

# 合肥储存环二期改造工程的调试\*

徐宏亮<sup>1)</sup> 王琳 孙葆根 尚雷 李为民 刘祖平 何多慧

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

**摘要** 合肥光源二期工程改造后,对电子储存环光学参数进行了全面的调试和测量,新注入系统和高频系统的调试,也获得了巨大的成功,在插入八极铁和过正地补偿色品后,耦合束团不稳定性的得到了有效地抑制,从而使改造后电子储存环能积累和运行在300mA以上的流强.

**关键词** 闭轨校正 注入凸轨 冲击磁铁 低电平控制 耦合束团不稳定性

## 1 引言

合肥光源是由一台200MeV注入器和800MeV电子储存环组成,主要用于同步辐射;1998年它的二期改造工程全面展开,目的是保证合肥光源稳定运行在300mA以上的流强,因此对所有的子系统都进行了改造和升级,例如注入系统和高频系统等都进行了升级,对它们调试成功与否,直接关系到改造工程的成败.

## 2 电子储存环光学参数的调试

在电子储存环中,储存环的Twiss参数(如 $\beta$ 函数、色散函数、横向振荡频率、色品等)、是表征束流特性的重要参数.为了了解和调试储存环光学参数,提高注入效率,对于光学参数的进行全面测量和调试.调试结果和设计值符合的很好<sup>[1]</sup>,如图1,2是 $\beta$ 函数、 $\eta$ 函数调试结果.

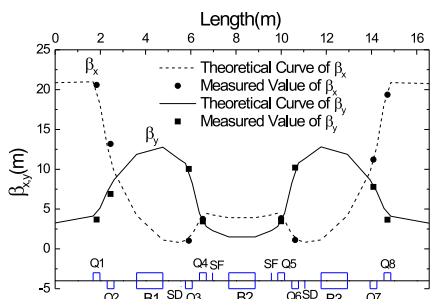


图1  $\beta$ 函数测量值与设计值的比较曲线

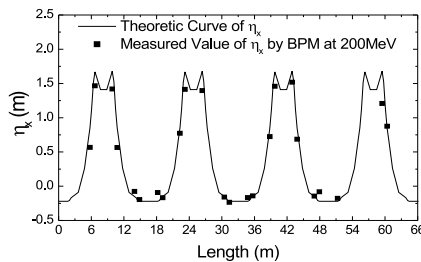


图2 水平色散函数测量值与设计值的比较

## 3 闭轨校正系统及反馈控制

合肥光源闭轨校正系统包括:(1)22 Bergoz BPM model; (2)控制系统; (3)校正元件(16水平校正子,16垂直校正子,校正线圈附加在四极铁上).合肥储存环使用SVD进行反馈控制,即用奇值分解的方法求其伪逆矩阵<sup>[2]</sup>.闭轨校正系统运行后,束流轨道得到了有效的控制,水平方向偏移最大值从-4.614mm减小到-0.260mm;垂直方向偏移最大值从4.321mm减小到0.172mm.

## 4 注入系统升级

合肥电子储存环原注入系统的凸轨是三冲击磁铁组成,横跨第一象限和第四象限,凸轨本身是和储存环LATTICE相关,特别是在高亮度模式调试过程中,给调试束流光学参数带来困难;为此把4个冲击磁铁

\* 国家计委重大科学项目和中国科学院知识创新工程经费资助

1) E-mail: hlxu@ustc.edu.cn

放在一个直线节, 此时的凸轨与LATTICE没有依赖关系, 因此需要重新改造注入系统, 为了提高脉冲磁场, 把真空室内空心线圈冲击磁铁改为真空室外铁氧体磁芯冲击磁铁. 四冲击磁铁凸轨条件表达式:

$$\theta_1 = -\theta_2 = -\theta_3 = \theta_4 = \frac{b}{L}.$$

1号、2号和3号、4号冲击磁铁间距离相等,  $L_{12} = L_{34} = L$ , 设计凸轨高度  $b$  为32mm.

新注入系统安装后, 按照设计参数52mrad的踢角, 束流无法积累, 由于冲击磁铁的制造公差, 积分磁场不完全一致, 而且储存环的误差放大因子比较大, 造成全环轨道扰动, 导致束流丢失; 根据TURN-BY-TURN BPM的测量结果(如图3), 证实每组冲击磁铁的积分磁场不等; 在线重新测量磁场, 当使用单线圈测量时, 基本重复最初离线测量结果; 采用两个测量线圈, 同时测量一组磁铁或者同时测量一块磁铁中的不同位置点, 发现每组两块磁铁的磁场以及同一块磁铁中的两个横向位置, 脉冲磁场波形不一致(如图4), 主要是镀膜太厚, 膜的涡流效应改变了脉冲磁场波形. 采用新的镀膜方法, 使膜层更薄、均匀性变的更好; 再加上辅助7mm直流凸轨, 降低脉冲凸轨对轨道的扰动, 安装后很快积累束流200mA以上.

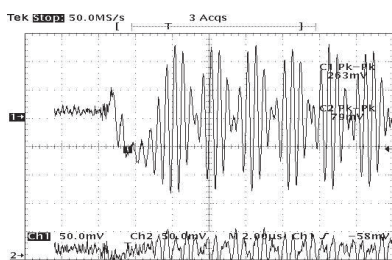


图3 K3, K4组合产生很强的残余振荡

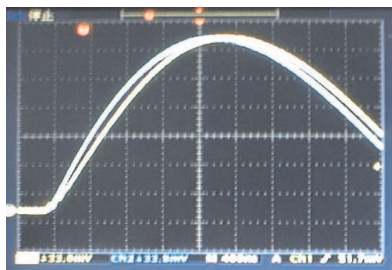


图4 涡流磁场引起的脉冲磁场变形

## 5 高频系统的改造

合肥储存环注入状态的电子能量低(200MeV)、同步辐射阻尼很弱, 束流注入时产生的横向和纵向振荡, 难以被阻尼, 所以注入过程束流很不稳定, 这也是低能注入的缺点; 二期工程改造前高频系统一直处于

大失谐工作的状态, 较大的反射功率经常损坏高频机, 改造后, 加了环行器, 把高频腔和高频机隔开, 避免损坏高频机的问题; 但是使新高频系统处于调谐或小失谐状态下工作是二期工程改造一个很重要的项目.

根据计算(如图5, 6)预先设置调谐杆位置和功率, 即大失谐角注入, 注入束流可以顺利的注入积累到300mA以上, 这表明HLS新高频腔的基本参数设计是合理的; 新高频系统低电平电路包含调谐和幅控环路, 当高频系统低电平电路使用时, 整个高频系统状态已经发生了变化了, 重束流负载会引起反馈环路之间的耦合而改变Robinson不稳定性阈值<sup>[3]</sup>. 但是降低环路带宽可以减弱环路与束流相互作用, 同时增加视在失谐角可以改善束流稳定性. 在新RF系统低电平电路调试中, 就是增大了调谐环路视在失谐角和降低幅控环路带宽, 避免了Robinson不稳定性现象, 积累流强超过300mA, 现在一直采用这种模式注入; 加速到800MeV后, 再减小失谐角, 降低反射功率, 使高频系统接近调谐状态.

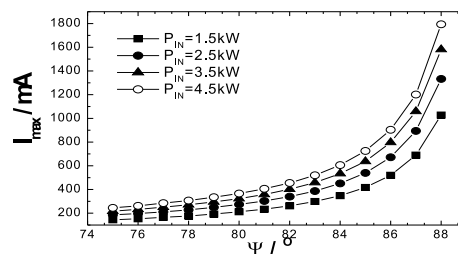


图5 注入最高流强与失谐角的关系

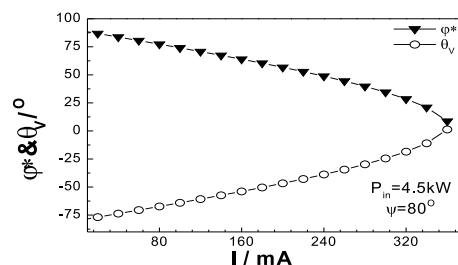


图6 视在失谐角 $\theta_v$ 、机电压和束流的夹角 $\varphi^*$ 与注入流强的关系

## 6 电子储存环束流不稳定性的抑制

合肥光源二期工程改造的电子储存环调试过程中, 发现多束团存储和运行时存在耦合束团不稳定性, 严重地限制了注入的最高流强, 并且影响了光源运行的质量.

主要是通过过正地补偿色品(over compensated chromaticity)<sup>[4]</sup>、加入八极铁以增加朗道阻尼和优化

高频腔的条件比如腔温和第二调谐杆的位置<sup>[5]</sup>, 来克服横向耦合束团不稳定性.

为了阻尼横向耦合束团不稳定性, 在注入状态下和慢加速过程中, 在环上 $\beta_y$ 比较大的地方增加了两块八极磁铁, 在没加之前注入的最高流强只有200mA左右, 加上之后迅速地注到300mA以上.

在电子能量为800MeV的运行状态时, 经常会发生束流截面横向剧烈振荡, 通过加大正色品可以抑制这个横向振荡; 在束流横向振荡时, 通过测量频谱, 可以看到束流具有很强的横向振荡, 进行过正色品校正后, 横向振荡频谱消失, 束流截面也不再有明显的振荡.

由高频腔的高次模引起的纵向耦合束团不稳定性是一种很麻烦的不稳定性, 高频腔的高次模和束团模式耦合驱动了耦合束团不稳定性, 虽然采取了调节高频系统冷却水温度和调谐杆的位置来移动高次模的频率, 但仍然不能完全解决这个问题.

## 7 结论

最后调试结果使合肥储存环的GPLS(通用光源)模式, 在有高频控制环路时能重复稳定存储300mA以上的流强(最高存储到418mA), 微分寿命约8个小时; 实现了二期工程重要的技术指标.

## 参考文献(References)

- 1 XU H L et al. Nuclear Techniques, 2001, **24**(8): 686—690(in Chinese)  
(徐宏亮等. 核技术, 2001, **24**(8): 686—690)
- 2 Safranek J. Beam Measurement, Montreux and CERN, Switzerland, May 11-20, 2000, 277—290
- 3 Boussard D. RF Stability Design for Stability, from Handbook of Accelerator Physics and Engineering(edited by A.W.Chao and M.Tigner), Singapore: World Scientific, 1998, 108—111
- 4 King-Yuen Ng, Instabilities Physics of Collective Beam, US Particle Accelerator School, Sponsored by the SUNY Stony Brook, SUNY Stony Brook, New York, June 5-16, 2000, 149—180
- 5 Fabris A, Pasotti C, Svand M. Coupled Bunch Instability Calculations For the ANKA Storage Ring, EPAC 98, 14th Aug. 1998, 1011—1013

# Adjustment of the Phase II Upgraded Program of the Hefei Electron Storage Ring\*

XU Hong-Liang<sup>1)</sup> WANG Lin SUN Bao-Gen SHANG Lei  
LI Wei-Min LIU Zu-Ping HE Duo-Hui

(National Synchrotron Radiation Lab., University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China)

**Abstract** After upgrade of the Hefei light source, the optics parameters of electron storage ring were adjusted and measured. Both the kicker and the RF system were reconstructed completely, and were commissioned well. The SVD algorithm is used for the global closed orbit feedback. Two methods were used to suppress the transverse coupled bunch instability. So a 300mA beam intensity is achieved.

**Key words** closed orbit correction, injection bump, kick magnet, low level control, coupled-bunch instability

\*Supported by Important Program of the Country Plan Committee and Knowledge Innovation Program of the Academy of Sciences of China

1) E-mail: hlxu@ustc.edu.cn