

# 望远镜导行系统的机械设计

陈贤龙 李挺

(南京天文仪器厂)

太阳磁场望远镜有两个导行镜：白光导行镜和光电导行镜，分别置于镜筒左侧的下方和上方。前者用于对太阳进行目视导行，选择观测区域并拍摄相应照片。光电导行镜用来伺服校正由于各种原因（机械误差和变形，极轴不准，较差蒙气差，太阳视运动不均匀等）引入的跟踪误差，保证在观测过程中（一次观测最长时间为45分钟）太阳像在焦面上的偏移小于1"。

## 一、白光导行镜的设计

白光导行镜为折射系统，其结构如图1所示。\*

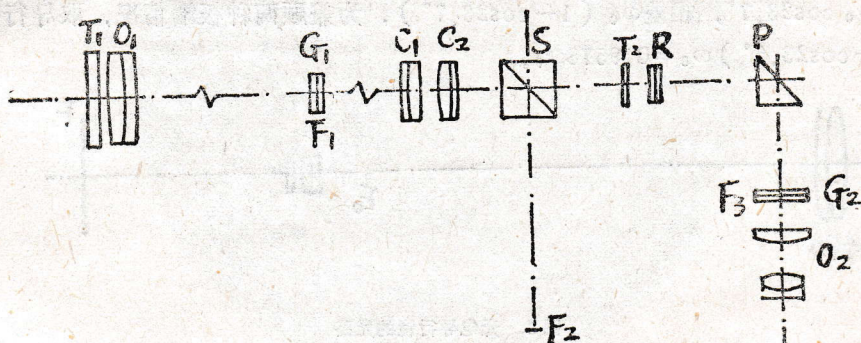


图1 白光导行镜光路

物镜 $O_1$ 口径60mm，其焦面 $F_1$ 上有第一块分划板 $G_1$ ，它的中央有 $4' \times 6'$  ( $1.31 \times 1.97\text{mm}$ )的矩形刻线，表示日面上被观测的区域，这块分划板可在垂直光轴的两个方向上微量移动，还可绕中心作微量转动，使导行镜的观测区域在位置和方向上与主镜筒一致。分划板通过一对准直镜 $C_{1,2}$ 再次成像，第二焦点 $F_2$ 之前有一块立方分束镜 $S$ ，将光线分别送入照相和目视系统，在照相焦面 $F_2$ 处可用135照相机直接拍摄照片，另一束光通过再成像透镜 $R$ ，直角棱镜 $P$ ，聚焦在第二块分划板 $G_2$ 上，它的表面刻有日面球坐标的投影网格，利用它可大致判断被观测区域的日面坐标。这块分划板也具有对中心的调节，还可绕中心转动，使网格的极轴方向同太阳自转轴方向一致。这个方向角可由天文年历查出，并按目镜筒上的刻度圈安置。目视系统有效焦距为2024mm，目镜 $O_2$ 焦距40mm，目镜视度可调 $\pm 5$ 个屈光度，即前后移动 $\pm 8\text{mm}$ ，为了防止杂散光，镜筒内置有多个光阑，目镜前方设有转动遮片，目视时打开，照相时关闭，不使外界光线通过目镜落到照相胶卷上。物镜前方置有中性滤光片 $T_1$ ，以减弱入射太阳光强度，目视成像系统中还置有绿色玻璃滤光片 $T_2$ ，使导行像呈绿色。

\* 光学系统是由陈馨凯设计的

## 二、光电导行镜的机械设计

光电导行镜的光学系统与我厂生产的18厘米色球光球双筒望远镜相同，如图1所示。物镜口径80mm，为三片组合，对 $\lambda=8000 \text{ \AA}$ 消色差，主焦点处太阳像经过转像透镜组放大，给出80mm直径的太阳像。在机械结构上与双筒望远镜有很大区别，后者用于拍摄整个太阳像，导行镜筒的光轴始终与主镜筒平行。而磁场望远镜观测的是日面上的局部区域，要求当主镜筒对准日面上任何位置时，光电导行镜筒仍然对准日面中心。

为使结构紧凑，将导行镜筒安放在一个与主镜筒相连接的小叉臂基座上，如图2所示，于是，镜筒可作赤纬方向反平行于天赤道方向的两维运动。它们的驱动是利用一对同望远镜赤纬和赤经慢动相耦合的自整角机实现的。当光电导行系统工作时，揿动控制手把上的慢动按钮，导行镜筒便作反向的同步转动，导行镜光轴相对主镜筒光轴偏移，仍保证其对中于太阳像。在这种装置中，赤纬方向的速度值是完全对应相同的，但在赤经方向，由于导行镜是相对于镜筒转动的，一般情况下，在天球上画出一个与赤道面平行的小圆，只有当春分和秋时才对应相同，在夏至和冬至日相差最大，若望远镜的角速度为 $\omega_0$ ，则导行镜在天球上的角速度为 $\omega_0 \cos 23.7^\circ$ ，相差 $\omega_0 (1 - \cos 23.7^\circ)$ ，为兼顾两种极端情况，取导行镜转动速度为 $\frac{1}{2} (1 + \cos 23.5^\circ) \omega_0 = 0.9578 \omega_0$ 。

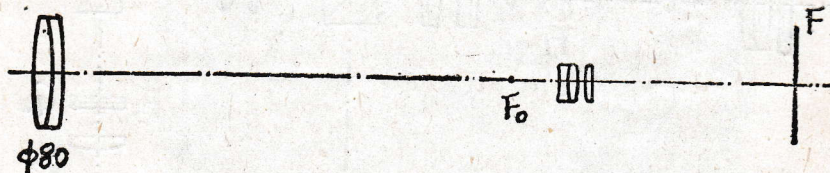


图2 光电导行镜的光路

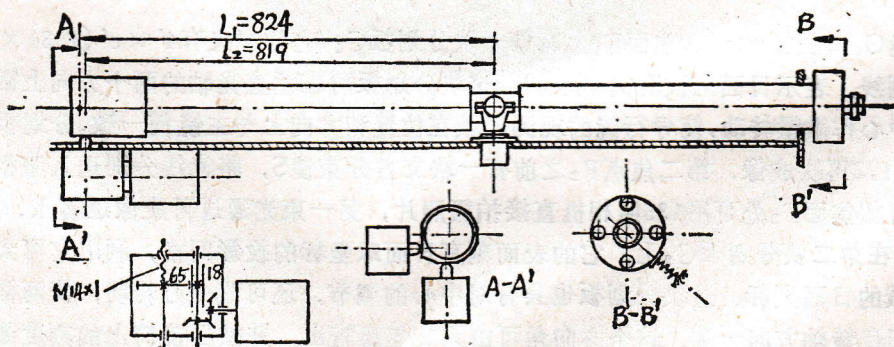


图3 光电导行镜的机械结构

按赤经传动箱设计，由自整角发送机到望远镜的减速比为 $\frac{216000 \cdot 24.75}{80 \cdot 50 \cdot 56} = 17357.14$ ，

于是，由自整角接收机到导行镜在赤经方向的减速比应当为 $17357.14 / 0.9578 = 18121.89$ 。

按图 3 所示的传动系统, 可求出传动丝杠作用点与小叉臂的中心距

$$L_1 = 18121.86 \cdot \frac{18}{63} \cdot \frac{1}{2\pi} = 824 \text{ mm.}$$

赤纬方向的传动比与赤纬传动箱相同, 都是 18000, 于是可求出

$$L_2 = 18000 \cdot \frac{18}{63} \cdot \frac{1}{2\pi} = 819 \text{ mm.}$$

驱动箱丝杆的直线运动使导行镜绕叉臂的两根轴转动, 在导行镜头部, 有一个弹簧沿  $45^\circ$  方向对镜筒施力, 使镜筒前端紧靠在两根丝杆的球头上。在导行镜头部四周, 有四个限定开关固定在面板上, 当导行镜的运动在某方向超过一个太阳直径时, 相应开关切断这个方向上的望远镜驱动。

### 三、光电导行镜探头的设计

光电导行镜的光学系统与天仪厂生产的 18 厘米色球—光球双筒望远镜的相同。它是按当时选用的光敏二极管的峰值敏感波长  $8000 \text{ \AA}$  进行消色差设计的, 成像质量优于  $2''$ 。由于  $8000 \text{ \AA}$  在可见光谱区之外, 对它的单色像无法直接用肉眼寻找和调焦, 很难进行系统的调正, 当然, 可借助于红外变像管, 但如何获取和使用这种器件, 也涉及相当复杂的问题。另一个途径是使用由这个光学系统给出的可见区 ( $\lambda \sim 5550 \text{ \AA}$ ) 的单色像, 接收器也换用具有相应峰值波长的光敏元件。我们采用了这个方法, 并得到成功。

首先, 对这个光学系统在  $\lambda = 5550 \text{ \AA}$  附近的成像质量进行计算\*, 采用 35 条空间光线追迹。结果如表 1 所示。

表 1 光学成像质量计算

计算波长	弥散 $> 2''$ 的点数	最大弥散距离
$5200 \text{ \AA}$	10	$-3.303''$
$5500 \text{ \AA}$	4	$2.32''$
$5800 \text{ \AA}$	14	$3.21''$

计算表明, 在  $5500 \pm 30 \text{ \AA}$  波段范围内, 弥散可斑最大直径为  $6.2''$ , 而大部分光量集中在  $4''$  范围内, 由于光电导行镜的输出信号来源于太阳像直径两端光强度之差 (由于太阳像偏移造成), 并不是对准太阳边缘, 而且, 在我们使用中, 光敏元件前的狭缝是沿太阳像半径方向安置的, 因此, 为达到  $1''$  的导行精度, 并不

要求优于  $1''$  的光学成像质量。而上述计算的像差, 与不好的大气宁静度条件下太阳像的模糊量相当, 对于太阳像大致的调焦也是足够的。因此, 我们选用透过带半宽为  $55 \text{ \AA}$ , 峰值波长  $5570 \text{ \AA}$  的干涉滤光片, 便能获得满足要求的单色光。

选用的光敏元件为 DG-74 型光导管, 图 3 示出其特性曲线。它的最高灵敏度波长与干涉滤光片的透过峰是一致的。

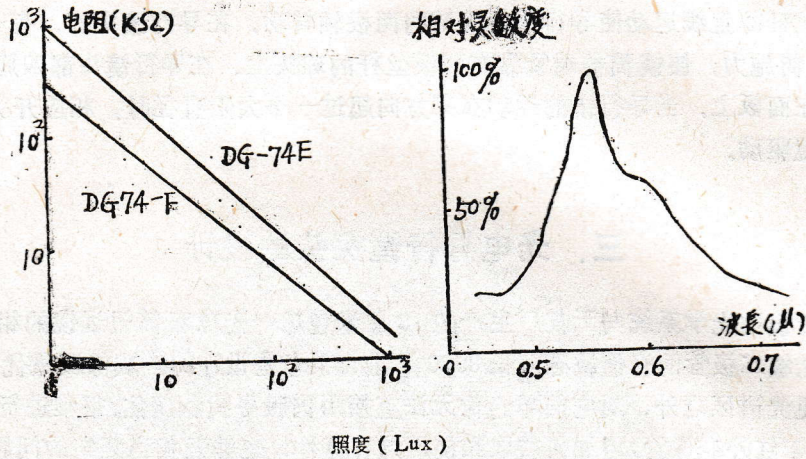
在  $\lambda = 5500 \text{ \AA}$  处,  $1 \text{ 流明} = 16000 \text{ 尔格/秒}$ ,  $1 \text{ 勒克司} = 10^{-4} \text{ 流明/厘米}^2$ 。地球大气外太阳单色辐射量等于  $185 \text{ 尔格/厘米}^2/\text{秒}/\text{\AA}$ , 相当于单色照度  $E_0 = 116 \text{ \AA}$  光同。取大气透过率  $= 0.3$ 。光学系统透过率  $= 0.64$ 。干涉滤光片透过率  $= 0.52$ 。望远镜入射孔径为 80 毫米, 太阳

\*由王亚男同志提供。

像直径为83.5毫米，于是，可计算出成像面上的照度。

$$E = 116.55 \cdot 0.52 \cdot 0.3 \cdot 0.64 \cdot \left( \frac{80}{83.5} \right)^2 = 585 \text{ 勒克司。}$$

设太阳像边缘被调整到光导管当中，如图3所示，于是，折算照度为  $\frac{0.2 \cdot 3.5}{\frac{1}{4} \pi \cdot 3.5^2} \cdot 0.5 \cdot 585 = 42 \text{ 勒克司}$ ，由图2a的光电特性曲线可看到，这个照度是适中的。



左: a、光电特性曲线

右: b、光电特性曲线

图4 光导管的特性曲线

# 模拟光源装置

顾伯伟

(南京天文仪器厂)

胡岳风

(北京天文台)

## 一、研制目的:

太阳磁场望远镜是一项较为复杂的研制性仪器,周期较长,光,机,电各部工作均需齐头并进。

其中光电扫描接收系统是要将经过磁场分析器,速度场分析器和双折射滤光器的太阳磁场,速度场和亮度场的调制信号检测出来。而在此接收系统进行分部实验和部套调试时,由于时间的限制和工作的方便,须先在实验完成后才能与望远镜总装总调。因此必须做一个特殊光源装置,将调制信号通过光电倍增管转换成电信号,代替来自太阳的向量磁场,速度场,亮度场的调制信号,以提供光电接收系统进行实验和调试,并保证在仪器总装前完成工作。

## 二、装置的要求

本装置所要提供的是一组在恒定的光量(直流信号部份)上叠加几种交变的微小光量(交流信号部份),这些光量引起光电倍增管输出电流的交直比为 $1/1000 \sim 3/10$ , (对应光电接收系统的信噪比要求指标 $1000:1$ )。要求交变光量可调,交变频率为两组135周矩形波,相位差 $1/4$ ;当这两组矩形波叠加在一起时形成的光量变化就包含有135周及270周的矩形波分量;270周锯齿波及135周正弦波,(对应磁场分析器和速度场分析器中KD\*P电光晶体调制器的电源频率及波形的要求)。

其波形要求为:

1. 频率稳定性 $\geq 10^{-4}$ ;
2. 电压波纹不规则起伏 $\leq \frac{1}{200}$ ;
3. 各矩形波应严格同步,相移应小于 $0.5^\circ$ ;
4. 矩形波调制上升时间应小于周期 $\frac{1}{1000}$ ;
5. 锯齿波反回时间应小于周期 $\frac{1}{500}$ 。

## 三、装置的组成及说明

整个模拟光源装置如图一。

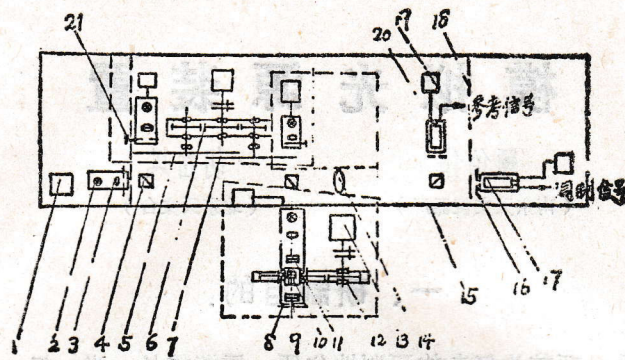


图 1

1. 稳压电源 (WYJ-6B), 保证光量稳定;
2. 直流恒定光量;
3. 聚光透镜 ( $\phi 26$ );
4. 直角棱镜 (二块胶合, 其中一块斜面上镀半透膜);
5. 矩形调制片;
6. 传动箱 (矩形和锯齿形调制片合用);
7. 锯齿形调制片;
8. 光栏 (可调从  $\phi 2 \sim \phi 5$ );
9. 偏振片  $P_1$  (固定不动);
10. 偏振片  $P_2$  (可转动偏振片);
11. 偏振片  $P_3$  (可手调);
12. 传动箱 (调制正弦波)
13. 同步电机 (55TZ5C, 磁带式同步电机, 转速为3000转/分)
14. 法卜里透镜;
15. 本装置导轨;
16. 光闸 (保护光电倍增管);
17. 光电倍增管 (EMT9658型, 作调制信号, 有效12径 $\phi 12$ );
18. 遮光罩 (内外刷黑色无光漆, 罩外再复盖黑色布, 防止散射光进入光路);
19. 高压电源 (FH-426B 3kL);
20. 光电倍增管GDB35, 有效孔径 $\phi 12$ , 作直流相敏检波的参考信号);
21. 可调狭缝 (宽0.1~3, 高20毫米)。

#### 四、设计及计算:

1. 三组波形的转速:

i) 矩形波:

通过两组矩形波的调制片, 相位差 $1/4$ , 每片调制片为6槽, 即为六个矩形波形, 二组调

制片同步转动，其每片调制片的转速为：

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{m_1} = 1350 \text{ 转/分} \quad n \text{——为电机转速.}$$

$$\text{则 } i_1 = \frac{n}{n_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_1'}{Z_2} = 2.2 \quad m_1 \text{——调制片槽数.}$$

因此采用55TZ5C磁带式同步电机，在出轴一端固连 $Z_2$ 齿轮，同步带动左、右 $Z_1$ 、 $Z_1'$ 的齿轮转动，实现135周/分频率的要求，其波形如图2(a,b,c)

ii) 锯齿波：

锯齿波的调制片，共包含12槽，在调制频率为270周的要求下，其转速为：

$$n_2 = \frac{60f_2}{m_2} = 1350 \text{ 转/分.}$$

式中： $f_2$ ——调制片频率

$m_2$ ——调制片槽数

与矩形波每片调制片的转速相同，因此，利用上述传动箱机构，只要换上一组锯齿波调制片，按放在右边，工作时可把左边一路光源关闭，即可满足要求。

iii) 正弦波

正弦波调制利用三片偏振片， $P_1$ 固定不动， $P_2$ 由电机带动， $P_3$ 可手动。如图3。

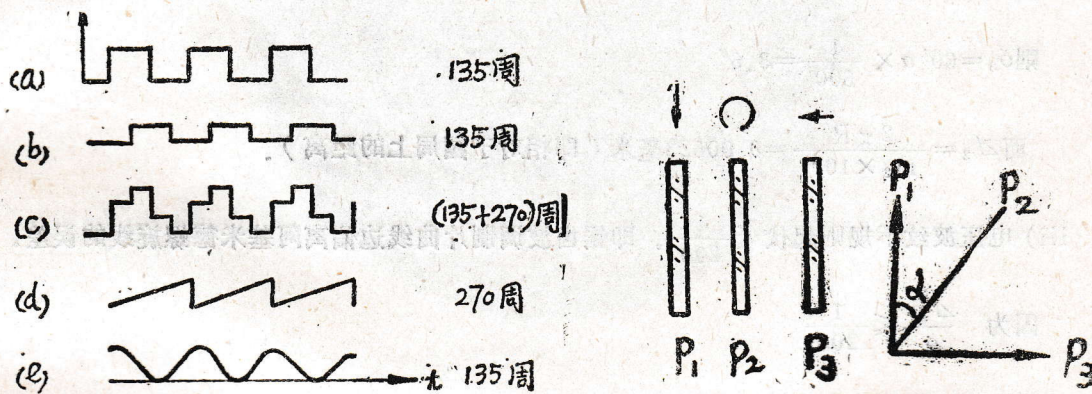


图 2

图 3

当偏振轴 $P_1 \perp P_3$ 时， $P_2$ 与 $P_1$ 两偏振轴夹角为 $\alpha$ ，则总透过强度可为

$$E^2 = \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha = \frac{1}{8} (1 - \cos 4\alpha)$$

$P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 分别为三块偏振片的偏振轴向。根据135周的频率要求，则偏振片每转一圈光量变化为4周，余弦波形如图二(e)。其转速为：

$$n_3 = \frac{60f_3}{m_3} = 2025 \text{ 转/分}$$

$$\text{则速比 } i_2 = \frac{n}{n_3} = \frac{Z_3}{Z_4} = 1.48$$

式中： $f_3$ ——电源频率135周/秒

$n_3$ —— $P_2$ 偏振片的转速

$m_3$ ——偏振片的周数

则用55TZ5C电机带动一对齿轮 $Z_3=120$ 齿,  $Z_4=81$ 齿来实现。

## 2. 波形的要求:

i, 由于矩形波调制上升时间应小于周期  $\frac{1}{1000}$  的要求。即为调制片径向边的对中误差。

$$\delta_1 = \frac{2\pi \times 60'}{m} \times \frac{1}{1000} = 3.6'$$

相当于圆周上转过的距离 $\Delta_1$ , 即 $\Delta_1 = R \times \sin \delta_1$ 。

方能满足上升时间小于  $\frac{1}{1000}$  周期的要求。

ii, 根据频率稳定性 $\geq 10^{-4}$ 的要求。即为对齿宽及间隔的均匀要求。

$$\text{若 } \Delta_2 = \frac{2\pi R}{m \times 10^4} = 0.0147$$

因此其稳定性 $\geq 10^{-4}$ 。

iii) 锯齿波返回时间应小于周期  $\frac{1}{500}$  即为锯齿波调制片径向边对中误差。锯齿波调制片一圈对应12周, 每周 $\alpha = 30^\circ$ 。

$$\text{则 } \delta_3 = 60' \alpha \times \frac{1}{500} = 3.6''$$

$$\text{而 } \Delta_3 = \frac{2\pi R}{m_2 \times 10^4} = 0.00523 \text{ 毫米 (即相对于圆周上的距离)}。$$

iii) 电压波纹不规则起伏 $\leq \frac{1}{200}$ 。即锯齿波调制片曲线边偏离阿基米德螺旋线的误差。

$$\text{因为 } \frac{\Delta \rho}{\rho} \leq \frac{1}{200}$$

$$\text{所以 } \Delta \rho \leq \frac{\rho}{200} = 0.1 \text{ 毫米。}$$

上述三组波形调制片, 为了保证加工精度和技术条件均由数控程序线切割机上进行加工。

## 五、装置的调整方法及注意事项:

1, 按图1位置将直流光源, 法卜里透镜, 二个光电头及反射参考信号的棱镜放置规定位置, 接通电源, 调至光电头上有均匀对称光斑。

2, 安装交流光源及相应棱镜调至光电头上有均匀对称光斑。

3, 安装传动箱及需用的调制片, 将调制片径向缝调至与狭缝平行。如用两矩形波调制片时, 应调位相差 $\frac{1}{4}$ 周, 可将倍增管输出接至示波器上看波形来调。若需调制锯齿波时, 可



卸下右面一组的矩形调制片，换上锯齿波调制片，工作时并关闭左面的交流光源即可。

4, 如要用正弦波形时，如图一中析下(a)，按上(c)至(b)位置。先将 $P_1$ 调至垂直 $P_3$ ，此时光电倍增管输出最小，再装入 $P_2$ ，即可使用。

注意事项：

①使用时必须防止散射光进入系统，以提高精度。

②必须严格注意保护光电倍增管，加高压后，不能强光照射，故使用或调整仪器时，要时刻检查光电流不能超载，不用时，关高压及光闸。

## 六、实验的结果

模拟光源装置与光电接收系统进行了分阶段实验和总调试。本装置达到了设计的目的和要求。利用三组波形的光源分别模拟出太阳磁场，速度场和亮度场。为光电扫描接收系统提供了实验及调试的前提，保证了在望远镜总装调前完成了接收系统工作。

此设备对需要不同波形调制光源的工作亦可提供使用。

本装置的几何光路由南京天文仪器厂光学研究室王亚男同志设计。在此深表感谢。

## A ANALOGUE MOUNTING FOR MODULATED SIGNALS IN MAGNETIC FIELD MEASURING

Gu Beiwei

(*Nanjing Astnonomical Instrument Factory*)

### Abstract

The solar magnetic field telescope is essentially a polarization measuring instrument, or which the high voltage with sine, rectangular or sawtoothed wave is applied on the KD\*P crystal plates in the magnetic analyser, then the stokes parameters I, Q, U, V could be detected with fequency-selecting and phase-detecting electronics, which was tested with a specially designed analogue mounting in laboratory.

This instrument generates different electric signals mechanically: A high speed rotated sheet plate with suitable shape of breaches on its rim chopping the incident light by means of followed optics, the modulated light is striked on the cathode of a photomultiplier its output has the same frequency and wave shape as the desired moldulated voltage which is to be applied on the KD\*P crystal plates.