

引用格式: ZHANG Kai, WANG Boqing, YUE Zhongyu, et al. Development of Astronomical Spectrographs for the 1.2-meter Telescope of Sun Yat-Sen University (Invited)[J]. Acta Photonica Sinica, 2023, 52(5):0552205

张凯,王伯庆,乐中宇,等. 中山大学 1.2 m 望远镜天文光谱仪的研制(特邀)[J]. 光子学报, 2023, 52(5):0552205

## 中山大学 1.2 m 望远镜天文光谱仪的研制(特邀)

张凯<sup>1,2</sup>, 王伯庆<sup>1,2,3</sup>, 乐中宇<sup>1,2</sup>, 新其其格<sup>1,2</sup>, 周彤<sup>1,2</sup>, 姜明达<sup>1,2</sup>,  
王靓<sup>1,2</sup>, 马波<sup>4</sup>, 李正阳<sup>1,2</sup>

(1 中国科学院国家天文台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, 北京 100049)

(4 中山大学 物理与天文学院, 珠海 519082)

**摘要:** 中山大学计划在珠海校区大南山台址建设一座以 1.2 m 望远镜为核心的多功能天文观测设施。在无改正镜组条件下, 望远镜可覆盖 15' 的全视场, 并在消旋器下方设置一个八面体卡焦单元, 容纳多个观测终端仪器, 实现天文光谱观测和多色成像观测之间的功能切换。其中, 天文光谱观测设备包括一台长缝光谱仪、一台高分辨率光纤光谱仪和一套波长定标装置。长缝光谱仪提供缝长  $\geq 5'$ 、中低分辨率  $R=1\ 000\sim 3\ 000$  的光谱观测功能, 可针对星系、星团等扩展源目标进行有效观测。高分辨率光纤光谱仪提供高分辨率  $R\geq 30\ 000$ 、覆盖 400~900 nm 的单目标光谱观测功能, 可针对特殊点源天体进行高精度化学丰度分析与视向速度测量。本文详细介绍了中山大学 1.2 m 望远镜配套的天文光谱仪器研制内容。

**关键词:** 天文望远镜; 长缝光谱仪; 高分辨率光谱仪

中图分类号: TH744.1

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20235205.0552205

### 0 引言

中山大学拥有悠久的天文学教育和研究历史, 1927 年创办了国内首个天文学系, 1929 年在广州越秀山修建中大天文台, 2015 年物理与天文学院在珠海校区成, 天文系于 2019 年开始招收天文学本科生。中山大学物理与天文学院天文系致力于星系宇宙学、恒星与行星物理、多信使天文学、天文仪器技术方法等方向进行学科建设和科学研究。学校正在珠海校区大南山山顶(22.344 191 N, 113.557 600 E)上建设一座兼顾教学与科研的现代化天文观测设施。该台址拥有良好的天文观测条件, 海拔 407 m, 年可观测天数在 120 天, 可观测夜视宁度在 0.6"~2.5"。

中山大学 1.2 m 望远镜是一架多功能天文观测设施, 拥有一块全口径 1.2 m 的主镜, 可在 15' 全视场内开展多样化科学观测, 实现科教融合的建设目的<sup>[1]</sup>。其中, 三色相机将提供天体实时颜色信息帮助快速识别和分类目标天体; 长缝光谱仪可针对点源和扩展源提供低分辨率( $R=1\ 000\sim 3\ 000$ )光谱观测能力, 助力研究星系、星团等目标的形成与演化; 高分辨率光纤光谱仪将提供单目标高分辨率( $R\geq 30\ 000$ )光谱观测能力, 助力特殊天体化学丰度和视向速度测量等。

中山大学 1.2 m 望远镜研制项目的最大特点在于集合三色成像和高低分辨率光谱的多功能观测手段。高集成度使得高校师生在开展教学观测时不受拆装仪器的专业技能限制, 可快速灵活切换不同观测方式, 有效满足不同学科方向的教学与研究需求。这是科教融合的一种有益尝试, 也是对 1 m 级天文观测设备研制技术的新挑战。其中, 三色相机丰富了变源、暂现源的研究手段, 可以实时获取目标源的颜色信息以对各类候选体进行快速分类与证认, 成为了当前天文成像观测的新潮流, 如正在开展试观测的云南大学多通道

基金项目: 中国科学院青年创新促进会优秀会员(No. Y202018), 国家自然科学基金(No. 11773047)

第一作者: 张凯, kzhang@niaot.ac.cn

收稿日期: 2022-12-30; 录用日期: 2023-03-13

<http://www.photon.ac.cn>

测光巡天望远镜(Multi-channel Photometric Survey Telescope, Mephisto)<sup>[2]</sup>,将凭借三台总像素达10亿的相机“录制”宇宙天体运动和变化的“彩色记录片”。

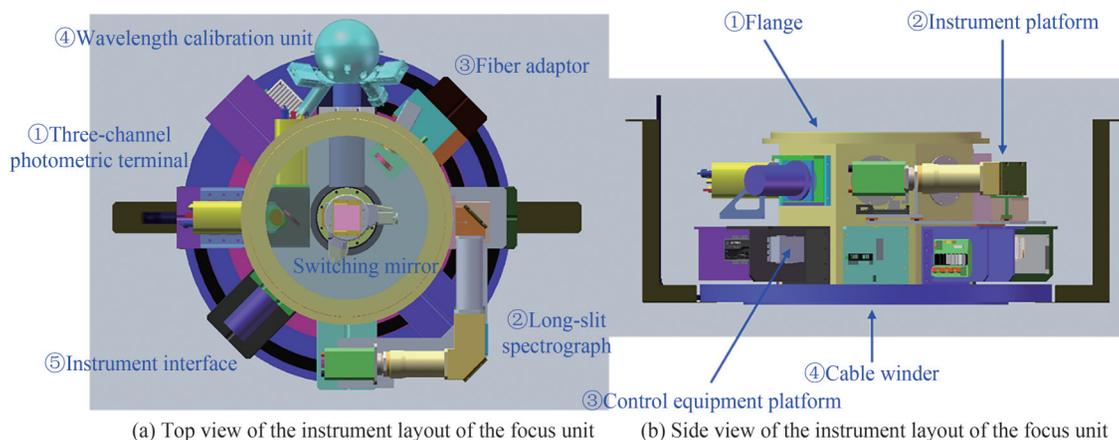
中山大学1.2 m望远镜配置的两台天文光谱仪也各具特色。长缝光谱仪借鉴了源自欧洲南方天文台(European Southern Observatory, ESO)暗弱目标成像光谱仪(ESO Faint Object Spectrograph and Camera, EFOSC)<sup>[3]</sup>的经典设计思路。其光学系统由准直透射镜组和成像透射镜组构成,这种透射式成像光谱仪于1984年首次科学观测,其宽视场和高通光效率的观测特点深受天文领域青睐,后续同类仪器(DFOSC<sup>[4]</sup>、BFOSC、YFOSC等)分别被诸多天文机构引进,使用至今。高分辨率光纤光谱仪是天体物理学研究的重要观测装备,主要由阶梯光栅提供所需主色散功能,由横向色散器提供与主色散方向正交的交叉色散功能,从而获得宽波段高分辨率的二维光谱图像。其“白瞳”的光学设计概念到1990年代初逐步成熟<sup>[5]</sup>,较好地解决了高分辨率光谱仪存在相机焦比过快的技术问题,成为了当代天文高分辨率光谱仪的主流设计选择。这种设计概念是在光谱仪中引入二次光束准直结构,使阶梯光栅色散后的光束再次准直,透射在横向色散器附件,形成一个由复色光瞳叠加而成的“白瞳”,从而有效地降低相机的焦比与视场压力。欧洲南方天文台ESO最先把这种设计方法应用在3.5 m新技术望远镜(New Technology Telescope, NTT)的高分辨率光谱仪EMMI(ESO Multi-Mode Instrument)<sup>[6]</sup>的研制上。而后在研制8.2 m甚大望远镜VLT的高分辨率光谱仪UVES(Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph)<sup>[7]</sup>的过程中,欧洲南方天文台ESO比较了其它8~10 m级天文光学望远镜上的高分辨率光谱仪,如Keck望远镜的HIRES<sup>[8]</sup>, Gemini望远镜的HROS<sup>[9]</sup>, Subaru望远镜的HDS<sup>[10]</sup>等,最终选择了“白瞳”设计方案,成就了其优异的观测性能。

本文详细介绍了中山大学1.2 m望远镜配套的天文光谱仪器研制内容及相关的实验室测试结果。对终端仪器的布局、仪器之间快速切换的方法、长缝光谱仪和高分辨率光谱仪的研制方案及实验室测试结果波长定标单元等进行了介绍。

## 1 终端仪器的布局与切换

对于一架1 m级天文望远镜,在卡氏焦点上同时拥有五个终端仪器,其技术挑战集中表现在:1)所有终端仪器集中安装在机械消旋器下方有限的叉臂空间内;2)要求所有终端仪器之间能够快速灵活切换。为此,1.2 m望远镜在消旋器下方计划设置一个八面体的卡焦单元,用于搭载所有成像与光谱终端仪器。在结构方面,卡焦单元自上而下分为四层,分别为:安装法兰、仪器层、电控层、线缆缠绕器,另在外围设置了一个外罩。卡焦单元中心装有一个切换镜及其运动机构,通过转动与平移的组合方式切换各台仪器,如图1所示。这样的设计充分利用多面体的轴对称优势,方便将科学仪器按端口进行安装,标准化的接口设计也保留了未来望远镜更新科学仪器时的便利性,分层设计将光电组件有效分离,便于独立维护和更新。

卡焦单元的主体为八面体结构,从中心到焦面的距离为310 mm,最多可安装八个标准的仪器接口。长缝光谱仪和三色成像相机需要更多空间来安装其组件,最终卡焦单元安装了四个终端仪器,包括:长缝光谱仪、高分辨率光谱仪光纤耦合接口、波长定标单元、三色成像相机,另外保留一个接口(仪器平台),可安装目视终端仪器或未来可能的科学观测仪器。其中,光谱仪和波长定标单元等集中安装在仪器层,仪器电源与



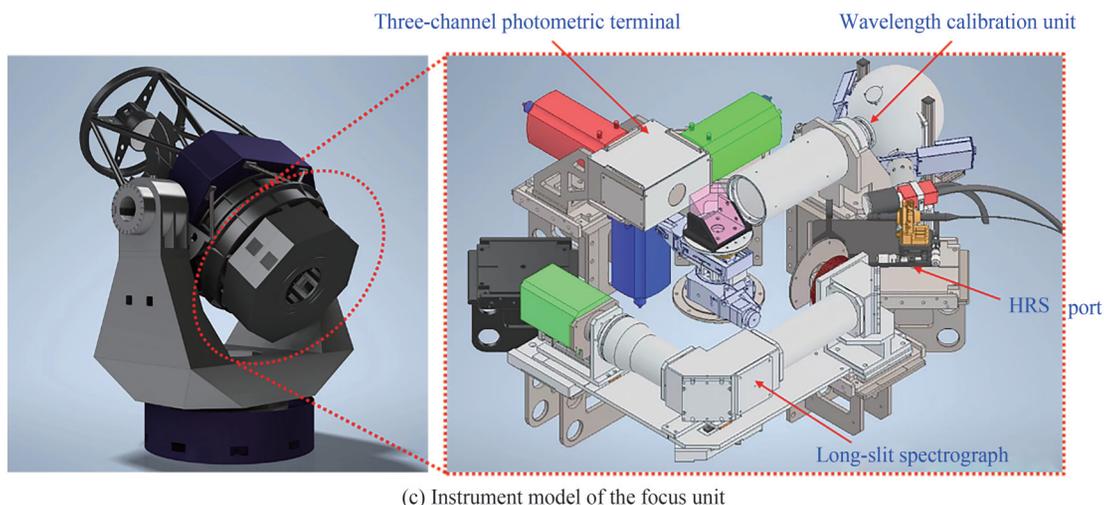


图1 卡焦单元内的不同仪器分布情况

Fig.1 Distribution of different instruments on the focus unit

控制柜等则安装在电控层,分层设置,便于分割功能,有效控制热、磁等因素对仪器观测效能的影响。

## 2 长缝光谱仪

天文光谱仪观测暗弱天体,光谱蕴藏着丰富的天体物理与化学特性。光谱的波长覆盖范围、谱线的精细度和数据的信噪比是影响科学研究的关键要素,与之对应的波长覆盖范围、光谱分辨率和通光效率是光谱仪的核心技术指标。在既定光谱分辨率的条件下,越宽的狭缝可以应对更多大气条件,捕获足够的星光,与仪器通光效率一样影响着观测的效果。表1是长缝光谱仪的主要技术指标,通过切换狭缝宽度来获得不同的光谱分辨率。

表1 长缝光谱仪的主要技术指标

Table 1 The main technical indexes of the long-slit spectrograph

Parameters	Design indexes
Slit	Width: 1", 2", 3" can be switched. Length: $\geq 5'$ Width 3", $R=1\ 000$
Spectral resolution	Width 2", $R=1\ 500$ Width 1", $R=3\ 000$
Waveband coverage	Replacing the gratings to cover different bands from 400 to 900 nm The bandwidth covered by a single exposure $\geq 70$ nm
Sampling rate	$\sim 3$ pixels
Efficiency	Peak efficiency $\geq 40\%$ (From the slit to the optical system in front of the detector)

长缝光谱仪借鉴了欧洲南方天文台ESO为3.6 m望远镜装备的中低分辨率成像光谱仪EFOSC<sup>[2]</sup>等同类仪器的设计理念,采用全透射式光学系统来提升其视场覆盖和通光效率的性能,满足长缝观测需求;使用单级次衍射的棱栅,保持中心波长的色散光轴与入射光轴一致,使光谱仪在切换棱栅时无需二次校准光轴;增设折转反射镜调整光谱仪结构满足卡焦单元的布局要求。由此获得的长缝光谱图像,包含了色散方向的波长信息和长缝方向的空间信息,两个方向相互垂直。光谱仪的光学系统由六部分组成,分别为:可调狭缝、反射镜组、准直镜组、棱栅、成像镜组和探测器,如图2所示。准直镜组选用三镜结构外加场镜的方式对接望远镜焦面与出瞳,准直口径为35 mm,配合棱栅达到所要求的光谱分辨率。成像镜组采用佩兹伐光学结构提供中等视场( $6^\circ \times 4.5^\circ$ )、焦距为206.5 mm的成像能力,保障全视场内像质均匀。

在色散器选择方面,长缝光谱仪采用棱镜+光栅+棱镜的组合结构,保持中心波长的衍射光轴与入射

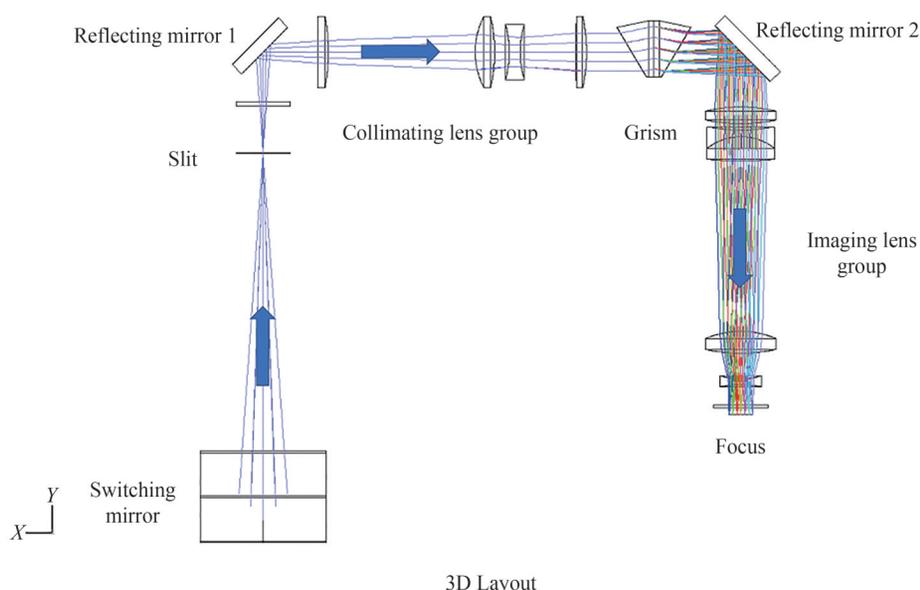


图2 长缝光谱仪的光学设计方案  
Fig2 Optical design of long slit spectrograph

光轴一致。光栅选择更适合宽波段中等色散本领的体位相全息光栅 VPHG, 主要光学参数: 线密度 790 l/mm、工作波段 600~720 nm, 衍射效率峰值  $\geq 85\%$ , 如图 3 所示。表 2 是接力覆盖 400~900 nm 全波段的棱栅参数, 每个棱栅可覆盖至少 70 nm 的工作波段, 波段宽度与中心波长成正比, 最多能够覆盖约 145 nm 波段宽度的光谱。

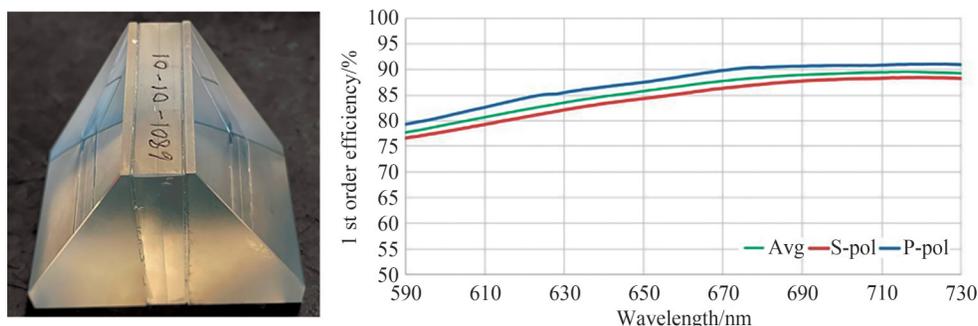


图3 棱栅照片与衍射效率测试曲线  
Fig.3 Grism and diffraction efficiency measurement

表2 适用波段内的棱栅参考参数  
Table 2 Reference parameters of available Grisms in the full band

Waveband	#1	#2	#3	#4	#5
Short wavelength	390 nm	455 nm	535 nm	640 nm	755 nm
Long wavelength	460 nm	540 nm	635 nm	760 nm	900 nm
Line density	1 260 l/mm	1 065 l/mm	890 l/mm	745 l/mm	625 l/mm

在光谱仪的焦面位置, 光束焦比为  $F/5.9$ , 像比例尺约  $33 \mu\text{m}/''$ , 由一台  $2\,000 \times 2\,000$  像素探测器 (像素尺寸  $11 \mu\text{m}$ , 靶面  $22 \text{mm} \times 22 \text{mm}$ ) 采集光谱图像。光谱仪是一种特殊的光学系统, 其像质与波长、视场有关。图 4 使用矩阵式点列图展示长缝光谱仪在焦面不同位置的单波长像质情况, 点源像的弥散斑直径均小于  $1'' \times 1''$  的最小采样范围 ( $33 \mu\text{m} \times 33 \mu\text{m}$ )。在单一工作波段内, 沿长缝方向上各处的同一波长像质均匀一致, 沿色散方向各波长的像质变化较为明显。这是由于不同波长的光束衍射角不同, 远离中心波长的单波长像质略有下降。对比三组不同波段的像质, 可见当光谱仪更换工作波段时, 探测器靶面上各个位置的单

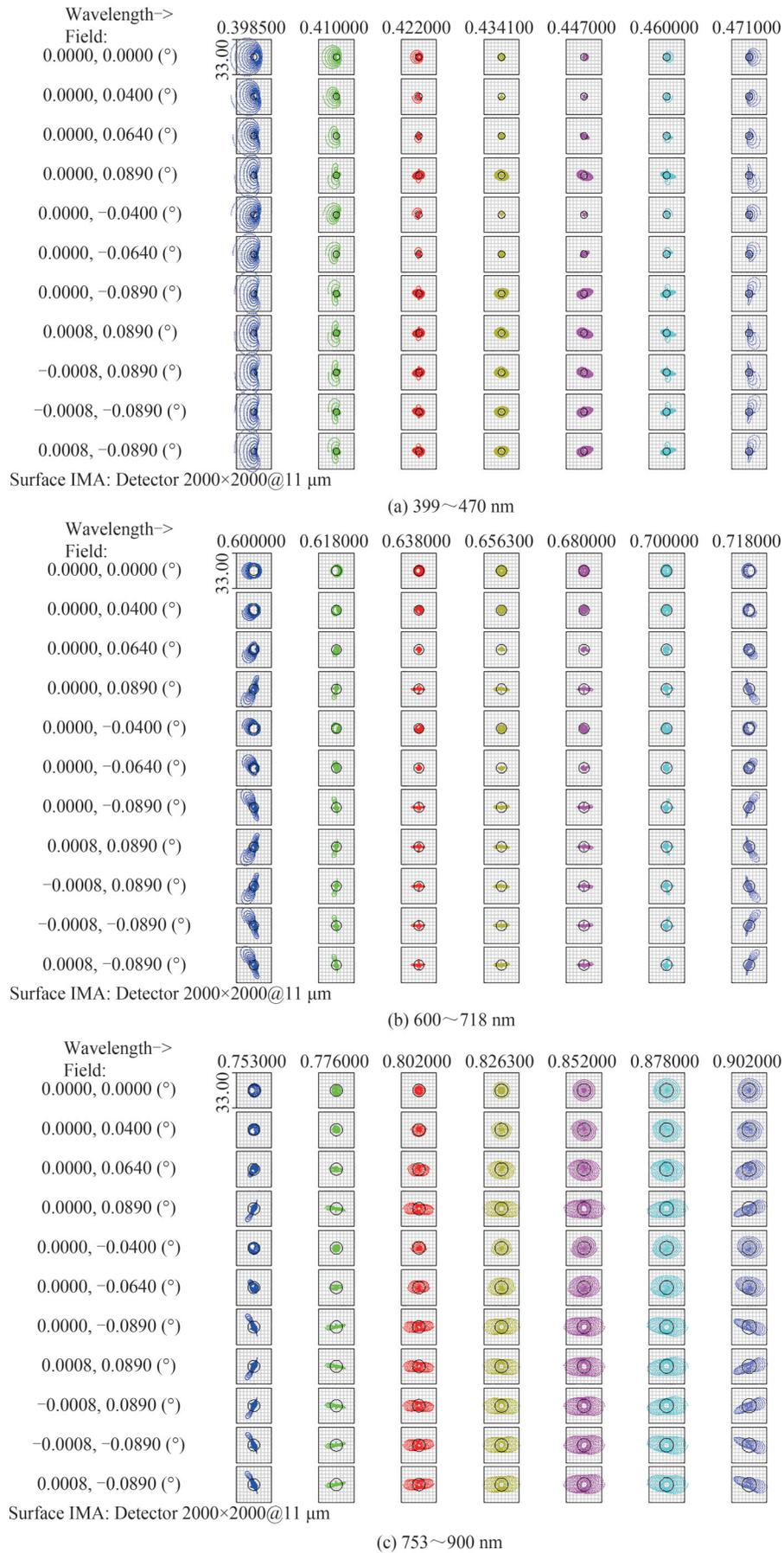


图4 长缝光谱仪的光学像质分析情况

Fig.4 Optical image quality analysis of long-slit spectrograph

波长像质随之变化,但弥散斑均有效地控制在最小采样范围内。

在光机设计方面,光谱仪采用封闭镜筒串联的结构形式,以达到遮光、防尘等目的。光谱仪整体以狭缝为结构基准点,与望远镜焦点进行对接。在支撑结构上适当设置沿光轴的滑轨,平衡环境温度变化产生的仪器热胀冷缩。图5是长缝光谱仪的实物照片,仪器整体尺寸约 $0.7\text{ m}\times 0.5\text{ m}\times 0.2\text{ m}$ 。图中也展示了所采集的定标光谱图像,每根亮线为单波长的长缝像,与之正交的为色散方向,记录长缝上对应位置的光谱信息。图6对单波长谱线进行采样率测试,不同谱线测得采样率均达到3.1像素,满足Nyquist采样要求。图7是长缝光谱仪的通光效率测试结果,由于工作波段宽度仅120 nm,使用633 nm波长激光作为测试光源,多次测量的通光效率均值约52.8%,满足技术指标要求。

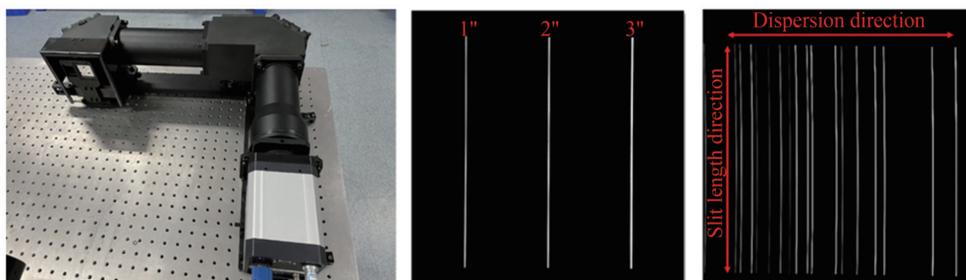


图5 长缝光谱仪的整体照片和长缝光谱图像

Fig.5 Overall photograph of long-slit spectrograph and long-slit spectral image

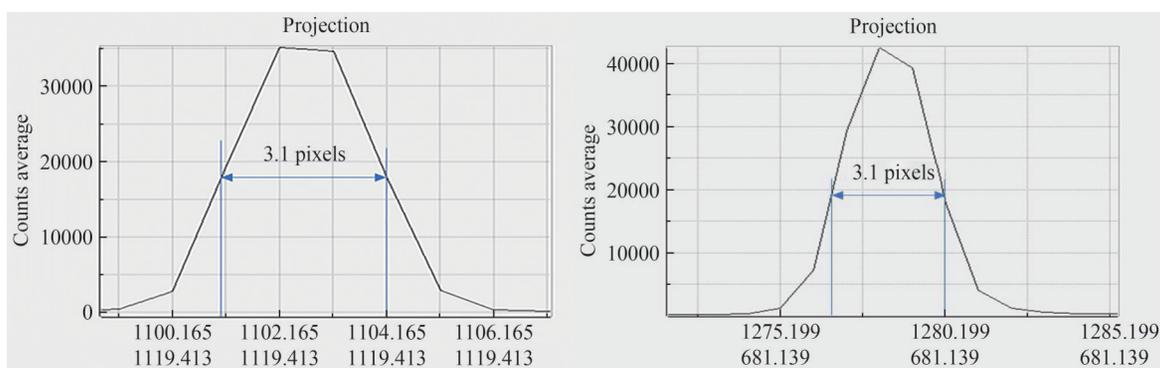


图6 光谱采样率测试结果

Fig.6 Test results of sampling rate

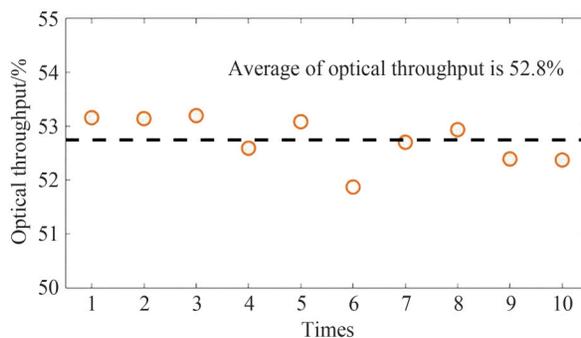


图7 单波长的通光效率测量结果

Fig.7 Measurement of optical throughput at a single wavelength

### 3 高分辨率光纤光谱仪

高分辨率光纤光谱仪采用有别于长缝光谱仪的色散方式,使用阶梯光栅和横向色散棱镜相结合的方式获得单目标的二维高分辨率光谱。光谱图像的两个维度代表的信息与长缝光谱图像不同,一是由阶梯光栅决定主色散方向,不同衍射级次的光谱覆盖一段窄波段,数十个衍射级次共同覆盖所需的宽波段;二是由横

向色散棱镜在正交方向提供的低色散能力,将不同衍射级次的光谱分离开来,互不干扰,共同覆盖远宽于长缝光谱仪的工作波段。这也使得仪器规模较大,不适合直接安装在1米级望远镜上。为此,设计方案使用光纤连接方式,将光谱仪主体从望远镜端分离,放置在环境更为稳定的光谱室内,获得更高精度的观测效果。同时,多模光纤的扰模特性在一定程度上匀化出射光照度,使星光更稳定地照射在光谱仪狭缝上,提升谱线的质心定位精度。表3是高分辨率光纤光谱仪的主要技术参数。光谱仪选用对天张角2.7"的多模光纤来耦合星光,确保在更多大气条件下获得具有研究作用的光谱信噪比。

表3 高分辨率光谱仪的主要技术指标

Table 3 The main technical indexes of the high-resolution spectrograph

Parameters	Design indexes
Fiber	Core diameter $\Phi 62.5 \mu\text{m}$ (equivalent to 2.7"), Length $\sim 25 \text{ m}$
Spectral resolution	$R \geq 30\,000$
Waveband coverage	The full band of 400~1 000 nm covered by a single exposure
Sampling rate	$\sim 3 \text{ pixels}$

仪器分为光纤耦合接口和光谱仪主体两部分,前者安装于卡焦单元内,与望远镜、定标单元配合,将星光或定标光耦合进一根25 m长的科学光纤,传输到位于实验室内光谱仪主体。光纤耦合接口主要由光纤耦合器、导星相机组成,如图8所示,由切换镜反射的星光穿过针孔镜耦合进科学光纤内,导星相机则实时监测针孔镜上的针孔,引导望远镜修正指向,使星光精确落入针孔内。

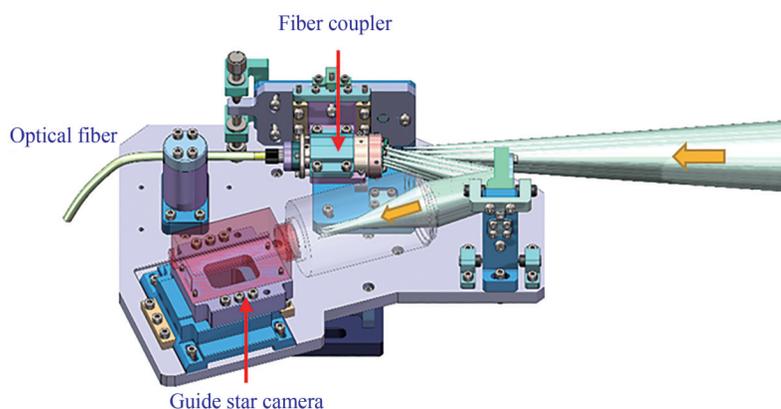


图8 光纤耦合接口的设计模型

Fig.8 Design model of fiber coupling interface

光谱仪主体采用白瞳设计方案,光学系统由六部分组成,分别为狭缝单元、准直镜组、阶梯光栅、横向色散棱镜组、成像镜组和探测器,如图9所示。狭缝单元使用透镜组将光纤出射的快焦比光束匹配上光谱仪的准直镜组。光束由准直镜准直形成平行光束,将光瞳投射在阶梯光栅上,经光栅色散后的各波长光束反射回准直镜。准直镜和反射镜组成二次准直系统,使色散光束的光瞳在横向色散棱镜附近重叠在一起。双棱镜拥有的低色散能力会将各衍射级次的光谱分离开来,最后由一组透射相机汇聚成光谱图像。在设计中,使用单块抛物镜来代替常规的两块独立的准直镜组合,使仪器结构变得更加紧凑;透射相机采用佩兹伐式成像镜组,提供中等视场( $6^\circ \times 6^\circ$ )、焦距为250 mm的成像能力,保障全视场内像质均匀。

在光谱仪焦面位置,光束焦比约 $F/2.5$ ,像比例尺约 $14.5 \mu\text{m}/''$ ,单波长的光纤像斑直径约为 $39 \mu\text{m}$ 。图10同样使用矩阵式点列图展示不同衍射级次的光谱像质情况,点源像的弥散斑直径均小于 $2 \times 2$ 像素的Nyquist最小采样率( $29 \mu\text{m} \times 29 \mu\text{m}$ )。由于光纤芯径相对光谱仪的视场张角很小,可见在每个衍射级次的光谱中,不同视场的同一波长像质基本一致。在同一级次的光谱内,单波长像质随衍射角度变化而变化,但差异很小。对比三幅代表蓝端、中心和红端级次的点列图,可见在衍射级次方向上因波长跨度大,像质变化也比较明显,但都能保持小于最小采样范围。

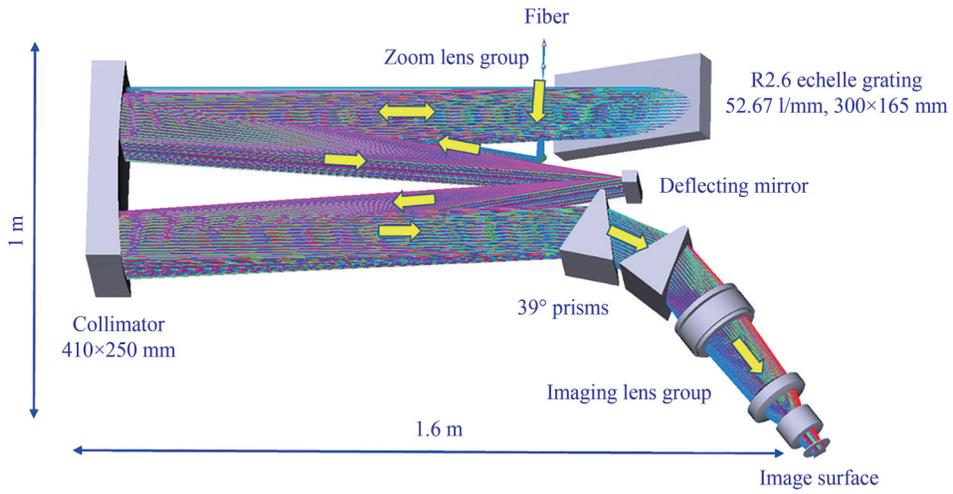
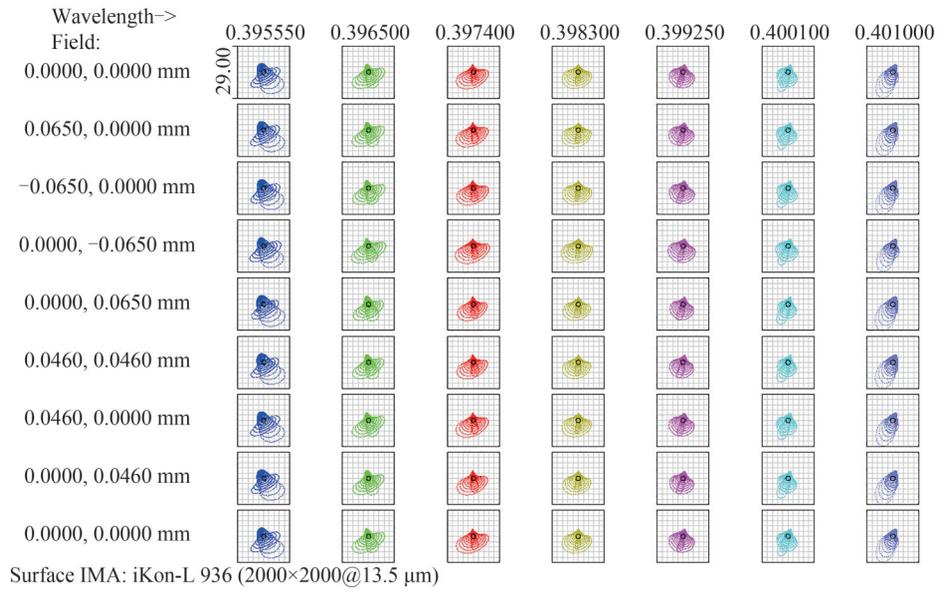
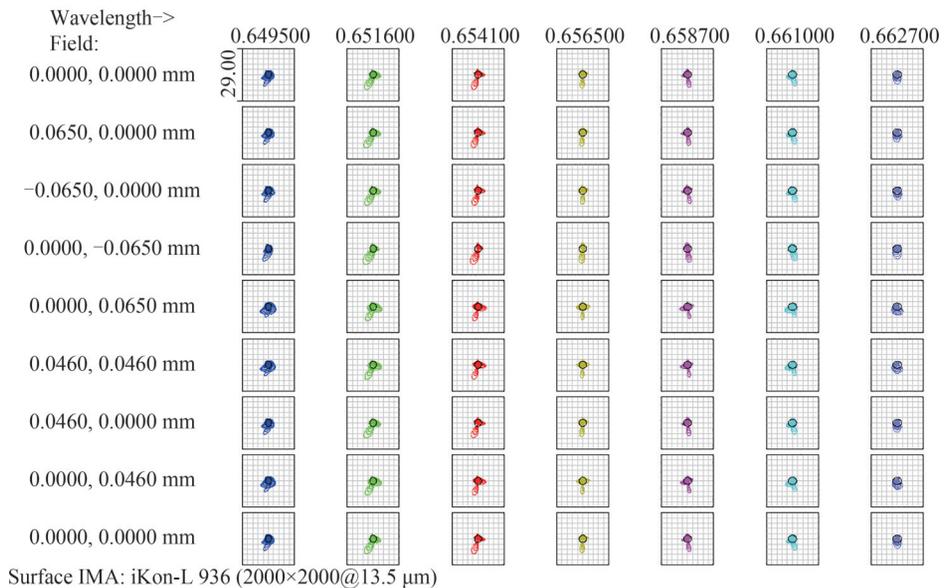


图9 高分辨率光纤光谱仪的光学设计方案  
Fig.9 Optical design of high-resolution fiber spectrograph



(a)  $m=89@400$  nm



(b)  $m=54@656$  nm

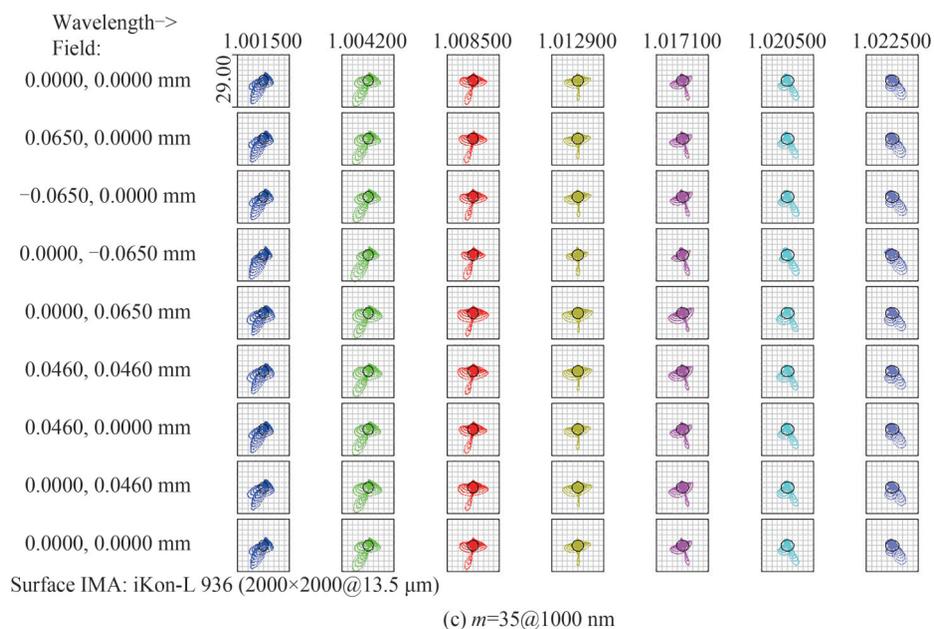


图10 高分辨率光纤光谱仪的光学像质分析情况  
Fig.10 Image quality analysis of high-resolution spectrograph

光谱仪选用2 000×2 000像素科学级探测器(像素尺寸13.5 μm,靶面27.6 mm×27.6 mm),已经在实验室内完成了整机调试,整体尺寸达到1.8 m×1 m×0.6 m,如图11所示,对波长覆盖范围、光谱分辨率和通光效率进行测试。图12是光谱仪的模拟光谱布局 and 所采集到的平场光谱图像。将定标光谱进行抽谱和波长

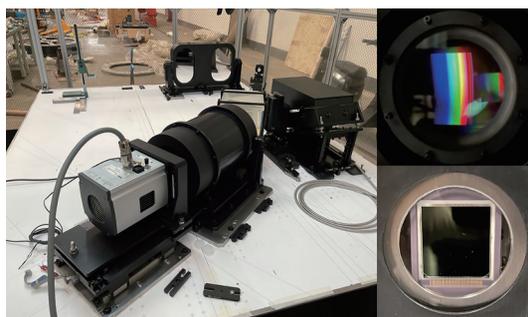


图11 高分辨率光纤光谱仪的调试照片及探测器上的光谱图像  
Fig.11 Commissioning photo of the high-resolution fiber spectrograph spectral image on the detector

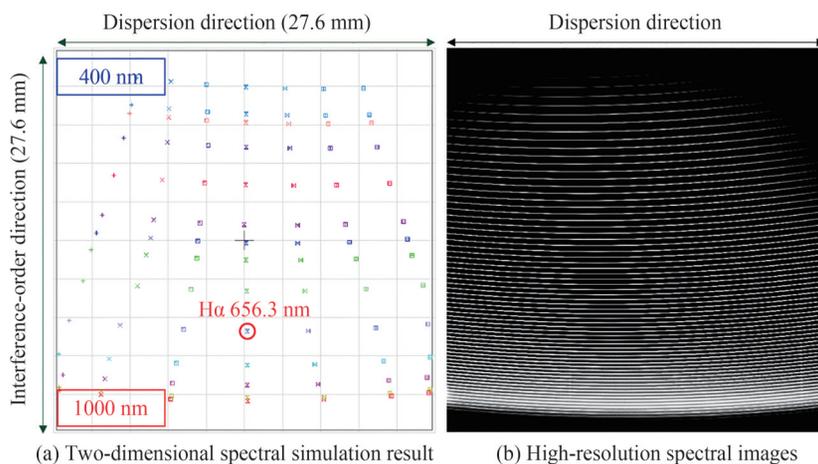


图12 高分辨率二维光谱  
Fig.12 High-resolution two-dimensional spectrum

标定,获得各个级次的一维光谱,共同覆盖400~1 000 nm全波段。图13(a)展示了最高级次的一维光谱,验证光谱仪能够覆盖工作波段的最短波长光谱@400 nm。在所有特征谱线中,部分谱线的精细度很高,没有明显的展宽,称为不可再分辨的谱线,用于测量采样率和光谱分辨率。图13(b)是其中两根的不可再分辨谱线的半高全宽测量结果,约3像素,符合仪器最低采样率要求。进而使用这些谱线的中心波长和半高全宽的比值来表征仪器的光谱分辨率,即 $R=\lambda/\delta\lambda$ 。图13(c)统计了所有有效谱线的测量结果,测得分辨率中值达到 $R\geq 40\ 000$ ,优于技术指标要求。

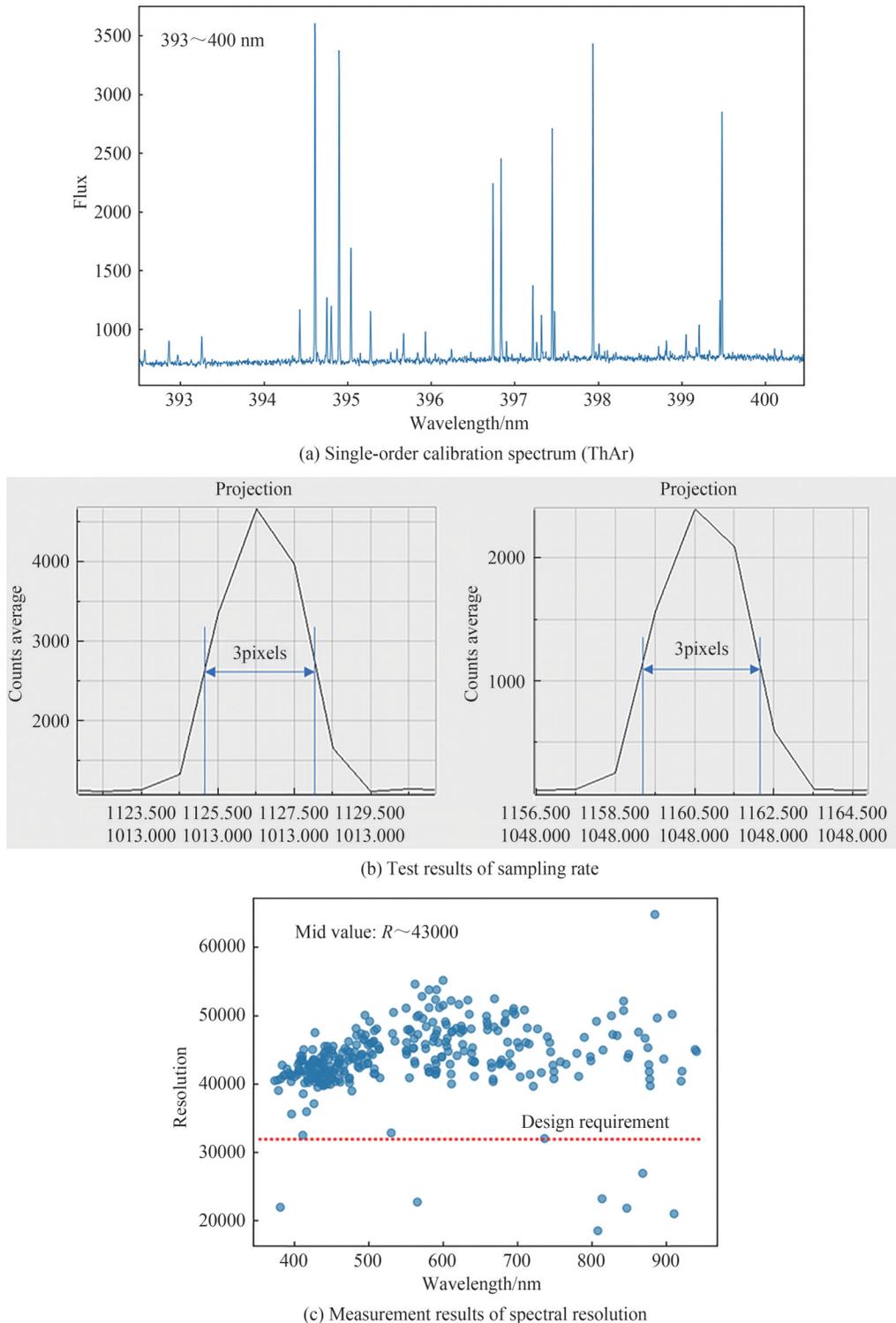


图13 高分辨率光纤光谱仪的部分测试结果  
Fig.13 Test results of high-resolution fiber spectrograph

## 4 波长定标单元

波长定标是天文光谱观测中的重要一环,是获取未知天体精准光谱信息的必要步骤。在卡焦单元内,波长定标装置安装在一个独立仪器接口上,通过切换镜向长缝光谱仪或高分辨率光纤光谱仪投射所需的定标光束。波长定标单元由定标源、定标光投射镜组两部分构成。多个定标灯源安装在积分球上,为光谱仪提供平场、波长定标的均匀光源,由定标光投射镜组将光束按望远镜焦比射向仪器接口。定标光透射镜组提供超过400 mm的长工作距离,满足光束切换所需的空间,并且提供长度超过20 mm的照明区域 $S$ ,满足长缝光谱仪的定标光照明需求,如图14所示。

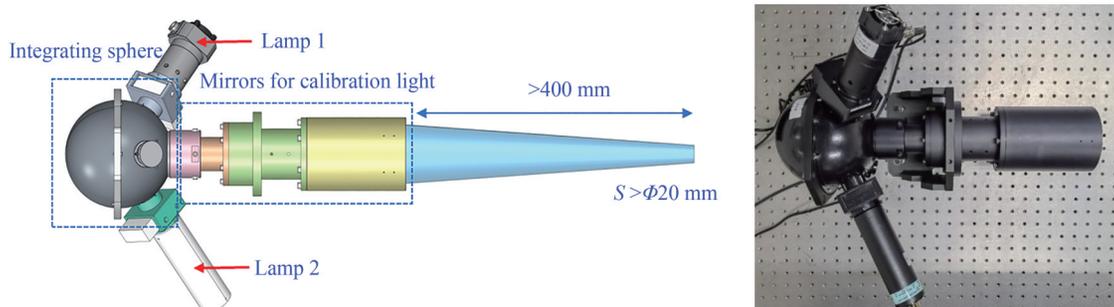


图14 波长定标单元的设计方案与实物照片  
Fig.14 Design model and photo of calibration unit

波长定标单元已在实验室完成调试,使用平场灯光源,在焦面处使用CCD采集图像,如图15所示。图像亮度均匀,轮廓清晰,将图像做归一化处理,进一步分析其光照均匀性。在光照范围内,任取三处450像素×450像素的方形区域进行局部测量,其归一化的均方根误差值RMS分别为0.002 1、0.002 0、0.000 9,如图15(a)中标注的①②③,具有较好的光照均匀性。在95%有效光照区域内,测量得到归一化的亮度均值为0.819, RMS值为0.002 6。局部和全局的光照均匀性表现基本一致,确保波长定标单元能为两台光谱仪提供符合定标需要的均匀光照。同时,长条形照明区域能够完全覆盖长缝光谱仪的5'长狭缝,说明其光能利用率优

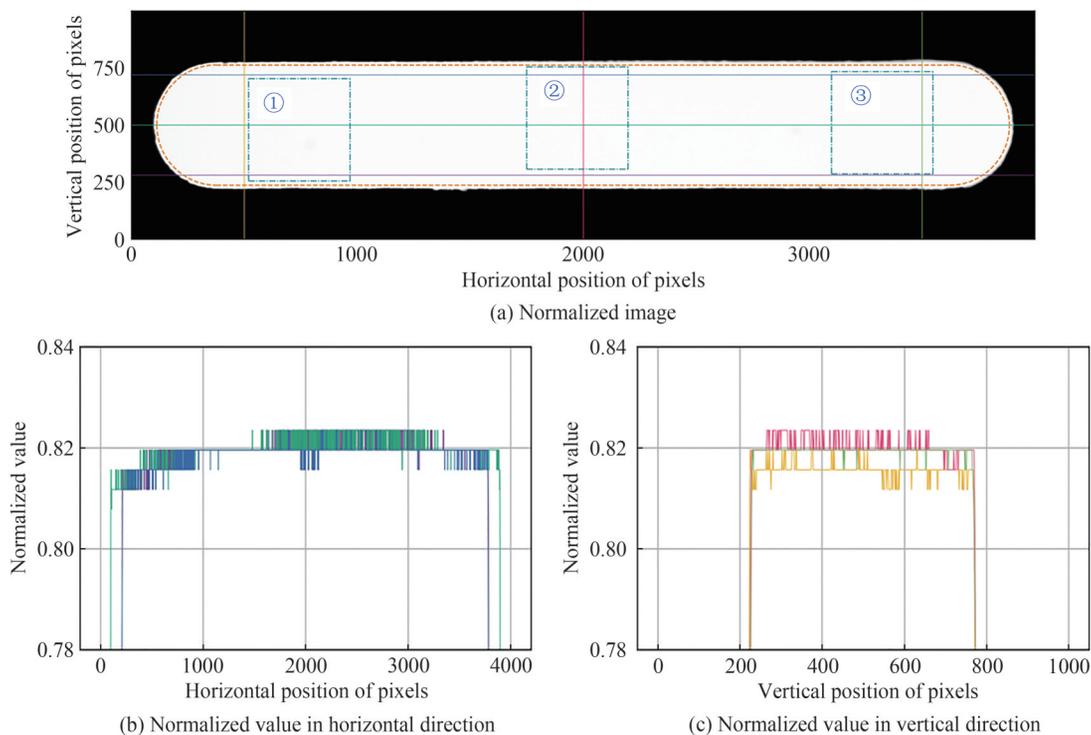


图15 波长定标单元的光照均匀性测试结果  
Fig.15 Illumination test of calibration unit

于常见的圆形区域照明。

## 5 结论

中山大学 1.2 m 望远镜的研制目标是构建一个科教融合、多功能的天文观测平台,有限的空间和多功能的需求对天文光谱仪器终端的研制提出很大的技术挑战。在有限的卡焦空间内,研制方案依托卡焦单元有序地设置了长缝光谱仪、高分辨率光纤光谱仪接口、波长定标单元、三色成像相机和目视终端仪器,使用位于中心的切换镜完成仪器之间的灵活切换。高分辨率光纤光谱仪放置在环境更为稳定的实验室内,由望远镜端下传的星光提供拍谱所需的星光或定标光。全部观测仪器高度集成,切换灵活,能够有力地支持高校师生在不同教学课程和科学研究方面的需要。

### 参考文献

- [1] LIU Tingting, LI Zhengyang, ZHANG Kai, et al. Development of the Sun Yat-Sen University 1.2-m multi-terminal telescope[C]. SPIE, 2022, 12315:123150U.
- [2] YUAN Xiangyan, LI Zhengyang, LIU Xiaowei, et al. Development of the multi-channel photometric survey telescope[C]. SPIE, 2022, 11445:114457M.
- [3] BUZZONI B, DELABRE B, DEKKER H, et al. The ESO Faint Object Spectrograph and Camera (EFOSC)[J]. The Messenger, 1984, 38: 9-13.
- [4] ANDERSEN J, ANDERSEN M I, KLOUGART J, et al. New power for the danish 1.54-m telescope [J]. The Messenger, 1995, 79: 12-14.
- [5] BARANNE A. White pupil story or evolution of a spectrographic mounting[J]. Proceedings of a ESO Conference on Very Large Telescopes and their Instrumentation, 1988, 30: 1195-1206.
- [6] D'ODORICO S. EMMI, the ESO multi-mode instrument, successfully installed at the NTT[J]. The Messenger, 1990, 61: 51-56.
- [7] DEKKER H, D'ODORICO S, KAUFER A, et al. Design, construction, and performance of UVES, the echelle spectrograph for the UT2 Kueyen Telescope at the ESO Paranal Observatory[C]. SPIE, 2000, 4008: 534-545.
- [8] VOGT S S, ALLEN S L, BIGELOW B C, et al. HIRES: the high resolution echelle spectrometer on the Keck ten-meter telescope[C]. SPIE, 1994, 2198: 362-375.
- [9] D'ARRIGO P, BINGHAM R G, CHARALAMBOUS A, et al. Design of the High Resolution Optical Spectrograph (HROS) for the Gemini telescope[C]. 2000, 4008: 159-166.
- [10] NOGUCHI K, AOKI W, KAWANOMOTO S, et al. High Dispersion Spectrograph (HDS) for the Subaru telescope[J]. Publications of the Astronomical Society of Japan, 2002, 54(6): 855-864.

## Development of Astronomical Spectrographs for the 1.2-meter Telescope of Sun Yat-Sen University (Invited)

ZHANG Kai<sup>1,2</sup>, WANG Boqing<sup>1,2,3</sup>, YUE Zhongyu<sup>1,2</sup>, Xinqiqige<sup>1,2</sup>, ZHOU Tong<sup>1,2</sup>,  
JIANG Mingda<sup>1,2</sup>, WANG Liang<sup>1,2</sup>, MA Bo<sup>4</sup>, LI Zhengyang<sup>1,2</sup>

(1 National Astronomical Observatories/Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China)

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

(3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(4 School of Physics and Astronomy, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, China)

**Abstract:** Sun Yat-sen University (SYSU) has a long history of astronomy education and research, founding the first astronomy department in China in 1927, building the CUHK Observatory in Yuexiu Mountain, Guangzhou in 1929, and establishing the School of Physics and Astronomy in Zhuhai Campus in 2015, with the Department of Astronomy starting to enroll undergraduate students in astronomy in 2019. The Department of Astronomy is committed to the discipline construction and scientific research in the fields of galactic cosmology, stellar and planetary physics, multi-messenger astronomy, and astronomical

instrument technology. The school is building a modern astronomical observation facility that combines education and scientific research on the top of the mountain Da Nan Shan (22.344 191 N, 113.557 600 E) in the Zhuhai campus. The site has good astronomical observation conditions, with an altitude of 407 meters, annual observation days of 120 days, and a seeing range of 0.6"~2.5". The 1.2-meter telescope of Sun Yat-sen University is a multi-functional astronomical observation facility with a full-aperture 1.2-meter primary mirror, which can carry out diversified scientific observation in a full field of view of 15 degrees and achieve the construction purpose of integrating scientific research and education. A tricolour camera set will provide real-time colour information of celestial bodies to help quickly identify and classify target celestial bodies; the long-slit spectrograph can provide low-resolution ( $R=1\ 000\sim 3\ 000$ ) spectral observation capability for point sources and extended sources, helping to study the formation and evolution of galaxies, star clusters, and other targets; a fiber-fed high-resolution spectrograph will provide single-target high-resolution ( $R\geq 30\ 000$ ) spectral observation capability to assist in the measurement of special astrochemical abundance and apparent velocity.

The most important feature of the SYSU 1.2-meter telescope project is that integrates diversified functionalities in imaging and spectroscopic observation. It allows university teachers and students to carry out some experimental observation without the assistance of the professional staff, and can quickly and flexibly switch different observation methods, effectively meeting the requirements of education and research. An octahedral Cassegrain unit is designed to accommodate all the science instruments and their auxiliary devices. Every instrument can connect the fold Cassegrain focus by a switching mirror on the centre of the Cassegrain unit. The unit is divided to 4 layers from top to bottom, including the flange, instrument layer, electronic layer, and cable wrapper. A shield is also prepared to remove the stray light from the background. The long-slit spectrograph is composed of full dioptric lenses, which are able to fully cover all the spectrums over the science field of  $5'$  along the slit. It can change the spectral resolution by switching the slit widths from 1" to 3", and selecting the observing band by using different grisms. Each grism has the same function, so that the dispersed beam at the central wavelength overlaps with the optical axis of the spectrograph. It results in that the instrument doesn't require optical alignment when switching the resolution or observing the band. The high-resolution spectrograph is a powerful workhorse instrument which connects the Cassegrain focus by a 25 m fiber. It adopts a standard "White Pupil" optical system to provide the required spectral resolution over the full wavelength range from 400 nm to 900 nm by using an echelle grating and a pair of cross-dispersed prisms. A  $2\ 000\times 2\ 000$  detector is used to cover all 55 orders of spectrums with similar image quality at different wavelengths. As a result of test, the mean of spectral resolution is higher than 40 000 over the full band. A calibration unit is composed of lamps, the integral sphere, and the beam projector. It is mounted on one of the instrument ports of the octahedral Cassegrain unit. The calibration unit is able to evenly illuminate a long area with a length of longer than 20 mm. The distance of 400 mm between the lenses and the illuminated area is used to turn the calibration beam to the different instruments, the high-resolution spectrograph or the long-slit spectrograph. The paper gives a detailed introduction to the development of the above spectroscopic facilities and some results of the related technical tests at the laboratory.

**Key words:** Astronomical telescope; Long slit spectrograph; High-resolution spectrograph

**OCIS Codes:** 070.4790; 350.1260; 110.6770