

Wiggler 束线 4W1A 同步光的初步观测

唐鄂生 崔明启 刘丽冰 徐文轩
巢志瑜 吴应荣 王春喜 冼鼎昌

(中国科学院高能物理研究所, 北京)

摘 要

本文给出了北京正负电子对撞机(BEPC)同步辐射 Wiggler 束线(4W1A)的光斑特点、强度、能谱以及位置稳定性等的首次实测结果, 并与理论计算作了比较。两者得出了一致的结果。

一、4W1A 束线同步辐射光的观测装置

1989年4月13日,北京正负电子对撞机进行调机试运行。我们对从前端区引出的4W1A束线的同步辐射光进行了首次观测。4W1A是一条从波长移动器SRW1引出的束线。波长移动器是一个半周期的扭摆磁铁,它插入在电子储存环的直线节。加入波长移动器后,可使整个同步辐射光光谱向高能方向有一移动,强度也有所增加。这是在低能电子储存环上作硬X射线实验时常用的经济而有效的方法。按理论设计,束线的水平张角为 1mrad ,垂直张角为 0.3mrad 。在离发光点 42m 处,设有形貌学实验站。

图1为测量系统的示意图。同步辐射的可见光部分穿透玻璃观察窗,经平面镜M反射后成像于白屏S。可以用普通相机直接摄下同步辐射光斑图象。如撤去反射镜M,穿透玻璃观察窗的硬X光可直接入射到X射线探测器。采用电离室及Si(Li)谱仪对X光的强度、能谱及束线位置的稳定性进行测量。

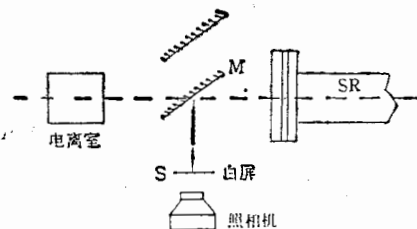


图1 4W1A 前端束线观测实验示意图

二、同步辐射可见光斑的观测

图2是从白屏S上拍摄下来的照片。当贮存环内的电子能量 $E_e = 1.6\text{GeV}$,弯转磁铁磁场 $B = 1.8\text{T}$ 时,从照片上可以看到三个可见光斑。从左侧算起,第一、二号光斑

较为明亮,第三号光斑较暗,当降低波长移动器的磁场或切断它的电源时,第一、二号光斑

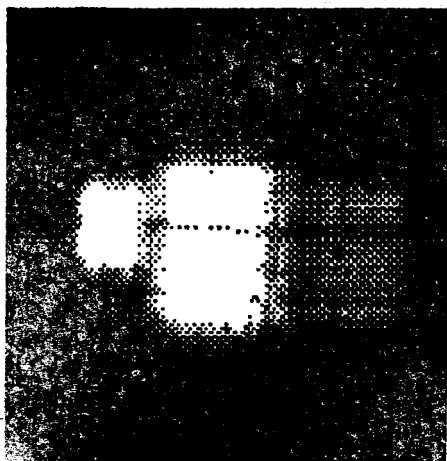


图2 4W1A束线可见光斑

$E_e = 1.6\text{GeV}, B = 1.8\text{T}$

的光强没有变化,而第三号光斑变得更暗甚至消失,说明第一、二号光斑的位置与波长移动器的磁场强度无关。同时观察到第三号光斑的水平位置随着磁场强度的增强而逐渐远离前两个光斑。随后对X光的探测表明,第一、二号光斑不含有X光成分,而第三号光斑中含有较强的X成分。由此可断定:第三号光斑是来自波长移动器的同步光。以下的分析将说明第一、二号光斑是分别从上游及下游弯转磁铁处出射的同步光像。图3是4W1A束线波长移动器的电子运动轨迹图。A点与B点分别表示上游及下游弯转磁铁,W为直线节上的波长移动器,电子在此处被扭摆而发出能量更高的同步光。如果面向同步光观测,发自A点的同步光象应位于右侧,B点的同步光象则位于左侧,来自波长移动器的光斑由于电子轨道的扭曲,而处于最左侧。由于镜面M的反演,因而见到如图2所示的排列。此外,由于A较B离观测点更远,当光通过一个固定高度的出射狭缝时,白屏S对A点的垂直方向接收角小于B点的接收角,因而观测到的来自A点的光斑要小于来自B点的光斑。图2表明这两个光斑的高度比约为1.9。事实上,束线的机械安装决定了下游同步光的垂直张角由穿过防护墙的扁管所限定,为2.98 mrad,上游同步光的垂直张角系由最靠近SRW1的扁管所限定,为1.4mrad,其比例近似由照片测得的值。

步光象则位于左侧,来自波长移动器的光斑由于电子轨道的扭曲,而处于最左侧。由于镜面M的反演,因而见到如图2所示的排列。此外,由于A较B离观测点更远,当光通过一个固定高度的出射狭缝时,白屏S对A点的垂直方向接收角小于B点的接收角,因而观测到的来自A点的光斑要小于来自B点的光斑。图2表明这两个光斑的高度比约为1.9。事实上,束线的机械安装决定了下游同步光的垂直张角由穿过防护墙的扁管所限定,为2.98 mrad,上游同步光的垂直张角系由最靠近SRW1的扁管所限定,为1.4mrad,其比例近似由照片测得的值。

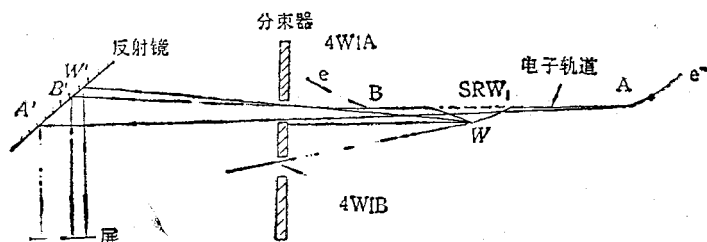


图3 4W1A束线示意图

对于一定的电子能量,波长移动器磁场越强,电子束团的轨道凸起越大(图3),它的出射方向偏离中心轴线则越远,因而就更加远离来自上下游弯转铁的可见光斑。

三、X光强度的估测

为了进一步确认同步光斑的特性,用充Xe电离室对X光的光强进行测定。实验观测表明: X光的强度随着波长移动器磁场强度的增加而增加。根据电离室输出的电离电流

可以估算同步辐射 X 光强的功率密度 P ,

$$P = I \cdot \bar{W} / A (\text{W/mrad}^2)$$

此处, P ——电离室单位立体角吸收的 X 光强度.

A ——电离室入射窗口对发光点的张角 (mrad^2).

I ——电离室的电离电流 (A).

\bar{W} ——Xe 的平均电离能,即使 Xe 产生一对正负离子所需要的平均能量 ($\bar{W} = 20.8\text{eV/e}$)^[1].

当贮存环的电子能量为 1.6GeV, 流强为 8.9mA, 波长移动器的磁场强度为 1.8T 时, 测得的电离室电离电流 $I = 6.58 \times 10^{-7}\text{A}$. 由此所得的实验结果如表 1 所示.

表 1

电离室的吸收功率 (W)		观察窗口的功率密度 ($\text{W/mrad}^2 \cdot \text{mA}$)		偏差 (%)
实测	计算	实测	计算	
1.37×10^{-3}	1.66×10^{-3}	3.44×10^{-3}	4.17×10^{-3}	17.4

表中的计算值是用 RADID 软件计算的^[2]. 计算中考虑了玻璃观察窗(8mm)及电离室 Be 窗 ($25\mu\text{m}$) 的吸收. 应用该程序还计算了充 Xe 电离室对同步光的吸收系数为 0.58. 由此可以求出电离室所在点同步辐射的功率密度 P_1 . 实测值与计算值在 17% 范围内符合. 应该指出, 实验值偏小的主要原因是由于实验条件的限制, 电离室入射窗的中心线略低于光束线的中心线所引起的. 由此引起的过低测量值约有 20% 的偏差. 此外, 电子束团平均流强值约有 10% 的不确定度, 因而实测与计算值在所估计的误差范围内是一致的, 这也说明同步光有很好的可计算性.

四、同步辐射 X 光能谱的直接观测

用 Si(Li) 谱仪对同步辐射 X 光能谱进行了直接观测. 为防止探测器计数过饱和, 用带有针孔的铅盖将探头屏蔽起来, 针孔的直径 $\leq 0.2\text{mm}$. 实测的结果如图 4(a) 所示. 为了便于比较, 图 4(b) 给出了理论计算的能谱. 表 2 给出了实验与理论值的比较.

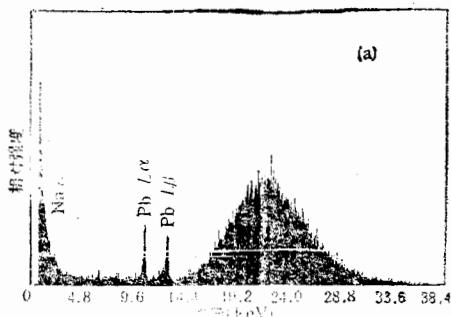


图 4(a) 4W1A X 光能谱(测量图)

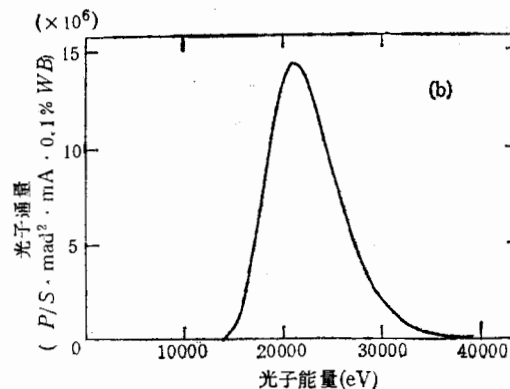


图 4(b) 4W1A X 光能谱(计算图)

表2 同步辐射X光能量分布

波长移动器磁场 (T)	峰值能量 (keV)			FWHM (keV)		
	实测	计算	偏差	实测	计算	偏差
0.4	17.39	17.88	2.7%	5.04	5.30	2.3%
0.8	21.70	21.30	1.9%	7.44	8.01	7.1%

五、束线高度的稳定性

同步辐射束线垂直位置的稳定性极为重要,通常实验站离同步辐射光源点较远,一般

为20—40m,束线的垂直张角又很小,因而光源垂直方向任何一点小的偏移都会引起实验站光斑较大的漂移.我们应用自行设计制造的差分电离室^[3],对4W1A的束线位置稳定性作了初步观测,结果如图5所示.差分电离室收集极高度 $d = 21\text{mm}$,发射极与收集极间距28mm,差分灵敏度 $2.08\mu\text{m}/\text{mV}$.由图看出:贮存环中的电子在波长移动器稳定磁场下运动时,同步辐射光斑垂直位置相对稳定,垂直漂移 $< 40\mu\text{m}$,但当波长移动器的磁场发生变动时,束线向下跳变,直到磁场稳定后,束线位置随之

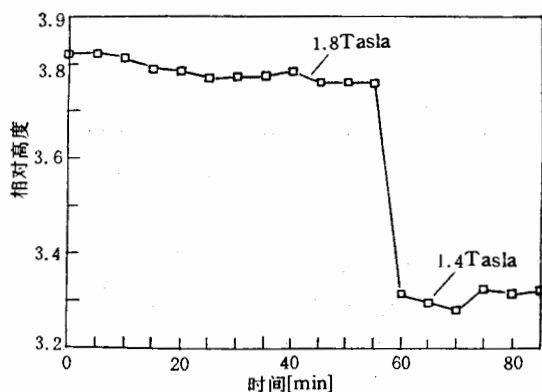


图5 4W1A束线的稳定性
纵坐标是相对于探测器中心点的高度

稳定.

六、小 结

对引入4W1A束线前端的同步辐射光的初步观测表明:实测值与理论预计值基本一致,束线的设计安装基本是成功的,同时还需进一步测试调整. BEPC处于试运行阶段,轨道参数还有待调整.此外,同步光的测试、准直都有待提高.

作者对调束工作人员,特别是吴坚武、陈仁怀等的支持,表示感谢.

参 考 文 献

- [1] X-ray Data Booklet, Edited by D. Vaughan, Center for X-ray Optic, 1986.
- [2] C. X. Wang, D. C. Xian, RADID Software for Insertion Device Radiation Calculation Proceeding of the 1989 International Conference on Synchrotron Radiation Application, Hefei. (1989)
- [3] 崔明启等,“分离电离室同步辐射束线位置监测器”《高能物理与核物理》,12,(1988)726.

**PRELIMINARY OBSERVATION OF THE SYNCHROTRON
RADIATION SPOT FROM THE WIGGLER BEAM
LINE 4W1A AT IHEP**

TANG ESHENG CUI MINGQI LIU LIBING XU WENXUAN CHAO ZHIYU WU YINGRONG
WANG CHUNXI XIAN DINGCHANG

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

ABSTRACT

The first measurement results of the characteristics of the synchrotron radiation spot from the photon beam line 4W1A, such as the size, intensity, energy spectrum and position stability are reported in this paper. The results are quite consistent with the theoretical predictions.