

# 北京正负电子对撞机 重大改造工程进展

陈和生\*

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

关键词 北京正负电子对撞机,改造,进展

北京正负电子对撞机(BEPC)由直线注入器、储存环、北京谱仪和北京同步辐射装置组成。BEPC于1984年10月动工,邓小平同志亲自为工程奠基。1988年10月BEPC如期建成,未超预算,并在建成后迅速达到设计指标。10月24日党和国家领导人来所视察BEPC。邓小平同志发表了“中国必须在高科技领域占有一席之地”的著名讲话,深刻地论述了发展中国高能物理的重要意义。BEPC主要研究 $c$ 夸克和 $\tau$ 轻子。 $J/\psi$ 和 $\psi'$ 都是一对 $c$ 夸克的束缚态,并与胶子研究密切相关。BEPC运行在这些粒子产生的阈值,截面高、本底小,最适于研究 $\tau$ 粲物理和量子色动力学。BEPC取得了许多重要的物理成果,特别是在粲物理实验研究方面处于国际领先地位,在世界高能物理占领了一席之地。近年来BEPC的综合性能大幅度提高,日获取事例数增加了3—4倍, $J/\psi$ 和 $\psi'$ 事例总数比国际上此前的实验多一个数量级。

BEPC/BES的重大物理成果表明 $\tau$ 粲能区仍然有很多物理问题有待回答,是国际高能物理精确测量前沿的热点之一,竞争十分激烈。美国康奈尔大学的加速器CESR将

其能量降到粲能区与BEPC竞争。这是为数不多的由我国的重大研究成果在国际基础研究引发的热点。近年来在此能区发现多夸克态的相关报道使得这个能区物理的研究更加活跃。

依托BEPC的北京同步辐射装置成为我国主要的广谱同步光源,是对社会开放的交叉前沿大型研究平台,全国100多个用户每年进行300多项实验,包括凝聚态物理、纳米科学、生命科学、化学化工、资源、环境等各个领域,获得了大批重要成果。

BEPC未来主要开展粲能区高精度测量的前沿物理研究,即进行高统计性和小系统误差的测量,精确检验标准模型,寻找稀有衰变,探索超越标准模型的新物理现象。BEPC对该能区物理研究具有独特优势:运行在 $J/\psi$ 和 $\psi'$ 的共振峰、产生截面大、阈值区域本底小,是B工厂完全无法替代的。这项研究对量子色动力学(QCD)的发展,包括微扰QCD和非微扰QCD及其过渡区域十分重要,同时能探索新的物理现象。精确测量的研究要求高统计事例,即要求高亮度加速器提供高事例率,以及高性能探测器能在高事例率下工作,并能精确测量粒子的能量和动量,精确识别粒子的种类。因此未来发展的最佳选择是对加速器和探测器做重大改造(BEPCII/BESIII),将亮度提高两个数

\* 中国科学院院士、高能物理研究所所长、BEPCII工程经理  
修改稿收到日期:2006年5月8日

量级。BEPCII 有望在国际高能物理前沿研究中获得许多原始性创新的重大成果。如寻找新粒子:胶子球、多夸克态、夸克胶子混杂态;精确测量  $J/\psi$ 、 $\psi(2S)$ 、 $\psi'$  衰变性质;精密测量 CKM 矩阵元;轻强子谱和重子激发态研究。D 介子物理:测量  $f_D$  和  $f_{D^*}$ ;检验 VDM, NRQCD, PQCD;R 值精确测量。

BEPCII 是国际先进的高亮度双环正负电子对撞机。它的设计方案是利用 BEPC 隧道,在现有的储存环内新建一个储存环。新老两对半环在南北对撞点交叉,形成两个等同的环。每个环内储存 93 个束团,每个环的流强大于 0.9A。在南对撞点实现大交叉角水平对撞( $\pm 11$  毫弧度)。同时采用超导高频腔、低阻抗真空盒、超导 micro- $\beta$  铁等技术手段,压缩束团长度。直线注入器的改造将使正电子注入的速率提高一个数量级,并实现高达 1.89GeV 正电子的全能量注入。BEPCII 的质心系能量为 2—4.2 GeV。在质心系能量 3.77 GeV 时,亮度为  $3 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  (验收指标)— $10 \times 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  (设计指标),分别比改造前提高 30 倍和 100 倍,是 CESR 设计亮度的 3—7 倍。北京谱仪将进行全面改造,包括采用超导磁铁、小单元氦基气体漂移室、碘化铯晶体量能器等一系列先进技术,提高测量精度,减少系统误差,并适应 BEPCII 高计数率运行的要求。2003 年底, BEPCII 完成了全部立项过程,并开工建设。BEPCII 总投资估算为人民币 6.4 亿元,项目建设期 5 年。

北京同步辐射装置也将进行相应的改造,使同步辐射专用运行的硬 X 光强提高一个数量级,兼容光性能也大大提高,并增加若干用户急需的光束线站。改造后北京同步辐射装置在上海光源建成后,仍将保持我国北方同步辐射研究中心的地位,发挥多学科交叉研究平台的作用。

为最大限度减少对国内同步辐射用户

的影响,BEPCII 建设分三个阶段进行。在三个阶段之间插入同步辐射运行。2004 年 4 月 30 日开始直线注入器的改造,重点是新建正电子源,增加微波功率,并开始变电站扩容改造等多项基础设施改造。10 月完成直线加速器设备改造的安装,12 月 BEPC 恢复同步辐射专用运行,直至 2005 年 7 月 3 日。直线注入器在为储存环供束的同时,抓紧调试,3 月 19 日正电子束加速到直线加速器出口,6 月 19 日正电子束流强达到 67 mA,几项主要指标达到了设计要求。2005 年 7 月 4 日,BEPC 圆满完成了历史使命,正式“退役”,开始拆除储存环。

经过半年多的努力, BEPCII 隧道和变配电设备,水冷系统等各项基础设施的改造工作已经完成,各种水管和电缆安装完毕,具备了安装储存环设备的条件。完成了两套 500 W/4.5 K 制冷机系统的安装测试以及各种低温管道安装的阶段性验收工作,各项指标均达到并超过设计要求。这是我国目前最大的制冷机设备之一,为 BEPCII 的低温超导打下了良好基础。目前低温系统已投入运行,开始与超导设备连接和调试。

国际上成功的双环电子对撞机周长一般在 2 公里以上,对撞区直线段长达  $\pm 40\text{m}$ ,而 BEPC 的储存环周长只有 240 米,对撞区直线段长度仅  $\pm 14\text{m}$ 。要在 240 米周长的隧道内给正负电子束流各做一个储存环,还要保持和增加同步辐射接口,改造的难度非常大。目前储存环设备研制进展顺利。经过精心设计,反复试验和改进,完成样机后,立即开始了批量制造。目前已经完成了大部分批量设备的制造,开始进入安装、调试阶段。绝大部分磁铁的批量生产已经完成,包括 49 台二极磁铁、89 台 105Q 四极磁铁和难度极大的多种对撞区特种磁铁。2006 年 3 月 2 日,开始安装储存环设备,目前已安装了约 4% 的磁铁。我所自行设计的 180 台总重超

过 80 吨的电源全部安装就位, 正在进行各种管线的安装, 为储存环电源系统的调试工作迈出坚实的一步。完成了 4 套高电压、大电流、快脉冲冲击磁铁及配套电源, 性能达到设计要求。我所设计、成都飞机制造有限公司生产的新型前室真空盒已经全部到货, 正在逐一检测。两套法国 Thales 250 kW 大功率源已经完成安装调试, 所有指标都达到了设计要求, 通过验收。

我所采取了国际上高能物理界通用的国际合作方式, 研制国内尚无法制造的低温超导设备 (如超导插入磁铁、超导高频腔等)。我所工程人员同国外专家一起设计和研制, 利用国外的先进技术和设备进行加工制造, 这样既能满足工程的进度, 又能锻炼队伍。与日本高能加速器研究机构联合设计, 与日本三菱公司联合研制的两台超导高频腔已运到我所, 我们研制了部分配套设备, 正在逐项安装、测试。与美国布鲁克海文国家实验室联合研制的超导插入四极铁是世界上最复杂最精细的插入四极铁。双方密切合作, 克服许多困难, 已研制成功, 正在安装。

新北京谱仪 (BESIII) 探测器建设进展良好。重量 700 吨的 BESIII 的机械系统已经组装完毕, 安装精度达到了国际同类设备的先进水平。与成都飞机制造有限公司合作, 完成了探测器主漂移室的精密加工。它是 BESIII 的核心子探测器之一, 内径 126 mm, 外径 1 620 mm, 包含 43 个同心单元丝层的大型圆柱精密丝室, 共有 28 680 根直径 25  $\mu\text{m}$  和 110  $\mu\text{m}$  丝, 近 3 万个孔, 位置精度达到 25  $\mu\text{m}$ 。利用专门设计的拉丝机采用半自动化垂直方式进行漂移室拉丝。目前拉丝工作已经完成, 质量达到设计要求。探测器的超导螺线管磁体已经组装并进行了试安装, 各子探测器基本按计划进行。量能器的碘化铯晶体绝大部分已经到货, 我所正在

逐个加工、组装并进行了大量测试, 质量符合设计要求, 目前已接近尾声。

BESIII 还完成了直径 3.8m、长度 4m 的大型超导螺线管磁体的制作与组装, 国内从未制造过这样的设备, 这一大型超导磁体研制的技术难度很大, 项目组不断改进、完善各种工装, 采用先进的脱模技术, 做出了高品质的对地绝缘, 解决了轴向高度差不均匀等许多关键技术, 目前已经在现场安装。2005 年底北京谱仪机械系统在高能所通过了专家组的鉴定验收。该系统由高能所设计, 由中信重型机械公司承制。新建造的北京谱仪机械结构长 11 米、宽 6 米、高 6.5 米, 总重量约 650 吨, 总体安装精度要求高、难度大。经过专家组测试, 各项技术指标合格, 整机性能和主要技术指标达到了国际同类设备的先进水平。

我所先后召开了 4 次 BEPCII 国际加速器顾问委员会 (IMAC) 会议, 邀请了 10 多位国内外知名加速器专家, 评估、讨论 BEPCII 的进展及关键问题, 国外专家写出了详细的评估报告, 提出了许多极有意义的建议。BESIII 也组织了多次国际物理研讨会和探测器评审会。针对各种设备设计、研制和调试过程中的问题, 我们组织了数十次专门研讨会, 邀请国内外知名专家讨论技术方案。先后有 100 多人次国外加强器和探测器专家来所合作研制。

BESIII 巨大的物理潜力和优越的性能吸引了国内外的合作者。包括来自美国、日本、德国、瑞典、俄罗斯等国的物理学家与国内 20 所大学和研究所的科学家于 2006 年 1 月在北京正式成立了 BESIII 国际合作组。根据中美高能物理合作协议, 2006 年 6 月将在高能所召开“中美高能物理合作研讨会”, 专门吸引美国物理学家参加 BESIII 实验和大亚湾反应堆中微子实验。

(转至 194 页)