

环境空气中氡的标准测量方法

Standard methods for radon measurement in environmental air

1 主题内容与适用范围

本标准规定了可用于测量环境空气中氡及其子体的四种测定方法,即径迹蚀刻法、活性炭盒法、双滤膜法和气球法。

本标准适用于室内外空气中氡-222 及其子体 α 潜能浓度的测定。

2 术语

2.1 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。

2.2 氡子体 α 潜能浓度

单位体积空气中氡子体 α 潜能值。

2.3 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数率。

2.4 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。

2.5 等待时间

从采样结束至测量时间中点之间的时间间隔。

2.6 探测下限

在 95% 置信度下探测的放射性物质的最小浓度。

3 径迹蚀刻法

3.1 方法提要

此法是被动式采样,能测量采样期间内氡的累积浓度,暴露 20 d,其探测下限可达 $2.1 \times 10^3 \text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。探测器是聚碳酸脂片或 CR-39,置于一定形状的采样盒内,组成采样器,如图 1 所示。

氡及其子体发射的 α 粒子轰击探测器时,使其产生亚微观型损伤径迹。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。用刻度系数可将径迹密度换算成氡浓度。

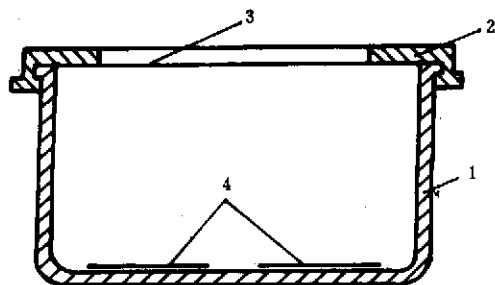


图1 径迹蚀刻法采样器结构图

1—采样盒；2—压盖；3—滤膜；4—探测器

3.2 设备或材料

- a. 探测器,聚碳酸脂膜、CR-39(简称片子);
- b. 采样盒,塑料制成,直径 60 mm,高 30 mm;
- c. 蚀刻槽,塑料制成;
- d. 音频高压振荡电源,频率 0~10 kHz,电压 0~1.5 kV;
- e. 恒温器,0~100℃,误差±0.5℃;
- f. 切片机;
- g. 测厚仪,能测出微米级厚度;
- h. 计时钟;
- i. 注射器,10 mL、30 mL 两种;
- j. 烧杯,50 mL;
- k. 化学试剂,分析纯氢氧化钾(含量不少于 80%)、无水乙醇(C_2H_5OH);
- l. 平头镊子;
- m. 滤膜。

3.3 聚碳酸脂片操作程序

3.3.1 样品制备

- 3.3.1.1 切片。用切片机把聚碳酸脂膜切成一定形状片子,一般为圆形,也可为方形。
- 3.3.1.2 测厚。用测厚仪测出每张片子的厚度,偏离标称值 10% 的片子应淘汰。
- 3.3.1.3 装样。用不干胶把 3 个片子固定在采样盒的底部,盒口用滤膜覆盖。
- 3.3.1.4 密封。把装好采样器密封起来,隔绝外部空气。

3.3.2 布放

- 3.3.2.1 在测量现场去掉密封包装。
- 3.3.2.2 将采样器布放在测量现场,其采样条件要符合附录 A(补充件)A2 的要求。
- 3.3.2.3 室内测量。采样器可悬挂起来,也可放在其他物体上,其开口面上方 20 cm 内不得有其他物体。

3.3.3 采样器的回收

采样终止时,取下采样器再密封起来,送回实验室。布放时间不少于 30 d。

3.3.4 记录

采样期间应记录的内容见附录 A(补充件)A3。

3.3.5 蚀刻

3.3.5.1 蚀刻液配制

- 3.3.5.1.1 氢氧化钾溶液配制:取分析纯氢氧化钾(含量不少于 80%)80 g 溶于 250 g 蒸馏水中,配成浓度为 16%(m/m)的溶液。

- 3.3.5.1.2 化学蚀刻液:氢氧化钾溶液(3.3.5.1.1)与 C_2H_5OH 体积比为 1:2。
- 3.3.5.1.3 电化学蚀刻液:氢氧化钾溶液(3.3.5.1.1)与 C_2H_5OH 体积比为 1:0.36。
- 3.3.5.2 化学蚀刻
- 3.3.5.2.1 抽取 10 mL 化学蚀刻液加入烧杯中,取下探测器置于烧杯内,烧杯要编号。
- 3.3.5.2.2 将烧杯放入恒温器内,在 60°C 下放置 30 min。
- 3.3.5.2.3 化学蚀刻结束,用水清洗片子,晾干。
- 3.3.5.3 电化学蚀刻
- 3.3.5.3.1 测出化学蚀刻后的片子厚度,将厚度相近的分在一组。
- 3.3.5.3.2 将片子固定在蚀刻槽中,每个槽注满电化学蚀刻液,插上电极。
- 3.3.5.3.3 将蚀刻槽置于恒温器内,加上电压,以 20 kV/cm 计(如片厚 $200\ \mu\text{m}$,则为 400 V),频率 1 kHz ,在 60°C 下放置 2 h。
- 3.3.5.3.4 2 h 后取下片子,用清水洗净,晾干。
- 3.3.6 计数和计算
- 3.3.6.1 计数。将处理好的片子用显微镜测读出单位面积上的径迹数。
- 3.3.6.2 计算。用式(1)计算氦浓度:

$$C_{\text{Rn}} = \frac{n_{\text{R}}}{T \cdot F_{\text{R}}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中: C_{Rn} ——氦浓度, Bq/m^3 ;
 n_{R} ——净径迹密度, T_{c}/cm^2 ;
 T ——暴露时间, h;
 F_{R} ——刻度系数, $T_{\text{c}}/\text{cm}^2/\text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$;
 T_{c} ——径迹数。

3.4 CR-39 片操作程序

3.4.1 样品制备

- 3.4.1.1 切片。用切片机将 CR-39 片切成一定尺寸的圆形或方形片子。
- 3.4.1.2 装样。同 3.3.1.3 条。
- 3.4.1.3 密封。同 3.3.1.4 条。

3.4.2 布放

同 3.3.2 条。

3.4.3 采样器的回收

同 3.3.3 条。

3.4.4 记录

同 3.3.4 条。

3.4.5 蚀刻

3.4.5.1 蚀刻液配制

用化学纯氢氧化钾配制成 $c(\text{KOH})=6.5\text{ mol/L}$ 的蚀刻液。

3.4.5.2 化学蚀刻

- 3.4.5.2.1 抽取 20 mL 蚀刻液加入烧杯中,取下片子置于烧杯内,烧杯要编号。
- 3.4.5.2.2 将烧杯放入恒温器内,在 70°C 下放置 10 h。
- 3.4.5.2.3 化学蚀刻结束,用水清洗片子,晾干。

3.4.6 计数和计算

同 3.3.6 条。

3.5 质量保证

3.5.1 刻度

3.5.1.1 把制备好的采样器置于氡室内,暴露一定时间,用规定的蚀刻程序处理探测器,用式(2)计算刻度系数 F_R 。

$$F_R = \frac{n_R}{T \cdot C_{Rn}} \dots\dots\dots (2)$$

式中符号意义见 3.3.6.2。

3.5.1.2 刻度时应满足下列条件:

- a. 氡室内氡及其子体浓度不随时间而变化。
- b. 氡室内氡水平可为调查场所的 10~30 倍。且至少要做两个水平的刻度。
- c. 每个浓度水平至少放置 4 个采样器。
- d. 暴露时间要足够长,保证采样器内外氡浓度平衡。
- e. 每一批探测器都必须刻度。

3.5.2 采平行样

要在选定的场所内平行放置 2 个采样器,平行采样,数量不低于放置总数的 10%,对平行采样器进行同样的处理,分析。

由平行样得到的变异系数应小于 20%,若大于 20%时,应找出处理程序中的差错。

3.5.3 留空白样

在制备样品时,取出一部分探测器作为空白样品,其数量不低于使用总数的 5%。空白探测器除不暴露于采样点外,与现场探测器进行同样处理。空白样品的结果即为该探测器的本底值。

4 活性炭盒法

4.1 方法提要

活性炭盒法也是被动式采样,能测量出采样期间内平均氡浓度,暴露 3 d,探测下限可达到 6 Bq/m^3 。

采样盒用塑料或金属制成,直径 6~10 cm,高 3~5 cm,内装 25~100 g 活性炭。盒的敞开面用滤膜封住,固定活性炭且允许氡进入采样器。如图 2 所示:

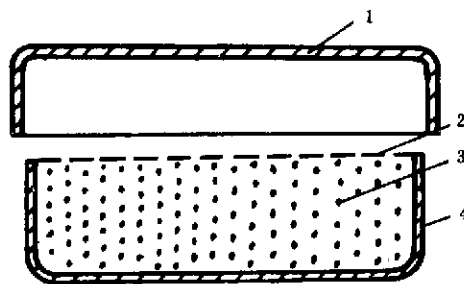


图 2 活性炭盒结构

1—密封盖;2—滤膜;3—活性炭;4—装炭盒

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 谱仪测量活性炭盒的氡子体特征 γ 射线峰(或峰群)强度。根据特征峰面积可计算出氡浓度。

4.2 设备或材料

- a. 活性炭,椰壳炭 8~16 目;
- b. 采样盒,尺寸同 4.1 条;
- c. 烘箱;
- d. 天平,感量 0.1 mg,量程 200 g;
- e. γ 谱仪,NaI(Tl)或半导体探头配多道脉冲分析器;
- f. 滤膜。

4.3 操作程序

4.3.1 样品制备

4.3.1.1 将选定的活性炭放入烘箱内,在 120℃ 下烘烤 5~6 h。存入磨口瓶中待用。

4.3.1.2 装样。称取一定量烘烤后的活性炭装入采样盒中,并盖以滤膜。

4.3.1.3 再称量样品盒的总重量。

4.3.1.4 把活性炭盒密封起来,隔绝外面空气。

4.3.2 布放

4.3.2.1 在待测现场去掉密封包装,放置 3~7 d。

4.3.2.2 将活性炭盒放置在采样点上,其采样条件要满足附录 A(补充件)A2 的要求。

4.3.2.3 活性炭盒放置在距地面 50 cm 以上的桌子或架子上,敞开面朝上,其上面 20 cm 内不得有其他物体。

4.3.3 样品回收

采样终止时将活性炭盒再密封起来,迅速送回实验室。

4.3.4 记录

采样期间应记录的内容见附录 A(补充件)A3。

4.3.5 测量与计算

4.3.5.1 测量

a. 采样停止 3 h 后测量。

b. 再称量,以计算水分吸收量。

c. 将活性炭盒在 γ 谱仪上计数,测出氡子体特征 γ 射线峰(或峰群)面积。测量几何条件与刻度时要一致。

4.3.5.2 计算

用式(3)计算氡浓度:

$$C_{Rn} = \frac{an_c}{t_1^b \cdot e^{-\lambda_{Rn}t_2}} \dots\dots\dots (3)$$

式中: C_{Rn} ——氡浓度, Bq/m³;

a ——采样 1 h 的响应系数, Bq/m³/计数/min;

n_c ——特征峰(峰群)对应的净计数率, 计数/min;

t_1 ——采样时间, h;

b ——累积指数, 为 0.49;

λ_{Rn} ——氡衰变常数, 7.55×10^{-3} /h;

t_2 ——采样时间中点至测量开始时刻之间的时间间隔, h。

4.4 质量保证措施

用活性炭盒法测氡的质量保证措施见 3.5 条。要在不同的湿度下(至少三个湿度:30%、50%、80%)刻度其响应系数 a 。

5 双滤膜法

5.1 方法提要

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 3 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。

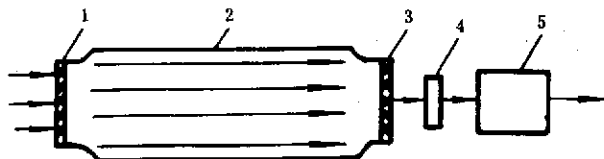


图 3 双滤膜法采样系统示意图

1—入口膜;2—衰变筒;3—出口膜;4—流量计;5—抽气泵

5.2 设备或材料

- a. 衰变筒,14.8 L;
- b. 流量计,量程为 80 L/min 的转子流量计;
- c. 抽气泵;
- d. α 测量仪,要对 RaA 、 RaC' 的 α 粒子有相近的计数效率;
- e. 子体过滤器;
- f. 采样夹,能夹持 $\phi 60$ 的滤膜;
- g. 秒表;
- h. 纤维滤膜;
- i. α 参考源, ^{241}Am 或 ^{239}Pu ;
- j. 镊子。

5.3 测量前的检查

5.3.1 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。

5.3.2 计数设备检查

- a. 计数秒表工作是否正常。
- 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 X^2 检验,若工作状态不正常,要查明原因,加以处理。

5.4 布点

5.4.1 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。

5.4.2 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。

5.5 记录

采样期间应记录的内容见附录 A(补充件)A3。

5.6 操作程序

- 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 $T_1 \sim T_2$ 时间间隔内测量出口膜上的 α 放射性。
- d. 用式(4)计算氡浓度:

$$C_{Rn} = K_t \cdot N_a \\ = \frac{16.65}{V E \eta \beta Z F_t} N_a \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中: C_{Rn} ——氡浓度, Bq/m³;

K_t ——总刻度系数, Bq/m³/计数;

N_a —— $T_1 \sim T_2$ 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_t ——新生子体到达出口滤膜的分额, %。

5.7 系数标定

5.7.1 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。

5.7.2 β 的确定方法

- a. 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 ;
- b. 按式(5)计算 β :

$$\beta = \frac{2C_1}{2C_1 + C_2 - C_3} \quad \dots\dots\dots(5)$$

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。

5.7.3 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(6)即得 η 值。

$$\eta = 1 - \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots (6)$$

式中: n_1 ——第一张滤膜计数;

n_2 ——第二张滤膜计数。

5.7.4 Z的确定方法

a. 用式(7)求出氦通过衰变筒的时间:

$$T_s = \frac{0.06 l \cdot S}{q} \dots\dots\dots (7)$$

式中: T_s ——氦通过衰变筒时间,s;

l ——衰变筒长度,cm;

S ——衰变筒横截面积,cm²;

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($T, \geq 10$ s)

T, s	t min	$T_1 \sim T_2, \text{min}$					
		1~11		1~21		1~31	
		Z	$\sigma, \%$	Z	$\sigma, \%$	Z	$\sigma, \%$
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	2.165	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

5.7.5 F_t 的确定方法

a. 按式(8)计算 μ :

$$\mu = \frac{\pi D l}{q} \dots\dots\dots (8)$$

式中: μ ——无量纲常数;

D ——新生子体的扩散系数, $0.085 \text{ cm}^2/\text{s}$;

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_t 值。

表 3 F_t 值表

μ	F_t	μ	F_t	μ	F_t	μ	F_t	μ	F_t
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	0.481	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

续表 3

μ	F_t	μ	F_t	μ	F_t	μ	F_t	μ	F_t
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		

5.8 质量保证措施

5.8.1 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。

5.8.2 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%。

5.8.3 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。

6 气球法

6.1 方法提要

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 2.2 Bq/m^3 ,子体 $5.7 \times 10^{-7} \text{ J/m}^3$ 。

气球法采样系统示于图 4,其工作原理同双滤膜法,只不过气球代替了衰变筒。把气球法测氡和马尔柯夫法测潜能联合起来,一次操作用 26 min,即可得到氡及其子体 α 潜能浓度。其时间程序示于图 5。

6.2 仪器和设备

气球法所需仪器或设备有:

- 采样头,能夹持 $\phi 50 \text{ mm}$ 的滤膜;
- 流量计,量程为 80 L/min 的叶轮流量计;
- 抽气泵;
- 气球,20~50 号乳胶球;
- 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;
- α 参考源, ^{241}Am 或 ^{239}Pu 源;
- 滤膜;
- 秒表;
- 镊子。

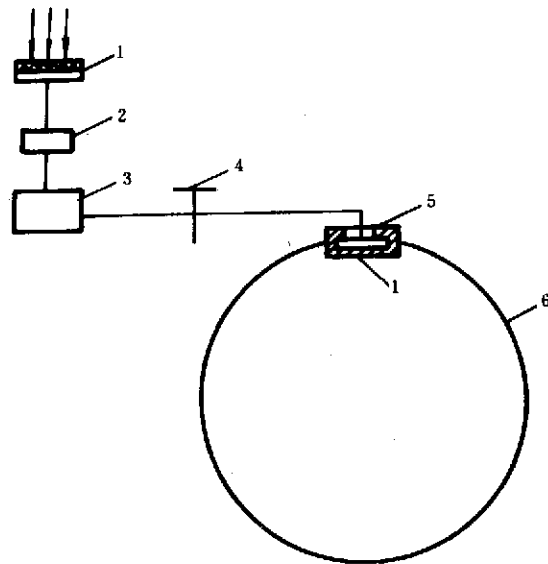


图4 气球法采样系统示意图

1—采样头；2—流量计；3—抽气泵；4—调节阀；5—套环；6—气球

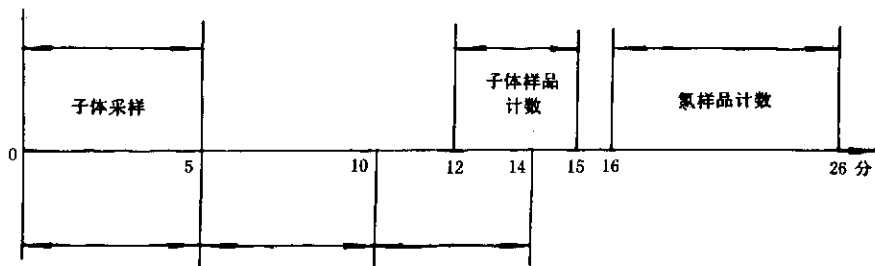


图5 气球法测量的时间程序

6.3 测量前的检查

每次测量前,要对采样设备、计数器进行严格的检查,检查内容见5.3条。

6.4 布点

6.4.1 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。

6.4.2 室外测量

在室外采样测量,其布点原则与采样条件同5.4.2条。

6.5 记录

采样期间应记录的内容见附录A(补充件)A3。

6.6 操作程序

- 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40 L/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50 L/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(9)计算 α 潜能浓度:

$$C_p = K_m(N_E - 3R) \dots\dots\dots (9)$$

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。

b. 用式(10)计算氡浓度:

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

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 ——出口滤膜的总 α 计数, 计数;

R ——同式(9)。

6.7 K_m 的确定

用库斯尼茨法标定马尔柯夫法的总系数 K_m 。

6.7.1 标定方法

a. 以规定流速采样 5min;

b. 在采样结束后 7~10min 内测滤膜样品的 α 计数(N_E);

c. 在采样结束后 40~90min 内任意时间间隔对此样品进行第二次 α 计数(如测量 10min), 其 α 净计数为 N_R 。

d. 用式(11)计算 K_m :

$$K_m = \frac{K_K \cdot N_K}{N_E - 3R} \dots\dots\dots (11)$$

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。

6.7.2 K_K 的确定

6.7.2.1 K_K 由式(12)确定:

$$K_K = \frac{4.16 \times 10^{-6}}{vE\eta\beta t_m K_{(T)}} \dots\dots\dots (12)$$

$$K_{(T)} = \begin{cases} 230 - 2T & (40 \leq T \leq 70) \\ 195 - 1.5T & (70 < T \leq 90) \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

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 粒子的自吸收因子, %;

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。

6.7.2.2 E 、 η 、 β 测定方法见 5.7.1、5.7.2、5.7.3 条。

6.8 质量保证措施

6.8.1 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。

6.8.2 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%。

6.8.3 操作中注意事项:

- a. 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, 使采样器端面处于球面上;
- 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 2mm 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。

附录 A
室内标准采样条件
(补充件)

A1 室内空气中氡测量的目的

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 2~7 d
氡子体累积采样单元	在密闭条件下,连续采样 48 h
连续饮用水水平监测仪	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屋外墙 1 m 以上,最好悬挂起来。

A2.3.4 采样时间。剂量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,每季测一次,每次放置 2~7 d
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
连续饮用水监测仪	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：

$$H_E(\alpha) = 8\,760[k_{in}f_{in}c_{pin} + k_{ou}f_{ou}c_{pou}] \dots\dots\dots (B1)$$

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·h/m³，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/m³ 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(0~10岁)	
		室内	室外	室内	室外
氡子体	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(Tl)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	$2.2 \text{Bq}/\text{m}^3$	200L 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	$40 \text{Bq}/\text{m}^3$	0.5L 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	$2.0 \times 10^{-8} \text{J}/\text{m}^3$	

附加说明:

本标准由国家环境保护局提出。

本标准由中国辐射防护研究院负责起草。

本标准主要起草人张智慧。

本标准由国家环境保护局负责解释。