

Analysis of joint monitoring method and evaluation technology for soil and groundwater pollution

Yechong Zhou Shanshan Hu Tianxin Jin Tingting Yao

Zhejiang Qiushi Environmental Monitoring Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

With the increasingly severe environmental pollution issues, the joint monitoring of soil and groundwater at contaminated sites has gradually become a key method for pollution assessment and remediation. Soil and groundwater are important components of environmental systems, and their interaction and migration processes have profound impacts on the ecological environment and human health. This study focuses on the joint monitoring of soil and groundwater at contaminated sites, exploring the distribution characteristics, migration patterns, and mutual interactions of pollutants in soil and groundwater. The study provides an innovative approach and technical pathway for environmental remediation and risk assessment of contaminated sites.

Keywords

Contaminated sites; Soil monitoring; Groundwater monitoring; Joint monitoring; Environmental assessment

土壤与地下水污染联合监测方法与评估技术分析

周叶翀 胡姗姗 金甜欣 姚婷婷

浙江求实环境监测有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘要

随着环境污染问题日益严峻, 污染场地的土壤与地下水联合监测逐渐成为污染评估和修复工作中的关键手段。土壤与地下水是环境系统中的重要组成部分, 其污染的相互作用与迁移过程对生态环境与人类健康具有深远影响。本研究聚焦于污染场地土壤与地下水的联合监测, 探讨了土壤和地下水污染物的分布特征、迁移规律以及相互影响的评估方法, 为污染场地的环境修复和风险评估提供了一种创新的思路和技术路径。

关键词

污染场地; 土壤监测; 地下水监测; 联合监测; 环境评估

1 引言

随着工业化进程的加快和城市化扩展, 污染场地的污染问题日益突出, 特别是土壤与地下水的污染。污染源通过土壤和地下水的迁移与扩散, 导致环境质量的持续恶化, 直接威胁生态系统和人类健康。传统的污染监测方法通常侧重于单一的污染介质, 忽视了土壤与地下水之间的密切关系。土壤与地下水的联合监测能够更全面地评估污染的空间分布及其环境影响。土壤与地下水污染物的相互作用复杂, 污染物的迁移与扩散具有非线性特征, 因此, 采用联合监测手段对于评估污染场地的环境风险与治理效果至关重要。

2 污染场地土壤与地下水联合监测的背景与意义

2.1 污染场地土壤与地下水的关系

土壤和地下水是环境中的两个重要组成部分, 其污染

相互作用对生态环境和人类健康具有深远影响。土壤污染物可以通过多种途径渗透至地下水中, 造成水体污染, 进而影响水源的质量。污染物在土壤中的积累通常通过降水、地下水流动等方式进入地下水体, 形成污染链条。土壤与地下水之间的相互作用决定了污染物的迁移路径和扩散范围, 尤其是在不同的土壤类型和水文条件下, 污染物的移动速度与分布方式存在显著差异。因此, 全面了解土壤与地下水的相互关系对于污染场地的评估和治理至关重要。

2.2 污染场地监测的必要性

随着工业化进程的推进, 污染场地逐渐成为环境污染的重要源头。污染场地的土壤与地下水往往含有大量有害物质, 这些污染源一旦没有得到有效监测和管理, 可能会引发长时间、范围广泛的环境风险。污染场地的土壤和地下水污染, 直接影响土地资源的利用与生态系统的健康, 同时也威胁着地下水资源的安全。常规监测手段主要集中在污染源头的检查, 但由于土壤与地下水的污染是一个持续迁移的过程, 必须通过联合监测手段来全面、准确评估污染的扩散范围和风险等级^[1]。综合监测不仅能提供污染的空间分布信息,

【作者简介】周叶翀 (1997-), 男, 中国浙江临安人, 专科, 从事生态环境监测与分析研究。

也能为污染修复与治理措施提供科学依据。

2.3 土壤与地下水联合监测的重要性

土壤与地下水联合监测能够全面反映污染场地的环境风险，并为污染治理和修复提供数据支持。土壤和地下水之间的相互作用使得单一监测无法准确反映污染的实际情况，特别是在污染物迁移过程中，污染源往往在两者之间相互转移，形成复杂的污染动态。联合监测可以对污染场地进行全方位、动态的分析，评估污染物的扩散速度、迁移方向及其对生态环境的潜在威胁。通过精确的监测技术，可以实时获取土壤和地下水中的污染数据，为政府和相关部门制定精准的修复方案和管理措施提供依据。

3 污染场地土壤与地下水联合监测的技术原理

3.1 土壤污染物迁移与扩散机理

土壤污染物的迁移与扩散受到多种因素的影响，主要包括土壤的物理性质、污染物的化学特性及外部环境条件。污染物在土壤中的运动通常是通过渗透、扩散和挥发等过程进行的，污染物与土壤颗粒的亲合力、土壤的湿润状态、土壤的孔隙结构等都会对其迁移速度和方式产生影响。不同类型的污染物在土壤中的扩散速率存在显著差异，重金属和持久性有机污染物通常较难迁移，而易溶于水的污染物则更易通过渗透进入地下水中。污染物的扩散过程也可能受到外部因素如降水量、温度变化等的影响，因此理解土壤污染物迁移的机理对于制定有效的污染治理措施至关重要。

3.2 地下水污染物的迁移与影响

地下水污染物的迁移主要受水流、地下水流动方向和污染物的溶解度等因素的影响。地下水中的污染物通过水流的作用在地下水层内扩散，污染物的迁移速度和距离与水流速度密切相关。污染物的迁移过程受地下水流动路径、岩土介质的性质以及水体中的化学反应等多重因素的影响。在地下水的污染传播过程中，污染物不仅会沿着水流扩散，还可能通过与地下土壤颗粒的结合、沉淀或吸附等方式发生物理化学变化，从而改变其在地下水中的分布。地下水污染对环境的影响不仅体现在水体污染，还可能通过水源污染影响农业灌溉和人类饮水安全，具有长期且深远的生态危害。

3.3 土壤与地下水联合监测的原理与技术手段

土壤与地下水联合监测的原理主要是通过同步监测两者中的污染物浓度及其变化趋势，分析污染物的扩散路径和迁移规律。这一监测方法要求同时采集土壤和地下水的样本，并对其中的污染物进行定量分析。常用的技术手段包括现场监测和实验室分析，现场监测主要通过便携式仪器快速检测污染物的浓度，实验室分析则通过更精细的分析手段确保结果的准确性。此外，联合监测还需要借助地理信息系统（GIS）和环境模拟软件对数据进行空间分析与动态模拟。通过这类技术手段，可以在污染场地内形成综合的污染物分布图，为后续的污染治理提供精准数据支持^[2]。

4 污染场地土壤与地下水联合监测的技术手段

4.1 土壤采样与分析技术

土壤采样与分析是评估污染场地污染程度的关键。常用的土壤采样方法包括分层采样和网格采样法。分层采样可通过不同深度的取样评估不同层次土壤的污染程度，而网格采样则能够为污染的空间分布提供更多代表性样本。采样密度与覆盖范围需要根据污染场地的面积与污染特征进行合理设计。例如，在污染场地中，采用10m×10m的网格化采样方法，每个网格内采集5个不同深度的土壤样本，以确保检测的全面性与代表性。实验室分析技术包括气相色谱法（GC）、液相色谱法（HPLC）、原子吸收光谱法（AAS）、电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）等，这些技术可用于检测土壤中的重金属、持久性有机污染物（如多环芳烃、农药残留）以及有害气体等。在分析过程中，通过统计学方法计算污染物的平均浓度与标准差，以评估污染的空间分布和风险水平。通过综合计算土壤中不同污染物的浓度，可以确定污染严重的区域，并为治理方案提供数据依据。

4.2 地下水监测与分析技术

地下水监测的关键是准确评估地下水中污染物的浓度与扩散情况。常见的地下水采样方法包括井下采样与流动采样，井下采样常用于监测特定位置的水质，而流动采样适用于追踪污染物的迁移路径。对于地下水中的污染物分析，常用技术包括离子色谱法（IC）、气相色谱-质谱联用技术（GC-MS）、原子吸收光谱法（AAS）等，这些方法能够精确分析地下水中的重金属、氮磷化合物、有机污染物等。在地下水采样过程中，需要对水体的水质参数如pH值、电导率、溶解氧含量、温度等进行同步监测，确保数据的准确性与代表性。通过对不同时间与深度的地下水样本进行分析，可以计算污染物的浓度变化，并结合水流动力学模型分析污染物的迁移速度与方向。在实际监测中，可以通过设定监测井和流动采样点，确保污染物在地下水体中的分布情况得到充分评估。数据处理时，结合时空变化趋势，通过统计回归分析、时间序列分析等方法，预测污染物扩散趋势及其潜在风险^[3]。

4.3 土壤与地下水联合监测技术的集成应用

土壤与地下水联合监测技术的集成应用旨在提供对污染场地更全面的污染评估。联合监测的核心在于同时监测土壤与地下水中污染物的浓度及其空间分布。在集成应用中，传感器网络（Wireless Sensor Networks, WSN）与遥感技术的结合能够实时监控土壤与地下水中的污染物，并通过数据传输平台将监测数据传输至数据中心进行分析。通过安装传感器设备（如土壤湿度传感器、电导率传感器、pH传感器等）和水质传感器（如浑浊度、溶解氧、氨氮、磷酸盐传感器等），能够实时获取污染物的变化信息。此外，集成应用还涉及数据融合技术，结合不同监测方法所得的土壤、地下水数据，利用数据融合算法（如卡尔曼滤波、神经网络等）

对污染物进行空间分布模拟,生成污染物的三维空间模型,预测其未来扩散趋势。在监测系统中,利用地理信息系统(GIS)和遥感技术,通过分析污染物的空间分布与历史数据,能够高效评估污染源的位置、污染程度及其扩展范围,为修复工作提供数据支撑。通过多点、多时段的数据采集和分析,联合监测能够实现对污染场地的精准评估和动态监控。

5.1 土壤与地下水污染物浓度评估

土壤与地下水污染物浓度评估是污染场地监测的核心环节。通过土壤与地下水中污染物的采样与分析,可以计算出污染物的浓度,并根据相关标准(如中国国家环境质量标准、WHO 饮用水标准等)进行评估。例如,土壤中的重金属浓度(如铅、汞、镉等)通常采用 AAS 或 ICP-MS 进行定量分析,通过对土壤不同深度的样本进行检测,确定污染物的分布特征。在地下水中,常用离子色谱法(IC)分析氮磷等溶解性污染物,使用 GC-MS 分析有机污染物。根据污染物浓度与相关标准的比较,能够判定污染的严重程度。通过对不同位置 and 时间的采样数据进行统计分析,计算污染浓度的均值、标准差及空间分布,并使用空间插值方法(如克里金插值)生成污染物浓度的分布图,评估污染的空间扩散情况^[4]。

5.2 污染物迁移规律与影响评估

污染物在土壤与地下水中的迁移规律是评估污染场地环境风险的重要因素。根据土壤与地下水中的污染物浓度变化,结合水流动力学模型(如 MODFLOW)和土壤水分模型(如 HYDRUS),可以模拟污染物的迁移路径与扩散速度。例如,通过模拟污染物在不同水流条件下的迁移过程,能够预测污染物在地下水中的扩散方向与速率。在评估影响时,采用毒性评估方法(如 LD50、NOEC 等)对污染物对生态环境和人类健康的潜在危害进行定量分析。同时,结合生态风险指数(ERI)等工具,评估污染物对生物群落、土壤生态系统的长期影响,预测污染扩散带来的环境破坏。

5.3 环境风险与修复评估方法

环境风险评估通过综合考虑土壤与地下水污染物浓度、环境暴露途径与生态承载能力,评估污染场地的环境安全

性。修复评估则根据污染物浓度与土壤、地下水的修复技术(如生物修复、化学修复等)进行效果分析。例如,通过测定土壤中污染物的降解速率、地下水中污染物的去除效率,评估修复方案的实际效果。通过比较修复前后的污染物浓度变化,能够量化修复效果的好坏。在风险评估过程中,通常使用环境风险指数(Environmental Risk Index, ERI)计算场地的潜在风险等级,通过对污染源的定位、浓度监测与修复效果的评估,优化污染治理策略。修复评估也需要结合实际修复进度与修复效果的评估结果,调整治理措施,确保长期有效性。

6 结语

通过对污染场地土壤与地下水联合监测的评估方法的探讨,本文强调了土壤与地下水作为环境污染的重要载体,联合监测在污染评估和环境修复中的重要作用。土壤与地下水污染的相互作用使得单一监测手段难以全面反映污染的实际情况,而联合监测则能够更精准地揭示污染的空间分布和迁移规律,为污染防治提供科学依据。技术手段的不断发展,如传感器网络、遥感技术和数据融合方法的应用,为土壤与地下水的联合监测提供了更高效、更精确的工具。在污染物浓度评估、迁移规律分析和环境风险评估等方面,联合监测能够为污染治理与修复提供全面的数据支持和决策依据。未来,随着技术的不断进步,土壤与地下水联合监测将发挥更大的作用,为环境保护和可持续发展做出积极贡献。

参考文献

- [1] 卢洁.典型化工污染场地的土壤与地下水风险管控与修复技术策略探究[J].皮革制作与环保科技,2025,6(15):122-124.
- [2] 郑逸,王庆宏,杜显元,李晋,詹亚力,陈春茂.成品油油库场地土壤地下水污染特征分析[J].环境工程学报,2025,19(08):2026-2037.
- [3] 王林娇.工业场地土壤污染修复技术与地下水联动防治策略研究——以重庆市某六价铬污染场地修复工程为例[J].生态与资源,2025,(02):28-30.
- [4] 方静,陈立.某化肥厂污染场地及周边土壤地下水特征污染物分布及健康风险评估[J].西部探矿工程,2024,36(09):102-105.