

多通道太阳望远镜的部分调试

宋国峰, 艾国祥, 王敬山

邓元勇, 张斌, 叶祥明

中科院 北京天文台 100080

摘要

太阳多通道望远镜是目前世界上唯一的一台能够同时观测太阳同一活动区不同谱线的二维磁场、速度场等物理量的天文观测仪器。它是集光、机、电等技术于一身的综合性设备。此望远镜虽由于太阳磁场观测的特殊性和复杂性有许多技术难点和问题,但经过几年的刻苦攻关,于九一年部分投入试观测使用,九四年全部交付试观测,为我国太阳物理学走在世界前沿提供了技术基础。本文叙述多通道太阳望远镜四年多的调试和改进过程中攻克的技术难点,以及遇到的问题 and 处理方法。

一. 引言

太阳磁场的测量经历了几代观测仪器的改进和观测方法的改善,在时间分辨率和空间分辨率以及灵敏度等诸方面日臻完善。磁场观测仪器经历了点源磁场测量仪器(美国威尔逊山天文台),光电磁象仪(美国威尔逊山天文台),视频磁象仪^[1](美国大熊湖天文台,中科院北京天文台),发展到今天的多通道太阳望远镜^[2]。它的特点是能同时获得多条谱线(不同太阳层次上)的二维矢量磁场,从而在不同层次上观测太阳大气三维磁结构,这样的仪器目前世界上唯一的一台,也就是多通道太阳望远镜,是1986年开始设计,1990年开始初装调,1991年开始和望远镜光、机、电、滤光器联调的,先后将全日面太阳磁场望远镜、色球磁场望远镜交付使用,1994年整个望远镜开始全面试观测。图1为望远镜结构示意图。它由5个光学望远镜组成,1. 60cm 格里高利反射真空望远镜,配备世界上独一无二的多通道滤光器,可同时获得太阳上不同形成深度的五条谱线的太阳单色像、矢量磁场和速度场的测量结果,它是目前国内最大的真空望远镜系统;2. 35cm 的真空折射望远镜,即原太阳磁场望远镜;3. 全日面磁场速度场望远镜,口径10cm;4. 全日面和局部色球太阳望远镜,口径14cm;5. 全日面钙单色像监视望远镜,口径8cm。本文叙述60cm 主望远镜的联合调试情况。

在长达四年多的安装调试和改进过程中,先后三次修改望远镜附镜部件结构;两次修改光阑结构;重新设计修改了所有滤光器的恒温控制、保温结构;重新设计了宽视场KD*P 电光调制器;根据实际光路的需要,重新选配了十余只 CCD 接收器,并完成光电接收和数据处理系统和步进电机驱动系统的设计改进及调试。

二. 60cm 反射望远镜光机结构部分的调试

主望远镜为60cm反射格里高利系统,如图1示。望远镜光学设计、光学调整原理和过程参见文献^[3],这里不赘述这一问题,仅就望远镜调试过程中的一些问题和解决方法进行讨论。

2.1 光阑结构尺寸的确定

太阳望远镜进入滤光器之前,光量非常强,观测太阳上局部的活动区域,有用视场一般只有3~5',而太阳象有32'。那么多余的能量如果不去除,则会全部照射在滤光器的晶体或波片上,这将会导致晶体等的损坏。因此需在主镜焦点上加入光阑,以清除多余的光。光阑结构尺寸应该由系统结构和接收视场的大小确定。表1列出了几种焦距下的CCD靶面对应太阳象值。

表1. CCD靶面对应太阳象大小

等值焦距	太阳象直径	1802 CCD靶面对应太阳大小	TM860 CCD靶面对应太阳大小
400cm	37.2mm	6.84' × 5.55'	7.57' × 5.68'
600cm	55.85mm	4.56' × 3.70'	5.04' × 3.78'
1200cm	111.7mm	2.28' × 1.85'	2.52' × 1.89'

多通道太阳望远镜主镜焦距 $f_1 = 1500$,主镜焦点处太阳象直径, $R_{\odot} = 14.00\text{mm}$,由此可以计算得到对应视场的光阑结构尺寸,表2为初步计算的结果。

表2. 不同视场的光阑结构尺寸

太阳像大小/视场	对应光阑尺寸	面积
5' × 4'	2.18 × 1.75mm ²	3.815mm ²
6.84' × 5.55'	2.99 × 2.43mm ²	7.27mm ²
7.57' × 5.68'	3.31 × 2.49mm ²	8.24mm ²

实际使用光阑大小为2.2 × 1.9mm²,大致对应等值焦距600 cm系统时的5' × 4'左右视场,对两种CCD都是可以使用且多余光量可以有效去除的。

2.2 副镜结构的改进

多通道太阳望远镜采用格里高利系统,主镜焦点加有光阑。光阑相对付镜可以三轴平移并可以绕光轴方向旋转。这一部件,原设计时加在付镜的压镜圈上,导致付镜变形。为此,将付镜和光阑部件改为各自独立的结构,消除了对付镜的非对称压力。

主镜焦点处太阳象直径14mm左右,而主镜口径为600mm,如果焦点处为黑体且不传导热量的话,其温度会高达几千度。由于光阑本身及望远镜的传导等作用,光阑附近约有几百度的高温,这样光阑仍会被氧化,不能有效去除多余能量。为不损坏光阑结构,实际处理上采用循环水致冷措施,目前光阑温度约有几度,但由于光阑刀口处无法用水冷却,所以在光阑向光面加入45° 锥面的铜导热套,使热量尽可能多的被

金属结构件传导出去。改进后的结构,目前使用效果良好,但一旦停止水循环,亦会有故障。这是一大隐患。

2.3 CCD位置调节装置的改进

由于先后选用几种不同型号的CCD,所以原始设计的CCD位置三维调节装置就不能适应需要。

多通道滤光器为减小体积和重量,光学和机械结构的安排上比较紧凑,各通道之间中心距只有60mm,而要求CCD可以两维平移,以调整靶面位置,沿光轴平移,以适应大范围的调焦。CCD本身外形尺寸为42mm×48mm(MTV1802型)和42mm×36mm(TM860型),在如此紧凑的空间内设计一种三维调节装置,看上去并没有什么东西,实际上是非常困难的。不仅如此,CCD前端还要求在平移过程中仍能良好消除杂散光的影响。经过反复的设计和试验,这一问题终于圆满地解决了。

三. 滤光器的调试和改进

3.1 多通道滤光器的性能、特点和结构改进^[4]

多通道望远镜的核心,即为能同时获得九条谱线的两维观测的窄带双折射滤光器。

滤光器的通带范围为3968Å~6563Å,带宽为0.05Å~0.5Å,工作温度42℃,工作温度的稳定性要求优于0.005℃。

所有通道的透过波长万能可调,能够测量矢量磁场、速度场等太阳物理参数,共用一组电光调制器,电光调制器要求恒温、全色宽视场。

为了满足上述要求,保证滤光器稳定可靠地使用,多通道滤光器设计使用了五十余个步进电机,重新设计了宽视场、恒温、全色KD*P调制器,并且重新设计了端面恒温 and 保温结构,与外部接触的晶体室都改用保温材料隔离,两端的入射、出射窗周围增加恒温控制,使滤光器保证了温度的稳定性。

改进光学设计,引入等付利叶滤光器的调带方法,改进了滤光器的透过轮廓^[5]。

3.2 滤光器的通带的确定

为了使滤光器每个通道的透过带确定在某一条磁敏线上,必须先光谱仪上进行光谱调试。为此,我们专门改造了一台太阳望远镜,使之更适用于滤光器的光谱检测,参见文献^[6]。这里只讨论滤光器的调试方法。首先在CCD监视器上找到某一太阳谱线,记下该谱线在监视器上的位置,然后把滤光器放置在狭缝前面。转动这一通道的所有步进电机,使各晶体级的透过带轮廓在相同的位置上,再测量出离太阳谱线的距离,通过计算把透过带移至太阳谱线线心。利用这种方法可以得到滤光器在每个太阳谱线附近的透过带轮廓,其光谱精度约为0.01Å~0.02Å。但对一些带宽非常窄的通道在监视器观察确定精确的位置是困难的,要想获得更好光谱精度,还要进一步用光电倍增管细调。

方法是:将滤光器放入望远镜,与成像光路调试协调好以后,用光电倍增管作望

远镜滤光器组成的光路的接收器,转动每个通道的最厚的几级调带电机,使滤光器的输出光量达到极小。这样就把每个通道的透过带都调到了太阳谱线的线心。此方法的光谱偏差小于千分之五。

3.3 成象光路与滤光器的联调

多通道滤光器实际上分为两体,即多通道头和多通道本体。两部分分别放在会聚光路和准直光路中,中间是一准直镜。

滤光器光轴必须与主光路同轴,这一点并不难理解。但由于准直镜基座设计在滤光器本体上,而本体上实际有5个入射孔径,9个出射孔径,这就不仅仅要求其中直接透射的一路与主光路同轴,而且要求5个准直镜以及由它们之后分出所得到的9路光必须平行。

实际装调中要求滤光器各通道之间不平行度 $<2'$,而5个准直镜由于光线经过的玻璃、晶体介质的厚度不同,不同波长的准直镜放置位置也有较大差别。调试过程中我们先后采用了几种尺寸的准直镜筒,获得不同焦距位置的太阳象进行比较,最后找到最好的焦距位置的象以便观测使用。

四. 图象接收处理系统设计、改进和调试

4.1 CCD的选择^[7]

由于多通道望远镜是对不同波长的谱线观测,谱线通常半宽度非常窄,即使光学系统的透过率很高,在焦面上的光子数依然比较少。相对一般的光学观测而言,要求CCD灵敏度有所提高,即要求高量子效率。通常采用的电视制式的CCD量子效率较低,高响应度的光谱范围小,而非电视制式的专用CCD价格一般比较昂贵。对CCD性能价格比的选择,是一种有益的工作。

多通道望远镜优选的谱线在 $3968\text{\AA} \sim 6563\text{\AA}$ 之间,约 2500\AA 左右的光谱区间内分布,对这个区间的谱线,一般CCD都有一定的响应度,但各种牌号的CCD,由于靶面的结构、各层介质的折射率和消光系数、各层介质的厚度等的不同,其光谱响应曲线的形状和峰值波长有很大差别。后续电路的设计,放大倍数等也影响着CCD的信噪比等参数。

原太阳磁场望远镜使用的及其它天文台采用的视频观测系统,大多采用PULNIX公司之TM系列产品。多通道望远镜原设计中,采用的是TM-860型CCD,但经过实际观测,此CCD在35cm的太阳磁场望远镜上使用时,由于光弱CCD灵敏度不够,而不能获得清晰的单色象。多通道望远镜初步计算和实际测试的结果表明,由于滤光器带宽非常窄,导致其光量略小于35cm的太阳磁场望远镜。因此,使用860CCD是不可能的。

目前我们采用的CCD主要以敏通公司的1802型CCD为主,辅之以TM560型和LZ2122型,初步的使用情况看,还是能够满足使用要求的。

4.2 控制和接收系统

多通道望远镜磁敏线选择了5条,即可以同时获得5条谱线的磁场。另外4条谱线

也要求进行同步的其它方面的测量。九个通道同时观测, 共用同一组光电调制器, 这就要求各通道的接收系统要和调制器同步工作, 而且由于横场纵场等观测状态不同, 滤光器波带需要随时可以更换, 因此采用一台主控计算机控制步进电机驱动电路, 以改变波带, 同时发指令给观测计算机控制151图象处理器等采集数据, 并进行叠加等处理。系统硬件框图如图2所示。

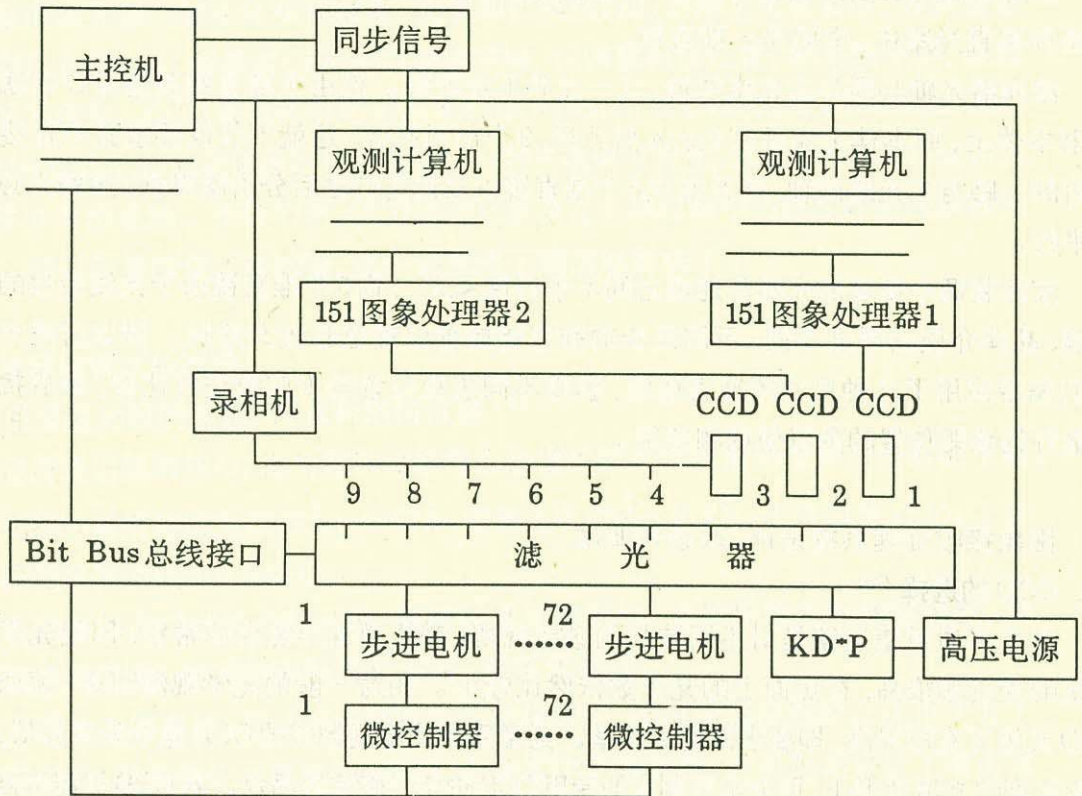


图2. 图象接收、控制系统框图

4.3 软件设计

4.3.1 波带调节系统的设计^[8]

对多通道而言, 要求波片经常转换位置, 各个电机要求同时转动及回零等, 所以每个波片由一个微控制器控制, 而由主控机集中管理。这样主控机与微控制器的接口便是关键。我们设计了一种实用的位总线网络系统, 采用RS-422口同微机连接, 硬件上加有短路保护, 使网络系统安全可靠。RS-422的接口方式具有较强地抑制共模干扰能力, 以确保通讯无误。另外在软件设计上, 我们自行建立一种开放式多层次的网络接口模式, 即每个信息包包括五个部分。其结构如下:

同号头	地址	命令块	数据块	结束符标志
layer 1	layer 2	layer 3	layer 4	layer 5

这种多层次的软件结构使信息交换出错率为零。

这也是确保波带为正确位置的关键。

4.3.2 同步控制和数据采集 [9]

软件的简单流程如图3示。在数据的累加和处理方法上与原磁场望远镜的观测软件基本相同,主要特点在于各观测计算机和电光调制器同步及两台以上计算机同时控制151存取CCD的数据的软件的设计。目前采用151图象处理器处理后数据存入磁盘,以后准备改用磁带机记录这些数据。还有象诸如主程序菜单、散射光的测定、显示子程序等都有改进,限于篇幅,不再叙述。

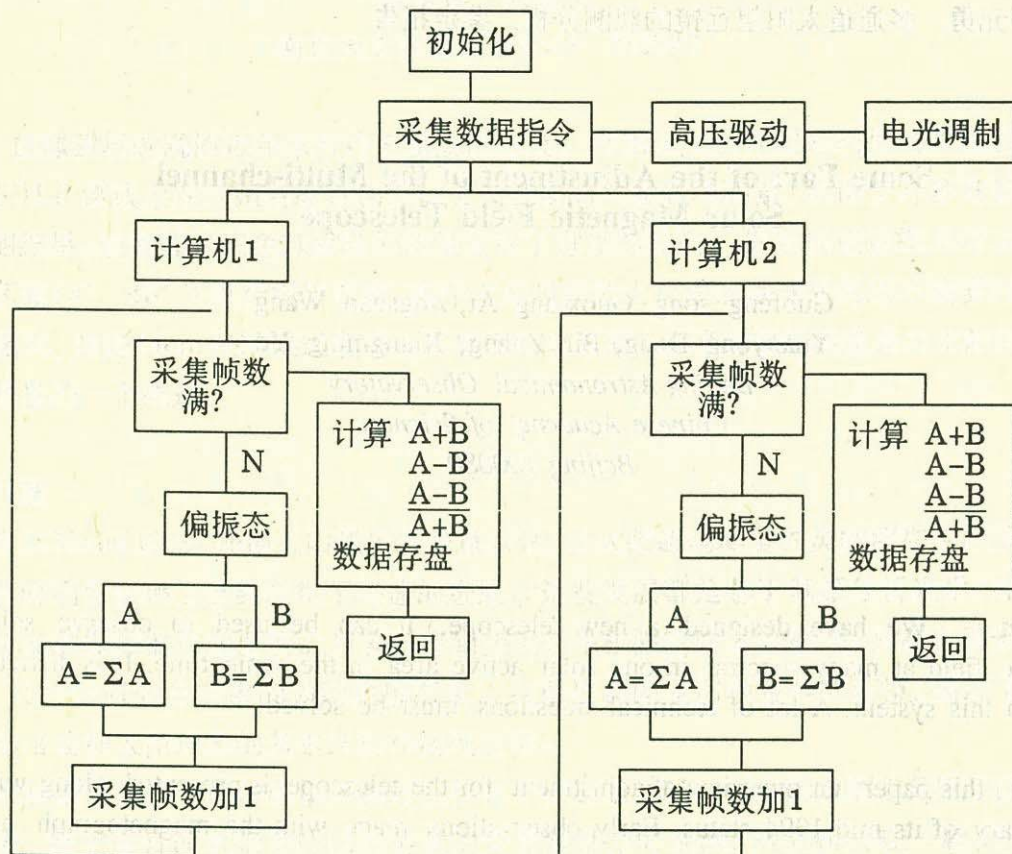


图3. 同时数据采集软件流程图

五. 初步观测结果 [10][11]

1991年8月实现全日面太阳磁场的高时间分辨率观测,同年获得色球 $H\alpha$ 像的观测。

1994年8月多通道望远镜实现多通道同时的单色像观测和单通道独立的磁场观测,11月实现多通道同时的磁场观测。

全日面磁场空间分辨率约 $2''$,基本达到了设计指标要求。主望远镜空间分辨率优于 $1''$,达到了设计指标。

参考文献

- [1] 艾国祥, 胡岳风, 北京天文台台刊, 8 (1~10) 1986, 6
- [2] 艾国祥, 多通道太阳望远镜
- [3] 李德培, 口径60cm多通道太阳望远镜的光学系统的调整, 鉴定报告
- [4] 王敬山, 太阳多通道双折射滤光器, 鉴定报告

- [5] 王敬山, 重庆太阳会议文集, (1993) 220
- [6] 宋国峰, 用于滤光器光谱调试的光谱仪系统
- [7] 宋国峰, 多通道太阳望远镜的光量测定与 CCD 选配
- [8] 叶祥明, 多通道滤光器波带调节控制系统, 鉴定报告
- [9] 张斌, 多通道望远镜图象接收控制系统, 鉴定报告
- [10] 刘扬, 全日面磁场望远镜观测资料的初步分析, 天体物理学报
- [11] 邓元勇, 多通道太阳望远镜的观测分析, 鉴定报告

Some Part of the Adjustment of the Multi-channel Solar Magnetic Field Telescope

Guofeng song, Guoxiang Ai, Jingshan Wang
 Yuanyong Deng, Bin Zhang, Xiangming Ye
Beijing Astronomical Observatory
Chinese Academy of Sciences
 Beijing 100080

Abstract. We have designed a new telescope. It can be used to observe solar magnetic field at many spectral in one solar active area in the same time. It is difficult to finish this system. A lot of technical questions must be solved.

In this paper, an overview of adjustment for the telescope is presented along with a summary of its mid-1994 status. Early observations made with the magnetograph are presented and plans for future development are discussed. More detailed discussion of individual components and scientific results from the data will be published separately as appropriate.