

# 太阳活动的不对称性研究

李可军<sup>1</sup> 李秋莎<sup>1</sup> 陈学昆<sup>1</sup> 顾啸马<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院云南天文台 昆明 650011)

(2. 中国科学院光学天文联合开放实验室昆明基地 昆明 650011)

## 摘 要

从三方面概述太阳活动不对称研究的进展: 不对称性的特征及其演化行为、周期性和可能的解释。太阳活动在南北半球及东西半球上的分布是不均匀的, 且在南北半球上分布不对称, 但目前仍无法确定东西半球分布不对称。在众多的解释太阳活动不对称性的理论中, 没有一种理论被广泛接受。对将来开展太阳活动不对称性研究工作提出了一些看法。

**关键词** 太阳: 太阳活动 — 太阳: 黑子 — 太阳: 耀斑

**分类号** P182.9

## 1 引 言

太阳黑子相对数、黑子面积的时间序列, 提供了 11yr 太阳活动周及 80yr 周期等主要信息, 在物理上很少给人以新的启示。太阳活动周的起因是有着深刻的物理内涵的<sup>[1]</sup>, 如太阳黑子在一个太阳活动周的日面纬度的时间分布序列呈现蝴蝶状图案<sup>[2]</sup>, 理论上, 天体发电机理论能再现这种周期性的蝴蝶图<sup>[3]</sup>。仅进行一些数值上的分析研究是不够的, 还需要从历史资料中提取新的物理信息<sup>[1]</sup>。近几十年的观测统计研究进一步表明, 标志太阳活动规律的蝴蝶图的两翅并不完全对称, 这对天体发电机理论提出了新的要求。近几十年对太阳活动在日面上的统计分布不对称性的研究已成为一项热门课题<sup>[4]</sup>。首先指出这种差异的是 Newton 和 Milson<sup>[5]</sup>, 他们分析了 1874~1955 年期间黑子面积的年平均值, 结果发现黑子面积在南北半球并不相等<sup>[5,6]</sup>。此后, 分析太阳活动在日面南北半球的分布特征的研究工作方兴未艾<sup>[4]</sup>, 分析也从太阳黑子扩展到几乎所有的太阳活动。太阳活动不对称分布在 60 年代一直受到怀疑, 进入 90 年代, 统计学研究证实了太阳活动南北半球不对称的存在, 并且可由此推出太阳活动的周期规律<sup>[7]</sup>。这使人类对太阳活动的认识前进了一大步, 也势必推动天体发电机理论的发展。

太阳活动在日面上东西半球分布不对称研究是太阳活动不对称研究的另一主题。太阳活动在经度上的分布规律不如在纬度上明显, 这是一个到目前为止还没有定论的研究课题, 研究的文献也相对较少, 但它的研究同样是很重要的, 同样和太阳活动的周期性相联系。

## 2 太阳活动东西半球不对称研究

早在 1907 年, Maunder 就提出了黑子面积存在不明显的东西半球不对称性, 但他解释为图形表现效应 (figurative effect)<sup>[8,9]</sup>。1946 年 Minnaert 则解释为: 太阳自转引起黑子的垂直轴向西倾斜平均约  $0.5^\circ$ , 倾斜会系统地使黑子面积减小表面视面积, 但在西半球减小得更多<sup>[10]</sup>。Letfus 利用 1935~1958 年的色球耀斑资料研究太阳活动东西半球不对称, 结果发现不对称性在太阳活动周极小附近至上升段之间达到相当高的正值 (东半球数量多则取为正), 在下降段则下降到接近于零的极小值<sup>[11]</sup>。他后来又利用 1959~1976 年的色球耀斑资料再次研究太阳活动东西不对称规律, 得出结论和文献 [11] 结论相抵触<sup>[12]</sup>。因此他得出结论: 虽然耀斑发生频率一直存在着正的不对称, 但变化却是无规律的; 认为这种不对称研究总的来说可能不会给太阳活动的物理理论带来新的变化依据<sup>[12]</sup>。这是一种悲观的论调。

章公亮分析了太阳活动第 17 和 18 周各类磁扰与耀斑活动的统计关系<sup>[13,14]</sup>, 发现太阳活动与地磁扰动关系中存在着东西不对称性: 太阳东半球的耀斑比西半球的耀斑更有效地产生急始型磁扰; 强主相磁暴主要由中间及西部耀斑引起; 磁暴主相的形成是有条件的, 只有当耀斑发生在太阳中心子午线附近或其偏西地区时, 才有可能形成强主相磁暴; 如果耀斑发生在东部, 主相可能延迟或消失而退化成急始型小磁扰。在行星际螺旋磁场中各向异性运动和传播的耀斑等离子体和激波的模型可以很好地解释这种不对称性特征<sup>[14]</sup>。这是一种日地效应的不对称性。

Hewish 和 Bravo 利用 1978~1980 期间强耀斑 (Intense Flares) 经度分布资料得出太阳活动东半球产生的耀斑较多, 这可能与东半球观测到的大量行星际激波有关<sup>[15]</sup>。这为章公亮的工作<sup>[13,14]</sup> 提供了另一种解释。Atac 利用 21 周的耀斑指数资料研究发现不存在东西半球不对称<sup>[16]</sup>。Tritakis 等人利用 1944~1974 年期间日冕绿线强度的资料研究太阳活动东西不对称性, 发现存在西半球较强的不对称性<sup>[8]</sup>。Heras 等人利用 1976~1985 期间耀斑和亚耀斑资料发现存在着显著的东西半球太阳活动不对称, 不对称性与太阳活动负相关: 在太阳活动极大时, 不对称值较小, 在太阳活动极小时, 不对称值较大<sup>[7]</sup>。李可军等人利用 22 周 X 射线耀斑资料进行了太阳活动东西半球不对称研究, 发现太阳活动在经度上分布是不均匀的, 但不存在东西半球不对称<sup>[17]</sup>。Joshi 利用  $H\alpha$  耀斑资料发现 21 太阳周不存在东西半球不对称性, 22 太阳周存在很小的东西半球不对称性<sup>[18]</sup>。

上面列举的分析研究结果表明, 对于是否存在东西半球太阳活动不对称性, 现在还没有定论, 即使那些认为存在东西半球太阳活动不对称性的文章结论也大相径庭, 有的表明东半球活动较强烈, 有的表明西半球活动较强烈。至于解释东西半球太阳活动不对称的理论也并不成熟。

Minnaert 用太阳自转引起黑子视面积变化来解释东西半球太阳活动不对称是合理的<sup>[10]</sup>, 但这仅对太阳黑子适用, 而且是几何上的定性解释, 并非物理机制解释。另一种外部机制对太阳活动的影响由 Trellis 提出<sup>[19]</sup>。众所周知, 太阳在银河系内向着向点运动。Trellis 指出, 日冕绿线在朝向向点的太阳区域较亮, 更多的活动区出现在朝向向点的太阳经度区域<sup>[19,8]</sup>。Godoli 和 Poletto 最早利用 Trellis 的观点去解释太阳东西半球上太阳活动的不对称性<sup>[20]</sup>。Trakis 认为如果太阳朝向向点的运动真能对太阳活动产生影响, 则会产生如下两种表现<sup>[8]</sup>: (1) 东西半球活动不对称在 1yr 里有变化; (2) 南北半球不对称性随纬度变化。其第二条已被

Moussas 等人证认<sup>[21]</sup>。至于第一条, Godoli 和 Poletto 认为, 这种年变化表现为: 在春秋季节的不对称大于夏冬季<sup>[20]</sup>。然而 Cantu 等人分析 1933~1961 年期间边缘日珥数却没有发现这种变化<sup>[22]</sup>。Letfus 的结论也不支持第一条<sup>[12]</sup>, 但 Tritakis 等人认为 Letfus 的结论并无意义<sup>[8]</sup>, 他们用 Blackman-Tucky 功率谱方法分析得到约 1yr 的周期, 支持第一点。Tritakis 等人认为第一条具体表现为: 下半年的活动不对称比上半年要高。实际结果表明, 9yr 的结果不支持第一条, 18yr 的结果支持, 因此他们认为这种太阳朝向向点运动的外部机制, 总的来说很可能是产生太阳活动东西半球不对称的主要原因之一<sup>[8]</sup>。另一个主要原因是太阳内部过程对太阳活动东西半球不对称会产生影响。太阳内部物质再分布 (redistributions in the solar interior) 的观点得到理论和观测上的支持。理论上已得到了发电机理论方程的非轴对称解<sup>[23]</sup>。Stix 提出, 非均匀自转和气旋湍流 (cyclonic turbulence) 可产生非轴对称大尺度磁场。而太阳活动区在一些经度上成团的现象也已被观测到 (即所谓的活动经度)<sup>[25,26]</sup>。Bai 提出, 产生较多耀斑的活动区和处于较低活动水平的活动区起源于太阳对流区的不同层次<sup>[27,28]</sup>, 前者源于超级活动区 (superactive zones), 其自转周期短于卡林顿自转周期, 与大尺度磁场的寿命相当<sup>[17]</sup>。McIntosh 等人认为大尺度磁场是巨对流元胞的结果<sup>[29]</sup>。Garcia 认为产生较多耀斑的活动区源于太阳对流区的较深层, 且处于巨对流元胞的边缘<sup>[30]</sup>。这是太阳活动不对称 (包括东西半球不对称和南北半球不对称) 与太阳巨对流元胞有关的一种观点。安装于 SOHO 上的 MDI 观测资料将对太阳对流元胞进行深入研究, 有望更进一步理解太阳活动不对称性与对流元胞的关系<sup>[17]</sup>。另外一个可能的东西半球不对称性解释是引力效应: 木星的引力作用会对太阳活动产生影响。这种机制的说服力不是很强<sup>[17]</sup>。或许太阳活动东西半球不对称与观测者位置有关<sup>[7]</sup>, 没有明显的物理理由解释东西半球太阳活动不对称性长期存在<sup>[7,17]</sup>, 现有的解释都不容易被众多科学家接受<sup>[8]</sup>。当前首要的任务是全球性多网点对太阳进行联合观测, 以排除观测资料受观测者位置的影响, 提高资料的置信度。

尽管太阳东西半球不对称的结论及其解释还未被广泛肯定, 但可肯定的是: 太阳活动在经度上的分布是不均匀的<sup>[7,8,17]</sup>。活动经度的观测事实与其说是活动不对称的事例, 还不如说是活动不均匀性的例证更合适。

### 3 太阳活动南北半球不对称性研究

早在上个世纪, 人们就已知道太阳活动在南北半球上的分布是有差异的<sup>[31,32]</sup>, 直到本世纪 50 年代才证实了这种南北半球太阳活动不对称特征<sup>[5]</sup>。研究也从单一的太阳黑子扩展到几乎所有的太阳活动现象。

1955 年 Newton 和 Milson 利用早期的黑子观测资料 (黑子相对数和黑子面积数) 去计算南北半球上的年平均值, 发现南北半球分布存在着不对称性。1959 年 Bell 和 Glazer 利用 1937~1953 年的耀斑资料, 认为不存在太阳活动的南北半球不对称<sup>[33]</sup>, 后来他们将资料延长到 1959 年, 研究发现观测到的 580 个耀斑中有 62% 发生在北半球, 因此太阳活动 17 和 18 周, 太阳活动在北半球占优势<sup>[34]</sup>。后来 Bell 又用太阳 8 到 18 周的黑子群资料, 发现 8~9 周及 14~18 周, 太阳活动在北半球占优势, 在 10~13 周, 在南半球占优势, 太阳活动不对称分布长期存在<sup>[35]</sup>。章公亮发现太阳活动与地磁扰动关系中的日面南北不对称性<sup>[36]</sup>, 证明北半球耀斑比南半球耀斑有更强的磁扰效应<sup>[36,13]</sup>, 但不知这种不对称性是与太阳两个半球

本身的不对称性有关还是与扰动在三维日球中的传播有关<sup>[13]</sup>。现在看来与前者肯定有关, 因为太阳活动当时(太阳 17 和 18 周)正好是北半球占优<sup>[35]</sup>。1968 年 Reid 利用 1958~1965 年的耀斑统计资料发现不对称在 19 太阳周内也是在北半球占优势<sup>[37]</sup>。Waldmeier 调查了 1874~1954 年黑子面积的不对称及 1955~1969 年黑子数、光斑、白光日冕和单色日冕及日珥面积的不对称性, 发现南北半球太阳活动不对称的确存在(1955~1969 年期间北半球占优势)。Waldmeier 认为太阳活动南北半球不对称是由于太阳活动在两个半球上存在相位差, 这种相位差受一长达 8 个太阳周的周期变化支配<sup>[58,39]</sup>。Howand 利用 1967~1973 年的磁通量数据, 发现总的磁通量北半球比南半球多 7%, 磁通量不对称性在高于 70° 纬度处显著增大, 在中纬度, 总的磁通量北半球比南半球多 3%, 不对称值是纬度的函数<sup>[40]</sup>。Hansen R. 和 Hansen S. 统计了 1964~1974 年暗条在日面上的位置, 发现在 1964 年上半年暗条活动在北半球占明显优势, 随后暗条活动在南半球显著增加, 并于 1974 年发展到南半球占微弱优势<sup>[41]</sup>。

Roy 考察了 1955~1974 年期间大耀斑、1985~1974 年白光耀斑、1962~1974 年黑子磁位形(复杂和非复杂位形)及面积大于 250 面积单位(太阳半球面积的百万分之一)大黑子的发生数的南北半球不对称性<sup>[42]</sup>。其主要结论是: 在上述考查期内, 所研究的太阳活动现象都在北半球占优势, 不对称值是事件级别的函数。换句话说, 当大耀斑的综合耀斑指数增大, 或黑子磁位形从非复杂向复杂磁位形过渡时, 或大黑子的黑子面积增大时, 不对称值增大。这种结论和 Harvey 等人用耀斑统计资料得到的结论一致<sup>[43]</sup>。Roy 的另一个有趣结论是: 不对称性的变化周期与太阳活动 11yr 周期无关<sup>[42]</sup>。

White 和 Trotter 研究了黑子面积不对称分布是否存在<sup>[44]</sup>。其所用数据对应于 1875 年至 1971 年共 9 个太阳活动周。虽然在数据图上可明显地看出每个活动周都存在南北半球的不对称分布, 但总体平均来说, “太阳磁活动均匀地发生在南北半球”。很明显, 这意味着太阳活动不对称与太阳周有关。Siscoe 等人用太阳风的统计资料也曾研究过行星际太阳风切向间断(tangential discontinuities)的南北不对称性。实际上这是一种日地效应的不对称性, 不是直接的太阳活动不对称性。日地效应的不对称可能源于太阳活动的不对称, 也可能源于太阳活动在行星际传播过程中产生的南北半球差异。Siscoe 认为光球活动在南北半球的差异导致太阳风切向间断的不对称<sup>[45]</sup>。Rusin 等人利用日冕绿线(Fe XIV  $\lambda 5303\text{\AA}$ )强度资料发现绿线强度在日面南北半球上分布不对称, 且不对称值和太阳活动负相关<sup>[46,47]</sup>。Yadav 等人利用 1957~1978 年不同等级耀斑资料研究太阳活动不对称, 发现在 1957~1970 年期间, 北半球耀斑活动明显占优势, 1990 年以后南半球占优势; 耀斑指数总是在普遍磁场为负极性的半球占优势<sup>[48]</sup>。

Knoska 利用 1937~1978 年期间耀斑指数资料研究太阳活动东西半球和南北半球的不对称, 发现不对称性和 11yr 太阳周呈复杂的关系<sup>[49]</sup>。Swinson 利用 1874~1983 年期间黑子面积及相对数资料发现不对称值在太阳活动极小后 2yr 达到最大, 不对称值在太阳活动双周大于单周, 因此不对称与太阳活动 22yr 磁周有关<sup>[50]</sup>。

1987 年对太阳活动不对称的研究十分活跃。Atac 利用第 21 太阳活动周的耀斑指数资料发现太阳活动不均匀地发生在南北半球, 太阳活动在北半球出现较早, 达到极大也早<sup>[16]</sup>。Wilson 详细研究了 1975 年耀斑不对称分布的统计意义, 发现统计上北半球分布数量多<sup>[51]</sup>。Vizoso 和 Ballester 研究了 1931~1985 年期间的日珥(暗条)突然消失事件, 发现不对称曲线

与太阳活动周相位不同, 不对称曲线在太阳活动极小时达极大, 在极大时改变符号, 不对称存在 11yr 周期<sup>[52]</sup>。Verma 等人利用第 19 和 20 太阳活动周大耀斑的统计资料, 发现太阳活动在北半球明显占优势, 经度分布上有成团的现象<sup>[53]</sup>。Verma 利用 19~21 太阳活动周的大耀斑、II 型射电暴、白光耀斑、 $\gamma$  射线暴、硬 X 射线暴、CME 事件的统计资料证明太阳活动已从 19、20 太阳周的北半球占优过渡到 21 周的南半球占优<sup>[54]</sup>。Ozguc 利用 1947~1976 年期间的日冕绿线发现在第 20 太阳活动周北半球略占优, 在第 19 太阳活动周, 开始是南半球占优, 后逐渐转变为北半球占优。不对称值在低纬度较小, 在高纬度较高<sup>[55]</sup>, 和磁通量的结果一致<sup>[40]</sup>, 可能不对称值确是纬度的函数。Vestrand 列出了 1980~1986 年期间  $\gamma$  射线耀斑事件, 发现南半球事件数量明显多于北半球<sup>[56]</sup>。

Tritakis 等人利用 1944~1974 年期间日冕绿线观测资料, 发现在 1949~1971 年期间北半球活动占优, 在 1944~1948 年及 1972~1974 年, 南半球占优<sup>[8]</sup>。Garcia 利用第 20 和 21 太阳活动周的  $\geq M9$  的 X 射线耀斑资料, 发现太阳活动在第 20 太阳周北半球占优, 21 太阳周南半球占优, 在这 2 个太阳活动周, 不对称由北半球占优向南半球占优过渡; 不对称与太阳 11yr 活动周有关, 尽管相位可能不同; 不对称值是事件级别的函数<sup>[30]</sup>, 这点和 Roy 结论一致<sup>[42]</sup>。Vizoso 利用 1874~1986 年黑子面积的统计资料研究发现: 不对称性不是一种随机起伏, 而具有统计意义; 不对称在太阳活动极小时更强; 不对称与太阳 11yr 活动周有关, 但相位不同; 太阳活动在上升段在一个半球占优, 在下降段时则在另一半球占优<sup>[57]</sup>。Corbonell 等人用现代定量技术分析了 1874~1989 年期间黑子面积的统计资料, 证明不对称确实存在且受长周期调制。他们试图在以天为单位的不对称值的时间系列中找到奇异吸引子, 但没有如愿<sup>[6]</sup>。他们认为 Morfill 等人的经验重现太阳活动周理论及已有的发电机模型都不能解释太阳活动不对称的行为和观测特征<sup>[6]</sup>。之后 Oliver 等人将黑子面积资料延伸到 1993 年, 发现不对称已从 22 太阳活动周之前几周的北半球占优过渡到了 22 太阳周的南半球占优<sup>[58]</sup>。Watari 用 Higuchi 的方法寻找分维数, 得到  $1.90 \pm 0.01$ , 按 Higuchi 方法的定义, 分维数为 1 的时间系列是规则的, 分维数为 2 是全随机的<sup>[59]</sup>, 所以并没有证实太阳南北半球不对称是决断性的混沌<sup>[1]</sup>。然而一般仍认为, 太阳活动是一种混沌的现象<sup>[60,61]</sup>。从大尺度磁场的研究, Mouradian 等人发现 20~22 太阳周北极背景磁场在活动极小年占优, 而南极背景磁场在极大年占优, 他们所利用的是磁场综合图, 说明大尺度的背景场在不同的时间, 南北半球存在差别。Altas 利用 1947~1990 年的无黑子耀斑资料<sup>[63]</sup>, 发现总的来说北半球占优势, 不对称行为与日冕绿线不对称性一致<sup>[64]</sup>。

Atac 和 Ozguc 用耀斑指数资料分析太阳活动不对称, 并预言太阳活动在第 23 周将仍如第 22 周一样: 南半球占优<sup>[65,66]</sup>。耀斑 (特别是 X 级大耀斑) 与黑子群, 在 21 及 22 太阳周均为南半球占优<sup>[67,30]</sup>, 由此文献 [1] 预报 23 太阳周仍是南半球占优。Oliver 等人再次采用数学手段分析了不对称序列中的随机成分, 不对称确实存在<sup>[68]</sup>。李可军等人用 22 太阳周 X 射线耀斑资料, 发现南半球占优, 然而不对称并不是事件强度的函数<sup>[4,17]</sup>。

上述众多的不对称分析中, 可以肯定太阳活动南北半球不对称的存在, 且与 11yr 太阳活动周有关, 但可能相位不同。太阳活动不对称值随纬度有变化, 随事件级别有变化, 受长周期调制, 但究竟如何还有待进一步研究, 太阳活动在 17~20 太阳活动周在北半球占优, 在 22 太阳周南半球占优, 这已被众多的太阳活动现象肯定, 21 周是一个过渡周, 到底是南半球还是北半球占优, 其活动特征如何有待进一步研究。23 周活动将会检验太阳活动长周期调制

的结论, 希望加强这方面的研究。长时间序列资料有利于本课题的研究, 而资料的可靠性与统计结论很敏感地联系在一起。Hathaway 等人认为国际地球物理年 (1959 年) 之后的资料优于之前的资料<sup>[69]</sup>, 由此看来目前取得的可靠资料的时间还很短, 今后加强全球合作观测, 取得可靠资料是必要的。

和南北半球太阳活动不对称性研究相联系的是其变化的周期性, 当然这种周期也是太阳活动的周期。南北半球太阳活动不对称性的周期首先由 Newton 和 Milson 提出<sup>[5]</sup>, 之后 Waldmeier 提出黑子总面积的不对称由一个 80~100yr 的长周期调制<sup>[38,39]</sup>。Ozguc 和 Ucer 分析日冕绿线增亮事件, 发现存在 14.5yr 和 5yr 的周期<sup>[55]</sup>。Tritakis 等人利用 Blackman-Tuckey 谱分析绿线强度不对称, 发现有 11 个月的短周期<sup>[8]</sup>。Verma 用 8~22 周太阳多种活动现象的南北不对称, 发现有一个 110yr 的周期<sup>[70,71]</sup>。Vizoso 和 Ballester 分析日珥突然消失事件, 发现 12.4yr 的周期<sup>[72]</sup>, 这和早期的约 11yr 周期<sup>[52]</sup>大致相符, 另外它还存在着 3.1~3.2yr 的短周期<sup>[72]</sup>。Vizoso 和 Ballester 利用每个太阳活动周的不对称值的回归直线分析发现了存在约 8 个太阳活动周的长周期<sup>[57]</sup>。Atac 和 Ozguc 研究不同的太阳活动事件也得到了 8 个太阳活动周的长周期<sup>[65]</sup>, 肯定了 Waldmeier 的看法<sup>[38,39]</sup>, 和 Gleissberg 周期<sup>[75]</sup>不谋而合, 但两者是不是一回事有待研究。12.1yr 的周期被 Oliver 等人用不同的数学方法肯定<sup>[6,58,68]</sup>。Ozguc 和 Atac 利用第 22 太阳活动周每天的耀斑指数不对称值进行谱分析, 得出了 25.5d 的短周期<sup>[73]</sup>。其它如 51d、77d、103d、129d、154d 的周期都是 25.5d 周期的倍数<sup>[73,74]</sup>。

周期分析很敏感地依赖数据序列的长短和可靠性。可以肯定的周期是: 25.5d 的短周期及其倍周期、约 11yr 的周期及 8 个太阳周的长周期, 这些周期多次被肯定。1yr 左右的周期存在争议<sup>[8,12]</sup>, 110yr 的长周期, 因其分析方法不太严格, 目前仍不能肯定。

对太阳活动南北半球不对称性的解释是很困难的。Tritakis 等人认为 11yr 太阳活动周在南北半球开始时间不同, 二者可相差 1 至 3yr<sup>[8]</sup>。Carbonell 等人认为现有的发电机理论及 Morfill 等人的经验再造太阳活动周都不能解释太阳活动的不对称特征及演化行为<sup>[6]</sup>。Verma 认为产生不对称的原因目前并不清楚, 可能与太阳内部的磁结构有关<sup>[71]</sup>。Garcia 及李可军等人猜测可能与太阳对流区、元胞有关<sup>[17,30]</sup>。目前对于太阳活动不对称的现象已有一定的了解, 理论构造包括不对称特征的发电机理论的研究将是未来太阳活动不对称性研究的重点。

### 参 考 文 献

- 1 史忠先, 汪景琇, 吴琴娣. 天文学报, 1999, 40: 142
- 2 Maunder E W. M.N.R.A.S., 1922, 82: 534
- 3 童 彝, 苏 旸, 李启斌. 天文学进展, 1995, 13: 112
- 4 李可军. 空间科学学报, 1998, 18: 284
- 5 Newton M, Milson A S. M.N.R.A.S., 1955, 115: 413
- 6 Carbonell M, Oliver R, Ballester J C. Astron. Astrophys., 1993, 274: 497
- 7 Heras A M, Sanahuja B, Shea M A et al. Solar Phys., 1990, 126: 371
- 8 Tritakis V P, Mavromichalaki H, Petropoulos B. Solar Phys., 1988, 115: 367
- 9 Maunder A. M.N.R.A.S., 1907, 67: 451
- 10 Minnaert M. M.N.R.A.S., 1946, 106: 98
- 11 Letfus V. Bull. Astron. Inst. Czechosl., 1960, 11: 31
- 12 Letfus V, Ruzickova-Topolova B. Bull. Astron. Inst. Czechosl., 1980, 31: 232
- 13 章公亮. 地球物理学报, 1963, 12: 32

- 14 章公亮等. 地球物理学报, 1982, 25: 10
- 15 Hewish A, Bravo S. *Nature*, 1986, 324: 44
- 16 Atac T. *Astrophys. Space Sci.*, 1987, 135: 201
- 17 Li Kejun et al. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1998, 131: 99
- 18 Joshi A. *Solar Phys.*, 1995, 157: 315
- 19 Treuis M. *Astrophys. Lett.*, 1967, 1: 57
- 20 Godoli G, Poletto G. *Solar Phys.*, 1969, 10: 494
- 21 Moussas X et al. *Solar Phys.*, 1983, 84: 71
- 22 Cantu A M, Godoli G, Poletto G. *Solar Phys.*, 1970, 15: 356
- 23 Roberts P, Stix M. *Astron. Astrophys.*, 1972, 18: 453
- 24 Stix M. *Astron. Astrophys.*, 1971, 13: 203
- 25 Svestka Z. *Solar Phys.*, 1968, 4: 18
- 26 Warwick C S. *Ap. J.*, 1965, 141: 500
- 27 Bai T. *Ap. J.*, 1987, 314: 795
- 28 Bai T. *Ap. J.*, 1988, 328: 860
- 29 McIntosh P S, Wilson P R. *Solar Phys.*, 1985, 97: 59
- 30 Garcia H A. *Solar Phys.*, 1990, 127: 185
- 31 Maunder E W. *M.N.R.A.S.*, 1890, 50: 251
- 32 Maunder E W. *M.N.R.A.S.*, 1904, 64: 747
- 33 Bell B, Glazer H. *Smithsonian contr. Astrophys.*, 1959, 3: 25
- 34 Bell B. *Smithsonian Contr. Astrophys.*, 1961, 5: 83
- 35 Bell B. *Smithsonian Contr. Astrophys.*, 1962, 5: 187
- 36 章公亮. 地球物理学报, 1962, 11: 92
- 37 Reid J H. *Solar Phys.*, 1968, 5: 207
- 38 Waldmeier M. *Solar Phys.*, 1971, 29: 232
- 39 Waldmeier M. *Zeitsch. Astrophys.*, 1957, 43: 149
- 40 Howard R. *Solar Phys.*, 1974, 38: 59
- 41 Hansen R, Hansen S. *Solar Phys.*, 1975, 44: 225
- 42 Roy J R. *Solar Phys.*, 1977, 52: 53
- 43 Harvey G A, Bell B. *Smithsonian Contr. Astrophys.*, 1968, 10: 197
- 44 White O R, Trotter D E. *Ap. J. Suppl. Ser.*, 1977, 33: 319
- 45 Siscoe G L, Coleman P J. *Solar Phys.*, 1969, 8: 415
- 46 Rusin V. *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, 1980, 31: 9
- 47 Pathak P N. *Solar Phys.*, 1972, 25: 439
- 48 Yadav R S, Badruddin A, Santos K. *Indian J. Radio Space Phys.*, 1980, 9: 155
- 49 Knoska S. *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.*, 1985, 13: 217
- 50 Swinson D B, Koyama H, Saito T. *Solar Phys.*, 1986, 106: 35
- 51 Wilson R M. *Statistical Aspects of Solar Flares*, NASA Technical Paper 2714, 1987
- 52 Vizoso G, Ballester J L. *Solar Phys.*, 1987, 112: 317
- 53 Verma V K, Pande M C, Uddin W. *Solar Phys.*, 1987, 112: 341
- 54 Verma V K. *Solar Phys.*, 1987, 114: 185
- 55 Ozguc A, Ucer C. *Solar Phys.*, 1987, 114: 141
- 56 Vestrand W T et al. *Ap. J.*, 1987, 322: 1010
- 57 Vizoso G, Ballester J L. *Astron. Astrophys.*, 1990, 229: 540
- 58 Oliver R, Ballester J L. *Solar Phys.*, 1994, 152: 481
- 59 Watari S. *Solar Phys.*, 1996, 163: 259
- 60 Gizzatullina S M et al. *Solar Phys.*, 1990, 127: 281
- 61 Ostryakov V M, Usoskin I G. *Solar Phys.*, 1990, 127: 405
- 62 Mouradian Z, Soru-Eseaut I. *Astron. Astrophys.*, 1991, 251: 649
- 63 Altac L. *Solar Phys.*, 1994, 151: 169

- 64 Rusin V et al. *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.*, 1988, 17: 63  
65 Atac T, Ozguc A. *Solar Phys.*, 1996, 166: 201  
66 Atac T, Ozguc A. *Solar Phys.*, 1998, 180: 397  
67 Shi Zhong-Xian, Wang Jing-Xiu. *Solar Phys.*, 1994, 149: 105  
68 Oliver R, Ballester J L. *Solar Phys.*, 1996, 169: 215  
69 Hathaway D H et al. *Solar Phys.*, 1994, 151: 177  
70 Verma V K. *Ap. J.*, 1993, 403: 797  
71 Verma V K. In: Harvey K L ed. *The Solar Cycle*, San Francisco: Book Crafters Inc., 1992, 429  
72 Vizoso G, Ballester J L. *Solar Phys.*, 1989, 119: 411  
73 Ozguc A, Atac T. *Solar Phys.*, 1996, 163: 183  
74 Bai T, Sturrock P A. *Ap. J.*, 1993, 409: 476  
75 Gleissberg W. *Solar Phys.*, 1971, 21: 240

## Research on the Asymmetry of Spatial Distribution of Solar Activities

Li Kejun<sup>1</sup> Li Qiusha<sup>1</sup> Chen Xuekun<sup>1</sup> Gu Xiaoma<sup>1,2</sup>

(1. *Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011*)

(2. *Kunming Section, United Laboratory of Optical Astronomy, CAS, Kunming 650011*)

### Abstract

In this paper, progress of research on asymmetry of spatial distribution of solar activities, including the north-south asymmetry and the west-east asymmetry, is briefly summarized and discussed at three aspects: features and developing behaviors, cycles and some plausible explanations. Solar activities are not uniformly and symmetrically distributed on the north and south hemispheres, and neither uniformly distributed on the west and east hemispheres. Up to now the result on the asymmetry of spatial distribution of solar activity on the west and east hemispheres can not be confirmed. Some suggestions on future work of studying the asymmetry of the spatial distribution of solar activities are also proposed.

**Key words** Sun: solar activities—sun: sunspots—sun: flares