

用于中微子质量测量的焦面探测器的台式试验

于 宸 张淑华

(中国原子能科学研究院, 北京)

关键词 位置灵敏探测器, 抽头延迟线, 位置分辨。

一、前 言

在我院中微子静止质量测定工作中, 采用了测量 β 谱端点能谱的方法, 在 $\sqrt{2}\pi$ 有铁双聚焦 β 磁谱仪的焦面上放置一单丝正比管, 进行能谱测量。为了提高数据收集效率及实验精度, 将单丝管变为位置灵敏探测器是必要的。国外从事同样工作的实验室, 有的利用高电阻阳极丝正比管作焦面探测器^[1], 有的利用多单元正比管组合探测器。前者对于垂直象高较小的谱仪实验较为适用, 而我院的 β 磁谱仪象高近9.6 cm, 很难为它所包括。多单元正比管的位置分辨能力受各个单元几何条件的限制, 适用于大色散谱仪, 而我院谱仪的色散较小, 因此对探测器的位置分辨要求较高, 为此, 我们研制了适于该工作的大面积、薄窗、高压多丝正比室(MWPC)焦面探测器, 本文介绍大气压下台式实验结果。

二、物理实验对 MWPC 的性能要求

(1) 在粒子斜入射(47.6°)的条件下, 位置分辨好于1 mm, 要将相距3.3 mm的准直缝所对应的谱分开。

(2) 位置线性良好。

(3) 将23 keV的低能电子全部阻止在室的有效体积内, 并给出能量损失。23 keV电子的平均射程为 1 mg/cm^2 ^[2], 以粒子在正比室中穿过9.5 mm的氩气计算, 需要充以63.8 kPa气体, 为减少低能电子在窗中的能量损失及多次散射效应, 要求窗厚小于 $150\text{ }\mu\text{g/cm}^2$, 如用Mylar薄膜, 其窗厚约 $1\text{ }\mu\text{m}$ 左右。正比室的窗口面积为 $30\times 95\text{ mm}^2$ 。对如此薄窗要求窗口大、气压高, 给研制工作带来不少困难, 下面着重介绍这方面的工作。

三、正比室结构及工艺

正比室由三个平行的丝面组成^[4], 阳极居于二个阴极之间, 间距为 $L=4\text{ mm}$ 。每个丝面是由彼此平行的镀金钨丝拉制而成的。阳极丝直径为 $25\text{ }\mu\text{m}$, 丝距 s 为2, 3 mm两种。上、下阴极丝均为 $\phi 60\text{ }\mu\text{m}$, 丝距为1 mm。其中一个阴极引出线与抽头延迟线相接, 作为位置读出。上、下面板为6 mm厚的黄铜板, 在窗与上面板间放置1 mm厚的真空橡皮垫及1 mm厚的准直缝板, 其缝板上有九条间距为3.3 mm、倾斜 $\sim 47.6^\circ$ 的平行细缝, 起着准直束流及保护窗膜的作用。整个室用螺钉压紧并密封胶达到真空密封, 窗膜可以很方便的予以更换。

我们制备了面积为 $100\times 180\text{ mm}^2$ 、厚度在 $100\text{ }\mu\text{g/cm}^2$ 左右的Former膜, 但强度不够, 手触即破。最后采用 $1\sim 1.5\text{ }\mu\text{m}$ 的商品膜, 强度及气密性较好, 但必须经过严格挑

选。首先将膜张紧在框架上，下面放以吸水性好的滤纸，用酒精棉轻轻擦抹，然后进行打气承压试验，如果长时间无明显漏气，再放入真空室检查气密性。大面积薄窗往往需要保护，特别是当探测器内部气压很高，而外面是真空时，还需要粗网加细网双层保护。用溅射法制成的细铜网，对厚度 1—2 μm 的膜不大适用，因为网眼周围的毛刺易刺破膜。可以使用十字交叉的尼龙网，但其交叉处易在膜上留下伤痕，且穿透率较低。如用腐蚀得很光滑的平面网是最为理想的。由于本实验需要几条缝作准直，将缝板充分抛光，利用它支撑了薄膜。

按照以上工艺装配成的焦面探测器放入谱仪检查气密性，当通过 79.8 kPa 气体时，谱仪真空度保持不变。

四、性能测试

MWPC 位置读出采用了阴极耦合延迟线法^[4,5]。

射线在室中产生电离、雪崩，在阳极丝产生负讯号的同时在阴极上产生了感应的正讯号，原始雪崩位置与阴极感应电荷的分布重心相对应。为了测得这个重心，我们选用了抽头延迟线法，它具有读出线路简单、耦合效率高、稳定牢固等优点。将阴极每条丝与抽头延迟线的各个抽头相连(图 1)，射线位置与感应脉冲达到线两端的延迟时间差成正比，当取固定延迟时间 $K = T$ 时，

$$\frac{x}{L} = \frac{1}{2} \frac{t_2 - t_1}{T}$$

因此精确的测量 $(t_2 - t_1)$ ，就可以准确的确定射线位置。

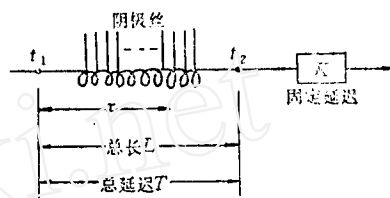


图 1 延迟线读出原理
Fig. 1 Principle of delay-line readout

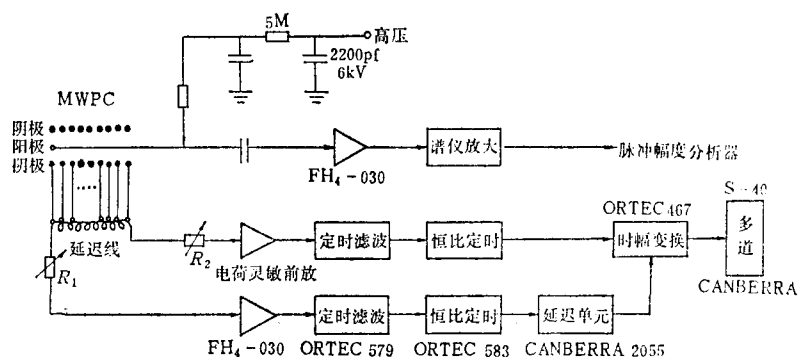


图 2 读出电子线路
Fig. 2 Scheme of the readout electronics

图 2 为电子线路的方框图。延迟线为国产多抽头延迟线，特性阻抗为 500 Ω，二抽头间延迟 10 ns，每 2.54 mm 一个抽头，总长为 11 cm，延迟线频宽为 7 MC(3 dB 处)。延迟线与前放的匹配由电位计 R_1 及 R_2 完成。前级放大器的电荷灵敏度为 200 mV/MeV(Ge)；定时滤波放大器的微分时间常数选用 200 ns，积分时间常数为 20 ns；恒比定时器工作在纯恒比型；延迟单元置于 1 μs。利用这套仪器测量了位置线性、位置分辨等特性。

1. 位置线性

积分线性表征射线位置与多道道数之间的关系。为了得到好的线性，阴极丝距必须均匀，延迟线各抽头的延迟率要一致，定时线路要有足够好的线性。将正比室的缝板去掉， α 源固定在微动台上，沿着 x 方向移动源位，图 3 的 A, B 二直线为放射源自室中心区向左、右移动所得到的线性曲线，其线性好于 0.4%。

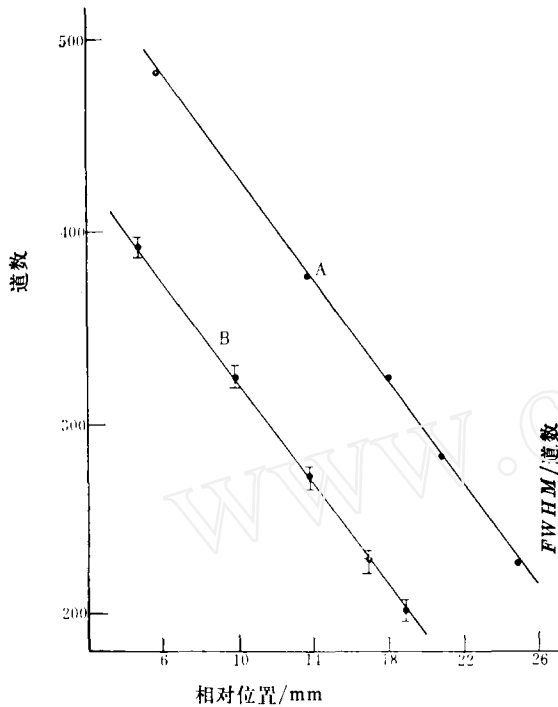


图 3 多丝正比室积分线性曲线
Fig. 3 Integral linearity of MWPC
A —— 由室中心向左移动；
B —— 由室中心向右移动；
用 2 号室 ($s=2, L=4$ mm), Ar+30%CO₂ 气体。

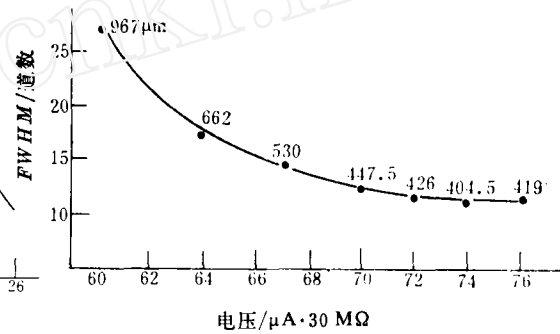


图 4 工作电压与位置分辨(FWHM)的关系
Fig. 4 Position resolution (FWHM) as a function of high voltage
用 5 号室 ($s=3, L=4$ mm); 多道每道相当 35.8 μ m。

2. 位置分辨

正比室的位置分辨能力受很多因素限制，如电离损失涨落、多次散射效应、测量线路的电子学噪音等，其电子学因素对位置分辨的贡献与以下因素有关：

$$\sigma_c = \frac{U_n}{U_s} \cdot \frac{t_r}{\tau_d} \quad (1)$$

式中， U_n 为噪音的均方根值； U_s 为脉冲高度； t_r 为脉冲上升时间； τ_d 为延迟线的传输延迟。可见，采用漂移速度快的气体和提高讯、噪比是提高位置分辨的有效方法。所用 5 号室 ($s=3$ mm, $L=4$ mm) 用 α 源照射，流过一大气压 Ar+30%CO₂ 气体，用示波器测得前放的输出脉冲幅度列于表 1，前放输出噪音(峰值—峰值)只有 30 mV，因此讯噪比是足够大的。

位置分辨测量结果分以下几种情况：

(1) 位置分辨与工作电压的关系。将准直的 α 源置于第三条缝上，测得不同工作电压

表 1 前放输出
Table 1 Preamplifier output

工作电压/V	1800	1950	2100	2250	2340
脉冲幅度/mV	~500	~850	~1300	~1500	~2500

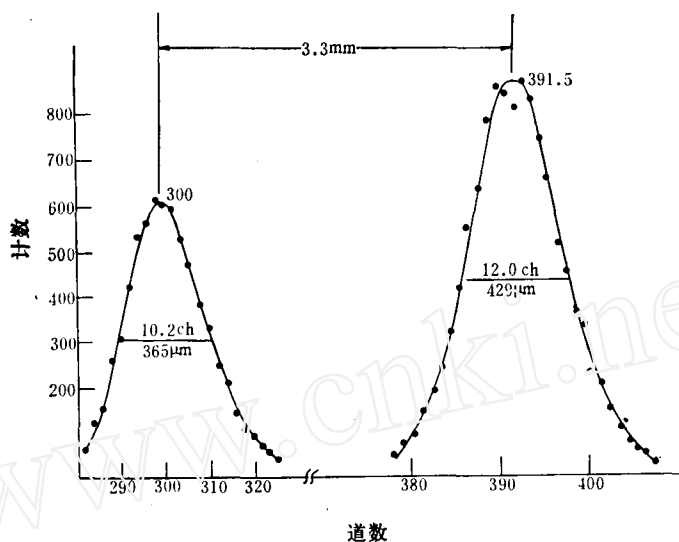


图 5 相邻二缝的位置谱
Fig. 5 Position spectrum for two neighbouring slits
注: α 粒子垂直入射到室上。

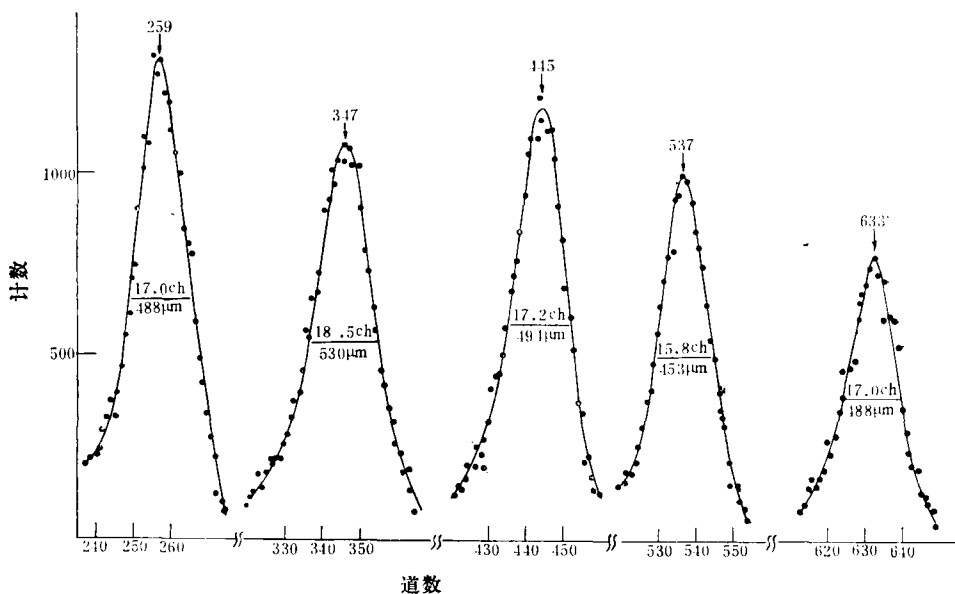


图 6 α 粒子束斜入射到五条缝的位置谱
Fig. 6 Position spectrum of five slits for beam of α -particles incident at an angle 17°
 α 束与室面法线成 17° 角; 每道相应 $35.1 \mu\text{m}$

下的位置分辨如图 4 所示。随着工作电压升高,位置分辨变好。在较低的工作电压下,由于讯噪比小,脉冲上升时间慢,因而分辨变坏。为了提高位置分辨角度,应使正比室工作接近有限正比区,但如需能量信息,就要兼顾二方面的要求来确定工作电压。

(2) α 源垂直入射时。经过准直的 α 束穿过缝板的相邻二个缝,在高压为 -2100 V 时,得到位置谱的半高宽分别为 365 及 $429\mu\text{m}$ (图 5),其差异主要是由机加工缝宽不均造成的。

(3) α 束斜入射时。图 6 给出了 α 粒子入射角为 17° 时得到的位置谱,其分辨在 0.5 mm 左右,能将各条缝清楚的分开,位置分辨率大于垂直入射时的位置分辨率的原因在于原始电离涨落增大的结果。

(4) 非准直的 ^{55}Fe 源照射到室上时。将活性区 $\phi 6\text{ mm}$ 、能量为 5.9 keV 的 ^{55}Fe 源置于室的上方约 6 cm 处,同样得到了清楚分开的各条缝的位置谱。

3. 能量分辨

没准直的 ^{55}Fe 源置于缝板上,在工作电压为 1950 V 时,得到 5.9 keV 峰的能量分辨为 $20.6\%(FWHM)$ 。

五、结 语

台式实验表明:该正比室能够满足中微子实验的各项要求,在 α 束垂直入射条件下得到最好的空间分辨为 $365\mu\text{m}$ 。由于没扣除电子线路及束流宽度的贡献,实际位置分辨好于此结果。通过对薄膜、保护网及真空密封等反复试验,解决了大面积、薄窗、高压压室的工艺问题,为这一类探测器的制作提供了一定的经验。

对陈师平、杨婧同志在性能测试中给予的协作表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Yoshida, Y. et al, *Nucl. Instrum. Methods*, 154, 261 (1978).
- [2] Lane, R. O. et al., *Physical Review*, 94, 960 (1954).
- [3] Charpak, G. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 80, 13 (1970).
- [4] Bondar, A. E. et al., *Nucl. Instrum. Methods*, 207, 379 (1983).
- [5] 于宸等,核电子学与探测技术, 4 (3), 170 (1984).

(编辑部收到日期:1988年2月8日)

TABLE TEST OF FOCAL PLANE DETECTOR FOR NEUTRINO MASS MEASUREMENT

YU CHEN ZHANG SHUHUA

(China Atomic Energy Institute, P. O. Box 275, Beijing)

ABSTRACT

The paper describes the structure and performance of the focal plane detectors for neutrino mass measurement. The detector is a MWPC with a thin window. The active area is $30 \times 95\text{mm}^2$. It can bear up 79.8 kPa pressure. The best position resolution obtained is $365\mu\text{m}$ for vertical incident α particle with energy 5.3 MeV .

Key words Positive sensitive detector, Tapped delay line, Position resolution.