



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

区域间科研合作网络特征及演化研究 ——以 ESI 高被引区域合作论文为例

葛敏

金陵科技学院 南京 211169

摘要: 从横向比较与纵向演化两个维度、社会学与地理学两个层面对中国大陆高被引论文区域合作进行研究,有助于把握地区间高质量科研合作网络特征与地理分布状况。基于中国大陆 ESI 高被引区域合作论文(2008-2018 年)数据,主要利用社会网络分析法分别从网络密度、中心性、网络聚类和网络演化等方面进行分析,并用地理可视化方法得以展示。以胡焕庸线为界,高被引论文产出主要集中在东南部地区,西北部地区的产出更依赖区域合作;地区间合作日益紧密并呈现出典型的小世界性,核心—边缘结构非常明显,科技实力成为影响区域聚类的主要因素;大部分地区网络连接规模逐步增长,科技发达的地区占据着区域联通路径的关键位置,区域合作网络呈“东密西疏”的特点,连通性逐渐增强但网络结构不够合理。

关键词: 中国大陆; ESI 高被引论文; 社会网络分析; 地理可视化; 科研合作

中图分类号: G35

Analysis of Characteristics and Dynamical Evolution of Interregional Scientific Collaboration Networks——Based on the Date of ESI High-cited Regional Cooperation Paper

GE Min

Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China

基金项目: 江苏省高校哲学社会科学基金“基于 ESI 数据库的江苏地区高等学校学科发展态势研究”(2017SJB0503)。

作者简介: 葛敏(1981-), 硕士, 馆员, 研究方向: 信息计量学, E-mail: gemin@jit.edu.cn。

Abstract: From the two dimensions of horizontal comparison and vertical evolution, sociology and geography, this paper studies the regional cooperation of highly cited papers in China, which is helpful to grasp the characteristics and geographical distribution of high quality scientific research cooperation network between regions. Based on the data of ESI highly cited regional cooperation paper (2008 / 2018) in mainland China, this paper mainly analyzes the network density, centrality, network clustering and network evolution by using social network analysis method, and shows it by geographical visualization method. Taking Hu line as the boundary, the output of highly cited papers is mainly concentrated in the southeast, and the output in the northwest is more dependent on regional cooperation. Regional cooperation is increasingly close and presents a typical small world, the core-edge structure very obvious, and the scientific and technological strength has become the main factor affecting regional clustering. The scale of network connection in most regions is gradually increasing, and the regions with developed science and technology occupy the key position of regional connectivity path. The regional cooperation network is characterized by dense in the east and sparse in the west, and the connectivity is gradually enhanced, but the network structure is not reasonable enough.

Keywords: the Mainland of China; ESI High-cited Paper; social network analysis; geographic visualization; scientific research cooperation

从世界范围内的科技投入与产出来看,我国已经成为毋庸置疑的研发大国,但科技成果转化率低、原始创新能力依然薄弱等一系列问题警示我们,我国离研发强国还有很大差距^[1]。加快科技创新,建设世界科技强国,完成从跟跑到领跑的历史性转身,要求我们必须审时度势,面向世界科技前沿,开展前瞻性的研究,需要中央与地方通过科技力量有机结合来推动区域紧密合作与互动,促进跨区域的创新合作和创新联盟建设^[2]。在此背景下,各地区政府在推动科研合作中发挥着越来越大的主导作用,希望以建设区域创新系统为目标的政府间横向科技合作来共同解决科技发展问题,这直接关系到国家区域创新体系整体效能的提升与研发强国的建设进程。

虽然科研合作成果种类繁多、形式多样,但撰写科学文献一般是科技研究的最后阶段,所以科技论文一般被认为是科研成果主要产出形式^[3],论文合作是科研合作最为重要的形式

之一^[4]。在已有的研究中,很多国内外学者根据科研合作与交流的范围从宏观层面、中观层面和微观层面三个角度对科研合作开展研究,宏观层面主要研究国家之间合作与交流,中观和微观层面分别是对机构间和作者间合作与交流开展相关研究^[5],这些研究运用定量的研究方法对科研合作现状和规律进行了有益的探索,但有关地区间科研合作的相关研究却远不如学科间科研合作那么丰富,对高质量论文作者或机构所属地区间科研合作的研究更为缺乏^[6]。

以 WoS 数据库为统计源,中国大陆十年来产出 240 万余篇论文,仅次于美国,成为全球第二大论文生产大国。由研发大国向研发强国迈进,绝不是简单的量变到质变的自然过程,这不仅需要科技论文的大量发表,更重要的是高层次论文的不断涌现。ESI 数据库中高被引论文是指被引用次数排名在各学科前 1% 的论文,可以反映十年来该学科高质量和高水平的重要科学研究成果,是研究国际学术水平及影

影响力的重要评价工具之一。鉴于目前研究存在的不足,本文以中国大陆合作产出的高被引论文为样本,将 31 个省级行政区作为共现分析的对象,融合空间与时间两个视角来动态探索区域间科研合作网络的演化路径。以作者或机构间的合作为切入点,映射为作者或机构所属地区间的合作,基于传统的共现理论和方法,结合社会网络分析和地理可视化方法,透过论文合作现象来研究并揭示区域合作的特点、网络结构以及动态演变,并用地理可视化的方法得以展示,为相关部门掌握我国区域科技合作与发展态势提供参考,对于探讨区域合作的资源共享、知识传播和信息获取等方面的问题具有一定的意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

以中国大陆产出的 ESI 高被引合作论文为样本,样本数据下载时间为 2019 年 3 月 19 日,样本数据覆盖范围为 2008 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 31 日。通过 ESI 数据库,选择“CHINA MAINLAND”,根据“Research Fields”点击“Highly Cited Papers”,获取中国大陆 ESI 数据库 22 个学科领域高被引论文 27689 条,分学科下载保存。

1.2 数据处理

首先,提取数据“Addresses”中“PEOPLES R CHINA”所含作者或机构的地址字段,将地址简化为省级行政区域,如果去重处理后的省级行政区为两个或两个以上则认为该篇论文为

区域合作论文,经过初步清洗后,统计出区域合作论文 9284 篇,区域合作率为 33.53%。

其次,为了便于开展横向比较,本文将研究数据分为四个时间窗口:2008-2009 年、2010-2012 年、2013-2015 年、2016-2018 年。经初步统计后发现,由于各地区区域合作论文产出数量差异巨大,例如北京区域合作论文为 4257 篇,而西藏仅有 15 篇,如果仅考虑区域合作的频次会导致结果出现较大的偏差,为了消除论文规模对合作频次的影响,本文使用 Salton 指数作为衡量区域间科研合作强度指标^[7],该指数可以在一定程度上反映区域间不同的合作倾向,计算公式为:

$$S_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sqrt{C_i C_j}} \quad (1)$$

公式中的 n_{ij} 指 i 与 j 地区合作论文数, C_i 和 C_j 分别表示 i 与 j 地区发表区域合作论文的总量,Salton 指数越大,一般认为区域间合作倾向越强,Salton 指数越小则合作倾向越弱。在此基础上,分别建立样本数据和四个时间窗口的相对合作强度矩阵。

最后,在地理学分析层面,进一步将地区转化为对应的地理坐标信息。本文根据地理可视化工具的要求,将各地区转为相对应的省会城市(直辖市不变),通过地理坐标转换为省会城市(直辖市)所对应的坐标信息,生成既能反映地区合作也包含其坐标信息的地理信息文件并在地图上得以展示。

1.3 研究方法及工具

社会网络分析法是对社会关系结构及其属性加以分析的一套规范和方法^[8],其分析研究

的对象是行动者之间的关系而不是行动者^[9],其优势在于分析关系数据^[10],对社会关系进行量化研究。区域间科研合作分析与常规的网络分析不同,节点地理位置的展示需要依赖地图的相关数据并相匹配,才能体现其地理特性。而地理可视化恰恰可以将地理位置信息融入传统的社会网络,针对地理空间数据所特有的空间信息,结合其地理信息特征进行表达,直观地揭示社会网络中各种关系信息^[11]。本文结合多元统计分析方法,主要利用社会网络分析方法,借助 Ucinet、VOSviewer 等软件,分别从网络密度、中心性、网络聚类和网络联系等方面对高被引论文的区域合作网络进行分析,并

用 ECharts 等在地图上得以展示。

2 结果与分析

2.1 高被引论文产出及区域合作总体概况

论文产出数量是科研成果的数量指标,可以直观地反映出一个国家或地区的科研产出能力和科研业绩^[12]。一段时间内合作论文的数量可以在一定程度上反映科技交流与合作活动发展的速度和质量,而合作率是表征科研合作程度的指标。为了从整体上把握高被引论文区域合作情况,本文先对论文总量、合作数量、区域合作率等进行描述性统计分析,结果如图 1 所示。

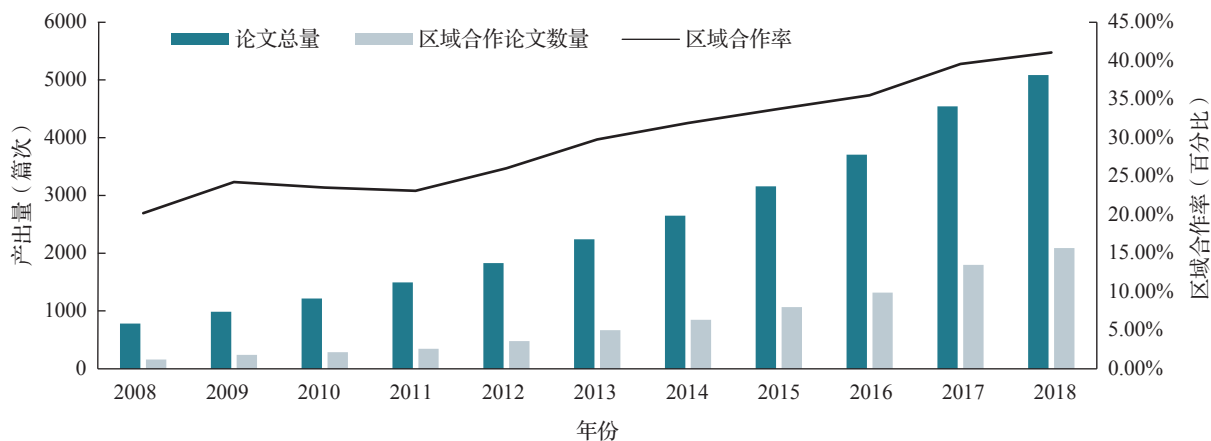


图 1 各年度高被引论文、区域合作论文产出数量及区域合作率

2008-2018 年间,中国大陆高被引论文、区域合作论文产出数量以及区域合作率都呈现出增长的趋势。论文总量和区域合作论文产出数量分别从 782 篇、158 篇上升至 5084 篇和 2088 篇,区域合作率在 2008 年仅为 20.2%,2018 年已经高达 41.07%,这表明中国大陆高被引论文产出的数量呈现出快速增长的态势,而区域合作论文

不仅产出规模越来越大,合作程度也愈加深入。

对样本数据进行初步清洗后发现,高被引合作论文全面覆盖了中国大陆 31 个省级行政区域。由于存在区域间合作,在统计时,如果一篇论文中出现多个地区,则各地区产出或合作频次各计 1 次,各地区论文产出数量及区域合作率分别如图 2 所示。

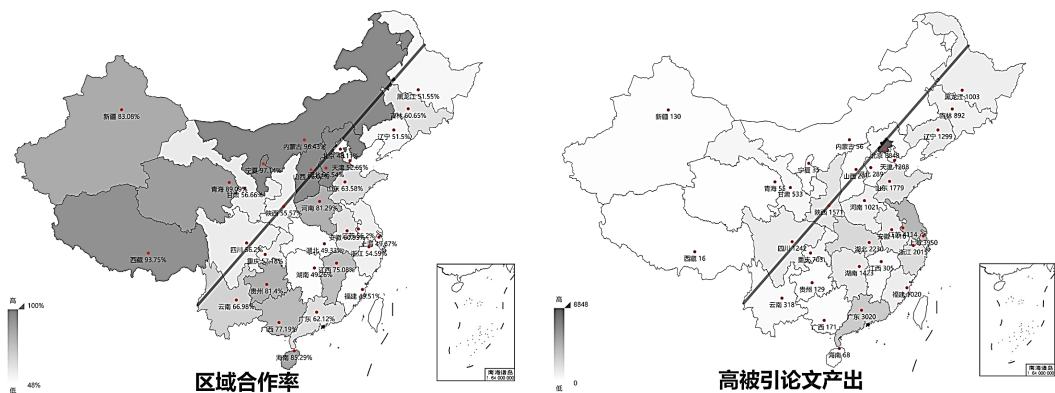


图 2 中国大陆各地区高被引论文产出数量及区域合作率

通过对各地区产出进行对比分析后发现，受制于我国科技、经济发展的区域不均衡性，以胡焕庸线为界，各地区科研产出贡献非常不平衡，大部分产出集中在东南部地区，而西北部地区产出则相对较少，具体如图 2 所示。有 16 个地区累计产出在 1000 篇以上，其中北京、江苏、上海、广东、湖北和浙江六个地区的产出超过了 2000 篇，分别为 8848 篇、4114 篇、3950 篇、3020 篇、2230 篇和 2015 篇，这是中国大陆高被引论文主要贡献地区。从各年度产出来看，北京始终是产出最高的地区，在 2008 年产出 321 篇，2018 年产出高达 1353 篇，江苏、上海和广东的产出仅次于北京，上海在 2014 年前的产出一直位居全国第二，江苏和广东的产出增长十分迅速，陆续超过了上海，近两年的产均产出都在 500 篇以上。产出低于 100 篇的仅有五个地区，分别是海南、内蒙古、青海、宁夏和西藏，由于科研教育资源较为缺乏，西藏从 2010 年开始有高被引论文的产出，多年来累计产出仅 16 篇，是产出最低的地区且多年来积极向外寻求合作，区域合作产出论文高达 15 篇，宁夏、青海、内蒙古、海南和贵州等地区

多年来的产出也均在 30 篇以下。

从区域合作率来看，科研资源贫乏、综合实力欠佳的地区，单凭本地区的科研能力不足以进行较为重要的科学研究，跨区域科研合作长期且普遍存在。产出低于 100 篇的六个地区，区域合作率均在 85% 以上，其中宁夏的区域合作率高达 97.14%，产出的 35 篇高被引论文中 34 篇为区域合作论文，区域合作论文已经成为该地区高被引论文非常重要的组成部分，在促进高质量论文的产出中起到非常重要的作用。而科技资源丰富的地区，有更多的能力进行自主创新，产出高于 2000 篇以上的六个地区，除了广东的区域合作率为 62.12% 外，其余五个地区均在 60% 以下。北京的区域合作率仅为 48.11%，由于科研人员可以便捷地寻找到合作者，因此他们更倾向于选择内部合作，在所有地区中区域合作率最低。总的来说，中国大陆高被引论文产出差异巨大，科技发达的地区汇集了大量的高校、科研院所和科技中心，具有相当雄厚的科技基础，不仅拥有一流的科技产出能力且增长十分迅速，而科技基础较为薄弱的地区不仅产出较低，区域内的科研资源更为

稀缺,特别是高层次的研究更需要通过跨区域合作来获得科研资源。

2.2 区域合作网络特征及演化

2.2.1 整体网络特征

由于不同地区在科研人员、科研基础和科

研力量等方面存在较大差异,在区域层面上表现出特定的合作网络结构,为了揭示中国高被引论文区域合作网络内部具体结构特征和网络的演变情况,借助社会网络分析法,依托 UCINET 软件,测度样本数据各时间窗口的网络特征参数指标,基本数据如表 1 所示。

表 1 中国大陆高被引区域合作论文网络参数指标

年份	网络密度	度中心势	中间中心势	接近中心势
2008-2009	0.352	0.583 7	0.202 7	0.638 0
2010-2012	0.394	0.541 4	0.171 6	0.599 5
2013-2015	0.439	0.386 2	0.119 2	0.429 0
2016-2018	0.394	0.541 4	0.149 4	0.597 6
总	0.402	0.496 6	0.178 3	0.552 9

网络密度是社会网络分析最为常用的测度之一,用来描述网络中节点之间的密切程度,该密度值刻画的是整体网络的合作情况,一般来说,网络密度越大,说明各地区之间的联系就越为紧密,而科技知识正是通过地区间的连接路径来实现空间位置的转移。中国大陆高被引区域合作论文的网络密度为 0.402,说明了各地区之间的科研互动较为频繁,交流的通道较为顺畅,信息流通有着较高的速度和效率。从各时间窗口来看,前三阶段网络密度值呈现出显著增长的趋势,各地区区域间的科研合作关系日益密切,不仅合作紧密程度不断加大,合作规模也逐步扩大。随着合作网络中区域数量逐渐趋于饱和,由于部分地区产出大幅增加,合作愈发集中,在最后一个时间窗口,部分地区间的合作倾向相对降低,整体网络密度略有下降。

中心性是社会网络分析的研究重点之一^[15],

是衡量整个网络中心化程度的重要指标^[13],高被引论文合作网络的度中心势为 0.496 6、中间中心势为 0.178 3、接近中心势为 0.552 9,反映了合作在各地区分布不均衡,整个网络比较明显地向某个或某些地区集中。这主要是由于各地区科研投入、研发实力等方面存在较大的差异,还存在若干区域在科技资源控制中拥有较大的权利,能够控制其他区域的联系,很多区域都是通过直接或间接的关系和他们发生关联。中间中心性和接近中心性在各阶段大体上呈现出减少的趋势,整体上说明了核心网络规模在逐步扩大,各地区向网络中心集中的趋势不断增强,同时合作网络中某个地区对于整体合作网络的控制度和影响力却在下降,虽然存在一些地区拥有丰富的科技资源,但其参与合作的不可或缺性也在下降,其他地区有自由选择合作对象的权利。

如果一个关联网络拥有相对较小的特征途

径长度和相对较大的聚类系数,这样的网络就叫做小世界,Valverde 等^[14]认为“小世界网络的判定标准是平均距离小于 10 而聚类系数大于 0.1”,高被引论文区域合作网络的局部网络聚类系数和传递性聚类系数分别为 0.666 和 0.642,表现出了较强的聚类性,平均路径长度为 1.662,最小距离为 1,最大的距离为 3 且占比仅为 6.5%,距离为 2 的情况占总数的 53.3%。就计算结果来看,高被引论文区域合作网络具有较高的聚类系数和较小的平均路径长度,呈现出显著的小世界性,这说明网络易达性非常好,区域间通过较短的路径就可以取得联系并建立合作关系,及时而高效地与周围的地区进行合作与交流,非常有利于高被引论文的产出。从各时间段来看,合作网络均呈现出显著的小世界性,

区域合作越来越紧密,大部分地区之间的联系非常容易,有利于科研的共享和交流,蕴藏了巨大的潜在合作机会。

社会网络的核心-边缘结构是由若干个节点相连构成的一种中心节点相互紧密程度较高、外围节点比较稀疏分散的特殊结构。通过该模型可以区分出在网络中处于核心地位密度较高的节点和处于边缘地位密度较低的节点^[15]。为了考察各地区在合作网络中所处的地位,揭示哪些地区在网络中处于核心地位,哪些地区在网络中处于边缘地位,本文通过 UCINET 核心-边缘模型测度各地区在各时间窗口的核心度。核心度值越高说明该地区越位于网络的核心区域,低核心度地区大致位于网络的边缘,各时间窗口核心度最高的 10 个地区如表 2 所示。

表 2 各时间窗口核心度最高的十个地区

2008-2009年		2010-2012年		2013-2015年		2016-2018年	
地区	核心度	地区	核心度	地区	核心度	地区	核心度
北京	0.360	北京	0.307	北京	0.269	北京	0.317
江苏	0.308	广东	0.264	江苏	0.261	广东	0.297
广东	0.303	上海	0.258	山西	0.261	上海	0.280
上海	0.253	广西	0.258	山东	0.247	江苏	0.272
山东	0.246	湖北	0.256	广东	0.243	山东	0.259
浙江	0.240	江苏	0.255	河南	0.241	陕西	0.243
湖南	0.225	山东	0.249	四川	0.239	湖北	0.243
安徽	0.212	河南	0.238	浙江	0.237	四川	0.223
四川	0.208	湖南	0.232	湖北	0.236	河南	0.215
湖北	0.197	浙江	0.227	湖南	0.229	安徽	0.209

通过核心度指标可以追踪各地区在合作网络中地位的变化,总体上来看,核心度位于前 10 的地区在各阶段相对比较固定。作为全国科技文化中心,北京云集了北京大学、清华大学等顶级高校以及中科院等顶级科研机构从事高

水平科研活动,拥有非常强的科研能力,一直处于区域合作网络的核心地位,发挥着重要的引擎作用。江苏、广东、山东、湖北等地区拥有较为集中的科研资源,这些科技强省在各时间窗口都是区域合作网络核心区的重要组成部分

分。浙江、四川、河南、湖南、陕西等地区也因本区域内高等院校和科研院资源的聚集而居于合作网络核心地位,成为传统的科研强势区域外的新生发展力量。总的来说,处于网络中心位置的地区可以接触并吸收采纳更多新的科研信息,趋向于具有较高的声誉,从而更容易吸引其他地区与其合作并驱动知

识的扩散。

2.2.2 区域科研合作网络聚类

聚类是将对象集合分成多个组的过程^[16],为了观察各地区高被引论文合作网络的内部结构的演化,用 Vosviewer 分别绘制了四个时间窗口的区域合作聚类网络,如图 3 所示,图中用不同颜色给不同的聚类进行标记。

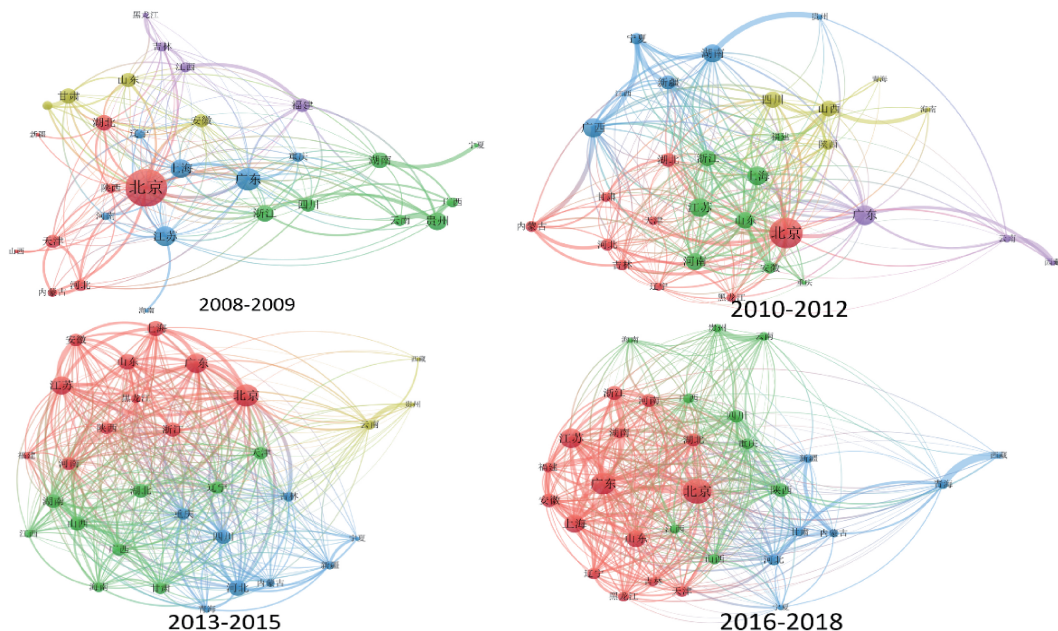


图 3 各阶段中国大陆高被引合作论文网络聚类

随着周期的演进,区域间科研合作聚类呈现出以下特点。在第一阶段主要分成五个聚类,在这一阶段产出最高的前 10 个地区分布在不同的聚类中,与其他阶段相比,这一阶段最大的特点是合作受空间距离影响较大,群体内的地区集合有着非常鲜明的地域性,地理距离相近的地区合作更为广泛。在第二、第三和第四阶段分别形成了五个、四个和三个子群体,合作愈发集中,合作网络中部分群体规模不断扩大,地区间联系更为紧密。北京聚类包含的地区数量快速增加,分别为 9、11、15 个地区,特别

是第三阶段,上海、江苏、广东、浙江、安徽、山东、福建等产出大省纷纷加入,北京与江苏所属的两个子群体慢慢融合,网络规模大幅度扩大,而云南、西藏和贵州三个产出较少的地区逐渐退出并形成网络规模较小的子群体,逐渐出现两极分化现象。随着国内通信技术的发展以及便捷的交通为跨地区科研合作提供了便利的条件,使得本阶段地域间的障碍较前一阶段而言逐步减小。第四阶段的合作更为集中,只包含三个子群体,如果按照论文产出排序,产出最多的 17 的地区中,除了陕西和四川以外,

其余 15 个地区是其中一个聚类,北京所属子群体的规模继续壮大。本阶段另一个子群体共包含 7 个地区,除了甘肃以外的 6 个地区同属于本阶段产出最低的 10 个地区。

从图中可以看出,虽然区域间科研合作开放性、合作规模在逐步增加,但由于科研的竞争关系,各地区逐渐形成了“强强联合”与“弱弱联合”的双重合作模式,形成了“马太效应”,导致了强者愈强、获得了更多的科研合作机会,而弱者愈弱,逐渐退出并相对集中。虽然这种模式有利于科技强省进一步提高自身的科技实力,但对西部等一些科技薄弱的地区却极其不利。

2.2.3 区域科研合作网络地理可视化

根据各地区高被引论文产出及合作情况,

将地区间合作情况映射到地图中,为了使地理可视化的效果更加明显和突出,更好地展示各地区高被引论文合作网络,在数据可视化前,计算出原始数据中的各合作结果后进行了预处理,随后将区域之间的合作数据通过 Python 代码处理成 JSON 数据格式,导入 ECharts 生成区域合作网络图。图 4 中的点为省会或直辖市的地理坐标位置,区域合作关系用坐标点之间的连线来反映,节点的大小为各地区区域合作论文的数量,合作强度用连线的粗细来表示。由于各地区在各阶段产出数量与合作强度差异较大,为了得到清晰的可视化图谱,调整论文产出数量与合作强度的比例,完成从数据到图形的映射,构建跨地区科研合作网络,各阶段高被引论文区域合作网络如图 4 所示。

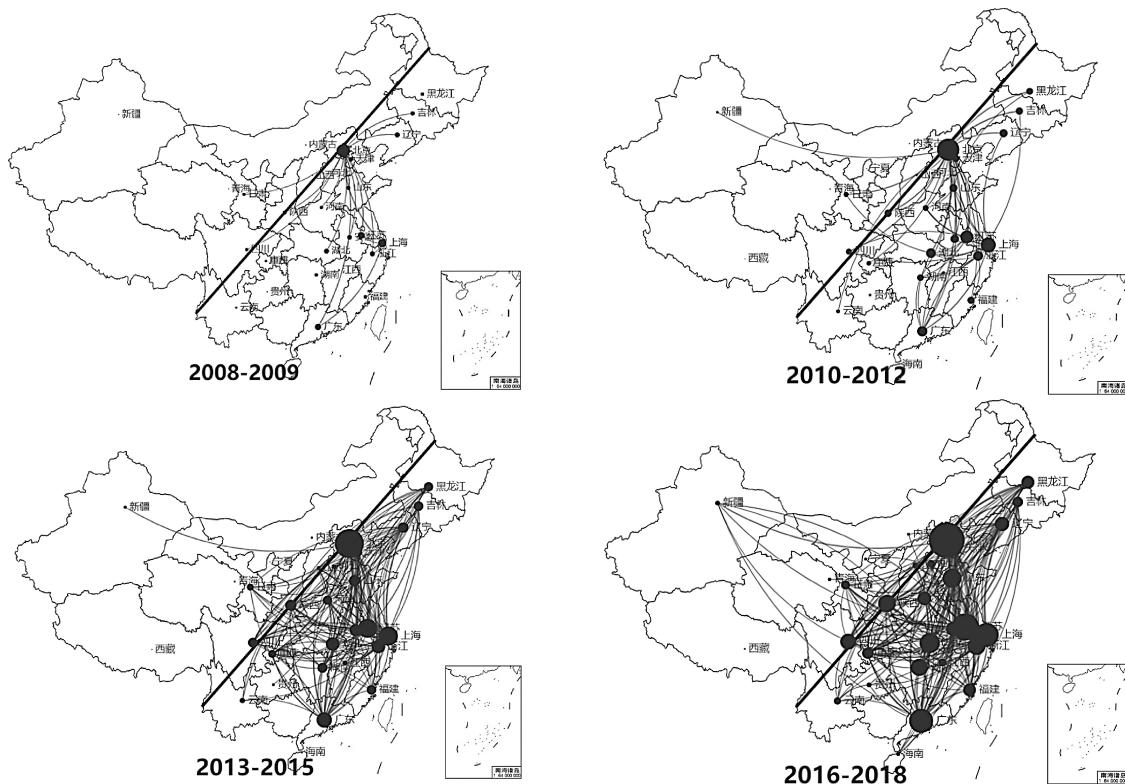


图 4 各阶段中国大陆高被引论文区域合作网络

随着周期的演进可以看出科研协作网络的演化,通过节点的大小可判别出不同区域参与科研合作频次的变化,通过不同区域节点间连线的粗细观察不同区域间合作强度的差异。大体上来说,随着时间的推移,虽然各地区在网络演化的过程中表现出一定的差异性,但大部分地区的连接规模随着网络的演化在不断增长,不仅自身的产出增长较为迅速,且与更多的地区开展科研合作交流且合作强度越来越大。

由于东西部在科技资源配置、科研水平等方面存在较大的差距,以胡焕庸线为界,区域间合作网络呈现出明显的东密西疏地理分布特征,东部地区跨区域科研合作活跃度明显高于西部地区,空间分布差异非常明显。究其原因,主要是因为北京、江苏、上海和广东等地区有大量的高校和科研院所,拥有大量的科技创新资源,具有非常高的科研实力和影响力,不仅产出非常丰富,与各地区更有着密切的直接联系,在促进知识流动、推动科研发展中起到了非常重要的作用。而西藏、宁夏、贵州和江西等地区在科技信息资源、声望、权力以及影响力方面最弱,产出数量较少且与其他地区合作网络非常稀疏。

从各阶段看,网络节点不仅增大且节点间的连接关系更加密集,网络的连通性逐渐增强。北京的网络节点最大,占据了整个合作网络的核心位置,呈辐射状与其它地区发生科研合作联系。东部地区在合作网络中表现得非常活跃,往往成为弱势地区合作的对象,不仅合作广泛且与很多地区有着较高合作强度。通过对合作学科数据的清洗后发现,江苏、上海、广东、湖北、浙江和山东等科技相对发达的地区在临

床医学、物理学、化学、工程科学以及材料科学等方向合作成果非常丰富。例如上海与北京在物理学方向合作较多,累计合作152篇,占两个地区合作总量的18.58%,而这两个地区在农业科学学科合作产出仅有3篇,仅占合作总量的0.37%,这也反映了科研实力较为接近的地区虽然合作强度较大但合作学科也具有鲜明的特色。

与科研实力较为发达的地区相反,西部地区等科研实力相对薄弱的城市则处于劣势地位,合作程度低、合作范围小,能够获取的外部资源极其有限,特别是西藏、宁夏、青海和内蒙古等地区的节点较小且合作连线非常稀疏,这些地区不仅产出较少、合作范围较窄且合作强度非常低,参与高层次科研合作频次较少。与其他地区合作方向主要为临床医学等学科。例如内蒙古与北京在临床医学以及物理学方向合作较多,但多年来的合作产出也仅为6篇和5篇,且主导性也不强,这些地区需要与科技发达的地区尽快融合,以免进一步被边缘化。总体来说,中国大陆高质量论文的跨区域合作网络结构不够合理,合作模式有待优化,地区间合作强度受科技资源丰富程度的影响非常大,科研合作更倾向于强强联合来实现资源共享及优势互补,更容易带来重大突破而利于高质量论文的产出。

3 讨论与总结

我国幅员辽阔,区域的自然禀赋、经济发展及文化教育水平等都存在明显的差异,而科技发展的不平衡性已经成为制约区域经济均衡

发展的重要因素^[17]，区域创新及合作体系的建设也上升到了非常重要的地位。本文选取中国大陆 31 个省级行政区域合作产出的高被引论文（覆盖范围为 2008-2018 年）为样本，结合社会网络分析等方法对区域合作网络特征进行量化研究，揭示中国大陆各省级行政区域合作的特征及其演变，进而研究各地区科技合作倾向及变化趋势，最后通过地理可视化的方式对区域合作脉络及轨迹进行了展示，主要得出以下结论。

（1）中国大陆高被引论文、区域合作论文的产出数量都呈现出增长的趋势，区域间科技互动日益频繁，合作已经成为促进高质量科研产出和提升创新力的重要方面。虽然各地区均有高被引论文的产出，但贡献却不平衡，产出差异愈发显著，区域间合作还存在较大提升空间。科技相对发达的地区自主研发能力较强，产出较高且区域合作率相对较低，而科技基础较为薄弱的地区由于科研资源受限，不仅产出较低且倾向于通过频繁地与其他地区合作来提升研究水平。

（2）对中国大陆高被引论文整体合作网络特征及演化分析后发现，中国大陆地区间的合作日益紧密，但随着区域合作愈发集中，整体网络密度略有下降。高被引论文区域合作网络呈现出显著的小世界性，论文的合作主要依靠短距离联系，具有良好的网络通达性，有利于科研的共享和交流。虽然各地区的核心地位发生着改变，但拥有较强科技力量的北京和沿海经济发达地区等是合作网络核心区的重要组成部分，占据着区域连通路的关键位置，在科研合作网络中占据中心位置，更易成为新知识

的早期采纳者，从而促进科技知识的扩散。

（3）从各地区高质量论文科研合作网络聚类来看，在样本初期，科技合作倾向发生于地理位置邻近的区域之间，地域上相对接近的地区科研互动相对频繁。随着区域间科技合作互动更频繁，知识传播交流的日益推进，科研合作主要影响因素已经由地缘优势转变为地区的科技实力，科研综合实力的强弱成为各地区寻求合作伙伴的主要考虑因素，各地区逐渐形成了“强强联合”与“弱弱联合”的双重合作模式，形成了“马太效应”。这非常不利于跨区域科技的交流和均衡发展，可以选取一些重点机构作为突破，加强内部研发能力，提高与科技较为发达地区在原始创新前沿的对话交流能力以及吸收能力，为科技更深层次的合作交流提供便利。

（4）从各地区高质量论文合作网络来看，以胡焕庸线为界，区域合作呈现出明显的“东密西疏”的地理分布特征，空间分布差异非常明显。从各阶段看，各网络节点不断增大且连接关系更加密集，网络的连通性逐渐增强。地区间合作强度受科技资源丰富程度的影响非常大，同时也具有鲜明的学科特色。科技发达的地区在合作网络中表现得非常活跃，往往成为弱势地区寻求的合作对象，强强联合更容易带来重大突破而利于高质量论文的产出，西部地区则处于劣势地位，跨区域合作网络结构不够合理。但强弱科研实力地区的连接对科研合作网络的形成和扩展具有更高的价值，应当更加重视打通与其他地区间资源共享的通道，建立起协同创新的耦合关系，可为地区科研创新带来更多机遇。

参考文献

- [1] 李培凤. 不同省域政产学研合作体系的耦合效应比较[J]. 科技管理研究, 2018, 38(9):99-103.
- [2] 曾婧婧, 钟书华. 省部科技合作: 从国家科技管理迈向“国家—区域”科技治理[J]. 科学学研究, 2009, 27(7):1020-1026.
- [3] 刘多, 宋敏, 谢亚南, 等. 2009-2015 年国家自然科学基金资助产出 ESI 高被引论文分析[J]. 中国科学基金, 2017, 31(4):353-358.
- [4] 牛奉高, 邱均平. 基于国家、学科合作网络和期刊分布的中国科研国际合作研究[J]. 情报科学, 2015, 33(5):111-118.
- [5] 赵蓉英, 魏绪秋. 我国图书情报学作者合作能力分析[J]. 情报科学, 2016, 34(11):3-7.
- [6] 胡昌平, 胡吉明. 领域研究合作网络的地理可视化——以《中国图书馆学报》为案例数据[J]. 情报科学, 2018, 36(2):3-8.
- [7] 赵蓉英, 王旭, 亓永康. 我国世界一流大学建设高校间科研合作网络及演化研究[J]. 现代情报, 2019, 39(3):132-143.
- [8] 林聚任. 社会网络分析: 理论、方法与应用[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2009.
- [9] 赵丹群. 网络信息计量学研究与发展评述[J]. 情报理论与实践, 2019, 42(6):154-158.
- [10] 赵蓉英, 王旭, 亓永康. 我国世界一流大学建设高校间科研合作网络研究——基于 CNKI 和 WoS 数据的对比[J]. 情报理论与实践, 2018, 41(10):1-7.
- [11] 李恒, 沈华伟, 黄蔚, 等. 地理社会网络数据可视化分析研究综述[J]. 中文信息学报, 2018, 32(10):11-18.
- [12] 詹勋武. 四川高校学术影响力的比较研究[J]. 四川理工学院学报(社会科学版), 2016, 31(2):87-97.
- [13] 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[J]. 地理学报, 2017, 72(4):737-752.
- [14] Valverde S, Cancho R F, Sole R V. Scale-free networks from optimal design[J]. Europhysics Letters, 2002, 60(4):512-517.
- [15] 刘军. 整体网络分析[M]. 上海: 上海人民出版社, 2014.
- [16] 李杰. 科学知识图谱原理及应用: VOSviewer 和 CitNetExplore 初学者指南[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [17] 隆连堂, 姜照华, 刘则渊, 等. 中国区域知识生产合作强度的定量分析[J]. 科技进步与对策, 2006, 23(1):62-64.