

1997年1月7—10日广州台站银河 宇宙线强度变化特征

乐贵明 叶宗海 余绍华 李润森 肖少瑜 龚菊红

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

1997年1月7—10日的CME事件虽然只引起了中等强度的磁暴,但引起了很强的地球物理效应.这次CME事件影响了银河宇宙线的强度.本文给出了CME在行星际传播期间广州多方向闪烁望远镜观测台站在几个方向记录的银河宇宙线强度变化的特征,并做了简要的分析.

关键词 CME 一银河宇宙线一各向异性一地磁暴预报

1 引言

地磁暴是一种灾害性的空间天气,它造成的危害是很大的.因此,地磁暴预报一直是空间物理学研究的一个重要内容.已有的研究表明,日冕物质抛射(CME)是非重现性地磁暴的主要肇事者^{[1],[2]}.但是,进行时间提前量较大的,精确预报地磁暴的大小,目前还远未解决.地磁暴预报的研究是一项长期而艰巨的任务.依据扰动太阳风的数据和背景太阳风的数据可以在某种程度上对地磁暴的一些特性做出判断,但目前对太阳风的监测依赖ACE等卫星的数据,而引起中等以上磁暴,尤其是大磁暴的扰动太阳风从ACE卫星的位置到达地球的时间往往低于30 min,因此,依据ACE卫星的数据进行地磁暴预报,尤其是大地磁暴的预报时间提前量往往过低.银河宇宙线穿过日球层顶和行星际空间后进入磁层,最后到达地面.当银河宇宙线穿过行星际空间遇到CME时,银河宇宙线会受到CME的影响,穿过CME后银河宇宙线强度和方向都可能发生了变化,反映在地面是台站记录的宇宙线强度发生变化.由于银河宇宙线的速度很高,它比CME的速度高得多,因此,有可能可以利用地面台站记录的银河宇宙线的变化(强度和各向异性变化等,以下同)来反映行星际空间的扰动情况,即利用银河宇宙线来远程监视CME,这是利用银河宇宙线监视CME的一大特性.在1989年,薛顺生和章公亮指出^[3],宇宙线各向异性的观测是监测行星际磁场分量的有力工具,可以利用这种观测为空间环境提供预报.当时他们统计了1971—1975年期间宇宙线南北各向异性即相关的太阳风和行星际磁场的共转变化研究,计算的是每天太阳风的磁场分量的平均值与银河宇宙线的南北各向异性的统计关系,使用的数据是日本的数据.郭维吉和章公亮进行过强磁场扰动对宇宙线的调制研究^[4],文章主要进行强磁场扰动对宇宙线的下降形态与下降幅度进行统计,没有进行过磁暴前宇宙线强度变化特征研究.叶宗海等^[5]研究的宇宙线强度变化与磁扰K类型的研究主要统计了不同类型的K指数与相应的Forbush下降形态与幅度间的关系.

2001-10-15 收到原稿, 2002-08-25 收到修定稿

1997 年 1 月 6 日 1734 UT 太阳上爆发了一个 CME, 太阳在 1 月 5—6 日的 X 射线流量如图 1(a) 所示^{*1}. SOHO 卫星的 LASCO C2 日冕仪观测到该 CME 为偏的全晕 CME, 1 月 10 日 WIND 卫星与地球之间的距离为 $85 R_e$, WIND 卫星在 1 月 10 日 0445 UT 观测到磁云 (MC) 的前端, MC 前面的激波在 0053 UT 就到达 WIND 卫星所处的位置, CME 的速度为典型的 450 km/s 左右. 从 1 月 10 日 0445 UT 开始的约 20 h, 地球浸在 CME 里面. 在这段时间内, 行星际磁场 B_z 分量几乎为恒定的南向, 强度为 15 nT . 在磁云的后边界结束前, 磁场方向以一种平均的速度逐渐转向北, 如图 1(b) 所示^{*2}. 这次 CME 事件引起了地磁暴, 而且 GOES 卫星, 低地球轨道卫星 SAMPEX, 以及 POLAR 卫星都观测到辐射带电子通量的增强. 这是一次非常受关注的事件, 国外对这次事件进行了大量的研究^{[6]—[8]}, 我国学者也对这次 CME 在行星及空间的传播进行了数值模拟^{*3}. 本文介绍此次 CME 在行星际空间传播过程时我国广州台站记录的银河宇宙线强度的变化特征.

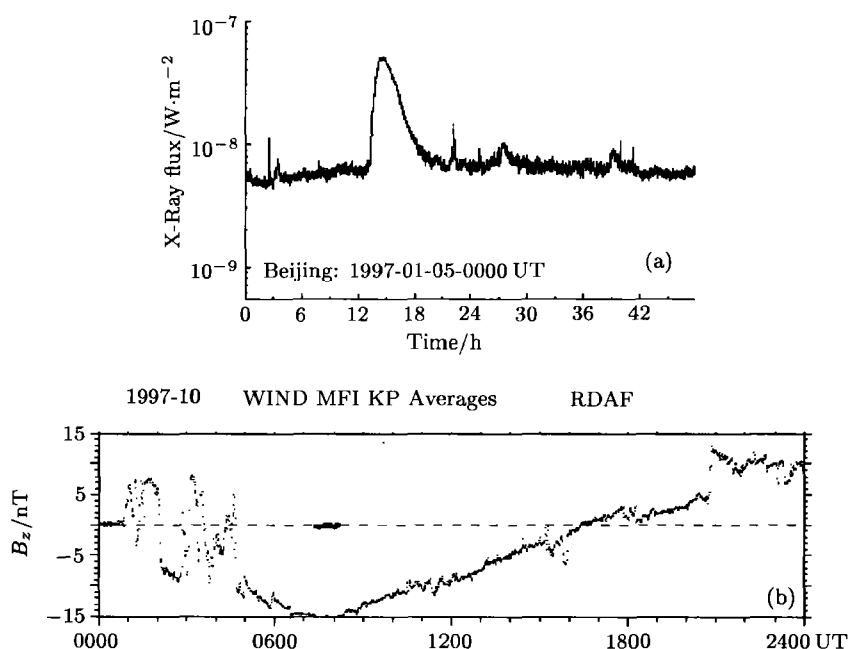


图 1 (a) 1997 年 1 月 5—6 日太阳耀斑, (b) 1997 年 1 月 10 日行星际磁场的 B_z 分量

Fig.1 (a) Solar X-ray flux during Jan. 5—6, 1997^{*4},
(b) B_z component of the interplanetary magnetic field

2 观测数据与分析

广州闪烁体望远镜建成于 1987 年的 9 月, 其地理位置为 $113^{\circ}18'E, 23^{\circ}6'N$, 海拔 21 m 垂直截止刚度为 16 GV , 该望远镜的结构如图 2 所示, 表 1 为广州望远镜方向成分参数.

1997 年 1 月 7—10 日在行星际传播的 CME 到达地球后引起了中等强度的地磁暴,

^{*1}<http://lepmfi.gsfc.nasa.gov/cgi-mfi/mfixyz-kp.cgi>

^{*2}<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>

^{*3}<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst1/f/dstfinal199701.html>

^{*4}<http://spidr.NGDC.NOAA.GOV/SPIDR/>

表 1 望远镜方向成分参数

Tab. 1 Parameter of the telescope

	方向角	立体角	符合单元数	备注
⊥	0°	58.6°	12	上下一对光导箱
E	32.2°	51.5°	6	为一符合单元
W	32.2°	51.5°	6	
S	32.2°	51.5°	10	
N	32.2°	51.5°	10	

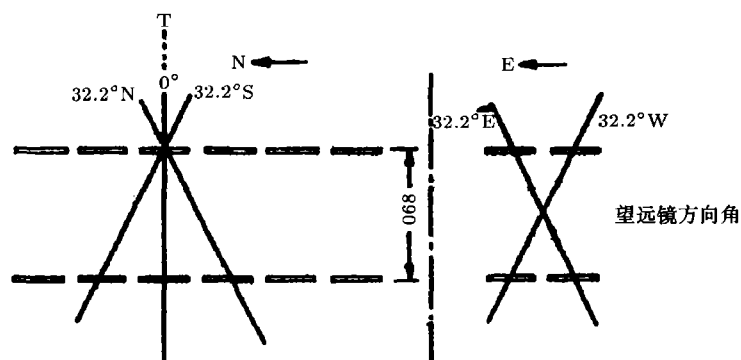


图 2 广州多方向望远镜示意图

Fig.2 Multi-direction telescope of Guangzhou

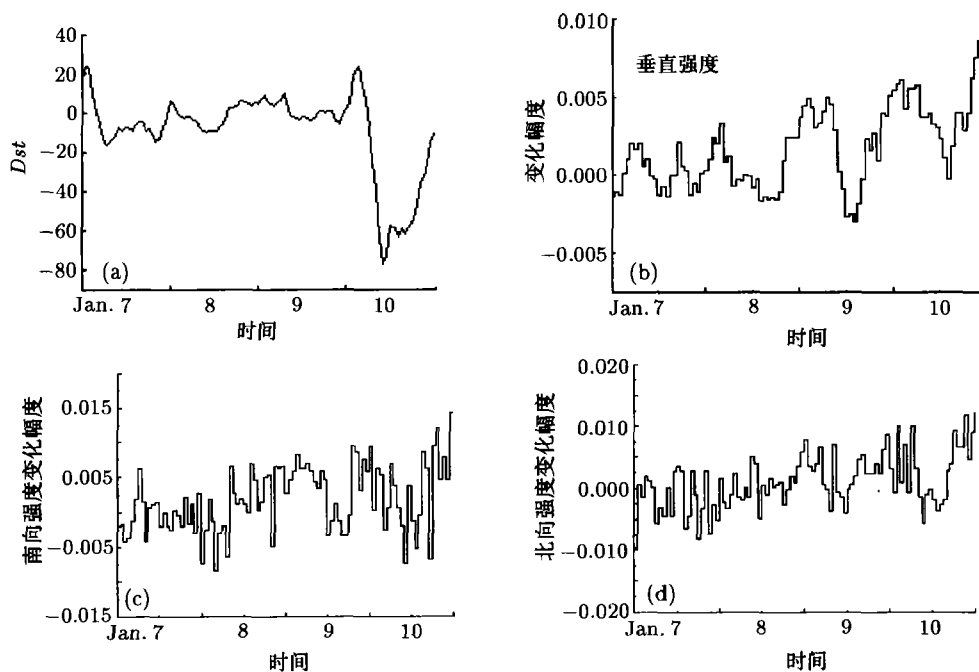


图 3 (a) Dst 指数图 (数据取自日本数据中心), (b) 广州台站垂直方向宇宙线强度的变化,
(c) 广州台站南向宇宙线强度变化, (d) 广州台站北向宇宙线强度的变化

Fig.3 (a) Dst index curve, (b) Intensity variation in vertical direction, (c) Intensity variation in south direction, (d) Intensity variation in north direction

$Dst^{[9]}$ 指数如图 3(a) 所示. 广州宇宙线台站记录的几个方向的银河宇宙线强度的变化如图 3(b), 3(c) 和 3(d) 所示.

从图 3(b) 可以看到, 磁暴发生时间为 1 月 10 日早些时候, 从太阳风的数据推测, 磁暴急始发生时间在 1 月 10 日 0100 UT 左右. 从图 3(b) 可以看到, 广州台站垂直方向的宇宙线强度在 1 月 8 日后半段时间开始日变化幅度明显增加, 比磁暴发生时间提前了约 28 h. 从图 3(b) 和 3(d) 可以看到, 广州台南、北方向的强度受 CME 的影响也有所增强, 但南北方向强度变化的趋势和幅度很接近, 即南北各向异性差异变化不大.

根据标准的传输理论, 银河宇宙线的各向异性只有 4 种来源: 平行扩散、对流、垂直扩散以及 $B \times \nabla n$ 漂移. 广州台宇宙线的截止刚度为 16 GV, 因此, 对流引起的扩散完全可以忽略. 由行星际探测数据^[10] 分析, 在行星际空间粒子主要分布在磁力线的两侧而不是沿着磁力线分布, 粒子的梯度方向与行星际磁力线垂直, 所以, 与磁力线方向平行的扩散也可以忽略. 因此, 只有垂直磁力线方向的扩散和 $B \times \nabla n$ 漂移引起的变化. 目前南北各向异性的差异公认为是 $B \times \nabla n$ 漂移造成的, 因此, 由广州南北各向异性的差异较小可以推测, 在 1 月 7—10 日, 行星际粒子的中截止刚度为 16 GV 左右的粒子梯度 ∇n 较小. 考虑到此次 CME 是一次偏向地球南半球的 CME, 而广州宇宙线台位于北半球, 因此, 这也可能是该台站南北各向异性差异不大的一个原因.

广州台站是位于低纬的北半球台站, 因此, 垂直方向与黄道面之间的夹角不大. 因此, 垂直方向宇宙线强度的变化与黄道面内粒子的速度方向的分布情况相关. 在行星际的粒子中, 很可能部分粒子的速度方向与磁力线方向之间的夹角较小, 使一部分粒子到达观测站点对垂直方向强度的起伏有一定的贡献. 另外, $B \times \nabla n$ 对垂直方向强度的起伏也有一定的贡献, 因为广州台站的垂直方向并不完全处在黄道面内.

3 结论与讨论

根据以上分析我们得到如下结论.

(1) 广州宇宙线台南北方向强度的差异不明显, 这与行星际粒子中 16 GeV 附近的 ∇n 较小和 CME 偏向南半球有关.

(2) 广州宇宙线台站垂直方向的宇宙线强度在磁暴前出现的日变化幅度增加的现象是由于 $B \times \nabla n$ 和行星际粒子中部分粒子速度方向与磁场方向夹角较小引起的.

银河宇宙线可以远程监视在行星际“行走”的 CME, 而且可以用来判断 CME 的来向, 这为进行时间提前量较大的地磁暴预报提供了一定的基础. CME 的来向是影响地磁暴强弱的一个重要因素, 从这个角度说, 利用银河宇宙线强度的变化有助于判断磁暴的强弱. 因此, 我们可以利用银河宇宙线强度的变化特征为空间环境预报服务.

参 考 文 献

- [1] Wang Jialong. Solar coronal mass ejections in space weather. *Prog. Geophys.*, 1999, 14(supp):8—19. in Chinese (王家龙. 日冕物质抛射——空间天气的扰动源. 地球物理学进展, 1999, 14(增刊):8—19)
- [2] Gosling J T. Coronal Mass Ejections: Overview. In: *Coronal Mass Ejection, Geophysical Monograph* 99., 1997
- [3] Xue Shunsheng, Zhang Gongliang, Xiao Shaoyu. The corotaing variation of the north-south anisotropy of cosmic rays. *Chin. J. Space Sci.*, 1989, 9(2):155—160. in Chinese (薛顺生, 章公亮, 肖少瑜. 宇宙线南北各向异性的共转变化. 空间科学学报, 1989, 9(2):155—160)

- [4] Guo Weiji, Zhang Gongliang. Statistical study of cosmic ray modulation produced by interplanetary strong magnetic field disturbance. *Chin. J. Space Sci.*, 1995, **15**(4):295—300. in Chinese (郭维吉, 章公亮. 强磁场扰动对宇宙线调制的统计研究. 空间科学学报, 1995, **15**(4):295—300)
- [5] Ye Zonghai, Lu Xingtang, Zong Qiugang. The variations of galactic ray intensity and the K category of disturbance. *Chin. J. Space Sci.*, 1987, **7**(4):306—313. in Chinese (叶宗海, 卢钦棠, 宗秋刚. 宇宙线强度变化与磁扰 K 类型. 空间科学学报, 1987, **7**(4):306—313)
- [6] Webb D F *et al.* The solar origin of the January 1997 coronal mas ejection, magnetic cloud and geomagnetic storm. *Geophys. Res. Lett.*, **25**(14):2469—2472
- [7] Villanate *et al.* Geomagnetic field variations at low and high latitude during the January 10—11, 1997 magnetic cloud. *Geophys. Res. Lett.*, **25**(14):2593—2596
- [8] Selesnick R S, Blake J B. Radiation belt observations following the January 1997 magnetic cloud event. *Geophys. Res. Lett.*, **25**(14):2593—2596
- [9] Shi Yong, Wei Fengsi, Feng Xueshang, Ye Zhanyin. Numerical simulation for propagation of interplanetary disturbance in three dimension solar wind background during January 1997 event. *Chin. J. Geophys.*, 2001, **44**(3):303—310. in Chinese (石勇, 魏奉思, 冯学尚, 叶占银. 1997 年 1 月行星际扰动在三维背景太阳风中传播的数值模拟. 地球物理学报, **44**(3):303—310)
- [10] John W Bieber, Paul Evenson. CME Geometry in relation to cosmic ray anisotropy. *Geophys. Res. Lett.*, **25**(15):2955—2958

THE VARIATIONAL PROPERTIES OF GALATIC COSMIC RAYS' INTENSITIES OBSERVED AT GUANGZHOU STATION DURING JAN. 7—10, 1997

LE Guiming YE Zonghai YU Shaohua LI Runsen
XIAO Shaoyu GONG Juhong

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

Abstract

The paper presents the galactic cosmic rays intensities in vertical direction, south direction and north direction respectively observed by Guangzhou muon telescope (113°18'E, 23°6'N, 21 m, 16 GV) before the January 1997 CME/magnetic cloud reached the earth. The enhancement in daily variation amplitude of galactic cosmic rays' intensity in vertical direction was obvious, while the north-south anisotropy was small. Based on standard transport theory and data observed in interplanetary space, the paper concludes that the enhancement of daily variation amplitude was due to the small angle between particle velocity direction and the magnetic force line, $B \times \nabla n$ drift was another reason for enhanced daily variation amplitude. The small north-south anisotropy was mainly due to the fact that the $B \times \nabla n$ drift with ∇n around 16 GV was small.

Key words Galactic cosmic ray, CME, Intensity variation, Anisotropy, Prediction of geomagnetic storm