

基于 GEM 读出的 TPC 工作气体的研究^{*}

曹良俊^{1,1)} 李玉兰¹ 来永芳^{1,2} 李金^{1,3} 李元景¹

1 (清华大学工程物理系 北京 100084)

2 (防化指挥工程学院 北京 102205)

3 (中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 针对 TPC 中对于电子漂移的要求, 结合 Garfield 软件, 研究了我们所研制的 TPC 原型所用的工作气体. 分析了不同气体对于电子漂移的寿命、漂移速度、横向和纵向扩散, 以及电离特性等参数的影响; 结合分析论证, 得到了以 Ar, CH₄ 和 CF₄ 为主要成分的气体作为工作气体时 TPC 的性能指标. 并且测试了该气体中的读出 GEM 探测器的能量分辨率、气体增益等性能参数, 获得了很好的结果.

关键词 GEM TPC 工作气体 电子漂移 电子扩散 气体电离 电子寿命

1 引言

TPC (Time Projection Chamber, 时间投影室) 的结构和原理是由 D.R.Nygren 首先提出来的, 当时的 TPC 由正比室和漂移室组成, 基本结构如图 1. 该 TPC 的漂移室半径为 1m, 长 2m, 内充 10atm 的氩气和甲烷的混合气体, 并加有平行于 z 向的电场和磁场, 圆柱漂移室的两端由 6 个扇区的多丝正比室读出, 每一个扇区有 183 根正比信号丝用于径迹的多次测量, 用分成 pad 的阴极感应条来确定 φ 方向的位置, 而径向位置则由阳极丝的位置来确定, 利用电子漂移到端盖探测器的时间得出 z 方向位置坐标就可以实现电离径迹的空间重建, 得到径迹的三维坐标信息^[1].

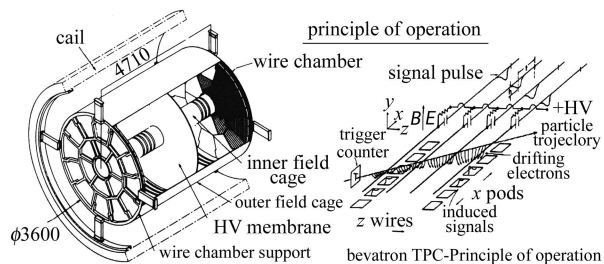


图 1 TPC 的结构和工作原理图^[1]

TPC 能够精确地定位粒子径迹的三维信息, 磁场

的加入, 使带电粒子的轨迹发生弯曲, 通过测量曲率半径, 就能得出粒子的动量 p , 再加上 dE/dx 信息, 则可实现粒子鉴别. 很多大型储存环和直线加速器都使用 TPC 作为其主要的径迹探测装置.

传统 TPC 的端部多采用多丝正比室 (MWPC, Multi-Wire Proportion Chamber) 作为读出探测器, 如 BNL 的 STAR 探测器、LHC 的 ALICE 等. 近年来, 随着 GEM (Gas Electron Multiplier, 气体电子倍增器件) 等微结构探测器研究的进展, GEM 探测器逐步应用于 TPC, 作为其端盖读出探测器. GEM 探测器作 TPC 的端盖读出有如下优点^[2-4]:

- (1) 读出 pad 设计灵活;
- (2) 不需要拉丝, 结构更加稳固;
- (3) 高计数率, 大于 $10^5/s \cdot mm^2$ 情况下能够稳定地工作;
- (4) 收集信号的速度快, 没有离子收集过程中的长尾巴;
- (5) 读出探测器部分的电场不会影响到漂移区电场的均匀性.

目前, 清华大学辐射物理及探测实验室正在研制基于 GEM 探测器读出的 TPC 的原型. 主要设计指标列在表 1 中. 图 2 是该 TPC 的结构示意图. 其漂移区的长度为 500mm, 灵敏面积为 $100mm \times 100mm$.

2006 - 07 - 19 收稿

^{*} 国家自然科学基金(10575063)资助

1) E-mail: caolj@mails.tsinghua.edu.cn

表 1 GEM-TPC 部分设计指标

| 灵敏面积(x - y) | 高度 | xy 坐标分辨率 | z 坐标分辨率 |
|-------------------|-------|------------|-----------|
| 100mm×100mm | 500mm | ~0.5mm | ~1mm |

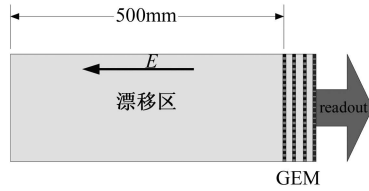


图 2 GEM-TPC 原型结构示意图

能否达到以上的设计目标, 一个很关键的因素是探测器工作气体能否满足需要, 如果工作在没有磁场的情况下, 更加需要合理地选择气体的组分, 以保证能够获得好的分辨率指标。

2 选择工作气体的原则

为了保证由高能粒子电离产生的电子在电场的作用下能够以接近恒定的速度漂移到端部的 GEM 探测器上, 选择 TPC 的工作气体时需要考虑以下因素:

- (1) 电子漂移的寿命;
- (2) 电子的漂移速度;
- (3) 电子横向和纵向扩散;
- (4) 气体中的电离;
- (5) GEM 探测器工作在该气体中的性能。

3 电子的漂移寿命

电子在漂移的过程中能量较低, 其数目减少的主要原因是和某些气体分子发生了吸附作用, 并形成稳定的负离子. 对于惰性气体和大部分有机气体, 只有当碰撞能量在几个 eV (高于电子在漂移过程中获得的能量) 以上时才能形成稳定的负离子, 因此不太可能吸附电子; 而电负性气体则可以在较低的碰撞能量下形成稳定的负离子, 发生吸附作用使得电子的寿命缩短, 如氧气和卤素气体^[5].

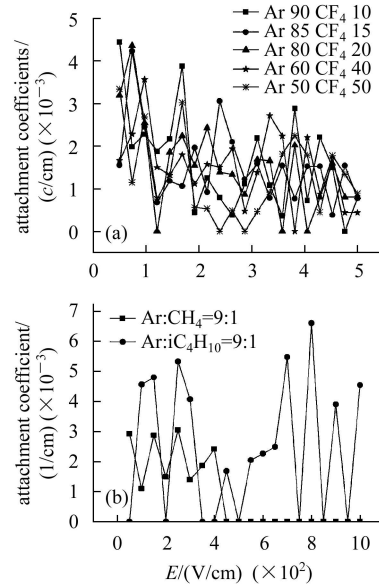
在弱电场 (1000V/cm 以下) 的情况下, 可以认为热电子的平均速度为 $\mu_e \approx \sqrt{3kT/m_e}$. 设在气体中电子的俘获率为 P_a , 单位时间的碰撞次数为 n_s , 那么电子平均寿命 (被俘获所需平均时间) $t_a = 1/(P_a n_s)$. 电子在不同气体中的具体参数参见表 2.

为了保证电子漂移的寿命足够长, 需要对 H_2O 和 O_2 进行专门的过滤, 但还是不可避免地会在漂移区内出现微量的这些气体. 以 O_2 为例, 图 3 表示在 O_2 含量为 10ppm, 电场强度 $E=200V/cm$ 的条件下, Ar 和

CH_4 混合气体中该微量 O_2 对于吸附系数的影响, 其中吸附系数定义为单位距离上电子被吸附的几率.

表 2 部分电负性气体的参数^[1]

| 气体 | P_a | n_s/s^{-1} | t_a/ns |
|----------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| CO_2 | 6.2×10^{-9} | 2.2×10^{11} | 7.1×10^5 |
| O_2 | 2.5×10^{-5} | 2.11×10^{11} | 190 |
| H_2O | 2.5×10^{-5} | 2.8×10^{11} | 140 |
| Cl_2^- | 4.8×10^{-4} | 4.5×10^{11} | 5.0 |

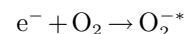
图 3 微量 O_2 (10ppm) 在混合气体中的吸附系数 (N.T.P.G)¹⁾

在 Ar 和 CF_4 不同的配比下, 10ppm 的 O_2 的吸附被限制在一个较低的水平. 从图 3(a) 中看出在电场为 200V/cm 时, 吸附系数约为 0.003/cm, 则在整个 50cm 的漂移路径上由于发生吸附而损失的电子占电离产生的电子的比例为

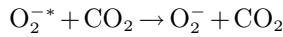
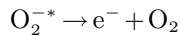
$$P = 1 - e^{-\eta L} = 1 - e^{-0.003 \cdot 50} = 1 - e^{-0.15} = 0.14 < 15\%,$$

可见对于含 CF_4 的混合气体中氧气的吸附能力限制在较低的水准, 该吸附系数下的平均吸附距离为 $\lambda = 1/\eta = 1/0.3m = 3.3m$, 大于文献 [6] 中 TPC 的平均吸附距离 (2.4m), 这样的气体比较适合 TPC 的漂移区, 而实际操作中能够将 O_2 含量降低到几个 ppm 以下, 以保证因吸附而损失的电子在 10% 以下, 图 (b) 说明 CF_4 和 C_4H_{10} 具有相似的性质.

然而, 如果气体中含有 CO_2 , 则会大大地增加氧气的电子的吸附能力. 主要原因是 CO_2 能够加快吸附电子后的 O_2 的退激^[7]. 具体的原理如下



1) N.T.P 表示 Normal Temperature and Pressure, .G 表示 Garfield 软件模拟结果



T2K TPC 的设计小组计算了 CO₂ 和 Ar 的混合气体在不同浓度配比下, 分别造成 20% 和 40% 的电子损失所需要的 O₂ 浓度, 如表 3, 这些计算结果表明, 随着 CO₂ 的含量的增加, 微量 O₂ 的吸附能力也随着急剧增加, 这是不利于 TPC 中电子的漂移的. 因此, 在 TPC 漂移区中应尽量少用 CO₂, 同时应在进气口和出气口做好对氧气的密封.

表 3 CO₂ 中造成 20% 和 40% 电子损失所需氧气^[7]

| CO ₂ | E/(V/cm) | O ₂ (ppm)(20% loss) | O ₂ (ppm)(40% loss) |
|-----------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|
| 10 | 200 | 13 | 29 |
| 10 | 400 | 31 | 71 |
| 20 | 400 | 7 | 16 |
| 30 | 400 | 3 | 7 |
| 100 | 400 | 0.2 | 0.5 |

4 电子的漂移速度

TPC 对电子漂移速度大小的要求因不同的 TPC 要求而异: 某些 TPC 应用的环境事例率高, 则需要电子漂移快; 而对于其他一些 TPC, 电子漂移速度则可能受到读出探测器及后续电子学的限制. 对于目前清华大学正在建造的 TPC 而言, 希望电子在气体的漂移速度尽量快一点, 以有利于提高系统的事例率. 此外, 更为重要的要求是电子的漂移速度对于电场、温度等因素的依赖尽量小, 这样就能够保证在漂移的过程中电子速度基本恒定, 有利于提高 z 方向的位置测量精度.

电子以饱和速度在气体中漂移时对于电场的依赖最小, 因此希望气体在较低的电场强度下就能使电子漂移速度达到饱和, 这样一方面有利于电场的设计; 另一方面利于系统的稳定工作, 而不至于因为电场太高而发生打火. 对于目前研制的 TPC 原型, 将漂移区电场强度限定在 300V/cm 以下.

通过模拟不同的气体组分中电子的漂移过程, 得到了 CH₄, CF₄, CO₂ 和惰性气体不同配比情况下的漂移速度曲线, 如图 4 所示.

从图 4(a) 中可以看到, 在 Ar 和 CF₄ 的混合气体中, 随着 CF₄ 的浓度的增加, 电子漂移达到饱和速度时的电场强度也不断增加. 这是 CF₄ 混合气体的不利因素之一, 但是其饱和速度的数值比较大, 达到了 9cm/μs, 这有利于提高 TPC 的最大事例率.

从图 4(b) 中可以看到, 在 Ar 和 CH₄ 的混合气体中, 随着 CH₄ 的浓度的增加, 电子漂移的饱和速度也

不断地增加, 但是饱和速度所对应的电场强度并没有明显增加, 且在较低的电场下含 CH₄ 的混合气体中电子就能达到饱和速度. 但是在 CH₄ 浓度较低(10% 以下) 时, 电子漂移的饱和速度较小.

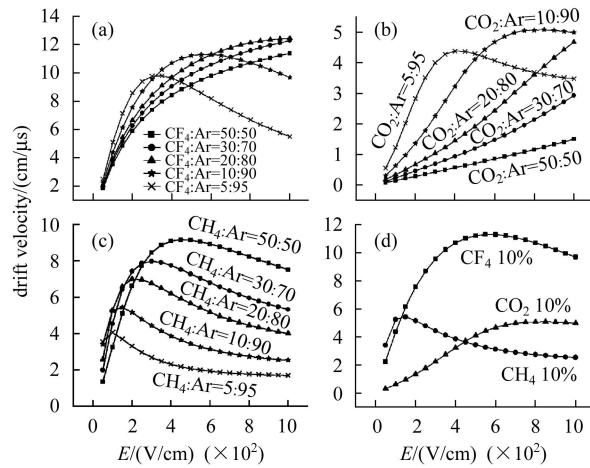


图 4 Ar 和 CO₂, CF₄, CH₄ 等混合气体不同配比下电子漂移速度曲线(N.T.P.G)

图 4(c) 中是 Ar 和 CO₂ 混合气体的情况. 可以看出含 CO₂ 的混合气体的漂移速度较慢, 并且饱和速度出现时的电场都比较大. 同时, 考虑到电子寿命的问题, 在混合气体中应尽量避免使用 CO₂.

图 4(d) 将三者进行比较, 选择各自和 Ar 气的配比均为 10:90, 在相同的条件下, 随着电场的增加, 含 CH₄ 的气体中的电子最先达到饱和速度, 而含 CF₄ 的气体的漂移速度最快.

图 5 是不同的三元气体的漂移速度特性(考虑到扩散, 加入了含异丁烷的气体). 可以看到, 从模拟结果来看, 这些气体的饱和速度大都出现在 200V/cm 左右, 速度最大的为 8cm/μs, 最小的为 6cm/μs 左右. 这些混合气体都能满足目前的设计需要: 低电场下饱和, 漂移速度较快等.

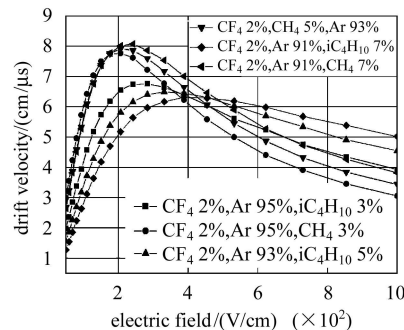


图 5 不同配比三元气体中漂移速度曲线(N.T.P.G)

5 电子的扩散

电子的扩散分为纵向扩散和横向扩散, 其中纵向扩散会影响端盖探测器对电子的收集, 会对粒子时间信息的测量带来一定影响. 电子云的纵向扩散会造成信号定时的游动, 进而影响 z 方向的空间分辨率^[8, 9].

设 $E=300\text{V/cm}$, 由图6可知, 漂移系数 $\sigma_1 \approx 200\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}}$, 漂移距离 $L=50\text{cm}$, 则纵向扩散 $\Sigma_1 = \sigma_1 \cdot \sqrt{L} \approx 200 \cdot \sqrt{50} \approx 1414\mu\text{m}$ 即 z 方向由扩散引起的定位误差最大值约为 1.5mm , 略高于设计的指标 (1mm), 但这是最差的情况, 具体的影响需要实验来确定.

从图6中可以看出不同气体中的纵向扩散几乎没有区别, 因此纵向扩散不是气体研究的重点.

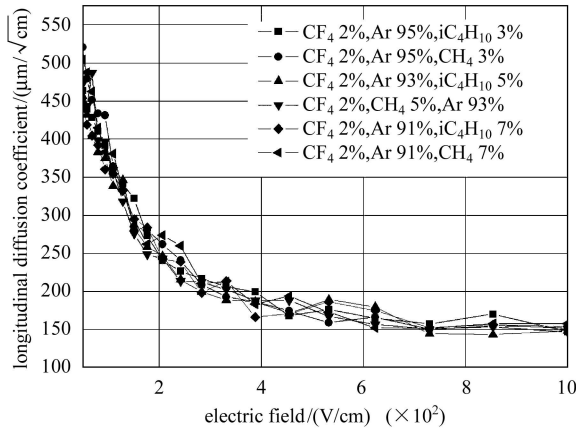


图 6 不同配比三元气体中电子纵向扩散(N.T.P.G)

气体中电子的横向扩散是造成 $x-y$ 平面空间定位误差的主要原因. 一方面如果扩散太小, 大部分的电荷信号被一个读出 pad 收集, 那么其最高分辨率不可能超过一个 pad 的几何参数, 而由于电子学的限制, 单个 pad 不可能做得太小 (目前设计的 pad 大小为 $1.6\text{mm} \times 10\text{mm}$), 因此不利于空间分辨率的提高. 另一方面, 如果扩散太大, 虽然可以应用重心法提高精度, 但由于电子云团扩散太开, 造成单个 pad 信噪比太小, 给后级的电子学带来了难度, 不能保证分辨率的提高. 综合上述两个方面, 希望扩散后的电子团能够覆盖两到 3 个读出 pad, 然后利用重心法进行定位. 在目前研制的 TPC 原型中没有加入与电场平行的磁场, 不能利用磁场对于横向扩散的约束作用, 并且漂移区的长度较大 (500mm), 所以目前 TPC 原型的设计必须减小横向扩散.

TPC 原型读出 pad 的几何尺寸为 $1.6\text{mm} \times 10\text{mm}$, 设在 x 方向有两个 pad 上有信号, 即: 横向扩散 $\Sigma_t = 2\sigma_t \cdot \sqrt{L} \approx 3000\mu\text{m}$, 横向扩散系数 $\sigma_t \approx 3000/2\sqrt{L} \approx$

$210(\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}})$.

以上估算表明只要气体的横向扩散系数在 $210\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}}$ 左右就基本能够满足要求. 应用 Garfield 模拟了不同的气体和配比情况下的横向扩散系数, 见图 7.

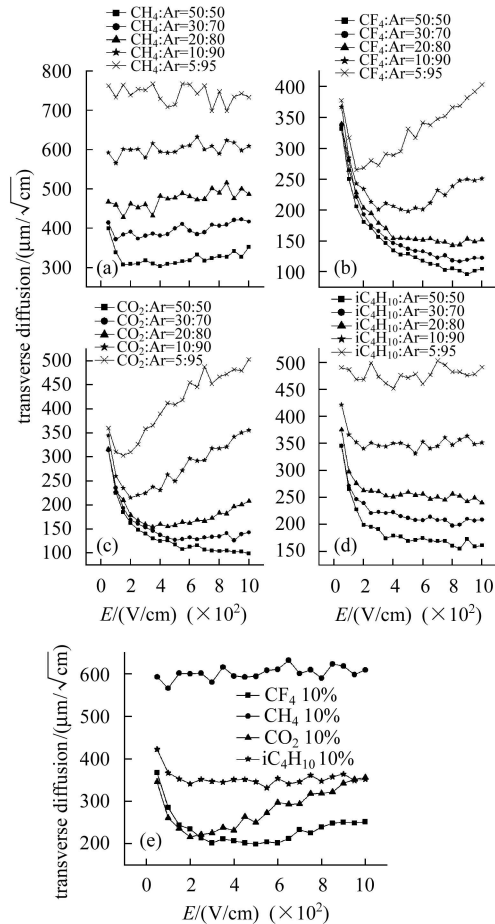


图 7 不同气体配比中电子的横向扩散(N.T.P.G)

从图中可以看到, 不管是 CF_4 , CH_4 , CO_2 还是异丁烷, 增加它们在气体中的份数都能减小电子的横向扩散系数, 其中含 CH_4 的气体的横向扩散的减小最为明显. 将 4 者进行横向比较, 选择各自和 Ar 气的配比均为 10:90, 得图 7(e). 从图中可以看出在 TPC 漂移区的电场 ($\sim 200\text{V/cm}$ 处) 附近, CO_2 和 CF_4 的横向扩散在几种气体中是最小的, 并且在整个模拟的电场区间中 CF_4 的横向扩散都保持在较低的水平 ($200\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}}$), 能够满足我们的需要 ($< 210\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}}$).

6 气体的电离特性

当带电粒子通过气体时, 电离出的自由电子和离子对数取决于原子序数、气体密度和气体的电离能, 以及入射粒子的能量和电荷. 整个电离的过程可以分

成初级电离和次级电离两个过程. 单位距离初级电离产生的电子离子对为 N_p , 初级电离产生的电子离子对能量比较高, 能够进一步发生次级电离, 整个电离过程产生的电子离子对为 N_t . N_t 和 N_p 都取决于入射粒子的能量和电荷, 同时也和气体组分相关. 文献[10]中列出了不同气体在最小电离条件下的 N_p 和 N_t 的值, 以及该气体每产生一对电子离子对所需要的平均能量 w_i , 最小电离时入射粒子单位距离能量的损失 dE/dx 等参数.

对于混合气体, N_t 和 N_p 的计算, 只要分别计算各自的气体然后按气体配比进行加权平均就可以. 对于同样的气体密度, 由较轻的元素组成的气体初级电离产生的电子对较多.

dE/dx 的大小在 TPC 中直接反映在端盖读出探测器的读出信号的大小. 最小电离情况下异丁烷的初级电离系数最大, 为了增大读出信号, 可以考虑在混合气体中加入适量的异丁烷.

若不考虑端盖 GEM 探测器对于 xy 方向分辨率的影响, 则有 TPC 在 xy 二维平面上的最佳分辨率^[11]为

$$\delta x = \frac{\sigma_t \sqrt{L}}{\sqrt{N_{\text{primary}}}}$$

其中 σ_t 为横向扩散系数, L 为电子漂移的距离, N_{primary} 为探测径迹上初级电离产生的电子数. 对于目前的 TPC 原型而言, $L=50\text{cm}$, 电场选择为 200V/cm , $N_{\text{primary}} = N_p \cdot l$, l 是读出 pad ($1.6\text{mm} \times 10\text{mm}$) 的长度, 近似为 10mm . 由此结合文献[10]则可以算出, 不同的气体中的 N_{primary} 以及最小电离条件下 x 方向的最优分辨率如表 4 所示.

表 4 不同气体中 TPC 原型的最优分辨率 (N.T.P)

| 气体 | N_p | $N_{\text{primary}}/N_p \cdot l_y$ | $\sigma_{\perp}^D/(\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}})$ | $\delta x/\mu\text{m}$ |
|---|-------|------------------------------------|---|------------------------|
| Ar:CO ₂ =9:1 | 24.3 | 24.25 | 215.437 | 309.34 |
| Ar:CH ₄ =9:1 | 24.8 | 24.8 | 600.025 | 851.98 |
| Ar:CF ₄ =9:1 | 25.8 | 25.8 | 234.208 | 326.04 |
| Ar:iC ₄ H ₁₀ =9:1 | 29.1 | 29.1 | 340.484 | 446.31 |

以上结果是对单独的某一排 pad 进行读数. 然后利用重心法定位的最优分辨率, 实际工作中可以利用 N 排 pad 进行径迹联合定位, 此时的定位误差 $\delta x'$ 是表中 δx 的 $1/\sqrt{N}$. 从表 4 中可以看出选择的气体理论上都能够满足 xy 平面定位精度的设计指标.

在此基础上, 进一步研究了混合气体中的电子簇分布和碰撞能量损失的分布. 由于目前实验原型的入射粒子选择为宇宙射线中的 μ 子, 在地面的 μ 子的能量分布的平均值为 4GeV , 因此模拟时选择入射粒子

为能量为 4GeV 的 μ 子.

研究的结果如表 5 表明, 当气体中主要成分都是 Ar 时, 气体中的电离情况差别不明显, 电离的具体细节基本上不影响气体的选择.

表 5 不同气体中 μ 子 (4GeV) 电离特性 (N.T.P)

| 气体 | cluster 能量均值/eV | dE/dx 均值/(eV/cm) | 单位距离上 cluster 数目均值/(1/cm) |
|---|-----------------|--------------------|---------------------------|
| Ar:CO ₂ =9:1 | 70.30 | 2448.87 | 34.83 |
| Ar:CH ₄ =9:1 | 71.04 | 2452.31 | 34.51 |
| Ar:CF ₄ =9:1 | 75.91 | 2873.19 | 37.85 |
| Ar:iC ₄ H ₁₀ =9:1 | 60.98 | 2585.23 | 42.39 |

7 GEM 探测器在 TPC 工作气体下的性能

综合上文各方面的分析, 作为 TPC 原型的工作气体选用了三元混合气: CH₄:CF₄:Ar=7:3:90, 该气体在 $E=250\text{V/cm}$ (此时该气体中电子漂移达到饱和) 下的特性如表 6.

表 6 TPC 的工作气体的特性表 (N.T.P, 模拟和计算)

| 横向扩散系数/ ($\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}}$) | 纵向扩散系数/ ($\mu\text{m}/\sqrt{\text{cm}}$) | 漂移速度 (cm/ μs) |
|---|---|------------------------------|
| 317.708 | 222.075 | 8.79792 |
| 吸附系数/(1/cm) | dE/dx 均值/(eV/cm) | w_i/eV |
| 0 | 2466.49 | 8.91 |

TPC 中漂移区气体同时也将是 GEM 探测器的工作气体, 在保证 TPC 漂移区的工作条件下, 还需要保证 GEM 的性能参数.

我们对该气体下的三层 GEM 探测器^[12]的性能指标进行了测量. 测量中采用的前放为 Ortec 142PC, 主放为 Ortec 572A, 成形时间选择为 $10\mu\text{s}$, 放大倍数为 7 倍, 高压电源为 Ortec 556, 各部分电压大小为

$$V_{\text{Drift}} = V_{\text{Transfer}} = V_{\text{GEM}} = V_{\text{Induction}} = 330\text{V}.$$

图 8 是在上述条件下测出的 ⁵⁵Fe 的能谱.

从图 8 中可以看出, 在该工作气体下 GEM 探测器的能量分辨率能够达到 $24\% @ 5.9\text{keV}$, 基本上等同于文献[11]中使用的混合气, 在能谱中能够很清楚地看见能量为 2.93keV 的 Ar 气的逃逸峰. 经标定, 在该高压条件下, 三层 GEM 探测器的倍增系数约为 3850.

在将 GEM 高压加至 2700V 时, 并没有发生打火等不良现象, 该气体下 TPC 的端盖 GEM 读出探测器工作正常.

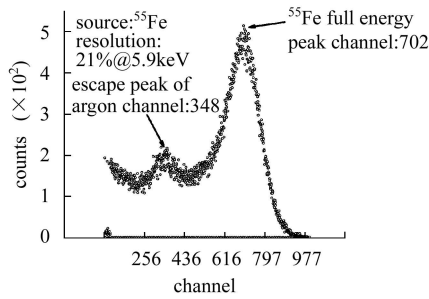


图 8 TPC工作气体中GEM探测器所测 ^{55}Fe 能谱

8 结论

针对TPC中对于电子漂移的要求, 结合Garfield软件, 研究了我们所研制的TPC原型所用的工作气体. 分析了不同气体对于电子漂移的寿命、漂移速度、横向和纵向扩散, 以及电离特性等参数的影响; 结合分析, 得到了以Ar, CH_4 和 CF_4 为主要成分的气体作为工作气体时TPC的性能. 并且测试了该气体中的读出GEM探测器的能量分辨率、气体增益等性能参数.

参考文献(References)

- LI Jin. Handouts for Modern Radiation and Detection. Version 2. Beijing: Tsinghua University, 2005. 76—77 (in Chinese)
(李金. 现代辐射与测量讲义. 第2稿. 北京: 清华大学, 2005. 76—77)
- Kappler S, Bieser F, Kaminski J et al. IEEE TNS, 2004, **51**(3): 1039—1043
- Karlen D, Poffenberger P, Rosenbaum G. Nucl. Instrum. Methods, 2005, **A538**: 372—383
- Kuroiwa H et al. Nucl. Instrum. Methods, 2004, **A516**: 377—389
- Blum W, Rolandi L. Particle Detection with Drift Chambers. Berlin: Springer-Verlag, 1994. 50—97
- Colas P, Giomataris I et al. Nucl. Instrum. Methods, 2004, **A535**: 181—185
- T2K-TPC Group. <http://hepweb.phys.uvic.ca/~karlen/t2k/TPCreport.pdf>
- Cochran W L, Forest W D. Phys. Rev., 1962, **126**: 1785—1788
- Carnegie R, Dixit M, Dubeau J et al. Nucl. Instrum. Methods, 2005, **A538**: 372
- Sharma Archana. <http://www.nikhef.nl/pub/experiments/bfys/lhcb/outerTracker/Documents/Papers/SLAC-JOURNAL-ICFA-16-3.pdf>
- Karlen D. <http://hepweb.phys.uvic.ca/~karlen/t2k/TPCissues.pdf>
- ZHENG Xiao-Cui. The Research of GEM Detector and its Readout System (for a Masters Degree), 2006. 7—10 (in Chinese)
(郑小翠. GEM探测器及其读出系统的研究(硕士论文), 2006. 7—10)

Study of Gas Properties for GEM-Based TPC^{*}

CAO Liang-Jun^{1,1)} LI Yu-Lan¹ LAI Yong-Fang^{1,2} LI Jin^{1,3} LI Yuan-Jing¹

¹ (Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

² (Institute of Chemical Defense, Beijing 102205, China)

³ (Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract TPC is widely used as a tracking detector in many colliding beam experiments. A GEM-based TPC is under construction and the working gases are to be considered. The paper summarizes the transport properties of ionization electrons generated in gas mixtures that are suitable to work in TPC with GEM as its endcap detector. The lifetime of electrons, the drift velocity and diffusion are simulated and investigated, with the help of Garfield. With a theoretical analysis, a gas mixture of Argon, CH_4 and CF_4 is proposed. The performance of GEM with the proposed gas is excellent with regard to the gas gain and energy resolution, which makes it a promising candidate for the future GEM-based TPC.

Key words GEM, TPC, working gases, electron drift, electron diffusion, gas ionization, electron lifetime

Received 19 July 2006

^{*} Supported by National Natural Science Foundation of China (10575063)

1) E-mail: caolj@mails.tsinghua.edu.cn