

世纪之交中国高能物理 发展战略及其实施

陈和生

(中国科学院高能物理研究所 100049)

BEPC/BES的成功建设和丰硕成果在国际高能物理研究占领了一席之地,同时面临激烈的国际竞争。1990年代中期BEPC未来发展方案成为高能所可持续发展的关键。本文回顾了高能物理研究所的这一段发展历史。受中国科学院委托,我们制定了《中国高能物理与先进加速器发展目标》:对BEPC进行重大改造;大力发展非加速器物理实验;大力推动基于先进加速器的多学科交叉研究平台的建设。2000年7月国家科教领导小组原则批准了这个报告,并同意建造BEPCII。面对CESRc的竞争,BEPCII采用了双环方案。BEPCII/BESIII的成功建设保持和发展了在粲物理研究的国际领先地位。二十多年来中国高能物理实验研究和大科学装置建设都实现了跨越式发展。这个发展战略规划的主要目标都得以实施。

一、机遇与挑战并存

1988年10月北京正负电子对撞机(BEPC)成功建造,按期完成,不超预算,达到设计指标。1989年6月北京谱仪(BES)开始采集数据,形成了以我为主的大型国际合作。在最初几年BES就获得了800万个 J/Ψ 事例,这是当时世界最大的样本。 τ 轻子质量的精密测量使 τ 质量世界平均值改变了 3σ ,精度提高了一个数量级,连同在LEP实验的 τ 轻子寿命测量,证明了 τ 轻子普适性。权威的粒子数据表(PDG)的 τ 和Charm物理数据部分选用了100多项来自北京谱仪的实验结果,标志着BES在国际高能物

理占有了一席之地。BEPC一机两用,其上的北京同步辐射装置(BSRF)作为中国第一个同步辐射光源向用户开放,开创了我国同步辐射应用的时代。北京正负电子对撞机/北京谱仪的巨大成功是中国高能物理和大科学工程发展的里程碑。中国物理学界对北京正负电子对撞机寄予厚望。1993年5月中国科学院批准了BEPC/BES/BSRF升级项目,提高其性能,以获得更多的物理结果,预算为3500万元。

另一方面,北京谱仪实验的成功显示了 τ -Charm物理能区巨大的物理潜力,引起了国际高能物理界的高度兴趣。 τ -Charm物理的进一步研究需要1~2数量级高的统计样本和高性能的探测器,大幅度降低统计误差和系统误差。国际上关于 τ -Charm能区未来加速器方案的讨论非常活跃,西班牙和俄罗斯新西伯利亚都提出了新建 τ -Charm工厂(TCF)的方案。BEPC/BES面临着激烈的国际竞争,必须大幅度提高性能。

从1990年代中期开始,高能物理研究所对BEPC/BES的未来发展规划进行了广泛的讨论。然而,当时高能物理研究所面临诸多困难,BEPC的形势不容乐观。当时中国基础科学研究的经费投入严重不足,是中国科学界的一段艰难时期。当时中国科学院采用的方针是“一院两制”:“两制”意味着一部分科学家“留在山上”从事科学研究,另一部分科学家“下海”进行高技术转化和商业应用。基础科学研究受到了较大的冲击。

北京正负电子对撞机运维资金严重短缺。当

我在1998年夏季接任高能物理研究所所长时,高能所的年度总预算只有7000万元,其中2700万元为BEPC运行维护费用。运行费在此前十年间只增加了30%,远远低于同期的通货膨胀率。由于缺乏维护和备件,北京正负电子对撞机的设备老化严重,故障率上升,严重影响运行效率。研究经费缺乏产生了严重后果:研究工作受到很大影响,特别是加速器和探测器的新技术研发不足,制约了未来的发展;许多员工,特别是一些优秀的年轻人,由于待遇低而离开研究所。

二、BEPC/BES/BSRF 升级项目

中国科学院批准的BEPC/BES/BSRF升级项目包括:

- 将直线加速器电子和正电子的束流能量提高到1.55 GeV;
- 将储存环的亮度增加2倍;
- 北京谱仪的探测器升级为北京谱仪II(BES-II),主要包括建造新的主漂移室MDCII取代老化的MDC。

然而,由于遇到了以下困难,这个项目一再延误:

- 由于速调管性能不稳定,直线加速器未能达到正电子1.55 GeV的束流能量;
- 由于束团拉长效应超过预期影响Mini- β 方案的实施,储存环的亮度没有达到预期目标;
- BESII调试面临若干困难:MDCII高压穿墙子的问题严重影响了BESII的调试。我们不得不匆忙开始建造MDC III;
- 探测器主漂移室出现严重噪声,来源不明。

加速器和探测器的调试都遇到了很大的困难。BEPC/BES/BSRF改进项目的长时间延误使高能物理研究所陷入了非常困难的境地,影响了研究所的声誉。高能物理研究所承受着巨大的压力。

三、BEPC 的未来发展

高能物理研究所未来发展战略的不确定性是

一个更大的挑战。关于中国高能物理未来发展的广泛讨论始于1993年。未来的发展主要有两种选择:

1. 为满足中国科学界对同步辐射光源的强烈需求,首先建造第三代同步辐射光源,并为 τ -Charm物理升级北京正负电子对撞机(如BEPCII)。将来在适当的时机再考虑建设下一代 τ -Charm物理设施。

1993年丁大钊、方守贤、冼鼎昌等院士提出在高能物理研究所建设中国“第三代同步辐射光源”。这是中国科技界的强烈需求和共识。高能物理研究所拥有国内最强的加速器团队和同步辐射团队。北京地区拥有最多的同步辐射用户。毫无疑问高能物理研究所是建设该设施的首选。然而,高能物理研究所领导的注意力主要集中在TCF项目。1995年上海的杨福家和谢希德院士提出在上海建设第三代同步辐射光源。上海市政府决定支持中国第三代同步辐射光源落户上海。中国科学院支持上海的计划。1998年底来自高能物理研究所的20多名高级加速器和同步辐射专家来到上海应用物理研究所,负责上海光源的设计和研发,并培训年轻人。

2. τ -Charm工厂(TCF):高能物理研究所提出在其西侧建设TCF的设想。这是一台质心系能量为4GeV的双环对撞机,具有单能(monochromatic)和极化束流。预计建设成本约为12亿元。粒子物理学家当然对TCF项目更感兴趣。高能物理研究所致力于TCF物理研究和加速器、探测器的设计。高能物理研究所举办了关于TCF的国际研讨会,并向中国科学院提交了TCF可行性研究报告。

然而,中国高能物理界对TCF的建议意见严重分歧。争论的焦点是:

- 部分物理学家认为TCF的物理目标不够明确和有力,很可能主要是将若干稀有物理过程的下限提高几个数量级;
- 12亿元的造价被大大低估。而且即使是12亿元,对于当时中国政府在一个五年计划期间对大

科学工程的总投资也太多;

- 对方案若干关键技术可行性的质疑,例如 monochromatic beam 等等。

经过长时间的讨论,充分听取各方面专家的意见,中国科学院表示不支持 TCF 方案。高能物理研究所面临着不确定的未来。我们必须为 BEPC 的未来发展找到一个现实的方案,更重要的是,为中国粒子物理和先进加速器制定正确的发展战略。

升级项目的拖延和 BEPC 未来计划的不确定性加剧了高能物理研究所面临的困难。

四、BEPCII 方案

在有限的预算内,对现有加速器进行重大升级改造是国际上多数大型加速器的典型发展战略,如 SLAC 的 PEP-II 和 KEK 的 KEKB,都获得了很大的成功。BEPC 的重大改造升级(BEPCII),应当是一个现实的选择。

1993年6月由 Kirkby 教授组织的 τ -Charm 工厂第三次研讨会 在西班牙马尔贝拉举行。我建议 Kirkby 教授邀请方守贤教授作关于 BEPC 现状和规划的报告。方守贤院士和我们讨论了 BEPC 的未来发展的方案。我们认为,借鉴 CESR 经验,在现有隧道采用麻花轨道多束团方案是 BEPC 升级现实的选择。 τ -Charm 工厂当然对 τ -Charm 物理研究更有潜力,但对当时的中国来说造价太高。陈森玉院士也支持这一想法。方院士团队进行了 BEPCII 的 Lattice 计算,确认了可行性。然而,TCF 仍然是高能物理研究所领导关注的重点。

1997年2月,我被任命为高能物理研究所的副所长,负责 BEPC 发展的路线图。我组织了 BEPCII 的初步可行性研究,确定了 BEPCII 单环方案的基本设计:

- 直线加速器升级:提高正电子注入速率,缩短注入时间;

- 储存环升级:在现有隧道实施麻花轨道多束团方案,使亮度提升 10 倍以上;

- BESIII 探测器,在现有的常规磁铁内安装新的晶体量能器和新漂移室,适应高计数率,并降低系统误差。

BEPCII 的造价预计约为 4 亿元。我相信, BEPCII 方案将以当时国家可接受的造价保持中国在 τ -Charm 物理学的国际领先地位。1997年7月高能物理研究所向中国科学院提交了《BEPC 未来发展预研项目建议书》,中国科学院对 BEPCII 的设想表示肯定。BEPC/BES 升级的设计开展。

1998年6月中国科学院组织了高能物理研究所未来发展规划的院士咨询会议。会议的建议如下:

- 建议 BEPC 未来发展采用 BEPCII 方案;
- 关注非加速器粒子物理实验研究;
- 推动辐射技术的应用。

1998年7月,在高能物理研究所十分困难之际,我被任命为高能物理研究所所长。张闯副所长负责 BEPC 运行和 BEPCII 的设计。李卫国副所长负责 BESII 的调试和 BESIII 的设计。我们面临着两个重大挑战:1)尽快完成 BEPC 改造升级项目,恢复加速器和探测器的运行,达到预期指标;2)确定 BEPC 的发展战略,推动 BEPCII 工程。

1998年7月李政道先生致信国务院总理朱镕基:“如果高能物理近期没有新的突破,我认为没有必要在中国建设 TCF。”

五、BEPC 升级达到设计目标

我们优化了 BEPC/BES 团队,鼓励物理学家和工程师努力来判断和解决 BEPC/BES 的故障。在全所职工的共同努力下,加速器和探测器的调试工作取得了良好的进展。1998年底直线加速器的束流能量达到了设计目标:1.55 GeV 的电子和正电子注入(J/Ψ 全能量);在束流能量,存储环亮度达到了 $5.8 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} @ 1.55 \text{ GeV}$ 的指标。最重要的进展是确认对撞点附近的 DCCT 是探测器噪声的来源。改进了 DCCT 的屏蔽,解决了探测器的噪声问

题。MDC II 在降低高压的情况下运行。BESII 的调试显示出良好的性能。BEPC/BES/BSRF 升级终于达到了设计目标,1999年2月7日通过了中国科学院的评审。

1999年春 BESII 进行了 2~5 GeV 强子 R 值的精密测量。测量结果使 R 值误差的世界平均值从此前 15%~20% 下降到 6.6%。这个测量结果大大改进了标准模型对 Higgs 粒子质量的预言:预测的中心值从 68 GeV 提高到 90 GeV, 95% C.L. 上限从 170 GeV 提高到 210 GeV, 使得标准模型对 Higgs 质量的预言与当时的 LEP 的实验结果一致。这个测量结果还使精细结构常数 $\alpha(MZ^2)$ 计算的误差降低了 50%。国际高能物理界对 BESII 的 R 值测量结果给予了高度评价。

BEPC 实现稳定高效运行。BES II 发表了许多重要物理结果。高能物理研究所逐步摆脱了困境。

六、中国高能物理发展战略

根据中国科学院的要求,高能物理研究所与中国科学院基础局认真讨论,深入研究了我国高能物理发展路线战略。我作为主要执笔人完成了《中国高能物理发展战略》报告,得到中国科学院的批准。其要点如下:

- BEPC 未来发展采用重大改造方案 BEPC-II。考虑到 BEPC 未来发展的物理窗口主要在粲物理的 J/Ψ 和 Ψ' 共振区,反应截面非常高,因此采用 BEPC-II(麻花轨道多束团)就可以满足要求。预计投资 4 亿元。

- 努力推动非加速器粒子物理实验:中微子实验、宇宙线观测、粒子天体物理实验等。这是国际粒子物理在世纪之交探索暗物质和暗能量的热点。我们应当根据国际前沿发展,发挥我国的特点,选择合适的切入点。

- 参加国际前沿大型高能物理实验的合作,如 LHC 实验和 ILC 的 R&D。

- 努力建设基于加速器的大型多学科交叉研

究平台:同步辐射装置、散裂中子源和自由电子激光等。它们对国家发展战略的诸多领域和国际前沿研究十分重要。积极推动对未来洁净核能源十分重要的加速器驱动次临界系统(ADS)的研究。

中国科学院同时要求增加 BEPC 的运行费,并为高能所未来发展的研发提供经费。高能物理研究所承诺,随着运行费的增加,BEPC 的运行效率将显著提高。

1999年6月28日中国科学院向国家科教领导小组第五次会议提交了《中国高能物理发展战略》报告。会议讨论了这份报告,要求中国科学院进一步研究中国高能物理的路线图,咨询世界知名的粒子物理学家的意见,并决定增加 BEPC 的预算:

- 将 BEPC 的年度运行维护费从 2700 万元增加到 5000 万元。

- 在 1999 年至 2001 年期间,高能物理研究所每年将获得 3000 万元专项资金,用于设施的完善和未来发展的研发。

高能物理研究所承诺得到上述支持后,将努力达到以下目标:

- BEPC 的年运行时间从 7 个月增加到 9.5 个月,其中北京谱仪对撞物理运行 5 个月,同步辐射专用光运行 3 个月,机器研究 1.5 个月。

- BEPC 的启动时间从一个月缩短到半个月以内。

- 提高注入效率,注入时间与运行时间比从 1:3 改进到 1:5。

- BEPC 故障率将小于 6%。

- 三年内 BES II 将获取 5000 万 J/Ψ 事例。

在国家的大力支持下,高能所的职工士气高涨,维修和备件得到显著改善。BEPC 的性能继续改善,亮度增加,效率提高。BESII 仅用了一年半到 2001 年 4 月 1 日就收集了 5800 万 J/Ψ 事例。随后的半年又收集了 1400 万 Ψ' 事例,获得了一批重要物理结果。

1999 年 10 月我向李政道先生报告了《中国高能物理发展战略》的要点。李先生表示支持 BEPC-II

的方案,强调非加速器物理实验的重要性和积极参加大型国际合作的必要性,并积极推动中国第三代同步辐射光源建设。

七、《关于中国高能物理与先进加速器发展目标的报告》

根据中国科学院的指示,我们在中国高能物理界组织了关于中国粒子物理和先进加速器发展战略的广泛讨论。国际粒子物理学的发展趋势证明了发展战略是正确的。高能物理研究所中越来越多的人支持这一发展战略。多位诺贝尔奖获得者和世界上主要粒子物理实验室主任都充分肯定这个发展战略。我作为主要执笔人完成了报告的新版,题目改为《关于我国高能物理和先进加速器发展目标的报告》。这个改动是强调高能物理的发展战略与先进加速器技术发展战略密不可分,先进加速器技术是具有重大战略意义的高技术。建设大

型多学科交叉前沿研究平台对国家科技创新体系具有十分重要的意义,应成为中国高能物理界的主要任务之一。中国科学院批准了这个报告。

2000年7月中国科学院向国家科教领导小组第七次会议提交了这份报告。我列席了这次会议。会议纪要原则同意了《关于我国高能物理和先进加速器发展目标的报告》,确认了报告提出的中国高能物理与先进加速器发展战略,批准了4亿元建造BEPCH。国家科教领导小组经过两次讨论,原则同意这个报告:批准建造BEPCH,推动非加速器物理实验研究,部署大科学装置建设,都充分表明了中国政府高瞻远瞩,对发展高能物理和大科学装置的科学决策。图1是2000年7月28日《光明日报》刊登的新华社对此报道。二十多年后我们回顾中国高能物理和大科学装置发展的历程,更深刻地体会到这个决策的战略意义。

2000年10月我向李政道先生汇报了《关于我国高能物理和先进加速器发展目标的报告》的要

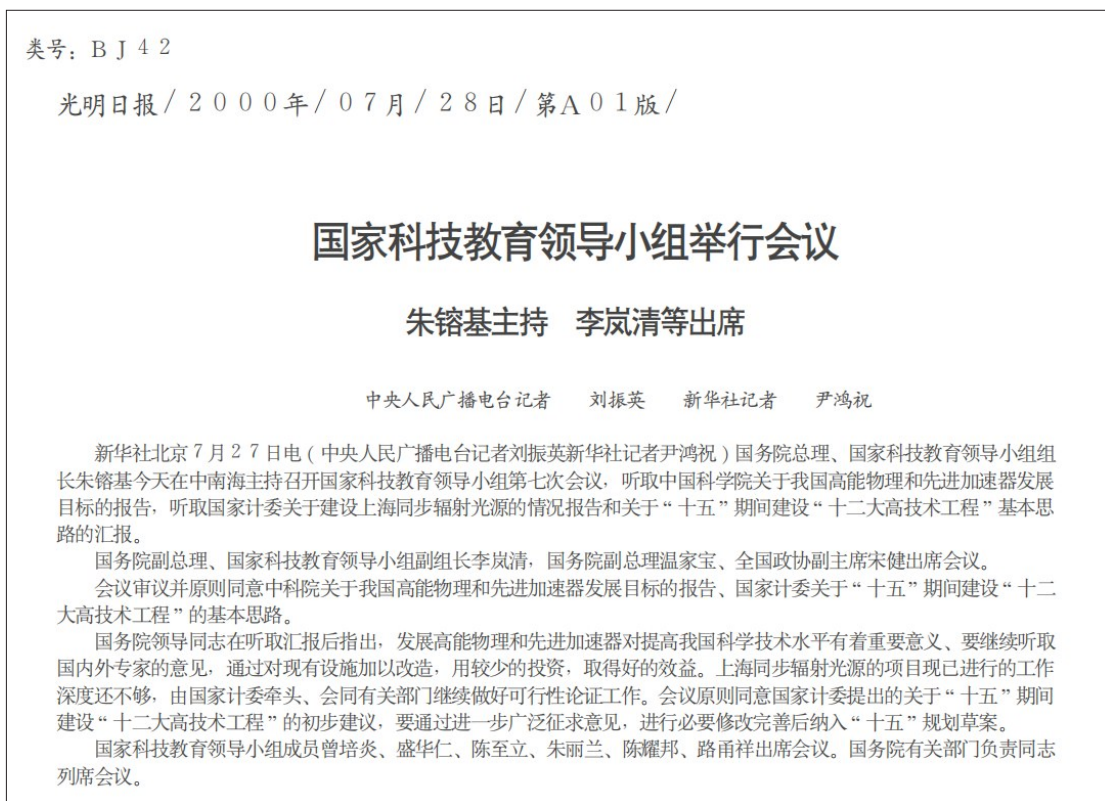


图1 《光明日报》2000年7月28日国家科技教育领导小组第七次会议的报道

点,以及我们实施这个战略的部署。李先生充分肯定这个发展战略,认为报告很好的规划了中国高能物理未来的发展,并表示将积极组织美国各大国家实验室通过中美高能物理会谈的合作机制支持高能物理所的 BEPCII 的设计和 R&D。

八、来自 CESRc 的竞争

2000年夏天高能物理研究所开始了 BEPCII 的设计和研制。然而,很快传来 CESR 决定将束流能量从 10 GeV 区降低到粲物理能区,即 CESRc,设计亮度为 $3 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,与 BEPCII 竞争。CESR 在 10 GeV 能区成功地实现了麻花轨道对撞,并在 Y 物理研究获得了许多重要结果。CESRc 计划安装 14 个超导 wiggler 增加束流发射度,以便在较低的粲能区获得高亮度。CESR 所长 Maury Tigner 教授曾经主持美国 SSC 加速器工程,是高能加速器的世界权威。他相信 CESR 在两年内转变为 CESRc 是相当容易的。我曾经与美国一位著名的加速器专家讨论 CESRc 方案的可行性。他的评论是:“如果 Maury 说是可行的,那就是可行的!”

BEPCII 面临着非常激烈的竞争。显然, BEPCII 的单环版本很难与 CESRc 竞争。作为麻花轨道方案的发源地, CESR 多年来成功运行多束团麻花轨道对撞,经验丰富。现在只需建造和安装超导 wiggler, CESRc 很可能在 2003 年开始调试并获取数据。它的探测器 CLEO 的性能也比升级后的 BES 好得多。

高能物理研究所对麻花轨道多束团对撞缺乏经验,极具挑战。设备制造安装后,麻花轨道的调试将需要很长时间。单环 BEPCII 和 CESRc 的设计亮度相似,但显然单环 BEPCII 的建设和调试估计需要 5 年,将落后于 CESRc。单环 BEPCII 在进度和性能上都无法与 CESRc 竞争。这是对 BEPCII 的巨大挑战。Tigner 在高能物理研究所担任过 3 年多的高级顾问,知道我们所有的弱点。确实我们的技术、经验和人才储备都不足。

在 KEKB 大交叉角碰撞成功的启迪下,详细的 Lattice 计算表明 BEPCII 的双环设计在现有的 BEPC 隧道中是可行的。因此,我们开始了对 BEPCII 双环设计的深入研究。

为了讨论 BEPCII 的双环设计,我和张闯、李卫国于 2000 年 1 月访问了 CESR 和 SLAC。我们在 CESR 访问期间正值漫天大雪。CESR 的领导对我们颇为冷淡,没有进行任何技术交流。我们也未能参观超导高频腔实验室。

然后我们去访问 SLAC。旧金山天气晴朗而温暖。SLAC 所长 J. Dorfan 和诺贝尔物理学奖获得者 B. Richter 教授都鼓励我们努力推动 BEPCII 双环方案。他们认为:与此前从未有人实现过的 CESRc 的方案相比, BEPCII 双环方案的可行性和物理潜力高得多。高能物理研究所应当坚定信心去竞争。

然而, CESRc 对高能物理研究所竞争的影响是巨大的。有些骨干认为毫无疑问 BEPC 将在与 CESRc 的竞争中落败,高能物理研究所又经受了一次冲击。

九、BEPC II: 双环设计

回到北京后,我与方守贤院士、陈森玉院士、张闯教授以及加速器中心团队讨论了 BEPCII 的双环设计。我们认为,从加速器物理的角度来看, CESRc 的“短平快”方案,具有诸多不确定性,此前从未实现过,很难判断能否实现。我们不能放弃竞争。BEPCII 双环方案应该优化在 J/Ψ 和 Ψ' 的能量,设计亮度将比 CESRc 高 3~4 倍,其科学可行性和物理潜力要比 CESRc 大得多。面对 CESRc 的严峻竞争,我们首先必须有实事求是的科学分析和客观的判断,不迷信权威,不为一时的假象或舆论所迷惑。应当对科学判断保持清醒的定力和自信,坚定的去迎接竞争,“两军相逢勇者胜”。此时的退却和犹豫就会给中国高能物理带来严重的挫折。

2001 年 6 月我向李政道先生详细汇报了 BEPCII 的双环方案和面临的竞争。李先生明确支持双

环方案,并强调:

- CESR 转入粲能区运行,表明粲物理研究很重要,我们的发展战略是正确的。

- 竞争利大于弊,能逼迫我们努力奋斗,并吸引国际高能界的重视,互相检验重大成果。

- 他将充分发挥中美高能物理合作会谈的作用,支持 BEPCII。

李先生意味深长地说:“Life is interesting”,希望高能所在这场竞争中取胜。这些教导增强了我们推动 BEPCII 双环方案的信心。

详细的 Lattice 计算表明,可以在 BEPC 现有的隧道采用 KEKB 大交叉角模式实现双环对撞:

- 在 BEPC 隧道的现有环内建造新的环;两个新半环和两个旧半环在两个相互作用区域交叉,形成双环对撞机;

- 在南对撞点采用紧凑型超导插入磁铁实现水平大交叉角碰撞($\pm 11\text{mrad}$),并兼顾同步辐射专用光运行;

- 在北对撞点建造连接外环的“过桥”,实现 $250\text{ mA}@2.5\text{ GeV}$ 同步辐射专用光运行;

- 每环 93 团束流,总流强约为 1A;

- 采用超导高频腔;

- 直线加速器升级:正电子注入速率提高 15 倍,达到每分钟 50 毫安;

- 在束流能量为 1.89 GeV 时,计算设计亮度为 $10^{33}\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$,比改造前提高两个数量级,验收亮度为 $3\times 10^{32}\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$,与 CESRc 相比具有较强的竞争力。

我与李卫国教授和实验物理中心讨论,决定建造新的探测器 BESIII:采用 1Tesla 的大型超导磁体、CsI 晶体量能器和新主漂移室。BESIII 将提供很小的系统误差和很高的数据采集率,以匹配加速器的高亮度。加速器和探测器都面临着许多技术挑战。

BEPCII 的预计造价为 6.4 亿元人民币,比此前批准的 4 亿元预算增加了 60%。我们建议国家发改委提供 5.4 亿元人民币,高能物理研究所提供 1 亿元配套资金。高能物理研究所提供 1 亿元的原因是为了避免 BEPCII 建造经费增加超过 50% 后必须重头

开始整个立项程序,需要很长时间。这 1 亿元经费主要来自前述 3 年 3000 万元/年的专项资金,正好用于 BEPCII 工程建设。

我们组织国内外高能加速器专家对 BEPCII 双环方案进行了深入细致的分析和评审,得到了高度的肯定。中国高能物理界一致支持 BEPCII 双环方案。中国科学院路甬祥院长批准了 BEPCII 的双环设计方案,并说服国家发改委将国家投入 BEPCII 的经费增加到 5.4 亿元。李政道先生和 W. Panofsky 教授非常支持双环设计。李政道先生写信给朱镕基总理、中国科学院院长路甬祥、科技部和自然科学基金委负责人,力推 BEPCII 双环设计。

我们对双环和 BESIII 探测器进行了初步设计。BEPCII 加速器设计遇到了许多挑战:

- 现有隧道周长只有 240 米,而且狭窄,安装双环很困难。而国际上成功的双环对撞机(KEKB 和 PEP-II)的周长都超过 2 公里。

- 相互作用区域仅为 ± 14 米,与 KEKB 和 PEP-II 的 ± 40 米相比,设计难度很大。

- 中国首台储存环超导高频腔,与 KEK 合作研制。

- 世界上最紧凑的也是中国首台超导插入磁体,与 BNL 合作研制。

- 直线加速器的升级,将正电子注入速度提高 15 倍。

- “一机两用”,保持同步辐射模式,光束线不能有大的改动。

- 建造期间提供尽可能多的同步辐射运行,避免国内的硬 X 同步辐射应用长时间中断。

BES III 的设计和建造也面临着许多挑战:

- 1Tesla 的大型超导磁体;

- CSI 晶体量能器采用晶体后悬挂设计,能量分辨率要达到 $2.3\% @ 1\text{ GeV}$;

- 主漂移室,分辨率要达到 $115\ \mu\text{m}$,使用小间隙和氦气;

- ToF 闪烁计数器的时间分辨率要达到 68 ps ;

- 碰撞间隔仅为 8 ns ;

- 触发率高达40 kHz,采用流水线读出;
- DAQ系统应实现3万道信号读出和50MB带宽。

BEPCII/BESIII的设计和建造得到了国际高能物理界,特别是美国国家实验室和KEK的大力支持,包括关键部件的设计、评审、研发和制造。中美高能物理年度合作会谈重点讨论BEPCII/BESIII的合作,协调关键技术合作,落实重要设备研发。BEPCII加速器设计团队带着初步设计到SLAC,请美国专家进行了深入的评审。与BNL合作研制的超导插入磁铁和与KEK合作研制的超导高频腔都按计划完成,达到设计指标。

十、BEPCII工程建设

BEPCII工程于2004年1月动工。BEPCII/BESIII的建设使中国加速器和探测器技术实现大跨

跃,包括许多国内首次采用的先进技术。建设过程出现许多困难和曲折。高能物理所全体同事团结一心,顽强工作。他们夜以继日地奋战,攻克了一个又一个技术难关,抢回了耽搁的工期。这里不做深入介绍。我们与中国许多高科技企业合作,联合攻关,研制了许多高技术设备。这些企业通过BEPCII设备的研制也大大提高了技术水平。这些是在市场经济的条件下进行的,比上世纪八十年代BEPC建设时的计划经济环境下困难更多。

2004年5月初,直线加速器被拆解开始改造升级。2004年11月新的直线加速器完成安装,为同步辐射运行和储存环调试提供了束流注入。直线加速器达到了所有设计目标,并于2007年12月通过中国科学院组织的工艺测试。

BEPCII的同步辐射性能大大提高,各实验站光强提高了3~10倍,并实现了同步辐射兼用光运行,2008年3月顺利通过中国科学院的工艺测试。



图2 BEPCII双环隧道

BEPCII 存储环(图 2)于 2008 年 7 月完成安装,在 16 日实现了首次对撞。BESIII 的建造和调试进展顺利(图 3),各个子探测器的性能指标均按计划达到设计指标。BESIII 于 2009 年 4 月 2 日通过了中国科学院测试。

储存环的调试顺利进行,BESIII 的亮度不断提高。2009 年 5 月,BEPCII 达到了亮度验收指标 $3 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,通过了中国科学院组织的工艺测试。这个亮度是改造前的 30 多倍,是 CESRc 实际达到亮度的 4 倍。BEPCII 的日积分亮度则增加了 100 倍。BESIII 获得了许多重要的物理结果。BEPCII 投入运行后,CESRc 就停止了运行,其上 CLEOc 实验的大批物理学家转而加入 BESIII 实验国际合作组。

BEPCII 工程按期完成了建设和调试,各项指标均达到要求,不超预算。还应当指出,作为当时中国唯一的硬 X 同步辐射光源,虽然科学院没有要求 BSRF 在重大改造工程期间继续提供同步辐射服务,但我们充分意识到 BSRF 保持运行对我国同步

辐射应用的重要性。BEPCII 建设期间,我们克服重重困难,提供了 4 轮同步辐射专用光,共 5 个月。

BEPCII 的成功保持和发展了它在国际 τ -Charm 物理研究的领先地位,再造了高能物理研究所的辉煌,并使我国加速器和粒子探测器技术实现了又一次重大飞跃,为此后十多年中国粒子物理实验和加速器快速发展奠定基础。更重要的是年轻一代的加速器和实验物理学家和工程师在建设过程中成长起来。目前 BEPCII 正在进行新的升级,进一步提高性能。在高能所几代科学家和工程师的艰苦努力之下,BEPC 从 1988 年投入运行至今 30 多年,一直保持了在粲物理研究的国际领先地位,成了国际高能加速器的一株常青树。

十一、《关于中国高能物理与先进加速器发展目标的报告》的全面实施

在国家和中国科学院的大力支持下,中国高能物理界共同努力,使这个报告提出的其他重要领域



图 3 BEPCII 对撞区和 BESIII 探测器

的发展战略也都得以实施。2001年高能物理研究所优化研究室布局,成立了粒子天体物理中心,聚焦非加速器粒子物理实验。

我国的非加速器粒子物理实验得到快速发展,成果丰硕:

- 中微子实验:大亚湾反应堆中微子实验精确测量了中微子混合参数 θ_{13} 。下一代反应堆中微子实验JUNO正在建设。

- 宇宙线观测:羊八井宇宙线观测中日合作AS γ 和中意合作YBJ-ARGO取得重要成果,新一代的LHAASO实验已经投入运行。

- 粒子天体物理实验:HXMT、怀柔一号等空间科学卫星发射,取得许多重要成果。

- 锦屏深地实验室的暗物质寻找实验:CDEX和Panda。

积极参加高能物理实验国际合作,在科技部、自然科学基金委、中国科学院等机构的支持下,中国科学家参加了LHC实验Atlas、CMS、LHCb和Alice,以及RHIC的STAR实验……,做出了重要贡献。

我国的交叉前沿研究大型科学平台建设实现了跨越发展,上海光源,散裂中子源,软X射线FEL陆续建成,北京高能光源和上海硬X射线FEL正在建设中。ADS试验装置在惠州开始建设。这些大科学装置有力地支撑了国家发展战略相关领域和基础科学前沿的研究。

李政道先生大力支持这个发展战略的全面实施,特别是对推动上海光源和大亚湾反应堆中微子实验的建设和国际合作做出十分重要贡献。

十二、结束语

粒子物理实验是一门典型的大科学。它的规划、设计、建设和调试需要较长的时间,资金巨大。运行和研究工作需要更长的时间。作为一个大型研究所,制定正确的发展战略是高能物理研究所持

续发展的首要问题。

本文回顾了高能物理研究所历史的重要一页。世纪之交的《关于中国高能物理与先进加速器发展目标的报告》规划了我国高能物理和先进加速器的发展战略。高能所全体职工面对激烈的国际竞争,顽强拼搏,成功建设了BEP-III/BES-III,保持和发展了我们在粲物理研究的国际领先地位。二十多年来,中国经济的飞速发展,对基础科学研究和大科学装置的投入大幅度增加,中国高能物理界共同努力,使得这个发展战略规划的主要目标都得以实施,中国高能物理实验和大科学装置建设都实现了跨越式发展。

二十一世纪的粒子物理学面临探索暗物质和暗能量的巨大挑战,处于新的历史性重大突破的前夜。物理学家正在寻找超越标准模型的新现象和新物理。新物理学的重大突破口究竟在哪里?中国高能物理学家正在努力为这个突破做出中华民族应有的贡献。与此同时,中国科学技术的快速发展和实现高水平科技自立自强的战略目标对依托加速器的大型多学科研究平台提出了更高的要求。中国高能物理发展战略必须符合国家科技发展战略和国情,必须面向国际粒子物理的发展前沿。中国粒子物理的发展必须依托大科学装置建设,同时要肩负起建设依托大型加速器的交叉前沿研究平台的重任,为实现高水平科技自立自强做出应有的贡献。

高能物理研究所任重道远。

致谢:衷心感谢中国科学院对中国高能物理与先进加速器发展战略研究的指导和大力支持。衷心感谢国内外粒子物理和加速器院士专家的宝贵意见。这个发展战略的凝练和实施是高能物理研究所全体职工共同努力奋斗的成果。特别感谢BEP-III团队的顽强拼搏使之在激烈的国际竞争中领先。

感谢张闯研究员对本文的建议和帮助。