



中华人民共和国国家标准

GB/T 16698—1996

α 粒子发射率的测量 大面积正比计数管法

Measurement of emission rate of α particle
Method for large area proportional counter

1996-12-19 发布

1997-12-01 实施

国家技术监督局 发布

前 言

各类射线探测仪表探测效率的刻度,需要知道标准源的射线发射率,而不是它的衰变率,因此,源的发射率的准确测量具有很大的现实意义和实用价值。

放射源射线发射率的测量方法,取决于射线的类型、源的几何尺寸,以及发射率的高低等。 α 粒子发射率的测量方法包括:一般正比计数管法、大面积正比计数管法、小立体角法、金硅面垒探测器法、闪烁电流计法等。大面积正比计数管法是 α 粒子发射率测量方法系列标准中的一个,它是测量发射率在 $10^4\text{s}^{-1}(2\pi\text{Sr})$ 量级以下,平面 α 源粒子发射率的主要方法,也是国内外通用的最先进最准确的方法。

本标准的编写,主要是依据国内外当前的实际情况,国内各类平面源生产和应用的需要,以及多年来从事 α 粒子发射率测量的技术经验。

本标准的附录 A 和附录 B 为标准的附录,附录 C 为提示的附录。

本标准由全国核能标准化技术委员会提出。

本标准起草单位:中国原子能科学研究院同位素所。

本标准起草人:姚历农。

中华人民共和国国家标准

α 粒子发射率的测量 大面积正比计数管法

GB/T 16698—1996

Measurement of emission rate of α particle
Method for large area proportional counter

1 范围

本标准规定了用大面积 2π 多丝流气式正比计数管绝对测量 α 发射率的原理、装置、方法及数据处理等。

本标准适用于面积不大于 $170\text{ mm} \times 120\text{ mm}$, 且 α 粒子发射率在 $1 \times 10\text{ s}^{-1} \sim 1 \times 10^4\text{ s}^{-1}$ ($2\pi\text{Sr}$) 范围的 α 平面源。

2 定义

本标准采用下列定义。

2.1 源的表面发射率 surface emission rate

源的表面发射率是指单位时间射出源表面(或窗)的具有大于给定能量的一定种类的粒子数。

2.2 大面积正比计数管 large area proportional counter

一种用于测量大面积放射源,工作在正比区的气体电离探测器。

3 基本原理

大面积 2π 多丝无窗流气式正比计数管(以下简称正比管),是一种由多根阳极丝并联,能测量大面积 α 、 β 平面源粒子发射率的正比计数管,一般采用流气式工作方式,它对 α 粒子的本征探测效率接近 100%。测量时将源放入正比管内, α 粒子对工作气体电离产生正负离子对,经气体放大后,在阳极可输出正比于粒子能量的电脉冲,该脉冲经放大甄别后被定标器记录。 α 粒子的脉冲计数率和正比管工作电压的关系可形成一坪曲线,在坪区中某点 α 源的计数率,经本底、死时间、小能量损失等校正后,便可得到待测 α 源的发射率。

4 测量系统

系统由正比管、工作气体、电子仪器等组成。图 1 为测量系统框图。

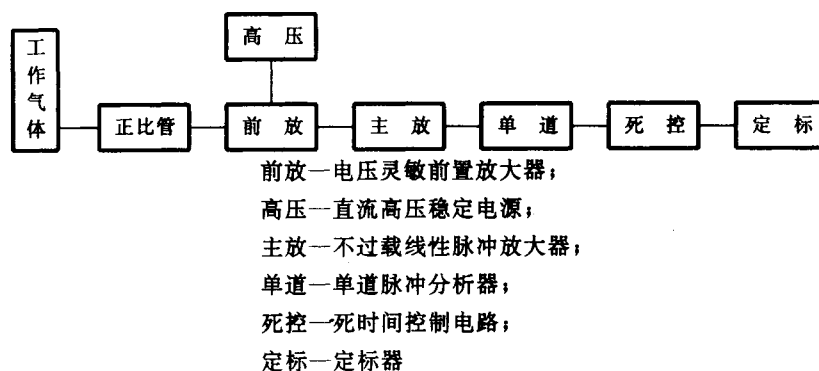


图1 大面积正比管测量系统框图

4.1 正比管

4.1.1 可测源面积

正比管可测 α 源最大面积为170 mm×120 mm。

4.1.2 工作气体

纯度高于99%的甲烷,或含90%氩和10%甲烷的混合气。

4.2 电子仪器

对各电子仪器部件有以下基本要求。

4.2.1 高压电源

高压输出不低于3 kV,输出电流不小于100 μ A,高压稳定度不低于0.5%。

4.2.2 前置放大器

可采用一般电压灵敏前置放大器或电流灵敏前置放大器。

4.2.3 放大器

为不过载线性脉冲放大器,放大倍数大于100倍。300倍过载恢复时间为输入脉冲宽度的2~3倍。

4.2.4 甄别器

可采用甄别器或单道分析器,阈值下阈不高于0.5 V,上阈不低于8.0 V,线性好于0.5%。

4.2.5 死时间控制电路

死时间(即门控电路输出脉冲宽度)可在1 μ s~10 μ s范围内可调,死时间读数的不确定度和稳定度应好于5%。

4.2.6 定标器

计数容量不低于 10^6 ,时间读数的不确定度好于0.1%。

4.3 工作源

为了检验测量系统性能及参数,至少应备有一块 α 平面工作源,该源应满足下列要求:

- 核纯度应好于99.5%;
- α 粒子发射率在 $1 \times 10^2 \text{ s}^{-1} \sim 1 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ ($2 \pi \text{ Sr}$)之间;
- α 谱的半宽度小于100 keV;
- α 粒子发射率的总不确定度不大于2%,其量值可溯源到国家计量基准或标准。

4.4 测量系统的性能要求

测量系统须达到以下指标:

- 正比管坪长大于300 V,坪斜好于0.5%/100 V;
- 在 α 坪区工作条件下,本底计数率小于 0.5 s^{-1} ;
- 在正比管最大可测面积内的任何一点, α 粒子的探测效率大于99.8%;
- 系统的死时间不大于5 μ s,死时间的不确定度和稳定性均应好于5%。
- 8 h内系统的稳定性好于0.5%。

5 测量方法

5.1 测量环境条件

测量环境要求满足下列条件：

- 环境温度为 10℃～30℃，在测量过程中温度变化不超过 5℃；
- 相对湿度不大于 85%；
- 交流电压的稳定度好于±10%，频率的稳定度好于±2%；
- 测量过程中附近不应有影响本底的放射源存在。

5.2 仪器准备

5.2.1 预热

电子仪器预热时间不少于 15 min。

5.2.2 预置电子仪器参数

按图 1 连接各电子仪器部件，并预置合适的放大倍数、甄别阈、死时间、以及定标器的测量时间。

5.3 测量程序

5.3.1 测量正比管坪

正比管坪曲线测量程序如下：

- a) 将工作源放入正比管内，然后通入工作气体，调节气体流量，使气体流量稳定在 30 mL/min 左右；
- b) 通气约 5 min，直到正比管内空气排尽后，缓慢升高正比管工作电压至起始工作电压，然后逐步升高工作电压，并对应每个工作电压值进行计数测量；
- c) 根据工作源的 α 发射率值选择测量时间，使每次测量计数的不确定度小于 1%；
- d) 当工作电压值超过坪区，计数开始迅速增加时，应停止坪曲线测量；
- e) 依据测量数据，在线性坐标纸上作坪曲线，并根据坪曲线确定坪长和坪斜；
- f) 选择坪曲线中部至坪区低端三分之一处的电压作为正比管的工作电压。

5.3.2 测量本底

本底测量程序如下：

- a) 将工作源取出，然后按 5.3.1 中的 a) 条件给正比管通气；
- b) 将高压缓慢调节到由 5.3.1 中 f) 确定的工作电压；
- c) 选择测量时间，使本底计数率测量值的不确定度好于 3%。

5.3.3 测量源的 α 发射率

测量 α 发射率的程序如下：

- a) 将待测源放入正比管内，按 5.3.1 中 a) 条件给正比管通气；
- b) 将高压调到正比管工作电压；
- c) 选择测量时间，使源的 α 计数率测量值的不确定度好于 0.2%。

5.3.4 数据处理

用式(1)计算源的 α 粒子发射率 E ：

$$E = C \left(\frac{n}{1 - n\tau} - n_b \right) \dots\dots\dots (1)$$

式中： n ——包括本底在内的源计数率， s^{-1} ；

n_b ——本底计数率， s^{-1} ；

τ ——测量系统的死时间， s ，其测量方法见附录 A；

C ——小能量损失校正因子，其测定方法见附录 B。

6 测量值的总不确定度

6.1 总不确定度 U 的一般计算公式

总不确定度按式(2)计算:

$$U = K \sqrt{\sum a_i^2 + \sum (b_i/j_i)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中: a_i ——A类不确定度分量;

b_i ——B类不确定度分量;

j_i ——B类各不确定度的置信因子;

K ——总不确定度置信因子。

6.2 大面积正比管测量 α 粒子发射率的总不确定度

6.2.1 A类不确定度分量

A类不确定度分量按式(3)计算:

$$a = \frac{1}{\sqrt{nt}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中: t ——测量时间, s。

6.2.2 B类不确定度分量

B类不确定度有以下主要分量

a) 由死时间 τ 不确定度 $\Delta\tau$ 引入的分量 b_1 :

$$b_1 = \frac{n\Delta\tau}{1 - n\tau} \quad \dots\dots\dots (4)$$

b) 由本底计数率不确定度 Δn_b 引入的不确定度分量 b_2 :

$$b_2 = \frac{\Delta n_b}{n} \quad \dots\dots\dots (5)$$

c) 由小能量损失校正因子不确定度 ΔC 引入的不确定分量 b_3 :

$$b_3 = \frac{\Delta C}{C} \quad \dots\dots\dots (6)$$

6.2.3 置信因子

在本标准中取 $j_i = 3, K = 3$ 。

6.2.4 总不确定度要求

测量平面 α 源发射率的总不确定度应不大于 2%。

附 录 A

(标准的附录)

用双源法测量系统的死时间

A1 测量原理

系统死时间的测量方法很多,如双源法、衰变法、示波法、双脉冲产生器法、源加振荡器法、双振荡法等。其中最简易而常用的方法是双源法,它对大面积正比管测量系统更为适宜,因为在大面积正比管中有更好的几何重复性。

用双源法测量大面积正比管系统死时间的原理是:将二块 α 平面源 S_1 、 S_2 依次按 S_1 、 S_1+S_2 、 S_2 三种方式放入正比管中计数,得到相应的计数率为 n_1 、 n_{12} 、 n_2 。已知测量系统的本底计数率为 n_b ,则系统的死时间 τ 可从以下公式计算得到

$$\tau = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_b}{2(n_1 - n_b)(n_2 - n_b)} \dots\dots\dots (A1)$$

A2 测量器材

α 平面源二块(^{241}Am 或 ^{239}Pu),源的直径小于50 mm, α 粒子发射率在 $1 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ ($2 \pi \text{Sr}$)左右。

A3 测量程序

按5.2、5.3中程序,将大面积正比管测量系统调节到正常工作状态,选定正比管的工作电压,然后做以下测量:

- a) 选择合适的测量时间,测量该系统的本底,使本底计数率 n_b 值的不确定度小于3%;
- b) 将源 S_1 从正比管中测量,得到源 S_1 的计数率 n_1 ;
- c) 将源 S_2 也放入正比管中,测量 S_1 、 S_2 二个源在正比管中的计数率 n_{12} ;
- d) 将源 S_1 从正比管中取出,源 S_2 仍留在正比管中原处,测量源 S_2 的计数率 n_2 ;

在b)、c)、d)三项测量中,均应保持相同的测量条件,并使计数率 n_1 、 n_{12} 、 n_2 值的不确定度小于0.1%;

e) 将以上测量所得到的 n_b 、 n_1 、 n_{12} 、 n_2 值代入到公式(A1)中计算,便可到大面积正比管测量系统的死时间值。

附 录 B

(标准的附录)

小能量损失校正因子的测定方法

B1 目的和内容

在用 2π 正比管测量 α 源的 α 发射率时,测量系统需有一甄别阈以甄别掉系统的噪声信号,同时,一部分小能量 α 粒子脉冲信号也将被甄别而丢失,为了对这一部分丢失信号进行校正,需对每一测量样品的小能量损失校正因子进行测定。

B2 测量方法原理

用 α 源甄别曲线外推的方法测定小能量损失校正因子。

B3 测量条件

测量条件和测量 α 粒子发射率条件相同。

B4 测量程序**B4.1 测量不同甄别阈时的 α 源计数率**

按以下步骤进行测量：

- a) 将测量系统调节到测量 α 源发射率相同的工作条件,保持正比管工作电压不变。
- b) 将甄别器甄别阈(或单道分析器积分甄别阈)调到1.0 V处,测量源的计数,选择测量时间使计数值的不确定度小于0.3%。
- c) 以步进值为1.0 V改变甄别阈值,使最高阈值不低于8.0 V,按b)的条件测量各阈值的计数。
- d) 将正比管工作电压改变100 V左右,重复一次以上测量步骤。

B4.2 做甄别阈外推曲线

外推曲线做法如下：

- a) 将以上两组数据在直角坐标纸上做甄别阈和计数率关系曲线。
- b) 将两条甄别阈曲线外推到零伏处,两曲线在纵坐标上的交点 n_0 值,即为 α 源包括小能量在内的总的 α 粒子发射率值。

B4.3 小能量损失校正因子的计算

按以下关系式计算小能量损失校正因子 C ：

$$C = \frac{n_0}{n} \dots\dots\dots (B1)$$

式中： n_0 ——甄别阈外推得到的 α 粒子发射率值；

n ——未进行甄别阈外推测量的 α 粒子发射率值。

附 录 C

(提示的附录)

一个大面积正比管的结构参数及其测量结果**C1 正比管类型**

该正比管为大面积多丝流气式 2π 正比计数管。

C2 结构**C2.1 阴极**

阴极材料为黄铜,有效面积为170 mm×120 mm。

C2.2 阳极

阳极为5根不锈钢丝,每根丝的直径为50 μ m,长170 mm,丝与丝之间的间距为20 mm。5根阳极丝并联工作。

C2.3 工作气体

纯度好于98%的甲烷。

C3 特性参数**C3.1 坪长与坪斜**

α 坪长为 400 V, 坪斜小于 0.5%/100 V。

C3.2 本底

在没有屏蔽的条件下, α 本底为 1.6 CPS, β 本底为 22 CPS。

C3.3 死时间

系统采用死时间控制电路, 死时间调节在 4.5 μ s。

C4 系统电子仪器

系统电子仪器由以下部件组成:

- a) 高压电源: FH1034A;
- b) 前置放大器: FH1042A;
- c) 主放大器: FH1043A;
- d) 单道分析器: FH1007A;
- e) 死时间控制器: FH1069A;
- f) 定标器: FH1011A。

C5 测量

C5.1 工作条件

- a) 放大器放大倍数 16 倍;
- b) 甄别阈 1.0 V;
- c) 死时间 4.5 μ s;
- d) 放射源 ^{239}Pu 。

C5.2 测量数据

坪曲线测量数据见表 C1。

表 C1 坪曲线测量数据

高压(V)	计数	高压(V)	计数	高压(V)	计数
2 000	44 234	2 280	59 576	2 560	60 453
2 040	52 935	2 320	59 551	2 600	59 933
2 080	57 337	2 360	60 085	2 640	60 368
2 120	58 742	2 400	59 857	2 680	60 351
2 160	58 524	2 440	60 169	2 720	60 321
2 200	59 211	2 480	59 960	2 760	60 656
2 240	59 689	2 520	60 315	2 800	60 769

注: 以上计数为 10 s 计数。

C5.3 坪曲线

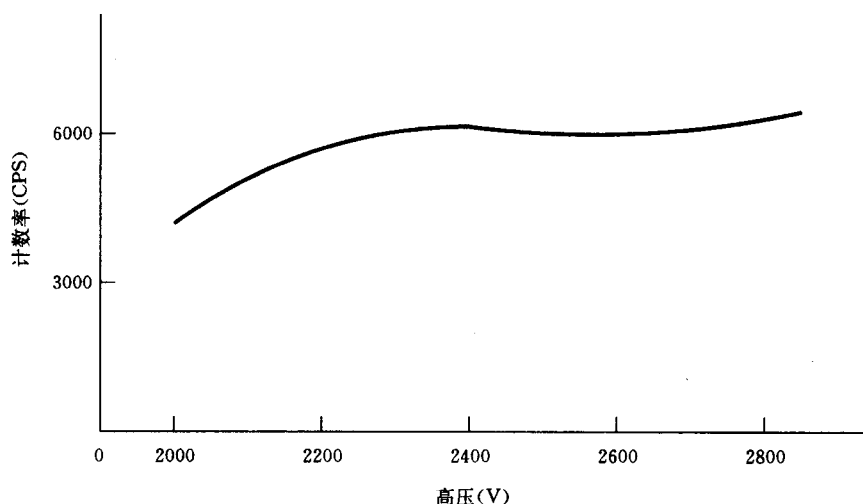


图 C1 大面积正比管坪曲线

C5.4 坪曲线测量结果

从以上坪曲线可得该管的 α 坪长为 400 V,坪斜为 0.3%/100 V,测量 α 射线的工作电压应选在 2 500 V。

C6 ^{241}Am 参考源 α 粒子发射率测量结果**C6.1 测量条件**

- a) ^{241}Am 源:为 $\phi 50$ mm 的铝托平面源;
- b) 工作电压:2 500 V;
- c) 本底:1.6 CPS;
- d) 其他条件同坪曲线测量条件。

C6.2 测量结果

- a) ^{241}Am 源计数率:3 338 CPS;
- b) 减本底后 3 337CPS;
- c) 死时间校正后 3 387CPS。

^{241}Am 参考源 α 粒子发射率为 $3\,387\text{s}^{-1}(2\pi\text{Sr})$ 。

C6.3 测量值的总不确定度**C6.3.1 A 类不确定度**

100 s 计数的标准差 0.2%

C6.3.2 B 类不确定度

- a) 死时间 0.1%;
- b) 本底 0.1%;
- c) 小能量丢失 0.1%。

C6.3.3 总不确定度

总不确定度按以下公式计算

$$U = K \sqrt{\sum(a_i)^2 + \sum(b_i/j_i)^2} \dots\dots\dots (C1)$$

取 $K=3, j_i=3$ 有

$$U = 3 \sqrt{(0.2)^2 + (0.03)^2 + (0.03)^2 + (0.03)^2} = 0.63$$

^{241}Am 参考源的测量结果为: α 粒子发射率值为 $3\,387\text{s}^{-1}(2\pi\text{Sr})$ 总不确定度为 0.63%。

C7 测量结果的比对

该 ^{241}Am 参考源测量值和国防科工委一级计量站的测量值进行了比对,结果见表 C2。

表 C2 ^{241}Am 源 α 粒子发射率测量结果比对

单位	同位素所	计量站
测量结果 $\text{s}^{-1}(2\pi\text{Sr})$	3 387	3 397
相差	0.3%	
测量时间	94 年 9 月 10 日	

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准

α 粒子发射率的测量
大面积正比计数管法

GB/T 16698—1996

*

中国标准出版社出版
北京复兴门外三里河北街16号

邮政编码:100045

电 话:68522112

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 18 千字

1997年9月第一版 1997年9月第一次印刷

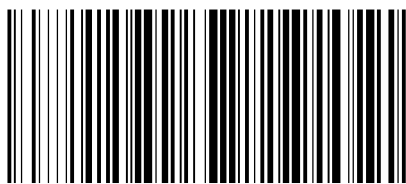
印数 1—500

*

书号: 155066·1-14022 定价 12.00 元

*

标 目 316—39



GB/T 16698—1996