

太阳射电宽带动态频谱仪初步研究进展

颜 毅 华¹ 黄 光 力^{1,2}

(1. 中国科学院国家天文台 北京 100012)

(2. 中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

摘 要

介绍了围绕我国近年完成的太阳射电宽带动态频谱仪展开的研究工作进展,并提出了今后的努力方向,以期该设备能在我国第 23 周太阳活动峰年研究中发挥更大作用。

关键词 太阳物理 — 射电天文 — 微波爆发 — 频谱仪

分类号 P111.41

1 引 言

在中国科学院基础局、综合计划局及天文委员会的大力支持下,由北京天文台牵头,紫金山天文台、云南天文台和南京大学天文系参加,于 1993 年提出了太阳射电宽带动态频谱仪项目可行性报告和总体方案,经专家委员会评审通过立项,1994 年开始启动。设备覆盖频率范围 0.7 ~ 7.6GHz,时间分辨率 1 ~ 10 ms,频率分辨率 10 MHz (1.4MHz, 20MHz),灵敏度为 2% 宁静太阳背景辐射(依赖于时间分辨率及频率分辨率),可以测量左、右旋圆偏振,具有宽频带、高时间分辨率、高灵敏度的特点,综合性能指标达到国际领先水平^[1,2]。该设备用来研究在光球之上(1~10)万 km 范围内的太阳活动(耀斑、CME 等),包括粒子加速、能量释放等过程。它将在微波太阳快速爆发、耀斑物理等研究中发挥重要作用。

设备由五个分段频谱仪组成,其中 1.0 ~ 2.0GHz 频谱仪(在中国科学院天文委员会支持下于 1994 年 1 月先期完成,1997 年完成天线改造)、2.6 ~ 3.8GHz 频谱仪^[3](1996 年 9 月完成,1997 年 8 月通过验收)、5.2 ~ 7.6GHz 频谱仪^[4](2000 年 3 月验收)在北京天文台怀柔站^[5,6],0.7 ~ 1.5GHz 频谱仪(2000 年 11 月验收)在云南天文台,4.5 ~ 7.5GHz 频谱仪(2000 年 3 月验收)在紫金山天文台。

太阳射电宽带动态频谱仪及时地成为我国研究第 23 周太阳活动峰年的主要科学设

国家重点基础研究项目 (G20000178403) 国家自然科学基金重点资助项目 (19833050)

国家自然科学基金资助项目 (19973008) 2001-03-01 收到

备之一。随着近期太阳活动的增强, 已取得了丰富的微波爆发高时间分辨率动态频谱资料, 不断地有新现象被发现。

2 初步研究成果概述

2.1 双向电子束的观测及源区参数估计

傅其骏等人(1997)^[7]首次观测到分米波双向Ⅲ型爆发对, 后又观测到厘米波双向Ⅲ型爆发对^[8]; 它们反映了重联区、日冕电子加速区位置及特性。黄光力等人(1998)^[9]分析了粒子在加速区附近的能量演化, 得到电子束的能谱指数为 4.5, 加速电场强度为 10^{-4}V/m , 长度为 10Mm。宁宗军等人(2000)^[10]估计出重联区的 $\beta \approx 0.01$, 离开重联区的电子束速度为 $1.07 \times 10^3\text{km/s}$ (设重联区附近磁场为 0.01T)。谢瑞祥等人(2000)^[11]估计了重联区的高度。黄光力与傅其骏(1999)^[12]及黄光力(2000)^[13]用环模型分析了双向微波射电爆发的磁等离子参数。

2.2 亚秒级微波 U 型爆发和毫秒级尖峰事件

目前人们普遍地接受了米波 U 型爆发(寿命为若干秒)是电子束沿一闭磁场(其尺度为数万至数十万 km)运动的物理模型。应用我国的太阳射电频谱仪首次发现的微 U 型爆发(寿命数十毫秒至亚秒)可以认为是电子束穿过微磁环(其尺度为数百 km)的轨迹。傅其骏等人(1999, 2000)^[14~17]首次观测到微波微 U 型爆发与微波尖峰对等事件。汪敏等人(1999)^[18]分析了 11 个微波尖峰事件(2.6~3.8 GHz)的偏振特性, 发现两个圆偏振模式之间的时延。汪敏等人(2000)^[19]分析了首次在微波段观测到的两个亚秒级 U 型爆发事件: 持续时间 $> 200\text{ms}$, 12% 带宽, 幅度 140~200 sfu, 80% RCP, 1.7~3GHz, O 模。提出源区很小及准横向区域的存在导致高偏振度与偏振符号不变。王蜀娟等人(2000)^[20]研究分析了 1998 年 4 月 15 日爆发事件中的尖峰辐射群及其与太阳日冕活动的关系。

2.3 首次发现微波 M 型爆发

宁宗军等人(2000)^[21]研究了微波脉冲事件的一种新的精细结构 M 型爆发。它是由同一电子束在磁环中沿磁力线运动并反射而成, 它可能是 N 型爆发的再次反射的结果, 是首次观测到。由于等离子体被磁场约束住, 则 $\beta < 1$, 于是估算出该磁环长度为 14Mm, 磁场应大于 $20 \times 10^3\text{T}$ (取温度为 10^6K)。宁宗军等人(2000)^[22]分析了另一个 M 型爆发事件。

2.4 首次观测到微波段的演化辐射线

演化辐射线 (evolving emission line, EEL) 结构为 Chernov 等人(1998)^[23]在米波段首次发现, 是一种机制尚不清楚的复杂的十分特殊的频谱现象, 北京天文台的 2.6~3.8GHz 频谱仪首次在比米波段高十倍的频率范围内发现类似的现象, 然而在时间尺度上又小至几分之一甚至更小。宁宗军等人(2000)^[8, 24]研究了 1998 年 4 月 15 日爆发事件中一系列尖峰辐射群、Ⅲ型爆发群、爆发块结构(patch)和斑马纹(Zebra)或辐射线(EEL)等精细结构, 重点指出 EEL 与 Chernov 等人(1998)^[40]一文所述的异同处。Ledenev 等人(2000)^[25]提出了一种磁枢模型, 指出这种辐射线结构可能是由于束流各向异性, 由第 3、4、5 次谐波辐射所致。Yasnov 等人(2000)^[26]则对这种新现象给出了另外一种解释。

2.5 迄今最高频段上特殊的精细结构

1999年8月25日01:34UT左右北京天文台的5.2~7.6GHz和紫金山天文台的4.5~7.5GHz频谱仪同时在一个微波大爆发中发现了丰富的微波精细结构,其中有多重缠绕的微U型爆发群,微波“项链”结构等均属首次发现^[27~30]。

2.6 漂移脉动结构(drifting pulsation structures, DPS)的分析

Karlicky等人(2000)^[31]分析了发生在2000年7月10~14日位于NOAA 9077活动区的四个产生II型爆发、并共生CME的十分强大的爆发,其共同的特征是具有DPS结构:一个可能与CME初始过程相关的射电特征,并估计出源区重要参数。颜毅华等人(2000)^[32]给出了该活动区的磁场结构及其与高能爆发现象之间的联系。

2.7 其它微波爆发精细结构事件分析

根据太阳射电宽带动态频谱仪的高时间、高频率分辨率观测,分析太阳微波尖峰辐射与微波III型爆发^[33~36],并探讨与其它空间和地面观测资料的联合分析^[37~40]。

3 讨论与展望

综上所述,我国新近完成的太阳射电宽带动态频谱仪可以测量左、右旋圆偏振,具有宽频带、高时间分辨率、高灵敏度的特点,综合性能指标达到国际领先水平。基于这些资料进行的研究工作已取得了相当的研究成果,发现了双向微波III型爆发对、微波M型暴、微波亚秒级U型暴和微波斑马纹结构等新现象,得到国际同行们的重视^[25,26,32,38,40~44]。今后应进一步在这些新现象的爆发机制方面展开更深入的研究,并加强与国外空间观测资料,如YOHKOH、SOHO、TRACE和HESSI等卫星的联合多波段分析,以期在第23周太阳活动峰年研究中发挥更大作用。

致谢:本文的研究得到中国科学院的支持,谨致谢意。

参 考 文 献

- 1 Fu Q, Qin Z, Ji H et al. *Solar Phys.*, 1995, 160: 97
- 2 刘玉英, 傅其骏. *空间科学学报*, 1999, 19(4): 342
- 3 姬慧荣, 傅其骏, 刘玉英等. *天体物理学报*, 2000, 20: 209
- 4 Ji H, Fu Q, Liu Y et al. *Solar Phys.*, 2000, submitted
- 5 Yan Y, Fu Q, Liu Y et al. *IAU Symp. No.196, Vienna, 1999, Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.*, in press.
- 6 Yan Y, Ji H, Fu Q et al. *IAU Symp. No.196, Vienna, 1999, Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.*, in press.
- 7 傅其骏, 姬慧荣, 劳德邦等. *天体物理学报*, 1997, 17(4): 441
- 8 Ning Z, Fu Q, Lu Q. *Publ. Astron. Soc. Jpn.*, 2000, 52: 919
- 9 Huang G, Qin Z, Yang G et al. *Astrophys. Space Sci.*, 1998, 259: 317
- 10 Ning Z, Fu Q, Lu Q. *Solar Phys.*, 2000, 194: 137
- 11 Xie R, Fu Q, Wang M et al. *Solar Phys.*, 2000, 197: 395
- 12 Huang G, Fu Q. In: Bastian T, Gopalswamy N, Shibasaki K eds. *Solar Physics with Radio Observation, Proc. of Nobeyama Symposium 1998, NRO Report, 1999, No.479, 287*
- 13 Huang G. In: Fang C, Henoux C, Ding M D eds. *Proc. of the First Franco-Chinese Meeting on Solar Physics 1999, Xian, China, Beijing: International Academic Publishers, 2000, 174*
- 14 傅其骏, 宁宗军, 刘玉英. *紫金山天文台台刊*, 1999, 18(2): 157

- 15 Fu Q, Liu Y, Ji H et al. In: Bastian T, Gopalswamy N, Shibasaki K eds. *Solar Physics with Radio Observation*, Proc. of Nobeyama Symposium 1998, NRO Report, 1999, No.479: 433
- 16 Fu Q, Ji H, Liu Y et al. In: Fang C, Henoux C, Ding M D eds. *Proc. Of the First Franco-Chinese Meeting on Solar Physics 1999*, Xian China, Beijing: International Academic Publishers, 2000: 282
- 17 Fu Q, Ji H, Liu Y et al. *Astrophysics Report*, Publ. of BAO, 2000, No.36: 1
- 18 Wang M, Fu Q, Xie R et al. *Solar Phys.*, 1999, 189: 331
- 19 Wang M, Fu Q, Xie R et al. *Solar Phys.*, 2001, 199: 157
- 20 Wang S, Yan Y, Fu Q. *Astron. Astrophys.*, 2001, in press
- 21 Ning Z, Yan Y, Fu Q et al. *Astron. Astrophys.*, 2000, 364: 793
- 22 宁宗军, 傅其骏, 陆全康. *天体物理学报*, 2000, 20: 203
- 23 Chernov G P, Markeev A K, Poquerusse M et al. *Astron. Astrophys.*, 1998, 334: 314
- 24 Ning Z, Fu Q, Lu Q. *Astron. Astrophys.*, 2000, 364: 853
- 25 Ledenev V, Yan Y, Fu Q. *Solar Phys.*, submitted
- 26 Yasnov L, Fu Q, Yan Y et al. *Solar Phys.*, 2000, submitted
- 27 Xu F, Liu Y, Yao Q et al. *Chin. Phys. Lett.*, 2000, 17(11): 850
- 28 Fu Q, Yan Y, Liu Y et al. In: Fang C, Henoux C, Ding M D eds. *Proc. Of the First Franco-Chinese Meeting on Solar Physics 1999*, Xian, China, Beijing: International Academic Publishers, 2000: 216
- 29 Yan Y, Fu Q, Liu Y et al. In: *Heating and Energetics of the Solar Corona and Solar Wind*, COSPAR 33rd SA, 2000, Warsaw, Poland, E2.1-0059
- 30 Wu H, Xu F, Liu Y et al. In: Fang C, Henoux C, Ding M D eds. *Proc. of the First Franco-Chinese Meeting on Solar Physics 1999*, Xian, China, Beijing: International Academic Publishers, 2000: 124
- 31 Karlicky M, Yan Y, Fu Q et al. *Astron. Astrophys.*, 2001, 369: 1104
- 32 Yan Y, Deng Y, Karlicky M et al. *Ap. J. Lett.*, 2001, 551: L115
- 33 宁宗军, 傅其骏, 陆全康. *天体物理学报*, 2000, 20: 101
- 34 汪敏, 傅其骏, 谢瑞祥. *天体物理学报*, 2000, 20(2): 179
- 35 王淑兰, 傅其骏, 姬慧荣等. *天体物理学报*, 1999, 19(3): 324
- 36 宁宗军, 傅其骏, 陆全康. *天文学报*, 2000, 41(4): 384
- 37 高正民, 谭程明, 傅其骏. *天体物理学报*, 2000, 20: 307
- 38 Altyntsev A, Grechnev V, Larina N et al. In: COSPAR 33rd SA, 2000, Warsaw, Poland, E2.1-0065
- 39 Yan Y, Fu Q, Aurass H et al. In: Brekke P, Fleck B, Gurman J B eds. *Recent Insights into the Physics of the Sun and Heliosphere*, IAU Symp. No.203, 2000, Manchester, UK, Astron. Soc. Pac. Conf. Ser., in press
- 40 Chernov G P, Fu Q J, Lao B D. *CESRA Workshop on Coronal Explosive Events*, 1998. Metsaehovi Publications on Radio Science, HUT-MET-27, 1998, 27
- 41 Pick M. In: Swarup G, Pramesh Rao A eds. *The Universe At Low Radio Frequencies*, IAU Symp. No.199, invited review Pune, India, 1999, Astron. Soc. Pac. Conf. Ser., in press
- 42 Schmieder B. In: Fang C, Henoux C, Ding M D eds. *Proc. of the First Franco-Chinese Meeting on Solar Physics 1999*, Xian, China, Beijing: International Academic Publishers, 2000: 308
- 43 Aschwanden M J, Fletcher L, Schrijver C J et al. *Ap. J.*, 1999, 520(2): 880
- 44 Fleishman G D, Melnikov V F. *Physics-Uspexhi*, 1998, 41(12): 1157

Recent Progress on Chinese Solar Radio Broadband Fast Dynamic Spectrometers

Yan Yihua¹ Huang Guangli^{1,2}

(1 *National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012*)

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

Abstract

The research work relevant to the newly established Chinese Solar Radio Broadband Fast Dynamic Spectrometers is reviewed. With the help of these new instruments many fine structures of solar radio bursts have been observed in very high temporal and spectral resolutions, e.g., the bi-directional type-III bursts in microwave, the microwave type-U bursts in sub-second time duration, microwave type-M bursts, evolving emission lines in microwave and multiple twisted type-U bursts first observed in such high frequency range, etc. It is expected that these new instruments may play an important role in the 23rd solar cycle maximum research.

Key words Solar Physics—Solar Radio Astronomy—Microwave Bursts—Radio Spectrometers