

中华人民共和国国家生态环境标准

HJ 1212—2021

环境空气中氡的测量方法

Measurement methods for determination of radon in environmental air

本电子版为正式标准文本，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2021-11-26 发布

2022-01-15 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 概述 2

5 测量方法 3

6 质量保证和质量控制..... 14

附录 A（规范性附录） 适用于环境空气中氨的测量方法选择 16

附录 B（资料性附录） 不同测量方法的典型相对标准不确定度 17

附录 C（规范性附录） 室内标准采样条件 18

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》，规范环境空气中氡的测量工作，制定本标准。

本标准规定了环境空气中氡的常用测量方法。

本标准的技术内容基于《环境空气中氡的标准测量方法》(GB/T 14582—1993)。本标准与《环境空气中氡的标准测量方法》(GB/T 14582—1993)相比，主要技术内容变化如下：

- 修改了 GB/T 14582-1993 中关于径迹蚀刻法和活性炭盒法的内容；
- 修改了 GB/T 14582-1993 中附录 A 和附录 C 的内容；
- 修改了 GB/T 14582-1993 中质量保证的内容；
- 删除了 GB/T 14582-1993 中关于双滤膜法和气球法的内容；
- 删除了 GB/T 14582-1993 中附录 B 的内容；
- 增加了采样策略、脉冲电离室法、静电收集法等内容；
- 补充了各测量方法的不确定度和探测下限的计算方法；
- 增加了资料性附录 B 不同测量方法的典型相对标准不确定度。

本标准的附录 A 和附录 C 为规范性附录，附录 B 为资料性附录。

本标准为首次发布。

本标准实施之日起，《环境空气中氡的标准测量方法》(GB/T 14582—1993) 在相应的国家放射性污染防治标准实施中停止执行。

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。

本标准主要起草单位：浙江省辐射环境监测站（生态环境部辐射环境监测技术中心）。

本标准生态环境部 2021 年 11 月 26 日批准。

本标准自 2022 年 1 月 15 日实施。

本标准由生态环境部解释。

环境空气中氡的测量方法

1 适用范围

本标准规定了环境空气中氡的四种常用测量方法，即径迹蚀刻法、活性炭盒法、脉冲电离室法、静电收集法。

本标准适用于环境空气中氡浓度的测定，包括室外环境和室内环境等。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 8170	数值修约规则与极限数值的表示和判定
GB/T 13163.1	辐射防护仪器 氡及氡子体测量仪 第1部分：一般原则
HJ 61	辐射环境监测技术规范
JJG 825	测氡仪

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

氡 radon

原子序数为86的元素的同位素 ^{222}Rn ，是铀系衰变的中间产物。自然界中氡有 ^{219}Rn 、 ^{220}Rn 、 ^{222}Rn 三种同位素，本标准环境空气中氡仅指 ^{222}Rn 。

3.2

氡浓度 radon concentration

单位体积空气中氡的放射性活度，SI单位为 Bq/m^3 。

3.3

瞬时测量 spot measurement

在一个相对短的时间范围内获取某时刻浓度值的方法。

3.4

连续测量 continuous measurement

在一定的时间间隔内进行的不间断的并能够得到每一时间间隔结果的测量。

3.5

累积测量 integrating measurement

在特定的时间周期进行的积分式测量，其结果为该时间段平均浓度。

3.6

标准氡室 standard radon chamber

一个特制的密封含氡容器，能对其内部的氡浓度和有关环境条件加以稳定而均匀的调控，并对氡浓度准确定值。用于氡浓度测量仪的检定或校准。

3.7

刻度 calibration

在已知氡浓度的情况下，确定测量装置的刻度系数（灵敏度）或校正因子。

3.8

采样策略 sampling strategy

根据采样目的和环境，选择采样点位和密度、测量方法、采样或测量时间的技术原则。

4 概述

4.1 测量目的

测量的目的是采集足够的代表性样品，以得到有用的测量结果。实际测量中，空气中氡浓度一般会随着时间发生变化，在某些区域甚至会有一个数量级的变化。因此，应根据不同测量目的及不确定度要求选择采样策略和测量方式。

4.2 采样策略

4.2.1 分析采样点位历史调查情况。

4.2.2 现场勘察（在某些情况下，可以借助于便携式放射性测量仪对调查区域进行初步测量）。

4.2.3 判断调查区域氡的迁移路径和聚集区域。

4.2.4 对采样点位的区域进行仔细调查，选择采样点位和密度。

4.2.5 根据不同测量目的选择测量方法，详见附录 A。

4.2.6 根据测量的不确定度要求，确定采样或测量时间。各测量方法在不同采样或测量时间下的典型相对标准不确定度参见附录 B。

4.3 测量方式

4.3.1 根据采样时间长短不同，测量方式分为瞬时测量、连续测量和累积测量。不同测量方式得到的测量结果特征见表 1。

表 1 参考测量条件

测量方式	采样时间间隔	测量结果的特征
瞬时测量	少于 1 小时	代表采样地点在采样时刻的空气中氡浓度
连续测量	自行设定	代表采样地点空气中氡浓度随时间的变化趋势
累积测量	几天至 1 年	代表采样期间氡浓度的平均值

4.3.2 根据采样方式的不同，测量方式分为主动式测量和被动式测量。

5 测量方法

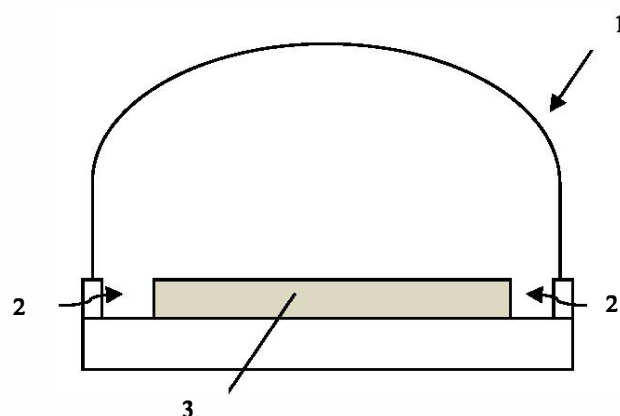
5.1 径迹蚀刻法

5.1.1 方法概述

本方法为累积采样,测量结果为采样期间氡的平均浓度。采用被动式测量方式,若测量周期为 90 d,该方法的探测下限至少可达 5 Bq/m^3 。

5.1.2 测量原理

探测器采用固体核径迹材料(如柯达阿尔法胶片 LR-115 或碳本酸丙烯乙酸 CR-39),置于一定形状的采样盒内组成径迹蚀刻法测氡采样器(以下简称“采样器”),如图 1 所示。



1—采样盒; 2—扩散窗; 3—探测器

图 1 径迹蚀刻法测氡采样器结构图

氡气经扩散窗进入采样盒内,氡及其新衰变产生的子体发射的 α 粒子轰击探测器时,使其产生潜径迹。将此探测器在一定条件下进行化学或电化学蚀刻,扩大损伤径迹,以致能用显微镜或自动计数装置进行观测统计或计数。单位面积上的径迹数与氡浓度和暴露时间的乘积成正比。用刻度系数将径迹密度换算成氡浓度。此方法可用于累积测量。

5.1.3 设备或材料

5.1.3.1 探测器

选用对 α 粒子敏感的固体核径迹材料,比如 LR-115、CR-39 等。

5.1.3.2 采样盒

多由导电塑料或金属制成的空腔箱体,其尺寸大小应符合实际测量要求。

5.1.3.3 蚀刻装置

用于蚀刻受 α 粒子轰击过的探测器，扩大损伤径迹，以适合计数装置测量。多由NaOH或者KOH溶液进行化学蚀刻或电化学蚀刻。

5.1.3.4 计数装置

用于读取蚀刻后的探测器单位面积上的径迹数的装置，一般通过光学显微镜等光学放大装置测读径迹数。

5.1.4 测量步骤

5.1.4.1 采样器制备

5.1.4.1.1 将探测器装入采样盒中并固定好，组成一个采样器。

5.1.4.1.2 将采样器密封，隔绝外部空气。

5.1.4.2 布放原则

5.1.4.2.1 在测量现场去掉采样器外部密封包装。

5.1.4.2.2 室内测量。将采样器布放在测量现场，其采样条件应符合附录C中C.2的要求。采样器可悬挂起来，其扩散窗外20 cm内不得有其他物体，采样器距离墙壁至少1 m。

5.1.4.2.3 室外测量。采样点要远离公路、烟囱等污染物排放设施，地势开阔，周围10 m内无建筑物，避开空气沉积的凹地和潮湿区域。采样器布放高度一般不超过1.5 m，布放时应做好防水等措施。上述布放原则不适用于以污染源项调查为目的测量活动。

5.1.4.2.4 采样终止时，取下采样器并密封包装，送回实验室。采样时间一般不少于30 d。

5.1.4.2.5 采样期间应记录的内容详见附录C中C.3。

5.1.4.2.6 根据布放点的氡浓度水平确定采样时间，对氡浓度高的区域，应缩短采样时间，避免探测器饱和；对氡浓度较低的区域，应延长采样时间。

5.1.4.3 测量

5.1.4.3.1 采样器带回实验室后应尽快测量。

5.1.4.3.2 将探测器从采样盒中取出，放入蚀刻装置中（对于CR-39片的典型蚀刻条件为，蚀刻液浓度： $c(\text{KOH})=6.5\text{ mol/L}$ ；蚀刻温度： $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；蚀刻时间：10 h）。

5.1.4.3.3 将蚀刻后的探测器取出洗净后晾干。

5.1.4.3.4 把处理好的探测器用计数装置读出单位面积上的径迹数。

5.1.4.4 刻度

5.1.4.4.1 把装配好的采样器置于标准氡室内（具体要求按JJG 825相关规定执行），暴露一定时间，按规定测量程序处理探测器，按照公式（1）计算刻度系数。

$$F_C = \frac{N_R - N_b}{T \cdot C_{Rn} \cdot S} \quad (1)$$

式中： F_C ——刻度系数， $(\text{个}/\text{cm}^2) / (\text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3)$ ；

N_R ——总径迹数，个；

N_b ——本底径迹数，个；

T ——暴露时间, h;

C_{Rn} ——氡浓度, Bq/m³;

S ——探测器测量面积, cm²。

5.1.4.4.2 刻度时应满足下列条件:

- 每次至少要做三种不同氡浓度水平的刻度;
- 每个浓度水平至少布放 10 个采样器;
- 暴露时间要足够长, 保证采样器内外氡浓度平衡;
- 暴露结束后探测器需要在低氡的环境下放置一段时间 (1 h~2 h), 进行必要的时间补偿;
- 更换探测器材料或批号须对探测器进行重新刻度。

5.1.5 定量计算

5.1.5.1 氡浓度计算

氡浓度按照公式 (2) 进行计算。

$$C_{Rn} = \frac{N_R - N_b}{T \cdot F_c \cdot S} \quad (2)$$

式中: C_{Rn} ——氡浓度, Bq/m³;

N_R ——总径迹数, 个;

N_b ——本底径迹数, 个;

T ——暴露时间, h;

F_c ——刻度系数, (个/cm²) / (Bq · h/m³);

S ——探测器测量面积, cm²。

5.1.5.2 标准不确定度计算

标准不确定度按照公式 (3)、公式 (4) 和公式 (5) 进行计算。

$$u(C_{Rn}) = \sqrt{\left(N_R + \frac{N_b}{n}\right) \cdot \omega^2 + C_{Rn}^2 \cdot u_{rel}^2(\omega)} \quad (3)$$

式中: $u(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的标准不确定度;

N_R ——总径迹数, 个;

N_b ——本底径迹数, 个;

n ——用于本底测量的采样器个数;

ω ——中间变量;

C_{Rn} ——氡浓度, Bq/m³;

$u_{rel}(\omega)$ —— ω 的相对标准不确定度。

$$\omega = \frac{1}{T \cdot S \cdot F_c} \quad (4)$$

式中: ω ——中间变量;

T ——暴露时间, h;

S ——探测器测量面积, cm²;

F_c ——刻度系数, (个/cm²) / (Bq · h/m³)。

$$u_{rel}^2(\omega) = u_{rel}^2(F_c) + u_{rel}^2(S) \quad (5)$$

式中： $u_{rel}(\omega)$ —— ω 的相对标准不确定度；
 $u_{rel}(F_c)$ —— F_c 的相对标准不确定度；
 $u_{rel}(S)$ —— S 的相对标准不确定度。

5.1.5.3 探测下限计算

探测下限按照公式（6）和公式（7）进行计算。

$$L(C_{Rn}) = k_{1-\alpha} \cdot \omega \cdot \sqrt{N_b \cdot \left(1 + \frac{1}{n}\right)} \quad (6)$$

式中： $L(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的判断阈；
 $\alpha=0.05$ 时， $k_{1-\alpha}=k=1.65$ ；
 ω ——中间变量；
 N_b ——本底径迹数，个；
 n ——用于本底测量的采样器个数。

$$LLD(C_{Rn}) = \frac{2 \cdot L(C_{Rn}) + k^2 \cdot \omega}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(\omega)} \quad (7)$$

式中： $LLD(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的探测下限；
 $L(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的判断阈；
 $\alpha=0.05$ 时， $k_{1-\alpha}=k=1.65$ ；
 ω ——中间变量；
 $u_{rel}(\omega)$ —— ω 的相对标准不确定度。

5.2 活性炭盒法

5.2.1 方法概述

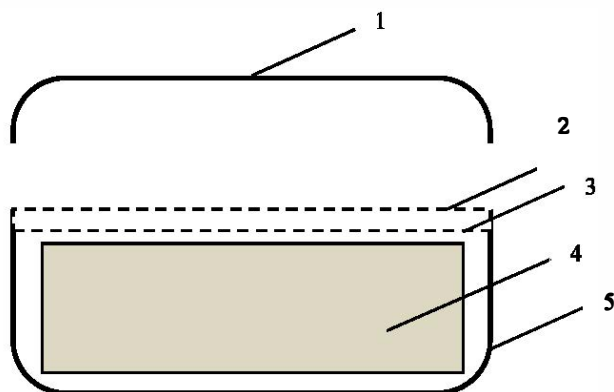
本方法为累积采样，测量结果为采样期间氡的平均浓度。采用被动式测量方式，该方法的探测下限至少可达 6 Bq/m^3 。

5.2.2 测量原理

活性炭盒一般用塑料或金属制成，直径 $6 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$ ，高 $3 \text{ cm} \sim 5 \text{ cm}$ ，内装 $25 \text{ g} \sim 100 \text{ g}$ 活性炭。盒的敞开面用滤膜（过滤氡子体）封住，固定活性炭且允许氡进入炭盒。活性炭盒和活性炭组成活性炭盒法测氡采样器（以下简称“采样器”），如图 2 所示。

空气扩散进炭床内，其中的氡被活性炭吸附，同时衰变，新生的子体便沉积在活性炭内。用 γ 谱仪测量采样器的氡子体特征 γ 射线峰（或峰群）强度，根据特征峰面积计算出氡浓度。此方法可用于累积测量。

在活性炭和被测空气间设置扩散垒，有助于减少活性炭已吸附氡的解析。扩散垒的存在也减少了活性炭对水蒸气的吸收，因此即使在湿度大于 75% 的地方，也能使采样器的暴露期超过 7 天。



1—密封盖；2—扩散垒（可选）；3—金属网；4—活性炭；5—活性炭盒

图2 活性炭盒法测氧采样器结构

5.2.3 设备或材料

5.2.3.1 活性炭

应选用吸附性能优的活性炭，如椰壳活性炭，一般为 8 目~16 目。

5.2.3.2 活性炭盒

由塑料或金属制成，尺寸大小可参照 5.2.2 的规定，也可根据用户实际测量要求自行选择。

5.2.3.3 烘箱

用于活性炭使用前的烘烤。

5.2.3.4 天平

用于活性炭的称重。

5.2.3.5 γ 谱仪

采用 HPGe 或者 NaI (Tl) 谱仪。

5.2.4 测量步骤

5.2.4.1 采样器制备

5.2.4.1.1 将选定的活性炭放入烘箱内，在 120 °C 下烘烤 5 h~6 h，后装入密封袋中待用。

5.2.4.1.2 装样。称取一定量烘烤后的活性炭装入炭盒中，并盖上滤膜。

5.2.4.1.3 再称量样品盒的总重量。

5.2.4.1.4 通过密封盒盖且附加胶带（如乙烯基胶带）密封活性炭盒，隔绝外面空气。

5.2.4.2 布放原则

5.2.4.2.1 在待测现场打开密封盒盖，布放 3 d~7 d。

5.2.4.2.2 室内测量。将采样器布放在采样点上，其采样条件应满足附录 C 中 C.2 的要求。采样器可悬挂起来，其扩散窗外 20 cm 内不得有其他物体，采样器距离墙壁至少 1 m。

5.2.4.2.3 室外测量。采样点要远离公路、烟囱等污染物排放设施，地势开阔，周围 10 m 内无建筑物，避开空气沉积的凹地和潮湿区域。采样器布放高度一般不超过 1.5 m，布放时应做好防水等措施。上述布放原则不适用于以污染源项调查为目的测量活动。

5.2.4.2.4 采样终止时将采样器密封盖装回，迅速送回实验室。

5.2.4.2.5 采样期间应记录的内容详见附录 C 中 C.3 要求。

5.2.4.2.6 对于布放在较高湿度的区域，应尽量选用具有扩散垒的采样器。

5.2.4.3 测量

5.2.4.3.1 采样停止 3 h 后应尽快测量，测量前再称量，以计算水分吸收量。

5.2.4.3.2 将采样器放置在 γ 谱仪上计数，测出氡子体特征 γ 射线全能峰(^{214}Pb : 295 keV, 352 keV; ^{214}Bi : 609 keV) 净计数率。测量时几何条件与刻度时保持一致。

5.2.4.4 刻度

刻度系数为氡子体特征 γ 射线全能峰净计数率和标准氡浓度值的比值，单位为 $\text{s}^{-1}/(\text{Bq}/\text{m}^3)$ 。刻度应在不同的湿度下（至少三个湿度：30%、50%、80%）计算其刻度系数。如果需要精确的测量结果，应在不同采样时间和不同湿度条件下计算刻度系数，得到的刻度系数可汇总成刻度系数表。

5.2.5 定量计算

5.2.5.1 氡浓度计算

氡浓度按照公式（8）、公式（9）、公式（10）、公式（11）和公式（12）进行计算。

$$C_{Rn} = \left(\frac{N_N}{t_g} - \frac{N_{N0}}{t_0} \right) \cdot \omega \quad (8)$$

式中： C_{Rn} ——氡浓度， Bq/m^3 ；

N_N ——特征峰对应的净计数，个；

N_{N0} ——特征峰对应的本底计数，个；

ω ——中间变量；

t_g ——样品测量时间，s；

t_0 ——本底测量时间，s。

$$\omega = \frac{f_d}{F_C} \quad (9)$$

式中： ω ——中间变量；

f_d ——衰变修正系数；

F_C ——刻度系数， $\text{s}^{-1}/(\text{Bq}/\text{m}^3)$ 。

$$f_d = e^{\lambda t_i} \cdot \left(\frac{\lambda \cdot t_g}{1 - e^{-\lambda t_g}} \right) \quad (10)$$

式中： f_d ——衰变修正系数；

λ ——氡的衰变常数，取 $2.1 \times 10^{-6}/\text{s}$ ；

t_i ——采样结束至开始测量的时间间隔，s；

t_g ——样品测量时间，s。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/807164121064006066>