

大面积阻抗板探测器的研制及性能测量*

马经国 班勇 刘洪涛 叶沿林¹⁾ 蔡建新
狄振宇 应军 贾晴鹰

(北京大学技术物理系和教育部重离子物理开放实验室 北京 100871)

摘要 使用中国材料研制了大面积阻抗板探测器(RPC),利用宇宙射线测量了效率曲线以及时间分辨率,讨论了大面积RPC的均匀性问题.结果表明,该RPC效率接近100%,时间分辨率约2ns,可以满足通常实验的要求.

关键词 阻抗板探测器 CMS LHC 宇宙线

1 引言

CMS(Compact Muon Solenoid)探测器是欧洲核子中心(CERN)的大型强子对撞机(LHC)的两个大型探测设备之一. Resistive Plate Chambers(简称RPC)是一种平行板气体探测器^[1],也称为阻抗板探测器. RPC探测器具有优良的空间分辨本领和与闪烁体探测器相当的时间分辨率,适合于高能带电粒子示踪;能够制作成很大的探测面积,并且造价低廉.因此CMS采用RPC为 μ 子探测器提供触发信号.北京大学技术物理系承担了研制和生产部分桶部和端部RPC的任务.在批量生产之前,用中国材料制作了一些RPC,并进行了测试.此前曾报道了一个小面积RPC的研制情况^[2,3].本文详细描述了一个用中国材料制作的大面积的RPC的结构及制作过程,以及宇宙线测量的过程和实验结果,并对结果做了分析.

2 RPC简介

RPC的关键部件是气体室,气体室由两块高体电阻率($10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上)的平行板组成,平行板之间的间距为几个毫米.整个装置密封,使用时往气体室里通入适当的混合气体,气压比大气压稍高.阻抗板的外表面喷有石墨层作为电极,在两个电极之间接上高压,气体室里就产生了均匀电场.当带电粒子穿过RPC时,气体被电离,离子对在电场的作用下分别向两极移动,读出条上产生感应电荷,这样就从读出条上输出了信号.

2000-10-08 收稿

* 国家自然科学基金(09910140934)和教育部跨世纪优秀人才计划基金资助

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

按照所加的高压不同, RPC 有两种工作模式. 当电压较高时, 气体室里的电场足够强, 在入射带电粒子的径迹附近能产生受到限制的放电, 这时输出脉冲的幅度约有 300mV 左右, 不需要放大. 这种工作模式叫做流光模式. 当电压较低时, 间隙中的电场小了, 气体的放大作用也小了, 这时的输出信号要经过前端电子学放大. 这种工作模式叫做雪崩模式. 流光模式下, 探测器能够忍受的计数率不高 ($\sim 100\text{Hz}/\text{cm}^2$), 而雪崩模式下的计数率提高了一个数量级以上, 达到了 $\sim 1000\text{Hz}/\text{cm}^2$, 满足 LHC 的要求 ($\sim 300\text{Hz}/\text{cm}^2$). 因此 CMS 的 RPC 将工作在雪崩模式下^[1].

控制气体的成分, 可以使 RPC 工作在流光模式或雪崩模式下. SF_6 是负电性气体, 能够捕获电子, 在气体中加入 SF_6 可以抑制流光信号的产生. 在实验中分别对 RPC 在雪崩模式和流光模式下做了测试, 并得到了较好的结果.

3 大面积 RPC 的制作过程

3.1 RPC 的结构

在 CMS 实验中将使用双间隙 RPC, 因此我们制作了双间隙 RPC 样品. 结构如图 1, 主要部分是两个气体室, 读出条, 隔离、绝缘用的 PET 膜, 以及起保护和固定作用的防护板和 C 型钢架. 阻抗板材料是由酚醛材料压制而成. 本探测器的面积达到了 $100\text{cm} \times 120\text{cm}$, 是目前获得的中国材料制作的阻抗板的最大尺寸.

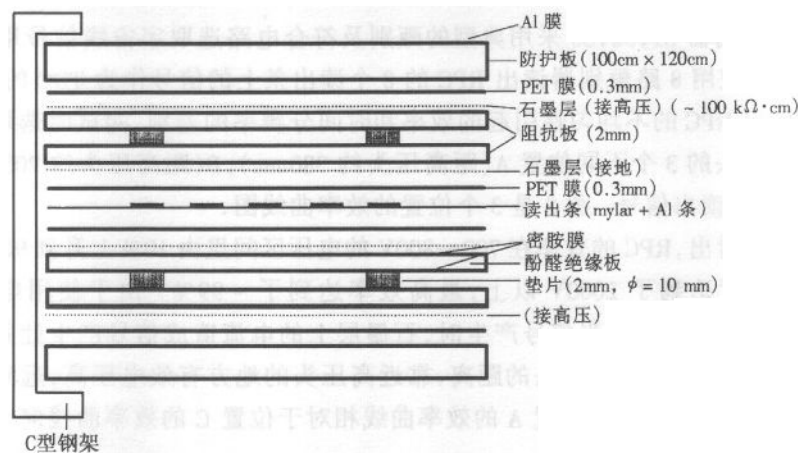


图 1

3.2 RPC 的制作

RPC 的制作工艺要求较高, 其关键是气体室的制作. 它要求阻抗板的阻抗均匀, 厚度均匀, 间隙均匀, 所喷的石墨层均匀. 阻抗板内表面的光洁度要求很高, 我们在阻抗板的外表面压了一层密胺膜, 使表面粗糙度小于 $0.3\mu\text{m}$ ^[3]. 垫片厚度决定了气体室间隙是否均匀, 而厚度直接决定了 RPC 中的电场的均匀性, 是影响 RPC 性能的重要因素, 我们使用

的垫片的厚度的误差为 $\pm 0.02\text{mm}$. 使用中国材料制作的双间隙大面积 RPC, 在工艺上采用了与国外不一样的方法. 采用在阻抗板上打孔注塑的办法固定垫片, 使得垫片更加牢固, 不易脱落. 垫片的直径为 10mm , 安放位置间隔是 100mm , 由此会造成约 0.6% 的死区. 在气体室的 4 个角上都安装了通气管和高压头. 读出条置于两个气体室之间, 读出条的一端用 50Ω 的电阻接地, 另一端读出信号. 气体室的阻抗板外面喷有石墨作为高压极和地极, 高压极和防护板之间有 PET 膜隔离. 防护板和 C 型钢架起支撑和固定的作用, 防护板外面贴有 Al 膜, 主要起屏蔽作用.

4 宇宙线测试及结果

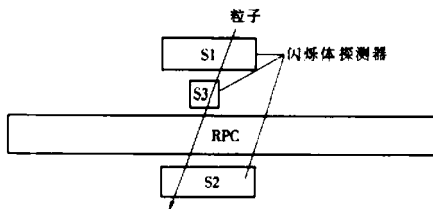


图 2 宇宙线信号的选择

4.1 宇宙线触发系统和电子学系统的搭建

使用 3 个闪烁体探测器的符合信号作为 RPC 的触发信号. 其中 S1, S2 的宽度为 150mm , 而 S3 是用于定位的小闪烁体, 宽度只有 30mm . 同时穿过 3 个闪烁体的粒子也必定穿过了 RPC. 宇宙线信号的选择如图 2. 电子学部分使用 NIM 插件, 采用 CAM-AC 系统和微机进行数据采集.

4.2 测试结果及分析

对闪烁体探测器 S1, S2, S3 采用典型的甄别及符合电路选取宇宙线信号用作 TDC 的公共起始信号. 使用 8 路甄别器读出 RPC 的 8 个读出条上的信号作为 TDC 的终止信号. 为了研究大面积 RPC 的不均匀性引起的效率和时间分辨率的差别, 测试时选取了靠近高压头和远离高压头的 3 个不同位置 A (距高压头约 380mm), B (距高压头约 200mm), C (距高压头约 110mm) 读出信号. 图 3 是 3 个位置的效率曲线图.

由图 3 可以看出, RPC 的效率在 $700\text{--}800\text{V}$ 的电压区间里由 10% 上升到 90% , 上升很快, 坪曲线的宽度达到了 2000V 以上, 最高效率达到了 $\sim 99\%$. 由于使用电阻率约为 $100\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$ 的石墨层加高压, 当信号产生时, 石墨层上的电流造成信号产生处的有效电压降低, 降低的程度取决于离高压头的距离, 靠近高压头的地方有效电压高, 远离高压头的地方有效电压低, 因此上图中位置 A 的效率曲线相对于位置 C 的效率曲线向电压高的方向移动了约 150V .

为了比较两个气体室之间的差别, 单独测量了两个单间隙的效率以及整个 RPC (包括两个单间隙) 的效率 (在位置 A), 结果表明两个单间隙的性能很接近.

RPC 的时间分辨率随着电压的变化而变化, 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很小的. 图 4 是在位置 B, 电压为 10300V 时测得的时间谱, 经刻度换算后对应的时间分辨率 (标准偏差) 为 2.34ns . 这个时间包括了触发系统本身时间不确定性的贡献. 从对闪烁体触发系统的单独测量中得到触发系统本身的时间分辨率为 0.79ns . 因此, RPC 本身的时间分辨率为

$\sqrt{\text{测量所得的时间分辨率}^2 - \text{闪烁体触发系统的时间分辨率}^2} = 2.20\text{ns}$.

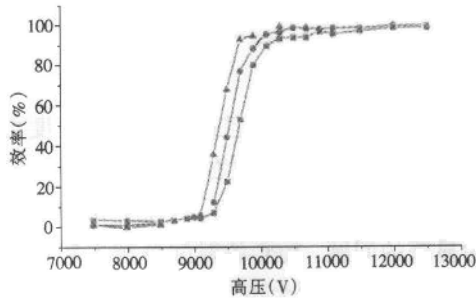


图3 RPC的效率曲线图

F134a92.1%, C₄H₁₀7.9%;

■—位置 A, ●—位置 B, ▲—位置 C.

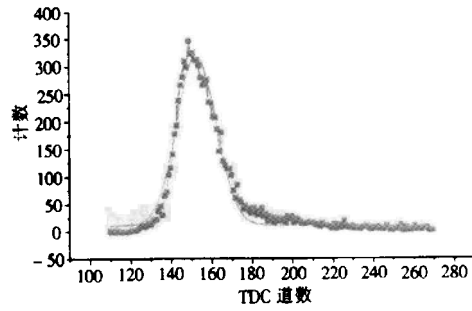


图4 RPC的时间谱

F134a92.1%, C₄H₁₀7.9%.

实验中测量了3个不同位置而效率均为93%左右时的时间分辨率. 3个位置的时间分辨率分别是 A:3.01ns, B:2.34ns, C:2.33ns, 它显示了RPC的时间分辨率也受位置的影响. 在扣除闪烁体探测器的时间不确定性后分别为2.90ns, 2.20ns, 2.19ns. 由此可见, 不同位置处的时间分辨变化较大.

以上测量是在没有加入SF₆气体的情况下进行的, 读出条上读出的信号经过了前端放大. 在电压较低时, 主要是雪崩信号, 但在电压较高时(满效率), 应为雪崩信号与流光信号的混合^[4]. 加入SF₆后气体配比为F134a(90.5%), 异丁烷C₄H₁₀(7.8%), SF₆(1.7%), 信号幅度只有几个毫伏, 是明显的雪崩信号. 图5是有SF₆和没有SF₆时的效率曲线比较图.

从图5中可以看出, 加入SF₆气体后, 效率曲线向后推了约1000V, 这是因为SF₆气体抑制了信号的产生, 表明加SF₆气体有利于使RPC工作在雪崩模式下, 提高了计数率(但需要工作在较高电压下, 因此对探测器制作工艺的要求更高).

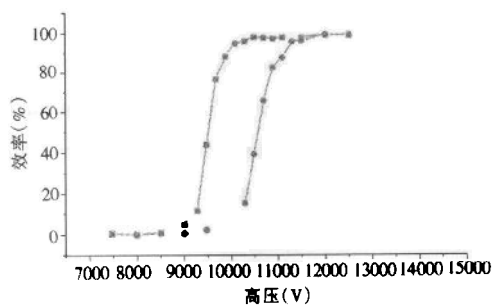


图5 有SF₆和没有SF₆时的效率曲线比较图

■ F134a(92.1%), C₄H₁₀(7.9%),

● F134a(90.5%), C₄H₁₀(7.8%), SF₆(1.7%).

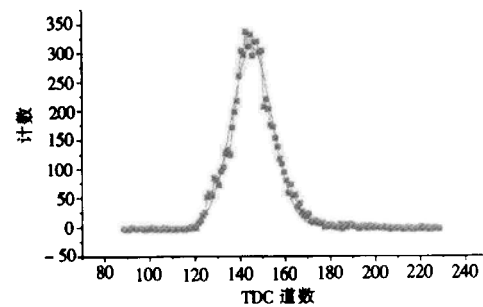


图6 加入SF₆后RPC的时间谱

F134a(90.5%), C₄H₁₀(7.8%), SF₆(1.7%).

图6是加入SF₆后RPC的时间谱, 这时探测器的高压为11300V, 探测效率为94%, 对应的分辨率为2.17ns, 扣除闪烁体触发系统的时间分辨率后得到RPC的时间分辨率

为 2.02ns. 看来,在加入 SF₆ 后 RPC 的时间性能也略有改进.

5 结论

用中国材料成功研制了大面积双间隙 RPC. 它的效率接近 100%,且高效率的坪宽度可达 2000V 以上. 由于位置不均匀性造成的效率曲线的移动只有 150V 左右. 因此,只要固定高压在坪曲线中心,就可使探测器各个位置的效率都达到最高. 但也看出,不宜使 RPC 的线宽大大超出 1m 的量级,否则效率的不均匀性会成为显著的问题. RPC 的时间分辨本领也有明显的位置不均匀性,为此需要结合实际应用的要求,限定 RPC 的大小. 在需要高时间分辨的场合,应尽量采用小的多个 RPC 取代单个大的 RPC. 当然,这样会使造价升高.

文献[2,3]中,通过在 CERN 的束流实验,着重分析了 RPC 的计数率问题. 目前中国的阻抗板电阻率偏高,不宜用到 300Hz/cm² 以上的计数率. 但除了类似 LHC 实验的超高计数率环境之外,通常情况下,我们研制的 RPC 的计数率能达到要求. 特别是对于宇宙线实验,完全可以考虑用中国生产的阻抗板大批量地制作大面积 RPC.

参考文献 (References)

- 1 CERN-LHC Experiments Committee. CMS Technical Design Report 3, The Muon Project, Dec. 1997
- 2 YING J, YE Y L, BAN Y et al. J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., 2000, 26: 1291—1298
- 3 YING J, YE Y L, BAN Y et al. Nucl. Instr. Meth In Phys. Res., 2001, A459: 513—522
- 4 Crotty I, Cerron Zeballos E et al. Nucl. Instr. Meth In Phys. Res., 1995, A360: 512—520

Construction and Performance Test of a Large Area RPC Module*

MA Jing-Guo BAN Yong LIU Hong-Tao YE Yan-Lin¹⁾ CAI Jian-Xin
DI Zhen-Yu YING Jun JIA Qing-Ying

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

Abstract A double gap Resistive Plate Chamber (RPC) made of Chinese materials is constructed and tested with cosmic ray. The detection efficiency is close to 100% and the time resolution is around 2ns. The variation of detection efficiency curves and time resolutions in different positions are also given. The results show that its performance can meet the requirement of general particle physics experiment.

Key words RPC, CMS, LHC, cosmic ray

Received 8 October 2000

* Supported by National Natural Science Foundation of China (09910140934) and Trans-Century Training Program Foundation for the Talents by the Ministry of Education

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