

# 太阳物理前沿的新进展\*

方 成

(中国高等技术中心[世界实验室]天文和天体物理分中心)  
(南京大学天文系)

## 提 要

本文就近年来太阳物理前沿课题中以下5个方面的主要进展作一简要的综述:(1)太阳观测仪器;(2)耀斑物理研究;(3)太阳磁场的观测和研究;(4)太阳上各种振荡的观测和研究;(5)太阳活动周期的研究。此外,对今后的发展趋势和展望也进行了讨论。

太阳是离地球最近的一颗恒星,这使人们对它可以进行深入细致的研究,因此,太阳物理学在天体物理学中具有特殊的地位。空间天文首先开始于对太阳的观测,近年来空间探测的进步又极大地推进了太阳物理的发展。在第21周太阳活动峰年以来的近十年间,太阳物理研究在许多方面取得了令人瞩目的成就。据初步统计,每年在国内外主要天文学学术刊物上发表的太阳物理论文都在500篇以上。本文当然不可能列出所有的成果,仅就太阳物理前沿课题中以下5个方面的主要进展作一简要的综述。

## 一、太阳观测仪器

研制高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率和高稳定度的太阳观测仪器一直是令人感兴趣的前沿课题。近年来,无论在地面观测仪器还是在空间探测仪器方面都取得了重要的进展。

经过多年的艰苦努力,安装在怀柔的北京天文台口径35厘米的磁场望远镜已成功地投入观测<sup>[1]</sup>。这台仪器可在Fe I 5324埃线和H $\beta$ 线处分别测定太阳光球和色球的向量磁场和速度场。采用500×582像素的CCD实时图像系统后,已能在几十秒内取得分辨率优于2—3高斯的纵向磁图<sup>[2]</sup>。云南天文台口径25厘米的双筒精细结构望远镜已投入观测,可经常观测到优于1"的色球精细结构。该台的10波段快速扫描光谱仪<sup>[3]</sup>和三波段射电高时间分辨率同步观测系统<sup>[4]</sup>都已投入工作,为研究太阳活动的快速变化提供了条件。此外,北京天文台的60厘米9通道望远镜和南京大学改进的60厘米口径太阳塔等一批设备也正在加紧研制之中。

在经过多年选址找到的西班牙Canary群岛上,大气视宁度经常优于0".5。一批高质量的望远镜已经或正在安装之中。瑞典口径50厘米的太阳塔<sup>[5]</sup>和西德60厘米真空太阳塔<sup>[6]</sup>已建成,取得了很好的结果。法国口径90厘米的无偏振太阳望远镜(THEMIS)将采用20个CCD照相机,工作在3800—11000埃波段,可详细研究太阳大气中的不稳定过程。它将于1991年建成<sup>[7]</sup>。

\* 国家自然科学基金资助项目  
1989年5月1日收到。

地面太阳仪器最重要的进展当推大型地基太阳望远镜(LEST)计划。这个新一代的太阳望远镜口径达2.4米,无偏振,充氦或真空,目的是获得 $0''.1$ 的空间分辨率。至今已发表了36个专题报告,并已开始正式设计,计划于九十年代中期建成。值得提到的是,把自适应光学应用于太阳仪器已成为当代热门课题<sup>[8]</sup>。黑子导行和相关导行设备的试验也引人注目。这些将为提高空间分辨率作出重要贡献。此外,两维光谱仪的进展值得注意。意大利Arcetri天文台计划采用万能滤光器和法布里-珀罗(Fabry-Perot)干涉仪配合取得两维光谱资料,已取得一些进展<sup>[9]</sup>。

第21周太阳活动峰年以来,美国的SMM、P78-1和ISEE-3卫星,日本的火鸟卫星,以及苏联的Venera 11—14和Prognoz卫星等对太阳软硬X射线、 $\gamma$ 射线和EUV的观测大大丰富了人们对太阳的认识。空间观测的时间分辨率已达毫秒级,空间分辨率达 $5''-8''$ 。值得一提的是,1985年7月美国发射的Spacelab-2上装有口径30厘米的格雷果里(Gregory)式高分辨率望远镜和光谱仪,可长时间获得极清晰的白光图像和紫外光谱,取得了许多宝贵的资料。Spacelab-2上还第一次装备了磁像仪,可惜由于仪器故障未能正常工作。采用波长可调的法布里-珀罗干涉仪制造适合空间探测的新型磁像仪也正在研制之中<sup>[10]</sup>。

此外,以美、法等国为首分别筹办的太阳振荡全球观测网正在积极建设之中,估计在1990年后可陆续投入工作。这将为有重要意义的太阳振荡研究开辟广阔的前景。

## 二、耀斑物理研究

耀斑是太阳上最剧烈的活动现象,对日地空间环境和地球有重大的影响。近年来耀斑物理的研究一直是太阳物理研究中最集中的领域。迄今大部分太阳空间探测都同耀斑有关。特别是21周太阳活动峰年研究计划(SMY—SMA)对耀斑建立(FBS)、耀斑能量释放(SERF)和行星际传播现象(STIP)等三方面进行了深入的研究<sup>[11]</sup>。现在人们对耀斑的认识已大大发展,在耀斑储能、触发、能量释放和传输以及大气结构等方面都取得了十分重要的进展。

对耀斑储能和触发过程的研究在观测和理论两方面都取得了重要成果<sup>[12,13]</sup>。现在已弄清楚,磁环足点的位移以及由此而产生的剪切磁场结构可以积聚能量<sup>[14-17]</sup>。挤压磁场和四极黑子群磁结构也会使可释放的自由能增加<sup>[18,19]</sup>。近年来的研究表明,造成剪切磁场和挤压磁场的原因为光球上的运动,例如黑子的运动<sup>[20,21]</sup>、大尺度等离子体流动<sup>[22]</sup>、磁流浮现、下沉和对消<sup>[23]</sup>,以及光球上的旋涡流动<sup>[24]</sup>等。但是现在已经肯定,磁场剪切并不是发生耀斑的充分条件<sup>[25]</sup>,可能只有当剪切角足够大、且剪切线足够长时才肯定发生耀斑<sup>[26]</sup>。

近年来广泛研究了磁流浮现在产生耀斑中的作用。这种作用可以通过多种方式进行<sup>[27]</sup>,有些可能触发耀斑<sup>[28,29]</sup>,并且从统计上说,耀斑发生的位置大多同浮现磁流有关<sup>[30]</sup>,但浮现磁流不一定是耀斑前暗条爆发的直接接触者<sup>[30,31]</sup>。实际情况可能更加复杂,需通过详细的观测作进一步研究<sup>[31]</sup>。

研究表明<sup>[32]</sup>,当磁环扭曲超过临界值或其足点相距太远时,磁环将因磁张力和磁浮力的作用而失去平衡。磁拱足点位置和底部压力的一定组合<sup>[33]</sup>,或磁拱内磁压梯度产生的 $\rho$ 气球不稳定性<sup>[34]</sup>都可能破坏磁拱的平衡。Priest最近指出<sup>[35]</sup>,磁拱平衡一旦被破坏,就可能使日冕

环物质抛射出去, 带动下面的磁力线, 使日珥缓慢上升直到它下面发生磁重连, 从而可能触发双带耀斑。

现在已肯定, 磁场重连在耀斑能量释放中有十分重要的作用<sup>[13]</sup>。Priest和Forbes提出了快速稳定磁重连的新的统一理论<sup>[36]</sup>, 指出存在三种类型的快速磁重连(稳定重连, 磁流堆聚重连和脉冲爆发重连), 以前提出的Sweet-Parker解和 Petschek-Sonnerup 解仅是一些特例。详细的数值计算也得出了磁场重连的一些新的特性<sup>[37]</sup>。Strauss<sup>[38]</sup>计算了三维剪切磁场中撕裂模产生湍流时的重连速率, 结果表明由此造成的电流片加热速率要比经典的 Sweet-Parker 机制下的加热速率大几个数量级。此外, 最近研究表明<sup>[39]</sup>, 磁环足点的运动可产生多个电流片, 它们对于电阻撕裂模是不稳定的, 其能量沉积可几乎同时发生在磁环内很大的范围之中。研究还表明<sup>[40-43]</sup>, 电流在触发耀斑中可能有重要作用。Tajima 提出的电流结合不稳定性产生耀斑的新理论<sup>[43]</sup>也很值得注意。

有事实表明, 能量释放在耀斑开始(指耀斑处辐射突然剧增, 能量快速释放)前已经发生。低能 III 型暴在耀斑开始前大约 1 小时就开始了<sup>[44]</sup>, 软 X 射线辐射在耀斑前几十分钟也有增强<sup>[45]</sup>, 说明等离子体已开始加热。SMM 的资料还表明<sup>[46]</sup>, 能量小于 100 keV 的硬 X 射线在耀斑前 2 分钟左右已明显增强, 它可能由温度达  $2 \times 10^8$  K 的局部极热区产生。

近年来对于耀斑开始后的能量释放和粒子加速过程的研究已取得许多新的结果<sup>[47, 48]</sup>。最重要的结果之一是发现脉冲相对  $\gamma$  射线和 X 射线辐射几乎同时 ( $< 5$  秒) 增强<sup>[49]</sup>。还观测到能量达 50—500 MeV 的中子<sup>[50]</sup>。有人曾提出过两步加速机制<sup>[51, 52]</sup>, 即电子先加速至 100 keV 左右, 然后由扰动介质中的随机加速或激波中的扩散加速机制在几秒内把电子加速到相对论性能量。最近还提出了无碰撞激波加速机制<sup>[53, 54]</sup>, 以及撕裂模周期振荡的感应电场加速粒子的机制<sup>[55]</sup>等。看来这一问题还有待于深入研究。

研究表明, 耀斑时释放的能量从日冕向低层大气传输, 使色球物质大量蒸发(表现在过渡区谱线的紫移)<sup>[56]</sup>、色球和光球大气加热<sup>[57]</sup>, 并使耀斑大气产生运动(例如表现在谱线不对称性<sup>[58]</sup>)等。已经第一次在脉冲相同时观测到软 X 射线的紫移和 H $\alpha$  红不对称, 证明色球向上蒸发和向下压缩运动的物质动量大体相等, 两者都由耀斑环足点的压力陡增所引起<sup>[59]</sup>。所有这些动力学现象的发现和研究的近年来耀斑物理研究的重要成果之一<sup>[60]</sup>。但是至今对能量传输机制仍存在着争论。已提出的机制有: 非热电子束轰击, 热传导, 软 X 射线和 UV 辐射, 阿尔文波和激波等。前两种是主要的。已分别计算了理论的动力学模型<sup>[61, 62]</sup>, 但各有优劣, 都不能完整地解释各种观测结果<sup>[47]</sup>。对不同的耀斑, 主要起作用的机制可能有所不同, 需要更高分辨率的观测资料才可能区分它们。

近年来对白光耀斑的研究引起了人们广泛的注意(参见文集[63]和综述[64])。宽带滤光器观测发现了比人们预料要多得多的白光耀斑, 且首次观测到白光耀斑光谱中的帕那(Paschen)跳跃。现有理论都很难解释白光耀斑光谱蓝区过剩和大气深层的加热。研究表明<sup>[65]</sup>, 光球深层温度的增加或者过渡区存在一个温度的平台结构, 都可以产生白光耀斑的辐射, 但何种传能机制能产生这种条件, 则有待进一步研究。

值得提到的是, 耀斑射电快速起伏的研究取得了重要的进展(参见综述[66]和[67])。已从观测上对耀斑毫秒级尖峰辐射的特性作了许多研究, 发现它们和硬 X 射线辐射尖峰密切相

关, 大约有小于 1 秒的时延。时标为数十毫秒至秒级的射电快速起伏, 包括近年来发现的射电强度振幅的准周期振荡<sup>[69]</sup>, 也受到人们的注意。所有这些进展为研究耀斑的精细结构(元耀斑、元爆发等)和粒子加速等物理过程开辟了重要途径。

### 三、太阳磁场的观测和研究

由于磁场对许多太阳活动现象的重要作用, 太阳磁场的观测和研究一直是太阳物理研究中重要的课题之一。近年来, 随着测量磁场仪器的改进, 在太阳表面小尺度磁场结构和动力学、未被分辨的小磁流管特性、黑子磁场, 以及磁场测量方法等方面都取得了十分重要的进展。

在活动区以外的太阳磁场绝大部分都以小尺度结构出现。一般把它们分为网络磁场、网络内磁场和瞬现区三类<sup>[69]</sup>。人们早已知道, 以瞬现区出现的总磁通量至少等于所有活动区的总磁通量<sup>[70]</sup>。但近年来的观测表明<sup>[71]</sup>, 网络内磁场的总磁通量比瞬现区中的还要大两个量级以上, 比黑子的总磁通量大 $10^4$ 倍。小尺度磁结构同微耀斑<sup>[72]</sup>、日冕软 X 射线亮点<sup>[73]</sup>、氦 10830 埃线的吸收特征物<sup>[74]</sup>, 以及 20 厘米日冕射电亮点<sup>[75]</sup>等小尺度太阳活动现象有密切的关系。此外, 小尺度磁结构的相互作用还可能是日冕和色球加热的重要来源<sup>[76]</sup>。因此对小尺度磁结构和动力学的研究引起人们很大的兴趣。

近年来对小尺度磁结构研究的进展可参见文[71]和[77]。除了对它们的统计特性作了许多研究以外, 在瞬现区同太阳活动周的关系<sup>[78]</sup>、网络内磁结构的运动图样<sup>[79]</sup>、各种小尺度磁结构同超米粒速度场的关系<sup>[80]</sup>, 以及三类磁结构都可衰减到最小可分辨的相同磁通量元( $\approx 10^{16}$  麦克斯韦)<sup>[81]</sup>等方面都有新的结果。一个重要的进展是关于各类小尺度磁结构的相互作用, 特别是磁对消现象的研究方面。利用美国大熊湖(Big Bear lake)天文台的高分辨纵向磁图, 已详细研究了三类磁结构的相互作用特性<sup>[82]</sup>和磁对消的许多性质<sup>[77]</sup>。有一些磁对消过程可能首次从观测上提供了光球内磁场重连的证据, 对磁流体力学理论提出了一系列有价值的课题。特别值得一提的是, 1988 年北京天文台怀柔站和美国大熊湖天文台成功地组织了联合观测, 在世界上首次获得了长达 75 小时的磁场演化资料<sup>[83]</sup>, 指出 5 个亚耀斑中有 3 个同磁对消有关, 2 个同新的磁流浮现有关, 同时还得出网络磁结构的寿命达 92 小时, 比以前所认为的要长得多。这类观测为详细研究小尺度磁场的演化提供了新的可能性。

近十几年来大量的观测事实表明, 除黑子外, 太阳上大部分磁通量, 包括在活动区和各种小尺度磁结构中的磁通量, 都集中在直径量级为  $0''.1-0''.2$  的小磁流管内, 目前还无法用现有望远镜把它们分辨出来。磁流管中磁场的典型值为 1000—2000 高斯。这种未分辨的小磁流管的发现和研究, 对太阳物理的许多方面产生了重大的影响。这方面的综述详见[84]和[85]。

目前只能靠光谱的方法来研究小磁流管的特性。以前主要采用谱线对方法、多条谱线分析法<sup>[86]</sup>和斯托克斯(Stokes)谱线轮廓分析法<sup>[87]</sup>来估计小磁流管的大小和磁场强度, 但这只有统计上的意义。近来利用  $1.6\mu$  红外谱线的斯托克斯轮廓和它的太阳中心一边缘变化, 配合 5250/5247 谱线对方法, 已进一步证实<sup>[88]</sup>小磁流管内的磁场强度随高度而减小, 在  $\tau \approx 1$  处

约为2000高斯,磁流管的直径约为60—300公里,同假设其形状为扁平或柱体有关。关于小磁流管内部的热力学结构也有一些新的结果<sup>[89,90]</sup>,但还需作更多的研究。至于小磁流管内部的运动,则至今未有定论。除了存在湍动速度外,可能还有某种振荡运动<sup>[91]</sup>或寿命小于20分钟的向下减速流动<sup>[92]</sup>。近年来理论研究也相当活跃。例如, Hasan<sup>[93]</sup>考虑三维辐射转移研究了磁流管中的能量传输问题; Abdelatif<sup>[94]</sup>研究了磁流管中的表面波和体波等。尽管近年来的研究已取得较大进展,但是还要克服许多障碍才能更深入地揭示小磁流管的物理本质<sup>[95]</sup>。

近年来关于黑子磁场和结构的研究也颇受人注意。研究表明,黑子中的磁光效应、散射光和速度场都会影响斯托克斯轮廓,必须求解有速度场时的辐射转移方程<sup>[96]</sup>,并且消除法拉弟旋转效应才能较准确地测量黑子磁场<sup>[97]</sup>。已经提出了一些新的黑子模型<sup>[98-100]</sup>,但是有证据表明,个别黑子实际上可能由许多更小的本影混合而成<sup>[101]</sup>,或由一些磁通量为 $1-2 \times 10^{21}$ 麦克斯韦的“碎块”组合而成,它们的交界处就出现本影亮点<sup>[102]</sup>。此外,刘建强等人<sup>[103]</sup>利用怀柔磁场望远镜的观测研究了黑子半影中的纤维磁结构,发现亮纤维比暗纤维的磁场要强约300高斯。看来,黑子的结构仍值得进一步研究。

必须指出,尽管近几年在太阳磁场的研究上已取得许多成果,但是,测量磁场的方法本身仍在不断发展和完善。在1985年举行的太阳向量磁场测量的国际讨论会上曾对此作过许多讨论。最近在利用Mg I b线的斯托克斯轮廓测量色球向量磁场<sup>[104]</sup>、利用Hanle效应测量太阳磁场<sup>[105,106]</sup>,以及由射电观测测量日冕磁场<sup>[107]</sup>等方面都取得了进展。

#### 四、太阳上各种振荡的观测和研究

自从Leighton等人发现太阳大气速度场具有周期约5分钟的振荡以后,对太阳振荡现象的研究迅速发展起来,成为当代太阳物理中活跃的前沿领域之一,取得了引人注目的成就。

首先应当提到的当然是日震学的研究。它主要研究太阳的各种非径向振动模式。太阳5分钟振荡包含了约 $10^7$ 个不同的振动模式,属于P模,因而可以作为探测太阳外层的理想工具;苏联克里米亚天文台和英国伯明翰大学分别独立发现的太阳160分钟振荡,经过斯坦福大学<sup>[108]</sup>和法国尼斯天文台<sup>[109]</sup>的观测验证,已得到人们普遍的承认。这种振荡很可能属于重力模(g模),是俘获在太阳中心辐射核的共振模,因而对探测太阳中心区最有效。近十年来,人们以极大的努力观测分析太阳各种振动模式的频率和振幅,并把它们同采用已有的太阳标准模型计算的理论结果相比较,获得了许多关于太阳内部状态的新信息。例如,研究表明,太阳对流区厚度比以前所估计的要大,很可能达到太阳半径的1/3左右<sup>[110]</sup>;传统的太阳演化理论很可能要加以修改;太阳内部深层的自转速度有可能比表面要快<sup>[111]</sup>;太阳表面之下可能有速度为100米/秒的环流,从赤道流向两极<sup>[112]</sup>等。这方面的详细进展可参见[113]和[114]。

近两年来,在太阳振荡的观测方面继续取得了一些进展。例如, Wolff和 Hickey<sup>[115]</sup>分析宽带辐射计的空间观测资料,发现太阳辐射有20个周期在20天到2年的振荡,同太阳整体振荡预言的28个周期振荡相对应; Jimenez等人<sup>[116]</sup>分析了太阳累积强度的5分钟振荡; Duvall<sup>[117]</sup>利用美国大熊湖天文台和南极的观测资料,证认了P模振荡的各种频率; Libbrecht

和 Kaufman<sup>[118]</sup>利用大熊湖天文台的资料给出高阶的P模振荡频率, Libbrecht<sup>[119]</sup>给出了P模振荡振幅和频宽的新观测结果, Gelly等人<sup>[120]</sup>给出了P模频率在1980—1986年的变化。但是,总的看来理论上的进展还不大,真正的观测上的突破也要在九十年代全球观测网建立以后才可能取得。

近年来的又一重要进展是把振荡的观测和研究扩大到太阳大气的许多目标上去,发现了许多新的现象。例如, Thomas<sup>[121]</sup>利用对黑子本影不同谱线的同时性观测,研究了大气不同高度处的振荡,发现在周期3分钟附近有许多峰值; Balthasar等<sup>[122]</sup>证实黑子内的5分钟振荡功率较小,说明磁场或埃弗谢德(Evershed)流对振荡会产生影响, Lites详细研究了色球黑子内的振荡<sup>[123]</sup>和半影中的振荡<sup>[124]</sup>,发现色球中P模振荡频率比光球中要低,且振荡位相要滞后; Harrison<sup>[125]</sup>首次发现活动区软X射线强度有周期约24分钟的振荡;对日珥中的振荡现象也有许多观测和研究,详见[126]的综述。对所有这些振荡现象的物理意义和理论解释还有待进一步研究。

## 五、太阳活动周期的研究

由于对日地关系的重大影响以及对太阳物理本身和太阳—恒星研究的重要意义,太阳活动周期的研究是太阳物理中的又一个重要课题。近年来随着空间探测的发展以及各种观测资料的大量积累,对太阳活动规律性的研究已取得一些重要的进展。1986年、1987年和1989年年初曾连续举行了三次太阳活动周期的国际讨论会,前二次的会议总结详见文[127]和[128]。最重要的进展之一是从各个角度讨论了扩展的太阳活动周的新概念。这一概念是根据对太阳速度场和磁场、5303埃冕线发射区和高纬暂现双极区等现象的新观测结果提出来的。它认为在任何时刻太阳表面上都同时有两个18—22年的太阳活动周期在起作用,一般所说的11年太阳活动周期仅是这一扩展的太阳活动周期的主相。Labonte和 Howard<sup>[129]</sup>所发现的所谓“扭曲振荡”(即纬度带局部区域的较差自转比该纬度处的平均较差自转或快或慢的现象)是对这一新概念的有力支持。这种扭曲振荡每11年从极区产生一次,经过22年左右转移到赤道。这说明太阳活动周期同太阳上大尺度流动有关<sup>[130]</sup>,而后者又同大尺度磁场有关<sup>[131]</sup>。因此,研究太阳上大尺度磁场和大尺度流场的结构和演化对太阳活动周期的研究有重要的意义。Hathaway<sup>[132]</sup>提出了用球谐函数分析稳定的全日面速度场以研究太阳子午流动和较差自转的新方法,值得注意。

另一个重要的进展是根据 SMM和Nimbus-7等卫星上的太阳辐射计精确测量结果,发现太阳常数S同太阳活动有关<sup>[133,134]</sup>,当黑子活动多时, S有下降的趋势;当黑子活动消失时, S仅在平均值附近有一些小的起伏。此外还发现S有4—9个月的小振荡(0.04—0.07%)变化,同光斑辐射(He I 10830埃和 Ca II K谱线指数)的变化同步。

把太阳作为一个恒星,研究它累积辐射的变化也得到一些新结果。例如 Livingston和Wallace<sup>[135]</sup>从C I 5380.3埃线中心强度在1976—1985年间的变化得出太阳有效温度有11年周期变化,幅度为0.7度。Sivaraman<sup>[136]</sup>根据1969—1984年太阳累积Ca II K线的观测结果,也证实有明显的11年周期变化。

此外,关于太阳直径是否随太阳活动周期而变化的问题仍然是引人注目的。Ribes等人曾得出太阳直径在太阳活动极小时要比太阳活动极大时大150公里的结果,甚至推求出蒙德(Maunder)极小期太阳直径曾增加3角秒<sup>[137]</sup>。但是这个结果还有待进一步证实。

值得一提的是近年来对耀斑活动周期性的重要发现。根据太阳活动21周的观测结果,从 $\gamma$ 射线辐射<sup>[138]</sup>、硬X射线辐射<sup>[139]</sup>、软X射线辐射<sup>[138]</sup>和微波爆发<sup>[140]</sup>的资料分析中,都发现耀斑活动有152—158天的平均周期。Ichimoto等人<sup>[141]</sup>甚至还得到耀斑活动有约500天的周期,这同最近根据1969—1986年黑子群数目和面积的统计结果得到的17个月周期<sup>[142]</sup>相一致。对产生以上这些周期的原因至今未有较好的解释。

在古代太阳活动的研究方面,魏特迈和徐振韬<sup>[143]</sup>列出了165BC—AD1684年间的目视黑子表,得出平均黑子周期为 $11.116 \pm 0.007$ 年,并利用该表得出蒙德极小期可能是太阳活动若干长周期叠加的结果<sup>[144]</sup>。

关于目前的太阳活动22周活动预报,根据近两年太阳活动的实际情况,现在大多数人都相信它将具有相当高的水平。例如,Wilson<sup>[145]</sup>根据太阳活动周中平滑黑子相对数极大值同活动周开始后2年的平滑黑子相对数上升速率大体呈线性关系,估计出22周太阳活动平滑黑子相对数极大值为 $>100-200$ ,极大时期为1990年上半年。赵爱娣<sup>[146]</sup>根据太阳活动谷年前后黑子相对数的大小同下一个活动周黑子相对数峰值大小的关系,预计22周黑子相对数平滑的年均值极大值大于130,极大时期为1990年1—2月。《太阳地球物理资料》采用McNish-Lincoln方法不断作出预报。最近的预报<sup>[147]</sup>给出22周黑子相对数平滑的月均值达 $181 \pm 50$ ,极大时间为1989年11月到1990年2月。看来,22周的活动水平有可能达到或超过有黑子相对数记录以来双周活动的最高水平。这就为太阳物理和日地关系的研究提供了一个极好的时机。

## 六、发展趋势和展望

太阳活动22周峰年的到来,使太阳物理研究更趋活跃。可以预期,九十年代太阳物理将会有长足的发展。

从观测方法和设备上,发展趋势是:

1. 世界性和区域性的联合观测将得到更大的重视和发展。这种联合观测提供了用各种波段和方法对太阳上同一种活动(例如耀斑)进行全面研究的机会,也使人们有可能研究太阳活动在若干天内的连续演化过程。我国的22周峰年联合观测计划,全球的flare 22计划,美国的Max'91计划,以及一系列太阳振荡全球观测网计划等,都是这一发展趋势的产物,估计会取得一些重要的突破性成果。

2. 空间观测仍然是极受重视的领域。提高空间分辨率,并把观测各种波段的望远镜放入太空将是主要的努力方向。

3. 测量二维光谱、太阳不同层次的磁场和速度场,以及测量太阳振荡的技术将优先得到重视和发展。

4. 在优选的台址建造新一代的大型先进望远镜仍然是追求的目标。这些望远镜具有极高的空间和时间分辨率,可进行若干小时的连续观测和多种专项观测,因而成为未来二、三十

年内空间观测所不可替代的设备, 将发挥重大作用。

从课题研究上看, 九十年代最活跃、并可能取得重大成就的领域将是:

1. 耀斑各种快速变化的动力学研究;
2. 活动区和小尺度磁场、速度场演化;
3. 日震学和太阳内部结构;
4. 日冕活动、太阳风及它们对日地环境和地球的影响。

我国目前虽然经费有限、条件较差, 但对22周太阳活动的研究已进行了较充分的准备, 从1988年起, 已先后组织了6次全国性的太阳活动联测, 取得了一批较好的资料。只要如期完成各主干仪器的研制和改进工作, 充分发挥联测和地域的优势, 可望在22周太阳活动峰年研究中取得重要的成果。

### 参 考 文 献

- [1] 北京天文台台刊(磁场望远镜专辑), 8 (1986).
- [2] 李威等, *Vistas in Astronomy*, 31 (1988), 73.
- [3] 李如凤等, 天体物理学报, 8 (1988), 230.
- [4] 谢端祥等, 天体物理学报, 9 (1989), 77.
- [5] Wyller, A. A. and Scharmer, G., *Vistas in Astronomy*, 28 (1985), 467.
- [6] Schroter, E. H. et al., *Vistas in Astronomy*, 28 (1985), 519.
- [7] Mein, P. and Rayrole, J., *Vistas in Astronomy*, 28 (1985), 567.
- [8] Proc. of the Workshop on Adaptive Optics in Solar Observations, ed. by F. Meikle et al., (1987).
- [9] Bonaccini, D. et al., in *High Resolution in Solar Physics*, ed. by R. Muller, p. 118, Springer, Heidelberg, (1985).
- [10] Rust, D. M. et al., *SPIE*, 627 (1986), 39.
- [11] De Jager, C., *Solar Phys.*, 114 (1987), 387.
- [12] Gaizauskas, V. and Svestka, Z., *Solar Phys.*, 114 (1987), 389.
- [13] Priest, E. R., in Report on Astronomy, XXth General Assembly of IAU, p. 86, (1988).
- [14] Wu, S. T. et al., *Adv. Space Res.*, 6 (1986), 53.
- [15] 刘新萍, *Vistas in Astronomy*, 31 (1988), 91.
- [16] Zwingmann, W. et al., *Solar Phys.*, 99 (1985), 133.
- [17] Hofmann, A. et al., *Solar Phys.*, 108 (1987), 151.
- [18] 李京等, 天体物理学报, 8 (1988), 301.
- [19] Hai-shou Yang et al., *Solar Phys.*, 117 (1988), 57.
- [20] Gezstely, L. and Kalman, B., *Adv. Space Res.*, 6 (1986), 21.
- [21] Neidig, D. F. et al., *Adv. Space Res.*, 6 (1986), 25.
- [22] Athay, R. G. et al., *Astrophys. J.*, 303 (1986), 884.
- [23] Martin, S. F., in *Coronal and Prominence Plasma*, ed. by A. J. Poland, p. 73, NASA CP-2442, (1986).
- [24] Gorbacher, V. S. and Somav, B. V., *Solar Phys.*, 117 (1988), 77.
- [25] Martin, S. F. et al., *Adv. Space Res.*, 4 (1984), 61.
- [26] Moore, R. L. et al., *Solar Phys.*, 113 (1987), 347.
- [27] Martin, S. F. et al., *Adv. Space Res.*, 2 (1982), 39.
- [28] Guo Quanshi et al., in Proc. of Kunming Workshop, ed. by C. de Jager and Chen Biao, p. 642, (1985).
- [29] Kundu, M. R. et al., *Astrophys. J. Suppl.*, 57 (1985), 621.
- [30] Harvey, J. W., *Adv. Space Res.*, 2 (1982), 31.
- [31] Priest, E. R. et al., in *Energetic Phenomena on the Sun*, ed. by M. R. Kundu and B. E. Woodgate,



Ch. 1, NASA CP-2439, (1986).

- [32] Browning, P. and Priest, E. R., *Solar Phys.*, **106** (1986), 335.  
[33] Moreno-Insertis, F., *Astron. Astrophys.*, **166** (1986), 335.  
[34] Hood, A., *Solar Phys.*, **105** (1986), 307.  
[35] Priest, E. R., *Astrophys. J.*, **328** (1988), 848.  
[36] Priest, E. R. and Forbes, T. G., *J. G. R.*, **91** (1986), 5579.  
[37] Biskamp, D., *Phys. Fluids*, **29** (1986), 1520.  
[38] Strauss, H. R., *Astrophys. J.*, **326** (1988), 412.  
[39] Low, B. C. and Wolfson, R., *Astrophys. J.*, **324** (1988), 574.  
[40] Lin, Y. Z. and Gaizauskas, V., *Solar Phys.*, **109** (1987), 81.  
[41] Ding, Y. J. et al., *Solar Phys.*, **109** (1987), 307.  
[42] Hagyard, M. J. et al., *天体物理学报*, **8** (1988), 124.  
[43] Tajima, T. et al., *Astrophys. J.*, **321** (1987), 1031.  
[44] Kundu, M. R. et al., *Solar Phys.*, **114** (1987), 273.  
[45] Harrison, R. A., *Astron. Astrophys.*, **162** (1986), 283.  
[46] Machado, M. E. et al., *Adv. Space Res.*, **6** (1986), 33.  
[47] Rust, D. M. and Batchelor, D. A., *Solar Phys.*, **114** (1987), 399.  
[48] Svestka, Z., in *Reports on Astronomy, XXth General Assembly of IAU*, p. 71, (1988).  
[49] Forrest, D. J. and Chupp, E. L., *Nature*, **305** (1983), 291.  
[50] Chupp, E. L., *Solar Phys.*, **86** (1983), 383.  
[51] Bai, T., *Astrophys. J.*, **308** (1986), 912.  
[52] Forman, M. A. et al., in *The Physics of the Sun*, ed. by P. A. Sturrock, p. 249, (1985).  
[53] Ohsawa, Y. and Sakai, J. I., *Astrophys. J.*, **332** (1988), 439.  
[54] Cargill, P. J. et al., *Astron. Astrophys.*, **189** (1988), 254.  
[55] 黄光力, *天体物理学报*, **9** (1988), 287.  
[56] Antonucci, E. et al., *Solar Phys.*, **96** (1985), 129.  
[57] Gan, W. Q. and Fang, C., *Solar Phys.*, **107** (1987), 311.  
[58] Fang, C. and Gan, W. Q., *Astron. Astrophys.*, (1989) (in press).  
[59] Zarro, D. M. et al., *Astrophys. J.*, **324** (1988), 583.  
[60] Canfield, R. C., *Adv. Space Res.*, **6** (1986), 167.  
[61] Fisher, G. H. et al., *Astrophys. J.*, **289** (1985), 425, 434.  
[62] Karpen, J. T. and Devore, O. R., *Astrophys. J.*, **320** (1987), 904.  
[63] *The Lower Atmosphere of Solar Flares*, ed. by D. F. Neidig, NSO/SMM Symposium, (1986).  
[64] 汪景琇, 沈龙翔, 方成, *天文学进展*, **4** (1986), 175.  
[65] 甘为群, 方成, *天体物理学报*, **8** (1988), 61.  
[66] Alissandrakis, C., in *Reports on Astronomy, XXth General Assembly of IAU*, p.80 (1988).  
[67] 傅其骏, 金声震, *天文学进展*, **6** (1988), 171.  
[68] Zodi, A. M. et al., *Solar Phys.*, **92** (1984), 283.  
[69] Zirin, H., *Australian J. Phys.*, **38** (1985), 961.  
[70] Martin, S. F. and Harvey, K. L., *Solar Phys.*, **64** (1979), 93.  
[71] Zirin, H., *Solar Phys.*, **110** (1987), 101.  
[72] Porter, J. G. et al., *Astrophys. J.*, **323** (1987), 380.  
[73] Golub, L. et al., *Astrophys. J.*, **189** (1974), L93.  
[74] Harvey, K. L., *Australian J. Phys.*, **38** (1985), 875.  
[75] Kundu, M. R. et al., *Astrophys. J.*, **325** (1988), 905.  
[76] Parker, E. N., *Astrophys. J.*, **330** (1988), 474.  
[77] 汪景琇, 史忠先, *天文学进展*, **6** (1988), 94.  
[78] Martin, S. F. et al., *Australian J. Phys.*, **38** (1985), 929.  
[79] Wang, H. and Zirin, H., *Solar Phys.*, **115** (1988), 265.  
[80] Wang, H., *Solar Phys.*, **117** (1988), 243.

- [81] Wang, J. et al., *Solar Phys.*, **98** (1985), 241.
- [82] Martin, S. F., *Solar Phys.*, **117** (1988), 243.
- [83] Wang, H. et al., BBSO 0295, (1988).
- [84] Stenflo, J. O., *Solar Phys.*, **100** (1985), 189.
- [85] 方成, 紫金山天文台台刊, **6** (1987), 1.
- [86] Solanki, S. K. and Stenflo, J. O., *Astron. Astrophys.*, **140** (1984), 185.
- [87] Stenflo, J. O., *Astron. Astrophys.*, **173** (1987), 167.
- [88] Zayer, I. et al., *Astron. Astrophys.*, (1989) (in press).
- [89] Solanki, S. K., Ph. D thesis, ETH Zurich, (1987).
- [90] Keller, Ch., Diplomarbeit, ETH Zurich, (1988).
- [91] Solanki, S. K. and Stenflo, J. O., *Astron. Astrophys.*, **170** (1986), 120.
- [92] Ribes, E. et al., *Astrophys. J.*, **296** (1985), 268.
- [93] Hasan, S. S., *Astrophys. J.*, **332** (1988), 499.
- [94] Abdelatif, T. E., *Astrophys. J.*, **333** (1988), 395.
- [95] Stenflo, J. O., in *High Spatial Resolution Solar Observations*, ed. by O. Von der Luhe, (1988).
- [96] Skumanich, A. et al., in *Measurements of Solar Vector Magnetic Fields*, ed. by M. J. Hagyard, p. 306, (1985).
- [97] 叶式辉, 金介海, 紫金山天文台台刊, **6** (1987), 227.
- [98] Maltby, P. et al., *Astrophys. J.*, **306** (1986), 284.
- [99] Obridko, V. N. and Staude, J., *Astron. Astrophys.*, **189** (1988), 232.
- [100] Ding, M. D. and Fang, C., *Astron. Astrophys.*, 1989, (in press).
- [101] Zirin, H., *Solar Phys.*, **114** (1987), 239.
- [102] Garcia de la Rosa, J. I., *Solar Phys.*, **112** (1987), 49.
- [103] 刘建强等, 全国太阳磁场和速度场讨论会报告, 1988.
- [104] Lites, B. W. et al., *Astrophys. J.*, **330** (1988), 493.
- [105] Landi Degl'Innocenti, E. et al., *Astron. Astrophys.*, **118** (1987), 335.
- [106] Stenflo, J. O., in *Hanle Effect and Level Crossing*, ed. by F. Strumia and G. Moruzzi, (1988).
- [107] Patzold, M. et al., *Solar Phys.*, **109** (1987), 91.
- [108] Sherrer, P. H. and Wilcox, J. M., *Solar Phys.*, **82** (1983), 37.
- [109] Grec, G. et al., *Nature*, **288** (1980), 541.
- [110] Gough, D., IAU Colloq. No. 36, p. 3, (1977).
- [111] Duvall, T. L. Jr., et al., *Nature*, **310** (1984), 22.
- [112] Hill, F., *Astrophys. J.*, **333** (1988), 996.
- [113] *Advance in Helio- and Astero-seismology*, in IAU Symp. No. 123, (1986).
- [114] 熊大刚, 天文学进展, **6** (1988), 83.
- [115] Wolff, C. I. and Hickey, J. R., *Solar Phys.*, **109** (1987), 1.
- [116] Jimenez, A. et al., *Astron. Astrophys.*, **172** (1987), 323.
- [117] Duvall, J. L. Jr., *Astrophys. J.*, **324** (1988), 1158.
- [118] Libbrecht, K. G. and Kaufmann, J. M., *Astrophys. J.*, **324** (1988), 1172.
- [119] Libbrecht, K. G., *Astrophys. J.*, **334** (1988), 510.
- [120] Gelly, B. et al., *Astron. Astrophys.*, **200** (1988), L29.
- [121] Thomas, J. H. et al., *Astrophys. J.*, **312** (1987), 457.
- [122] Balthasar, H. et al., *Solar Phys.*, **112** (1987), 57.
- [123] Lites, B. W., *Astrophys. J.*, **277** (1984), 874.
- [124] Lites, B. W., *Astrophys. J.*, **334** (1988), 1054.
- [125] Harrison, R. A., *Astron. Astrophys.*, **182** (1987), 337.
- [126] Tsubaki, T., in *Proc. of Solar and Stellar Coronal Structure and Dynamics*, ed. by R. C. Altrock, (1987).
- [127] Wilson, P. R., *Solar Phys.*, **110** (1987), 1.
- [128] Wilson, P. R., *Solar Phys.*, **117** (1988), 205.

- [129] Labonte, B. J. and Howard, R., *Solar Phys.*, 75 (1982), 161.  
 [130] Bogart, R. S., *Solar Phys.*, 110 (1987), 23.  
 [131] Bumba, V., *Solar Phys.*, 110 (1987), 51.  
 [132] Hathaway, D. H., *Solar Phys.*, 108 (1987), 1.  
 [133] Pap, J., *Solar Phys.*, 112 (1987), 181.  
 [134] Foukal, P. and Lean, J., *Astrophys. J.*, 328 (1988), 347.  
 [135] Livingston, W. and Wallace, L., *Astrophys. J.*, 314 (1987), 808.  
 [136] Sivaraman, K. R. et al., *Astrophys. J.*, 313 (1987), 456.  
 [137] Ribes, E. et al., *Nature*, 326 (1987), 52.  
 [138] Rieger, E. et al., *Nature*, 312 (1985), 623, 5995.  
 [139] Kiplinger, A. L. et al., *BAAS*, 16 (1985), 891.  
 [140] Borgat, R. S. and Bai, T., *Astrophys. J. Letter*, 299 (1985), L51.  
 [141] Ichimoto, K. et al., *Nature*, 316 (1985), 422.  
 [142] Akioka, M. et al., *Solar Phys.*, 112 (1987), 313.  
 [143] 魏特迈, A.D., 徐振韬, 紫金山天文台台刊, 6 (1987), 233.  
 [144] Xu, Z. T. et al., *Vistas in Astronomy*, 31 (1988), 119.  
 [145] Wilson, R. M., *Solar Phys.*, 117 (1988), 179.  
 [146] 赵爱娣, 紫金山天文台台刊, 7 (1988), 310.  
 [147] S. G. D., 529 (1988), 13.

(责任编辑 刘金铭)

## Recent Progress on the Study of Some Frontiers in Solar Physics

Fang Cheng

(CCAST [World Laboratory])

(Department of Astronomy, Nanjing University)

### Abstract

The recent progress on the study of solar physics in the following respects is reviewed: (1) observational instruments, (2) study of flare physics, (3) observations and research on solar magnetic field, (4) observations and study of various oscillatory phenomena on the Sun, (5) research on the solar cycles and the periodicity of solar activities. The tendency and the prospects of the development in solar physics are also discussed.