

北京正负电子对撞机及其重大改造工程*

张 闯[†]

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘 要 作为探索微观世界工具,对撞机在粒子物理近三十年激动人心的进展中崭露头角,已成为一种占主导地位的高能加速器.北京正负电子对撞机(BEPC)瞄准 τ -粲能区的物理窗口,自1988年建成投入运行以来,在高能物理实验和同步辐射研究领域做出了许多重要成果,已成为在其工作能区性能国际领先的高能加速器.为了在激烈的国际竞争中继续保持在 τ -粲物理领域的领先地位,中国科学家提出了北京正负电子对撞机重大改造计划(BEPC II),于2003年底得到国家批准.和BEPC一样,BEPC II“一机两用”,用于高能物理和同步辐射研究,作为对撞机的主要指标的亮度将比BEPC高100倍,同步辐射的性能也将大幅度提高.文章简要介绍了BEPC运行成果和BEPC II的建设进展及其发展前景.

关键词 对撞机,亮度,高能物理,同步辐射

The Beijing electron-positron collider and its second phase construction

ZHANG Chuang[†]

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

Abstract As a powerful tool for research on the micro-world, colliders have played an essential role in the exciting discovery of particle physics in the past 30 years, and continue to serve as the dominant machines for high energy physics research. Aiming at τ and charm physics, the Beijing Electron-Positron Collider (BEPC) has become a leading machine in the world in its energy region. Many important results in high energy physics and synchrotron radiation research have been obtained with the BEPC. To maintain China's leading position in τ and charm physics, Chinese scientists proposed the BEPCII project as the second phase construction, and this was approved by the Chinese government at the end of 2003. As with the BEPC, BEPCII will serve two purposes, i. e. research on high energy physics and synchrotron radiation. The luminosity of BEPCII will be two orders of magnitude higher than the present BEPC, and its synchrotron radiation operation will also be significantly improved. The performance of BEPC and progress in the construction of BEPCII as well as their prospects are reviewed.

Key words collider, luminosity, high energy physics, synchrotron radiation

1 对撞机和高能物理

在20世纪物理学的舞台上,粒子加速器扮演了重要角色.在粒子加速器问世之前,人们用于研究原子核结构的粒子束有两种:一种是天然放射性核素发出的射线;另一种则是来自天外的高能宇宙射线.前者固然简单方便,但放射线粒子的流强太低,能量不高,因而产生核反应的几率很小.宇宙线粒子的能

量可高达 10^{21} eV,但其强度太弱,适宜于做定性的研究.就这样,粒子加速器作为一种利用电磁场将带电粒子加速到高能量的人工装置,在20世纪30年代初随核物理研究的发展应运而生.

用加速器作为“显微镜”研究物质微观结构,其

* 北京正负电子对撞机重大改造工程项目

2004-10-08 收到初稿,2004-11-24 修回

[†] Email: zhangc@mail.ihep.ac.cn

分辨能力 λ (德布罗意波长) 与产生的束流的能量 E 相关:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{E\beta}, \quad (1)$$

式中 p 为粒子动量 β 为相对论速度 $h = 4.14 \times 10^{-24} \text{ GeV} \cdot \text{s}$ 为普朗克常数. 对于 $E = 1 \text{ GeV}$, 由 (1) 式得 $\lambda \sim 1 \times 10^{-13} \text{ cm}$, 与质子的直径相当. 因此, 为了研究质子和中子的结构, 束流的能量须高于 1 GeV . 这也是把 1 GeV 作为中能和高能之分界的原因. 现在, 加速器已能把质子加速到 1 TeV , 相应的实验分辨力达到 10^{-16} cm , 深入到强子的内部.

在过去六十多年间, 加速器的能量每隔十年增加一个多数量级, 而单位能量的造价则大大下降. 这些改进是与粒子物理互相促进、同步发展, 也是加速器原理和技术发展的结果. 图 1 展示了加速器能量逐年增加的情况.

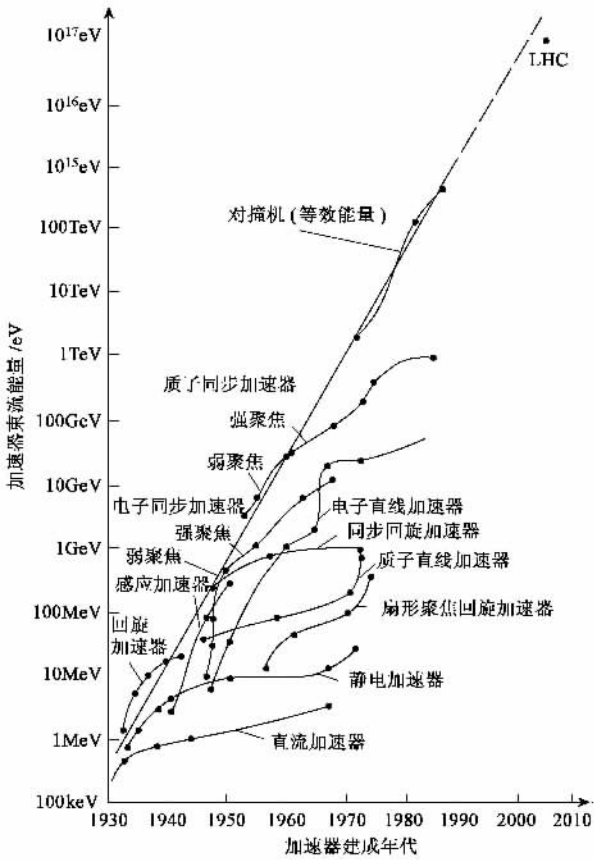


图 1 粒子加速器的束流能量逐年提高的情况

相应于直流高压、交变磁场和高频电场这三种电磁场形态, 产生了高压型、感应型和高频共振型三类加速器. 最早的加速器是高压型加速器. 这种加速器的能量受击穿电压的限制, 导致了回旋加速器的发展. 在回旋型加速器中, 引进主导磁场使束流沿曲

线轨道运动, 实现高频电场或感应电场对带电粒子的多次加速, 其偏转半径为

$$\rho = \frac{pc}{ZeB}, \quad (2)$$

式中 B 为主导磁场强度 e 为电子电荷量 Z 为粒子电荷数. 可见在给定束流能量和种类的情况下, 如要减小加速器的弯转半径(从而机器尺寸), 需要尽可能采用高磁场.

为了克服在恒频的回旋加速器中粒子能量增加引起的滑相, 出现了调频回旋、电子回旋和等时性回旋加速器. 在回旋型加速器中, 主导磁场必须覆盖不同半径的螺旋线轨道. 为了解决由此引起的磁铁庞大的问题, 又发明了磁场随束流能量提高而增强的同步加速器, 将束流约束在环型真空盒内. 弱聚焦加速器真空盒截面太大限制了能量进一步提高, 导致了交变梯度即强聚焦加速器的出现. 环型加速器中, 特别是电子环型加速器中, 存在的同步辐射阻碍向更高能区推进, 促使了直线型加速器的发展. 常规的磁铁和高频腔的功率损耗限制加速器向超高能进军, 促进了超导技术在加速器中的应用. 而让两束相向运动的粒子对撞来提高有效作用能的对撞机, 则把束流的等效能量推向新的高度.

高能物理需要寻找新粒子, 研究新反应, 因而关心的是质心系能量或有效作用能. 在打静止靶情况下, 有效作用能

$$E_{C.M.} \approx \sqrt{2E_0E}, \quad (3)$$

即大部分能量浪费在对撞粒子及其产物的动能上. 式中 E_0 为粒子的静止能量. 对撞机则可使束流的能量得以充分利用:

$$E_{C.M.} = 2E. \quad (4)$$

在图 1 中的“等效能量”即为达到该对撞机的质心系能量所需打静止靶束流的能量:

$$E_{\text{eff}} = E_{C.M.}^2 / 2E_0. \quad (5)$$

对撞机在粒子物理近二十年激动人心的进展中崭露头角, 已成为一种占主导地位的高能加速器. 20 世纪 70 年代, J/Ψ 粒子、 τ 轻子和 γ 粒子等都是同时或相继在打静止靶加速器和对撞机上发现的, 并用对撞机进行深入的研究; 而能量更高的中间玻色子 W^+ 和 Z^0 以及近年发现的 t 夸克, 则在在对撞机上找到并加以研究.

对撞机赢得了有效作用能, 但要获得能与打静止靶加速器相比拟的反应事例, 必须提高其对撞亮度:

$$N = L \cdot \sigma. \quad (6)$$

这里 σ 是反应截面, N 为反应事例数, L 为对撞亮

度.因而,为了提高亮度,又需要在加速器中储存尽可能多的粒子(N_1, N_2),减小对撞束团的包络尺寸(σ_x, σ_y),并增加对撞频率(f),即

$$L = \frac{fN_1N_2}{4\pi\sigma_x\sigma_y} \quad (7)$$

由此可见,更高的能量和更高的亮度是高能加速器发展的两个前沿.

北京正负电子对撞机不是与国外的加速器争能量、比大小、拼造价,而是从我国的国情出发,量力而为,瞄准 τ -粲物理窗口,占据这一有着重要物理“矿藏”能区的高亮度前沿.

2 北京正负电子对撞机^[1]

北京正负电子对撞机(BEPC)于1984年10月破土动工,1988年10月建成并对撞成功,亮度迅速达到设计指标^[1].表1列出了BEPC的里程碑性质的大事.

表1 BEPC的里程碑性质的大事

1984年10月	BEPC工程奠基
1987年6月	注入器——电子直线加速器安装完毕
1987年11月	储存环安装完毕
1988年10月	在BEPC中实现正负电子对撞
1988年12月	在1.55 GeV时亮度达到设计值 $2 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
1989年5月	开始高能物理和同步辐射实验
1996年6月	1.55 GeV时亮度达到 $4.4 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
1999年2月	改进项目通过验收,亮度提高约2倍因子
2001年3月	获取5800万J/Ψ事例
2002年3月	获取1400万Ψ'事例
2003年2月	1.89 GeV时亮度达到 $1.2 \times 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
2003年5月	获取积分亮度为 35.5pb^{-1} 的Ψ'事例
2004年5月	高能物理实验圆满结束, BEPC II建设开始

BEPC由四大部分构成:注入器与束流输运线、储存环、北京谱仪和同步辐射装置,图2是BEPC的鸟瞰图,它像一支硕大的羽毛球拍,由北向南而卧.球拍的“把”——注入器是一台长202m的行波正负电子直线加速器.电子枪产生的电子束在盘荷波导加速管中,就像冲浪一样骑在微波场上不断得到加速.在电子束被加速到150MeV时,轰击一个约1cm厚的钨靶,由于级联簇效应产生正负电子对,将正电子聚焦、收集起来加速,就得到高能量的正电子束.正负电子束流通过输运线注入到球拍的“框”——储存环中,积累、储存、加速、对撞.正负电子束流在

储存环240m长的真空盒里做回旋运动,安放在真空盒周围的各种高精电磁铁将束流偏转、聚焦、控制在环形真空盒的中心附近;高频腔不断把微波功率传递给束流,使之补充能量并得到加速;上百个探头密切检测束流的强度、位等性能,计算机通过各种接口设备,控制对撞机的上千台设备的工作.当正负电子束流被加速到所需要的能量时,对撞点两侧的一对静电分离器被关断,正负电子束流就开始对撞,安放在对撞点附近的北京谱仪(BES)开始工作,获取正负电子对撞产生的信息,北京同步辐射装置(BSRF)的光束线和实验站也可以开展各种实验. BEPC储存环每隔4—6小时重新注入正负电子束流,重复以上过程.



图2 BEPC的鸟瞰

BEPC自1989年投入高能物理实验和同步辐射研究以来,经过多年的改进,对撞亮度、束流强度和寿命不断提高,成为 τ -粲能区性能居国际领先地位的对撞机^[2].表2列出了BEPC的主要参量.

表2 BEPC的主要参量

参量	单位	设计值	运行值	
工作能量	GeV	1.0—2.8	1.0—2.5	
注入能量	GeV	1.1—1.4	1.3	
环周长	m	240.4	240.4	
高频频率	MHz	199.526	199.533	
对撞点包络函数	cm	130/10	120/5	
流强	对撞	mA	$66 \times (E/2.8)^3$	45@1.89 GeV
	同步		150	150
寿命	对撞	hrs	5—7	8—10
	同步		10	20—30
亮度	$10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	$1.7 \times (E/2.8)^4$	1.2 @ 1.89 GeV	

北京正负电子对撞机自1989年投入高能物理实

验和同步辐射研究以来,运行水平不断提高.近年来,每年约运行 6000h,其中高能物理约占 40%,同步辐射占 20%—30%,故障率为 5% 左右,低于国际上高能加速器的平均故障率.图 3 是 BEPC 在 2003—2004 年度运行时间的分配情况.图 4 是 BEPC 在 Ψ' 取数运行时一周的流强-时间曲线.从图 4 可以看出,正负电子对撞的峰值流强约为 90mA,束流寿命约为 8h,每天注入、对撞 6—7 次.

BEPC/BES 的高效运行使 BES 拥有世界上最大的、直接从正负电子对撞获取的 J/Ψ 和 Ψ' 事例的样本,这些数据不仅数量大,而且质量也很好,有希望取得高水平的物理研究成果.图 5 和图 6 分别给出了 BEPC/BES 获取的 J/Ψ 和 Ψ' 事例总数与世界上其他实验组的比较.在 BEPC 上取得了 τ 轻子精确测量、 Ψ' 衰变的系统研究、胶子球候选粒子 ζ (2230) 的研究、 D 和 D_s 衰变的研究、2—5 GeV 能区的强子 R 值测量等国际水平的物理成果.

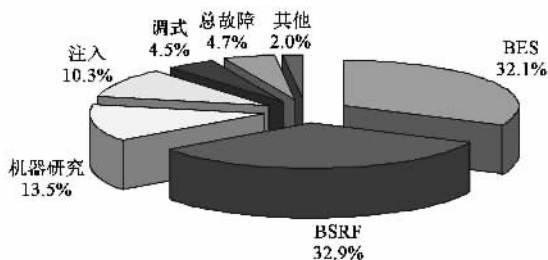


图3 BEPC在2003—2004年度运行时间分配情况

BES 合作组利用这 5800 万 J/Ψ 事例数据,在分析 J/Ψ 粒子辐射衰变到正反质子的过程中质子和反质子不变质量分布时,在阈能处发现有奇异的增长,可解释为一个新的共振态粒子,即 J/Ψ 粒子先衰变为一个光子和这个共振态粒子,此共振态再衰变为质子反质子对.这个结果在 Phys. Rev. Lett. 发表后,得到国际高能物理界的重视.图 7 是这个新共振态的峰位曲线^[3].

作为利用 BEPC 同步辐射光源进行科学研究的装置,BSRF 现已装备了 4 台插入件,7 个前端区,14 个光束线和实验站,成为对社会开放的大型公用科学设施. BSRF 有两种运行模式:兼用或专用模式,兼用模式用于高能物理对撞实验,同时也提供同步辐射光,专用模式专门用于同步辐射研究.每年都有来自全国各大科研单位和高等院校的 300 多个用户,在 BSRF 上开展凝聚态物理、生命科学、环境科学、材料科学、地球科学、光学与探测技术、高压物

理、分子与原子物理、化工、化学、微电子和微机械等研究领域课题,取得一大批高水平的成果,特别是在生物大分子研究方面的成果,引起了国际上的关注.图 8 是清华大学实验组在 BSRF 测得的“非典”病毒蛋白质结构.

3 北京正负电子对撞机重大改造工程

BEPC 上的科学成果,激励我们攀登新的高峰.北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPC II)正是 BEPC 的自然延伸.

在 BEPC 运行的早期,对撞亮度还比较低,BES I 在大约两年的时间里获取了 900 万个 J/Ψ 事例.1999 年 BEPC 的改进完成,亮度提高约 2 倍因子,加上实验本底问题的解决和运行效率的提高,在 1999—2000 年和 2000—2001 年的两个运行年度里, BEPC/BES II 获取了 5800 万 J/Ψ 事例.在 Ψ' 实验中, BEPC/BES I 大约在一年的运行时间里获取了 390 万 Ψ' 事例,而 BEPC/BES II 在 2001—2002 年的运行年度里,成功地获取了 1400 万个 Ψ' 事例.为了在包括胶子球寻找和粲夸克偶素谱研究等 τ -粲物理前沿课题取得具有世界领先水平的重大物理成果,需要获取 5×10^9 个 J/Ψ 事例和 2×10^9 个 Ψ' 事例.如果按 BEPC/BES II 的运行亮度来推算,大约分别需要 172 年和 143 年,这显然是不现实的.这就需要提高对撞机的亮度有数量级的提高,同时要相应提高探测器的精度,以减小系统误差,使之与高亮度带来的低统计误差相匹配.这就是 BEPC II 和 BES III(新北京谱仪)^[1].

想到这一点的不仅是中国的科学家.美国康乃尔大学的正负电子对撞机 CESR 原先在质心系 11.6GeV 的 B 介子物理能区工作,为了争夺 τ -粲能区的物理成果,他们正在对撞机中安装数十米长的超导扭摆磁铁,以便在低能量下得到高亮度,其在 1.89GeV 时的设计目标是 $3 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,称为 CESRc.这个指标同采用单环“麻花”轨道多束团对撞技术提高亮度的 BEPC II 方案相当,但比我们早两年实现.为了继续保持我国在 τ -粲物理前沿的领先地位,经过反复论证,我们决定采用双环方案,在 1.89GeV 时的设计亮度为 $1 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$,在 J/Ψ ($E=1.55\text{GeV}$)到 Ψ' ($E=1.89\text{GeV}$)时为 CESRc 的 3—5 倍,加上能散度的因素, BEPC II 在 τ -粲能区将具有明显的优势.图 9 给出了世界上从 Φ 到 Z 粒子

1) 见中国科学院高能物理研究所.北京正负电子对撞机重大改造工程初步设计(IHEP-BEPC II-SB-03-03 2003 年 11 月)

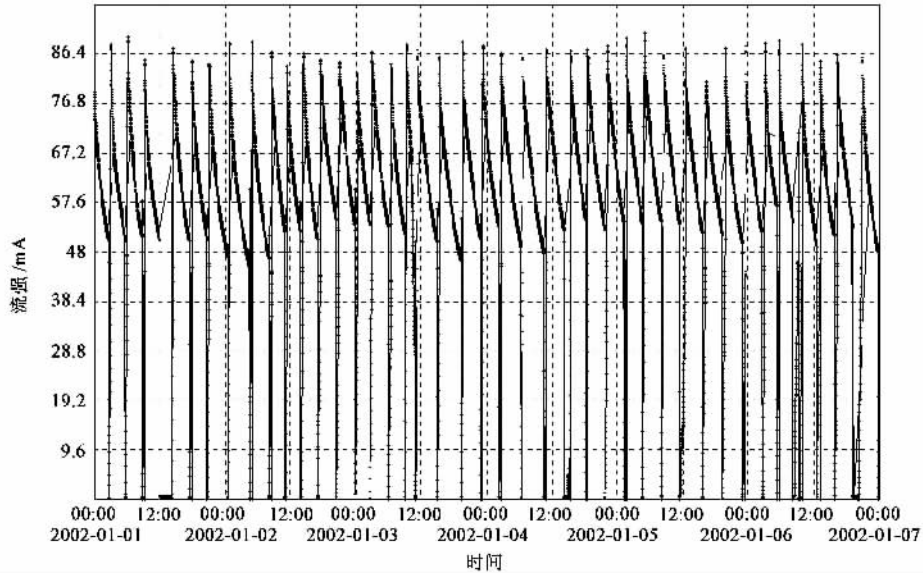


图 4 BEPC 在 Ψ' 取数运行一周的流强 - 时间曲线

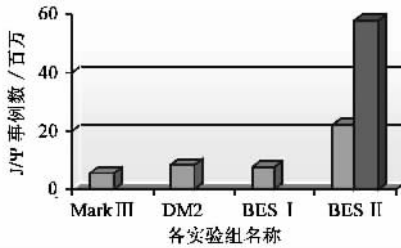


图 5 BES 获取 J/ψ 事例数与其他实验组的比较

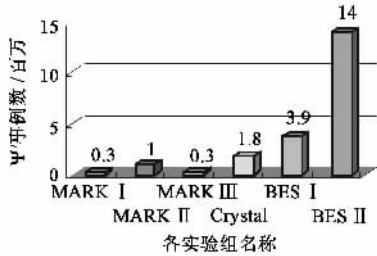


图 6 BES 获取 Ψ' 事例数与其他实验组的比较

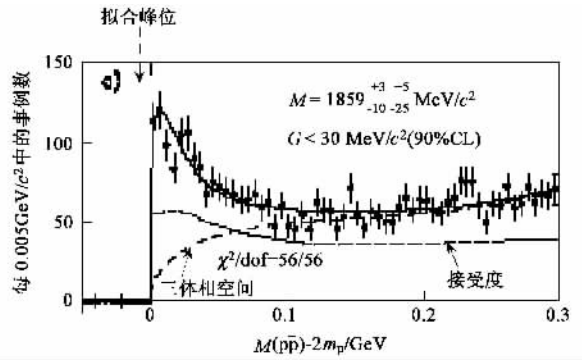


图 7 BES 合作组发现的新共振态

能区工作的正负电子对撞机的亮度。图中圆点代表现有对撞机的亮度，菱形点是正在研制中的对撞机。下部椭圆内的属于通常的对撞机，BEPC 属于这一类。中间椭圆内的对撞机亮度在 $10^{32}—10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 之间，正负电子在对撞时可以产生更大量粒子，故称为“粒子工厂”。上部椭圆内的是研讨中的“超级粒子工厂”，亮度达 $10^{35}—10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。从图中可以看出，现在世界上有三个粒子工厂，即意大利的 Φ 粒子工厂 DAΦNE 和美国与日本的 B 介子工厂 PEP-II 与 KEKB。在 τ -粲能区，BEPC 仍然是目前亮度最高的对撞机。但是，这个领先地位将在明年 CESRc 投

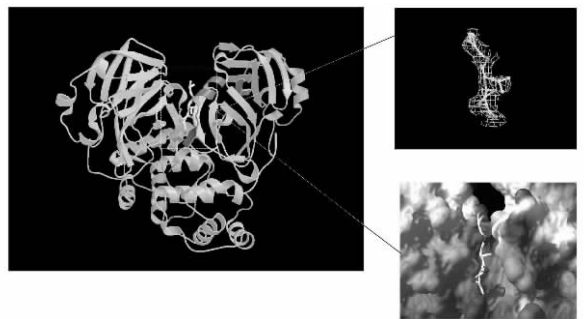


图 8 在 BSRF 上测得的“非典”病毒蛋白质结构

入运行后被打破。因此，BEPC II 肩负着夺回 τ -粲能区亮度制高点的重任。

考虑了正负电子束流对撞的相互作用等效效应，(7)式的亮度关系可改写为：

$$I(\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}) = 2.17 \times 10^{34} (1+r) \zeta_y \frac{E(\text{GeV}) k_b I_b(\text{A})}{\beta_y^*(\text{cm})}, \quad (8)$$

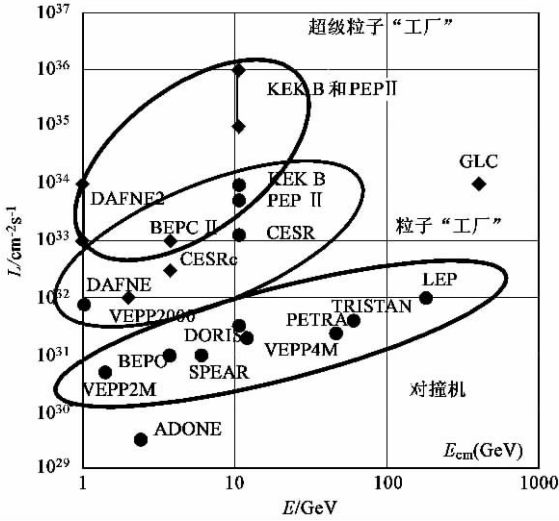


图9 正负电子对撞机的亮度

式中 $r = \sigma_y^* / \sigma_x^*$ 为对撞点处束团截面的形状因子，即垂直与水平方向尺寸的比值， E 为束流能量， ζ_y 为垂直方向束-束作用参量， β_y^* 是对撞点处垂直方向的包络函数值， k_b 为每一束流中束团的数目，而 I_b 是每一束团的流强。在能量确定和每一束团的流强受限于束-束作用参量 ζ_y 的情况下，提高亮度最有效的方法是增加束团数目和减小对撞点处的包络函数值。这正是 BEPC II 提高亮度的技术路线，见表 3。

表3 从 BEPC 到 BEPC II 亮度提高的途径 ($E = 1.89\text{GeV}$)

参量	单位	BEPC	BEPC II	亮度提高因子
β_y^*	cm	5.5	1.5	3.67
k_b		1	93	93
ζ_y		0.04	0.04	1
I_b	mA	35	9.8	0.28
L	$10^{31}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	1.0	100	~100

为了将束团的数目从 BEPC 的 1 对增加到 BEPC II 的 93 对，就必须让正负电子在各自独立的储存环里运动，而在对撞点相遇；为了将对撞点处的包络函数值 β_y^* 减小为 1.5cm，需要采用安放在探测器内部的超导聚焦磁铁，还要采用能提供高加速电压和高微波功率的超导高频腔。图 10 是 BEPC II 储存环的布局示意图。

双环的 BEPC II 将安装在 BEPC 现有的隧道里。经过反复多次的隧道测量、CAD 模拟和仔细研究讨论，确认了 BEPC II 双环方案的可行性。表 4 给出了 BEPC II 的主要参量及其与 BEPC 的比较。

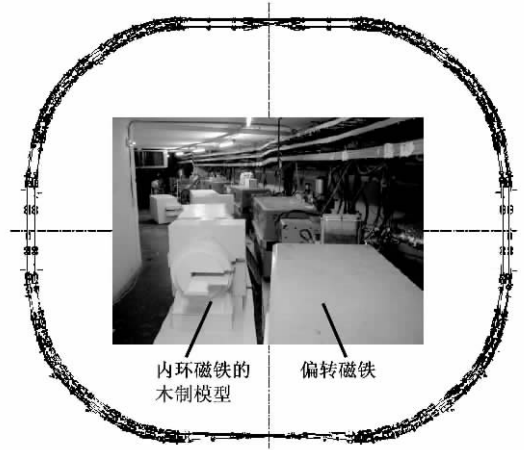


图10 BEPC II 储存环的布局示意图

表4 BEPC II 的主要参量

参量	单位	BEPC	BEPC II	
工作能量	GeV	1.0—2.5	1.0—2.1	
注入能量	GeV	1.3	1.89	
环周长	m	240.4	237.53	
高频频率	MHz	199.53	499.8	
对撞点包络函数	cm	120/5	100/1.5	
每束流束团数目		1	93	
流强	对撞	mA	45	930
	同步		150	250
寿命	对撞	hrs	8—10	2.7
	同步		20—30	20—30
亮度	$10^{31}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	1.2	100	

BEPC II 将继续在 τ -粲能区工作，其束流能量范围为 1—2 GeV。由于 BEPC II 的主要物理窗口是 J/ψ (3097)， ψ' (3686) 和 ψ'' (3770)，其优化束流能量范围取为 1.89 GeV。BEPC II 同时也将是一台高性能的同步辐射光源，其工作能量为 2.5 GeV，相应的流强指标为 250 mA。为了确保 BEPC II 的高平均亮度，注入时间必须尽可能短，这就要求全能量注入（即注入能量和对撞能量相同），以便实现随时补充束流运行；同时，占主要部分的正电子注入时间也要尽量缩短，要求注入器提供更高的正电子流强，使其注入速率不低于 50 mA/min。注入器的改造包括：采用高功率速调管，改进微波功率源，重复频率从 12.5 Hz 提高到 50 Hz，更换八节加速管；将电子枪流强从 5A 提高到 10A；正电子打靶能量从 150 MeV 提高到 240 MeV；研制高性能正电子源，提高效率；改进聚焦和轨道校正系统；脉冲宽度从 2.5ns 减小

为 1ns,研究双束团注入的可能性等.图 11 是 BEPC II 改进后的注入器照片.

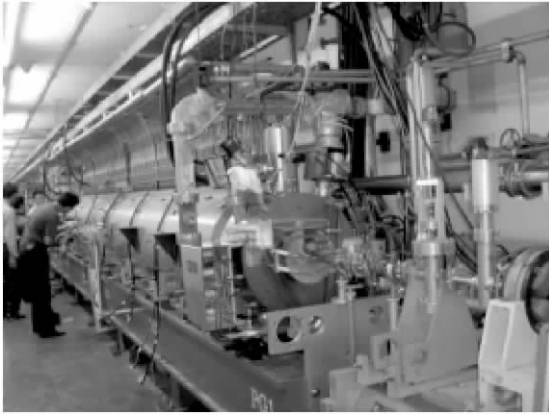


图 11 改进后的注入器照片

高亮度需要高流强, BEPC II 储存环中每束流强度达 0.91A. 高流强又带来各种束流集体效应,包括束团拉长效应、耦合束团不稳定性、阻抗壁不稳定性、离子俘获、快离子不稳定性、电子云不稳定性和束-束相互作用等.在 BEPC II 的设计中仔细研究了这些效应,尽可能减小真空盒部件的耦合阻抗,提高不稳定性阈值流强,还设计了束流反馈系统来阻尼这些不稳定性^[4].

高亮度对加速器技术提出了一系列挑战. BEPC II 中的关键技术有 500MHz 超导高频系统、低阻抗冲击磁铁、大功率高精度开关电源、快速束流反馈装置、基于 EPICS 环境的控制系统、大束流负载下的超高真空系统、对撞区和超导磁铁等等.经过精心设计、精心研究, BEPC II 关键设备的样机已全部完成,现已进入批量生产阶段.图 12 是储存环弧区一个单元的磁铁、真空盒等设备在实验室预组装的照片. BEPC II 储存环弧区共有 80 个这样的单元,都要在实验室安装、准直好,再整体运输到隧道安装,以避免在狭窄的隧道里做单件安装,节省时间.

对撞区是 BEPC II 中空间最紧迫的部位.对撞区的超导磁铁 SCQ、低温设备、真空盒、束测装置、切割磁铁 SPB 和双孔径聚焦磁铁 Q1A 与 Q1B 等部件都要安放在一个移动支架上,安装妥当后再移向对撞机点,与另一侧的真空盒连接,如图 13 所示.

北京谱仪 BES III 安放在 BEPC 储存环的对撞区.图 14 是 BES III 的结构示意图. BES III 是一台多种探测器组成的大型综合谱仪,它以高精度与 BEPC II 的高亮度、高计数率相匹配,减小统计误差和系统误差,并具有大到 93% 的空间接受度和高达 3kHz 的在线事例接收能力. BES III 由主漂移室

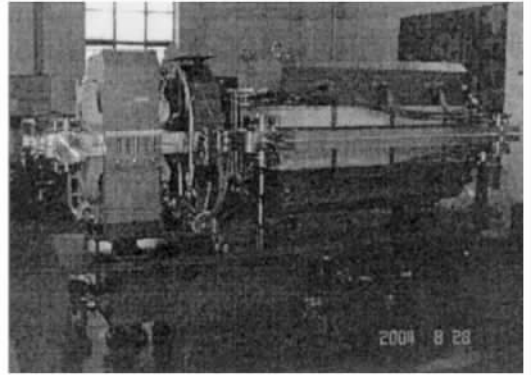


图 12 储存环弧区单元的预组装

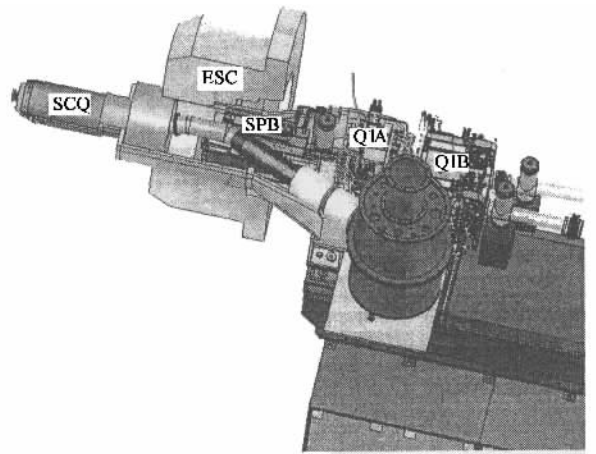


图 13 移动支架上的对撞区设备

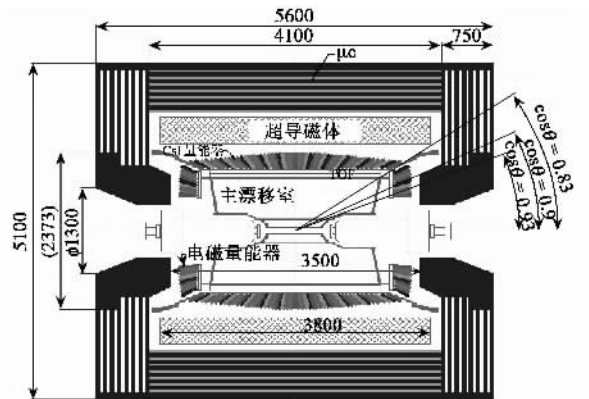


图 14 BES III 的结构示意图

MDC、飞行时间计数器 TOF、电磁量能器 EMCAL、 μ 子鉴别器 μ C、超导磁铁 SSM、前端电子学、触发判选系统、数据获取系统和离线计算机系统等部分组成.

BEPC II 的工程总投资估算为 6.4 亿元人民币.计划在 2003 年底批准开工的 4 年内建成.图 15 为 BEPC II 工程的计划.

目前, BEPC II 注入器的安装已经按计划完成,即将开始调试.储存环安装和北京谱仪的离线装配

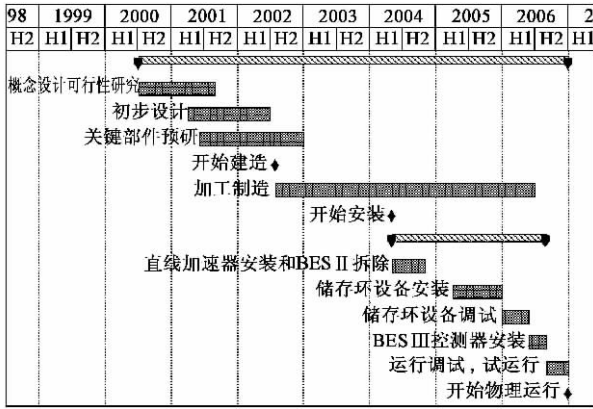


图 15 BEPC II 工程的计划(H1 表示上半年, H2 表示下半年)

将在 2005 年中开始, 2006 年初开始调束, 年中谱仪移到对撞区, 年底开始物理运行. 这样, 当 2008 年奥运会在北京举办的时候, BEPC II/BESIII/BSRF 也将有一批成果产生, 在“科技奥运会”上夺取奖牌. 计划中的“金牌”目标有:

- (1) 寻找胶子球, 夸克-胶子混杂态和奇异粒子;
- (2) 寻找 J/ψ 家族中尚未发现的重要成员 1P_1 和 η'_c ;
- (3) 精确测量 CKM 矩阵元 (CKM 是 3 个人名的缩写, CKM 矩阵元是由基本物理常数组成的描述夸克对 W 玻色子的耦合强度);
- (4) 研究粲夸克偶素谱及其衰变性质和轻强子谱;
- (5) 精确测量 2—5 GeV 能区强子的 R 值;
- (6) 粲物理研究, 包括 D 和 D_s 衰变的性质, 衰变常数 f_D 和 f_{D_s} 的测定等;
- (7) 利用粲夸克偶素衰变研究重子激发态;
- (8) τ 轻子物理, 包括提高 τ 轻子质量和 τ 中微子质量的测量精度, 研究 τ 轻子的衰变性质及其带电流的洛伦兹结构;
- (9) 寻找 τ 轻子和粲夸克偶素衰变中的 CP 破坏;
- (10) 寻找 $D^0 - \bar{D}^0$ 混合和 CP 破坏.

我们预期, 其中若干原始创新性物理成果将对国际高能物理研究产生重要或重大的影响.

4 从 BEPC 和 BEPC II 走向未来

研究无有穷期. BEPC 的成功和 BEPC II 的建设, 正是我们走向未来的新起点. 图 16 展示了北京正负电子对撞机走向未来的前景.



图 16 北京正负电子对撞机走向未来的前景

BEPC II 建成后, 将成为 τ -粲物理的研究中心, 继续保持在这一能区的国际领先地位. BEPC II 坚持“一机两用”, 又是同步辐射的“工厂”, 虽然能量和亮度比不过上海光源, 但仍是一台高通量的广谱 X 射线源, 成为纳米中心和结构生物中心的研究平台. 利用 BEPC II 高性能的注入器, 我们将完善已有的试验束和慢正电子束装置. 利用 BEPC 和 BEPC II 建设中发展的技术, 我们将大力推进核技术产业化. BEPC 和 BEPC II 又为建设未来的加速器装置储备了技术. 我们正在和中国科学院物理研究所合作, 开展散裂中子源的设计研究, 与兄弟单位联合进行高增益自由电子激光装置的研究, 并在国家高技术发展研究计划的支持下, 着手加速器驱动的核能源 ADS 的研究.

未来的高能量前沿的实验装置投入巨大, 必须要走国际合作的道路. 最近, 国际高能物理界已经对未来的国际直线对撞机的技术做出了选择, 决定采用超导作为主加速器的技术方案. BEPC II 发展的高技术, 特别是超导高频腔和超导磁铁以及低温系统的研制, 为我们参加国际直线对撞机的合作准备了条件. 我们将积极参与国际合作, 为科学技术的发展做出我们应有的贡献.

参 考 文 献

- [1] Fang S X, Chen S Y. The Beijing Electron - Positron Collider. In : Proc. 14 - th Int. Conf. on High Energy Acc. , 1989
- [2] Zhang C for BEPC & BEPC II Teams. Performance of the BEPC and Progress of the BEPC II , Proc. APAC04 , 2004
- [3] BES Collaboration. Phys. Rev. Lett. , 2003 , 91 : 022001
- [4] Wang J Q et al. Accelerator Physics Issues in the BEPC II . In : Proc. Workshop on e^+e^- in the 1—2 GeV range : Physics and Accelerator Prospects , 2003