

光束线光斑位置监测系统

刘 斌¹ 刘亚明² 周绍祥² 王秋平¹

(1 中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 合肥 230029)

(2 中国科学技术大学精密机械与精密仪器系, 合肥 230027)

摘 要 描述了基于 CCD 摄像的同步辐射光束线光斑位置监测系统. 在光束线运行中实时监测光斑与入射狭缝的相对位置. 已在国家同步辐射实验室多条光束线安装. 对光斑位置及其角度监测的准确度分别达到 $10.53 \mu\text{m}$ 、 $2.3 \mu\text{rad}$, 具有较高的灵敏度. 在线监测到同步辐射光斑的垂直抖动 0.37 mm 、扭转角度 $83 \mu\text{rad}$. 说明此时电子束流不稳定, 偏离了预计的轨道. 同时, 为同步辐射光束线的调试和电子束流的诊断提供了可靠的依据.

关键词 光斑位置监测; 光束线; 同步辐射

中图分类号 TH744; O4.39

文献标识码 A

0 引言

同步辐射作为一种新型光源, 自 20 世纪以来越来越得到科学界重视. 它具有频谱宽、平滑连续、可准确计算、强度高、方向性好、亮度高、偏振、脉冲时间结构、洁净等许多优点, 因而近几十年来在基础研究、应用研究、发展研究以及生产应用等方面有着越来越广泛的用途. 它的应用不仅遍及物理、化学、生物等基础学科, 而且还活跃在材料科学、表面科学、辐射计量学、医学、生命科学、环境科学、地质科学、超微细加工、超大规模集成电路光刻等技术研究领域^[1].

光束线是连接同步辐射储存环和各用户实验装置的桥梁, 它把同步辐射白光单色化后再成像到实验样品上, 是同步辐射应用的关键仪器. 光束线一般包括前置镜光学系统、单色器和后置镜光学系统, 其中单色器是核心部分^[2]. 光束线涉及了光学、精密机械、超高真空和控制等领域的技术^[3]. 光束线的设计都是在理想的情况下得到的, 但在安装好各光学元件后, 由于存在光学元件制造误差、光学元件安装的姿态及位置误差、光源点的变动等, 使得光束线的性能降低, 因此需要建立相应的诊断系统.

同步辐射光从储存环引出后, 经过前置镜光学系统成像在单色器的入射狭缝上. 为了获得高光子通量, 光斑必须充满入射狭缝, 使大部分同步辐射光通过该狭缝. 然而, 在同步辐射光束线的调试中, 会遇到两个问题: 首先, 在同步辐射装置中, 高能电子束团在储存环中的运行轨道不稳定, 包括每次注入后轨道不完全相同, 以及同一次注入运行时, 轨道也会波动^[4]. 当各光束线的光学元件位置保持不变

时, 通过监测多条光束线的同步辐射光在单色器入射狭缝的光斑位置, 可以了解储存环运行的稳定性. 其次, 在光束线的运行过程中, 一般通过人眼观察入射狭缝和光斑相对位置. 这样只能定性地给出入射狭缝上光斑与狭缝的相对位置, 而且在入射狭缝处辐射剂量相对较大, 经常出入是不允许的.

因此, 为了解决以上问题, 同步辐射实验室二期工程建立了基于 CCD 摄像的光斑位置视频监测系统, 以便能清晰观察到狭缝和光斑的相对位置, 并在线记录光斑的信息, 这种监测系统已在多条光束线上安装, 对同步光的位置变动或前置镜系统的变动等因素引起的光斑变化进行连续监测, 为光束线的调试和维护提供信息.

1 系统硬件组成及测试准确度分析

储存环、光束线前端、光束线都是在超高真空的条件下工作. 通过在光束线中安置观察窗, 能对单色器入射狭缝处的光斑位置进行监测.

监测系统由 CCD 摄像机、10Moons SDK 2000 监控卡和计算机组成(图 1). CCD 摄像头置于观察窗 Window 外(观察窗与狭缝成一定角度), 狭缝和光斑经光学系统成像在 CCD 上, 10Moons SDK 2000 监控卡与计算机 PCI 接口连接.

CCD 摄像系统从光束线观察窗获取狭缝和光斑图像, 摄像机选用 MTV-13V1C 型 $1/3''$ 黑白高分辨率摄像机, 因为狭缝尺寸较小, 为了获得足够大的狭缝图像, 又希望有较大的成像深度, 系统采用了焦距为 50 mm 的成像镜头, 并设置处于微距工作状态. 因各光束线观察窗距狭缝 ($20 \sim 30 \text{ mm}$) 不等, 为能胜任多条光束线同时使用, 系统希望有较大的成像深度.

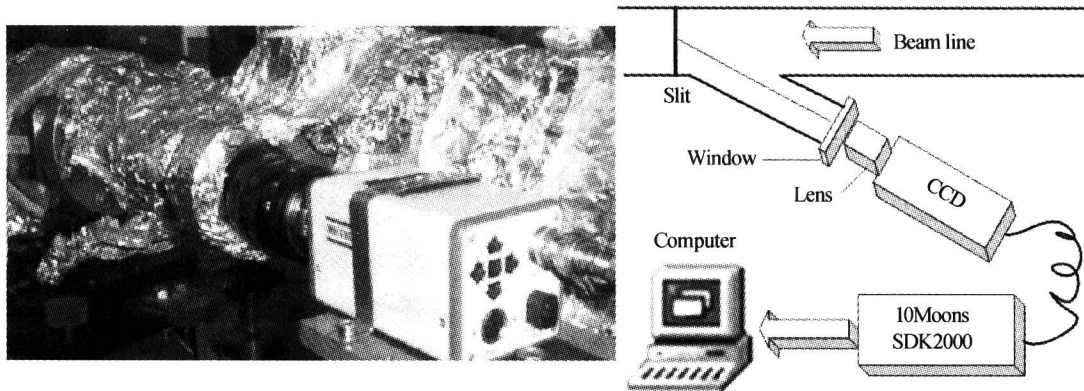


图 1 在线监测系统图及示意图

Fig. 1 Picture of in-situ monitoring and sketch of the system

单从监测系统的分辨率考虑希望摄像系统有较大的光学放大倍率,但考虑到监测系统的工作距离(从镜头前端面到狭缝的距离)、光学系统必要的景深和监测系统的尺寸,选择了焦距为 50 mm 的镜头. 系统的光学放大倍率要小于 1. 系统的分辨率通过对已知宽度的狭缝的标定可以确定. 不同的光束线应为结构尺寸不同,所以分辨率也不同.

对表面物理光束线站标定结果是 $10.53 \mu\text{m}$, 系统的光学放大倍率为 0.79.

2 图像处理的方法

过监控卡输入到计算机的是一幅二维图像,根据光强与灰度之间的线性关系,将图像进行灰度处理就可以得到光斑的二维分布,光斑任一垂直线上的灰度分布为高斯分布. 为了得到光斑的中心位置和倾角,同时为了减少计算量,计算时首先获取水平平均分布的 N 条垂线上的灰度分布,依次计算每条垂线上的光斑中心位置最后就可以得到光斑的中心和倾角. 其中, N 一般取 16 就可以满足准确度要求.

对每一条垂直线的分布理论上应该是高斯分布,但是由于入射狭缝的存在,会在其中“挖去”一

段,形成如图 2 的分布曲线(“挖去”的部分位置不定),采用最小二乘法拟合,补偿这部分的光强损失. 截尾阈值是通过在标定时选取一个基准值来确定的,

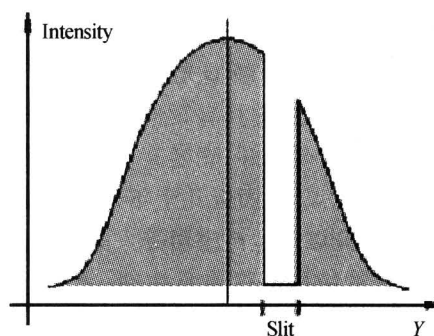


图 2 光强的分布

Fig. 2 Intensity chart

使背景亮度对计算结果的影响减至最小,由于入射光束强度的不同,其对整个背景散射程度也不同,因此该阈值需要根据当前图像的整体亮度动态调整,具体操作是将基准阈值乘以一个亮度的系数. 同时,由于反射表面本身粗糙度和光源本身的理想程度的影响,最终得到的灰度分布曲线存在大量噪音. 因此必须对其进行修正. 最终的算法流程如图 3.

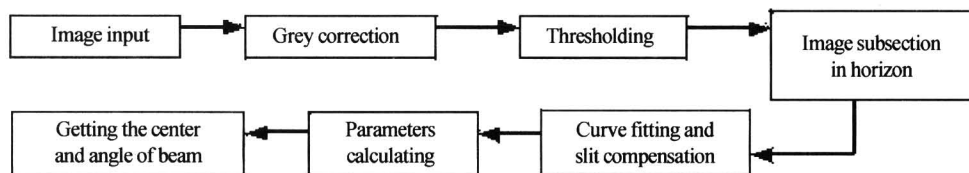


图 3 算法流程

Fig. 3 Flow chart of algorithm

3 软件系统及其功能

Visual C++ 语言具有典型的面向硬件接口直接控制设备的特征,它可以方便的调用其它语言编写的程序. 系统软件采用 Visual C++ 语言在 Windows 平台上编写,适应于 Win98、Win2000、Xp 等操作系统.

根据同步辐射光的特点和光束线的要求,软件主要由三部分组成:软件标定、采集数据,自动存储异常变化时的图像、在线观测数据及历史数据三个部分. 可以每天 24 h 监控,用户可以通过远程桌面、Pc Anywhere、Access Remote Pc、Remote Administrator 等远程专业软件直接对计算机进行远程控制访问,而且建立了可在局域网内查看和访

问在线和历史信息的办法. 通过对比同一光束线的不同阶段和多条光束线的同一阶段的同步辐射光斑信息,能间接诊断、分析同步辐射机器的运行状态.

3.1 软件标定、狭缝定位及补偿

根据单色器入射狭缝上同步光的特点,采取了矩形和椭圆形区域两种选取图像的方式. 标定时,为获得高准确度,将狭缝开到最大,狭缝的实际大小可以精确读出,通过比较采集到狭缝的图像,即可标定每像素所代表的实际尺寸. 标定完尺寸后,再标定入射狭缝的位置,软件记录后,不再更改,以保证监控的准确性. 由前面介绍,还需要选择狭缝区域补偿其光强的损失.

3.2 采集数据、动态存储异常图像

选择略大于光斑的区域进行监控、记录和计算. 软件系统主要计算了光斑中心的位置、狭缝的位置、光斑中心相对于狭缝的位置、光斑长短轴、光斑的面积及平均亮度等参量. 每隔一定时间采样,计算各参量并按时间顺序存储下来,文件名以日期的格式存储,便于数据库系统查看. 当光束线出现异常现象时,光斑可能不在狭缝上或者中心位置相对于狭缝的位置偏差较大,这时系统必须有所记录,可以设置一个参量,当两者相对位置变化大于这个数值时,即触发存储该图像. 图 4 是在线监测的软件界面,下部分能实时显示光斑的部分信息.

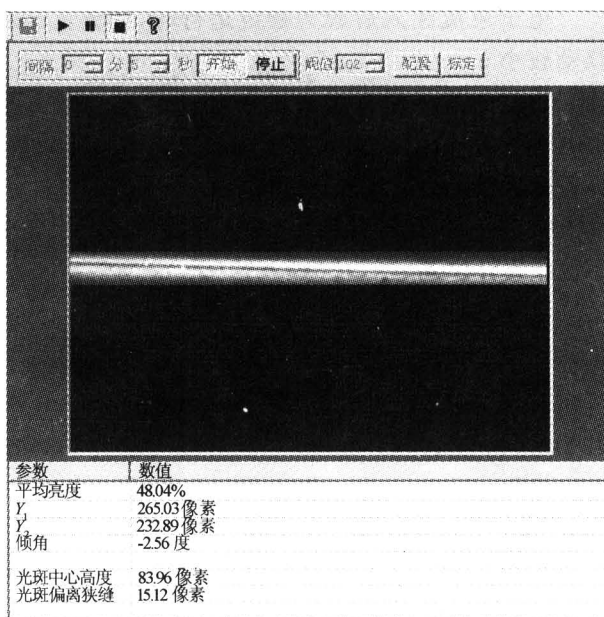


图 4 在线监测界面

Fig. 4 Monitoring process interface

3.3 监测数据及曲线动态显示、历史数据查看

数据库具有查看各参量的曲线图形和数据列表两种模式. 界面的上部分自动更新在线测量的数据,可以实时监控光斑的信息;下部分查看任意两个历史时间段的数据,通过对照其间的差别,以便进行数据信息的积累和分析. 图 5 是合肥同家同步辐射实验室表面物理实验站 4 月 10 日每隔一秒采样的

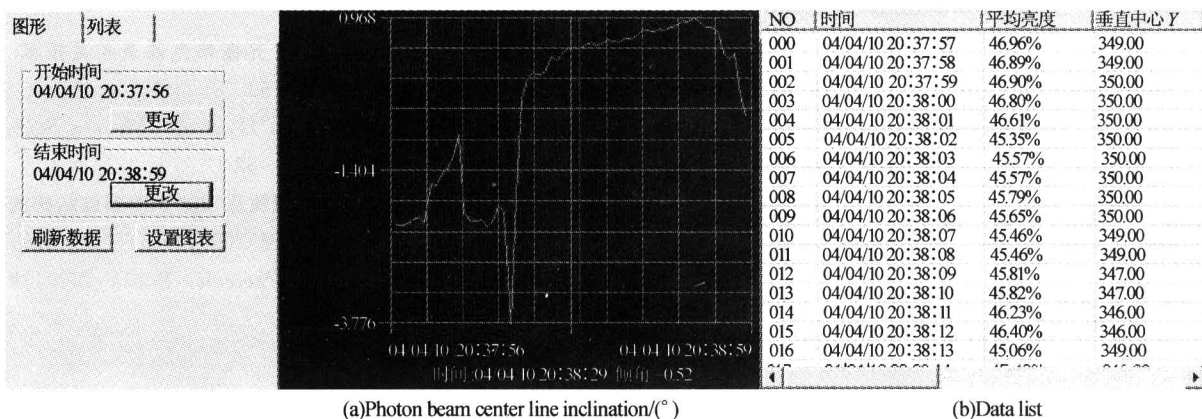


图 5 国家同步辐射实验室表面物理光束线,4 月 10 日 20:37-20:39 每 1 秒的采样结果

Fig. 5 Data were taken at 1 /second from 20:37 to 20:39, April 10th, in surface physics beam line of NSRL

部分结果,左边是光斑角度的变化图,右边是部分数据列表.

目前,该监测系统软件已比较完善,监测界面和数据查看系统可以同时操作,也可以切换.

4 测量结果分析

单色器入射狭缝宽度一般为几十 μm ,同步光只有一部分能通过狭缝,光斑上下抖动将主要影响光子通量(图 6). 在表面物理光束线,软 X-光磁性

圆二色光束线、计量光束线、原子分子光束线上都安装了该系统. 通过进行多次测量,发现

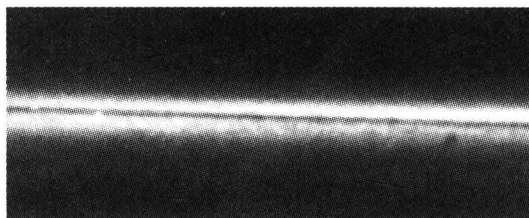


图 6 狭缝、光斑关系

Fig. 6 Sketch of the slit and beam

电子束流注入后较为稳定运行时,光斑上下的抖动较小。

1)但也观察到有较大的波动的情况。图7是2004年4月10日表面物理线相隔不久的两次测量,光斑位置变化都比较大,抖动范围分别为 $368.41\ \mu\text{m}$ 和 $199.99\ \mu\text{m}$ 。这说明光源点位置在垂直方向上偏离了原来设计位置。

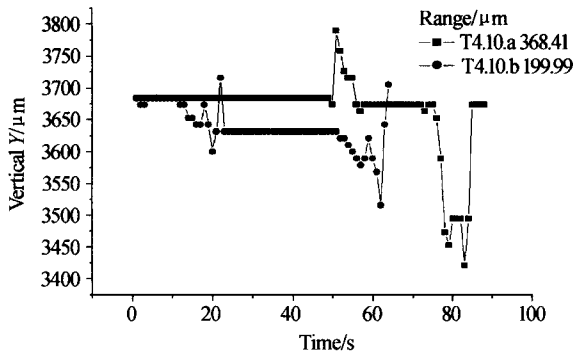


图7 垂直抖动
Fig.7 Vertical deviation

2)在重新注入电子束流后,由于运行轨道不尽相同,光斑的位置时有较大差异,应该及时对光束线进行微调。

在光斑抖动较大时,进一步分析了光斑的长轴方向相对于狭缝的角度的变化,发现它的值变化很大。其后,在没有同步辐射光时,进行了多次较长时间的测量,由此来标定系统对该偏角的测试准确度。2005年5月12~15日,在表面物理线进行了4天没有同步光的测量,得到角度变化的曲线,然后分别减去其均值,如图8: Standard Deviation Max $< 0.0023\text{rad}$ 。而对比4月10日a,b两次测量角度的变化: Range(a) = 0.035rad , Range(b) = 0.083rad ,测试b的结果变化更加剧烈,远高于测试准确度 0.0023rad 。从而认为电子束流在“不稳定”运行时,光斑扭转现象比较明显。这说明光源点在水平方向的位置偏离了原

来设计位置。

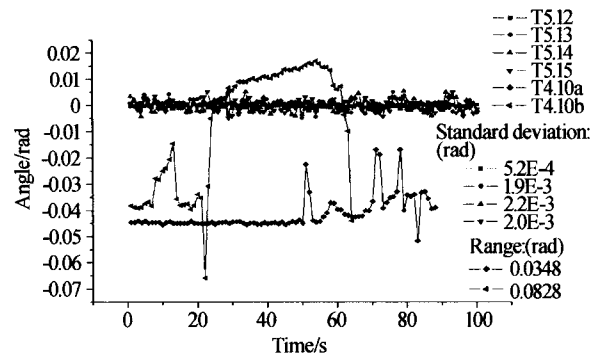


图8 角度偏差
Fig.8 Angle deviation

5 结论

本文介绍了同步辐射装置中光束线光斑位置监测软硬件系统的组成及其功能。目前,合肥国家同步辐射实验室已在多条光束线上安装该系统,实时监测入射狭缝上光斑的变化,为光束线的运行维护起到了很好的作用。

参考文献

- 1 Winick, Hdonich S. Synchrotron Radiation Research. New York: Plenum Press, 1980
- 2 傅翮,周仁魁,周泗忠,等. 同步辐射弧矢聚焦双晶单色器传输效率的研究. 光子学报, 2001, **30**(7): 908~912
Fu H, Zhou R Q, Zhou S Z, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(7): 908~912
- 3 王秋平,余小江,高辉,等. 光栅单色器及相关技术. 现代科学仪器, 2001, (1): 49~52
Wang Q P, Yu X J, Gao H, et al. *Modern Scientific Instrument*, 2001, (1): 49~52
- 4 孙葆根,何多慧. 合肥光源测量束团纵向精细结构的单光子计数系统设计. 光子学报, 2000, **29**(5): 444~448
Sun B G, He D H. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(5): 444~448

Photon Beam Position Monitoring System by CCD Camera

Liu Bin¹, Liu Yaming², Zhou Shaoxiang², Wang Qiuping¹

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

2 Department of Precision Machinery and Precision Instrumentation University of Science and Technology of China, Hefei 230027

Received date: 2005-01-04

Abstract A CCD camera system monitoring the photon beam position in synchrotron radiation beam line was described. The system provides the photon beam position related to the entrance slit during beam line operation and maintenance. Several beam lines at National Synchrotron Radiation Laboratory have been equipped with it. 10.53 μm and 2.3 μrad resolutions of the position and angle were calibrated respectively. 0.37 mm vertical dithers of the photon beam center was detected, coinstantaneously, showing 8083 μrad angular deviations. Meanwhile, it offers the reliable basis for beam line testing and diagnosis of the synchrotron facility.

Keywords Photon beam position monitoring; Beam line; Synchrotron radiation



Liu Bin was born in June 1980, in Ji'an, Jiangxi Province. He received his B. S. degree in precision machinery and precision instrumentation from the University of Science and Technology of China in 2001. Now he is a Ph. D. candidate in National Synchrotron Radiation Laboratory in the same University. His current research interests include optical metrology.