

# 太阳强磁区的精细结构形态

邓元勇 汪景琇 艾国祥

(中国科学院北京天文台 北京 100080)

## 摘 要

作者希望通过对国内外太阳物理学家多年来在太阳磁场精细结构方面的研究成果的回顾,探讨立足现有和将有的仪器设备,可能和应该从事的高分辨太阳磁场的研究工作。为突出重点,侧重评述 1000G 以上的强磁场精细结构特征及与之相关的亮度特征的精细结构。现有的研究成果已经表明:磁场精细结构与亮度精细结构之间存在着某些目前还不十分明确的关系,而这种关系对小尺度磁场的研究有着重要意义,因此探索这种内在关系将是今后工作的一个重要方向。

**关键词** 太阳:磁场 太阳:强磁场 太阳:精细结构 太阳:亮度表象 方法:观测

## 1 引 言

太阳磁场的测量和研究是太阳物理的一个重要分支,因为太阳的大多数现象和过程都与太阳的磁相互作用密切相关,只有当我们对太阳磁场的现象和规律有了深入正确的认识后,才能理解太阳活动的本质。另一方面,太阳的磁相互作用本质上是小尺度磁结构即磁流管的相互作用,这就使得小尺度磁场的研究对太阳物理乃至整个天体物理的研究有着极其重要的意义。

小尺度磁场的观测和研究离不开高分辨的观测技术和方法,两者是相辅相成的。从 50 年代 Babcock 发明磁像仪以来,太阳磁场的测量和研究取得了巨大进展,而关于太阳磁场精细结构的观测和研究报告,在每年的太阳物理文献中占有相当大的比例,同时这方面的综述文章也不胜枚举,最近的可参见 Solanki<sup>[1]</sup> 的评述,而国内的也可参见方成<sup>[2]</sup> 的评述。在参考过这些文章和评述后我们发现,所有的文章虽各有其侧重点,但还没有一篇文章对下述问题作过完整的评述:强磁场(活动区或非活动区的)及其亮度表象(白光或单色光表象)的精细结构特征。

我们将 1kG 以上的磁场定义为强磁场,本文侧重评述这些强磁场区及它们所对应的亮度表象的精细结构特征。因为亮度精细结构同磁精细结构间存在着某种内在联系,而

在目前的技术条件下前者的观测分辨率比后者高得多, 因此可以利用两者的联系由亮度精细结构去研究磁场精细结构的性质, 所以我们还尽可能地评述磁精细结构同其亮度表象的关系 (不过从本文可以看到, 有关这种关系的知识目前还十分缺乏)。在本文的最后, 简要介绍了当今世界上几台用作高分辨观测的仪器及一些观测方法, 并对今后的努力方向作了一些讨论。

Spruit 和 Zwaan<sup>[3]</sup> 把黑子之外的强磁场按其磁通量划分为三类: 小于  $10^{18}\text{Mx}$  的为磁元 (magnetic element),  $10^{18} - 10^{19}\text{Mx}$  的为磁结 (magnetic knot),  $10^{19}\text{Mx}$  以上的为气孔 (pore)。这样, 再加上黑子, 则太阳上的强磁场共有 4 种表现形式, 这 4 种表现形式在空间尺度上又大致可如此划分: 小于  $0''.5$  的为磁元,  $0''.5 - 1''.6$  之间为磁结,  $1''.6 - 5''.0$  之间是气孔,  $5''.0$  以上的是黑子。与这些强磁场有关的亮度精细结构有本影点和本影暗核、半影纤维、网络亮点和光斑亮点等等, 下面就对这些结构及它们的磁场特征进行详细评述。

至于强磁场与其他太阳特征如物质运动等的关系, 在本文中不作讨论。

## 2 强磁场的精细结构及其对应的亮度特征

### 2.1 黑子本影及其精细结构

黑子本影是日面上磁流最集中的区域, 也是平均亮度最小的光球结构, 对白光而言, 其平均亮度仅为光球平均亮度的 25% 左右<sup>[4]</sup>。本影的暗背景通常由数块本影核 (umbral core) 组成, 其间则由相对较亮的马鞍状 (saddle like) 宽光桥 (broad light bridge) 所隔开。高分辨观测显示: 本影暗结构中还存在局部亮度最小的称之为暗核 (dark nuclei) 的区域, 而亮结构则由本影点 (umbral dot, UD) 构成, 本影点可以单独存在, 也可以成团甚至以窄光桥 (narrow light bridge) 的形式存在<sup>[5]</sup>。

本影暗结构中, 较小的本影核比较大的本影核 ( $> 5''.0$ ) 亮一些, 而暗核的平均大小为  $1''.5$ 。虽然本影核和暗核的亮度都依赖于周围的具体状况, 但它们两者之间却存在着很好的相关性, 例如 Sobotka 等人用  $5425 \pm 50\text{A}$  的宽带资料测得本影核的亮度为光球亮度的 13% - 19%, 而暗核为 5% - 30%<sup>[5]</sup>。

同暗结构一样, 本影亮结构的亮度也依赖于周围的环境, 例如对于 UD 的亮度, 不同的观测者给出的值不一样<sup>[5-7]</sup>。虽然如此, 有一点目前是可以肯定的, 那就是本影点的亮度上限是光球的平均亮度。至于 UD 的大小, Danielson<sup>[8]</sup> 给出的值小于 600km, 而 Beckers 等人<sup>[7]</sup> 给出的峰值亮度的半宽为 160 - 500km。近年来, 由于观测分辨率的提高, 人们对 UD 又有了进一步认识: 通常, UD 可以分成边缘本影点 (peripheric umbral dot, PUD) 和中心本影点 (central umbral dot, CUD) 两类<sup>[9]</sup>。PUD 指位于本影核间光桥中的 UD, 它的平均大小约为  $0''.47$ , 相邻点间的距离平均约为  $0''.53$ 。本影核本身由更小的结构组成, 存在于这些更小结构之中或其间的 UD 则为 CUD, 它们的平均尺度为  $0''.43$ , 峰值亮度间的距离为  $0''.5 - 0''.75$ 。此外, 虽然 CUD 的大小与背景亮度无关, 但随着本影核亮度的增加, CUD 之间距离减小但数量增多<sup>[5]</sup>。值得一提的是, 本影点的这些精细结构特征, 有力地支持了有关本影点形成的渗透对流 (penetration convection)

理论<sup>[10]</sup>。

关于本影精细结构的磁场强度，一个传统的观点是：亮结构的场强较暗结构弱，例如 Kneer<sup>[11]</sup> 测出的本影点场强约为周围暗背景的一半。但近年的观测和研究对这一问题作了进一步回答：<sup>[12,13]</sup> 虽然光桥的场强确实较周围暗背景低，但本影点的场强却仅比暗背景略低或几乎与之相等。Lites 等人<sup>[13]</sup> 给出的本影点场强为 1400–2400G。另外 Foukal<sup>[50]</sup> 指出，黑子的横场分量在本影点的尺度上存在着反极性结构，不过这一结论有待进一步研究。

## 2.2 黑子半影及其精细结构

半影是黑子本影和光球间的过渡区域，它比本影亮，约为光球亮度的 75%<sup>[4]</sup>。从形态上看，半影大致可以分为三个部分<sup>[14]</sup>：内半影 (inner penumbra)，指靠近本影的 20% 区域，由半影纤维 (penumbral filament) 和半影颗粒 (penumbral grain) 组成；中间半影 (middle penumbra)，指半影中从内到外 20%–80% 的区域，主要由半影纤维组成；外部半影 (outer penumbra)，即靠近光球的 20% 的区域，由重叠于光球上的半影纤维的暗尾 (dark tail) 组成。

半影中的精细结构主要是半影纤维，这种纤维状结构是由于亮的半影颗粒沿着横向磁场的方向在暗背景上排列而形成的，因此半影纤维又相对地有亮纤维和暗纤维之分。Muller<sup>[15]</sup> 给出亮纤维的亮度约为 95%，而暗纤维为 60%，不过通常认为半影纤维的亮和暗只是一个对局部区域而言的相对概念，甚至一个地方的所谓“暗纤维”会比另一个地方的“亮纤维”还亮<sup>[16]</sup>。至于半影纤维的宽度则是一个有待于进一步探讨的问题，例如 Banos<sup>[17]</sup> 得到的值是 0".7–1".0，Krat 等人<sup>[18]</sup> 得到的最小宽度为 0".24–0".33，Stachnik<sup>[19]</sup> 则指出半影纤维的最小可分辨宽度为 0".11。通过对这些结果的分析我们知道，上述观测结果仅反映了他们各自的仪器所能探测到的最小纤维宽度。因此，关于半影纤维的宽度，我们目前的结论仅仅是：它小于当今最好的地基望远镜的分辨极限<sup>[6]</sup>。

半影的磁场强度在本影边缘最大，而在与光球交界处最小，例如 Schmidt 等人<sup>[20]</sup> 给出的值分别为 2000G 和 1000G，且他们指出半影磁场在光球边界约 1".0 的范围内迅速减小。至于半影纤维与磁场的关系，最直观的就是半影纤维同横场的方向大体一致，例如 Kalman<sup>[21]</sup> 得到 75% 左右的半影纤维与横场方向基本吻合，Makita 等人<sup>[22]</sup> 给出的值为 76%，而洪琴芳等人<sup>[23]</sup> 给出的值为 69%。但是，仅有这些认识是远远不够的。目前，关于半影纤维与磁场的最热门的话题是：纤维的亮暗变化与磁场有没有关系？如果有的话，这种关系是什么？答案的一部分，即关于半影亮度变化与磁场方向的关系是肯定的，那就是：相对于太阳表面而言，亮纤维的磁场较暗纤维的磁场垂直<sup>[24]</sup>。这一结论已经很好地被“floating filament”模型所解释<sup>[25]</sup>。但是，问题的另一部分即关于亮度变化与磁场强度的关系则不那么肯定。例如 Wiehr 等人<sup>[25]</sup> 认为半影暗纤维中存在较强的磁场，而另外一些观测结果显示亮度变化与磁场强度无关<sup>[20]</sup>，甚至刘建强等人<sup>[26]</sup> 还认为亮纤维的纵场比暗纤维约高 300G。因此，关于半影精细结构与磁场的关系，还有待于进一步研究。

## 2.3 气 孔

同黑子一样，气孔 (pore) 也是日面上强磁场存在一种形式，它的白光表象也是光

球上的暗区域, 其平均亮度约为光球的 65%, 大小约在 700—1750km 之间, 少数可达 3500km<sup>[27]</sup>。气孔与黑子的主要区别在于前者的寿命较短, 而且传统的观点(低分辨)认为气孔不存在半影结构<sup>[4]</sup>。但近年的高分辨观测证实了气孔和所谓“微黑子”(microspot)是一回事<sup>[28,6]</sup>, 因为在气孔周围也存在着类似于半影纤维的拉长结构(elongated structure)。Keller<sup>[6]</sup>测得的这种拉长结构长约 0".5—1".0, 彼此间的距离约为 0".3—0".5。亮结构的亮度约为光球亮度的 100%—110%, 暗结构为 90%—100%。

至于气孔的场强, Brants 和 Zwaan<sup>[29]</sup>用黑子本影的特征谱线  $\lambda 6064.6\text{\AA}$ 测得的结果为 1900—2600G, 而 Simon 和 Weiss<sup>[27]</sup>得到的气孔场强的下限为 1500G, 且气孔边缘的磁场梯度极大, 可高达  $6000\text{G}\cdot\text{arcsec}^{-1}$ 。此外, 由于气孔的面积较小, 因此它的磁力线不如黑子那样发散, 磁场显得垂直一些。

## 2.4 磁 结

磁结(magnetic knot)有时候并不是一个十分明确的概念, 因为在某些时候人们并不能将它同诸如“invisible sunspot”、“magnetic gap”、“non spot region”及“micropore”这样一些概念完全等同起来或区别开去。不过在本文中, 我们采用 Spruit 和 Zwaan 的分类, 认为它的大小在 0".5—1".6 之间, 这样, 磁结就是介于磁元与气孔间的强磁区, 它可存在于黑子浮现区及宁静网络的附近<sup>[7,30]</sup>, 它比光球暗, Keller<sup>[6]</sup>给出它的亮度约为光球的 70% 左右, 而 Zirin 等人<sup>[30]</sup>则认为它比光球暗约 10%—40%, 而具体值与其磁场强度有关。Simon 和 Weiss<sup>[28]</sup>定义磁节的场强上限为 1500G, 这样, 磁结与气孔等概念就容易区别了。

另外, 有时人们又会将磁结和磁元(magnetic element)放在一起讨论, 但磁元的亮度特征是光球亮点, 而磁结则是光球上的暗结构。近年的理论和观测都证实在磁元和磁结间存在着临界尺度, 在此尺度之上, 大部分磁流以较大的暗结构的形式存在; 而小于该尺度的大部分磁流则以较小的亮结构形式存在, 并且极少出现大小接近于该临界尺度的磁结构。Keller<sup>[6]</sup>测得的临界值至少在某一个方向上约为 300km, 而理论分析给出的值约为 500km<sup>[31]</sup>。磁结与磁元间为什么会存在这么一个过渡值? 它的物理机制是什么? 这是我们目前面临的一个挑战。

## 2.5 磁元与光球亮点

磁元(magnetic element)的尺度非常小, 以致在目前的技术条件下我们还很难直接观测到, 而且与上述几种强磁区不同的是, 磁元的亮度表象是光球亮点(photospheric bright point)。这些亮点在活动区表现为光斑点(facular point, FP)而在宁静区则是网络亮点(network bright point, NBP)<sup>[32]</sup>。

我们知道, 米粒是宁静光球的基本特征, 它的平均大小常在 1".0—2".0 之间, 而米粒间存在约 0".4 左右的暗径(dark lane), NBP 就位于这些暗径中; 此外, 它们也出现在超米粒的边界。NBP 是由于米粒间的压缩(compression)而产生的<sup>[32]</sup>, 它的亮度约为光球平均亮度的 1.3 倍<sup>[6]</sup>, 大小约为 0".2 左右, 平均寿命约 15min, 以简单衰减的方式消失。

光斑则是活动区中较为扩散的亮结构, 它是由小于 0".5 的光斑点(FP)构成的, FP 常以致密的团状或链状的形式组成光斑。光斑的亮度同米粒差不多, 因此通常情况下在

日面中心两者不易区分<sup>[33]</sup>，不过在光球线的线心或色球线(如  $H\alpha$ 、 $CaII H$  和  $K$  线等)的线翼，光斑很易观测到，且可看到它与活动区的谱斑是共空间(cospatial)的<sup>[34]</sup>。至于 FP，除了它出现的位置与 NBP 不一样外，其余的性质两者没有什么区别<sup>[32]</sup>。

由于磁场观测的分辨率远较亮度结构的观测分辨率低，目前的观测条件还无法直接观测到像磁元这样小的磁结构，因此，迄今为止，磁元的大小、形状及场强等参数几乎都是由间接方法得到的。我们已经定义了磁元大小的上限是  $0''.5$ ，那么它的下限是多少呢？Ramsey<sup>[35]</sup>1977 年测得的最小磁结构为  $0''.3$ ，而  $0''.3$  这个值是由他观测时的大气视宁度给出的；汪景琇等人<sup>[36]</sup>则发现，如果定义小尺度磁场为  $1kG$  的强磁场，则最小可探测的磁结构为  $30km$ ；Zayer 等人<sup>[37]</sup>给出的磁元大小为  $60 \sim 300km$ ；Keller<sup>[38]</sup>测得的最小磁结构为  $0''.27$ ，而该值也不过是他所用仪器的分辨极限。从这些结果我们看到，只有依赖未来更高分辨率的磁场观测，我们才能准确确定磁元的大小。

磁元同光球亮点间存在着某种联系。例如，磁元的寿命为  $10 \sim 30min$ ，但大的变化发生在  $15min$  之内<sup>[39]</sup>，而且由于反极性对消而消失<sup>[40]</sup>，这种演化特征与光球亮点的演化特征是很相近的；另外，磁元与光球亮点存在着空间位置的相关性<sup>[1,32]</sup>，虽然这种关系并不是一一对应的<sup>[6,41]</sup>，但它同样也反映了两者之间的某种联系。遗憾的是，到目前为止，我们还无法知道它们之间的内在联系是什么。事实上，这也正是当今太阳物理的重大难题之一。

同磁元的大小一样，其场强目前也只能用间接方法得到。从 Stenflo<sup>[42]</sup>1973 年发明线对比例方法(line ratio)以来，很多人都用这一方法进行过测量<sup>[1]</sup>，虽然这些测量结果的具体值范围较大，但也得到了一个共同的结论：磁元为  $kG$  级的强磁场。这一结论也已较好地被其他一些方法得到的结果所证实<sup>[1]</sup>。但值得注意的是，虽然如此众多的研究证实了磁元确实是强磁场存在的一种形式，但这却并不足以解决太阳物理中一个古老却又热门的话题：小尺度磁流存在的主要形式是什么？强场还是弱场？Stenflo<sup>[43]</sup>认为太阳上 90% 以上的磁流都是以  $kG$  级的强场形式存在的，磁元则是小尺度磁场存在的主要形式；Zirin<sup>[44]</sup>则认为磁场存在的形式多种多样，而宁静区磁场多以扩散的弱场形式存在。两种观点谁是谁非？这只能由未来的高分辨磁场观测去回答。

## 3 高分辨观测方法及工作展望

### 3.1 高分辨观测方法及其现状

通过以上评述我们看到，磁场精细结构的问题是一个远未解决的问题，其中有的问题通过努力可以解决，有的在今后一段时间内可望解决，而有的则需要相当一段时间才能解决。因此，要确立今后的工作目标，除了了解前面评述的研究现状外，还必须了解当前高分辨观测设备和方法的现状。以下就对此作一概述。

一种直观的方法是对太阳光谱进行直接的分析，Stenflo<sup>[42]</sup>提出的线对比例法就是其中运用得最多的一种。该方法的基本点在于选择一对或多对属于同一多重线系、强度近似相等、磁敏特性不同但其他物理参数大致差不多的谱线，对同一磁结构进行测量。如果磁场比较弱则用两条线得到的磁场信号之比应等于两者的 Lande 因子之比，而如果

其比值偏离 Lande 因子之比, 则说明磁场是强的。正是运用这一方法, Stenflo 断定太阳宁静区磁场存在于 100—300km 的离散区域中, 但其场强为 kG 级的强磁场<sup>[43]</sup>。此外, 还有别的一些光谱分析方法, 例如斯托克斯参数分析法<sup>[45]</sup>、Fourier 变换<sup>[46]</sup>等。

通过图像复原技术以得到高分辨观测资料的方法也是一条有效的途径, 其中比较好的一种是斑点干涉像复原方法<sup>[47]</sup>。该方法的出发点是以短于大气扰动特征时间(平均约 10ms)的短曝光像使大气“冻结”, 从而在图像中保留了直到望远镜衍射极限分辨率的信息, 通过对一系列这样的短曝光像进行处理, 从而获得高分辨资料。这种方法近十年在太阳物理中发展较快, Keller<sup>[6]</sup>已用它得到 0".3 分辨率的磁图。

以上几种方法都是后续处理的方法, 比较起来, 人们更希望通过直接的观测获得高分辨的资料。最近十年来, 这方面的工作得到突飞猛进的发展, 自适应光学 (adaptive optics)、实时像选择器 (real-time image selection)、相关追踪器 (cross-correlation tracker) 等先进技术被广泛应用于太阳望远镜上<sup>[48]</sup>, 使得地基望远镜的观测已初步克服了地球大气的限制(当然, 要完全摆脱大气的影 响, 除了空间望远镜外, 地基望远镜的道路还很漫长)。预计在今后一段时间内, 配备上述系统的“German Solar Telescope”(在西班牙 La Palma)、“Vacuum Tower Telescope”(在美国 Sac. Peak)以及正在建造中的 LEST、THEMIS 等, 将成为高分辨太阳观测的主要设备。

就国内而言, 处于试观测中的太阳多通道望远镜, 正在设计制造中的球载及流动望远镜等, 都在进行实时像选择器、相关追踪器以及用于折射系统的自适应光学等先进设备的研制, 可望在本世纪的最后几年跟上世界发展的潮流。此外, 斑点干涉像复原方法的运用也已取得了一些初步结果<sup>[49]</sup>。

### 3.2 未来工作展望

通过前面的评述, 结合我国即将完全投入使用的实时多通道望远镜系统, 我们深感在未来磁场精细结构的研究工作中是可以有一番作为的。我们认为有以下一些努力方向:

(1) 半影纤维的研究。利用多通道多层次的实时的矢量磁场观测, 应该能够得到关于半影纤维场强及方向的令人信服的研究结果;

(2) 线对比例方法。线对比例法多用于光谱分析中, 多通道望远镜中专门设计了  $\lambda 5247.06\text{\AA}$  和  $\lambda 5250.21\text{\AA}$  这样一对线对, 从而使我们可以从另一角度用该方法去研究小尺度磁场。

(3) 磁元与光球亮点。多通道滤光器是万能可调滤光器系统, 从而使得我们在同一系统中可以同时测量同一太阳层次同一区域的亮度分布和磁场分布, 这种完全的同 一性, 对研究磁元和光球亮点的关系提供了有利条件。

(4) 小尺度磁结构演化的研究。通过长时间、多层次的实时观测, 可以全面地回答有关小尺度磁场的形成、寿命及运动等问题。

(5) 三维磁结构。通过多层次的实时观测, 可以很容易地构筑太阳大气中的立体磁结构形态, 从而验证有关太阳磁场的许多理论模型, 有助于理解太阳活动的本质。

## 参 考 文 献

- [1] Solanki S. *Space Sci. Rev.*, 1993, 63: 1
- [2] 方 成. 紫金山天文台台刊, 1987, 6: 1
- [3] Spruit H C, Zwaan C. *Solar Phys.*, 1981, 70: 207
- [4] Bray R J, Loughhead R R. *Sunspots*, 1st ed. London: Chapman and Hall Ltd., 1964. 41
- [5] Sobotka M, Bonet J A, Vazquez M. In: Zirin H, Ai G, Wang H eds. The magnetic field and velocity field of solar active regions. Proceeding of IAU colloq. No.141, Beijing, 1992, San Francisco: Astronomical Society of Pacific. 1993: 20
- [6] Keller C U. In: Zirin H, Ai G, Wang H eds. The magnetic field and velocity field of solar active regions, Proceeding of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992, San Francisco: Astronomical Society of Pacific, 1993: 3
- [7] Beckers J M, Schroter E H. *Solar Phys.*, 1968, 4: 142
- [8] Danielson R. *Ap. J.*, 1964. 139: 45
- [9] Grossman-Doerth V, Schmidt W, Schroter E H. *Astron. Astrophys.*, 1986. 156: 347
- [10] Garcia de la Rosa J I. *Solar Phys.*, 1987, 112: 49
- [11] Kneer F. *Solar Phys.*, 1973. 28: 361
- [12] Zwaan C, Brants J I, Cram L E. *Solar Phys.*, 1985, 95: 3
- [13] Lites B W, Thomas A B, Johannesson A *et al.* *Ap. J.*, 1991, 373: 683
- [14] Garcia de la Rosa J I. In: Schroter, Vazquez, Wyller eds. The role of the fine scale magnetic fields on the structure of the solar atmosphere. Cambridge: Cambridge University Press, 1987. 140
- [15] Muller R. *Solar Phys.*, 1973, 32: 409
- [16] Grossmann-Doerth U, Schmidt W. *Astron. Astrophys.*, 1981, 95: 366
- [17] Banos G J, Macris C J. *Solar Phys.*, 1970, 12: 106
- [18] Krat V A, Karpinsky V N, Pravdjuk L M. *Solar Phys.*, 1972, 26: 305
- [19] Stachnik R V, Nisenson P, Naves R W. *Ap. J.*, 1983, 271: L37
- [20] Schmidt W, Hofmann A, Balthasar H *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1992, 264: L27
- [21] Kalman B. *Izv. Krymsk. Astrophys. Obs.*, 1979, 60: 104
- [22] Makita M, Hamana S, Nishi K *et al.* *Publ. Astron. Soc. Jpn.*, 1985, 37: 561
- [23] 洪琴方, 丁有济. *天文学报*, 1993, 1: 98
- [24] Hofmann A, Schmidt W, Balthasar H *et al.* In: Zirin H, Ai G, Wang H eds. The magnetic field and velocity field of solar active regions, Proceeding of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992. San Francisco: Astronomical Society of Pacific. 1993: 11
- [25] Wiehr E, Knolker M, Grosseer H *et al.* In: Schroter, Vazquez, Wyller eds. The role of fine scale magnetic fields on the structure of solar atmosphere. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1987. 162
- [26] Liu Jianqiang, Cao Ai, Chen Jimin *et al.* *Publ. Beijing Astouomical Observatory*, 1991. 18: 54
- [27] Simon G W, Weiss N O. *Solar Phys.*, 1970, 13: 85
- [28] Zirin H, Wang H. *Ap. J.*, 1992, 385: L27
- [29] Brants J J, Zwaan C. *Solar Phys.*, 1982, 80: 251
- [30] Zirin H, Wang Haimin. *Ap. J.*, 1992, 385: L27
- [31] Knolker M, Schussler M. *Astron. Astrophys.*, 1988, 202: 275
- [32] Muller R. In: Stenflo J O ed. *Solar photosphere: structure, convection, magnetic fields*, Proc. of IAU Symp. No. 138. Kiev, USSR, 1989, Dordrecht: Kluwer, 1990: 85
- [33] Muller R, Keil S. *Solar Phys.*, 1983, 87: 243
- [34] Topka K, Tarbell T, Title A. *Ap. J.*, 1992. 396: 351
- [35] Ramsey H, Schoolman S, Title A. *Ap. J.*, 1977. 215: L41
- [36] Wang Jingxiu, Zirin H, Shi Zhongxian. *Solar Phys.*, 1985, 98: 241

- [37] Zayer I, Solanki S, Stenflo J. *Astron. Astrophys.*, 1989, 211: 463
- [38] Keller C. *Nature*, 1992, 359: 307
- [39] Title A, Tarbell T, Topka K. *Ap. J.*, 1987, 317: 892
- [40] Livi S, Wang Jingxiu, Martin S. *Australian J. Phys.*, 1985, 38: 855
- [41] Wang Jingxiu, Shi Zhongxian, Liu Jianqiang *et al*, *Publ. Beijing Astronomical Observatory*, 1989, 14: 44
- [42] Stenflo J O. *Solar Phys.* 1973, 32: 41
- [43] Stenflo J O. In: Zirin H, Ai G, Wang H eds. *The magnetic field and velocity field of solar active regions*, *Proceeding of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992, San Francisco: Astronomical Society of Pacific*, 1993: 205
- [44] Zirin H. In: Zirin H, Ai G, Wang H eds. *The magnetic field and velocity field of solar active regions*. *Proceeding of IAU colloq. No. 141, Beijing, 1992, San Francisco: Astronomical Society of Pacific*. 1993: 215
- [45] Stenflo J O. *Solar Phys.*, 1975, 42: 79
- [46] Tarbell T, Title A. *Solar Phys.*, 1977, 52: 13
- [47] von der Luhe O. *Astron Astrophys.*, 1993, 268: 374
- [48] von der Luhe O. In: Bergeron J ed. *Proc. of 21th general assembly of IAU, XXIA, Reports on astronomy, Buenos Aries, 1991, Dordrecht: Kluwer*, 1992: 100
- [49] 邓元勇, 艾国祥, 张 斌等. *天文学报*, 1994, 4: 380
- [50] Foukal P. *Solar astrophysics*, 1st ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1989. 275

(责任编辑 刘金铭)

## The Fine Structures of Strong Magnetic Regions on the Sun

Deng Yuanyong Wang Jingxiu Ai Guoxiang

(*Beijing Astronomical Observatory, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

### Abstract

After reviewing the progress on the study of fine structures of solar magnetic fields made in the past years, we discuss what is possible to be done and what must be done about the research of high resolution solar magnetic fields based on the instruments we have had and will have. We mainly review the fine structures of strong magnetic regions and their brightness characteristics in order to emphasize our focus. The magnetic field whose strength is above 1000G is named as strong magnetic field. Many results have proven there exist some relations between the strong magnetic field and its brightness feature that. Unfortunately, now it is not clear what they are. It will be a focus to find these relations because they are important for us to study the fine structures of solar magnetic fields.

**Key words** Sun: magnetic field—Sun: strong magnetic field—Sun: fine structures—Sun: brightness features—method: observation