第1卷 第1期 空间科学学报 Vol. 1, No. 1
1981 年 7 月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCES July, 1981

质子事件上升时间及峰值强度的统计研究

程栋元 吴寄萍
(中国科学院空间物理研究所)

(一) 引 言

在耀斑已基本确定为质子耀斑的情况下，为了对即将到达地球的太阳质子作出半定量的粗略预报(警报)，即估计从观测到光学耀斑开始，需经多长时间质子通量将到达峰值；峰值强度有多大. 为此，我们收集了 1967 年 5 月—1972 年 12 月约五年半期间国外发表的比较系统的质子事件资料，以及相应的太阳耀斑和太阳射电资料[1,2]. 在确定质子事件与耀斑的对应关系时，还参考了文献[3]. 利用其中质子事件与耀斑对应关系较肯定的资料，进行了相关统计分析，得到了一些初步结果.

(二) 统 计 结 果

1. 质子事件上升时间与耀斑经度的关系

统计中用了 49 个质子事件与耀斑有较肯定的对应关系的样本资料（质子都用大于 10MeV 的资料）. 用二次曲线 $t = a_0 + a_1\theta + a_2\theta^2$ 进行拟合，求得了时间 t 与耀斑日面经度 θ_f 及耀斑相对于过地球的行星际磁力线经度 θ_f-θ_M 的相关统计关系. 日面经度西径取正值，东径取负值. 统计结果如表 1 所示. 表 1 中 $t_m + t_D$ 为质子事件上升时间，即

表 1 质子事件上升时间统计结果

相关变量	拟合曲线系数值			相关系数	极值位置	
	a_0	a_1	a_2	r	θ_0	t_0(小时)
$t_m + t_D \sim \theta_f$	18.1	−0.39	0.0033	0.87	59°	6.6
$t_m \sim \theta_f$	13.8	−0.31	0.0027	0.80	57°	4.9
$t_D \sim \theta_f$	4.3	−0.079	0.00062	0.79	64°	2.4
$t_m + t_D \sim \theta_f - \theta_M$	6.8	0.027	0.0029	0.83	−5°	6.8
$t_m \sim \theta_f - \theta_M$	5.1	0.020	0.0023	0.74	−4°	5.1
$t_D \sim \theta_f - \theta_M$	1.7	0.0080	0.00066	0.82	−7°	1.8

95% 置信度允许的相关系数的最小值 0.28

本文 1980 年 10 月 23 日收到.

从光学耀斑起始到质子通量到达峰值所经历的时间；t_D 为质子起始相对于耀斑起始的延迟时间；θ_M 为从太阳上发出的通过地球的行星际力线根部的日面经度．图 1 给出了质子事件上升时间 $t_m + t_D$ 与耀斑日面经度 θ_f 的关系曲线，其它情况的曲线与此类似．从这些图表可以看出：

(1) 质子事件上升时间 $t_m + t_D$ 与耀斑经度 θ_f 的相关关系最好，相关系数达 0.87．因此利用 $t = 18.1 - 0.39\theta + 0.0033\theta^2$ 作为预报方程，根据观测到的质子耀斑的日面经度 θ_f，可估计从观测到耀斑开始，约需经过多长时间，地球附近可观测到太阳质子强度的

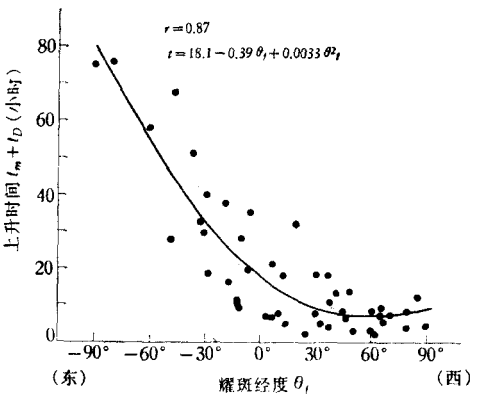


图 1　质子事件上升时间 $t_m + t_D$ 与耀斑经度 θ_f 的关系

峰值．统计结果表明，这个时间的极小值约为 6—7 个小时，平均约为 18 小时．这个结果与文献[4]基本一致．

(2) 从图 1 可以看出，曲线在 $\theta_0 = 59° \pm 8°$ 处有一极小值，这和过地球的行星际力线根部的日面经度大致吻合．因此，我们可以认为，对大于 10MeV 的质子来说，当耀斑位于通过地球的行星际力线根部附近时，传播情况最佳，粒子到达地球的时间最短．

2. 质子事件强度与射电参量的统计相关

表 2　质子事件强度与射电参量的相关统计结果

相关变量 \ 相关系数 \ 频率		8800 (MHz)	4995 (MHz)	2800 (MHz)	606 (MHz)	9400 (MHz)	1415 (MHz)
质子事件积分通量对射电	积分通量	0.61	0.57	0.57	0.47	0.45	0.31
	平均通量	0.64	0.56	0.52	0.49	0.36	0.24
	峰值通量	0.52	0.49	0.46	0.52	0.38	0.21
质子事件峰值通量对射电	积分通量	0.69	0.63	0.60	0.46	0.49	0.38
	平均通量	0.70	0.65	0.55	0.47	0.45	0.14
	峰值通量	0.68	0.56	0.49	0.43	0.43	0.32
平　均		0.64	0.58	0.53	0.47	0.43	0.27
95% 置信度相关系数最小值		0.40	0.43	0.32	0.40	0.40	0.38

统计中共用了 55 个样本资料，射电资料用了 8800，4995，2800，606，9400 和 1415 兆赫六个资料较多的频段，它们分别有 24，21，38，25，24 和 27 个样本资料. 质子事件强度用峰值通量和事件积分通量两个参数，射电事件用峰值通量、平均通量和事件积分通量三个参数，分别进行两两相关统计. 统计时采用 $\lg P = A \lg R + B$ 的对数拟合关系，统计得到的相关系数如表 2 所示. 从表 2 可看出，六个频段中以 8800 兆赫这个频率的射电参数与质子事件强度相关最好，其中又以 8800 兆赫射电平均通量、峰值通量和积分通量与质子峰值通量的相关最好(见图 2 (a)(b)(c))，相关系数分别为 0.70、0.68 和 0.69. 此结果与 Smart 和 Shea[5] 的结果基本一致(见图 3). 若把 1972 年 8 月的两个特大事件加进去统计，相关系数分别提高到 0.77、0.77 和 0.75. 因此，我们也可以利用相应的预报方

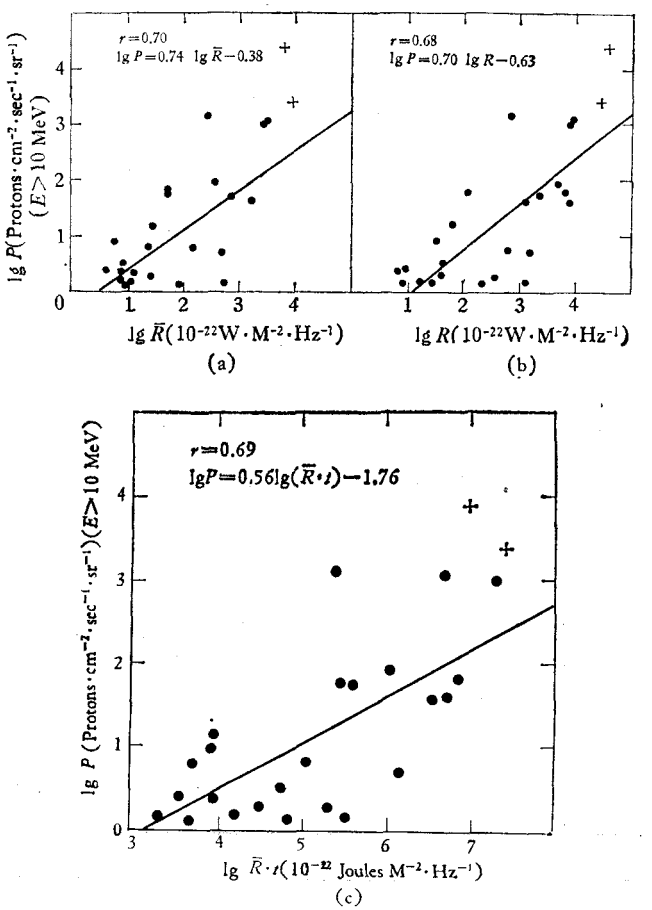


图 2 质子峰值强度 P 与 8800 兆赫射电事件平均通量 $\bar{R}$(图 a)、峰值通量(图 b) 及积分通量(图 c) 的相关

程，根据测得的 8800 兆赫射电事件的平均通量、峰值通量或积分通量，预报即将到达地球的质子峰值通量. 由于它们的相关系数不相上下，因此，作为抢时间的警报，可采用 8800 兆赫射电事件的峰值通量做预报因子.

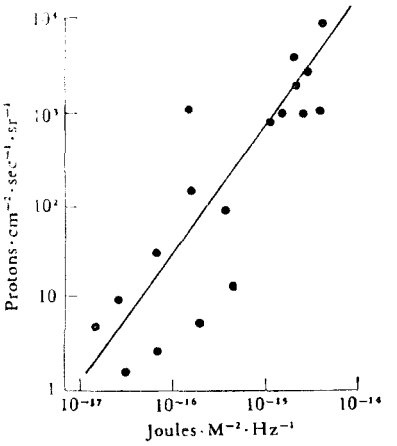


图 3　大于 10MeV 质子峰值强度与 8800MHz 射电积分通量的相关[5]

（三）讨　论

1. 国内外不少研究工作者在这方面做了工作[5—9]，取得了较好的结果. 从我们的结果和这方面的最新工作[5]的结果进行比较可以看出：用 8800 兆赫射电参数预报质子事件峰值强度，虽然比较粗糙，但还有一定的实用价值. 目前美国 Boulder 的空间环境服务中心就是用 8800 兆赫的射电参数来做质子事件强度预报的[10].

2. 在统计中，我们发现个别比较特殊的事件. 例如 1968 年 1 月 11 日事件，耀斑发生在 38° 西，即比较有利的传播位置，射电通量达 1465(瓦/米²赫·芝)，而质子通量只有 1.41 (质子/厘米²·秒·立体弧度). 与此相反，1969 年 4 月 10 日事件，耀斑发生在 90° 东，这是非常不利的传播位置，射电通量为中等强度 660 (瓦/米²·赫芝)，而质子通量高达 1348 (质子/厘米²·秒·立体弧度). 这些现象是用一般的行星际传播效应所不能解释的. 可能是由太阳上复杂的加速过程和太阳附近复杂的传播效应(主要是日冕内的传播效应)造成的. 因此，为了提高预报质量，今后在这方面必须加强研究.

参　考　文　献

[1] Solar-Geophysical data, 1967—1974.
[2] Quartly Bulletin on Solar Activity, 1967—1972.
[3] Svestka, Z. and Simon, P., Catlog of solar partical events. **41**, (1), 189, 1975. 1955—1969.
[4] Van Hollebeke, M. A. I., et al., *Solar Physics*, **41**, (1) 189, 1975.
[5] Smart, D. F. and Shea, M. A., *Space Research*, **19**, 395, 1979.
[6] Croom, D. L., *Solar Physics*, **19**, 171, 1971.
[7] 北京天文台射电天文组，北京天文台台刊，**1**, 15, 1972.
[8] Акиньян, С. Т. Фомичев, В. В. Чирток, И. М., Геомагнетизи и Аерономия, **XVII**. (1), 10, 1977.
[9] Акиньян, С. Т. Фомичев, В. В. Черток, И. М., Геомагнетизи и Аерономия, **XVII**. (2), 177, 1977.
[10] Smart, D. F. and Shea, M. A., *Space Research*, **18**, 373, 1978.

A STATISTICAL STUDY ON THE RISE TIME AND THE PEAK INTENSITY OF SOLAR PROTON EVENT

Cheng Dong-yuan Wu Ji-ping

(Institute of Space Physics, Academia Sinica)

Abstract

This paper intends to put forward a semi-quantitative method of prediction of solar proton events, i.e., to estimate the peak intensity of solar protons and the rise time in which solar protons expense to reaching it's peak intensity from the onset of the optical flare presumed to have been identified as a proton flare. We had collected and studied statistically the systematic data of solar proton events and associated solar flare and radio burst data published abroad. The statistical results show that the correlation coefficient between the rise time t of solar proton event and the flare heliographic longitude θ is about 0.87 and the fitting equation is $t = 18.1 - 0.39\,\theta + 0.0033\,\theta^2$. Furthmore, the solar radio data of six frequencies (9400, 8800, 4995, 2800,1415, and 606 MHz) were analysed and fitted to the equation $\lg P = A\lg R + B$. Among them, the correlation between the 8800MHz radio parameters and the solar proton intensity is the best. The correlation coefficients between the averge flux, the peak flux and the integrating flux of the 8800-MHz radio-burst events and the peak intensity of solar proton events are 0.70, 0.68 and 0.69 respectively. The coefficients can be raised to 0.77, 0.77 and 0.75 respectively if two large proton events occured in August, 1972 are also considered. Thus, using the corresponding empirical equation, We can forecast the rise time and the peak intensity of solar proton events from the observed data of the solar flare longitude and the fluxes of the 8800 MHz radio burst.