

太阳磁场望远镜摄像系统的考虑

孙星宇

(长春物理研究所)

太阳磁场望远镜摄像系统, 主要任务是: 将太阳光像转变成电信号, 即光电转换。其工作原理与一般摄像系统相比并无特殊之处, 然而它的许多指标的确定必须根据和满足于天文上的要求, 同时也要兼顾到后面A/D变换的速度。在系统设计时, 对于这些特殊性要充分地加以考虑。至于各个部件的具体内容和考虑另有说明, 不是本文的宗旨。

一、光学系统提供的数据和要求及总体指标

1. 太阳磁场望远镜在 5324.198 \AA 和 4861.342 \AA 两个波段上工作。

2. 太阳像大小和照度

太阳像大小: 从20mm—80mm (直径) 可调。

靶面照度: 综合各种变化因素, 电视用太阳像, 照度的可能范围为 1 Lx — 50 Lx 。

其中, 太阳像本身不均匀可达8倍; 由天气及太阳高度引起大气吸收变化约4倍; 滤光器使用的波段及谱线不同部位的强度变化约3倍; 太阳像大小变化4倍, 引起16倍照度变化。

3. 时间分辨率 10^5

在偏振分析器KD*P上加有与电视扫描配合的矩形电压, 使之 5° 左旋、 5° 右旋, 计 10^5 完成单元观测和初步处理。

4. 空间分辨率, 即观测最小单元分别为:

$1'' \times 1''$ ($D=80 \text{ m}$);

$1.5'' \times 1.5''$ ($D=60 \text{ mm}$);

$2'' \times 2''$ ($D=40 \text{ m}$);

$3'' \times 3''$ ($D=26.6 \text{ mm}$);

$4'' \times 4''$ ($D=20 \text{ m}$);

(D 为太阳直径)

5. 观测点数10800

由于取点多少影响极大, 希望取 $90 \times 120 = 10800$ 个点, 至少要 $60 \times 80 = 4800$ 个点, 争取 $120 \times 160 = 19200$ 个点。

6. 极灵敏度—磁场分辨率和信噪比

信噪比

1000~500

3000

300

灵敏度

纵场 10~20 高斯

纵场 3 高斯

横场 200 高斯

速度场 0.03 公里/秒

7. 工作环境: $-20^\circ \text{C} \sim +45^\circ \text{C}$

二、摄像系统有关问题之考虑

1. 摄像方案之选择

摄像系统接收左、右旋偏振光而将其变为相应的电信号，可以有两种方案供选择，即单摄像管和双摄像管方案。后者优点是数据处理简单，基本困难是难以得到两个性能完全一致的摄像管，因此难以达到预期的结果。因而确定采用单摄像管方案。这样，对后面的整个数据处理系统提出了较高的要求。

2. 摄像管的选择

摄像管是摄像系统的关键器件，必须仔细和全面加以考虑。

在太阳磁场为10高斯时，左右旋光量差仅为0.15%，为了反映和测出这个微弱变化，要求灵敏度和信噪比都得高；分辨本领，考虑到 $3' \times 4'$ 的区域和 $2'' \times 2''$ 的细节，要求扫描行数大于100行，这一点容易满足；照度，根据光学设计，太阳像照度为 $10 \sim 20 \text{Lx}$ ，考虑到意外的不利因素，要求在 $2 \sim 3 \text{Lx}$ 时能正常工作；残像特性，采用了单管方案，就必须在时间上先后对左、右旋光进行测量。为了避免相邻的左右旋光重叠而“模糊”，至少应该要求图像移去60ms以后，残像信号小于5%；光谱特性，光学上选用了 5324Å 和 4861Å 线，要求摄像管在此区域灵敏；靶面均匀性，比较切实的要求是在中心区域靶面不均匀性不超过5%；其它要求，暗电流小、 γ 值接近于1等。

综合考虑，二次电子导电管（SEC）较为理想，虽然噪声大点，但靶面有电荷积累效应，采用慢扫描可以提高信噪比。但因未购到，故改用氧化铅管，又因坏了无替换，最后改用E5052型硅靶管，其缺点是残象较大，靶面不均匀性亦较大。此外，光谱特性峰值在 $7000 \text{Å} \sim 8000 \text{Å}$ 处，对我们的应用来说，是一种先天性的损失。近几年来，CCD等固体摄像器件已有产品，规格亦繁多，可选用之。

3. 扫描制式的确定

(1) 扫描行数

观察区域 $3' \times 4'$ ，可将黑子活动区包括其内。 $3'$ 即 $180''$ ，分辨率为 $2''$ 时，则要求90行。画面取3:4，则整个画面的象元素为 $90 \times 120 = 10800$ 点，这是符合天文上的要求。

(2) 扫描速度

以10800点来考虑，若采用广播电视的扫描制式即场频 50Hz ，则每秒将有54万个点送到A/D变换，即要求A/D变换速度为54万次/秒，变换精度为 $\frac{1}{1000}$ 即10位，现A/D组件可以满足。但当时用分离无件只能做到十万次，因此必须采用慢扫描制式。

低速扫描系统具有较好的固有的信噪比。降低带宽，从而降低了噪声。同时慢扫描可充分利用SEC之累积效应而提高了信噪比，又可以扩大观察区域。但慢扫描对于在计算机里进行累加而提高信噪比这一点是不利的。权衡二者利弊，选择一合适的扫描制式。本系统选定了帧频为每秒8帧，正好与十万次A/D变换相配合。

(3) 扫描光栅之确定

摄像管分辨率取25线/毫米，光栅垂直高度为90行/25线/毫米 $= 3.75$ 毫米，取扫描光栅为

3.75^{mm} × 5^{mm}。

(4) 太阳像大小与空间分辨率及太阳区域大小和光栅尺寸

太阳像视角32' ~ 2000"。在第Ⅰ焦面上，太阳像直径20^{mm} ~ 80^{mm}分四档可变。摄像管分辨率取25线/毫米为例计算如下：

太阳像直径	20mm	26.6mm	40mm	80mm
	$\frac{2000''}{20mm}$	$\frac{2000''}{26.6mm}$	$\frac{2000''}{40mm}$	$\frac{2000''}{80mm}$
1mm对应之弧度	100''/mm	75''/mm	50''/mm	25''/mm
	$\frac{100''/mm}{25TVL/mm}$	$\frac{75''/mm}{25TVL/mm}$	$\frac{50''/mm}{25TVL/mm}$	$\frac{25''/mm}{25TVL/mm}$
每行电视线对应的弧度	4''/TVL	3''/TVL	2''/TVL	1''/TVL
	$4''/TVL \times 90TVL$	$3''/TVL \times 90TVL$	$2''/TVL \times 90TVL$	$1''/TVL \times 90TVL$
	6'	4.5'	3'	1.5'
对应之观察太阳区域	6' × 8'	4.5' × 6'	3' × 4'	1.2' × 2'

如果靶面分辨率取50TVL/mm和30TVL/mm时，用上述同样方法可计算出相应数据，列表如下。

太阳像直径D、扫描光栅、空间分辨率、观察区域关系表

太阳像直径 D		80 mm	40mm	26.6mm	20mm
每毫米所对应的角秒		25''/mm	50''/mm	75''/mm	100''/mm
25 TVL/mm	90行扫描光栅	3.75mm × 5mm	''	''	''
	角秒/电视线	1''	2''	3''	4''
	观察区域(分)	1.5' × 2'	3' × 4'	4.5' × 6'	6' × 8'
30 TVL/mm	90行扫描光栅	3mm × 4mm	''	''	''
	角秒/电视线	0.8''	1.7''	2.5''	3.3''
	观察区域(分)	1.2' × 1.6'	2.55' × 3.4'	3.75' × 4.66'	4.95' × 6.6'
50 TVL/mm	90行扫描光栅	2mm × 2.7	''	''	''
	角秒/电视线	0.5''	1''	1.5''	2''
	观察区域(分)	0.75' × 1'	1.5' × 2'	2.25' × 3'	3' × 4'

4. 视频通道的带宽

帧频：8Hz；行频：800Hz；每帧：100行，可见90行，消隐10行；每行：125点，可见120点，消隐5点；每帧：125 × 100 = 12500点；每秒：12500 × 8 = 100000点。(要求A/D变换与计算机的速度为每秒十万次)。

黑白相间： $\frac{100000}{2} = 50KHz$ ，取三次谐波为150KHz。所以，要求通道的带宽是：

8Hz~150KHz。

假如象素间变化是黑白相间(极限情况),则150KHz带宽对方波的响应时间为 $Tr \leq 0.45 \times \frac{1}{150 \times 10^3} = 3\mu s$,每个象素间周期为 $10\mu s$,则有 $10 - 3 = 7\mu s$ 的平顶响应时间,能保证可靠地取样。

5. 信噪比

这是一项非常重要的技术指标。经计算分析,整个电视接收系统信噪比需大于68.5dB,而摄像机的信噪比在63dB以上,才能满足10高斯的测量与2"分辨率的要求。其详细分析另有专题文章论述。

三、其它方面问题的考虑

根据上述分析,各部件的具体指标和要求自然明确,在此毋须赘述。此外,尚有几个问题需要加以考虑和说明。

1. 调机用的主要旋钮,通常是安置在摄像机头上,考虑到天文上观测的需要与方便,将调节部分全部放在控制台上,中间通过几十米的传输线,难免引进干扰而影响波形与图象的质量。因此,在引线的屏蔽及地线的连接方面要充分注意。

2. 为了调机需要,光路上专设了一个测试卡,要求它与太阳像完全重合。

3. 监视器的荧光屏必须是长余晖的,用中短余晖屏无法观测。本系统用SBD-1型示波器改制而成。

4. 干扰问题。摄像机头直接与望远镜的光学系统相连接,镜筒中有许多控制电器,容易产生50周干扰。因此,机头与镜筒间需加一层绝缘层,同时摄像管靶面处要加一个屏蔽罩。再者,摄像系统应埋有单独地线,以免高压脉冲源等通过地线产生干扰。

总之,要考虑的问题是很多的,在这里只能是择其要而叙之。且其中有的问题,另有专述,在此不能一一列述。

参 考 文 献

- [1] 北京天文台:《磁场望远镜电视接收部分的初步意见》(内部资料)
- [2] 《An astronomical image-integration system using a television camera tube》Appl. Optics 3: 677-689 June 1964
- [3] 《Extreme ultraviolet solar Images Televised In-Flight with a Rocket Borne SEC vidicon System》App. optics Vol 11, No5, May 1972, R. Tousey, I. Linanhy.
- [4] 《Silicon Diode Array Tubes and Targets》,《Roy. Telev. Soc. J.》1970, 13, No. 3, 53-58.
- [5] 《天体观测用の积分化动作するテレビジョンセンサ》Advan. Electronics and Electron Phys 28B 85-874 (69)

THE CONSIDERATION OF THE CAMERA SYSTEM OF SMT(SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE)

Sun Xing-yu

(Chang Chun Institute of Physics,)

Abstract

The main task of SMT's camera system is converting solar optical image to electric signals. There is no different from other camera systems in working principles. But its many indexes must meet the requirements of astronomy and be meantime suitable for the speed of the A/D convertor. It is necessary to consider the particularity of the indexes completely. Data and requirements offered by optical system, and general indexes are: frequency domain, the seize and intensity of the illumination of solar image, time resolution, space resolution, point number observed, extrem sensitivity etc. The paper has state that, selection in camera schemes and television pick-up tubes, determinenet for scanning sequence, calculation for band-width of video channel S/N ratio, and other problems. In summary, the consideration is on general indexes of the camera system of SMT.

参考文献

- (1) 天文学报, (1982年), 1(1), 1-10.
- (2) An astronomical image-integration system using a television camera tube. Appl. Opt. 19: 2117-2122 (1980).
- (3) Extreme resolution solar image telescope. In: Proc. of the 1981 International Conference on Solar Wind, Vol. 1, pp. 13-15. R. Farnham, I. Lindqvist.
- (4) Silicon Diode Array Tubes and Packets. Key. Trans. Soc. J. 1981, 104, 21-22.
- (5) 太阳磁场的观测与理论研究. 物理学报, 1981, 30(1), 1-10.