

# 水文地质工程对地质环境的影响

李俊娜

山西省煤炭地质一一五勘查院有限公司 山西 大同 037003

**摘要:** 本文探讨了水文地质工程的主要活动类型,包括地下水开发、地质灾害防治、矿产与能源开发、城市与交通建设工程等。详细分析了这些工程活动对地质环境的直接影响,如地下水系统扰动、岩土体结构破坏、地表形态改变;以及引发的间接环境效应,包括生态系统连锁反应、气候与微环境变化、地质灾害链式触发。同时阐述了水文地质工程影响下地质环境的响应机制,旨在为合理开展水文地质工程、保护地质环境提供理论依据。

**关键词:** 水文地质工程;地质环境;直接影响;间接效应;响应机制

引言:随着工业化与城市化进程加快,水文地质工程作为资源开发与灾害防治的关键手段,其活动范围与强度持续扩大。从地下水开采到大型水利工程建设,从矿产资源开发到城市地下空间利用,这些工程在满足人类需求的同时,也对地质环境产生了复杂而深远的影响。理解水文地质工程与地质环境的相互作用机制,成为实现可持续发展、保障生态安全的重要课题。

## 1 水文地质工程的主要活动类型

### 1.1 地下水开发工程

地下水开发工程包含井群开采、人工回灌、地下水调蓄等活动。井群开采通过在含水层分布区域布设多个开采井,借助抽水设备抽取地下水,满足生产生活或生态补水需求,开采过程中需根据含水层厚度、水位变化调整抽水强度,避免过度开采导致水位持续下降<sup>[1]</sup>。人工回灌则是将符合水质要求的水通过回灌井或渗透场地注入地下,补充地下水储量,维持含水层水量平衡,回灌时需控制水流速度与水质标准,防止污染地下水或破坏含水层结构。地下水调蓄通过建设地下水库、利用天然储水构造等方式,在丰水期储存多余水资源,在枯水期释放使用,实现水资源的时空调配,调蓄过程中需监测含水层储水能力,确保调蓄量与地质条件适配。

### 1.2 地质灾害防治工程

地质灾害防治工程涵盖滑坡治理、地基加固、岩土体改良等活动。滑坡治理通过修建抗滑桩、挡土墙等设施阻挡滑坡体滑动,或采用排水措施降低滑坡体含水率,减少土体重量与下滑力,治理过程中需结合滑坡体规模、岩土性质设计方案,确保治理效果稳定。地基加固针对软弱地基或不均匀地基,采用压实、注浆、换填等技术提升地基承载力,避免建筑或工程因地基沉降引发结构损坏,加固时需根据地基土层分布调整工艺参数,保障加固后地基性能均匀。岩土体改良通过物理或

化学手段改善岩土体的力学性质,如向岩土体注入改良剂增强强度、通过压实降低孔隙率,改良后需检测岩土体强度与稳定性,满足工程建设对地基的要求。

### 1.3 矿产与能源开发工程

矿产与能源开发工程中的水文地质相关活动包括矿井排水、油气开采中的水合物控制。矿井排水在矿产开采过程中,通过布设排水系统排除矿井内的地下水,降低井下水位,为开采作业创造安全环境,排水时需合理设计排水路径与排水强度,避免排水过快引发周边地面沉降或地下水漏斗。油气开采中的水合物控制针对油气储层中可能形成的水合物,通过加热、注入抑制剂等方式防止水合物生成或分解已形成的水合物,避免水合物堵塞油气管道影响开采效率,控制过程中需监测储层温度、压力变化,确保措施对油气储层无破坏。

### 1.4 城市与交通建设工程

城市与交通建设工程涉及地铁隧道施工、地基处理、排水系统建设等水文地质相关活动。地铁隧道施工需通过降水、盾构等技术穿越不同地层,施工中需控制隧道周边地下水水位,防止涌水、管涌等问题影响施工安全,同时保护周边建筑地基稳定。地基处理针对城市建筑或交通设施的地基,采用碎石桩、水泥土搅拌桩等技术改善地基承载能力,处理后需检测地基变形情况,确保满足建筑或设施的荷载要求。排水系统建设通过修建雨水管网、渗滤设施等,收集并排放城市地表径流与地下水,避免积水影响城市交通或引发内涝,建设时需结合城市地形与水文条件设计排水坡度与管网布局,提升排水效率。

## 2 水文地质工程对地质环境的直接影响

### 2.1 地下水系统扰动

地下水系统扰动体现在水位变化、水流方向改变与水质恶化三方面。水位变化中,过度开采会持续抽取含

水层中的地下水,超出地下水补给能力,导致开采区域及周边形成区域性降落漏斗,漏斗范围内含水层疏干,可能引发周边水井干涸;人工回灌若控制不当,局部注入水量过大或速度过快,会使回灌区域地下水位异常上升,增加土壤含水率,甚至引发浅层地下水溢出地表。水流方向改变多由工程屏障导致,如挡水墙、防渗帷幕等设施会阻挡地下水天然径流路径,迫使地下水改变流动方向,可能在屏障上游形成水位壅高,下游则因补给减少导致径流减弱,破坏区域地下水循环平衡。水质恶化常与工程材料相关,混凝土、注浆材料等在与地下水接触过程中,内部可溶性物质会缓慢溶出,进入地下水环境,改变地下水化学组分,若溶出物质超标,会污染地下水,影响地下水使用功能。

## 2.2 岩土体结构破坏

岩土体结构破坏主要表现为应力重分布、渗透性变化与化学风化加速。应力重分布多由开挖或注浆工程引发,开挖作业会移除部分岩土体,打破原有的应力平衡状态,使周边岩土体应力重新分配,局部区域应力集中,可能导致岩土体变形,严重时引发局部塌陷;注浆工程向岩土体注入浆液,浆液固化过程中会对周边岩土体产生挤压,同样改变原始应力状态,可能诱发裂隙发育<sup>[2]</sup>。渗透性变化受工程活动直接影响,压密灌浆通过高压注入浆液,填充岩土体孔隙,降低岩土体透水性,但若灌浆不均匀,可能形成局部透水性异常区域;而开挖过程若破坏岩土体原有结构,使裂隙张开或连通,会增强岩土体透水性,增加地下水渗透通道。化学风化加速与地下水pH值改变相关,工程活动可能引入酸性或碱性物质,改变地下水pH值,酸碱环境会促进岩土体中矿物成分溶解,削弱岩体强度,使岩土体变得松散,降低其稳定性。

## 2.3 地表形态改变

地表形态改变主要包括地面沉降与土壤侵蚀。地面沉降多由长期抽水引发,持续抽取地下水会使含水层水位下降,含水层颗粒间有效应力增加,导致土层压缩变形,随着时间推移,压缩范围逐渐扩大,形成区域性凹陷,凹陷区域地表高程降低,可能导致排水不畅、建筑物倾斜等问题。土壤侵蚀与排水系统建设相关,排水系统会改变地表径流路径与强度,若排水管网布局不合理或排水能力过强,会加速地表水流速度,增强水流对地表土壤的冲刷力,尤其在坡度较大区域,易加剧水土流失,导致土壤层变薄,地表逐渐呈现沟壑纵横的形态,破坏地表植被生长环境。

# 3 水文地质工程引发的间接环境效应

## 3.1 生态系统连锁反应

生态系统连锁反应集中体现在植被退化与生物栖息地破坏。植被退化多由地下水位下降驱动,工程活动导致的区域性水位降落会使湿地地下水位低于植物根系吸水深度,湿地土壤含水率持续降低,湿地面积逐渐萎缩;依赖浅层地下水的草本植物、灌木因水分供给不足,叶片枯萎、根系坏死,逐渐失去生长能力,进而导致植被覆盖率下降,破坏区域生态系统的生产者基础。生物栖息地破坏与工程改变地表、地下连通性相关,隧道施工、防渗工程等会阻断地下水向地表水体的补给通道,或破坏土壤孔隙结构,使两栖类动物依赖的湿润环境消失;工程改变地表形态,如将自然洼地填平、改变河流径流,导致两栖类、小型哺乳动物的觅食、繁殖场所碎片化,影响其生存繁衍,进而打破生态系统的食物链平衡。

## 3.2 气候与微环境变化

气候与微环境变化主要表现为局部温湿度波动与气体交换受阻。局部温湿度波动常由大型水文地质工程引发,比如水库建设会改变区域下垫面性质。由于水体热容量远大于陆地,夏季水库水体可吸收热量,减缓周边气温升高;冬季则释放热量,抑制气温降低,最终使库区周边气温的日变化幅度、季节变化幅度缩小。水体蒸发量增加会提高周边空气湿度,可能改变局部降水分布,进而影响小气候稳定性。气体交换受阻与岩土体密实化相关,压密灌浆、地基压实等工程会减少土壤孔隙度,导致土壤透气性下降。这使得土壤中微生物、植物根系呼吸产生的二氧化碳难以排出,外界氧气也难以进入土壤内部,最终阻碍土壤与大气的交换。这种交换受阻会影响土壤碳循环,导致有机碳在土壤中累积或分解失衡,同时抑制微生物活性,进一步对土壤肥力与生态功能产生影响。

## 3.3 地质灾害链式触发

地质灾害链式触发涵盖地震风险与泥石流活化。地震风险多与水库蓄水相关,水库蓄水后水体重会对库区地壳产生附加压力,同时地下水向断层带渗透,降低断层摩擦系数,诱发地壳构造应力重新调整;若库区处于地震活动带,这种应力调整可能打破断层原有平衡,引发库区及周边小型地震,严重时可能激活休眠断层,增加强震发生概率。泥石流活化与排水不畅导致的坡体含水量饱和相关,基坑排水、道路排水系统建设若设计不当,会使雨水或地下水在坡体内部积聚,无法及时排出;坡体土壤或松散堆积物吸水后重量增加,内摩擦角减小,抗滑力下降,当坡体应力超过抗滑力时,会引发土体滑动,若滑动体与沟谷中的松散物质混合,在水流

带动下会形成泥石流,对下游区域造成破坏,形成“排水不畅-坡体饱和-滑坡-泥石流”的灾害链式反应。

#### 4 水文地质工程影响的地质环境响应机制

##### 4.1 自然系统的自我调节能力

自然系统的自我调节能力主要通过弹性阈值与负反馈机制体现。弹性阈值指地质环境对工程扰动的耐受范围,不同环境要素的弹性阈值存在差异,如地下水系统的弹性阈值体现在水位恢复周期,若工程开采量未超出含水层补给能力,停止开采后,地下水可通过周边侧向径流、大气降水入渗等方式逐步恢复至原有水位,恢复周期长短与含水层岩性、补给条件相关;岩土体的弹性阈值表现为受力后的可恢复变形范围,在阈值内工程卸载后,岩土体可通过自身应力调整恢复原有结构形态,不会产生永久性损伤<sup>[1]</sup>。负反馈机制是自然系统抑制扰动扩大的关键,当地下水因工程开采出现水位下降时,会打破区域水动力平衡,进而引发周边水源的补给响应,如相邻含水层通过越流补给、地表水体通过渗透补给下降区域,减缓降落漏斗的扩展速度;当岩土体因工程开挖出现局部应力集中时,周边岩土体的微小变形会重新分配应力,避免应力过度集中导致的结构破坏,维持系统相对稳定。

##### 4.2 不可逆损伤的临界点

不可逆损伤的临界点体现在岩土体疲劳与生态服务功能丧失两方面。岩土体疲劳是长期反复应力作用下的累积效应,水文地质工程如反复抽水、注浆会使岩土体承受周期性应力变化,初期岩土体仅产生可逆变形,随着应力循环次数增加,内部裂隙逐渐扩展、贯通,当裂隙发育超出临界状态时,岩土体结构完整性被破坏,承载力持续下降,最终丧失承载能力,这种损伤无法通过自然恢复逆转,需人工干预才能改善。生态服务功能丧失的临界点常与关键生态系统的消失相关,湿地生态系统的消失是典型表现,若工程导致地下水位长期低于湿地维持所需的临界水位,湿地土壤逐渐干涸、有机质分解,植被彻底退化后,湿地的水文调节、水质净化、生物栖息等生态服务功能会完全丧失;即便后续通过人工回灌提升地下水位,干涸的土壤结构、消失的微生物群落也难以恢复,湿地生态系统无法回到原始状态,形成

不可逆的生态损伤。

##### 4.3 人类活动干预下的响应变化

人类在水文地质工程实施过程中,会采取一系列干预措施来减轻对地质环境的不利影响,这些干预措施会改变地质环境的响应方式。例如,在地下水开发工程中,为防止过度开采导致地面沉降,会采用人工回灌技术补充地下水,同时安装水位监测设备,实时掌握地下水位变化,根据监测数据调整开采量和回灌量,使地下水系统在人类调控下达到新的平衡。在地质灾害防治工程方面,对于滑坡治理,除了传统的工程措施外,还会结合生态修复手段,如在滑坡体上种植植被,利用植被的根系加固土壤,增强坡体的稳定性,同时改善生态环境。在城市与交通建设工程中,为减少对地表形态和生态系统的破坏,会优化施工方案,采用先进的施工技术,如非开挖技术进行地下管线铺设,减少对地表的开挖扰动。然而,人类活动干预也可能带来新的问题,如人工回灌若水质控制不当,可能引发地下水污染;植被修复若选择树种不合适,可能影响当地生态系统的平衡。需要科学合理地制定干预措施,充分考虑地质环境的响应特点,以实现工程建设与地质环境保护的协同发展。

#### 结束语

水文地质工程对地质环境的影响是多方面且复杂的,既有直接影响,也有间接效应,同时还存在自然系统的响应机制以及人类活动干预下的变化。在实际工程建设中,应充分认识到这些影响,遵循地质环境规律,采取科学合理的工程措施和环境保护策略,将工程建设对地质环境的负面影响降到最低,实现人类活动与地质环境的和谐共生。未来,还需进一步加强相关研究,不断完善水文地质工程对地质环境影响的理论体系,为工程建设提供更加可靠的技术支持。

#### 参考文献

- [1] 高瑞.水文地质工程对地质环境的影响[J].中国金属通报,2023(19):56-58.
- [2] 刘文开.水文地质工程对地质环境的影响研究[J].中国金属通报,2023(7):162-164.
- [3] 陈紫薇.水文地质对地质环境及工程建设的影响探讨[J].中国金属通报,2025(8):201-203.