

# Comprehensive application research of groundwater pollution control and environmental remediation technology

Xian Xu Qinglin Huo Runping Chen

Sichuan TianShengYuan Environmental Protection Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610037, China

## Abstract

With the acceleration of industrialization and urbanization, groundwater pollution has become increasingly severe, posing a significant threat to the ecological environment and human health. To effectively address groundwater pollution, this study proposes a comprehensive framework for the integrated application of groundwater pollution control and environmental remediation technologies. This paper systematically explores and evaluates groundwater management under typical pollution scenarios by employing physical, chemical, and biological remediation techniques. It analyzes the principles and applicability of various remediation methods, including vapor extraction, chemical oxidation, and microbial degradation. The combined use of multiple technologies can significantly enhance the efficiency of groundwater pollution control. Among these, the integrated chemical and biological remediation approach stands out in terms of pollutant degradation rates and restoration of aquifer permeability. Finally, it proposes systematic optimization and management models for environmental remediation to promote sustainable development in pollution control. This research provides important technical references for groundwater pollution prevention and environmental remediation, contributing to the improvement of groundwater resource conditions and the maintenance of regional ecological balance.

## Keywords

groundwater pollution; environmental remediation technology; chemical remediation; biological remediation; systematic environmental remediation;

## 地下水污染治理与环境修复技术的综合应用研究

徐贤 霍庆霖 陈润平

四川省天晟源环保股份有限公司, 中国·四川成都 610037

## 摘要

随着工业化和城市化进程的加快,地下水污染问题日益严重,对生态环境和人类健康构成了极大威胁。为了有效应对地下水污染,研究提出了地下水污染治理与环境修复技术的综合应用框架。本文通过综合运用物理修复、化学修复和生物修复技术,对典型污染模式下的地下水治理进行系统探讨与评估。分析各种修复技术的原理及其适用范围,包括气相抽提法、化学氧化技术和微生物降解技术等,综合应用多种技术能够显著提高地下水污染治理的效率。其中,基于化学、生物联合修复的技术模式在污染物降解速率和地层渗透性恢复方面表现尤为突出。最后,研究提出了系统性环境修复的技术优化和管理模式,以促进污染治理的可持续发展。研究为地下水污染防治和环境修复提供了重要技术参考,有助于改善地下水资源状况,维护区域生态平衡。

## 关键词

地下水污染; 环境修复技术; 化学修复; 生物修复; 系统性环境修复

## 1 引言

地下水是生命之源,是人类生存和发展的重要物质基础。然而,随着经济的高速发展和城市化进程的加速,地下水污染已经成为世界范围内的重大环境问题。通常由于污染源难以判断,污染物种类繁多,以及地下水流动条件复杂等因素,地下水污染的治理工作面临巨大挑战。地下水污染不仅导致水资源浪费且影响到生态环境的稳定,更重要的是,

严重威胁到人类的健康。近年来,地下水污染治理技术已取得显著的进展,但仍然面临各种挑战,如修复效果难以持久、修复范围有限等问题。为了克服这些限制,必须寻求更为优化和集成的解决策略,开发出更为高效、可持续的地下水污染治理技术,并建立相应的治理模型和管理体系。基于以上背景,本研究对地下水污染治理与环境修复技术的综合应用进行了系统研究,主要从物理修复、化学修复和生物修复技术的角度出发,探讨如何通过技术的综合运用,提高地下水污染治理效率,为实现地下水资源的可持续利用提供支持。

【作者简介】徐贤(1992-),女,中国四川眉山人,硕士,工程师,从事土壤与地下水污染修复研究。

## 2 地下水污染现状与治理技术概述

### 2.1 地下水污染的成因与主要类型

地下水污染是一个复杂的环境问题，主要由自然因素和人为活动共同导致<sup>[1]</sup>。自然因素包括地质构造、岩石风化以及地下水水文地质条件等。这些因素可以影响地下水的化学组成和物理特性，进而导致重金属和盐类物质的自然积累。人为活动则是地下水污染的主要驱动力，工业废水、农业排放以及城市污水中的有害物质均可能渗入地下水中。这些污染源通常含有重金属、氮磷化合物、有机化学品及路径污染物等。地下水污染不仅具有隐蔽性和长距离迁移性的特点，还可能呈现出氟化物、有机氯化物以及多环芳烃等复杂污染组合。不同地区的地下水污染类型受到地质、气候、土地利用模式等条件的影响，表现出多样化的污染特征。面对这样的污染现状，系统性的评估和针对性的修复技术成为解决地下水污染问题的核心。通过深入分析污染成因和主要类型，为后续治理和修复技术的应用提供科学依据<sup>[2]</sup>。

### 2.2 环境与生态影响的关键问题

地下水污染对环境与生态系统造成了显著影响。污染物渗入地下水中，不仅直接威胁到人类的饮水安全，还会破坏地下生态系统的稳定性。污染物可能包含重金属、有机化合物及其他有害物质，这些物质能通过水体流动扩散，影响植物、土壤及地表水体。生态系统中的关键物种可能因水质恶化而遭受生存压力，导致生物多样性下降。水体污染还可能影响土壤的结构和肥力，以及地下水的渗透性和再生能力，对农业生产和生态恢复构成长远威胁。这些问题突显出地下水污染治理的紧迫性和复杂性。

### 2.3 地下水治理与修复技术的研究进展

随着地下水污染问题的日益严重，各类治理与修复技术逐渐发展完善。物理修复技术通过气相抽提法等方法有效去除溶解态的挥发性污染物。化学修复技术依托化学氧化等方式，能够快速降解污染物，适用于处理复杂污染环境。生物修复技术利用微生物降解，实现污染物的生物转化和净化，因其生态友好性备受关注。单一技术在复杂环境中存在效率瓶颈，综合利用多种技术的协同效应成为提高治理效果的关键趋势。通过技术优化组合，不同修复技术之间的耦合策略将进一步提升污染治理的有效性与可持续性。

## 3 地下水修复技术体系与适用性分析

### 3.1 物理修复技术及其适用范围

物理修复技术在地下水污染治理中扮演着至关重要的角色，其核心是通过物理过程消除或减轻污染物的影响。常见的物理修复技术包括气相抽提法、泵吸排水法和热处理法<sup>[3]</sup>。气相抽提法是利用气体的流动将挥发性污染物从地下水和土壤中转移出来，适用于处理挥发性有机污染物。泵吸排水法通过人工降低地下水位来控制污染物的扩散和迁移，适用于有较高渗透性的地层。热处理法通过加热污染区域来

增强污染物的去除效率，主要适用于重金属及半挥发性化合物。物理修复技术通常适合初期污染控制及易操作的现场条件，其适用范围受到地层结构、污染物类型及其物理化学性质的限制，需要与其他修复技术结合使用以提高治理效果。物理修复技术的实施成本和对地表生态的影响也是选择适用技术时的重要考虑因素。通过合理选择和组合物理修复技术，可以有效提升局部地下水污染治理的效率。

### 3.2 化学修复技术的原理与应用模式

化学修复技术在地下水污染治理中扮演着关键角色，其主要原理是通过化学反应将污染物转化为无害物质，或者使其不再具备迁移性和毒性。常用的化学修复技术包括化学氧化法、化学还原法和中和沉淀法。化学氧化法主要应用于可氧化分解的有机污染物，利用氧化剂如过氧化氢或高锰酸钾分解污染物。化学还原法则适用于还原敏感性较高的污染物，如氯代烃，通过注入还原剂实现降解。中和沉淀法主要用于无机污染物的去除，通过调节酸碱度使污染物沉降。这些技术在实际应用中须考虑地下水的化学特性、污染物类型及其浓度，以确保治理效果的最大化和可行性。

### 3.3 生物修复技术的发展与限制

生物修复技术通过利用微生物降解污染物，在地下水污染治理中发挥重要作用。该技术的优点包括成本低、环境友好及适用范围广。其发展也面临挑战，如对环境条件敏感，降解效率受限于微生物种群多样性及活性。生物修复过程较为缓慢，可能需要较长时间才能取得显著效果。在应用过程中，需仔细考虑微生物选种及适应性，以提升技术效果并减少潜在负面影响。该领域的研究仍需进一步加强，以克服现有技术限制。

## 4 多技术协同的综合治理框架

### 4.1 不同技术组合的优势与机制

多种地下水修复技术的组合具有显著的优势和独特机制。物理、化学和生物修复技术的相互补充，能够提高污染治理的效果和效率。物理修复技术，如气相抽提法，常用于迅速去除高浓度污染物，但可能受限于覆盖面积及深度。化学修复技术，如化学氧化技术，具有快速反应和广泛适用的特点，可有效降解多种有机污染物，其长期应用可能影响土壤结构。生物修复技术，通过微生物降解，实现污染物的自然转化，虽然速率较慢，但具可持续性和生态友好性。在综合应用中，物理技术快速降低污染浓度，为化学或生物修复创造条件，而化学与生物技术的结合则提升了降解速率和效果的持续性。技术组合实现了各自优势的最大化，降低了单一技术的局限性，形成了高效协同的地下水污染治理模式。这些组合机制为构建更加灵活、适应性强的地下水污染治理框架，提供了坚实基础。

### 4.2 基于化学生物联合修复的应用实践

在研究地下水污染治理中，化学生物联合修复技术显

示出显著优势。在具体应用中,该技术模式通过化学氧化剂与生物降解剂的结合使用,大幅提高了污染物的降解速率。化学氧化技术可快速降低污染物浓度,为后续的生物修复创造适宜的环境条件。微生物降解技术能够进一步处理化学过程中未彻底降解的污染残余,恢复地层的天然渗透性。应用实践表明,不同污染场景下,根据污染物特性选择合适的氧化剂和微生物菌种,可实现高效修复。在施行过程中,对地下水动态监测与科学管理也是关键,以确保修复效果的持续性和稳定性。此技术模式为复杂地下水污染的治理提供了可行的解决方案,成为未来研究的重要方向。

#### 4.3 技术耦合的优化策略

技术耦合优化策略旨在提高地下水污染治理的效率和可持续性。通过深入分析不同修复技术间的协同作用,确定最优组合方案。技术耦合需考虑污染物类型和土壤特征,对技术参数进行精准调控。信息化管理与动态监测结合,可实时调整修复措施,确保治理过程的高效执行与环境友好性。优化策略的实施有助于实现修复技术的集成化和系统化,进而提升地下水环境的整体修复能力。

### 5 综合治理的可持续发展路径

#### 5.1 长期污染防控的技术规划

地下水污染的长期防控技术规划是实现可持续治理的关键步骤。技术规划包括全面识别区域污染源、污染类型及其动态变化特征。以地理信息系统(GIS)和遥感技术为基础,构建地下水污染风险评估模型,使污染源识别更加精准。结合污染物的迁移扩散机制,拟定区域性治理方案,确保治理技术适应当地地质水文条件。强化污染治理技术的创新研发,推动化学、生物及物理修复技术的集成应用,提升整体防治能力。强调预防性措施与应急响应机制的协调,建立动态监测系统,用以预测潜在污染风险,及时调整治理策略。制定技术标准和规范,促进跨学科合作以及多方参与,确保技术规划的有效执行。通过政府、科研机构与社区的协同治理,构建可持续的管理机制,保障地下水质量的长期改善与维护,促进区域生态系统的健康发展。

#### 5.2 系统管理模式与政策建议

有效的系统管理模式是地下水污染治理与环境修复可

持续发展的关键。建立全面的监测与评估体系,能够及时识别潜在污染源并评估修复效果,从而提升环境管理的精准度。跨部门协作与信息共享机制的构建可确保各领域知识的有效整合,提高治理效率。加强公众参与和社区教育,有助于营造全社会共同关注和支持污染治理的氛围。政策层面,应制订灵活的法规和标准,以适应不同污染情境的治理需求,创造技术创新的空间。加大财政支持力度和引导绿色投资,鼓励技术研发与应用推广,实现治理技术的持续改进和普及。通过以上策略的综合实施,将有助于推动地下水污染治理迈向长远的生态平衡。

#### 5.3 生态效益与区域平衡的实现路径

生态效益与区域平衡的实现路径在地下水污染治理中至关重要。建议通过优化土地利用规划和提升生态系统服务价值,促进地下水资源的可持续利用。增强生态监测与评估机制,以准确把握生态修复过程中的动态变化。强调公众参与与科学普及,提高社会对地下水保护的意识和责任感。加强跨部门协作,实现资源的高效配置与共享,从而达到维护区域生态平衡的目标。通过政策引导和技术创新,推动环境修复的长效机制建设,确保生态系统的稳定性和健康发展。

### 6 结语

本文研究地下水污染治理与环境修复技术的综合应用,通过物理、化学、生物修复技术的组合解决治理效率低下问题。总结了不同污染物的最佳修复策略,并提出系统性环境修复优化建议,为提升治理效率提供理论支持。然而,研究在复杂污染体系适配性、长时间治理效果预测以及多区域管理模式方面存在局限,需进一步完善。未来研究方向包括精细组合模型、优化模拟工具、构建生态系统服务决策框架及政策技术协同机制,以推动地下水污染治理向系统化智能化发展。

#### 参考文献

- [1] 褚可成,陈镔.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.
- [2] 陈敏.地下水污染修复技术综述[J].云南化工,2020,47(11):12-14.
- [3] 徐轶群.土壤与地下水污染修复技术探查[J].区域治理,2023,(10):0149-0152.