

# 中华人民共和国国家标准

## 建筑物表面氡析出率的活性炭测量方法

GB/T 16143—1995

Charcoal canister method for measuring  
<sup>222</sup>Rn exhalation rate from building surface

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了用活性炭累积吸附,  $\gamma$  能谱分析测定建筑物表面氡析出率的方法。

本标准适用于建筑物(含建筑构件)平整表面的氡析出率的测定。各种土壤、岩石表面的氡析出率的测定可参照使用。

### 2 术语

#### 2.1 建筑物表面 building surface

本标准中建筑物表面是指建筑物的天花板、楼面、地面、内墙和外墙等平整表面。

#### 2.2 氡及子体 radon and its daughters

本标准中氡仅指<sup>222</sup>Rn, 氡子体是指<sup>222</sup>Rn的短寿命衰变产物<sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi 和<sup>214</sup>Po。

#### 2.3 面积氡析出率 area radon exhalation rate

在单位时间内自单位建筑物表面析出并进入空气的氡活度, 其单位用  $Bq \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  表示。

### 3 仪器和设备

#### 3.1 活性炭盒

##### 3.1.1 容器

活性炭盒系采用低放射性材料(如聚乙烯, 有机玻璃, 不锈钢等)制成的内装活性炭的圆柱形容器, 其底部直径应等于或稍小于  $\gamma$  探测器的直径, 高度以直径的三分之一到三分之二为宜。

##### 3.1.2 活性炭

选用微孔结构发达、比表面积大、粒径为 18~28 目的优质椰壳颗粒状活性炭。

##### 3.1.3 网罩

选用具有良好透气性的材料, 例如, 尼龙纱网, 金属筛网或纱布, 罩于活性炭盒开口表面, 网罩栅孔密度应与活性炭粒径相匹配。

##### 3.1.4 真空封泥

用于密封活性炭盒和待测介质表面之间的缝隙, 固定它们之间的相对位置。

#### 3.2 $\gamma$ 能谱仪

##### 3.2.1 探测器

a. 闪烁探测器 NaI(Tl) 由不小于  $\phi 7.5 \text{ cm} \times 7.5 \text{ cm}$  的圆柱形 NaI(Tl) 晶体和低噪声光电倍增管组成。探测器对<sup>137</sup>Cs 的 661.6 keV  $\gamma$  射线的分辨率应优于 9%;

b. 半导体探测器 Ge(Li) 或高纯锗 (HPGe) 其灵敏体积大于  $50 \text{ cm}^3$ , 对<sup>60</sup>Co 的 1332.5 keV 的特征  $\gamma$  射线的分辨率应优于 2.2 keV。

### 3.2.2 屏蔽室

应选用放射性核素含量低且无表面污染的屏蔽材料,探测器应置于壁厚不小于 10 cm 铅当量的屏蔽室中央,屏蔽室内壁距探测器表面的最小距离应大于 13 cm,铅室的内衬应由原子序数逐渐递减的多层屏蔽材料组成,从外向里可依次由 1.6 mm 的镉,0.4 mm 的铜及 2~3 mm 厚的有机玻璃材料等组成。屏蔽室应有便于取放样品的门。

### 3.2.3 高压电源

应有保证探测器稳定工作的高压电源,其纹波电压不大于  $\pm 0.01\%$ ,对半导体探测器高压应在 0~5 kV 范围内连续可调。

### 3.2.4 谱放大器

应有与前置放大器及脉冲高度分析器匹配的具有波形调节的放大器。

### 3.2.5 脉冲高度分析器

NaI(Tl) $\gamma$  谱仪的道数应不少于 256 道。对于高分辨半导体  $\gamma$  谱仪其道数应不小于 4096 道。

### 3.2.6 谱数据打印机

### 3.2.7 数据处理装置

$\gamma$  谱仪可以与专用或通用微机联接,进行计算机在线能谱数据处理,亦可以用计算人工处理。

## 4 析出氡的收集和测量

### 4.1 活性炭盒的制备

4.1.1 将活性炭置于烘箱内,在 120℃ 下烘烤 7~8 h,以去除活性炭中残存的氦气。

4.1.2 将烘烤过的活性炭装满活性炭盒容器,称重,各炭盒间重量差应小于 0.5%,然后加网罩、加盖,密封待用。

4.1.3 留 1~2 个新制备的,没有暴露于氡和子体的活性炭盒(简称“新鲜”炭盒)于实验室中,作为本底计数测量用。

### 4.2 析出氡的收集

4.2.1 去除实际欲测建筑物表面的灰尘和砂粒。打开活性炭盒,倒扣于该表面,周围用真空泥固定和封严,记下开始收集析出氡的时刻。析出氡收集持续 5~7 天。

4.2.2 收集结束时,除去真空泥,小心取下活性炭盒,加盖密封,记录结束时刻,带回实验室。

### 4.3 氡的测量

4.3.1 用  $^{226}\text{Ra}$  检验源检查和调整  $\gamma$  谱仪使之处于正常工作状态。

4.3.2 在与样品测量相同的条件下,在  $\gamma$  谱仪上测量“新鲜”活性炭盒的本底  $\gamma$  能谱。

4.3.3 收集结束后的活性炭盒放置 3 h 以上。当用高分辨  $\gamma$  谱仪时,测量  $^{214}\text{Bi}$  的 0.609 MeV、 $^{214}\text{Pb}$  的 0.241, 0.295 和 0.352 MeV 其中的一个或几个  $\gamma$  射线峰计数率;当用 NaI(Tl) $\gamma$  谱仪时,测量上述能量相应能区的计数率。

## 5 氡析出率的计算

建筑物表面氡析出率按式(1)计算:

$$R = \frac{(n_c - n_b) \cdot \exp(\lambda t_2) \cdot \lambda}{S \cdot \epsilon \cdot [1 - \exp(-\lambda t_1)]} \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $R$ ——氡的面积析出率,  $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

$n_c$ ——活性炭盒内所选定的氡子体  $\gamma$  射线峰或能区的计数率,  $\text{s}^{-1}$ ;

$n_b$ ——与  $n_c$  相对应的“新鲜”活性炭盒的计数率,  $\text{s}^{-1}$ ;

$t_1$ ——活性炭盒收集析出氡的时间,  $\text{s}$ ;

$t_2$ ——收集结束时刻到测量开始时刻的时间间隔,  $\text{s}$ ;

$\epsilon$ ——与  $n_c$  相应的  $\gamma$  射线峰能量或能区处的探测效率；

$S$ ——被测表面的面积,  $m^2$ ；

$\lambda$ ——氡的放射性衰变常数,  $2.1 \times 10^{-6} s^{-1}$ 。

## 6 探测效率刻度

### 6.1 体标准源的制备

6.1.1 标准源基质与活性炭盒所用的活性炭种类相同且等重。

6.1.2 用万分之一天平准确称取由国家法定计量部门认定的已知比活度的碳酸钡镭标准粉末,其总活度应在 50~500 Bq 范围内,比活度的相对标准偏差不大于 4%。

6.1.3 将标准粉末置于 500 mL 烧杯中,以 1 mol 盐酸溶液溶解,再用 0.1 mol 的盐酸稀释到所需体积(应足以使活性炭基质全部浸入),倒入活性炭颗粒,并不断搅拌。

6.1.4 将活性炭在红外灯下烘烤,使其水分不断蒸发,在将近恒重时,转移到另一干净烧杯中,用少量 0.1 mol 盐酸洗液清洗用过的 500 mL 烧杯,将清洗液倒入活性炭中(注意不要与目前盛放活性炭的干净烧杯壁接触),再用红外灯烘烤,不断搅匀,直至恒重。

6.1.5 将活性炭转入空的活性炭盒内,铺平,加盖,密封,放置 30 天。待  $^{226}Ra$  与氡及其子体处于放射性平衡后备用。

6.1.6 标准源的综合不确定度(一倍标准偏差)应控制在  $\pm 5\%$  以内。

### 6.2 刻度

6.2.1 按照使用说明书的要求正确安装和调整  $\gamma$  谱仪系统,包括探测器、电源、前置放大器、谱仪放大器、脉冲高度分析器和计算机系统,使其处于最佳工作状态。

6.2.2 在与样品测量相同条件下,分别获取上述已知  $^{226}Ra$  活度的体标准源  $\gamma$  能谱和“新鲜”活性炭盒本底谱。

6.2.3 从净谱中选择氡的子体  $^{214}Pb$  的 0.241, 0.295, 0.352 MeV 以及  $^{214}Bi$  的 0.609 MeV 中的一个或几个  $\gamma$  射线的全能峰,并计算其净峰计数率。如果使用 NaI(Tl) 闪烁探测器,在上述几个  $\gamma$  射线峰不能清楚分开时,亦可计算包含上述一个以上峰的能区净计数。

6.2.4 根据所选  $\gamma$  射线的全能峰(或所选能区)净计数率,计算探测效率。

## 7 测量的相对标准偏差

面积氡析出率测量结果的相对标准偏差为:

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{calib}^2 + \sigma_{ct}^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $\sigma_{total}$ ——总相对标准偏差, %;

$\sigma_{calib}$ ——效率刻度的相对标准偏差, %;

$\sigma_{ct}$ ——测量计数相对标准偏差, %。

$\sigma_{ct}$ 可用下式计算:

$$\sigma_{ct} = \frac{\sqrt{N_s/t_s^2 + N_b/t_b^2}}{N_s/t_s - N_b/t_b} \dots\dots\dots (3)$$

式中:  $N_s$ ——活性炭盒内选定的氡子体  $\gamma$  射线峰或能区的积分计数;

$N_b$ ——与  $N_s$  相对应的“新鲜”活性炭盒的积分计数;

$t_s$ ——样品计数时间;

$t_b$ ——本底计数时间。

## 8 干扰和影响因素

8.1 活性炭盒倒扣于建筑物表面,所得结果不代表自然状态下氡的析出率,而相当于外界空气中氡浓

度为 0 时氡的析出率,即最大析出率。这种方法不考虑外界空气风速、交换率的影响。但可能引起活性炭盒所扣处被测材料局部含水量的变化,对氡的析出率产生微小干扰。

8.2 在收集析出氡期间,面积氡析出率实际上受周围环境的气象、温度、湿度、气压、风速变化等影响,因此,测量结果只代表在对应的环境条件下收集期间内面积氡析出率的平均值。

8.3 在用 NaI(Tl) $\gamma$  谱仪确定活性炭盒所收集的氡活度时,氡子体 $^{214}\text{Pb}$ 的 0.242 MeV  $\gamma$  射线峰受 Th 射气子体 $^{212}\text{Pb}$ 的 0.238 MeV  $\gamma$  射线峰的干扰,该干扰对测量结果的影响小于 1%,用高分辨率的半导体探测器测量,不存在这种干扰。

8.4 本方法的探测下限主要取决于所用  $\gamma$  谱仪探测下限,参见附件 A(参考件)。

**附录 A**  
**建筑物表面氡析出率的探测下限**  
(参考件)

A1 建筑物表面氡析出率的探测下限主要取决于所用  $\gamma$  谱仪的探测下限,该探测下限是在给定置信度情况下该系统可以测到的最低活度。

A2 以计数为单位的探测下限可表示为:

$$LLD \approx (K_\alpha + K_\beta) \cdot \sigma_0 \dots\dots\dots (A1)$$

式中: LLD——探测下限;

$K_\alpha$ ——与预选的错误判断放射性存在的风险几率( $\alpha$ )相应的标准正态变量的上限百分位数值;

$K_\beta$ ——与探测放射性存在的预选置信度( $1-\beta$ )相应的值;

$\sigma_0$ ——净样品放射性测量的计数统计标准偏差。

对于各种  $\alpha$  和  $\beta$  水平,  $K$  值如表 A1 所示。

表 A1

$\alpha$	$1-\beta$	$K$	$2 \sqrt{2} K$
0.01	0.99	2.327	6.59
0.02	0.98	2.054	5.81
0.05	0.95	1.645	4.66
0.10	0.90	1.282	3.63
0.20	0.80	0.842	2.38
0.50	0.50	0	0

如果  $\alpha$  和  $\beta$  值在同一水平上,则  $K_\alpha = K_\beta = K_0$ 。

$$LLD \approx 2K\sigma_0 \dots\dots\dots (A2)$$

A3 以计数率为单位的探测下限,是在给定条件下,最小可探测的计数率。如果活性炭盒内氡的放射性活度与本底接近时,最小可探测计数率为:

$$LLD_{cr} = 2 \sqrt{2} \cdot K \sqrt{N_b/t_b} \dots\dots\dots (A3)$$

式中:  $LLD_{cr}$ ——最小可探测计数率;

$t_b$ ——本底谱测量时间;

$N_b$ ——本底谱中相应于某一全能峰或能区的本底计数。

A4 根据最小可探测计数率,按式(1)可以计算出最小可探测表面氡析出率。

**附加说明:**

本标准由中华人民共和国卫生部提出。

本标准由北京市放射卫生防护所负责起草。

本标准主要起草人林莲卿。

本标准由卫生部委托技术归口单位卫生部工业卫生实验所负责解释。