

某水利枢纽高边坡加固处理技术及效果分析

何胜杰

吉林省水利水电勘测设计研究院

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6839

[摘要] 水利枢纽高边坡稳定关系到工程安全运行和下游居民生命财产安全。加固处理是保障边坡稳定的重要技术手段。本文介绍了某水利枢纽高边坡加固处理的工程意义,分析了锚杆索加固技术、抗滑桩支护技术、坡面防护与排水系统在该工程中的具体应用,从边坡稳定性监测评估、经济效益分析、施工质量与长期效果验证等几个方面,对加固处理效果做了系统的分析。综合应用各种加固技术能明显提高高边坡稳定性,保障水利枢纽的安全运行,给类似工程提供参考。

[关键词] 水利枢纽; 高边坡; 加固处理; 技术应用; 效果分析

中图分类号: TV61 文献标识码: A

Reinforcement technology and effect analysis of high slope of a water control project

Shengjie He

Jilin province water conservancy and hydropower survey design & research institute

[Abstract] the stability of high slope of water control project is related to the safe operation of the project and the safety of life and property of downstream residents. Strengthening treatment is an important technical means to ensure slope stability. This paper introduces the engineering significance of high slope reinforcement of a water control project, analyzes the concrete application of anchor cable reinforcement technology, anti-slide pile support technology, slope protection and drainage system in this project, and systematically analyzes the reinforcement effect from the aspects of slope stability monitoring and evaluation, economic benefit analysis, construction quality and long-term effect verification. The comprehensive application of various reinforcement technologies can obviously improve the slope stability, ensure the safe operation of the water control project and provide reference for similar projects.

[Key words] water control project; High slope; Reinforcement treatment; Technology application; effect analysis

引言

水利枢纽工程属于国家基础设施建设的关键组成部分,还具备防洪、发电和供水等多个功能的特性。边坡是水利枢纽的重要组成部分,它的稳定直接关系到工程的安全运行。地质条件、水文环境、施工扰动等都会对高边坡造成滑坡、崩塌等地质灾害的威胁。因此,高边坡加固处理在水利枢纽建设中是重要环节。本文以某水利枢纽高边坡为研究对象,对加固处理技术的应用和效果进行系统的分析,为类似工程提供技术参考,对于保障水利枢纽的安全运行、延长工程的使用寿命具有重大的现实意义。

1 某水利枢纽及高边坡概况

该水利枢纽工程是具有防洪、发电、供水等综合效益的大型水利设施,工程投资巨大、工期较长,对当地经济社会发展具有重大意义。该枢纽所处地区地质情况比较复杂,高边坡属于工

程中的重要部分,它的好坏直接影响着整个工程的安全运转以及下游居民生命财产的安全。该工程高边坡有如下几个主要特点:一是边坡高度大,坡度陡峭;二是地质构造复杂,岩体破碎,节理发育明显,有多处软弱结构面;三是受水文环境影响较大,蓄水后库水位周期性变化使边坡受到反复的浸润和干湿循环的作用,再加上渗流作用的影响,边坡稳定性面临着极大的考验。工程建设期间开挖扰动又加重了边坡不稳定的因素,加大了边坡发生滑坡、崩塌等地质灾害的风险。由于该高边坡复杂的地质状况及安全问题的存在,必须采用系统的、科学的加固措施。经过详细的地质勘察以及稳定性分析,确定以锚杆索加固、抗滑桩支护为主,辅以坡面防护及排水系统为主的综合治理方案,给工程的长期安全稳定运行提供可靠的保证。

2 某水利枢纽高边坡加固处理的工程意义

2.1 保障水利枢纽工程安全运行

水利枢纽高边坡稳定是工程安全运行的前提。边坡失稳会造成坝体变形、库岸滑坡,严重时会造成溃坝等重大事故,造成无法估计的损失。经过科学合理的加固处理之后,边坡的抗滑稳定性会得到提高,边坡抵御地震、降雨等不利因素的能力也会增强。加固处理可以改善边坡的应力状态,减小滑动风险,保证某水利工程的正常蓄水和泄洪功能。稳定的边坡给水利枢纽的发电、航运等功能提供可靠的支撑,通过系统的加固措施,可以有效延缓边坡的变形发展,确保工程在设计使用年限内持续稳定运行^[1]。

2.2 防控边坡地质灾害风险

某水利枢纽高边坡地质条件比较复杂,岩体破碎、节理发育,在蓄水之后受到水位变化、渗流作用的影响,很容易产生滑坡、崩塌等地质灾害。灾害不仅是工程自身安全的威胁,还会引发次生灾害,比如涌浪淹没库岸设施、阻塞河道等,危及下游城镇和农田。高边坡加固处理,利用锚固、支挡、排水等工程措施,从源头上消除或者降低地质灾害隐患,形成多道安全防线,建立完善的监测预警系统,再配合加固工程一起进行,可以实现对潜在风险的动态控制,给灾害防治提供强有力的保障^[2]。

2.3 延长工程使用寿命与经济价值

某水利枢纽工程投资大、建设周期长,延长其使用寿命对提高投资效益十分重要。边坡是工程的重要组成部分,边坡的长期稳定直接影响到工程整体寿命。经过加固处理之后,可以消除边坡存在的安全隐患,减缓边坡的劣化进程,使边坡在运行期间处于良好的状态。科学的加固方案既解决眼前问题,又考虑长远,依靠创建完备的排水体系,设置永久性支护结构等办法,给边坡长久稳定赋予保证,合适的加固投资可以阻止边坡失稳所造成高额的修复费用,从而大大改善整个工程的经济效益和社会效益^[3]。

3 某水利枢纽高边坡加固处理技术应用

3.1 锚杆(索)加固技术

锚杆索加固技术是高边坡加固的主要手段,其工作原理就是利用锚固体与岩土体之间形成的强咬合作用,将潜在滑动面两侧的岩土体牢固地连在一起,从而大幅度提高边坡的整体抗滑能力。该技术的运用要依据边坡具体的地质状况及详细的稳定性分析成果,制订出科学合理的加固方案。预应力锚索和普通锚杆在实际应用时可以起到互相补充的作用,共同形成一个加固体系。对于边坡上部岩体比较完整的区域,布设大吨位预应力锚索是最有效的办法,锚索长度要按照滑动面实际深度来计算,保证锚固段能嵌入到稳定的岩层中,施加恰当的预应力,主动改善边坡的应力分布状况,约束边坡的变形趋向。中下部岩体破碎带处应采用密集型锚杆加固,梅花形布置的锚杆可较好地提高局部岩体的整体强度和稳定性。材料选用上要用高强度钢丝绳、螺纹钢等优质材料,锚固材料可采用水泥砂浆或者树脂,保证锚固力能满足设计各项要求。某水利枢纽工程施工过程中必须严格控制钻孔的角度、深度和锚固质量,用科学的拉拔试验检验实际的锚固效果。该技术充分利用了岩土体自身的强度特点,用较小的工程投入取得了较好的加固效果^[4]。

3.2 抗滑桩支护技术

抗滑桩是利用桩身的抗弯、抗剪能力来阻止边坡滑移的支挡结构,在高边坡加固工程中起着不可替代的作用。对于存在滑动推力大、滑动面埋藏较深的边坡,必须在工程的关键部位设置钢筋混凝土抗滑桩。抗滑桩截面形式可采用矩形或圆形,具体桩径要通过滑坡推力详细计算后确定,桩身长度必须穿过滑动面并进入稳定地层,锚固深度应满足抗滑稳定性各项要求。确定桩间距时要考虑滑坡推力空间分布特点、具体的地质条件等各方面因素,既要达到良好的支护效果,又不能因为设置过密造成投资浪费。某水利枢纽工程施工工艺上一般采用冲击钻或旋挖钻成孔,成孔后必须及时清孔,然后进行钢筋笼安装和混凝土浇筑,每一环节都必须严格控制,以保证桩身质量达到设计要求。为了进一步提高抗滑桩的整体工作性能,在桩顶设置钢筋混凝土连系梁是十分必要的,将单独的桩体连接成一个协同工作的桩排整体,大大提高了支护系统的整体效能。抗滑桩支护技术适应性强,能有效抵抗较大的滑动推力,对控制边坡深层滑动有较好的效果,是锚杆索加固的重要补充,两者配合使用可以形成立体化、多层次的支护防护体系^[5]。

3.3 坡面防护与排水系统

坡面防护及排水系统建设,属于保证边坡长久稳定的关键技术手段。某水利枢纽工程坡面防护要根据地质条件采取相应防护措施,挂网喷锚和混凝土护坡相结合的综合防护方式适用于不同类型的边坡。岩质边坡区域要先清除松动岩块,再铺设钢筋网并施工锚杆,最后进行喷射混凝土作业,形成具有一定柔性的支护防护层。柔性支护能防止坡面风化剥落,又能允许边坡发生一定的变形。而土质边坡或者风化严重的地方,则需要采用现浇混凝土或者预制块护坡的方式,给予更为牢固的刚性防护。在坡面上科学布置截排水沟系统可以迅速有效的引导地面径流排出,防止雨水对坡面的冲刷以及渗入边坡内部。某水利枢纽工程边坡内部还要设置仰斜式排水孔、平孔排水、排水隧洞等排水设施,多种排水设施综合使用可以降低地下水位和孔隙水压力。排水孔的布置要按一定的间距和角度来,保证穿透含水层,孔内应设滤管并回填反滤料,保证排水通畅持久。在坡脚处设排水沟、集水井,汇集并及时排出边坡渗水。科学合理的坡面防护、排水系统能有效地控制水对边坡稳定性的各种不良影响,保证边坡的完整性。

4 高边坡加固处理效果分析

4.1 边坡稳定性监测与评估

为了对某水利枢纽工程加固处理的效果做出全面评价,本水利枢纽建立起了完善的边坡监测系统,对边坡变形、应力、地下水等参数实行长时间的观测。监测系统采取的是自动化和人工观测相结合的方式,从而达到对边坡运行状况的实时掌控。在边坡关键部位埋设位移监测点,用全站仪、GPS等高精度设备定期观测边坡表面水平及竖向位移的变化,根据边坡状态动态调整监测频率,汛期和库水位变化期加密观测。从监测数据来看,加固后边坡位移明显减小并且趋于稳定,累计位移量在毫米级

之内,远远小于设计允许值。在边坡内部的关键深度处布置多组测斜仪,沿边坡纵向、横向进行布置,监测深部变形分布规律。结果表明潜在滑动面附近得到较好的控制,深部位移曲线有很好的收敛趋势。在锚索和抗滑桩上装设应力计和应变计,对结构受力状态及荷载传递规律进行实时监测,由数据可知锚索预应力保持稳定,损失率在设计允许范围内,抗滑桩应力分布合理,最大应力出现在滑动面附近,数值在材料强度安全范围内。布设渗压计、水位计组成地下水监测网,监测地下水位、孔隙水压力的时空变化规律,排水系统运行良好,地下水位比加固前明显降低,孔隙水压力大幅度减小。通过对大量的监测数据进行统计分析、智能处理,建立了边坡变形预测模型,用有限元、离散元等数值方法进行稳定性复核计算,计算结果表明加固后边坡安全系数从原来的不足1.0提高到1.35以上,在正常运用、洪水、地震等各种设计工况下均满足规范要求,加固处理达到了预期的目标,为工程安全运行提供了可靠的保障。

4.2 加固技术经济效益分析

某水利枢纽工程加固处理技术的经济效益包括直接经济效益和间接社会效益,综合效益明显。从直接经济效益上看,在保障加固效果的基础上,科学设计、优化施工、合理控制工程造价,使该工程达到了投资效益最大的目的。锚杆索加固技术施工简便、工期短、材料用量少,单位面积造价约为传统大体积混凝土挡墙的60%,相比后者大大降低了工程投资,施工对环境的影响小,减少了开挖、混凝土用量带来的碳排放。精准利用抗滑桩支护,在滑动推力大的关键部位优化桩位布置和结构参数之后,避免全线架设挡墙所造成的过大的工程量,工程量节约了约40%。采用经济实用的材料和工艺来完成坡面防护及排水系统。加固处理排除了边坡安全隐患,加固技术的成功运用,特别是预应力锚索与抗滑桩的创新组合使用,为我国水利水电工程高边坡治理积累了宝贵经验,具有很好的示范和推广价值,已经在许多类似工程中被采用。从综合分析可知,该工程加固处理的投入产出比大于15,经济效益和社会效益好,实现了安全、经济、适用、环保的现代工程目标。

4.3 施工质量与长期效果验证

施工质量是加固效果的基本保障,直接决定加固工程能否达到设计目的并且长期有效。某水利枢纽工程施工建立了全过程质量管理体系,从原材料进场检验、施工工艺控制、中间验收、竣工验收全过程进行质量监督,保证每一道工序符合设计、规范要求。施工中大量使用BIM、物联网等信息化手段,对关键工序实施全程影像记录和数据采集,创建起完备的质量档案以及可追溯体系,保证施工质量可以被查询、控制。工程竣工之后,在多年运行检验及多场汛期、地震的检验下,边坡一直保持稳定,从未出现过滑坡、崩塌等地质灾害,锚索预应力监测值均小于设计允许值,抗滑桩完好无损、未出现裂缝变形情况,坡面防护层

完好,无剥落,排水系统的出水功能良好,充分证明了加固处理后有良好的长期效果。为系统展示高边坡加固处理效果的分析框架,本文构建了如图1所示的效果分析流程体系。



图1 高边坡加固处理效果分析流程图

5 结语

某水利枢纽高边坡加固处理工程采用锚杆索加固、抗滑桩支护、坡面防护和排水等多种技术手段,使边坡的稳定性得到提高,保障水利枢纽的安全运行。长期监测数据以及运行实践证明,加固效果明显,经济效益和社会效益好。该工程为类似水利水电工程高边坡治理提供了范例,具有较好的借鉴意义。未来应当进一步加强边坡监测及养护管理,研究新型的材料、新技术,不断改进加固处理技术,为水利事业的高质量发展提供技术支持,推动边坡加固技术向智能化、绿色化方向发展。

【参考文献】

- [1]洪祥,宋亚红.水利枢纽高边坡稳定性及加固措施分析[J].水利科技与经济,2024,30(1):58-61.
- [2]董功华.某水利枢纽V型峡谷段高边坡开挖安全风险管控措施[J].建设监理,2024,(10):75-78.
- [3]张志光.水利导流洞进口高边坡开挖支护施工技术研究[J].工程机械与维修,2025,(12):122-124.
- [4]陈明,杨沛云.喀喇昆仑山某水利枢纽近坝段边坡稳定性及涌浪分析[J].中国水运,2025,(6):94-96.
- [5]惠康,梁峰.水库施工高边坡安全防护结构的探究[J].中国水能及电气化,2024,(2):36-39.

作者简介:

何胜杰(1990--),男,汉族,黑龙江省佳木斯市人,硕士研究生,高级工程师,水利工程。