研究小组首先提出用高级生产者服务业企业的总部-分支数据^[8, 17]构建“连锁模型”^[7]分析全球城市网络特征。这一数据收集和分析思路已被国内学者广泛采用^[36~38]。很多学者还对GaWC的研究进行了扩展——包括将数据扩展到其他行业^[14, 39, 40]或非企业组织机构^[41]、对连锁模型算法加以改进^[42~45]、发展刻画城市网络结构特征的指标^[15, 46, 47]以及评估城市网络对城市发展的影响^[48]。然而,一方面,由于该方法对公司间联系的量化基于隶属关系,导致分析结果过分强调城市间的等级关系,而相对忽略了城市间的合作关系^[49]和实际合作成果;另一方面由于城市不单具有“服务中心”这一项功能,因此不同城市企业的总部-分支网络不能反映城市间联系的全貌^[41]。

本文拟采用公司间创新合作的数据,研究城市网络的相关特征。创新合作数据有以下优点。第一,与基于城市属性的研究相比,合作专利直接衡量了城市间实际的创新联系,能够避免基于模型推断导致的偏差;第二,与基于总部-分支机构数据的研究相比,城市间的创新联系往往基于互惠自愿原则而非等级控制关系,因此更能反映城市网络中城市之间的平等性;第三,目前对合作创新和知识流动的研究主要集中在经济地理学领域,将创新网络研究整合到城市网络分析中有利于推动城市地理学与经济地理学的交叉融合,符合目前将经济地理学理论整合到城市网络研究的倡导^[50];最后,在创新日益成为城市发展新动力的背景下,对城市间创新联系的衡量能够弥补现有研究过于强调金融等生产性服务业的不足。本文的组织结构如下。第二节介绍研究的数据来源和数据处理过程;第三节呈现主要的实证分析结果;最后一节总结和讨论。

1 研究数据与研究方法

1.1 研究区域与数据来源

本研究的数据来自国家知识产权局专利检索网站^②。作者检索了长江经济带110个地级及以上城市2012~2014年联合申请的专利(计63 295项)。选择长江经济带作为研究对象是因为长江经济带是目前国家三大区域发展战略之一,并且经济带内城市间存在长江这一天然联系通道,具有合作基础。选取3年的数据进行分析,是为了防止单年度的波动造成分析结论的偏差。

² ①专利检索网站为: <http://www.pss-system.gov.cn/>。

1.2 城市间创新联系矩阵构建方法

参考连锁网络算法, 本文基于企业间联合申请专利数衡量城市间的创新联系。首先, 正如 Taylor 等仅仅采用全球排名靠前的生产性服务业企业分析全球城市网络联系, 本文在每项合作专利中也只选取前 4 个创新主体作为分析对象(如果专利的创新合作主体数小于 4, 则全部保留)。其次, 删掉了申请主体为私人的专利合作联系。这一方面是因为私人对城市之间的合作推动能力有限, 另一方面是因为国家知识产权局不公开私人的地址信息。最后, 借鉴最近对连锁网络算法的改进思路^[44, 45], 这里假设排在首位的创新主体在专利联合申请中起主要的沟通、协调作用, 因此后面的创新主体只与第一个创新主体联系。

本文对创新联系强度赋值没有采取连锁网络算法按等级递减的思路, 而是对不同创新主体间的联系强度进行统一赋值。具体而言, 如果某项专利由两个公司联合申请, 它们之间的创新联系强度为 $1/(2-1)=1$; 如果某项专利由 3 个公司联合申请, 则后两个公司与首个公司的创新联系强度分别为 $1/(3-1)=1/2$; 如果某项专利有 4 个或以上的公司, 则第 2 个到第 4 个公司与首个公司的创新联系强度分别为 $1/(4-1)=1/3$ 。

在获得公司间创新联系强度后, 通过累加得到城市之间的创新联系。首先, 利用百度地图 API 等对各个公司进行地理编码(geocoding), 得到其所在地级市信息。其次, 去掉在同一座城市或与长江经济带以外城市合作的专利联系。最后, 通过对公司间的专利合作联系数进行累加得到两两城市间的创新联系强度。本文还区分了城市间创新联系的方向, 即两座城市间的创新联系是从主申请人到次申请人还是相反方向。

1.3 分析方法

本文对城市间创新联系的分析主要采用了 3 种分析方法。首先, 利用 Stata 和 GIS 等软件, 分析城市间创新联系的描述性统计特征, 对创新网络的空间形态进行可视化。

其次, 考察城市间创新联系是否依然服从传统的、解释城市间关系的城市地理模型。这里主要选取两个模型: 一是基于距离衰减定律的重力模型, 二是基于克里斯泰勒中心地理论的 Zipf 模型。其中, 重力模型采取以下公式:

$$G_{ij} = \frac{T_i T_j}{d_{ij}^2}$$

式中: G_{ij} 是城市 i 和城市 j 之间的创新联系; T_i 和 T_j 分别是城市 i 和城市 j 与其他所有城市总的合作创新数^③; d_{ij} 是城市间的直线距离。

Zipf 模型采取以下形式:

$$T_i = \alpha - \beta * O_i$$

式中: T_i 为城市 i 与其他城市创新联系强度的对数; O_i 为 i 城市与其他城市创新联系位序的对数。一般地, Zipf 模型的系数 $\beta \geq 1$, 呈较为集聚的帕累托分布模式; 当 $\beta < 1$, 呈较为均衡的对数正态分布。

³ ①每个城市总的合作专利数的计算方法与前面计算城市间创新联系的方法类似——每项专利的首位申请人按 1/2 个专利计算, 其余主体(只计算最多前 4 个主体)平分剩余的 1/2 个专利。

最后，采用回归模型分析了城市间创新联系的影响因素。由于衡量城市间关系的数据很少，本文仅从空间、行政和经济三方面考察空间距离、行政隶属关系、行政级别和产业同构系数 4 个因素对城市间创新联系的影响。方程的形式如下：

$$T_{ij} = \alpha + \beta_1 * d_{ij} + \beta_2 * province_{ij} + \beta_3 * level_{ij} + \beta_4 * S_{ij} + \varepsilon$$

式中： d_{ij} 为 i 城市和 j 城市的直线距离； $province_{ij}$ 是 i 城市与 j 城市是否在同一省份的虚拟变量； $level_{ij}$ 表示 i 城市与 j 城市行政级别的差异。本文区分了省会城市(直辖市)与地方城市两类行政级别，并用虚拟变量分别衡量 i 城市与 j 城市的行政级别是否相同及主申请人所在城市的行政级别是否更高； S_{ij} 为 i 城市和 j 城市的产业同构系数，采用联合国工业发展组织的公式^[51]界定：

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n X_{ik} X_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n X_{ik}^2 \sum_{k=1}^n X_{jk}^2}}$$

式中： $k=1, 2, 3$ 表示三次产业； X_{ik} 、 X_{jk} 分别表示 2014 年 k 产业产值在城市 i 和城市 j 总产值中的比重。

2 实证结果

2.1 城市间创新联系的描述性统计特征

从表 1 可以发现，长江经济带城市间的创新联系具有以下几个主要特征。

表 1 长江经济带城市创新联系强度的描述性分析

Tab.1 Descriptive Analysis of the Innovation Connection Between Cities in YREB

指标	有向网络的联系强度	主要联系主体	无向网络的联系强度
联系数(N)	1 112		735
平均值	10.44		15.79
标准差	32.57		55.47
最小值	0.33		0.33
最大值	651		1 171
联系最紧密的10组城市	杭州-台州(651)	吉利汽车总部-吉利汽车研究院；吉利汽车研究院(杭州分院)-吉利汽车研究院；吉利汽车-浙江路虎汽车	杭州-台州(1 171)
	台州-杭州(520)	吉利汽车研究院-吉利汽车总部	上海-南京(451)
	南京-上海(261)	南京梅山冶金-上海梅山钢铁；南京梅山冶金-宝钢集团上海梅山公司	上海-苏州(352)
	上海-苏州(206)	上海天洋-昆山天洋；上海亨通宏普通信-江苏亨通光电；上海申嘉三和环保科技有限公司-张家港美星三和机械	上海-南通(232)
	上海-南京(191)	英华达(上海)科技-英华达总部；中国科学院上海微系统与信息技术研究所-中科院南京宽带无线移动通信研发中心；国网上海电力-国电南瑞科技；上海置信电气非晶-江苏宏源电气	南京-常州(223)
	南昌-苏州(184)	南昌欧菲光显示技术/生物识别技术/电技术等公司-苏州欧菲光科技公司	上海-成都(196)
	苏州-上海(146)	昆山天洋-华东理工大学；昆山龙腾光电-上海交通大学；昆山天洋-上海天洋；苏州药明康德-上海药明康德	苏州-南昌(192)
	常州-南京(144)	江苏省电力公司常州供电公司-江苏省电力公司；江苏花海农业科技-江苏省农业环境监测与保护站	苏州-南京(192)
	上海-南通(141)	浩力森涂料(上海)-浩力森化学科技(江苏)；上海维凯光电/上海乘鹰-江苏乘鹰新材料；上海泰禾化工-南通泰禾化工；上海尤希路化工-启东尤希路化工；上海爱登堡电梯-上海爱登堡电梯江苏有限公司；中交上海三航科学研究院-中交第三航务工程局	上海-杭州(182)
	蚌埠-上海(140)	蚌埠玻璃工业设计研究院-中国建材国际工程集团	杭州-绍兴(181)

第一，城市间的联系主要表现为公司间的合作，公司与大学间的合作很少——只有上海交大、华东理工等部分工科有突出优势的学校与长三角周边公司有少许联系，大学之间几乎没有合作。这可能部分由于大学的很多创新成果没有转化为专利，部分由于大学的创新合作主要集中在学校内部或同城高校之间。

第二，公司间的创新联系以总部-分支机构联系为主。如杭州和台州的专利主要为吉利控股集团有限公司、吉利汽车研究院(杭州分公司)与位于台州的吉利汽车研究院的联系；南昌与苏州之间的联系也主要为南昌的欧菲光显示技术、生物识别技术、电技术等分公司与苏州欧菲光科技公司总部之间的联系。这支持了泰勒等基于公司分支机构确立城市间联系的方法。不过，也有相当数量的专利由不同公司联合研发，如南京梅山冶金与宝钢集团上海梅山公司、江苏花海农业科技与江苏省农业环境监测与保护站的联系。因此，不能忽视城市间除总部-分支机构之外的创新联系。

第三，城市间的创新联系受城市主要功能的影响。如成都和上海是电子产品的集聚中心，因此主要是上海集成电路研发中心与成都微光集电科技、芯原微电子(上海)与芯原微电子(成都)等电子公司之间的合作。不过，长三角地区由于已经进入较高程度的一体化阶段，因此体现为多产业的综合联系。如南京与上海的联系既有大学之间的联系，也有医药公司和电子公司的联系。

第四，从合作专利数量看，城市间创新联系存在对称性。如南京与上海的合作专利很多，上海与南京的合作专利同样很多。不过，不同级别城市间的创新联系存在一定的非对称性。较高级别城市与较低级别城市的联系往往较多样，反之往往以个别公司为主。如南京与上海的联系主要是南京梅山冶金公司与上海梅山钢铁公司、宝钢集团上海梅山有限公司的联系，而上海与南京的联系很多样；类似地，台州与杭州主要是吉利汽车研究院与吉利公司总部的联系，而杭州与台州除总部与研究院的联系外还包括吉利汽车研究院杭州分院与台州总院的联系。此外，较低级别城市的公司往往与较高级别城市的大学合作很多，反之不然。

2.2 城市间创新联系的空间特征

由于城市间创新联系存在对称性，因此在分析城市间创新联系的空间特征时不再区分创新联系的方向。长江经济带城市间创新联系网络的空间分布如图1所示。可以发现创新的空间联系主要存在3个特征。首先，长江经济带内的创新联系存在比较明显的“核心-边缘”结构。上海、杭州、南京、武汉和成都凭借其丰富的创新资源和独特的区位优势构成了长江经济带创新联系的5个核心节点；长三角地区则是长江经济带内创新联系最为密切的区域。长沙虽然是创新资源的密集地区，不过由于主要采取长株潭区域整体对外联系的形式，因此节点性不够明显；重庆虽然是直辖市，但是可能由于创新资源相对不足，因此对外联系强度弱于成都。

第二，城市间的创新联系受距离影响。总的来说，距离越近的城市之间创新联系越紧密。这一方面由于距离较近的城市(尤其是省内城市)之间往往具有更多的交通和经济往来，进而产生很多创新资源上的交流。另一方面，同一区域(尤其是长三角和长株潭)内城市之间存在共同的文化基础和有利的分工-合作制度安排，推动了人才和知识流动，从而产生更多的创新联系。不过，也存在一些特例——如成都-上海的创新联系也很多。这主要由于成都和上海的创新资源体量都比较大，且产业同构程度较高，因此存在很多产业链上下游的创新合作。

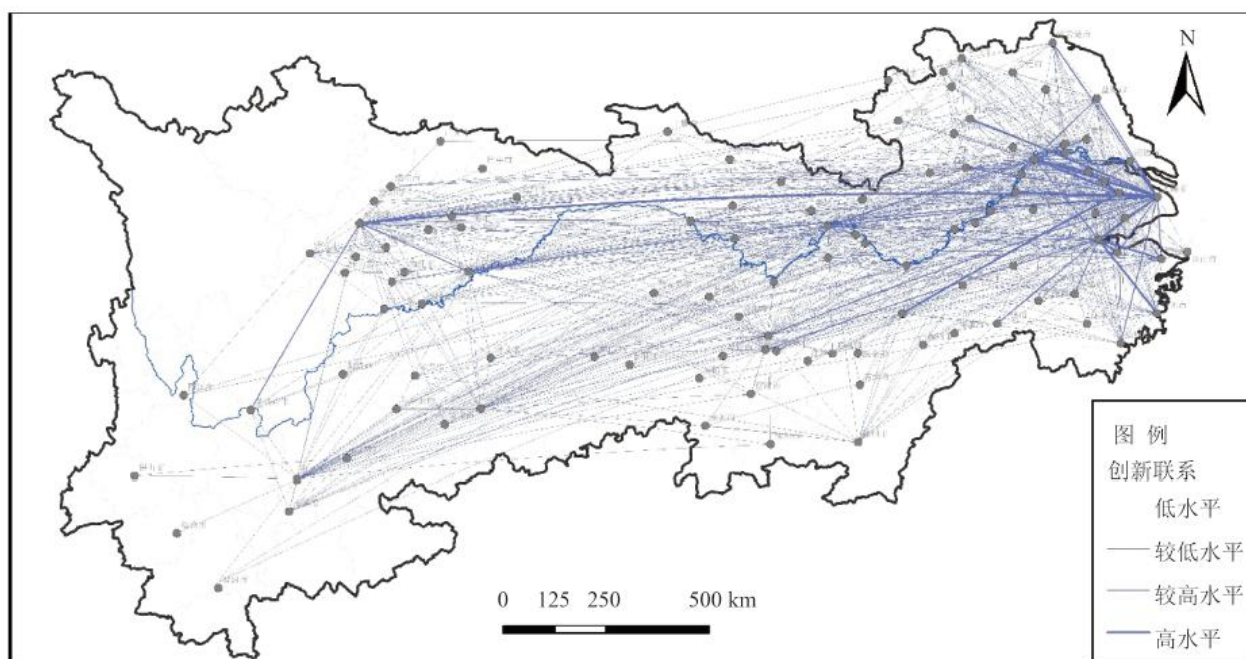


图1 长江经济带城市间的创新联系(不分方向)

Fig.1 (Undirectional) Inter-city Innovation Cooperation in YREB

第三，长江经济带城市间创新联系存在很大的空间差异。如果分别以金沙江到钱塘江、汉江到湘江为轴将长江经济带划分为4个区域的话，呈现明显的“东强西弱、北密南疏”的特点。以上海为核心的东北区创新联系最为密切，并且形成了“上海-苏州-无锡-常州-南京”创新联系主轴，武汉、合肥的对外联系也很强。以杭州为核心的东南区创新联系也比较密切，不过呈现单中心特征；南昌和长沙的创新联系主要指向苏州和上海，与东南区内的联系相对偏少。以成都和重庆为核心的西北区创新联系更弱，且主要指向上海。以贵州和昆明为核心的西南区与其他城市的创新联系最弱，其创新联系也主要指向东部地区。

2.3 传统城市地理模型对城市间创新联系的解释力

重力模型是城市地理中最主要的解释城市间联系强度的模型，且很多城市网络的研究仍然采取重力模型拟合城市间的联系强度^[20~22]。为此，本文比较了城市间实际的创新联系与基于重力模型拟合的创新联系之间的差异。图 2 是基于重力模型计算的城市间创新联系与实际的创新联系之间的散点图。可以看出，重力模型拟合的城市间创新联系与实际创新联系正相关，说明城市间创新联系仍受到距离衰减和城市体量的双重影响。不过，二者的相关系数只有 0.387，说明重力模型对城市间创新联系的解释力不高。如台州-杭州、上海-成都等城市之间的创新联系被严重低估，而长三角的几个主要城市(上海、苏州、无锡、常州、杭州)之间的创新联系被严重高估，尤其是上海-苏州和苏州-无锡之间。这说明，城市间的创新联系可以超越距离的限制“结对”，创新体量较小的城市也同样可以与节点城市建立紧密的创新合作关系。

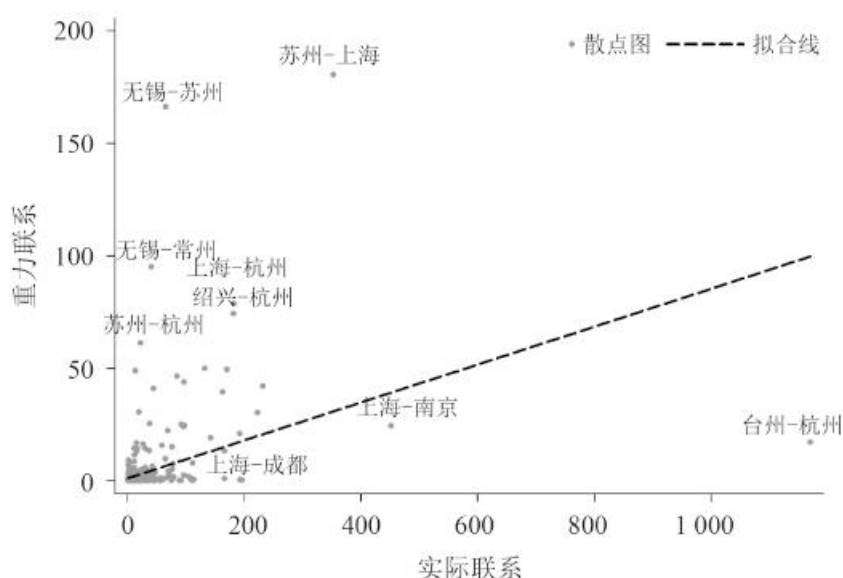


图 2 实际创新联系与重力模型联系的散点图

Fig.2 Scatter of Real Innovation Connection and that Calculated Based on Gravity Model

Zipf 定律则是另一个解释城市间空间关系的主流城市地理模型。Zipf 定律不仅能用于拟合中心地的分形结构^[52]，还被广泛用于刻画流量数据和网络结构特征^[53~55]。为此，本文考察了长江经济带城市间创新联系的规模-位序关系是否服从 Zipf 定律。拟合发现，长江经济带城市间创新联系强度 T 的对数与其位序 O 的对数存在两个无标度区(如图 3)。从方程的拟合系数看，长江经济带核心节点间的创新联系(左边无标度区)呈现均衡化特征，次要节点的创新联系(右边无标度区)呈现高度集聚的特征。换言之，长江经济带的创新联系呈现两极分化的格局——长三角城市和几个省会城市之间相互分工、互有短长，创新联系密切，联系强度的差异不大；而其他城市之间的创新联系的差异很大，主要集中在几个跨区域伙伴城市和跨行政级别城市之间。

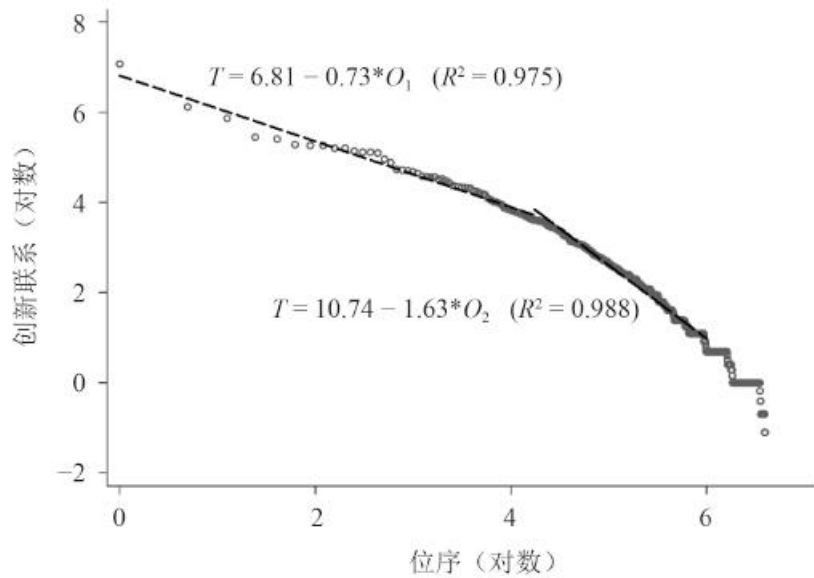


图3 创新联系的规模-位序双对数拟合图

Fig.3 In-ln Graph on Rank-size of Innovation Connection

2.4 城间创新联系的影响因素

回归分析的结果如表2所示。第一，距离远的城市间创新联系往往较弱，而同一省份城市间的创新联系较多。这表明，城市间的创新联系仍受距离衰减定律影响，空间距离远或隶属不同省份的城市由于文化差异较大、交流成本较高，因此创新合作较少。第二，不同级别的城市更容易产生创新联系，尤其是级别较低的城市更容易与级别高的城市合作。这很可能由于地方城市创新资源较少、政府支持创新的财力和平台有限，因此往往有更强的动力与直辖市和省会城市合作创新。这也侧面反映出长江经济带城市间等级结构明显、协同发展水平较低，未形成大中小城市的网络化分工。第三，产业结构相似的城市更容易产生创新联系。这表明，城市间产业相似度高虽然可能导致同质化竞争，但也有利于产生合作。不过，从前面描述性分析结果看，目前产业结构相似的城市创新联系仍主要发生在总部-分支机构之间，而产业内不同企业间的分工联系仍偏少。当然，受数据限制，本文仅采用三次产业分类的产业同构系数，未来如果能够获得细分产业的同构系数结论会更有说服力。

表 2 回归分析结果

Tab.2 Results of Regression Analysis

变量	频数/平均值	系数	P值
空间距离(km)	5.96	-0.374***	0.00
行政隶属(同一省份=1)	210 (28.6%)	0.261*	0.07
与合作对象是否处于 同一级别(是=1)	327 (44.5%)	-0.433***	0.00
合作对象是否处于更 高级别(是=1)	205 (27.9%)	0.389***	0.00
产业同构系数	0.96	3.286***	0.00
常数项	-	0.483	0.67
N	735		
调整的R ²	0.132		

注：为减少估计偏差，创新联系和空间距离经过对数化处理；***
 $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$.

3 结论与讨论

受数据可获得性限制，现有研究主要基于城市属性数据(重力模型)、城市间客货流量(可视化)和机构的总部-分支联系(连锁模型)等数据衡量城市网络。然而，这些方法或是基于假设分析城市间联系而可能与实际城市间联系不符，或是所使用的数据难以获取，或是过于强调城市间的等级关系。本文通过引入合作专利数据分析城市间创新联系，探索更真实、平等的城市网络衡量方法。

基于对长江经济带城市间创新联系的实证分析。发现目前城市间的创新联系以公司间(尤其是总部-分支机构)的合作为主，公司与大学间的合作很少；城市间创新联系的数量存在对称性，而创新联系的类型存在非对称性——较高级别城市与较低级别城市的联系往往较多样；城市间创新联系存在空间差异，东中西部的创新联系强度依次减弱；实际创新联系与重力模型估算结果存在正相关关系，但是相关系数不高，说明基于重力模型分析城市网络联系的方法有局限；城市间创新的规模位序符合 Zipf 定律，且存在两个无标度区——创新联系较多的城市间呈现均衡化趋势，而联系较少的城市间联系强度差异很大；城市间的创新联系也受距离衰减、行政区经济和产业链分工等规律的影响，其中空间距离较远、隶属同一行政区、产业结构相似程度较高的城市间具有更多的创新联系；行政级别较低的城市与行政级别较高的城市之间的创新联系也比较多。

当然，本文也存在几点局限。一是本文的分析结论是否适用于全国范围仍待检验。二是受数据可获得性限制，本文没有基于产业详细分类的同构系数分析产业相似度对创新联系的影响，而这对于评估城市间产品内分工的程度和产业同质化的后果更有意义。三是由于缺乏企业总部-分支机构数据，本文未比较基于创新网络与基于连锁模型算法的城市网络之间的差异，因此暂时不能直接比较两类方法的优劣和适用范围。后续研究将对上述问题做进一步探索。

参考文献：

- [1] PRED A. On the spatial structure of organizations and the complexity of metropolitan interdependence[J]. Papers of the Regional Science Association, 1975, 35(1): 115 - 142.
- [2] SASSEN S. The global city: New York, London, Tokyo[M]. Princeton: Princeton University Press, 2001.

-
- [3] CASTELLS M. The rise of the network society[M]. Oxford:Blackwell, 1996.
- [4] HARRIS C D, ULLMAN E L. The nature of cities[J]. The Annals of the American Academy of Political and Social Science, 1945, 242(1):7 - 17.
- [5] TAYLOR P J. World city network: a global urban analysis[M].London: Routledge, 2004.
- [6] TAYLOR P J, HOYLER M, VERBRUGGEN R. External urban relational process: introducing central flow theory to complement central place theory[J]. Urban Studies, 2010, 47(13): 2803 - 2818.
- [7] TAYLOR P J. Specification of the world city network[J].Geographical Analysis, 2001, 33(2): 181 - 194.
- [8] TAYLOR P J, CATALANO G, WALKER D R F. Exploratory analysis of the world city network[J]. Urban Studies, 2002, 39(13):2377 - 2394.
- [9] MEIJERS E. From central place to network model: theory and evidence of a paradigm change[J]. Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie, 2007, 98(2): 245 - 259.
- [10] PFLIEGER G, ROZENBLAT C. Introduction. Urban networks and network theory: the city as the connector of multiple networks[J].Urban Studies, 2010, 47(13): 2723 - 2735.
- [11] 黄 璜. 全球化视角下的世界城市网络理论[J]. 人文地理, 2010, 25(4): 18 - 24.
- 【HUANG H. World city network theories from the global perspective[J]. Human Geography, 2010, 25(4): 18 - 24.】
- [12] 冷炳荣, 杨永春, 李英杰, 等. 中国城市经济网络结构空间特征及其复杂性分析[J]. 地理学报, 2011, 66(2): 199 - 211.
- 【LENG B R, YANG Y C, LI Y J, et al. Spatial characteristics and complex analysis: a perspective from basic activities of urban networks in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(2): 199 - 211.】
- [13] 杨永春, 冷炳荣, 谭一泓, 等. 世界城市网络研究理论与方法及其对城市体系研究的启示[J]. 地理研究, 2011, 30(6): 1009 - 1020.
- 【YANG Y C, LENG B R, TAN Y M, et al. Review on world city studies and their implications in urban systems[J]. Geographical Research, 2011, 30(6): 1009 - 1020.】
- [14] 李仙德. 基于上市公司网络的长三角城市网络空间结构研究[J]. 地理科学进展, 2014, 33(12): 1587 - 1600.
- 【LI X D. Spatial structure of the Yangtze River Delta urban network based on the pattern of listed companies network[J]. Progress in Geography, 2014, 33(12): 1587 - 1600.】
- [15] 吴 康, 方创琳, 赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征[J]. 地理研究, 2015, 34(4): 711 - 728.

【WU K, FANG C L, ZHAO M X. The spatial organization and structure complexity of Chinese intercity networks[J]. Geographical Research, 2015, 34(4): 711 - 728.】

[16] TAYLOR P J. Regionality in the world city network[J]. International Social Science Journal, 2004, 56(181): 361 - 372.

[17] BEAVERSTOCK J V, SMITH R G, TAYLOR P J. World-city network: a new metageography?[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2000, 90(1): 123 - 134.

[18] SHORT J R, KIM Y, KUUS M, et al. The dirty little secret of world cities research: data problems in comparative analysis[J]. International Journal of Urban and Regional Research, 1996, 20(4): 697 - 717.

[19] 周一星, 胡智勇. 从航空运输看中国城市体系的空间网络结构[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 276 - 286.

【ZHOU Y X, HU Z Y. Looking into the network structure of Chinese urban system from the perspective of air transportation[J]. Geographical Research, 2002, 21(3): 276 - 286.】

[20] 顾朝林, 庞海峰. 基于重力模型的中国城市体系空间联系与层域划分[J]. 地理研究, 2008, 27(1): 1 - 12.

【GU C L, PANG H F. Study on spatial relations of Chinese urban system: gravity model approach[J]. Geographical Research, 2008, 27(1): 1 - 12.】

[21] 王海江, 苗长虹, 茹乐峰, 等. 我国省域经济联系的空间格局及其变化[J]. 经济地理, 2012, 32(7): 18 - 23.

【WANG H J, MIAO C H, RU L F, et al. The spatial framework and change of chinese provincial region economic links[J]. Economic Geography, 2012, 32(7): 18 - 23.】

[22] 李亚婷, 潘少奇, 苗长虹. 中原经济区县际经济联系网络结构及其演化特征[J]. 地理研究, 2014, 33(7): 1239 - 1250.

【LI Y T, PAN S Q, MIAO C H. Structure and evolution of economic linkage network at county level in Central Plains Economic Zone[J]. Geographical Research, 2014, 33(7): 1239 - 1250.】

[23] XIE Y C, MA T. A method for delineating a hierarchically networked structure of urban landscape[J]. Urban Geography, 2015, 36(6): 947 - 963.

[24] 王海江, 苗长虹. 我国中心城市对外服务能力的空间格局[J]. 地理研究, 2009, 28(4): 957 - 967.

【WANG H J, MIAO C H. Spatial distribution of external service capabilities of Chinese central cities[J]. Geographical Research, 2009, 28(4): 957 - 967.】

[25] BATTEN D F. Network cities: creative urban agglomerations for the 21st century[J]. Urban Studies, 1995, 32(2): 313 - 327.

-
- [26] SMITH D A, TIMBERLAKE M F. World city networks and hierarchies, 1977-1997: an empirical analysis of global air travel links[J]. American Behavioral Scientist, 2001, 44(10): 1656 - 1678.
- [27] DERUDDER B, WITLOX F. Mapping world city networks through airline flows: context, relevance, and problems[J]. Journal of Transport Geography, 2008, 16(5): 305 - 312.
- [28] MA X L, TIMBERLAKE M F. Identifying China' s leading world city:a network approach[J]. GeoJournal, 2008, 71(1): 19 - 35.
- [29] 于涛方, 顾朝林, 李志刚. 1995 年以来中国城市体系格局与演变——基于航空流视角[J]. 地理研究, 2008, 27(6): 1407 - 1418.
- 【YU T F, GU C L, LI Z G. China' s urban systems in terms of air passenger and cargo flows since 1995[J]. Geographical Research, 2008, 27(6): 1407 - 1418. 】
- [30] TOWNSEND A M. The internet and the rise of the new network cities, 1969-1999[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2001, 28(1): 39 - 58.
- [31] CHOI J H, BARNETT G A, CHON B S. Comparing world city networks: a network analysis of internet backbone and air transport intercity linkages[J]. Global Networks, 2006, 6(1): 81 - 99.
- [32] BEAVERSTOCK J V, SMITH R G, TAYLOR P J, et al. Globalization and world cities: some measurement methodologies[J]. Applied Geography, 2000, 20(1): 43 - 63.
- [33] BEAVERSTOCK J V. 'Managing across borders' : knowledge management and expatriation in professional service legal firms[J]. Journal of Economic Geography, 2004, 4(2): 157 - 179.
- [34] 甄 峰, 王 波, 陈映雪. 基于网络社会空间的中国城市网络特征——以新浪微博为例[J]. 地理学报, 2012, 67(8): 1031 - 1043.
- 【ZHEN F, WANG B, CHEN Y X. China' s city network characteristics based on social network space: an empirical analysis of Sina Micro-blog[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(8):1031 - 1043. 】
- [35] 熊丽芳, 甄 峰, 王 波, 等. 基于百度指数的长三角核心区城市网络特征研究[J]. 经济地理, 2013, 33(7): 67 - 73.
- 【XIONG L F, ZHEN F, WANG B, et al. The research of the Yangtze River Delta Core Area' s city network characteristics based on Baidu Index[J]. Economic Geography, 2013, 33(7): 67 - 73. 】
- [36] 王 聪, 曹有挥, 陈国伟. 基于生产性服务业的长江三角洲城市网络[J]. 地理研究, 2014, 33(2): 323 - 335.
- 【WANG C, CAO Y H, CHEN G W. Study on urban network of Yangtze River Delta region based on producer services[J]. Geographical Research, 2014, 33(2): 323 - 335. 】

[37] 谭一泓, 杨永春, 冷炳荣, 等. 基于高级生产者服务业视角的成渝地区城市网络体系[J]. 地理科学进展, 2011, 30(6): 724 - 732.

【TAN Y M, YANG Y C, LENG B R, et al. Urban network system in Chengdu-Chongqing region in the perspective of advanced producer service[J]. Progress in Geography, 2011, 30(6): 724 - 732.】

[38] 赵渺希, 刘 铮. 基于生产性服务业的中国城市网络研究[J]. 城市规划, 2012, 36(9): 23 - 28, 38.

【ZHAO M X, LIU Z. Research on China' s city network based on production service industry[J]. City Planning Review, 2012, 36(9):23 - 28, 38.】

[39] 王 娟, 李 丽, 赵金金, 等. 基于国际酒店集团布局的中国城市网络连接度研究[J]. 人文地理, 2015, 30(1): 148 - 153.

【WANG J, LI L, ZHAO J J, et al. A city network analysis based on spatial distribution of international hotel groups in China[J]. Human Geography, 2015, 30(1): 148 - 153.】

[40] 武前波, 宁越敏. 中国城市空间网络分析——基于电子信息企业生产网络视角[J]. 地理研究, 2012, 31(2): 207 - 219.

【WU Q B, NING Y M. China' s urban network based on spatial organization of electronic information enterprises[J]. Geographical Research, 2012, 31(2): 207 - 219.】

[41] TAYLOR P J. New political geographies: global civil society and global governance through world city networks[J]. Political Geography, 2005, 24(6): 703 - 730.

[42] NEAL Z. Structural determinism in the interlocking world city network[J]. Geographical Analysis, 2012, 44(2): 162 - 170.

[43] NEAL Z. Differentiating centrality and power in the world city network[J]. Urban Studies, 2011, 48(13): 2733 - 2748.

[44] HENNEMANN S, DERUDDER B. An alternative approach to the calculation and analysis of connectivity in the world city network[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2014, 41(3):392 - 412.

[45] 赵渺希, 吴 康, 刘行健, 等. 城市网络的一种算法及其实证比较[J]. 地理学报, 2014, 69(2): 169 - 183.

【ZHAO M X, WU K, LIU X J, et al. A novel method to approximate intercity networks and its empirical validation[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(2): 169 - 183.】

[46] 赵渺希, 黎智枫, 钟 烨, 等. 中国城市群多中心网络的拓扑结构[J]. 地理科学进展, 2016, 35(3): 376 - 388.

【ZHAO M X, LI Z F, ZHONG Y, et al. Polycentric network topology of urban agglomerations in China[J]. Progress

in Geography, 2016, 35(3): 376 - 388.】

[47] SHEARMUR R, DOLOREUX D. Central places or networks? Paradigms, metaphors, and spatial configurations of innovation-related service use[J]. Environment and Planning A, 2015, 47(7): 1521 - 1539.

[48] PAIN K, VAN HAMME G, VINCIGUERRA S, et al. Global networks, cities and economic performance: observations from an analysis of cities in Europe and the USA[J]. Urban Studies, 2016, 53(6): 1137 - 1161.

[49] 马学广, 李贵才. 全球流动空间中的当代世界城市网络理论研究[J]. 经济地理, 2011, 31(10): 1630 - 1637.

【MA X G, LI G C. Study on world city network theory within global space of flow[J]. Economic Geography, 2011, 31(10): 1630 - 1637.】

[50] BROWN E, DERUDDER B, PARNREITER C, et al. World city networks and global commodity chains: towards a world-systems' integration[J]. Global Networks, 2010, 10(1): 12 - 34.

[51] 韦素琼, 陈艳华, 耿静嫒. 基于相似系数和 R/S 分析方法的闽台产业同构性[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 491 - 499.

【WEI S Q, CHEN Y H, GENG J H. Empirical study on industrial isomorphism comparing Fujian and Taiwan provinces by the similar coefficient and R/S[J]. Geographical Research, 2010, 29(3): 491 - 499.】

[52] 陈彦光. 城市化: 相变与自组织临界性[J]. 地理研究, 2004, 23(3): 301 - 311.

【CHEN Y G. Urbanization as phase transition and self-organized critical process[J]. Geographical Research, 2004, 23(3): 301 - 311.】

[53] 张秋变, 路 紫. 旅游网站信息流距离衰减的集中度研究[J]. 地理科学, 2011, 31(7): 885 - 890.

【ZHANG Q L, LU Z. The concentration analysis on distance decay of information flow in tourism websites[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(7): 885 - 890.】

[54] 于海松, 张殿业, 杨芬娟, 等. 城市经济 Zipf 分布与道路网络发展的协调性[J]. 公路交通科技, 2012, 29(11): 104 - 109.

【YU H S, ZHANG D Y, YANG F J, et al. Coordination between Zipf distribution of urban economy and road network development[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(11): 104 - 109.】

[55] 李 涛, 曹小曙, 杨文越. 珠江三角洲客货运量位序—规模分布特征及其变化[J]. 地理科学进展, 2016, 35(1): 108 - 117.

【LI T, CAO X S, YANG W Y. Rank-size distribution and evolution of passenger and freight flows in the Pearl River Delta[J]. Progress in Geography, 2016, 35(1): 108 - 117.】
