

北京同步辐射 1W2B 生物大分子 束线双丝型 BPM 实时跟踪监测系统

常广才^{1,2}, 郭 娴², 石 泓², 李 明², 甘 泉², 刘 鹏²

(1. 中国科学技术大学国家同步辐射实验室, 安徽合肥 230027;

2. 中国科学院高能物理研究所, 北京 100049)

摘要:同步辐射光束位置稳定性对光束强度至关重要, 直接会影响到实验数据的质量, 因此需要在实验过程中对光束位置进行实时监测. 在同步辐射光束线上一般会使用双丝型的光束位置监测器 (beam position monitor, BPM) 扫描光束, 获得光束的截面分布, 同时在固定位置的双丝会对光束位置进行静态的实时监测. 但是这种监测方式对于入射光束分布有特殊的要求, 当光束较大地偏离原有位置时会对双丝 BPM 造成损伤的危险. 北京同步辐射 1W2B 生物大分子实验站通过采用双丝型 BPM 实时动态跟踪监测方式, 有效地解决了常规监测方式带来的光束分布和光敏丝损伤问题, 为实验光束的稳定性研究提供了基础.

关键词:双丝型光束位置监测器; 同步辐射光束位置; 实时动态监测

中图分类号: O572.21⁺2

文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2012.04.002

引用格式: Chang Guangcai, Guo Xian, Shi Hong, et al. Dynamic monitoring system with double-wire BPM of the macromolecular crystallography beamline 1W2B at BSRF[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2012, 42(4):265-269, 317.

常广才, 郭娴, 石泓, 等. 北京同步辐射 1W2B 生物大分子束线双丝型 BPM 实时跟踪监测系统[J]. 中国科学技术大学学报, 2012, 42(4):265-269, 317.

Dynamic monitoring system with double-wire BPM of the macromolecular crystallography beamline 1W2B at BSRF

CHANG Guangcai^{1,2}, GUO Xian², SHI Hong², LI Ming², GAN Quan², LIU Peng²

(1. National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;

2. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The stability of the synchrotron radiation (SR) beam's position is essential to beam flux, and it will also directly affect the quality of the experiment data. It is therefore necessary to monitor the beam position in real-time during the whole experiment. The double-wire type BPM (beam position monitor) is normally used to scan the beam profile and it can also monitor the beam position in a fixed position. But this kind of monitoring demands a special beam distribution because when the beam greatly deviates from

收稿日期:2011-06-03;修回日期:2011-09-12

基金项目:国家大科学工程(BEPC II 工程)资助.

作者简介:常广才,男,1982年生,博士.研究方向:同步辐射技术及应用. E-mail: changgc@ihep.ac.cn

通讯作者:刘鹏,博士/研究员. E-mail: liup@ihep.ac.cn

the original position, the double-wire BPM might face the threat of damage. By means of the dynamic real-time tracking mode, 1W2B macromolecular beamline of BSRF (Beijing Synchrotron Radiation Facility) has solved the problems of the routine monitoring mode, such as beam distribution and the damage of the photosensitive wires, thus providing a basis for the study of beam stability.

Key words: double-wire beam position monitor; synchrotron radiation (SR) beam position; dynamic real-time monitoring

0 引言

在同步辐射装置上开展的很多实验对入射光束的稳定性有一定的要求. 以蛋白质晶体衍射实验为例, 实验数据处理中需对衍射点的强度进行归一, 因此实验要求每两次数据采集过程的实验光束强度相对变化较小. 蛋白质晶体衍射实验要求的入射光束尺寸和发散度比较小, 实际实验光束由样品前的两个狭缝对入射的聚焦光束再次进行准直并限制光束大小, 因此在实验过程中除了入射光束的光通量变化导致实验光束强度变化外, 入射光束位置变化同样会引起实验光束强度的变化. 由于入射光束的总光通量随储存环流强缓慢衰减, 所以实验光束的不稳定性主要是由入射光束位置变化引起. 通过光束线上的光束位置监测器 (beam position monitor, BPM) 对入射光束进行实时监测系统, 能够及时反馈实验过程中的光束位置变化情况并据此对束线状态调节, 对保障用户获得高质量的实验数据具有非常重要的意义. 世界各大同步辐射都很重视 BPM 方面的研究^[1-5]. 传统的双丝型 BPM 采用静态监测的方法, 具有定位精度高、速度快、结构稳定等特点, 但是对入射光分布有一定要求, 一般为高斯分布. 对于被狭缝卡过的光斑或者非高斯分布, 静态监测的方法就不能满足监测要求, 需要通过动态监测的方法来实现实时监测.

北京同步辐射装置在高能物理模式下, 由于需要经常对储存环轨道进行调节来满足对撞亮度的要求, 因此光束线的光源也会随之发生变化, 在此情况下光束位置的实时监测非常重要. 本文的主要工作是介绍了在生物大分子束线上利用双丝型 BPM 动态跟踪的方式, 实现了对光束位置实时监测的功能, 满足了生物大分子实验对光束稳定性的要求.

1 光束位置实时监测系统

北京同步辐射 1W2B 生物大分子束线由光源、前端区、光束线和实验站 4 部分组成. 从光源出来的白光光束经过前端区和光束线限束、准直、单色和聚焦后进入实验站. 由于光源光束垂直分布为高斯分布, 且垂直角分布小, 而水平角分布很宽且较均匀, 因此光束的位置监控主要是对垂直位置的监测. 采用刀片型 BPM、双丝型 BPM 和光电二极管型 BPM 分别对前端区、光束线和实验站进行垂直位置实时监测^[6]. 图 1 为整个光束垂直位置实时监测系统示意图.

2 双丝型光束位置监测器

双丝型 BPM 主要由两根平行的光敏丝及两块平行的偏压极板构成. 光敏丝为 $80\ \mu\text{m}$ 镀金钨丝, 上下两根丝间距 $3.5\ \text{mm}$, 由绝缘陶瓷固定在无氧铜的框架上, 并通过导线接地形成回路. 由于入射光

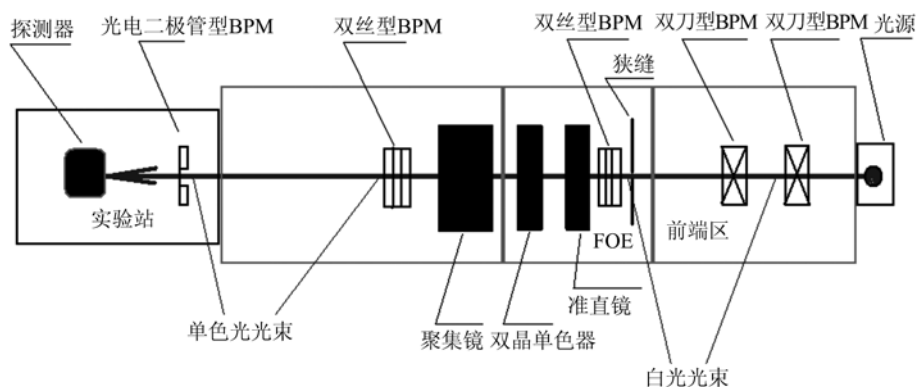


图 1 1W2B 生物大分子站光束垂直位置实时监测系统

Fig. 1 Beam vertical position monitoring system of the Beamline 1W2B

特别是白光照射时,光敏丝容易产生热形变发生弯曲,导致信号产生误差,因此在光敏丝的末端增加了弹簧系统,使得光敏丝始终保持紧绷状态.当同步光照射到光敏丝上,因光电效应发射的光电子被两侧接正高压(110 V)的偏压极板收集形成电流,并由电流表读出,从而可以测得入射光束在光敏丝当前位置的相对强度.通过测量两根光敏丝的电流变化间接可以得到光束位置的变化信息.

北京同步辐射 1W2B 生物大分子光束线在准直镜前和聚焦镜后安装了垂直位置移动的双丝型 BPM,分别监测入射白光光束垂直位置和聚焦后的单色光垂直位置的变化.白光光束的光通量较大,光敏丝的光电流可以达到微安甚至亚毫安量级.而单色光的光通量则远远小于白光的光通量,光敏丝的光电流只有几十至上百纳安.通过对这两个双丝型 BPM 进行扫描和监测,即可实时了解 1W2B 光束线中的光束位置变化情况,再结合样品处光束强度变化情况来判断实验光束的稳定性是否满足实验需求,并及时作出调整.

3 双丝型 BPM 扫描定位

当储存环电子能量维持不变时,入射光的频谱也保持不变,根据光电效应斯托列托夫定律,此时光

敏丝上单位时间内的光电流和照射到光敏丝上的光强成正比^[7].由此通过移动双丝对其不同位置进行扫描,即可得出入射光束在此扫描方向上的一维分布以及入射光束与检测器的相对位置.图 2 为 1W2B 准直镜前第一双丝在无狭缝限光情况下扫描图.从扫描结果可知,其分布可以用 Gauss 曲线拟合得很好,光束半高宽为 6.26 mm.通过 XOP-Shadow 软件^[8]模拟双丝型 BPM 处的光斑分布如图 3 所示,其半高宽为 6.37 mm,与扫描结果吻合.

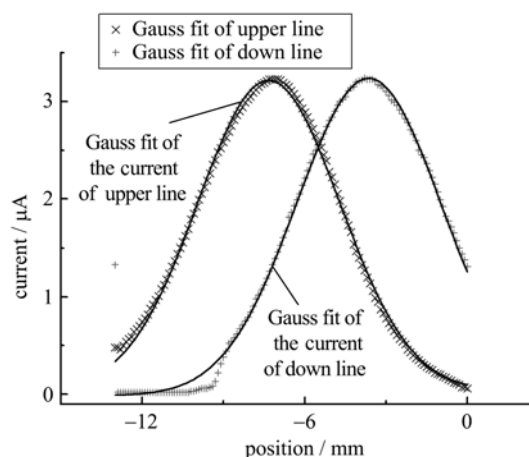
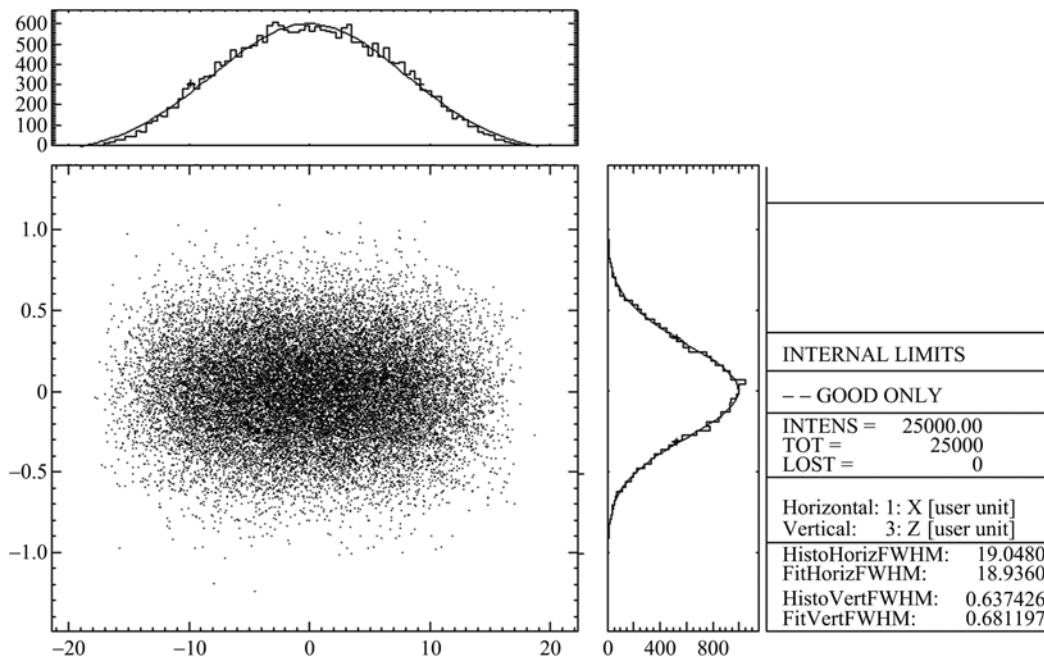


图 2 无狭缝限光光束的双丝型 BPM 扫描分布图
Fig. 2 The white beam profile scanning by the Double-Wire BPM after all-opening slits



The beam vertical FWHM is 6.37 mm

图 3 白光双丝型 BPM 处光束分布模拟图(XOP-shadow)

Fig. 3 The beam distribution at the position of double-wire BPM simulated by XOP-shadow

为了提高实验单色光能量分辨率及降低单色器上热功率沉积,入射的同步光束首先需要经过准直镜.准直镜镜长 1 m,同步光以 3.6 mrad 的角度掠入射到镜面上,由此可得准直镜垂直接收光宽为 3.6 mm.从图 2 可知入射光束垂直宽度大于准直镜垂直接收的最大宽度,因此需要利用狭缝对入射光束进行限光,防止准直镜端面长时间着光过热形变.垂直狭缝开合宽度为准直镜最大垂直接收宽度 3.6 mm,由于入射光束本身所具有的发散度以及狭缝边缘散射效应,通过狭缝光束实际宽度略大于 3.6 mm,如图 4 所示.通过双丝型 BPM 扫描可以很容易判断出当前光束自身位置变化情况以及与狭缝的相对位置关系,并据此对光束线上的光学元件进行调节.

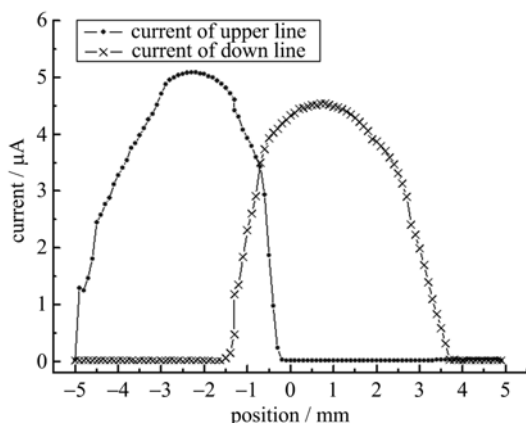


图 4 狭缝限光后双丝型 BPM 扫描光束分布图

Fig. 4 The white beam profile scanning by double-wire BPM after slits

对于经过单色器后的单色同步光,由于其总光子通量远远低于单色器的白光光束,因此单色光双丝型 BPM 上的光电流远低于白光双丝型 BPM 的光电流.对于单色光非高斯分布的问题,可以采用光束质心的方式来实现定位.实际测试结果,单色光的光电流只有白光光束的万分之一左右.图 5 为聚焦镜后的单色光双丝型 BPM 扫描结果.

4 双丝型 BPM 实时监测

通过双丝型 BPM 快速扫描可以确定光束的实际位置,从而及时地调节光束线的光学姿态,满足同步辐射实验对光束稳定性的需求.但是在扫描过程中,光敏丝切入光路会使得实验光束的光通量发生改变.实际测试结果显示,当光敏丝位于光束中心

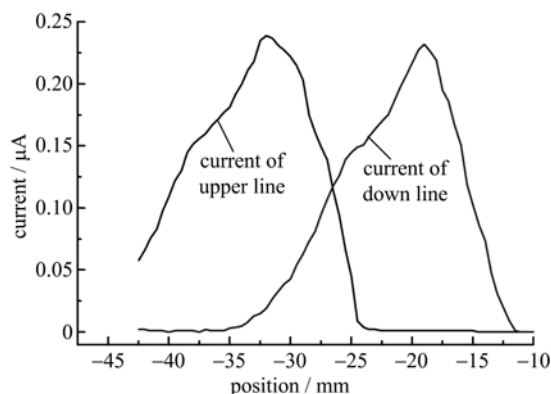


图 5 聚焦镜后单色光 BPM 扫描光束分布图

Fig. 5 The monochromatic beam profile scanning by double-wire BPM after the focus mirror

时,实验光束光通量变化最大,为总通量的 5% 以上,而通常光通量变化小于 1% 对实验影响较小.为了实时地监控光束位置的变化,同时不影响正常实验的开展,双丝型 BPM 在实验过程中不采用扫描的方式,而是将双丝型 BPM 的光敏丝固定于光束中心位置两侧,利用光束的分布规律,通过上下两根光敏丝的电流变化间接计算出光束的位置变化.

非狭缝限制光束分布通常如图 3 所示为高斯分布,此时上下丝光电流 I_1 , I_2 与光束中心位置 x 存在线性关系:

$$\ln \left(\frac{I_1}{I_2} \right) = K \cdot x + B. \quad (1)$$

通过多次扫描给出监控参数 K 和 B ,即可利用式 (1) 对光束位置实时监测^[9].但是对于经过狭缝限光后的光束,由于其分布不再满足高斯分布,又非严格意义线性分布,因此无法给出固定的监测曲线对光束位置进行实时监测.同时在这种固定位置的静态监测中,当光束位置发生偏离使得光敏丝长时间处于光束中心时,光敏丝容易发生形变.对有弹簧系统的双丝型 BPM,光敏丝在经过长时间大通量光束着光后由于更易氧化等原因而发生断裂.为了有效地实现限光光束垂直位置实时监测,同时避免光敏丝由于光束位置偏离发生断裂的现象,双丝型 BPM 实时监控采用动态监控的方法实现.

动态监控原理为实时地调节双丝型 BPM 光敏丝的位置,使得上下光敏丝的光电流维持一个固定的状态(如保持上下丝等效光电流相等),光敏丝的位置变化即等效为光束位置的变化.电机移动精度为 1 μm ,电流计读出精度为 2%.动态监控方式使

得光敏丝始终保持于光束中心两侧,避免了由于光束位置变化导致光敏丝断裂的危险.动态监控流程图如图 6 所示.

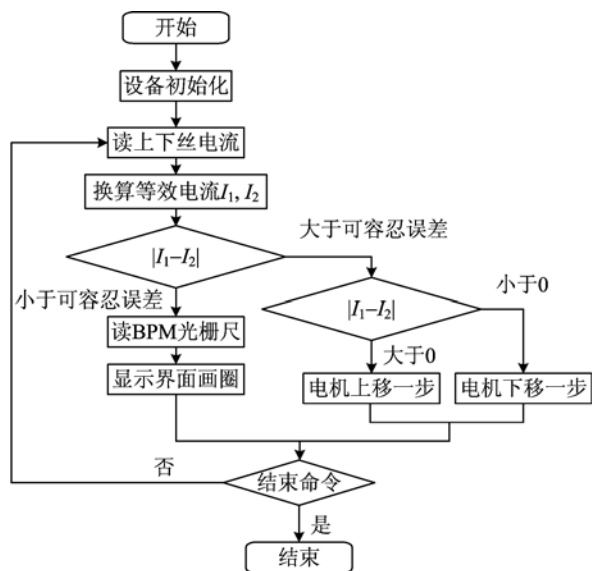


图 6 双丝型 BPM 动态监控流程图

Fig. 6 The dynamic monitoring flow diagram of the double-wire BPM

图 7 为白光双丝型 BPM 的动态监测结果.在监测过程中每间隔一定时间停止监测,对光束扫描一次以确定当前光束实际位置,并与监测结果比对.从比对结果可知,动态监测方法很好地描述了当前

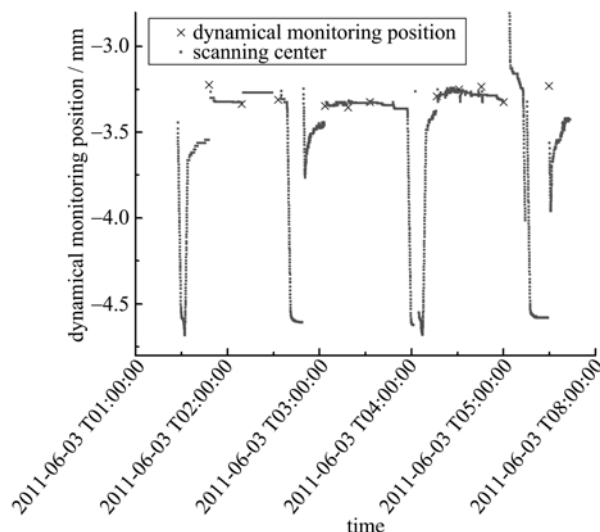


图 7 白光双丝型 BPM 动态监测与扫描结果高斯拟合中心比对

Fig. 7 The compared graph between the dynamic monitoring of the white beam position and the center of the Gauss fit curve of the beam scanning data

光束位置的变化.对于白光双丝型 BPM,实际动态监测处位置每变化 $10 \mu\text{m}$,其单个丝的光电流变化约为 $0.02 \mu\text{A}$.取上下两丝等效电流差为 $0.02 \mu\text{A}$,则实际监测位置精度好于 $10 \mu\text{m}$.

图 8 为单色光双丝型 BPM 的动态监测结果.同样每间隔一定时间对光束进行一次扫描,以确定光束的实际位置.从图 8 可知单色光双丝型 BPM 的动态监控结果与扫描的光束质心位置吻合.

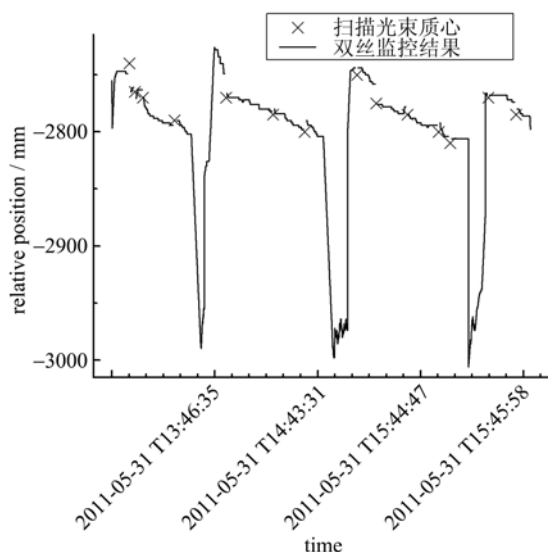


图 8 单色光双丝型 BPM 的动态监测结果以及扫描光束质心结果

Fig. 8 The compared graph between the dynamic monitoring of the monochromatic beam position and the center of mass of the beam scanning data

5 结论

通过采用双丝型 BPM 动态监测的方式,解决了狭缝限光光束以及单色光的分布因非高斯分布而无法监控的问题,同时对光敏丝起到了一定的保护作用,对北京同步辐射 1W2B 生物大分子光束线上的白光光束和单色光光束都实现了垂直位置的实时监测,从而为同步辐射实验过程中光束稳定性的研究提供了重要的监测手段,并为用户获得高质量的实验数据提供了保障.

参考文献 (References)

[1] van Silfhout R G. A high-precision X-ray beam-position and profile monitor for synchrotron beamlines [J]. J Synchrotron Rad, 1999, 6: 1 071-1 075.

[2] Holldack K, Peatman W B, Schroeter T. Vertical

(下转第 317 页)