

“风云一号(B)”卫星探测到的 太阳质子事件

叶宗海 陈贵福 朱光武
沈思忠 梁金宝 黄红锦

(中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

关键词 太阳宇宙线, 太阳质子事件, 太阳耀斑

我国“风云一号(B)”气象卫星于1990年9月3日发射入轨, 该星载有粒子成分监测器, 用来探测空间粒子辐射环境。其中包括测量太阳耀斑时产生的太阳质子事件及其重粒子丰度; 银河宇宙线异常成分与强度; 内辐射带磁异常区的粒子通量及重粒子成分。“风云一号(B)”卫星运行半年来, 我们已获取了上述有关的粒子辐射资料, 在卫星上获得这些资料在我国尚属首次。本文主要分析观测到的太阳质子事件。

粒子成分监测器是由三元半导体探测器组成的一个望远镜系统(见图1)^[1]。其中第一块探测器 D_1 为一薄型的金硅面垒探测器, 灵敏厚度为 $100\mu\text{m}$, 它用作 dE/dX 探测器; 第二块探测器 D_2 是灵敏厚度为 $3000\mu\text{m}$ 的硅锂漂移探测器, 用作能量探测器; 第三

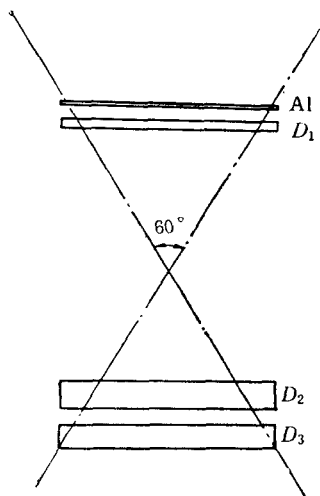


图1 粒子成分探测器望远镜示意图
Fig.1 Schematic drawing of cosmic ray composition detector

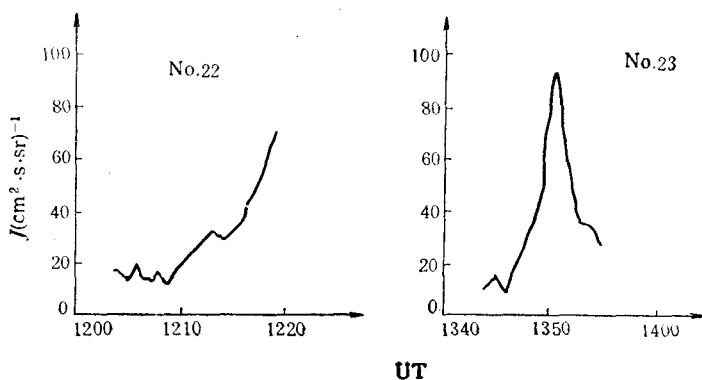


图2 1990年9月4日的太阳质子事件
Fig.2 The solar proton event on Sept. 4 1990

本文于1991年5月21日收到。

块探测器 D_3 是反符合探测器,也是灵敏厚度为 $3000\mu\text{m}$ 的硅锂漂移探测器。三块探测器的有效直径均为 12mm 。望远镜构成 60° 的全张角,其几何因子 $G = 0.255\text{cm}^2\cdot\text{sr}$ 。在望远镜的前方用 $15\mu\text{m}$ 厚的铝薄作挡光层,防止光子进入望远镜系统。该系统探测质子、 α 粒子、碳、氮、氧和铁的离子丰度,探测的能量范围是 $4\text{--}23\text{MeV/n}$ 。

探测系统要测量的粒子是经过 D_1 ,又终止在 D_2 中的粒子,穿过 D_1 和 D_2 又进入 D_3 的粒子被排除,从反面先经 D_3 ,再进入 D_2 和 D_1 的粒子也被排除,即它的工作方式是 $D_1 \cdot D_2 \cdot \bar{D}_3$ (D_1 与 D_2 的信号符合,并与 D_3 的信号进行反符合)。利用带电粒子在 D_1 中的能量损失 ΔE 和粒子总能量 E 的乘积正比于粒子的质量 M 和电荷 Z 的平方的原理,对各重粒子进行辨别^[2]。

1990 年 9 月 4 日太阳质子事件

当“风云一号 (B)”卫星于 9 月 4 日运行到第 22 圈和 23 圈时,在高纬和极区探测到由于太阳耀斑产生的太阳质子事件。9 月 4 日 0740—0843UT 在太阳上 (N14, W79) 发生了 C9.2/2N 级耀斑。卫星第 22 圈进入高纬时,于当日 1200UT 开始记录到太阳质子,当延时遥测截止时记录到最大质子强度为 $74\text{P}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$ 。在卫星进入第 23 圈时,在高纬又开始记录到该次质子事件,在 1350UT 左右质子强度达到极大值 $94\text{P}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$,参看图 2。与此同时,还记录到本次事件中的 α 粒子 ($0.33\text{He}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$),碳 ($0.027\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$)、氧 ($0.023\text{O}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$) 和铁 ($0.022\text{Fe}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$) 等重粒子,但它们的强度都较低,这次太阳质子事件属于低能小级别的事件。

因为遥测限制,卫星每一圈记录只有大约 15 分钟的时间,如果假设由于卫星飞越不同纬度引起的仪器记录的变化,即由于地磁截止刚度的迅速变化所造成的粒子强度变化

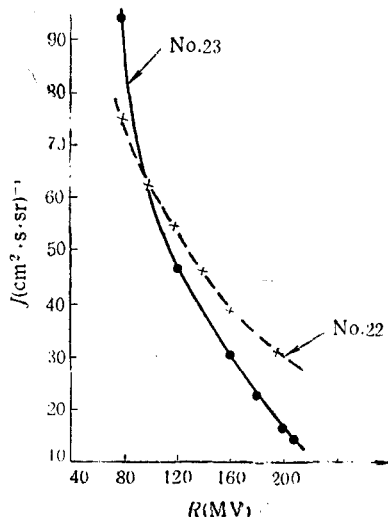
是主要的,那末,可以根据卫星运行速度所跨越的地磁纬度,粗略估算出质子事件的刚度谱,如图 3 所示。由图可以看出,这次事件的刚度谱与通常的质子事件指数刚度谱是十分相似的,粒子强度随能量增高而迅速降低,其通量主要集中在能量小于 10MeV 的低能范围。

1991 年 2 月 1 日和 2 日事件

1991 年 1 月以来,太阳活动又日趋活跃,1 月 30 日 0849UT 在太阳上 (S08, W34) 发生了 X1.0/2B 级的大耀斑,持续约 1 小时 20 分钟。当“风云一号 (B)”卫星运行到高纬时,于 2235UT 开始记录到太阳质子,2237UT 记录到最大强度为 $24\text{P}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$,在探测的 15 分钟内,除记录到太阳质子外,还探测到 α 粒子和氮粒子。

在此之后,1 月 31 日 0153UT 开始在太阳上 (S11, W27) 又出了一个 X1.0/2B 的大耀斑,引起了一个较大的太阳质子事件。卫星在 2 月 1

图 3 1990 年 9 月 4 日质子事件的刚度谱
Fig.3 The rigidity spectrum of the proton event on Sept. 4, 1990



日于 2235UT 开始记录到这次事件,2236UT 记录到 $436\text{P}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$ 的最大强度, α

粒子的最大强度为 $23\text{He}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$, 它们的强度时间变化曲线如图 4 所示. 这次事件有丰富的重粒子成分, 在连续 12 分钟内, 记录到的强度分别为: 碳是 $0.452\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$, 氮为 $0.125\text{N}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$, 氧为 $0.033\text{O}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$, 这次事件没有记录到铁粒子. 从这些重粒子的丰度看, 与一般事件的平均状态相比, 氧粒子的丰度偏低, α 粒子丰度也较低. 当然, 重粒子的丰度对于不同的质子事件是有很大差别的, 也可能与我们每圈只有 12 分钟左右的记录有关.

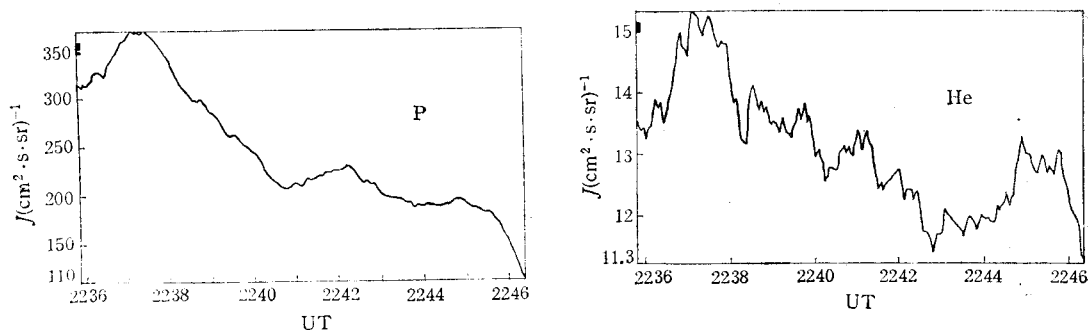


图 4 1991 年 2 月 1 日的太阳质子事件

Fig. 4 The solar proton event on Feb. 1, 1991

2 月 2 日 1634UT 星上的粒子成分探测器又记录到了太阳质子事件, 质子最大强度为 $58\text{P}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr}$, 此外还有少量的 α 粒子和氮、铁等重粒子. 质子的强度时间变化曲线如图 5 所示.

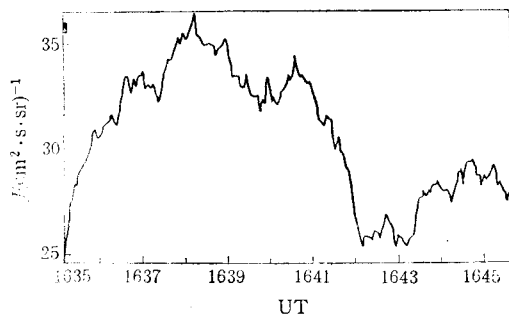


图 5 1991 年 2 月 2 日记录的太阳质子事件

Fig.5 The solar proton event on Feb. 2, 1991

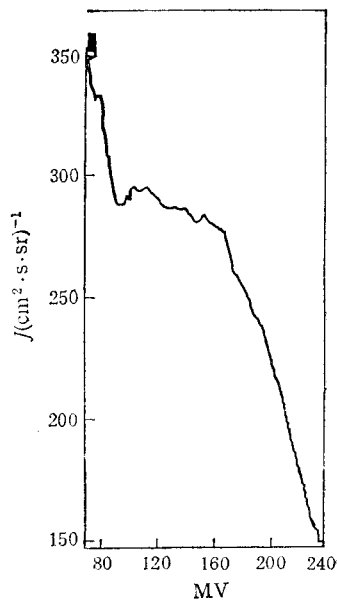


图 6 1991 年 2 月 1 日事件的刚度谱

Fig.6 The rigidity spectrum of the proton event on Feb. 1, 1991

2 月 1 日和 2 日的太阳质子事件是 1 月 31 日 X1.0/2B 级的同一耀斑产生的, 在太阳活动的不同过程中发射的两次太阳质子事件. 这是活动区 AR6466 活动的结果, 该活

动区还产生了 1 月 30 日的 X1.0/2B 耀斑,并产生了小的太阳质子事件。所以,这一活动区出现的两个 X1.0/2B 耀斑皆属于质子耀斑。

与 1990 年 9 月 4 日事件的处理方法一样,可以近似估计 1991 年 2 月 1 日事件的刚度谱,其结果如图 6 所示。由该图可以看出,在 100—180MV 的刚度范围内,它的谱是比较平坦的,在 100MV 以下和 180MV 以上的刚度范围,其谱变化较陡,所以,该事件的整个刚度谱不能用单一谱指数的指数刚度谱来表示。该事件出现如此形状的刚度谱,很可能反映了太阳活动中的某些特征。

粒子成分探测器具有测量粒子成分的功能,但受卫星条件的限制,只有积分强度的测量,而无粒子能谱测量。如果有能谱测量将会得到更好和更有意义的结果。由于缺少能谱测量,本文给出的粒子刚度谱是根据卫星运行时地磁截止刚度变化推算出来的,只能是一个近似的估计。但尽管如此,我们还是可以大致定量地判断出这些质子事件的刚度谱。

参 考 文 献

- [1] 叶宗海,空间粒子辐射探测技术,科学出版社,第 192 页,1986.
- [2] 朱光武等,宇航学报,第 2 期,第 69 页,1981.

SOLAR PROTON EVENTS OBSERVED BY “FENGYUN 1” (FY-1) METEOROLOGICAL SATELLITE

Ye Zong-hai Chen Gui-fu Zhu Guang-wu
Shen Si-zhong Lian Jin-bao Haung Hong-jin

(Center for Space Science and Applied Research, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract

This paper analyses the solar proton events observed by the cosmic ray composition detector on board the Chinese “Fengyun 1” (FY-1) meteorological satellite. They include the events on Sept.4, 1990 and on Feb.1 and 2, 1991 especially the later events are observed by the Rionometer at the antarctic Zhong Shang station and by the superneutron monitor at Beijing Station. This shows that the events include the solar protons with very high energy and have very wide energy spectrum. Besides solar protons, α particles, carbon, nitrogen, oxygen and iron particles are also observed at the same time. It is the first time in China that the solar proton events proton event, Solar flare

Key words Solar cosmic ray, Solar proton event, Solar flare