

引用格式: 杨凡, 杜德斌, 段德忠, 等. 长三角产学研协同创新的空间模式演化[J]. 资源科学, 2023, 45(3): 668-682. [Yang F, Du D B, Duan D Z, et al. The evolution of spatial patterns of university-industry collaborative innovation in the Yangtze River Delta[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 668-682.] DOI: 10.18402/resci.2023.03.15

长三角产学研协同创新的空间模式演化

杨凡¹, 杜德斌^{2,3}, 段德忠^{2,3}, 史文天⁴

(1. 上海社会科学院信息研究所, 上海200235; 2. 华东师范大学全球创新与发展研究院, 上海200062; 3. 华东师范大学城市与区域科学学院, 上海200241; 4. 上海商学院酒店管理学院, 上海201400)

摘要:【目的】从多尺度视角揭示长三角产学研协同创新的空间格局、组织模式及其演化过程, 提出新发展格局下区域产学研一体化的空间优化对策及建议。【方法】基于2001—2020年长三角专利数据和多元化产学研合作模式, 深度挖掘产学研协同关系的空间信息, 通过测度强度与中心性指标, 识别城市发展与区域协同模式。【结果】①长三角产学研协同创新经历了从地方化向区域化发展的历程, 但区内合作比例有下降趋势, 同时出现再地化倾向; ②长三角产学研协同创新的空间均衡性不断提升, 但区外合作进一步集聚, 城际网络向单中心、轴辐式和多层级结构演化; ③大学资源有助于城市产学研协同创新的尺度扩张和内生发展, 从而获得更高的网络地位, 并在多尺度知识交互中发挥重要的桥梁功能。【结论】长三角区内产学研合作相对于本地和全国尺度而言仍有较大发展潜力, 需要加强区域产学研资源的有效流动, 重视其在推动一体化协同中的功能定位差异。

关键词: 产学研协同; 区域创新; 网络演化; 空间模式; 长三角一体化

DOI: 10.18402/resci.2023.03.15

1 引言

传统创新模式是从基础研究到应用研究, 再到商业化的线性过程。随着大学第三职能扩张与开放式创新发展, 产学研联系愈发紧密, 知识生产从线性向非线性模式转型。在三螺旋和区域创新系统理论中, 都强调了产学研协同对区域发展的重要性。区域竞争力体现在创新主体的“学习”能力, 以及能否转化为“关系资产”或“网络资本”, 从而促进区域知识流动^[1]。产学研资源作为创新的核心要素, 跨组织、跨区域协同不仅有利于本地创新发展, 也是多尺度知识交互的重要“通道”。目前, 中国经济正处在迈向高质量发展阶段, 党的二十大报告提出, 要建立产学研深度融合的技术创新体系, 推动关键核心技术攻关。长三角作为中国创新能力最强、产学研资源最丰富的地区之一, 加强产学研协同是科技创新

共同体建设的主要内容, 对区域产业链、创新链融合起到关键作用^[2], 体现了长三角一体化高质量发展的内涵特征^[3]。在新发展格局下, 长三角一体化战略不但要谋求区域发展, 还应积极融入和主动服务全国大局, 因此长三角产学研协同也不能局限于一体化区域范围^[4], 而是涉及以产学研资源为纽带的城市-区域-全国多尺度联动。

在地方尺度上, 集群源于地理邻近企业等组织机构间因共性和互补而形成的关联性, 创新集群则更加体现了创新主体互动合作的网络化关系。伴随经济全球化, 研究视角逐渐转向集群间网络, 知识流动应考虑地方和“全球”两个尺度^[5], “全球”网络形成基于地方网络, 地方需具备吸收外部知识的能力以防止知识固化和技术路径锁定^[6]。根据世界城市网络和流空间理论, 城市在全球知识生产体系

收稿日期: 2022-11-14; 修订日期: 2023-03-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(42101181); 上海市哲学社会科学规划青年课题(2020EJL004); 上海市浦江人才计划资助项目(2020PJC088); 国家社会科学基金重大项目(21ZDA011)。

作者简介: 杨凡, 男, 上海人, 博士, 助理研究员, 研究方向为科技创新与区域发展。E-mail: yangfan@sass.org.cn

通讯作者: 杜德斌, 男, 湖北宜昌人, 博士, 教授, 研究方向为世界地理与科技创新政策。E-mail: dbdu@re.ecnu.edu.cn

2023年3月

中的价值不仅取决于地方网络,更在于如何连结其他城市,进而掌握全球网络的控制权。国外较早产业集群和知识溢出等经济地理研究领域引入社会网络分析方法^[7],采用问卷调查、合作项目、专利论文等数据构建创新网络,比较基于不同数据来源的网络结构差异^[8]。此外,创新网络的邻近性机制^[9]、质量和效率^[10]、地位和中心性^[11],以及与地方的动态关系^[12]也是研究的主要内容。近期研究还开始关注跨区域创新合作对落后地区技术升级的作用^[13],并重新审视边缘地区在区域创新网络中的定位^[14]。国内研究主要通过各类微观行为主体之间的联系来模拟城市创新网络^[15],重点借助复杂网络理论和社会网络分析方法考察基于知识和技术合作关系的空间相互作用机制^[16-18]。同时,更多研究选择聚焦重点区域^[19-21]和产业^[22,23],也有研究结合空间和行业视角进行分析^[24]。随着网络分析在理解中国创新和经济空间发展中的广泛应用^[25-28],研究重点逐步从空间格局和过程描述转向模式和机制分析^[29]。

在创新网络中,公共研究机构被认为是多尺度知识交互的“守门人”^[30],而这类资源的地理分布一般高度集中,应充分考虑其非本地和网络化属性^[31]。产学研协同创新的多主体、多地区、多尺度互动关系成为学界关注的热点和难点,主要研究领域和方向涉及以下三方面:①大学与创新集群发展。在硅谷和128公路成长为全球科技创新中心过程中,大学发挥了重要的内外结网功能^[32],随后更多研究关注大学在科技园区、产业空间和创新城区发展中的职能作用;②区域产学研协同创新网络。由于产学研协同创新具有显著的跨区域特征,大学在全球创新网络中的角色与跨国公司类似,也是推动全球创新资源流动的枢纽机构^[33]。同时,产学研协同创新网络与区域创新发展高度相关,因此网络空间被认为比地理集聚更为重要^[1]。相关研究从总体层面揭示了网络的空间结构^[34],以及区域和个体网络的关联模式^[35],并侧重考察知识密集型产业与大学的合作研发^[36];③产学研协同创新的空间机制。已有研究主要基于地理因素、合作模式、机构能级、知识吸收能力和多维邻近性考察空间格局的形成机理^[37],并在作用机

制上重点探讨知识溢出效应^[38]、城市经济影响^[34]和企业创新绩效^[39]。

综上,国内外关于创新及产学研协同的空间研究已形成较完整的体系,但多尺度视角下的系统性网络分析相对不足。为此,本文借鉴基于“本地-跨界”网络范式^[40]和不同类型创新主体^[41]划分区域创新模式的方法,针对专利数据中的显性合作关系,深度挖掘潜在的产学研联系,试图全面揭示长三角产学研协同创新的空间动态与模式,以期丰富创新地理学研究,并为区域创新一体化政策提供理论参考。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

由于发明专利比实用新型和外观设计专利更能代表技术研发能力,因此采用产学研合作发明专利衡量产学研协同创新。数据来源于国家知识产权局的专利检索及分析系统,采集过程如下:根据“申请(专利权)人”字段,搜索“大学-公司、大学-厂、学院-公司、学院-厂”4组专利数据;研究型大学通过设立异地研究机构推动科技成果转化和服务当地产业创新,但在机构名称中大学经常为缩写,为此补充搜索“大-研究院-公司、大-研究院-厂”2组专利数据;由于2000年及以前产学研合作专利数较少,同时发明专利从申请到公布一般有2年左右时滞,因此根据“申请日”字段设定时间区间为2001—2020年;删除“申请(专利权)人”字段中仅含中国科学院系统研究机构(不含中国科学院大学、中国科学院技术大学、上海科技大学)-企业、企业研发机构-企业、大学-大学(异地)研究机构/知识产权机构/技术转移公司/大学科技园^①合作关系的专利。

根据已采集的专利数据提取产学研协同关系的空间信息。如果专利的申请(专利权)人包括 m 所大学和 n 家企业,则包含 $m \times n$ 对产学研协同关系。利用python技术调用高德API,解析每一对关系中大学和企业的所在城市^②,并筛选有长三角城市参与的产学研协同关系。需要说明的是,随着产学研合作模式愈发多元化,大学与地方政府联合成立的异地研究机构、校企共建研究机构、大学衍生企业等“产学研混成组织”不断发展壮大,由于组织边界模糊,兼具

① 第一类为产学研合作,数据结构显示其规模远低于产学研合作,本文重点关注大学知识生产及产业化;第二类是企业封闭式创新或组织间合作;第三类合作的科技成果处在从大学向产业转移的阶段,还未体现商业价值。因此,以上3类合作不纳入本文研究范畴。

② 考虑到数据的连续性和研究可行性,仅对全国地级以上城市进行地址解析和人工校准。

基础研究和技术研发职能,体现了比普通合作研发更为紧密的产学研协同关系,因此当专利由这类机构直接产出或有其参与时,其自身应被单独视为一组产学研协同关系。从专利数据结构看,本文主要涉及以下5类产学研合作模式:大学及其附属机构(医院、科技园、科研机构等)与企业的合作;大学及其附属机构与大学衍生企业的合作;大学在异地设立的分校或研究生院与企业的合作;大学与地方政府联合成立的异地研究机构、校企共建研究机构与企业的合作;组建“产学研混成组织”的校企、校地合作。最终,采集到2001—2020年长三角41个城市参与的43372条产学研合作发明专利,并通过人工挖掘获得52236组产学研协同关系的空间信息。

2.2 研究方法

2.2.1 产学研协同创新强度与桥接中心性测度

依据空间尺度和主体类型,利用上述关系数据测度产学研协同创新强度,计算公式如下:

$$S_r^l = \sum_{i,j} W_{ri,rj} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S_r^{\text{in(out)}} &= S_r^{\text{in(out),h}} + S_r^{\text{in(out),f}} \\ &= \sum_{r \neq q(g), i, j} W_{ri, q(g)j} + \sum_{r \neq q(g), i, j} W_{rj, q(g)i} \end{aligned} \quad (2)$$

$$S_{rq(g)}^{\text{in(out)}} = S_{rq(g)}^{\text{in(out),h}} + S_{rq(g)}^{\text{in(out),f}} = W_{ri, q(g)j} + W_{rj, q(g)i} \quad (3)$$

式中: S 和 s 分别表示城市和城际产学研协同创新强度;上标 l 、 in 和 out 分别表示同城、长三角内部和全国尺度, h 和 f 分别表示对外合作的主体为大学和企业; r 、 q 表示长三角城市, g 表示全国城市; $W_{ri,rj}$ 表示城市 r 的大学 i 和企业 j 形成的本地产学研协同关系; $W_{ri,qj}$ 表示城市 r 的大学 i 和城市 q 的企业 j 形成的跨城产学研协同关系, $W_{rj,qi}$ 、 $W_{ri,qj}$ 和 $W_{rj,qi}$ 同理。

中心性反映了城市网络地位,传统的度、中介、特征向量中心性将城市视为节点,但未考虑网络形成的微观机制,导致潜在的个体关系被忽视。为克服网络中个体和城市层面的二元性,便于区分衔接多尺度交互的主导机构,本文采用桥接中心性^[42]。两个城市通过各自内部个体与另一城市内部个体发生合作关系而形成的间接联系为桥接路径,如果个体能为所在城市创造更多的桥接路径,意味着城市处于更开放的网络位置,有利于城市通过“最短

路径”从网络中获取知识,并成为知识交互的枢纽。假设城市产学研协同创新强度与其拥有的产学研主体数成正比,那么桥接中心性的计算公式如下:

$$C_r^{\text{in(out)}} = S_r^{\text{in(out)}} P_r (1 - H_r) \quad (4)$$

式中: C_r^{in} 和 C_r^{out} 分别表示城市 r 在长三角内部、长三角-全国网络中的桥接中心性; P_r 表示城市 r 对外产学研协同创新的比重, $P_r = S_r^{\text{in(out)}} / (S_r^l + S_r^{\text{in}} + S_r^{\text{out}})$; $1 - H_r$ 表示城市 r 对外产学研协同创新的城市多样性, $H_r = \sum_{r \neq q(g)} (s_{rq(g)}^{\text{in(out)}} / S_r^{\text{in(out)}})^2$, H_r 为反映地理集聚程度的赫芬达尔-赫希曼指数,其值越高表明城市 r 的合作城市越集中。可以看出,桥接中心性反映了城市产学研协同创新的3个网络属性,即跨城合作的强度、偏好和多样性。

2.2.2 城市发展与区域协同模式识别

采用 Z -score函数对城市 r 的平均同城强度(\bar{S}_r^l)^③、长三角内部和长三角-全国桥接中心性进行标准化,如果指标的 Z 值 >0 ,说明高于平均水平,据此判别城市在不同尺度上的产学研协同创新能力,并划分出4类城市发展模式:仅 \bar{S}_r^l 的 Z 值 >0 ,表示城市产学研协同创新属于偏好本地合作的内向型;仅 $C_r^{\text{in(out)}}$ 的 Z 值 >0 ,表示城市产学研协同创新属于偏好跨城合作的区内或区外外向型;2类以上指数的 Z 值 >0 ,表明城市属于在多个尺度上协同能力较强的均衡型;3类指数的 Z 值 <0 ,表明城市属于在不同尺度上协同能力都较弱的边缘型。

区域协同模式包括层级体系和组织机制两方面。通过平均加权上述3个指标的 Z 值,可得城市产学研协同创新综合指数,采用系统聚类方法,考察长三角产学研协同创新体系及城市地位。选取高等级城市,根据公式(4)计算基于不同主体(大学、企业)和尺度(长三角内部、全国)的桥接中心性,具体用 $S_r^{\text{in,h}}$ 和 $s_{rq}^{\text{in,h}}$ 分别替换 S_r^{in} 和 s_{rq}^{in} ,得到城市 r 基于大学的长三角内部桥接中心性($C_r^{\text{in,h}}$),同理可得 $C_r^{\text{out,h}}$ 、 $C_r^{\text{in,f}}$ 和 $C_r^{\text{out,f}}$ 。通过标准化后与各自总体均值进行比较,考察城市的对外协同机制,如果高于总体均值,表明城市主要以大学(企业)为主要桥接机构建立对外合作关系,反之城市产学研资源的桥接能

③ 考虑到中小城市普遍缺乏大学资源,导致同城产学研协同创新强度必然偏低,为此采用平均同城强度(\bar{S}_r^l),即城市内单位大学的产学研协同创新强度, $\bar{S}_r^l = S_r^l / n_r$,其中 n_r 为城市的大学数量。

力都不突出。

3 结果与分析

3.1 长三角产学研协同创新总体发展趋势

随着大学科研能力提升和产业创新需求增强,近20年来长三角产学研协同创新持续快速发展(图1)。具体表现在规模和尺度两方面:

从产学研合作专利数看,创新产出规模保持高速增长,特别是2016年以后呈现倍增态势,表明长三角产学研协同创新发展迈上更高台阶。从专利数和强度的关系看,2010年以前产学研协同创新的总体强度和产学研合作专利数的增长走势基本重合,但此后出现明显分化且差距不断拉大,说明产学研合作中涉及的协同关系更加复杂多样,参与合作创新的产学研主体数量增加、地域范围扩大,同时产学研主体的组织边界不断延伸,各类“产学研混成组织”成为产学研协同创新的重要参与者。

从不同尺度看,2011年以前同城强度较高,之后随着地理阻滞的影响降低,创新型企业为了获取更优质和适配的大学知识溢出,倾向与异地一流大学开展合作,因此2011年以后长三角-全国跨城强度逐渐超过同城强度。但该趋势在2019年出现逆转,同城强度开始反超长三角-全国跨城强度。这与地方大学的科技发展及服务本地企业的能力提升密切相关,同时研究型大学设立异地分校或研究生院等“去地化”行为,以及校地合作模式的不断发展,也直接推动了大学的异地知识生产与当地产业

研发的深度融合。然而,长三角内部跨城强度及其增速始终较低,区域合作空间受到本地和全国层面的双向挤压,区内产学研协同创新及其资源要素流动仍有待提升。

长三角产学研协同创新的发展过程表现出一定的阶段性特征,可平均分为4个时期(表1):2001—2005年为发展初期,产学研协同创新的规模较小、但增速较快,并以本地合作的地方化(localization)发展模式为主,占比接近总体强度的一半;2006—2010年为稳步发展期,产学研协同创新开始呈现出区域化特征,跨城合作比重达到近6成,超过本地合作,主要体现在区内跨城合作增加,其强度占比较上一时期提升8%;2011—2015年为深度发展期,产学研合作模式开始愈发多元化,表现在专利产出和创新强度的比值明显下降,同时本地合作比例持续下降,区域合作空间不断扩大,区域化程度进一步提升,尤其是与全国城市的合作更加紧密,区外跨城强度占比较上一时期提升7%;2016—2020年为高速发展期,专利产出规模呈现倍数增长,同时产学研合作模式的多元化程度进一步提升,专利产出和创新强度的比值较上一时期明显下降,而这种模式的转变推动了产学研协同创新的再地化(re-localization),同城强度占比首次出现上升。因此,以上4个时期在产学研协同创新规模、增长、尺度和模式方面表现出显著差异,同时深度和高速发展期分别与国家创新驱动发展战略的提出和纲要文件的发布时

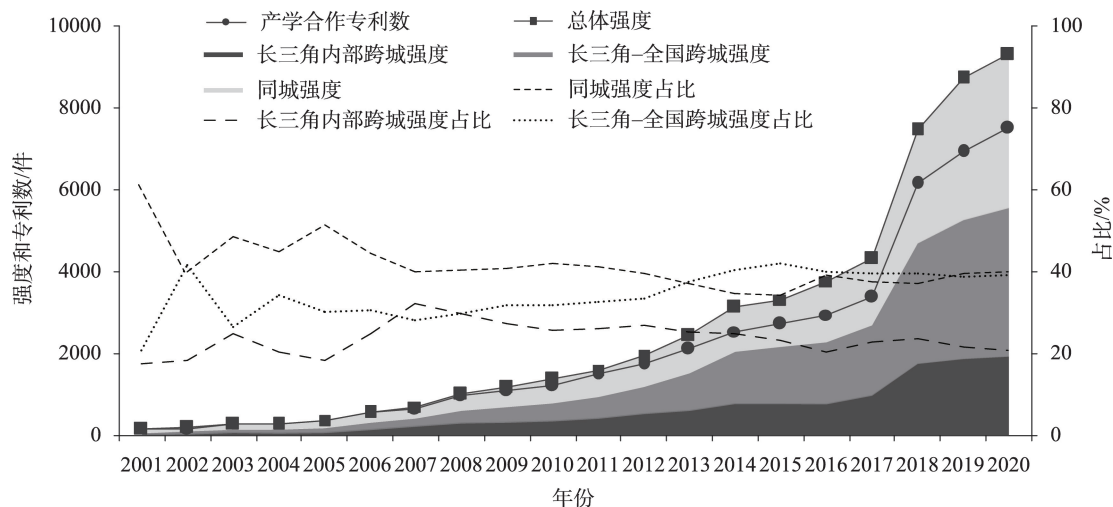


图1 2001—2020年长三角产学研协同创新的发展趋势

Figure 1 Trend of development of university-industry collaborative innovation in the Yangtze River Delta, 2001-2020

表1 2001—2020年长三角产学研协同创新发展的阶段性特征

Table 1 Characteristics of the four stages of university-industry collaborative innovation in the Yangtze River Delta, 2001-2020

| 特征维度 | 特征指标 | 阶段1 (2001—2005年) | 阶段2 (2006—2010年) | 阶段3 (2011—2015年) | 阶段4 (2016—2020年) |
|------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 规模 | 专利产出/件 | 低(250) | 较低(908) | 较高(2132) | 高(5385) |
| 增长 | 专利产出增速/% | 高(24.7) | 较高(21.5) | 低(16.2) | 高(26.3) |
| | 同城强度占比/% | 高(49.3) | 较高(41.5) | 低(37.4) | 低(38.8) |
| 尺度 | 区内跨城强度占比/% | 低(20.0) | 较高(28.0) | 较高(25.3) | 低(21.8) |
| | 区外跨城强度占比/% | 低(30.7) | 低(30.5) | 较高(37.3) | 高(39.5) |
| 模式 | 专利产出/创新强度/% | 高(96.3) | 较高(94.4) | 较低(86.6) | 低(79.8) |

注:括号内为特征指标的年均值;专利产出与创新强度的比值反映了“产学研混成组织”的创新参与度。

间节点较为吻合,因此下文研究的时序划分以此为参照。

3.2 长三角产学研协同创新时空分布特征

利用 ArcGIS10.2 软件的自然断裂点分类功能,刻画长三角产学研协同创新强度的时空格局(图2)。同城强度的空间分布从以上海为单中心,向以南京和上海为双核演变。由于同城强度主要受本地大学科技资源约束,而一流大学集中分布在沪宁合-沪杭甬沿线的核心城市,同时江苏也是中国大学资源最丰富的省份之一,因此这些地区的本地产学合作相对密切。在空间结构演变上,长三角内部和长三角-全国跨城强度相似,分别从以上海、杭州为双核和以上海为单中心,向以南京、上海和杭州为三核演变。长三角内部跨城合作的重点城市沿上海-南京-合肥(沿江)、上海-宁波-温州(南部沿海)和上海-南通-连云港(北部沿海)创新发展带延伸,表明产学一体化的核心区位于上海大都市圈,以及南京、杭州都市圈,合肥也不断融入其中。长三角-全国跨城强度的高值区从上海-南京-合肥沿线,向上海-杭州-宁波沿线扩张,同时徐州依托矿业大学和工程机械产业等地方特色产学资源优势,也成为重点城市之一。总体上,长三角产学研协同创新的空间演化特征表现为,以上海为中心,基于南京、杭州、合肥和宁波都市圈的传统Z形发展廊道,转向以南京、上海、杭州为多中心的沿海沿江T形发展带,在一定程度上体现了区域创新空间从依托核心城市,到形成都市圈和城市群,进而实现区域协调发展的演进过程。

基于不同尺度的强度占比,通过绘制城市热力图,考察长三角城市产学研协同创新的尺度偏好差异及演化过程(图3)。长三角内部跨城强度占比的热

度最高,由于地理邻近、产业创新能级有限和本地大学科技资源不足等因素,中小城市一般更偏好在区内寻求产学合作。从城市热度比较来看,上海、南京、杭州和合肥等产学研协同创新强度较高的城市在不同空间尺度下的强度占比相对均衡,是推动地方-区内-区外产学知识流动的枢纽。结合趋势分析可以发现,长三角内部跨城强度最低且增长缓慢的主要原因在于,核心城市对于区内合作的参与度相对不高,由于拥有良好的本地创新生态且对外合作能力较强,这些核心城市往往更重视本地和区外产学合作。例如,2016—2020年上海的区内合作占比仅为24.3%,属于长三角的最低水平。同时,长三角内部产业同构和竞争关系也导致区内核心城市间的产学合作不如区外合作紧密,削弱了核心城市对区内产学研协同创新的引领和支撑作用,而更具合作意愿的中小城市受限于经济体量和创新能力,无法有效提升区内产学研协同创新的产出规模。从城市热度演化来看,中小城市也在不断开拓同城和全国尺度合作,如拥有研究型大学的芜湖、镇江、连云港和温州,甚至只有地方大学的盐城、衢州、六安和蚌埠,都在营造良好的本地产学研协同创新生态,而徐州、马鞍山、淮南、铜陵、池州等资源型城市则利用传统产业优势和行业特色大学,加强与全国城市的合作。

3.3 长三角产学研协同创新网络空间结构

基于长三角城际产学研协同创新强度,通过绘制和弦图,考察长三角内部网络结构。为便于辨识重要的城际产学研协同关系,选取各时段强度排名前20位的城市组合进行分析(图4)。2001—2005年,杭州-上海的强度最高,其次是南京-上海,同时杭州、南京主要与各自省内城市存在密切合作,是地区性

2023年3月

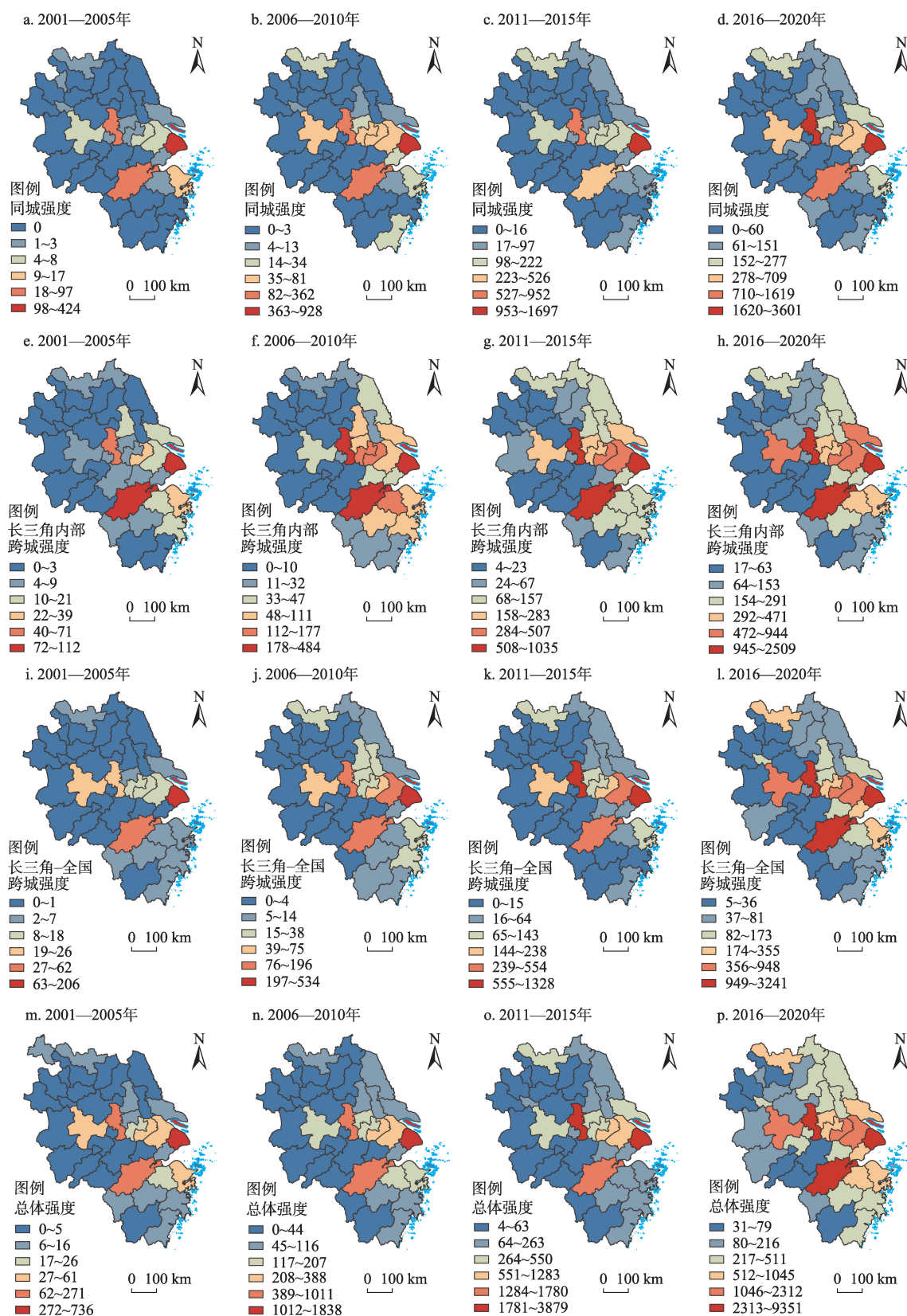


图2 2001—2020年长三角城市产学研协同创新强度的空间分布

Figure 2 Spatial distribution of university-industry collaborative innovation intensity in the Yangtze River Delta, 2001-2020

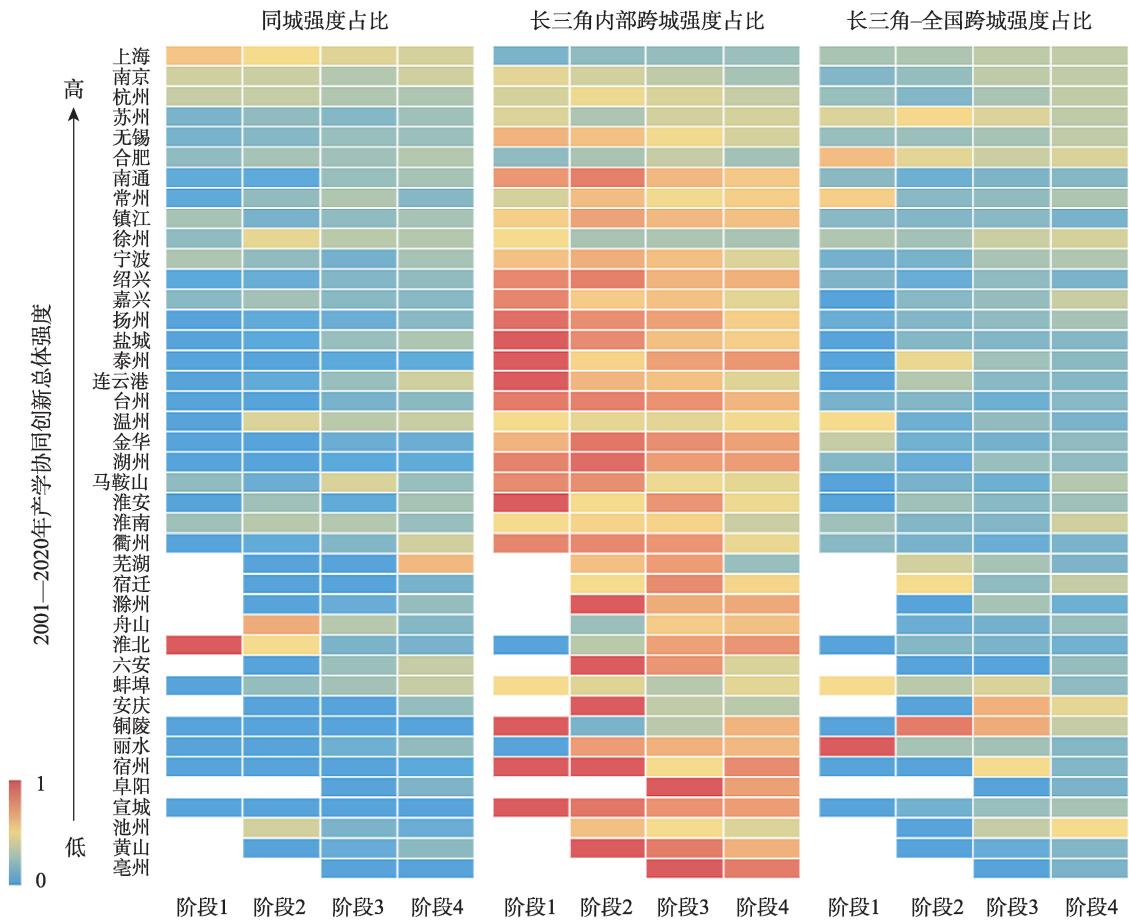


图3 2001—2020年基于不同尺度产学协同创新强度占比的长三角城市热力图

Figure 3 Thermodynamic chart of cities based on the proportion of university-industry collaborative innovation intensity at different scales in the Yangtze River Delta, 2001-2020

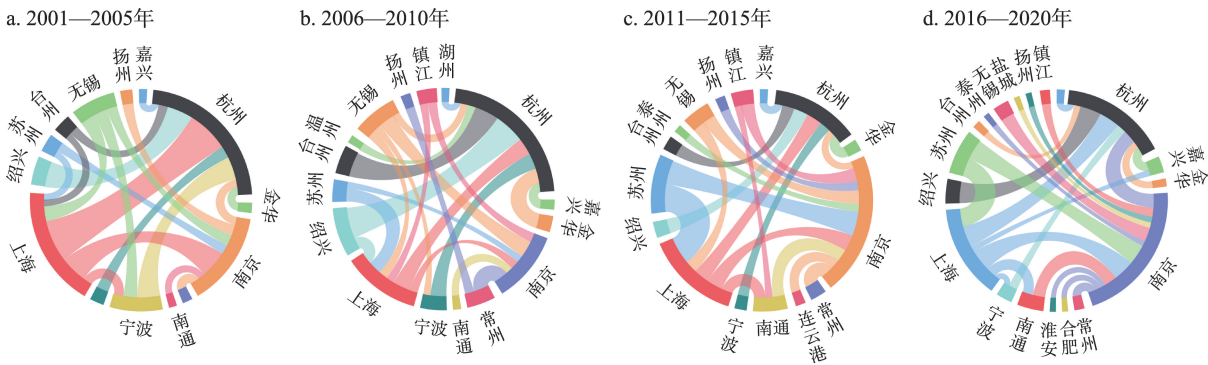


图4 2001—2020年长三角内部城际产学协同创新强度和弦图

Figure 4 Chord diagram of intercity university-industry collaborative innovation intensity in the Yangtze River Delta, 2001-2020

产学协同创新网络的核心,而此时安徽城市与江浙沪城市的产学联系还较弱;2006—2010年,杭州-绍兴、杭州-台州、上海-杭州、南京-无锡的强度较高,杭州与湖州、温州,南京与常州、镇江,上海与绍兴、镇江的联系增强;2011—2015年,苏州通过加强与

上海、南京的产学合作,成为长三角内部网络的重要节点,上海-苏州、南京-苏州、上海-南京、上海-杭州、杭州-绍兴组成了长三角内部网络的主体框架,南京与省内城市和上海的合作进一步增强,而以杭州为核心的地区性网络发展相对放缓;2016—

2023年3月

2020年,合作最为紧密的城市组合变化不大,同时上海与南通、嘉兴、宁波等邻沪城市的合作进一步加强,南京的主要合作城市扩展至全省,而杭州在省内的主要合作城市仍集中在绍兴、宁波和嘉兴,此外合肥通过加强与南京合作开始融入长三角核心网络。长三角内部产学研一体化的网络空间复杂性和均衡性不断提升,但核心区域仍集中在以江浙沪城市为主的长三角城市群内部,同时区域协同受到行政区划的较大影响。

通过绘制桑基图,考察各时段长三角-全国产学研协同创新强度排名前20位的城市组合,发现北京一直是长三角对外合作最密切的城市且强度不断提升(图5)。北京拥有全国数量最多的研究型大学,而且清华大学等一流大学在长三角多地设立研究机构,为当地企业创新提供了有力支撑。此外,总部位于北京的国家电网、中石化等一批中央企业及其在长三角各地的下辖子公司是关键核心技术攻关的“国家队”,也是专利申请的“大户”,在产学研协同创新中发挥了重要引领作用。同时,深圳也是长三角重要的产学研合作城市,产学研主体主要是华为、中兴、腾讯等通讯和互联网企业,以及北京大学、清华大学、哈尔滨工业大学等一流大学设立的分校、研究生院或研究机构。但与北京相比,长三角-深圳合作强度明显萎缩,这可能与民营科技企业成长过程中的研发模式调整有关,从初期以产学研合作为主,成熟期则转向以自主研发、企业合作和兼并为主。此外,国内其他行政等级较高的城市也与长三角核心城市保持紧密合作,特别是武汉、西

安、成都等中西部城市的合作强度显著提升。

综合长三角内部和全国两个尺度,对长三角产学研协同创新网络进行优势流分析。通过城市对外合作强度衡量节点大小,筛选最重要即强度最大的城市间合作关系,刻画网络的空间组织结构(图6)。随着合肥-深圳、苏州-重庆、长沙-蚌埠-滁州等小规模子网逐渐融入核心网络,以及北京的深度嵌入,长三角产学研协同创新网络逐步从非连通(分散)向全连通(统一)、从多核心(北京、上海、南京、杭州)向单核心(北京)发展演变,并形成多层级、轴辐式结构,地区性产学研共同体始终与行政区划高度关联。在全国城市中,深圳、重庆、广州、天津、长沙、厦门都曾融入长三角产学研协同创新网络的核心架构,但由于未能与长三角核心城市建立稳定的强联系而处于边缘地位。从节点层级来看,南京、上海、杭州、苏州、合肥是网络的重要节点,但彼此缺乏强联系,其中南京、杭州、合肥是各自省内城市参与长三角产学研一体化的“代理人”。同时,上海的主导地位主要受北京影响不断下降,虽然在一体化政策驱动下有所回升,但仍未能充分体现衔接区内外主要城市和引领一体化发展的关键职能。相反,北京依托丰富的产学研资源和绝对的行政地位,通过维持与上海、杭州的密切联系,并不断加强与南京、苏州、合肥的合作,网络主导地位不断上升,成为长三角产学研知识流动的中枢。值得注意的是,即便不考虑北京的介入,长三角产学研一体化在网络组织架构层面仍相对松散,主要是以杭州为核心的地区性子网与上海-南京-合肥为核心的主网缺乏联系。在

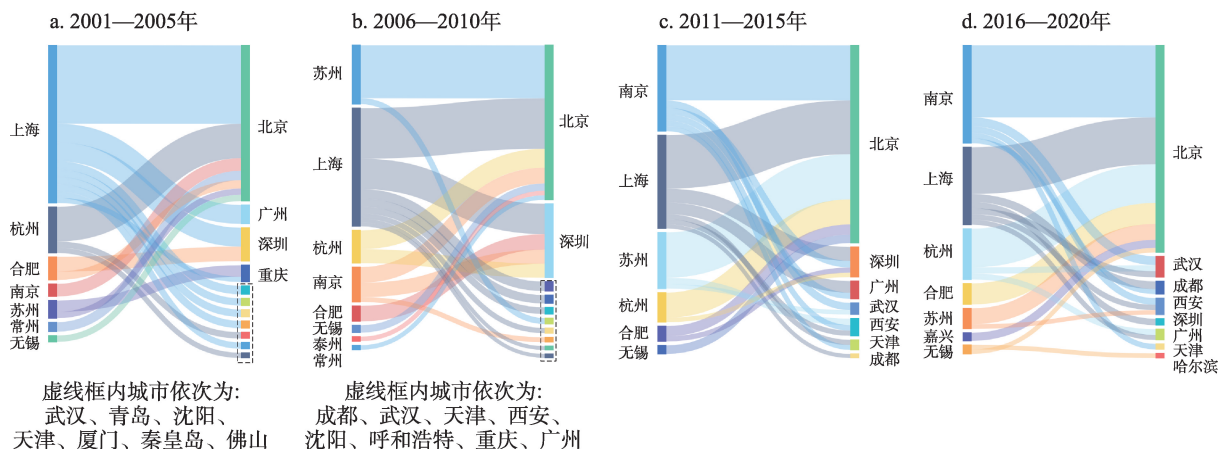


图5 2001—2020年长三角-全国城际产学研协同创新强度桑基图

Figure 5 Sankey diagram of intercity university-industry collaborative innovation intensity from the Yangtze River Delta to nationwide, 2001-2020

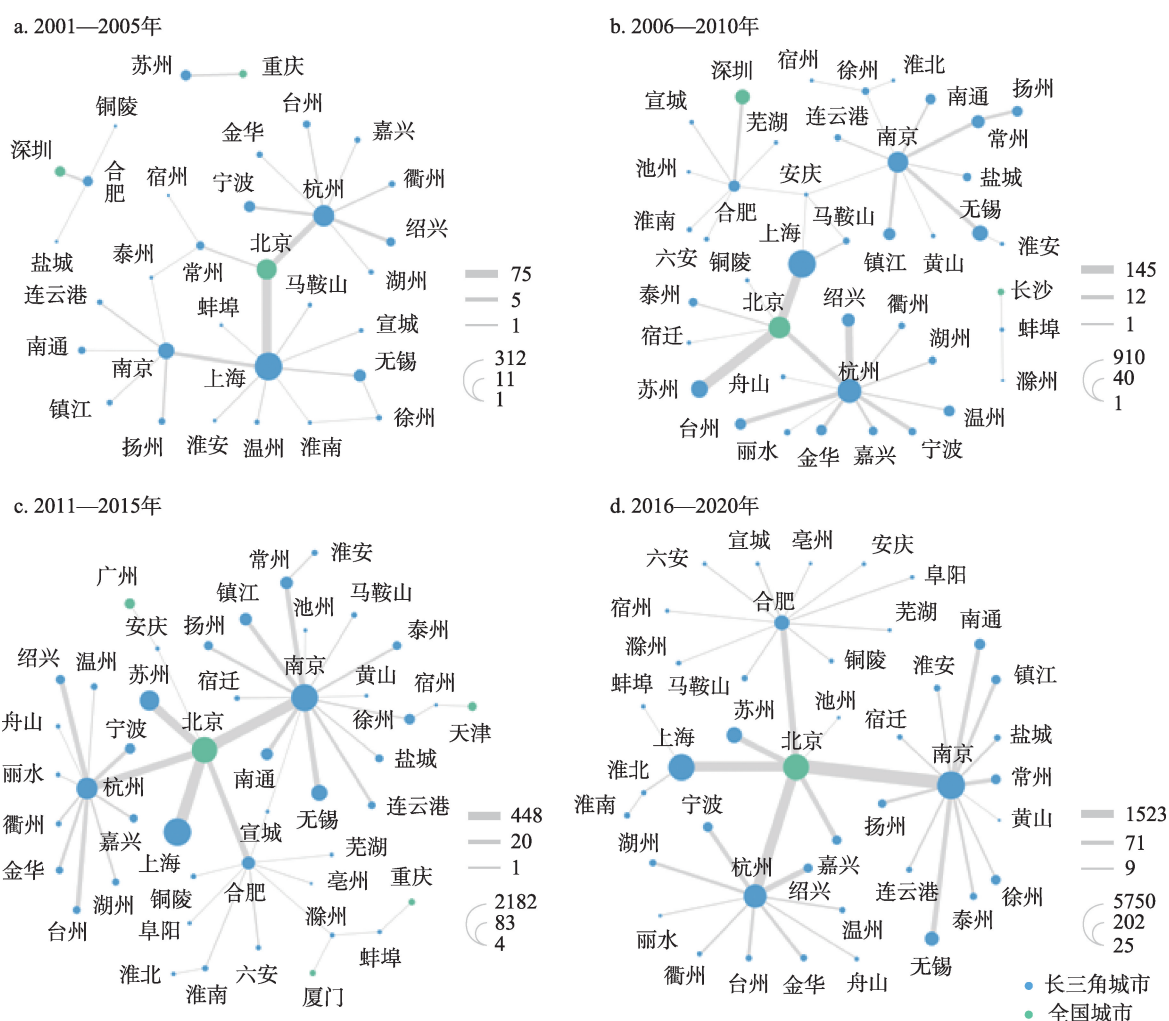


图6 2001—2020年长三角产学协同创新网络的空间体系

Figure 6 Spatial structure evolution of university-industry collaborative innovation network in the Yangtze River Delta, 2001-2020

引进大院名校共建创新载体的战略驱动下,浙江城市更多与省内一流大学开展校地合作,如浙江大学主要在台州、湖州、温州和舟山设立研究机构或成果转化平台,在推动产学协同创新的同时,也造成了相对封闭的发展环境。

3.4 长三角城市产学协同创新发展模式

基于强度和中心性指标,识别城市产学协同创新发展的空间模式(表2)。均衡型城市具备多尺度产学协同创新能力,包含4个子类:Ⅰ类的同城、区内和区外合作能力都较强;Ⅱ类的同城和区内合作能力较强;Ⅲ类的同城和区外合作能力较强;Ⅳ类的区内和区外合作能力较强。外向型城市在利用外部产学资源方面能力突出,包括区内、区外外向型,分别在长三角内部、长三角-全国网络中具有较高地位。内向型城市表示本地产学协同创新生态

良好,并且合作规模较大。在数量分布上,长三角城市发展模式存在较大的不平衡,多数城市还处于边缘型,均衡型、外向型和内向型城市的基数较小,但在数量变化上,均衡型城市的子类型不断丰富,内向型城市显著增长,边缘型城市有所下降,区内外向型城市保持稳定,区外外向型城市逐渐消失。

从城市发展模式的演化过程来看,徐州从边缘型向内向型,再向均衡型Ⅲ类发展;盐城、连云港、衢州、芜湖从边缘型向内向型城市发展;南通、镇江分别从区内外向型和内向型向均衡型Ⅱ类发展;泰州从边缘型向区外外向型,再向区内外向型发展;绍兴从边缘型向区内外向型发展;合肥从区外外向型向均衡型Ⅳ类发展。可见,边缘型城市一般都向内向型城市转型或以此为过渡进一步向均衡型城市发展,说明与加强跨城合作相比,通过挖掘自身

2023年3月

表2 2001—2020年长三角城市产学研协同创新的发展模式

Table 2 Development models of university-industry collaborative innovation of cities in the Yangtze River Delta, 2001-2020

| 发展模式 | 2001—2005年 | | | | 2006—2010年 | | | | 2011—2015年 | | | | 2016—2020年 | | | |
|-------|--------------------|------------|-------------|-----|--------------------|------------|-------------|-----|--------------------|------------|-------------|-----|--------------------|------------|-------------|-----|
| | \overline{S}_r^i | C_r^{in} | C_r^{out} | N | \overline{S}_r^i | C_r^{in} | C_r^{out} | N | \overline{S}_r^i | C_r^{in} | C_r^{out} | N | \overline{S}_r^i | C_r^{in} | C_r^{out} | N |
| 均衡型Ⅰ | 1.8 | 2.1 | 1.5 | 5 | 2.2 | 2.3 | 2.0 | 4 | 1.8 | 2.2 | 2.1 | 5 | 1.9 | 2.2 | 2.2 | 5 |
| 均衡型Ⅱ | 0.7 | 1.2 | -0.2 | 1 | 0.5 | 0.9 | -0.2 | 3 | 1.5 | 1.0 | -0.2 | 3 | 1.0 | 0.8 | -0.3 | 2 |
| 均衡型Ⅲ | | | | 0 | 0.7 | -0.1 | 1.4 | 1 | 1.2 | -0.4 | 0.2 | 1 | 0.7 | -0.4 | 0.2 | 1 |
| 均衡型Ⅳ | | | | 0 | | | | 0 | -0.4 | 0.2 | 0.4 | 1 | -0.1 | 0.2 | 1.0 | 1 |
| 区内外向型 | -0.3 | 0.2 | -0.3 | 4 | -0.4 | 0.4 | -0.3 | 6 | -0.5 | 0.1 | -0.2 | 3 | -0.3 | 0.2 | -0.3 | 4 |
| 区外外向型 | -0.2 | -0.2 | 0.5 | 2 | -0.5 | -0.3 | 0.3 | 2 | | | | 0 | | | | 0 |
| 内向型 | 0.1 | -0.3 | -0.3 | 3 | 1.0 | -0.5 | -0.3 | 4 | 0.3 | -0.4 | -0.4 | 4 | 0.5 | -0.4 | -0.3 | 6 |
| 边缘型 | -0.3 | -0.4 | -0.2 | 26 | -0.6 | -0.6 | -0.3 | 21 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | 24 | -0.6 | -0.5 | -0.4 | 22 |

注:表中数值为同类型城市的 \overline{S}_r^i 、 C_r^{in} 、 C_r^{out} 指数均值; N 表示各类型的城市数量。

或引进外部大学科技资源,同时提升本地高科技和战略性新兴产业发展水平,是欠发达地区城市产学研协同创新发展的主要路径。例如,芜湖充分利用地方大学资源,通过衍生企业等方式促进产学研协同创新,安徽工程大学与芜湖安普机器人产业技术研究院有限公司合作产出了大量创新成果,同时通过与中国科学技术大学共建智慧城市研究院提升本地产学研资源能级,间接加强与科大讯飞、华为等头部创新企业的合作联系。此外,宁波和嘉兴等城市从均衡型和区内外向型向内向型转变,表明在加强对外联系和提升网络地位的同时,也更加重视城市产学研协同创新的内生发展。这类经济发达城市的模式转型主要基于本地科技产业优势加强与地方大学合作,同时为了弥补地方大学研究能力不足,引

进异地一流大学科技资源,如嘉兴浙江清华产业研究院,更好地服务本地高新技术企业发展。

3.5 长三角区域产学研协同创新发展模式

在区域协同的层级体系上,城市发展模式跃迁和产学研协同创新能力增强,有效推动了区域整体水平提升和层级体系扁平化,表现为城市不断从低层级进入中间层级,而高等级城市数量越来越多也表明区域发展从依靠单核转向多核驱动(表3)。其中,部分城市的发展进步是区域层级体系转变的关键。南京在前期仅排在第三层级,从代表协同创新能力的 E 值看,其与上海和杭州存在不小差距,但在后期依托自身大学资源优势,通过加强同城和区内产学研合作,已上升至第一层级。此外,合肥和南通分别通过加强区内和本地合作,形成内外兼顾的多

表3 2001—2020年长三角城市产学研协同创新的层级体系

Table 3 Hierarchical system of university-industry collaborative innovation of cities in the Yangtze River Delta, 2001-2020

| 层级 | 2001—2005年 | | 2006—2010年 | | 2011—2015年 | | 2016—2020年 | |
|----|---|------|---|------|--|------|---|------|
| | 城市 | E | 城市 | E | 城市 | E | 城市 | E |
| 1 | 上海 ¹ | 4.3 | 上海 ¹ | 3.6 | 上海 ¹ 南京 ¹ | 3.1 | 南京 ¹ | 3.5 |
| 2 | 杭州 ¹ | 2.4 | 杭州 ¹ | 2.5 | 杭州 ¹ | 1.8 | 上海 ¹ 杭州 ¹ | 2.7 |
| 3 | 南京 ¹ | 1.3 | 南京 ¹ | 1.6 | 无锡 ¹ 苏州 ¹ | 1.2 | 无锡 ¹ 苏州 ¹ 南通 ² | 0.8 |
| 4 | 无锡 ¹ 宁波 ² | 0.7 | 无锡 ¹ 苏州 ³ 常州 ² 镇江 ² | 0.6 | 镇江 ² 常州 ² 南通 ² 徐州 ³ | 0.7 | 合肥 ⁴ 镇江 ² 衢州 ⁷ 徐州 ³ 宁波 ⁷ 常州 ⁵ 连云港 ⁷ 嘉兴 ⁷ 绍兴 ⁵ 扬州 ⁵ 盐城 ⁷ | 0.1 |
| 5 | 苏州 ¹ 合肥 ⁶ 南通 ⁵ 镇江 ⁷ 常州 ⁶ 台州 ⁵ 嘉兴 ⁵ 马鞍山 ⁷ 扬州 ⁵ 淮北 ⁷ | -0.3 | 绍兴 ² 舟山 ⁷ 嘉兴 ⁷ 徐州 ⁷ 扬州 ⁵ 温州 ⁷ 宁波 ⁵ 南通 ⁵ 合肥 ⁶ 金华 ⁵ 台州 ⁵ 盐城 ⁵ 泰州 ⁶ | -0.3 | 合肥 ⁴ 盐城 ⁷ 连云港 ⁷ 宁波 ⁵ 扬州 ⁵ 马鞍山 ⁷ 淮南 ⁷ 泰州 ⁵ | -0.4 | 芜湖 ⁷ 泰州 ⁵ | -0.5 |

注: E 是不同等级城市的产学研协同创新综合指数均值;边缘型城市未列出,都属于第5层级;上标表示城市类型,1-7分别指代均衡型Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ,区内、区外外向型,内向型。

尺度协同模式,也是转变发展模式推动等级提升的典型城市。在2016年《长江三角洲城市群发展规划》正式发布后,合肥加速融入长三角一体化进程,2016—2020年的区内合作强度较上一时期增加了3倍,远高于其他城市。而南通与嘉兴等城市相似,都强调引入外部资源助力经济转型,如由地方政府出资成立先进通信技术研究和成果转化平台,借此与清华大学和南通大学成立联合研究中心,同时加强校地合作,成立南京大学海安高新技术研究院等新型政产学研合作机构,并结合本地产业升级需求使其深度嵌入地方。

在区域协同的组织机制上,内向型城市的产学研合作主要发生在城市内部,形成了本地产学研知识的良性循环,重点是考察均衡型和外向型城市对外合作的主导机构类型,为此根据城市发展模式和层级体系,选取16个重点城市测度基于大学/企业的长三角内部/长三角-全国网络桥接中心性,识别主要桥接机构及其功能定位(表4)。上海对外合作的组织机制比较稳定,在长三角内部网络中以大学技术

输出为主,在长三角-全国网络中大学和企业都发挥了重要的桥接功能。杭州、南京和合肥在对外合作中也以大学技术输出为主,同时企业技术吸纳能力在全国尺度上逐步提升,因此长三角核心城市对外合作的组织机制逐渐趋同。由于区内大学的知识溢出难以满足核心城市企业的技术需求,导致核心城市较少基于企业参与区内合作。无锡和苏州虽然也是均衡型城市,但区外合作的组织机制与上述核心城市存在差异,无锡的大学桥接功能受限,能级在全国尺度上较弱,而苏州则由于产业创新优势明显,主要依托企业参与区内外产学研合作。此外,常州、南通、扬州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴和盐城与苏州情况相似,区外合作机制也以产业技术吸纳为主,并且城市的产业创新能力决定了对外技术搜寻的尺度范围,企业是这些城市参与产学研合作的主要桥接机构。与之相反,徐州和镇江的大学能级明显高于企业,在区外合作中以大学技术输出为主。

由此可见,大学和企业都能成为城市参与区域产学研协同创新的主导型桥接机构,主要取决于地方

表4 2001—2020年长三角主要城市基于大学和企业的桥接中心性^(a)

Table 4 Bridging centrality based on universities or enterprises of the main cities in the Yangtze River Delta, 2001-2020

| 城市 | 2001—2005年 | | | | 2006—2010年 | | | | 2011—2015年 | | | | 2016—2020年 | | | |
|----|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| | $C_r^{in,h}$ | $C_r^{in,f}$ | $C_r^{out,h}$ | $C_r^{out,f}$ | $C_r^{in,h}$ | $C_r^{in,f}$ | $C_r^{out,h}$ | $C_r^{out,f}$ | $C_r^{in,h}$ | $C_r^{in,f}$ | $C_r^{out,h}$ | $C_r^{out,f}$ | $C_r^{in,h}$ | $C_r^{in,f}$ | $C_r^{out,h}$ | $C_r^{out,f}$ |
| 上海 | + | - | + | + | + | - | + | + | + | - | + | + | + | - | + | + |
| 杭州 | + | - | + | + | + | - | + | - | + | - | + | + | + | - | + | + |
| 南京 | + | + | + | - | + | - | + | - | + | - | + | + | + | - | + | + |
| 合肥 | - | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | + |
| 徐州 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | + | - | - | - | + | - |
| 无锡 | + | + | - | + | + | + | + | + | + | + | - | + | + | + | + | + |
| 常州 | - | - | - | - | - | + | - | + | + | + | - | + | - | + | - | + |
| 苏州 | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + |
| 南通 | - | + | - | + | - | + | - | - | - | + | - | - | - | + | - | + |
| 扬州 | - | + | - | - | + | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + |
| 盐城 | - | - | - | - | - | + | - | - | - | + | - | - | - | + | - | - |
| 镇江 | - | - | - | - | + | + | - | + | + | + | - | - | + | - | - | - |
| 宁波 | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + |
| 嘉兴 | - | + | + | - | - | + | - | - | - | + | - | - | - | + | - | - |
| 湖州 | - | - | - | - | - | + | - | - | - | + | - | - | - | + | - | - |
| 绍兴 | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + | - | - | - | + | - | - |

注:符号为正(+)/负(-)表示城市基于大学(企业)的桥接中心性高于/低于总体均值,意味着大学(企业)是/不是城市参与网络合作的主要桥接机构。(a)城市的总体网络地位与基于产学研主体的网络地位可能不一致。如绍兴在时段2中为均衡型Ⅱ类城市,即与全国城市的合作较弱,但基于企业的长三角-全国网络中心性符号为正,表明从总体看绍兴在长三角-全国网络中的地位不高,但从企业桥接功能看却是网络的重要节点;常州在时段1中基于产学研主体的桥接中心性符号均为负,表明虽然是区外外向型城市,即产学研资源的总体对外合作能力较好,但大学和企业各自的桥接功能都一般,因此无法区分主导型机构。

2023年3月

产学研资源禀赋。由于一流大学资源集中在少数大城市,因此长三角多数中小城市一般借助产业资源融入产学研一体化网络。同时,高等级或均衡型城市是区域产学研知识流动的枢纽,其内部产学研主体对多尺度网络连结所发挥的桥接作用更大。而大学在这类城市参与长三角内部和长三角-全国网络合作中都发挥了重要桥接功能,但企业的知识技术搜寻主要在全国范围内。因此,尽管企业是创新的主体,但在区域产学研协同创新网络的组织建构和知识多尺度交互中,大学是比企业更重要的桥接机构。

4 结论与政策建议

4.1 结论

本文基于产学研合作专利数据,结合多元化产学研合作模式,深度挖掘产学研协同关系的空间信息,系统刻画长三角产学研协同创新的发展历程、尺度变化和空间格局,进而从城市发展和区域协同维度深入探讨产学研协同创新的空间组织模式及演化过程。主要得出以下结论:

(1)长三角产学研协同创新的规模和尺度都在不断扩张,但区内合作的发展相对滞后。随着产学研协同创新产出持续增长,跨城合作愈发频繁,尺度范围从本地向长三角区内和全国逐步扩展,相较而言,以全国尺度的合作为主。长三角多数中小城市偏好区内合作,但由于核心城市产学研协同创新的规模更大且区外合作倾向性不断增加,导致区内合作比重存在下降趋势。此外,大学异地研究机构和校地合作等平台模式在促进区域产学研资源要素流动的同时,也推动了产学研协同创新的再地化和本地内生性发展。

(2)长三角产学研协同创新的空间均衡性有所提升,但仍受到产学研资源高度聚集的制约。随着中小城市的产学研协同创新能力提升,长三角产学研协同创新空间从依赖核心城市极化发展,逐步转向依托城市群协调发展,同时更多城市融入长三角内部产学研协同创新网络,但在北京的强辐射影响下,长三角-全国网络的集聚性进一步提升,并与中西部主要城市的联系增强。总体而言,产学研一体化空间在网络层面向单中心、轴辐式和多层级结构演化,仍存在较强的行政壁垒,地区性子网之间的联系还不够紧密,上海等核心城市的引领功能也有待增强。

(3)大学是推动城市产学研协同创新多尺度演进,以及区域产学研一体化发展的重要资源。长三角

城市愈发重视多尺度产学研合作,特别是在区域一体化政策影响下,相对于区外合作,多数城市倾向于加强本地和区内合作。城市发展模式演变推动了区域层级体系的扁平化,也有利于区域协调和一体化发展。核心城市主要依托一流大学的网络桥接功能,实现不同尺度间的知识交互,而中小城市普遍利用优势产业参与各个尺度下的协同创新,在一定程度上表明大学比企业在多尺度产学研一体化中扮演了更关键的“守门人”角色。

4.2 政策建议

本文结论虽以长三角为研究区域,但对中国其他城市群的产学研协同创新发展也具有一定的参考价值。构建产学研一体化机制,推动学界与产业界建立广泛的正式和非正式联系,特别是跨区域合作,促进产学研资源的最优匹配和有效的异质性知识交互,是一体化空间形成和演进的制度基础。基于城市、区域和全国3个尺度,提出推动新发展格局下区域产学研一体化的政策建议:

(1)加强核心城市引领,围绕区域优势产业共建高能级的校企合作研发机构,依托一流大学布局高水平的异地研究院,并鼓励一流科学家柔性流动,参与组建新型研发机构,健全关键核心技术的区域协同攻关机制。

(2)推动区域协调发展,重视地方性院校的科技创新与产业化,引导中小城市企业向“专精特新”方向发展,培育良好的本地产学研协同创新生态,并利用创新飞地、校地合作等方式建立一流大学科技资源的流动渠道。

(3)提升服务全国能力,区域产学研一体化不仅要促进区内产学研资源要素流动,更应支撑和在更大范围内带动国家创新发展,尤其是一流大学作为知识源头和流动中枢,需进一步强化再地服务功能,充分发挥国家战略科技力量的职能使命。

本文从产学研协同维度,探索性分析了创新网络的多尺度组织模式及关联机制,为长三角科技创新一体化空间发展提供了经验证据与解释,更全面深入的空间数据也有助于相关问题研究。遗憾的是,本文数据仅涉及大学,而科研院所也是中国重要的战略科技力量,未来可关注产研协同创新空间。同时,区域一体化所形成的多尺度网络结构及交互作用对城市协同创新产出及其效率的影响机制也值

得深入探讨。尤其是结合本文结论,一体化及其平台模式的相关政策实施是偏向构建网络促进资源流动,还是鼓励资源引进和再集聚,将直接影响协同创新效应。

参考文献(References):

- [1] Huggins R, Prokop D. Network structure and regional innovation: A study of university-industry ties[J]. *Urban Studies*, 2017, 54(4): 931-952.
- [2] 曹卫东, 曾刚, 朱晟君, 等. 长三角区域一体化高质量发展: 问题与出路[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(6): 1385-1402. [Cao W D, Zeng G, Zhu S J, et al. High-quality integrated development in the Yangtze River Delta Region: Problems and solutions[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6): 1385-1402.]
- [3] 陈雯, 兰明昊, 孙伟, 等. 长三角一体化高质量发展: 内涵、现状及对策[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(6): 1403-1412. [Chen W, Lan M H, Sun W, et al. Integrated high-quality development of the Yangtze River Delta: Connotation, current situation and countermeasures[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(6): 1403-1412.]
- [4] 闫东升, 孙伟. 长江三角洲一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响评估与机制[J]. *资源科学*, 2022, 44(7): 1358-1372. [Yan D S, Sun W. Impact of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity and mechanism: An empirical study based on the Yangtze River Delta[J]. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1358-1372.]
- [5] Bathelt H, Malmberg A, Maskell P. Clusters and knowledge: Local buzz, global pipelines and the process of knowledge creation[J]. *Progress in Human Geography*, 2004, 28(1): 31-56.
- [6] Trippi M, Grillitsch M, Isaksen A. Exogenous sources of regional industrial change: Attraction and absorption of non-local knowledge for new path development[J]. *Progress in Human Geography*, 2017, 42(5): 687-705.
- [7] Ter Wal A L J, Boschma R A. Applying social network analysis in economic geography: Framing some key analytic issues[J]. *The Annals of Regional Science*, 2009, 43: 739-756.
- [8] Hazır C S, LeSage J, Autant-Bernard C. The role of R&D collaboration networks on regional knowledge creation: Evidence from information and communication technologies[J]. *Papers in Regional Science*, 2018, 97(3): 549-567.
- [9] Balland P A. Proximity and the evolution of collaboration networks: Evidence from research and development projects within the global navigation satellite system (GNSS) industry[J]. *Regional Studies*, 2012, 46(6): 741-756.
- [10] Sebestyén T, Varga A. Research productivity and the quality of interregional knowledge networks[J]. *The Annals of Regional Science*, 2013, 51(1): 155-189.
- [11] Awate S, Mudambi R. On the geography of emerging industry technological networks: The breadth and depth of patented innovations [J]. *Journal of Economic Geography*, 2018, 18(2): 391-419.
- [12] Innocenti N, Capone F, Lazzeretti L. Knowledge networks and industrial structure for regional innovation: An analysis of patents collaborations in Italy[J]. *Papers in Regional Science*, 2020, 99(1): 55-72.
- [13] Barzotto M, Corradini C, Fai F M, et al. Enhancing innovative capabilities in lagging regions: An extra-regional collaborative approach to RIS3[J]. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 2019, 12(2): 213-232.
- [14] Glückler J, Shearmur R, Martinus K. Liability or opportunity? Re-conceptualizing the periphery and its role in innovation[J]. *Journal of Economic Geography*, 2023, 23(1): 231-249.
- [15] 马海涛. 知识流动空间的城市关系建构与创新网络模拟[J]. *地理学报*, 2020, 75(4): 708-721. [Ma H T. The theoretical construction and network simulation of intercity innovative relationships in knowledge flow space[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(4): 708-721.]
- [16] 段德忠, 杜德斌. 中国城市绿色技术创新的时空分布特征及影响因素[J]. *地理学报*, 2022, 77(12): 3125-3145. [Duan D Z, Du D B. Green technology innovation in China city system: Dynamics and determinants[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(12): 3125-3145.]
- [17] 戴靓, 纪宇凡, 王嵩, 等. 中国城市知识创新网络的演化特征及其邻近性机制[J]. *资源科学*, 2022, 44(7): 1494-1505. [Dai L, Ji Y F, Wang S, et al. Evolutionary characteristics and proximity mechanism of intercity knowledge innovation networks in China [J]. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1494-1505.]
- [18] 刘承良, 闫姗姗. 中国跨国城际技术通道的空间演化及其影响因素[J]. *地理学报*, 2022, 77(2): 331-352. [Liu C L, Yan S S. Spatial evolution and determinants of transnational technology transfer network in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(2): 331-352.]
- [19] 席强敏, 李国平, 孙瑜康, 等. 京津冀科技合作网络的演变特征及影响因素[J]. *地理学报*, 2022, 77(6): 1359-1373. [Xi Q M, Li G P, Sun Y K, et al. Evolutionary characteristics of science and technology cooperation network of Beijing-Tianjing-Hebei Region and its influencing factors[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(6): 1359-1373.]
- [20] 付晓宁, 孙伟, 闫东升. 长三角专利转移网络的时空演化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(10): 2347-2359. [Fu X N, Sun W, Yan D S. Spatial-temporal evolution of the Yangtze River Delta patent transfer network[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(10): 2347-2359.]
- [21] 吴康敏, 张虹鸥, 叶玉瑶, 等. 粤港澳大湾区协同创新的综合测度与演化特征[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(9): 1662-1676. [Wu K M, Zhang H O, Ye Y Y, et al. Measurement and evolution characteristics of collaborative innovation in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(9): 1662-1676.]

2023年3月

- [22] 王璐玮, 汪涛, 张晗. 全球生产网络与本土创新网络的战略耦合动态: 以中国生物医药产业为例[J]. 地理研究, 2021, 40(12): 3314–3332. [Wang L W, Wang T, Zhang H. Dynamic change of strategic coupling between global production networks and indigenous innovation networks: Take China's biopharmaceutical industry as an example[J]. Geographical Research, 2021, 40(12): 3314–3332.]
- [23] 尚勇敏, 王振, 宓泽锋, 等. 长三角绿色技术创新网络结构特征与优化策略[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(9): 2061–2069. [Shang Y M, Wang Z, Mi Z F, et al. Structural characteristics and optimization strategies of green technology innovation network in the Yangtze River Delta[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(9): 2061–2069.]
- [24] 王姣娥, 杜方叶, 景悦, 等. 东北地区城际专利转移的空间-行业路径与影响因素[J]. 资源科学, 2022, 44(2): 365–374. [Wang J E, Du F Y, Jing Y, et al. Space-industry path of technology transfer: An empirical study of Northeast China[J]. Resources Science, 2022, 44(2): 365–374.]
- [25] 盛科荣, 王丽萍, 孙威. 网络权力、知识溢出对中国城市绿色经济效率的影响[J]. 资源科学, 2021, 43(8): 1509–1521. [Sheng K R, Wang L P, Sun W. Impacts of network power and knowledge spillovers on China's urban green economic efficiency[J]. Resources Science, 2021, 43(8): 1509–1521.]
- [26] 赵林, 曹乃刚, 韩增林, 等. 中国绿色经济效率空间关联网络演变特征及影响因素[J]. 资源科学, 2021, 43(10): 1933–1946. [Zhao L, Cao N G, Han Z L, et al. Spatial correlation network and influencing factors of green economic efficiency in China[J]. Resources Science, 2021, 43(10): 1933–1946.]
- [27] 杨文龙, 杜德斌, 盛垒. 全球商品贸易网络生长特征及动力机制[J]. 资源科学, 2022, 44(3): 508–522. [Yang W L, Du D B, Sheng L. Growth characteristics of the global commodity trade network and its dynamic mechanism[J]. Resources Science, 2022, 44(3): 508–522.]
- [28] 马海涛, 胡夏青. 城市网络视角下的中国科技创新功能区划研究[J]. 地理学报, 2022, 77(12): 3104–3124. [Ma H T, Hu X Q. Regionalization of scientific and technological innovation in China: From the perspective of urban network[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(12): 3104–3124.]
- [29] 孙东琪, 陆大道, 孙斌栋, 等. 从网络描述走向网络绩效: “城市网络外部性”专辑序言[J]. 地理研究, 2022, 41(9): 2325–2329. [Sun D Q, Lu D D, Sun B D, et al. From network description to network performance: Preface to the special issue 'Urban Network Externalities'[J]. 2022, 41(9): 2325–2329.]
- [30] Graf H. Gatekeepers in regional networks of innovators[J]. Cambridge Journal of Economics, 2011, 35(1): 173–198.
- [31] Johnston A, Wells P, Woodhouse D. Examining the roles of universities in place-based industrial strategy: Which characteristics drive knowledge creation in priority technologies?[J]. Regional Studies, 2022, DOI: 10.1080/00343404.2021.1956683.
- [32] Saxenian A. Regional Networks: Industrial Adaptation in Silicon Valley and Route 128[M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1994.
- [33] Huggins R, Johnston A, Steffenson R. Universities, knowledge networks and regional policy[J]. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2008, 1(2): 321–340.
- [34] 杨凡. 大学对城市经济发展的影响研究: 基于产学研联系的视角[D]. 上海: 华东师范大学, 2019. [Yang F. The Role of Universities in Urban Economic Development: A View from University-Industry Linkages[D]. Shanghai: East China Normal University, 2019.]
- [35] 李新, 李柏洲. 哈长城市群协同创新网络结构洞与中间人研究: 基于专利数据的产学研网络与城际关系网络双维度测量[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(14): 66–75. [Li X, Li B Z. Structure holes and brokerage roles of collaborative innovation network in Harbin-Changchun urban agglomeration: A two-dimensional measurement of industry-university-research network and inter-city relationship network based on patent data[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2020, 37(14): 66–75.]
- [36] 万媛媛, 王秋玉, 曾刚, 等. 高校与生物医药企业创新结网的影响机制: 以长三角为例[J]. 经济地理, 2022, 42(7): 146–158. [Wan Y Y, Wang Q Y, Zeng G, et al. Influencing mechanism of formation of innovation network between universities and biomedical firms: A case study of Yangtze River Delta[J]. Economic Geography, 2022, 42(7): 146–158.]
- [37] Huggins R, Prokop D, Thompson P. Universities and open innovation: The determinants of network centrality[J]. The Journal of Technology Transfer, 2020, 45(3): 718–757.
- [38] Ponds R, Oort F, Frenken K. Innovation, spillovers and university-industry collaboration: An extended knowledge production function approach[J]. Journal of Economic Geography, 2009, 10(2): 231–255.
- [39] 宓泽锋, 尚勇敏, 徐维祥, 等. 长三角创新产学研合作与企业创新绩效: 尺度与效应[J]. 地理研究, 2022, 41(3): 647–662. [Mi Z F, Shang Y M, Xu W X, et al. Innovation industry-university cooperation and enterprise innovation performance in the Yangtze River Delta: Scale and effect[J]. Geographical Research, 2022, 41(3): 647–662.]
- [40] 叶雷, 曾刚, 曹贤忠, 等. 中国城市创新网络模式划分及效率比较[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(7): 1511–1519. [Ye L, Zeng G, Cao X Z, et al. Taxonomy of innovation network patterns and comparison of innovation efficiencies of Chinese cities[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(7): 1511–1519.]
- [41] Sebestyén T, Braun E, Iloskies Z, et al. Spatial and institutional dimensions of research collaboration: A multidimensional profiling of European regions[J]. Regional Statistics, 2021, 11(2): 3–31.
- [42] Bergé L R, Wanzenböck I, Scherngell T. Centrality of regions in R&D networks: A new measurement approach using the concept of bridging paths[J]. Regional Studies, 2017, 51(8): 1165–1178.

The evolution of spatial patterns of university–industry collaborative innovation in the Yangtze River Delta

YANG Fan¹, DU Debin^{2,3}, DUAN Dezhong^{2,3}, SHI Wentian⁴

(1. Institute of Information, Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200235, China; 2. Institute for Global Innovation and Development, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 4. Department of Hospitality Management, Shanghai Business School, Shanghai 201400, China)

Abstract: **[Objective]** The objective of this study was to reveal the multi-scale spatial patterns, organization, and evolution of university-industry (U-I) collaborative innovation in the Yangtze River Delta region, and propose policy recommendations for the spatial optimization of regional U-I integration in China's new development stage. **[Methods]** Based on the patent data from 2001 to 2020 and the diversified cooperation models, the spatial information of U-I linkages were explored, and the urban development and regional synergy models were identified by measuring the strength and centrality indicators. **[Results]** (1) As the output of U-I collaborative innovation continued to grow, intercity cooperation was becoming more frequent, and the scale and scope were gradually expanding. Although most small and medium-sized cities preferred intra-regional cooperation, its proportion showed a downward trend because the core cities preferred inter-regional cooperation. (2) With the improvement of the U-I collaborative innovation capabilities of small and medium-sized cities, regional development had changed from relying on the core cities to urban agglomerations for coordinated development, while the spatial imbalance of the internal network of the Yangtze River Delta had been declining. Under the strong influence of Beijing, cooperation outside the region became further agglomerated. In general, the U-I integration had evolved into a single-center, hub-and-spoke, and multi-level structure at the network level, strong administrative barriers existed, the connection between regional subnetworks was not close enough, and the leading function of the core cities such as Shanghai needed to be enhanced. (3) The Yangtze River Delta cities are promoting multi-scale U-I cooperation. Especially under the influence of regional integration policies, most cities tend to strengthen local and regional cooperation compared with cooperation outside the region. The evolution of the urban development models has driven the flattening of the regional hierarchical system and is also conducive to regional coordination and integrated development. To a certain extent, universities play a more critical “gatekeeping” role than enterprises in the multi-scale U-I integration. **[Conclusion]** Compared with the local and national scales, U-I collaborative innovation within the Yangtze River Delta has great development potential, and it is necessary to strengthen the effective flows of university and industry resources, and attach importance to their functional positioning differences in the regional integration and collaboration.

Key words: university-industry collaboration; regional innovation; network evolution; spatial pattern; integration of the Yangtze River Delta region