

快时间分辨 MRPC 性能研究*

李伟峰, 刘海东, 汪晓莲, 李 澄, 邵 明, 陈宏芳
许咨宗, 汪兆民, 伍 健, 曾 晖, 黄胜利

(中国科学技术大学近代物理系, 安徽合肥 230027)

摘要:主要讨论了用于 STAR-TOF Tray 的 6 层气隙 6×1 读出单元的电阻板室的工作原理; 用宇宙线测量系统得到 MRPC 时间分辨 < 80 ps, 噪声低于 5 Hz/pad, 小幅度信号所占的比例 $> 95\%$. 所有的测试都是对一个特定的室(J-18)进行的. 宇宙线测量系统的时间晃动为 79.5 ps.

关键词:MRPC; 性能测试; 时间分辨

中图分类号:O572.21⁺² **文献标识码:**A

0 引言

在很多高能物理实验中, 需要精确测量各种末态粒子的动量分布和它们之间的相对比例, 并在尽可能大的相空间内对各种末态粒子进行鉴别, 尤其重要的是对 $\pi/K/p$ 粒子的分辨.(在 RHIC-STAR 试验中, 为了能在 3σ 的精度上对 $\pi/K/p$ 进行分辨, 飞行时间谱仪的时间分辨需要好于 100 ps.) 借助于飞行时间谱仪的帮助, 可以使得对一些稀有事例的探测和重建成为可能^[1].

近几年来发展起来的一种新型探测器——多气隙电阻板室 MRPC (multi-gap resistive plate chamber)^[2]. MRPC 具有许多突出的优点: 时间性能卓越(时间分辨可以达到好于 80 ps); 所需材料价格便宜, 且结构简单, 便于大规模生产及大范围使用, 是高能物理实验飞行时间谱仪的理想方案之一^[3].

1 工作原理

MRPC 的结构如图 1 所示, 选用了 6×0.22 mm 的气隙结构. MRPC 工作原理的示意如图 2 所示. MRPC 工作在正比雪崩放电模式. 高压电极上加以上万伏的高压, 中间的 5 块电阻层悬浮在电场中, 于是整个气隙中的电场被分成 6 个部分, 形成了 6 个平行板电场. 当待探测粒子穿越 MRPC 室体时, 在其中的某几个气隙产生原初电离, 形成了原初电离粒子. 由于 MRPC 室体两侧所加的电压约为 15 000 V, 总的气隙宽度又很小, 仅 $6 \times 0.22 = 1.32$ mm,

* 收稿日期: 2002-12-25

基金项目: 国家自然科学基金(10045004, 10075045, 10155002)

作者简介: 李伟峰, 男, 硕士. 研究方向: 核与粒子物理.

因此气隙中的电场很强,原初电离电子在每个气隙很短的距离内就可以发生雪崩放大。上下读出面各有 6 个读出条的感应信号是 6 个气隙雪崩电荷感应信号的叠加^[4,5]。

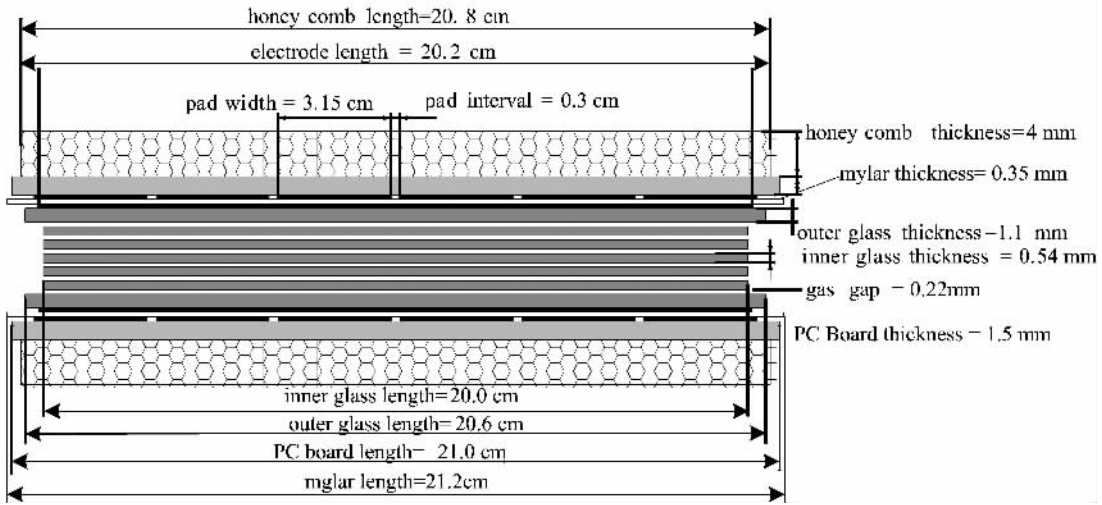


图 1 MRPC 结构图

Fig. 1 Construction of MRPC

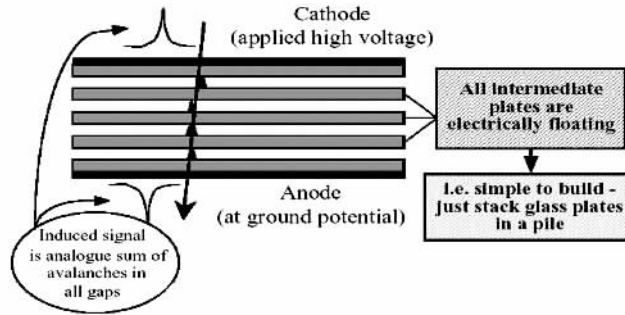


图 2 MRPC 的工作机理示意图

Fig. 2 The principle of MRPC

MRPC 室内雪崩放电产生产生的电子数 N 满足下面的公式:

$$N = N_0 e^{\alpha x}$$

其中: N 是原初电离的粒子数, α 是第一汤森系数, x 是从原初电离位置开始的漂移距离。原初电离符合 Poisson 分布, 由计算可以得出, 在距离贴近负电极一侧的电阻板层几十个 μm 的区域发生的原初电离 (一次及以上) 的几率约为 98%, 因此 MRPC 的探测

效率非常高。由于 MRPC, 电荷雪崩放大是分别发生在各个气隙, 其工作电场极强 (11 ~ 12 kV/mm), 电子漂移速度快, 因此其信号形成的上升时间短, 时间分辨率好; 影响时间分辨率的因素主要是最初的几个原初电离离子在气隙中发生的位置的晃动, 而 MRPC 的气隙只有几百 μm , 电子漂移的距离非常小, 引起的时间晃动就很小, 因此 MRPC 的时间分辨率很小。

2 配气系统

MRPC 是气体探测器, 需要有专门的供气系统。用配气仪将 SF_6 、 $\text{i-C}_4\text{H}_{10}$ 和 $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$ 按 1 : 1 : 18 (质量比) 混合, 作为 MRPC 的工作气体。加少量 $\text{i-C}_4\text{H}_{10}$, 不仅可以大大增加电子的漂移速度, 还可以抑制制整个工作气体的放电, 使 MRPC 工作稳定。加入少量 SF_6 的目的是让它作为淬灭气体, 进一步抑制流光的产生。其中配气仪不仅可以严格控制各气体成分之间的比例, 还可以控制气体流量并滤去水蒸气等电负性气体。因为电负性气体会较强的吸附电

子,它的存在会使信号变弱,信噪比变差,从而导致整个 MRPC 性能变坏,所以配气仪的过滤和干燥功能非常重要。

3 望远镜系统

在实验室里用宇宙线 μ 子测定 MRPC 的时间分辨.其基本原理是:宇宙线粒子 μ 子穿过 MRPC 和一个触发计数器产生一对时间关联信号,用触发计数器产生的信号作为 TDC 的起始信号,MRPC 产生的信号作为 TDC 的终止信号,来测量它们的时间间隔.再通过拟合处理可以得到 MRPC 的时间分辨^[6].

假设 MRPC 的时间分辨为 σ_{Tm} ,起始信号的时间分辨为 σ_T ,拟合出的时间间隔的时间分辨为 σ_{Tmi} ,则有:

$$\sigma_{Tmi}^2 = \sigma_{Tm}^2 + \sigma_T^2,$$

从而得到

$$\sigma_{Tm} = \sqrt{\sigma_{Tmi}^2 - \sigma_T^2}, \quad (1)$$

这里 σ_{Tm} 包括 MRPC 的本征时间分辨和前端电子学的时间分辨.

用图 3 所示的望远镜系统作为我们的触发系统.其中 PMT1、PMT2 与 PMT3、PMT4 分别是耦合在 185 mm × 50 mm 快塑料闪烁体 BC408 上的两对光电倍增管.当两个宇宙线粒子 μ 分别击中闪烁体 1 的不同位置时,PMT1 两次产生信号的时间 T_{11} 与 T_{12} 将会有较大差别,同样 PMT2 两次产生信号的时间 T_{21} 与 T_{22} 也有较大差别.但是由于闪烁体的长度一定, $(T_{11} + T_{21})$ 与 $(T_{12} + T_{22})$ 的差别将会较小.因此可以用 PMT1、PMT2、PMT3 和 PMT4 这四个光电倍增管产生信号的平均时间

$\frac{(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)}{4}$ 作为 MRPC 的参考时间,对 MRPC 进行测量.

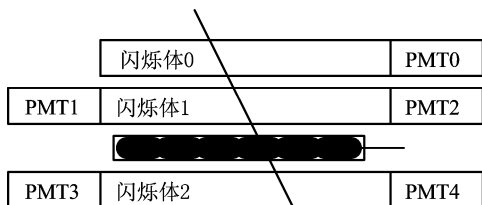


图 3 望远镜系统

Fig. 3 Cosmic rays trigger system

4 探测器性能测试结果

MRPC 的工作电压为 14 500 V,MRPC 的信号经前端电子学放大成形,被送入 CAMAC 数据采集系统,用 LabView 记录到计算机内,并通过 PAW 进行离线分析.得到图 4 所示结果.图中横坐标表示 ADC 的道数,纵坐标表示对应道上的计数,其中 A1、A2、A3、A4、A5、A6 分别对应 pad1、pad2、pad3、pad4、pad5、pad6.

下面将以 pad3 和 pad4 为例,所得的时间分辨如图 5. TDC 每道时间为 25 ps.

对时间和幅度关系在低幅区域,用一个 6 次多项式进行拟合,在幅度较大的区域采取一次线性函数拟合,得到结果如图 6(pad3).对起始时间 $\frac{(t_1 + t_2 - t_3 - t_4)}{4}$ 进行拟合,得到图 7.

得到起始信号的时间晃动 $\sigma_T = 79.5$ ps. 扣除参考时间晃动,由式(1)可以得到 MRPC 的

时间分辨 σ_{Tm} 为 62.4 ps. 其中各个 pad 的时间分辨如表 1 所示.

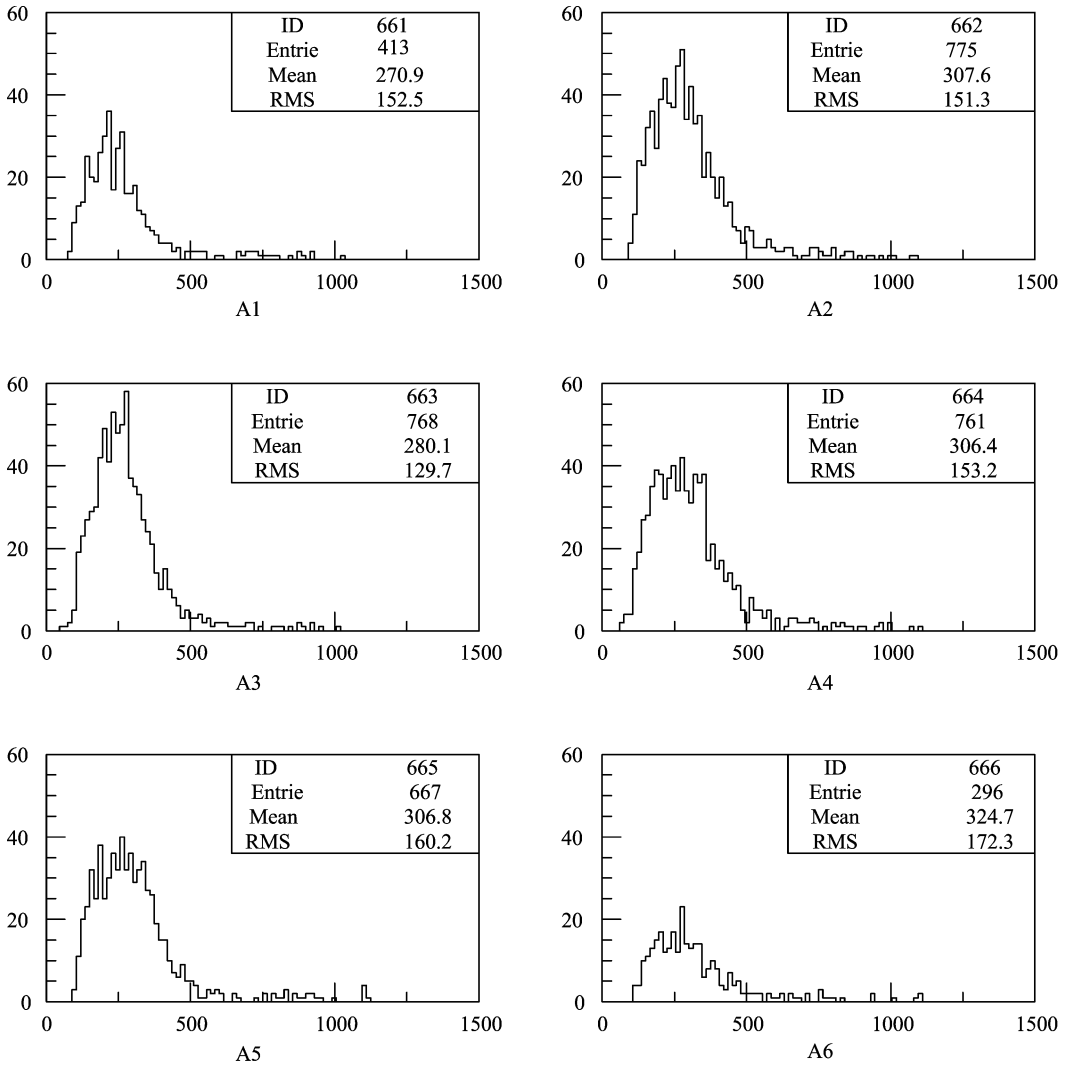


图 4 各个 pad 的 ADC 计数

Fig. 4 Spectrum of pulse of each pad

表 1 各个 pad 的测试结果

Tab. 1 Results of each pad

| Pad | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| δ_{Tm} / ps | 96.35 | 69.5 | 62.4 | 79.3 | 68.6 | 104.4 |
| 小幅度比例 | 93.4% | 92.8% | 95.3% | 92.4% | 93.7% | 90.2% |
| 噪声/Hz | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 1.9 | 3.1 | 2.4 |

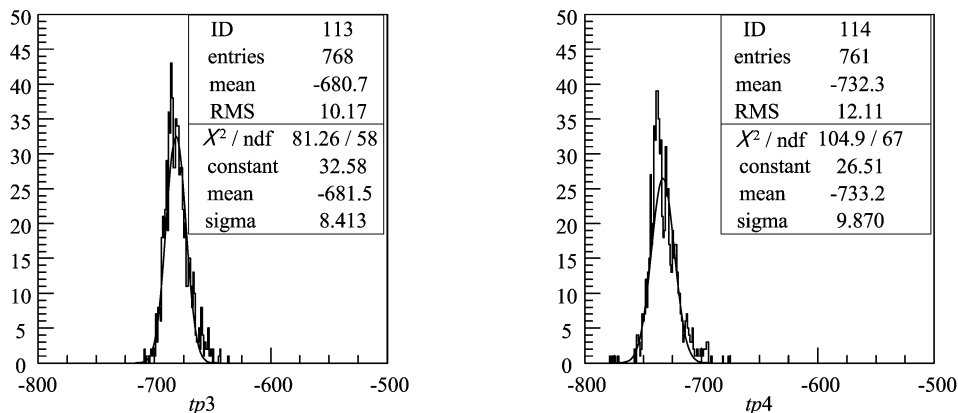


图 5 MRPC 时间分辨初步拟合

Fig. 5 Primary simulation of time resolution of MRPC

5 讨论

MRPC 时间晃动的主要原因.

(I) 由于不同幅度的信号上升沿不同, TDC 测量时会出现由不同信号幅度导致的时间晃动, 这种晃动可以通过 T-A 修正消除.

(II) 为了获得尽量高的宇宙线事例率, 触发闪烁晶体的面积比 MRPC 读出单元的面积大, 这样, 实际测得的时间分辨, 包含了读出单元边界处的影响, 导致总的分辨率变差.

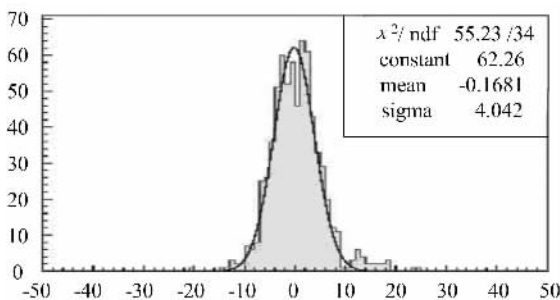


图 6 T-A 修正后的时间分辨

Fig. 6 Time resolution after T-A correction

(III) 由于宇宙线事例偏低, 为了取得足够的统计数, 测量时间往往偏长, 测量系统的时间漂移将产生一定影响, 使得 MRPC 时间测量精度变坏.

(IV) 测量的时间分辨中包含了宇宙线测试系统的电子学噪声.

由于宇宙线测试系统不能做径迹测量, 实验得到的时间分辨是读出单元各个位置时间信息的平均. 由于不同位置信号的传播到达不同, 必然对 MRPC 的时间分辨造成直接影响.

在表 1 中, 可以看出 pad1 和 pad6 这两个位于边缘 pad 的时间分辨比较差, 而其他的各个 pad 的时间分辨可以满足要求. 这是因为闪烁体比较小, 无法覆盖六个读出 pad, 使得 pad1 和 pad6 的计数统计误差

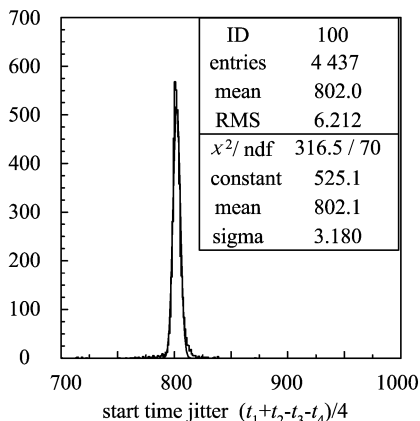


图 7 起始信号的时间晃动

Fig. 7 Time jitter of start time

比较大,造成时间分辨相对中间的四个 pad 较差.

致谢:California 大学洛杉矶分校(UCLA)的黄焕中教授对一这项目的研究一直给予帮助,在此表示衷心的感谢.

参 考 文 献

- [1] ALICE TDR of the TOF, CERN/LHCC 2000-12,16 February,2000.
- [2] 陈宏芳,李澄,汪晓莲,等.一种新型时间测量探测器——多气隙电阻板室[J]. 高能物理与核物理,2002,26(3):201-206.
- [3] 李澄,陈宏芳,邵明,等.多气隙电阻板室的时间特性研究[J]. 高能物理与核物理,2002,26(5):455-461.
- [4] Zeballos E cerron, Crotty I, Hatzifotiadou D. A very large multi-gap resistive plate chamber. Nucl Instru. and Meth. , 1999, A 434.
- [5] Shao M, Ruan L J, Chen H F, *et al.* . Beam test result of two kinds of multi-gap resistive plate chamber[J]. Nuclear Instrument and Methods in Phys. Research A, 2002, 492: 344-350.
- [6] 黄胜利,许咨宗,汪兆民,等.一种精密触发定时系统[J]. 高能物理与核物理,2002,26(9):959-936.

Research on MRPC Fast Time Resolution Capability

LI Wei-feng, LIU Hai-dong, WANG Xiao-lian, LI Chen
 SHAO Ming, CHEN Hong-fang, XU Zi-zong, WANG Zhao-min
 WU Jian, ZENG Hui, HUANG Sheng-li

(*Department of Modern Physics, USTC, Hefei 230027, China*)

Abstract: Cosmic-ray test results of a six gaps multi-gap resistive plate chambers (MRPCs) are reported in detail. All the tests are processed on a chamber named J-18. The time resolution is better than 80 ps with the noise being below 5 Hz/pad and the ratio of small signals being greater than 95 per cent of all the signals. The time jitter of the cosmic-ray detecting system is 79.5 ps.

Key words: MRPC; capability testing; time resolution