

3B1B 光束线单色器设计及标定

钱海杰¹⁾ 阎永廉 陶冶

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 单色器为同步辐射光束线的关键部件,它的功能是选定实验所需的光子能量,其性能的好坏直接影响到束线的整体性能. Seya-Namioka 型光栅单色器由于其结构比较简单,性能较好,所以在 VUV 真空紫外波段光束线中得到了广泛的应用. 本文介绍了新改建 3B1B 光束线的单色器结构设计,性能指标以及安装调试,并介绍了单色器相关工作参数的标定方法.

关键词 同步辐射 软 X 光束线 光栅单色器

1 引言

北京同步辐射实验室 3B1B 光束线为 VUV 真空紫外软 X 光束线,用于 VUV 荧光光谱、真空紫外发光材料和紫外圆二色的研究. 原束线存在接收度过小(光强弱)、光学元件易污染(真空差)、实验条件艰难等问题,因此在 2001 年考虑对原束线进行改建设计. 在原束线位置条件下,新前置镜增大了光束线的垂直及水平的接收度,并能够垂直升降以满足与光刻束线的分时使用. 根据实验要求,新改建的 3B1B 光束线能量范围为 120—350nm,因而决定选用了 1m 的 Seya-Namioka 型单色器^[1,2].

2 单色器设计

Seya-Namioka 型单色器为一种固定包含角的光栅单色器,包含角的大小约为 70°,这种单色器在 VUV 真空紫外波段范围内能够以固定入射、出射狭缝的模式下工作而满足光栅的聚焦条件,因此使得光束线在能量扫描时的操作较为简单稳定. 对于 3B1B 光束线,选定的光栅为球面衍射光栅,入射臂及出射臂长(即入射、出射狭缝与光栅中心之间的距离)为 818mm,所用球面衍射光栅的半径为 998.8mm.

根据光栅方程^[3]有: $\lambda = 2d\cos\theta\sin\phi$, λ 为工作波长, ϕ 为在该波长下光栅的转动角, θ 为光栅半包

含角, d 为光栅刻线宽度.

根据实验的需求,3B1B 光束线的能量范围为 120—350nm,选用光栅的刻线密度为 12001/mm. 图 1 为光栅在设计能量内的转动范围. 根据光栅方程有 $\Delta\lambda/\lambda = \text{ctg}\phi \cdot \Delta\phi$,因此在分辨能力为 1000 时要求光栅转角精度为: $\Delta\phi = \text{tg}\phi \cdot 10^{-3} < \text{tg}5.04^\circ \cdot 10^{-3} = 88\mu\text{rad}$,如果转动半径为 100mm,则推动精度为 $\pm 4.4\mu\text{m}$.

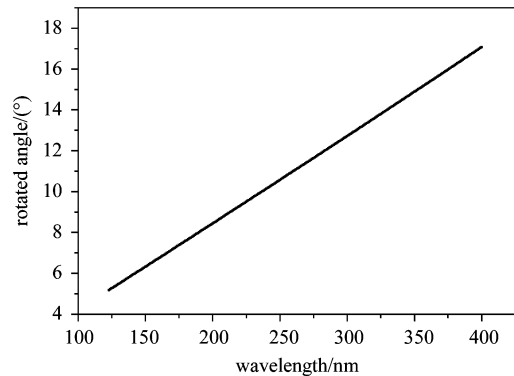


图 1 光栅转角范围

对于球面光栅单色器,光子能量的带宽来源于多项贡献: $\Delta\lambda^2 = \Delta\lambda_1^2 + \Delta\lambda_2^2 + \Delta\lambda_A^2 + \Delta\lambda_{SEG}^2 + \Delta\lambda_D^2$,式中各项分别为入射狭缝宽度、出射狭缝宽度、像差、光栅的面形精度和衍射极限决定的带宽. 由于新改建束线主要保证束线的光通量,对分辨的要求相对不是很高,实验时一般选取较大狭缝尺寸:入射狭缝约为 300 μm (根据束线追迹结果此时入射狭缝传输

1) E-mail: qianhj@ihep.ac.cn

效率为 100%)，出射狭缝约 250 μm ，因此狭缝为束线分辨的主要贡献，公式可简化为： $\Delta\lambda^2 \approx \Delta\lambda_1^2 + \Delta\lambda_2^2$ 。从图 2 可以看出，在采用的设计方案下，很容易达到 500 的分辨能力。

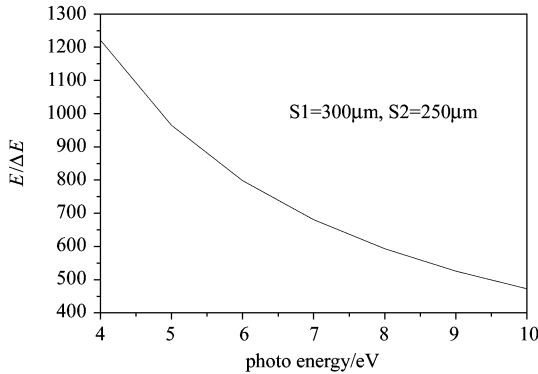


图 2 束线的分辨能力

3 单色器安装及标定

3.1 光栅转动机构的工作原理及其参数的标定

光栅的转动机构如图 3 所示。光栅绕通过 O 点，垂直于纸面的轴转动。OA 为转动臂，推动杆的前端通过一个转动轴承与 OA 接触。当推动杆移动距离为 h 时，光栅将有一转动角角度 ϕ 。可以看出在转动过程中直角边保持长度 L 不变，因此可以把这种机构称为正切机构。在光栅常用的正弦机构中，转动轴承在转动臂的前端，转动过程中斜边保持长度不变。把杆和 OA 垂直的位置作为转动的起始点（零点）。对于转角 ϕ ，推杆的移动应为

$$h = L \tan \phi - r(1/\cos \phi - 1), \quad (1)$$

式中 r 为推杆顶端的滚动轴承的半径，在实际结构中选用的值为 $r = 4\text{mm}$ 。

单色器转动机构的转臂长度 L 设计值为 100mm，但需对其装配后的最后值进行标定。同时还应对零点转动角进行标定。

在光栅箱外完成了光栅的安装，并用 He-Ne 激光器及垂线对光栅底座的姿态（转角、滚角、摆角）进行了初步调整，以保证其不同能量下光斑位置一致性、一级光和零级光位置的一致性。初步调整之后在光栅箱内完成光栅转动座和推杆的组装，然后对这一转动机构进行标定。

先用一般机械准直方法初步确定转动零点，用 ϕ_0 表示它对实际零点的偏差，从初步确定的零点转

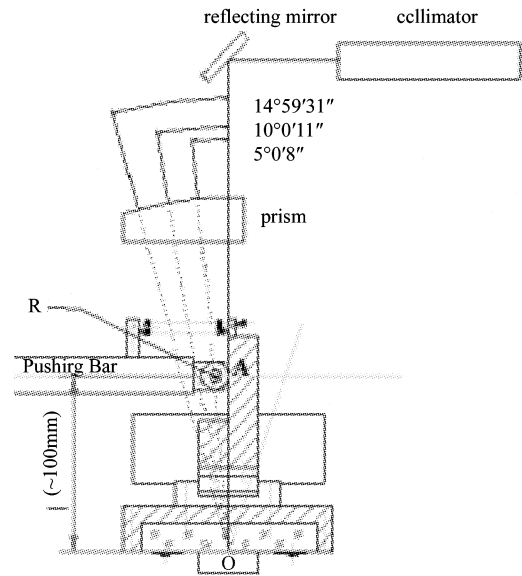


图 3 光栅转动机构及标定示意图

动角 ϕ ，因此推杆的移动与转角的关系为

$$\Delta h = L(\tan \phi - \tan \phi_0) - r(1/\cos \phi - 1/\cos \phi_0). \quad (2)$$

如果已知两个转角，就可以标定出 L 和 ϕ_0 。

图 3 中转动机构上方即为单色器标定系统。将一个棱镜固定在光栅转动座的背面，标定镜有 3 个镜面，棱镜转动半径约 204.5mm，每个棱面的宽度 17.5mm，它们之间的夹角已经由国家航天遥感光学测量实验室用 T3000 经纬仪测定（读数精度 0.1'）为 $\phi_1 = 5^\circ 0' 28''$ ， $\phi_2 = 10^\circ 0' 11''$ ，这样一来就可以保证棱镜（也即光栅）每转动 5° 左右入射光都能被每个棱面反射回来，用平行光管（其读取的分辨能力为 2''）读取反射光的角度。将转动机构置于初步确定的零位，调整平行光管，使反射叉线位于坐标零点。通过平行光管检测 B、C 两个镜面的发射光，将光栅转动机构转动 ϕ_1 、 ϕ_2 ，分别记录两个转角时的推杆移动距离，由式(2)计算 L 和 ϕ_0 。

在实际标定过程中，首先初步确定转动机构的零点，即将水泡置于推动杆驱动滑台上的适当位置，调整光栅箱的姿态（即光栅箱底座的三点支撑），从而使安装在箱体法兰口上的滑台水平。然后将水泡置于光栅固定架的适当位置，移动推杆，使转动臂铅垂。通过以上的步骤，实现了推杆与转动臂的垂直。确定零点的线性编码器读数为 $-15406.5\mu\text{m}$ 。两个转角时的推杆移动距离（将初步零点处清零）由下表 1 数据可见，转动机构的重复精度是相当好的，完全满足设计要求。

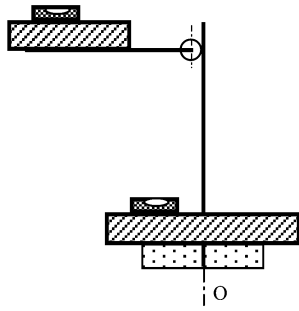


图4 转动机构零点标定

表1 两转角下的推杆测量值

ϕ	$5^{\circ}0'28''(5.0078^{\circ})$	$10^{\circ}0'11''(10.0031^{\circ})$
实验 1	8778.0 μm	17619.5 μm
实验 2	8777.5 μm	17619.0 μm
实验 3	8777.5 μm	17619.5 μm
平均值 Δh	8777.7 μm	17619.3 μm

将表 1 中的实验值代入式(2)可算得

$$L = 100139 \mu\text{m} .$$

将 ϕ_1 这一组值和已得到的 L 值代入式(2)算得

$$\phi_0 = -0.01045^{\circ} .$$

由式(1),在初步确定的零点处,相对于标定得到的零点(以后简称为零点),推杆移动了

$$h_0 = L \tan \phi_0 - r \left(\frac{1}{\cos \phi_0} - 1 \right) \approx -18.3 \mu\text{m} .$$

因此,零点的位置为(以下以 H 表示位置,即线性编码器的读数)

$$H_0 = -15406.5 - (-18.3) = -15388.2 \mu\text{m} .$$

将式(1)变成更便于应用的位置的表达式

$$H_{\phi} = L \tan \phi - r(1/\cos \phi - 1) + H_0 .$$

其中

$$L = 100139 \mu\text{m}, H_0 = -15388.2 \mu\text{m} .$$

3.2 光栅单色器包含角的标定及单色器的使用

3.2.1 包含角的标定:

(1) 将出射狭缝适当关小,转动光栅,通过监测狭缝后的光强,确定零级光的位置为 H_{zero} ,由公式(3)计算零级光的转角 ϕ_{zero} .

(2) 将出射狭缝关到适当的开度(保证通量下的最小值),扫描已知波长 λ_c 的光谱并确定该谱线的位置为 H_c ,由式(3)计算该波长的转角 ϕ_c .

(3) 由光栅方程计算单色器半包含角

$$\theta = \cos^{-1} \{ \lambda_c / [2d \sin(\phi_c - \phi_{\text{zero}})] \} .$$

实验后得到:安装后的单色器半包含角

$$\theta = 34.72^{\circ}; \phi_{\text{zero}} = 0.22668^{\circ} .$$

3.2.2 单色器的使用

对于确定的波长,由光栅方程计算光栅相对零级光的转角,减去 ϕ_{zero} ,即为光栅相对零点的转角 $\phi_{\lambda} = \sin^{-1} [\lambda / (2d \cos \theta)] - \phi_{\text{zero}}$,然后由式(3)计算推杆的位置.由以上的逆过程,可以由推杆的位置计算对应的波长.

4 结论

根据标定的数据结果编写了相关的控制软件,以满足能量扫描和实验采谱的要求.调试标定后的单色器已投入正常的工作,性能稳定,操作简单,在同步辐射专用光及兼用光实验中均较好地满足了实验的要求.

参考文献 (References)

1 CHANG Chu-Nan, CHEN Ching-lue et al. NIM, 1988, **A266**: 436—440

2 Namba H, Masuda M, Kuroda H et al. Rev. Sci. Instrum., 1989, **60** (7):1917—1919

3 Johnson R L. Handbook on Synchrotron Radiation, **1A**

Design and Calibration of the Monochromator in 3B1B Beamline

QIAN Hai-Jie¹⁾ YAN Yong-Lian TAO Ye

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract Beamline 3B1B is a VUV beamline in Beijing Synchrotron Radiation Laboratory, it was designed for studies on VUV fluorescence spectroscopy and VUV Circular Dichroism spectroscopy of biological macromolecular. Due to the very small acceptance and bad vacuum, the beamline didn't fulfill the experiments well in past years. A new VUV beamline was designed since 2001, the photon energy range is from 120nm to 350nm. 1 meter Seya-Namioka monochromator was selected for new 3B1B beamline because of the good performance and wide use in VUV ultraviolet beamline, the entrance slit and exit slit can be fixed when the different wavelength can be selected. In the paper, design and performance of the monochromator is introduced, also the calibration of the monochromator is presented.

Key words synchrotron radiation, VUV beamline, seya-namioka monochromator

1) E-mail: qianhj@ihep.ac.cn