

团 体 标 准

T/WHAEPI 005—2021

建筑材料检测专用 NaI 低本底多道 γ 能谱仪

**Low background and multichannel γ Ray Spectrometer with the Detector
from NaI crystals for Testing the Materials in Construction Industry**

2021-12-29 发布

2022-1-1 实施

武汉环境保护产业协会 发布

目 次

目 次	I
前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 要求	2
4.1 环境条件	2
4.2 一般要求	2
4.3 性能指标	3
4.4 安全试验	4
4.5 环境适应性	4
4.6 电磁兼容性	4
5 试验方法	4
5.1 环境条件	4
5.2 一般要求	4
5.3 性能指标检验	4
5.4 安全实验	6
5.5 环境适应性实验	7
5.6 电磁兼容性试验	7
6 检验规则	7
6.1 检验分类	7
6.2 出厂检验	7
6.3 型式检验	7
7 标志、包装、贮存与运输	8
7.1 标志	8
7.2 包装	8
7.3 贮存	8
7.4 运输	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由湖北大秦维康检验测试认证有限公司提出。

本文件由武汉环境保护产业协会归口。

本文件主要起草单位：湖北大秦维康检验测试认证有限公司、湖北方圆环保科技有限公司。

参与起草单位：随州市产品质量监督检验所、十堰市工业产品质量检验检测所、襄阳市公共检验检测中心、荆门市公共检验检测中心、湖北省计量测试技术研究院、湖北省计量测试技术研究院随州分院。

本文件主要起草人：秦鸣东、董琪、李晓琦、毛洛均、王筱灵、黄彦玮、方克魁、赵磊。

参与起草人：童传威、郭飞、宁静海、吕明和、刘启军、姜桂敏、万官元、刘珊珊、王勇刚、张东、孙林、胡红燕、杨业鑫。

建筑材料检测专用 NaI 低本底多道 γ 能谱仪

1 范围

本文件规定了建筑材料检测专用 NaI 低本底多道 γ 能谱仪的术语和定义、要求、试验方法、检验规则、标志、包装、贮存与运输。

本文件适用于测量建筑材料中弱 γ 放射性活度的 NaI 低本底多道 γ 能谱仪。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 2829 周期检验计数抽样程序及表（适用于对过程稳定性的检验）

GB/T 4960.6-2008 核科学技术术语 第6部分：核仪器仪表

GB/T 6388 运输包装收发货标志

GB 6566-2010 建筑材料放射性核素限量

GB/T 8993-1998 核仪器环境条件与试验方法

GB/T 13163.1-2009 辐射防护仪器 氦及氦子体测量仪 第1部分：一般原则

GB/T 13306 标牌

GB/T 17799.1-2017 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度试验

GB/T 19661.1-2005 核仪器及系统安全要求 第1部分：通用要求

GB/T 19661.2 核仪器及系统安全要求 第2部分：放射性防护要求

JJF 1744-2019 闪烁体探测器 γ 谱仪校准规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

本底 background

无被测样品时仪器的读数。

[来源：JJF 1744-2019，3.1.1]

3.2

计数率 count rate

单位时间内仪器的计数。

[来源：JJF 1744-2019，3.1.2]

3.3

多道幅度分析器 multichannel amplitude analyzer

多于一道的分析器，通常包含有足够多的道数。它按照输出信号的一个或多个特性（幅度、时间等）对信号进行分类计数，从而测定其分布函数。

[来源：GB/T 4960.6-2008，3.1.31]

3.4

半高宽 (FWHM) full width at half maximum (FWHM)

在单峰构成的分布曲线上，峰值一半处曲线上两点的横坐标间的距离。

[来源：GB/T 4960.6-2008，3.2.27]

3.5

活度 activity

用 A 表示。

在给定时刻，处于特定能态的一定量放射性核素在 dt 时间间隔内发生自发核跃迁数的期望值 dN 除以 dt 的商。见式 (1)：

$$A = \frac{dN}{dt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

单位为贝克 (Bq)。

[来源：GB/T 13163.1-2009，3.1.1]

3.6

比活度 specific activity

用 C 表示。

物质中的某种核素放射性活度 A 与该物质的质量 m 之比值，见式 (2)。

$$C = \frac{A}{m} \quad \dots\dots\dots (2)$$

单位为贝克每千克 (Bq/kg)。

[来源：GB 6566-2010，2.6]

4 要求

4.1 环境条件

温度：15 °C~25 °C，测量过程中环境温度变化不超过 ±1 °C；

湿度：不大于 75 %RH；

供电电压：220 V ± 22 V；

供电频率：50 Hz ± 0.5 Hz；

仪器设备周围应无强烈振动及电磁场存在，应避免其他冷、热源影响。

4.2 一般要求

建筑材料检测专用 NaI γ 能谱仪（以下简称仪器），利用 NaI 作探测器，通过测量建筑材料内放射性核素的能谱，得出放射性核素活度或比活度的计量器具。该计量器具主要由 NaI 探测器、高压电源、现行放大器、多道幅度分析器和数据读出（或谱线输出）设备等组成。同时配有铅屏蔽室，以降低本底放射性水平。也可配备自动送样装置。

4.2.1 NaI 探测器

由 NaI 晶体、光电倍增管和前置放大器组成，是 NaI γ 能谱仪的重要部件。探测器尺寸应不小于 $\Phi 75 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ ，应采用低钾材料制成的光电倍增管以降低噪声。

4.2.2 屏蔽室

测量 ^{226}Ra ， ^{232}Th 和 ^{40}K 等天然放射性核素时屏蔽室壁厚应不小于 100mm 铅当量，内腔直径应不小于 200 mm，屏蔽室内应有复合内衬。对探测器部分应进行重点屏蔽。铅室门或窗闭合时与铅室主体应贴合紧密。配套自动开闭铅室门的机械装置及自动进样取样的机械装置，与测量软件整合，可以实现无人值守、连续测量。

4.2.3 多道幅度分析器

最大道数应不少于 1024 道。

4.2.4 样品盒

应使用不含放射性核素材料制成的样品盒，如 ABS 塑料等。推荐使用标准化的 $\Phi 76 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ ABS 塑料样品盒。

4.2.5 标准源

仪器应配备有证的 ^{226}Ra ， ^{232}Th 和 ^{40}K 标准源或其混合源，各核素的比活度值分别为： ^{226}Ra 约 900 Bq/kg， ^{232}Th 约 900 Bq/kg， ^{40}K 约 4800 Bq/kg。其比活度扩展不确定度均应不大于 6% ($k=2$)。

注：标准源的掺杂物为纯度不低于 99% 的 SiO_2 以及 Al_2O_3 ，用掺杂物制作的本底源，其本底计数，不高于被检仪器本底计数 0.25 计数 /s。

4.2.6 点源

^{137}Cs ， ^{60}Co 点源，活度范围为 $5 \times 10^3 \text{ Bq} \sim 1.8 \times 10^4 \text{ Bq}$ 。

4.3 性能指标

4.3.1 本底

新制造的建筑材料检测专用 NaI 低本底多道 γ 能谱仪的本底计数率应小于 9.0 /s

4.3.2 能量分辨率

仪器的能量分辨率应不大于 8.0%（对 ^{137}Cs 的 661.6 keV 峰位）。

4.3.3 测量分析道位数

仪器的最大测量分析道数应不小于 1024 道。

4.3.4 重复性

仪器在其测量范围内，相同的规定测量时间，对同一被测样品不少于 24 小时内测量 5-10 次，单次测量的相对标准偏差应不大于 10.0%。

4.3.5 能量线性

仪器的能量线性应不大于 10.0%。

4.3.6 最大可测能量限

仪器的最大可测能量限2 MeV~10 MeV。

4.3.7 允许偏差

仪器测量²²⁶Ra, ²³²Th和⁴⁰K的活度偏差, 在考虑仪器的测量不确定度(k=2)的情况下, 应不超过±20.0%。

4.4 安全试验

电气安全要求满足GB/T 19661.1-2005的规定。

放射性防护要求满足GB/T 19661.2的规定。

4.5 环境适应性

仪器环境适应性应符合GB/T 8993-1998中, Ia 组仪器的要求。

4.6 电磁兼容性

电磁兼容性应满足 GB/T 17799.1-2017 中表 4 的规定。

5 试验方法

5.1 环境条件

应符合4.1的要求。

5.2 一般要求

通过目测和查阅随机附带的技术文件确认。

5.3 性能指标检验

5.3.1 本底

在探测器上不放置样品时测量, 每次测量时间应不小于 1000 s, 连续测量 3 次, 求其算术平均值。

5.3.2 能量分辨率

将¹³⁷Cs点源放在探测器合适位置进行测量, 收集一个谱线, 如图, 测量 661.6 keV 光峰的本峰宽和峰道址, 寻峰宽和峰道址按图 1 所示, 能量分辨率按式(3)计算。

$$e = \frac{W_{L1/2}}{P} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

e ——能量分辨率, 单位为百分比(%);

$W_{L1/2}$ ——¹³⁷Cs源的661.6 keV峰位的半高宽单位为道;

P ——¹³⁷Cs源的661.6keV峰位所在道址, 单位为道。

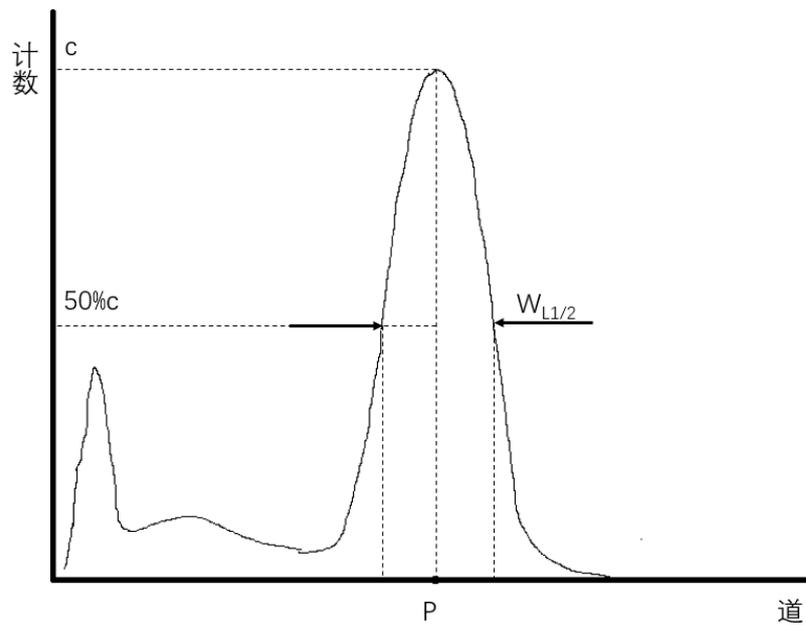


图1 峰宽和峰道址

5.3.3 测量分析道位数

用目视法，按图 1 所示观察测量谱线最大可见道址 P，即为最大测量分析道位数。

5.3.4 重复性

在不少于 24h 内，对同一 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{40}K 混合标准源连续测量 5-10 次，每次测量时间相同，且应不少于厂家规定的测量时间，一般不低于 10000 s。每次测量时，标准源重新放置一次。分别记下每次测量时间下的 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{40}K 的活度测量值，按式 (4) 分别计算各核素活度的单次测量相对应标准偏差。

$$S = \frac{1}{\bar{A}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

A_i ——某核素的第 i 次活度测量值，单位为贝克 (Bq)；

\bar{A} ——同一核素的 n 次活度测量的算数平均值，单位为贝克 (Bq)。

5.3.5 能量线性

测量 ^{137}Cs 标准源，以其峰位的能量 661.6 keV 除以峰道址得 D_0 。测量 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 标准源（或混合标准源），取其测量峰能量与对应道位之比，方法同前，得 D_1 、 D_2 、 D_3 。测量 ^{60}Co 源，取峰位能量为 1173.2 keV、1332.5 keV 与其对应道位之比，得 D_4 、 D_5 。按式 (5) 计算其能量线性，取绝对值最大者。

$$L_i = \left(\frac{D_i}{D_0} - 1 \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

D_i —— ^{226}Ra 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 标准源（或混合标准源），取其测量峰能量与对应道位之比；

D_0 —— ^{137}Cs 标准源的661.6 keV能量与该能量峰位中心道址的比值。

5.3.6 最大可测能量限

测量 ^{60}Co 源，取峰位能量为 1173.2 keV 与其对应道位之比 D_4 ，按式（6）计算其最大可测能量限。

$$E_{\max} = D_4 \times (P_{\max} - 1) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

E_{\max} ——仪器最大可测量能量限；

P_{\max} ——谱线最大可见道址（最大可分析道位数）。

5.3.7 活度的偏差

5.3.7.1 测量 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{40}K 标准源（或混合标准源），按 6.2.4 方法测量，求出 ^{226}Ra 、 ^{232}Th 和 ^{40}K 的活度测量平均值，然后按式（7）分别计算出其相对偏差。

$$Ae = \frac{\bar{A} - A_0}{A_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

Ae ——为某一核素（如 ^{40}K ）的活度偏差，单位为百分比（%）；

\bar{A} ——为某一核素（如 ^{40}K ）的活度测量平均值，单位为贝克（Bq）；

A_0 ——为某一核素（如 ^{40}K ）的标准活度值，单位为贝克（Bq）。

注：活度计算应扣除本底计数影响。

5.3.7.2 分析计算活度偏差的测量不确定度，按覆盖因子 $k=2$ 扩展，得到置信概率约 95% 的扩展不确定度 U 。

5.3.7.3 按式（8）计算，得到仪器的最大测量偏差 Δ 。

$$\Delta = Ae + Ae \cdot U \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

Ae ——为某一核素（如 ^{40}K ）的活度偏差单位为百分比（%）；

U ——为某一核素（如 ^{40}K ）的活度偏差测量的扩展不确定度。

5.4 安全实验

电气安全试验按照 GB/T 19661.1-2005 的 5.6、5.7 和 5.8 进行介电强度、可触及电流和绝缘电阻实验。放射性防护试验按照 GB/T 19661.2 相关规定进行。

5.5 环境适应性实验

5.5.1 温度实验

按 4.1 的环境条件, 将放有 ^{137}Cs 放射源的受试仪器置于恒温箱中, 并调整到正常工作状态, 按照 5.3.2 要求测量其能量分辨率。然后使受试仪器保持通电状态, 恒温箱以温度变化小于 $20\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 的速率使温度降低到 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或升高到 $35\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。受试仪器在此状态下的热平衡时间不小于 30 min , 继而恒温 4 h 。在恒温试验结束前 30 min , 再次测量能量分辨率。试验前后的测量值变化应符合 4.3.2 规定。

5.5.2 湿度实验

按 4.1 的环境条件, 将放有 ^{137}Cs 放射源的受试仪器置于潮湿箱中, 并调整到正常工作状态, 按照 5.3.2 要求测量其能量分辨率。然后使受试仪器处于断电状态, 将潮湿箱子温度上升到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, 使湿度达到 $75\% \text{RH}\pm 2\% \text{RH}$, 受试仪器在此状态下保持 48 h 。在试验结束前通电预热 1 h , 并提前 30 min 开始按上述方法再次测量能量分辨率。试验前后的测量值变化应符合 4.3.2 规定。

5.5.3 贮存温度试验

受试仪器在分别完成高温或低温试验后, 处于断电状态, 恒温箱以温度变化小于 $20\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 的速率使, 温度升高到 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或下降到 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保持 4 h , 再将恒温箱温度以上述温度变化速率下降或升高到标准, 试验条件, 恢复 4 h 后, 仪器应能正常工作。

5.5.4 电源电压变化试验

在标准试验条件下, 把受试仪器调整到正常工作状态, 测量能量分辨率。然后依次将电压从标称前后的测量值变化应符合 4.3.2 规定。

5.6 电磁兼容性试验

按照 GB/T 17799.1-2017 规定进行试验。

6 检验规则

6.1 检验分类

仪器检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 出厂检验

6.2.1 每台仪器需经制造厂做出厂检验合格, 并附有合格证。

6.2.2 出厂检验项目应按照表 1 的要求进行。

6.3 型式检验

6.3.1 有下列情况之一时, 需要进行型式检验:

- a) 新产品和老产品转厂生产的试制定型;
- b) 正式生产后, 如结构、材料、工艺有较大改变可能影响产品性能时;
- c) 正常生产的产品应每三年进行一次;
- d) 产品长期停产后, 恢复生产时;
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时;
- f) 国家质量监督部门提出进行型式检验的要求时。

6.3.2 型式检验的样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取。

6.3.3 型式检验应按 GB/T 2829 的规定进行,采用一次抽样,装置的检验项目,不合格质量水平(RQL),判别水平(DL)按表 1 规定进行。批质量以每百单位产品的不合格数表示。

6.3.4 若型式检验不合格,应分析原因找出问题并落实措施,对装置产品改进后,重新进行型式检验。若再次型式检验不合格,则应停产整顿,装置停止出厂,待问题解决,型式检验合格后方可恢复出厂检验。

6.3.5 型式检验合格,经出厂检验合格方可作为合格品出厂或入库。若入库超过 12 个月再出厂,则应重新进行出厂检验。

表1 仪器检验项目表

序号	不合格分类	检验项目及对应章条			不合格质量水平 (RQL)	判别水平 (DL)	抽样方案		检验分类	
		项目	要求	试验方法			样品量	判定数组 (Ac, Rc)	出厂检验	型式检验
1	A	安全性能	4.4	5.4	30	I	3	(0,1)	●	●
2	B	本底	4.3.1	5.3.1	65			(1,2)	●	●
3		能量分辨率	4.3.2	5.3.2					●	●
4		测量分析道数	4.3.3	5.3.3					●	●
5		重复性	4.3.4	5.3.4					●	●
6		能量线性	4.3.5	5.3.5					●	●
7		最大可测能量限	4.3.6	5.3.6					●	●
8		允许偏差	4.3.7	5.3.7					●	●
9	C	环境适应性试验	4.5	5.5	100			(2,3)	-	●
10		电磁兼容性试验	4.6	5.6					-	●
11		一般要求	4.2	5.2					●	●

注: ①●表示应进行检验的项目; - 表示不进行检验的项目; RQL 表示不合格质量水平。
②DL 表示判别水平; n 表示样本数量; Ac 表示合格判定数; Rc.表示不合格判定数。

7 标志、包装、贮存与运输

7.1 标志

7.1.1 每台产品应在明显部位固定标牌,标牌应符合 GB/T 13306 的规定,内容包括:

- 1) 产品型号、名称;
- 2) 制造厂名称、地址;
- 3) 主要技术参数、执行标准;
- 4) 出厂编号;
- 5) 出厂日期。

7.1.2 产品包装储运标志应符合 GB/T 191 的规定。

7.1.3 运输包装收发货标志应符合 GB/T 6388 的规定。

7.2 包装

产品包装前,应对外露零件等进行适当处理。包装文件包括合格证、说明书、装箱单。为了保障在运输和贮存条件下不影响该仪器的技术性能,同一规格型号的产品采用相同规格的包装箱。

7.3 贮存

产品应贮存在干燥、通风的地方，无酸碱等有害气体，其包装可承受的贮存期至少为6个月，制造厂商应保证在此期间内，开启包装箱仪器能正常使用。

7.4 运输

仪器在完整包装条件下，允许以汽车、火车、轮船或飞机等任何方式运输。运输时应避免日晒雨淋，搬运时应小心轻放，避免碰撞。
