

F-HZ-HJ-HFS-0007

环境空气—氡的测定—气球法

1 范围

本方法规定了可用于测量环境空气中氡及其子体的气球法。本方法适用于室内外空气中氡-222 及其子体 α 潜能浓度的测定。

氡子体 α 潜能：氡子体完全衰变为铅-210 的过程中放出的 α 粒子能量的总和。

氡子体 α 潜能浓度：单位体积空气中氡子体 α 潜能值。

滤膜的过滤效率：用滤膜对空气中气载粒子取样时，滤膜对取样体积内气载粒子收集的百分率。

计数效率：在一定的测量条件下，测到的粒子数与在同一时间间隔内放射源发射出的该种粒子总数之比值。

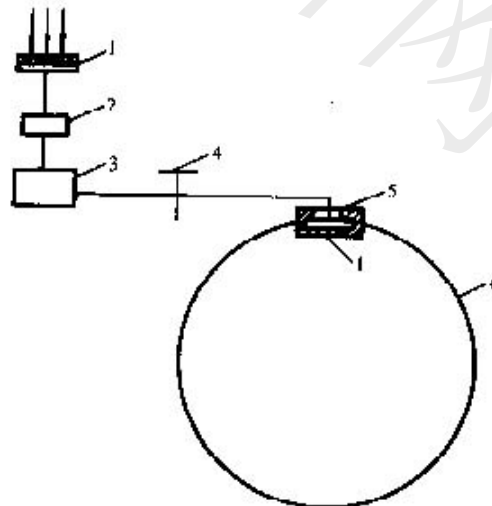
等待时间：从采样结束至测量时间中点之间的时间间隔。

探测下限：在 95%置信度下探测的放射性物质的最小浓度。

2 原理

此法属主动式采样，能测量出采样瞬间空气中氡及其子体浓度，探测下限：氡 2.2Bq/m^3 ，子体 $5.7 \times 10^{-7}\text{J/m}^3$ 。

气球法采样系统示于图 1，其工作原理同双滤膜法，只不过气球代替了衰变筒。把气球法则氡和马尔柯夫法测潜能联合起来，一次操作用 25 min，即可得到氡及其子体 α 潜能浓度。其时间程序示于图 2。



1—采样头；2—流量计；3—抽气泵；4—调节阀；5—套环；6—气球

图 1 气球法采样系统示意图

3 仪器设备

- 3.1 采样头，能夹持 $\phi 50$ mm 的滤膜；
- 3.2 流量计，量程为 80L/min 的叶轮流量计；
- 3.3 抽气泵；
- 3.4 气球，20~50 号乳胶球；
- 3.5 α 测量仪，探测器直径在 5 cm 以上，对 RaA 和 RaC' 的 α 粒子有相近的计数效率；
- 3.6 α 参考源， ^{241}Am 或 ^{239}Pu 源；
- 3.7 滤膜；
- 3.8 秒表；
- 3.9 镊子。



图 2 气球法测量的时间程序

4 测量前的检查

每次测量前，要对采样设备、计数仪器进行严格的检查，检查内容见 5.3 条。

5 布点

5.1 室内测量

- a. 在室内采样测量，其布点原则与采样条件要满足附录 A（补充件）A2 的要求。
- b. 进气口距地面 1.5 m 左右。

5.2 室外测量

在室外采样测量应满足下列要求：

- a. 采样点要有明显的标志。
- b. 要远离公路，远离烟囱。
- c. 地势开阔，周围 10 m 内无树木和建筑物。
- d. 若不能做 24 h 连续测量，则应在上午 8~12 时采样测量，且连续 2 d。
- e. 在雨天，雨后 24 h 内或大风过后 12 h 内停止采样。

6 记录

采样期间应记录的内容见附录 A（补充件）A3。

7 操作步骤

- a. 装好入、出口滤膜，把采样设备连接起来；

- b. 在 0~5 min 内以流速 40L/min 向气球充气;
- c. 取下入口采样头, 置于计数器上, 气球出口接到抽气泵入口;
- d. 在 10~14 min 内以流速 50L/min 排气;
- e. 在 12~15 min 内测量入口滤膜上的 α 放射性;
- f. 在 16~26 min 内测量出口滤膜上的 α 放射性;
- g. 用式 (1) 计算 α 潜能浓度:

$$C_p = K_m(N_E - 3R) \quad (1)$$

式中: C_p — α 潜能浓度, J/m^3 ;
 K_m —马尔柯夫法总系数, $J/m^3 \cdot$ 计数;
 N_E —入口滤膜的总 α 计数, 计数;
 R —本底计数率, 计数/min。

- h. 用式 (2) 计算氡浓度:

$$C_{Rn} = K_b(N_R - 10R) \quad (2)$$

式中: C_{Rn} —氡浓度, Bq/m^3 ;
 K_b —气球刻度常数, $Bq/m^3 \cdot$ 计数;
 N_R —入口滤膜的总 α 计数, 计数;
 R —同式 (1)。

8 K_m 的确定

用库斯尼茨法标定马尔柯夫法的总系数 K_m 。

8.1 标定方法

- a. 以规定流速采样 5 min;
- b. 在采样结束后 7~10 min 内测滤膜样品的 α 计数 (N_E);
- c. 在采样结束后 40~90 min 内任意时间间隔对此样品进行第二次 α 计数 (如测量 10 min), 其 α 净计数为 N_R 。
- d. 用式 (3) 计算 K_m :

$$K_m = \frac{K_K \cdot N_K}{N_E - 3R} \quad (3)$$

式中: K_K —库斯尼茨法系数, $J/m^3 \cdot$ 计数。

- e. 至少作 3 次测量, 求出 K_m 平均值。

8.2 K_K 的确定

- 8.2.1 K_K 由式 (4) 确定:

$$K_K = \frac{4.16 \times 10^{-6}}{vE\eta\beta t_m K_{(T)}} \quad (4)$$

$$K_{(T)} = \begin{cases} 230 - 2T (40 \leq T \leq 70) \\ 195 - 1.5T (70 \leq T \leq 90) \end{cases} \quad (5)$$

- 式中：
- v — 采样流速，L/min；
 - E — 计数效率，%；
 - η — 滤膜过滤效率，%；
 - β — 滤膜对 α 计数时间，min。
 - t_m — 第二次 α 计数时间，min；
 - $K_{(T)}$ — 与等待时间 T (min) 有关的系数。

8.3 E 的确定方法

- a. 在与样品测量相同的几何条件下，测得 α 标准源的净计数率；
- b. 将计数率除以源的活度，即得到计数效率 E ；
- c. 针对不同的探测器要进行能量修正。

8.4 β 的确定方法

- a. 按规定采样条件，将氦子体收集在滤膜上。等待 30 min 后，在相同的条件下依次快速地（如每次 1 min）测量滤膜正面、反面反正面盖上同类质量厚度相近的空白滤膜后的 α 计数，记为 C_1 、 C_2 、 C_3 ；
- b. 按式（6）计算 β ：

$$\beta = \frac{2C_1}{2C_1 + C_2 - C_3} \quad (6)$$

- 式中：
- C_1 — 正面 α 计数率，计数/min；
 - C_2 — 反面 α 计数率，计数/min；
 - C_3 — 正面盖上同类空白滤膜后的 α 计数率，计数/min。
- c. 对每一批滤膜都要测定 β 值，每次至少测 3 个样品，求出 β 平均值。

8.5 η 的测定方法

- a. 选 2 张质量厚度相近的滤膜，重叠在一起，滤膜之间要有 2.0 mm 的距离。以规定的流速采样 5 min；
- b. 采样结束后，将 2 张滤膜分别装在两个同样的采样头上，在同一台仪器上交替测量或在两台仪器上平行测量（两台仪器效率不同应加以修正），得到两条衰变曲线；
- c. 取同一时刻或同一时间间隔的计数，得到 n_1 ， n_2 ，代入式（7）即得 η 值。

$$\eta = 1 - \frac{n_2}{n_1} \quad (7)$$

- 式中：
- n_1 — 第一张滤膜计数；
 - n_2 — 第二张滤膜计数。

f. 质量保证措施

9.1 刻度

每年用标准氡室对测量装置刻度一次，得到总的刻度系数。

9.2 平行测量

用另一种方法与本方法平行采样测量，用成对数据的 t 检验方法检查两种方法结果的差异。若 t 值大于临界值，则应查明原因。平行采样数不少于全部样品数的 10%。

9.3 操作中注意事项：

- f. 入口滤膜至少要 3 层，全部滤掉氡子体；
- b. 气球颈部应尽量短，使采样品端面处于球面上；
- c. 排气过程中，气球始终要保持为球形，排气结束时要及时停泵；
- d. 采样头尺寸要一致，保证滤膜表面与探测器表面之间的距离为 2 mm 左右；
- e. 严格控制操作时间，每一步都不得出现差错，否则样品作废；
- f. 应在不同湿度下标定出刻度系数。

10 参考文献

GB/T 14582-93

附录 A：室内标准采样条件

(补充件)

A1 室内空气中 D 氡测量的目的

A1.1 普查

调查一个地区或某类建筑物内空气中氡水平，发现异常值。

A1.2 追踪

追踪测量的目的是：

- a. 确定普查中的异常值；
- 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。

A1.3 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。

A2 标准采样条件

A2.1 普查的采样条件

A2.1.1 总的要求是：测量数据稳定，重复性好。

A2.1.2 具体条件：

- a. 采样要在密闭条件下进行，外面的门窗必须关闭，正常出入时外面门打开的时间不能超过几分钟。这种条件正是北方冬季正常的居住条件，因此普查测量最好在冬季进行。
- b. 采样期间内外空气调节系统（吊扇和窗户上的风扇）要停止运行。
- c. 在南方或者北方夏季采样测量，也要保持密闭条件。可在早晨采样，要求居住者前一天晚上关闭门窗，直到采样结束再打开。

d. 若采样前 12 h 或采样期间出现大风，则停止采样。

A2.1.3 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的地方，如内室。
- c. 不设在走廊、厨房、浴室、厕所内。

A2.1.4 采样时间：对于不同的方法、仪器所需要的采样时间列于表 A1。

A2.2 追踪测量的采样条件

A2.2.1 总的要求：

- a. 真实、准确。
- b. 找出氡的主要来源。

A2.2.2 具体条件同 A2.1.2 条。

表 A1 普查测量的采样时间

仪器（方法）	采样时间
α 径迹探测器	在密闭条件下，放置 3 个月
活性炭盒	在密闭条件下，放置 2~7d
氡子体累积采样单元	在密闭条件下，连续采样 48 h
连续资用水平监测仪	在密闭条件下，采样测量 24 h
连续氡监测仪	在密闭条件下，采样测量 24 h
瞬时法	在密闭条件下，上午 8~12 时采样测量，连续 2 d

A2.2.3 选择采样点的要求：

- a. 重测普查中采样点；
- b. 为找出氡的主要来源，可在其他地方布点。

A2.2.4 采样时间：追踪测量中的采样时间见 A2.1.4 条。

A2.3 剂量估算测量的采样条件

A2.3.1 总的要求：

- a. 良好的时间代表性。测量结果能代表一年中的平均值，并反映出不同季节氡及其子体浓度的变化。
- b. 良好的空间代表性。测量结果能代表住房内的实际水平。

A2.3.2 具体条件。采样条件即为正常的居住条件。

A2.3.3 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、厕所内；
- d. 采样点应设在卧室、客厅、书房内；
- e. 若是楼房，首先在一层布点；
- f. 被动式采样器要距房层外墙 1 m 以上，最好悬挂起来。

A2.3.4 采样时间。剂最估算测量的采样时间列于表 A2。

表 A2 剂量估算测量的采样时间

仪器（方法）	采样时间
α 径迹探测器	正常居住条件下，放置 12 个月
活性炭盒	正常居住条件下，每季测 1 次，每次放置 2~7 h
氡子体累积采样单元	正常居住条件下，每季测 1 次，每次采样 48 h
连续资用水平监测仪	正常居住条件下，每季测 1 次，每次测 24 h
连续氡监测仪	正常居住条件下，每季测 1 次，每次测 24 h
瞬时法	正常居住条件下，每季测 1 次，每次测 2 d

A3 采样记录内容

在采样期间必须做好记录，其内容如下：

- 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。

附录 B：剂量估算公式

（参考件）

B1 居民吸入氡子体所产生的年有效剂量当量用式（B1）计算：

$$H_{E(\alpha)} = 8760 [k_{in} f_{in} c_{pin} + k_{ou} f_{ou} c_{pou}] \quad (B1)$$

式中： $H_E(\alpha)$ ——年有效剂量当量，Sv；

8 760 ——全年的小时数，h；

k ——居留因子，脚标 in、ou 分别表示室内外；

f ——剂量转换因子，脚标 in、ou 分别表示室内外；

c_p ——氡子体 α 潜能浓度， $J \cdot h/m^3$ ，脚标 in、ou 分别表示室内外。

B2 居留因子 k ，由实际调查结果确定，也可采用国内外的推荐值。

B3 居民吸入氡子体的剂量转换因子列于表 B1。子体浓度是以 J/m^3 和平衡等效氡浓度两种形式给出的。

表 B1 居民吸入氡子体的剂量转换因子

核素	单位	成人		儿童 (10~10 岁)	
		室内	室外	室内	室外
氦子体	Sv/ (J·h/m ³)	1.8	2.5	2.7	3.8
	Sv/ (Bq·h/m ³)	1.0×10 ⁻⁸	1.4×10 ⁻⁸	1.5×10 ⁻⁸	2.1×10 ⁻⁸

附录 C: 适用于环境空气中氦及其子体的测量方法

(参考件)

C1 氦的测量方法

适用于环境空气中氦的测量方法摘要列于表 C1。

表 C1 环境空气中氦的测量方法

方法	采样方式	采样动力	探测器	探测下限	说明
α径迹蚀刻法	累积	被动式	聚碳酸脂膜 CR-39	2.1×10 ³ Bq·h/m ³	
活性炭盒法	累积	被动式	NaI (Tl) 或半导体	6 Bq/m ³	
双滤膜法	瞬时	主动式	金硅面	3.3Bq/m ³	
气球法	瞬时	主动式	金硅面	2.2Bq/m ³	200 L 气球
连续氦监测仪	连续	主动式	金硅面	10 Bq/m ³	
闪烁室法	瞬时或连续	主动式	闪烁室	40 Bq/m ³	0.5 L 闪烁室
活性炭浓集法	瞬时	主动式	闪烁室或电离室	3 Bq/m ³	

C2 子体测量方法

适用于环境空气中氦子体测量方法摘要列于表 C2。

表 C2 环境空气中氦子体测量方法

方法	采样方式	采样动力	探测器	探测下限	说明
被动式α径迹蚀刻法	累积	被动式	聚碳酸脂膜 CR-39	6×10 ⁻⁵ J·h/m ³	
主动式α径迹蚀刻法	累积	主动式	聚碳酸脂膜 CR-39	2.1×10 ⁻⁵ J·h/m ³	用泵或加静电场
氦子体累积采样单元	累积	主动式	TLD	1×10 ⁻⁸ J/m ³	
库斯尼茨法	瞬时	主动式	金硅面	1×10 ⁻⁸ J/m ³	
马尔柯夫法	瞬时	主动式	金硅面	5.7×10 ⁻⁸ J/m ³	
三段法	瞬时	主动式	金硅面	2.0×10 ⁻⁸ J/m ³	