

水利工程地质勘察与岩土治理现状及对策

廖伟

长江岩土工程有限公司, 湖北武汉, 340010;

摘要: 水利工程作为国家关键基础设施, 其安全稳定运行高度依赖于精准可靠的地质勘察与科学有效的岩土治理。本文系统阐述了水利工程地质勘察的基本内涵与核心工作, 深入分析了当前勘察工作中存在的勘察精度不足、技术方法单一、对地下水动态关注不够等现状问题。同时, 论文重点探讨了岩土工程质量的关键影响因素, 特别是地下水水位上升、下降及频繁波动对岩土体工程性质的复杂作用机制。在此基础上, 本文综合剖析了地质勘察与岩土治理协同工作中存在的主要矛盾与挑战, 并提出了针对性对策: 包括强化水利工程基础的精细化勘察与综合治理理念、深化岩土水理性质研究以精准防控地下水危害、科学选取岩土测试方法并重视施工期补充勘察等。旨在为提升我国水利工程地质勘察水平与岩土治理成效, 保障工程全生命周期安全提供理论参考与实践指引。

关键词: 水利工程; 地质勘察; 岩土治理; 地下水; 工程地质问题; 对策

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.072

引言

水利工程是调控水资源、防御水灾害、保障生态安全的重要基石, 其枢纽、大坝、堤防、隧洞等构筑物的稳定与耐久性, 从根本上受制于工程场地的地质环境。工程地质勘察作为水利工程建设的先行与基础, 其核心任务在于查明建设区域的工程地质与水文地质条件, 评估潜在的地质灾害风险, 为工程选址、设计、施工与运行提供不可或缺的科学依据。岩土治理则是基于勘察成果, 针对不良地质体或潜在工程隐患, 采取加固、改良、防护等工程措施, 确保工程地基与边坡稳定、渗流可控的关键技术环节。二者相辅相成, 共同构成了水利工程安全的重要保障。随着我国大型、特大型水利水电工程向地质条件更复杂的西部高山峡谷区推进, 以及大量已建工程进入运维中后期, 所面临的工程地质问题日益复杂多变, 对地质勘察的深度、精度以及岩土治理的针对性、可靠性提出了更高要求。系统梳理现状、剖析问题、探讨对策, 对于推动水利工程地质学科发展、提升工程建设与运维质量具有重要的现实意义。

1 水利工程地质勘察概述

1.1 水利工程地质勘察简介

水利工程地质勘察是为水利工程规划、设计、施工和运行提供地质资料与评价意见的系统性调查与研究活动。其工作内容具有阶段性、层次性特点, 通常遵循由面到点、由浅入深的原则, 分为规划、可行性研究、初步设计、招标设计和施工详图设计等不同阶段的勘察。

主要任务包括: 区域构造稳定性与地震安全性评价; 水库区渗漏、浸没、塌岸、库岸再造等环境地质问题调查; 坝址、厂址、渠线等枢纽建筑物区的岩土体结构、物理力学性质、水文地质条件查明; 天然建筑材料的调查与评价; 施工及运行期地质问题预测等。勘察方法综合运用工程地质测绘、钻探、坑探、物探、原位测试、室内试验及长期监测等多种手段。

1.2 地质勘察工作的重要性

地质勘察是水利工程的“眼睛”和“侦察兵”, 其重要性体现在以下几个方面: 首先, 它是工程决策的前提。准确的勘察资料是论证工程可行性、进行方案比选、确定最优坝址或线路的基础, 勘察失误可能导致工程决策错误, 带来巨大损失甚至灾难。其次, 它是工程设计的基础。岩土参数、地下水条件、地质构造等信息直接决定地基处理方案、结构型式、边坡坡度、防渗排水系统等关键设计内容。再者, 它是施工安全的保障。提前查明施工可能遇到的滑坡、涌水、泥石流、有害气体等地质灾害, 可预先制定应对预案, 避免安全事故。最后, 它是工程长期运行的依据。对工程运营期可能发生的地质问题的预测与监测布置, 依赖于前期扎实的勘察工作。

1.3 地质勘察现状与问题

当前, 我国水利工程地质勘察在技术装备、规范标准、人才队伍等方面取得了长足进步, 三维地质建模、遥感技术(RS)、地理信息系统(GIS)、地质雷达、声波测试等新技术得到一定应用。然而, 面对愈加复杂

的工程挑战,仍存在一些突出问题:

勘察精度与深度不足:部分勘察项目因周期紧、经费限或认识不足,勘察工作量布置不够合理,钻孔间距过大,勘探深度未达到关键地层,未能完全控制主要地质构造、软弱夹层、岩溶发育带等,导致地质模型简化甚至失真。

技术方法综合应用与创新不足:传统钻探仍占主导,物探等手段多作为辅助,多种勘察手段的数据融合与综合解译水平有待提高。对复杂地质体的精细刻画与参数确定方法仍面临挑战。

对动态地质过程与时间效应关注不够:勘察偏重于获取“静态”的地质剖面与岩土参数,对水库蓄放水、施工活动引起的地下水动态变化、岩土体蠕变、风化卸荷时效性等“动态”过程及其长期效应研究不足,难以满足全生命周期安全评价的需求^[1]。

勘察成果与设计、施工衔接不够紧密:勘察报告有时未能完全聚焦工程关键地质问题,提出的建议针对性、可操作性不强。设计人员对地质条件的复杂性理解可能不深,施工中遇到未预见的地质情况时,动态反馈与补充勘察机制有时不畅。

2 岩土工程的质量影响因素

2.1 岩土工程中水位上升的影响

水库蓄水、渠道输水或降雨入渗等均可导致地下水位上升,引发一系列岩土工程问题:(1)软化与泥化作用:水位上升使原本处于干燥或潮湿状态的岩土体饱和,尤其是泥岩、页岩、泥化夹层等亲水软岩,其力学强度显著降低,易发生软化和泥化,导致坝基抗滑稳定性下降、隧洞围岩大变形、边坡失稳。(2)增加静水压力与扬压力:水位上升增大了对挡水建筑物的静水压力,同时坝基扬压力增大,有效应力减小,对大坝抗滑、抗浮稳定构成威胁。(3)诱发地震与塌岸:大型水库蓄水可能改变区域应力场和孔隙水压力,诱发水库地震。库岸水位上升浸泡岸坡岩土体,降低其抗剪强度,同时水位波动产生的动水压力易引发库岸坍塌与滑坡。(4)导致浸没与盐渍化:库区周边地下水位壅高,可能造成农田、村镇浸没,并引发土壤次生盐渍化。

2.2 岩土施工中水位下降的影响

基坑开挖、隧洞掘进、降水施工等工程活动常需人工降低地下水位,其影响包括:(1)地面沉降与地裂缝:

在松散沉积层地区,大面积长时间降水疏干会引起含水层压缩,导致地面不均匀沉降,甚至产生地裂缝,危及周边建筑物和设施安全。(2)岩土体失水收缩与强度变化:对于膨胀性岩土,水位下降使其失水收缩,产生收缩裂缝,同时强度可能暂时性增加,但这种变化具有不可逆性和不均匀性^[2]。(3)边坡与洞室失稳:降水改变了边坡或洞室周边的渗流场,可能产生指向临空面的渗透力,同时降低潜在滑动面附近岩土体的孔隙水压力,在复杂条件下可能诱发滑坡或洞室塌方。(4)对地下水环境的影响:施工降水可能造成地下水资源浪费,影响周边供水水源,改变局部水化学环境。

2.3 岩土施工中地下水水位频繁下降的影响

在施工间歇、水库季节性调度或灌溉周期等情况下,地下水位可能频繁升降,这种动态变化对岩土体的影响更为复杂和不利:(1)加速岩土体疲劳劣化:频繁的干湿循环或饱和-干燥交替,使岩土体反复经历胀缩、软化和收缩开裂,如同承受“疲劳荷载”,导致其结构逐渐破坏,宏观力学性能和变形模量持续衰减,这种劣化对膨胀土、黄土、红层软岩等尤为显著。(2)促进化学与物理化学作用:水位变动带氧化还原条件交替,加剧可溶盐的溶解、结晶与迁移,以及离子交换等物理化学作用,改变土粒间的胶结状态和土体结构。(3)加剧渗透变形风险:反复的水力坡度变化,增加细颗粒迁移的可能性,更容易在坝基、堤防等部位引发管涌、流土等渗透破坏。(4)增大支护结构荷载不确定性:对于深基坑、地下洞室等支护结构,频繁变化的水压力增加了设计荷载的不确定性,对支护体系的耐久性和安全性构成挑战。

3 地质勘察与岩土治理的问题及对策

3.1 地质勘察和岩土治理工作中的问题

当前,地质勘察与岩土治理协同工作中存在的主要问题表现为:一是“割裂”现象。勘察与治理有时被视作两个相对独立的阶段,勘察方提供的资料未能完全满足治理设计的需求,治理设计中对勘察成果的理解和应用可能存在偏差。二是“静态”观念。勘察与治理方案多基于初始地质水文条件,对工程活动引发的动态变化及其反馈效应预估不足,导致治理措施在施工期或运行期失效或需大量变更^[3]。三是“重治理、轻勘察”或“重勘察、轻反馈”。部分项目为赶工期,简化前期勘察,寄希望于施工期处理;而施工中揭示的重大地质问题,有时未

能及时反馈并更新地质模型、优化治理方案。四是技术针对性不足。治理技术的选择和参数设计,有时未能充分考虑特定岩土体在水-力耦合作用下的特殊行为,治理效果达不到预期。

3.2 水利工程基础的勘察与岩土治理

必须将水利工程基础的勘察与治理作为一个系统工程来考量。(1)精细化勘察:针对基础持力层、潜在滑动面、渗漏通道等关键部位,采用加密勘探点、高分辨率物探、孔内电视、综合测井等手段,精细查明岩体结构面的产状、延续性、充填物及其物理力学、水力特性。(2)动态设计理念:治理设计应基于“动态地质模型”,考虑施工开挖、水库蓄水等过程对基础应力场、渗流场的改变。例如,坝基固结灌浆和帷幕灌浆的设计,需模拟蓄水后渗流场的演变,优化灌浆深度、范围和压力。(3)综合治理与监测反馈:基础治理往往是多种措施的综合应用^[4]。应建立施工期与运行期的安全监测系统,将监测数据实时反馈,用于验证和修正地质模型,评估治理效果,必要时实施补充治理。

3.3 充分了解岩土的水属性,治理地下水危害

对策:地下水危害治理的根本在于深刻认识岩土的水理性质,并实施“疏、导、堵、防”相结合的综合治理。(1)深化水文地质勘察:不仅查明静态水位,更要通过分层观测、压水/抽水试验、渗流监测等手段,获取各岩土层的水文地质参数,分析含水层之间的水力联系,预测工程活动下的流场变化。

(2)区别对待,精准施策:

对于渗透破坏风险:采用反滤层、防渗帷幕、排水减压井等措施,控制渗流坡降,保证渗透稳定。

对于水位变动带岩土体劣化:采取坡面防护、设置防渗盖层减少水气交换、采用柔性支护适应一定变形等措施。

对于膨胀性岩土:可采用土质改良、保湿防渗、预留变形空间或采用柔性基础结构。

对于施工降水引发的地面沉降:优选帷幕隔水、回灌等保护周边环境的技术

(3)模拟预测与长期监测:运用数值模拟软件,对施工和运行期的地下水渗流场、岩土体应力应变场进行耦合分析,预测潜在危害,优化治理方案。建立长期的地

下水与岩土体变形监测网,及时预警。

3.4 正确选取岩土测试方式和进行后期勘察

确保岩土参数的代表性与可靠性是勘察治理成功的核心。(1)优选测试方法:

原位测试优先:对于难以取样的砂卵石层、软土、破碎岩体等,应重视旁压试验(PMT)、静力触探(CPT)、标准贯入试验(SPT)、扁铲侧胀试验(DMT)、载荷试验等原位测试,直接获取力学与变形参数^[5]。

室内外试验结合:室内试验用于研究机理和获取基本参数,但需注意样品扰动的影响。应建立原位测试与室内试验结果的对比关系,相互验证。

考虑应力路径与状态:试验条件应尽量模拟工程实际应力状态、加载速率和排水条件。(2)强化施工期补充勘察:认识到前期勘察的局限性,必须将勘察工作延伸至施工全过程。开挖揭露的建基面、洞壁、边坡是最直接、最真实的地质露头。应进行系统的施工地质编录、测绘、取样和测试,及时修正前期地质图件和模型。

4 结束语

水利工程地质勘察与岩土治理是贯穿工程始终、保障其安全的命脉所系。面对复杂地质条件与高标准安全要求,我们必须清醒认识到当前工作中在勘察精度、动态过程认知、技术综合应用及勘察-治理协同等方面存在的不足。问题的核心往往围绕地下水这一关键因素展开,其水位变化与岩土体相互作用的复杂性,要求勘察工作必须从静态描述走向动态预测,治理工作必须从经验判断走向科学调控。

参考文献

- [1] 赵雨顺. 水利工程地质勘察与岩土治理现状及对策[J]. 石材, 2025, (01): 85-87. DOI: 10.14030/j.cnki.scaa.2025.0040.
- [2] 靳久宁, 王稳亭. 水利工程大坝结构设计的要点探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2023, 51(05): 93-95.
- [3] 刘松良. 浅谈水利工程中地质勘察与岩土治理问题探究[J]. 水上安全, 2023, (03): 44-47.
- [4] 张红静. 水利工程地质勘察与岩土治理现状及对策研究[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(14): 97-98.
- [5] 张安平. 水利水电工程地质勘察中的问题分析[J]. 建筑技术开发, 2020, 47(12): 89-90.