

科技论文视域下国际物理学 科学中心与转移路径识别研究

李 旺, 冉从敬, 黄文俊, 莫富传, 贾志轩

(武汉大学信息管理学院, 湖北 武汉 430072)

摘 要:综合科技多样化指数、科技专业化指数、社会网络分析法,构建国际物理学科学中心与转移路径识别模型,基于 2003—2022 年全球物理学领域代表性期刊论文数据,实现国际物理学科学中心及其转移路径识别。研究发现:(1)美国作为国际物理学科学中心具有绝对优势,但多中心格局或将成为大势所趋;(2)德国、英国、法国、瑞士、日本、中国等国家同美国的距离逐渐缩小,构成国际物理学研究的“一超多强”局面;(3)国际物理学科学中心呈现出从由美国向欧洲转移,再由欧洲向亚洲转移的态势。

关键词:科学中心;科技论文;转移路径

中图分类号:G350

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2024)06-0054-12

Study on the identification of international physics science centers and transfer paths in the perspective of scientific and technical papers

LI Wang, RAN Congjing, HUANG Wenjun, MO Fuchuan, JIA Zhixuan

(School of Information Management, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Based on the data of the papers published in the Web of Science database from 2003 to 2022 in the field of physics, the identification of scientific centers and the identification of transfer paths in physics are realized by using the Technological Diversity Index, Technical Specialization Index and the method of social network analysis. The study found: (1) The United States has an absolute advantage as an international physical science center, but a multi-center pattern may become the general trend. (2) The distance between Germany, the United Kingdom, France, Switzerland, Japan, China and other countries and the United States is gradually narrowing, forming a “super strong and multi” situation in international physics research. (3) The international physical science center shows a trend of shifting from the United States to Europe and then to Asia.

Key words: science center; scientific and technical paper; transfer path

“诸如宗教、学术、职业团体、民族族群等社会团体都存在中心与边缘现象……部分成员因其在文化观念或价值观上的领先性、优先性得到其他成员的认可,成为该群体的中心,而其他成员则

围绕中心形成边缘^[1]。”美国学者 Edward Shils 阐述的中心—边缘理论揭示了社群内部结构的形成与演化规律。以色列学者 Ben David 将其思想迁移到科学学领域,发现科学中心在科学增长中起

收稿日期:2024-02-08 修回日期:2024-04-18

基金项目:国家社会科学基金重大项目(21&ZD169);国家社会科学基金青年项目(23CTQ028);国家自然科学基金面上项目(72274084)。

作者简介:李旺(1996—),男,蒙古族,内蒙古兴安盟人,武汉大学信息管理学院博士生,研究方向为科学计量、数据科学。通信作者:黄文俊。

决定性作用,只有在中心才能发现真正的科学探索过程,以及能有效促进科学发展的组织和制度^[2]。对应到全球化与知识化相互促进、迅猛发展的当下,科技创新日新月异,竞争格局风云变幻,纵然“科学无国界”倡议得到了国际社会的积极响应,但科学技术始终与国家前途命运相连,只有成为世界科学中心才能汇聚最先进的科学资源,从而突破科学中心国家的限制与打压。在此背景下,努力成为世界科学中心已成为主要科学国家的必然之举。

科学中心是学科中心的叠加效应^[3],而物理学作为自然科学的带头学科、其他学科的研究基础,在科学中心的递嬗过程中起到举足轻重的作用。这也决定了物理学长期为科学技术国际竞争与国际合作的热点。一方面,各国均高度重视物理学研究,竞相投入资源用于物理学研究创新与人才培养;另一方面,各国积极寻求物理学研究国际合作,以我国2016—2020年国际合作论文发表情况为例,物理学是我国国际科研合作相对集中的学科之一^[4]。竞合之间,当前国际物理学科学中心何在?各国距离国际物理学科学中心的距离多远?国际物理学科学中心的转移态势如何?凡事预则立,在上述背景下,识别国际物理学科学中心并探析其转移路径有利于我国有针对性的加强同中心国的物理学研究国际合作,同时明确与中心国的差距所在,在学习中心国发展经验的同时构筑我国领跑可能。

一、相关研究

(一)科学中心基础理论

科学中心基础理论是对科学活动中心点的描述,规定了科学中心的基本特征。1962年,日本学者汤浅光朝^[5]继承贝尔纳的思想对世界科学活动中心进行量化界定,认为若一国在一定时间段内的科学成果数超出同期内全世界科学成果的25%,则该国为该时期的科学活动中心。1974年,中国学者赵红洲^[6]以《复旦大学学报》所载的自然科学大事记为数据进行统计分析,所提出的世界科学中心及其转移学说与汤浅的研究不谋而合。上述研究贡献构成科学中心相关研究的重要基础理论,对后续研究影响深远。此后,诸如“技术中心”^[7]、“学科中心”^[8]、“科技中心”^[9]的概念被推

演提出,“数学中心”^[10]、“信息科学研究中心”^[11]、“农业科学中心”^[12]等则意为某一学科的科学中心,各概念间有所差别,但均包含“世界重大科技成果最为集中的国家”这一核心内涵。

(二)科学中心转移机制

前文所述汤浅光朝、赵红洲均采用重大科学成果数量表征科学中心,得出世界科学中心兴盛期大约为80年、时年世界科学中心为美国的结论。为验证不同数据能否得出普遍规律、提升科学中心识别及预测的准确性,后续诸多学者纷纷选用不同的研究数据测度科学中心,据其描绘科学中心转移路线,并进一步探究科学中心形成与转移的影响因素。

延续前人研究思路,诸多学者选用权威科技史年表,统计年表中各国重大科技成果数量表征科学中心,量化研究得出新观点。

作为全球公认的权威科技成就,诺贝尔科学奖被普遍认为是一国科技水平的重要象征,诺贝尔科学奖数据也被学界纳为重要的科学中心测度指标。如Ben-David^[13]认为,在20世纪,诺贝尔奖获得者的分布也是确定研究中心所在的合适指标。路甬祥^[14]统计了20世纪诺贝尔自然科学奖获奖情况,据获奖者国籍分布数据得出20世纪世界科学中心的转移趋势。李铁林^[15]通过统计诺贝尔奖获得者的国籍、求学及就职高校数据,发现80%的诺贝尔奖由科学中心的一流大学获得。Heinze等^[16]划分世界区域统计了1901—2017年诺贝尔科学奖获得者的学历、国籍等信息,指出美国科学霸权地位正遭受欧洲及亚太地区的冲击。Zhang等^[17]使用诺贝尔科学奖获奖机构数据绘制科学技术版图,研究发现科技中心是诺奖者流动的重要目的地,而诺奖者的流入也能帮助巩固一国科学领导地位。此类研究长期受到国内外学者关注,共同验证了诺贝尔科学奖分布与科学中心转移之间的紧密关联。

科技论文是科学研究产出的一个重要方面,而所刊登的期刊是考察论文质量和水平的主要方面之一。在既有研究中,*Cell*, *Nature*, *Science*等世界期刊的刊载数据被广泛应用于测度一国科技水平在世界上所处的位置。如周辉^[18]等认为在

Nature 和 *Science* 上发表学术论文的数量能够表征一国整体科技水平及其与他国的差距。赵蓉英等^[19]认为在 *Cell*、*Nature* 和 *Science* 上发文的数量能从侧面反映一国顶级科研成果在国际领域内被认可程度。Laudel^[20] 等将拥有 ≥ 3 篇 *Nature*、*Science* 文章的作者定义为高质量科学家,并将高质量科学家流入最多的国家定义为科学中心。张振伟等^[21] 采用 *Cell*、*Nature*、*Science* 论文数据测算我国与全球科学中心的距离,探究科学中心的形成及影响因素。由上述研究可见,世界顶级期刊的刊载情况能够间接表征科学中心。

综观上述研究,科学中心概念一经提出便引起国内外学者广泛关注,科学中心测度所用研究数据以科技史年表记载数据为主流,还包括诺贝尔科学奖获奖数据、国际顶级期刊发文数据等;科学中心测度方法则由早期的定性讨论发展为定量分析,以简单的数据统计为主,社会网络分析方法也逐渐得到应用。系列研究成果为科学中心研究提供了重要的理论基础和思路启发。

武夷山^[22] 认为,科学(史)年表在当前仍是研究世界科学中心转移向的重要资料,世界科学中心的测度还是要看“同行认可的有分量的成果”。实际上,科学史年表的编制工程浩大,加之重大科技成果涌现的滞后性,现有的权威科学史

年表数量较少且更新较慢,难以满足研究需求。而文献数据库的发展、数据分析方法的进步则为研究者获取海量科技论文数据,进而度量国家科研质量与水平提供了条件,筛选科技论文中“同行认可的有分量的成果”作为研究数据有其可行性、科学性,结合智能数据分析及社会网络分析方法能够实现更为微观的科学中心测度。

基于此,本研究聚焦国际物理学科学中心及其转移路径识别,广泛采集科技论文数据,运用 LDA 模型结合科技多样化指数(Technological Diversity Index, TD)与科技专业化指数(Technical Specialization Index, TS)分时段对各国的学科竞争力进行综合评估,从而测算各时期国际物理学科学中心所在;而后运用社会网络分析法测算科学中心与其他主要科学国家^①的度中心度、中介中心度,衡量各国与科学中心间的距离,探求当前国际物理学科学中心的转移路径,为科学合作与发展提供参考。

二、研究设计

本文遵循“科学中心识别→科学中心转移路径识别→各国与科学中心距离测度”的逻辑主线,综合 LDA 模型、TD 指数、TS 指数、社会网络分析法构建了如图 1 所示的国际物理学科学中心与转移路径识别模型。

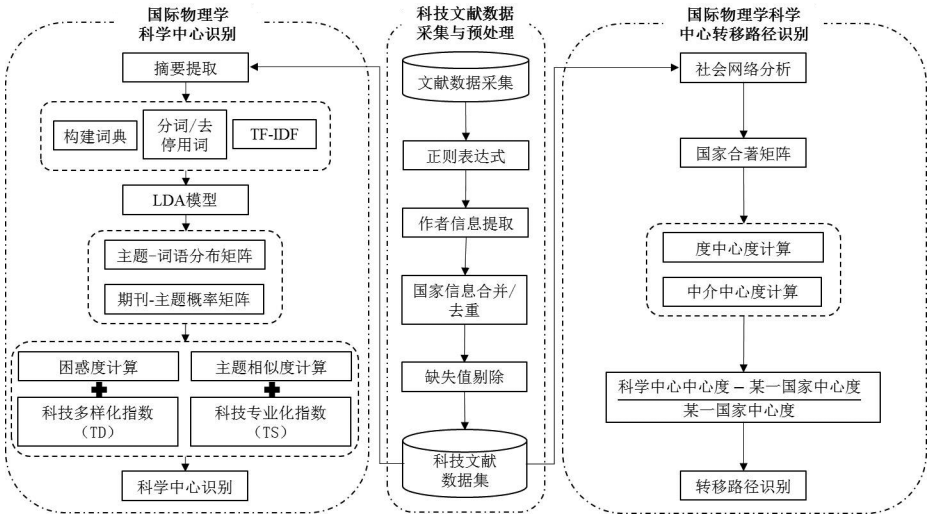


图 1 国际物理学科学中心与转移路径识别模型

① 本文中“主要科学国家”指统计时间段内在 4 部统计期刊上发文总量进入过全球前 10 位的国家。

(一)科技文献数据采集

摘得诺贝尔奖的研究并不总是发表在影响力最大的期刊上。丹麦物理学家 Rasmus Bjørk 通过统计分析 1995—2017 年诺贝尔物理学奖背景文件发现, *Physical Review Letters* 迄今发表的得奖研究最多, 占全部得奖研究的 28.5%, 其次是 *Astrophysical Journal*、*Science*、*Nature*, 4 种期刊所发表得奖研究占全部得奖研究的半数^[23]。因此, 本研究选用 *Science*、*Nature*、*Physical Review Letters*、*Astrophysical Journal* 这 4 种期刊作为科技文献数据来源期刊, 较之其他期刊更适于表征国际物理学科学中心。进行科技文献数据采集时, 数据来源为 Web of Science 数据库, 检索词为 4 种期刊的规范名称, 文献类型为 Article, 文献发表时间设置为 2003 年 1 月 1 日—2022 年 12 月 31 日, 检索时间为 2023 年 5 月 1 日, 共获得论文数据 150 735 条, 人工剔除初始样本中摘要信息、第一作者或通讯作者单位所在国家信息错误、缺失的论文后, 获得论文数据 149 064 条, 形成本次实验所需的“国家提取实验数据集”与“主题提取实验数据集”。

(二)科技文献数据预处理

国际合著是普遍现象, 而对于合著论文, 一般有 3 种计数方法: 一是全计数法, 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; 二是分数计数法, 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; 三是第一作者计数法, 即只对第一作者计数^[24]。而在文献计量学研究中, 第一作者和(或)通信作者被普遍认为最为重要^[25]。综合考虑以上计数法, 本文在采用第一作者计数法的基础上增加对通信作者的计数流程: 首先, 提取科技文献中第一作者与通讯作者的国别信息; 其次, 对第一作者与通讯作者国别信息相同的科技文献进行去重处理; 最后, 结合国别信息和国际合著情况, 构建国家合作网络, 形成“国别统计数据集”与“国际合著数据集”。

在论文数据集中, AU 字段按作者顺序存储了论文的所有作者信息, C1 字段按作者单位分别存储了论文作者的姓名、单位和单位所在国家信息, RP 字段存储了论文通讯作者的姓名、单位和单位所在国家信息。本文首先基于 AU 字段中识别出

论文的第一作者姓名, 并根据第一作者姓名从 C1 字段中提取第一作者的国家信息; 随后从 RP 字段中提取通信作者的国家信息, 并对两类作者的国家信息进行合并和去重处理, 最终得到每篇论文的国家信息。对于单篇论文有多个通信作者, 第一作者或通信作者归属多个单位且这些单位属于不同国家的特殊情况, 本文研究保留相应数据。最终从 149 064 篇论文中识别出 121 个国家与 200 922 条文献信息。以 5 年为时间切片, 各时间段发文前 10 的国家及其发文期刊分布信息如表 1 所示。

表 1 发文国别统计 (Top10)

单位: 篇

2003—2007 年		2008—2012 年		2013—2017 年		2018—2022 年	
总发文量: 71 937		总发文量: 43 111		总发文量: 41 752		总发文量: 44 122	
国家	发文数量	国家	发文数量	国家	发文数量	国家	发文数量
USA	24 857	USA	18 232	USA	16 559	USA	15 792
Switzerland	11 387	Germany	4 073	Germany	3 727	China	5 568
Germany	6 508	Japan	2 425	China	2 872	Germany	3 566
Spain	5 908	France	2 296	England	2 138	Japan	2 338
Japan	3 250	England	2 094	Japan	2 090	England	2 313
France	2 548	China	1 713	France	1 860	France	1 511
China	2 187	Canada	1 302	Canada	1 241	Italy	1 103
England	2 149	Italy	1 224	Italy	1 104	Switzerland	1 035
Canada	1 637	Spain	985	Switzerland	995	Canada	993
Italy	1 612	Switzerland	909	Spain	842	South Korea	792

(三)国际物理学科学中心识别

较之位于科学边缘的科学家, 科学中心的科学家承担着更多的科学前沿探索工作, 其研究成果因而具备相当的广度和深度。各国学者在上述期刊的论文产出规模在一定程度上能反映某国学者的科研生产能力及水平, 但难以体现相应成果的前沿性, 不足以表征科学中心。国内外相关研究者多借助赫芬达尔指数及其衍生公式与跨学科指数测度模型构建测度指标, 实现对技术能力、创新能力、竞争能力的测度, 如江雪峰等^[26]借鉴赫芬达尔指数思想测度研究团队跨学科性; 朱琳等^[27]运用技术多样性指数与 H 指数测度专家技术创新能力; Wang 等^[28]运用技术多样化指数与技术专业化指数测度企业技术竞争力。借鉴既有研究经验, 本文引入表征技术主题多样化程度的科技多样化指数与表征技术主题集中程度的科技专业化指数综合识别国际物理学科学中心。

1. 主题支持度计算与国别匹配

为满足科技多样化指数与科技专业化指数计算的需要, 研究首先运用 LDA 模型对“主题提取实验数据集”中论文数据中的摘要文本进行主题支

持度计算。主要研究步骤为:①整合 10 万余条 WoS 物理学期刊关键词形成专业领域词典;②运用自然语言处理 NLTK 工具包及词典对摘要文本进行分词、去停用词操作;③使用词袋模型(BOW)进行文本特征表示;④使用 TF-IDF 对文本进行向量化操作;⑤对向量化的摘要数据进行 LDA 主题建模并计算主题支持度。在最终输出的“文

献—主题”概率矩阵中,每一列表示特定主题对文献的支持度,支持度越大,则表示文献与相应主题关联度越大,而支持度最大的主题即为该文献的所属的主题,由此获得单篇论文所属的技术主题,集合构成“文献—主题数据集”,将其与“国别统计实验数据集”进行匹配,得到“国别—优势主题数据集”,从而完成实验数据的获取与处理。

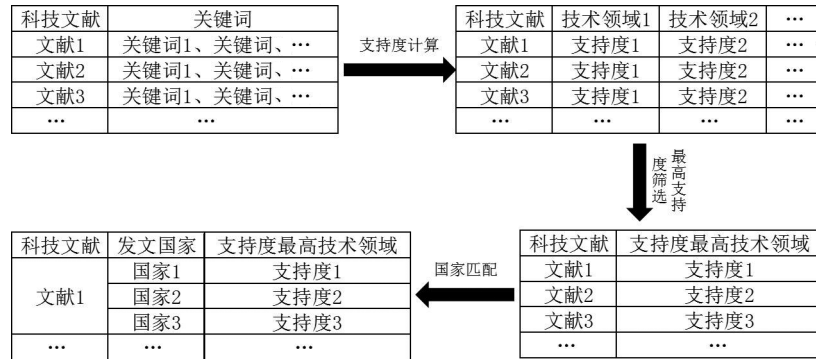


图2 主题支持度计算与国别匹配

2. 科技多样化指数(TD)与困惑度计算

赫芬达尔指数是常用的集中程度度量指标,相应地,赫芬达尔指数的逆指标即可表征多样化程度。借鉴既有研究^[29],本文使用(1-赫芬达尔指数)表征各国论文数据的科技多样化指数 TD,其计算公式为:

$$TD = 1 - \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{f} \right)^2 \quad (1)$$

式(1)中, n 表示某一国家的科技主题总数, f_i 表示某一国家第*i*个技术主题的论文数量, f 表示某一国家的论文总数。 n 的取值通过主题困惑度计算来进行确定。困惑度由 Blei 等^[30]提出,主要用于评估语言模型的优劣程度,困惑度越小表明模型预测性能越优,而困惑度曲线的拐点处则为最优主题数取值。困惑度计算公式为:

$$Perplexity(D) = \exp \left(- \frac{\sum_{m=1}^M \ln Dp(w^m)}{\sum_{m=1}^M N_m} \right) \quad (2)$$

式(2)中, D 为论文数据中的文本语料; M 为其中包含的文本数量;在 M 文本中, N_m 为文本中包含的单词数量; $p(w_m)$ 表示第 m 个文本中词语 w_m 的概率。

3. 科技专业化指数(TS)与相似度计算

常用的科技专业化指数(TS)指数由 Abramo

等^[31]在科学专业化测度研究中提出的基于数据库平台中主题分类的跨学科指数测度模型演变而来,其计算公式为:

$$TS = \frac{\sum f_i \times f_j \times \cos(t_i \times t_j)}{\sum (\sum f_i \times f_j)} \quad (3)$$

式(3)中, i, j 表示某一国家所拥有的技术领域类别; f_i, f_j 表示某一国家所拥有的技术领域类别中的文献数量; $\cos(t_i \times t_j)$ 表示某一国家所拥有的相邻技术领域间的主题相似度,主题相似度使用余弦相似度算法计算,计算公式为:

$$\cos(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}} \quad (4)$$

4. 国际物理学科学中心识别

为更直观地比较国家间科学实力差异,本研究在计算科技多样化指数与科技专业化指数的基础上,构建如图3所示的 TD-TS 二维矩阵进行可视化展示。

为避免极值干扰,该矩阵被两个指数的平均数所分割。其中象限 I 为低科技多样化—低科技专业化象限,位于该象限的国家处于科技发展萌芽阶段;象限 II 为低科技多样化—高科技专业化

象限,位于该象限的国家技术多样化能力不足,但是在单一领域已经形成了技术集群效应;象限Ⅲ为高科技专业化—高科技多样化象限,位于该象限的国家大多处于国际科学中心的核心地位,在多个技术领域占据绝对优势;象限Ⅳ为高科技多样化—低科技专业化象限,位于该象限的国家技术专业化发展水平较低,尚未形成技术壁垒,但科学领域发展较为全面,形成了较为完备的科学体系,也具有成为科学中心的潜质。

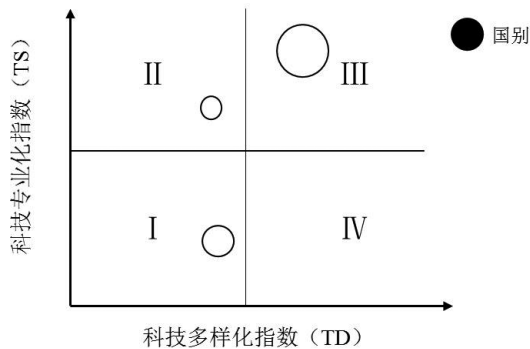


图3 TD-TS二维矩阵

(四) 国际物理学科学中心转移路径识别

社会网络分析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和影响力。基于数据采集与预处理阶段形成的“国际合著数据集”,本文引入社会网络分析法实现对国际物理学科学中心转移路径的识别。衡量网络中节点地位和影响力的指标主要为度中心度和中介中心度,各国4个时间段内的度中心度和中介中心度计算结果如表2所示。

表2 各国科技文献社会网络情况

时间段	2003—2007年		2008—2012年		2013—2017年		2018—2022年	
国家	度中心度	中介中心度	度中心度	中介中心度	度中心度	中介中心度	度中心度	中介中心度
USA	67	890.36	68	1 264.35	68	1 021.18	75	1 076.43
Germany	56	364.68	54	437.24	58	458.87	62	331.45
Spain	56	527.12	40	193.01	38	108.30	45	119.89
England	29	13.43	42	162.44	52	388.41	63	744.91
France	32	19.76	46	427.03	49	414.53	60	734.80
China	41	57.78	36	250.54	43	108.04	57	470.50
Switzerland	66	893.69	32	30.61	36	82.59	43	77.80
Japan	36	35.79	38	101.29	38	319.28	45	112.52
Canada	34	23.97	39	178.78	40	81.22	41	125.83
Italy	29	14.85	36	81.20	43	223.97	50	177.41
South Korea	41	128.60	24	59.74	28	16.74	27	118.16

相应地,度中心度、中介中心度差值可衡量各主要科学国家与科学中心国家的距离。其计算方式为:

$$D_1 = \frac{DC_c - DC_i}{DC_i}$$

$$D_2 = \frac{BC_c - BC_i}{BC_i}$$

式中, DC_c 为科学中心国家的度中心度; DC_i 为其他国家的度中心度; D_1 为度中心度差距, D_1 值越小,说明该国与科学中心国家的差距越小。 BC_c 为科学中心国家的中介中心度; BC_i 为其他国家的中介中心度; D_2 为中介中心度差距, D_2 值越小,说明该国与科学中心国家的差距越小。

三、研究结果

(一) 国际物理学科学中心识别结果

1. 科技多样化指数(TD)

科技多样化指数计算的第一步就是通过科学的方法确定4个时间段内文献数据集的技术主题数量。根据研究设计中科技多样化指数的计算流程,并借助python实现困惑度计算,各时间段下困惑度曲线如图4所示。

观察图4的困惑度曲线可知,在“2003—2007主题提取实验数据集”困惑度曲线中,主题数目为0~60时,困惑度普遍较低,而主题数目为46时,主题一致性曲线最高,因此,本研究在进行2003—2007年国际科学中心识别时,将主题数目设置为46。同理,2008—2012年主题数目设置为58,2013—2018年主题数目设置为59,2019—2022年主题数目设置为53。主题聚类完成后,本研究分别确定了4个时间段内的国家文献主题数量。而后,通过LDA模型主题支持度计算方式,依次确定4个时间段内国家所属的技术主题,从而确定科技多样化指数中的 n 值,如2003—2007年间“USA”包含43个技术主题,则其 n 值为43,代入完成科技多样化指数计算。

2. 科技专业化指数(TS)

根据研究设计中科技专业化指数的计算流程,本研究使用python代码分别对发文前10国家各涵盖的所有技术主题进行主题间相似度计算,获取 $\cos(t_i \times t_j)$ 值,而后通过数学统计方式获取单一国家所涵盖技术主题下的文献数量,最后将相关数值代入科技专业化指数计算公式中,完成科技专业化指数的计算。

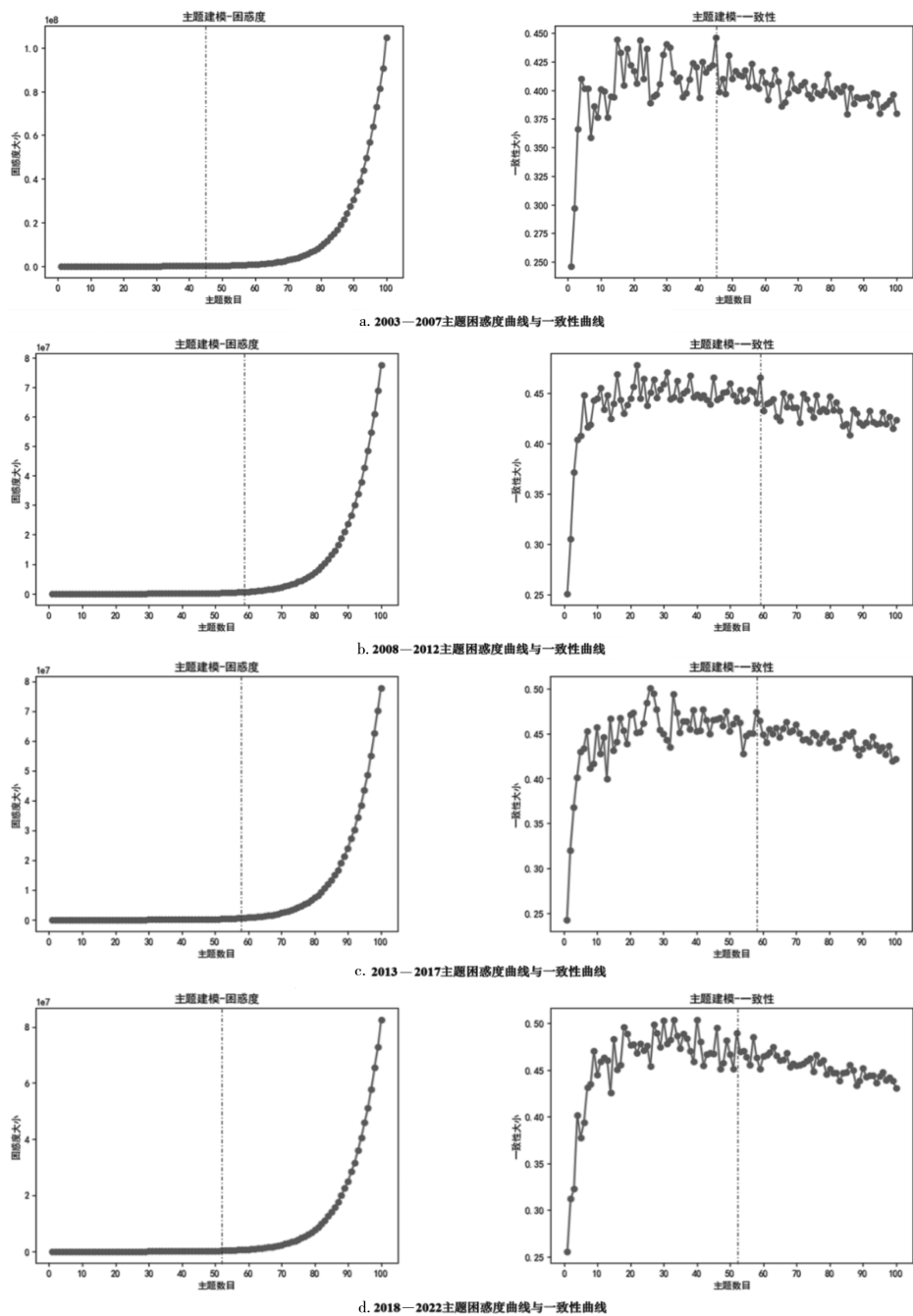


图 4 各时间段主题困惑度曲线与一致性曲线

3. 国际物理学科学中心识别

经由上述计算步骤,表征国际科学中心竞争力的“TD - TS 二维矩阵”所需取值汇总如表 3 所示。

以科技多样化指数(TD)为横轴,科技专业化指数(TS)为纵轴,论文总数为气泡大小,本研究绘制了表征国际科学中心竞争力的“TD - TS 二维矩阵”如图 5 所示。

综合表 3 与图 5 可以发现:2003—2007 年,美

国的科技专业化指数与发文量位居世界第一名,但科技多样化指数位居世界第四名;瑞士的科技多样化指数位居世界第一名,且科技专业化指数与发文量位居世界第二名;英国、德国与西班牙在科技专业化指数、科技多样化指数与发文量数值也相对较高,三国均处于第三象限,由此可以判断,在 2003—2007 年,美国为国际物理学科学中心,瑞士、英国、德国、西班牙为次科学中心,日本、法国与中国等也有成为次科学中心的潜质。

表3 TD—TS 二维矩阵取值

时间段	取值	国家									
		USA	Switzerland	Germany	Spain	Japan	France	China	England	Canada	Italy
2003—2007 年	TD	0.320	0.413	0.355	0.391	0.237	0.279	0.094	0.382	0.169	0.128
	TS	0.890	0.886	0.866	0.870	0.836	0.767	0.752	0.837	0.799	0.728
	论文总数	24 857	11 387	6 508	5 908	3 250	2 548	2 187	2 149	1 637	1 612
时间段	取值	国家									
		USA	Germany	Japan	France	England	China	Canada	Italy	Spain	Switzerland
2008—2012 年	TD	0.515	0.484	0.511	0.490	0.537	0.464	0.449	0.394	0.413	0.519
	TS	0.934	0.866	0.836	0.767	0.837	0.752	0.799	0.728	0.870	0.886
	论文总数	18 232	4 073	2 425	2 296	2 094	1 713	1 302	1 224	985	909
时间段	取值	国家									
		USA	Germany	China	England	Japan	France	Canada	Italy	Switzerland	Spain
2013—2017 年	TD	0.559	0.593	0.593	0.601	0.606	0.577	0.537	0.536	0.647	0.545
	TS	0.934	0.923	0.881	0.883	0.893	0.888	0.872	0.889	0.831	0.866
	论文总数	16 559	3 727	2 872	2 138	2 090	1 860	1 241	1 104	995	842
时间段	取值	国家									
		USA	China	Germany	Japan	England	France	Italy	Switzerland	Canada	South Korea
2018—2022 年	TD	0.065	0.074	0.051	0.073	0.056	0.056	0.052	0.063	0.063	0.060
	TS	0.843	0.811	0.785	0.763	0.700	0.757	0.720	0.601	0.643	0.618
	论文总数	15 792	5 568	3 566	2 338	2 313	1 511	1 103	1 035	993	792

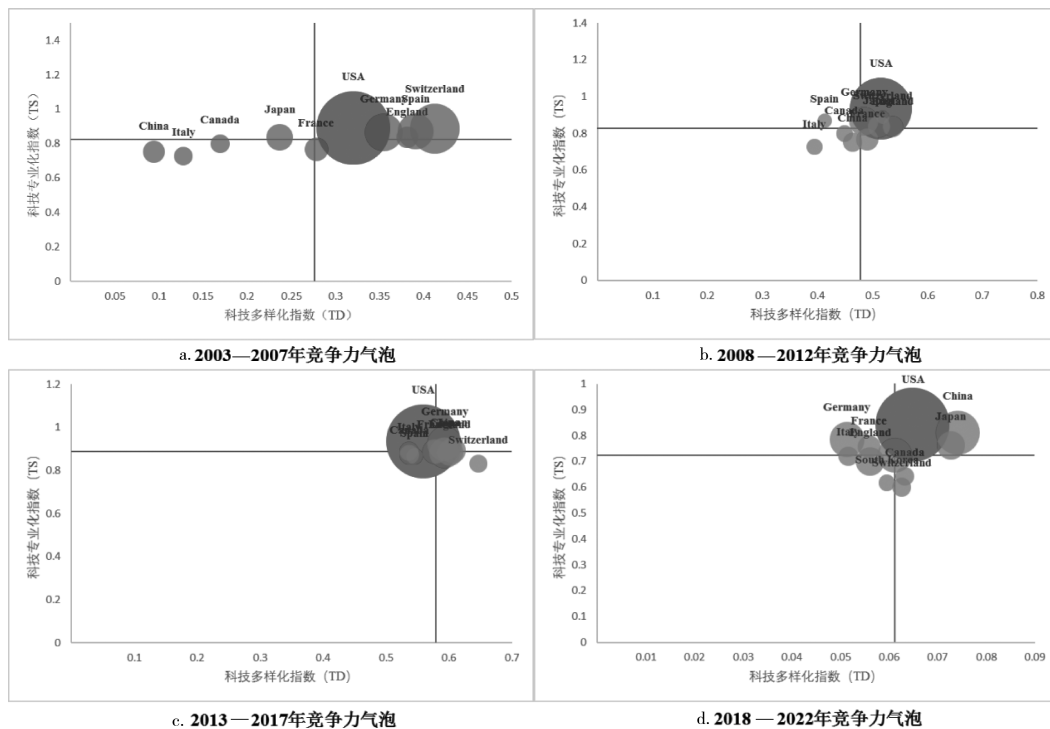


图5 国际科学中心竞争力气泡图

2008—2012 年,美国的科技专业化指数与发文量仍位居世界第一,科技多样化指数位居世界第二;英国发文量相对较少,但科技多样化指数位居世界第一,科技专业化指数位居世界第三,相关研究进展逐渐和德国、瑞士不相上下,可见其迅猛发展;瑞士在此时间段发文量急剧下降,但科技多样化指数与科技专业化指数仍居高不下,可见瑞

士物理学研究的扎实地位;日本的物理学研究飞速发展,科技多样化指数、科技专业化指数、发文量均排名较高,跃升为该阶段的次科学中心。由此可以判断,在 2008—2012 年,美国仍是国际物理学科学中心,而英国、瑞士、德国与日本为次科学中心,法国、中国、加拿大与意大利等也有成为次科学中心的潜质。

2013—2017 年,美国科技专业化指数与发文量仍旧位居世界第一,但科技多样化指数方面的排名有所降低,产生该现象的原因可能是在此阶段美国的物理学研究更加聚焦单一领域进行研发攻关,但这并未影响美国科学中心的霸主地位;瑞士在此阶段的发文量持续低迷,但科技专业化指数仍保持较高水平;德国、英国与日本在该阶段的技术多样化指数、科技专业化指数、发文量均位居前列,保持次科学中心地位;值得注意的是,中国在此阶段异军突起,发文量位居世界第三,科技多样化指数也排在前列,已然跃升为该阶段的次科学中心。

2018—2022 年,据表 3 数据,所有国家的科技多样化指数均急剧降低,结合该阶段特征分析,以英国脱欧、特朗普当选美国总统、中美贸易摩擦等事件为标志,该阶段逆全球化思潮显著抬头,有效突破核心技术“依附性”必要性和紧迫性空前,各主要科学国家转而开展本国核心技术攻坚,致使科技多样化指数的整体性急剧降低。与此同时,席卷全球的新冠病毒感染疫情导致国际教育、科技、人才、信息等流动举步维艰,也在一定程度上导致了科技多样化指数的整体性降低。在该阶段,世界物理学研究格局也发生了微妙的变化,美国以其高发文量与高科技专业化指数保持国际科学中心地位,但是中国和日本的科技多样化指数、科技专业化指数及发文量均反超德

国、英国、瑞士等老牌次科学中心,成为科技实力仅次于美国的次科学中心,加之韩国发文量超越西班牙进入世界前十,亚洲 3 个主要科学国家在此轮科学中心竞争中均有亮眼表现,科学中心向亚洲转移不无可能。

(二) 国际物理学科学中心转移路径识别结果

基于前文分析可知,在 4 个时间段内,美国的科技多样化指数与科技专业化指数均位居前列,其物理学国际科学中心的霸主地位在很长一段时间不会改变,但德国、英国、瑞士、日本、中国等国家与美国的差距呈现出逐渐缩小态势。为进一步探析国际物理学科学中心的转移趋势,本研究基于国际物理学科学中心转移路径识别的计算流程,对“国际合著数据集”进行计算与分析,结果如表 4、图 6、图 7 所示。

表 4 主要科学国家与美国之间的距离

时间段	2003—2007		2008—2012		2013—2017		2018—2022	
	中心度差异		中心度差异		中心度差异		中心度差异	
	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂
Germany	0.20	1.44	0.26	1.89	0.17	1.23	0.21	2.25
Spain	0.20	0.69	0.70	5.55	0.79	8.43	0.67	7.78
England	1.31	65.30	0.62	6.78	0.31	1.63	0.19	0.45
France	1.09	44.06	0.48	1.96	0.39	1.46	0.25	0.46
China	0.63	14.41	0.89	8.45	0.58	4.05	0.32	1.29
Switzerland	0.02	0.00	1.13	40.31	0.89	11.36	0.74	12.84
Japan	0.86	23.88	0.79	11.48	0.79	2.20	0.67	8.57
Canada	0.97	36.15	0.74	6.07	0.70	11.57	0.83	7.55
Italy	1.31	58.94	0.89	14.57	0.58	3.56	0.50	5.07
South Korea	0.63	5.92	1.83	20.16	1.43	60.02	1.78	8.11

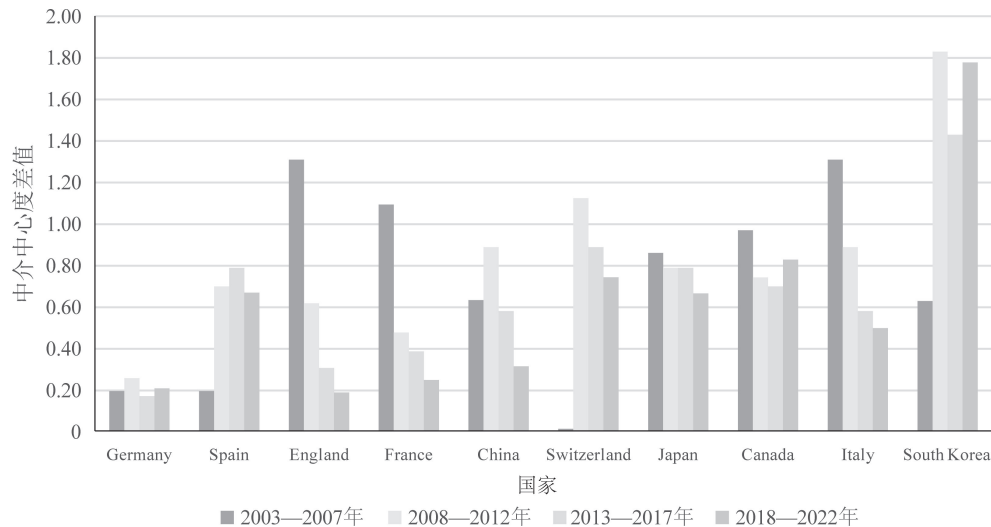


图 6 主要科学国家与美国在中介中心度方面的差距变化

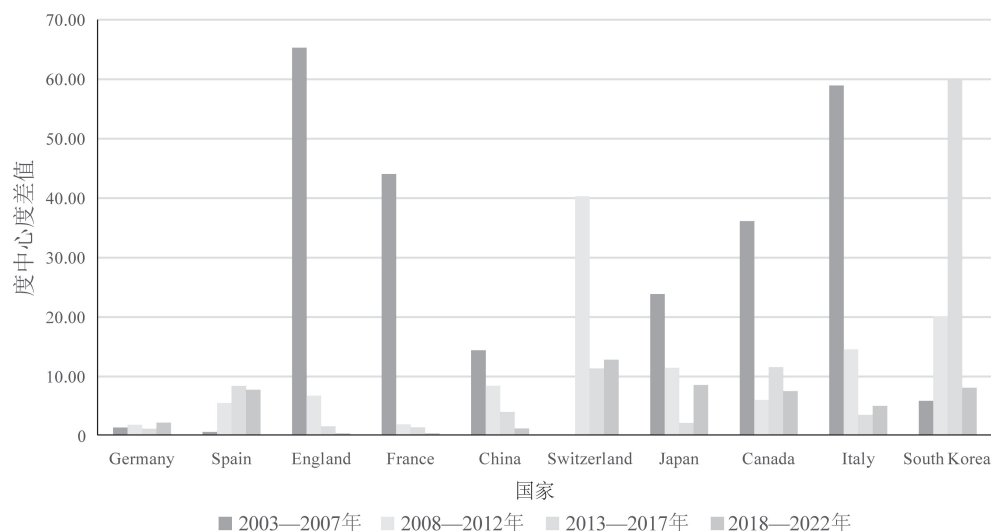


图7 主要科学国家与美国在度中心度方面的差距变化

美国在4个阶段的度中心度分别为67、68、68、75,呈逐年上升趋势;中介中心度分别为890.36、1264.35、1021.18、1076.43,虽然在2013—2017年之间有所下降,但仍居世界第一,可见美国在物理学全球科学合作网络中居于绝对中心地位。德国、英国、法国、瑞士、中国、日本等国家在全球物理学科学合作网络也位居全球前列,在全球物理学科技论文合作网络中处于重要位置。

观察表5、图6、图7可知,当前各国与美国的距离在逐渐缩小,但各国之间与美国之间的距离也有细微差异。

德国在2003—2022年的 D_1 值分别为0.20、0.26、0.17、0.21, D_2 值分别为1.44、1.89、1.23、2.25,四个时间段内 D_1 整体变化幅度不大, D_2 存在小幅度上升,但是相比其他国家,德国与美国的 D_1 值与 D_2 值均最低,可见德国长期处于物理学次科学中心地位,如果物理学科学中心发生转移,则德国最有可能成为下一个物理学科学中心。

瑞士、西班牙在2003—2007年期间的 D_1 值与 D_2 值分别为(0.02,0.00)和(0.20,0.69),其中瑞士在此期间的 D_2 值几乎为0,极小差值显示了该阶段两国与美国在物理学研究上的国际地位相当,但是在2008—2012年,两国的 D_1 值与 D_2 值骤然增大,即使2013—2022年的有所回升,但已同美国产生了一定距离。

英国、法国在2003—2007年期间的 D_1 值与

D_2 值分别为(1.31,65.30)和(1.09,44.06),同美国的差距较大,但在2008—2022年,两国的 D_1 值与 D_2 值逐年缩小,且缩小幅度的较大,接近美国成为国际物理学次科学中心,这与德国、英国、法国、瑞士的传统科技强国地位相符,其科学研究基础和实力相对较强^[32],它们成为次科学中心情有可原。

值得注意的是,除日本在2013—2022年有所反弹外,作为非传统科技强国的日本、中国在统计时期内的 D_1 值与 D_2 值也呈现逐年下降趋势,而且数值同上述传统科技强国的差距不大,可见两国发展之迅猛。尤其是中国,在四个阶段内与美国的差距缩小幅度的较大,两国已然成为亚洲为数不多的国际物理学次科学中心。

当前美国仍处于科学中心霸主地位,短时间内其物理学科学中心的地位内不会发生巨大变化,这与美国非中心化控制的学术制度环境、灵活的大学组织制度、大规模科研经费、超一流研究设施、高水平科研团队及移民科学家的贡献等息息相关^[33];德国、英国、法国、瑞士等欧洲国家即使受上世纪至今仍存在的科学家移出热潮影响较大,但仍有较大可能成为下一个国际物理学科学中心,长期较为充足的科研经费投入、扎实的设备与人才储备及在吸引全球物理学家方面的相对出色的表现能为其构筑一定的科学中心竞争优势,已移出的科学家也通常会同欧洲国家保持密切的合

作关系,共同作用推动国际物理学科学中心逐渐其转移;只有经济强国才可能支撑规模巨大的科学系统和科学投入^[40],伴随中国、日本社会经济的飞速发展,两国的高等教育和科研机构投入逐年增长,同时积极融入国际科学界,大力引进高水平国际科学家,并持续在人才培养和科研创新制度方面学习美国经验、不断尝试变革,为两国成长为国际物理学次科学中心亟需了坚实的机会和资源,带领着亚洲地区在国际物理学科学中心竞争中崭露头角。

综上所述,美国在物理学领域的优势地位短时间内不会改变,而欧洲国家有可能成为下一个国际物理学科学中心。此外,日本和中国也已逐渐成为次科学中心,国际物理学科学中心有向亚洲转移的趋势。这些现象的产生和发展与各国的科研投入、科研团队和科研环境等因素密切相关。随着时间的推移,加之各国经济快速发展、科研环境日渐改善、人才储备逐渐丰富、国际合作与交流日益加强等因素的影响,国际物理学科学中心的转移趋势可能会进一步加速。

四、结语

本文遵循“科学中心识别→科学中心转移路径识别→各国与科学中心距离测度”的逻辑主线,采集科技论文中“同行认可的有分量的成果”作为研究数据,综合 LDA 模型、数量结构分析方法、社会网络分析法等研究方法,科学选取和计算科技多样化指数、科技专业化指数、度中心度、中介中心度等测度指标,计量得出国际物理学科学中心所在及各国与中心国的距离,结合计算结果分析了科学中心的转移路径,最终得到如下结论:

第一,美国在物理学领域一直处于中心地位,其发文量、科技专业化、科技多样化都表现出绝对优势。然而,诸如英国、德国、瑞士、日本、中国等国家的物理学研究成果也在数量及深度、广度上显著进展,逐渐构成多个次科学中心。与此同时,受逆全球化思潮影响,各国更倾向于开展优势核心技术攻关,从而提升本国科技发展的自主性。在上述背景下,美国将长久占据国际物理学科学中心地位,但多中心格局或将成为大势所趋。

第二,度中心度的逐年上升和中介中心度的

持续高位体现了美国在全球物理学科学合作网络中难以撼动的绝对中心地位。尽管如此,德国、英国、法国、瑞士、日本和中国等国家与美国的差距也在逐渐缩小,体现了这些国家在全球物理学科学合作网络中逐年提升的地位,由此构成国际物理学研究领域的“一超多强”局面。这种局面不仅反映了全球物理学研究的多元化和竞争性,也预示着未来可能出现更多的科学中心和领导力量。

第三,德国、英国、法国、瑞士等欧洲国家展现出了成为下一个国际物理学科学中心的潜力,中国和日本在物理学研究方面的快速发展令人瞩目,相关因素共同促使亚洲逐渐成为物理学研究的重要一极,并有可能在未来成为国际物理学科学中心,整体上构成了“美国→欧洲→亚洲”的国际物理学科学中心转移路径。

需要说明的是,本研究仍旧存在着一些不足:在文献数据选取层面,研究科学中心应该把科学和技术一起加以考察,而非仅仅关注科学^[40],本研究仅仅选择了 *Science*、*Nature*、*Physical Review Letters*、*Astrophysical Journal* 这 4 种期刊的科技论文作为研究数据,尚未纳入专利、软著等其他可用于衡量科技实力的数据,数据类型较为单一;在研究设计方面,本研究仅仅对发文的国家进行了分析,尚未细化到发文机构层面,限制了分析各个国家的科技实力及背后缘由的深度;研究方法使用层面,本研究在主题识别过程中主要使用了 LDA 模型,虽然该模型应用范围较广,但是识别结果十分依赖分析人员的专业知识,导致本研究在主题可解读性方面存在不足。因此,丰富研究数据类型,优化模型研究方法将会是未来的重点研究方向。

参考文献:

- [1] SHILS E. Center and periphery: essays in macrosociology [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1975: 91-92.
- [2] 戴维. 科学家在社会中的角色[M]. 成都: 四川人民出版社, 1988: 29-32.
- [3] 冯烨, 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(5): 4-8.
- [4] 胡蝶, 吴玥, 常伶俐, 等. “嵌入”与“破局”: 疫情背景下我国国际科研合作关系的延续与创新[J]. 复旦教育论坛, 2023, 21(2): 72-79.

- [5] YUASA M. Center of scientific activity: its shift from the 16th to the 20th[J]. Japanese studies in the history of science, 1962(1):57-75
- [6] 赵红洲. 科学能力学引论[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [7] 康荣平. 世界技术中心的转移与“汉字技术圈”的兴起[J]. 中国科技论坛, 1988(4):51-52, 60.
- [8] LIANG Liming, FENG Ye, WU Yishan. Shifts in the world science centre: space-time characteristics and disciplinary analysis[J]. Interdisciplinary science reviews, 2000, 25(3): 227-232.
- [9] 潘教峰, 刘益东, 陈光华, 等. 世界科技中心转移的钻石模型: 基于经济繁荣、思想解放、教育兴盛、政府支持、科技革命的历史分析与前瞻[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(1):10-21.
- [10] 刘则渊, 韩震. 近代世界数学与科学关系的计量研究[J]. 科学学研究, 2004(2):129-136.
- [11] HOU Jianhua, YANG Xiucui. From the United States to China: the transfer of research centres in information science[J]. Current science, 2019(116): 422-436.
- [12] 李颖明, 王子彤, 汪明月, 等. 世界农业科学中心的转移规律与动力机制研究[J]. 科学学研究, 2024, 42(4): 691-703.
- [13] BEN-DAVID J. The scientist's role in society: a comparative study[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1971: 138-168.
- [14] 路甬祥. 规律与启示: 从诺贝尔自然科学奖与 20 世纪重大科学成就看科技原始创新的规律[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2000(4):3-11.
- [15] 李铁林. 世界科学中心的转移与一流大学的崛起[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2009.
- [16] 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): e0213916.
- [17] ZHANG Lingche, ZHANG Qiuju. Mapping the scientific and technological landscape: an analysis of Nobel Prize-producing institutions[J]. Scientometrics, 2023, 128(11): 6129-6145.
- [18] 周辉, 张光红, 贺飞, 等. 中国内地学者在 Nature 和 Science 发表论文统计分析[J]. 中国基础科学, 2004(2): 35-37.
- [19] 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.
- [20] LAUDEL G. Migration currents among the scientific elite[J]. Minerva, 2005, 43(4): 377-395.
- [21] 张振伟, 黄露, 谭龙, 等. 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[J]. 中国软科学, 2022(6):1-20.
- [22] 武夷山. 关于科学年表的一些想法[EB/OL]. (2020-08-31) [2024-01-04]. <https://blog.sciencenet.cn/blog-1557-1248569.html>.
- [23] These four journals publish the most Nobel Prize-winning papers in physics [EB/OL]. (2020-01-16) [2023-11-12]. <https://www.nature.com/nature-index/news/journals-publish-most-nobel-prize-winning-research-papers-physics>.
- [24] WAGNER C S, BORNHANN L, LEYDESDORFF L. Recent developments in China-U. S. cooperation in science[J]. Minerva, 2015(3):199-214.
- [25] 武夷山. 关于论文计数法的几点思考[EB/OL]. (2018-07-08) [2023-11-11]. <https://blog.sciencenet.cn/blog-1557-1122817.html>.
- [26] 汪雪峰, 张娇, 李佳, 等. 跨学科团队与跨学科研究成果产出: 来自科学基金重大研究计划的实证[J]. 科研管理, 2018, 39(4):157-165.
- [27] 朱琳, 汪雪峰, 朱东华, 等. 基于技术多样性及扩散宽度的专家技术创新能力评价[J]. 情报杂志, 2018, 37(4): 176-182.
- [28] WANG Xuefeng, YANG Xiumei, WANG Xinglu, et al. Evaluating the competitiveness of enterprise's technology based on LDA topic model[J]. Technology analysis & strategic management, 2020, 32(2): 208-222.
- [29] AHUJA G. The duality of collaboration: Inducements and opportunities in the formation of interfirm linkages[J]. Strategic management journal, 2000, 21(3): 317-343.
- [30] BLEI D M, NG A Y, JORDAN M I, Latent dirichlet allocation[J]. Journal of machine learning research, 2003, 3(4/5):993-1022.
- [31] ABRAMO G, ANGELO C A D, COSTA F D. A new bibliometric approach to assess the scientific specialization of regions[J]. Research evaluation, 2014, 23(2):183-194.
- [32] 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):1754-767
- [33] 赵炬明. 从跟跑到领跑: 美国的经验与中国的未来: 中美科技竞争下美国科学体系与研究型大学制度研究系列之一[J]. 高等教育研究, 2023, 44(1):25-45.

(本文责编: 默 黎)