## 中华人民共和国国家标准

# 用半导体 γ 谱仪分析低比活度 γ 放射性样品的标准方法

GB 11713-89

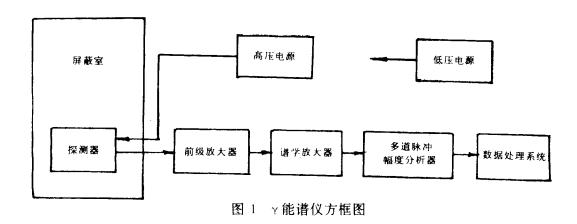
Standard methods of analyzing low specific gamma radioactivity samples by semiconductor gamma spectrometers

#### 1 主题内容与适用范围

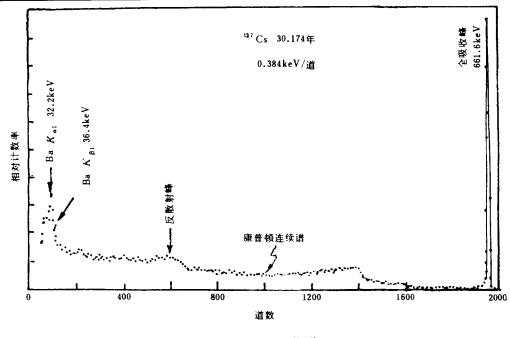
- 1.1 本标准规定了使用高能量分辨能力的半导体 y 射线能谱仪分析低比活度 y 放射性核素的固态、液态或可以转化为这两种物态的均匀样品的常规方法。
- 1.2 本标准适用于分析活度大于谱仪的探测限  $L_{D}$  〔附录 A(补充件)〕,并且各核素的 Y 特征谱线能够分辨开的样品。因此,一般对样品只作诸如烘干、粉碎、搅匀等简单的物理处理,而不作化学分离。当必须对样品作化学分离时,其回收率等参数应按相应规程测定。

#### 2 方法概要

- 2.1 本标准规定测量时采用高纯锗(HPGe)或锂漂移锗(Ge(Li))γ射线探测器。在可能情况下,应优先考虑前者。
- 2.2 本标准采用的典型仪器方框图如图 1 所示。在更低放射性活度下,要采用灵敏度更好的 γ 谱仪装置,如反符合屏蔽低本底 γ 谱仪、符合-反符合 γ 谱仪等。



2.3 Y能谱是 Y射线的计数按能量的分布。图 2 是<sup>137</sup>Cs 的典型 Y能谱图。在 Y能谱中,全吸收峰(也称全能峰或光电峰)的道址和入射 Y射线的能量成正比,这是 Y能谱定性应用的基础;全吸收峰下的净峰面积和与探测器相互作用的该能量的 Y射线数成正比,这是 Y能谱定量应用的基础。在全吸收峰净峰面积的分析中,必须扣除康普顿连续谱及本底等的计数。在低活度 Y放射性核素的样品分析中,要尽可能抑制或压低康普顿连续谱和本底等的干扰。



#### 图 2 137Cs y 能谱

#### 3 术语、符号、代号

- 3.1 核素总探测效率  $[\epsilon_{t,n}(N)]$  total detection efficiency for nuclide 对于给定的测量条件和核素,探测到的  $\gamma$  射线数与在同一时间间隔内辐射源中该核素的衰变总数的比值。
- 3.2 核素全吸收峰探测效率  $[\epsilon_{p,n}(E_{\gamma})]$  total absorption detection efficiency for nuclide 对于给定的测量条件以及该核素所发射的能量为  $E_{\gamma}$  的特征  $\gamma$  辐射,探测到的全吸收峰内的净计数与同一时间间隔内辐射源中该核素的衰变总数的比值。
- 3.3  $\gamma$  射线总探测效率  $[\epsilon_{t,\gamma}(E_{\gamma})]$  total detection efficiency for gamma-ray 对于给定的测量条件和  $\gamma$  射线能量,探测到的  $\gamma$  射线数与同一时间间隔内辐射源发射的该能量的  $\gamma$  射线总数的比值。
- 3.4 γ射线全吸收峰探测效率  $[\epsilon_{p,\gamma}(E_{\gamma})]$  total absorption detection efficiency for gamma-ray 对于给定的测量条件和 γ射线能量,探测到的全吸收峰内的净计数与同一时间间隔内辐射源发射的该能量的 γ射线总数的比值。
- 3.5 本底[ $N_b(E_1 \sim E_u)$ ] background 除被测的辐射源外,其他因素,如宇宙射线、放射性污染、电磁干扰等在谱的  $E_1$ 到  $E_u$ 能量区间造成的计数。
- 3. 6 基底[ $N_{b,c}(E_1 \sim E_u)$ ] bottom from background and Compton scattering 在所研究的能量为  $E_1 \sim E_u$  谱段(道区)内,除所研究的事件的谱计数外,其他因素造成的干扰谱。
- 3.7 半宽度(FWHM) full width at half maximum 在仅由单峰构成的分布曲线上,峰值一半处两点的横坐标之间的距离。
- 3.8 能量分辨率 $(FWHM(E_{\gamma}))$  energy resolution 探测器分辨入射粒子能量的能力。对指定能量的单能  $\gamma$  射线,相应的以能量为单位表示的全吸收 峰半宽度的值。
- 3.9 峰干扰 peak disturbance

在  $\gamma$  谱中分析一个峰,其他  $\gamma$  辐射的全吸收峰或逃逸峰等与欲分析的峰接近到不能完全分辨开时,对峰面积分析形成的干扰。

3.10 康普顿散射干扰 disturbance from Compton scattering

辐射源发射多个能量的 $\gamma$ 射线,其中较高能量 $\gamma$ 射线的康普顿散射计数对较低能量 $\gamma$ 射线的(全)能峰分析产生的干扰。

- 3.11 本底干扰 background disturbance 本底对待测物理量(如全吸收峰)的干扰。
- 3.12 密度差异干扰 disturbance from density difference 待测样品与刻度源间的密度差异(如超过 10%)对待测物理量的干扰。

#### 4 仪器设备

- 4.1 Y能谱仪。图 1 是用于低水平放射性测量的常规半导体 Y 谱仪方框图。
- 4.1.1 半导体  $\gamma$  射线探测器。由于通常对样品不作化学分离,因此,在多数情况下,需要采用高能量分辨率的 Ge 半导体探测器。并且,应尽可能采用探测效率较高(灵敏体积较大)的探测器。现在广泛采用的半导体探测器,其对  $^{60}$ Co 的 1 332keV  $\gamma$  射线的能量分辨率和相对探测效率分别介于 1.7 keV  $\sim$  2.4 keV 和  $15\%\sim40\%$ 之间。
- 4. 1. 2 屏蔽室。探测器应置于(对于  $^{40}$ K 的  $^{1}$  460 keV  $^{\gamma}$  射线)至少  $^{10}$  cm 厚铅当量的金属制成的外辐射屏蔽室中。要求屏蔽室内壁距探测器灵敏体积表面的距离至少为  $^{13}$  cm。如果屏蔽室是由铅或铅衬里制成,并且内壁与探测器的距离小于  $^{25}$  cm 时,在屏蔽室的内表面应有原子序数逐渐递减的多层内屏蔽。内衬由厚  $^{2}$   $^{20}$  mm 有机玻璃、 $^{20}$  0. 4 mm 的铜及  $^{20}$  1. 6 mm 的镉或锡组成。屏蔽室应有一个门或孔,以便放取样品。
- 4. 1. 2. 1 探测器在  $50 \text{ keV} \sim 3000 \text{ keV}$  能区内应不含天然放射性核素以外的污染。并且,在屏蔽室内测得的天然本底计数率对 $^{60}$ Co 的 1332 keV γ射线的全吸收峰相对探测效率的比值应小于500 计数/(分 $^{60}$ H对效率)。
- 4.1.3 高压电源。根据所用探测器的最佳工作状态选择探测器高压。通常 3 000 V ~ 5 000 V 高压电源 是需要的。电源输出电压应从 0 V 连续可调,波纹电压应不大于 0.01%,电流应不小于 100 μA。
- 4.1.4 谱学放大器。应具有波形调节并与前置放大器及多道脉冲幅度分析器匹配。
- 4.1.5 多道脉冲幅度分析器。多道分析器的道数不应少于 4 096 道。应根据能谱的复杂程度、y 射线能量分布范围及探测器的能量分辨率等选择多道分析器的道宽和道数。
- 4.1.6 建议采用的 γ 谱仪系统为同一厂家提供的产品,避免使用不同厂家的仪器组合。整个谱仪系统的稳定性,要求对<sup>60</sup>Co 的 1 332 keV γ 射线的全吸收峰置于 4 000 道附近时,24 h 内峰位漂移不超过 2 道。
- 4.1.7 数据处理系统。它接收多道分析器的谱数据并对其进行处理。数据处理系统由计算机硬软件设备构成。
- 4. 1. 7. 1 数据处理系统硬件设备主要包括(微型)计算机及配套的读出读入装置。读出读入装置基本上应包括 X-Y 绘图仪、数字打印机、硬软磁盘机、磁带记录仪和纸带穿孔机等。这些设备应视工作需要进行选择。
- 4.1.7.2 数据处理系统软件设备首先应包括解析 Y 谱的各种常规程序,诸如能量刻度、效率刻度、谱光滑、寻峰、峰面积计算和重峰分析等基本程序。此外,需根据测量实践需要,不断编制一些应用程序。
- 4.2 样品容器。应该采用低放射性材料制成的容器,如聚乙烯、有机玻璃、不锈钢等。应根据测量对象的特点,采用不同的容器形状,如圆盘状、圆柱状及阱型状等。如果可能,应优先考虑阱形状样品容器。
- 4.3 样品托盘。当样品是非粉末状固体时,为防止样品污染探测器,测试样品时仍须置于样品托盘中。
- 4.4 吸收体。对于低比活度测量,样品量一般都比较大,用以吸收韧致辐射的吸收体通常不是必需的。

如果需要吸收体,可用厚度为 6.4 mm 的铝,或厚度为 1.6 mm 的铅。吸收体的放置应对来自样品的直接 韧致辐射有完整的阴影屏蔽作用。

- 4.5 反符合屏蔽低本底γ谱仪是对含有极低活度的非级联γ辐射核素(如<sup>10</sup>K、<sup>54</sup>Mn、<sup>137</sup>Cs),和对具有较长γ跃迁亚稳态能级寿命的核素(如<sup>103</sup>Ru)的样品以及γ辐射加和峰测量分析的得力设备。
- 4.6 符合-反符合 γ 谱仪是对含有极低活度的级联 γ 辐射核素(如60Co)的样品测量分析的得力设备。

#### 5 刻度源制备和系统刻度

- 5.1 刻度源制备。在 Y 能谱分析中,往往需要用户采用在适当基体物质中加入适量标准放射性物质制备成的刻度源对系统进行能量刻度和探测效率刻度。
- 5.1.1 基体物质。指构成刻度源的基本的惰性物质。
- 5.1.1.1 基体物质的选择应满足以下要求:
  - a. 与样品主要化学成分相同或相近;
  - b. 与样品的物理形态,如固态、液态、颗粒度、密度或比重等相同或相近;
  - c. 与样品相比,其放射性活度可以忽略;
  - d. 与加入的标准放射性物质易于均匀混合;
  - e. 物理、化学性质稳定。
- 5.1.2 标准放射性物质。指各种标准放射性溶液、固体(粉末)和气体源或标准源。它们必须是经过国家计量基准器具或法定计量部门认定的计量基准器具标定,并由法定认可单位签章后供给用户的。国外进口的标准放射性物质应经国家计量部门核定。
- 5.1.2.1 用户使用的标准放射性物质应备有检验证书原件或副本等相关资料,以保证传递过程的可追溯性。
- 5.1.2.2 使用标准放射性物质应按其规定的有效期等规定。
- 5.1.3 刻度源。指由适当基体物质和适量标准放射性物质配制而成的核素活度已知的辐射源。
- 5.1.3.1 刻度源应满足以下要求:
- a. 均匀性。无论是基体物质还是标准放射性物质,其在刻度容器内的分布是均匀的,不产生显著的容器壁特异性吸附而改变其分布;
  - b. 模拟性。除放射性活度已知外,其他性质,如密度、形状、成分等,都和样品相同或相近;
  - c. 稳定性。在贮存及使用期内,不产生沉淀、潮解或结晶,不生成异物或霉变:
  - d. 高纯度。除去加入的放射性标准物质以外,应不含或尽量少含其他放射性杂质;
  - e. 准确度。在置信度为 99.7%的前提下,放射性活度的不确定度应小于±5%;
  - f. 密闭性。应密封于与样品容器的材料和形状相同的容器中。
- 5.1.4 基体本底源。按制备刻度源要求制备的仅含基体物质的为扣除刻度源基体本底用的模拟源。
- 5.1.5 刻度源检验样与刻度检验。按照制备刻度源采用的同样方法,制备几个活度已知的检验样。它们应包括单一放射性核素的和多核素混合物的检验样。在谱仪上测量检验样,并用刻度结果分析它们。比较分析结果和检验样的已知活度,从中分析判断刻度源的可靠性和谱分析程序的可行性。
- 5.2 能量刻度。用刻度源(或工作源)刻度谱仪系统的 Y 射线能量和道址间的对应关系。辐射源发射的 Y 射线能量应在 50~3 000 keV 之间,至少应覆盖待分析核素的 Y 辐射能量分布的区间。表 L 列出了适于能量刻度的主要核素及其主要 Y 辐射的能量。能量刻度至少包括四个不同的能量,并应均匀覆盖所研究的能区。

核	素	半 衰 期	主要 Y 射线能量, keV	
<sup>241</sup> A	m	433 年	59. 54(0. 359)	
<sup>133</sup> Ba		10.9年	81.0(0.36),302.7(0.196),355.9(0.67)	
<sup>57</sup> Co		270 天	122. 06(0. 852),136. 47(0. 111)	
<sup>141</sup> Ce		32. 45 天	145. 4(0. 48)	
<sup>51</sup> Cr		27.72 天	320. 03(0. 102)	
137(	Cs	30. 174 年	661. 64(0. 851)	
54 N	<b>I</b> n	312.5 天	834. 83(1. 00)	
<sup>65</sup> Z	Ľn .	244 天	1 115. 52(0. 507 5)	
60(	Co	5. 26 年	1 173. 2(0. 998 6),1 332. 46(0. 999 86)	
<sup>152</sup> Eu		13.2年 121.78(0.254),344.31(0.245),7		
			(0.120),964.01(0.132),1 085.83(0.097),	
			1 112.04(0.124),1 408.2(0.198)	
40K 1.26×1		1.26×10°年	1 460. 85(0. 11)	
88 <b>Y</b>		108 天	898. 02(0. 914),1 836. 1(0. 994)	
<sup>208</sup> T1		3. 1 分	510. 8(0. 23),583. 14(0. 86),2 614. 6(1. 00)	

表 1 适于能量和效率刻度的常用核素及其主要核参数

- 注:表中圆括号内数字表示相应能量 γ 射线的发射率。
- 5.2.1 如果所研究的能区为 50~2 000 keV,应调整系统增益,使<sup>137</sup>Cs 的 661.6 keV y 射线的全吸收峰峰位大约在多道分析器满量程的三分之一处。记录 y 射线能量和全吸收峰峰位道址。保持增益不变,再确定至少三个不同能量的其他 y 射线的全吸收峰峰位的道址,并记录它们的峰位和相应的 y 射线能量。5.2.2 在直角坐标纸上,以各 y 射线能量和它们的全吸收峰峰位道址作图。如果仪器运行正常,它们将呈线性关系,或至多有 2%左右的非线性偏离。如果偏离线性严重,就不应该分析样品。应该根据测量要求对能量-道址图作线性最小二乘拟合或非线性二次曲线最小二乘拟合,求得相应的能量刻度系数。
- 5.2.3 在样品测量期间,每天应至少用两个能量的 Y 辐射重复上述操作过程。所用 Y 辐射的能量应分别靠近刻度能区的低能端和高能端。如果峰位基本保持不变,则刻度数据保持适用。如果变化显著,则整个刻度过程必须重作。
- 5.3 探测效率刻度。定量测定样品中 y 放射性核素含量,必须对谱仪系统探测效率进行刻度。刻度方式一般有核素总探测效率、核素全吸收峰探测效率、y 射线总探测效率和 y 射线全吸收峰探测效率刻度方式。但是,应用更为广泛的是核素全吸收峰探测效率刻度和 y 射线全吸收峰探测效率刻度。
- 5.3.1 核素全吸收峰探测效率刻度如下进行:
- 5. 3. 1. 1 在与样品测量条件相同的条件下,分别获取核素及其活度已知的刻度源(或标准源)谱和基体本底源谱;
- 5. 3. 1. 2 以刻度源谱获取时间归一,求得归一后的基体本底源谱(简称基体本底归一谱);
- 5.3.1.3 从刻度源谱中扣除基体本底归一谱,求得刻度核素的净谱。
- 5. 3. 1. 4 从净谱中选择该核素的一个或几个特征 y 射线的全吸收峰,并求得其净峰面积(即去除康普顿散射干扰后的峰面积);
- 5. 3. 1. 5 计算所选特征  $\gamma$  射线的全吸收峰净峰面积与在获取刻度源谱的同一时间间隔内刻度源中该核素的衰变总数的比值  $\epsilon_{p,n}(E_{\gamma})$  。
- 5.3.2 y射线全吸收峰探测效率刻度应如下进行:

- 5.3.2.1 刻度的一般程序
- 5. 3. 2. 1. 1 依次执行 5. 3. 1 中的 5. 3. 1. 1~5. 3. 1. 3 操作程序。
- 5. 3. 2. 1. 2 从净谱中选择该核素的非级联的特征 Y 射线的全吸收峰,并求得其净峰面积。
- 5. 3. 2. 1. 3 计算所选特征  $\gamma$  射线的全吸收峰净峰面积与在获取刻度源谱的同一时间间隔内刻度源中发射的该能量的  $\gamma$  射线总数的比值  $\epsilon_{b,\gamma}(E_{\gamma})$ 。
- 5. 3. 2. 2 如果所选特征 Y 射线是级联辐射,在计算净峰面积时,应对级联辐射的相加效应作出修正。
- 5. 3. 2. 3 对于只改变 Y 射线能量的情况, Y 射线全吸收峰探测效率随能量的变化关系应如下求得:
- 5. 3. 2. 3. 1 在 50 keV  $\sim$  2 000(或 3 000) keV 能区内,至少选择七个能量的  $\gamma$  射线,并刻度它们的全吸收峰探测效率  $\epsilon_{0,\gamma}(E_{\gamma})$ 。
- 5. 3. 2. 3. 2 在双对数坐标纸上描绘  $\gamma$  射线全吸收峰探测效率  $\epsilon_{p,\gamma}(E_{\gamma})$  与  $\gamma$  射线能量  $E_{\gamma}$  的关系曲线效率刻度曲线。
- 5.3.2.3.3 对效率刻度曲线进行拟合。一般拟合函数的形式为:

$$\ln \varepsilon'_{p,\gamma}(E_{\gamma}) = \sum_{i=0}^{k} a_i (\ln E_{\gamma})^i \qquad \cdots$$

式中:  $\ell'_{\mathfrak{o},\mathsf{v}}(E_{\mathsf{v}})$  — 效率曲线拟合函数的计算值;

a, ——拟合常数;

k — 多项式的最高阶次,  $k \le m-1$ ;

- т ── 相应能区内参加曲线拟合的效率刻度点的数目。
- 5.4 在与样品测量条件相同的条件下,获取刻度源及基体本底源的谱并存储,以此供计算机或作图剥谱法分析多核素混合谱之用。如果计算用能区进行,就要确定用于计算的每一段谱的能量(或道址)边界。例如,如果样品中有五种 Y 辐射核素,那么就有五段 Y 谱用于计算。对每段 Y 谱获得扣除基体本底归一谱的净计数率,再求每段 Y 谱净计数率与总计数率的比值。此比值在计算样品中各核素含量的公式中用作系数。对每种核素的刻度源都要重复这种过程,以便得到相应的系数。所以,在样品中如果有 n 种核素,就必须测定" n²"个系数。一旦测得所有的系数,只要系统的能量分辨率、增益及测量条件不变,就不必重新测定它们。但是,以上条件若改变时,就必须重新测定这些系数。
- 5.5 当刻度源与样品的装样量或密度间差异较大时,应设法对效率刻度作出修正。特别在能量低于 200 keV 的 y 射线用作大样品中核素含量分析的特征峰时,密度差异干扰不能忽略。
- 5.6 质量控制图。所用谱仪应定期标定,测量样品时必须用物理化学性质稳定的参考源(或工作源)进行峰位和效率的校核。如果可能,天天校核,以保证仪器工作正常。利用对校核源和仪器本底精心绘制的质量控制图,一般会查出系统的严重毛病。由质量控制图可以确定仪器系统的工作是否符合统计规律和是否按泊松分布预测的方式工作。如果无大的波动,在实际计算时,最好利用本底和刻度数据的长时间平均值。

#### 6 測量步骤

- 6.1 根据测量对象,合理制备放射性均匀的样品。
- 6.2 将样品置于测量容器中,如果待测核素是某核素的衰变产物,应将测量容器密封,并待样品中该核素达到放射性平衡时再开始测量。否则,在数据处理时必须对非平衡核素作出合理的校正。
- 6.3 把样品放在探测器上测谱。根据全吸收峰的能量(或道址)和样品的历史鉴别样品中存在的核素。如果证据不足以判别样品中所含的核素,则有必要进行衰变研究或组分的化学分离。有时必须同时作两种研究。在测量开始和结束时,要测量仪器的本底计数率,计算时用平均值。在测量结束时,还应校验开始时的能量刻度,两者基本无甚差异时,核素鉴别才保证可靠。
- 6.4 设法获得合适的刻度源,对新增加的全吸收峰测定核素全吸收峰探测效率。或按 5.3.2.3 所述,求得 γ射线全吸收峰探测效率。

6.5 样品的分析误差要求是决定计数时间的主要因素。但是,通常认为 24 h 计数是合理的最长计数时间。

#### 7 计算

- 7.1 如果计算用能区进行,样品中每个核素(或组分)的活度都必须以代数方法求得,数据可以表示成n个方程,再解此联立方程。然而,对于高能量分辨率的半导体  $\gamma$  谐仪而言,推荐采用根据各种拟合函数编写的具有重峰分析能力的解谱程序,它们通常直接给出全吸收峰净计数,再进而求得核素活度。
- 7.2 极低活度的样品分析中,鉴于全吸收峰计数统计往往不高,组成复杂的极弱谱的分析仍是当前正在探索的课题。
- 7.3 采用核**素全吸收峰**探测效率计算样品中核素活度,通常引入较小的不确定度。这时,样品中待测核 素的活度按式(2)计算:

$$A(E_{y}) = C(E_{y})/\varepsilon_{p,n}(E_{y}) \qquad \cdots \qquad (2)$$

式中:  $A(E_v)$  — 样品中该核素的活度;

 $C(E_{\star})$  ——测量到的该核素选定特征峰计数率;

 $\varepsilon_{p,n}(E_{\gamma})$  — 该核素全吸收峰探测效率;

E, ——特征 y 射线能量。

7.4 采用 y 射线全吸收峰探测效率计算样品中核素活度,一般引入较大的不确定度。这时,样品中待测核素的活度按式(3)计算:

$$A(E_{\gamma}) = C(E_{\gamma})/(a \cdot \varepsilon_{0,\gamma}(E_{\gamma})) \qquad \cdots \qquad (3)$$

式中:  $A(E_{\gamma})$  — 样品中该核素的活度;

 $C(E_*)$  —— 测量到的该核素选定特征峰计数率;

 $\epsilon_{p,\gamma}(E_{\gamma})$  —  $\gamma$  射线全吸收峰探测效率;

a —— 该核素每次衰变发射选定特征 Y 射线的概率。

7.4.1 如果选定特征 γ射线是核素的级联 γ射线中的一条特征射线,并且谱中有不能忽略的符合相加效应,在计算中应对符合相加效应进行修正。

#### 8 报告

- 8.1 样品分析报告应包括核素活度数据及适当的不确定度项。对于不确定度项本标准推荐报告二倍标准差,即95%的置信度。但是,无论以多大的置信度报告不确定度项,都应用脚注标出或在行文中叙及,以免混淆。
- 8.2 按式(4)计算样品净计数率的计数标准差 $\sigma$ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_{\rm s}}{t_{\rm s}^2} + \frac{N_{\rm b,c}}{t_{\rm s}^2}} = \frac{1}{t_{\rm s}} \sqrt{N_{\rm s} + N_{\rm b,c}} \qquad \cdots \qquad (4)$$

式中:  $N_s$  —— 选定能区内(通常是全吸收峰)包括基底在内的样品积分计数;

N<sub>s,c</sub> —— 选定能区内的基底积分计数;

t. ——样品计数时间。

- 8.3 低水平放射性测量中,往往计数统计误差是分析结果的总不确定度的主要来源。但是,当有几项误差来源,如计数统计误差、探测效率误差等可以比拟时,须按误差传递原则进行误差合成,并在报告中予以说明。
- 8.4 报告中应说明所使用的基本核参数,如核素的半衰期、Y发射率等的文献资料出处。这是由于不少基本核参数在当前尚未完全可靠地确定。
- 8.5 在报告低活度样品分析结果时,常遇到两个问题。一是不确定度项大于样品值,二是样品计数率减去本底(或基底)结果为负值。对于第一种情况,通常按常规报告样品值及不确定度项,如 0.5 ± 1.0

Bq/g。对于第二种情况,常见方法是用前置"≤"报告不确定度项。通常要在造数据表时清楚地说明究竟采用了哪一种惯用法。

## 附 录 A 低水平测量中的测量下限 (补充件)

### A1 基本概念和数学表达式

A1.1 判断限  $L_c$  。它是判断样品中有无超过本底的放射性的标准。当测得的样品净计数  $N > L_c$  时,可作出结论:"探测到",即样品中存在超过本底的放射性。当  $N < L_c$  时,则可作出结论:"未探测到",即样品中无超过本底的放射性。

A1.1.1 判断限 L 的数学表达式为:

$$L_{\rm c} = K_{\rm a} \sqrt{N_{\rm b,s} + N_{\rm b}} \quad \cdots \qquad (A1)$$

式中:  $N_{\text{b,s}}$  — 本底加样品的总计数的观测值;

 $N_0$  — 本底计数的观测值;

 $K_a$  — 与当样品中实际上不存在超过本底的放射性时而作出存在超过本底的放射性的错误判断概率  $\alpha$  相应的值。表 A1 中给出了  $K_a$  与  $\alpha$  的对应关系。

**A1.2** 探测下限  $L_0$  。它回答能否探测到的问题。当  $N > L_0$  时,可作出结论:样品中的放射性可被探测到。当  $N < L_0$  时,则可作出结论:样品中的放射性不一定能被探测到。

A1.2.1 探测下限  $L_0$  的数学表达式为:

式中:  $K_{\beta}$  — 与当样品中实际存在超过本底的放射性时而作出不存在超过本底的放射性的错误判断 概率  $\beta$  相应的值。表 A1 中给出了  $K_{\beta}$  与  $\beta$  的对应关系。

а	$1-\beta$	$K_o = K_{\beta} = K$	$2\sqrt{2}K$
0.01	0.99	2. 327	6. 59
0. 02	0. 98	2. 054	5. 81
0. 025	0. 975	1. 960	5. 55
0.05	0.95	1. 645	4.66
0.10	0.90	1. 282	3. 63
0.20	0.80	0.842	2. 38
0.50	0. 50	0	0

表 A1 常用的  $\alpha$ 、 $\beta$  值对应的 K 值

#### A2 简化的数学形式

对于低活度测量,考虑本底加样品的总计数  $N_{\text{b.s}}$ 可以和本底  $N_{\text{b}}$ 相比拟时,则有  $N_{\text{b.s}} \approx N_{\text{b.s}}$ ,并考虑概率  $\alpha$  与  $\beta$  处于相同水平,则有  $K_{\text{o}} = K_{\text{b}} = K$ 。此时,得出  $L_{\text{c}}$  及  $L_{\text{D}}$  的简化表达式:

$$L_{\rm p} = 2K \sqrt{2N_{\rm b}} = 2L_{\rm c}$$
 ...... (A4)

#### A3 应用说明

**A3.** 1 虽然式(A1) $\sim$ (A4)中均未含探测效率因子,但是,计数项  $N_b$ ,和  $N_b$ 中已隐含了探测效率因子。

A3.2 对于 Y 谱仪来说,探测效率和辐射源的形状、Y 射线能量及测量条件等有关。因此,当给出一个谱仪系统的探测下限等参数时,必须明确说明核素、源的形状特点(点源、体源质量或体积等)和计数时间等。

A3.3 考虑到核素的 Y 辐射特性、谱仪探测效率和测量时间后,可以把探测下限变换成以样品中的核素活度表示的核素活度探测下限 4b。其为:

$$A_{\rm D} = \frac{2.83 \ K}{\varepsilon_{\rm p,n}(E_{\rm y})} \sqrt{\frac{n_{\rm b}}{T_{\rm b}}} \qquad \cdots \qquad (A5)$$

或

$$A_{\rm D} = \frac{2.83 \ K}{a \cdot \varepsilon_{\rm p,\gamma}(E_{\gamma})} \sqrt{\frac{n_{\rm b}}{T_{\rm b}}} \qquad \cdots (A6)$$

式中:

n<sub>b</sub> —— 对欲估算的核素所选特征 Y 射线的全吸收峰能区内的本底计数率;

 $T_b$ ——本底测量时间;

 $\epsilon_{p,n}(E_{\gamma})$  和  $\epsilon_{p,\gamma}(E_{\gamma})$  — 核素全吸收峰探测效率和  $\gamma$  射线全吸收峰探测效率;

a — 该核素所选特征 γ 射线的发射概率。

A3.3.1 为便于不同谱仪系统之间的性能比较,本附录推荐:在使用全吸收峰 1/10 峰高全宽度 (FWTM)为全吸收峰计算能区的前提下,分别估算计数时间为 1 000 分钟和置信概率为 95%时的谱仪系统对<sup>241</sup>Am、<sup>137</sup>Cs 和<sup>40</sup>K 点源的探测下限。

**A3.4** 在多核素  $\gamma$  谱测量中,总会存在康普顿散射干扰。这时,估算谱仪系统的探测下限各表达式中的  $N_b$  或  $n_b$  项应该理解为该能区内的基底。

#### 附加说明:

本标准由卫生部卫生监督司提出。

本标准由卫生部工业卫生实验所负责起草。

本标准主要起草人苏琼、李允兴。

本标准由卫生部委托技术归口单位卫生部工业卫生实验所负责解释。