

基于文献计量和主题模型的对撞机技术发展态势研究

李华东¹ 伊惠芳^{1,2} 刘细文^{*,1,2}

(1. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190;

2. 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系, 北京 100190)

摘要: 为了全面了解对撞机相关技术的构成与发展趋势, 本文分析近三十年对撞机技术相关的专利和论文数据, 在统计其年度、国家、机构分布情况的基础上, 分别利用 Context-LDA 模型和 LDA 主题模型, 研究专利和论文的主题分布及热点主题, 进一步利用相似度指标(JS 距离) 及信息熵, 分析论文主题的演化。结果表明, 日本和美国分别是专利和论文产出量最高的国家, 中国位居前列且近些年的成果数量快速增加; 加速系统电极电路、束流注入、超导装置、真空系统、射频腔等是专利中热度较高的技术主题。与大型强子对撞机相关的技术主题在各时段论文中均是研究热点, 其中热度较高的主题有磁体与螺线管、运迹系统、束流腔、超导磁体、量热仪等; 对撞机技术领域研究主题朝着更加均衡多样化的趋势发展。建议中国继续提升在该领域的成果产出数量; 增大热点技术领域的研发力度; 科研单位应寻求与优势企业的研发合作, 或促进产学研一体化发展; 加快对是否建设大型对撞机的研判工作。

关键词: 对撞机; 技术; 论文专利; 主题模型; 主题演化

DOI: 10.16507/j.issn.1006-6055.2021.12.007

Research on the Development Trend of Collider Technology Based on Bibliometrics and Topic Models

LI Huadong¹ YI Huifang^{1,2} LIU Xiwen^{*,1,2}

(1. National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Department of Library, Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: In order to fully grasp the technical composition and development tendency of the collider, this paper analyzes the patents and papers related to the collider technology in the past 30 years. The statistics on the annual, national, and institutional distributions of the patents and paper are presented firstly. Then, this study uses the Context-LDA model and LDA topic models to study the topic compositions and hot topics of patents and papers respectively. Further, by using similarity index (JS distance) and information entropy, this study analyzes the topic evolution of papers. The results show that Japan and the United States are the countries with the highest amount of patents and papers respectively. China ranks in the forefront and the output of achievements has increased rapidly in recent years; electrode circuits of accelerated system, beam injection, superconducting devices, vacuum systems, radio frequency chambers, etc., are the most popular topics of the patents. The technical topics of papers related to the Large Hadron Collider have been hot topics at different times. Among

* E-mail: liuxw@mail.las.ac.cn

them, the hot topics include magnets and solenoids, trace systems, beam cavities, superconducting magnets, calorimeters, etc. . Research topics in the field of collider technology are developing towards a more balanced and diversified trend. This paper recommends that China continues to increase the number of output in this field, increases the research and development (R&D) efforts of hot technology fields; scientific research institutions should seek R&D cooperation with superior enterprises, or promote the integrated development of production, education and research, and speed up the research to determine the construction of a large-scale collider.

Keywords: Collider; Technology; Papers and Patents; Topic Model; Topic Evolution

对撞机是进行高能物理实验、研究物质最基本结构和相互作用规律的重大科技基础设施(简称重大设施)。自 20 世纪 60 年代意大利建造第一台正负电子对撞机以来,全世界共建造了二十多台类型不同、能量各异的对撞机,其中包括电子对撞机、质子对撞机、重离子对撞机以及电子-质子对撞机等,对撞能量覆盖了 MeV 到 TeV 量级^[1]。

高能物理的发展与对撞机技术的进步息息相关。高能物理研究的深入促进了相关技术领域的飞速发展,但同时也导致设施本身的工程复杂度越来越高,对技术水平要求越来越严苛。对承担大科学工程建设运行的国家及组织机构来说,巨大的成本投入、潜在的科学风险^[2]、复杂的外部环境等都是可能影响决策方向的重大问题。近年来,国内学术界对是否建设大型对撞机的问题展开了激烈辩论^[3-7],重点围绕美国与欧洲的经验教训、领域发展的未来前景、总体资金投入及学科经费分配等几大方面。客观来说,这类辩论对国家科技方向把握与政策制定大有裨益^[8,9],但对上层管理者而言,做出决策的首要前提是对事物本身有足够全面的认知。为此,王贻芳等^[10]从重大设施在科学发展中的地位与作用出发,回顾了国内外相关领域的发展情况,并着重就对撞机的重要价值与展望规划做了论述;娄辛丑^[11]从高能物理发展、国际竞争形势、工程溢出效益等方面说明了中国建设环形正负电子对撞机(Circular

Electron-Positron Collider, CEPC)的必要性;岳崇兴等^[12]对即将运行或正在设计中的未来对撞机做了简要介绍,并以此梳理了高能物理实验的发展趋势。不过,以上工作多是从高能物理的角度出发,较少涉及对撞机背后的工程技术。大型对撞机是一项投入巨大的工程项目,对项目的前期论证来说,科学研究前景是首要考量因素。除此之外,系统分析国内外研究所关注的对撞机技术主题及演化趋势,对于研发人员把握技术热点与发展方向、优化未来设施技术方案、逐步实现技术赶超,管理人员全面深入认识设施、合理制定相关政策规划等有重要价值。对此,靳松等^[13]对 CEPC 和超级质子-质子对撞机中前沿技术进行了介绍。然而,该文具有较强的针对性,本文希望从更为全面的技术角度进行分析。

专利和论文是发明创造和科研成果的即时、集中载体。本文在分析相关专利和论文年度、国家、机构分布的基础上,利用主题模型,探析最近三十年来与对撞机技术相关的专利和论文的主题构成;分析论文主题演化趋势,并引入信息熵来度量论文主题的差异性、均衡性程度变化。最后,根据研究结论提出了几点政策建议。

1 数据与方法

本研究所用专利和论文数据分别来自 Web of Science(WOS)数据库的 DII(Derwent Innovations Index)和核心合集。数据检索日期为 2021 年 7 月 28 日,限定时间范围为 1991—2020 年。共检

索到论文 12623 篇,专利 3914 条。

专利检索式:ts=(("particle physics" or "high energy physics" or "Particle * Field * " or "heavy ion collider" or "large hadron collider" or "Beijing Electron positron Collider" or "collider physics" or "accelerat * physics" or "particle accelerator" or "particle collider" or "higgs") or (("radio * frequenc * ") and (collider or accelerator)) or ("superconducti * " and (collider or accelerator)) or ((vacuum or magnetic * or beam or cool * or track * or detect * or data or control or circuit or klystron or amplifier or monitor or trigger or pixel or calorimet * or track or cryoge * or jet or scintillat * or project * or dipole or Quadrupole) and (collider or "particle accelerat * ")))

论文检索式:TS = collider not (WC = Physics, Particles & Fields)

1.1 数据分布

1.1.1 年度分布

近 30 年,对撞机技术领域的全球发文量呈持续增长趋势,其中 1998—2008 年的增速最快,近 10 年(2009—2019)的增速明显放缓;中国在该领域的发文量整体呈稳步增长趋势(图 1)。

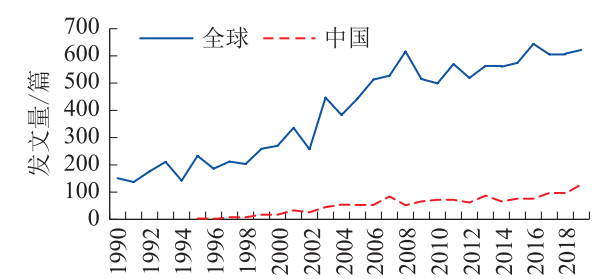


图 1 对撞机技术领域论文年发文量

Fig. 1 Annual Number of Papers Published in the Field of Collider Technology

图 2 展示了对撞机技术领域的年度专利申请量。1996 年之前,全球申请量基本维持在 110 件

以上(1992 年有 89 件);1996 年之后开始减少,且在随后的 10 年里基本处于波动状态;2008 年后,专利申请的态势转好,数量开始明显增加并整体呈现上升趋势。中国在对撞机技术领域专利申请量走势较为单调,2008 年之前很少,且未见明显增幅,整体技术发展仍处于摸索实践中;2008 年之后呈快速增长趋势,并于 2019 年达到了当年全球专利申请量的一半。

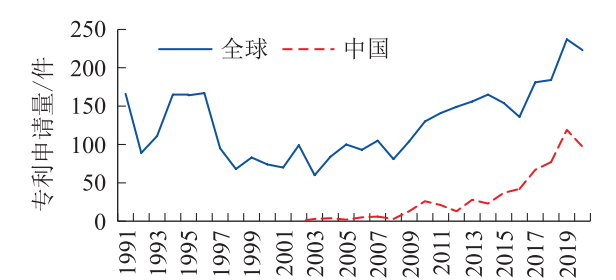


图 2 对撞机技术领域专利年申请量

Fig. 2 Annual Number of Patent Applications in the Field of Collider Technology

1.1.2 国家分布

图 3 展示了对撞机技术领域发文量 Top15 的国家(由于存在国家间合作发表论文的情况,所以将图 3 中论文数相加大于检索到的发表论文总数)。经统计,1991—2020 年,其共发表论文 10701 篇,占对撞机领域总发文量的 89.32%。其

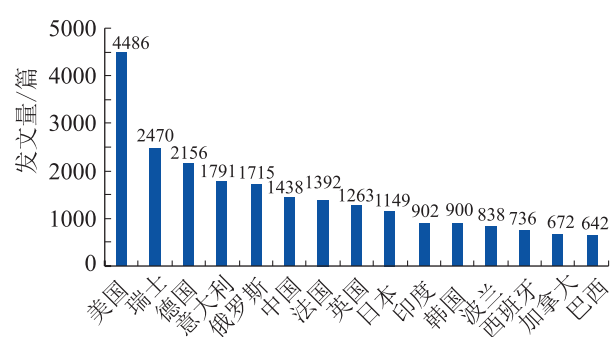
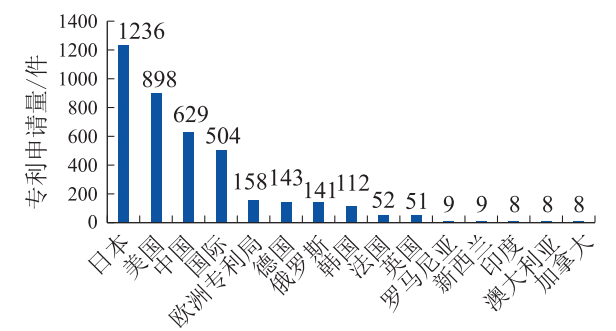


图 3 对撞机技术领域论文发文量 Top15 国家 (1991—2020)

Fig. 3 Top 15 Countries on the Number of Papers in the Field of Collider Technology (1991-2020)

中,美国在该领域的研究体量较大,发文量占总发文量的 37.44%,约是排名第二位的瑞士发文量的 2 倍。中国在该领域发表论文 1438 篇,全球排名第 6,居于前列,但其发文量仅占美国 1/3 左右,仍存在较大差距。

图 4 展示了 1991—2020 年间,对撞机技术领域专利申请量排名前 15 位的国家/地区。发表论文章量 Top15 中的瑞士、意大利、波兰、西班牙、巴西等国并未进入专利申请量 Top15,而未在发文量 Top15 中出现的罗马尼亚、新西兰、澳大利亚跻身专利申请量的前 15 之列,但数量较少。此外,日本的专利申请量远超美国(第 2),约是其 1.5 倍。相比于论文的发表情况,中国在专利申请方面的表现更好,排名第三,但与日本相比仍有较大差距。



注：“国际”代表世界知识产权组织(WIPO),表示该专利经 PCT 条约,由 WIPO 进行登记,然后在多个国家进行了专利申请,用 WO 表示。

图 4 对撞机技术领域专利申请量 Top15 国家 (1991—2020)

Fig. 4 Top 15 Countries on the Number of Patents in the Field of Collider Technology (1991-2020)

1.1.3 机构分布

对论文的机构归属进行清洗后,本文统计了在对撞机技术领域发文量前 20 的机构(图 5)。排在第一位的是欧洲核子研究中心,与第二名美国加州大学伯克利分校拉开了较大差距。意大利国家核物理研究院和俄罗斯杜布纳联合核子研究

所分别处于第 3、7 位。美国机构占据了榜单中的大多数位置(共有 14 个)。中国的中科院高能物理研究所和中国科学技术大学分列榜单的 19、20 名。

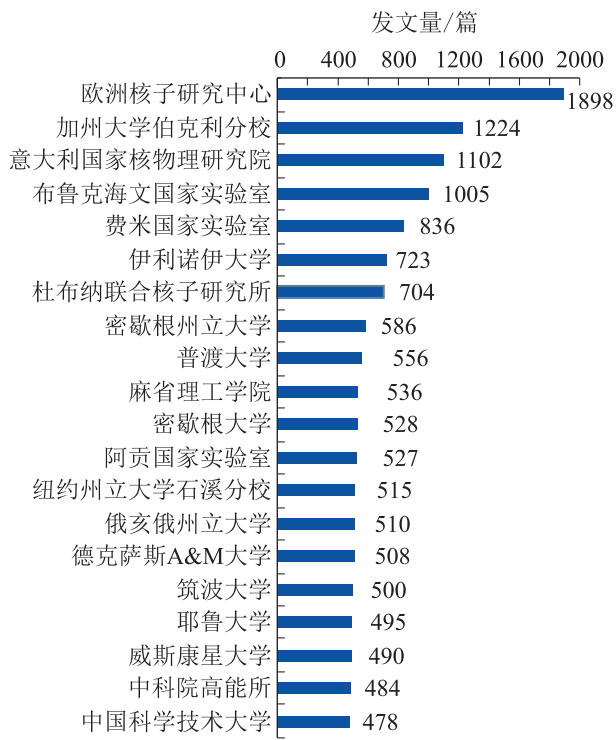


图 5 论文发表量 Top20 机构

Fig. 5 Top 20 Institutions on the Number of Papers

对撞机技术领域专利申请量排在前 20 位的机构(图 6)中,日本企业无论在申请量排名还是企业数量(10 个,占比 50%)都有明显优势,这表明日本在对撞机技术研发上的雄厚实力。其中,东芝公司专利申请量最高,达到 201 件,随后是三菱电机株式会社。专利申请量排名前 5 位的机构中,4 位为日本企业,德国西门子股份公司排在第 4 位。美国企业有 6 个上榜。中国有两家机构出现在榜单中,分别为中国台湾精材科技股份有限公司(第 7 位)和中国原子能研究院(第 13 位)。

1.2 技术方法

1.2.1 主题模型

本文分别利用 LDA 主题模型和 Content-LDA

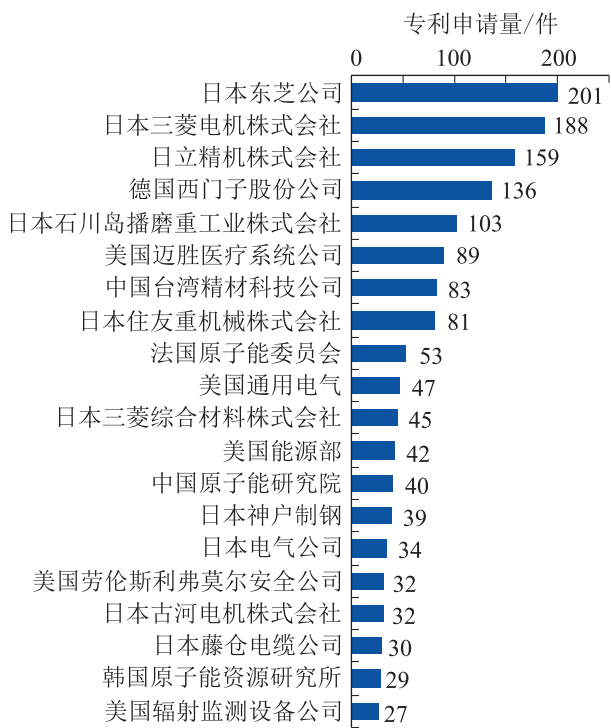


图 6 申请专利数 Top20 机构

Fig. 6 Top 20 Institutions on the Number of Patents

模型对论文和专利进行主题识别。LDA 主题模型^[14]将文本看成词频向量,将文本信息转化为易于建模的数字信息,以无指导学习的方法从文本中发现隐含的语义维度“Topic”。其核心公式如下:

$$\begin{aligned} P(\vec{w}, \vec{z} | \vec{\alpha}, \vec{\beta}) &= P(\vec{w} | \vec{z}, \vec{\beta}) P(\vec{z} | \vec{\alpha}) \\ &= \prod_{k=1}^K \frac{\Delta \vec{n}_k + \vec{\beta}}{\Delta \vec{\beta}} \prod_{m=1}^M \frac{\Delta \vec{n}_m + \vec{\alpha}}{\Delta \vec{\alpha}} \end{aligned} \tag{1}$$

Content-LDA 模型^[15,16]是一个包含词/IPC、主题和文档的三层贝叶斯概率模型,每一篇完整的文档-词/IPC 均可抽取为文档-主题与主题-词/IPC 分布的形式。相比于 LDA 主题模型,引入 IPC 作为词汇语境的 Content-LDA 模型能够更好地增强主题的特征能力。其公式如下:

$$\begin{aligned} P(\vec{w}, \vec{i}, \vec{z} | \vec{\alpha}, \vec{\beta}) &= P(\vec{w}, \vec{i} | \vec{z}, \vec{\beta}) P(\vec{z} | \vec{\alpha}) = \\ &= \prod_{k=1}^K \frac{\Delta \vec{n}_k + \vec{\beta}}{\Delta \vec{\beta}} \prod_{d=1}^D \frac{\Delta \vec{n}_d + \vec{\alpha}}{\Delta \vec{\alpha}} \end{aligned} \tag{2}$$

1.2.2 主题强度

主题强度描述的是某时间窗口内主题的活跃程度。同一时间窗口下,主题强度值越大,代表主题受到的关注度越大,热度越高。主题强度的计算公式如下:

$$TI_t^k = \frac{\sum_{d=1}^M P_d^k}{M} \tag{3}$$

式中, TI_t^k 表示 t 时间窗口下主题 k 的强度值, P_d^k 表示在第 d 篇文档中第 k 个主题的概率, M 表示文档数。

1.2.3 主题演化

主题演化是在主题识别的基础上通过分析不同阶段的主题来揭示文档集合中包含的主题内容过渡,以了解研究领域的热点及未来发展趋势。本文以对称 KL(又称 JS 距离)^[17]来量化主题间的演化关联。此外,为了分析不同主题间的差异性、均衡性程度,引入信息熵的概念来揭示不同时间段下的主题演化情况(信息熵是一种可用于测度系统内部差异或稳定性的指标,信息熵值越大,主体间的结构差异性越来越大,主题内容更加多样^[18])。主题信息熵计算公式为

$$E = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \tag{4}$$

其中, N 为主题下的关键词数量, p_i 为第 i 个关键词数量占比。

2 主题分析

2.1 专利主题

本文下载的 3914 条专利数据共涉及三千余个 IPC 分类代码。利用 Context-LDA 模型对专利进行主题抽取,辅助以困惑度指标及人工判别后,共从 51 个候选主题中得到了 31 个主题:半导体传感器、电容器与电感器、超导装置、转向磁体、束流存储环、阴/阳极导体、真空系统、粒子脉冲与电

子电路、真空与磁体、加速电压系统、超导管、电容电阻室、惰性气体与超导磁体、探测器与迹迹系统、束流加速、闪烁探测器、能量控制模块、粒子源、真空电极、半导体闸流管、束流系统与加速腔、光学系统与晶体管、加速系统电极电路、加速器灯丝电源、电压系统、加速器射频腔、磁体线圈、天线与插口、导向装置、隔热绝缘部件、束流注入。

利用式(3),得出这些主题强度区间为0.00931~0.02285。以这些主题强度平均值0.01533作为阈值,得到表1中的专利热点主题。

表 1 专利热点主题及其强度

Tab. 1 Patents Hot Topics and Their Intensities

序号	主题	强度
1	加速系统电极电路	0.02285
2	束流注入	0.02281
3	超导装置	0.02144
4	隔热绝缘部件	0.02048
5	加速电压系统	0.01976
6	真空系统	0.01850
7	加速器射频腔	0.01844
8	磁体线圈	0.01827
9	束流系统与加速腔	0.01782
10	粒子源	0.01648
11	超导线圈	0.01652
12	束流加速	0.01599
13	光学系统与晶体管	0.01584
14	半导体传感器	0.01540

这些热点主题大致可分为与加速过程直接相关的电极电路、电压系统、射频腔、加速腔主题,起基础支撑作用的超导装置、隔热绝缘部件、真空系统、磁体/超导线圈主题,与束流相关的注入、加速、粒子源主题,以及与控制过程相关的光学系统与晶体管、半导体传感器主题。

2.2 论文主题

分析不同阶段的论文主题及其演化情况时,为了使不同时段内的论文数尽可能平均,本文共划分了6个时间段(图7)。以每个时间段内的论文为分析对象进行主题分析。利用LDA主题模

型,辅助以困惑度指标确定大致主题数,再经人工解读得到各时段的主题和热点主题(表2)情况。

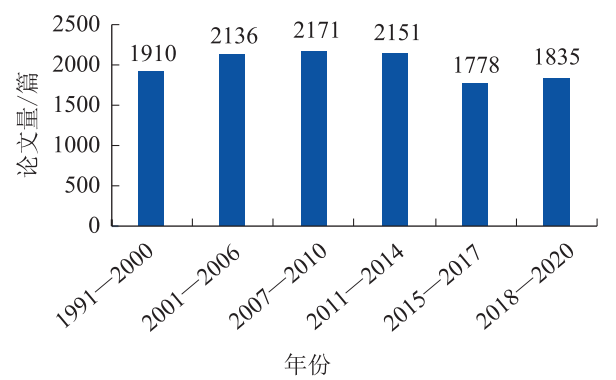


图 7 论文分时段划分

Fig. 7 Papers Separated by Time

从表2可以看出,每个时间段内的论文主题既有不同的技术构成(如超导磁体、探测器、迹迹系统等),又包括高能物理的领域名词(如希格斯物理、标准模型、高阶计算等),这印证了对撞机作为专用型重大科技基础设施,其技术发展始终与高能物理前沿研究紧密相关。

2.2.1 主题演化

以JS距离来量化主题间的演化关联(相似度)。主题间的相似度越高,具有演化关联的可能性越大。对于六个时间段,选定相似度阈值分别为0.15、0.18、0.18、0.12、0.12。绘制的主题演化桑基图如图8所示,图中每个标签的高度表示该主题与前后主题的关联程度,每个主题词后的数字与表2中的序号对应,表示所处时间段。

从主题演化情况可以看出,有关对撞机技术的论文主题数呈现增加—稳定—减少的趋势。1991—2000年的5个主题体现了三类信息:LHC实验最关注的高能物理领域(标准模型、希格斯物理和重味夸克)、美国费米实验室的超导磁体装置,以及直线对撞机技术。2001—2006年,新出现了一些技术主题,如监视系统、探测器、触发系统、束流系统等。2007—2010年,主题数进一

表 2 论文主题和热点主题

Tab.2 Topics and Hot Topics of Papers

序号	时间段	主题数	主题(热点主题加粗) ¹⁾
1	1991—2000	5	LHC ²⁾ 与希格斯物理、LHC 和重味夸克、费米实验室的超导(磁体)装置、LHC 与标准模型、直线对撞机技术
2	2001—2006	12	CMS 实验探测器、LHC 与高能质子、磁体与螺线管、LHC 监视系统与电路芯片、电子光子反应、束流系统、(高等级)触发系统、前置放大器技术、重离子对撞、加速器相关、LHC 与(超导)磁体、强子谱
3	2007—2010	22	LHC/SPS 与希格斯物理、LHC 与 QCD 研究、CMS/ATLAS 实验探测器、ATLAS 实验与径迹系统、LHC 与标准模型、LHC 重离子对撞与喷注、对撞系统与束流腔、希格斯实验分析、LHC 和闪烁计数器、螺线管、超导与超流氦、粒子源、LHC 实验、LHC 束流、像素探测器、CMS 实验与径迹系统、LHC 探测器与重夸克偶素、夸克胶子等离子体实验、BES 实验和像素探测、电子加速实验、LHC 量热仪与低温系统、ATF2 实验与监视系统
4	2011—2014	23	希格斯粒子与标准模型、LHC 喷注实验、LHC 探测器与径迹系统、闪烁探测器、LHC 与强子物理、LHC 与高阶计算、超导磁体、LHC 与 μ 子系统、LHC 探测器、希格斯衰变、前端电子学、轨迹信号处理、LHC 与粒子识别、电源系统与存储装置、LHC 与重离子对撞、量热仪、概念设计与模拟、数据处理程序、塑料闪烁探测器与时间投影室、ATLAS 实验、LHC 介子实验、反应事例分析程序、尾场加速器
5	2015—2017	17	ATLAS 实验与希格斯物理、LHC 升级与量热仪、LHC 与顶夸克物理、LHC 存储环、LHC 升级与径迹系统、LHC 与直线对撞机、LHC 喷注实验、量热仪、LHC 与希格斯实验、LHC 与标准模型、LHC 与超对称模型、LHC 与 B 物理、CMS 与暗物质、LHC 与高阶计算、重离子对撞与夸克胶子等离子体、LHC 加速装置、LHC 探测器与实验模拟重建
6	2018—2020	20	LHC 探测器升级、CMS 升级、LHC(升级)与量热仪、LHC 径迹系统、CEPC/FCC ³⁾ 探测器与(偶极)磁体、LHC 重离子对撞、LHC 升级、LHC 与希格斯物理、LHC 升级与低温系统、ATLAS 探测器与径迹系统、LHC 磁体、LHC 与高阶计算、 μ 子物理实验、LHC 与顶夸克物理、LHC 与标准模型、LHC 与 nb3sn 超导、LHC 超导磁体、QCD 高阶计算与模拟、LHC 束流、超导装置与速调管

1) 每个时间段内主题词从前到后热度呈递减趋势;2) 欧洲大型强子对撞机(Large Hadron Collider);3) 未来环形对撞机(Future Circular Collider)。

步增加,同时表现出了对 LHC 的高关注度(22 个主题中过半数与之相关)。此时出现的新技术主题包括像素探测器、对撞系统和束流腔、超导与超流氦、径迹系统、低温系统、闪烁计数器、粒子源等。2011—2014 年,论文主题数保持稳定,但内容出现了明显变化,新出现的技术主题包括 LHC 与 μ 子系统、反应事例分析程序、粒子识别、概念设计与模拟、前端电子学、数据处理程序、时间投影室、电源系统与存储装置、尾场加速器等。2015—2017 年里,论文主题数减少,且几乎所有主题都与 LHC 相关。此时较受关注的技术主题有直线对撞机、量热仪、存储环、径迹系统等,与之同时出现的物理领域则有标准模型、暗物质、顶夸克、希格斯等。此外,还出现了与 LHC 升级

相关的主题。2018—2020 年,与 LHC 相关的主题仍然占据最大比重。此时的技术主题中与上一阶段联系较为紧密的有 LHC 升级与低温系统、超导装置与速调管、 μ 子物理实验等。

结合主题演化分析及表 2 的热点主题可以看出,LHC 在最近 30 年的对撞机发展中占据核心地位,这与整个高能物理实验发展相一致。在这六个阶段中,伴随着 LHC 的建设(1994—2008)、运行(2009—2013、2015—2018)和升级(2018—2020)^[19],相关论文主题呈现出了不同的特点,最明显的一点是对撞机技术发展始终围绕着高能物理领域的需求。三十年来,持续受到高关注的高能物理领域是标准模型、希格斯物理,后期关注度凸显的是顶夸克物理与高阶计算领域。在

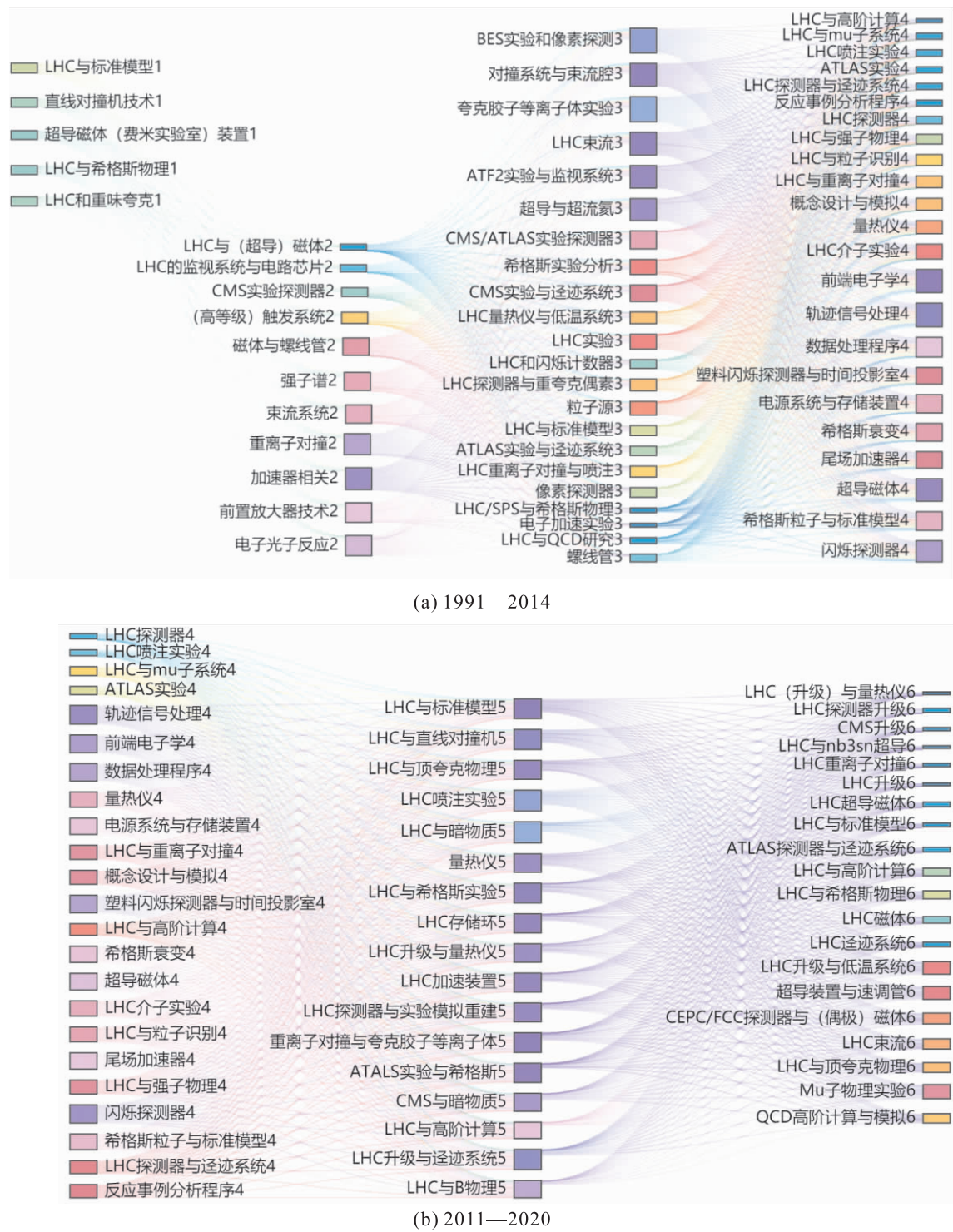


图 8 1991—2020 年论文主题演化

Fig. 8 Evolution of Paper Topics during 1991-2020

技术方面,超导磁体、径迹系统、量热仪持续受到关注。此外,与数据处理、信号分析、实验模拟等软件技术相关的主题也是研究重点。需要指出的是,2011—2014 年间出现了尾场加速主题,这是未来对撞机发展的可能技术方向,但或许由于其远未成熟且技术挑战较大^[20],后续研究的关注点又转移到了其他主题。直线对撞机主题分别在 1991—2000 和 2015—2017 阶段显现,造成这

种现象的可能原因是 LHC 建设前,直线对撞机是重要的发展方向。随着 LHC 的建设运行,对撞机技术的发展也在重点围绕 LHC 展开,而在 LHC 的运行后期,科学家对其他类型(环形对撞机之外)对撞机的探索使直线对撞机重新进入了研究视野。一个新兴热点主题是 2018—2020 阶段出现的 CEPC/FCC 探测器与(偶极)磁体主题,其中 CEPC(环形正负电子对撞机)和 FCC(未来环形对撞机)是目前仍处于提案阶段的未来设施,这表明学术界对更高能量、更优性能对撞机的关注。

2.2.2 主题信息熵

从图 8 可以看出,不同时间段内的论文数有一定起伏,这也造成了不同时段的主题数变化会受到论文数据量的影响。为了弥补该不足,本文计算 6 个时间段的论文主题信息熵。图 9 绘制了熵值随时间的变化情况。

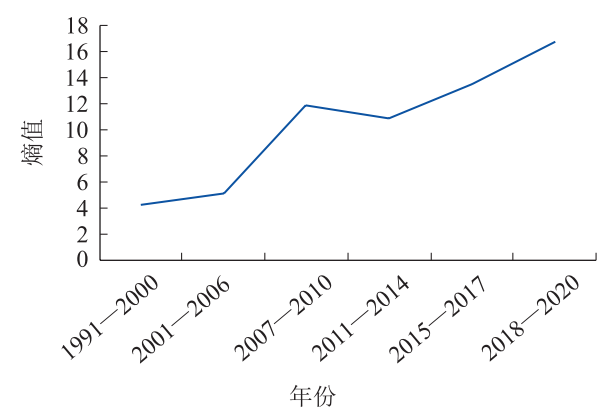


图 9 论文主题的信息熵演化

Fig. 9 Evolution of Information Entropy of Paper Topics

结合表 2 的论文主题数和图 9 可以看出,在 6 个时间段内,主题数呈现先增加后减少的趋势,但主题信息熵整体在持续增加,这表明与对撞机技术主题相关的研究呈现更加均衡多样化的发展趋势。

3 结论与建议

3.1 研究结论

通过分析对撞机技术相关的专利和论文数据分布情况、主题及演化过程,本文得出如下结论:

1)全球专利申请量在 2008 年后快速增加,同时段的中国呈现爆发式增长,年申请量于 2019 年达到了全球总申请量的一半。日本是该领域申请专利量最多的国家,且与排在二、三位的美国、中国拉开了较大差距。在申请专利机构方面,以日本的东芝公司和三菱电机株式会社为代表的日本企业占据了申请量前 20 机构中的一半,表明日本企业在高技术产业的显著优势。

2)全球发文量和中国发文量整体都呈上升趋势;美国在该领域的发文总量显著领先于其他国家,中国虽然位居前列,但与美国仍有较大差距;在发文量排在前 20 位的机构中,美国占了 14 位。不过,拥有 LHC 的欧洲核子研究中心是发文量最高的机构。中国的中科院高能物理研究所和中国科学技术大学分处发文量榜单的最后两位。

3)对撞机技术相关专利主题涉及领域众多,其中热度较高的有加速系统电极电路、束流注入、超导装置、隔热绝缘部件、加速电压系统、真空系统、射频腔等主题;与 LHC 相关的主题在不同时间段中均是研究热点,其中热度较高的技术涉及磁体与螺线管、探测器、径迹系统、束流腔、超导磁体、存储环、量热仪等。上述分析结果与靳松等论述 CEPC 中的前沿技术^[13]中有超导高频技术、磁铁系统、真空技术、低温技术、束流注入器等的结论有一定的重合度,从侧面支持了本文的研究结果。

4)对撞机技术相关论文主题数在 30 年里的 6 个时间段先增加后减少,但这些主题的信息熵的整体趋势表现出了持续增加的特点,这表明该领域的研究主题朝着更加均衡多样化的趋势发展。此外,不同时间段的论文主题无明显演化路径,这表明不同主题间的联系性较强。不过,作为聚焦性较强的特定研究领域,或许需要更为精确的主题演化识别方法来进行研究。

5)希格斯物理、顶夸克物理、高阶计算等领域是目前以及未来高能物理的研究重点,对撞机技术的进步发展是为了能更好地满足高能物理的研究需求。在 LHC 正进行设施升级的背景下,以 CEPC、FCC 为代表的新提案对撞机或许是具有广阔前景的未来设施。

3.2 总结与建议

对撞机的技术组成具有极高的专业性与学科壁垒,为了给政策制定者、一线科研人员等提供深度且客观全面的对撞机技术信息,本文深入分析了相关专利和论文的主题情况。在分析专利主题时,采用了能增强主题语境、提高主题可读性和辨识度的 Context-LDA 算法,共从近三千条专利数据中抽取了 31 个主题,在此基础上计算主题强度并得到了 14 个热点主题。在对论文进行分析时,将全部论文按发表时间划分为了 6 个部分,利用 LDA 主题模型对这 6 个时段内的论文进行主题分析、热点主题计算,研究了不同时段内论文主题的演化情况。为了更直观地展示全球和中国的对撞机技术发展情况,本文分别从专利和论文的年度分布、国家分布、机构分布等三个角度做了对比分析。以上述分析及研究结论为基础,本文提出如下几点政策建议:

1)继续提升专利、论文等成果产出效率,缩小与美国、日本等领先国家的成果总量差距。中

科院高能物理研究所和中国科学技术大学是国内在对撞机技术领域成果最为突出的两个机构,与之相比,其他学校或科研机构在该领域应锐意进取、扩大成果。要在拥有排头机构的基础上,形成百家齐放、相互促进的研究环境。

2)加大与对撞机相关的超导装置、束流系统、真空系统、径迹系统、量热仪等技术方向的研发力度。由于对撞机技术牵涉面众多,且每个方向都具有极高的专业性,科研机构或大学不必事必躬亲,而应寻求与在不同技术领域具有领先优势的企业单位合作。在保证合作主导地位的基础上,释放企业主观能动性研发效率,在此方面可学习欧洲核子研究中心的先进经验^[21]。当然,科研机构或大学也可顺势而为,促进产学研一体化发展。

3)希格斯物理、顶夸克物理,以及和高阶计算相关的精确检验等领域是学术界对高能物理重点研究方向的共识,也是突破现有理论框架(粒子物理标准模型),发现新物理存在的前景方向^[22]。为了能更深入、有效地研究这些前沿领域,LHC 目前正处于紧张升级阶段,而其后的替代设施如 FCC、国际直线对撞机(International Linear Collider,ILC)以及中国的 CEPC 等也已完成了设计规划报告^[23]。LHC 的存在使欧洲核子研究中心成为当之无愧的国际高能物理中心,中国是否建设大型加速器既是国内科技发展方向、经费布局投入的问题,也是国家间科技竞争、事关中国未来科技地位的重大战略问题。在百年未有之大变局的时代背景下,要加快对这个问题的系统研判工作,争取早日落实发展规划。

致谢 本文作者与中国科学院高能物理研究所的徐庆金研究员进行了有益的讨论,在此对徐研究员表示感谢。

参考文献

- [1] Anon. List of Accelerators in Particle Physics[EB/OL]. (2021-05-14) [2021-10-25]. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accelerators_in_particle_physics#Colliders.
- [2] 罗小安,许健,佟仁城. 大科学工程的风险管理研究[J]. 管理评论,2007(4):43-48,64.
- [3] 杨振宇. 中国今天不宜建造超大对撞机[J]. 科学文化评论,2016,13(5):18-19.
- [4] 王贻芳. 中国今天应该建造大型对撞机[J]. 科学文化评论,2016,13(5):20-27.
- [5] 王微. 大型对撞机,建还是建? 这是一个问题[J]. 科技导报,2016,34(22):9-9.
- [6] 何祚庥. 对中国是否要建大型对撞机的几点意见[J]. 科学文化评论,2017,14(1):95-101.
- [7] 何小刚. 评何祚庥院士对中国建设大型对撞机的意见[J]. 科学文化评论,2017,14(2):111-115.
- [8] 袁岚峰. 对撞机之争:价值、目标和图景 让对撞机之争撞出科学界与社会、科学界内部的良性互动[J]. 中国发展观察,2016(18):5-11,14.
- [9] 徐治立,梁竞丹. 中国建造超级对撞机争议的社会学理论维度分析[J]. 科技导报,2017,35(23):103-107.
- [10] 王贻芳,白云翔. 发展国家重大科技基础设施 引领国际科技创新[J]. 管理世界,2020,36(5):172-188,17.
- [11] 娄辛丑. 我们为什么提出建造环形正负电子对撞机[J]. 现代物理知识,2020,32(1):3-7.
- [12] 岳崇兴,张纳倩,于海湄. 高能对撞机实验之未来发展趋势[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版),2020,43(1):27-32.
- [13] 靳松,徐庆金. 大型环形对撞机中的前沿技术[J]. 现代物理知识,2020,32(1):27-35.
- [14] BLEI D M, NG A Y, JORDAN M I. Latent Dirichlet Allocation [J]. Journal of Machine Learning Research,2003,3(4-5):993-1022.
- [15] 吴红,伊惠芳,马永新,等. 面向专利技术主题分析的 WI-LDA 模型研究[J]. 图书情报工作,2018,62(17):68-74.
- [16] 伊惠芳,刘细文. 一种专利技术主题分析的 IPC 语境增强 Context-LDA 模型研究[J]. 数据分析与知识发现,2021,5(4):25-36.
- [17] WU Hong, YI Huifang, LI Chang. An Integrated Approach for Detecting and Quantifying the Topic Evolutions of Patent Technology:a Case Study on Graphene Field [J]. Scientometrics, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04000-2>.
- [18] 张玲玲,赵明辉,曾钢,等. 文献计量视角下依托大科学装置的学科主题与合作网络研究——以上海光源为例[J]. 管理评论,2019,31(11):279-288.
- [19] Anon. Large Hadron Collider[EB/OL]. (2021-08-15) [2021-10-25]. https://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider#Construction
- [20] 陈民,刘峰,李博原,等. 激光等离子体尾波加速器的发展和展望[J]. 强激光与粒子束,2020,32(9):7-17.
- [21] MICHALOWSKI S. The impacts of large research infrastructures on economic innovation and on society: case studies at CERN[R]. Paris:OECD,2014.
- [22] ABRAMOWICZ H, FORTY R. Physics Briefing Book [R]. Fermi National Accelerator Lab. (FNAL),Batavia,IL (United States),2019.
- [23] 蔡立英. 2020 欧洲粒子物理学战略敲定[J]. 世界科学,2020(10):49-51.

作者贡献说明

李华东:提出研究思路,数据分析,文章主体撰写;
伊惠芳:程序编写,数据分析,文章部分内容撰写;

刘细文:文章总体把关。

作者简介



李华东: 博士;中国科学院文献情报中心博士后,粒子物理博士,发表多篇 SCI 及中文核心期刊论文;主要研究方向:重大科技基础设施情报、科研评价。



刘细文: 研究员,博导;中国科学院文献情报中心主任,《智库理论与实践》主编,《科学观察》副主编,中国科学院大学特聘岗位教授;完成多项国家级科技政策与战略研究项目和课题;主要研究方向:科技政策情报研究与服务、科技战略情报研究,科学计量、信息政策、竞争情报和技术竞争情报研究、区域经济发展。

美国参议院通过《下一代电信技术法案》

2022 年 3 月 22 日,美国参议院通过了《下一代电信技术法案》,旨在创建美国“下一代电信委员会”,负责监督美联邦政府对下一代通信技术(包括 6G)的投资和政策制定。该委员会拟定的主要工作包括制定一项国家电信战略,以提升美国在全球电信领域的领导地位、确保美国电信网络韧性和安全,以及扩大美国电信部门的劳动力规模等。

委员会将由商务部副部长、商务部通信与信息部助理部长、美国国家标准研究所副部长、美国联邦通信委员会主席、美国国家科学基金会主任等 15 名成员组成;主要负责审查过去用于推进无线通信部署(包括 5G 技术)的流程和行动,并就 6G 技术发展、6G 标准化和其他先进无线通信技术等方面向国会提出建议。

委员会将从 4 个方面制定国家电信战略:①开发和应用 6G 等先进无线通信技术,包括确保有色人种社区、服务不足的社区和农村社区在使用此类技术方面的数字包容性和公平性;②评估联邦政府内部职责,以及联邦政府如何更好地协调职能,以确保及时做出决定并采取必要的行动;③制定 6G 和其他先进无线通信技术的研发和标准;④促进关于 6G 和其他先进无线通信技术的国际合作,包括安全合作。

法案还介绍了在制定战略时委员会应考虑的 6 个问题:①如何获得足够的频谱资源以支持 6G 和其他先进的无线通信技术;②评估联邦政府作为电磁频谱监管机构的职能;③6G 和其他先进无线通信技术的供应链弹性和安全性,包括供应商的多样性;④评估劳动力需求,以建立、维护和使用 6G 网络;⑤确保加强协作和信息共享,使某些先进网络(包括急救人员使用的网络)在面对网络入侵和自然灾害时保持安全和弹性;⑥确定对开发和部署 6G 等先进无线通信技术具有重要意义的其他技术,例如人工智能、卫星和固定无线宽带以及开放式无线接入网(RAN)技术。

杨况骏瑜(中国科学院成都文献情报中心)编译自
<https://broadbandbreakfast.com/2022/03/national-6g-strategy-bill-passes-senate-commerce-commi>