

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.13

# NVST 高分辨率成像与光谱 同时观测系统设计

付 玉, 金振宇, 李正刚, 袁 沫, 徐 稚

(中国科学院 云南天文台 天文技术实验室, 昆明 650011)

**摘要:** 抚仙湖 1 m 太阳望远镜 (简称 NVST), 包括有高分辨率成像和多波段光谱两种终端仪器。为了获得更多的关键物理信息, 这两种设备需要具备同步观测的能力。通过分光方案设计、膜系统设计、望远镜焦面分光机构设计, 终端系统实现了高分辨率成像与高分辨率光谱的同步观测。同时, 为了解决光谱仪与望远镜的共焦问题, 一种基于狭缝成像的共焦方法被提出, 共焦精度可达到 0.2 mm。

**关键词:** 太阳望远镜; 高分辨率成像系统; 光谱仪; 光机设计; 同时观测

**中图分类号:** P111.41

**文献标识码:** A

## 1 终端仪器概括及分光装置设计

目前, NVST 终端仪器有两台垂直光谱仪和高分辨率成像系统<sup>[1]</sup>。其中, 多波段光谱仪包含 Fe II 5 324 Å, H $\alpha$  6 563 Å, Ca II 8 542 Å, He I 10 830 Å 四个测量波段, 大色散光谱仪包含 He I 10 830 Å, 1.56  $\mu$ m 两个波段<sup>[2]</sup>; 高分辨率成像系统包含了对太阳光球和色球等 7 条谱线, 如 3 933 Å, 4 300 Å, 7 058 Å, 5 324 Å, 6 563 Å, 8 542 Å, 10 830 Å。如图 1 所示, 望远镜采用机械消旋方式, 整个终端系统被安装在一个旋转平台上。光谱仪的狭缝位于望远镜的库德焦点, 光谱仪的狭缝与场镜作为一个结构整体安装在望远镜焦面附近比较紧凑的空间, 在狭缝上方安装一个分光装置, 用于将部分或者全部光反射到成像系统, 且成像系统的光轴与光谱仪的光轴相互垂直。

分光装置是实现同时观测的关键单元<sup>[3-5]</sup>, 然而由于 NVST 终端系统的复杂与庞大, 望远镜焦面附近可以利用的空间非常有限, 利用传统的反射式狭缝来实现焦面分光可行性比较差; 而另外一种分光装置就是带有刻缝的平面反射镜, 但是由于狭缝监视像上同时存在“狭缝”像, 使得二维图像信息不完整, 无法进行后期处理, 例如高分辨率图像重建、不同波段

资助项目: 国家自然科学基金 (11203075, 11303089)

通讯作者: 付玉, fiona@ynao.ac.cn

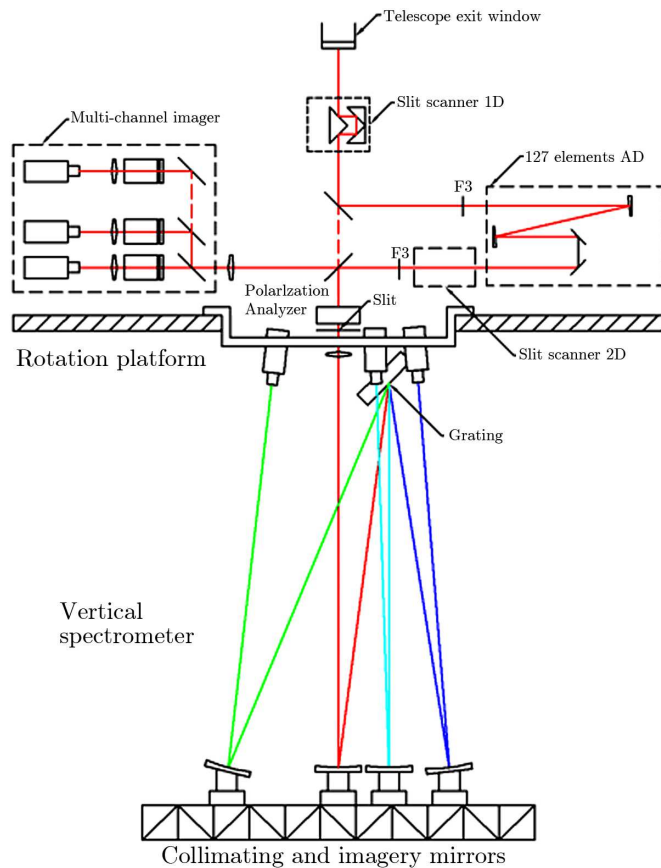


图 1 NVST 终端仪器示意图

的叠加研究等。根据 NVST 焦面附近空间位置关系，焦面分光装置被设计成可拆卸的结构，便于各种观测模式相互切换，观测模式之间相对独立。如图 2 所示，对于安装后 NVST 焦面的分光装置，我们设计了若干个图中  $45^\circ$  倾斜基座，可以安装不同观测模式的分光平板。

镀膜实现分光是比较常见的一种方法，针对平板引入二次像的情况，副膜被设计成高增透膜，这样就可以降低平板第二面的反射率，抑制二次像的产生。为了实现光谱与成像同时观测模式，且保证光谱观测有足够的 photons 数，望远镜 10% 的光能量反射到成像系统，90% 光能透过到达光谱仪系统。光谱仪包含的观测波段长波到达  $1.56 \mu\text{m}$ ，成像波段几乎也是从可见光到近红外，由于带宽比较宽，且存在介质吸收等因素，最终获得可见光到近红外波段 85% 以上的透过率，其光谱透过率曲线如图 3 所示。

## 2 测试及观测结果

利用测量焦面图像方法，我们可检测终端成像系统是否与望远镜共焦<sup>[6]</sup>。由于光谱仪属

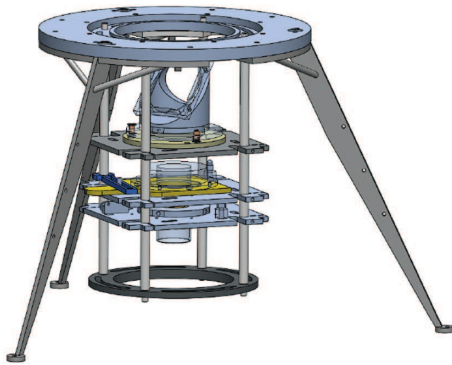


图 2 NVST 焦面分光装置

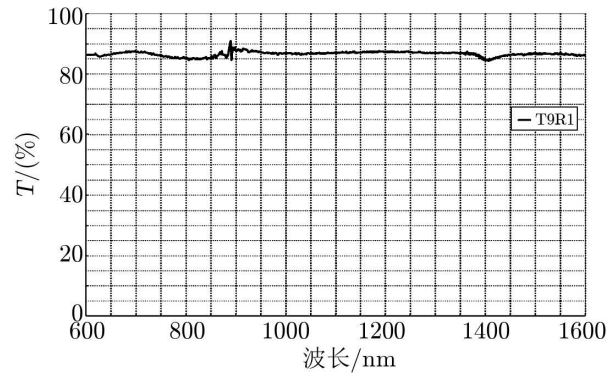


图 3 焦面分光镜的光谱透过率曲线

于非成像系统, 在测量的过程中无法获得图像。我们设计一个调焦相机, 该装置包含可变焦镜头和 CMOS 探测器, 其工作方式如图 4 所示, 流程如下: (1) 拍摄光谱仪的狭缝, 在调焦相机中得到光谱仪狭缝的清晰像; (2) 调焦相机的状态不变, 利用焦面附近的分光镜得到成像系统视场光阑的像, 做微调直至视场光阑像清晰, 如图 5 所示, 此时终端仪器已经共焦; (3) 调整望远镜与成像系统共焦, 即可使得望远镜与光谱仪共焦。

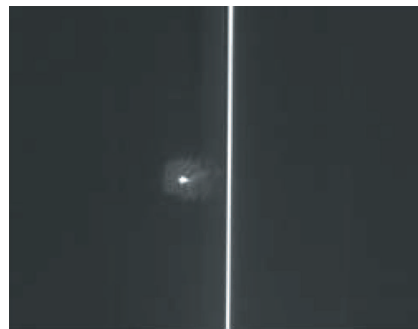
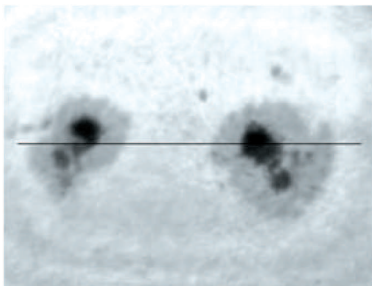


图 4 共焦相机拍摄光谱仪狭缝和成像系统物面



a) 光谱仪狭缝监视像(TiO band)

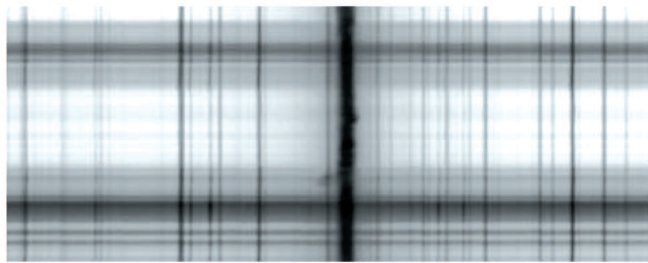
b) 光谱观测数据(H $\alpha$ )

图 5 光谱与成像同时观测的数据

根据几何光学理论, 光学系统焦深  $\Delta S$  的表达式为:

$$\pm \Delta S = \frac{\pm \lambda / 4}{1 - (1 + F^{-2} / 4)^{-1/2}}, \quad (1)$$

其中,  $F$  是被测量光学系统的焦比, 可见焦深与系统焦比和波长有关。那么 NVST 库德焦点的焦比是  $F45.9$ , 在  $5324 \text{ \AA}$  上的焦深  $\Delta S = \pm 2.16 \text{ mm}$ 。所以, 只要相机的调焦精度小于望

远镜的焦深  $\Delta S$  时, 调焦相机就能精确检测焦面位置。调焦相机的镜头口径 25.4 mm, 物方焦比 27, 波长 600 nm, 可以计算得到相机的调焦精度在 0.2 mm, 远小于望远镜的焦深, 满足测量要求。调焦相机是一个望远镜与光谱仪共焦测量的辅助设备, 其体积较小, 便于安装拆卸。图 5 显示在 NVST 上同时获得的太阳二维图像和光谱信息。

### 3 总结

本文根据 NVST 的终端仪器特点, 设计了焦面分光装置, 实现了多个终端仪器之间的灵活切换以及同时观测。同时解决了天文望远镜终端仪器中非成像系统与前端系统焦面对准困难的问题, 其共焦面对准精度可以达到 0.2 mm, 此方法可以为同类型天文仪器终端共焦问题提供技术参考。

#### 参考文献:

- [1] 刘忠, 尤建圻, 沈龙翔. 一米红外太阳望远镜, 中国天文望远镜及仪器研讨会会议文集, 北京, 2002: 272
- [2] 付玉, 程向明, 袁沐, 等. 中国激光, 2012, 39(2): s208007-4
- [3] Ceppatelli G. Mem.S.A.It., 2004, 75: 240
- [4] Bbendlin C, Vvolkmer R. A&A.suppl.Ser., 1995, 112: 371
- [5] Goran B S, Klas B K, Tapio K. The 1-meter Swedish solar telescope, Hawaii: in Proc. SPIE 4853, 2003, S: 341
- [6] 郁道银, 谈恒英. 工程光学, 北京: 机械工业出版社, 1998: 120

## The Design of Imagery and Spectrum Synchronous Observation System in NVST

FU Yu, JIN Zhen-yu, LI Zheng-gang, YUAN Shu, XU Zhi

(Yunnan observatories, Chinese academy of sciences, Kunming 650011)

**Abstract:** One meter solar telescope in FuXian Lake has high resolution imaging system and multi-wavelength spectrum as terminal instruments. In order to obtain more information on solar physics, the two devices need to have the ability to synchronous observation. Through spectral scheme design, the film system design, the telescope focal plane spectral mechanism design, terminal system to achieve the high resolution imaging with high resolution spectrum of synchronous observation. At the same time, in order to solve the problem of spectrometer with a telescope co-focal, a kind of co-focal method based on slit images has been proposed, the co-focal accuracy was 0.2 mm.

**Key words:** solar telescope; high resolution imaging; simultaneous observation system; spectrograph; opt mechanical design