

# 一个均匀电场漂移室和电子漂移速度的测量

马基茂 毛泽普 周杰 颜浩

(中国科学院高能物理研究所)

## 摘 要

本文描述了一个小型均匀电场漂移室的结构和工作。在电场强度  $E \leq 2.5 \text{ kV/cm}$  的范围内,测量了氦气/甲烷,氦气/异丁烷,氦气/二氧化碳和自淬灭流光四类十三种混合气体的电子漂移速度。讨论了各种气体的特点和应用场合。

## 一、引 言

漂移室是具有高空间分辨率的定位探测器,它通过测量电离电子的漂移时间决定电离事例的空间位置。为了达到漂移室的高空间分辨率,要求准确知道电子漂移速度的数据。在实际使用的漂移室中,单元内的电场分布大多不是完全均匀的。因此,希望选择具有饱和漂移速度的气体,即在某一临界电场强度  $E_c$  以上,具有电子漂移速度保持不变的特性。这样,可以得到简单的漂移时间-漂移距离的线性关系,从而减少校正非线性所需的离线分析的复杂性。

本文描述一个利用小型均匀电场漂移室测量电子漂移速度的实验。在一个大气压上和电场强度  $E \leq 2.5 \text{ kV/cm}$  的范围内,测量了氦气 (Ar)/甲烷 ( $\text{CH}_4$ ),氦气 (Ar)/异丁烷 ( $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ ) 和氦气 (Ar)/二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 三类混合气体中的电子漂移速度曲线。还提出了两种常用的自淬灭流光 (SQS) 气体的测量结果,在尝试把 SQS 放电模式用于漂移室时可以作为参考。

## 二、均匀电场漂移室

图1表明均匀电场漂移室的结构和实验布置。漂移室室体用有机玻璃制成,一个细密的接地网栅(栅丝  $\phi 11 \mu\text{m}$ , 丝距  $0.4 \text{ mm}$ )把室分成两个区域:漂移区和探测区。在网栅和阴极平面间的漂移区内,四周室壁上贴了一层带有等间隔平行铜条的 Kapton 有机膜(铜条宽  $0.6 \text{ mm}$ ,条距  $2.5 \text{ mm}$ )。一个线性电阻分压链连接各铜条上,以成形成均匀的漂移电场。电阻链的线性好于  $1\%$ 。漂移区长  $30 \text{ mm}$ ,通过改变阴极电压 ( $-HV$ ) 可以从外部调节漂移电场值。探测区由网栅和另一接地平面限定,厚  $4 \text{ mm}$ 。阳极丝和接地电位丝分

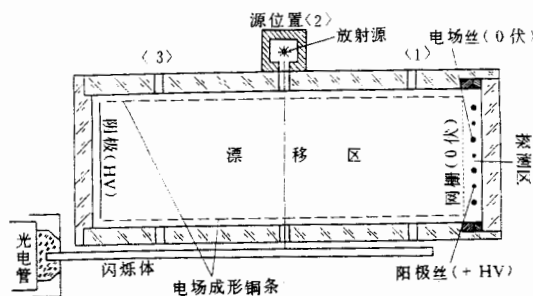


图1 均匀电场漂移室结构和实验布置简图

别为  $\phi 11\mu\text{m}$  和  $\phi 60\mu\text{m}$  的涂金钨丝, 间距 2mm. 在阳极丝上加正高压 (+HV), 收集和放大漂移到阳极丝的电子. 网栅对漂移电子是“透明”的, 同时起到隔离漂移区和探测区电场间相互干扰的作用. 我们用网格法对这一室结构的电场分布作了计算, 证明在使用的漂移区范围内, 电场的均匀性  $< 0.2\%$ <sup>[1]</sup>.

有机玻璃室壁上钻有一组精密的定位孔 ( $\phi 1\text{mm}$ ), 配合铅准直器作为  $^{90}\text{Sr}$  源  $\beta$  射线的入射和出射孔. 一块细条有机闪烁体紧贴出射孔, 通过快光电倍增管 (XP2020) 引出触发信号, 提供零时间参考. 室和闪烁体都固定在一个屏蔽盒内, 快前置放大器直接接在屏蔽盒上, 以减少噪声拾取.

漂移室采用流气式工作. 两种 SQS 气体通过把  $\text{Ar}/\text{CH}_4 = 60/40$  混合气体和  $\text{Ar}/i\text{-C}_4\text{H}_{10} = 50/50$  混合气体分别流经  $0^\circ\text{C}$  的二甲氧基甲烷 ( $\text{CH}_2(\text{OCH}_3)_2$ ) 得到, 后者约占气体总体积的 17%. 各种气体的标称纯度为:  $\text{Ar}-99.99\%$ ,  $\text{CH}_4-99.9\%$ ,  $i\text{-C}_4\text{H}_{10}-99.9\%$ ,  $\text{CO}_2-99\%$ ,  $\text{CH}_2(\text{OCH}_3)_2-99.5\%$ .

### 三、测 量

一个约 5 毫居的  $^{90}\text{Sr}$  源沿漂移路程上的定位孔放置.  $\beta$  射线穿过约  $10\mu\text{m}$  的 Mylar 薄窗射入漂移区, 在气体中产生电离, 然后射入闪烁计数器, 引出零时间  $t_0$  信号. 室中电离电子在漂移电场作用下, 向探测区漂移, 在时刻  $t$  到达阳极丝, 经过雪崩放大而被探测. 对于每个源位置, 测量电离电子的漂移时间  $T = t - t_0$ . 漂移速度  $V_D$  由两个已知的源位置  $S_1, S_2$  和相应的漂移时间  $T_1, T_2$  简单地推算出来:

$$V_D = (S_2 - S_1) / (T_2 - T_1).$$

采用二已知位置相减的相对测量方法, 可以消除探测区不均匀电场和网栅附近二区电场干扰所造成的时间散开, 以及电子学的系统误差.

图 2 表明测试电子学的框图. 一个时间-幅度变换器 (TAC) 用来测量电子的漂移时间  $T$ . 变换后的幅度谱显示在多道分析器上. TAC 和多道分析器的线性均好于 0.5%. 图 3 表明在多道上显示的一次典型测量结果, 给出相应三个已知源位置的漂移时间峰分布. 可以看到, 电子漂移时间平均值和漂移距离保持很好的线性关系, 时间峰的宽度相当空间分辨  $\sigma \approx 0.3\text{mm}$ . 为减小电子仪器随时间漂移的影响, 在每一电场下, 做交替源位置的连续测量, 并用标准电缆经常监测仪器的时间标度, 从而把时间测量误差尽可能减小.

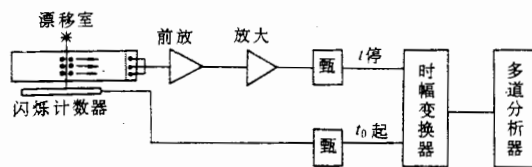
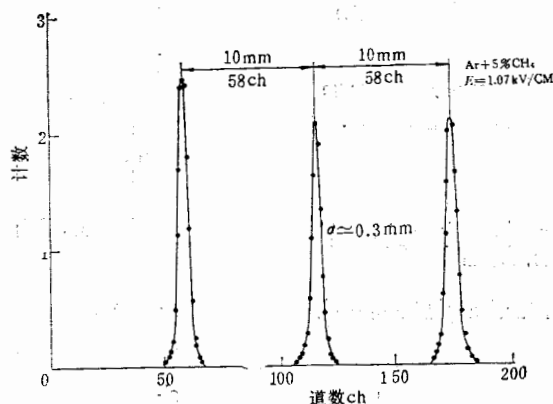


图 2 漂移速度测量电子学框图

图 3 漂移速度测量在多道分析器上显示的典型结果(纵坐标为计数  $\times 10^3$ )

#### 四、结果和讨论

图4—7分别表明在室温下测量的 Ar/CH<sub>4</sub>, Ar/i-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, Ar/CO<sub>2</sub> 和 SQS 四类十种混合气体中作为电场强度  $E$  函数的电子漂移速度  $V_D$  曲线。测量中由机械精度等因素所造成的系统误差约为 2%。

漂移速度  $V_D$  的理论解释是很复杂的。有人基于气体中电子群运动的经典理论,发展了一种算法<sup>[2]</sup>。作为电场强度  $E$  的函数,漂移速度  $V_D$  可以表示为:

$$V_D(E) = -\frac{2}{3} \frac{eE}{m} \int \epsilon \lambda(\epsilon) \frac{\partial [F(\epsilon)u^{-1}]}{\partial \epsilon} d\epsilon,$$

式中  $m$  为电子质量;  $F(\epsilon)$  为电离电子的能量分布,  $\lambda(\epsilon)$  为电子同气体分子两次碰撞间的平均自由程, 它们都是电子能量  $\epsilon$  的函数;  $u = \sqrt{2\epsilon/m}$ , 称为电子能量为  $\epsilon$  时的不变速度。可以看出, 上计算式中包含一些很难估计的碰撞过程特征函数。计算过程极其复杂, 计算结果的精度也不能满足实际选择气体的要求。

基于对工作在高能加速器上大型漂移室系统(例如即将建造的  $2 \times 2.2$  GeV  $e^+e^-$  对撞机上的北京探测器漂移室系统)的应用要求, 除上述漂移速度的饱和和特性外, 还希望在工作气体中具有较大的漂移速度值以满足初级触发的要求, 较低临界电场值  $E_c$  和对气体成分的变化不灵敏以简化对供气系统的要求。价格和安全性当然也是大室系统必须考虑的因素。

Ar/CH<sub>4</sub> = 90/10 (通称 P10) 气体是一种常用的工作气体, 但发表的数据之间存在一定差异。我们的结果(图4)同近期报道的相一致<sup>[3]</sup>。P10 气体在临界电场强度  $E_c \approx 1$  kV/

良和  
测区  
应用寸线  
|出  
|在Ar/  
与占  
%,ylar  
电  
测。  
源

场

时  
%。  
分  
目  
当  
置

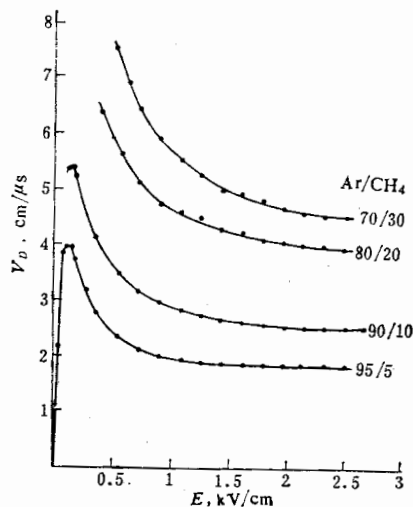
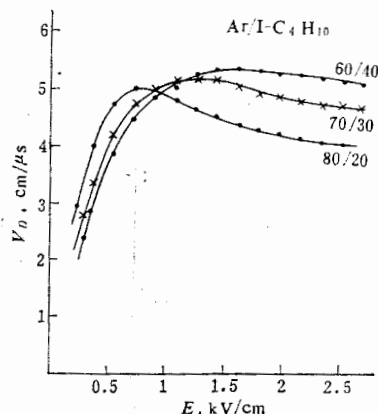
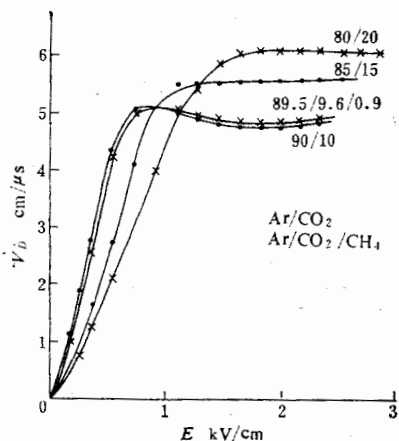
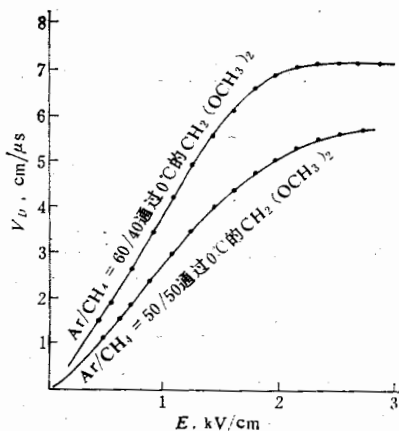
图4 Ar/CH<sub>4</sub>中电子的漂移速度曲线图5 Ar/*i*-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>中电子的漂移速度曲线图6 Ar/CO<sub>2</sub>与Ar/CO<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>中电子的漂移速度曲线

图7 SQS气体中电子的漂移速度曲线

cm 达到饱和漂移速度  $V_{DS} = 2.6\text{cm}/\mu\text{s}$ , 并在整个电场测量范围保持不变. 它很好地适用于不要求较高漂移速度值的场合. 对于北京探测器漂移室系统, 束流对撞周期约为 800 ns, 单元的最大漂移距离约为 3cm. 如果 P10 作为工作气体, 一次事例数据的收集时间将达  $\sim 1.2\mu\text{s}$ , 在一个周期内不能完成事例的初级判选, 是不适当的. 上述触发条件要求, 在气体中电子漂移速度应近于  $5\text{cm}/\mu\text{s}$ . 在 Ar/CH<sub>4</sub> 混合气体中, 随 CH<sub>4</sub> 成分的增加, 电子漂移速度相应增加, 例如在  $E = 1.5\text{kV}/\text{cm}$  处, 对于 CH<sub>4</sub> 比例 10%, 20% 和 30%, 漂移速度值分别为 2.6, 4.2 和  $4.9\text{cm}/\mu\text{s}$ . 但 CH<sub>4</sub> 比例的增加同时产生漂移速度饱和特性变坏的趋势. 反之, 我们减小 CH<sub>4</sub> 比例 (Ar/CH<sub>4</sub> = 95/5) 的测量表明, 这有利于获得更低的  $E_c$  值和更平的饱和区, 但饱和和漂移速度值进一步减小 ( $V_{DS} \approx 1.8\text{cm}/\mu\text{s}$ ). Ar/CH<sub>4</sub> 气体中的漂移速度对气体成分的变化比较灵敏, 要求供气系统对气体成分进行有效的控制.

对于 Ar/*i*-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 混合气体的测量(图5)表明, 当 *i*-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> 成分达到 30% 时, 出现了

较好  
Ar/C  
采用

例的  
的临  
cm)  
 $E_c$   
多原  
烷类  
Ar/C  
的测

改变  
临界  
室实  
量电  
室时

零、

[1]  
[2]  
[3]  
[4]  
[5]  
[6]

AN

ha  
Ar  
frc

较好的漂移速度饱和特性,  $E_c \approx 1\text{kV/cm}$ ,  $V_{DS} \approx 5\text{cm}/\mu\text{s}$ . 这类气体对成分的变化不像  $\text{Ar}/\text{CH}_4$  和  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  那样灵敏, 因此  $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$  比例从 25%—40% 的混合气体都较多地被采用<sup>[4]</sup>. 但在我国,  $i\text{-C}_4\text{H}_{10}$  的价格十分昂贵.

$\text{Ar}/\text{CO}_2$  是廉价、安全的气体, 但在漂移室实用电场区的数据较少. 图 6 表明, 三种比例的 (90/10, 85/15, 80/20)  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  气体都表现了好的漂移速度饱和特性, 但具有不同的临界电场值  $E_c$  和饱和漂移速度值  $V_{DS}$ .  $\text{Ar}/\text{CO}_2 = 90/10$  具有最低的  $E_c$  ( $\approx 700\text{V/cm}$ ) 和  $V_{DS}$  ( $\approx 5.0\text{cm}/\mu\text{s}$ ), 满足上述北京探测器漂移室的要求.  $\text{CO}_2$  成分的增加带来  $E_c$  和  $V_{DS}$  相应的增加. 这些结果符合早期我们在国外的初步测量结果<sup>[5]</sup>. 此外, 已知多原子分子的淬熄效率随分子中原子数目的增加而提高.  $\text{CO}_2$  作为淬熄气体的效果不如烷类, 曾经观察到低几率的二次发射, 偶而会产生放电<sup>[6]</sup>. 为了补救这一缺陷, 一般在  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  气体中加入少量的(例如 1%) 烷类气体. 我们对  $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CH}_4 \approx 89/10/1$  气体的测量表明, 这种少量甲烷的加入, 不大影响原来气体的漂移速度特性.

图 7 表明两种 SQS 气体的测量结果. 二甲氧基甲烷 ( $\text{CH}_2(\text{OCH}_3)_2$ ) 的加入大大地改变了原来气体的漂移特性. 对于  $\text{Ar}/\text{CH}_4 = 60/40$  流过  $0^\circ\text{C}$   $\text{CH}_2(\text{OCH}_3)_2$  的混合气体, 临界电场值  $E_c$  高达  $2\text{kV/cm}$ , 饱和漂移速度值  $V_{DS}$  高达  $\sim 7.1\text{cm}/\mu\text{s}$ .  $E_c$  超过了一般漂移室实用电场范围. 流过  $0^\circ\text{C}$   $\text{CH}_2(\text{OCH}_3)_2$  的  $\text{Ar}/i\text{-C}_4\text{H}_{10} = 50/50$  混合气体, 则在整个测量电场区未达饱和. 因此, 在尝试把 SQS 放电模式用于漂移室, 特别是非均匀电场漂移室时, 选用这两种气体会带来麻烦, 需要大量的漂移时间-漂移距离的校正工作.

我们感谢叶铭汉先生对实验工作的关心和支持, 感谢席德明同志以及后小江、赵宗琴、胡贵云和刘捷同志的帮助.

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 毛泽普等, “漂移室电场分布计算及程序” (内部报告), 1983.
- [ 2 ] V. Palladino et al., LBL-3013 (1974); N. I. M. 128 (1975), 323.
- [ 3 ] B. Jean-Marie et al., LAL-78/17 (Jun. 1978).
- [ 4 ] A. Breskin et al., N. I. M. 119(1974), 9; N. I. M. 124 (1975), 189.
- [ 5 ] C. M. Ma et al., MIT-LNS Technical Report No. 129, Oct. 22, 1982.
- [ 6 ] F. Sauli, CERN 77-09, 3 May 1977, p. 46.

## A DRIFT CHAMBER WITH UNIFORM ELECTRIC FIELD AND MEASUREMENTS OF THE ELECTRON DRIFT VELOCITY

MA CHI-MAO MAO ZE-PU ZHOU JIE YAN JIE

(Institute of High Energy Physics)

### ABSTRACT

The measurements of the electron drift velocity as a function of the electric field have been made in a small drift chamber with uniform electric field for  $\text{Ar}/\text{CH}_4$ ,  $\text{Ar}/i\text{-C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{Ar}/\text{CO}_2$  and SQS gas mixtures. The values of the electric field range from about 0.3 to 2.5 kV/cm. The results of the measurements are discussed.

线

也适  
800  
司将  
:,在  
电子  
漂移  
室坏  
的  
气体  
训。  
见了