

## F-HZ-HJ-HFS-0004

### 环境空气—氡的测定—径迹蚀刻法

#### 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径迹蚀刻法。本方法适用于室内外空气中氡-222 及其子体 $\alpha$ 潜能浓度的测定。

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

氡子体 $\alpha$ 潜能浓度：单位体积空气中氡子体 $\alpha$ 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。

探测降限：在 95% 置信度下探测的放射性物质的最小浓度。

#### 2 原理

径迹蚀刻法是被动式采样，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  $2.1 \times 10^3 \text{ Bq} \cdot \text{h/m}^3$ 。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。

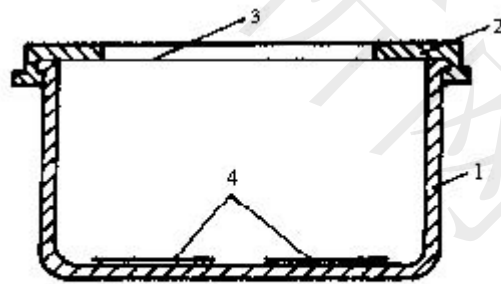


图 1 径迹蚀刻法采样器结构图

1—采样盒；2—压盖；3—滤膜；4—探测器

氡及其子体发射的 $\alpha$ 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。

#### 3 仪器设备

3.1 探测器，聚碳酸脂膜、CR-39（简称片子）；

3.2 采样盒，塑料制成，直径 60 mm，高 30 mm；

3.3 蚀刻槽，塑料制成；

3.4 音频高压振荡电源，频率 0~10 kHz，电压 0~1.5 kV；

- 3.5 恒温器，0~100℃，误差±0.5℃；
- 3.6 切片机；
- 3.7 测厚仪，能测出微米级厚度；
- 3.8 计时钟；
- 3.9 注射器，10 mL、30 mL 两种；
- 3.10 烧杯，50 mL；
- 3.11 化学试剂，分析纯氢氧化钾（含量不少于 80%）、无水乙醇（C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH）；
- 3.12 平头镊子；
- 3.13 滤膜。

#### 4 聚碳酸酯片操作程序

##### 4.1 样品制备

- 4.1.1 切片。用切片机把聚碳酸酯膜切成一定形状片子，一般为圆形，也可为方形。
- 4.1.2 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。
- 4.1.3 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。
- 4.1.4 密封。把装好采样器密封起来，隔绝外部空气。

##### 4.2 布放

- 4.2.1 在测量现场去掉密封包装。
- 4.2.2 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。
- 4.2.3 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 20cm 内不得有其他物体。

##### 4.3 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。

##### 4.4 记录

采样期间应记录的内容见附录 A（补充件）A3。

##### 4.5 蚀刻

###### 4.5.1 蚀刻液配制

4.5.1.1 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。

4.5.1.2 化学蚀刻液：氢氧化钾溶液（4.5.1.1）与 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 体积比为 1:2。

4.5.1.3 电化学蚀刻液：氢氧化钾溶液（4.5.1.1）与 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 体积比为 1:0.36。

###### 4.5.2 化学蚀刻

4.5.2.1 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。

4.5.2.2 将烧杯放入恒温器内，在 60℃ 下放置 30 min。

4.5.2.3 化学蚀刻结束，用水清洗片子，晾干。

###### 4.5.3 电化学蚀刻

4.5.3.1 测出化学蚀刻后的片子厚度，将厚度相近的分在一组。

4.5.3.2 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。

4.5.3.3 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 400V），频率 1 KHz，在 60 $^{\circ}\text{C}$ 下放置 2 h。

4.5.3.4 2 h 后取下片子，用清水洗净，晾干。

#### 4.6 计数和计算

4.6.1 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。

4.6.2 计算。用式（1）计算氡浓度：

$$C_{Rn} = \frac{n_R}{T \cdot F_R} \quad (1)$$

式中：  $C_{Rn}$  — 氡浓度，Bq/ $\text{m}^3$ ；

$n_R$  — 净径迹密度， $T_c/\text{cm}^2$ ；

$T$  — 暴露时间，h；

$F_R$  — 刻度系数， $T_c/\text{cm}^2/\text{Bq} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ；

$T_c$  — 径迹数。

### 5 CR-39 片操作程序

#### 5.1 样品制备

5.1.1 切片。用切片机将 CR-39 片切成一定尺寸的圆形或方形片子。

5.1.2 装样。同 4.1.3 条。

5.1.3 密封。同 4.1.4 条。

5.2 布放，同 4.2 条。

5.3 采样器的回收，同 4.3 条。

5.4 记录，同 4.4 条。

#### 5.5 蚀刻

##### 5.5.1 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。

##### 5.5.2 化学蚀刻

5.5.2.1 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。

5.5.2.2 将烧杯放入恒温器内，在 70 $^{\circ}\text{C}$ 下放置 10 h。

5.5.2.3 化学蚀刻结束，用水清洗片子，晾干。

5.6 计数计算，同 4.6 条。

### 6 质量保证

#### 6.1 刻度

6.1.1 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  $F_R$ 。

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

式中符号意义见 4.6.2。

6.1.2 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。

6.2 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。

6.3 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。

## 7 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 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
$\alpha$ 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
连续氡水平监测仪	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
$\alpha$ 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 $\alpha$ 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/ ( $Bq \cdot h/m^3$ )	$1.0 \times 10^{-8}$	$1.4 \times 10^{-8}$	$1.5 \times 10^{-8}$	$2.1 \times 10^{-8}$

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
$\alpha$ 径迹蚀刻法	累积	被动式	聚碳酸脂膜 CR-39	$2.1 \times 10^3 Bq \cdot h/m^3$	
活性炭盒法	累积	被动式	NaI (TI) 或半导体	6 Bq/m <sup>3</sup>	
双滤膜法	瞬时	主动式	金硅面	3.3Bq/m <sup>3</sup>	
气球法	瞬时	主动式	金硅面	2.2Bq/m <sup>3</sup>	200 L 气球
连续氡监测仪	连续	主动式	金硅面	10 Bq/m <sup>3</sup>	
闪烁室法	瞬时或连续	主动式	闪烁室	40 Bq/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	

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