

# Long-term Monitoring and Research on the Impact of Urban Reclaimed Water Recharge on the Quality of Shallow Groundwater

Sheng Xiong Jiguo Deng

Hubei Institute of Urban Geological Engineering, Wuhan, Hubei, 430051, China

## Abstract

Urban reclaimed water recharge, as an important means to alleviate water resource shortage, has attracted widespread attention due to its long-term impact on the quality of shallow groundwater. Due to the possible residual nitrogen, phosphorus, heavy metals, organic micro-pollutants and other components in the reclaimed water, the reinjection process causes complex disturbances to the groundwater environmental system, and it is necessary to obtain the real changing trend through systematic monitoring. Based on the multi-year tracking observation data of typical urban reclaimed water recharge areas, this paper analyzes the variation characteristics of key indicators in groundwater, explores the coupling influence mechanism of reclaimed water recharge on water quality, assesses the pollution risk and remediation potential of the groundwater system, and puts forward scientific monitoring optimization and water quality guarantee suggestions. To support the coordinated development of the safe utilization of recycled water resources and the ecological protection of groundwater.

## Keywords

Reclaimed water reinjection Groundwater quality; Long-term monitoring Pollution migration Risk assessment

# 城市再生水回灌对浅层地下水水质影响的长期监测研究

熊升 邓继国

湖北省城市地质工程院, 中国·湖北 武汉 430051

## 摘要

城市再生水回灌作为缓解水资源紧缺的重要手段, 其对浅层地下水水质的长期影响引发广泛关注。由于再生水中可能残留氮、磷、重金属、有机微污染物等成分, 回灌过程对地下水环境系统构成复杂扰动, 需通过系统性监测获取真实变化趋势。本文基于对典型城市再生水回灌区域的多年跟踪观测数据, 分析了地下水中关键指标的变化特征, 探讨再生水回灌对水质的耦合影响机制, 并评估了地下水系统的污染风险与修复潜力, 提出科学的监测优化与水质保障建议, 以支撑再生水安全利用和地下水生态保护的协调发展。

## 关键词

再生水回灌; 地下水水质; 长期监测; 污染迁移; 风险评估

## 1 引言

随着城市化进程加快, 水资源短缺问题日益凸显, 再生水作为替代水源已在多地推广应用。再生水回灌不仅有助于涵养地下水, 还能调节区域水文系统, 增强生态承载力。然而, 再生水水质复杂多变, 回灌过程可能引发地下水中污染物迁移、成分重构甚至生态系统失衡等问题, 长期风险不可忽视。基于此, 本文立足于长期连续监测视角, 系统分析城市再生水回灌对浅层地下水水质的影响过程, 为再生水利

用的安全评估与技术管理提供理论支持。

## 2 再生水回灌工程概况与研究背景

### 2.1 城市再生水回灌的主要目的与类型

城市再生水回灌的核心目标是通过人工补给方式恢复地下水资源储量并缓解地面沉降现象, 同时支撑城市水循环系统的闭合运行。再生水在城市水资源调配体系中常被引入到地下含水层中, 以实现水源涵养、生态补水及水质稀释等多重效益。回灌形式主要包括漫流入渗、注入井回灌及蓄水池渗滤等方式, 各具水量调节与污染控制能力。不同地区因地质条件、水源供需格局差异, 采用的再生水回灌方式和技术组合亦呈现多样化趋势。回灌工程在提高地下水位、改善生态景观和控制地层沉降方面具有积极成效, 同时对地下水

【作者简介】熊升(1972-), 女, 中国湖北武汉人, 本科, 高级工程师, 从事水文地质、工程地质与环境地质工程等方面的研究。



1.2 毫克每升,表现出对再生水回灌的高响应性。中层含水层中各项指标变化相对平稳,硝酸盐年均浓度保持在6至9毫克每升之间,受上部水层渗透补给影响逐年上升。各深度水层中指标波动均存在滞后响应现象,滞后期在3至6个月之间,表明污染物传递具有分层过滤与介质吸附作用,整体趋势显示污染影响自上而下逐步渗透扩展。

### 5.2 典型污染物浓度与季节、补给量之间的相关性

监测结果显示,硝酸盐浓度在夏季高温多雨期出现明显升高,月均浓度可达12毫克每升,较枯水期上升45%以上,与季节性降水增强渗透补给关系密切。氨氮与COD在冬季水温下降阶段浓度略有上升,表明微生物降解能力减弱影响污染物转化效率。总磷浓度在大规模补给期间升高明显,补给量每增加1000立方米,该指标上升约0.3毫克每升,呈现强烈正相关。重金属元素则受补给频次与强度共同影响,浓度峰值多出现在补给强度连续超过3天的时段。各类污染物在不同季节与补给模式下表现出非线性响应,揭示水文扰动与污染物迁移之间存在耦合机制,对后续回灌调控提出差异化管理需求。

### 5.3 长期演化趋势中的污染累积与自然恢复现象

五年监测数据显示,浅层含水层中硝酸盐和总磷浓度在初始阶段呈现持续升高趋势,前两年平均增幅分别为每年1.6毫克每升和0.2毫克每升,第三年后趋于平稳并略有下降。深层水体中监测指标稳定性高,未观察到明显累积效应。整体趋势表明,在连续监测与科学补给条件下,部分污染因子存在自净潜力,但累积性污染的迁移与缓释仍需长期关注与控制。

## 6 水质安全评估与风险控制建议

### 6.1 地下水水质达标状况的分区评估

依据《地下水质量标准》对各监测井的年均数据进行分析,浅层区域中有46%的监测井硝酸盐浓度超过10毫克每升,属Ⅳ类水质,集中分布于回灌强度大、渗透速度快的地段。空间分布上,污染物浓度呈现以回灌中心向外扩散的圆晕状梯度递减结构,且不同水层之间污染响应存在时空错位。综合评估表明需对高风险区实施限制性回灌控制,同时强化低风险区的连续追踪,以保障地下水功能区水质安全。

### 6.2 再生水水质准入与地下水用途的适配性分析

现行再生水水质多数以《城市污水再生利用景观环境用水标准》为准,缺乏与地下水用途衔接的风险分级管理体系。农业用水区域对硼、钠、总溶解固体含量有明确要求,

再生水中电导率在1200微西门子每厘米以上者对土壤胁迫较大,易引发盐渍化隐患。部分生态用水区域对重金属敏感,需控制铜、锌浓度低于0.05毫克每升。适配性分析建议以地下水用途为基础划定准入等级,并实施分级预处理和多项水质达标检验制度,确保回灌水质与用途协调一致。

### 6.3 回灌管理中的污染防控与应急监测策略完善方案

为提升回灌工程运行安全性,需建立以风险识别、过程控制与应急响应为一体的综合管理体系。污染防控方面建议实施回灌间歇运行策略,设定周期为10天运行、5天间歇,促进系统自净能力恢复。渗滤系统入口处增设砂滤与活性碳吸附单元,提高对有机微污染物的去除率至85%以上。在风险响应方面应建立快速预警机制,设定关键指标如硝酸盐、总磷、COD等预警阈值,一旦超限即启动补给暂停与污染扩散范围预估模型。补充设置3至5个应急监测井布点密度,每日观测频率增加至6次,快速获取动态数据。系统化策略将为再生水回灌安全运行与地下水生态保护提供技术支撑。

## 7 结语

城市再生水回灌作为水资源可持续利用的重要途径,在缓解地下水超采、提升城市水循环效率方面展现出积极效益。然而,其对浅层地下水水质的长期影响不可忽视,需依托科学完备的监测体系和动态评估机制进行全过程管控。通过对不同水层污染物迁移特征、时空变化趋势及污染风险进行系统分析,有助于厘清回灌活动对地下水环境的干扰机制。今后应从水质准入标准细化、风险分区防控与应急响应能力提升等方面不断完善管理措施,推动再生水回灌技术在保障水安全与生态健康前提下实现规范化、高效化发展。

### 参考文献

- [1] 莫栋梁.再生水回用技术在城市生活小区中的实践与评价[A].智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(二)[C].重庆市大数据和人工智能产业协会、重庆建筑编辑部、重庆市建筑协会:2025:852-855.
- [2] 辛颖梁.极端干旱事件对城市居民再生水回用意愿的影响[J].水利规划与设计,2025,(05):72-78.
- [3] 辛颖梁.缺水风险感知对城市居民再生水回用意愿的影响研究[D].导师:高旭阔.西安建筑科技大学,2024.
- [4] 杨赛国,谷康辉.浅谈某城市再生水回用的现状及进展[J].广东化工,2024,51(06):104-107.