第16卷 第4期 空间科学学报 Vol.16, No.4
1996年 10月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Oct., 1996

质子耀斑活动区的再现规律

周 树 荣 吴 铭 蟾 倪 祥 斌

（中国科学院紫金山天文台，南京 210008） （中国科学院云南天文台） （南京炮兵学院）

摘 要

质子耀斑活动区再现规律的研究结果表明，日面上存在着经度方向漂移式的"活火山"，即质子活动复活体．"活火山"定期地复活，并爆发质子耀斑．其复活长周期为8—11.6年，与活动周11年周期基本一致；短周期为1—2.6年，与活动周峰年时间宽度一致．在22周峰年中，日面南北半球上各有一个强质子活动复活体，它们爆发峰值流量≥100pfu和≥1000pfu的质子耀斑各占周期同类耀斑总数的70.7%和83.3%.

关键词 太阳，质子耀斑，质子活动复活体

一、引 言

关于活动区的日面分布特征，多数研究表明活动区在日面上的分布具有一定的活动经度带[1—3]，而质子耀斑活动区则显得特别的明显．如19—22太阳活动周的质子耀斑日面分布就呈现出明显的群聚特征，除有一定的活动经度带外，还有一定的活动纬度带，即呈现出高度的经度和纬度集中趋势[4]．在22周中，约90%中等强度以上的质子耀斑都发生在25°—35°N和16°—26°S 2个纬度带上．质子耀斑多发区在日面上的位置：北半球50°—110°L，10°—35°N、130°—270°L，10°—30°N和320°—360°L，10°—35°N；南半球50°—110°L，5°—25°S和150°—230°L，10°—26°S等5个区域．1986年7月—1994年12月，日面上共爆发了28个峰值流量≥100pfu的质子耀斑，其中25个发生在上述区域，约占同类耀斑总数的93%.

AR5395和AR6659是22周中的二个较著名的超级活动区，这二个活动区有许多相似之处，如它们都是面积>2000单位的单个团状结构活动区，在同一黑子半影中紧锁着许多异极性黑子本影核；二者的形态十分相象，而且二者又差不多在日面上的同一个位置上出现；除此之外，2个活动区的活动性也都很强，活动区在日面期间也都爆发过许多大耀斑，并伴随产生了很强的太阳质子事件.

质子耀斑的日面分布为何会呈现出群聚特征，以及高度的经度和纬度集中趋势；AR5395和AR6659如此相象而又几乎在日面的同一位置上出现，所有这些都值得我们深入研究．为此，我们研究了21—22周中所有峰值流量P≥100pfu的质子耀斑活动区位置间的彼此联系，试图从中找出质子耀斑活动区重现的可能证据，以及活动区再现的周期.

* 国家自然科学基金(项目编号49391400)，中国科学院射电天文联合开放实验室和天文委员会基金资助项目.
本文于1995年6月5日收到.

二、质子耀斑活动区的再现

假设太阳上存在着这样的一个客观实体——质子活动复活体，也就是说在一个相当长的时间内，在一个老质子耀斑活动区的基底经经度漂移后的位置上，相继不断地出现新活动区，并不断地爆发质子耀斑．这里新现的活动区与老活动区统称为质子活动复活体．假设质子耀斑活动区的基底是由若干个基源(位于对流层)构成，单个基源可能与光球的一个小黑子，也可能与几个小黑子相对应．当活动区在日面上消亡，即黑子从光球表面上消失后，虽然日面上看不到这个活动区了，但其光球层以下的强磁场区依然存在，并随着活动区的消亡磁场强度逐渐地减弱，而磁场区域面积逐渐扩大，但与其背景磁场比较起来还是强得多．在太阳较差自转的作用下，活动区不同纬度上的基源经度漂移速度随$-\sin^2\varphi$的变化而变化(φ为基源所处的纬度)，$\varphi=17°$时，基源漂移速度≈ 0；$\varphi>17°$时，基源向经度减少方向(向东)漂移；$\varphi<17°$时，向经度增加方向(向西)漂移．基源漂移后的新经度L_2(见表1)为

$$L_2=L_1+NA\pm M\cdot 360°,\quad M=1,2,3\cdots \tag{1}$$

其中L_1为原活动区经度，N为基源漂移天数，$A=v-13.^{\circ}20$为每日经度漂移量，$v=13.^{\circ}45-3°\sin^2\varphi$为黑子的自转会合速度．根据以上公式，计算了21和22周中的中等强度以上质子耀斑活动区中的不同纬度基源的经度漂移量，并将它们与以后发生的质子耀斑实际纬度和时间进行了比较，表1 给出了以上计算和研究的结果．

将表1第8列中的活动区定义为原活动区，21列中的为新现活动区；10—14列中的数据是根据原活动区质子耀斑爆发的日期、耀斑实际位置和耀斑出现的纬度范围推算出来的再现耀斑时间，原活动区基源的经度漂移量和漂移后的新日面位置(13—14列)；15—22列为新现活动区实际产生大质子耀斑的日期、级别和日面位置等．

从表1可看出，21周中有I—V等5个较强原活动区(相应编号为第8列)，经过一个太阳活动周，即8—11.6年后，它们分别演变成22周中的强活动区，即I→AR 4875和AR5395(I_1)、II→AR5698(II_1)和AR6555(II_2)、III→AR5629、IV→AR5800和V→AR7042．在22周中，I_1、II_1和II_2又各自作为原活动区进行了演变．如I_1(AR 5395)在1—2.3年后，在其基源经经度漂移后的位置上，先后相继形成了AR5969、AR 6063和AR6659(AR6703是AR6659的回转)3个大质子耀斑活动区．AR5395是22周中最大的超级活动区，其黑子面积高达3584×10^{-6}半球面积，在日面期间共产生了195个Hα耀斑，106个X射线耀斑和240个微波爆发，并伴随产生了140次SID事件和2次$P>1000$pfu的太阳质子事件．AR6659也是一个强质子耀斑活动区，它在日面期间除连续产生6个$\geqslant\times10$ /3B级耀斑和共生的3.2cm射电爆发峰值流量S都有$S>14000$sfu外，还伴随3次$P>1000$pfu的强质子事件．从表1可看出，AR6659出现的位置正好是AR5395基底28.°9N处基源沿日面漂移一周后的新经度位置($L=247°$)，因此我们认为AR6659和AR5395同属一个质子活动复活体．

AR3404(II)在21周中活动性虽然不强，但活动区基底上的25.°9S和27.°4S两个纬度上的基源在经过8.2年和9.7年的经度漂移后，各自再现形成AR5747(II_1，AR5698是AR5747活动区在上一自转周中的编号)和AR6555(II_2)2个强质子耀斑活动区，22周中2

表 1　质子耀斑活动区的经度漂移和它们的再现

复活体名称	强质子耀斑爆发的初始日期和位置								耀斑预期再爆发的日期和位置					质子耀斑实际爆发的日期和位置							
	日期	级别	位置		耀斑出现范围	质子事件峰值(pfu)	活动区号	活动区跨度	日期	经度漂移		位置		日期	级别	位置		耀斑出现范围	质子事件峰值(pfu)	再现活动区号	活动区跨度
			纬度	经度						天数	角度	纬度	经度			纬度	经度				
I	78.9.23	X1/3B	35N	62	26—37N	2200	1294	(1200)	87.11.7	3333	−1865	31.3N	257	87.11.7	边耀	31N	258	27—32N	120	4875	14
									89.3.6	3818	−2683	34.3N	259	89.3.6	X15/3B	34N	257	27—35N	3500	5395	23
														89.3.17	X6/2B	33N	257	27—35N	2000	5395	23
I_1	89.3.6	X15/3B	34N	257	27—35N	3500	5395	23	89.4.9	33	−24	35N	233	89.4.9	X3/4B	35N	235	32—36N	450	5441	15
									90.3.19	378	−184	29.7N	73	90.3.19	X1/2B	31N	74	28—37N	950	5969	10
									90.5.21	441	−295	33.6N	322	90.5.21	X5/2B	35N	321	32—42N	410	6063	12
									91.6.4	820	−370	28.9N	247	91.6.4	X12/2B	30N	248	26—33N	3000	6659	16
														91.6.15	X12/3B	33N	248	26—33N	1400	6659	16
														91.6.28	M6	30N	239	22—29N	110	6703	18
														91.7.7	X1/1B	26N	239	22—29N	2300	6703	18
II	81.7.20	M5/1B	26S	101	25—30S	100	3204	(680)	89.9.29	2993	−965	25.9S	216	89.9.29	X9/EPL	26S	220	21—31S	4500	5698	14
														89.10.19	X13/4B	27S	211	22—30S	40000	5747	13
									91.3.22	3530	−1362	27.4S	181	91.3.22	X9/3B	26S	186	20—29S	43000	6555	23
II_1	89.9.29	X9/EPL	26S	220	21—31S	4500	5698	14	92.5.8	951	−428	28.9S	151	92.5.8	M7/4B	26S	152	23—29S	4600	7154	10
II_2	91.3.22	X9/3B	26S	188	20—29S	43000	6555	23	92.10.30	587	−118	22.8S	70	92.10.30	X1.7/2B	22S	71	22—28S	2700	7321	11
														92.11.2	X9	26S	71	22—28S	790	7321	11
III	81.10.7	X3/1B	19S	332	14—20S	2000	3390	(1570)	89.8.12	2896	+104	15.5S	76	89.8.12	X2/2B	16S	76	14—21S	9200	5629	17
IV	78.4.28	X5/3B	22N	74	19—32N	1000	1092	(1280)	89.11.30	4234	−1435	26.3N	79	89.11.30	X2/3B	26N	80	18—30N	7300	5800	16
V	82.12.7	X2	14S	285	12—21S	1000	4007	(1270)	84.2.16	802	+56	14.2S	340	84.2.16	边耀	12S	338	12—15S	660	4408	(410)
									84.4.25	869	+60	14.2S	345	84.4.25	X13/2B	12S	344	7—17S	2500	4474	(2590)
V_1	84.4.25	X13/3B	12S	344	7—17S	2500	4474	(2590)	92.2.6	2844	+318	12.4S	302	92.2.6	M4/2B	13S	302	9—17S	78	7042	19

活动区跨度中括号内数字是活动区的面积(10^{-6} 半球面积)

个最大的质子事件(P=40000pfu 和 P=43000pfu)即来自于这 2 个活动区的质子耀斑. II_1 和 II_2 在 22 周中又作为原活动区在日面消失后，又在其基底位移后的经度位置上于 1992 年 5 月和 1992 年 11 月复活，分别形成 AR7154 和 AR7321，2 个新活动区. 这 2 个活动区在日面期间也爆发了 3 个较强的质子耀斑(见表 1).

三、复活体的活动性与日面分布

在 21 太阳活动周中，$P\geqslant$1000pfu 的质子耀斑事件共有 6 次，其中 5 次是由复活体 I、III、IV 和 V 中的大质子耀斑引起的，约占全活动周同类耀斑总数的 83.3%.

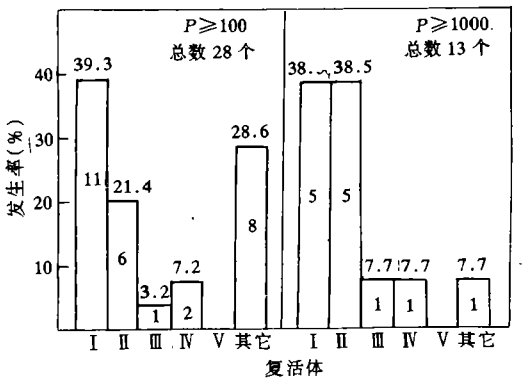


图 1 不同复活体的质子耀斑发生率

Fig.1 Occurring rate of proton flares for different active reviviscent bodies

图 1 是第 22 周 1986.7 — 1994.12 期间，日面上不同质子活动复活体产生 $P\geqslant$100pfu 和 $P\geqslant$1000pfu 的质子耀斑事件的统计结果. 矩形块中的数字是质子耀斑数.

从图 1 可看出，日面上的 I、II、III 和 IV 4 个复活体爆发 $P\geqslant$100pfu 和 $P\geqslant$1000pfu 的质子耀斑事件分别占 22 周中同类事件总数的 71.4% 和 92.3%. 而这 4 个复活体又以 I 和 II 为质子耀斑活动性最强的复活体，这 2 个复活体爆发的 $P\geqslant$100pfu 和 $P\geqslant$1000pfu 质子耀斑事件，就占全活动周同类事件总数的 61% 和 77%. V 活动复活体在 22 周中没有活动.

图 2 是 22 周中产生 $P\geqslant$1000pfu 质子耀斑事件的所有活动区在日面上的分布情况. 从图 2 和表 1 可看出，22 周中较强的质子耀斑活动区主要分布在 2 个活动纬度带上，即26° — 35° N 20° — 30° S. 在这 2 个纬度带上，活动区产生的 $P\geqslant$100 pfu 和 $P\geqslant$1000pfu 质子耀斑事件约占全周同类事件的 67.8% 和 92.3%. 从上节已知，位于 26° — 35° N 纬度带上的 AR5395、AR5969、AR6063 和 AR6659 四个活动区，其实是同一个质子活动复活体，后 3 个活动区是在 AR5395 基底不同纬度上基源经不同时间的经度漂移后的经度位置上形成的. 位于 20° — 30° S 纬度带上的 AR5747 和 AR7154 属同一复活体 II_1，AR6555 和 AR7321 又属复活体 II_2. 从表 1 可看出，II_1 和 II_2 是 II 经过一个太阳活动周后演变成的二个分支，从这个意思来看 II_1 和 II_2 也可认为是同一个复活体.

从图 2 可看出，22 周中的质子耀斑复活体经常活动的经度带是 70° — 80°、150° — 220°、235° — 260°(北半球)和 320° — 325°(北半球)等，它们都是中等强度以上质子耀斑经常爆发的经度区域. 因此，注视这些区域活动区的出现，对于中等以上质子耀斑事件的预报是重要的.

四、讨 论

21 和 22 周中质子耀斑活动区再现的时间和位置计算结果与观测事实基本相符，说

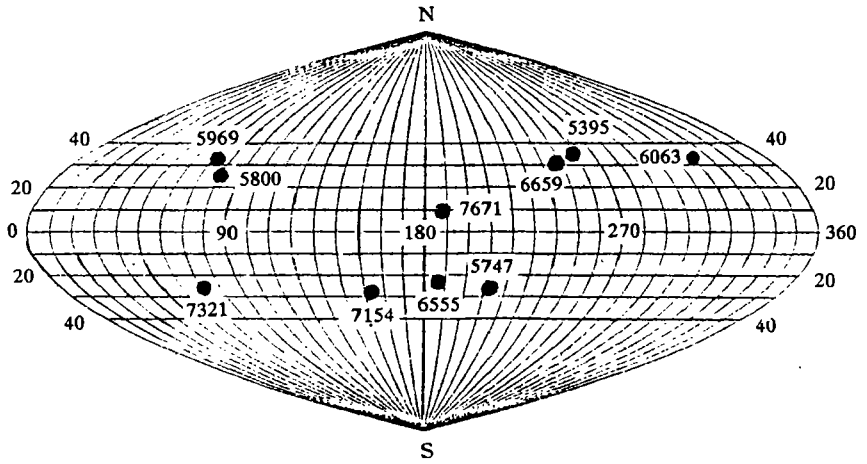


图 2　强质子耀斑活动区在日面上的分布

Fig.2 The distribution of the active regions for proton flares with $P \geqslant 1000$pfu on solar disk

明质子活动复活体在太阳上确实是存在的，这也表明日面上很可能存在着经度方向漂移式的活“火山”，它们周期性的复活和喷发质子耀斑．初步研究结果表明复活体(或火山)复活的周期为 8— 11.6 年和 1— 2.6 年．由于复活体的长周期与太阳 11 年周期基本相符，因而复活体长周期地再现，很可能是太阳活动 11 年周期性的周而复始变化的重要原因，当然这样长周期的复活还有待于今后更多的资料来证实．复活体再现的短周期与太阳活动峰年的时间宽度基本一致，因此复活体短周期地再现，也很可能是峰年期间太阳耀斑频繁而又剧烈的重要原因．22 周中质子活动复活体周期性地复活，已形成了该周质子耀斑活动经度和纬度的高度集中趋势，形成了质子耀斑日面分布的群聚特征．

上节结果表明，一个新生的质子耀斑活动区总是在原活动区基底上的基源经经度漂移后的位置上形成的，这样新生活动区的经度与原活动区完全不同．由于黑子群的纬向运动(向低纬方向漂移)，因此新现活动区的纬度一般低于原活动区 2° — 3°(原活动区消亡后，纬向运动基本停止)，但不能超出原活动区的纬度范围，否则就不能视为同一个活动复活体了．

不同纬度上的基源其经度漂移速度是不一样的，对(1)式微分即得基源漂移的经度误差 $\mathrm{d}L$

$$\mathrm{d}L = -3^\circ N \sin 2\varphi \mathrm{d}\varphi. \tag{2}$$

假设某一活动区基源所处的纬度为 25°，取 $\mathrm{d}\varphi = \pm 0.^\circ 1$偏差，当 $N=1$— 2.5 年时，$\mathrm{d}L = \pm 1.^\circ 5$— $3.^\circ 7$；当 $N=9$ 年时，$\mathrm{d}L = \pm 13.^\circ 2$，与一个大活动区的经度跨度大小同一量级．从表 1 可看出，表 1 中计算得到的复活体再现时间和日面位置与实际观测到的活动区时间和位置差，在上述误差范围内．因此我们认为根据表 1 中结果得到的有关复活体的结论是正确的、可信的．

质子活动复活体的再现与大尺度磁场的演化有关．V. Bumba 和 R. Howard[5] 认为在太阳活动较高时期，日面上有时存在二个主要磁流，即相当于二个活动经度带，其经度间距约为 160°，这一结果与本文图 2 中 AR6659 和 AR5395 与 AR5800和 AR5969 两者

间经度差160° — 180° 是一致的. V. Bumba[5] 还发现磁流就是老活动区磁场的膨胀和削弱，而且它们与黑子群有较好的对应关系. 由此表明复活体的再现与大尺度磁场的演化有关.

参 考 文 献

[1] Bai, T., *Ap. J.*, Vol. **328**, p. 860, 1988.

[2] 罗保荣，天文学报，第33卷，第267页，1992.

[3] 王家龙，CSGD，4—5月，第54页，1992.

[4] 周树荣，天文学报，第35卷，第333页，1994.

[5] Bumba, V. and R. Howard, *Solar Phys.*, Vol. 7, p. 28, 1969.

[6] Babcock, H. W., *Ap. J.*, Vol. **133**, p. 572, 1961.

RECURRENT LAW OF THE ACTIVE REGIONS OF PROTON FLARES

Zhou Shu－rong

(*Purple Mountain Observatory, Academia Sinica, Nanjing* 210008)

Wu Ming－chan (*Yuman Observatory, Academia Sinica*)

Ni Xiang－bin (*Nanjing Artillery Academy*)

Abstract

Recurrent law of the active regions for proton flares are studied in this paper. The results indicate that on the sun there are "active volcanos" of the motion along longitude, that is active reviviscent bodies of the proton flares. In 22th solar activity cycle, there are two stronger active reviviscent bodies of the proton flares on the sun, they are in two latitude bands of 26° — 35° N and 20° — 30° S. The proton flares with peak fluxes ≥100pfu and ≥1000pfu produced by these reviviscent bodies are about 70.7% and 83.3% of those on the solar disk. Long periods of the revivifications for active reviviscent bodies are about 8— 11.6 years, short periods are 1— 2.6 years. Due to long and short periods of the revivification for the reviviscent bodies consist with 11 years periods of the solar activity cycle and time interval of the peak years, therefore, the periodic revivifications of the active reviviscent bodies can be important cause of the 11 years periodic variation of the solar activity cycle and intensive eruptions of the flares during solar active maximum.

Key words Sun, Proton flare, Active reviviscent body of the proton flare