

# 羊八井中 RPC 探测器的性能测试\*

刘 琨, 木 钧, 张 曙, 陈 欣, 杨群羽

(云南大学 物理系, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 中意合作组在羊八井 ARGO 实验中采用大型 RPC 阵列探测广延大气簇射事例(AS); 报告了在羊八井高海拔条件下, RPC 的工作性能、探测器系统工作参数, 其中包括探测效率随高压变化、读出条多重数和时间分辨率等, 并研究加入 SF<sub>6</sub> 气体与改变系统阈值这 2 种新方法消除系统噪声和压低二次流光放电, 实验研究取得良好结果, 满足 ARGO 实验所需的探测器性能要求, 为后续的 ARGO 实验打下了关键性基础。

**关键词:** RPC; 效率; 读出条多重数; 时间分辨率

**中图分类号:** O 572.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-7971(2004)05-0421-04

中国和意大利合作的 ARGO-YBJ 实验位于西藏拉萨以北 90 km 羊八井地区(经度 90°31'50" E, 纬度 30°06'38" N, 海拔 4 300 m), 实验目标是利用当地良好的自然条件及高海拔地区优势等研究小范围内的大气簇射(AS)现象, 进而研究如宇宙线粒子,  $\gamma$  暴天文, GRBs 物理和在寻找河内源、河外源, 在 TeV 量级上分析宇宙反质子丰度等一系列基本问题<sup>[1]</sup>. 正建设中的探测阵列在 10 GeV~500 TeV 能区范围内工作, 弥补了切伦科夫(Cerenkov)光探测器等的狭窄视域, 实验主要使用新型的大面积阻抗板 Resistive Plate Chamber(简称 RPC)板作为探测阵列的基本单元, 并以高效率和高灵敏度优点作天区扫描, 检测北半球  $-10^\circ < \theta < 70^\circ$  范围内的广延大气簇射事例. 探测阵列于 2000 年末开始部分安装, 在 2003 年第 1 次尝试采集数据, RPC 地毯大气簇射望远镜的最终建成将使西藏羊八井成为国际宇宙线研究的重要基地<sup>[2]</sup>.

由于 RPC 探测器具有优良的空间分辨本领和与闪烁体相当的时间分辨率, 适合于高能带电粒子示踪, 大批量制作的成本价格比较低廉, RPC 已为 YBJ-ARGO 实验采用, 作为接受高空宇宙线粒子的触发器而大量被使用. 预计建成的 ARGO 实验由 1 848 个 RPC 平行板气体探测器组成, 总面积~5 000 m<sup>2</sup>, 覆盖率~92%. 在大批量定型生产 RPC

以前, 使用国内生产的材料制作少量测试板以测试其性能, 由于西藏羊八井地处高海拔、低气压的环境, 以往的研究并没有对此特殊情况加以考虑, 并且 ARGO-YBJ 实验实际使用此触发器时, RPC 板本身系统噪声和二次流光等问题还应进行更深入研究和考虑, 由此为了测定 ARGO-YBJ 实验中所用到的 RPC 板参数及进一步改良 RPC 板的性能, 我们在原来所做的羊八井 50 m<sup>2</sup> RPC 实验<sup>[2,3]</sup>基础上尝试用调节阈值和添加 SF<sub>6</sub> 气体等新方法进行压低探测器噪声和抑制二次流光, 同时也对 RPC 探测器的触发效率、质量、工艺和使用可靠性等方面进行优化. 对实验所测试的 RPC 的性能进行分析和比较, 并得出在高海拔条件下如何使用 RPC 探测器及性能参数.

## 1 RPC 探测器简介及实验装置

RPC 的基本结构<sup>[4]</sup>是由 2 块平行的阻抗板密封而成的一个气体室, 里面填充有惰性气体. 阻抗板的外表面喷上石墨层作为电极并加上高压, 在密封的气体室里形成较强电场. 当带电粒子穿过气体室时, 粒子径迹的周围会电离出电子和正离子对, 在强电场的作用下, 电子发生雪崩放电. 对应的外部信号读出电极上就会感应出信号并将此信号通过读出条记录下来. 如果电场强度非常强, 电子的雪崩放电最后会导致火花放电, 即为流光模式, 相

\* 收稿日期: 2003-11-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10120130794); 中国科技部、中国科学院、高能物理研究所粒子天体物理重点实验室资助.

作者简介: 刘 琨(1974-), 男, 云南人, 硕士, 主要从事宇宙线物理方面的研究.

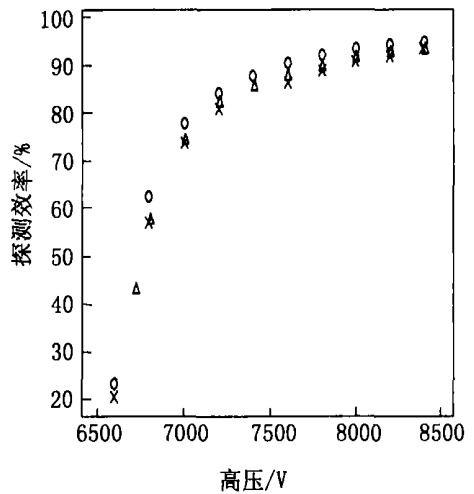
应也可出现二次流光等放电模式,当电场强度减弱时,气体的放大作用也相应减弱. YBJ-ARGO 实验中 RPC 是工作在流光模式下.

虽然 RPC 雪崩模式下较低的气体放大倍数使其可以有效地工作在比流光模式下大一个数量级的接收环境中,但由于雪崩放电产生的信号很小,只相当于火花放电的 1/20 左右,如果在此模式下工作,必须增加高速前置放大器,由此将增加 RPC 的使用成本,同时也给维护仪器带来更多的困难. 另外,由于 YBJ-ARGO 实验是在高海拔地区,具有低空气密度,较低的宇宙线计数率等特点,为了提高整个 RPC 板的效率, YBJ-ARGO 实验的工作模式采用流光模式是比较适合的.

测试由 5 个上下重叠的 RPC 板组成,其中 3 块作为宇宙线粒子背景选择器使用,中间放置 2 块用来测试 RPC 板性能. 测试时使用羊八井 ARGO 实验中所使用的同样的电子学元器件,触发系统和数据采集系统. 测试中的 RPC 是由 10 个 PADs (~55 cm × 55 cm) 组成,工作大气深度为 606 g/cm<sup>2</sup>,每个 PAD 对应 1 块前端电子学电路板(50 cm × 20 cm),每块前端电子学板包括 16 路甄别器(Threshold ~ 50 mV)和 1 个速度很快的闸门(Fast OR)电路. 16 路甄别器分别接收来自 16 条读出条(Pick-up Strips)的信号,再由 1 条 12 m 长的扁平电缆将信号传送到 VME 上的 TDC 插件上,最后计算机采集的 TDC 信号并存储到磁带上,此时可进行离线数据的分析处理.

## 2 实验结果

**2.1 探测器的效率** 实验数据的重建是根据所记录信号的时间和空间信息去重建原初粒子的入射方向,同时依据读出条的重数作为 EAS 次级粒子在探测器中的密度分布去重建原初能量及芯位,我们首先对 RPC 探测器记录到的宇宙线粒子事例进行判选:只有在作选择器使用的 3 个 RPC 板全记录到的事例才定为由宇宙线粒子本底引起,在不同的高压和阈值下, RPC 的探测宇宙线粒子的效率由被测量的 RPC 板所探测到的信号数与作触发探测器的 RPC 板记录下的信号数的比值确定. 图 1 给出了数据采集系统 3 个不同阈值的探测效率,这时在高压 8 000 V 左右,效率均可达到 90% 以上,坪宽约为 800 V,随阈值升高,效率也可提高到 95% 以上.

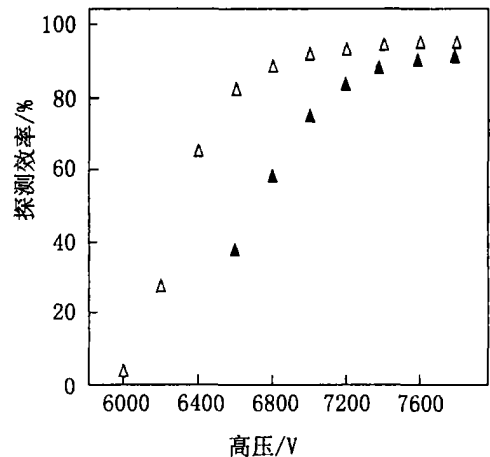


x 5V 阈值    Δ 7V 阈值    o 9V 阈值

图 1 不同阈值时, RPC 的探测效率图

Fig. 1 Detection efficiency of the carpet RPCs vs operating voltage for 3 threshold for comparison

以上测量是在没有加入 SF<sub>6</sub> 气体的情况下进行的,在加入 SF<sub>6</sub> 气体后(实验中 RPC 气体室里所用混合气体组分体积分数是氩气 40%、氟里昂 45%、异丁烷 10%,并加入体积分数为 0.3% 的 SF<sub>6</sub> 猝灭气体的测试),效率坪曲线向后推了约 500 V,在高压 7 800 V 时,效率仍可达到 90% 以上(见图 2). SF<sub>6</sub> 气体为负电性气体,加入此气体后,抑制了流光模式下产生的紫外光子,有利于 RPC 工作在雪崩模式下进行.



Δ 无 SF<sub>6</sub>    ▲ 有 SF<sub>6</sub>

图 2 有 SF<sub>6</sub> 和没有 SF<sub>6</sub> 时的效率比较图

Fig. 2 Detection efficiency of the carpet RPCs vs operating voltage for adding SF<sub>6</sub> gas and no adding SF<sub>6</sub> gas

**2.2 平均响应的读出条多重数** 平均响应读出条的多重数对应于 RPC 探测器的空间分辨率. 本实验是在 10 ns 的时间窗口宽度内, 收集 1 个真实事例所产生的所有读出条触发的信号. 图 3 给出了在不同阈值下的 RPC 的读出条的多重数和高压的关系. 从图 3 可以看出, 随着工作电压的升高, 读出条的重数值呈现上升趋势, 在电压值为 7 800 V, 5 V 阈值时, 读出条重数值为 1.6, 而 9 V 时则已下降到 1.18. 读出条的重数值随高压增加的原因可能是由于气体室中增加了 2 次流光放电模式等的信号, 而提高阈值对重数值有强烈影响, 可使其值快速下降, 同时当加入 SF<sub>6</sub> 气体也能降低读出条的重数值.

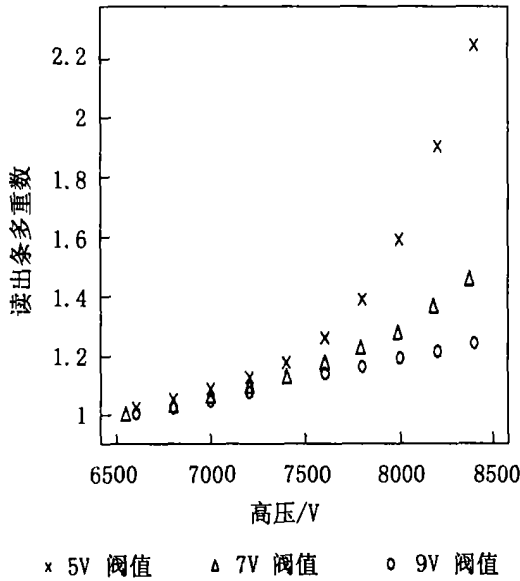


图 3 在改变电压和数据采集系统阈值 for comparison

**2.3 时间分辨率** 对于快  $\mu$  子触发系统, 时间分辨率是其中重要的一个参数, 它在此实验中是由一个宇宙线本底  $\mu$  子穿过上述 2 个被测 RPC 板的飞行时间得到, 此时间除以  $\sqrt{2}$  便是 RPC 的时间分辨率, 表现为信号时间分布谱的 Gauss 函数拟合的均方根宽度图 4 给出了时间分辨在不同高压下的变化图, 可见提高提高工作电压时, 时间分辨率的值总体上呈下降趋势, 在 6 600 V 时为 16 ns, 在 7 800 V 时已下降到 2 ns 左右, 而在 7 800~ 8 400 V 时, 时间分辨率稳定于 1 ns 左右, (当工作气体室中加入 SF<sub>6</sub> 时, 时间分辨率能更快地进入平稳段, 最后稳定于是 1 ns 附近).

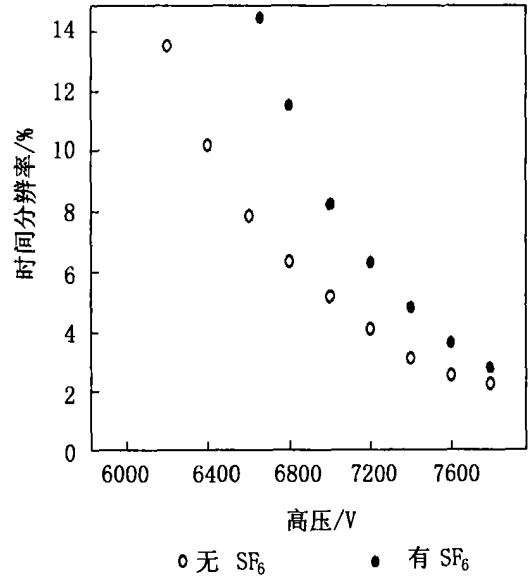


图 4 在有 SF<sub>6</sub> 和没有 SF<sub>6</sub> 时, 时间分辨率随电压变化图

### 3 实验讨论

调节数据采集系统的阈值有其局限性, 同时如果其调节过高会影响探测器效率. 遏制噪声的另外一种方法是限制流光的发展, 可从根本上压低噪声. 我们可以通过在气体组分中加入一定比例的 SF<sub>6</sub> 吸收流光过程中产生的多次流光来实现上述目的<sup>[5, 6]</sup>, 当  $V_{pd} = 9$  V、高压为 7 800 V 时, 相应的读出条重数 < 1.1. 加入 SF<sub>6</sub> 后膝区电压将向右移动, 但 RPC 在相同高压下仍可达到实验所要求的 1 ns 的时间分辨率, 满足 YBJ-ARGO 实验所要求的精度(见图 4).

作用在气体间隔的有效电压也对平均响应读出条的多重数有很大的影响, 在电压比较高时, 就会在气体室中激发流光信号, 由于二次流光信号的出现, 对应的读出条的重数会随之增大. 另一方面, 当宇宙线本底  $\mu$  子很强时, 气体室仍然是工作在雪崩模式下, 相应的读出条的重数就小, 这一规律在图 3 中表现明显. RPC 的时间分辨率随电压的变化而变化, 通常要求 RPC 工作在高效率下, 高效率下时间分辨率的变化是比较小的, 但当系统自身时间贡献的不确定性因素和 RPC 探测器板的自身的时间分辨率之后, 此时间分辨率值会进入一个平稳段而不再变化.

若我们减少 RPC 板的体电阻, 将可以使所需高压大为降低, 但体电阻太低也会使得阻抗板变成半导体材料, 此时气体室的工作模式就会非常复杂, 平均响应条数增大, 空间分辨率变差, 所以应对时间分辨率、空间分辨率、探测效率进行综合考虑. 在 YBJ- RPC 实验所进行的测试中, 可以看到 RPC 具有良好的空间分辨率和时间分辨率, 工作状态良好, 在 7 800 V 时, RPC 探测器效率可达 95% 以上, 时间分辨率达到 1.2 ns, 读出条的重数为 1.2, 完全可达到 ARGON 实验所要求的精度标准, 当然也应根据实际的不同情况, 对每一个 RPC 探测器的阈值进行细调, 使 RPC 板处于最好的探测效果.

#### 参考文献:

[1] ABBRESSICS M, NATALI S, ROMANO F, et al. As-

trparticle physics with ARGON Proposal [D]. Beijing: HEP CAS, 1996.

- [2] 何会海, 卢红, 谭有恒, 等. 羊八井 50 m<sup>2</sup>RPC 地毯性能研究[J]. 高能物理与核物理, 2001, 25(1): 79-85.
- [3] 瞿若飞, 何会海, 卢红, 等. 羊八井 50m<sup>2</sup>RPC 探测阵列的 Monte Carlo 模拟[J]. 高能物理与核物理, 2001, 25(5): 371-376.
- [4] 马经国, 班勇, 刘洪涛, 等. 大面积阻抗板探测器的研制及性能测量[J]. 高能物理与核物理, 2001, 25(9): 898-902.
- [5] AIELLI G, MARTELLO M, SURDO D, et al. SF<sub>6</sub> quenched gas mixtures for streamer mode operation of RPCs at very low voltages[J]. Nucl Inst & Meth, 2002, A493: 137-145.
- [6] CARDARELLI F, AIELLI B, LUCA E, et al. Streamer suppression with SF<sub>6</sub> in RPCs operated in avalanche mode[J]. Nucl Inst & Meth, 1988, A263: 20.

## Performance of RPCs operated at the Yangbajing Laboratory

LIU Kun, MU Jun, ZHANG Shu, CHEN Xin, YANG Qunyun

(Department of Physics, Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract:** The ARGON- YBJ experiment will be installed at YangBajing Cosmic Ray Laboratory (Tibet, 4300 m a. s. l). A small test of has been operated at Yangbajing in order to study the RPC performance and detector parameters in these high altitude conditions. By adding SF<sub>6</sub> component into the gas mixture to limit the streamer development together with changing the threshold of the signal-receiving system, the detector noise effect is effectively eliminated, thus achieving lower strip multiplicity and lower working parameters under the same working high voltage. Results concerning efficiency, time resolution and strip multiplicity are reported.

**Key words:** RPC; efficiency; strip multiplicity; time resolution