全球 6G 技术基础研究产出概况及国际合作分析

杨 帅，苑朋彬，孙浩林，王海燕
（中国科学技术信息研究所，北京 100038）

摘 要：6G 作为下一代移动信息通信技术，是当前全球竞争的热点。通过对 Web of Science 数据库 6G 领域 SCI 科技论文数据进行情报分析，从全球科技论文产出概况和国际合作角度全面揭示了 6G 技术基础研究现状。研究发现 6G 技术基础研究已经进入加速阶段；中国、美国、印度、英国和加拿大等国家是 6G 技术的基础研究大国，科技论文产出数量占全球总量的 88%；国际上重视加强基础研究合作，尤其重视加强与中国的合作；中国不仅重视国际合作，也注重提升国际合作中的研究主导性。总体而言，中国无论从科技论文产出水平，还是国际合作研发行为，都具有一定的先发优势。

关键词：6G；基础研究；科技论文产出；国际合作
中图分类号：F627；F49 **文献标识码**：A DOI：10.3772/j.issn.1009-8623.2023.09.008

科技产出是指通过科技活动所产生的各种形式的成果，科技产出分析对象包括论文、专利、科技成果转化等。其中科技论文产出在一定程度上反映了国家、地区和机构的基础研究实力，是科学研究活动的重要表现形式，是促进科技合作与交流的有效途径 [1]。

通过对重点科技领域科技论文产出数据进行梳理和分析，有助于从宏观层面厘清重点科技领域基础研发情况，并对研发行为特征予以揭示。本研究选取 6G（6th generation mobile networks）技术领域作为重点科技领域研究对象，具有一定的现实意义。6G 作为下一代移动信息通信技术，是当前全球竞争的热点，也是中国《“十四五”信息通信行业发展规划》的重要技术研发方向之一 [2]。随着 2019 年 5G 技术正式进入商用，近几年 6G 技术研发活动愈发激烈，全球各国政府重视 6G 技术领域的战略部署和研发投入，产业界纷纷也加快研发行动。如中国政府在 2019 年就成立 IMT–2030 推进组，推进 6G 研发工作实施 [3]。美国电信产业解决方案联盟（ATIS）在 2020 年就成立 Next G 联盟促进 6G 技术研发 [4]。欧盟委员会在 2021 年通过成立智能网络和服务（SNS）伙伴关系 [5]，整合政府、产业界和学术界的力量，共同协调 6G 研发活动。

学术界作为技术研发的关键性力量，其高质量科技论文产出水平直接代表了 6G 技术的研发水平。目前，6G 技术研究仍处于前期阶段，技术愿景需求尚不明确，关键技术尚未形成业界共识，未来 3～5 年是 6G 技术研发的重要时期 [6]。通过对 6G 技术领域的科技论文产出情况和国际合作情况进行分析，有助于揭示当前 6G 技术领域基础研发情况和研发行为特征，进而促进政府制订研发计划，为政府、产业界和学术界多方合作提供建议参考。

1 数据来源及方法

对 Web of Science 核心合集数据库收录的 6G 技术领域 SCI 科技论文进行数据采集。Web of

第一作者简介：杨帅（1990—），男，硕士，助理研究员，主要研究方向为科学计量学、科技评价。
通信作者简介：王海燕（1974—），女，博士，副研究员，主要研究方向为科学计量学、科技评价和情报研究。电子邮箱：wanghaiyan@istic.ac.cn
项目来源：国家自然科学基金专项项目“基础研究项目选题数据分析与科学基金资助管理研究”（L2224021）。
收稿日期：2023–05–17

Science 核心合集数据库是获取全球学术论文的重要数据库，收录了 12 000 余种具有世界权威性、高影响力的学术期刊，内容涵盖自然科学、工程技术、生物医学、社会科学、艺术与人文等领域。该数据库收录的论文具有一定的代表性，能够反映基础研究的前沿性和高水平。

对重点科技领域 6G 技术进行检索，数据采集时间范围为 2013—2022 年，经过数据清洗和查重，并利用 Python，Excel 等数据处理工具对发表时间、国家和机构等字段进行提取、统计、挖掘和分析；最终共获取 6G 技术领域相关科技论文数据 1 891 篇。经统计，中国在 6G 领域产出科技论文 785 篇，中国国际合作的 SCI 科技论文产出 400 篇，在国际合作科技论文中，中国以第一作者发表的科技论文 292 篇。

本研究利用情报计量方法和社会网络分析法分别从科技论文产出概况和中国国际合作情况两个角度全面揭示 6G 基础研究现状。从全球角度对比国家、机构研究实力；从国际合作角度，揭示全球和中国基础研究行为特点。

2　全球6G技术领域SCI科技论文产出概况

2.1　时间分布

移动通信技术基本每隔 10 年升级一代。对 2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 科技论文产出进行统计分析(如图1所示),可以看出,随着2019年 5G 技术的正式商用落地，基础研究的重心已经开始逐步转移到 6G 技术上。尤其是 2020—2022 年，6G 技术基础研究呈现明显加速趋势。

当前 6G 基础研究主要经历了两个主要阶段，分别为探索研究阶段和加速研究阶段。探索研究阶段（2013—2018 年）：该阶段的研究特点是高水平、高质量的 SCI 论文产出数量较少，研究处于摸索阶段。从图 1 中可以看出，2019 年之前 SCI 科技论文产出数量均在 22 篇及以下，基础研究成果较少。加速研究阶段（2019 年至今）：该阶段的研究特点是高水平、高质量的 SCI 论文产出数量开始增多，研究成果产出速度呈现翻倍的加速态势。从图 1 中可以看出，2019 年之后 SCI 科技论文产出数量迅速增加，已经从 2019 年的 44 篇增加到 2022 年的 982 篇。

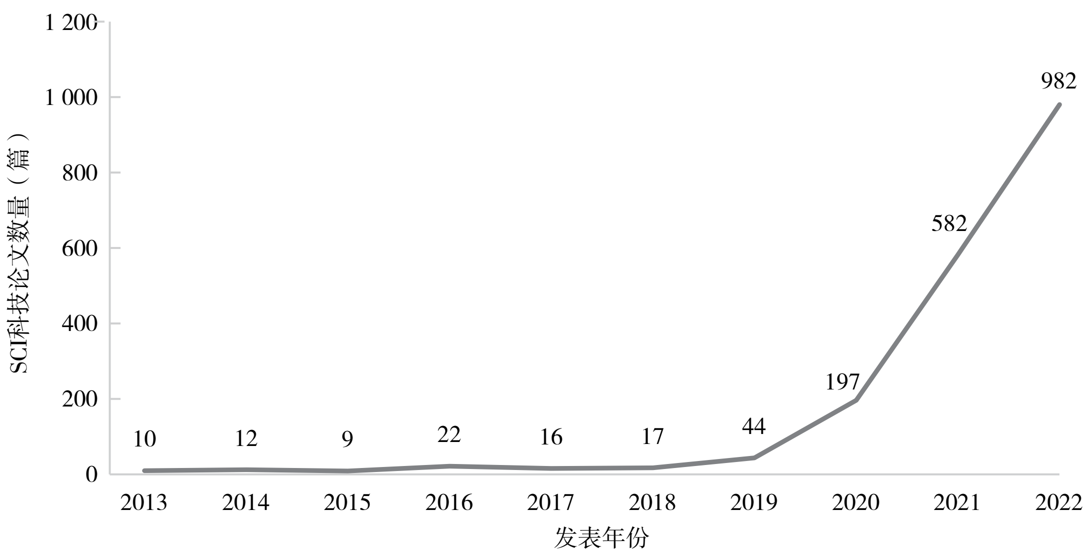

图 1　2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 科技论文产出趋势

2.2　国家分布

得益于 5G 技术的全球领先，中国在 6G 基础研究方面已经形成了的竞争优势。对 2013—2022 年全球SCI科技论文产出国家进行统计分析(如图2所示)，可以看出，全球各国在 6G 技术领域的科技论文产出存在明显的数量差距，中国凭借 785 篇 SCI 科技论文产出排在全球首位。

以中国、美国、印度、英国和加拿大等为代表的国家注重 6G 技术的基础研究，SCI 科技论文产出数量占全球总量的 88%，是 6G 基础研究的主要

国家。其中：中国 SCI 科技论文产出 785 篇，占全球总产出量的 42%；美国 SCI 科技论文产出 298 篇，占全球总产出量的 16%；印度 SCI 科技论文产出 219 篇，占全球总产出量的 12%；英国 SCI 科技论文产出 191 篇，占全球总产出量的 10%；加拿大 SCI 科技论文产出 177 篇，占全球总产出量的 9%；其他国家（如沙特阿拉伯、韩国、意大利、澳大利亚、日本等）SCI 科技产出均在 134 篇以下，科技产出总量占全球市场的 29%，是 6G 技术基础研究的重要补充力量。

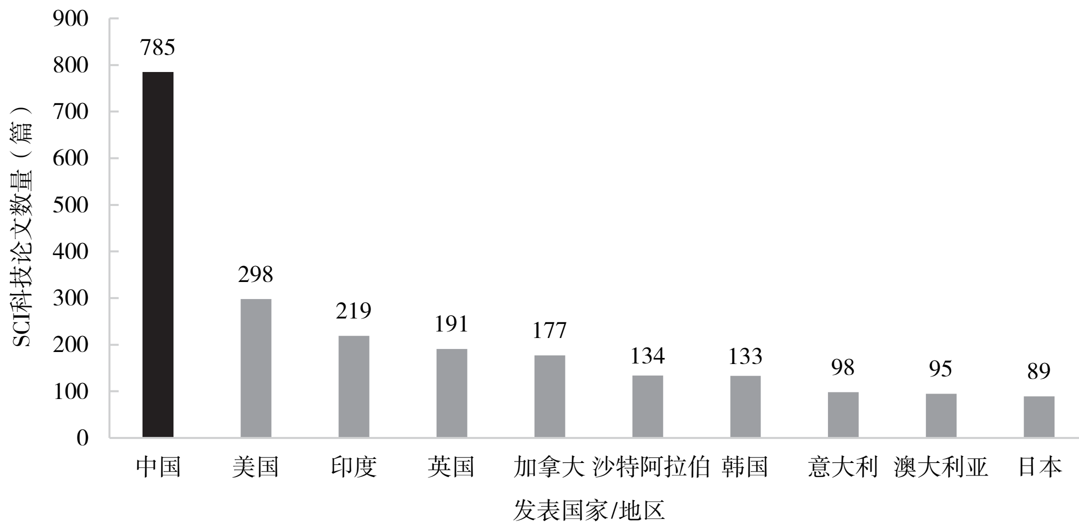

图 2　2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 科技论文产出排名前 10 位国家分布

2.3　机构分布

当前 6G 技术研究的主体是大学和研究机构（如表 1 所示）。对 2013—2022 年全球 SCI 科技论文产出机构进行统计分析，可以看出，中国、芬兰、美国和韩国等国家 / 地区的相关组织机构在 6G 技术基础研究方面处于世界领先地位，以中国的北京邮电大学、西安电子科技大学、东南大学、清华大学和电子科技大学等为代表的组织机构是全球 6G 技术发展的主要推动者。

表 1　2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 科技论文产出排名前 10 位机构分布

机构	国家 / 地区	论文总数（篇）	论文总数排序
北京邮电大学	中国	81	1
西安电子科技大学	中国	59	2
东南大学	中国	55	3
清华大学	中国	49	4
电子科技大学	中国	47	5
奥卢大学	芬兰	41	6
普林斯顿大学	美国	40	7
亚洲大学	韩国	32	8
鹏城实验室	中国	32	8
中国科学院	中国	31	10

续表

2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 科技论文产出排名前 10 位的组织机构中中国机构的研究实力最强。北京邮电大学（81 篇）SCI 科技论文产出量排名全球第一位。其他排名前 5 位的中国机构为西安电子科技大学（59 篇）、东南大学（55 篇）、清华大学（49 篇）和电子科技大学（47 篇）。芬兰的奥卢大学是全球首个发布 6G 白皮书的组织机构[7]，同时是排名前 10 位的机构中唯一的欧洲组织机构，其 6G 技术领域 SCI 科技论文产出量在全球排名第 6 位（41 篇）。普林斯顿大学（10 篇）、亚洲大学（32 篇）也积极参与到6G技术相关研究中。

3 全球6G技术领域SCI科技论文产出国际合作情况

3.1 科技论文产出全球合作

从全球合作视角来看，在 6G 基础研究方面，以中国、美国、英国、加拿大、印度、沙特阿拉伯、韩国、澳大利亚、巴基斯坦和法国等为代表的国家合作次数排名靠前，在合作网络中处于关键位置（如图 3 所示）。

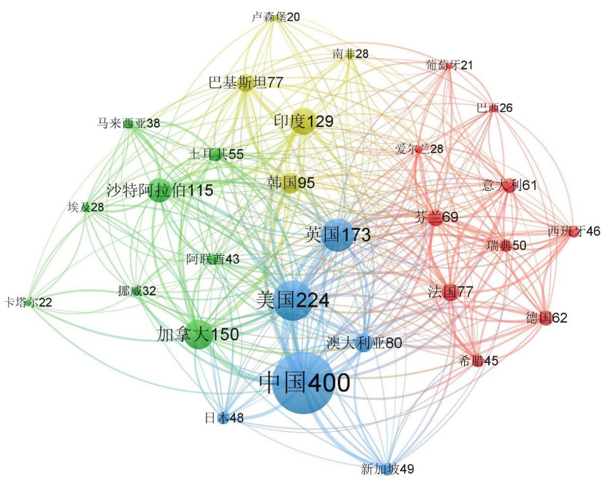

图 3 2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 科技论文产出国家合作网络

从合作主导性来看，第一作者为本国科研人员的科技论文占本国国际合作论文总数的数值越大，反映其基础研究主导性越强。在国际合作论文中，定义第一作者为本国科研人员的科技论文为“主导性论文”；第一作者非本国科研人员的科技论文为“参与性论文”。如表 2 所示，中国、印度和巴基斯坦的主导性论文占比均超过 40.00%，说明其在基础研究中偏主导性；美国、加拿大、澳大利亚和法国主导性论文占比为 20.00% 左右，说明其在合作中更偏参与性。

表 2 2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 国际合作论文产出排名前 10 位国家分布

国家 / 地区	国际合作论文（篇）	主导性论文（篇）	主导性论文占比（%）
中国	400	292	73.00
美国	224	47	20.98
英国	173	43	24.86
加拿大	150	31	20.67
印度	129	76	58.91
沙特阿拉伯	115	27	23.48
韩国	95	28	29.47
澳大利亚	80	16	20.00
法国	77	14	18.18
巴基斯坦	77	33	42.86

从合作行为特点来看，通过对 2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 国际合作论文产出排名前 10 位的国家进行合作网络分析，可以看出，各国除了重视国内合作外，也重视加强与其他国家的合作研究，尤其是与中国的合作研究。中国合作强度最高，与排名前 10 位的其他国家合作次数最多（如图 4 所示，气泡大小的代表合作次数，对角线数值如“中国—中国 311 次”代表中国与排名前 10 位的其他国家合作的总次数为 311 次）。在全球合作排名前 10 位的国家中，中国与美国（114 次）、英国（89 次）、加拿大（77 次）、澳大利亚（40 次）、韩国（31 次）的基础研究合作次数较多。美国合作强度在全球排名第 2 位（224 次），美国除了加强与中国合作外，也重视与英国（38 次）、加拿大（31 次）、韩国（27 次）之间的联系。印度重视与沙特阿拉伯（93 次）之间的合作。值得注意的是，英国、加拿大、韩国、澳大利亚、巴基斯坦、法国等均重视与中国的合作。

3.2 科技论文产出中国合作

3.2.1 论文产出的时间分布

中国 6G 技术领域 SCI 科技论文产出趋势与全球的趋势基本保持一致。对 2013—2022 年中国 6G 技术领域SCI科技论文产出进行统计分析（如图 5 所示），可以看出，中国 6G 技术基础研究在 2019 年之后进入加速发展阶段，其在 6G 技术领域 SCI 科技论文产出数量快速增加。

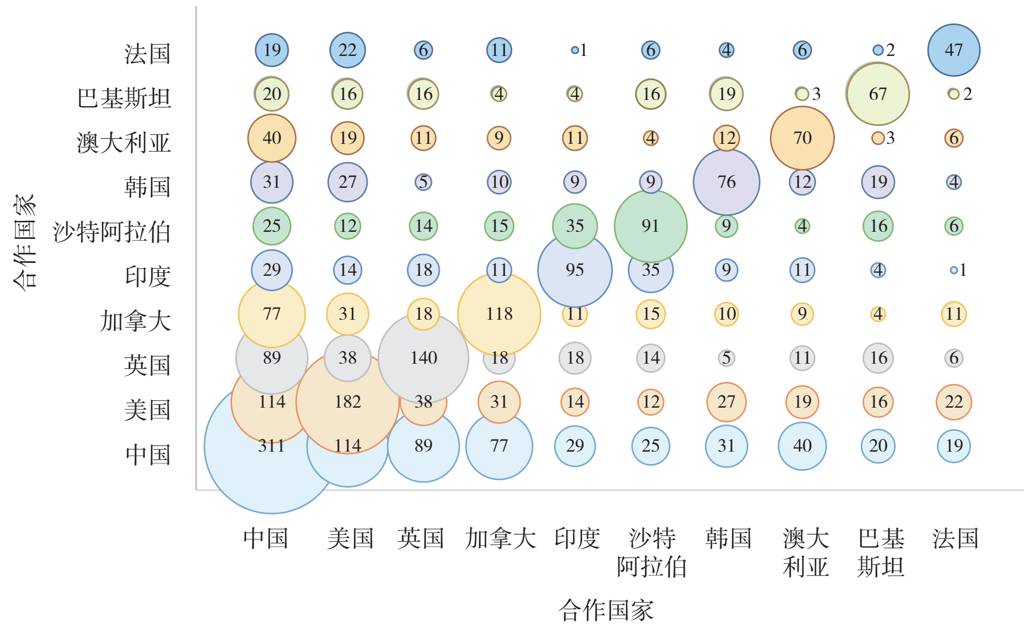

图 4　2013—2022 年全球 6G 技术领域 SCI 科技论文产出排名前 10 位国家合作关系气泡图

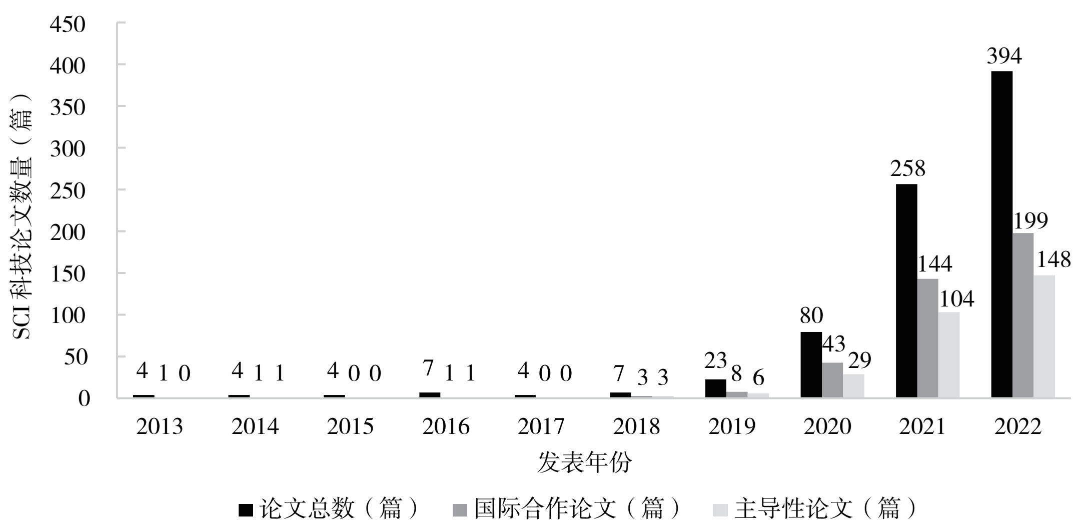

图 5　2013—2022 年中国 6G 技术领域 SCI 科技论文产出趋势

表 3　2013—2022 年中国 6G 技术领域国际合作 SCI 科技论文产出趋势

发表年份	论文总数（篇）	国际合作论文（篇）	国际合作论文占论文总数比例（%）	主导性论文（篇）	主导性论文占国际合作论文比例（%）
2013	4	1	25.00	0	0
2014	4	1	25.00	1	100.00
2015	4	0	0.00	0	0
2016	7	1	14.29	1	100.00
2017	4	0	0.00	0	0

续表

发表年份	论文总数（篇）	国际合作论文（篇）	国际合作论文占论文总数比例（%）	主导性论文（篇）	主导性论文占国际合作论文比例（%）
2018	7	3	42.86	3	100.00
2019	23	8	34.78	6	75.00
2020	80	43	53.75	29	67.44
2021	258	144	55.81	104	72.22
2022	394	199	50.51	148	74.37

在基础研究工作中，中国注重加强多方合作和提升国际合作研究的主导性（如表 4 所示）。2019—2022 年中国 6G 技术领域 SCI 科技论文产出中，国际合作论文比例已经提升至 50% 左右，侧面说明了中国注重合作型研究。在此时期，中国 6G 技术领域发表的主导性论文占国际合作论文总数量的比例也保持在 70% 左右的水平，侧面说明中国在国际合作中具有一定的研究主导性。

3.2.2　论文合作国家

对 2013—2022 年中国 6G 技术领域 SCI 科技论文产出合作国家进行分析（如图 6、表 5 所示），可以看出，在 6G 基础研究方面，中国与美国、英国、加拿大等国家的合作研究关系密切。

从科技论文合作产出水平来看，中国与美国合

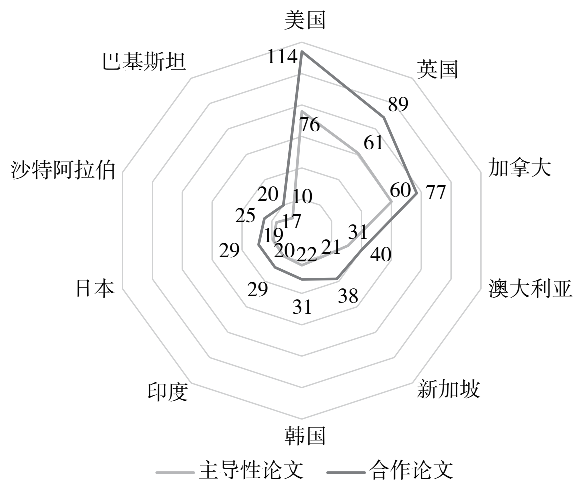

图 6　2013—2022 年中国 6G 技术领域 SCI 科技论文产出排名前 10 位合作国家分布

表 5　2013—2022 年中国 6G 技术领域国际合作排名前 10 位国家 SCI 科技论文分布

国家 / 地区	主导性论文（篇）	参与性论文（篇）	合作论文（篇）	主导性论文占合作论文比例（%）
美国	76	38	114	66.67
英国	61	28	89	68.54
加拿大	60	17	77	77.92
澳大利亚	31	9	40	77.50
新加坡	21	17	38	55.26
韩国	22	9	31	70.97
印度	20	9	29	68.97
日本	19	10	29	65.52
沙特阿拉伯	17	8	25	68.00
巴基斯坦	10	10	20	50.00

作数量较多（114 篇），其次是英国（89 篇）和加拿大（60 篇）。其他国家如澳大利亚（31 篇）、新加坡（21 篇）、韩国（22 篇）、印度（20 篇）、日本（19 篇）、沙特阿拉伯（17 篇）、巴基斯坦（10 篇）也是中国研究合作的重要伙伴国家。在上述研究合作中，中国的主导性论文占比均超过50%，说明了中国在国际6G基础研究合作项目中，起主导性作用。

3.2.3 科技论文合作机构

2013—2022 年中国 6G 技术领域国际合作 SCI科技论文产出排名前10位的机构进行分析（如图 7 所示）。可以看出，中国机构中以西安电子科技大学、北京邮电大学、电子科技大学等为代表的机构注重基础研究合作，在合作网络中处于关键位置。

在中国机构中，6G 技术领域国际合作 SCI 科技论文产出排名前 10 位的机构分别为西安电子科技大学（37 次）、北京邮电大学（35 次）、电子科技大学（31 次）、东南大学（23 次）、南京邮电大学（19 次）、清华大学（19 次）、北京航空航天大学（17 次）、中国科学院（15 次）、北京交通大学（15 次）、上海交通大学（14 次）。

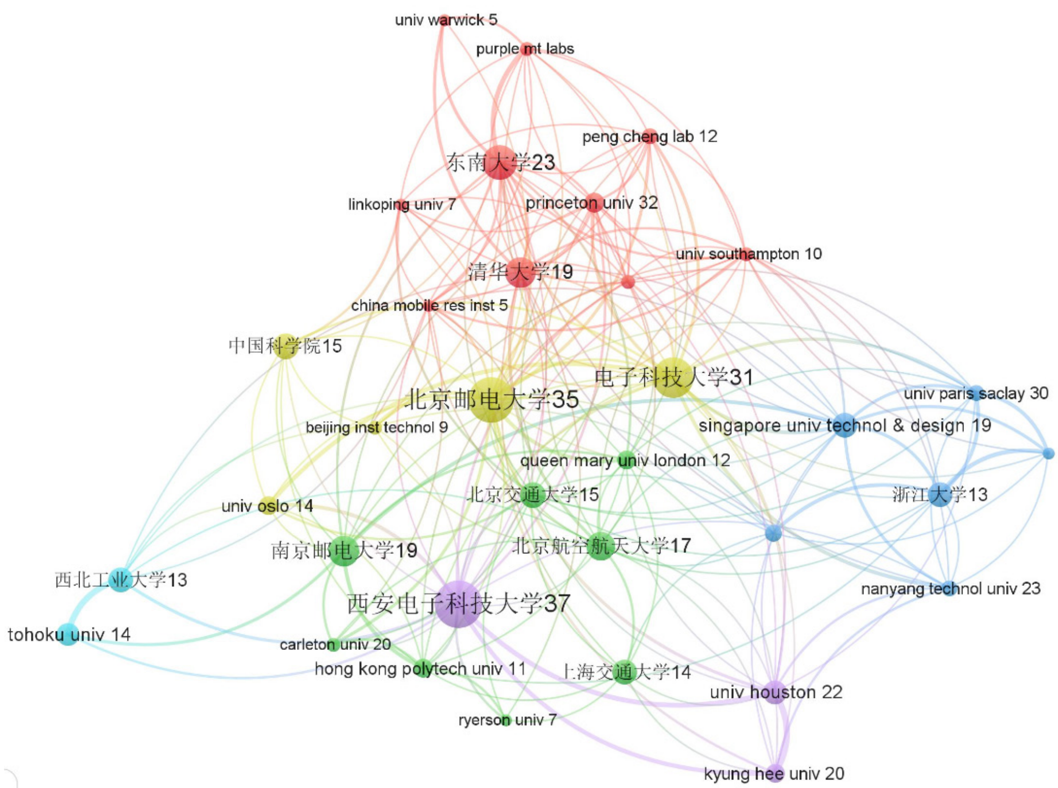

图 7　2013—2022 年中国 6G 技术领域国际合作 SCI 科技论文产出机构合作网络

进一步对全球合作机构进行分析，提取 2013—2022 年与中国 6G 技术领域国际合作 SCI 科技论文产出排名前 10 位机构合作最多的国际机构（如图 8 所示），可以看出，中国机构与国际机构合作关系密切，合作关系存在较大差异：（1）西安电子科技大学与美国休斯敦大学（6 次）、韩国庆熙大学（5 次）、挪威奥斯陆大学（4 次）合作关系密切。（2）北京邮电大学与英国玛丽女王大学（4 次）、美国休斯敦大学（3 次）合作关系密切。（3）电子科技大学与挪威奥斯陆大学（5 次）、新加坡科技设计大学（3 次）、新加坡南洋理工大学（3 次）、巴黎萨克雷大学（3 次）合作关系密切。（4）南京邮电大学与新加坡科技设计大学（3 次）、日本东北大学（3 次）合作关系密切。（5）清华大学与美国普林斯顿大学（3 次）合作关系密切。（6）上海交通大学与澳大利亚新南威尔士大学（4 次）、

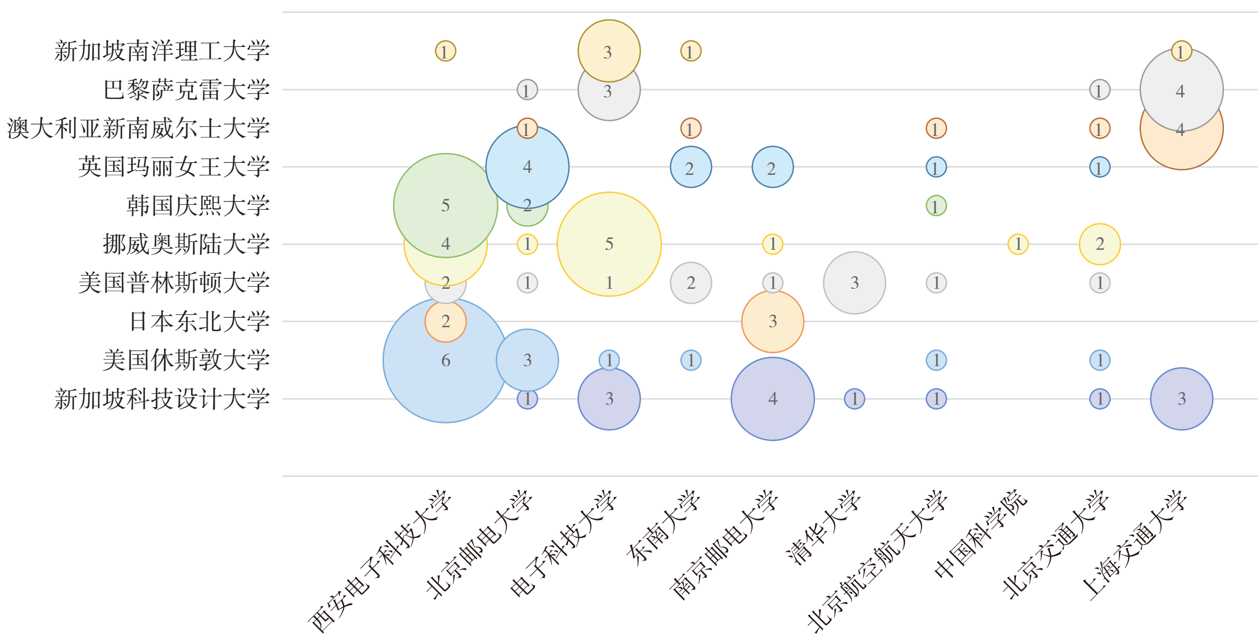

图 8　2013—2022 年中国 6G 技术领域国际合作 SCI 科技论文产出排名前 10 位机构合作关系气泡图

巴黎萨克雷大学（4 次）、新加坡科技设计大学（3 次）合作关系密切。

4　结语

通过对全球 6G 技术领域科技论文进行研究，从全球科技论文产出概况和国际合作角度全面揭示了当前基础研究的现状，得出以下结论。

从全球科技论文产出概况来看：

（1）随着 2019 年 5G 技术正式商用落地，信息通信基础研究的重心已经开始逐步转移到 6G 技术领域。6G 技术基础研究已经进入加速阶段，科技论文产出呈现明显加速趋势，未来 3 ～ 5 年是技术研发的关键时期。

（2）中国、美国、印度、英国和加拿大等国家是 6G 技术基础研究大国，2013—2022 年上述国家在 6G 技术领域的科技论文产出数量占全球总量的 88%，是推动 6G 技术发展的重要国家。得益于 5G 技术的全球领先，中国在 6G 基础研究方面已经形成了一定的竞争优势，并且在基础研究项目中具有一定的主导性。

（3）大学、研究机构是 6G 技术基础研究的主体，以北京邮电大学、西安电子科技大学、东南大学、清华大学和电子科技大学等为代表的组织机构是全球 6G 技术发展的主要推动者，同时奥卢大学、普林斯顿大学和亚洲大学的基础研究动向也应受到关注。

从国际合作角度来看：

（1）全球视角下，以中国、美国、英国、加拿大和印度等为代表的国家合作次数排名靠前。从合作的行为特点来看，各国之间均重视加强基础研究合作，尤其重视与中国之间的合作。

（2）中国重视合作，也重视提升国际合作研究的主导性。2013—2022 年在中国 6G 技术领域的科技论文产出中，其国际合作论文占比已经达到了 50% 左右。在国际合作论文中，中国主导性论文占比已经达到了 73% 左右，与加拿大、澳大利亚等主要国家的合作中，主导率分别达到了 77.92% 和 77.50%，甚至超过了整体水平，凸显中国在 6G 基础研究中国际合作率高、国际合作中的研究主导性强的特征。

（3）以西安电子科技大学、北京邮电大学、电子科技大学、东南大学、南京邮电大学和清华大学等为代表的机构注重基础研究合作，在合作网络中处于关键位置。上述机构当前已经与美国、日本、韩国、英国、法国、挪威、澳大利亚和新加坡等国家的相关大学展开了广泛合作。■

参考文献：

[1] 罗华容 , 李昂 . 四川省科技论文产出总体概况及趋势分析 [J]. 技术与市场 , 2021, 28(12): 61-63.

[2] 工业和信息化部 . 工业和信息化部关于印发“十四五”信息通信行业发展规划的通知 [EB/OL]. [2023-06-01]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/ghs/zlygh/art/2022/art_bdf819244b074a3aa7b48b3d0985ffd6.html.

[3] 工业和信息化部 . IMT-2030(6G) 推进组 6G 研讨会开幕 [EB/OL]. [2023-06-01]. https://www.miit.gov.cn/jgsj/txs/gzdt/art/2021/art_66d9e84c556747f3a593024d5013ac83.html.

[4] NEXTG. Next Galliance Working Groups[EB/OL]. [2023-06-01]. https://nextgalliance.org/about/.

[5] European Commission. Smart Networks and Services Joint Undertaking launches website[EB/OL]. [2023-06-01]. https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/smart-networks-and-services-joint-undertaking-launches-website.

[6] 苑朋彬 , 杨帅 , 孙浩林 . 全球 6G 技术专利布局研究 [J]. 全球科技经济瞭望 , 2022, 37(7): 69-76.

[7] 5GPPP. Hexa-X[EB/OL]. [2023-06-01]. https://5g-ppp.eu/hexa-x/.

Overview of Global 6G Technology Basic Research Output and Analysis of International Cooperation

YANG Shuai, YUAN Pengbin, SUN Haolin, WANG Haiyan

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

Abstract: As the next generation mobile information and communication technology, 6G is currently the hot spot of global competition. Based on the information analysis of SCI papers in the 6G field of Web of Science database, the basic research status of 6G technology is fully revealed from the perspectives of global scientific and technological paper output and international cooperation. It is found that the basic research of 6G technology has entered an accelerated stage. China, the United States, India, the United Kingdom, Canada and other countries are major countries in basic research of 6G technology, and the output of scientific and technological papers accounts for 88% of the global total. The international community attaches great importance to strengthening cooperation in basic research, especially cooperation with China. It is worth noting that China not only attaches great importance to international cooperation but also to enhancing the leadership of international cooperative research. In general, China has a certain first-mover advantage in terms of both the output level of scientific and technological papers and the behavior of international cooperative research and development.

Keywords: 6G; basic research; scientific and technological paper output; international cooperation