

水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用

姚广泽

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘要: 水利工程施工中, 边坡开挖支护技术至关重要, 它能有效防止边坡失稳、滑坡等安全问题, 保障施工安全和工程质量。该技术涉及喷锚、钢筋混凝土支护、土钉墙支护等多种方法, 适用于不同地质环境。通过科学设计和规范施工, 边坡开挖支护技术能增强边坡稳定性, 优化施工方案, 提高工作效率, 同时降低对周边环境的影响, 实现工程建设与环境保护的良好平衡, 推动水利工程现代化建设水平的提升。

关键词: 水利工程施工; 边坡开挖; 支护技术; 应用

引言: 水利工程作为国家基础设施建设的重要组成部分, 对于促进水资源合理利用、保障防洪安全、推动区域经济发展具有重要意义。在水利工程施工过程中, 边坡开挖是不可避免的环节, 而边坡的稳定性和安全性直接关系到整个工程的成败。因此, 边坡开挖支护技术的应用显得尤为重要。本文将深入探讨水利工程施工中边坡开挖支护技术的具体应用, 旨在为工程施工提供理论指导和实践参考, 确保工程质量和安全, 推动水利事业的可持续发展。

1 水利工程与边坡开挖支护技术概述

1.1 水利工程定义与分类

水利工程是为控制、利用和保护地表及地下的水资源与环境而修建的工程设施, 旨在实现防洪、灌溉、供水、发电、航运等综合效益。按功能可分为防洪工程(如堤防、水库)、水资源利用工程(如灌溉渠系、供水管道)、水力发电工程(如水电站厂房、水轮机装置)、航运工程(如船闸、航道整治)等; 按修建方式可分为坝工工程、河道工程、渠系工程等, 其建设需结合水文、地质、气候等自然条件, 确保工程安全与可持续性。

1.2 边坡开挖支护技术的概念及作用

边坡开挖支护技术是指在水利工程施工中, 对因开挖形成的边坡采取的一系列加固、防护和稳定控制措施的技术总和。其核心是通过人工干预, 改善边坡岩土体的力学性能, 调整边坡的应力分布状态。该技术的主要作用包括: 增强边坡的整体稳定性, 防止发生滑坡、坍塌等地质灾害, 保障施工人员和设备的安全; 为工程主体结构(如大坝坝基、隧洞进出口)提供稳固的基础条件, 确保工程长期安全运行; 减少边坡变形对周边建筑物、道路及生态环境的不利影响; 在一定程度上缩短施工周期, 降低工程维护成本。

1.3 边坡开挖支护技术在水利工程中的应用现状

目前, 该技术在水利工程施工中应用广泛且技术多样。在坝基开挖中, 常采用锚杆、锚索支护结合喷射混凝土面层, 增强边坡抗滑能力; 河道整治工程中, 格宾石笼、雷诺护垫等柔性支护技术因适应变形能力强而被普遍使用; 隧洞洞口边坡则多采用组合支护方式, 如超前管棚与锚杆格栅拱架联合支护。随着技术发展, 数值模拟、监测预警系统的融入, 使支护设计更精准, 动态调整更及时, 但复杂地质条件下的支护效率与成本控制仍是需持续优化的问题。

2 水利工程施工中边坡开挖技术分析

2.1 土层边坡开挖技术

(1) 自上而下的开挖方法: 适用于黏土层、砂土层等易失稳边坡, 按“分层开挖、即时支护”原则施工。从坡顶向坡底分层推进, 每层高度1.5-2.5米, 层间设置1-2米宽平台。开挖前需先清理坡顶杂物, 设置截水沟, 避免雨水渗入坡体。对软塑状土层, 每层开挖后4小时内完成临时支护, 防止边坡坍塌。(2) 削坡层厚度的控制: 根据土层承载力确定, 砂性土单次削坡厚度 ≤ 0.5 米, 黏性土可放宽至0.8米。采用水准仪实时监测坡率, 确保坡度符合1:1.5-1:2.0设计要求。削坡后需检查坡面平整度, 误差超过10厘米时进行二次修整, 避免局部应力集中引发滑坡。(3) 反铲挖掘机的使用: 选用斗容1.2-2.0立方米的反铲挖掘机, 作业时机身距坡顶线 ≥ 3 米。采用“沟端开挖+侧向卸料”方式, 挖斗旋转角度控制在 90° 以内, 减少机械能耗。对坡度 $> 30^\circ$ 的区域, 配合伸缩臂调整作业半径, 确保开挖面垂直误差 ≤ 5 厘米^[1]。

2.2 岩石边坡开挖技术

(1) 逐层爆破与台阶式分层爆破方法: 逐层爆破适用于完整性差的岩层, 每层爆破高度2-3米, 采用浅孔爆破(孔深2.5-3.5米); 台阶式爆破用于坚硬岩层, 台阶高

度5-8米,台阶宽度3-4米,利用深孔爆破(孔深6-9米)提高效率。两种方法均需预留0.5米保护层,避免基底岩体受损。(2)爆破点的设置与分层处理:爆破点按梅花形布置,孔距1.2-2.0米,排距1.0-1.5米。表层爆破采用小直径药卷($\phi 32\text{mm}$),底层选用 $\phi 45\text{mm}$ 药卷,单孔装药量随孔深递增。分层处理时,上层采用毫秒雷管分段起爆,下层延时50ms起爆,控制岩石块度 ≤ 50 厘米。

(3)岩层倾角对开挖方法的影响:倾角 $< 30^\circ$ 时,采用水平分层开挖,爆破方向垂直岩层走向; $30^\circ-60^\circ$ 时,沿倾向设置倾斜台阶,台阶面与岩层夹角 $\geq 15^\circ$; $> 60^\circ$ 时,采用竖向分层,优先爆破下部岩层,利用自重辅助破碎。

2.3 槽挖与钻探爆破技术

(1)槽挖方法的种类与选择:浅槽(< 3 米)用挖掘机直接开挖,适用于均质土层;深槽(3-10米)采用“先导孔+机械切削”,用于岩层或含大块石地层。软弱夹层区域选用窄槽(宽1-1.5米),增强抗滑效果;均质岩土体用宽槽(2-3米),提升施工效率。(2)钻探爆破技术的原理与操作:通过液压钻机钻孔(孔径50-90mm),利用炸药在孔内产生的冲击波破碎岩体。操作时先钻导向孔,确定岩层走向后调整钻孔角度,装药采用连续柱状装药,堵塞长度 \geq 孔深的1/3,确保爆破能量充分利用。

(3)钻爆施工技术在边坡开挖中的应用:边坡成型阶段采用光面爆破,周边孔间距0.5-0.8米,装药集中度250g/m,炮孔残留率 $\geq 85\%$ 。断层破碎带区域先钻预裂孔,形成隔离带后再进行主爆,减少对周边岩体的扰动,确保边坡平整度 ≤ 20 厘米^[2]。

3 水利工程施工中边坡支护技术分析

3.1 锚杆技术

(1)锚杆技术的作用与优势:通过将锚杆植入边坡岩土体深层,形成抗滑阻力体系,可有效约束坡体变形,提升整体稳定性。其优势在于适应性强,能应对各类地质条件;施工便捷,对周边环境扰动小;经济性好,可大幅降低支护成本,同时具备长期耐久性。(2)锚杆施工的流程与要点:流程为钻孔 \rightarrow 清孔 \rightarrow 锚杆安装 \rightarrow 注浆 \rightarrow 张拉锁定。钻孔需保证孔径、孔深误差不超过5%;清孔采用高压风冲洗,确保孔内无残渣;注浆用水泥浆,水灰比0.4-0.5,压力维持0.3MPa以上;张拉分三级进行,最终锁定力为设计值的1.1倍。(3)锚杆技术在边坡支护中的应用案例:某水库溢洪道边坡支护中,采用直径25mm的螺纹钢锚杆,长度8m,间距2m \times 2m,配合喷射混凝土使用。施工后边坡位移量控制在3mm内,成功解决了强风化岩层的滑坡隐患。

3.2 安全辅助钢筋网

(1)钢筋网的铺设与焊接要求:采用 $\phi 6-8\text{mm}$ 钢筋,网格尺寸200mm \times 200mm,搭接长度 $\geq 200\text{mm}$,搭接处满焊,焊点抗剪强度不低于钢筋屈服强度的80%。铺设时需与坡面密贴,起伏差 $\leq 50\text{mm}$ 。(2)钢筋网在边坡支护中的稳定性提升作用:可将局部岩土体荷载均匀传递至整体结构,阻止表层岩土剥落;增强喷射混凝土的抗裂性,减少温度应力导致的开裂;与锚杆协同形成立体受力体系,提升边坡表层抗剪能力。(3)钢筋网铺设的注意事项:铺设前需清除坡面浮土,对凹陷处用碎石找平;从坡顶向坡底逐段铺设,避免拉扯变形;与锚杆连接处需双重绑扎固定,防止滑移;雨雪天气需采取防护措施,避免钢筋锈蚀^[3]。

3.3 浅层支护技术

(1)排水孔的设置与功能:采用 $\phi 75\text{mm}$ PVC管,按2.5m \times 2.5m间距布置,倾角 12° ,深度4-6m,孔底设滤水层。可快速排出表层滞水,降低孔隙水压力,减少岩土体软化风险。(2)锚杆束与喷射混凝土的组合应用:3-5根锚杆组成锚杆束,提供集中锚固力;10-15cm厚喷射混凝土形成封闭面层,两者结合可抵抗浅层滑坡,适用于松散土层边坡。(3)浅层支护技术在边坡开挖中的实施步骤:先清理坡面并修整坡度;按设计钻设排水孔并安装滤水管;施工锚杆束后铺设钢筋网;分两层喷射混凝土(第一层5cm,初凝后喷第二层);养护7天,期间监测边坡位移^[4]。

4 水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用实例

4.1 工程概况与地质条件分析

某大型水利灌溉工程位于丘陵地区,主要建设内容包括总长3.2km的输水隧洞及配套节制闸,其中隧洞进口段需开挖形成高度45m、长度180m的岩质边坡。该区域地质勘察显示,边坡上部为第四系残坡积层,厚度3-8m,由粉质黏土与块石混合组成,结构松散;下部为侏罗系砂岩,岩层呈中厚层状,倾角 $25^\circ-30^\circ$,发育2组主要节理,节理面多充填泥质,抗剪强度较低。此外,边坡范围内存在一条走向与坡向近乎平行的断层,破碎带宽度1.2-2.5m,透水性强,雨季易形成管涌,天然状态下边坡稳定系数仅1.08,对工程施工安全构成严重威胁。

4.2 边坡开挖支护方案的设计与实施

4.2.1 开挖方法的选择与调整

针对上部松散覆盖层,采用分层分段开挖法,每层开挖高度2m,段长10m,配备液压反铲挖掘机进行开挖,同时利用装载机配合自卸车转运土石方,开挖过程中严格控制坡率为1:2.0,并预留30cm厚保护层待支护

前修整。下部岩质边坡采用“预裂爆破+台阶开挖”组合工艺，台阶高度设定为4m，平台宽度2.5m，预裂孔沿设计坡顶线布置，孔深10m，孔径90mm，间距0.6m，采用低爆速乳化炸药，确保预裂面平整度误差 $\leq 15\text{cm}$ 。施工至断层破碎带时，将开挖方式调整为机械破碎结合人工清理，避免爆破振动加剧岩体失稳。

4.2.2 支护技术的综合运用

实施“主动加固+被动防护”的复合支护策略。对于覆盖层边坡，采用长度8m的全长粘结型锚杆（间距 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ ），配合 $\phi 6\text{mm}$ 钢筋网（网格 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ ）及12cm厚C20喷射混凝土；岩质边坡设置15m长预应力锚索（张拉吨位300kN），间距 $3\text{m}\times 3\text{m}$ ，坡面铺设 $\phi 8\text{mm}$ 双层钢筋网，喷射15cm厚C25纤维混凝土。针对断层破碎带，增设一排长度20m的抗滑桩（截面 $1.5\text{m}\times 2.0\text{m}$ ），桩间距5m，同时在坡脚设置3m深截水沟，坡面按 $2\text{m}\times 2\text{m}$ 间距布置 $\phi 75\text{mm}$ 排水孔，孔深6m，倾角 12° ，有效降低孔隙水压力。

4.3 应用效果分析与评价

4.3.1 边坡稳定性的提升情况

通过布设全站仪和测斜仪进行实时监测，施工期间最大累计沉降量为15mm，水平位移9mm，均小于设计预警值（20mm）；竣工后6个月的监测数据显示，边坡稳定系数提升至1.42，节理岩体位移速率降至0.1mm/月以下，断层带周边未出现新的裂隙发育，整体稳定性得到显著改善。

4.3.2 施工安全与质量的保障措施

建立三级质量管控体系，锚杆抗拔力试验合格率100%，喷射混凝土试块抗压强度平均值达28MPa；安全管理方面，设置电子围栏与声光报警装置，爆破作业时严格控制单响药量（ $\leq 50\text{kg}$ ），振动速度监测最大值

1.2cm/s，未对周边构筑物造成影响。雨季施工期间，通过提前疏通排水系统，确保坡面无积水，有效规避了雨水诱发滑坡的风险。

4.3.3 经济效益与社会效益的分析

该支护方案较原设计节省工程造价120万元，缩短施工工期32天，减少因边坡失稳导致的返工成本约65万元。工程投用后，输水隧洞进口段边坡运营稳定，保障了灌溉系统年均供水能力达1.2亿立方米，惠及下游5个乡镇的12万亩农田，粮食年产量提升约15%，同时改善了区域防洪条件，间接带动沿线农业观光产业发展，年新增就业岗位300余个，社会经济效益显著。

结束语

综上所述，水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用是保证工程安全、稳定和高效进行的关键环节。通过合理选择和应用开挖与支护技术，我们能够显著提升边坡的稳定性，有效防范地质灾害，确保施工人员的生命安全，同时保障周边生态环境不受破坏。未来，随着技术的不断发展和创新，边坡开挖支护技术将更加智能化、精细化，为水利工程建设提供更加坚实的技术支撑。让我们携手共进，推动水利事业迈向更加辉煌的未来。

参考文献

- [1]黄耀坤.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].黑龙江水利科技,2023,51(04):140-141.
- [2]黄后银.水利水电工程施工中的边坡开挖支护技术分析[J].低碳世界,2022,12(11):76-78.
- [3]李春依,王莹.基于高边坡挖掘的水利水电工程施工风险评价[J].黑龙江水利科技,2022,50(09):188-190.
- [4]史冲,于彦博.浅谈水利工程边坡施工技术及其控制要点[J].治淮,2022,(09):69-70.