

表面氡析出率的测量

2008年3月版本

本档介绍如何利用测氡仪和析出率采集罩，简单快速地测量表面氡析出率。

物理背景

表面氡析出率测量的原理是指：在指定的气体体积中，在一定的时间内，氡浓度不断增长至稳定值的变化率。

表面氡通量（以下称表面氡析出率） E [贝克 / (平方米·秒)]的定义是，氡的活度变化率与单位氡析出表面面积(面积 F [平方米])以及测量时间 t [秒]之比。

$$E = A / (F * t) \text{ [Bq / (m}^2\text{s)]} \quad (1)$$

根据析出率采集罩的形状是长方体或是圆柱体，以及覆盖面积 F [平方米]和高度 h [米]，体积 V 如下：

$$V = F * h \text{ [m}^3\text{]} \quad (2)$$

在此体积 V 内，单位时间间隔长度 t (秒) 之间所获得的活性浓度变化率就是 C_{Diff} [贝克/立方米]。在气溶胶中，这个氡活性浓度 C [贝克 / 立方米]可以表示为 (氡) 活度变化率 A [贝克]与(气体)体积 V 之比:

$$C = A / V \text{ [Bq / m}^3\text{]} \quad (3)$$

得到测量所得的参数 C_{Diff} , h , t 之后，氡析出率可以表达为：

$$E = C_{\text{Diff}} * h / t \quad (4)$$

各项计算公式如下：

$$\begin{aligned} E &= A / (F t) \quad \text{[Bq / (m}^2\text{s)]} \\ &= (V / V) * A / (F t) \quad \text{[(m}^3\text{/m}^3\text{) (Bq / (m}^2\text{s))]} \\ &= (A / V) * (V / (F * t)) \quad \text{[(Bq/m}^3\text{) (m}^3\text{ / (m}^2\text{s))]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= C * (F * h) / (F * t) \quad [(Bq/m^3) (m^2m / (m^2s))] \\
&= C * h / t \quad [(Bq/m^3) (m/s)] \quad (5)
\end{aligned}$$

示例：在一个覆盖在测量表面的 12cm 高的析出率采集罩中，测量时间 1 小时过后，得出最大氡浓度为 1540 Bq/m³，在此之前，罩外侧得的环境氡浓度为 100 Bq/m³，于是可得表面氡析出率 E 为：

$$E = (120 \text{ mm} * 1440 \text{ Bq/m}^3) / 3600 \text{ s} = 48 \text{ mBq} / (\text{m}^2\text{s})$$

测量步骤

首先，打开安装有内置泵或外接泵的测氡仪，测量环境空气中的氡浓度 C₁。随后，在测量表面放置高度为 h 的析出率采集罩，析出率采集罩必须正确放置以确保密闭橡胶完全贴合表面（比如在采集罩上压置重物），有必要的话，也推荐使用其他密封措施（例如硅胶贴，胶带或测量地周围的土壤）。之后，通过聚乙烯管将测量仪的进气、出气口与采集罩的两个端口相连。这样，一个闭合回路就形成了，氡气可以在其内流通。回路闭合起开始计时，直到达到氡活性浓度峰值时，可得时间间隔 t。根据公式 C_{Diff} = C₂ - C₁ 以及高度 h 和时间 t，利用公式（4）既可得表面氡浓度析出率 E。

合适的测氡仪

一些关于测氡仪的有关使用规定必须在考虑之列。测量仪必需提供内部空气循环压强（密闭空间以及连接进出口的管道）。最好是有内置泵，薄膜泵比回转泵更适合，因为薄膜泵的气体泄漏率更低。

RTM1688-2 是最适合测量氡析出率的仪器。此设备内部腔室虽然只有 130ml，但是具有超出 3 cpm/(kBq/m³)（快速测量模式下）的高灵敏度。虽然 RTM2100 在湿度较高的情况下灵敏度更高（1.5cpm/(kBq/m³)），但是其内部腔室几乎是前者的三倍（370ml），也可用于表面氡析出率测量。

两种设备都可以搭配薄膜泵进行阿尔法能谱测量。

探测限值

探测限值，基本由以下几点决定：采样配置(气体体积)，测氡仪本身的灵敏度，以及测量周期的选定。由于探测限值的要求相当于采样周期内，所捕捉到的衰变次数及其所对应的统计误差，由此，我们推荐以下的优化方案：

- 使用高灵敏度的测氦仪器
- 尽可能延长单采样周期

标准操作步骤

- 用新鲜空气冲洗仪器腔室与导管至少 15 分钟
- 在开放环境中测量氦环境浓度
- 仔细安放析出率采集罩，并确保密封
- 将析出率采集罩与测氦仪连接
- 确定内部回路的最大氦浓度和测量周期
- 根据公式（4）计算出氦析出率

注意事项：请严格遵照流程描述进行操作。千万不可将水直接吸入仪器测量腔，否则会损坏内置泵与探头。因此，推荐选用缓冲瓶，缓冲瓶体积应可以容纳下所有采样水

总结

许多不确定的因素都会影响测量的结果，每一次的采样工作，都取决于操作者的实际操作。为了得到一个可靠的，可重复还原的氦浓度测量值，我们推荐尽可能的保证每次测量工作，各个环节保持恒定一致。实验室内相对容易保持重复一致性，但在野外现场，测量的不确定性影响会更大一些。

这里推荐提前进行一次校验测量，严格按照操作流程进行，随后比较实测值与标准刻度值，相差部分，可以在软件内用修正参数一栏进行修正，并且存档记录。