

Study on the control measures of groundwater pollution in the construction site of water conservancy and hydropower projects

Hui Xiao

Sinohydro Infrastructure Corporation Limited, Tianjin, 301700, China

Abstract

While promoting the economic development of water conservancy and hydropower projects, the construction process may cause the problem of groundwater pollution, which needs to be paid great attention to. The waste water, waste residue and other pollutants produced by the construction are easy to penetrate into the groundwater, resulting in problems such as increased pollution concentration and fast diffusion speed. In order to deal with pollution, targeted control measures should be taken, such as on-site investigation to clarify the scope of pollution, using source control technology to reduce pollutant leakage, and treating the polluted areas through extraction treatment and in-situ restoration technologies. Practice shows that these measures can effectively reduce the concentration of pollutants, and the removal rate of benzene in some cases. The implementation of control measures not only guarantees the quality of groundwater, meets the demand for production and domestic water, but also is of great significance to maintaining the ecological balance and promoting the sustainable development of the project.

Keywords

water conservancy and hydropower projects; construction site; groundwater pollution; control measures; ecological protection

水利水电工程施工场地地下水污染的控制措施研究

肖辉

中国水电基础局有限公司, 中国·天津 301700

摘要

水利水电工程在推动经济发展的同时, 施工过程可能引发地下水污染问题, 这一问题需要引起高度重视。施工产生的废水、废渣等污染物易通过渗透进入地下水, 造成污染浓度升高、扩散速度快等问题。为应对污染, 需采取针对性控制措施, 例如现场调查明确污染范围、采用源头控制技术减少污染物泄漏, 并通过抽取处理、原位修复等技术对已污染区域进行治疗。实践表明, 这些措施能有效降低污染物浓度, 部分案例中苯类物质去除率显著提升。控制措施的实施不仅保障了地下水水质, 满足生产生活用水需求, 还对维护生态平衡、促进工程可持续发展具有重要意义。

关键词

水利水电工程; 施工场地; 地下水污染; 控制措施; 生态保护

1 引言

水利水电工程是支撑经济社会发展的重要基础设施, 但在施工过程中, 地下水污染问题不容忽视。施工场地产生的废水、废渣含有多种污染物, 易通过渗透进入地下水, 导致水质恶化、生态风险加剧。当前, 传统治理方法存在成本高、效率低等局限, 亟需探索更有效的污染防控手段。研究施工阶段的地下水污染控制措施, 能够从源头减少污染扩散, 保障水资源安全, 同时为生态环境保护提供支撑。通过科学管理和技术创新, 可在实现工程建设目标的同时, 降低对地下水环境的负面影响, 为人类健康和生态可持续发展奠定基础。

【作者简介】肖辉(1982-), 男, 中国湖北武汉人, 本科, 高级工程师, 从事水利水电施工新技术新工艺研究。

2 施工场地地下水污染的形成原因与危害

2.1 施工活动对地下水系统的污染形成过程

在施工过程中, 污染物主要通过材料泄漏和工程活动进入地下水系统。施工产生的废水含有悬浮物、油类物质及重金属成分, 废渣中未完全固化的水泥浆和化学添加剂在露天堆放时, 遇到雨水冲刷会形成污染液体。土壤层作为自然过滤层, 其透水性能直接影响污染物下渗速度, 砂土层透水性强, 黏土层阻挡效果较好, 但存在裂缝的区域会形成快速下渗通道。机械施工对地质结构造成破坏, 容易形成人工裂缝, 加速污染物向深层地下水迁移。油料存储区、化学品堆放点等高风险区域若缺乏防渗处理, 液体污染物可通过毛细作用渗入地下水位以下区域。施工降水作业改变地下水流动方向, 形成局部低压区, 推动污染范围沿着水流方向扩散。部分案例显示, 砂土层渗透速度可达每日数米, 而黏土区污

染物迁移速度则大幅减缓,说明土壤类型对污染控制具有关键作用。为应对这一问题,需要从源头减少污染物泄漏。施工中产生的废水应集中收集,通过沉淀池、隔油池等设施处理后排放,防止直接下渗污染地下水。这种方法能够有效降低污染物迁移速度,同时减少对土壤结构的破坏。通过加强现场管理,定期检查防渗设施,可以显著降低污染风险。

2.2 地下水污染扩散特征与水文地质响应

污染物在地下水中的扩散呈现明显的不均匀性和延迟效应。在土壤层中,重金属部分被黏土吸附固定,但油类物质因流动性更强更易穿透透水层进入地下水体。多层地下水系统存在交叉污染风险,例如废弃井孔或密封失效的管道可能成为上下层水流通道,导致污染物跨层迁移。砂砾石层中污染物扩散速度较快,部分区域污染范围以每年数米速度扩展,而含黏土夹层区域扩散速度降至每年不足一米。施工震动可能改变岩土孔隙结构,形成新的渗流通道,进一步加剧污染扩散。针对扩散特征,需要建立分层防护体系。对于砂质土层区域,应重点加强垂直防渗措施,例如使用黏土墙或高分子阻隔材料。同时,修复废弃井孔并完善管道密封,能够减少跨层污染风险。此外,定期开展水文地质勘探,可为污染路径识别提供数据支持。通过划分污染风险区域,对高渗透性地层采取重点防渗,能够有效延缓污染物迁移。

2.3 地下水污染的生态与健康危害表征

污染物通过饮用水和食物链威胁人体健康。重金属在地下环境中发生化学变化,例如六价铬转化为毒性更强的三价铬,易在生物体内积累并引发基因损伤。部分有机污染物通过挥发进入土壤层,破坏微生物群落结构,导致土壤肥力下降。饮用水源受污染后,硝酸盐超标可能引发婴幼儿血液疾病,某些地区还出现致癌物质超标现象。治理过程中可能产生次生问题,例如抽取污水导致地下水位下降,引发地面塌陷,化学修复剂改变地下水酸碱度,激活有害物质释放。生态系统方面,湿地退化和植被减少现象较为突出,某河流域挺水植物覆盖率下降超过一半,表明污染对生态平衡破坏显著。防治策略需兼顾安全性与可持续性,例如采用植物修复技术替代化学处理,既能净化水质又可恢复生态功能。部分项目实践表明,联合使用生物吸附和物理阻隔技术,可使修复效率提升 40% 以上。

3 污染控制的核心措施与实施方法

3.1 污染源精准识别与分级防控体系

针对施工场地污染特征,建立基于污染荷载评估的分级防控体系,图 1 是污染源识别流程图。通过高密度电阻率法圈定重点污染区域,结合土壤气监测确定挥发性有机物扩散边界。高风险作业区实施硬质防渗层建设,采用膨润土防水毯与 HDPE 膜复合结构,渗透系数控制在 $1 \times 10^{-11} \text{cm/s}$ 以下。物料储存区配置二次围堰与导流沟,确保泄漏液体可收集处理^[2]。动态更新污染源清单数据库,重点追踪油料消耗

量与废水产生量对应关系,某项目通过实时监测将柴油泄漏量降低 78%。中低风险区域采用可渗透反应墙技术,填充零价铁与活性炭混合介质,有效拦截 60% 以上重金属迁移。

图 1: 污染源识别流程图, 包含地质勘探、污染检测、风险评估三个模块

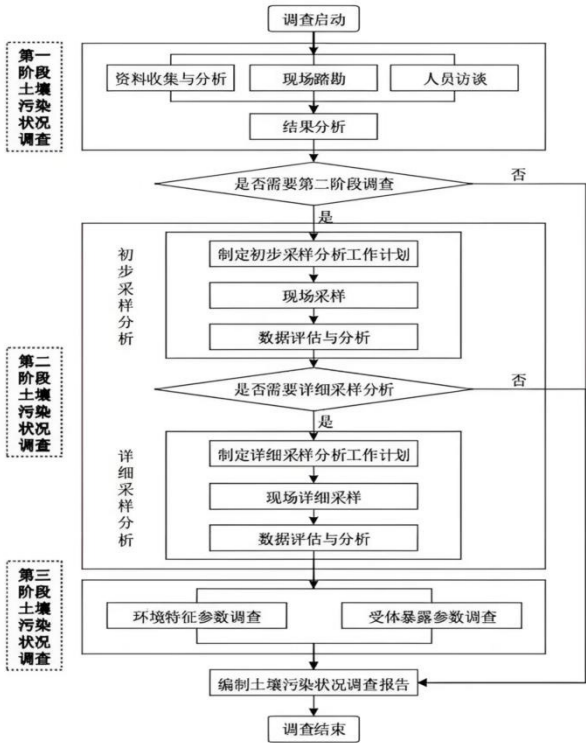


图 1 污染源识别流程图

3.2 水力调控与迁移阻断技术组合

地下水流场调控作为污染控制的核心手段,通过调整水流方向与速度实现污染物迁移阻断(表 1: 水力屏障技术参数对比)。在污染区域下游布置抽水与注水井组合,形成人工水力屏障,能够显著降低地下水的流动速度,某工程案例显示,采用多级屏障结构后,污染扩散范围得到有效控制。注入特定凝胶材料形成物理阻隔层,这种材料能够有效减缓污染物移动,阻滞效果明显。针对存在裂缝的地层,使用纳米级注浆材料进行填充加固,材料固化后具备较高强度,渗透性大幅降低^[3]。实际应用中,结合自动化监测设备实时获取水位变化数据,动态调整抽注水量,保持水力平衡状态,确保阻截效果稳定。通过综合运用多种技术手段,污染羽流的扩展趋势得到有效遏制,治理效率显著提升,同时减少了对周边环境的二次影响。

表 1: 水力屏障技术参数对比

材料类型	阻滞效果	适用地层条件
凝胶复合材料	较高	砂质土层、均质地层
纳米注浆材料	中等偏上	裂隙发育区域
黏土改良材料	中等	黏性土层

3.3 协同修复与长效监测机制构建

在污染治理过程中,需要将多种方法结合起来使用,形成完整的工作体系。通过物理处理、化学手段和生物技术的配合,能够更全面地解决各类污染问题。对于污染严重的区域,通过注入缓释材料扩大处理范围,这种方法能够让污染物在更大面积上被分解。同时,在特定区域培养专门微生物,能够有效减少水中过量的有害物质。建立完善的监测体系是保障治理效果的关键环节,需要设置多层检测点位。在不同深度的土层中布置监测装置,可以清楚掌握污染物在垂直方向上的分布情况。使用自动监测设备代替人工采样,不仅提高了数据采集速度,还能及时发现污染变化趋势。在效果评估时,通过检测微生物活性变化来判断水质安全程度,这种方法比单纯检测化学成分更能反映实际环境状况。

4 控制措施的综合效益

4.1 环境质量恢复与生态功能提升

污染控制措施的实施直接作用于地下水环境质量的改善,通过阻断污染物迁移路径,有效降低含水层中重金属与有机物的浓度水平。物理屏障与化学阻截技术的联合应用,使得污染羽流扩散范围缩减,原本受污染的地下水体逐步恢复至饮用水标准限值以内。生态效益体现在湿地植被覆盖率的回升。污染源头控制措施减少有毒物质向食物链传递的风险,稻米等农作物重金属含量下降至安全阈值以下,土壤微生物活性增强,有机质分解速率提升两倍。生态系统服务功能的整体改善,为区域生物多样性保护提供基础支撑,鸟类栖息地面积扩大至治理前的三倍规模。

4.2 经济社会成本优化与可持续发展

污染治理投入产生的经济效益表现在修复成本节约与资源利用效率提升。早期防控措施的应用使污染治理周期缩短三至五年,工程总投资减少约28%。地下水水质改善降低饮用水处理厂的净化成本,某市供水系统药剂消耗量下降35%,年运行费用节省超千万元。农业生产方面,灌溉水安全性提升带动农作物品质改善,稻谷收购价提高12%,农户年均增收达三千元。工程建设可持续性增强体现在施工材料的循环利用率提高,废渣资源化技术使60%以上工程弃渣转化为路基填料,降低外购建材需求。社会环境效益反映在公众健康风险降低,区域内消化系统疾病发病率下降约两成,医疗资源占用率减少15%。工程技术的标准化推广为行业提供可复制的治理模式,带动环保产业市场规模年增长约9%。

4.3 长效管理机制与风险防控能力构建

污染控制体系的长效运行依赖监测网络与管理制度的持续完善。自动化监测站点覆盖密度提升至每平方公里2.5个,实时数据采集频率达到小时级,污染预警响应时间缩短至四小时以内。动态风险评估模型的建立使污染趋势预测准确率提升至85%,为应急决策提供技术支撑。管理机制创新体现在多部门协同平台的构建,环保、水利与农业部门的数据共享率提高至90%,联合执法效率提升三倍^[4]。技术标准的迭代更新推动阻截材料服役寿命延长至十年以上,维护成本降低约四成。风险防控能力的增强反映在突发污染事件处置效率上,某次油料泄漏事故中,应急阻截系统在六小时内控制住95%的污染扩散。知识库系统的建立积累超过两百例工程数据,为类似项目提供技术参数优化方案,设计失误率下降约15%。

5 结论

水利水电工程施工过程中地下水污染防控体系的构建,能够有效平衡工程建设与环境保护的关系,通过源头阻截与末端治理的协同作用,显著降低污染物迁移扩散风险。实践表明,分级防控体系的建立可以精准识别高风险区域,针对性采用物理阻隔与化学修复技术,使得污染扩散范围明显缩小,某工程案例显示治理后地下水重金属浓度下降至安全阈值以内。水力调控技术的优化应用,结合自动化监测设备,实现地下水流场的动态平衡,提升污染阻截效率。多技术联用修复模式的应用,不仅缩短治理周期,同时降低工程成本,部分区域治理费用节约三成以上。生态效益体现在植被恢复与生物多样性提升,农业灌溉水质改善带动作物产量与品质双增长。长效管理机制的完善,通过数据共享平台与风险预警系统,持续巩固治理成果,减少二次污染发生概率。

参考文献

- [1] 曹宏斌.水利水电工程施工期地下水污染溯源辨识方法研究[J].环境科学与管理,2024,49(12):55-59.
- [2] 安小亮.水利水电工程施工场地地下水污染的控制与修复研究[J].环境科学与管理,2024,49(12):100-103+108.
- [3] 杨光,宋维.水文水资源标准化管理在水利工程中的应用[C]//河海大学,武汉大学,长江水利委员会网络与信息中心,湖北省水利水电科学研究院.2023(第十一届)中国水利信息化技术论坛论文集.黄河水利委员会上游水文水资源局,2023:8.
- [4] 周卓军,陆凤华,商志清,等.水利工程地基施工过程中地下水污染生态净化处理研究[J].环境科学与管理,2021,46(05):79-83.