

阻抗板探测器工作电压和时间分辨率的 测量及分析

李笑梅¹, 周峰^{1,2}, 胡守扬¹, 文群刚¹, 李成波¹,
傅元勇¹, 周静¹, 孟秋英¹, 叶力¹

(1. 中国原子能科学研究院核物理研究所, 北京 102413;
2. 兰州大学核科学与技术学院, 甘肃兰州 730000)

摘要: 在不同工作电压下对阻抗板探测器(resistive plate chamber, RPC)的信号进行了测试, 并根据信号幅度的大小和形状判断出产生雪崩信号和流光信号的电压区域。研究了气体成分和工作电压对 RPC 时间分辨率的影响。时间分辨率随电压的增加先下降后上升, 时间分辨率有最低点, 随 SF₆ 气体比例的增加, 时间分辨率最低点的电压向前移动了 200 V。当电压为 10.2 kV、 $\varphi(\text{SF}_6) = 1.3\%$ 时, 时间分辨率有最理想值。

关键词: 阻抗板探测器; 雪崩信号; 流光信号; 时间分辨率

中图分类号: O572.212 文献标志码: A 文章编号: 1000-6931(2009)05-0466-04

Test and Analysis of Operation Voltage and Time Resolution of Resistive Plate Chamber

LI Xiao-mei¹, ZHOU Feng^{1,2}, HU Shou-yang¹, WEN Qun-gang¹, LI Cheng-bo¹,
FU Yuan-yong¹, ZHOU Jing¹, MENG Qiu-ying¹, YE Li¹

(1. China Institute of Atomic Energy, P.O. Box 275-18, Beijing 102413, China;
2. School of Nuclear Science & Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The signals from the resistive plate chamber (RPC) were tested under different operation voltages. According to the amplitude and shape of the signals, the operation voltages for avalanche signals and streamer signals were determined respectively. The influence of the operation gas mixture and high voltage on the time resolution was also investigated. The time resolution first decreases with the increase of voltage and then goes up again. There is a minimum value of time resolution. The minimum of time resolution shifts forward for 200 V with the increase of the ratio of SF₆. At voltage 10.2 kV and $\varphi(\text{SF}_6) = 1.3\%$, the time resolution reaches its optimized value.

Key words: resistive plate chamber; avalanche signal; streamer signal; time resolution

阻抗板探测器(RPC),是利用高阻抗性材料制作的气体探测器,用于探测高能带电粒子的径迹和时间。本工作所测试的RPC将用于RHIC/PHENIX实验中的 μ 子触发系统。PHENIX实验是RHIC上的两个大型实验之一,其实验装置是由包括顶点探测器、电磁量能器和 μ 子探测器在内的十多个子探测系统组成的巨大而复杂的探测系统。RPC是RHIC/PHENIX实验升级工程的一个重要部分。中国原子能科学研究院中高能物理组作为PHE-NIX国际合作组在中国的发起成员,将负责RPC探测器的组装和调试。

RPC的制作工艺简单,容易进行批量生产。RPC具有可与闪烁体探测器相媲美的时间分辨率^[1]和很高的探测效率,双层RPC的探测效率在95%以上。RPC有两种工作模式:雪崩模式和流光模式。当RPC工作在雪崩模式下,它具有很高的计数能力,适合在相对论重离子碰撞实验中使用。但RPC在雪崩模式下信号幅度较小,需前端电子学放大。当RPC工作在流光模式下时,具有很大的信号幅度,不需前端电子学放大,适合于日常的宇宙射线测试实验^[2]。RPC信号的读出很灵活,可根据需要将读出条设计成不同的几何形状,并沿不同的方向读出。

1 系统组成

本实验所用的宇宙射线测试系统由RPC气体探测器、塑料闪烁体、流气系统、电子学和数据获取系统组成。实验布局如图1所示。

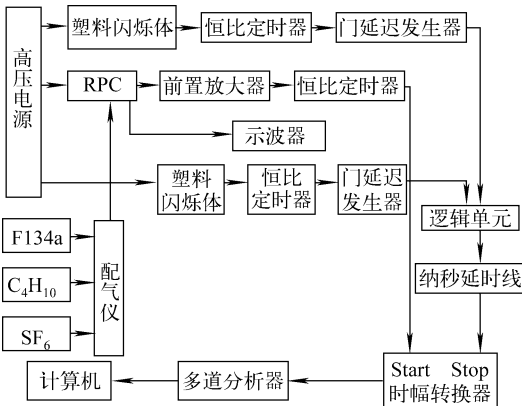


图1 实验布局

Fig.1 Experimental set-up

1.1 RPC、塑料闪烁体和流气系统

本实验用宇宙射线 μ 子作为RPC的射线源。将RPC放置在两个大小不同的塑料闪烁体之间,其中,小塑料闪烁体面积略小于RPC读出条的面积,确保通过两个塑料闪烁体的宇宙射线必定通过RPC。

实验使用的是双层RPC,面积为 $29\text{ cm} \times 29\text{ cm}$,电阻率为 $10^{12}\ \Omega \cdot \text{cm}$,其基本结构^[3]如图2所示。RPC的关键部分是两个气体室,气体室由阻抗板、垫片和周围的密封条构成,垫片厚度为2 mm。气体室的外表面喷石墨层作为电极。读出条放在两个气体室中间,读出条与两个气体室分别用两个绝缘的PET膜隔开。读出条由铜膜刻成,宽度为18 mm,间隙为2 mm。在每个读出条的一端焊一 $100\ \Omega$ 的匹配电阻接地,另一端引出信号线。

使用SY-9506型配气仪作为RPC的流气系统。配气系统有3路进气,分别为F134a、 C_4H_{10} 和 SF_6 。这3路气体按给定的比例经配气仪配比后通入RPC,经净化后排放到室外。

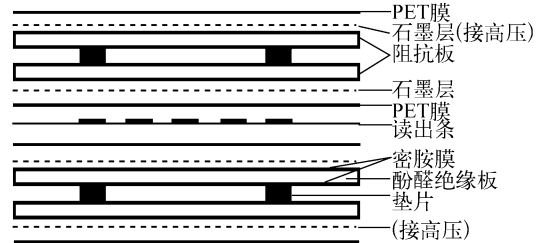


图2 RPC基本结构

Fig.2 Fundamental structure of RPC

1.2 电子学和数据获取系统

电子学和数据获取系统由前置放大器、恒比定时器(CF8000)、门延迟发生器(GG8020)、逻辑单元(CO4020)、纳秒延时线(425A)、时幅转换器(TAC567)、多道分析器(MCA8000)和计算机组成。

当宇宙射线 μ 子同时穿过RPC和两个塑料闪烁体时,在RPC和塑料闪烁体中产生信号,RPC中的信号经放大后输入CF8000中,CF8000对信号定时甄别。信号从CF8000输出后到达TAC567,作为TAC的Start信号。两个塑料闪烁体中产生的信号先经CF8000进行定时甄别,然后通入GG8020,使NIM信号

转换为逻辑信号输出,两个逻辑信号通过 CO4020 符合为 1 个信号输出,信号经 425A 延迟后输入到 TAC567,作为 TAC 的 Stop 信号。TAC 输出的信号通过 MCA8000 在计算机上记录,存储为 mca 格式的数据文件。然后通过 ROOT 软件编写程序,分析获得的数据文件,研究 RPC 的时间性能。图 3 为通过 ROOT 分析获得的 RPC 时间谱。

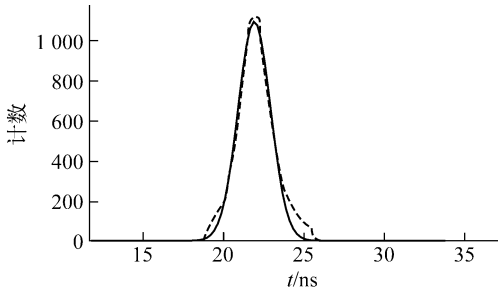


图 3 RPC 时间谱

Fig. 3 Time spectra of RPC
虚线——实验谱;实线——拟合谱

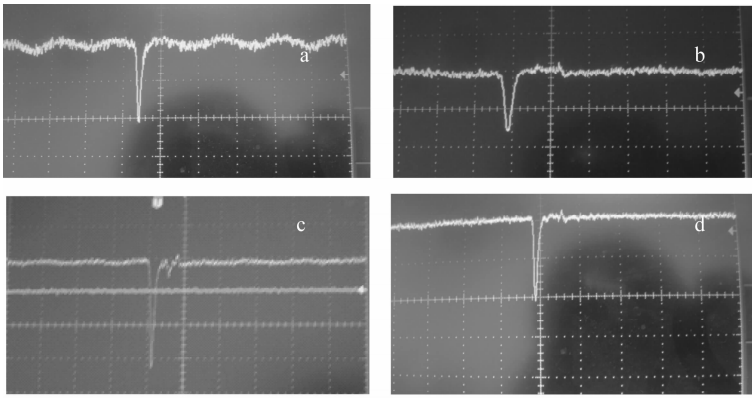


图 4 不同电压下的 RPC 信号

Fig. 4 Signals from RPC under different operation voltages
a——9.8 kV; b——10 kV; c——10.4 kV; d——10.6 kV

雪崩信号的幅值一般为十几 mV,双信号为雪崩信号和流光信号的混合。此信号主要出现在流光信号和雪崩信号的混合区,是判断雪崩区和流光区的重要依据。实验结果的具体分析列于表 1。

2.2 不同气体比例和不同电压下的时间分辨率

由于 SF_6 是负电性气体,对电子有很强的吸附作用,从而能够压制 RPC 中流光信号的产生。本实验主要通过改变 SF_6 的流量和工作

RPC 输出信号的幅度和形状也可用示波器实时监测。

2 实验数据与分析

2.1 雪崩信号区域和流光信号区域的划分

由于流光信号幅度比雪崩信号幅度大很多,所以,由示波器上信号的幅度大小和双信号(雪崩和流光的混合信号)的多少可判断雪崩信号和流光信号的电压区域。

在气体 $\text{F}_{134\text{a}}$ 、 C_4H_{10} 、 SF_6 的体积分数分别为 89.9%、9%、1.1% 的情况下,电压为 9.8 kV 时的信号幅度约为 10 mV;10 kV 时,信号幅度约为 15 mV,很少有大信号和双信号;10.2 kV 时,信号幅度主要大于 20 mV,此时出现双信号;10.4 kV 时,信号主要是大于 30 mV,双信号增多;10.6 kV 时,信号大于 40 mV,很少出现双信号。图 4 为不同电压下的 RPC 信号。

电压来观察 RPC 时间分辨率的变化情况。图 5 所示为气体比例和电压对时间分辨的影响。

表 1 工作电压和不同信号模式的关系

Table 1 Relation between operation voltages and signals

| 电压/kV | 信号 |
|---------|-------------|
| 9.8~10 | 雪崩信号 |
| 10~10.2 | 雪崩信号向流光信号过渡 |
| >10.2 | 流光信号 |

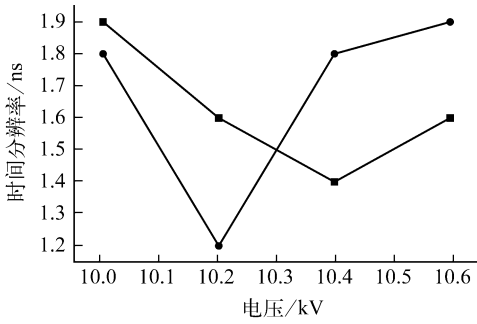


图5 气体比例和电压对时间分辨率的影响

Fig. 5 Influence of operation gas mixture and high voltage on time resolution

- — $\varphi(\text{SF}_6) = 1.3\%$ ($\varphi(\text{F134a}) : \varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) :$
 $\varphi(\text{SF}_6) = 89.7\% : 9\% : 1.3\%$);
- — $\varphi(\text{SF}_6) = 1.1\%$ ($\varphi(\text{F134a}) : \varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) :$
 $\varphi(\text{SF}_6) = 89.9\% : 9\% : 1.1\%$)

由图5可看出,时间分辨率随电压的增加先下降后上升,时间分辨率有最低点,随 SF_6 气体比例的增加,时间分辨率最低点的电压向前移动了200 V。当电压为10.2 kV、 $\varphi(\text{SF}_6) = 1.3\%$ 时,时间分辨率有最理想值。

3 结果与讨论

1) 实验测得在工作气体 F134a、 C_4H_{10} 、 SF_6 的体积分数分别为 89.9%、9%、1.1%的情况下,RPC雪崩信号区为 9.8~10 kV,流光区为 10.2 kV 以上,流光区域和雪崩区域根据RPC阻抗板电阻率的不同会有变化,主要是根据信号幅度的大小和双信号来判断区域的划分。雪崩信号和流光信号的区分对RPC性能的研究有重要意义。本工作所测得的信号与

PHENIX 实验的要求有一定差距,主要原因是RPC阻抗板的体电阻率过高($10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$),使得雪崩信号区的宽度过窄(9.8~10 kV),而9.8 kV以下的噪声很大。

2) 由于 SF_6 比例的变化和工作电压的变化会对RPC信号有影响,所以,本实验测量了它们对时间分辨率的影响。实验测得的时间分辨率已达2 ns以内,这与国外测得的结果相近^[2],满足相对论重离子碰撞实验的要求。但目前最佳时间分辨率出现在流光区的开始,所以,还需进一步调整气体比例,同时配合RPC阻抗板的体电阻率的调整,扩宽RPC雪崩信号区,并寻找到雪崩信号区中产生最佳时间分辨率的工作电压。

参考文献:

- [1] YING J, YE Y L, BAN Y, et al. Beam test results of a resistive plate chamber made of Chinese bakelites[J]. Nucl Instrum Methods A, 2001, 459(3): 513-522.
- [2] HONG B, HONG S J, LEE K S, et al. Endcap resistive plate chambers for the compact muon solenoid experiment[J]. Journal of the Korean Physical Society, 2006, 48(4): 515-529.
- [3] 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.
- MA Jingguo, BAN Yong, LIU Hongtao, et al. Construction and performance test of a large area RPC module[J]. High Energy Physics and Nuclear Physics, 2001, 25(9): 898-902 (in Chinese).