

HJ

中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1384—2024

固定式碘化钠 γ 谱仪连续监测技术规范

Technical specification for continuous monitoring of fixed NaI (TI)
gamma spectrometer

本电子版为正式标准文件，由生态环境部标准研究所审校排版。

2024-12-20 发布

2025-02-01 实施

生态环境部 发布

目 次

前言	II
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测量系统	2
5 γ 辐射空气吸收剂量率	2
6 γ 能谱	2
7 数据记录和记录	3
8 质量保证	3
附录 A（资料性附录） 常用 γ 放射性核素	5
附录 B（资料性附录） 天然核素谱的剥离	6
附录 C（资料性附录） 碘化钠 γ 能谱数据记录格式	8



前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国核安全法》，规范全国辐射环境空气自动监测站固定式碘化钠 γ 谱仪分析测量、数据统计和记录、质量保证等工作，制定本标准。

本标准规定了辐射环境空气自动监测站固定式碘化钠 γ 谱仪的测量系统、 γ 辐射空气吸收剂量率、 γ 能谱、数据统计和记录、质量保证等方面内容。

本标准的附录A~附录C均为资料性附录。

本标准由生态环境部核设施安全监管司、法规与标准司组织制订。

本标准起草单位：生态环境部辐射环境监测技术中心（浙江省辐射环境监测站）。

本标准由生态环境部2024年12月20日批准。

本标准自2025年2月1日起实施。

本标准由生态环境部负责解释。



固定式碘化钠 γ 谱仪连续监测技术规范

1 适用范围

本标准规定了辐射环境空气自动监测站固定式碘化钠 γ 谱仪的测量系统、 γ 辐射空气吸收剂量率、 γ 能谱、数据统计和记录、质量保证等方面内容。

本标准适用于辐射监测领域中环境质量监测和核设施周围环境监测的空气自动监测站固定式碘化钠 γ 谱仪，其他用途配备的固定式碘化钠 γ 谱仪或投放式碘化钠 γ 谱仪可参照执行。

2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用标准，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注明日期的引用标准，其最新有效版本（包括所有的修改单）适用于本标准。其他文件被新文件废止、修改、修订的，新文件适用于本标准。

HJ 1009 辐射环境空气自动监测站运行技术规范

HJ 1157 环境 γ 辐射剂量率测量技术规范

JJF 1687 用于探测与识别放射性核素的手持式辐射监测仪校准规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

固定式碘化钠 γ 谱仪 **fixed NaI (Tl) gamma spectrometer**

固定安装在辐射环境空气自动监测站，使用碘化钠晶体作为闪烁体探测器测量环境 γ 射线能量及其注量率信息的仪器设备。一般由碘化钠探测器、核电子学系统、辅助系统（如电源、支架、保温外壳）及数据处理系统等构成。

3.2

稳定性 **stability**

设备在运行期间工作的稳定状况，即固定式碘化钠 γ 谱仪受外环境影响时，保持其计量特性随时间恒定的能力。一般用典型 γ 核素的特征能量峰中心道址在规定时间间隔内的漂移百分比来表示峰位稳定性。

3.3

本底谱 **background spectrum**

放射性水平无异常波动时间段内，周围环境介质对碘化钠探测器产生的 γ 射线能谱。

3.4

核素谱剥离 **radionuclides spectrum stripping**

从混合核素 γ 射线全谱中先找出几种容易识别的已知核素，根据已知核素谱形结构和不同能窗（感兴趣区）的干扰计数贡献，再从全谱中进行相应计数扣除，得到感兴趣目标核素 γ 射线特征能量峰净计数。

4 测量系统

4.1 功能要求

4.1.1 固定式碘化钠 γ 谱仪应采用有效技术手段如天然放射性核素、人工放射源等技术措施，实现自动稳谱。

4.1.2 应内置 γ 辐射剂量率计算方法并可设置校准系数， γ 核素识别可采用寻找 γ 射线特征能量峰进行判断。

4.1.3 配备的专用操作软件应具备谱采集、自动寻峰、核素识别、参数设置、远程控制等功能。

4.1.4 输出数据格式中应包含 N42、SPC 或 ASCII 等格式，能谱原始数据应包含测量起止时间、测量真时间、测量活时间、仪器状态、每道计数、剂量（率）等信息。

4.2 通用技术要求

4.2.1 应具有良好的环境适应性，能在不同环境条件下（如光照、雨淋、风吹、振动、盐雾、霉菌、温湿度变化等）正常运行。

4.2.2 能量测量范围为 40 keV~3 000 keV；能量分辨率优于 9%（对于 ^{137}Cs 的 661.7 keV 特征能量峰）。

4.2.3 多道脉冲幅度分析器道数不低于 512 道。

4.2.4 天然环境下测量的 ^{40}K 的 1 460.8 keV 特征能量峰，其中心道址在 24 h 内漂移不超过 1%；或者以 ^{137}Cs 点源间隔 8 h~12 h 测量，其 661.7 keV 特征能量峰中心道址漂移不超过 1.5%。

4.2.5 标准试验条件下的核素识别正确率不低于 90%，可按 JJF 1687 相关要求执行。

4.2.6 全谱计数率小于 100 kcps 时设备能正常工作。

4.3 测量要求

4.3.1 对于设备安装高度，一般探测器晶体几何中心与基础面垂直距离为 1 m。

4.3.2 本底谱各感兴趣区计数率的平均值和标准偏差可利用前一年全年数据剔除异常结果后进行计算，对于新安装或维修设备可利用无故障运行期间数据进行计算，也可区分降水时段和非降水时段分别计算，以提高分析测量精度。

4.3.3 监测谱扣除本底谱影响时应将测量时间归一化，并保证二者（或经修正后）无相对道漂。

4.3.4 按设备所在场所或环境选取相应特征核素做为站点测量核素库，设备软件常用数据库应至少包含附录 A 所列核素。

4.3.5 全年监测谱各感兴趣区计数率按连续监测时的小时均值进行统计，其有效数据获取率应高于 90%。

5 γ 辐射空气吸收剂量率

5.1 固定式碘化钠 γ 谱仪应能测量 γ 辐射空气吸收剂量率，并可设置校准系数。

5.2 设备的量程、能量响应、相对固有误差等性能指标应满足 HJ 1157 相关要求。

5.3 正常监测情况下， γ 辐射空气吸收剂量率测量值每 1 min~5 min 更新一次；应急监测情况下， γ 辐射空气吸收剂量率测量值每 10 s~30 s 更新一次。

6 γ 能谱

6.1 固定式碘化钠 γ 谱仪应连续获取 γ 能谱。正常监测情况下，监测谱的测量时间可设置为 5 min~

30 min；应急监测情况下，监测谱的测量时间可设置为 1 min~5 min。

6.2 将碘化钠 γ 射线能谱全谱分成多个感兴趣区，每个感兴趣区应覆盖至少一种关注核素的主要 γ 射线特征能量，计算各感兴趣区计数率的平均值和标准偏差。

6.3 当监测谱与本底谱数据比较，出现异常时设备应自动报警并进行人工手动分析。报警阈值可设定为本底谱各感兴趣区计数率平均值加上其 n 倍标准偏差， n 一般取 3~5。在计算本底谱感兴趣区计数率平均值时，可剔除非自然因素引起的异常数据，若周围环境状况显著变化或站点变更，应重新测量和计算本底谱感兴趣区计数率平均值。报警阈值可按全时段设置，或按不同季节的降水时段和非降水时段分别设置。

6.4 人工手动分析时，由固定式碘化钠 γ 谱仪自带软件核验异常数据，判断监测谱是否存在明显异于本底谱的 γ 射线特征能量峰。无法判断时，可选取测量条件与监测谱相似的本底谱，利用谱分析软件，将归一化后的监测谱计数扣除本底谱计数，再查看是否存在 γ 射线特征能量峰计数。也可参见附录 B 所述方法剥离天然核素本底谱的影响，提高核素识别灵敏度。

6.5 针对固定式碘化钠 γ 谱仪所在辐射场或环境可能存在的异常核素，应重点关注 ^{131}I 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 、 ^{41}Ar 、 ^{60}Co 、 ^{75}Se 、 ^{192}Ir 等人工核素。

6.6 若设备自动识别到异常核素，可按上述步骤 6.2~6.4 进行复核。

7 数据统计和记录

7.1 碘化钠 γ 能谱数据记录内容包括点位信息、设备信息、校准情况和测量数据等，数据记录格式参见附录 C。

7.2 碘化钠 γ 能谱数据通常按日进行统计，一般按所分感兴趣区（见附录 C）分别计算计数率小时均值和标准偏差；可借助智能化软件处理 γ 能谱数据。

7.3 为防止数据丢失，碘化钠 γ 能谱数据应定期记录、备份并存档。

7.4 发生数据异常时应分析原因。

8 质量保证

8.1 校准

8.1.1 固定式碘化钠 γ 谱仪应由具备资质的第三方计量技术机构进行校准，通常每 3 年校准一次，主要针对 γ 辐射空气吸收剂量率校准系数、能量分辨率等指标。也可通过量值传递的方式开展自行校准，应每 2 年自行校准一次，保证量值可追溯至国家计量基准。

8.1.2 当固定式碘化钠 γ 谱仪进行可能对监测结果有影响的维修后，应重新校准。

8.1.3 校准后的设备首次使用前宜用 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{152}Eu 、 ^{241}Am 等检验源检查稳定性、能量分辨率和核素识别正确率等主要性能指标。

8.2 期间核查

8.2.1 能量校准是确定能量与道址二者的关系，能量范围宜在 40 keV~3 000 keV 之间，选择从低能到高能均匀分布至少 4 个点的单能或多能核素校准源，校准时可保持源至探测器前表面中心的垂直距离为 5 cm~25 cm 或合适高度。调节系统增益，使能量非线性绝对值不超过 5%，拟合关系式如式（1）。

$$E = a_0 + a_1Ch^1 + a_2Ch^2 \dots\dots\dots (1)$$

式中： E —— 特征能量峰对应的 γ 射线能量，单位为 keV；

HJ 1384—2024

a_0 、 a_1 、 a_2 ——拟合系数；

Ch ——特征能量峰所在中心道址。

在设备使用期间，可定期用天然核素如 ^{40}K （1 460.8 keV）、 ^{214}Pb （351.9 keV）的 γ 射线特征能量峰中心道址检查峰位变化情况，当中心道址 24 h 内变化超过 4.2.4 节要求时，应重新进行能量校准。

8.2.2 每年至少开展一次能量分辨率检验，使用 ^{137}Cs 检验源检查 661.7 keV 能量分辨率，能量分辨率应优于 9%。

8.2.3 每年至少开展一次稳定性检验，使用天然或人工核素特征能量峰检查稳定性，稳定性应满足 4.2.4 节要求。

8.2.4 每年至少开展一次核素识别能力检验，使用检验源检查核素识别能力，核素识别能力应满足 4.2.5 节要求。

8.3 其他规定

8.3.1 固定式碘化钠 γ 谱仪运行维护人员应进行培训，熟练操作设备。

8.3.2 固定式碘化钠 γ 谱仪连续自动监测过程宜按照本单位质量管理体系运行要求编制相关作业指导书和设备操作规程，实施全过程质量管理。

8.3.3 固定式碘化钠 γ 谱仪正常监测时应按照 HJ 1009 的要求做好运维记录和设备使用记录。

附 录 A
(资料性附录)
常用 γ 放射性核素

常用 γ 放射性核素列于表 A.1。

表 A.1 常用 γ 放射性核素

核 素	γ 射线能量/keV	发射几率/%	附录 C 中感兴趣区序号	半衰期
^{210}Pb	46.54	4.252	1	22.23 a
^{241}Am	59.54	35.92	1	432.6 a
^{133}Xe	81.00	38	1	5.247 d
^{234}Th	63.30	4.8	1	24.1 d (L)
	92.38	2.72	1	
	92.80	2.80	1	
^{235}U	143.80	10.96	2	7.038×10^8 a
	185.7	57.2	2	
^{226}Ra	186.2	3.533	2	1 600 a
^{212}Pb	238.6	43.6	3	10.64 h (L)
^{214}Pb	351.9	37.6	3	26.8 min (L)
	364.5	81.1	3	
^{131}I	295.2	19.3	3	8.023 3d
^{192}Ir	316.51	82.85	3	74.02 d
	468.07	47.84	4	
^7Be	477.6	10.52	4	53.282 d
^{85}Kr	514	0.43	4	10.73 a
^{133}I	529.9	86.2	4	20.83 h
^{137}Cs	661.7	84.99	5	30.05 a
^{134}Cs	604.7	97.6	5	2.062 a
	795.8	85.4	5	
^{228}Ac	338.7	11.9	3	6.13 h (L)
	911.2	27	6	
^{41}Ar	1 293.6	99.17	7	1.83 h
^{60}Co	1 173.23	99.85	7	5.271 a
	1 332.49	99.983	7	
^{40}K	1 460.8	10.55	8	$1.250 4 \times 10^9$ a
^{214}Bi	609.3	46.1	5	19.9 min (L)
	1 764.5	15.9	8	
88Y	898.04	93.90	6	106.626 d
	1 836.05	99.32	9	
^{208}Tl	583.14	86	4	3.053 min (L)
	2 614.5	99.79	10	

注：L 表示该核素为三大天然放射系长寿命母体核素的衰变子体。

附录 B
(资料性附录)
天然核素谱的剥离

当仅测量地表土壤中的天然铀、天然钾、天然钍时，以 ^{40}K 的 1 460.8 keV, ^{238}U 子体 ^{214}Bi 的 1 764.5 keV 和 ^{232}Th 子体 ^{208}Tl 的 2 614.5 keV 能量的特征能量峰来选择能量区间，分别划分钾窗、铀窗和钍窗（表 B.1）。每个能窗的计数不仅有来自该能窗内核素造成的计数，还包括其他能窗内核素造成的计数贡献。各核素贡献产生的计数率 $N_{i,j}$ 与核素活度浓度 $Q_{i,j}$ 线性相关。在以 ^{40}K 核素为主的钾体源模型上测量时，计数率 $N_{i,j}$ 与核素活度浓度 $Q_{i,j}$ 关系可用公式 (B.1) 表示。

$$\begin{aligned} N_{\text{K,K}} &= S_{\text{K,K}} \cdot Q_{\text{K,K}} + S_{\text{K,U}} \cdot Q_{\text{U,K}} + S_{\text{K,Th}} \cdot Q_{\text{Th,K}} \dots\dots\dots (B.1) \\ N_{\text{U,K}} &= S_{\text{U,K}} \cdot Q_{\text{K,K}} + S_{\text{U,U}} \cdot Q_{\text{U,K}} + S_{\text{U,Th}} \cdot Q_{\text{Th,K}} \\ N_{\text{Th,K}} &= S_{\text{Th,K}} \cdot Q_{\text{K,K}} + S_{\text{Th,U}} \cdot Q_{\text{U,K}} + S_{\text{Th,Th}} \cdot Q_{\text{Th,K}} \end{aligned}$$

在公式 (B.1) 中， $N_{\text{K,K}}$ 、 $N_{\text{U,K}}$ 、 $N_{\text{Th,K}}$ 分别为钾、铀、钍窗在钾模型上响应的计数率（扣除本底后的计数率）， $Q_{\text{K,K}}$ 、 $Q_{\text{U,K}}$ 、 $Q_{\text{Th,K}}$ 为钾模型的钾、铀、钍核素活度浓度， $S_{\text{K,K}}$ 、 $S_{\text{K,U}}$ 、 $S_{\text{K,Th}}$ 为单位活度浓度钾、铀、钍对钾窗的贡献系数，亦称散射系数； $S_{\text{U,K}} \dots\dots S_{\text{Th,Th}}$ 同意义。

通过在钾、铀、钍模型上的检定/校准测量结果，结合公式 (B.1)，可得到 (B.2) 矩阵式：

$$\begin{bmatrix} N_{\text{K,K}} & N_{\text{K,U}} & N_{\text{K,Th}} \\ N_{\text{U,K}} & N_{\text{U,U}} & N_{\text{U,Th}} \\ N_{\text{Th,K}} & N_{\text{Th,U}} & N_{\text{Th,Th}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{\text{K,K}} & S_{\text{K,U}} & S_{\text{K,Th}} \\ S_{\text{U,K}} & S_{\text{U,U}} & S_{\text{U,Th}} \\ S_{\text{Th,K}} & S_{\text{Th,U}} & S_{\text{Th,Th}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Q_{\text{K,K}} & Q_{\text{K,U}} & Q_{\text{K,Th}} \\ Q_{\text{U,K}} & Q_{\text{U,U}} & Q_{\text{U,Th}} \\ Q_{\text{Th,K}} & Q_{\text{Th,U}} & Q_{\text{Th,Th}} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (B.2)$$

解 (B.2) 式可得到 $S_{\text{K,K}} \dots S_{\text{Th,Th}}$ 等九个系数。

一般令：

$$\begin{aligned} \alpha &= S_{\text{U,Th}} / S_{\text{Th,Th}}, \quad \beta = S_{\text{K,Th}} / S_{\text{Th,Th}} \\ \gamma &= S_{\text{K,U}} / S_{\text{U,U}}, \quad a = S_{\text{Th,U}} / S_{\text{U,U}} \\ b &= S_{\text{Th,K}} / S_{\text{K,K}}, \quad g = S_{\text{U,K}} / S_{\text{K,K}} \end{aligned}$$

式中 $1/S_{\text{K,K}}$ 、 $1/S_{\text{U,U}}$ 、 $1/S_{\text{Th,Th}}$ 分别为测量系统对钾、铀、钍的效率因子。

两个散射系数的比值，亦即纯的 K、U、Th 源在两个窗中贡献的计数率之比称为剥离比。低能窗与高能窗计数率的比值通常用 α 、 β 和 γ 表示，高能窗与低能窗计数率之比通常用 a 、 b 、 g 表示。比如钍对铀 (U/Th) 的剥离比 α ，等于纯 Th 源在 U 窗和 Th 窗中产生的计数率之比；相反的剥离比 a ，等于纯 U 源在 Th 窗和 U 窗中产生的计数率之比。与此类似， β 是纯 Th 源的 K/Th 剥离比， b 为相反的剥离比，即纯 K 源的 Th/K。 γ 是纯 U 源的剥离比 K/U， g 是 γ 的相反剥离比，即纯 K 源的 U/K。

经过校准的固定式碘化钠 γ 能谱仪，其校准证书应给出剥离比等系数。但要将其应用于现场测量的 γ 能谱数据剥离计算，还需要通过逆矩阵解算。通用数据处理软件中均含有此功能，按照要求设置剥离比进行计算即可。

固定式碘化钠 γ 谱仪现场测量得到的各能窗计数率 N_{K} 、 N_{U} 、 N_{Th} 包含散射影响，各核素贡献的净计数率 $N_{\text{C,K}}$ 、 $N_{\text{C,U}}$ 、 $N_{\text{C,Th}}$ 之间关系可用公式 (B.3) 表示。

$$\begin{aligned} N_{\text{K}} &= N_{\text{C,K}} + \gamma \cdot N_{\text{C,U}} + \beta \cdot N_{\text{C,Th}} \dots\dots\dots (B.3) \\ N_{\text{U}} &= g \cdot N_{\text{C,K}} + N_{\text{C,U}} + \alpha \cdot N_{\text{C,Th}} \\ N_{\text{Th}} &= b \cdot N_{\text{C,K}} + a \cdot N_{\text{C,U}} + N_{\text{C,Th}} \end{aligned}$$

解 (B.3) 方程组，即可求得剥离修正后的 K、U、Th 能窗净计数率计算公式 (B.4) ~ (B.6)。

$$N_{C,K} = \frac{N_{Th}(\alpha \cdot \gamma - \beta) + N_U(a \cdot \beta - \gamma) + N_K(1 - a \cdot \alpha)}{1 - g \cdot \gamma - a(\alpha - g \cdot \beta) - b(\beta - \alpha \cdot \gamma)} \dots\dots\dots (B.4)$$

$$N_{C,U} = \frac{N_{Th}(g \cdot \beta - \alpha) + N_U(1 - b \cdot \beta) + N_K(b \cdot \alpha - g)}{1 - g \cdot \gamma - a(\alpha - g \cdot \beta) - b(\beta - \alpha \cdot \gamma)} \dots\dots\dots (B.5)$$

$$N_{C,Th} = \frac{N_{Th}(1 - g \cdot \gamma) + N_U(b \cdot \gamma - a) + N_K(a \cdot g - b)}{1 - g \cdot \gamma - a(\alpha - g \cdot \beta) - b(\beta - \alpha \cdot \gamma)} \dots\dots\dots (B.6)$$

对于人工核素，以 ^{137}Cs 为例，其净计数率的计算见公式 (B.7)。

$$N_{C,Cs} = N_{Cs} - (l \cdot N_{C,K} + m \cdot N_{C,U} + n \cdot N_{C,Th}) \dots\dots\dots (B.7)$$

式中： $N_{C,Cs}$ ——为 ^{137}Cs 能窗净计数率；

N_{Cs} ——为现场测量得到的铯能窗，扣除本底后的计数率；

l 、 m 、 n ——分别为钾、铀、钍窗对铯能窗计数率的剥离系数，无量纲。

IAEA-TECDOC-1363 技术报告给出了用于分析天然钾、铀、钍的标准 γ 谱剥谱方法。首先，将固定式碘化钠 γ 谱仪置于不同标准放射性体源模型上测量，获得天然核素高能 γ 射线对低能窗的剥离比；其次，对于空气中可能存在的目标放射性核素，找到能量最高、发射几率大的特征峰，并定义其 γ 射线能窗即能量区间范围，相应能窗扣除天然核素后确定净计数情况；再次，在设定的判定条件下如特征能量峰净计数率高于两侧能区计数率一定比例，即可快速识别放射性核素特别是人工核素是否存在；最后，通过前述过程确定有高于本底放射性核素存在后，由目标核素特征能量净计数（率）可进一步进行浓度计算。

表 B.1 能窗信息表

能窗	编号	γ 射线特征能量峰/keV	能窗下边界/keV	能窗上边界/keV
天空散射 (Skyshine)	S	---	96	213
低能 (Low Energy)	L	---	279	381
^{40}K	K	1 460.8	1 370	1 570
^{238}U	U	1 764.5	1 660	1 860
^{232}Th	Th	2 614.5	2 400	2 800

附 录 C
(资料性附录)
碘化钠 γ 能谱数据记录格式

碘化钠 γ 能谱数据记录格式参见表 C.1。

表 C.1 碘化钠 γ 能谱数据记录表

点位名称及编号 _____ 固定式碘化钠 γ 谱仪型号及编号 _____
 温度 (°C) _____ 相对湿度 (%) _____ 校准证书编号及有效期 _____

感兴趣区序号	能量范围/keV	小时均 值个数	小时均值 最大值	小时均值最大 值测得时间	小时均值 最小值	小时均值最小 值测得时间	日均值	标准偏差
1	<100 (未稳定区间)			时 分		时 分		
2	100~200							
3	200~400							
4	400~600							
5	600~800							
6	800~1 000							
7	1 000~1 400							
8	1 400~1 800							
9	1 800~2 200							
10	2 200~2 800							
11	>2 800							
数据异常及分析								
设备校准信息								
注 1: 小时均值: 时间标签为测量截止时间, 数据为此刻前 1 小时测量均值。 注 2: 日均值: 由每日内 3/4 以上的小时均值算术平均值得出。日均值的统计阶段为北京时间 00: 00 至 24: 00。 注 3: 每日统计值, 包括日期、日均值、标准偏差、当日小时均值最大值、最大值的时间标签、当日小时均值最小值、最小值的时间标签等。								

测量人: _____ 测量时间: _____ 校核人: _____ 校核日期: _____