

多丝正比室阴极感应电荷重心读出 定位性能的研究

李澄 汪兆民 陈宏芳 杨保忠

(中国科技大学近代物理系, 合肥)

摘 要

制作了一个带有阴极条的有效面积为 $100 \times 100 \text{ mm}^2$ 的多丝正比室模型, 测量了 ^{59}Fe 的 X 射线 (5.9keV) 在阴极面上产生的感应电荷分布和多丝室沿阳极丝方向的位置分辨, 研究了阴极条取样数对位置分辨的影响, 最后和理论计算的结果进行了比较。

一、引 言

在高能物理实验中, 阴极感应电荷重心读出是精确测定入射粒子空间位置的重要方法之一, 它的优点是时间分辨好, 在较高的计数率下仍可保持好的定位精度。近年来, 随着低噪声快电子学技术的迅速发展, 这种定位方法得到了广泛的应用^[1-3]。西欧核子中心目前正在建造 $50 \times 50 \text{ GeV } e^+e^-$ 对撞机 (LEP), 在 LEP-3 小角度亮度监测器上, 我们承担了研制倾斜多丝室的任务。该丝室的作用是对带电粒子径迹作精确定位, 粒子的径向坐标根据电子到阳极丝的漂移时间决定, 而角向坐标则由阴极感应电荷重心位置确定。

为了对多丝室阴极感应电荷重心定位的性能进行研究, 我们制作了一个带有阴极条的有效面积为 $100 \times 100 \text{ mm}^2$ 多丝正比室模型, 测量了 5.9keV X 射线在阴极面上产生的感应电荷分布, 对阴极条取样数对重心测量和定位精度的影响进行了研究, 并和理论计算值做了比较。

二、感应电荷的计算

根据多丝正比室的工作原理, 在阳极丝附近由电子雪崩形成的正离子云向阴极漂移过程中, 上下两阴极面上的感应电荷分布与原初电离产生的电子位置有关。为了简单起见, 我们可以近似认为正离子云的分布是不随时间改变的均匀分布。这样可用静电学中

点电荷的镜象原理来研究感应电荷的分布。

设上下两阴极面为连续的无穷大导体平面, 且不考虑阳极丝的影响, 则位于阳极丝附近电量为 Q 的点电荷在阴极面上的感应电荷密度为^[4]:

$$\sigma(x, y) = -\frac{Q}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(2n+1)L}{[(2n+1)^2 L^2 + x^2 + y^2]^{3/2}} \quad (1)$$

其中 x 坐标沿阳极丝方向, y 坐标沿阴极条方向, 坐标原点即为点电荷 Q 到阴极面的垂足, L 为丝室的气隙. x 方向线电荷密度为上式对 y 积分, 积分限为 $-\infty \rightarrow +\infty$:

$$\sigma(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \sigma(x, y) dy = -\frac{Q}{4L} \operatorname{sech} \frac{\pi x}{2L} \quad (2)$$

若第 i 根阴极条两边界的坐标分别为 a 和 b , 则该阴极条上的感应电荷量为:

$$Q_i = -\frac{Q}{4L} \int_a^b \operatorname{sech} \frac{\pi x}{2L} dx = -\frac{Q}{\pi} \tan^{-1} e^{\frac{\pi x}{2L}} \Big|_a^b, \quad (3)$$

其中 $0 \leq a \leq x \leq b$.

感应电荷重心坐标

$$x_c = \frac{\sum x_i Q_i}{\sum Q_i} = \sum x_i f_i, \quad (4)$$

x_i 是第 i 根阴极条的 x 坐标, f_i 是第 i 根阴极条上感应电荷量与整个阴极面上总感应电荷量之比. 该式表明, 重心定位实质上就是测量各阴极条上感应电荷的相对值. 因此, 脉冲信号的涨落对定位精度不会产生太大的影响, 这是重心读出法的一个优点.

三、实验装置

实验制作的多丝正比室有效面积为 $100 \times 100 \text{ mm}^2$, 上阴极面和阳极面分别由直径为 $100 \mu\text{m}$ 和 $20 \mu\text{m}$ 的镀金钨丝构成, 丝距分别为 1 mm 和 2 mm , 下阴极面是印刷线路板, 阴极条宽 4.5 mm , 间距 0.5 mm . 多丝室气隙 L 为 8 mm , 阴极丝和阴极条均与阳极丝垂直. 工作气体为 79% 氩气加 21% 二氧化碳.

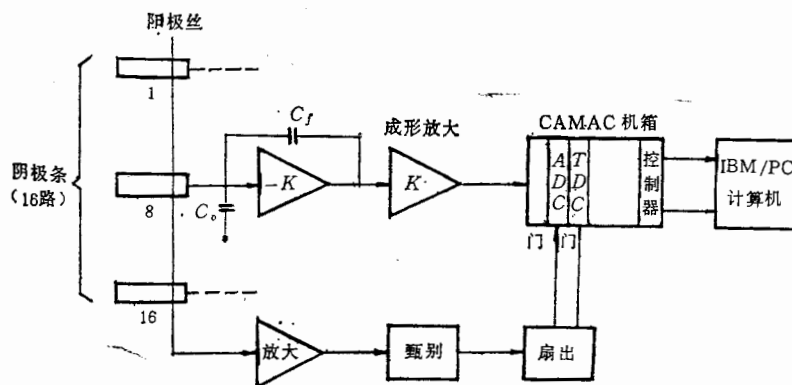


图 1 测量感应电荷分布重心的实验安排示意图

X 射线源 (^{55}Fe , 5.9keV) 和准直器固定在阿贝比长仪上, 在垂直于阴极条方向上, 可任意改变 X 射线源和阴极条的相对位置. x 方向上准直缝宽 $250\mu\text{m}$, 准直器长 80mm, 离阴极面 25mm.

每根阴极条分别和一个电荷灵敏放大器(自制)相联接. 接上室后, 电荷灵敏放大器灵敏度为 0.85V/pC , 等效噪声电荷为 $1.5 \times 10^{-3}\text{pC}$, 脉冲上升时间 30 ns, 积分非线性小于 0.8%. 电荷灵敏放大器输出信号通过快成形放大后送到 ADC (LRS-2248, 满量程 256pC, 灵敏度为 1 计数/pC), 阳极信号通过前级放大器、甄别器 (LRS-6232) 和逻辑扇出 (LRS-429), 产生宽度为 150ns 的负脉冲作为 ADC 和 TDC 的开门信号. 实验采用 3989 机箱控制器, 由 TDC(LRS-2228 A) 产生的 LAM 信号作为 ADC 接受信号的标志. CAMAC 系统的输出接 IBM/pC 微型计算机. 图 1 是实验安排示意图.

四、测量系统刻度和事例判选条件

为了对测量系统进行电荷量—ADC 计数刻度, 在 150ns 门宽下, 测得不同输入电量时各路 ADC 计数的平均值 D_i , 用最小二乘法对测试点进行四次多项式拟合:

$$Q_i = \sum_{j=0}^4 A_{ij} D_i^j \quad (i = 1 - 16), \quad (5)$$

Q_i 为第 i 路输入的电荷量 (以 pC 为单位), D_i 为 ADC 计数, A_{ij} 为拟合系数, 它可通过解高斯方程求得. 刻度结果表明, $A_{i0} \sim 10^{-3}$ 量级, $A_{i1} \sim 10^{-4}$ 量级, A_{i2} 、 A_{i3} 和 A_{i4} 均小于 10^{-6} 量级, 主要是常数项和一次项的贡献, 校正曲线近似为一直线, 截距 (约等于 A_{i0}/A_{i1}) 即为 ADC 的台基, 噪声谱的均方值最大为 3 个 ADC 计数.

在获取数据程序中, 根据实验测量得到的感应信号脉冲分布谱, 我们采用了若干判选条件, 将背景事例除去. 下列事例将认为是背景事例: (1) 有一路为满量程计数的事例; (2) 两路计数同时小于 5 的事例. 由上述两个判选条件, 我们先初选了 200 个事例, 定出在 16 根阴极条中 (每根阴极条相对位置用序号表示) 感应电荷最大值所对应的阴极条序号, 当雪崩发生在阴极条宽度范围内时, 该序号数是确定的, 但在两根阴极条之间时, 该两根阴极条都可能是 ADC 计数最大的. 因此, 感应电荷最大值所对应的阴极条有两个序号数. 我们把这一 (或两) 个序号数作为正式采集数据时判选事例的第三个条件, 即 (3) 感应电荷最大的阴极条序号和初选序号不相同的事例应除去; (4) 感应电荷最大的阴极条 ADC 计数小于 120 的事例也除去.

在每个测量点上, 根据上述判选条件, 共采集了 1000 个事例.

五、实验结果

(1) 感应电荷分布

用激光器把准直缝对准第 8 根阴极条中心后, 测量了 X 射线源离中心不同位置上各阴极条上的感应电荷, 图 2 表示在条中心时的实验结果, 图中横坐标代表条序号, 纵坐标代表 f_i 值. 由图可知, 第 8 条上的感应电荷量约为阴极总感应电荷的 30%, 80% 的电荷

是
图

数
移
制

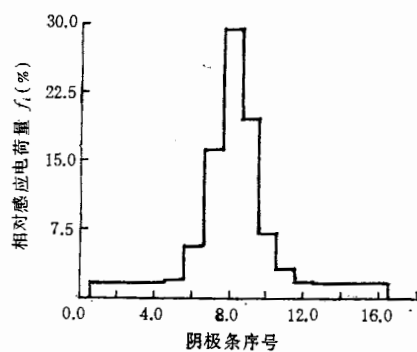


图 2 雪崩发生在条中心时的感应电荷分布

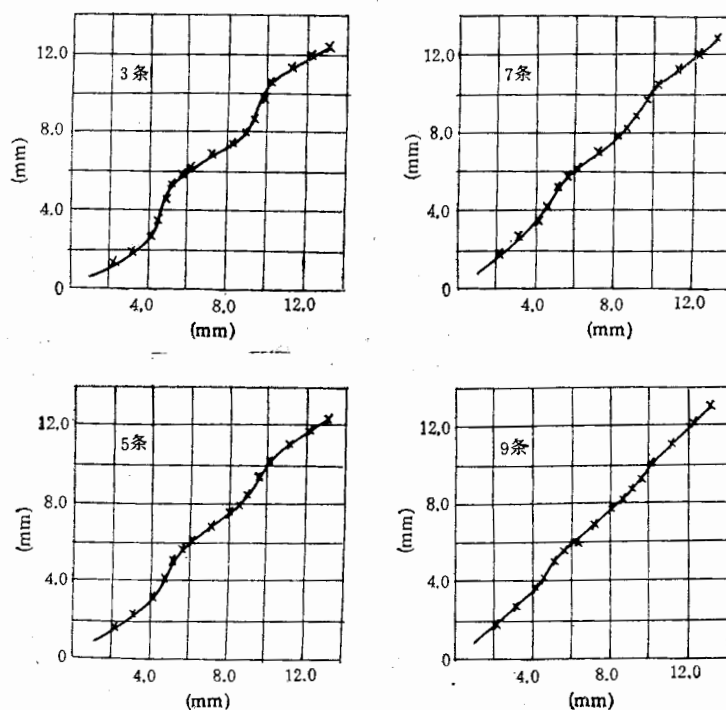


图 3 测得的电荷重心随 X 射线位置的变化。横坐标为 X 射线源的位移;纵坐标为实验测得电荷重心位移

是集中在中间 5 根条上。感应电荷分布的半高宽略小于 $2L$ 。这些都和理论估计值相一致。图中远离中心条的平台是由噪声产生的。

(2) 感应电荷重心和位置分辨

为了研究阴极条数对重心定位的影响,我们以最大感应条为中心,测量了阴极条取样数为 3、5、7 和 9 时重心随 X 射线源位置的变化,如图 3 所示,图中横坐标为放射源的位移,纵坐标为相应的感应电荷重心位移。数据表明,重心的位移是受阴极条宽呈周期式调制的,位移曲线按跳跃式变化,图中近似线性区对应于重心位于阴极条上的情况,跳跃区

表 1 不同阴极条取样数下直线斜率和跳跃量的实验值

阴 极 条 数	斜 率	跳 跃 量 (mm)
3	0.58	2.7
5	0.73	1.3
7	0.82	0.8
9	0.93	0.3

则对应于阴极条间隙上的情况,线性区斜率均小于 1,且阴极条数愈多,斜率愈大,跳跃量愈小(见表 1)。

这种由阴极条的宽度效应所造成的现象,反映了重心读出法固有的性质,从而使由感应电荷取样所得到的重心位置 and 实际电荷的位置有一系统偏差,偏差的程度和多丝室的气隙、阴极条宽度、间距等丝室的具体参数有关,也和阴极条取样数有关。图 4 表示在本实验条件下,根据(3)式计算得到的偏差的理论值。当电荷位于条中心时,偏差值为零,随着电荷偏离中心,偏差逐渐按线性增大,在条边缘处达最大值。

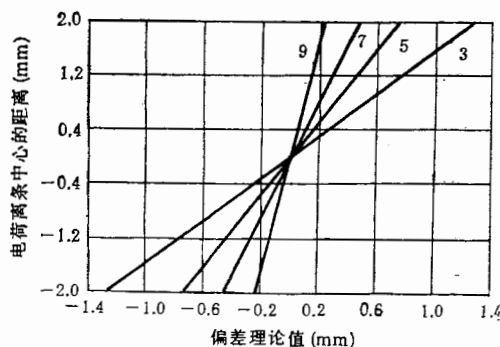


图 4 重心读出固有偏差的理论值

电荷在同一位置上,取样阴极条愈多,偏差愈小,由于电荷的位移值总是大于重心的位移值。测量的重心是向条中心收缩的,导致图 3 直线段的斜率小于 1。我们发现,图 3 上的实验点和图 4 的偏差理论值符合得很好,对实验点进行修正后,可得到一条斜率近似为 1 的直线。这说明用(3)式描述的电荷分布是符合真实情况的。

图 5 是表示位置分辨和阴极条数的关系,图中数据已扣除了准直缝对位置分辨的贡献($\sim 96 \mu\text{m}$)。电荷位于条宽范围时,5 根条的位置分辨最好($\sim 200 \mu\text{m}$),条少时因取样太粗使误差增大,条多时因噪声贡献增加使位置分辨变差。电荷位于条间隙时,因所选取事例的最大感应电荷位置可能对应于左右两根相邻序号的阴极条,重心分布有较大的离散,位置分辨很差。增加阴极条数,分辨稍有改进,当 9 根条取样时,由于噪声成为影响位置分辨的重要因素,间隙和条上的分辨率差异减小。事实上,若此时采用以间隙为中心对称取样,期望位置分辨可得到较大的改善。

由于感应电荷读出带来的系统误差,造成条上对应的位置分辨小于实际值,而间隙上则大于实际值。经过修正后,两位置上的分辨率趋向一致,其中 5 根条读出空间分辨最

好电

这
出
分[1]
[2]
[3]
[4]
[5]

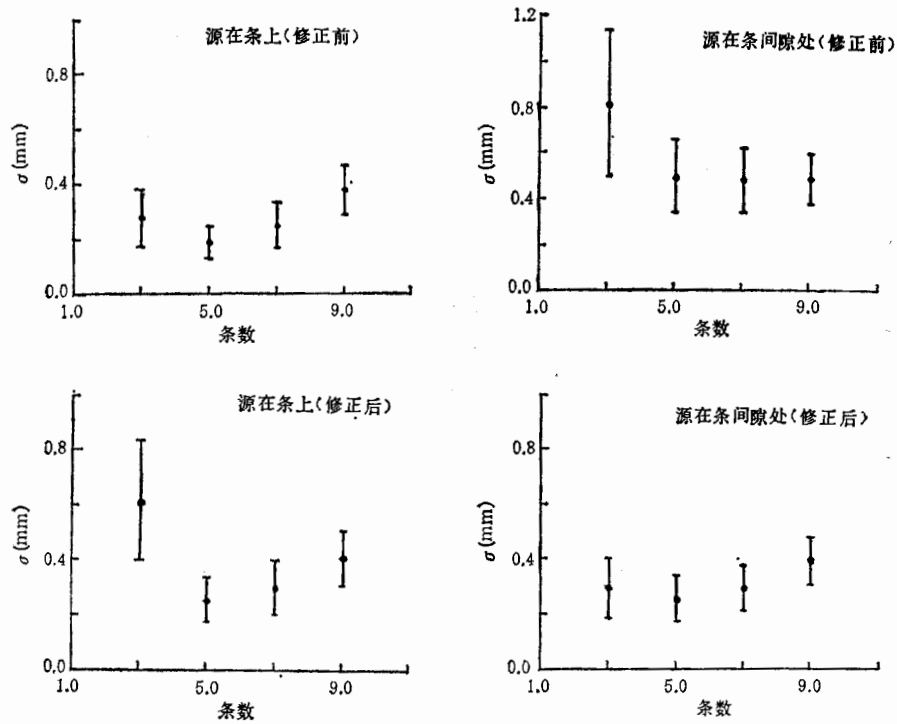


图 5 不同阴极条取样数下的位置分辨

好, $\sim 260 \mu\text{m}$, 其次是 7 根条。而 3 根条和 9 根条读出时, 分辨均较差。前者是由于取样电荷涨落较大, 后者是由于噪声影响较大。

六、结 论

由于阴极条的宽度效应, 使测量所得电荷重心位置 and 实际值之间存在系统的偏差, 对这种偏差进行修正后, 位移曲线斜率近似为 1。考虑到取样涨落和噪声的影响, 5 根条读出空间分辨最好 ($\sim 260 \mu\text{m}$)。我们的结果还表明, (3) 式较好地反映了感应电荷的实际分布。

参 考 文 献

- [1] G. Charpak and F. Sauli, *Nucl. Instr. and Meth.*, 113(1973), 381.
- [2] F. Sauli, *Nucl. Instr. and Meth.*, 156(1978), 147.
- [3] G. Charpak et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, 167(1979), 455.
- [4] I. Endo et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, 188(1981), 51.
- [5] N. Awaji et al. *Nucl. Instr. and Meth.*, 198(1982), 243.

RESEARCH ON PROPERTIES OF LOCALIZATION IN MWPC USING THE CATHODE-INDUCED CHARGE CENTRE-OF- GRAVITY READ-OUT

LI CHENG WANG ZHAOMIN CHEN HONGFANG YANG BAOZHONG

(University of Science and Technology of China, Hefei)

ABSTRACT

We constructed a MWPC prototype with effective area of $100 \times 100 \text{ mm}^2$ and cathode strips. The distribution of induced charge on cathode plane and spatial resolution along the anode wires were measured by ^{55}Fe X-ray of 5.9 keV. The effect of readout number of strips used for the estimation of the centroid on spatial resolution were studied. Our results were compared with theoretical calculation.

目
负电
简称
0.5111
的 γ 身
变, 缩
P
楚地
Ps 就
一认
检验量
壁 [7, 8]
这些
合, 这
本
量变化