

# 水利工程建设对区域水文地质环境的影响分析

李 伦<sup>1</sup> 张 乾<sup>2</sup>

1.荆门市水利勘察设计院有限责任公司 湖北 荆门 448000

2.湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司 湖北 武汉 430070

**【摘要】**：水利工程是水资源调控、防灾减灾的核心基础设施，其建设与运行通过干预区域自然水文循环，对地下水动力场、岩土体稳定性、地下水水质及生态水文系统产生多维度扰动。本文聚焦水利工程建设对区域水文地质环境的核心影响，剖析具体作用机制与典型问题，针对性提出全流程防控保护对策，为水利工程绿色建设、区域水文地质环境安全及水资源可持续利用提供理论参考与实践支撑。

**【关键词】**：水利工程；水文地质环境；地下水动力场；岩土体稳定性

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.061

水利工程涵盖水库、灌区、跨流域调水、堤防等类型，其筑坝蓄水、人工引水、基坑开挖等工程行为，直接打破区域原有水文地质平衡，重构地下水补径排关系，改变岩土体水文地质特性，进而引发一系列水文地质与生态环境问题。水文地质环境作为区域水资源赋存、运移的核心载体，其稳定性与区域生态安全、工程效益发挥、经济社会发展密切相关。若水利工程建设中忽视水文地质环境保护，易诱发地下水位异常波动、土壤盐渍化、岸坡失稳、地下水污染等问题，制约工程综合效益的长效发挥。本文从核心影响维度出发，分析水利工程建设对区域水文地质环境的作用规律，识别典型问题并提出防控对策，突出工程建设与水文地质环境保护的协同发展。

## 1 水利工程建设对区域地下水动力场的重构影响

### 1.1 蓄水类工程引发地下水位抬升

水库、塘坝等蓄水工程筑坝后，库区水位大幅抬升，与周边地下水形成显著水力差，库水通过岩土体渗流向地下水补给，打破原有“地下水补地表水”的水力关系，形成以库区为中心的地下水位抬升区。抬升幅度与影响范围受地层渗透性、岩性及蓄水水位控制，松散砂卵石层等强渗透区域，地下水位抬升幅度可达数米，影响范围延伸至库区外围数公里；基岩裂隙发育区渗透性较弱，抬升效应与影响范围则相对有限。灌区工程大规模农田灌溉通过田间入渗持续补给地下水，在地势低洼、排水不畅的平原灌区，易形成区域性高水位区，部分引黄灌区地下水位年抬升幅度超 0.5m，长期抬升还会改变区域地下水径流方向，使原本向河道排泄的地下水，转而向灌区低洼处汇集。此外，跨流域调水工程的输水渠道，若衬砌防渗效果不佳，渗漏量可达输水总量的 10%—30%，沿线地下水会得到持续补给，渠道两侧 1—3km 范围内地下水位抬升明显，部分区域甚至形成地下水壅水带。

### 1.2 疏排类工程造成地下水位下降

堤防、河道疏浚等疏排工程会降低河道行洪水位，减少河道对地下水的天然补给量，部分河段甚至出现地下水向河道反

向补给，导致河道周边地下水位下降，形成局部地下水漏斗。如北方部分河道经疏浚整治后，河道水位降低 2—3m，周边 1—2km 范围内地下水位同步下降 0.5—1m，地下水补给河道的范围显著扩大。水利工程施工阶段的基坑降水作业，会在施工区形成人工降水漏斗，使周边地下水位短期快速下降，改变局部地下水流向，尤其在城市水利工程密集施工区，多个降水漏斗叠加会扩大水位下降范围，破坏地下水与地表水的水力连通性。基坑降水若未采取管控措施，施工区周边地下水位可在短期内下降 5—10m，影响范围可达数公里，还会导致周边水井干涸、地表轻微沉降。跨流域调水工程中未衬砌的输水渠道虽会补给沿线地下水，但部分提水泵站周边因水资源人工调运，会导致局部区域地下水开采量增加，加之泵站周边排水工程的疏排作用，间接引发地下水位下降，形成“补给-疏排”并存的地下水动力场复杂格局。

## 2 水利工程建设对岩土体与地下水水质的双重影响

### 2.1 岩土体水文地质稳定性受损

水利工程建设通过改变岩土体饱水状态、渗流场及有效应力，直接降低岩土体稳定性。水库库区水位周期性涨落，使库岸岩土体反复经历饱水-干缩过程，裂隙不断发育，抗剪强度大幅降低，易诱发库岸坍塌、滑坡，尤其松散堆积物库岸与顺层岩质库岸，地质灾害发生概率显著提升。地下水位抬升使岩土体孔隙水压力增加、有效应力降低，导致岩土体承载力下降，在灌区、库区周边的粉质黏土分布区，易引发地面沉降、地基沉陷，部分灌区因长期地下水位高，农田周边道路、农田水利设施出现不同程度的开裂、沉陷。岩溶发育区地下水位的剧烈波动，会破坏溶洞顶部岩土体应力平衡，溶洞内地下水的冲蚀与溶蚀作用加剧，极易诱发岩溶塌陷，而地下水位下降则会使岩土体固结收缩，干缩裂隙发育，加剧岩土体风化，在砂土层分布区，地下水位下降还会导致砂土失稳，引发地面沉降；同时基坑开挖、爆破等施工行为会直接破坏岩土体原始结构，产生大量张拉裂隙，改变岩土体渗流特性，引发局部岩土体渗流

变形,甚至诱发管涌、流沙等工程地质问题,威胁工程基坑及周边建(构)筑物安全。

## 2.2 地下水水质演化的正负效应

水利工程对地下水水质的影响兼具正面改善与负面污染双重特征。正面来看,水库蓄水、渠道渗漏带来的地下水补给量增加,提升了区域地下水径流速度,增强了自净能力,对北方干旱半干旱地区矿化度、硬度较高的地下水具有稀释净化作用,有效改善水质指标。负面影响则更为突出且波及范围更广,库区地下水位抬升加剧水岩相互作用,岩土体中可溶性钾、钠、钙、镁等离子及硫酸盐、氯化物大量溶出,进入地下水后导致地下水矿化度、总硬度升高,部分库区还会因岩土体中有害元素的溶出,出现氟、砷等指标超标,如北方部分水库蓄水后,周边地下水氟含量从0.5mg/L升至1.5mg/L以上,超出饮用水标准。灌区灌溉过程中,化肥、农药随灌溉水下渗形成农业面源污染,使地下水氨氮、硝态氮、磷等营养盐超标,部分灌区地下水硝态氮含量达20—30mg/L,远超地下水Ⅲ类标准;同时,灌区地下水位抬升引发的土壤盐渍化,会使地下水钠离子、氯离子含量同步升高,进一步恶化水质。跨流域调水工程若输水水源水质较差,渠道渗漏会将污染物带入沿线地下水,引发COD、氨氮等指标超标,而输水线路沿线的施工废料、生活污水若处置不当,也会成为地下水点状污染源。施工阶段的基坑开挖废水、砂石料加工废水,若未经处理渗入地下,会导致地下水浊度、悬浮物增加,破坏其物理性质,部分施工废水还含有油污、泥沙等,会堵塞岩土体孔隙,改变区域地下水渗流特性。

## 3 水利工程建设对区域生态水文的联动扰动

水文地质环境与地表生态系统高度耦合,地下水是地表植被、湿地、河流生态的核心水源,水利工程引发的水文地质变化,会通过“地下水—地表水”水力联系,联动改变区域生态水文格局。水库库区周边地下水位抬升,会为湿生植物提供充足水源,促进库区湿地生态系统发育,扩大湿地面积,同时提升植被根系含水量,有利于周边乔木、草本植物生长,提高植被覆盖率,如我国南方部分水库,蓄水后库区周边湿地面积增加20%—50%,植被覆盖率提升15%—30%,生物多样性有所增加。但地下水位过度抬升则会引发显著负面效应,在干旱半干旱地区的灌区、库区周边,地下水位过高会使土壤表层盐分随水分蒸发不断累积,形成土壤盐渍化,同时土壤孔隙被水分填充,通气性变差,植被根系缺氧腐烂,导致原生草本、灌木植被退化,甚至形成盐渍化裸地,如西北某灌区,因地下水位长期抬升,盐渍化土地面积占灌区总面积的30%以上,原有荒漠植被大面积枯萎。

河道工程、基坑降水引发的地下水位下降,会直接导致河道周边湿地、滩涂因水源不足萎缩,河流基流减少,干涸段增

加,压缩水生生物生存空间,部分北方河流因地下水位下降,河道基流减少50%以上,鱼类等水生生物种类减少、数量下降。同时地下水位下降使地表植被根系层含水量不足,引发河岸林、灌区周边植被枯萎,尤其在黄土高原地区,河岸林因地下水位下降大面积死亡,加剧区域土地荒漠化。此外,地下水污染会通过水力联系补给地表水,引发河流、湿地水体富营养化,诱发水华、赤潮等生态灾害,而地下水有害元素富集则会通过食物链传递,影响动植物生长发育,如南方某岩溶库区,地下水砷含量超标,周边农作物砷含量也超出安全标准,同时影响鱼类、鸟类等生物的生存,破坏生态系统生物多样性。

## 4 水利工程建设中水文地质环境保护的防控对策

### 4.1 规划设计:源头把控,优化工程方案

开展精细化区域水文地质勘察,采用水文地质测绘、抽水试验、水质检测、三维地质建模等技术,全面查明工程区地下水动力场、水质、岩土体稳定性等基础条件,科学开展工程建设水文地质环境影响评价,量化预测工程建设对水文地质环境的影响程度与范围。结合区域水文地质特征优化工程选址与设计,岩溶发育区、松散岩类沉降区、生态敏感区尽量避让重大水利工程;水库、输水渠道优化蓄水水位与衬砌设计,根据地质层渗透性采用高强度防渗衬砌材料,减少渗漏量,对库区周边高风险区域设置防渗帷幕。跨流域调水工程严格把控输水水源水质,设置水源预处理环节,对超标水源进行净化处理,防止劣质水污染沿线地下水;灌区工程优化灌溉制度,采用滴灌、喷灌等节水灌溉技术,减少田间入渗量,同时规划建设完善的排水系统,避免地下水位过度抬升。

### 4.2 施工建设:过程管控,减少环境扰动

强化施工阶段水文地质环境管控,制定专项环境保护方案,基坑降水采用“分层降水+人工回灌”模式,根据地下水位变化动态调整降水与回灌量,控制地下水位下降幅度,避免形成大面积降水漏斗,回灌水源选用清洁地下水或处理后的中水,防止回灌污染。对施工废水、砂石料加工废料进行集中收集处理,设置防渗沉淀池、废料堆放场,施工废水经沉淀、过滤、净化后达标排放或回用,严禁随意排放;对施工人员生活污水采用一体化污水处理设备处理,生活垃圾集中清运,避免污染地下水。针对库岸、渠道边坡等易失稳区域,采取喷锚支护、格构护坡、抗滑桩、防渗帷幕等工程措施,增强岩土体稳定性,对已出现裂隙的岩土体及时进行灌浆处理,防止裂隙进一步发育。

### 4.3 运营管理:动态监测,实施生态修复

建立区域水文地质环境动态监测体系,在工程区及周边布设地下水水位、水质、流量、岩土体变形等监测点,采用自动化监测设备实现数据实时采集、传输与分析,及时掌握环境变化趋势,实现异常情况及时预警。针对地下水位过度抬升区域,

采取人工排水、疏干渠网等措施降低地下水位,合理规划排水井布局与排水强度,防治土壤盐渍化与沼泽化;针对地下水位下降区域,开展地下水人工回灌,利用雨季雨水、工程弃水、净化后的地表水补充地下水,修复地下水动力场,恢复地下水与地表水的水力连通性。结合区域生态特征开展针对性生态修复,盐渍化区域实施土壤改良,通过施加改良剂、种植耐盐植被如碱蓬、沙棘等,降低土壤含盐量,恢复植被覆盖;湿地萎缩区域开展人工补水与湿地重构,疏通湿地水系,种植水生、湿生植物,恢复湿地生态功能;植被退化区域实施植树造林与植被恢复,选用乡土树种与草本植物,搭配滴灌等节水设施,提高植被存活率。

## 5 结论

水利工程建设对区域水文地质环境的影响具有多维度、深

层次特征,核心体现为地下水动力场重构、岩土体稳定性受损、地下水水质演化及生态水文联动扰动,且存在正面效应与负面问题并存的特点,其影响程度取决于工程类型、设计方案及区域水文地质背景。实现水利工程建设与水文地质环境保护协同发展,需遵循“源头防控、过程管控、生态修复”原则,将水文地质保护纳入工程规划设计、施工建设、运营管理全流程,通过精细化勘察、方案优化、过程管控及动态监测,从源头减少工程对水文地质环境的扰动;针对已产生的环境问题,采取针对性防控与生态修复措施,重构区域水文地质平衡。未来水利工程建设应秉持绿色发展理念,结合水文地质模型模拟、大数据监测、人工智能等技术,实现工程对水文地质环境影响的精准预测与动态管控,推动水利工程绿色化、智能化建设,实现水资源开发利用与水文地质环境保护的双赢。

## 参考文献:

- [1] 张发旺.水利工程对地下水环境影响研究[J].水文地质工程地质,2012,39(02):1-5.
- [2] 李云峰.水库工程建设对周边水文地质环境的影响及防治[J].人民长江,2018,49(S1):112-114.
- [3] 迟宝明.水利工程水文地质效应及环境影响评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2009,39(S1):13-17.
- [4] 田丰年.灌区水利工程建设对区域地下水环境的影响[J].水资源保护,2015,31(03):68-72.
- [5] 郑西来.跨流域调水工程对沿线地下水环境的影响分析[J].水利学报,2014,45(08):923-930.