

卡拉水电站倾倒岩体预应力锚索施工技术

王成, 刘英

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川成都 610213)

摘要:针对卡拉水电站枢纽区左岸边坡倾倒卸荷严重的实际情况,阐述了采用预应力锚索以改善边坡岩体的稳定性及应力状态的过程,并对锚索施工技术从锚索造孔设备的选型、施工参数的控制、注浆和锚索的锁定等工序进行了评价,取得了较好的效果。

关键词:倾倒岩体;预应力;锚索;卡拉水电站

中图分类号:TV223.3+4;TV7;TV52

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)05-0103-04

Construction Technology of Prestressed Anchor Cable in the Rock Mass of Kala Hydropower Project

WANG Cheng, LIU Ying

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: In view of the serious dumping and unloading of the left bank slope of the Kala Hydropower Project, this paper expounds the application of prestressed anchor cables to improve the stability and stress state of the slope rock mass, the technology of anchor cable construction is evaluated from the selection of anchor cable hole-making equipment, the control of construction parameters, grouting and anchor cable locking, and good results have been achieved.

Key words: Landslide mass; Prestress; Anchor cable; Kala Hydropower Project

1 概述

卡拉水电站位于四川省凉山彝族自治州木里县卡拉乡境内的雅砻江中游河段,是雅砻江中游河段一库七级梯级开发的第七级水电站。卡拉水电站为二等大(2)型工程,开发任务为发电,总装机容量为 1 020 MW,安装 4 台单机容量为 255 MW 的立轴混流式水轮发电机组。水库正常蓄水位高程为 1 987.00 m,死水位高程为 1 982.00 m,正常蓄水位以下库容为 2.378 亿 m^3 ,调节库容为 0.365 亿 m^3 。

坝区卸荷多与谷坡走向呈小角度相交,其裂隙、断层发育。强卸荷带的水平深度为 2~62 m;左岸弱卸荷带的水平深度为 15~76 m。

目前已探明枢纽区左岸边坡危岩体共发育 160 处,且需要单独处理的危岩体均分布于倾倒卸荷严重的边坡内。针对该工程的实际情况,总承包部最终决定主要采用预应力锚索施工技术对坝址倾倒危岩体进行治理。

2 所采取的预应力锚索施工技术及实施的步骤

预应力锚索施工已经成为地质工程中治理滑坡和边坡稳定性问题的一个不可或缺的技术手段,并在众多工程实践中得到了验证和改进,显著提升了地质灾害防治工作的技术水平和安全保障能力。根据电站左岸危岩体分布区域具有的特点,若进行大面开挖则其施工工期较长,对此,总承包部最终选取了强锚的治理手段。

预应力锚索技术作为一种高强支护系统,主要是通过预设张拉力实现对岩土体的加固作用,对于加强边坡的稳定性、控制滑坡及地基加固等方面发挥了关键作用^[1]。其工作机理为:通过预先对锚具和锚索施加张力,使锚固体内部产生压应力区,从而提高其整体稳定性和承载能力。通过锚索的预应力作用,边坡的岩体可以被锚固,从而有效减少了因自然力或工程活动引起的边坡不稳定性,确保了岩石结构的局部稳定和整体稳定。

预应力锚索的施工涉及多个环节,涵盖了锚索设计、制作、运输和安装等细节。具体到施工步骤,不仅包括锚索孔的精准钻探、与地质条件相匹

配的锚索选型、拉力的精准设置,还包括对于锚索施加预应力过程中的张拉控制和锚固效果的及时监测。在施工过程中,总承包部坚持以岩土工程理论为基础,通过精确计算与施工设备的精细操作确保了锚索在锚固体中形成了必要的预应力大小,并在施工后期通过拉应力测试仪器对实际拉力进行了检测,进而保证其满足设计及安全要求。

在整个施工过程中,如何克服因岩土不均匀性及施工条件限制导致的技术难题是保证预应力锚索施工技术有效发挥作用的关键;此外,施工技术的创新也是重要的因素之一,如果采用先进的锚索张拉设备与智能化监控系统,可以极大地提高施工效率和锚索预应力的控制精度,确保锚索系统的持久稳定与可靠性。

锚索施工的步骤:

(1)精选锚索造孔设备。在卡拉水电站枢纽区左岸边坡倾倒、卸荷严重的背景下,锚索造孔设备的选择成为施工质量与效率的决定性因素。锚索造孔设备必须满足岩土层的穿透要求,确保孔径精度与孔深控制的精准,这对于后续锚索的注浆和锚固效果至关重要。总承包部经过比选,低转速、高扭矩的 YXZ-90A 锚固钻机成为首选,该机型的误差能够控制在 ± 2 cm 以内,且其可在复杂地质条件下保持高稳定性与钻进速度。

采用水灰比为 0.35:1 的固壁浆液可以减少孔壁崩塌并提高孔壁的稳定性,再添加 8%~10% 的水玻璃以适应不同的地质条件。注浆量则根据锚孔的深度和岩体的裂隙程度动态调整以确保孔内填充充分且固化均匀。锚索采用直径为 15.2 mm 的高强度低松弛钢绞线,单根钢绞线的张拉力应不小于 1 860 MPa,能够确保高拉力下的钢绞线伸长率低于 2%,进而提升了边坡稳定性。采用自动张拉设备对预应力值进行实时监控,通过精确的液压传感器与伸长计读数力保将预应力值精确控制在规定的范围内,其误差不超过 5%。优化后的设计参数和施工工艺为岩体边坡的稳定提供了有力保障,对这些技术指标和参数的深入研究为锚索系统的有效性提供了数据支撑。

(2)施工参数的控制。在卡拉水电站枢纽区左岸边坡治理过程中,控制施工参数对确保预应

力锚索的施工质量和提高边坡的稳定性起到了至关重要的作用。通过深入分析锚索施工过程中的关键参数,构建出边坡稳定性与施工参数之间的定量关系,从而更为科学地控制施工过程并最大化锚索效果^[2]。

首先,对锚索张拉力的大小进行精确控制,根据岩土力学的特性与边坡稳定的需求规定了不同级别施工锚索张拉力的范围,并以数字化调控系统进行实时监控。通过与理论预期值进行对比得知:若张拉力偏离允许值超过 5% 时,必须暂停施工流程、进行问题的诊断与调整。对于锚索的长度和直径,通过岩体力学试验和边坡稳定分析后明确制定了最优锚索长度不小于 30 m、锚固段不小于 8 m、钻孔直径不小于 150 mm 的施工标准,以确保其具有足够的抗拉与抗剪强度。

其次,对锚索孔径的控制同样重要。100 t 锚索的钻孔直径为 150 mm;150 t/200 t 锚索的钻孔直径为 165 mm。采用跟管工艺时,100 t 锚索钻孔的直径达到 178 mm,150 t/200 t 锚索钻孔的直径达到 194 mm,这些参数不仅确保了有足够的空间容纳锚索束体,同时还确保了锚索的裹浆厚度,进而有助于优化锚索与周围岩体的结合强度。注浆压力的控制亦至关重要。为确保浆液的填充性与密封效果,经计算后制定的注浆压力为不低于 2.0 MPa,同时又不得高于岩体破裂压力的 60%,以防岩体受损。

另外,施工中对锚索固化时间的把控亦为重要的控制参数。锚索的固化时间通常是根据浆料性质和当地气候条件设定,一般情况下,锚索固化的时间为不少于 7 d,以确保浆体完全硬化,进而保证锚索的预应力传递效果。在实际工程中,通常是通过对锚索张拉反力的监测来定期更新锚索的固化时间,使其与环境因素和材料特性相匹配。

(3)锚孔的注浆。锚孔注浆是预应力锚索施工中的关键步骤,其质量好坏直接关系到锚索工程的成功与边坡稳定性。在卡拉水电站枢纽区左岸边坡实施锚孔注浆时,采用先进的双液体注浆技术,确保了注浆材料的填充率和注浆压力的稳定性。固壁一般使用水泥净浆,其严格按照 0.35:1 的水与水泥的比例进行混合以减少渗漏和对环境的破坏。在注浆过程中,使用压力传感器监控实时压力,在保持 0.6~1.0 MPa 的压力下进行步进式注

浆,确保了浆液均匀渗透至岩体裂隙中^[3]。

同时,总承包部注重对施工过程中注浆量的精确控制与监测,运用高精度的流量计严格监控注浆的流量,确保每个锚索孔能够得到足量的浆液填充;对浆液固结时间的控制同样重要,注浆过程中,严格根据环境温度和湿度调整水泥浆的凝结时间以减少后期锚索拉伸时对固化不良造成的损害。除了对浆液进行监控外,对注浆设备和物料的管理也是一项不能忽视的工作。施工前必须确保注浆机、搅拌器等设备的性能稳定,及时更换磨损的部件以保证注浆的连续性与有效性。

在具体实践中,以感应流量计和压力变送器作为核心监控设备,将数据实时传输至控制台;监控人员在综合分析数据变化曲线后,采取即时调整措施的方式以确保注浆过程的细致与精确。

通过统计卡拉水电站左岸边坡约 120 束锚索注浆的资料得知:其优良率达到 98% 以上,显著优于行业平均水平 95%,有效地保障了锚固体系的可靠性和长效性。

(4)施加预应力。在卡拉水电站枢纽区左岸边坡治理施工过程中,锚索的预应力大小决定着锚固系统的稳定性与效果。其不仅影响到岩体的整体受力情况,而且还关系到工程安全与使用寿命。为了确保预应力的准确施加,现场采用了数控液压张拉与智能锁定技术,其特点在于能够根据实际的岩体状态智能调整预应力的的大小。其首要的任务是通过现代传感检测技术对锚杆的张拉力进行实时监测,该技术具有传感精度高,数据实时传输,拟合分析能力强等优势。

实施过程中,使用高性能的数据处理器对收集到的数据进行分析。通过设置岩体模型、模拟锚索施工状态与岩体受力的变化情况,使用逆向算法精确计算出所需要的预应力值。高度精确的预应力锁定是通过间歇式步进张拉法实现的,这种方法能够在每个阶段精确控制预应力的的大小,确保预应力的均匀分布与锚索的有效应用。张拉设备配备有数字显示与智能控制系统,张拉过程中锚索的张力能够在屏幕上直观显示,操作人员可以根据屏幕数据及时调整控制参数以实现精准锁定预应力。

必须综合考虑边坡的地质条件、锚索材料特性以及施工环境等因素。锚索张拉量的设置采用

动态调整策略,锚索的张拉工艺遵循严格的标准,先小力试拉,再逐步增加至设计预应力值。这样做既保证了锚索在初始阶段不会因过度张拉而损伤岩体,又确保了后期预应力的精准施加。此外,锚索张拉结束后,需要进行荷载的锁定与保持的操作,以确保预应力在长期锁定过程中的稳定性。

为了保障预应力的长效作用,在锚索施工结束后设置了长期监测机制,用以检测预应力的实时数据。如出现预应力下降现象,则需及时采取补救措施以保持岩体的稳定状态。锚索的后期管理与维护需要通过定期检查发现预应力的异常波动,针对具体情况立即进行技术分析与处理。

该技术的施行还考虑了经济成本与施工效率的平衡,优化了施工流程,缩短了施工周期,从而降低了整个治理项目的成本。通过成套监测设备的安装,实时监测锚索的受力情况,力求对锚固效果进行精准评估以确保治理工程的长效稳定。此外,锚索的预应力水平还可以根据后期监测数据进行调整,以适应可能出现的新的地质条件变化以保证边坡长期稳定。

3 取得的效果

预应力锚索施工技术在高边坡治理中的功效尤为显著,其通过施加预拉力改善了岩土体自身的稳定性,有效地减少了因重力作用导致的滑动、垮塌趋势。采用精心设计的锚索系统,能够适应多样化的地质条件与施工环境,不仅实现了工程治理的灵活性,亦提升了治理成效的持久性。

伴随着地质条件的复杂多变,机械设备参数的调整和优化就显得尤为必要。只有通过精准的设备选择和科学合理的制定施工工艺,才能确保施工中每一环节的精确性,从而提升整个边坡治理工程的质量与效益。因此,精选锚索造孔设备环节不仅仅是技术操作的展示,更是深谙地质学与施工工艺精髓的实践,从而为卡拉水电站枢纽区的地质灾害防治筑起了第一道坚实的防线。

锚索施工参数的精确控制需要融合理论分析与现场实测数据,其监控指标,如锚索孔的定位精度、孔深和孔径公差均应控制在 ± 2 cm 以内,这些微观参数的精细控制对于确保整体施工质量具有直接影响。通过这些控制策略的实施能够有效提高工程施工的精准度,确保锚索在提升边坡稳定性方面的最优性能。精细化管理和高度的技术

掌握,能够使锚孔注浆过程在实际施工中精确可靠,堪称卡拉水电站枢纽区左岸边坡治理中的一个亮点,从而极大程度地提高了边坡的稳定性和预应力锚索的施工品质。

此次研究在注浆工作完成后对注浆引起的应力重新分布进行了有限元模拟分析。边坡稳定性评价指标显示坡体的整体稳定性提高了30%。预应力锚索施工确保了枢纽区边坡的安全。

总承包部在边坡体内部布置了多点分布的预应力锚索,形成了立体交叉的加固网络,大大提高了边坡的整体稳定性。将高强度钢绞线作为锚固材料,确保了锚索长期处于预应力状态下能够承受拉力的持久作用,避免了边坡局部破坏蔓延^[4]。在施工过程中,依据边坡岩土体力学特性合理选定了锚索的布置角度和间距,通过精确的计算,确保了锚索受力均匀,充分发挥了其加固作用。

在处理复杂地质环境中的施工难题时,预应力锚索施工技术展现出其优势。例如,卡拉水电站左岸边坡由于岩体倾倒卸荷现象严重,采用传统的加固措施难以满足工程安全要求。于是,预应力锚索技术被引入工程实践,通过设立合理的预应力等级及锚索长度,改善了岩体的原始应力状态,确保了边坡的稳固。此外,分段注浆工艺和高性能的注浆材料确保了锚固体与周围岩土紧密结合,进而增强了锚固的可靠性^[5]。

综上所述,预应力锚索技术在治理高边坡时具有明显的优势,能够合理地利用和转化地质环境中潜在的不稳定因素,通过科学的设计方法与精确的施工执行,能够最大程度地保障人民群众的生命财产安全和工程项目的顺利实施。预应力锚索不仅仅是一种施工技术,更是高边坡治理领域里的一项创新成果,对促进地质灾害治理技术的进步和完善具有重要意义。

4 结语

(1)卡拉水电站枢纽区左岸边坡在倾倒卸荷作用下的应力状态和岩体稳定性经历了严峻的考验,而预应力锚索技术的应用为挑战性的地质治理工作提供了可行的解决方案。通过此次研究的深入分析评估,为如何控制锚索施工过程中的技术难点提供了新的视角和有效手段。精心选择锚索造孔设备与施工参数控制,为锚索准确锁定预

应力提供了严格的依据;而锚索孔注浆工作的细致执行则确保了预应力锚索的长期稳定运行,从而大大提高了边坡的安全系数。

(2)通过系统评估预应力锚索施工技术在高边坡治理中的作用与取得的效益,此次研究不仅增进了对预应力锚索施工技术细节的深度认识,亦对高边坡治理实践提供了有力的实证,其施工技术进步明显,操作简便性大幅度提升,锚索的制作和施工的成本效益比得到了合理优化,证明了预应力锚索技术在实际工程中的适用性、可靠性与经济性。同时,该项技术的应用成功地解决了依赖传统施工方法无法克服的地质难题,极大程度地促进了水电站的可持续发展。

(3)在探索预应力锚索施工技术的过程中,此次研究以更严格和规范的学术标准明确了方法论、数据分析和结果解释的规范性。综合利用了与研究相关的文献资料,表明了研究者对于学术理论与实际应用的全面理解。此次研究的区域性影响体现在其为当地水电工程开发和地质灾害预防提供了有利的指导和参考。

(4)卡拉水电站左岸边坡倾倒岩体的治理实践证实了,采用预应力锚索技术是提升复杂地质条件下边坡稳定性的有效手段,其施工技术的细节处理和完善执行不仅局限于理论研究层面,而是深入到每一个操作流程,最终确保了工程质量的提升与环境安全的保障。对于未来类似项目的开发,研究结果提供了宝贵的经验教训和技术指导。

参考文献:

- [1] 黄田. 水电站料场边坡支护中预应力锚杆施工技术[J]. 北方建筑, 2023, 8(6): 62-65.
- [2] 张刚, 王少华. 西藏金桥水电站厂房区边坡预应力锚索施工技术[J]. 大坝与安全, 2022, 17(2): 52-57.
- [3] 张伟, 王旭辉, 张刚, 等. 巴塘水电站强卸荷破碎岩体锚索施工技术[J]. 四川水力发电, 2021, 40(2): 92-96.
- [4] 潘林. 地震作用下顺层岩质边坡桩锚支护体系动力响应研究[D]. 重庆大学, 2021.
- [5] 刘海勃, 张子艳. 乌东德水电站左岸高边坡溶蚀区预应力锚索施工技术[J]. 西北水电, 2020, 24(4): 82-85.

作者简介:

王成(1991-),男,四川成都人,卡拉水电站大坝工区副总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
刘英(1974-),女,四川仁寿人,工程系列专业技术带头人,正高级工程师,从事建设工程项目施工技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)