JJF

**中华人民共和国国家计量技术规范**

**JJFXXXX－XXXX**

**碲锌镉探测器γ谱仪校准规范**

Calibration Specification for γ Ray Spectrometers of CdZnTe Detectors

(征求意见稿)

XXXX－XX－XX发布 XXXX－XX－XX实施

**国家市场监督管理总局发布**

**碲锌镉探测器γ谱仪校准规范**

JJF XXXX-XXXX

Calibration Specification for γ Ray Spectrometers

of CdZnTe Detectors

归口单位：全国电离辐射计量技术委员会

起草单位：中国辐射防护研究院

上海市计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

本规范委托全国电离辐射计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

李志刚 （中国辐射防护研究院）

何林锋 （上海市计量测试技术研究院）

张 明 (中国计量科学研究院)

**参加起草人：**

陆小军 (上海市计量测试技术研究院)

唐智辉 （中国辐射防护研究院）

冯 梅 （中国辐射防护研究院）

孙 训 （上海市计量测试技术研究院）

**目录**

[引言 1](#_Toc204869854)

[1 范围 2](#_Toc204869855)

[2 引用文件 2](#_Toc204869856)

[3 术语和计量单位 2](#_Toc204869857)

[3.1 术语 2](#_Toc204869858)

[3.2 计量单位 2](#_Toc204869859)

[4 概述 3](#_Toc204869860)

[5 计量特性 3](#_Toc204869861)

[5.1 能量分辨力 3](#_Toc204869862)

[5.2 能量非线性 3](#_Toc204869863)

[6 校准条件 3](#_Toc204869864)

[6.1 环境条件 3](#_Toc204869865)

[6.2 测量标准 3](#_Toc204869866)

[7 校准项目和校准方法 4](#_Toc204869867)

[7.1 校准项目 4](#_Toc204869868)

[7.2 校准方法 4](#_Toc204869869)

[8 校准结果 5](#_Toc204869870)

[9 复校时间间隔 6](#_Toc204869871)

[附录A 7](#_Toc204869872)

[附录B 8](#_Toc204869873)

[附录C 9](#_Toc204869874)

引言

本规范按照JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编制。

本规范的编制主要参考JJF 1035-2006《电离辐射计量术语及定义》、GB/T 4960.6-2008《核科学技术术语第6部分：核仪器仪表》、JJF 1850-2020《锗γ射线谱仪校准规范》、JJF 1744-2019《闪烁体探测器γ谱仪校准规范》等技术资料。本规范为首次制定的国家计量校准规范。

碲锌镉探测器γ谱仪校准规范

# 1 范围

本规范适用于能量范围为（10~1500）keV的碲锌镉探测器γ谱仪的校准。

# 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1035-2006《电离辐射计量术语及定义》

GB/T 4960.6-2008《核科学技术术语第6部分：核仪器仪表》

JJF 1850-2020《锗γ射线谱仪校准规范》

JJF 1744-2019《闪烁体探测器γ谱仪校准规范》

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

# 3 术语和计量单位

JJF 1035-2006、GB/T 4960.6-2008界定的及以下术语和定义适用于本规范。

## 3.1 术语

3.1.1 γ射线发射几率 gamma-ray emission probability

放射性核素衰变所伴随发射特定能量γ射线的几率，通常以百分数表示。

3.1.2 本底 background

无被测样品时仪器获取的能谱数据。

3.1.3 能量分辨力 energy resolution

对于某一给定的能量，辐射能谱仪能分辨的两个粒子能量之间的最小差值。对于给定能量，扣除本底后，用探测器对（包括探测器漏电流噪声）脉冲高度分布的半高宽（FWHM）的贡献表征，以能量单位或百分数表示。

3.1.4 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。

## 3.2 计量单位

3.2.1 活度：贝可[勒尔]；符号：Bq。

# 4 概述

碲锌镉探测器γ谱仪由探测器、前置放大器、探测器偏置电源、线性放大器、模数转换器（ADC）、多道脉冲幅度分析器以及数据读出设备等组成。碲锌镉探测器γ谱仪的工作原理是光子（X或γ射线）与碲锌镉晶体相互作用，产生电子-空穴对，在偏压电场的作用下，收集这些电子和空穴产生脉冲信号，通过脉冲幅度分析器生成γ能谱。碲锌镉探测器γ谱仪主要应用于核医学成像、核工业与安防以及环境监测等领域。

# 5 计量特性

## 5.1 能量分辨力

≤2.5%（对137Cs的661.7 keV γ射线）

## 5.2 能量非线性

≤0.5%

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

# 6 校准条件

## 6.1 环境条件

6.1.1 温度：15℃～35℃，测量时室温变化不超过±2℃。

6.1.2 相对湿度：小于75% RH。

6.1.3 仪器使用时不应受到影响使用的震动和电磁场干扰。

6.1.4 测试环境中不得存在明显干扰测量的环境本底。

## 6.2 测量标准

6.2.1 γ放射性点参考源

γ放射性点参考源为点状源，源斑位于源托中心，直径不大于3.0 mm，偏离中心小于1.5 mm。γ放射性点参考源可用于探测器能量分辨力校准、能量校准和全能峰效率校准。

6.2.2 能量分辨力校准源

推荐核素：137Cs。

活度范围：（103~104）Bq。

相对扩展不确定度：*U*rel≤4.0%（*k* = 2）。

6.2.3 能量校准源

推荐核素：241Am、137Cs、60Co。

活度范围：（103~105）Bq，其中241Am和137Cs活度不超过104 Bq。

相对扩展不确定度：*U*rel≤4.0%（*k* = 2）。

6.2.4 全能峰效率校准源

校准源应具有可溯源性。

推荐核素：241Am、137Cs、60Co。

活度范围：（103~105）Bq，其中241Am和137Cs活度不超过104 Bq。

相对扩展不确定度：*U*rel≤4.0%（*k* = 2）。

# 7 校准项目和校准方法

## 7.1 校准项目

校准项目包括能量分辨力、能量和全能峰效率。

## 7.2 校准方法

7.2.1 能量分辨力

将137Cs点参考源置于探测器正前方合适的位置，测量时间应使得全能峰峰面积净计数不少于10000，记录661.7 keV全能峰的半高宽和峰位（以能量或道数表示），碲锌镉探测器γ谱仪能量分辨力按式（1）计算。

 （1）

式中：

*RE* — 碲锌镉探测器γ谱仪能量分辨力，%；

FWHM — 全能峰的半高宽，以能量或道数表示；

*D* — 峰位，以能量或道数表示。

7.2.2 能量校准

将能量校准源置于探测器正前方合适的位置，记录校准源的特征γ射线能量和相应全能峰峰位道址。能量校准的函数关系可近似由二次多项式表示，由式（2）给出：

 （2）

式中：

*E* — γ射线能量，单位为keV；

*H* — 全能峰峰位道址；

*E*0 — 道址*H*为零道时相应的能量，单位为keV；

*b*1 — 拟合常数，表示拟合直线的增益；

*b*2 — 拟合常数。

确定能量校准的函数关系后，按式（3）计算能量非线性：

 （3）

式中：

*U* — 能量非线性，%；

*Eγi* — 选取的γ射线全能峰能量的标准值，keV；

*Efi* — 选取的γ射线全能峰能量的拟合值，keV。

7.2.3 全能峰效率校准

将全能峰效率校准源置于探测器正前方合适的位置，与探测器中心轴线对齐，获取谱数据，使被测γ射线的全能峰峰面积净计数不少于10000，计算能量为*E*的γ射线全能峰峰面积净计数率*n*(*E*)。在相同测量条件下，获取本底样品谱数据，计算能量为*E*的峰位处本底净计数率*nb*(*E*)。全能峰探测效率按式（4）计算。

 （4）

式中：

*n*(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线的全能峰净计数率，s-1；

*nb*(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线峰位本底净计数率，s-1；

*I*(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线的发射几率，无量纲；

*A* — 表示校准源活度，Bq；

***ε***(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线全能峰绝对探测效率，无量纲。

# 8 校准结果

8.1校准结果表达

按本规范进行校准，出具校准证书，校准证书内页格式见附录B；校准结果应给出探测效率结果的不确定度（评定示例见附录C）。

# 9 复校时间间隔

复校时间间隔由用户仪器的使用情况自行确定，建议为24个月。

## 附录A

校准记录推荐格式

A.1 能量分辨力

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 半高宽（FWHM） | 峰位（*D*） | 能量分辨力（%） |
|  |  |  |

A.2 能量校准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 核素 | 能量*E*γ（keV） | 道址 | 能量非线性（%） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 能量校准函数关系： |
| 能量非线性（%）： |

A.3 全能峰探测效率

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 核素 | 能量*E*γ（keV） | 发射几率（%） | 全能峰净计数率（s-1） | 全能峰探测效率 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

## 附录B

校准证书内页内容

B.1 校准证书内页内容

至少应包括下列信息：

a) 被校对象的名称、型号、编号；

b) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；

c) 本次校准时的环境条件；

d) 校准结果及其测量不确定度的说明。

B.2 校准结果

1、能量分辨力

2、能量校准的函数关系、能量非线性

3、全能峰探测效率

## 附录C

全能峰探测效率的不确定度评定方法

F.1 测量模型

全能峰探测效率可以表达为公式：



式中：

*n*(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线的全能峰净计数率，s-1；

*nb*(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线峰位本底净计数率，s-1；

*I*(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线的发射几率，无量纲；

*A* — 表示校准源活度，Bq；

***ε***(*E*)— 表示能量为*E*的γ射线全能峰绝对探测效率，无量纲。

F.2 不确定度来源分析

全能峰探测效率的不确定度主要来源于：峰面积（计数统计涨落）、本底、校准源活度、γ射线发射几率等。

F.3 各输入量的标准不确定度评定

F.3.1 样品峰面积的标准不确定度

样品计数率的不确定度由计数的统计涨落引起，在低计数率或中等计数率下，计数率服从泊松分布，可按B类方法评定。在高计数率下，由于脉冲堆积和死时间引起的计数损失将改变计数的时间间隔密度分布，导致偏离泊松分布，在此不做进一步讨论。本节仅考虑低计数率或中等计数率下，样品计数率的标准不确定度评定。

设在时间*t*内记录到的样品计数为*N*，则计数率*n*为：



根据不确定度传播律，可以得到计数率*n*的标准不确定度为：



其中，*u*(*N*)，*u*(*t*)分别为*N*和*t*的标准不确定度。

样品计数服从泊松分布，样品计数*N*的标准不确定度*u*(*N*)为：



一般的，定时的不确定度可以忽略，即*u*(*t*)=0，上式可以简化为：



F.3.2 本底计数率的标准不确定度

本底计数同样服从泊松分布，本底计数率的不确定度可按B类方法评定。

设在时间*t*内记录到的本底计数为*Nb*，则本底计数率*nb*为：



根据不确定度传播律，可以得到计数率*nb*的标准不确定度为：



其中，*u*(*Nb*)，*u*(*t*)分别为*Nb*和*t*的标准不确定度。

本底计数服从泊松分布，本底计数*Nb*的标准不确定度*u*(*Nb*)为：



一般的，定时的不确定度可以忽略，即*u*(*t*)=0，上式可以简化为：



F.3.3 γ射线发射几率的标准不确定度

γ射线发射几率的标准不确定度可查询同位素手册得到。采用B类方法评定，则γ射线发射几率的标准不确定度为：



式中：*u*(*I*)为γ射线发射几率的标准不确定度；*I+*为发射几率最大可能值，*I-*为发射几率最小可能值；*k*为包含因子，假设*I*在取值区间内为均匀分布，则*k*取值为。

F.3.4 校准源活度的标准不确定度

校准源活度*A*的标准不确定度可根据溯源证书给出的不确定度值评定，采用B类方法评定，则校准源活度的标准不确定度为：



式中：

*u*(*A*)为校准源活度的标准不确定度；*U*(*A*)为校准源活度的扩展不确定度；*k*为包含因子，通常取值为2。

F.4 合成标准不确定度

F.4.1 合成标准不确定度的计算

根据不确定度传播律，各输入量按不相关处理（相关性可忽略），则全能峰绝对探测效率***ε***(*E*)的合成标准不确定度可以表示为：



式中，，，，分别为分量*n*，*nb*，*I*，*A*的灵敏系数。

F.4.2 灵敏系数

样品计数率的灵敏系数：

本底计数率的灵敏系数：

γ射线发射几率的灵敏系数：

校准源活度的灵敏系数：

F.5 扩展不确定度

取包含因子*k* = 2，得到相对扩展不确定度：

