第7期 第4期 空间科学学报 Vol.7, No.4
1987年10月 GHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1987

1986年2月太阳的高活动 I活动区4711的演化和特征

王家龙 夏晓萍 汤柏盛 孔繁熙
(中国科学院北京天文台)

摘 要

本文使用太阳黑子、磁场、Hα色球、10.7cm射电及软X射线流量等观测资料，对太阳活动谷期的高活动区4711(SESC编号)从光球、色球和日冕三个方面做了综述. 指出该活动区演化过程的特征是：(1) 黑子群在主要发展阶段呈一个紧密的结构复杂的强磁区；(2) 两次大的太阳爆发均发生在黑子群面积衰减阶段的初期；(3) 黑子群的转动可能是活动区日冕加热和耀斑活动的主要供能机制；(4) 色球暗条的频繁活动是爆发的先兆；(5) 10.7cm 射电辐射和软X射线辐射的逐日流量有彼此不重合的双峰.

一、引 言

1986年1月末到2月中出现在日面的太阳活动区4711 (SESC 编号)产生了一系列耀斑,其中2月4日和6日的大耀斑分别为3B/X3级和3B/X1.7级，从而构成了第21周和第22周之间太阳活动极小期的一次高的太阳活动. 太阳周下降期常有高活动区出现，但在极小期则少见. 极小期的太阳活动为了解日地物理现象的因果过程提供了便利条件,对这类活动的观测给太阳极小期的研究和日地关系的分析提供了实测基础.

活动区4711产生的两个大耀斑都位于日面中心附近 (S07E22 和 S07W06)，引起了较强的行星际空间及地球物理现象. 文献[1]中收集了这个活动区的耀斑和有关现象的部分观测结果.

本文首先用太阳黑子、Hα 色球、磁场、射电及软X射线的观测资料，从光球、色球和日冕三个层次对这个活动区的发展做了综述分析，然后讨论了黑子群的转动可能是该区的重要供能机制,最后总结了该区的演化特征.

二、观测结果和分析

1. 黑子群的演化

活动区4711位于 S08L62(L为卡林顿经度),1月31日由日面东边缘转出,2月12

本文于1987年3月23日收到.

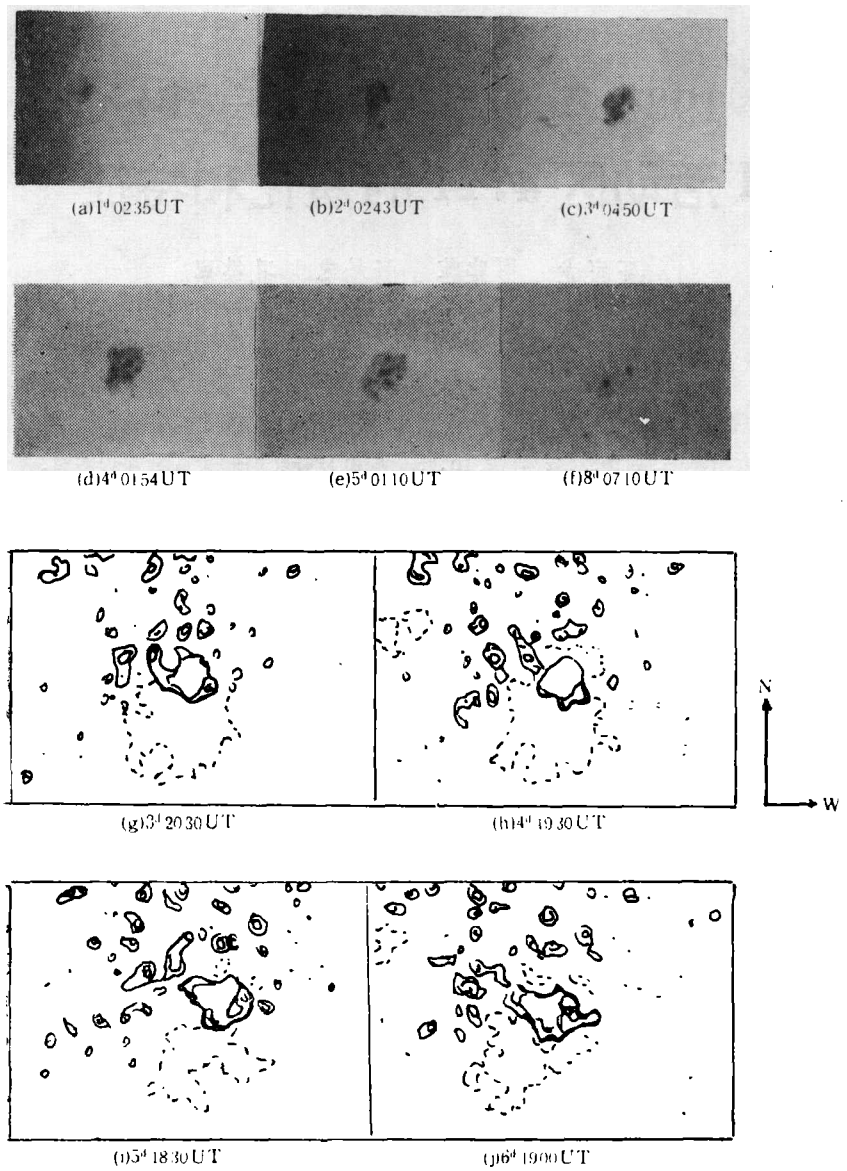


图 1 (a)—(f) 逐日黑子群照片 (g)—(j) 逐日磁图

Fig. 1 (a)—(f) daily sunspot photographs (g)—(j) magnetograms

日在西边缘消失. 据北京天文台观测,该区黑子群的面积变化很快(见图 2 面积曲线),结构复杂,在其演化的主要阶段是几个强的大黑子核挤在同一个半影内(见图 1 黑子群逐日照片).

表 1 列出了活动区 4711 的种种观测结果,其中射电频谱、黑子类型和 X 射线级三项取自 SGD 报告. 由表 1 给出的黑子群类型的演变,可知黑子群在 2 月 7 日以前的快速发展和衰减初期基本上处于最复杂的 DKC 或 EKC 型,磁结构上处于 $\beta\delta$ 或 $\beta\gamma\delta$ 型. 这类结构显然有利于磁中性点的形成, 有高的耀斑产率[2,3]. 图 1 中还给出了活动区磁

表 1　活动区 4711 及其耀斑的观测结果

日　期	耀　斑							空间地物效应	光球(黑子群)				色球	日　冕	
	Hα					射电频谱	X射线级		位置	面积	类型	磁型	(Hα)	10.7cm (sfu)	1—8 Å* (W/M²)·10⁻⁸
	开始 (UT)	极大	结束	位置	级别										
Jan.31	0309	0319	0329	S4E75	1F							β		6.2	
Feb.1									S9E65	361	DAI	β	ⓐ	9.6	8.5
2		0020	0032	S7E47	SN		C1.5		S9E51	594	DKC	βδ		11.4	14
2	0623	0630	0755	S8E48	1N		B5.5								
3									S9E35	940	DKC	βγδ	ⓑⓒⓓ	20.6	22
4	0732	0742	0835	S7E22	3B	III, cont.	X3.0	SWF, SPA. SFA, crochet.	S8E23	821	DKC	βγδ	ⓑⓒⓓⓔ	19.5	25
5									S7E10	724	DKI	βγ	ⓐⓒ	20.7	15
6	0215	0218	0300	S6W5	SN		C1.8				DKC	βγδ	ⓑ	22.1	22
6	0618	0625	0736	S7W6	3B	III, II, 1V.	X1.7	SWF, SPA. FD, Crochet, SSC.							
7											DKI	βγ	ⓑ	16.7	23
8	0415	0425	0500	S5W35	SN		C1.0		S9W33	378	DSO	β	ⓐ	12.2	20
9									S7W45	59	DAO	β		10.2	15
10									S7W58	12	CAO	β		4.6	

注：FD 为宇宙线 Forbush 下降，ⓐ 暗条稳定，ⓑ 暗条出现或变浓，ⓒ 暗条消失或变淡，ⓓ 谱斑增大，ⓔ 纤维排列特别有序，* 全日面流量最低值.

图. 原始磁图是 Mt. Wilson 天文台的磁图. 这里 S 极只取了 5 高斯的等强线，以虚线表示，实线是N极 5、10、20、40 和 80 高斯等强线. 由图可见，活动区基本上是个大偶极区，区间界线的变形反映了演化过程中的挤压或剪切运动. 由图 2 的面积曲线和表 1 给的黑子群类型，还可看到黑子群面积的衰减期大约是增长期的二倍，4 日和 6 日的大耀斑都发生在衰减初期，而且耀斑使黑子群类型由 4 日的 DKC, $\beta\gamma\delta$ 变为 5 日的 DKI, $\beta\gamma$，由 6 日的 EKC, $\beta\gamma\delta$ 变为 7 日的 DKI, $\beta\gamma$. 耀斑使黑子群形态和磁结构由复杂变为相对地简单了. 至于观测到的黑子群的转动，将在后面讨论.

2. 色球活动

活动区4 711 的色球爆发活动频繁，几乎每天都有耀斑被观测到. 表 1 前几行列出了北京台观测到的 7 个耀斑的参数. 图 3 是该活动区 Hα 色球的逐日照片系列. 由图 3 可见，当活动区 4711 由东边缘转出来时，其东部有一弯眉状暗条，其西部有较细的暗条围绕. 3 日，粗眉状暗条几乎消失，活动区西部出现一较大黑斑，谱斑面积扩大. 在 4 日的 3 B/X3 大耀斑之前，暗条活动频繁，南部色球纤维明显呈有序排列. 东部出现淡细暗条，西部黑斑扩大并且伸出一半圆形浓暗条. 大爆发后，东西部暗条依然存在. 5 日，活动区的所有暗条几乎全部消失或变淡，唯西部黑斑及半圆形暗条可见. 6 日的 3 B/X 1.7 大爆发之前，活动区东、西和中部较细的暗条变得更明显可辨. 在爆发之后，一个 S 形长暗条把这偶极活动区分成相互嵌入的两部分.

3. 日冕活动

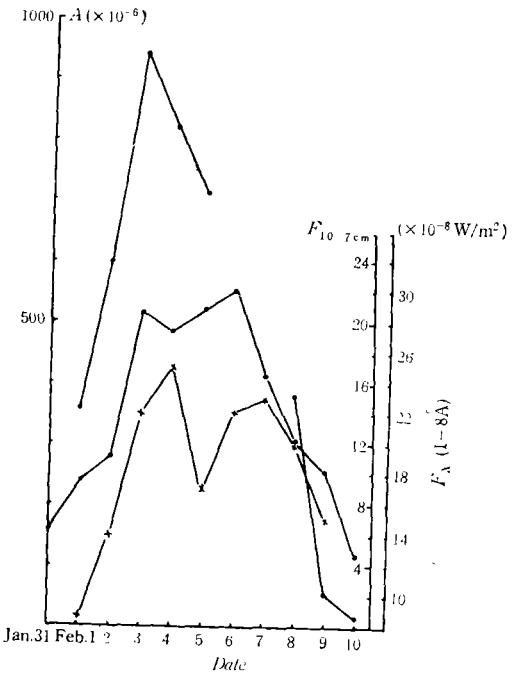


图 2 黑子群面积(●)、活动区 10.7cm 流量(○)和每日最低X射线 (1—8Å) 流量(+)的变化

Fig. 2 The variation of area of the sunspot group, 10.7cm flux and X-ray (1—8Å) minimum flux with time

日冕凝聚区作为活动区的上层结构，与光球、色球活动区共同组成一个完整的三维

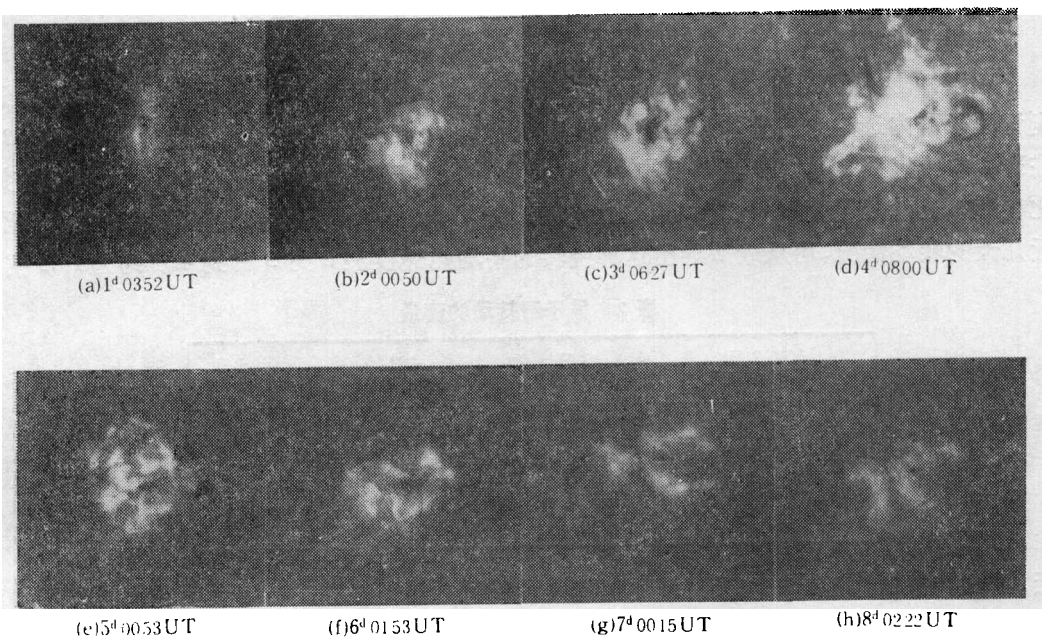


图 3　活动区 4711 的逐日 Hα 色球照片

Fig. 3　Hα filtergrams of the Active Region 4711

活动区体系．我们根据 Algonquin 天文台的观测，估计出了活动区 4711 每天的 10.7cm 射电流量密度值，列于表 1 并且画于图 2 黑子面积曲线之下，代表该区的日冕活动．由图 2 知，10.7cm 流量曲线虽然在上升初期与下降的后期和黑子群面积曲线有略似的趋势，但主要时段两者差异较大．前者为双峰，后者为单峰．前者的次峰与面积曲线的峰在日期上相符，主峰则与黑子群过日心经日期相符．

软 X 射线的辐射流量是另一个重要的日冕活动参量．我们在 GOES-5 卫星 1—8 Å 软 X 射线观测曲线上取每天的最低值，也列于表 1 并画于图 2，代表除耀斑之外的全日面日冕热等离子体情况．强活动区 4711 对这种最低值的变化起着主要作用．显然，这种取值法在耀斑多的日子里不能排除耀斑的影响，它只供我们做趋势性比较之用．容易看出，软 X 射线的流量曲线有两个峰，但与射电流量曲线的双峰在日期上不重合．第三节中将

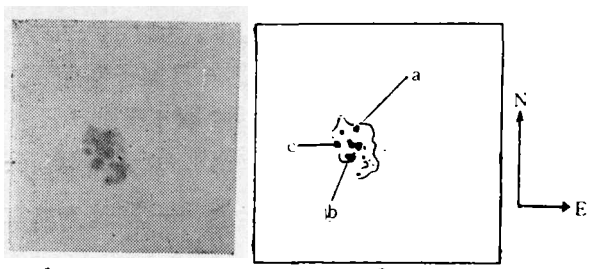


图 4　黑子本影 a、b 和 c 位置示意图

Fig. 4　Positions of umbrae a、b and c.

对此做讨论.

总的说来,图 2 中的三条曲线表示了活动区 4711 的总演化趋势.

4. 黑子的绕转运动

应该指出,观测发现活动区 4711 中黑子之间有相对地绕转运动. 用字母 a、b 和 c 分别记黑子群内选定的三个本影暗核(图 4),令 ab、ac 与太阳自转轴的夹角分别为 α 和 β,在表 2 中给出了 2 月 2 日至 5 日的 α 和 β 测量值及其日变化量 $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\beta$. α 和 β 的变化在形态上就表现为 a、b 和 c 的彼此绕转. 为了减少误差,只考虑活动区在日面中心附近几天的转动情况,可从表 2 导出这种绕转的平均角速度在 2 月 3 日到 4 日约为 19.3 度/天,4 日到 5 日约是 16 度/天. 转动可能是活动区的供能机制. 4 日发生的大耀斑(3 B/X 3),可能是使平均转动速度减少的一个原因.

表 2 黑子群转动的测量

	2 日 0243 UT	3 日 0450 UT	4 日 0154 UT	5 日 0110 UT
α		53°	36°	20°
$\Delta\alpha$		−17°	−16°	
β	77.5°	82°	65°	50°
$\Delta\beta$		−17°	−15°	

活动区 4711 对地球及其环境有过相当大的影响,表 1 中列出了一些有关的空间和地球物理现象. 表 1 和表 2 所列均是实测结果,从观测角度看,这两个表简明地描述了活动区的演化过程和特征.

三、讨论和结论

(1) 磁场的旋转可能是活动区大气加热和耀斑储能的重要机制. 旋涡状黑子的观测和日珥转动的观测[4-6]为这种机制提供了实测旁证. 一些理论工作,如文献 [7, 8],致力于用旋转磁场解决耀斑的能源,胡文瑞[9]对这类工作做了较详细介绍.

据表 1 和表 2 数据,对活动区 4711 中黑子群转动所导致的磁能产率 dE/dt,可用 Tucker[10]的近似公式来估计:

$$\frac{dE}{dt} \approx 10^{25.6} B_z^2 V_4 A_{19} \text{ erg s}^{-1},$$

其中 B_z 是以 100 高斯为单位的黑子群磁场强度,V_4 为以 10^4cms^{-1} 为单位的旋转速度,A_{19} 为以 10^{19}cm^2 为单位的磁场区域面积. 取 3 日到 4 日黑子群面积为 8800 单位(1 面积单位 $= 10^{-6}$ 太阳半球面积),转动角速度为 19.°3/日;取 4 日到 5 日黑子群面积为 770 单位,角速度为 16°/日;取平均磁场强度为 2000 高斯,则可由上式求得:3—4 日,产能率 $\frac{dE}{dt} \approx 6 \times 10^{27.6}\text{erg s}^{-1}$,每天产能约为 $5 \times 10^{32.6}\text{erg}$;4—5 日,产能率 $\frac{dE}{dt} \approx 4 \times 10^{27.6}$ erg s^{-1},每天产能约为 $3.4 \times 10^{32.6}\text{erg}$.

若仅从能量角度看,这样的产能完全可以解释活动区的加热和 4 日、6 日产生的大耀

斑及其它小耀斑．另一方面，磁场为 2000 高斯的黑子，可取 Alfven 波速为 $6 \times 10^4 cms^{-1}$，而这个黑子群的转速只约为 $0.5 \times 10^4 cms^{-1}$．因此，所产能量的大部分可能被 Alfven 波带走．但是，只要有几分之一到几十分之一的能量未被带走，就足以供大、小耀斑所需．所以磁场的转动可能是活动区的重要供能机制．

（2）由第二节叙述可知，色球暗条的频繁隐现活动和变形，是大耀斑的先兆之一．这是一种普遍现象，应该是光球磁场结构演变的一种反应．较大范围的色球纤维排列有序，应该是强的横向磁场的反应．

（3）解释 10.7cm 射电流量曲线的双峰结构时，应考虑两个因素：缓变射电源的辐射具有方向性和黑子群面积的变化．在磁韧致机制作用下，射电亮度分布应当是黑子上空最大．这就说明了射电流量曲线的主峰发生在 6 日，与黑子群过日心经日期相同．同时，大的黑子群常对应有强的缓变射电源，因此射电流量曲线的次峰在 3 日，与黑子群面积极大的日期相同．

太阳软 X 射线辐射与日冕凝聚区的大小、密度和温度有关，其强度即使在非暴发期间测量，也会受到测量之前发生的耀斑的影响．图 2 中 1—8 Å 软 X 射线的流量曲线的双峰，与黑子群面积的峰及射电曲线的双峰在日期上都不重合．其主峰在 4 日，次峰在 6 日与 7 日之间，显然是受到 4 日的 3 B/X 3 和 6 日的 3 B/X 1.7 两个大耀斑的影响．

感谢北京天文台太阳观测和资料组给予本工作的帮助，感谢世界资料中心 A 提供卫星资料和磁图．

参　考　文　献

[1] CSGD Special Issue I (Ed. by Wang Jialong, Wang Jingxiu, Xiao Zuo, Lin Huaan and Li Shaohua), Academia Sinica, 1987.
[2] Warwick, C. S., *Ap. J.*, Vol. **145**, p. 215, 1966.
[3] Svestka, Z., Solar Flares, D. Reidel Pub. Co., p. 23, 1976.
[4] 中国科学院云南天文台太阳室，天文学报，第 **15** 卷，第 173 页，1974.
[5] Engvold, O. et al., *Solar Phys.*, Vol. **33**, p. 137, 1976.
[6] Wang, J. L., The Lower Atmosphere of Solar Flares (Ed. by D. F. Neidig), NSO/Sac. Peak, p. 466, 1986.
[7] Gold, T. and F. Hoyle, *Monthly Notices RAS*, Vol. **120**, p. 89, 1960.
[8] Yang, H. S. et al., *Solar Phys.*, Vol. **84**, p. 139, 1983.
[9] 胡文瑞等，太阳耀斑，科学出版社，第 483 页，1983.
[10] Tucker, W. H., *Ap. J.*, Vol. **186**, p. 285, 1973.

High Solar Activity in Early February, 1986
I. The Active Region 4711

Wang Jia-long Xia Xiao-ping Tang Bai-sheng Kun Fan-xi

(Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica)

Abstract

Using observational data of sunspots, Hα chromospheric region, solar flux at 10.7 cm, solar magnetic field and soft X-ray emissions in 1—8 Å, the evolution of the Active Region 4711 which produced major flares early in the February, 1986 is described. The characteristics of the evolution of the region are discussed and the conclusions are as follows:

(1) The sunspot group in the region is classified as DKC or EKC and Delta in the main phase of its development, and forms a compact, complicated and strong magnetic area during its main active stage.

(2) Two large flares on 4th, February (3B/X3) and on 6th, February (3B/X1.7), respectively, occurred in the beginning stage of the descending phase of the sunspot group. The lifetime of the descending phase is about two times that of the ascending phase of the sunspot group.

(3) The rotation of the sunspot group seems to be the energy mechanism for the heating and flares in the region. The rate of generation of magnetic energy estimated is $6\times10^{27.6}$ erg/sec and $5\times10^{32.6}$ erg/day for the period from 3th to 4th, February, and $4\times10^{27.6}$ erg/sec and $3.4\times10^{32.6}$ erg/day for the period from 4th to 5th, February. The most part of the generated energy would be taken away by the Alfven weve, and a small part of it is enough for flares.

(4) Frequent activities of Hα filaments in the region are the precursor of a large flare. The chromospheric fibers arranged in good order in the region should imply a strong transverse field.

(5) The daily radio flux at 10.7 cm estimated for the active region has two peaks. One of them coincides with the peak of the area of the sunspot group. The other coincides with the CMP of the sunspot group. The daily minimum flux obtained from the soft X-ray plot by GOES-5 is assumed to represent the state of thermal coronalplasma. Two peaks of the flux are not to coincide with those of 10.7 cm flux and the sunspot area. The minimum flux of the soft X-ray (1—8 Å) seems to be affected by large flares strongly.