

1m×1m 漂移室特性在线测量

刘荣光 吴坚武 谢佩佩 董雪生

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文给出了用宇宙射线在线测量漂移室性能的实验结果。获得时间分辨率 4.26ns, 空间分辨率 132 μ m, 效率 96% 以上。漂移室在线实验系统由五个 1m × 1m × 0.09m 可调电场漂移室, 闪烁计数器触发系统, 漂移室读出电子学系统, 以及 TRS-80 微型计算机四部分构成。数据的实时采集, 分析处理等均由微型计算机在线或离线完成。

一、引 言

漂移室是通过测量入射粒子产生的电离电子的漂移时间来决定粒子位置的高精度空间位置探测器。与磁场配合, 用来测定入射带电粒子的动量, 目前已成为高能物理实验中最常用的探测工具之一, 并在其他很多领域有着广泛的应用。

我们曾研制了一个 20cm × 20cm 模型可调电场漂移室, 详细地测量了模型漂移室的性能, 积累了必要的数据^[1]。为摸索制作大面积漂移室在结构和工艺上的经验, 又设计制造了一个 1m × 1m 可调电场漂移室, 测量了部分性能^[2]。在此基础上我们设计制造了 1m × 1m 漂移室在线性能测量装置。全套装置由五个可调电场漂移室, 闪烁计数器触发系统, 毫微秒读出电子学, 以及 TRS-80 微型计算机四部分构成。用宇宙射线在线测量了漂移室性能, 其结果与模型漂移室单丝测量的结果一致。

数据实时采集存盘, 分析处理, 归并, 各种因素的校正及误差计算等, 均由计算机在线或离线分析完成。程序方便, 灵活, 操作简单。

二、实验装置

漂移室在线测量装置见图 1 所示。五个漂移室分为双室和三室两个室本体, 共有 98 根讯号丝, 97 根电场丝, 5000 根阴极丝。每个漂移室由一个阳极面, 二层阴极面组成。每个阳极平面有 20 根讯号丝和 19 根电场丝或者是 19 根讯号丝和 20 根电场丝组成。讯号丝是镀金钨丝, 丝长 1 米, 直径 20 μ m, 丝距 50mm。五层阳极平面平行, 讯号丝和电场

丝相对错位放置。每层阴极平面由平行等距的 500 根直径为 $100\mu\text{m}$ 的 Be-Cu 丝组成, 并与阳极平面相平行, 上面加有逐渐增加的负高压, 以产生一个被控制的粗糙的均匀电场。

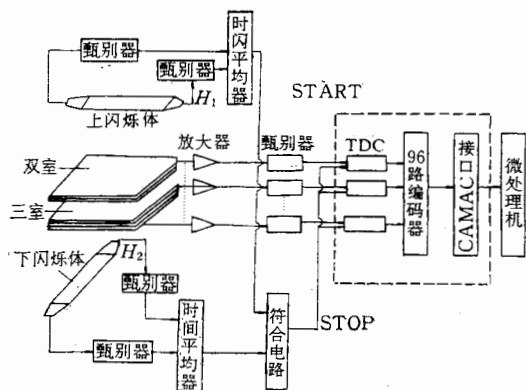


图1 漂移室在线测量装置

的重迭部分产生的, 系统的时间分辨率 338ps 。

漂移室读出电子学系统, 由本所电子学室研制。该系统参考美国 Lecroy 公司 2770 读出电路经过研究改制而成。整个系统可配置 96 个快速脉冲讯号放大器、甄别器、毫微秒时间测量通道 TDC 电路, 以及控制编码器和计算机接口组成。前置放大甄别电路最高电子学灵敏度 $100\mu\text{V}$, 实验时一般放置 $400\mu\text{V}$, 在此条件下 2—10 倍阈时间移动 (Time Slewing) 为 3—6ns。时间数字转换器 (TDC) 的时间分辨率为 2ns (FWHM), 满量程是 512ns 。

入射粒子通过漂移室后, 初级电离电子在电场的作用下向讯号丝漂移, 并在丝附近产生雪崩, 其输出脉冲经前置放大器、甄别器输入到 TDC 电路做 START 讯号。上下闪烁计数器输出脉冲经定时甄别器、时间平均器输入到符合电路, 符合电路的输出讯号作为 TDC 电路的公共 STOP 讯号。电离电子的漂移时间经 TDC 电路转换成数字后, 锁存到 96 路编码器中, 同时向计算机发出 LAM 请求。当计算机响应 LAM 请求时, 编码器中的内容通过 CAMAC 数据通道进入计算机, 继而进行分析处理。

三、数据采集和处理

本实验数据获取和分析处理由计算机在线或离线完成。TRS-80 微型机与 CAMAC U 型控制器组成一个 CAMAC 的 I/O 系统, 配备有数据获取控制程序、显示程序、CAMAC 程序、用户程序等连接成在线系统数据获取和分析程序。当物理实验的硬件改变时, 只需相应改变与硬件有关的 CAMAC 程序。当用户采用不同方法分析数据时, 只需改变 USR 用户程序, 即可适用于不同的数据分析和物理实验。

数据获取系统, 在开始运行时, 要由用户选择或从 CAMAC 执行在线数据读入, 并决定是否记录数据到磁盘上, 或从磁盘的原始记录读入数据进行离线分析。系统为用户提供 17 条键盘命令, 这些命令包括四方面的内容。

闪烁计数器 H_1 和 H_2 平行交叉分别放置在间距可变的上下二层架子上。在该实验中, 间距二米, 作为漂移室望远镜, 提供入射粒子通过漂移室的时间, 一般称为零时间, 作为漂移室的触发讯号。塑料闪烁体长 78cm (不包括光导)、宽 30cm 、厚 1.05cm 。光电倍增管采用 56AVP 。上下闪烁体重迭 $30 \times 30\text{cm}^2$, 实际其它方向来的粒子也有符合的可能性, 但由于上下两闪烁体距离长达二米, 故探测到的触发讯号主要是闪烁体中间

1. 控制命令

START	启动实验;
STOP	停止实验;
EXIT	退出实验.

2. 关于直方图 Histogram 命令

SETHIS	建立直方图的名字和宽度;
RESETHIS	删去所有的直方图;
SAVE	把直方图现有的定义以及它们的图记到盘上, 形成 DCS-TRS/HIS 文件;
DISPLAY	显示某一个直方图;
CLEAR	清某一个直方图;
DUMP 和 TVDUMP	在行式打印机或显示屏上打出某一个直方图的某几道的值;
LISTHIS	把已建立好的直方图的名字等信息列在显示屏上.

3. 显示和打印事例命令

LIST	在显示屏上显示事例;
PRINT	在行打上打印事例;
NLIST	停止在显示屏上显示事例;
NPRINT	停止在行打上打印事例;
COPY	把显示屏上的所有信息(除第一行外)复印到行打上.

4. 用户自定义入口

USR₁、USR₂、USR₃ 相当于三个子程序的入口, 用来增加系统对用户的方便性. 本程序方便、灵活、操作简单. 特别是键盘输入非同步中断模拟和图形显示的灵活性具有独到之处.

四、漂移室特性的测量结果

1. 漏电流特性

漂移室的各丝面在拉丝、清洁处理、张力检测、绝缘特性检测各环节通过以后, 才可组装. 在密封漂移室之前, 首先需要测量的特性是漏电流. 只有漏电流足够小, 加高压才不会打火放电, 漂移室其它特性才能顺利研究. 检测漏电流是大面积漂移室工艺上必须十分重视的问题. 漂移室漏电流测量方法很简单, 阴极丝和电场丝并联在一起加负高压, 阳极丝并联在一起后, 通过一个灵敏的微安表接地. 测量结果见图 2, 曲线 I 是三室的漏电流随高压变化的曲线, 曲线 II 是双室的漏电流随高压变化曲线. 在正常工作区, 几乎没有

漏电流,即使高压加到 6.0kV,双室的漏电流亦小于 $0.001\mu\text{A}$,三室的漏电流为 $0.009\mu\text{A}$. 漂移室在运转过程中,从未发生高压加不上和打火现象.至于在同样的高压下,三室的漏电流偏大,其原因是三室测量漏电流时空气湿度大.

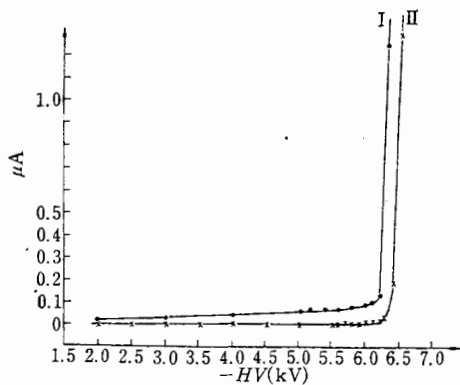


图2 漏电流随高压变化曲线

选择直径均匀的丝,并力求各阳极丝的张力和对地的绝缘电阻一致.这次制作的五个漂移室共有 98 根阳极丝输出讯号.漂移室内充 $11.2\% \text{CH}_4 + 88.8\% \text{Ar}$ 混合气体,阳极丝加 1.5kV 正高压,阴极丝加 3.0kV 的负高压,用 ^{90}Sr β 射线源,阳极丝输出阻抗 360Ω 用示波器观察得到脉冲幅度几乎都是 16mV.

3. 空间-时间相互关系

入射粒子在漂移区内的空间位置是通过测量漂移时间 t 而得到的:

$$x = V(t) \cdot t$$

定位精度取决于漂移时间 t 和漂移速度 $V(t)$ 的测量精度及稳定性.如果漂移室电场分布是均匀的,而加高压使漂移速度达到饱和,从而使得空间与时间有良好的线性关系.

在线测量漂移室性能时,采用微分时间谱的测量方法,整个漂移单元被宇宙射线照射时则有

$$\frac{dN}{dt} = \frac{dN}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dN}{dx} V(t)$$

其中 N 是得到的计数率.由于宇宙射线是均匀分布的粒子源,因此 $\frac{dN}{dx}$ 可以当作常数,计数率的时间微分 $\frac{dN}{dt}$ 就与漂

移速度 $V(t)$ 成正比.实验时室内充有 $20.2\% \text{CO}_2 + 79.8\% \text{Ar}$ 混合气体,在

2. 输出脉冲幅度分布

在漂移室在线测量中,各阳极丝输出脉冲幅度的一致性是非常重要的.因为在目前高能物理实验中,一个大型谱仪中的漂移室就有上千根丝输出讯号,一般配有标准的放大器和甄别器,各阳极丝输出脉冲幅度的不一致将会带来很多麻烦,甚至影响时间测量精度.我们分析模型漂移室^[2]各阳极丝输出脉冲幅度不一致的原因,在制作大型漂移室时,

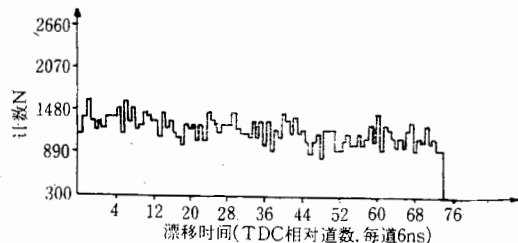


图3 $\frac{dN}{dt}-t$ 关系曲线

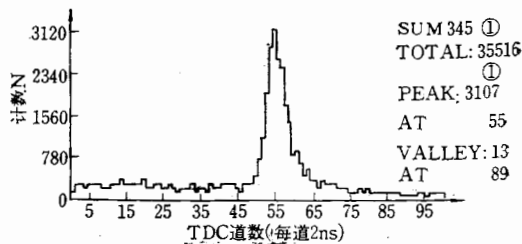


图4 $\frac{1}{2}(t_1 + t_2) + t_1$ 分布曲线

25mm 的漂移距离内,测得计数率的微分 $\frac{dN}{dt}$ 随时间的分布谱见图 3 所示,由此就可以知道漂移速度 $V(t)$ 随时间分布。分布曲线稍有逐渐下降的趋势,其原因是气体纯度不够纯,使远离讯号丝的初级电离电子产生吸附。用这种方法可以很快地测得一个谱,而且可以在实验过程中随时监测。但是这种方法的精确度不够高。在模型漂移室中,我们用精密机械扫描法,测量结果见参考文献 [1]。由于可调电场漂移室具有一个粗略的均匀电场,所以空间和时间呈线性关系。

4. 空间分辨率

漂移室的空间分辨率,表示漂移室对入射粒子坐标定位的精确度,它说明了漂移室把在空间上靠得最近的两根径迹区分开来的能力。影响漂移室空间分辨率的主要因素: 漂移时间测量精确度,这取决于触发电子学系统和读出电子学系统的时间分辨;原电离径迹的宽度;初级电子在漂移过程中的扩散和多次散射以及实验方法等。五个漂移室分别用双漂移室法和三漂移室法进行测量和数据分析。

五个漂移室平行放置,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, t_2, t_3, t_4, t_5 。由于闪烁计数器上下相距二米,粒子倾斜入射的最大张角小于 $8^\circ 30'$,因此可近似看作垂直入射,而且三室法对倾斜入射粒子不受影响。双漂移室法测得 $t_1 + t_2$ 分布曲线,三漂移室法测得 $\frac{1}{2}(t_3 + t_5) + t_4$ 分布曲线,见图 4 所示,取其 FWHM 为 Δt 。室工作气体为 9.7% $\text{CH}_4 + 90.3\% \text{Ar}$ 时,测得 Δt 为 12ns,从而得到在线实验系统时间分辨率 $\sigma_t = 5.11\text{ns}$,平均饱和速度 $V = 3.06\text{cm}/\mu\text{s}$,空间分辨率 σ 为 $132\mu\text{m}$ 。室工作气体为 20.2% $\text{CO}_2 + 79.8\% \text{Ar}$ 时,测得 Δt 为 10ns,从而得到在线实验系统时间分辨率 $\sigma_t = 4.26\text{ns}$,平均饱和和漂移速度 $V = 5.48\text{cm}/\mu\text{s}$,空间分辨率 $190\mu\text{m}$ 。漂移速度是用模型室测得的结果^[1]。以上实验结果包括电子学系统的贡献在内。

5. 效率

漂移室的探测效率 ε 表征粒子穿越漂移室时能被探测到的几率。在线实验系统的效率定义为室的重符合计数 N_5 与四重符合计数 N_4 之比: $\varepsilon = \frac{N_5}{N_4}$ 。用这种方法测量效

率,漂移室层数越多,测量精度越高。室工作气体为 9.7% $\text{CH}_4 + 90.3\% \text{Ar}$ 时,效率可达 96% 以上;室工作气体为 20.2% $\text{CO}_2 + 79.3\% \text{Ar}$ 时,效率可达 95% 以上。测量结果见图 5 所示,显然效率偏低一点,经过多次实验表明,主要受读出电子学系统的前端电路的影响,我们双室和三室配有两种前端电路,它们的效率有非常明显

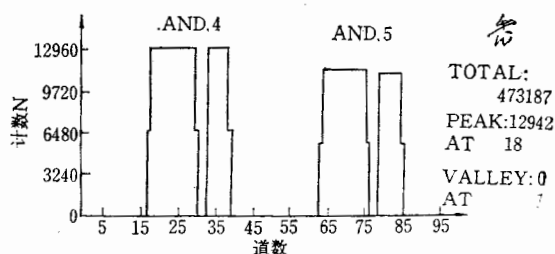


图 5 漂移室效率

的差别,这是前端电路抗干扰能力的不同所造成。因为我们用宇宙射线作为入射粒子,在我们的接收面积里,平均每秒不到半个触发事例数,每次实验需要几十个钟点,因此对前端电路的讯噪比要求比较高。

毛慧顺、白景芝同志为本实验提供了闪烁计数器触发系统;王跃辉同志参加了部分性能测试工作;万五一、刘捷同志参加过室本体制作;陈贤能同志参加了部分软件工作;管应重同志为室本体制作屏蔽罩;邓树森、夏绍建、周春来和边强同志用经纬仪为室本体定位。电子学室孙跃国、后晓江、盛华义、赵宗琴等同志为本实验提供了读出电子学系统,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 王运永、李如柏等,高能物理与核物理, 6(1982), 129.
- [2] 万五一、刘捷等,高能物理与核物理, 7(1983), 269.

THE PERFORMANCE TEST OF $1\text{m} \times 1\text{m}$ DRIFT CHAMBERS WITH ON-LINE MICROCOMPUTER

LIU RONG-GUANG WU JIAN-WU

XIE PEI-PEI DONG XUE-SENG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The performance of a $1\text{m} \times 1\text{m}$ drift chamber system have been measured with on-line microcomputer using cosmic rays. The time resolution is 4.26 ns. The spatial resolution is $132\ \mu\text{m}$ and the efficiency is above 96%. The experimental set-up include five $1\text{m} \times 1\text{m}$ adjustable field drift chambers, scintillation counter trigger system, read-out electronics and a TRS-80 microcomputer. The data acquisition and processing have been done with on-line microcomputer and off-line data analysis.