

# 多丝室工作于自猝灭流光模式下定位特性的研究

陈宏芳 许咨宗 洪宝森<sup>1)</sup> 郭光辉<sup>2)</sup> 曾晖

(中国科技大学近代物理系, 合肥 230026)

## 摘要

对多丝室运行于自猝灭流光(SQS)模式下的定位性能进行了实验研究. 用两种不同的丝室结构, 以 Ar 和 CO<sub>2</sub> 的混合气体作为工作气体, 在不同的 CO<sub>2</sub> 含量比例及高压下测试了感应电荷信号在阳极丝周围电极上的分布. 以阳极丝相邻电极上感应电荷的比来确定入射粒子在垂直阳极丝方向上的位置, 分辨率  $\sigma_x$  好于 350 $\mu\text{m}$ . 由阴极面上感应电荷的分布, 用重心法确定入射粒子在沿阳极丝方向上的位置, 分辨率好于 250 $\mu\text{m}$ .

## 一、引言

多丝正比室作为带电粒子和软 X 射线探测器已广泛应用于各个领域. Charpak 等对丝室中由原初电离电子引起的电子雪崩过程<sup>[1]</sup>, 它的空间分布<sup>[2]</sup>以及正离子云向阴极迁移过程中周围电极上感应电荷的分布<sup>[3,4]</sup>做了许多实验上和理论上的研究. 这些研究工作表明, 气体探测器工作于正比放大区时, 雪崩中形成的正离子云沿阳极丝方向局限于小于 100 $\mu\text{m}$  的范围内. 在阳极丝周围的分布是不对称的, 并且主要集中在射线入射方向一侧. 雪崩过程的这些特点是正比气体探测器对电离事件二维定位的物理基础, 丝距为 2mm 的多丝正比室在垂直阳极丝方向上的位置分辨可以达到 100 $\mu\text{m}$  左右<sup>[5]</sup>, 远好于由丝间距决定的位置分辨.

工作于自猝灭流光(SQS)模式下的多丝室在 70 年代后期有了很大发展. 它的输出信号幅度比正比室要大几十倍, 且相对说来具有脉冲宽度窄, 死时间小的优点. SQS 形成的正离子云主要分布在粒子入射方向的一侧, 且线度较大<sup>[6,7]</sup>. 对于在 SQS 模式下多丝室定位性能的研究尚不很多, 本工作主要通过实验来研究它的位置分辨及其影响因素, 并且和多丝正比室作一比较.

\* 国家自然科学基金资助.

1) 现地址西安 262 厂. 2) 现地址兰州近代物理所.

本文 1992 年 4 月 27 日收到.

## 二、实验装置

### 1. 多丝室结构

实验中使用了两种不同结构的丝室,室的有效面积为  $100 \times 100 \text{mm}^2$ . No. 1 室由图 1 (a) 表示,它的阳极面是由直径为  $50 \mu\text{m}$  的镀金钨丝平行而等间距地组成,丝的间距  $S$  为  $10 \text{mm}$ . 阴极面由直径为  $80 \mu\text{m}$  的镀金钨丝以间距  $1 \text{mm}$  平行排列组成. 阴极面和阳极面的距离  $L=8 \text{mm}$ . 工作时阴极面接负高压,阳极丝处地电位. No. 2 室由图 1 (b) 表示. 阳极面是由阳极丝 ( $\varphi=50 \mu\text{m}$ ) 和场丝 ( $\varphi=80 \mu\text{m}$ ) 以间距  $4 \text{mm}$  平行排列组成. 阴极面由直径为  $80 \mu\text{m}$  的镀金钨丝以丝距  $1 \text{mm}$  平行排列组成. 上阴极面的阴极丝方向垂直于阳极丝,每 4 根丝组成一根阴极条. 阴极面和阳极面的距离  $L=4 \text{mm}$ .

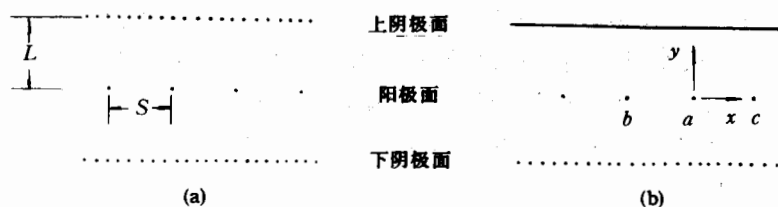


图 1 多丝室结构示意图

(a) No. 1 室 (b) NO. 2 室

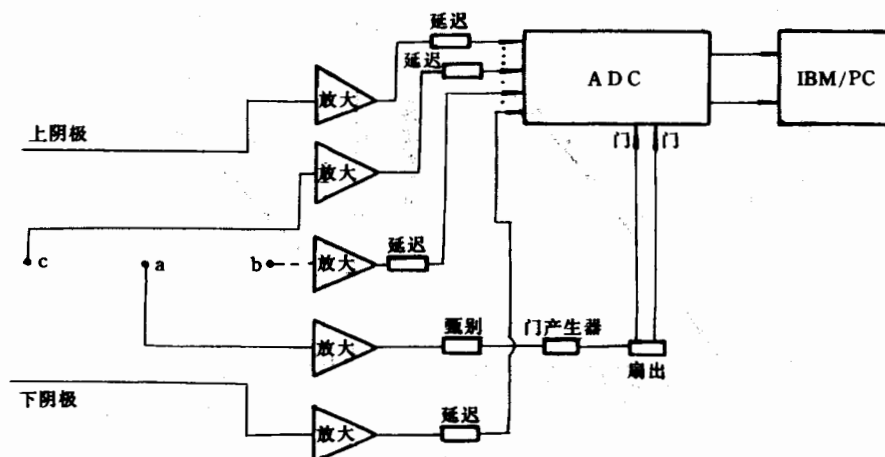


图 2 探测器读出系统的框图

### 2. 读出系统

实验测量时所用电子学的框图用图 2 表示,入射粒子位置测量的参考坐标系已在图 1 (b) 上标出. 收集电离事件雪崩的阳极丝为  $a$ , 相邻的两根阳极丝 (No. 1 室) 或场丝 (No. 2 室) 为  $b$  和  $c$ . 沿阳极丝方向的坐标为  $x$ , 垂直阳极面的坐标为  $y$ ,  $x$  是在阳极面内垂直阳极

丝方向的坐标,  $b$  和  $c$  位于  $x = \pm 10\text{mm}$  处 (No. 1 室) 或  $\pm 4\text{mm}$  处 (No. 2 室). 当事件在阳极丝  $a$  附近引起雪崩时, 丝  $b$  和  $c$  及上下阴极面的信号经放大后输入到模数转换器 (ADC). 丝  $a$  的信号经放大后作为 ADC 的开门信号, 由 CAMAC 和 IBM/PC 组成的系统测得相应的电荷量  $B, C$  和  $q_u, q_d$ . 在测量  $z$  坐标位置时, 将 No. 2 室的上阴极条的信号通过放大器和 ADC 相连. 设每根阴极条对应的坐标为  $z_i$ , 测到的电荷量为  $q_i$ . 丝室工作于 SQS 模式时使用的放大器放大倍数约为 40, 工作于正比区时使用的是电荷灵敏放大器, 灵敏度为  $2.5\text{V/PC}$ . 实验中使用  $^{55}\text{Fe}$  X 射线源测量电离事件引起的感应电荷信号  $B, C, q_u, q_d, q_i$ .

### 三、测量结果

#### 1. 丝室基本性能的测量

用  $^{55}\text{Fe}$  X 射线射入多丝室, 测量阳极丝信号幅度和工作电压的关系. 对 No. 1 室和 No. 2 室的测量结果如图 3. 由图可以看出工作状态在一定高压下从正比模式向 SQS 转换. 定义跳变电压  $V_j$  为 50% 电离事件由正比模式过渡到 SQS 时的电压.

在工作气体为  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  含量为 60% 时 No. 1 室和 No. 2 室的跳变电压  $V_j$  分别为  $4.7\text{kV}$  和  $2.9\text{kV}$ .

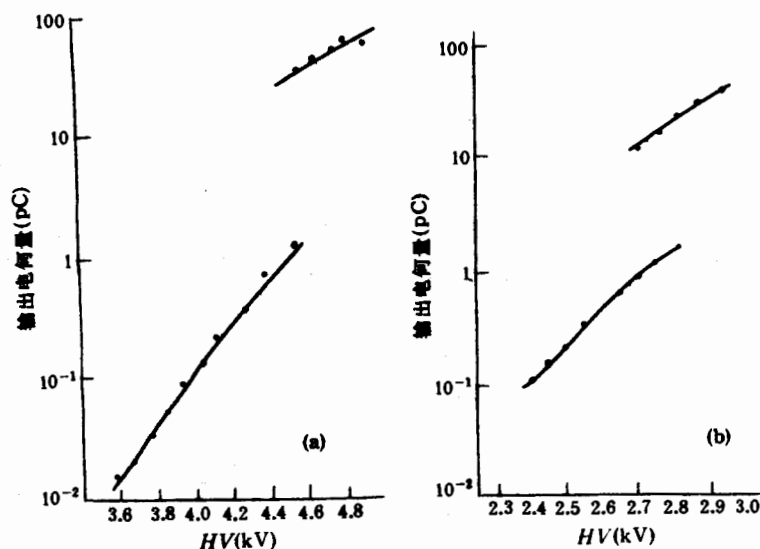


图 3 多丝室输出电荷量和高压的关系 ( $\text{Ar} : \text{CO}_2 = 40 : 60$ )

(a) No. 1 室 (b) No. 2 室

#### 2. 粒子均匀射入丝室时感应电荷的分布

低能 X 射线产生的光电子射程很短, 因此很适宜于用它来研究多丝室正离子云的分布及定位性能. 在氩气混合物中  $^{55}\text{Fe}$  X 射线产生的光电子及氩的俄歇电子的射程约为  $100\mu\text{m}$ . 电子射程引起的位置不确定 FWHM 约为  $100\mu\text{m}$ <sup>[8]</sup>. 用直径为  $10\text{mm}$  的  $^{55}\text{Fe}$  面源均匀照射以阳极丝  $a$  为中线的的一个读出单元. 由于  $\text{Ar}$  和  $\text{CO}_2$  混合气体对  $5.9\text{keV}$  的 X

射线的吸收, X 射线引起的光电子和俄歇电子的位置将分布在以阳极丝 a 为中心的空间内. 因此初始电离电子将以不同径向角移向 a 丝并引起雪崩, 雪崩后正离子云重心离开丝 a, 以相反于初始电子漂入的方向运动. 每一个雪崩事件在周围电极感应出电荷信号  $B, C, q_u, q_d$ . 以  $B/C$  对  $q_u/q_d$  作图, 图 4 给出 No. 1 室的实验结果. 如果每次雪崩形成的正离子云沿阳极丝周围是均匀分布的, 那么数据在图 4 上应都集中在点 (1, 1). 但实验测到的是不对称的分布, 这证实了正离子云在阳极丝周围分布是不对称的, 局限于一个小的径向角范围内. 根据丝室电场分布的情况, 考虑阳极丝附近的点电荷在相邻电极上产生的感应电荷, 可以解释这种分布.  $B/C$  和正离子云对阳极丝距离在  $x$  方向上的投影  $x'$  有关,  $q_u/q_d$  与  $Y$  方向上的投影  $Y'$  有关. ( $B/C$ ), ( $q_u/q_d$ ) 偏离 1 越大意味着正离子云离阳极丝越远. 当丝室运行于 SQS 模式时数据点分布的不对称度比正比区时要大得多. 这说明在 SQS 状态下正离子云沿径向分布在相当大的范围内.

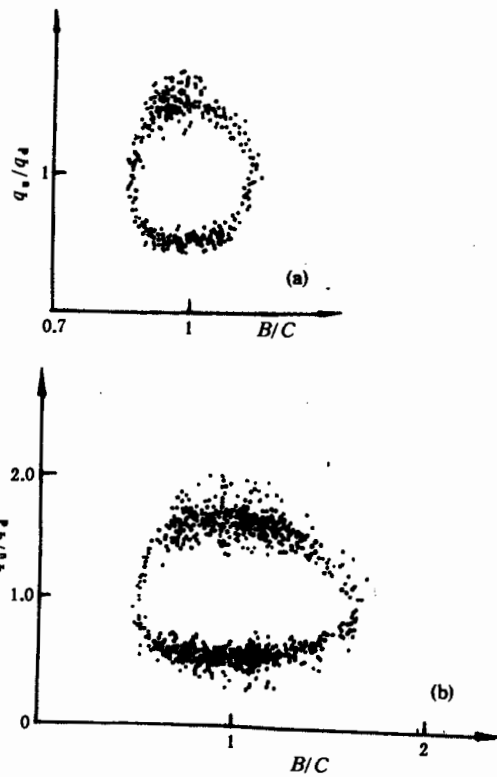


图 4 X 射线均匀射入阳极丝周围时, 相邻阳极上感应电荷分布的测量结果  
(a) 正比放大 ( $\text{CO}_2$  含量 60%,  $HV=4.1\text{kV}$ );  
(b) SQS 放电, ( $\text{CO}_2$  含量 80%,  $HV=5\text{kV}$ )

由图 4 看出  $q_u/q_d \sim 1$  附近的数据点较少, 我们认为这是由于 No. 1 室丝距较大, 在阳极丝平面内  $x \sim S/2$  处电场很弱. 因此初始电离的电子很少有可能沿  $x$  方向进入 a 丝. 为改善电场分布, No. 2 室采用了电场丝的结构. 在阳极面上方 (即  $y > 0$ ) 被吸收的射线相应的  $(q_u - q_d)/(q_u + q_d) > 0$ , 在下方 ( $y < 0$ ) 被吸收的射线相应的  $(q_u - q_d)/(q_u + q_d) < 0$ . 工作于 SQS 模式时我们测得  $y > 0$  和  $y < 0$  的事例数分别为  $N_u$  和  $N_d$ . 按照平行束射线吸收规律, 由实验可得混合气体的吸收系数为  $\mu_{exp}$  和方差  $\sigma_\mu$ ,  $\mu_{exp} = \ln(N_u/N_d)/L$ . 同时根据丝室所用的混合气体的成分和已知元素的吸收系数, 可以计算出混合气体的吸收系数  $\mu_{th}$ , 表 1 给出实验值和计算值. 实验值和计算值在误差范围内符合得很好.

表 1 Ar 和  $\text{CO}_2$  混合气体对 5.9keV X 射线的吸收系数

$\text{CO}_2$ 含量 (%)	$N_u$	$N_d$	$\mu_{exp}$	$\sigma_\mu$	$\mu_{th}$
56	2397	1978	0.480	0.076	0.493
80	2294	2094	0.228	0.076	0.245

### 3. 位置分辨

用准直的  $^{55}\text{Fe}$  放射源放在读数显微镜基座上, 读数显微镜微动丝杠的最小读数为

10 $\mu\text{m}$ . 准直器缝宽为 100 $\mu\text{m}$ , 高 30mm. 在放射源经过准直缝垂直射在阳极丝面的情况下对 No. 2 室在  $x$  及  $z$  方向的位置分辨进行测量. 工作气体是含 CO<sub>2</sub> 为 60% 的 Ar 和 CO<sub>2</sub> 混合气体, 将源准直缝平行于阳极丝放置, 在垂直阳极丝方向的 5 个不同位置上测量感应电荷  $B$  和  $C$ . 每个位置上取符合判选条件(即阳极丝 a 上有负信号输出且 b 和 c 输出正信号)的事例 500 个. 每次测量移动源 1mm. 第一个位置基本上对准阳极丝 a, 取  $x$  值为零. 当 No. 2 室工作电压为 2.6kV, 即丝室工作于正比放大时测量结果如图 5 所示, (a) 是  $x$  和  $B/C$  的对应关系, 图上标出由  $B/C$  分布得到相应的位置误差. (b) 是在每一位置测得  $B/C$  的直方图. 将工作电压升高到 2.9kV, 进行相同的测量得到的结果如图 6 所示. 测量结果表明在远离阳极丝处, 位置分辨较差, 在 2.9kV 即在 SQS 跳变电压时的分辨率为  $\sigma_x < 350\mu\text{m}$ , 工作于正比放大时的分辨率为  $\sigma_x < 220\mu\text{m}$ .  $x$  和  $B/C$  近似有线性关系, 离阳极丝较远处和直线偏离较大.

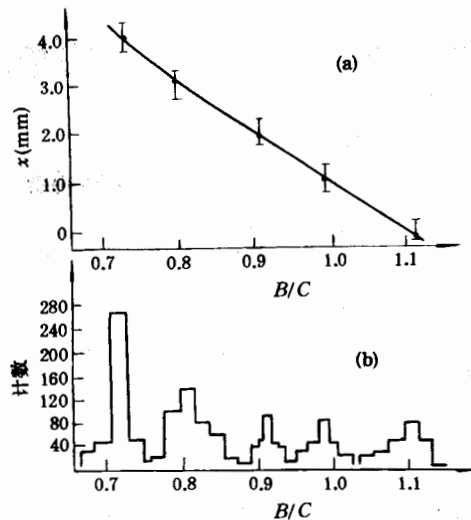


图 5 (a) No. 2 室工作于正比放大模式时入射粒子位置  $x$  和  $B/C$  的对应关系;  
(b) 相应的  $R/C$  直方图

将准直缝垂直于阳极丝 a 放置, 将放射源沿阳极丝移动, 在沿阳极丝方向 5 个不同位

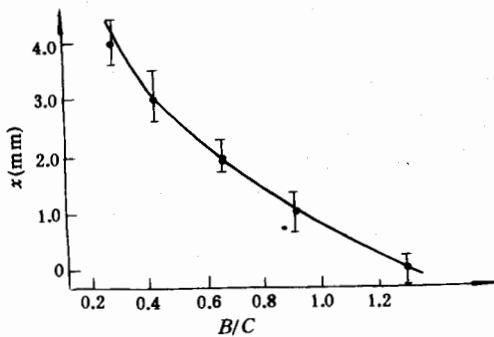


图 6 No. 2 室工作于 SQS 模式下入射粒子位置  $x$  和  $B/C$  的关系

置进行测量. 这时取上阴极面阴极条的 ADC 读数, 每组用 5 根阴极条<sup>[9]</sup>. 设每根阴极条的坐标为  $z_i$ , ADC 读数为  $q_i$ , 用感应电荷重心法即  $z = \frac{\sum q_i z_i}{\sum q_i}$  来确定 X 射线作用点的位置. 测量结果如图 7 和图 8 所示, 工作在正比区和 SQS 模式下的分辨率分别为 170 $\mu\text{m}$  和 250 $\mu\text{m}$ .

#### 四、讨 论

实验测量结果表明相邻阳极丝的感应电荷

$B/C$  和阴极条感应电荷对入射软 X 射线二维位置  $x$  和  $y$  的测量能达到相当好的精度. 由上下阴极面的感应电荷量可以得到 X 射线在丝室内被吸收的位置信息, 并可由此推出所用气体的吸收系数. 丝室工作于 SQS 模式下的位置分辨较正比放大时略差, 但由于 SQS 模式所使用的信号放大器制作容易且价格便宜, 应用 SQS 放电的多丝室作位置测量有很大的发展前景, 值得推广. 对特定的应用目的, 还要在实验上对具体气体成分, 工作电压以及室的几何参数做选择. 根据静电学的基本原理, 可以计算雪崩丝附近电极感应电荷分布与雪崩正离子云的空间扩展的数量关系, 为研究丝室不同放电模式的机制提供有意义的信息.

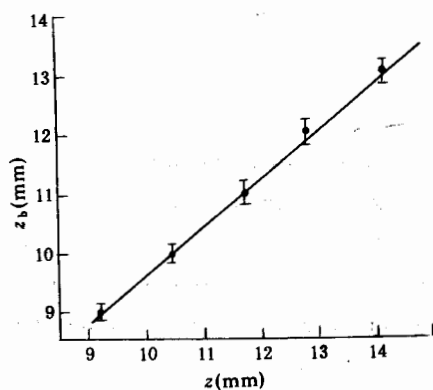


图7 No. 2室工作于正比放大模式时  
(Ar : CO<sub>2</sub> = 40 : 80, HV = 2.65kV) 感应电  
荷重心  $z$  和源位置  $z_b$  的关系

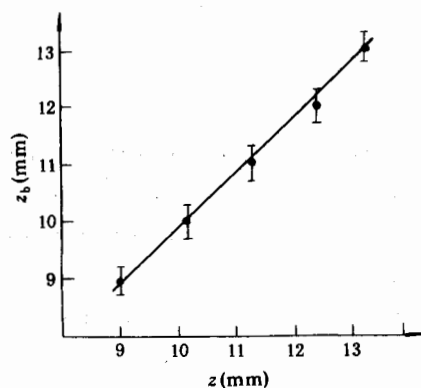


图8 No. 2室工作于 SQS 模式下  
(Ar : CO<sub>2</sub> = 40 : 60 : HV = 2.9kV) 感应电  
荷重心  $z$  和源位置  $z_b$  的关系

## 参 考 文 献

- [1] Charpak, G. et al., *Nucl. Instr. Methods*, **80**(1970), 13.
- [2] Groh, J. et al., *Nucl. Instr. Methods*, **A283**(1989), 730.
- [3] Sanada, J., *Nucl. Instr. Methods*, **196**(1982), 23.
- [4] Eriskine, G., *Nucl. Instr. Methods*, **198**(1982), 325.
- [5] Charpak, G. et al., *Nucl. Instr. Methods*, **148**(1978), 471.
- [6] Atac, M. et al., *Nucl. Instr. Methods*, **200**(1982), 345.
- [7] Alekseev, G. et al., *Nucl. Instr. Methods*, **177**(1980), 385.
- [8] Radeka, V. et al., *IEEE Tran. N. S.*, **Vol NS-31**(1984), 111.
- [9] 李澄等, 高能物理与核物理, **12**(1988), 433.

## Study on the Localization Properties in Self-Quenching Streamer Multiwire Chamber

CHEN HONGFANG XU ZIZONG HONG BAOSAN

GUO GUANGHUI ZENG HUI

*(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)*

### ABSTRACT

The localization properties of multiwire chamber was studied experimentally in the Self-Quenching Streamer mode. The distribution of induced charge at neighboring wires and cathodes was measured in two chambers with different structure at different high voltages. Through the measurement of the ratio of induced charge on the two neighboring wires and the center of gravities of cathode induced charge, we got the position accuracies  $\sigma_x \leq 350\mu\text{m}$  and  $\sigma_z \leq 250\mu\text{m}$ .