

水电水利工程施工中高边坡稳定性控制技术研究

李双庆

吉林省水利水电勘测设计研究院

DOI:10.12238/hwr.v9i7.6485

[摘要] 边坡稳定性是水电水利工程施工安全和质量重要保障。高边坡失稳破坏会引发严重安全事故,造成重大经济损失,破坏生态环境。基于此,本文系统分析了水电水利工程高边坡稳定性影响因素,阐述了加强边坡稳定性控制的重要性与必要性,并提出了包括边坡监测预警、加固支护、排水降压等在内的高边坡稳定性控制技术措施,旨在为相关工程建设提供有益参考。研究表明,加强高边坡稳定性控制,对于保障工程施工安全、提高工程质量、维护生态环境安全具有重要意义,只有综合运用多种技术手段,才能有效防控高边坡失稳风险,确保水电水利工程建设顺利实施。

[关键词] 水电水利工程; 高边坡; 稳定性; 控制技术

中图分类号: TV 文献标识码: A

Study on stability control technology of high slope in hydropower and water conservancy project construction

Shuangqing Li

Jilin Province Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute

[Abstract] Slope stability is an important guarantee for the construction safety and quality of hydropower and water conservancy projects. The instability and failure of high slope will cause serious safety accidents, cause great economic losses and destroy the ecological environment. This paper systematically analyzes the influencing factors of high slope stability in hydropower and water conservancy projects, expounds the importance and necessity of strengthening slope stability control, and puts forward technical measures for high slope stability control, including slope monitoring and early warning, reinforcement and support, and drainage and depressurization. It can provide useful reference for related engineering construction, and strengthen the stability control of high slope, which is of great significance for ensuring the safety of engineering construction, improving the quality of engineering and maintaining the safety of ecological environment. Only by comprehensively using various technical means can the instability risk of high slope be effectively prevented and controlled, and the smooth implementation of hydropower and water conservancy projects can be ensured.

[Key words] hydropower and water conservancy project; High slope; Stability; control technology

引言

水电水利工程建设往往选址于山区峡谷地带,施工过程中不可避免地要开挖高陡边坡,这些边坡稳定性直接关系到工程建设安全和进度。一旦边坡发生失稳破坏,轻则影响施工进度,重则危及人员生命安全,造成重大经济损失;边坡失稳还会引发泥石流、滑坡等次生灾害,对周边生态环境造成严重破坏,加强水电水利工程高边坡稳定性控制已成为工程建设中重大课题。因此本文在分析高边坡稳定性影响因素基础上,论证了加强稳定性控制的重要性与必要性,并重点探讨了相关控制技术措施,以期对相关工程安全建设提供参考,更好地发挥水电水利工程综合效益。

1 水电水利工程高边坡稳定性影响因素分析

1.1 地质条件对边坡稳定性影响

水电水利工程所处地质条件复杂多变,对高边坡稳定性有着决定性影响。岩土体物理力学性质直接决定边坡抗剪强度和变形特性,如遇到软弱夹层、泥质岩层等不良地质,边坡极易产生变形开裂,埋下失稳隐患;地质构造如断层、褶皱等影响岩体完整性,削弱边坡整体抗滑能力,如边坡上存在与倾向角近似软弱结构面,极易沿结构面产生滑移破坏;地震等外力作用也会诱发边坡失稳,地震动使边坡应力状态突变,边坡土体强度恶化,易引发崩塌、滑坡等地质灾害。由此看出工程地质条件复杂性使高边坡稳定性控制面临严峻挑战。此外,雨水浸润、地下水渗

流等水文地质条件变化也会引起边坡土体物理力学性质恶化,降低抗剪强度,加剧变形破坏,增大失稳风险。综上所述,水电水利工程高边坡稳定性问题涉及工程地质、水文地质等多重因素,需采取综合治理措施,加强勘察设计和施工监测,确保边坡长期稳定安全^[1]。

1.2 水文环境对边坡稳定性影响

水电水利工程高边坡稳定性还受到水文环境显著影响。降雨入渗改变边坡土体物理力学性质,暴雨条件下雨水沿裂隙渗入,土体饱和,抗剪强度降低,边坡稳定性随之恶化;地下水渗流产生渗透压力和动水压力削弱边坡抗滑能力,尤其是遇到承压含水层,其承压水头高,渗透压力大,极易引发边坡整体滑移;水位变动也影响着边坡稳定状态,上游水位骤降时边坡土体中水压力尚未及时释放,土体处于欠固结状态,极易发生流滑破坏,水文环境因素使高边坡稳定性控制更加复杂化。

1.3 施工活动对边坡稳定性影响

水电水利工程施工扰动也会高边坡稳定性构成威胁。施工开挖改变边坡应力状态,开挖卸荷使边坡产生应力调整,边坡体应力重新分布,如果边坡强度不足以平衡作用在其上剪应力,就会发生变形破坏;不合理爆破施工易引发边坡震动和损伤,过大装药量、不合理布孔等都会加剧爆破震动,使边坡岩体产生新裂隙,埋下失稳隐患。大型机械设备作业产生动力荷载,也会诱发边坡局部失稳,尤其是设备直接置于边坡顶部时,边坡所受动荷更大,极易引发坍塌,所以施工扰动因素也是影响高边坡稳定性控制重要方面^[2]。

2 高边坡稳定性控制技术重要性及必要性

2.1 保障工程施工安全迫切需要

高边坡稳定性事关水电水利工程施工安全,一旦边坡失稳,极易引发重大人员伤亡和设备毁损事故,给国家和企业造成难以估量损失。我国已发生多起由于边坡失稳引发安全事故,教训极其惨痛。2014年7月,云南大华水电站导流洞进口边坡发生大规模垮塌,造成4人遇难、8人受伤,直接经济损失上亿元;2016年11月,西藏朗县水电站施工支洞边坡坍塌,造成1人死亡、9人受伤,这些事故无不给我们敲响警钟,揭示边坡失稳对施工安全巨大威胁。工程建设者必须充分认识到高边坡稳定性控制极端重要性,将其作为确保施工安全的首要任务,坚持“安全第一、预防为主”方针,严防边坡失稳引发各类事故,为建设者创造安全施工环境;要高度重视边坡治理,加大资金投入,配备先进监测预警设备,完善应急管理机制,提高现场施工人员安全意识和技能。只有切实加强边坡稳定性控制,强化风险动态监控,严格落实各项安全防范措施,才能从根本上消除施工安全隐患,有效遏制重特大事故发生,为工程建设营造本质安全施工环境。

2.2 确保工程质量与投资效益基本要求

高边坡稳定性控制是确保水电水利工程质量的关键因素。边坡失稳破坏不仅影响施工正常进行,而且危及永久工程结构安全,坝体、厂房、输水隧洞等主体工程往往紧邻边坡。一旦边坡失稳滑移,极易对永久结构造成难以修复损坏,埋下工程质量隐

患。如果边坡垮塌掩埋厂房洞室,损毁机电设备,不仅要耗费大量人力物力进行抢修,还会影响机组按期发电,造成重大经济损失;边坡失稳引发工期延误、返工重建等问题,必然导致工程投资严重超支,难以实现预期经济效益。据不完全统计,我国已建和在建水电水利工程因边坡失稳导致经济损失额巨大。这些惨痛教训警示我们,稳定性差边坡是工程建设“定时炸弹”,务必高度重视边坡治理,一丝不苟抓好边坡支护质量控制,严把边坡开挖、支护、防护等每一道施工工序关,确保边坡稳定性达标。加强高边坡稳定性控制,能有效规避各种质量缺陷和返工风险,避免质量事故和损失浪费,使工程质量和效益同步提升。这是业主方和施工方共同愿景,更是工程建设高质量发展必由之路^[3]。

2.3 维护生态环境安全客观需要

水电水利工程建设不可避免地要对生态环境造成一定扰动和影响,高边坡失稳则会进一步加剧工程建设对环境破坏,边坡崩塌滑坡将大量泥沙、岩石直接卷入江河,造成严重水土流失,影响下游水质,破坏水生生态系统。据测算,边坡失稳引发泥沙淤积可导致库区萎缩、电站发电效益下降20-30%;滑坡体阻断河道,形成堰塞湖,一旦溃坝,极易酿成巨大灾难。2008年5月,汶川地震引发川西山区大规模滑坡,形成上百个堰塞湖,威胁下游数百万群众生命财产安全;边坡垮塌还会摧毁周边植被,砸毁耕地、道路等,影响周边群众生产生活,2018年7月,老挝南俄河一水电站大坝坍塌,泥石流摧毁大片农田,6000多人流离失所。这些数据都能看出边坡失稳带来的次生灾害溢出效应不容小觑,加强高边坡稳定性控制,最大限度地减少工程建设对生态环境破坏,把水土保持、植被恢复等生态保护措施落到实处,实现工程建设与生态保护双赢。让青山常在、绿水长流,是工程建设可持续发展的必然要求,也是工程建设者义不容辞的社会责任,我们要以对国家 and 人民高度负责的态度,扎实做好边坡治理,在开发中保护、在保护中开发,努力实现人水和谐、人地和谐、人生态和谐,用实际行动彰显央企责任与担当^[4]。

3 水电水利工程高边坡稳定性控制技术措施

3.1 边坡监测预警技术应用

边坡监测是实施高边坡稳定性控制基础性工作。通过布设位移、应力、孔隙水压力等监测仪器,可及时掌握边坡变形、应力及渗流状态动态变化规律,判断边坡稳定状况。当监测数据异常时可及时预警,并采取有效应急处置措施。现下GPS等先进监测技术已广泛应用于边坡安全监控,相比传统人工巡视这些技术具有高精度、全天候、自动化特点,能更加全面、动态地反映边坡稳定状况;建立完善边坡安全预警系统也十分必要,预警系统可根据边坡重要性、风险程度设置不同预警级别,制定相应应急响应流程,一旦监测数据超过预警值,系统立即发出警报,通知现场人员撤离,并启动应急预案,将边坡失稳风险降到最低。这充分说明边坡监测预警技术在保障施工安全方面的重要作用,只有充分发挥监测预警技术“千里眼”作用,才能做到“心中有数”,真正实现边坡失稳风险早发现、早预防、早处置。

3.2 边坡加固支护技术实施

对于潜在失稳风险高边坡,需采取工程加固支护措施,提高边坡整体稳定性。常用支护方式包括锚杆、喷锚网、挂网喷混凝土等,锚杆支护可有效提高边坡抗剪强度,并改善边坡应力状态,喷锚网支护能增强边坡表层抗剪切能力,并起到护坡防护作用。对于风化破碎严重边坡,还可采用挂网喷混凝土支护,进一步提高边坡表层整体性和稳固性,对于局部不稳定、风险极高边坡,则需修筑重力式挡土墙,从根本上阻挡滑体下移。边坡支护要遵循“预防为主、全面治理”原则,将支护措施贯穿于开挖全过程,及时消除各种失稳隐患,对于高风险边坡段,更应超前支护,将可能失稳风险消灭在萌芽状态。某水库大坝边坡为软硬岩互层结构,岩体破碎,节理裂隙发育,边坡稳定性较差,为此设计人员采用分区域、分阶段支护方案,对边坡进行全面加固。对于基岩较完整下部边坡,采用系统锚杆支护,并在锚杆孔内注浆,提高岩体整体性;对于风化破碎上部边坡,则采用挂网喷混凝土支护,表面再铺设一层高强钢筋网,有效提升边坡抗剪强度。在开挖过程中,施工人员坚持开挖一段、支护一段,做到支护措施与开挖面同步推进,对于开挖后暴露不稳定块体,及时采取锚固喷混凝土处理,消除局部失稳隐患;在全面支护基础上,边坡整体稳定性得到极大改善,为大坝安全奠定坚实基础。边坡支护要坚持因地制宜、综合施治,将各种支护手段优化组合、系统运用,才能最大限度地发挥支护效果,确保边坡整体稳固^[5]。

3.3 边坡排水降压技术运用

地下水和地表水是诱发高边坡失稳重要因素,有效疏导边坡地下水,排除地表水,是确保边坡稳定性关键举措。针对边坡水文地质条件,常采用截水沟、排水孔洞等措施降低地下水位。通过修筑马道截水沟,可有效阻断地表水下渗,并将汇集水量及时导排出边坡;对于地下水丰富边坡,可布设灌注型排水孔或管棚式排水孔,将水压疏导至边坡外,降低边坡土体渗透压力,还要加强边坡防护,避免暴雨冲刷造成土体流失。可在坡面铺设防水毯,或种植防护植被,提高边坡抗冲刷能力。例如某抽水蓄能电站上下水库边坡治理中,设计人员针对边坡水文地质特点,采取一系列排水降压措施,通过工程地质勘察,在上、下库边坡马道处修筑浆砌石截水沟,并在沟底铺设防渗土工膜,将汇流至边坡地表水有效截拦并导排;在下库边坡还布设多排管棚式排水

孔,孔深30m,孔间距3m,开孔后采用高压旋喷注浆工艺形成注浆排水体,并在孔内安装PVC滤水管,将地下水有效导排至坡脚。通过一系列排水措施,边坡内渗流水压明显降低,土体抗剪强度大幅提升。可见边坡排水降压治理要本着“因地制宜、科学施治”原则,将工程措施与非工程措施相结合,系统规划、整体实施,才能最大限度地发挥治理效果,从源头上消除水害隐患,为边坡稳定性提供可靠保障。

4 结束语

水电水利工程高边坡稳定性控制是一项复杂系统工程,涉及地质、水文、施工等多方面因素。加强边坡稳定性控制,是保障工程施工安全、确保工程质量、维护生态环境必然要求。这就需要工程建设者树立“预防为主、标本兼治”理念,在摸清边坡地质构造、水文环境等本质特性基础上,因地制宜采取监测预警、支护加固、排水降压等多种技术手段,将边坡失稳风险降到最低;还要建立健全工程风险管理体系,加强过程质量控制,确保边坡治理措施落到实处、取得实效。只有举全行业之力,形成监管、建设、设计、施工、监理等各方通力合作的良好局面,才能有效遏制边坡失稳事故发生,为水电水利工程建设营造安全、稳定环境,以高质量工程建设助推经济社会发展和生态文明建设,让水电水利工程更好地造福人民、服务国家。

【参考文献】

- [1]张远坤.面向水利水电工程的水库边坡稳定性与失效概率研究[J].水利科技与经济,2025,31(01):22-27.
- [2]熊长军.水利水电工程中高边坡的加固和治理研究[J].水上安全,2024,(22):133-135.
- [3]卢绍文.水利水电工程中高边坡的加固和治理研究[J].冶金管理,2022,(23):65-67.
- [4]万克诚.基于ICMP的水利水电工程边坡稳定性分析[J].工程技术研究,2021,6(20):33-34.
- [5]冯彬.高边坡加固技术在水利水电工程施工中的应用探讨[J].中国设备工程,2021,(04):207-208.

作者简介:

李双庆(1993--),男,汉族,吉林公主岭人,本科,工程师,施工专业。