

粤港澳大湾区国内外科研合作网络演变研究

郑佳 姚佳彤 熊书玲

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 基于论文数据, 运用社会网络分析法分别构建了粤港澳大湾区国际与国内科研合作网络, 通过网络密度、凝聚力、中心势、中心度等指标探究多尺度科研合作网络结构的演变特征及趋势, 并结合学科领域分布及变化情况对大湾区进行多尺度科研合作研究。研究发现, 近年来粤港澳大湾区与国内外合作网络的规模逐渐扩大, 同越来越多的国家和城市存在科研合作关系, 核心成员在合作网络中发挥关键作用, 临床医学、工程学、化学、材料科学及物理学是大湾区科研合作的重要领域。

关键词: 粤港澳大湾区; 科技论文; 科研合作; 网络演变; 社会网络分析

中图分类号: G350

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2021.04.001

Research on the Evolution of Domestic and Foreign Scientific Research Cooperation Network in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

ZHENG Jia, YAO Jiatong, XIONG Shuling

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: Based on the paper data, international and domestic scientific research cooperation networks of Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area were constructed respectively using social network analysis method, the evolution characteristics and trends of multi-scale scientific research cooperation network structure were explored through indicators such as network density, cohesion, central potential and centrality, and multi-scale scientific research cooperation research in the Greater Bay Area was carried out combined with the distribution and changes of subject areas. It is found that in recent years, the scale of cooperation networks between the Greater Bay Area and domestic cities or foreign countries has gradually expanded, there are scientific research cooperation relationships with more and more countries and cities, and core members play a key role in cooperation networks. Clinical medicine, engineering, chemistry, materials science and physics are important areas of scientific research cooperation in the Greater Bay Area.

Keywords: Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, scientific papers, scientific research cooperation, network evolution, social network analysis

作者简介: 郑佳 (1982—), 女, 博士, 中国科学技术信息研究所研究员, 研究生导师, 主要研究方向为科技政策与产业发展研究 (通信作者); 姚佳彤 (1994—), 女, 中国科学技术信息研究所硕士研究生, 主要研究方向为情报学; 熊书玲 (1988—), 女, 博士, 中国科学技术信息研究所助理研究员, 主要研究方向为重点科技领域监测与分析。

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项资金项目“碳达峰与碳中和监测分析与预测研究”(ZD2021-02)。

收稿时间: 2021年3月16日。

0 引言

随着科学研究覆盖范围和复杂程度的不断增加, 科研合作已成为提升科研水平及解决科研难题的主要方式^[1-5]。科技论文是衡量国家、区域及科研主体基础科研能力的关键指标之一, 在一定程度上能够有效地反映科研合作水平。如张菊等^[6]分析我国和浙江大学与国内外合著SCI论文的情况, 提出合作研究可以提高高校科学研究水平的观点。周小林等^[7]基于国际科研合作论文数据, 运用文献计量的方法, 对我国国际科研合作的规模、活跃度、中心度、主导性、质量与影响力等进行了深入分析。创新合作网络可为具有创新资源需求的行为主体借助网状结构实现信息、技术及设备等资源的流动传递, 提升科技创新效率^[8]。如傅利平等^[9]构建了产学研合作创新网络内部的知识供求均衡模型, 研究了知识溢出与产学研合作创新网络磨合协调期、规范发展期、螺旋上升期3个阶段的耦合机制。赵蓉英等^[10]基于我国42所一流大学的合著论文数据, 运用社会网络分析法等, 分别从合作率、网络密度、相关性、中间中心性、点度中心性、网络聚类及网络演化原因等对高校科研合作关系网络结构特征、合作强度及演化规律进行了分析。杨勇等^[11]基于发明专利合作申请数据, 构建了我国发明专利合作网络, 通过测量网络中心度、集聚系数、结构洞和小世界性等特征指标, 对我国发明专利合作网络的演化趋势进行了分析。陈欣^[12]基于“一带一路”沿线国家的PCT专利合作申请数据, 以3年为间隔, 构建了多个阶段的科技合作网络, 运用社会网络分析法对网络整体结构、核心节点、拓扑结构以及高频合作的演化过程进行了分析。

粤港澳大湾区(以下简称“大湾区”)是我国科技创新发展的高地, 协同发展至关重要, 而加强研究协同发展对于推进大湾区的发展具有重要的意义。当前有关大湾区协同发展的研究大多集中在理论和经济合作方面。如曾志敏^[13]提出了穗深港三极引领协同创新模式、官产学研用一体化、重大科技前瞻布局、新兴产业培育、引才

用育才机制、统一人才市场6个方面的战略思路以及按照“创新走廊—创新环带—创新群落”三步统筹推进的路线图, 推进大湾区的融合发展。辜胜阻等^[14]认为大湾区应合力打造多主体联动、要素充裕且流动自由、制度高效协同的创新生态系统, 减少3个区域的同质竞争, 降低交易成本, 增强创新活力, 协同推进区域创新能力的提高。张晓浩等^[15]阐述了蓝色经济绿色发展对大湾区的重要意义, 提出了开展海洋基线调查与评价、打造国际一流的美丽湾区、建设海洋与海岸带空间信息平台等主要举措, 并从海洋环境质量变化趋势、海洋灾害对沿海地区经济社会影响、海洋生态系统健康状况、蓝色经济发展状况等方面提出效果评估方法。

而有关大湾区区域创新合作的研究多以城市为研究单位, 通过合作网络分析区域内各城市情况。如李文辉等^[16]基于合作申请专利信息, 利用社会网络分析方法, 从城市创新协同网络、组织创新协同网络和个体创新协同网络3个维度, 分析了大湾区协同技术创新演化过程及机理, 研究发现这3个维度的创新协同分别具有地理邻近、组织邻近和技术邻近的特征。刘佳等^[17]基于大湾区城市群的合著论文, 构建了知识创新合作网络, 运用社会网络分析法对大湾区知识创新合作网络的结构及其演化情况进行研究, 发现大湾区知识创新合作网络实现了区域内全覆盖, 逐步呈现“多中心”趋势, 且互联网通达度对协同创新的影响愈发重要。李小涛等^[18]基于高被引论文合作情况, 绘制了大湾区科技合作网络及热点合作领域的引文网络, 分析了大湾区11个城市间科技合作网络的结构与特征, 研究发现广州、香港和深圳已成为重要的合作中心, 且以高校为主的研究机构是科研合作的中坚力量。

从目前研究来看, 对大湾区科研合作的研究较少, 尤其是利用合作数据构建网络模型的研究更少。因此, 本文将选取Web of Science数据库收录的大湾区内11座城市在2005—2019年发表的科技论文数据, 从网络结构视角并结合学科领域分布, 对大湾区在国际和国内两个空间尺度下

的科研合作网络演变特征和趋势进行研究。研究揭示了不同时期的大湾区在国际和国内层面的科研合作现状、演变历程、领域分布及各主体在创新合作中所处的位置，可为大湾区的协调发展和对外交流提供参考，有利于大湾区创新政策的规划与制定，具有重要的研究价值和实际意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

选用Web of Science核心合集集中的SCI—EXPANDED和SSCI子数据库进行数据检索，以大湾区内的11座城市名称为检索式，选取时间跨度为2005—2019年，文献类型为“Article”。通过检索得到2005—2019年大湾区内关于11座城市发表的论文数据记录共391 486条，随后进行数据清洗。

对大湾区国际和国内层面的合作数据进行分类提取，将大湾区视为一个整体，研究大湾区与其他国家及国内城市的合作情况。对合作数据进行处理，生成合作矩阵，两个节点交点处的数值为其之间发生合作关系的次数，在此基础上进行网络分析。

1.2 研究方法

采用社会网络分析法对大湾区科研创新合作网络的结构特征进行分析，主要通过以下指标描述合作网络结构特征^[9]。(1)网络规模：网络中包含的全部行为主体的数量。网络规模越大表示网络具有的结构关系越复杂，对行为主体的影响可能越大。(2)网络边数：网络各节点间存在的关系数量，即网络中连线的数量。网络边数越多，说明行为主体间的合作关系越多。(3)网络密度：网络中存在的实际关系数与根据行为主体数量得出的最大理论关系数。网络整体对行为主体的态度、行为等的影响力随网络密度呈现正向变化。(4)平均距离：网络中节点间距的平均长度，主要用于测度节点间的疏密程度。平均距离越小表明节点之间的联系越密切，节点间进行联系需要的成本也越低。(5)度数中心势：各节点在网络中体现的核心作用以中心度指标表示，网

络整体中心性则用中心势度量。(6)中间中心势：中间中心度最高的节点与网络中其他节点在中间中心度上的差距。中间中心势越高的网络，呈现出多个小团体或某节点位于较强传递作用的概率越大，该节点在网络中处于核心位置。

2 国际科研合作网络演化研究

2.1 科研合作整体情况

从论文合作数据中整理出大湾区国际合作论文共85 601篇，占合作论文总量的32.67%。从图1可以看出，大湾区的国际合作论文量除2017年有所下降外，其余年份均呈逐年增长趋势，国际合作论文从2005年的1 632篇增加到2019年的17 832篇。15年间，国际层面合作论文占比呈现稳步增长趋势，在25%至35%范围内浮动变化，但因合作论文总量增幅较大，国际合作论文占比增速相对缓慢。科研合作规模的增加表明大湾区在开展科研合作时注重与其他国家进行交流，重视对国际科研创新资源的利用。

对国际层面科研合作论文的国家分布情况统计发现，大湾区在2005—2019年间共与159个国家或地区产生科研合作关系，注重与不同国家之间的创新资源共享，参与大湾区科研合作排名前20名的国家如表1所示。从表1可以看出，与大湾区科研合作最多的国家为美国，合作论文数量达37 719篇，占国际合作论文总量的44.06%，其次为澳大利亚，合作论文10 296篇，占比为12.03%，与美国存在3倍的差距，表明美国在大湾区的国际科研合作发展中占主要地位。

2.2 合作网络结构特征演化

计算得到2005—2019年大湾区国际层面科研合作网络相关拓扑结构的各项指标值，如表2所示。15年间，大湾区在国际层面的科研合作网络规模及网络边数逐渐增加，网络规模从2005年的53个增加到2019年的122个，科研合作国家数量增长了两倍多，关系数量从2005年的336个增长到2 116个，行为主体间的合作关系较多。

从网络密度来看，2005—2019年大湾区国际科研合作网络密度呈现波动增长趋势，从2005

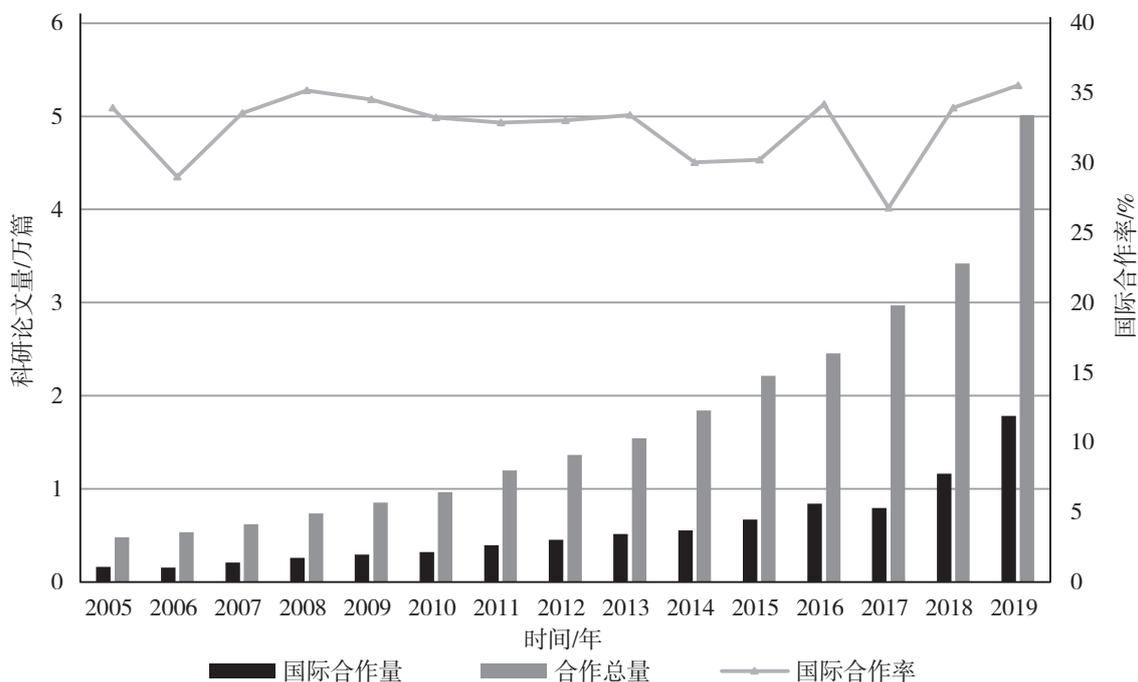


图1 国际层面大湾区的科研合作情况

表1 大湾区合作论文量前20的国家

国家	合作论文数/篇	所占比例/%	国家	合作论文数/篇	所占比例/%
美国	37 719	44.06	印度	1 376	1.61
澳大利亚	10 296	12.03	意大利	1 286	1.50
英国	7 992	9.34	瑞典	1 247	1.46
加拿大	5 830	6.81	苏格兰	1 088	1.27
新加坡	5 532	6.46	丹麦	1 068	1.25
日本	4 164	4.86	沙特阿拉伯	982	1.15
德国	3 945	4.61	西班牙	953	1.11
韩国	2 463	2.88	瑞士	947	1.11
法国	2 436	2.85	新西兰	878	1.03
荷兰	1 685	1.97	巴基斯坦	822	0.96

年的 1.576 9 增加到 2019 年的 3.617 3，数值增加两倍之多，与各国的联系逐渐增多，网络成员彼此间的影响力逐渐增强。

在合作网络的凝聚度和可达度方面，2005—2019 年科研合作网络各节点间联系的密切程度略有增加，平均距离变化幅度较小，网络凝聚力从 0.561 增加至 0.572。国际科研合作网络的可达性和凝聚性略有增加，网络中各节点间的联系在稳定状态下趋于紧密，科研主体间交流合作的部分障碍逐渐被克服。

合作网络的度数中心势由 2005 年的 5.96% 下降至 2019 年的 2.47%，表明整个网络的集中程度逐渐降低，随着合作国家数量的增加，大湾区与不同国家产生科研合作关系数量差距逐渐减小，小团体现象逐渐消失，合作网络的整体结构趋于稳定。2005 年以来，网络的中间中心势波动变化，整体上呈现减小趋势，节点对网络整体的控制能力逐渐减弱。2006 年的中间中心势高达 80.92%，远超其他年份，这可能是在该年份存在某些节点连接了整体合作网络。这些节点对推动

表 2 国际科研合作网络指标

时间/年	网络规模/个	网络边数/条	网络密度	平均距离	凝聚力	度数中心势/%	中间中心势/%
2005	53	336	1.576 9	1.878	0.561	5.96	63.14
2006	49	226	1.526 4	1.929	0.544	6.01	80.92
2007	65	600	1.435 0	1.860	0.570	4.59	57.05
2008	79	636	1.217 5	1.897	0.552	3.86	68.44
2009	78	702	1.419 2	1.883	0.558	3.51	60.02
2010	83	724	1.345 6	1.894	0.553	3.20	67.77
2011	84	886	1.674 4	1.873	0.564	3.25	57.35
2012	91	926	1.631 3	1.887	0.557	2.84	61.39
2013	87	966	2.052 9	1.871	0.565	2.99	58.91
2014	92	1 054	1.879 4	1.874	0.563	2.78	55.29
2015	91	988	2.346 5	1.879	0.560	2.73	57.22
2016	104	1 378	2.358 9	1.871	0.564	2.58	56.82
2017	112	1 600	2.137 4	1.871	0.564	2.54	54.09
2018	114	1 678	2.717 9	1.870	0.565	2.55	47.69
2019	122	2 116	3.617 3	1.857	0.572	2.47	49.55

网络中合作关系的产生起到了重要作用。

将时间分为 2005—2007 年、2008—2010 年、2011—2013 年、2014—2016 年、2017—2019 年等 5 个阶段，通过 Netdraw 软件绘制 5 个时间段大湾区与其他国家的科研合作网络关系图，如图 2 所示。在图 2 中仅保留了合作次数为 5 次及以上的国家节点。而节点的大小体现该地区的合作论文数量，连线的粗细体现合作关系强度。由此可以看出，2005—2019 年大湾区与其他国家的科研合作网络规模逐渐扩大，网络密度逐渐增加，合作网络结构趋于复杂。2005—2007 年合作网络较为稀疏，该阶段共有 49 个国家与大湾区产生 5 次及以上的科研合作关系，除美国、英国等主要国家外，大湾区与其他国家的合作强度较低，在国际层面的科研合作网络处于起步阶段；2008—2010 年大湾区国际科研合作逐渐增多，合作次数为 5 次及以上的国家增至 65 个；2011—2013 年科研合作网络继续呈现扩大趋势，合作次数为 5 次及以上的国家为 70 个，大湾区与一些国家的合作强度增大，开始重视与美国、英国等以外的国家进行科研合作；2014—2016 年与大湾区拥有 5 次及以上科研合作的国家有 74 个；2017—2019 年大湾区国际科研合作网络趋于成熟，网络规模较大且网络结构较为复杂，该阶段合作次数为 5

次及以上的国家达到 94 个，且与较多的国家都保持较高的合作强度，单个国家在合作网络中发挥的作用逐渐减弱。

2.3 核心—边缘结构演化

表 3 为不同阶段的大湾区在国际层面科研合作网络中核心区及边缘区的关系密度矩阵。2005—2019 年，核心区域间的联系密度呈增加趋势，由 2005—2007 年的 0.557 增至 2017—2019 年的 0.737，2017 年后大多数核心区国家间存在合作关系，核心区主体间的关系趋于紧密。核心区与边缘区以及边缘区间的密度较小，且密度变化也较小，联系密度与核心区域间的密度存在一定差距。由此可见，大湾区在国际层面上的科研合作处于发展过程中，与核心国家间的多边合作关系增多，核心国家间联系紧密，因此应加强与边缘国家的多边合作。

基于未经处理的定类数据，分别计算 2005—2007 年、2008—2010 年、2011—2013 年、2014—2016 年、2017—2019 年大湾区在国际层面科研合作矩阵的核心度，得到各阶段核心度排名前 10 位的国家，如表 4 所示。2005—2019 年，美国的合作网络核心度一直居于首位，由 2005—2007 年的 0.334 降至 2017—2019 年的 0.206，与第二名的数值差距逐渐减小。除美国外，各国的

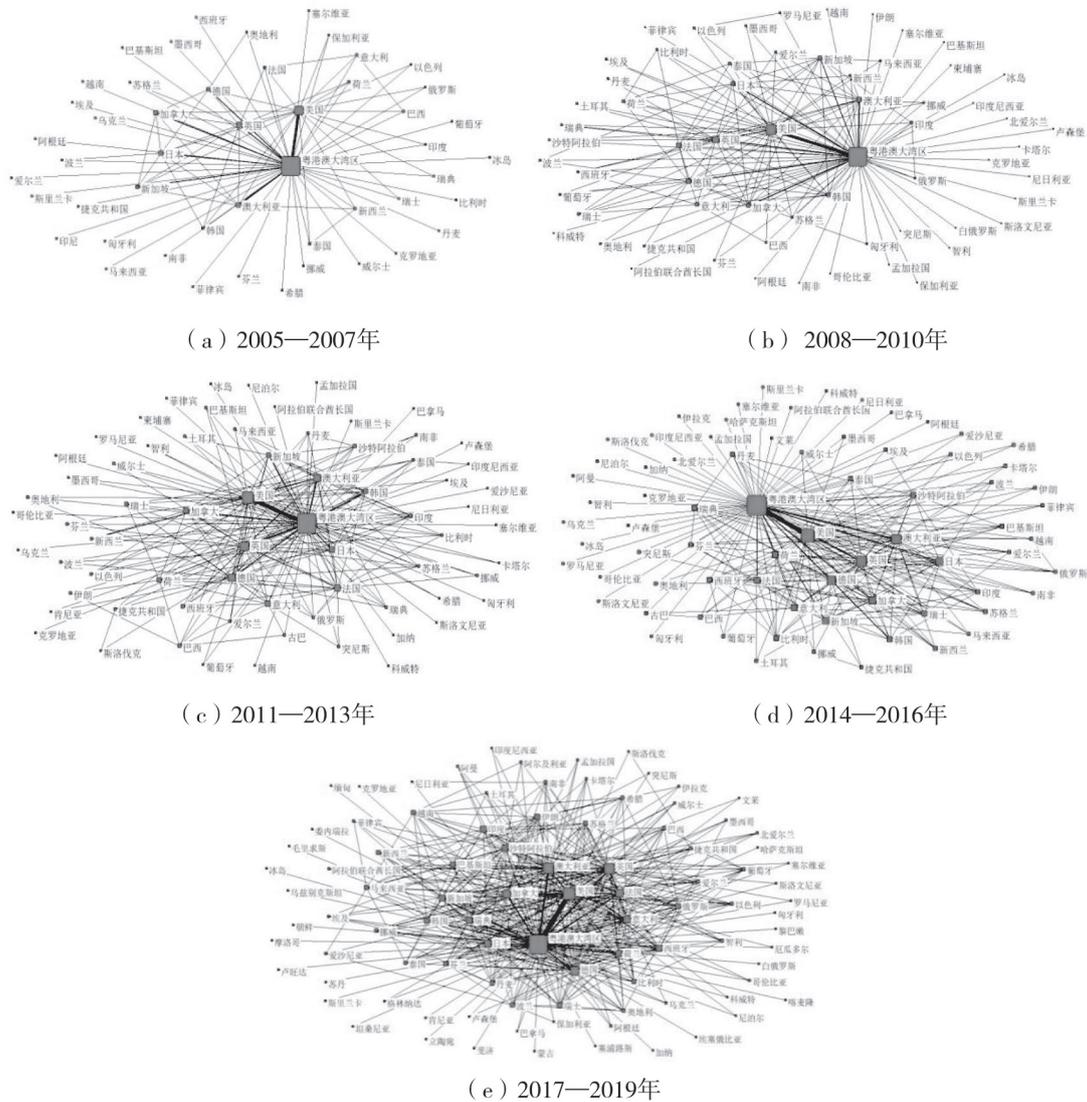


图2 2005—2019年国际层面科研合作网络图

表3 国际层面合作网络核心—边缘结构密度矩阵

时间段	2005—2007年		2008—2010年		2011—2013年		2014—2016年		2017—2019年	
	核心区	边缘区								
核心区	0.557	0.135	0.611	0.133	0.613	0.127	0.655	0.136	0.737	0.157
边缘区	0.135	0.014	0.133	0.011	0.127	0.010	0.136	0.011	0.157	0.011

核心度排名一直处于不断变化中，德国的排名不断提高，2017—2019年已达到第四名；日本的排名变化幅度较大，但其一直位于排名前10位的范围内；加拿大、新加坡、韩国的核心度排名呈下降趋势，新加坡、韩国在2017年后跌出核心度前10位的范围。此外，泰国、印度分别在2005—2007年和2017—2019年两个阶段进入核心度前10位的队伍中，但其排名较低，核心度

与其他国家存在略微差距。

2.4 科研合作学科领域分布

图3为2005—2019年大湾区科研合作的学科领域整体分布情况。15年间国际层面科研合作最多的领域为工程学领域。该领域内共发表合作论文19 051篇，占国际层面合作论文总量的14.13%，其次为临床医学，发表合作论文16 056篇。工程学、临床医学、化学、材料科学和物理

表 4 国际层面合作网络核心度 Top 10 国家排序

序号	2005—2007 年	2008—2010 年	2011—2013 年	2014—2016 年	2017—2019 年
1	美国 (0.334)	美国 (0.271)	美国 (0.242)	美国 (0.232)	美国 (0.206)
2	英国 (0.271)	澳大利亚 (0.227)	英国 (0.216)	英国 (0.216)	英国 (0.189)
3	加拿大 (0.218)	英国 (0.223)	澳大利亚 (0.209)	澳大利亚 (0.207)	澳大利亚 (0.185)
4	澳大利亚 (0.217)	加拿大 (0.221)	德国 (0.205)	德国 (0.193)	德国 (0.177)
5	日本 (0.213)	德国 (0.212)	日本 (0.192)	加拿大 0.19	法国 0.17
6	法国 (0.194)	法国 (0.208)	加拿大 (0.189)	新加坡 (0.187)	加拿大 (0.169)
7	德国 (0.184)	韩国 (0.198)	新加坡 (0.188)	法国 (0.187)	荷兰 (0.169)
8	新加坡 (0.164)	荷兰 (0.187)	法国 (0.186)	意大利 (0.179)	日本 (0.164)
9	韩国 (0.156)	日本 (0.186)	荷兰 (0.176)	荷兰 (0.164)	意大利 (0.163)
10	泰国 (0.155)	新加坡 (0.174)	韩国 (0.173)	日本 (0.161)	印度 (0.163)

注：括号中的数值为合作网络核心度。

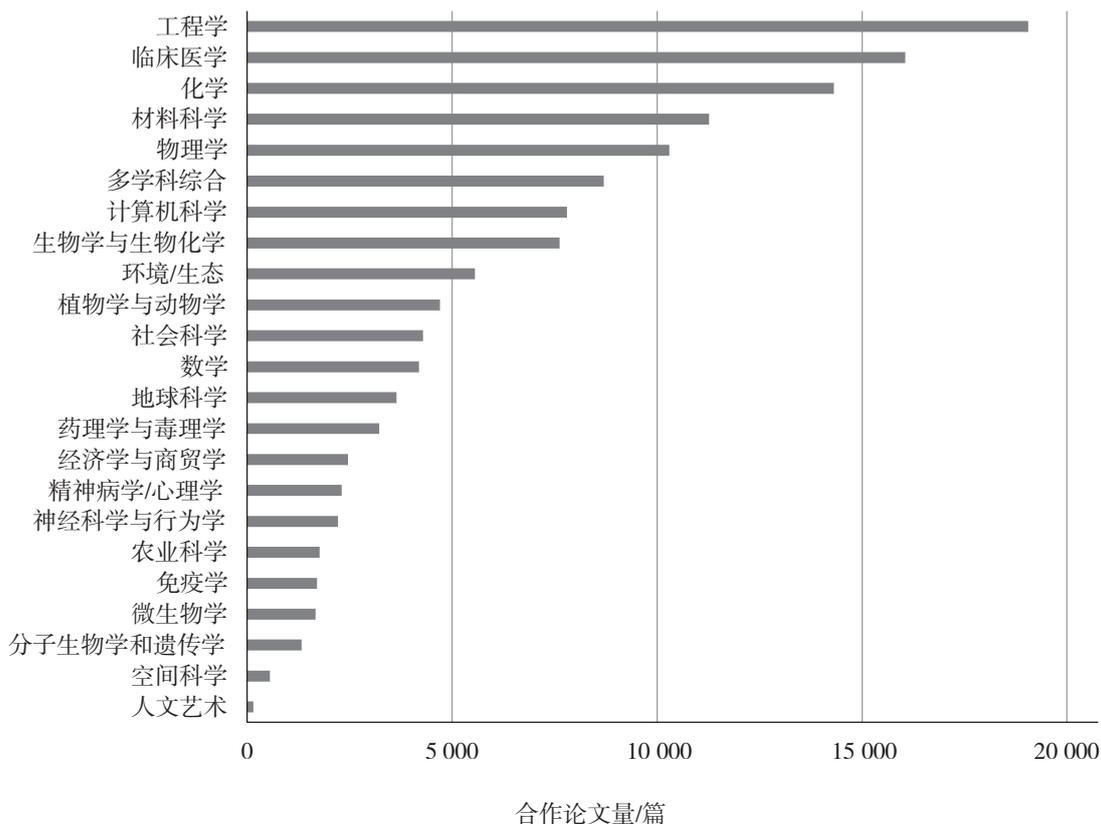


图 3 国际层面科研合作学科领域分布

学是国际层面科研合作学科分布前5位的学科领域，这5个领域的科研合作论文量占比超过50%，是大湾区与其他国家在科学研究方面交流的重点关注领域。

图4为大湾区在国际层面上各学科领域内科研合作数量逐年变化的情况。可以看出，人文艺术、空间科学等科研合作量较少的领域在图4中展现不明显，而绝大部分学科的科研合作规模较2005年均有不同程度的增加。其中，工程学学科规模增长趋势极其显著。尤其在2018年、2019年，该领域科研合作规模增幅较大，远超其他学科领域，是大湾区国际层面科研合作的热点和重点内容。此外，临床医学在2015年前的科研合作规模高于其他学科，随后逐渐被工程学和化学领域合作规模反超。

3 国内科研合作网络演化研究

3.1 科研合作整体情况

从2005—2019年合作数据中提取大湾区与国内城市合作数据，国内层面合作论文共有131 243篇，占合作论文总量的50.09%。由图5可知，2005—2019年大湾区与国内城市进行科

研合作的论文数量逐年增加，合作论文量从2005年的2 050篇增加至2019年28 315篇。此外，国内合作论文占比也呈现上升趋势，2014年前国内合作率保持相对平稳的变化趋势，2014年后国内合作率增加趋势较为明显，2019年的国内合作率达到56.46%，超过半数的论文有国内城市参与。

对大湾区与国内城市的论文合作数据进行统计分析，2005—2019年大湾区共与380个国内城市存在科研合作关系，科研合作范围广泛。在国内层面，各城市参与合作的数量差异较大，表5列出了与大湾区合作发表论文产量排名前30名的城市，与北京市的合作量位居首位。跟北京市相比，与其他城市的合作论文量存在较为明显的差距。此外，隶属于京津冀地区和长三角地区的城市数量分别为2座和5座，大湾区与国内城市进行合作无明显区域偏好，合作城市分布较为分散。

3.2 合作网络结构特征演化

根据2005—2019年大湾区与国内城市科研合作数据构建合作关系矩阵，计算得到网络规模、网络密度、平均距离、凝聚力等网络结构相

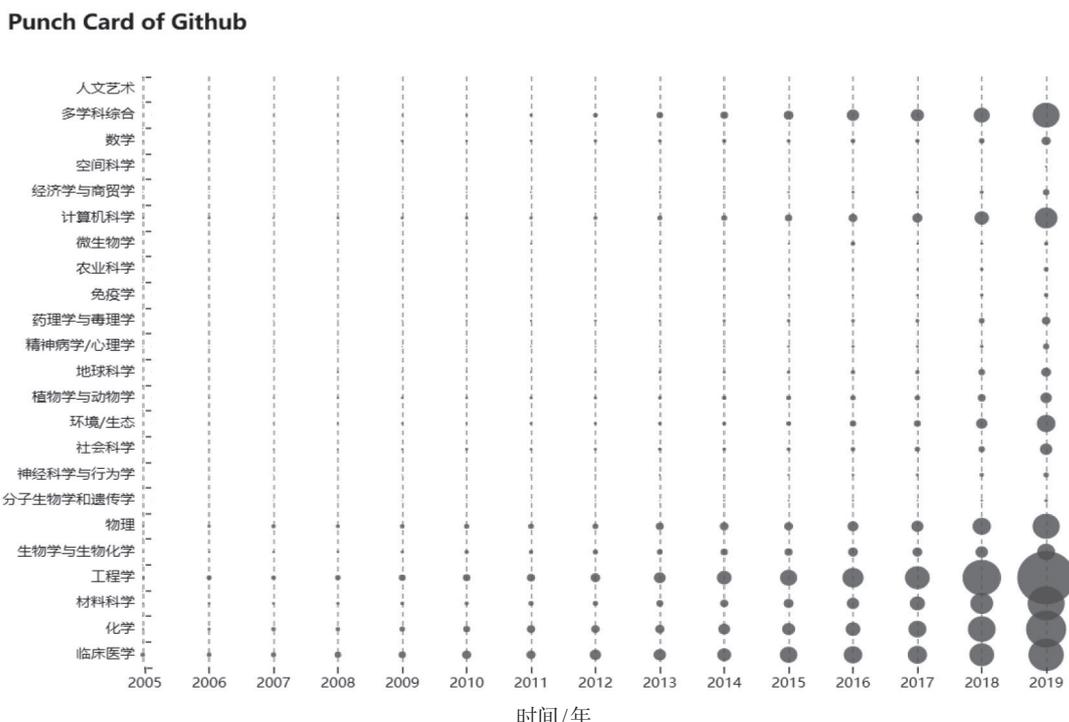


图4 国际层面科研合作学科领域变动情况

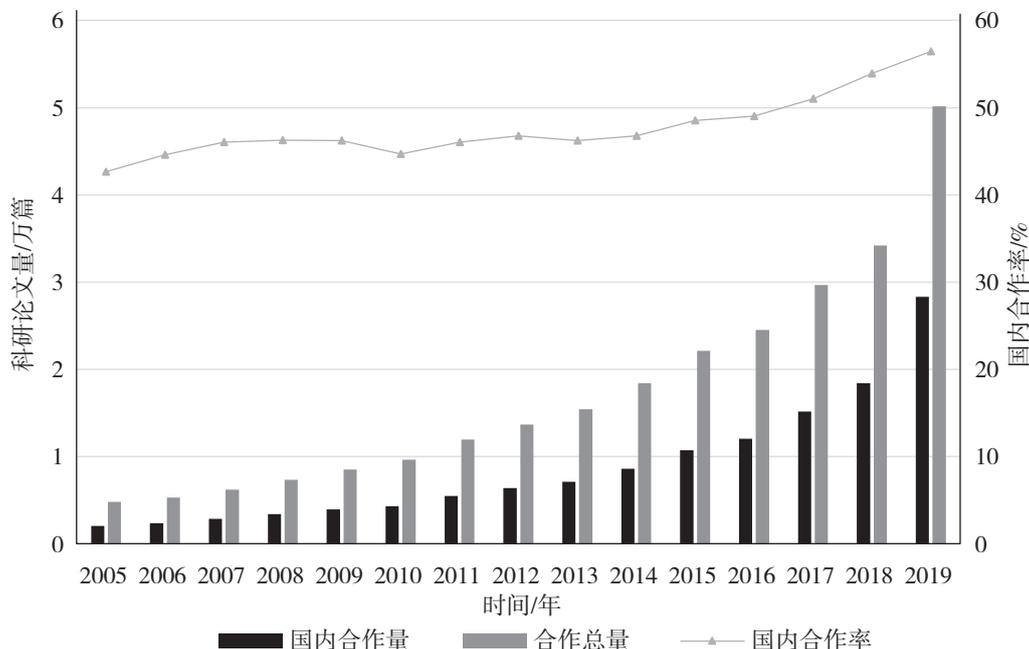


图 5 国内层面大湾区的科研合作情况

表 5 大湾区合作论文量排名前 30 位的国内城市

城市	合作论文数/篇	所占比例/%	城市	合作论文数/篇	所占比例/%
北京	36 066	27.48	济南	2 468	1.88
上海	12 937	9.86	厦门	2 342	1.78
武汉	10 592	8.07	沈阳	2 212	1.69
南京	9 906	7.55	昆明	2 127	1.62
杭州	6 912	5.27	福州	2 011	1.53
长沙	6 484	4.94	南昌	1 916	1.46
西安	6 111	4.66	郑州	1 864	1.42
成都	5 276	4.02	大连	1 810	1.38
合肥	4 379	3.34	苏州	1 784	1.36
天津	3 485	2.66	南宁	1 686	1.28
台湾	3 408	2.60	兰州	1 667	1.27
哈尔滨	3 343	2.55	湛江	1 404	1.07
青岛	2 970	2.26	汕头	1 256	0.96
长春	2 773	2.11	贵阳	1 089	0.83
重庆	2 598	1.98	太原	1 070	0.82

关指标值，如表 6 所示。国内层面科研合作网络规模及边数呈大幅增长趋势，网络规模由 2005 年的 95 个增至 2019 年的 263 个，网络边数增加近 10 倍，表明大湾区与国内城市进行科研合作的范围逐渐扩大，且合作次数越来越多。

科研合作网络密度呈现小规模浮动变化，整体处于上升趋势，城市间合作趋于紧密。但科研合作网络密度数值较小，均不到 0.1，表明大湾

区与国内大部分城市存在合作关系，但这些城市两两之间很少存在科研合作关系。除 2005 年外，合作网络的平均距离和凝聚力在其他年份差距不大，平均距离在 1.93 至 1.95 范围内波动，凝聚力保持在 0.52 至 0.53 范围内，合作网络中各节点间的关系较为稳定。

在网络中心性方面，合作网络的度数中心势由 3.76% 下降至 1.99%，表明合作网络较为分散、

表6 国内科研合作网络指标

时间/年	网络规模/个	网络边数/条	网络密度	平均距离	凝聚力	度数中心势/%	中间中心势/%
2005	95	524	0.058 7	4.608	0.181	3.76	33.25
2006	95	466	0.052 2	1.948	0.526	3.74	84.95
2007	118	758	0.054 9	1.945	0.527	3.13	78.03
2008	145	952	0.045 6	1.954	0.523	2.63	81.45
2009	158	1 098	0.044 3	1.956	0.522	2.40	80.33
2010	172	1 250	0.042 5	1.958	0.521	2.25	81.57
2011	180	1 558	0.048 4	1.952	0.524	2.28	76.44
2012	198	1 672	0.042 9	1.957	0.521	2.09	79.45
2013	195	1 758	0.046 5	1.954	0.523	2.08	75.28
2014	219	2 006	0.042 0	1.958	0.521	1.92	76.36
2015	235	2 192	0.039 9	1.960	0.520	1.91	77.25
2016	234	2 684	0.049 2	1.970	0.521	1.95	67.64
2017	257	3 449	0.052 3	1.948	0.526	1.97	65.68
2018	263	3 904	0.056 7	1.943	0.528	2.03	60.74
2019	283	5 022	0.062 9	1.937	0.531	1.99	57.25

集中程度不高且集中性越来越低,网络中行为主体间产生合作的数量差距逐渐减小。2006年以来,网络中间中心势逐渐下降,从84.95%下降至57.25%,合作网络中节点间的直接联系数量越来越多,单一节点对合作网络的控制作用减弱。但网络中间中心势数值整体偏高,表明大湾区与其他城市具有直接联系的城市数较少,网络中的一些节点起着比较关键的中介作用。

将时间以每3年为间隔划分成5个阶段,通过Netdraw软件绘制每个时间段的科研合作网络图,如图6所示。在图6中仅保留合作次数大于10的城市节点。2005—2007年,大湾区与国内城市的合作网络初步形成,与2008—2010年相比,大湾区与各城市间的合作较弱,共同参与科研合作的意识不够强烈,仅与北京、上海、南京等部分城市的科研合作强度较高。随着珠三角地区的发展及国家相关科技政策的指引、推动,越来越多的城市参与到大湾区科研合作发展的进程中。2017—2019年的合作网络显示,参与大湾区科研合作的城市数量已形成一定规模,且部分城市参与科研合作的强度增大,北京、武汉、南京、上海、长沙等城市与大湾区间的连线较粗,单个城市在合作网络中影响力降低。

3.3 核心—边缘结构演化

大湾区与国内城市在各阶段科研合作网络的核心区及边缘区密度矩阵如表7所示。与国际层面的科研合作相比,国内层面各阶段核心城市间的关系密度较低,且随着时间的推进,核心区域间的关系密度呈现下降趋势。随着科研合作范围的扩展,参与合作的城市数量大幅增长,进入核心区域的城市数量明显增加,但各城市之间的联系强度反而下降,大湾区与国内多个城市的多边科研合作关系有待加强。核心区与边缘区的密度较小且呈现下降趋势,边缘区间的密度变动较小,边缘区成员与核心区成员及本区域成员间的合作联系较少。2008—2010年各区域间密度均较小,与其他阶段存在较大差异,结合合作网络密度,发现该阶段合作网络略松散,大部分网络成员间不存在合作关系。

运用各阶段科研合作的定比数据构建核心—边缘连续模型,确定合作网络中各成员的核心度,根据核心度对合作网络成员进行排序,得到大湾区与国内城市合作网络中核心度前10位的城市排名,如表8所示。2005—2019年,北京市、上海市、南京市及武汉市一直为核心度排名前4位的城市。杭州市的核心度排名由第五名

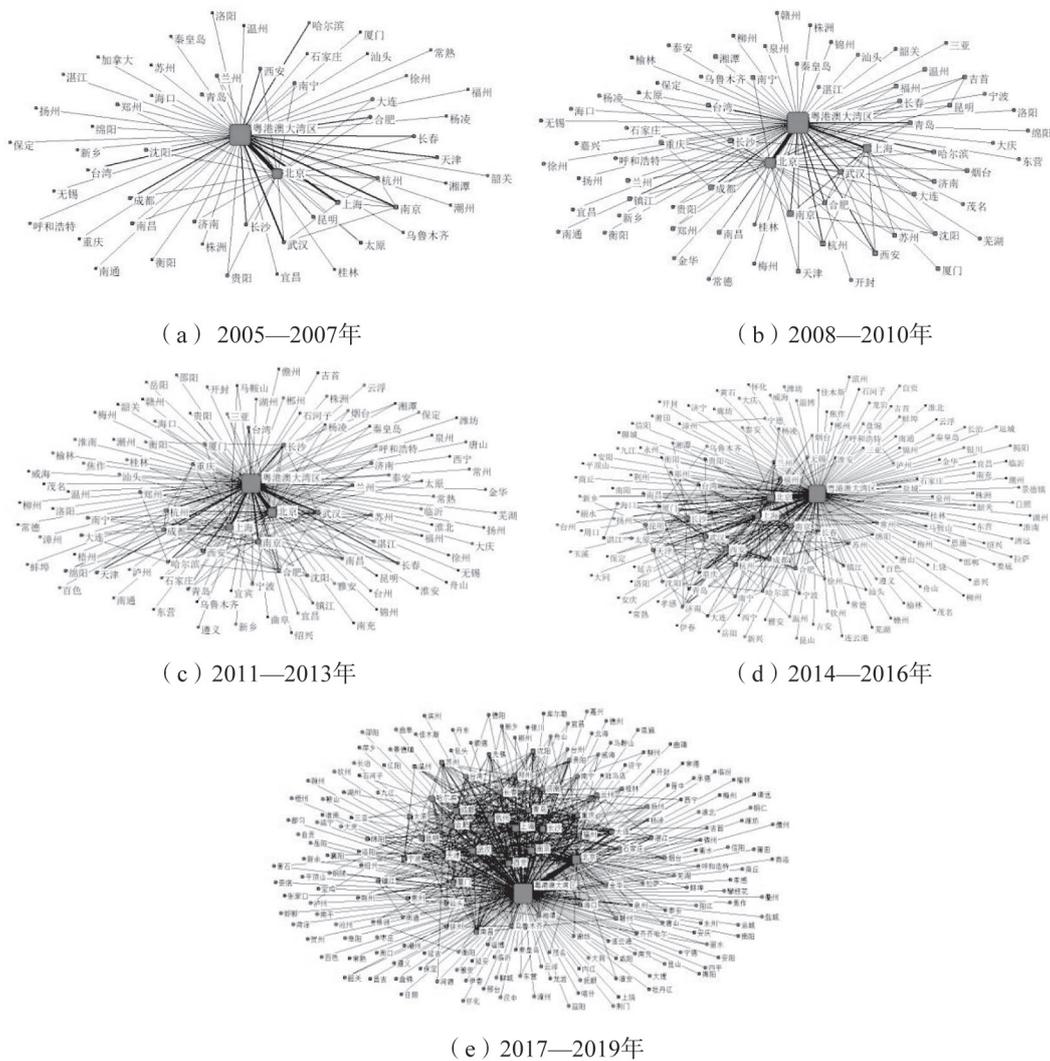


图 6 2005—2019 年国内层面科研合作网络图

表 7 国内层面合作网络核心—边缘结构密度矩阵

时间段	2005—2007 年		2008—2010 年		2011—2013 年		2014—2016 年		2017—2019 年	
	核心区	边缘区								
核心区	0.627	0.118	0.335	0.058	0.586	0.085	0.530	0.083	0.550	0.097
边缘区	0.118	0.004	0.058	0.002	0.085	0.003	0.083	0.004	0.097	0.004

下滑至第八名，西安市、成都市的核心度排名较 2005—2007 年有所提升。共有 14 个城市进入各阶段核心度排名前 10 位的队伍，排名前 6 位的城市变动范围较小，基本为北京、上海、南京、武汉、杭州、长沙及西安等城市，排名后 4 位的城市变动较大，各阶段都有不同城市进入排名。

3.4 科研合作学科领域分布

对大湾区与国内城市科研合作的学科领域分类情况进行统计，见图 7。与大湾区国际层面的

科研合作相比，各学科在国内层面的科研合作规模较大，工程学、化学、临床医学等 8 个学科的科研合作论文量超过 1.5 万篇。工程学学科是大湾区在国内层面进行科研合作最多的领域，合作论文量占国内层面科研合作总量的 13.66%，其次是化学领域，临床医学领域位于第三位。

由图 8 可知，2014 年前大湾区与国内城市的科研合作多数发生在工程学、化学、临床医学、材料科学和物理学领域，与其他学科领域的科研

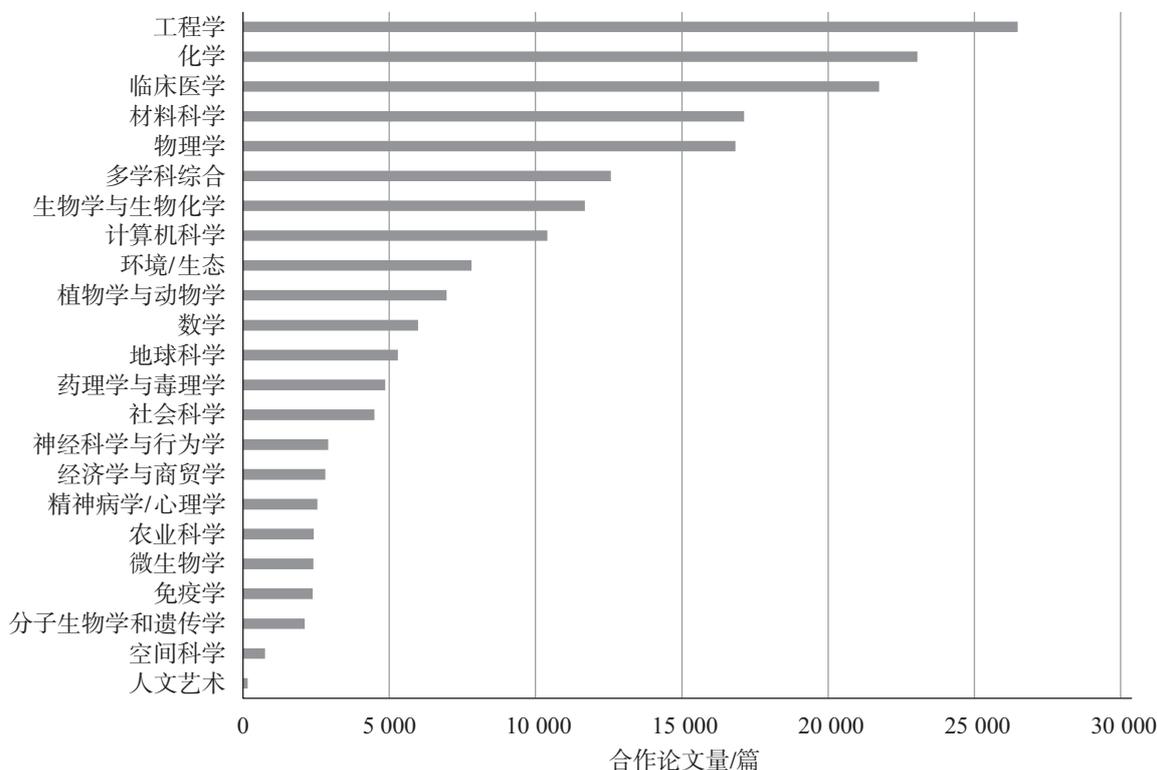


图7 国内层面科研合作学科领域分布

表8 国内层面合作网络核心度Top 10城市排序

序号	2005—2007年	2008—2010年	2011—2013年	2014—2016年	2017—2019年
1	北京 (0.314)	北京 (0.269)	北京 (0.246)	北京 (0.232)	北京 (0.194)
2	上海 (0.243)	上海 (0.227)	上海 (0.212)	上海 (0.201)	上海 (0.169)
3	南京 (0.232)	南京 (0.203)	南京 (0.194)	南京 (0.192)	武汉 (0.169)
4	武汉 (0.209)	武汉 (0.201)	武汉 (0.181)	武汉 (0.191)	南京 (0.168)
5	杭州 (0.174)	杭州 (0.184)	长沙 (0.178)	长沙 (0.169)	西安 (0.152)
6	长沙 (0.158)	西安 (0.167)	杭州 (0.174)	杭州 (0.164)	长沙 (0.152)
7	合肥 (0.155)	合肥 (0.162)	合肥 (0.165)	西安 (0.162)	成都 (0.151)
8	成都 (0.152)	长春 (0.154)	沈阳 (0.162)	成都 (0.153)	杭州 (0.148)
9	西安 (0.148)	长沙 (0.147)	西安 (0.157)	天津 (0.148)	青岛 (0.148)
10	长春 (0.141)	昆明 (0.147)	成都 (0.155)	合肥 (0.143)	天津 (0.141)

注：括号内的数值为合作网络核心度。

合作较少。工程学和化学领域科研合作规模增长最为明显，在2019年与其他学科拉开较大差距。

此外，物理学、多学科综合及计算机科学领域的合作数量也显著增长。物理学领域在2011年的

Punch Card of Github

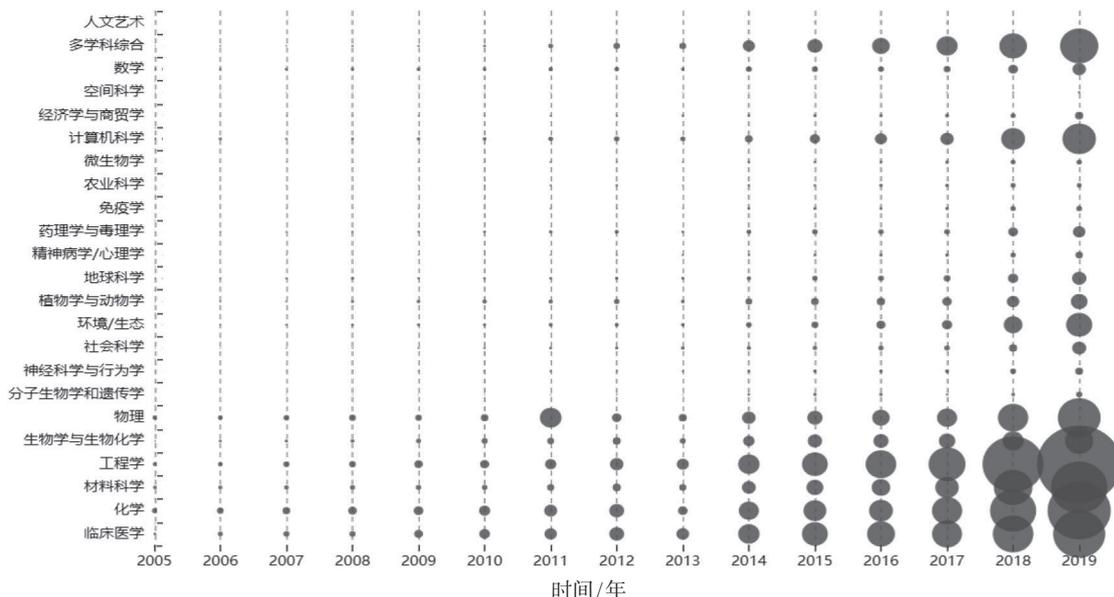


图 8 国内层面科研合作学科领域变动情况

合作规模高于其他学科领域，2012 年大幅下降，但之后仍保持逐年上升趋势。

4 结论及政策建议

本文基于 2005—2019 年粤港澳大湾区与国内外的论文合作数据，构建了科研合作网络，运用社会网络分析法，结合大湾区实际的科研情况，从网络结构视角分析大湾区科研合作的特征和演变趋势，并通过构建国际和国内两个层面的科研合作网络，以大湾区整体为研究对象，探究大湾区在多空间尺度下的科研合作情况及演化趋势、各科研主体在合作中所处的位置以及各学科领域在不同层面科研合作中的分布情况。研究结果显示：（1）近年来大湾区国际、国内层面科研合作网络规模明显扩大，15 年间共与 159 个国家和 380 个国内城市存在科研合作关系，同时网络可达度和集聚度提高，节点间联系更加紧密，科研合作网络趋于稳定状态。国际层面合作率增速较缓，但整体呈现稳步上升；国内层面超过半数的合作论文有国内城市参与。（2）随着大湾区合作国家及国内城市范围的扩展，国际、国内层面合作网络核心区成员数量明显增加，但核心区成

员所占比重较小，仍有很多国家和城市位于合作网络的边缘区。（3）大湾区科研合作分布最多的学科领域为临床医学、工程学、化学、材料科学和物理学领域。近年来，工程学已成为大湾区与其他国家和国内城市进行科研合作的热点和重点领域，国内层面在临床医学领域的合作活跃度略低于国际层面。

基于研究内容和结论，为提高大湾区的科研创新合作能力、解决合作发展中存在的问题，推动大湾区协同创新发展进程高效化，进而凸显大湾区在我国及全球范围科技创新环境中的重要地位，提出以下政策建议：（1）完善与内地间技术转移转化机制，促进资源优势互补。港澳地区基础科研实力及产出能力较强，但缺乏具体的技术转移转化政策，暂未与内地形成统一的信息交流平台。因此，应增加对科技成果转化的政策扶持，完善大湾区科技成果转移转化机制，建立统一的科技成果转化管理平台，加强高校与内地企业间的对接，为科研成果转化提供一站式的管理和服

（下转第 110 页）

- 16].https://www.fiveipoffices.org/statistics/statistical-data/statisticaldata_index.
- [3] 安文森.人工智能发明创造的国际保护挑战[J].中国发明与专利, 2020, 17(5): 89-94.
- [4] Chapter 2100 Patentability[EB/OL].[2021-01-08].<https://www.uspto.gov/web/offices/pac/mpep/mpep-2100.html>.
- [5] 吕磊.美国商业方法专利保护的发展与现状及其对我国的启示[J].法学杂志, 2019, 40(3): 96-104.
- [6] 宁立志,郭玉新.专利权权利客体例外制度研究[J].河南师范大学学报(哲学社会科学版), 2020, 47(1): 31-45.
- [7] 张韬略.美国《专利客体适格性审查指南》的最新修订及评述[J].知识产权, 2020(4): 84-96.
- [8] 杜衡.论专利无效诉讼中公知常识的判定:以美国Berkheimer判例为参照[J].现代法治研究, 2019 (3): 167-173.

(上接第13页)

核心主体的带动作用。积极拓展大湾区参与国家乃至全球科研合作交流的渠道,提高与边缘国家进行多边合作的重视程度,充分发挥核心城市或国家的带动作用,发挥政府主导作用,促使核心区同科研水平较低的地区合作,实现核心区的知识资源与边缘区域流动共享。(3)支持应用领域的科学研究,鼓励跨领域科研合作。科研创新政策应在继续保持重视基础学科领域的基础上,提高对应用型学科领域的重视程度,对科研合作产出较少的学科领域提供科研资金支持,推动科研合作领域的均衡发展。同时,应鼓励创新主体进行跨领域的科研合作,实现科研资源的优势互补。

参考文献

- [1] 谢彩霞,刘则渊.科研合作及其科研生产功能[J].科学技术与辩证法, 2006, 23(1): 99-102.
- [2] 赵蓉英,温芳芳.科研合作与知识交流[J].图书情报工作, 2011, 55(20): 6-10.
- [3] 于永胜,董诚,韩红旗,等.国内情报学领域的科研合作状况研究[J].科学技术创新, 2017(34): 61-62.
- [4] 丁思嘉.985高校与中科院科研合作趋势的科学计量学研究[D].上海:上海交通大学, 2013.
- [5] 马凤,武夷山.中国科技期刊研究界科研合作动机及相关问题研究[J].科技管理研究, 2009, 29(8): 572-575.
- [6] 张菊,方永才,刘艳阳.分析SCI论文探讨合作研究对提高高校科研水平的作用[J].科技进步与对策, 2005, 22(2): 132-134.
- [7] 周小林,任孝平,张志辉,等.中国国际科研合作现状分析与启示:基于文献计量分析的视角[J].情报工程, 2019, 5(3): 86-98.
- [8] HAKANSSON H, JAN J. Industrial networks: a new view of reality[M]. London: Routledge, 1992.
- [9] 傅利平,周小明,罗月丰.知识溢出与产学研合作创新网络的耦合机制研究[J].科学学研究, 2013, 31(10): 1541-1547.
- [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及演化研究[J].现代情报, 2019, 39(3): 132-143.
- [11] 杨勇,王露涵.我国发明专利合作网络特征与演化研究[J].科学学研究, 2020, 38(7): 1227-1235.
- [12] 陈欣.“一带一路”沿线国家科技合作网络演化研究[J].科学学研究, 2020, 38(10): 1811-1817.
- [13] 曾志敏.打造全球科技创新高地:粤港澳大湾区融合发展的战略思路与路线图[J].城市观察, 2018, 54(2): 5-19.
- [14] 辜胜阻,曹冬梅,杨岷.构建粤港澳大湾区创新生态系统的战略思考[J].中国软科学, 2018(4): 1-9.
- [15] 张晓浩,吴玲玲,石萍,等.粤港澳大湾区蓝色经济绿色发展对策研究[J].生态经济, 2021, 37(1): 59-63.
- [16] 李文辉,李青霞,丘芷君.基于专利计量的粤港澳大湾区协同技术创新演化研究[J].统计研究, 2019, 36(8): 74-86.
- [17] 刘佳,蔡盼心,王方方.粤港澳大湾区城市群知识创新合作网络结构演化及影响因素研究[J].技术经济, 2020, 39(5): 68-78.
- [18] 李小涛,龙天越,周智宏.高被引论文视角下粤港澳大湾区科研合作网络分析[J].中华医学图书情报杂志, 2020, 29(8): 48-55.
- [19] 刘军.整体网分析讲义[M].上海:格致出版社, 2009.