

基于创新企业的中国城市网络联系特征

黄晓东^{1,2,3}, 马海涛⁴, 苗长虹³

(1. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海 200241; 2. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海 200062; 3. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 开封 475001; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所 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)

摘要: 多部门创新企业的跨城布局能够增进城市间的知识流动与创新联系, 大量创新企业部门关联构成的城市网络是理解国家创新格局的重要认知基础。本文运用 1778 家国家级创新企业部门关联数据和“总部—分支机构”方法建立中国城市间有向关系矩阵, 借助社会网络分析、GIS 技术及空间交互模型方法, 对创新企业建构的中国城市网络联系特征进行分析。结果发现: ① 基于创新企业的中国城市网络联系覆盖广但极不均质, 菱形联系格局在次级网络中逐步显现, 京津冀、长三角和珠三角城市群是网络联系的核心枢纽。② 城市间创新企业流具有明显的行政中心指向特征与省级边界效应, 直辖市及省会城市对创新企业流具有较强吸引力, 北京是网络联系最强核心, 上海和深圳次之。③ 城市网络区域异质性突出, 东部区域“内联外控”与中、西部区域“内弱外强”的联系格局呈现鲜明对比, 东部区域内沿海三大城市群网络的联系结构也存在较大差异。④ 城市的行政等级、经济水平和创新环境等属性指标, 以及城市间地理、技术、制度的邻近性关系指标, 都对城市吸收和输出创新企业流产生了不同程度的影响, 外资并不利于促进中国城际创新企业流和网络的形成。

关键词: 创新企业; 城市网络; 协同创新; 创新格局; 中国

DOI: 10.11821/dlxb202104005

1 引言

基于企业部门布局的城市关系建构是城市网络研究的核心内容^[1], 不同类型企业及其“企业流”被用来探讨城市间不同功能联系。20 世纪后期, 弗里德曼和萨森分别就跨国公司、跨国生产服务企业的区位选择, 对世界/全球城市的总部功能、服务功能以及沟通世界的“连接器”功能进行探讨, 回答了世界城市间的等级关系问题^[2-3], 奠定世界城市网络早期研究基础^[4]。21 世纪初, Peter Taylor 及其领导的“全球化与世界城市”研究小组 (Globalization and World Cities, GaWC) 突破网络研究“有属性无联系”的缺陷, 运用高级生产性服务企业机构分布数据对城市间高端服务联系进行考察^[5-6], 推动城市体系研究范式由中心地转向网络化^[7], 掀起城市网络研究热潮。此后, 研究者运用上市企业^[8]、电子信息企业^[9]、金融企业^[10]、物流企业^[11]等越来越多类型的企业及其部门关系构建城市网络, 以解读城市间不同类型的功能联系。当今, 知识经济时代业已到来, 城市之间的创新联系成为重塑城市网络的重要动力^[12]。以苹果、谷歌、华为等为代表的大型创新企

收稿日期: 2019-10-16; 修订日期: 2020-09-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971209, 41571151) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41971209, No.41571151]

作者简介: 黄晓东(1993-), 男, 河南安阳人, 博士生, 研究方向为科技创新与城市发展。E-mail: 498325802@qq.com

通讯作者: 马海涛(1979-), 男, 山东滕州人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 中国地理学会会员(S110008167M), 主要从事城市网络与创新研究。E-mail: maht@igsnrr.ac.cn

业,作为全球应用技术创新的主导者,通过在世界各地建立大量分支机构塑造了全球创新网络^[13-14]。然而,当前关于大型创新企业通过机构布局和部门联系对全球、国家和区域创新的贡献和影响却鲜有探讨。

2016年《国家创新驱动发展战略纲要》部署“培育世界一流创新企业”和“构建跨区域创新网络”两项重要战略任务^[15],创新企业如何推动跨区域创新资源要素整合成为建设国家创新体系的重要话题。姚士谋曾指出高新企业的关联可以促进城市网络形成并增强区域创新竞争力^[16]。《2017年全国技术市场统计年度报告》也表明,企业已成为跨区域技术交易的主体单位,企业间的技术交易成交额占到全国技术交易总额的68.51%^[17]。当前,以华为、中兴、京东方为代表的中国创新企业逐渐崛起,它们的空间组织也深刻影响着中国城市间的知识技术流转,并对构建国家创新体系产生了巨大作用。鉴此,本文以中国创新企业为研究对象,通过创新企业部门分布数据建构中国城市间联系网络,期望从创新企业角度考察当前中国城市间的协同创新关系特征,为国家创新体系和创新型国家建设提供研究支撑。

2 城市间创新关系研究进展

城市间相互作用关系是城市地理学的传统议题,其研究范式伴随时代演进发生转向,研究热点不断更新。工业时代,受“中心地”理论影响,城市间的相互作用关系被理解为单一垂直的等级关系,城市体系也被强调为核心城市主导的自上而下的等级嵌套结构^[18]。然而伴随信息时代到来,城市关系的等级话语愈发难以解释城市间联系增强、关系增密的非等级性问题,基于“流空间”的城市网络研究由于关注城市间的水平互动关系而受到推崇^[7, 19]。网络中,城市被认作是一种过程,基于信息、资本、知识、文化等要素流动而存在^[5, 20],因而城市的网络位置比其自身规模更加重要,拥有较好位置的城市可以通过与其他城市的关联借用规模(Borrow Size),弥补自身发展的局限^[21]。GaWC是网络范式转向的首要推动者^[19],他们率先并持续探讨了城市间的高端服务关系^[5-6]。受GaWC鼓舞,资金流^[22]、信息流^[23]、海运流^[24]、航空流^[25]等也被广泛应用于网络构建,使得城市关系的研究日趋多样。伴随全球进入知识经济时代,以城市为枢纽的创新网络空间正在崛起^[26],城市间的知识交流与创新协作愈发频繁,探究城市之间的创新关系成为城市网络研究新的热点话题。

城市间创新功能联系的探讨刚刚起步,其难点在于选用何种数据怎样建构城市间创新关系。当前主要有3种建构方法:①用以反映城市创新能力的属性数据和引力模型构建网络,对城际创新关系进行间接模拟^[27];②运用科技成果记录数据构建网络,通过城市间的论文合著^[28-29]、专利共申^[30-31]、专利转移^[32-33]研究城市间的科研合作网络、技术合作网络、技术转移网络;③运用创新人才迁移数据构建网络,通过科学家^[34-35]、企业家^[36-37]等的移动轨迹,探讨因人才流动而推动的城市间知识传播与技术交流。综合来看,城市网络方法为衡量城市间的创新关系提供了新路径,城市创新的网络职能^[28, 38]、城市间创新关系的邻近性与复杂性^[26, 39]、城市创新网络的结构、格局及演化^[31, 40-41]特征等均得到较好揭示。然而城市间的创新关系复杂且难以界定,任何数据都很难对其直接、准确地量化,过度局限于特定数据(当前研究集中于专利和论文数据)不免会使研究陷入片面^[39]。因此研究亟待更新视角、拓展新的创新关系数据,开展更为广泛的创新关系网络探讨^[12, 39]。大型创新企业的大规模发展及其跨区域扩张是确立和增强全球创新网络的关键^[13-14],也是城市间发生创新关系的重要源动力。但当前研究对创新企业的城市网络还没有足够重视。

20世纪80年代以来,企业组织与区域创新关系的研究一直是经济地理学关注的重点。其一,弹性专业化和区域创新系统学派认为企业的技术学习具有本地根植性^[42]。地理邻近的面对面交流作为企业获取技术知识的有效手段^[43-46],能够使企业在区域高效率传言(Buzz)中持续获益^[47-48]。同时,创新企业在与城市其他创新主体(包括大学院所、科研机构、科技中介、企业和政府科技服务机构等)的集体学习中,也能够通过“实践”、“模仿”产生与城市其它主体相似的技术轨道^[47],具备城市属性。其二,关系经济地理的研究强调企业跨区域布局有益于知识的跨界交流^[42, 49]。Amin等强调只要组织或者关系足够强烈,知识也能够跨区域边界流转^[50],企业依托产权关系在全球不同国家和城市等多个空间尺度上布局总部、研发、生产和营销等部门,已经成为企业跨边界知识搜索和传播的有效途径^[51]。企业搭建的全球通道,可以将本地(集群)网络和异地网络连接在一起,既利于避免地方陷入锁定,也能够激发区域创新活力^[52]。整体而言,经济地理学的研究很好地解释了企业组织与区域创新关系问题,但受数据所限,其研究对象停留于企业而非城市;研究视角虽出现关系转向,但关注点放在双边(本地和异地)而非多边网络关系。事实上,跨区域的企业空间组织过程应是企业网络在城市网络的关系嵌入过程^[53],是对不同城市知识“岛屿”的有机整合^[54];城市所处的创新环节由大量相关企业与全球创新网络连接构成,并进而形成跨区域的协同创新共同体^[55]。

网络范式的兴起为城市间创新关系的研究提供了很好方法论支撑,大型创新企业跨城布局对不同城市知识的有机整合为探讨城市间创新关系奠定了良好基础。企业部门间跨城的人员流动、技术章程传送以及专利转移等都能够推动城市间的显/隐性知识交流,统一的企业文化、管理模式等则有助于其充分流转。特别是对于拥有保密性技术、知识和信息的企业,知识交流权限虽多被限定于企业内部机构之间,但不仅限于其城市间。因此,企业部门的跨城布局意味着企业职能在本地城市和异地城市的双重嵌入^[49],创新企业部门间的知识技术联系,以及部门对城市创新氛围的嵌入性,能够搭建城市间创新协同关系(下文称之为城市创新联系)。所以,选择一定数量且具有较强创新实力的大型企业,可以建立起由创新企业主导的城市间创新网络。基于此,本文探讨由大型创新企业的部门分布所建构的中国城市间的创新关系,通过刻画网络联系的结构层级、有向组织和空间差异特征,分析网络联系形成因素,对知识经济时代和新技术流动格局下的中国城市间创新联系特征进行探索。

3 研究设计

3.1 网络构建方法

创新企业部门之间的跨城技术扩散与合作能够推动城市之间的创新关系生成。鉴于多项研究表明中国企业跨城的知识流动与协作多发生于总部—分支机构之间^[40, 56],且其技术交流具有保密性,属于垂直关系范畴,分支机构间的联系相对较弱。因此,本文借鉴“总部—分支机构”方法^[57],建立总部所在城市与分支机构所在城市之间关系。将城市间的联系设定为:

$$F_{ij} = \sum w \times f_{ij} \quad (i \neq j) \quad (1)$$

式中: F_{ij} 为城市间创新企业部门联系水平(简称创新企业流); f_{ij} 为创新企业总部所在城市*i*向城市*j*设立分支部门所建立的联系,反之为 f_{ji} ; w 为企业部门间联系强度权重,即为了更加客观地刻画企业部门所建立的城市关系,借鉴已有研究对企业部门间联系强度的设定方法^[58-60],结合对国内创新企业的调研访谈,采用4个强度等级对创新企业流强度进

行量化：研发中心的创新功能突出，其与总部的知识技术联系强度最大，关系强度赋值为4；区域总部和科技子公司等部门规模较大、管理职能较高、创新能力较强，关系强度赋值为3；承担生产、销售功能的一般性分公司创新功能较为单一，关系强度赋值为2；公司在各地的办事处承担业务联络、了解市场行情和参与商务谈判等功能，关系强度赋值为1。

3.2 网络测度指标

城市出度 (O_i) 和入度 (D_i)，考虑流的方向性，分别被用来表征城市控制和吸引创新企业流的能力，公式为：

$$O_i = \sum_j F_{ij} \quad (i \neq j) \quad (2)$$

$$D_i = \sum_j F_{ji} \quad (i \neq j) \quad (3)$$

城市中心度 (N_i)，不考虑流的方向性，被用来衡量城市 i 的创新企业流总和，即城市出度和入度之和，城市中心度越高，表明城市越居于网络核心地位，公式为：

$$N_i = O_i + D_i \quad (4)$$

网络多中心性 (P)，用来反映各区域城市开展知识合作的分布差异，多中心性程度越高，网络越均衡，反之越集中。参照相关研究^[28]，多中心性通过计算网络所有城市中心度的基尼系数 (G) 得出，公式为：

$$P = 1 - G \quad (5)$$

$$G = \frac{S_a}{S_a + S_b} \quad (6)$$

式中： S_a 为洛伦兹曲线与绝对平均线的围合面积； S_b 为洛伦兹曲线与横坐标轴的围合面积。

3.3 研究数据

创新企业的选择是有效模拟城市网络的基础，选择创新能力较强并能对国内不同城市的创新联系产生重要影响的国家级的创新企业，更能客观地展示中国创新企业建构的城市网络。目前对创新企业没有统一界定，不同机构有不同的认定标准。为了提高样本企业的代表性，本文遴选国内外多家权威机构对中国创新企业的认定，具体包括中国科技部、国资委、总工会 2006—2012 年间联合评选的 5 批 676 家“创新型企业试点”，中国工信部、财政部 2011—2017 年间联合评选的 7 批 495 家“国家技术创新示范企业”，中国人民大学等机构联合评选的 2017 年“中国企业创新能力 1000 强”，国际科学服务商 Clarivate Analytic 评选的 2016、2017 年“中国大陆创新企业百强”，国际专业服务机构普华永道旗下战略咨询机构 Strategy 评选的“2017 Global Innovation 1000”中 113 家中国大陆企业（表 1），经过筛选去重，最终确定 1778 家国内（不含港澳台）最具创新能力并具有多部门跨城分布特征的企业。为进一步判断样本企业代表能力，对所选样本企业的专利数量进行统计，截止 2018 年样本企业共拥有专利总数为 2057883 条，其中 99.83% 的企业专利数量超过 10 条，87.91% 的企业专利数量超过 100 条，远远高于国家技术创新示范企业的认定标准（3 个以上）。

创新企业部门关联和属性信息的获取是构建城市网络的关键。通过大数据抓取、官方网址查询和企业年报搜寻等方法，获取到 1778 家创新企业总部和其子公司（28628 家）、分公司（12569 家）的关系及城市位置信息数据；基于企业年报、网络检索和电话咨询等手段获得企业部门类型、规模及职能信息数据。同时，为保证数据准确性，又对所得数据进行多轮清洗，剔除错误、消亡（含倒闭、注销、吊销等）、不相关及联系不密切的 10572 条关系数据。最终得到覆盖国内 353 个城市的 30625 条总部—分支机构跨城联

表1 创新企业来源名单及其选取办法
Tab. 1 List of innovative enterprises and selection criteria

名单	评选单位	批次及数量	评选标准
创新型企业试点	中国科技部、国资委、总工会	2006—2012年5批, 共计676家企业	技术创新、品牌创新、体制机制创新、经营管理创新、理念和文化创新
国家技术创新示范企业	中国工信部、财政部	2011—2017年7批, 共计495家企业	创新机制、技术与人才、产出与效益
中国企业创新能力1000强	中国人民大学等	2017年1000家企业	创新投入、创新成果、创新价值扩散、创新网络宣传以及创新市场收益
中国大陆创新企业百强	Clarivate Analytic	2016、2017年两批, 每批次100家	企业发明总量、专利授权率、全球化和影响力
2017 Global Innovation 1000	Strategy	2017年中国大陆企业113家	全球研发支出最高的1000家上市公司

系数据(数据收集截止时间为2018年8月)。此外,需要补充说明的是企业部门地址为实际办公地址而非注册地址,例如注册于百慕大、维尔京、开曼等群岛的公司均以其实际办公地址为准。将所选创新企业样本以及创新企业部门的关联信息,带入公式(1)计算得出所有城市间的创新企业流,最终形成基于创新企业的中国城市间有向联系矩阵,作为研究基础数据。

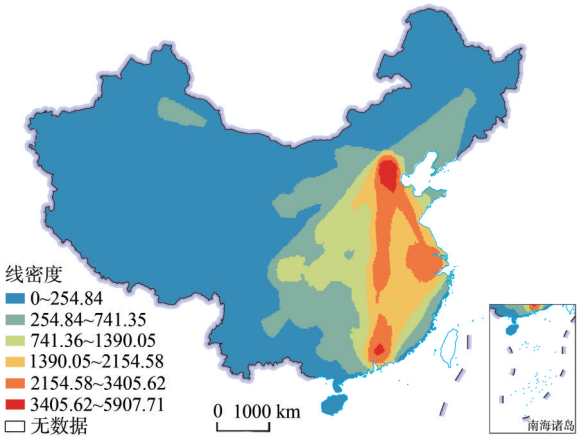
4 基于创新企业的中国城市网络联系格局

利用 ArcGIS 软件,借助线密度方法对城市网络进行可视化分析,发现基于创新企业的中国城市网络大致呈破碎的“菱形”联系格局,京津冀、珠三角和长三角三大沿海城市群是线密度的显著高值区,且三大城市群之间及内部区域也表现出较高的城际联系密度;成渝城市群是菱形网络中较弱的一核,特别是与珠三角城市群的联系相对薄弱;菱形网络外部,除少数较低值外,绝大部分区域都是最低值(图1)。进一步分析城市网络总体联系格局,发现基于创新企业的中国城市网络还具有层级结构性、空间指向性和区域异质性三大联系特征。

4.1 层级结构

基于创新企业的中国城市联系网络具有明显的层级结构特征,城市中心度以及城市间创新企业流强度差异较大,不同层级的城市及城市间联系表现出不同的网络空间结构和拓扑特征。

4.1.1 拓扑层级 利用Pajek软件,借助块模型方法将拓扑网络划分成五级并建立城市网络关联矩阵(图2)。首先,“核心—边缘”是城市网络联系的突出特征,网络中核心城市间的紧密创新联系与非核心城市间的稀疏创新关联形成鲜明对比,I、II、III、IV层级共拥有91个城市,仅占城市总数的25.78%,但其拥有的创新企业流却占到全部的

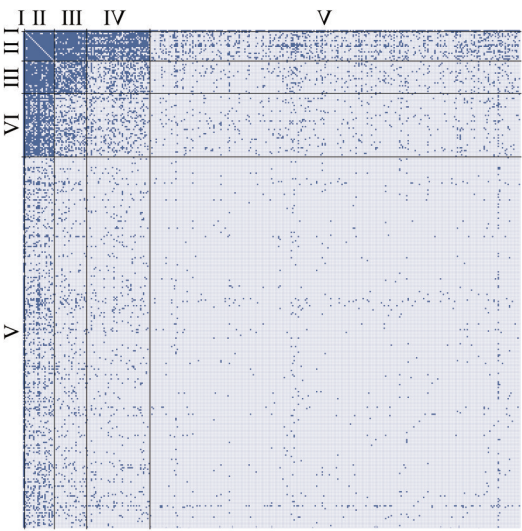


注:基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作,底图无修改。

图1 基于创新企业的中国城市网络联系线密度图
Fig. 1 The spatial pattern for a city network in China by line density analysis

86.38%；V层级的城市数量为262个，占城市总数的74.22%，但其关联数量却仅占到整体网络的13.62%。其次，直接可达性弱是城市网络拓扑联系的另一特征，“雁型”矩阵表明城市网络中绝大多数城市之间缺乏直接地创新互动，只与少数核心城市建立创新关系。进一步计算路径长度发现（表2），网络中城市经过1条路径可到达另一个城市的创新企业流有9110条，占全部路径的7.33%；而路径长度为2的创新企业流达到100132条，占全部路径的80.58%。这表明基于创新企业的中国城市网络可达性偏弱，多数城市间建立创新联系需要借助核心城市进行二次中转。然而，现实中创新企业的知识技术对外保密程度相当严格，基于创新企业建立的城市间关系，实现二次中转非常困难。但这并不能降低企业建立知识和创新外部通道的动力，因为公司内部机构间的保密协议限制不了保密协议之外以及人和人之间的沟通交流与隐性知识的溢出，在核心城市建立分支机构借用其创新规模仍是较多企业的普遍选择。

4.1.2 网络层级 运用自然断裂点法将城市间创新企业流划分成4个层级，展示不同层级联系构成的城市网络（图3）。结果显示，随着城市网络层级降低，“菱形”网络联系格局逐步形成并得到强化，京津冀、长三角和珠三角是“菱形”中3个最强核心。其中，一级城市网络以北京、上海、深圳为顶点构成东部创新企业流三角骨架，其强度介于262~778之间。北京是该级网络的主导者，网络仅有的11条创新企业流中有10条与北京有关，分别为北京→上海、北京→天津、北京→成都、北京→深圳、北京→武汉、北京→广州、北京→重庆、北京→西安，深圳→北京、上海→北京；深圳→上海是该级网络唯一不与北京相关的创新企业流，却是东部三角联系骨架组成的关键；成渝与珠三角城市群之间没有出现高等级创新企业流，菱形网络联系格局未形成。二级城市网络的创新企业流强度范围介于84~261之间，城市网络形态表现为东部三角网络联系增多，上海、成都和深圳为顶点的南部三角创新企业流网络初步形成。其中，北京的网络联系范围继续扩展，新增北京→南京、北京→杭州等44条创新企业流；长三角和珠三角城市群的城市创新联系能力得到提升，南京、杭州、苏州、合肥、绍兴、台州、南昌、无锡、珠海、东莞等城市被纳入网络。三级城市网络的创新企业流强度介于22~83之间，城市网络的菱形联系格局基本形成，东部三角网络创新企业流复杂稠密，与西部的稀疏网络差异明显。四级城市网络的创新企业流强度介于10~22之间，城市网络更加稠密，特别是菱形区域内部创新企业流明显比外部稠密，菱形区域外部仅有乌鲁木齐、银



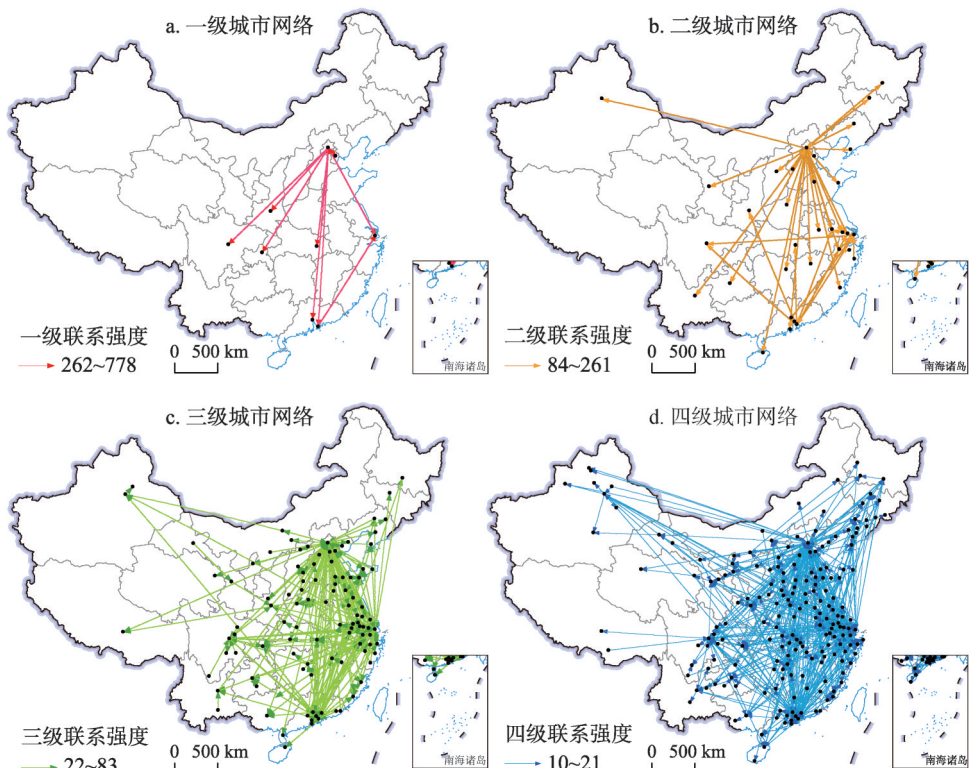
注：城市间存在联系则相应单元格被填充为蓝色。

图2 基于创新企业的中国城市网络关联矩阵
Fig. 2 The connectivity matrixes for a city network in China based on innovative enterprises

表2 基于创新企业的中国城市网络路径长度
Tab. 2 The path lengths of a city-based network in China based on innovative enterprises

路径长度	路径数量(条)	占比(%)	累积占比(%)
1	9110	7.33	7.33
2	100132	80.58	87.91
3	14798	11.91	99.82
4	216	0.17	100

注：路径长度衡量两个节点城市之间最短路径的距离，研究未考虑节点间的联系权重。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作,底图无修改。

图3 不同层级的中国城市网络联系格局

Fig. 3 The hierarchies for a city-based network in China based on innovative enterprises

川、兰州和东北三省省会等城市具有较高中心度。总体来看，4个层级的城市网络在地理空间上表现出明显的异质性，京津冀、长三角和珠三角城市群始终是各级网络的主导者；成渝城市群对菱形网络的支撑力不足，缺乏与珠三角城市群的高层级联系，使得网络菱形格局略显破碎；长江中游城市群也缺少除北京之外的高层级联系，没有很好地发挥出承接南北、汇通东西的区位优势和功能。

4.2 空间指向

中国城际创新企业流的空间指向性明显，少数城市控制或/和吸引大量创新企业流成为网络核心枢纽，这些城市多是直辖市和省会等高行政级别的城市。

4.2.1 核心枢纽 创新企业流控制能力高的城市往往也是吸引能力强的城市，但两者并非完全一致，城市对外联系方向存在一定偏好。城市排名中，北京、上海、深圳的出度、入度、中心度均位列前三（表3），说明这3个城市网络地位最高，是创新企业部门最重

表3 重要城市的节点属性(Top5)

Tab. 3 The top five node attributes for the cities in the network

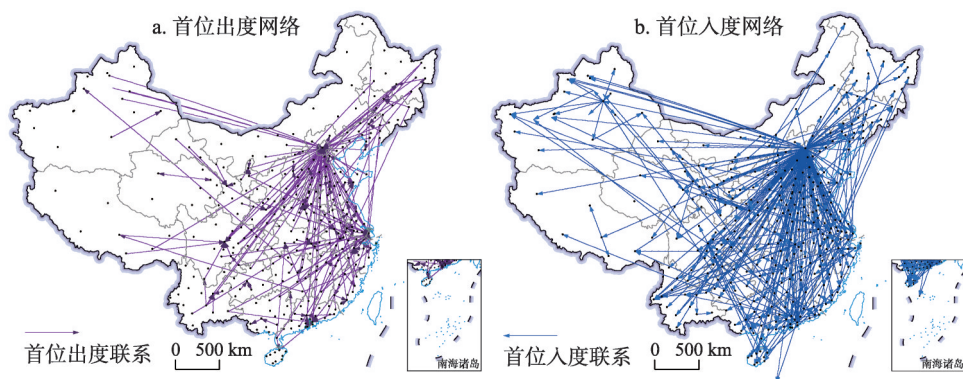
序列	出度	入度	中心度	辐射城市数	吸引城市数
1	北京(9926)	北京(3788)	北京(13714)	北京(297)	北京(139)
2	深圳(3423)	上海(3493)	上海(6271)	深圳(168)	上海(138)
3	上海(2778)	深圳(1901)	深圳(5324)	上海(146)	成都(95)
4	杭州(1737)	成都(1457)	杭州(2822)	南京(137)	深圳(93)
5	广州(1221)	天津(1303)	广州(2493)	成都(134)	广州(84)

要的扩散和汇聚中心。其中,总部位于北京的创新企业在中国其他297个城市中设有分支机构,其控制创新企业流的能力(出度)为9926;北京吸引139个城市的创新企业分支机构入驻,其吸引创新企业流的强度(入度)为3788;相比而言,北京控制创新企业流的能力要高于其吸引能力,样本创新企业中有14%的创新企业总部位于北京。与北京相反,上海在城市网络中的入度(3493)强于出度(2778),表明上海吸收创新企业流的能力强于其控制能力,印证了相关学者强调上海创新企业内生性弱,对外控制能力有待提升的观点^[61]。与北京类似,深圳的出度(3423)和辐射城市数(168)也明显高于入度(1901)和吸引城市数(93),表明深圳 also 具有很强的创新企业流控制能力和创新企业部门输出能力,但其吸引能力逊色于输出能力。深圳市作为一个新兴城市,如何在短短几十年发展成长为创新企业的集聚地,占据网络核心,并对国内其他城市产生重要影响,值得进一步思考和研究。

4.2.2 优势连接 城市网络的优势连接具有明显的行政中心城市指向特征与省级边界效应。提取城市的首位出度和首位入度创新企业流,以展示出度和入度网络中城市优势连接格局(图4)。在全国尺度,出度网络中有197个城市设有创新企业总部,但其首位创新企业流仅指向62个城市,主要方向为北京、上海两个直辖市及各省会城市;其中,28.57%的城市首位出度联系城市为北京,13.82%的城市首位出度联系城市为上海,33.18%的城市首位出度联系城市为省会城市(图4a)。入度网络中353个有创新企业分支机构的城市其首位创新企业流仅来自于72个城市,其中40.78%的城市首位入度联系来源为北京,42.21%的城市首位入度联系来源为省会城市(图4b)。在区域尺度,同省内省会城市是创新企业进行区域布局的重要节点。例如出度网络中,汇入河南省省会城市郑州的5条创新企业优势流全部来自省内城市;汇入湖北省省会城市武汉的5条优势流也同样来自本省内。又例如入度网络中,乌鲁木齐是新疆9个城市最大创新企业流的来源地;四川18个地级市中有12个城市的首位创新企业流源于省会城市成都。综合来看,行政中心城市得益于其研发机构、科技人员和科技经费等优势,已成为创新企业部门的集聚地,发挥着区域对外创新联系的重要枢纽功能。

4.3 区域差异

4.3.1 三大区域 东部“内联外控”、中西部“内弱外强”是三大区域的城市结网特性。首先,就创新企业流总强度和平均强度而言,东部区域无论是内部城市间还是与外部城



注: ① 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1823号的标准地图制作,底图无修改。② 首位出度网络由197个总部城市发出的首位创新企业流构成,首位入度网络由353个分支机构城市接收的首位创新企业流构成。

图4 基于创新企业的中国城市间首位有向联系网络

Fig. 4 The key linkages between the cities based on innovative enterprises

市的联系均高于中部和西部（表4），表明东部既是区域内部城市间创新企业流的高密度地区，也是全国创新企业流的集聚和扩散区域。但是，东部区域城市外部网络的多中心性较低，不足全国平均水平，表明东部区域外部网络创新联系由少数核心城市承担（图5）。其次，中部和西部区域的城市对外创新联系较多，但区域内部城市间创新联系较少，且其两者内部网络多中心性均高于整体网络，表明中部和西部城市输出和吸收创新企业流更加依赖于外部区域，而内部城市之间创新企业流交互能力较弱且差距相对较小。此外，西部区域内部与外部多中心性差距较大，且外部多中心性低于全国水平，表明西部区域城市对外创新联系能力存在较大差距，区域外部创新连接多借助门户城市；而中部区域内部与外部多中心性差距较小，且都高于全国水平，表明中部地区城市内部联系均匀，外部联系分散，门户城市不突出。

4.3.2 三大城市群 东部三大城市群凝聚子群基本形成，但网络联系结构存在较大差异。表4所示，京津冀、长三角和珠三角三大城市群内部城市间创新企业流平均强度高于其外部创新企业流平均强度，反映三大城市群内部城市间创新联系比较密切，而与外部城市的创新联系相对稀疏，三大城市群创新企业流网络的凝聚子群基本呈现。然而，测度城市群的多中心性发现（图5），三大城市群的网络结构存在较大差异。京津冀城市群外部网络多中心性最低，且内外网络多中心性程度具有较大差距，表明京津冀城市群虽然内部网络趋于多中心结构，但其外部网络则偏向单中心结构，首位城市占比高达82%。长三角城市群内部网络和外部网络之间多中心性差距最小，表明长三角城市群内外网络发展较为均衡；同时，长三角内部网络首位城市占比最低（23%），平均流强度最高（130.50），反映出长三角城市群内部城市间创新企业流最强烈。珠三角城市群内部网络多中心性最高，说明珠三角城市群内部城市间创新联系最均衡；但珠三角城市群外部创新企业流总强度（8686）和平均强度（25.25）均较低，表明珠三角城市群创新企业对国家层面的影响力与京津冀和长三角城市群相比还存在一定差距。

表4 中国三大区域和三大城市群内外部创新联系特征

Tab. 4 The characteristics for internal and external connectivity for the three regions and the three megalopolises in China

	区域内部创新企业流			区域外部创新企业流		
	总强度	平均强度	首位占比	总强度	平均强度	首位占比
东部区域	20586	179.01	0.19	17563	73.79	0.33
中部区域	2208	17.25	0.11	11939	53.30	0.14
西部区域	1762	16.59	0.18	8554	35.06	0.21
京津冀城市群	1556	119.69	0.43	15063	44.30	0.82
长三角城市群	3393	130.50	0.23	13180	40.31	0.36
珠三角城市群	1016	112.89	0.33	8686	25.25	0.53

注：首位占比指首位城市的创新企业流占区域内(外)部创新企业流总量的比例。

5 基于创新企业的中国城市网络影响因素

5.1 指标选取与模型构建

5.1.1 指标选取 城市间创新企业流的产生既受到流发出城市推力和流接收城市拉力的影响，也受制于城市间关系的作用力。

城市间创新企业流的推力和拉力由城市属性决定，受创新效益和效果考量影响^[62-63]，创新企业的区位选择及其创新企业流的产生与城市的行政等级、发展水平和创新环境紧密相关。相关研究表明：中国城市政府在国家资源配置中具有主导作用，与城市发展水平相似，均是一个城市的科技创新实力和创新服务能力的综合体现，都会对创新企业设

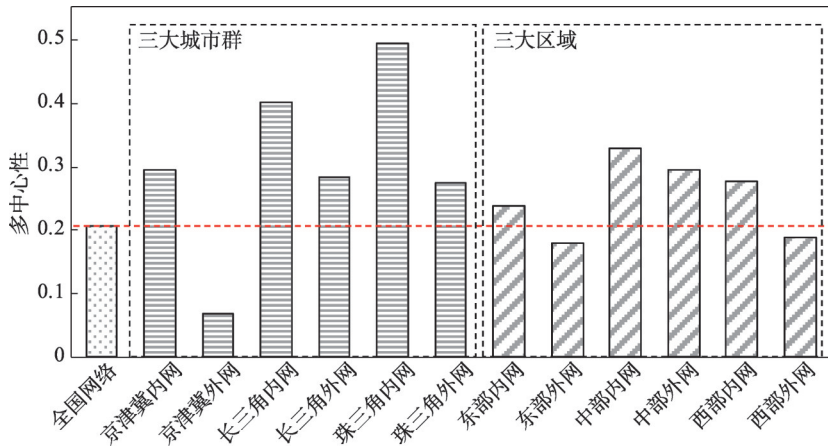


图5 中国三大城市群及三大区域的内部和外部网络多中心性

Fig. 5 The polycentricity of the three regions and the three megalopolises in China

立研发中心和分支机构具有直接影响^[64-65]。城市创新环境对创新企业区位选择具有重要作用,既可为企业创新活动提供要素和平台支撑,也可为企业外部技术搜索与合作产生关键影响^[66],其中教育环境既能直接为创新企业提供相关科技知识,也能为企业提供人才储备;科技激励政策能够为企业创新活动提供资金/财政支持;平台资源能够为创新企业 and 创新资源集聚提供物理和交流空间^[66-68]。鉴于此,本文选择城市行政级别 (*UAD*) 作为城市行政等级的衡量指标;选择人均 *GDP* (*PGDP*) 作为城市发展水平的衡量指标;选择高等学校在校大学生数 (*PCH*)、城市科学技术支出金额 (*STE*)、城市拥有的国家高新技术产业开发区数量 (*TIZ*) 分别代表教育环境、政策环境和平台环境,作为城市创新环境的衡量指标。此外,国内一些城市政府试图通过吸引外资研发中心来提升城市创新的全球影响力,外资与创新的关系如何引起关注,因此研究中也纳入实际利用外资规模 (*AUFDI*) 这一指标,研究其对中国城市间创新企业流的影响。

从城市间关系的作用力来看,地理、技术及制度的邻近性会影响创新企业的部门布局与创新关系。地理邻近可以减少企业联系的交通成本,提高资源及市场获取的便利程度,便于隐性知识资源吸收与利用^[69-70]。技术邻近会对创新企业在不同城市的协同创新产生影响,技术能力和知识基础相似的城市有助于创新企业的部门间建立创新关系^[26, 71]。制度邻近由于不同城市拥有共同的惯例、语言、文化和规范等,能够降低城际创新企业的交流成本,从而促进创新企业流的产生^[72-73]。本文运用城市之间的直线距离来衡量城市间的地理邻近性 (*GEOPRO*);运用城市之间专利技术领域的相似性反应城市间的技术邻近性 (*TECPRO*)^[26];通过城市行政区关系反映制度邻近性 (*INSTPRO*),即同一省份的城市为1,否则为0。

创新企业部门分设时对落地城市的选择往往是基于城市过去多年的综合考虑,也考虑到样本创新企业部门分设的实际发生时间阶段及相关数据的可获得性,最终将影响因素的指标数据确定为2012—2016年5年的平均值。所有指标的统计数据来自《中国城市统计年鉴(2013—2018)》、各城市的统计公报及各省统计年鉴,欧式距离数据通过城市的经纬度计算得出,专利类型数据来自上海知识产权信息平台。

5.1.2 模型构建 考虑城市网络联系的方向性,引入空间交互模型^[74]对基于创新企业的中国城市网络影响因素进行定量分析。由于因变量为计数变量且存在“过度分散”现象,采用负二项回归法对模型进行估计,构建模型如下:

$$Y_{ij} = \sum_{l \in L} \beta_l O_l(i) + \sum_{m \in M} \gamma_m D_m(j) + \sum_{k \in K} \theta_k d_k(i, j) + \varepsilon(i, j) + C \quad (7)$$

式中: Y_{ij} 为城市 i 到城市 j 的创新企业流值; $O_l(i)$ 为创新企业流发出城市 i 的属性因素, $D_m(j)$ 为创新企业流接收城市 j 的属性因素, 指标 l 和指标 m 分别属于流发出城市的指标集 M 和流接收城市的指标集 L ; $d_k(i, j)$ 为城市 i 和城市 j 之间的邻近性因素, 且指标 k 属于空间邻近指标集 K ; C 为常数项, $\varepsilon(i, j)$ 为随机误差项, β_l 、 γ_m 、 θ_k 为待估参数集。

5.2 回归结果分析

为确保模型结果准确可信, 首先进行多重共线性检验, 结果 VIF 值小于 5.12, 表明模型变量不存在多重共线性。其次考虑到模型稳健性, 参考相关研究^[26], 采用层次回归分析分立 5 个模型进行逐步回归。即模型 1 不考虑流接收城市属性指标和城市关系邻近性指标; 模型 2 不考虑流接收城市属性指标; 模型 3 不考虑流发出城市属性指标和城市关系邻近性指标; 模型 4 不考虑流发出城市属性指标; 模型 5 则考虑流发出城市、流接收城市以及城市间关系所有指标, 其结果更为客观和准确, 其余 4 个模型结果可作为参照。5 种模型的估计结果如表 5 所示。

5.2.1 城市属性方面 相同的城市属性对创新企业流的发出和接收产生了不同的影响效果(表 5)。其中, 城市行政等级方面, 城市行政级别越高越影响城市创新企业流的接收和发出, 且对接收的影响力略大于发出。这一结果也解释了城市网络空间指向特征中直辖市和省会城市成为核心枢纽的原因。城市发展水平方面, PGDP 的系数均显著为正, 表明城市人均 GDP 越高越影响城市创新企业流的产生。城市创新环境方面, 城市教育环境和政策资金投入都影响创新企业流动, 城市拥有的高等学校在校大学生数对接收创新企业流的影响大于发出创新企业流的影响, 城市科学技术支出金额对发出创新企业流的影响大于接收创新企业流的影响; 然而城市拥有的国家高新技术产业开发区数量只对创新企业流的接收产生显著正向影响, 对流发出影响不显著。实际利用外资规模对创新企业流的发出产生显著的负向影响, 对流接收影响不显著。这与刘承良等对城际专利转移的研究结果^[33]相似, 外资的集聚对中国创新企业异城分设机构形成阻力, 而且对吸收创新企业部门和创新企业流没有显著影响。可见外资只能反映城市的投资环境情况好坏, 对促进中国城市间创新企业的协同合作并非利好, 因此通过吸引外资提升国家创新联系能力的想法并不见得奏效。

5.2.2 城市关系方面 地理邻近性、技术邻近性以及制度邻近性都有利于城市间创新企业流的发生(表 5)。其中, 在地理邻近性方面, 3 个模型结果显示城市间的地理距离指标系数显著为负, 表明地理距离会对城市间的创新企业流产生较大阻力, 即两个城市距离越远, 越不利于创新企业流发生。这与相关但不同类知识流研究的结果一致^[26, 28], 信息化、流空间下地理距离仍是城市间创新联系的重要影响因素, 因为隐性知识的传播需要地理邻近和面对面交流。在技术邻近性方面, 3 个模型结果差异较大, 模型 5 系数为正, 表明总体上创新企业流更容易发生在技术接近的城市之间; 模型 2 系数为正而模型 3 系数为负, 反映出创新企业部门流出会考虑选择技术接近的城市, 而吸引创新企业部门则考虑的是技术互补的城市; 其中原因或许是部门的分设往往是企业的扩张, 选择技术接近的城市更容易技术复制, 而吸引创新企业部门往往是为了增加迥异知识和创新要素多样化, 以提高城市创新能力。在制度邻近性方面, 3 个模型结果都显示城市行政区关系指标系数显著为正。该结果与 Wal 等^[73]的结论相似, 相同的政策、文化、语言、风俗、习惯等, 对创新企业部门跨区域战略布局及创新企业流的产生有很大影响, 也证明了中国的创新企业具有较强的文化根植性, 企业部门间的创新联系更容易在制度文化邻近的城市间发生。

表 5 基于创新企业的中国城市网络影响因素的估计结果

Tab. 5 Regression results for the factors influencing city networks in China based on innovative enterprises

	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5
流发出城市属性指标					
<i>UAD</i>	0.096** (0.04)	0.162*** (0.04)			0.243*** (0.031)
<i>PGDP</i>	0.275*** (0.044)	0.311*** (0.043)			0.386*** (0.034)
<i>PCH</i>	0.028*** (0.008)	0.022*** (0.008)			0.026*** (0.006)
<i>STE</i>	0.062*** (0.004)	0.061*** (0.004)			0.065*** (0.003)
<i>TIZ</i>	0.055* (0.029)	0.069** (0.029)			0.009 (0.024)
<i>AUFDI</i>	-0.022*** (0.005)	-0.024*** (0.005)			-0.025*** (0.004)
流接收城市属性指标					
<i>UAD</i>			0.135*** (0.041)	0.180*** (-0.042)	0.284*** (0.031)
<i>PGDP</i>			0.402*** (0.048)	0.409*** (0.048)	0.379*** (0.036)
<i>PCH</i>			0.074*** (0.009)	0.086*** (0.009)	0.055*** (0.006)
<i>STE</i>			0.019*** (0.005)	0.013*** (-0.004)	0.036*** (0.003)
<i>TIZ</i>			0.144*** (0.032)	0.192*** (-0.032)	0.113*** (0.025)
<i>AUFDI</i>			0.013** (0.006)	0.014** (0.006)	-0.006 (0.005)
城市关系邻近性指标					
<i>GEOPRO</i>		-0.161*** (0.025)		-0.129*** (0.026)	-0.114*** (0.02)
<i>TECPRO</i>		0.312** (0.135)		-1.617*** (0.137)	1.241*** (0.121)
<i>INSTPRO</i>		0.380*** (0.047)		0.366*** (0.049)	0.811*** (0.037)
常数项	1.174*** (0.058)	0.875*** (0.131)	1.051*** (0.055)	2.377*** (0.131)	-1.450*** (0.127)
$\ln\alpha$	-0.162*** (0.021)	-0.202*** (0.021)	-0.072*** (0.02)	-0.110*** (0.02)	-0.888*** (0.026)
样本量	5124	5124	5124	5124	5124

注：显著性水平：* $P < 0.10$ ，** $P < 0.05$ ，*** $P < 0.01$ ；括号内数字为标准误。

6 结论与讨论

运用国内外多个权威机构认定的中国创新企业名单，构建中国创新企业部门关联和属性数据库，借助“总部—分支机构”方法模拟出基于创新企业的中国城市网络，试图揭示当前大型创新企业所建构的中国城市间联系特征。研究认为：

(1) 创新企业部门的跨城分布搭建了中国多数城市间的创新联系通道, 但网络关系分布极度不均衡。主要表现为: 网络联系层级性明显, 少数核心城市(区域)集聚绝大部分创新企业流, 形成东部强、中西部弱的“菱形”网络联系格局; 创新企业流的空间指向性显著, 网络联系偏好于高行政层级的城市, 首都、直辖市、省会和计划单列市等城市在网络中具有较高地位, 北京是网络最强核心, 上海、深圳次之; 网络联系的区域异质性突出, 不仅东部和中西部区域之间存在东密西疏的联系差异, 东部区域内三大城市群内外联系结构也存在较大差异。总体而言, 相比于引力模型^[27]、专利协作^[26,30]、论文合作^[29,31]和人才流动^[36-37]等形成的城市网络, 创新企业流建构的中国城市间联系网络覆盖广但极不均质, “菱形”网络联系格局的中西部略显破碎, 核心城市或区域(特别是北京)的枢纽功能和带动作用更加突出。

(2) 城际创新企业流受到流发出城市、流接收城市以及城市间邻近关系的综合影响。城市本体属性中, 城市行政等级和发展水平都对创新企业流产生双向(流入/接收)影响, 表明行政等级高和发展水平好的城市具有较强的创新资源整合能力, 进而占据网络创新枢纽位置, 这是当前国内城市等级功能的反映, 级别高则资源多, 资源多进而能力强, 创新同样如此, 并没有出现国外单纯创新功能突出的小城、小镇。城市创新环境也对创新流产生显著影响, 只是相对于创新政策资金和教育资源对创新企业流正向的推/拉力影响, 创新平台只对创新企业流入产生正向拉力影响。研究还发现实际利用外资规模不仅对接收创新企业流的影响不显著, 而且对创新企业流的发出产生了显著负向影响, 该结果能够给创新研究者带来“利用外资是否有益于中国城市间创新流动”的思考。城市邻近关系中, 城市间地理、技术和制度文化的邻近性指标都对创新企业流产生显著影响, 符合预期判断。

(3) 创新企业流建构的中国城市间联系网络不同于其它类型的城市网络, 其具有特定现实隐喻。创新企业是城市创新活动的主体, 因此城际创新企业流应是城市间创新联系的“因”, 而引力流、专利流、人才流、技术流等应是城市创新联系的“果”。创新企业部门关联搭建的城市关系通道也应具备更大、更持久的跨界创新输送能力, 并会对专利流、人才流、技术流等城际知识流动产生正向影响(特别就高水平知识而言)。研究表明, 中国城市之间的创新企业协作已然结网, 网络虽不均质, 但覆盖353个城市, 这意味着通过创新企业部门关联中国绝大多数的城市已被纳入国家创新体系, 大城市已经拥有协调国家技术知识流转的枢纽功能, 小城市也借此建立了与创新枢纽城市的关系通道。

(4) 政策制定和规划者在构建高效国家创新体系时应着重思考以下几点内容: ① 强调枢纽城市的创新辐射带动功能。注重行政中心/高等级城市企业自主创新的同时, 也应关注其创新企业流的聚集扩散功能。支持北京、上海、深圳等城市建设成具有国际影响力和国内领导力的创新企业流集散枢纽中心; 支持省会城市建设成具有“连横合纵”的跨区域创新企业流联动中心和“承上启下”的本区域创新企业流扩散中心。② 增强普通城市的网络借用规模能力。提升城市营商环境的同时, 也应客观定位城市在区域创新企业链条所处位置, 正确把握与它市地理、制度、技术的网络距离, 围绕重点产业吸收外部创新企业流进入, 进一步嵌入区域企业协作网络。③ 重视区域间的创新企业资源差异。东部地区(特别是三大城市群)应注重提高企业原始创新和联动创新能力, 统筹和引领国家创新一体化发展; 中西部地区应走协同跨越式发展道路, 积极对接东部地区创新产业链条, 结合区域特色经济, 培育更多具有带动能力的龙头企业。

(5) 对比现有研究, 本文基于创新企业对城市间相互作用关系进行考察, 丰富并扩展了知识经济时代城市创新网络的研究思路和内容, 又在一定程度拓宽了经济地理学关

于企业组织和区域创新的研究视野。当然,也存有一定局限和进一步的研究空间。① 研究仅采用“总部—分支机构”法构建基于创新企业的城市间联系网络,该方法会忽视分支机构之间可能存在的隐性的知识流动,如果采用“互锁网络模型”则会得到不一样的城际联系网络。② 研究尽可能全面收集和整理了中国大型创新企业目录,确保绝大部分拥有跨城分布且创新能力较强特征的企业被纳入数据库,但鉴于目前创新企业没有明确统一的界定,使得研究中样本企业的代表性难以量化,难以给出样本代表的具体比例。③ 基于创新企业的城市间联系网络实际上应当包含两个方面,一是创新企业内部机构的跨城关联,另一是创新企业之间的跨城联系,目前仅是对第一种关系的反映,未包含第二种。虽然企业真正的核心技术和机密知识难以在企业间传播,但伴随区域创新分工的日益细化和科技中小企业的兴起,创新企业间的知识技术联系也将越来越多,这值得后期继续关注和研究。此外,当前研究仅对中国创新企业的国内空间布局进行了考察,但实际上有大量中国创新企业已经布局于全球,成为全球技术创新的领导者,未来也有必要开展更大空间尺度的研究,考察中国创新企业对构建全球创新网络的贡献。

参考文献(References)

- [1] Ma Haitao. The theoretical construction and network simulation of intercity innovative relationships in knowledge flow space. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4): 708-721. [马海涛. 知识流动空间的城市关系建构与创新网络模拟. 地理学报, 2020, 75(4): 708-721.]
- [2] Friedmann J. The world city hypothesis. *Development and Change*, 1986, 17(1): 69-83.
- [3] Sassen S. *The Global City: New York, London, Tokyo*. Princeton: Princeton University Press, 1991.
- [4] Ma Xueguang, Li Guicai. Study on world city network theory within global space of flow. *Economic Geography*, 2011, 31(10): 1630-1637. [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. 经济地理, 2011, 31(10): 1630-1637.]
- [5] Taylor P J. Specification of the world city network. *Geographical Analysis*, 2001, 33(2): 181-194.
- [6] Taylor P J. *World City Network: A Global Urban Analysis*. London and New York: Routledge, 2004.
- [7] Meijers E. From central place to network model: Theory and evidence of a paradigm change. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, 2007, 98(2): 245-259.
- [8] Li Xiande. Spatial structure of the Yangtze River Delta urban network based on the pattern of listed companies network. *Progress in Geography*, 2014, 33(12): 1587-1600. [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. 地理科学进展, 2014, 33(12): 1587-1600.]
- [9] Wu Qianbo, Ning Yuemin. China's urban network based on spatial organization of electronic information enterprises. *Geographical Research*, 2012, 31(2): 207-219. [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. 地理研究, 2012, 31(2): 207-219.]
- [10] Yin Jun, Zhen Feng, Wang Chunhui. China's city network pattern: An empirical analysis based on financial enterprises layout. *Economic Geography*, 2011, 31(5): 754-759. [尹俊, 甄峰, 王春慧. 基于金融企业布局的中国城市网络格局研究. 经济地理, 2011, 31(5): 754-759.]
- [11] Wang Chengjin. Spatial organizational network of logistics company in China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(2): 135-146. [王成金. 中国物流企业的空间组织网络. 地理学报, 2008, 63(2): 135-146.]
- [12] Ma Haitao. Research progress and prospects of City networks based on knowledge flow in China. *Economic Geography*, 2016, 36(11): 207-213, 223. [马海涛. 基于知识流动的中国城市网络研究进展与展望. 经济地理, 2016, 36(11): 207-213, 223.]
- [13] Florida R, Kenney M. The globalization of Japanese R&D: The economic geography of Japanese R&D investment in the United States. *Economic Geography*, 1994, 70(4): 344-369.
- [14] Zhang F, Cantwell J A. Regional and global technological knowledge search strategies and the innovative performance of large multinational corporations. *Industry and Innovation*, 2013, 20(7): 637-660.
- [15] Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. *Outline of National Innovation-driven Development Strategy*. Beijing: Xinhua News Agency, 2016. [中共中央国务院. 国家创新驱动发展战略纲要. 北京: 新华社, 2016.]

- [16] Yao Shimou, Zhu Yingming, Chen Zhenguang. Urban Agglomerations in China. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2001. [姚士谋, 朱英明, 陈振光. 中国城市群. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2001.]
- [17] Xu Liang, Zhang Zhihong, et al. 2017 Annual Report on Statistic of China Technology Market. Beijing: Arms Industry Press, 2017: 4. [许谅, 张志宏, 等. 2017全国技术市场统计年度报告. 北京: 兵器工业出版社, 2017: 4.]
- [18] 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. Progress in Geography, 2012, 31(10): 1256-1263. [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. 地理科学进展, 2012, 31(10): 1256-1263.]
- [19] Yang Yongchun, Leng Bingrong, Tan Yiming, et al. Review on world city studies and their implications in urban systems. Geographical Research, 2011, 30(6): 1009-1020. [杨永春, 冷炳荣, 谭一铭, 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. 地理研究, 2011, 30(6): 1009-1020.]
- [20] Beaverstock J V, Doel M A, Hubbard P J, et al. Attending to the world: Competition, cooperation and connectivity in the World City network. Global Networks, 2002, 2(2): 111-132.
- [21] Meijers E J, Burger M J, Hoogerbrugge M M. Borrowing size in networks of cities: City size, network connectivity and metropolitan functions in Europe. Papers in Regional Science, 2016, 95(1): 181-198.
- [22] Jin Biao, Yan Liling, Sha Jinming, et al. The spatial difference of the intensity of information and capital flow in Chinese provincial region: A case study of mobile phone transactions in Jingdong mall in 2015. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(2): 223-232. [金彪, 颜丽玲, 沙晋明, 等. 中国省域信息流、资金流强度的空间差异: 以2015年京东手机交易为例. 地理科学, 2018, 38(2): 223-232.]
- [23] Zhen Feng, Wang Bo, Chen Yingxue. China's city network characteristics based on social network space: An empirical analysis of Sina micro-blog. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(8): 1031-1043. [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. 地理学报, 2012, 67(8): 1031-1043.]
- [24] Liu C L, Wang J Q, Zhang H. Spatial heterogeneity of Ports in the global maritime network detected by weighted ego network analysis. Maritime Policy & Management, 2018, 45(1): 89-104.
- [25] Derudder B, Witlox F. An appraisal of the use of airline data in assessing the world city network: A research note on data. Urban Studies, 2005, 42(13): 2371-2388.
- [26] Liu Chengliang, Guan Mingming, Duan Dezhong. Spatial pattern and influential mechanism of interurban technology transfer network in China. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(8): 1462-1477. [刘承良, 管明明, 段德忠. 中国城际技术转移网络的空间格局及影响因素. 地理学报, 2018, 73(8): 1462-1477.]
- [27] Lyu Lachang, Liang Zhengji, Huang Ru. The innovation linkage among Chinese major cities. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(1): 30-37. [吕文昌, 梁政骥, 黄茹. 中国主要城市间的创新联系研究. 地理科学, 2015, 35(1): 30-37.]
- [28] Ma Haitao, Huang Xiaodong, Li Yingcheng. The evolution and mechanisms of megalopolitan knowledge polycentricity of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(12): 2297-2314. [马海涛, 黄晓东, 李迎成. 粤港澳大湾区城市群知识多中心的演化过程与机理. 地理学报, 2018, 73(12): 2297-2314.]
- [29] Ma Haitao, Fang Chuanglin, Lin Sainan, et al. Hierarchy, clusters, and spatial differences in Chinese inter-city networks constructed by scientific collaborators. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(12): 1793-1809.
- [30] Ma H T, Fang C L, Pang B, et al. Structure of Chinese City network as driven by technological knowledge flows. Chinese Geographical Science, 2015, 25(4): 498-510.
- [31] 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. [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. 地理研究, 2015, 34(3): 525-540.]
- [32] Duan Dezhong, Du Debin, Shen Ying, et al. Technology transfer in China's city system: Process, pattern and influencing factors. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 738-754. [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. 地理学报, 2018, 73(4): 738-754.]
- [33] Liu Chengliang, Niu Caicheng. Spatial evolution and factors of interurban technology transfer network in Northeast China from national to local perspectives. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10): 2092-2107. [刘承良, 牛彩澄. 东北三省城际技术转移网络的空间演化及影响因素. 地理学报, 2019, 74(10): 2092-2107.]
- [34] Shi W T, Du D B, Yang W L. The flow network of Chinese scientists and its driving mechanisms based on the spatial development path of CAS and CAE academicians. Sustainability, 2019, 11(21): 5938.
- [35] Ma H T, Zhang F F, Liu Y. Transnational elites enhance the connectivity of Chinese cities in the world City network. Environment and Planning A: Economy and Space, 2018, 50(4): 749-751.
- [36] Ma Haitao. Triangle model of Chinese returnees: A tentative method for city networks based on talent flows.

- Geographical Research, 2017, 36(1): 161-170. [马海涛. 基于人才流动的城市网络关系构建. 地理研究, 2017, 36(1): 161-170.]
- [37] Duan Dezhong, Du Debin, Gui Qinchang, et al. The geography of Chinese entrepreneurial development. Human Geography, 2018, 33(4): 102-112. [段德忠, 杜德斌, 桂钦昌, 等. 中国企业家成长路径的地理学研究. 人文地理, 2018, 33(4): 102-112.]
- [38] Lv Lachang, Li Yong. A research on Chinese renovation urban system based on urban renovation function. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(2): 177-190. [吕拉昌, 李勇. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系. 地理学报, 2010, 65(2): 177-190.]
- [39] 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. [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. 地理科学, 2018, 38(11): 1759-1768.]
- [40] Liu Chengliang, Guan Mingming. Spatio-temporal evolution of interurban technological flow network in the Yangtze River Delta urban agglomeration: From the perspective of patent transaction network. Geographical Research, 2018, 37(5): 981-994. [刘承良, 管明明. 基于专利转移网络视角的长三角城市群城际技术流动的时空演化. 地理研究, 2018, 37(5): 981-994.]
- [41] Andersson D E, Gunessee S, Matthiessen C W, et al. The geography of Chinese science. Environment & Planning A, 2014, 46(12): 2950-2971.
- [42] Miao Changhong, Wei Yehua, Lv Lachang. New Economic Geographies. Beijing: Science Press, 2011: 236-238. [苗长虹, 魏也华, 吕拉昌. 新经济地理学. 北京: 科学出版社, 2011: 236-238.]
- [43] Bunnell T G, Coe N M. Spaces and scales of innovation. Progress in Human Geography, 2001, 25(4): 569-589.
- [44] Storper M. The Regional World: Territorial Development in a Global Economy. New York: Guilford Press, 1997: 3-25.
- [45] Scott A J. The cultural economy: Geography and the creative field. Media, Culture & Society, 1999, 21(6): 807-817.
- [46] Carrincazeaux C, Lung Y, Rallet A. Proximity and localisation of corporate R&D activities. Research Policy, 2001, 30(5): 777-789.
- [47] Maskell P, Malmberg A. Localised learning and industrial competitiveness. Cambridge Journal of Economics, 1999, 23(2): 167-185.
- [48] Miao Changhong. Revival of marshallian industrial district theory and its theoretical meanings. Areal Research and Development, 2004, 23(1): 1-6. [苗长虹. 马歇尔产业区理论的复兴及其理论意义. 地域研究与开发, 2004, 23(1): 1-6.]
- [49] Henry Wai-chung Yeung, Wang Changjian. Global production networks and regional development in East and Southeast Asia. Tropical Geography, 2017, 37(5): 628. [杨伟聪, 王长建. 全球生产网络、价值捕捉轨迹与区域发展. 热带地理, 2017, 37(5): 628.]
- [50] Amin A, Cohendet P. Architecture of Knowledge: Firms, Capabilities, and Communities. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- [51] Gertler M. Manufacturing Culture: The Institutional Geography of Industrial Practice. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- [52] Bathelt H, Malmberg A, Maskell P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation. Progress in Human Geography, 2004, 28(1): 31-56.
- [53] Dicken P, Thrift N. The organization of production and the production of organization: Why business enterprises matter in the study of geographical industrialization. Transactions of the Institute of British Geographers, 1992, 17(3): 279-291.
- [54] Miao Changhong, Wei Yehua. Technological learning and innovation: Some perspectives of economic geography. Human Geography, 2007, 22(5): 1-9, 18. [苗长虹, 魏也华. 技术学习与创新: 经济地理学的视角. 人文地理, 2007, 22(5): 1-9, 18.]
- [55] Ma Haitao, Fang Chuanglin, Wu Kang. Links and drive: Key nodes impel the evolution of national innovation networks. China Soft Science, 2012, 27(2): 88-95. [马海涛, 方创琳, 吴康. 链接与动力: 核心节点助推国家创新网络演进. 中国软科学, 2012, 27(2): 88-95.]
- [56] Wang Fenglong, Zeng Gang, Ye Qin, et al. Analysis of city network based on innovation cooperation: Case study of Yangtze River Economic Belt. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(6): 797-805. [王丰龙, 曾刚, 叶琴, 等. 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. 长江流域资源与环境, 2017, 26(6): 797-805.]

- [57] Alderson A S, Beckfield J. Power and position in the world city system. *American Journal of Sociology*, 2004, 109(4): 811-851.
- [58] Taylor P J, Evans D M, Pain K. Application of the interlocking network model to mega-city-regions: Measuring polycentricity within and beyond city-regions. *Regional Studies*, 2008, 42(8): 1079-1093.
- [59] Yang Pei, Yang Yongchun, Lu Hong. Urban network system based on privately managed enterprises' layout in northwest China. *Areal Research and Development*, 2014, 33(5): 55-58. [杨佩, 杨永春, 卢红. 中国西北地区城市网络体系分析: 基于民营企业布局. *地域研究与开发*, 2014, 33(5): 55-58.]
- [60] Zhao Xinzhen, Li Qiuping, Rui Yang, et al. The characteristics of urban network of China: A study based on the Chinese companies in the Fortune Global 500 list. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 694-709. [赵新正, 李秋平, 芮畅, 等. 基于财富500强企业网络的城市网络空间联系特征. *地理学报*, 2019, 74(4): 694-709.]
- [61] Du Debin. Cultivate the most explosive and influential innovative enterprise. *Wen Wei Po*, 2018-12-26. [杜德斌. 培育最有爆发力最有影响力的创新企业. *文汇报*, 2018-12-26.]
- [62] Cui Wantian, Ma Zhe, Yu Chang. Knowledge-based enterprises' location choice. *Economic Management Journal*, 2013, 35(2): 52-62. [崔万田, 马喆, 于畅. 知识型企业的区位选择. *经济管理*, 2013, 35(2): 52-62.]
- [63] Lu J Y, Tao Z G. Trends and determinants of China's industrial agglomeration. *Journal of Urban Economics*, 2009, 65(2): 167-180.
- [64] Wei Houkai. Administrative hierarchy and growth of city scale in China. *Urban and Environmental Studies*, 2014, 1(1): 4-17. [魏后凯. 中国城市行政等级与规模增长. *城市与环境研究*, 2014, 1(1): 4-17.]
- [65] Xia Lili. A preliminary study on the effect of scientific progress on development of location theory. *Economic geography*, 1999, 19(5): 6-9. [夏丽丽. 科技进步对区位论发展影响之初探. *经济地理*, 1999, 19(5): 6-9.]
- [66] Wang Jici. Knowledge-based economy and innovative milieu. *Economic Geography*, 1999, 19(1): 12-16. [王缉慈. 知识创新和区域创新环境. *经济地理*, 1999, 19(1): 12-16.]
- [67] Zhu Pingfang, Xu Weimin. On the impact of government's S&T incentive policy on the R&D input and its patent output of large and medium-sized industrial enterprises in Shanghai. *Economic Research Journal*, 2003, 38(6): 45-53, 94. [朱平芳, 徐伟民. 政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响: 上海市的实证研究. *经济研究*, 2003, 38(6): 45-53, 94.]
- [68] Liu Ying, Guo Qi, He Canfei. Urban characteristics and firms' location selection. *Geographical Research*, 2016, 35(7): 1301-1313. [刘颖, 郭琪, 贺灿飞. 城市区位条件与企业区位动态研究. *地理研究*, 2016, 35(7): 1301-1313.]
- [69] Breschi S, Lissoni F. Mobility of skilled workers and co-invention networks: An anatomy of localized knowledge flows. *Journal of Economic Geography*, 2009, 9(4): 439-468.
- [70] Fleming L, Marx M. Managing creativity in small worlds. *California Management Review*, 2006, 48(4): 6-27.
- [71] Xia Lijuan, Xie Fuji, Wang Haihua. The impact of institutional proximity and technological proximity on industry-university collaborative innovation performance: An analysis of joint-patent data. *Studies in Science of Science*, 2017, 35(5): 782-791. [夏丽娟, 谢富纪, 王海花. 制度邻近、技术邻近与产学研协同创新绩效: 基于产学研联合专利数据的研究. *科学学研究*, 2017, 35(5): 782-791.]
- [72] Liu Chengliang, Gui Qinchang, Duan Dezhong, et al. Structural heterogeneity and proximity mechanism of global scientific collaboration network based on co-authored papers. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(4): 737-752. [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. *地理学报*, 2017, 72(4): 737-752.]
- [73] Liu Binglian, Zhu Junfeng. The analysis on the influencing factors of regional market segmentation and its spatial neighbor effects: Based on the panel data of China's provinces in 1989-2014. *Economic Geography*, 2018, 38(10): 36-45. [刘秉镰, 朱俊丰. 区域市场分割的影响因素及其空间邻近效应分析: 基于1989—2014年中国省际面板数据. *经济地理*, 2018, 38(10): 36-45.]
- [74] Lesage J P, Pace R K. Spatial econometric modeling of origin-destination flows. *Journal of Regional Science*, 2008, 48(5): 941-967.
- [75] Ter Wal A L J. The dynamics of the inventor network in German biotechnology: Geographic proximity versus triadic closure. *Journal of Economic Geography*, 2014, 14(3): 589-620.

Connectivity characteristics for city networks in China based on innovative enterprises

HUANG Xiaodong^{1, 2, 3}, MA Haitao⁴, MIAO Changhong³

(1. School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China;

2. Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

3. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University,

Kaifeng 475001, Henan, China; 4. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling,

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Improving the connectivity of multi-sector enterprises at a cross-regional level can enhance knowledge and technology transfer and stimulate innovation and synergies among cities. Therefore, the study of city networks, which comprise a large number of multi-sector enterprises, can provide an important knowledge base for innovation and development at the regional and national levels. Based on an evaluation of innovative enterprises in China by authoritative institutions, data were collected on 1778 multi-sector enterprises, which included details on the headquarters, the branches (a total of 30,625) and the locations. A city-based network for the country was established, using the data for the multi-sector linkages and a model for the headquarters-branches, to explore the network connectivity characteristics via social network analysis, the GIS method and the spatial interactive model. The results showed that (1) although the network covered 353 cities across China, the spatial distribution of the network was extremely uneven. For instance, a diamond-shaped connectivity pattern emerged gradually as the network hierarchy decreased. The Beijing-Tianjin-Hebei region, the Yangtze River Delta and the Pearl River Delta were found to be the three key hubs of the network. (2) The intercity linkages between innovative enterprise sectors (innovative enterprise flows), had a clear administrative center and a provincial boundary effect. Moreover, the innovative enterprises were strongly attracted to the municipalities and provincial capitals. Beijing was at the heart of the network, followed by Shanghai and Shenzhen. (3) Differences existed in regional connectivity. There was a striking difference between the eastern region and the central-western region. The former had a high connectivity with respect to both the internal and the external networks, while the latter had lower connectivity for the internal network but a higher connectivity at the external level. At the same time, although the network structures for all the three eastern megalopolises showed strong cohesion, their connectivity characteristics were quite different. (4) The input and output of innovative enterprise flows were to varying degrees influenced by the indicator attributes for each city, and these in turn were related to the administrative hierarchy, the economic strength and the innovative environment of the region, as well as proximity indicators, which were related to geographical, technological and institutional factors. Foreign capital was not conducive to innovative enterprise flows and to the formation of innovative intercity company-based networks in China.

Keywords: innovative enterprise; city network; collaborative innovation; innovation pattern; China