

2002—2005年BEPC运行中物理问题研究

邢军¹⁾ 温雪梅 王昕昊

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 从1988年第一次成功对撞起,北京正负电子对撞机经过多年的改进和长达17年的运行,于2005年7月4日正式停机.着重介绍2002—2005年运行期间基于插入件的兼用模式的实现和新建的真空盒内扭摆磁铁的调试.

关键词 北京正负电子对撞机 兼用模式 真空盒内扭摆磁铁

1 引言

从1988年第一次成功对撞起,北京正负电子对撞机(BEPC)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.

作为利用BEPC同步辐射光源(BSRF)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,12条光束线和13个实验站,成为对社会开放的大型公用科学设施.BSRF有两种运行模式:寄生于高能物理实验的兼用模式,同步辐射专用模式.

2 基于插入件的兼用模式

BEPC上3W1为可变磁间隙的5周期永磁扭摆磁铁,位于储存环第三象限四极铁R3Q8与R3Q9之间.其磁周期长为29.6mm,磁间隙范围为39—220mm,峰值场强为1.6T.在同步辐射实验时,磁间隙 g 为214mm,磁场强度 B_w 近似为零;在同步辐射专用模式运行时, $g=43.2$ mm,磁场强度 $B=1.5$ T;在兼用模式下,要求磁间隙满足磁场强度 $B \geq 1.0$ T^[1].

2.1 扭摆磁铁对束流参数的影响

由于扭摆磁铁边缘聚焦的作用,会对垂直方向的包络函数产生扰动,进而引起垂直方向工作点的变化,而水平方向的扰动则可以忽略.由于扭摆磁铁的场强

较弯转磁铁强,它的引入会带来额外的同步辐射,会影响到全环的发射度、能散度、阻尼时间等,但带来的影响则很有限.表1^[2]为分别在束流能量为1.55GeV和1.89GeV时,3W1对束流参数的扰动(理论计算值).

表1 3W1对束流参数的扰动

E/GeV	1.55		1.89	
B_{3W1}/T	0	1.0	0	1.0
β_y^*/m	0.050	0.052	0.050	0.051
$\Delta\nu_y$	0	0.005	0	0.004
$\Delta U_0/(\text{keV}/\text{turn})$	0	1.134	0	1.687
$\varepsilon_{x0}/(\text{nm}\cdot\text{rad})$	404	425	637	654
$\sigma_e(\times 10^{-4})$	4.130	4.155	5.036	5.046

3W1的引入对自然能散度的增加 $<1\%$,而BEPC在 $\psi(2S)$ 和 ψ' 共振峰取数时,能散度在流强为45mA和20mA时之比为1.26,因此,取数过程中,流强引起的能散度变化比由于3W1的引入引起的自然能散增长大得多.

兼用模式下($E=1.89$ GeV),3W1引起的束流能量变化约为 3×10^{-5} ,比束流能散度 5.1×10^{-4} 小一个数量级以上,与电源纹波引起的能量误差相当,可以忽略不计.

2.2 兼用模式对工作点和包络函数的补偿

在BEPC现有设备条件的基础上,设计的兼用模式($B_{3w1}=1.0$ T)主要是针对垂直工作点和碰撞点处包络函数的补偿方案^[3](表2).

1) E-mail: xingj@mail.ihep.ac.cn

表2 兼用模式束流参数与对撞模式的比较

E/GeV	1.55		1.89	
	补偿前	补偿后	补偿前	补偿后
β_y^*/m	0.052	0.050	0.051	0.051
$\Delta\nu_y$	0.005	0	0.004	0.001
$\varepsilon_{x0}/(\text{nm}\cdot\text{rad})$	425	424	654	652

2.3 兼用模式对对撞亮度的影响

通过长期运行的观察, 3W1兼用模式基本没有对谱仪取数带来影响, 并且BSRF在高能物理实验对撞取数的同时利用了同步辐射光, 极大地发挥了BEPC的运行效能. 图1为兼用模式与对撞模式亮度的比较, 图2为兼用模式与对撞模式强子事例率的比较^[3].

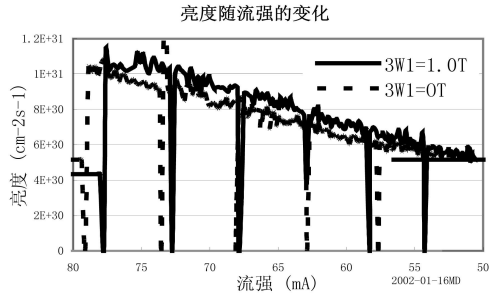


图1 亮度随流强的变化比较

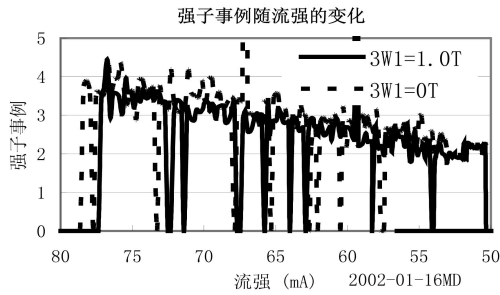


图2 强子事例率随流强的变化比较

3 真空盒内扭摆磁铁的调试

2003年建造完成并安装的4W2, 为真空盒内的扭摆磁铁, 上下磁极面间隙的设计运行范围为120-13.5mm. 初期调试运行出光顺利, 但当上下磁极面间隙降低为20mm时, 束流寿命仅余2h左右^[4].

3.1 物理孔径影响(真空中弹性散射寿命)

同样的真空盒尺寸下, 真空中剩余气体的原子核与电子发生弹性散射时, 束流库仑散射寿命 $\tau \propto 1/\beta$, 因此降低全环包络函数对提高束流寿命有利, 特别是4W2需要运行在较小的上下磁极面间隙, 成为全环真空盒尺寸瓶颈时, 相应的要降低4W2处的 β_y . 针对于此, 我们在实际运行中使用了新的模式, 4W2处 β_y 压

低至3.6m, 当4W2磁场间隙降为15mm时束流寿命仍有6-7h左右.

3.2 电阻壁不稳定性

由横向电阻壁阻抗引起的多束团耦合振荡的频移(虚部为不稳定性增长率)为

$$\Delta\omega_{\perp}^l = -\frac{1}{2} \frac{I_0 f_0}{E/e} i [Z_{\perp}]_{\text{eff}}^l, \quad (1)$$

$$[Z_{\perp}]_{\text{eff}}^l = \beta_{\perp} \sum_{p=-\infty}^{p=+\infty} e^{-(\omega_p \sigma_r)^2} Z_{\perp}(\omega_p), \quad (2)$$

$$\omega_p = (pN + l + \nu_{\perp})\omega_0. \quad (3)$$

电阻壁不稳定性强弱与总流强、当地 β 函数和工作点相关, 有

$$\tau \propto I_0 \cdot \sqrt{\nu_{\perp} \omega_0}. \quad (4)$$

所以, 当工作点选在整数之上时, 束流更稳定. 实际运行中工作点由8.72/4.75改为9.38/5.10, 电阻壁不稳定性明显减弱. 图3为频谱仪测得的不同工作点的运行模式下束流横向振荡边带.

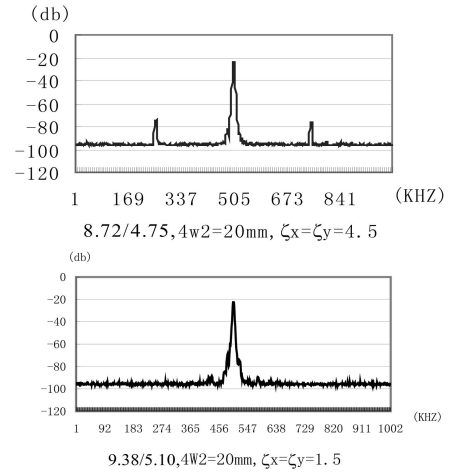


图3 不同工作点下电阻壁不稳定性比较

3.3 校正磁铁电源稳定性要求

工作点越接近整数, 对校正子的稳定度要求越高, 同步辐射实验站要求校正子引起的光源点垂直位置变化小于光源点垂直束团尺寸的1/10, 相当于要求校正子强度的稳定度不超过0.0016mrad. 按目前BEPC的BH和BV设计, 校正电源精度0.1%, 2.2GeV时, 对应0.0031mrad, 超过了0.0016mrad. 实际运行中, 一些运行在较小电流值的校正子电源稳定性比较差, 有时会影响到同步辐射运行质量. BEPC II 方案中校正电源精度将提高到0.01%, 应该可以较好地克服这一问题.

4 结论

受 BEPC 现有四极磁铁四折对称方式供电的限

制, 如何在实际运行中对插入件引入的参数扰动实现更有效的补偿仍然存在难度, 需要进一步研究.

作者对全体运行人员在运行中的积极配合和物理组给予的大力支持表示感谢.

参考文献(References)

- 1 WEN X M, WANG S, CHEN Li-Min et al. Pilot study of the Parasitic Mode with 3W1 Wiggler Magnet on the BEPC, Proceedings of The 7th Particle Accelerator Physics Symposium, July 1999
- 2 WEN X M, XING J. Commissioning Study of the Wigglers on the BEPC, Proceedings of The BEPC' 03. 2003(in Chinese)
- 3 WEN X M et al. Commissioning Study of the Parasitic Mode with 3W1 Wiggler Magnet on the BEPC, APAC' 04, 2004
- 4 BEPC运行记录, 2002—2005

Operation Status of the BEPC during 2002—2005

XING Jun¹⁾ WEN Xue-Mei WANG Xin-Hao

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

Abstract The Beijing Electron Positron Collider (BEPC) ended its running on July 4th 2005, after 17 years' running since the first collision in 1988. In order to realize the possibility that the BEPC can be run as a collider and as a light source in the same time, the paper describes the commissioning study of the parasitic mode with the permanent magnet wiggler 3W1 on the BEPC and the commissioning study of the in-vacuum wiggler 4W2.

Key words BEPC, parasitic mode, in-vacuum wiggler

1) E-mail: xingj@mail.ihep.ac.cn