

湖北省地方计量技术规范

JJF (鄂) XX—2023

基于点源法的固定式 X、 γ 辐射监测仪 校准规范

Calibration Specification for Fixed X and Gamma Rate Monitors based on

Point Source

(报批稿)

2023-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

湖北省市场监督管理局发布

基于点源法的固定式 X、 γ 辐
射监测仪校准规范

JJF (鄂) XXX-2023

Calibration Specification for Fixed X and Gamma

Rate Monitors based on Point Source

归口单位：湖北省市场监督管理局

主要起草单位：中国船舶集团有限公司第七一九研究所

参加起草单位：湖北省计量测试技术研究院

本规范委托中国船舶集团有限公司第七一九研究所负责解释

本规范主要起草人：

郑文祥（中国船舶集团有限公司第七一九研究所）

代传波（中国船舶集团有限公司第七一九研究所）

朱国华（中国船舶集团有限公司第七一九研究所）

参加起草人：

祝娇（中国船舶集团有限公司第七一九研究所）

陈祥磊（中国船舶集团有限公司第七一九研究所）

石曙光（湖北省计量测试技术研究院）

赵世宇（湖北省计量测试技术研究院）

目录

引言.....	1
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 术语.....	1
3.2 计量单位.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 校准因子.....	2
5.2 重复性.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 测量标准.....	3
6.3 配套设备.....	3
7 校准项目和方法.....	4
7.1 现场响应值.....	4
7.2 重复性.....	5
8 校准结果.....	6
8.1 校准数据处理.....	6
8.3 校准记录.....	6
9 复校时间间隔.....	7
附录 A.....	8
附录 B.....	11
附录 C.....	12
附录 D.....	13
.....	15

引言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列文件。

本规范技术内容确定主要参考 GB/T 14054—2013《辐射防护仪器 能量在 50keV~7MeV 的 X 和 γ 辐射固定式剂量率仪、报警装置和监测仪》、GB/T4835.1-2012《辐射防护仪器 β 、X 和 γ 辐射周围和/或定向剂量当量(率)仪和/或监测仪 第 1 部分：便携式工作场所和环境测量仪与监测仪》、GB/T 10253-2012《液态排出流和地表水中放射性核素监测设备》、JJF 1733-2018《固定式环境 γ 辐射空气比释动能(率)仪现场校准规范》、JJF (鄂) 75-2021《固定式 X、 γ 剂量当量(率)仪和监测仪校准规范》等制订而成。

本规范为首次发布。

基于点源法的固定式 X、 γ 辐射监测仪校准规范

1 范围

本规范适用于使用点源法对固定式 X、 γ 辐射监测仪开展的现场校准，使用点源产生的辐射参考值应包含在固定式 X、 γ 辐射监测仪的测量范围内。

本规范不适用于便携式 X、 γ 辐射剂量当量率仪和 X、 γ 辐射空气比释动能率仪的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1035-2006 电离辐射计量术语及定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

GBZ 125-2009 含源密封仪表的放射卫生防护要求

GB 4075-2009 密封放射源一般要求和分级

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，其最新版本适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

JJF1001-2011、JJF 1035-2006 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1.1 校准因子 calibration factor

固定式 X、 γ 辐射监测仪的校准因子是响应参考值与其现场响应值的比值。

3.1.2 参考点 reference point

校准测量时对辐射探测器定位设置的标记点。

3.2 计量单位

3.2.1 空气比释动能的计量单位是戈瑞，符号：Gy， $1\text{Gy}=1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3.2.2 空气比释动能率的计量单位为戈瑞每小时，符号：Gy/h。

3.2.3 周围剂量当量的计量单位是希沃特，符号：Sv， $1\text{Sv}=1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3.2.4 周围剂量当量率为希沃特每小时，符号 Sv/h。

3.2.5 便携式点源活度值的计量单位为贝克，符号：Bq。

4 概述

固定式 X、 γ 辐射监测仪由辐射探测器、前置放大器、数字信号处理系统和显示装置等组成，通常需外接电源，由电缆连接组成一个整体，工作示意图见图 1。X、 γ 射线与辐射探测器发生相互作用，转化为电信号经前置放大器与数字信号处理系统进行放大和整形等处理后由显示装置进行显示。固定式 X、 γ 辐射监测仪大量应用于核军工、核电厂、辐射监测站、辐照加工场、放射医疗等场所的辐射水平监测。

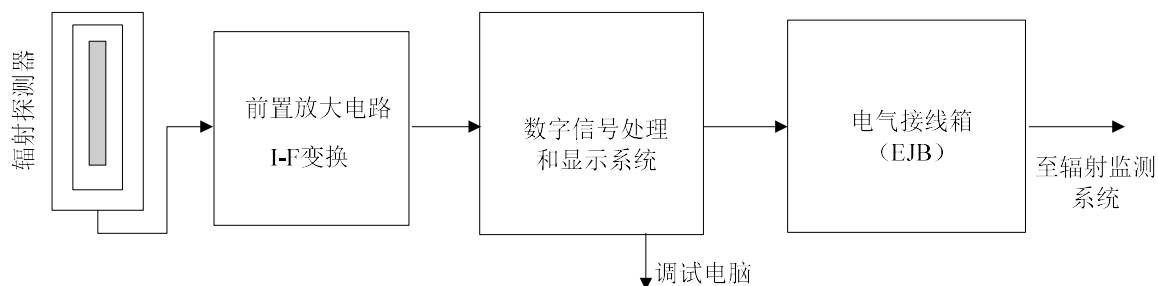


图 1 辐射监测仪工作示意图

5 计量特性

5.1 校准因子

固定式 X、 γ 辐射监测仪的校准因子通常为 1.0 ± 0.2 。

5.2 重复性

固定式 X、 γ 辐射监测仪的重复性通常不超过 15%。

注：以上计量特性要求不作为合格判定依据，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ ，校准过程中变化不超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度： $\leq 90\%$ 。

6.1.3 大气压力：86kPa~106kPa。

6.1.4 周围无明显影响正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 测量标准

测量标准为 γ 参考辐射源，可供使用的 γ 参考辐射源由已知活度的Cs-137、Co-60等便携式 γ 点源产生，其量值应定期校准，且活度不确定度应 $\leq 10\%$ ($k=2$)。 γ 点源安装到探测器上后对应的理论响应值应处于探测器量程范围内(推荐为报警值量程)。便携式 γ 点源应满足GB 4075-2009《密封放射源一般要求和分级》规定要求。建议放射源尺寸一般不大于 $\Phi 8\text{mm} \times 10\text{mm}$ ，活度不大于 $3.7\text{E}+8\text{Bq}$ ，若活度不满足设备校准条件，可适当调整，并做好防护措施。

6.3 配套设备

6.3.1 校准支架

校准支架用于校准时放置便携式 γ 点源，针对不同类型的固定式X、 γ 辐射监测仪配置相应的校准支架，从而保证校准时点源正对监测仪测量参考点，且每次校准时点源都处于同一位置(放射源定位偏差 $\leq 1\text{mm}$)。

6.3.2 温度计

测量范围(0~40)℃，最小分度值不大于0.2℃。

6.3.3 气压计

测量范围(86~106)kPa，最小分度值不大于0.1kPa。

6.3.4 屏蔽容器

用于贮存便携式点源，在屏蔽容器外表面1m处周围剂量当量率应小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 。

6.3.5 卷尺

测量范围(0-3)m，最小分度值不大于1mm。

6.4 辐射防护要求

操作人员佩戴必要的辐射防护用品：便携式辐射监测仪、个人剂量计，铅服、铅手套等。

7 校准项目和方法

固定式 X、 γ 辐射监测仪点源法校准是将校准支架固定在探测器上，放入标准 γ 点源，使其中心对准探测器的测量参考点，进行测量校准，其工作示意图见图 2 所示。

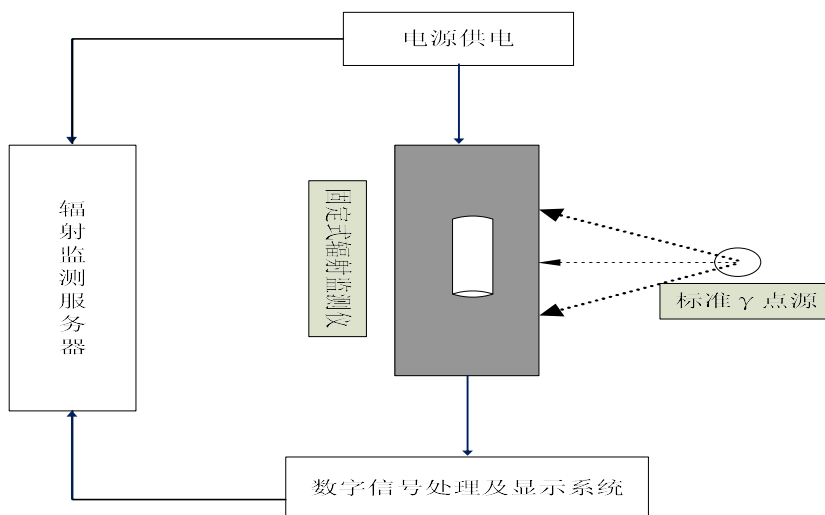


图 2 点源校准工作示意图

校准前固定式 X、 γ 辐射监测仪应已在校准实验室参考辐射场内进行校准合格，且并测得响应参考值 X ，响应参考值获取见附录 A。

7.1 现场响应值

7.1.1 在固定式 X、 γ 辐射监测仪正常工作状态下，预热 15 分钟后，重复读数 10 次，取平均值作为本底测量值 H_{b1} ；

7.1.2 选择对应的校准支架，将其安装于探测器上，使用卷尺测量支架中心到校准参考点距离；

7.1.3 选择对应的标准 γ 点源（当前活度值为 A_1 ）置于校准支架上，使标准 γ 点源中心对准探测器的测量参考点。重复读数 10 次，取平均值作为仪器测量值 H_1 ；

7.1.4 测量结束后取下校准支架和 γ 点源，并屏蔽放射源。参照公式（1）计算现场响应值 X_1 。

$$X_1 = \frac{\left(\bar{H}_1 - \bar{H}_{bl} \right)}{A_1} \quad (1)$$

式中:

X_1 ——为现场响应值, $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$;

\bar{H}_1 ——为仪器测量值, $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$;

\bar{H}_{bl} ——为本底测量值, $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$;

A_1 ——为 γ 点源活度值, 单位为: Bq 。

7.1.6 放射源当前活度参考公式 (2) 进行计算。

$$A_1 = A e^{-\lambda t} \quad (2)$$

式中:

A_1 ——为 γ 点源当前活度值, 单位为: Bq 。

A ——为 γ 点源初始校准活度值, 单位为: Bq 。

λ ——为衰变常量;

t —— γ 点源衰变时间, 单位为: a 。

7.2 固定式 X、 γ 辐射监测仪校准因子

固定式 X、 γ 辐射监测仪校准因子为响应参考值与现场校准测得的响应值比值,
即

$$N_c = \frac{X}{X_1} \quad (3)$$

式中:

N_c ——为校准因子;

X_1 ——为现场响应值, $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$;

X ——为响应参考值, $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 。

7.2 重复性

使用 7.1 测量数据选择配套校准源对应测试点, 连续重复读数 n 次($n \geq 10$), 相邻两次读数的时间间隔应大于仪器的响应时间, 按式 (4) 计算固定式 X、 γ 辐射监测

仪的重复性。

$$V = \frac{1}{\bar{H}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (H_j - \bar{H})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

V ——重复性，%；

H_j ——测量重复性时，被校仪器第 j 个读数， $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 或 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

\bar{H} ——测量重复性时，被校仪器读数的算数平均值， $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 或 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

n ——重复测量次数， $n \geq 10$ 。

8 校准结果

8.1 校准数据处理

所有的数据应先计算，后修约。

8.2 校准结果的测量不确定度

固定式 X、 γ 辐射监测仪校准结果的测量不确定度按 JJF 1059.1-2012 的要求评定，不确定度评定示例见附录 D。

8.3 校准记录

校准记录应尽可能详尽记载测量数据和计算结果，推荐的校准记录格式见附录 B。

8.4 校准证书

固定式 X、 γ 辐射监测仪经校准后应出具校准证书。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 校准机构的名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书的唯一性标识（如编号）、每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期；

- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 环境条件的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 校准证书或校准报告签发人的签名或等效标识；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 对校准规范的偏离的说明；
- o) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

推荐的校准证书的内页格式参见附录 C。

9 复校时间间隔

固定式 X、 γ 辐射监测仪的复校时间间隔一般建议为一年。由于复校时间间隔的长短取决于仪器的使用保养情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

响应参考值及其不确定度

固定式 X、 γ 辐射监测仪在校准实验室参考辐射场内完成校准后，需要使用标准 γ 点源模拟现场安装定位条件获得响应参考值。

A1. 响应参考值获取

A1.1 在固定式 X、 γ 辐射监测仪正常工作状态下，预热 15 分钟后，重复读数 10 次，取平均值作为本底测量值 \bar{H}_b ；

A1.2 选择对应的校准支架，将其安装于探测器上，使用卷尺测量支架中心到校准参考点距离，确认是否满足定位要求；

A1.3 选择对应的标准 γ 点源（当前活度值为 A_1 ）置于校准支架上，使标准 γ 点源中心对准探测器的测量参考点。重复读数 10 次，取平均值作为仪器测量值 \bar{H} ；

A1.4 测量结束后取下校准支架和 γ 点源，并屏蔽放射源。参照公式（A-1）计算响应参考值 X 。

$$X = \frac{\left(\bar{H} - \bar{H}_b \right)}{A} \quad (\text{A-1})$$

式中：

X ——为响应参考值， $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$ ；

\bar{H} ——为仪器测量值， $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

\bar{H}_b ——为本底测量值， $\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ 或 $\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}$ ；

A ——为标准 γ 点源活度值，单位为： Bq 。

A2. 响应参考值不确定度评定示例

A2.1 响应参考值测量环境条件

环境温度：19.5℃；

相对湿度：62.0%RH；

大气压力：1010hPa。

A2.2 测量装置

现场校准用 ^{137}Cs 标准点源, 相对扩展不确定度 6.0% ($k=2$), 校准支架等组成。
其中 ^{137}Cs 标准点源活度相对扩展不确定度 6.0% ($k=2$)。

A.2.3 测量方法: 按照本章节A1条。

A3测量模型

按本章节第A.1条, 测量模型为:

$$X_1 = K_i \bar{H}_1 \quad (\text{A-2})$$

式中:

X_1 ——为响应参考值, $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$ 或 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$;

\bar{H}_1 ——为仪器测量值, $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ 或 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$;

K_i ——测量时散射影响、源均匀性等决定的修正系数;

本示例中涉及不确定度的计算, 数字修约规则均采用进位修正。

A.3 输入量的合成标准不确定度评定

A.3.1标准点源活度校准值引入的不确定度分量 u_1

由标准点源引入的不确定度, 属 B 类分量, ^{137}Cs 校准因子的相对扩展不确定度为: 6.0% ($k=2$), 则标准点源引入的不确定度分量为校准证书的不确定度除以包含因子得到:

$$u_1 = 6.0\%/2 = 3.0\%$$

A.3.1.2 探测器的测量重复性引入的不确定度, 属 A 类分量 u_2

测量中的数据采用统计方法计算其实验标准差, 属 A 类分量。在 ^{137}Cs γ 参考辐射源中重复测量 10 次, 测量数据见表 A.1。

A.1 被校准仪器测量数据

次数	1	2	3	4	5
出厂点源校准数据 Gy/h	5.02E-04	5.02E-04	5.02E-04	5.02E-04	5.02E-04
次数	6	7	8	9	10
出厂点源校准数据 Gy/h	5.02E-04	5.02E-04	5.02E-04	5.02E-04	5.02E-04

测量值重复读数引入的标准不确定度 u_2 采用 A 类评定, 使用读数平均值的实验标准方

差进行表征，即

$$u_2 = S(\bar{x}) / \bar{x} = \frac{1}{\sqrt{n} * \bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{A-3})$$

由上述测量结果和公式 (A-3) 计算得出由重复性引入的不确定度为 0.10%。

A.3.1.3 定位误差引入的不确定度分量，属 B 类分量 u_3

定位误差是指被校准仪表参考点与校准点源位置偏差引起的误差，其引入的标准不确定度 u_3 采用 B 类评定，取均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。点源校准时点源和探测器固定误差主要源自沿射束方向，按点源距离参考点 100mm、定位误差为 1mm， $\Delta_{\max}=1/100=1\%$ ，即 $u_3=1.16\%$ 。

A.3.1.4 散射影响、源均匀性等引入的不确定度

固定式 X、 γ 辐射监测仪安装环境复杂多样，测量时散射影响、源均匀性等引入的不确定度分量，属 B 类分量 u_4 ，根据经验值散射辐射引入的不确定度分量取 5%。

A.4 输入量的合成标准不确定度分量汇总表

响应参考值的标准不确定度的来源及数值汇总表见表A.2：

表 A.2 标准不确定度来源及数值汇总表

序号	标准不确定度分量	符号	分类	标准不确定度
1	标准点源校准值引入的不确定度分量	u_1	B	3.0%
2	探测器的测量重复性引入的不确定度	u_2	A	0.10%
3	定位误差引入的不确定度分量	u_3	B	1.16%
4	散射辐射引入的不确定度分量	u_4	B	5.0%

D5 合成标准不确定度的评定

$$u_0 = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (\text{A-4})$$

得出校准因子的合成标准不确定度 u_0 为 6.0%。

附录 B

校准原始记录表

物品信息											
接收日期:				校准日期:							
委托方:				委托方地址:							
物品名称:				物品型号:							
物品编号:				物品性质:							
依据文件											
响应参考值:				扩展不确定度:							
环境条件											
地点:			温度: °C		湿度: %RH			气压: hPa			
校准源信息											
使用校准源	核素		国家编码		证书编号			活度		扩展不确定度	
校准数据											
本底											
校准数据											
数据处理											
数据处理	平均值:		重复性:		现场响应值:			校准因子:			
校准结果											
校准因子:											
重复性:											
不确定度:											

校准员:

审核员:

附录 C

校准证书内页推荐格式

C.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。

C.2 校准结果

1. 校准条件

校准用标准 γ 点源核素、活度

监测仪响应参考值

2. 校准因子

$$N_c = \frac{X}{X_1}$$

相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$

3. 重复性

$$V =$$

附录 D

校准因子的不确定度评定示例

D.1 测量条件与测量方法

D.1.1 现场响应测量参考条件

环境温度：27.8℃；

相对湿度：49.6%RH；

大气压力：1011hPa。

D.1.2 测量装置

现场校准用 ^{137}Cs 标准点源，相对扩展不确定度 6.0% ($k=2$)，校准支架等组成。

其中 ^{137}Cs 标准点源活度相对扩展不确定度 6.0% ($k=2$)。

D.1.3 测量参数：固定式X、 γ 辐射剂量率监测仪在的参考点处对 ^{137}Cs 点源的校准因子。

D.1.4 测量方法：按照本规范第7章节。

D.2 测量模型

按本规范第7章节，测量模型为：

$$N_c = \frac{X}{X_1} \quad (\text{D-1})$$

式中：

N_c ——校准因子；

X_1 ——为现场响应值， $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$ 或 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$ ；

X ——为响应参考值， $\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$ 或 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Bq}^{-1}$ 。

本示例中涉及不确定度的计算，数字修约规则均采用进位修正。

D.3 输入量的合成标准不确定度评定 u_0 和不确定度分量

D.3.1 响应参考值引入的不确定度 u_1

响应参考值引入的不确定度，属 B 类分量，由附录 A 得：

$$u_1 = 12\% / 2 = 6.0\%$$

D.3.2 标准点源活度校准值引入的不确定度分量 u_2

由标准点源引入的不确定度，属 B 类分量， ^{137}Cs 校准因子的相对扩展不确定度为：6.0% ($k=2$)，则标准点源引入的不确定度分量为校准证书的不确定度除以包含因子得到：

$$u_2 = 6.0\% / 2 = 3.0\%$$

D.3.3 探测器的测量重复性引入的不确定度 u_3

测量中的数据采用统计方法计算其实验标准差，属 A 类分量。在 ^{137}Cs γ 参考辐射源中重复测量 10 次，测量数据见表 A.1。

D.1 被校准仪器测量数据

次数	1	2	3	4	5
现场点源校准数据 Gy/h	4.53E-04	4.53E-04	4.53E-04	4.53E-04	4.53E-04
次数	6	7	8	9	10
现场点源校准数据 Gy/h	4.53E-04	4.53E-04	4.53E-04	4.53E-04	4.53E-04

计算得出由测量重复性引入的不确定度为 0.22%。

D.3.4 定位误差引入的不确定度分量，属 B 类分量 u_4

点源校准时点源和探测器固定误差主要源自沿射束方向，按点源距离参考点 100mm、定位误差为 1mm， $\Delta_{\max} = 1/100 = 1\%$ ，即 $u_3 = 1.16\%$ 。

D.3.5 散射辐射引入的不确定度分量，属 B 类分量 u_5

固定式 X、 γ 辐射监测仪安装环境复杂多样，根据经验值散射辐射引入的不确定度分量取 5%。

D.4 输入量的合成标准不确定度分量汇总表

校准因子的标准不确定度的来源及数值汇总表见表 D.2：

表 D.2 标准不确定度来源及数值汇总表

序号	标准不确定度分量	符号	分类	标准不确定度
1	响应参考值引入的不确定度	u_1	B	6.0%
2	标准点源校准值引入的不确定度分量	u_2	B	3.0%
3	探测器的测量重复性引入的不确定度	u_3	A	0.22%
4	定位误差引入的不确定度分量	u_4	B	1.16%
5	散射辐射引入的不确定度分量	u_5	B	5.0%

D.5 合成标准不确定度的评定

$$u_0 = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} \quad (\text{D-2})$$

得出校准因子的合成标准不确定度 u_0 为 8.5%。

D.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，得到监测仪校准因子的相对扩展不确定度为：

$$U_{rel} = k \times u_c \quad (\text{D-3})$$

$$U_{rel} = 17\% \quad (k=2)$$

D.7 测量不确定度报告

校准因子相对扩展不确定度为： $U_{rel} = 17.0\%$ ， $k=2$