

# 二维太阳光谱观测方法和技术

叶式辉

(中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

## 摘 要

经典的太阳光谱观测是一维的,它有很大的局限性。从50年代起,天文工作者采用多种方法开展二维太阳光谱观测,已经研制出一系列仪器,建立完整的资料归算程序,并取得优良成果。在二维观测资料的基础上,用理论方法推出深度分布,可以得出三维的立体图像,这会成为太阳研究的主要方法之一。在本文中主要对二维太阳光谱观测的原理、仪器、技术和资料分析方法作比较完整的叙述,并举一些例子说明各类仪器的观测结果。此外,还指出现阶段工作的不足之处和今后发展方向。

**关键词** 仪器设备:摄谱仪—谱线:轮廓—技术:分光—方法:观测—太阳:磁场—太阳:耀斑—太阳:日珥—太阳:米粒组织

## 1 引 言

### 1.1 经典太阳光谱观测方法的优缺点

太阳光谱研究具有悠久的历史。从1672年牛顿的太阳分光实验算起,已有300多年。长时期来,它在太阳物理研究中发挥了重要作用。它的主要优点是可以定量地(1)推求一系列物理参数(温度、压力、电子密度、磁场强度等);(2)确定化学成份;(3)建立结构模型。和其他方法相比,光谱观测有一些突出的优越性,例如(1)测速度场不受速度大小的限制,而用 $H\alpha$ 单色像,当视向速度很大时,它引起的多普勒位移可能使谱线超出滤光器透过带的可调范围;(2)测磁场,用光谱仪型的磁像仪测定四个斯托克斯参数的轮廓,即可求得矢量磁场的全部信息以及一些热力学参数的值。这是其他方法无法办到的。

经典光谱工作的主要缺陷是一维观测,即每次观测只能研究与光谱仪狭缝对应的日面狭窄区域,这样获得的信息很不全面。例如耀斑谱线轮廓一般都不对称,而且有红、紫两种不对称性。即使对同一个耀斑和同一条谱线来说,不同部位和不同时刻的不对称情况可能大不一样,用一维观测难以了解全面情况。又如耀斑前兆的探索,一维观测很难奏效。这是因为耀斑出现的位置难以预料,很可能是在一维观测的狭窄区域之外。

### 1.2 二维光谱观测方法发展的回顾

为了克服上述缺陷,长期来天文工作者努力开展二维观测,即在日面一个广阔区域内同

时或准同时地取得光谱资料。最早是 Öhman<sup>[1]</sup> 在 1950 年独出心裁地研制相减双重单色仪 (subtractive double monochromator)，可以同时测出太阳黑子内各点的磁场强度。它的基本构思是让一个黑子的像落在一个宽缝的范围内，然后经过准直透镜照在第一凹光栅上。色散光穿过一个狭缝照在第二凹光栅上。两个光栅完全一样，只是安装的方向相反，它们的色散互相抵消。从第二凹光栅射出的光经照相透镜成像，就给出整个黑子内各点的二维塞曼分裂图像。从这种仪器衍生出以下两种设备。

Stenflo<sup>[2]</sup> 研制出一种既无电子线路也不用扫描装置的简便磁像仪。他采用 Öhman 的设计思想，只是不用凹光栅，而用平面光栅。在图 1 中，太阳光射到第一光栅  $G_1$  上，色散光经过准直透镜  $L_1$  并穿过狭缝  $S$ 。日面邻近区域的光落到光栅

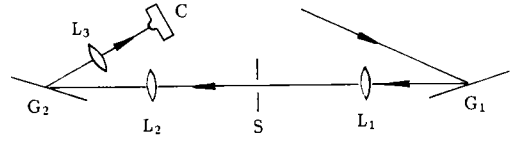


图 1 Stenflo 简便磁像仪的原理<sup>[2]</sup>

上的入射角略有差异，因此在  $G_1L_1S$  方向上的色散光含有稍微不同的波长。这束光在通过透镜  $L_2$  后再次成为平行光，并照到第二光栅  $G_2$  上。 $G_1$  和  $G_2$  两个光栅的色散效果互相抵消。透镜  $L_3$  使太阳像成在照相机  $C$  的胶片上。这样的像包含许多单色条纹，每一条对应于一个波长，于是日面一个区域的二维图像和光谱结合出现。

Stenflo<sup>[3]</sup> 随后又研制出 solar chromatograph(无标准译名，可暂译为“太阳色谱仪”)。它取得的资料既不是一般的单色像，也不是光谱底片，而是一条条平行的单色像。相邻单色像所属波长连续变化。各条单色像的强度为

$$I = I_0 [1 - \tau_\lambda (\Delta\lambda - \Delta\lambda_\nu \pm \Delta\lambda_H)],$$

此处  $I_0$  为连续谱的强度， $\tau_\lambda$  为谱线深度， $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ ， $\lambda_0$  为线心波长， $\Delta\lambda_\nu = (\nu/c)\lambda_0$ 。为视向速度  $\nu$  引起的多普勒位移， $\Delta\lambda_H (= 4.67 \times 10^{-13} g \lambda_0^2 H)$  为磁场  $H$  的塞曼裂距。用光束分离器可以同时得到两个图像，分别属于谱线的紫翼和红翼。由于速度场的影响，两像上相同序数的条纹的强度不相等。如果找到强度相等的条纹的序数差，则  $\Delta\lambda_\nu$  可知，由此可以计算  $\nu$ 。至于磁场测量，加上检偏振装置使两个图像分别属于两种偏振状态，即各属  $\sigma_1$  和  $\sigma_2$  支线。用与上面类似的方法求出  $\Delta\lambda_H$ ，便可算出磁场强度  $H$ 。

Behring 等人<sup>[4]</sup> 还用相似原理制成单色紫外照相机。作为这种方法的继承和发展，Mein<sup>[5]</sup> 在 70 年代后期在墨冬 (Meudon) 天文台制成第一架多通道相减双通过摄谱仪 (Multichannel Subtractive Double Pass Spectrograph, MSDP)。这类仪器目前已有三架。除墨冬台外，在日中峰 (Picdu Midi) 天文台<sup>[6]</sup> 和泰德 (Teide) 天文台<sup>[7]</sup> 各有一架，都主要用于速度场测量。另外，现在还在调试的太阳磁场和不稳定性研究望远镜 (Télescope Héliographique pour l'Etude du Magnétisme et des Instabilités Solaires, THEMIS) 也将装有一个这样的设备。

除掉上述一系列相减型双通过仪器外，从 70 年代初期起，光谱太阳单色光照相机 (spectra-spectroheliograph, S<sup>2</sup>HG) 和窄带可调式滤光器 (narrow passband tunable filter) 都正式应用于二维太阳光谱观测 (这些留待下节叙述)。近年来由于电荷耦合器件 (charge coupled device, CCD) 这种高量子效率辐射接收器的广泛使用以及用电子计算机快速处理观测资料，二维太阳光谱观测取得快速进展。为了总结这方面的工作经验，大地基太阳望远镜 (Large Earth-based Solar Telescope, LEST) 基金会于 1992 年 8 月 14—15 日在挪威奥斯陆大学理论天体物理研究所召

开“太阳观测资料处理软件”小型学术讨论会<sup>[8]</sup>。可以认为,二维太阳光谱观测已经发展成熟,并成为太阳光谱观测的主流,它今后有光明的前景。

## 2 二维太阳光谱观测仪器

现阶段的二维太阳光谱观测仪器,可分为以下三个主要的类型。

### 2.1 MSDP

前面已经谈到,这种仪器是从 Öhman 到 Stenflo 和 Mein 一脉相承的,即都使用相减和两次通过的方法,但在结构上逐步改进了。具体说来,为了在一个日面区域内的许多点同时得到一条谱线(例如  $H\alpha$ )的轮廓,MSDP 的光谱仪不用入射狭缝,而用一个窗口(在墨冬台,其面积为  $8' \times 1'$ ;在日中峰台为  $250'' \times 30''$ )。通过它的太阳光在准直镜  $C_1$  面上反射后落到光栅  $G$  上(见图 2)。然后色散光由成像镜  $C_2$  聚焦。焦面上有一组狭缝  $MS$ ,共  $N$  个(在墨冬台,  $N=7$ ;在日中峰台,  $N=9$ )。BS 为一组偏离棱镜,可使不同波长的光束分开。 $M_1$  至  $M_7$  为一组反光镜和反射棱镜,它们使光线返回  $C_2$ ,然后第二次落到光栅上。这样可以抵消第一次通过光栅所产生的色散。最后成像在  $MI$ 。用这样的像可以对观测区域的任何一点计算谱线轮廓。现有的 MSDP 用胶片拍摄观测资料,然后用快速测微密度计扫描,标准像素(pixel)的尺度为  $0''.15(30\mu\text{m})$ 。在资料归算过程中还需进行几何改正和光度校正,然后用  $N$

个强度值计算谱线轮廓(详细情况见文献[5]和[9])。

### 2.2 $S^2HG$

从原理来说,这是一种比较简便的二维太阳光谱观测。它的做法是用微调装置让太阳像在摄谱仪狭缝面上,沿与狭缝垂直方向作匀速运动,并逐次拍摄光谱。Andelin 和 Title<sup>[10]</sup>最早提出这种方法,并于 1970 年在基特峰(Kitt Peak)天文台太阳塔使用。每秒拍一次光谱,这时太阳像移动  $1/2$  角秒。他们用胶片拍  $\text{FeI } \lambda 5250.2$  附近光谱,并用测微密度计和计算机处理观测资料,得出长度约为  $130''$  的日面区域的磁图、速度场图以及单色像和连续光谱像。我国云南天文台多波段太阳光谱仪和南京大学太阳塔,都在 80 年代先后采用这种技术进行环状日珥、耀斑等活动体的二维光谱观测,并取得良好结果(分别见文献[11]和[12])。

目前进行  $S^2HG$  观测最好的仪器是位于西班牙 La Palma 的瑞典真空太阳望远镜(Swedish Vacuum Solar Telescope, SVST)<sup>[13-15]</sup>。这是一个真空太阳塔,主镜为透镜,

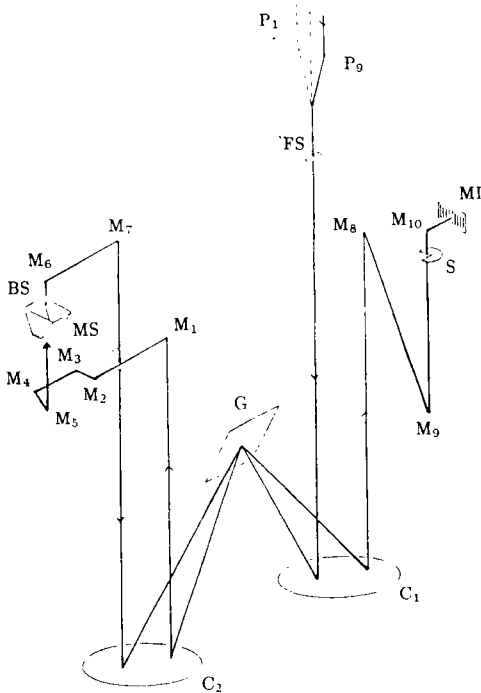


图 2 MSDP 摄谱仪的光路<sup>[9]</sup>

$P_1$  至  $P_9$  为一组平面透镜,它们自动变换位置,使太阳像在入射窗口 FS 前逐次扫描。S 为曝光快门

口径 52cm，焦距 22.4m，附属摄谱仪为利特罗 (Littrow) 型的，焦距 3m。摄谱仪使用 CCD 照相机，对  $\text{FeI}\lambda\lambda 6301.5$  和  $6302.5$  两条工作谱线 (其 Landé 劈裂因子各为 1.67 和 2.50) 的线心强度和缝前太阳像作同时观测。空间分辨率为  $1/4$  角秒，光谱分辨率  $25 \times 10^4$  (在  $6000\text{\AA}$ )，色散度  $10\text{\AA}/\text{mm}$ ，用连续谱均方根噪声表示的信噪比为  $80:1$ 。由于使用 CCD 照相机作快速 (不少于每秒 30 次) 拍照，每一次观测都可取得大量资料。例如在 1990 年 9 月 12 日 11:20UT，对日面中心附近的宁静米粒组织的一次扫描中，共拍到 170 对光谱和缝前像。用计算机和已编制好的软件，可以由光谱资料得到一系列物理参数。由于缝前像和光谱是绝对同时拍摄的，用缝前像可以精密确定速度、磁场强度等参数在日面观测区域的二维分布图像。为进行这样的工作，计算机的内存为 16Mbytes。至于软件编制和资料归算方法，在文献 [14]、[15] 中有概括的叙述。

美国夏威夷大学所属米斯 (Mees) 太阳台也装有一架供二维光谱观测的仪器<sup>[16]</sup>。[这类仪器现在称为成像摄谱仪 (imaging spectrograph)]。它是一架焦距 3m 的折轴式摄谱仪，安装在口径为 25cm 的日冕仪后面。光谱分辨率为  $20 \times 10^4$ ，空间分辨率  $0''.6$ ，曝光时间 30ms。有一套装置使观测时太阳像保持稳定。CCD 照相机拍摄的资料记录在磁带上，速率高达  $256\text{kbytes}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这架仪器大约在 1990 年投入使用后，对耀斑光谱做了大量观测，对黑子本影振荡也做过一些工作。

南京大学改进后的太阳塔新安装了一架成像摄谱仪<sup>[17]</sup>。它有两个 CCD 摄像机，分别用于  $\text{H}\alpha$  和  $\text{Ca II K}$  波段。在一般情况下，在狭缝高度范围内有 127 个像素 (pixel)。相邻像素的空间距离为  $1''.46$ 。在一个观测区可用狭缝扫描 30—60 步，每一步对应于  $2''$ 。对于每一个像素，在色散方向上共有 224 个光谱通道。就  $\text{H}\alpha$  来说，光谱观测波段为  $9.4\text{\AA}$ ；对  $\text{CaIIK}$  线为  $12.1\text{\AA}$ 。重复扫描的时间间距为 10—15s。

与上述米斯太阳台的成像摄谱仪相比，南京大学仪器的优点是 CCD 摄像机的光谱分辨率较高。具体说来，对  $\text{H}\alpha$  为  $0.042\text{\AA}/\text{pixel}$  和  $0.054\text{\AA}/\text{pixel}$ ，而米斯台的相应数值为  $0.38\text{\AA}/\text{pixel}$ 。因此南京大学的仪器更适于做精细的光谱分析。

### 2.3 窄带可调滤光器

这种仪器用窄带滤光器成二维太阳像，并在几个波长处扫描谱线，从而得到光谱信息。美国萨克峰 (Sac Peak) 天文台装有一架这样的仪器<sup>[18]</sup>。它包括一个 Fabry Perot 干涉仪 (FPI) 和一个万用双折射滤光器 (UBF)。它们在  $6000\text{\AA}$  的透过轮廓分别如图 3(a) 中的虚线和实线所示，由这两个部件耦合形成的窄带滤光器的透过轮廓见图 3(b)。窄带滤光器的透过带半宽度仅约为  $25\text{m}\text{\AA}$ ，由此可知光谱分辨率为  $2.4 \times 10^5$ 。这种滤光器的重要特征是透过带可以调节到  $4200 - 7000\text{\AA}$  波段内任意波长处，并且能够连续移动，其波长定位精度达  $1\text{m}\text{\AA}$ 。观测日面的视场约为  $100'' \times 100''$ ，对连续光谱和线心的曝光时间各约为 200ms 和 500ms。一套观测资料包括 15—20 个太阳像，它们是对一条或几条谱线范围内不同波长处相继取得的单色像。由它们合成的图像包含一系列平行条纹，和前面介绍过的太阳色谱仪的资料相似。此外，还有同样多的白光像。平均说来，每张图像有  $300 \times 200$  个像素。按每秒钟获取两张图像计算，数据流量约为  $0.2\text{Mbytes}\cdot\text{s}^{-1}$ 。如果一天观测 5 小时，则总数据量高达 3Gbytes。为了储存和处理这样大量的资料，必须编制专门的计算机软件。对此，文献 [15] 有概括性的描述。附带谈到，在前面谈到过的 SVST 中，也装有这种滤光器<sup>[19]</sup>。

### 2.4 三类仪器的比较

上述三类仪器各有优缺点。具体说来，MSDP 是对日面一个区域内各点同时取得光谱信

息, 因此它的时间分辨率很高。窄带可调滤光器也是对日面一个区域作同时观测, 但由透过带在一条或几条谱线轮廓内若干点逐次移动来取得光谱信息, 因此时间分辨率不够高。S<sup>2</sup>HG

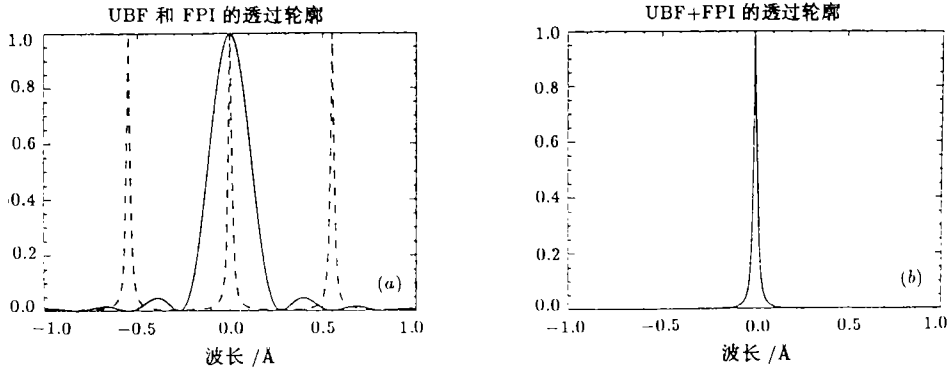


图3 (a)UBF 和 FPI 的透过轮廓  
(b)窄带滤光器的透过轮廓<sup>[18]</sup>

能够对日面任何一点同时得出谱线轮廓, 可是对一个区域需要逐次扫描, 所以时间分辨率也较低。从另一方面来说, MSDP 仅凭少数几点确定一条谱线轮廓, 光谱分辨率低, 不够精确。至于滤光器, 透过率甚低, 散射光较强。因此这两类仪器, 尤其是 MSDP, 适于做形态演变等定性研究工作。S<sup>2</sup>HG 的时间分辨率较低, 但每次观测都可得到完整的谱线轮廓, 并且能够对若干条谱线作同时观测。此外, 这种仪器的散射光很弱, 光谱资料的精度高, 适于做物理量场测定、大气模型建立等定量研究工作。

### 2.5 其他类型的二维光谱仪

除上述三类仪器外, 还有其他一些设备也可用于二维太阳光谱观测。例如洛克希德 (Lockheed) 太阳台<sup>[20]</sup> 用像切分器把狭缝附近的太阳像分别转移到狭缝上不同高度, 于是可以同时观测。另外, Livingston 曾提出使用光纤技术来达到同一目的。但是这些方法似乎还没有达到成熟的阶段。

## 3 二维太阳光谱研究的新成就

近年来几架二维太阳光谱仪已经取得大量观测资料, 这导致不少研究成果。由于方成和黄佑然在文献 [21] 中已经分别就耀斑、日珥、暗条等观测对象作了比较详细的叙述, 我们现在只是对三类主要仪器的新观测成果, 各举一、两例说明最近的进展情况。

(1) Wiik 等人<sup>[9,22]</sup> 用日中峰台的 MSDP 摄谱仪观测 1988 年 6 月 11 日的宁静极区冕状日珥, 得到 H $\alpha$  强度和视向速度的二维分布图像。这些资料的分析表明, 大尺度速度场含有许多元胞 (cells) 和椭圆形结构, 其大小约为 10'', 视向速度为 5km·s<sup>-1</sup> 左右, 生存时间约 1min, 它们的大小和形状在 1h 内有明显的连续变化。速度场的这些性质可能是由磁流绳的扭绞或剪切运动引起的。此外, 从观测到的 H $\alpha$  绝对强度与非局部热动平衡计算结果的对比, 可估计出日珥的电子密度、源函数和光学厚度。对日珥的上部求得电子密度大约为 (1—5) × 10<sup>10</sup>cm<sup>-3</sup>。

(2) Johannesson 等人<sup>[14,15]</sup> 用 SVST 的利特罗型摄谱仪对米粒组织观测。在本文第 2.2 节

中已经谈到，在 1990 年 9 月 12 日对日面中心区的米粒组织取得一批资料。现在接着叙述，由其中的线心二维图像可以看见许多暗黑的元胞，它们与用连续谱扫描的图像上的明亮米粒在位置上相符。还谈到，在它们周围有亮环，而亮环结构最明亮处可以见到光斑，并且有磁场。由米粒的视向速度测量可知，速度振荡一直延伸到连续谱形成层次之上至少 300km 处。在较低的大气层，速度场的细节与连续谱图像上的细节在位置上吻合，一直到空间分辨率达到  $0''.5$  的极限值时都如此。

丁明德等人<sup>[23]</sup>用南京大学太阳塔的成像摄谱仪，根据  $H\alpha$  谱线的不对称性，对 1992 年 12 月 16 日耀斑进行二维速度场测量。在耀斑区发现有 4 处明显的色球层下沉气流，其最大速度为  $30\text{--}40\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ，而存在时间为  $2\text{--}3\text{min}$ 。此外，不对称性只在线翼出现，而线心几乎没有位移。

(3) 泰德天文台的德国真空太阳塔也装有一架窄带可调滤光器，它和本文第 2.3 节中介绍过的萨克峰台的仪器相似，也由万用滤光器和 Fabry-Perot 干涉仪合成，透过带宽度约为  $30\text{m}\text{\AA}$ ，视场直径为  $20''\text{--}40''$ 。Bendlin 等人<sup>[24]</sup>用这架仪器于 1991 年 3 月在  $\text{FeI}\lambda\lambda 6302.5$  和  $5576.1$  范围内观测活动区与宁静区的米粒组织。他们对每条谱线各选定一系列波长拍单色像，相邻波长的间距约为  $18\text{m}\text{\AA}$ ，每一组观测取得线心及其红、紫两侧各  $270\text{m}\text{\AA}$  范围共 30 幅单色像，共需 1h 左右。从这些资料可以看出，红翼和紫翼的象有甚为显著的差异。此外，在远线翼的像上米粒组织的结构最清楚，而愈靠近线心，观测到的大气层次愈高，图像愈多地反映色球的结构。用这样的资料，可以研究米粒组织内等离子体的物态和运动。

从文献 [21] 报道的一系列研究结果，以及我们在上面补充的三个实例，读者会了解到二维观测已经在太阳光谱研究中崭露头角，许多用一维观测难以发现的丰富多彩的现象源源不断涌现出来，为太阳物理学增添不少新的题材。

## 4 三维和四维研究

前面已经谈到，经典的太阳光谱观测是一维的，即每次观测只能取得沿狭缝（我们取为  $y$  轴）方向的光谱资料。近年来蓬勃发展的二维观测，可以获得在与日面平行的平面（ $x$ 、 $y$ ）内各点的资料。但是太阳大气的结构是三维的，包括  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个坐标。要进行三维研究，可以利用不同谱线形成的深度（ $z$ ）不一样或同一条谱线的各个波段辐射来自不同层次这样的性质，但比较精确的办法是通过理论计算来探求各个物理参数的深度梯度。这方面的工作早已着手进行。经典方法为用“贡献函数”（例如见文献 [25]）、“权重函数”<sup>[26]</sup>和“响应函数”<sup>[27]</sup>来计算谱线形成的深度以及一些物理参数的深度分布。如果只研究速度场，可以使用谱线等分线（line bisector）和“波长计”（lambdameter）技术<sup>[28]</sup>。本文作者及其合作者<sup>[29]</sup>建立由谱线轮廓不对称等特征量推求速度和源函数梯度的一系列方法。但是这些方法基本上都只适用于静态的大气结构。现在值得提到，Mein 等人<sup>[30]</sup>提出“非线性轮廓反转方法”（non-linear profile inverse method），通过傅立叶分析，用最小二乘法求解 7 个方程，求得速度、温度以及它们的梯度共 4 个物理量。这种方法的优点是适于处理二维观测所得大量光谱资料，另外可以研究若干物理参数随时间的快速起伏变化，即建立动态的模型。从这个意义上说，当代太阳光谱工作已进入  $x$ 、 $y$ 、 $z$  和  $t$  的四维研究阶段。可以预言，新一代的太阳物理研究将主要建立在四维光谱资料的基础上。

## 5 结束语

综上所述, 二维太阳光谱观测已经发展到比较成熟的阶段, 并已成为当前太阳光谱观测的主流。但是, 在本文第 2 节末尾已经说明, 现有的三类主要仪器都还有一些缺陷。针对这些问题, 可以认为今后发展的主要方向是: (1) 提高  $S^2HG$  和窄带可调滤光器观测的时间分辨率, 争取达到每组观测 1s 左右。关键问题是加快信息储存和资料的自动化处理; (2) 增加 MSDP 焦面上狭缝的数目, 希望达到  $N = 10 - 20$ , 这样可使光谱资料的精度大为提高; (3) 应用自适应光学、相关导行系统 (correlation guiding system) 等新技术来减轻大气扰动的影响, 提高太阳像的空间分辨率; (4) 实现多条谱线的二维同时观测, 这样可以减少理论分析的不确定性。此外, 还需加强谱线轮廓反转的理论研究, 建立比 Mein 等人<sup>[30]</sup>更简便的方法来分折二维观测资料, 并进一步开展三维和四维研究。

最后, 还须谈到, 二维太阳光谱观测在我国已有一定的基础。为了跟上国外迅猛发展的步伐, 也为了迎接下一次 (第 23 周) 太阳活动峰年的观测, 我们需要对现有仪器进行技术改造, 同时加强理论研究, 争取早日达到和超过国际先进水平。

**致谢** 在撰写本文的过程中, 承方成、黄佑然两位教授提供当时尚待发表的文稿<sup>[21]</sup>和推荐新资料, 并承 J.O.Stenflo 教授寄赠文献 [8], 谨此致谢!

## 参 考 文 献

- [1] Öhman Y. *Ap. J.*, 1950, 111: 362
- [2] Stenflo J O. *Solar Phys.*, 1968, 3: 482
- [3] Stenflo J O. *Applied Optics*, 1973, 12: 805
- [4] Behring W E et al. *J. Opt. Soc. Am.*, 1954, 44: 229
- [5] Mein P. *Solar Phys.*, 1977, 54: 45
- [6] Mouradian Z. In: *Proc. Japan-France seminar on solar physics*, 1980: 271
- [7] Mein P. *Astron. Astrophys.*, 1991, 248: 669
- [8] Yi Z, Darvann T, Horan M eds. *LEST found tech. rep. No.56*, 1992
- [9] Wiik J E. In: Z Yi et al eds. *LEST found. tech. rep. No. 56*, 1992: 43
- [10] Andelin J, Title A. *Bull. Am. Astron. Soc.*, 1970, 2: 291
- [11] 闫国英等. *天文学报*, 1986, 27: 23
- [12] 张其洲, 方成. *天体物理学报*, 1987, 7: 133
- [13] Scharmer G B. *Applied Optics*, 1985, 24: 2558
- [14] Johannesson A et al. *Astron. Astrophys.*, 1992, 258: 572
- [15] Johannesson A. In: Z Yi et al eds. *LEST found. tech. rep. No. 56*, 1992 :51
- [16] Penn M J et al. *Solar Phys.*, 1991, 135: 163
- [17] Huang Y R et al. *Solar Phys.*, 1995, 159: 127
- [18] Cauzzi G. In: Z Yi et al eds. *LEST found tech. rep. No.56*, 1992: 19
- [19] Title A et al. *Adv. Space Research*, 1986, 6: 253
- [20] Martin S F et al. *Solar Phys.*, 1971, 17: 343
- [21] 方成, 黄佑然. *天文学进展*, 1995, 13: 3
- [22] Wiik J E et al. *Astron. Astrophys.*, 1992, 260: 419
- [23] Ding M D et al. *Solar Phys.*, 1995, 158: 81
- [24] Bendlin C et al. *Astron. Astrophys.*, 1992, 257: 817
- [25] Beckers J M, Parnell R L. *Solar Phys.*, 1969, 9: 39

- [26] Mein P. *Solar Phys.*, 1971, 20: 3  
[27] Beckers J M, Milkey R W. *Solar Phys.*, 1975, 43: 289  
[28] Rayrole J. *Astron. Astrophys.*, 1967, 30: 257  
[29] Ye Shihui, Jin Jiehai. *Solar Phys.*, 1985, 96: 113  
[30] Mein P *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1987, 177: 283

(责任编辑 刘金铭)

## The Methods and Techniques of Solar 2D Spectral Observations

Ye Shihui

(*Purple Mountain Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

### Abstract

The classical solar spectral observations are one-dimensional and so suffer serious limitations. Since the fifties astronomical workers have adopted various methods to carry out two-dimensional observations. A series of instruments have been built, complete processes of reduction of observational material have been set up, and many excellent results have been achieved. On the basis of 2D observational data the further theoretical investigation of the depth distribution of physical parameters may yield three-dimensional stereoscopic models. Moreover, taking into account the fast variations of spectral features with time, four-dimensional pictures can be secured. This may become one of the main trends of solar research. This paper is chiefly devoted to the principles, instrumentation, technology and methods of data analysis of the 2D solar spectroscopy, and a few examples of the observational results with instruments of various kinds are described. Moreover, the deficiencies of the work at the present stage and the prospect of future developments are also pointed out.

**Key words** instrumentation: spectrographs—line: profile—techniques: spectroscopic—methods: observational—Sun: magnetic fieds—Sun: flares—Sun: prominences—Sun: granulation