

研究论文

北京谱仪Ⅲ实验国际影响力解析

江亚欧

摘要 北京谱仪Ⅲ(Beijing Spectrometer Ⅲ, BESⅢ)是运行在陶-粲(τ -charm)能区的国际领先多功能粒子探测器,依托北京正负电子对撞机(Beijing Electron Positron Collider, BEPC)及其升级装置 BEPCⅡ,是中国高能物理研究的旗舰实验装置。本研究采用计量分析方法,系统对比 BESⅢ与国际主要高能物理实验的科研产出与国际合作网络。研究数据来源于 INSPIRE-HEP 和 arXiv.org 数据库,覆盖 2010—2024 年期间的论文发表情况。研究结果表明, BESⅢ在陶-粲物理领域具有显著的国际领先地位,贡献了全球 61% 的相关领域论文发表数量。论文产出呈现稳步增长态势,从 2010 年的 321 篇增长至 2024 年的 662 篇。在高质量期刊发表方面, BESⅢ在《Physical Review D》(PRD)发表 402 篇论文,占其总发表量的 59.7%;在《Physical Review Letters》(PRL)发表 122 篇论文,数量位居国际同类实验前列。此外, BESⅢ在国内期刊《Chinese Physics C》发表 32 篇论文,占其总发表量的 4.75%,显著高于国际实验。研究指出, BESⅢ在陶-粲物理领域确立了主导地位,与中国抢占科学前沿、实现技术自主的战略目标高度契合,为中国在基础科学领域的国际竞争力奠定了坚实基础。

关键词 北京谱仪Ⅲ;基础研究;科技制高点;科技自立自强;粒子物理;高能物理

北京正负电子对撞机重大改造工程(Beijing Electron Positron Collider Ⅱ, BEPCⅡ)及其上安装的精密多功能通用型磁谱仪北京谱仪Ⅲ(Beijing Spectrometer Ⅲ, BESⅢ)已成功运行 40 年,是中国高能物理研究的重要实验设施^[1],在陶-粲(τ -charm)能区积累了海量数据,为科学家研究各类强子的产生和衰变性质提供了独特的实验平台,代表了中国在基础物理研究领域和相关粒子探测器的前沿水平。该能区之所以未被更高能区实验所替代,主要源于其独特的物理优势。首先,陶-粲能区涵盖了 J/ψ 介子及其激发态的共振峰区域,为研究强相互作用和量子色动力学(quantum chromodynamics, QCD)提供了独特的条件。其次,该能区恰好位于陶轻子的产生阈值附近,

这使得精确测量陶轻子的质量和衰变性质成为可能,这些测量对于检验标准模型和探索新物理具有重要意义。此外,在陶-粲能区,实验上可采用双标记方法,即通过同时测量正负电子对撞产生的 2 个带电粒子,从而有效降低系统误差,提高测量精度。尽管陶-粲能区的能量相对较低,但其在非微扰 QCD 研究中的独特地位不可替代。非微扰 QCD 是理解强相互作用低能行为的关键,而陶-粲能区的实验数据为检验和发展非微扰 QCD 理论提供了宝贵的实验依据。例如,通过研究 J/ψ 介子的衰变谱和强子化过程,可以深入探索夸克禁闭和手征对称性破缺等非微扰效应。因此,陶-粲能区不仅是检验标准模型的重要窗口,也是探索强相互作用本质的关键实验平台。

多年来, BESⅢ实验取得了一系列重要物理成果:发现含粲夸克的四夸克态 $Z_c(3900)$ ^[2]和 $Z_{cs}(3982)$ ^[3]

中国科学院高能物理研究所,北京 100049

收稿日期: 2025-05-19; 修回日期: 2026-07-09

作者简介: 江亚欧, 馆员, 研究方向为基础研究科技政策, 电子信箱: jiangyo@ihep.ac.cn

引用格式: 江亚欧. 北京谱仪Ⅲ实验国际影响力解析[J]. 科技导报, 2026, 44(15): 132-143; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2025.05.00094

等;发现 $\eta_c(1855)^{[4]}$ 和 $X(2370)^{[5]}$ 等新型强子结构;精确测量了粲介子衰变常数和夸克混合矩阵元 $|V_{cs}|$ 和 $|V_{cd}|$;开辟基于近阈数据绝对测量粲重子的新方向;首次利用量子纠缠的正反超子对测量了CP不对称性等。这些成果为检验基于标准模型的理论提供了关键实验依据。与此同时,BESⅢ实验吸引了来自全球的科研团队参与合作,成为国际陶-粲物理研究的重要实验平台,有力地提升了中国在国际高能物理界的地位。

近年来,政府工作报告和中国科学院年度工作会议报告均强调,须加速推进高水平科技自立自强,强化基础研究战略布局,并加强关键领域科技制高点攻关,这为中国科技发展指明了方向。BEPCⅡ和BESⅢ作为中国基础研究的典范,其成果和经验充分印证了国家战略的实施价值,并为未来科技发展提供了重要参考。本文通过对比分析BESⅢ实验与国际同类大型实验的文章发表和作者列表情况,凸显BESⅢ实验科研成果的独特价值及其在抢占科技制高点中的战略地位。

1 BESⅢ与国际主要大型高能物理合作组对比分析

综合考虑实验的规模、国际合作程度、研究方向,以及在国际高能物理界的代表性,本文分析了超导环场磁谱仪(A Toroidal LHC ApparatuS, ATLAS)、紧凑缪子线圈(Compact Muon Solenoid, CMS)、大型

离子对撞机实验(A Large Ion Collider Experiment, ALICE)、大型强子对撞机底物理实验(Large Hadron Collider beauty, LHCb)、BelleⅡ实验(BelleⅡ)和北京谱仪Ⅲ6个大型国际实验组的文章发表和作者等相关数据。这6个国际高能物理实验基本信息见表1。前4个合作组实验都基于欧洲核子研究组织(European Organization for Nuclear Research, CERN)大型强子对撞机(Large Hadron Collider, LHC)的实验。ATLAS和CMS是CERN的通用型探测器,全面探索LHC高能高流强质子与离子束所开启的科学领域;ALICE探测器是专注于研究夸克-胶子等离子体的大型实验装置,夸克-胶子等离子体是存在于大爆炸后最初微秒间的极端高温致密物质状态;LHCb实验的目标则是探索物质与反物质的细微差异、基本对称性破缺,以及由重夸克与轻夸克组成的复合粒子(强子)的复杂谱系,揭示微观世界的深层规律^[6]。BelleⅡ实验是日本高能加速器研究机构(High Energy Accelerator Research Organization, KEK)超级B介子工厂上的一个重要实验组,主要研究正反B介子的产生和衰变性质。BESⅢ基于中国的BEPCⅡ实验,主要通过研究粲强子的产生和衰变来理解强子物质是如何形成的,深入理解强相互作用的非微扰性质。这6个实验组在规模、国际合作程度和研究领域上极具代表性,它们在各自的研究方向都产出了一些重要的成果,BESⅢ实验组与其他5个实验组的对比能够全面展示BESⅢ在中国基础研究发展中的特殊贡献,并客观展示其在国际高能物理领域的地位。

表 1 6 个国际高能物理实验基本信息

序号	实验简称	实验全称	所属机构 / 装置	实验特点
1	ATLAS	A Toroidal LHC ApparatuS	欧洲核子研究中心(CERN)/LHC	通用型探测器
2	CMS	Compact Muon Solenoid	欧洲核子研究中心(CERN)/LHC	通用型探测器
3	ALICE	A Large Ion Collider Experiment	欧洲核子研究中心(CERN)/LHC	重离子对撞实验
4	LHCb	Large Hadron Collider beauty	欧洲核子研究中心(CERN)/LHC	底物理实验
5	BelleⅡ	BelleⅡ Experiment	日本高能加速器研究机构(KEK)/SuperKEKB	超级B介子工厂
6	BESⅢ	Beijing SpectrometerⅢ	中国科学院高能物理研究所(IHEP)/BEPCⅡ	北京谱仪Ⅲ

国际高能物理大型合作组的建制类似有组织的科研和制定物理研究计划。以BESⅢ实验物理结果发表流程为例,物理分析从制定计划到最终发表,要经物理组负责人、物理协调人、合作组范围征求意见、发表委员会对物理和文字审核等,最后到合作组发言人终审和批准公开,对物理分析结果的层层把关,确保了实验结果是可靠的、可重复的和正确的。这一严格的实验结果公开及投稿发表流程导致了高

见、发表委员会对物理和文字审核等,最后到合作组发言人终审和批准公开,对物理分析结果的层层把关,确保了实验结果是可靠的、可重复的和正确的。这一严格的实验结果公开及投稿发表流程导致了高

能实验物理论文发表周期较长,但是最终确保了物理成果的可靠性。

本研究选择 2010—2024 年这一时间段进行比较,可以确保所有实验组在同一时间跨度内的数据具有可比性。这段时间涵盖了 BESⅢ实验的整个运行周期,包括初期发展阶段、数据采集高峰期以及后续的科研产出阶段。ATLAS、CMS、ALICE 和 LHCb 在此期间也处于 LHC 运行的不同阶段,包括初期数据采集、长期停机升级和数据分析、物理成果产出。BelleⅡ实验从 2018 年开始运行,其数据为 BESⅢ的后期发展阶段提供了重要的参照。

需要明确指出的是,由于这 6 个实验合作组存在科学目标、项目进度和节点、国际合作程度以及数据采集和分析的成熟度等方面的差异。文献数据虽然能够在一定程度上反映科研产出和影响力,但在全面展示各实验组的科学目标、技术贡献和社会影响方面仍有一定的局限性。

本研究数据信息来源于 6 个合作组官网^[7-12]、高能物理领域信息平台 INSPIRE-HEP^[13]数据库、预印本网站 arXiv.org^[14]等,检索时间截至 2025 年 5 月。以下通过合作组发文署名作者数量、发文数量等特征指标的对比,展示 BESⅢ实验的科技成就、国际地位与影响力,以及它在推动中国高能物理研究国际化进程中发挥的重要作用。

2 合作组发文署名规模稳定

通常高能物理大型国际合作组成员数量是动态变化的,合作组文章署名作者数量及其变化在很大程度上可以体现合作组的相对规模及其变化趋势。本研究选取每年末各合作组正式公开发表文章的署名作者人数作为合作组人员规模的参考,图 1 展示了 2010—2024 年各实验组在年度文章署名作者数的比较。

ATLAS 和 CMS 实验文章的作者数长期保持在 2000~3000 人的规模。ATLAS 的署名作者数量基本在 3000 人左右。CMS 的署名作者数量从 2200 多人逐渐上涨至接近 2500 人。

ALICE 实验文章的作者数则长期保持在约 1000 人左右;LHCb 实验文章的署名作者数从 2010 年的 630 人增长至 2024 年的 1149 人。

BelleⅡ实验从 2018 年开始有数据获取^[15],2018—2024 年其文章的作者平均数约 400 人。

BESⅢ实验的文章的作者数从 2010 年的 321 人稳步增长至 2024 年的 662 人,增幅约 1 倍,是 6 个实验组中增长幅度最大的。BESⅢ作为中国主导的高能物理实验,在陶-粲物理领域独具优势,其研究成果备受关注,对国际和国内相关领域科学家很有吸引力。

图 2 以 2010 年数据为基准(BelleⅡ以 2018 年为基准),对 ATLAS、CMS、ALICE、LHCb、BelleⅡ和 BESⅢ 6 个国际合作组的发文作者署名数量演变进行量化分析。通过归一化处理(各年成员数/基准年成员数),揭示以下趋势特征,ATLAS、CMS 作为 CERN 的旗舰实验项目,发文署名作者数量趋势稳定,ALICE 合作组稳中有升。BelleⅡ目前规模暂时有所收缩,这与其工程进度的节点有关。BESⅢ依托 BEPCⅡ实验平台,发文署名作者数量规模翻倍。

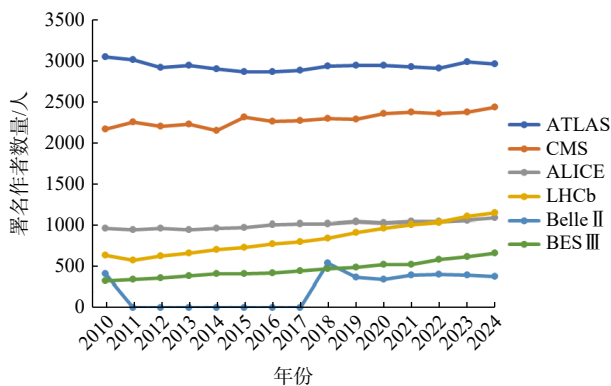


图 1 6 个实验合作组的 2010—2024 年末发文署名作者数量

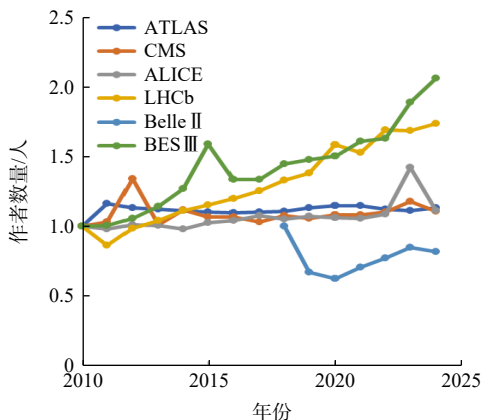


图 2 6 个实验合作组的 2010—2024 年末发文署名作者数量历年变化

3 正式发文数量活跃度有所不同

图3展示了2010—2024年期间各实验组在年度文章总数上呈现出不同的增长趋势和变化特征,反映了各实验组在科学研究中的产出能力和活跃度。

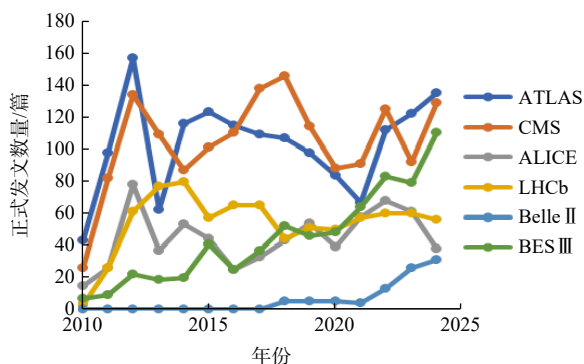


图3 6个实验合作组的正式发文数量

ATLAS和CMS实验的年度文章总数长期保持在100篇以上,其峰值大约显示其新数据采集后成果的集中推出时期,特别是2012年的峰值恰逢Higgs粒子的发现。这2个实验组的高产出能力体现了其在全球高能物理研究中的核心地位。

ALICE实验的年度文章总数长期保持在40篇以上;而LHCb实验的年度文章总数在2010—2014年经历了一段快速增长长期后,长期保持在60篇左右。

Belle II实验正式取数时间较晚,其年度文章总数从2018年的5篇增长至2024年的29篇,整体呈现稳步上升趋势。目前,Belle II处于刚开始运行的早期阶段,未来潜力巨大,一旦达到设计的亮度指标,预期有相当多的科研论文产出成果。

BES III实验的年度文章总数从2010年的个位数增长至2024年的110篇,整体呈现显著上升趋势,特别是在2023和2024年分别达到79和110篇的峰值。从BES III年度文章总数的显著增长幅度可以看出中国已经在强子物理领域,特别是粲强子物理领域处于领先地位,使得在高能物理研究中的国际影响力得到持续提升。BES III实验不仅推动了中国基础研究的发展,还为扩大国际合作提供了宝贵的经验。

需要说明的是,为了保证数据来源的一致性,6个合作组正式发文的数值均从INSPIRE数据库获取,这可能与各个合作组内部统计数量略有差异,但不影响呈现各合作组整体发文的特征与趋势。

4 BES III 合作组发文署名作者的人均发文数量遥遥领先

图4展示了2010—2024年期间ATLAS、CMS、ALICE、LHCb、Belle II、BES III 6个高能物理实验的署名作者在人均发文数量上的变化趋势和增长特征,在一定程度上反映了各实验组在科研产出效率和合作规模的差异。

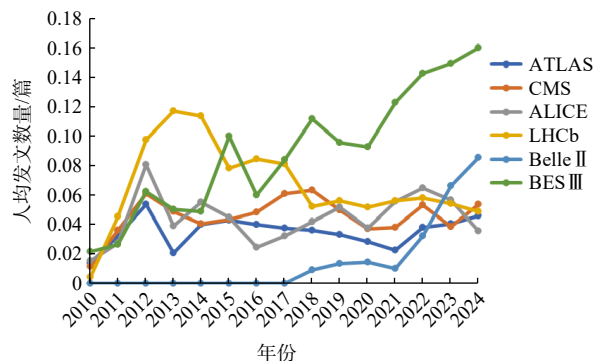


图4 6个实验合作组成员的人均发文数量

6个实验的人均发文数量整体呈现波动上升的趋势,尤其是BES III实验,人均发文数量从2010年的0.02显著增长至2024年的0.16;ATLAS和CMS实验的人均发文数量相对稳定,基本维持在0.02~0.06之间;ALICE和LHCb实验的人均发文数量在2010—2015年期间增长较快,之后趋于平稳。其中,LHCb实验在2013年达到峰值(0.12),之后呈现整体下降趋势;Belle II实验于2018年开始数据获取,2020年开始发表首篇物理论文,之后逐渐增长,至2024年达到0.09。Belle II实验的人均发文数量会随着其积分亮度的增加而迅速增长。

从图4还可以看出,BES III实验的成员人均发文数量从2010年的0.02,随后缓慢提升,2018年后保持在约0.10~0.16。作为中国主导的高能物理实验,BES III实验成员数与其他实验相比较少,但其人均发文数量的增长幅度最大,体现了中国在高能物理研究中的快速发展,特别是在国际强子物理领域具有独特的地位。

5 合作组发文期刊集中

根据国际高能物理实验合作组发文的实际情况,本研究选择了最常见的10种期刊(表2)进行统计,

表 2 10 种高能物理领域期刊和国际级综合类期刊信息

序号	期刊英文全称	期刊英文简称	期刊中文译名
1	《Chinese Physics C》	CPC	《中国物理C》
2	《Physics Letters B》	PLB	《物理学快报B》
3	《Physical Review D》	PRD	《物理评论D》
4	《Physical Review Letters》	PRL	《物理评论快报》
5	《Journal of High Energy Physics》	JHEP	《高能物理杂志》
6	《European Physical Journal C》	EPJC	《欧洲物理杂志C》
7	《Journal of Instrumentation》	JINST	《仪器杂志》
8	《Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A》	NIMA	《物理研究中的核仪器和方法A》
9	《Nuclear Physics A》	NPA	《核物理A》
10	《Nature》	NATURE	《自然》

这 10 种期刊的发文量占 6 个实验合作组总发文量的 90.99%。

数据表明(表 3), 6 个实验合作组在发文的常见期刊中呈现出明显的偏好分化。LHC 的 4 个实验组显示出对意大利《高能物理杂志》(《Journal of High Energy Physics》, JHEP)的显著依赖, ATLAS、CMS、ALICE、LHCb 4 个国际高能物理实验合作组投稿数量最多的期刊均为 JHEP, 其次有《欧洲物理杂志 C》(《European Physical Journal C》, EPJC)、《物理学

报 B》(《Physics Letters B》, PLB)、美国《物理评论 D》(《Physical Review D》, PRD)、美国《物理评论快报》(《Physical Review Letters》, PRL)。Belle II 合作组尚处于实验早期阶段并开始初步产出物理分析成果, 发文数量最多的期刊为 PRD, 其次为《物理研究中的核仪器和方法 A》(《Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A》, NIMA)。BES III 合作组在 PRD 的发文量达 402 篇, 占其总发文量的 59.7% (402/673)。

表 3 6 个实验合作组主要投稿期刊发文情况

合作组	CPC	PLB	PRD	PRL	JHEP	EPJC	JINST	NIMA	NPA	NATURE	合作组总发文数/篇	10种刊总发文数/篇	占比/%
ATLAS	3	234	200	121	368	317	48	60	25	7	1383	1550	89.23
CMS	1	280	163	163	464	176	79	75	47	5	1453	1578	92.08
ALICE	1	146	17	61	105	72	14	27	106	5	554	674	82.20
LHCb	6	78	119	180	271	62	19	24	—	7	766	812	94.33
Belle II	2	—	27	17	13	1	1	23	—	—	84	95	88.42
BES III	32	34	402	122	58	4	—	—	—	5	657	673	97.62
总计	45	772	928	664	1279	632	161	209	178	29	4897	5382	90.99

根据 6 个实验合作组在以上 10 种期刊的发文数量并采集各刊物发文的总被引数, 还统计了这 10 种期刊发文的篇均被引数量, 从表 4 可以看出, ATLAS、CMS、ALICE、LHCb 和 BES III 在《Nature》(本文统计所指的《Nature》字段包含正刊及子刊, 如《Nature Physics》和《Nature Communications》)篇均被引数集中在 200~300 附近, 《Nature》为这 5 个合作组发文篇均被引数最高的期刊。结合表 3 的期刊发文

数据来看, 这与《Nature》是跨学科的高影响力期刊有关, 在本文语境中, 更与合作组在《Nature》发文数量为个位数关系较大。Belle II 处在实验项目早期阶段, 发文篇均被引数最高的期刊是《仪器仪表杂志》(《Journal of Instrumentation》, JINST), 为 67 次。6 个合作组中, ALICE、LHCb、Belle II、BES III 4 个合作组发文篇均被引数第 2 的期刊均为 PRL, 数值分别为 177.6、150.2、36.1、73.8。

表 4 6 个实验合作组在主要投稿期刊发文篇均被引情况

合作组	CPC	PLB	PRD	PRL	JHEP	EPJC	JINST	NIMA	NPA	NATURE
ATLAS	2.67	179.15	121.49	135.24	109.41	179.62	140.90	3.92	6.48	238.43
CMS	4.00	159.64	91.93	128.04	103.87	125.38	271.28	3.91	1.55	358.40
ALICE	1.00	108.72	61.12	177.64	73.54	95.28	99.64	11.26	11.74	258.20
LHCb	50.83	72.45	69.51	150.22	70.20	78.18	104.79	5.17	—	299.00
Belle II	48.00	—	17.70	36.12	8.23	54.00	67.00	10.22	—	—
BES III	70.91	37.44	20.49	73.84	7.09	35.00	—	—	—	79.20

依据 6 个合作组主要发文期刊的投稿数量和在各期刊发文篇均被引数 2 个指标,选取投稿偏好数值比例最高以及在业内高影响力的期刊 PRL 作为重要期刊发文的统计对象。补充说明一点,PRL 在 2025 年中国科学院分区表中位于 1 区,根据中国科学院的分区标准,1 区包含各类期刊 3 年平均影响因子的前 5%。值得注意的是,本文涉及的 6 个大型实验物理合作组对科研成果的正式发文期刊有不同的习惯与偏好,不代表各个合作组最好的科研成果一定发表在 PRL 上。例如,ATLAS 与 CMS 发现 Higgs 的论文^[16]均发布在 PLB 上,但其重要性有目共睹。2018 年获得诺贝尔物理学奖的工作“生成高强度超短光脉冲的方法”只是发表于校刊^[17]。本文依据合作组发文投稿行为偏好以及综合考虑高能物理领域内的普遍共识,选取 PRL 作为发文对比的主要对象期刊。

如图 5 所示,从 PRL 发文总数来看,LHCb 以 180 篇位居第 1,其次是 CMS(163 篇)、BES III(122 篇)、ATLAS(121 篇)、ALICE(61 篇)和 Belle II(17 篇)。ATLAS 和 CMS 年度产出呈现周期性波动,其中 CMS 在 2012 年(19 篇)和 2018 年(19 篇)分别达到峰值,与 LHC 运行周期(如 Run 1 的希格斯玻色子发现阶段)及后续重离子物理扩展研究密切相关。

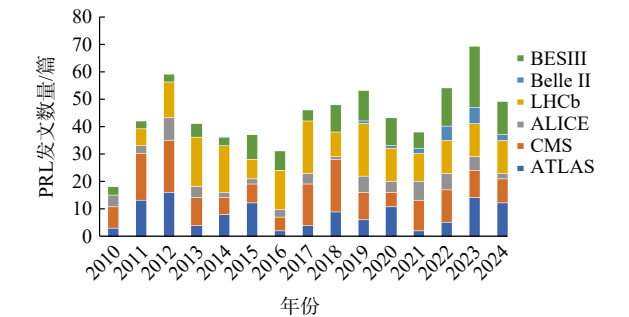


图 5 6 个实验合作组的 PRL 的发文数量

各实验合作组的年度波动与加速器维护周期(如 2013—2015 年 LHC 停机升级)、探测器升级(如 LHCb 在 2022 年完成 Vertex Locator 升级)及重大物理发现窗口期(如 ATLAS/CMS 在 2012 年希格斯粒子发现后的理论验证阶段)高度关联。2020 年后 Belle II 和 BES III 发文量同步增长,2023 年分别达到 6 和 22 篇。数据整体揭示出现代高能物理研究依托大科学装置开展协同攻关的特征,以及实验目标差异化、工程进度和任务变化对学术产出的显著影响。

从图 6 可以看出,BES III 合作组在人均 PRL 数上表现尤为突出,署名作者人均 PRL 发文数量(0.26)。这一指标优势与其作为中国主导的陶-粲能区物理实验密切相关:首先,BES III 团队规模相对较小,研究方向高度集中于粲物理与轻强子谱学,避免了大型国际合作组因人员冗余导致的效率稀释;其次,其实验装置在数据获取与分析流程上的自主可控性,可能进一步缩短了从实验发现到期刊发表的周期。

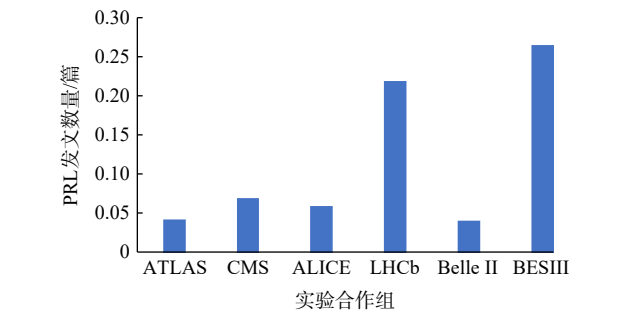


图 6 6 个实验合作组人均 PRL 发文数量

PRL 发文人均获引数定义为:某合作组在 PRL 期刊发表的论文总被引次数与 2010—2024 年该合作组各年度最高被引文章作者署名数值之和平均值的比值。这一指标通过量化每位署名作者平均贡献的高影响力论文(以 PRL 被引频次为表征),一定程度上反映团队科研成果的学术影响力。从图 7 可以看出,

PRL 发文人均获引数最高的是 LHCb 合作组, 为 33.01。BESⅢ 合作组 PRL 发文人均获引数为 19.68。

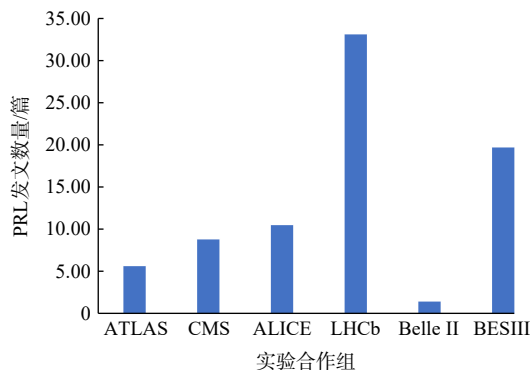


图7 6个实验合作组 PRL 发文人均获得被引数量

“人均获得被引数量”定义为: 某合作组 2010—2024 年所有正式发表论文总被引次数与 2010—2024 年该合作组各年度最高被引文章作者署名数值之和平均值的比值。这一指标旨在相对综合地反映团队科研成果的学术影响力。如图 8 所示, BESⅢ 人均获得被引数量(8.4)相对偏低, 可能受限于陶-粲物理领域的学科热度与引用积累周期较长等因素。

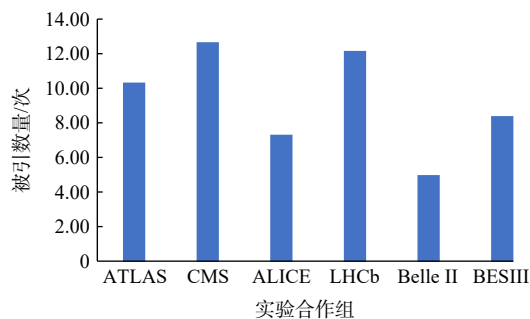


图8 6个实验合作组人均获得被引数量

尽管 BESⅢ 取得了一系列重要物理成果, 与其他正在进行的实验比, 在文章发表数和人均文章数方面表现出一定的优势。但与其他实验比仍有很大不足, 如缺少诺奖级物理成果。同时, 随着 BESⅢ/BEPCⅡ 升级改造, 新数据采集及物理分析周期延后, 研究推进速度也会受影响, BESⅢ 实验物理文章发表数也会进入平台期。

从效率-规模权衡视角看, LHCb 与 CMS 的高总发文量体现了大科学装置的数据红利, 而 BESⅢ 则通过聚焦特色研究方向与优化团队结构, 在人均科研产出效率上形成差异化竞争力。这一对比为未来高能物理实验的资源配置提供了实证参考: 在拓展前沿领

域时, 需平衡大规模协作的效率损耗与特色化研究的精度优势, 同时通过加强跨实验组的理论-实验协同, 进一步提升高被引成果的转化率。

6 BESⅢ 对中国期刊贡献显著

CPC 为专业性期刊, 由中国物理学会主办, BESⅢ 在 CPC 的 32 篇发文, 是 6 个国际高能物理实验合作组对中国物理期刊投稿最多的合作组。

本研究还统计了 6 个国际高能物理实验合作组 2010—2024 年在 10 种期刊发文数量占总正式发文数量的比例。如图 9 所示, BESⅢ 在 CPC 期刊上的发文占比为 4.75%, 这一比例在 6 个合作组中排名第 1, 远高于其他实验组(如 ATLAS 的 0.19%、CMS 的 0.06%、LHCb 的 0.74%、ALICE 的 0.15%)。

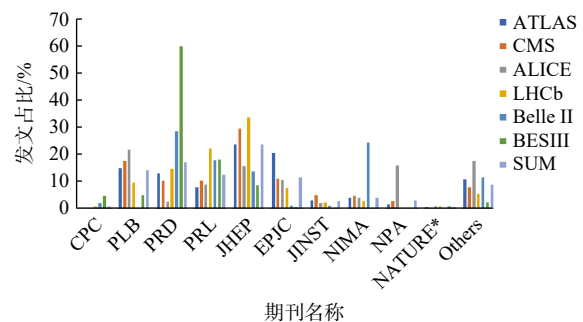


图9 6个合作组在 10 种期刊发文的占比

如图 10 所示, BESⅢ 在 CPC 期刊上发表的论文篇均被引次数为 70.91, 远高于其他合作组(如 ATLAS 的 2.67、CMS 的 4.00、ALICE 的 1.00), 甚至显著超过 LHCb(50.83)和 Belle II(48.00)。这说明 BESⅢ 对 CPC 期刊的投稿积极性较高, 不仅数量多, 而且质量高, 能够吸引广泛的学术关注。

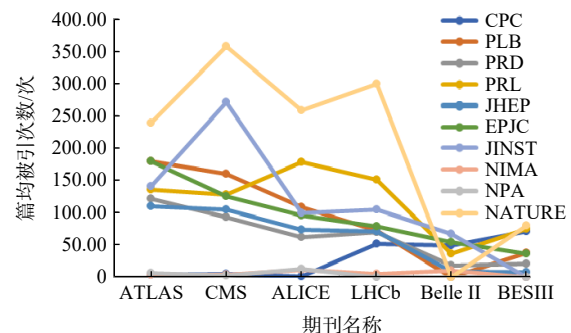


图10 6个合作组在 10 种期刊发文的篇均被引次数

BESⅢ 在 CPC 期刊上的高发文占比和高数值的篇

均被引次数,体现了 BESⅢ对中国本土期刊的积极支持。这种对本土期刊的积极贡献,展示了 BESⅢ在推动中国基础研究发展和国际学术交流中的重要角色。

7 BESⅢ对国家科技战略的贡献

在正负电子对撞的陶-粲能区(2~5 GeV)实验上,目前唯一仍在运行并持续大量出成果的只有 BESⅢ。如表 5 所示,历史上该能区的对撞机式实验仅有 SPEAR(MARKⅢ、DM2)、CESR(CLEO-c)、DCI(DM2)以及 BEPC(BES、BESⅡ)。在陶-粲物理

领域,BESⅢ贡献了全球 61% 的论文产出。

作为中国首个自主设计建造并主导的高能物理国际合作旗舰大科学装置,BESⅢ在陶-粲能区的系统性研究不仅填补了大量国际粒子物理实验研究的空白,还通过“科研—技术—产业”的全链条创新,成为国家科技布局实施的生动实践。其成果深度契合 2025 年国务院《政府工作报告》“推进高水平科技自立自强”的工作任务,并为中国科学院“十四五”科技规划中奋力抢占科技制高点的关键时期提供了实证范例。

表 5 粲物理(Charm Physics)和陶轻子物理能量区域的主要实验及其探测器

缩写	英文全称	所属机构/地理位置
SPEAR	Stanford Positron Electron Asymmetric Ring	美国SLAC国家加速器实验室
MARKⅢ	MarkⅢ detector	美国SLAC(SPEAR对撞机探测器)
CESR	Cornell Electron Storage Ring	美国康奈尔大学
CLEO-c	CLEO experiment(charm sector)	美国康奈尔大学(CESR存储环阶段)
DCI	Dispositif de Collisions dans l'Igloo	法国奥赛LAL实验室
DM2	Dispositif Magnétique 2	法国LAL(DCI/SPEAR探测器)
BEPC	Beijing Electron Positron Collider	中国科学院高能物理研究所(IHEP)
BES/BESⅡ	Beijing Spectrometer/Ⅱ	中国北京正负电子对撞机谱仪

7.1 科学成就的国际对标与战略价值

在实验数据规模与物理产出效率上,BESⅢ已建立全球陶-粲物理研究的引领性地位。

1) 四夸克态研究。BESⅢ实验主导发现带电四夸克态粒子(如 $Z_c(3900)$),后被美国物理学会的《Physics》杂志评选为 2013 年国际物理领域“十一项重大进展”之首^[18]。随后,BESⅢ又在该能区发现了 $Z_c(4020)$ 和 $Z_{cs}(3985)$,前者可能是 $Z_c(3900)$ 的质量较高的伴随态。此外,BESⅢ在 $Y(4260)$ 结构的精细扫描中发现其并非单峰结构,可能由 2 个共振态叠加形成,为理解类粲偶素的性质提供了重要数据。

2) 轻奇特强子态研究。BESⅢ实验发现类胶球(glueball-like)粒子 $X(2370)$,获得了国际强子物理领域的高度关注,被国际高能物理大会(ICHEP2024)作为亮点成果;还发现同位旋标量 1^+ 奇特强子态 $\eta_1(1855)$,开启自旋奇特态新的研究方向。

3) 超子研究。BESⅢ实验利用独特的量子关联产生的各类超子对,首次观测到多个超子的显著横向

极化现象,精确测量超子极化参数和衰变不对称参数。在最高千分之五的灵敏度下确认了超子衰变中不存在 CP 破坏,其单事例灵敏度比此前实验好 3 个量级。

4) 低能 QCD 效应与标准模型检验。BESⅢ精确测量了 2.0~3.65 GeV 能区的强子产生截面(R 值),不仅为约束希格斯粒子质量的理论预言提供了重要输入,还有助于改善标准模型中其他含真空极化贡献的计算精度,例如电磁跑动耦合常数 $\alpha(s)$ 和缪子反常磁矩($g-2$) _{μ} 。

5) 粲介子弱衰变。BESⅢ实验基于世界上最大的近阈粲介子(D^0 、 D^+ 、 D_s^+)样本,以世界最高精度精确测量了粲介子衰变常数 $f_{D^{*+}}$ 和 $f_{D_s^{*+}}$,精度达到 1% 水平;精确测量了半轻强子跃迁形状因子 $f_+^K(0)$ 和 $f_+^{\pi}(0)$,最高精度达 0.3%;这些结果为检验格点量子色动力学的计算提供了关键依据。此外,BESⅢ实验以世界最高精度精确测量了夸克混合矩阵元 $|V_{cs}|$ 和 $|V_{cd}|$,为检验夸克混合矩阵的么正性提供了重要输入。

6) 粲重子 Λ_c^+ 衰变。BES III 实验开辟使用近阈数据绝对测量 Λ_c^+ 弱衰变的新方向。精确测量了 $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ 的绝对分支比, 精度约 6%, 比之前世界平均值提高 5 倍; 首次直接测量了半轻衰变 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu_e$ 和 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \mu^+ \nu_\mu$ 的绝对分支比, 抽取其强子跃迁形状因子, 发现含多个中子末态的衰变过程。这些测量为粲重子理论研究提供了关键实验依据。特别是, BES III 实验基于在 4.6 GeV 能量点采集的 35 d 数据, 共发表 17 篇物理学领域文章, 其中 7 篇发表在 PRL 上, 其物理成果产出效率是绝无仅有的。

2024 年, BES III 国际合作组规模增长至 666 人, 形成了以中国为核心的全球陶-粲物理研究网络。

7.2 技术外溢与产业升级的协同效应

BES III 的技术创新体系已衍生出显著的跨领域辐射效应。核探测技术与核电子学是粒子物理、核物理、粒子天体物理等学科的基础, 为这些学科开展实验研究提供必备的方法与手段。同时, 这些技术与手段在国民经济、核医学、核能源等方面也有重要应用, 起着重要与不可替代的作用。

7.3 基础研究生态的范式重构

BES III 的成功实践重构了中国大科学装置“建管用”一体化模式。中国陶-粲物理领域高水平论文产出从 2010 年的 3 篇不断跃升, 至 2024 年在 PRL 发文累计 121 篇。在公众科学传播层面, 基于 BES III 成果衍生的各类科普作品通过众多渠道向公众宣传推广。

7.4 驱动的高能物理人才代际培养

作为中国高能物理领域的摇篮, BES III 实验通过 30 余年的持续攻关, 培育了从装置设计、技术攻关到数据分析的全链条科研梯队, 累计培养专业人才近千名。从早期引进借鉴国际技术到自主创新建成 BES III 探测器, BES III 不仅锻造出中国首支大科学装置建设团队, 更为中微子、暗物质等后续重大实验输送核心骨干, 其孵化的科研力量已深度融入全球高能物理合作网络, 成为支撑中国规划布局基础物理高能前沿和高精度前沿研究的核心人才库。

8 结论和展望

本研究从文献信息数据的角度分析 BES III 在

2010—2024 年间的国际影响力, 并选择与 ATLAS、CMS、ALICE、LHCb 和 Belle II 进行比较, 既有一些共性, 也存在独特性。这一时间跨度的选择能够全面反映 BES III 实验的科研产出和国际合作程度, 可以为评估中国基础研究的发展提供重要参考: 在科学前沿层面, 通过奇特强子态、粲强子物理和超子 CP 破坏寻找等前沿课题的研究, 为强相互作用理论和新物理的探索提供重要的实验证据; 在国家战略层面, 依托其构建的“基础研究—技术转化—产业创新”生态网络, 助力实现《中华人民共和国国民经济和社会发展的第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的科技战略目标。

另一方面, 由于存在科学目标差异、项目进度不一致、国际合作程度不同以及文献指标局限性等缺陷和不足。因此, 在解读比较结果时, 需要综合考虑更多因素, 以便能更全面、客观地评估 BES III 的国际影响力。例如, 本研究以基于大科学装置的国际合作组而非大装置作为对比的单元, ATLAS、CMS、ALICE 和 LHCb 实验都是基于 CERN 的 LHC 装置, 而基于中国 BEPC II 的实验只有 BES III, 这表明尽管 BES III 作为一个大型国际合作组其规模和成果产出已经步入国际先进行列, 但是在更加基础的层面, 中国的大科学装置与国际旗舰型大装置仍然存在巨大的差距。特别是 BEPC II 已经运行了近 40 年, 尽管期间进行了升级换代, 但是按照国际大装置运行和维护的规律, BEPC II 已经接近其寿命极限, 规划下一代的高能物理大科学装置已经成为中国高能物理界共同关注的首要大事^[19]。

王贻芳在 2021 年全国两会提案^[20]中指出, 尽管中国 2020 年国内生产总值 (gross domestic product, GDP) 与美国已经比较接近, 但是中国的研发经费 (research and development, R&D) 投入在 GDP 中的占比不高, 不仅如此, R&D 中基础研究的占比也远低于发达国家。中国 2020 年基础研究的经费总投入仅为 1440 亿元, 大约是同年美国投入的 1/5, 其中用于大科学装置建设的经费仅有美国的 1/10。发达国家对大科学装置的投入是基础科学研究经费的 10%, 而中国 2020 年仅达到 5%。如果与美国相比, GDP 差近 1 倍, 基础科学投入与 GDP 占比差 2 倍, 而大科学装置作为基础研究核心载体, 其经费投入与经济发展规

模的失衡更为突出。对比可见,中国大科学装置投入强度与 GDP 增速尚未形成协同增长机制,这直接制约了高能物理领域的长远布局。如何通过制度化的经费保障,确保基于大科学装置的关键设备迭代和人才梯队建设的持续性,推动 BESⅢ等大科学装置效能最大化,在高能物理领域形成“装置—成果—人才”的正向循环,最终实现重大原始创新突破与国际学术话语权的实质性提升,这是基于大科学装置未来发展需要研判的问题。

结合 BEPCⅡ实验的成功经验,中国基于高能加速器的大科学装置发展规划应该充分考虑以下要素。

1) 瞄准国际前沿,建设国际旗舰型大装置。虽然 BEPCⅡ是陶-粲能区国际上独具优势的实验装置,也是中国旗舰型的大装置,但是与国际旗舰型大装置的定位还有很大的差距。2012 年 LHC 发现希格斯粒子后,中国科学家首先提出建设基于环形正负电子对撞机(circular electron positron collider, CEPC)希格斯工厂开展希格斯粒子相关性质研究,作为 BEPCⅡ退役后基于加速器的大装置建设目标。在美国^[21]和欧洲物理战略规划^[22]中希格斯工厂建设和希格斯物理研究被列为未来高能物理基础研究的优先方向。文献^[23]围绕基础科学研究中关键领域与科学驱动方向详细阐述了中国粒子物理大科学装置发展规划,与美国 P5 报告所列举的核心领域高度重合,其中 CEPC 的建设将成为追寻新粒子量子印记的优先平台。

CEPC 从提出到现在经过 10 余年的努力已经完成了加速器和探测器多项关键技术的研发,正式发表了概念设计报告^[24-25]和技术设计报告^[26],目前已经进入到工程设计阶段。BEPC 在人才培养、国际合作等方面都起到了关键作用,同时也帮助中国的科学家更好地凝练科学目标,为未来 CEPC 的建设提供了坚实的基础和保障。随着科研力量的持续增长和国家发展战略的有力支持,中国在高能物理领域已具备建设大型科学设施的潜力和能力。CEPC 的规模将大于现在 CERN 的规模,是真正国际旗舰型大装置。CEPC 的建设不仅将极大推动高能物理最前沿的发展,也将吸引全球最前沿科学家的参与,带来众多技术领域的快速发展,有望超越中国在基础科学研究领域“占领一席之地”的现状,实现在国际科技最前沿的全面领先。

2011 年,中国高能物理界提出另一项重要计划——超级陶-粲工厂(super tau-charm factory, STCF)。STCF 作为 BEPCⅡ/BESⅢ的延续,旨在将亮度提高几十倍,同时继续在陶-粲能区开展研究,为高能物理实验提供更精确的数据和更丰富的研究机会。STCF 不仅将延续 BEPCⅡ/BESⅢ在陶-粲能区的物理优势,如 J/ψ 介子、陶轻子及相关激发态的研究,还将通过更高的亮度和更先进的探测器技术,进一步探索非微扰 QCD、强子谱学以及新物理现象。STCF 在预制研究也取得了显著进展,包括加速器技术、探测器设计和物理目标的前期研究等方面,可以为中国高能物理的持续发展奠定更加坚实的基础。STCF 和 CEPC 分别代表了中国高能物理发展新一代粒子物理加速器装置在高亮度前沿和高能量前沿的可能选项。

2) 中长期目标结合,兼顾小型非加速器设施建设。国际上非加速器粒子物理研究前沿集中在中微子、暗物质、宇宙线、微波背景辐射等方向。中国长期以来在非加速器大装置建设方面也有布局,在过去 10 余年取得了一些具有重大国际影响的成果。例如,大亚湾中微子实验首次精确测量中微子混合角,证实了第 3 种中微子振荡模式的存在。正在运行的中国江门中微子实验(Jiangmen underground neutrino observatory, JUNO)将精确测量三代中微子的质量顺序,为寻找超出粒子物理标准模型的新物理指明方向。PandaX 实验利用液氙探测器实现对大质量暗物质粒子的最灵敏探测;中国暗物质实验合作组利用晶体探测器开展对轻质量区暗物质粒子的搜寻等。高海拔宇宙线观测站是新一代宇宙线大型装置,可在百 GeV 至 PeV 以上的宽广能区中进行大视场巡天观测,已经取得了多项突破性成果。即将投入运行的阿里原初引力波望远镜(Ali CMB polarization telescope, ALICPT)实验将探测极早期宇宙演化阶段的重要信息。这些实验装置规模相对较小、建设周期相对较短,相关研究与基于加速器的实验形成重要互补,对提升中国基础研究的实力和能力起到不可替代的作用。BESⅢ实验对非加速器基础研究领域的大装置工程建设、物理成果产出,以及人才培养都起到了重要的支撑作用^[23]。

3) 加强国际合作,合作与竞争结合。自 20 世纪 70 年代末,中国科学家陆续积极参与了国际上的各大

粒子物理实验,目前仍在进行的包括基于 CERN/LHC 的 ATLAS、CMS、LHCb 和 ALICE 等实验,日本的 Belle II 实验,国际空间站上以美国为主的阿尔法磁谱仪实验等。BECF 的成功建设和丰硕成果不仅使中国高能物理实验研究在国际上占有了一席之地,而且带动了中国重大科技基础设施的飞跃发展,有力支撑了中国基础科学研究和高新技术研发^[27]。中国 BEPC 初期的建设极大受益于国际合作,BES III 合作组的发展也离不开广泛的国际合作带来的促进作用。在科学领域的合作与竞争往往并存,人类科学文明的发展总是在合作和竞争中推进的。中国未来旗舰型大装置的建设也离不开有效的国际合作和竞争。

4) 制定更加合理的基础研究保障制度。粒子物理旗舰型大装置设施的建设预算往往超出了目前既有政策支持的规模,随着科技的进步和中国国力的持续增长,从国家层面研究和制定符合具有重大科学价值的大装置建设特点的管理和经费资助政策,以切实保障国家在基础研究领域的战略布局,是目前最紧迫的需求。以 CEPC 为例,其科学目标代表国际粒子物理研究的最高优先级和人类文明认知板块中极为重要的一块,更是中国在基础研究领域的战略必争之地,然而其建设预算似乎超出了目前项目通常的支持范围。合理的政策将是推动中国基础研究全面引领的重要保障。

BES III 的探索与实践不仅体现了中国智慧对人类知识边疆的开拓,还为中国形成世界级的高能物理科学中心提供可借鉴的经验,为基础物理研究规划布局提供切实可靠的科学依据,为科技强国建设提供了可复制的科学研究创新样本^[28]。

参考文献 (References)

- [1] 苑长征, 吕晓睿, 李海波. 北京谱仪实验30年[J]. 现代物理知识, 2019, 31(4): 3-12.
- [2] Ablikim M, Achasov M, Ai X, et al. Observation of a charged charmoniumlike structure in $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$ at $\sqrt{s}=4.26$ GeV[J]. Physical Review Letters, 2013, 110(25): 252001.
- [3] Ablikim M, Achasov M N, Adlarsson P, et al. Observation of a near-threshold structure in the K^+ recoil-mass spectra in $e^+e^- \rightarrow K^+(D_s^-D^{*0}+D_s^{*-}D^0)$ [J]. Physical Review Letters, 2021, 126(10): 102001.
- [4] Ablikim M, Achasov M N, Adlarsson P, et al. Observation of an isoscalar resonance with exotic $J^{PC}=1^{-+}$ quantum numbers in $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta'$ [J]. Physical Review Letters, 2022, 129(19): 192002.
- [5] Ablikim M, Achasov M N, Adlarsson P, et al. Determination of spin-parity quantum numbers of X(2370) as 0^{-+} from $J/\psi \rightarrow \gamma K_s^0 K_s^0 \eta'$ [J]. Physical Review Letters, 2024, 132(18): 181901.
- [6] CERN. LHC experiment collaborations at CERN receive Breakthrough Prize[EB/OL]. (2024-05-20) [2024-05-20]. <https://home.cern/news/press-release/knowledge-sharing/lhc-experiment-collaborations-cern-receive-breakthrough-prize>.
- [7] ATLAS Collaboration. ATLAS experiment[EB/OL]. [2024-05-20]. <https://atlas.cern>.
- [8] CMS Collaboration. CMS experiment[EB/OL]. [2024-05-20]. <https://cms.cern>.
- [9] ALICE Collaboration. ALICE experiment[EB/OL]. [2024-05-20]. <https://alice.cern>.
- [10] LHCb Collaboration. LHCb experiment[EB/OL]. [2024-05-20]. <https://lhcb.web.cern.ch>.
- [11] Belle II Collaboration. Belle II experiment [EB/OL]. [2024-05-20]. <https://www.belle2.org/>.
- [12] BES III Collaboration. BES III experiment [EB/OL]. [2024-05-20]. <http://bes3.ihep.ac.cn>.
- [13] INSPIRE-HEP. High Energy Physics database[EB/OL]. [2024-05-20]. <https://inspirehep.net>.
- [14] arXiv. Open-access repository[EB/OL]. [2024-05-20]. <https://arxiv.org>.
- [15] Ding G J, Zhou Y L. Predicting lepton flavor mixing from $\Delta(48)$ and generalized CP symmetries[J]. Chinese Physics C, 2015, 39(2): 021001.
- [16] Aad G, Abajyan T, Abbott B, et al. Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC[J]. Physics Letters B, 2012, 716(1): 1-29.
- [17] Strickland D, Mourou G. Compression of amplified chirped optical pulses[J]. Optics Communications, 1985, 56(3): 219-221.
- [18] Rini M, Thomas J. Highlights of physics[J]. Physics, 2013, 6: 139-139.
- [19] 王贻芳. 当代粒子物理的主旋律: 希格斯粒子[J]. 科技导报, 2024, 42(17): 1-2.
- [20] 王贻芳. 王贻芳代表: 提高经费占比加快基础研究步伐 [EB/OL]. (2021-03-08)[2024-05-20]. <https://m.gmw.cn/baijia/2021-03/08/34667759.html>.
- [21] US Particle Physics Community. The much-anticipated 2023 particle physics project prioritization panel (P5) report [EB/OL]. [2024-05-20]. <https://www.usparticlephysics.org/>

- 2023-p5-report.
- [22] European Strategy Group. European strategy for particle physics[EB/OL]. [2024-05-20]. <https://europeanstrategy.cern/european-strategy-for-particle-physics>.
- [23] 王贻芳, 赵强. 从美国P5报告看中国粒子物理装置发展规划[J]. 现代物理知识, 2024, 36(1): 3-12.
- [24] CEPC Collaboration. CEPC Conceptual Design Report Volume I (Accelerator)[R]. Beijing: Institute of High Energy Physics, 2018.
- [25] CEPC Collaboration. CEPC Conceptual Design Report Volume II (Physics & Detector)[R]. Beijing: Institute of High Energy Physics, .
- [26] Gao J. CEPC technical design report: Accelerator[J]. Radiation Detection Technology and Methods, 2024, 8(1): 1-1105.
- [27] 陈和生. 促进中国重大科技基础设施持续发展[J]. 科技导报, 2020, 38(10): 44-46.
- [28] 江亚欧, 郑文莉. 从BEPC到CEPC: 中国的高能物理将如何追寻其下一个宏伟目标?[J]. 科学通报, 2025, 70(32): 5407-5416.

Analyzing the international impact of the Beijing Spectrometer III experiment through bibliometric data

JIANG Yaou

Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The Beijing Spectrometer III (BES III) is a world-leading, multi-functional particle detector operating in the τ -charm energy region. Hosted at the Beijing Electron Positron Collider (BEPC) and its upgrade (BEPC II), it serves as the flagship experimental facility for high-energy physics research in China. This study employs bibliometric methods to systematically compare the research output and international collaboration networks of BES III with those of other major international high-energy physics experiments. Data were retrieved from the INSPIRE-HEP and arXiv.org databases, covering publications from 2010 to 2024. The results demonstrate that BES III holds a prominent leading position internationally in the field of τ -charm physics, contributing 61% of the global publications in this area. Research output has exhibited steady growth, increasing from 321 papers in 2010 to 662 papers in 2024. In terms of high-quality journal publications, BES III published 402 papers in Physical Review D (PRD), accounting for 59.7% of its total output, and 122 papers in Physical Review Letters (PRL), a volume that ranks at the forefront of comparable international experiments. Furthermore, BES III published 32 papers in the domestic journal Chinese Physics C, representing 4.75% of its total publications—a proportion significantly higher than that of international experiments. The study concludes that BES III has established a dominant position in τ -charm physics, which aligns closely with China's strategic goals of advancing scientific frontiers and achieving technological autonomy, providing a solid foundation for China's international competitiveness in basic science.

Keywords Beijing Spectrometer III; fundamental research; scientific frontiers; technological self-reliance; particle physics; high-energy physics ●



(责任编辑 徐丽娇)