

引力和网络：长三角创新城市群的空间组织特征分析*

吴志强 陆天赞

Gravity and Networks: Network Structure and Characteristics of Innovative City Cluster In the Yangtze River Delta Region

WU Zhiqiang, LU Tianzan

Abstract: Many recent urban geographic studies focus on innovation as a main driving force of urban development and regional-based innovation and activities. Based on statistical data for 2012, this study examines 41 cities in the Yangtze River Delta Region (YRDR) in terms of 15 indicators for measuring creative class formation, investment in the creative economy, cultural creative environment and creative outputs. It explains the organizational features and spatial networks of creative cities in YRDR by looking into innovation gravity and external innovation linkages. The results show that: ① urban innovation gravity can be divided into seven categories with Shanghai, Suzhou, Hangzhou, Nanjing, and Wuxi situated in the top category. A clear dividing line can be identified between the highest 4 categories and the lowest 3 categories. ② external innovation linkages are exhibited spatially along the axis of Shanghai-Nanjing and Shanghai-Hangzhou as well as "c" shaped coastal structure; ③ the general structure of the network includes the core circle, associated ring circle and the periphery circle with Shanghai, Suzhou, Hangzhou, Nanjing and Wuxi forming two core and interlocking triangles.

Keywords: gravity; networks; innovative cities cluster; the Yangtze River Delta Region

提要 创新作为城市和区域发展的主要动力，而区域层面的创新集群和活动一直是城市地理学研究的热点。本研究以中国长三角地区41个城市为研究案例，从创新阶层、创新经济投入、创新文化环境、创新产出四个维度的指标入手，通过创新引力和外向创新联系度，来观察长三角创新城市群的组织特征和空间网络。结果表明：①城市创新引力。形成7级划分，第一级别城市为上海、苏州、杭州、南京、无锡，前4级城市的创新引力与后3级城市有明显的分野；②创新外向联系。空间上呈现沿沪宁线和沪杭线的“八字形”的核心结构和沿海“C型”的潜力圈层；③网络总体特征。创新群落由核心圈层、关联圈层和边缘网络三部分组成，上海、苏州、杭州、南京、无锡相关联形成两个嵌套三角形的结构组成了核心圈层。

关键词 引力；网络；创新城市群；长三角

中图分类号 TU984

文献标识码 A

DOI 10.16361/j.upf.201502004

文章编号 1000-3363(2015)02-0031-09

作者简介

吴志强，同济大学建筑与城市规划学院，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，教授，博士生导师，高密度区域智能城镇化协同创新中心主任，1336090530@qq.com

陆天赞，上海同济城市规划设计研究院，同济大学建筑与城市规划学院，博士生，ltz-happy@163.com

随着知识经济和信息社会的崛起，创意和创新成为城市和区域社会经济发展的内核动力，并以各类创新活动对区域和城市的发展和空间格局产生影响。而关于“创新”的讨论，自熊彼特的《经济发展导论》起，历经了技术创新、企业创新、国家创新、区域创新以及创新氛围和环境等一系列讨论和研究。目前，国内关于创新和创意城市的讨论，更多的围绕其内涵、要素、特征和评价，或者集中于城市内部微观的经济活动或创新园区、创意街区等空间要素，涉及区域层面城市之间创新联系的研究甚少。区域内是否存在创新中心地和创新城市群？城市之间的创新活动如何在空间测度和观察？创新城市之间的空间关系和群落关系及如何演进（吴志强，2013）？

1 研究进展

1.1 城市间关系研究

城市地理学中关于城市之间关系的研究主要包含两大派系：一类是城市中心性

* 国家自然科学基金重大项目“国际创新城市构建与中国城市圈发展战略规划研究”（批准号：12&ZD202）

的研究，一类是关于“流”和网络的研究。克里斯塔勒最先提出了中心地和中心性的概念，并建立了中心地的等级结构和市场区原理，廖什随后形成了“廖什景观”。后来，很多学者发展了中心地理论：普莱斯顿以“结节性”代替了克氏的“绝对重要性”，更接近生活现实地提出了补充区和非补充区的服务组成了中心性；马歇尔也认为中心性是结节性的一部分；美国社会学家伊万通过了有向图论的中心性概念来观察城市体系，并提出中心性是城市在空间交互作用的地位的凝结，测度中心性的最佳指标是城市实际交互作用的数据。1970年代后，随着全球化和信息化的快速发展，城市对外服务的空间尺度得以拓展，城市不但是充当近域范围内的城市中心地，更变成与世界网络连接的节点。霍尔(P.Hall, 1966)、弗里德曼(J.Friedmann, 1986)、卡斯特尔(M.Castells, 2006)、沙森(Sassen, 2008)等人提出了“世界城市假说”、“网络社会”、“流动空间”、“全球城市”等思想，泰勒(Taylor)则进一步提出了世界城市网络的理论，认为全球城市是建立在全球经济层面的节点，生产性服务业则是其结节性的基础。随后德吕代(Derudder)、泰勒、尼(Ni P)、Alderson等学者对世界城市网络的演化进行了实证分析，对城市网络的研究已经成为西方关于城市关系研究领域的重要前沿。

我国许多学者也经历了从中心地到网络体系的研究历程。

1.1.1 中心地研究

陈田(1987)通过对全国232个城市的15个经济指标进行因子分析，对全国城市体系划分为区域经济影响中心和城市经济影响区域；顾朝林(1991)将图论原理与因子分析方法相结合，应用33个指标对全国343个城市进行了综合实力评价；宁越敏、严重敏等(1993)采用市区非农业人口、全市工业总产值和市区邮电业务等经济指标，对全国35个主要城市进行了中心性指数计算和分析；杜国庆(1985、1995)结合GIS运用重力模型计算了1985年和1995年中国城市体系的空间吸引强度，解析中国

城市体系的空间联系网络和节点结构，并根据货运统计数据对重力模型进行了检验；陈彦光(1994、1998、2001、2004)从中心地理论出发，借助分形理论探讨我国城市体系的空间关系规律；周一星等(2001)在讨论中心性概念的基础上，通过对1997年全国223个地级以上城市的中心性进行实证研究，对城市中心性的等级进行了划分；方创琳、宋吉涛、许学强等(2005、2006)在城市中心性研究的基础上对城市群进行研究；顾朝林等(2008)运用重力模型方法和空间交互模型的定量分析方法，分析中国城市体系的空间联系状态和结节区结构并对中国城市体系的空间组合区域进行层域划分；吴志强、王伟(2008)通过城市的集合能效来探寻三大城市群的空间结构和演变；赵群毅(2009)在全球背景下探索城市中心性的概念、测量与运用；王士君、冯彰献(2009、2010)对中心地发展提出了思考，形成中心地扩展面域的理论并进行实证研究；陆玉麒等(2011、2013)从中心地产生与演化的过程机理和中心地体系的理论背景入手，构建了中心地等级体系的动态演化模型，探讨中心地体系的空间演化及空间重构。

1.1.2 城市网络研究

受“世界城市假说”、“网络社会”、“流动空间”等思想的影响，许多城市规划和城市地理学者多借鉴Taylor、Hall、Neal等人的分析方法从企业的经济联系(唐子来，赵渺希，2010、2011、2012)(唐子来，李峰，2014)(朱查松，王德，罗震东，2014)、航空高铁等交通流的网络联系和信息流的区域互动(罗震东，甄峰，顾朝林，2008，2011)等方面对区域内城市间的经济、交通、信息的联系进行研究，城市体系研究经历了从“假说”到“实证”、从属性到网络、从产业链到价值链的发展演变(唐子来，2012)，但对有关城市间创新活动视角的研究仍然不足。

1.2 创新视角下的区域空间体系研究

创新在知识经济时代作为城市发展动力的背景下，区域的空间格局必然发

生相应的重构，我国基于创意和创新活动的区域空间结构的研究也得到了相应发展。

一方面，关注创新活动和信息时代所带来的思想方法变化的研究较多。甄峰(2001)提出知识经济新的背景下，传统的地理学已经受到了学科自身和实践需要的双重挑战，并提出了“创新地理学”，认为创新活动对城市和区域的影响重大，并且创新体系空间格局及创新的空间扩散与转移、创新活动和创新环境等内容将是创新地理学的重要研究内容。甄峰等(2002、2004)、顾朝林等(2004)认为，信息技术与社会的互动作用改变了传统的思维范式，空间结构构成要素及其特点也相应发生变化，对信息技术影响下的空间结构的点、线、面在内涵及形态上的相应变化进行了解释，并提出赛伯空间、生产性服务业、创新网络与区域空间结构等新的研究内容。甄峰、张敏、刘贤腾(2004)从信息技术与知识创新角度分析了长三角信息产业的发展及其空间结构，以及信息通讯网络、人才等智力资源对长三角空间结构的影响。王士君、冯章献(2012)提出中心地理论应结合时代发展、社会转型、技术进步及其带来的城市与区域巨变等背景创新发展。罗志刚(2013)同样认为克氏理论已不能适应今天变化了的生产力背景、涵盖今天复杂的社会经济关系、反映复杂的多结构逻辑的城市体系，当下中国快速城镇化发展和独特的城镇体系必然催生出新的集聚结构和反映新集聚结构的新理论。

另一方面，集中在以研究专利、论文合作数或技术合作等创新产出在全球、国家和区域尺度进行城市间创新联系的分析研究也开始起步。①全球层面，黄亮、杜德斌(2014)从全球城市网络出发，采用社会网络分析方法，研究了国际研发城市国际合作网络的特征；吴素春(2013)通过国际友城的数据研究了创新型城市国际合作网络的关系；②国家层面，吕拉昌、李勇、谢媛媛等(2010、2013)从中国省会城市所构成的城市体系为视角，采用因子分析、数学建模等综合分析方法，从城市

创新职能出发探讨中国各大省会城市的创新格局、网络、等级体系及城市间的创新联系,并且对我国三大城市群的创新能力进行了比较;牛欣、陈向东(2013)应用引力模型结合社会网络分析方法,分析我国八大经济圈的287个地级市城市间的创新联系及创新网络空间;③区域层面,隋银辉2004年提出了创新圈的基本特征、建设条件、发展模式 and 指标体系,并提出在山东半岛建构“城市创新圈”的战略设想和思路;谢富纪、岁玥、瞿頔、陈莞等(2007、2008、2009)从创新的环境、要素、指标、演化和运行机制等方面对长三角的创新体系做了系统的研究;马仁锋(2014)以长三角16城市为研究对象,从创意产业发展影响因素综合测度视角研判长三角城市群创意产业的发展趋势。

综上所述,目前关于城市间创新活动及其联系的研究一方面缺乏从空间及城市间联系的角度进行剖析;另一方面则主要集中在更宏观的全球和国家的尺度而区域尺度的研究甚少。笔者以长三角地区41个城市为案例,采用修正的引力模型,结合社会网络分析方法,从创新引力、外向联系度和创新网络中的群落划分等维度分析长三角创新城市群的结构组织,深入对长三角网络结构的认识。

2 研究方法、研究数据

2.1 研究数据

研究从《中国城市统计年鉴2013》和国家知识产权局网站获取了反映创新阶层、创新经济投入、创新文化环境、创新产出四个维度的15个指标作为分析基础。其中:①创新阶层指标包含科研和技术服务从业人员、文化体育娱乐业从业人员、信息传播计算机服务和软件业从业人员、高校专任教师数、在校大学生数,并增加创新阶层人口总数和年末总人口数;②创新经济投入指标包含GDP、科学技术支出和当年实际使用外资金额;③创新文化环境指标主要包含互联网用户数、影剧院个数、公共图书馆图书总藏量等环境设施指标;④创

新产出指标以专利数为主要衡量指标,包含专利发明授权数和专利总数,数据来自于国家知识产权局专利局的专利公布公告数据。

2.2 研究方法

2.2.1 城市创新引力和外向联系度

(1) 创新引力模型

引力模型被视为联结物理学和社会科学、经济学的桥梁,常被用来分析两城市的空间联系。由于城市创新扩散随着距离的增加而减弱,在原始引力模型的基础上加入修正指数K和 π ,修正后的城市创新引力模型:

$$P_{ij} = K_{ij} \frac{\sqrt{\pi_i P_i \times V_i} \times \sqrt{\pi_j P_j \times V_j}}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

P_{ij} 代表城市j对城市i的创新引力; P_i 和 P_j 代表城市i和城市j的创新水平指标,本研究以各城市百万人拥有专利数和专利授权数的加权平均值作为衡量城市创新产出的基本指标, V_i 和 V_j 分别代表城市i和城市j从事创新活动的人员数(包含科研和技术服务从业人员、文化体育娱乐业从业人员、信息传播计算机服务和软件业从业人员、高校专任教师数), D 表示城市之间的距离。

同时考虑到创新和经济总量、研发投入和创新文化环境的正向关系,增加修正指数K和 π ,其中修正指数1:

$$K_{ij} = \frac{GDP_i}{GDP_i + GDP_j} \quad (2)$$

修正指数2:

$$\pi_i = A_i \times B_i \times C_i \times D_i, \pi_j = A_j \times B_j \times C_j \times D_j \quad (3)$$

π 由4个二级指标构成,各指标均为下一级指标标准化后的加权平均值。各二级指标和二级子指标的选取理由:A为创新资本投入,科学技术支出/GDP为主要指标;B为创新储备人才,即在校大学生/总人口为主要指标;C为创新文化环境,包括互联网用户数、影剧院个数和公共图书馆图书总藏量(千册、件)/ (年末总人口(万人));D为外向关联度,以当年实际使用外资金额/GDP为主要指标来表明城市创新的外向度。

(2) 创新外向联系模型

基于城市间创新引力,可计算区域内外除自身外所有城市的引力和作为本城市创新的潜力强度,度量城市的所有外向创新联系:

$$R_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} = \sum_{j=1}^n K_{ij} \frac{\sqrt{\pi_i P_i \times V_i} \times \sqrt{\pi_j P_j \times V_j}}{D_{ij}^2}$$

2.2.2 空间组织和网络族群分析

通过GIS的网络分析工具和社会网络分析方法的UCINET软件,分析长三角创新群落的网络密度、网络中心度、小团体分析和核心-边缘结构。

2.3 研究范围

研究着眼于更广泛地了解长三角地区不同类型的创新关系,“长三角”界定为三省一市的全部41个城市。

3 创新引力和外向关联度

3.1 创新引力

城市的创新引力是相对的,A城市对B城市的引力强,不等于B城市就一定对A城市产生强吸引。根据创新引力的大小,共分成7个层级,其中最为重要的是产生4级创新引力以上的12座城市,并与4级以下的城市在引力大小产生巨大的分野;第7层级的其他城市因其创新引力太小,未参加本文比较。其中,上海、苏州、南京、杭州、无锡是创新引力较强的城市,而徐州、连云港、淮安、盐城、泰州、宿迁、温州、金华、衢州、舟山、台州、丽水及安徽除合肥、马鞍山、芜湖、铜陵和滁州的大部分城市,其创新引力和被吸引的程度都很弱(图1、表1)。

3.1.1 层级比较(表1)

第一层级。引力值为0.1-0.5,分别为上海对苏州和杭州、无锡对苏州、苏州对上海和无锡的引力。可以发现随着创新企业的入驻、创新人才的积累,加之区位优势,苏州对上海同时产生强大的吸引作用。相比之下南京、杭州和合肥三个省会城市的创新引力仍然不足。

第二层级。引力值为0.05-0.1,包括上海对南京、无锡、嘉兴的引力;南京对马鞍山和镇江引力;苏州对杭州的引力;杭州对上海和苏州的引力。

第三层级。引力值为0.02-0.05,包括上海对常州、南通、宁波;南京对苏州、常州、杭州、芜湖;无锡对上海和常州;常州对无锡;苏州对南京、常

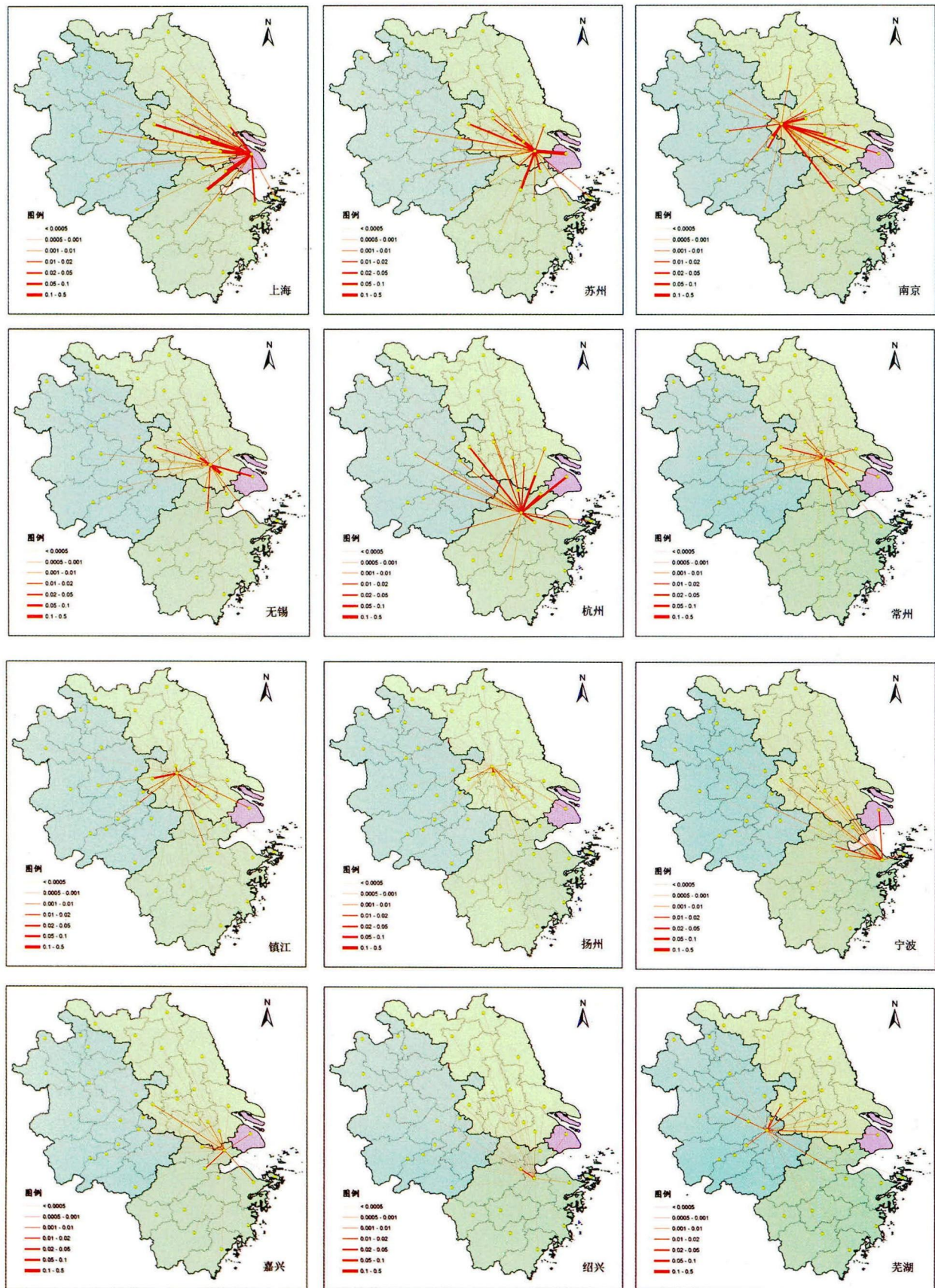


图1 长三角城市创新引力分布图(前四级12个城市)

Fig.1 City innovation gravity in the Yangtze River Delta (12 cities in top 4 level)

资料来源：笔者自绘。

表1 长三角41城市创新引力分级一览表

Tab.1 The innovation gravity of 41 cities in the Yangtze River Delta Region

	一级 (≥0.1)	二级 (0.05-0.1)	三级 (0.02-0.05)	四级 (0.01-0.02)	五级 (0.001-0.01)	六级 (0.0005-0.001)	七级
上海	苏州 杭州	无锡 南京 嘉兴	宁波、常州、 南通	镇江	淮安、扬州、泰州、绍兴、 金华、舟山、合肥、芜湖、 铜陵、马鞍山	盐城、蚌埠、宣城、 黄山	略
南京		马鞍山 镇江	常州、苏州、 杭州、芜湖	上海、无锡、 扬州、合肥	南通、淮安、宣城、滁州、 铜陵、泰州、宁波、嘉兴、 湖州、蚌埠	黄山、盐城、绍兴、 淮南	
无锡	苏州		上海、常州	南京、杭州	南通、扬州、镇江、宁波、 嘉兴、湖州、芜湖	泰州、合肥、马 鞍山、铜陵	
常州			无锡	南京、苏州	上海、南通、扬州、镇江、 杭州、嘉兴、湖州、芜湖	泰州、宁波、合肥、 马鞍山、铜陵	
苏州	上海 无锡	杭州	南京、常州、 嘉兴	南通、镇江、 湖州	扬州、泰州、宁波、绍兴、 舟山、合肥、芜湖、马鞍山	淮安、金华、黄山、 宣城	
南通					上海、南京、无锡、常州、 苏州、杭州	镇江	
扬州			镇江		南京、常州、	上海、无锡、苏州、 泰州、杭州、芜湖	
镇江			南京	扬州	上海、无锡、常州、苏州、 泰州、杭州、芜湖、马鞍山	铜陵	
泰州					镇江	南京	
杭州	上海 苏州	南京、嘉兴、 绍兴	无锡、常州、 宁波、湖州		南通、扬州、镇江、金华、 舟山、合肥、芜湖、马鞍 山、铜陵、黄山	丽水、宣城	
宁波				上海、杭州	南京、无锡、苏州、嘉兴、 绍兴、舟山	常州、镇江、芜湖	
嘉兴				杭州	上海、南京、无锡、苏州、 宁波、湖州	常州	
湖州					苏州、杭州	上海、南京、无锡、 嘉兴	
绍兴				杭州		上海、苏州、宁波	
金华						杭州	
合肥					上海、南京、苏州、镇江、 杭州、芜湖、马鞍山	无锡、常州、蚌 埠、淮南	
芜湖				南京	苏州、镇江、杭州、合肥、 马鞍山、铜陵	上海、无锡、常州、 宣城	
马鞍山					南京、芜湖	镇江、铜陵	
铜陵					芜湖	南京	

资料来源: 笔者自绘。

州、嘉兴；扬州对镇江；镇江对南京；杭州对南京、嘉兴和绍兴引力。

第四层级。引力值为0.01-0.02，包括上海对镇江；南京对上海、无锡、合肥；无锡对南京和杭州；常州对南京和苏州；苏州对南通、镇江和湖州；镇江对扬州，杭州对无锡、常州、宁波、湖州；宁波对上海和杭州；嘉兴对杭州；绍兴对杭州和芜湖对南京的引力（表1）。

3.1.2 城市比较（图1、2）

上海。上海在群落内创新引力最强，覆盖所有层级的城市。对苏州（0.37）、杭州（0.138）、无锡（0.061）、嘉兴（0.053）、南京（0.05）、宁波（0.04）、常州（0.029）、南通（0.022）的引力较强，其次是镇江、淮安、合肥、芜湖、铜陵、金华、绍兴、舟山等

城市，呈现“V”型分布。

苏州。对上海（0.223）、无锡（0.18）、杭州（0.084）的引力较强；其次是常州、南京、嘉兴，除马鞍山、南通、镇江、湖州外，对沪宁线以外的城市引力较小。

南京。南京的创新引力主要对苏南的镇江（0.065）、苏州（0.021）、无锡（0.012）、常州（0.02）4市和扬州（0.019）较强，对连云港、盐城、徐州、南通、宿迁、泰州等苏北城市的引力很弱；对安徽的部分城市引力较大，包括合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、蚌埠、滁州6市；浙江省内主要吸引杭州和宁波；对上海的引力较小（0.018）。

无锡。与苏州（0.113）关系最紧密，对常州（0.045）和上海（0.023）的

引力较强，其次是南京和杭州。

杭州。对上海（0.053）、苏州（0.054）的引力最强，其次是南京、绍兴、嘉兴，对苏南和安徽东部的城市引力较大，形成面向沪宁线的引力扇面，对浙江其他城市的引力较小。

常州。对无锡的引力最强（0.024），其次是苏州（0.014）、南京（0.011），对上海、南通、湖州、嘉兴、杭州、镇江、扬州、芜湖也有较强引力。

镇江。主要吸引南京（0.023）和扬州（0.019），其次是芜湖、杭州、苏州、无锡、常州、上海。

扬州。主要吸引镇江（0.021），其次是南京、常州，紧随其后是上海、芜湖、泰州、苏州、无锡、杭州。

宁波。主要吸引上海（0.013）和杭州（0.015），其次是绍兴、苏州、无锡、南京、舟山、芜湖、镇江、常州、嘉兴、湖州。

嘉兴。主要吸引杭州（0.01），其次是上海、宁波、苏州、无锡、常州、湖州、南京。

绍兴。主要吸引杭州（0.01），其次是上海和宁波。对其他城市的引力较小。

芜湖。主要吸引南京（0.012），其次是合肥、铜陵、马鞍山、镇江、苏州和杭州。

合肥。作为安徽省会城市，对群落内城市的创新引力较弱，位于第五级（0.001-0.01）以下，主要吸引上海、苏州、南京、镇江和杭州，在安徽省内主要吸引芜湖和马鞍山。

3.2 创新外向联系度

长三角各城市的创新外向联系度在空间上呈现强“八”字形和弱“C”形相结合的总体结构。“八”字形中的两轴主要是沿沪宁线和沪杭线展开，其中沪宁线仍然是创新外向联系度最为显著的主要轴带，沪杭沿线城市虽有一定的轴线态势，但仍呈现断点和轴带不均衡的状态；而由南通、上海、湖州、嘉兴、杭州、绍兴、宁波形成一个创新外向联系度较强的有较大潜力的“C”型圈。而安徽的合肥尽管有一定的创新外向联系，但仍孤立于核心结构之外（图3、4、5）。

从各城市创新外向联系度分值分析，第一级城市是上海、苏州、南京、杭州和无锡，外向联系度值在0.1以上，而上海和苏州明显高于其他城市；第二级的城市11座，分值介于0.1和0.01之间，但和第一级城市的分值差距较大。三、四、五级城市创新外向关联度值极低，趋向于零。整体来看，除了第一级的五座城市，长三角大多数城市的创新外向关联度总体水平仍然很低，尤其是三、四、五级城市的创新发展，仍处在一个相对封闭独立的状态（表2）。

4 创新引力的网络分析

4.1 创新引力的网络与层级

通过图6观察可以发现，创新引力排在前三级的城市所形成的网络关系基本构成了整个长三角创新群落的核心结构，第四层级的创新引力网络作为关联网络，与核心结构有较强的相关性，第五级以下的城市形成的网络对整体的网络结构影响较小，视为边缘网络。

4.1.1 核心网络体系

第一级网络：以上海和苏州为核心。形成苏州无锡、上海无锡相互吸引以及上海吸引杭州的“>”形结构。

第二级网络：苏州和杭州相互吸引，增加了上海对南京和嘉兴、南京对马鞍山、镇江吸引形成倒“Z”形结构。杭州、上海和苏州为核心的引力三角形基本成型，同时出现南京作为次一级引力点。

第三级网络：以上海、苏州、杭州、无锡、南京为创新引力中心，吸引了更多的外围城市。上海增加南通、宁波、常州；苏州增加了嘉兴、常州、南京；无锡增加了上海和常州；杭州增加了南京、嘉兴和绍兴；扬州对镇江和镇江对南京也形成了吸引。在南京之后，增加了杭州、无锡作为次一级的引力点，南京、镇江、扬州形成较简单的引力链关系。

总体形成了上海和苏州为内核、南京和杭州为外核的嵌套三角形（杭州、上海、苏州为核心的内三角形和上海、杭州、南京为核心的外三角形）为核心

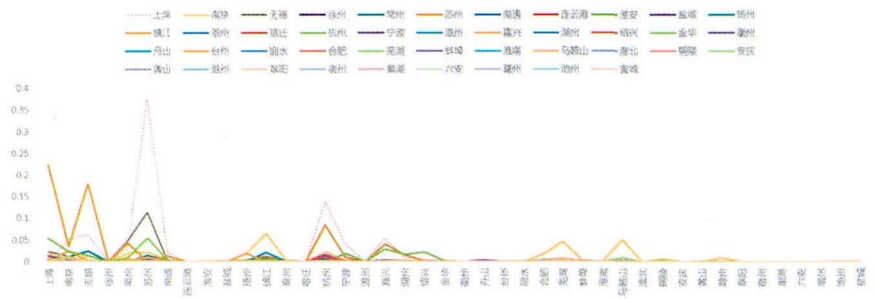


图2 长三角城市创新引力比较图
Fig.2 Comparison of city innovation gravity in the Yangtze River Delta Region
资料来源：笔者自绘。

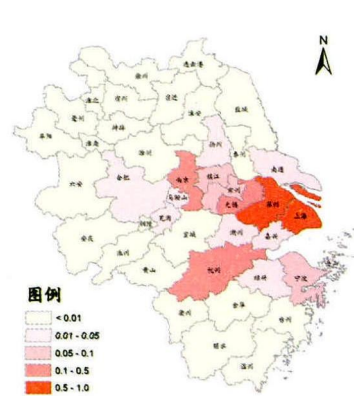


图3 长三角城市创新外向联系度分布图
Fig.3 External innovation linkages of cities in the Yangtze River Delta Region
资料来源：笔者自绘。

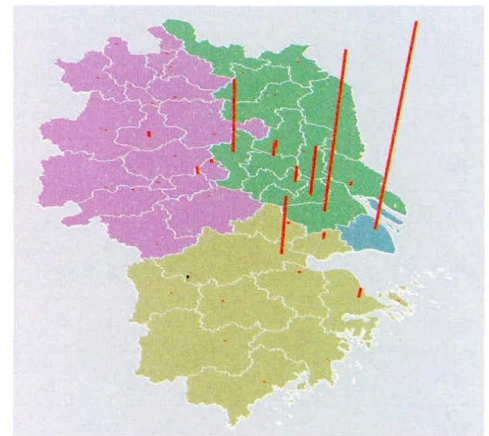


图4 长三角城市创新外向联系度分布图
Fig.4 External innovation linkages of cities in the Yangtze River Delta Region
资料来源：笔者自绘。

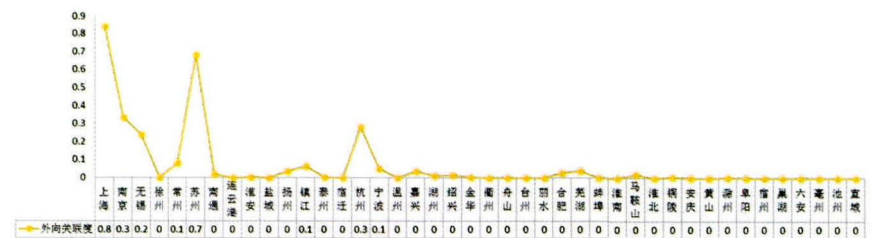


图5 长三角城市创新外向联系度比较图
Fig.5 Comparison of external innovation linkages of cities in the Yangtze River Delta Region
资料来源：笔者自绘。

结构的创新引力空间网络（图6、7）。

4.1.2 关联网络体系

第四级网络：仍然以苏州、上海、南京、杭州为核心，增加了相互吸引的城市。同时增加了宁波、芜湖、嘉兴等更次一级的引力点。总体的双三角形核心结构没有改变（图6）。

4.1.3 边缘网络体系

第五级网络：双三角形嵌套关系往外拓展，增加了合肥、马鞍山芜湖、铜陵、泰州、南通的新的次一级引力点。随着引力级别的增加，产生引力关系的城市数量显著增多，也增加了引力网络

的丰富度和紧密度，呈现了更为广泛和显著的网络化特征。

第六级网络：增加了泰州、湖州、金华三个新的更次一级吸引点，引力关系更加复杂（图6）。第七层级增加15个城市，因引力等级极低而忽略不计（图7）。

4.2 创新引力的社会网络分析

4.2.1 网络密度

网络密度值越大，表明节点间联系路径越多，网络中创新合作关系越紧密，群落内创新活动越密集，信息、人

员、产出等创新联系也更加丰富，更有利于城市创新发展。利用UCINET软件计算出长三角创新城市群的引力网络密度发现，2012年长三角创新引力平均值为0.0016（标准偏差0.0133），表明长三角总体的创新引力很弱。

4.2.2 网络中心性

运用Ucinet中的centrality法分析模块，观察网络的点度中心度、接近中心度和中间中心度。

(1) 点度中心度

它是测量网络中节点城市自身的交易能力，如果一个点与其他许多点直接相连，则该点就具有较高的点度中心度。排前面的城市为：上海、苏州、杭州、南京、无锡、常州、镇江、嘉兴、芜湖、宁波、马鞍山、扬州、湖州、南通、合肥。

(2) 接近中心度

用来衡量不受其他节点控制的程

表2 长三角41城市创新外向联系度分级和赋值一览表

Tab.2 Categorization of external innovation linkages for 41 cities in the Yangtze River Delta Region

级别	第一级	第二级	第三级	第四级	第五级
数量	5	11	10	11	4
城市 and 分值	上海(0.839) 苏州(0.684) 南京(0.333) 杭州(0.280) 无锡(0.237)	常州(0.080) 镇江(0.065) 宁波(0.050) 芜湖(0.0385) 嘉兴(0.037) 扬州(0.036) 合肥(0.029) 南通(0.019) 马鞍山(0.019) 绍兴(0.014) 湖州(0.010)	铜陵(0.0047) 泰州(0.0041) 滁州(0.002) 金华(0.0018) 淮安(0.0017) 盐城(0.0014) 蚌埠(0.0012) 舟山(0.0011) 徐州(0.001) 宣城(0.001)	温州(0.00071) 淮南(0.00069) 台州(0.00055) 池州(0.00048) 黄山(0.00043) 连云港(0.00042) 丽水(0.00025) 安庆(0.00021) 淮北(0.00017) 六安(0.00015) 宿迁(0.00012)	衢州(0.00009) 宿州(0.00003) 阜阳(0.00001) 亳州(0.00001)

资料来源：笔者自绘。

度，如果网络中节点城市在交易的过程中较少依赖他人，城市就具有较高的接近中心度。排前面的城市为：上海、南京、淮南、马鞍山、常州、苏州、蚌埠、淮北、铜陵、镇江、杭州、合肥、芜湖、无锡、扬州。

(3) 中间中心度

测量城市对创新资源控制的程度。排前面的城市为：上海、南京、淮南、马鞍山、常州、苏州、蚌埠、杭州、铜陵、镇江、芜湖、合肥、淮北、无锡。

4.2.3 网络族群

城市网络分析方法中的凝聚子群是用于揭示城市群体内部子结构状态，找

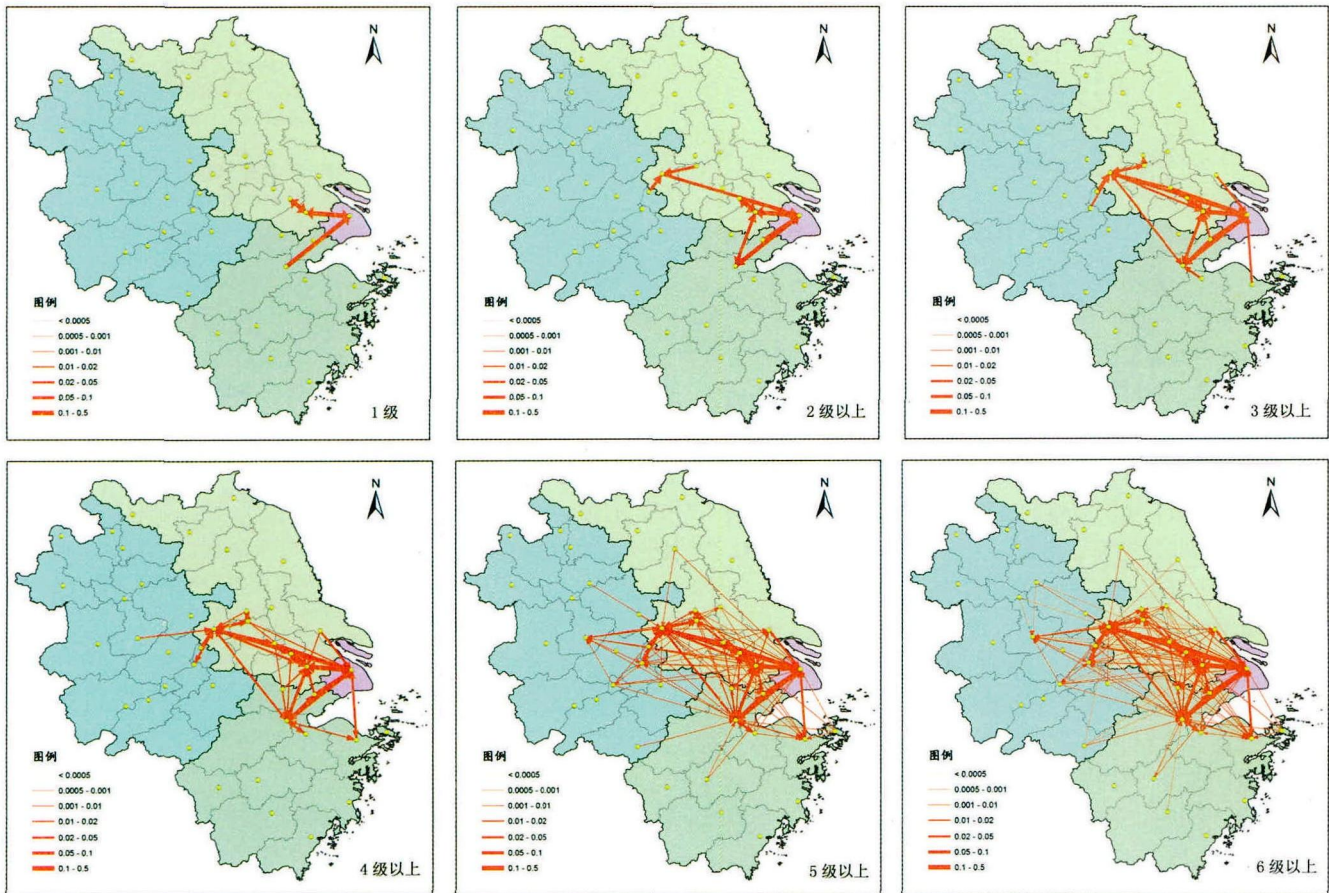


图6 六个层级的城市引力关系和网络

Fig.6 Network of innovation gravity of cities(6 levels)

资料来源：笔者自绘。

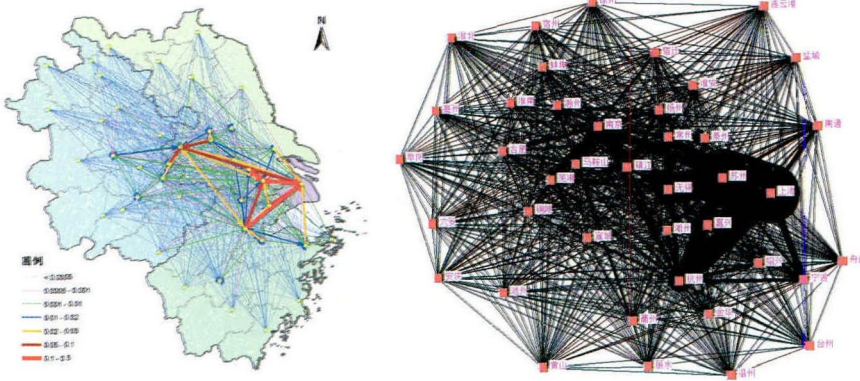


图7 城市引力网络图与社会网络分析图的对比
Fig.7 Comparison of innovation gravity and social network in SNA
资料来源：笔者自绘。

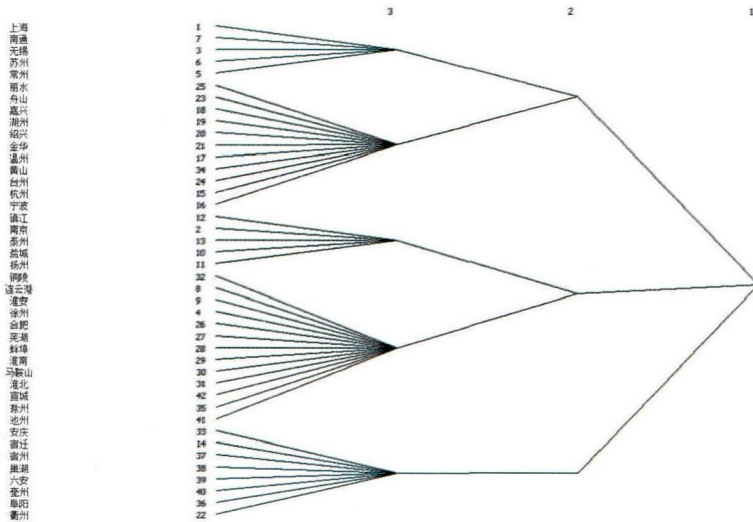


图8 社会网络方法的凝聚子群分析图
Fig.8 CONCOR analysis in SNA
资料来源：笔者自绘。

到城市网络中凝聚子群的个数和每个子群的城市成员，分析子群间关系和联接方式。通过Ucinet中的迭代相关收敛法（CONCOR法）分析，结果发现：整体网络分为三个层级，第三层级的5个子群分别为：子群一（上海、南通、无锡、常州、苏州）；子群二（丽水、舟山、嘉兴、湖州、绍兴、金华、温州、黄山、台州、杭州、宁波）；子群三（镇江、南京、泰州、盐城、扬州）；子群四（铜陵、连云港、淮安、徐州、合肥、芜湖、蚌埠、淮南、马鞍山、淮北、宣城、滁州、池州）；子群五（安庆、宿迁、宿州、六安、亳州、阜阳、衢州）（图8）。

同时，通过Ucinet中核心-边缘模块（core-periphery）分析，能够明确社会

网络中哪些节点处于核心地位，哪些节点处于边缘地位，同时在动态视角下还可以了解核心-边缘格局形成的结构特征和内在机制。通过设定创新引力为考察指标分析发现，苏州、上海、杭州、南京、无锡为核心，其他城市为边缘节点。

5 结论

创新和创意已经成为城市与区域转型发展的核心动力和提高城市及区域竞争力的主要路径之一。通过创新引力模型和外向联系模型对长三角城市群落的观察，发现长三城市的创新引力层级已经出现明显的分野，创新引力较高的核心城市已经开始引领长三角创新网络整体发展并形成相对稳定的创新群落关

系。从外向联系上看，整个创新群落在空间上呈现沿沪宁线和沪杭线的“八”字形的核心结构以及沿海“C”型的潜力创新圈层；在总体特征上看，长三角创新城市群落由核心网络、关联网络和边缘网络三大网络体系组成，核心圈层由上海、苏州、杭州、南京、无锡等5个城市组成，并在空间上形成两个相对成熟、稳定的嵌套三角形结构。

致谢：感谢中山大学罗向欣老师在部分数据分析和整理中的帮助。

参考文献 (References)

- [1] CHRISTALLER W. Central place in southern Germany[M]. BASKIN C W, translate. Englewood Cliffs, NJ and London: Prentice Hall, 1966.
- [2] CAMAGNI R. Innovation networks[M]. Belhaven: London, 1991.
- [3] CHRISTIAN W M, ANNETTE W S. The top-level global research system, 1997-1999: centers, networks and nodality: an analysis based on bibliometric indicators[J]. Urban Studies, 2002, 39(5/6): 903-927.
- [4] 陈田. 我国城市经济影响区域系统的初步分析[J]. 地理学报, 1987(12): 308-318. (CHEN Tian. A preliminary analysis on the system of influence regions of China urban economy [J]. Acta Geographica Sinica, 1987(12): 308-318.)
- [5] 陈涛, 李后强. 城镇空间的科赫模-Koch模式: 对中心地学说的一种可能的修正[J]. 经济地理, 1994(9): 10-14. (CHEN Tao, LI Houqiang. Koch model of urban space: possible amendments of central place theory[J]. Economic Geography, 1994(9): 10-14.)
- [6] 陈彦光. 城市体系 Koch 雪花模型的实证研究——中心地 K3 体系中的分形与分维[J]. 经济地理, 1998(4): 33- 37. (CHEN Yanguang. Empirical studies of the urban system Koch snowflake model[J]. Economic Geography, 1998(4): 33- 37.)
- [7] 陈彦光, 刘继生. 中心地体系与水系分形结构的相似性分析——关于人——地对称关系的一个理论探讨[J]. 地理科学进展, 2001(3): 81-88. (CHEN Yanguang, LIU Jisheng. Studies of analogies of fractal structure between river networks and system s of central places: a theoretical approach to the symmetry between physical and human geographical systems [J]. Progress in Geography, 2001(3): 81-88.)
- [8] 陈彦光. 中心地体系空间结构的标度定律与分形模型[J]. 北京大学学报, 2004(7): 626-634. (CHEN Yanguang. Spatial structure of central- place systems: fractals and scaling laws [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2004(7): 626-634.)
- [9] 陈莞. 大都市圈创新系统要素配置研究 [D]. 上海交通大学博士学位论文, 2009-05. (CHEN Wan. Research on the allocation of innovation elements in metropolitan re-

- gional innovation system[D]. A Dissertation for Doctor Degree of Shanghai Jiao Tong University, 2009-05.)
- [10] DIZE J R. Metropolitan innovation system: a comparison between Barcelona, Stockholm, and Vienna[J]. *International Regional Science Review*, 2002, 25(1): 63-85.
- [11] [挪]詹·法格博格, [美]戴维·莫利, [美]理查德·纳尔逊. 牛津创新手册[M]. 柳卸林, 等, 译. 北京: 知识产权出版社, 2009. (FAGERBERG J, MOWERY D, NELSON R. The Oxford handbook of innovation[M]. LIU Yulin, et al. translated. Beijing: Intellectual Property Press, 2009.)
- [12] FISCHER M, REVILLA D J, SNICKARS F. Metropolitan innovation systems: theory and evidence from three metropolitan regions in Europe [M]. Berlin: Springer, 2001.
- [13] 方创琳, 宋吉涛, 张蕾, 等. 中国城市群结构体系的组成与空间分异格局[J]. 地理学报, 2005(5): 827-840. (FANG Chuanglin, SONG Jitao, ZHANG Qiang, et al. The formation, development and spatial heterogeneity patterns for the structures system of urban agglomerations in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2005(5): 827-840.)
- [14] 顾朝林. 中国城市经济区划分的初步研究[J]. 地理学报, 1991(6): 129-141. (GU Chaolin. A preliminary study on the division of urban economic regions in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991(6): 129-141.)
- [15] 顾朝林, 鹿海峰. 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(1): 1-12. (GU Chaolin, PANG Haifeng. Study on spatial relations of Chinese urban system: gravity model approach[J]. *Geographical Research*, 2008(1): 1-12.)
- [16] 黄亮. 国际研发城市的特征、网络与形成机制研究[D]. 华东师范大学博士学位论文, 2014-05. (HUANG Liang. The study on the characteristics, network and formation mechanism of international R&D city[D]. A Dissertation for Doctor Degree of East China Normal University, 2014-05.)
- [17] 罗震东, 何鹤鸣, 耿磊. 基于客运交通流的长三角功能多中心结构研究[J]. 城市规划学刊, 2011(2): 16-23. (LUO Zhendong, HE Heming, GENG Lei. Analysis on the polycentric structure of Yangtze River Delta on passenger traffic flow[J]. *Urban Planning Forum*, 2011(2): 16-23.)
- [18] 罗志刚, 本·西格斯. 德国纽伦堡G级中心地体系的变迁研究[J]. 国际城市规划, 2013(3): 78-89. (LUO Zhigang, SEEGER B. Research on the transition of Nuernberg's G-system central place[J]. *Urban Planning International*, 2013(3): 78-89.)
- [19] 吕拉昌, 谢媛媛, 黄茹. 我国三大都市圈城市创新能级体系比较[J]. 人文地理, 2013(3): 91-95. (LÜ Lachang, XIE Yuanyuan, HUANG Ru. The comparison of innovation ability of three megalopolises in China[J]. *Human Geography*, 2013(3): 91-95.)
- [20] 吕拉昌, 李勇. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系[J]. 地理学报, 2010(2): 177-190. (LÜ Lachang, LI Yong. A research on Chinese renovation urban system based on urban renovation function[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010(2): 177-190.)
- [21] 陆玉麒, 袁林旺, 钟业喜. 中心地等级体系的演化模型[J]. 中国科学: 地球科学, 2011(8): 1160-1171. (LU Yuqi, YUAN Linwang, ZHONG Yexi. Evolutionary model of the central place hierarchical system[J]. *Sci China: Earth Sci*, 2011(8): 1160-1171.)
- [22] 马仁锋. 中国长江三角洲城市群创意产业发展趋势及效应分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014(1): 1-9. (MA Renfeng. Trends and effects of creative industries development in the Yangtze River Deltas urban agglomerations [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014(1): 1-9.)
- [23] 宁越敏, 严重敏. 我国中心城市的不平衡发展及空间扩散的研究[J]. 地理学报, 1993(3): 97-104. (NING Yuemin, YAN Chongmin. The uneven development and Chinese central cities[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993(3): 97-104.)
- [24] 牛欣, 陈向东. 城市间创新联系及创新网络空间结构研究[J]. 管理学报, 2013(4): 575-582. (NIU Xin, CHEN Xiangdong. Innovation connection between cities and spatial structure of innovation network[J]. *Chinese Journal of Management*, 2013(4): 575-582.)
- [25] 瞿頔. 长三角都市圈创新体系的演化与评价[D]. 上海交通大学硕士学位论文, 2008-01. (QU Di. Evaluation and evolution of the innovation system of Yangtze River Delta metropolitan region[D]. A Dissertation for Master Degree of Shanghai Jiao Tong University, 2008-01.)
- [26] 岁玥. 中国都市圈创新体系的发展比较与评价[D]. 上海交通大学硕士学位论文, 2007-01. (SUI Yue. Development compare and evaluation of the innovation system of metropolis in China[D]. A Dissertation for the Degree of Master of Shanghai Jiao Tong University, 2007-01.)
- [27] 唐子来, 李涛. 长三角地区和长江中游地区的城市体系比较研究: 基于企业关联网络的分析方法[J]. 城市规划学刊, 2014(2): 24-31. (TANG Zilai, LI Tao. Analysis on the city network between Yangtze River Delta and Yangtze River region[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(2): 24-31.)
- [28] 王士君, 冯章献, 张石磊. 经济地域系统理论视角下的中心地及其扩散域[J]. 地理科学, 2010(12): 803-809. (WANG Shijun, FENG Zhangxian, ZHANG Shilei. The central place and diffusion area system under the view of economic region system theory[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2010(12): 803-809.)
- [29] 王士君, 冯章献, 刘大平, 等. 中心地理论创新与发展的基本视角和框架[J]. 地理科学进展, 2012(10): 1256-1263. (WANG Shijun, FENG Zhangxian, LIU Daping, et al. Basic perspective and preliminary framework for the theoretical innovation and development of central place theory in new times[J]. *Progress in Geography*, 2012(10): 1256-1263.)
- [30] 王伟. 中国三大城市群空间结构及其集合能效研究[D]. 同济大学博士学位论文, 2008-06. (WANG Wei. Research on spatial structure and its integrated efficiency of three agglomeration in China[D]. A Dissertation for Doctor Degree of Tongji University, 2008-06.)
- [31] 吴素春. 中国创新型城市国际合作网络研究[J]. 世界地理研究, 2013(3): 74-82. (WU Suchun. Study on international cooperative network of Chinese innovative cities[J]. *World Regional Studies*, 2013(3): 74-82.)
- [32] 甄峰, 顾朝林. 信息时代空间结构研究新进展[J]. 地理研究, 2002(2): 257-266. (ZHEN Feng, GU Chaolin. New perspectives on spatial structure research in information era[J]. *Geographical Research*, 2002(2): 257-266.)
- [33] 甄峰, 徐海贤, 朱传耿. 创新地理学: 一门新兴的地理学分支学科[J]. 地域研究与开发, 2001, 20(1): 9-18. (ZHEN Feng, XU Haixian, ZHU Chuangeng. Innovation geography: the emerging branches of geography[J]. *Areal Research and Development*, 2001, 20(1): 9-18.)
- [34] 甄峰, 张敏, 刘贤腾. 全球化、信息化对长江三角洲空间结构的影响[J]. 经济地理, 2004(11): 748-752. (ZHEN Feng, ZHANG Min, LIU Xianteng. Study on the influence of globalization and information on Yangtze River Delta region spatial structure[J]. *Economic Geography*, 2004(11): 748-752.)
- [35] 赵渺希, 唐子来. 基于网络关联的长三角区域腹地划分[J]. 经济地理, 2010(3): 371-376. (ZHAO Miaoxi, TANG Zilai. A network-based measurement for urban hinterland area in Yangtze River Delta[J]. *Economic Geography*, 2010(3): 371-376.)
- [36] 赵渺希. 长三角区域的网络交互作用与空间结构演化[J]. 地理研究, 2011(2): 311-323. (ZHAO Miaoxi. Evolution of network and spatial structure in Yangtze River Delta [J]. *Geographical Research*, 2011(2): 311-323.)
- [37] 赵渺希. 全球化进程中长三角区域城市功能的演进[J]. 经济地理, 2012(3): 50-56. (ZHAO Miaoxi. The evolution of urban function in Yangtze River Delta region in the process of globalization[J]. *Economic Geography*, 2012(3): 50-56.)
- [38] 赵群毅. 全球化背景下的城市中心性: 概念、测量与应用[J]. 城市发展研究, 2009(4): 76-82. (ZHAO Qunyi. Debate on urban centrality under the globalization: concept, measures, and application[J]. *Urban Studies*, 2009(4): 76-82.)
- [39] 朱查松, 王德, 罗震东. 中心性和控制力: 长三角城市网络结构的组织特征及演化——企业联系的视角[J]. 城市规划学刊, 2014(4): 24-30. (ZHU Zhasong, WANG De, LUO Zhendong. A method of analyzing city network spatial structure[J]. *Urban Planning Forum*, 2014(4): 24-30.)
- [40] 周一星, 张莉, 武悦. 城市中心性与我国城市中心性的等级体系[J]. 地域研究与开发, 2001(12): 1-5. (ZHOU Yixing, ZHANG Li, WU Yue. Study of China's urban centrality hierarchy[J]. *Areal Research and Development*, 2001(12): 1-5.)
- [41] 周一星. 城市地理学[M]. 北京: 商务出版社, 1995. (ZHOU Yixing. *Urban geography* [M]. Beijing: China Commerce and Trade Press, 1995.)