

# 太阳磁场望远镜中KD\*P电光调制器

艾国祥 胡岳凤

(中国科学院北京天文台)

## 提 要

本文讨论了正在研制的太阳磁场望远镜中由窄带双折射滤光器作单色器, 分别用电视-计算机和光电倍增管作接收器, 运用KD\*P电光调制器及相应的锯齿波和矩形波高压电源, 测量矢量磁场及视线速度场的原理和方法。研制了宽视场KD\*P调制器, 并讨论了高压电源波形误差的影响。KD\*P调制器与高压电源联试表明, 调制器及电源的有关性能良好。

## 一、前 言

太阳磁场望远镜采用窄带双折射滤光器作单色器, 其透过半宽为 $0.15 \text{ \AA}$  和  $0.12 \text{ \AA}$ , 用KD\*P电光调制器作磁场分析器和视向速度场分析器, 可以在 $\text{FeI}5324.198 \text{ \AA}$  和  $\text{H}\beta 4861.342 \text{ \AA}$  两个波长上工作。采用电视-计算机、光电倍增管及照相三种接收器, 可分别观测太阳光球和色球两层次的矢量磁场、视向速度场和亮度场等十个物理参数, 是一台综合性的太阳磁场观测仪器。该仪器已提出和设计多年, 正在研制之中。本文介绍已基本制成的KD\*P电光调制器在仪器中的作用原理、设计和局部实验, 结果表明性能良好。

电光调制器用于太阳磁象仪观测磁场已有较长的历史, 并存在多种方案<sup>[1]</sup>。本文重点讨论: ①用电视接收时, 矢量磁场及视向速度场测量方法; ②用光电倍增管接收时在KD\*P上使用锯齿波和矩形波调制以及同时测定纵向磁场和视向速度场的方法; ③为得到均匀视场, 探求了一种KD\*P的宽视场处理方法。

## 二、工作原理

### 1. 磁场与太阳吸收线偏振光强度的关系

运用Zeeman效应测量太阳磁场的经典理论工作是由Unno<sup>[2]</sup>所进行的。他采用 Stokes 参数描述偏振光。吸收线Stokes参数强度 $r_1$ 、 $r_0$ 、 $r_u$ 、 $r_v$ 与磁场关系为

$$H_{\parallel} = r_v / A_{\parallel},$$

$$H_{\perp} = \sqrt{r_0^2 + r_u^2} / A, \quad (1.1)$$

$$\chi = 0.5 a \gamma c \tan(r_u / r_0), \text{ 当 } r_0 > 0 \text{ 时}, \quad (1.2)$$

$$\chi = \frac{\pi}{2} - 0.5 a \gamma c \tan(r_u / r_0), \text{ 当 } r_0 < 0 \text{ 时}, \quad (1.3)$$

$$\chi = \frac{\pi}{2} - 0.5 a \gamma c \tan(r_u / r_0), \text{ 当 } r_0 < 0 \text{ 时}, \quad (1.4)$$

自 Unno 以来, 对如何定准比例系数 $A_{\perp}$ 和 $A_{\parallel}$ 作了不少探讨和改进<sup>[3]</sup>, 这种努力现在仍在继续中。



从式 (1.1) — (1.4) 可知, 只要知道了  $r_0$ 、 $r_u$ 、 $r_v$ , 三维磁场分量就可以归算出来, 因此运用 Zeeman 效应的太阳磁场仪器, 实质上是太阳谱线的偏振光分析器。

## 2. 磁场分析器原理

分离并测定各种偏振成分是太阳磁场分析器的主要任务。描述磁分析器的数学方法很多, 我们采用庞卡雷球方法 [4][1]。

(一) 用电视方法测量矢量磁场: 用电视作接收器时, 磁场分析器由三个部件组成: (1) 全色  $\lambda/4$  波片; (2) KD\*P 调制器;

(3) 偏振片。各部件按不同测量内容可取三种状态, 如图 1 所示,

图 1 中箭头为光轴方向。当以连续背景为单位表示 Stokes 参数时,

庞卡雷球中的 I、Q、U、V 对应  $r_1$ 、 $r_0$ 、 $r_u$ 、 $r_v$ , 则 (1)  $r_v$  的测量:

图 1 (1) 的情况下, 入射光通过 2、3 后, 利用庞卡雷球可推出出射光为

$$I^{(1)} = 0.5r_1 - 0.5r_v \sin Y + 0.5r_0 \cos Y, \quad (2.1)$$

式中 Y 为光通过 KD\*P 后, 沿两晶轴方向振动的分量所产生的相差,

若  $Y = \mp \frac{\pi}{2}$  矩形调制, 频率为 0.1 周, 则前半周和后半周分别有

$$Y = -\frac{\pi}{2}, \quad I_{-}^{(1)} = 0.5r_1 + 0.5r_v, \quad (2.2)$$

$$Y = +\frac{\pi}{2}, \quad I_{+}^{(1)} = 0.5r_1 - 0.5r_v, \quad (2.3)$$

可得

$$r_v = I_{-}^{(1)} - I_{+}^{(1)}. \quad (2.4)$$

(2)  $r_u$  的测量: 图 1 (2) 的情况下, 有

$$I^{(2)} = 0.5r_1 - 0.5r_u \sin Y + 0.5r_0 \cos Y. \quad (2.5)$$

当  $Y = \mp \frac{\pi}{2}$  矩形调制时, 同样有

$$I_{-}^{(2)} = 0.5r_1 + 0.5r_u, \quad (2.6)$$

$$I_{+}^{(2)} = 0.5r_1 - 0.5r_u, \quad (2.7)$$

则

$$r_u = I_{-}^{(2)} - I_{+}^{(2)}. \quad (2.8)$$

(3)  $r_0$  的测量: 图 1 (3), 当 1 取向  $45^\circ$  时, 它与 2 的相差相加,

$$Y' = \frac{\pi}{2} + Y, \quad \text{当 } Y = \mp \frac{\pi}{2} \text{ 时,}$$

$$I_{-}^{(3)} = 0.5r_1 + 0.5r_0, \quad (2.9)$$

$$I_{+}^{(3)} = 0.5r_1 - 0.5r_0. \quad (2.10)$$

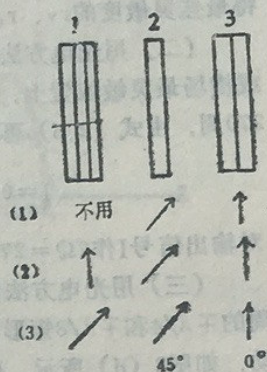


图 1 磁分析器



则:

$$r_0 = I_{-}^{(3)} - I_{+}^{(3)}$$

从上可知,对Y采用 $\pi/2$ 矩形调制,对波片1取不同状态,测 $r_v$ 时将滤光器光透过带调到线翼,测 $r_0$ 、 $r_v$ 时调到线心或谱线对横场最灵敏的位置,就可以根据式(2.2)至(2.11)求得最佳灵敏度的 $r_v$ 、 $r_0$ 、 $r_v$ ,并进而求出矢量磁场。

(二)用光电方法测量横向磁场:用光电倍增管作接收器测横向场时,滤光器调到线心或横场最灵敏位置上,磁分析器如图1(2)所示, KD\*P上加 $\pi/2$ 的锯齿波电压,周期为270周,由式(2.5)可得

$$I = 0.5r_1 - 0.5r_v \sin 2\Omega_1 + 0.5r_0 \cos 2\Omega_1 \quad (2.12)$$

对输出信号I作 $2\Omega = 270$ 周的正弦和余弦选频,可同时测量同等灵敏度的 $r_v$ 和 $r_0$ 。

(三)用光电方法测量纵向磁场和速度场:在滤光器内的二组KD\*P晶体上分别加135周的 $\pi/4$ 和 $\pi/8$ 矩形波电压,如图2(a)所示,使滤光器透过带以135周的频率左、右跳动,如图2(d)所示。磁分析器如图1(1)状况,其KD\*P上也加135周,  $\pm\lambda/4$ 的矩形波,但相位错开 $1/4$ 周,如图2(b)所示。当太阳上存在视向速度和磁场时,滤光器在调制器作

用下输出光如图2(e)和(c)所示。谱线多卜勒位移在原线翼处引起光量变化

$$\Delta I = \mp \frac{\alpha r_1}{\alpha \lambda} \cdot \Delta \lambda = \pm \frac{\alpha r_1}{\alpha \lambda} \cdot \frac{\lambda_0}{C} V_{\parallel} = \pm A_v V_{\parallel} \quad (2.13)$$

滤光器透过紫翼取“+”,红翼取“-”。加上磁分析器作用,滤光器在每周中等分的四段内分别有

$$I_A = 0.5r_1 + A_v V_{\parallel} - 0.5r_v,$$

$$I_C = 0.5r_1 + A_v V_{\parallel} + 0.5r_v,$$

$$I_B = 0.5r_1 - A_v V_{\parallel} - 0.5r_v,$$

$$I_F = 0.5r_1 - A_v V_{\parallel} + 0.5r_v.$$

对矩形谐波输出作135周和270周正弦选频,就可以同时获得 $A_v V_{\parallel}$ 和 $r_v$ 。

(四)用电视方法测量视向速度场:对滤光器中的KD\*P分别加0.1周 $\pi/4$ 和 $\pi/8$ 的矩形波高压,测量谱线紫翼和红翼的信号,在计算机中先累积后相减,可以求出 $A_v V_{\parallel}$ 。

太阳自转引起的固定视向速度场,可以通过调节滤光器透过波长进行补偿。

由于4861.342 Å谱线较宽,为获得较高灵敏度,需将滤光器最厚级调到线心,次厚级调到线翼,这级的KD\*P上不加高压,仅在次厚级KD\*P上加 $\pi/4$ 矩形高压,以测量该线所反映的视线速度场和纵场。

在上述测量原理的定性介绍中,由于未涉及具体的定标参数。在图2中对谱线轮廓和滤光器透过轮廓均作了简化处理,并且对滤光对Stokes参数的透过率未作积分处理。主要是为了简化原理的介绍。我们所作的有关磁场中谱线形成以及滤光器透过积分处理及定标等工作,所得结论从定性上来说,是完全一致的,限于篇幅,在此不详细介绍了。



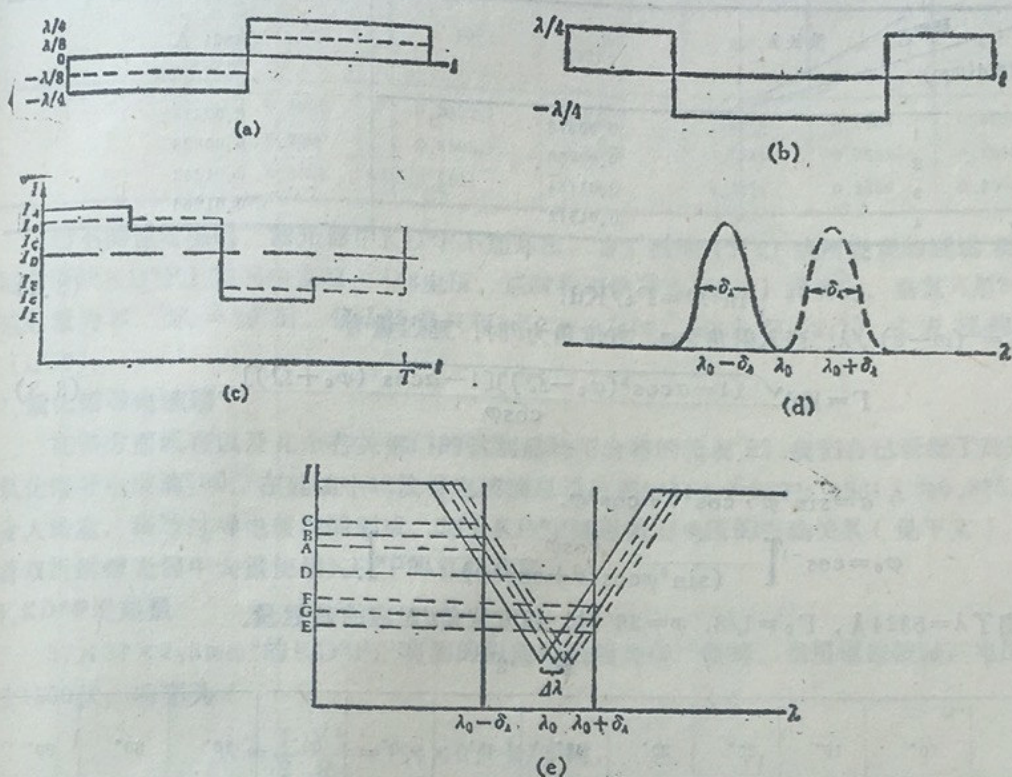


图 2

### 三、KD\*P (KD<sub>2</sub>P<sub>4</sub>O) 调制器

我们选用KD\*P作纵向调制器，它与ADP、KDP等相比，具有半波电压低，电源功率小等优点。KD\*P材料分别由山东大学和福建物质结构所提供。

#### 1. KD\*P的视场及宽视场处理

KD\*P纵调晶片的延迟量与入射角 $\varphi$ 和方位角 $\theta$ 有关。下面推导离轴效应<sup>(5)(6)(7)(8)</sup>。纵调时KD\*PZ轴与几何光轴平行。当入射角为 $\varphi$ 时，KD\*P上的延迟量为

$$\Gamma = \frac{d}{\lambda} \frac{\omega^2 - \varepsilon^2}{2\varepsilon^2\omega} \sin^2 \varphi, \quad (3.1)$$

其中常光折射率 $\omega = 1.51$ ，非常光折射率 $\varepsilon = 1.47$ ； $d$ 为Z轴方向厚度； $\lambda$ 为波长。

磁场望远镜中进入磁分析器和滤光器的最大入射角约为 $36'$ 。表1给出了 $\varphi = 36'$ ，不加电压时，不同厚度KD\*P引起的延迟量。

我们所用KD\*P口径为 $37 \times 37 \text{mm}^2$ ，考虑加工困难，厚度 $d$ 取 $2 - 2.5 \text{mm}$ 。故单片KD\*P不加电压时，在视场边缘引起延迟约为 $0.01$ 。

纵调KD\*P变为双轴晶体，两轴交角为 $2\Omega$ ，与正入射时的延迟量有关系



表 1

厚度d(mm)	波长λ	延迟量	
		5324 Å	4861 Å
1		0.00378	0.00414
2		0.00756	0.00828
3		0.01134	0.01242
4		0.01512	0.01656

(3.2)

其中  $K = (\omega - \varepsilon) / \lambda$ 。当入射角为  $\varphi$ ，方位角为  $\theta$  时，延迟量为

$$\Gamma = Kd \frac{\sin^2 \Omega = \Gamma_0 / Kd,}{\cos \varphi \sqrt{[1 - \alpha \cos^2(\varphi_0 - \Omega)][1 - \alpha \cos^2(\varphi_0 + \Omega)]}}$$

(3.3)

其中

$$\alpha = \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \theta + \cos^2 \varphi,$$

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \left[ \frac{\cos \varphi}{(\sin^2 \varphi \cos^2 \theta + \cos^2 \varphi)^{1/2}} \right].$$

表2列出了  $\lambda = 5324 \text{ \AA}$ ， $\Gamma_0 = 1/8$ ， $\varphi = 36'$  时，各方位角  $\theta$  对应的延迟量。

表 2

	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
2	0.1079	0.1085	0.1124	0.1174	0.1232	0.1262	0.1291	0.1344	0.1386	0.1417	0.1421
3	0.09932	0.1013	0.1066	0.1144	0.1233	0.1276	0.1319	0.1397	0.1456	0.1492	0.1507
4	0.09073	0.09355	0.1011	0.1119	0.1237	0.1296	0.1352	0.1452	0.1529	0.1576	0.1592

当d取2—3mm时，对于1/8波片的最大误差达0.0171—0.0257，这是严重的。为此，我们设计了KD\*P的宽视场结构，如图3所示。每块KD\*P加电压为单块的一半，且方向相反，两块  $\lambda/2$  波片组成旋转90°全色波片<sup>[9]</sup>。

式(3.3)中离轴效应对延迟轴和快轴都是对称的。因合成的总延迟量应为

$$\Gamma_{\text{合}}(\theta) = \Gamma(\theta) + \Gamma(90^\circ - \theta).$$

表3列出了各方位角的合成延迟量。

最大误差出现在  $\theta = \pm 45^\circ$ ， $\pm 135^\circ$  的方位上，对d=2mm，误差仅1/400，对d=3mm，误差仅1/200，故此宽视场结构可获满意的结果。

我们对此种宽视场设计，从定性上作了实验检验。当在单块KD\*P上加电压时，在偏振片间出现双曲线干涉条纹，可看出明显的不均匀视场效应。当在宽视场组合的两块KD\*P上加彼此反向电压时，出现中央圆形干涉条纹。这表明各方向视场是均匀的，并且中央均匀区域比原双曲线均匀区域扩大，表明视场加大。

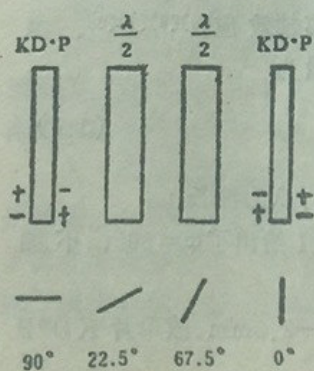


图 3



表 3

	0°	10°	20°	30°	40°	45°
2	0.2500	0.2502	0.2510	0.2518	0.2523	0.2524
3	0.2500	0.2505	0.2532	0.2541	0.2551	0.2552
4	0.2500	0.2511	0.2540	0.2571	0.2589	0.2598

当不测速度场时，滤光器中KD\*P不加高压，为了消除(3.1)式所表现的延迟误差，可在两块KD\*P上加同向直流 $+\lambda/8$ 电压。这时视场效应由(3.3)式确定，垂直入射时合成延迟量为零，而 $\varphi=36'$ 时，最大误差只有 $1/200-1/400$ ，远小于(3.1)式表现的误差(1/50)。

## 2. 氧化锡导电玻璃

在多方面调查以及几个有关部门的试制品均不合格的情况下，我们自己研制了高透明二氧化锡导电玻璃<sup>[10]</sup>，在硅油中12块导电玻璃总透过率 $5324\text{Å}$ 为0.89， $4861\text{Å}$ 为0.875，结果令人满意，高透过导电玻璃的制成，加上KD\*P延迟量与电压的精确关系(见下文)，预示着双折射滤光器中大量使用KD\*P的良好前景。

## 3. KD\*P发热量

$37 \times 37 \times 2.5\text{mm}^3$ 的KD\*P，实测的纵向电阻约为 $10^{10}$ 欧姆，当用锯齿波时，电压约为 $\pm 1800$ 伏，功率为

$$W = \frac{1}{2} \frac{V^2}{R} = 1.4 \times 0.1 \text{卡/小时},$$

这种微小的发热量，不会影响周围晶体的恒温。

KD\*P半波电压与温度有关，所有KD\*P晶体均置于 $42^\circ\text{C}$ 恒温器中，以保持半波电压的稳定。

## 4. KD\*P加工精度

据滤光器中晶体的综合分析，KD\*PX、Y轴的定准精度应为 $\pm 4'$ ，实际加工中可达到 $\pm 1'$ 。表面光圈加工到 $\lambda/4$ ，因KD\*P均放在硅油中，故上述加工精度已达很好效果。

# 四、高压电源的波形误差要求

## 1. 锯齿波

(1) 锯齿波回扫时间：文献〔1〕中提到回扫时间 $t$ 影响输出的余弦波振幅，所Q的测量振幅下降 $t/T$ 。我们对存在回扫时间的输出波形作付利叶分析，所得结果与〔1〕中相同。回扫时间在电路上难于缩短，故本体器调制频率不宜太高。锯齿波周期 $T \approx 3700\mu\text{s}$ ，若 $t$ 取 $37\mu\text{s}$ ，则使Q的测量引起1/100的系统误差，如准确知道 $t/T$ ，则可在仪器定标中加以改正。

(2) 线性误差：当采用自举电路时，锯齿波波形为

$$KE(1 - e^{-t/KRC}) = KE \left[ \frac{t}{KRC} - \frac{1}{2} \left( \frac{t}{KRC} \right)^2 \right], \quad (4.1)$$



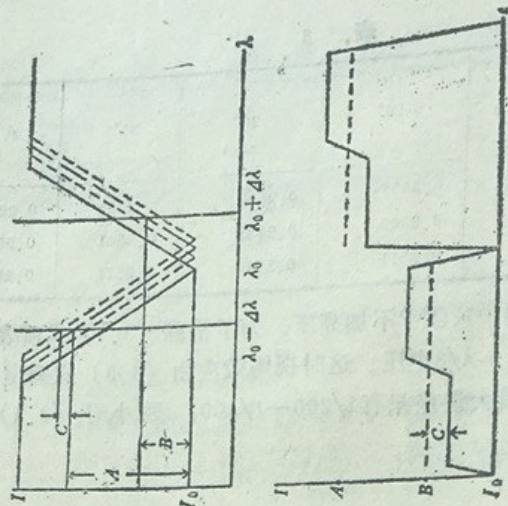
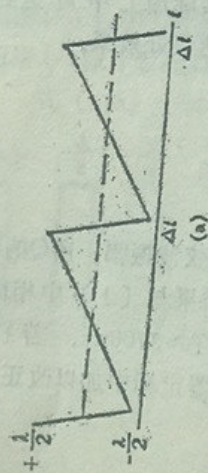


图4锯齿波回扫时间测量U, Q的影响  
图5 (A) B) 为波度场引起的光量差, C为磁  
场引起的光量差

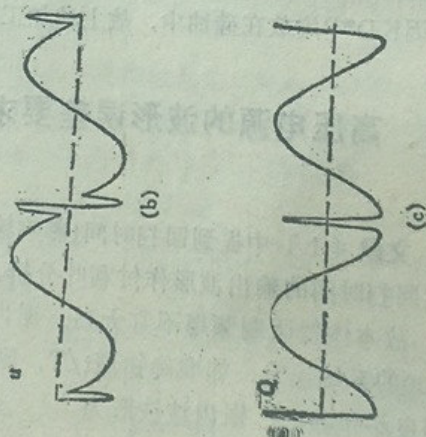


表4

m	$\sigma_0$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$b_1$	$b_2$	$b_3$
5	0.0405	-0.0713	0.0355	-0.00657	0.9321	0.1483	-0.07966	-0.0898	1.0265	0.08400	-0.03078	0.04033	-0.01753	0.00589
10	0.01819	-0.0332	0.00180	-0.00433	0.9705	0.07056	-0.03889	-0.0477	1.0195	0.0375	-0.0139	0.0214	-0.01178	0.002708
25	0.00674	-0.01256	0.007150	-0.001903	0.9893	0.02730	-0.01524	-0.01866	1.009	0.01398	-0.00523	0.008778	-0.00631	0.00078
50	0.00327	0.00616	0.00356	0.00097	0.9948	0.01341	-0.0756	-0.0992	1.0048	0.00683	0.00256	0.00442	-0.00275	0.000496
100	0.001615	-0.00304	0.00170	0.00049	0.9975	0.0067	-0.00376	-0.0498	1.0024	0.00337	-0.00126	-0.00221	-0.00139	0.00027



其中K为放大倍数，E为峰值电压，T=RC为周期。引入的峰值相对下降为

$$-\frac{1}{2}\left(\frac{T}{KRC}\right)^2 / \left(\frac{T}{KRC}\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{K}. \quad (4.2)$$

若使峰值电压仍保持使用的数值，则输出的波形为

$$\left. \begin{aligned} f(U) &= \sin \left[ 2\pi \left( 1 - e^{-t/2\pi m} \right) \left( 1 - e^{-1/m} \right)^{-1} \right] \\ f(Q) &= \cos \left[ 2\pi \left( 1 - e^{-t/2\pi m} \right) \left( 1 - e^{-1/m} \right)^{-1} \right] \end{aligned} \right\} 0 \leq t \leq \pi, \quad (4.3)$$

其中m=K。展成付氏级数。

$$\left\{ \begin{aligned} f(u) &= a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt) \\ f(Q) &= c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (c_n \cos nt + d_n \sin nt), \end{aligned} \right. \quad (4.4)$$

它们的系数列表4。从表可见，非线性造成影响是：①使讯号振幅正弦减少，余弦增加；②使正弦和余弦所载讯号互相干扰， $a_n$ 的存在使U干扰Q， $d_n$ ，使Q干扰U。当m=25时，振幅误差及互相干扰均降至1/100左右，当m=100时，则降至2/1000。

## 2. 矩形波

(1) 矩形上升与下降时间 $\Delta t_1$ ：为简化起见，设电压波形为梯形。当磁场分析器和速度场分析器中KD\*P均加135周矩形 $\pi\lambda/4$ 电压，彼此相位错开 $1/4$ 周时，经调制器和滤光器作用，输出波形如图5所示。

$$I(t) = \begin{cases} \frac{B-C}{\alpha}(t+\pi) & -\pi \leq t \leq -(\pi-\alpha), \\ B-C & -(\pi-\alpha) \leq t \leq -\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right), \\ B+\frac{C}{\alpha}\left(t+\frac{\pi}{2}\right) & -\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right) \leq t \leq -\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right), \\ B+C & -\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right) \leq t \leq -\alpha, \\ -(B+C)\frac{t}{\alpha} & -\alpha \leq t \leq 0, \\ (A-C)\frac{t}{\alpha} & 0 \leq t \leq \alpha, \\ (A-C) & \alpha \leq t \leq \left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right), \\ A+\frac{C}{\alpha}\left(t-\frac{\pi}{2}\right) & \left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right) \leq t \leq \left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right), \\ A+C & \left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right) \leq t \leq (\pi-\alpha), \\ -\left(\frac{A+C}{\alpha}\right)(t-\pi) & (\pi-\alpha) \leq t \leq \pi. \end{cases}$$



其中  $\alpha = 2\pi \frac{\Delta t_1}{T}$ 。对上面的输出波作付氏展开, 所得各项系数如下

$$I(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=0}^{\infty} \left( \frac{a_n}{\pi} \cos nt + \frac{b_n}{\pi} \sin nt \right), \quad (4.5)$$

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\pi} (A+B) \cdot (\pi - \alpha) \\ a_n &= 0 && n = \text{奇数} \\ a_n &= \frac{2}{\pi} (A+B) \frac{1 - \cos n\alpha}{n^2 \alpha} && \text{当 } n = \text{偶数} \\ b_n &= \frac{2}{\pi} (A-B) \frac{\sin n\alpha}{n^2 \alpha} && \text{当 } n = \text{奇数} \\ b_n &= \frac{8C}{\pi} \frac{\sin n\alpha}{n^2 \alpha} && \text{当 } n = \text{偶数} \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

从上式可见, 一次和二次正弦波分别载  $\frac{2}{\pi} (A-B)$  和  $8C/\pi$  量, 即载速度场和纵场有关的

量。当  $\Delta t_1 = T/100$  时,  $\alpha = 2\pi/100$ ,

$$\frac{\sin \alpha}{\alpha} \doteq \frac{\alpha - \alpha^3/6}{\alpha} = 1 - \frac{\alpha^2}{6}. \quad (4.7)$$

对讯号振幅的减少仅 0.06%, 完全可以忽略。

(2) 矩形波不对称要求: 如矩形波有图6所示不对称性,  $T' - T'' = \Delta t_2$ ,  $\beta = \Delta t_2/T$ , 经调制器之后, 输出讯号为

$$I(t) = \begin{cases} B & -\pi \leq t \leq 2\pi\beta, \\ A & 2\pi\beta \leq t \leq \pi. \end{cases} \quad (3.8)$$

作付氏展开, 系数为

$$a_0 = \frac{1}{\pi} (A-B)(\pi - 2\pi\beta),$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} (B-A) \frac{\sin 2\pi n\beta}{n},$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} (A-B) \frac{\cos 2\pi n\beta - \cos n\pi}{n}.$$

$b_2$  的存在使速度场讯号干扰磁场结果,

$$b_2 \doteq \frac{A-B}{\pi} (-4\pi^2 \beta^2).$$



当 $\beta=0.01$ 时,  $b_2 = (A-B) \frac{2}{\pi} \times 1.8 \times 10^{-3}$ . 当 $\beta=0.001$ 时,

$$b_2 = (A-B) \frac{2}{\pi} \times 1.8 \times 10^{-5}.$$

估计当速度为2公里/秒,  $\beta=0.01$ 时, 引起的干扰磁讯号相当于4高斯纵场, 当 $\beta=0.001$ 时, 仅对应0.04高斯纵场。

## 五、调制器与电源联测及结果

### 1. 半波电压测量方法及结果

测半波电压方法如图7所示。此系统中, KD\*P透过与电压的关系为

$$\tau = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{V_{\frac{\pi}{2}}}\right) \quad (5.1)$$

测直流半波电压时, 去掉4, 在5和7上分别加相反的相当于 $\lambda/4$ 左右的直流高压, 读出输出电流极大附近两侧等值处的高压值 $V_1, V_2$ , 则半波电压 $V_{\frac{\pi}{2}} = V_1 + V_2$ 。此法避开了 $\sin^2(\pi/2)$ 处的不灵敏区, 精度大为提高, 测量结果, 对5324 Å,  $\lambda/8$ 电压为920伏, 相应半波电压为3680伏。4861 Å时,  $\lambda/8$ 电压为850伏, 相应半波电压为3400伏。

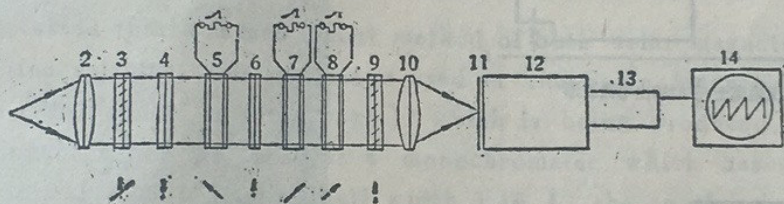


图7 1. 点光源; 2. 准直镜; 3. 起偏振片; 4.  $\frac{1}{4}$ 片; 5, 7, 8. KD\*P; 6. 宽场 $\frac{1}{2}$ 片; 9. 检偏振片; 10. 成像镜; 11. 狭缝; 12. 单色仪; 13. 光电信增管; 14. 示波器或电表

### 2. 矩形波半波电压

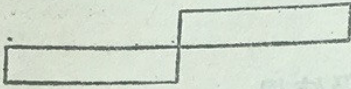
图7中放入4, 延迟轴方位垂直, 3的透过轴方位为 $+45^\circ$ , 当5和7加彼此反向135周 $\pm\lambda/8$ 矩形电压时, 在8中也加135周的矩形波电压, 振幅为200—300伏, 存在一定相移, 如图8(a)和(b)所示, 若3方位偏意 $+45^\circ$ , 则图8(c)中A和B的振幅不等, 转动3可使 $A=B$ , 当改变5和7上的电压时, 可使A和B完全消失, 如图8(d)所示, 此时5和7上的电压对应 $\pm\lambda/8$ 电压。此法可以敏感至几伏(电压表头极限精度), 定出的半波电压精度极高。测量结果为, 5324 Å  $\pm\lambda/8$ 电压为 $\pm 830$ 伏, 相应半波电压为3320伏, 4861 Å  $\pm\lambda/8$ 电压为 $\pm 740$ 伏, 相应半波电压为2960伏。

### 3. 锯齿波半波电压

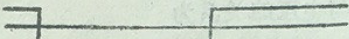
4的延迟轴垂直放置, 当3透过轴垂直时, 装置无附加延迟, 当5和7上加 $\pm\lambda/4$ 锯齿波电压时, 输出为正弦波。若电压不足则偏离正弦波, 如图9(a)所示。当3透过轴为 $45^\circ$ 时, 装置有 $\frac{\pi}{2}$ 的附加延迟量, 当5和7上加 $\pm\frac{\lambda}{4}$ 电压时, 输出电流为余弦波, 否则偏离, 如



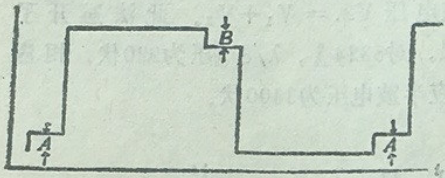
图8(b)所示。由图9(a)和(b)均可判断半波电压,但正弦图形回扫斜率较大,判断的半波电压精度较高。测量结果,5324Å半波电压为3450伏,4861Å半波电压为3150伏。锯齿波测量时,受截止脉冲影响,表头电压可能不完全反映所加真实电压,而是稍微偏高,仅供参考。



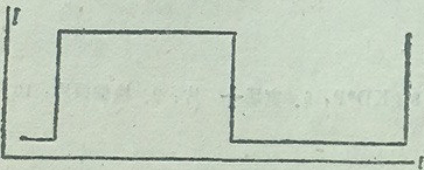
(a) KD\*P5和7的矩形电压



(b) KD\*P8上的矩形电压

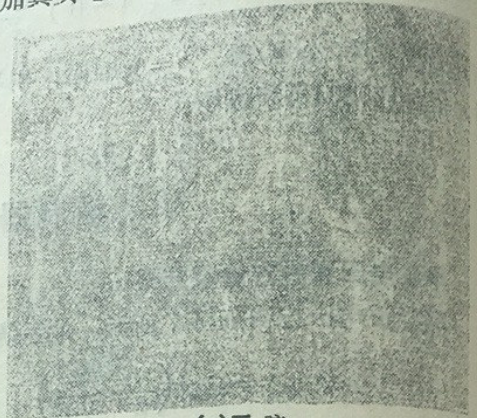


(c) 5和7上电压偏离士  $\frac{\lambda}{8}$  时输出电流波形

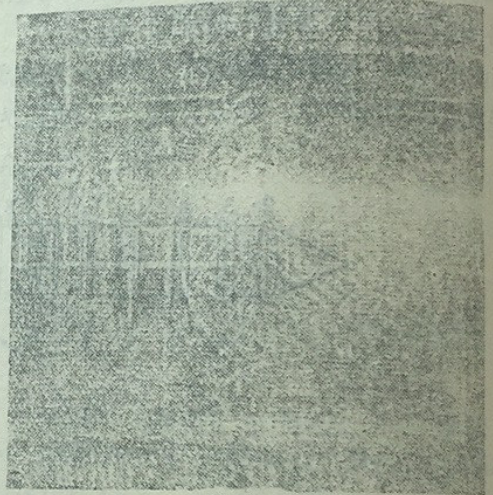


(d) 5和7上电压为士  $\frac{\lambda}{8}$  时输出电流波形

图 8



(a) 正弦



(b) 余弦

图9 加锯齿波电压时, KD\*P 输出波形的照片, 其中反映存在回扫时间的脉冲, 由于仪器高频截止, 被滤掉了一半左右

#### 4. 电源其他参数

KD\*P与电源联试结果, 矩形波波的上升与下降时间为10—12μs, 仅为T/700左右, 矩形正负半波的对称性可调到1μs左右, 仅为T/7000, 锯齿波回扫时间约20μs, 仅为T/185, 均超过了所提指标<sup>(1)</sup>。

KD\*P晶体的加工主要是南京天仪厂何凤宝同志负责的。物构所黄祥金同志协助联试。我台代美英、钱忠钰、史忠先等同志均参加部分工作。在此对他们的协作和支持, 谨致谢意。

#### 参 考 文 献

- (1) Becker, J. M., solar Physics, 5 (1968), 1, 15—28.
- (2) Unno W. Pub. Astron Soc. Japan, 8 (1956), 108.



- (3) Stenflo J. O., in R. Howard (ed), Solar Magnetic Field, I. A. U. symp. 43 (1971), 101.  
 (4) Shurcliff W. A., 1962 Polarized Light.  
 (5) Evans J. W., J. O. S. A., 39 (1949), 412.  
 (6) Billings B. H., J. O. S. A., 39 (1949), 10, 797, 802.  
 (7) Carpenter R. O., J. O. S. A., 40 (1950), 205.  
 (8) Billings B. H., J. O. S. A., 42 (1952), 1, 12.  
 (9) Koester C. J., J. O. S. A., 49 (1959), 4, 405.  
 (10) 胡岳风, 艾国祥, 1980, 光学工艺, 第一期.  
 (11) 陈在得, 1978, 北京天文台台刊, 第15期.

## THE KD\*P MODULATOR IN THE SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE

Ai Guo-xiang    Hu Yue-feng

(Beijing Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

It is discussed that a measurement method of both solar magnetic field and solar sight line velocity. The method is used in the Solar Magnetic Field Telescope (Similar video magnetograph) which is being produced. A narrow band birefringent filter is used as a monochromator which has two wave bands, one is FeI  $\lambda$  5324 Å with half width 0.15 Å, the another is H $\beta$   $\lambda$  4861 Å with half width 0.12 Å.

A television-computer, a photomultiplier and two photograph are used as receivers. KD\*P crystals are used as electro-optic light modulators. The broad sight field KD\*P modulator has been researched and produced. It consist of two KD\*P crystals and a wave plate with effect of 90° rotation. In 36' half sight field, the biggest error of  $\lambda/4$  wave retardation is only  $+\lambda/300$  instead of  $\lambda/25$  which exists in narrow sight field design. To observe the solar magnetic field and the solar sight line velocity, three groups of the KD\*P modulators are used. High voltage power supplies of square wave with 135 c/s and sawtooth wave with 270 c/s are operated on the KD\*P. The influence of wave forms errors of the high voltage power supplies has been calculated and discussed. Raising time and returning time are promised up  $T/30$ , T is period. But returning time of the sawtooth wave should be smaller than  $T/100$ . Voltages of half wave of above wave forms have been measured. Combination experiment of the KD\*P modulator and high voltage power supply has shown that their behaviours are well.