

F-HZ-HJ-HFS-0006

环境空气—氡的测定—双滤膜法

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双滤膜法。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。

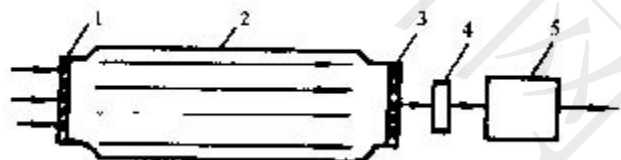
等待时间：从采样结束至测量时间中点之间的时间间隔。

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

此法是主动式采样，能测量采样瞬间的氡浓度，探测下限为 3.3 Bq/m^3 。

采样装置如图 1 所示。抽气泵开动后含氡空气经过滤膜进入衰变筒，被滤掉子体的纯氡在通过衰变筒的过程中又生成新子体，新子体的一部分为出口滤膜所收集。测量出口滤膜上的 α 放射性就可换算出氡浓度。



1—入口膜，2—衰变筒，3—出口膜，4—流量计，5 抽气泵

图 1 双滤膜法采样系统示意图

3 仪器设备

3.1 衰变筒，14.8 L；

3.2 流量计，量程为 80 L/min 的转子流量计；

3.3 抽气泵；

3.4 α 测量仪，要对 RaA、RaC' 的 α 粒子有相近的计数效率；

3.5 子体过滤器；

3.6 采样夹，能夹持 $\phi 60$ 的滤膜；

3.7 秒表；

3.8 纤维滤膜；

3.9 α 参考源， ^{241}Am 或 ^{239}Pu ；

3.10 镊子。

4 测量前的检查

4.1 采样系统检查

a. 抽气泵运转是否正常，能否达到规定的采样流速。

b. 流量计工作是否正常。

c. 采样系统有无泄漏。

4.2 计数设备检查

a. 计数秒表上工作是否正常。

b. α 测量仪的计数效率和本底有无变化。

c. 检查测量仪稳定性，对 α 源进行每分钟一次的十次测量。对结果进行 χ^2 检验，若工作状态不正常，要查明原因，加以处理。

5 布点

5.1 室内测量

室内采样测量应满足下列要求：

a. 布点原则与采样条件要满足附录 A（补充件）A2 的要求。

b. 进气口距地面约 1.5 m，且与出气口高度差要大于 50 cm，并在不同方向上。

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. 装好滤膜，按图 3 把采样设备联接起来。

b. 以流速 q (L/min) 采样 t min。

c. 在采样结束后 T_1 ~ T_2 时间间隔内测量出口膜上的 α 放射性。

d. 用式 (1) 计算氡浓度 L ：

$$C_{Rn} = K_t \cdot N_\alpha = \frac{16.65}{VE\eta\beta ZF_f} N_\alpha \quad (1)$$

- 式中： C_{Rn} —氡浓度， Bq/m^3 ；
 K_t —总刻度系数， Bq/m^3 /计数；
 N_α — $T_1 \sim T_2$ 间隔的净 α 计数，计数；
 V —衰变筒容积，L；
 E —计数效率%；
 η —滤膜过滤效率，%
 β —滤膜对 α 粒子的自吸收因子，%；
 Z —与 t 、 $T_1 \sim T_2$ 有关的常数；
 F_f —新生子体到达出口滤膜的分额，%。

8 系数标定

8.1 E 的确定方法

- 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；
- 将计数率除以源的活度，即得到计数效率 E；
- 针对不同的探测器要进行能量修正。

8.2 β 的确定方法

- 按规定采样条件，将氡子体收集在滤膜上。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 ；
- 按式（2）计算 β ：

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

- 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。

- 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。

8.3 η 的测定方法

- 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；
- 采样结束后，将 2 张滤膜分别装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；
- 取同一时刻或同一时间间隔的计数，得到 n_1 ， n_2 ，代入式（3）即得 η 值。

$$\eta = 1 - \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

式中： n_1 —第一张滤膜计数；

n_2 —第二张滤膜计数；

8.4 Z 的确定方法

a.用式（4）求出氡通过衰变筒的时间：

$$T_s = \frac{0.06l \cdot S}{q} \quad (4)$$

式中： T_s —氡通过衰变筒时间， s；

l —衰变筒长度， cm；

S —衰变筒横截面积， cm^2 ；

q —采样流速， L/min。

b.当 $T_s < 10$ s 时， 由表 1 查 Z 值。

表 1 Z 值表 ($T_s < 10$ s)

t , min	5	5	5	5	10	10	10	10	15	15	15	15
T_1 , min	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
T_2 , min	6	15	30	100	6	15	30	100	6	15	30	100
Z	1.673	2.597	3.411	6.314	2.312	3.803	5.425	11.068	2.656	4.634	7.070	15.281

c.当 $T_s \geq 10$ s 时， 由表 2 查 Z 值。

表 2 Z 值表 ($T_s \geq 10$ s)

T_s S	t min	$T_1 \sim T_2$, min					
		1~11		1~21		1~31	
		Z	σ , %	Z	σ , %	Z	σ , %
10	5	2.273	1.64	2.890	1.40	3.425	1.18
	10	3.274	1.48	4.403	1.19	5.481	0.94
	20	4.403	1.19	6.634	0.82	8.797	0.62
	30	5.461	0.94	8.797	0.62	11.898	0.46
	60	8.506	0.63	14.570	0.40	20.166	0.31
40	5	2.1.65	6.32	2.774	5.32	3.310	4.50
	10	3.108	5.70	4.255	4.49	5.334	3.60
	20	4.255	4.49	6.480	3.15	8.640	2.38
	30	5.334	3.60	8.640	2.38	11.820	1.78
	60	8.363	2.42	14.401	1.50	19.997	1.15
90	5	2.002	13.37	2.599	11.23	3.136	9.52
	10	2.898	12.07	4.031	9.52	5.111	7.63
	20	4.031	9.52	6.24	6.68	8.404	5.05
	30	5.111	7.63	8.424	5.65	11.580	3.77
	60	8.123	5.10	14.145	3.31	19.716	2.54

8.5 F_f 的确定方法

a.按式（5）计算 μ ：

$$\mu = \frac{\pi D l}{q} \quad (5)$$

式中： μ —无量纲常数；

D —新生子体的扩散系数， $0.0852 \text{ cm}^2/\text{s}$ ；

l —衰变筒长度， cm ；

q —采样流速， cm^3/s 。

b. 根据 μ 值从表 3 中查出 F_f 值。

表 3 F_f 值表

μ	F_f	μ	F_f	μ	F_f	μ	F_f	μ	F_f
0.005	0.877	0.06	0.654	0.16	0.562	0.45	0.320	1.50	0.110
0.008	0.849	0.07	0.633	0.18	0.418	0.50	0.282	2.00	0.083
0.01	0.834	0.08	0.614	0.20	0.462	0.60	0.248	2.50	0.067
0.02	0.778	0.09	0.596	0.25	0.420	0.70	0.220	3.00	0.056
0.03	0.731	0.10	0.580	0.30	0.384	0.80	0.197	4.00	0.042
0.04	0.705	0.12	0.551	0.35	0.349	0.90	0.178	5.00	0.033
0.05	0.678	0.14	0.525	0.40	0.324	1.00	0.162		

9 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

用另外一种方法与本方法进行平行采样测量。用成对数据 t 检验方法来检验两种方法结果的差异，若 t 超过临界值，应查明原因。平行采样数不低于样品数的 10%。

9.3 操作注意事项

- 入口滤膜至少要 3 层，全部滤掉氡子体；
- 采样头尺寸要一致，保证滤膜表面与探测器之间的距离为 2 mm 左右；
- 严格控制操作时间，不得出任何差错，否则样品作废；
- 若相对湿度低于 20% 时，要进行湿度校正；
- 采样条件要与流量计刻度条件相一致。

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
氡子体	Sv/ ($J \cdot h/m^3$)	1.8	2.5	2.7	3.8
	Sv/ ($Bq \cdot h/m^3$)	1.0×10^{-8}	1.4×10^{-8}	1.5×10^{-8}	2.1×10^{-8}

附录 C：适用于环境空气中氡及其子体的测量方法

（参考件）

C1 氡的测量方法

适用于环境空气中氡的测量方法摘要列于表 C1。

表 C1 环境空气中氡的测量方法

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	聚碳酸酯膜 CR-39	$2.1 \times 10^3 \text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$	
活性炭盒法	累积	被动式	NaI (TI) 或半导体	$6 \text{Bq}/\text{m}^3$	
双滤膜法	瞬时	主动式	金硅面	$3.3 \text{Bq}/\text{m}^3$	
气球法	瞬时	主动式	金硅面	$2.2 \text{Bq}/\text{m}^3$	200 L 气球
连续氡监测仪	连续	主动式	金硅面	$10 \text{Bq}/\text{m}^3$	
闪烁室法	瞬时或连续	主动式	闪烁室	$40 \text{Bq}/\text{m}^3$	0.5 L 闪烁室
活性炭浓集法	瞬时	主动式	闪烁室或电离室	$3 \text{Bq}/\text{m}^3$	

C2 子体测量方法

适用于环境空气中氡子体测量方法摘要列于表 C2。

表 C2 环境空气中氡子体测量方法

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	聚碳酸酯膜 CR-39	$6 \times 10^{-5} \text{J} \cdot \text{h}/\text{m}^3$	
主动式 α 径迹蚀刻法	累积	主动式	聚碳酸酯膜 CR-39	$2.1 \times 10^{-5} \text{J} \cdot \text{h}/\text{m}^3$	用泵或加静电场
氡子体累积采样单元	累积	主动式	TLD	$1 \times 10^{-8} \text{J}/\text{m}^3$	
库斯尼茨法	瞬时	主动式	金硅面	$1 \times 10^{-8} \text{J}/\text{m}^3$	
马尔柯夫法	瞬时	主动式	金硅面	$5.7 \times 10^{-8} \text{J}/\text{m}^3$	
三段法	瞬时	主动式	金硅面	$2.0 \times 10^{-8} \text{J}/\text{m}^3$	