

# 人工智能在土壤与地下水修复中的应用

王蓉 许昶\*

四川省地质工程勘察院集团有限公司, 中国·四川 成都 610072

**摘要:** 当前环境修复领域面临许多挑战, 尤其是在土壤与地下水修复中, 传统方法往往时间消耗长、成本高且效率不高。随着人工智能技术的发展, 其在环境科学领域的应用逐渐展现出巨大潜力。本文综述了人工智能在土壤和地下水修复中的具体应用, 包括污染识别、修复策略的优化以及修复效果的预测和监控。研究方法主要涵盖了机器学习算法、专家系统以及混合智能系统在修复工程中的实际应用案例。结果表明, 应用人工智能技术可以显著提高污染识别的准确性、优化修复策略并有效预测修复过程中可能出现的风险, 从而提高修复工作的效率和降低成本。

**关键词:** 人工智能; 土壤修复; 地下水修复; 污染识别; 修复策略优化

## Application of artificial intelligence in soil and groundwater remediation

Wang Rong, Xu Chang\*

Sichuan Provincial Institute of Geological Engineering Exploration Group Co., Ltd., China Sichuan Chengdu 610072

**Abstract:** The current field of environmental remediation faces numerous challenges, particularly in soil and groundwater remediation, where traditional methods often entail long time consumption, high costs, and low efficiency. With the development of artificial intelligence (AI) technology, its application in the field of environmental science is gradually demonstrating great potential. This paper reviews the specific applications of AI in soil and groundwater remediation, including pollution identification, optimization of remediation strategies, and prediction and monitoring of remediation effects. The research methods primarily encompass practical application cases of machine learning algorithms, expert systems, and hybrid intelligent systems in remediation projects. The results indicate that the application of AI technology can significantly improve the accuracy of pollution identification, optimize remediation strategies, and effectively predict potential risks during the remediation process, thereby enhancing the efficiency of remediation work and reducing costs.

**Keywords:** Artificial intelligence; Soil remediation; Groundwater remediation; Pollution identification; Remediation strategy optimization

## 0 引言

当前, 环境问题日益严峻, 特别是土壤与地下水污染问题, 已成为全球关注的焦点。传统的土壤与地下水修复技术不仅费时、成本高, 而且效率往往不尽如人意。随着科技的发展和创新的深入, 人工智能 (AI) 作为一种前沿技术, 在众多领域展现了其独特的能力和广阔的应用前景。特别是在环境科学的领域内, AI 的应用已开始崭露头角, 为环境修复提供了全新的解决方案。本研究旨在综述 AI 在土壤与地下水修复中的应用情况, 对污染的识别、修复策略的优化及修复效果的预测与监控等方面进行深入探讨。通过筛选多个实际案例, 特别是那些采用了机器学习算法、专家系统以及混合智能系统的案例, 本文试图揭示 AI 在提升修复效率及降低成本方面的潜力。通过分析现有技术在操作上的局限性和新兴 AI 技术的优势, 本文强调了采用

AI 技术进行环境修复的必要性。人工智能不仅能够提高污染识别的准确性, 优化修复策略, 还能有效预测并控制修复过程中可能出现的风险。此外, AI 技术在监控修复效果方面表现出的优势, 确保了修复策略能够及时调整, 以适应复杂多变的环境条件。本文的研究成果表明, 环境科学与人工智能技术的交叉融合不仅为土壤和地下水修复开辟了新的技术路径, 而且为环境保护与修复实践提供了有价值的参考和应用展望。

## 1 环境修复面临的挑战与人工智能的潜力

### 1.1 当前土壤与地下水修复的问题

当前, 土壤与地下水的污染已经成为全球范围内亟待解决的环境问题<sup>[1]</sup>。工业化、城镇化以及农业活动的快速发展导致了大量的有机污染物、重金属以及养分过剩等进入环境中, 对生态系统和人类健康造成了严重威胁。传

统的土壤与地下水修复方法在实际应用中面临着显著的局限性。

一方面,传统修复技术在污染物的识别与检测上存在局限性。许多污染物由于分布复杂、浓度低且种类多样,往往难以通过传统检测手段全面覆盖。由于污染物迁移规律复杂,依靠传统方法难以深入了解其动态过程,从而给污染区域的准确判定带来了挑战。另一方面,现有修复方法如物理修复、化学修复和生物修复等通常具有高成本、长周期和低效率的问题。例如,对于需要大面积修复的场地,传统方式耗费的时间和金钱成本极高,并且修复过程中可能引入新的环境问题<sup>[2]</sup>。尤其在地下水污染治理中,传统技术对深层污染物的移除效率相对较低,这进一步制约了修复工作的全面性。

由于修复过程中可能受到气候、地质条件的多重影响,传统方法在面对环境复杂性和不确定性时应对能力显著不足。例如,异质性强的地下介质可能使修复剂扩散失衡,导致修复效果与预期结果产生偏差。这种问题导致修复工作的整体效率降低,并增大了对环境二次污染的风险<sup>[3]</sup>。

面对上述问题,探索新的修复思路和技术手段已成为必然趋势。

## 1.2 人工智能技术的进展

近年来,人工智能技术的快速进展为环境科学领域带来了革命性变革,其在土壤与地下水修复中的潜力尤为显著。人工智能以其强大的数据处理和决策支持能力,成为应对复杂环境修复问题的重要工具。多种机器学习算法在污染场地的特征提取和污染源精准识别中发挥了突出作用,通过训练模型,人工智能能够处理多维度数据,并从中揭示潜在的污染路径和分布特性。深度学习在处理非结构化数据方面表现尤为出色,特别是在遥感影像分析和污染预测中具有显著优势。

专家系统在环境工程中的广泛应用为修复策略的设计提供了智能化支持。这类系统通过集成专家知识和规则,在复杂修复条件下给出科学决策,有助于提高修复工作的效率。混合智能系统的兴起结合了传统模型驱动方法与数据驱动方法的优点,提供了更为灵活和综合的解决方案,适用于动态和非线性系统,如地下水流动与污染物迁移修复。

人工神经网络及相关算法的优化正在进一步降低人工智能模型的计算复杂度,使其能够更加高效地处理大规模修复工程中的数据流<sup>[4]</sup>。人工智能技术在硬件支持和算法更新上的持续进展,为土壤与地下水修复注入了全新动力,

也为未来修复技术的发展提供了更多可能性。

## 2 人工智能在土壤与地下水修复中的应用

### 2.1 污染识别与数据分析

污染识别与数据分析是土壤与地下水修复中的关键环节。污染物的种类、分布范围及浓度是制定修复策略的基础,而传统的污染识别方法通常依赖于逐点采样与化学分析,存在成本高、效率低以及覆盖范围有限的问题。人工智能技术的引入为污染识别提供了新路径。基于机器学习和深度学习的模型能够对大规模环境监测数据进行高效处理,快速识别污染特征,并揭示污染的时空分布规律。遥感技术、传感器网络与AI算法的结合,进一步增强了对土壤或地下水污染的实时监测能力。自然语言处理技术也被应用于整合多源异构数据,包括历史污染数据、地质资料及气象信息,从而为污染识别提供了更加全面的决策依据。人工智能技术能够通过模式识别,精准解析复杂污染源的特性和迁移路径,为复杂环境场景下的污染动态预测提供支持。这种基于AI的污染识别方法不仅提高了污染定位的效率与准确性,还为后续的修复策略制定奠定了坚实的数据基础,具有重要的理论意义与应用价值。

### 2.2 修复策略的优化与实施

修复策略的优化与实施是人工智能在土壤与地下水污染修复中的关键应用领域之一。人工智能通过复杂算法与海量数据分析,有效支持修复方案的优化设计及动态实施。这主要体现在几个方面。第一,基于机器学习的模型能够快速处理多源环境数据,分析污染物的分布、迁移规律及与环境参数的相关性,从而生成最优修复方案。第二,深度学习技术可结合历史修复工程的数据,预测不同修复技术在特定情境下的效果,避免资源浪费并减少不确定性。第三,强化学习算法可实现修复过程中的实时决策支持,通过不断调整参数优化修复措施,确保效率最大化。混合智能系统将传统专家知识与现代数据驱动方法相结合,加强了在复杂场景下的适应性与可靠性。这些技术的综合应用不仅提升了污染治理的科学性,还缩短了修复周期。人工智能的高效特点使得修复策略能够更加精准地适应污染情况的变化,为构建经济高效的修复方案提供有力支持。

### 2.3 修复效果的预测与监控

修复效果的预测与监控是人工智能在环境修复中的重要应用。通过机器学习模型,可利用历史数据和实时监测结果对修复进程进行动态预测,识别潜在问题并评估长期效果。深度学习算法能分析复杂的环境变量关系,从而准确预测修复结果。AI技术在监控中结合传感器与遥感技

术, 实现污染区域的实时数据采集与分析, 为修复策略的调整提供科学依据。这些技术的应用大幅提升了修复效率和环境安全性。

### 3 人工智能技术带来的影响与前景

#### 3.1 提高修复工作的效率与精确性

人工智能技术在土壤与地下水修复中展现出显著的效率与精确性提升。其中, 通过机器学习和数据驱动方法, 对污染区域进行精准识别与分类, 有助于减少传统方法中可能出现的误差<sup>[5]</sup>。例如, 基于人工智能的算法可以处理复杂的环境数据, 快速识别污染物类型、分布以及浓度, 从而为修复工作的开展提供更可靠的基础。

在修复策略的优化方面, 人工智能技术能够结合多因素分析模型, 快速形成针对性强的修复方案。通过海量数据的处理, 人工智能能够模拟不同修复策略可能的效果以及潜在的风险, 从而辅助决策者选择最优方案。在修复实施阶段, 人工智能控制系统可以实时监测修复进度, 并根据实际情况调整参数与策略。这种动态调整能力显著提高了修复工程的灵活性和响应速度。

人工智能在修复过程的预测能力也表现出明显优势。通过深度学习技术建立预测模型, 可以提前预估修复过程中潜在的风险和效果, 从而降低人为因素干扰, 提高修复工作的可靠性。结合上述功能, 人工智能技术可以将环境修复从传统的经验依赖模式转向更加科学、数据驱动的方向, 全面提升效率与精确性。

#### 3.2 降低环境修复的成本与风险

人工智能技术在环境修复任务中展现出的重要价值之一是大降低修复过程的成本与风险。在成本控制方面, 人工智能通过高效的污染识别和数据处理机制, 能够精确定位污染区域, 减少传统修复方法中资源浪费和盲目处理的现象。基于机器学习和优化算法生成的修复策略, 能够帮助实现修复资源的合理分配, 避免不必要的开支。在风险管理方面, 人工智能提供了强大的预测能力, 通过对历史数据的分析, 能够识别潜在的修复失败因素。例如, 修复过程中的技术失效、环境条件变化或二次污染的可能性可提前识别并规避。修复工作的实时监控和动态调整能力, 进一步降低了突发事件的发生概率和处理成本。这些技术特点极大地提高了资源的利用效率, 也为复杂环境条件下的修复任务提供了更加可靠的保障, 为实现经济性与安全性的平衡提供了创新途径。人工智能的应用显然正推动环境修复领域迈向高效、可持续的新时代。

#### 3.3 未来技术的发展方向与应用可能

人工智能技术在土壤与地下水修复领域的发展方向包

括更加精准的污染物识别模型构建以及高效的修复策略生成算法研究。强化对复杂环境数据的实时分析与处理能力, 将进一步提升修复效果监控的准确性。多模态数据融合和分布式智能平台的应用潜力可推动修复系统的智能化、自动化发展, 为应对不同地域和环境条件的修复需求提供更灵活的解决方案。

### 4 结语

本研究围绕人工智能在土壤和地下水修复中的应用进行了全面的探讨和分析。通过综述人工智能技术如机器学习算法、专家系统以及混合智能系统在环境修复领域的具体应用, 研究结果证实, 人工智能技术能够显著提升污染识别的精准度、优化修复策略, 并有效预测并监控修复过程中的潜在风险。此外, AI 的应用在实时监控修复效果、调整修复策略以顺应复杂环境条件方面显示出其优越性。尽管此研究取得了一系列积极成果, 仍存在若干限制。当前的研究主要集中在具体应用案例的分析, 对人工智能技术在不同地质和污染条件下的适应性及长期效果仍需进一步研究。此外, 人工智能技术的数据驱动特性要求高质量、大量的数据支持, 数据的获取、处理和保护也是今后研究中不可忽视的问题。未来的研究应着重于优化 AI 模型的泛化能力, 提升其在多样化环境条件下的应用能力。同时, 研究应更多考虑环境、经济以及社会因素的综合影响, 推动多学科交叉融合, 探索更为经济高效的智能化环境修复策略。通过这些努力, 可以为土壤与地下水修复提供更加精准和可靠的技术方案, 推动环境保护事业向前发展。

#### 参考文献:

- [1] 张旭. 谈污染场地土壤与地下水防治修复[J]. 山西建筑, 2020,46(22):10-13.
- [2] 陈世慧. 土壤及地下水有机污染生物修复技术[J]. 城镇建设, 2020,(08):396-396.
- [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.
- [4] 袁霆, 刘仕刚, 从辉, 牛真茹, 张晓鹏. 土壤与地下水污染修复技术的应用[J]. 现代园艺, 2023,46(16):144-146.
- [5] 赵杨帆. 土壤与地下水有机污染物修复技术[J]. 区域治理, 2020,(38):0109-0109.

作者简介: 王蓉(1988-), 女, 汉族, 陕西眉县, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 环境咨询与环境工程相关工作。

通讯作者: 许昶(1988-), 男, 汉族, 湖北天门, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向: 生态修复相关工作。