

浅谈水利水电工程的水文地质勘察策略

廖伟

长江岩土工程有限公司, 湖北武汉, 340010;

摘要: 水文地质勘察是水利水电工程前期工作的核心环节, 直接关系到工程的选址安全、设计优化、施工顺利与长期稳定运行。本文系统阐述了水利水电工程水文地质勘察的基本任务与流程, 深入分析了在工程建设中常见的地质构造、地下水、地质灾害及特殊岩土体等关键水文地质问题。在此基础上, 从工程全生命周期的视角, 分别提出了勘察阶段、设计阶段、施工阶段及运行管理阶段的具体应对策略与工作重点。旨在强调精细化、动态化的勘察理念, 以及多学科交叉、新技术应用的重要性, 为提升我国水利水电工程的水文地质勘察水平与工程风险防控能力提供理论参考与实践指导。

关键词: 水利水电工程; 水文地质勘察; 工程地质问题; 勘察策略; 全生命周期

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.035

引言

水利水电工程作为国家基础设施的骨干, 在防洪减灾、水资源调配、清洁能源供应等方面发挥着不可替代的作用。然而, 其建设与运行高度依赖于工程场址的地质环境, 尤其是水文地质条件。水文地质勘察旨在查明建设地区的岩土体性质、地质构造、地下水分布与运动规律, 以及不良地质现象, 为工程规划、设计、施工和运行提供科学依据。历史经验表明, 许多重大的工程事故, 如水库渗漏、坝基失稳、库岸坍塌、隧道涌水等, 均与前期水文地质勘察不足或认识偏差密切相关。因此, 采用科学合理的勘察策略, 精准识别并有效应对潜在的水文地质问题, 是确保水利水电工程安全、经济、高效建设与运行的根本前提。本文结合工程实践, 对水利水电工程中的水文地质勘察策略进行系统性探讨。

1 水利水电工程水文地质勘察概述

水利水电工程水文地质勘察是一项贯穿工程全生命周期的系统性工作。其核心任务在于: 查明区域地质构造稳定性与场地工程地质条件; 探明含水层与隔水层的空间分布、地下水类型、水位、水质、补给排泄关系及动态特征; 评价地下水对建筑物(如大坝、隧洞、边坡)的力学与化学作用(如扬压力、渗透变形、腐蚀性); 预测工程建设可能诱发或加剧的水文地质问题(如浸没、盐渍化、水库诱发地震等); 为地下水处理(如排水、防渗)方案设计提供参数。

勘察工作通常遵循分阶段、由面到点、由浅入深的原则。一般划分为规划选点、可行性研究、初步设计、

招标设计与施工详图设计等阶段。各阶段勘察目的、范围、精度和方法手段各不相同, 但彼此衔接, 层层递进^[1]。主要勘察方法包括: 工程地质测绘与调查、钻探与井探、地球物理勘探、现场试验(如压水试验、抽水试验、注水试验)、室内岩土水试验以及长期监测等。现代勘察技术, 如遥感(RS)、地理信息系统(GIS)、全球导航卫星系统(GNSS)、三维地质建模、数值模拟等的集成应用, 极大地提升了勘察工作的效率、精度和预测能力。

2 水利水电工程常见水文地质问题分析

2.1 地质构造问题

地质构造是控制区域稳定性和场地岩体完整性的决定性因素。对于水利水电工程, 需重点关注: (1) 活断层: 直接威胁大坝、水库的抗震安全, 可能产生构造性渗漏通道。(2) 褶皱与层理: 影响岩体的各向异性, 顺层滑坡、坝基抗滑稳定等问题常与之相关。(3) 节理、裂隙密集带: 构成地下水运移和岩体风化的主要通道, 显著降低岩体强度和完整性, 是坝基、洞室围岩稳定及渗漏控制的重点。(4) 软弱夹层: 埋藏于坚硬岩体中的薄层软弱物质(如泥化夹层), 其抗剪强度极低, 常成为坝基、边坡潜在的滑动控制面。

2.2 地下水问题

地下水是水利水电工程中最活跃、最复杂的水文地质要素, 引发的问题多样且危害巨大。(1) 渗漏问题: 包括水库渗漏(通过分水岭、坝基、坝肩、河湾等)和输水建筑物(隧洞、渠道)渗漏。渗漏不仅造成水量损

失,还可能引起渗透变形,危及工程安全。(2)渗透稳定性问题:在渗流作用下,坝基、坝肩或围岩中的细颗粒被带走,形成管涌、流土等渗透破坏,可能导致地基掏空、结构失稳。(3)扬压力问题:作用于坝基和建筑物底面的地下水浮托力,会抵消部分坝体有效重量,对大坝抗滑稳定极为不利,需通过排水减压措施予以控制。(4)地下水腐蚀性:富含硫酸根离子(SO_4^{2-})、氯离子(Cl^-)或具有较强酸碱性(pH值异常)的地下水,对混凝土结构和金属构件产生化学腐蚀,影响工程耐久性。(5)浸没与沼泽化:水库蓄水后,周边地下水位壅高,可能导致耕地盐碱化、建筑物地基软化、矿区淹没等不良后果^[2]。

2.3 地质灾害问题

工程建设常改变自然平衡,诱发或加剧地质灾害。

(1)滑坡与崩塌:水库蓄水浸泡岸坡、水位骤降、施工开挖等,易引发库岸滑坡或工程边坡失稳,威胁大坝安全、航运及周边居民点。(2)岩溶塌陷:在碳酸盐岩地区,地下水活动强烈的岩溶发育带,水库蓄水或抽排水可能改变水动力条件,诱发地面塌陷,破坏建筑物。

(3)水库诱发地震(RIS):在高坝水库区,巨大的水体荷载和库水渗透可能改变深部断层的应力状态,诱发有感甚至破坏性地震。(4)泥石流:工程开挖弃渣不当、植被破坏可能成为泥石流物源,在暴雨作用下威胁施工区与下游安全。

2.4 特殊岩土问题

特殊岩土体具有特殊的物理力学性质,处理不当会带来严重工程问题。(1)软岩与极软岩:强度低、易风化、遇水软化,作为坝基或洞室围岩时,变形大、稳定性差。(2)膨胀岩土:富含蒙脱石等亲水矿物,吸水膨胀、失水收缩,产生巨大的膨胀压力,导致渠道衬砌破坏、隧道底鼓、边坡失稳。(3)湿陷性黄土:未受水浸湿时强度较高,受水浸湿后在自重或附加荷载下发生显著下沉,对渠系、房屋地基构成威胁。(4)冻土:在寒冷地区,冻融循环作用会导致地基承载力剧烈变化,产生冻胀、融沉等病害。

3 水利水电工程水文地质问题解决策略

水文地质问题的解决是一个系统工程,需贯穿于工程建设的各个阶段,实施动态管理与控制。

3.1 勘察阶段解决策略

勘察阶段是发现问题、认识问题的关键,其策略的

核心是“查清、判准、评透”。

强化综合性勘察:摒弃单一手段,采用“空-天-地”一体化勘察体系。利用遥感进行区域构造与不良地质体解译;采用高精度物探(如CT、电磁法)快速探查隐伏构造、岩溶发育带;以钻探、井探进行验证与精细分层;通过系统的现场与室内试验获取关键参数。

实施动态化的勘察工作:在勘察过程中,要依据前期所取得的成果资料,灵活且及时地对后续的勘察方案做出相应的调整与优化,从而构建起一个完整的“勘察-分析-反馈-优化”的动态循环体系。在这个体系下,每一个环节都紧密相连,相互作用。当遇到重大的地质方面存在疑问的点位时,必须有针对性地布置专门性的勘察工作,以确保能够深入、细致地查明该处的具体地质情况,为整个项目的顺利推进提供准确可靠的地质依据。

深化水文地质分析:不仅要查明地下水的静态特征,更要通过长期观测、示踪试验等手段,深入研究其动态规律与补径排关系。建立水文地质概念模型,并运用数值模拟技术(如MODFLOW、FEFLOW)预测工程运营后地下水场的演化^[3]。

注重地质风险评估:采用定性与定量相结合的方法(如层次分析法、风险矩阵),对识别出的各类水文地质问题进行风险等级评估,为后续决策提供依据。

3.2 设计阶段解决策略

设计阶段是一个非常关键的环节,这个阶段主要是依据勘察所得到的各项成果,从而开展主动防御以及治理相关工作的一个重要时期。在这个阶段中,其策略的核心内容可以概括为“避让、适应、加固、控制”这四个方面。

首先来说优化选址与轴线选择这一内容。在进行规划选线这个重要的阶段时,要优先考虑那些地质构造相对比较简单、岩体比较完整,并且水文地质条件相对来说也比较简单的坝址以及线路。因为这样的选址能够在很大程度上减少后续可能出现的各种问题。然而,在实际的情况当中,有时候可能会遇到无法完全避让不良地质体的情形,那么在这种情况下,就应该经过详细的分析和对比,选择对工程影响最小的那个方案,以确保整个工程能够在尽可能安全的状态下进行建设。

接下来是针对性防渗排水设计部分。要根据渗漏的具体途径以及渗透破坏的不同模式,精心地设计出有效的防渗系统,例如混凝土防渗墙、帷幕灌浆、土工膜等。

同时,还要构建合理的排水系统,像坝基排水廊道、减压井、排水棱体等都是比较常见的排水设施。特别需要注意的是,防渗帷幕的深度以及范围并不是随意确定的,而是需要通过精确的渗流计算来最终确定,这样才能保证防渗排水的效果达到最佳状态。

再来看地基与边坡处理设计方面。对于地基中存在的软弱夹层、破碎带等不良情况,可以采用多种措施来进行加固处理,例如置换法、固结灌浆技术、预应力锚索以及抗滑桩等。而对于边坡来说,则需要设计出合理的坡形、坡比,同时还要构建合适的支护结构以及排水系统。只有这样,才能够有效地提高地基和边坡的稳定性,防止出现滑坡、坍塌等危险情况。

最后是结构适应性设计相关内容。在工程建设过程中,有时候会遇到一些无法彻底消除的地质问题,例如一定程度的变形或者渗漏现象。针对这种情况,可以在结构设计上预留一定的适应能力。比如设置沉降缝,这样就能够应对可能发生的不均匀沉降问题;采用柔性防渗结构,也能够一定程度上适应渗漏的情况,从而保证整个工程的安全性和稳定性。

3.3 施工阶段解决策略

施工阶段是将设计付诸实施,并面对揭露地质条件可能变化的阶段,策略核心是“信息化、动态化、精细化”。

实行信息化施工:建立施工地质预报与预警系统。利用超前地质预报(TSP、地质雷达、超前钻探)提前预判掌子面前方不良地质情况。对开挖揭露的地质现象进行及时编录、分析与反馈,与设计勘察单位紧密联动^[4]。

加强施工期监测:对关键部位(如高边坡、洞室、坝基)的变形、渗压、渗流量、地下水位等进行实时监测。利用监测数据验证设计,并指导施工方案的动态调整。

严格控制施工质量:确保灌浆、锚固、防渗墙等隐蔽工程的质量,其工艺和参数需根据实际地质情况进行试验和优化。做好基坑降水、施工排水,防止地下水引发施工事故。

环保与水保措施:妥善处理施工废水、弃渣,减少对周边水文地质环境的扰动和污染。

3.4 运行管理阶段解决策略

运行管理阶段是工程长期接受自然考验的阶段,策

略核心是“持续监测、定期评估、及时维护、科学调控”。

建立长期安全监测网络:延续并完善施工期监测系统,对坝体、坝基、库岸、近坝边坡、地下水等进行自动化、长效化监测,特别是对渗流、变形等关键指标的监测^[5]。

定期进行安全鉴定与评估:结合长期监测数据,定期(如每5-10年)对工程的水文地质条件变化及工程安全性进行系统性评估,检查防渗排水系统的有效性,预测发展趋势。

实施科学的水库调度:对于存在库岸稳定问题的水库,应避免水位骤升骤降;对于可能诱发地震的水库,初期蓄水阶段需缓慢抬升水位并加强地震监测。

及时维护与加固:对监测发现的异常现象(如渗流量突增、变形加速)进行专题调查,及时采取维护、修复或加固措施,将隐患消除在萌芽状态。

4 结语

水文地质勘察是水利水电工程的“眼睛”与“先导”,其深度与精度直接决定了工程的安全性与经济性。面对复杂多变的水文地质条件,必须树立全生命周期的勘察与管理理念。在勘察阶段,应采用先进技术与综合方法,力求查清问题本质;在设计阶段,需基于可靠的地质模型,制定针对性强的治理方案;在施工阶段,应依托信息化手段,实现动态优化与过程控制;在运行阶段,则依靠长期监测与科学评估,保障工程长治久安。未来,随着大数据、人工智能、物联网等新技术的深度融合,水利水电工程水文地质勘察必将向更加智能化、精准化、预见性的方向发展,从而为构建安全、绿色、高效的国家水安全保障体系奠定更为坚实的地质基础。

参考文献

- [1] 梁满福,刘秀宝,张宁. 水利水电工程水文地质问题分析及解决策略探究[J]. 建材发展导向,2025,23(21):97-99.
- [2] 苏庆,张伟,张宁. 浅谈水利水电工程的水文地质勘察策略[J]. 建材发展导向,2025,23(20):106-108.
- [3] 陈成林. 水利水电工程的水文地质勘察策略[J]. 西部资源,2020,(05):118-120.
- [4] 李华剑. 水利水电工程的水文地质勘察策略[J]. 城市建设理论研究(电子版),2019,(18):184.
- [5] 李华剑. 水利水电工程的水文地质勘察策略[J]. 城市建设理论研究(电子版),2018,(36):170.