第7期 第4期 空间科学学报 Vol.7, No.4
1987年10月 GHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1987

1984年5月21日耀斑环珥的 Hα-SSHG 观测研究

李秋莎 顾啸马
(中国科学院云南天文台)

摘 要

利用云南天文台太阳光谱分光照相仪(Hα-SSHG),拍摄了1984年5月21日边缘耀斑环珥的 Hα 光谱资料,结合 Hα 色球观测资料给出了该事件的发展过程和色球、光谱的形态特征。定性地探讨了该耀斑环内的宏观物质运动. 用提出的双环系模型能较好地解释观测结果.

一、引 言

太阳耀斑环的研究是太阳耀斑研究的一个主要组成部份,近年来的空间观测表明:耀斑环是耀斑的主体, Hα 耀斑双带是耀斑环在色球层的"脚",它只占耀斑环的一小部份,色球耀斑是由耀斑环产生的[1], 这就改变了通常认为是色球耀斑产生了耀斑环的片面性理解. Kopp-Pneuman 模型[2]解释耀斑环单环形成机制是比较成功的,但对耀斑环系(或耀斑后拱廊)将导致跟观测不符[3],因此该模型应加以修改.

对耀斑环内物质运动的观测和研究是进行动力学研究必不可少的,然而由于观测资料的缺乏,特别是光谱资料的不足,目前国外这方面的研究尚不多见. 仅仅是定点的光谱观测还不能把握整个耀斑环各处的物质运动情况, 因此用狭缝扫描整个环即 Hα-SSHG 观测是研究环内物质运动的有效手段.

云南天文台在太阳21周峰年期间用 Hα-SSHG 装置获得了一批有关耀斑的观测资料,并对1981年4月27日的边缘耀斑环作了定量研究,首次获得它的速度场分布[4,5]. 本文给出1984年5月21日太阳西边缘耀斑环珥的 Hα-SSHG 观测和资料分析,包括色球和光谱的形态, 分析和探讨环内物质的宏观运动, 并用可能的双环系模型解释了观测事实.

二、观测及资料特征

1. 观测

1984年5月21日 0237UT, 在太阳西边缘出现了一个爆发性的耀斑环状日珥 (9°N;

本文于1987年4月22日收到.

90°W) 用太阳光谱仪的 Hα-SSHG 装置和色球双筒望远镜 (Hα 滤光器透过带宽 0.5 Å) 分别取得了该耀斑环珥的 Hα-SSHG 光谱扫描观测和 Hα 色球巡视观测资料. 此外还取得该事件对应活动区黑子群 (Boulder SESC 编号 4481)过日面逐日黑子强磁场资料.

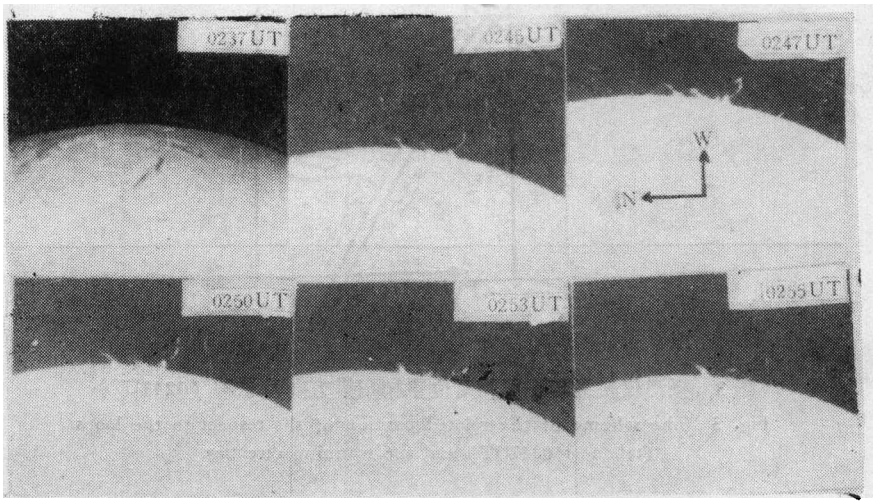


图 1　1984 年 5 月 21 日环珥系的 Hα 色球时间序列照片

Fig. 1　The Hα chromospheric photographs of a loop prominence system in order of time, taken on May 21, 1984

图 1 给出了该耀斑环珥产生和发展的 Hα 色球巡视照片. 光谱观测从 0250—0300 UT, 共作两次扫描,其中一次暴光不足. 图 2 给出 0250—0252 UT 扫描的光谱序列照片 18 帧, 以 1—18 编号. 摄谱仪入射狭缝跟耀斑环系的相对位置及扫描方向由图 3 给出. 由图可见狭缝跟日珥处太阳径向约成 55° 角,扫描间隔平均约为 4″,暴光时间 5 秒, 线色散为 0.875 Å/mm.

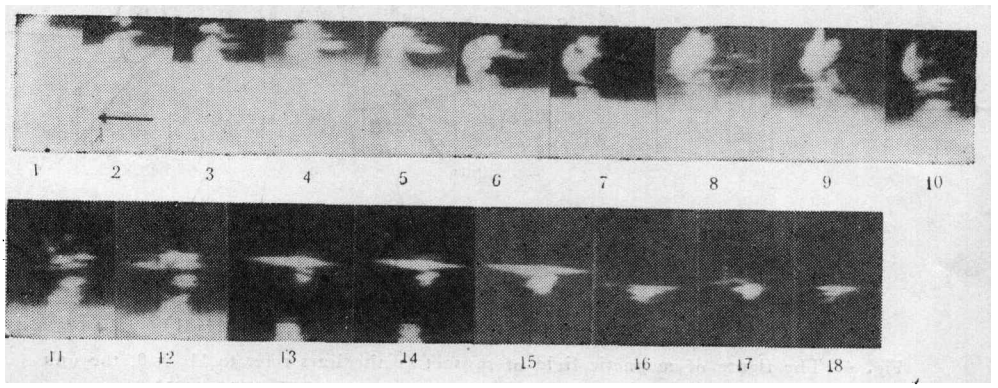


图 2　1984 年 5 月 21 日环珥系的 Hα-SSHG 扫描空间序列照片

(0250—0252 UT. 箭头指向波长增加方向)

Fig. 2　The sequence photographs of Hα-SSHG scanning space of the loop prominence system on May 21, 1984 (taken from 0250~0252UT. The increasing direction of wavelength is indicated by an arrow)

2. 活动区黑子群及其磁场特征

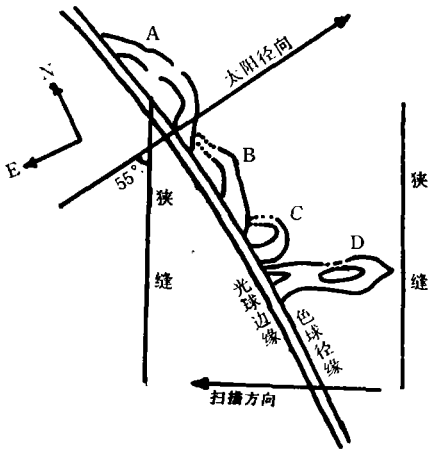


图 3 摄谱仪狭缝与环珥相对位置和扫描方向示意图 (0247UT)

Fig. 3 The scheme of the related position of slit respect to the loops (taken at 0247UT) and the scanning direction

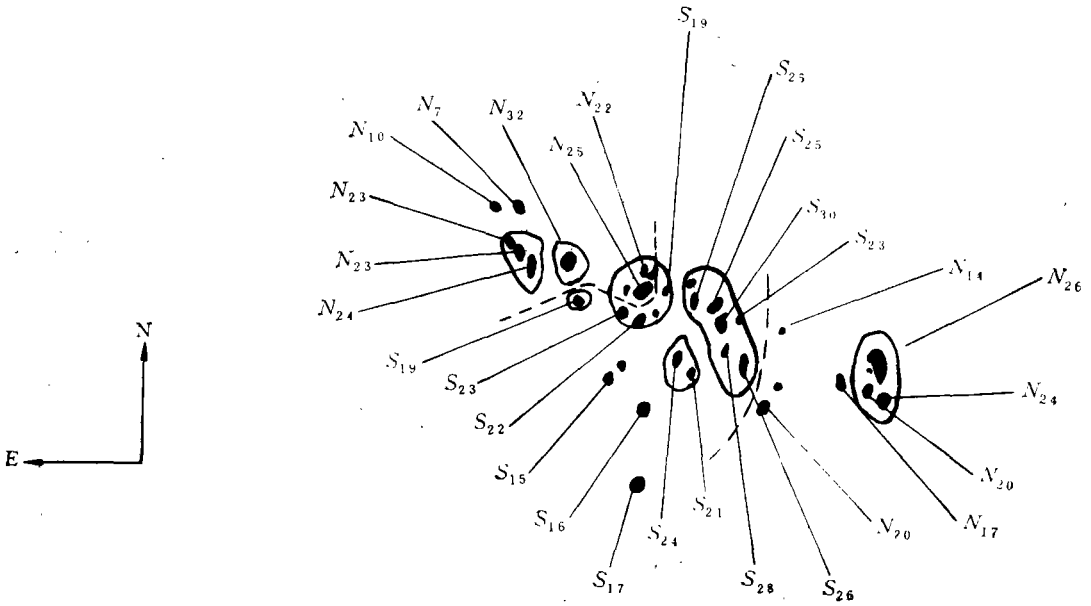


图 4 黑子磁场位形图

(虚线为 $H_{/\!/}=0$, 单位: 100Gs. 5 月 16 日 0142UT, SESC 4481)

Fig. 4 The figure of magnetic field of sunspot (dashedlines refer to $H_{/\!/}=0$, the unit of magnetic field is 100 Gauss. May 16, 0142 UT SESC 4481)

该耀斑环系对应着一个 F 型大黑子群 (SESC 4481 群 $\phi = 7°\mathrm{N}$; $L = 153°$), 面积在 3000 以上. 黑子磁场结构比较复杂. 根据文献[7, 8]的论述, 考虑到该活动区过日面期间未发生急剧性的变化, 故可通过 5 月 16 日它的黑子磁场位形[6] (如图 4 所示)近似反映它在 5 月 21 日的磁场位形. 图 4 表明前导和后随黑子均为 N 极, 中间黑子为 S 极. 有两条磁中性线(即 $H_{/\!/}=0$ 线)如图 4 虚线所示, 其中一条成弯曲状, 曲率较大, 并穿过一

个大黑子的半影，两边的黑子本影磁场高达 2200—2500Gs，形成 δ 磁结构. 在 5 月 13 日过中径时，前导和后随黑子的磁场分别高达 3800 和 3700Gs[6]，这样强的黑子磁场是少见的. 但过日面期间只产生了三次亚耀斑[9]，巨大的磁能没有充分释放，因此可认为 5 月 21 日形成的耀斑环系可能是该黑子群转到日面背后产生的大爆发.

3. Hα 色球形态特征

图 1 表明该耀斑环系在 0237UT 开始时只观测到一个环 (A 环)，0243UT 后产生了四个环，0247UT 达极大，由北向南依次用 A、B、C、D 表示如图 3. ABC 三环变化缓慢表明它们基本上处于稳定状态，到 0315UT 后三环才开始消失. D 环比较特殊，它的环顶又形成一个环(即顶环)，由图 1 表明 0247UT D 环腿呈扭绞状，同时它椭圆形顶环的短轴从 0243UT 开始逐渐变大，0250UT 达极大后又逐渐变小，这表明该顶环可能在绕环轴作旋转运动. 0315UT 后环顶逐渐消失，0324UT 太阳边缘恢复平静.

由黑子观测可知 4481 群黑子 5 月 21 日应在日轮背面 15° 处，故扎根于活动区的环足及环腿下部是看不见的. 用投影仪在色球胶卷上测量 A、B、C、D 四个环的投影高度分别为 1.24、0.84、0.80 和 1.67×10^4km，环的南北跨度为 7.14×10^4km、假设这些环平面均垂直太阳表面，那么真实高度应分别为 3.74、3.33、3.29 和 4.19×10^4km，实际高度可能比这更大，因环顶的大视向速度在色球胶卷上是不可见的.

4. Hα 光谱特征

图 2 表明该环系光谱形态极其复杂，大致可分为三种类型：(1) 从 3—8 光谱画幅，其主要特征是在某些位置上谱线紫移特别大，形成轮廓紫不对称，有些高达 3—4 Å；(2) 从 10—12 画幅，Hα 光谱是由许多碎亮块组成，它们既有紫移也有红移，有些相互交错在一起，这就决定了它们的轮廓具有复杂的多峰结构；(3) 从 13—18 画幅，主要特征是线翼向红紫两端延伸很长，最大达 10 Å左右，表明谱线 Doppler 宽度较大. 第三种光谱形态与 1981 年 4 月 27 日边缘耀斑环产生的十分相似(参考文献[4])，但前两种形态较少见. 不同的光谱形态反映了耀斑环内不同的物质运动和物理状态.

三、环系物质运动初探

在缺乏狭缝监视器的情况下，为了比较色球和光谱观测资料我们将光谱照片放大到跟 Hα 色球照片描记图一样的比例. 由图 2 第 15 个光谱画幅可知这时狭缝的下端正好和色球层相联、中间跟日珥相交. 由这个特点就可确定狭缝相对日珥和日面的位置(即图 5 中的 15)，然后根据太阳光球、色球层(厚度取 4500km)及日珥在其他光谱画幅的 Hα 线心部份相对于狭缝上下端的位置，将狭缝位置一一复原在 0250UT 的色球描记图上(图 5). 该方法的定位误差小于 3″. 图 5 中表示狭缝位置的序号 1—18 分别与图 2 中相应画幅号对应(间隔不均匀是手工扫描所致). 图 2 和 5 的对比发现色球照片"失真"十分严重，因色球象只反映 $V_{//}<22.5$km/s 的那部份环系. 事实上当色球观测者发现该环系业已消失时而光谱观测者仍能明鲜地看到它. 下面根据 Hα 光谱观测分别定性考察各环的物质运动情况：

1. A 环

对比图 2 和图 5 可知，第 1—2 光谱画幅对应 A 环的一个腿部，它们均为紫移，位移大小随色球层以上高度的增加而减小，表明那里的物质是向着观测者运动，运动速度向下增加. 但无法判断物质是从环顶下落还是从另一条腿流向该环腿.

2. B 环

由图 5 可知狭缝第 3 个位置和第 4—8 个位置的上部对应于 B 环. 图 2 光谱照片表明在这些狭缝位置(3—8)上，环珥随色球层高度几乎是连续分布的，即从上到下是一片、而不是像色球照片那样是一个孤立的单环. 这些环的绝大多数均为红移速度，其速度大小随光谱画幅序号的增加而增加即从北向南增加. 另一方面对于某个确定的光谱画幅(如第 6 个)，红移速度大小从顶点开始随高度的减小而增加，达极大时又产生了巨大的紫移速度(3—7)，最大可达 140—180km/s. 由此可认为 B 环可能由许多几乎平行的子环组成，这些子环的大多数物质运动是从靠近观测者单向流向远离观测者的另一端. 特别有趣的是存在着一些子环它们具有反方向的高速单向物质流动（图 5 中已用粗线标出它们的位置).

3. C 环

C 环对应图 5 中 4—8 个狭缝位置的下部和第 9 个位置. 它们的物质运动规律跟 B 环有相似之处，由图 2 的 4—8 画幅和 9 画幅的上部可知 C 环的视向速度也是远离观测者的单向运动，其速度大小一方面随光谱序号的增加而增加，另一方面又随色球层高度的增加而增加.

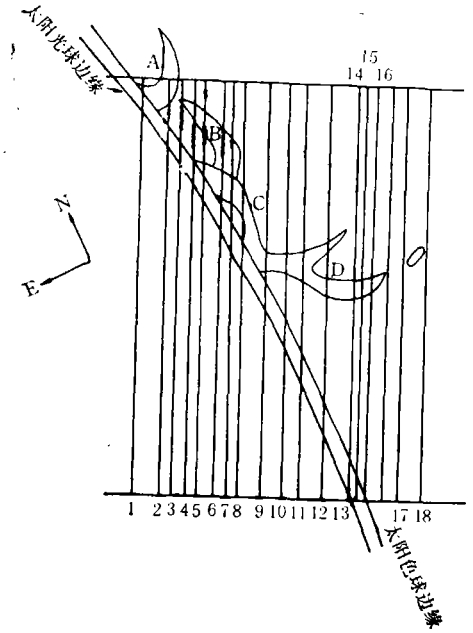


图 5 摄谱仪狭缝相对于环系色球像描记的位置重迭图 (0250UT)

Fig. 5 The overlap chart of the positions of spectrograph slit respect to the chromosphric image of loop system taken at 0250UT

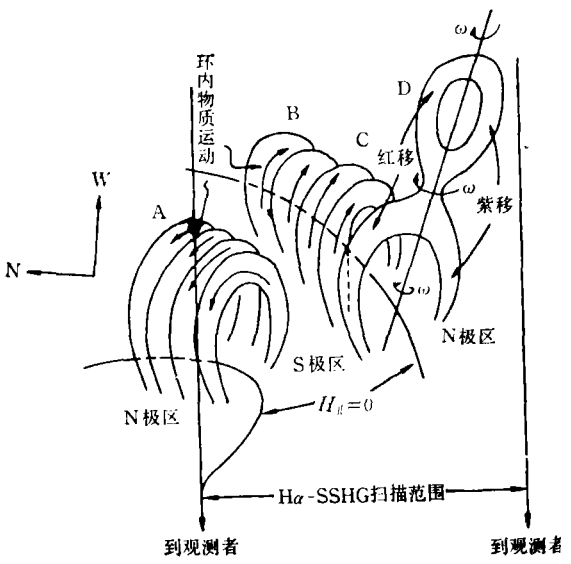


图 6 双环系观测模型示意图

Fig. 6 The scheme of an observational model of the two-loop system

4. D 环

D环对应图 5 中 9—18 狭缝位置，9—10 对应它的两个环腿，其中上面的 (N) 环腿产生红移、下面的 (S) 环腿产生较大的紫移以致在 Hα 单色像上不可见. 11—18 狭缝位置对应于D环顶部，该环又联接一个顶环. 10—11 画幅上部对应D环北顶环，它明显地呈红移；12—18 位置对应D环南顶环，显然它是紫移. 因此D环有可能在绕它的环轴作顺时针的旋转运动. 此外色球观测也为这种可能的旋转运动提供了证据.

综上所述我们初步得出这样一种可能的双环系模型如图 6 所示. 在该模型中A环系和 BC 环系分别垮越两条磁中性线，物质从环系的一边(S 极区)流向另一边(N 极区). 图 2 中 3—7 画幅出现的既有红又有紫的谱线位移原来是A和 BC 环系在视线方向部份重迭的结果，视向速度随位置和高度的变化可能是投影效应所致.

四、讨　论

1. 根据作者对 1981 年 4 月27日[4,5]和 1984 年 2 月 18 日两个耀斑环的研究表明：环内物质从环顶下落是耀斑后相物质运动的一个主要特征. 但对这次研究的耀斑环事件是在耀斑极大后三分钟观测的，环内物质是从环的一条腿流向另一条腿，这也可能是在耀斑达极大后不久环内物质运动的特征之一.

2. 用图 6 表明的双环系模型基本上能定性地解释我们的观测事实，在该模型中物质都是从 S 极区流向N极区，这跟丁有济等人对 1981 年 5 月 13 日的耀斑环中物质流动方向的研究结果一致[10]. 是否有相反的情况有待今后的观测.

3. D 环可能处于扭绞状态，其顶环处谱线 Doppler 宽度较大(图 2 13—15 画幅)表明那里的物质湍流速度和光学厚度较大(即沿视线柱体内原子数较多)、温度也可能较高，是处于不稳定状态. 色球观测也表明最先瓦解的正是D环顶环.

4. 因该耀斑环系 Hα 光谱较为复杂，资料的定量研究比较困难. 用双环系模型可以较好地解释观测事实，但这也并非唯一的，我们希望有更多的观测资料作深入研究.

在此工作中，与丁有济和叶式辉同志进行过有益的讨论，谨此致谢.

参　考　文　献

[1] Pneuman, G. W., Solar Flare MHD (Ed. by E. R. Priest), Gordon and Breach Science Publishers, Chap. 7, 1981.
[2] Kopp, R. A. and G. W. Pneuman, *Solar Phys.*, Vol. **50**, p. 85, 1976.
[3] Svestka, Z. et al., *Solar Phys.*, Vol. **75**, p. 305, 1982.
[4] Gu, X. M. et al., *Solar Phys.*, Vol. **87**, p. 155, 1983.
[5] 顾啸马等，中国科学 **A** 辑，第 445 页，1984.
[6] 中国科学院云南天文台，太阳活动月报，第 9 页，1984.
[7] 曹天君，天文学报，第 **18** 卷，第 158 页，1977.
[8] Altschuler, M. P., Coronal Disturbances (Ed. by G. J. Newkirk), IAU Symp. Vol. **57**, p. 35, 1974.
[9] Solar-Geophysical Data Comprehensive Reports, Number 494, part II 120, NOAA Boulder, 1985.
[10] Ding Youji et al., Proceedings of Kunming Workshop on Solar Physics and Interplanetary Travelling Phenomena (Ed. by De Jager and Chen Biao), p. 673, 1985.

Hα-SSHG Observation and Research of the Flare Loop of May 21, 1984

Li Qiu-sha, Gu Xiao-ma

(Yunnan Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The Hα spectroheliograms of the limb flare loop prominence which erupted on 1984 May 21 have been taken with the Hα spectro-spectroheliograph (Hα-SSHG) of the Yunnan Observatory of the Chinese Academy of Sciences. By combining them with the Hα chromospheric observations, the process of development and the chromospheric and spectral morphological features of the event are given in this present article. A qualitative approach to the macroscopic motion of matter of the flare loop is carried out. The observations can be well explained by means of a proposed two-loop system model.