

地下水原位修复工程中反应介质传质特性分析

地下水污染已成为全球环境治理的重要问题，主要来源包括工业废水渗漏、农业面源污染及城市垃圾渗滤液等。原位修复技术因无需开挖土壤、对地下水系统扰动小而受到广泛关注。其中，基于反应介质的原位修复方法，如零价铁 (Fe^0)、活性炭及生物载体等，通过化学或生物反应降解污染物，已成为工程应用的核心手段。然而，反应介质在地下水体系中的传质特性直接影响污染物去除效率和修复效果，是实现高效、可控修复的关键因素。

传质过程包括污染物向反应介质表面的扩散、介质内部的渗透及反应产物迁移等，其效率受介质颗粒结构、孔隙率、水力条件、流速分布及污染物性质等多因素影响。在复杂的地下水环境中，水流不均匀、孔隙结构多样以及化学条件变化，使得传统经验公式难以准确描述介质传质规律。因此，对反应介质传质特性的系统分析对于优化介质设计、确定布设方式及提升修复效率具有重要意义。

本文针对地下水原位修复工程中的反应介质，提出了一种传质特性分析方法。通过建立水力-传质耦合模型，模拟污染物在不同介质类型、颗粒尺寸及流动条件下的传输和反应过程，评估质量传递速率、反应效率及污染物去除潜力。同时，结合实验验证与工程案例分析，探讨介质布设方式、反应活性及水动力条件对修复性能的影响。研究结果可为地下水原位修复工程提供设计参考与优化策略，提升污染治理效率，实现环境可持续管理。

本研究为反应介质在地下水系统中的行为提供了工程化理解，支持高效、安全的原位修复设计，并为未来智能化监测与控制提供理论基础，推动地下水污染治理技术的发展。