

# 挥发性有机物污染土壤采样保存与检测结果影响

雷城英 张颖萍 李荣艳

西安中诺安信建设工程有限公司 陕西 西安 710000

**【摘要】**：为确保挥发性有机物（VOCs）污染土壤检测数据精准，本文重点探讨采样技术与保存条件对检测结果的影响，剖析土体扰动、温度波动、容器吸附等误差来源及作用机制，构建加标回收率等偏差量化表征方式，完善多维度验证手段与全流程质量控制方案。规范采样保存操作能够有效降低检测偏差，为污染地块调查、风险评估及修复治理提供可靠数据支撑，具备重要实践意义。

**【关键词】**：挥发性有机物（VOCs）；土壤采样保存；检测结果影响

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.036

## 引言

挥发性有机物（VOCs）可经多种途径污染土壤，检测数据精准度直接关系污染地块治理方案的科学与实效。采样扰动、保存条件欠佳等环节容易造成VOCs挥发、降解或吸附，致使检测结果偏离实际，构成场地调查工作的关键技术瓶颈。本文围绕VOCs污染土壤采样关键控制点、样品保存稳定性、检测结果影响机制及质控体系开展研究，明确误差诱因并提出实操性管控方案，为提升检测数据可靠性筑牢基础。

## 1 挥发性有机物污染土壤采样技术与关键控制点

挥发性有机物具备低沸点、易挥发、强吸附特性，土壤采样规范与否直接影响后续检测数据真实有效，更是污染地块调查的基础核心<sup>[1]</sup>。实际采样需结合场地污染分布特征与土壤剖面结构布设采样位置，参照污染扩散规律设定采样深度，避开人工回填杂物层与人为扰动区域，确保土壤样品真实反映地块原生污染情况。采样需摒弃传统敞口取土模式，采用密闭式无扰动采样工艺，缩减土体与大气接触时长，抑制挥发性组分逸散。采样器具选用惰性材质，从根源避免器具内壁吸附有机物，做好前期洁净处理，防止不同点位样品交叉污染。现场作业规避高温强光环境，把控单次采样时长，取土后即刻封闭处理，规范全流程采样技术细节，筑牢土壤VOCs检测数据精准度的第一道防线。

## 2 挥发性有机物污染土壤样品保存技术与稳定性影响

挥发性有机物土壤样品采集后，保存条件是维持原有组分稳定的核心，储存环境的细微变动便可能引发物质逸散、吸附降解等系列反应。参照HJ605-2011土壤监测规范，VOCs土壤样品需用全玻璃密封容器盛装，避免塑料材质对有机组分产生吸附溶出干扰，同时采取避光封存抑制光化学反应。样品转运与暂存需恒定保持低温冷藏，环境温度高于常温时，静置四小时内轻组分挥发性有机物损失率已达17.6%。样品保存时长的严格管控同样关键，依据场地环境监测相关标准，污染土壤VOCs样品需在七天内完成实验室检测，超出时限后土壤微生物

物会分解部分卤代烃与苯系物，导致样品本底浓度偏移。全程密闭隔绝空气、恒定低温控温、严控检测时限的综合保存方式，可有效削弱外界环境对样品稳定性的破坏，避免保存不当造成检测数值失真。

## 3 采样保存环节对检测结果的影响机制与质量控制

### 3.1 误差来源与作用机制分析

挥发性有机物污染土壤从现场采样到实验室上机检测的全流程，各类隐性误差持续干扰组分原始浓度，形成机制贯穿土体扰动、环境接触、储存转运等各个环节，也是检测结果偏离真实值的根本诱因。人为扰动破坏土壤原有孔隙结构，土体内部吸附态挥发性有机物快速向孔隙空气中释放，与外界大气形成浓度梯度后持续逸散，现场缺乏规范密封操作时，轻质苯系物短时间内即出现明显浓度衰减。若采样操作不规范、露天作业停留时间过长，会进一步加剧有机组分逃逸流失，直接改变土壤原有组分本底含量，为后续实验室定量检测埋下难以修正的系统性偏差隐患。

土壤质地差异进一步放大误差产生的复杂性，砂质土壤孔隙度高、透气性强，采样后VOCs与空气接触面积更大，相同暴露时间下挥发损失率较黏质土壤高出37.8%；黏质土壤中黏土矿物的层间结构对VOCs产生物理吸附与化学吸附双重作用，部分组分被牢牢锁定在矿物晶格中，检测时难以完全解析，出现浓度低估现象<sup>[2]</sup>。样品保存阶段环境条件变化触发生物与化学双重反应，常温存放状态下土壤土著微生物以部分挥发性有机物为碳源进行代谢分解，湿度25%-30%的粉质壤土中，微生物对氯仿、四氯化碳等组分的降解作用更为突出，《环境监测技术规范》相关研究数据显示，此类组分在常温保存48小时后降解率达19.6%。

环境温度波动加剧土壤固液气三相间的物质迁移，温度每升高五摄氏度，土壤孔隙中挥发性有机物饱和蒸气压上升0.8-1.2倍，进一步加大组分逸散速率，多重因素共同作用下逐步放大检测结果的系统误差与随机误差。采样过程中使用的润滑剂、密封胶等辅助材料若含有有机成分，接触土壤时会发生微

量溶出，对低浓度污染样品的检测造成干扰，这类交叉污染误差在浓度低于 0.1mg/kg 的样品中表现尤为明显。

### 3.2 检测结果偏差的量化表征与影响因素权重

精准判定采样保存环节引发的检测结果偏差，需依托环境监测通用量化指标建立完整表征体系，以直观数值反映数据偏离程度，明确各环节因素的影响权重，为质量管控提供数据支撑。实际工作可采用加标回收率、相对标准偏差以及浓度相对偏移率三项核心指标开展量化评价，加标回收率反映基质干扰与样品损耗带来的整体偏差，土壤挥发性有机物检测技术规范划定合理区间为 85%至 115%，超出该范围即说明采样保存流程存在明显不规范操作。相对标准偏差衡量平行样品检测数据的离散程度，直观体现采样点位布设、密封操作、保存条件等人为操作带来的随机误差，常规污染地块土壤检测要求该数值不高于 15%。浓度相对偏移率以无污染本底土壤为参照，计算污染样品检测浓度与理论真实浓度的差值占比，精准量化挥发、吸附、降解等单一机制造成的结果偏差。

国内某化工污染地块挥发性有机物监测专项研究数据显示，经 L9(3<sup>4</sup>)正交试验统计分析可明确各因素影响权重，样品保存温度权重占比最高达 38.2%，采样现场暴露时长权重 26.5%，储存容器材质类型权重 20.1%，样品转运存放时长权重 15.2%。不同类型挥发性有机物对采样保存条件的敏感度差异明显，苯系物中苯、甲苯的饱和蒸气压较高，易受温度与暴露时长影响，25℃环境下暴露 5 分钟，浓度偏差波动幅度达 23.7%-28.9%；卤代烃中的三氯乙烯、四氯乙烯更易被容器内壁吸附，玻璃容器储存 72 小时后吸附损耗率 8.3%，塑料容器则高达 17.5%，组分损耗呈现持续性特征。不同污染程度样品的偏差量化结果同样存在差异，高浓度污染样品（浓度 > 10mg/kg）的相对偏移率多控制在 ±15% 以内，低浓度样品（浓度 < 0.5mg/kg）的偏移率可达到 ±30% 以上，这与低浓度组分更易受吸附、挥发等因素影响相关。

正交试验设置保存温度（0℃、4℃、25℃）、暴露时长（1 分钟、5 分钟、10 分钟）、容器类型（玻璃、聚四氟乙烯、聚乙烯）、转运时长（24 小时、48 小时、72 小时）四个因素，每个因素三个水平，对苯、甲苯、三氯乙烯、氯仿四种典型 VOCs 进行检测分析<sup>[3]</sup>。结果表明，保存温度对苯系物偏差的影响贡献率达 41.2%，容器材质对卤代烃偏差的影响贡献率高达 35.8%，这一差异为针对性质控提供数据支撑。土壤含水率间接影响偏差程度，含水率 15%-20% 时，微生物降解与挥发损失的协同作用最为突出，整体偏差较含水率低于 10% 的样品高出 22.6%。掌握各类物质偏差规律与因素权重，能够针对性锁定质控重点环节，减少无效管控投入，针对苯系物污染地块可优先强化低温保存与快速密封措施，针对卤代烃污染地块则需重点把控容器材质选择与清洁流程。

### 3.3 检测结果准确性的多维度验证方法

依托标准化实践流程建立多维度验证体系，是剔除异常数据、保障挥发性有机物土壤检测结果准确可靠的核心手段，所有验证方法可直接应用于第三方检测机构与场地调查现场，具备极强落地操作性。现场同步布设平行样品、现场空白样品与运输空白样品，平行样品按每十个采样点位设置一组的标准布设，每组包含 3 个平行样，采样深度、土体体量（均控制在 50g ± 2g）、密封方式保持完全一致，全程同步转运保存，实验室检测后计算相对标准偏差，RSD > 15% 即判定现场采样操作存在人为偏差，需在该点位周边补充采样重新开展作业。现场空白采用经 600℃ 高温灼烧 4 小时的洁净无有机质石英砂替代土壤，使用与实际样品相同的采样器具、储存容器和保存条件，全程跟随样品流转，用于排查器具污染、环境空气交叉污染带来的检测干扰，现场空白样品中检出目标 VOCs 浓度高于方法检出限的 50%，则判定该批次样品存在污染风险，需全部重新采样。

运输空白仅在实验室开启密封容器，规避转运途中环境因素造成的组分污染与损耗，以此区分现场采样与转运保存各自产生的误差<sup>[4]</sup>。实验室层面常态化开展基质加标与空白加标试验，基质加标选取本场无污染土壤作为基底，加入已知浓度的挥发性有机物标准物质，按常规前处理与仪器检测流程分析，计算回收率判定样品基质效应与保存损耗程度。空白加标以纯水为基底加入标准物质，排除土壤基质本身的干扰影响，两种加标方式相互佐证，精准识别保存环节造成的组分损耗。可采用仪器方法比对验证，以吹扫捕集结合气相色谱质谱联用法为基准，与便携式现场快速检测设备数据进行对照，依据 EPA5035 标准判定两组数据吻合度，偏差超出允许阈值时，需溯源采样保存全流程查找问题并校正检测结果。

### 3.4 全流程质量控制体系构建与落地

构建覆盖采样、封存、转运、保存、送检全链条的质量控制体系，以可落地的管理制度和实操规范约束每一个作业细节，从源头规避挥发性有机物土壤检测误差，保障数据具备真实性、可比性与规范性。见图 1

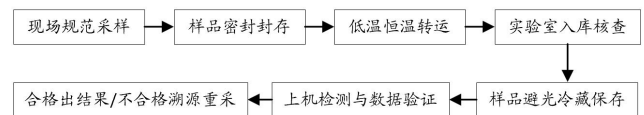


图 1 挥发性有机物土壤采样保存与检测简易质控流程

建立现场采样保存标准化作业规程（SOP），明确不同土壤质地、不同污染类型场地的采样操作时限，严格规定土体挖出至密封装箱的间隔不超过三分钟，统一采用双层密封的避光恒温样品箱存放，箱内放置高精度温度记录仪，全程控制箱内温度稳定在 4℃ ± 1℃。作业人员需经过专项实操考核方可上岗，考核项目包含无扰动取样操作、器具清洁流程、快速密封

技巧等,考核合格分数线设定为90分(满分100分),未达标人员需重新培训直至通过考核。

采样器具的清洁与维护制定专项规范,金属采样器每次使用前后用甲醇超声清洗30分钟,再经120℃烘干2小时;玻璃容器采用铬酸洗液浸泡24小时后,用超纯水冲洗至中性,再经600℃高温灼烧4小时,确保无残留有机物。所有清洁后的器具密封存放于洁净干燥器中,存放时间超过72小时未使用的,需重新清洁处理。完善样品流转台账管理制度,每一份土壤样品采用唯一二维码标识,台账信息涵盖采样点位坐标、采样深度、采样时间、封存人员、转运车辆车牌号、转运时长、接收人员等完整信息,实现从现场到实验室的全程可追溯。样品接收人员核对封存完整性(密封带是否完好、无破损渗漏)、保存温度(通过温度记录仪导出数据核查)、存放时限,超出HJ605-2011规定七天检测时限的样品直接作废处理,禁止上机检测。

建立关键节点现场巡检机制,每个采样场地至少配备1名专职质控人员,按照30%的比例随机抽查采样现场操作流程,重点核查容器选用(是否为惰性材质)、密封方式(是否双层密封)、低温保存(样品箱温度是否达标)落实情况,及时纠正敞口放置、器具混用、常温堆放等不规范行为。巡检结果实

时记录在质控检查表中,发现重大违规操作立即停止采样并整改。针对检测出现的异常数据,建立固定溯源整改流程,从采样操作(核查采样记录、现场照片)、保存条件(调取温度记录仪数据)、转运时长(核对台账时间节点)、容器材质(检查器具清洁记录)四个维度逐一排查诱因,形成问题记录、原因分析、整改措施、后续规避的闭环管理模式。因转运温度超标导致数据异常时,需重新采样并更换具备双制冷系统的转运车辆。实验室内部同步强化样品前处理质控,严格遵循挥发性有机物专属前处理规范,减少人为操作带来的二次损耗。通过全流程事前规范、事中监管、事后溯源的管控模式,全面压缩误差产生空间,稳定提升土壤挥发性有机物检测结果的精度与公信力<sup>[5]</sup>。

#### 4 结语

本文系统剖析挥发性有机物(VOCs)污染土壤采样与保存环节对检测结果的核心影响,厘清误差产生的关键机制、量化规律及管控重点,提出的多维度验证方法与全流程质控体系实操性突出。规范采样操作、优化保存条件、强化全链条监管,构成降低检测偏差的核心路径。研究可为污染地块土壤VOCs检测提供标准化技术参考,助力精准推进污染治理与风险防控,为生态环境安全筑牢保障。

#### 参考文献:

- [1] 李群,龙涛,周艳,范婷婷,左斐然,吴运金.土壤挥发性有机物(VOCs)采样预加甲醇对地块污染风险判定的影响[J].生态与农村环境学报,2021,37(2):242-248.
- [2] 贾建相,黄勇,徐圆圆,杨梅.杉木林下套种草珊瑚对土壤浸提物挥发性有机物、土壤养分及酶活性的影响[J].西南林业大学学报(自然科学),2025,45(2):106-114I0002,I0003.
- [3] 张岚钊.土壤中挥发性有机物的种类和含量及其对环境质量的影响研究[J].当代化工研究,2025(9):91-93.
- [4] 李新荣,田壮,杨金凤,郭旋,杜连凤,王悦,成卫民.添加剂对堆肥过程中挥发性有机物(VOCs)的减排效果[J].农业环境科学学报,2024,43(5):1171-1179.
- [5] 张钰萌,吴倩,柳津,丁晓雯,陈丽杰,朱忠志.土壤气中挥发性有机物被动采样技术研究进展[J].油气田环境保护,2023,33(6):1-411.