

BPM 定标系统及其应用

王贵诚 王筠华 蒋道满 管长应

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

沈连娟 金朝祥 杨连发

(中国科学技术大学精密机械与精密仪器系 合肥 230029)

摘要 介绍了合肥国家同步辐射光源(HLS)新 BPM 校准系统的总体结构及实测过程。给出了待测真空管道的实测结果,并通过与国家同步辐射一期工程备份管测试结果的比较证实了本系统的精度较高。

关键词 BPM 校准系统, Mapping 图, 真空管道

中图分类号 TL506

BPM 标定系统用于束流位置监测系统的标定。束流位置监测系统是在加速器运行时观察储存环中束流横向位置的探测器,是储存环中不可缺少的重要探测设备。本标定系统是为了保证束流位置监测系统工作的可靠性和具有高的探测精度,在安装之前对其进行模拟实验,并对其探测误差进行标定的工具。因此,确保被测真空管位置精确仿真其在储存环中的安装和工作位置,并且使模拟天线有高的定位精度和运动精度,以提供可靠的模拟测量数据,对于束流位置检测系统在将来实际工作中的可靠性是至关重要的。

合肥国家同步辐射光源(HLS)二期工程,注入系统改造任务中,需要更换 2 根 1840mm 段和 2 根 1210mm 段真空管道,每个管道上、下端各装有一组 BPM 电极。为校准 8 组 BPM 电极的需要,我们研制了一套新的精确的 BPM 校准系统。

1. 校准系统总体简介

来自信号源 HP8648A 的 204MHz 正弦信号经放大器放大后馈入模拟天线,被测管内上、下两组信号拾取电极(共 8 只)上各感应出 204MHz 电信号,经 BPM Module 处理后得到两组正比于模拟天线相对于电中心位移量的 x 、 y 电压信号,送至主控机并计算出当前的模拟天线位置(即为被模拟量束流的位置)。

实测中,模拟天线空间位置保持不动,被测管道在驱动器的驱动下相对于模拟天线在 x 、 y 两个方向上运动,同时位置监测器记录下在各测量点上被

测管道的位移。

两组 BPM 电极拾取的信号(共 8 路)经 BPM Module 和主机处理结果,做为测量数据文件存入硬盘,可即时显示也可软盘输出。

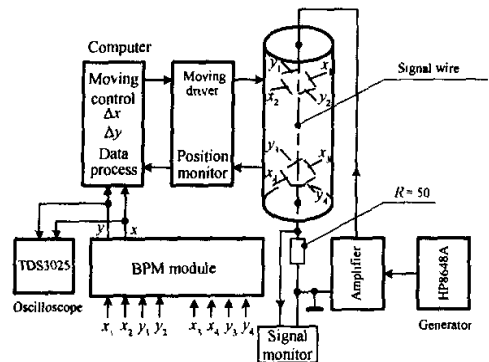


图 1 BPM 校准系统

Fig.1 Calibration system of BPM

2. 测试方法及过程

2.1 模拟束流信号的调整

调节信号发生器 HP8648A 输出的正弦波信号频率为 204 MHz (与 HLS 储存环高频相同)并用示波器 TDS3025 监测限流电阻上的 204 MHz 信号电压,使模拟信号电流峰-峰值为 100 mA,此值与 HLS 贮存环正常运行时束流值接近,以保证校准的模拟条件更为实用。

2.2 BPM Module 零值的确认

在无 204 MHz 信号输入条件下(置信号源 HP8648A 输出为 OFF),示波器 TDS3052 监测 BPM Module 的直流输出 x 、 y 值并调节示波器“垂直位移”旋钮,移动 x 、 y 输出扫描线至水平中线,此后读 x 、 y 值时便确认此线为零线。

2.3 被测真空管道机械中心的确认

通过计算机控制管道驱动装置改变管道机械位置,使束流模拟线位于管道几何中心。记录此位置时上下两组电极对应的输出 x_0 、 y_0 ,由此确认机械中心与电中心($x_0 = 0$ 、 $y_0 = 0$)的相对空间位移。

2.4 预测天线于各终极位置时的电参数值

驱动被测管道使束流模拟线偏离机械中心位置,位于 $(0, 10)$ 、 $(0, -10)$ 、 $(10, 0)$ 、 $(-10, 0)$ 四点,并记录各位置处上、下两组 BPM 电极相应的 x 、 y 值,可以初步了解 x_0 、 y_0 在 $x = \pm 10$ mm 及 $y = \pm 10$ mm 变化范围内的交叉耦合强度。

2.5 绘制 Mapping 图

驱动被测管道,使束流模拟线相对机械中心处于 $(x = -10$ mm, $y = -10$ mm) 点上,然后沿图 2 中的折线扫过全程($x = -10$ mm $\rightarrow$ $+10$ mm, $y = -10$ mm $\rightarrow$ $+10$ mm),最后终止于 $(x = +10$ mm, $y = +10$ mm) 处。

完成一次 Mapping 校准后,移动被测真空管道使束流模拟线回到机械中心位置,再校验一次 x_0 、 y_0 数值,如与 Mapping 开始前的值有较大差别(20%)应重新校准 x_0 、 y_0 值。

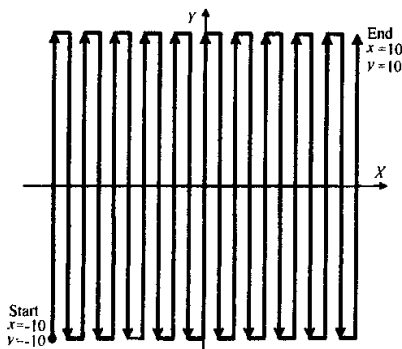


图2 测绘路径图

Fig.2 The mapping way

2.6 数值记录、初步确认及存盘

在主计算机控制下实验测试过程中于 x 、 y 方向上全程呈步进式扫描,两个方向上步长均为 10 μ m,计算机自动将所扫描各点的位置及实测的两组 x 、 y 数值记录,并存入硬盘。

一个 Mapping 结束后,可调出扫描过程数据及计算处理结果,直接显示出位置与输出电压间的曲线图形,视其线性可初步认定测试结果的可用性。

一支被测真空管道测毕,需抽出束流模拟线后更换另一支被测管道,束流模拟线恢复安装后,重复 2.3 $\rightarrow$ 2.5 测试过程。

3. 测试结果

2000 年 3 月 17 日用此 BPM 校准系统在 HLS 存贮环大厅现场实测了 6 根真空管道。其中 1[#] 管和 2[#] 管为 1210 段,而 3[#] 管和 4[#] 管为 1840 段,4 根均为 HLS 二期工程所用。另外为了对比测试结果,同时对一期工程 1840 段和 1210 段各一根备份管作了对比测量。

图 3、4 中给出了一组实测数据和处理结果。

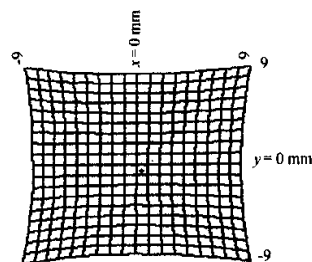


图3 Mapping 图

Fig.3 The mapping composition

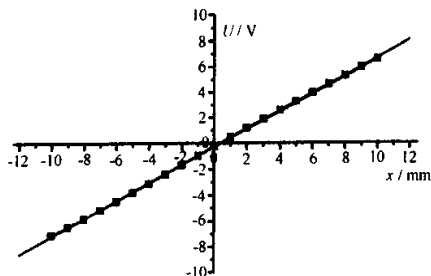


图4 校准结果

Fig.4 Calibration result

4. 问题讨论

4.1 误差分析

本校准系统的主要误差来源有如下几种:

(1) 机械位移及定位误差 如前所述, 本校准系统中被测真空管道的驱动为步进式, 每步步长为 $10\mu\text{m}$ 。在人工介入位移过程控制时可以随时按预定值校正步进数, 以消除位置误差。但在计算机控制驱动步进过程中应有最大值为一个步进值的误差, 即 $10\mu\text{m}$ 的位移定位误差。

(2) 零位误差 按设备机械定位原理^[1]可知, 束流模拟线的定位误差为 $10\mu\text{m}$, 此即为系统中束流模拟零机械位误差。

(3) BPM Module 测量误差 由 BPM Module 工作原理及现场调试结果^[2]可知, 此分系统的原理误差约为 $10\mu\text{m}$ 。

(4) 信号空间辐射及空间噪声干扰误差 由于整个测量系统置于一个较小的空间中, 而且束流模拟信号源的工作频率选为 204MHz , 故造成信号源馈线与 BPM 电极引线间的交叉干扰。根据现场实测经验, 由此干扰引起测量误差约为 $5\mu\text{m}$ 。

综合以上各项, 本校准系统的总测量误差为

$$\Delta x = \Delta y = \sqrt{10^2 + 10^2 + 10^2 + 5^2} = 18\mu\text{m}$$

4.2 结果比较

用本系统对 HLS 第一期工程两根备份真空管道(1840mm 及 1210mm 各一根)作了对比测量, 发现测量结果与以前其他方法所测结果基本一致。相比第一期工程的校准设备, 本系统具有明显的优点:

(1) 一期工程校准设备中被测管道为水平卧式放置, 必然引起束流模拟线的垂直方向的挠度给测量结果带来误差。本校准系统中, 被测管道和束流模拟线均为垂直放置, 从原理上回避了上述技术问题。

(2) 本系统束团模拟信号源频率为 204MHz , 与 HLS 贮存环上真空管道中束团的重复频率一致, 使测量结果更加接近实际应用条件, 故而数值的使用价值更高。

(3) 系统的位置监测装置精度比一期工程更精确, BPM Module 的精度也比一期工程大有提高。

参考文献

- 1 Shen L G, Wang J H, Wang G C, *et al.* Development of Measurement Equipment for Calibration BPM in HLS Storage Ring, Proceedings of the 19th PAC, Chicago USA, 2001, 1634—1636
- 2 Wang J H, Yin Y A, Wang G C. Closed Orbit Measurement with the NSRL BPM System, Proceedings of the 19th PAC, USA, 2001, 2048—2050

A BPM calibration system and its application

WANG Guicheng WANG Junhua JIANG Daoman GUAN Changying

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

SHEN Lianguan JIN Zhaoxiang YANG Lianfa

(Department of Machinery and Precision Instrumentation, University of Science and Technology of China, Hefei 230029)

Abstract A new BPM calibration system has been developed in the National Synchrotron Radiation Laboratory (NSRL). Eight sets of BPM which will be used in Phase-II Project of Hefei Light Source (HLS) have been calibrated with this system. The experimental results are also provided in this paper.

Key words BPM calibration system, Mapping, Vacuum pipe

CLC TL506