

T9型窄间隙室探测器的研制与探测效率测试*

闫真¹⁾ 冯存峰 祝成光 孙延生 张乃健 何璋

(山东大学物理与微电子学院 济南 250100)

摘要 山东大学承担了ATLAS实验中400个T9型窄间隙室(TGC)探测器的研制生产任务. 本文首先介绍了T9型TGC探测器的研制过程, 然后对TGC探测器进行探测效率测试的方法进行了描述. 测试结果表明目前已经完成探测效率测试的288个T9型TGC探测器均表现出优于设计要求的高品质.

关键词 窄间隙室(TGC) 测试平台 探测效率扫描 非灵敏区

1 引言

ATLAS(A Toroidal LHC ApparatuS)实验的探测器系统将建造在欧洲核子研究中心(CERN)大型强子对撞机(LHC—Large Hadron Collider)的一个对撞点上, 其主要物理目标是寻找希格斯粒子, 对b夸克、t夸克和W粒子的性质进行高精度测量, 探索新的物理现象. ATLAS实验的 μ 子触发探测器端盖部分选用TGC(Thin Gap Chamber)探测器提供数据采集系统的第一级触发信号^[1], 同时相互垂直的TGC探测器阴极条信号道与阳极丝信号道, 还可以提供 μ 子的方位角坐标.

TGC(Thin Gap Chamber)探测器^[2-4], 即窄间隙室探测器, 是一种工作在高增益饱和模式下的多丝正比室, 其结构的截面图如图1所示. TGC探测器两个阴极板的间距为2.8mm, 阴极平板内侧喷涂石墨作为TGC的两个阴极面. 实心圆点代表固定在绝缘的框架上的直径为50 μ m的镀金钨丝(垂直于纸面), 间距为(1.8 \pm 0.025)mm, 均匀地排列在TGC的两个阴极平板中间. 700余根阳极丝被分为32组, 每一组丝并联成一个阳极信号道. 垂直于阳极丝的方向, 在其中一个阴极平板的外侧刻蚀有32条宽度从1—4cm不等的铜条, 作为感应信号道. TGC探测器工作时使用的工作气体为二氧化碳和正戊烷的混合气体(比例为55:45), 在阳极丝与阴极丝间加3000V左右的高压, 其显著特点是阴极板与阳极丝层的间距比阳极丝间距

窄, 具有信号上升时间快且时间分布窄的特点. TGC探测器具有探测效率高、时间响应快的特点, 使得TGC探测器可以在25ns的门内达到很高的探测效率, 能满足ATLAS实验的25ns碰撞间隔的要求.

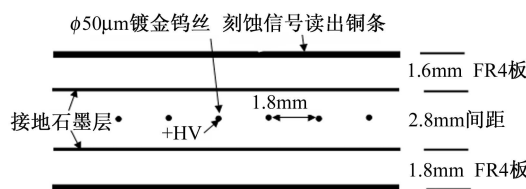


图1 垂直于阳极丝的TGC截面图

本文首先介绍了T9型TGC探测器的研制过程, 然后对TGC探测器的探测效率测试的方法进行了描述, 最后给出TGC探测器探测效率测试的结果.

2 T9型TGC探测器的研制

山东大学承担了ATLAS实验中400个T9型TGC探测器的研制生产任务, 是中国合作组在ATLAS实验国际合作项目中的主要组成部分. T9型TGC探测器为梯形形状, 高120cm, 上底159cm, 下底169cm, 面积约2m², 将被安装在ATLAS的4层TGC圆盘的最外一层的最外一圈(该层圆盘直径约为24m).

我们建立了设施完善的TGC探测器研制与生产的专用实验室, 在学习国外先进技术的基础上, 通过

2005-04-11 收稿, 2005-07-06 收修改稿

* 国家自然科学基金(00501140)资助

1) E-mail: yanz@hepg.sdu.edu.cn

在研制生产过程中的实践不断改进并逐渐规范了整个探测器的工艺流程. 下面对T9型TGC探测器研制的主要过程进行介绍.

2.1 阴极石墨面的制作

TGC探测器阴极平板是在厚度为1.8mm或者1.6mm的FR4板材上喷涂一层石墨而制成的, 由于石墨面的面电阻率的大小会影响TGC探测器外侧信号条上感应信号的质量与探测效率, 因此根据设计要求, 石墨面的面电阻率要控制在0.5—1.5M Ω 之间. 我们建立了用于探测器阴极石墨面板喷涂的专用喷墨室, 要求室内的温度控制在23—30 $^{\circ}$ C之间, 湿度在28%以下, 因为空气湿度过高会造成石墨面的牢固性与长期稳定性变差. 在石墨面喷制过程中, 使用8个大气压的高压喷枪将石墨混合液均匀喷涂在FR4板上, 将其面电阻率控制在5—6M Ω 左右, 然后逐点测量喷涂后石墨板的面电阻率, 并用防静电纸进行打磨, 使面电阻率逐步降至0.5—1.5M Ω 之间. 研制过程中发现, 新喷制的石墨面的面电阻率会在最初的48h内上升30%—50%, 然后再逐渐恢复原值, 因此石墨面的打磨工作在石墨面喷制72h后进行.

2.2 探测器支撑体的固定

在TGC探测器中, 两个阴极平板相互平行间距为2.8mm, 由固定在两板之间的支撑体(包括6根支撑条与70个支撑扣)来维持, 这是制作TGC的技术关键之一, 要求所有的支撑体的高度和倾斜得到严格控制. 为确保阴极平面及整个探测器研制过程中的平整度, 采用了设施完善的高精度2.5m \times 1.5m \times 0.3m的花岗石工作平台(共7台), 台面(2.5m \times 1.5m)的平整度极高, 误差在16 μ m以内.

在花岗石平台上, 将高度为1.4mm的支撑体用胶粘结在阴极平板上, 位置由支撑体模板固定, 定位的精度可以达到0.1mm. 在粘结支撑体的胶干燥期间, 我们使用韧性的硅橡胶布覆盖整个台面, 将阴极平板密封在硅橡胶布和花岗石平台形成的密封空间内, 抽取其中的空气到一定的真空, 利用真空压力将支撑体紧压在阴极平板上. 真空压力具有可调节, 易控制的特点而且压力很均匀地分布在整个探测器平面, 对于控制探测器的平整度具有重要的意义. 这个技术同样用于TGC探测器的合成与双层结构单元的组装.

由于支撑扣的数量很大, 每个阴极板上都会有若干支撑扣出现高度偏差过大或倾斜的问题. 支撑体高度的偏差过大会导致两个石墨面之间的距离发生变

化; 支撑扣的倾斜, 因其边缘尖锐容易切断阳极丝, 支撑扣在大的压力下会出现从石墨面上脱落或碎裂, 从而给探测器的质量造成隐患. 通过在支撑扣上放置一个带有0.1mm突起的柔韧性平板(示意图见图2), 可以将真空压力进行重新分配, 极大地避免了支撑扣发生倾斜的情况.

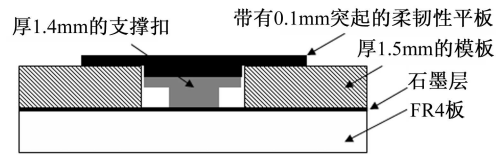


图2 用于支撑扣固定的柔韧性平板

2.3 阳极丝的绕制

阳极丝的绕制是利用一台由计算机控制的大型精密绕线机完成, 它是由一个可转动的桌面、供线器、步进马达以及控制电子学系统组成. 绕线机工作时, 两个石墨板将被吸附在转动桌面上, 阳极丝的末梢焊于桌面一角, 桌面转动将阳极丝从供线器中拉出, 并缠绕在石墨面板上. 计算机根据绕线机的工作状态, 通过电子学系统协调供线器的步进速度和台面转动速度, 将阳极丝的张力控制在(350 \pm 10)g, 间距为1.8mm. 绕制完成后, 将绕好的阳极丝焊在支撑体的高压铜排上, 然后将多余的阳极丝割去, 得到了固定在石墨面以上1.4mm处的阳极丝平面.

2.4 TGC探测器的合成

将两个阴极石墨面板(其中一个支撑体上已经焊有阳极丝)相对粘合在一起制成TGC探测器的过程称为TGC探测器的合成. TGC探测器工作时电场强度极强, 探测器内部任何尘埃、纤维等杂质都会引起火花放电和漏电流, 从而造成阳极丝以及石墨面的损坏. 因此TGC探测器合成的全部工序都在专门建立的万级超净室中进行.

为了确保合成的TGC探测器具有良好的耐高压特性, 在TGC探测器合成前先进行模拟合成. 首先将经过严格清洗的焊有阳极丝的石墨面板吸附在花岗石台面上. 在石墨面板的阳极丝和阴极面之间加2900V电压, 检测漏电流并清除存在的电火花隐患. 然后将没有阳极丝的石墨面板扣合到上述石墨板上形成闭合空间, 充入二氧化碳进行冲刷, 在阴极和阳极间加上2900V的电压进行漏电流的检测, 要求漏电流稳定并小于1 μ A. 完成这一检测后, 更换工作气体并加3200V高压, 重复上述检测.

对于经过模拟合成且高压特性达到要求的TGC探测器,在支撑体上涂胶,仍按原位置叠合两石墨板,然后按规定的工艺程序实施探测器的正式合成.在整个合成工艺中,使用了平整度极高(误差小于0.1mm)的铝蜂巢板,将没有阳极丝的石墨面板使用真空吸附在铝蜂巢板上,在两个石墨面板都处在高度平整的状态下进行合成.

对合成后的探测器的平整度进行了测量.结果表明,其平整度偏差绝大多数为0.1mm或者小于0.1mm,只有极少几个探测器出现0.2mm的情况.结果都优于0.3mm的质量要求.

2.5 组装成TGC双层结构单元

用一层2cm厚的蜂巢纸做为中间间隔加固,将两个TGC探测器组装成一个整体,该结构称为TGC双层结构单元,其两个外表面分别粘合0.5cm厚的蜂巢纸与FR4板作为保护(如图3).

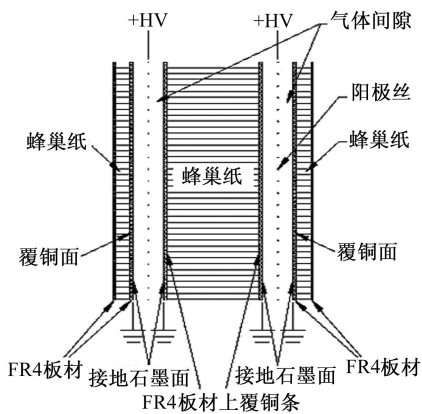


图3 TGC探测器双层结构单元结构图

先制作相同的两个探测器,组装之前将其中一个探测器粘贴上2cm厚的蜂巢纸,然后使用硅橡胶布将两个探测器和蜂巢纸粘合封闭在花岗石台面上,抽取硅橡胶布内的空气,形成的负气压使硅橡胶布、蜂巢纸和探测器压紧在一起,组装成对称的不易发生形变的双层结构单元.组装完成后的探测器是否发生形变,是以双层结构单元的平整度偏差来衡量,测试结果表明,所有探测器的平整度偏差全部低于0.3mm(97%为0.1mm或0.2mm),优于0.4mm的质量要求标准.

2.6 电子学封装及性能测试

TGC双层结构单元的前端电子学ASD(Amplifier Shape Discriminator)^[5]板安装在信号适配器(收集信号并提供标准接口的电路板)上,每个ASD板可以读出16路阳极丝信号或阴极感应条信号.罩在ASD板

上的接地良好的铜皮外壳,可以有效地屏蔽噪音信号.

TGC探测器的工作气体含有易燃性气体正戊烷,出于安全考虑,需要在TGC双层结构单元的四周封装一个环形气体通道,探测器工作时充入二氧化碳进行环流清洗,可以将可能从探测器中泄漏出的正戊烷带出实验大厅.

对所有研制完成的TGC探测器进行了严格测试^[6],测试内容包括探测器的平整度、气密性、高电压考验、漏电流以及信号道的计数率均匀性等.测试结果表明我们研制的TGC探测器在3200V的工作电压下工作稳定,漏电流全部低于1 μ A,探测器各信号道的计数率基本一致.

3 TGC探测器的探测效率扫描

探测效率的高低是衡量探测器品质的重要指标,为了检验T9型TGC探测器是否达到ATLAS试验要求的质量标准,利用设在以色列特拉维夫大学(Tel Aviv University)的TGC探测器探测效率测试平台^[7],对T9型TGC探测器进行了探测效率的检测.

该测试平台的结构如图4所示,从上至下依次是顶层塑料闪烁体、顶层精密室、底层精密室以及底层塑料闪烁体,被测TGC探测器放在两层精密室中间.

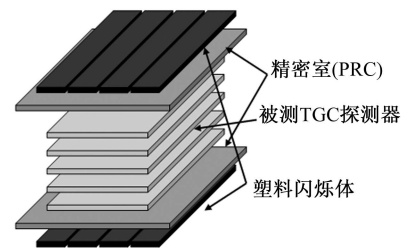


图4 测试平台结构示意图

位于顶部和底部的两层闪烁体每层由4块60cm宽、140cm长、1.2cm厚的塑料闪烁体组成,当高能宇宙射线粒子(如 μ 子)贯穿测试平台时,上下两层闪烁体信号符合产生数据获取的触发信号.精密室(Precision Chamber, PRC)也是一种多丝室气体探测器,它由两层相互垂直的阴极感应信号读出条和一层加高压的阳极丝构成,其阴极感应信号读出条仅宽3.6mm,间距1mm,沿 x 轴、 y 轴方向分别有等宽的361条、458条信号道.PRC的前端电子学GassiPlexs卡^[8]通过CEAN V550B进行控制,可以对阴极的感应信号进行放大、成型、锁存和排序,再配合CEAN V551B(内置两个独立的ADC转换模块),能够精确测量穿过粒子的位置坐标.

TGC探测器的信号通过前端电子学ASD板转换为LVDS信号输出,并通过NIM插件ASDR(ASD Readout)板将16道LVDS信号做OR逻辑运算后转为一路差分ECL信号,最后接入CEAN V767 TDC插件.根据该TGC探测器对应的TDC道址是否有信号被记录下来,可以确定探测器是否探测到穿过的粒子.

数据获取系统接收到触发信号后,电子学设备将该粒子在PRC与被测TGC探测器上的击中信息组成一个事例,并写入磁盘.通过拟合粒子穿过上下两层PRC时的径迹,进行数据重建,可以确定粒子在被测的TGC探测器上的击中点坐标.把TGC探测器划分为许多大小相等的方格,事例重建后的击中点坐标落入第*i*个方格的事例数记为 N_i , N_i 中对应TGC探测器有信号输出的事例数记为 N_{ie} ,则该方格的探测效率定义为: $\eta_i = N_{ie}/N_i$.对所有事例进行重建后,可以得到整个探测器探测效率的分布图,从而完成对探测器进行的探测效率扫描.

4 探测效率测试的结果

利用特拉维夫大学的TGC探测器探测效率测试系统,对144个由山东大学研制生产的T9型TGC探测器双层结构单元(288个TGC探测器)进行了探测效率的扫描.

图5为一个典型的TGC探测器阳极丝探测效率扫描的结果,扫描的精度为 $1\text{cm}\times 1\text{cm}$.使用不同的颜色来标识整个TGC探测器探测效率的分布,颜色越浅表示该区域的探测效率越高,例如白色代表该区域的探测效率高于95%,而颜色越深表示该区域的探测效率越低,例如黑色代表该区域的探测效率低于50%(刻度见图右侧).图中与探测器的6根支撑条和70个支撑扣相对应位置的探测效率明显低于周围区域,这是

由TGC探测器的物理结构决定的,将这部分区域定义为探测器的非工作区域.

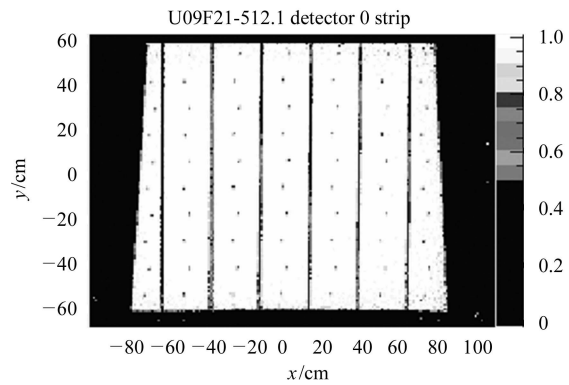


图5 典型的TGC探测器阳极丝探测效率扫描的结果

ATLAS实验的质量标准要求TGC探测器的非灵敏区面积应小于整个探测器的工作区域面积的5%.非灵敏区的定义是:以某一方格($1\text{cm}\times 1\text{cm}$ 的面积单元)为中心,如果邻近的 $5\text{cm}\times 5\text{cm}$ (连续面积超过 25cm^2)区域内每一个方格的探测效率都小于95%,则该方格计为一个非灵敏区.对于工作区域内的所有方格进行统计,可以得到每一个探测器的非灵敏区相对于工作区域面积的比值,该比值是反映探测器品质的重要参数.

探测效率扫描的测试结果表明,目前已经完成探测效率测试的山东大学研制的288个T9型TGC探测器的非灵敏区面积都小于探测器工作区域面积的1%,优于ATLAS实验的设计要求(规定的质量标准是5%),表现出极高的探测效率.

衷心感谢以色列魏兹曼研究所(Weizmann Institute)与特拉维夫大学(Tel Aviv University)高能物理实验室在TGC探测器的研制与探测效率测试过程中提供的帮助.

参考文献(References)

- 1 Majewski S et al. Nucl. Instrum. Methods, 1983, **217**: 265
- 2 Mikenberg G. Nucl. Instrum. Methods, 1988, **A265**: 223
- 3 Nagai Koichi. Nucl. Instrum. Methods, 1996, **A384**: 219
- 4 ZHU Cheng-Guang, FENG Cun-Feng, SUN Yan-Sheng et al. Journal of Shandong University, 2003, **38**(3): 76(in Chinese)
(祝成光, 冯存峰, 孙延生等. 山东大学学报, 2003, **38**(3): 76)
- 5 JIN Ge, YANG Tao, PENG Cheng-Zhi et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2002, **22**(2): 126(in Chinese)
- 6 FENG Cun-Feng, YAN Zhen, ZHU Cheng-Guang et al. HEP & NP, 2005, **29**(1): 50(in Chinese)
(冯存峰, 闫真, 祝成光等. 高能物理与核物理, 2005, **29**(1): 50)
- 7 Etzion E et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., 2004, **51**: 2091—2096
- 8 Santiard J C et al. CERN-ECP/94-17, 1994

Development of T9 Type Thin Gap Chamber and Measurement of the Detection Efficiency^{*}

YAN Zhen¹⁾ FENG Cun-Feng ZHU Cheng-Guang SUN Yan-Sheng ZHANG Nai-Jian HE Mao

(School of Physics and Microelectronics, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract The development and production of 400 sets of T9 type TGC (Thin Gap Chamber) for ATLAS experiment are undertaken by Shandong University. In this paper, the process of development of T9 type TGC is introduced first and then the method of measuring the detection efficiency of the TGC is described. The testing result of detection efficiency of 288 sets of T9 type TGC built by Shandong University shows that all the detectors excellently fulfill the quality requirements of ATLAS experiment.

Key words thin gap chamber(TGC), test bench, scanning of detection efficiency, inefficiency region

Received 11 April 2005, Revised 6 July 2005

^{*}Supported by National Natural Science Foundation of China(00501140)

1) E-mail: yanz@hepg.sdu.edu.cn