

# 北京同步辐射装置 (BSRF) 3B1 束线精细调试

崔明启 刘丽冰 徐文轩 吴坚武 王培玮 伊福廷 顾向明  
(中国科学院高能物理研究所,北京100039)

## 摘 要

本文给出了北京同步辐射装置 (BSRF) 3B1 束线在 BEPC 专用模式 (储存环电子能量  $E_e = 2 \text{ GeV}$ ) 不同闭轨情况下的最佳光强输出及最佳工作条件选择,并给出不同状态下的能谱测试及分析结果。

## 一、引 言

BSRF 是一个寄生模式状态下的同步辐射光源<sup>[1]</sup>, 现工作在对撞 (高能物理实验和同步辐射兼用) 和同步辐射专用两种模式。在兼用模式状态下, 为满足高能物理实验需要, 储存环粒子轨道常作较大调整, 对同步辐射光源 (尤其垂直方向) 有较大影响。在专用模式下, 为适应各条束线和实验站的要求, 轨道也常需要调整。为使 3B1 束线在两种模式下均可正常工作, 有必要对 3B1 束线各种状态下的性能进行测试, 并通过调试束线上的装置 (例如反射镜) 得到适用各种情况的最佳输出效果。

3B1 束线装置如图 1 所示, 主要由前端、垂直位置监测器、扫描反射镜及真空差分系统等组成。原设计主要用于软 X 光光刻, 后陆续加入生物光谱 (圆二色)<sup>[2]</sup> 和软 X 光反射

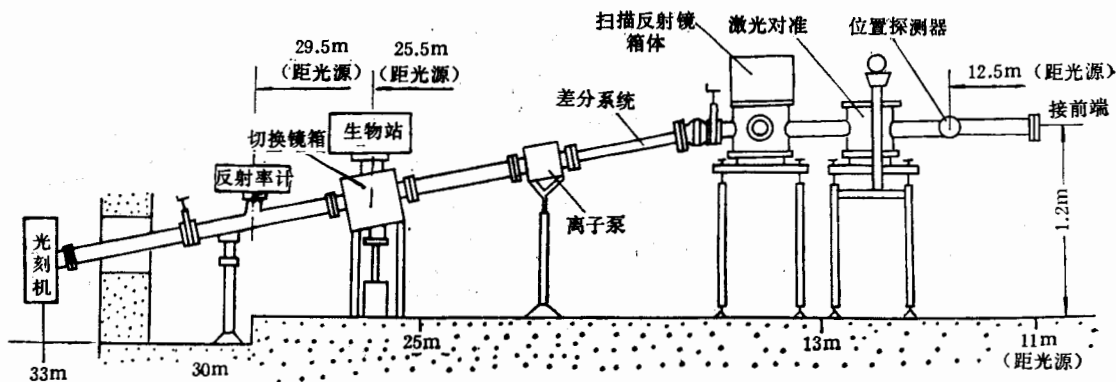


图 1 北京同步辐射装置 3B1 束线装置图

率计(主要用于多层膜反射率及介质薄膜光学常数测量)<sup>[3]</sup>。其部分技术参数如下:

1. 波长范围: 4—20 Å (有效波长 4—14 Å) (用于光刻)  
1500—5000 Å (用于圆二色)  
10—200 Å (用于软 X 光反射率计)
2. 水平接收角 7.5 mrad
3. 垂直接收角 0.4 mrad
4. 光束与镜面夹角 1.5° (掠入射)
5. 出口光斑尺寸 35 × 35 (mm)<sup>2</sup>  
(圆二色及反射率计出口光斑尺寸均由所给狭缝确定)

## 二、测试方法

同步辐射光强在水平方向分布是均匀的,由于垂直方向张角较小(约 0.4 mrad)且呈高斯分布,很难做到大范围均匀。为满足光刻用垂直方向光斑尺寸大、光强均匀性好的要求,

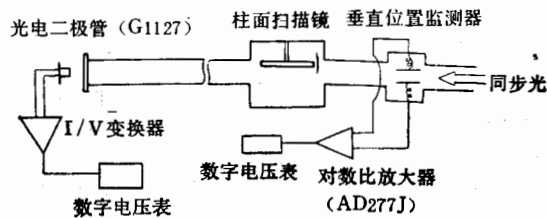


图2 测试系统示意图

设计制作了一个可改变扫描频率的掠入射柱面反射镜系统,该系统可作三维调节,反射镜通过俯仰、平移和侧摆三个调节机构实现三个自由度的精细调节。俯仰调节还可实现反射镜上、下移动,以适应由于储存环束团轨迹的变化而引起的同步光束的漂移。在实验中,就是利用反射镜的上述特性,以得到各种状态下的最佳结果。测试系统示意图如图2。垂直位置监测器为自制光电发射探测器,由两根  $\phi 1.5$  的钨丝组成,丝距 12 mm,设置在距光源点 12.5 m 处,同步光从两电极间无阻挡地通过,当光束在垂直方向上相对于光轴有偏移时,上、下两电极接收到的光强存在一个差值,由对数比放大电路通过计算机读出或数字电压表直接读出,给出光束位置偏移量。光强探测用 GaAsP 光电二极管 (G1127, HUMAMATSU),其窗材为石英玻璃,对可见光灵敏(响应波长范围: 190 nm—680 nm)。我们将窗材改造为 1.5  $\mu\text{m}$  厚的 mylar 膜,响应波长为 1 nm—0.1 nm,对 X 光灵敏,并用充氩电离室进行了初步定标。自制 I-V 变换作为前置放大器,由于信号较大,用数字电压表直接读出。光束漂移由调整储存环闭轨人为生成,根据实时局部闭轨校正方法<sup>[4]</sup>,只要调整弯转磁铁附近三块校正磁铁的电流便可局部调整弯转铁束流位置,从而引起同步光束垂直位置漂移。用垂直位置监测器测得光束偏移量,在束线末端(距光源点约 31 m)放置光电二极管探测器,通过精细调节反射镜上、下位置(非扫描状态),由探测器通过放大电路测出反射镜各位置的光强输出,进而得到不同光束垂直位置时的最佳结果。

用薄窗式 Si(Li) 探测器 (PGT, 能量响应范围: 1—60 keV; FWHM = 0.148 keV (对 5.89 keV)) 和多道分析器 (918A ORTEC) 对 3B1 束线进行了能谱测量。束线出口窗材为 18  $\mu\text{m}$  KAPTON 薄膜,窗口后面设置一单光刻曝光装置,可充入各种气体。Si(Li)

探头安装在单次曝光装置内光刻曝光点位置(距窗口 10cm), 测量了充 He 和充空气两种状态, 充 He 状态为实际光刻状态。还测量了出口窗材为  $25\mu\text{m}$  Al 膜时的能谱, 得到较好的准单色光 ( $1.36\text{keV}$ )。为避免计数饱和, 探头前加  $\phi 0.1$  铅屏蔽狭缝。

### 三、测试结果及讨论

(1) 测试结果由表 1 给出, 储存环电子能量  $E_e = 2.0\text{GeV}$ , 束流强度  $20\text{mA} - 10\text{mA}$ , 由于光强测试结果为各点相对最佳结果, 未作不同流强修正。

表 1 不同闭轨位置时的精细测量结果

闭轨位置 (mm)	垂直位置信号 (V)	扫描镜位置 (mm)	输出光强 (V)
+2.66	2.69	+3.0	3.7
		+2.5	3.0
		+2.0	2.1
+1.79	2.20	+3.0	5.1
		+2.5	4.9
		+2.0	4.2
+0.84	1.64	+4.0	0.7
		+2.5	5.7
		+2.0	4.3
-0.05	1.13	+2.5	5.9
		+2.0	6.2
		+1.5	5.9
		+1.0	5.6
		+0.5	5.1
-0.80	0.60	+1.0	5.3
		+0.5	5.7
		0.0	5.3
-1.64	0.20	+1.0	4.7
		0.0	5.1
		-1.0	4.8
-2.53	-0.04	-0.5	4.3
		-1.0	4.9
		-1.5	4.4
-3.45	-0.26	-1.0	3.9
		-1.5	4.0
		-2.0	3.5
-4.14	-0.92	0.0	1.8
		-1.0	2.7
		-2.0	2.8
-4.89	-2.04	0.0	0.8
		-2.0	0.0

(2) 图3给出的是不同闭轨与垂直位置偏差信号关系曲线,尽管闭轨零点(即弯转磁铁附近三块校正铁电流为零)与垂直位置偏差信号零点不一致,在不作任何拟合的情况下,  $-3\text{mm}$  至  $3\text{mm}$  范围内仍具有良好的线性。另外垂直位置监测器位置灵敏度优于  $50\mu\text{m}$ , 长时间 ( $>10\text{h}$ ) 稳定性好于  $1\%$ , 是 3B1 束线垂直位置实时监测的有力工具。

(3) 从表1中可得到最佳工作条件选择, 图4给出更直观的结果。由图4可见最大光强输出在闭轨调整到接近零点的位置, 证明该束线的安装准直是合理的。当同步光束漂移在  $+3\text{mm}$  和  $-4\text{mm}$  之间时均可通过改变扫描镜位置找到最佳光强输出, 其最大偏差约为两倍, 均可满足实验要求。在各种实验中, 只要测得垂直位置信号, 选择对应的扫描镜位置, 即可获得最佳工作条件。

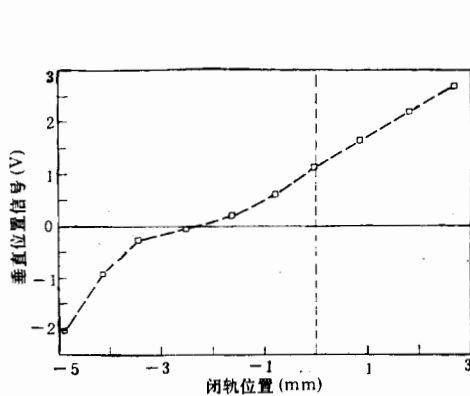


图3 闭轨位置与垂直位置信号关系曲线

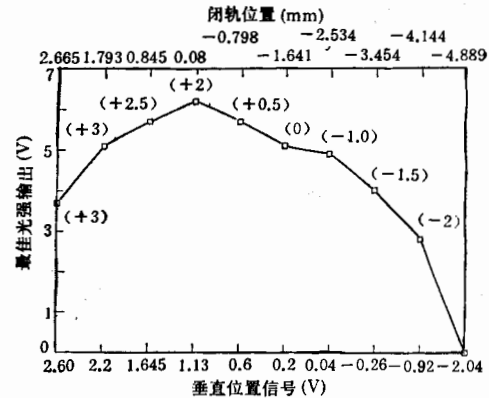


图4 闭轨位置、垂直位置信号与最佳光强输出信号关系曲线(图中数字为柱面扫描镜位置)

(4) 图5(a)和图6(a)分别给出3B1束线同步辐射光束通过He气和空气时测到的透射谱, 图5(b)、6(b)分别给出对应的理论计算谱。表2给出两者比较的结果。测量值的总计数由测量谱的面积分得到。与理论计算值一样, 充He比充空气的光通量(即总计数)约高3倍, 这是由于He比空气对X光的吸收少引起的, 因此光刻曝光时充He是必需的。

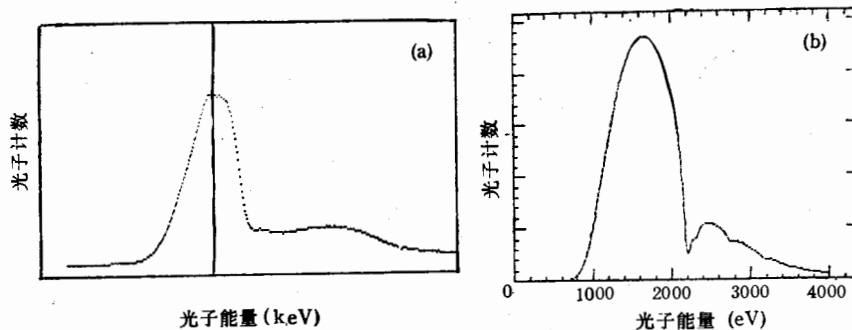


图5

(a) 充氦状态下的测试谱(峰值能量  $1.69\text{keV}$ ; 峰值计数 22856)

(b) 充氦状态下的理论谱

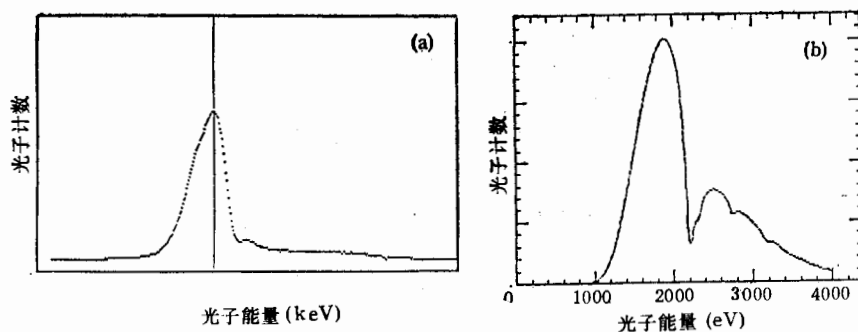


图 6(a) 充空气状态下的测试谱(峰值能量 1.86keV; 峰值计数 10007)

(b) 充空气状态下的理论谱

表 2 能谱测量分析结果

	氦气 (He)	空气 (Air)	He/Air
	峰值能量 (keV)	峰值能量 (keV)	总通量
理论	1.66	1.85	3.09
实验	1.69	1.86	3.20
偏差	2%	0.5%	3.5%

(5) 图 7(a) 给出加 Al 窗测到的能谱, 也与理论计算谱(图 7(b)) 进行了比较。测量结果: 峰值能量 1.36keV, FWHM = 0.19keV。这实际上给出了很好的准单色光, 比我们现有的软 X 光源<sup>[4]</sup>性能优越得多, 光通量高出约 7 个量级, 能量分辨也好得多。已用该光源进行了软 X 光显微术和软 X 光光声效应的初步实验。

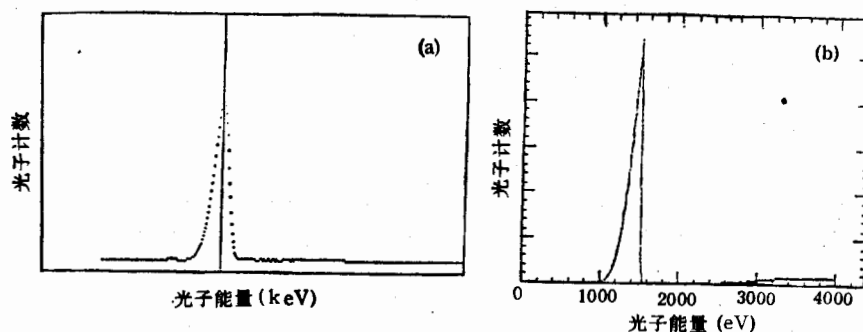


图 7

(a) 加 Al 窗的测试谱(峰值能量 1.36keV; 峰值计数 5276) (b) 加 Al 窗的理论谱

## 四、结 论

(1) 自制光电发射垂直位置监测器灵敏度  $50\mu\text{m}$ , 长时间稳定性好于 1%, 输出信号

与光束垂直位置具有良好线性,作为在线测量器件是可行的。

(2) 在光束漂移+3mm 到-4mm 之间;均可通过垂直位置监测信号调整相应的扫描镜位置,获得最佳工作条件。

(3) 充 He 状态比充空气状态光通量高3倍(距窗口10cm处),光刻时充 He 是必需的。

(4) 加 Al 窗得到的准单色光(1.36keV)可作为其他方面应用的光源,进一步提高束线使用效率。

作者感谢中科院长春光机所邵景鸿等提供的扫描镜资料和实验指导,并感谢高能所总控室在闭轨调整时给予的支持。

### 参 考 文 献

- [1] 唐鄂生,“北京同步辐射装置十年回顾和十年展望”高能物理学会十周年报告会。
- [2] Gu Xiangming et al., “SX-Visible Photon Beam Line 3B1A for Lithgraphy and 3B1b for Biological Spectroscopy at BSRL” SRI91, Chester (1991).
- [3] 崔明启等,“同步辐射软X光应用及光学常数测量”第一届软X光学研讨会,长春(1990)。
- [4] 马力,“BEPC 技术讲座之三——BPM 测量”内部报告。
- [5] Cui Mingqi et al., “A fine focusing soft X-ray source for R & D work of the soft X-ray microscopy station at the BEPC Synchrotron Radiation Laboratory”, NIM **A277**(1989), p.673—676

## Fine Measurements of Beamline 3B1 at Beijing Synchrotron Radiation Facility

CUI MINGQI   LIU LIBING   XU WENXUAN   WU JIANWU

WANG PEIWEI   YI FUTING   GU XIANGMING

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

### ABSTRACT

At the dedicated mode (the storage ring  $E_e=2.0$  GeV) of BEPC, we measured the intensity and the spectra of Beamline 3B1 at Beijing Synchrotron Radiation Facility (BSRF) for different closed orbits. The optimum photon intensity and the optimization of operation condition for Beamline 3B1 were given in this paper. The results of measurements for energy spectra at different states were given and analysed also.