

大面积玻璃 RPC 模型与性能测试^{*}

关梦云¹⁾ 杨长根 孟祥承 李祖豪 董晓黎

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘要 介绍了可用于粒子探测的大面积玻璃高阻板探测器 RPC(Resistive Plate Chamber). 使用两块间隔 2mm 的普通浮法玻璃作为电极, 其中充入流动的混合气体(氩气 + 异丁烷 + F134A), 工作高压约 9600V; 性能测试结果, 其单室效率可达 97%, 时间分辨可达到 1.8ns.

关键词 RPC 探测效率 时间分辨

1 引言

高阻板探测器 RPC(Resistive Plate Chamber)最早出现于 20 世纪 70 年代末^[1], 是一种结构较简单的探测器. 工作在常压下, 对机械加工精度要求低于丝室, 使用材料经济, 使得 RPC 具有较低的成本. 由于采用互相平行的平板高阻材料作为电极, RPC 具有均匀的工作电场; 相比丝室的与 $1/r$ 相关的电场分布, 电子漂移运动产生的涨落会更小些, 这就意味着 RPC 有着较好的时间分辨. 另外, RPC 使用感应信号读出方式, 可以避免与高压的接触. 工作在流光放电模式的 RPC 探测器可以输出很大幅度的信号.

RPC 探测器兼具好的时间分辨和位置分辨的特性, 且其价格很低, 因而特别适合作为大面积覆盖的探测器. 其性能上已经可以替代闪烁体探测器, 用作触发和飞行时间的测量, 在高能物理和天体粒子物理实验中得到了广泛的应用. 在 LHC 上, ALICE, ATLAS 及 CMS 实验中大部分的触发探测器使用 RPC^[2]; 在宇宙线伽玛源探测方面, 我国西藏羊八井的 Argo YBJ 实验也采用了大面积 RPC 阵列^[3,4]; 已建议进行的研究宇宙线及中微子振荡的 MONOLITH 实验中也使用 RPC 作为其主要的探测器^[5]. 未来 RPC 探测器的使用面积将从几千平方米向几万平方米发展^[5]. 在提高 RPC 的时间分辨率方面, 多间隙

RPC 的发展很好地达到了这方面的要求, 比如用于 STAR 探测器的多间隙 RPC, 时间分辨率已经达到 70ps^[6].

一般 RPC 多采用电木板作为高阻板电极材料. 国内同行对此已经做了深入的研究, 已得到单层 95% 的探测效率和 2.25ns 的时间分辨^[7]. 电木板的体电阻典型值约为 $10^9 \Omega\text{cm}$, 相比玻璃的 $10^{12} \Omega\text{cm}$ ^[8] 要小几个数量级; 其结果是玻璃 RPC 会有更低的漏电流和噪音, 不足是不太适合高计数率场合. 其次, 为减低噪音, 有些实验室的电木板 RPC 采用亚麻子油处理电木板的内表面^[9], 而玻璃则具有较好的表面光洁度和较高的平整度, 可以很好地保持工作电场均匀性, 使 RPC 工作状态稳定. 为适应大面积 RPC 探测器应用的需求, 本文旨在探讨采用玻璃作为高阻板材料时 RPC 性能的变化, 从模型制作、测量入手, 逐渐实现批量生产, 最终达到将其应用于高能物理实验的目的.

2 探测器设计与制作

为了降低制作成本, 采用普通国产浮法玻璃制作 RPC. 模型长 180cm, 宽 25cm, 图 1 给出了它的结构. 玻璃板厚 2mm, 两块同样的玻璃板之间间隔 2mm; 中间加入一些小垫片; 周围是宽 1cm 的 ABS 塑料条, 用粘接剂与上下两块玻璃板粘接固定, 并在

2003 - 05 - 08 收稿

* 中国科学院知识创新项目资助

1) E-mail: dreamy_guan@mail.ihep.ac.cn



图 1 玻璃 RPC 的结构简图

两端各留一个气嘴;中间是气体室,用以流通工作气体。

玻璃板电极具有较高的体电阻,可以限制气体室中气体放电的规模。采用 RPC 探测器工作在流光模式,在这种工作状态下,探测器输出信号很大(取混合气体为氩气 30% + 异丁烷 8% + F134A62%;工作电压 9600V 时约 200mV);数据读出时可以不进行前置放大。

为了保持极板间电场的均匀性,必须维持两极板间距的稳定;在两块玻璃板之间加入一排垫片。垫片为圆形,直径 12mm;垫片之间相隔 13cm,垫片与边框相距 11cm。考虑到工作电压很高,垫片材料要求有较好的耐压和绝缘性能,以降低探测器的漏电流。实验证明聚醋酸乙脂材料可以满足这些要求。

玻璃板的外表面喷上一层均匀的石墨涂层。石墨涂层的厚薄对其面电阻有很大的影响。作为工作高压的接入面,具有较高面电阻值的涂层,对产生于气体室的快信号有很好的透明性,有利于外层读出条的信号收集。喷涂后石墨涂层的面电阻约为 $66k\Omega/cm^2$ 。为简单起见,工作高压采用正负高压电源串联接入。

玻璃板的外层铺有一层 PET 耐高压膜。读出信号用的读出板紧贴耐压膜。它是上下各一层铝膜的塑料板,板厚 1.5mm。内侧的铝膜被划成等分的几条,作为读出条。读出条可以做成横向的和纵向的两种,用作二维位置的读出;外侧是整块的铝膜,作为接地屏蔽用。

应该说明,虽然玻璃电极材料易碎,但是在它的外层有读出板。读出板紧贴玻璃板,构成外部保护层,如果读出板采用更厚些的材料,不但可以更好地保护内层的玻璃板,而且可以增加读数条的特性阻抗,得到更大的信号幅度;对于 RPC 的批量制作,还需要在整个模型的外部添加支撑结构,以利于模块的组装。因此易碎的玻璃材料在大面积 RPC 探测器的建造中不会构成很大的问题。

为获得良好的稳定性,RPC 的工作气体需要具有良好的淬灭性能。考虑到气体的来源,选用氩气

+ 异丁烷 + F134A 的混合气体。氩气作为主要的放大气体。异丁烷是多原子分子,具有多能级结构,易于吸收气体放大时产生的紫外光;含氟的 F134A 是负电性气体,可以吸附电子;当产生雪崩放大时,这两种气体的存在可以使得气体放电局限于某一小区域,而其他区域仍可以保持活性。

3 性能测试结果

对这种玻璃 RPC 模型的基本性能做了测试。图 2 所示是测量效率的示意图。3 个塑料闪烁计数器用作触发,选择出自上而下的宇宙线 μ 子;用 CAEN N96 型的甄别器使脉冲信号成型;用 LeCroy 465 型符合单元作符合。将这 3 个计数器信号的符合计数记为 N_3 ;相同时间内 RPC 与这 3 个闪烁计数器信号的符合计数记为 N_4 ;那么, RPC 的效率就可以表示为 $EFF = N_4/N_3$ 。

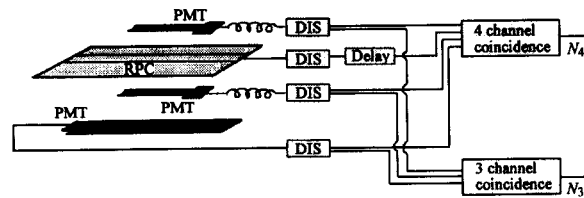


图 2 测量装置图

实验首先测量了工作气体各组分的配比不同时 RPC 的漏电流随工作电压的变化关系和计数条的单计数率随工作电压的变化关系;图 3 和 4 分别为它们的测量结果。这两个图表明了相似的结果;随着混合气体中氩气含量的升高,漏电流和单计数率随高压的变化趋快,中间平缓上升期变短,这时的气体

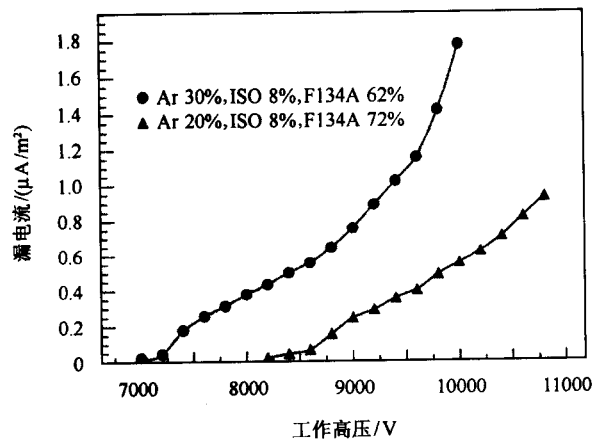


图 3 使用两种不同配比的混合气体时的漏电流 - 工作电压曲线

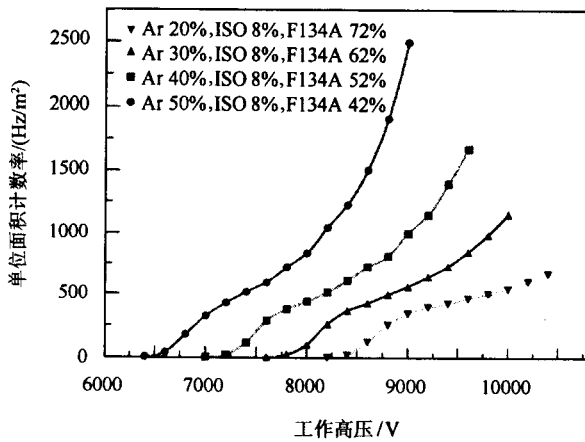


图 4 4 种不同混合气体对应的单计数 - 工作电压关系曲线

工作状态趋向不稳定,变化较快.取工作气体为:Ar 30% + Iso-butane 8% + F134A 62%,是种较好的配比.此篇文章中,除特别指明外,混合气体均采用这一配比.

图 5 记录了效率值 EFF 随工作电压的关系.图中不同的曲线代表不同配比的混合气体,由图中可以看出:随着混合气体中氩气含量的升高,效率坪的起始电压不断降低.这也证明混合气体中,氩气的放大作用是主要的.图中上坪后的效率值在 97% 左右.

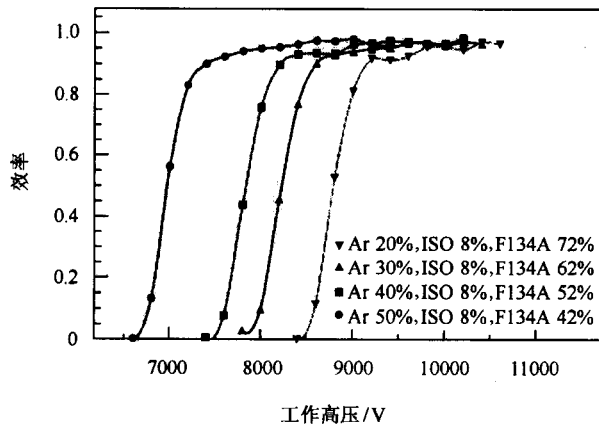


图 5 4 种不同配比的混合气体所得效率曲线

为减少由于闪烁计数器入射位置不同带来的时间分辨的展宽,测量分辨时间使用面积较小的两个塑料闪烁计数器替换掉效率测量中所使用的两个长条形闪烁计数器.为得到更好的定时性能,使用 PHILLIPS 715 型恒比甄别器使脉冲信号快成型;3 个闪烁计数器的符合信号作为起始时间;将 RPC 信号经过延迟后作为关门时间;实验用 LeCroy 2228A 型 TDC 插件记录这两者之间的时间间

隔分布.

图 6 给出混合气体为氩气 30% + 异丁烷 8% + F134A 62%,工作电压为 9600V 条件下的时间间隔分布图.图中横轴坐标是 TDC 道数,每 20 道相当于 1ns 时间间隔.经高斯拟合得到模型 RPC 的时间分辨为 $\sigma_t = 1.8\text{ns}$;这个结果忽略了由触发计数器带来的时间分辨误差.

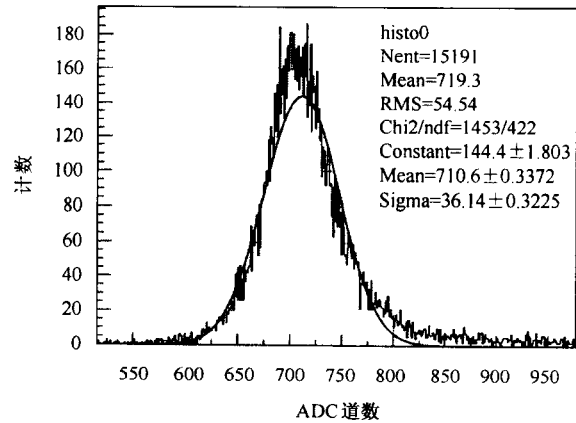


图 6 三重符合信号与 RPC 信号间时间间隔分布图

实验中我们对同一块读出板上不同读数条信号的效率 - 高压曲线及时间分辨均做了测量;没有垫片的区域里,相同工作电压下各读数条给出了相近的探测效率,差别小于 1%.有垫片的区域,扣除垫片的几何尺寸形成的死区后,探测效率与其余读数条的相符.在选定的工作电压下具有相同的时间分辨.这说明,除去 RPC 单室的边框和垫片造成结构上的死区外,用这种 RPC 排成的大面积阵列应该具有较好的探测效率均匀性;在实际应用中,如何减小探测器死区,亦要多作考虑.

4 结论

RPC 探测器由于其较低的成本及兼具有好的位置分辨和时间分辨,在 高能物理中得到大量的应用;而且,对其时间位置分辨的改进及大规模制作的研究必将使它具有更广泛的应用前景.

玻璃高阻板探测器原材料易得,制作工艺简单,成本较低.适合于大规模生产和大量应用.我们制作的玻璃 RPC 模型获得了高的单室效率 (97%) 和较好的时间分辨 (1.8ns).我们将对此模型中的不足作出进一步的改进,期望得到更好的结果.

感谢中国科学院高能物理所的谢一冈和韩红光对此项工作的有益讨论和支持帮助.

参考文献 (References)

- 1 Santonico R, Cardarelli R. Nucl. Instr. and Meth., 1981, **187**:377—380
- 2 Santonico R, Nucl. Instr. and Meth., 2000, **A456**:1—5
- 3 LU Hong, SHEN Pei-Ruo, HE Hui-Hai et al. HEP & NP, 1999, **23**(5):417—424(in Chinese)
(卢红, 沈培若, 何会海等. 高能物理与核物理, 1999, **23**(5):417—424)
- 4 Bacci C, BAO K Z, Barone F et al. Nucl. Instr. and Meth., 2000, **A443**:342—350
- 5 Bencivenni G, Gustavino C, Menghetti H et al. Nucl. Instr. and Meth., 2001, **A461**:319—321
- 6 HUANG Sheng-Li, LI Cheng, XU Zi-Zong et al. HEP & NP, 2003, **27**(2):154—157(in Chinese)
(黄胜利, 李澄, 许咨宗等. 高能物理与核物理, 2003, **27**(2):154—157)
- 7 HAN Hong-Guang, TONG Guo-Liang, OUYANG Qun et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2001, **21**(2):142—144(in Chinese)
(韩红光, 童国梁, 欧阳群等. 核电子学与探测器技术, 2001, **21**(2):142—144)
- 8 Carboni G, Collazuol G, Capua S De. Nucl. Instr. and Meth., 2003, **A498**:135—142
- 9 Adinolfi M, Carboni G, Messi R et al. Nucl. Instr. and Meth., 2000, **A456**:95—98

Performance Test of a Large Area Glass RPC*

GUAN Meng-Yun¹⁾ YANG Chang-Gen MENG Xiang-Cheng LI Zu-Hao DONG Xiao-Li

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract A RPC (resistive plate chamber) prototype made with domestic glass is tested, which is suitable for large area particle detection. The constituent elements are two parallel glass plates with 2mm gas gap. A gas mixture of Argon, Isobutane and F134A is utilized. Test results show that the chamber efficiency is 97% and time resolution is 1.8ns at an operating voltage 9600V, it has a relatively lower single rates than a normal bakelite chamber. Except for the dead regions caused by the spacers and frame, the efficiencies from different strips in the same readout plate show good consistency. The technological design for mass production for this glass RPC is under investigation.

Key words RPC, detection efficiency, time resolution

Received 8 May 2003

* Supported by Knowledge Innovation Project of CAS

1) E-mail: dreamy_guan@mail.ihep.ac.cn