

锗 γ 射线探测器测试方法

Test procedures for germanium gamma-ray detectors

1996-11-06 发布

1997-08-01 实施

国家技术监督局发布

附加说明：

本标准由核工业总公司提出。

本标准由中国原子能科学研究所和核工业标准化研究所负责起草。

本标准主要起草人：高德喜、范蕙君、马呈德。

本标准等效采用 IEC973 《锗 γ 射线探测器测试方法》（1989 年版）。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了锗 γ 射线探测器分类、性能测试方法和温度循环能力等。

本标准适用于高纯锗和锗（锂） γ 射线探测器的性能测试，也适用于高纯锗低能光子探测器的主要性能测试。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 高纯锗 high-purity germanium

在室温下，它的电活性杂质是稳定的，杂质含量小于 $3 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ 。由其单晶制成的探测器在适当的偏压下可达到全耗尽（或全灵敏）。

2.1.2 平面型半导体探测器 planar semiconductor detector

其灵敏体积为平板型的半导体探测器。

2.1.3 同轴型半导体探测器 coaxial semiconductor detector

其灵敏体积与中心轴同心的半导体探测器。中心电极的一端是封闭的称为单开端同轴探测器，中心电极的两端都是开放的称为双开端同轴探测器。

2.1.4 普通电极锗同轴探测器 conventional-electrode germanium coaxial detector

用 P 型高纯锗为材料，外电极为 N⁺ 接触，内电极为 P 接触，正偏压加在外电极上的同轴半导体探测器。

2.1.5 反电极锗同轴探测器 reverse-electrode germanium coaxial detector

用 N 型高纯锗为材料，外电极为 P⁺ 接触，内电极为 N 接触，正偏压加在内电极上的同轴半导体探测器。

2.1.6 井型同轴探测器 well-type coaxial detector

在探测器灵敏体积中有个与电极同轴的井形中心孔，待测样品放入井内，测量的立体角近似于 4π 。

2.1.7 （半导体探测器的）偏压 bias (of a semiconductor detector)

半导体探测器两电极间所施加的反向工作电压。此电压在探测器灵敏体内形成一定的电场强度，使射线所产生的电荷被收集到两电极处形成电信号。

2.1.8 （半导体探测器的）耗尽区 depletion region (of a semiconductor detector)

半导体探测器灵敏体积中的一个层,粒子在该层内损失的能量的绝大部分都贡献给了形成的信号。

2.1.9 (半导体探测器的) 电荷收集时间 charge collection time (of a semiconductor detector)

电离粒子通过半导体探测器后,由电荷收集而形成积分电流所需要的时间间隔。通常以从其最终值的 10%上升到 90%所需的时间来表示。

2.1.10 能量分辨率 energy resolution

对于某一给定的能量,探测器能分辨的两个粒子能量之间最小差值的量度。以能量单位表示。

2.1.11 半高宽 (FWHM) full width at half maximum

在单峰构成的分布曲线上,峰值一半外,曲线上两点横坐标间的距离。

注:如果曲线包含几个峰,则每个峰都有一个半高宽。

2.1.12 十分之一高度 (FWTM) full width at 0.1 maximum

单能峰峰值十分之一处全宽度。

2.1.13 恒比定时甄别器 constant-fraction discriminator

一种脉冲甄别器。当它的输出信号被延迟并倒相后与没有延迟的、按恒定比例衰减的输入信号叠加后为零时给出一输出信号。叠加后为零的瞬间是不随输入信号幅度变化的。适当地选取恒比和延迟时间,可把定时晃动减到最小。

2.1.14 峰康比 peak to compton ratio

单能谱全能峰的峰道计数与康普顿连续谱平坦部分的平均每道计数之比。

2.1.15 探测效率 detection efficiency

在一定的探测条件下,探测器测得的粒子数与在同一时间间隔内辐射源发射的该种粒子数之比值。

2.1.16 定时时间分辨率 timing resolution

定时时间谱峰的半高宽,以时间单位表示。

2.1.17 凹杯 (marinelli beaker) Reentrant beaker

倒井形的杯子称为凹杯,也称为 marinelli 杯。在杯内装有放射性样品,并覆盖在探测器的端帽上,探测器基本上被样品所包围。

2.1.18 凹杯标准源 (RBSS) Reentrant Beaker Standard Source

盛有已检定过或已校定过的放射性核素及其载体的凹杯称为凹杯标准源。

2.2 符号

A ——峰面积;

A_b ——峰本底面积;

$A_{\text{NaI(Tl)}}$ —— $\phi 76\text{mm} \times 76\text{mm}$ 碘化钠 (铊) 闪烁体全吸收峰面积;

A_t ——峰总面积;

$B(x)$ —— x 道本底计数;

C_e ——检验电容;

C_o ——隔直流电容;

$E_1 E_2$ ——两个已知 γ 射线的能量 (keV)

E_a ——全能峰绝对探测效率 (25cm 处);

E_{rel} ——相对于 $\phi 76\text{mm} \times 76\text{mm}$ 碘化钠 (铊) 的探测效率;

ΔE_o ——除电噪声外,探测器贡献的半高宽,以能量单位表示;

ΔE_s ——单能谱峰半高宽,以能量单位表示;

ΔE_r ——检验脉冲谱峰的半高宽,以能量单位表示;

Δf ——经恒比定时甄别器衰减后的信号与衰减前信号的幅度比，简称恒比；

\bar{N}_c ——康谱顿连续谱平坦部分计数的平均值；

N_S ——在计数活时间内，放射源发射的单能光子总数；

ΔN_S ——单能谱峰半高宽，以道为单位表示；

$N(x)$ —— x 道的计数；

$N(\hat{x})$ ——峰道计数（可为插入值）；

t_d ——恒比定时甄别器中延迟电路的延迟时间（ns）；

\hat{x}_1, \hat{x}_2 ——与能量 E_1, E_2 相对应的峰位，以道数表示；

$T_{0.5}$ ——放大器输出脉冲半高宽（ μs ）；

τ ——放大器脉冲成形时间常数（ μs ）。

3 锗探测器分类

锗探测器包括锗（锂）探测器及高纯锗探测器。

常用锗探测器按含杂质类型及几何形状可分为以下五种类型。其结构如图 1 所示。

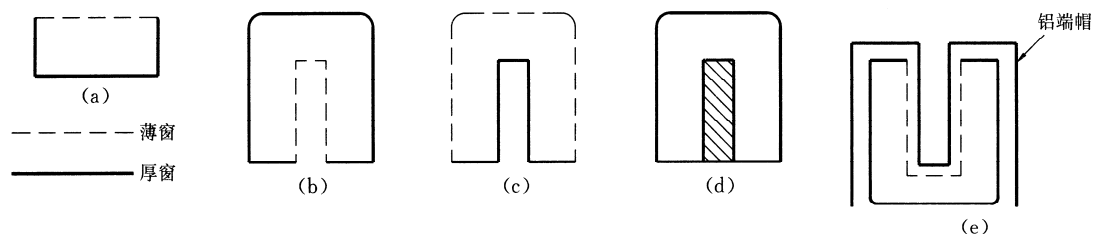


图 1 锗探测器几种典型形状和结构

(a) 平面型；(b) 普通电极同轴型；(c) 反电极同轴型；
(d) 锗（锂）同轴型；(e) 井形同轴型

3.1 平面型探测器

如图 1(a)所示。它可做成薄窗、高分辨率。主要用于低能 γ 射线和 X 射线，也称为低能光子探测器。

3.2 普通电极同轴探测器

其结构如图 1(b)所示。它可做成大体积、高能量分辨率的探测器。

3.3 反电极同轴探测器

其结构如图 1(c)所示。它有较强的耐中子损伤能力，并可做成薄窗。

3.4 锗（锂）同轴探测器

其结构如图 1(d)所示。其中心核是锗死区。

3.5 井型同轴探测器

其结构如图 1(e)所示。放射性样品被探测器灵敏体积所包围，因此有较高的探测效率。

4 测试的一般要求

下面要求对本标准的全部测量都适用。

- 4.1 探测器的工作偏压、冷却时间、环境温度及其他工作条件均不得超过厂家规定的范围。
- 4.2 探测器测试系统中的高压电源、放大器、多道分析器及其他相关仪器的不稳定性、非线性及其他性能缺陷都不得明显地影响探测器的性能测试。
- 4.3 一些重要参数，例如计数率、放大器输出脉冲半高宽 $T_{0.5}$ （或放大器脉冲成形时间常数 τ ）等，应按厂家要求执行。
- 4.4 任一测量结果应在给定的测试精度内能重复。

5 能谱性能测量

5.1 基本要求

- a. 谱峰的半高宽至少为 6 道；
- b. 半高宽内总计数至少为 50×10^3 ；
- c. 全谱的积分计数率为 $2 \times 10^3 \text{ s}^{-1} \sim 3 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ (低能光子探测器除外)；
- d. 所用的标准源应放在探测器端帽中心轴、距端帽 25.0cm 处(井型同轴探测器除外)。

5.2 推荐的放射源

推荐的放射性标准源如表 1 所示。

表 1 推荐的能谱性能测试标准源

放射性核素	半衰期	能量, keV
⁵⁵ Fe	2.7a	5.9
²⁴¹ Am	433a	26.35, 59.5
¹⁰⁹ Cd	453d	22.1, 87.8
⁵⁷ Co	270d	122.1, 136.5
¹³⁷ Cs	30a	661.6
²² Na	2.60a	1274.5
⁶⁰ Co	5.24a	1173.2, 1332.5
²⁰⁸ Tl	1.91a	2614.5(²²⁸ Th)

在测量能量分辨率时,要用两个单能线刻度系统,以 keV/道表示。如无特殊规定,用 ⁶⁰Co 源的 1332.5keV γ 射线单能峰的半高宽表示能量分辨率;用此源的 1173.2keV 和 1332.5keV 的 γ 射线刻度系统。

5.3 测试系统

将探测器、前置放大器、主放大器、多道幅度分析器按图 2 所示方法连接。选择适当的放大器输出脉冲半高宽 $T_{0.5}$ (或脉冲成形时间常数 τ)。通过观察示波器调放大器的极/零补偿,以使放大器输出脉冲没有下击,也没有上冲。脉冲产生器的脉冲上升时间不得大于放大器的微分时间常数的 20%,在与放大器微分时间相等的时间内,产生器脉冲幅度下降不得超过 2%。脉冲成形方法及脉冲半高宽应当说明。

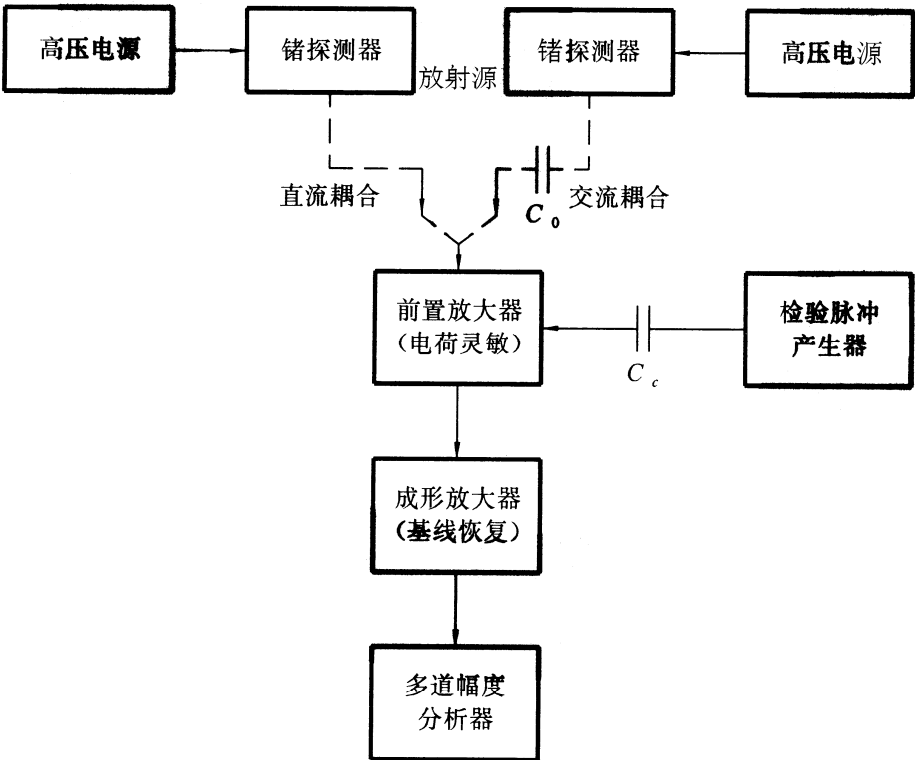


图 2 锗 γ 射线探测器测试系统方块图

5.4 峰面积和谱本底

以计数 $N(x)$ 作为道数 x 的函数，画出半对数能谱曲线。将峰下面近似本底分布的直线拟合到该峰每一侧脉冲幅度分布曲线的基部，如图 3 中的直线 a-d 和 e-h 线。通过峰的数据点画一条光滑曲线，如图 3 中的曲线 E-F 和 G-H，将二曲线延伸并与本底相切。两切点连成的直线，如图 3 中的 E-H，直线下面的面积为峰下本底。

峰总面积 A_t 为：

$$A_t = \sum_{x=E}^H N(x) \dots\dots\dots (1)$$

峰本底面积 A_b 为：

$$A_b = \sum_{x=E}^H B(x) \dots\dots\dots (2)$$

峰面积 A 为：

$$A = A_t - A_b \dots\dots\dots (3)$$

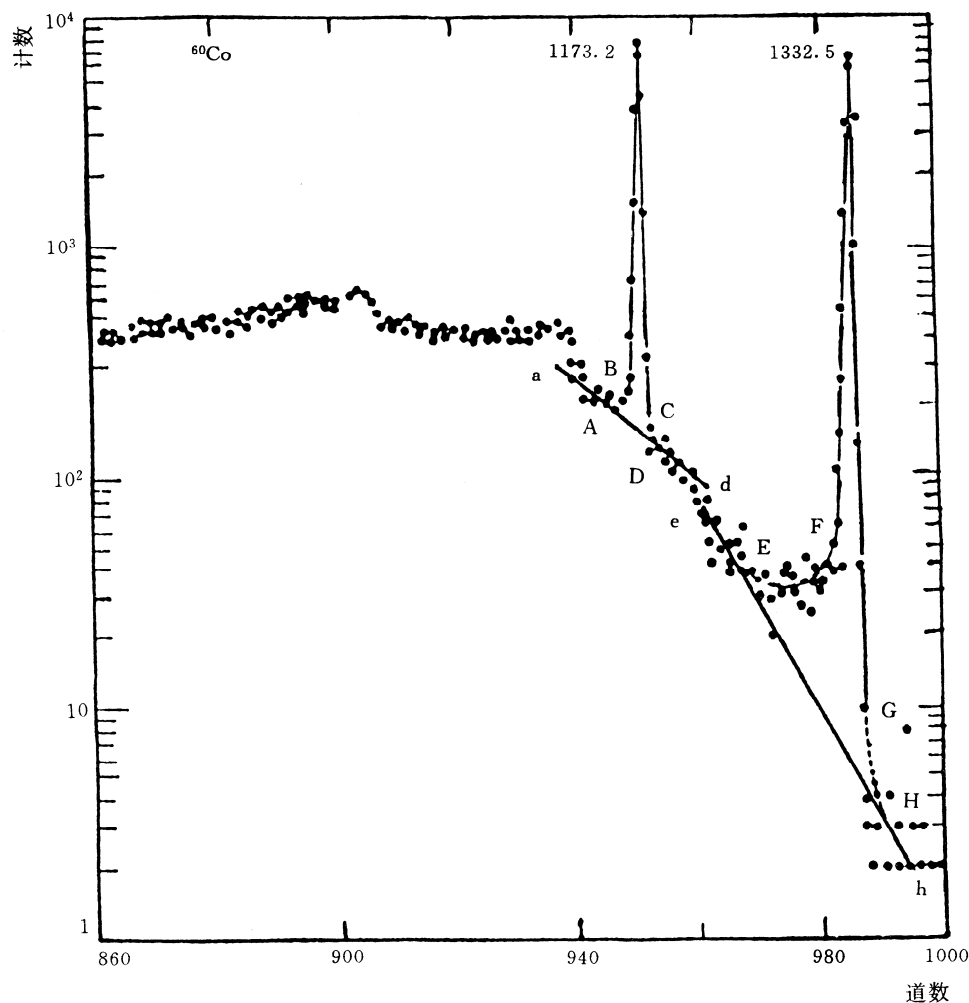


图 3 ^{60}Co γ 射线谱峰面积和本底

5.5 峰位

以扣除本底后的计数 $[N(x) - B(x)]$ 作为 x 的函数，画出半对数能谱曲线如图 4 所示。

确定以道址表示的单能峰峰位时，采用在峰的对称部分（半高宽以上）对 $[N(x) - B(x)]$ 值的加权平均方法。

其峰位 x 为：

$$\hat{x} = \sum x[N(x) - B(x)] / \sum [N(x) - B(x)] \quad \dots\dots\dots (4)$$

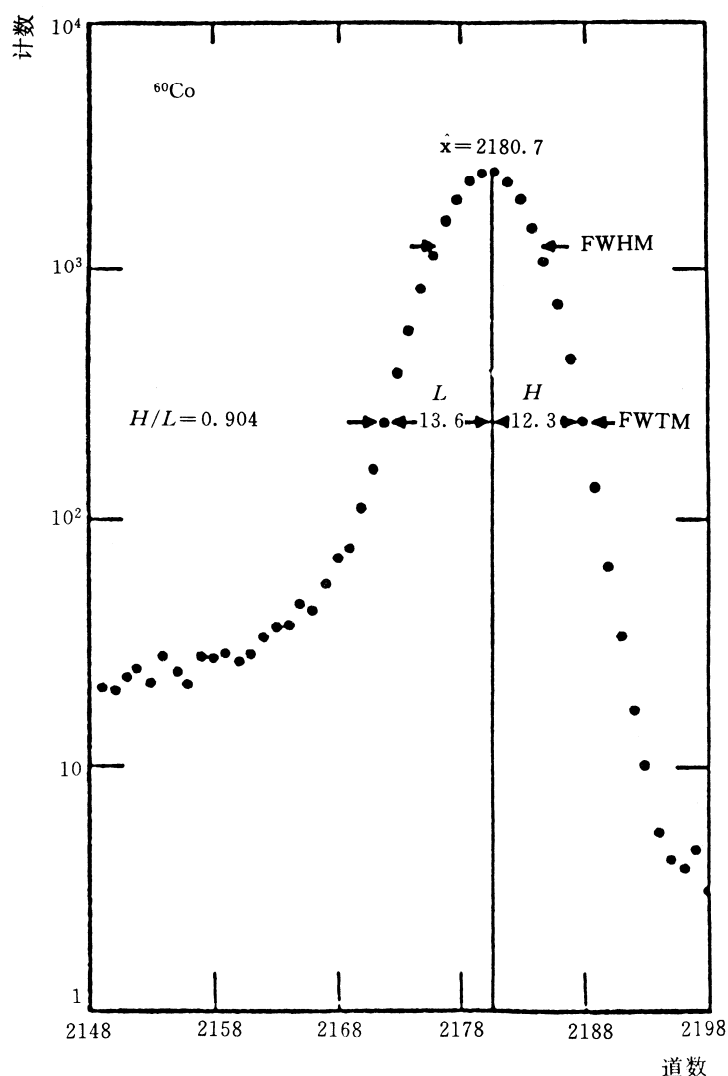


图 4 ^{60}Co 1332.5keV 全能峰峰位及峰的不对称性

5.6 峰的半高宽及十分之一高度

以扣除本底后的计数 $[N(x) - B(x)]$ 作为道数 x 的函数，在线性坐标上画出能谱曲线，用内插方法确定峰的半高宽及十分之一高宽。

用 FWM/FWHM 来表示峰形质量，其最小比值为高斯分布之比值（1.82）。

5.7 能量分辨率

5.7.1 普通型探测器能量分辨率

按 5.6 确定以道数表示的半高宽 ΔN 。设对应于 ^{60}Co 源 1173.2keV (E_1) 和 1332.5keV (E_2)

峰的峰位道址分别为 \hat{x}_1 和 \hat{x}_2 ，则能量分辨率 ΔE_s 为：

$$\Delta E_s = \frac{E_2 - E_1}{\hat{x}_2 - \hat{x}_1} \Delta N_s \dots\dots\dots (5)$$

5.7.2 井型同轴探测器能量分辨率

由于井型同轴探测器结构特殊,测量能量分辨率时,应把标准的点放射源放在孔内中心轴上、距底部 1.0cm 处,其他同 5.7.1。

5.7.3 低能光子探测器能量分辨率

能量分辨率测量所用的放射源为 ^{55}Fe (实际上是 Mn 的 K_α 线) 和 ^{57}Co 。所用的单能线为 5.9keV (E_1) 和 122.1keV (E_2)。此两单能峰的半高宽为能量分辨率,以 eV 为单位。

能量分辨率测量中,系统积分计数率为 $1 \times 10^3 \text{s}^{-1}$,其他同 5.7.1。

5.8 总噪声线宽度和探测器对能量分辨率的贡献

在同一能谱测量中,获取 γ 射线谱及检验脉冲谱。分别确定单能 γ 谱峰及检验脉冲峰的半高宽分别为 ΔE_s 和 ΔE_t 。 ΔE_t 称为总噪声线宽度。除了电噪声外,探测器对能量分辨率的贡献 ΔE_0 可表示为:

$$\Delta E_0 = (\Delta E_s^2 + \Delta E_t^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

ΔE_0 主要是由于探测器的电荷产生统计涨落及电荷收集不完全的涨落引起的,它是探测器性能好坏的重要标志。

5.9 峰的不对称性

以扣除本底后的计数 [$N(x) - B(x)$] 作为道数 x 的函数,画出半对数曲线。自峰位

\hat{x} 画一条直线垂直于横轴,称为峰的中线。过峰的十分之一高度处画一直线平行横轴。该直线与中线及峰的低能侧、高能侧相交。从中线的交点到峰的低能侧交点及高能侧交点间的距离分别为 L 和 H ,如图 4 所示。 H/L 表示峰的不对称性。 ^{60}Co 1332.5 keV 单能峰的 H/L 值定为探测器峰的不对称性指标。

5.10 峰康比 (P/C)

以计数 $N(x)$ 作为道数 x 的函数画出半对数能谱图,用内插方法确定峰位所在道的计数 $N(\hat{x})$ 。 ^{60}Co 源 1332.5 keV 的康普顿连续分布的平坦部分为 1040keV~1096keV,确定平坦部分的平均值为 \bar{N}_c ,则峰康比 P/C 为:

$$P/C = \frac{N(\hat{x})}{\bar{N}_c} \dots\dots\dots (7)$$

^{137}Cs 源 661.6keV γ 射线的康顿连续分布的平坦部分为 358keV~382keV。

6 探测效率

6.1 全能峰绝对探测效率

用已知活度的 ^{60}Co 点源放在探测器端帽中心轴上、距端帽 25.0cm,用图 2 所示的系统,在计数活时间内测得的 1332.5keV 全能峰净面积 A ,在同一时间内源发射的此种能量光子数为 N_s ,则全能峰绝对探测效率 E_a 为:

$$E_a = \frac{A}{N_s} \dots\dots\dots (8)$$

式中: A ——按 5.4 求出的峰面积。

6.2 全能峰相对探测效率

源和探测器顶帽相距 25.0cm，锗探测器相对于 $\phi 76\text{mm} \times 76\text{mm}$ 碘化钠（铯）闪烁晶体的探测效率 E_{rel} 为：

$$E_{\text{rel}} = \frac{A}{A_{\text{NaI(Tl)}}} \dots\dots\dots (9)$$

式中：A——按 5.4 求出的峰面积；

$A_{\text{NaI(Tl)}} = 1.2 \times 10^{-3} N_s$ （理论值）。

6.3 井型同轴探测器绝对探测效率

由于井型同轴探测器结构特殊，被测样品放入探测器中心孔的凹腔内。另一方面， ^{60}Co 源两条瞬发级联 γ 射线（1173.2keV 和 1332.5keV）在 2505.7keV 处相加峰计数是不可忽略的。

^{60}Co 点源放在井内中心轴线上、距底部 1.0cm 处。按 5.4 测量 1332.5keV 峰面积 A 及 2505.7keV 峰面积 A_s 。

井型同轴探测器全能峰绝对探测效率 ϵ 为：

$$\epsilon = \frac{A + A_s}{N_s} \dots\dots\dots (10)$$

式中： N_s ——同样计数活时间内，源所发射的 1332.5keV γ 光子总数。

6.4 凹杯标准源的绝对探测效率

6.4.1 概述

对于低放射性水平的大体积样品，常常采用标准凹杯（也称 Marinelli 杯）结构，使样品覆盖探测器的灵敏体积，以便提高探测效率。凹杯有许多种结构，本标准仅规定两种结构。

由于探测器被密封在真空室内，无法知道其结构和尺寸。因此，只好参照探测器的端帽尺寸来选择标准凹杯。

在标准凹杯条件下，探测器无法用于符合或康普顿抑制测量。

按 5 章连接和刻度系统。

6.4.2 凹杯标准源

凹杯标准源可以是检定凹杯标准源，也可以是校定凹杯标准源，可以是检定溶液凹杯标准源，也可是校定溶液凹杯标准源。

除了另作说明，凹杯标准源的光子发射率不确定度不应大于 3%(1 σ)。

6.4.2.1 标准凹杯

本标准规定 450 型和 1000 型凹杯为标准凹杯，其结构和尺寸如图 5 所示。此标准凹杯具有最佳几何条件、造价低、通用性及方便性优点。

探测器端帽直径不大于 76.5mm 时，必须选用 450 型凹杯；大于 76.5mm 时，必须选用 1000 型凹杯。两种标准凹杯的容积分别为 $450\text{cm}^3 \pm 2\text{cm}^3$ ； $1000\text{cm}^3 \pm 2\text{cm}^3$ 。

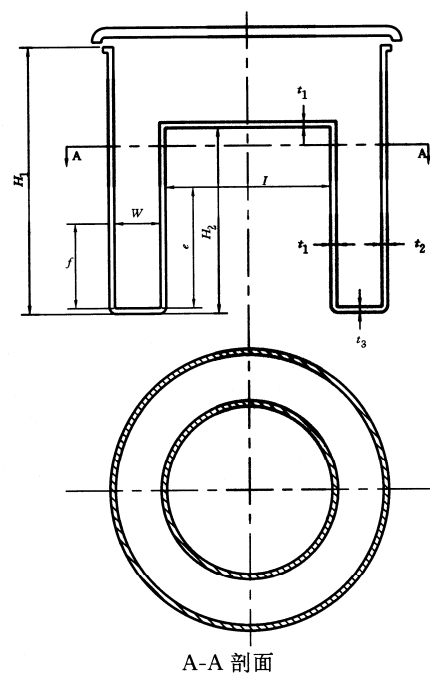


图 5 标准凹型杯结构和尺寸

尺寸, mm	型号	450 型	1000 型
	H_1	104.1 ± 1.3	150.0 ± 1.3
	H_2	68.33 ± 0.15	100.00 ± 0.15
	I	$77.40 - 0.008e$ ± 0.10 平均 ± 0.25 最大	$120.00 - 0.008e$ ± 0.1 平均 ± 0.25 最大
	W	$14.83 + 0.008f$ ± 0.10 平均 ± 0.25 最大	$14.83 + 0.008f$ ± 0.10 平均 ± 0.25 最大
	t_1	1.90 ± 0.1	1.90 ± 0.1
	t_2	2.00 ± 0.25	2.00 ± 0.25
	t_3	3.60 ± 0.15	3.60 ± 0.15

注：塑料的密度为 $(1.1 \pm 0.1) \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

图 5（完）

6.4.2.2 放射性载体

放射性载体可以是液体的，也可以是固体的。载体的有效原子序数为 4.0 ± 0.7 。固体载体的平均密度为 $(1.15 \pm 0.02) \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ；液体载体的平均密度为 $(1.06 \pm 0.01) \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。对于载体的密度要说明，以便于对衰减做出修正。源的活度不能超过探测器系统的计数率容量。

常用的放射性核素如表 2 所示。

表 2 凹杯标准源中应用的具有代表性的放射性核素

放射性核素	能量, keV	半衰期	RBSS-450 初始发射率, 光子数/s
^{109}Cd	87.8	453d	200
^{57}Co	122.1	270d	250
^{139}Ce	165.9	137.7d	200
^{203}Hg	279.2	46.6d	600
^{113}Sn	391.7	115.1d	1000
^{137}Cs	661.6	30.0a	500
^{88}Y	898.0	106.6d	3500
^{60}Co	1173.2	5.24a	1500
^{60}Co	1332.5	5.24a	1500
^{88}Y	1836.0	106.6d	3800

6.4.2.3 检定溶液

放射性液体载体（含放射性物质）的光子发射率是由被授权的国家放射性测量标准实验室检定和认可的，称为检定溶液。

6.4.2.4 检定凹杯标准源

凹杯标准源的光子发射率是由被授权的国家放射性测量标准实验室检定和认可的，称为检定凹杯标准源。

6.4.2.5 校定凹杯标准源

凹杯标准源的光子发射率是由检定凹杯标准源校定的，称为校定凹杯标准源。

6.4.2.6 检定溶液凹杯标准源

标准凹杯内盛有检定溶液作为其放射性载体，称为检定溶液凹杯标准源。

6.4.2.7 校定溶液凹杯标准源

标准凹杯内液体放射性载体的光子发射率是由检定溶液来校定的，称为校定溶液凹杯标准源。

6.4.3 凹杯标准源的全能峰绝对效率测量

按图 6 方式把凹杯标准源放在探测器端帽上，按 5.4 的要求进行测量。凹杯的全能峰绝

对探测效率 M 为:

$$M=A/N_s \cdots \cdots \cdots (11)$$

式中: A ——在计数的活时间内, ^{60}Co 1332.5keV γ 射线的全能峰净面积;

N_s ——在同样活时间间隔内, 此能量的光子发射数量。

在确定标准凹杯结构的探测器绝对探测效率时, 仍采用 ^{60}Co 1332.5keV γ 射线为标准源。用户可根据实际应用要求, 选用其他的放射性核素作为多核素凹杯标准源, 按照上述方法可测出每种核素(或每种能量)的绝对探测效率。也可给出各种能量的绝对探测效率曲线。

标准凹杯结构的绝对效率测量中, 应注意到 ^{60}Co 1173.2keV 和 1332.5keV 两射线为瞬发级联, 两者可能在 2505.7keV 处形成相加峰, 因此上述测量可能造成 5%左右的误差。凡具有瞬发级联的核素, 在凹杯结构条件下都存在类似情况。

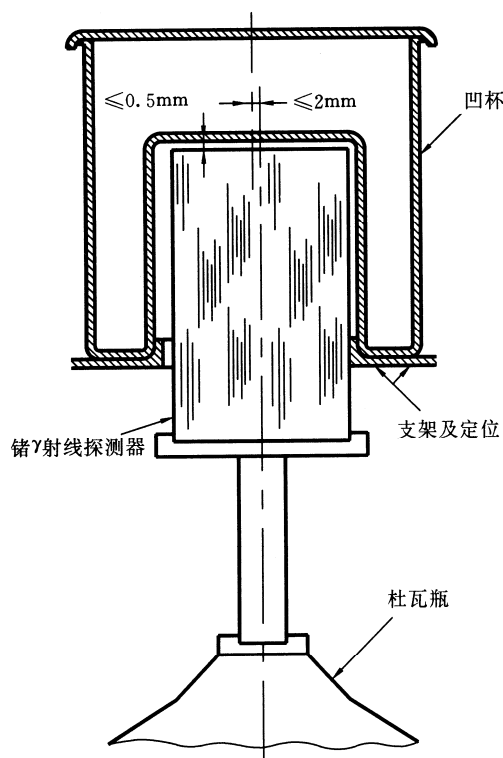


图 6 凹杯标准源与锗探测器匹配图

6.4.4 凹杯标准源文件

凹杯标准源必须带有一证书。对检定溶液凹杯标准源和校定溶液凹杯标准源, 还必须提供一个填充溶液的证书。证书必须包括下列内容:

6.4.4.1 给出所用放射性核素的有关内容

- a. 光子能量和放射性核素的半衰期;
- b. 检定光子发射率的日期;
- c. 说明光子发射率的不确定度。对校定凹杯标准源必须给出检定凹杯标准源的误差, 还应给出二者之间的比较误差。对于一个校定溶液凹杯标准源来说, 应给出其检定溶液凹杯标准的误差, 还应给出二者之间的比较误差;
- d. 载体的密度在规定值 2%以内。

6.4.4.2 检定日期

对于校定凹杯标准源必须给出校定日期, 同时应给出所采用的检定凹杯标准源的检定日期。

对于校定溶液凹杯标准源必须给出校定日期, 同时应给出所采用的检定溶液凹杯标准源

的检定日期。

6.4.4.3 对校定凹杯标准源和校定溶液凹杯标准源，要给出全部来源关系，包括检定凹杯标准源和检定溶液凹杯标准源的检定情况。

6.4.4.4 检定的实验室或机构。

7 定时性能

采用 ^{22}Na 湮没源同时发射的两条 511keV γ 射线，分两路测量其定时信号来确定锗探测器（实际上是锗探测器定时系统）的定时性能。

锗探测器给出起始信号，被延迟的停止信号来源于另一个快探测器。通过时间-幅度变换器来测量起始和停止信号之间时间差的分布。由时间差分布给出的时间谱可确定锗探测器系统的定时时间分辨率。

停止路定时系统的定时性能应足够好于锗探测器定时系统的定时性能。

7.1 定时系统

图 7 给出锗探测器定时系统方块图。停止道（时间参考道）由快塑料闪烁体与较快的光电倍增管（上升时间不大于 5ns）组成。光电倍增管的输出信号经恒比定时甄别器、延迟线送到时间-幅度变换器的停止输入端。锗探测器的输出信号经前置放大器后分成两路，即时时间输出信号和能量输出信号。其时间输出信号经快成形放大器、恒比定时甄别器送到时间-幅度变换器的起始输入端。选择快成形放大器的微分时间常数近似等于前置放大器输出的最快脉冲上升时间，恒比定时甄别器的恒比 f 多选为 20%，而延迟时间 t_d 选为探测器输出最快脉冲上升时间的一半。

前放的能量输出信号经放大器脉冲成形和定时单道脉冲幅度分析器后用来控制多道幅度分析器的门，以便选择能区。将定时单道脉冲幅度分析器的中心道设置在 511keV 处，窗宽为 10%。

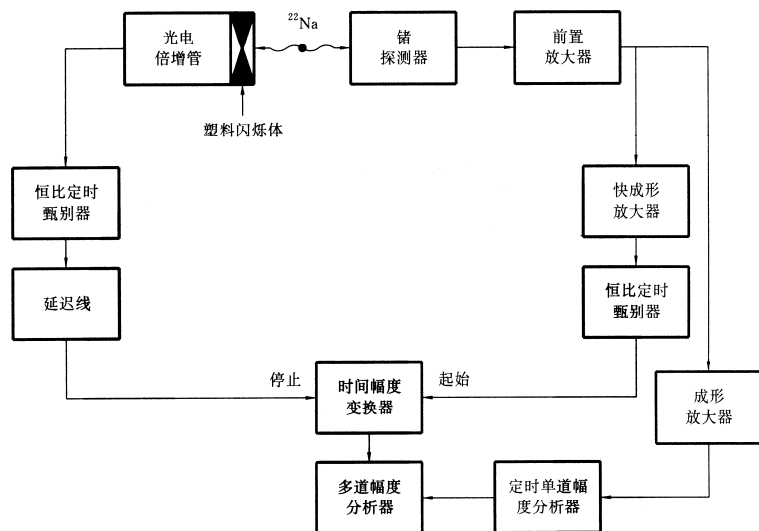


图 7 定时性能测试系统方框图

7.2 定时时间分辨率确定

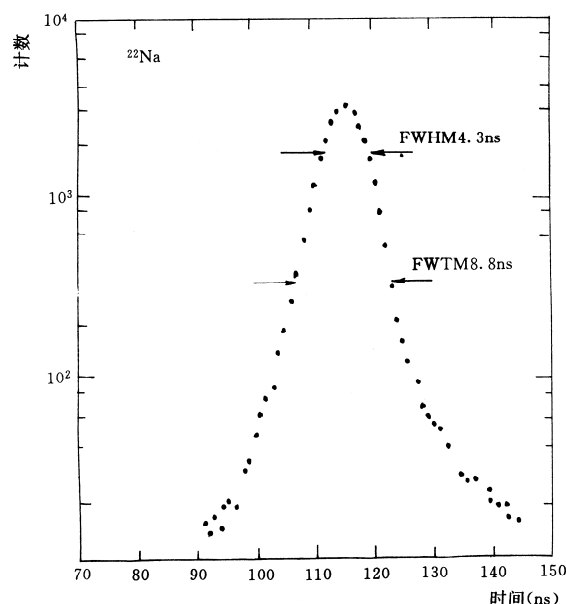
应用图 7 给出的锗探测器定时系统，得到符合 γ 射线定时时间谱如图 8 所示，时间谱峰的半高宽定为定时时间分辨率。时间谱峰半高宽至少应有 6 道，半高宽内计数至少为 4×10^3 。若使用计算机处理数据，且算得的半高宽误差在 $\pm 5\%$ （置信度为 90%）之内，则半高宽内总计数可低于 4×10^3 。至少使用两条校准过的延迟线校准时间轴，以 ns 为单位表示半高宽。

同时也应给出定时时间谱峰的十分之一高宽。

以下参数必须说明：

探测器灵敏体积：42 cm²

- a. 探测器所加的偏压; 工作偏压: 1 900V
b. 快成形放大器的成形时间常数; 微分时间常数: 100ns
c. 延迟时间 t_d ; 延迟时间: 15ns
d. 恒比 f 之值。 恒比 f : 0.3



探测器灵敏体积: 42 cm³
工作偏压: 1 900 V
微分时间常数: 100 ns
延迟时间 t_d : 15 ns
恒比 f : 0.3

图 8 锗（锂）探测器定时分辨率测量结果

8 入射窗厚度测量

8.1 入射窗的构成

锗探测器被密封在真空室内，通常存在如下三个窗：

- 探测器真空室端帽。用于保持室内高真空，通常由铝或铍金属构成，厚度为 0.02mm~1mm；
- 探测器热屏蔽罩。用于屏蔽热光子，通常由铝膜或铍膜构成，厚度为 0.01mm~0.2mm；
- 探测器外电极所形成的死层。此电极由锗材料构成，其厚度随探测器类型而变。对普通电极同轴探测器、锗（锂）同轴探测器及井型同轴探测器，死层为 0.3mm~0.7mm。对反电极同轴及平面探测器，死层为 0.3 μ m。

通常借助于测量低能 γ 射线或 X 射线的吸收确定窗厚度。

应注意：在测量中要保证源和源盒的自吸收不得改变入射谱线的相对强度。

8.2 用于入射窗厚度测量的放射源

表 3 给出用于入射窗厚度测量的放射源。

表 3 用于入射窗厚度测量的放射源

同位素	射入能量, keV	射线衰变率, %
⁵⁷ Co	122.1	86.59 \pm 0.19
	14.4	9.54 \pm 0.13
¹⁰⁹ Cd	87.8	3.73 \pm 0.06
	22.1	84.2 \pm 2.8
¹³³ Ba	161.0 ¹⁾	0.62 \pm 0.04
	81.0	33.5 \pm 0.5
	53.2	2.17 \pm 0.04

注:1) 避免利用同位素 ^{133}Ba 161.0keV 能谱线作为参考峰, 因为它受到叠加峰的干扰.

8.3 测量方法

把放射源活性面靠近探测器端帽的入射窗, 调节放大器的增益, 使得所感兴趣的单能峰的半高宽至少为 6 道, 峰的中心道累积计数至少为 2×10^3 。设所探测到的两个峰的相对强度之比 R_1 为:

$$R_1 = A_1 / A_2 \dots\dots\dots (12)$$

式中: A_1 ——较低能峰的面积;

A_2 ——较高能峰的面积。

按 5.4 确定峰面积。由峰面积之比, 射线衰变率及射线吸收系数, 可估算窗厚度。

9 锗探测器的温度循环能力

下述四种探测器性能测试按 5、6、7、8 所描述的方法进行。

9.1 温度可循环探测器

温度可循环探测器必须在保证期内, 能承受由低温到室温, 再回到低温的反复循环和长期的室温贮存, 探测器性能仍能达到规定值。

9.2 可退火探测器

可退火探测器是指探测器遭受辐射(通常为快中子)损伤后, 能在低温致冷器内进行退火, 以恢复其原来性能。探测器的装架及致冷装置必须能经受退火工艺(例如 120°C、24h)而不影响探测器性能。

在退火过程中, 必须有一个清洁的真空系统对探测器真空室进行抽空。

9.3 密封探测器

密封探测器装在密封盒内作为一个独立元件。它能在规定期限内贮存在室温下。在使用时, 把它装入致冷器内, 性能仍能达到规定值。

9.4 表面钝化探测器

表面钝化探测器可储存在温度变化不大的室内空气中(通常放在干燥器内)。使用时, 可把探测器装入致冷器中抽真空, 然后冷却和使用。它可返回到室内空气中保存。这种循环和保存应按厂家所规定的条件进行。