

两维漂移室的延迟线读出

前后向漂移组¹⁾

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

在 MIT 型漂移室单元中, 利用 Naples 扁平型线绕延迟线进行了第二坐标, 即沿阳极丝方向的位置读出性能测试. 使用 P9 或 Ar/CH₄ = 70/30 工作气体, 沿长度为 80cm 的延迟线测量到的空间分辨为 2~5mm, 位置读出线性优于 1%.

一、引 言

高能物理实验中, 通常采用交叉平面^[1]结构的漂移室测量粒子的击中点, 以得到两维坐标. 从一个击中点直接得出粒子两维坐标的两维漂移室使位置测量得以简化.

两维漂移室的第一坐标, 即丝平面上垂直于丝方向的坐标, 由漂移时间给出. 其第二坐标, 即沿丝方向的坐标, 可以采用不同的方法: 电荷分配法; 上升时间法; 重心法; 直接定时法, 延迟线法以及这些方法的变形与组合来确定. 前三者的电子学价格较高, 而直接定时法只对丝长特别大的室有意义^[2], 在 L3 前后向漂移室中选用延迟线读取第二坐标, 是一个合适的考虑. 延迟线也可以用来读第一坐标, 如用于多丝正比室^[3], 或读取漂移室的丝地址^[4]. 在许多场合下, 应用延迟线可以大大减少电子学的道数, 降低系统的造价和功耗. 它原则上是一种不产生噪声的位置灵敏变换器件, 在位置读出与图象探测器方面将具有广泛的应用前景. 由于目前采用的延迟线在带宽、色散、衰减、耦合方式及相应的读出电子学方面还没有达到最佳设计, 故其位置分辨率还停留在电荷分配法所能达到的水平上^[5].

本文报道研制两维漂移室延迟线读出的有关工作.

二、原理与方法

图 1 为延迟线第二坐标读出的原理图. 在两维漂移室中, 用于第二坐标读出的延迟线是平行于阳极丝安放的. 对应于阳极丝上的雪崩信号, 延迟线上几乎同时产生一个感

1) 参加本工作的有: 方光银、王孟奇、王继华、朱永生、李晓光、庄红林、陈 昌、陈和生、陈美莉、吴荣久、杨康树、张守宇、金雨年、唐孝威、徐鸿章.
本文 1986 年 7 月 28 日收到.

应信号, 感应信号中心的第二坐标与雪崩信号的相同。丝信号迅速扩展到整根丝, 延迟线信号则分为两个相等的部分, 按照延迟线速度分别向两端传播。记雪崩信号产生的时刻为 t_0 , 延迟线信号到达两端的时刻分别为 t_1 与 t_2 。利用电子学方法读出时间差 $t_1 - t_0$ 或 $t_1 - t_2$, 根据下列关系式即得到击中点的第二坐标 Y :

$$Y = \frac{l}{2} \left(\frac{t_1 - t_2}{T_D} + 1 \right) \quad (1)$$

或

$$Y = \frac{l}{T_D} (t_1 - t_0) \quad (2)$$

其中 l 为延迟线有效长度, T_D 为总的延迟。

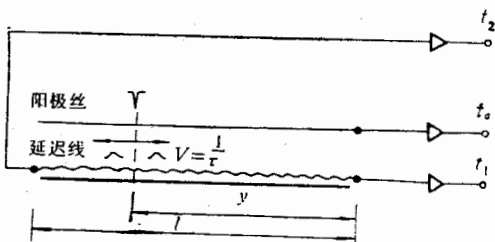


图 1 延迟线第二坐标读出原理

位置读出的精度取决于延迟线的设计和工艺质量。对于常用的由高绝缘材料作介质的延迟线, 下列关系近似成立:

$$Z \approx (L/C)^{1/2} \cdot (1 - jR/2\omega L) \quad (3)$$

$$\tau \approx (L/C)^{1/2} \cdot (1 + R^2/8\omega^2 L^2) \quad (4)$$

其中 Z 为特性阻抗, τ 为特征延迟, 即单位长度的延迟。 L 、 R 、 C 分别为单位长度的串联电感、串联电阻及并联电容, ω 为圆频率。式(3)和(4)反映出信号中低频成分的传播将减慢, 阻抗改变并呈容性, 这就从低频方面造成了信号的畸变。另一方面, 由于介质损耗和趋肤效应的影响^[6], 特别是自感和互感随频率增高对 L 的贡献不一致, 又从高频方面造成了信号的损耗与畸变。这时, L 、 R 、 C 等参数已不能作为常数来处理。读出电子学的噪声, 匹配和滤波成形设计, 也对位置读出性能产生影响^[7]。采用冷端接前放和过零甄别电

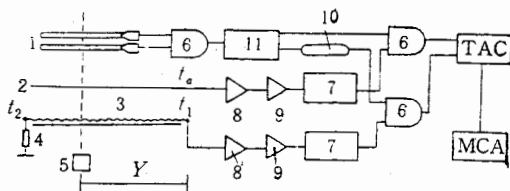


图 2 延迟线读出实验的电子学框图

- ① 闪烁体 ② 阳极丝 ③ 延迟线 ④ 匹配电阻 ⑤ 准直源 ⑥ 符合器 ⑦ 甄别器
- ⑧, ⑧' 前置放大器 ⑨ 主放大器 ⑩ 延迟器 ⑪ 扇出器
- TAC——时幅变换器 MCA——多道分析器

坐
作
优

到两维

其第二
; 直接
而直接
坐标,
漂移室
造价和
器方面
相应的
达到的

的延迟
一个感

杨康树

子学,可以得到比较更好的结果.

图 2 为我们实际采用的电子学框图,其中与光电倍增管有关的部分作了简化.这个系统利用了式 (2) 而未用式 (1). 由于所采用的延迟线的末端性能下降显著,若利用式 (1),给出的结果反而较差.为了在各种实验条件下都能取得良好的匹配,我们选用电压放大器作延迟线的前置放大,电压放大倍数为 5,功率增益约为 300. 系统所采用的甄别器为前沿甄别器.

三、延迟线的结构和特性

实验中使用的是意大利 Naples 大学研制的延迟线^[8],以下简称 Naples 线. 图 3 为 Naples 线的结构断面图及其与室本体粘接的情况. 在 4.5mm 宽, 0.3mm 厚的 Vetronite 单面复铜条带上,套以热缩性聚乙烯塑料套管,做成线芯,然后用车床单层平绕 $\phi 0.08\text{mm}$ 的漆包线,绕组的螺距为 0.1mm.

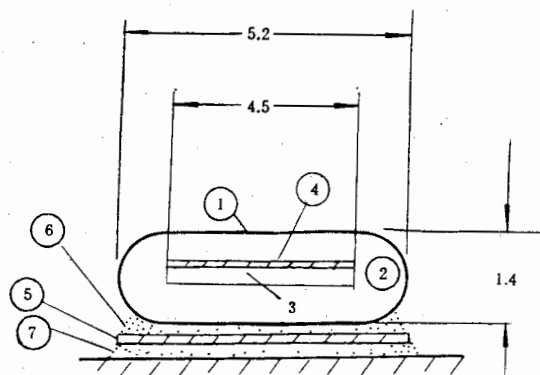


图 3 Naples 延迟线的断面及其粘接(图中长度单位 mm)

- ①绕组, $D 0.08$, 100 T/cm ②聚乙烯套管 ③ Vetronite 条带, 0.2 mm ④复铜层, $35 \mu\text{m}$ ⑤铝带, $50 \mu\text{m}$ ⑥第一步粘接 ⑦第二步粘接 ⑧室本体

Naples 线是一种带有中心导体的单层绕制延迟线,可以从理论上估算出处于无限大空间中的 Naples 线的参数: $Z = 1110Q$, $\tau = 5.7 \text{ ns/cm}$ ^[8]. 装入室本体后,由于周围导体和介质条件的改变,参数要起相应变化. 在图 3 所示的装配与粘接的条件下,实测的参数为: $Z = 320Q (\pm 5\%)$, $\tau = 10.1 \text{ ns/cm} (\pm 1\%)$. 装配定当之后的 Naples 线的电特性不受室内气体及外界磁场的影响. 经测量, Naples 线的 R 较大, $R = 1.33Q/\text{cm}$, 因而 τ/R 值较小,为 $7.5 \text{ ns}/Q$, 这是造成实验中远端分辨较差的主要原因. 根据式 (3)和(4)可知,只有较大的 L/R 或 τ/R , 才能使 Z 和 τ 中与频率有关的项忽略不计.

Naples 线的优点在于体积小,成本低,在实验室条件下制备周期较短. 这种设计还改变了早期圆芯延迟线的某些缺点,由于结构扁平,使电场分布与粒子穿透不受明显影响.

的过
室本

大.
尽可
带的
胶.
软,使
用的
Vetronite

方式
容易
线,条
条带
系统

读出
到表
位置

序号

1
2
3
4
5
6
7
8

化。这个
皆利用式
先用电压
用的甄别

四、具有延迟线的漂移室单元

漂移室单元为 MIT 型结构,其制作与性能详见文献[9]。本节只讨论与延迟线有关的过程。单元灵敏区全长 80cm, Naples 线位于阳极丝的正下方,平行于丝方向粘贴在室本体的铝板上。

前面曾经指出, Naples 线的特性会受到安装环境的影响,其中粘接的好坏影响最大。为了保证粘接的均匀性,采用分步粘接的方式,见图 3。第一步,将 50 μm 厚的铝带尽可能均匀地粘贴在 Naples 线上,置于平台并均匀加压直至胶干固。第二步,将贴有铝带的延迟线在铝带上复胶后贴入室本体,并注意全线平直。粘接胶为国产 GD-401 硅橡胶。该胶具有良好的抗电击穿性能和表面稳定性,不易给室的工作带进噪声;且质地较软,便于在实验过程中反复装拆而不使延迟线受损,这对实验测试是很方便的。在正式使用的场合,可选用强度更高的环氧树脂类胶,并用 Vetronite 条带代替 50 μm 的铝带, Vetronite 条带的复铜面朝向室本体。

延迟线的接头和引出往往是个麻烦的问题。作为一个传输系统,不良的接头和引出方式会造成附加的反射或增加干扰,引起信号的损失和畸变。Naples 线的芯线较细,很容易折断或松脱,引出时要特别小心。芯线引出部分要尽可能短,并紧贴地电位平面走线,接到同轴接头 Q_7 或 Lemo 的中心端子上。同轴接头的屏蔽壳要可靠地接到 Vetronite 条带的复铜层,然后再与室本体紧固。

单元制作完毕后,采用由信号产生器,示波器和矩形三通组成的系统进行电检测。该系统可在示波器上显示出延迟线沿线长方向的不均匀性及其他有关的电特性。

五、延迟线读出性能

用准直 ^{55}Fe X 射线源和 ^{106}Ru β 源在不同工作气体和高压下进行了延迟线第二坐标读出性能的测试,气压均为一个大气压。实验中让室单元作沿丝方向的步进移动,由此得到表征第二坐标位置分辨和线性的一组数据和实验曲线,如表 1 和图 4 所示。结果表明位置分辨为 2~5mm,中心位置分辨率优于 0.5%,第二坐标读出线性优于 1%。但远端

表 1 主要实验结果汇总表

序号	阳极电压 (V)	负高压 (V)	工作气体	放射源	位置分辨率 (mm)	中点分辨 (mm)	线性 (优于)
1	+2400	-3000	Ar/CH ₄ : 70/30	^{106}Ru	2-5	3.2	1%
2	+2400	-3000	Ar/CH ₄ : 70/30	^{106}Ru	2-5	3.2	1%
3	+2400	-4000	Ar/CH ₄ : 70/30	^{106}Ru	2-5	3.3	1%
4	+2450	-4000	Ar/CH ₄ : 70/30	^{106}Ru	2-5	3.2	1%
5	+2450	-4000	P 9	^{106}Ru	2-5	3.3	1%
6	+2100	-3000	P 9	^{106}Ru	1.5-4.5	2.8	1%
7	+2100	-3000	P 9	^{55}Fe	—	3.4	—
8	+2200	-3000	P 9	^{55}Fe	—	2.1	—

图 3 为
Vetronite
0.08mm

无限大
于周围
,实测的
Naples 线
1.33Q/
根据式
不计。
计还改
影响。

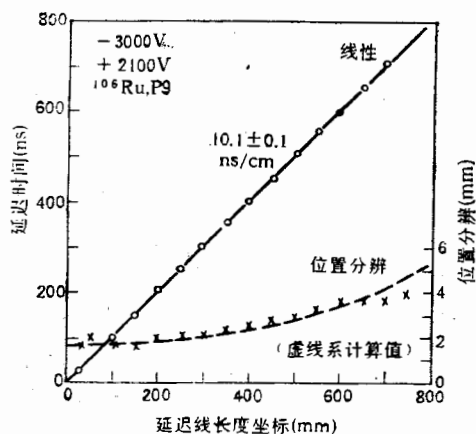


图 4 延迟线第二坐标读出的线性与位置分辨

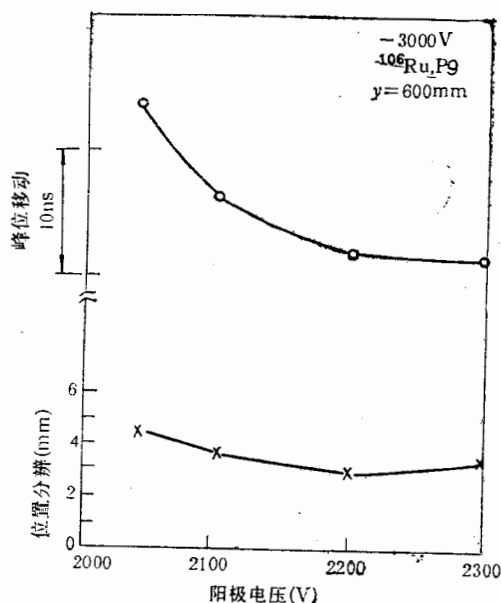


图 5 延迟线读出的位置分辨和峰位与阳极电压的关系

分辨变差,末端要比中间变差一倍。我们认为,这是由于线的 R 较大或 τ/R 值不高所造成的,增加 τ/R 值并改善耦合,可使位置读出性能进一步提高。实验中当使用 ^{59}Fe 进行测试时,撤除图2中与闪烁体符合的部分。

图5给出了在我们的实验条件下,位置分辨和峰位对于阳极电压变化的曲线。较大的雪崩信号对应着较好的位置分辨,这是信噪比改善的结果。但当阳极电压过高时,由于空间电荷效应和雪崩扩展^[7],限制了分辨的进一步改善。峰位移动则是由于我们没有采用恒比甄别而只用了前沿甄别的结果。

图6为在我们的实验条件下测得的延迟线相对于阳极丝的计数效率,在坪区约为93%。这个效率比值原则上应该等于1,因为阳极丝每产生一个雪崩信号,必定在延迟线

图
上产
下页
及引

- [1]
- [2]
- [3]
- [4]
- [5]
- [6]
- [7]
- [8]
- [9]

ard-t
tial
80 cr
Wang
Zhuar

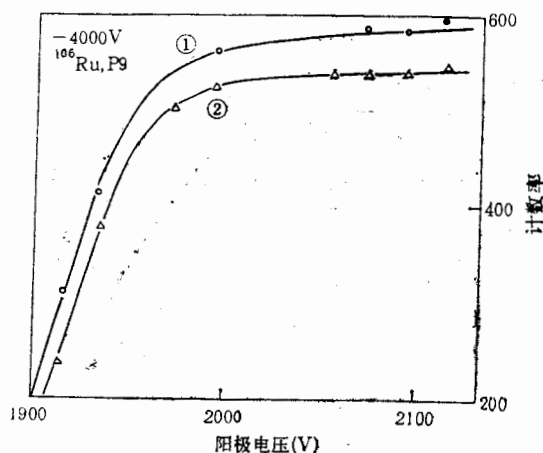


图 6 阳极丝①和延迟线②的坪曲线。曲线显示了在坪区延迟线相对于阳极丝的计数效率为 93% 上产生一个感应信号,这是一个线性耦合过程,但由于耦合系数不够高,在相应的甄别阈下延迟线的漏计率便会增加。

本文作者感谢方澄教授的多次有意义的讨论,感谢王佩良同志协助制作前置放大器及张志杰同志协助进行许多实验工作。

参 考 文 献

- [1] 唐孝威主编:《粒子物理实验方法》,人民教育出版社,(1982),27.
- [2] 席德明,核电子学与探测技术,2(1982),1.
- [3] R. Grove, K. Lee, V. Perez-Mendez and Sperinde, *Nucl. Instr. and Meth.*, 89(1970), 257.
- [4] C. L. Morris, et. al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS25(1978), 141.
- [5] V. Radeka, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS 21(1) (1974), 51.
- [6] 徐鸿章等,核仪器与方法,1(1981),9;3 (1983),112.
- [7] V. Radeka & A. Boie, *Nucl. Instr. and Meth.*, 178(1980), 543.
- [8] F. Carabonara et. al., *Nucl. Instr. and Meth.*, 171(1980), 479.
- [9] 前后向漂移室组,高能物理与核物理,11(1987).

DELAY LINE READ OUT FOR A TWO-DIMENSIONAL DRIFT CHAMBER

FORWARD AND BACKWARD DRIFT CHAMBER GROUP*
(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Tests on the read out of the second coordinate (along the anode wire) of the MIT-Harvard-type drift chamber by using a Naples type flat solenoidal delay line were conducted. Spatial resolution of 2~5 mm and linearity better than 1% were obtained along the delay line of 80 cm in length with the gas mixture of P9 or Ar/CH₄=70/30.

* Chen Cang, Chen He-shen, Chen Mei-li, Fang Guang-yin, Jin Bin-nian, Li Xiao-guang, Tang Xiao-wei, Wang Ji-hua, Wang Meng-qi, Wu Rong-ju, Xu Hong-zhang, Yang Kang-shu, Zhang Shou-yu, Zhu Yong-sheng, Zhang Hong-lin.

不高所造
|⁵⁹Fe 进行

线。较大
高时,由于
们没有采

平区约为
在延迟线