

太阳H_α空间光谱仪光学设计

马睿哲¹, 王春亮^{1*}, 陈长征², 陈哲², 贾艳¹

1. 东北师范大学物理学国家级实验教学示范中心, 长春 130024;

2. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033

*联系人, E-mail: wangcl493@nenu.edu.cn

收稿日期: 2019-04-04; 接受日期: 2019-07-30; 网络出版日期: 2020-02-12

国家自然科学基金(编号: 61801455)和吉林省重点科技攻关项目(编号: 20170204029GX)资助

摘要 太阳H_α是广泛用来观测耀斑及暗条等众多太阳活动现象的一条重要谱线, 太阳H_α空间光谱仪的研制是我国研究太阳光谱的迫切需要。设计的太阳H_α空间光谱仪由前置光学系统(观星子系统)、Czerny-Turner结构型光谱仪、推扫运动系统和入射窗口组成。太阳H_α空间望远镜的焦距拟定为1820 mm, 口径180 mm。经分析, 采用像元尺寸4.6 μm的探测器可以实现0.523''的像元分辨率, 并覆盖40'×40'的矩形视场。根据指标要求, 为实现H_α波段中心波长±1 Å, 设计谱线半宽(FWHM)0.15 Å的对日成像, 设计工作波段为6462.81–6662.81 Å。

关键词 光学设计, 离轴三反, Czerny-Turner, 光栅光谱仪

PACS: 42.15.Eq, 95.75.Fg, 96.60.-J

1 引言

太阳是唯一一颗人类可实现近距离、高精度、高时间和空间分辨率观测的恒星, 是人类了解宇宙和其他恒星的窗口和天然实验室, 对太阳的了解具有广义的天体物理意义。另一方面, 太阳活动及其对日地空间环境的影响则是空间天气预报的主要对象。因此, 对太阳活动的观测研究同时具有重要的科学意义和实际应用价值。目前, 国际上主要的空间大国已经发射了一系列太阳观测卫星, 我国的太阳空间望远镜项目也一直在规划和预研之中。

然而, 研制和发射一颗搭载多个载荷的大型太阳卫星是一个周期长、经费多、风险大的综合工程。如

果能够发展一个短平快的太阳空间载荷和微小卫星项目, 既实现了我国太阳空间观测零的突破, 又能为大的空间项目提供宝贵经验^[1–4]。

H_α(波长为6562.8 Å)是广泛用来观测耀斑及暗条等众多太阳活动现象的一条重要谱线。目前, 太阳H_α波段的观测主要依赖于地面望远镜。20世纪70年代以来, 太阳空间望远镜增加投入和研发力度, 美国宇航局(NASA)发射的Skylab空间站中曾搭载有H_α望远镜(图1(a)), 主要用于观测太阳耀斑爆发过程中的H_α辐射, 同时为其他仪器提供较为精确的对日指向。但由于当时CCD技术尚未成熟, 其终端使用的还是胶片, 观测效果有限。然而, 地面观测存在视宁度和无法实现全天候观测的问题。20世纪90年代以后, 太阳空间

引用格式: 马睿哲, 王春亮, 陈长征, 等. 太阳H_α空间光谱仪光学设计. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2020, 50: 049601
Ma R Z, Wang C L, Chen C Z, et al. Optical design of solar H_α space telescope (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2020, 50: 049601, doi: 10.1360/SSPMA-2019-0102

望远镜越来越多, 也越来越先进, 但所有主要的太阳观测卫星上并没有搭载专门用于太阳H α 成像观测的仪器. 其原因在于: 很多空间望远镜把科学目标集中在日冕的研究上, 对紫外、极紫外和X射线等地面无法观测的波段进行了很多观测. 仅有日本Hinode卫星(图1(b))上的窄带滤光成像仪(Narrow-band Filter Imager, NFI)所选取的观测波段中有H α 波段, 但其视场非常有限, 而且其主要目的是通过观测斯托克斯参量得到磁场, 并非是真正的H α 成像望远镜^[5]. 地基望远镜由于视宁度问题, 需要细致考虑大气温度、大气流动、望远镜304.8 cm处的空气温度变化, 以及望远镜周围环境的比热容, 天基太阳望远镜很好地避免了视宁度的问题. 受视宁度影响, 地面望远镜极限分辨率只有1", 远小于大型望远镜的衍射极限. 为克服其影响, 近年来发明了自适应光学技术. 只有天地一体化的太阳观测才能实现对太阳的全面协同观测, 所以天基太阳望远镜光谱仪的研究很有必要^[6]. 因此, 本文的太阳H α 空间望远镜将在国际上首次实现全日面H α 单色像(包括H α 线心和线翼三个波段)的空间观测. H α 空间观测具有地面观测无可比拟的优势, 一则空间中不存在视宁度的问题, 可以通过较小的口径实现其分辨率的衍射极限; 二则可以实现全天候的观测, 很好地与其他望远镜其他波段的观测相配合(例如当前的太阳动力学天文台SDO、正在研制中的先进天基太阳望远镜ASO-S等), 从而可以对太阳大气的各个层次做全面研究. 太阳H α 空间望远镜具备如下重要的科学目标和业务应用:

- (1) 研究太阳耀斑和日冕物质抛射(Coronal Mass Ejection, CME)的源区特征, 并提供耀斑过程中色球演化和加热的观测特征;
- (2) 研究太阳暗条的结构及演化;
- (3) 为空间天气预报提供必要参数.

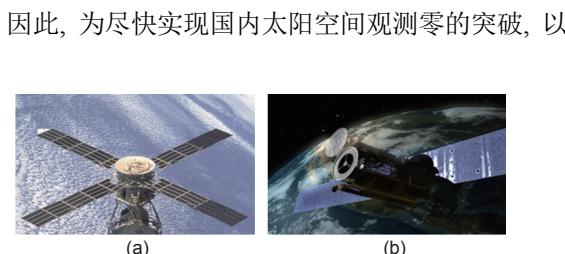


图 1 (网络版彩图)Skylab空间站(a)和日出卫星(b)
Figure 1 (Color online) The Skylab space station (a) and the Hinode satellite (b).

及国际上首个全日面H α 空间望远镜, 基于上海卫星工程研究所研发的双超(超高指向精度、超高稳定度)卫星平台, 针对太阳H α 空间望远镜的技术指标, 设计和研制先进的空间成像系统, 具有重要的科学和应用价值.

2 应用要求及主要技术指标

考虑技术要求和空间环境, 通过比较透射光学系统和反射光学系统的特性, 并比较了透射光学成像系统、卡塞格林系统、Cook型和Rug型离轴三反光学成像系统、双折射滤光器和C-T结构光谱仪, 最终选择了Rug型离轴三反光学成像系统和C-T结构光谱仪, 结构紧凑, 并采用无磁化焦面组件, 在机械支撑和热控方面满足要求^[7].

作为空间望远镜的核心部分, 拟设计的光学系统具有高集成度和多功能的特点, 具有对日和对星两种成像模式. 光学系统由入射窗口、共光路的前置离轴三反光学系统、光栅光谱仪和观星子系统组成. 其中入射窗口、前置离轴三反光学系统、光栅光谱仪共同组成太阳H α 空间望远镜; 前置离轴三反光学系统和观星子系统组成观星望远镜. 为保证各成像模式下的像质, 需要各子系统具有足够的口径和焦距. 下面介绍各子成像系的主要技术指标.

太阳H α 空间望远镜像元尺寸 a 为4.6 μm , 则像元角分辨率 θ_e 与系统焦距 f 的关系可表示为

$$\theta_e = \frac{a}{f}. \quad (1)$$

代入像元尺寸和像元角分辨率计算得到焦距为1820 mm. 口径 D 和光学角分辨率 θ_o 的关系为

$$\theta_o = \frac{1.22\lambda}{D}. \quad (2)$$

代入工作波长和角分辨率, 求得系统口径应优于165 mm.

根据上述计算, 光学系统设计参数初步确定如表1所示. 光学系统确定由前置光学系统和光栅光谱仪组成, 由系统对全日面推扫成二维空间和一维光谱图像. 系统线色散率为0.14 \AA .

3 光学设计

根据指标要求, 太阳H α 空间望远镜的焦距拟定为

1820 mm, 口径180 mm, 采用具有高分辨率、大视场、长焦距、轻质量、小体积特点的离轴三反望远系统, 经分析, 采用像元尺寸 $4.6 \mu\text{m}$ 的探测器可以实现 $0.523''$ 的像元分辨率, 并覆盖 $40' \times 40'$ 的矩形视场. 为实现H α 波段中心波长 $\pm 1 \text{ \AA}$, 设计谱线半宽(FWHM) 0.15 \AA 的对日成像, 采用光栅光谱仪+扫描镜方案, 设计工作波段为 $6462.81\text{--}6662.81 \text{ \AA}$.

光栅光谱仪方案的主要设计思路是在前置像方远心光学系统的像面处设置狭缝, 光线经狭缝后进入光栅光谱仪, 最终不同波长的狭缝像成像在光谱仪焦平面处, 沿垂直于狭缝方向展开. 通过对光谱仪的信号提取和图像处理, 即可获得超光谱图像. 考虑到能量和分辨率的平衡, 采用狭缝宽度 $8 \mu\text{m}$. 系统结构见图2.

为实现全日面观测, 采用线扫描方式. 光学系统体积为 $560 \text{ mm} \times 460 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$, 基本满足卫星平台的设计要求. 虽然需要通过光学元件的运动实现全日面成像, 但与地面观测采用的双折射滤光器方案不同, 该方案对运动精度的要求较低且运动误差不影响光谱分辨率, 环境适应性较好, 工作稳定性和可靠性较高.

3.1 前置光学系统(观星子系统)设计

前置光学系统采用离轴三反光学系统. 为方便与子系统的光瞳匹配, 前置系统应具有可用的实出瞳, 并有足够的后工作距进行分光, 我们选用Rug-TMA式光学系统^[8,9].

前置Rug-TMA光学系统, 通过孔径离轴消除系统中心遮拦, 具有像质高、筒长小的优点. 孔径光阑位于主镜, 口径 $\Phi 180 \text{ mm}$, 焦距 1820 mm , F数10.1, 视场 $40' \times 40'$, 系统结构如图3所示, 具有中间像面和可用的实出瞳, 便于杂散光的抑制以及与各子系统的承接.

表 1 H α 太阳空间望远镜光学系统参数

Table 1 The optical system parameters of H α solar space telescope

项目	特征值
工作波段(Å)	$>6562.81\pm 10$
设计谱线半宽(Å)	0.14
焦距(mm)	1820
口径(mm)	180
视场(')	$40' \times 40'$
像元角分辨率('')	0.523
像元光谱分辨率(Å)	0.047
线色散率(nm/ μm)	0.0006

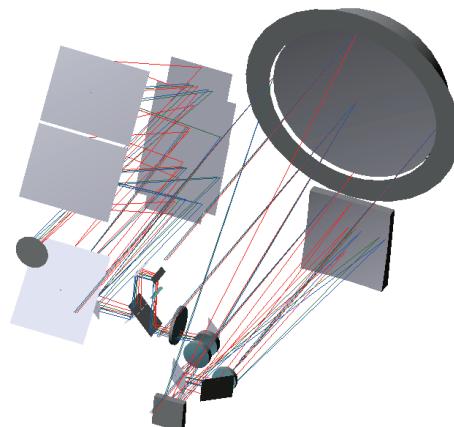


图 2 (网络版彩图)光栅光谱仪扫描镜系统结构图

Figure 2 (Color online) The structure diagram of the grating spectrometer scanning mirror system.

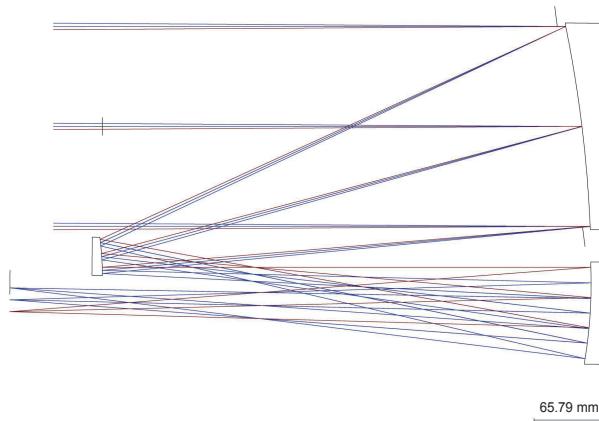


图 3 (网络版彩图)前置光学系统结构图

Figure 3 (Color online) The structure diagram of front optical system.

由于前置光学系统可直接满足对星成像的要求, 因此在出瞳附近通过平面镜对光束进行分光和折叠, 即可得到观星子系统, 结构如图4所示. 光线经主、次、三镜反射后抵达分光折叠镜1, H α 波段的光线透射进入太阳H α 空间望远镜子系统, 其余波段的光线反射至观星子系统焦平面. 观星子系统各镜面口径见表2.

观星子系统的传递函数曲线如图5所示, 点列图如图6所示, 可见各视场点列图几何直径均在艾里斑直径以内, 系统成像质量接近衍射极限.

3.2 Czerny-Turner结构光谱仪

为满足谱线半宽的光谱分辨率要求, 光谱仪应有足够的焦距, 且分光光栅应具有足够的刻线密度.

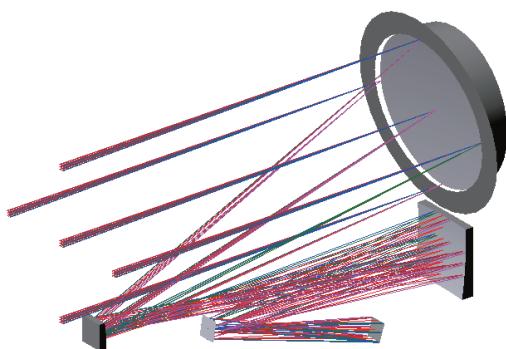


图 4 (网络版彩图)观星子系统结构图

Figure 4 (Color online) The structural diagram of star-watching subsystem.

表 2 观星子系统口径表

Table 2 The caliber table of star-watching subsystem

镜面	口径 (mm)
主镜	180
次镜	30×31
三镜	82×82
分光折叠镜	24×24

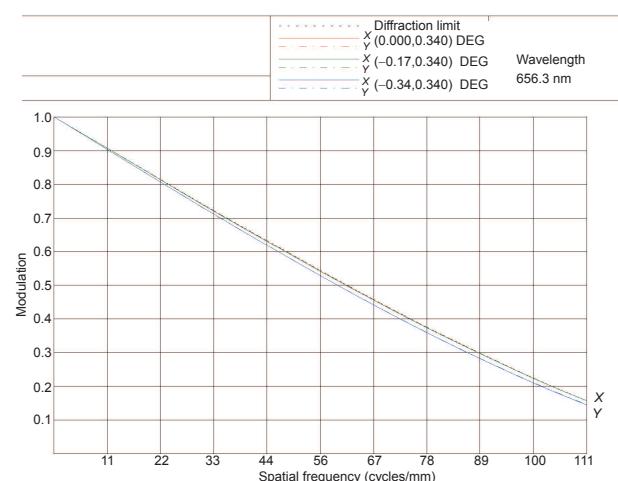


图 5 (网络版彩图)观星子系统的MTF曲线

Figure 5 (Color online) The MTF graph of the star-watching subsystem.

光栅光谱仪由入射狭缝、准直反射镜、平面光栅、成像反射镜、折叠镜和焦平面组成, 如图7所示, 线视场光线经前端系统入射至狭缝处, 经过准直反射镜的准直平行入射至平面光栅, 经过光栅的分光作用, 不同波长的光线以不同角度平行出射, 再经过成像反射镜成像在像面不同位置。平面光栅刻线密度为

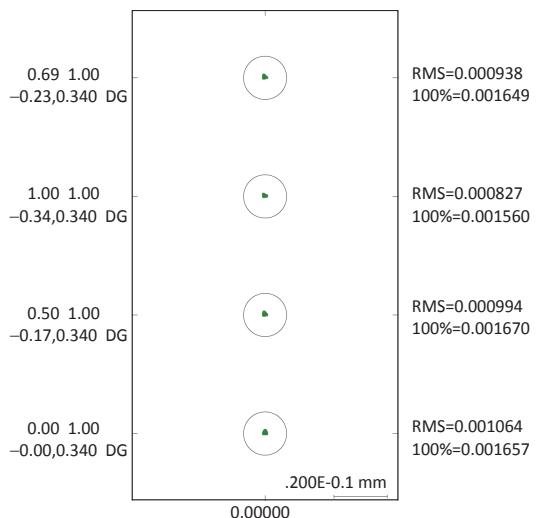


图 6 (网络版彩图)观星子系统的点列图

Figure 6 (Color online) The point graph of the star-watching subsystem.

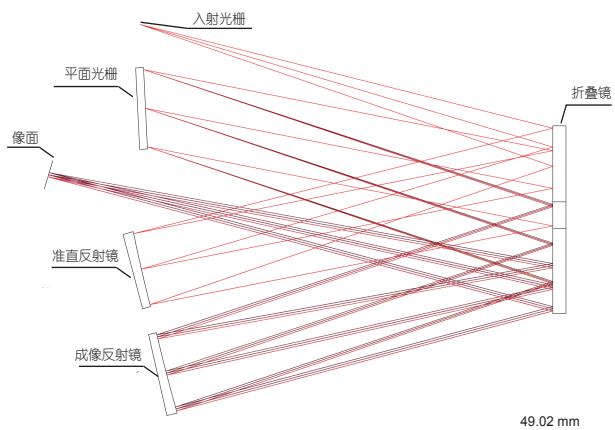


图 7 (网络版彩图)光栅光谱仪结构图

Figure 7 (Color online) The structure diagram of the grating spectrometer.

1800 lp/mm, 采用1级衍射光, 闪耀波长为6562.81 Å.

光栅方程:

$$\sin\alpha + \sin\beta = m\lambda/d, \quad (3)$$

式中, α 代表光栅入射角, β 代表衍射角, m 代表衍射级数, d 为光栅刻线密度1800 lp/mm的倒数, λ 为波长, β 为39.68714°。对于闪耀光栅, 其闪耀波长、闪耀角、光波波长和衍射角的关系为

$$\lambda_t = 2\lambda - 2ds\sin\beta / m. \quad (4)$$

对光栅方程求导, 得到线色散率:

$$D_t = \frac{d_l}{d_\lambda} = \frac{mf}{dcos\beta}, \quad (5)$$

式中, d_l 代表相邻的波长在成像面分开的能力, f 为焦距, C-T 结构系统中, f 等于准直镜和聚焦镜的焦距和. 光栅光谱仪的线色散率的倒数为 0.579 nm/mm, 如果采用 $a=4.6 \mu\text{m}$ 的探测器, 光谱成像系统的变倍比为 1:1, 狹缝宽度 ω_s 为 $8 \mu\text{m}$. 当系统存在像点弥散时, 单色光谱为狹缝函数(SF)与点扩散函数(PSF)的卷积. SF 可用矩形函数表示为

$$f_{\text{SF}} = \text{rect}\left(\frac{y}{\omega'_s}\right), \quad (6)$$

式中, ω'_s 为狹缝像的理想几何宽度. 考虑到像点弥散后, 单色光的 PSF 可以用高斯函数近似地表示为

$$F(f_{\text{SF}} * f_{\text{PSF}}) = F(f_{\text{SF}}) \cdot F(f_{\text{PSF}}). \quad (7)$$

SF 的傅里叶变换为

$$F(f_{\text{SF}}) = \omega'_s \text{sinc}(\omega'_s u). \quad (8)$$

用高斯函数代替 sinc 函数, 近似为

$$F(f_{\text{SF}}) = \omega'_s \text{sinc}(\omega'_s u) \cong C_1 \exp(-\pi \omega'^2_s u^2), \quad (9)$$

其中, C_1 为常数. PSF 的傅里叶变换为^[9-15]

$$F(f_{\text{PSF}}) = C_2 \exp(-\pi D^2 u^2), \quad (10)$$

式中, C_2 为常数, D 为色散方向光斑最大直径的值, 把式(9), (10)代入式(7):

$$F(f_{\text{SF}} * f_{\text{PSF}}) = C_1 C_2 \exp[-\pi(\omega'^2_s + D^2)u^2]. \quad (11)$$

近似得到单色光谱像的几何分布函数, 即仪器线性函数(ILS)的几何分布:

$$\begin{aligned} f_{\text{ILS}} &= F^{-1}[F(f_{\text{SF}} * f_{\text{PSF}})] \\ &= C_3 \exp\left[-\pi \frac{y^2}{(\omega'^2_s + D^2)}\right], \end{aligned} \quad (12)$$

式中, C_3 为常数, ILS 为高斯函数, 其半峰全宽度为

$$\omega_e = \sqrt{\omega'^2_s + D^2}. \quad (13)$$

光栅光谱仪的光谱分辨率为

$$\Delta\lambda_1 = \frac{d\lambda}{dl} \times \omega_e. \quad (14)$$

$\omega_s = 8 \mu\text{m}$, $D = 0.023 \text{ mm}$, 代入式(14)计算得 $\Delta\lambda_1 = 0.14 \text{ \AA}$, 满足谱线半宽 0.18 \AA 的设计要求, 存在充分的

设计余量. 综上, 太阳 H α 空间望远镜的设计参数见表 3.

3.3 入射窗口

在太阳 H α 空间望远镜前端需要设置入射窗口, 其作用包括带通滤光、阻止紫外线和红外线进入光学系统以及防辐射. 入射窗拟采用三明治结构, 即在两块防辐射玻璃(BK7G18)中间夹一片滤色玻璃(GG495), 可以滤掉蓝光和紫外光, 并在中间加镀带通膜和红外截止膜. 通光口径 200 mm, 每片玻璃 10 mm, 如图 8 所示, 为防止鬼像对成像的影响, 滤光窗口整体倾斜 1°.

3.4 成像性能分析

光栅光谱仪系统的 MTF 曲线如图 9 所示, 6562.81 Å 和 (6562.81 ± 25) Å 的点列图如图 10 所示, 可见系统像质接近衍射极限. 需要说明的是, 受到狭缝和光栅的影响, MTF 曲线上子午和弧矢方向传函的衍射极限存在差别, 但不影响成像.

扫描过程中, 光栅光谱仪扫描镜系统在垂直于狭缝方向 0° 瞬时各波段 MTF 曲线如图 11 所示, 点列图如图 12 所示, 可见, 在扫描过程中系统设计 MTF 接近衍

表 3 太阳 H α 空间望远镜的设计参数

Table 3 The parameters of solar H α space telescope

项目	特征值
工作波段 (Å)	6562.81±10
谱段半宽 (Å)	0.14
焦距 (mm)	1820
口径 (mm)	180
视场 (')	40×40
像元尺寸 (μm)	4.6
狹缝宽度 (μm)	8
像元角分辨率 ('')	0.523

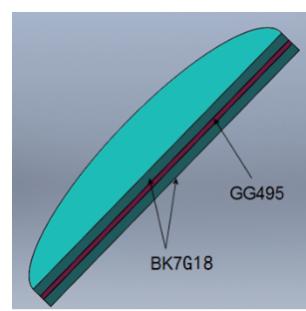


图 8 (网络版彩图) 滤光窗口示意图

Figure 8 (Color online) The sketch map of the filter window.

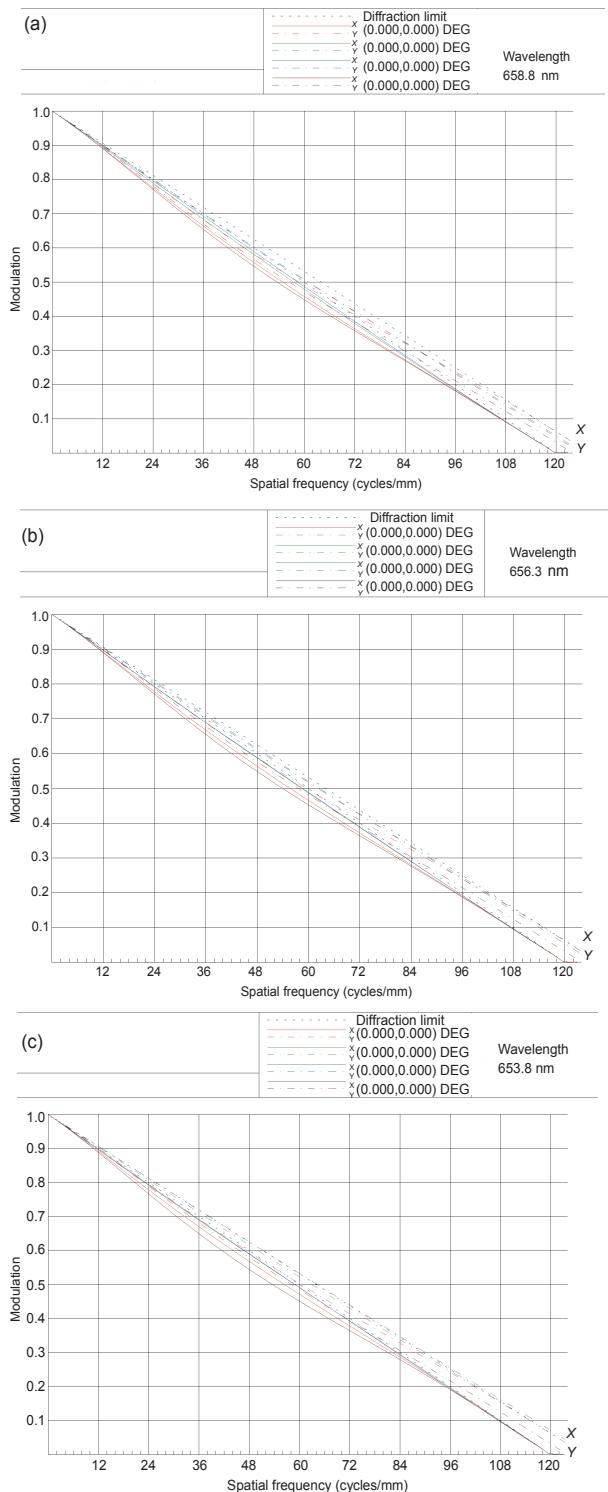


图 9 (网络版彩图)光栅光谱成像仪MTF曲线. (a) 658.8 nm 波长; (b) 656.3 nm 波长; (c) 653.8 nm 波长

Figure 9 (Color online) The MTF graph of the grating spectrometer. (a) 658.8-nm wavelength; (b) 656.3-nm wavelength; (c) 653.8-nm wavelength.

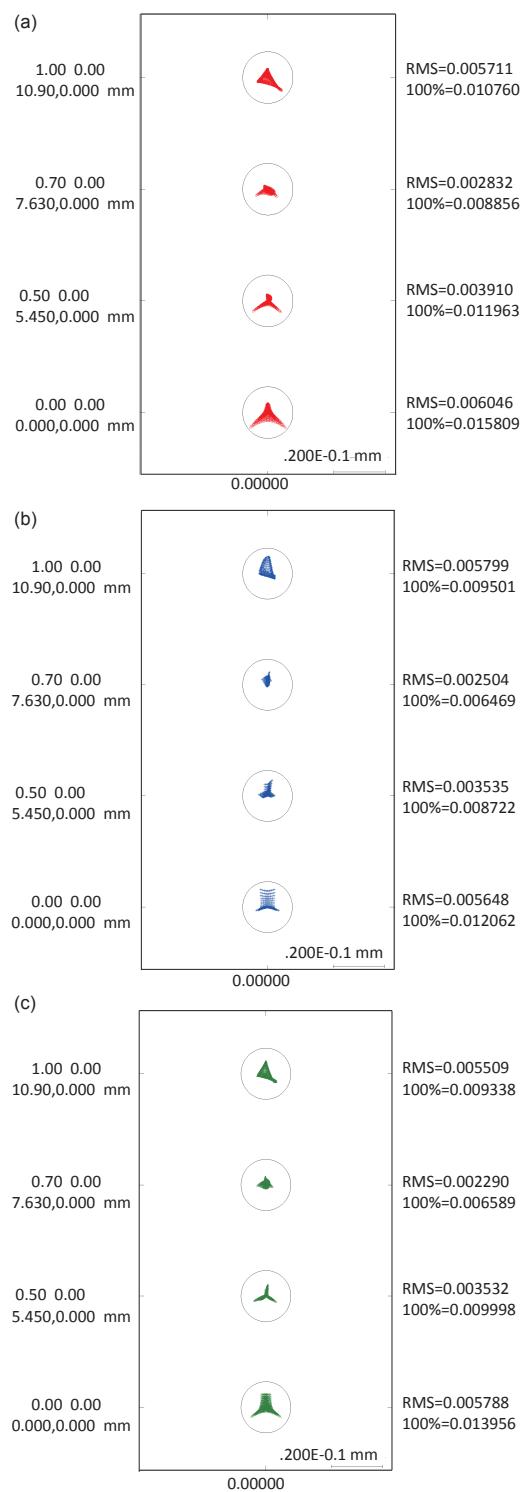


图 10 (网络版彩图)光栅光谱成像仪点列图. (a) 658.8 nm 波长; (b) 656.3 nm 波长; (c) 653.8 nm 波长

Figure 10 (Color online) The point graph of the grating spectrometer. (a) 658.8-nm wavelength; (b) 656.3-nm wavelength; (c) 653.8-nm wavelength.

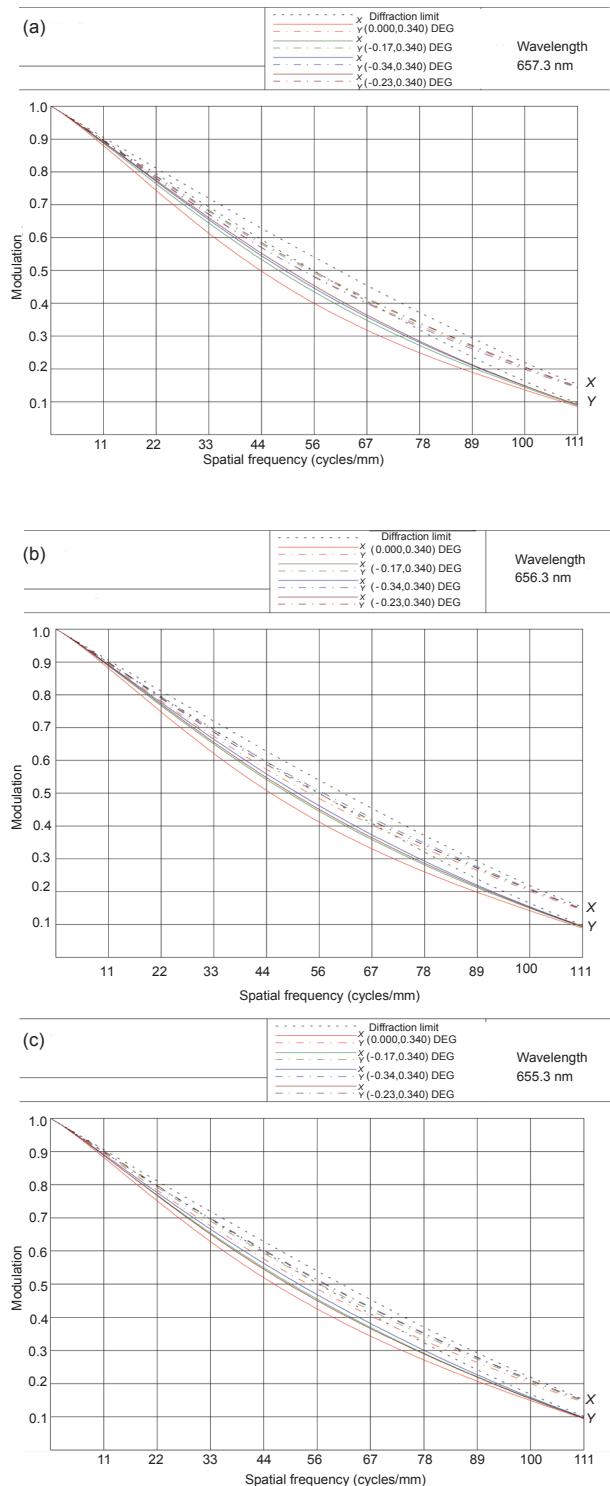


图 11 (网络版彩图)太阳H_α空间望远镜系统MTF曲线. (a) 657.3 nm波长; (b) 656.3 nm波长; (c) 655.3 nm波长

Figure 11 (Color online) The MTF graph of the solar H_α space telescope. (a) 657.3-nm wavelength; (b) 656.3-nm wavelength; (c) 655.3-nm wavelength.

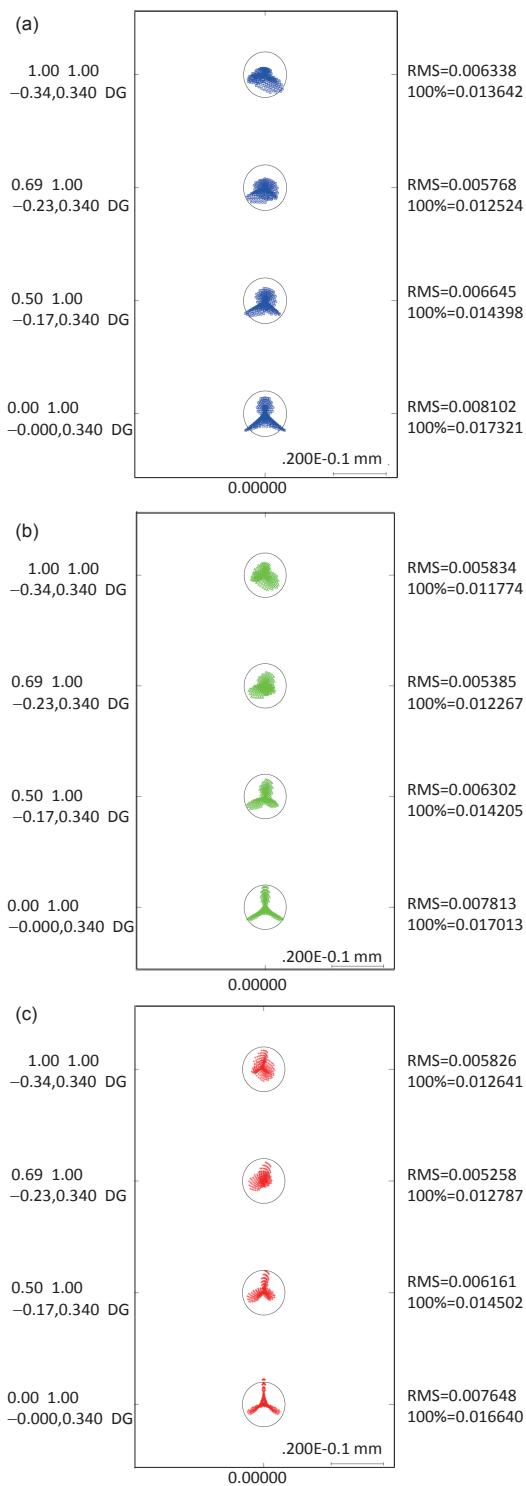


图 12 (网络版彩图)太阳H_α空间望远镜系统点列图. (a) 657.3 nm波长; (b) 656.3 nm波长; (c) 655.3 nm波长

Figure 12 (Color online) The MTF graph of the solar H_α space telescope. (a) 657.3-nm wavelength; (b) 656.3-nm wavelength; (c) 655.3-nm wavelength.

射极限, 满足像质要求.

4 结论

本文基于多功能、高集成度复合光学系统设计理念, 对望远镜光学系统的三个组成部分: 前置光学系统(焦距1820 mm, 口径180 mm)、太阳H α 空间望远镜和观

星子系统的光学设计思路和方案进行了详细的介绍.

设计了基于光栅光谱仪的太阳H α 空间望远镜光学系统, 给出了详细的设计结果, 并在结构安排、光学性能、能量估计以及系统可靠性等方面进行了全面的分析. 结果表明, 基于光栅光谱仪的太阳H α 空间望远镜方案, 满足光学性能和平台要求, 且具有高可靠性和高稳定性的优点, 适宜于空间观测应用.

参考文献

- 1 Gan W Q, Yan Y H, Huang Y. Prospect for space solar physics in 2016–2030 (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2019, 49: 059602 [甘为群, 颜毅华, 黄宇. 2016–2030年我国空间太阳物理发展的若干思考. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 059602]
- 2 Ji H S, Wang Y M, Wang J X. Stereoscopic observations of the Sun (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2019, 49: 059605 [季海生, 汪毓明, 汪景琇. 太阳的立体观测. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 059605]
- 3 Lin J, Wang M, Tian H, et al. *In situ* measurements of the solar eruption (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2019, 49: 059607 [林隽, 汪敏, 田晖, 等. 太阳爆发的抵近探测. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 059607]
- 4 Chen P F. Special Topic: Selected thoughts on future instruments in Chinese solar physics (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2019, 49: 059601 [陈鹏飞. 国内太阳物理未来观测设备建议. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 059601]
- 5 Liu Z, Deng Y Y, Yang D H, et al. Chinese Giant Solar Telescope (in Chinese). *Sci Sin-Phys Mech Astron*, 2019, 49: 059604 [刘忠, 邓元勇, 杨德华, 等. 中国巨型太阳望远镜. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2019, 49: 059604]
- 6 Liu Y Y. Active Thermal Control Technology for Large Ground-based Solar Telescope (in Chinese). Dissertation for Doctoral Degree. Chengdu: Institute of Optics and Electronics Chinese Academy of Sciences, 2016 [刘洋毅. 大口径地基太阳望远镜主动温控技术研究. 博士学位论文. 成都: 中国科学院光电技术研究所, 2016]
- 7 Zhang R, Cheng H B, Yang S M, et al. H α birefringent filter design for the space solar telescope (in Chinese). *Tsinghua Sci Tech (Nat Sci)*, 2005, 45: 654–657 [张锐, 程灏波, 杨世模, 等. 空间太阳望远镜中H α 双折射滤光器的设计. 清华大学学报(自然科学版), 2005, 45: 654–657]
- 8 Kosugi T, Matsuzaki K, Sakao T, et al. The Hinode (Solar-B) mission: An overview. *Sol Phys*, 2007, 243: 3–17
- 9 Song Y F, Shao X P, Xu J. Off-axis three-mirror reflective optical system (in Chinese). *Infrared Laser Eng*, 2008, 37: 706–709 [宋岩峰, 邵晓鹏, 徐军. 离轴三反射镜光学系统研究. 红外与激光工程, 2008, 37: 706–709]
- 10 Chang J, Weng Z C, Jiang H L, et al. Design on three-reflective-mirror system used in space (in Chinese). *Acta Opt Sin*, 2003, 23: 216–219 [常军, 翁志成, 姜会林, 等. 用于空间的三反射镜光学系统设计. 光学学报, 2003, 23: 216–219]
- 11 Zhang L, An Y, Jin G. Optical design of the uncoaxial three-mirror system with wide field of view and long focal length (in Chinese). *Infrared Laser Eng*, 2007, 36: 278–280 [张亮, 安源, 金光. 大视场、长焦距离轴三反射镜光学系统的设计. 红外与激光工程, 2007, 36: 278–280]
- 12 Xue Q S. Optical design of space-based wide field-of-view differential optical absorption imaging spectrometer (in Chinese). *Acta Opt Sin*, 2016, 36: 239–246 [薛庆生. 星载多模式差分吸收高光谱成像仪光学设计. 光学学报, 2016, 36: 239–246]
- 13 Liu Y, Zhang T S, Zhao X S. Optical design and analysis of laser radar spectrometer with high accuracy (in Chinese). *Opt Precis Eng*, 2018, 26: 1904–1909 [刘洋, 张天舒, 赵雪松, 等. 高精度测温拉曼激光雷达光谱仪的光学设计. 光学精密工程, 2018, 26: 1904–1909]
- 14 Zheng L H. Performance Analysis of High Spectral Resolution Solar Grating Spetrometer and Experiment Validation (in Chinese). Dissertation for Doctoral Degree. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2016 [郑联慧. 高光谱分辨率太阳光栅光谱仪的性能分析及实验验证. 博士学位论文. 成都: 电子科技大学, 2016]
- 15 Liu J P, Tang Y, Huang G, et al. Design method of optical system of improved Czerny-Turner imaging spectrometer (in Chinese). *Acta Opt Sin*, 2012, 32: 242–248 [刘健鹏, 唐义, 黄刚, 等. 改进型Czerny-Turner成像光谱仪光学系统设计方法. 光学学报, 2012, 32: 242–248]

Optical design of solar H α space telescope

MA RuiZhe¹, WANG ChunLiang^{1*}, CHEN ChangZheng², CHEN Zhe² & JIA Yan¹

¹ National Demonstration Center for Experimental Physics Education, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

² Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China

Solar H α is an important spectral line widely used to observe many solar phenomena, such as flares and filaments. The development of solar H α space spectrometer is an urgent need in China. The solar H α space spectrometer is composed of a front optical system (star-watching subsystem), a Czerny-Turner structure spectrometer, a scanning mirror system and an incident window. The focal length of the solar H α space telescope is designed to be 1820 mm and the aperture of the solar H α space telescope is 180 mm. The analysis shows that the pixel resolution of 0.523" can be achieved by using the detector with the pixel size of 4.6 μ m, and the rectangular field of view of 40' \times 40' can be covered. According to the requirement of the target, in order to realize the central wavelength (+1) in the H α band, a half-width spectrum (FWHM) of 0.15 is designed, and the working band is 6462.81–6662.81 \AA .

optical design, off-axis three mirror system, Czerny-Turner, grating spectrometer

PACS: 42.15.Eq, 95.75.Fg, 96.60.-J

doi: 10.1360/SSPMA-2019-0102