

山区水利水电工程边坡支护施工技术与稳定性分析

杨兴坪

六安市裕安区水利局 六安市裕安区河道管理中心

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6822

[摘要] 山区水利水电工程因地势复杂、地质构造不稳定,边坡问题普遍存在,成为工程安全运行与施工管理的核心难题之一。边坡支护技术作为保障工程稳定性的重要手段,其设计与施工水平直接关系到工程质量、运行安全及生态影响。本文系统梳理了常见边坡失稳类型与诱发因素,分析了当前山区条件下边坡支护的主流施工技术,如锚固支护、喷射混凝土、框架护坡等,并结合实际工程案例探讨各类边坡支护方法的适用性与技术要点。同时应用有限元分析法对边坡稳定性进行模拟评价,从力学响应、防排系统设计等方面提出优化建议。研究结果可为类似山区水利水电项目提供理论支撑与技术借鉴。

[关键词] 山区工程; 水利水电; 边坡支护; 施工技术; 稳定性分析; 锚固技术

中图分类号: TV 文献标识码: A

Construction Technology and Stability Analysis of Slope Support in Mountainous Water Conservancy and Hydropower Engineering

Xingping Yang

Lu'an City Yu'an District Bureau of Water Resources

Lu'an City Yu'an District River Management Center

[Abstract] Due to complex terrain and unstable geological structures, slope problems are prevalent in mountainous water conservancy and hydropower projects, which have become one of the core challenges for the safe operation and construction management of such projects. As an important means to ensure engineering stability, the design and construction level of slope support technology are directly related to engineering quality, operational safety, and ecological impact. This paper systematically sorts out the common types of slope instability and their inducing factors, analyzes the mainstream construction technologies for slope support under current mountainous conditions, such as anchoring support, shotcrete, and frame slope protection, and discusses the applicability and technical key points of various slope support methods combined with actual engineering cases. Meanwhile, the finite element analysis method is applied to simulate and evaluate slope stability, and optimization suggestions are put forward from the aspects of mechanical response and drainage system design. The research results can provide theoretical support and technical reference for similar mountainous water conservancy and hydropower projects.

[Key words] Mountainous Engineering; Water Conservancy and Hydropower; Slope Support; Construction Technology; Stability Analysis; Anchoring Technology

随着我国西部山区资源的逐步开发,水利水电工程的建设迈入高密度、高海拔、复杂结构的新阶段。相比于平原地区,山区水利工程面临着更严峻的地质灾害风险,其中边坡的稳定问题尤为突出。由于地形陡峭、岩土差异大和降雨集中,一旦支护措施不当,极易引发滑坡、坍塌等灾害,造成重大经济损失和人员伤亡。在实际工程中,边坡支护不仅是一项技术性强、周期长的核心施工内容,更是控制工程质量、安全和建设成本的关键

节点。因此,有必要深入研究山区边坡失稳机理、支护施工技术选择与优化手段,并辅以科学的稳定性评价方法,指导支护设计与施工实施,实现高安全性与高经济性的双重目标。

1 山区水利水电工程边坡失稳特征与诱发因素

1.1 典型边坡失稳类型分析: 滑坡、崩塌、岩体劣化

山区水利水电工程边坡地形复杂、地质条件多变,常见的边坡失稳类型主要包括滑坡、崩塌和岩体劣化,各类失稳类型呈现

出不同特征,对工程安全构成严重威胁^[1]。滑坡多表现为边坡岩体或土体沿固定滑动面整体下滑,滑动过程具有渐进性,初期表现为裂缝发育,后期逐步加剧直至整体失稳,易造成边坡整体坍塌、工程设施损毁。崩塌多发生在陡峭边坡,表现为岩体突发断裂、脱落并快速坠落,具有突发性强、破坏力度大的特点,常伴随碎石飞溅,威胁施工人员与设备安全。岩体劣化则是长期缓慢的失稳过程,受外界因素影响,岩体结构逐渐破碎、强度降低,表现为风化、裂隙扩张等,最终导致边坡承载能力下降,诱发各类失稳灾害,影响工程长期稳定运行。

1.2 地质与气候条件对边坡稳定性的影响

地质与气候条件是影响山区水利水电工程边坡稳定性的核心自然因素,二者协同作用,显著增加了边坡失稳的风险^[2]。地质条件方面,边坡岩体的岩性、结构面发育情况直接决定边坡稳定性,岩性松软、裂隙发育的岩体,抗风化、抗剪能力较弱,易发生破碎失稳;断层、节理等地质构造会削弱岩体整体性,形成天然的滑动面,为边坡失稳提供有利条件。气候条件方面,山区降雨集中且强度大,雨水渗入岩体裂隙,会降低岩体强度与抗剪能力,同时增加岩体重量,加剧边坡下滑趋势;极端气温变化会导致岩体热胀冷缩,扩大裂隙规模,冻融循环则会破坏岩体结构,长期作用下逐步降低边坡稳定性,诱发失稳灾害。

1.3 人为扰动在边坡失稳中的作用表现

人为扰动是山区水利水电工程边坡失稳的重要诱发因素,主要体现在工程施工、荷载施加等过程中,打破了边坡原有的受力平衡与地质环境^[3]。工程施工过程中,边坡开挖会改变原有地形地貌,削弱边坡岩体的支撑力,若开挖坡度不合理、开挖顺序不当,会导致边坡应力重新分布,引发岩体破碎、滑坡等失稳现象。施工过程中的爆破作业会产生震动,破坏岩体结构完整性,加剧裂隙扩张,降低边坡岩体强度。

2 常用边坡支护施工技术及其工程适用性

2.1 锚杆锚索支护技术的应用与施工控制

锚杆锚索支护技术是山区水利水电工程边坡支护中应用广泛的主动支护技术,通过将锚杆、锚索植入边坡岩体内部,实现对岩体的加固约束,提升边坡稳定性,具有良好的工程适用性^[4]。该技术主要通过锚杆锚索的拉力作用,将边坡表层岩体与深部稳定岩体连接为一个整体,限制岩体的变形与位移,增强边坡抗滑、抗崩塌能力。施工过程中需注重施工控制,确保锚杆锚索的钻孔精度、植入深度符合要求,注浆质量达标,保证锚杆锚索与岩体充分结合,发挥加固作用。该技术适用于各类岩质边坡,尤其适合边坡岩体裂隙发育、易滑动的场景,能够灵活适配不同坡度、不同地质条件的边坡,施工便捷且加固效果显著。

2.2 喷射混凝土与主动防护网联合支护

喷射混凝土与主动防护网联合支护是一种复合型支护技术,结合了两种支护方式的优势,适用于山区水利水电工程中易发生崩塌、碎石坠落的边坡,防护效果全面且可靠^[5]。喷射混凝土支护通过向边坡岩体表面喷射高强度混凝土,形成致密的防护层,封闭岩体裂隙,防止岩体风化、破碎,同时增强岩体表层整体

性,提升表层岩体抗剪能力。主动防护网则通过在边坡表面铺设柔性防护网,利用锚杆固定,形成全方位的防护体系,能够有效拦截崩塌的碎石、岩体,防止其坠落伤人毁物。

2.3 框架梁护坡、挡土墙等重力支护结构分析

框架梁护坡、挡土墙属于山区水利水电工程中常用的重力式支护结构,依托自身重力与结构强度抵御边坡岩体的压力,限制边坡变形失稳,具有结构简单、施工便捷、稳定性强的特点,适配特定工程场景。框架梁护坡通过在边坡表面浇筑钢筋混凝土框架,框架内铺设植被或混凝土板,既利用框架结构约束边坡岩体,防止岩体滑动、坍塌,又能通过植被绿化实现生态防护,兼顾工程安全与生态环保,适用于坡度较缓、岩体易风化的边坡。挡土墙则通过在边坡脚浇筑刚性墙体,依托墙体自身重力阻挡边坡岩体的下滑力,限制边坡位移,适用于边坡土体松软、下滑力较大的场景,能够有效拦截土体滑动,保护坡脚工程设施,保障边坡整体稳定。

3 山区边坡支护施工过程中的关键技术要点

3.1 施工阶段边坡监测与信息化管理

施工阶段边坡监测与信息化管理是保障山区水利水电工程边坡支护施工安全、提升施工质量的关键技术要点,能够实现对边坡状态的实时把控,及时防范失稳风险^[6]。施工过程中,需建立完善的边坡监测体系,针对边坡位移、沉降、岩体应力、裂隙发育等核心指标,设置监测点位,采用专业监测设备进行实时监测,确保监测数据的准确性与及时性。同时,推行信息化管理模式,对监测数据进行实时采集、分析与处理,建立数据预警机制,当监测指标超出预警值时,及时发出预警信号,暂停施工并采取针对性处置措施。通过监测与信息化管理,能够动态掌握边坡变形规律与支护效果,为施工决策提供科学依据,确保施工过程安全可控。

3.2 现场地质适应性调整与支护结构优化

山区水利水电工程边坡地质条件复杂多变,现场地质适应性调整与支护结构优化,是提升边坡支护针对性、保障支护效果的核心技术要点。施工前需开展详细的现场地质勘察,明确边坡岩体岩性、裂隙发育、地质构造等实际情况,结合勘察结果设计合理的支护方案。施工过程中,若发现现场地质条件与设计不符,需及时进行适应性调整,优化支护结构参数,调整施工工艺,确保支护结构与现场地质条件相适配。针对地质条件复杂、失稳风险较高的区域,可适当增强支护强度、优化支护形式,避免因地质条件差异导致支护失效,确保边坡支护结构的稳定性与可靠性,满足工程安全需求。

3.3 多支护结构协同联动施工组织策略

山区水利水电工程复杂边坡常需采用多种支护结构联合支护,多支护结构协同联动施工组织策略,是保障施工有序推进、提升支护整体效果的关键^[7]。施工前需结合边坡地质条件、失稳风险及支护方案,制定科学合理的施工组织计划,明确各类支护结构的施工顺序、施工流程与衔接要点,避免施工干扰。施工过程中,注重各支护结构的协同配合,根据边坡施工进度与变形情

况,合理安排各支护工序的施工时间,确保锚杆锚索支护、喷射混凝土支护、框架梁护坡等工序协同推进、无缝衔接。同时,加强施工过程中的质量管控与安全管理,规范各支护结构的施工操作,确保多支护结构形成合力,充分发挥加固防护作用,保障边坡施工安全与整体稳定。

4 边坡稳定性分析与案例评估研究

4.1 数值模拟在稳定性分析中的应用

数值模拟是山区水利水电工程边坡稳定性分析的重要技术手段,能够精准模拟边坡岩体的受力状态、变形规律,为边坡支护设计与稳定性评估提供科学支撑。该方法通过建立边坡地质模型,模拟边坡在自然条件、施工扰动等不同工况下的受力与变形情况,还原边坡失稳的全过程,精准分析边坡的稳定性状态。通过数值模拟,能够快速识别边坡失稳的危险区域、潜在滑动面,预测边坡失稳的可能性与破坏程度,为支护方案的设计、优化提供数据支撑。

4.2 安全系数计算与风险判别方法探讨

安全系数计算与风险判别是边坡稳定性评估的核心内容,通过科学计算边坡安全系数、采用合理的风险判别方法,能够精准判断边坡稳定性等级,防范失稳风险^[8]。安全系数计算主要针对边坡岩体的抗剪强度、下滑力与抗滑力进行分析,通过量化计算得出边坡的安全系数,明确边坡的稳定状态,判断其是否满足工程安全要求。风险判别方法则结合安全系数计算结果、现场监测数据、地质条件等多方面因素,对边坡失稳的风险等级进行划分,明确不同风险等级的处置要求。通过安全系数计算与风险判别,能够精准识别边坡失稳风险,为工程施工、运维过程中的风险管控提供科学依据,制定针对性的防控措施,避免失稳灾害发生,保障工程安全稳定运行。

4.3 典型水电工程边坡支护案例分析及评估结果

选取典型山区水利水电工程边坡支护案例进行深入分析,结合稳定性评估结果,提炼成功经验与优化方向,为同类工程边坡支护设计与施工提供实践参考。案例分析围绕工程边坡的地质条件、失稳风险、支护方案设计、施工过程等核心内容展开,梳理不同支护技术的应用效果、施工要点,分析支护方案的合理性与适用性。结合数值模拟、安全系数计算等稳定性评估结果,

全面评价边坡支护的实际效果,判断边坡稳定性是否满足工程要求,总结支护过程中的成功做法与存在的不足。基于案例分析与评估结果,提出针对性的优化建议,优化支护方案设计与施工工艺,提升同类工程边坡支护的科学性与可靠性,为山区水利水电工程边坡支护技术的推广与应用提供实践支撑。

5 结语

边坡支护是保证山区水利水电工程顺利实施与长期安全运行的基础工作,其技术复杂性和综合性决定了施工单位必须加强前期勘察、科学设计与全过程工程控制。依托可靠技术手段与现代信息化工具,结合现场地质条件进行动态优化,才能有效防范滑坡、坍塌等边坡突发事件,实现山区工程的经济性与安全性统一。未来,应加强边坡稳定性分析方法的多维评估研究,并推动支护技术向绿色、智能、高效方向发展。

[参考文献]

- [1]林瑞良.水利工程边坡支护施工技术管理方法探析[J].黑龙江水利科技,2025,53(11):87-89.
- [2]陈泉.水利水电工程边坡开挖支护施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(26):186-188.
- [3]胡同喜,王鑫颖.水利水电工程基础处理施工技术探究[J].科技与创新,2025,(16):210-212+216.
- [4]刘超,贺鹏.山区水利工程建设中的水土流失防治技术研究[J].水上安全,2025,(11):101-103.
- [5]吴若冰,张腾.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].治淮,2025,(03):47-48.
- [6]林惠颜.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术运用策略研究[J].工程技术研究,2024,9(21):97-99.
- [7]崔毅.边坡开挖支护技术在某水利水电工程项目中的应用研究[J].海峡科学,2024,(07):86-89.
- [8]王海荣.山区小型水利工程建设质量管理分析[J].低碳世界,2023,13(03):127-129.

作者简介:

杨兴坪(1988--),男,汉族,安徽金寨人,本科,单位:六安市裕安区河道管理中心,六安市裕安区水利局,工程师,研究方向:工程建设管理。