

# 气体取样簇射计数器中的电荷分配定位

崔象宗

(中国科学院高能物理研究所,北京)

## 摘 要

本文从实用出发给出了电荷分配定位的计算公式,并将它们应用于在SQS放电模式下工作的不同长度短丝(最小丝电阻425Ω)的电荷分配定位测量中,得到对425Ω短丝的定位偏差为1.1%。比较了双管并联与单管情况下电荷分配定位的精度。分析了在簇射“轴心”定位中应用电荷分配法所可能出现的误差。

## 一、引 言

应用电荷分配法确定沿丝方向的座标已有一系列文章作了论述<sup>[1-6]</sup>。如文献[1]所指出的,当丝阻 $<2\pi z_0$ 时( $z_0$ 为计数管特性阻抗,一般为350Ω左右),信号沿丝传播产生反射而噪声增大,且等效噪声电荷反比于丝阻。在某些气体取样簇射计数器(如北京谱仪的端盖簇射计数器)中,要用许多长度不等的短丝(丝阻 $\leq 500\Omega$ ),这就产生了短丝的电荷分配定位精度问题。此外,为节省电子学,常常需将几根计数管并联。本文通过实验及分析计算给出了短丝的定位精度和双管并联带来的附加定位误差。

## 二、应用于电荷分配定位的计算公式

如图1所示,当0点有电荷 $Q$ 注入时,设 $t$ 时间内丝两端输出的电荷量为 $Q_1$ 和 $Q_2$ ,

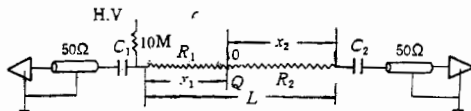


图1 电荷分配法测量示意图

在 $t$ 远大于电荷传播时间的条件下,可将图1的电荷分配过程分为对耦合电容 $C_1, C_2$ 的充电和放电过程,于是丝两端输出的电荷量与总电荷量 $Q_1 + Q_2$ 之比可由如下公式计算

$$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \left( \frac{R_2 + r_2}{R + r_1 + r_2} - \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) e^{-\frac{(C_1 + C_2)t}{(R + r_1 + r_2)C_1 C_2}} + \frac{C_1}{C_1 + C_2}, \quad (1)$$

$$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \left( \frac{R_1 + r_1}{R + r_1 + r_2} - \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) e^{-\frac{(C_1 + C_2)x}{(R + r_1 + r_2)C_1 C_2}} + \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad (2)$$

式中  $R = R_1 + R_2$  为丝的总电阻,  $r_1$  和  $r_2$  分别为二端电路的输入阻抗。通常选取  $C_1 = C_2 = C$  和  $r_1 = r_2 = r$ , 若丝电阻分布均匀即有  $\frac{R_1}{R} = \frac{X_1}{L}$  和  $\frac{R_2}{R} = \frac{X_2}{L}$ , 则上述公式可写成

$$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{R}{R + 2r} \left( \frac{X_2}{L} - \frac{1}{2} \right) e^{-\frac{2x}{(R + 2r)C}} + \frac{1}{2}, \quad (3)$$

$$\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{R}{R + 2r} \left( \frac{X_1}{L} - \frac{1}{2} \right) e^{-\frac{2x}{(R + 2r)C}} + \frac{1}{2}, \quad (4)$$

式中  $x_1$  和  $x_2$  分别为  $\theta$  点到端 1 和端 2 的距离,  $L$  为丝的总长度。这些公式与文献[7、8]给出的结果是一致的。如果丝阻和耦合电容  $C$  都很大而满足  $t \ll (R + 2r)C$  时, 电荷放电的影响(电荷反馈)可忽略, 于是简单地有如下公式<sup>[6]</sup>

$$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{R}{R + 2r} \left( \frac{X_2}{L} + \frac{r}{R} \right), \quad (5)$$

$$\frac{Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{R}{R + 2r} \left( \frac{X_1}{L} + \frac{r}{R} \right). \quad (6)$$

本实验中选取  $t = 1\mu\text{s}$ 。但因丝阻大多在几百欧姆, 不满足  $t \ll (R + 2r)C$  的条件, 故定位计算宜采用公式(3)或(4)。

### 三、实验装置与测量结果

电荷分配定位的实验装置如图 2 所示。SQS 计数管是内截面为  $1.28 \times 1.28\text{cm}^2$  的

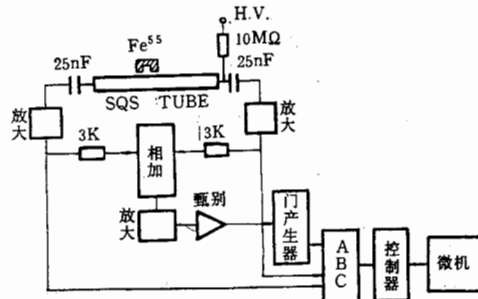


图 2 实验装置框图

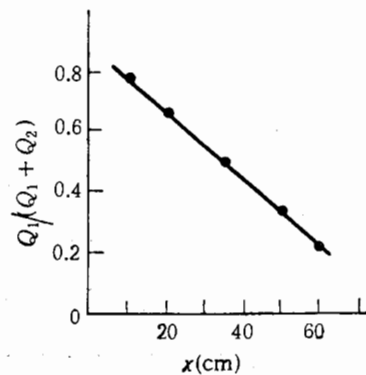


图 3 电荷比与位置关系

方铝管, 阳极丝为直径  $38\mu\text{m}$  的不锈钢丝。对阳极丝长度分别为 191cm, 70.8cm 和 37.3cm (电阻率  $11.4\Omega/\text{cm}$ ) 的三种计数管作了测量。管中充以稍高于大气压的 50% Ar + 50%  $\text{CH}_4$  混合气(通过  $0^\circ\text{C}$  二甲氧基甲烷)。工作高压 2750V。每个管壁上打若干  $\phi 1\text{mm}$  的小孔, 用  $\text{Fe}^{55}$ -X 射线源照射作为电荷源。通过测量电荷比分布(高斯分布)得到沿丝方

向的定位线性和位置分辨。

(2)  
取  $C_1 =$   
公式可

图 3 为对阳极丝长 70.8cm 的计数管测得的电荷比与小孔位置的关系。由最小二乘法线性拟合获得最大非线性为 0.12%，对于 191cm 的丝得到非线性为 0.16%。  
由式(3)可得到定位偏差的计算公式

$$\frac{\Delta X_1}{L} = \frac{R + 2r}{\beta R} \Delta f_1, \quad (7)$$

(3)

式中  $\beta = e^{-\frac{2r}{(R+2r)C}}$ ;  $\Delta f_1$  为测得的电荷比  $\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$  分布的半高宽 (FWHM)。由式(7)

(4)

可见,丝越短电荷反馈及端阻抗的影响越明显。由测量和(7)式计算得到 191cm 丝的定位偏差为 0.79%; 70.8cm 丝为 0.93%; 37.3cm 丝为 1.1%。

[7,8]  
电荷

(5)

用图 2 所示的实验装置研究了双管并联对定位的影响。将一丝长为 36cm 的计数管与丝长 37.3cm 的计数管并联,丝的直径和材料相同,管子的几何形状及工作条件也完全一样。用  $Fe^{55}X$  射线源照射 37.3cm 管上各孔得到双管并联的定位值。表 1 给出相对管中心不同距离处三个孔的定位值与单管相应定位值的比较。

(6)

表 1 单管与双管并联条件下定位值(相对管中心)的比较

单管测定的位置 (cm)	2.04	7.11	12.14
双管并联测定的位置 (cm)	2.14	7.29	12.51

条件,

cm<sup>2</sup> 的

双管并联比单管最大定位偏差增加了约 1.0% (偏差与丝长之比)。

在同一位置测得的单管及双管并联的电荷比分布半高宽分别为 0.0053 及 0.0059,说明在双管并联的情况下噪声增大。下面对双管并联的电荷分配定位作一简要分析:

在双管并联情况下,当一根丝上有电荷注入时,由等效电路图 4 可得到如下电荷分配公式

$$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{\beta' R_p}{R_p + 2r} \left( \frac{1}{2} - \frac{X_1}{L} \right) + \frac{1}{2}, \quad (8)$$

式中  $\beta' = e^{-\frac{2r}{(R_p+2r)C}}$ ,  $R_p = \frac{(R_1 + R_2)R'}{R_1 + R_2 + R'}$  为双丝并联电阻。若二丝等长则定位偏差表达式为

$$\frac{\Delta x_1}{L} = \frac{R + 4r}{\beta' R} \Delta f_1, \quad (9)$$

和 37.3  
Ar +  
61mm  
导线方

这里  $R = R_1 + R_2$ 。显然由于  $\beta' < \beta$  即使  $\Delta f_1$  不变,在双管并联情况下定位偏差也要增大,且丝越短偏差增大越严重。

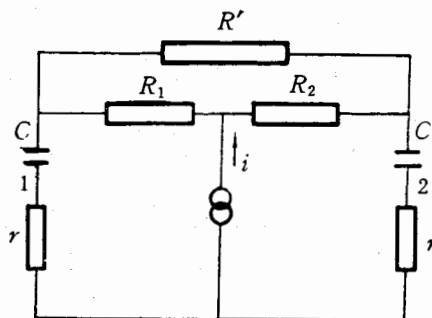


图 4 双管并联电荷分配法等效电路

#### 四、在簇射测量中的电荷分配定位误差

在簇射位置测定中,应用电荷分配法确定入射粒子沿丝方向的座标,也就是测量簇射的“轴”在该方向上的座标。在 SQS 工作模式下,若不考虑多次流光的生成,则每次击中产生的电荷量大小基本上与入射粒子的能损无关。但由于电荷的统计涨落,测得的电荷量是有一定宽度的分布。因此簇射“轴”的确定除上面已分析的由噪声及电荷反馈引起定位偏差外,还应考虑电荷统计涨落带来的偏差。首先考虑两个粒子同时击中一根丝的情形。图5给出其等效电路。按照与式(3)相似的推导方法可计算出从端1得到的电荷比与位置关系为

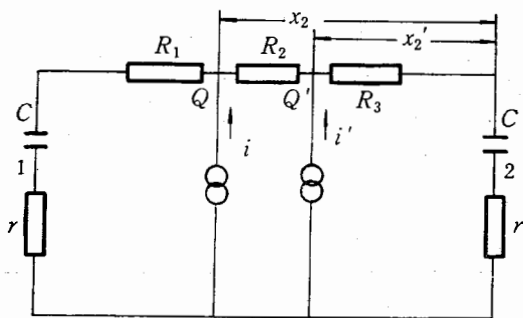


图5 双电荷生成电荷测量等效电路

$$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{\beta R}{R + 2r} \left( \frac{X_2}{L} \frac{Q}{Q + Q'} + \frac{X_2'}{L} \frac{Q'}{Q + Q'} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2}, \quad (10)$$

这里  $x_2$  和  $x_2'$  分别为  $Q$  和  $Q'$  到端2的距离。可见定位与电荷量有关。若不考虑多重流光生成则  $Q$  与  $Q'$  的平均值是一样的, 设为  $\bar{Q}$ , 其分布(高斯分布)的半高宽为  $\Delta Q$ 。当  $Q = \bar{Q} + \Delta Q/2$  和  $Q' = \bar{Q} - \Delta Q/2$  时偏差最大, 于是式(10)中与位置

有关的项变为

$$\frac{X_2 \bar{Q} + \Delta Q/2}{L} + \frac{X_2' \bar{Q} - \Delta Q/2}{L} = \frac{X_2/2 + X_2'/2}{L} + \frac{1}{4} \frac{\Delta Q}{\bar{Q}} \frac{X_2 - X_2'}{L}, \quad (11)$$

式中第二项即是电荷涨落引入的误差, 它与电荷分布的宽度及二电荷生成地点间的距离成正比。对一根丝上同时有三点或四点被击中的情况也作了同样分析。可以证明, 当一根丝上同时有  $n$  个粒子击中而又无多重流光出现时, 由于电荷涨落引起的最大误差为  $\frac{1}{2n} \frac{\Delta Q}{\bar{Q}} \frac{\Delta W}{L}$ , 这里  $\Delta W$  为簇射在该丝处沿丝方向的宽度。若  $Q$  或  $Q'$  中有一个是双重流光信号, 如  $Q' = 2Q$  时, 定位项变为  $\frac{X_2'/2 + X_2/2}{L} + \frac{1}{6} \frac{X_2' - X_2}{L}$ 。通常式(11)中的  $\frac{\Delta Q}{\bar{Q}} \leq 0.3$ , 可见有双重流光出现时定位偏差大大增加, 这是采用 SQS 工作模式的缺点。

由上述分析看出, 在簇射定位中采用电荷分配法时, 其位置误差应是  $\sigma_x = \sqrt{\sigma_{Qs}^2 + \sigma_{QF}^2}$ , 其中  $\sigma_{Qs}$  来源于电荷比分布的宽度, 而  $\sigma_{QF}$  则产生自各击中点生成的电荷量的统计涨落。

#### 五、讨论

(1) 实验证明, 由于计数管工作在 SQS 模式下, 因此在短丝情况下采用电荷分配法定位也是可行的, 但实际的定位偏差将比文中给出的要大, 因为位置计算中没有考虑丝阻

不  
配  
等  
得  
其  
附  
要  
准

[1  
[2  
[3  
[4  
[5  
[6  
[7  
[8

we  
len  
win  
par  
by

不均匀性给定位带来的影响。

(2) 对双管并联的实验及分析表明,在气体取样簇射计数器中,对并联管采用电荷分配法将增大定位偏差,尤其对短管更明显。此外,在簇射定位测量中,若二并联管长度不等也将引进定位偏差。设有电荷  $Q, Q'$  分别在并联丝  $L, L'$  上生成,则可计算出从端 1 得到的电荷比为

$$\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} = \frac{\beta' R_p}{R_p + 2r} \left( \frac{X_2}{L} \frac{Q}{Q + Q'} + \frac{X'_2}{L'} \frac{Q'}{Q + Q'} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2}, \quad (12)$$

其中  $\beta', R_p, X_2$  和  $X'_2$  的定义如前(见图 5)。对式(12)的分析表明,由于  $L' \neq L$  将带来附加的误差,且长度差别越大误差也越大。

(3) 恰当地选择淬灭气体含量及高压,以尽可能压低双重流光信号的比例是十分必要的。

有关文中的公式计算及原稿修改都得到了李金同志的热情帮助,深表感谢。在实验准备过程中,得到组内同志们的协助,在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] V. Radeka & P. Rehak, IEEE, NS-25(1978), 46.
- [2] V. Radeka, IEEE, NS-21(1974), 51.
- [3] J. L. Alberi & V. Radeka, IEEE, NS-23(1976), 251.
- [4] M. Matoba, K. Tsuji, N. I. M. 165(1979), 469—476.
- [5] M. Atac & F. Bedeschi, IEEE NS-29(1982), 396.
- [6] 马金源等,高能物理与核物理, 8(1984), 261.
- [7] J. Loos, L. Price, J. Schlereth, 'STATUS REPORT CHARGE DIVISION TEST FOR 12-FOOT LONG PWC CELL' HRS-188 Sep. 1979.
- [8] D. Bernstein & D. Hutchinson, 'AN INTEGRATED AMPLIFIER AND SAMPLE-AND-HOLD ANALOG MULTIPLEXER MODULE' SLAC-PUB-2791 August 1981.

## THE METHOD OF POSITION SENSING BY CHARGE DIVISION IN GAS SAMPLING SHOWER COUNTER

CUI XIANG-ZONG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)

### ABSTRACT

Practical formulas for calculating position sensing by charge division were given. They were applied to experiments on self-quenching streamer (SQS) tubes with different shorter wire lengths (smallest resistance 425  $\Omega$ ) and the position resolution obtained was 1.1% for a 37.3 cm wire. The error of position sensing by charge division on single tube was compared to that on parallelly connected double tubes. Possible errors of determining position of the shower "Axis" by charge division method on the wires were studied.

簇射  
击中  
电荷  
起定  
的情  
荷比

10)

与距  
离多  
的,  
是  
为  
一  
立  
置

11)

巨离  
当  
是  
为  
重  
的

点.

一  
OF,  
落.

法  
阻