

利用 YBJ-ARGO 实验研究太阳 2005 年 1 月 16 日—20 日爆发期间宇宙线变化^{*}

王敏杰 贾焕玉¹⁾

(西南交通大学现代物理研究所 成都 610031)

摘要 分析了 2005 年 1 月 15 日至 27 日的 YBJ-ARGO-SPT 实验数据, 观测到了期间由太阳耀斑引起的宇宙线福布什下降, 与其他观测手段的观测结果一致. 根据次级粒子多重数的不同, 分能区进行了讨论, 发现在同一观测地点, 福布什下降幅度随能量升高而变小. 这是第一次在同一观测地点分能区对太阳活动期间宇宙线福布什下降的观测结果, 与理论预期相符合.

关键词 单粒子技术 宇宙线 福布什下降

1 引言

宇宙线是来自于宇宙空间的高能粒子流. 尽管太阳和星际空间也可能产生这些粒子, 但宇宙线主要来自于银河系或银河系外. 进入地球环境中的宇宙线带有其产生和传播区域的信息, 也受到太阳活动的调制, 即太阳活动变化会引起地面观测的宇宙线流强变化. 比如, 太阳耀斑爆发时, 由于太阳日冕物质抛射造成行星际磁场扰动而引起主要由带电粒子组成的宇宙线强度不规则迅速下降, 这种现象称为宇宙线福布什下降(Forbush Decrease, FD)^[1]. 研究宇宙线福布什下降, 不仅可以研究太阳爆发和宇宙线的传播性质, 还可以了解二者之间的相互关系和相互作用^[2, 3]. 另外宇宙线强度变化, 可能导致地球气候的变化^[4], 即宇宙线对人类生存的地球环境(大气过程和天气)可能存在着重大影响. 随着人类科学技术的进步和发展, 宇宙线对人类在外太空的活动影响也将日益增加. 因此对宇宙线及其变化的研究不仅具有重要的科学意义, 也具有重大的现实意义.

为了在地面上观测研究高能宇宙线的时间变化, 在世界范围内已经建成并运行着联网的约 50 个中子监测器, 其中包括 1998 年中日合作在西藏羊八井建成投入运行的由 28 支 NM-64 中子管组成的中子堆^[5]. 中

子监测器由于技术成熟, 维护简便, 可以长期可靠运行, 特别适合研究与太阳活动有关的宇宙线强度时间变化, 如宇宙线周期变化和福布什下降等. 但每个中子堆给出的都是各自不同观测地点的地磁截止刚度以上能量的宇宙线积分流强. 也就是说, 在同一观测地点, 不能分能区地观测研究宇宙线时间变化.

大量使用大面积覆盖气体探测器——阻性板室(Resistive Plate Chamber, RPC)的西藏 YBJ-ARGO 宇宙线观测阵列, 已经部分建成, 并开始稳定运行, 特别是其中的单粒子技术(single particle technique, SPT)数据, 给出了广延空气簇射(Extensive Air Shower, EAS)次级粒子多重数 $n \geq 1, 2, 3, 4$ (对应不同能量区间)的计数率结果, 可以用来研究太阳活动期间不同能区宇宙线的变化^[6-11]. 本文利用 YBJ-ARGO-SPT 数据分析研究 2005 年 1 月数次 X 级太阳耀斑爆发后, 不同能区地面宇宙线流强的福布什下降, 这是第一次在同一地点分能区对宇宙线福布什下降的监测.

2 YBJ-ARGO-SPT 实验数据

2000 年中意合作开始在西藏羊八井宇宙线观测站(30.11°N, 90.53°E, 海拔 4300m, 垂直截止刚度

2006-04-27 收稿

* 国家自然科学基金(10120130794)资助

1) E-mail: hyjia@home.swjtu.edu.cn, jiahy@ihep.ac.cn

14.1GV)建设YBJ-ARGO实验. 实验主要由探测器、当地电子学、中心电子学、触发、数据监控和记录等系统组成. 探测器采用的是新型气体带电粒子平板探测器RPC, 特别适合于大面积探测EAS中的次级粒子. 当能量大于数MeV的EAS次级带电粒子通过探测器工作气体后, 产生流光放电, 放电引起的电信号由金属感应条读出, 在前端电子学生成ECL电平, 送到当地电子学系统, 将信号展宽并转换, 进行逻辑运算, 进入TDC和当地触发单元, 最后在中心电子学的控制和判选下存储数据.

探测器放置在约111m×99m的实验大厅地面上, 如图1所示. 图中每个数字表示一个Cluster的编号, 每个Cluster由12个RPC组成. 每个RPC面积为2786mm×1236mm, 分为10个PAD, 每个PAD上有8个Strip(读出条).

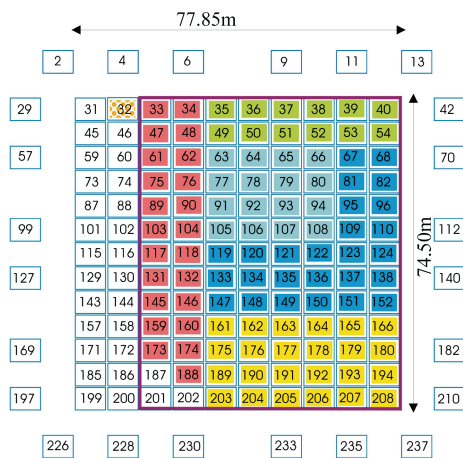


图 1 YBJ-ARGO 实验 Cluster(RPC) 分布图

实验数据的采集同时独立运行在两种模式下: Shower mode 和 Scaler mode. 前者对一个原初宇宙线粒子产生的EAS次级粒子信息进行记录, 即记录下EAS中的次级粒子的到达时间和位置等, 用来对原初宇宙线粒子的到达方向和能量等参量进行重建. 而 Scaler mode 只记录一个时间间隔内(比如0.5s)到达探测器阵列中每个Cluster的EAS次级粒子数目, 这也称为单粒子(SPT)计数. 在YBJ-ARGO实验数据中, SPT计数还做了低多重数复合, 即记录下多重数分别为 $n \geq 1, 2, 3, 4$ 时, 每个Cluster在0.5s内的计数, 约分别为40kHz, 2kHz, 300Hz和120Hz. 多重数取不同值对应着测量的宇宙线能量不同, 若不考虑地磁截止刚度, 模拟计算显示, $n=1, 2, 3, 4$, 对应的最可几能量(对质子)分别为6.5, 11, 25, 52GeV^[12]. 若考虑地磁截止刚度, $n=1, 2$ 对应的最可几能量(对质子)会大于羊八井的地磁截止刚度能量, $n=2$ 的最可几能

量大于 $n=1$ 的. 2004年6月开始, 图1中以Cluster63和Cluster108为相对顶角的长方形中的16个Cluster运行, 记录两种运行模式下的数据. SPT数据除了用来检测探测器的工作稳定情况外, 还可用来寻找10GeV能量的 γ 暴, 以及研究太阳活动引起的宇宙线效应.

3 数据分析结果和讨论

2005年太阳仍处于活动平静期, 但自1月14日开始太阳活动越来越活跃, 继1月16日、17日和19日连续几次发生X级耀斑爆发后, 20日又发生了一次X7.9级的耀斑爆发. 许多中子监测器对这些太阳爆发进行了观测, 测量到了相应的宇宙线效应——福布什下降和在FD期间出现的一个GLE事件(Ground Level Enhancement, GLE)^[13]. 下面分析这个期间YBJ-ARGO-SPT的观测数据.

选择2005年1月15日至27日期间16个Cluster中全部RPC一直正常运行的12个Cluster, 将0.5s的计数求和, 作为总计数率, 来表示宇宙线次级粒子流强. 由于SPT数据受大气气压的影响, 为了得到真实的宇宙线流强, 需要将这种影响消除^[14], 即进行SPT计数气象效应修正. 实验中对观测面处的大气气压每1s测量记录一次. 图2表示气压与0.5s总计数间关联, r 是计算的关联系数. 图中的拟合直线的斜率表示总计数的气压修正系数, 对 $n \geq 1, 2, 3, 4$, 分别为 $\beta = -0.41 \pm 0.02, -1.10 \pm 0.02, -1.08 \pm 0.02, -1.07 \pm 0.02$ (%/mb). $n \geq 1$ 的总计数气压修正系数绝对值比 $n \geq 2, 3, 4$ 的要小很多, 主要是因为 $n \geq 1$ 总计数中很强的背景噪声, 比如地表辐射、探测器本身的涨落等造成的. 前者基本与大气气压无关, 后者主要受探测器本身温度的影响, 与大气气压关联也不大. $n \geq 2, 3, 4$ 气压修正系数基本相等, 表示相等气压变化使宇宙线EAS穿过的大气物质厚度变化相等, 对EAS发展的影响在10—100GeV能量区间与能量无关.

图3给出了无太阳活动影响期间, $n \geq 1$ 和 $n \geq 2$ 总计数气压修正前后随时间的变化. 由图可以看出, 修正后的总计数率变化范围比修正前有明显减小. 计数的标准偏差 σ, σ' 分别由修正前的3527和350减小到2457和118.

气压修正后的总计数中已经不包含气压的变化, 图4给出了SPT计数在2005年1月15日至27日期间的变化. 由图看出, $n \geq 1, 2$ 和 $n \geq 3$ 的总计数中存在着福布什下降, 下降从17日中午开始, 到19日下午下降到最大, 相对于11日至16日平均计数的最大下降幅度

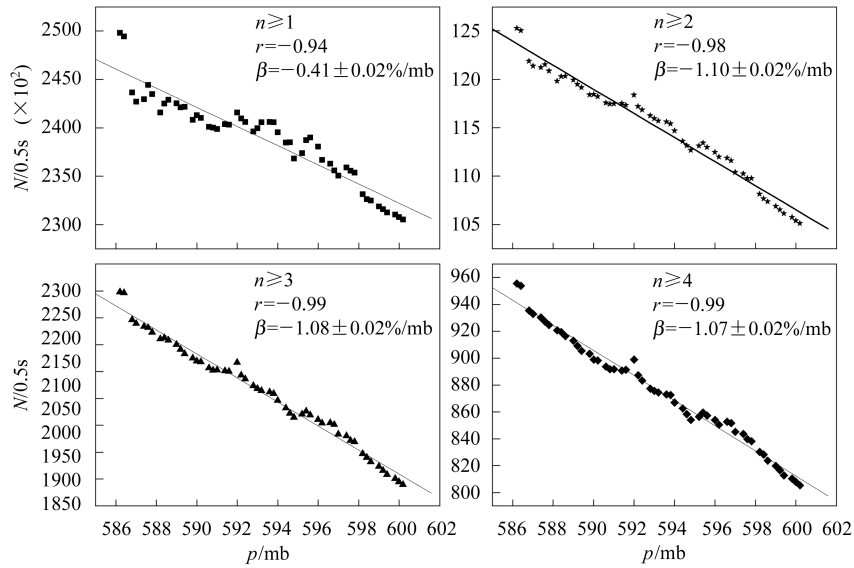


图 2 大气气压与总计数的关联和修正系数 (2005 年 1 月 15 日至 27 日数据, 其中去除了 16 日到 20 日太阳活动期的数据) 纵坐标是在一个气压区间内 0.5s 计数的平均值.

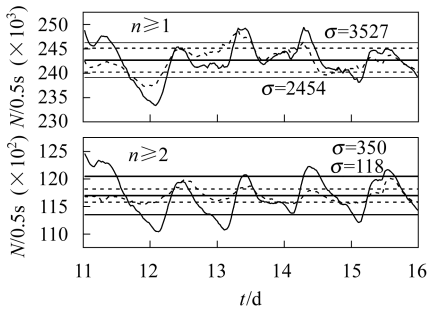


图 3 2005 年 1 月 11 日至 16 日无太阳活动影响时, $n \geq 1$ 和 $n \geq 2$ 总计数气压修正前后的变化 实线是气压修正前的计数, 虚线是修正后的结果, σ, σ' 表示修正前后的标准偏差.

分别约为 6%, 6% 和 4%. 这与其他实验观测结果观测到的福布什下降光变曲线相一致^[15]. $n \geq 4$ 总计数也有同样的下降, 只是最大下降幅度只有 3%, 根据一般福布什下降的下落幅度要超过 3% 的要求, $n \geq 4$ 的下落只能看成是福布什下降的迹象. 总之, 从 $n \geq 1$ 经过 $n \geq 2, n \geq 3$ 到 $n \geq 4$, 随着观测的宇宙线能量升高, 太阳爆发引起的宇宙线流强的下降幅度总体上在减小. 宇宙线福布什下降是由于太阳耀斑爆发产生的高速太阳风将到达地球的宇宙线粒子屏蔽而造成的. 能量越高的宇宙线粒子受这种影响越小, 也就是更高能量的宇宙线中福布什下降幅度更小. YBJ-ARGO-SPT 的观测结果正好说明了这一点.

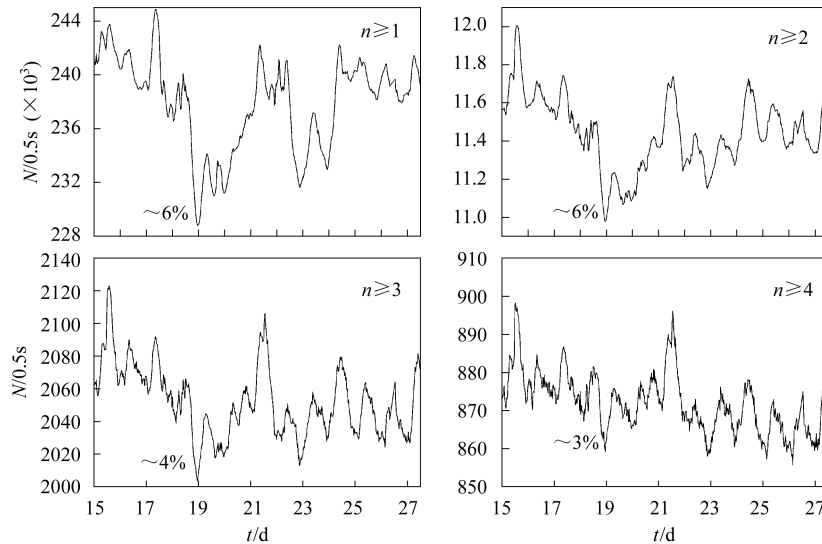


图 4 不同能区 ($n \geq 1, 2, 3, 4$), YBJ-ARGO-SPT 观测到的福布什下降 横坐标表示 2005 年 1 月 15 日至 27 日.

4 结论

分析了 2005 年 1 月 15 日到 27 日的 YBJ-ARGO-SPT 实验数据, 观测到了几次大太阳耀斑爆发引起的宇宙线福布什下降, 与其他观测结果符合很好. 特别是利用多重数 n 的不同取值, 分能段对上述宇宙线福布什下降进行了分析, 发现随着能量的升高, 宇宙线福布什下降的幅度减小. 这是第一次在同一观测地点观测到的结果, 也很好说明了福布什下降的物理

机制, 为进一步利用宇宙线这一工具研究太阳活动和太阳物理打下了基础.

本文报道了宇宙线次级粒子数目在太阳耀斑爆发后的下降, 由于实验数据中包括有各种背景噪声, 需要进一步对这些噪声的影响进行校正, 然后根据准确的 $n=1, 2, 3$, 和 $n \geq 4$ 的能量及探测器有效面积, 给出流强下降能谱, 这些是下一步需要做的工作.

感谢所有参与羊八井宇宙线观测站工作的中外合作者, 特别感谢曹臻、胡红波、何会海对本工作提出的许多建议和有益讨论.

参考文献(References)

- 1 Forbush S E. *Physical Review*, 1937, **51**: 1108
- 2 Cane H V. *Space Science Reviews*, 2000, **93**(1—2): 55
- 3 Todd M C, Kniveton D R. *Journal of Geophysical Research*, 2004, **66**: 1205
- 4 Ney E P. *Nature*, 1959, **183**(4659): 451
- 5 ZHANG Ji-Long et al. *HEP & NP*, 2004, **24**: 1081(in Chinese)
(张吉龙等. *高能物理与核物理*, 2004, **24**: 1081)
- 6 YBJ-ARGO Collaboration. *NIM*, 2003, **A508**: 110
- 7 LU Hong et al. *HEP & NP*, 1999, **23**: 417(in Chinese)
(卢红等. *高能物理与核物理*, 1999, **23**: 417)
- 8 HE Hui-Hai et al. *HEP & NP*, 2001, **25**: 85(in Chinese)
(何会海等. *高能物理与核物理*, 2001, **25**: 85)
- 9 YBJ-ARGO Collaboration. 28th ICRC. Tsukuba, 2003. 2761
- 10 Bacci C et al. *Astroparticle Phys.*, 2002, **17**: 151
- 11 JIA H Y et al. 29th ICRC. Pune, 2005. sh14
- 12 Di Girolamo T et al. 29th ICRC. Pune, 2005. og24
- 13 <http://www.asiaoceania-conference.org/abstract/ST/ST14-PS11/58-ST-A1500.pdf>
- 14 JIA Huan-Yu et al. *HEP & NP*, 1994, **18**: 788(in Chinese)
(贾焕玉等. *高能物理与核物理*, 1994, **18**: 788)
- 15 <http://cr0.izmiran.rssi.ru/common/links.htm>

Cosmic Ray Flux Variation due to Solar Flares during January 16—20, 2005 with YBJ-ARGO Experiment^{*}

WANG Min-Jie JIA Huan-Yu¹⁾

(Institute of Modern Physics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract The YBJ-ARGO experiment is located in Tibet at 4300m a.s.l.. The data of this experiment under scalar mode can be used to study the solar modulation of cosmic ray flux at $E > 10\text{GeV}$. The data during January 15—17, 2005 are analyzed, and a cosmic ray flux Forbush decrease after several X class solar flares has been observed. All detailed structures of the flux curves are similar to the results from neutron monitors. The maximum amplitudes of FD are about -6% , -6% , -4% and -3% with multiplicity greater than 1, 2, 3 and 4, respectively, i.e. the maximum amplitude of FD decreases as the energy of cosmic ray increases. These are the results about a FD measured at the same site (Yangbajing) with different cosmic ray energies for the first time.

Key words single particle technique, cosmic rays, Forbush decrease

Received 27 April 2006

^{*} Supported by National Natural Science Foundation of China (10120130794)

1) E-mail: hyjia@home.swjtu.edu.cn, jiah@ihep.ac.cn