

南京都市圈创新合作网络的时空演化研究

付晓宁 孙伟¹

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

【摘要】 基于专利合作、专利转移、论文合作数据, 采用社会网络分析方法对南京都市圈 2010 年和 2020 年的创新合作网络格局进行测度。结果表明: 2010—2020 年, 南京都市圈创新合作网络呈现出以南京为核心的单中心空间结构, 镇江、扬州、马鞍山属于次级核心节点, 其他城市为边缘城市, 网络联系较弱; 三种创新合作网络规模持续扩张, 但不同网络扩张趋势不同, 由强至弱依次为专利转移、专利合作、论文合作; 南京都市圈创新合作网络已初具规模, 但内部城市合作分工地位尚不明确, 资源共享机制仍有待加强。

【关键词】 创新合作 创新网络 时空演化 南京都市圈

随着经济全球化的日益推进, 知识和创新成为影响区域发展的核心要素。在知识化和全球化的背景下, 知识溢出的地理邻近性和产业经济的集聚性使得创新活动高度集中于城市群地区。都市圈作为城市群的重要组成部分, 着眼于核心城市与周边辐射区域的协调发展, 有助于推进相邻城市一体化进程。加强都市圈的创新合作能够有效提升区域创新能力, 为区域整体向全球价值链高端攀升、增强在产业竞争中的话语权奠定基础。2021 年 2 月国家发改委正式批复《南京都市圈发展规划》, 要求打造南京都市圈科创共同体, 在充分发挥南京科教优势和龙头带动作用的同时, 实现都市圈内创新要素的无障碍流通。

创新能够改变资源利用方式, 提高生产效能, 实现创新要素集聚与产业转型, 为产业发展形成良好的创新环境。Freeman 在 1991 年首次提出创新网络的概念, 网络基于创新主体间的合作关系而建立^[1]。创新网络通过资产、信息、人才、技术流动等动态交互关系实现资源信息共享^[2], 促进技术产品的优化升级, 增强区域竞争力。随着近年来研究视角由“地方主义”向“流动空间”转变^[3], 学界对于创新网络的研究热点主要集中在完善测度方法、空间演化规律、探讨演化机制等方面。创新合作网络的测度方法, 通常选取专利合作或论文合作指标, 以社会网络分析法中的中心度模型、核心-边缘模型等刻画不同尺度下创新网络结构、功能^[4,5]。在空间演化规律方面, 不同尺度的创新网络均具有空间不均衡性和相关性, 且呈现出以经济发达城市为核心区域、周边城市为边缘区域的核心-边缘结构特征^[6,7]。在创新网络演化机制方面, 创新网络发展演化根植于地方社会文化环境和技术积累。在此基础上, 部分学者采用不同模型模拟网络演化的拓扑结构, 发现政府行为能够有效保障网络良性发展^[8,9]。也有部分学者构建计量模型, 发现市场需求、政府支持、创新资源结构^[10]等能够对创新网络的形成与演化产生影响。

总体上看, 已有研究成果为本文提供理论基础, 但现阶段的研究仅用一种指标刻画创新网络不够全面。同时, 南京都市圈作为国家发改委批复成立的第一个都市圈, 区域一体化程度较高, 内部已经初步建立起创新合作机制, 但行政区划壁垒和地方保护主义的存在, 使得创新体系无法统一整合和调配区域科技资源。可以说, 南京都市圈尚不具备明确的创新合作分工, 创新能力未能形成合力优势。本文从专利合作、专利转移、论文合作三个角度出发刻画南京都市圈创新合作网络的结构特征、演化规律, 更有助于明确南京都市圈创新合作的薄弱点与发展方向, 以期构建高质量的科技创新共同体提供借鉴, 使创新真正成为高质量

¹**作者简介:** 付晓宁, 中国科学院南京地理与湖泊研究所硕士研究生, 研究方向: 区域发展与规划; 孙伟, 理学博士, 中国科学院南京地理与湖泊研究所研究员, 研究方向: 区域发展与规划。

基金项目: 国家自然科学基金项目——“城市群空间结构的经济产出效率评估模型与关联机理研究——以长江三角洲为例”(项目编号: 41871119; 项目负责人: 孙伟) 成果之一; 中国科学院战略性先导科技专项——“美丽中国生态文明建设科技工程专项”(项目编号: XDA23020102; 项目负责人: 陈雯) 成果之一

发展的引擎。

1 数据与研究方法

1.1 南京都市圈概况

根据 2021 年 2 月国家发改委正式复函同意的《南京都市圈发展规划》，南京都市圈包括南京、镇江、扬州、淮安、马鞍山、滁州、芜湖、宣城和常州的溧阳和金坛(见图 1)，总面积 6.6 万平方公里，常住人口 3530.27 万人(第七次全国人口普查数据)。南京都市圈的科创优势明显，拥有普通高等院校 100 所、国家重点实验室 25 家。目前，南京都市圈创新网络规模有限，核心城市与边缘城市合作强度差异较大。



图 1 南京都市圈行政区划范围

1.2 数据来源

本文采用专利联合申请、专利权转移和论文合作三个指标来刻画南京都市圈创新合作网络结构。专利联合申请和专利权转移能够反映创新主体间技术联系，尤其是在产业方面的联系，论文合作能够反映高校和科研机构在基础研究领域的联系状况。

专利合作数据：进入国家知识产权局数据库中的“专利检索及分析”模块进行高级检索，得到 2010 年和 2020 年南京都市圈各城市间专利合作矩阵。例如，在申请日中输入“20100101—20101231”，申请(专利权)人中输入“南京 and 镇江”，得到南京与镇江在 2010 年的专利合作记录。

专利转移数据：采用爬虫程序“八爪鱼”，在国家知识产权局数据库中“专利信息服务平台”板块进行数据爬取，在“法律状态”中输入“转移”，在“法律状态信息”中输入城市，在“法律状态公告日”中输入年份，分别得到南京都市圈各城市 2010

年和 2020 年的全部专利转移记录。由于本文限定研究范围，因此从爬取的数据集中剔除南京都市圈内城市与外部城市的专利转移数据。

论文合作数据：通过 Web of Science 平台检索 2010 年和 2020 年南京都市圈城市间论文合作数据。具体检索过程：进入首页“高级检索”功能，数据库选项中选择“所有数据库”，能够查询较为完整的合作论文信息。在检索框中输入“AD=(城市 Aand 城市 B)”，时间跨度选项中选择“2010 年至 2010 年”和“2020 年至 2020 年”，分别检索得到 2010 年和 2020 年南京都市圈 10×10 论文合作矩阵。

1.3 研究方法

以社会网络分析法的中心度模型刻画南京都市圈创新合作网络的空间结构。

度数中心度。一个点的度数中心度就是与此点直接相连的点数量。点的度数中心度越高，说明在网络中越处于核心地位，更容易获取资源。在有向网络中，每个点的度数可以分为点入度和点出度。

$$\begin{aligned} C_{in}(i) &= \sum_{j=1}^n X_{ji} \\ C_{out}(i) &= \sum_{j=1}^n Y_{ij} \\ C_{RD}(i) &= \frac{C_{in}(i) + C_{out}(i)}{2(N-1)} \end{aligned} \quad (1)$$

$C_{in}(i)$ 为城市 i 的点出度， X_{ji} 为由城市 i 到城市 j 的创新合作总量， n 为从城市 i 转出的城市个数； $C_{out}(i)$ 为城市 i 的点入度， Y_{ij} 为由城市 j 到城市 i 的创新合作总量， n 为与城市 i 具有创新合作的城市个数； $C_{RD}(i)$ 为城市 i 的相对点度中心度， N 为网络规模。

中间中心度。美国社会学家林顿·弗里曼(Freeman)首次提出中心性的概念，如果一个行动者处于多对行动者之间，那么它可能起到重要的“中介”作用，因此处于网络的核心^{[11][12]}。基于此理论，中间中心度用来测量网络中各城市对资源的控制能力。

$$C_B(i) = \sum_j \sum_k \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (2)$$

g_{jk} 代表点 j 和点 k 之间存在的最短路径条数， $g_{jk}(i)$ 代表第三个点 i 通过点 j 和 k 之间的最短路径条数，其中 $j \neq k \neq i$ 。

2 南京都市圈创新合作网络整体指标分析

以网络规模、边数、联系强度、密度等指标反映南京都市圈创新合作网络的整体结构(见表 1)。网络规模代表合作网络的节点数，网络边数代表合作网络中城市与城市之间的合作数量，网络联系总强度代表各城市产生合作的频次之和。随着时间的推移，三种网络结构指标的数值变化具有差异。2010—2020 年网络规模均有不同幅度的增长，其中，专利转移网络扩张最为明显，网络密度增长幅度最大；专利合作网络密度由 0.51 增长至 4.66，但至 2020 年宣城并未融入网络中，网络扩张趋势相对于专利转移网络较慢；论文合作则相对稳定，2010 年已经展现出较为成熟的发展基础，网络密度增长幅度较小。从总体上看，南京都市圈整体网络密度逐渐增加，各城市联系愈发紧密，网络凝聚力逐步增强。

表 1 南京都市圈创新合作整体网络的指标分析

合作方式	年份	网络规模	网络边数	网络联系总强度	网络密度
专利合作	2010 年	5	5	23	0.51
	2020 年	9	11	210	4.66
专利转移	2010 年	7	7	29	0.32
	2020 年	10	64	1305	14.50
论文合作	2010 年	10	34	1170	13.00
	2020 年	10	64	1218	13.53

3 南京都市圈创新合作网络演化

3.1 网络密度不断增大，网络化格局日趋凸显

专利合作网络。南京都市圈专利合作网络密度较小，整体上并未形成较强的网络形态(见图 2)。2010 年南京与扬州联系最为紧密，合作主要集中于南京大学扬州光电研究院。2020 年，与南京合作次数由多到少依次为马鞍山、滁州、扬州、芜湖、淮安、镇江、常州溧阳、常州金坛。南京与马鞍山的合作关系主要基于中钢集团和格力电工在马鞍山建立的分公司，与南京集团之间展开较多合作。此外，马鞍山南大高新技术研究院有限公司与南京大学之间也存在部分合作记录。南京与滁州之间的合作均为南京工大开元环保科技有限公司与其在滁州设立的分公司之间产生的合作。可见，南京都市圈专利合作大多是基于企业总部-分公司的关系而建立的，创新主体较为单一，整体网络较为松散。

专利转移网络。总体上，南京都市圈专利转移网络的密度不断增大，由 0.32 增长至 14.5(见图 2)。2010 年南京都市圈共发生 58 条专利转移，2020 年增加到 2610 条，原有联系路径不断增强的同时逐渐发展转移的新路径。无论从专利转移强度或网络结网数量来看，南京都处于核心地位。2010 年南京与镇江、马鞍山、滁州三个城市共产生 22 条专利转移；至 2020 年，南京与都市圈内的其他 9 座城市均建立了稳定的技术关联，共计 915 条，其中技术输出 598 条，技术吸纳 317 条。技术输出能力强于技术吸纳能力，可以推断出南京在专利转移网络中主要承担着创新策源地的身份，以其强大的研发实力发挥技术溢出效用。

论文合作网络。2010 年共产生 1170 条论文合作，2020 年增长至 1218 条，增长幅度较小(见图 2)。同时，论文合作网络始终呈现出以南京为核心城市，镇江、扬州、淮安为次核心城市的单中心空间结构，南京与都市圈内其他城市均有关联，且合作数量较为稳定。合作网络密度逐渐增大，但集中于边缘城市合作数量的增长。核心城市南京的论文合作总数略有下降，2010 年产生论文合作 551 条，2020 年下降为 537 条，在都市圈中的核心领导力有弱化趋势。

3.2 南京稳居网络核心，边缘节点贡献增强

计算南京都市圈各城市 2010 年和 2020 年专利转移总量和论文合作总量的度数中心度和中间中心度，结果见表 2。在专利转移网络中，南京中心度值始终位列第一，在南京都市圈中占据绝对核心位置。各城市度数中心度不断上升，说明都市圈整体专利转移网络不断集聚，但等级规模高的城市集聚速度相对更快，创新能力较弱城市的增长幅度不明显。

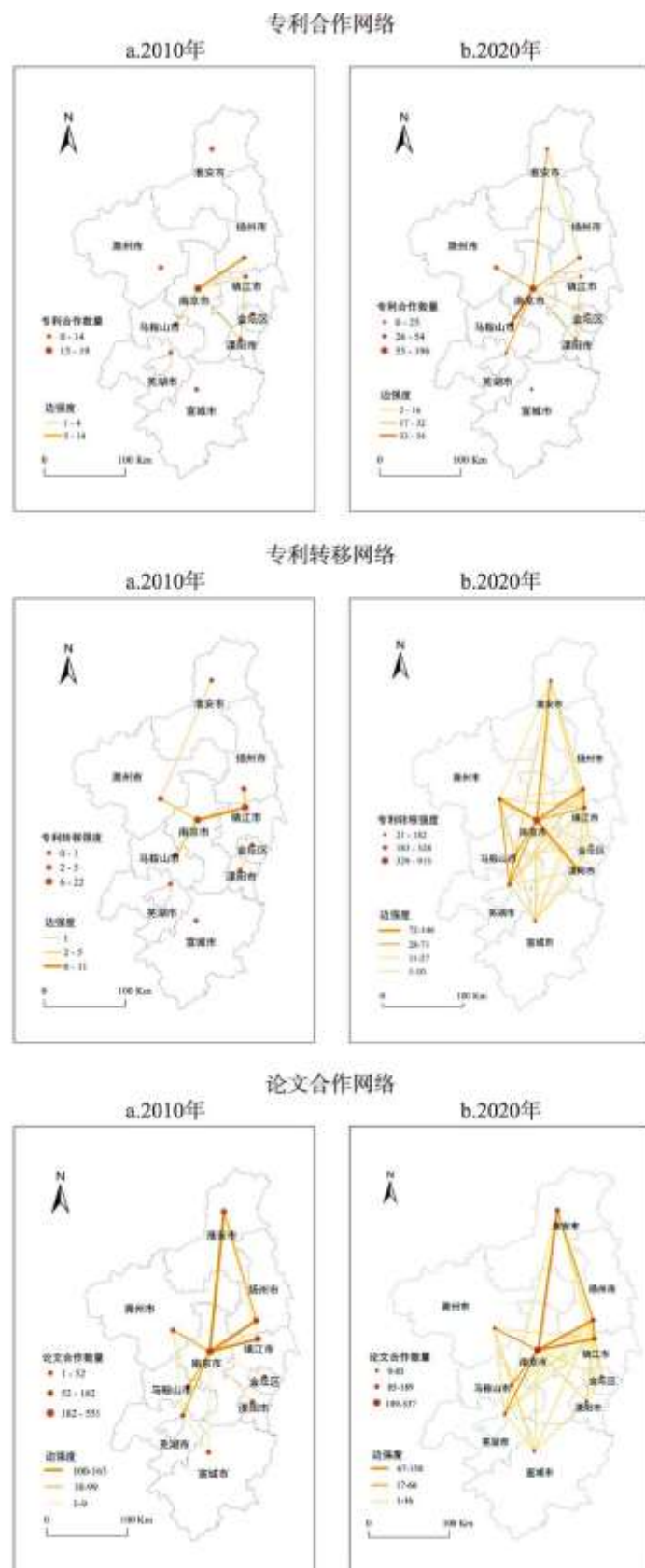


图2 南京都市圈三种创新网络空间格局演化

表 2 南京都市圈专利转移和论文合作网络的节点中心度变化

	度数中心度		中间中心度	
	2010 年	2020 年	2010 年	2020 年
专利转移网络	南京 1.2	南京 50.8	南京 8.3	南京 13.8
	镇江 1.2	滁州 18.2	镇江 5.6	镇江 5.6
	扬州 0.3	芜湖 14.9	滁州 4.2	宣城 4.5
	滁州 0.2	扬州 14.8	扬州 0	芜湖 4.3
	马鞍山 0.2	镇江 13.4	马鞍山 0	滁州 3.1
	淮安 0.1	淮安 10.1	淮安 0	淮安 2.1
	金坛 0.1	马鞍山 9.2	芜湖 0	扬州 1.6
	溧阳 0.1	溧阳 7.2	宣城 0	马鞍山 0.7
	芜湖 0	宣城 5.2	金坛 0	金坛 0.5
	宣城 0	金坛 1.2	溧阳 0	溧阳 0
论文合作网络	南京 30.6	南京 37.8	南京 68.1	南京 10.5
	淮安 10.1	镇江 13.3	芜湖 6.9	镇江 8.2
	扬州 9.3	扬州 12.6	镇江 2.8	扬州 6.2
	镇江 9.2	淮安 8.8	淮安 0	芜湖 3.6
	芜湖 2.9	芜湖 6.0	扬州 0	宣城 2.9
	马鞍山 1.6	滁州 2.5	滁州 0	溧阳 1.4
	滁州 1.0	马鞍山 2.3	马鞍山 0	马鞍山 1.0
	宣城 0.2	金坛 1.1	宣城 0	淮安 0.7
	金坛 0.7	宣城 0.7	金坛 0	金坛 0.7
	溧阳 0.1	溧阳 0.6	溧阳 0	滁州 0.5

在论文合作网络中，南京依然稳居网络核心位置，在都市圈内起到至关重要的作用。从数值上看，核心城市和次核心城市度数中心度的变化范围较小，边缘城市如滁州、芜湖、金坛的度数中心度增长较快，边缘城市逐渐融入论文合作网络。值得注意的是，除南京中间中心度值下降较为明显以外，其余城市均保持增长趋势，可见南京在论文合作网络中的核心地位呈现弱化趋势，次核心城市和边缘城市的贡献度逐渐提升。

4 结论与讨论

南京都市圈创新网络规模持续增长，合作具有路径依赖性。南京都市圈三种创新合作网络的规模和网络密度均呈现出增长趋势，说明区域内主体对于创新合作的积极性越来越高。从政策层面看，长三角一体化战略和创新战略的深入实施为区域合作提供支撑，创新政策削弱主体研发投入的资金风险，而一体化政策能打破行政壁垒，促进资源无障碍流通。从市场层面看，在全球化背景下，城市单打独斗的发展模式难以为继，以城市群或都市圈为载体的协同发展才能有效提升区域竞争力。南京都市圈作为重要的创新策源地，目前创新合作网络范围具有局限性，合作主体具有路径依赖性，合作深度和广度有待增强。

创新合作集中于产业层面。网络节点之间的关系建立是促使网络不断发展和演化的主要原因，网络节点间的结网一般包括两种方式：一是原有节点之间关系持续增强，二是原有节点与新节点之间建立联系。后者是推动网络更加紧密、成熟且复杂的关键原因^[12]。根据三种网络节点之间联结数量的判定，发现专利合作和专利转移网络的增长以第二种方式为主，而论文合作网络的增长以第一种方式为主。同时，专利转移和专利合作网络密度的增长势头要明显强于论文合作网络。根据数据爬取结果可知，专利联系多是基于产业合作，而论文合作多是以基础研究为主，说明现阶段南京都市圈产业合作扩张快于基础研究，产业合作促进网络更加复杂、成熟，而基础研究合作稳定，未来可以进一步加强。

产学研合作是都市圈创新发展的重要路径。产学研深度融合能够促进经济增长方式由要素驱动向创新驱动转变。党的十九大提出建立“以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系”。企业是技术创新的主体，在创新活动中发挥主导作用，高校和科研院所通过基础研究来生产和传播知识或技术。两者相结合，不仅能将新技术产业化，同时为培养后备人才提供支撑。在南京都市圈创新合作主体中，高校和企业之间的对接相对较少，基本集中于企业与其分公司或者高校与其地方设立的研究机构之间，跨城市产学研合作交流亟需加强。高校科技成果转化率低的关键问题在于，企业和高校作为两种体系，长期存在信息不对称困境，导致双方需求对接严重失调，而产学研合作政策能够打通高校、科研院所和企业科技成果转移转化的通道，在面对关键核心技术、共性技术和前瞻性技术难题时，化解企业出资困难的困境，提升产学研合作的整体意愿。

都市圈建设应发挥南京龙头作用，逐步打破合作壁垒。《南京都市圈发展规划》中提出构建“开放型、网络型、融合型区域协同创新体系，联合打造创新都市圈和科创共同体”。旨在以南京创新名城为指引，推动核心城市产业向高端迈进，进一步夯实中小城市制造业基础，促进城市功能互补、产业错位布局。南京具有明显的科教资源优势，构建科创共同体的前提是提升南京的基础研究能力，加强创新资源向外对接。统计南京与都市圈内其他城市专利合作的主体，发现南京师范大学镇江创新发展研究院、南京大学句容创新创业示范园、东南大学科技园扬州园区和技术转移分中心等研发机构科技活动较为活跃，可以作为高校与企业对接的载体。在南京充分发挥创新资源优势的同时，明确都市圈内其他中小城市的节点功能，促进资源流通共享。

参考文献:

- [1]FREEMAN C.Network of innovators:A synthesis of research issues[J].Research Policy,1991(5):499-514.
- [2]王核成,宁熙.硅谷的核心竞争力在于区域创新网络[J].经济学家,2001(5):125-127.
- [3]周灿,曾刚,曹贤忠.中国城市创新网络结构与创新能力研究[J].地理研究,2017,36(7):1297-1308.
- [4]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[J].地理研究,2018,37(5):981-994.
- [5]殷德生,吴虹仪,金桩.创新网络、知识溢出与高质量一体化发展——来自长江三角洲城市群的证据[J].上海经济研究,2019(11):30-45.
- [6]汪涛,HENNEMANN Stefan,LIEFNER Ingo,李丹丹.知识网络空间结构演化及对NIS建设的启示——以我国生物技术知识为例[J].地理研究,2011,30(10):1861-1872.

-
- [7]马双, 曾刚. 长江经济带城市间的创新联系及其空间结构分析[J]. 世界地理研究, 2018, 27(4):57-65.
- [8]田钢, 张永安. 集群创新网络演化的动力和合作机制研究[J]. 软科学, 2008(8):91-96, 108.
- [9]叶斌, 陈丽玉. 区域创新网络的共生演化仿真研究[J]. 中国软科学, 2015(4):86-94.
- [10]鲁新. 创新网络形成与演化机制研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [11]FREEMAN L C. Centrality in social networks: Conceptual clarification[J]. Social Networks, 1978, 1(3):215-239.
- [12]胡晓辉, 杜德彬, 龚利. 长三角区域知识合作网络演化的空间特征[J]. 地域研究与开发, 2012, 31(6):22-27.