

# 太阳 22 周活动研究

张 柏 荣

(中国科学院云南天文台)

**[摘要]** 人类普遍关心的地球环境受到自然条件变化和人类活动两方面的影响。太阳活动则是引起地球环境变化最重要的外部扰动源。太阳活动峰年及其后的高活动时期,正是对太阳上最强烈的活动现象及其对地球影响进行研究的有利时机。我国在过去几个太阳活动周的高峰期都曾组织相应的联合观测研究,建立了较完整的太阳物理地面观测台站网,积累了组织联合观测研究的经验。自 1985 年起我国科学家就酝酿组织太阳 22 周活动期的科研选题。1988 年,国家自然科学基金会把“太阳活动和宇宙活动天体的研究”列为重大项目;太阳 22 周活动研究便是该项目的内容之一。本文对课题实施 3 年来,在太阳磁场和速度场研究、耀斑物理过程研究和组织日地科学联合观测方面取得的进展做了介绍。

## 一、重大意义

现代人类普遍关心的地球环境受到自然条件变化和人类自身活动两方面的影响,太阳活动则是引起地球环境变化的最重要的外部扰动源。在太阳活动峰年及其后的高活动时期,太阳上大黑子群和强耀斑等活动现象频繁出现,这正是对这些活动过程及其对地球影响进行研究的有利时机。

太阳活动和太阳的演化与太阳系的物理状态和演化密切相关;太阳又是典型恒星的代表,研究太阳活动和演化规律对于了解恒星活动和恒星演化规律至关重要。因此,人们经常把太阳活动和宇宙天体的活动联系起来进行研究。太阳是离地球最近的恒星,可以进行非常仔细的观察以至进行实地(空间)测量,比起对其他遥远宇宙天体,对太阳的研究则具有无比优越的条件。

太阳活动研究是太阳物理最重要的组成部分,研究内容包括太阳活动能量的起源、储存、释放过程及扰动的传播过程;高温等离子体中的各种磁流体动力学在各种尺度( $10^6-10^{11}$  厘米)上的不稳定性的性质及发生、发展过程;高能粒子的加速和高能辐射的产生过程等。这些都是当代天体物理乃至当代物理学的前沿课题。

在 90 年代,国际日地科学研究将形成高潮,这集中表现在一系列重大国际科学计划上,如美国、欧洲和日本的宇航部门发起的国际日地科学计划(ISTP),将协调 10 多个相关计划,在 1990—1995 年间共发射约 20 个空间飞行器,同时建立地面、气球和探空火箭等协同观测和研究;国际科联(ICSU)所属日地物理科学委员会(SCOSTEP)发起的“日地能量计划”(STEP),包括 5 大组 24 项研究计划,开展国际性合作研究。其中,第一组“作为能源和扰动源的太阳”包含两项研究计划,即“太阳 22 周峰年期的耀斑研究”(Flares 22)和“22 周太阳电磁辐射研

究”(Soler 22)。此外,各国还陆续组织了本国的太阳 22 周研究计划,如美国的 MAX'91 等。我国是对 22 周太阳活动研究筹划并开展得较早的国家。经过对几个太阳活动周的观测与研究,我国在太阳物理方面已建立了较完整的地面观测台站网,积累了一定的联合观测研究经验,在磁层物理、地磁台站链、电离层和中高层大气物理方面也都已积累了相当的地面观测和部分空间观测手段。1988 年,国家自然科学基金会将“太阳活动和宇宙活动天体的研究”列为“七五”重大项目,其中有四个子课题是以太阳活动及其日地影响和预报服务为主要内容。中国科学院在“七五”期间也已将“太阳 22 周峰年期的日地系统整体行为研究”作为重点课题。这些研究计划主要包括两方面的工作:一方面以太阳活动的重大事件为中心,组织太阳、空间和地球科学方面的仪器设备进行联合观测,以研究日地系统中大事件过程的因果关系;另一方面,还进行若干有特色的专题研究,如太阳物理专题的太阳磁场和速度场研究、耀斑物理过程研究等。自 1988 年到 1991 年初,已经组织了 20 多次日地联合观测,取得了大量珍贵数据并开展了分析研究,进展情况良好,专题研究文集已陆续出版<sup>[1-3]</sup>。本文将简单介绍三年来太阳活动研究方面取得的主要进展。

## 二、太阳 22 周日地物理联合观测

日地物理联合观测就是把分散在不同学科领域、不同研究单位的观测科学仪器和研究力量组织起来,以太阳活动的重大事件为中心,组织联合观测,以研究日地系统中大事件过程的物理机制和因果关系。

报名参加联合观测和索要联测预报的国内单位共 22 个。参加联合观测的仪器超过 50 台,其中的主干仪器近 20 台。天文方面的主要仪器如太阳磁场望远镜(北京天文台,以下简称北台)、白光和单色光真空望远镜(云南天文台和紫金山天文台,以下简称云台和紫台)、多波段太阳光谱仪(南京大学天文系、云台和紫台),太阳射电高时间分辨率观测网中的多台射电望远镜(北台、云台、乌鲁木齐天文站、南大、北京师范大学),米波声光快速频谱仪(云台)等。在国内已有太阳活动预报协作网的基础上,云南天文台的太阳活动预报组承担了全国日地物理联合观测的协调和预报发布任务。

1987 年进行了两次试验性的联合观测。1988 年 3 月 15 日起进行第 1 次正式联测,当年共进行 4 次联测,计 37 天,4 个目标活动区。1989 年联测 6 次,计 66 天共 27 个目标活动区。1990 年联测 8 次,计 91 天 20 个目标活动区。以上的 20 次联测中有 7 次是结合国际 Flares 22/MAX'91 计划和中日、中美天文台之间的双边研究计划进行的。图 1 给出了太阳 22 周开始以来所有 X 射线事件指数  $I_x > 100$  的活动区与黑子群面积的分布。由图可见,自 22 周太阳活动开始以来,大部分重要的活动区都已被选为联合观测的对象。至 1991 年 3 月底止, $I_x > 200$  的活动区共 30 个,被选为联测对象的 19 个。面积  $S_{p_{\max}} > 2000$  的 7 个活动区全部被选为联测对象。

联合观测所得资料分析工作正在进行。部分结果见文献[[1-3]以及其他学术刊物。

此外,北台、云台和紫台的太阳活动预报组还在 1988—1990 的三年内,为我国重大空间实验完成了 5 次太阳活动预报的保证任务。在太阳活动预报方法的研究方面也做出了成绩。

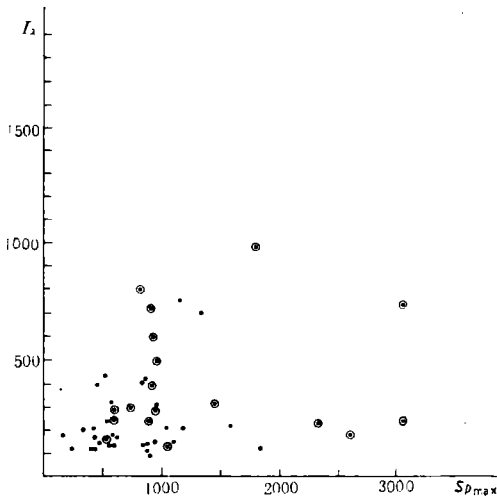


图 1

### 三、太阳磁场和速度场研究

现代太阳物理研究认为,在太阳活动的能量储存、释放、传播过程中,磁场都起着十分关键的作用。我国自行研制的太阳磁场望远镜在两个太阳层次(波段)上测量纵向和矢量磁场,还能测量速度场,其性能在国际上属于上乘。这几年的工作如下。

(1) 太阳磁场望远镜连续工作已 4 年,每年可观测天数超过 300 天,所获得的资料在数量、质量和内容等方面均处于世界领先地位。这些资料主要包括:一系列的活动区矢量磁图和 Doppler 速度图,可用于研究活动区磁场的浮现、发展、变化过程中磁场和速度场的连续演化,

还用于研究耀斑前后矢量磁场和速度场的连续演化;大量宁静区光球磁场和速度场资料;极区磁场精细结构的系列资料 and 全日面磁场的资料;大量太阳边缘耀斑、日珥、冲浪等边缘过程的色球速度场资料;太阳局部区域振荡的高精度资料;把密集观测取得的色球  $H_{\beta}$  速度场资料编制成视频录像,这项工作在世界上属于首次。

(2) 耀斑与速度场关系研究。发现耀斑出现在  $H_{\beta}$  Doppler 速度图紧靠反变线的红移一侧。此结果在国际太阳物理学界引起重要反响,被认为是近年来太阳物理的重要发现之一。还发现色球磁场中存在着大尺度与光球磁场极性相反的结构,这反映出耀斑活动区磁场的极端复杂性,证实了在耀斑过程中色球磁场有着剧烈的变化。观测到在耀斑之后色球大尺度纤维状磁结构浮现,对应于耀斑后环的出现。

(3) 太阳宁静区和活动区的磁场演化研究。根据中美两国对联合磁场长时间观测所得资料,研究了增强网络磁场的演化过程,发现增强网络的寿命为 70—90 小时,而不是原来估计的 20 小时。发现运动磁结构不仅存在于衰减的黑子中,而且存在于磁场浮现的过程中。观测到黑子半影磁场存在着纤维状的结构;半影磁场的亮纤维比暗纤维的纵向磁场约强 300 高斯。

(4) 根据两层磁场的资料研究了用计算机自动判断横向磁场确切方向的新方法。建立了用势场和磁场分布的可能趋势判断磁场横向分量方向的计算程序,并且研究了活动区纵向电流分布与耀斑之间的关系。

### 四、耀斑物理过程研究

耀斑是太阳上最剧烈的活动过程。耀斑物理过程的研究不仅是太阳物理中最引人注目的重大课题之一,而且由于耀斑是影响日地空间环境的主要扰动源之一,因此耀斑物理过程的研究对日地空间物理、地球物理、航天和国防事业都有重大的意义。我们的研究重点是耀斑在多波段(射电、光谱、单色光等)上的快速变化和综合性研究。

#### 1. 重要活动区和大耀斑的多波段观测和综合性研究

(1) 大活动区的白光、单色光精细结构和形态研究,包括新磁浮区的发生、变化和消长过

程, 复杂活动区的形成和演化过程, 半影纤维等细节形态与磁场的关系,  $\delta$  结构等复杂黑子形态的运动规律研究等。以上工作的研究资料主要来自精细结构望远镜和各天文台站的常规观测仪器, 论文数量甚多。

(2) 耀斑及其共生现象的多波段光谱观测。云台于 1989—1990 年期间, 获得多个耀斑的多波段光谱, 包括两个可能的连续辐射(白光)耀斑光谱及初步分析工作。

(3) 白光耀斑搜索和研究。本项目支持了多波段宽带白光耀斑搜索仪(北台和乌鲁木齐天文站)和白光耀斑光谱仪的建立和研制。目前此两项研制已接近完成。乌站的多波段搜索仪已投入观测, 但尚有需要完善之处。

## 2. 太阳射电快速过程的观测和研究

太阳耀斑中短时标(0.1 秒或更短)快速过程的观测和研究, 特别是射电波段快速起伏的研究, 是 70 年代末期开始蓬勃发展起来的, 是太阳耀斑物理的一个重要生长点。由于观测发现射电微波的快速活动具有极短的时标( $\sim$ ms), 极高的亮温度( $10^{13}$ — $10^{15}$ K), 与硬 X 射线关系密切, 与太阳耀斑中的高能过程、高能粒子加速及能量释放有密切的关系而备受重视。本项目研究的目的是要发现这些快速活动在射电各波段的特性; 发现它们在整个波段中以及在耀斑过程中的活动特征; 发现爆发过程中各种不同时标活动性之间的关系, 射电波段上的快速活动与光球、色球以及 X 射线波段上的快速过程的关系; 从理论机制上来探索射电快速活动的本质, 以及它与整个耀斑理论的关系。

这部分研究工作包括两大部分: 一是组织各天文台、站、系的高时间分辨率观测设备, 形成“太阳射电高时间分辨率观测网”, 由 13 台高时间分辨率、高灵敏度的太阳射电观测设备组成, 它们的频率范围自米波段的 230—300MHz 快速频谱仪到 2 厘米波段 15000MHz 接收机。这些设备都配有微机快速数据采集系统和时间同步系统, 以便对不同地点、不同波段上所采集的数据进行比对和研究。另一部分的工作是资料分析和课题研究部分。主要研究结果如下。

(1) 1990 年 7 月 30 日事件及北台、云台分别对该事件同时观测成功。此结果除无可争辩地说明了事件的客观性外, 还证明了我们用于这一研究的接收系统的可靠性和稳定性以及处理方法的正确性。

(2) 短厘米波段微波爆发精细结构特征的发现。南京大学天文系与北京师范大学天文系发现某些太阳微波大爆发在 2 厘米和 3.2 厘米波段精细结构有极为相似的形状, 但高频部分有超前, 2 厘米波段较 3 厘米波段提前约 1.1 秒。这是一种有别于“分米波型”和“毫米波型”的微波爆发精细结构, 是我国首先报道了这种微波精细结构的存在。

(3) 叠加在精细结构上的准周期脉动调制现象研究。

(4) 分米波射电爆发的精细结构和脉动调制研究。

(5) 太阳耀斑中的电子束和有关的快速起伏研究。

(6) 微波爆发中的双峰和多峰结构研究。

(7) 对若干个重要的微波爆发中快速过程有关的现象进行了初步分析。

(8) 与微波尖峰辐射有关的光学现象的研究。

(9) 非线性参量不稳定性与太阳射电尖峰爆发的关系; 射电大爆发渐变相湍动加速封闭性环模型研究; 背景参数  $W_{pe} / \Omega_e$  对尖峰辐射性质的影响以及有关等离子体辐射机制的讨论等理论工作。

## 五、小结与展望

1. 太阳活动研究是属于具有重要应用前景的基础性研究。截至 1990 年底的不完全统计,有关课题组已发表论文 200 篇以上,其中在国内外重要学术刊物发表的超过 100 篇。这些进展说明,我国在太阳 22 周活动研究方面已取得良好成绩。

2. 目前,国际上倾向于将太阳活动作为日地科学的一部分而备受重视,在我国,本项目已通过各种途径与空间物理、地球物理、大气物理等方面的研究单位进行联合与协作研究。据不完全统计,我国在太阳 22 周活动峰年进行的空间和大气物理部分观测项目多达 13 项。参加的台站还包括我国的南极长城站和中山站。因此,围绕太阳活动峰年的日地科学研究是一个跨多个学科、多个管理部门的综合性大协作课题。

3. 使众多学科和众多协作单位在共同目标下进行协调作业的关键,在于以大太阳事件及其影响为目标的联合观测的技术路线。这不仅在学术上是共同关心的问题,而且得以充分发挥我国的地域和地理特点,发挥我国具有较完整的地面观测台站网以及已拥有一批具有相当实力的研究队伍的优势。

4. 第 22 周太阳活动已于 1989 年夏达到峰值水平,但目前的太阳活动水平仍相当高,估计可维持到 1993—1994 年。又考虑到国际上的一些重要研究计划执行期为 1990—1995 年(如 STEP),故目前我国业已组织起来的日地物理联测研究网应在“八五”期间继续工作,以期取得较完整的科学效果。

## 参 考 文 献

- [1] 胡文瑞等编,第22太阳活动周峰年日地整体行为研究专集(I),云南天文台台刊增刊,1989年。
- [2] 胡文瑞等编,第22太阳活动周峰年日地整体行为研究专集(II),云南天文台台刊增刊,1990年。
- [3] 胡文瑞等编,第22太阳活动周峰年日地整体行为研究专集(III),云南天文台台刊,1990年第4期。

## THE STUDY ON SOLAR ACTIVITIES IN THE CYCLE 22

Zhang Bairong

(Yunnan Observatory, CAS)

### Abstract

Since the study on solar activities and mobile objects in the space became one of the major projects of the NSFC in 1988, important progresses are obtained in the researches on solar magnetic and velocity fields, on solar flare physics and in the coordinated observations and researches of solar-geophysics. Some results of the research on solar activities in the cycle 22 are introduced in this paper.