

常用的氡测量方法

上海仁机仪器仪表有限公司

常用的氡测量方法有电离室法、闪烁室法、双滤膜法、气球法、静电收集法、固体径迹法、热释光法、活性炭被动吸附法和驻极体测氡法等。下面分别介绍这些方法的原理及优缺点。

1 电离室法

含氡气体进入电离室后，氡及其子体放出的 α 粒子使空气电离，电离室的中央电极积累的正电荷使静电计的中央石英丝带电，在外电场的作用下，石英丝发生偏转，其偏转速度与其上的电荷量成正比，也就是与氡浓度成正比，测出偏转速度就可知道氡的浓度。

本方法的优点是：方法可靠，直接快速，既可以直接收集空气样品进行测量，也可以使空气不断流过测量装置进行连续测量，在实验室使用可较快地给出氡浓度及其动态变化。

缺点是：灵敏度低(探测下限为 $10\text{—}40\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)，不适合低水平测量，设备笨重，不便现场使用；测量时间较长，读数方法原始，要用肉眼观察指示丝的偏转速度。

2 闪烁室法

氡进入闪烁室后，氡及其子体衰变产生的 α 粒子使闪烁室壁的ZnS(Ag)产生闪光，经光电倍增管和电子学线路最后记录下来。单位时间内的脉冲数与氡浓度成正比，从而可确定氡浓度。

本方法的优点是：探测下限低(和闪烁室的几何形状等有关，一般可达 $3.7\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ，设计好的可达 $0.37\text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)，操作简便，准

确度高，

缺点是：测量时间较长(3 h 以上)，要求的设备较多，装置笨重，不便于现场使用。沉积于室内壁的氡子体难于清除，使用时应经常用氮气或老化空气清洗。保存时应充入氮气封闭以保持较低的本底，并经常刻度以保持测量的准确性。另外虽然可以用气袋或金属罐将现场气体取回实验室转移到闪烁室中测量，但气袋对氡气的吸附和泄漏以及远距离情况下的运输问题还有待于研究。

3 双滤膜法

双滤膜筒的结构如图 1 所示。



图 1 双滤膜筒结构示意图

抽气过程中，入口滤膜滤掉空气中已有的氡子体，“纯氡”在通过双滤膜筒的过程中又生成新的子体(主要是 ^{218}Po)。其中的一部分为出口滤膜所收集。测量出口滤膜上的 α 放射性活度，根据氡子体的积累衰变规律即可求出待测空气中的氡浓度。

该方法的优点是它既用来测子体浓度(进气口滤膜)，也可测氡浓度(出气口滤膜)，其探测下限低(约为 3.7 Bqm^{-3})，方便快捷。

缺点是必须确保出口滤膜不被二滤膜之外的氡污染，即必须防止衰变筒和滤膜漏气。本方法受相对湿度的影响较大，影响的程度对不同大小和形状的双滤膜筒有所不同，相对湿度越大，滤膜上测得

的 α 放射性活度越大。解决的办法是将双滤膜筒在不同相对湿度下刻度，求得相应的刻度系数。加大衰变筒体积可以提高灵敏度，但衰变筒太大不便携带。此外该装置要使用电源，不便野外使用。

4 气球法

气球法是在双滤膜法原理的基础上发展起来的，所不同的是用气球代替了双滤膜筒，所采用的气路和测量原理完全相同，它克服了双滤膜法不便携带的缺点。本方法的优点是操作简单，方便快捷，仅需0.5 h 即可给出氡浓度和子体潜能，其采样体积不受限制，增加气球体积即可降低探测限(例如20 L 的气球和一定的测量程序，其灵敏度为 $37 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)。其缺点是气球的球壁效应(吸附和泄漏)和相对湿度对结果的影响较大。为此使用时，要注意气球内外氡浓度不能差异太大，测量时间不能过长，对气球要在不同相对湿度下进行标定，求出相应的湿度修正因子。

5 静电扩散法

该方法的原理是：由于球内外存在氡浓度差，外面的氡通过扩散经泡沫塑料进入球内，0.25 h 左右建立平衡。泡沫的作用是阻挡氡子体的进入。扩散到灵敏体积中的氡衰变产生氡子体，主要是 ^{218}Po 正离子，在电场作用下被收集在中央电极上，由 ^{218}Po 再衰变产生的 α 粒子被光电倍增管收集，经电子学线路整形，计数得到相应的脉冲数。通过相对刻度就可以确定待测空气的氡浓度。

该方法的优点是探测限较低，为 $1.85 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ，既可用于室内氡浓度的测量，也可连续监测氡浓度的动态变化。缺点是设备笨重，不

便于现场使用。中央电极的收集效率和相对湿度有关，需分别标定。

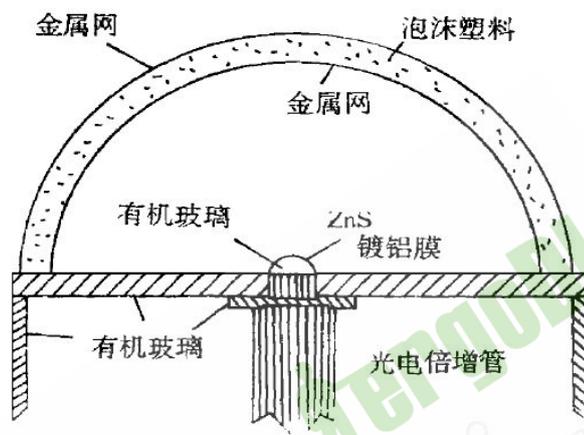


图2 静电扩散法探头结构示意图

6 固体径迹法

该方法的原理是使空气自由扩散到装有固体径迹探测器的测量杯中，空气中的氡及衰变子体产生的 α 粒子在径迹片上因 α 电离损伤留下径迹。在实验室中经简单的蚀刻处理（通常是在NaOH或KOH溶液中，温度为60—70℃浸泡3—4 h）后，在光学显微镜下或用自动火花计数器作径迹计数。经刻度就可得到暴露期间的平均氡浓度。其优点是：价格低廉、小型无源、径迹稳定，适于大规模的氡水平调查，能在12个月的期间内进行累计平均浓度测量。缺点是必要的测量周期较长（对目前可利用的探测器来说，建议最短的测量时间为3个月），并且具有较大的固有精度误差，特别是在浓度较低，探测器被计数的面积较小时更是如此。另外数径迹易产生误差。探测器在测量杯中的位置和测量杯的体积对灵敏度的影响较大。

7 热释光法

其工作原理是用对 α 灵敏，对 β 、 γ 相对不灵敏的热释光片(LiF)记录 α 活性来确定氡浓度。将安置有热释光片的收集室放置于待

测场所后，氡就会通过自由扩散进入收集室内，进入灵敏体积的氡衰变产生的新一代子体(主要是 ^{218}Po) 在外电场的作用下，被中央电极收集,其前端的LiF 片记录下了 α 活性。暴露一定时间后，用热释光剂量仪测量LiF 片，得到的计数正比于氡的积分浓度。由放置时间即可求出某时间段内氡的平均浓度，当暴露1 周时，可探测的平均氡浓度为1.1—11 Bq \cdot m $^{-3}$ 。其灵敏度和收集室的体积有关，需要实验确定。

该方法的优点是成本低廉，小型无源，无噪声，虽然精度比径迹法稍差，但其数据的读出却方便得多，适用于大规模的氡水平调查。缺点是热释光探测器的响应受环境温度和风速的影响较大，使用时应选择适当的位置或采取简单的遮挡以使空气流稳定。热释光随时间的衰退和荧光物质或包装材料里微量放射性的贡献会影响结果的准确性和可靠性。这种影响对于长时间的环境测量，而读取数据前又耽搁一段时间的情况变得较为突出，另外相对湿度的影响较大。

8 活性炭被动吸附法

这种方法是利用活性炭对惰性气体有强吸附力的特点来测氡的一种方法。活性炭采样器通常用塑料或金属制成，敞口处带有滤膜或用青铜粉烧结而成的金属过滤器。测量时,待测空气中的氡扩散进炭床内被活性炭吸附，同时氡衰变产生的子体也沉积在活性炭床中，待其中的氡与其子体达到放射性平衡后，用 γ 谱仪测量。由氡子体 ^{214}Bi 和 ^{214}Pb 的0. 23、0. 29以及0. 609MeV 的全能峰可确定活性炭所吸附的氡量。经刻度即可求出暴露期间的平均氡浓度。还有一种利

用解析原理的活性炭吸附法[12]，该方法将活性炭吸附的氡通过加热解析到电离室或闪烁室中进行测量。

这种方法的优点是布样方便，无源，不用维修，可重复使用，适合大规模的氡调查。缺点是活性炭对氡的吸附并非完全积累过程，因此采样结束前的氡浓度对平均结果的影响较大，只能用于短期测量(2—7 d)。普通型采样器受温、湿度影响较大，但改进型的采样器则不受温、湿度的影响。此外液闪测氡法也利用了活性炭对氡吸附力强的特点。活性炭被动式测氡是一种较有潜力的方法。

9 驻极体测氡法

驻极体测氡法是近年来发展起来的一种方法。原理是氡及其子体使其周围的空气电离产生带电粒子，这些带电粒子在驻极体静电场的作用下，其中的异号带电粒子会使驻极体的表面电荷特性发生变化。利用驻极体表面电位测量仪记录这种变化，经过刻度就可确定待测空气中的氡浓度。

该方法的优点是成本低，重量轻，体积小，驻极体表面电荷信息稳定，测量时间不受限制，驻极体片可重复使用，其灵敏度的可变范围宽和收集室的体积和驻极体的厚度有关，既可用于短期测量，也可用于长期测量，无需电源，如果设计合适的收集室还可用于测氡析出率。缺点是驻极体的使用和保存需特别小心，触及其表面会改变其上的电位。单独一片驻极体片的可探测范围窄，需用不同厚度的驻极体片才能适应较宽的探测范围。对天然本底辐射较灵敏，测量中需作修正。

常用氡子体测量方法

氡子体采样方法一般是将待测空气用超细纤维过滤膜过滤，将氡子体带电微尘收集在滤膜上进行测量。根据取样后测量时间和方法的不同可分为：三点法、三段法、五段法和 α 谱法。

三点法是测量采样结束后3个时刻的 α 计数率，从而求出 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 、 ^{214}Bi 3种子体的浓度。这种方法的优点是设备简单、容易实现，缺点是精度较差，但用于浓度较高的矿山、冶炼厂等工作场所是简单、快速、准确的方法。

三段法是在三点法的基础上发展起来的，其不同点是通过测量取样后3段时间间隔内样品的 α 积分计数，进而求出氡子体浓度。该方法比三点法有较高的精度。

五段法是测量取样后5段时间间隔内样品的 α 计数，从而确定氡和氡子体浓度。该方法可同时测量氡、氡子体，对氡子体不可忽略的场合非常方便。

α 能谱法是用A谱仪分别测出 ^{218}Po 和 ^{214}Bi 的 α 计数，从而确定 ^{218}Po 、 ^{214}Pb 和 ^{214}Bi 的浓度。该方法的优点是提高了氡子体测量的精度，对 ^{218}Po 的精度改善尤为明显，缺点是设备笨重，不便现场使用。

测量方法分类和适用场合分析

根据上述各方法的特点和采样方式的不同，可将氡测量方法分为3大类，分别适用于不同的监测目的和需要（见表1）。

表1 常用氡测量方法分类及其特点

| 采样方式 | 方 法 | 特 点 |
|----------|----------|---|
| 瞬时 采样 | 电离室法 | 直接, 快速, 灵敏度较低, 设备笨重 |
| | 闪烁室法 | 操作简便, 灵敏度较高, 野外使用不便 |
| | 双滤膜法 | 可同时测量氡和子体浓度, 受湿度影响大, 不便携带 |
| | 气球法 | 简单, 快速, 便于携带, 球壁效应难于修正, 受湿度影响较大 |
| 连续 采样 | 闪烁室连续监测仪 | |
| | 自动双滤膜法 | 连续监测设备的共同特点是: 自动化程度高, 可连续监测氡浓度的动态变化, |
| | 扩散静电法 | 缺点是设备都比较复杂, 不便于野外使用, 较昂贵 |
| | 流气式电离室 | |
| 累积 采样 | 固体径迹探测器 | 便于携带或邮寄, 径迹稳定(不易衰退), 无需及时测量, 适合大规模布点, 只用于长期测量 |
| | 热释光剂量计 | 小型价廉, 无电源, 无噪声, 精度比径迹法稍差, 读数方便, 受湿度影响 |
| | 活性炭被动吸附法 | 灵敏度高, 成本低, 操作简便, 无噪声, 能重复使用, 只用于短期测量, 受湿度影响 |
| | 驻极体测氡法 | 价廉, 重量轻, 体积小, 电荷信息稳定, 可重复使用, 不受温、湿度影响, 可用于长期和短期测量 |

11 瞬时采样测量

在工作场所氡的防护监测中常需对某一特定场所的氡及子体浓度进行不定期的监测, 以便及时发现异常, 采取相应的防护措施。要求能通过简单的测量, 迅速确定该场所是否含有较高的氡浓度。在大规模室内氡水平的调查中, 一般要进行上级测量, 即筛选测量和跟踪测量。筛选测量的任务之一是以快速和很小的代价来确定该住宅是否对居住者有引起高照射的潜在可能性, 决定是否需要以及采用何种形式的跟踪测量。另外通过对大量住宅的快速调查, 以便有效地鉴别那些含氡浓度高的房屋, 确定进一步跟踪测量的对象, 避免把时间和资金浪费在那些对健康不构成危险的住宅内。这就需要花费少, 操作简单, 能快速给出结果的测量方法, 我们按其采样特点称之为瞬时采样测量方法。常用方法及其特点见表1。

这些方法特别适用于工作场所的氡监测, 也常用在氡水平调查中的筛选测量, 由于其不能给出长时间氡浓度的平均值, 一般不用

于氡水平调查的跟踪测量，也不如累积法那样布点方便。

12 连续采样测量

有时出于研究的需要，需知道氡及其子体浓度的动态变化及其与影响因素的关系，需对氡浓度进行连续监测。连续监测设备一般较复杂，造价也比较昂贵，因此适用于某些专题研究和重点场所的连续监测。虽然也能给出一段时间的平均氡及子体浓度，但由于其不便携，有源，一般不用于跟踪测量中。常用的系统和方法见表1。

13 时间累积测量

在氡水平的跟踪测量和估算公众所受的剂量时，常需知道氡在一段时间内的平均水平，以便对居民所受的实际或最大可能的照射进行准确可靠的估计。这时瞬时采样测量和连续测量不能满足这种需要，累积测量方法逐渐受到人们的重视。采样时间的长短取决于所用技术的灵敏度。这种方法的探测限低，能够探测瞬时法和连续测量法无法探测的氡水平。设备简单，成本低廉，采样与测量系统分立，便于大量布点，适合于大规模的氡水平调查。常用方法见表1。

选择测量方法时的几点建议

在氡水平调查和有关氡的专题研究中，首先碰到的问题是如何选择监测方法和设备，方法选择得当，可以尽快地达到预期的目的。

选择方法时，应考虑如下几个因素：

(1) 确定所研究问题的性质，决定方法的类别，是采用瞬时法、连续法还是累积法。

(2) 方法的可获得性。确定了方法和类别后，就应考虑这类方法哪些

是本实验室具备的，能很快建立。这时如果只有一种方法可以得到，那就用它，如果还有其他方法，则方法的费用和时间就成了首先考虑的问题。

(3) 方法的费用和时间

如果有几种方法可以得到，则应对所有可能的方法进行分析，选择最适合自己的问题的特点、费用最低、时间最短的方法。

(4) 其他因素

选择方法时还应考虑和测量有关的问题，如布点是否方便，操作是否简便，人员是否需专门培训，维修是否方便以及维修费用的多少。对居民氡水平的调查，还应考虑对居民生活的影响，居民的可接受程度等。总之，测量方法的选择不但会影响工作进度，而且会影响结果的准确度，因此必要时可将几种方法相结合或进行比对测量，以保证数据的准确性和可比性。