

建筑场地土壤氡浓度检测影响因素分析

刘 飞

忻州市炬监工程质量检测有限公司 山西忻州 034000

摘 要:放射性气体氡是建筑场地核心放射性污染物,其浓度检测结果直接关联工程安全评估与人体健康保障。文章以建筑场地土壤氡浓度检测为研究对象,从氡的基本特性、来源及迁移规律切入,深入分析土壤理化性质、气象条件、检测技术与仪器参数、检测布点与采样规范四大核心影响因素,提出适配土壤性质、动态调整检测时间、规范技术仪器管理、优化布点采样操作的针对性优化方法,旨在消除检测过程中的各类偏差,提升检测数据的准确性与可靠性,为建筑场地土壤氡污染防控提供理论支撑与实践指导。

关键词:建筑场地;土壤氡浓度检测;影响因素;氡迁移

引言

氡作为自然界唯一的放射性惰性气体,其衰变子体通过呼吸进入人体后,易引发肺癌等严重疾病,而建筑场地土壤是氡的主要释放源。随着建筑行业对放射性安全的重视,土壤氡浓度检测已成为工程前期环境评估的强制性要求,开展相关研究具有重要现实意义,不仅能填补检测技术优化的实践空白,更能为人体健康与工程安全筑牢防线。文章将明确氡的基础特性与迁移规律,系统拆解检测影响因素,构建对应的优化方案,为检测工作提供全面参考。

1 氡的基本特性与土壤氡来源

1.1 氡的物理化学特性

氡属于稀有气体族,其最稳定同位素为氡 222。该气体在标准状态下呈无色无味状态,化学性质极不活泼,难以与其他物质发生化学反应。氡的密度远大于空气,约为空气的 7.5 倍,易在低洼区域、密闭空间积聚。氡的物理化学特性使其在环境中具有独特的行为规律。作为惰性气体,氡不与土壤中的矿物质、有机质发生化学结合,主要以自由气体形式存在于土壤孔隙中。较大的密度导致氡在垂直方向上易向下沉降,在水平方向上扩散速度较慢,这使得土壤氡浓度在空间分布上呈现不均匀性。

1.2 土壤氡的主要来源

土壤氡的产生与地球内部放射性核素的衰变过程密切相关,其主要来源可分为原生来源与次生来源两类。原生来源是土壤氡的核心供给,次生来源则对局部区域浓度产生补充作用。明确土壤氡的来源构成,有助于理解浓度分布规律,

为检测布点提供方向。

土壤中铀的含量直接决定氡的生成速率,花岗岩、火山岩等酸性岩石分布区域的土壤铀含量较高,氡生成量显著高于沉积岩区域。次生来源包括地下水迁移与大气渗透,地下水可溶解岩石中的氡并携带至土壤层,在地下水位较高的区域形成局部氡富集;大气中的氡可通过土壤表面孔隙渗透至浅层土壤,尤其在夜间大气压力升高时,渗透作用更为明显。

1.3 土壤中氡的迁移规律

土壤中氡的迁移是其从生成位置向地表或深层土壤移动的过程,主要受土壤结构与环境条件影响,呈现特定的时空分布规律。

土壤中氡的迁移主要通过扩散与对流两种机制实现。扩散迁移是由于土壤孔隙中氡的浓度梯度引发,氡原子从高浓度区域向低浓度区域随机运动,其扩散速率与土壤孔隙度、颗粒级配相关。砂质土壤孔隙大且连通性好,扩散系数较高,氡可快速迁移;黏质土壤孔隙细小且分布不均,扩散阻力大,氡易在局部积聚。对流迁移是土壤气体整体流动带动氡的迁移,主要受温度差、气压差、土壤含水率等因素驱动。

2 建筑场地土壤氡浓度检测的影响因素分析

2.1 土壤自身理化性质

土壤孔隙度是影响氡迁移的关键参数,孔隙度越大,氡的迁移通道越通畅,浓度分布越均匀;孔隙度越小,氡迁移受阻,易形成局部高浓度区域。砂质土壤孔隙度通常在 30% 至 40% 之间,氡扩散与对流迁移均较为顺畅,浓度空

间变异较小;黏质土壤孔隙度虽可达40%至50%,但孔隙细小且连通性差,氮迁移阻力大,浓度分布不均匀。有机质含量较高的土壤,其颗粒表面具有吸附能力,会吸附部分氨气体,导致检测值低于实际浓度,尤其在有机质含量超过5%的土壤中,吸附作用更为明显。

2.2 气象条件

气象条件通过改变土壤环境的温度、压力、湿度等参数,间接影响土壤氨的迁移与释放,是导致检测结果时空波动的重要外部因素^[1]。气象因素的动态变化会打破土壤氨的平衡状态,使浓度在不同时段、不同天气条件下呈现显著差异。

土壤温度随气温升高而上升,当温度升高10℃时,土壤气体的扩散系数约增加1倍,氨的迁移速率显著提升。夏季地表温度可达30℃以上,土壤浅层温度升高,气体膨胀形成向上的对流气流,推动氨向地表释放,此时土壤中氨浓度较低;冬季地表温度降至0℃以下,土壤深层温度高于浅层,气体对流方向反转,氨向深层土壤迁移,浅层土壤浓度升高。气压变化与土壤氨浓度呈负相关,大气压力升高时,地表压力大于土壤内部压力,抑制氨的释放,土壤中氨浓度升高;气压降低时,土壤内部压力大于地表压力,氨易向地表迁移,浓度降低。

2.3 检测技术与仪器参数

常用的土壤氨浓度检测技术包括电离室法、闪烁瓶法、活性炭吸附法、静电收集法等。电离室法通过测量氨及其子体电离气体产生的电流来计算浓度,检测精度高,相对误差小于5%,但仪器体积大、操作复杂,适用于实验室分析与高精度检测;闪烁瓶法利用氨衰变产生的 α 粒子激发闪烁体发光,检测速度快,相对误差约为10%,但受环境光线影响较大,适用于现场快速检测。仪器参数设置对检测结果影响显著,采样流量设置不当会导致氨吸附不充分或过量,通常采样流量应控制在0.5至1 L/min;检测时间过短会导致未捕捉到氨浓度峰值,过长则可能因氨衰变导致数据偏低,一般采样时间为24至72h。

2.4 检测布点与采样规范

检测布点的合理性与采样操作的规范性直接影响样品的代表性,是确保检测结果能够反映场地整体氨浓度水平的关键^[2]。布点方案决定采样位置是否覆盖高风险区域,采样操作则影响样本是否真实反映土壤中的氨浓度。若布点稀疏、位置不当或采样操作不规范,会导致检测结果无法代表

场地实际情况,引发安全评估失误。采样深度直接影响检测结果,浅层土壤受大气交换影响较大,浓度波动明显;深层土壤氨浓度更为稳定,但迁移至地表的可能性较低。

3 建筑场地土壤氨浓度检测的优化策略

3.1 优化土壤理化性质适配检测方案

针对土壤理化性质对检测结果的影响,应通过前期土壤调查明确场地土壤类型与参数,针对性调整检测方法 with 参数,消除土壤自身特性带来的偏差^[3]。通过适配土壤理化性质的检测方案,可提高采样样本的代表性与检测数据的准确性,确保检测结果能够真实反映土壤氨浓度水平。

在检测布点前,可采用环刀法测量孔隙度,烘干法测量含水率,筛分法分析颗粒级配,重铬酸钾容量法测定有机质含量。根据检测结果划分土壤类型,如砂质土壤、黏质土壤、壤土等,并标注高含水率区域、高有机质区域等特殊区域。同时,针对性选择检测技术,对于砂质土壤,因其孔隙连通性好,氨浓度分布均匀,可采用活性炭吸附法进行快速检测,布点密度可适当降低;对于黏质土壤,氨浓度分布不均,应采用精度更高的电离室法,增加布点数量,确保覆盖局部高浓度区域。最后,调整检测参数与操作细节,高含水率土壤应在采样前进行自然风干,待含水率降至15%至20%时再采样,避免水分堵塞孔隙导致氨无法释放;低孔隙度土壤应适当增加采样深度,从0.5至1.0m调整为0.8至1.2m,确保采集到土壤活跃层的样本,采样过程中记录土壤理化参数,便于后续数据校正,根据含水率与孔隙度建立校正模型,对检测结果进行修正。

3.2 动态调整检测时间应对气象影响

为降低气象条件对检测结果的干扰,应结合场地所在区域的气候特征,动态选择最佳检测时段,避开极端气象条件,确保检测过程中气象参数相对稳定。通过合理规划检测时间,可减少气温、气压、降水等因素导致的浓度波动,提高检测数据的可比性与可靠性^[4]。

第一,明确最佳检测时段,根据区域气候特征选择气象条件稳定的时期。我国北方地区春季气温回升平稳、降水较少,秋季气压稳定、风速适中,是土壤氨检测的最佳季节;南方地区雨季较长,可选择雨季结束后1至2周,此时土壤含水率稳定,气象条件温和。单日检测应选择气温、气压变化较小的时段,上午9时至11时、14时至16时气象参数相对稳定,避免在清晨、傍晚或夜间采样,减少温度骤变带

来的影响。第二,避开极端气象条件,检测前查询72小时气象预报,避开高温、暴雨、大风、强气压变化等天气。气温超过35℃或低于0℃时,土壤氡迁移速率异常,应暂停检测;预计24h内有暴雨时,需推迟检测,雨后至少等待3天,待土壤含水率与气体流动恢复稳定后再进行;风速超过5米每秒时,会加速地表气体交换,应选择无风或微风天气检测。第三,建立气象参数记录与校正机制,检测过程中同步记录气温、气压、湿度、风速等气象数据,每2h记录一次。若检测期间气象参数出现小幅波动,可根据波动幅度进行数据校正,如气温每变化5℃,对检测结果进行5%至8%的修正;气压变化超过10千帕时,对结果进行10%至15%的调整。同一场地的多个检测点应在相同气象条件下完成采样,确保数据具有可比性。

3.3 规范检测技术与仪器管理

通过科学选择检测技术、加强仪器校准与维护、统一操作流程,可消除检测技术与仪器参数带来的系统误差,提升检测数据的精准度^[5]。

一方面科学选择检测技术,根据检测目的、场地条件与精度要求确定合适的方法。建筑工程场地安全评估需采用高精度检测技术,优先选择电离室法或闪烁瓶法,确保检测误差控制在10%以内;大面积场地普查可采用活性炭吸附法,提高检测效率,同时选取10%的检测点采用闪烁瓶法进行验证。另一方面加强仪器校准与维护,建立仪器全生命周期管理档案。检测仪器需经法定计量机构校准合格后方可使用,每年至少校准一次,使用频率较高的仪器每6个月校准一次。日常使用前进行自检,电离室法需检查密封性与电离电流稳定性,闪烁瓶法需验证光电倍增管灵敏度,活性炭吸附法需确认采样流量准确性。仪器存放于干燥、通风、避光的环境,避免潮湿、高温或剧烈震动影响性能,使用后及时清洁、保养,延长使用寿命。另外,统一操作流程,制定标准化作业指导书。明确采样流量、检测时间、样本处理等关键参数,电离室法采样流量控制在0.8升每分钟,检测时间为24小时;闪烁瓶法采样流量为1升每分钟,检测时间为12小时;活性炭吸附法采样流量为0.5升每分钟,吸附时间为48小时。操作人员需经专业培训合格后上岗,严格按照作业指导书操作,避免因人为操作差异导致数据偏差。

3.4 优化布点与采样操作规范

通过科学设计布点方案、规范采样操作流程、强化质

量控制,可提高样本的代表性与完整性,确保检测结果能够全面反映场地土壤氡浓度分布特征。

布点应遵循均匀分布、重点覆盖的原则,根据场地形状、面积、地质条件合理规划。矩形场地采用网格布点法,将场地划分为等面积网格,每个网格中心设置一个检测点;不规则场地采用放射状布点法,以场地中心为原点,向四周辐射布置检测点。重点区域加密布点,低洼处、地质断裂带、地下水位较高区域、铀矿化区域等高危区域,布点密度增加50%,确保不遗漏高浓度区域。布点数量严格按照规范执行,场地面积小于1000m²不少于3个点,1000至10000m²每1000m²至少1个点,超过10000m²不少于10个点,确保覆盖场地各个区域。与此同时,规范采样操作流程,减少人为干扰。采样深度严格控制在0.5至1.0m,使用螺旋钻采样时,钻速控制在每分钟30至50转,避免过度扰动土壤;采样前清理钻孔周围的表层浮土,确保采集到未受污染的土壤样本;采样容器选用密封性能良好的玻璃或不锈钢容器,取样后立即加盖密封,在容器表面标注采样位置、深度、时间等信息。采样过程中避免样本受阳光直射或高温环境影响,运输过程中保持容器直立,防止泄漏。

4 结束语

建筑场地土壤氡浓度检测是保障工程放射性安全的关键环节,其质量受土壤自身特性、气象条件、技术仪器、布点采样等多重因素共同影响。未来可进一步深化不同地质区域土壤氡迁移的特异性研究,结合物联网、智能化检测设备构建动态监测体系,完善数据校正模型,持续提升土壤氡浓度检测的精准化、高效化水平,为建筑环境安全提供更有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 廖娅,杨贤,陈安超,等.土壤氡浓度检测的环境影响因素[J].科技与创新,2025,(15):195-197.
- [2] 高智刚,王晨,杨雄.土壤氡析出率与土壤氡浓度协同变化规律研究[J].科技创新与应用,2021,11(19):50-52.
- [3] 徐小刚.土壤氡气测量在某建筑场地的应用[J].中国新技术新产品,2020,(20):118-119.
- [4] 孙贤阳,王礼飞,方雷.合肥地区土壤氡浓度水平调查及影响因素分析[J].安徽建筑,2020,27(03):194-195.
- [5] 庞观华.浅析土壤中氡浓度检测及其影响因素[J].广东化工,2020,47(02):139+157.