

多通道太阳望远镜主光路光学元件的检验 及光学系统调整原理与步骤简述

李德培

中国科学院南京天文仪器研制中心, 210042

提要

本文叙述了多通道太阳望远镜除滤光器部份的光学元件的检验及光学系统的调整原理与步骤。

一、主光路光学元件的检验^[1]

1、主镜： $\Phi 620 \times 86$ ，通光 $\Phi 600$ ，中孔 $\Phi 116$ ， $\bar{R}3000$ ， $e^2=1$ 为凹抛物面。

用平面自准直法检验见图1，在抛物面焦点F处放置阴影仪刀口，光线在标准平面上反射一次，在抛物面上反射两次，使检验精度提高了一倍。

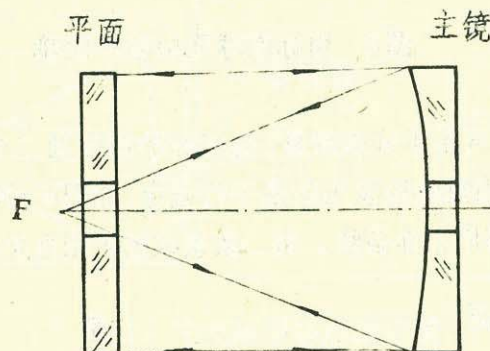


图1. 平面自准直法检验主镜

2、副镜： $\Phi 154 \times 15$ ， $\Phi . 148$ ，中孔 $\Phi 40$ ， $\bar{R}629.156 \approx \bar{R}629$ ， $e^2=0.5463137$ ，为凹椭球面。

它有两个无象差点，到镜面顶点距离分别为 $S=361.8$ 及 $S' \approx 2412$ ，因此可以在这二点分别放光源及刀口进行检验。见图2，该法优点是不会引入其他附加误差，检验精度高。

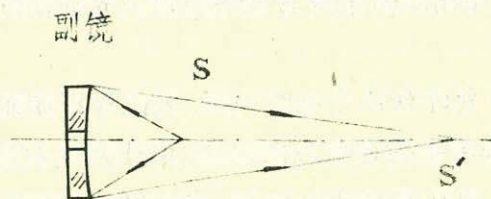


图2. 在二无象差点S, S'检验副镜

3、密封窗：有二块，分别置于镜筒二端出口处。

1) 大密封窗： $\Phi 660 \times 40$ ，平行度要求 $< 1''$ ，即相当于边缘最大厚薄差要小于 $3 \mu\text{m}$ ，光线通过它后波面变形 $< \lambda / 8$ 。

二个平面可分别用标准球面在球心检验，见图3。可以同时检验平面的平直度及局部差。

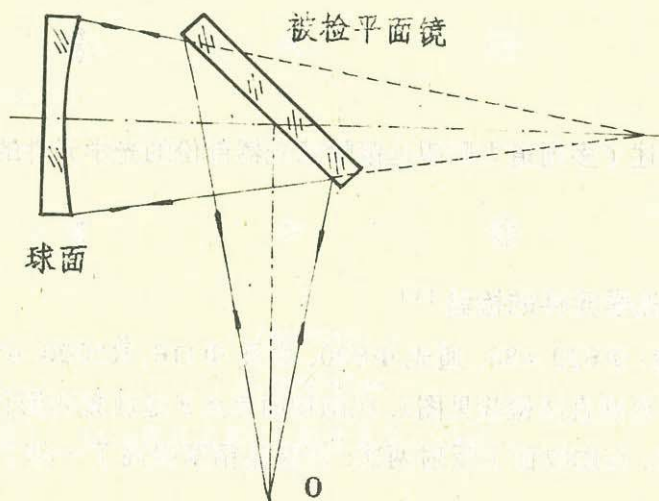


图3. 用标准球面检验平面镜

平面的平行度细磨时可用千分表测量，抛光后的修改及二个面的组合检验可以用干涉法检验^[2]。如图4，由抛物面发出的是平行光束，用He-Ne激光作光源，波长为 632.8nm 。眼看到的是等厚干涉条纹。每二条条纹间隔相当于厚薄差为 $0.2 \mu\text{m}$ ，对于

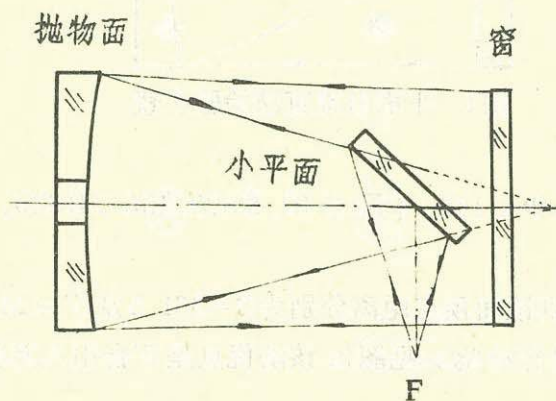


图4. 用干涉法对平行平面的平行度及光程差进行检测

$3 \mu\text{m}$ 的厚薄差要求，相当于允许有15个条纹间隔，因此极易保证 $< 1''$ 。厚薄方向是与干涉条纹垂直的方向，若用手指在此方向加温，则干涉条纹变形，凸起指向薄处，因此在此窗厚薄超差时，只要在厚端适当加压，进行抛修，即可逐渐修好，看到的干涉条纹取决于二个表面的加工质量、玻璃的均匀性及厚薄差，是综合检验的结果。

2) 小密封窗： $\Phi 160 \times 20$ ，平行度要求 $< 1''$ 即相当于表面厚薄差要小于 $0.77 \mu\text{m}$ 。

用本单位生产的平面干涉仪进行检验^[3]。两个表面分别读出 N 及 ΔN ，用水银灯做单色光源 $\lambda = 546.1\text{nm}$ 即可看到综合性的等厚干涉条纹。 $0.77\mu\text{m}$ 相当于三个半干涉条纹间隔，因此用上法极易控制表面及平行度。

4、准直镜、成象镜、缩焦器、……等小光学件，这些都是普通成熟的产品，无特殊加工、检测困难，在此不赘述。

二、光学系统的调整原理与步骤简述

1、建立基线

- 1) 在主镜中心孔镜面顶点附近建立十字丝A，它是在主镜表面附近，做为永久标记。
- 2) 在方箱观测孔中心建立临时十字丝，使交点位于观测点接收器中心B，如图5。BA的连线即为将来建立的基线，也即主光路的光轴。

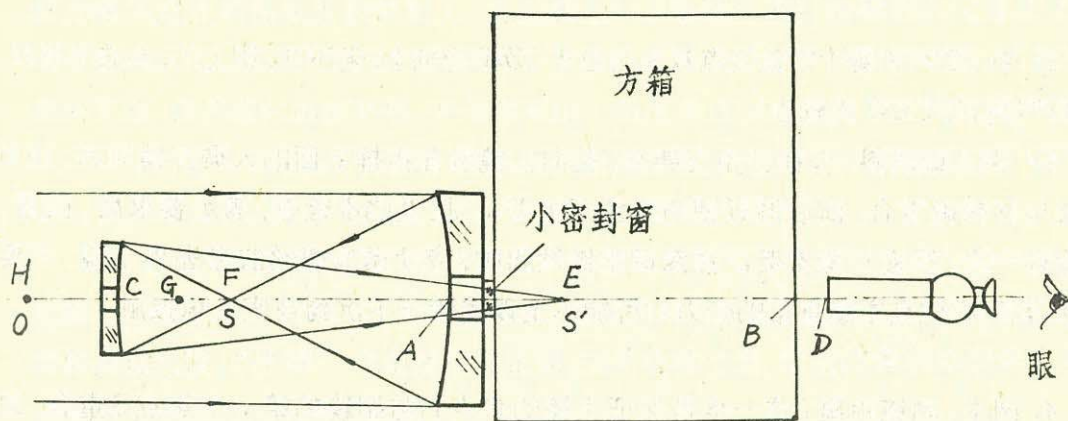


图5. 主光路中各点的位置

3) 在观测点B后装国产测微准直望远镜记为CZW(下同)。转动CZW镜筒使分划线与方箱的边平行，即尽量使分划线的方向与赤径、赤纬运动方向一致，便于以后操作。以远倾斜，近平移原则调到使CZW光轴与BA重合，此时CZW光轴即为将来的主光轴，注意应先将自准直光源装入CZW，否则光轴会由于增加重量而有变化，因此CZW座应稳定可靠，不易移动！

4) 接通自准直光源，用CZW前的自反射目标D看小密封窗的反射象是否与CZW光轴重合，重合表示小密封窗平面与光轴垂直，否则要视情况垫镜筒与方箱的接合面。

2、调副镜平移及倾斜

- 1) 事先在副镜中孔表面顶点装有十字丝C(现仪器上是插入的，在顶点前一小段距离，机械设计使镜面倾斜时是沿球面滑动，此球面的球心在镜面顶点附近)。
- 2) 平移副镜，在CZW中监视，使C落在CZW光轴上。C将永久保存在副镜中心。
- 3) 副镜前后调焦到极限位置，看在此调焦过程中C是否一直在CZW光轴上，若不

在则表示调焦轴线不与CZW光轴(即主光轴)平行,需调副镜支承叶片或改变B点位置,这要视具体情况而定。调好后固紧。

4) 接通CZW光源,其位移分划板D在副镜前得到反射共轭象G。用一小块透明白纸沿光轴前后移动找到它的清晰象,在CZW中看,这象的中心是否也在CZW光轴上,若不在,则调副镜倾斜使象G的中心与光轴重合然后固紧,总检查一遍,无误即可。

3、调主镜倾斜,此步也可以放在调副镜平移及倾斜前进行,因考虑到要在镜筒前端面安放三角支架,所以选用先调副镜后调主镜的顺序。调时脸在支架后,面向主镜面。

1) 在筒前安装预先制作好了的三角支架,架端有可调白色十字丝H,它位于主镜顶点曲率中心O附近。

2) 前后、左右、上下调整此十字丝位置直至将H放到主镜外带法线与光轴交点附近,此时可看到H与它被主镜反射的象,调到使二者上下、左右大致重合和无视差为止。

3) 在CZW中看十字丝交点H是否位于CZW光轴上,若不在,则上下、左右平移H,使H严格位于CZW光轴上。

4) 调主镜倾斜,人在三角支架端,脸向主镜看并指挥下面的人调主镜倾斜,使H的象与H精确重合,前后调H使其象无视差。反复此步检查,满足要求后,固紧,再检查一遍,拆去三角支架。注意调主镜倾斜时,应使调节螺丝前进去顶主镜,不要后退,否则在此点主镜重量的分力有可能不足以使镜子下沉到与底支承接触。

4、调主、副镜距离:这一步是保证主镜的焦点F与副镜的第一个焦点S重合,组合后的焦点在S',见图5。

1) 首先查出磨制好的主、副镜的实际参数,如F, S, S'等,算出组合后焦点位置距主镜室背面可测处的距离。在此距离处设置一个毛玻璃上画分划线E。毛面磨到303#砂。

2) 精确放置E并与光轴垂直,测准毛面到主镜背面的距离,在CZW中监视,看E平面形成的自反射象D是否与CZW光轴重合,不重合调到大致重合。E也在CZW中心。

3) 用测距仪在镜筒上方端面向内看,测出在S'处的E上分划线的距离。若E经副镜、主镜反射后在测距仪的读数为有限远,则表明测距仪接收到的是发散光束。所以此时应将副镜向远离主镜的方向调,否则向反方向调。所调方向是否对,可用测距仪直接监视。只要副镜在调焦过程中,测距仪内上、下两半个视场中二段被分割的垂直线是逐渐靠近,副镜的调焦方面就是正确的,一直调到E在测距仪中指示为无穷远时,副镜调焦结束,记下此时副镜调焦读数及当时温度,备案存档。取去E,使通光。若想精调E见^[4]。

5、安装并调整光阑位置:光阑矩形孔 $1.78 \times 2.18\text{mm}^2$ 理想位置应放在副镜的第一

共轭点S处与主镜焦面F重合。它到副镜的距离应事先测好放准确,否则将不能充分利用主镜的通光孔径,见图6。

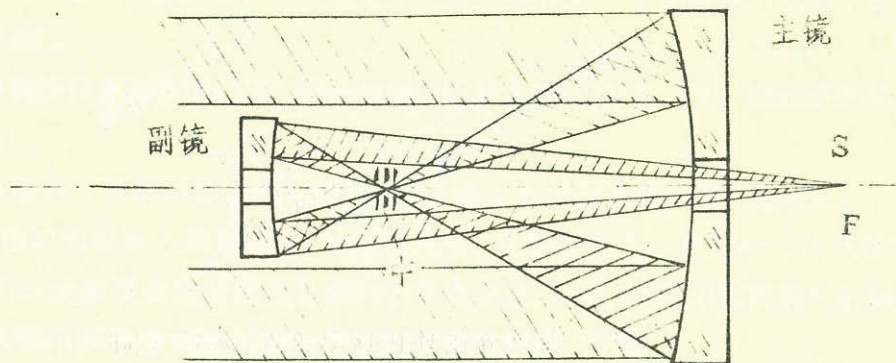


图6. 光阑应位于焦面理想位置(中)

此光阑与遮光筒连接于副镜框上,要求装上后不能破坏调好的副镜的位置及光轴,否则不但将反工,亦达不到理想的调校。当然此光阑也可以不与副镜连接,而放在主镜焦面F处,但要进行温度补偿,补偿镜筒由于温度变化引起光阑与主镜距离的变化。

1) 在CZW中监视平移光阑(现在是倾斜遮光筒),使光阑对角线交点位于CZW光轴上。调光阑方向,转动使长边与CZW中水平分划线大致平行。

2) 验证副镜在装光阑过程中是否产生倾斜或移动及光阑对角线中心交点是否在光轴上:调焦CZW找到在S'处的光阑象,看此象对角线交点是否也在CZW光轴上,可稍微倾斜遮光筒“平移”光阑使位置正确,在S处动一点,S'处的象将动很多。再检查光阑是否仍置中,反复调正确。

若在S处光阑位置正确,而在S'处光阑象偏离很多,可能副镜位置变了应反回去调副镜,直至装入光阑后S,S'处的光阑及其象位置与CZW光轴对称为止。

3) 精调光阑长短边方向:在镜筒前放置平行光管或测角仪,调整方向使看到主镜反射的光阑象旋转测角仪镜筒,使分划线之一是沿赤经、赤纬运动方向。方法是:开动赤经(纬)轴微动,看光阑象运动方向,选其上某一标志点在赤经微动时的轨迹,旋转测角仪镜筒使分划线之一与此轨迹重合,反复调几次使此标志微动时一直在此分划线上,表示此分划线已调到赤经(纬)运动方向,然后旋转光阑使长边与此分划线重合见图7,再微动赤经,若光阑长边及其延长线一直与此分划线重合,则光阑方向就已调好。

4) 固紧所有螺钉,再在CZW中检查光阑及其象位置是否正确,若有变化应再调整。

5) 用测距仪检查S处的光阑是否位于主镜焦面,这是因为光阑旋转方向时有可能使得光阑前后移动。可以用光阑长边及延长线为准检测,在测距仪内指示为无穷远则位置正确,否则又要再次调整,检查一遍。

若采用光阑与副镜脱开的机构,则这一步应在装光阑时调整,同时也不会破坏已调好的副镜的位置。

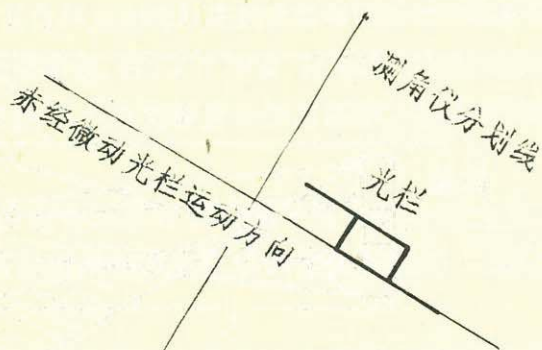


图7. 旋转光阑使边缘沿赤径、赤纬方向

- 6) 安装冷却管及 45° 反光镜, 将无用的太阳光反射到镜筒外。
- 7) 进行总检查, 把以上所有位置检查一遍包括装入E、……等, 无误后吸出镜筒内部灰尘, 打扫干净, 用的确良布盖严, 防止灰尘入内。

6、吊装筒前大密封窗并抽真空看是否漏气。

7、准直镜、成象镜的安装与调整: 准直、成象二组透镜的安装应在实验室内装校好, 要保证同轴及相互位置, 不可装反。靠机械保证光轴与镜筒同轴。

- 1) 将准直镜及成象镜座前后加十字丝定好中心装入, 以CZW光轴为准粗调使十字丝交点均在光轴上。

- 2) 先装入准直镜, 在CZW中观测, 调焦到相应各球面的球心(经折射后的球心)第一面是直接反射的, 看诸透镜是否同轴。注意此时应关闭镜盖使筒内全黑, 否则看不清各面的自反射象。同轴时这四个反射象均在光轴上。

- 3) 装入成象镜, 依上法精调成象镜座, 使光轴重合。取走CZW及其支架, 现支架不够牢, 时间长后会变动! 应予改进。

- 4) 在成象镜前(即靠近准直镜端)用一块镀铝平面镜做自准直检验, 在接收器焦面放置有标志的透明玻璃, 前后调焦成象镜, 用放大镜观看, 使成象镜焦面与接收器焦面重合, 这可以通过看玻璃面上的标志与其平面自准直象有否视差而决定, 当二者无视差时则标志与焦面重合。固定成象镜调焦位置, 取走平面镜。

- 5) 在成象镜前装入无光焦度的滤光片, 旋转, 调焦准直镜, 观测太阳, 使太阳象通过成象镜后清晰的成在接收器焦面上。此时光阑象与太阳象应同时清晰。若不同时清晰, 副镜可做微量调焦使清晰, 因为测距仪基线短仅300, 现在是用全口径精度高。

- 6) 夜晚看恒星, 用刀口切割, 用阴影检验法看组合光路的星象质量^[5], 加工误差, 有否镜面夹紧变形、……等, 也可拍下阴影图供分析、存档。

- 7) 打定位销钉

8、滤光器九通道头及本体基座位置的确定、调整。事先在它们所有的入、出口处加白色十字线,使交点通过中心。取走准直镜及成象镜。

1) 找出主光轴:用副镜中心十字丝交点C及主镜顶点十字丝交点A为准,它们的连线即为主光轴。

在方箱外侧原位置再装调CZW,使光轴通过C及A(可以从 $1.78 \times 2.18\text{mm}^2$ 的矩形光阑孔中看到C)。

在E处装画有十字线的透明底片玻璃,调之使十字线交点在CZW光轴上。

2) 在大密封窗前装入简易装置,并装激光管,从前方投入一束He—Ne气体激光束,平移,倾斜此光束使通过光阑及E处的十字丝交点,可在CZW中监视激光射到E处的位置。注意要用深色玻璃减弱激光束,保护眼睛。

固紧此激光束装置,再检查一遍,无移动时,这束激光就代表了主光轴。注意此简单装置要有一定稳定性,不能随时间推移而走动!变形!取走E处的薄玻璃。

3) 装入滤光器头部,在CZW中看头部前、后十字丝交点,调整基座方位及倾斜,使两十字丝交点均在CZW光轴上,现在是用CZW上的测微鼓测出读数后垫底座使满足要求。接通激光电源,可以从滤光器头的后部看到5个激光束,其中468.6nm,通道激光束应在中间(因为是对它调整的),而其余通道不一定在中间,因此,还要将头绕主光路转一角度,使5束激光均在出口中央十字丝交点。固紧头部,检查一遍,合要求即可。

4) 装入滤光器本体,它将五个通道的光分为九个通道的光,依上法调,使主光路上的前后出口的十字丝在CZW光轴上,装入准直镜及成象镜到原位置。

5) 接通激光电源,在九通道体末端看,是否还要绕主光轴旋转九通道体,使激光束均在通道出口中心。因为有的太暗,有的被CZW架挡住了,现约能看出4个通道有激光束。旋转后固定好。

6) 取走CZW及激光管。

7) 通冷却水冷却光阑,观测太阳,在九通道体后分别可以看到九个太阳象及光阑象,均基本在中央并在成象镜焦面上,太阳象清晰可见。

8) 安装CCD,精调CCD位置,使达到观测日面上同一位置。

先后参加过此项工作的主要有许万云、曾金珠、朱政、赵树棠、任荣吉、邹维曜、单学东、倪厚坤等同志,及北京天文台怀柔观测站的同志。在此一并致谢!

参考文献

- [1] 李德培,光学技术,5卷(1982),P2
- [2] 李德培等,天文学报,16卷(1975),P51
- [3] 李德培,光学零件加工经验汇编,科学出版社(1968),P147
- [4] 李德培,光仪技术,11卷2期(1990),P34
- [5] 李德培,天文仪器资料汇编第三集,(1967),P1