

水利水电工程地质勘察与边坡治理

郭望成 詹坚鑫

中水珠江规划勘测设计有限公司 广东 广州 510000

摘 要：水利水电工程的安全运营与地质勘察、边坡治理密切相关，边坡失稳易引发工程安全隐患。本文阐述了水利水电工程地质勘察的核心内涵、原则及关键技术，梳理边坡地质特征与风险识别要点，详细介绍边坡加固、排水、削坡减载等核心治理技术。分析了地质勘察在边坡治理方案选型、参数设计、施工指导及后期监测中的应用，构建勘察与治理协同的技术体系，为水利水电工程边坡安全防控提供技术参考。

关键词：水利水电工程；地质勘察；边坡治理；技术与方法；应用

引言：水利水电工程作为国民经济的重要基础设施，其建设多面临复杂地形地质条件，边坡稳定性是影响工程安全的关键因素。随着水利行业标准不断完善，地质勘察与边坡治理的规范化要求持续提高。当前，部分工程因勘察数据不准、治理方案适配性不足，导致边坡失稳问题频发。基于此，本文立足工程实际，结合最新行业规范，系统研究水利水电工程地质勘察技术与边坡治理方法，分析二者协同关系，解决勘察与治理脱节问题，为同类工程提供实践借鉴，推动水利水电工程安全建设与高质量发展。

1 水利水电工程地质勘察核心理论与技术基础

1.1 工程地质勘察核心内涵与原则

水利水电工程地质勘察是工程设计、施工与安全运营的前提，核心内涵是通过系统调查、测试与分析，查明工程区域地质条件、岩土体特性及水文地质情况，为边坡治理、构筑物布局等提供科学依据。其核心原则包括实用性，需结合水利水电工程防洪、发电等核心功能，针对性开展勘察；科学性，采用规范的勘察方法与技术，确保数据真实可靠；综合性，兼顾地质、水文、环境等多因素，全面评估工程影响；前瞻性，预判工程建设及运营中的地质风险，为边坡治理等后续工作预留优化空间。

1.2 勘察数据处理与分析方法

勘察数据处理与分析是提升勘察成果实用性的关键环节。首先对现场采集的地质、水文数据进行整理筛选，剔除异常数据，确保数据完整性；其次采用专业分析软件，对岩土体参数、地下水动态等数据进行量化分析，绘制地质剖面图、水文地质柱状图等成果图表。同时结合工程实际，对数据进行综合研判，识别地质隐患，明确勘察重点，为边坡治理方案设计提供精准的数据支撑，避免因数据偏差导致治理方案不合理^[1]。

2 水利水电工程地质勘察关键技术

水利水电工程地质勘察关键技术主要分为现场勘查技术与室内测试技术两大类，具体如下：（1）现场勘查技术。该技术是获取第一手地质资料的核心手段，适配水利水电工程地形复杂、水文条件特殊的特点。工程地质测绘通过实地踏勘、遥感解译等方式，系统标注区域岩土体分布、断层、裂隙等地质要素，明确地质构造对工程的影响；钻探技术采用回转钻探、冲击钻探等工艺，深入地下揭露岩土体分层、厚度及不良地质体分布，为边坡稳定性评价提供基础数据；坑探技术通过开挖探槽、探井等，近距离观察岩土体结构、节理发育情况，精准判断岩土体完整性；水文地质勘查则重点监测地下水水位、流向、渗透系数及水质，明确地下水对岩土体稳定性的影响，为边坡排水治理提供科学依据。

（2）室内测试技术。该技术是对现场采集样品进行精准分析、量化参数的关键环节，确保勘察成果的科学性与实用性。岩土体物理力学性质试验通过测定岩土体的密度、含水率、抗剪强度、压缩模量等参数，明确岩土体承载能力与变形特性，为边坡加固方案设计提供参数支撑；水质分析重点检测地下水、地表水的pH值、离子含量等指标，判断水体对工程构筑物的腐蚀性^[2]。

3 水利水电工程边坡地质特征及风险识别

水利水电工程边坡的地质特征直接决定其稳定性，合理识别边坡风险是后续治理工作的前提，以下以表格形式清晰梳理边坡地质特征及风险识别相关核心内容，具体如下：

表1 水利水电工程边坡地质特征及风险识别

类别	具体内容
边坡类型及分布特点	主要分为岩质、土质及复合边坡，多分布于水库岸坡、引水渠道及电站厂房周边，岩质边坡多见于山区，土质边坡集中于河谷阶地，受地形影响显著。

续表:

类别	具体内容
边坡岩土体地质特性	岩质边坡岩体完整性差异大,节理裂隙发育易破碎;土质边坡多为粉质土、砂壤土,抗剪强度低、遇水易软化,两类边坡均存在岩土体分层、力学性质不均现象。
边坡失稳主要影响因素	地质因素:断层裂隙发育、岩土体强度不足;水文因素:地下水渗透、雨水冲刷;工程扰动:施工开挖、荷载增加,均会破坏边坡平衡。
边坡风险等级识别方法	结合勘察数据,采用定性与定量结合法,依据边坡高度、岩土特性、失稳可能性及危害程度,划分高、中、低风险等级,明确防控重点。

4 水利水电工程边坡治理核心技术与方法

4.1 边坡加固技术

边坡加固技术是水利水电工程边坡治理的核心手段,核心是通过外力干预提升岩土体抗滑能力、增强边坡整体性,适用于各类失稳风险较高的岩质、土质边坡,结合工程实际常用技术如下:(1)锚杆加固技术。采用高强度钢筋作为锚杆,通过钻孔植入边坡岩土体深部稳定层,端部用螺母固定并施加预应力,使锚杆与岩土体形成整体受力体系。实际施工中,锚杆直径选用22-32mm,钻孔深度8-15m(根据边坡高度和岩土体特性调整),倾角控制在15°-30°,确保有效锚固于稳定岩

层。该技术施工便捷、成本较低,适用于中小型边坡加固,尤其适配岩质边坡节理裂隙发育区域,可有效抑制岩体松动滑移。(2)锚索加固技术。相较于锚杆,锚索承载力更高,适用于高陡、大型边坡及岩土体稳定性较差区域。采用多根高强度钢绞线组成锚索,钻孔深度20-50m,植入深部稳定岩体后,通过张拉设备施加100-500kN预应力,将边坡上部荷载传递至深部稳定层。施工中需严格控制张拉顺序和预应力值,避免局部受力不均造成二次损伤,同时采用防腐涂层+套管做好防腐处理,适配水利水电潮湿多水环境,延长使用寿命。为更直观展现上述边坡加固技术的现场应用形式,清晰呈现锚杆、锚索等核心加固工艺的施工现场,结合工程实际拍摄现场图如下(图1)。(3)抗滑桩加固技术。属于深层加固技术,适用于下滑力大、岩土体承载力不足的边坡,多布置于坡脚或滑动面附近。采用钢筋混凝土浇筑,桩径1.2-2.5m,桩长15-30m,嵌入稳定岩层深度不小于桩长1/3,通过桩体自重和抗剪能力阻挡边坡下滑。施工采用钻孔浇筑工艺,桩体间距5-10m(根据下滑力计算确定),可与锚杆、锚索联合形成复合加固体系,提升整体稳定性,广泛应用于水库岸坡、电站厂房边坡等关键区域^[3]。



图1 水利水电工程边坡加固技术现场图

4.2 边坡排水治理技术

水利水电工程边坡失稳多与地下水渗透、地表水冲刷相关,排水治理核心是排除边坡内部及表面积水,降低水对岩土体的软化侵蚀作用,分为地表排水和地下排水两大类,具体技术如下:(1)地表排水技术。主要排除边坡表面雨水和坡面径流,防止冲刷表层岩土体形成冲沟、坍塌。常用技术包括:一是截水沟,布置于边坡顶部边缘外侧,采用浆砌石或混凝土浇筑,底宽0.5-

1.0m、深0.6-1.2m,坡度1%-3%,确保雨水排出边坡范围;二是排水沟,沿坡面自上而下布置,间距5-10m,与截水沟连通,采用梯形或矩形断面并做防渗处理,防止渗水侵蚀边坡;三是坡面防护排水,铺设土工布、植草皮等,减少雨水冲刷并引导径流汇入排水沟,适用于土质及缓坡岩质边坡。(2)地下排水技术。核心是降低边坡内部地下水位,减少渗透压力,提升岩土体抗剪强度,适用于地下水位高、岩土体含水量大的边坡。常用

技术包括：一是排水盲沟，布置于边坡内部或坡脚，采用碎石、卵石填充，沟宽0.8-1.2m、深1.0-1.5m，间距10-15m，有效排出内部渗水；二是排水孔，采用钻孔工艺，孔径50-100mm，孔深5-15m，倾角10°-20°，间距2-5m梅花形布置，将内部地下水引至地表排水沟，施工中需确保通畅避免堵塞；三是井点降水，适用于地下水位过高、土质边坡易坍塌区域，通过井点管和抽水设备降低水位，控制含水量，用于开挖期间临时与永久排水结合场景。（3）排水系统协同设计。实际工程中需将地表与地下排水协同配合，形成完整体系。截水沟、排水沟排除地表雨水，排水盲沟、排水孔排出内部渗水，两者连通确保雨水不渗入、地下水及时排出，避免积水。同时做好排水系统防渗处理，防止渗水侵蚀岩土体，尤其库区周边边坡，需严格控制防渗性能，避免影响水库水质和边坡稳定性。

4.3 边坡削坡减载与防护技术

该技术通过调整边坡形态、减少荷载并防护坡面，降低失稳风险，适用于坡度较陡、荷载过大、表层岩土体不稳定的边坡，核心技术如下：（1）削坡减载技术。核心是开挖边坡上部岩土体，降低坡度和高度，减少下滑力。实际施工中，岩质边坡削坡后坡度控制在1:0.75-1:1.5，土质边坡控制在1:1.5-1:2.5，避免过度开挖导致上部坍塌。采用分层开挖、分层防护方式，每层开挖高度2-3m，开挖后及时防护。大型边坡可分级削坡并设置1.5-3.0m宽平台，缓冲下滑力并便于施工维护。（2）边坡表层防护技术。分为刚性与柔性防护，按需选用。刚性防护适用于岩质边坡，常用浆砌石、混凝土护坡，厚度30-50cm，抵御雨水冲刷和岩体风化，施工需确保护坡与岩土体紧密结合，避免空鼓脱落；柔性防护适用于土质及岩质边坡表层松散区域，常用土工格栅、植草、喷播植草防护，土工格栅增强岩土体整体性，植被防护通过根系固定岩土体，兼顾防护与生态环保，适配水利水电生态治理要求。（3）边坡防护辅助技术。结合实际采用护面墙、挡土墙等辅助技术。护面墙布置于坡面，采用浆砌石或混凝土浇筑，防护表层松散岩土体防止坍塌；挡土墙布置于坡脚，采用钢筋混凝土或浆砌石浇筑，高度2-5m，通过自重阻挡边坡下滑，适用于坡脚不稳定、下滑力较大区域，常与削坡减载、排水技术联合使用，提升防护效果^[4]。

5 水利水电工程地质勘察在边坡治理中的应用

水利水电工程地质勘察贯穿边坡治理全流程，核心是通过系统勘察获取精准地质数据，为边坡治理各环节提供技术支撑，结合工程实际，具体应用如下：（1）指导边坡治理方案选型。通过工程地质测绘、钻探及室内测试，明确边坡岩土体类型、抗剪强度、节理裂隙发育程度及地下水分布特征，判断边坡失稳风险等级。岩质边坡重点勘察岩体完整性，适配锚杆、锚索等加固技术；土质边坡侧重查明含水量及渗透特性，对应设计排水系统与削坡减载方案，确保选型贴合现场地质条件。

（2）支撑边坡稳定性评价与参数设计。整理分析勘察获取的岩土体参数、地下水渗透系数等数据，量化边坡下滑力，预判潜在失稳隐患。边坡治理关键参数，如锚杆植入深度、排水孔间距、抗滑桩尺寸等，均需基于勘察数据精准计算确定，避免参数不合理导致治理失效。

（3）辅助施工实施与后期监测。施工前通过勘察明确边坡风险点及施工重点区域，指导施工避开地质薄弱环节，减少施工扰动引发的边坡失稳。治理完成后，通过后期勘察监测，跟踪边坡岩土体及地下水动态，及时发现治理缺陷并优化方案，保障边坡长期稳定^[5]。

结束语：本文围绕水利水电工程地质勘察与边坡治理展开系统研究，梳理了勘察核心理论、关键技术及边坡治理各类方法，明确了勘察在边坡治理全流程的核心支撑作用，构建了二者协同发力的技术路径。结合工程实践与行业规范，解决了勘察与治理衔接不畅的关键问题，为工程安全防控提供了实践指导。随着水利水电工程建设向复杂区域延伸，后续需融合新型技术优化勘察与治理模式，完善技术标准，进一步提升边坡安全防控水平，为行业高质量发展提供更坚实的技术保障。

参考文献

- [1]蒙绪远.浅谈水利水电工程的水文地质勘察策略[J].中文科技期刊数据库(引文版)自然科学,2026(1):095-098.
- [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]张文涛.水利水电工程中高边坡的加固和治理研究[J].工程设计与设计,2025(18):20-22.
- [4]文静芬.水利水电工程施工过程中高边坡治理技术研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(8):097-100.
- [5]苏宏伟.地质灾害治理工程施工中边坡稳定问题及滑坡治理研究[J].现代工程科技,2026,5(1):65-68.