

空间无缝光谱仪光谱效率测试及误差分析*

李顺^{1,2†} 季杭馨^{1,2} 章华涛^{1,2} 张淑玲^{1,2} 胡中文^{1,2,3‡}

(1 中国科学院南京天文光学技术研究所 南京 210042)

(2 中国科学院天文光学技术重点实验室(南京天文光学技术研究所) 南京 210042)

(3 中国科学院大学南京学院 南京 211135)

摘要 中国空间站巡天望远镜(Chinese Space Survey Telescope, CSST)无缝光谱组件将安装在巡天模块主焦面探测器前面,用于开展大视场、宽波段的无缝光谱观测。无缝光谱组件作为巡天模块的重要色散元件,由24块光栅和12块滤光片拼接而成。光谱效率是无缝光谱组件的重要技术指标之一,在研制过程中,需要对无缝光谱组件的光谱效率进行检测。由于无缝光谱组件外形包络较大,无法使用商业光谱效率测量设备进行检测。针对无缝光谱组件光谱效率测试的问题,首先介绍了实验室搭建的无缝光谱组件光谱效率检测装置的基本结构和测量原理,接着给出了无缝光谱组件鉴定件光谱效率测量的步骤和结果,最后利用误差合成理论分析并计算了测量结果的精度。测量和计算结果表明,无缝光谱组件鉴定件平均光谱效率分别为GU波段51.9%、GV波段67.9%、GI波段71.6%(其中900–1000 nm波段为67.7%),满足技术指标要求。

关键词 航天器; 仪器; 仪器: 光谱仪, 望远镜, 方法: 分析

中图分类号: P171; **文献标识码**: A

1 引言

中国空间站巡天望远镜(Chinese Space Survey Telescope, CSST)是一台口径2 m、焦距28 m的空间巡天望远镜,将主要用于开展大规模多色成像与无缝光谱巡天工作^[1–4]。其中空间无缝光谱组件由24块光栅和12块滤光片拼接而成,位于巡天模块探测器阵列的前方,光栅距离探测器面约70 mm。作为巡天模块的重要组成部分,无缝光谱组件将配合巡天主焦面开展3个波段GU (255–400 nm)、GV (400–620 nm)和GI (620–1000 nm)的无缝光谱观测^[5]。根据研制计划,无缝光谱组件将和滤光片组件一起安装在巡天模块探测器阵列的前方。图1为无缝光谱组件与滤光片组件安装在一起后的

状态(本文称为联合组件),根据安装位置不同无缝光谱组件分为无缝光谱组件I和无缝光谱组件II,并分别位于滤光片组件的两侧。

光谱效率是无缝光谱组件的重要技术指标之一,无缝光谱组件出厂前需要对其光谱效率进行检测。由于联合组件体积包络的限制,难以使用商用光谱效率测量设备直接测量其光谱效率。在调研了多种光谱效率和光谱透过率测量装置的结构和原理^[6–11],并咨询相关专家后,我们在实验室现有的无缝光谱组件光谱像质和分辨率测量装置的基础上增加了无缝光谱组件光谱效率测量功能,使用原装置中的QHY4040 PRO-BSI相机完成了无缝光谱组件鉴定件光谱效率的测量。本文介绍了无缝光谱

2024-03-27收到原稿,2024-05-21收到修改稿

*国家自然科学基金项目(12273081、12173061)资助

†sli@niaot.ac.cn

‡zwhu@niaot.ac.cn

组件鉴定件光谱效率测量装置的组成和工作原理以及光谱效率的测量过程和测量结果, 并对测量结果的精度进行了分析.

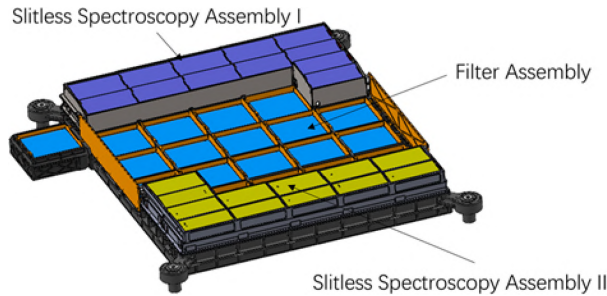


图 1 无缝光谱和滤光片联合组件模型图

Fig. 1 Model diagram of slitless spectroscopy and filter assembly

2 测试装置和原理

空间无缝光谱组件光谱效率的验收测试采用光学性能检测系统来完成. 该检测系统的原理框图如图2所示, 其主要由F14光学模拟器、高精度光栅组件定位平台、QHY4040 PRO-BSI相机和光源组成. 检测系统中F14光学模拟器可以将光纤入射的光变成F14光束出射, 用于模拟CSST主光学系统输出的F14光束. 该光学模拟器固定在一个4维运动平台上, 可以进行Y方向(纸面内水平方向)和Z方向(纸面内垂直方向)移动以及绕X轴(X轴方向, 垂直于纸面方向)和Y轴的旋转, 用于模拟CSST主光学系统在不同视场点的出射光束. 无缝光谱组件安装在一维位移台上, 可沿X方向前后移动, 以实现对不同位置光栅或同一块光栅不同测试点的像质和光谱效率进行测试. 测试相机安装在二维位移台上, 可沿X轴和Y轴在水平面内实现前后和左右方向移动, 用于模拟不同位置的探测器, 以接收光谱像.

该检测系统的光源由激光驱动白光光源(Laser-Driven Light Source)、单色器(Acton SP2500i)、硅光电二极管, 光束整形耦合系统以及导光光纤组成, 其基本结构如图3所示. 光源系统固定在避光环境外的光学平台上, 利用透镜和光纤跳线将单色器的出射光引入到F14光学模拟器的入光口. 为了测试光谱效率, 在光路中增加了光电二

极管, 用于监控输出光强的变化.

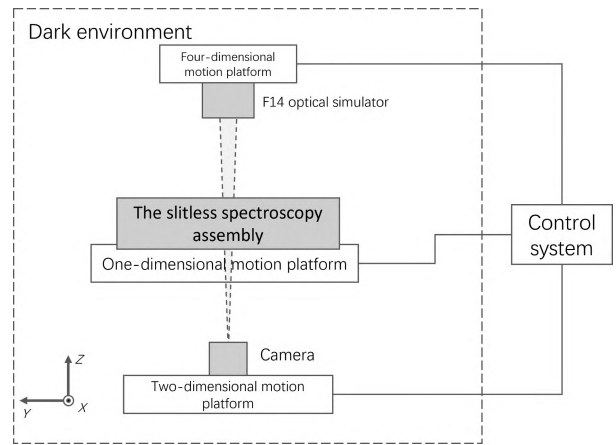


图 2 无缝光谱组件检测系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of slitless spectroscopy assembly testing system

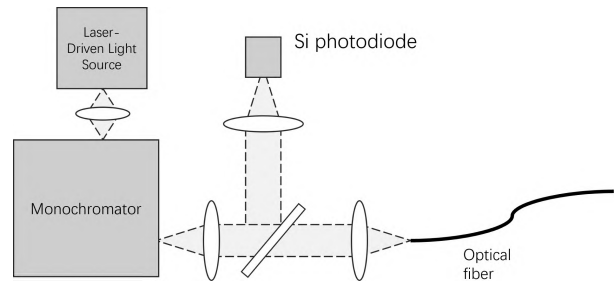


图 3 无缝光谱检测系统光源示意图

Fig. 3 Schematic diagram of light source for slitless spectroscopy assembly testing system

使用该检测系统进行测试前, 需要通过实验检测并定位图2中3个位移平台的相对坐标, 以确定整个位移系统的空间坐标. 然后将无缝光谱组件安装在一维平台上, 并调整组件与相机感光面的相对位置, 使其与设计值相符. 根据设计方案中不同测试点的入射光束角度, 设定测量位置和光束角度, 然后进行测量. 检测系统的三维模型与实物图分别见图4和图5.

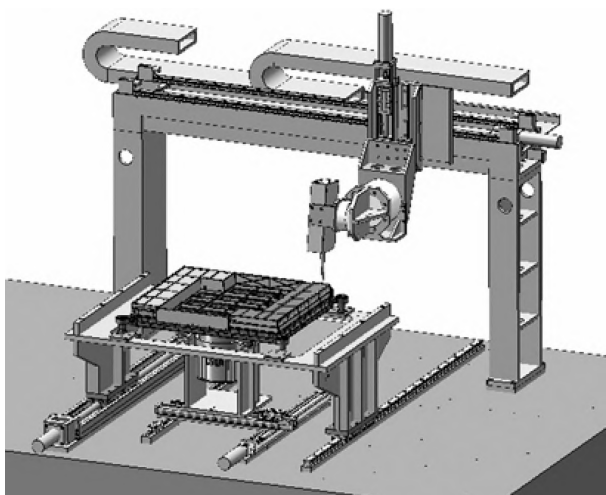


图 4 无缝光谱组件测试装置三维模型

Fig. 4 The 3D model of slitless spectroscopy assembly testing system

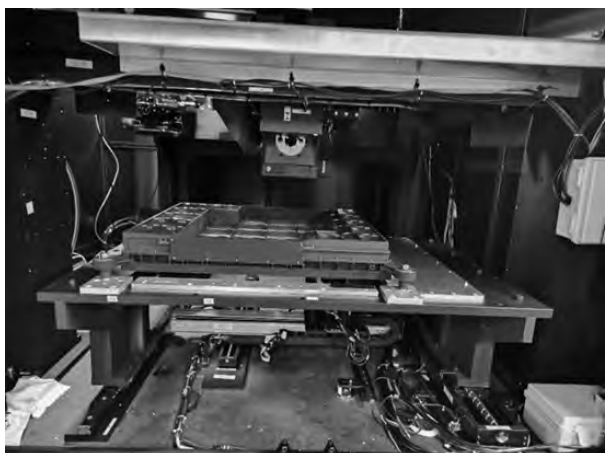


图 5 无缝光谱组件测试装置

Fig. 5 The slitless spectroscopy assembly testing system

无缝光谱组件光谱效率测量采用相机拍摄图像并统计光斑像灰度值代表光斑能量的方式进行。在联合组件状态下测量无缝光谱组件某一块光栅某个测量点在波长 λ_0 下光谱效率的方法和步骤如下: (1)将单色器输出波长设置为 λ_0 ; (2)根据设计文件找到对应测量点入射光束的角度, 将测量点坐标和入射光束角度坐标输入检测系统控制软件; (3)在未安装无缝光谱组件的情况下, 使用相机在

测量点像面位置, 接收F14光学模拟器以设定角度出射光束所形成的光斑图像, 记为入射光图像, 同时记录下监控输出光强变化的光电二极管输出电压; (4)移开F14光学模拟器, 将无缝光谱组件安装至一维位移平台; (5)控制位移平台和F14光学模拟器移至待测试光栅的测量点位置, 并根据设定的输出光束角度调整F14光学模拟器的状态; (6)再次移动相机至该测量点像面位置, 采集光谱图像记为输出光谱图像, 并记录光电二极管输出电压; (7)保存采集到的图像, 完成测试。

联合组件的验收测试实验选择测试了无缝光谱组件鉴定件每块光栅中一个视场点对应的光谱效率, 同时为了测量结果准确, 测试现场在总共3个波段的20块光栅中又随机增加了6个视场点进行测量, 选择测量的视场点排布如图6所示。(无缝光谱组件鉴定件GV5、GV6、GI7和GI8位置未安装光栅, 故鉴定件共有20块光栅。)无缝光谱组件共3个工作波段, 每个工作波段选择5个波长进行测试, GI波段由于需要给出900–1000 nm的平均光谱效率, 增加了这部分波段的3个测试波长, 测试现场随机增加了GU波段310 nm一个测试波长, 最终无缝光谱组件鉴定件光谱效率的测试波长如下表1所示。

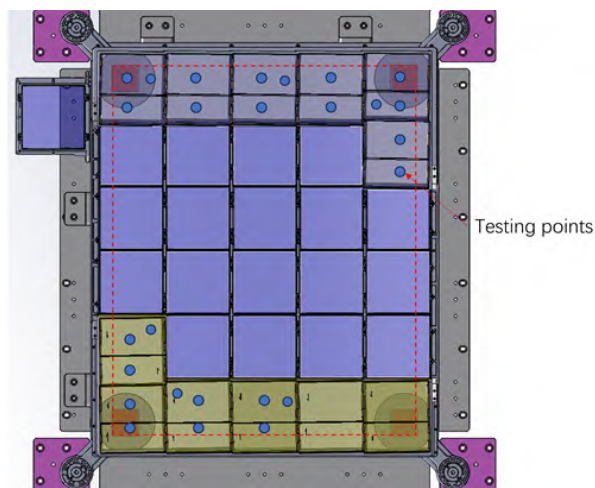


图 6 联合组件检测视场点(蓝色圆圈为检测视场点)

Fig. 6 Schematic diagram of the testing points for united assembly (blue circles represent the testing points)

表 1 无缝光谱组件光谱效率检测使用的波长
Table 1 The wavelength of light used for the spectral efficiency testing of the slitless spectroscopy assembly

GU	GV	GI	GI
255 nm	400 nm	620 nm	975 nm
295 nm	455 nm	715 nm	1000 nm
310 nm	510 nm	810 nm	-
330 nm	565 nm	850 nm	-
365 nm	620 nm	900 nm	-
400 nm	-	950 nm	-

实际测量过程中,为了联合组件鉴定件的安全,不宜频繁装卸,因此在确定需要测量的视场点和波长的情况下,首先一次测量完未安装无缝光谱组件情况下的所有入射光斑图像.然后安装联合组件鉴定件,再一次测量完成通过无缝光谱组件后的所有1级光谱图像,最后统一处理测量结果并计算不同视场点的光谱效率.

3 测试结果处理

无缝光谱组件鉴定件光谱效率测试过程中采集的入射光斑图像和通过光栅后的光谱图像如下图7所示.由于测试采用的入射光为单色光(光谱带宽小于0.5 nm),所以入射光图像和1级光谱图像都为单个光斑.测试结果的处理过程如下:(1)分别在采集的入射光斑图像和1级光谱图像中提取光斑像及背景,并从光斑图像中减去背景;(2)在光斑中心约0.6''半径区域范围内,统计光斑全部灰度值;(3)根据采集到的入射光斑的灰度值 I_0 和积分时间 T_0 以及通过无缝光谱组件后采集到的1级光谱像的灰度值 I_1 和积分时间 T_1 ,通过下式可以获得该波长下无缝光谱组件的光谱效率 E :

$$E = \frac{I_1 T_0}{I_0 T_1} \times \frac{N_0}{N_1},$$

上式中 N_0 和 N_1 分别为采集入射光斑和1级光谱像时光电二极管的电压值,用于校正测量过程中的光强波动.

表2、表3和表4分别给出了GU、GV和GI波段中心波长下测量获得的入射光斑和1级光谱图像的灰度值、积分时间、光电二极管电压 N_x ($x=0, 1$)以及计算获得的光谱效率.

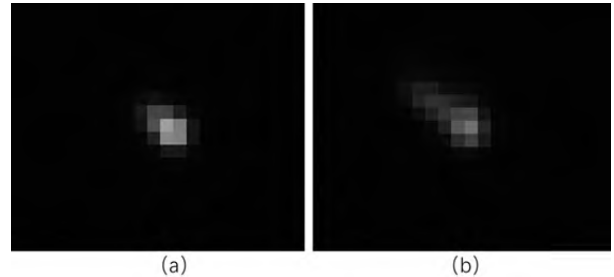


图 7 GV3光栅510 nm入射光斑(a)和1级光谱像(b)

Fig. 7 The input spot (a) and spectral image (b) for GV3 at 510 nm

无缝光谱组件鉴定件所有光栅在测试波长下的光谱效率如表5、表6和表7所示,测量中具有两个测试点的光栅在表格中给出的为两个测试点的平均值.根据测试结果GU波段的平均光谱效率为51.9%,GV波段的平均光谱效率为67.9%,GI波段的平均光谱效率为71.6%,其中900–1000 nm波段的平均光谱效率为67.7%.

4 测量误差分析和计算

根据定义,可以将光谱效率表示成通过无缝光谱组件后的1级光谱的光强和入射光强的比值,如下式:

$$E = \frac{P_1}{P_0}, \quad (1)$$

其中 $P_x = \frac{I_x}{T_x N_x}$ ($x = 0, 1$)称为单位时间内的入射或出射的归化光强, I_x 表示入射或出射光斑灰度值, T_x 代表入射或出射的积分时间, N_x 对应监控光源输出光强变化的二极管输出电压,用于校正光源本身强度变化对测量结果的影响.由于入射光强 P_0 和出射光强 P_1 为分别测量获得的独立变量,根据误差合成理论^[12–13],光谱效率 E 的测量误差可以表示如下:

$$\sigma_E^2 = \left(\frac{\partial E}{\partial P_1} \right)^2 \sigma_{P_1}^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial P_0} \right)^2 \sigma_{P_0}^2, \quad (2)$$

上式中 σ_E 、 σ_{P_1} 和 σ_{P_0} 分别为光谱效率, 出射光强和入射光强的测量误差, 将(1)式代入上式, 可得

$$\sigma_E^2 = \left(\frac{1}{P_0}\right)^2 \sigma_{P_1}^2 + \left(-\frac{P_1}{P_0^2}\right)^2 \sigma_{P_0}^2. \quad (3)$$

表 2 GU光栅330 nm波长的测量结果
Table 2 Testing results of the GU gratings at 330 nm

Test points	Input spot			Spectral image			Spectral efficiency
	Grayscale value	Exposure time/ms	N_0 /V	Grayscale value	Exposure time/ms	N_1 /V	
GU1-Pos1 ^a	332819.79	1.5	5.644	366360.01	3	5.386	0.577
GU1-Pos2	330252.46	1.5	5.651	378619.77	3	5.405	0.599
GU2-Pos1	325351.51	1.5	5.658	363519.37	3	5.419	0.583
GU3-Pos1	328129.55	1.5	5.649	386167.87	3	5.462	0.609
GU4-Pos1	323559.28	1.5	5.681	362949.82	3	5.477	0.582
GU5-Pos1	321930.68	1.5	5.587	397426.49	3	5.640	0.611
GU5-Pos2	320275.20	1.5	5.580	394760.46	3	5.659	0.608
GU6-Pos1	332257.92	1.5	5.585	414485.21	3	5.674	0.614
GU7-Pos1	323280.28	1.5	5.577	391963.72	3	5.686	0.595
GU7-Pos2	318418.65	1.5	5.593	388458.88	3	5.673	0.601
GU8-Pos1	326479.97	1.5	5.605	378025.81	3	5.668	0.573

^a The testing point (Pos1) of corresponding grating (GU1), same applies below.

表 3 GV光栅510 nm波长的测量结果
Table 3 Testing results of the GV gratings at 510 nm

Test points	Input spot			Spectral image			Spectral efficiency
	Grayscale value	Exposure time/ms	N_0 /V	Grayscale value	Exposure time/ms	N_1 /V	
GV1-Pos1	213690.05	0.2	7.851	194477.01	0.3	7.618	0.625
GV2-Pos1	208916.00	0.2	7.861	233629.73	0.3	7.618	0.769
GV2-Pos2	207571.15	0.2	7.847	232412.12	0.3	7.618	0.769
GV3-Pos1	214135.11	0.2	7.819	224706.84	0.3	7.428	0.736
GV4-Pos1	206798.45	0.2	7.813	230972.52	0.3	7.465	0.779
GV7-Pos1	211081.07	0.2	7.706	646373.25	1	7.881	0.599
GV8-Pos1	206213.96	0.2	7.684	233750.03	0.3	7.849	0.740

表 4 GI光栅810 nm波长的测量结果
Table 4 Testing results of the GI gratings at 810 nm

Test points	Input spot			Spectral image			Spectral efficiency
	Grayscale	Exposure	N_0	Grayscale	Exposure	N_1	
	value	time/ms	/V	value	time/ms	/V	
GI1-Pos1	259847.28	2	2.716	307178.76	3	2.815	0.760
GI1-Pos2	260794.31	2	2.719	303536.67	3	2.822	0.748
GI2-Pos1	264590.86	2	2.710	349217.65	3	2.820	0.846
GI3-Pos1	263705.45	2	2.710	362238.00	3	2.824	0.879
GI4-Pos1	256921.12	2	2.712	329367.43	3	2.831	0.819
GI5-Pos1	271824.77	2	2.771	327020.00	3	2.746	0.809
GI5-Pos2	271816.66	2	2.778	324353.65	3	2.752	0.803
GI6-Pos1	271588.27	2	2.813	353955.51	3	2.844	0.860
GI6-Pos2	272053.03	2	2.818	348800.83	3	2.844	0.847

表 5 GU光栅光谱效率
Table 5 The spectral efficiency of GU gratings

Grating	255 nm	295 nm	310 nm	330 nm	365 nm	400 nm
GU1	0.296	0.517	0.542	0.588	0.578	0.477
GU2	0.434	0.598	0.594	0.583	0.549	0.445
GU3	0.355	0.540	0.550	0.609	0.537	0.443
GU4	0.410	0.561	0.555	0.582	0.548	0.441
GU5	0.306	0.508	0.547	0.610	0.640	0.578
GU6	0.287	0.523	0.559	0.614	0.614	0.542
GU7	0.345	0.541	0.570	0.598	0.564	0.609
GU8	0.345	0.535	0.563	0.573	0.544	0.448

表 6 GV光栅光谱效率
Table 6 The spectral efficiency of GV gratings

Grating	400 nm	455 nm	510 nm	565 nm	620 nm
GV1	0.621	0.526	0.625	0.700	0.602
GV2	0.612	0.781	0.769	0.718	0.492
GV3	0.654	0.787	0.736	0.703	0.628
GV4	0.646	0.804	0.779	0.757	0.693
GV7	0.657	0.478	0.599	0.768	0.731
GV8	0.649	0.771	0.740	0.706	0.636

将 $P_1 = E_t P_0$, 其中 E_t 为 E 的真值, 和 $\sigma_{P_1} = E_t \sigma_{P_0}$ 代入上式中, 可得

$$\sigma_E^2 = \left(\frac{1}{P_0}\right)^2 E_t^2 \sigma_{P_0}^2 + \left(-\frac{E_t P_0}{P_0^2}\right)^2 \sigma_{P_0}^2.$$

即:

$$\sigma_E^2 = 2 \left(\frac{E_t}{P_0}\right)^2 \sigma_{P_0}^2. \quad (4)$$

进一步, 可以将光谱效率的相对误差表示如下:

$$\frac{\sigma_E^2}{E_t^2} = 2 \frac{\sigma_{P_0}^2}{P_0^2}, \quad (5)$$

上式表明光谱效率的相对误差是入射归化光强相对误差的 $\sqrt{2}$ 倍, 即

$$\frac{\sigma_E}{E_t} = \sqrt{2} \frac{\sigma_{P_0}}{P_0}. \quad (6)$$

因此, 可以通过计算入射归化光强的相对误差来确定光谱效率测量结果的相对误差. 利用同样的方法可以证明, 光谱效率的相对误差也是出射归化光强相对误差的 $\sqrt{2}$ 倍.

在无缝光谱组件鉴定件光谱效率测量过程中, 我们测量了每个测量点不同波长下的入射光强, 和

通过无缝光谱组件后每个测量点的1级光谱光强. 理论上相同波长下不同测量点的入射光强应该是相同的, 因此可以利用测量过程中得到的不同测量点的入射光强来计算测量结果的相对误差. 根据测量获得的不同测量点的入射光斑灰度值, 积分时间和二极管输出电压, 求得某一波长下不同测量点的入射归化光强, 进而可求得该入射归化光强的相对测量误差(使用标准差计算相对误差, 置信区间取2倍标准差, 置信概率95.45%). 根据入射归化光强的相对测量误差, 可以得到不同波长下光谱效率的相对测量误差如表8所示.

表 7 GI光栅光谱效率
Table 7 The spectral efficiency of GI gratings

Grating	620 nm	715 nm	810 nm	850 nm	900 nm	950 nm	975 nm	1000 nm
GI1	0.623	0.776	0.754	0.744	0.538	0.528	0.509	0.622
GI2	0.625	0.807	0.846	0.809	0.761	0.763	0.705	0.690
GI3	0.617	0.799	0.879	0.863	0.609	0.584	0.573	0.693
GI4	0.608	0.762	0.819	0.809	0.765	0.748	0.755	0.790
GI5	0.589	0.659	0.806	0.878	0.573	0.543	0.632	0.755
GI6	0.583	0.773	0.860	0.840	0.787	0.812	0.778	0.723

表 8 不同波长下每次测量光谱效率的相对测量误差
Table 8 Measurement relative error of spectral efficiency for each measurement at different wavelengths

GU		GV		GI	
wavelength	relative	wavelength	relative	wavelength	relative
/nm	error	/nm	error	/nm	error
255	5.88%	400	4.81%	620	7.02%
295	3.92%	455	4.90%	715	5.13%
310	5.62%	510	4.44%	810	3.29%
330	3.91%	565	4.41%	850	5.50%
365	4.47%	620	7.62%	900	10.35%
400	4.18%	—	—	950	10.17%
—	—	—	—	975	6.70%
—	—	—	—	1000	9.38%

根据每个波长下光谱效率的相对测量误差, 同样可以利用误差合成理论来获得每个工作波段内平均光谱效率的测量误差. 求取不同工作波段内平均光谱效率的方式为求和平均, 公式如下:

$$\bar{E} = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{ij}, \quad (7)$$

其中 E_{ij} 为某块光栅在某一波长下测量获得的光谱效率, n 为同一工作波段内测量光栅数量, m 代表测量波长数量. 如前文所述, 测量过程中先采集完每个光栅位置不同波长的入射光强, 然后安装无缝光谱组件, 再采集所有光栅不同波长下的出射光强, 最后计算得到不同光栅不同波长的光谱效率. 由于每个光谱效率均是利用入射光强和出射光强获得, 因此可以认为这些测量结果之间为正强相关, 相关系数近似为1. 依据误差传递公式, 平均光谱效率 \bar{E} 的测量误差可以表示如下^[14]:

$$\sigma_{\bar{E}}^2 = \left(\frac{1}{nm}\right)^2 \sum_{k \in (i,j)} \sigma_k^2 + \left(\frac{1}{nm}\right)^2 \sum_{k \neq l} \sigma_k \sigma_l. \quad (8)$$

整理后可得:

$$\sigma_{\bar{E}}^2 = \left(\frac{1}{nm} \sum_{k \in (i,j)} \sigma_k\right)^2, \quad (9)$$

上式中 k 和 l 分别代表 (i, j) 的不同组合, σ_k 代表 k 对应的第 i 块光栅第 j 个波长下光谱效率的测量误差. 我们首先利用表8中每次测量结果的相对误差和表5、表6和表7中每次的测量结果, 求得每次测量光谱效率的测量误差(绝对误差). 然后利用(9)式求得GU、GV、GI以及900–1000 nm波段内平均光谱效率的测量误差分别为2.38%、3.52%、5.03%和6.20%(置信概率95.45%).

因此, 无缝光谱组件鉴定件的平均光谱效率分别为: GU波段的平均光谱效率为 $(51.9\% \pm 2.38\%)$, GV波段的平均光谱效率为 $(67.9\% \pm 3.52\%)$, GI波段的平均光谱效率为 $(71.6\% \pm 5.03\%)$, 900–1000 nm波段的平均光谱效率为 $(67.7\% \pm 6.2\%)$.

根据测量结果无缝光谱组件鉴定件的平均光谱效率满足GU波段 $\geq 50\%$; GV波段 $\geq 55\%$; GI波段 $\geq 55\%$ (其中900 nm到1000 nm光谱平均效率 $\geq 54\%$)的要求.

5 结论

本文介绍了中国空间站巡天望远镜巡天模块无缝光谱组件鉴定件光谱效率的测试情况, 文章详细介绍了光谱效率测试装置的原理、组成和测试流程, 并给出了无缝光谱组件光谱效率的测试结果. 最后根据误差理论, 利用测试过程中获得的入射光强信息, 详细分析了无缝光谱组件光谱效率测试结果的精度. 本工作为无缝光谱组件正样件的测试和大体积光学光谱设备光谱效率测量提供了经验. 本文中用于计算光谱效率测量结果精度的方法也可用于类似实验结果精度的评价和计算.

致谢 感谢国家天文台詹虎研究员提出的宝贵意见.

参考文献

- [1] 詹虎. 科学通报, 2021, 66: 1290
- [2] Yuan H B, Deng D S, Sun Y. RAA, 2021, 21: 074
- [3] 王婉好, 刘慧根, 周济林. 天文学报, 2023, 64: 45
- [4] Wang W H, Liu H G, Zhou J L. ChA&A, 2023, 47: 817
- [5] 陈力斯, 胡中文, 邱克强, 等. 中国激光, 2022, 49: 181
- [6] 王圣浩, 邵建达, 刘世杰, 等. 光谱学与光谱分析, 2020, 40: 1973
- [7] 周磊, 郑小兵. 光电工程, 2006, 33: 32
- [8] 何凯, 刘世杰, 侯永强, 等. 光学学报, 2013, 33: 28
- [9] 谭力, 刘玉玲, 余飞鸿. 光学仪器, 2004, 26: 9
- [10] Martin R, Michael M, Christian M, et al. OptL, 2014, 39: 323
- [11] Yang L, Zeng L J, Li L F. ApOpt, 2014, 53: 1143
- [12] 梁晋文, 陈林才, 何贡. 误差理论与数据处理. 北京: 中国计量出版社, 2001: 67
- [13] Barry N T, Chris E K. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. Washington, DC: Government Printing Office, 1994: 7
- [14] 叶德培, 赵峰, 施昌彦, 等. 中华人民共和国国家计量技术规范: 测量不确定度与评定. JJF1059.1-2012. 2012

Spectral Efficiency Testing and Error Analysis of Space Slitless Spectrograph

LI Shun^{1,2} JI Hang-xin^{1,2} ZHANG Hua-tao^{1,2} ZHANG Shu-ling^{1,2} HU Zhong-wen^{1,2,3}

(1 *Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042*)

(2 *CAS Key Laboratory of Astronomical Optics & Technology, Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Nanjing 210042*)

(3 *University of Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135*)

ABSTRACT The slitless spectroscopy assembly of the Chinese Space Survey Telescope (CSST) will be installed in front of the main focal plane detector of the sky survey module to conduct wide-field, wide-band slitless spectral observations. As an important dispersion element of the sky survey module, the slitless spectroscopy assembly is composed of 24 gratings and 12 filters. Spectral efficiency is one of the important technical indicators of the slitless spectroscopy assembly, and it needs to be tested during the development process. Due to the large envelope of the slitless spectroscopy assembly, commercial spectral efficiency measurement equipment cannot be used for testing. This paper addresses the issue of spectral efficiency testing for the slitless spectroscopy assembly. Firstly, the basic structure and measurement principles of the slitless spectroscopy assembly spectral efficiency testing system built in the laboratory are introduced. Then, the steps and results of the spectral efficiency measurement for the initial sample of the slitless spectroscopy assembly are given. Finally, the accuracy of the measurement results is analyzed and calculated using error synthesis theory. The measurement and calculation results show that the average spectral efficiency of the initial sample for the slitless spectroscopy assembly is 51.9% in the GU band, 67.9% in the GV band, and 71.6% in the GI band (67.7% in the 900–1000 nm band), meeting the technical requirements.

Key words space vehicles: instruments, instrumentation: spectrographs, telescopes, methods: analytical