

土壤氡的测量确定

版本：2007.7

本文描述了，如何利用一台氡测量仪与套装管件，简单快捷的进行土壤中氡活性浓度的测量确定。

物理与地质知识背景

利用一台氡测量仪，对土壤氡活性浓度进行测量，需要一根插入土壤下且对于周边空气保持密闭的导管，进行连续性或者多次对土壤中的空气进行采样收集。

对于连续性测量，我们通常使用测氡仪内置的集气泵，连续抽取采样气体。而多次重复采样，则需注意精确的控制采样气体的体积以及采样的时间长短。大多数情况下，用户需要用到外加泵体，例如手动泵等。这样可以大大减小地下水被抽入仪器内部集气腔室的危险。

土壤中的氡活性浓度 C [Bq/m^3] (多数情况下以气溶胶形式存在)，这个检测量单位由两部分组成，氡活性 A [Bq]与气体体积。定义为贝克每立方米，其中 $1Bq$ 表示，每一秒钟一次放射性衰变事件的发生(这里我们对对应关注的是放射性气体氡-222)。

通常，氡活性浓度，在大约地下 1 米的深度，其值域变化为 1000 至 $1000000 Bq/m^3$ 。即使在同一采样地点，其测量值也是存在着波动震荡的可能，特别是受到许多其他因素的影响下，例如温度，大气压，降水量，月相(地球潮汐变化)等许多因素。这些因素都会影响到土壤中气体的运动转移速度。当氡在土壤中的驻留时间越长，并且从其来源处的补给量越少时，我们在接近地表的深度(大约 1 至 2 米)区域所测得的氡活性浓度就越低，因为氡-222 的半衰期只有 3.8 天。

如今被广泛关注到的一个问题，就是要求评估由土壤氡所引起的危害性。如同上文所提及的，土壤的渗透性能参数 k 会对氡的危害性产生极大的影响，必须被留意到。这里引入一个参数，氡的有效量 R ，结合氡的活性浓度 C ，用来评估不同的氡水平状况。对照 90 年代两位学者 TANNER 与 SURBECK 的文献，氡的有效量被定义为氡的活性浓度与土壤疏松渗透性两者联系的产物：

$$R = C * k \text{ [Bq/m]} \quad (1)$$

其中对于土壤渗透性能参数 $k[\text{m}^2]$,可以使用一个润滑良好的活塞泵来确定一个近似值 k_n :

$$k_n = p_k / (T_1 - T_0) \text{ [m}^2\text{]} \quad (2)$$

其中 $p_k [\text{s} * \text{m}^2]$ 为一个与仪器相关的泵常数值 , T_1 与 $T_2 [\text{s}]$ 为泵活塞自由下降时间的平均值 , 这个平均值我们可以通过以下实验获得 : 在自由下降过程中 , 泵的活塞以其自身的重量 , 将事先抽入泵体的空气 , 通过管道注入测量钻孔 , 注意测量钻孔应做到较好的与外界空气隔离密闭。 这个实验务必在氡测量后进行 , 否则会影响实测的氡活性浓度值。

举例(通常情况下) : 利用套装管件所进行的土壤氡测量 , 得到一个氡活性浓度为 90000 Bq/m^3 的测量值 , 随后通过 5 次活塞下降实验得到的平均值 T_1 和 T_0 为 18.8 与 10.8 秒 , 相对应的 p_k 常数为 $4 * 10^{-12} \text{ sm}^2$.

土壤渗透性能参数 k , 其近似值 $k_n = (4/8) * 10^{-12} \text{ sm}^2 / \text{s} = 5 * 10^{-13} \text{ m}^2$. 对于氡有效量

$$R = (90.000 \text{ Bq/m}^3) * (5 * 10^{-13} \text{ m}^2) = 4,5 * 10^{-7} \text{ Bq/m}.$$

测量流程

使用可续接加长的手动钻孔套件(例如 : 生产商 Eijkelkamp) , 针对淤泥/砂土土质地表 , 或者借助机械打桩机或者钻孔机等等 , 我们得到一个深度约为 1 至 2 米 , 直径 7 厘米的钻孔。 同时 , 也需分析观察钻孔所产生的土壤样本 , 用于了解接近地表下方的土壤状况 , 判断土壤渗透性能以及氡来源(例如泥灰或者矿渣土壤)。

注意事项! 必须得到官方的许可(如果是私人土地 , 至少参考当地水电埋管线路图纸) , 以避免意外事故发生 (例如地下输电线路)。

现在可以小心的将气体采样杆插入地下钻孔 , 尽可能的放置到底 , 采样杆根据实际情况可以续接加长。 采样杆下部的橡皮袋部分 , 可以通过充气使其膨胀 , 当橡皮袋在地下钻孔内完全膨胀后 , 采样杆头部吸气口就可以做到与外界空气良好隔绝。 橡皮袋的充气导管在放置采样杆时 , 应注意绷直 , 避免扭曲或者落入橡皮袋与钻孔内壁之间的空隙。 随后可以利用手动打气筒 , 通过充气导管 , 对橡皮袋进行充气 , 使其膨胀至与钻孔内壁完全无缝隙。 标准为 , 充

气后采样杆无法拔出，完全竖直固定，如果手动打气筒自带压力表，也可以通过观察压力表进行判定。这时可以将气体采样杆的气体采集口连接至手动泵，或者直接连接至氡测量仪(如果测氡仪自带内置泵的话)。

注意事项! SARAD 的土壤氡套件，利用橡皮圈在钻孔内打气膨胀，实现了前段采样进气口与外部空气的良好隔绝。应注意橡皮圈与钻孔管壁接触面积中不可避免的会有类似锋利碎石等情况发生，在橡皮圈充气膨胀后，存在高压，一旦橡皮圈破裂漏气，在向下喷气反作用力下，不排除会发生采样杆突然向上窜起的情况(尽管迄今为止，从未发生过)，但仍需提请注意，人员在橡皮圈充气后，不要站在采样杆正上方。

使用特制的手动抽气泵(三通加单向阀门设计)，PVC 软管连接采样杆出气口。起始的 2 至 3 管抽气，应该弃用，目的是清空采样杆内原先的气体。抽气泵的出气口经 PVC 软管连接测氡仪入气口，重复同样的流程，使钻孔下方抽取上来的空气注满测氡仪内的测量腔室。

注意事项! 如果所使用的测氡仪自带内置集气泵，在通过手动抽气泵进行气体置换的过程中，应该同步开启，置换结束时同步关闭，否则有可能会损坏仪器的内置泵。可能的话，手动泵推挤速度应符合仪器内置泵抽气的流量要求。

采样与测量的周期时间长短，一方面应符合现场情况特征，另一方面也应遵从氡测量原理，详细请参照应用指南第二篇，氡测量原理。

有些时候，现场土壤存在许多砾石，使用手动钻孔套件很难取得一个良好且深度符合要求的钻孔，而租用打桩机又是过于昂贵或不可实现时，这时，推荐使用简易土壤氡套件。其工作原理如下：先使用一根长约 1m，内径约为 1cm 的钢管，头部放置一个尖利的圆锥形钻头。使用重锤，将钢管与钻头砸入土壤(钻头朝下)约 90cm 深。随后使用一根 1.15m 长的细钢钎伸入钢管，继续朝下敲打，使钻头与钢管脱离，从而在钢管底部与钻头之间形成一段空腔。注意在敲打过程中，重锤与钢管或者钢钎敲打接触部分，应使用间接套管，以防止钢管与钢钎变形。最后抽出钢钎，将钢管顶部与 PVC 导管连接，即可对土壤气体进行采样抽取。钢管与抽气泵或者仪器入气口的直径不同，可以通过转径头进行转接。

以上所描述的过程，也可使用打桩机来完成，使用简易土壤氡套件，其优点在于采样空间与外部空气环境密闭性良好。

氡测量仪器的选择

以上所描述的测量流程，对所使用的测氡仪器有一定的要求，以下进行一些详细的阐述。

首先，测氡仪应使用密闭的气体回路设计，也就是说测量腔与气体导管密闭连接。仪器如果内置采样泵的话，采样泵也应密闭。推荐使用薄膜泵，因为薄膜泵相比叶轮泵，其密闭性更好。

为了提高工作效率，缩短测量时间(抵消放射性活性浓度的下降)，推荐使用一台能谱(阿尔法能谱)测量原理的仪器。测氡仪器内部的测量腔室，应尽可能的小。因为腔室体积与仪器灵敏度是决定探测下限与采样周期，最重要的 2 个因素。

以 SARAD 的 RTM1688-2 为例，内置薄膜泵，内部腔室体积 250ml，快速氡模式下提供大于 $3\text{cpm}/(\text{kBq}/\text{m}^3)$ 灵敏度，完全匹配以上的技术要求。

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：

- 使用高灵敏度的测氡仪器
- 尽可能延长单采样周期

测量之前，可以先由将要采用的测量周期推算出测量限值，从而对测量流程有个预估方案。

详细内容，请参照应用指南第二篇(氡测量原理)

冷凝水问题

土壤氡测量过程中，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，则此数据仍然有效可用。

为了避免冷凝水情况的发生，应尽量保持采样气体的温度低于测氦仪。某些情况下，可以对采样器在采样进行前先降温(例如在霜冻季节，使用手动泵的情况下，土壤气体温度通常高于外部空气)。通常来说，采样器与测氦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。一般我们不推荐使用干燥剂或者气体干燥设施，因为不可避免的，由于在气体回路中不确定的空腔体积(例如干燥剂的微孔体积)，会造成氦的吸收效应。

在非手动抽气工作模式下(测氦仪内置泵连续主动抽气)，为了避免地下水被直接吸入测氦仪内部，推荐在测氦仪入气口之前串联一个玻璃缓冲瓶(不能使用塑料或者金属材质)。

总结

许多不确定的因素会影响测量的结果，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，各个环节恒定一致。特别是在野外现场，测量的不确定性影响会更大一些。