

太阳磁场望远镜成象系统的¹光学机械装调

何业文 许世李 拱

(南京天文仪器厂)

I. 主要光学组件的检测和结果

一、物镜的组合修改和检测结果

磁场望远镜采用折射成象系统(见69页图1),其物镜由双片分离透镜组成,口径 $\phi 360$ 毫米,焦距2800毫米。它们的四个表面先按光学设计的球面加工,然后要进行组合修改,这是由于:(1)四个球面中只有第三个是凹面,可用阴影法对全口径进行检验,其余三个凸面都是用直径 $\phi 170$ 毫米的凹面样板检验的,测量误差大约是第三面的4倍。因此,需将两块透镜按使用状态进行组合检验,修改像差。(2)还可将某一面修成非球面,使组合的实际成像质量优于设计结果。组合检验光路如图1所示,在装配情况下对第四面进行修改,用阴影法检验,看出图形均匀平滑。再用激光球面波干涉仪拍摄干涉图,对它进行测量,表明物镜波面像差为 $\frac{1}{15}\lambda$ 左右,明显优于光学设计指

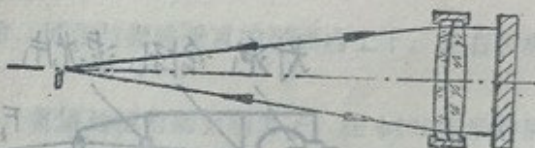


图1 组合检验物镜的自准直光路

标。

二、密封窗的检测及结果

磁场望远镜镜筒内有一段真空镜筒,其入射窗和出射窗都是同心球面透镜,对两表面平行度和某原性要求在 5μ 之内。加工过程中,对透镜的凹面直接用阴影法检验,凸面是用激光装置获得两个表面取射的波面形成的等原干涉条纹图,利用它判断凸面加工质量,并相应地进行修改。最后加工合格的同心透镜显示出很高的光学质量,干涉条纹的5个圈,偏

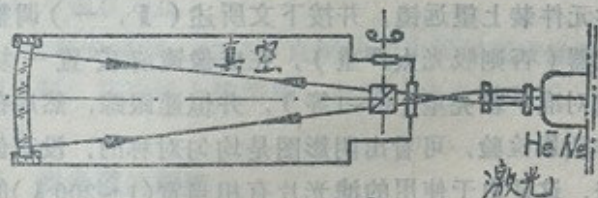


图2 入射窗的干涉检验

心约两个圈,由公式: $\Delta d = m\lambda / 2n\lambda$ (m为平均干涉条纹数, $n\lambda$ 为折射率),可得原薄差 $\Delta d \approx 1\mu$ 。将密封窗装入真空镜筒后,用图2所示的装置拍摄抽真空前后的干涉图,它们都是一组规则的圆形条纹,表明在大气压作用下,入射窗没有出现可察觉的不规则畸变。出射窗直径小,刚度比入射窗好得多,在大气压作用下更不会出现问

三、其它光学元件的检测和结果

磁场望远镜是我厂研制的口径最大的折射望远镜,也未了解到国内有其它单位生产过如

此大口径的，它的光学元件数量众多，光路分支复杂，因此，除了对物镜和入射窗等大口径光学元件进行严格检验外，对其它成像光路中的元件及组合，都必须逐一检验，解决发现的

光学机械问题，最后才能进行总装。

1). 准直镜和成像镜

它们都是双分离结构，也用自准直光路进行检验，曾发现成像镜正透镜材料存在较严重的条纹结构。后又重新选料，加工了一件合格品。

按光学设计，准直镜和成像镜都允许具有一定数值的球差，这可用阴影法大致测定：记录下焦点处刀口开始接触光斑及光斑全部变成阴影这两个瞬间刀口横向位置的读数，其差值便是组合件的横向球差，由组合件的焦距和口径，便可折算纵向球差，结果是准直镜球差为0.01毫米，成像镜球差为0.03毫米，低于光学设计允差（0.04及0.05毫米）。

2). 放大透镜组

共有8组放大透镜，均用阴影法检验，但对它们不能用准直法，而是按其实际使用状况进行检验，为此，设计了专用的检验装置（图3）。针孔被显微镜物镜聚焦在 F_1 ，接近于点进行检验，光源，便可在其像点 F_2 处用刀口切割进行阴影检验，未发现没有超过标准的非对称像差，表明诸放大透镜组的成像质量满足了设计要求。

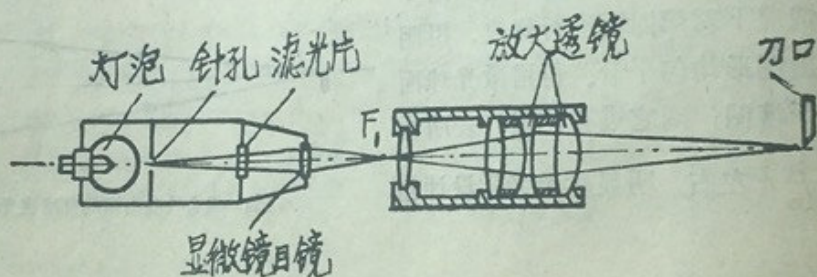


图3 放大透镜的阴影检验

四、成像光路最终质量的检测

在完成上述调整的基础上，将所有光学元件装上望远镜，并按下文所述（II，-）调整好准直镜的轴向位置，但不装入双折射滤光器（否则吸光太严重），在成像镜前安置一块2mm厚的LB₁绿色滤光片，于夜间将望远镜对准一颗亮星（0~1等），并恒速跟踪，然后在 $\phi 100\text{mm}$ 照相系统像面处用双面剃须刀片作阴影检验，可看出阴影图是均匀对称的，没有像差，像散，畸变等非对称像差，有一些球差，这是由于使用的滤光片有相当宽（1~200Å）的透过范围。在其它工作焦点上也进行相应的阴影检验，结果也是一致的。

利用不加滤光器的望远镜，在白天拍摄太阳，由于太阳光十分强，需在光路中加入适量的中性滤光片，曝光时间0.005秒左右，在大气宁静度不甚好的情况下，由拍摄到的黑子半影纤维结构判断，分辨力优于1".5，略高于设计指标（2"）。但不甚理想，这同选用的滤光片光学质量不高有关。

II、光学机械系统的调整和检验

一、准直镜轴向位置的调整

按光学设计，准直镜射出的光线并非严格的平行光，即准直镜与物镜的焦点并不重合，两者相差6mm。为使准直镜处于正确位置，采用以下调整步骤。

(1) 取下成像镜，在镜筒末端安置一具平行光管，它已对无穷远调好焦。准直镜处安置一块绿色滤光片。

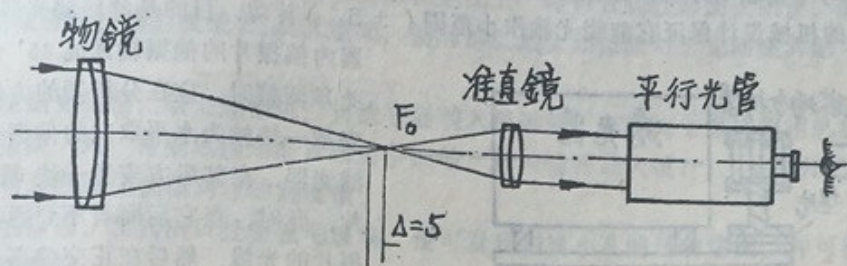


图4 准直镜轴向位置调整

(2) 夜间将望远镜对准月亮或恒星，调节准直镜的轴向位置，使通过平行光管看到的月亮(或恒星)的像最清晰为止，表明通过准直镜的是平行光，其焦点与物镜焦点重合。

(3) 将准直镜向后旋转6mm，然后锁紧。

二、主焦点光阑位置的调整

在机械结构设计上，主焦点光阑可轴向移动，可在与光轴垂直的平面内上下，左右移动及绕中心转动。它的调节按以下步骤进行：

(1) 轴向位置调节，使光阑处于物镜焦平面上；将望远镜对准太阳黑子，在 $\phi 100$ 毫米的照相焦面处安置目镜，其前方应安置足够的中性滤光片及绿色滤光片，以免眼睛被太阳光烧伤。通过调焦，使黑子成像清晰，然后眼睛相对目镜横向晃动，若黑子像相对光阑移动，便调节光阑轴向位置，使察觉不出相对移动为止。

(2) 方位调节：先掀赤纬按钮，使一个小黑子靠近赤经方向的一个光阑边，再掀赤经慢动按钮，便可看到黑子在缓慢移动，此时，适当转动光阑，使黑子沿光阑边移动时，察觉不出有相对偏移为止。

(3) 对中调节：经过准直镜的光束投射在成像镜前表面上，呈一形状对对称，线度约36mm的光斑，其边缘大致清晰。此时，将光阑上下，左右微调，使光斑相对成像镜内框位置对称为止。

三、滤光器的调整

双折射滤光器由138片光学元件(玻璃，石英，冰洲石，偏振片，KD*P晶体)组成，通过机械加工和装调，保证诸元件间严格平行(误差 $<3'$)，作为整体，再相对于镜筒内其它光学元件进行调整：

(1) 使前置磁场分析器与滤光器光轴平行

双折射滤光仪前方有一磁场分析器，包括干涉滤光片，定标片($\frac{1}{4}$ 波片加偏振片)，消色差 $\frac{1}{4}$ 波片，这三种元件相互间的平行性由加工保证，它们同滤光器光轴平行性是利用测角仪进行检测和调整的，如图4所示。

先不装分析器，用测角仪对准滤光器的第一个光学表面，在测角仪目镜视场内可同时看

到分划板上的刻度线及其反射像，调节测角仪，使两个像重合，表明测角仪与滤光器轴向平行。然后装上分析器，用测角仪对准其第一个光学表面，通过分析器的整体转动及修正其垫片厚度进行调节，使分划板刻线，直接像和反射像重合，调正误差应控制在 $1'$ 之内。

2) 滤光器与前置磁场分析器晶轴方位的一致性的调整
滤光器的机械设计保证它能绕光轴作小范围($\pm 5^\circ$)转动，目的是能使滤光器和分析器内偏振片的偏振轴瓦成 45° 角。进行此顶调整时，应在分析器的方形镜框内安放一块轴为水平取向的偏振片，取下滤光器，在其后方安置一块垂直偏振片，此时，在它后面看不到通过平行偏振片的光线。然后在正交偏振片之间置入滤光器，并作整体转动附节，直至出射光强再度为零，于是，锁紧处于正确方

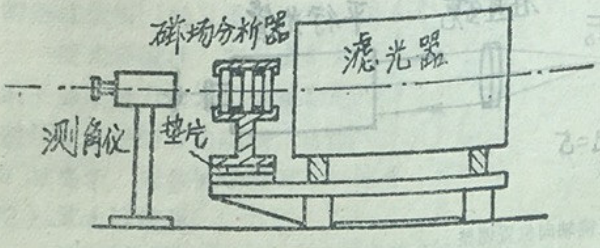


图5 磁场分析器的调整

位的滤光器的定位螺钉。在分析器内安置正式使用的 45° 偏振片。

3、滤光器在镜筒内的调节

由于机械加工误差，滤光器装入镜筒之后，其光轴并不同镜筒轴平行，我们采用以下方法检测并调整，如图6所示，先不安装滤光器组件，在镜筒末端安装一具氦氖激光器，通过两组塑料螺钉可调节激光束的位置和方向，使它通过罩在成像镜框和准直镜框上的光阑上的 $\phi 2\text{mm}$ 中心孔，此时，物镜前方的光阑孔处可看到大致同心的激光束投射光斑，表明激光束与望远镜光轴重合。此外，还可看到由真空入射密封窗表面反射回来的激光束，在光阑边缘处呈现一个小光斑，可估计出偏移量约为 $4'$ ，即在真空状态下密封窗光轴倾斜约 $2'$ 。表明其准直性是比较好的。

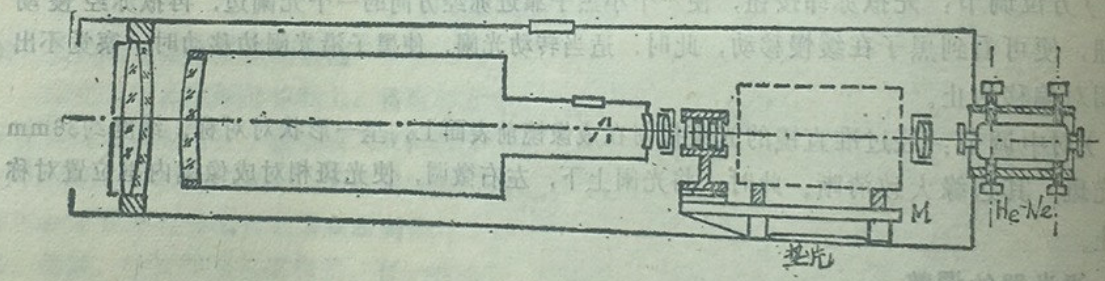


图6、滤光器的位置检测和调整

然后将装有磁场分析器的基座M(不装滤光器，否则吸收太严重而看不见激光)装上望远镜，打入定位销，由波片表面反射的激光束投射在成像镜光阑下方。表明基座M的左右方向正确，高低方向相差 $0.5'$ ，我们在基座M的前支承面处垫以 0.7mm 铜片，便使基座处于正确位置。

四、光电扫描系统光路调整

光路调整之目的是：(1) 使在 F_1 处 $4' \times 3'$ 的太阳像与机械扫描区域重合。(2) 扫描系统的出瞳，即物镜入瞳的像，在光电倍增管光阴极上处于正确位置。(3) 目视检焦系统分划板所限定的区域与机械扫描区域重合。调整步骤如下：

1) 光电扫描系统所有光学元件均独立地安装在同一块大的底板上, 在装到望远镜上之前, 先用自准直平行光管将内部光路基本上调整好。

2) 将扫描系统装上望远镜, 取下扫描器, 装上一个光阑座, 其上有一矩形孔, 其轴向和横向位置与扫描区域一致, 将一块毛玻璃安放在矩孔上, 便可看到投影的太阳像, 调节放大镜7-1, 使成像清晰。调节棱镜 P_1 及其座架, 使局部区域太阳像相对于光阑座的矩孔位置一致。

3) 折下检测光阑座, 装上照相机。将滤光器装入望远镜。在结构上保证照相机胶卷面与光电系统成像面一致, 将望远镜对准日面黑子区域, 然后精调放大镜7-1, 拍照并记下相应刻度值, 便可找到最佳焦面对应的刻度值。

4) 装上扫描器, 在其出口处覆盖毛玻璃, 便可看到扫描小孔的运动情况, 并可检查有没有机械挡光的情况。

5) 装上场镜及反射棱镜 P_2 及光电倍增管座筒。在座筒内塞入一个园筒, 其中孔覆以描图纸, 描图纸中央画一个与出瞳直径相应的园($\phi 5\text{mm}$), 在结构上使描图纸与光电倍增管阳极面一致, 通过扫描孔的光线经场镜和反射棱镜, 在描图纸上形成 $\phi 5\text{mm}$ 的光斑, 调节 P_2 , 使光斑与纸上的中心园重合。在机械尺寸正确情况下, 这个光斑的位置在扫描过程中是不变化的。

6) 最后装上光电倍增管, 将棱镜 P_1 转 90° , 断开扫描光路, 检查是否有漏光现象, 这可由光电倍增管的输出予以判断。

太阳磁场望远镜成像系统的光学机械调试是在1981年上半年完成的。装上滤光器后, 在各焦点装上目镜观测太阳, 在宁静度好的时候, 可清晰地看出太阳黑子的半影纤维结构, 米粒组织, $H\beta$ 色球上的暗条, 谱斑等精细结构, 表明成像质量是良好的。

参加本调试工作的还有北京天文台艾国祥、胡岳风, 天文仪器厂吕韵翎, 刘超群, 倪厚坤等同志。

MECHANICAL AND OPTICAL ADJUSTMENTS AND TEST FOR THE TUBE OF THE 35cm SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE

He Yewen, Li Ting

(*Nanjing Astronomical Instrument Factory*)

In order to get quality images in different focal positions, all the imaging optical elements must be tested separately before inserting them into the tube and the corresponding mechanical parts must be adjusted.

The objective, collimator lens and relay lens were tested separately by Focault knife-edge method with the He-Ne laser. After necessary figuring according to the testing results, each of them only had a small error within the tolerance given by the optical designer.

The entrance window was tested by Fizeau method also with the He-Ne laser. There were only five and nearly concentric interference rings caused by the reflection on two spherical surfaces, and it could not find the shape change of the interference patterns before and after evacuating the tube. Obviously, the testing result shows that the entrance window was made with excellent optical quality and rested on a very uniform sealing construction.

The mechanical alignment of the birefringent filter in the tube was checked by a He-Ne laser attachment. After necessary adjustments, the parallelism between the axes of the filter and other imaging parts in the tube was better than 3'.