

日晕测量与日晕光度计外缘杂散光抑制试验*

刘念平^{1,2} 刘煜^{1†} 申远灯^{1,2} 张雪飞¹
曹文达³ Arnaud Jean⁴

(1 中国科学院国家天文台 / 云南天文台 昆明 650011)

(2 中国科学院研究生院 北京 100049)

(3 Center for Solar Terrestrial Research, New Jersey Institute of Technology,
Newark NJ 07102, USA)

(4 Université de Nice Sophia Antipolis, Fizeau Laboratory, Parc Valrose 06108 Nice, France)

摘要 为配合大型太阳设备西部选址工作, 研制了一架现代日晕光度计 (Sky Brightness Monitor, SBM). 前期实验对日晕光度计性能进行了测试, 同时积累了云南部分址点的日晕数据. 资料分析结果显示, 轿子雪山正午前后的日晕水平最低可至日面中心强度百万分之几的量级 (蓝波段). 这表明该日晕光度计内部杂散光水平已达到了国际同类产品的标准. 日晕光度计的内部杂散光源主要来自两部分: 镜筒前端中性滤光片 (ND4) 固定套圈的边缘衍射 (视场靠内区域) 和镜筒内置光阑的边缘衍射 (视场靠外区域). 针对后者进行的变换光阑孔径大小试验结果证实, 适当缩小光阑孔径可有效减小数据中视场靠外区域的衍射光干扰.

关键词 仪器: 光度计, 太阳: 日冕

中图分类号: P 111; **文献标识码:** A

1 引言

我国太阳物理研究正处在快速发展的黄金时期. 目前, 新一轮的太阳设备西部选址工作也在逐步有序展开. 选址所需要的各种大气参数, 包括消光指数、积分水汽、透明度等, 可由日晕光度计天空背景的多波段数据提供. 日冕是太阳大气的重要层次, 它本身的亮度相对于背景的面日光球强辐射来说极其微弱, 加上大气散射的影响, 在日冕仪问世之前, 人们通常只能在日全食发生时观测到它^[1]. 对日冕的直接观测一直是我国太阳物理学家们的愿望. 事实上, 早在 1959 年我国的苏定强等^[2]就对地面日冕仪的设计和制造进行过详细的研究, 但是由于没有适合的台址和其它因素, 直到现在我国也尚无任

2010-06-28 收到原稿, 2010-09-15 收到修改稿

* 国家天文台天文专项 (日晕光度计研制) 项目和国家自然科学基金项目 (11073050、10933003、11078004) 资助

† lyu@ynao.ac.cn

何常规的日冕光学观测设备。日晕光度计能直接测量日晕,即太阳周围的大面积天空背景亮度,从而可以为日冕仪的选址提供最重要的参考,这对推动我国地面日冕仪的问世乃至整个太阳设备选址项目都具有重要意义。云南天文台李秋莎等^[3]也在1991年前后制作过简易的日晕光度计,但其性能与国际标准日晕光度计有一定距离。在新一轮太阳设备选址的背景下,为了寻找和建立世界一流台址,我们有必要参考国际经验研制新型现代化日晕光度计,通过对日晕进行科学准确的观测来获得址点的重要大气参数。云南天文台在国际合作的基础上,利用国家天文台天文专项基金研制了国内首架现代日晕光度计,并在2010年1月15日的大理日环食观测中取得了大量数据,该仪器的良好性能得到了检验。

现代日晕光度计是由美国 ATST (Advanced Technology Solar Telescope) 4 m 口径太阳望远镜选址项目成员首先设计和应用的^[4]。为方便中美之间选址数据的比较和定标,我们完全引进了该测量仪器的主要光学设计指标,因此我们在制造第1架日晕光度计时采用了与原设计一致的尺寸、口径等参数。这架日晕光度计大部分元部件都由国外生产。由于产品的自然更新换代,我们的 CCD 相机及其附属软件的性能指标均优于原美国 6 yr 前的产品。虽属仿制国外设计,但这完全是为了首先确立国内外相关技术水平的比较基础。也就是说,先接轨国际标准,在条件成熟时可以根据需要来改进设计。

该日晕光度计设计的特点是日面光球和日晕能够同时成像,可以十分方便准确地得到日晕与日面强度的比值。日晕的亮度是由于大气散射造成的,可以预见,为准确测定天空背景强度,考虑如何抑制来自日面直射光在仪器内部产生的杂散光问题将是重点。因此,在这架新日晕光度计研制后的前期实验阶段,我们除了对不同选点的日晕进行观测和比较之外,还尝试了杂散光的抑制试验。我们根据文献^[4],对增减 ND4 套圈数量进行了重复试验,基本验证了他们方法的有效性,这非常有助于消减观测视场中部杂散光强度。我们还针对视场外部分布的强衍射光抑制进行了光阑孔径试验,也取得了不错的效果,结果详见本文第4部分。值得一提的是,缩小光阑孔径对将来进一步改进日晕光度计数据质量有积极意义,可以增大数据的有效视场范围。

2 仪器介绍与基本原理

考虑到方便用于野外选址,我们此次研制的日晕光度计体积不大,它的外观如图1所示。日晕光度计的主要部件包括镜筒、CCD、赤道跟踪仪、三角架等。其中型号 GM-8 的赤道仪和三角架是由美国 Losmandy 公司生产(部分参数见表1),镜筒由云南天文台研制,镜筒后安装了由 SBIG (Santa Barbara Instrument Group) 公司生产的 CCD 相机装置(详细参数见表2)。我们为野外观测配备了便携式可充电锂电池,用于赤道跟踪仪系统和 CCD 相机供电 6~8 h。我们配置的用于软件操作和数据储存的 Lenovo (联想) T400s 型笔记本电脑也经受住了海拔 4 000 m 自然条件的考验,工作十分正常。



图 1 云南天文台日晕光度计外观. 摄于云南天文台行政楼楼顶

Fig. 1 The SBM made by Yunnan Astronomical Observatory (YNAO). Photographed on the top of the YNAO Administration Building

表 1 赤道跟踪仪和三角架部分参数

Table 1 Specifications of the equatorial mount and tripod

Model	GM-8
Mount weight / Load capacity	11 kg / 15 kg
Tripod	Steel tripod - 66~105 cm
Polar range	0°~ 64° north and south
Setting rates	4× , 8× , 16× , 32× sidereal
Shafts	Aluminium shafts with diameter of 32 mm
Periodic error	Approximately 5''
Power supply	12 V/500 mA

镜筒的光路结构示意图见图 2. 详细的光学结构图可参考文献 [4]. 由于日晕光度计整体光学系统仅用了一片透镜, 焦比数为 20 (通光直径 5 mm, 焦距 100 mm), 因此我们不能期望光度计有较高的成像质量. 从图 2 可以看出, 该光度计可以同时测量日面和天光背景亮度的原理是让日面光线先通过一组 ND4 减光片, 而来自天光背景的辐射可以直接进入下一个 ND2 减光片. 经过这样的成像系统的作用, 可以消除天光背景和光球亮度的巨大差异 ($10^4 \sim 10^6$ 量级的差异), 在不至于让 CCD 读数溢出的情况下同时对来自这两种辐射的强度数据进行采集和可靠比对. 由于光球的极高亮度, 日面光线在仪器内部的散射和衍射源有可能造成较大的杂散光干扰. 从图 2 可以看到, O 型环遮光体处于太阳直接照射, 其边缘将产生较强的衍射光. 另外, 镜筒口内边缘及仪器内壁的 3 个光阑在日面光线的照射下也将成为较强的杂散光源. 仪器的理论视场为 $2.8 \sim 7.8 R_{\odot}$ [4], 但是由于内外强衍射环的存在, 使得它的实际有效视场有所减小.

表 2 CCD 相机详细参数

Table 2 Specifications of the CCD camera

CCD model	Kodak KAF-402ME
Pixel array	765 pixels× 510 pixels, 6.9 mm× 4.6 mm
Total pixels	390150
Pixel size	9 μm×9 μm
Full well capacity	100000 electrons
Dark current	1 e ⁻ /pixel/s (0 °C)
Shutter	Electromechanical
Exposure	0.04~3600 s, 10 ms resolution
A/D converter	16-bit with correlated double sampling
Read noise	17 e ⁻ RMS
Binning	1×1, 2×2, 3×3
USB 2	Up to 1200000 pixels/s
Cooling	Single stage TE, active fan, 25 °C delta
Temperature regulation	Closed loop, ±0.1 °C
Power requirements	10~14.5 V DC at 1 A, center-positive
Backfocus	Same as C-mount, 1.75 cm
Dimensions	10.2 cm×12.7 cm×5 cm

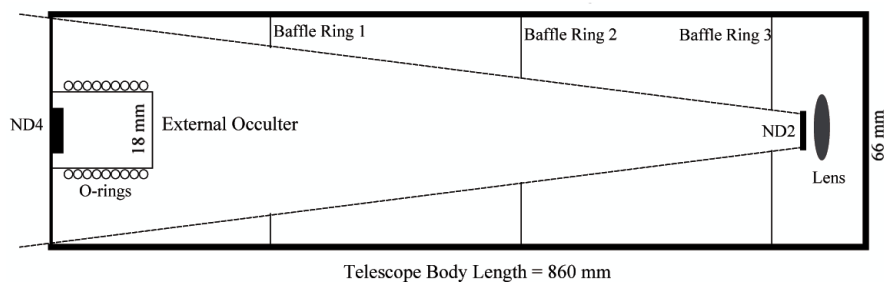


图 2 日晕光度计前端示意图

Fig.2 Sketch of SBM frontier

由于日面和日晕在光路上的差别仅源于日面部分多经过了一组 ND4 减光片, 这使数据处理变得十分简便. 设 CCD 的记录读数在日面中心 O 和日晕待测点 A 分别为 I_O 和 I_A , 设 ND4 减光片在测量波段 x 的透过率为 T_x , 设该处天空背景散射光水平 α_x (定义为日晕与日心的辐射强度比), 由于 ND4 对日面的减光, 使得 I_A 与 I_O 的比值在原有基础上放大了 $1/T_x$ 倍, 容易得出以下关系式:

$$\frac{I_A}{I_O} = \frac{\alpha_x}{T_x}. \quad (1)$$

由于仪器杂散光的缘故, 使得 CCD 记录的读数不仅包括天空散射光成像的贡献, 还同时

附加了仪器杂散光的强度, 设这部分比例为 N_s , 因此上述关系式修正为

$$\frac{I_A}{I_O} = \frac{\alpha_x}{T_x} + N_s, \quad (2)$$

于是可以得到天空背景散射光水平的表达式

$$\alpha_x = T_x \left(\frac{I_A}{I_O} - N_s \right), \quad (3)$$

理想状态 $N_s = 0$ 时, 有

$$\alpha_x = T_x \frac{I_A}{I_O}, \quad (4)$$

I_A/I_O 就是我们能从 CCD 读数直接计算得到的归一化强度. 在通常条件下, 仪器杂散光 N_s 不可能为零, 其强度将对 α_x 的测定直接引入误差. 另外, α_x 显然也是随日心距变化的函数 ($\alpha_x = \alpha_x(R)$), 这可以通过实测得到.

图 3 是我们于 2010 年 1 月 15 日观测到的大理洱源日环食初亏时的实测数据, 对几个主要结构特征给出了示意. 图中有 3 个辐条状阴影区域, 由镜筒口 ND4 支架形成. 注

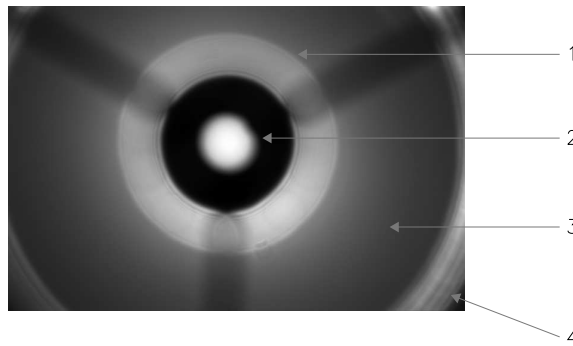


图 3 云南天文台在 2010 年 1 月 15 日大理日环食初亏阶段观测的 SBM 数据样例. 图中箭头 1 所指示的是 ND4 减光片遮光体边缘引起的明亮衍射光圈, 箭头 2 是经过减光后的太阳像, 箭头 3 是日晕测量区域, 箭头 4 指向的是由光阑孔径边缘引起的衍射光圈

Fig. 3 Sample of YNAO SBM image from an observation during the first contact of the Dali annular solar eclipse on 2010 January 15. Arrow 1 points to the bright diffraction rings from the edges of the occulter containing the ND4 filter. Arrow 2 points to the filtered solar disk. Arrow 3 shows the field of view used to make the sky brightness measurement. Arrow 4 points to the diffraction rings caused by the baffle ring edges

意到图面上 2 个明显的衍射环区 (箭头 1 和 4 所示), 由前文指出的两个杂散光源产生. 对于其中靠内的衍射带, 文献 [4] 已经介绍过可通过增加 O 型环固定套圈上的塑胶圈个数来减低其强度的办法, 我们通过实验得到了一致的结果, 此处就不再赘述; 对于靠外的衍射带, 我们尝试性地进行了调整光阑大小的实验, 后文将详细叙述. 注意到中间的日面像边缘有些模糊, 有以下 2 个主要原因: 一是由于光路中 3 片高反射率的 ND2 滤光片会对太阳像产生多次反射叠加效应; 二是由于在大理和其它地点测试期间, 均是手

动粗调 CCD 相机距离, 这会导致一定的焦距偏差. 后者可能是导致日轮边缘模糊的主要原因.

3 多址点日晕初步观测结果比较

通过 2010 年 1 月 15 日的日环食期间日晕光度计试观测, 确信了仪器的可用性和可靠性之后, 我们将这架新型日晕光度计投入到对日晕的初步观测和比较中. 日晕光度计在野外工作, 一般先要安装调试. 安装时先调好仪器重力平衡, 然后需要利用北极镜校准极轴, 以方便跟踪太阳进行持续稳定成像. CCD 预冷却后, 把日面移入视场, 有时需调节 ND4 镜片的角度以防止减光片的多次反射造成的杂散光, 最后需要完成手动对焦过程. 在完成一系列调节设定之后就可以进行连续的观测记录了, 采集的数据被完整地传入终端计算机储存系统. 需要补充的是, 我们在终端获取的文件数据已经扣除暗流并经过平场改正.

3.1 中性滤光片定标

ND2 透过率理想值为 1%, 我们用的 ND4 减光片由两片 ND2 叠加组成. 日晕的测量结果与中性滤光片的透过率 T 有关 ((3) 式), 因此有必要先确认 ND2 滤片的各谱线真实透过率. 表 3 是主要 ND2 样品的检测结果, 检测单位是中国计量科学研究院光学与激光计量研究所 (北京).

表 3 ND2 减光片样品透过率的定标数据

Table 3 Calibrated transmission coefficients of ND2 filter samples

Sample number	$T(450 \text{ nm})$	$T(530 \text{ nm})$	$T(890 \text{ nm})$	$T(940 \text{ nm})$
1	0.0073	0.0108	0.0288	0.0308
2	0.0073	0.0107	0.0285	0.0304
3	0.0072	0.0108	0.0292	0.0308
4	0.0075	0.0109	0.0289	0.0304
5	0.0073	0.0107	0.0290	0.0307
6	0.0072	0.0108	0.0289	0.0308
7	0.0073	0.0107	0.0287	0.0302
8	0.0109	0.0147	0.0330	0.0346
9	0.0106	0.0141	0.0326	0.0344

Note: Samples numbered 8 and 9 are from the first product order; the left are from the second product order.

从检测结果看, 同批次产品的同波段透过率稳定性较好, 不同批次之间有较明显差异, 需要认真定标. 我们测量时使用的滤光片都是 Melles Griot 公司的同一批产品, 本文中 ND4 的两个 ND2 使用的分别是样品 8 和 9, 它们在蓝波段透过率分别为 0.010 9 和 0.010 6 (接近理想值), 绿色波段为 0.014 7 和 0.014 1, 红波段因为透过率较大容易引起饱和而暂未使用. 所以试验中 ND4 的总透过率在蓝波段为 1.16×10^{-4} , 绿波段为 2.07×10^{-4} . 这些数据都是将来与国际上其它台址做定标比较时所需要的重要系数.

3.2 不同地点日晕观测结果比较

图 4 显示了 4 个不同地点日晕在蓝色波段的观测结果(注: 这些数据是随机选取的).

(a)~(d) 对应的 4 个地点及观测时的天气状况分别为:

- (a) 昆明地区北部 180 km 外的轿子雪山景区, 海拔 4 000 m 左右. 天气晴朗;
- (b) 云南大理洱源县, 海拔 2 055 m. 天气晴朗;
- (c) 云南天文台昆明凤凰山本部, 海拔 1 988 m. 天气晴间多云;
- (d) 云南丽江高美古观测站, 海拔 3 193 m. 天气晴间多云.

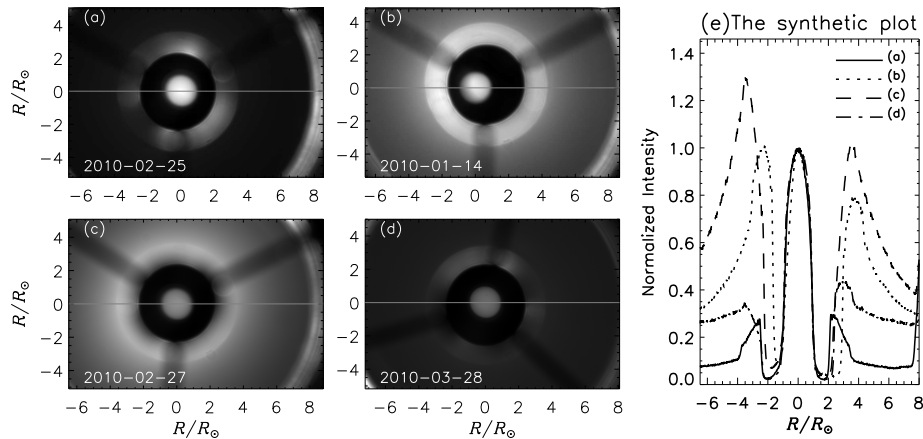


图 4 不同地点日晕观测结果比较

Fig. 4 Comparison of solar halo observations at different locations

观测日期显示在对应各图的左下方.

经过每张图的日心做一条水平线, 把线上的光强数据归一化画成曲线就得到 (e) 图.

由于 (b) 图获取时的日心没有对准中心, 所以图 4(e) 的曲线 b 离左右衍射环的距离有差异, 但这不影响测量结果的比较. 由于两侧强衍射环的存在, 实际有效的日晕测量区域小于仪器理论视场 $2.8 \sim 7.8 R_{\odot}$. 从图上可以看出, 在 $4 \sim 7.5 R_{\odot}$ 范围内, 日晕强度呈现连续下降趋势, 且随日心距增加, 下降速度逐渐变缓. 初步的比较可见, 这 4 个地点中轿子雪山的日晕强度最小, 丽江高美古观测站次之, 大理洱源县较强, 而云南天文台本部的日晕最强. 需要强调的是, 这些地点的日晕参数之间的差异是相当明显的, 因此在将来初步踏勘阶段, 我们可以通过积累足够的数据来剔除天空透明度较差的一些候选址点.

为了有效比较散射光水平 α_x , 上述日晕强度结果需要归算到相对于日面中心强度的比例. 在天空晴朗稳定时, 仪器杂散光水平 N_s 较低, 且在只用作地点对比的情况下, 可以直接利用 (4) 式进行计算. 表 4 计算了 4 个地点在日心距离分别为 $5 R_{\odot}$ 和 $6.5 R_{\odot}$ 时的日晕强度, 蓝色透过率 $T_b = 1.16 \times 10^{-4}$. 可以看出, 轿子雪山蓝色波段的散射光水平明显低于其它地点, 达到百万分之八以下.

表 4 不同地点日晕强度比较

Table 4 Comparison of solar halo intensities at different locations

Location	Heliocentric distance (R_{\odot})	Intensity ($10^{-6} I_{\odot}$)
(a)	5	9.1
	6.5	7.9
(b)	5	55.1
	6.5	41.2
(c)	5	77.7
	6.5	53.4
(d)	5	33.2
	6.5	30.1

Note: (a)~(d) correspond to the locations in Fig. 4, respectively.

3.3 随时间演化日晕观测结果比较

图 5 显示了 2 月 25 日 1 d 中 3 个不同时间点 在轿子雪山 ($26^{\circ}05' N$, $102^{\circ}51' E$) 拍摄到的日晕结果. 图 5(d) 物理量的纵坐标以 CCD 记录的归一化的日心强度为单位, 曲线取的是过日心水平线上的数据, 拍摄期间天空晴朗无云. (a)、(b)、(c) 3 个时刻分别

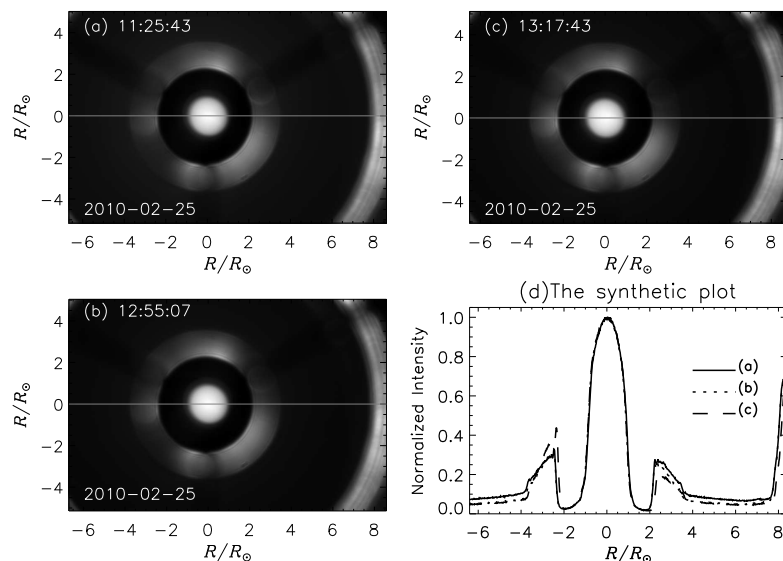


图 5 不同时间日晕观测结果比较

Fig. 5 Comparison of solar halo observations at different time

为本地时间 (北京时间) 11:25、12:55、13:17, 这 3 个时间中 (c) 是最接近当地正午的. 从图 5 看出日晕强度 (a) 明显高于 (b)、(c), 而 (b) 略高于 (c), 这和 3 个时间点的分布特点吻合极好, 说明正午的散射光水平是最低的. 表 5 计算了 3 个时间点日心距为 $5 R_{\odot}$.

和 $6.5 R_{\odot}$ 时的日晕强度, 计算方法同表 4. 可见在靠近正午时候, $5 \sim 6.5 R_{\odot}$ 处的日晕强度可以达到百万分之六以下 (由于还是 2 月底, 当地正午太阳高度角不是 90°). 这个结果可以与夏威夷的 Haleakala 天文台的结果^[4] 相媲美.

表 5 不同时间日晕强度比较

Table 5 Comparison of solar halo intensities at different time

Heliocentric distance (R_{\odot})	Time	Intensity ($10^{-6} I_{\odot}$)
5	11:25:43	8.8
5	12:55:07	6.1
5	13:17:43	5.8
6.5	11:25:43	7.8
6.5	12:55:07	5.6
6.5	13:17:43	5.0

4 外缘杂散光抑制试验

在测量日晕的同时, 我们还尝试了外缘杂散光的抑制试验. 该实验在轿子雪山进行, 在光阑 3 的位置后添加环形黑色圆孔纸片来调整光阑孔径, 以观察外缘杂散光的变化. 我们使用了两个黑色糙面圆孔纸片, 以降低纸面引起的散射光. 圆孔的半径分别为 11 mm 和 9 mm, 加上镜筒内光阑 3 本身的半径为 12 mm, 共有 3 个光阑孔径结果.

分析结果如图 6 所示. (a)~(c) 拍摄于当地时间 2010 年 2 月 25 日下午, 实验期间天空晴朗无积云. 从图中可以看出日晕像右侧 (即视场的右边缘) 衍射光环随着新增光阑孔径的缩小而显著减弱. (d)~(f) 图虚线框表示我们希望消减的外侧衍射环的范围. 当光阑半径为原始的 12 mm 时, 外侧衍射环很明显, 归一化强度值达到了 0.7 左右. 而当半径缩小至 9 mm 时, 外侧衍射环变得非常微弱, 在相同位置处低于虚线框的下限了. 由此可见, 在镜筒内部加入小孔径光阑可大大减弱外侧衍射光强度.

5 结论

本文将新型的日晕光度计首次应用到我国太阳设备选址的初步阶段中. 对不同地点的观测结果说明, 轿子雪山天空背景的散射光水平明显优于文中其它几个地点. 这主要是因为轿子雪山海拔 4 000 多米, 是其中最高的; 另外, 它相对高度大 (相对附近金沙江河谷的落差约 3 000 m), 远离城市, 污染少, 大气含尘量很低. 因此, 轿子雪山将成为我们后期进一步加强监测的址点. 轿子雪山不同时间点的对比结果说明, 靠近正午时候日晕强度是最低的, 这与太阳高度角不同导致大气光程不同的物理机制相吻合.

本文简述了视场中两部分主要杂散光的来源. 对于外缘衍射光环, 光阑实验说明增加小孔径光阑可以明显降低它的强度, 但光阑孔径并不是越小越好. 黑色光阑纸片放置在原光阑 3 的后方, 与光阑 3 的距离随光锥半径进行调整, 以保持仪器的视场不变. 如果只是改变光阑半径而不调整其位置则会渐晕区内延, 将导致靠近视场边缘处的日晕测量结果不准确. 另一方面, 由于仪器内部原光阑 3 后可利用放置更多光阑的距离空间

是有限的 (约 90 mm 的长度), 导致合适调整的光阑半径下限最多只能到 9 mm 左右.

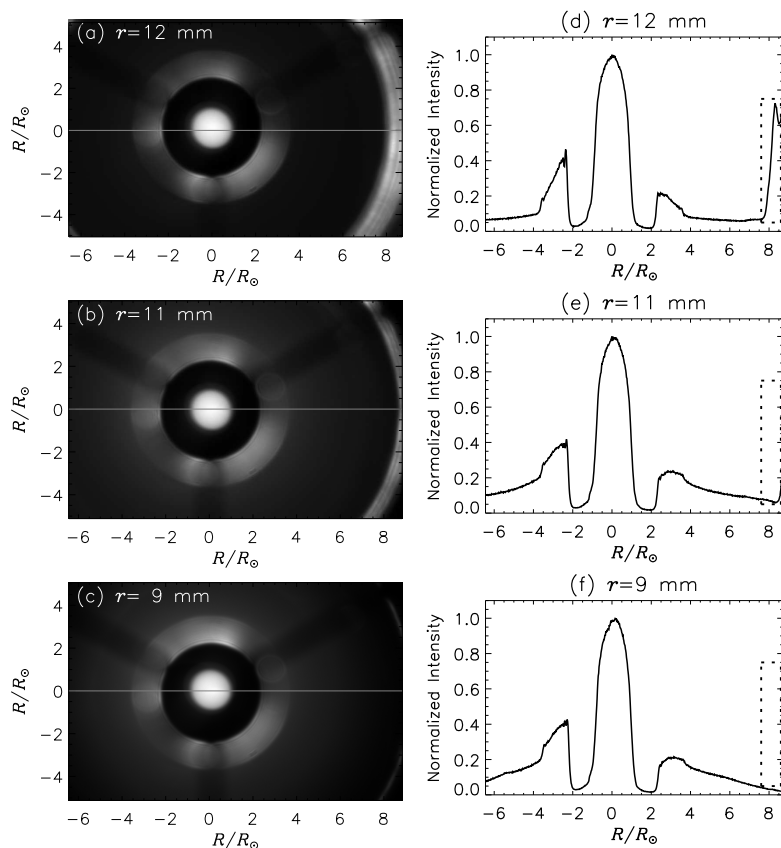


图 6 不同孔径光阑对比实验. 左栏分别是光阑半径为 12 mm、11 mm 和 9 mm 时的 CCD 成像, 右栏分别是对应的沿着相应日面中心水平线的归一化强度曲线

Fig. 6 The contrast experiment of baffle rings with different aperture sizes. The left column shows the CCD images of aperture with radius of 12 mm, 11 mm and 9 mm, respectively. The right shows the normalized intensity along the horizontal line across the solar disk center in the corresponding images

从定量分析的角度来说, 为更精确地计算日晕强度, 我们还应该求出杂散光水平 N_s , 但由于它不影响址点的横向比较, 所以我们暂没有做定量测量. 在后期条件充足时我们会进行此项工作, 用于以后的理论分析. 有一点可以肯定的是, 根据 (2) 式, 我们仪器杂散光水平一定小于我们迄今得到的最小信号 — 定标后日面中心亮度的百万分之几的量级, 这与夏威夷址点测定时得到的参数值基本一致, 说明我们仪器系统内部的杂散光水平很低, 完全可以用于中国西部太阳设备选址工作中去.

致谢 特别感谢审稿人和编辑的详细指正和建议. 此研究得到了许多同行的帮助, 尤其感谢张柏荣、吴铭蟾、楼柯、刘忠、林隽、杨磊、倪厚坤和章海鹰等人的支持和技术指导.

参 考 文 献

- [1] 张红鑫, 卢振武, 夏利东, 等. 光学精密工程, 2009, 17: 2371
- [2] 苏定强. 南京大学学报, 1959, 1: 9
- [3] 李秋莎, 张柏荣. 云南天文台台刊, 1994, 2: 1
- [4] Lin H S, Penn M J. PASP, 2004, 116: 652

Measurement of Sky Brightness and Suppression of Scattering in Sky Brightness Monitor

LIU Nian-ping^{1,2} LIU Yu¹ SHEN Yuan-deng^{1,2} ZHANG Xue-fei¹

CAO Wen-da³ Arnaud Jean⁴

(1 *National Astronomical Observatories/Yunnan Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011*)

(2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*)

(3 *Center for Solar Terrestrial Research, New Jersey Institute of Technology, Newark NJ 07102, USA*)

(4 *Université de Nice Sophia Antipolis, Fizeau Laboratory, Parc Valrose 06108 Nice, France*)

ABSTRACT A modern Sky Brightness Monitor (SBM) was developed for the site survey in West China for the future large solar equipment installation. The performance of this new SBM was tested in the recent preliminary experiments. A lot of sky brightness data had been obtained at a few sites in Yunnan. The blue channel result shows that the sky brightness near the noon time on Jiaozi Snow Mountain is as low as a few millionths of the solar center intensity, indicating the low scattering level inside our SBM instrument. The scattering is mainly from two parts: the diffraction rings from the occulter edges, distributed in the inner field of view but outside the occulter region containing the ND4 filter; the diffraction from the baffle rings, distributed in the extreme edges of the field of view. To suppress the scattering of the latter part, experiments with different aperture sizes of baffle rings are made. The result shows that, by mounting new baffle rings with proper aperture size into the SBM telescope tube, diffraction in the extreme edges of the field of view can be effectively reduced.

Key words instrumentation: photometers, sun: corona