

水利工程勘察中水文地质条件对工程稳定性的影响研究

王艳龙

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300220

摘要: 水利工程作为国家基础设施建设的关键领域,对水资源的合理调配、防洪抗旱以及民生保障起着不可替代的作用。本文聚焦水利工程勘察,深入剖析水文地质条件对工程稳定性的影响。阐述了水利工程勘察中水文地质条件的具体情况,详细探讨其对地基、边坡及地下结构稳定性的影响机制,如地下水水位变化引发地基沉降、渗透压力影响边坡稳定等。针对这些影响,提出加强水文地质勘察、优化工程设计方案以及强化工程施工与运行管理等一系列有效应对措施,旨在为保障水利工程的安全稳定运行提供理论支撑与实践指导。

关键词: 水利工程勘察;水文地质条件;工程稳定性;影响研究

引言:水利工程在社会经济发展与水资源合理利用中发挥着关键作用,其稳定性关乎国计民生。水文地质条件作为水利工程建设的重要基础因素,与工程稳定性紧密相连。复杂多变的水文地质状况可能给工程带来诸多潜在风险,影响其正常运行甚至威胁工程安全。因此,深入研究水文地质条件对水利工程稳定性的影响具有重要现实意义。本文通过系统分析两者关系,揭示影响机制并提出应对策略,以期为水利工程的科学建设与长期稳定运行贡献力量。

1 水利工程勘察中的水文地质条件概述

在水利工程勘察领域,水文地质条件构成复杂且至关重要。第一,地下水水位呈现出动态变化特征,其不仅受自然因素如季节更替、降水多寡、蒸发强度的左右,还会因人类活动,像是大规模抽水、灌溉等而产生波动。在某些区域,丰水期地下水位迅速抬升,可能导致地基土处于饱水状态,削弱地基的承载能力;而在枯水期,水位下降又可能引发地面沉降等问题。第二,地下水的水质同样不容忽视。水中所含的各类化学成分,包括酸碱度、硬度以及重金属离子、硫酸根离子等,对工程材料的耐久性影响深远。比如,酸性水质易腐蚀金属部件,高浓度硫酸根离子会与混凝土中的某些成分发生化学反应,致使混凝土结构出现裂缝、强度降低。第三,含水层特性差异明显。孔隙含水层广泛分布于松散的砂、砾石等沉积物中,其透水性较为均一,水流通过孔隙缓慢渗透。裂隙含水层则依赖岩石中的裂隙作为水流通道,裂隙发育程度和连通性决定了其透水性的强弱,且在空间上变化较大。岩溶含水层更为特殊,因岩溶作用形成了错综复杂的地下洞穴、管道系统,其透水性极强且极不均匀,极大地增加了水利工程勘察与建设的难度^[1]。

2 水文地质条件对水利工程稳定性的影响机制

2.1 对地基稳定性的影响

2.1.1 地下水水位变化引起的地基沉降

地下水水位的波动对地基稳定性影响显著。当水位上升,地基土被水浸泡,土颗粒间的有效应力减小,土体产生压缩变形。在一些软土地区,地下水位上升可能导致土体强度大幅降低,引发地基沉降。例如,我国沿海地区的部分城市,由于过量开采地下水后又回灌,导致地下水位频繁升降。在水位上升阶段,软土地基含水量增加,孔隙比增大,土体压缩性增强,建筑物基础随之沉降。而当水位下降时,地基土中孔隙水压力消散,土颗粒重新排列,进一步压缩,同样造成地基沉降。

2.1.2 地下水对地基土抗剪强度的影响

地下水对地基土抗剪强度有着直接作用。土的抗剪强度主要由内摩擦力和黏聚力组成。地下水的存在改变了土颗粒间的物理化学状态。一方面,地下水位上升,土体处于饱水状态,孔隙水压力增大,有效应力减小,使得土颗粒间的摩擦力降低,地基土抗剪强度随之下降。例如在砂土地基,饱水状态下砂土的内摩擦角会减小,地基承载能力降低。另一方面,地下水的化学成分也会影响土体的黏聚力。若地下水含有侵蚀性离子,会与土颗粒表面的黏土矿物发生化学反应,破坏黏土矿物间的胶结作用,降低土体黏聚力。

2.2 对边坡稳定性的影响

2.2.1 地下水渗透压力对边坡稳定性的影响

在边坡体系中,地下水的渗透压力是影响其稳定性的重要因素。当降雨或其他水源补给致使地下水位升高时,地下水在土体孔隙或岩石裂隙中流动,产生渗透力。该渗透力方向与水流方向一致,会对边坡岩土体产生推力。在边坡内部,若地下水水位分布不均,形成水

头差,就会引发渗流。此时,渗透力作用于土颗粒,增加了土体的下滑力。例如在一些土质边坡中,降雨后大量雨水入渗,地下水位迅速抬升,地下水的渗透压力使原本稳定的边坡土体受到额外推力,当此推力超过土体自身抗滑力时,边坡就可能发生滑动破坏。

2.2.2 地下水软化作用对边坡稳定性的影响

地下水的软化作用对边坡稳定性危害不容小觑。长期与地下水接触,边坡岩土体中的黏土矿物会因吸附水分而发生膨胀、崩解。对于岩石边坡,地下水会沿着岩石的节理、裂隙渗透,溶解其中的可溶成分,降低岩石的完整性与强度。比如页岩等软岩边坡,在地下水的长期浸泡下,岩体强度显著降低,抗风化能力减弱。在土质边坡中,地下水软化作用使土体的黏聚力大幅下降。土颗粒间的胶结物质被水溶解或软化,导致土颗粒间的连接变弱,抗剪强度降低。当土体抗剪强度不足以抵抗边坡下滑力时,边坡就容易出现变形、坍塌等失稳现象。

2.3 对地下结构稳定性的影响

2.3.1 地下水压力对地下结构的破坏

在水利工程中,地下结构时刻承受着地下水压力的作用。当工程所处区域地下水位较高,或者在雨季等特殊时期水位显著上升时,地下结构外侧会受到巨大的水压力。这种压力如同一个持续向外推挤的力量,作用于地下结构的墙体、底板等部位。例如在城市的地下管廊工程中,若防水措施不到位,过高的地下水压力可能导致管廊墙体出现裂缝。随着时间推移,裂缝逐渐扩大,地下水不断渗入,不仅影响管廊内各种管线的正常运行,严重时甚至会造成管廊局部坍塌。对于水工隧洞而言,过大的地下水压力可能使衬砌结构承受超出设计的荷载,导致衬砌变形、破裂,进而威胁隧洞的整体稳定性与正常使用功能,一旦发生破坏,维修难度大且成本高昂,还可能引发严重的工程事故。

2.3.2 地下水腐蚀对地下结构耐久性的影响

地下水的化学成分复杂,其中含有的多种腐蚀性物质对地下结构耐久性构成严重威胁。如地下水中常见的硫酸盐、氯离子等,会与混凝土等建筑材料发生化学反应。以硫酸盐为例,其与混凝土中的水泥水化产物反应,生成膨胀性的钙矾石等物质,在混凝土内部产生膨胀应力,致使混凝土结构出现裂缝、剥落等现象。氯离子则具有很强的侵蚀性,能够破坏混凝土中钢筋的钝化膜,引发钢筋锈蚀。随着钢筋锈蚀体积膨胀,会进一步导致混凝土保护层开裂、脱落,大大降低地下结构的承载能力与使用寿命。在一些滨海地区的水利工程地下结构中,由于地下水中盐分含量高,腐蚀问题尤为突出,

短短几年时间,结构表面就可能出现明显的腐蚀痕迹,严重影响工程的长期安全稳定运行,增加了后期维护与修复成本^[2]。

3 水利工程勘察中应对水文地质条件影响的措施

3.1 加强水文地质勘察工作

3.1.1 提高勘察技术水平

在水利工程勘察中,先进的勘察技术是精准掌握水文地质条件的关键。可引入地球物理勘探技术,如高密度电法、瞬变电磁法等。高密度电法能快速获取地下不同深度地层的电阻率分布情况,借此清晰分辨出含水层位置、厚度以及地下水的大致流向,为后续工程设计提供详细的地质信息。瞬变电磁法对低阻地质体敏感,可有效探测到隐伏的断层、岩溶洞穴等不良地质构造,这些构造往往与地下水的赋存和运移密切相关。其次,利用遥感技术对大范围区域进行宏观监测。通过分析不同时期的卫星影像,能直观了解区域内水系分布、地下水位变化趋势以及可能存在的渗漏迹象等。借助地理信息系统(GIS)强大的数据管理与分析功能,整合各类勘察数据,构建三维地质模型,实现对水文地质条件的动态模拟与可视化展示,让勘察人员更全面、准确地把握水文地质状况,为水利工程的科学决策提供有力技术支持。

3.1.2 完善勘察内容

全面且完善的勘察内容是应对水文地质条件影响的重要保障。一方面,要强化对地下水动态变化的监测。在勘察区域内合理布置水位观测孔,长期、连续地监测地下水位的季节性变化、年际变化以及受人类活动影响后的变化情况。同时,分析地下水位与降雨量、河流水位等因素的相关性,预测未来水位变化趋势。另一方面,详细勘察地下水水质。对不同深度、不同地段的地下水进行采样分析,检测其酸碱度、硬度、各种离子浓度以及是否含有侵蚀性物质等。此外,不能忽视对岩土体物理力学性质的勘察。除了常规的密度、孔隙比等指标测试,还要重点研究岩土体在饱水状态下的抗剪强度、压缩性等特性,以及地下水对岩土体长期作用后的性能变化。另外,针对特殊地质区域,如岩溶发育区,需详细勘察岩溶形态、规模、连通性以及岩溶水的运动规律,确保全面掌握水文地质条件,为水利工程设计及施工筑牢基础。

3.2 优化工程设计方案

3.2.1 根据水文地质条件进行地基设计

在水利工程中,地基设计需充分考量水文地质条件。当地下水位较高时,可采用桩基础将建筑物荷载传递至深层稳定土层,避免因地下水浸泡导致地基土软

化、沉降。例如在软土地基区域，若地下水位常年较高，可选用灌注桩，其能有效穿透软弱土层，抵达坚实持力层，增强地基承载能力。对于地下水位波动频繁的地区，应设置合理的地基排水系统，如在地基中铺设排水盲沟，及时排除积水，降低孔隙水压力，防止地基土因水压力变化而产生变形。同时，针对不同的地基土类型，要调整基础形式与尺寸。如在砂土地基，因其透水性强，可适当增大基础底面积，分散上部荷载，提高地基稳定性；而对于黏性土地基，需考虑其抗剪强度受含水量影响大的特点，优化基础埋深，保证地基在不同水文条件下均能满足承载要求。

3.2.2 考虑水文地质因素的边坡防护设计

水文地质因素对边坡稳定性影响显著，边坡防护设计必须充分考虑。针对地下水渗透压力问题，可在边坡内设置排水孔，降低地下水位，减小渗透力。排水孔应合理布置，间距与深度依据水文地质勘察结果确定，确保能有效疏导地下水，降低孔隙水压力，增强边坡抗滑力。当边坡岩土体易受地下水软化作用影响时，可采用坡面防护措施。如在土质边坡表面铺设混凝土护坡，隔绝地下水与土体接触，防止土体因软化而降低抗剪强度。对于岩石边坡，可进行喷锚支护，利用锚杆加固岩体，喷射混凝土封闭岩石裂隙，阻止地下水渗入，提升边坡整体稳定性。

3.3 强化工程施工与运行管理

3.3.1 施工过程中的水文地质监测与控制

在水利工程施工期间，对水文地质状况进行实时监测与有效控制至关重要。首先，要建立完善的施工期水文地质监测体系，在施工现场及周边区域布置地下水水位、水质监测点，利用自动化监测设备，定时采集数据并传输至监控中心。通过实时掌握地下水位的升降变化，若发现水位异常上升，可及时采取增设降水井、加大抽水量等措施，防止因地下水位过高导致地基被浸泡、基坑坍塌等问题。对于水质监测，一旦检测到水中腐蚀性物质浓度超标，立即调整施工工艺或材料，避免对工程结构造成腐蚀损害。如在地下水位变化频繁区域，合理安排基础施工时间，避开高水位时段，减少地

下水对施工的干扰，确保施工过程安全、有序推进，保障工程质量不受水文地质条件变化的负面影响。

3.3.2 运行期的水文地质监测与维护

水利工程投入运行后，持续的水文地质监测与维护是保证工程长期稳定的必要手段。定期对地下水位进行测量，绘制水位变化曲线，分析其长期变化趋势。若水位出现异常波动，及时排查原因，可能是工程渗漏、周边水源补给变化等因素所致，针对具体问题采取修复渗漏部位、调整水资源调度方案等措施。在水质监测方面，按规定频次采集水样，检测水中各类成分含量。一旦发现水质恶化，如硫酸盐、氯离子浓度增加，及时评估对工程结构耐久性的影响，并采取相应防护措施，如对混凝土结构进行防腐涂层修复。此外，加强对工程周边地质环境的巡查，关注是否有因水文地质条件变化引发的地面沉降、边坡失稳等迹象，若有异常，迅速启动应急预案，开展加固治理工作，确保水利工程在运行期始终处于安全稳定状态，充分发挥其社会效益与经济效益^[3]。

结束语

综上所述，水文地质条件在水利工程稳定性方面扮演着决定性角色。从地基沉降、边坡失稳到地下结构受损，其影响贯穿工程全生命周期。本文深入探究了这些影响机制，并提出一系列针对性应对措施，为水利工程勘察、设计、施工及运维提供了切实可行的参考。未来，随着水利工程建设向复杂地质区域拓展，应持续深化对水文地质条件的研究，借助先进技术手段提升监测精度与分析能力，不断优化工程方案，保障水利工程安全、高效、持久运行，为社会经济发展筑牢坚实水利根基。

参考文献

- [1]王明.水文地质条件对岩土工程稳定性的影响及应对策略[J].岩土工程学报,2020,42(11):2105-2112.
- [2]张力.不同水文地质条件下的地下水位变化对岩土工程的影响研究[J].中国地质大学(北京),2022.1321-1542
- [3]李静,陈华.水文地质条件对地下工程稳定性的影响及应对措施[J].岩土力学,2019,40(12):3685-3693.