

我国距全球科学中心还有多远? ——基于 *CELL*、*NATURE* 和 *SCIENCE* 期刊文章的计量分析

张振伟¹, 黄 露¹, 谭 龙², 陶晓丽¹

(1. 北京市科学技术研究院, 北京 100089; 2. 中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 基于 2010—2019 年国际期刊 *Cell*、*Nature* 和 *Science* 论文数据, 采用科学计量学和社会网络分析方法, 从国家和城市(区域)两个空间视角进行比较分析, 测算得到我国与全球科学中心的距离。研究发现: 我国与美国之间“量的距离”和“质的距离”均在快速缩小, 但是“质的距离”仍然较大, 在科学合作网络中还处于相对边缘的位置。基于此提出对策建议。

关键词: 科学中心; CNS 论文; 科学合作网络; 科学人才; 科学机构

中图分类号: G31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2022)06-0001-20

How Far Is China from Global Science Center ——Based on the Quantitative Analysis of Published Papers in the World's Top Journals of *Cell*, *Nature* and *Science*

ZAHNG Zhenwei¹, HUANG Lu¹, TAN Long², TAO Xiaoli¹

(1. *Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100089, China;*

2. *China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China*)

Abstract: This study estimates the distance between our country and global science centers from both perspectives of country-level and city (region)-level with scientometrics and social network analysis methods based on the data published in the World's Top Journals of *Cell*, *Nature* and *Science* during the period of 2010–2019. The result shows that, both “Quantity Distance” and “Quality Distance” between China and the United States are shrinking rapidly, but the “Quality Distance” is still large. China is still at a relatively marginal position in the global scientific network, and recommendations for improving the current situation have been raised accordingly.

Key words: science center; CNS articles; scientific collaboration network; scientific talent; scientific institutions

2018 年 5 月 28 日, 习近平总书记在中国人民大会堂上提出, 中国要强盛、要复兴, 就一定要大力发展科学技术, 努力成为世界主要科学中心和创

收稿日期: 2021-11-29 修回日期: 2022-04-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(L1824053); 北京市科学技术研究院 2021 年培育项目“全球城市创新资源与经济绩效协同性研究”。

作者简介: 张振伟(1980—), 男, 山东济宁人, 北京市科学技术研究院创新发展战略研究所副研究员, 研究方向为创新评价、科技统计、科技政策。

新高地^[1]。成为世界科技强国,成为世界主要科学中心,就必须拥有一批世界一流的科研机构和研究型大学,能够持续涌现一批重大原创性科学成果。为建设成为世界科技强国,国家先后布局建设北京怀柔、上海张江、合肥和粤港澳大湾区 4 个综合性国家科学中心,期望突破一批重大科学难题和前沿科技瓶颈,引领我国基础研究水平的快速提升,推动我国向全球科学中心进军。历史上,科学中心的形成一般需要一个较长的时间过程,在经济社会文化等条件具备的情况下,逐步发育成长,先成为区域性科学中心,而后逐渐突破成为全球科学中心。那么,我国的科学研究实力在全球究竟处于什么位置?我国距全球科学中心还有多远?是很多人士共同关心的问题,本文尝试从科学论文成果的角度对此问题进行探讨。

一、文献综述

(一)关于科学中心的研究

科学中心即科学活动中心,它并非是一个崭新的概念。关于科学中心的讨论最早可追溯到 1954 年,英国物理学家贝尔纳(1959)^[2]首次阐述了科学活动中心思想。在此基础上,1962 年,日本科学史学者汤浅光朝(1962)^[3]首次对世界科学活动中心进行量化界定,即一个国家的科学成果如果超过同期内全世界科学成果的 25%,则该国可视为该时期的世界科学活动中心,并根据这一标准,认为近现代世界科学活动中心发生了 5 次大的转移,其路径为:意大利—英国—法国—德国—美国。1974 年,我国著名科学计量学家赵红州(1984)^[4]独立发现了科学活动中心转移现象。之后,国内学者开始关注科学活动中心转移现象。总体而言,我国学者对科学活动中心的研究主要有两个路径:一是定量研究,应用统计方法研究科学活动中心及其转移现象。冯焱等(2000)^[5]、姜春林等(2010)^[6]提出多科学活动中心现象。二是定性研究,研究科学活动中心形成的模式和影响因素。武龙等(2001)^[7]通过分析英国成为世界科学活动中心的进程,概括出世界科学中心形成的一般模式。吕有勇(2014)^[8]通过分析科学中心的

历史转移过程,提出科学中心形成的基本成因。

(二)关于我国在世界科学中的位置研究

科学是经济社会发展的重要推动力量,自工业革命以来,西方国家对科学的重视程度不断提升,尤其是 20 世纪以来,经济发达国家及部分发展中国家争相加强科学研究的资源投入,以获取在科学研究领域的快速进步,占领科学制高点。为观察我国科学发展在世界中的位置,国内学者从不同视角开展了大量研究,得出颇多有意义的结论。刘小鹏等(2006)^[9]、马艳艳等(2009)^[10]分别通过对 2001—2005 年、1991—2006 年我国科研机构在 *Nature* 和 *Science* 期刊上发表的论文进行统计,得出国际合作论文中我国科研机构作为第一著作单位的比重较低,说明我国科研机构在高水平国际合作中处于从属地位。周海花等(2012)^[11]通过对 1978—2010 年我国科研机构在 *Nature* 和 *Science* 上发表的论文进行分析,得出中国科学院处于合作网络的中心位置,与国内外机构建立了密切联系。朱强等(2014)^[12]基于 2004—2013 年 *Cell*、*Nature* 和 *Science* 论文数据,统计分析了我 国基础科学研究最近 10 年来成果的质量、水平及国际地位的变化,认为我国基础研究取得了较为明显的进步,但与美国等发达国家相比还存在较大差距。赵蓉英等(2016)^[13]从发文量、核心作者、发文机构、文献被引情况及研究主题等角度,对 2000—2015 年我国学者在 *Cell*、*Nature* 和 *Science* 期刊上发表的论文进行计量分析,认为与美国、英国等发文量大国相比,我国仍有很大的提升空间。大部分研究从国家层面开展对比分析,还相对缺少城市(区域)空间尺度的研究。

(三)关于科学合作网络的研究

随着科学研究的不断深入,科学合作日渐成为科学研究的主流,大大推动着科学的发展。科学中心,在全球科学合作网络中起主导作用、居于核心位置。从科学合作网络视角,可以分析不同国家、城市(区域)在科学合作网络中的位置。Beaver 等(1978)^[14]提出科学专业化分工是合作网络研究的起源。Newman(2004)^[15]从论文数量、合作人数分布规律、网络节点平均距离等方面研究了科学合作

网络,提出计算合作网络权重的具体方法,由此估算出合作强度的大小。近年来,对于科学合作网络的研究主要有两种路线:一是宏观角度的对于整个网络的研究,二是微观角度的研究节点与其他节点产生的链接关系^[16]。而研究科学合作网络的方法主要有聚类(cluster)^[17]、图谱(mapping)^[18]、网络分析(network analysis)^[19]等。

研究我国距离全球科学中心的距离,需要解决3个关键问题:一是如何衡量全球科学中心?二是如何评价距离科学中心的距离?三是选择什么样的数据?关于第一个问题,汤浅光朝(1962)^[3]、赵红州(1984)^[4]等利用大时间跨度的历史科学成果数据测度科学中心及其转移变化,研究得出世界科学中心的转移现象和规律,对于认识科学中心变迁做出了重要贡献。然而,当前科学发展日新月异,历史上科学发展的速度与今日相比,已不可同日而语,需要跟踪新时期短时间跨度内科学发展的空间特征及其变化,由此可以寻找科学中心发展趋势的隐含线索,认识我国在世界科学发展中的位置变化。关于第二个问题,选择什么样的方法评价距离科学中心的距离?“科学中心”研究者们选择科学计量学方法,分析不同国家在不同时期科学成果的比例,判断科学中心的位置及变化;“科学合作网络”研究者们选择社会网络分析法,分析不同国家或城市(区域)在世界科学论文合作网络中的位置,认识国家或城市(区域)在世界科学发展中的作用。不同的方法选择,形成不同的认识观点,若将二者结合,则可以从两个不同的角度更加深刻地认识不同国家或城市(区域)的科学发 展位置及其变化。由此进入到第三个问题,选择什么样的数据进行分析?历史重大科学成果难以获取科学合作的数据,而高层次科学论文既可以代表当今重大科学成果,具有及时性、客观性,也可以满足科学计量和社会网络分析的要求,因此可以选择利用高层次科学论文数据。

二、研究数据与方法

(一)数据选择与处理

科学论文是科学研究产出的主要形式之一,一

个国家或城市(区域)的研究机构发表论文的情况,尤其是在国际高水平期刊上发表论文的数量通常可以反映其科学研究水平和能力,经常作为定量判断的一个标志。

Cell、*Nature*、*Science*(简称CNS)是国际上公认的三个享有最高学术声誉的科学期刊,是众多前沿科学成果发表的必争之地。根据《期刊引证报告》(JCR 2020),*Cell*的影响因子高达38.637,位列BIOCHEMISTRY & MOLECULAR BIOLOGY领域第一位。*Nature*、*Science*的影响因子分别为42.778、41.845,位居MULTIDISCIPLINARY SCIENCES领域第一和第二位。Schlagberger等(2016)^[20]研究了1994—2014年诺贝尔奖获得者信息特征,发现95%以上的诺贝尔奖成果以科学论文的形式发表,并且主要发表于*Nature*、*Science*、*Cell*、*Physical Review Letters*等期刊。发表在CNS上的论文,无论是科学意义、科学突破性、学术水平,还是其影响力,都非常重大且具有世界水平。3种期刊年论文发表数均相对稳定,各国在这3种期刊上发表论文表现为竞争态势。2019年,发表在*Cell*、*Nature*、*Science*上的论文数分别为393篇、890篇、710篇。与其他论文数量指标相比,CNS论文数量更能反映原始创新能力的高低。

本文数据来自Web of Science数据库,以3种期刊的规范名称作为检索式,论文发表时间为2010—2019年,文章类型为Article,数据检索时间为2020年4月20日。共得到有效检索记录19605条。检索结果下载到本地后,对每篇文章的作者地址进行手工清理,获得国家、城市(区域)信息。由于各国行政区划的方式及标准不同,为便于计算,国内区域以省级行政区为单元(未将香港、澳门和台湾纳入分析范围),国外区域以城市为单元。

(二)研究方法

1. 科学计量学方法

本文以在3种国际期刊上的论文发表数,即CNS论文数来反映科学研究原创性成果的产出情况,分析国家及城市(区域)科学成果产出的差异及变化。

科学合作是基础研究的一个重要特征,合作发表论文是普遍现象。对于合著论文,一般有 3 种计数方法:一是全计数法(integer counting),即对于 N 位作者合著的同一篇论文,每位作者都算完成了一篇^[21]。全计数的优点是能够假设其他条件不变,缺点是各部分百分比相加不等于 100^[22]。若从空间角度考虑,此计数方法对科学“大城市”相对有利,原因是其能够参与更多的国家间、区域间合作^[23]。二是分数计数法(fractional counting),即对于 N 位作者合著的同一篇论文,每位作者计算为发表的 1/N 篇^[21]。此种方法的优点是各个国家或城市(区域)的科学论文数据可以相加,不存在重复计数问题。在实际应用中,不同学者根据研究目的不同,采用作者、城市或国家等权重的处理方式,如 Bornmann 等(2017)^[24]研究不同国家的前沿科学论文贡献,对每篇合著论文中出现的国家等权重计数,尽管一篇论文中可能有两个及以上的作者来自同一个国家,该国家也只计为 1/N 篇。三是第一作者计数法(first author counting),即只对第一作者计数,不考虑其它合作者贡献,第一作者通常是带领开展研究并写作论文的人,对研究工作做出的贡献最大^[25]。

综合考虑以上方法的优缺点,结合本研究的目的和条件。本文选择全计数法和分数计数法进行研究:①全计数法,不对论文合作署名进行顺序上和贡献上的区分,如 1 篇文章,对于任何署名地区均计为 1 篇;同一论文重复出现同一地名的,对于某地区而言只计算 1 篇。②分数计数法,对论文合作署名进行顺序和贡献上的区分,如 1 篇论文,对于第一作者地区计为 0.5 篇,其他作者地区等权重平分 0.5 篇,同一论文重复出现同一地名的可以按照权重相加。

本文以发表 CNS 论文数最多的国家/城市(区域)为标杆,通过计算其他国家/城市(区域)与标杆国家/城市(区域)发表 CNS 论文的差距,来衡量与标杆国家/城市(区域)的距离。计算方式为:

$$D_1 = \frac{C_1 - C_2}{C_2} \quad (D_1 \geq 0) \quad (1)$$

其中, C_1 为标杆国家/城市(区域)发表 CNS 论文数; C_2 为其他国家/城市(区域)发表 CNS 论文数。 D_1 值越大,说明与标杆国家/城市(区域)的差距越大。

2. 社会网络分析法

社会网络分析法(Social Network Analysis, SNA)是 20 世纪 60 年代由社会学者 H. White 等根据数学和图论推导出来的分析方法,通过对社会网络中节点关系的量化,挖掘网络节点之间的潜在关系,分析节点在网络中的地位 and 影响力。衡量网络中节点地位和影响力的指标有度中心度和中介中心度等。

度中心度(Degree Centrality)用来衡量网络中某节点与其他节点直接关联程度,表示一个节点在网络中的地位,数值越大表示地位越高。中介中心度(Between Centrality)测量节点对于创新网络中其他节点的控制能力,数值越大说明控制能力越强,越能起到发挥“桥梁”或“枢纽”的作用^[26]。本文从两个角度分析国家/城市(区域)之间的差距:一是度中心度差距,二是中介中心度差距。

以度中心度最大的国家/城市(区域)为标杆,通过计算其他国家/城市(区域)的度中心度与标杆国家/城市(区域)的差距,来衡量与标杆国家/城市(区域)的距离。计算方式为:

$$D_2 = \frac{DC_1 - DC_2}{DC_2} \quad (D_2 \geq 0) \quad (2)$$

其中, DC_1 为标杆国家/城市(区域)的度中心度; DC_2 为其他国家/城市(区域)的度中心度。 D_2 值越大,说明与标杆国家/城市(区域)的差距越大。

以中介中心度最大的国家/城市(区域)为标杆,通过计算其他国家/城市(区域)的中介中心度与标杆国家/城市(区域)的差距,来衡量与标杆国家/城市(区域)的距离。计算方式为:

$$D_3 = \frac{BC_1 - BC_2}{BC_2} \quad (D_3 \geq 0) \quad (3)$$

其中, BC_1 为标杆国家/城市(区域)的中介中心度; BC_2 为其他国家/城市(区域)的中介中心度。

度。 D_3 值越大,说明与标杆国家/城市(区域)的差距越大。

对于社会网络分析,本文采用全计数法处理合作论文数据,使用 UCINET 软件做中心度分析,使用 Pajek 软件制作合作网络图。

三、科学计量视角分析

(一)我国与全球科学中心国家之间的距离快速缩小

美国处于全球科学中心位置,并具有绝对优势。对发表 CNS 论文数在全球排名靠前的国家进行对比分析(见表 1),2010—2019 年,运用分数计数法和全计数法,美国年均 CNS 论文数分别为 1068.5 篇和 14367 篇,遥遥领先于其他国家。同期,分数计数法计量结果显示,德国、英国年均 CNS 论文数分别为 140.2、138.9 篇,我国 2010 年发表 CNS 论文 41.2 篇,2019 年增长至 153.3 篇,年均 CNS 论文数为 80 篇。全计数法计量结果显示,德国、英国年均 CNS 论文数分别为 364 篇、353 篇,我国 2010 年发表 CNS 论文 108 篇,2019 年增长至 330 篇,年均 CNS 论文数为 195 篇。从全球占比看,分数计数法计量结果显示,2010—2019 年,美国发表 CNS 论文数占全球的比重稳定在 50% 以上,我国占全球的比重由 2.2% 提高至 7.7%,年均增长速度 15.7%;2019 年,我国发表 CNS 论文数超过德国和英国,全球排名第 2 位。全计数法计量结果显示,美国占全球的比重稳定在 70% 以上,我国占全球的比重由 5.7% 提高至 16.6%,年均增长速度 13.2%;2017 年以来,我国发表 CNS 论文数超过法国,全球排名第 4 位。

在两种不同的计数方法下,美国均居全球首位,而我国的位次有所不同。在分数计数法下,2019 年我国仅次于美国,居第二位;在全计数法下,我国位列美国、德国和英国之后,居第四位。存在这种差异的主要原因是,我国学者作为第一作者发表 CNS 论文的数量在快速增加,从 2010 年的 35 篇,增加到 2019 年的 160 篇。同期,德国从 124 篇增加到 158 篇,英国、日本、法国、加拿大呈下降趋势,分别从 151、85、62、50 篇减少到 145、59、46、38 篇。

表 1 主要科学国家发表 CNS 论文数量

国家	分数计数法			国家	全计数法		
	2010	2019	2010—2019		2010	2019	2010—2019
美国	1087.8	1021.7	10684.5	美国	1382	1470	14367
中国	41.2	153.3	798.5	德国	303	424	3636
德国	126.7	151.6	1402.3	英国	330	388	3528
英国	139.3	131.6	1389.1	中国	108	330	1948
瑞士	42.3	73.5	566.4	法国	193	222	2106
日本	92.8	68.8	680.1	瑞士	125	214	1601
法国	67.3	53.4	644.8	日本	175	206	1640
加拿大	52.2	43.5	467.0	加拿大	155	176	160

我国与美国之间的差距正在快速缩小,从第三方阵靠后位置,进入第二方阵行列。以发表 CNS 论文数最多的美国为标杆,按照式(1)测算其他国家与美国之间的差距(见图 1)。在分数计数法情况下,2010—2019 年法国、日本、加拿大与美国之间的差距在增加,德国、中国、瑞士与美国之间的差距在缩小;我国与美国之间的差距缩小幅度较大,由 25.39 缩小至 5.67。如果将这五个主要科学国家与美国的差距水平进行分类,德国、英国与美国之间的差距稳定在 10 以内,处于第二方阵(美国独自处于第一方阵),日本、法国、瑞士、加拿大与美国之间的差距在 10~30 之间,处于第三方阵;我国从第三方阵的边缘位置逐步发展进入到第二方阵位置。在全计数法情况下,2010—2019 年其他国家与美国之间的差距均呈缩小趋势,只是缩小的幅度不同。我国与美国之间的差距缩小幅度最大,由 11.8 缩小至 3.45。如果将这五个科学国家与美国之间的差距水平进行分类,德国、英国与美国之间的差距稳定在 4 以内,处于第二方阵(美国独自处于第一方阵),日本、法国、瑞士、加拿大与美国之间的差距在 4~13 之间,处于第三方阵;我国从第三方阵的边缘位置逐步发展进入到第二方阵位置,这与分数计数法情景下的结果相似。在分数计数法情景下,主要科学国家与美国之间的距离大于全计数法情景下测算得到的距离,说明与科学论文产出规模相比,其他国家在科学论文产出质量方面与美国之间的差距更大。这也在一定程度上反映出美国高质量科研产出的优势仍比较明显。相较于其他国家,无论从产出规模角度,还是产出质量角度,我国与美国之间的差距缩小幅度均较大,显示出我国在前沿基础研究领域处于快速发展的轨道。

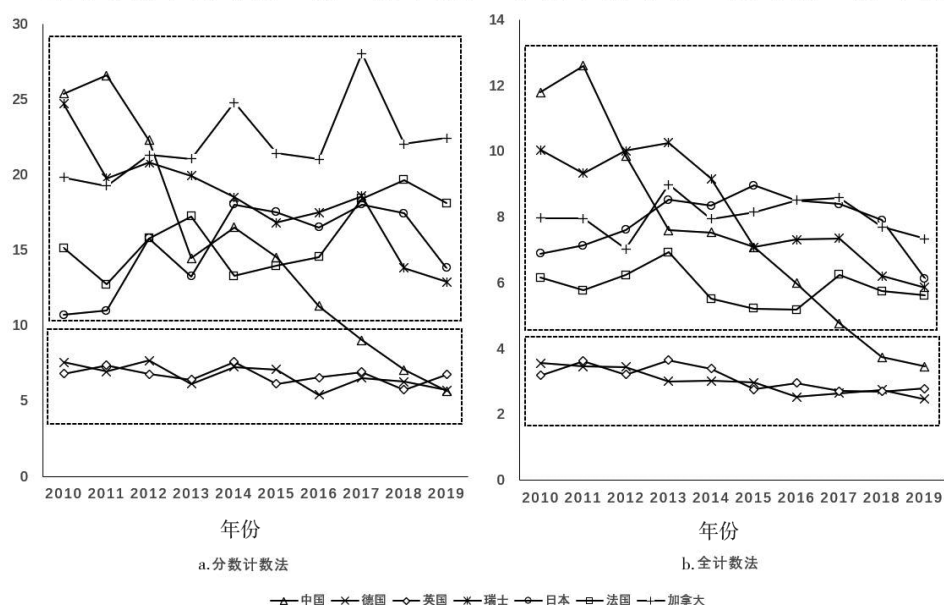


图1 主要科学国家与美国之间的差距(2010—2019 年)

(二)我国城市(区域)与全球科学中心城市(区域)之间的距离持续缩小

我国城市(区域)发表 CNS 论文数持续增长。分数计数法计量结果显示,2019 年北京、上海、广东、安徽发表 CNS 论文数分别为 61.9、25.7、9.6、7.5 篇。全计数法计量结果显示,2019 年北京、上海、广东、安徽发表 CNS 论文数分别为 153、91、55、27 篇。从时间维度看,2010—2019 年,北京和上海发表 CNS 论文数持续增加,且稳居全国第一和第二位。同期,广东、浙江、安徽等区域发表 CNS 论文数稳定增长。

美国科学研究的城市群优势显著,城市集中度相对较低;我国及其他主要国家科学研究城市的集中度相对较高,一般集中于少数核心城市。基于分数计数法,对 2019 年发表 CNS 论文数全球前 20 的城市进行分析,美国城市 14 个,其中波士顿和纽约位居全球第一、二位,CNS 论文数占美国的比重分别为 18.1%、8.5%,其次为帕罗奥多(6.6%)、旧金山(4.3%)、伯克利(4%)等城市。中国和英国城市各 2 个,分别为北京和上海,剑桥和伦敦,2019 年这 4 个城市发表 CNS 论文数占本国的比重分别为 40.4%、16.8% 和 30.8%、22.2%。瑞士、法国城市各 1 个,分别为苏黎世、巴黎。这两个城市发表 CNS 论文数占本国的比重分别为 44%、36.2%。基于全计数法,对 2019 年发表 CNS 论文

数全球前 20 的城市进行分析,美国城市 11 个,其中波士顿和纽约稳居全球第一、二位,占美国的比重分别为 28.2% 和 14.6%,其次为帕罗奥多(11.1%)、旧金山(8.8%)、圣迭戈(8.6%)、伯克利(8.4%)等城市。英国城市 3 个,分别为剑桥、伦敦和牛津,占英国的比重分别为 33%、33%、24.5%。中国城市 2 个,分别为北京和上海,占中国的比重分别为 46.4% 和 27.6%。瑞士、法国、日本和德国城市各 1 个,分别为苏黎世、巴黎、东京和柏林,占本国的比重分别为 49.1%、37.8%、38.8%、17.7%。

相比于全计数法,在分数计数法下美国城市表现出更强的竞争力。基于全计数法,牛津、东京、柏林均进入前 20 位,而在分数计数法下,这 3 个城市退至第 24 名、第 22 名、第 28 名,而美国的纽黑文、普林斯顿和达拉斯 3 个城市则进入前 20 位。2019 年纽黑文、普林斯顿、达拉斯以第一作者发表 CNS 论文数多于牛津、东京和柏林,在分数计数法下能够获得更高的分数。

波士顿、纽约在全球城市中处于科学中心位置。分数计数法计量结果显示:2019 年,波士顿、纽约发表 CNS 论文数分别为 184.8、87.1 篇,占全球的比重分别为 10.4%、4.9%,位居全球前两位;同期北京、上海分别为 61.9、25.7 篇,2010—2019 年,北京占全球的比重从 1.2% 提高到 3.5%,全球排名从第 16 名提升至第 4 名;上海占全球的比重

从 0.2% 提高到 1.4%, 从第 102 名提升至第 12 名。全计数法计量结果显示: 波士顿、纽约发表 CNS 论文数分别为 414、214 篇, 占全球的比重分别为 20.8%、10.7%, 位居全球前两位; 同期北京、上海分别为 153、91 篇, 2010—2019 年, 北京占全球的比重从 2.4% 提高到 7.7%, 全球排名从第 25 位提升至第 4 名; 上海从 0.3% 提高到 1.1%, 从第 96 名提升至第 13 名。我国广东、浙江、江苏和安徽四个区域位列上海之后, 虽然这 4 个区域的研究经费投入数量在快速增长, 且规模较大, 形成了部分研究优势学科领域, 但在基础研究的前沿领域, 与国际领先区域仍有不小的差距(见表 2)。

表 2 2019 年全球发表 CNS 论文前 20 位的城市(区域)

国家	分数计数法	全计数法
美国	波士顿; 纽约; 帕罗奥多; 旧金山; 伯克利; 圣迭戈; 西雅图; 洛杉矶; 纽黑文; 帕塞迪纳; 普林斯顿; 芝加哥; 费城; 达拉斯	波士顿; 纽约; 帕罗奥多; 旧金山; 圣迭戈; 伯克利; 西雅图; 洛杉矶; 芝加哥; 费城; 帕塞迪纳
英国	剑桥; 伦敦	剑桥; 伦敦; 牛津
中国	北京; 上海	北京; 上海
瑞士	苏黎世	苏黎世
法国	巴黎	巴黎
日本	—	东京
德国	—	柏林

以发表 CNS 论文数最多的波士顿为标杆, 按照式(1)测算其他城市(区域)与波士顿之间的差距, 即 D_i 值。结果显示, 2010—2019 年, 纽约、剑桥、伦敦等城市与波士顿之间的差距在扩大, 北京、上海、广东等城市(区域)与波士顿之间的差距在缩小。基于分数计数法, 2010—2019 年, 北京、上海、广东与波士顿之间的差距分别由 6.33、35.2、52.64 缩小到 1.99、6.19、18.22。同期, 纽约、剑桥、伦敦与波士顿的差距分别由 0.91、2.87、3.71 扩大到 1.12、3.54、5.32。基于全计数法, 2010—2019 年, 北京、上海、广东与波士顿之间的差距分别由 5.2、15.76、22.75 缩小到 1.71、3.55、6.53。同期, 纽约、剑桥、伦敦与波士顿的差距分别由 0.77、1.64、2 扩大到 0.93、2.23、2.23。基于分数计数法, 2010—2019 年我国北京、上海、广东、浙江、江苏、安徽发表 CNS 论文的增速分别为 13%、22.4%、14.6%、24.2%、19.2%、33.3%; 纽约、帕罗奥多、圣迭戈分别为 1.1%、4.9%、0.9%。基于全计数法, 2010—2019 年我国北京、上海、广

东、浙江、江苏、安徽发表 CNS 论文的增速分别为 14.3%、20.5%、18.4%、19.9%、20.7%、23.6%; 纽约、帕罗奥多、圣迭戈分别为 3.2%、5.3%、2.3%。可以看出, 我国主要城市(区域)的 CNS 论文发表数量处于快速增长时期, 这是我国基础研究投入持续增长、研究不断积累的结果。随着我国新一批重大科技基础设施的逐步建成运行, 以及国家战略科技力量的不断壮大, 这种差距还将进一步缩小(见表 3)。

表 3 全球发表 CNS 论文前 20 位的城市及我国主要城市(区域)与波士顿之间的差距

变量	城市/区域	分数计数法		城市/区域	全计数法	
		2010	2019		2010	2019
全球前 20 名城市(区域)	纽约	0.91	1.12	纽约	0.77	0.93
	帕罗奥多	2.46	1.74	帕罗奥多	1.79	1.54
	北京	6.33	1.99	北京	5.20	1.71
	旧金山	2.70	3.19	旧金山	2.35	2.18
	剑桥	2.87	3.54	剑桥	1.64	2.23
	伯克利	3.69	3.55	伦敦	2.00	2.23
	圣迭戈	2.39	4.37	圣迭戈	1.77	2.29
	苏黎世	8.27	4.76	伯克利	2.24	2.37
	伦敦	3.71	5.32	西雅图	2.61	2.94
	西雅图	4.42	6.06	苏黎世	4.70	2.94
	上海	35.20	6.19	牛津	3.60	3.36
	洛杉矶	3.82	6.61	上海	15.76	3.55
	纽黑文	4.12	6.77	洛杉矶	2.70	3.87
	帕塞迪纳	4.86	7.25	巴黎	2.80	3.93
	普林斯顿	9.03	7.46	芝加哥	4.70	3.99
	芝加哥	7.84	7.53	东京	2.43	4.18
	费城	6.13	8.09	费城	4.94	4.52
	巴黎	6.74	8.55	柏林	5.33	4.52
	达拉斯	11.49	8.80	帕塞迪纳	2.90	4.59
我国主要城市(区域)	浙江	104.01	17.28	广东	22.75	6.53
	广东	52.64	18.22	江苏	30.67	7.45
	江苏	96.47	23.56	浙江	34.63	9.10
	安徽	269.31	23.82	安徽	70.25	14.33

四、科学合作网络视角分析

2014 年是我国科技创新发展史上具有重要里程碑意义的一年。在这一年, 习近平总书记分别考察北京、上海, 提出建设科技创新中心的全新要求。2016 年, 国务院相继发布了北京、上海建设科技创新中心的方案, 国家发展改革委、科技部等陆续批复了上海张江、安徽合肥和北京怀柔建设综合性国家科学中心, 一系列科技创新战略、改革政策、重大项目等陆续推出, 国家和区域科学发展进入新的阶段。为考察科技创新中心目标提出后高水平科学研究的变化情况, 认识我国科学研究实力在全球的位置变化, 本文选择以 2014 年年底为

时间分界点,前后各设计 5 年的时间段,即 2010—2014 年和 2015—2019 年,分析比较两个时间段的发展变化特征。

(一)在全球科学合作网络中,我国与全球科学中心国家仍有较大的差距

美国在全球科学合作网络中居于绝对中心地位,我国正在向次中心位置方向发展。对两个时

段国家间 CNS 论文合作网络进行分析。结果显示:美国的度中心度分别为 132、168,中介中心度分别为 1273、744,均在世界中位居第一,是全球 CNS 论文合作网络的中心。英国、德国、法国位居全球前列,在全球 CNS 论文合作网络中处于重要位置。我国两个指标排名相对靠后,但正逐渐向次中心位置方向发展(见图 2)。

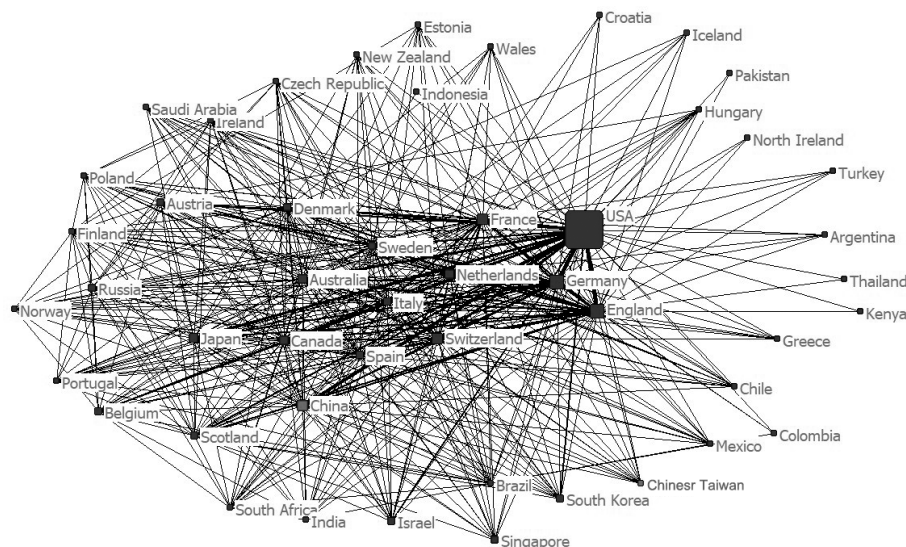


图2 CNS 论文国家和地区合作网络(2015—2019 年)

注:合作数 ≥ 20 ,点大小表示论文数。

我国与美国在科学合作网络中的作用和影响力方面仍存在不小的差距。以度中心度和中介中心度最高的美国为标杆,根据式(2)和式(3)计算其他国家与美国在度中心度和中介中心度方面的差距,即 D_2 值和 D_3 值(表4)。结果显示,德国、英国、中国等国家与美国之间的差距均在缩小。与2010—2014年相比,2015—2019年我国与美国之间的 D_2 值由0.28缩小到0.24,德国、英国分别由0.14、0.07缩小到0.08、0.02。同期,我国与美国之间的 D_3 值由8.39缩小到6.13,德国、英国分别由2.05、0.73缩小到1.17、0.26。整体而言,与德国和英国相比,虽然我国与美国之间的差距有所缩小,但仍存在不小的差距。究其原因,英国、德国等作为传统的科技强国,其科学研究基础和实力相对较强,我国与其相比还存在差距^[27],虽然我国在CNS论文发表规模上大幅增加,但是在科学合作网络中的地位和影响力尚不及英国、德国。

另外,美国的科学发展与英德法等欧洲国家存在千丝万缕的联系,美国二战前后科学的迅猛发展与欧洲这些科学强国的科学家大量移民美国有很大的关系,此后仍保持着较为紧密的合作关系(见表4)。

表4 主要科学国家与美国之间的距离

国家	2010—2014 年		2015—2019 年	
	D_2	D_3	D_2	D_3
德国	0.14	2.05	0.08	1.17
英国	0.07	0.73	0.02	0.26
中国	0.28	8.39	0.24	6.13
法国	0.13	2.20	0.11	1.73
日本	0.32	7.49	0.27	5.57
加拿大	0.29	8.73	0.19	2.24

(二)与世界科学前沿城市相比,我国城市(区域)尚处于次中心位置,正努力提升在科学合作网络中的作用与影响力

(1) 波士顿、纽约居于世界城市科学合作网络的中心位置,北京、上海等城市(区域)在网络中的位置在不断提升。对合作数大于 20 的前 50 名城市的 CNS 论文合作网络进行分析,结果显示美欧

城市在全球科学合作网络中占据核心位置,特别是美国的波士顿、纽约、圣迭戈,以及英国的剑桥、伦敦等城市,我国城市(区域)处于相对边缘的位置。从变化趋势看,我国城市(区域)有两个主要特征:一是进入 CNS 论文城市合作网络 TOP 50 的

城市(区域)数量在增加,2010—2014 年,仅北京 1 个城市;2015—2019 年,增加了上海和广东。二是城市网络的密度在提高,以北京为例,与 2010—2014 年相比,2015—2019 年北京与更多城市有科学合作关系(见图 3)。

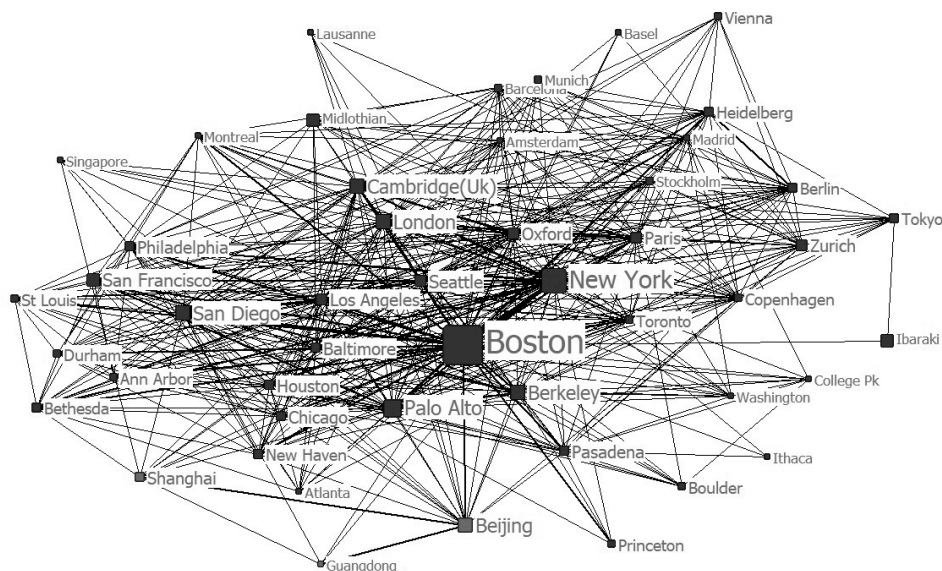


图 3 CNS 论文城市(区域)合作网络(2015—2019 年)

注:TOP 50 城市,合作数 ≥ 20 。

在 2010—2019 年 CNS 国际合作论文总数排名前 20 位的城市中,美国城市有 14 个,其中波士顿、纽约、帕罗奥多、圣迭戈位居全球前 4 位。英国城市有 2 个,分别为剑桥、伦敦,位居全球第 5、6 位。中国、法国、瑞士、日本城市各 1 个,分别为北京(第 9 位)、巴黎、苏黎世、东京。上海、广东居第 28、63 位。

(2) 科学研究的合作城市范围明显在扩大,我国城市(区域)与波士顿之间的差距在快速缩小,但绝对距离还相对较大。世界前 20 位城市及我国上海、广东的度中心度均大幅提升,说明科学研究的合作城市范围均在扩大。以度中心度的值为划分依据,可将这些城市划分为 3 个梯队:度中心度值大于 1000 的设定为第一梯队,这一梯队的城市合作空间范围最为广泛,合作城市数量较多;度中心度值 700 ~ 1000 的城市设定为第二梯队;度中心度值 400 ~ 700 的城市设定为第三梯队。以下分析

将以 2010—2019 年 CNS 国际合作论文总数排名前 20 位的城市及我国上海、广东共 22 个城市为样本进行分析。

总体上,所有城市的度中心度都有所增加,城市科学研究的合作空间范围在扩大。第一梯队的城市,从 2010—2014 年的 2 个城市,增加至 2015—2019 年的 15 个城市,波士顿、伦敦的度中心度分别由 1211、1013 提高到 1847、1642,始终位居全球前两位,北京从第三梯队进入第一梯队,度中心度由 652 提高到 1172,排名从 37 位提升到 14 位。第二梯队的城市数量有所减少,除圣迭戈、休斯顿外,其他城市在 2015—2019 年均进入第一梯队行列,上海、广东进入第二梯队行列,排名由第 121、92 位提升到第 87、85 位。以上分析表明,我国城市(区域)高层次科学研究合作的范围得到显著扩大,但与波士顿等科学强势城市相比还有较大的差距,我国城市(区域)在全球科学合作网络中还处于相对边缘的位置(见表 5)。

表 5 CNS 合作论文数量排名前 20 位的城市及我国部分城市(区域)所处位置情况

梯队	度中心度	2010—2014 年	2015—2019 年
第一梯队	>1000	美国:波士顿 英国:伦敦	美国:波士顿、伯克利、纽约、巴尔的摩、西雅图、洛杉矶、帕罗奥多、旧金山 英国:伦敦、剑桥、牛津 中国:北京 法国:巴黎 日本:东京 瑞士:苏黎世
第二梯队	700~1000	美国:伯克利、纽约、巴尔的摩、圣迭戈、西雅图、洛杉矶、休斯顿、帕罗奥多 英国:剑桥、牛津 法国:巴黎	美国:圣迭戈、休斯顿、贝塞斯达、纽黑文、帕萨迪纳 中国:上海、广东
第三梯队	400~700	美国:旧金山、贝塞斯达、纽黑文、帕萨迪纳 中国:北京、上海、广东 日本:东京 瑞士:苏黎世	

以度中心度最高的波士顿为标杆,根据式(2)计算其他城市(区域)与波士顿在度中心度方面的差距,即 D_2 值。结果显示:纽约、圣迭戈、伯克利、西雅图、巴黎、洛杉矶、休斯顿等城市与波士顿之间的差距有所增加;剑桥、伦敦、旧金山、北京、牛津、苏黎世、东京、上海、广东与波士顿之间的差距有所缩小。与 2010—2014 年相比,北京、上海、广东与波士顿之间的差距分别由 0.86、1.94、1.64 缩小到 0.58、1.31、1.30。总体上看,我国城市(区域)与波士顿之间的差距在逐步缩小,但相较于剑桥、伦敦、牛津等城市,我国城市(区域)与波士顿之间还存在不小的差距(见图 4)。

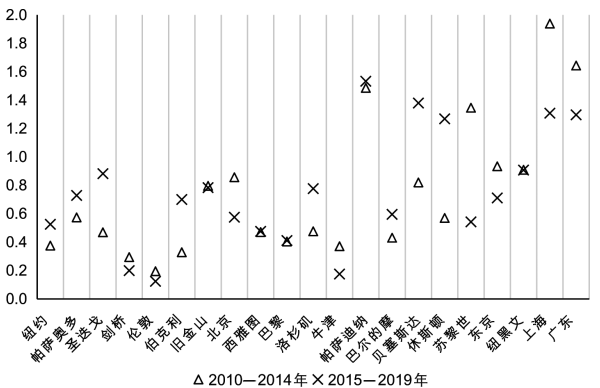


图 4 主要科学城市(区域)与波士顿在度中心度方面的差距变化

(3)我国城市(区域)在全球科学研究合作网络中的中介作用和影响力还相对较弱。在 22 个城市中,除了洛杉矶、休斯顿和纽黑文外,其他城市的中介中心度均大幅提升。说明这些城市在 CNS 论文合作网络中的中介作用和影响力均在提升。若以中介中心度的值为划分依据,可将这些城市划分为 3 个梯次:中介中心度值大于 100000 的设定为第一梯队,这一梯队的城市在科学合作网络中处于中心位置,对整个合作网络的影响力较大;中介中心度 50000~100000 的城市设定为第二梯队;中介中心度 50000 以下的城市设定为第三梯队。

绝大多数城市的中介中心度有所提高,说明这些城市在全球 CNS 论文合作网络中的影响力进一步提高。2010—2014 年,波士顿位于第一梯队,中介中心度为 155167;伦敦、巴黎、剑桥、伯克利位于第二梯队;北京、上海、广东与牛津等城市位于第三梯队。2015—2019 年,第一梯队城市数量增加到 4 个,分别为波士顿、伦敦、剑桥、牛津;第二梯队城市有 6 个,分别为巴黎、纽约、苏黎世、西雅图、伯克利、圣迭戈;第三梯队城市有 12 个,北京、上海、广东仍处于这一梯队之中。与 2010—2014 年相比,2015—2019 年北京、上海全球排名分别由 27、133 位提升到 14、106 位。以上表明,我国城市(区域)在全球科学合作网络中的桥梁作用得到明显提高,但与波士顿、伦敦、剑桥等主要科学城市相比还有较大差距,对全球科学研究的影响力还相对有限(见表 6)。

表 6 CNS 合作论文数量排名前 20 位的城市及我国部分城市(区域)所处位置情况

梯队	中介中心度	2010—2014 年	2015—2019 年
第一梯队	>100000	美国:波士顿	美国:波士顿 英国:伦敦、剑桥、牛津
第二梯队	50000—100000	美国:伯克利 英国:伦敦、剑桥 法国:巴黎	美国:伯克利、纽约、圣迭戈、西雅图 法国:巴黎 瑞士:苏黎世
第三梯队	<50000	美国:纽约、巴尔的摩、圣迭戈、西雅图、洛杉矶、休斯顿、帕罗奥多、旧金山、贝塞斯达、纽黑文、帕萨迪纳 英国:牛津 中国:北京、上海、广东 日本:东京 瑞士:苏黎世	美国:巴尔的摩、洛杉矶、休斯顿、帕罗奥多、旧金山、贝塞斯达、纽黑文、帕萨迪纳 中国:北京、上海、广东 日本:东京

以中介中心度最高的波士顿为标杆,根据式(3)计算其他城市与波士顿在中介中心度方面的差距,即 D_3 值。结果显示,纽约、剑桥、伦敦、北京、牛津、苏黎世、东京、上海与波士顿之间的差距有所缩小;其余城市(区域)与波士顿之间的差距有所增加,并且有些城市的距离增加幅度较大。与2010—2014年相比,北京、上海与波士顿之间的差距分别由5.25、24.87缩小到4.59、22.62,广东由16.21增加到18.16(见图5)。

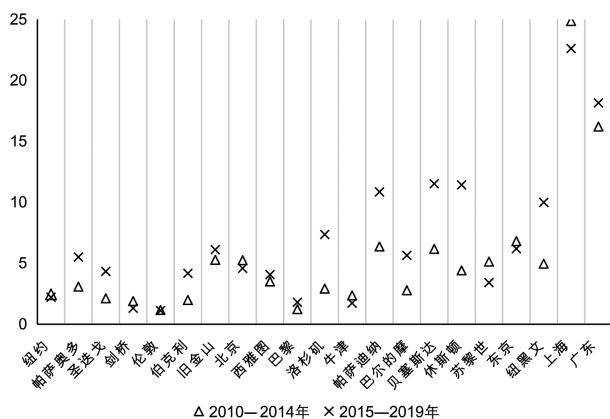


图5 主要科学城市(区域)与波士顿在中介中心度方面的差距变化

五、从“量的距离”到“质的距离”,跨越科学差距的鸿沟

科学中心的转移具有长周期性,具有量变与质变的交替性、综合性。从CNS论文数据的分析看,美国处于全球科学中心位置,既体现在高水平科学研究成果的数量处于全球首位,更表现为其在全球科学合作网络中处于中心节点、网络核心位置,前者反映了美国科学研究“量”的程度,后者反映了“质”的水平。将空间视角从国家层面下降到城市(区域)层面,可以看到美国具有明显的城市群优势,在世界排名前20位的城市中,占有2/3的比例。以美国及其核心城市为对标对象,分析主要国家、城市(区域)在全球科学网络中的位置,总结得到以下3个方面的主要特征。

1. 我国与美国之间“量的距离”正在缩小,但仍存在数量级差距

我国高水平科学成果产出数量在快速增

长,与美国之间的差距正在快速缩小,从第三方阵营靠后的位置,进入德国、英国所在的第二方阵行列,美国独自处于第一方阵。基于全计数法,中美之间的距离(D_1)由11.8缩小至3.45;基于分数计数法,中美之间的距离(D_1)由25.39缩小至5.67。波士顿在全球城市中处于科学中心位置,我国主要城市(区域)与波士顿之间量的距离正在逐渐缩小。基于全计数法,北京、上海、广东与波士顿之间的差距分别由5.2、15.76、22.75缩小到1.71、3.55、6.53;基于分数计数法,北京、上海、广东与波士顿之间的差距分别由6.33、35.2、52.64缩小到1.99、6.19、18.22。

2. 我国与美国之间“质的距离”也在缩小,但是相对于“量的距离”的变化,缩小难度更大、速度更慢

美国在全球科学合作网络中居于绝对中心地位,而我国正在向次中心位置方向发展,我国与美国在科学合作网络中的作用和影响力方面仍存在不小的差距。在2010—2014年和2015—2019年两个时间段,美国的度中心度分别为132、168,中介中心度分别为1273、744,居世界第一位,是全球CNS论文合作网络的中心,同期,我国的度中心度分别为103、135,中介中心度分别为136、104。波士顿、纽约居于全球城市科学合作网络的中心位置,我国城市(区域)与全球标杆城市波士顿之间的差距在快速缩小,但绝对距离还相对较大,中介作用和影响力还相对较弱。

Bornmann等(2017)^[24]利用2004—2013年全球前沿文章(elite articles, TOP 1%高被引论文)的参考文献,分析了各国对前沿知识的贡献,美国对前沿科学论文的知识贡献比例(44.1%)比其前沿科学论文的全球占比(24.02%)更大,证明其依然是全球科学的中心,我国的这两项比例分别是4.24%和9.85%。虽然我国在前沿科学论文数量及知识贡献方面快速上升,但相比于美国,仍有较大的差距(见图6、图7)。

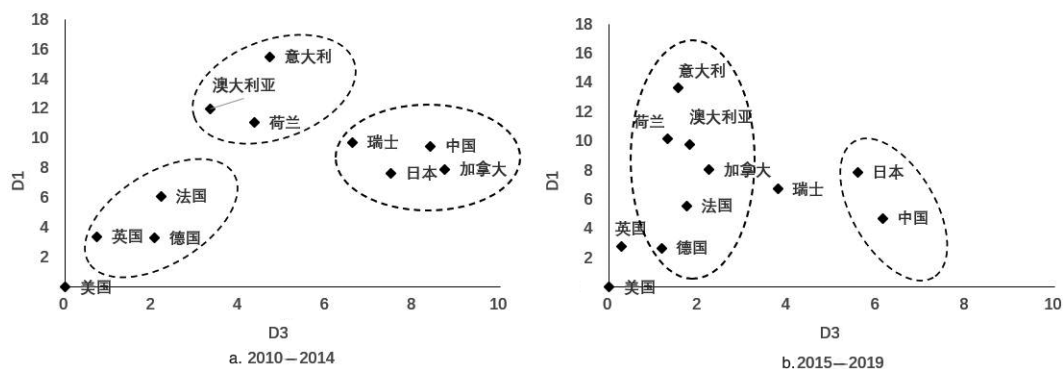


图6 主要科学国家与美国之间的距离变化

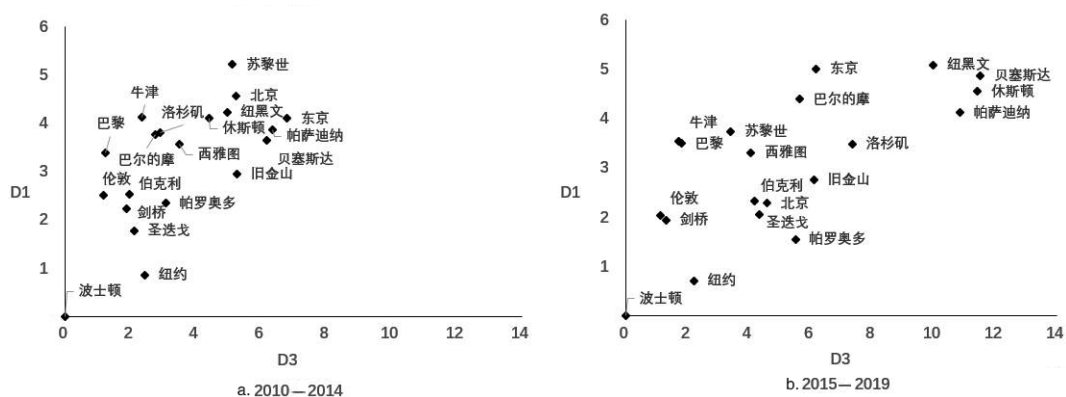


图7 主要科学城市(区域)与波士顿之间的距离变化

3. 全球科学研究的国际合作范围逐步扩大, 合作网络逐渐向多中心方向发展

2010—2019 年拥有合作论文数在全球排名前 20 位的国家, 度中心度均呈增加态势, 说明各国科学合作网络的范围在不断扩大, 也间接说明有更多国家逐渐加入到顶尖科学研究合作网络之中。这种现象, 既反映了科学发展的现代趋势, 科学研究的难度和复杂性在逐步提高, 需要更多机构的不同领域科学家协同完成, 也反映了有很多国家在科学研究领域实现从无到有、从弱到强的发展变化趋势。我国的度中心度从 103 提高至 135, 表明我国高水平科学研究的合作国家范围进一步扩大, 与更多的国家开展科学合作。同期, 美国、德国、英国的度中心度也从 132、116、123 提高到 168、156、164。

拥有较多 CNS 合作论文的国家的中介中心度出现下降, 如美国、德国、英国、中国等, 而拥有相对较少 CNS 合作论文的国家的中介中心度有所增

加。我国的中介中心度从 2010—2014 年的 136 下降至 2015—2019 年的 104。同期, 美国、德国、英国的中介中心度从 1273、417、736 下降至 744、343、590。而加拿大、荷兰、意大利从 131、238、223 增加到 230、323、293。CNS 合作论文大国在合作网络中的中介作用在下降。换句话说, 网络中的更多国家可以直接建立合作关系。随着世界各国对科学合作的重视, 参与合作的范围与深度都在增加, 排名靠后的国家在全球科学合作网络中的地位在逐步提升。

同时, 也应该看到, 虽然我国与美国之间“量的距离”正在缩小, 但是这种进步并不能全部归因于我国科学水平的提升, 还存在科学研究客观变化规律方面的原因。随着科学技术的发展, 科学研究的复杂性、交叉性、开放性和高成本性更加明显, 越来越多的科学研究需要多个组织、国家合作完成, 形成科学全球化发展趋势, 导致跨国、跨城市(区域)的合著科学论文的比例越来越高, 平

均每篇论文合著作者的数量规模也越来越大。这种变化表现在大多数国家的 CNS 论文数量都在增长,国家、城市(区域)科学合作网络的范围也在不断扩大。在这种变化趋势中,我国 CNS 论文的数量自然也在增长,合作范围也在扩大。若剔除以上影响因素,我国与美国之间实际的距离,可能比我们从数据角度观察到的更大。这反映出我国在高水平科学研究中还相对缺乏主导性,从属性的研究相对较多,在科学合作网络中处于次中心或边缘位置,这也是我国科学研究亟待缩小的“质的距离”。

只有深入认识“质的距离”背后的内涵及因素,才能对这种距离概念有更深理解,才能探求缩小距离的方法和路径。以下部分将分析科学中心的形成及影响因素。

六、科学中心的形成及影响因素

科学中心的本质究竟是什么?是科学活动的发展在地域空间上具有不平衡性(贝尔纳)。科学活动的本质是什么?是高层次科学人才开展的一种社会性活动,体现为精英科学家作为科学核心的思想^[28]。因此,可以将科学中心理解为,高层次科学人才在特定空间范围集聚所形成的具有显著科学研究优势的区域,该区域能够产出一定规模数量的前沿科学研究成果,引领全球科学的发展。因此,对科学中心的形成机理及影响因素的分析,可以转换为对高层次科学人才在特定空间范围集聚及产出科学成果问题的研究。由此,可以进一步将问题延伸,高层次科学人才是怎样产生的?为什么高层次科学人才在特定的空间范围集聚?什么因素影响这种集聚?什么因素影响高层次科学人才的科学成果产出?下面将对这些问题进行探讨。

(一)科学中心与高层次科学人才

科学中心与高层次科学人才集聚具有一致性关系。高水平科学成果主要由高水平科学家创造产生,高被引科学家是科学论文质量与影响力的综合体现^[29]。以入选全球高被引科学家(Highly Cited Researchers)数量代表高水平科学家群体规模,与 CNS 论文数量结合,进行相关性分析。结果

显示:在国家、城市(区域)两个空间层面,CNS 论文产出与高被引科学家规模均具有较强的正相关性。

高层次科学人才的产生、发展造就了科学中心的形成。高层次科学人才起源于文化的开放进步和教育的改革发展。起始于中世纪的欧洲启蒙运动、宗教改革和大学发展,开启了欧洲科学探索的大门,在早期希腊科学精神的影响下,相继产生了一批早期的科学家,探究自然、真理,实现了一大批科学突破,奠定了欧洲全球科学中心的地位,意大利、英国、法国、德国是这一时期的科学中心^[30]。进入 19 世纪,美国社会政治稳定,经济快速发展,文化上注重教育,美国政府积极推动改革,颁布通过《莫雷尔法案》等,建立形成一批大学机构,为高层次科学人才的引进、集聚和培养创造了条件。19 世纪后期和 20 世纪初期,欧洲社会政治环境动荡,一大批科学家跨越大西洋,迁移至美国,为美国高层次科学人才的大发展起到至关重要的推动作用,由此美国成为 20 世纪中后期及 21 世纪早期的全球科学中心国家。谢宇等(2017)^[31]研究认为,美国科学的成功体现在两个方面:一是科学接受了大规模的资金投入,二是科学研究吸纳了庞大的科学家队伍。Heinze 等(2019)^[32]基于 1901—2017 年诺贝尔奖获得者群体的研究,得出结论:美国上升为全球主要科学力量始于 20 世纪 20 年代,经过 20 世纪 40 年代到 20 世纪 60 年代的过渡期,在 20 世纪 70 年代其科学中心地位得到巩固,在这 3 个不同的时期,美国均表现为科学家“流动赤字”(mobility deficit),即科学家由其他国家移民至美国,促进了美国科学的大发展。

高层次科学人才的集聚发展有其内在的逻辑机制。科学并不是适合每个人的,大多数人缺乏从事科学所必备的技能 and 兴趣,科学家不仅需要天赋,还需要坚持、奉献、勤奋的精神^[31],以及研究所需的资源 and 环境,高层次科学人才培养、集聚与扩散遵循 3 个“效应”逻辑。

高层次科学人才的传帮带效应。高层次科学人才的成长需要大师的指导,如果缺少大科学家的指导,普通青年科学人才要想成长为高水平科学家的

难度很大,这是由科学知识学习、积累、创造的规律决定的。顶尖高层次科学人才毕业于顶尖大学的比例较高,Schlagberger 等(2016)^[20]研究了 1994—2014 年 155 位诺贝尔奖获得者的传记信息,发现诺贝尔奖获得者的博士(Ph. D./M. D.)学位主要从世界著名大学获得,顶尖大学招收最优秀的学生,并为这些学生提供最优秀的教师和研究资源。师徒关系起到至关重要的作用,20 世纪 40 年代到 20 世纪 60 年代,北美诺贝尔奖获得者与欧洲诺贝尔奖获得者之间具有大量的跨大西洋师徒关系(在欧洲获得博士学位,在美国做出获奖成果),之后北美师徒几代获得诺贝尔奖的例子屡见不鲜^[32]。

高层次科学人才的流动效应。世界科学前沿领域是已有学科不断交叉作用形成的,青年科学人才在传帮带效应的作用下,掌握了本领域的前沿科学知识和技能,若要进一步做出具有开创性的科学研究成果,需要与其他学科交叉融合,进而形成新的前沿领域成果。要实现这种实质性的交叉融合,科学人才的流动特别重要,也是科学家职业成功的重要影响因素。科学人才的流动,能够帮助科学人才寻找更适合的研究平台,最大程度发挥其研究潜能,实现科学人才的配置优化。Schlagberger 等(2016)^[20]的研究显示,78.5% 的诺贝尔奖获得者在取得博士学位后,从所在学校流动到其他机构,89.6% 的诺贝尔奖获得者在做出诺奖成果后,从所在机构流动到其他机构,而只有 10.4% 的诺贝尔奖获得者在获得学位、做出诺奖成果、获得诺奖 3 个不同时期都在同一个机构,并且诺贝尔奖获得者在国家间的流动比例很小,一般在一个国家内的不同机构间流动。北美跨大西洋师徒关系的现象也反映了这种效应的存在。

高层次科学人才的科学合作进化效应。全球科学的发展已经从“小科学”(small science)进入“大科学”(big science)发展阶段,科学研究的宽度在扩大、深度在加深,需要更多的研究资源投入和更多的科学人才参与,科学合作有利于降低科学研究的成本,加快科学研究的速度。因此,科学合作的频率快速增加,在国家层面,CNS 合作论文网

络密度从 2010 年的 1.55 增加到 2019 年的 1.95,在城市层面从 0.091 增加到 0.108。科学对人们具有吸引力的原因,除了能够获得较高的收入外,科学家在现代社会中享有很高的社会地位和声望。在美国,科学家的职业声望几乎是最高的^[31]。在科学合作和发表论文中,科学家极为重视自己的学术声誉,寻求更高水平的科学合作者开展合作研究,在更高水平的学术期刊上合作发表研究成果^[33],在这种选择机制作用下,优秀的青年科学人才更容易与高水平科学家实现合作,有机会参与前沿领域的研究,逐渐取得自己的高水平研究成果,形成自己的学术声誉,进而成长为高层次科学人才。另外,科学人才的流动对科学合作进化效应也具有正向作用,人才流动能够增加科学合作的机会,降低合作成本(基于信任)^[33]。

高层次科学人才发展的传帮带效应、流动效应和科学合作进化效应,共同形成高层次科学人才群体的网络关系迭代。群体迭代具有时间和空间的稳定性,美国高层次科学家群体,在时间上长期保持这种师徒、同事、同学间的迭代关系,在空间上分布于美国不同的城市(区域),形成强大的科学人才凝聚效应,既吸引美国之外的高水平科学家和青年科学人才进入,又向其他国家或区域扩散科学人才。

(二)科学中心与科学机构

高层次科学人才在特定空间范围集聚,实质上是在特定空间的特定机构集聚,可以将对空间问题的研究转化为对科学机构的研究,即高层次科学人才存在于什么样的机构之中?为什么在这些机构聚集?

高层次科学人才主要集聚于部分高水平科学机构,主体是大学。在 2019 年 CNS 论文作者机构分布中,发表 CNS 论文数量最多(分数计数法)的 200 家机构合计占总量的 63%,位居前五位的机构是斯坦福大学、MIT、哈佛大学、哈佛医学院、中国科学院,前 200 家机构以大学为主。另外,这些高水平科学机构在 CNS 论文发表方面的稳定性比较好,2010 年 3/4 以上的 TOP 200 机构仍处于 2019 年的 TOP 200 榜单中。以上现象也反映在全球高

被引科学家所在机构的统计中,2019年“全球高被引科学家”涉及1200个以上的机构,按照高被引科学家数量对机构进行排序,TOP 200机构高被引科学家数量占比67.7%,2/3的高被引科学家聚集于全球的200个高水平研究机构之中,而另外1000多个机构的高被引科学家数量合计仅占全球的1/3。从机构类别看,在TOP 200机构中,大学数量占比达到79.5%,独立研究机构数量(含国家设立的科研机构、医院及企业等)占比20.5%,这与西方国家的基础研究活动主要集中在大学相一致^[34]。

高层次科学人才的机构选择行为符合积累优势理论。默顿(1968、1977)从社会科学角度提出马太效应和积累优势理论,在科学领域表现为“富有的”科学家(获得更多承认和声望的科学家)和机构更容易获得能促进其研究的资源(资助、实验室、优秀的学生)^[35]。最好的研究型大学选择最好的学生,最好的学生可以追随最好的导师学习,更有机会成为新一代最有成就的科学家^[36]。针对高被引科学家机构迁移与集聚特征的研究显示,高层次科学人才的迁移规律基本符合积累优势理论的观点,精英人才向顶尖机构集聚,工作环境、机构声誉是非常重要的迁移因素^[36]。著名大学所具有的优势能够吸引高层次科学人才加入,形成马太效应和集聚效应,因此高层次科学人才集聚于各国顶尖的科学机构。

高水平科学机构在国家层面具有较高的集中度,在城市层面具有“大分散、小集中”的特点。在2019年发表CNS论文数量(分数计数法)TOP 200机构中,有174家机构来自于CNS论文发表数量TOP 10国家,占比87%。其中,美国有81家机构,占比40.5%,英国、德国、中国和法国分别有20、18、11和11家机构,顶尖机构的集中度非常高。若从这些机构发表CNS论文数量看,174家机构发表CNS论文数量占全球比重达到59.2%。从城市层面看,在TOP 200机构中,纽约有8家,波士顿、北京(中国科学院计为1家)、巴黎、伦敦和苏黎世分别有6、5、5、4和3家,合计占比15.05%,旧金山、圣迭戈、上海等多个城市有2家,高水平科

学机构在城市也具有一定的集中度,这些机构支撑了所在城市的科学发展。总体上看,高水平科学机构在空间上主要分布于美英德法中等国,在国家内部表现为“大分散、小集中”的特征。美国作为全球最大经济体和科学领先国家,政府和社会均重视科学、人才发展,以法案、捐赠、基金等不同法治形式,保证基础研究投入,维持先进的科研设施和环境。思想层面的重视、法治政策层面的措施及雄厚的经济基础,使得美国形成了众多高水平的科学研究机构,对世界各国的青年科学家和高层次科学家产生巨大的吸引力,在美国移民政策的作用下,进一步增强了美国科学机构的人才集聚^[37],强化了这些科学研究机构的全球领先地位。另外,欧美国家的文化相近性、语言优势和教育基础,也对美国科学人才集聚效应、网络效应和科研机构的高水平发展起到了正向促进作用。

(三)科学中心与基础研究投入

科学研究活动需要持续的经费投入,特别是从“小科学”进入“大科学”时代,更需要巨大研究资金的稳定保障。科学研究机构的运转、大科学装置的建设、科学仪器设备的购置、研究试验材料的购买、科学人才的薪酬保障等,都需要资金的持续投入,需要国家在基础研究方面匹配足够的资源。CNS论文发表数量的多少在一定程度上反映了一个国家基础研究的综合水平与实力,进一步看,是各国基础研究资金投入的结果体现。纵观世界科技发展史,基础研究强国无一例外都是科技强国,没有强大的基础研究支撑,科技强国是不可能实现的^[38]。长期以来,虽然我国基础研究取得了长足进步,但短板依然突出,表现为顶尖研究人才和团队缺乏,重大原创性成果缺乏,其根本原因在于我国的基础研究经费投入不足^[39]。2019年,我国基础研究经费投入1335.6亿元,占全社会R&D经费支出的比例为6%;2018年,美国基础研究经费投入1010亿美元,占比16.6%。无论是基础研究经费规模,还是投入比重,我国与美国还存在相当大的差距。从国家层面CNS论文发表数量与基础研究经费的相关性分析看,二者呈现较强

的正相关关系,基础研究经费的规模,决定了高水平科学成果产出的数量。我国要成为全球科学中心,必须持续加大对基础研究的经费投入,我国城市(区域)要成为全球科学中心城市(区域),也必须在基础研究领域持续稳定投入足够的资源。

(四)科学中心与科技政策

每一次科学中心在国家间的转移都与相应时代的经济、文化、社会变革具有密切的关系。英国科学协会、科学学会的形成,富裕阶层的赞助,在促进英国科学快速发展方面起到了关键作用,17世纪科学发展的中心从意大利转向英国^[31]。法国政府的支持及法国科学院的高效运转,促进了科学中心转向法国,但是1830年后,法国体制的僵化以及教育与研究之间的脱节,阻碍了法国科学的进一步发展^[31]。19世纪后期,德国成功进行了教育的改革,教育与研究紧密结合,大学成为科学生产的中心,世界科学中心逐渐转移至德国。20世纪,美国的工业发展和大学教育的改革,为美国科学发展奠定了经济和人才基础,工业界、学术界与政府的紧密合作,大科学计划的实施,加速了美国走向科学中心位置。从历次科学中心的转移看,科学研究从随机的、分散的、个人的“小科学”模式,逐渐向具有目标性、组织性、综合性的“大科学”模式转移,科学研究所需要的条件也在发生变化,需要更加适配的组织结构、管理机制,以推动其向更高水平发展,无论是科学协会、科学院、大学改革,还是更具系统性的政产学研合作,都顺应了科学内在的发展规律和趋势。变革带来了科学研究产出效率的提高,促进了科学研究机构的发展,导致了高水平科学人才的发展和空间集聚。进一步归纳总结:通过结构、机制变革,提高科学资源的投入产出效率,使国家(或区域)达到并保持科学研究的前沿面,因此核心变量是“效率”。

本文重点从人的产出效率观察这个核心变量。每名研究人员科技论文数反映了一个国家或区域科研人员的知识产出效率和能力^[40],高水平科学家群体的产出效率决定了一个国家(或区域)的高水平知识产出效率。相较于波士顿、旧金山等城市,北京拥有较多的高被引科学家,但产出的

CNS 论文数却相对较少。按照全计数法,2019年北京发表 CNS 论文 153 篇,拥有高被引科学家 178 人次,平均每位高被引科学家发表 0.9 篇论文,上海和广东分别为 1.9 篇和 0.9 篇,旧金山、剑桥高达 3 篇和 2.2 篇。按照分数计数法,2019年北京平均每位高被引科学家发表 0.3 篇论文,上海和广东分别为 0.5 篇和 0.2 篇,旧金山、剑桥高达 1 篇和 0.7 篇。这在一定程度上反映出我国城市高水平知识产出的效率与标杆城市仍有较大距离,需要高度重视如何通过制度创新等方式提高现有高层次人才科学人才的产出效率。

为什么美国高层次科学家的产出效率更高,而我国的却相对较低? 什么因素影响了这种效率的差异? 有以下几种可能的解释:①科学基础与条件的差异。美国的科学研究具有上百年的基础和沉淀,近几十年更是引领了世界科学的发展,汇聚了全球顶尖科学家,研究开发出全球最先进的科研仪器设备、材料和方法工具,积累了丰富的科研数据信息,而我国基础研究起步较晚、底子较薄,在人才、条件等方面均还存在较大的差距。②科学家的差异。美国高水平科学家及博士群体,科学素养较高,科学研究功底扎实,传帮带效应和积累优势理论,使其长期处于较高的水平;而我国科学家及博士研究群体在研究素养方面与之相比还有一定差距,这种差距的缩小需要长期的学习过程和群体的持续迭代提升。另外,美国科学家的宽松选择机制(机构迁移、城市迁移等)有利于其潜能的发挥和资源的合理配置,有利于高水平人才在平台和空间上的广泛扩散;而我国科学家群体在流动方面还存在诸多障碍,流动成本相对较高。③科学研究的环境氛围差异。美国的科学研究评价体系、奖励系统、资助系统,遵循普遍主义原则,管理设计围绕科学研究展开,科学家在管理中发挥重要作用,这种管理设计有利于科学人才合作竞争、发挥最大潜能;而我国遵循行政主义原则,管理设计以行政层级为中心展开,科学家在管理中发挥作用的范围和程度相对有限,在这种管理模式下,科学家潜能能否充分发挥还存在疑问。④科学圈

地位和高效率,国际科学合作发挥了重要作用,美国可以充分利用其他国家的科学设施和人才资源,实现其科学目标,由于美国在科学领域的领先地位,其他国家科学家更愿意与美国进行合作研究,合作发表高水平研究成果,以提高自身的科学研究能力和国际声望。在国际科学合作中,语言(language)是重要影响因素之一,是高效率沟通的通道,能够促进社会联系、增加交流与合作机会,英语有利于美国与欧洲国家,以及其他英语国家的合作,根据 Paasi (2005)^[41]、Gyorgy (2018)^[42] 等的研究,英美期刊在科学出版界占据主导地位,城市科学产出效率与是否是盎格鲁势力系统(Anglosphere system)具有较强的关系。我国高水平国际科学期刊数量仍比较少,我国科学家在国际科学界的可见度(international visibility)仍需要进一步提高^[34],影响可见度的因素有多个方面,其中语言是重要因素之一。

以上分析分别从高层次科学人才、科学机构、基础研究投入和科技政策4个方面,认识了“质的距离”背后的因素及其逻辑。科学中心的发展具有很强的系统性,需要从多个方面协同推进,要在发展中提高资源产出效率,唯有如此才能实现追赶超越的目标。

七、结论与启示

(一)主要结论

本文基于CNS论文,采用科学计量学和社会网络分析方法,从国家和城市(区域)两个空间视角,对全球主要国家和城市进行对比分析,测算得到我国距离全球科学中心的距离,并分析了距离背后的内涵及因素,形成以下认识。

(1)全球科学研究的国际合作范围逐步扩大,合作网络逐渐向多中心方向发展。有更多国家逐渐加入到顶尖科学研究合作网络之中,既反映了科学研究的难度和复杂性在逐步提高,需要更多机构参与,也反映了有不少国家在科学研究领域实现从无到有、从弱到强的发展变化趋势。

(2)美国处于全球科学中心位置,并具有绝对优势,我国与其之间“量的距离”和“质的距离”均在快速缩小,但“质的距离”缩小的难度更大、速度

更慢。我国的高水平科学成果产出数量在快速增长,与美国之间的差距正在快速缩小,美国在全球科学合作网络中居于绝对中心地位,而我国正在向次中心位置方向发展,我国与美国在科学合作网络中的作用和影响力方面仍存在不小的差距。波士顿、纽约居于全球城市科学合作网络的中心位置,北京、上海、广东与全球标杆城市波士顿之间的差距也在快速缩小,但绝对距离还相对较大。美国科学研究的城市群优势非常显著,城市集中度相对较低;我国及其他主要国家城市的集中度相对较高,一般集中于少数核心城市。

(3)科学中心本质上是高层次科学人才在特定空间范围的集聚。高层次科学人才的产生、发展造就了科学中心的形成,高层次科学人才发展的传帮带效应、流动效应和科学合作进化效应,共同形成高层次科学人才群体的网络关系迭代,群体迭代具有时间和空间的稳定性。高层次科学人才集中于少数高水平研究机构,主体是大学。我国的部分高校和科研机构已经接近于世界前沿科学机构。但是,就整个国家来说,数量仍然较少,不足以支撑世界科技强国建设,还需要有更多、更多元的高校和科研机构的向上发展。科学中心发展的核心变量是科学资源的投入产出效率。在“大科学”时代,美国通过结构、机制变革,提高科学资源的投入产出效率、高层次科学家的产出效率,使国家(或区域)达到并保持在科学研究的前沿面,位居全球科学中心地位。

(二)对我国科学发展的政策启示与建议

一个国家的科学研究具有强大的惯性,我们无法预测我国将在何时追赶上美国、何时成为全球科学中心,但可以肯定的是,这个目标不是短时间内可以实现的,可能需要一个较长的时期。要实现这个目标,还有很长的路要走,还有很多方面需要变革,以下从国家和城市(区域)两个层面提出建议。

1. 国家层面

(1)优化基础研究空间布局,实施“大分散,小集中”策略。全球科学系统的整体发展趋势是分散与集中相结合,形成分布式多中心的态势,这是

科学和社会发展的必然趋势。局部城市(区域)的大集中,难以支撑世界科学强国建设。我国基础研究空间布局,应考虑在更多的区域中心城市部署基础研究设施、机构,引导更多区域参与基础研究投入,从而让我国基础研究在更大空间范围、更广资源领域、更多样性环境的支撑下发展。“大分散”要处理好区域间的分工协同,避免资源的重复投入。

(2)实施科学机构上的变革,“稳住一片,凸起点”。在现有的形势下,对大学、国家科研机构的改革,短期内难有大的突破,以稳定为主,主要在评价、激励、放权等方面调动积极性。在稳住基本科学力量的前提下,更要加大探索新型科学研究组织的力度,在前沿交叉领域,探索建立新型科学研究组织,探索新型管理模式、运作机制。其一可以摸索科学资源投入产出效率提升的新路径,其二可以扩大科学机构的多样性,有利于科学人才的流动与配置优化。

(3)实施科学人才管理模式的变革,“效率优先、兼顾公平”。以提高效率为核心,改革人才的管理模式。一是要在科学系统中,鲜明树立“效率优先”的大旗,在招揽、培养、评价人才过程中不以学历、年龄、职称、职务、出身等论英雄,破除各种固化的等级化思维观念,创造良好的科学研究软环境,让不同类别科学人才最大化发挥个人潜能。二是改革科学机构的人才管理机制,降低科学人才流动的成本,增加流动的机会,减少科学人才在整个社会层面配置的摩擦成本,促进科学人才合理流动。三是在不同空间和领域建立更多的高水平科学研究机构,使科学人才具有更多的流动选择性,增加人才流动对学科和领域前沿交叉发展的推动作用,最大化国家整体科学人才潜能的发挥。

(4)扩大全球科学合作范围,实施新型“引进来、走出去”策略。坚持“引进来”:一是以新型科学组织,通过国际化运作机制,引进国外高水平科学人才;二是对外开放重大科学设施平台,通过服务与合作形式,吸引国外科学研究项目“进入”我国。坚持“走出去”:一是高水平科学期刊要走出

去,增加国际期刊数量,扩大国际影响力,提高我国科学家在国际科学圈中的可见度和认同度;二是支持青年科学人才以不同形式走出去,走进国际科学圈,建立更多的科学合作关系,强化国际交流与合作的通道。

2. 城市(区域)层面

(1)创造基础研究发展的区域环境。城市(区域)要积极对接国家重大科技战略,创造条件,承接国家重大科技战略投资在本地落地,吸引科学人才进入本地。在航空、外事、国际环境本地化等方面优化国际交往环境;以科学人才的需求为标准,在局部空间范围高起点建设生活基础设施,优化生活硬环境;在城市服务便利化、教育医疗、营商环境改进等方面优化生活软环境;在本地积极营造尊重科学、崇尚科学的文化氛围。

(2)加强对本地大学的建设,积极参与建立新型科学组织。城市(区域)要重点推动本地大学的建设,完善大学发展的外部软硬件环境,在大学高水平人才引进与培养方面给予支持。要促进大学与本地科研机构、企业的合作交流,充分利用大学研究资源服务本地产业技术发展,充分利用本地应用场景服务大学科学技术研究,形成良好的区域创新生态。

(3)链接基础研究与区域产业发展。区域在基础研究领域进行投资,必须形成基础研究与区域产业发展的关联,否则投资难以持续。不同区域根据自身资源状况,可选择不同路径。一是区域根据本地产业创新优势,切入基础研究领域,争取国家及产业投资。二是区域依靠本地基础研究资源,扩展新的产业,或与现有产业结合,推动产业转型升级。三是区域从外部引入科学技术成果在本地落地,培育新兴产业,培育新型科学研究机构。

(三)研究不足与展望

尽管本文采用不同方法从多个视角认识我国与全球科学中心的距离,得到了一些结论,但仍存在一些不足:①高水平科学研究成果并非都发表在 CNS 期刊上,还有很多其他的表现形式和公开渠道,未来研究可扩大样本数据的范围,以期得到

更为可靠的结论。②本文只对国家和城市(区域)的合作网络进行了分析,未深入到科学机构层面,未来研究可从机构合作的角度,观察国家、城市(区域)的合作结构特征。③科学中心的形成及演变极为复杂,本文初步归纳分析了人才、机构、投入及政策等影响因素,未来还可从定量角度深入研究内在的机理与过程,另外还可将研究分析视角扩展到经济、社会、政治、国际关系等方面。

参考文献:

- [1] 习近平:在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上的讲话[EB/OL]. (2018-05-28) http://www.gov.cn/xinwen/2018-05/28/content_5294322.htm.
- [2] 贝尔纳. 历史上的科学(卷一)[M]. 伍况甫, 彭家礼, 译. 北京:科学出版社,1959:序 x.
- [3] YUASA M. Center of scientific activity: its shift from the 16th to the 20th [J]. Japanese studies in the history of science, 1962.
- [4] 赵红州. 科学能力学引论[M]. 北京:科学出版社, 1984:192-193.
- [5] 冯焱, 梁立明. 世界科学中心转移的时空特征及学科层次析因(上)[J]. 科学学与科学技术管理, 2000, 21(5): 4-8.
- [6] 姜春林, 周磊, 唐悦. 科学活动中心转移现象的再测度和新解读——基于利萨·罗斯纳科学年表的数据[J]. 科学学研究, 2010, 28(4): 500-507.
- [7] 武龙, 武卫兵. 我国要成为世界科学中心应采取的对策分析[J]. 科学学研究, 2001(2): 43-46.
- [8] 吕有勇. 世界科学中心转移轨迹的启迪:科技创新与人才团队培育问题浅析[J]. 中国基础科学, 2014, 16(4): 3-10.
- [9] 刘小鹏, 贺飞, 周辉, 等. 2001—2005 年中国大陆科研机构在 Nature 和 Science 上发表的学术论文统计分析[J]. 中国基础科学, 2006(4): 42-45, 65.
- [10] 马艳艳, 孙玉涛. 中国基础研究的时空分布演变——基于 Nature 和 Science 论文的统计分析[J]. 科技管理研究, 2009, 29(7): 89-91.
- [11] 周海花, 华薇娜. 从世界顶级学术期刊看中国科研竞争力——中国学者《自然》和《科学》发文分析[J]. 情报杂志, 2012, 31(6): 91-96.
- [12] 朱强, 陶华, 孙良英, 等. 中国 2004—2013 年 Cell、Nature、Science 论文产出状况及国际地位变化分析[J]. 中国科技期刊研究, 2014, 25(9): 1178-1180.
- [13] 赵蓉英, 全薇. 中国学者在世界顶级期刊的发文分析——基于 2000—2015 年 Cell、Nature 和 Science 的载文统计分析[J]. 情报杂志, 2016, 35(10): 95-99.
- [14] BEAVER D B, ROSEN R. Studies in scientific collaboration: Part I. the professional origins of scientific co-authorship [J]. Scientometrics, 1978(1): 65-84.
- [15] NEWMAN M E J. Who is the best connected scientist? a study of scientific co-authorship networks [J]. Lecture notes in physics, 2004, 650(1): 337-370.
- [16] 杨善林, 吕鹏辉, 李晶晶. 大科学时代下的科研合作网络[J]. 西安交通大学学报, 2016, 36(5): 94-100.
- [17] 张鹏, 李梦辉, 吴金闪, 等. 科学家合作网络的聚类分析[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2005(2): 30-34.
- [18] 侯剑华. 国际科学合作领域研究的国家合作网络图谱分析[J]. 科技管理研究, 2012, 32(9): 18-21.
- [19] 付允, 牛文元, 汪云林, 等. 科学学领域作者合作网络分析——以《科研管理》(2004—2008)为例[J]. 科研管理, 2009, 30(3): 41-46.
- [20] SCHLAGBERGER E M, BORNMAN L, BAUER J. At what institutions did Nobel laureates do their prize-winning work? an analysis of biographical information on Nobel laureates from 1994 to 2014 [J]. Scientometrics, 2016, 109: 723-767.
- [21] 武夷山. 关于论文计数法的几点思考[EB/OL]. (2018-07-08). <http://blog.sciencenet.cn/blog-1557-1122817.html>.
- [22] LEYDESFORFF L, WAGNER C S, BORNMAN L. The European Union, China, and the United States in the top-1% and top-10% layers of most-frequently-cited publications: competition and collaborations [J]. Journal of informetrics, 2014, 8(3): 606-617.
- [23] LUUKKONEN T, PERSSON O, SIVERTSEN G. Understanding patterns of international scientific collaboration [J]. Science, technology, & human values, 17(1): 101-126.
- [24] BORNMAN L, WAGNER C S, LEYDESFORFF L. The geography of references in elite articles: what countries contribute to the archives of knowledge? [J]. PloS one, 2017(3): e0194805.
- [25] WAGNER C S, BORNMAN L, LEYDESFORFF L. Recent developments in China-U.S. cooperation in science [J]. Minerva, 2015(3): 199-214.
- [26] 吕丹, 王等. “成渝城市群”创新网络结构特征演化及其协同创新发展[J]. 中国软科学, 2020(11): 154-161.
- [27] 柳卸林, 马瑞俊迪, 刘建华. 中国离科技强国有多远

- [J]. 科学学研究, 2020, 38(10): 1754-1767.
- [28] 施若谷. 试论科技教育与科技中心转移的关系[J]. 自然辩证法研究, 1999, 15(11): 43-46.
- [29] 张瑞红, 任晓亚, 谢黎, 等. ESI 高被引科学家的分布研究[J]. 世界科技研究与发展, 2019, 41(3): 307-316.
- [30] 魏屹东, 郭贵春. 科学中心转移现象的社会文化语境分析[J]. 科学技术与辩证法, 2001(6): 52-55.
- [31] 谢宇, KILLEWALD A A. 美国科学在衰退吗? [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017: 11-13, 23, 36, 38.
- [32] HEINZE T, JAPPE A, PITHAN D. From North American hegemony to global competition for scientific leadership? insights from the Nobel population [J]. Plos one, 2019, 14(4): 1-14.
- [33] WAGNER C S, WHETSELL T A, LEYDESDORFF L. Growth of international collaboration in science: revisiting six specialties [J]. Scientometrics, 2017, 110(3): 1633-1652.
- [34] ZHOU Ping, LEYDESDORFF L. The emergence of China as a leading nation in science [J]. Research policy, 2006, 35(1): 83-104.
- [35] 欧阳锋. 科学中的积累优势理论——默顿及其学派的探究[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2009(1): 106-113.
- [36] 邓侨侨. 高被引科学家职业迁移与集聚现象研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- [37] 邓侨侨, 王琪, 刘念才. 国别迁移: 高被引科学家美国集聚的特征与原因分析[J]. 清华大学教育研究, 2014, 35(2): 51-59.
- [38] 田倩飞, 张志强, 任晓亚, 等. 科技强国基础研究投入—产出—政策分析及其启示[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(12): 1406-1420.
- [39] 邓衢文, 刘敏, 黄敏聪, 等. 我国及世界科技强国的基础研究经费投入特点与启示[J]. 世界科技研究与发展, 2019, 41(2): 137-147.
- [40] 胡志坚, 玄兆辉, 陈钰. 从关键指标看我国世界科技强国建设——基于《国家创新指数报告》的分析[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(5): 471-478.
- [41] PAASI A. Globalization, academic capitalism, and the uneven geographies of international journal publishing spaces [J]. Environment and planning A, 2005, 37(5): 769-789.
- [42] GYORGY C. Factors influencing cities, publishing efficiency [J]. Journal of data and information science, 2018, 3(3): 43-80.

(本文责编: 辛 城)