

环境监测中土壤重金属监测技术要点研究

焦舰祺

山西华普检测技术有限公司 山西 太原 030000

摘要：当前国内土壤重金属污染防控与农用地安全利用工作持续推进，监测数据的精准性直接关系到污染评估与修复策略的落地成效。结合土壤介质的特殊赋存特征梳理监测全流程的操作逻辑，针对采样、前处理、仪器分析等环节的现存偏差提出适配性优化方案，本文围绕不同监测技术的适用场景与操作细节展开系统梳理，形成可落地的全流程质量管控路径，为复杂场地条件下的土壤重金属精准监测提供实操层面的参考支撑。

关键词：土壤重金属监测；全流程质量管控；样品前处理；快速筛查技术

引言：伴随国内工农业生产活动的持续推进，重金属污染物通过大气沉降、农业投入品施用、工业废弃物排放等多种途径逐步渗入土壤圈层，部分区域已出现不同程度的污染物富集现象。这类隐匿于土体内部的污染组分难以自然降解，会通过食物链逐步向农产品与人体迁移，直接威胁区域耕地质量与生态环境安全。精准掌握土壤中重金属的含量与空间分布特征，是开展污染风险分级、划定安全利用类耕地、制定靶向修复方案的核心前提。不同区域的土壤基质差异显著，传统监测流程在复杂场地作业中仍存在诸多适配性短板，需结合实操场景梳理关键技术要点，补齐现有作业体系的质量漏洞。

1 土壤重金属监测的环境特征与监测逻辑

1.1 土壤环境中重金属赋存与迁移特征

重金属物质进入土壤圈层后，会以多种形态稳定留存于土体结构内部，不会随自然环境变化自行降解消失。物质组分可结合土壤胶体、矿物质及有机质形成稳定结合态，部分游离形态会附着于土壤孔隙与颗粒表层。土体内部温度、湿度及酸碱环境的细微变动，都会推动重金属物质发生缓慢的形态转化。降水入渗、土体毛细作用与颗粒自然运动，会带动重金属物质在纵向与横向范围内发生缓慢迁移^[1]。物质迁移过程中容易在土层深处或低洼区域出现聚集堆积，造成局部区域污染物富集，改变场地土壤原本的物质组分结构。

1.2 重金属介质分布对监测工作的影响因素

重金属在土壤空间内的分布状态具备明显的不均匀性，不同土层深度、不同场地位位的物质含量存在明显差异。表层土壤受外界输入影响更为显著，重金属积累程度相对更高，深层土体物质含量更贴合原生背景状态。土壤质地的差异会改变物质渗透与留存能力，砂质

土体孔隙偏大，物质渗透迁移能力更强，黏质土体对重金属的吸附留存作用更为突出。空间分布的无序特征，会增加点位布设与样品采集的难度，容易造成监测数据无法真实反映场地整体污染状态。

1.3 土壤重金属监测的工作特性与实施难点

土壤重金属监测属于精细化的环境检测工作，整体流程环节繁琐，对操作规范性要求严格。监测工作需要依托现场采样、样品处理、实验室检测等多道工序衔接完成，任一环节出现偏差都会影响最终检测质量。土壤介质本身具备复杂的理化属性，内部杂质成分多样，容易对重金属检测形成基质干扰。污染物隐匿于土体结构内部，无法通过直观观测判断分布范围与富集程度，监测工作需要依靠精密设备与标准化操作完成定量判定，整体实施过程具备较强的专业性与复杂性。

1.4 复杂场地环境对监测作业的干扰因素

各类场地的地形条件、植被覆盖与人为扰动状态存在明显差异，构成复杂多变的监测作业环境。凹凸不平的场地地形会限制采样设备布设，提升规范取样的操作难度。植被根系、石块杂物混杂于土体之中，会干扰样品的完整性与代表性。长期受到人为活动扰动的场地，土层结构遭到破坏，污染物分布规律更加无序。自然环境中的温湿度波动、降水天气等条件，也会改变表层土壤状态，对现场监测作业与样品原始属性形成干扰，进一步提升土壤重金属精准监测的作业难度。

2 现阶段土壤重金属监测工作的现存问题剖析

2.1 土壤前期采样与预处理环节的操作缺陷

土壤采样与样品预处理是重金属监测的前置关键环节，操作细节的规范程度直接决定样品能否真实体现场

地污染水平,也影响最终检测数据的可靠程度。现场点位布设缺少科学规划,采样覆盖范围存在局限,获取的样品难以完整呈现土层真实污染状况。取样深度把控较为随意,忽略不同土层的污染物分布差异,很容易造成监测数据出现偏差。预处理过程中的风干、筛分、研磨等工序操作不够精细,容易带入外来杂质^[2]。样品存放与处置方式不规范,周边环境条件会改变样品原始理化状态,对后续重金属组分检测产生不利影响。

2.2 常规检测技术的作业适配局限

主流土壤重金属检测技术依托固定原理与设备参数完成检测工作,实际应用场景存在明显局限。这类技术更适配组分简单、杂质较少的标准土壤样本,难以适配野外复杂场地的特殊土体条件。样本中重金属含量偏低、多种元素共存混杂时,常规检测手段的识别精度会明显下降,无法精准捕捉微量污染组分。检测流程多为固定模式,难以结合现场污染特点灵活调整检测方式。复杂土体环境中容易出现信号辨识模糊、组分区分不清晰的问题,难以满足复杂场地的精准监测需求。

2.3 监测流程规范化管控存在的短板

土壤重金属监测由多道连续工序组成,整体工作质量需要完整、统一的标准化管控体系作为支撑。当前部分监测作业的过程管控较为松散,标准化操作要求无法落实到各个作业环节。现场作业缺少精细化过程约束,操作人员多依靠过往经验开展工作,细节把控存在诸多疏漏。管控重心多聚焦于最终检测结果的核查校对,对前期采样、样品处理等关键流程的管控力度偏弱。全流程管控体系存在漏洞,各工序衔接缺少统一标准指导,细小的操作偏差不断积累,最终影响整套监测工作的稳定性与可靠性。

2.4 复杂基质下重金属识别与分辨短板

野外场地的土壤基质结构复杂,有机质、原生矿物、碎屑杂质相互交织,构成干扰性较强的检测基底。复杂基质会遮挡、屏蔽重金属检测信号,弱化目标元素的响应特征,降低检测灵敏度。不同重金属元素的理化属性存在重叠,检测信号特征相似度较高,很容易出现组分区分不明确的情况。基质干扰得不到有效消除,会造成元素识别模糊、含量判定偏差等问题,拉低监测数据的精准度,让复杂场地的土壤重金属监测难以达到理想作业质量。

3 土壤重金属监测关键技术与操作要点

3.1 土壤样品采集与留存的标准化技术要点

土壤样品采集是保障监测数据真实有效的首要环

节,规范的布设与取样操作可以有效降低人为误差。场地采样布设遵循均匀覆盖原则,根据监测范围划分若干单元区块,通过多点位取样的方式弱化局部土体差异带来的代表性偏差。野外表层取样遵循常规土层采集标准,特殊监测场景可按需分层取样,单独封装不同土层样本。取样过程仔细剔除石块、植物根系、人工杂物等异物,保证取样土体成分纯净^[3]。样品留存选用洁净密封容器盛装,做好标识分类后置于阴凉避光环境存放,最大程度保留土体原始理化状态,为后续检测工作提供可靠样本基础。

3.2 土壤样品预处理与提纯技术要点

采集后的土壤样品需要通过系统化预处理消除基质干扰,提升检测作业的精准程度。新鲜样品置于自然通风环境阴干,规避高温烘烤造成的重金属组分流失或形态转变。干透土体经过碾碎处理后,通过分层筛滤筛选出粒径均匀的待测土体粉末。筛滤完成后开展杂质二次清理,彻底去除残留碎屑与有机杂质。针对污染组分复杂的样本,可采用低温消解、离心提纯等方式净化基底环境,弱化土体有机质与矿物成分对检测过程的干扰,让待测样本满足实验室精密检测的作业条件。

3.3 实验室精准检测技术操作要点

实验室检测是判定土壤重金属含量水平的核心环节,整套操作需要保持严谨规范的作业标准。检测前期做好设备校准与器皿清洗工作,降低仪器误差与残留杂质带来的检测偏差。根据待测重金属元素种类匹配对应的检测方法,严格把控试剂配比、消解时长、反应温度等关键参数。样品上机检测遵循空白对照、平行样本比对的作业模式,通过多组平行测试规避单次检测的偶然性误差。全程记录实验操作参数与数据变化情况,及时排查检测过程的异常波动,保障实验室检测结果的稳定性与精准性。

3.4 现场快速监测技术应用操作要点

现场快速监测技术可以实现土壤重金属污染的即时筛查,适配大范围场地的初步摸排工作。设备开机后完成基线校准与参数调试,保证仪器处于稳定工作状态。现场取样遵循多点随机采集原则,缩减单点取样带来的片面性问题。设备检测过程保持规范作业姿态,稳定检测距离与探测角度,减少外界环境带来的信号波动。同一监测点位重复开展检测作业,筛选稳定有效的数据完成初步污染判定。快速检测技术可高效筛查场地污染分布范围,为后续精细化实验室检测提供精准的点位参考。

4 土壤重金属监测技术的优化与完善路径

4.1 监测全流程操作工艺的精细化改良

土壤重金属监测由多道工序连贯组成,任一环节的粗放操作都会引发监测偏差,影响最终数据的真实程度。工艺改良需要贯穿采样、样品处置、上机检测的全部流程,细化各环节的操作标准与执行细节。现场采样阶段细化区块划分与点位布设逻辑,改善传统取样覆盖不均、代表性不足的问题。样品处置阶段统一风干、研磨、筛分、提纯的作业标准,规范样品存放与转运方式,减少外界环境对土体原始属性的改变^[4]。检测阶段细化试剂调配、样品消解、仪器调试的操作细节,弱化人工操作带来的不确定性。通过细化工序标准、规范操作细节,构建精细化的作业模式,从工艺源头提升整套监测工作的精准程度。

4.2 多技术融合监测模式的优化方式

单一监测技术存在固定的应用局限,无法适配现阶段多样化、复杂化的土壤监测场景。各类监测技术的工作原理、适用场景与检测精度存在差异,单一手段难以兼顾大范围摸排与高精度定量检测的双重需求。监测模式优化可以打破单一技术的应用壁垒,整合不同技术的优势特点。依托现场快速检测技术完成场地整体污染摸排,锁定污染异常区域与重点监测范围。依托实验室精密检测技术完成重点区域的深度定量分析,精准识别重金属组分与污染积累状态。搭配基质净化、干扰剔除的辅助技术优化检测环境,构建粗筛与精检结合、主检与辅检互补的新型监测体系,提升整体监测工作的全面性。

4.3 复杂场地监测适配能力的提升策略

野外监测场地环境差异较大,复杂地形与特殊土体基质会大幅增加监测作业难度,常规监测模式难以适配特殊工况。针对地形起伏明显、地表杂物繁多的场地,优化取样布设逻辑,科学规避特殊点位干扰,保证采集样品能够真实反映区域土壤状态。针对有机质含量高、基质结构复杂的土体,升级样品预处理工艺,强化杂质剔除与基底净化效果,缓解复杂基质对检测信号的干扰。结合场地实际环境灵活调整作业流程与检测方式,摒弃僵化固定的作业模式。针对性适配各类复杂作业条

件,能够有效拓宽监测技术适用场景,提升复杂工况下监测工作的稳定性与有效性。

4.4 监测作业规范性与严谨性的完善路径

规范严谨的作业体系是保障监测数据稳定可靠的关键。监测工作对操作细节依赖度较高,作业人员不规范的操作行为、流程管控的疏漏问题,都会积累成监测误差。完善作业管控体系,需要细化各工序的标准化作业准则,明确不同环节的操作要求与质量管控重点,杜绝经验化、随意化的作业方式。建立分层核查机制,针对采样成果、样品质量、检测数据开展逐级核查,及时排查并修正作业偏差。常态化组织作业技能培训,夯实一线人员的标准化操作能力,减少人为疏漏带来的质量问题^[5]。

结束语

从采样点位的科学布设到实验室检测的参数管控,土壤重金属监测的每一处操作细节都直接影响最终数据的可靠性。通过细化各工序的标准化操作准则,融合现场快速筛查与实验室精准分析的技术优势,可有效消解复杂基质与特殊场地环境带来的监测干扰。这套全流程的质量管控逻辑,能为一线环境监测作业提供清晰的实操指引,助力相关从业人员在各类工况下输出稳定、精准的监测成果,为区域土壤污染防治与农用地分类管理工作筑牢数据支撑根基。

参考文献

- [1] 王文娟. 环境监测中土壤重金属监测技术要点分析[J]. 中国金属通报,2026(10):186-188.
- [2] 陈辰. 环境监测中土壤重金属污染监测技术的要点研究[J]. 皮革制作与环保科技,2026,7(5):56-58.
- [3] 梁其林. 环境监测中土壤重金属监测技术要点研究[J]. 城市周刊,2025(49):55-57.
- [4] 杨文武. 环境检测中土壤重金属监测技术要点研究[J]. 石油石化物资采购,2023(16):170-172.
- [5] 褚可成,陈锴. 土壤与地下水污染修复技术的应用研究[J]. 黑龙江科学,2022,13(16):31-33.