

1996—2002 年太阳耀斑的统计分析

乐贵明 陈艳红

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

分析了 1996—2002 年南北半球的太阳黑子相对数和南北半球太阳 X 射线耀斑级别 (简称 Imp) $\geq M1.0$ 的太阳 X 射线耀斑的特征和不对称性. 分析结果表明, 南北半球的太阳耀斑活动的程度交替上升, 在 2001 年 7 月以前北半球的太阳耀斑活动强于南半球, 2001 年 7 月开始耀斑活动逐渐以南半球为主. 本文还逐月分析了 1996—2001 年南北半球的耀斑指数. 2000 年 7 月为第 23 周太阳指数最大的一个月, 与第 23 周太阳黑子相对数最大月均值吻合.

关键词 太阳黑子; 太阳活动; 耀斑; 不对称性; 耀斑指数; 太阳活动预报

1 引言

太阳耀斑是太阳活动最剧烈的现象之一, 耀斑爆发的同时往往伴随一系列的高能辐射. 耀斑活动的频次与剧烈程度是描述太阳活动强弱的一个重要参数. Newton 等发现, 在一个太阳周内太阳黑子从高纬逐渐向低纬移动过程中形成的“蝴蝶翅膀”是有差异的^[1]. Carbonell 等注意到南北半球黑子面积年均值并不相同^[2]. 此后有不少人进行太阳活动不对称性的研究^{[3]—[9]}. 李可军等^{[10]、[11]}, 提出可以利用高纬黑子在南北半球的不对称分布来预报一个太阳活动周太阳活动的主次, 甚至可以用第一次出现的高纬黑子来做整个太阳活动周的预报. 对于第 23 周, 目前 Atac 等已经分析了 1996—1999 年的耀斑指数^[12], 由于第 23 周 Imp $\geq M1.0$ 的耀斑主要发生在 2000—2002 年, 因此, 本文采用月为单位研究了 1996—2002 年太阳黑子相对数的南北不对称性随时间的变化以及 Imp $\geq M1.0$ 的太阳耀斑的南北半球的不对称性, 并对两者进行了比较分析. 另外, 本文还对 1996—2001 年南北半球的耀斑指数做了初步分析并对两者之间的总和进行了比较. 最后对能否可以采用第一次高纬出现的黑子来判定在这个太阳周内该半球的太阳活动占优的结论进行了讨论.

2 数据分析

首先我们对每年南北半球太阳黑子相对数和南北半球发生的耀斑进行了统计, 统计结果如表 1 所示*. 本文太阳耀斑的数据全部取自 NOAA 的报告, 1996—2002 年逐年的 Imp $\geq M1.0$ 的太阳耀斑的数据如表 2 所示.

* 南北半球太阳黑子相对数取自 <http://sidc.oma.be/index.php3> 网站
2003-01-20 收到原稿, 2003-07-14 收到修定稿

表 1 1996—2002 年太阳黑子相对数情况表

Table 1 The relative sunspot numbers during 1996—2002

时间	总黑子相对数	北半球黑子相对数	南半球黑子相对数
1996	103.384 800	54.683 870	48.701 020
1997	257.716 700	156.584 800	101.131 800
1998	770.411 300	355.736 600	414.674 700
1999	1 118.124 000	641.625 400	476.699 100
2000	1 434.410 000	729.321 900	705.088 800
2001	1 330.824 000	705.228 800	625.594 200
2002	1 249.071 000	541.092 300	707.977 700
总和	6 263.94	3 184.27	3 079.87

表 2 1996—2002 年太阳 X 射线耀斑数的情况表

Table 2 The X-ray solar flares during 1996—2002

时间	T_n	N_n	S_n	O_n
1996	4	0	4	0
1997	24	11	9	3
1998	108	47	31	36
1999	160	71	67	22
2000	230	102	78	50
2001	315	114	134	67
2002	227	55	110	62
总和	1 068	397	434	237

表 2 中的 T_n , N_n , S_n , O_n 分别为日面上的总耀斑数、北半球的耀斑数、南半球的耀斑数和未知位置产生的耀斑数. 从表 1 我们看到 1996 年北半球的太阳黑子相对数比南半球的太阳黑子相对数多, 但是, $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑都出现在南半球. 1997 年北半球黑子相对数比南半球多, $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑也更多; 1998 年南半球的黑子相对数更多; 1999 年北半球的 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑多于南半球的; 2000 年依然如此, 从 2001 年开始, $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的太阳耀斑主要发生在南半球, 其中 2001 年北半球的总黑子相对数依然多于南半球的总黑子相对数, 因此, 这说明黑子相对数多不代表耀斑多. 有一点需要指出的是, 2000 年是太阳黑子相对数最多的一年, 但 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 耀斑数最多的一年是 2001 年. 上面的统计结果是非常粗的, 因为只给出了 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑的情况, 没有给出详细的 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的各个级别耀斑的情况. 为了能够看出南北半球各级别耀斑数目的差别情况, 表 3 给出了 1996—2002 年南北半球太阳 X 射线耀斑 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 详细的统计资料.

从表 3 看到, 1996 年耀斑集中在南半球, 1997 年南北半球耀斑活动相差不大. 1998 年, 北半球的耀斑活动稍占上风, 1999 年北半球的总耀斑数略多于南半球 (见表 2), 但 $\text{Imp} \geq \text{M8.0}$ 大耀斑南半球略多. 2000 年是第 23 周太阳黑子相对数最大的 1 年, 不仅北半球的总耀斑数多于南半球 (表 2), 而且 $\text{Imp} \geq \text{M7.0}$ 的耀斑全部集中在北半球. 因此, 第 23 周峰年的大耀斑主要是北半球的大耀斑, 说明 23 周峰年大的黑子群主要集中在北

半球. 2001 年北半球的耀斑活动低于南半球, 而且南半球 $\text{Imp} \geq \text{M7.0}$ 的耀斑也比北半球多, 说明太阳耀斑活动开始从北半球逐渐过渡到南半球, 而 2002 年的南半球耀斑活动明显强于北半球, 说明南半球的黑子群的活动开始比北半球的黑子群活动更明显. 前面的分析可以看出, 1996—2002 年南北半球的耀斑活动的特征是交替上升的, 最重要的特征是第 23 周太阳黑子极大年 (2000 年) 的大耀斑全部集中在北半球, 然后太阳耀斑活动逐渐过渡到南半球, 为此, 我们来看看南北半球的太阳黑子相对数随时间变化的情况.

表 3 1996—2002 年 X 射线耀斑的统计结果
Table 3 The X-ray solar flares during 1996—2002

时间	耀斑级别	北半球耀斑数	南半球耀斑数	时间	耀斑级别	北半球耀斑数	南半球耀斑数
1996	M1	0	3	2000	M1	42	46
	M2—M9	0	0		M2	18	11
	X	0	1		M3	10	13
1997	M1	7	4		M4	3	5
	M2	1	0		M5	8	1
	M3	0	1		M6	1	2
	M4	0	1		M7	3	0
	M5	0	1		M8	2	0
	M6	2	0		M9	0	0
	X	1	2		X	15	0
1998	M1	25	15	2001	M1	58	77
	M2	9	4		M2	22	17
	M3	2	3		M3	11	12
	M4	0	1		M4	6	4
	M5	0	0		M5	3	4
	M6	0	1		M6	4	3
	M7	1	0		M7	2	4
	M8	2	0		M8	0	1
	M9	1	0		M9	0	3
	X	7	7		X	8	9
1999	M1	40	33	2002	M1	27	60
	M2	9	15		M2	13	22
	M3	9	10		M3	3	7
	M4	4	0		M4	3	7
	M5	5	3		M5	3	5
	M6	2	2		M6	0	1
	M7	1	0		M7	0	1
	M8	0	1		M8	0	1
	M9	0	1		M9	1	0
	X	1	2		X	3	7

下面我们分析太阳黑子相对数南北半球随时间的演化过程, 图 1(a) 为 1996—2002 年日面南北半球太阳黑子相对数的实测的月均值随时间变化, 图 1(b) 为太阳黑子相对数平滑月均值 (5 个点的 Fourier 方法做的平滑) 随时间的变化。

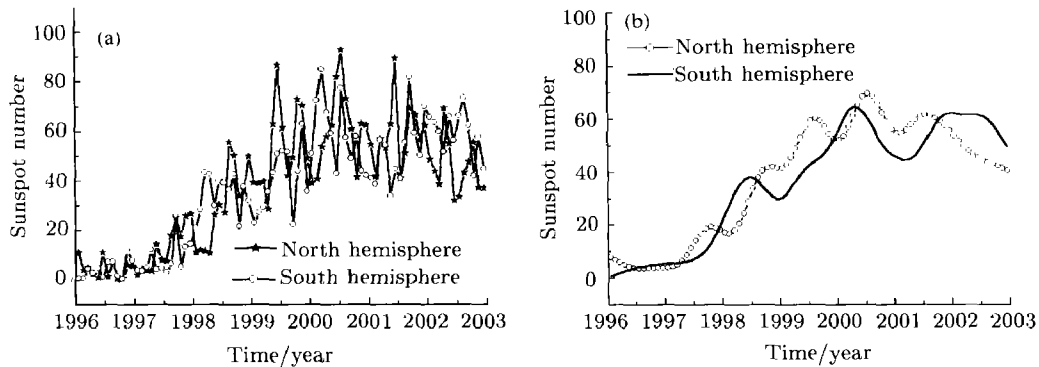


图 1 (a) 南北半球太阳黑子相对数月均值随时间的变化,
(b) 南北半球太阳黑子相对数平滑月均值随时间的变化

Fig.1 (a) The variation of monthly mean relative sunspot number with time for N-S hemisphere,
(b) The variation of smoothed monthly mean relative sunspot number with time for N-S hemisphere

由图 1(b) 可以看到, 从 1996—2002 年南北半球的太阳黑子相对数交替上升, 一段时间某一半球太阳黑子相对数占优, 下一时段另一半球的太阳黑子相对数占优. 表 4 列出 1996 年 7 月到 2002 年 12 月的南北半球太阳黑子相对数占优的情况。

表 4 1996—2002 年南北半球太阳黑子相对数占优情况

Table 4 The prevailing relative sunspot number for the N-S hemisphere during 1996—2002

时间段	时间间隔/月	黑子相对数占优的半球
1996.7—1997.3	10	南半球
1997.4—1997.11	8	北半球
1997.12—1998.7	8	南半球
1998.8—1999.11	16	北半球
1999.12—2000.4	5	南半球
2000.5—2001.8	16	北半球
2001.9—2002.12	16	南半球

从表 4 可以看到, 南北半球的太阳黑子相对数交替占优, 没有出现某一半球黑子相对数始终占优的情况, 而且每一个半球占优的连续时间长度都不是整整 1 年, 因此, 用 1 年的时间间隔内耀斑数目来刻画耀斑活动的南北半球的不对称性是相当粗的, 为此, 我们按月来看耀斑数目发生的情况. 南北半球逐月的太阳耀斑数如图 2 所示。

从图 2 可以看到, 尽管 1997 年太阳南半球的耀斑数多于北半球, 但这一年南半球最大的耀斑为 X9.4 的耀斑, 发生在 11 月 7 日, 北半球最大的耀斑为 X2.6 发生在 11 月 27 日. 这也说明从 1997 年开始, 太阳活动开始猛烈. 从 1997 年耀斑发生的时间过程看, 在 11 月 15 日以前, $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑主要发生在南半球, 在这之后北半球的耀斑才更

多. 1998 全年, 北半球 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑多于南半球的耀斑, 其中 1—7 月主要集中在南半球, 8—12 月主要集中在北半球. 1999 年, 北半球 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑总数 71, 多于南半球的耀斑总数, 其中 1—6 月主要集中在北半球, 7—12 月主要集中在南半球. 2000 年 1—5 月南半球的耀斑活动强于北半球, 2000 年 6—12 月北半球的耀斑占绝对优势. 2001 年 1—6 月北半球的耀斑活动依然强于南半球, 在这之后直到 2002 年 9 月南半球的耀斑活动强于北半球的耀斑活动, 2002 年的最后三个月南北半球的耀斑活动相差不大.

从耀斑的数量看, 太阳耀斑活动最剧烈的几个月为 1999 年的 11 月, 2000 年的 3 月, 2000 年的 7 月, 2001 年的 3—4 月, 2001 年的 9—12 月, 2002 年的 7—8 月, 其中 2000 年 7 月耀斑数最多, 达到 55 个, 其中绝大多数耀斑都发生在北半球, 尤其是大耀斑. 为了能够给出南北半球耀斑活动的不对称性, 我们按下面的公式来计算南北半球耀斑不对称性的具体值.

$$A_{\text{SN}} = \frac{N_n - N_s}{N_n + N_s}.$$

其中, N_n , N_s 指南北半球一个月内的耀斑数, 依据上式我们得到 1996—2002 年南北半球耀斑数的不对称性逐月随时间的变化, 如图 3 所示.

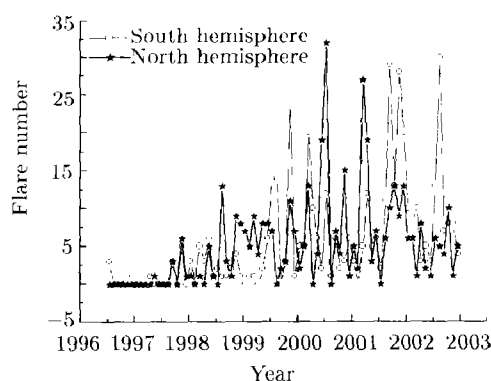


图 2 1996—2002 年南北半球每月太阳耀斑数随时间变化

Fig.2 The variation of monthly solar flare number in N-S hemisphere with time

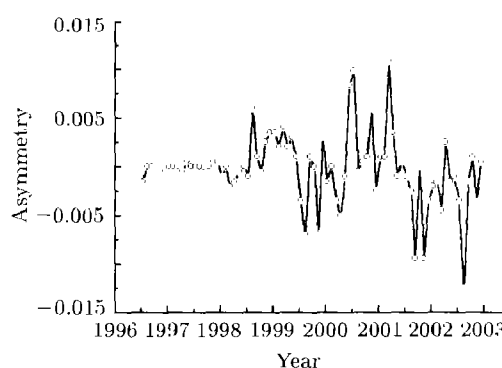


图 3 北南半球太阳 X 射线耀斑不对称性随时间变化情况

Fig.3 The asymmetry of solar X-ray flares in the N-S hemisphere during 1996—2002

耀斑指数 (简称 FI) 是一个能够更好反映一次耀斑活动程度的一个指数, 其定义为 $\text{FI} = i \cdot t$, 用于描述耀斑活动的一种指数, 其中 i 为耀斑的级别, t 为耀斑持续的时间, 单位为 min. 由于耀斑指数不仅考虑了耀斑的级别, 而且考虑了耀斑的持续时间, 因此, 耀斑指数比耀斑能更好地描述一次耀斑过程所释放的能量, 因此, 有必要通过耀斑指数来研究耀斑活动在南北半球的剧烈程度. 光学耀斑级别与对应的 i 值如表 5 所示.

耀斑指数 * (数据只到 2001 年) 分别给出了 1996—2001 年逐月的南北半球的太阳耀斑指数, 如图 4 所示.

* 耀斑指数从 ftp://ftp.koeri.boun.edu.tr/pub/astronomy/flare_index 获取

表 5 太阳光学耀斑级别及其对应的 i 值
Table 5 The optical importance of solar flares and their relative value i

光学耀斑级别	i 值	光学耀斑级别	i 值
SF, SN, SB	0.5	2 B	2.5
1 F, 1 N	1.0	3 N, 3 F, 4 F	3.0
1 B	1.5	3 B, 4 N	3.5
2 F, 2 N	2.0	4 B	4.0

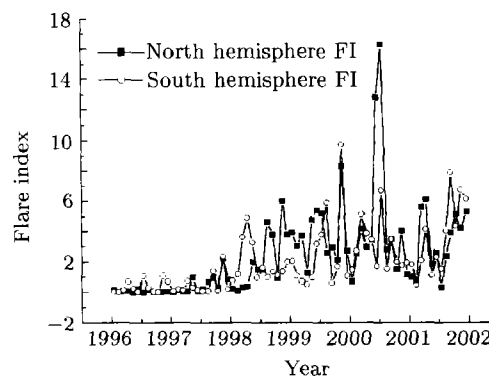


图 4 1996—2001 年南北半球太阳耀斑指数随时间的变化

Fig.4 The variation of solar flare index for N-S hemisphere during 1996—2001

从图 4 可以看到, 在 1996—2001 年的所有时间内, 2000 年的 7 月北半球的耀斑指数最大而且非常突出, 这个结果与 2000 年 7 月太阳黑子相对数的月均值最大和 2000 年 7 月 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的耀斑数最多是一致的. 由此可以断定, 2000 年的 7 月是太阳耀斑活动最剧烈的一个月. 本文不再讨论太阳耀斑指数的不对称性, 而是把注意力放在 1996—2001 年太阳耀斑指数总和进行比较上, 以便考察这段时间内太阳耀斑活动, 究竟是哪个半球占优势. 把 1996—2001 年的南北半球每月耀斑指数相加, 得到南北半球的耀斑指数总和分别为 141.29 和 173.049 84. 因此, 在 1996—2001 年北半球总的耀斑活动强于南半球.

3 结果与讨论

通过对耀斑和耀斑指数的分析我们可以得到以下结果: 1996—2002 年南北半球的太阳耀斑活动的剧烈程度是交替上升的. 总体上 1996—2001 年 7 月北半球的耀斑活动强于南半球, 从 2001 年 7 月开始到 2002 年底, 南半球的太阳耀斑活动强于北半球. 太阳耀斑活动最剧烈的月是 2000 年的 7 月, 其他较剧烈的时期有 1999 年的 11 月, 2000 年的 3 月, 2001 年的 3—4 月, 2001 年的 9—12 月, 2002 年的 7—8 月.

2000 年的 7 月为太阳黑子相对数月均值最大的 1 个月也是太阳耀斑活动最强的一个月, 它与太阳黑子相对数的平滑月均值峰值的时间是不一致的, 从这个角度说黑子相对

数的实测月均值更能反映太阳活动的剧烈程度。1996 年为太阳活动的低年, 高纬黑子首次出现在南半球, 李可军认为第 23 周南半球的太阳活动要强于北半球^[11]。如果仅考虑 1996—2002 年 $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ 的南北半球的全部耀斑数, 则南半球的耀斑数要多于北半球的耀斑数, 但依据这一点还不能判断整个第 23 周的南半球太阳活动会强于北半球的推测是否正确。南北半球的耀斑活动的比较应该采用耀斑指数, 因为耀斑指数考虑了所有级别的耀斑。当然, 要真正比较南北半球太阳活动程度除了要比耀斑指数外, 还要考虑两个半球的太阳黑子的总面积数及 CME 和太阳质子事件等, 因此, 要全面比较南北半球的活动程度, 还要做很多工作。本太阳活动周南北半球耀斑活动的比也要等到本周太阳活动的结束时刻才能完全确定哪个半球更剧烈。

参 考 文 献

- [1] Newton H W, Milson A S. Distribution of sunspot areas. *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1995, **115**:398—413
- [2] Carbonell M, Oliver R, Ballester J C. On the asymmetry of solar activity. *Astron. Astrophys.*, 1993, **274**:497—504
- [3] Atac T, Ozguc A. Time variation of flare index during the 21st solar cycle. *Astrophys Space Sci.*, 1987, **112**:341—346
- [4] Atac T, Ozguc A. North-south asymmetry in the solar flare index 1996. *Solar Phys.*, **166**:201—208
- [5] Oliver R, ballester J L. The N-S asymmetry in of sunspot areas during solar cycle 22. *Solar Phys.*, 1994, **152**:481—485
- [6] Howard A G. Evidence for solar-cycle evolution of N-S flare asymmetry during cycles 20 and 21. *Solar Phys.*, 1990, **127**:185—197
- [7] Swinson D B, Koyama H, Satio T. Long-term variation in N-S asymmetry of solar activity. *Solar Phys.*, 1986, **106**:35—42
- [8] Reid J H. Cape cyot $\text{H}\alpha$ -Heliograph results. *Solar Phys.*, 1968, **7**:207—231
- [9] Howard R. Study of solar magnetic fields. *Soalr Phys.*, 1974, **38**:59—67
- [10] Li Kejun. The asymmetrical distribution of the X-ray flares with $\text{Imp} \geq \text{M1.0}$ at the maximum period of the 22nd solar cycle. *Chin. J. Space Sci.*, 1998, **18**(3):284—288. in Chinese (李可军. 22 太阳周极大期 $\text{Imp} \geq \text{M1.0X}$ 射线耀斑的分布特征. 空间科学学报, 1998, **18**(3):284—288)
- [11] Li Kejun, Hong Qinfang, Gu Xiaoma. Sunspots at high latitudes and solar activity. *Chin. Astron. Astrophys.*, **40**(4):435—438. in Chinese (李可军, 洪琴芳, 顾啸马. 日面高纬黑子与太阳活动. 天文学报, **40**(4):435—438)
- [12] Atac T, Ozguc A. Flare index during the rising phase of solar cycle 23. *Solar Phys.*, 2001, **198**:399—407

THE STATISTICAL ANALYSIS OF SOLAR FLARES DURING THE INTERVAL 1996—2002

LE Guiming CHEN Yanhong

(Center for Space Science and Applied Center, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract

Solar flares are believed to result from the sudden release of energy stored in magnetic field. In this paper the X-ray solar flares with importance greater than and equal to M1.0 occurred from 1996 to 2002 on the South and North of the solar disk are investigated. The results show that the intensity of the solar flare activities occurred in the Northern and Southern hemisphere is different. As a whole, the solar flare activities in north hemisphere are more intense than that in the south hemisphere during the interval from 1996 to July 2001, while the situation is contrary from August 2001 to 2002. The period of the most intense solar activities for Solar Cycle 23 is July 2000. The solar flare activities in November 1999, March 2000, March and April 2001, September to December 2001 and July to August 2002 are also very intensive. The solar flare index for the interval from 1996—2001 is also investigated. The result shows that the value of solar flare index of the north hemisphere in July 2000 has the biggest value and very outstanding which means that the solar activities in July 2000 are the most intensive for Solar Cycle 23. This result is consistent with that the monthly sunspot numbers having the biggest value in July 2000 for Solar Cycle 23. Because the biggest value of the smoothed monthly mean sunspot number in Solar Cycle 23 is 120.4 in April 2000, so the monthly mean sunspot numbers can depict the solar activity better than smoothed monthly mean sunspot numbers. Now we can't judge which hemisphere's solar flare activities are more intensive, we will get the answer till the end of the Solar Cycle 23. If we want to really compare the solar activities for Solar Cycle 23 between the two hemispheres, the whole areas of the sunspot, coronal mass ejections, and solar proton events and so on must be compared between two hemispheres.

Key words Solar activity, Solar flare, Solar flare index, Relative sunspot number, Asymmetry Forecast