

NSRL-Wiggler 光源的稳定性监测

陆 镭¹ 康 乐² 李中亮² 赵飞云² 毛培宏¹ 徐朝银²

1 (新疆大学物理科学与技术学院 乌鲁木齐 830046)

2 (中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

摘要 介绍了十字斜扫描二维探测器的工作原理和基本构造, 两根相互垂直的钨丝倾斜扫描同步辐射光束, 一维运动同时得到垂直和水平的两维光电流密度分布, 直接读出束斑中心位置坐标。并利用该探测器对国家同步辐射实验室同步辐射光源的扭摆器光源进行在线监测, 得到了光电流密度分布曲线、束斑中心坐标、光束位置随辐射衰减和不同注入发生改变等一系列实测数据, 为分析光源的稳定性能、校正束团轨道和准直光束线上的光学元件提供依据。

关键词 探测器, 扫描, 光电流, 束斑中心, 光束稳定性

中图分类号 TL544, TH744.1

NSRL(国家同步辐射实验室)同步辐射光源在电子束团注入期间, 储存环担负双重任务, 先将来自直线加速器 200 MeV 的电子能量提升到 800 MeV, 再储存使之稳定运行。由于运行方式的改变, 虽输入参数相同, 但各硬件的状态有所差异, 致使每次注入后电子束团的运行轨道略有变化, 同步光束位置也随之改变, 这一现象在强磁场组成的单周期扭摆器(Wiggler)中尤为突出。为此, 在扭摆器引出的光束上安装一个位置探测系统, 实时监测光束的稳定性, 为光源及其扭摆器运行提供反馈信息, 及时修正电子束团轨道参数予以动态补偿, 达到稳定束团运行的目的。合肥 0.8 GeV 同步辐射光源的能量低, 电子束团轨道的扰动大, 弯铁和插入件的辐射总功率不高, 辐射张角较大, 因此选择单丝或双丝扫描的形位探测器较为合适。本文介绍的是利用两根相互垂直的钨丝在矩形束斑对角线方向斜扫描, 同步读出束流密度在水平和垂直两方向的分布, 取得束流中心位置坐标^[1]。该探测器置于 NSRL-XAFS 光束线单色器前的白光光束上, 对一次辐射衰减内的束斑偏移和不同注入束斑中心位置改变, 进行长期监测, 获得有价值的试验数据, 为分析单周期扭摆器光源的稳定性能^[2,3]、采取补偿措施提供依据。

1 十字斜扫描二维探测器

该十字斜扫描二维探测器系两根互相垂直和绝

缘的钨丝布于一个弹性 U 型骨架上, 两钨丝在矩形束斑截面对角线与水平成 45° 角度方向扫描, 可同时得到光束在水平和垂直方向的流强分布, 监测光束传输过程中的束斑形状和中心坐标。探测器的基本原理如图 1 所示, 钨丝横向扫过光束截面时, 光子在钨丝上产生的光电流沿金属丝方向的积分值被记录下来, 并在另一根金属丝方向的坐标轴上获得光电流分布曲线和束斑中心坐标, 该曲线分布形状和束斑中心坐标的记录与扫描倾角、扫描速度无关。

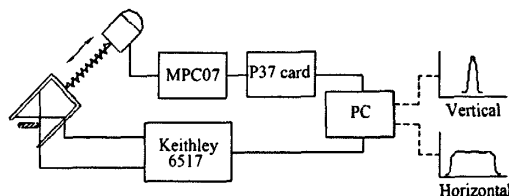


图 1 倾斜扫描二维双丝探测器原理
Fig.1 Principle of the BPM.

图 2 是探测器的结构简图。两根 $\phi 0.3$ mm 的钨丝用陶瓷组合套管相互绝缘固定在弹性 U 型架上, 钨丝一端连接真空腔体, 另一端接真空密封的电极 G9 插件, 通过屏蔽线将信号输送给真空室外部的数据采集和处理系统。U 型架安放在两根滑轨间, 用焊接波纹管与法兰连接成动态真空密封。扫描运动是由步进电机、两级行星变速器、滚动丝杆螺母副组成驱动系统, 在 0~10 mm/min 内无级调速, 钨丝

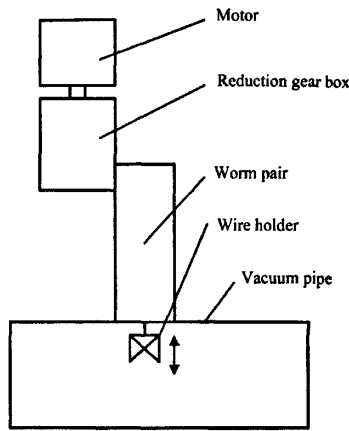


图 2 探测器的结构简图
Fig.2 Structure of the BPM.

的扫描范围为 $\pm 15\text{ mm}$ 。步进电机受驱动模块 MPC07 和插入 PC 机中的控制卡 P37 操作。探测器在准直后设置扫描的起始和终止位置，建立参考坐标系。数据采集由双通道电流放大器 Keithley6517 将钨丝中产生的光电流放大后送入计算机，经整合处理得到沿扫描方向电流分布曲线和束斑中心坐标 X_M 、 Y_M 。为了消除或降低因信号延迟等原因造成的

束斑漂移系统误差 ΔX 和 ΔY ，可通过多次正反往复扫描评价误差量级，得到较为精确的束斑中心坐标，即 $X_C = X_M \pm \Delta X$ ， $Y_C = Y_M \pm \Delta Y$ 。

2 Wiggler 光源稳定性监测

NSRL 扭摆器产生的同步辐射经前端后引出水平张角 35 mrad 的光束，均分三束装备三条光束线，分别用于 X 射线吸收精细结构(XAFS)，X 射线衍射和散射(XRDS)和 X 射线深度光刻(LIGA)研究^[4]。探测器安装在 XAFS 光束线的光阑与单色器之间(图 3)，测量时将光阑的水平和垂直开口移至极限位置，增大探测钨丝的扫描范围。测量内容如下：

1) 束斑通量密度在水平和垂直方向的分布。

探测钨丝直接面对白光，接受角 2 mrad (水平) $\times 1\text{ mrad}$ (垂直)，距光源中心 6 m ，束斑面积约为 $12\text{ mm} \times 6\text{ mm}$ ，沿与水平成 45° 夹角横向扫描束斑截面。在储存环电子能量 0.8 GeV 、Wiggler 磁场强度 6 T 和电子束流强度 100 mA 条件下，钨丝扫描速度 15 mm/min ，一次扫描得到的两维流强的分布曲线(图 4)，垂直峰值电流 700 pA ，水平平均电流 290 pA 。由于受光阑截取的矩形束斑限制，探测钨

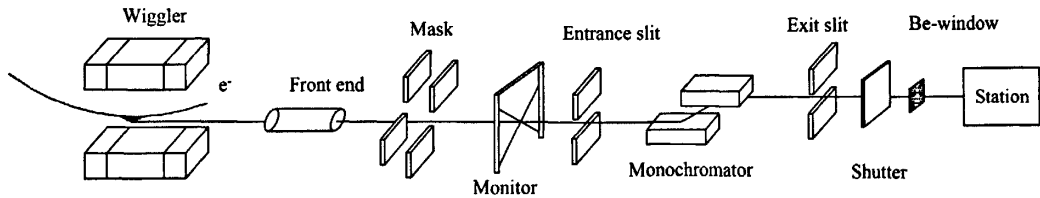


图 3 探测器对 Wiggler 光源稳定性监测布置图
Fig.3 Layout of the BPM for monitoring the SR stability from the wiggler.

丝扫描束斑并非 Wiggler 的全部同步辐射，图中曲线显示垂直方向呈高斯分布峰值部分落在其中，左上角的小图框是该曲线上端部分放大和高斯分布的拟合。而水平方向是一条平坦曲线，根据 Wiggler 辐射功率密度分布函数^[5]

$$f_K(\gamma\theta, \gamma\psi) = \frac{[1 - (\gamma\theta/K)^2]^{1/2}}{[1 + (\gamma\psi)^2]^{5/2}} \left\{ 1 + \frac{5(\gamma\psi)^2}{7[1 + (\gamma\psi)^2]} \right\}$$

其中， $\gamma\theta$ 是水平分布因子， $\gamma\psi$ 是垂直分布因子。Wiggler 的 K 值很大(合肥光源的 $K=114$)，式中第一项的分子 $[1 - (\gamma\theta/K)^2]^{1/2}$ 近似为 1，因此 Wiggler 辐射在中心轴附近的光通量水平分布同弯铁辐射一样可视为均匀分布，测量结果与此相符。

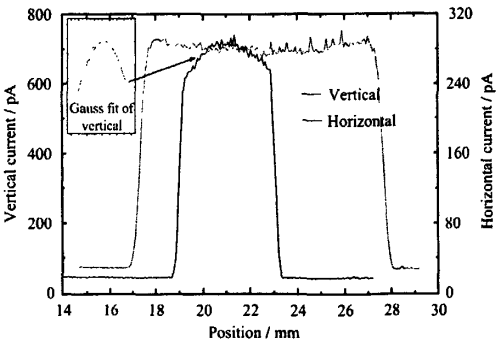


图 4 一次扫描得到的垂直和水平光电流密度分布曲线
Fig.4 Vertical and horizontal photocurrent intensity by one measurement.

2) 电子束团注入后衰减过程中的束斑漂移。

合肥光源正常运行时, 每 12 h 注入一次。其间随电子束流衰减, 辐射光束位置也发生改变, 图 5 给出了一次注入运行中光束垂直位置随束流衰减的变化曲线。测量时间选择在外界干扰较小的 20 点到 6 点。由图 5, 最初半小时内, 光束位置有较大跳动, 幅度 160 μm , 几乎无法用于实验。随后相对稳定, 随机波动 $<30\ \mu\text{m}$ 。但光束位置随电子束流衰减缓慢漂移, 从 230 mA 降低到 100 mA 时, 首尾相差约 200 μm 。

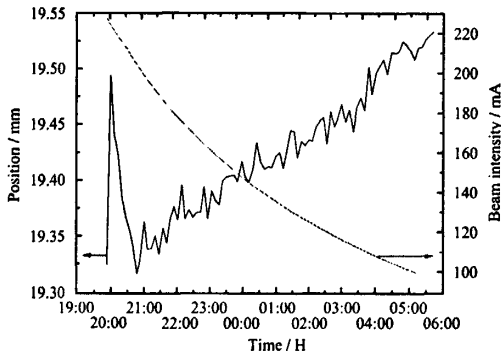


图 5 单次注入过程中光束垂直位置随束流衰减的变化
Fig.5 Changes in the vertical position and the beam attenuation in a single injection.

3) 多次注入光源稳定性的监测。

储存环中电子束团能量要由注入时的 200 MeV 提升到稳定运行的 800 MeV, 每次注入后电子束团的运行轨道会有所变化, 产生的同步辐射光束的相位也略有不同。图 6 为每周扫描 5 次共 18 个周期

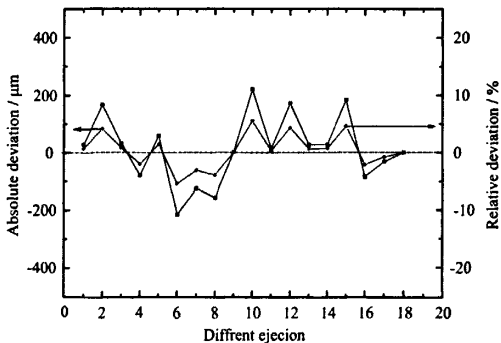


图 6 对多次注入过程中光源稳定性测量 100mA
Fig.6 Light stability in 18 injections.

的监测结果。图中各点为每个周期测量数据的均方根, 并经归一化处理在束流 100 mA 时光束垂直坐标值, 其中一条是束斑中心位置变化曲线, 变动范围 $\pm 250\ \mu\text{m}$, 另一条是束斑中心移动相对束斑面积的比值, 最大约为 10%。

3 结论

利用两根相互垂直的钨丝组成的探测器倾斜扫描同步辐射光束截面, 一维运动同时构建出垂直和水平的两维图形, 得到被测束斑的光电流密度分布曲线和束斑中心坐标, 是一种简易可靠的在线监测手段, 由于探丝直径 $<\phi 0.3\ \text{mm}$, 随机扫描时无碍于光束的传输, 可与下游的实验同时进行。该探测器安装在 NSRL-XAFS 光束线上游, 对 Wiggler 辐射的光束进行长时间跟踪在线监测, 获取大量的数据与图形经处理后得到的结论: 一次注入稳定后, 光源波动在 30 μm 以内, 但随电子束流衰减缓慢漂移, 首尾相差约 200 μm ; 每次注入之间光束位置略有改变, 幅度为 $\pm 250\ \mu\text{m}$, 其变化率是束斑尺寸的 10%。这一运行误差可根据光束截面的光电流强度分布和确切的光束轴线位置, 适当校正电子束团运行轨道和光束线各光学元件得到部分补偿。

参考文献

- 1 Fajardo P, Ferrer S. Rev Sci Instr, 1995, 66(2): 1882-1884
- 2 唐鄂生, 黄宇营, 吴应荣, 等. 高能物理与核物理, 1998, 22(10): 951-954
TANG ESheng, HUANG Yuying, WU Yingrong, et al. High Energy Physics and Nuclear Physics, 1998, 22(10): 951-954
- 3 郭小云, 石才土, 张久昶, 等. 物理学报, 2006, 55(4): 1731-1735
GUO Xiaoyun, SHI Caitu, ZHANG Jiuchang, et al. Chinese Physics, 2006, 55(4): 1731-1735
- 4 XU Chaoyin, PAN Guoqiang, XU Faqiang, et al. Nucl Instr Meth, 2001, A467-468: 639-642
- 5 Kim K J. Nucl Instr Meth, 1986, A246: 67

Stability monitoring for wiggler radiation beam at NSRL

LU Lei¹ KANG Le² LI Zhongliang² ZHAO Feiyun² MAO Peihong¹ XU Chaoyin²

1 (Physics School of Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

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

Abstract In this paper, we describe the principles and structure of the beam position monitor (BPM), which is composed with two thin tungsten wires perpendicular to each other. A linear motion forming 45° with respect to horizontal scans simultaneously two wires across the beam spot to measure both photoemission currents as function of the position. The BPM has been mounted on the XAFS beamline at NSRL to monitor the synchrotron radiation stability from the Wiggler, including the photocurrents distribution in vertical and horizontal directions and drifts of the beam spot as attenuation of the electronic beam in different injections. It is useful in improving operation of the storage ring and collimating optical elements of the beamline.

Key words Monitor, Scanning, Photocurrent, Center of the spot, Beam stability

CLC TL544, TH744.1