

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 752-91

锗γ谱仪活度标准装置

1991 年 9 月 4 日 批准

1992 年 5 月 1 日实施

国家技术监督局

_
_

꽄

	概述		(1)
=	技术	要求	(1)
Ξ	检定	条件 ••••••	(2)
团	检定	项目和检定 方法	(3)
	()	γ 谱仪性 能试验	(3)
	(ニ)	效率校准	(4)
	(三)	放射源活度的检定	(5)
Ŧ	检定	结果处理和检定周期	(6)
贈	뢎		
	附录	1 符合相加修正	(8)
	附录	2 检定证书内面格式	(13)



本检定规程经国家技术监督局于 1991 年 9 月 4 日批准,并自 1992年 5 月 1 日起施行。

归口单位: 中国计量科学研究院

起草单位; 中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

本规程主要起草人:

详金波 (中国计量科学研究院)

猪 Y 谱仪活度标准装置检定规程

本規程适用于新制造、使用中和修理后的同轴 锗(锂) Y 谱仪或 同轴高纯储 Y 谱仪活度测量标准装置的检定。Y 射线的能量范围 60~ 1408 keV, 点源活度 3.7×10°~3.7×10° Bq.

一概 述

锗(锂) Y 谱仪和高纯锗 Y 谱仪用于测量放射源的 Y 发射率或放射性活度。

< 铬 γ 谱仪由锗探测器、高压电源、前置放大器、潜放大器、多道 脉冲幅度分析器和数据处理系统组成、γ射线与探测器相互作用,产生 电脉冲信号由电子学系统分析和计数。根据 γ 能谱中被测核素某特征 γ 射线的全吸收峰净面积计数率和探测器对该 γ 射线的探测 效率 (用 标准源进行刻度),可以得到此 γ 射线的 γ 发射率,再根 据 该 γ 射线 的发射几率,便可以得到该核素的活度。

二技术要求

γ 谱仪中电子学仪器的性能应符合说明书给出的指标。

 探测器的能量分辨率应好于 2.5 keV (对⁶°Co 的 1 332 keV γ 射线).

3 谱仪系统 24 小时内峰位漂移不超过 0.02%,峰净 面 积 测量 的稳定度应好于 0.2% (谱仪预热稳定以后)。

4 谘仪要配有堆积抑制器,有良好的抗堆积性能,当总计数率 ≤10³ 计数・5⁻¹ 时堆积损失小于 0.15%.

5 谱仪要显有性能良好的计算机谱分析软件,减连续谱本底求 峰净面积的一致性好于 0.3%。

6 探测器要配有放射源支架,使放射源独向位置和在轴线的垂直方向位置的不一致性对探测效率不确定度的贡献分别小于0.03%。

7 谱仪应配备有长寿命的、高中低能区至少 各 有一条 Y 射线的

监督源,以监督谱仪的长期稳定性。

8 谱仪在 60~1 408 keV 能区内测量 γ 发射率的量程 为 4×10³ ~4×10⁵ s⁻¹,总不确定度 (1.5~5)% (37).

三 检 定 条 件

9 "Co、"Ba、"³Am 点状 Y 标准源各一个,效率校准用,活度分别为 (2~4)×10⁴ Bq、(1~2)×10⁵ Bq 和 (1~2)×10⁵ Bq,总不 确定度分别为 1%、2.5%和 1%。源斑直径≤2 mm,偏离 中心<1.5 mm。源托厚度 4±0.05 mm,源托膜位于中间。源自吸收 和源与源之 间膜吸收的不一致性均小于 0.1%。

10 ¹¹Eu 点状 Y 源一个, 效率校准用, 活 度(1~2)×10³ Bq, ¹¹Eu 杂质含量小于 0.2%。源的几何条件同第 9 条。

11 "Co、"Cs、"Zn 点状 Y 标准源各一个,活度检定用,活度分 别为(2~4)×10⁴ Bq、(0.5~1)×10³ Bq 和(2~3)×10⁵ Bq,总不 确定度分别为 1.5%、2%和 2.5%。源的几何条件同第9条。

12 "Cs 和/或"Co 点状 Y 源各一个, 活度 (2~4)×10° Bq, 用 以进行各种性能试验。

13 选择适当的源- 探测器距离或放射源活度控制测量的总计数 率,使堆积损失小于 0.15%.

14 选择适当的源-探测器距离使符合相加效应尽量小,或者进 行符合相加修正,使对蜂净面积不确定度的贡献小于0.07%。

15 准备专门的放射源托板,可使源在轴向及轴线的垂直方向分 别做 0.5~3 mm 及 1~10 mm 的位置变动,以便进行 源 几 何 位置试 脸。

16 实验室内无放射性污染,环境本底对活度测量结果不确定度 的贡献小于 0.1%。

17 实验室附近不得有强电磁场干扰。谱仪要用交流稳压电源供 电。

18 实验室内有空调设备,测量时室温保持在[20(或 22)±1)℃, 相对湿度<75%,</p>

四 检定项目和检定方法

(一) Y 谱仪性能试验

必要时,对被检谐仪进行下面的部分或全部性能试验。

19 按通常方法启动谱仪系统,使处于正常的工作状态。把^{6°C}o标准源放在测量位置上收集一个谱,测量1332 keV 的能量分辨率。

20 能量刻度。能量刻度是建立谱仪道数与 γ 射线能量之间的关系。用¹¹¹Eu 瀛测一 γ 谐,找出主要 γ 射线或 X 射线峰位 所在的道数 \hat{X} ,它们相应的能量为 $E_{i,i}$ 为 γ 或 X 射线的标帜号,用多项式(一般为二次) 拟合实验点 (\hat{X}_i , E_i),得到能量对道数的函数 $E(\hat{X})$.

21 稳定性试验。用"^{IPC}a和/或"^{CO} 源,一开机就 以 相等的时间重 复收集谐数据,每次峰净面积大于 3×10⁵ 计数,共测 24 小时。记下 每次的峰位 X, 峰净 面积 a_i和开始测量的时刻 t_i, 画出 X_i-t_i 和a_it_i 图线,找出峰位和峰净面积进入稳定值的时刻,定出诸仪 的预热时 同。从谱仪稳定后的峰净面积 a_i(j=1, 2, ……, n) 求出 单 次测量 标准偏差

$$\sigma_{a} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} (a_{j} - \bar{a})^{4}}{n-1}}$$
(1)

式中: ā----a, 的平均值。

以σ表示峰净面积 a₁ 的统计误差,则谱仪的稳定度为

$$\frac{\sigma_s}{a} = \frac{1}{a} \sqrt{\sigma_s^2 - \sigma^2} \times 100\%$$
(2)

a.fa应好于0.2%。

22 峰估计方法的检验,目的是检验康普顿连续请大小不同时峰 估计方法求峰净面积的不一致性。方法是;用""Cs 源测 得 峰 净面积 a,移走""Cs 源但谱数据不清除,用"Co源继续测量直至""Cs 峰下总 计数是 a,的 3 倍,用求峰净面积 a,的同样方法再认求峰净面积,得 a, a, 与 a,相差应在 0.3%以内,相当于由减连续谱本 底不一致性 引起的不确定度为0.1%。 23 堆积损失试验。目的是估计堆积损失的大小和确定测量的计数率范围。事先应把堆积抑制器调整好。单独测 晨"Zn (或"Co) 源,得到1115 keV (或1173 keV 和1332 keV)Y 射线的峰净面积 a₁(统 计误差<0.3%),此时总计数率应足够小,使堆积损失小于0.1%。 保持"Zn 源不动,加入一个"Cs 源并逐步移近探测器 以 增加总计数 率,以相同的收集时间重复测量不同总计数率下"Zn 峰净面积。在一 定范围内峰净面积对总计数率呈直线关系,用最小二乘法拟合,找出 堆积损失为0.1%时的总计数率,即不 作修 正时允许的总计数率上限。

24 源几何位置试验。为了判断放射源在测量时放置的几何位置 的不一致性对探测效率的影响,需要做放射源几何位置试验。做法 是。利用第15条要求准备的专用源托板,使放射源在正常位置和在 轴向离开正常位置0.5,1,……,3mm,测得不同位置上的峰净面积,作图并观察峰净面积与位置偏离值的关系,确定出与正常位置的 峰净面积相对偏离小于0.1%时允许的几何位置偏离上限。用同样方 法确定出在独线的垂直方向上允许的几何位置偏离上限。

(二)效率校准

25 分别把"Co、"Pa 和""Am 标准源及"Eu 点源放在拟校准的 几何位置上,收集谱数据,使波测γ射线的峰净面积计数统计误差小 于 0.1%.

26 对"Co前 1173.238 keV和 1 332.502 keV, "Eu 的 121.78 keV、244.7 keV、344.28 keV、411.1 keV、444.0 keV、778.9 keV、 964.0 keV、1112.1 keV和 1 408.03 keV, "Ba 的 81 keV和356.014 keV 以及"Am 的 59.537 keV γ 射线, 用经过第 22 条考验过的峰估计 方法求得峰净面积、

27 对"Co、"·Eu和"Ba K γ 射线,如果源-探测器距离不足够 大,必须进行符合相加修正,方法是将测得的峰净面积乘以符合相加 修正因子。符合相加修正因子的计算方法见附录 1. 必要时,对 81, 121.78,244.7,411.1和1112,1 keV 等 γ 射线的干扰峰进行适当的 修正, 28 效率计算及拟合

28.1 对"Co、"Ba和"Am, 被测 Y 射线的全吸收峰 探 测效率 e 由下式计算,

$$e = \frac{ac}{AP}$$
(3)

式中, a---被测 Y 射线的峰净面积计数率;

c----符合相加修正因子:

A---标准源的活度;

Ρ----γ射线的 γ 发射几率 (见表 1).

28.2 对**Eu, 按式(3)计算表1中列出的9条Y射线的相对全 吸收峰效率 e, (B;)(A用任意值, P用相对发射几率),用效率函数拟 合得到一条相对效率曲线。绝对全吸收峰效率由下式得到。

$$\boldsymbol{\varepsilon}(\boldsymbol{B}_{f}) = \boldsymbol{\varepsilon}_{r}(\boldsymbol{B}_{f}) \left(\frac{\boldsymbol{\varepsilon}(1 \ 173)}{\boldsymbol{\varepsilon}_{r}(1 \ 173)} + \frac{\boldsymbol{\varepsilon}(1 \ 332)}{\boldsymbol{\varepsilon}_{r}(1 \ 332)} \right) / 2$$

(4)

式中: e(1 173), ε(1 332)—— "Co 1 173 keV 和 1 332 keV Y 射线的全 吸收隆效率,由式 (3) 得到,

ε.(1 173), ε.(1 332)---- 1 173 keV 和 1 332 keV 的相对效率,

由ⁱⁱⁱEu 的相对效率曲线内插得出。

28.3 用效率函数对"Am、"Ba、"Eu 和"Co 各被测 Y 射线的效 率值进行拟合,得到最后的效率-能量曲线。

29 对给定能量 E_i, 计算装置原有效率值 e'(E_i) 与本次检定值 e(E_i) 的相对偏离

$$D = \frac{\varepsilon'(E_i) - \varepsilon(E_i)}{\varepsilon(E_i)} \times 100\%$$
 (5)

(三) 放射源活度的检定

30 在正常的工作条件下测量"Co、"Cs、"Zn和任选1~2种开 展检定的核素的点状γ标准源的活度(要求峰净面积计数≥50万), "Co、"Cs和"Zn的γ射线能量及发射几率见表1、计算测量值与标 准值的相对偏离

$$D_{A} = \frac{A_{ss} - A_{s}}{A_{s}} \times 100\% \tag{6}$$

式中, Am---测量的活度值;

A₁——源活度的标准值。

五 检定结果处理和检定周期

31 若性能试验结果不符合技术要求,应检查系统存在的问题, 修理或改进有关设备并重新进行试验。

32 按本规程检定得 60~1 408 keV 能区内全吸收峰振测 效率的 总不确定度为(1.2~4.2)%,测量 Y 发射率的总不确定度为(1.5~ 4.5)%(均为 3 o),活度测量的不确定度由 Y 发射率与 Y 发射几率的 不确定度合成得到。如果在这个能区内装置原有的效率值与检定结果 偏离不超出±(1.2~4.2)%,源活度的检定结果与标准值相差不超出

-	
58	- 1

Y 发射几率

枝素	Υ射线能量 (keV)	Υ发射几率〕	于扰峰
60Co	1 173.238	0.998 7 (0.02%)	
	1 332,502	0.999 82 (0.001%)	
133Ba	81	0.339 1 (1.05%)	79.6 keV
	356.014	0.620 5 (0.45%)	
152Eu	121.78	136.07 (0.77%)	123.1 keV(154Fu)
	244.7	38.02 (0.64%)	248.0 keV(154Eu)
	\$44.28	127.5 (0.61%)	
	411.1	10.71 (0.48%)	416.05 keV
	444.0	14.97 (0.47%)	
	778.0	62.16 (0.44%)	
	964.9	70.12 (0.27%)	
	1 112.1	65.04 (0.29%)	1 109.2 keV
	1 408.03	100 (0.27%)	
141Am	59.537	0.359 (1.114)	
57Co	122,061 4	0.855 1 (0.21%)	
131Cs	661.66	0.851 (0.35%)	
45Zn	1 116.52	0.507 5 (0.2%)	

① 138 Eu 为相对发射几率,其余为绝对发射几率,括号内数字为不确定度(1 σ),

相应的误差范围,则认为合格,发给检定证书。不合格的发给检定结 果**通知书。**

33 检定周期为3年。对装置效率能否保持,可用监督源每月或 每季度检查一次。如果发现问题,或装置经过修理与更新,需及时按 本规程重新检定。

附 큧

附录 1

符合相加修正

与待测 Y 射线级联发射的 Y 射线, 二者发生符合相加时会使待测 Y 射线峰净面积减小; 与待测 Y 射线并联的一组级联 Y 射线, 组内诸 Y 射线符合相加时, 使待测 Y 射线峰净面积增加. 测量的 峰净面积需 要乘上一个修正因子进行修正. 符合相加修正因子 c 由下式确定:

$$c = \frac{1}{\prod_{i=1}^{n} (1 - F_{L_i}) \times \prod_{j=1}^{n} (1 + F_{\sigma j})}$$
(1)
$$F_{L_i} = E_{T_i} q_i$$
$$F_{\sigma j} = \frac{\prod_{k=1}^{l} E_{\sigma j} k}{E_{\sigma \alpha}} q_j$$

式中:1---级联 γ 射线标帜号;

m----与待测 Y 射线符合相加的级联 Y 射线数目;

 B_{T1} ——第i个级联 γ 射线的总探测效率;

 q_i ——第 i 个级联 γ 射线相对于待测 γ 射线的份额;

i——并联的级联 γ 射线组的标帜号;

n----并联的级联 γ 射线组数目;

k——并联的级联γ射线组内各γ射线的标帜号;

1---并联的级联 Y 射线组内 Y 射线的数目;

E_{ask}——第 j 个并联的级联 γ 射线组内第 k 条 γ 射线 全吸收 峰探 测效率;

 E_{ao} ——待测 Y 射线的全吸收峰探测效率;

下面表中给出"Co、"Ba和"Eu 各条被测γ射线的 Fa 和 Fos的

计算式子.式中 $E_{T}(E)$ 表示能量为E的 γ 或 X 射线的总探测效率, $E_{o}(E)$ 表示能量为E的 γ 射线的全吸收峰探测效率,E的单位为 keV. 总效率和全吸收峰效率可以由实验测定。将总效率和峰效率代入式子 中分别计算出 F_{Li} 和 F_{oj} ,然后代入式(1)就得到c.对于"Eu的 444.0 keV γ 射线, c 由两部分组成,应分别计算出每一部分的符合相 中修正因子 c_1 和 c_2 ,再由下式算出总的符合相加修正因子。

 $c = 0.90 c_1 + 0.10 c_2$

"Co	γ ₁ 1173.238 keV
FLI	B_{π} (1332.50)
	Y: 1332.502 keV
FLI	<i>B</i> ₇ (1173.24)
**Ba	Y1 81 keV
FLI	0.027 Er (79.62)
	$0.125 E_T$ (35)
	$0,206 E_T$ (302.86)
	$0.688 E_{\tau}$ (356.01)
	$0.068 E_r$ (276.40)
	$0.016 E_T$ (53.16)
	Y1 356.014 keV
FLi	$0.462 E_T$ (81)
	$0.223 E_r$ (35)
Fai	$0.038 E_a(276.40)E_a(79.62)/E_a(356.01)$
	$0.023 E_a(53.16)E_a(302.85)/E_a(356.01)$
182Eu	Y1 121.78 keV
FLI	$0.122 E_T (244.7)$
	$0.604 E_T$ (39.9)
	$0.149 E_T$ (45.7)
	$0,014 E_T$ (688,7)

0.007 E,	(919.4)
0.236 E ₇	(964.0)
0.220 Er	(1112.1)
0.008 Er	(1457.6)
0.339 Ez	(1408.03)
0.032 Er	(444.0)
0.068 Er	(867.4)
0.010 Br	(1005.3)
0.023 Er	(1212.9)
Y, 244.	7 keV
0.462 Er	(121,78)
0,039 E ₇	(444.0)
0.033 Br	(719.3)
0.508 E7	(867.4)
0.033 E7	(926.3)
$0.078 E_{T}$	(1005.3)
0.012 Er	(295.9)
0.169 E ₇	(1212.9)
0.887 Er	(39.9)
0.149 Er	(45.7)
Y. 344.2	28 keV
$0.081 E_{\tau}$	(411,1)
0.017 E_{τ}	(586.3)
0,470 Er	(778.9)
$0.050 E_{\tau}$	(1089.7)
$0.059 E_{\tau}$	(1299.1)
0.030 Er	(367.8)
$0.017 E_{T}$	(678,6)

Y. 411.1 keV

FLi

FLI

FLi	$0.963 E_{\tau}$ (344.28)
	$0.028 E_{T}$ (43)
	$0.377 E_T (367.8)$
	$0.206 E_T$ (678.6)
	γ ₃ 444.0 keV
c ₁ 中的 F _{L1}	
	0.407 Er (1085.8)
	$0.580 E_T$ (964.0)
	$0.011 E_T$ (719.3)
	$0.268 E_{\tau}$ (121.78)
	$0.010 E_{T}$ (244.7)
	$0.765 E_{\tau}$ (39.9)
	$0.149 E_T$ (45.7)
c ₁ 中的 F _{Li}	
	$0.907 E_T$ (244.7)
	0.462 Er (121.78)
	$0.955 E_T$ (39.9)
	$0.149 E_{T}$ (45.7)
	Ys 778.9 keV
FLI	0.963 Er (344.28)
	$0.028 E_r$ (43)
Fai	$0.065 E_a(411.1)E_a(367.8)/E_a(778.9)$
	γ ₇ 964.0 keV
17 14	$0.462 E_{T}$ (121.78)
	$0.112 E_7 (444.0)$
	$0.019 E_T (564.0)$
	0.887 Er (39.9)
	$0.149 E_{\tau}$ (45.7)
F _{GJ}	$0.017 E_a(719.2)E_a(244.7)/E_a(964.0)$

	Y ₈ 1112,1 keV
FLi	0.462 Er (121.78)
	$0.024 E_r$ (295.9)
	$0.887 E_r$ (39.9)
	$0.149 E_{T}$ (45.7)
Fai	$0.282 E_a(867.4)E_a(244.7)/E_a(1112.1)$
	y , 1408.03 keV
F _{L4}	$0.462 E_{T}$ (121.78)
	$0.887 E_T$ (39.9)
	$0.149 E_{\tau}$ (45.7)
Fai	$0.078 E_a(444.0)E_a(964.0)/E_a(1408.03)$
	$0.016 E_a(295.9)E_a(1112.1)/E_a(1408.03)$
	$0.016 E_a(488.7)E_a(919.4)/E_a(1408.03)$

附录 2

.

检定证书内面格式

效率检定结果

γ射线能量 (keV)	原	本 次 检定结果 ε(E _i)	百分差値 (%)
59.537			_
81.00			
121.78			
244.7			
\$44.28			
\$56.014			
411.1		_	
444.0			
778.9			
964.0			
1 112.1			
1 173.238			
1 332.502			
1 408.03			

活度检定结果

核素	颜号	测量谊Am(Eq)	标 准 值 A1 (Bq)	百分差值(%)
57Co				
137Cs				
• Zn				

And the owner of the owner owner