

# 合肥光源 BPM 真空室位移的测量与分析\*

曹涌 孙葆根<sup>1)</sup> 何多慧 李建伟 李川 宣科 王季刚 卢平

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

**摘要** 合肥光源电子储存环的束流水平轨道存在缓慢漂移现象, 本文针对这一现象进行了束流位置检测器(BPM)真空室形变、位移和温度等参数的测量. 通过这些测量, 分析了BPM真空室的形变、位移、温度以及束流轨道漂移与束流流强的关系, 对束流水平轨道的漂移现象做出合理的解释, 即导致轨道水平漂移的主要原因是同步光热效应导致BPM真空室水平移动, 提出了采用补偿方法对BPM的轨道测量值进行实时修正, 从而提高了慢速轨道反馈系统有效性.

**关键词** 束流水平轨道 同步光热效应 光栅尺 BPM真空室位移 实时修正

## 1 引言

在电子储存环中, 为了提高束流轨道稳定性, 人们常采用轨道反馈系统. 为此, 合肥光源研制了慢速轨道反馈系统<sup>[1]</sup>, 该系统的投入使用很大程度上抑制了全环轨道的漂移(尤其是垂直轨道的漂移), 但是储存环上的几处BPM仍然存在水平轨道漂移现象, 且呈现为BPM的水平轨道读数缓慢地单方向地漂移. 由于二极铁中电子弯转产生的同步辐射光直接照射在其下游端BPM真空室内部的管壁上, 造成BPM真空室由于同步辐射光的照射使得温度升高而产生形变或位移, 从而影响到BPM自身的读数, 且由同步辐射光照射引起的轨道漂移并非束流轨道的实际移动, 所以无法采用轨道反馈系统进行有效的抑制.

为了克服合肥光源束流水平轨道存在缓慢漂移现象, 有必要进行BPM真空室形变、位移和温度等参数的测量和分析, 提出改进措施, 提高慢速轨道反馈系统有效性和束流轨道的稳定性.

## 2 水平束流轨道漂移的测量和分析

从2006年12月开始, 合肥光源电子储存环的慢速轨道反馈系统投入使用, 该系统有效地提高了全环垂直轨道的稳定性, 并且大大改善了大部分水平轨道的稳定性. 但是, 个别BPM仍然观测到了水平轨道的缓慢漂移现象. 图1给出两次9h运行期间有无慢速轨道反馈时束流水平轨道的漂移情况. 由图1可

见, 无慢速轨道反馈时, 由BPM得到的水平轨道均有较大的漂移, 且大部分向环外漂移; 有慢速轨道反馈时, Q3E和Q4E、Q6S和Q5S、Q3W和Q4W以及Q6N和Q5N处BPM仍由较大漂移, 其它位置基本无漂移. 这种现象与合肥光源四重对称的Lattice相吻合, 所以下面仅以Q3E和Q4E处BPM为例进行分析.

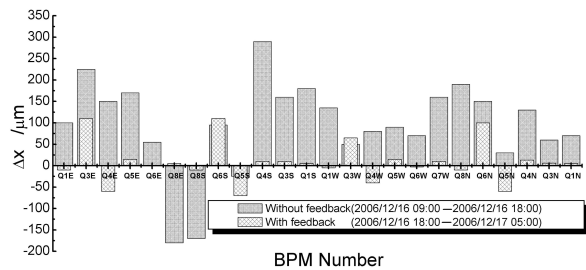


图1 有无慢速轨道反馈时束流水平轨道的漂移

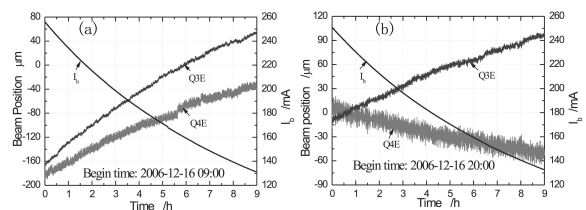


图2 Q3E和Q4E处BPM束流水平轨道的漂移 (a) 无轨道反馈; (b) 有轨道反馈.

图2给出了Q3E和Q4E处BPM有无慢速轨道反馈时的漂移情况. 由图2(a)可知, 无慢速轨道反馈时, Q3E和Q4E处BPM读数随流强下降向环外漂移分别

2008 - 01 - 07 收稿

\* 国家自然科学基金项目(10675118)和中国科学院创新项目(KY4206)资助

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

为  $225\mu\text{m}$  和  $150\mu\text{m}$ ; 由图2(b)可知, 有慢速轨道反馈时, 随流强下降, Q3E处BPM向环外漂移为  $110\mu\text{m}$ , Q4E处BPM向环内漂移为  $55\mu\text{m}$ . 显然, 慢速轨道反馈无法完全抑制Q3E和Q4E处BPM的漂移. 为了提高慢速轨道反馈系统有效性, 必须找到造成BPM水平漂移的真正原因.

### 3 BPM真空室位移的测量和分析

根据相关文献[2—4], BPM真空室由于同步辐射光的照射使得温度升高而产生形变或者位移, 从而影响到BPM自身的读数. 下面以Q3E为例, 对BPM真空室形变、位移和温度等参数的测量和分析.

#### 3.1 BPM真空室位移和温度的测量

采用两个光栅尺进行Q3E处BPM真空室形变和位移测量. 图3给出了光栅尺安装实物图, 光栅尺读数的正方向均取环内为正. 光栅尺选用RF203, 其测量范围是  $10\text{mm}$ , 分辨率是  $0.5\mu\text{m}$ , 系统误差为  $1.5\mu\text{m}$ . RF203的测量值通过RS232串口读入计算机. 使用VC++开发串口数据读取的程序, 每20秒左右记录一次读数.



图3 BPM真空室位移测量系统实物图

利用上述测量系统对Q3E处BPM真空室形变和位移进行了测量. 图4给出了Q3E真空室环外和环内移动以及Q3E处BPM水平方向漂移情况的测量结果. 随流强的下降, 由图4得到以下结论: (1) Q3E真空室环外和环内的光栅尺读数均向环内移动, 分别为  $220\mu\text{m}$  和  $215\mu\text{m}$ , 且基本相同, 而Q3E真空室的形变较小(在  $10\mu\text{m}$  以内); (2) Q3E处BPM读数向环外漂移, 约为  $150\mu\text{m}$ , 与真空室移动的变化趋势是一致的; (3) Q3E真空室位移和轨道漂移带有周期约45分钟的波动.

在进行Q3E处BPM真空室形变和位移测量的同时, 对Q3E真空室环内外侧的温度和Q3E附近的环境温度<sup>[5]</sup>进行了测量, 测量结果如图5所示. 由图5得到以下结论: (1) 环外侧管壁温度高于环内侧管壁温度; (2) 管壁温度随流强下降而降低; (3) 温度的变化也带有周期约45分钟的波动.

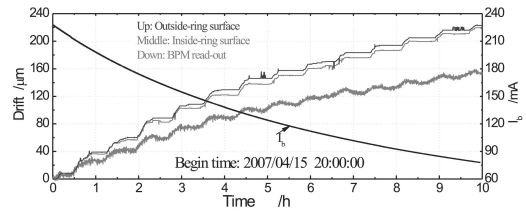


图4 Q3E真空室移动以及Q3E处BPM移动的测量结果

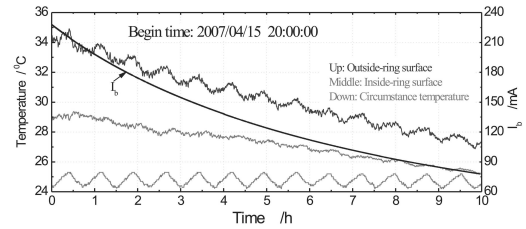


图5 Q3E真空室环外和环内温度及环境温度的测量结果

#### 3.2 BPM真空室位移和温度的分析

根据上述测量结果发现, Q3E真空室温度变化、Q3E真空室位移和Q3E处BPM读数变化都带有约45分钟周期的波动, 且与环境温度的波动一致. 在环境温度设定在  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  内, 恒温系统调节环境温度带来的波动周期约为45min.

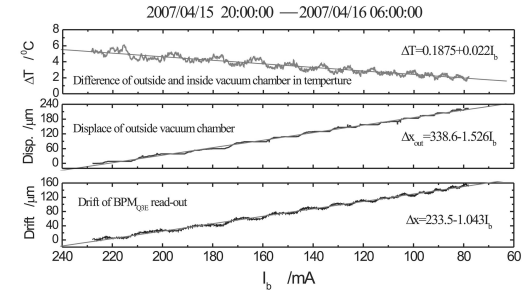


图6 Q3E真空室位移和温度以及轨道漂移随流强变化曲线

Q3E真空室外侧与内侧的温差、Q3E真空室位移和Q3E处BPM读数随流强变化曲线如图6所示. 根据拟合曲线, 它们的变化与流强成线性关系. 由于流强下降, 同步辐射光强度降低, 所以以上变化是由同步辐射光的照射引起的. 由于BPM测量的束流轨道是以BPM真空室作为参照, 因此包含有BPM真空室所带来的相对移动成分. 根据以上的测量和分析, 由同步辐射光的照射主要引起真空室的水平位移. 因此, 引起束流水平轨道漂移的主要原因是由同步辐射光的照射引起真空室的水平位移.

### 4 束流轨道漂移的抑制

抑制同步辐射光的照射引起的束流轨道漂移有以下方法: (1) 严格固定BPM真空室; (2) 增加同步辐射

光吸收装置, 减小同步辐射光对真空室的影响; (3) 采用 Top-up 注入, 流强维持恒定; (4) 采用补偿方法根据 BPM 真空室位移测量值对 BPM 测量值进行修正, 并将修正后的结果作为慢速反馈的输入, 从而提高轨道反馈的有效性.

采用补偿方法进行实验研究<sup>[6]</sup>, 以验证其可行性. 根据闭轨测量系统测量得到 BPM 读数  $x_{\text{BPM}}$  和光栅尺测量得到的 BPM 真空室位移  $x_{\text{raster}}$  计算得到束流的实际位置  $x_{\text{offset}}$ , 则  $x_{\text{offset}} = x_{\text{BPM}} - x_{\text{raster}}$ . 光栅尺的读数被送到以太网的 Channel Access Server 中, 由控制系统用光栅尺的读数对闭轨测量系统的读数进行修正得到  $x_{\text{offset}}$ , 慢速轨道反馈系统读取修正后的  $x_{\text{offset}}$  对全环轨道进行实时慢速反馈.

由于仅有 4 个光栅尺, 考虑到 BPM 真空室环外和环内的光栅尺位移基本相同, 所以分别将 4 个光栅尺安装在漂移现象较为严重的 Q3E, Q4E, Q5S 和 Q6S

处 BPM 真空室的环外侧管壁. 表 1 给出了有无修正情况下慢速轨道反馈的效果比较. 由表 1 可知, Q3E, Q4E, Q5S 和 Q6S 处的束流实际位置在有修正情况下比无修正情况下漂移明显的降低.

表 1 有无修正的慢速反馈效果比较

	BPM	Q3E	Q4E	Q5S	Q6S
轨道绝对变化量	修正前/ $\mu\text{m}$	50	90	120	40
	修正后/ $\mu\text{m}$	8	5	10	20

## 5 结论

通过对轨道的实时修正可以消除轨道在束流储存过程中由于同步光热效应导致 BPM 真空室水平漂移, 为慢速反馈系统提供了正确反映实际轨道位置的测量结果, 提高了慢速反馈系统的有效性. 为提高合肥光源全环水平轨道稳定性, 将在所有 BPM 处安装光栅尺, 进行全环水平轨道慢反馈的修正.

## 参考文献(References)

- XUAN Ke et al. Journal of University Science and Technology of China, 2007, **37**(4-5): 497—499 (in Chinese) (宣科等. 中国科学技术大学学报, 2007, **37**(4-5): 497—499)
- Tsai Z D, Lee D S et al. The Effect of Improving The Temperature Variation At The SRRC Storage Ring. Proceedings of EPAC 2000. Vienna: 2000. 2483—2485
- Tejima M, Arinaga M et al. Movement of BPMS Due To Thermal Stress In KEKB. Proceedings of PAC 2005. Knoxville: 2005. 3253—3255
- Safranek J, Singh O et al. Orbit Stability Improvement At The NSLS X-Ray Ring. Proceedings of PAC 1995. Dallas: 1995. 2711—2713
- GUO W Q et al. High Power Laser and Particle Beams, 2006, **18**(12): 2074—2077 (in Chinese) (郭卫群等. 强激光与粒子束, 2006, **18**(12): 2074—2077)
- CAO Y. Thesis for Doctor Degree. Hefei: Published by University of Science and Technology of China, 2007 (in Chinese) (曹涌. 博士学位论文. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2007)

# Measurement and Analysis of Movement of BPM Vacuum Chamber for HLS\*

CAO Yong SUN Bao-Gen<sup>1)</sup> HE Duo-Hui LI Jian-Wei  
LI Chuan XUAN Ke WANG Ji-Gang LU Ping

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

**Abstract** The beam horizontal orbit at Hefei Light Source (HLS) was drifting all along while the storage ring was operating. To study this phenomenon, the displacement and the temperature variation of the BPM chamber were measured. By analyzing the measurement results, the main reason that explained the drifting phenomenon was found. The vacuum chamber following the dipole magnets was heated by the synchrotron light, which caused the increasing of the chamber surface temperature. The variation of the chamber temperature was the main reason why the BPM chamber held the horizontal displacement. To suppress the orbit drifting, a compensation method of BPM movement was proposed and its experimental results were given.

**Key words** beam horizontal orbit, thermal effect of SR, raster gauge, movement of BPM vacuum chamber, correction on-line

Received 7 January 2008

\* Supported by National Natural Science Foundation of China (10675118) and Knowledge Innovation Project of CAS (KY4206)

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