

太阳磁场望远镜光电机扫描系统

吕蔚翎 刘冠群 袁步章 马跃东 刘志玲

一、光电扫描系统技术要求

光电机扫描是太阳磁场望远镜三种接收系统中测量磁场精度最高、使用最频繁者。本系统可测太阳活动区磁场的分辨率达几高斯到10高斯。同时兼顾普遍磁场的观测。

本系统技术要求：

扫描区域 $3' \times 2'$ ； $3' \times 4'$ 。

积分常数 0.2秒；2秒

空间分辨率 $2'' \times 2''$ ； $4'' \times 4''$ 。

时间分辨率 最快5分钟扫一幅 $3' \times 2'$ 活动区磁场；最慢50分钟扫一幅 $3' \times 2'$ 活动区磁场。

扫描速度 $2''/\text{秒}$ ； $10''/\text{秒}$ ； $20''/\text{秒}$

普遍磁场观测孔径 $20'' \times 20''$

扫描精度 1) $3'$ 内累积误差不大于 $0.5''$

2) 对同一区域连续两次扫描之间对应点之位置重合误差不大于 $1''$ 。

工作模式：程序扫描；固定观测

光电倍增管致冷温差： $\Delta T = 40 \sim 45^\circ\text{C}$

致冷后讯号暗流比：300

二、光电机扫描系统结构概述

来自偏振分析器、滤光器的 5324 \AA 或 4861 \AA 单色光，经光电系统放大镜M和换向棱镜 P_1 〔1〕转向光电接收系统，如图1。当进行程序扫描或固定观测时，操作手轮H将可移动棱镜从 P_2 从光路中推出，则光经过 P_3 和 P_4 棱镜，到等值焦距为21,400毫米，太阳单色光像为200毫米的第三焦面上。 $x-y$ 扫描器的步进电机带动“狭缝”在第三焦面上对太阳活动区磁场自北向南方向逐点扫描，光讯号经琥珀里透镜 L_1 投射到光电倍增管阴极靶面上进行光电转换，所得电讯号经光电扫描电系统〔2,3,4〕得纵场、横场、速度场和亮度场等数据。

当进行目视检焦时，操作手轮H，将 P_2 推进光路，则扫描器无光讯号进入，太阳像被引到第6焦面。目视系统的分划板D上，有与扫描区域相对应的 $3' \times 2'$ 和 $3' \times 4'$ 框格，可以帮助瞄准黑子和检查扫描焦面。

根据望远镜总体布局，本系统只能布置在镜筒长方形部份尾部西侧，体积 $740 \times 500 \times 380$ 毫米³的矩形箱体内。宽度500可能变，而长740和高380只能小，不能超过。这也就决定

了光学元件的布局和扫描器和光电接收的结构方案。

P_3 、 P_5 棱镜为经典的三螺杆、球面垫圈调节机构，可调其转角、平移等。 P_4 、 P_6 棱镜固定不可调节。珪珀透镜 L_1 ，场镜 L_2 ，分划板 D 及目镜组 L_E 都能沿光轴方向移动3毫米。这些调节机构足以方便地装调光路。棱镜 P_M 在换位箱内，由锥齿轮付和齿轮齿条付传动。转动手轮 H 能将 P_M 推进或移出主光路，实现程序扫描或目视检焦。

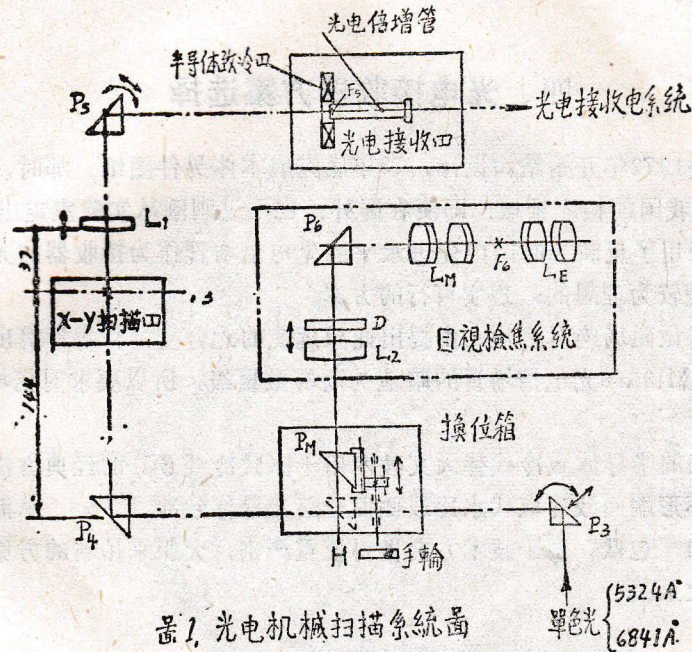


图1. 光电机械扫描系统简图

三、机械扫描方案的选择

当望远镜筒跟踪太阳运转时，要将 F_3 焦面上 $3' \times 2'$ 或 $3' \times 4'$ 区域中的太阳单色光逐点扫描得到对应讯号，用在 F_3 焦面上移动“狭缝”，或转动 P_4 镜移动太阳像都可以达到扫描的目的。而选取扫描机械执行元件的合理性将是决定整个机械扫描系统的合理性的最大因素。

光学设计结果〔5〕要求 F_3 扫描焦面距珪珀透镜 L_1 仅37毫米。而机械结构总布局与光学设计匹配只允许 P_4 镜距焦面144毫米（或更长一点）见图1，这就使扫描器在两度空间位置受到限制，其尺寸要尽可能小；而扫描器的技术指标要求它定位精度高；运动速度低，但却频繁使用则要求它灵活轻便。若采用转动“狭缝”扫描太阳像，它可以做得很小（外形尺寸 $19 \times 14 \times 3$ 毫米³），则对应的传动、支承、限位、调零等机构都很小（扫描器主体外形只有 $140 \times 150 \times 190$ 毫米³）有利于采用大步距角步进电机驱动扫描，以提高空间分辨率和讯号的准确度。在“狭缝”、扫描速度、积分常数相同的条件下，“狭缝扫描移动虽要偏离光轴中心而引起视场效应，但由于最大视场只有 $3' \times 4'$ ，视场效应影响可以忽略不计。如果转动 P_4 镜移动太阳像，则扫描“狭缝”可置焦面中心光轴上不动，没有视场效应。而转动 P_4 镜在 F_3 焦面上成的像不在同一平面上，计算得到由此引入焦面像位置变化仅0.5mm。

而如果允许调焦引入像的弥散为 $0''.05$ ，相应允许焦深的失焦量为 3 mm （在口径 350 mm ，等值焦距 21400 mm 情况下）。所以，可不予考虑。但 P_4 镜为 42×52 ，而转动 P_4 镜的扫描器体积将比移动“狭缝”的大 $8-9$ 倍，这显然已大到总体布局不允许程度，再者，为达到同样的扫描精度，转动 P_4 镜也用丝杆装置通过支臂使反射镜转动，那转臂之臂长等于 $2\times 144=288\text{ mm}$ ，而这长显然也是不能允许的。所以，在我们的条件下，采用移动“狭缝”方案是合理的和必须的。

四、光电接收器方案选择

磁场望远镜是1972年开始结构设计，73年底完成本体另件图纸。那时，最先进的C.C.D技术还没有引进我国的相应领域。即使在国外，也不过刚刚从实验室走出步入工业技术界。因此，我们采用了反映当时国内先进水平的光电倍增管作为接收器的光电转换元件，选用英国EMI9658是较为理想的，现实可行的方案。

由于望远镜是做磁场绝对测量，由提出此望远镜的北台艾国祥等计算出光电系统扫描所得最小讯号，与EMI9658光电倍增管的暗流为同等数量级，所以要求对倍增管致冷以降低暗流。

我们采用先进的半导体致冷代替天文技术用干冰致冷〔6〕的经典方法；并进一步用风冷式半导体二级环形端面致冷取代水冷或侧面一级半导体致冷〔7〕。从而解除望远镜因用水冷而背上水箱的“包袱”由于技术方案做得慎重严密，大胆采用新的方案，使其取得了满意的稳定可靠的效果。

五、试观测效果

$x-y$ 扫描器在装到望远镜之前，经二年多反复的机电联调，单机试验和性能测试，其机械与电控都相当稳定。装到望远镜上后，机械，电控都仍能保持单机试验稳定水平。但曾发现在扫同一幅磁场讯号中有光量不均匀现象以及测出黑子形状有规律漂移。分别从光学、机械、电三方面都找到了原因，进行排除而达到了使用要求。

光电接收器及致冷器结构设计取得较满意结果。不致冷，讯号暗流比为 $40\sim 50$ 。望远镜总设计要求讯号暗流比 300 ，即只要求降低暗流 6 倍。而我们用了二级及冷式端置半导体致冷器实测结果讯号阳流比为 $1200\sim 1500$ 〔1〕，（其相应工作温度比环境温度低 $30^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$ ，在夏天光阴极的工作温度保持 0°C 左右。）即比设计要求提高 $4\sim 5$ 倍。这对天文观测很有利，使其具备了潜力。如果，一旦天文学家在磁场定标计算方法有新的突破，就可发挥上述潜力的功能，则测得磁场的精度还可提高。

由本光电系统测得如下结果〔1〕：光电系统测量的信噪比为 2000 和 1000 （积分时间 2 秒和 0.5 秒）用 $4''\times 4''$ 扫描微孔，对应纵向磁场灵敏度为 10 和 20 高斯。横向磁场灵敏度为 $150\sim 200$ 高斯，视向速度灵敏度为 ± 30 米/秒。用 $20''\times 20''$ 扫描孔，积分时间 2 秒，信噪比 20000 ，对应纵向（普遍）磁场灵敏度 1 高斯。这当然是整台仪器光机电综合结果，也是对光电机扫描系统设计的直接考验。由此证明了光电扫描系统的机械设计和电控设计都达到了

使用要求, 并为提高磁场的测量精度储备了潜力 (即有比仪器原设计要求更高的讯号暗流比)。

光电机械扫描系统中, 有关电的工作, 如扫描器的电驱动和程序控制; 半导体致冷器的电源电路; 光电倍增管的前置放大等; 分别由陈志斌, 朱保金和吴华青三位工程师承担。(8)
(9) (2)

袁步章、马耀东和刘志玲三位师付曾参加过本系统的机械装配及试验。刘冠群师付负责本系统机械装配与调试, 直到仪器出厂, 做了许多工作。

参 考 文 献

- (1) 中国科学院“太阳磁场望远镜联合研制组”〈太阳磁场望远镜的进展〉, 天文学进展 Vol. 1, No 1 7—9, 1983.
- (2) 吴华青, “光电扫描系统中前置放大部份”, 本专集.
- (3) 陈志斌“选频放大电路”本专集
- (4) 侯惠芳等“测量太阳磁场的数据处理系统”本专集,
- (5) 王亚男等, “太阳磁场望远镜光学设计”, 本专集.
- (6) *Astronomical Techniques*, P161
- (7) 吕前翎, “二级环形半导体致冷器与光电接收器”, 本专集,
- (8) 陈志斌“太阳磁场望远镜扫描器驱动控制电路”, 本专集,
- (9) 朱保金“半导体致冷器电路”, 本专集,

THE PHOTOELECTRIC MECHANICAL SCANNING SYSTEM FOR 35CM SOLAR MAGNETIC FIELD TELESCOPE

Lu Yunling Liu Guanqun Yuan Buzhang
Ma Yuedong Liu Zhining

(Nanjing Astronomical Instrument Factory)

Abstract

The photoelectric mechanical scanning system is one of the three receiving system for 35cm Solar Magnetic Field Telescope. It is the highest for both time-resolution and space-resolution.

The monochromatic beam 5324\AA or 6841\AA from birefringent filter and polarized analyser is ejected into the focal plane of this system, in it the mechanical scanner is moved back and forth along north south direction as a point per step by two step-motors. The signal to be scanned is through a Fabry lens L1 to eject in the cathode target of the photomultiplier which is refrigerated by cooler of thermoelectric elements.

Solar active region scanned: 3×2 arc seconds and 3×4 arc seconds.

Integral constant: 0.2 seconds and 2 seconds

Time resolution; the highest is five minutes and the lowest is fifty minutes.

Space resolution: 2×2 arc seconds and 4×4 arc seconds.

Operating mode: program scanning and fixed observation, when it does a fixed observation, its space resolution is 20×20 arc seconds.

To rotate handwheel H, push the prism pm in to beam passage. The beam is not ejected in to the mechanical scanning system, but is ejected in to the monitoring system. On its focal plane there is a divid D for taking aim and checking focus.

Results of observation are as follow:

The sensitivity of transverse magnetic-field is 10 and 20 G.

The sensitivity of longitudinal magnetic-field is 15 and 200 G, that was obtained under scanning square pinhole of 4×4 arc seconds, intergral constant of 2 and 0.2 seconds, and corresponding signal-to-noice ratio was to be 2000 and 1000.

To use scanning square pinhole of 20×20 arcseconds, intergral constants of 2 seconds and signal-to-noice ratio of 20000, the sensitivity of general (longitudinal) magnetic-field is 1 G.

Anode: It was obtained square pinhole in workpiece scanned plate. 3. To take cold extrusion the pinhole resulted from electric spark machining for increasing smooth finish and right angle.

The results from measurment by Shanghai Metrological Bureau were as follow:

a) , The coinciding accuracy of the centre for two square pinholes was 0.0075 mm.

b) , The dimensional accuracy of the square pinholes was obtained 0.001 to 0.005 mm.

c) There were no round corners except one corner was approximately 0.016mm of radius among 16 places.