

老旧化工厂遗留地块土壤污染溯源调查技术研究

孙乐乐

江苏方正环保集团有限公司 江苏 徐州 221000

摘要:针对关停老旧化工厂资料缺失、内外源污染叠加、地下隐蔽污染多、溯源判定难度大等场地痛点,本文界定了地块及污染溯源核心概念,分析化工污染物迁移转化规律,梳理场地溯源专属难点。整合现场摸排布控、理化甄别、数理建模、物探遥感四类主流溯源技术,对比各类技术场地适配性,指出当前溯源作业资料不全、质控不严、技术成本失衡问题,结合本土场地工况提出低成本改良技术与全流程质控对策,可为长三角中小型老旧化工地块污染溯源、场地管控提供实操参考。

关键词:老旧化工地块;土壤污染;溯源调查技术;改良方案;优化对策

引言:区域化工产业转型升级后,大批中小型化工厂关停搬迁,遗留地块普遍存在有机-重金属复合污染,加之早年厂区建设标准低、防渗体系老化,土壤渗漏污染问题突出。现阶段通用溯源技术适配老旧场地能力不足,存在溯源精度低、作业成本高、内外源污染难以区分等问题,现有调查模式难以适配老旧厂区档案残缺、构筑物繁杂的现场工况。基于场地调查一线作业经验,依托现行土壤调查国标规范,本文系统梳理溯源理论、现场布控方法与主流技术,针对性优化适配本土场地的溯源方案,解决现场溯源实操难题。

1 老旧化工厂遗留地块土壤污染溯源基础理论与地块特征分析

1.1 核心概念界定

结合《建设用土壤污染状况调查技术导则》行业规范,本文界定老旧化工厂遗留地块为投产年限超15年、已关停搬迁、生产工艺迭代2次及以上的化工生产建设用地,涵盖精细化工、有机合成、危化仓储配套场地,区别于新建化工场地、跨界复合型工业污染地块。土壤污染溯源特指结合场地历史生产资料、水土检测数据、水文地质条件,完成污染来源定性、污染点定位、污染时序定责的全流程研判工作,分为源头溯源、路径溯源、负荷溯源三个层级。源头溯源判定原生生产渗漏、固废填埋、废水漫流内源污染,路径溯源厘清土壤垂向、侧向迁移通道,负荷溯源量化单一污染源污染占比,三者为化工地块溯源核心研判维度。

1.2 化工地块土壤污染形成机理与迁移规律

老旧化工场地污染以有机复合污染、重金属伴生污染为主,原辅材料有机溶剂、催化重金属、工艺中间

体为核心污染物,具备脂溶性强、吸附性高、降解周期长特性。场地污染成因分为主动排污与被动渗漏两类,生产区跑冒滴漏、废水直排为主动污染,地下管网腐蚀破裂、防渗层老化失效为被动污染。受场地土层结构影响,粉质黏土包气带会阻滞污染物纵向下渗,形成表层富集污染;砂质透水层连通地下水含水层,会推动污染物侧向扩散,形成连片污染羽。加之多年干湿循环、地下水季节性水位波动,污染物会发生吸附-解吸二次迁移,进一步扩大污染范围。

1.3 老旧化工厂溯源专属难点分析

老旧化工厂溯源专属难点如下:(1)场地历史资料断层严重,早期厂区环保台账、管网施工图、危废处置记录归档不全,改扩建、转租代工阶段工艺变更无备案记录,无法直接匹配污染点位与生产工序。(2)场地叠加污染特征显著,多年生产、后期外来渣土回填、周边地表径流汇入形成内外源混合污染,常规检测手段难以区分原生工业污染与后期外源污染。(3)场地地下构筑物复杂,废弃地下反应池、防渗填埋坑、老旧管线隐蔽性强,常规布点采样极易遗漏高污染盲区,大幅降低溯源判定精准度^[1]。

2 老旧化工厂遗留地块污染前期摸排与溯源调查布控体系构建

依托场地水文地质实测数据,完成全域前期摸排,搭建适配叠加污染场地的分级布控体系,规避常规均匀布点采样漏检、溯源偏差问题,具体工作内容如下:(1)地块历史全域回溯摸排。整合厂区工商备案、环保验收、土地流转档案,走访原厂运维、环保值守人员,划定生产装置区、危化暂存区、废水收集池、固废

露天堆放区四大高危功能片区。排查地下锈蚀工艺管线、废弃防渗池、人工填埋坑、早期雨水混排沟渠等隐蔽构筑物,标记历年泄漏、超标排污、危废违规处置点位,整理场地工艺变更、厂区转租改造时序台账,锁定溯源重点研判区域。(2)场地水土地质实地勘察。现场实测场地土层分层厚度、土壤孔隙度、包气带渗透性,监测地下水水位流向、水力梯度,厘清场地侧向径流路径。采集场地外围原生土壤样品,测定区域重金属、挥发性有机物背景值,剔除区域地质本底污染物,排除天然地质因子对人工化工污染溯源判定的干扰。(3)分级差异化溯源采样布控。摒弃全域均匀布点模式,实行分区层级布点:高危生产渗漏区采用网格加密布点,兼顾地表、地下构筑物周边点位;过渡绿化带、闲置空地采用系统随机布点;场地边界布设对照点位。同步落实深浅层联动采样,表层 0-50cm 耕作土壤、中层 1-3m 粉质黏土、深层含水层土壤分层取样,统一现场保存、送检流转标准,保障溯源样品数据有效性^[2]。

3 适配老旧化工地块的土壤污染主流溯源调查技术

3.1 传统理化甄别溯源技术应用分析

该类技术为老旧化工地块溯源基础核心技术,依托实验室水土理化检测数据完成污染源比对判定,场地适配门槛低、合规性强,是场地溯源取证必用技术,实操分类如下:(1)特征污染物指纹图谱溯源技术。针对化工场地苯系物、卤代烃、石油烃、重金属四类典型污染物,建立场地专属污染物特征指纹库。采集装置区、废水池、固废堆场、场地边界土壤样品,通过气相色谱、电感耦合等离子体质谱仪测定污染物组分分配比、同分异构体占比,比对原厂工艺物料排污指纹、区域外源污染指纹,区分厂区原生工艺污染、外来渣土回填污染、地表径流汇入污染。该技术适配年限 20 年以内、污染物组分稳定的老旧合成化工地块,检测精度受土壤有机质含量、土层吸附程度影响较大。(2)单体同位素示踪溯源技术。现阶段场地常用碳、氯稳定同位素溯源,多用于有机化工污染溯源甄别。依托污染物同位素分馏特征,判定污染物泄漏时序、迁移路径,区分原位降解污染物与新增渗漏污染物。针对老旧厂区老旧管网多点渗漏、新旧污染混杂地块,可精准划分不同时段排污污染源,相较于指纹图谱,该技术可规避土壤自然降解带来的组分偏差,缺点为送检成本偏高,仅适配高浓度有机污染重点区块溯源核验。

3.2 数理模型定量溯源技术应用研判

依托场地实测水土检测数据、水文地质参数建模运算,完成污染源贡献率、污染扩散范围定量解析,是化工

地块量化溯源主流数理工具,无需额外野外作业,依托现有监测数据即可运算,实操应用如下:(1)PMF 正定因子分解源解析模型。为国内工业场地使用最广泛的源解析模型,无需提前预设污染源组分,输入全域土壤污染物检测浓度、采样坐标数据,自动拆分场地独立污染因子,匹配对应厂区功能分区污染源。结合老旧化工厂生产工况,可拆分原料泄漏、工艺尾气沉降、废水下渗、固废填埋四类污染因子,核算各源头污染贡献占比,适配全域多点分散污染、多工序叠加污染地块,适配常规有机-重金属复合化工污染场地。(2)地统计空间插值溯源模型。以克里金插值法为核心,整合场地分层采样点位数据,拟合土壤污染物空间分布等值线,依托污染高值中心反向定位地下污染源头点位。适配土层均质、地下水径流稳定地块,可直观刻画污染物垂向、侧向扩散边界,快速锁定废弃池体、破损管线隐蔽渗漏点位。针对厂区后期土方回填、场地平整扰动地块,插值拟合误差可控,可配合现场物探数据修正溯源点位偏差^[3]。

3.3 遥感与物探无损快速溯源技术

属于场地前置无损筛查溯源技术,无需大面积钻孔取样,减少老旧厂区地下管线、地基二次破坏,多用于前期大范围污染摸底、盲区点位排查,野外作业效率高,采样检测技术,现场实操技术如下:(1)高密度电阻率物探溯源技术。依托土壤电阻率电性差异判别污染分布,化工有机污染区域土壤电阻率偏高,重金属含盐污水渗漏区域电阻率偏低。沿厂区装置区、老旧管线走向布设测线,采集地下 0-8m 土层电性数据,圈定地下腐蚀管线、废弃防渗坑、集中污染富集区,重点排查图纸遗失的隐蔽排污点位。该技术受地下钢筋、建筑垃圾干扰明显,厂区构筑物密集区域需加密测线复测。(2)机载高光谱遥感溯源技术。适用于占地面积大、片区分散的大型老旧化工园区地块,依托土壤光谱反射特征,识别表层土壤挥发性有机物、重金属富集区域,划定地表重点溯源片区。多用于场地前期全域踏勘,快速划分清洁区、轻度污染区、重度污染区,优化后续钻孔采样布点位置,减少无效采样工作量,仅适用于地表裸露、无植被硬化覆盖地块,硬化厂区仅可辅助判别地表裂隙渗漏点位^[4]。

4 老旧化工地块土壤溯源调查现存问题整改与技术改良策略

4.1 现阶段场地溯源调查共性问题梳理

结合江浙、皖北多地关停老旧化工地块现场溯源作业复盘,总结现场实操高频痛点,问题聚焦实操短板,内容精简如下:(1)场地基础资料完整性不足。上世纪民营小

型化工厂建厂无完备管网竣工图、排污台账、危废处置台账,厂区转租、技改、改扩建全程无备案记录,仅凭现场踏勘无法匹配污染点位与生产工序,溯源定性缺乏资料佐证。(2)单一技术适配性受限。常规理化检测耗时久、物探技术易受厂区建筑垃圾、地下钢筋干扰,小众同位素溯源检测费用高,中小型场地项目无法全覆盖使用,叠加污染溯源判定误差偏大。(3)现场作业质控落地不严。老旧场地采样深浅把控随意、点位偏移,土壤样品避光保存、送检流转流程不规范,部分外业数据直接套用邻近地块参数,降低溯源结果真实性。

4.2 低成本、高精度本地化溯源技术改良方案

依托现有国标检测手段改良适配工艺,降低作业成本,提升本土场地溯源精度:(1)改良复合指纹溯源简化工艺。剔除同位素全样检测流程,采取“大类组分筛查+特征标志物比对”简化模式,优先检测苯系物、氯代烃、重金属特征标志物,仅高污染点位补充同位素复测,缩减30%以上检测费用,适配中小型老旧化工地块批量溯源作业,可快速区分工艺内源污染、渣土回填外源污染。(2)优化物探组合溯源作业模式。摒弃全域高密度电法全覆盖勘测,采用“局部踏勘+定点物探”组合方式,针对装置区、废水池老旧构筑物区域布设测线,空地、绿化区域直接采用网格采样核验,规避地下金属构件干扰,修正物探电性数据偏差,兼顾作业效率与点位精准度。(3)本地化修正源解析模型参数。依托区域同类化工地块历史水土数据库,修正PMF模型本地土层吸附系数、污染物降解系数,不套用通用模型参数,适配本地粉质黏土、砂壤土分层地质特征,提升多源头污染贡献率核算准确度,无需新增建模设备成本^[5]。

4.3 地块溯源全流程质控与合规调查优化对策

紧扣《建设用地土壤污染状况调查技术导则》合规要求,从前期摸排、现场采样、数据核验、报告归档全环节制定管控对策,贴合属地生态环境部门评审标准:(1)前置多方溯源佐证核验。外业调查同步走访原

厂操作工、园区管委会、环保老职员,录制走访笔录留存归档,对遗失图纸厂区,结合厂区地坪高差、老旧排水坡度反向还原管网走向,补齐溯源佐证材料,满足环评备案合规要求。(2)落实分层采样专项质控。严格区分表层扰动土、原状深层土取样工具,深层土壤采用无扰动取土器,每批次样品设置平行样、空白样,现场标注采样高程、点位坐标,雨天、地下水水位暴涨时段停止采样,规避水土扰动带来的数据误差。(3)建立地块溯源分级评审机制。轻度污染地块采用“踏勘+理化检测”简易溯源流程,重度复合污染地块强制执行“物探+实验+模型”交叉溯源流程,杜绝简化作业流程;同时建立场地溯源台账,留存点位影像、检测原始图谱,适配后续地块修复、土地流转复核核查工作。

结束语

本次研究结合一线场地调查工作,分析老旧化工地块污染形成机理与溯源难点,明确四类主流溯源技术适用场景,得出单一溯源技术无法满足复合污染地块研判需求,组合式溯源适配性最优。当前场地溯源依旧存在资料断层、现场质控薄弱、通用模型本地化适配不足等问题,通过简化指纹检测工艺、优化物探作业模式、完善全流程质控,可有效降低溯源成本、提升判定精度。

参考文献

- [1] 黄金文. 某关停搬迁化工遗留地块的土壤污染状况初步调查研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2026, 7(3): 144-146.
- [2] 邢抗. 某关停硫酸锌化工厂中遗留地块土壤重金属污染研究 [J]. 绿色科技, 2025, 27(12): 174-179.
- [3] 李震, 吕涛诚, 兰少聪, 李诺, 陈凯文, 刘培. 某化工企业遗留场地土壤污染状况调查研究 [J]. 广东化工, 2026, 53(1): 105-108.
- [4] 王聪, 谭竹. 某化工厂地块土壤污染状况初步调查实例分析 [J]. 广东化工, 2025, 52(7): 109-112+115.
- [5] 叶勇. 土壤污染调查与监测技术的应用研究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2026, 7(4): 149-151.