

DB44

广东省地方标准

DB44/T XXXX—XXXX

陆地测量辐射探测器宇宙射线响应技术规范

Technical specification for cosmic ray response of terrestrial measurement radiation detectors

(送审稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

广东省市场监督管理局 发布

目 次

前 言..... II

引 言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 基本原则、目的和要求..... 1

5 测量实施..... 2

6 测量记录..... 3

7 质量保证..... 3

附录 A（资料性） 辐射检验场示例.....4

附录 B（资料性） 辐射检验场测量原始记录表.....7

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。

本文件由广东省生态环境厅提出。

本文件由广东省环境管理标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：广东省环境辐射监测与核应急响应技术支持中心

本文件主要起草人：陈志东、张华、林淑倩、徐润龙、赖力明、黄正轩、陈水广。

引 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》，规范辐射探测器宇宙射线响应陆地测量工作特制定本文件。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到附录 A 如下 1 项辐射检验场相关的专利的使用。专利名称如下：

CN 217467198 U，一种宇宙射线陆地测量用辐射检验场。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下方式获得：

专利持有人姓名：陈志东、张华、林淑倩、黄正轩、徐润龙、王家玥、林炜伟、梁明浩

地址：广东省广州市海珠区广州大道南 860 号

请注意除以上专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

陆地测量辐射探测器宇宙射线响应技术规范

1 范围

本文件规定了一种辐射探测器宇宙射线响应陆地测量的方法和技术要求,包括测量目的、测量实施、测量记录和质量保证等方面的内容。

本文件适用于陆地上测量辐射探测器的宇宙射线响应值,且测量点环境 γ 辐射剂量率最大值小于500 nGy/h。

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。

- HJ 61 辐射环境监测技术规范
- HJ 1157 环境 γ 辐射剂量率测量技术规范
- JJG(军工) 43 环境监测用X、 γ 辐射仪(饱和模型体源法)检定规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

辐射探测器 radiation detectors
主要用于环境 γ 辐射剂量率测量的传感器件或装置。

3.2

宇宙射线响应值 cosmic ray response
辐射探测器对宇宙射线电离成分的测量数值。

3.3

辐射检验场 radiation testing field
一种相对稳定的辐射场,场内有若干测量点且环境 γ 辐射剂量率呈现一定梯度。

4 基本原则、目的和要求

4.1 基本原则

测量过程宜尽量保持辐射探测器测量条件一致,减少由场地环境、人员及几何条件带来的测量误差。

4.2 目的

- 4.2.1 满足 HJ 61 第 4.2.1.1 条、HJ 1157 第 5.4.3 和 5.5 条等标准要求,即环境 γ 辐射剂量率监测仪器应定期开展宇宙射线响应测量。
- 4.2.2 实现在陆地上测量辐射探测器的宇宙射线响应值。

4.3 测量要求

4.3.1 为减少测量误差，测量人员应在辐射检验场外读数，减少人员对辐射场造成影响。高压电离室可远程读数，其余便携式仪器可利用远程工具等读数。

4.3.2 测量过程需严格控制传递仪器与待检仪器测量条件，二者探头应满足以下条件：

- a) 无垂直方向偏移，即高度一致；
- b) 无水平方向偏移；
- c) 无角度偏移，即探头无倾斜。

4.3.3 测量时宜尽可能避开异常天气（如雨天、雪天、台风天等）或天气突变（如大风、突然降温等）的影响。

5 测量实施

5.1 仪器指标通用要求

用于环境 γ 辐射剂量率测量的辐射探测器应具备以下主要性能：

- a) 量程：量程下限应不高于 1×10^{-8} Gy/h；量程上限一般不低于 1×10^{-2} Gy/h；
- b) 相对固有误差： $\leq \pm 15\%$ ；
- c) 能量响应：50 keV \sim 3 MeV，相对响应之差 $\leq \pm 30\%$ （相对 ^{137}Cs 参考 γ 辐射源）；
- d) 角响应：0 \sim 180° 角响应平均值（ \bar{R} ）与检定（或校准）方向上的响应值（ R ）的比值应大于等于 0.8（对 ^{137}Cs γ 辐射源）；
- e) 工作温度：-10℃ \sim 40℃；
- f) 工作相对湿度： $< 95\%$ （35℃）。

5.2 仪器、设备选择

5.2.1 传递仪器：经计量院检定合格且在有效检定周期内的辐射探测器；宇宙射线响应值（按照 HJ 61 第 8.6.1 条修正条件和附录 D 修正公式修正至测量点处的值）已知。

5.2.2 待检仪器：宇宙射线响应值未知，欲通过本文件方法确定其宇宙射线响应值的辐射探测器，仪器型号应与传递仪器相同。

5.2.3 辐射探测器支架：用于仪器稳定测量的设备。

5.2.4 其它：用于远程读数的设备等其他辅助设备。

5.3 测量步骤

用辐射探测器直接测量出点位上的环境 γ 辐射剂量率即时值，步骤如下：

- a) 开机预热；
- b) 选择固定点作为本底测量点，一般选择草地，环境 γ 辐射剂量率在 100 nGy/h 左右；
- c) 传递仪器、待检仪器分别测量本底点环境 γ 辐射剂量率；
- d) 将传递仪器置于辐射检验场（参考附录 A）测量点，探头中心离地 1 m，待仪器稳定后，远程读取 10 个数据，读取数据间隔不小于 10s，记录在测量原始记录表中（参考附录 B）；
- e) 依次完成传递仪器在辐射检验场内 15 个测量点的测量；
- f) 依次完成待检仪器在辐射检验场内 15 个测量点的测量。

5.4 结果计算

5.4.1 宇宙射线响应值计算

宇宙射线响应值计算方法如下：

a) 用格拉布斯准则（Grubbs Criterion）处理异常数据，并分别计算每台仪器每个测量点和本底点的均值；

b) 将传递仪器测量值作为 x 轴，待检仪器测量值作为 y 轴进行最小二乘法线性拟合（JJG（军工）43 第 7.3.5.3 条），得经验回归方程：

$y = ax + b$ (1)

则：

$D_c = b + D_{c0} \times a$ (2)

式中：

- a ——拟合直线斜率；
- b ——拟合直线截距；
- D_c ——待检仪器宇宙射线响应计算值；
- D_{c0} ——传递仪器宇宙射线响应值，在水深大于3 m、离岸大于1 km的淡水湖上或本方法测得。

5.4.2 不确定度计算

宇宙射线响应值 D_c 的合成标准不确定度可以表示为：

$u(D_c) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\partial D_c / \partial x_i)^2 \times u^2(x_i)}$ (3)

式中：

- $u(D_c)$ ——宇宙射线响应值的合成标准不确定度；
- x_i ——不确定度的来源（传递仪器宇宙射线响应值、线性拟合等）；
- $\partial D_c / \partial x_i$ ——灵敏系数；
- $u(x_i)$ ——不确定度分量。

扩展不确定度可以表示为：

$U(D_c) = k \times u(D_c)$ (4)

式中：

- $U(D_c)$ ——扩展不确定度；
- k ——包含因子，一般取2，对应包含概率约为95%。

6 测量记录

记录内容包括：测量仪器的型号和编号，天气状况，温湿度，经纬度，海拔高度，仪器的检定/校准因子，探头高度，测量位置，读数值、平均值及其标准偏差，测量人、测量日期，复核人及数据复核日期等。测量原始记录参考附录 B。

7 质量保证

为满足环境 γ 辐射剂量率测量要求，应做好以下质量保证措施：

- a) 测量人员需经环境 γ 辐射剂量率测量相关专业培训，考核合格后方可上岗工作；
- b) 传递仪器在有效检定期内使用，并处于受控状态；
- c) 传递仪器和待检仪器应按相应的质控计划进行期间核查，保证仪器各方面性能稳定可靠；
- d) 开展测量时，环境条件满足 HJ 1157 第 4.2.2 条等相关文件要求；
- e) 严格控制测量过程，保证传递仪器与待检仪器测量条件尽可能一致；
- f) 传递仪器与待检仪器测量时间尽可能接近，避免环境变化带来测量条件不一致，造成较大误差；
- g) 相对扩展不确定度满足 HJ 1157 第 7.2.7 条的相关要求。

附 录 A (资料性) 辐射检验场示例

A.1 辐射检验场理论基础

理论上,任何辐射探测器在环境中同点位测量,其扣除宇宙射线响应值后的环境 γ 辐射剂量率都应该相等,即:

$$D_t = (D - D_c) \times k = (D_0 - D_{c0}) \times k_0 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

D_t ——测量点的环境 γ 辐射剂量率;

D ——某台仪器在环境中的测量读数;

D_c ——该仪器对宇宙射线的响应值;

k ——该仪器对某种放射源(^{137}Cs 、 ^{226}Ra 等) γ 射线产生的空气吸收剂量率的校准因子;

D_0 ——传递仪器在环境中的测量读数;

D_{c0} ——传递仪器宇宙射线响应值;

k_0 ——传递仪器对某种放射源(与上述放射源相同类型) γ 射线产生的空气吸收剂量率的校准因子。

由式(A.1)得:

$$D = (k_0 / k) \times (D_0 - D_{c0}) + D_c \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

对于任意一台辐射测量仪器仪表,校准因子为常数;测量仪对宇宙射线的响应值在海拔高度近似的情况下,也可近似看做常数。因此,在环境中进行比对测量时,两台仪器的读数将成线性关系。在上述辐射检验场进行比对测量,将比对测量数据以 D_0 为x轴、以 D 为y轴作图进行线性拟合,得到拟合方程 $y = ax + b$,其中:

$$D_c = b + D_{c0} \times a \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

在 D_{c0} 已知的情况下,由(A.3)式可求出 D_c ,以此得出待检仪器宇宙射线响应值。

A.2 辐射检验示例

以某独居石冶炼厂产生的固体废渣(废渣中含有较高放射性水平的 ^{238}U 、 ^{232}Th 及其子体)制作样品盒,将样品盒(编号1A、2A、...、15A和1B、2B、...、15B)按图1所示对称放置,测量点设在对称轴上(如图1所示 D_1 、 D_2 、...、 D_{15})。样品盒及测量点间距见表A.1,样品盒引起的1m处环境 γ 辐射剂量率见表A.2。

辐射检验场内测量点环境 γ 辐射剂量率最低点在 D_{15} 处,约120nGy/h,最高点在 D_1 处,约500nGy/h,测量点的环境 γ 辐射剂量率存在一定水平的梯度。

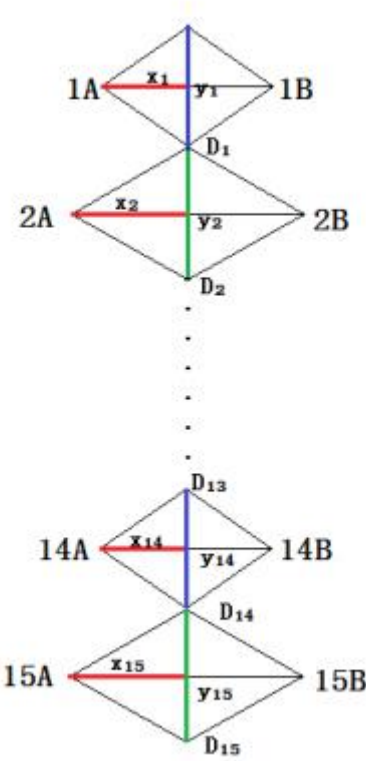


图 A. 1 辐射检验场示意图

表 A. 1 样品盒及测量点间距

横向	横向距离（m）	纵向	纵向距离（m）
X1	2.2	y1	1.0
X2	2.9	y2	2.5
X3	2.9	y3	2.5
X4	3.5	y4	2.5
X5	3.3	y5	2.5
X6	3.2	y6	2.5
X7	3.9	y7	2.5
X8	3.5	y8	2.5
X9	3.0	y9	2.5
X10	4.3	y10	2.2
X11	4.5	y11	2.5
X12	5.5	y12	2.5
X13	5.5	y13	2.5
X14	5.5	y14	2.5
X15	5.5	y15	2.5

表 A.2 样品盒引起的周围环境 γ 辐射剂量率

样品盒编号	1 米处环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)	样品盒编号	1 米处环境 γ 辐射剂量率 (nGy/h)
1A	1423	8B	1564
1B	1545	9A	/
2A	1520	9B	1416
2B	1515	10A	/
3A	1512	10B	1411
3B	1504	11A	1403
4A	1499	11B	1388
4B	1498	12A	1368
5A	1489	12B	1340
5B	1484	13A	1338
6A	1478	13B	1337
6B	1461	14A	1307
7A	1283	14B	/
7B	1446	15A	/
8A	/	15B	/
注：“/”该位置未放置样品盒。			

附 录 B
(资料性)
辐射检验场测量原始记录表

辐射检验场测量原始记录表见表 B.1。

表 B.1 辐射检验场测量原始记录

仪器 型号		仪器 编号		校准 因子		探头高度						
天 气		温 度		湿 度		海 拔						
经 度			纬 度				宇宙射线响应值（ 单位： ）					
测量 位置	测量结果（ 单位： ）											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	标准差