

地质水工环境影响下的地下水污染迁移机制研究

李雪青

河南省第四地质矿产调查院有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要: 地下水污染在地质环境和水工环境的共同影响下呈现复杂的迁移和转化规律。本文依托实地调查数据和实验室模拟实验, 探讨了地质和水工环境条件下地下水污染物的迁移机制。通过分析不同地质结构对水流路径和速度的影响, 以及水工活动如抽水、灌溉等对地下水流场和污染物扩散的影响, 揭示了污染物在地下水中的迁移路径和速率变化规律。研究表明, 地质裂隙、孔隙大小和分布不均以及水工活动的强度和方式是影响污染迁移的关键因素。此外, 研究还发现, 地下水污染物在不同地质水工环境下的迁移机制存在显著差异, 为地下水污染防治提供了理论依据和技术支持。

关键词: 地下水污染; 迁移机制; 地质结构; 水工活动; 污染物扩散

Study on groundwater pollution migration mechanism under geological, hydraulic and environmental influences

Li Xueqing

Henan Fourth Geological and Mineral Survey Institute Co., LTD. China Henan Zhengzhou 450000

Abstract: Groundwater pollution exhibits complex migration and transformation patterns under the combined influence of geological and hydraulic environments. This study investigates pollutant migration mechanisms in groundwater systems through field survey data and laboratory simulations, focusing on how different geological structures affect water flow pathways and velocities, as well as how hydraulic activities like pumping and irrigation influence groundwater flow patterns and pollutant dispersion. The findings reveal that geological fractures, pore sizes and distribution irregularities, along with the intensity and methods of hydraulic activities, are key factors affecting pollutant migration pathways and velocity variations. Notably, significant differences in pollutant migration mechanisms were observed across varying geological-hydraulic environments, providing theoretical foundations and technical support for groundwater pollution prevention and control.

Keywords: Groundwater pollution; Migration mechanism; Geological structure; Hydraulic activities; Pollutant diffusion

0 引言

地下水污染已成为全球范围内的重要环境问题之一, 其对人类健康和生态系统均产生了显著影响。地下水污染的迁移机制受多种因素影响, 尤其在地质和水工环境共同作用下, 其迁移和转化规律尤为复杂。传统的地下水污染研究多聚焦于单一因素对污染物迁移的影响, 而现实情况往往是多种因素交织作用。据此, 本研究通过实地调查以及实验室模拟实验, 系统地分析了地质结构和水工活动对地下水污染迁移路径和速率的具体影响。国内外相关研究已揭示了地下水污染来源、类型及其健康危害等多个方面的知识, 但关于地质水工条件交互影响下的污染迁移规律则相对欠缺。有效管理和治理地下水污染, 需对其在不同环境条件下的迁移动力学有更深入的理解。因此, 本研究通过对不同地质结构如裂隙、孔隙的大小与分布, 以及水工活动如抽水、灌溉对地下水流场和污染扩散的影响进行

分析, 旨在揭示地下水污染物在复杂环境下的迁移机制。本研究的主要目标是通过多维度的实验分析和数据解析, 详细阐述不同地质和水工环境条件下地下水污染物迁移的机制, 为地下水污染的防治及资源的可持续管理提供科学依据和技术支持。

1 地下水污染的基本理论与背景

1.1 地下水系统的组成与特性

地下水系统是地球水循环的重要组成部分, 其特性直接决定了地下水资源的分布、流动和质量^[1]。地下水通常存在于饱水层中, 通过孔隙、裂隙或溶洞储存和流动, 具有隐蔽性和动态性。地下水系统的组成主要包括含水层、隔水层和地下水补给区, 含水层是地下水储存的主要载体, 依据岩石及沉积物的渗透性分为裂隙型含水层、孔隙型含水层和岩溶型含水层。地下水运动受重力和压力的共同作用, 其流动方向和速率与地质结构密切相关。地下水系统

还具有自净能力,通过物理、化学和生物过程削减污染物浓度。污染物在进入地下水系统后可能通过扩散、对流等机制发生迁移,这种迁移特性受到地质条件与水力作用的深刻影响,对地下水质量评估和保护提出了严峻挑战。

1.2 地下水污染的类型和来源

地下水污染类型主要包括有机污染物、无机污染物、生物污染物和放射性污染物。有机污染物涉及石油化工产品、农药、溶剂等,通常来源于工业废水排放、农业活动和城市垃圾渗漏。无机污染物如重金属、硝酸盐及盐类,来源于矿山开采、化肥使用及垃圾填埋场渗漏。生物污染物涵盖细菌、病毒和寄生虫,其主要来源为未经处理的生活污水或畜禽养殖废水。放射性污染物则可能因核能生产、医疗废物处理不当而进入地下水环境。这些污染物的来源具有区域性和复杂性,往往与人类活动的强度和方式密切相关,对地下水系统的生态稳定性造成严重威胁,各类型污染对水质的影响机制存在显著差异。

1.3 影响地下水质量的关键因素

影响地下水质量的关键因素包括自然环境和人为活动两方面^[2]。自然因素如地质结构、土壤性质和地下水流动特征决定了污染物的储存和迁移行为;人为因素如工业废水排放、农业化学品使用和过度开采改变了地下水的流场结构和化学成分。这些因素相互作用,使地下水质量受到多重影响,从而形成复杂的污染机制。这种综合作用要求在污染防治中兼顾地质条件与人类活动对地下水系统的影响。

2 地下水污染在不同地质结构中的迁移动态

2.1 岩石孔隙和裂隙的影响

地下水污染的迁移动态受岩石孔隙和裂隙特性的显著影响。岩石孔隙的大小、形态及分布特点直接制约了地下水的流动路径和速度,从而影响污染物的扩散行为。孔隙度高且渗透率大的地质介质通常具备较高的污染物迁移率,而孔隙结构复杂、连通性较低的岩体则可能限制污染物的扩散范围。裂隙作为地下水储存和流动的重要通道,其深度、宽度及密度对水流动态具有关键调控作用。裂隙网络中的连通性增强了水流的方向性,可能导致污染物沿特定路径迅速迁移,而不规则裂隙的存在则会导致污染物的滞留和局部浓度的升高。通过针对岩石孔隙与裂隙特性的研究,可以更准确地预测地下水污染的扩散模式,为地下水污染的预警和治理提供科学基础。

2.2 地层构造对污染物迁移的影响

地层构造对地下水污染物的迁移具有显著影响。地层

的倾斜角度、层理结构和沉积特性决定了地下水流动路径在空间上的分布特征[3]。在倾斜地层中,污染物可能沿着层理向下迁移,从而加速污染扩散,而平缓层理则限制其纵向运动,导致较缓慢的水平迁移。断层的存在为污染物提供了高速迁移通道,也可能因断层闭锁而阻碍污染物进一步扩散。褶皱构造通过改变地下水流向和污染物运移路径,使其迁移特性更加复杂。地层的不连续性,例如岩层间的接触界面,常形成局部污染物积聚区域。地层岩性与孔隙度的差异也会显著影响污染物的吸附和解吸动力。地层构造属性因其复杂变异性对地下水污染物迁移过程的调控不可忽视,为地下水管理和污染治理提供关键的参考依据。

2.3 污染物在不同地质条件下的迁移特性

地下水污染物在不同地质条件下的迁移特性因地质结构和介质属性差异呈现多样化。含水层结构的渗透性及孔隙连通性直接影响污染物的迁移速率与扩散范围,含泥质较高的基岩层限制了污染物的垂直迁移,而透水性高的砂砾层增强了水平扩散能力。裂隙发育程度及分布不均导致污染物迁移路径复杂化^[4]。

3 水工活动对地下水污染迁移的影响

3.1 抽水和注水操作的影响

抽水和注水操作对地下水污染迁移的规律具有显著影响。抽水过程会改变地下水的水力梯度,使得污染物向抽水源头迁移的速度加快,形成局部的水流汇合区域,促进污染物在地质环境中的扩散。抽水强度和频率决定了地下水流场的重塑效果,对污染迁移路径产生直接控制作用。与抽水相比,注水操作通过向地下水系统灌入水量,改变了地层孔隙的流体压力分布,可能引发污染物扩展到更广的范围,从而增加污染的影响区域。不合理的注水操作可能导致污染物渗透深层地质结构,呈现难以逆转的迁移趋势。抽水和注水的联合活动亦可能产生复杂的水流动力效应,使得污染传播路径更加难以预测。这些变化强调了精准设计地下水操作的必要性,以避免污染风险的扩大和地下水资源的进一步损害。

3.2 灌溉和水道施工的影响

灌溉和水道施工对地下水污染迁移机制具有显著影响。灌溉过程中,大量水分通过地表进入土壤和浅层地下水系统,导致水位上升和地下水流场改变,从而加速污染物的垂向和水平迁移。灌溉过程中的农业排水含有丰富的化学肥料和农药,其渗透作用使污染物浓度在局部区域显著升高^[5]。水道施工改变了地表水和地下水的连通性,控

制或重构了地下水的流向和流速。在施工过程中,人工开挖可能破坏原有的地层结构和地下水流场,导致污染物沿新的流动路径扩散。研究表明,这些水工活动不仅加剧了污染物的迁移范围,还提升了污染物的迁移速率和扩散模式复杂性。充分理解灌溉和水道施工影响能够为地下水污染防治与资源管理策略提供重要依据。

3.3 水工结构改变对水流动态的调控

水工结构的改变对地下水流动态产生显著影响,通过调整水流的流速、流向和压力分布,直接改变地下水污染物迁移路径和扩散范围。坝体、涵洞等水工结构能够引发水流重新分布,形成新的流场模式,使污染物在局部区域积聚或扩散,从而改变地下水污染的传播特性。

4 地下水污染防治的理论与技术支持

4.1 污染控制技术与方法的应用

地下水污染的控制技术与方法是保障地下水资源质量的重要措施。研究与实践表明,污染源的有效隔离和治理在污染防治中具有关键价值。在物理方法中,污染源隔离屏障技术通过使用防渗膜或地下截水墙,能够减少或阻止污染物进入地下水系统。化学方法则通过化学试剂的注入实现污染物的转化或沉淀,常用于处理重金属或有机污染物。生物修复技术利用微生物的降解能力清理地下污染物,具有更高的环境适应性。结合地质水工环境条件,通过调整适用的防治方法和优化技术参数,可以提高污染控制效果。不同地质条件和水工活动带来的动态污染迁移规律需要与防治技术精准匹配,以确保地下水资源的保护策略更为有效。总体而言,科学制定防治方案和改进技术细节是实现地下水污染防治目标的重要保障。

4.2 地下水水质监测与评估技术

地下水水质监测与评估技术是地下水污染防治的关键环节。高精度监测技术通过布设监测井和传感器网络,能够实时采集地下水流量、流速及污染物浓度等数据,为动态变化分析提供基础。参数评估技术通过采样分析和实验模拟,揭示污染物在地下水中的物理化学行为,结合地层结构和水流场的变化,建立全面的地下水污染评估模型。遥感与地理信息技术与传统方法结合,为地下水污染监测提供空间分布数据支持,能够快速识别污染源及其扩散路径。这些技术的综合应用有效提高了污染预警能力,为地下水资源的科学管理和保护提供了技术保障。

4.3 持续性地下水资源保护策略

持续性地下水资源保护策略旨在协调地质与水工因素,以实现地下水资源的长期稳定与可持续利用。通过优化土地利用规划,减少污染源进入地下水系统的风险;推广节水型灌溉技术,控制水工活动对地下水流场的干扰;实施分区管理,加强脆弱区域的监测与修复;利用物理屏障或生物修复手段减缓污染扩散。结合动态评估模型,精准预测地下水污染迁移趋势,为科学决策提供技术支撑。这些措施能够有效增强地下水系统的自净能力,保障水资源的生态安全与稳定供给。

5 结语

本文深入探讨了地质水工环境因素对地下水污染物的迁移机制的影响,揭示了地下水中污染物的复杂迁移路径及变化规律。研究表明,地质结构的特点,如裂隙和孔隙的大小及分布,以及水工活动的强度与方式,是影响地下水污染迁移的关键因素。此外,本文还发现在不同地质水工环境下,地下水污染物的迁移机制存在显著差异。然而,受限于实验条件和数据获取的局限性,本研究在一些特定地质水工环境下的数据覆盖和深度分析方面仍有改进空间。因此,未来的研究可以通过采集更多样化的地质水工环境数据,利用更高精度的监测技术,进一步精确地量化地质结构和水工活动对地下水污染迁移的具体影响。总体而言,本研究为地下水污染的预测、控制与管理提供了重要的理论和实验依据,有助于指导地下水资源的更有效保护和可持续利用。未来研究可进一步探索不同污染物在地质水工环境交互作用下的行为,以及开发新的净化技术,以更全面地应对地下水污染问题。

参考文献:

- [1] 谷广锋,曹兴涛,刘铭辉,王新乐,王妮,王国柱. 滨海地区石化行业地下水污染物迁移转化研究[J]. 中国石油和化工标准与质量,2022,42(11):93-95.
- [2] 王丹. 地下水污染物迁移变化研究[J]. 陕西水利,2021,(08):135-136.
- [3] 唐克旺. 防治地下水污染 助力地下水保护[J]. 中国水利,2022,(06):19-20.
- [4] 高森,田西昭,付丹蕾. 地下水污染防治区划研究[J]. 价值工程,2022,41(02):72-74.
- [5] 张艳杰,康智慧,谭景辉. 基于 LabVIEW 的地下水污染物迁移监测系统设计[J]. 中国信息化,2022,(10):51-52.