

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJFXXXX—XXXX

---

用于探测、报警与识别放射性材料  
的手持式辐射监测仪校准规范

Calibration Specification for Hand-held radiation monitors for  
detection, alarming and identification of radioactive material

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布 XXXX—XX—XX 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪 校准规范

JJFXXXX-XXXX

Calibration Specification for Hand-held  
radiation monitors for detection, alarming  
and identification of radioactive material

归口单位：全国电离辐射计量技术委员会

起草单位：上海市计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

新疆维吾尔自治区计量科学研究院

本规范委托全国电离辐射计量技术委员会负责解释

**本规范起草人：**

何林锋（上海市计量测试技术研究院）

唐方东（上海市计量测试技术研究院）

梁珺成（中国计量科学研究院）

亢锐（新疆维吾尔自治区计量科学研究院）

徐一鹤（上海市计量测试技术研究院）

# 目录

引言 .....	2
1 范围 .....	3
2 引用文件 .....	3
3 术语和计量单位 .....	3
3.1 术语 .....	3
3.2 计量单位 .....	4
4 概述 .....	4
5 计量特性 .....	4
5.1 核素识别 .....	4
5.2 相对固有误差 .....	4
5.3 重复性 .....	4
5.4 中子指示 .....	4
6 校准条件 .....	5
6.1 环境条件 .....	5
6.2 测量标准 .....	5
7 校准项目和校准方法 .....	5
7.1 核素识别 .....	5
7.2 响应 .....	6
7.3 相对固有误差 .....	7
7.4 重复性 .....	7
7.5 中子指示 .....	7
8 校准结果表达 .....	8
9 复校时间间隔 .....	8
附录 A .....	9
附录 B .....	11
附录 C .....	12

## 引言

本规范按照JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》给出的规则起草。

用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪可对引起异常的放射性进行迅速定位、识别和剂量（率）监测，是各种辐射场所、核安全、国土安全必不可少的装备。本规范的编制主要参考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》、JJG 393-2003《辐射防护用X、 $\gamma$ 辐射剂量当量(率)仪和监测仪》、IEC 62327:2006《辐射防护仪器—用于探测与识别放射性核素和指示光子辐射周围剂量当量率的手持式监测仪》等技术资料。

本规范为首次制定的国家计量校准规范。

# 用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪 校准规范

## 1 范围

本规范适用于探测和识别放射性核素并能指示  $\gamma$  辐射周围剂量当量率的手持式监测仪的校准，以及带有中子探测功能的核素识别仪的校准。

本规范不适用于高纯锗  $\gamma$  谱仪、固定式碘化钠能谱仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001-2011 《通用计量术语及定义》

GB/T 4960.6-2008 《核科学技术术语第 6 部分：核仪器仪表》

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》

JJG 393-2003 《辐射防护用 X、 $\gamma$  辐射剂量当量(率)仪和监测仪》

IEC 62327:2006 《辐射防护仪器—用于探测与识别放射性核素和指示光子辐射周围剂量当量率的手持式监测仪》

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

### 3.1 术语

JJF 1001-2011、GB/T 4960.6-2008 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

#### 3.1.1 核素识别 detection probability of radionuclide

仪器对  $\gamma$  放射性核素的辨别能力。

#### 3.1.2 响应 response

仪器的响应是其剂量当量（率）指示值与剂量当量（率）约定值的比值。

#### 3.1.3 相对固有误差 relative intrinsic error

在参考条件下，受到规定参考辐射照射时，设备或装置指示值的相对误差。

## 3.2 计量单位

3.2.1 [放射性]活度：贝可[勒尔]；符号：Bq。

3.2.2 周围剂量当量率：希沃特每小时；符号： $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

## 4 概述

用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪（以下简称核素识别仪）由探测器、多道分析器、识别软件、放射性核素库、数据处理与显示系统等组成。常用的辐射探测器为 NaI、CsI、溴化镧等闪烁体探测器。

仪器主要应用于出入境检验检疫、环保、核电站、钢铁厂等场所的货物中携带放射性物质、放射性污染的剂量监测与核素鉴别。

## 5 计量特性

### 5.1 核素识别

#### 5.1.1 单一放射性核素的识别

标准试验条件下，核素识别仪能识别单一放射性核素，识别概率  $P \geq 90\%$ （对每个放射性核素进行不少于 10 次试验，至少 90% 的试验中仪器能正确识别）。

#### 5.1.2 混合放射性核素的识别

标准试验条件下，核素识别仪对于混合放射性核素具有识别能力。

### 5.2 相对固有误差

标准试验条件下，对  $(1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-2}) \text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$  范围内的所有周围剂量当量率，核素识别仪对来自  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  参考辐射响应的相对固有误差  $I$  不超过  $\pm 30\%$ 。

### 5.3 重复性

标准试验条件下，核素识别仪的剂量当量率测量重复性  $V \leq 15\%$ 。

### 5.4 中子指示

带有中子探测器的核素识别仪受到中子照射时应指示中子的存在并触发报警。

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 环境温度：(15~25) °C。

6.1.2 相对湿度：不大于 85%。

6.1.3 仪器使用时不应受到震动和电磁场干扰。

### 6.2 测量标准

#### 6.2.1 $\gamma$ 放射性参考源

用于核素识别测量的  $\gamma$  放射性参考源推荐核素： $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{232}\text{Th}$  等，活度范围： $(10^4\sim 10^7)$  Bq，扩展不确定度不超过 6% ( $k=2$ )。

#### 6.2.2 $^{137}\text{Cs}$ $\gamma$ 参考辐射

周围剂量当量率范围： $(1\times 10^{-6}\sim 1\times 10^{-2})\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ，扩展不确定度不超过 5% ( $k=2$ )。

#### 6.2.3 中子参考源

用于中子指示的参考源推荐核素： $^{252}\text{Cf}$ ，中子源强度 (3000~20000)  $\text{s}^{-1}$ ，扩展不确定度不超过 10% ( $k=2$ )。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 核素识别

#### 7.1.1 单一放射性核素的识别

将  $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{133}\text{Ba}$  等  $\gamma$  放射性参考源按下列方式进行分类处理：

——未屏蔽： $^{125}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ ；

——3mm 钢屏蔽： $^{241}\text{Am}$ ；

——5mm 钢屏蔽： $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 。

用一个独立的辐射测量装置（例如： $\gamma$  辐射周围剂量当量仪）测量每个未屏蔽或经屏蔽的  $\gamma$  放射性参考源在探测器位置处产生的周围剂量当量率，应高于本底  $0.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\pm 30\%$ )。

将核素识别仪开机自检达到稳定状态，然后分别对每个未屏蔽或经屏蔽的放射性核素进行  $\gamma$  能谱测量，测量时调节仪器与参考源之间的距离，确保探测器工作在



ROI(感兴趣区域)内, 谱采集完毕后, 查看核素识别仪对每个确定核素的识别能力, 对未屏蔽的核素识别时间应控制在 1min 以内, 经屏蔽的核素识别时间应控制在 2min 以内, 对每种放射性核素, 应至少进行 10 次试验, 按试验中核素识别仪能正确识别出该种放射性核素的次数与试验总次数之比计算其识别概率。

### 7.1.2 混合放射性核素的识别

将  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{232}\text{Th}$  等  $\gamma$  放射性参考源按下列方式进行组合(未屏蔽):

——  $^{137}\text{Cs} + ^{226}\text{Ra}$ ;

——  $^{131}\text{I} + ^{226}\text{Ra}$ ;

——  $^{133}\text{Ba} + ^{232}\text{Th}$ 。

按 7.1.1 方式测量每种未屏蔽的  $\gamma$  放射性参考源在探测器位置处产生的周围剂量当量率, 应高于本底  $0.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $\pm 30\%$ )。

按 7.1.1 方式对未屏蔽混合核素采谱, 查看核素识别仪对每组确定核素的识别能力, 核素识别时间应控制在 1min 以内, 对每组放射性核素, 应至少进行 10 次试验, 按试验中核素识别仪能正确识别出该组放射性核素的次数与试验总次数之比计算其识别概率。

## 7.2 响应

开启被校核素识别仪预热至稳定, 读取本底值, 连续读数至少 5 次, 取平均值。

在  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  参考辐射场中, 周围剂量当量率为  $(2\times 10^{-6}\sim 8\times 10^{-3})\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  的范围内均匀选择 5 个校准测量点, 用被校仪器测量每个校准点周围剂量当量率, 连续重复测量 5 次, 取平均值。核素识别仪对  $^{137}\text{Cs}\gamma$  参考辐射的响应按式(1)计算。

$$R = \frac{\bar{H}_i - \bar{H}_b}{H_t} \quad (1)$$

式中:  $H_t$ — 第  $i$  个校准点周围剂量当量率约定值,  $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ;

$\bar{H}_i$ — 第  $i$  个校准点被校仪器示值平均值,  $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ;

$\bar{H}_b$ — 被校仪器剂量当量率本底平均值,  $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ;

$R$ —核素识别仪对  $^{137}\text{Cs}\gamma$  参考辐射的响应, 无量纲。

本项校准结果也可以用校准因子  $C_f$  表示， $C_f$  按式 (2) 计算。

$$C_f = \frac{1}{R} \quad (2)$$

### 7.3 相对固有误差

由 7.2 “响应” 测量结果，按式 (3) 计算每个校准点的相对误差：

$$I_i = (R_i - 1) \times 100\% \quad (3)$$

式中： $I_i$ — 被校仪器在第  $i$  个校准点的相对误差，%。

取各校准点中相对误差绝对值最大的那一点的相对误差作为仪器的相对固有误差，用  $I$  表示。

### 7.4 重复性

进行本项测量时，应选用相当于仪器最灵敏量程满刻度的  $1/3 \sim 1/2$  之间的剂量当量(率)，或者相当于第二个最小有效数位(数字显示)的最小指示值的剂量当量(率)。

在相同条件下连续测量 20 次，相邻两次读数的时间间隔应不小于仪器时间常数的 3 倍。记下每次测量的指示值，并求出其算术平均值，按式 (4) 计算单次测量的相对标准偏差，即为该核素识别仪的测量重复性。

$$V = \frac{1}{\bar{H}} \sqrt{\frac{1}{19} \sum_{i=1}^{20} (H_i - \bar{H})^2} \quad (4)$$

式中： $H_i$ — 被校仪器的第  $i$  个示值， $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

$\bar{H}$ — 被校仪器示值平均值， $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

$V$  — 重复性，%。

### 7.5 中子指示

将带有中子探测器的核素识别仪的中子报警水平调至约 4 倍于中子的本底水平值，后者可由核素识别仪的计数率指示值确定。

对于未慢化的中子强度为  $(3000 \sim 20000) \text{ s}^{-1}$  的  $^{252}\text{Cf}$  中子源，相应采用  $(1.5 \sim 10) \text{ mm}$  厚的铅屏蔽，使得中子源产生的  $\gamma$  辐射降至未屏蔽时的 1%。将中子源瞬间置于核素识别仪参考点处(参考点处中子周围剂量当量率约为  $3 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ )，在上述中子辐

射水平阶跃变化的 10s 内，仪器应给出中子指示，并触发报警，至少重复试验 10 次，统计漏报情况，按式（5）计算核素识别仪对中子漏报率。

$$L = \left(1 - \frac{N^*}{N}\right) \times 100\% \quad (5)$$

式中： $L$ — 核素识别仪对中子的漏报率，%；

$N^*$ — 中子探测试验中仪器显示中子指示并报警的次数；

$N$  — 仪器中子探测试验总次数。

## 8 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；校准结果应给出参考响应测量结果的不确定度（评定示例见附录 C）。

## 9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 12 个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等多种因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主确定复校时间间隔。

## 附录 A

## 用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪

## 校准记录推荐格式

## A.1 核素识别

## A.1.1 单一放射性核素的识别

核素	核素识别情况					识别率 $P$ (%)
$^{131}\text{I}$						
$^{241}\text{Am}$ (3mm 钢屏蔽)						
$^{137}\text{Cs}$ (5mm 钢屏蔽)						

## A.1.2 混合放射性核素的识别

核素	核素识别情况					识别率 $P$ (%)
$^{137}\text{Cs} + ^{226}\text{Ra}$						
$^{131}\text{I} + ^{226}\text{Ra}$						
$^{133}\text{Ba} + ^{232}\text{Th}$						

## A.2 本底

周围剂量当量率本底读数 (Sv/h)					平均值 $H_b$ (Sv/h)

## A.3 响应、相对固有误差

周围剂量当量率约定值 $H_t$ (Sv/h)	仪器读数 (Sv/h)					平均值 $H_i$ (Sv/h)	响应/校准因子 $R/C_f$	相对误差 $I_i$ (%)
相对固有误差 $I$ (%)								

## A.4 重复性

周围剂量当量率约定值 $H_t$ (Sv/h)	仪器读数 (Sv/h)					平均值 $H_i$ (Sv/h)	重复性 $V$ (%)

## A.5 中子探测

参考源	中子报警指示					漏报率 $L$ (%)
$^{252}\text{Cf}$						

## 附录 B

### 用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪

#### 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、核素识别

单个核素：识别率： $P =$

混合核素：识别率： $P =$

###### 2、响应/校准因子

$R = C_f =$

###### 3、相对固有误差

$I =$

###### 4、重复性

$V =$

###### 5、中子探测（漏报率）

$L =$

## 附录 C

用于探测、报警与识别放射性材料的手持式辐射监测仪（简称核素识别仪）对  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  参考辐射的响应/校准因子测量结果的不确定度评定示例

### C.1 测量条件与测量方法

#### C.1.1 环境条件：

实验室温度：（15~25）℃，相对湿度：（45~75）%。

周围环境无影响测量的电磁场。

周围环境本底剂量当量率不超过  $0.25\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

#### C.1.2 测量标准：

$^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  参考辐射来源： $\gamma$  射线空气比释动能（防护水平）标准装置（[1989]国量标沪证字第 088 号/有效期：2019.12.29）

测量范围： $(1\times 10^{-6}\sim 1)$  Gy/h

相对扩展不确定度：4.7 %（ $k=2$ ）。

#### C.1.3 测量参数：核素识别仪的响应。

#### C.1.4 测量方法：按照本校准规范第 7.2 条。

### C.2 评定模型

$$R = \frac{H_i - H_b}{H_t} \quad (\text{C1})$$

式中： $R$  —校准测量点仪器的响应；

$H_i$  —校准测量点仪器读数的平均值，Sv/h；

$H_b$  —被检仪器本底读数的平均值，Sv/h；

$H_t$  —校准测量点周围剂量当量率约定值，Sv/h。

仪器在重复性测量时包括了本底的统计涨落，且本底可扣除，故式 C1 可以简化为：

$$R = \frac{H_i^*}{H_t} \quad (C2)$$

### C.3 输入量的标准不确定度评定

#### C.3.1 输入量 $H_i^*$ 的标准不确定度 $u(H_i^*)$

输入量  $H_i$  的标准不确定度主要由核素识别仪的测量重复性引入, 采用 A 类方法评定。

被校核素识别仪对  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  参考辐射周围剂量当量率测量的重复性测量数据见表 C.1。

表 C.1 核素识别仪重复性测量数据

周围剂量当量率约定值 $H_t$ ( $\mu\text{Sv/h}$ )	仪器读数 ( $\mu\text{Sv/h}$ )					平均值 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	重复性 (%)
3.13	3.29	3.30	3.39	3.31	3.32	3.34	1.55
	3.36	3.29	3.34	3.36	3.41		
	3.35	3.27	3.37	3.45	3.30		
	3.37	3.28	3.36	3.40	3.26		

输入量  $H_i$  的标准不确定度为:

$$u(H_i^*)_{s_j} = \frac{1.55\%}{\sqrt{20}} = 0.35\%$$

#### C.3.2 输入量 $H_t$ 引入的标准不确定度 $u(H_t)$ 的评定

输入量  $H_t$  的标准不确定度来源主要是  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  参考辐射周围剂量当量率约定值的不确定度, 采用 B 类方法评定。

各校准点处的  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  参考辐射周围剂量当量率值由  $\gamma$  射线空气比释动能 (防护水平) 标准装置测定, 其扩展不确定度  $U_{rel}=4.7\%$  ( $k=2$ )

输入量  $H_t$  的相对标准不确定度:  $u(H_t) = 4.7\% / 2 = 2.35\%$



### C.3 合成标准不确定度的评定

#### C.3.1 灵敏系数

由式 C2 得出，灵敏系数  $c_1=1$ ， $c_2=-1$

#### C.3.2 合成标准不确定度 $u_c(R)$

C.3 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度 (%)	灵敏系数 $c_i$	$u_i= c_i  \cdot u(x_i)$
$u(H_i^*)$	仪器读数重复性	0.35	1	0.35
$u(H_t)$	标准装置量值的不确定度	2.35	-1	2.35

各输入量互相独立不相关，按方和根合成，得到合成标准不确定度为：

$$u_c(R) = [u_1^2 + u_2^2]^{1/2} = 2.38$$

#### C.4 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U_{rel}$  为：

$$U_{rel} = k \times u_{crel}(R) = 4.76\% \quad , \quad \text{取 } U_{rel} = 4.8\%$$

核素识别仪响应/校准因子测量结果的相对扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 4.8\% \quad , \quad k=2$$