

环境地球物理方法在污染场地调查中的应用

邹建

浙江有色地勘集团有限公司, 浙江 绍兴 312000

DOI: 10.61369/SSSD.2026050031

摘 要 : 随着工业化进程的加速与城市化水平的提升, 各类工业企业搬迁、废弃后遗留的污染场地问题日益突出, 这些场地残留的重金属、挥发性有机物等污染物不仅会破坏土壤、地下水生态系统, 还可能通过食物链、大气沉降等途径危害人体健康, 极大制约了城市土地资源的可持续利用。环境地球物理方法作为污染场地调查的核心技术之一, 具有非破坏性、高效率、覆盖范围广等诸多优势, 能够快速识别污染物分布范围、迁移路径及赋存状态, 可以为污染场地的风险评估以及后期的监管提供科学依据。鉴于此, 本文将针对环境地球物理方法在污染场地调查中的应用展开分析, 并提出一些策略。

关 键 词 : 环境地球物理方法; 污染场地; 调查; 应用

Application of Environmental Geophysical Methods in Polluted Site Investigation

Zou Jian

Zhejiang Nonferrous Geological Exploration Group Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang 312000

Abstract : With the acceleration of industrialization and the improvement of urbanization level, the problem of polluted sites left by the relocation and abandonment of various industrial enterprises has become increasingly prominent. Pollutants such as heavy metals and volatile organic compounds (VOCs) remaining in these sites not only damage the soil and groundwater ecosystems, but also may endanger human health through food chains, atmospheric deposition and other pathways, which greatly restricts the sustainable utilization of urban land resources. As one of the core technologies for polluted site investigation, environmental geophysical methods have many advantages such as non-destructiveness, high efficiency, and wide coverage. They can quickly identify the distribution range, migration path and occurrence state of pollutants, and provide scientific basis for the risk assessment and later supervision of polluted sites. In view of this, this paper will analyze the application of environmental geophysical methods in polluted site investigation and propose some strategies.

Keywords : environmental geophysical methods; polluted sites; investigation; application

一、环境地球物理方法在污染场地调查中的应用意义

(一) 弥补传统调查方法的局限性, 提升调查效率

传统污染场地调查一般是采用钻孔采样结合实验室检测的方法, 这样虽然能获取精准的污染物浓度数据, 但是存在很多明显不足, 比如钻孔采样属于破坏性调查, 这样会对场地原有生态环境造成二次扰动, 采样点方面也有很大的局限性, 难以全面覆盖污染区域, 这样就很容易因为采样偏差的问题导致污染范围误判^[1]。通过引入环境地球物理方法, 可以让工作人员基于地球介质的物理性质差异, 通过非破坏性手段获取场地物理参数分布特征, 这样可以更为高效的反演污染物的赋存状态。例如, 我们可以利用电法、电磁法等方法探测土壤导电性变化, 以此识别重金属污染区域, 雷达法可快速定位地下管网泄漏点及污染物迁移通道。这类方法无需大面积开挖采样, 单次探测就可以覆盖较大的区域, 探测周期也更快, 同时还能实时生成探测数据, 这也大幅提升了污染场地调查的效率与覆盖面, 有效弥补了传统方法的局

限性。

(二) 为污染风险评估与修复治理提供精准数据支撑

污染场地风险评估的核心是明确污染物的分布范围、迁移规律及暴露途径, 而修复治理则需根据污染程度、赋存深度等参数制定针对性方案。环境地球物理方法能够快速获取场地三维物理场分布数据, 精准识别污染物的污染晕范围、污染浓度梯度及迁移路径, 这样可以为风险评估提供量化依据。例如, 在重金属污染场地调查中, 通过高密度电阻率法可通过导电性差异划分污染区域与清洁区域的边界, 再结合钻孔采样数据校准, 可以有效确定重金属污染的深度与扩散范围, 进而评估污染物对地下水、周边植被及人体的潜在风险^[2]。

在修复治理阶段, 环境地球物理方法可用于修复过程的动态监测与效果评估。例如, 在土壤淋洗修复过程中, 我们可以通过实时监测场地导电性、介电常数的变化, 能够判断淋洗剂与污染物的反应程度及污染物的去除效率。修复完成后, 我们可以通过对比修复前后的地球物理参数快速验证修复效果, 这样能够避免

因修复不彻底导致污染反弹。此外，对于一些复杂污染场地，环境地球物理方法可为修复技术的选择提供参考，如针对深层土壤污染可通过地震法探测地层结构，为原位固化的施工深度提供依据^[3]。

（三）降低调查成本与安全风险，保障调查工作有序开展

传统钻孔采样调查需投入大量人力、物力用于场地开挖、实验室检测等，这样会导致调查成本不断提高，对于那些存在挥发性有毒污染物的场地，采样人员也会面临一定的职业健康风险。环境地球物理方法采用非破坏性探测技术，无需场地开挖与样品运输，这样可以大幅降低调查成本，也能有效避免采样人员直接接触污染物，从而大幅提升调查工作的安全性。此外，对于一些城市核心区域、工业遗留敏感场地（如靠近水源地、居民区的污染场地），利用环境地球物理方法可在不影响周边居民生活与生产活动的前提下开展调查，有利于减少调查工作对周边环境的干扰^[4]。例如，在城市废弃化工厂场地调查中，我们可以尝试采用地面核磁共振法可在地面快速探测地下水污染范围，这样无需破坏地面设施，既保障了调查工作的有序开展又降低了对周边环境的影响。

二、环境地球物理方法在污染场地调查中的应用问题

（一）单一方法局限性明显，多方法融合不足

一般来说，各类环境地球物理方法均有其适用范围与局限性，单一方法难以满足复杂污染场地的调查需求。例如，电法对土壤含水率、质地变化敏感，这就导致其很容易受到干扰导致污染范围误判。探地雷达法在高导电土壤（如黏土）中衰减较快，这样会导致其探测深度较为有限。核磁共振法受场地电磁干扰影响较大，在一些工业密集区域应用效果不佳^[5]。但是，当前很多污染场地调查仍以单一方法为主，缺乏对多方法的科学融合，这样就很难综合利用各类方法的优势互补，从而导致调查结果精准度不足，无法全面反映场地污染状况。

（二）场地干扰因素多，探测精度受影响

污染场地的地形地貌、土壤质地以及建筑物等因素均会对环境地球物理探测结果产生干扰，降低探测精度。例如，一些城市污染场的地下有密集的管线（电力管线、给排水管线），这会在无形中产生很大的电磁干扰，从而影响电磁法、电法的探测结果。此外，土壤的含水率也会影响电阻率、介电常数等物理参数波动，从而干扰污染物识别^[6]。一些复杂的地形（如山地、洼地）会影响探测设备的布设与信号接收导致数据失真。此外，部分污染场地存在复合污染现象，多种污染物共存会导致物理参数变化叠加，这就很难区分单一污染物的分布特征，进一步增加了探测难度。

（三）数据解释难度大，专业人才匮乏

环境地球物理方法获取的是场地物理参数数据需要通过专业的解释将物理参数转化为污染物分布信息，这一过程对解释人员的专业素养要求较高。现阶段，我国污染场地调查领域缺乏兼具地球物理、土壤学等多学科知识的复合型人才，多数解释人员仅

掌握单一学科知识，这就导致其很难结合场地实际情况进行精准解释，很容易出现数据误判的情况。同时，物理参数与污染物浓度之间的定量关系尚未完全明确，缺乏一个统一的解释标准与模型，这就导致解释结果主观性较强，很难实现污染物浓度的精准反演。

三、环境地球物理方法在污染场地调查中的应用策略

（一）推进多方法融合应用，提升调查精准度

针对单一方法的局限性，我们可以尝试根据污染场地的类型、污染物特征、探测目标及地形等条件，科学选择多种环境地球物理方法进行融合应用，这样可以实现更高水平的优势互补。例如，在浅层土壤重金属污染场地调查中，我们可以尝试采用高密度电阻率法和探地雷达法融合的方式，在深层地下水污染调查中可以结合电磁法与核磁共振法。在复合污染场地调查中可以采用电法、电磁法、地震法多方法联合，这样可以更为综合的反演污染物分布与地层结构。同时，我们应进一步加强多方法融合的数据处理与解释技术研发，建立一个统一的多方法数据融合模型，以此实现不同类型数据的互补与优化^[7]。例如，我们可以通过数据同化技术将电法、雷达法获取的数据进行整合，这样能够更为高效的消除单一方法的干扰因素，提升污染范围与污染物赋存状态的识别精度。此外，我们可以尝试结合地理信息系统（GIS）技术将地球物理探测数据与钻孔采样数据、水文地质数据进行叠加分析，以此构建一个三维污染场地模型，为之后的风险评估与修复治理提供直观、精准的数据支撑。

（二）强化场地预处理与干扰排除，优化探测条件

在开展环境地球物理探测前，我们应做好场地预处理工作，这样可以大幅降低干扰因素对探测结果的影响。为此，我们应对场地进行前期勘察，明确地下管线、建筑物、地层结构等基础信息，合理布设相应的探测线路与采样点，避开一些强干扰区域。对于地下管线密集区域，我们可以尝试采用非接触式探测方法（如探地雷达法），还可以提前清理干扰源，这样可以确保探测信号的稳定性。针对土壤含水率、质地等影响因素，我们可以尝试通过前期采样检测获取土壤基础物理参数，在数据处理过程中进行校正，这样也能有效消除环境因素的干扰^[8]。此外，我们要不断提升探测设备的抗干扰能力，积极研发更多新型的抗干扰探测技术与设备。例如，在电磁法探测中，我们可以采用抗电磁干扰的信号接收装置过滤工业电磁信号与地下管线干扰信号。在电法探测中，我们可以优化电极布置方式减少土壤质地不均匀对电阻率测量的影响。不仅如此，对于一些复杂的地形场地，我们可以尝试研发一些便携性强、适配性高的探测设备，如无人机搭载式探地雷达等，这样可以大幅提升设备在特殊场地的应用能力。

（三）加强人才培养与技术研发，完善数据解释体系

针对专业人才匮乏与数据解释难度大的问题，我们可以尝试构建一个多学科人才培养体系，培养更多兼具地球物理、环境科学、水文地质学等知识的复合型人才。高校方面可以尝试开设一些环境地球物理相关专业课程，进一步优化课程体系，加强理论

与实践结合，这样可以大幅提升学生的实操能力与数据解释能力。此外，学校还可对企业与科研机构开展一些在职人员的培训，邀请一些行业专家进行技术指导，这样可以有效提升现有从业人员的专业素养，帮助他们更好的掌握多方法融合应用与数据解释技巧^[9]。同时，我们需要进一步加强物理参数与污染物浓度定量关系的研究，建立一个更为科学的数据分析与解释模型。通过大量室内试验与现场试验明确不同类型污染物、不同污染程度对土壤导电性、密度等物理参数的影响规律，这样可以实现从定性识别到定量分析的转变。此外，我们还需制定一个统一的数据解释标准与规范，明确不同方法的数据处理流程、解释原则与误差范围，这样能够有效减少解释结果的主观性，提升解释结果的可靠性与可比性。

（四）推动设备升级与国产化，提升装备保障能力

为保证环境地球物理方法在污染场地调查中的应用效果，我

们可以加大对环境地球物理探测设备研发的投入，鼓励更多企业、科研机构开展产学研合作，这样可以有效推动设备升级与国产化进程。在实践中，我们要重点研发高分辨率、深探测深度的新型探测设备，如高精度核磁共振仪、无人机载探地雷达系统等，不断提升设备的性能与适配性。同时，我们还需加强设备校准与维护体系建设，制定一个更为合理、科学的设备校准标准与维护流程，定期对探测设备进行校准与维护，以此确保设备精度与稳定性^[10]。不仅如此，我们可以结合实际情况引进一些国外的先进探测技术与设备，结合我国污染场地的实际情况进行消化吸收与创新，形成一个具有自主知识产权的核心技术与装备。例如，我们可以借鉴发达国家多方法融合探测设备的研发经验开发一个适合我国复杂污染场地的一体化探测设备，这样可以实现多种方法的同步探测与数据实时处理，从而大幅提升调查效率与精准度。

参考文献

[1] 殷添渠. 传统水文地质调查方法应用于土壤及地下水环境污染调查中的价值探讨 [J]. 现代盐化工, 2024, 51(04): 9-11.

[2] 田少兵, 王鹏, 冯洪川, 等. 基于地球物理数据的化工场地污染源追踪案例分析 [J]. 环境科学学报, 2024, 44(04): 344-355.

[3] 韩春媚, 刘兴昌, 袁泉. 环境地球物理探测技术在污染场地环境调查中的应用 [M]. 中国环境出版集团 : 202302: 113.

[4] 蔡昕辰. 基于 ERT 的污染场地竖向阻隔墙渗漏联合诊断检测方法研究 [D]. 东南大学, 2022.

[5] 闫子哈. 基于环境地球物理技术的地下水铬污染场地精细刻画研究 [D]. 吉林大学, 2022.

[6] 肖波, 郑文棠, 丁金伟, 等. 基于地下电学特征变化监测城市垃圾场有害液体的渗漏 [J]. 南方能源建设, 2017, 4(02): 110-114.

[7] 陈镜莲. 浅谈物探方法在污染场地中的应用 [J]. 黑龙江科技信息, 2017, (09): 72.

[8] 范瑞, 周永章. 污染场地现场调查与监测模式研究 [J]. 生态经济, 2015, 31(02): 27-30.

[9] 叶腾飞, 龚育龄, 董路, 等. 环境地球物理在污染场地调查中的现状及展望 [J]. 环境监测管理, 2009, 21(03): 23-27.

[10] 叶腾飞, 龚育龄, 能昌信, 等. 环境地球物理方法在污染场地调查中的应用 [J]. 南华大学学报 (自然科学版), 2008, (03): 9-14.