

窄间隙室探测器性能测试*

冯存峰^{1; 1)} 闫真¹ 祝成光¹ 王所杰¹
吕太国² 孙延生¹ 何璿¹

1(山东大学物理与微电子学院 济南 250100)
2(烟台大学光电信息科学技术学院 烟台 264005)

摘要 山东大学承担 ATLAS 实验 T9 型窄隙室 TGC 探测器的研制任务,本工作测量了 TGC 探测器在 3200V 工作电压下的稳定性、漏电流和坪曲线,同时在相同工作条件下、相同时间间隔内测量各信号道的计数率的一致性.初步测量结果表明,由山东大学研制的 T9 型 TGC 探测器的各项性能指标达到实验设计要求.

关键词 TGC 探测器 漏电流 坪曲线 信号道计数率一致性

1 引言

ATLAS(A Toroidal LHC ApparatuS)实验装置将建造在欧洲核子研究中心(CERN)大型强子对撞机 LHC(Large Hadron Collider)一个对撞点上,其主要物理目标是寻找希格斯粒子.该实验装置呈圆筒形,其最外层为 μ 子触发系统,端盖部分的 μ 子触发装置为窄间隙室 TGC(Thin Gap Chamber),是 ATLAS 实验的第一级触发探测器^[1].

TGC 探测器是多丝正比室的一种,山东大学研制的 T9 型 TGC 探测器是双层结构单元,梯形形状,由两个 TGC 探测器单元组成,其结构如图 1 所示.阴极板为内表面喷有石墨的 G10 板,石墨面电阻约为 $1\text{M}\Omega/\square$,G10 板的外表面覆铜,两个探测器单元相对的覆铜面沿垂直丝的方向裁割成宽度不等的铜条,作为阴极信号读出条.阴极板间距为 2.8mm,中间为直径 $50\mu\text{m}$ 、间距 1.8mm 的镀金钨丝构成的阳极平面,阳极平面与阴极板间距 1.4mm,比丝间距窄,所以称为窄隙室 TGC.根数不等的一组丝并联成一个阳极信号道,一个 TGC 探测器不同信号道的阳极丝通过 $10\text{M}\Omega$ 电阻并联,与高压电源正极相连,

阴极石墨面接地,阳极信号在丝的另一端通过高压隔直电容按组读出.

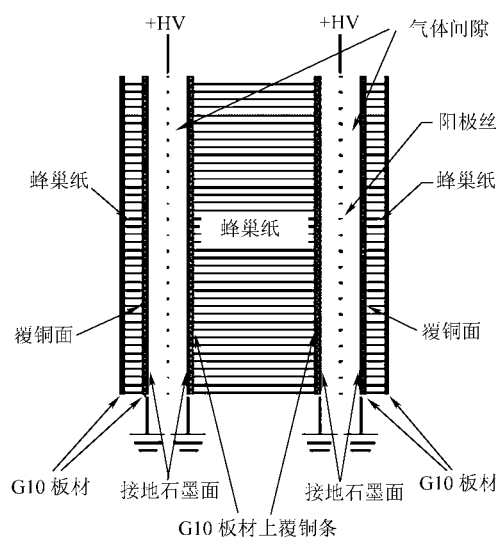


图 1 TGC 探测器双层结构单元结构图

TGC 探测器阴极信号道与阳极丝信号道垂直,

2004-04-12 收稿,2004-06-27 收修改稿

* 国家自然科学基金(00501140)资助

1) E-mail: fengcf@sdu.edu.cn

可以给出击中点的二维坐标. 探测器的工作气体为二氧化碳与正戊烷的混合气体. 液态正戊烷放在 17°C 恒温容器中, 通入二氧化碳即可获得混合气体, 二氧化碳与正戊烷混合体积比为 $55\%:45\%$. TGC探测器的工作电压为 3kV . 所有信号通过前端电子学 ASD (Amplifier Shaper Discriminator) 转换为低压差分信号 LVDS (Low Voltage Difference Signal) 信号^[2]输出, 该信号具有抗干扰能力强、功耗低的特点.

山东大学为 ATLAS 实验的合作单位, 承担 400 个 T9 型 TGC 探测器的研制工作, 目前已完成部分探测器的研制, 本文主要介绍该型探测器部分性能测试和质量检测结果.

2 探测器高电压考验与漏电流监测

TGC 的阳极丝面与阴极面的间距很窄 (1.4mm), 有效工作区域面积大 (约 2m^2), 每个 TGC 的阳极丝约有 700 余根 (丝间距 1.8mm), 且工作在高电压下, 容易产生放电现象, 因此对探测器的漏电流检测要求较高. 为了保证探测器在正常工作电压时暗电流较小, 探测器组装成后要进行长时间高电压考验. 高压考验步骤为: 探测器首先通入工作气体连续冲洗 48 小时, 排出探测器器体间隙内的氧气、水蒸气和可能存在的尘埃等; 然后在持续通入新鲜工作气体的条件下, 加 3200V 的电压, 要求探测器连续稳定工作 12 小时以上. 整个探测器的稳定漏电流应小于 $5\mu\text{A}$, 在整个考验过程中, 不能出现电流大于 $15\mu\text{A}$ 、时间长于 1s 的大电流放电现象, 否则需要继续长时间通入工作气体冲洗, 然后重新测试, 直到满足上述条件. 如果用工作气体长时间冲洗后 (1 个月), 漏电流仍较大, 探测器可能存在质量问题, 需要进行修理.

由于探测器数量较多, 且需长时间连续监视漏电流变化情况, 建立了一套基于 NI4351 数据采集卡的漏电流监测系统^[3], 该系统可以同时采集多个探测器的漏电流, 漏电流大小可存入计算机. 利用 LabView 软件制作了直观的漏电流实时记录界面, 同时监视和记录多个探测器的漏电流随时间的变化.

285 个 TGC 探测器已经通过高电压考验, 探测器漏电流大小分布如图 2. 由图可见, 所有探测器经过高压考验后的漏电流都小于 $1\mu\text{A}$, 大部分探测器的漏电流在 $0.1\text{--}0.3\mu\text{A}$ 左右, 表明探测器的在高电压下工作稳定, 漏电流很小, 满足设计要求.

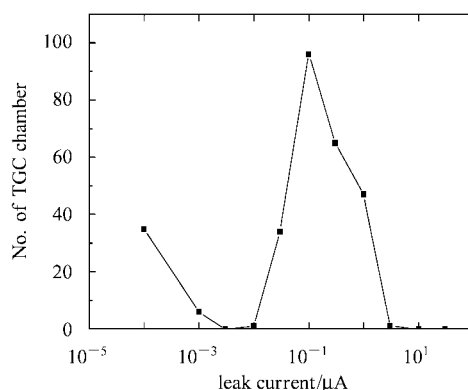


图 2 TGC 探测器工作在 3200V 电压下的漏电流分布

3 探测器坪和计数率一致性测量

3.1 测试系统原理

利用宇宙射线检验探测器基本性能是一种常用方法, 到达地面的宇宙线的数量和方向在某一时刻是随机的, 但在足够长的时间内, 通过单位面积的粒子的数目涨落比较小, 因此宇宙射线可看作一个流强恒定的信号源. 本工作利用宇宙射线作信号源, 但未加符合测量系统, 因此, 测量探测器在宇宙线照射下的单计数率仅可检验探测器工作状态和在一定程度上反映探测效率.

TGC 的信号分别从相互垂直的阳极丝和阴极条通过前端电子学放大成形甄别器 (ASD) 读出, 每个 ASD 板有 16 个信号道, 每个通道由前置电荷灵敏放大器、主放大器、基线恢复器和甄别器构成. 前置电荷灵敏放大器增益为 $0.8\text{V}/\text{pC}$, 经主放大器 (增益为 7)、甄别器输出 LVDS 信号. 每个 ASD 板需要一个 $\pm 3.3\text{V}$ 的工作电压和甄别器的阈值电压.

中国科技大学研制的 TGC 信号读出系统, 可同时为 4 个 ASD 板提供电源和阈值电压, 同时读入 4 个 ASD 板 128 路 LVDS 信号, 并对每一信号道在设定时间段内计数, 计数结果自动存入计算机. 本工作利用该系统测量了组装后的探测器在宇宙线照射下的单计数率.

3.2 探测器前端电子学甄别器阈值的设定

ASD 板除了需要一个 $\pm 3.3\text{V}$ 的工作电压, 还需要设定 ASD 板甄别器的阈值电压, 过滤探测器噪音产生的信号. 为了选择合适甄别阈值电压, 探测器

充入工作气体,在 2900V 工作电压下,改变 ASD 板阈值电压,测量探测器单计数率随阈值电压的变化,计数测量时间为 150s,得到结果如图 3 所示. 由图可见,当 ASD 的阈值电压小于 40mV 时,计数率很高,这些计数主要是由探测器的噪音产生的;当阈值电压超过 40mV,计数率迅速下降,表明大部分探测器噪音信号被滤掉;当阈值电压超过 60mV 时,计数基本不再随阈值电压变化,所探测到的信号主要是由宇宙线击中 TGC 探测器后产生的真实信号. 所以探测器前端电子学甄别阈水平小于 60mV,达到 TGC 探测器的设计要求. 实际测量中,ASD 的阈值电压应大于 60mV,后面的测量工作均使用 100mV 作为阈值电压.

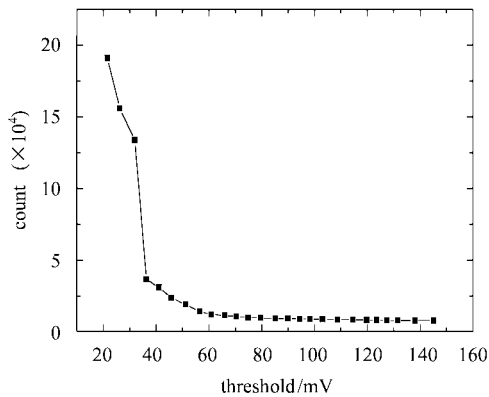


图 3 TGC 探测器的单计数率随 ASD 阈值电压的变化

3.3 单计数率坪

TGC 探测器工作原理与多丝正比室相似,为了测量 TGC 探测器的坪曲线,探测器内通入工作气体,用中国科技大学提供的 TGC 信号读出系统对探测到的宇宙线信号进行计数率测量,计数测量时间均为 300s,测量得探测器的单计数率随工作电压的变化如图 4 所示. 由图可见,TGC 探测器在宇宙射线的照射下,当工作电压低于 2400V 时,计数率很低,电压超过 2400V,计数率迅速增加;工作电压超过 2800V 后,计数率增速变慢,表明探测器已经进入坪区;在坪区内单计数率仍然随工作电压的升高而有所上升,这一特点与其他类型气体探测器测量结果一致^[4],这主要是由于在单计数实验中,宇宙线粒子入射角度相差很大,存在大角度斜入射现象,宇宙射线在探测器中经过的路程长短不同,在探测器中原初电离差别很大,导致输出信号幅值差别也较大,小信号随工作电压升高幅值增加,超过阈值电压而

被计数,另外,噪声信号随电压增大过阈的比例增加以及电极平面均匀性与平行度差等也是重要原因.

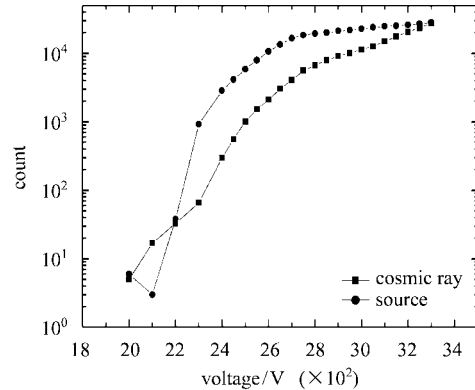


图 4 TGC 探测器的在宇宙射线(■)和¹³⁷Cs 放射源(●)照射下的计数率随探测器工作电压的变化

放射源 ¹³⁷Cs 是典型的 γ 放射源,其能量为 0.622MeV,用活度为 2.5 μ Gi 的 ¹³⁷Cs 照射 TGC 探测器,大部分 γ 射线没有任何作用地通过探测器,但少数 γ 射线可通过光电效应和康普顿散射等过程在器壁内和工作气体中产生次级带电粒子而被探测器检出. TGC 探测器对 γ 射线的探测效率较低,约为 1%^[5].

用加放射源后的计数结果减掉原来宇宙射线的计数结果,即可得到由放射源在该信号道产生的计数率,结果同样见图 4. 放射源的 γ 射线在探测器中产生次级电子,次级电子在灵敏层的探测效率几乎达 100%^[5]. 由于 γ 射线经过准直,产生的次级电子相对宇宙线大角度斜入射事例较少,所以 γ 射线源的计数率曲线在工作电压达 2800V 后明显变平坦,进一步表明 TGC 探测器的坪曲线的始点为 2800V. 工作电压从 2800—3300V,探测器的计数率无明显变化,表明探测器的坪宽超过 500V.

3.4 各信号道计数率一致性检验

由于宇宙射线近似认为是流强恒定的粒子源,则相同时间间隔内、有效探测面积相同的信号道得到的计数如果一致,则在某种程度上表明其探测效率一致. 若某一道信号的计数率异常地高或低,这说明该信号道对应的部分探测器探测效率偏离正常值或噪音信号太多或存在工作不正常的其他原因,探测器存在质量问题,需要进行维修.

为了检测探测器的相对探测效率的一致性,探测器加 2900V 工作电压,测量 TGC 探测器不同信号

道的单计数率,计数时间同样均为 300s。图 5 是一个 TGC 单元在 2900V 工作电压下、300s 时间内的不同信号道的测量计数结果,由图可见,该探测器每一信号道的计数率基本一致,但阴极条(strip)第 1, 64 道和阳极丝(wire)第 1, 33 道计数率偏低,这是由于这几道信号对应的有效探测面积比其他信号道窄;另外阳极丝的 1—32 道和 33—64 道的计数率有逐渐上升的趋势,这是由于每个阳极丝信号道对应的一组阳极丝根数逐渐增加,信号道对应有效面积逐渐变宽造成的,与探测器结构相符。

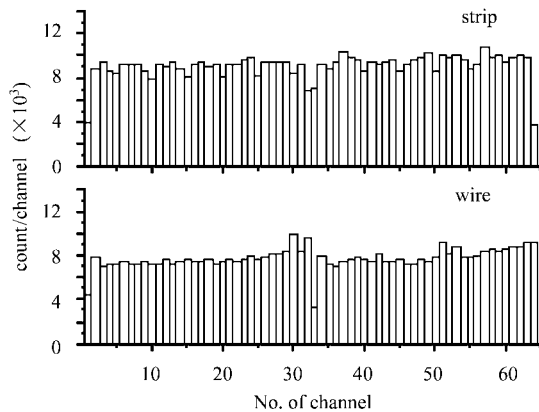


图 5 一个 TGC 单元在 2900V 电压下,300s 内测得的每一信号道的计数
上图为阴极条(strip)信号计数;下图为阳极丝(wire)信号计数

我们对已经研制好的 50 个探测器分别进行了计数的测试,测试条件同样为:工作电压 2900V,计数时间 300s。比较不同探测器相同信号道(具有相同有效探测面积)的计数率,得到每一道计数的相对误差分布如图 6 所示,由图可见,大部分信号道计数的相对误差小于 5%,最大误差小于 10%,所有已测量探测器的计数率基本一致,表明所有已经测量的探测器的探测效率是大致相同的。

利用上面的方法仅能得到每一信号道平均计数率,但每一信号道大约覆盖了 $4 \times 120\text{cm}^2$ 面积的探测

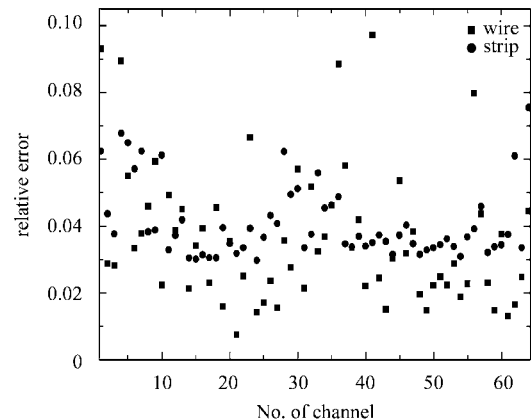


图 6 TGC 探测器每一个信号道的相对误差分布

器,要测定探测器每一点的探测效率,需要触发系统和精确的定位系统,由于建立该系统的成本较高,我们研制的探测器全部运到以色列进行定点探测效率测试。现有部分探测器已经运往以色列进行测试,测试结果表明,所有探测器的探测效率完全达到设计要求。

4 结语

测试结果表明,我们研制的探测器,在 3200V 的工作电压下,工作稳定,漏电流很低,均低于 $1\mu\text{A}$ 。探测器的前端电子学噪音水平低于 60mV,坪曲线的起始电压约为 2800V,坪宽达 500V。以色列的探测效率扫描结果进一步表明,由山东大学研制的 TGC 探测器所有信号道的探测效率基本一致,完全达到设计要求。

衷心感谢以色列 WEIZMANN 研究所在探测器研制过程中提供的支持和帮助,感谢中国科技大学的虞孝麒、金革教授为我们提供的探测器信号采集和计数系统。

参考文献 (References)

- 1 Nagai Koichi. Nucl Instrum Methods, 1996, **A384**:219
- 2 JIN Ge, YANG Tao, PENG Cheng-Zhi et al. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2002, **22**(2):126(in Chinese)
(金革, 杨涛, 彭承志等. 核电子学与探测器技术, 2002, **22**(2):126)
- 3 LÜ Tai-Guo, FENG Cun-Feng. Journal of Yantai University (Natural Science and Engineering Edition), 2003, **16**(2):153(in Chinese)
(吕太国, 冯存峰, 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2003, **16**(2):153)
- 4 ZHANG Jia-Wen, LI Ru-Bai, DU Zhi-Zhen. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2003, **27**(11):1019(in Chinese)
(张家文, 李如柏, 杜志珍. 高能物理与核物理, 2003, **17**(11):1019)
- 5 Tsuno S, Kobayashi T, Ye B. Nucl Instrum Methods, 2002, **A482**:667

Measurement of the Performance of TGC Detectors*

FENG Cun-Feng^{1;1)} YAN Zhen¹ ZHU Cheng-Guang¹ WANG Suo-Jie¹LÜ Tai-Guo² SUN Yan-Sheng¹ HE Mao¹

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

2 (School of Science and Technology for Opto-Electronic Information, Yantai University, Yantai 264005, China)

Abstract Shandong University is in charge of the research and production of T9 type TGC (Thin Gap Chamber) detectors for ATLAS experiment. In this paper, the stability and the leak current of the detectors working at 3200V voltage were measured, and the plateau curves of the detectors were measured too. The counting rate of each channel was measured with same working condition and counting time interval for all the TGC detectors, in order to check the consistency of all signal channels. The performance of T9 type TGC detectors produced by Shandong University has met the requirement of the ATLAS experiment according to the preliminary results of measurement.

Key words TGC detector, leak current, plateau curve, consistency of counting rate