

小型多丝漂移室的结构和主要性能

王运永 李如柏 陈朝清 侯宝尊 谢佩佩 毛慧顺 叶铭汉

(中国科学院高能物理研究所)

本文介绍一种小型多丝漂移室的基本结构和主要性能(输出脉冲幅度的分布、效率、空间-时间关系、空间分辨率等)。着重研究了电位丝电压的变化对效率的影响。

一、引言

漂移室^[1~3]是七十年代初期发展起来的一种新型探测器,由于它具有定位精度高、时间分辨好、探测面积大、价格便宜、效率高等一系列的优点,目前已基本上取代了在六十年代起过重大作用的火花室而成为高能物理实验中一种常用的探测工具,并在低、中能原子核物理,宇宙射线物理,生物学,医学, X射线晶体学等很多领域有着广泛的应用。

在研究多丝正比室的基础上,我们设计制造了一种小型多丝漂移室,通过研究它的结构和性能测试,为设计和测试用于高能物理实验中的大型漂移室积累了必要的经验和数据。

二、基本结构

漂移室的框架是用有机玻璃做成,阴极平面与阳极平面之间的距离为 7.5 mm, 阴极平面是由直径为 100 μm 的铍青铜丝做成,每根丝上加有 100g 的张力,用低温焊锡焊接在印刷电路板做成的一片框架上,阴极丝之间的距离为 1 mm。阳极平面内有讯号丝和电位丝,讯号丝是直径为 20 μm 的镀金钨丝,张力为 20 g, 电位丝是直径为 100 μm 的铍青铜丝,张力为 100 g。讯号丝之间的距离为 20 mm, 两根讯号丝的正中间有一根电位丝,阳极平面的制作方法与阴极平面相同。

供气方式为流气式,流量约为 30ml/min。使用这种流量,大约 5 分钟漂移室内气体全部置换一次。使用的气体都是预先按比例混合好的。

窗是由 25 μm 厚的涤纶薄膜封闭的。为了防止漏气,框架的四周涂上一层真空封腊。

阴极丝的方向与讯号丝的方向互相垂直,阴极平面加有固定的负电压,讯号丝处于地电位,电位丝上加有比阴极丝更低的负电压。

输出脉冲从讯号丝上取出。

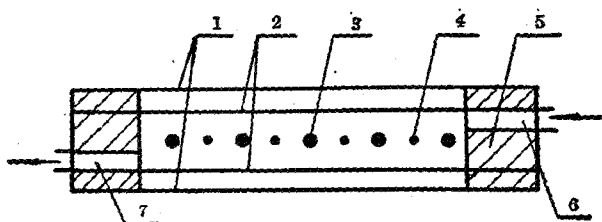


图1 多丝漂移室结构示意图

1-窗; 2-阴极丝; 3-电位丝; 4-讯号丝;
5-框架; 6-进气口; 7-排气口。

三、工作原理

漂移室的工作原理是基于电子在气体中的运动及气体放大现象。当带电粒子穿过漂移室时,使室内的介质(最常用的介质是混合气体)电离,在漂移室内沿着入射粒子经过的途径留下一条由这些初级电离电子组成的径迹,这些电离电子在室内电场的作用下,向讯号丝漂移,并在到达讯号丝附近的时候产生雪崩(实现气体放大),从而在丝上出现一个脉冲讯号。测量粒子穿过漂移室与脉冲在讯号丝上出现的时间间隔(即漂移时间),就可以精确地确定入射粒子的位置。

粒子穿过漂移室的时间一般是由闪烁计数器提供的,这些闪烁计数器安装在漂移室的前面或后面。

四、主要性能

1. 输出脉冲幅度的分布

在漂移室内,讯号丝与电位丝之间形成一个漂移单元,讯号丝与电位丝的间距一般都大于或等于 10mm,我们用的为 10mm。带电粒子穿过漂移室的时候,与室内气体作用,形成一条由初级电子集团组成的“径迹”,这些电子集团由于入射位置不同,到达讯号丝所漂移走过的路程也不同,由于漂移过程中电子的扩散、散射及气体的吸附效应等,会损失掉一部分电子。漂移室一般工作于“正比区”,因此输出脉冲的幅度也就由于漂移距离的不同而变化,在电位丝附近,由于存在电场较弱的小区域,这个效应更明显些。研究在一个漂移单元内入射位置与输出脉冲高度之间的关系对于漂移室前端电子学,如放大—甄别器的设计有一定的参考价值。

我们测量了在一个漂移单元内入射位置与输出脉冲幅度之间的关系。

为了选择室的工作电压及确定放大器、甄别器等工作条件,首先对 ^{55}Fe 的 5.9keV X 射线谱和 ^{90}Sr 的 β 射线谱进行了测量。 ^{55}Fe 的 X 射线的全吸收峰和在氩中的逃逸峰的幅度的比例,当漂移室工作于“正比区”时,应为 $\frac{5.9}{2.9} \approx 2$ 。我们选择合适的工作条件,使这两个峰的比值为 2。

对两种混合气体,90%Ar + 10%CH₄, 80%Ar + 20%CO₂ 进行了测量,结果见图 2。可以看出,在漂移距离为 10mm 时,对于前一种气体,输出脉冲高度降低 3%,对于后一种气体降低 10%。

2. 效率

漂移室的探测效率 ε 表征粒子穿越室时能够被探测到的几率。一般定义为入射粒子

数 N_0 与被测到的粒子数 N 之比: $\varepsilon = \frac{N}{N_0}$ 。

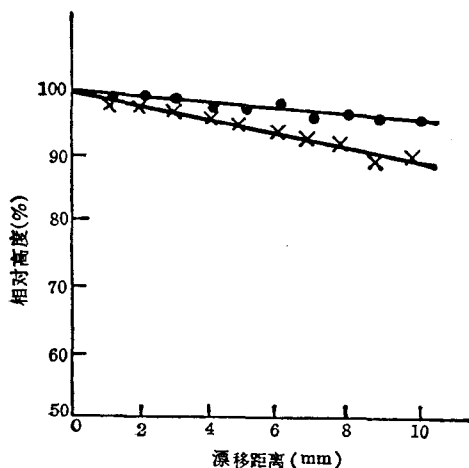


图 2 输出脉冲幅度与漂移距离的关系

- 90%Ar + 10%CH₄, 阴极电压 - 1350V, 电位丝电压 - 1600V
- ×- 80%Ar + 20%CO₂, 阴极电压 - 1450V, 电位丝电压 - 1700V

在实验中我们采用了快慢符合方法, 实验装置如图 3(a) 所示。

效率与阴极所加的高压有密切的关系, 也和气体有关, 本实验对两种混合气体 (95%Ar+5%CH₄、90%Ar+10%CO₂) 进行了效率—高压关系曲线的测量, 结果见图 3(b)。可以看到对于 95%Ar+5%CH₄ 来说, 阴极高压在 -1450V 左右效率达到坪值, 效率大于 99% 的坪长为 250V。对于 90%Ar+10%CO₂ 来说, 阴极高压在 -1500V 左右效率达到坪值, 效率大于 99% 的坪长为 300V, 测量中电位丝电压均为 -2000V。源对准讯号丝。

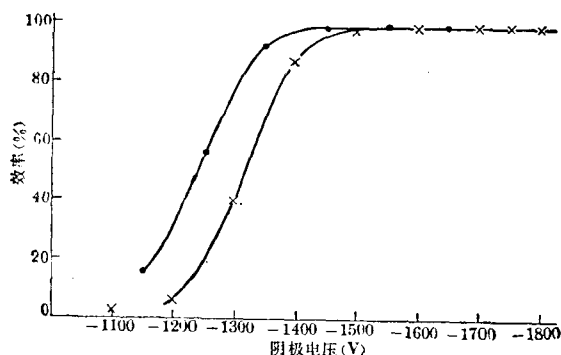


图 3(b) 效率—阴极高压关系曲线

— 95%Ar+5%CH₄, ×—× 90%Ar+10%CO₂ 气体, 当阴极电压固定于 -1700V 时, 效率在电位丝电压为 -1400V 时达到坪值, 效率大于 99% 的坪长为 900V。入射粒子的位置在讯号丝附近。

在一个漂移单元内, 漂移距离不同, 输出脉冲具有不同的幅度。由于没有采取特殊措施使电位丝周围形成较均匀的电场, 因此就存在着电场较弱的区域, 这个区域对多丝漂移室效率的影响较大。我们测量了在一个漂移单元内效率与漂移距离的关系, 明显看到了电位丝附近效率下降的趋势。测量结果见图 3(d)。对于 95%Ar+5%CH₄, 效率从讯号丝附近的 99% 下降到电位丝附近的 92%。对于 90%Ar+10%CO₂, 效率从讯号丝附近的 99% 下降到电位丝附近的 96% 左右。

3. 空间—时间相互关系

漂移室的空间定位是通过漂移时间 t 的测量, 利用简单的关系 $x=vt$ 来实现的。定位精度既取决于漂移时间 t 的测量精度, 也与漂移速度 v 的测量精度及稳定性有关。如果漂移

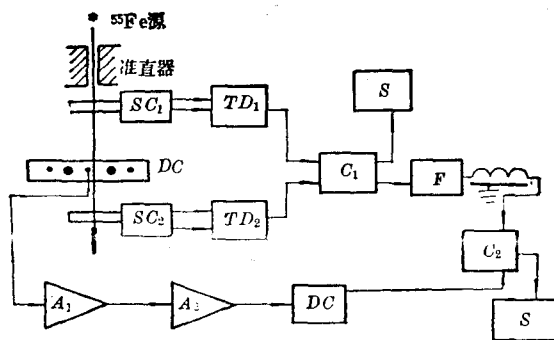


图 3(a) 漂移室效率测量方框图

SC₁、SC₂ 为闪烁计数器, TD₁、TD₂ 为恒比定时甄别器, C₁ 为快符合电路, C₂ 为慢符合电路, A₁ 为前置放大器, A₂ 为主放大器, DC 为甄别器, F 为成形器, S 为定标器。

效率还与电位丝的电压有关, 电位丝电压的选择对漂移室内电场的分布有密切的关系。而电场的分布又直接影响了漂移速度。为了使漂移室有好的工作状态, 以便达到预期的性能指标, 需要对电位丝电压的选择进行多方面的考虑, 为此我们着重研究了电位丝电压对效率的影响, 测量结果见图 3(c)。可以看到, 当阴极电压固定为 -1550V 时, 对于 95%Ar+5%CH₄ 气体来说, 效率在电位丝电压 -1300V 时进入坪区, 效率大于 99% 的坪长为 800V。对于 90%Ar+10%CO₂

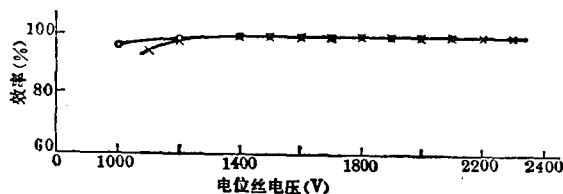


图 3(c) 效率与电位丝电压关系曲线

O—O 95%Ar+5%CH₄, 阴极电压 -1550V;
x—x 90%Ar+10%CO₂, 阴极电压 -1700V。

室内电场的分布是均匀的,那么漂移速度在整个漂移室内是一个常数,也就是说,漂移距离和漂移时间之间有一个简单的线性关系。

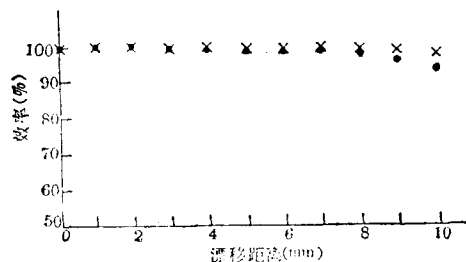


图 3 (d) 效率与漂移距离的关系曲线
· 95%Ar+5%CH₄; × 90%Ar+10%CO₂

记下相应的漂移时间。每移动 1 mm 测量一个点。

我们对 80%Ar+20%CO₂ 气体及 95%Ar+5%CH₄ 气体,在不同阴极电压与不同的电位丝电压下进行了测量。测量结果如图 4 所示。对同样的 80%Ar+20%CO₂ 气体,电位丝电压固定为 -2500 V,改变阴极电压为 -2000V,结果跟阴极电压为 -2200 V 时很相近(见图 4)。

由图 4 可以看出:(1) 在多丝漂移室中空间一时间相互关系有较大的非线性,在接近讯号丝处更为显著;(2) 95%Ar+5%CH₄ 气体比 80%Ar+20%CO₂ 气体有较好的线性;(3) 对于 80%Ar+20%CO₂ 来说,阴极电压取 -2200 V,电位丝电压取 -2400V 时,漂移速度为 $W=33.5$ ns/mm,电位丝电压取 -2500V 时,漂移速度为 $W=29.9$ ns/mm,可见电位丝电压值越高,漂移速度越大;(4) 电位丝电压保持 -2500 V 不变,只改变阴极电压为 -2000 V,漂移速度改变成 $W=30.6$ ns/mm,可以看到漂移速度随阴极电压值的增加稍有增加;(5) 对于 95%Ar+5%CH₄ 气体,当阴极电压取 -1750 V,电位丝电压取 -1800V 时测得漂移速度为 $W=40.9$ ns/mm。

4. 空间分辨

漂移室的空间分辨,表征了漂移室对入射粒子座标定位的精确度。它说明了漂移室区分两根相邻径迹的能力。测量漂移室空间分辨的方法很多,我们采用了双漂移室法。其原理如图 5 所示。

在多丝漂移室中,由于对漂移电场没有采取特殊的措施加以成形,因此它的强度并非均匀一致。在讯号丝周围尤其是这样。于是空间一时间相互关系就会与线性关系有一定的偏离。

我们用精密机械扫描法进行测量,漂移室放于测量台上,测量台是由显微镜底座改装成的,移动漂移室相对于放射源的位置,

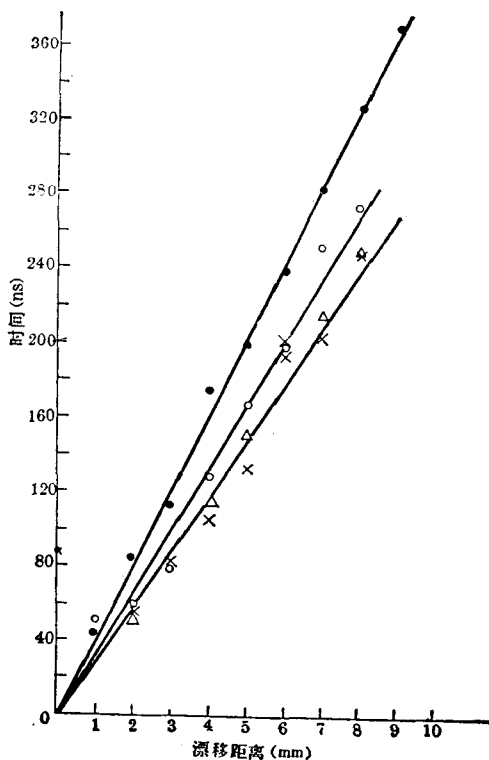


图 4 空间一时间相互关系

- 电位丝电压 -2400V, 阴极电压 -2200V;
(80%Ar+20%CO₂)
- × 电位丝电压 -2500V, 阴极电压 -2200V;
(80%Ar+20%CO₂)
- △ 电位丝电压 -2500V, 阴极电压 -2000V;
(80%Ar+20%CO₂)
- 电位丝电压 -1800V, 阴极电压 -1750V;
(95%Ar+5%CH₄).

两个漂移室一上一下放置，彼此错开半丝距，入射粒子在室内产生的初级电离电子，在漂移室电场作用下，分别向各自的讯号丝漂移，漂移时间分别为 t_1 和 t_2 ，假定粒子垂直入射，并且两个漂移室 DC_1 和 DC_2 有同样的漂移速度，那么粒子的入射座标为：

$$x = x_i + \xi, \quad \xi = \frac{D}{2} \left(1 + \frac{t_1 - t_2}{T} \right)$$

式中： D 是讯号丝和电位丝之间的距离，称为最大漂移距离， T 是与 D 对应的漂移时间，称为最大漂移时间。设两个室有相同的时间分辨率，即：

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t \quad \text{则：}$$

$$\Delta x = \Delta \xi = \frac{D}{2T} (\sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2}) = \frac{\Delta t}{\sqrt{2}} \cdot \frac{D}{T}$$

我们定义 $\Delta \xi$ 为空间分辨，它是通过测量 Δt 来实现的。

为了测量 $\Delta \xi$ ，我们采用了如图 6 所示的实验安排。

在实验中，为了减小起始讯号的本底，同时为了取得一个较窄的入射粒子束，

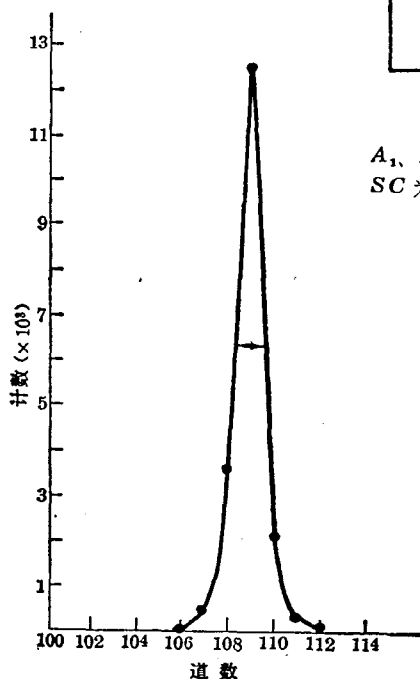


图 7 $t_1 - t_2$ 分布曲线

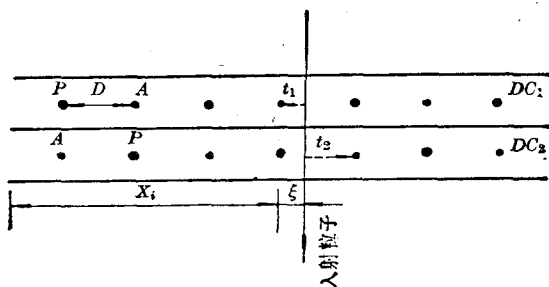


图 5 双室法测量空间分辨原理图

A 为讯号丝， P 为电位丝。

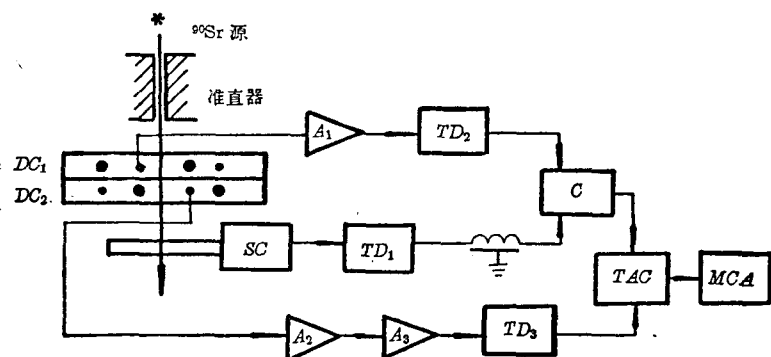


图 6 空间分辨测量装置

A_1 、 A_2 、 A_3 为放大器， TD_1 、 TD_2 、 TD_3 为恒比定时甄别器， C 为快符合， SC 为闪烁计数器， TAC 为时间—幅度变换器， MCA 为多道分析器。

我们使从 DC_1 和闪烁计数器来的讯号进行快符合，快符合电路分辨时间 $\tau = 0.85 \text{ ns}$ 。快符合输出作 TAC 的起始讯号，从 DC_2 而来的讯号作 TAC 的停止讯号，我们测得 $t_1 - t_2$ 的分布如图 7 所示，取其 FWHM 为

$$\Delta t, \quad \Delta t = 12.5 \text{ ns}, \quad \text{利用公式 } \Delta \xi = \frac{\Delta t}{\sqrt{2}} \cdot \frac{D}{T}, \quad \text{用已测}$$

得的平均漂移速度 $T/D = 30.6 \text{ ns/mm}$ 近似地得到 $\Delta \xi \leq 0.29 \text{ mm}$ 。所得的结果未扣除入射粒子流的宽度。实验中所用的气体为 80% Ar + 20% CO_2 ，阴极电压 -1900V，电位丝电压 -2000V，粒子在漂移单元的中间位置入射，多道分析器每道对应 9.6ns。

(下转第66页)

