

RPC 读出条的阻抗匹配*

关梦云¹⁾ 杨长根 孟祥承

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 文章对高阻板探测器读出条的阻抗匹配问题进行了研究;引入了一个用于计算带状线特性阻抗的经验公式.测量的特性阻抗与经验公式很好地符合,说明这个经验公式可以用于 RPC 读出条特性阻抗的计算,以改善 RPC 读出信号的质量,利于 RPC 探测器性能的提升.

关键词 高阻板探测器 特性阻抗 读出条

1 引言

高阻板探测器 RPC(Resistive Plate Chamber)是一种结构简单的粒子探测器.加工精度要求低,使用材料经济,使得 RPC 具有较低的加工成本,利于制成大面积的粒子探测器;而且,它又同时具有好的时间分辨($\sim 1\text{ns}$)和空间分辨($\sim 1\text{cm}$),因此 RPC 探测器在加速器物理和宇宙线的研究中得到了广泛应用^[1-3].近些年这种探测器也得到了国内同行的关注^[4,5].

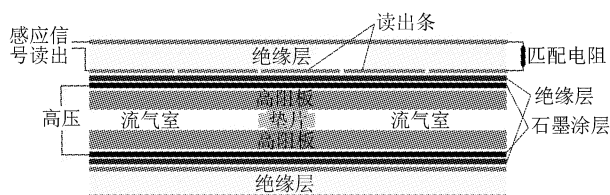


图 1 玻璃 RPC 的结构简图

一般说来, RPC 多采用电木板和玻璃板作为高阻板电极材料.图 1 为 RPC 的简单结构.两层高阻板电极间间隔开一定的距离,一般为 2mm,中间加入垫片来保持间距的均匀;加上边框就组成一个气体室,充以工作气体.高阻板外表面是一层石墨涂层,涂层的面电阻约为几十千欧姆至几百千欧姆,工

作高压加在石墨涂层上.由于石墨涂层的高面电阻率,它对产生于气体室内的快信号有很好的透明性.感应信号从 RPC 上下的读出条上读出.读出条和石墨涂层之间有绝缘层,避免与高压的接触,读出条上的信号输出不需要隔直电容.

读出条的基材料为聚氯乙烯平板,基材料的另一面敷上铝膜,铝膜接地.

在实际应用中,由于 RPC 使用面积很大,为了节省用于电子学读出的总道数,读出条的长度一般很长,信号的传输情况因读出条的特性阻抗的不同而不同.当匹配不好时,在读出条的末端和读出端会产生多次反射,引起波形畸变,影响 RPC 的时间分辨甚至效率的测量.另外,合适的特性阻抗还可以得到比较高的 RPC 信号幅度,也有利于 RPC 性能的提升.

文中,先对用于 RPC 的不同读出条的特性阻抗作了测量,引入了一个用于计算微带线特性阻抗的公式,并与我们的测量作了比较;然后把读出条用于一个我们制作的 RPC 模型^[6],对实际情况做出了测量.

RPC 模型长 180cm,宽 25cm,使用氩气 30% + 异丁烷 8% + F134A62% 的工作气体,工作电压约 9600V.

2004-02-03 收稿

* 中国科学院知识创新项目资助

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

2 信号的匹配

考虑到用于测量的读出条长度引起的信号延迟,选用信号产生器产生方波,观测波形的反射,测量不同读出条的特性阻抗.图 2 是装置简图.一条很短的信号线连结信号产生器和读出条的近端;另一根信号线将此端点连结至示波器;读出条长度 1.8m,终端是一个可变电阻器.

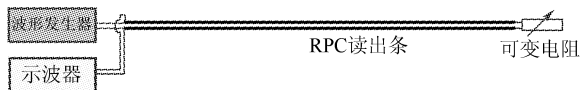


图 2 用信号产生器测量读出条的特性电阻

实验中使用 Tektronix 示波器,带宽 500MHz,并具有波形存储功能.这样,可以很好地记录不同条宽不同匹配阻值下的波形图.

为了研究读出条的几何尺寸和其特性阻抗的关系,制作了从 3—47mm 的 6 根不同宽度相同厚度的读出条.对每一根读出条,按照图 2 的方法连结线路;调节终端的可变电阻,直至波形无反射,如图 3;记录可变电阻值,即为被测条的特性阻抗值.

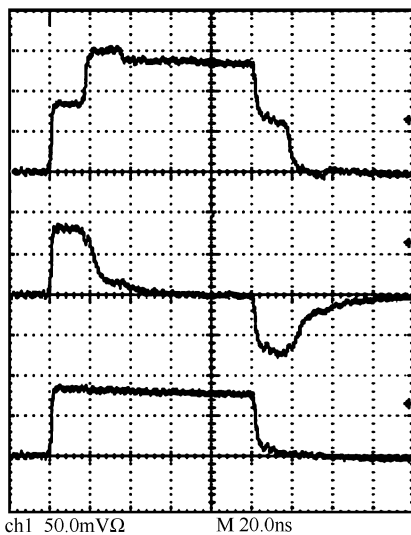


图 3 不同终端匹配时得到的波形

用信号产生器产生宽度为 100ns 的方波.图 3 中每一方格宽度代表 20ns.从图中可以看出此电阻变化时,示波器上所得到的波形的变化情况:最上面波形是读出条末端开路时的情形.信号在读出条末端发生全反射,经过约 19ns 的延迟与反射的方波发生叠加.由于所用的信号线特性阻抗都是 50Ω,而读出条的特性阻抗不是这个值,所以在近端也会有反

射,造成图上叠加后的波形顶端不是一条连续平滑线.中间图所示是终端短路时的波形;在短路端发生极性相反的反射后,延迟约 19ns 并与入射波叠加.图中仍然可以看到信号在读出条近端的再反射.最下面图是终端完全匹配时的波形,由于线路存在一定的分布电容和电阻,他们对输入的波有放电作用,造成波形的顶端逐渐下降.

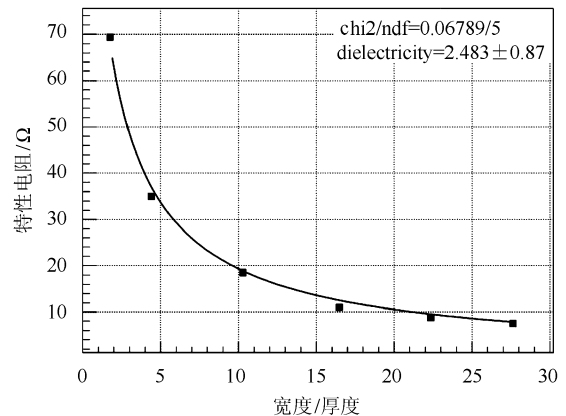


图 4 不同读出条宽度与对应特性电阻关系曲线

图 4 中的黑色方点为实验测量得到的读出条宽度和特性阻抗的关系.鉴于这种读出条的几何外形和微波器件带状线的相似性,引入了计算带状线特性阻抗的经验公式^[7].以空气为介质时的特性阻抗为

$$Z_0 = 60 \ln \left(\frac{8h}{\omega} + \frac{\omega}{4h} \right), \quad (\omega/h < 1),$$

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\frac{\omega}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{\omega}{h} + 1.44 \right)}, \quad (\omega/h \geq 1),$$

式中 ω 表示读出条的宽度, h 表示读出条的厚度;由于所用的读出条都满足 ω/h 大于 1,因此这里仅讨论 ω/h 大于 1 的情形.对于中间绝缘层介电常数为 ϵ_r 时的特性阻抗为

$$Z_L = \frac{Z_0}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}},$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{1}{2}(\epsilon_r + 1) + \frac{1}{2}(\epsilon_r - 1) \left(1 + \frac{12h}{\omega} \right)^{-\frac{1}{2}},$$

上面式子中 ϵ_{eff} 代表有效介电常数,是由于信号波在读出条上的传播还包括了读出条边缘与空气.基片之间界面的杂散场的影响.

使用以上介绍的公式对所测得的读出条宽度与厚度的比值与特性阻抗的分布作拟合,以读出条中间绝缘层的介电常数为拟合参量.拟合结果画在图 4 中.由图可以看出曲线和数据点符合得相当好.

从图 3 中可以读出读出条传输信号延迟时间约为 9.5ns. 长度为 L , 延迟时间为 T_0 的传输线, 由下面的公式可以粗略定出读出条两金属膜间所用介质的相对介电常数为 2.25.

$$\epsilon_r = \left(\frac{cT_0}{L} \right)^2,$$

而且, 在测试所用的方波频率下, 资料^[8]显示用于绝缘的聚氯乙烯材料的相对介电常数为 2.8; 由拟合得到的介电常数值为 2.46 ± 0.78 . 3 个值符合得很好. 据此, 把微带线计算特性阻抗的公式推广到很宽读出条的情形是非常适用的, 可以用于 RPC 探测器读出条匹配阻抗的计算.

为了检验由此所得特性阻抗值的实用性, 将用于之前方波测量的两种宽度分别为 28mm 和 47mm, 厚度 1.5mm 的读出条, 按照以上方法匹配后, 并装入到 RPC 探测器中. 信号基本匹配好, 但是进一步的调节发现波形可以更好一些. 此时的匹配电阻和之前方波测量得到的电阻值在表 1 给出.

表 1

读出条宽度	28mm	47mm
方波测量匹配阻值	11Ω	7.5Ω
实际情形匹配阻值	9.8Ω	6.6Ω

这是由于读出条与石墨涂层之间也可以形成波的传播, 造成实际的匹配阻抗比单做读出条特性阻抗测量时所得的阻值略小一个欧姆左右. 微小的调节可以看出波形的改变. 实际情形所获得的输出波形如图 5(a) 所示.

图中小尖波可能是由于探测器匹配电阻及信号线与读出条在焊接点处分布电容和分布电感的改变引起的不连续点的反射形成的. 为了对照, 图 5(b) 为终端开路时的信号输出波形. 很明显, 读出条输出有很多反射叠加起来的脉冲, 信号变得很宽, 不利于探测器性能的测量.

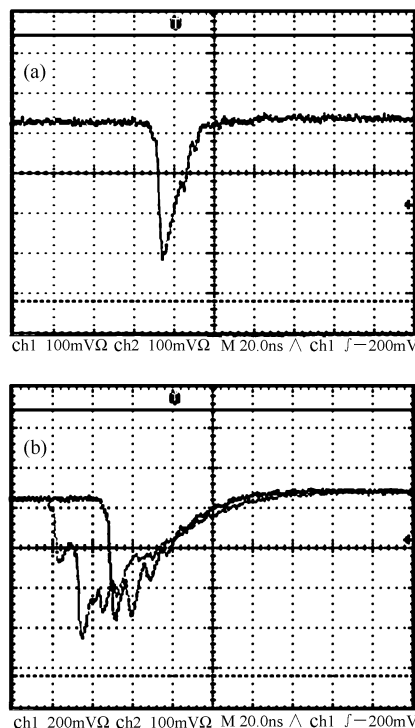


图 5 实际情形下读出条的输出波形

3 结论

RPC 由于其简单的结构, 而又可以同时和时间及位置作好的测量, 在高能物理探测器中有越来越广泛的应用, 特别是使用大面积探测器的场合. 读出条的匹配可以使得 RPC 获得更好的性能. 计算带状线特性阻抗的经验公式应用到计算读出条的特性阻抗, 与实际测量结果符合得很好, 可以用于指导探测器的设计与使用.

感谢高能物理研究所过雅南和谢一冈研究员的有益讨论和帮助.

参考文献 (References)

- Santonico R. Nucl. Instrum. Methods, 2000, **A456**: 1—5
- Bacci C, Bao K Z, Barone F et al. Nucl. Instrum. Methods, 2000, **A443**: 342—350
- Beneivenni G, Gustavino C, Menghetti H et al. Nucl. Instrum. Methods, 2001, **A461**: 319—321
- HAN Hong-Guang, TONG Guo-Liang, OUYANG Qun et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2001, **21**(2): 142—144 (in Chinese)
- nese)
(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)
- 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)
- GUAN Meng-Yun, YANG Chang-Gen, MENG Xiang-Cheng et al. HEP & NP, 2004, **28**(1): 78—81 (in Chinese)

- (关梦云, 杨长根, 孟祥承等. 高能物理与核物理, 2004, 28(1): 78—81)
- 7 Walter Janssen (West Germany). Wave-Guide and Microstrip. Beijing: National Defence Industry Press, Chinese Translation Edition, 1981, 133 (in Chinese)
(瓦 杨森(西德), 波导与带状线. 北京: 国防工业出版社, 1981. 133)
- 8 Matick R E (USA). Transmission Lines for Digital and Communication Networks. Beijing: Science Press, Chinese Translation Edition, 1982. 64 (in Chinese)
(R.E. 马蒂克(美). 数字与通讯网络中的传输线. 北京: 科学出版社, 1982. 64)

Termination of RPC Readout Strip^{*}

GUAN Meng-Yun¹⁾ YANG Chang-Gen MENG Xiang-Cheng

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

Abstract A study is performed on the characteristic impedance of readout strip of the Resistive Plate Chamber (RPC). An empirical formula to calculate the characteristic impedance of microstrips is used for RPC readout strip. We find the formula fits our measurement very well. This can give a guide in the design of the RPC Readout Strip.

Key words RPC, characteristic impedance, readout strip

Received 3 February 2004

* Supported by Knowledge Innovation project of CAS

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