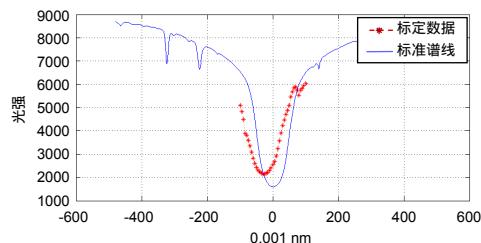


DOI: 10.12086/oee.2020.190049

一种里奥滤光器在线标定方法

王佳^{1,2,3}, 刘洋毅^{1,2}, 饶长辉^{1,2*}¹中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209;²中国科学院自适应光学重点实验室, 四川 成都 610209;³中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 里奥滤光器广泛应用于太阳观测中进行光谱扫描成像, 为保证其数据的有效性与准确性, 必须定期对其进行在线标定。传统的在线标定方法要求环境光强具有较高稳定性, 而本文提出了一种能够实时修正由环境扰动导致的太阳光强变化对标定过程影响的里奥滤光器在线标定方法。该方法通过单色光成像观测通道与里奥滤光器扫描成像观测通道联合观测的方式, 以单色光成像通道的观测结果获得外界环境对太阳光强扰动的信息, 在线校正滤光器的观测扫描数据, 降低由环境扰动造成的太阳光强非稳定性带来的干扰。基于七波段太阳大气层析成像系统, 对 H_a (656.28 nm) 扫描成像通道的里奥滤光器和 TiO (705 nm) 单色光成像通道进行了联合观测标定实验。实验结果表明, 该方法有效消除了太阳光强非稳定性对滤光器实测光谱轮廓的影响, 对中心波长位置定标精度优于 0.005 nm, 提升了里奥滤光器在线标定的准确性和对环境的适应性。

关键词: 里奥滤光器; 标定实验; 太阳多波段观测; 在线校正

中图分类号: TN249; TH765.2

文献标志码: A

引用格式: 王佳, 刘洋毅, 饶长辉. 一种里奥滤光器在线标定方法[J]. 光电工程, 2020, 47(9): 190049

A calibration method for Lyot filter

Wang Jia^{1,2,3}, Liu Yangyi^{1,2}, Rao Changhui^{1,2*}¹Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy Science, Chengdu, Sichuan 610209, China;²The Key Laboratory on Adaptive Optics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China;³University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Lyot filter is widely used in solar observation for spectra-scanning imaging. Calibration experiment at regular intervals is an important work to assure the accuracy and validity of Lyot filter. This paper comes up with a new method to conduct the Lyot filter calibration experiment on-line while traditional method requires perfect stability of environment. This method uses monochromatic imaging channel and Lyot filter scanning imaging channel simultaneously, and corrects the scanning data with monochromatic imaging data to correct the impact of environment. The instability of light source caused by disturbance of observation environment is reduced. We apply the calibration method in the high-resolution multi-wavelength solar imaging system to calibrate the Lyot filter in H_a (656.28) scanning imaging channel and correct the scanning data with TiO band (705 nm) observation data. The result shows that this method successfully eliminate the impact of the light instability on scanning curve of Lyot filter. The difference between the ideal center and the true center of the filter is more than 0.005 nm. The accuracy of the

收稿日期: 2019-01-29; 收到修改稿日期: 2019-04-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11727805, 11733005)

作者简介: 王佳(1993-), 女, 硕士, 主要从事太阳大气视向速度场测量技术的研究。E-mail: wang_joy@163.com

通信作者: 饶长辉(1971-), 男, 博士, 研究员, 主要从事大口径高分辨率光学成像望远镜技术和系统研制工作。E-mail: chrao@ioe.ac.cn

版权所有©2020 中国科学院光电技术研究所

calibration experiment and the adaptability to environment are promoted.

Keywords: Lyot filter; calibration experiment; multi-wavelength solar observation; on-line correction

Citation: Wang J, Liu Y Y, Rao C H. A calibration method for Lyot filter[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, 47(9): 190049

1 引言

由于窄带宽、可调谐等优势，里奥滤光器通常用于光谱扫描成像，已成为太阳观测的重要设备之一，广泛应用于各太阳望远镜，如美国的 GST^[1]，日本的 SMART^[2]，德国的 ChroTel^[3]，中国的 NVST^[4]等。里奥滤光器^[5-8]是利用双折射原理、使具有相位差的寻常光和非寻常光发生干涉从而达到窄带滤光效果的滤光器。通过在光路中加入晶片，调节晶片，改变两光束之间相位差的差值，使发生干涉的中心波长改变，从而达到里奥滤光器的调谐效果。里奥滤光器结构原理如图 1。其中 δ 为相位差，双向箭头代表偏正片。

然而，在实际使用中，里奥滤光器轮廓扫描的中心波长容易受温度影响产生漂移，滤光器一般放置在恒温装置中，通过调节恒温装置温度来对滤光器轮廓扫描的中心波长漂移进行修正。里奥滤光器出厂前，生产者已经完成对滤光器性能的检测，然而在使用过程中，由于装置的移动、环境的变化、使用的损耗等非稳定因素，会对里奥滤光器的性能产生影响。为了保证扫描成像观测的准确性，使滤光器设置的观测参数与实际的观测效果保持一致，需要在光路搭建完成后对里奥滤光器进行在线标定与校正，并且需要每隔一段时间重新标定。根据实际应用的需求，太阳多波段观测系统中需要标定的主要对象为里奥滤光器的扫描轮廓以及扫描轮廓的中心波长^[9]。有效的标定实验依赖于环境的稳定性，一般的标定实验需要在天气状态很好的条件下进行。传统的标定实验仅仅使用滤光器光谱扫描成像通道，单独对扫描成像观测结果进行

分析^[9-11]。由于传统的标定方法对太阳光强稳定性有较高要求，不仅提高了标定难度，同时浪费了宝贵的观测时间。

为了更有效地利用望远镜观测时间，降低标定试验对观测条件的高要求，本文提出一种里奥滤光器在线标定方法。该方法使用单色光成像通道与里奥滤光器扫描成像通道联合观测的方法，以单色光成像通道的观测结果获得外界环境对太阳光强扰动的信息，在线校正滤光器的观测扫描数据，降低由环境扰动引起的太阳光强非稳定性所带来的干扰，获取更加准确的太阳光谱。为进一步验证该方法的有效性，本文基于七波段太阳大气层析成像系统，使用其中 TiO 单色光成像通道(705 nm)与 H α 里奥滤光器扫描成像通道(656.28 nm)进行联合观测，对该在线标定方法进行了实验验证。

2 一种实时修正太阳光强变化的里奥滤光器在线标定方法

2.1 七波段太阳大气层析成像系统介绍

由于不同高度的太阳大气在特定的光谱范围内具有不同吸收特性，因此，可以通过特定波长进行成像观测^[12]。七波段太阳大气层析成像系统^[13]通过对覆盖可见光到近红外的七条太阳光谱吸收线进行同时观测，可以对太阳大气光球层到色球层进行层析成像观测，有助于获取太阳活动在太阳大气中的演化过程^[14]。该系统于 2015 年首光，是目前国际上成像通道数最多的太阳多波段层析成像系统(图 2)。

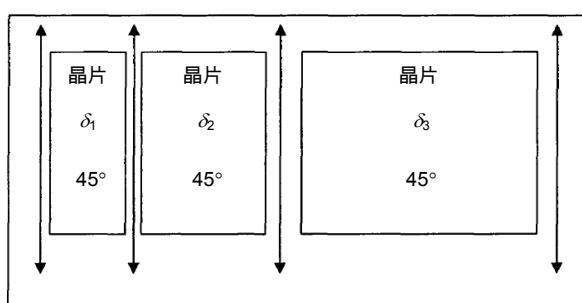


图 1 里奥滤光器结构原理

Fig. 1 The principle structure of Lyot filter

太阳色球吸收线线宽极窄，普通的干涉滤光片难以满足要求，往往采用具有极窄带宽的里奥滤光器或原子滤光器。由于原子滤光器受限于特定工作波长^[15]，因此里奥滤光器成为色球谱线观测中应用最为广泛的窄带滤光器，在七波段层析成像系统中被应用于三条色球吸收线谱线的观测，七波段层析成像系统成像波段及相关信息如表1所示。

里奥滤光器通过调节寻常光与非寻常光之间的相位差来对中心波长调谐从而达到光谱扫描成像观测的目的。下文实验中 H_α 扫描成像通道(656.28 nm)所使用的里奥滤光器出厂性能如表2所示，图3为滤光器中心波长透过率特性曲线。可以看到，滤光器透过率接近于 0.025 nm 带宽的高斯型曲线。因为中心波长极易受到环境影响并发生漂移，所以需要定期对光谱扫描成像通道中的里奥滤光器进行在线标定。

2.2 里奥滤光器在线标定方法介绍

本方法以多波段太阳大气层析成像系统为平台，以太阳表面中心宁静区为观测目标，使用单色光成像同时观测的方式，认为单色光成像通道的平均光强起伏仅受环境非稳定性的影响，一段时间内的单色光图像的平均光强曲线可以反映环境光强对观测的扰动情况，利用这一平均光强曲线获得用于修正标定数据的环境扰动修正系数，从而计算同一观测时间段内经过环境扰动修正的标定数据，再利用这一修正后的标定数据对滤光器的工作性能进行分析。图4为该方法示意图。

设光谱扫描成像通道各扫描波长位置 λ_k 的观测数据构成的矩阵为 Q ，大小为 $m \times n$ ，其中 m 为波长扫描点数， n 为每个波长位置的观测帧数， Q 的值为每帧观测数据的宁静区平均光强值。修正前谱线扫描标定

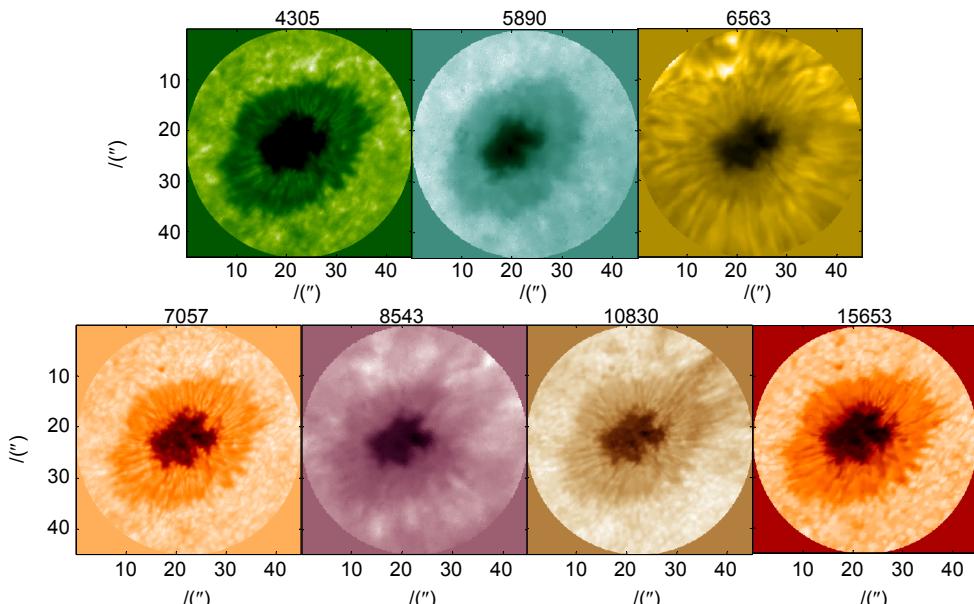


图2 可见光至近红外太阳大气不同高度活动区高分辨率多波段层析成像观测数据

Fig. 2 Visible light to near-infrared image of different solar atmosphere layer observed by high-resolution multi-wavelength solar imaging system

表1 七波段层析成像系统成像波段

Table 1 High-resolution multi-wavelength solar imaging system imaging channel

Wavelength/nm	Spectra line	Solar atmosphere layer	Bandwidth/nm	Resolution/(")	Filter type
430.5	G band	Photosphere	0.5	0.147	Interference
589.0	Na I line	Chromospheres	0.003	0.034	Atomic
656.28	H _α line	Chromospheres	0.025	0.135	Lyot
705.7	TiO band	Photosphere	0.7	0.0345	Interference
854.2	Ca II IR line	Chromospheres	0.02	0.203	Lyot
1083.0	He I line	Chromospheres	0.05	0.246	Lyot
1565.3	Fe I line	Photosphere	5	0.342	Interference

表 2 滤光器性能参数
Table 2 Performance of the Lyot filter

Attribute	Value
Center wavelength/nm	656.28
FWHM/nm	≤ 0.025
20% bandwidth	≤ 2.2 倍 FWHM
10% bandwidth	≤ 3 倍 FWHM
Tunable range/nm	± 0.5
Work temperature/°C	42 ± 1
Temperature stability/°C	± 0.02

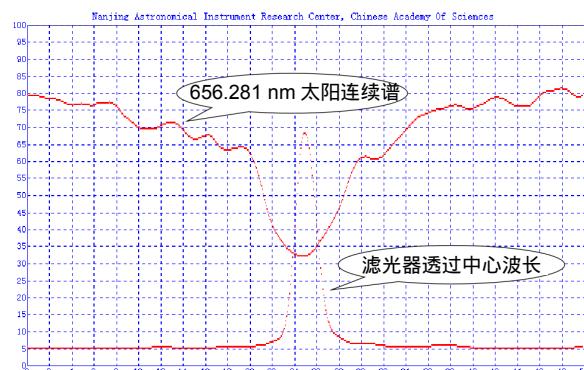


图 3 滤光器透过率曲线
Fig. 3 Transmittance curve of the Lyot filter

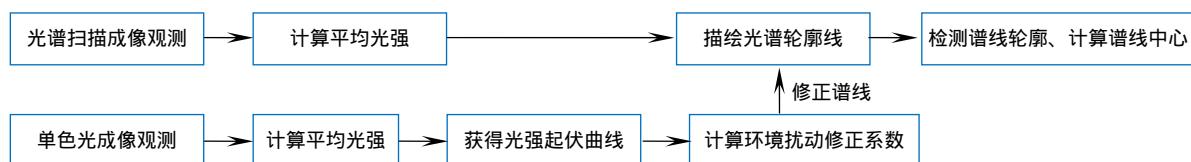


图 4 标定方法示意图
Fig. 4 Calibration method process

数据为序列 Q_m :

$$Q_m = \frac{\sum_n Q}{n} . \quad (1)$$

设单色光成像通道每帧图像的宁静区平均光强值构成的序列为 I , 大小为 $m \times l$ 。 m 为光谱扫描通道波长扫描点数 , l 为 λ_k 观测时间内单色光观测的总帧数。序列 I 的平均值为

$$\bar{I} = \sum I / (m \times l) . \quad (2)$$

则环境扰动修正系数序列为

$$I_c = \frac{I}{\bar{I}} . \quad (3)$$

为了计算在每个波长位置观测时间内环境扰动修正系数的平均值 , 将序列 I_c 转换成矩阵 I'_c , I'_c 的大小为 $m \times l$, 每个波长位置观测时间内环境扰动修正系数的平均值序列为

$$S = \sum_l I'_c / l , \quad (4)$$

式中 S 是大小为 m 的修正系数序列。

得到修正后谱线扫描标定数据 Q'_m :

$$Q'_m = Q_m / S . \quad (5)$$

3 基于七波段太阳大气层析成像系统的里奥滤光器标定实验

标定实验的观测目标是太阳典型谱线 , 实际标定时观测对象为太阳表面中心宁静区。由于实验对光强

的敏感性 , 进行观测实验过程中 , 需注意调整 CCD 曝光时间 , 保证单色光成像通道和滤光器扫描成像通道的光强都处于非饱和状态。基本实验过程如下 :

- 1) 以太阳表面中心宁静区为目标进行观测 , 同时开启 TiO 成像观测通道和 H α 扫描成像观测通道。H α 扫描成像观测时 , 每偏带设置 10 帧观测 ; TiO 观测帧频为每秒 2 帧 ;
- 2) 对 H α 通道每偏带观测的 10 帧图像作平均处理 , 得到一张偏带图像 ;
- 3) 选取观测区域内光强较均匀的区域 , 计算偏带扫描时间段内每帧 TiO 观测图像的平均光强 , 绘制观测时间段内 TiO 光强变化曲线 I ;
- 4) 选取相同的观测区域 , 计算 H α 偏带图像的平均光强 , 并以标准光强谱线(数据来自 Bass2000 谱线数据库)为归化标准 , 进行归一化 , 绘制扫描轮廓曲线 Q_m , 并计算轮廓中心位置 ;
- 5) 计算观测时间段内 TiO 光强变化曲线的均值 \bar{I} , 以每帧图像的平均光强值 I 除以该平均光强值 , 得到观测时间段内环境扰动的修正系数曲线 I_c ;
- 6) 对于每个 H α 偏带图像 , 计算在该偏带观测时间内环境扰动修正系数的平均值 , 得到扰动系数均值序列 S , 用轮廓曲线 Q_m 除以该均值序列 S , 得到修正环境扰动后的扫描观测谱线 Q'_m 并绘制谱线 , 计算修正后谱线的中心位置并分析谱线轮廓。

4 实验结果

4.1 轮廓检测实验结果

首先对滤光器扫描的 $H\alpha$ 轮廓进行检测，并以单色光成像观测数据对轮廓扫描数据进行修正。考虑天气与观测时长内天气变化的影响，以 0.01 nm 为步长，在中心波长 $\pm 0.3\text{ nm}$ 的范围内进行了轮廓扫描实验。

由于还未对滤光器扫描轮廓的中心波长进行校正，扫描轮廓相对于标准谱线轮廓有所平移。通过计算归一化后扫描轮廓最低点与标准谱线的差值，将扫描谱线与标准谱线对齐。中心对齐后，扫描观测标定结果和环境光强扰动修正后的扫描观测标定结果分别如图 5(a)、5(b)所示，横坐标为波长偏移量，中心波长为 656.3 nm 。环境扰动修正系数如图 6 所示。

可以看到，修正前扫描轮廓有较多起伏，修正后轮廓变得平滑，线型更接近于标准轮廓。以均方根差值为衡量标准，扰动修正前，扫描谱线与标准谱线的均方根误差为 468.3，扰动修正后该均方根误差为 442.6，均方根误差明显降低，剩余误差可能是由滤光器透过率特性、光路特性所引起。环境扰动修正后的轮廓检测结果显示，滤光器的工作性能较稳定，在扫描范围内扫描轮廓接近标准谱线轮廓，谱线蓝翼光强稍有降低。经过分析，蓝翼的小幅度降低可能是受光

路中前置滤光器光强透过率特性导致，与滤光器工作性能关系不大，前置滤光器透过率特性如图 7 所示，在扫描波段(656 nm 至 656.6 nm)，蓝翼透过率略低于红翼。另外，中心对齐时标定曲线与标准谱线的中心差值约为 0.028 nm ，扫描轮廓相较于标准谱线往蓝翼偏移 0.028 nm ，这一差值也与后文中心校正实验中中心修正前的差值 0.025 nm 相近。

4.2 中心标定实验结果

对滤光器的扫描轮廓进行检测后，我们对里奥滤光器的扫描中心波长进行了校正。开启 $H\alpha$ 扫描成像观测通道，在保证中心精度和数据有效性的同时提高实验效率，以 0.005 nm 为扫描步长在中心波长 $\pm 0.1\text{ nm}$ 的范围内进行扫描成像观测，同时开启 TiO 成像观测通道，以每秒 2 帧的帧频进行成像观测。选取宁静区域计算 $H\alpha$ 偏带图像的平均光强并以标准光强谱线为目标进行归一化，得到如图 8 所示观测标定谱线，横坐标为波长偏移量，中心波长为 656.28 nm 。

可以看到，谱线与标准谱线相比，中心有所偏移，轮廓不够平滑。分析认为，轮廓不平滑是外界环境导致，因为观测时天空有薄云。图 9 所示为通过 TiO 光强变化曲线获得的环境扰动的修正系数曲线。可以看到，观测后半段 TiO 光强有明显降低过程，结合观测

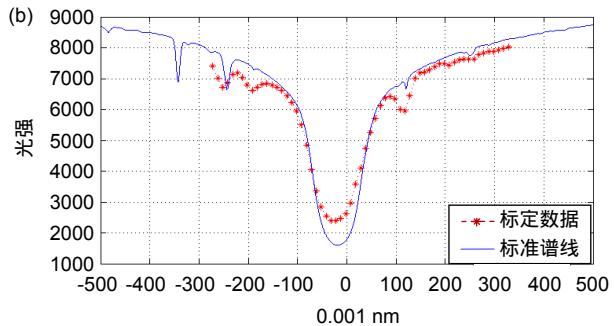
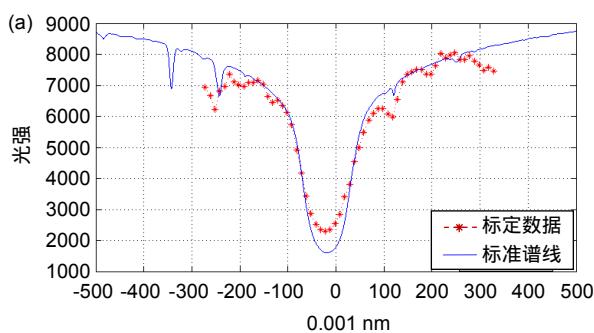


图 5 (a) 光强修正前标定数据; (b) 光强修正后标定数据

Fig. 5 (a) Calibration data before correction; (b) Calibration data after correction

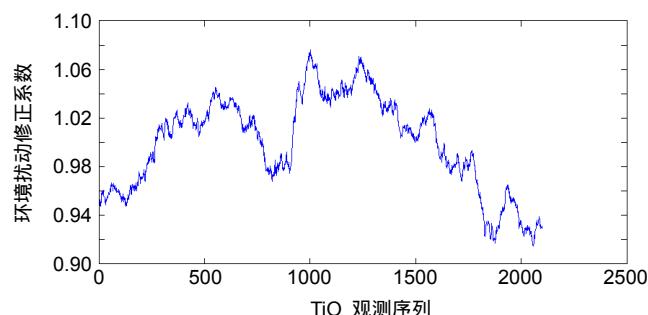


图 6 环境扰动修正系数曲线

Fig. 6 Correcting coefficient

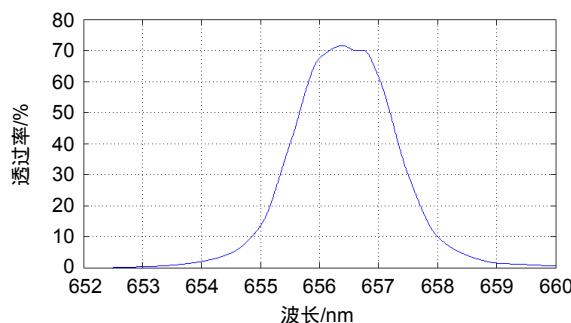


图 7 前置滤光器透过率特性曲线

Fig. 7 Pre-filter transmittance curve

实际情况分析，此时的降低是由于薄云飘过造成。

利用环境光强扰动曲线对标定谱线进行修正，得到如图 10 所示的修正环境光强扰动后的 H_α 扫描观测谱线。可以看到，经过环境光强扰动修正后，谱线更加平滑，更接近于标准谱线，修正了由薄云飘过造成光强降低，但红翼略有下降，标定谱线与标准谱线的

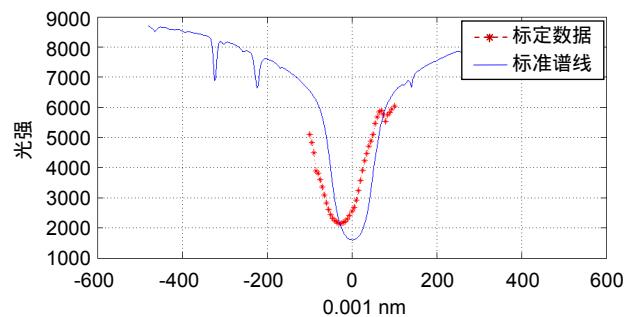


图 8 扫描观测谱线

Fig. 8 Scanning observation line

均方根误差由修正前的 599.5 下降至修正后的 529.5。从谱线轮廓扫描试验结果可以看出，此时红翼下降的原因是由观测谱线本身光强变化导致。通过计算扫描谱线的最低点位置，此时观测到的中心偏移量为往蓝翼偏移 0.025 nm，实际滤光器透过中心波长与设定值相比红移 0.025 nm。

表 3 三组标定实验均方根误差
Table 3 RMS of three calibration data groups

RMSE	Group1	Group2	Group3
Before correction	468.3	599.5	367.6
After correction	442.6	529.5	359.7

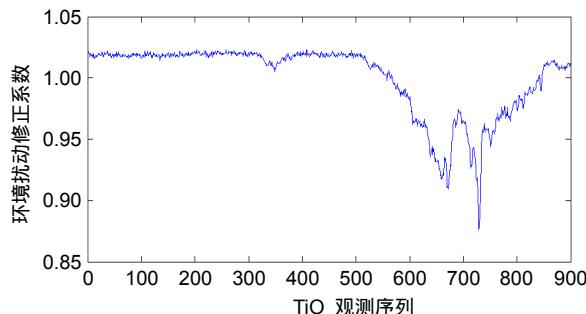


图 9 环境扰动修正系数曲线

Fig. 9 Correcting coefficient

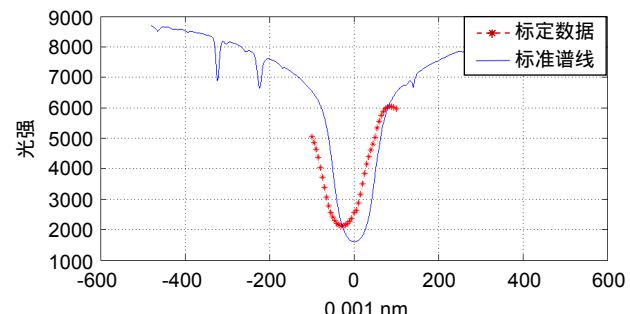


图 10 光强修正后标定数据

Fig. 10 Calibration data after correction

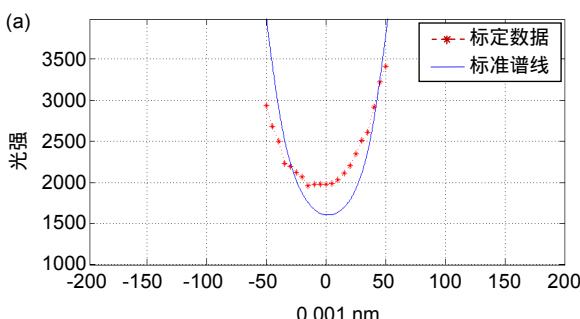
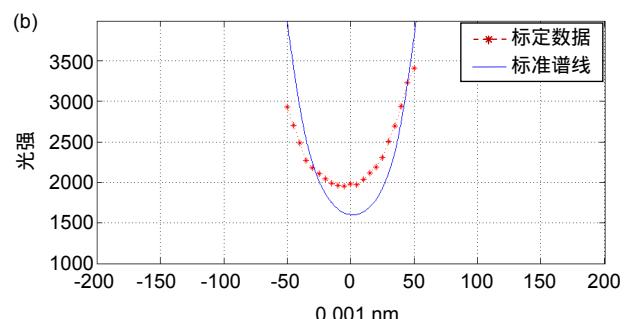


图 11 (a) 为光强修正前标定数据；(b) 为光强修正后标定数据

Fig. 11 (a) Calibration data before correction; (b) Calibration data after correction



根据中心波长偏移量，调节里奥滤光器恒温装置温度，使里奥滤光器扫描轮廓的中心波长尽量接近 H α 标准谱线中心波长。根据里奥滤光器参数，滤光器每升温 0.01 °C 滤光器透过中心波长蓝移 0.0004 nm，需将滤光器从现在的 41.805 °C 升温至 42.43 °C。调节温度后，同样以 0.005 nm 为扫描步长在中心波长±0.05 nm 的范围内进行扫描成像观测，并以环境光强扰动曲线进行修正，得到修正前和修正后的 H α 标定谱线数据，结果分别如图 11(a)、11(b)所示。可以看到，此时扫描轮廓中心波长位置与标准谱线中心位置十分接近，修正后的谱线也变得平滑，与标准谱线的均方根误差由修正前的 468.3 下降至 442.6。经过计算，此时的中心偏移量小于 0.005 nm，达到观测要求。从三组标定实验数据相对于标准谱线的均方根误差(表 3)可以看出，经过环境扰动修正后，均方根误差均有所下降，表明修正后的谱线都更接近于标准谱线，证明了本实时修正太阳光强变化的里奥滤光器在线标定方法的有效性。

5 结 论

本文提出的一种里奥滤光器在线标定方法，在太阳多波段观测系统中，使用单色光成像通道与里奥滤光器波长扫描成像通道联合观测来修正环境因素造成的太阳光强扰动的标定方法。与传统方法相比，该方法降低了里奥滤光器标定实验对观测条件的要求，提高了标定实验的准确性，提高了望远镜的使用效率。利用该方法，我们很好地对七波段太阳大气层析成像系统中 H α 观测通道的里奥滤光器和 TiO 单色光观测通道进行了联合标定实验，实验结果显示进行环境扰动修正后的谱线与标准谱线轮廓吻合得更好，滤光器性能稳定。将环境扰动修正应用于中心标定实验，使中心得到了很好的校正，扫描轮廓中心相较于在标准谱线中心往蓝翼偏移，偏移量小于 0.005 nm。最后，该方法也可推广到里奥滤光器的日常扫描成像观测中。

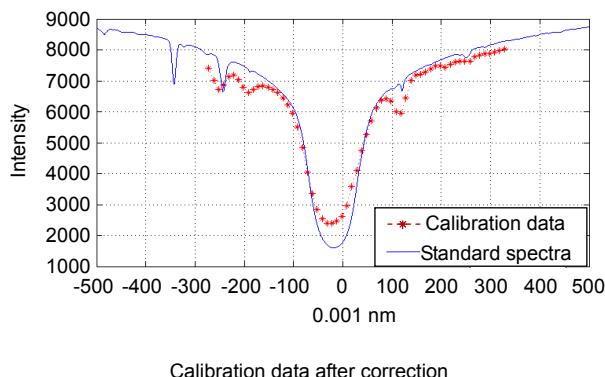
参 考 文 献

- [1] Goode P R, Denker C J, Didkovsky L I, et al. 1.6 M Solar telescope in big bear-the NST[J]. *Journal of the Korean Astronomical Society*, 2003, **36**(spc1): 125–133.
- [2] Ichimoto K, Ishii T T, Otsuji K, et al. A new solar imaging system for observing high-speed eruptions: *Solar Dynamics Doppler Imager (SDDI)*[J]. *Solar Physics*, 2017, **292**(4): 63.
- [3] Bethge C, Peter H, Kentischer T J, et al. The chromospheric telescope[J]. *Astronomy & Astrophysics*, 2011, **534**: A105.
- [4] Yan X L, Xue Z K, Xiang Y Y, et al. Fine-scale structures and material flows of quiescent filaments observed by the New Vacuum Solar Telescope[J]. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 2015, **15**(10): 1725–1734.
- [5] Zhang P B, Mao W J. Active compensation research of spatial birefringent filter[J]. *Journal of Applied Optics*, 2011, **32**(6): 1093–1097.
张鹏斌, 毛伟军. 空间双折射干涉滤光器的主动补偿研究[J]. 应用光学, 2011, **32**(6): 1093–1097.
- [6] Ai G X. Birefringent filter and its application to astronomy[J]. *Progress in Astronomy*, 1987, **5**(4): 317–329.
艾国祥. 双折射滤光器及其在天文学中的应用[J]. 天文学进展, 1987, **5**(4): 317–329.
- [7] Xuan W J, Wang D G, Deng Y Y, et al. Error analysis and performance optimization of birefringent filter[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, **18**(1): 52–59.
玄伟佳, 王东光, 邓元勇, 等. 双折射滤光器的误差分析与性能优化[J]. 光学精密工程, 2010, **18**(1): 52–59.
- [8] Cao X Y. LC-based tunable Lyot narrow-band filter work in wide spectrum range[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008: 12–15.
曹星烨. 基于液晶可调谐的宽光谱窄带 Lyot 型滤光片[D]. 杭州: 浙江大学, 2008: 12–15.
- [9] Xu Z, Yang L, Xiang Y Y, et al. An investigation of spectral-line profiles from the wavelength-scanning with a narrow-band H α Lyot filter on the YNAO new vacuum solar telescope[J]. *Astronomical Research and Technology*, 2014, **11**(3): 239–246.
徐稚, 杨磊, 向永源, 等. 抚仙湖一米红外太阳望远镜 H α 窄带滤光器扫描轮廓的检测与修正[J]. 天文研究与技术, 2014, **11**(3): 239–246.
- [10] Mudge J, Tarbell T. In situ calibration of tunable filters: Lyot and michelson[J]. *Applied Optics*, 2014, **53**(22): 4978–4986.
- [11] Couvidat S, Rajaguru S P, Wachter R, et al. Line-of-sight observables algorithms for the helioseismic and magnetic imager (hmi) instrument tested with interferometric bidimensional spectrometer (IBIS) observations[J]. *Solar Physics*, 2012, **278**: 217–240.
- [12] Rimmele T R, Hubbard R P, Balasubramaniam K S, et al. Instrumentation for the advanced technology solar telescope[J]. *Proceedings of SPIE*, 2004, **5492**: 944–957.
- [13] Rao C H, Zhu L, Gu N T, et al. A high-resolution multi-wavelength simultaneous imaging system with solar adaptive optics[J]. *The Astronomical Journal*, 2017, **154**(4): 143.
- [14] Lin Y Z. *Introduction to Solar Physics*[M]. Beijing: Science Press, 2000: 249–390.
林元章. 太阳物理导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 249–390.
- [15] Zou Z W, Cheng X W, Yang Y, et al. Application of dual-peak-transmission sodium FADOF in solar velocity field observation[J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, **32**(5): 0523002.
邹照伟, 程学武, 杨勇, 等. 双透射峰钠原子滤光器在太阳速度场观测中的应用[J]. 光学学报, 2012, **32**(5): 0523002.

A calibration method for Lyot filter

Wang Jia^{1,2,3}, Liu Yangyi^{1,2}, Rao Changhui^{1,2*}

¹Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy Science, Chengdu, Sichuan 610209, China;
²The Key Laboratory on Adaptive Optics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China;
³University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China



Overview: Lyot filter is widely used in solar observation for spectra-scanning imaging such as GST in America, SMART in Japan, ChroTel in Germany and NVST in China. As the instability caused by environment or mechanical error when the filter works, calibration experiment at regular intervals is an important work to assure the accuracy and validity of Lyot filter. Traditional method to calibrate the Lyot filter often requires the high quality of the observation weather, which makes the calibration experiment more difficult and wastes the valuable time of telescope observation time. To cover the shortage of traditional method, this paper comes up with a new method to conduct the Lyot filter calibration experiment on-line. This method uses monochromatic imaging channel and Lyot filter scanning imaging channel simultaneously. We assume that the vibration of the intensity of the monochromatic imaging is only caused by the disturbance of the observation environment. We can correct the spectra-scanning data with monochromatic imaging data to correct the impact of environment.

We apply the calibration method in the high-resolution multi-wavelength solar imaging system to calibrate the Lyot filter in H α (656.28) scanning imaging channel and correct the scanning data with TiO band(705 nm) observation data. We calculate the correction coefficient with TiO band data, and use it to correct the spectra line pictured by H α scanning imaging data. The result of line curve calibration experiment shows that this method successfully eliminate the impact of the light instability on scanning curve of Lyot filter, as the RMS of scanning curve and standard line is reduced from 482 to 456 and the shape of the scanning curve is closer to the standard line. Then we get a group of data to test the center wavelength of the spectra curve. As the result shows, the true center wavelength has a bias which is about 0.025 nm after the spectra scanning data is corrected by the TiO imaging data. According to the user guide, we change the work temperature of the filter. The center calibration experiment shows, after correcting the center wavelength by setting the work temperature of Lyot filter from 41.805 °C to 42.43 °C, the difference between the idea center and the true center of the filter is reduced form about 0.025 nm to less than 0.005 nm. The center wavelength is well corrected after the calibration experiment.

As the result shows, the instability of light source caused by disturbance of observation environment is reduced and the efficiency of the calibration experiment is increased.

Citation: Wang J, Liu Y Y, Rao C H. A calibration method for Lyot filter[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, **47**(9): 190049

Supported by National Natural Sciences Foundation of China (11727805,11733005)

* E-mail: chrao@ioe.ac.cn