

水利水电工程边坡地质状况及支护施工技术

苏前龙

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着水利水电工程建设规模扩大,其边坡地质状况复杂多样,如西北地区河谷深切、构造应力高,高边坡稳定性难控。本文聚焦水利水电工程边坡地质状况与支护施工技术。首先剖析边坡地质构造特征、岩土体特性、水文地质条件及外部影响因素,揭示其地质复杂性。随后,深入探讨锚杆、混凝土喷射、土钉墙、抗滑桩等常用支护技术,分析其原理、适用场景及实施要点。最后,提出加强地质勘察与风险评估、优化施工方案、强化过程管理、完善监测预警与后期维护等优化策略,旨在提升水利水电工程边坡稳定性,保障工程安全,为相关领域提供技术参考与实践指导。

关键词: 水利水电工程; 边坡地质; 支护施工技术; 优化策略

引言: 水利水电工程作为国家基础设施建设的关键部分,其安全稳定运行对经济社会发展至关重要。边坡作为工程的重要组成部分,其地质状况直接影响工程整体安全性。然而,受地质构造、岩土体性质、水文条件及外部因素等多重影响,水利水电工程边坡常面临失稳风险,引发滑坡等地质灾害,威胁工程安全。因此,深入分析边坡地质状况,研究有效的支护施工技术,并不断优化施工策略,成为保障水利水电工程安全运行的迫切需求。本文旨在系统探讨这一问题,为工程实践提供科学依据。

1 水利水电工程概述

水利水电工程是国家基础设施建设的核心领域之一,它集防洪、灌溉、发电、供水、航运及生态保护等多功能于一体,对保障国家水安全、促进经济社会可持续发展具有不可替代的作用。从宏观层面看,水利水电工程通过科学规划与合理布局,实现对水资源的时空调节与高效利用。大型水库的修建,能够有效拦蓄洪水,削减洪峰,减轻下游地区的防洪压力;同时,在干旱季节释放储存的水量,保障农业灌溉与城市供水需求。水电站的建设,则将水能转化为清洁电能,为国家能源结构调整与绿色发展提供有力支撑。在微观层面,水利水电工程涉及众多专业领域与技术环节,包括地质勘察、水文计算、结构设计、施工组织及运行管理等。每一项工程的实施,都需充分考虑地形地貌、地质条件、水文特性及生态环境等多方面因素,确保工程安全、经济、环保。此外,水利水电工程还承担着改善生态环境、促进区域协调发展的重要使命^[1]。

2 水利水电工程边坡地质状况分析

2.1 地质构造特征

水利水电工程所在区域地质构造复杂多样,常存在断层、褶皱等构造形式。断层的存在破坏了岩体的完整性,使边坡岩体被切割成不同块体,降低了边坡的整体稳定性,易引发滑动破坏。褶皱构造会使岩层发生弯曲变形,在褶皱轴部及转折端,岩体应力集中,节理裂隙发育,为地下水的渗透和岩体风化创造了条件,进一步削弱了边坡的强度。而且,不同地质构造的组合,如断层与褶皱相互交织,会使边坡的地质条件更加复杂,增加边坡失稳的风险。

2.2 岩土体特性

水利水电工程边坡的岩土体性质差异较大。岩石边坡中,岩石的硬度、节理裂隙发育程度等影响边坡稳定。软质岩石易风化破碎,强度降低;坚硬岩石若节理裂隙发育,也会被分割成不稳定块体。土质边坡中,土的颗粒组成、密实度、含水量等至关重要。如粉质黏土遇水易软化,抗剪强度下降;砂土在震动等动力作用下易发生液化,导致边坡失稳。不同岩土体组合的边坡,其变形破坏模式也各不相同,给工程带来诸多不确定性。

2.3 水文地质条件

水文地质条件对水利水电工程边坡影响显著。地下水的存在会改变岩土体的物理力学性质,降低其抗剪强度。在地下水丰富地区,边坡岩土体长期浸泡,易软化、泥化,导致边坡稳定性下降。地下水的渗流作用会产生动水压力,对边坡岩土体施加推力,增加边坡下滑力。此外,地下水的补给、径流和排泄条件复杂,在不同季节水位变化大,这种水位波动会引起边坡岩土体的干湿交替,加速其风化破坏,进而威胁边坡的安全。

2.4 外部影响因素

外部因素对水利水电工程边坡地质状况干扰明显。

地震作用会产生强大的地震力,使边坡岩土体结构松动、破裂,引发滑坡、崩塌等地质灾害。降雨入渗会增加边坡岩土体自重,同时降低其抗剪强度,尤其是暴雨或长时间降雨,极易诱发边坡失稳。人类工程活动,如开挖、爆破等,会破坏边坡原有应力平衡,导致边坡变形破坏。此外,植被破坏使边坡失去植被根系的加固作用,水土流失加剧,进一步削弱了边坡的稳定性,给工程安全带来隐患^[2]。

3 水利水电工程边坡支护施工技术研究

3.1 锚杆支护技术

锚杆支护是水利水电工程边坡加固的常用技术,其核心在于利用锚杆的锚固力增强边坡岩土体的稳定性。该技术通过在边坡岩体中钻孔,将锚杆(多为钢筋或钢绞线)植入孔内,然后注入水泥砂浆等锚固剂,使锚杆与周围岩土体紧密结合,形成一个整体受力体系。锚杆支护能有效提高边坡的抗滑力和抗剪强度,防止岩土体滑动和崩塌。其作用机制主要包括两方面:一是锚杆的悬吊作用,将不稳定岩土体悬吊于稳定岩层上;二是锚杆的组合梁与挤压加固作用,使分散的岩土体形成组合梁结构,提高整体承载能力。在水利水电工程中,锚杆支护适用于多种地质条件,尤其对于裂隙发育、节理破碎的岩质边坡效果显著。施工时需严格控制钻孔质量、锚杆安装及注浆工艺,确保锚固力满足设计要求。同时,需结合边坡变形监测,及时调整支护参数,保障边坡长期稳定。

3.2 混凝土喷射支护技术

混凝土喷射支护技术在水利水电工程边坡防护中应用广泛,是一种快速有效的边坡加固手段。该技术借助喷射机械,将按一定比例配合的水泥、砂、石子及外加剂等混合料,以高速喷射到边坡岩土体表面,形成一层具有一定厚度和强度的混凝土防护层。这层混凝土防护层能紧密贴合边坡,有效封闭岩土体表面,防止其因风化、雨水冲刷等作用而剥落、掉块,增强边坡的整体性和稳定性。同时,它还能起到一定的柔性支护作用,适应边坡的微小变形。在施工时,要严格把控原材料质量,确保混凝土配合比准确。喷射作业需分层、分段进行,控制好喷射距离和角度,保证混凝土均匀密实。此外,还需根据边坡的地质条件和变形情况,合理确定喷射混凝土的厚度和强度等级。通过科学施工,混凝土喷射支护技术能为水利水电工程边坡提供可靠的防护,保障工程安全运行。

3.3 土钉墙支护技术

土钉墙支护技术是水利水电工程边坡防护中常用且

经济有效的方法之一。它通过在边坡土体中钻孔,植入钢筋等土钉,并在坡面设置钢筋网,随后喷射混凝土,使土钉、土体、钢筋网和喷射混凝土面层共同构成一个复合体,以增强边坡的稳定性。土钉墙支护主要依靠土钉与周围土体之间的摩擦力和粘结力,将不稳定土体的应力传递到稳定土层中,从而提高边坡的抗剪强度和抗滑能力。这种技术适用于土质边坡或破碎岩质边坡,尤其对具有一定自稳能力的边坡加固效果显著。在施工过程中,需精准控制土钉的钻孔位置、角度和深度,确保土钉植入质量。同时,钢筋网的铺设要平整、牢固,喷射混凝土要均匀、密实,以保证整个支护结构的整体性和耐久性。

3.4 抗滑桩支护技术

抗滑桩支护技术是水利水电工程中应对边坡滑动问题的关键手段。它通过在边坡潜在滑动面或已滑动部位设置深入稳定地层的桩体,利用桩身与周围岩土体的相互作用,抵抗边坡下滑力,维持边坡稳定。抗滑桩一般采用钢筋混凝土结构,具有较大的抗弯、抗剪能力。其作用原理是,当边坡有滑动趋势时,桩身承受滑坡推力,并将力传递至桩底稳定地层,同时桩前土体产生抗力,共同平衡滑动力。该技术适用于处理大型、复杂的滑坡体,尤其对深层滑动边坡效果显著。施工时,需精准确定桩位、桩长和桩径,确保桩体深入稳定地层。成孔方法多样,如人工挖孔、机械钻孔等,需根据地质条件合理选择。钢筋笼制作与安装要规范,混凝土浇筑需连续、密实。此外,还需结合监测数据,及时调整施工参数,保证抗滑桩充分发挥支护作用,为水利水电工程边坡安全提供坚实保障^[3]。

4 水利水电工程边坡支护施工技术优化策略

4.1 加强地质勘察与风险评估

在水利水电工程边坡支护施工中,加强地质勘察与风险评估是保障工程安全与质量的基础。地质勘察需全面且深入。运用多种先进技术,如地质雷达探测、三维地震勘探等,精准查明边坡的地层结构、岩土体性质、地质构造特征以及地下水分布等情况。不仅要关注表层地质,更要对深部地质条件有清晰认知,为支护设计提供详尽准确的地质资料。风险评估要科学合理。综合考虑地质条件、气候环境、工程规模及施工方法等多种因素,构建全面的风险评估模型。对边坡在不同工况下的稳定性进行量化分析,评估其失稳的可能性和潜在危害程度。依据评估结果划分风险等级,针对不同等级制定相应的风险应对措施。对于高风险边坡,提前规划应急预案,储备应急物资。通过加强地质勘察与风险评估,

能提前发现潜在问题,避免盲目施工,为后续支护施工技术的选择和优化提供科学依据,有效降低施工风险。

4.2 优化支护施工方案

优化支护施工方案是提升水利水电工程边坡支护成效的关键举措。要根据边坡具体状况,如地质条件、坡度、高度以及周边环境等,综合权衡不同支护技术的适用性。对于稳定性稍差且裂隙发育的岩质边坡,可选用锚杆与混凝土喷射联合支护,锚杆能深入稳定岩层提供拉力,混凝土喷射则可封闭岩面、防止风化剥落;对于土质边坡,土钉墙支护是不错的选择,通过土钉与土体的相互作用增强边坡整体稳定性。确定支护形式后,借助数值模拟软件对支护结构进行受力与变形分析,精准优化支护参数,像锚杆的长度、间距、直径,混凝土的强度与厚度等,确保支护结构既满足强度要求又经济合理。同时,合理安排施工顺序与工艺流程,减少施工对边坡的二次扰动。制定多套方案进行比选,从技术可行性、经济合理性、施工安全性等多维度综合评估,选出最优方案,提高支护施工的质量与效益,保障边坡长期稳定。

4.3 加强施工过程管理

加强施工过程管理是确保水利水电工程边坡支护施工质量与安全的核心环节。在人员管理方面,要组建专业且经验丰富的施工团队,施工前开展全面技术交底与安全培训,让每位施工人员熟悉施工流程、技术要点与安全规范,提升其操作技能与安全意识。材料管理上,严格把控原材料与构配件质量。对进场的钢材、水泥、砂石等材料,依据相关标准进行严格检验与试验,确保其性能指标符合设计要求,杜绝不合格材料流入施工现场。工艺控制是关键。严格按照既定的优化施工方案与操作规程施工,对关键工序,如锚杆钻孔、注浆,混凝土喷射等,安排专人监督指导,保证施工质量。同时,合理安排施工顺序,减少不同工序间的相互干扰,避免因施工不当对边坡造成二次破坏。施工过程还需做好记录与资料整理工作,及时、准确地记录各项施工数据与信息,为工程质量验收与后期维护提供依据。此外,加强现场安全管理,设置明显的安全警示标志,定期进行安全检查与隐患排查,及时消除安全隐患,确保施工过程安全有序进行,保障边坡支护工程顺利实施。

4.4 强化监测预警与后期维护

强化监测预警与后期维护对于水利水电工程边坡支护的长期稳定至关重要。在监测预警方面,需构建全方位、多层次的监测体系。运用先进的监测设备,如高精度位移传感器、应力应变计、地下水位观测仪等,对边坡的位移、沉降、应力变化以及地下水位等关键参数进行实时、连续监测。通过数据采集与分析系统,及时掌握边坡的动态变化情况。设定科学合理的预警阈值,一旦监测数据超出阈值,立即发出预警信号,以便迅速采取应对措施,防止边坡失稳事故的发生。后期维护工作也不容忽视。制定详细的维护计划,定期对支护结构进行检查,查看锚杆是否松动、混凝土有无裂缝、排水系统是否畅通等。对于发现的问题,及时进行修复和加固处理。同时,根据监测数据和实际使用情况,对支护结构进行评估和分析,必要时对支护方案进行优化调整。此外,建立维护档案,记录每次维护的时间、内容和处理结果,为后续的维护工作提供参考依据^[4]。

结束语

水利水电工程中,边坡地质状况犹如工程建设的“基石”,其复杂程度直接关乎工程安全。不同地质条件下的边坡,稳定性差异显著,对支护施工提出了多样化挑战。而科学有效的支护施工技术,是应对这些挑战、保障边坡稳定的有力武器。从前期细致的地质勘察,到针对性支护方案的设计,再到严谨的施工操作与后期持续监测维护,每一步都凝聚着智慧与责任。展望未来,我们应紧跟时代步伐,不断革新技术、优化管理,以更精湛的技艺和更严谨的态度,守护好水利水电工程边坡的安全防线。

参考文献

- [1]张学君.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用价值分析[J].科学技术创新,2021,(2):155-156.
- [2]藏小林,于慧杰,刘伟.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].内蒙古水利,2022,(4):71-72.
- [3]王任飞.基于水利水电工程岩质边坡抗滑稳定性分析[J].黑龙江水利科技,2020(1):95-97.
- [4]王立柱.探究水利水电工程边坡开挖支护的施工技术[J].建材发展导向(下),2021(11):293.