

1981 年 4 月 23 日无黑子双带耀斑的形态特征及其解释

曹天君 胡福民 谢高峰

(中国科学院紫金山天文台,南京)

摘 要

本文简单地描述了 1981 年 4 月 23 日无黑子双带耀斑的形态特征。资料表明,无黑子双带耀斑是与该区域内的宁静暗条的激活和突然消失相关的;同时,也发现暗条周围的色球纤维在耀斑之前 24 小时时间内经历着很大的变化,由先前的垂直穿越暗条变为平行于暗条走向。最后,文中还对这些主要的形态特征进行了定性的讨论。

一、引 言

除了在复杂的太阳活动区内能出现双带耀斑外,在远离小黑子活动区或无黑子区域内,偶尔也会出现双带耀斑。它们常常被称为“无黑子双带耀斑”。

Smith 和 Ramsey (1964)^[1] 以及 Bruzek (1969)^[2] 曾指出,有 45% 的活动区大耀斑,在其发生之前几十分钟到一小时左右的时间内,存在着该活动区内暗条的“激活”。而 Dodson 和 Hedeman (1970)^[3] 指出,无黑子区域中的双带耀斑,则几乎完全与预先存在该区域中的宁静暗条的“激活”相关。这种宁静暗条的“激活”,包括暗条整体上升、快速扩张和在高日冕的消失,也有的是以每秒几百公里的运动速度向上发射。在此过程中, EUV 观测常表明存在着谱线的加宽,对应在高层大气中存在着激烈的非热运动。同样,软 X 射线也有耀斑前的预热。2800 兆赫的观测也表明有耀斑前的吸收。

从 H_{α} 发射强度看,这类 H_{α} 发亮一般可以分为两类:一类是远离活动区的宁静暗条的消失引起沿着暗条的增亮,通常这种增亮不能归属为耀斑;另一种是无黑子活动区或远离活动区的宁静暗条的突然消失,引起沿着暗条发亮的双带耀斑。这两种都是属于“Disparition Brusque”(法文“暗条突然消失”)。

一般说来,前者可能只是与邻近活动区中的耀斑波波阵面有关;而后者可能与前者有同样的起源,即为“共振耀斑”。Rust (1975)^[4] 曾指出,发生在复杂活动区中的耀斑可能与暗条之下的新浮磁流有关。不排除无黑子双带耀斑可能会有同样的起源。但是,新磁流的浮现,在一个发展活动区内显然会经常遇到,但要在一个老化活动区或无黑子区域中,可能性很小。由于无黑子双带耀斑常常发生在不被人们注意的远离小黑子活动区或无黑子区域中,而且根据 Dodson 和 Hedeman 统计,在这种区域中产生耀斑的可能性比活动区要小得多,只占全部耀斑

总数的 7%。因此, 对这类耀斑的完整观测资料还不多, 对其内部的物理过程的全面认识和理论模型的建立还为时过早。

本文利用 1981 年 4 月 23 日远离小黑子活动区的特大双带耀斑的观测资料, 说明了该类耀斑的形态特征, 并定性地讨论了它的物理过程。

二、形态特征

紫金山天文台里奥型 H_{α} 色球望远镜的口径为 140 毫米, 太阳像直径为 15.2 毫米, 透过带宽度 0.75 \AA 。利用一组透镜将像的直径放大至 100 毫米, 用柯达 (Kodak So-392) 胶卷, 对 1981 年 4 月 23 日 NOAA 3043 区 (紫金山天文台编号 115) 小黑子活动区附近发生的无黑子双带耀斑进行了观测。根据 S. G. D. 发表的美国大熊湖天文台的观测资料, 该耀斑开始时间为 $22^{\text{d}} 23 58$ (U. T.), 极大为 $23^{\text{d}} 00 10$ (U. T.), 结束为 $01 45$ (U. T.)。客观上的原因使我们没有拍摄到耀斑开始时 (即 $23 51-00 05$ (U. T.)) 的资料, 但是, 就耀斑开始前和极大前后的资料, 可以对无黑子双带耀斑的形态作一定的讨论。

从图 1 可知, 4 月 23 日 NOAA 3043 活动区的位置是 N 24 L 178, 它仅仅只有二个小黑子所组成, 位于 NOAA 3049 活动区的西部, 一个大暗条正好穿过两个小黑子之间, 并往北延伸近 20° 的范围。双带耀斑发生在该暗条的中部, 并沿着暗条两侧延伸。耀斑中心位置为 N 28, W 52, L 170, 日心距为 0.867。耀斑亮度极大近似在 $00 05$ (U. T.), 此时的耀斑视面积 $S_p = 712$, 校正面积 $S_d = 714$ (约 14.7 平方度), 为 III 级耀斑。

该耀斑离 NOAA 3043 活动区为 11 万 4 千公里, 离 NOAA 3049 活动区约 29 万 4 千公里。从图 2 (照片 d—g) 可以看出, 从 $23 21$ (U. T.) 开始到耀斑开始时的近 40 分钟时间内, 除了在 $23 26$ (U. T.) (照片 e), 在小黑子群东部产生一个小耀斑之外, NOAA 3049 活动区内只是断断续续产生增亮 (或小耀斑)。因此, 该耀斑的产生不可能是大耀斑产生的耀斑波的触发。如果是由这些小耀斑所产生的扰动而能引起某种不稳定性的话, 这种扰动的传播速度也只是 40 公里/秒—120 公里/秒。

该耀斑有较强的 X 射线暴对应, 由 S. G. D. 快报可得, 其开始时间为 $00 00$ (U. T.), 极大 $00 16$ (U. T.), 结束 $00 34$ (U. T.), X 射线暴级别为 M 1.1。

从我们所得的耀斑开始前的暗条形态和极大前后的 H_{α} 观测资料, 明显地存在着如下几个形态特征:

1. 从 24 小时之前的 $21^{\text{d}} 23 17$ (U. T.) (图 2a) 和耀斑前的 $22^{\text{d}} 23 40.0$ (U. T.) (图 2f) 的照片

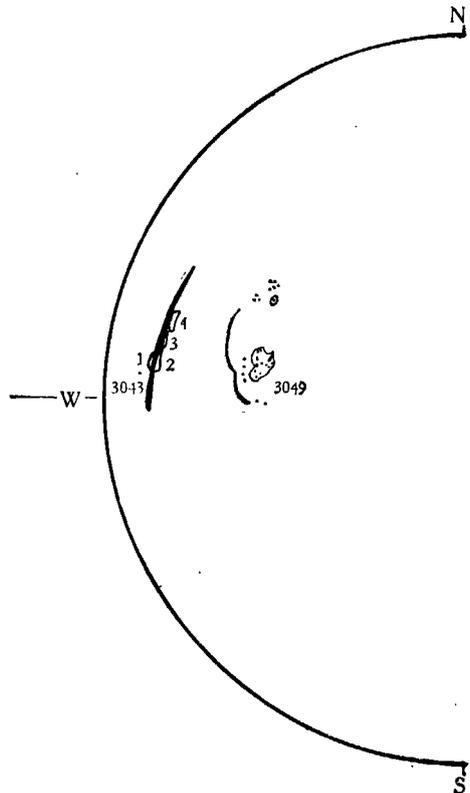


图 1 耀斑位置图

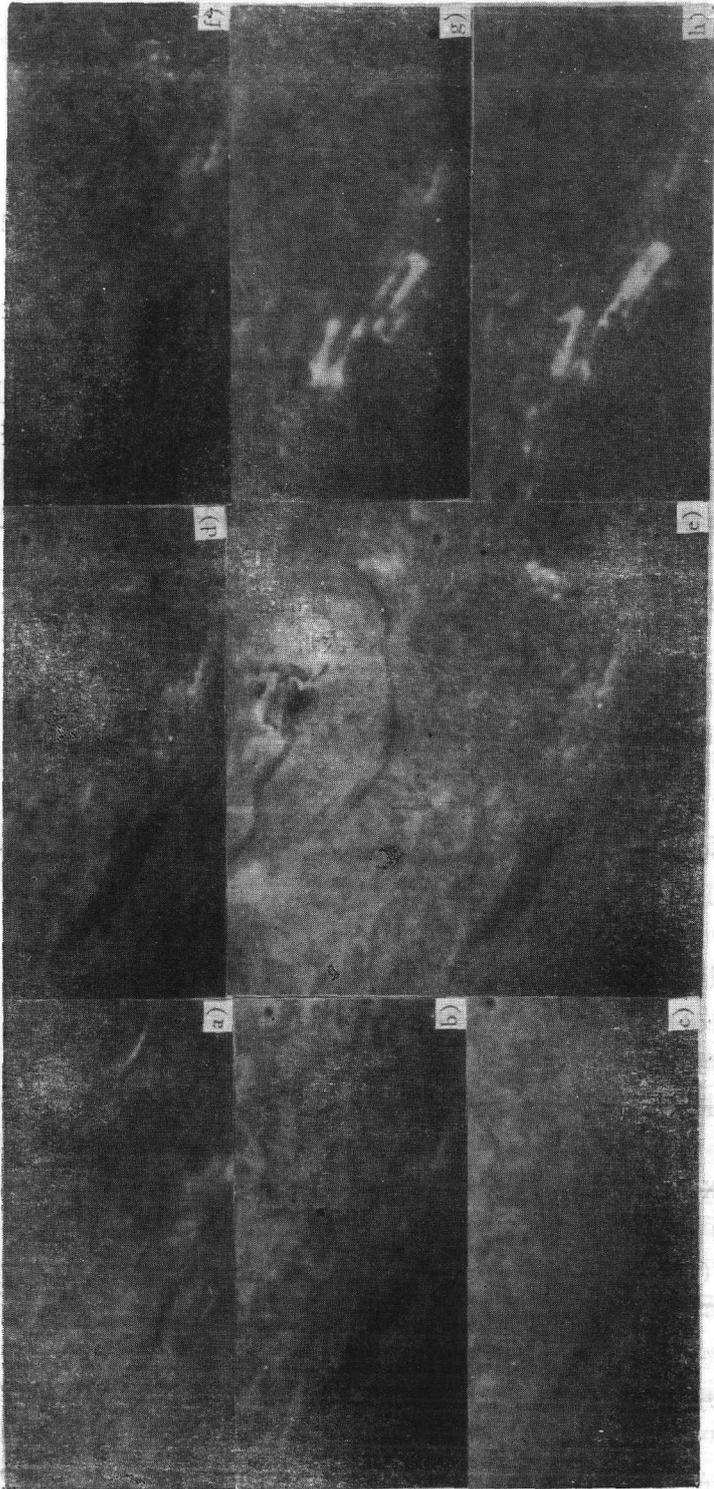


图 2 1981 年 4 月 23 日无黑子双带耀斑照片

a) $21^{\circ}23'17''.0$, b) $22^{\circ}23'18''.4$, c) $22^{\circ}23'21''.0$, d) $22^{\circ}23'26''.0$, e) $22^{\circ}23'40''.0$, f) $23^{\circ}00'05''.0$, g) $23^{\circ}00'11''.5$.
 (b) $H_{\alpha} - 1/4\text{\AA}$, c) $H_{\alpha} + 1/4\text{\AA}$ 的高带观测, 其余均为 H_{α} 中心波长拍摄



图 3 耀斑前 24 小时内,暗条周围色球纤维走向的变化图
 $21^d23^h17^m0$ (U. T.) $22^d23^h40^m0$ (U. T.)

对比,可以看出,在耀斑之前的大暗条有很大的变化。特别是暗条周围的色球纤维,耀斑前 24 小时,纤维基本上垂直穿越暗条;而耀斑前 20 分钟左右时,基本上平行于暗条长轴走向。若定义色球纤维与暗条长轴方向交角为剪切角 δ , 则 24 小时之前, $\delta \sim 90^\circ$; 耀斑前 20 分钟, $\delta < 5^\circ$ (图 3)。

2. 其次,暗条的明显变粗变黑。耀斑前几十分钟前的暗条宽度至少是 24 小时之前的 2.5 倍。

3. 从耀斑前对暗条的 H_α 离带观测,由图 2b 和 2c 表明,图 2b 比 2c 有更强的吸收,也就是紫翼比红翼吸收更强。这也说明,耀斑前的暗条物质是处于膨胀状态,但以向上整体运动为主。这也许是耀斑前暗条“激活”的主要特征。

4. 从美国大熊湖天文台所拍得的材料和我们的资料联合分析,发现在 $23\ 51$ (U. T.) 照片上暗条还依然存在,但在 $23\ 55$ (U. T.) 照片上,暗条已接近全部消失, $23\ 58$ (U. T.) 耀斑第一个亮点正式开始。这表明,暗条的突然消失到耀斑的开始发生,存在着 2 分钟左右的时间差。而暗条扰动开始到完全消失小于 4 分钟。

5. 双带耀斑亮纤维开始呈四片(图 1),“2”,“3”两片在暗条的东侧沿着暗条长轴伸展,“1”片是在暗条西侧沿着暗条伸展;“4”片是暗条东侧的另一个亮纤维(参见图 2h)。从 $00\ 09$ (U. T.) 开始“2”,“3”片相连, $00\ 10$ (U. T.) 开始“1”“4”两片弥散并合并。

测量表明“1”,“4”两片之间没有明显的分离运动,但是“3”“4”两片之间,从 $00\ 16.5$ (U. T.)— $00\ 26.5$ (U. T.) 之间存在着明显的分离运动,其分离平均速度 ~ 33 公里/秒。

6. 从 $00\ 05$ (U. T.) 的照片上,可以看出双带耀斑的亮带是呈亮链状结构。

三、讨 论

1. 与活动区宁静暗条相同,远离活动区的宁静暗条依然是活动区附近光球纵向磁场的极性分界线(即 $H_{\parallel} = 0$)。暗条可以认为是中性线附近,由于热不稳定性所引起的日冕物质凝聚

在可见光的反映。由于色球、日冕层中的电导率非常大,因此,暗条周围色球纤维结构实际上是周围色球磁场的反映。这种色球纤维排列的变化也就是反映了暗条周围色球磁场所经历的变化。

从上节的形态描述,耀斑发生之前暗条周围色球纤维相对于暗条长轴方向的变化是同大黑子活动区暗条相同的。从相对于暗条垂直穿越变为近似平行,表明在 24 小时之前,暗条周围磁场近似势场结构,磁场能量处于极小位能态(即无电流态)。而耀斑前几十分钟的强剪切状态,则表明处在无力因子 α 甚大的无力场状态。虽然,这类耀斑的能量不像活动区双带耀斑那么大,无论是可见光辐射或其它的非热辐射也都不像活动区双带耀斑那么激烈。但是,就耀斑能量而言,还是可以认为是无力场剪切储能,只是小黑子或无黑子活动区附近的光球磁场强度没有像大黑子活动区磁场那么强而已。

2. 耀斑前的暗条明显变宽变黑,这也是表明在上述剪切储能过程中,由于暗条内电流不断增强而引起暗条“激活”的反映。变黑、变宽都表明由于暗条电流的增大而引起日冕物质在中性线附近不断凝聚。离带观测结果说明,暗条在“激活”过程中是不断上升。这可以认为由于磁力线的剪切运动所引起暗条内部电流的增强,过剩的 Lorentz 力会使暗条不断地从一个非平衡态向新的平衡态过渡。暗条的进一步发展结果又会引起新的不平衡,而使它不断向上运动。

3. 从大熊湖的 H_{α} 观测资料表明,暗条的完全消失发生在耀斑第一个亮点发生之前的 2 分钟左右时间。这表明,暗条在激活过程中,其内部磁场等其它物理状态不断地进行调整,当内部物理状态达到可以引起某种 MHD 不稳定性阈值时,扰动振幅会急速增长而导致暗条突然消失。这时的磁场位形可能为耀斑的触发提供了一定的条件,最后会引起耀斑急剧地爆发。

我们感谢美国加利福尼亚技术研究所 F. Tang 为本工作提供了大熊湖天文台的 H_{α} 观测资料和她的热心帮助!

参 考 文 献

- [1] Smith, S. F. & Ramsey, H. E., *Z. Astrophys*, **60** (1964), 1.
- [2] Burzek, A., in *Solar flare and Space Research* (Ed. C. de Jager & Z. Svestka), 1969, 61.
- [3] Dodson, H. W. & Hedeman, E. R., *Solar Physics*, **13**(1970), 401.
- [4] Rust, D. M. & Hegwer, F., *ibid.*, **40**(1975), 141.