

从 SCI 论文看中英石墨烯领域合作情况

周晓丹, 赵俊杰

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘要: 本文以 1990—2015 年间 SCI 数据库收录的中英两国在石墨烯领域合著的 327 篇论文为研究对象, 对合著论文的时间序列、合作机构、学科分布、基金资助情况等进行分析, 揭示了中英两国科技论文的合作特征。研究发现, 中英两国合著论文数量增长趋势明显, 90.52% 的合著论文受到两国主要项目计划资助, 合作热点主要集中在化学、材料科学、物理学等学科领域。中英两国在石墨烯领域的强强合作对我国科技论文产出和石墨烯商业化发展具有积极推动作用。

关键词: 中国; 英国; 石墨烯; SCI 论文; 科技合作

中图分类号: TQ127 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2016.06.011

1978 年 11 月, 中英两国签署政府间国际科技合作协定, 标志着中英两国科技合作与交流正式拉开序幕^[1]。1998 年 9 月, 双方再次签署合作协定, 提出高新技术领域将是两国以后合作的重点领域。自此以后, 中英两国政府在卫生医疗、生物、基础研究等领域签署了 20 多项科技合作对口协议或备忘录。2011 年 6 月, 中英两国举行第六次科技联委会, 确定了前沿新兴学科、能源和可再生资源、环境、人口健康、食品安全、应用科学、空间技术和创新政策为新一轮的中英重点合作领域。2013 年 12 月, 双方签署《中英研究创新合作谅解备忘录》, 决定设立总额为 2 亿英镑的联合科学创新基金(牛顿基金、研究与创新桥计划 2015 年启动), 并签署《关于探索与和平利用外层空间的合作谅解备忘录》《加强民用核能领域合作的谅解备忘录》^[2]。2015 年, 习近平主席访问英国期间, 双方同意提升双边创新合作水平, 建立中英创新合作伙伴关系。30 多年来, 中英两国之间的科技合作蓬勃发展, 已经互为重要的科技合作伙伴。在联合发表科研论文方面, 中国与英国的科技论文合作数量已经超过中国与任何一个欧盟

国家的合作数量, 英国于 2011 年取代日本, 成为仅次于美国的中国第二大合作伙伴。

2010 年, 英国曼彻斯特大学物理学家安德烈·海姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫因石墨烯研究方面的成就而获得诺贝尔物理学奖^[3]。之后, 石墨烯成为了电子信息产业的超新星, 引发了新一轮电子工业革命, 与此同时, 石墨烯研究也一时间成为各国关注的焦点。石墨烯最有潜力的应用是作为硅的替代品, 制造超微型晶体管或集成电路器件, 在半导体领域发挥重要作用。石墨烯的市场前景十分广阔, 有报告^[4]称, 到 2018 年全球石墨烯市场预计将达 1.95 亿美元, 到 2020 年更有望达到 2.78 亿美元。

作为石墨烯的诞生国, 英国提出, 石墨烯不仅要“发现在英国”, 更要“制造在英国”。为此, 英国于 2013 年投资 6 100 万英镑, 在曼彻斯特大学建立英国国家石墨烯研究所(NGI), 其目标是使英国成为未来的石墨烯创新中心。在此基础上, 2014 年 9 月, 英国宣布投资 6 000 万英镑在曼彻斯特大学建立石墨烯工程创新中心(GEIC)。英国瞄准新一轮产业革命, 希望借助石墨烯领域的研发和商业化, 促进本国高端制造业的发展, 提高国际竞争力。而

第一作者简介: 周晓丹(1992—), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为科技政策与国际科技合作。

收稿日期: 2016-06-02

中国是石墨烯资源大国,也是石墨烯研究和应用开发最活跃的国家之一,中国石墨烯生产已有一定规模^[5]。在石墨烯应用领域,中国科研工作者也取得了一些重要成果。中英双方在石墨烯研究领域进行“强强联合”,加强交流合作将有助于中国开展石墨烯材料研发,早日实现石墨烯产业化,提升两国的国际影响力,使双方受益。本文从科技论文合著的角度分析两国在石墨烯领域的合作情况,通过对合著论文的分析,探讨两国在石墨烯领域的合作现状,为双方进行更深层次的合作研究提供参考。

1 数据来源及检索方法

本文选择科学引文索引扩展版(SCI Expanded, SCIE)数据库作为文献数据的检索源。SCI数据库是世界公认的科技领域最权威的综合性检索工具,是重要的统计工具和学术分析及评价工具^[6],由于包括了众多有重要影响力的自然科学期刊,SCI数据库被认为是开展文献计量研究的重要数据来源之一。本文以主题词“graphene”为检索式,检索所有国家发表的石墨烯领域的科技论文,然后再以“graphene”为主题词,并同时在地地址字段中输入“China”和“England”^①检索中英两国在石

墨烯领域的合著论文,检索日期为2016年3月29日。检索结果显示,1990年至2015年,SCI共收录76 176篇与石墨烯相关的科技论文,中英两国在石墨烯领域的合著论文327篇。

2 石墨烯领域总体情况分析

2.1 论文规模

从论文数量的时间分布图(见图1)可以看出,石墨烯领域论文数量的变化趋势大致分为三个阶段:1991—2004年的平稳发展阶段;2004—2010年的快速增长阶段;2010—2015年的以指数形式急速增长阶段。1991年,澳大利亚国立大学的三位学者发表第一篇有关石墨烯材料的论文,之后关于石墨烯领域的论文相继出现,但2000年以前每年发表的文献数量较少,2000年论文总量首次突破100篇。2004年英国曼彻斯特大学物理学家安德烈·盖姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫成功分离出石墨烯材料,并将其研究成果发表在《科学》杂志上,引起科学界的广泛关注,自此,有关石墨烯领域的研究论文数量开始快速增长,特别是2010年两位科学家凭借此项研究获得诺贝尔物理学奖以来,该领域论文发表量呈指数增长,到2015年达到2万余篇。

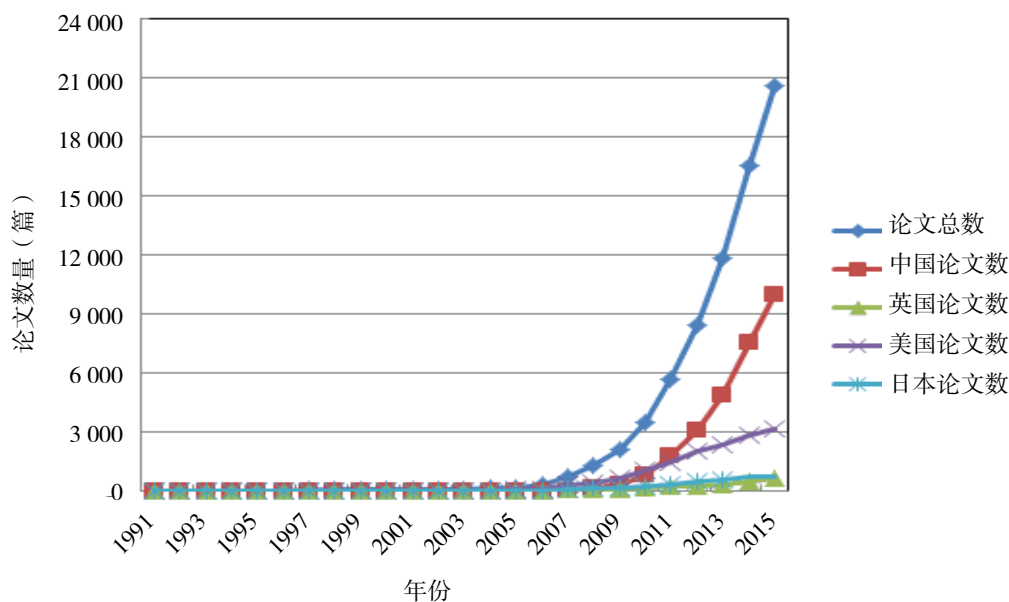


图1 中国与英、美、日三国发表的石墨烯领域SCI论文情况

^①因为英国的论文产出主要集中在英格兰地区,因此本文分析的中英两国合著论文指的是中国与不列颠岛上的英格兰地区进行的科技合作,不包括中国与威尔士、苏格兰及北爱尔兰三个地区之间的合作。

从图 1 可以看出, 中国、英国、美国、日本四个国家发表的论文数量均呈现逐年上升的趋势, 并且从 2005 年起出现明显的增长拐点。中国在石墨烯领域发表的论文数量最多, 增速最快, 增长趋势和该领域内论文总量的增长趋势保持一致, 美国紧跟其后也呈现出明显的增长趋势, 英国和日本发表的论文数量增速较为平缓。

2.2 国家分布

从国家的分布来看, 中国发表和参与发表的论文最多, 占比达 40% 左右, 是排在第二位国家(美国, 20.24%) 的近两倍。第三位到第十位依次为韩国、日本、德国、印度、新加坡、英国、法国、西班牙, 如表 1 所示。论文总量排名前 10 位的国家发表的论文数量占总量的 80% 以上。英国的论文数虽然只排在第 8 位, 但在引用次数排在前十位的论文中, 通信作者为英国人的论文有五篇, 且排在前三位的论文都是诺贝尔物理学奖得主曼彻斯特大学康斯坦丁·诺沃肖罗夫和安德烈·海姆等人的论文, 被引用次数分别达到了惊人的 20 395 次、14 899 次和 9 091 次(2016 年 3 月 29 日检索结果), 奠定了英国石墨烯领域的研究基础。

表 1 石墨烯领域论文数量排名前 10 位的国家*

序号	国家	发表论文数	占总数的比例(%)
1	中国	28 960	39.99
2	美国	14 907	20.59
3	韩国	6 178	8.53
4	日本	4 025	5.56
5	德国	3 683	5.09
6	印度	3 450	4.76
7	新加坡	2 611	3.61
8	英国	2 512	3.47
9	法国	2 089	2.89
10	西班牙	2 034	2.81

* 统计国家发文量时, 文章作者每出现 1 次则计数为 1。

3 中英石墨烯领域合著论文分析

3.1 合著论文数量

在石墨烯领域, 中国大陆不仅发表论文数量

最多, 同时也与其他国家和地区保持着密切的合作交流。在中国大陆发表的 28 960 篇论文中, 有 7 498 篇是与其他国家和地区合著的, 合著比例为 25.9%。其中, 中国大陆与美国作者合著论文数最多, 为 2 838 篇, 占合著论文总数的 35.92%, 合著论文数量排在前 10 位的其他国家和地区依次为新加坡、澳大利亚、日本、德国、英国、韩国、加拿大、沙特阿拉伯、中国台湾地区。

英国虽然不是与中国合著论文数最多的国家, 但对英国来说, 中国却是除美国以外在石墨烯领域与英国合作论文数最多的国家。在英国发表的 2 512 篇论文中, 有 1 771 篇是与其他国家作者合著的论文, 其中美国参与 334 篇, 占合著论文数的 18.8%, 中国作者参与 327 篇, 占 18.5%。可见, 在石墨烯领域, 中国是英国重要的合作伙伴。中英两国合作前 10 位的国家和地区以及合著论文数见表 2。

表 2 中英两国合作前 10 位的国家和地区以及合著论文数

序号	中国大陆		英国	
	合著国家和地区	论文数	合著国家和地区	论文数
1	美国	2 639	美国	334
2	新加坡	795	中国	327
3	澳大利亚	735	德国	232
4	日本	484	法国	146
5	德国	425	意大利	144
6	英国	327	日本	138
7	韩国	272	西班牙	137
8	加拿大	234	俄罗斯	96
9	沙特阿拉伯	212	韩国	92
10	中国台湾地区	157	新加坡	91

3.2 发表年代情况

在中英合著的石墨烯领域 327 篇 SCI 论文中, 除 2000 年有一篇外, 其余都是 2007 年以后发表的, 且论文数量以指数形式增长(如图 2 所示)。2013

—2015年的论文数量增长趋势更为明显,三年的合著论文数量占总数的83.5%,中英两国在石墨烯领域的合作愈加紧密。原因是2010年英国曼彻斯特大学教授凭借石墨烯研究获得诺贝尔奖后,中英两国均将石墨烯作为重要的研究领域,并投入大量资金推动该领域的发展。中英两国对石墨烯领域的重视,以及两国在该领域内的影响力,促使两国互为石墨烯研究的重要合作伙伴。



图2 中英两国石墨烯领域合著论文数量情况

位的是:中国科学院、中国科学技术大学、清华大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学;英国排在前五位的研究单位是:剑桥大学、曼彻斯特大学、牛津大学、伦敦大学学院和伯明翰大学。其中,中国科学院和英国的剑桥大学分别居第一名和第二名,是中英两国石墨烯领域发文量最多的研究单位。

为了识别出中英科研机构之间的合作关系,本文构建了机构合作网络分布图,如图3所示,图中节点之间的连线代表机构之间存在合作关系,线条越粗代表两者之间的合作关系越紧密;节点大小代表节点度的大小,节点越大,表明与该节点合作的机构数量越多(图中只保留了中心度大于10的节点)。从图3可以看出,中国科学院和英国剑桥大学是合作网络中的重要节点,分别是双方合作频率最高的机构,并且两者之间存在紧密的合作关系。中国科学院还与英国伦敦大学学院、牛津大学、利物浦大学、曼彻斯特大学等多家英国科研机构进行

3.3 合作机构情况

本文将合著论文中研究机构的名称进行了规范化处理,结果显示,中英两国合著的327篇论文中共包含308家研究机构,其中162家研究机构只发表1篇论文,120家研究机构发表论文数在2~10篇之间,只有26家科研机构发表论文数量超过10篇。论文发表数量排在前十位的科研机构(如表3所示),中国和英国各有五家,中国排在前五

表3 发表论文数量排名前10位的科研机构*

名次	机构	论文数 (篇)	占比 (%)
1	中国科学院	70	18.65
2	剑桥大学	52	14.68
3	曼彻斯特大学	47	11.32
4	牛津大学	36	10.40
5	伦敦大学学院	37	8.87
6	中国科学技术大学	27	5.81
7	清华大学	18	5.51
8	伯明翰大学	17	5.20
9	哈尔滨工业大学	16	4.89
10	上海交通大学	16	4.89

*统计机构发文量时,文章科研机构中每出现1次则计数为1。

合作研究。除此之外,南京大学、清华大学、中国科学技术大学、西安交通大学也与英国的科研机构

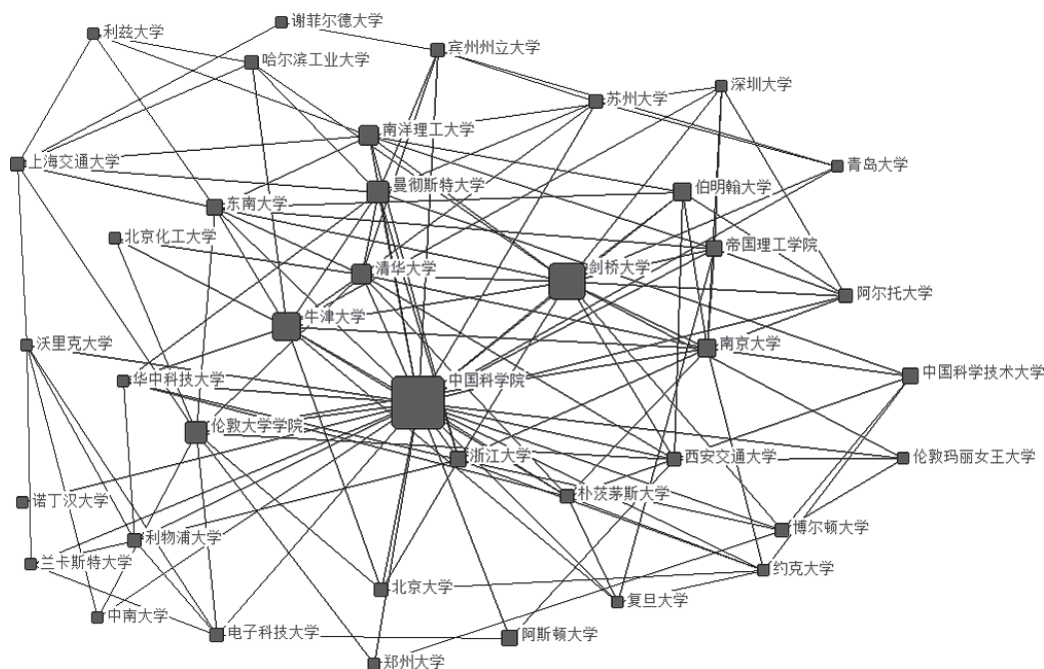


图3 中英石墨烯领域科研机构合作网络图

进行了多次合作交流。总体来说,中英两国机构之间的合作主要还是集中在发文量排名靠前的10家机构,这也说明机构之间的合作有助于机构的科技论文产出。

3.4 基金支持

在中英合作的327篇论文中,有296篇论文获得了两国各类基金的资助,资助率高达90.52%,为了详细了解中英两国科研计划的资助情况,笔者对资助机构或基金计划的名称字段进行了清洗,并列出了资助论文数超过10篇的机构名称,如表4所示。受中国资助的中英合著论文主要有6项基金资助计划,分别是国家自然科学基金、国家重点基础研究发展计划(“973计划”)、中央高校基本科研业务专项资金资助计划、国家留学基金、中国博士后科学基金会和国家高技术研究发展计划(“863计划”)。其中国家自然科学基金是中国最大的项目资助计划,资助论文数量223篇,比例高达68.20%。

英方最大的资助机构为英国工程与自然科学研究理事会(EP SRC),有58篇,其次为英国皇家学会(Royal Society),有32篇。此外,欧盟委员会也陆续启动了多项有关石墨烯的资助项目,如石墨烯旗舰项目、石墨烯物理性能和应用研究项目

等。其中,欧洲研究理事会(ERC)、欧盟FP7研究框架计划、欧洲科学基金会是重要的项目资助来源。中英两国有关石墨烯领域的资助项目大多来源于国家层面的大型项目计划,说明两国政府都非常重视石墨烯领域的发展,对于该领域的研究给予了很大的经费支持。

3.5 学科分布

为了研究石墨烯领域中英合著论文的研究方向,本文使用SCI数据库中提供的学科类别(SC)字段来分析中英合著论文的学科分布情况。中英合著的327篇论文共分布在21个学科类别下,其中化学和材料科学是两国合作的热门学科,相关论文数量占论文总数的比例分别为50.77%和47.10%,也是中英两国的重点合作领域。

国家之间科技合作最频繁、最紧密的领域首先集中在双方共同的优势特色领域,其次是其中一方的优势特色领域,两国各自的弱势研究领域之间很少进行合作交流^[7]。如表5所示,中英两国各自在石墨烯领域发文量排在前10位的学科类别与中英合作的热点学科几乎完全重合,两国发文量排名前三的学科完全一致,其中,化学是中国论文数最多的优势学科,物理学是英国发文量的优势学科。可以发现,中英两国合作的热点是中两国共同的优势

表 4 主要资助计划(机构)资助情况

基金资助机构	论文数(篇)
国家自然科学基金	223
国家“973计划”	69
英国工程和自然科学研究委员会	58
中央高校基本科研业务专项资金资助	56
欧盟 ^①	72
英国皇家学会	32
中国国家留学基金	20
中国博士后科学基金会	19
英国皇家工程学院	16
国家“863计划”	11

学科。

4 结论

自 2005 年起, 石墨烯领域受到各国学者的广泛关注, 相关论文数量不断增长。同时, 各国政府也将石墨烯技术及其产业化发展作为长期战略目

标, 启动和资助了一系列科研计划和项目^[8]。本文从科技论文合著的角度分析中英两国在石墨烯领域的科技合作关系。通过对中英两国合著论文分析, 可以得出以下结论:

(1) 从论文数量上来看, 石墨烯技术正处于快速发展阶段, 中英两国合著论文数量逐年增长, 特别是 2013 年以后, 合著论文数量开始呈现指数增长趋势, 中英两国之间的合作日益紧密, 英国已经成为我国石墨烯领域的重要合作伙伴国。

(2) 从研究机构来看, 目前中英两国之间的合作主要集中在两国知名度较高的大学和科研院所, 普通科研机构之间的合作交流较少, 双方还未进行大范围的科研合作。

(3) 从论文资助情况来看, 中英两国合著论文的基金资助率高达 90.52%, 且资助机构和基金计划大多是两国重点科技资助计划, 如中国的国家自然科学基金、“973 计划”, 英国工程与自然科学研究理事会资助计划。两国政府针对石墨烯研究启动了多项的科研资助计划, 说明中英两国对石墨烯领域的重视, 这为两国科研人员的合作提供了大力支持。

(4) 从学科分布情况来看, 中英合著论文学科分布广泛, 且大多集中在两国共同的优势学科, 其中化学、物理学、材料科学是双方合作的热门学

表 5 中英两国及合著论文位居前 10 位的学科

排名	中英合著论文		中国论文		英国论文	
	学科类别	论文数	学科类别	论文数	学科类别	论文数
1	化学	166	化学	16 306	物理学	1 350
2	材料科学	154	材料科学	11 699	化学	1 051
3	物理学	112	物理学	9 199	材料科学	983
4	科技其他学科	108	科技其他学科	6 858	科技其他学科	760
5	工程学	24	电化学	3 272	工程学	122
6	光学	22	能源燃料	2 211	光学	93
7	能源燃料	15	工程学	1 618	电化学	55
8	电化学	11	高分子科学	767	能源燃料	48
9	高分子科学	5	光学	737	高分子科学	33
10	环境生态科学	3	生物物理学	538	生物化学及分子生物学	16

^①欧盟包括欧洲研究理事会(ERC)、欧盟 FP7 研究框架计划、欧洲科学基金会等资助计划和基金组织。

科领域，相关论文数量均超过 100 篇。

总体来说，中英两国在石墨烯领域都具有一定的研发实力，与英国进行合作研究，有助于提升我国在石墨烯领域的论文影响力和科研水平。我国要保持与英国之间的科技合作，在合作交流中充分利用英国在石墨烯领域的研究基础和经验，不断提高中国科研机构在双方科技合作中的主导地位，鼓励更多的大学和科研院所与英国相关机构进行合作交流。

同时，为了推动石墨烯领域商业化发展，中国政府应该推行相应的计划或政策，推动科研人员进行石墨烯应用研究，加强中英两国企业之间的合作交流。2015 年 10 月 23 日，华为宣布与曼彻斯特大学合作开展华为创新研究计划(HIRP)旗舰项目，研究石墨烯及相关的平面材料，以共同开发信息通信领域的前沿技术。该项目合作期初定为两年，研究重点是将石墨烯领域的突破性成果应用于消费电子产品和移动通信设备。预计未来，中英两国在石墨烯领域将不断开展多角度的合作，实现真正意义上的“双赢”。■

参考文献：

[1] 郑焕斌. 中英科技合作前景广阔 [N/OL]. 科技日报, 2015-10-19 (2) [2016-4-15]. http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2015-10/19/content_320246.htm?div=-1.

[2] 外交部. 中国同英国关系 [EB/OL].(2015-8-31)[2016-4-25]. http://www.fmprc.gov.cn/web/gjhdq_676201/gj_676203/oz_678770/1206_679906/sbgx_679910/.

[3] 朱宏伟. 石墨烯：单原子层二维碳晶体——2010 年诺贝尔物理学奖简介 [J]. 自然杂志, 2010 (6) : 326-331.

[4] 人民网. 石墨烯研究缘何被习近平关注? [EB/OL]. (2015-10-24) [2016-4-15]. <http://politics.people.com.cn/n/2015/1024/c1001-27735173.html>.

[5] 郑焕斌. 习近平参观曼彻斯特大学国家石墨烯研究院 [N/OL]. 科技日报, 2015-10-24 [2016-4-5]. http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2015-10/24/content_320917.htm?div=-1.

[6] 金炬, 武夷山, 梁战平. 国际科技合作文献计量学研究综述——《科学计量学》(Scientometrics) 期刊相关论文综述 [J]. 图书情报工作, 2007 (3) : 63-67.

[7] Z Michel, B Elise, O Yoshiko. Shadows of the past in international cooperation: Collaboration profiles of the top five producers of science[J]. Scientometrics, 2000(47): 627-657.

[8] 汤天波, 王冰. 国际石墨烯技术与产业发展态势研究 [J]. 全球科技经济瞭望, 2014 (9) : 46-50.

SCI Co-authorship Analysis of Graphene field between China and UK

ZHOU Xiao-dan, ZHAO Jun-jie

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

Abstract: Based on 327 co-authored articles in Graphene field published during 1990–2015 and collected by the SCI-E in the China and UK, this paper analyzes its time series, cooperation institutions, subject distribution and Foundation, reveals the features of science and technology (S&T) cooperation between China and UK. The study shows there are obvious growth in the quantity of China and UK co-authored articles 90.52% of which are supported by the major projects of the two countries, and the hotspots are mainly concentrated in the field of chemistry, materials science and physics. The cooperation in Graphene field between China and UK plays an important role in promoting China's output of scientific articles and commercial development of Graphene.

Key words: China; UK; Graphene; SCI article; Science and technology cooperation