**文章编号**：1000-8349(2007)04-0296-09

# 太阳表面磁场的分布与演化研究进展

宋文彬 [1,2] ，冯学尚 [1] ，汪景琇 [2]

(1. 中国科学院 空间科学与应用研究中心空间天气学国家重点实验室，北京 100080 ； 2. 中国科学院 国家天文台，北京 100012)

**摘要**：太阳磁场、较差自转和内部对流使得日面磁场与磁活动在很大的时间尺度和空间尺度范围均表现得相当复杂。其中最有名的是太阳活动的 11 年周期，或 22 年磁周期。在较小时间尺度上，从几秒到几小时，有时太阳大气中会发生一些壮观的爆发事件，如耀斑、日珥爆发、日冕物质抛射等。所有这些形式的事件都与太阳磁场紧密关联。简单评述了太阳磁场起源与观测方法，重点论述了不同尺度太阳磁场的空间分布与演化，介绍了从太阳磁活动现象统计得到的有关太阳磁场的几个典型特征，同时讨论了进一步研究的方向。

**关 键 词**：天体物理学；太阳物理学；太阳表面磁场；太阳发电机

**中图分类号**：P182.2$^{+}$2 **文献标识码**：A

## 1 引 言

科学上常将太阳看作是以宁静太阳为主体并附加有太阳活动现象的实体 [1] 。前者表示一颗球对称的恒星，稳定而均匀地朝四面八方发出电磁与粒子辐射；后者表示在局部化的时间和空间上太阳表面出现的各种扰动。这些扰动统称为太阳活动，如黑子、耀斑、日珥和 CME(日冕物质抛射) 等，详见图 1 。太阳活动是太阳物理研究的重点，准确理解各类太阳活动的触发机制和分布演化是研究太阳磁场的最终目的，反过来研究太阳磁场也离不开对太阳活动的观测统计，因此这里先简单介绍以上 4 类典型的磁活动现象及其与磁场相关的物理解释。

人类认识太阳活动是从黑子开始的。黑子表征了太阳光球表面的局部强磁场区，等离子体难以横越磁力线而使得黑子本影气团的对流受到相当程度的抑制，造成本影大气温度较低、亮度偏暗。耀斑是最剧烈的太阳活动爆发形式，是光球上方局部大气中磁能突然大规模释放的结果，主要表现在宽带范围的电磁辐射增强、粒子流量和各种激波增多。大部分耀斑发生在黑子附近的活动区内，尤其当活动区处于快速增长的状态。日珥就是在色球望远镜 (H$\alpha$ 和 Ca II K 谱线) 中所看到的位于日面边缘的环状突起物，当转向日面中心时，其在光球表面的

**收稿日期**：2006-08-14 ； **修回日期**：2006-12-29

**基金项目**：国家自然科学基金资助项目 (40336053 、 40374056 、 40536029 、 40604019)

投影表现为又暗又细又长的纤维结构,此时常称作暗条。从视向磁图上看暗条一般处在磁中性线上，$B_{\rm L}=0$ ,将大面积相反极性的弱磁场区隔开。日珥本身磁场的大小为 $0.5\times10^{-3}\sim1.0\times10^{-3}$ T 。目前典型的日珥模型有 2 个：分别是 K–S 模型和 K–R 模型，前者认为支撑重力的是由于磁力线向下弯曲引起的向上的磁力线张力，后者则认为是磁力线张力的垂直梯度 [2,3] 。 CME 表示日面上大范围的物质和磁场受日冕扰动影响，而突然朝外的抛射现象。1993 年 Gosling [4] 发表著名的耀斑神话，他认为是 CME 而不是耀斑在所有强地磁暴、行星际激波或太阳粒子事件中起决定作用。典型的 CME 包含有明显的 3 分量结构，即前端、空穴和亮核。 CME 在太阳风中的传播常表现为磁云或喷流，利用行星际闪烁技术人们基本上已经获得了 CME 从太阳到地球的全程观测资料 [5] 。可惜的是目前人们仍然无法确切知道 CME 详细的初发过程。

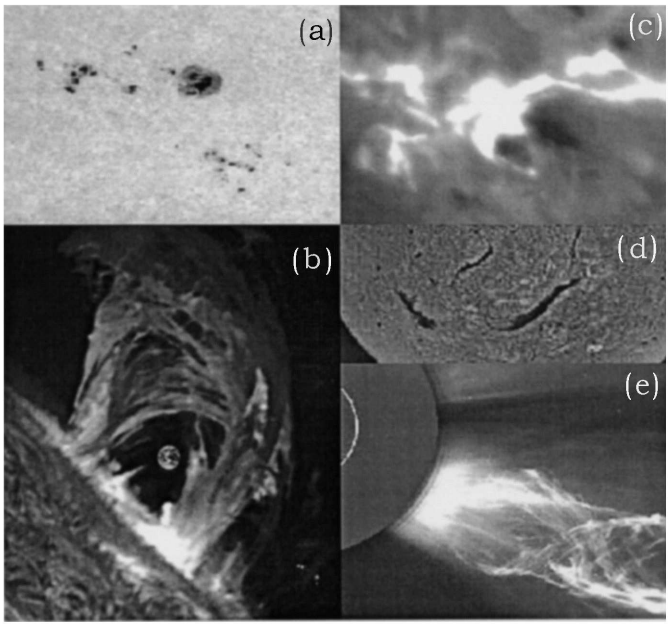


图 1　典型的太阳磁活动现象

(a) 太阳黑子 (白光)， (b) 日珥 (304 Å ，中间的小圆圈标志地球大小)， (c) 耀斑 (195 Å)，
(d) 暗条 (Hα)， (e) 日冕物质抛射 (Fe XIV 5303 Å)

## 2　太阳磁场起源及其测量

自从 Hale [6] 发现太阳黑子拥有很强的磁场，首次揭示太阳活动的磁场本质以来，磁场这一因素在很多太阳活动的解释模型中都占有十分重要的角色。比如小的光斑、长的日珥、快的耀斑和大的 CME ，都是磁场演化或磁能释放的结果 [7] 。目前普遍认为，太阳表面磁场主要源于强剪切层的自激发发电机作用 [8] 。这种发电机机制实现了表面磁场环向分量与极向分量之间不断相互转化的循环 [9] 。发电机理论能够较好地解释诸如 11 a 太阳活动周、 Spörer 定

律 (描述黑子群在日面的浮现位置随太阳活动周变化的特征) 、 Hale-Nicholson 极性反转定律和 Maunder 蝴蝶图 (见图 2 ，指以时间为横轴，黑子群出现的平均纬度为纵轴做出的连续多个太阳活动周的黑子群在日面的分布图样，因酷似一只只展翅飞舞的蝴蝶而得名) 等一系列实测现象。详细的发电机理论进展介绍请参见文献 [10] 。

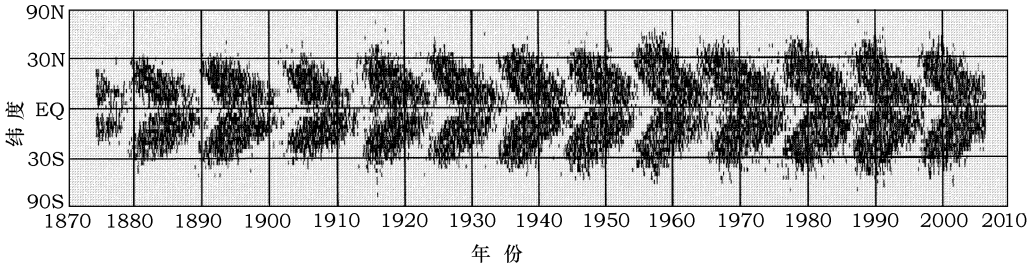


图 2 太阳黑子 Maunder 蝴蝶图 (第 11–23 太阳活动周)

源自 http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/bfly.gif

随着太阳磁场观测分辨率的提高，在宁静太阳区我们发现依然有许多小尺度磁元 (如图 3 所示) 。这些断断续续的混合极性的小尺度磁元集中分布在超米粒边界上，形成所谓的网络磁场。在超米粒元胞内部还存在着离散的更微弱的磁场，称为网络内磁场。尽管观测表明当太阳磁流管低于某个特征尺度时物理性质将发生突变，但网络内磁场已是目前观测到的最小尺度的太阳磁结构 [11] 。网络磁场与网络内磁场的特征磁通量大小分别为 $2\times10^{10}$ 、$6\times10^{8}$ Wb[12] ，前者主要由活动区磁场瓦解形成，后者主要从网络磁场内部随机地浮现出来。

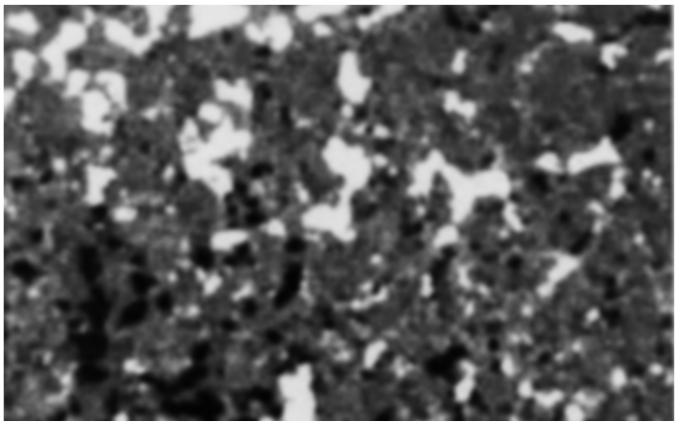

图 3 1992 年 6 月 4 日美国大熊湖太阳天文台观测的太阳宁静区视向网络磁场结构

噪音水平为 $2\times10^{4}$ T 、空间分辨率接近 $1''$ ，白色表示正极、黑色表示负极，图像方位为上北下南左东右西

1897 年塞曼发现位于磁场中的原子发射谱线存在分裂现象，频差幅度与原子绕外加磁场方向磁矩的拉莫尔进动频率成正比，此即塞曼效应。但与纯发射线或纯吸收线不同，太阳夫琅禾费谱线是太阳大气物质不断吸收辐射又不断发出辐射的结果，须建立相应的辐射转移方程 (即 4 个斯托克斯参数) 才能求解磁场。 1908 年 Hale [6] 第一次观测到了黑子磁场的塞曼效应。但直

到 1953 年 Babcock 才利用塞曼效应的偏振特征发明了可以测量太阳表面较弱磁场的仪器 [13] 。1964 年 Severny [14] 通过测量受塞曼效应影响的谱线的线偏振与圆偏振信号定出了太阳磁场的全部 3 个分量 (前两种方法仅仅是定出太阳磁场的视向分量) 。2006 年 9 月 23 日发射的 Solar-B 卫星上载有的 SOT(Solar Optical Telescope) 设备将是目前为止空间分辨率最高 (达到 0.2″) 而且是首次空间测量太阳表面三维磁场的望远镜。但是上面仅仅是测量了光球层的磁场信息，而对于光球层之上的色球层和日冕层，由于低磁场强度和低 $\beta$ 引起的低发射功率等客观因素影响导致无法进行准确测量, 成为太阳物理界的一大难题。日冕层可测的谱线的塞曼分裂主要限制在活动区上空辐射的波长较长的红外波段，比如 Lin 等人 [15,16] 采用红外波段 Fe XIII 10747 Å谱线测得了距离日面约 0.1 个太阳半径、强度为 $(1\sim3)\times10^{-3}$ T 的磁场信息。在测量太阳高层大气的磁场中，除采用塞曼效应外， Hanle 效应也是一种不错的选择，后者在测量 $10^{-7}\sim10^{-2}$ T 范围的弱磁场中更显优势，但对仪器偏振敏感度的要求更高。 Raouafi 等人 [17,18] 借助 Hanle 效应解释了 SOHO/SUMER 对日冕层远紫外波段 O VI 1032Å谱线的线偏振的测量结果，得到极区冕洞的磁场大小约为 $3\times10^{-4}$ T 。

## 3　太阳磁场的分布与演化

认识大尺度太阳磁场的分布与演化常借助于全日面视向磁图。图 4 给出了太阳在活动谷年期间的全日面磁图。图中我们可辨认出新的和旧的偶极磁活动区、南北半球两活动带、背景磁场以及网络磁场。如西南边上的新浮现区，其正负两极磁元呈现紧密的东西走向排列，数月后新活动区逐渐瓦解形成类似东南边上的离散的大面积旧活动区。尔后组成旧活动区的细小磁元在随机的米粒和超米粒运动的共同作用下进一步分散，慢慢滑落至超米粒边界构成 30 000 km 尺度的网络磁场元胞。尽管图 4 的空间分辨率大致为 2 000 km ，而组成网络结构

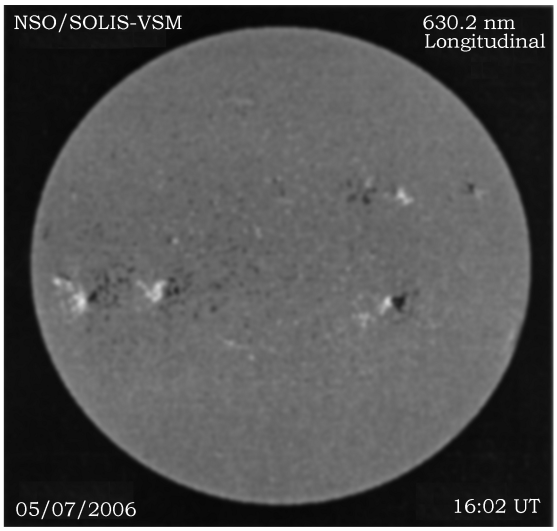


图 4　美国国家太阳天文台基特峰观测站 SOLIS 记录的全日面光球视向磁场分布

白色表示方向朝外的正极磁场，黑色表示方向朝内的负极磁场，图像方位为上北下南左东右西

的独立磁元的特征尺度为 100 km，但在低纬度带的宁静区还是可以看清楚网络磁场的基本轮廓。另外，考虑到太阳自转周期比活动区寿命短，为了能够同时反映太阳背面的磁场信息，人们利用许多连续的全日面视向磁图裁剪拼接成沿用卡林顿坐标系的综合磁图。太阳综合磁图资料目前主要有 3 种，分别来自美国威尔逊山天文台、美国国家太阳天文台基特峰观测站和 SOHO/MDI 观测；精度依次为 $36 \times 30$ 、 $360 \times 180$ 和 $3\,600 \times 1\,080$ 像素网格 / 全日面。

采用球谐函数描述太阳光球磁场的分布与演化也许是目前最多、最自然的选择 [19,20] 。就像求解氢原子的定态薛定谔方程一样，对太阳发电机方程的本征函数做球谐函数展开可以标定整个系统的不同共振模。球谐函数系数 $C_l^m$ 中量子化系数 $l$ 和 $m$ 分别表示对应振动模的“度”（代表太阳表面节线数目）和“阶”（代表经向上的花样重现数）。Stenflo 等人 [19−21] 融合处理了美国威尔逊山天文台 Babcock 综合磁图和美国国家太阳天文台基特峰综合磁图，发现轴对称（或 $m = 0$）的振动模表现出明显的奇偶 ($l$) 选择性。反对称性（相对太阳赤道）模量拥有显著的 22 a 谐频，其功率谱密度仅比 11 a 周期峰低 10%；对称性模量则没有 22 a 周期，而是出现多个微弱的 2 a 谐频。正是反对称性的奇数模与对称性的偶数模相互叠加造成了太阳光球磁场的南北半球有规律的不对称性现象 [22] 。图 5 给出了 2 类模量各自叠加的详细图样。非轴对称 ($m \neq 0$) 模量 22 a 振动反而较 11 a 振动突出许多，但其奇偶模量性质与轴对称模量相同。

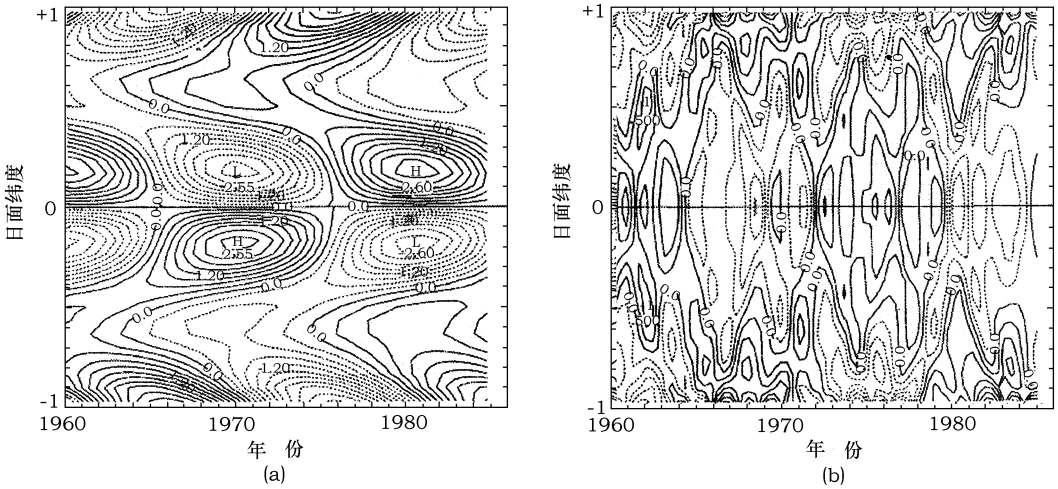


图 5 特征模叠加效果图

(a) $l$ 为奇数的所有反对称特征模叠加效果图； (b) $l$ 为偶数的所有对称特征模叠加效果图，

等值线上所标数值为归一化的 Fourier 积分能量密度 [21]

经发电机放大的“种子”磁场在对流层强大的磁浮力作用下不断涌出光球表面 [23] ，形成尺度不一的磁流管。综合磁图上显示的长寿命的活动区 (Active Region, AR) 仅仅指示了大尺度的新磁浮现部分。还有一类短寿命的同样属于偶极场性质的中尺度活动区，称为瞬现区 (简称 ER) [24−26] 。剩下就是前面提到的更小尺度的混合极性的网络内磁场（简称 IN）。1987 年 Zirin [27] 大体估算了这 3 类典型尺度磁流管的浮现速率，它们分别为 $10^{12}$ 、 $10^{14}$ 和 $10^{16}$ Wb/d 。可见 AR:ER:IN 的比例为 1:100:10 000 ，但是它们的尺度比例却仅为 25:5:1 ，所以在光球表面时刻占主导的其实是那些常被忽略的极小和极不稳定的网络内磁元。至今仍然

没有可靠证据证明小尺度磁元的浮现过程也拥有跟大尺度磁结构一样的统计特征，如活动经度、 Hale 极性定律和系统的偶极轴倾斜等。同时也没有证据显示其分布规律又一定是完全随机的。考虑到小尺度磁元极高的浮现速率， Stenflo [28] 认为稳定的大尺度磁结构十分有可能是由许多非随机分布的小尺度磁元不断产生湮灭的微动态过程构成的。

不同尺度磁结构的关系、对流与湍流的关系、强剪切层发电机与分布式发电机 (又称表面发电机) 的关系等，目前都有着巨大的争议。例如在宁静太阳区能够发现许多小尺度的太阳活动，像微波亮点、微耀斑、小尺度喷流、微暗条爆发等，很难回答它们是大尺度太阳活动的缩小模型还是与其有本质区别 [7] 。其消耗能量对大尺度活动而言是微不足道的，但就发生频次而言却又远远高于后者。据不完全统计，在全日面范围其每日发生的微暗条爆发次数不下于 5 000 次。所以有人认为色球与日冕加热可能与这些小尺度太阳活动现象有关 [29,30] 。

太阳活动的统计特征同样能够反映磁场的分布与演化信息。这里我们主要从 3 方面予以阐述：活动的复杂性、活动的经向分布与扇区结构、活动的周期性。太阳活动的复杂性演化常常伴随有频繁的大范围的磁浮现 [31,32] ，这个过程通常会持续 10 个卡林顿周以上，主要表现在光球表面活动区数量增多、尺度增大以及磁场的拓扑结构更加趋于复杂。一般其发展速率较快，达到峰值后会维持 2~3 个卡林顿周，期间会爆发许多规模宏大的耀斑、 CME 事件，然后缓慢衰退，经 3~4 个卡林顿周后，大范围的磁结构开始大大简化并逐渐演化成开放场，最终形成大面积的冕洞结构 [31−34] 。

活动经度现象是指在日面某条固定的经度带总表现有强烈的太阳活动，时标通常长达 20~40 个卡林顿周，其产生机制也许同发电机磁场的非轴对称分量有关。如 1968 年 Dodson 和 Hedeman [35] 利用 15 a 的可见光斑资料首次发现两条近乎对称的活动经度带 (分别位于 60° 和 240°) ，这为 $m = 1$ 的非轴对称发电机模提供了例证。活动经度带的宽度一般为 20°~40° ，2002 年 Benevolenskaya [36] 发现活动经度能够给太阳总照度带来显著影响。扇区结构则主要是指太阳南北半球背景磁场的一种分布特征，大面积的单极磁场区域在两半球基本呈现对称分布，南北半球不同极性的扇区分界线几乎在同一条经线上 [37] 。

关于太阳活动的周期性研究很多，这里我们仅罗列 2 个典型的周期分别做简单的介绍。1)Rieger 等人 [38] 发现的 154 d 周期：Rieger 周期是继 11 a 太阳活动周和 27 a 太阳自转周后最引人注目的新周期 [39] ，它几乎存在于太阳的各种活动与变化现象中。Carbonell 和 Ballester [40] 曾这样评价 154 d 周期：“这是太阳活动的本质特征。” Bai 和 Sturrock [41] 也认为：“ 154 d 周期一定代表了太阳的某个基本属性。” 因此，许多人将这个周期同光球层周期性的磁浮现关联起来 [40,42−44] 。 2) 太阳黑子相对数的显著的 22 a 周期 (见图 6) ，因为它已被广泛当作太阳剩余磁场存在的证据 [47] 。 Levy 和 Boyer [48,49] 曾在 20 世纪 80 年代初期论证了当位于辐射层的太阳剩余磁场同强剪切层的发电机磁场存在一个好的方位角时，对流层总磁通量会增加许多，从而可能导致黑子增多；等到下一个太阳活动周时因为发电机磁场方向反转 (Hale-Nicholson 极性定律) ，对流层总磁通量又会因为太阳剩余磁场的存在而减少许多，因此不利于黑子产生。

## 4　讨论和展望

太阳磁场是一切太阳活动的枢纽，认识其分布与演化规律有多重意义。第一，有助于建立

合理的发电机模型，发电机理论的根本任务就是回答太阳磁场是如何产生与演化的，经统计我们发现太阳磁场存在着朝两极移动的子午环流，那么在建立模型时我们就会在速度场上增加此项；第二，有助于中长期的太阳活动预报，假如我们已经知道光球表面大范围的磁浮现存在 3 年的周期以及浮现的分布模式，而且也大致了解主要活动区的寿命和演化过程，那么我们就能够比较准确地估计未来太阳表面主要活动区的具体位置；第三，有助于理解等离子体物理，太阳为我们提供了一个天然等离子体实验室，虽然我们不能随意操控，但是所观测到的各种纷繁芜杂的磁活动现象曾经并仍将给予我们许多启示与思考。

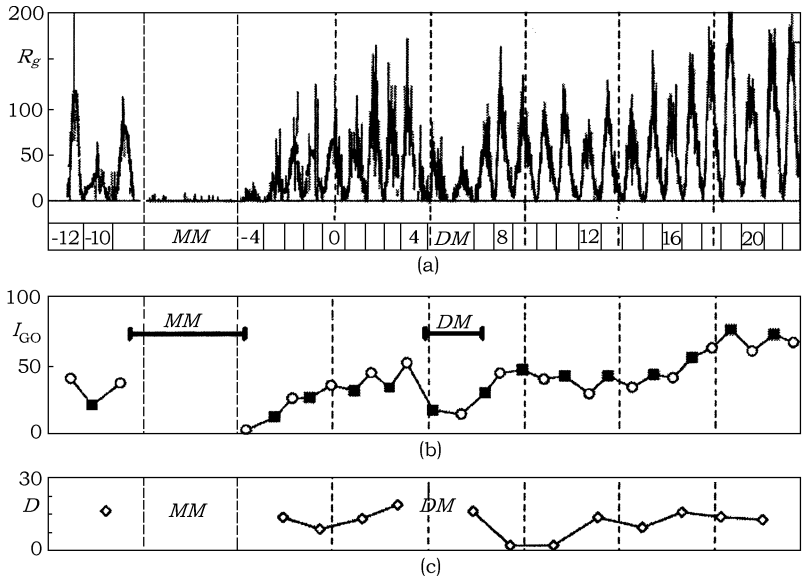


图 6 太阳黑子相对数的 22 年周期

(a) Hoyt 黑子相对数月均值，下方方格内为活动周编号、 Maunder 和 Dalton 极小期； (b) 滑动平均后的每太阳周平均黑子相对数 $I_{GO}$ ，实心方块表示每奇数次太阳周的 $I_{GO}$ 值，空心圆圈表示每偶数次太阳周的 $I_{GO}$ 值； (c) 两相邻太阳周的 $I_{GO}$ 差值，其大致水平说明太阳黑子存在一个拥有稳定振幅的 22 a 周期 [45,46]

总之，太阳磁场的分布与演化是个很重要的课题，其内容涉及到太阳物理的方方面面。我们认为深刻理解太阳磁场的起源及其规律性的演化机制，归根到底是建立一个合乎观测统计的发电机模型。其重要的方向有 5 个： 1) 准确评估辐射层太阳剩余磁场对对流层发电机的影响，回答黑子、暗条等太阳活动的 22 年周期； 2) 探索非轴对称的发电机模，解释太阳磁场分布的经向不对称性； 3) 结合光球层和对流层大尺度速度场分布，理解局部发电机的统计特征，例如为什么太阳活动总是由北半球占优过渡到南半球占优 [22] ； 4) 研究极向场和环向场的转换关系，虽然我们得出前者存在的意义可能更加基本 [50] ，但环向场究竟如何变回极向场，太阳活动峰年期间高纬的单极子午流也许是把很有价值的钥匙； 5) 真实的发电机解不仅只再现太阳磁场与磁活动的太阳周行为，还应包括各种超长周期变化和中短周期变化，如 Maunder 、 Dalton 极小年、 150 d 周期现象等。所有方向都很难，综合起来考虑则将更难，但我们坚信通过全世界太阳物理学家们不懈的努力，随着各种观测设备和统计方法的日益先进化，在未来的数十年内一定能将太阳物理推向一个新的高潮。

## 参考文献：


[1] 林元章．太阳物理导论．北京：科学出版社， 2000: 7
[2] Kippenhahn R, Schlüter A. Zeitschrift für Astrophysik, 1957, 43: 36
[3] Kuperus M, Raadu M A. A&A, 1974, 31: 189
[4] Gosling J T. JGR, 1993, 98: 18937
[5] Manoharan P K, Ananthakrishnan S, Dryer M, et al. Solar Physics, 1995, 156: 377
[6] Hale G E. ApJ, 1908, 28: 315
[7] Wang J X. Fundamentals of Cosmic Physics, 1999, 20: 251
[8] Babcock H W. ApJ, 1961, 133: 572
[9] Parker E N. Chinese Journal of Astronomy & Astrophysics, 2001, 1: 99
[10] 姜杰，汪景琇．天文学进展， 2005, 23: 121
[11] Solanki S K. International Astronomical Union. Symposium, 1996, 176: 201
[12] Wang J X, Wang H M, Tang F, et al. Solar Physics, 1995, 160: 277
[13] Babcock H W. ApJ, 1953, 118: 387
[14] Severny A. Space Science Reviews, 1964, 3: 451
[15] Lin H, Penn M J, Tomczyk S. ApJ, 2000, 541: L83
[16] Lin H, Kuhn J R, Coulter R. ApJ, 2004, 613: L177
[17] Raouafi N, Sahal-Bréchot S, Lemailre P, et al. A&A, 2002, 390: 691
[18] Raouafi N, Sahal-Bréchot S, Lemailre P. A&A, 2002, 396: 1019
[19] Stenflo J O, Vogel M. Nature, 1986, 319: 285
[20] Stenflo J O, Güdel M. A&A, 1988, 191: 137
[21] Stenflo J O. Astrophysics and Space Science, 1988, 144: 321
[22] Song W B, Wang J X, Ma X. Chinese Astronomy and Astrophysics, 2005, 29: 274
[23] Parker E N. ApJ, 1955, 122: 293
[24] Harvey K L, Martin S F. Solar Physics, 1973, 32: 389
[25] Harvey K L, Harvey J W, Martin S F. Solar Physics, 1975, 40: 87
[26] Martin S F, Harvey K L. Solar Physics, 1979, 64: 93
[27] Zirin H. Solar Physics, 1987, 110: 101
[28] Stenflo J O. Proceedings of the National Solar Observatory/Sacramento Peak 12th Summer Workshop, ASP Conference Series (ASP: San Francisco), Harvey K L ed. 1992, 27: 83
[29] Pres P, Phillips K, Falewicz R. Advances in Space Research, 2002, 30: 647
[30] Prest E R. Astrophysics and Space Science, 1999, 264: 77
[31] Bumba V, Howard R. ApJ, 1965, 141: 1492
[32] Bumba V, Howard R. ApJ, 1965, 142: 1502
[33] Bumba V, Garcia A, Jordan S. A&A, 1998, 329: 1138
[34] Bumba V, Klvaňa M, Garcia A. Proceedings of the 1st Solar and Space Weather Euroconference, 25–29 September 2000, Santa Cruz de Tenerife, Tenerife, Spain. Netherlands: ESA Publications Division, 2000, 643: 289
[35] Dodson H W, Hedeman E R. Symposium no. 35 held in Budapest, Hungary, 4-8 September 1967. Kiepenheuer K O Ed. International Astronomical Union Symposium, 1968, 35: 56
[36] Benevolenskaya E E. Advances in Space Research, 2002, 29: 1941
[37] Svalgaard L, Wilcox J M. Solar Physics, 1975, 41: 461
[38] Rieger E, Kanbach G, Reppin C, et al. Nature, 1984, 312: 623
[39] 宋文彬，汪景琇．天文学进展， 2003, 21: 289
[40] Carbonell M, Ballester J L. A&A, 1992, 255: 350
[41] Bai T, Sturrock P A. Nature, 1991, 350: 141
[42] Carbonell M, Ballester J L. A&A, 1990, 238: 377

[43] Oliver R, Ballester J L, Baudin F. Nature, 1998, 394: 552
[44] Ballester J L, Oliver R, Baudin F. ApJ, 1999, 522: L153
[45] Mursula K, Usoskin I G, Kovaltsov G A. Proceedings of the 1st Solar and Space Weather Euroconference, 25–29 September 2000, Santa Cruz de Tenerife, Spain. Wilson A Ed. Netherlands: ESA Publications Division, 2000, 463: 387
[46] Mursula K, Usoskin I G, Kovaltsov G A. Solar Physics, 2001, 198: 51
[47] 宋文彬，汪景琇. 天文学进展， 2005, 23: 205
[48] Levy E H, Boyer D W. ApJ, 1982, 254: L19
[49] Boyer D W, Levy E H. ApJ, 1984, 277: 848
[50] Song W B, Wang J X. ApJ, 2006, 643: L69

# Progress in the Studies on Distribution and Evolution of Solar Surface Magnetic Fields

SONG Wen-bin[1,2], FENG Xue-shang[1] , WANG Jing-xiu[2]

(*1. State Key Laboratory of Space Weather, Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 2. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China*)

**Abstract:** The Sun's magnetic fields, differential rotation and plasma convection give rise to complexity in the magnetic structure and activity over a large range in both spatial and temporal scales. The most notable among these is the solar activity cycle of 11 years, or magnetic cycle of 22 years. On small time scales of a few seconds to several hours, spectacular explosive events occur in the solar atmosphere, such as solar flares, prominence eruptions and coronal mass ejections. These forms of activity are all closely related to solar magnetic fields (SMF). This paper focuses on the introduction of SMFs' origin, the related observational technique, SMFs' distribution and evolution, and several associated typical characteristics, such as the complexities, active longitudes and active holes, the periodicities, and so on. The detailed content is organized as follows. In section 1, four typical forms of solar magnetic activity (sunspot, flare, filament, and coronal mass ejection) and their corresponding theoretical models are described briefly. Section 2 is devoted to solar dynamos responsible for explaining where SMF comes from and the course of instrument development built for observing it at higher and higher temporal and spatial resolutions. Section 3 summarizes the laws of SMFs' distribution and evolution on different spatial scales, including magnetic fields associated to active regions, quiet sun, and network, intra-network magnetic fields, obtained by using magnetograms and solar activity catalogues. Finally, some associated unresolved problems and highlights are discussed in the last section.

**Key words:** astrophysics; solar physics; solar surface magnetic fields; solar dynamo