

土壤氡浓度测量方法综述

王亚欣^{1,2} 杜一滨^{1,2} 黄清波¹ 陈元庆¹ 王先贺^{1,2}

(1. 核工业航测遥感中心 河北 石家庄 050002)

(2. 河北航遥科技有限公司 河北 石家庄 050002)

【摘要】土壤氡浓度的测量广泛应用于环境评价、地质构造勘查、铀矿资源勘查等领域,本文针对土壤中氡浓度的特点以及氡浓度测量技术需求,分析了几种常见的土壤氡浓度测量原理,并对比分析其优缺点。该文对从事土壤中氡气测量工作人员合理选用测量方法具有参考意义。

【关键词】氡气;土壤氡浓度;氡测量方法

引言

氡作为一种天然放射性气体,在常温环境的空气中形成一种污染空气的放射性气溶胶,被呼吸系统截留并在相应的局部区域持续积累,会对人体健康产生极大危害,是人体受到天然辐射照射最重要的来源,已经被世界卫生组织列入19种致癌物质之一^[1-3]。UNSCEAR报告指出,吸入²²²Rn及其子体所致的内照射年有效剂量为1.2mSv,远比其他天然辐射源的剂量贡献大(UNSCEAR, 2000)^[4]。我国政府非常重视氡的危害和防治,分别于2000年和2005年召开了“全国天然辐射照射与控制研讨会”,力争早日绘制出我国氡水平分布的潜势图。住房和城乡建设部和国家市场监督管理总局在2001年联合发布了GB50325—2001《民用建筑工程室内环境污染控制规范》,并于2011年和2020年进行两次修订发布,其中GB50325—2020版明确规定“新建、扩建的民用建筑工程设计前,必须进行建筑场地土壤中氡浓度或者氡析出率的测定,并提供相应的检测报告”^[5],且为强制性条文。由此可见,氡已经引起了人们的广泛注意,对其开展相关的研究工作也显得非常重要。本文针对土壤中氡气测量的特点,结合现有相关标准,综合对比分析各种土壤氡测量技术工作原理及性能。

1. 氡衰变特性及其辐射危害

氡是镭、钍等放射性元素衰变后的产物,其天然放射性同位素有²¹⁹Rn、²²⁰Rn、²²²Rn。²²²Rn是氡同位素系列中最重要也是最常用的核素,是铀的衰变产物;²²⁰Rn来自于钍衰变(²³²Th)系列;²¹⁹Rn来自于锕系衰变(²³⁵U)系列。由于²¹⁹Rn的半衰期仅有3.9s,

在产生的瞬间就会衰变掉,因此其影响可以忽略不计。自然界中钍的含量是铀的三倍多,但半衰期也是其三倍,故其放射性活度差不多,单位时间内产生的²²²Rn和²²⁰Rn的原子数基本相同。²²⁰Rn半衰期为55.6s,比较短,地壳中产生的²²⁰Rn只有很少一部分能释放到大气中来,而且很快衰变掉。²²²Rn的半衰期为3.825d,经过一系列的衰变后最终形成稳定的²⁰⁶Pb。

²²²Rn衰变的子体有²¹⁸Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po等一系列核素,子体核素还会继续衰变,一直持续到衰变的产物不再具有放射性为止。目前在放射性测量中主要研究²²²Rn衰变释放出来的 α 放射体,以及其子体²¹⁸Po、²¹⁴Po、²¹⁰Po衰变释放出来的 α 、 β 、 γ 射线作为监测对象^[6]。

氡及其子体进入人体的呼吸道后,主要沉积在肺区、鼻咽区和气管一支气管黏膜上,使得这些区域接受到高能 α 粒子的照射。同时氡及其子体可通过呼吸道黏膜进入血液和全身,导致血液和其他脏器受到氡子体的照射。矿工是受到氡照射影响比较大的人群,世界各国开展了大量地下矿工的队列研究和室内氡暴露的病例对照的流行病学研究证明了氡及其子体是肺癌发生的危险因子。

2. 土壤中氡浓度特点以及技术需求特点

土壤氡有以下特点:(1)浓度较高,浓度范围跨度大;(2)土壤氡浓度是连续变化的,不同时段变化值差别可以有数倍关系^[7-8];(3)在勘查领域,工程实践表明,土壤氡浓度异常相对本底水平通常是较大异常,甚至有数量级差异性;(4)在环境土壤氡浓度检测领域,土壤中氡浓度存在个别测量点

异常,但不影响整个工区平均异常水平特点;(5)土壤中氡浓度异常整体趋势是可以重现的,但每个测量点氡浓度绝对测量值是不易完全重现的^[9]。

土壤中氡浓度的测量通常需要具有以下特点:测氡速度尽量快,工作效率高;测氡设备的便携性;数据一致性好,便于多台仪器数据整体评价;测量值准确。基于这些需求特点,土壤测氡技术应具备以下5个特点:(1)测量灵敏度适中;(2)瞬时土壤测氡中需要测量仪器具有快的响应时间,反应测量仪器能快速响应到目标浓度的能力;(3)瞬时测氡中需要测量仪器具有快的恢复能力;(4)区分氡(^{222}Rn)钍(^{220}Rn)的能力,因为不管环境评价壤中氡浓度测量还是在勘查时壤中的氡浓度测量,测量目标均是氡(^{222}Rn);(5)仪器测量速度,在瞬时测氡中测量速度还与仪器的响应速度、恢复速度相关联。

3. 几种常用土壤氡浓度测量技术分析

常用的土壤氡测量方法有:电离室法、闪烁室法、静电收集法、活性炭吸附法、气球法等,下面分别介绍这几种方法的工作原理及优缺点。

3.1 脉冲电离室法(可分为泵吸和扩散两种类型)

3.1.1 泵吸脉冲电离室法

环境空气中的氡在抽气泵抽吸下,经过滤膜过滤掉子体后进入电离室,氡及其衰变产物衰变发出的 α 粒子使空气电离,产生大量电子和正离子,在电场的作用下这些粒子向相反方向的两个不同的电极漂移,在收集电极上形成电压脉冲或电流脉冲,脉冲计数与氡浓度成正比。现场测量时,通过脉冲计数来计算出被测场所空气中氡浓度。

泵吸脉冲电离室法仪器结构简单、轻便,稳定性好,基本不受环境温湿度影响。

3.1.2 α 杯法土壤测氡

α 杯测氡也即 $\text{RaA}+\text{RaC}$ 测氡。 α 杯由对氡子体具有良好吸附性能的聚酯塑料材料制成,将 α 杯置于土壤中。土壤中氡及其子体具有气溶胶性质且是带正电的,具有吸附到物体表面能力。利用空气脉冲电离室对 α 杯体上的氡子体进行有效探测。

α 杯法土壤测氡在取样上最大优点是累积吸附时间较短,大于4h即可,满足当天完成测量工作要求。从取样时间角度考虑,由于是较长时间的自

状态的累积吸附,取样不确定度较小;从取样目标核素考虑取样吸附对钍及其子体不敏感性,受钍射气干扰小;从测量点取样独立性同步性考虑测量点之间相互独立,没有本底污染影响,且可同步取样,数据同步性较好。从测量角度考虑,由于电离室具有高的灵敏度,受温湿度影响小,因此测量准确。

电离室法的优点是: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。

3.2 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 $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 产生闪光,光电倍增管将光信号转变成电脉冲信号,经过电子学线路放大、记录。单位时间内的脉冲数与氡浓度成正比,从而可确定氡浓度。

此方法经过改进,多采用一体配置的抽气泵流气式采集空气,并与同样一体配置的 α 粒子测量装置配套,大大提高了工作效率。同时其操作简便,准确度高,探测下限低(和闪烁室的几何形状等有关,一般可达 $3.7\text{Bq}/\text{m}^3$,设计好的可达 $0.37\text{Bq}/\text{m}^3$)^[10]。缺点是:闪烁室的本底随时间增加,探测效率随时间减小,应用于长期连续测量时,需要定期在线刻度。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。

3.3 泵吸静电收集能谱分析法

通过泵吸取样方式抽取被测目标氡气及其子体进入带有正高压静电收集腔,在正静电高压电场力作用下, ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 以及它们的子体 ^{218}Po 、 ^{216}Po 被收集到半导体探测器上, ^{218}Po 、 ^{216}Po 衰变出的 α 粒子入射探测器产生电脉冲信号,被电子线路放大进入多道脉冲分析器,随后被记录,单位时间内的脉冲数与氡浓度成正比。现场测量时,通过脉冲计数来计算出被测场所空气中氡浓度。由于采用半导体探测器对氡浓度进行测量时,受温湿度影响较大,因此气体在进入氡及其子体收集装置前需要进行干燥

泵吸静电收集能谱分析法最大的特点是利用 α 能谱多道分析技术,一改其他测氡方法的两种氡混合测量(^{222}Rn 和 ^{220}Rn),使 ^{222}Rn 和 ^{220}Rn 两者可单独

测量和单独评价,大大提高了测氡技术水平,同时其灵敏度较高,因此在瞬时土壤测氡中是较为理想的土壤测氡技术;其缺点主要有:(1)取样不确定性大;(2)温湿度修正模型不确定性导致温湿度影响较大;(3)本底污染影响恢复时间;(4)受取样时间和排空时间影响。

3.4 活性炭盒测氡法

这种方法是利用活性炭对氡的强吸附作用来测氡。活性炭采样器通常用塑料或金属制成,敞口处带有滤膜。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,由 γ 谱仪测量活性炭盒的 ^{218}Po 氡子体衰变特征 γ 射线峰(或峰群)强度,特征峰强度与氡浓度成正比,经过标准氡室标定,给出“体积活度响应”系数,通过脉冲计数来计算出被测场所空气中氡浓度。

这种方法的优点是布样方便,无源,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;同时活性炭对水分吸附性强,因此采样器受温、湿度影响较大。

3.5 气球法

采用气球法测氡浓度时,首先过滤掉待测空气中原有的氡子体,将被滤掉子体的纯氡气体进入气球,在放置一段时间内,纯氡在气球内按照固有规律产生新子体,新的子体在气球排气中被过滤阻流,测量滤膜的 α 粒子计数,从而得到被测气体中氡浓度。

该方法操作简便,实验设备体积小,测量准确,能满足低浓度氡的测量,且其采样体积不受限制(增加气球体积即可降低探测限),适用于环境本底调查、环境质量评价等方面的氡浓度测量;但由于是瞬时测量,所测的室内氡浓度具有很大的波动性,不适合风力较大的场合测量,而且气球的球壁效应(吸附和泄露)和相对湿度对结果的影响较大。

4. 小结

综上所述,土壤测氡的方法有很多,理论上来看,所有能用于环境或室内氡的测量方法,只要在取样装置上稍加改进就可以用来测量土壤氡。文中

介绍了常用测量方法的优缺点,瞬时采样测量方法适用于工作场所的氡监测及氡水平调查中的筛选测量,如电离室法、闪烁室法;连续采样设备一般较复杂,造价也比较昂贵,因此只适用于某些专题研究和重点场所的连续监测,如静电收集法;累积测量方法的设备简单,成本低廉,适合于大规模的氡浓度调查,如活性炭法。土壤氡浓度的测量受人为、环境、气象因素的影响,方法的选择也要考虑测量目的、时间、费用等。该文对从事土壤中氡气测量工作人员合理选用测量方法具有参考意义。

参考文献:

- [1]曹杰.室内氡的危害及控制措施[J].山西建筑,2002,28(4):154-155.
- [2]郑亦挺.便携式连续测氡仪的研制[D].成都理工大学,2006.
- [3]田义宗,李建辉,赵莉等.降低室内氡的有效方法[J].中国辐射卫生,2008,17(1):64-69.
- [4]United Nation.The effect of atomic radiation, sources, effects and risks of ionizing radiation: report of United Nation Scientific Committee[R].New York: UNSCEAR,2000.
- [5]民用建筑工程室内环境污染控制规范: GB/T50325-2020[S].北京:中国质检出版社,2020.
- [6]刘鸿福.氡及其子体运移的实验研究与机理探讨[J].博士论文,1997.
- [7]丁卫撑.基于扩散累积原理壤中氡 α 能谱测量技术研究[D].成都:成都理工大学,2009.
- [8]汪栋,方方,丁卫撑.土壤氡浓度日变化影响因素研究[J].物探与化探,2014(3):485-489.
- [9]阮菊红,丁卫撑,于兵等.几种常用土壤氡浓度测量技术分析[J].中国测试,2020,09.
- [10]苟全录.氡及其子体测量方法简介[J].辐射防护通讯,1994,14(6):34.
- [11]张守志,李小亮,孙全富.氡及其子体的健康危害效应[J].中国预防医学杂志,2011(08):726-732.
- [12]肖德涛,赵桂芝.被动积分测 ^{220}Rn 方法及其应用[J].南华大学学报,2004,18(4):7-13.
- [13]赵桂芝,肖德涛.土壤氡浓度的测量方法现状[J].核电子学与探测技术,2007,27(3):583-587.