

1997—2003 年太阳质子事件源区的 卡林顿经度分布^{*}

乐贵明

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

分析了 1997—2003 年期间的 59 个太阳质子事件, 太阳质子事件源区的卡林顿经度带. 分析结果表明, 质子事件源区主要集中在 10° — 45° , 135° — 155° , 180° — 215° , 230° — 260° , 265° — 310° , 345° — 360° , 还有 4 个质子耀斑分散在 72° , 74° , 93° 和 107° 上. 其中最强的活动卡林顿经度带的经度范围是 265° — 310° , 次之为卡林顿经度带 135° — 155° , 最弱的是卡林顿经度带 180° — 215° . 最强的活动经度是卡林顿经度 272° . 1997—2003 年期间峰值通量大于 100 pfu, 质子耀斑南半球发生次数为 18, 北半球发生次数为 10; 同一活动经度上的质子事件具有重现的规律, 重复出现的时间间隔短的为 27 天, 长的超过 4 年.

关键词 卡林顿经度; 质子事件; 质子事件预报

1 引言

太阳质子事件是指来自太阳的能量大于和等于 10 MeV 的高能质子通过行星际空间的传播后到达地球同步轨道质子流量的峰值超过 10 pfu ($1 \text{ pfu} = 1 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$). 有些质子事件的通量很高, 而且部分质子能量极高, 可以直接打到地面, 这些高能质子对在空间飞行的卫星和宇航员构成严重的威胁. 质子事件引起的部分高能粒子到达极区还会造成极区电离层环境的变化. 质子事件还往往伴有日冕物质抛射 (CME), 伴有强的行星际磁场南向分量的 CME 到达地球后会引起强烈的地磁暴, 因此, 质子事件是空间天气研究中核心关注的一类太阳活动. 周爱华等研究了太阳质子耀斑的日面分布^[1], 主要研究的是质子耀斑的日面东西不对称性. 张桂清和王家龙采用最大熵谱方法分析了 1987—1988 年 7 月的黑子群和太阳 X 射线耀斑的周期^[2]. 本文作者分析过 1997—2002 年的太阳耀斑的时空特征^[3], 王家龙的研究表明^[4], 太阳质子耀斑相对于光球大尺度平均视向磁场中性线的分布是不对称的, 那些峰值流量大的质子耀斑的位置特征是: 日面中心点和耀斑位置点对日球中心张角在 $+25^{\circ}$ — $+45^{\circ}$ 之间. 周树荣等研究过 1978—1984 年期间的质子耀斑活动区的漂移和再现规律^[5], 考虑的是不同时间会出现不同的活动经度以及它们的时间间隔. 黄永年等研究过太阳宇宙线的日冕加速, 行星际传播等物理过程^{[6]—[9]}, 这些研究极大地促进了质子事件研究的进展. 对于空间天气预报来说, 更关心某一活动经度质子事件的重现规律. 本文研究了 1997—2003 年质子耀斑在日面的卡林顿经度的分布, 研究发现

^{*} 国家 863 项目资助 (228144)

2003-08-19 收到原稿, 2004-01-05 收到修定稿

1997—2003 年期间的质子耀斑主要集中分布在几个卡林顿经度带内, 而且有些经度上质子事件重复出现过多次, 并且还注意到, 某一活动经度上的质子事件常常是在南北半球轮流爆发.

2 数据分析

本文分析的 1997—2003 年期间共爆发了 78 个太阳质子事件, 其中 19 个质子事件的源区位置不明, 因此, 本文分析了有明确位置的 59 个太阳质子事件. 质子事件的主要参数取自美国 NOAA 的空间环境服务中心的一个质子事件的列表和 SEC 的太阳活动区数据文件, 从质子事件的列表和 SEC 的太阳活动区的数据文件可以获取质子事件开始的时间, 峰值流量等诸多重要参数, 为数据分析提供了很大的方便. 被分析的 59 个质子耀斑主要集中在几个卡林顿经度带上, 它们分别是 10° — 45° (8 个), 135° — 155° (8 个), 180° — 215° (8 个), 230° — 260° (4 个), 265° — 310° (17 个), 345° — 360° (9 个), 还有 5 个质子耀斑分散在 4° , 72° , 74° , 93° 和 107° 上. 为了清楚地看到质子耀斑的卡林顿经度带分布, 把分析结果列在表 1—7 中. 由于栏目多, 在表 1—7 中没有标注数据的格式或单位, 在这里我们预先对表 1—7 各栏中的数据项做些说明. 活动区黑子群的 McIntosh 分类用 M 来表示, 活动区的面积单位为太阳半球面积的百万分之一, 我们的日期格式为 yyyyymmdd (年年年年月月日日), 峰值流量的单位为 pfu, 耀斑的级别格式为 X 射线级别/ 光学级别. 表 1—表 7 中有些活动区数据没有确切的值, 在该活动区相应的栏中用问号 (?) 表示.

同一个活动区在不同时间它所处的卡林顿活动经度会略有变化, 但这个变化一般低于 6° , 因此, 对于同一个活动区, 忽略它的卡林顿经度的变化; 对于两个不同的活动区, 如果它们的卡林顿经度的差别不大 (一般不超过 6°), 也认为它们的卡林顿经度是相同的.

表 1 中的活动区 AR8194 和 AR10061 (Active Region 简称 AR) 的活动经度分别是 40° 和 44° , 我们认为它是同一卡林顿经度, 但相隔的时间近 28 个月. AR8340 和 AR10030 的卡林顿经度完全相同, 但中间的时间间隔接近 36 个月. AR9767 和 AR10102 的活动经度分别为 18° 和 19° , 同样可以认为这是一个经度, 它们的时间间隔为 9 个月. 卡林顿经度带 10° — 45° 上质子事件的个数为 8 个, 最强的质子事件的流量为 1700 pfu, 这个经度

表 1 卡林顿经度带 10° — 45° 的太阳质子事件
Table 1 The solar proton events produced in
Carrington longitude band $10^{\circ} - 45^{\circ}$

活动区	爆发日期	M 分类	磁类型	黑子数	面积	日面位置	耀斑级别	峰值流量	卡林顿经度
8194	1998-04-20	HSX	α	01	60	$43^{\circ}\text{S}, 90^{\circ}\text{W}$	M1/EPL	1700	40°
8307	1998-08-24	DKO	$\beta - \gamma$	17	370	$30^{\circ}\text{N}, 07^{\circ}\text{E}$	3X1/3B	670	37°
8340	1998-09-25	DKI	$\beta - \gamma$	18	390	$18^{\circ}\text{N}, 09^{\circ}\text{E}$	M7/3B	44	11°
8340	1998-09-30	HSX	α	1	100	$23^{\circ}\text{N}, 81^{\circ}\text{W}$	M2/2N	1200	11°
9767	2001-12-29	EKI	$\beta - \gamma$	4	210	$26^{\circ}\text{S}, 90^{\circ}\text{E}$	M7/1B	76	18°
10030	2002-07-16	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	71	1350	$19^{\circ}\text{N}, 01^{\circ}\text{W}$	X3/3B	234	11°
10061	2002-08-14	HSX	α	2	110	$09^{\circ}\text{N}, 54^{\circ}\text{W}$	M2/1N	26	44°
10102	2002-09-07	?	?	0	0	$09^{\circ}\text{N}, 28^{\circ}\text{E}$	C3/dsf	208	19°

带是质子事件活动的一个中等强度卡林顿经度带。值得注意的是, 处在同一卡林顿经度上的 AR8194, AR8307 和 AR10061 的日面位置分别是 43°S , 90°W ; 30°N , 07°E 和 09°N , 54°W , 显然这三个活动区不是同一个活动区, 因为它们的纬度有很大的差异且处在不同的半球, 一个在南半球, 另两个在北半球。可以看到南半球的 AR8194 发生一个质子耀斑后, 然后在北半球发生了两个质子耀斑。北半球 AR8194 和 AR10061 产生的质子事件的时间相隔 48 个月。AR9767 (26°S , 90°E) 和 AR10102 (09°N , 28°E) 也是同一个活动经度上的活动区, 同样它们分别处在不同的太阳半球, AR8340 和 AR10030 处在同一半球, 但相隔的时间也接近 4 年, 上面分析说明某一经度上的质子事件在两个半球是轮流爆发的。

从表 2 中可以看到, 该活动经度带实际为两个活动经度, 一个是 137° , 另一个是 155° 。AR8210 和 AR9684 是同一卡林顿经度, 但时间相隔约为 30 个月。AR9393 和 AR9906 为同一卡林顿经度, 但时间相隔约为 13 个月。表 2 中的最强质子事件的峰值流量高达 31 700 pfu, 为第 23 周峰值流量最大的质子事件, 也是 1976 年以来峰值流量第三大的质子事件, 因此, 该卡林顿活动经度带是一个很强的活动经度带。活动经度 137° 上的 AR8210 (15°S , 15°W) 和 AR9684 (06°N , 18°W) 分别处在不同的太阳半球, 说明该活动经度上的质子事件在南北半球轮流爆发。活动经度 155° 上的 AR9393 (14°N , 82°W) 和 AR9433 (17°N , 31°W) 都处在太阳北半球, 但 AR9906 (14°S , 34°W) 却处在不同的半球上, 同样显示出质子事件在两个半球先后爆发。

表 2 卡林顿经度带 135° — 155° Table 2 The solar proton events produced in Carrington longitude band 135° — 155°

活动区	爆发日期	M 分类	磁类型	黑子数	面积	日面位置	耀斑级别	峰值流量	卡林顿经度
8210	1998-05-02	EKI	$\beta - \gamma - \delta$	40	420	15°S , 15°W	X1/3B	150	137
8210	1998-05-06	CKO	β	13	390	11°S , 65°W	X2/1N	210	137
9393	2001-03-29	FKI	$\beta - \gamma - \delta$	51	2440	24°N , 12°W	X1/1N	35	155
9393	2001-04-02	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	40	1810	14°N , 82°W	X20	1110	155
9433	2001-04-28	FKI	$\beta - \gamma - \delta$	39	780	17°N , 31°W	M7/2B	57	152
9684	2001-11-04	EKC	$\beta - \gamma - \delta$	33	550	06°N , 18°W	X1/3B	31 700	138
9906	2002-04-17	EKC	$\beta - \gamma$	33	770	14°S , 34°W	M2/2N	24	151
9906	2002-04-21	EAI	$\beta - \gamma$	14	330	14°S , 08°W	X1/1F	2520	147

表 3 卡林顿经度带 180° — 215° Table 3 The solar proton events produced in Carrington longitude band 180° — 215°

活动区	爆发日期	M 分类	磁类型	黑子数	面积	日面位置	耀斑级别	峰值流量	卡林顿经度
9825	2002-02-20	DAO	$\beta - \gamma$	6	150	12°N , 72°W	M5/1N	13	209
9866	2002-03-17	EAI	$\beta - \gamma - \delta$	24	470	08°S , 03°W	M2/1F	13	191
9866	2002-03-20	EAO	$\beta - \gamma$	5	270	08°S , 73°W	M1	19	192
9866	2002-03-22	?	?	?	?	Wlimb	M1	16	191
10039	2002-07-22	DAC	β	7	330	12°S , 68°E	X3	28	212
10365	2003-05-28	EKC	$\beta - \gamma - \delta$	40	840	07°S , 17°W	X3/2B	121	182
10365	2003-05-31	DKC	$\beta - \gamma - \delta$	22	540	07°S , 65°W	M9/2B	27	182
10386	2003-06-18	EKC	β	4	290	08°S , 61°E	M6	24	187

表 3 给出的活动经度带质子事件的强度不是很大, 主要注意质子耀斑的重现规律. AR9825 和 AR10039 为同一活动区, 但时间间隔为 5 个月, 差不多为 6 个卡林顿周. AR9866, AR10365 和 AR10386 是同一个活动区, 但时间分别相隔约为 14 个月和 27 天. 表 3 中的活动区除 AR9825 处在南半球外, 其他活动区都处在北半球.

表 4 给出的活动经度带显示, AR9163, AR9182 和 AR10017 位于一个卡林顿经度上, 它们之间的时间间隔分别为 27 天和约 22 个月.

表 4 卡林顿经度带 230° — 260° Table 4 The solar proton events produced in Carrington longitude band 230° — 260°

活动区	爆发日期	M 分类	磁类型	黑子数	面积	日面位置	耀斑级别	峰值流量	卡林顿经度
9085	2000-07-22	EAO	β	12	90	$14^{\circ}\text{N}, 56^{\circ}\text{W}$	M3/2N	17	255
9163	2000-09-12	CSO	β	10	3	$17^{\circ}\text{S}, 09^{\circ}\text{W}$	M1/2N	320	237
9182	2000-10-16	?	?	?	?	$04^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{W}$	M2	?	240
10017	2002-07-07	?	?	?	?	?	M1	22	234

表 5 给出的活动经度带中, 活动经度 272° 是最强的活动经度, 该经度上的质子耀斑的数量为 7 个, 超过 10000 pfu 的质子事件数量为 3 个, 另两个活动经度分别为 283° 和 309° , 在卡林顿经度 283° 上发生的最强质子事件为 2003 年 10 月 28 日的质子事件, 该质子事件的峰值流量为 29500 pfu, 为 1997—2003 年期间第二大质子事件. 在卡林顿经度 309° 上出现过著名的活动区 9077, 该活动区在 2000 年 7 月 14 日的爆发活动造成了空间

表 5 卡林顿经度带 265° — 310° Table 5 The solar proton events produced in Carrington longitude band 265° — 310°

活动区	爆发日期	M 分类	磁类型	黑子数	面积	日面位置	耀斑级别	峰值流量	卡林顿经度
8525	1999-05-05	FSO	β	15	170	$15^{\circ}\text{N}, 32^{\circ}\text{E}$	C1/BSL	14	299
8933	2000-04-04	EKO	β	10	420	$16^{\circ}\text{N}, 66^{\circ}\text{W}$	C9/2F	55	267
9077	2000-07-14	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	57	460	$22^{\circ}\text{N}, 07^{\circ}\text{W}$	X5/3B	24000	309
9213	2000-11-08	CAO	β	4	80	$04^{\circ}\text{N}, 78^{\circ}\text{W}$	M7	14800	272
9313	2001-01-28	CSO	β	7	30	$04^{\circ}\text{S}, 59^{\circ}\text{W}$	M1/1N	49	272
9632	2001-09-24	EKI	$\beta - \gamma - \delta$	23	790	$16^{\circ}\text{S}, 23^{\circ}\text{E}$	X2/2B	12900	272
9628	2001-10-01	EKC	$\beta - \gamma$	15	350	$22^{\circ}\text{S}, 91^{\circ}\text{W}$	M9	2360	290
9672	2001-10-22	DKI	$\beta - \gamma - \delta$	17	440	$18^{\circ}\text{S}, 16^{\circ}\text{E}$	X1/2B	24	268
9704	2001-11-19	DKI	$\beta - \gamma - \delta$	28	610	$13^{\circ}\text{S}, 42^{\circ}\text{E}$	M2/1N	34	270
9704	2001-11-22	EKI	$\beta - \gamma - \delta$	24	610	$15^{\circ}\text{S}, 34^{\circ}\text{W}$	M9/2N	18900	271
10069	2002-08-22	EKC	$\beta - \gamma - \delta$	30	1420	$07^{\circ}\text{S}, 62^{\circ}\text{W}$	M5/2B	36	300
10069	2002-08-24	HKX	β	2	120	$08^{\circ}\text{S}, 90^{\circ}\text{W}$	X3/1F	317	298
10180	2002-11-09	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	38	630	$12^{\circ}\text{S}, 29^{\circ}\text{W}$	M4/2b	404	308
10486	2003-10-28	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	55	2120	$16^{\circ}\text{S}, 08^{\circ}\text{E}$	X17/4B	29500	283
10486	2003-11-02	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	60	2160	$17^{\circ}\text{S}, 62^{\circ}\text{W}$	X8.3/2B	1570	283
10486	2003-11-04	EKC	$\beta - \gamma - \delta$	15	630	$17^{\circ}\text{S}, 89^{\circ}\text{W}$	X28/3B	353	283
10508	2003-12-02	?	?	?	?	?	C7	86	288

环境的剧烈扰动, 该活动区在 2000 年 7 月还产生了一系列的大耀斑. AR9077 (22°N , 07°W) 和 AR10180 (12°S , 29°W) 为同一经度上的活动区, 但处在不同的太阳半球, 它们的时间间隔约为 2 年 4 个月. AR9213, AR9313, AR9632 以及 AR9672, AR9704 都是同一个卡林顿经度上的活动区, 但它们的时间间隔分别为 27 天, 8 个月, 27 天和 27 天, 除了 AR9213 (04°N , 78°W) 处在北半球, 该活动经度上的其余 4 个活动区都处在南半球. AR8525 和 AR10069 为同一个经度上的活动区, 它们分别处在太阳的北半球和南半球, 它们的时间间隔约为 39 个月. 需要指出的是, AR9213 爆发的质子事件的峰值通量达到 14800 pfu, 是一次很强的质子事件, 但该活动区的 M 分类和磁分类都不是很复杂, 面积也很小, 因此, 质子事件的强度与这些参数的关系不是很大. 表 5 给出的活动经度带的质子耀斑的数量为 17 个, 同一活动经度上的质子事件都是在两个半球轮流爆发. 该经度带有 5 次质子事件的峰值流量超过 10000 pfu. 因此, 该活动经度带是第 23 周最强的活动经度带. 需要指出的是, 该活动经度上产生的质子事件北半球 4 个, 南半球 12 个, 一个是未知的, 因此, 该活动经度带南半球的活动区占绝对优势.

表 6 给出的经度带的经度范围是 345° — 360° , 从该卡林顿经度的数值看, 该经度带上的活动区几乎在同一个活动经度上. 但 AR8100 和 AR8552 的时间间隔为 19 个月, AR8552 和 AR8236 的时间间隔为 17 个月, 而 AR9236 和 AR9415 的时间间隔约为 16 个月, AR9415 和 AR9661 的时间间隔为 6 个月. 表 6 给出的这个活动经度是一个中等强度的活动经度. AR8210 处在南半球, AR8552 和 AR9236 处在北半球, AR9415 处在南半球, 而 AR9661 处在北半球, 因此, 表 6 中的活动经度带几乎是同一个活动经度, 在该活动经度上质子事件在太阳南北半球轮流爆发.

表 6 卡林顿经度带 345° — 360° Table 6 The solar proton events produced in Carrington longitude band 345° — 360°

活动区	爆发日期	M 分类	磁类型	黑子数	面积	日面位置	耀斑级别	峰值流量	卡林顿经度
8100	1997-11-04	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	37	1000	14°S , 33°W	X2/2B	72	352
8100	1997-11-06	FKC	$\beta - \gamma$	21	760	18°S , 63°W	X9/2B	490	355
8552	1999-06-04	DAO	B	4	250	19°N , 06°W	M3/2B	64	347
9236	2000-11-24	FKC	$\beta - \gamma$	29	440	20°N , 05°W	X2/3B	942	352
9415	2001-04-10	EKI	$\beta - \gamma - \delta$	40	490	23°S , 09°W	X2/3B	355	358
9415	2001-04-15	DKO	β	4	350	20°S , 85°W	X14/2B	951	360
9415	2001-04-18	?	?	?	?	20°S limb W	C2/2B	321	360
9661	2001-10-19	EKI	$\beta - \gamma - \delta$	21	620	15°N , 29°W	X1/2B	11	357
10484	2003-10-26	EKC	$\beta - \gamma - \delta$	57	1350	20°N , 38°W	X1/1N	466	355

在 1997—2003 年期间的质子事件峰值通量大于 100 pfu 的质子事件中, 南半球质子事件的数量为 18 个, 北半球质子事件的数量为 10 个, 因此, 大的质子事件在南半球发生的次数更多. 从表 1 中的 AR8914 的数据看, 该活动区的黑子数, 面积都偏小, 但质子事件的峰值流量达到 1700 pfu, AR8340 在 1998 年的 9 月 30 日也出现了类似的情况, 而且该活动区在 1998 年 9 月 25 日的黑子数、面积等都更大, 但质子事件的强度却远低于 9 月 30 日该活动区产生的质子事件的强度. 活动区 AR9213 的黑子数为 4, 面积为 80, 磁类型为

β , 但产生的质子事件的峰值通量为 14 800 pfu, 是一次极强的质子事件, 因此, 质子事件的强度与耀斑, 活动区的面积以及磁类型的关系不是很密切. Kahler 和 Gopalswamy^{[10],[11]}指出, 质子事件的强度主要取决于爆发过程中相关的 CME 以及这些 CME 和背景环境的相互作用.

表 7 其他卡林顿经度上的质子事件

Table 7 The solar proton events produced on other Carrington longitudes

活动区	爆发日期	分类	磁类型	黑子数	面积	日面位置	耀斑级别	峰值流量	卡林顿经度
8872	2000-02-18	BXO	β	6	20	29°S, 07°E	M1/1N	13	93
9026	2000-06-07	FKC	$\beta - \gamma - \delta$	28	630	20°N, 18°E	X2/3B	84	74
9026	2000-06-10	EAO	β	6	200	22°N, 38°W	M5/3B	46	72
9608	2001-09-15	FKC	$\beta - \gamma$	34	1020	21°S, 49°W	M1/1N	11	107
10501	2003-11-21	DKI	$\beta - \gamma - \delta$	14	310	02°N, 17°W	M5.8/2B	13	4

3 结果与讨论

1997—2003 年期间, 质子事件的源区主要集中在 10°—45°, 135°—155°, 180°—215°, 230°—260°, 265°—310°, 345°—360°, 还有 4 个质子事件的源区分散在 4°, 72°, 74°, 93° 和 107° 上. 其中最强的卡林顿经度带的经度范围是 265°—310°, 次之为卡林顿经度带 135°—155°, 最弱的是卡林顿经度带 180°—215°. 活动经度 272° 是最强的活动经度. 此外, 同一个活动经度上质子事件具有重现的规律, 重复出现相隔的时间尺度短的只有几天, 还有 27 天的, 最长的超过 4 年. 在同一个活动经度上, 质子活动区一般分别出现在太阳的不同半球, 即质子事件在两个半球轮流爆发. 通量大于 100 pfu 的质子事件总共 28 个, 其中 18 个发生在南半球, 北半球为 10 个. 质子事件的强度与活动区黑子群的面积、黑子数以及磁类型的关系不是很密切.

有些活动区产生的质子事件的间隔只有几天, 如活动区 AR10486 等; 另一些活动区则在 27 天后再次产生质子事件, 如活动区 AR10386 等; 还有些经度质子事件重现的时间间隔超过 4 年. 因此, 质子事件再现的时间尺度规律并不是很强, 因此, 质子事件的中短期预报依然是空间天气实际预报中的一个难题, 而长期预报则更困难. 判断一个活动期几天后或 27 天后是否会再次产生质子事件, 或者一个经度带上的质子事件的重现规律是目前太阳活动预报实际应用中迫切需要解决的问题.

过去在研究质子事件过分强调耀斑的作用, 近来的研究表明, CME 与太阳质子事件有密切的关系, 质子事件的强度主要取决于事件过程中相关 CME 的速度以及 CME 和背景环境之间的相互作用^{[10],[11]}, 但质子事件爆发时有些质子的能量极高, 这些极高能量的粒子到底是耀斑产生的还是快速 CME 加速的, 它们到底是如何加速到这么高的能量, 某些活动经度质子事件重现的时间间隔到底取决于那些物理因素, 这都是还没有解决的问题, 但又是空间天气预报中非常关心的问题, 它们是下一步要研究的重点. 本文对太阳质子事件的研究主要是从太阳活动的整体上来考虑质子事件的空间特征和时间特征, 这样

的研究对太阳活动总体趋势的把握和预报是非常有用的. 同时, 我们还要依据对活动区的观测, 加强质子事件爆发的物理机制方面的研究, 如 Zhang 等人对 AR486 等活动区进行的观测分析^[12]. 随着观测数据的积累和观测仪器功能的增加和精度的提高, 对质子事件的认识一定会越来越深刻.

参 考 文 献

- [1] Zhou Aihua, Wang Rongchuan. Distribution of proton flares on the solar disc during 1942—1989. *Pub. Purple Mount. Obs.*, 1993, **12**(4):21—28. in Chinese (周爱华, 王荣川. 1942—1989 年太阳质子耀斑的日面分布. 紫金山天文台台刊, 1993, **12**(4):221—230)
- [2] Zhang Guiqing, Wang Jialong. The active rhythm of every longitudinal zone on the sun disk during the rising phase of cycle 22. *Pub. Yunnan Obs.*, 1996, **3**:21—28. in Chinese (张桂清, 王家龙. 22 周上升相日面各活动经度带的规律. 云南天文台台刊, 1996, **3**:21—28)
- [3] Le Guiming, Chen Yanhong. The statistical study of solar flares during 1996—2002. *Chin. J. Space Sci.*, 2003, **23**(5):321—327. in Chinese (乐贵明, 陈艳红. 1997—2002 年太阳耀斑的统计研究. 空间科学学报, 2003, **23**(5):321—327)
- [4] Wang Jialong. A statistical property of solar proton flares. *Chin. J. Space Sci.*, 1993, **13**(4):313—315. in Chinese (王家龙. 太阳质子耀斑的一个统计性质. 空间科学学报, 1993, **13**(4):313—315)
- [5] Zhou Shurong, Wu Mingchan, Ni Xiangbin. Recurrent law of the active regions of proton flares. *Chin. J. Space Sci.*, 1993, **13**(4):313—315. in Chinese (周树荣, 吴铭蟾, 倪祥斌. 质子耀斑活动区的再现规律. 空间科学学报, 1996, **16**(4):293—298)
- [6] Huang Yongnian, Wang Zhidan. The temporal process of the solar proton events affecting the earth environment. *Chin. J. Space Sci.*, 1998, **18**(1):81—85. in Chinese (黄永年, 王志丹. 影响地球环境的质子事件的时间过程. 空间科学学报, 1998, **18**(1):81—85)
- [7] Huang Yongnian, Wang Zhidan, Wang Xueyi. Spatial and temporal behavior of solar cosmic rays in the planetary space. *Chin. J. Geophys.*, 1998, **41**(2):149—155. in Chinese (黄永年, 王志丹, 汪学毅. 太阳宇宙线的行星际扰动. 地球物理学报, 1998, **41**(2):149—155)
- [8] Huang Yongnian *et al.* Propagation model of high-energy solar cosmic rays in interplanetary space and Green function. *Sci. China (A)*, 1998, **41**(11):1197—1205. in Chinese (黄永年等. 高能太阳宇宙线的行星际的 Green 函数及传播模型. 中国科学 (A 辑), 1998, **28**(6):569—576)
- [9] Huang Yongnian, Le Guiming. Two-stage coronal transport of solar flares particles from magnetic multipolarity sources in a flare region. In: *Proc. 28th ICRC*, 2003. **6**(SH1.3):3375—3378
- [10] Kahler S W. The correlation between solar energetic particle peak intensities and speeds of coronal mass ejections: effects of ambient particle intensities and energy spectra. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**(10):20 947—20 955
- [11] Gopalswamy N, Yashiro S, Michalek G. *et al.* Interaction coronal mass ejections and solar energetic particles. *Ap. J.*, 2002, **572**:L103—L107
- [12] Zhang Hongqi *et al.* Three super active regions in the descending phase of solar cycle 23. *Chin. J. Astron. Astrophys.*, 2003, **3**(6):491—494

本文活动区的卡林顿经度数据取自 http://www.sec.noaa.gov/majordomo_archive.cgi. 质子事件数据取自 NOAA 的质子事件列表, ftp://ft.ngdc.noaa.gov/ST/SOLAR_DATA/SAT_ENVIRONMENT/PARTICLES/p_events.lst

THE CARRINGTON LONGITUDE DISTRIBUTION OF SOLAR PROTON EVENT SOURCE LOCATIONS DURING 1997—2003

LE Guiming

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

Abstract

There are 78 solar proton events produced in the period from 1997 to 2003. 19 of the total 78 solar proton events haven't definite source location. In this paper, the Carrington longitude distribution of source location for 59 solar proton events with definite location on the solar surface during 1997—2003 is studied. The results show that the source locations of solar proton events are mainly concentrated in four Carrington longitude bands, namely 10° — 45° , 135° — 155° , 180° — 215° , 230° — 260° , 265° — 310° , 345° — 360° . The strongest Carrington longitude band of solar proton event is 265° — 310° with 17 solar proton events occurring in the band. The strongest Carrington longitude is 272° with 7 solar proton events occurring on this Carrington longitude. The peak flux for three solar events of the seven solar proton events are over 10 000 pfu. The known active region 9077 and active region 10486 are located at the Carrington longitude 309° and 283° , respectively. The second strongest Carrington longitude band ranges from 135° to 155° . The Carrington longitude bands 10° — 45° and 345° — 360° are two moderate strong Carrington longitude bands. There are 28 solar proton events with peak flux over 100 pfu in total during the period from 1997 to 2003. Ten of them occurred in the north hemisphere of the Sun, eighteen of them produced in the southern hemisphere of the Sun. The solar proton events have recurrent law for the same active longitude, the recurrent time gap ranges from several days, 27-day to more than 4-year. Also we find that the solar proton events occurred in two hemispheres by turn for the same active longitude. Because the law of recurrent of the solar proton events not only in time but also in physics is still not very clearly, so that the short term and medium-term prediction of solar proton event are still waited for being solved.

Key words Carrington longitude, Solar proton event, Prediction of solar proton event