

影响地球环境的太阳质子事件的时间过程

黄永年 王志丹

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

利用1966年以来的大量太阳耀斑以及相应质子事件的资料,分析研究了质子事件到达时间和极大时间同耀斑经度位置的统计关系.结果表明当耀斑位置处于经过地球的行星际大尺度场磁力线足点位置附近时,上述两种时间过程最短.这个结果支持了太阳耀斑粒子经日冕传播再向行星际空间传播的二阶段传播模型.

关键词 太阳耀斑—太阳质子事件—时间过程

1 引 言

太阳耀斑发出的高能宇宙线对空间环境和地球物理效应能产生显著的影响.能量大于10MeV的高能质子对人造卫星和宇宙飞船中的仪器设备产生较大的辐射损伤,对宇航员生命安全构成严重威胁.能量在5—20MeV的高能质子能沿磁力线进入地球极盖区,使50—90km范围内电离层的电离和吸收突然增大,使无线电通讯受到严重干扰甚至中断(即“极盖吸收事件”).此外,最近的研究表明,太阳宇宙线还能直接对地球环境,例如天气、地震等因素产生影响.由于太阳质子事件与空间和地球环境有如此密切的联系,研究太阳耀斑质子事件的时间演化过程就成为具有重要实用价值的问题,它对于地球与空间环境的预报、航天器发射安全期的选择及辐射防护、宇航员安全保障等具有重要意义.

地球轨道附近观测到的太阳质子事件是太阳耀斑发出的大量高能粒子经日冕和行星际传播形成的,在以往的研究中,人们已经建立了多种太阳宇宙线传播模型来描述这一过程.早期的模型没有考虑太阳耀斑粒子在日冕中的传播,直到70年代,Wibberenz等^[1,2]提出了耀斑粒子日冕传播的问题,此后人们发现,太阳质子事件时间过程主要是由日冕传播特征决定的.

虽然在理论模型方面已做了不少工作,但迄今还没有一个模型能足够精确地预测到耀斑爆发之后,它所伴随的质子事件的强度、能谱以及时间演化过程中的各种参量.事实上,即使对于同一级别同样类型的耀斑,这些能量也往往有较大的差别,因而往往要用统计方法来研究观测特征之间的联系.本文的主要目的是研究粒子事件到达时间、极大时间

同耀斑经度位置之间的关系,并对其提出定性的解释.目前这方面的统计工作在国内外的科技文献中尚未见到过.我们对 1966 年以来的一些耀斑及粒子事件的资料加以考察,特别分析了粒子事件到达时间、极大时间与耀斑经度位置之间的统计关系,用最小二乘法拟合了粒子事件到达时间、极大时间与耀斑经度位置之间的关系曲线,从而对耀斑爆发后太阳宇宙线粒子传到地球和达到极大强度的时间作出估计.

2 观测数据与统计结果

Sanae 中子堆探测器自 1964 年 2 月以来一直连续工作,它位于南纬 $70^{\circ}19'$, 西经 $2^{\circ}25'$, 具有截止刚度 0.86GV. 该中子堆的地面太阳质子事件数据,可以从 Hanscom AFB 的 Phillips 实验室地球物理部的国际 GLE 标准数据库得到^[3,4]. 在第 20 和第 21 个太阳活动周期记录的数据分辨时间为 10min, 从第 22 个太阳活动周期开始有了 5min 间隔的数据记录.

在观测中,平静状态下粒子强度的基准值,按照国际上公认的 GLE 数据库的取法,以耀斑 H α 射线开始前一个小时的强度观测值为基准. 将 Sanae 中子堆探测器刚刚测到太阳耀斑粒子的时间间隔区间的中间点取为事件开始时刻 t_p , 相对强度达到极大的时间间隔区间的中间点作为极大时刻 t_l .

另外,耀斑 H α 射线开始时刻,我们近似认为就是耀斑爆发的时刻 t_f , 将 $t_p - t_f$ 的差值(相当于耀斑粒子从太阳传播到地球所需的时间)定义为事件到达时间 T_s , 而将 $t_l - t_p$ 定义为事件上升极大时间 T_m (从事件开始到粒子强度达到极大所需的时间). 对于所有列出的 39 个粒子事件,我们研究了 T_s 和 T_m 与相对应的耀斑所在日面经度的关系,其结果如图 1 和图 2 所示.

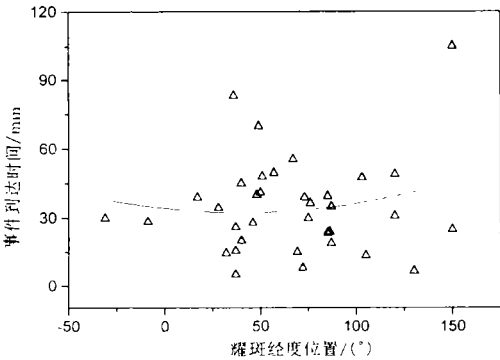


图 1 事件到达时间与耀斑经度位置之间的关系

Fig.1 Relation between the arrival time of proton events and the flare longitudinal positions

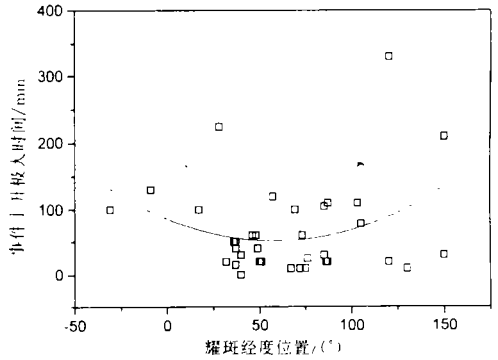


图 2 事件上升极大时间与耀斑经度位置之间的关系

Fig.2 Relation between the maximum time of proton events and the flare longitudinal positions

目前人们用耀斑粒子的“二阶段传播模型”来描述太阳宇宙线的传播.根据这一模型,太阳宇宙线传播经历了日冕传播和行星际传播两个阶段,即耀斑粒子先在日冕内经历扩散、逃逸、漂移等过程,然后在行星际空间沿行星际大尺度磁场传播.由于“聚焦效应”,高

能粒子因小尺度扰动“跨越”大尺度场磁力线的横向扩散可以忽略.因而耀斑粒子到达地球的时间同耀斑经度位置之间的关系主要受日冕传播过程影响.并且可以预期,当耀斑位于通过地球的大尺度场磁力线足点位置附近时,相应的粒子事件到达时间 T_s 最小.这是因为这种情况下粒子从耀斑位置传到通过地球的大尺度场磁力线足点位置所需的日冕横向传播时间最小.对于粒子事件极大时间 T_m ,也有类似的关系.从图 1 和图 2 可以看出统计结果与上述理论模型的预言是基本一致的.我们用最小二乘法对 T_s 、 T_m 与耀斑经度位置的关系作曲线拟合,得到的关系式为

$$T_s = 0.0011\theta^2 - 0.092\theta + 34.2 \pm 20.37(\text{min}); \tag{1}$$

$$T_m = 0.0100\theta^2 - 1.174\theta + 85.6 \pm 65.70(\text{min}). \tag{2}$$

利用公式 (1) 和 (2), 计算结果为: T_s 的极小值出现于 $\theta_s = 42^\circ$, T_m 的极小值出现于 $\theta_m = 58.7^\circ$, 与通过地球的大尺度场磁力线足点位置较为接近.

为了进一步检验上述结论,我们又对 1976 年至 1991 年的另外 121 个太阳耀斑质子事件进行了统计分析.这些数据取自 NOAA 空间环境服务中心 (SESC) 提供的资料^[5]. 这里我们定义“粒子传播时间” T_d 为事件粒子强度极大时刻与耀斑极大时刻的间隔, 事件上升极大时间仍旧定义为粒子强度极大时刻与粒子事件开始时刻之差, 这里我们记为 T_m' , T_d 与 T_m' 和经度的统计关系如图 3 与图 4 所示. 得到的关系式为

$$T_d = 0.1518\theta^2 - 29.29\theta + 2075.6 \pm 1814.3(\text{min}); \tag{3}$$

$$T_m' = 0.1374\theta^2 - 13.65\theta + 845.21 \pm 1832.4(\text{min}). \tag{4}$$

利用公式 (3) 和 (4), 计算结果为: T_d 的极小值出现于 $\theta_d = 96.5^\circ$, T_m' 的极小值出现于 $\theta_m = 49.7^\circ$.

图 3 中 T_d 为耀斑极大时刻到粒子事件强度极大时刻的时间间隔, 图 1 中 T_s 为耀斑开始时刻到粒子事件开始时刻的时间间隔, 两者都可近似看作粒子从耀斑位置传播到地球所需的时间, 所以应有相似的统计关系. 从图 3 和图 4 可以看到, 统计结果与理论上的预期仍

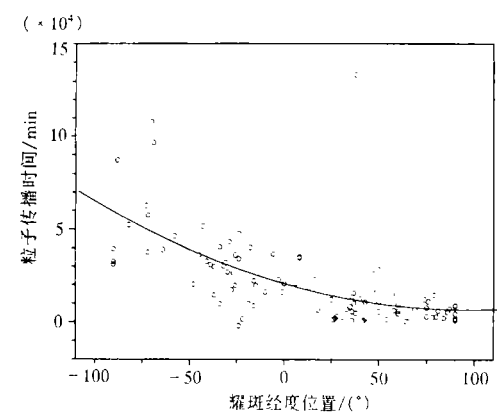


图 3 粒子传播时间与耀斑经度位置之间的关系

Fig.3 Relation between the particle propagation time of the events and the flare longitudinal positions

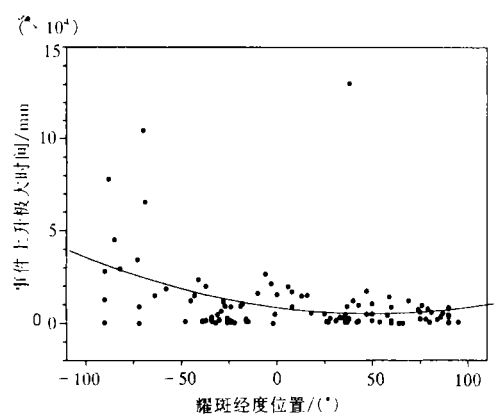


图 4 事件上升极大时间与耀斑经度位置之间的关系

Fig.4 Relation between the maximum rise time of proton events and the flare longitudinal positions

是比较符合的.

3 讨 论

从前面的结果中可以看出,影响地球环境的太阳质子事件,其宇宙线粒子从耀斑爆发到影响地球空间环境所需的时间,以及事件粒子强度上升阶段的时间,同相应耀斑在日面上的经度位置有着比较明显的相关性,结论如下:

(1)对于上述两种时间过程,当与粒子事件相应的耀斑位置离经过地球的大尺度场磁力线足点位置越近,则相应粒子事件的两种时间过程越短;

(2)前面得到的粒子事件时间过程与耀斑位置的统计关系,是一个近似关系.由于耀斑本身的产生机制以及各个耀斑爆发时的物理条件有着多种不同的情况,即使对同一级别的耀斑,所产生的粒子的强度、能谱以及相应粒子事件的时间过程也往往有较大差异,因而造成统计结果有较大的弥散度.要对上述结果的精确程度作进一步的改进,有待于对耀斑粒子加速机制、耀斑区的太阳物理条件等因素作更深入的研究;

(3)这个结果支持太阳耀斑粒子经历日冕传播再沿行星际大尺度场磁力线向行星际空间传播的“二阶段传播模型”;

(4)能量越高的粒子事件,其粒子的传播时间、到达时间和强度上升到极大的时间越短.本文中用于计算 T_s , T_m 的观测数据来自 Sanae 中子堆,它探测的粒子能量范围在 GeV 量级,而用于计算 T_d , T_m' 的观测数据来自多个卫星探测器,探测的粒子能量范围仅在几十 MeV 量级,因而相应的 T_s 与 T_d , T_m 与 T_m' 数值上差别较大,这是合理的.

参 考 文 献

- [1] Reinhard R, Wibberenz G. Propagation of flare protons in the solar atomsphere. *Solar Physics*, 1974, **36**: 473—494
- [2] Wibberenz G *et al.* Coronal and interplanetary transport of solar energetic protons and electrons. *Solar Physics*, 1989, **124**: 353—392
- [3] Stoker P. H *et al.* Ground level solar flare proton events recorded by the sanae neutron monitor since 1966. *23rd International Cosmic Ray Conference*, 1993, **3**: 43—46
- [4] Kellenrode M B. Neutral lines and azimuthal “transport” of solar energetic particles. *J. Geophys. Res.*, 1993, **98**(A4): 5573—5591
- [5] Helen E C. *Solar Geophysical Data*, 1991, **568**II: 128—131

THE TEMPORAL PROCESSES OF THE SOLAR PROTON EVENTS AFFECTING THE EARTH ENVIRONMENT

HUANG Yongnian WANG Zhidan

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

Abstract

The statistical relations between the arrival time, maximum time of proton events and the flare-associated longitudinal position are studied in detail by using data of solar flares and proton events from 1966 through 1992. It is concluded that the above two time processes are the shortest when solar flares are at longitudinal positions which are the footpoints of the large-scale interplanetary magnet field lines connecting with the earth. The result supports the two-stage diffusion model, which asserts that the solar flare protons propagate in the interplanetary space following the coronal transport.

Key words Solar flares, Solar proton events, Time processes

第八届全国日地空间物理学学术讨论会

第八届全国日地空间物理学学术讨论会暨国家自然科学基金重大项目“日地系统能量传输过程的研究”成果交流会于1997年9月16—22日在湖北宜昌召开。会议由武汉大学电子信息学院主办,与会代表88人,分别来自16个单位。其中35岁以下的代表占33%。会议共宣读论文82篇,学科涉及太阳大气、日球层、磁层、空间等离子体、中高层大气、电离层、日食观测、空间观测与探测、空间环境、日地关系及空间天气学等方面。反映出近年来我国空间物理基础研究和应用研究方面的最新进展。同时也充分展示了国家自然科学基金重大项目“系统能量传输过程的研究”执行期间取得的优异成绩,整个项目的7个二级课题均有论文宣读。

会议期间还就863预研课题“应用卫星和卫星应用技术发展对空间物理的要求”召开了专题研讨会。由刘振兴院士主持,大家发言热烈,气氛活跃,从不同角度提出意见和建议。

会议期间进行了青年优秀论文评选工作,曹晋滨、吴中华、窦贤康、胡小龙、涂剑南、梁君、王劲松、张天华、张北辰等9位获青年优秀论文作者。整个会议学术气氛浓厚,发扬了学术民主,对某些专题进行了深入、充分的讨论。