

HJ

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） 适用于环境空气中氮的测量方法选择.....	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。

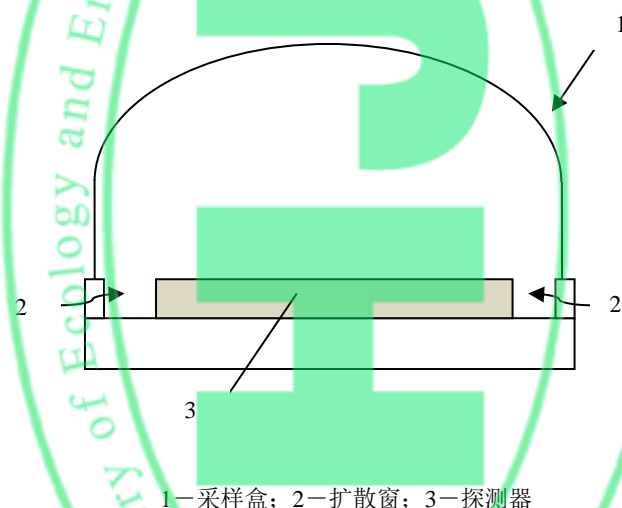


图 1 径迹蚀刻法测氡采样器结构图

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

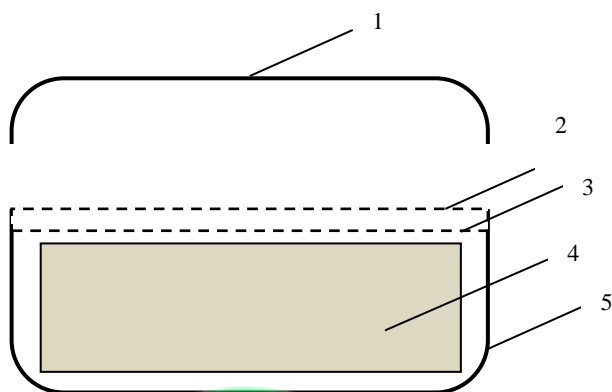
本方法为累积采样，测量结果为采样期间氡的平均浓度。采用被动式测量方式，该方法的探测下限至少可达 6 Bq/m^3 。

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—扩散杯（可选）；3—金属网；4—活性炭；5—活性炭盒

图2 活性炭盒法测氡采样器结构

5.2.3 设备或材料

5.2.3.1 活性炭

应选用吸附氡性能优的活性炭，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℃下烘烤5h~6h，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3d~7d。

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20cm内不得有其他物体，采样器距离墙壁至少1m。

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釜的采样器。

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， $\text{s}^{-1}/(\text{Bq}/\text{m}^3)$ 。

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

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。

$$N_N = N_g - N_b \quad (11)$$

式中： N_N ——特征峰对应的净计数，个；
 N_g ——样品测量时特征峰对应的总计数，个；
 N_b ——样品测量时特征峰对应的本底计数，个。

$$N_{N0} = N_{g0} - N_{b0} \quad (12)$$

式中： N_{N0} ——特征峰对应的本底计数，个；
 N_{g0} ——无样品测量时特征峰对应的总计数，个；
 N_{b0} ——无样品测量时特征峰对应的本底计数，个。

5.2.5.2 标准不确定度计算

标准不确定度按照公式（13）和公式（14）进行计算。

$$u(C_{Rn}) = \sqrt{\omega^2 \cdot \left[\frac{u^2(N_N)}{t_g^2} + \frac{u^2(N_{N0})}{t_0^2} \right] + C_{Rn}^2 \cdot u_{rel}^2(\omega)} \quad (13)$$

式中： $u(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的标准不确定度；
 $u(N_N)$ ——特征峰对应净计数的标准不确定度；
 $u(N_{N0})$ ——特征峰对应本底计数的标准不确定度；
 ω ——中间变量；
 t_g ——样品测量时间，s；
 t_0 ——本底测量时间，s；
 C_{Rn} ——氡浓度，Bq/m³；
 $u_{rel}(\omega)$ —— ω 的相对标准不确定度。

$$u_{rel}^2(\omega) = u_{rel}^2(F_c) + u_{rel}^2(f_d) \quad (14)$$

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；
 $u_{rel}(f_d)$ —— f_d 的相对标准不确定度。

5.2.5.3 探测下限计算

探测下限按照公式（15）和公式（16）进行计算。

$$L(C_{Rn}) = k_{1-\alpha} \cdot \omega \cdot \sqrt{\left[N_b + u^2(N_b) \right] / t_g^2 + \left[N_{g0} + u^2(N_{b0}) \right] / t_0^2 + (N_{g0} - N_{b0}) / t_0 \cdot t_g} \quad (15)$$

式中： $L(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的判断阈；
 $u(N_b)$ ——样品测量时特征峰对应本底计数的标准不确定度；
 $u(N_{b0})$ ——无样品测量时特征峰对应本底计数的标准不确定度；
 $\alpha=0.05$ 时， $k_{1-\alpha}=k=1.65$ ；
 ω ——中间变量；
 N_b ——样品测量时特征峰对应的本底计数，个；
 N_{g0} ——无样品测量时特征峰对应的总计数，个；
 N_{b0} ——无样品测量时特征峰对应的本底计数，个；

t_g ——样品测量时间，s；
 t_0 ——本底测量时间，s。

$$LLD(C_{Rn}) = \frac{2 \cdot L(C_{Rn}) + (k^2 \cdot \omega) / t_g}{1 - k^2 \cdot u_{rel}^2(\omega)} \quad (16)$$

式中： $LLD(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的探测下限，Bq/m³；

$L(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的判断阈；

$\alpha=0.05$ 时， $k_{1-\alpha}=k=1.65$ ；

ω ——中间变量；

t_g ——样品测量时间，s；

$u_{rel}(\omega)$ —— ω 的相对标准不确定度。

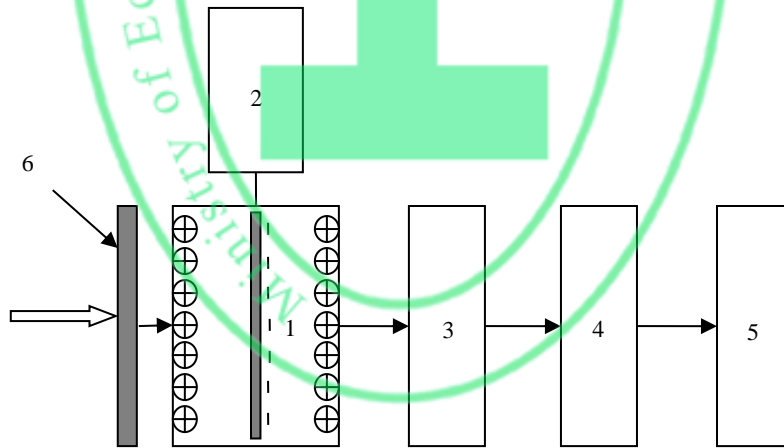
5.3 脉冲电离室法

5.3.1 方法概述

本方法为连续采样，能连续测量环境空气中氡浓度值。采用主动式测量方式，该方法的探测下限至少可达5 Bq/m³。

5.3.2 测量原理

空气经过滤后，扩散进入或经气泵抽入电离室，在电离室灵敏区中氡及其衰变子体衰变发出的 α 粒子使空气电离，产生大量电子和正离子，在电场的作用下电子和正离子分别向两极漂移，在收集电极上形成电压脉冲或电流脉冲，这些脉冲经电子学测量单元放大后记录，记录的脉冲数与 α 粒子数成正比，即与氡浓度成正比，如图3所示。此方法可用于瞬时测量或连续测量。



1—电离室；2—高压电源；3—放大器；4—分析器；5—计数器或多道分析器；6—扩散窗

图3 脉冲电离室结构图

5.3.3 设备或材料

5.3.3.1 脉冲电离室测氡仪

主要由电离室、采样泵、放大器、脉冲幅度分析器和计数器等组成。

5.3.3.2 温湿度计

用于记录测量时环境的温度和湿度。

5.3.3.3 流量计

主要用于主动式采样时指示仪器工作状态。

5.3.3.4 扩散窗

用于过滤氡子体。

5.3.4 测量步骤

5.3.4.1 测量前检查

测量前应对仪器进行检查，如流量计的流速、电池电压、仪器参数、测量模式、时间间隔等应符合测量要求。仪器使用时应轻拿轻放。

5.3.4.2 布放原则

5.3.4.2.1 室内测量

布点原则与采样条件应满足附录 C 中 C.2 的要求。

5.3.4.2.2 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。测量高度一般不超过 1.5 m，仪器做好防水、防日晒等措施。不应在雨天、雨后 24 h 内或大风过后 12 h 内进行测量。上述布放原则不适用于以污染源项调查为目的的测量活动。

5.3.4.3 测量

5.3.4.3.1 将仪器放置到选定的测量位置，按仪器的操作规程开机测量。

5.3.4.3.2 若不能做 24 h 连续测量，一般选取上午 8 点~12 点采样测量，且至少连续测量 2 d。

5.3.4.3.3 测量期间应记录的内容详见附录 C 中 C.3。

5.3.4.4 刻度

仪器的刻度按 JJG 825 相关规定执行。

5.3.5 定量计算

5.3.5.1 氡浓度计算

氡浓度按照公式 (17) 进行计算。

$$C_{Rn} = \sum_{i=1}^n Q_i / (n \cdot R) \quad (17)$$

式中： C_{Rn} ——测量期间氡浓度的平均值， Bq/m^3 ；
 n ——测量次数；
 R ——体积活度响应，由仪器校准或检定单位给出；
 Q_i ——单次测量的仪器示值， Bq/m^3 。

5.3.5.2 标准不确定度计算

标准不确定度按照公式（18）和公式（19）进行计算。

$$u(C_{Rn}) = \left(\sum_{i=1}^n Q_i / (n \cdot R) \right) \cdot \sqrt{u_{rel}(R)^2 + u_{rel}(Q)^2} \quad (18)$$

式中： $u(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的标准不确定度；
 Q_i ——单次测量的仪器示值， Bq/m^3 ；
 n ——测量次数；
 R ——体积活度响应，由仪器校准或检定单位给出；
 $u_{rel}(R)$ ——检定系数的相对标准不确定度；
 $u_{rel}(Q)$ ——多次测量的相对标准不确定度。

$$u_{rel}(Q) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n [u(Q_i) / (n \cdot R)]^2}}{\left(\sum_{i=1}^n Q_i / (n \cdot R) \right)} \quad (19)$$

式中： $u_{rel}(Q)$ ——多次测量的相对标准不确定度；
 $u_{rel}(Q_i)$ ——单次测量的仪器示值标准不确定度，由测量仪器给出；
 Q_i ——单次测量的仪器示值， Bq/m^3 ；
 n ——测量次数；
 R ——体积活度响应，由仪器校准或检定单位给出。

5.3.5.3 探测下限计算

探测下限按照公式（20）进行计算。

$$LLD(C_{Rn}) = \frac{4.66\sqrt{N_b}}{w} \quad (20)$$

式中： $LLD(C_{Rn})$ ——氡浓度测量的探测下限， Bq/m^3 ；
 N_b ——仪器的本底计数；
 w ——换算因子，包括了灵敏度、测量时间等。

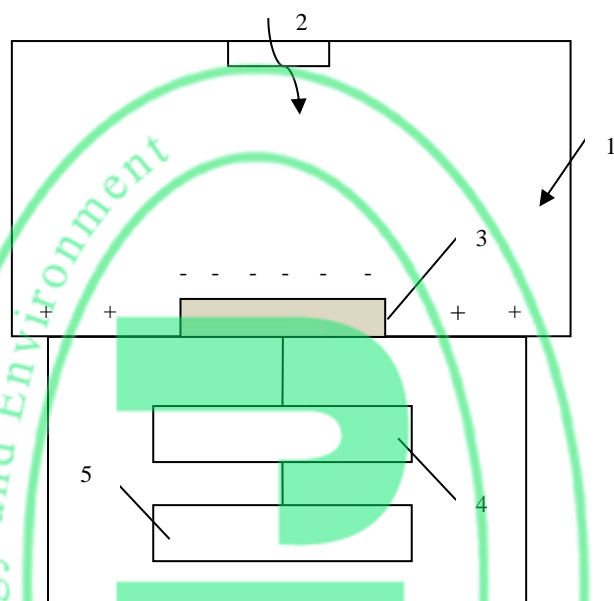
5.4 静电收集法

5.4.1 方法概述

本方法为连续采样，能连续测量环境空气中氡浓度值。采用主动式测量方式，该方法的探测下限至少可达 $5 Bq/m^3$ 。

5.4.2 测量原理

空气经干燥后通过滤膜过滤掉氦子体后进入收集室，收集室一般为半球形或圆柱形，在中心部位装有 α 能谱探测器。收集室中的氦将衰变出新生氦子体（主要是带正电的 ^{218}Po ）， ^{218}Po 在静电场的作用下被收集到探测器的表面，通过对氦子体放出的 α 粒子进行测量计算出氦浓度，如图4所示。此方法可用于瞬时测量或连续测量。



1—收集室；2—滤膜；3—探测器；4—放大器；5—能谱分析器

图4 静电收集装置结构图

5.4.3 设备或材料

5.4.3.1 静电收集法测氦仪

主要由探测器、收集室、放大器和能谱分析器组成。

5.4.3.2 温湿度计

用于记录测量时环境的温度和湿度。

5.4.3.3 流量计

主要用于主动式采样时指示仪器工作状态。

5.4.3.4 干燥剂或干燥管

用于主动式采样时气体的干燥。

5.4.4 测量步骤

同 5.3.4条。

5.4.5 定量计算

同 5.3.5条。

6 质量保证和质量控制

6.1 计量器具的检定/校准

6.1.1 主动式测量仪器（如采用脉冲电离室法或静电收集法的测氦仪）应在国家计量部门或其授权的标准氦室内进行检定或校准，并确保在有效期内使用（建议检定或校准周期为一年）。仪器修理后应重新检定或校准，检定或校准因子应正确使用。

6.1.2 被动式测量装置（如径迹蚀刻法测氦采样器或活性炭盒法测氦采样器）应在国家计量部门或其授权的标准氦室内暴露一段时间（保证采样器内外氦浓度达到平衡），取出后送回实验室分析测量。

6.2 计量器具的核查

6.2.1 计量器具短期稳定性核查。对于主动式测量仪器，应在充以纯氮气或无氦空气的条件下测量本底值。对于被动式测量装置，在制备采样器时，随机选取不少于5%的采样器（且至少10个）作为空白采样器，空白采样器除不暴露于采样点外，与现场采样器进行同样处理（如同时邮寄等），应将该测量结果作为该次核查的本底值。测得本底值后按照 HJ 61中附录 E 的步骤进行泊松分布检验。

6.2.2 计量器具长期稳定性核查。收集正常工作条件下一定时间内（如一年）等时间间隔测量的20个以上本底值，计算平均值和标准差，绘制质控图。之后每测量一个本底值，将其点在图上，如果该数据落在上下警告线（平均值 ± 2 倍标准差）之内，表示计量器具工作正常。如果该数据落在上下警告线和上下控制线（平均值 ± 3 倍标准差）之间，表示计量器具工作虽正常，但有失控可能，应引起重视。如果该数据落在控制线之外，表示计量器具可能出现了故障，此时应立即进行一系列重复测量，并予以判断和处理。如果大多数数据点落在中心线的同一侧，表明计量器具的性能出现了缓慢的漂移，需对仪器状态进行调整，重新绘制质控图。

6.3 平行样测量

随机抽取测量总数10%~20%的测点进行平行样测量，对于有平行样测量的测量点位，其测量值的相对偏差应不大于20%。

6.4 空白样测量

6.4.1 对于主动式测量仪器，应在每次测量之前在充以纯氮气或无氦空气的条件下测量本底值。

6.4.2 对于被动式测量装置，在制备每一批次采样器时，随机选取不少于5%的采样器（且至少10个）作为空白采样器，空白采样器除不暴露于采样点外，与现场采样器进行同样处理（如同时邮寄等），并将该测量结果作为该批次采样器的本底值。

6.5 实验室比对

应定期参加实验室间的比对或权威机构组织的能力验证，以检查实验室间或测量方法间是否存在系统误差。

6.6 数据处理中的质量控制

6.6.1 采样器的布放、运输、处理和分析，必须清楚、详细、准确地记录，不得随意涂改。

6.6.2 进行分析数据之前，由校核人员逐一对原始记录进行校核，若有计算或记录错误的，应反复核算后予以改正。

6.6.3 由审核人员对数据的准确性、逻辑性、可比性和合理性进行审核。

6.6.4 数据处理及修约规则，按 HJ 61、GB/T 8170 相关规定执行。

6.7 其他

6.7.1 对固体核径迹探测器，应在制造商给出的失效日期前使用，以避免探测器材料老化后对测量结果造成影响。

6.7.2 对活性炭盒法测氡采样器，应了解其饱和特性，合理选择采样时间，一般采样时间为3 d~7 d，避免采样器饱和。

6.7.3 建立仪器使用管理程序，定期更换滤膜，防止出现滤膜堵塞或破损。

6.7.4 采样点处的大气压力偏离标准大气压5%以上时，应考虑气压变化的影响。

6.7.5 仪器性能指标参见 GB/T 13163.1 的相关要求。



附录 A

(规范性附录)

适用于环境空气中氡的测量方法选择

根据不同的测量目的和采样时间选择不同的测量方法,不同的测量方法有各自的适用范围和优缺点,测量人员应充分了解现场环境(温度、湿度、气压、风速)以及仪器的性能指标对测量结果的影响。表 A.1 和表 A.2 归纳了适用于环境空气中氡的测量方法及适用范围和不同测量方法的优缺点。

表 A.1 测量方法及适用范围

测量方法	采样方式	推荐采样或测量时间	探测下限	适用范围
径迹蚀刻法	累积	30 d~1 y	至少可达 5 Bq/m ³	获得空气中氡的平均浓度值,适用于职业或公众照射的剂量评价,居民所受氡照射量的普查等
活性炭盒法	累积	3 d~7 d	至少可达 6 Bq/m ³	获得空气中氡的平均浓度值,适用于居民所住房屋的筛查等
脉冲电离室法	瞬时	1 d~4 h	至少可达 5 Bq/m ³	快速获得空气中氡浓度值,适用于居民所住房屋的筛查等
	连续	2 d~7 d		获得空气中氡浓度的变化,适用于职业或公众照射的剂量评价等
静电收集法	瞬时	1 d~4 h	至少可达 5 Bq/m ³	快速获得空气中氡浓度值,适用于居民所住房屋的筛查等
	连续	2 d~7 d		获得空气中氡浓度的变化,适用于职业或公众照射的剂量评价等

表 A.2 不同测量方法的优缺点

测量方法	优点	缺点
径迹蚀刻法	采样器操作及携带方便、价格低廉、适合于大面积长期测量	现场无法得到测量结果、低浓度测量时不确定度大、只能得到平均测量结果
活性炭盒法	采样器批发性好、操作及携带方便、价格低廉、适合于短期大面积筛选测量	对温度和湿度敏感、暴露周期<7 d、只能得到平均测量结果、对于变化的环境氡浓度只能做半定量的测量,要有可靠的修正方法对测量结果进行修正
脉冲电离室法	测量设备灵敏度高、稳定性好、现场能得到测量结果、能够得到氡浓度随时间的变化	测量设备价格较高、野外长时间测量需提供电力保障、无法辨别氡钍射气
静电收集法	测量设备灵敏度高、稳定性好、现场能得到测量结果、能够得到氡浓度随时间的变化	测量设备价格较高、野外长时间测量需提供电力保障、收集效率易受湿度影响

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

表 B.1 给出了不同测量方法的典型相对标准不确定度。

表 B.1 不同测量方法的典型相对标准不确定度

测量方法	测量方式	典型采样或测量时间	典型相对标准不确定度*
径迹蚀刻法	被动式	30 d~1 y	10%~25%
活性炭盒法	被动式	3 d~7 d	10%~30%
脉冲电离室法	主动式	1 h	10%
静电收集法	主动式	1 h	10%
注：表 B.1 数据参考来源：WHO handbook on indoor radon: a public health perspective / edited by Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun.			
*表示在200 Bq/m ³ 的氡浓度下，在最佳暴露持续时间下得到的相对标准不确定度。			

实际测量中可根据不确定度要求，确定采样或测量时间，步骤如下：

- a) 确定此次测量活动所得结果的不确定度要求；
- b) 利用便携式测氡仪初步确定监测点位处的氡浓度值；
- c) 利用不确定度计算公式反推采样或测量时间。

附录 C
(规范性附录)
室内标准采样条件

C.1 室内空气中氡测量的目的

C.1.1 筛查

通过一次快速的筛查测量确定房屋中氡浓度是否超过国家标准规定的控制水平。

C.1.2 追踪

追踪测量的目的是：

- a) 确定筛查中的异常值；
- b) 估计居住者可能受到的最大照射；
- c) 找出室内空气中氡的主要来源；
- d) 为治理提供依据。

C.1.3 剂量估算

测量结果用于居民个人和集体剂量估算，进行剂量评价。

C.2 标准采样条件

C.2.1 筛查测量的采样条件

C.2.1.1 测量前准备：详细了解被测房屋的基本情况，如建筑物的类型、用途、建筑年代、建筑材料及周围地质情况等。

C.2.1.2 具体条件：

- a) 采样前 12 h（在用房屋）或 24 h（新建房屋）和整个测量采样期间关闭所有门窗，正常出入时外面门打开的时间不能超过几分钟；
- b) 采样期间内外空气调节系统（通风系统和中央空调等）要停止运行。

C.2.1.3 选择采样点要求：

- a) 在近于地基土壤的居住房间（如底层）内采样；
- b) 仪器布置在室内通风率最低或者人员停留时间较长的地方，如卧室、客厅；对于工作场所，选择办公室、值班室等；
- c) 不设在走廊、厨房、浴室、厕所等用水的地点。

C.2.1.4 采样时间：对于不同的方法，仪器所需要的采样时间见表 C.1。

表 C.1 筛查测量的采样时间

方法	采样方式	采样时间
活性炭盒法	累积	在密闭条件下，布放（2~7）d
脉冲电离室法	瞬时	在密闭条件下，一般选取上午（8~12）时采样测量，连续2 d，若采样前12 h或采样期间出现大风，则停止采样
	连续	在密闭条件下，采样测量24 h，若采样前12 h或采样期间出现大风，则停止采样
静电收集法	瞬时	在密闭条件下，一般选取上午（8~12）时采样测量，连续2 d，若采样前12 h或采样期间出现大风，则停止采样
	连续	在密闭条件下，采样测量24 h，若采样前12 h或采样期间出现大风，则停止采样

C.2.2 追踪测量的采样条件

C.2.2.1 总的要求：

- a) 真实、准确；
- b) 找出氡的主要来源。

C.2.2.2 具体条件同 C.2.1.2 条。

C.2.2.3 选择采样点的要求：

- a) 重测筛查测量中异常点；
- b) 为找出氡的主要来源，可在其他地方布点。

C.2.2.4 采样时间：追踪测量中的采样时间见 C.2.1.4 条。

C.2.3 剂量估算测量的采样条件

C.2.3.1 总体要求：

- a) 良好的时间代表性：测量结果能代表一年中的平均值，并反映氡浓度的变化；
- b) 良好的空间代表性：测量结果能代表住房内的实际水平。

C.2.3.2 具体条件：采样条件即为正常的居住条件。

C.2.3.3 采样点的选择，在室内布置采样点必须满足下列要求：

- a) 在采样期间内采样器不被扰动；
- b) 采样点不要设在由于加热、空调、火炉、门、窗等引起的空气变化较剧烈的地方；
- c) 采样点不设在走廊、厨房、浴室、厕所等用水的地点；
- d) 采样点应设在卧室、客厅、书房等人停留时间长的地点；对于工作场所，选择办公室、值班室等；
- e) 被动式采样器要距房屋外墙 1 m 以上，最好悬挂起来。

C.2.3.4 采样时间，剂量估算测量的采样时间见表 C.2：

表 C.2 剂量估算测量的采样时间

方法	采样方式	采样时间
径迹蚀刻法	累积	正常居住条件下，布放3个月以上
活性炭盒法	累积	正常居住条件下，每季测一次，每次布放3 d~7 d
脉冲电离室法	连续	正常居住条件下，每季测一次，每次测3 d~7 d，若采样前12 h或采样期间出现大风，则停止采样
静电收集法	连续	正常居住条件下，每季测一次，每次测3 d~7 d，若采样前12 h或采样期间出现大风，则停止采样

C.3 采样记录内容

在采样期间必须做好记录，主要内容包括：

- a) 村庄（街道）、房号、户主姓名；
- b) 采样器的类型、编号；
- c) 采样器在室内的位置；
- d) 采样开始和终止日期、时间；
- e) 是否符合标准采样条件；
- f) 采样器是否完好，计算结果时要做何修正；
- g) 采样温度、湿度、气压等气象参数；
- h) 采样者姓名；
- i) 其他有用资料，如房屋类型、建筑材料、采暖方式、居住者的吸烟习惯，室内电扇、空调器等运转情况。

