

市政污水渗漏对地下水的影响分析

朱彦辉 魏 威

河南黄淮检测科技有限公司 河南 驻马店 463000

摘 要：市政污水渗漏是威胁地下水环境安全的重要隐患，污水中含有的有机污染物、氮磷营养盐、重金属及无机盐类经管网破损渗入地下含水层后，会引发地下水化学成分改变与微生物群落结构演变。本文围绕污水渗漏的形成机理与污染物在地下水中的赋存转化特征展开论述，分析污染物穿越包气带与含水层的迁移规律，探讨水文地质条件及介质特性对迁移进程的约束效果，并从源头管控、阻隔体系构建与环境修复等维度提出地下水保护思路，为城市污水管网运维与地下水环境防护提供理论参照。

关键词：市政污水渗漏；地下水污染；污染物迁移；含水层；环境管控

引言：城市地下排水管网在长期运行中因管材老化、地层应力变化及运维疏漏等因素，持续产生污水渗漏问题。渗漏污水携带大量有机污染物与营养盐类渗入地下含水层，打破地下水原生化学平衡，引发水质恶化与生态结构失调。地下水环境封闭低扰动的固有属性，使得污染物质一旦进入便难以自然消解。深入剖析污水渗漏对地下水环境的影响机理与迁移规律，对于保障城市地下水资源安全具有迫切的现实需求。

1 市政污水渗漏与地下水环境基础特性

1.1 市政污水水质组分基本属性

市政污水来源于城市日常生活各类排水汇集体系，水体内部包含多种类型的污染物质与溶解性物质。水体中富集大量含氮含磷营养类物质，这类物质长期留存于水体中，会改变水体基础物质构成^[1]。污水内部携带的有机物质具备可生化分解特性，会在水环境中发生持续性的物质转化反应。水体中留存的微量无机盐类与悬浮颗粒物，会改变水体洁净程度与物质构成状态。微生物菌群广泛存在于市政污水体系内部，菌群分布状态与数量变化会随城市排水来源产生对应波动。各类物质在污水体系中相互共存，形成具备稳定特征的混合水体体系，构成市政污水区别于自然水体的基础特质。

1.2 地下含水层介质结构特性

地下含水层由不同粒径的岩土颗粒堆积构成，岩土颗粒的排列方式直接决定含水层整体孔隙发育状态。孔隙空间的大小与连通程度，主导水体在岩层内部的渗透流通条件。不同埋藏深度的含水层会呈现差异化的介质密实度，浅层含水层介质结构相对松散，深层含水层介质压实程度更高。岩层内部存在的裂隙与孔洞构造，会形成多样化的水体运移通道。介质整体的渗透性能、储水空间与堆积结构，共同决定地下水水体的储存与流动

基础条件，也会影响外来水体在岩层内部的扩散范围。

1.3 地下水环境介质固有属性

地下水长期赋存于封闭或半封闭的岩土空间内，水体保持相对稳定的理化状态。原生地下水具备固定的酸碱环境与溶解物质含量，水体内部离子组成维持长期平衡状态。地下水的温度、溶解气体含量保持平稳波动，整体水环境具备较强的稳态特征。地下水土水界面存在稳定的物质交换规律，岩土介质与水体之间保持固定的物质吸附与释放节奏。原生水环境形成的平衡体系，能够维持地下水自身的物质循环与状态稳定，对外来污染物质具备天然的容纳与缓冲基础。

1.4 市政污水渗漏的产生诱因与形成条件

城市地下排水管网长期处于地下复杂环境中，管材老化、结构磨损会逐步破坏管网整体密闭性能。地下土体沉降、地层应力变化会对排水管道产生挤压作用，引发管道开裂、接口松动等结构破损问题。管网运维养护的疏漏会造成管道缺陷持续累积，逐步形成污水外泄的通道。城市地下空间开发、土体扰动等外部环境变化，会改变管网周边受力条件，加剧管网破损程度。污水输送过程中产生的水压波动，会持续作用于管道破损位置，推动污水透过结构缺陷位置渗入周边土体，逐步形成持续性的污水渗漏现象。

2 市政污水渗漏污染物赋存与转化特征

2.1 污水渗漏污染物的基本类型划分

市政污水渗漏携带的污染物质，可依托理化性状与环境迁移特点完成科学划分。有机污染组分多来源于城市生活排水及日常市政排水体系，多以溶解态或细微悬浮态分布在渗漏水体内部，是诱发地下水有机污染的主要物质^[2]。营养盐类组分以氮、磷物质为核心构成，长期富集于城市污水体系内部，能够大幅干预地下水原生

物质结构。无机盐分组分涵盖多种水溶性离子, 伴随城市排水汇集过程持续积累, 直接改变地下水水体矿化程度。难降解污染组分具备稳定的分子结构, 自然环境中分解速度缓慢, 进入地下含水层后可长期留存。各类污染物质拥有独特的理化属性, 在地下水环境中表现出专属的迁移与污染行为。

2.2 污染物在地下环境中的赋存状态

渗漏污染物质穿透地表介质进入地下环境后, 会依托水岩交互作用形成多种稳定的赋存形态。具备良好溶解性的污染组分可以充分融入地下水水体, 跟随水体运移流程完成大范围空间扩散。粒径微小的污染颗粒可悬浮于水体之中, 水动力条件出现波动时会发生沉降或再次悬浮的状态更迭。部分化学活性偏弱的污染物质会通过物理吸附作用贴合岩土颗粒表面, 稳固留存于含水层细小孔隙内部。包气带介质拥有复杂的孔隙结构, 可对下渗污染组分形成截留效果, 让污染物质在浅层介质形成集中堆积区域。各类赋存形态可以在地下水环境中相互转化, 形成动态变化的空间分布格局, 持续影响地下水环境状态。

2.3 地下水环境中污染物的转化机制

地下水相对封闭的水环境会为污染物质的形态转化提供稳定条件。有机污染物质可借助地下微生物的代谢作用实现结构分解, 复杂大分子结构逐步拆解为简单的小分子物质。水环境内部的氧化还原条件会推动无机组分发生形态转变, 直接改变物质的迁移活性与环境危害性。水体中游离离子可与渗漏污染物质发生物化反应, 生成全新的物质组分。岩土介质表层的物理化学作用可推动游离污染物质固化, 让流动态物质转化为稳定附着状态, 持续改变地下污染物质的整体存在形态。

2.4 不同污染物的环境适配特性差异

不同类型污染组分对地下水低温封闭、扰动偏弱的特殊环境, 展现出差异化的环境适配能力。有机污染组分可以适配地下微生物的生存繁育条件, 依托本土微生物群落完成持续分解转化, 贴合地下水环境的自然演变节奏。营养盐类物质极易融入地下水物质循环体系, 快速打破水体长期维系的理化平衡, 诱发水体质量与生态状态的异常波动。无机盐分物质能够稳定留存于地下水水体中, 适配地下水体的运移规律, 跟随水体渗透作用完成缓慢扩散。难降解污染组分高度适配地下低扰动的封闭环境, 能够抵御自然环境的常规分解作用, 在含水层内部持续累积留存, 对地下水环境形成长期的负面影响。

3 市政污水渗漏污染物地下水迁移规律

3.1 污染物在包气带的渗透传递规律

包气带作为地表与地下水层之间的过渡介质, 整体结构存在大量未饱和孔隙空间。污水渗漏产生的污染物质进入包气带后, 会伴随水分下渗流程逐步向下层介质推进^[3]。污染组分在渗透过程中会与岩土颗粒产生充分接触, 部分物质被介质孔隙滞留截留, 延缓纵向渗透速度。水分下渗的整体通量会改变污染物质的渗透深度, 水体渗透能力提升会推动污染组分向更深层位传递。包气带内部非饱和的含水特征, 会让污染物质呈现分段式渗透的传播特点, 浅层介质污染富集程度更高, 深层介质污染分布更为稀疏。岩土介质的吸附滞留效果, 会让污染物质在包气带内部形成阶段性堆积, 拉长污染组分整体渗透传递周期。

3.2 污染物在含水层的扩散迁移规律

污染物质穿透包气带后会进入饱和含水的含水层体系, 迁移模式产生明显转变。含水层内部饱和水体具备连续流动特性, 可为污染组分的横向扩散与纵向推移提供动力支撑。污染物质进入含水层初期会集中分布于渗漏点位周边, 逐步依托水体流动向周边区域延展。水体流动产生的弥散作用会拓宽污染物质的分布范围, 弱化局部区域的污染富集程度。不同属性的污染组分会展现出差异化扩散速度, 溶解性较强的组分扩散覆盖范围更广, 吸附性较强的组分扩散进程更为缓慢。含水层稳定的水体环境会让污染扩散过程持续推进, 逐步形成范围持续拓展的污染分布区域。

3.3 水文地质条件对污染物迁移的干预作用

各类水文地质要素会对污染物质迁移进程产生直接干预效果。地下水流的流动速度会调控污染组分扩散效率, 水流运动状态的变化会直接改变污染物质的空间拓展速率。含水层水位的动态变化会调整水体运移路径, 间接影响污染物质的迁移方向与覆盖范围。地下水体自然形成的水动力梯度会引导污染组分的整体运移走向, 让污染扩散趋势贴合水体流动格局。地层埋藏条件与含水结构的差异, 会制造局部的水流滞缓区域, 促使污染物质在对应区域聚集堆积, 改变整体迁移分布形态。

3.4 介质特性对污染物迁移的约束作用

岩土介质自身的物理属性会持续约束污染物的迁移进程。介质孔隙的发育规模与连通程度决定水体及污染物质的通行能力, 孔隙发育良好的介质会降低污染迁移阻力。颗粒质地细腻的岩土介质具备更强的吸附性能, 能够截留更多污染组分, 有效限制污染物质的扩散范围。颗粒质地粗糙的介质孔隙通透度更高, 污染组分受到的阻滞作用大幅降低, 可实现更快的空间运移。介质整体的密实程度会改变渗透通道的通畅性, 密实度较高

的介质会压缩孔隙空间,抑制污染物质的纵向与横向迁移,对地下水污染扩散形成天然的阻滞效果。

4 地下水受污水渗漏影响的管控与调控思路

4.1 市政污水渗漏源头管控思路

污水渗漏治理的核心着力点集中于源头管控,从污水输送环节削减渗漏问题的发生概率。城市地下排水管网需开展常态化状态排查,及时识别管道破损、接口松动、结构老化等各类缺陷隐患^[4]。针对管网运行过程中出现的结构损伤,落实针对性的修复与养护举措,维持排水体系完整密闭的运行状态。结合城市建设发展节奏,逐步更替老旧落后的排水管线,提升管网整体防渗抗损性能。规范城市污水输送的运行工况,稳定管网内部输水压力,减少水压异常波动对管道结构造成的持续损耗。依托常态化运维管理模式,从污水产出与输送源头切断污染物质向地下环境渗入的通道。

4.2 地下水污染阻隔体系构建思路

完善的污染阻隔体系能够有效阻断污染物在地下介质中的持续扩散。依托地下岩土结构分布特征,布设适配地层条件的防渗阻隔结构,阻断污染组分纵向下渗与横向蔓延的路径。结合包气带与含水层的介质特性,选用适配的防渗材料填充地层缺陷区域,提升地下介质整体的防渗阻隔能力。搭建分层阻隔的防护架构,针对浅层渗漏污染与深层水体污染形成差异化的阻隔布局。强化渗漏高发区域的阻隔建设力度,缩小污染物质在地下水环境中的扩散范围。通过物理阻隔手段约束污染组分的运移空间,降低污水渗漏对地下水整体环境的扰动程度。

4.3 地下水环境自我修复能力激活方式

地下水环境具备天然的自我净化与修复潜能,可通过科学手段激活并强化这类性能。优化地下水水体的溶解气体环境,改善地下微生物的生存繁育条件,提升微生物对有机污染组分的分解效率。调节地下水水体理化指标,维持适宜的酸碱环境与离子平衡状态,保障物质循环过程稳定开展。补充地下环境所需的营养基质,推动本土微生物群落结构优化,增强污染物质自然降解效率。减少人为活动对地下水环境的额外扰动,为水环境

自我净化进程提供稳定的空间与时间条件,逐步恢复地下水原生环境状态。

4.4 污水渗漏与地下水环境长效管控思路

地下水污染治理与防护需要建立长期稳定的管控模式,规避渗漏污染问题反复发生。搭建动态化的地下水环境监测机制,持续捕捉水体理化状态与污染分布的动态变化。统筹城市地下管网运维与地下水生态防护工作,实现排水体系管理与水环境保护的深度联动。更新优化管控技术手段,依托成熟的水环境治理技术完善污染防治防护体系^[5]。建立常态化的管护机制,将管网养护、污染阻隔、生态修复等工作纳入日常管理范畴。通过持续性的精细化管控,维持地下水环境的稳态平衡,实现城市污水输送与地下水资源保护的协调发展。

结束语

市政污水渗漏对地下水环境的影响是一个涉及污染物赋存、迁移与转化的多维过程。包气带的截留作用与含水层的扩散效应共同塑造污染羽的时空分布格局,介质特性与水文地质条件持续约束污染物的运移路径。源头管控与阻隔体系构建能够有效削减污染扩散范围,激活地下水自我修复潜能则有助于逐步恢复水环境稳态。唯有将管网运维与地下水防护纳入统一的长效管控框架,方能实现城市排水安全与地下水资源保护的协调统一。

参考文献

- [1]王亮,杨华展,吴舒畅,等.市政污水管道渗漏污染物迁移数学解析模型[J].给水排水,2022,48(9):117-123.
- [2]刘希希,崔诺,胡馨月,等.特征因子法提高污水管道地下水入渗检测效率的研究[J].给水排水,2022,48(2):122-127.
- [3]王敏,王瑞,林光瑞,等.污水管网地下水入渗量及缺陷修复优先级研究[J].工业安全与环保,2026,52(4):103-107.
- [4]周文.某污水处理厂对地下水环境影响分析[J].陕西水利,2022(1):108-110.
- [5]范芳梅.环境工程中城市污水处理存在的问题探讨[J].山西化工,2026,46(2):275-276,279.