

## 如何测量采样水中的氨浓度

版本：2007.7

本文详细介绍了如何利用一个鼓泡瓶以及一台氨测量仪，快速简易的测量采样水中的氨活性浓度。

### 物理原理

测量的原理，在一个密闭空间里，利用水中的氨活性浓度与空气中的氨浓度，当两者达到一个平衡时，我们就可以通过测量空气中的氨浓度，从而得到水中的氨活性浓度。

采样水中的氨活性浓度与空气中的氨浓度，两者之间的平衡关系，只受到温度这一个变量影响，我们利用一个名为奥斯瓦德系数（Oswald）的因子对其进行描述，其表示氨在水中的溶解度受温度影响，温度越高，氨在水中的份额越少。换言之，越高的水温将会带来更高的气体氨浓度。

$$K_{\text{Oswald}} = C_{\text{Rn}}(\text{水})/C_{\text{Rn}}(\text{空气}) \quad (1)$$

对于通常温度变化范围内，0 至 40 摄氏度，奥斯瓦德系数可以通过以下公式近似等效替换：

$$K_{\text{Oswald}} = 0,425 * \text{EXP}(-20 * \text{温度}(\text{°C})) + 0.1 \quad (2)$$

在一个闭环回路系统内所产生浓度，可以通过空气与水的体积之间的比例关系来确定。水与气比例中水的体积越大，所带来的闭环空气回路中的活性浓度也就越高。因为，在测量进行的时间段内，闭环回路中的总活性我们可以视之为一个常数，借由以下公式进行描述：

$$A(\text{水}) = A_1(\text{水}) + A(\text{气}) \quad (3)$$

其中：

$A(\text{水})$  = 采样水在鼓泡之前的总活性

$A_1(\text{水})$  = 鼓泡后水中残留的活性

$A(\text{气})$  = 闭环气体回路中的活性

对于活性浓度，其定义为  $C_A = A/V$ : (4)

$$C_{A(\text{水})} * V(\text{水}) = C_{A1(\text{水})} * V(\text{水}) + C_{A(\text{气})} * V(\text{气}) \quad (5)$$

其中:

$C_{A(\text{水})}$  = 采样水在被鼓泡前的活性浓度

$V(\text{水})$  = 采样水的体积 (维持不变)

$C_{A1(\text{水})}$  = 被鼓泡后，采样水的活性浓度

$V(\text{Luft})$  = 闭环气体回路内的空气体积

$C_{A(\text{气})}$  = 鼓泡后，闭环气体回路内的活性浓度

将公式(1)导入公式(5)，可得：

$$C_{A(\text{水})} * V(\text{水}) = K_{\text{Oswald}} * C_{A(\text{气})} * V(\text{水}) + C_{A(\text{气})} * V(\text{气}) \quad (6)$$

以及：

$$C_{A(\text{水})} = \{C_{A(\text{气})} * [K_{\text{Oswald}} * V(\text{水}) + V(\text{气})]\} / V(\text{水}) \quad (7)$$

## 测量流程

通过鼓泡瓶，我们将溶解于采样水中的氡气释放转移出来。将鼓泡瓶与测氡仪连接起来，形成一个闭合气体回路(参见示意图)。测氡仪内部腔室中的空气，通过仪器内置泵，从采样水中鼓出气泡，形成连续循环交换。由于气泡表面积很大，因此可以十分有效的将氡由水转移至空气。

提请注意的是，在将仪器接上闭合气体回路时，仪器内部的氡浓度为 0，也就是说，必须排除由之前所进行的测量，所造成的测氡仪内部腔室活性浓度残留。为了确保这一点，测氡仪，所使用的导管以及可选件缓冲瓶，需要用新鲜空气先冲洗至少 15 分钟。

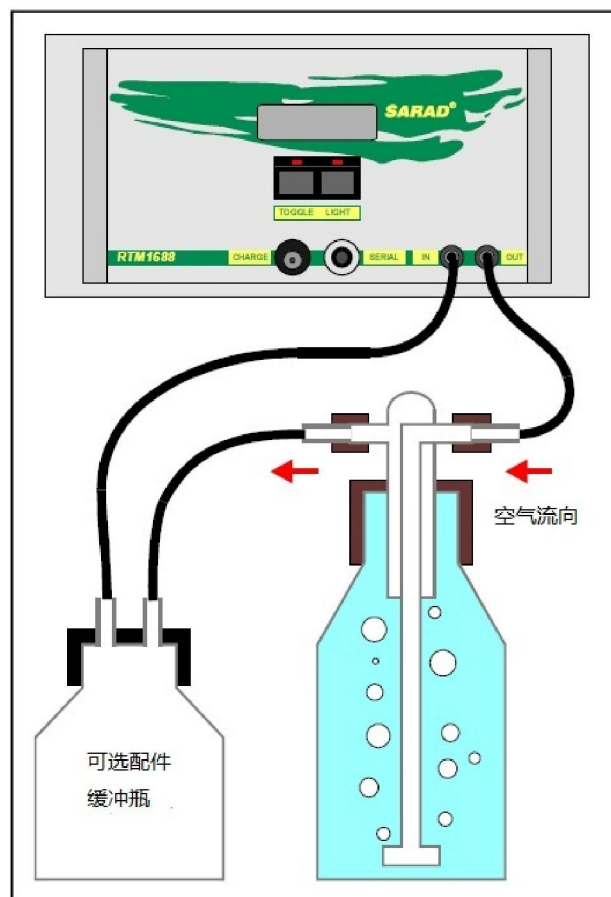
水与气体两者之间的浓度平衡状态，将会在鼓泡后 20 分钟左右达到，此时可以开始测量。

## 合适的测氡仪

以上描述的测量方法，对于所选用的测氡仪有一定的要求，就此以下进行相应描述。

首先，测氡仪必须确保能够构建闭合气体回路(具备密闭的测量腔室，以及气路连接接口)。如果仪器内置薄膜泵，则更为首选，因为薄膜泵其密闭性十分理想，而叶轮泵则泄漏比较严重。

为了足够快速的完成测量(针对放射性衰变时间)，推荐使用基于阿尔法能谱原理的测氡仪。测氡仪内部腔室体积应越小越好，



，因为这项参数与仪器灵敏度一样，同是决定测量过程中探测限值的关键因素。

RTM1688-2 满足以上所有要求，内部腔室只有 250ml，却提供了快速氡模式下 3.5 cpm/(kBq/m<sup>3</sup>)的高灵敏度。

## 探测限值

测量方法所决定的探测限值，基本由 3 点因素决定：气体体积，测氡仪本身的灵敏度以及测量周期设定长短。探测限值由测量结果的统计误差所决定，也就是测量周期内所捕捉到的衰变次数，针对这点，我们推荐以下步骤，用于优化测量过程：

- 采样水体积对于闭环回路内的空气体积，越大越好
- 使用高灵敏度的测氡仪
- 选用比较长的测量周期

通过实验统计，我们推荐的配置为，500ml 的鼓泡瓶连接 RTM1688-2。采样周期不应超过 2 小时，因为闭合回路中，通过接口，导管管壁，不可避免的会产生氡的扩散泄漏。下表整理了不同测量周期与探测限值的关系：

采样水体积	空气体积	算选用的仪器灵敏度	测量周期	探测限值 (2-Sigma)
毫升	毫升	cpm/(kBq/m <sup>3</sup> )	分钟	贝克/升
500	130	3	5	0.096
500	380	3	30	0.033
500	1200	5	5	0.315
100	1200	5	30	0.244

如需确定任意采样水测量情况的探测限值，首先必须确定所选用的测氡仪，在所选用的测量周期下的气体探测限值。将所得出的探测限值，输入软件“Radon in Water”中“Displayed Radon Concentration”这一栏，即可得出相对应的采样水测量的探测限值。

### 冷凝水问题

采样水测量过程中，需要提请注意的是，水蒸汽在测量仪内的冷凝问题。测量腔内有 1000V 以上的高压，水蒸汽容易导致漏电流，产生电压中断的后果，仪器则无法正常工作，所得到的测量值也无法使用。水蒸汽冷凝并不会对仪器造成持久性的损坏，干燥处理后，仪器仍然可以正常工作。建议测量过程中，用户观察仪器面板上所显示的相对湿度测量值，如果大于 90%，则测量结束后，请观察 RTM1688-2 的对应单周期能谱，如果能谱峰形正常，则此数据仍然准确有效。单周期的能谱记录，正是 RTM1688-2 专有的一项独特功能。

为了避免冷凝水情况的发生，应尽量保持采样水的温度低于测氡仪。某些情况下，可以对采样水在测量进行前先降温。通常来说，采样水与测氡仪一同存放一段时间即可，因为仪器在开启运行后，总会有稍微的升温。此时，我们可以观察仪器内置的温度计显示读数，并将其视为采样水的温度。一般我们不推荐使用干燥剂或者气体干燥设施，因为无法确定气体体积（干燥剂的微孔体积），且同时会造成氡的吸收效应。

为了确保安全，我们推荐在测氡仪入气口与鼓泡瓶出气口之间串联一个玻璃缓冲瓶(小容量

且不能使用塑料或者金属材质)。

## 标准操作流程

- 用新鲜空气冲洗仪器腔室与导管(启动泵工作 15 分钟)
- 尽量将采样水充满鼓泡瓶(避免晃动)
- 盖紧鼓泡瓶
- 可能的话，等待采样水温降至与周边空气持平(等待过程中，鼓泡瓶进出气接口用 PVC 管连接，防止氡泄漏)
- 将鼓泡瓶出气口连接仪器的进气口，同样鼓泡瓶的入气口连接仪器出气口
- 启动测氡仪，使闭合回路中的气体开始循环流动，产生鼓泡
- 等待大约 30 分钟，氡由水转移至气体的过程基本完成，达到平衡状态
- 停止测氡仪，之前的测量值弃用
- 选取针对于当前平衡状态浓度所合适的测量周期(例如 10 分钟)，重新开始测量
- 测量周期结束后，读取氡浓度，以及温度显示(如果水温与空气温差较大，还需单独测量水温)
- 将测量值输入软件 “Radon in Water ”，从而得到采样水氡浓度

**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。

## 软件“水氡计算器”

针对上文所介绍的物理原理与计算公式，我们制作了图形化计算软件，用户只需将仪器读数以及其他参数填入相应的栏目，即可得出精确的采样水氡值。以下对各个栏目进行介绍：

„Water Volume “：采样水的总体积

„Air Volume “：空气的总体积，包括：测氡仪内部总体积，连接导管的总体积，鼓泡瓶上端未完全充满部分的体积，缓冲瓶的体积。

„Correction “：修正参数，表示在操作过程中可能造成的氡泄漏以及损失，例如被吸附在气管壁上的氡份额，以及提取样品时的损失等等。如果忽略这些，则此项填写“1”，否则的话，可以填写“0.8”，表示20%份额的氡在采样过程中流失掉以及吸附在管壁上。

„Water Temperature “：水温，通常可以直接以仪器的温度显示来代表水温。特殊情况下，仍需单独测量水温。填入水温后，软件会自动计算转换因子“Conversion Factor”。

„Displayed Radon Concentration “：即是测量流程最后，仪器所显示的氡浓度值。

„Aperture Description “：这里可以填写当前测量任务的一些文字性说明与记录，例如选用仪器型号，附件体积参数等等。

软件界面上另有 SAVE 按钮，可以存档当前软件界面内所填写的所有参数，使用 OPEN 按钮则可以重新调取。这项功能方便用户记录每次测量，或者重复进行某一特定测量时，无需重新填写每项参数。

## 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，可重复还原的氡浓度测量值，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。