

文章编号: 1001-4322(2002)05-0783-04

# 束流位置监测系统的研制及其 在国家同步辐射实验室二期工程中的应用\*

沈连娉<sup>1</sup>, 王筠华<sup>2</sup>, 王贵诚<sup>2</sup>, 何新<sup>1</sup>, 赵建宾<sup>1</sup>, 李晓光<sup>1</sup>, 姚建平<sup>1</sup>, 朱阳斌<sup>1</sup>

(1. 中国科学技术大学 精密机械与精密仪器系, 安徽 合肥 230026; 2. 中国科学技术大学 国家同步辐射实验室, 安徽 合肥 230029)

**摘要:** 介绍一种储存环束流位置监测系统的标定装置。这套标定装置是为 NSRL 二期工程储存环注入段真空盒改造而研制的。系统的标定精度达  $\pm 0.01\text{mm}$ 。该装置已用于新增注入段真空管的束流位置探测器的定标, 获得了探头定标值, 并根据其拟合和计算结果对注入段真空管进行了筛选, 被选中的真空管已装入储存环注入段。

**关键词:** 束流位置监测系统; 定标系统; 真空管; 储存环

**中图分类号:** TL594 **文献标识码:** A

束流位置监测系统(BPM)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。BPM 标定系统用于束流位置监测系统的标定。本标定系统是为了保证束流位置监测系统工作性能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,确保精确仿真被测真空管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位移精度,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的实际工作中的可靠性是至关重要的。

## 1 硬件系统

标定系统采用图 1 所示装置。本系统由机械定位装置和计算机控制柜组成。硬件部分主要由模拟天线的机械驱动装置、模拟天线的位置检出和 BPM 信号读取及处理系统三部分组成。模拟试验系统中,用金属丝作为模拟天线仿真实束流。

### 1.1 移动部件

为了使仿真实验具有足够精度,首先要保证金属丝与测量电极相对运动的稳定性和可靠性。考虑到被测真空管重量较大和结构不对称,本系统采用真空管固定、模拟天线扫描移动的方案。并采用将模拟天线直立张紧以减小模拟天线柔曲变形带入的测量误差。

### 1.2 机械定位系统

机械定位系统具有高的运行平稳性和定位精度是保证模拟系统高精度的前提。本系统中模拟天线定位系统采用滚珠丝杠和滚动导轨,驱动 XY 工作台的步进电机最小步距为  $1\mu\text{m}/\text{脉冲}$ 。

### 1.3 天线位置检出系统

X, Y 轴向的模拟天线移动位置由长度光栅尺检出。其读数分辨率为  $1\mu\text{m}$ ,全长准确度为  $5\mu\text{m}$ 。光栅尺全长的误差曲线由生产厂家提供,在必要时可用于修正位置读数,以获得更高的测量精度。

### 1.4 BPM 信号读取系统及处理系统

真空管上有两组 BPM 信号拾取探头,共八个电极,本系统通过法国 Bergoz 公司生产的专用 BPM Module 读取电极的感应电压,将这两组各四路模拟电压信号通过 16 位 32 通道 A/D 转换卡,转换成数字信号记录于

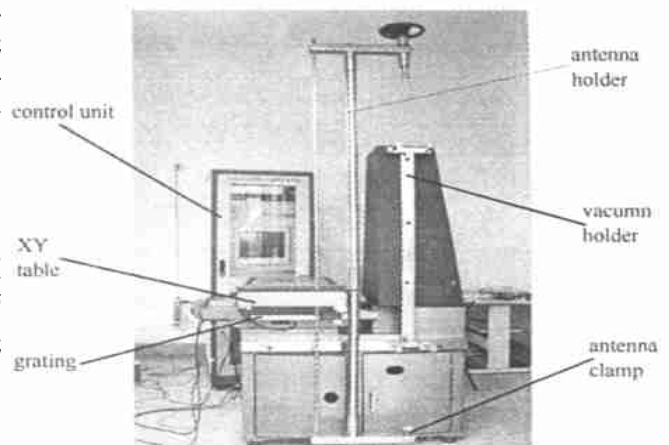


Fig. 1 Calibrator for BPM system

图 1 BPM 标定装置

\* 收稿日期:2001-09-17; 修订日期:2002-04-15  
基金项目:国家同步辐射实验室二期工程项目  
作者简介:沈连娉(1946-),女,教授,从事机电一体化、CAD/CAM/CAE/CAI 研究。

文件中,供实验结果的在线或离线分析使用。

## 2 标定系统的关键技术

### 2.1 模拟天线初始位置的调整精度

为了模拟天线的定位精度有统一的测量基准,使模拟天线的初始位置与真空管的几何中心轴线相重合是关键技术之首。在测量前一定要调整模拟天线,使其测量截面上(电极所在位置)在  $X$ ,  $Y$  两个方向都与真空管的几何中心相重合。考虑到对于细丝这样的柔性对象,它的位置的测量只能用非接触测量法,本系统使用的监测工具是读数显微镜。其分度值为  $0.5\mu\text{m}$ ,量程为  $1\text{mm}$ 。如图 2 所示,我们配做了专用的测量基准柱,在  $X$  方向上利用细丝相对于测量基准柱的对称性,在  $Y$  方向上利用丝壁相对于基准柱头的间隙来调整细丝的初始位置。细丝的粗定位由  $XY$  工作台的移动来实现,细丝位置的微调则利用细丝丝座上的微调机构。这样,在  $X$  方向上细丝中心线相对于测量基准柱对称轴线的偏移量误差可调整到不大于  $0.01\text{mm}$ ,而在  $Y$  方向上与两测量基准柱端头的距离都不大于  $0.01\text{mm}$ 。

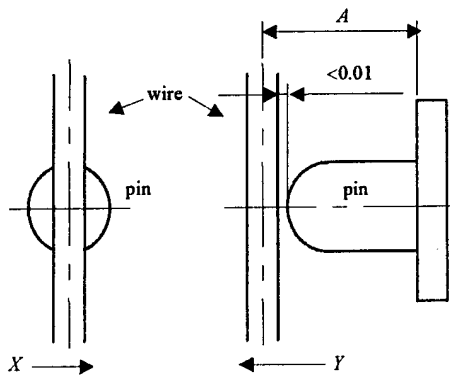


Fig. 2 Adjustment of wire

图 2 细丝位置的调整

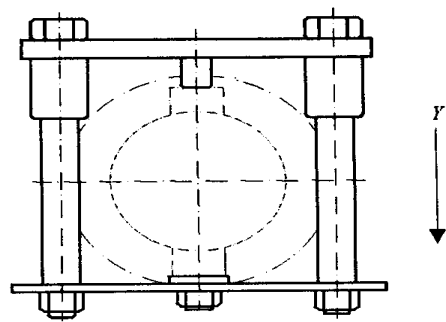


Fig. 3 Jig for vacuum tube

图 3 真空管安装夹具

### 2.2 工作台 $Y$ 轴移动方向与真空管安装基准面的平行性

为确保被测真空管的工作状态与将来在储存环中的工作状态相一致,测量前真空管的正确安装是前提条件。为此,我们采用以下措施使真空管的安装重复精度在  $\pm 0.01\text{mm}$  之内:工作台  $Y$  轴移动方向必须与真空管安装定位基准的中心连线相平行。图 3 所示为真空管安装定位用夹具。夹具采用平行机构。仔细调整真空管安装夹具,使得当工作台在  $Y$  方向移动时,在测量全程上与夹具平行臂的不平行度不超过  $0.01\text{mm}$ 。这样,使真空管在安装基准轴心线的连线与工作台  $Y$  方向的运动轨迹的平行度就会好于  $0.01\text{mm}$ 。

### 2.3 天线的安装重复定位精度

由于细丝必须在每一次装卸真空管时都要装卸,因此,还必须保证细丝定位的重复精度。本系统采用下丝座可拆、可微调和上丝座张紧的分离机构。反复装卸下细丝和张弛上丝座的实验,观察到在上下两个测量基准处细丝的位置变化均小于  $0.01\text{mm}$ 。

综合以上措施,机械系统的测量精度优于  $\pm 0.01\text{mm}$ 。

## 3 软件系统

系统软件界面采用仿真仪器面板,集参数输入、电机控制、测量数据显示和扫描轨迹实时仿真于同一界面,用户使用、维护方便。

本系统的软件部分由三个模块组成:模拟天线运动及定位控制模块;模拟天线位置及 BPM 电极感应电压采集模块;数据处理及绘图模块。

电机由虚拟设备驱动程序 `chime.vxd` 驱动。通过 `activeX showstring.exe` 与主程序 `motor.exe` 传递数据。

光栅读数由 `monitor.exe` 通过光栅接口卡读取,并以光栅尺零点信号控制每次测量前的工作台复位,以获得一致的细丝位置定位基准。

BPM 专用信号处理器的输出电压经由 16 位 AD 转换卡,由 `motor.exe` 通过硬件驱动程序读取。

数据处理及绘图模块可以立即对测量数据进行评估,及时发现过失误差,以确保测量的可靠性。图 5 是评

估曲线图。

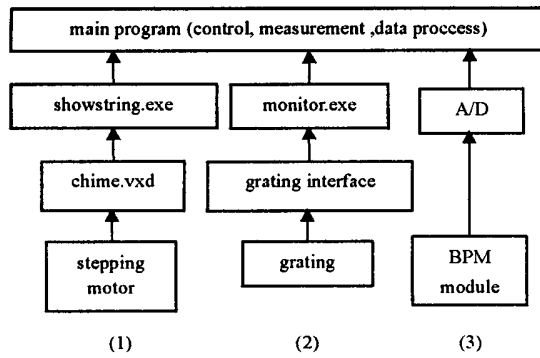


Fig. 4 Block diagram of software system  
图 4 软件系统框图

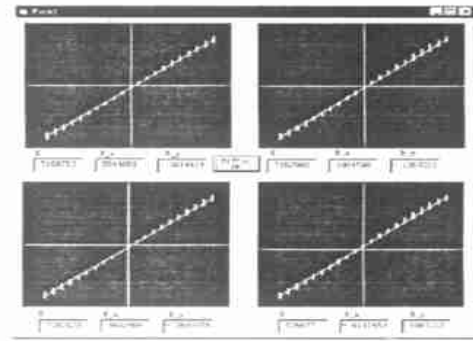


Fig. 5 Result evaluated with linear fitting  
图 5 最小二乘法线性拟合评估测量结果

### 4 标定实验系统组成

标定实验时的系统总集成如图 6 所示。系统由五大部分组成:标定系统(标定装置、计算机控制及信号采集处理系统);被测真空管;模拟天线;模拟天线的 RF 模拟信号源及 BPM 信号处理器。

整个测量系统的误差由机械误差、BPM 信号处理器的读数误差及外界对模拟信号源传输电缆的干扰三部分组成。实验证明 BPM 信号处理器的读数误差经三阶拟合已小于 10μm,模拟信号源的传输电缆采用屏蔽性能良好的优质电缆。整个测量系统的误差小于 ±30μm。在定标测试中,束流(模拟天线)在真空室的位置与各点处的电极的感应电压之间的关系为

$$X = K_x U, Y = K_y V$$

而 U, V 分别为

$$U = \frac{(V_1 + V_4) - (V_2 + V_3)}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

$$V = \frac{(V_1 + V_2) - (V_3 + V_4)}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4}$$

式中: V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub> 分别是四个感应电极拾取的信号; K<sub>x</sub>、K<sub>y</sub> 为增益系数。

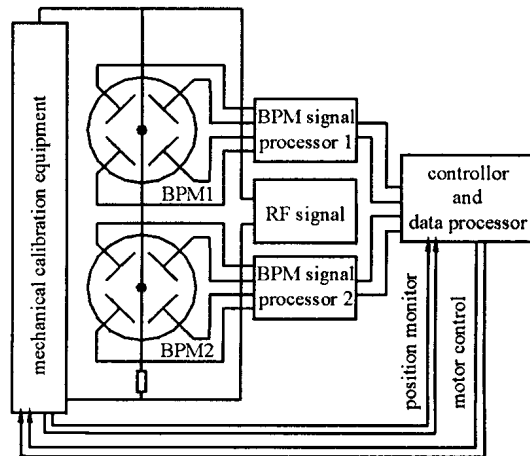


Fig. 6 Frame of calibrating experimental system  
图 6 BPM 标定实验时的系统总集成

作为计算结果示例,表 1 为 3# 和 4# 管的上下两组电极处测得的电子学中心相对于机械中心的偏离量。从表中可以看出,3# 真空管的电子学中心相对于机械中心的偏离量好于 0.5mm,而 4# 管的一组电极在 X 方向的电子学中心相对于机械中心的偏离量近 1.6mm。超出了设计要求,这根真空管未被装入二期工程的注入段中。在后来对其复检了加工误差,探头的几何位置偏差与实验测量结果相一致。

Table 1 Offset of electrical center from geometrical center

vacumn tube	electrode position	X/ mm	Y/ mm
3 #	top	0.193 096	- 0.475 767
	under	- 0.478 395	- 0.310 661
4 #	top	1.578 221	- 0.280 645
	under	0.150 767	- 0.495 090

### 参考文献:

[1] Shen L G, Qian Z X, Huang Z H, et al. A Multifunctional Field Measurement Control System for NSRL Magnets[A]. Proc of ICAEPCS '97[C]. Beijing, 1997.

- [2] Shen L G, Wang J H, Wang G C, et al. Development of Measurement Equipment for Calibrating Beam Position Monitor in HLS Storage Ring[A]. Proceedings of PAC2001[C]. Chicago USA, 2001.
- [3] 王筠华, 刘建宏, 刘祖平, 等. HLS 注入段束流位置探头定标电场的拟合和误差计算[J]. 强激光与粒子束, 2001, 13(5):560—564. (Wang J H, Liu J H, Liu Z P, et al. Fitting and Error Calculating of calibrating Electrical Field of BPM pickups in HLS Inject Section. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, 13(5):560—564)
- [4] 王筠华, 沈连娟, 王贵诚, 等. HLS 新研制的束流位置探测器定标和误差分析[J]. 高能物理与核物理, 2001, 12(11):1120—1127. (Wang J H, Shen L G, Wang G C, et al. Calibration and error calculation for the newly BPM system in HLS. *High Energy Physics and Nuclear Physics*, 2001, 25(11):1120—1127)

## Development of BPM calibrator and its application for phase II in HLS

SHEN Lian-guan<sup>1</sup>, WANG Jun-hua<sup>2</sup>, WANG Gu-cheng<sup>2</sup>, HE Xin<sup>1</sup>,  
ZHAO Jian-bin<sup>1</sup>, LI Xiao-guang<sup>1</sup>, YAO Jiarping<sup>1</sup>, ZHU Yang-bin<sup>1</sup>

(1. *Department of Precision Machinery & Precision Instrumentation, University of Science & Technology of China, Hefei 230026, China;*

2. *National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science & Technology of China, P. O. Box 6022, Hefei 230029, China)*

**Abstract:** This article presents a BPM (Beam Position Monitor) calibration system developed for phase II of HLS (Hefei Synchrotron Radiation Light Source). The paper describes the development of the test stand and emphasizes key technique that guarantees mechanical accuracy of the system. The test equipment is of erect type and the geometric accuracy of  $\pm 0.01\text{mm}$  is obtained. The system has been served for calibrating BPM pickups, which are mounted in vacuum chambers of inject section. The electrical center of the BPMs is measured with respect to the geometrical center in the calibration machine. The eligible vacuum chambers have been installed in the storage ring.

**Key words:** Beam Position Monitor(BPM); calibration system; vacuum chamber; storage ring