

太阳射电快速活动的观测特征

史建魁 赵仁扬

(中国科学院北京天文台)

提 要

本文着重描述了目前国际上在太阳射电天文学的研究中,由于采用了高时间分辨率的仪器设备,取得了太阳射电辐射毫秒级快速活动的精细结构方面的宝贵资料。此外,本文对太阳射电快速活动的观测特征作了一个初步小结。

一、引 言

科学技术的发展,推动了基础科学研究的进一步深化。太阳射电天文学就是随着仪器设备和技术的不断改进而迅速发展起来的。例如,近十几年来,由于观测仪器设备的时间分辨率的不断提高,人们开始逐步发现并继续研究了太阳射电辐射中的快速活动。

早在五十年代末,人们就发现了太阳射电波长较长的米波段的快速活动现象^{[1],[2],[3],[4],[5]}。以后,人们又在波长较短的分米波段、厘米波段和毫米波段分别发现了太阳射电的快速活动现象^{[6],[7],[8],[9]}。本文第二节将着重介绍国际上多年来关于太阳射电快速活动的一些重要观测,其中主要有 Dröge(1977)、Slottje(1978)、Kaufmann(1980)和 Elgarøy 及 Sveen(1979)等人的一些工作。第三节简要地介绍了北京天文台在这方面的首次观测。在第四节中对快速活动的主要特征作了初步小结。

二、国际上太阳射电快速活动的观测

1959年,人们就已经发现,在米波段太阳射电辐射中存在着相当复杂但不同于米波段I型噪暴的快速活动的精细结构*^{[1],[2]}。以后,又相继发现了波长较短的分米波段以及波长更短的厘米波段和毫米波段的太阳射电辐射的快速活动现象,并取得了丰富的快速精细结构资料^{[3],[4],[5]}。

1. 1972年,挪威奥斯陆太阳天文台采用频率范围为490—550MHz分米波段射电动态

1983年12月19日收到。

1984年8月5日收到修改稿。

* 快速射电谱的结构,是迭加在射电辐射连续背景上的一些尖峰爆发(spike),这些尖峰的持续时间(两半功率点之间的时间间距)非常短(ms级),但流量密度却非常高(一般都超过 10^3 s.f.u.)。

频谱仪, 以每秒 50 次的速率扫描所观测的频段, 进行了相当于 20ms 的高时间分辨率的观测^[9]。1974 年, 该台观测到在平滑的连续背景上迭加着大量的尖峰爆发, 这些尖峰的持续时间很短(与仪器分辨率同量级), 发生在很窄的频带内, 而且由高频向低频漂移。这种新型的尖峰爆发, 被称为“漂移尖峰爆发”。

1978 年 9 月 23 日该台记录到的这种漂移尖峰事件十分壮观。从这次事件中发现, 单个爆发覆盖的频率范围很小, 平均约为 $b_0 = 2.7\text{MHz}$, 而瞬时带宽 $b_i \leq 1.5\text{MHz}$ 。这说明, 这种漂移尖峰爆发几乎是单色的。它们的平均寿命约为 $d_0 \approx 0.12\text{s}$, 但在单个频率上的平均持续时间 $d_f \leq 50\text{ms}$ 。

所有这些尖峰爆发都有频率漂移现象, 其平均漂移率约为 $df/dt = -23\text{MHz/s}$ 。有关参数参见图 1 (FFS 事件, 也有从低向高频漂移现象)。

这些观测, 都充分说明在分米波段存在着太阳射电辐射的快速活动。

2. 荷兰自七十年代以来, 用 10—20ms 的高时间分辨率的仪器设备, 采用双边带接收(两带相距 60MHz, 各宽 12MHz), 于 1978 年 4 月 11 日 13^h41^mUT 的太阳大爆发中, 在 2.65GHz 上观测到强烈而极快的快速活动的尖峰结构^[10]。这些尖峰的持续时间, 一般都小于所用仪器的时间分辨率, 即不到 20ms。这次观测到的尖峰持续时间, 比以前观测到的微波事件的持续时间都要短两个量级。

图 2 为这次观测到的尖峰爆发的一个图例, 由图可以看出大量的紧密连接的尖峰爆发群。部分尖峰是 ms 级的。

这次观测到的尖峰的持续时间, 几乎都(95%)小于 40ms。而且还发现, 尖峰的丰富度随着观测到的持续时间的减少而增大(参见图 3)。这表明, 由于仪器分辨率所限, 许多尖峰都被平滑掉了, 随着仪器分辨率的提高, 将能观测到更多的峰。另外还发现, 相邻尖峰间的间隔也很短, 其中 72% 短于 50ms。

同月 28 日 13^h50^mUT, 该台又观测到一次同样的快速事件。这说明, 在太阳射电辐射中出现这种具有 ms 级的快速活动事件, 并非罕见。

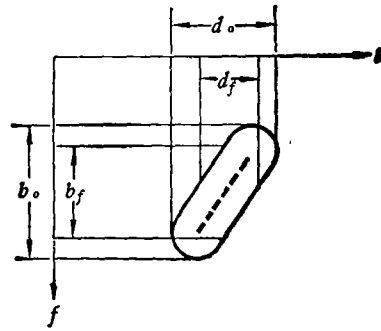


图 1 时-频图中有关参数的定义^[10]

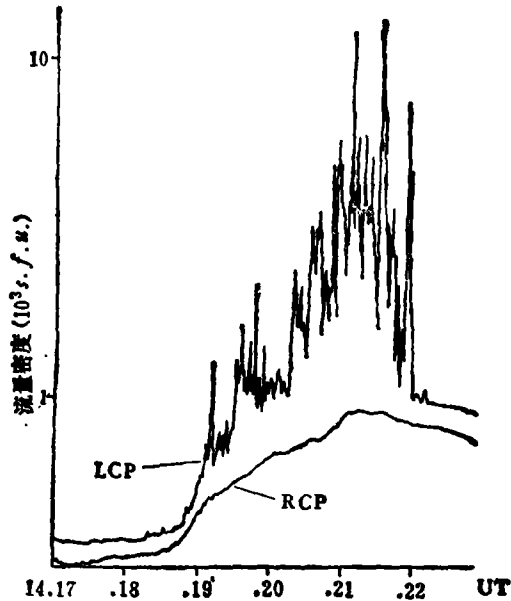


图 2 1978 年 4 月 11 日快速活动事件(2.65GHz)^[10]

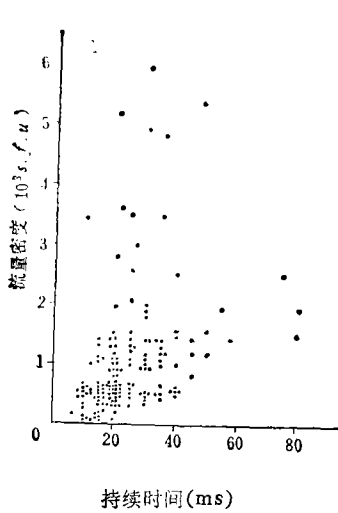
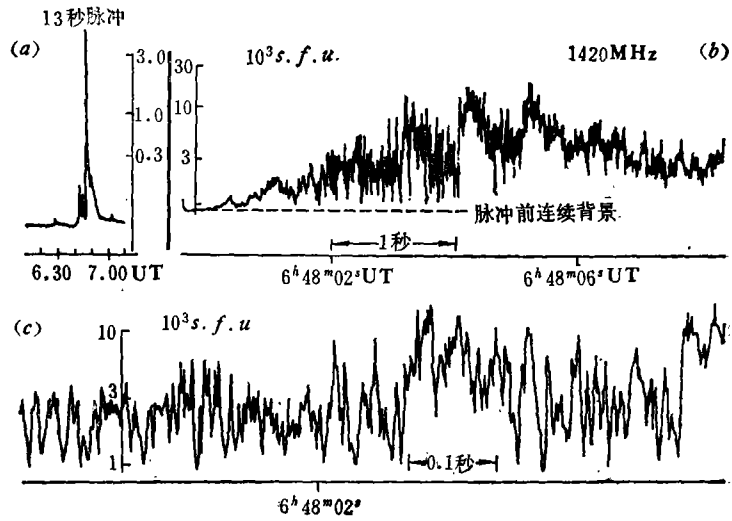


图 3 (取自[10])

图 4 1974年7月4日快速活动事件(1420MHz)^[7]

3. 1977年, Dröge 报道过在分米波段观测到的 ms 级快速精细结构(FFS)^[7], 其尖峰的持续时间为 10^{-2} — 10^{-3} s, 强度可高达 5×10^4 s.f.u.。还发现, 存在着两种不同类型的快速精细结构, 一种是具有小带宽(~ 2 MHz)的无漂移的不规则结构, 另一种是具有较大带宽的规则漂移群(带宽 >10 MHz)。通过观测, 他们认为 ms 级 FFS 事件, 可以同许多种太阳爆发事件共同出现。确切地说, 它们在分米波段是一种普遍的活动形式。

Dröge 还测量了 FFS 的持续时间 Δt , 强度 Δi , 每秒钟出现的峰数 n , 同时也统计了 FFS 在 $f-t$ (频率-时间) 平面上的分布以及连续背景的水平 i_c 。

1974年, Dröge 首先采用 12 个通道频谱仪进行观测。1975 年底发展到 28 个通道进行观测。1974 年 7 月 4 日 $06^h00^m-07^h00^m$ UT, 在 1420MHz 上, 记录到一个强而持续时间仅 13 秒的很短的脉冲。在慢速记录上, 记录到的爆发形状如图 4(a) 所示, 而在快速记录上发现, 该爆发在 $06^h48^m01^s-06^h48^m14^s$ UT 期间, 存在着如图 4(b) 所示的密集爆发尖峰群, 其每秒钟的峰数最多可达 $n=170$ 个, 强度高达 2.5×10^4 s.f.u., 持续时间 <1 ms。图 4(c) 为快速记录上的一部分。由图可知, 在初始时间 ($06^h48^m01^s-06^h48^m02^s$ UT), FFS 的流量极小值与前面的连续背景水平 i_c 相一致, 约为 0.8×10^3 s.f.u.; 随着时间的推移, FFS 尖峰的强度 Δi 逐渐增加, 达到一个很高的数值, 约为背景的 20 倍。还可看出, 由于时间分辨率的提高, 在快速记录上的尖峰强度要比慢速记录上的尖峰强度高 6 倍。

除了上述观测到的高强度 FFS 外, 他们还观测到了一些低强度的 FFS。

另外, 还观测到规则的 FFS 群。例如, 1974 年 7 月 3 日 08^h25^m UT 事件, 几乎所有的单个脉冲都是由 FFS 群组成, 其形状复杂而有规则。从 08^h25^m 到 10^h00^m UT, 观测到 100 多个这种 FFS 群, 其持续时间长达 20s; 并发现, 这种规则的 FFS 群在 0.6GHz 上以每秒 400—1000MHz 的速率反向漂移。在 10MHz 范围内, 这些尖峰群几乎都一样, 但在 200MHz 以上, 就无严格关系了。由此可以看出, 这些群的频带宽为 10—200MHz。

Dröge 于 1974 年 7 月 4 日 13^h52^mUT, 在 1.0GHz 上还观测到长持续时间的 FFS, 其形态极为复杂, 各尖峰紧密连接甚至相互重叠。尤其是在这次事件中, 还发现有吸收现象。有些 FFS 尖峰的持续时间短于极大的时间分辨率(2ms), 它们的强度约为 10³s.f.u., 每秒可多达 200 个。但在 0.8 和 1.4GHz 上, 却没有观测到 FFS。这说明, FFS 活动在 1.0GHz 上仅覆盖一个很窄的频带。

4. 1979 年, Kaufmann 等人在毫米波段上发现了 FFS^[8]。他们发现, 在该波段, 慢速记录的爆发平均流量越大, 快速活动尖峰的重叠率就越高, 即相邻两峰的间距越短。例如, 流量仅为几个 s.f.u. 的弱爆发, 峰间隔长达几秒钟, 流量为 100s.f.u. 的中等爆发, 峰间隔为 80ms; 但对流量约为 500s.f.u. 的大爆发, 峰间隔 < 10ms。FFS 脉冲的流量, 几乎与观测到的快速成份的发生率成正比例增加。

他们还对 13mm 和 7mm 两波长上的 FFS 尖峰进行了较细致的比较观测, 结果发现, 在 13mm 波长上尖峰的流量密度比在 7mm 上的约大 10 倍, 且此两波长上测得的谱指数与脉冲成份的谱指数不同。

在扩大了时间尺度的图 5 中, 表示出了在这两个波长上观测到的尖峰。图中 13mm 波长上的极大处流量密度为 14s.f.u., 7mm 波长上极大处流量密度为 1.7s.f.u.。由图 5 可见, 波长为 7mm 的峰上升相显著快于 13mm 的, 且在这两波长上, 上升相比下降相都要快些。还可看出, 波长 7mm 的极大值比 13mm 的极大值约提前 40ms, 且 7mm 上峰的半宽度(200ms)比 13mm 上峰的半宽度(280ms)窄些。

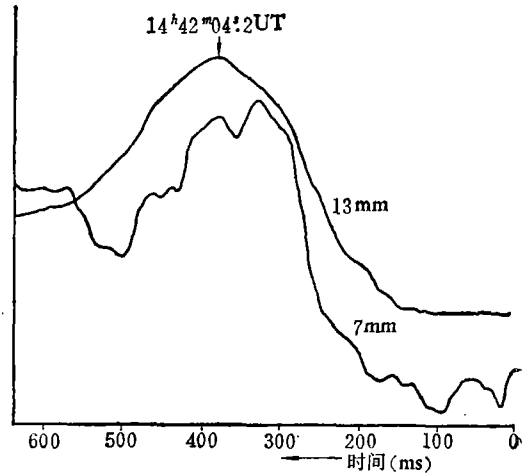


图 5 1979 年 2 月 25 日快速活动事件(7mm, 13mm)^[8]

三、北京天文台首次观测到的一次重要快速活动

1980 年, 北京天文台研究生金声震研制出了 1ms 高时间分辨率的射电望远镜终端设备。1981 年 4 月, 该设备投入了试测工作。

1981 年 5 月 16 日, 使用这台终端设备, 在 2.84GHz 上, 该台首次观测到了太阳射电快速活动事件, 记录到了丰富的太阳微波大爆发的快速精细结构^[11]。

这次事件, 是北京天文台第一次观测到的快速活动事件, 也是到目前为止所观测到的含量最丰富的 FFS 事件, 又是当时世界上报道的用最高时间分辨率的仪器设备观测到的一次事件。因此, 该事件引起了国际上的关注。

通过对这次事件的分析表明, 在微波爆发的起始上升阶段和最高峰值阶段, 存在着极其丰富的快速精细结构, 在这些快速精细结构中, 既存在着高度密集的尖峰爆发群, 又存在着

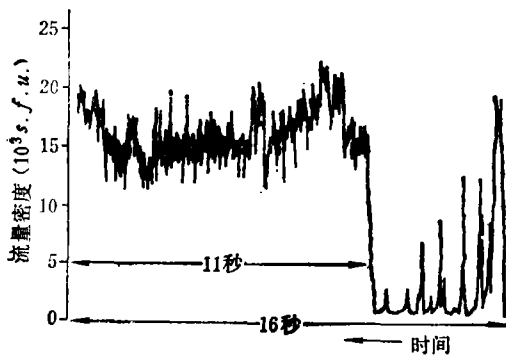


图 6(a) 起始上升阶段的 UFS(1981 年 5 月 16 日微波大爆发)^[12]

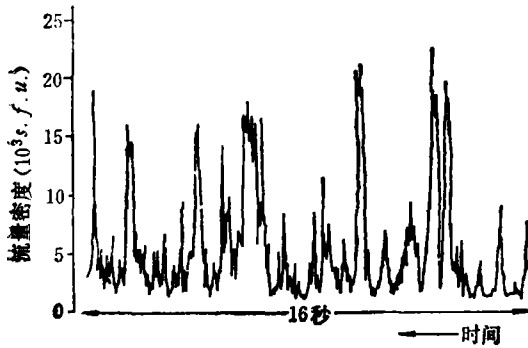


图 6(b) 最高峰值阶段的 UFS(1981 年 5 月 16 日微波大爆发)^[12]

相对宁静的间隙；有时还出现一些流量密度突然变化的“开关结构”；另外，似乎还存在着准周期振荡的特征。

尤其是通过对这次事件的分析，发现在微波大爆发的四个不同的典型阶段中，会出现不同特征快速精细结构^[12]。

在爆发的起始上升阶段中，超快速精细结构的丰富度极高（参见图 6(a)）。例如，在图 6(a) 的后 11 秒内，其流量密度大于 $5 \times 10^3 \text{ s.f.u.}$ 的尖峰数目竟高达 3,373 个，其持续时间不长于 2ms 的就有 2,949 个。

在爆发的最高峰值阶段中，丰富度较起始上升阶段低些（参看图 6(b)），但在 16 秒的记录中，流量大于 $5 \times 10^3 \text{ s.f.u.}$ 的尖峰数目仍高达 1,241 个。

由这两个阶段可见，尖峰的持续时间越短，则其数目就越多。在这两个阶段中，90% 的尖峰持续时间不长于 2ms。从而说明这次 FFS 事件为 ms 级事件。

在爆发峰后下降阶段中，在 16 秒的记录内，仅出现两次尖峰爆发。而在爆发过后阶段中，只出现一次尖峰记录。

四、快速活动的一些主要特征

太阳射电辐射中快速精细结构尖峰的主要特征是持续时间极短（ms 级），流量密度很高（ $> 10^3 \text{ s.f.u.}$ ），频带窄。除此之外，还具有以下几个方面特点：

1. 相对宁静间隙(quiet spell)。在快速活动中，有时在一段很短的时间内，呈现出相对宁静的水平，而无明显的尖峰出现（参看图 7(a)）。

2. 高度密集的尖峰群(cluster)。在快速活动中，有时会出现大量的爆发尖峰紧密相连，形成了高度密集的尖峰群（参看图 7(b)）。

3. 开关结构 (switch-on and switch-off structures)。在快速活动中，流量密度有时在极短的时间内陡然上升，然后缓慢下降；有时缓慢地上升，然后陡然下降。这种结构称为开关结构（参看图 8）。

4. 准周期性。在快速活动的爆发图中，隐隐约约可以看出，其中存在着准周期的特征（参看图 6(a)）。

5. 频率漂移。在多数情况下，随着时间的延续，尖峰出现的频率都有漂移现象。

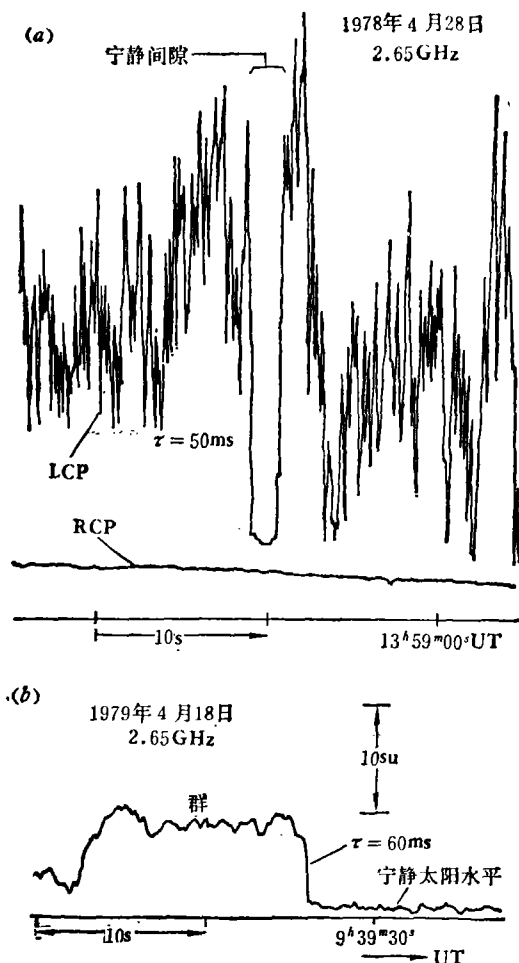


图7 1978和1979年中的两次快速活动事件 (2.65GHz) [6]

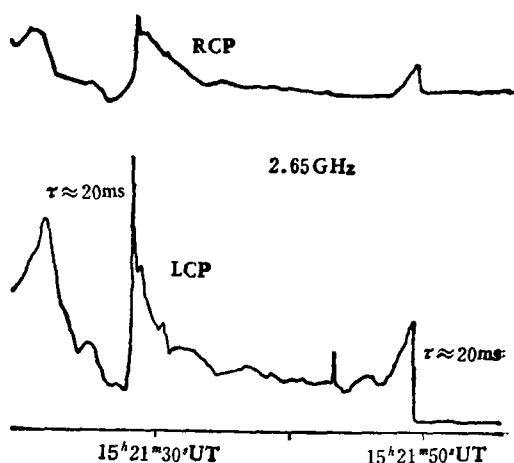


图8 1979年1月17日快速事件中的开关结构[6]

6. 吸收现象。在快速活动记录中, 还存在着流量密度低于宁静背景水平的吸收特征。

7. 可出现高达100%的全偏振。一般的FFS是部分偏振, 有时会出现100%的左旋或右旋的全偏振, 且与背景的旋向相反。

五、结束语

关于太阳射电辐射中快速活动的观测, 还有待于深入, 观测的主要任务, 仍在于以下几个方面:

1. 关于FFS的持续时间。随着仪器分辨率的再提高, 是否还会发现更短(短于ms级)持续时间的爆发尖峰, 其流量密度是否还会提高, 这还有待于进一步观测。
2. FFS出现的频段、带宽以及频率漂移现象, 目前观测得很不够, 有待于进行大量观测。特别是通过多通道观测, 进而进行统计分析, 找出其中的规律。
3. FFS尖峰的偏振度。FFS及其背景究竟偏振如何, 这对于快速活动机制的探讨有重要意义。
4. FFS事件与其它太阳事件的相关性问题, 有待于在大量观测的基础上进行分析总结。究竟是什么因素对FFS起重要的作用? 哪些物理变化更趋近于本质? 这不能只从理论上去探讨, 也有待于观测的验证。
5. 众所周知, FFS事件来自太阳上的局部变化, 这就要求进行高空间分辨率的观测。这种观测对于探讨FFS的物理机制来说, 也是关键性的。

要搞好观测,关键在于观测设备,因此对观测设备提出了以下几点要求:

1. 必须在宽频率范围内能够同时进行观测;
2. 必须具有高时间分辨率(ms 级甚至更高);
3. 必须具有高频率分辨率(1MHz 甚至更高);
4. 必须具有一个很大的强度动态范围(大于 5×10^4 s.f.u.);
5. 观测设备必须具有高度的可靠性与稳定性,具有高度的抗干扰信号的能力或分辨干扰信号的能力。

太阳射电快速活动的物理机制问题,目前国际上还尚无定论,正在研究探索之中。在这方面,科学家们提出了几种理论,但都不够成熟,在解释太阳快速活动方面,还都具有一定的困难。这方面的问题,已超出本文范围,我们将另文讨论。

参 考 文 献

- [1] Elgarøy, $\phi.$, *Nature*, **184** (1959), 887.
 [2] Elgarøy, $\phi.$, *Astrophys. Norv.*, **7** (1961), 123.
 [3] Elgarøy, $\phi.$, *Inf. Bull. Solar Radio Obs.*, No. 9, (1962).
 [4] Drøge, F., *Inf. Bull. Solar Radio Obs.*, No. 8, (1961).
 [5] De Groot, T., *Inf. Bull. Solar Radio Obs.*, No. 9, (1962).
 [6] Slottje, C., in *IAU Symp. No.86, Radio Physics of the Sun*, p.195, (1980).
 [7] Drøge, F., *Astron. Astrophys.*, **57** (1977), 285.
 [8] Kaufmann, P., Strauss, F. M. and Opher, R., in *IAU Symp. No.86, Radio Physics of the Sun*, p.205, (1980).
 [9] Elgarøy, $\phi.$ and Sveen, O. P., *Nature*, **278** (1979), 626.
 [10] Slottje, C., *Nature*, **275** (1978), 520.
 [11] Zhao, Renyang and Jin, Shengzhen, *Astronomical Circular*, No.9, (1981).
 [12] Zhao, Renyang and Jin, Shengzhen, *Scientia Sinica*, **25** (1982), 422.

Observational Features of the Fast Activities of Solar Radio Radiation

Shi Jiankui Zhao Renyang
(Beijing Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The millisecond fast activities of solar radio radiation and the valuable data of their fine structures with high temporal resolution equipment have been described in this paper. And a brief summary for the observational features of the fast activities of solar radiation has been made as well.