



中华人民共和国国家标准

GB/T 43535—2023

高纯锗 γ 谱仪

High-purity germanium γ spectrometer

2023-12-28 发布

2024-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

| | |
|-----------------------|-----|
| 前言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 分类 | 3 |
| 4.1 概述 | 3 |
| 4.2 固定式谱仪 | 3 |
| 4.3 便携式谱仪 | 4 |
| 5 技术要求 | 4 |
| 5.1 固定式谱仪要求 | 4 |
| 5.2 便携式谱仪要求 | 7 |
| 5.3 电气安全 | 10 |
| 5.4 环境适应性 | 10 |
| 5.5 电磁兼容 | 11 |
| 6 试验方法 | 12 |
| 6.1 试验的一般规定 | 12 |
| 6.2 固定式谱仪 | 13 |
| 6.3 便携式谱仪 | 16 |
| 6.4 电气安全 | 18 |
| 6.5 环境适应性试验 | 19 |
| 6.6 电磁兼容 | 20 |
| 7 检验规则 | 21 |
| 7.1 出厂检验 | 21 |
| 7.2 型式检验 | 21 |
| 7.3 检验项目 | 21 |
| 8 标志、随行文件、运输及贮存 | 22 |
| 8.1 标志 | 22 |
| 8.2 随行文件 | 23 |
| 8.3 运输 | 23 |
| 8.4 贮存 | 23 |
| 参考文献 | 24 |

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》的规定起草。

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。

本文件由全国核仪器仪表标准化技术委员会(SCA/TC 30)提出并归口。

本文件起草单位：同方威视技术股份有限公司、清华大学、中国计量科学研究院、中国原子能科学研究院。

本文件主要起草人：李玉兰、李元景、赵崑、何力、付逸冬、张智、宫辉、吴瑶、黄训旺、位红燕、张彤、张红、梁珺成、郝晓勇、魏可新、于海军、潘洪伟、李秀霞、胡春焯、阙子昂。

高纯锗 γ 谱仪

1 范围

本文件规定了高纯锗 γ 谱仪(以下简称“谱仪”)的分类、技术要求,描述了试验方法,同时对检验规则、标志、随行文件、运输及贮存进行了规定。

本文件适用于具有同轴型半导体探测器(以下简称“同轴型”)的高纯锗 γ 谱仪的生产、销售、管理和检测等。用于特殊或定制场景的其他类型高纯锗 γ 谱仪参考使用。

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 2423.56 环境试验 第2部分:试验方法 试验 Fh:宽带随机振动和导则
- GB/T 2900.66—2004 电工术语 半导体器件和集成电路
- GB/T 2900.97—2016 电工术语 核仪器 物理现象、基本概念、仪器、系统、设备和探测器
- GB/T 3785.1 电声学 声级计 第1部分:规范
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB 4793.1 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分:通用要求
- GB/T 4960.6—2008 核科学技术术语 第6部分:核仪器仪表
- GB/T 7167 锗 γ 射线探测器测试方法
- GB/T 8993—1998 核仪器环境条件与试验方法
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 17626.2 电磁兼容 测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
- GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB 17799.4 电磁兼容 第4部分:通用标准 工业环境中的发射
- JJF 1850—2020 锗 γ 射线谱仪校准规范

3 术语和定义

GB/T 2900.66—2004、GB/T 2900.97—2016、GB/T 4960.6—2008 和 JJF 1850—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

杂质 impurity

单元素半导体中的其他元素的原子;化合物半导体中的其他元素的原子或与化合物半导体晶体理

想配比成分相比多出或缺少的原子。

[来源:GB/T 2900.66—2004,521-02-04]

3.2

电活性杂质 electro-active impurity

对材料的电学性质有显著影响的杂质。

3.3

高纯锗 high-purity germanium; HPGe

在室温下,电活性杂质净浓度稳定且典型值小于 $3 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ 的锗单晶。

3.4

N 型半导体 N-type semiconductor

导电电子密度超过空穴密度的非本征半导体。

[来源:GB/T 4960.6—2008,2.4.5]

3.5

P 型半导体 P-type semiconductor

空穴密度超过导电电子密度的非本征半导体。

[来源:GB/T 4960.6—2008,2.4.6]

3.6

同轴型半导体探测器 coaxial semiconductor detector

其灵敏体积对称环绕中心轴的半导体探测器。

[来源:GB/T 4960.6—2008,2.4.27]



3.7

液氮回凝制冷系统 zero boil-off cryostat

将常规液氮与电气制冷相结合的制冷系统。

注:将容器内气态的氮气冷凝为液氮,很大程度上减少了补充液氮的需求。

3.8

半高宽 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。

注:如果曲线包含几个峰,则每个峰都有一个半高宽。另外,由此术语还扩展定义了 1/10 高宽(FW 0.1M),1/50 高宽(FW 0.02M)等。

[来源:GB/T 4960.6—2008,3.2.27,有修改]

3.9

全吸收峰 total absorption peak

全能峰

在辐射探测器中,能谱响应曲线对应光子能量全吸收的那部分。

注:全吸收峰代表所有相互作用过程所产生的光子能量全被吸收,即:a)光电吸收,b)康普顿效应和 c)电子对生成。

[来源:GB/T 2900.97—2016,395-03-94]

3.10

全能峰效率 full-energy peak efficiency

对给定的样品(放射源)-探测器距离,测得的能量为 E 的 γ 射线全能峰净面积计数与同一时间间隔内样品(放射源)发射该能量 γ 射线数的比值。

[来源:JJF 1850—2020,3.1.2]

3.11

全能峰相对探测效率 **relative full-energy peak efficiency**

相对探测效率

在源-探测器距离为 25 cm 时, 锗 γ 射线探测器与 NaI(Tl) 闪烁晶体(直径 7.62 cm, 高度 7.62 cm) 探测器对 ^{60}Co 点源 1 332.5 keV 射线的全能峰效率之比。

[来源: JJF 1850—2020, 3.1.3]

3.12

(测量装置的)本底水平 **background level(of a measuring assembly)**

本底

源于被测辐射之外的信号。

注: 本底可归因于:

- a) 探测器内、外非测量所关注的源辐射产生的对测量有影响的信号。
- b) 由于该测量系统的电子电路及其电源的缺陷导致的信号。

[来源: GB/T 4960.6—2008, 3.2.15]

3.13

能量分辨力(辐射谱仪的) **energy resolution(of a radiation spectrometer)**

辐射谱仪能分辨的两个粒子能量之间的最小差值。

注 1: 通常情况下能量分辨率用一个因子表示, 该因子是在单能粒子分布曲线峰的半高宽(能量)除以峰位的能量。

注 2: 对于高纯锗 γ 谱仪, 能量分辨力一般用半高宽(FWHM)表示。

[来源: GB/T 4960.6—2008, 3.2.26, 有修改]

3.14

峰康比 **peak-to-Compton ratio**

在单能 γ 辐射的脉冲高度谱上, 全能吸收峰的峰位道计数与康普顿连续谱的康普顿端的道计数之比。

[来源: GB/T 4960.6—2008, 3.2.44]

4 分类

4.1 概述

谱仪按照使用场景, 可分为固定式谱仪和便携式谱仪。

4.2 固定式谱仪

固定式谱仪为放射性物质分析设备, 一般放置在固定场所使用, 可匹配屏蔽装置, 使探测器在低本底环境下使用。集能谱采集、能谱分析、活度计算等功能于一体。

固定式谱仪组成主要包括探测器、多道分析器、制冷系统、屏蔽装置、计算机、能谱采集与分析软件等。其中, 制冷系统根据不同的制冷方式, 可分为液氮制冷、液氮回凝制冷以及电制冷; 谱仪探测器可分为同轴型、平面型、井型等, 同轴型又分为 P 型半导体(以下简称“P 型”)和 N 型半导体(以下简称“N 型”)。

本文件中的内容是对包含 P 型或 N 型同轴探测器、多道分析器、制冷系统、能谱采集与分析软件的谱仪的要求。

其余类型探测器的谱仪应用于特定场景, 使用较少; 计算机为成熟产品; 屏蔽装置为选配件。这些部分以及其他选配件的性能要求, 均由用户和制造商自行约定。

4.3 便携式谱仪

便携式谱仪是方便直接携带到现场使用的谱仪,主要用于能谱采集、核素识别和活度测量等。探测器、多道分析器、制冷单元、主控单元等部件均集于一体。其中,制冷单元根据不同的制冷方式,可分为电制冷和液氮制冷。

便携式谱仪可单独使用,也可配合小推车、小尺寸屏蔽装置使用。

目前,便携式谱仪的探测器一般使用 P 型同轴探测器,本文件是对配置 P 型同轴探测器便携式谱仪的要求,其他类型谱仪和选配件的性能要求由用户和制造商协商。

5 技术要求

5.1 固定式谱仪要求

5.1.1 外观

外观应完好无损,型号、编号等信息清晰可辨。

5.1.2 功能

5.1.2.1 能谱采集

固定式谱仪应能够采集能谱。

5.1.2.2 能量刻度

固定式谱仪应能进行能量刻度,并显示能量刻度曲线。

5.1.2.3 效率刻度

固定式谱仪应能进行效率刻度,并显示效率刻度曲线。

5.1.2.4 活度测量

固定式谱仪应能测量样品所含核素的活度,给出活度、不确定度等信息。

5.1.2.5 探测器晶体温度监测及高压保护

当探测器晶体温度高于温度阈值,固定式谱仪未加载高压状态下,应能阻止加高压;谱仪加载高压状态下,应能自动缓降探测器高压直至关断高压。

固定式谱仪宜有探测器晶体温度监测功能,并能显示其状态。

5.1.2.6 液氮回凝制冷系统状态监测及报警

当固定式谱仪使用液氮回凝制冷系统时,系统应有状态监测功能,应能显示液位、气压等信息,并能在发生液位、气压等异常时触发声音以及光或字符报警。

5.1.2.7 安全泄压功能

液氮回凝制冷系统应设有安全泄压阀,当制冷腔内气压过高时,应能通过安全泄压阀自动泄压。

5.1.2.8 软件基本功能

软件基本功能包括以下内容。

a) 应能显示能谱采集过程及被测样品的 γ 能谱,且宜可进行以下操作并显示对应信息:

- 1) 放大、缩小能谱；
 - 2) 自动寻峰,各能量峰上显示能量等相关信息；
 - 3) 设置感兴趣区(ROI),显示 ROI 范围及其范围内峰的峰位、半高宽、计数率等信息；
 - 4) 显示采集起始时间、实时间、活时间及死时间等；
 - 5) 显示总计数率；
 - 6) 以线性或对数方式显示能谱；
 - 7) 设置采集时长；
 - 8) 设置自动循环采集能谱。
- b) 应能对参数进行设置：
- 1) 高压设置；
 - 2) 全谱道数选择；
 - 3) 输入极性选择；
 - 4) 增益调整；
 - 5) 成形时间设置；
 - 6) 自动/手动极零；
 - 7) 虚拟示波器。
- c) 应能查看核素库内容(包括核素、半衰期、射线能量、分支比等信息),可自定义用户核素库。
- d) 应能对采集的能谱进行分析,生成分析报告,报告应至少包括所用核素库名称、操作员、算法参数、能量刻度和效率刻度等信息,并给出特征峰分析结果,包括峰位(道址和能量)、半高宽、面积、对应核素、置信度、活度、不确定度等信息。

5.1.3 性能

5.1.3.1 相对探测效率、能量分辨力、峰康比、峰形参数

对于不同相对探测效率的 P 型同轴探测器固定式谱仪,谱仪的能量分辨力、峰康比、峰形参数(FW 0.1 M/FWHM 和 FW 0.02 M/FWHM)应满足表 1 的要求。对于电制冷固定式谱仪,在 122 keV 的能量分辨力要求可放宽 20%。

表 1 P 型同轴探测器固定式谱仪指标要求

| 序号 | 相对探测效率 % | 能量分辨力(FWHM) | | 峰康比 | 峰形参数 | |
|----|-------------|-------------|--------------|---------|---------------|----------------|
| | | keV | | | FW 0.1 M/FWHM | FW 0.02 M/FWHM |
| | | @122 keV | @1 332.5 keV | | | |
| 1 | ∈ [10,15) | ≤1.00 | ≤1.95 | ≥33 : 1 | ≤1.9 | ≤2.9 |
| 2 | ∈ [15,20) | ≤1.05 | ≤1.95 | ≥35 : 1 | ≤1.9 | ≤2.9 |
| 3 | ∈ [20,25) | ≤1.05 | ≤2.00 | ≥40 : 1 | ≤1.9 | ≤2.9 |
| 4 | ∈ [25,30) | ≤1.08 | ≤2.05 | ≥42 : 1 | ≤1.9 | ≤2.9 |
| 5 | ∈ [30,35) | ≤1.10 | ≤2.10 | ≥48 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 6 | ∈ [35,40) | ≤1.12 | ≤2.10 | ≥52 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 7 | ∈ [40,45) | ≤1.15 | ≤2.15 | ≥55 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 8 | ∈ [45,50) | ≤1.18 | ≤2.15 | ≥58 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 9 | ∈ [50,55) | ≤1.20 | ≤2.15 | ≥60 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |

表 1 P 型同轴探测器固定式谱仪指标要求 (续)

| 序号 | 相对探测效率 % | 能量分辨力(FWHM) keV | | 峰康比 | 峰形参数 | |
|----|-------------|--------------------|--------------|---------|---------------|----------------|
| | | @122 keV | @1 332.5 keV | | FW 0.1 M/FWHM | FW 0.02 M/FWHM |
| | | 10 | ∈ [55,60) | | ≤1.25 | ≤2.20 |
| 11 | ∈ [60,65) | ≤1.25 | ≤2.20 | ≥65 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 12 | ∈ [65,70) | ≤1.30 | ≤2.20 | ≥68 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 13 | ∈ [70,80) | ≤1.35 | ≤2.30 | ≥70 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 14 | ∈ [80,90) | ≤1.35 | ≤2.30 | ≥70 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 15 | ∈ [90,100) | ≤1.40 | ≤2.40 | ≥72 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 16 | ∈ [100,110) | ≤1.45 | ≤2.50 | ≥75 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 17 | ∈ [110,120) | ≤1.50 | ≤2.50 | ≥77 : 1 | ≤2.2 | ≤3.2 |
| 18 | ∈ [120,130) | ≤1.55 | ≤2.50 | ≥79 : 1 | ≤2.2 | ≤3.2 |

对于不同相对探测效率的 N 型同轴探测器固定式谱仪,当使用液氮回凝制冷系统或者液氮制冷时,谱仪的能量分辨力、峰康比、峰形参数应满足表 2 的要求。

表 2 N 型同轴探测器固定式谱仪指标要求

| 序号 | 相对探测效率 % | 能量分辨力(FWHM) keV | | 峰康比 | 峰形参数 | |
|----|-------------|--------------------|--------------|---------|---------------|----------------|
| | | @5.9 keV | @1 332.5 keV | | FW 0.1 M/FWHM | FW 0.02 M/FWHM |
| | | 1 | ∈ [10,15) | | ≤0.85 | ≤2.00 |
| 2 | ∈ [15,20) | ≤0.88 | ≤2.05 | ≥40 : 1 | ≤2.2 | ≤2.8 |
| 3 | ∈ [20,25) | ≤0.90 | ≤2.10 | ≥43 : 1 | ≤2.2 | ≤3.0 |
| 4 | ∈ [25,30) | ≤0.95 | ≤2.10 | ≥43 : 1 | ≤2.2 | ≤3.0 |
| 5 | ∈ [30,35) | ≤1.00 | ≤2.10 | ≥45 : 1 | ≤2.2 | ≤3.0 |
| 6 | ∈ [35,40) | ≤1.05 | ≤2.15 | ≥47 : 1 | ≤2.3 | ≤3.2 |
| 7 | ∈ [40,45) | ≤1.15 | ≤2.20 | ≥50 : 1 | ≤2.3 | ≤3.2 |
| 8 | ∈ [45,50) | ≤1.15 | ≤2.30 | ≥50 : 1 | ≤2.3 | ≤3.2 |
| 9 | ∈ [50,55) | ≤1.20 | ≤2.40 | ≥53 : 1 | ≤2.3 | ≤3.2 |
| 10 | ∈ [55,60) | ≤1.20 | ≤2.50 | ≥53 : 1 | ≤2.3 | ≤3.2 |
| 11 | ∈ [60,70) | ≤1.30 | ≤2.50 | ≥53 : 1 | ≤2.3 | ≤3.2 |
| 13 | ∈ [70,80) | ≤1.30 | ≤2.50 | ≥55 : 1 | ≤2.3 | ≤3.2 |
| 14 | ∈ [80,90) | ≤1.30 | ≤2.50 | ≥57 : 1 | ≤2.3 | ≤3.1 |
| 15 | ∈ [90,100) | ≤1.40 | ≤2.50 | ≥58 : 1 | ≤2.4 | ≤3.3 |
| 16 | ∈ [100,110) | ≤1.50 | ≤2.50 | ≥58 : 1 | ≤2.5 | ≤3.4 |

5.1.3.2 多道分析器总道数

多道分析器的总道数不应少于 16 384 道。

5.1.3.3 能量范围

P 型同轴探测器固定式谱仪能量范围：低能不应高于 40 keV；高能不应低于 3 MeV，宜达到 10 MeV。

N 型同轴探测器固定式谱仪能量范围：低能不应高于 3 keV；高能不应低于 3 MeV，宜达到 10 MeV。

5.1.3.4 能量非线性

P 型同轴探测器固定式谱仪在 40 keV~3 MeV 能量范围内，将 γ 射线能量与全能峰峰位进行二次项拟合，其非线性不应大于 0.5 %。

N 型同轴探测器固定式谱仪在 3 keV~3 MeV 能量范围内，将 γ 射线能量与全能峰峰位进行二次项拟合，其非线性不应大于 0.5 %。

5.1.3.5 峰位稳定性

标准试验条件下，且整个测试过程中温度变化不超过 2 °C 时，24 h 内 ^{60}Co 的 1 332.5 keV 全能峰的峰位漂移不应超过多道总道数的 0.025 %。

5.1.3.6 工作准备时间

固定式谱仪探测器晶体常温状态下，从开始制冷到固定式谱仪正常工作状态的时间不应超过 24 h。

5.1.3.7 液氮回凝制冷系统液氮使用时间

持续供电的情况下，探测器晶体达到目标温度并稳定后，液氮回凝制冷系统自液氮充满时起，应能保证固定式谱仪正常工作时间不低于 1 年。

5.1.3.8 液氮回凝制冷系统噪声

距离系统 1 m 位置处最大噪声不应超过 60 dB。

5.2 便携式谱仪要求

5.2.1 外观和结构

5.2.1.1 外观

外观应完好无损，型号、编号等信息清晰可辨。

5.2.1.2 机械结构

探测器、多道分析器、制冷单元等部件应集于一体。

5.2.1.3 外壳防护等级

外壳防护等级不应低于 GB/T 4208 中 IP 53 的要求。

5.2.2 功能

5.2.2.1 能谱采集

便携式谱仪应能采集能谱。

5.2.2.2 能量刻度

便携式谱仪应能进行能量刻度,并显示能量拟合曲线。

5.2.2.3 效率刻度

便携式谱仪应能进行效率刻度,并显示效率刻度拟合曲线。

5.2.2.4 核素识别

便携式谱仪应有核素识别功能,识别结果应包含核素名称、分类、置信度等信息。

5.2.2.5 活度测量

便携式谱仪应能在放射源效率刻度或者无源效率刻度后,进行各类样品的就地活度测量。

5.2.2.6 工作模式

便携式谱仪应包括普通用户和专家用户两种工作模式。

普通用户模式应有基本操作功能,专家用户模式在普通用户模式权限基础上,应增加参数设置等权限。

5.2.2.7 通信接口

便携式谱仪应有数据传输能力,能实现与另一个装置(如计算机)的数据交互。

5.2.2.8 探测器晶体温度监测及高压保护

探测器晶体温度高于温度阈值,便携式谱仪未加载高压状态下,应能阻止加高压;便携式谱仪加载高压状态下,应能自动缓降探测器高压直至关断高压。

便携式谱仪宜有探测器晶体温度监测功能,并能显示其状态。

5.2.2.9 寻源

便携式谱仪宜有寻源功能,可指示因放射源的存在而引起的周围辐射场的变化。

5.2.3 性能

5.2.3.1 相对探测效率、能量分辨力、峰康比、峰形参数

不同相对探测效率的探测器,便携式谱仪的能量分辨力、峰康比、峰形参数应满足表 3 的要求。

表 3 便携式谱仪指标要求

| 序号 | 相对探测效率 % | 电制冷谱仪 能量分辨率(FWHM) keV | | 液氮制冷谱仪 能量分辨率(FWHM) keV | | 峰康比 | 峰形参数 | |
|----|-------------|-----------------------------|--------------|------------------------------|--------------|---------|-------------------|--------------------|
| | | @122 keV | @1 332.5 keV | @122 keV | @1 332.5 keV | | FW 0.1 M/ FWHM | FW 0.02 M/ FWHM |
| 1 | ∈[10,15) | ≤1.30 | ≤2.20 | ≤1.10 | ≤2.00 | ≥30 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 2 | ∈[15,20) | ≤1.35 | ≤2.30 | ≤1.15 | ≤2.00 | ≥33 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 3 | ∈[20,25) | ≤1.40 | ≤2.30 | ≤1.20 | ≤2.05 | ≥35 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 4 | ∈[25,30) | ≤1.45 | ≤2.35 | ≤1.22 | ≤2.05 | ≥35 : 1 | ≤2.0 | ≤3.0 |
| 5 | ∈[30,35) | ≤1.50 | ≤2.35 | ≤1.25 | ≤2.10 | ≥40 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 6 | ∈[35,40) | ≤1.55 | ≤2.35 | ≤1.25 | ≤2.15 | ≥43 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 7 | ∈[40,45) | ≤1.60 | ≤2.40 | ≤1.30 | ≤2.20 | ≥45 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 8 | ∈[45,50) | ≤1.65 | ≤2.45 | ≤1.35 | ≤2.20 | ≥50 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |
| 9 | ∈[50,55) | ≤1.70 | ≤2.50 | ≤1.40 | ≤2.30 | ≥55 : 1 | ≤2.1 | ≤3.1 |

5.2.3.2 多道分析器总道数

多道分析器的总道数不应少于 16 384 道。

5.2.3.3 能量范围

能量范围低能不应高于 40 keV；高能不应低于 3 MeV，宜达到 10 MeV。

5.2.3.4 能量非线性

在 40 keV~3 MeV 能量范围内，将 γ 射线能量与全能峰峰位进行二次项拟合，其非线性不应大于 0.5%。

5.2.3.5 峰位稳定性

在标准试验条件下，且整个测试过程中温度变化不超过 2 °C 时，8 h 内 ^{60}Co 的 1 332.5 keV 全能峰的峰位漂移不应超过多道总道数的 0.025%。

5.2.3.6 核素识别和响应时间

谱仪应能识别包括但不限于以下所列核素。

在受到放射性核素照射后的 1 min 内，便携式谱仪应能识别(包括但不限于)以下所列核素，并按以下分类方式加以分类：

- 核材料： ^{235}U 等；
- 医用放射性核素： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{131}I 、 ^{18}F 等；
- 工业用放射性核素： ^{57}Co 、 ^{241}Am 、 ^{133}Ba 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{192}Ir 、 ^{152}Eu 等；
- 天然存在的放射性核素： ^{40}K 、 ^{226}Ra 及其子体、 ^{232}Th 及其子体、 ^{238}U 及其子体等。

5.2.3.7 工作准备时间

探测器晶体常温状态下,开始制冷到便携式谱仪达到可正常工作状态的时间不应超过 24 h。

5.2.3.8 电池供电连续工作时间

标准试验条件下,便携式谱仪使用电池供电,应能保证正常工作时间不低于 3 h。

5.2.3.9 液氮使用时间

用液氮制冷的便携式谱仪,探测器晶体达到目标温度并稳定后,自液氮充满时起,保证便携式谱仪正常工作时间不应低于 20 h。

5.3 电气安全

5.3.1 接地电阻

正常工作环境条件下,谱仪电源输入端接地端子与谱仪外壳之间的阻抗不应大于 0.1 Ω 。

5.3.2 介电强度

电气间隙和爬电距离的设计应满足 GB 4793.1 的要求。

谱仪电源输入端与仪器外壳之间应能承受交流有效值为 1.5 kV 介电强度试验,试验时应无击穿和飞弧现象产生。

5.3.3 接触电流

正常工作状态下,谱仪外壳与参考试验地之间的漏电流不应大于直流 2 mA。

5.4 环境适应性

5.4.1 气候环境

谱仪气候环境适应性应满足表 4 的要求。

表 4 气候环境适应性

| 序号 | 项目 | 固定式谱仪 | | 便携式谱仪 | |
|----|------|-----------------------------|--|-----------------------------|---|
| | | 环境条件 | 合格判据 | 环境条件 | 合格判据 |
| 1 | 低温工作 | 5 $^{\circ}\text{C}$ | 固定式谱仪在试验过程中与试验后的能量分辨力,与试验前相比,变化不应超过 +20% | -25 $^{\circ}\text{C}$ | 便携式谱仪在试验前、试验过程中与试验后,各进行 10 次核素识别测试,均应正确识别至少 9 次 |
| 2 | 高温工作 | 40 $^{\circ}\text{C}$ | | 50 $^{\circ}\text{C}$ | |
| 3 | 恒定湿热 | 85%(30 $^{\circ}\text{C}$) | | 93%(40 $^{\circ}\text{C}$) | |
| 4 | 低温贮存 | -25 $^{\circ}\text{C}$ | 固定式谱仪在试验后的能量分辨力,与试验前相比,变化不应超过 +20% | -25 $^{\circ}\text{C}$ | 便携式谱仪在试验前与试验后,各进行 10 次核素识别测试,均应正确识别至少 9 次 |
| 5 | 高温贮存 | 55 $^{\circ}\text{C}$ | | 55 $^{\circ}\text{C}$ | |

5.4.2 运输环境

运输环境适应性应满足表 5 的要求。

表5 运输环境适应性

| 序号 | 项目 | 环境条件 | | 合格判据 |
|----|------|--------|--|--|
| 1 | 随机振动 | 振动频率 | 10 Hz ~200 Hz 500 Hz | 固定式谱仪在试验后的能量分辨力,与试验前相比,变化不应超过+20%。 便携式谱仪在试验前与试验后,各进行10次核素识别测试,均应正确识别至少9次。 谱仪在试验后,应无变形、松动、开裂等机械损伤 |
| | | 加速度谱密度 | 1.0 (m/s ²) ² /Hz 0.3 (m/s ²) ² /Hz | |
| | | 振动方向 | 3个轴向 | |
| | | 振动时间 | 每方向 0.5 h | |
| 2 | 冲击 | 脉冲波形 | 半正弦波 | |
| | | 峰值加速度 | 300 m/s ² | |
| | | 脉冲持续时间 | 6 ms | |
| | | 方向及次数 | 3个轴向的正负方向各3次,共18次 | |

5.5 电磁兼容

5.5.1 一般要求

固定式谱仪除计算机外,应满足以下各项外壳端口抗扰度要求;每个接入市电的交流电源端口均应满足以下各项交流电源端口抗扰度要求。

便携式谱仪应满足以下各项外壳端口抗扰度要求。

5.5.2 静电放电抗扰度

固定式谱仪和便携式谱仪在受到±4 kV的接触放电和±8 kV的空气放电干扰后,应能正常工作。

5.5.3 工频磁场抗扰度

固定式谱仪和便携式谱仪在受50 Hz、30 A/m的磁场干扰期间,性能宜不受影响;试验后,谱仪应能正常工作。

5.5.4 电快速瞬变脉冲群抗扰度

固定式谱仪的交流电源端口在受电压峰值为±2 kV、重复频率为5 kHz的干扰后,应能正常工作。

5.5.5 浪涌(冲击)抗扰度

固定式谱仪的交流电源端口在受线对线电压为±1 kV、线对地电压为±2kV的开路试验电压的干扰后,应能正常工作。

5.5.6 射频电磁场辐射抗扰度

固定式谱仪和便携式谱仪在受频率范围为80 MHz~1 000 MHz、场强为10 V/m的射频电磁场辐射干扰期间,性能宜不受影响;试验后,谱仪应能正常工作。

5.5.7 辐射发射

固定式谱仪和便携式谱仪在10 m处的辐射发射值不应超过表6给出的限值。

若在3 m处测量,限值应增加10 dB。

表 6 辐射发射限值

| 频率范围 MHz | 限值 dB(μ V /m) |
|-------------|-----------------------|
| 30~230 | 准峰值 40 |
| 230~1 000 | 准峰值 47 |

5.5.8 传导发射

固定式谱仪的交流电源端口的传导发射不应超过表 7 给出的限值。



表 7 传导发射限值

| 频率范围 MHz | 准峰值 dB(μ V) | 平均值 dB(μ V) |
|-------------|---------------------|---------------------|
| 0.15~0.5 | 79 | 66 |
| 0.5~30 | 73 | 60 |

6 试验方法

6.1 试验的一般规定

6.1.1 标准试验条件

除环境适应性试验外,其他项目试验时的标准试验条件见表 8。

表 8 参考条件和标准试验条件

| 影响量 | 标准试验条件 |
|----------------|---------------------------|
| 环境温度 | 18 °C ~ 30 °C |
| 相对湿度 | 30% ~ 75% |
| 大气压强 | 86 kPa ~ 106 kPa |
| 交流供电电压 | 198 V ~ 242 V |
| 交流供电频率 | 49 Hz ~ 51 Hz |
| 环境 γ 辐射 | 周围剂量当量率小于 0.25 μ Sv/h |
| 外界电磁场干扰 | 小于引起干扰的最低值 |
| 外界磁感应 | 小于地磁场引起干扰的 2 倍 |

6.1.2 测试用放射源

测试用放射源包括⁵⁵Fe、²⁴¹Am、¹³⁷Cs、⁶⁰Co、¹³³Ba、¹⁵²Eu、²³⁵U、^{99m}Tc、¹³¹I、¹⁸F、¹⁹²Ir、²²⁶Ra、²³²Th、²³⁸U 和 ⁵⁷Co, 活度范围宜为 3.7×10^3 Bq ~ 3.7×10^5 Bq。

本文件中,点源是指点状放射源,源斑位于源托中心,直径不大于 2.0 mm,偏离中心小于 1.5 mm。

用于相对探测效率测量的点源,活度范围应为 3.7×10^3 Bq ~ 3.7×10^5 Bq,且应经过校准或检定,相

对扩展不确定度不大于 4.0% ($k=2$)。

6.1.3 谱仪运行准备工作

除了“工作准备时间”测试项,在各项测试开始前,谱仪应处于探测器晶体温度稳定且高压稳定的正常工作状态。

6.2 固定式谱仪

6.2.1 外观

目测谱仪外观,查看型号、编号等信息。

6.2.2 功能

6.2.2.1 能谱采集

使用能谱采集与分析软件采集能谱,查看是否采集成功。

6.2.2.2 能量刻度

将能发射低能量、中能量、高能量 γ 射线的一颗或几颗放射源(如²⁴¹Am、¹³⁷Cs、⁶⁰Co 三颗,或者¹⁵²Eu 一颗)放置在探测器附近,采集能谱,至每个用于刻度的全能峰净计数不低于 10 000。停止采集,进行能量刻度,查看刻度曲线。

6.2.2.3 效率刻度

将能发射低能量、中能量、高能量 γ 射线的放射源(如²⁴¹Am、¹³³Ba、¹³⁷Cs、⁶⁰Co、¹⁵²Eu)或含有上述放射源的样品放置在探测器轴线方向测试位置上,采集能谱,至每个用于刻度的全能峰净计数不低于 40 000。停止采集,进行效率刻度,查看刻度曲线。

6.2.2.4 活度测量

谱仪完成能量刻度和效率刻度后,将被测样品放置到探测器测试位置上,采集并分析能谱,查看活度测量结果。

6.2.2.5 探测器晶体温度监测及高压保护

谱仪探测器加载高压的状态下,将温度阈值设置到探测器工作温度以下,或使探测器晶体温度上升至温度阈值之上,查看谱仪是否自动缓降探测器高压直至关断。然后给探测器加载高压,应加载失败。

查看谱仪是否显示探测器晶体温度。

6.2.2.6 液氮回凝制冷系统状态监测及报警

验证制冷系统状态监测及报警功能的步骤如下:

- 查看制冷系统界面是否显示液位、气压等信息;
- 使液位低于报警阈值,耳听是否有声音报警,查看谱仪是否发出光或字符报警;
- 打开制冷系统的液氮输入口,使制冷腔内气压降低至报警阈值以下,耳听是否有声音报警,查看谱仪是否发出光或字符报警;
- 密闭制冷系统,关闭制冷机,使制冷腔内气压升高至报警阈值以上,耳听是否有声音报警,查看谱仪是否发出光或字符报警。

6.2.2.7 安全泄压功能

将液氮灌入制冷系统,并密闭制冷系统的制冷腔。观察制冷腔内气压值升高至安全气压阈值时,是否能够自动泄压,使气压值维持安全限值。

6.2.2.8 软件基本功能

按照制造商提供的软件操作手册使用软件,对照 5.1.2.8 检验各项功能。

6.2.3 性能

6.2.3.1 相对探测效率、能量分辨力、峰康比、峰形参数

6.2.3.1.1 相对探测效率

调整增益,将⁶⁰Co 的 1 332.5 keV 全能峰置于多道分析器满量程的五分之三处[例如,若多道分析器总道数为 16 384 道,则该峰位应在(9 830±20)道范围内]。

将⁶⁰Co 点源置于探测器轴线距端面 25 cm 处,采集一定时间能谱,至 1 332.5 keV 全能峰净计数达到 40 000 时,停止采集,按公式(1)计算相对探测效率。

$$\epsilon_{rel} = \frac{A}{N_s \times \epsilon_{NaI(Tl)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- ϵ_{rel} —— 相对探测效率;
- A —— 1 332.5 keV 全能峰净计数;
- N_s —— ⁶⁰Co 点源在测量活时间内发射的能量为 1 332.5 keV 的光子数量;
- $\epsilon_{NaI(Tl)}$ —— 直径 7.62 cm、高度 7.62 cm 的 NaI(Tl)探测器对⁶⁰Co 点源(置于探测器轴线距端面 25 cm 处) 1 332.5 keV 全能峰效率的理论值,即 1.2×10^{-3} 。

6.2.3.1.2 能量分辨力

调整增益,保证所测全能峰的半高宽至少为 6 道。

分别将⁵⁵Fe 和²⁴¹Am 放射源置于探测器轴线方向上,调整与探测器端面的距离,使全谱计数率不大于 $1\ 000\ s^{-1}$,采集能谱,至 5.9 keV 和 59.5 keV 全能峰净计数均不低于 10 000 时,停止采集。按照 GB/T 7167 的方法,使用 5.9 keV 和 59.5 keV 全能峰进行能量刻度,计算 5.9 keV 的能量分辨力。

分别将²⁴¹Am 和⁵⁷Co 发射源置于探测器轴线方向上,调整与探测器端面的距离,使全谱计数率不大于 $1\ 000\ s^{-1}$,采集能谱,至 59.5 keV 和 122 keV 全能峰净计数均不低于 10 000 时,停止采集。按照 GB/T 7167 的方法,使用 59.5 keV 和 122 keV 全能峰进行能量刻度,计算 122 keV 的能量分辨力。

将⁶⁰Co 源置于探测器轴线方向上,调整与探测器端面的距离,使全谱计数率不大于 $2\ 000\ s^{-1}$,采集能谱,至 1 332.5 keV 全能峰净计数达到 10 000 时,停止采集。按照 GB/T 7167 的方法,使用 1 173.2 keV 和 1 332.5 keV 全能峰进行能量刻度,计算 1 332.5 keV 的能量分辨力。

注: N 型同轴探测器谱仪测试 5.9 keV 和 1 332.5 keV 的能量分辨力;P 型同轴探测器谱仪测试 122 keV 和 1 332.5 keV 的能量分辨力。

6.2.3.1.3 峰康比

探测器置于屏蔽装置内或者本底环境中。

将⁶⁰Co 源置于探测器轴线上,调整与探测器端面的距离,使全谱计数率不大于 $2\ 000\ s^{-1}$,采集一定时间能谱,使 1 332.5 keV 全能峰净计数不低于 10 000,停止采集。

取走放射源,采集与上述步骤相同时间的本底能谱。

按公式(2)计算峰康比。

$$p/C = \frac{N_P - N'_P}{N_C - N'_C} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

p/C ——峰康比;

N_P —— ^{60}Co 能谱中 1 332.5 keV 全能峰的高度(峰位 P 处的计数);

N'_P ——本底谱中峰位 P 处的计数;

N_C —— ^{60}Co 能谱中 1 040 keV~1 096 keV(康普顿平坦区域 C)的平均计数;

N'_C ——本底谱中区域 C 的平均计数。

6.2.3.1.4 峰形参数

将 ^{60}Co 源置于探测器轴线上,调整与探测器端面的距离,使全谱计数率不大于 $2\,000\text{ s}^{-1}$,采集至 1 332.5 keV 全能峰净计数达到 10 000 时,停止采集。

按照 GB/T 7167 的方法计算 FWHM、FW0.1M 和 FW0.02M。

计算峰形参数 FW0.1M/FWHM 和 FW0.02M/FWHM。

6.2.3.2 多道分析器总道数

在软件设置中将多道的总道数设置为 16 384 道,采集能谱,核对能谱的总道数是否为 16 384 道。

6.2.3.3 能量范围

将 ^{55}Fe 、 ^{152}Eu 放射源,置于谱仪探测器附近。调整增益,并进行能量刻度,使能量范围覆盖 40 keV~3 MeV。

采集并查看能谱,能谱中应存在典型特征峰 5.9 keV、39.5 keV、121.8 keV、344.3 keV、778.9 keV 和 1 408.0 keV,也应存在 ^{232}Th 的 2 614.5 keV 特征峰。

注:仅 N 型同轴探测器谱仪的检测需包含 ^{55}Fe 的 5.9 keV。

6.2.3.4 能量非线性

测量 ^{55}Fe 源、 ^{152}Eu 源、 ^{232}Th 的能谱,得到 5.9 keV、39.5 keV、121.8 keV、344.3 keV、778.9 keV、964.1 keV、1 112.1 keV、1 408.0 keV 和 2 614.5 keV 全能峰的峰位道址,能量校准的函数关系可近似由二次多项式表示,见公式(3),能量非线性用二次项拟合常数 b_2 表示。

$$E = E_0 + b_1 H + b_2 H^2 \dots\dots\dots (3)$$

式中:

E ——全能峰的能量,单位为千电子伏(keV);

H ——全能峰峰位道址;

E_0 ——道址 H 为零道时对应的能量,单位为千电子伏(keV);

b_1 ——拟合常数,表示拟合直线的增益;

b_2 ——拟合常数,表示系统的非线性。

注:仅 N 型同轴探测器谱仪的检测需包含 ^{55}Fe 的 5.9 keV。

6.2.3.5 峰位稳定性

标准试验条件下,保持测试过程中环境温度变化不超过 $2\text{ }^\circ\text{C}$,将 ^{60}Co 的 1 332.5 keV 全能峰置于多道分析器满量程的五分之三处[例:若多道分析器总道数为 16 384 道,则该峰位应在 $(9\,830 \pm 20)$ 道范

围内],每4 h采集1个能谱,每个能谱的1 332.5 keV全能峰净计数不少于10 000,每个能谱采集时间不应大于10 min,共采集7个能谱。试验过程中,可使用自带的稳定峰位措施。

宜用GB/T 7167的方法计算各能谱1 332.5 keV全能峰的道址,也可用谱仪的软件读取。分别与首次采集的能谱的1 332.5 keV全能峰的道址进行比较,计算1 332.5 keV全能峰的漂移结果,取最大值。

6.2.3.6 工作准备时间

固定式谱仪探测器晶体温度在常温时开始制冷并计时。24 h时晶体温度应达到制造商标称值。此时,立即加载高压,按照6.2.3.1.2的方法测试5.9 keV、122 keV以及1 332.5 keV全能峰的能量分辨力。

6.2.3.7 液氮回凝制冷系统液氮使用时间

固定式谱仪探测器晶体已达稳定工作温度时灌注液氮,使液位在95%~105%之间,待系统制冷腔内部气压稳定后,读取初始液位值。使固定式谱仪处于能谱采集状态,并开始计时。60 d后查看液位,液位不低于初始液位的85%。

6.2.3.8 液氮回凝制冷系统噪声

使用的声级计应满足GB/T 3785.1的要求,并经过计量检定或者校准,且在有效期内。

在噪声不超过45 dB的环境下进行测试,被测系统周围1.5 m内应无反射声音的墙壁或物体。

在探测器已经达到工作温度并稳定时,回凝制冷系统连续工作中,将声级计放置在距离液氮回凝制冷系统侧面1 m的距离,高度为液氮回凝制冷系统高度的1/2,以液氮回凝制冷系统轴线为中心,每间隔45°设置1个测试点,共8个测试点,测量噪声,取最大值。

6.3 便携式谱仪

6.3.1 外观和结构

6.3.1.1 外观

目测便携式谱仪外观,查看型号、编号等信息。

6.3.1.2 机械结构

目测探测器、多道分析器、制冷单元等部件是否集于一体。

6.3.1.3 外壳防护等级

按照GB/T 4208的方法进行试验。

6.3.2 功能

6.3.2.1 能谱采集

使用软件采集能谱,查看是否采集成功。

6.3.2.2 能量刻度

将能发射中能量或高能量 γ 射线的放射源放置在探测器附近,进行能量刻度,查看刻度结果。

6.3.2.3 效率刻度

按照 6.2.2.3 的方法采集能谱,进行效率刻度,查看是否生成并显示效率刻度拟合曲线。

6.3.2.4 核素识别

分别将²⁴¹Am、¹³⁷Cs、⁶⁰Co 源放置到便携式谱仪探测器附近,进行核素识别,查看识别结果。

6.3.2.5 活度测量

便携式谱仪进行效率刻度后,对样品进行活度测量,查看测量结果。

6.3.2.6 工作模式

查看普通用户模式,是否有基本功能操作的权限;查看专家用户模式,是否有基本功能操作和参数设置的权限。

6.3.2.7 通信接口

使用存储介质将便携式谱仪上的数据导出,或者使用通信线缆或无线通信方式连接谱仪和计算机,将谱仪数据传输到存储介质或计算机,查看传输结果;再将存储介质或计算机的数据传输至谱仪,查看传输结果。

6.3.2.8 探测器晶体温度监测及高压保护

测试方法见 6.2.2.5。

6.3.2.9 寻源

将便携式谱仪置于不超过 0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 的稳定周围剂量当量率下。

将¹³⁷Cs 放射源放置至谱仪附近,使探测器位置的周围剂量当量率不低于 0.5 $\mu\text{Sv/h}$,标记该位置,取走放射源。

缓慢移动¹³⁷Cs 源至标记的位置,再缓慢移动远离谱仪。查看指示计数率是否随着放射源的靠近而升高,并随着放射源的远离而降低。

6.3.3 性能

6.3.3.1 相对探测效率、能量分辨力、峰康比、峰形参数

6.3.3.1.1 相对探测效率

测试方法见 6.2.3.1.1。

6.3.3.1.2 能量分辨力

测试方法见 6.2.3.1.2。

6.3.3.1.3 峰康比

测试方法见 6.2.3.1.3。

6.3.3.1.4 峰形参数

测试方法见 6.2.3.1.4。

6.3.3.2 多道分析器总道数

测试方法见 6.2.3.2。

6.3.3.3 能量范围

测试方法见 6.2.3.3。

6.3.3.4 能量非线性

测试方法见 6.2.3.4。

6.3.3.5 峰位稳定性

标准试验条件下,保持测试过程中环境温度变化不超过 2 °C,将⁶⁰Co 的 1 332.5 keV 全能峰置于多道分析器满量程的五分之三处[例:若多道分析器总道数为 16 384 道,则该峰位应在(9 830±20)道范围内],每 2 h 采集 1 个能谱,每个能谱的 1 332.5 keV 全能峰净计数不少于 10 000,每个能谱采集时间不应大于 10 min。共采集 5 个能谱。试验过程中,谱仪可使用自带的稳定峰位措施。

宜使用 GB/T 7167 的方法计算各能谱 1 332.5 keV 全能峰的道址,也可使用谱仪的软件读取,分别与首次采集的能谱的 1 332.5 keV 全能峰的道址进行比较,计算 1 332.5 keV 全能峰的漂移结果,取最大值。

6.3.3.6 核素识别和响应时间

分别将 5.2.3.6 列出的放射源置于便携式谱仪附近,用一个独立的辐射测量装置(例如周围剂量当量率仪)测量,调整放射源的位置,使放射源在谱仪的探测器位置处产生的周围剂量当量率比本底水平高 0.5 μSv/h(±30%)。对每个放射源,进行 10 次核素识别试验,每次识别时间不大于 1 min,应至少正确识别 9 次。

6.3.3.7 工作准备时间

探测器晶体温度在常温时开始制冷,24 h 时查看晶体温度,应达到制造商的标称值。此时立即加载高压,按照 6.3.3.1.2 的方法测试 122 keV 和 1 332.5 keV 全能峰的能量分辨力,测量结果应能满足 5.2.3.1 的要求。

6.3.3.8 电池供电连续工作时间

标准试验条件下,便携式谱仪就绪,电池满充。使用⁶⁰Co 源照射谱仪,确保谱仪能正确识别。切断谱仪外接电源,取走放射源,并开始计时。期间,便携式谱仪处于正常工作状态,声光报警可关闭,持续工作 3 h 后,再次进行⁶⁰Co 源的核素识别测试,若能正常识别,则认为电池供电连续工作时间满足要求。

6.3.3.9 液氮使用时间

探测器晶体已经达到稳定工作温度时,灌满液氮,使用⁶⁰Co 源照射便携式谱仪,确保谱仪能正确识别。缓降并关断高压,取走放射源,开始计时。20 h 后,加载高压,再次进行⁶⁰Co 源的核素识别测试,若能正常识别,则认为液氮使用时间满足要求。

6.4 电气安全

6.4.1 接地电阻

对谱仪电源输入 PE 端与外壳之间施加直流 25 A 或电源频率交流 25 A 有效值的电流,施加 1 min,计算阻抗。

6.4.2 介电强度

将 1.5 kV 交流有效值试验电压分别加载在谱仪输入电源 N 端与外壳之间、L 端与外壳之间,电压在 5 s 内逐渐升高到规定值,稳定电压,不出现明显的跳变,然后保持 5 s,试验期间观察是否有击穿和飞弧现象。

6.4.3 接触电流

谱仪在正常工作状态下,采用 GB 4793.1 要求的测量电路,将测量端分别接谱仪外壳和参考试验地,读取电流值。

6.5 环境适应性试验

6.5.1 气候环境试验

固定式谱仪试验时,将探测器、多道分析器、制冷系统布置在试验箱内,计算机布置在试验箱外;便携式谱仪试验时,将谱仪布置在试验箱内,电源适配器或充电器引出到试验箱外。

便携式谱仪在条件保持过程中可使用适配器供电;但在检测时,应使用电池供电。

按照表 4 的试验条件、表 9 的试验方法进行试验。

表 9 环境试验方法

| 序号 | 试验项目 | 试验方法 | | 检测项目 | | | 试验过程中谱仪状态 |
|----|------|-----------|------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| | | 持续时间 h | 试验程序 | 试验前检测 | 试验过程中检测 | 试验后检测 | |
| 1 | 低温工作 | 4 | GB/T 8993—1998 附录 A | 测试 1 测试 2 | 测试 1 测试 2 | 测试 1 测试 2 | 通电 |
| 2 | 高温工作 | 4 | GB/T 8993—1998 附录 B | 测试 1 测试 2 | 测试 1 测试 2 | 测试 1 测试 2 | 通电 |
| 3 | 恒定湿热 | 48 | GB/T 8993—1998 附录 D | 测试 1 测试 2 | 测试 1 测试 2 | 测试 1 测试 2 | 通电 |
| 4 | 低温贮存 | 4 | GB/T 8993—1998 附录 A | 测试 1 测试 2 | — | 测试 1 测试 2 | 不通电 |
| 5 | 高温贮存 | 4 | GB/T 8993—1998 附录 B | 测试 1 测试 2 | — | 测试 1 测试 2 | 不通电 |

测试 1 为固定式谱仪检测,按照 6.2.3.1.2 的方法测试 5.9 keV、122 keV 以及 1 332.5 keV 全能峰的能量分辨力。记录放射源位置和采谱时长。每次测试中,放射源位置不变,采集时间不变。

测试 2 为便携式谱仪检测,将¹³³Ba 和⁶⁰Co 源同时置于探测器附近,使每个放射源对探测器产生的剂量率为 0.5 μSv/h (±30%),进行核素识别测试,识别时间不超过 1 min。记录放射源位置,每次测试中,放射源位置不变。

6.5.2 运输环境试验

将谱仪按发运方式包装,除了计算机,每个包装件按照表 5 的试验条件、表 10 的试验方法进行试验。

便携式谱仪在检测时,应使用电池供电。

表 10 运输环境试验方法

| 序号 | 试验项目 | 试验方法 | 检测项目 | | | 试验过程中 谱仪状态 |
|----|------|------------------------|--------------|------|----------------------|---------------|
| | | | 初始检测 | 中间检测 | 最终检测 | |
| 1 | 随机振动 | GB/T 2423.56 | 测试 1 测试 2 | — | 测试 1 测试 2 测试 3 | 包装,不通电 |
| 2 | 冲击 | GB/T 8993—1998 附录 F | 测试 1 测试 2 | — | 测试 1 测试 2 测试 3 | 包装,不通电 |

测试 1 为固定式谱仪检测,按照 6.2.3.1.2 的方法测试 5.9 keV、122 keV 以及 1 332.5 keV 全能峰的能量分辨力。记录放射源位置和采样时长。每次测试中,放射源位置不变,采集时间不变。

测试 2 为便携式谱仪检测,将¹³³Ba 和⁶⁰Co 源同时置于探测器附近,使每个放射源对探测器产生的剂量率为 0.5 μSv/h (±30%),进行核素识别测试,识别时间不超过 1 min。记录放射源位置,每次测试中,放射源位置不变。

测试 3 为结构检查。

6.6 电磁兼容

6.6.1 静电放电抗扰度

谱仪正常工作状态下,进行表 9 的测试 1 或测试 2 检测。

按照 GB/T 17626.2 的方法,对谱仪外壳金属部位进行接触放电,对外壳非金属部位进行空气放电试验。

试验结束后,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

6.6.2 工频磁场抗扰度

谱仪正常工作状态下,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

按照 GB/T 17626.8 的方法,对谱仪进行试验,试验过程中,观察谱仪的工作状态。

试验结束后,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

6.6.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度

将固定式谱仪的交流电源输入端接入试验设备,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

按照 GB/T 17626.4 的方法,对固定式谱仪进行试验。

试验结束后,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

6.6.4 浪涌(冲击)抗扰度

将固定式谱仪的交流电源输入端接入试验设备,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

按照 GB/T 17626.5 的方法,对固定式谱仪进行试验。

试验结束后,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

6.6.5 射频电磁场辐射抗扰度

将谱仪布置到试验环境中,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

按照 GB/T 17626.3 的方法,对谱仪进行试验。

试验过程中,观察谱仪的工作状态。

试验后,按照表 9 的测试 1 或测试 2 进行检测。

6.6.6 辐射发射

将谱仪布置在试验环境中。

谱仪正常工作状态下,按照 GB 17799.4 规定的方法进行测量。

6.6.7 传导发射

将固定式谱仪的交流电源端口接入测试设备。

谱仪正常工作状态下,按照 GB 17799.4 规定的方法进行测量。

7 检验规则

7.1 出厂检验

产品出厂前应逐台进行出厂检验。检验合格出具检验报告及合格证后,方可出厂。

出厂检验的项目全部合格,该产品判为合格。有任一项不合格,应判为不合格。

7.2 型式检验

在以下情况之一时,应进行型式检验:

- a) 新产品开发或老产品转厂生产需要定型鉴定时;
- 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) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时;
- d) 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

型式检验项目全部合格,判为合格;型式检验中如发现不合格项,允许对产品进行调整后重新检测与调整相关的项目,若不合格项经调整后仍不合格,则判为不合格。

7.3 检验项目

固定式谱仪检验项目见表 11、便携式谱仪检验项目见表 12。

表 11 固定式谱仪检验项目

| 序号 | 项目 | 型式检验 | 出厂检验 | 要求 | 试验方法 |
|----|-----------------------|------|------|---------|---------|
| 1 | 外观 | ● | ● | 5.1.1 | 6.2.1 |
| 2 | 功能 | ● | ● | 5.1.2 | 6.2.2 |
| 3 | 相对探测效率、能量分辨力、峰康比、峰形参数 | ● | ● | 5.1.3.1 | 6.2.3.1 |
| 4 | 多道分析器总道数 | ● | ● | 5.1.3.2 | 6.2.3.2 |
| 5 | 能量范围 | ● | ○ | 5.1.3.3 | 6.2.3.3 |
| 6 | 能量非线性 | ● | ● | 5.1.3.4 | 6.2.3.4 |
| 7 | 峰位稳定性 | ● | ● | 5.1.3.5 | 6.2.3.5 |
| 8 | 工作准备时间 | ● | ○ | 5.1.3.6 | 6.2.3.6 |
| 9 | 液氮回凝制冷系统液氮使用时间 | ● | ○ | 5.1.3.7 | 6.2.3.7 |
| 10 | 液氮回凝制冷系统噪声 | ● | ○ | 5.1.3.8 | 6.2.3.8 |
| 11 | 电气安全 | ● | ● | 5.3 | 6.4 |

表 11 固定式谱仪检验项目 (续)

| 序号 | 项目 | 型式检验 | 出厂检验 | 要求 | 试验方法 |
|---|-------|------|------|-----|------|
| 12 | 环境适应性 | ● | ○ | 5.4 | 6.5 |
| 13 | 电磁兼容 | ● | ○ | 5.5 | 6.6 |
| <p>注 1: “●”为需要检验项目,“○”为不需要检验项目。 注 2: 出厂检验时,功能项中 5.1.2 的第 5.1.2.8 项不需要检验。</p> | | | | | |

表 12 便携式谱仪检验项目

| 序号 | 项目 | 型式检验 | 出厂检验 | 要求 | 试验方法 |
|---|-----------------------|------|------|---------|---------|
| 1 | 外观 | ● | ● | 5.2.1.1 | 6.3.1.1 |
| 2 | 机械结构 | ● | ● | 5.2.1.2 | 6.3.1.2 |
| 3 | 外壳防护等级 | ● | ○ | 5.2.1.3 | 6.3.1.3 |
| 4 | 功能 | ● | ● | 5.2.2 | 6.3.2 |
| 5 | 相对探测效率、能量分辨力、峰康比、峰形参数 | ● | ● | 5.2.3.1 | 6.3.3.1 |
| 6 | 多道分析器总道数 | ● | ● | 5.2.3.2 | 6.3.3.2 |
| 7 | 能量范围 | ● | ○ | 5.2.3.3 | 6.3.3.3 |
| 8 | 能量非线性 | ● | ● | 5.2.3.4 | 6.3.3.4 |
| 9 | 峰位稳定性 | ● | ● | 5.2.3.5 | 6.3.3.5 |
| 10 | 核素识别和响应时间 | ● | ● | 5.2.3.6 | 6.3.2.6 |
| 11 | 工作准备时间 | ● | ○ | 5.2.3.7 | 6.3.3.7 |
| 12 | 电池供电连续工作时间 | ● | ○ | 5.2.3.8 | 6.3.3.8 |
| 13 | 液氮使用时间 ^a | ● | ○ | 5.2.3.9 | 6.3.2.9 |
| 14 | 电气安全 | ● | ● | 5.3 | 6.4 |
| 15 | 环境适应性 | ● | ○ | 5.4 | 6.5 |
| 16 | 电磁兼容 | ● | ○ | 5.5 | 6.6 |
| <p>注 1: “●”为需要检验项目,“○”为不需要检验项目。 注 2: 出厂检验时,核素识别和响应时间只检验²⁴¹Am、¹³³Ba、¹⁵²Eu、¹³⁷Cs 和⁶⁰Co 5 种核素。</p> | | | | | |
| <p>^a 仅适用于使用液氮制冷的便携式谱仪。</p> | | | | | |

8 标志、随行文件、运输及贮存

8.1 标志

8.1.1 谱仪标志要求

谱仪应在显著位置设置字迹清楚的永久性标志,标志应符合 GB/T 13306 要求。标志上的内容宜包括:

- a) 公司名称;
- b) 谱仪名称、型号;
- c) 质量、尺寸;
- d) 出厂编号;

- e) 厂址；
- f) 生产日期；
- g) 注册商标等。

8.1.2 谱仪的外包装标志要求

谱仪的外包装标志应符合 GB/T 191 中的相关要求。

8.2 随行文件

产品随行文件应包括：

- a) 产品检验合格证；
- b) 产品使用说明书；
- c) 产品装箱单。

8.3 运输

在产品的运输过程中,应注意防潮、防尘、防晒、防冻、防震、防腐等。对运输时间超过 1 个月的情况,运输时的温度应控制在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

8.4 贮存

高纯锗探测器不宜在常温下长期贮存,常温贮存时间不适宜超过 3 个月。如需长期存放,应每 3 个月制冷、开机一次。需长期存放的其他部件,应有良好的贮存条件,即通风良好、温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 60%的室内,且室内无腐蚀性气体、强烈机械振动、冲击及强磁场的作用。

包装件放置方法应符合各包装件外包装上注明的堆码高度和堆放质量等要求。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3767—2016 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 反射面上方近似自由场的工程法
- [2] GB/T 10257—2001 核仪器和核辐射探测器质量检验规则
- [3] GB/T 11684—2003 核仪器电磁环境条件与试验方法
- [4] GB/T 11713—2015 高纯锗 γ 能谱分析通用方法
- [5] GB/T 31837—2015 用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪
- [6] GB/T 40291—2021 核仪器仪表 辐射探测器用高纯度锗晶体 基本特性的测量方法
- [7] 全国科学技术名词审定委员会,材料科学技术名词,科学出版社,2010.
-