

明了光电磁象仪, 60年代前苏联克里米亚天文台发明横场观测方法。由于观测技术的进步加上磁流体力学的兴起, 太阳磁场的观测和研究受到天体物理学家愈来愈大的重视。太阳磁场观测设备到70年代初, 全世界已发展到17架之多。根据太阳物理仪器的发展历史, 从太阳光学仪器由白光——光谱、单色光——磁场、偏振光的设备发展过程分析, 就能同时观测的太阳区域而论, 存在着由面——点(线)——面——点(线)——面的发展形式, 而内容上, 则经历白光——单色光——偏振单色光的过程。基于这种认识, 从60年代中期开始了对太阳偏振单色光的两维磁场观测体系的研制。经历了长达20年的研制过程, 成功地研制出太阳磁场望远镜。

评价磁场仪器性能可分七个方面: ①获得太阳多层磁场的的能力; ②获得矢量磁场及视线速度场的的能力; ③获得极小磁场的的能力, 即磁场分辨率; ④磁场测量的动态范围; ⑤可观测太阳极小空间区域的能力, 即空间分辨率; ⑥一次观测的面积范围  $A = n \cdot \Delta S$ ,  $n$  是一次观测的通道数; ⑦完成一次观测的时间  $\Delta T$ , 即时间分辨率。

太阳磁场望远镜与光电磁象仪相比, 就单项而言, 前五项无本质差别。在第六项中, 前者的通道数  $n$  比光电磁象仪要大  $10^4 \sim 10^8$  倍, 这样完成一定区域的观测时间大大减少, 因而效率特别高。

观测太阳磁场的最主要的方法是利用 Zeeman 效应, 太阳磁场望远镜选择  $\text{FeI} \lambda 5324.19 \text{ \AA}$  和  $\text{H}_\beta \lambda 4861.34 \text{ \AA}$  两条磁敏线, 分别用于观测太阳光球磁场和色球磁场。 $\lambda 5324 \text{ \AA}$  线,  $g$  因子 1.5, 不算大, 但该线半宽约  $0.3 \text{ \AA}$ , 有利于观测活动区强磁场, 而不至饱和。我们的理论定标计算表明, 在 0.3 特斯拉 (3000 高斯) 强场时, 其定标系数的线性偏离不超过 5%。 $\text{H}_\beta$  是有名的色球线,  $g \sim$

### 太阳磁场望远镜的研制 (Solar Magneto Helioscopic Telescope, Research and Establishment of)

太阳磁场望远镜是中国天文学家首先提出并研制成的利用太阳光球和色球两条谱线进行两层次磁场和速度场视频测量的太阳观测仪器。太阳强磁场是20世纪初美国威尔逊山天文台开始观测的, 到50年代初, 他们发

1.0, 色球线可用磁场观测的不多。另一条是  $H_{\alpha}$ , 但  $H_{\alpha}$  离  $\lambda 5324 \text{ \AA}$  较远, 滤光器的全色波片的研制难度较大, 故选用  $H_{\beta}$  线, 将  $H_{\beta}$  作为专线用于经常性磁场观测。经实测表明,  $H_{\beta}$  有明显地不同于  $H_{\alpha}$  的特征, 如超米粒十分明显, 这有利于从不同角度研究色球及其磁结构。在一架仪器中, 安排两条谱线 (两层次) 并不多见, 国外类似设备均只安排一条光球线。

太阳磁场望远镜的关键技术是成功地研制出用于视面单色器的双折射滤光器和用于光的偏振分析的磁分析器。

双折射滤光器是 30~40 年代发明的。它的发明和应用大大地促进了太阳单色观测, 特别是太阳活动区的观测。随着双折射滤光器质量的提高, 它的透过带宽已窄到足够与太阳磁敏谱线相比。一个明显的优点是这种滤光器为一种具有宽视场的单色器, 并且它能够应用于望远镜而不引入附加偏振。用于太阳磁场望远镜的滤光器是 1972 年开始设计和研制, 1979 年基本完成的。这个双折射滤光器有两个透过带:  $\text{FeI}\lambda 5324.19 \text{ \AA}$  和  $\text{H}_{\beta}\lambda 4861.34 \text{ \AA}$ ; 半宽分别为  $0.15 \text{ \AA}$  和  $0.12 \text{ \AA}$ , 它们分别应用于太阳光球磁场和色球的磁场测量; 工作温度为  $42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这个滤光器最重要的特点是它具有三组宽视场的  $\text{KD}^*\text{P}$  电光调制器。其中一组是用作太阳向量磁场分析器, 其余两组为太阳视向速度场分析器。测量太阳纵向磁场的精度为  $\pm 10 \text{ Gs}$  左右, 测量太阳横向磁场的精度约为  $\pm 100 \text{ Gs}$ , 测量太阳视场速度场的精度约为  $\pm 30 \text{ m/s}$ 。

滤光器由 151 片  $37 \times 37 \text{ mm}^2$  的各种材料的光学元件组成, 包括三个石英单元。为了在同一工作温度透过两个波带 ( $\lambda_1 5324 \text{ \AA}$ ,  $\lambda_2 4861 \text{ \AA}$ ), 需要仔细选择能在两个透过带相匹配的干涉级。干涉级的公式为  $m = \mu d / \lambda$ , 这里  $\mu$  是晶体的双折射率,  $d$  为晶体厚度,

利用公式  $m_2 = \frac{\mu_2 \lambda_1}{\mu_1 \lambda_2} \cdot m_1$ , 然后可以找出  $m_1$  和  $m_2$  同时为半整数或整数的匹配数。这些匹配数为 9.5 和 10.513; 19 和 21.0157; 37.5 和 41.498; 197 和 218.004; 等等。计算表明, 当  $\lambda_1$  选择  $m_1 = 9.5$ , 对  $\lambda_2$  选择  $m_2 = 10.5$  作为滤光器的基级, 如仅采用 Evans 和 Lyot 单元的话, 就不可能对  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别获得  $0.15 \text{ \AA}$  和  $0.12 \text{ \AA}$  的半宽。所以用一级 Evans 级, 其对  $\lambda_1$  的干涉级数为 9.5 和 19 (对  $\lambda_2$  为 10.5 和 21), 还有二组 Solc 级: 其一是角差分布为三角变尖函数的折叠型级, 它的基本干涉级对  $\lambda_1$  为 37.5 (对  $\lambda_2$  为 41.5), 由七片组成。另一组是余弦变尖函数的扇型级, 它的基本干涉级对  $\lambda_1$  为 197 (对  $\lambda_2$  为 210), 由九片组成。第二组是 Solc 级的半宽对  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  分别为  $2.40 \text{ \AA}$  和  $1.95 \text{ \AA}$ 。Solc 级的另一优点是减少了偏振片的数目, 增加了滤光器的透过率。在滤光器完成之后, 发现两组 Solc 级不能与后面的 Lyot 级严格匹配, 这使得寄生光增加约 1%。石英片的厚度误差不大于  $0.1 \mu$ ,  $0.1 \mu$  的厚度精度保证了滤光器的优良的轮廓, 它非常接近于理论轮廓。

滤光器的最后四级为 Lyot 可调宽视场级, 它们是由冰洲石做成。冰洲石晶体的厚度均匀性误差都小于  $1/40$  双折射波长。所有冰洲石晶片的最后厚度, 都是在  $42.00 \text{ }^{\circ}\text{C}$  定至  $\lambda_2 4861 \text{ \AA}$  处为整数波长。当滤光器在  $\lambda_2$  工作时, 就无需转动透过带调节装置, 因此调节装置中的  $\lambda/2$  和  $\lambda/4$  波片仅做成  $\lambda_1 5324 \text{ \AA}$  的波片, 而不必消色差。

磁场 (或称偏振光) 和速度场分析器的关键部分是  $\text{KD}^*\text{P}$  电光调制器。它是滤光器的最复杂和最困难的部分。因为它极易潮解, 所以我们采用了晶体两面同时抛光的新工艺。完全抛好以后, 为了防潮, 立即将晶片放入 274 号硅油中。为了减少光的反射损失,

在滤光器中也是填充了此种硅油。宽视场KD\*P调制器是由两片KD\*P晶片所组成,当分别在两片晶体上加反向高压时,它们的滞后轴是相互垂直的。在两片晶片之间放置一组旋转90°的波片。KD\*P调制器的作用原理是利用了其纵向普克尔斯效应。

太阳磁场望远镜的主要组成部分除了可进行太阳光球矢量磁场、色球磁场和速度场测量的双折射滤光器外,还有物镜口径为35 cm的真空光学望远镜以及实时图像处理和计算机系统。其主要优势为:世界一流的无仪器偏振的太阳磁场视频测量系统。可获得太阳光球矢量磁场和速度场资料,对于研究太阳活动区矢量磁场结构和太阳耀斑活动区具有重大作用;具有高空间分辨率和灵敏度,对于研究太阳弱磁场和磁场精细结构发挥出极大优势;是世界上惟一可进行视频色球磁场观测的仪器。

在太阳磁场望远镜的研制过程中,还解决了大量的技术和工艺问题。经过以艾国祥为首的课题组刻苦攻关使这台望远镜成为当时乃至现在世界上最先进的太阳磁场观测设备之一。参加研制单位有北京天文台、南京天文仪器研制中心、福建物质结构研究所和吉林物理研究所等,太阳磁场望远镜的研制于1987年获中国科学院科技进步一等奖,1988年获国家科技进步一等奖。利用太阳磁场望远镜联测的优秀的观测资料,国内外的太阳物理学家做了大量的太阳物理研究工作,研究成果获1994年中国科学院自然科学一等奖。

(宋国峰)