



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

便携式碲锌镉核素识别仪

Portable cadmium zinc telluride nuclide identification device

(工作组讨论稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 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	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术要求	1
4.1 外观和结构	2
4.2 功能	2
4.3 性能	3
4.4 环境适应性	4
4.5 电磁兼容	4
5 试验方法	5
5.1 试验的一般规定	5
5.2 外观和结构	5
5.3 功能	6
5.4 性能	6
5.5 环境适应性试验	8
5.6 电磁兼容	10
6 检验规则	10
6.1 检验分类	10
6.2 出厂检验	10
6.3 型式检验	10
7 标志、随行文件	11
7.1 标志	11
7.2 随行文件	12
8 包装、运输和贮存	12
8.1 包装	12
8.2 运输	12
8.3 贮存	12

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。

本文件由全国医疗装备产业与应用标准化工作组（SAC/SWG26）提出并归口。

本文件起草单位：陕西迪泰克新材料有限公司、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、天津海关工业产品安全技术中心

本文件主要起草人：

便携式碲锌镉核素识别仪

1 范围

本文件规定了便携式碲锌镉（以下简称CZT）核素识别仪的技术要求、试验方法、检验规则、标志与包装、运输与贮存等内容。

本文件主要适用于核医学便携式CZT核素识别仪，同时也适用于工业系统。

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 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、基本概念、仪器、系统、设备和探测器

GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)

GB/T 4960.6-2008 核科学技术术语第6部分:核仪器仪表

GB/T 8993-1998 核仪器环境条件与试验方法

GB/T 13306 标牌

GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件

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

JJF1850-2020 锗 γ 射线谱仪校准规范

3 术语和定义

GB/T 2900.66-2004、GB/T2900.97-2016、GB/T31837-2015、GB/T4960.6-2008和JJF1850-2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。选择一项。

3.1

碲锌镉 cadmium zinc telluride

CZT是闪锌矿结构的固溶体合金，可以视为碲化镉（CdTe）和碲化锌（ZnTe）固溶而成；其分子式为 $Cd_{1-x}Zn_xTe$ （ $0 < x < 1$ ）。

3.2

碲锌镉核素识别仪 CZT Nuclide Identifier

内置CZT探测器用于探测、定位和识别放射性材料并指示周围剂量当量率水平核素识别仪器。通常测量 γ 能谱并通过内置放射性核素库对比来识别放射性核素。

3.3

能量分辨率 energy resolution

探测器输出信号的能量响应宽度与峰值能量之比，用百分比表示。

4 技术要求

4.1 外观和结构

4.1.1 外观和尺寸

外观应完好无损, 型号、编号等信息清晰可辨。尺寸 $\leq 200\text{mm}\times 100\text{mm}\times 50\text{mm}$ 。

4.1.2 重量

重量 $< 400\text{g}$ 。

4.1.3 机械结构

主控单元、多道分析器等部件应集于一体。

4.1.4 外壳防护等级

外壳防护等级不应低于 GB/T4208 中 IP53 的要求。

4.2 功能

4.2.1 能谱采集

CZT 核素识别仪应能采集能谱。

4.2.2 能量刻度

CZT 核素识别仪应能进行能量刻度。

4.2.3 核素识别和响应时间

CZT 核素识别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。响应时间不超过 1min。

4.2.4 剂量率监测

CZT 核素识别仪应能指示周围剂量当量率水平。

4.2.5 报警

当指示的周围剂量当量率超过阈值水平时, CZT 核素识别仪给出报警以警示用户。

4.2.6 寻源

CZT核素识别仪有寻源功能, 可指示因放射源的存在而引起的周围辐射场的变化。

4.2.7 工作模式

CZT 核素识别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。

4.2.8 通信接口

CZT 核素识别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。

4.3 性能

4.3.1 能量分辨率

能量分辨率 $<2.5\%$ @662keV。

4.3.2 峰康比

峰康比 $\geq 3.5: 1$ 。

4.3.3 多道分析器总道数

多道分析器的总道数不应少于 4096 道。

4.3.4 能量范围

CZT 核素识别仪能量范围低能不应高于 30keV, 高能不应低于 3MeV。

4.3.5 能量非线性

在 60keV~3MeV 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 1%。

4.3.6 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℃时, 8h 内 Cs 的 662keV 全能峰的峰位漂移不应超过 3%。

4.3.7 核素识别和报警时间

CZT 核素识别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 1min 内, CZT 核素识别仪应能识别(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: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 、 ^{131}I 、 ^{18}F 、 ^{111}In 、 ^{75}Se 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 等;

工业用放射性核素: ^{51}Cr 、 ^{57}Co 、 ^{241}Am 、 ^{133}Ba 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 、 ^{192}Ir 、 ^{152}Eu 等;

4.3.8 相对固有误差

在标准试验条件下, 对剂量率在 $10\mu\text{Sv/h}$ ~ 10mSv/h 范围内的所有周围剂量当量率, CZT 核素识别仪 ^{137}Cs 参考 γ 辐射响应的相对固有误差不应超过 $\pm 20\%$ 。 $10\mu\text{Sv/h}$ 以下相对固有误差可适当放宽。

4.3.9 电池供电连续工作时间

标准试验条件下, 便携式 CZT 核素识别仪使用电池供电, 应能保证正常工作时间不低于 8h。

4.4 环境适应性

4.4.1 气候环境

CZT 核素识别仪气候环境适应性应满足表 1 的要求。

表 1 气候环境适应性

序号	项目	环境条件	合格判据
1	低温工作	-10 ℃	CZT 核素识别仪在试验前、试验过程中与试验后进行 10 次核素识别测试,均应正确识别至少 9 次
2	高温工作	40 ℃	
3	恒定湿热	<93% (35℃)	
4	低温贮存	-20 ℃	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	60 ℃	

4.4.2 运输环境

运输环境适应性应满足表 2 的要求。

表 2 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	10-500 Hz	CZT 核素识别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
		最大加速度	10m/s ²	
		振动方向	3 个轴向	
		振动时间	每方向 15min	
2	冲击	脉冲波形	半正弦波	CZT 核素识别仪在试验后, 应无变形、松动、开裂等机械损伤
		峰值加速度	300m/s ²	
		脉冲持续时间	6ms	
		方向及次数	3 个轴向的正负方向各 3 次, 共 18 次	

4.5 电磁兼容

4.5.1 一般要求

CZT 核素识别仪应满足以下各项外壳端口抗扰度要求。

4.5.2 静电放电抗扰度

CZT 核素识别仪在受到±4kV 的接触放电和±8kV 的空气放电干扰后,应能正常工作。

4.5.3 工频磁场抗扰度

CZT 核素识别仪在受 50Hz、30A/m 的磁场干扰期间,性能亦不受影响;试验后 CZT 核素识别仪应能正常工作。

4.5.4 射频电磁场辐射抗扰度

CZT 核素识别仪在受频率范围为 80MHz~1000MHz、场强为 10V/m 的射频电磁场辐射干扰期间,性能不受影响;试验后, CZT 核素识别仪应能正常工作。

5 试验方法

5.1 试验的一般规定

5.1.1 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 3。

表 3 标准试验条件

影响量	标准试验条件
环境温度	20±2℃
相对湿度	30%~75%
大气压强	86kPa~106kPa
交流供电电压	198V~242 V
交流供电频率	49Hz~51 Hz
环境 γ 辐射	周围剂量当量率小于 0.25μSv/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

5.2 外观和结构

5.2.1 外观和尺寸

目测 CZT 核素识别仪外观,查看型号、编号等信息。

用游标卡尺(精度 0.1mm)测量 CZT 核素识别仪的外壳尺寸。

5.2.2 重量

用电子天平(精度 0.1g)测量 CZT 核素识别仪的重量。

5.2.3 机械结构

目测多道分析器、主控单元等部件是否集于一体。

5.2.4 外壳防护等级

按照 GB/T4208 的方法进行试验。

5.3 功能

5.3.1 能谱采集

使用软件采集能谱, 查看是否采集成功。

5.3.2 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 CZT 核素识别仪附近, 进行能量刻度, 查看刻度结果。

5.3.4 核素识别

分别将 ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 源放置到便携式 CZT 核素识别仪附近, 进行核素识别, 查看识别结果。

5.3.5 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。

5.3.6 通信接口

使用存储介质将便携式 CZT 核素识别仪上的数据导出, 或者使用通信线缆或无线通信方式连接 CZT 核素识别仪和计算机, 将 CZT 核素识别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 CZT 核素识别仪, 查看传输结果。

5.3.7 寻源

将 ^{137}Cs 放射源放置至 CZT 核素识别仪附近, 使 CZT 核素识别仪位置的周围剂量当量率不低于 $10\ \mu\text{Sv/h}$, 标记该位置, 取走放射源缓慢移动 ^{137}Cs 源至标记的位置, 再缓慢移动远离 CZT 核素识别仪。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。

5.3.8 报警和响应时间

将报警阈值调整到 $10\ \mu\text{Sv/h}$ 。将核素识别仪置于自然本底环境中。使用 ^{137}Cs 源使周围剂量当量率在 1s 内增加到 $10\ \mu\text{Sv/h}$ 以上。观察核素识别仪的响应。确认报警后再重复 9 次这一过程。如果 10 次照射有 9 次触发报警, 则满足要求。

5.4 性能

5.4.1 能量分辨率

将 ^{137}Cs 放射源置于 CZT 核素识别仪轴线方向上, 调整与 CZT 核素识别仪端面的距离, 使全谱计数

率不大于 $5000s^{-1}$ ，采集能谱，至 662keV 全能峰净计数达到 10000 时，停止采集。

结合采集到的能谱图，记录 662keV 全能峰的半高宽和峰位，根据公式（1）、可计算得 CZT 核素识别仪的能量分辨率 ER。

$$ER = \frac{FWHM}{PC} \quad (1)$$

式中 FWHM 为全能峰的半峰宽，PC 为全能峰的道址。

5.4.2 峰康比

将 ^{137}Cs 放射源置于 CZT 核素识别仪轴线方向上，调整与 CZT 核素识别仪端面的距离，使全谱计数率不大于 $5000s^{-1}$ ，采集能谱，至 662keV 全能峰净计数达到 10000 时，停止采集。

按公式（3）计算峰康比。

$$p/C = \frac{Np}{Nc} \quad (2)$$

式中：

p/C—峰康比；

Np — ^{137}Cs 能谱中 662 keV 全能峰的高度(峰位 P 处的计数)；

Nc — ^{60}Co 能谱中 1040 keV~1 096 keV(康普顿平坦区域 C)的平均计数；

5.4.3 多道分析器总道数

在软件设置中将多道的总道数设置为4096 道，采集能谱，核对能谱的总道数是否为4096道。

5.4.4 能量范围

将 ^{125}I 、 ^{232}Th 放射源，置于 CZT 核素识别仪附近，采集@27.4keV 能谱，观察 27.4keV 附近（对应的能量刻度）是否出现全能峰；采集 ^{232}Th @2.614MeV 能谱，观察其是否在能量刻度附近采集到全能峰。

5.4.5 能量非线性

假设理想线性关系上某一确定射线能量对应的理论能量为 Y_i ，实测该能量射线的能量为 Y_i' ，则线性偏差 $\Delta Y_i = Y_i - Y_i'$ ，对比不同能量射线的最大线性偏差，则能量线性度 δ 的计算公式为：

$$\delta = \frac{\Delta Y_{max}}{Y} \times 100\% \quad (3)$$

其中， ΔY_{max} 、 Y 分别为 ΔY_i 的最大值及对应理论能量。

使用 ^{241}Am @59.5keV、 ^{137}Cs @662keV、 ^{60}Co @1173keV、1332keV 放射源采集能谱，记录其对应的全能峰道址，使用 origin 作图，其中 γ 射线能量为横坐标，对应全能峰道址为纵坐标，使用 origin 软件的二次项修正后的线性拟合公式对其线性拟合，见公式（4），记录 E_0 、 b_1 、 b_2 的值，能量非线性用二次

项拟合常数 b_2 表示。

$$E=E_0+b_1H+b_2H^2 \quad (4)$$

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。

5.4.6 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 ^{137}Cs 放射源置于 CZT 核素识别仪轴线方向上，调整与 CZT 核素识别仪端面的距离，使全谱计数率不大于 5000s^{-1} ，每 2h 采集 1 个能谱，每个能谱的 662keV 全能峰计数不少于 10000。共采集 5 个能谱。试验过程中，CZT 核素识别仪可使用自带的稳定峰位措施。

使用 CZT 核素识别仪的软件读取 662keV 全能峰的道址，分别与 5 次采集的能谱的 662keV 全能峰的道址的平均值进行比较，计算 662keV 全能峰的漂移结果，取最大值。

5.4.7 核素识别和响应时间

将放射源置于便携式 CZT 核素识别仪附近，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 700keV 以下的放射源在 CZT 核素识别仪的探测器位置处产生的周围剂量当量率约为 $1\text{--}10\mu\text{Sv/h}$ ($\pm 30\%$)，使 700keV 以上的放射源在 CZT 核素识别仪的探测器位置处产生的周围剂量当量率约为 $100\mu\text{Sv/h}$ ($\pm 30\%$)。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 1min，应至少正确识别 9 次。

5.4.8 相对固有误差

选取合适的不同数量级别的周围剂量当量率照射监测仪，验证 CZT 核素识别仪读数的变化是否在照射监测仪的周围剂量当量率的 $\pm 20\%$ 内。

5.4.9 电池供电连续工作时间

标准试验条件下，CZT 核素识别仪就绪，电池满充。使用 ^{137}Cs 源照射 CZT 核素识别仪，确保 CZT 核素识别仪能正确识别。切断 CZT 核素识别仪外接电源，取走放射源，并开始计时。期间，CZT 核素识别仪处于正常工作状态，声光报警可关闭，持续工作 8h 后，再次进行 ^{137}Cs 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。

5.5 环境适应性试验

5.5.1 气候环境试验

CZT 核素识别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 3 的试验条件、表 4 的试验方法进行试验。

表 4 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 CZT 核素识别仪状态
		持续时间	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 1	测试 1	通电
2	高温工作	4	GB/T 8993-1998 附录 B	测试 1	测试 1	测试 1	通电
3	恒定湿热	48	GB/T 8993-1998 附录 D	测试 1	-	测试 1	不通电
4	低温贮存	4	GB/T 8993-1998 附录 A	测试 1	-	测试 1	不通电
5	高温贮存	4	GB/T 8993-1998 附录 B	测试 1	-	测试 1	不通电

测试 1 为 CZT 核素识别仪检测测试，将 ^{241}Am 放射源置于探测器附近，使放射源对探测器产生的剂量率约 $1\mu\text{Sv/h}(\pm 20\%)$ ，进行核素识别测试，识别时间不超过 1min。记录放射源位置，每次测试中，放射源位置不变。

5.5.2 运输环境试验

将 CZT 核素识别仪按发运方式包装，每个包装件按照表 3 的试验条件、表 5 的试验方法进行试验。

便携式 CZT 核素识别仪在检测时，应使用电池供电。

表 5 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 CZT 核素识别仪状态
		持续时间	试验程序	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 1 测试 2	包装，不通电
2	冲击	GB/T 8993-1998 附录 F		测试 1	-	测试 1 测试 2	包装，不通电

测试 1 为 CZT 核素识别仪检测测试, 将 “ ^{241}Am ” 放射源置于探测器附近, 使放射源对探测器产生的剂量率约 $1\mu\text{Sv/h}$ ($\pm 20\%$), 进行核素识别测试, 识别时间不超过 1min。记录放射源位置, 每次测试中, 放射源位置不变。

测试 2 为结构检查。

5.6 电磁兼容

5.6.1 静电放电抗扰度

CZT 核素识别仪正常工作状态下, 进行表 4 的测试 1 检测。

按照 GB/T17626.2 的方法, 对 CZT 核素识别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 4 的测试 1 进行检测。

5.6.2 工频磁场抗扰度

CZT 核素识别仪正常工作状态下, 按照表 4 的测试 1 进行检测。

按照 GB/T17626.8 的方法, 对 CZT 核素识别仪进行试验, 试验过程中, 观察 CZT 核素识别仪的工作状态。

试验结束后, 按照表 4 的测试 1 进行检测。

5.6.3 射频电磁场辐射抗扰度

将 CZT 核素识别仪布置到试验环境中, 按照表 4 的测试 1 进行检测。

按照 GB/T17626.3 的方法, 对 CZT 核素识别仪进行试验。

试验过程中, 观察 CZT 核素识别仪的工作状态

试验后, 按照表 5 的测试 1 进行检测。

6 检验规则

6.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 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。

6.3 型式检验

在以下情况之一时, 应进行型式检验:

探测器具备下列情况之一时, 应进行型式检验:

——新产品或老产品转厂生产的试验定型鉴定;

——正式生产后, 如结构、材料、工艺等有重大改变;

- 正常生产时, 定期或积累一定产量后, 应周期性地检验, 检验周期一般为 2 年;
- 产品停产一年以上, 恢复生产时;
- 同类型产品进行比对时;
- 国家行政管理机构提出进行型式检验的要求时。

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。

6.4 检验项目

便携式 CZT 核素识别仪检验项目见表 6。

表 6 检验项目

序号	项目	型式检验	出厂检验	要求	试验方法
1	外观和尺寸	●	●	4.1.1	5.2.1
2	重量	●	○	4.1.2	5.2.2
3	机械结构	●	○	4.1.3	5.2.3
4	外壳防护等级	●	○	4.1.4	5.2.4
5	功能	●	○	4.2	5.3
6	能量分辨率	●	●	4.3.1	5.4.1
7	峰康比	●	○	4.3.2	5.4.2
8	多道分析器总道数	●	○	4.3.3	5.4.3
9	能量范围	●	○	4.3.4	5.4.4
10	能量非线性	●	○	4.3.5	5.4.5
11	峰位稳定性	●	○	4.3.6	5.4.6
12	核素识别和报警时间	●	●	4.3.7	5.4.7
13	相对固有误差	●	○	4.3.8	5.4.8
14	电池供电连续工作时间	●	○	4.3.9	5.4.9
15	环境适应性	●	○	4.4	5.5
16	电磁兼容	●	○	4.5	5.6

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 ^{241}Am 和 ^{137}Cs 2 种核素。

7 标志、随行文件

7.1 标志

CZT 核素识别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/T13306 要求。标志上的

内容宜包括:

- a) 公司名称;
- b) CZT 核素识别仪名称、型号;
- c) 出厂编号;
- d) 生产日期;
- e) 注册商标等。

7.2 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;
- e) 产品装箱单。

8 包装、运输和贮存

8.1 包装

核素识别仪的包装应符合GB/T13384的规定。

核素识别仪应连同附件、备件、使用说明书和产品合格证装在防尘、防震和防潮的手提盒中,保证运输途中不致损坏。

8.2 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 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

8.3 贮存

温度为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 、对湿度不大于 75%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。
