

宇宙线探测系统的建立及阻抗板探测器的测试*

卢飞 叶沿林¹⁾ 应军 班勇 郑家荣 卜力翔
蔡建新 刘洪涛 钱思进 王全进

(北京大学物理学院技术物理系和教育部重离子物理开放实验室 北京 100871)

摘要 在实验室内建立了一套宇宙线测试系统(CORTIS),并对一个大面积 CMS RE1/2 RPC 的完整样品进行了系统的测试.结果为 RPC 的探测效率约 85%,时间分辨率为 $0.87 \pm 0.08\text{ns}$,空间分辨本领为 1.5 根读出条宽度,与 CERN 束流测试中得到的数据基本吻合.对比表明采用宇宙线测试可以可靠地获得若干关键的 RPC 探测器性能指标.

关键词 阻抗板探测器 宇宙线 性能测试

1 引言

阻抗板探测器(RPC, Resistive Plate Chamber)是一种平行板气体探测器,同时具有很高的时间分辨本领和适当的空间分辨本领^[1,2],适合于高能带电粒子径迹和时间的测量,能够制作成很大的面积,探测效率高,制作简单,造价低廉.它一般用于探测 μ 子,广泛用于大型加速器实验的触发系统或进行宇宙线探测实验.但是在研制 RPC 的时候,不一定有条件随时用加速器上的束流测试进行调试和检验.所以我们在实验室建立了一套完整的宇宙线探测系统,用于调试各种探测器.对一个大面积 RPC(CMS RE1/2 RPC 完整样品)的各项性能进行了系统的检测.此前,在 CERN 对同样的这个 RPC 已经进行过束流测试^[3],因此可以进行直接比较以确定宇宙线测试的可靠性.

2 系统组成

为了方便大面积探测器测试,首先设计了一个大型多层的支架.它的长为 2.5m,宽为 1.5m,高为 2.1m,内部分为 10 层可以抽拉的平台.考虑到承重

因素,每层最多可以抽出 2.0m,并且每层除支架厚度外还有高 0.15m 的空间,用于放置探测器.支架的设计见图 1.

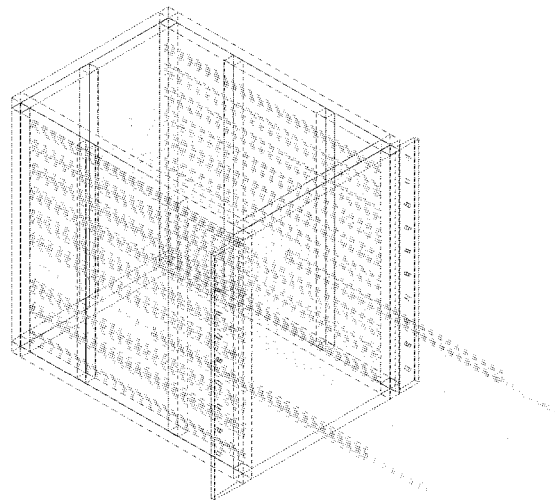


图 1 支架构造

RPC 对气体的消耗比较大,所以必须采用专门的流气系统.我们在国内专门定做了一个质量流配气仪.它将 RPC 所需的 3 种气体氟利昂(F_{134a})、异丁烷(C_4H_{10})和六氟化硫(SF_6)严格的按照比例送入

2004-11-30 收稿

* 国家自然科学基金(09910140934)资助

¹⁾E-mail: yeyl@pku.edu.cn

RPC 的气体室,然后再回收排放.有关 RPC 所需的气体参见引文献[4—6].

图 2 是探测系统仪器连接示意图,包括 RPC 的供气系统,RPC 的高压及后续的信号处理电路,闪烁体探测器的高压及甄别、快符合、延迟等信号处理电路,CAMAC-MIDAS 多路数据获取系统.

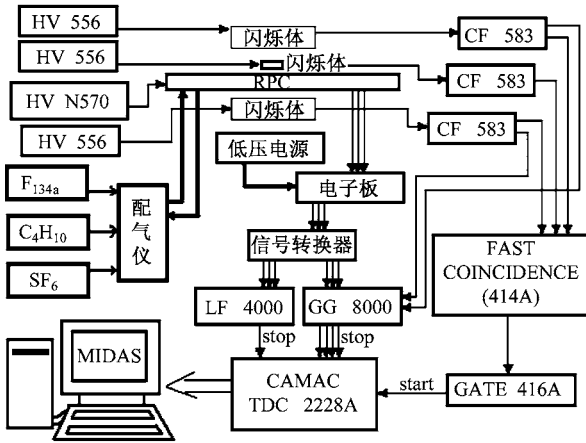


图 2 宇宙线探测系统示意图

CMS RE1/2 RPC 共输出 96 路信号,用 3 块意大利生产的 RPC 专用的电子板来处理这些信号,并把信号转换成 LVDS(Low Voltage Differential Signaling)模式,适合长距离传输.然后在靠近数据获取系统的地方再用转换器将信号转换为一般的 NIM 模式或 ECL 模式.

采用数个塑料闪烁体探测器来选取宇宙射线,其中小闪烁体的宽度与 RPC 三路读出条的宽度相当.还配置了一些 NIM 插件,用于提供 RPC 与闪烁体探测器的高压和信号处理等.

接下来是 CAMAC 多路数据获取系统,它可以大规模的获取数据并存储于计算机,它有 ADC, TDC, QDC 等插件.这里主要用到 TDC 插件,它将 Start 与各路 Stop 之间的时间间隔转换成数字信号.

MIDAS(Maximum Integrated Data Acquisition System)是由瑞士 PSI 和加拿大 TRIUMF 共同开发的非商业数据获取软件,适用于中小规模核物理及粒子物理实验,可用于多台计算机和网络操作,同时支持多种操作系统. MIDAS 由一个库和几个应用程序组成,库完全由 C 语言编写,移植性很强.它也可以在分离的环境中操作,前后台通过网络连接.它可以在线分析数据,使用者可以根据具体需要,自己编写程序. MIDAS 系统的基本模块包括:

- 1) Buffer manager 数据流通和消息传送机制;
- 2) Message system 专门的 MIDAS 消息流;
- 3) Online database 在线信息区;
- 4) Frontend 前端代码;
- 5) Midas server 远程登陆服务;
- 6) Data logger 数据存储;
- 7) Analyzer 数据分析器;
- 8) Run control 运行控制;
- 9) Slow control system 设备监控;
- 10) History system 事件历史存储;
- 11) Alarm system 警报系统;
- 12) Electronic logbook 在线用户日志;

3 系统性能测试

3.1 实验设置

宇宙射线经过大气层的阻挡和反应,能到达地面的粒子绝大多数是 μ 子.海平面接收到的 μ 子约 $10000\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$. 其大多垂直入射,有一定的角分布.海平面 μ 子的能量峰值在 3GeV 附近^[7].

采用的 RPC 是用于 CMS 的 μ 子触发系统的 RE1/2 的样品,在文献[3]中对它的结构作了详细描述. RPC 工作的时候,其内部一直伴随着随机的放电现象,有大量的假信号,所以将其与 3 个闪烁体探测器配合使用,各探测器的相对摆放位置见图 2.用 3 个闪烁体探测器的符合输出做 Start, RPC 的各路信号做 Stop.若宇宙线同时穿过了 3 个闪烁体,它必然也穿过了 RPC.

3.2 原始信号

图 3 和图 4 为从 RPC 读出条直接读出的宇宙线信号,是用 2GS 采样率的数字示波器观测的,图中下部显示的是各闪烁体符合后的触发信号,上面的是 RPC 读出条的直接信号.按照不同的气体配比和高压大小, RPC 可以工作在雪崩模式或流光模式下.雪崩模式下脉冲幅度较小,约 5、6mV,计数率高(图 3(a));而流光模式下脉冲幅度达几十甚至几百 mV,不需前放,但系统恢复慢,计数率偏低(图 3(b)).后边的测试让 RPC 主要工作在雪崩模式下.

3.3 探测效率

由于宇宙线的计数率较低,并且用多个闪烁体

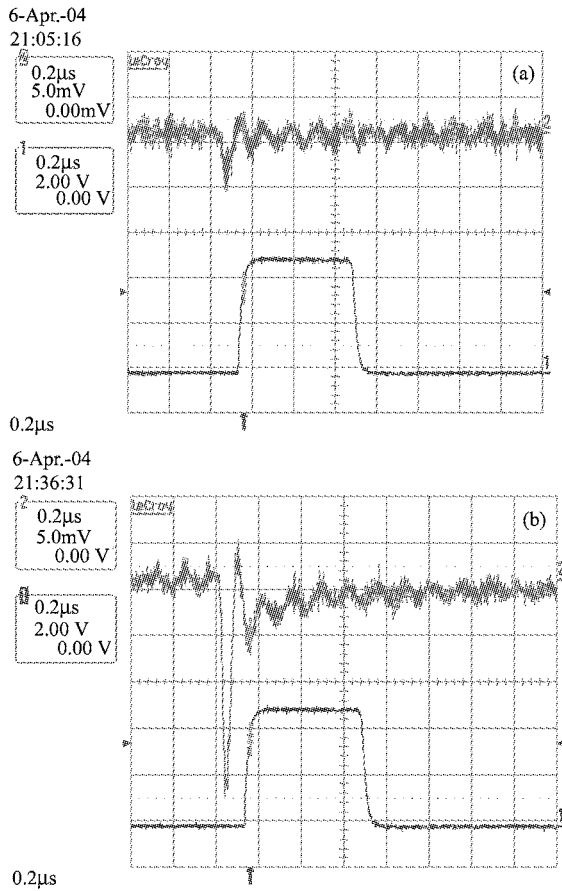


图 3 RPC 原始信号
(a) RPC 雪崩信号; (b) RPC 流光信号.

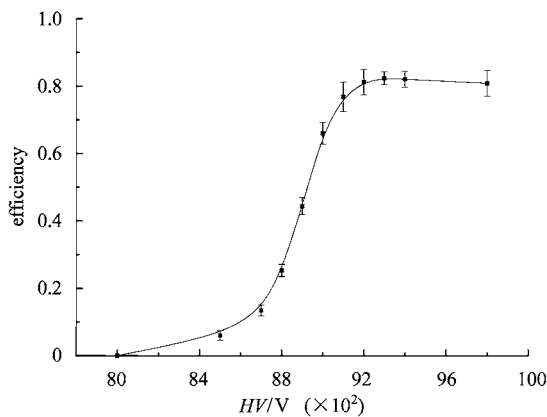


图 4 效率随电压的变化曲线

符合触发, 所以几乎没有偶然符合. 我们调整 3 个闪烁体的位置, 使 RPC 读出信号的部分完全覆盖了闪烁体在与宇宙线垂直方向上的重叠区域. 将 RPC 的各路信号进行或运算, 产生一路 Stop, 这样探测效率可直接定义为

$$\epsilon = \frac{N_d}{N_{start}}$$

其中 N_{start} 为闪烁体触发的宇宙线信号数目, N_d 为探测到的有效 RPC 信号数. 实验时气体用的是 95.8% 的 F_{134a} 和 4.2% 的 C_4H_{10} (下同). 实验测得的 RPC 的效率曲线见图 4. 可以看到, 当电压升高到一定数值时, 效率曲线升到平台区, 此区就是 RPC 的有效工作区.

由图可见, 测量到的平台区效率约 85%, 比在束流实验中测到的 95% 要低一些^[3]. 估计这是由于束流测试时, μ 子的入射区域比较小 (100mm × 100mm), 且束流能量单一、平行度好; 而用闪烁体选取的宇宙线空间范围和能量范围都较大, 且平行度不够好. 此时, 在同样的电子学阈值下, 用宇宙线测量时丢失的事件会多一些.

3.4 时间分辨本领

时间分辨率定义为信号时间谱的高斯函数拟合的均方根宽度. 在 RPC 的高压为 9500V 时, 只用两个闪烁体探测器符合做 Start, 取一路 RPC 的信号做 Stop, 可以得到单路时间谱, 如图 5(a). 时间刻度的结果为 0.0466 ± 0.0008 ns/道, 经过高斯拟合后, 得到此谱的时间分辨率为 $\sigma_1 = 1.53 \pm 0.03$ ns. 在同样的 Start 条件下, 让两路闪烁体探测器的信号分别延迟后做 Stop1 和 Stop2, 在对两时间间隔的差值 (Stop1-Stop2) 做谱, 如图 5(b), 就可以得到闪烁体探测器的时间分辨率为 $\sigma_2 = 1.26 \pm 0.04$ ns. RPC 本身的时间分辨率由下式给出

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_2^2}$$

结果为 0.87 ± 0.08 ns. 这个结果与束流测试得到的大约 1 ns 的分辨率^[3]相当.

3.5 空间分辨本领

当 RPC 的某根读出条有信号读出时, 由于不同信号路之间的相互耦合, 相邻的其他路有时也有信号读出, 这关系到 RPC 的空间分辨本领, 具体地说就是测量平均响应条数. 其定义为在最早产生信号的读出条周围, 在 10 ns 内有信号的读出条的条数. 在 RPC 高压 9500V 时, 选择连续的 5 路 RPC 信号, 当中间一路有信号, 且信号最快时, 这 5 路的信号计数依次为 $n_{-2}, n_{-1}, n_0, n_1, n_2$ 如图 6. 则

$$\text{平均响应条数} = \frac{(n_{-2} + n_2) \times 3 + (n_{-1} + n_1) \times 2 + n_0}{n_{-2} + n_{-1} + n_0 + n_1 + n_2}$$

计算得平均响应条数为 1.5 条. 这个结果与束流测试中相应电压下得到的结果相当^[3].

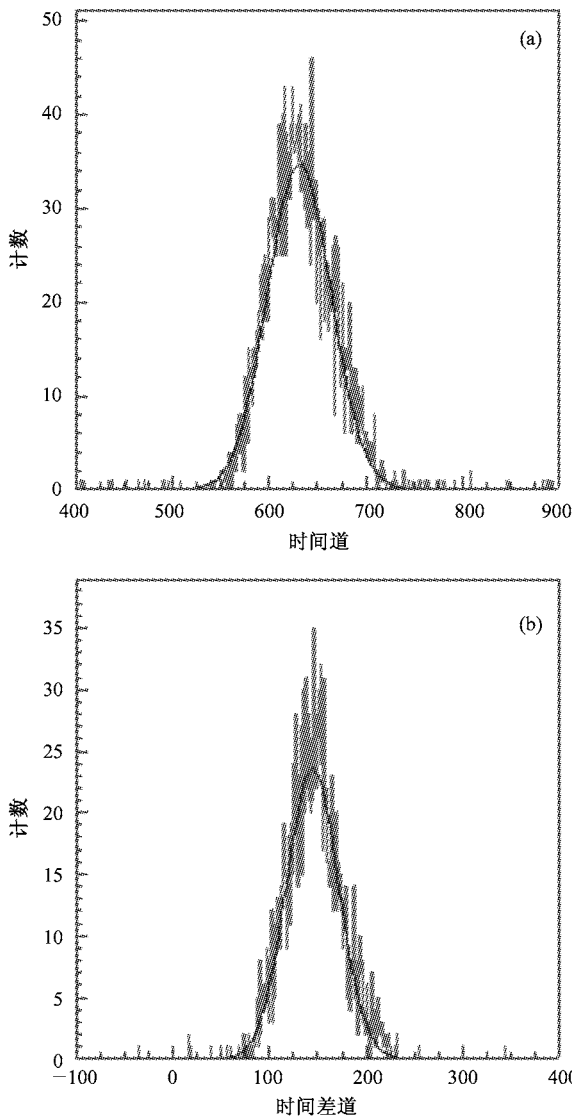


图5 时间谱

(a) RPC原始信号的时间谱;(b)闪烁体探测器的时间谱.

3.6 讨论

由于RPC的雪崩信号幅度很小(几个mV),因此测试时很重要是排除干扰.干扰源有很多种,有向空间放射的高频电磁波,也有通过电路传导的低频干扰,它们都可以掩盖RPC的原始信号.解决方法不外乎是屏蔽电磁波,将各仪器很好的接地等.

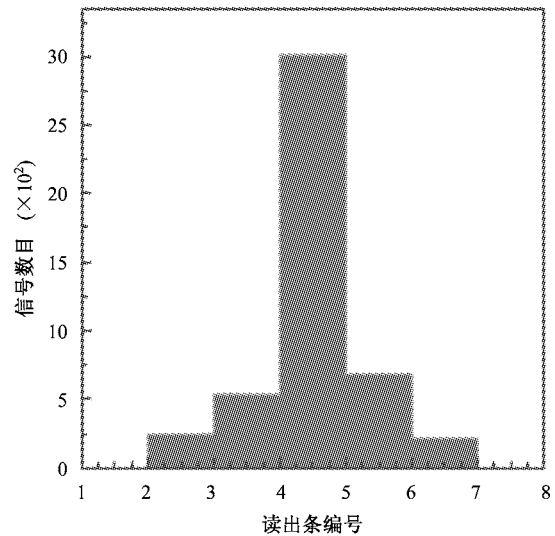


图6 平均响应条数的测量

在各种干扰中,发现了一种很难去除的假信号,它源自宇宙线穿过闪烁体探测器时,光电倍增管向空间放射的微弱脉冲.RPC的所有读出条都能感应到该脉冲.这些信号都与闪烁体信号符合,且在时间谱的位置也与真信号相差无几.这使得RPC在没有加高压时也“自发”具有相当高的探测效率,且扩展在整个RPC各个部位,对系统造成致命的干扰.经过专门的屏蔽措施后,这种干扰可以被彻底排除.

由于宇宙线强度很弱,因此不可能像束流测试那样得到探测器的计数率本领等参数.但对于其他几个关键参数,像探测效率、时间分辨率、空间分辨本领等,宇宙线测量结果与束流测量结果相当.因此简单易行的宇宙线测量具有相当高的可靠性.

4 结论

在实验室成功建立了一套宇宙线探测系统,并系统检测了CMS RE1/2 RPC的性能.对比表明,宇宙线测量结果与加速器上的束流测试结果相当.用宇宙线实验得到的探测效率、时间分辨率、空间分辨本领等具有相当高的可靠性.

参考文献 (References)

- 1 Santonico R, Cardarelli R. Nucl. Instrum. Methods, 1981, **187**: 377—380
- 2 YIN J, YE Y L et al. J. Phys. G: Nucl. Phys., 2000, **26**: 1291—1298
- 3 YING Jun, BAN Yong, YE Yan-Lin et al. HEP & NP, 2005, **29** (2): 175 (in Chinese)
(应军, 班勇, 叶沿林等. 高能物理与核物理, 2005, **29**(2): 175)
- 4 YING J, YE Y L et al. Nucl. Instrum. Methods, 2001, **A459** (3): 513—522
- 5 MA Jing-Guo, BAN Yong, LIU Hong-Tao et al. HEP&NP, 2001, **25**(9): 898—902 (in Chinese)
(马经国, 班勇, 刘洪涛等. 高能物理与核物理, 2001, **25**(9): 898—902)
- 6 Ye Yan-Lin, YING Jun, BAN Yong et al. Science in China (Series A), 2002, **32**: 299 (in Chinese)
(叶沿林, 应军, 班勇等. 中国科学(A辑), 2002, **32**: 299)
- 7 Alley R B et al. Geology, 1997, **25**: 483—486

The Installation of Cosmic-Ray Testing System and the Test of Resistive Plate Chamber

LU Fei YE Yan-Lin¹⁾ YING Jun BAN Yong ZHENG Jia-Rong PU Li-Xiang
CAI Jian-Xin LIU Hong-Tao QIAN Si-Jin WANG Quan-Jin

(Department of Technical Physics and the MOE Key Laboratory of Heavy Ion Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract A cosmic-ray testing station (CORTS) in laboratory has been installed, and the performance of a prototype of CMS RE1/2 RPC was tested. The RPC's efficiency is about 85%, the time resolution is 0.87 ± 0.08 ns, and the spatial resolution is 1.5 times the width of read-out strip, which are consistent with the results obtained using the muon beam at CERN. The comparison makes clear that cosmic-ray test can provide reliably the basic parameters which describe the RPC performance.

Key words RPC, cosmic-ray, performance test

Received 30 November 2004

* Supported by National Natural Science Foundation of China (09910140934)

1) E-mail: yeyl@pku.edu.cn