

水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用分析

廖小梅

新疆塔建三五九建工有限责任公司, 新疆 阿拉尔 843300

[摘要]水利水电工程的边坡开挖支护是保证工程安全和施工进展的关键因素,在复杂的地形条件下进行高边坡施工存在着严重的地质情况复杂,爆破破坏力大,地下水渗透等问题,如果应对方式不当会很容易发生滑坡、垮塌等事故,在此背景下对水利水电工程边坡的开挖支护技术和存在的主要问题做了系统的探讨,同时从技术交底、质量检验、放样定位、钻孔装药准备以及挂网等工作流程来说明边坡开挖的工作前准备工作,在此基础上着重介绍了混凝土喷射法、浅层锚杆以及深层锚索三种支护方法的应用,希望可以给类似水利工程边坡的施工带来借鉴意义。

[关键词]水利水电工程;边坡开挖;锚杆支护;锚索支护;施工技术

DOI: 10.64635/ja.2026.1126

中图分类号: TV698.1

文献标识码: A

Application Analysis of Slope Excavation and Support Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

Liao Xiaomei

Xinjiang Tajian 359 Construction Engineering Co., Ltd., Alar, Xinjiang 843300, China

Abstract: Slope excavation and support in water conservancy and hydropower engineering are key factors in ensuring construction safety and project progress. Under complex terrain conditions, high-slope construction faces serious challenges such as complicated geological conditions, strong blasting impact, and groundwater seepage. Improper handling may easily lead to landslides, collapses, and other accidents. Against this background, this paper systematically discusses the excavation and support technologies for slopes in water conservancy and hydropower projects, as well as the major problems encountered in construction. It also explains the preparatory work before slope excavation from the perspectives of technical disclosure, quality inspection, setting-out and positioning, drilling and charging preparation, and mesh installation. On this basis, the paper focuses on the application of three support methods: shotcrete support, shallow anchor bolt support, and deep anchor cable support. The study aims to provide reference for the construction of similar slope works in water conservancy projects.

Keywords: water conservancy and hydropower engineering; slope excavation; anchor bolt support; anchor cable support; construction technology

引言

近几年来伴随着我国水利水电工程行业的快速发展,出现越来越多的坝高过百米、边坡高度高达200米以上的特大型水电站陆续开始建设,在水文中显示我国由于降雨水引起边坡滑移的次数远远超过了以前,边坡的安全问题已经成为水利工程进展面临的主要难题。边坡开挖支护是水利水电工程的重要组成部分,它与主体建筑物的安全密切相关,同时也关系着整个工程项目的运行安全。如果对地质勘查不够全面,采取的支护方案也不科学合理或者施工管理存在漏洞等问题都会引发边坡下滑或者滑落的情况。2023年12月在由中水五局承建的成都双流长城路改

造工程建设工地基坑边坡出现局部坍塌的情况导致3人死亡1人受伤,直接经济损失499余万元。后经调查分析认为该起事故的主要原因是该处基坑边坡开挖没有做到足够的放坡(实际放坡比只有约为1:0.35的设计放坡比至少应达到1:1.5)并且未进行有效的支护所致。因此探讨水利水电工程施工中边坡开挖支护的技术要点对提升工程质量、保障生产安全以及控制工程造价有着十分积极的作用及影响。

1 水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的重要性

边坡开挖支护对水利水电工程起到至关重要的作用,

在水利水电工程建设中有着非常重要的意义。第一,边坡支护是保证施工安全的基本要求。水利水电工程多位于山地峡谷,地势狭小,边坡高、坡度大,一些工程甚至高达200m以上;孟底沟水电站左岸缆机平台边坡的最大垂直高度达到112m左右,具备“高边坡、大倾角、施工难”的特点,在边坡支护措施没有做好之前,容易导致大面积滑坡、塌陷等事故的发生,不但会威胁到施工人员的生命安全,还会使已经完成的大坝以及已经安装好的设备被覆盖住,带来巨大的损失。第二,边坡加固直接影响主体结构的安全可靠性和工程质量,大坝坝肩、进水口、厂房后边坡等重要位置的边坡稳定与否对整个大坝的安全运行有着至关重要的影响。如果边坡加固不到位,经过长时间的变形量累计会超出设计要求的最大值,严重情况下会导致大坝出现裂缝渗漏的现象而产生无法恢复的损坏。第三,边坡加固水平的提升有利于缩短工期、节省成本,近年来行业内推广使用的“喷锚+支护同进”的施工方法就是在边坡前方进行开挖时使用高架钻机等进行支护,避免了中间停顿、搭建脚手架的工作环节,使开挖支护能够同时开展大大提高了工作效率。

2 边坡开挖支护作业面临的主要问题

水利工程水电工程边坡开挖支护存在的问题种类繁多,具体有以下几个方面。首先是地质情况恶劣。边坡岩石往往存在有断层、节理裂隙、软弱夹层等薄弱部位,它们互相切割而形成潜在滑体,再加上爆破震动作用及卸载效应等的影响,容易使得原有的地质隐患扩大化最终导致边坡失稳。其次是高陡边坡失稳严重。由于高边坡开挖后坡体内部应力重新调整,如果不及时支护,则会出现卸载回弹以及应力分散的现象极易造成边坡变形乃至边坡整体塌陷失稳,治理较为困难。最后是爆破振动对边坡的冲击无法彻底避免^[1]。高边坡开挖时要对爆破振动进行有效控制,防止爆破造成的塌陷,当前业内使用较多的是“预裂爆破+光面爆破”的综合工艺,但是爆破参数的选择依然是一个很大的问题。第四点是施工过程中的地下水位渗流以及天气状况的影响很大。降水入渗使岩体结构面间的抗剪力下降了,导致滑体重量加大,滑坡发生的概率明显增大,在水利水电工程中边坡大多处在水库区域,水势变化较为频繁,则对排水系统的规划及建设难度较大。

3 边坡开挖技术的前期工作

3.1 做好相关的技术交底

施工技术交底是边坡开挖施工前的重要准备工作之一,在技术交底中主要的任务就是把设计方案的设计理念

以及施工过程中应该要注意的一些事项传达给每一个工人身上,而技术交底的内容主要包括边坡开挖的划分区域和分台阶程度的方法、爆破参数的选择、支护方法以及施工顺序、观测点的位置等等,而对于技术交底的方式则是以书面形式为主,现场为辅的形式来进行的技术交底,即以书面的形式来向工人介绍施工工艺以及质量的要求,而在现场则通过具体的工程实例来让工人们更加清楚明白本工序的技术要点是什么,从而使得每一个工人都能清楚的理解自己的工作职责。经验告诉我们如果没有做好有效的技术交底那么就会有大的隐患潜伏其中,只有在技术交底中明确边坡开口线的位置、坡率大小以及防护措施等重要参数才能从根本上杜绝因为放坡不够而导致的安全事件的发生。

3.2 做好前期的管理、检测工作

健全的管理体制是保证边坡工程的质量关键所在。到现场之前要设立专门的边坡工程施工管理机构,落实各方责任分工及流程。管理工作主要集中在材料检查及施工过程把控两个方面,即锚杆锚索等支护材料要逐一进行力学性能测定,禁止不良材料进入工地;混凝土喷护时对钢筋、水泥等材料要做抽样送检。现场也要实行工序验收制,每一道工序完成后都要经过“自检、互检、专检”的环节才能进行下一个工序^[2]。并且要做好隐蔽工程影像资料存档,做好锚杆钻孔深度以及注浆饱满度,钢筋网片布置位置等细节记录,便于后期的质量追查。

3.3 做好相应的测量工作

放样定位是边坡开挖准确性的前提条件,在进行放样的之前要建立稳定可靠的平面和高程控制网并经常性的复核以保证基准可靠,在施工期间,每一级边坡开挖之前都要依据设计开口线在边坡上精确地标示开挖边线以及台阶位置,利用全站仪或者RTK仪器对钻孔的位置进行精确测设,其主要工作就是钻孔的准确性,在鲁山抽水蓄能电站边坡施工中为了保证钻孔位置的精准性采用了带有角度探测器式的潜孔钻机,要求每孔偏差不大于3cm,开挖完成之后边坡表面平整度偏差控制在5cm之内,成为同类工程项目的施工标准,在开挖完毕之后还要再次测设坡面的实际的位置如有超挖或者欠挖要及时进行补喷或者削坡处理。

3.4 做好前期爆破准备工作

爆破破碎是坚硬岩层边坡开挖的主要环节。准备包括方案设计、参数确定及现场实施各个环节中:首先是依据岩石情况合理选用爆破方法;其次,在正式爆破之前做试

验性爆破来校验孔深孔距、排距、装填系数、起爆时差等参数。现在行业内常用的“预裂爆破+光面爆破”复合工法：在拟开挖线之外布置一圈预裂炮孔，降低药量至一般爆破的三分之一左右使之产生松动带；主爆区域使用毫秒延期雷管阶梯式顺序起爆，单响药量限制为 50kg 以下，最大程度减少对保留岩体的影响。针对靠近重要建筑物的边坡，可以使用挖掘机开挖或者静态膨胀剂之类的非爆破手段彻底避免爆破扰动。

3.5 完善安全辅助钢筋网

钢筋网在边坡支护系统里有着十分重要的地位。钢筋网一般会配合着锚杆或者锚索一起出现，在喷射好的坡面上方进行铺设以此来提高整个系统的抗裂强度。钢筋网用料主要选择规格为 $\Phi 6 \sim \Phi 8$ mm 的圆钢或者是螺纹钢，网格大小多见有 $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ 或者 $250\text{mm} \times 250\text{mm}$ ，搭接段长大于等于 200mm。在施工过程中先对坡面做好锚杆的钻孔、预埋以及灌浆等工作之后再吧钢筋网片按既定的距离绑好固定到锚杆的尾部上，保证网子与坡面上的岩石相隔 20mm~30mm 的距离，让喷出来的混凝土能够牢固的包裹住钢筋网背面，达到钢筋和混凝土组成的整体受压的效果^[3]。针对岩体破碎、节理发育的边坡，可加大钢筋网格尺寸甚至设置两层网格的方法来增强坡面抵抗变形的能力及抵抗风化的程度。

4 边坡支护技术的有效应用方式

4.1 借助混凝土喷涂技术稳定边坡

混凝土喷涂（喷护）是边坡表面防护中最常用的一种加固方法，在整个边坡防护加固过程中，主要用于封闭坡面岩石，阻止风化剥落以及和钢筋网一起构成薄壳体系，增强整体稳定性作用。湿料喷射，先清理坡体，除掉松动石块及浮尘，绑扎好钢筋网，并在合适的地方开洞泄水；喷射是从底下向上层层喷射，每层喷射厚度为 50~80mm，上面一层喷射要等下面一层刚凝固之后再喷射，最终喷射厚度根据边坡情况定，一般情况下是 100~150mm。在西南地区某大规模抽水蓄能电厂高边坡工程施工过程中，技术人员利用高性能 C30 喷射混凝土作为主体支护措施实行系统化防护的同时创造性地将 56m 臂架泵车改造成为湿喷机，在极端复杂的地质环境之下有效解决了边坡开挖问题，并使整体混凝土支护效果完全符合设计标准，而且综合施工速度也大大高于以往的技术手段。

4.2 浅层部位锚杆支护技术的应用

锚杆支护是增强边坡表层土石体，防止表面位移的主

要方法之一，浅部锚杆一般长度在 3~8m 之间，排列方式为矩形或者梅花形网状，水平垂直距离约 1.5~2.5m 左右，钻孔直径一般选择 90~110mm 比较常见。施工工序如下：测放出点标定→打钻机钻孔→冲洗孔洞→制作并插入锚杆→灌注→加固段加工。*锚杆杆芯一般使用 HRB400 钢筋，直径 $\Phi 25 \sim 32$ mm，钢筋需先经除锈、除油之后才能放入孔内进行注浆，注浆材料为 P.O4 2.5 级普通硅酸盐水泥，浆液水灰比推荐值为 1:2，灌浆压力不得小于 0.5MPa，保证浆液可以完全充填到锚孔内并与孔壁很好的结合，进而把锚固力有效地传达到周围的岩体上；锚杆的倾角需要依据边坡结构面的发育情况来决定，一般取 $10^\circ \sim 20^\circ$ 的下倾角，让锚杆轴线尽可能垂直的大角度结构面，这样就可以取得最大的抗滑作用；在锚杆杆体安装时还要用对中支架将锚杆固定住锚孔中间，保证保护层厚度及锚固质量。值得注意的是，锚杆是在边坡防护中使用较为广泛的一种部件。其间隔距离以及锚杆的长度还有锚固角度等相关参数都会直接影响到整个边坡的稳定性安全系数。间隔距离过小虽然加强了加固程度，但是造成了不必要的过度加固以及资源浪费情况的发生；间隔距离过大可能会导致单个锚杆承受过多锚固力而导致锚杆出现损坏的情况发生，经过研究发现锚杆的位置离地基越近边坡的安全系数就越高，说明对于控制坡脚地区的表层位移问题是边坡稳定性分析的重点所在。

4.3 深层部位锚索支护技术的应用

对于边坡深层有潜在滑动面或者边坡较高情况下的短锚杆已经不能单独完成抗滑工作了，在这种情况下就需要采用锚索（深锚）方式给边坡做整体防护了，锚索的优点就是锚固深度比较大，而且强度也比较高，特别适合用来加固高边坡和深层滑动风险较大的地方，它的长度一般是在 15m~50m 之间，可以选择使用 7~19 根高强度低松弛度的钢绞线，其锚固力可以达到 600 千克~2000 千牛级别，它的打设工艺主要包括有：钻机大口径钻孔（孔径为 110~150mm）、钢绞线捆绑及防锈处理、孔内穿插锚索、全孔灌注浆体（或者是分次高压灌注）之后再行分级张拉锁定等一系列重要环节^[4]。注浆量及锚固段长度的选择直接影响到锚索的耐久性和使用寿命，为了保证深厚边坡的长期安全稳定，锚索一般配合坡面格构梁或者钢筋混凝土锚墩使用，从而构成了“锚固点+框架梁+坡面防护”三位一体的整体支护结构，在复杂的地质条件下锚索长度不够会造成坡体滑动失稳，某山岭区公路隧道边坡加固施工时，由于支护锚杆长度只有不到 4m 而且无排水设施、

喷层剥落率大于 30%，造成边坡不断变形失稳；之后工程师毅然决然地对它进行改良成为预应力锚索组合支护（锚索长度增加至 12~18m、锚固抗拔力设为 600kN），加上了格构梁—喷射砼组合保护（C25 混凝土厚度设置为 120mm、格构梁宽度尺寸定为 400mm×400mm）、以及动态排水措施（仰斜排水孔直径 Φ 110mm、截水沟坡度 3%），

使得边坡顶部位移速率降低到了 0.8mm/d、边坡稳定安全系数达到了 1.35，彻底解决了垮塌问题。由此可见，在边坡出现了严重的内部失稳征兆的情况下，仅仅依靠表面的锚杆加固已经不能缓解，必须要立即转换成预应力锚索再加上一个综合性的防护措施才能从根本上解决边坡长期变形的问题。

表 1 浅层锚杆与深层锚索支护技术性能对比

项目	浅层锚杆	深层锚索
锚固深度	3~8m	12~50m
杆体材料	HRB400 级钢筋（ Φ 25~32mm）	高强度低松弛钢绞线（7~19根）
锚固力	88~150kN	600~2000kN
孔径	90~110mm	110~150mm
受力方式	全长黏结，被动受力	分级张拉，主动施加预应力
适用场景	浅层松动体加固，控制表层岩土剥落滑移	深部滑动面锚固，抑制整体深层位移
主要作用	稳定坡面表层破碎岩体，抑制浅层变形	锚定深部稳定岩层，提供强大抗滑力
协同效果	作为“浅层急先锋”，快速响应表层变形控制	作为“深层定海针”，从根本上锚定边坡整体稳定性

5 结语

伴随着水利水电工程的发展对高陡边坡、复杂地表进行开拓开采力度加大，边坡开挖支护工程越来越艰巨。文章全面论述了边坡开挖支护的重要性和存在的问题，从技术交底、质量管理、放样测量、爆破准备及钢筋网铺设阐述了前期工作重点，并着重介绍了混凝土喷射、浅层锚杆、深层锚索三种支护方式的应用。结论认为：构建起“地质勘察准确、设计方案优、施工精细化、管理全覆盖”的全流程边坡支护系统才是保障边坡安全的长久之策。高边坡工程施工管理的重点是“预防为主、检测辅助”，把安全质量管理的工作重点提前到施工准备工作上来，在合理的设计爆破方案基础上进行科学准确的测量放线以及严格的原材检验并做好详细的技术交底从而尽量避免出现一些安全隐患的发生。以后边坡支护技术的发展趋势是智能化

监控、机械化施工以及生态型防护，值得我们不断探索学习。

【参考文献】

- [1]杨庆红.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].价值工程,2025,44(22):134-137.
- [2]陈保翠.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的有效应用[J].长江技术经济,2022,6(01):85-89.
- [3]陈瑞.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].珠江水运,2021(15):18-19.
- [4]宋铭明.水利水电工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].江西建材,2022(07):163-164+167.

作者简介：廖小梅（1985.10—），毕业院校：西华大学，所学专业：水利水电工程，当前就职单位名称：新疆塔建三五九建工有限责任公司，就职单位职务：资料员，职称级别：助理职称。