

水利水电施工过程中边坡开挖支护技术的应用探究

张 萌

(湖北浩川水利水电工程有限公司, 湖北 武汉 442000)

摘 要 在水利水电工程中, 边坡失稳、滑坡及坍塌等灾害频发, 直接威胁施工安全与工程长期运行。边坡开挖支护技术的科学应用, 涉及地质条件判识、开挖工艺控制、支护体系选型及全过程安全管理等多个环节, 还关系到工期、成本与生态环境保护的协调统一。本文深入探讨边坡开挖支护的技术概述、主要流程及应用要点, 系统梳理技术交底、测量放线、洞室竖井开挖及地质勘查、工艺规范、支护优选、安全管控等关键内容, 以期同类工程提供有益的参考, 以促进水利水电工程边坡施工质量与安全水平的整体提升。

关键词 水利水电施工; 边坡开挖; 支护技术

中图分类号: TV551.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.004

0 引言

随着水利工程的持续推进, 我国水利水电施工领域经过数十年的工程实践与技术沉淀, 已形成体系完备、经过大规模工程验证的成熟技术工法体系。其中, 边坡开挖支护技术是至关重要的一环, 它在水利水电施工中发挥着核心作用, 为工程的前期筹备与后期安全保障提供了强有力的支撑^[1]。该技术可结合现场具体地质条件, 匹配对应的支护措施, 有效提升边坡的稳定性与承载能力, 确保工程质量满足设计规范要求。因此, 深入探索水利水电施工过程中边坡开挖支护技术的标准化应用路径, 对防范边坡失稳风险、保障工程建设全周期安全具有重要的现实指导价值。

1 边坡开挖支护技术概述

边坡开挖支护技术是水利水电工程施工中的关键环节, 直接关系到工程边坡的稳定性、施工安全及后续建筑物的长期运行安全。在水利水电工程中, 边坡通常具有高度大、坡度陡、地质条件复杂等特点, 且常伴随裂隙发育、软弱夹层或地下水活动等不利因素, 若开挖后不及时进行有效支护, 极易引发边坡失稳、滑坡甚至坍塌等灾害^[2]。边坡开挖支护技术主要包括开挖与支护两大工序: 开挖根据岩土性质采用机械开挖、钻爆开挖或两者结合的方式, 按照设计坡比和台阶分层进行; 支护则紧随开挖作业, 依据地质条件和

边坡等级采取系统锚杆、预应力锚索、挂网喷射混凝土、格构梁、抗滑桩等单一或组合支护形式。开挖与支护需紧密衔接, 遵循“边开挖、边支护、逐层稳定”的原则, 确保边坡在施工期及运行期始终保持设计要求的稳定状态。边坡开挖支护技术的合理应用, 能够保障施工作业人员与设备的安全, 还可有效控制边坡变形、防止水土流失, 为水利水电工程的顺利实施奠定坚实的基础。

2 边坡开挖在水利水电工程施工中的主要流程

2.1 技术交底

技术交底是边坡开挖施工前的基础性管理环节, 其目的是使所有参与人员明确设计意图、技术标准、安全要求及质量控制要点。交底工作由项目技术负责人主持, 面向现场管理人员、班组长及关键岗位操作人员。交底内容涵盖边坡设计参数(坡比、台阶高度、马道宽度)、开挖顺序、爆破或机械开挖方式、支护跟进时机、排水系统布置以及应急预案。同时, 重点强调地质条件中的软弱夹层、断层破碎带等不良地质段的专项处理措施。交底过程中辅以图纸、三维模型或现场标识, 确保信息直观易懂^[3]。参加人员需签字确认, 形成书面交底记录。对于关键工序或特殊地层, 还需进行分阶段、分层次的二次交底, 确保技术指令逐级传递、理解无歧义, 为后续施工建立统一的技术行为准则。

作者简介: 张萌(1994-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电施工及工程管理。

2.2 测量放线

测量放线是边坡开挖的空间定位与几何控制环节,直接决定边坡轮廓线的准确性与开挖体的形态精度。施工前,依据设计图纸在实地布设平面与高程控制网,控制点设置在开挖影响区之外且稳固可靠的位置。采用全站仪或 GNSS 设备,按照设计坐标将边坡开口线、各级坡脚线、马道位置及排水沟中线精确放样到地面,并用木桩、钢钉或喷漆作出明显标记。对于高陡边坡,还需沿坡面每隔一定距离加密放样点,便于分层开挖时拉线控制坡比^[4]。在开挖过程中,随着台阶下降,每开挖一层即对新的坡脚线和马道边线进行复测放样,同时测量已开挖坡面的实际高程与坡比,与设计值比对后及时反馈给现场调整。所有放样及复核数据均记录归档,作为工程量计量和验收的依据。测量放线的精度直接决定了边坡成型质量及后续支护结构的安装条件。

2.3 洞室和竖井开挖

洞室和竖井开挖是水利水电工程边坡区域常见的配套或交叉作业内容,其施工流程需在边坡开挖形成的作业面上有序展开。开挖前,首先完成洞室口或竖井井口的锁口支护,设置截水沟和防护栏杆,防止地表水流入及坠落风险。洞室开挖一般采用钻爆法或机械破碎法,按照“短进尺、弱爆破、强支护”的原则进行。每循环进尺控制在合理范围内,爆破后立即进行通风排烟、找顶清危,随后按设计要求施作系统锚杆、挂网及喷射混凝土。竖井开挖可采用反井钻机导井法或全断面正井法,导井贯通后再进行扩挖。扩挖过程中从上部向下分层爆破,渣料通过导井溜至下部出渣通道运出。洞室与竖井相交部位需加强锁口支护,避免应力集中引发塌方^[5]。开挖过程中实时监测围岩变形与支护结构受力,发现异常时立即停工并采取补强措施。全部开挖完成后,进行断面尺寸验收和地质素描,为后续衬砌或锚固施工提供依据。

3 水利水电施工过程中边坡开挖支护技术的应用

3.1 做好前期地质勘查,科学制定施工方案

地质条件是边坡稳定性的决定性因素,前期勘查的深度与精度直接关系到开挖支护方案的针对性与可靠性。通过系统的地质测绘、钻探、物探及室内试验,查明边坡岩土体结构、软弱夹层分布、地下水赋存状态及可能的不利结构面组合,能为边坡分级、坡比确定、支护选型及施工顺序提供科学依据。

施工前成立专项地质勘察小组,收集区域地质资料并开展现场调查。在边坡设计范围内按网格布设勘探线,每条勘探线上布置若干钻孔,钻孔深度超过边坡底部设计高程以下不少于一个台阶高度。钻孔过程中进行全程取芯,岩芯摆放整齐并拍照记录,由地质工程师现场鉴定岩性、结构面产状及风化程度。对于疑似软弱夹层或断层破碎带,专门取出原状样送实验室测试抗剪强度、膨胀性及崩解特性。在钻探基础上,沿边坡走向布置多条探槽或探坑,揭露浅层地质结构,辅助判断优势节理组的倾向与倾角。地下水位观测与压水试验同步进行,查明含水层位置及渗透系数^[6]。所有勘察成果汇总后编制地质纵剖面图与横剖面图,标出各分区的地质分区界限及潜在滑移面。方案制定阶段,依据地质成果将边坡划分为若干稳定等级区段,分别设计坡比、马道宽度及支护强度。对于存在顺层结构面或断层交汇处的区段,单独编制加强支护方案,并在施工组织设计中明确开挖顺序与支护跟进的时间间隔。方案经专家评审通过后,方可进入现场实施。

3.2 规范边坡开挖工艺,保障施工整体质量

开挖工艺是边坡成型的直接手段,其规范性决定了坡面平整度、超欠挖控制程度及原始地层的扰动程度。规范开挖要求严格遵循自上而下、分层分段的原则,依据岩土类别合理选用机械开挖、控制爆破或静态破碎等方式,避免过度爆破或超挖造成坡面松动、裂隙扩展。同时,开挖与支护必须紧密衔接,严禁一次性挖至坡底再回头支护,以确保边坡在施工期始终处于可控稳定状态。

开挖作业严格按照设计坡比自上而下分层进行,每层高度根据机械能力和支护作业空间确定为合理数值。每层开挖前,测量人员将开口线、坡脚线及马道边线精确放样,并沿坡面每隔一定距离设置坡比控制桩,拉线作为挖机司机或钻爆人员的视觉参照。对于土质或强风化岩坡面,采用液压挖掘机直接分层削坡,每层开挖后人工配合修坡,清除浮石和松土,使坡面平整度满足验收标准。对于中硬以上岩质边坡,采用控制爆破技术。爆破前进行爆破试验,确定单位耗药量、孔距、排距及起爆方式,将爆破振动速度控制在安全允许范围内。每层爆破出渣后,立即组织人员对坡面进行检查,清除危石,对局部超挖部位用同级混凝土或浆砌石嵌补找平。开挖过程中同步完成坡顶截水沟和坡面排水孔施工,防止雨水冲刷。每完成两到三层台阶后,测量复测坡面实际轮廓线,与设计值比对,

超欠挖超过规范要求的部位及时返工处理,确保成型质量一次达标。

3.3 优选支护施工技术,强化边坡稳固性能

支护技术是维持边坡长期稳定的关键措施,其选型与施工质量直接决定边坡的抗滑能力与抗变形性能。优选支护技术需根据边坡高度、地质条件、稳定性计算结果及施工环境,综合比选锚杆、锚索、喷混凝土、格构梁、抗滑桩等单一或组合形式。支护施工应做到及时跟进、参数准确、锚固可靠、面层密实,使支护结构与岩土体协同受力,形成整体的抗滑体系^[7]。

根据地质勘察和稳定性分析结果,将边坡按区段分别设计支护方案。对于整体稳定性较好但存在浅层风化的边坡,采用系统锚杆配挂网喷射混凝土支护。锚杆按设计间距呈梅花形布置,钻孔采用锚杆钻机,孔径、孔深严格控制,钻孔完成后用高压风清孔,插入锚杆并注入水泥砂浆,注浆压力与浆液配比按照试验确定,保证锚固段饱满。挂网钢筋网片与锚杆端部焊接牢固,网片搭接宽度满足要求。喷射混凝土采用湿喷工艺,分层喷射至设计厚度,每层间隔时间以混凝土终凝为度,喷层表面平整无干斑。对于高陡边坡或存在深层潜在滑移面的区段,采用预应力锚索进行深层加固。锚索钻孔采用跟管钻进工艺防止塌孔,成孔后下入钢绞线束,锚固段注浆待凝后安装锚墩进行张拉,张拉力按分级加载、稳压持荷方式进行,锁定后封锚保护。对于坡脚或地质极差部位,增设抗滑桩或混凝土挡墙。抗滑桩施工采用人工挖孔或机械成孔,孔内钢筋笼整体吊装,混凝土连续浇筑振捣密实。所有支护工序均留存影像资料和检测报告,锚杆拉拔试验、锚索张拉记录、喷混凝土厚度及强度检测结果全部归档,确保支护质量可追溯。

3.4 落实全程安全管控,规避施工风险隐患

边坡开挖支护作业环境复杂、动态变化快,潜在风险包括高处坠落、坍塌、落石、爆破伤害及机械伤害等。全程安全管控要求建立覆盖施工前、施工中及应急响应的系统化安全管理体系,重点强化危险源辨识、过程监测预警、个人防护及应急演练。只有将安全管控嵌入每一道工序、每一个班次,才能有效规避风险隐患,保障作业人员生命安全和工程顺利进行。

施工前编制专项安全施工方案,经监理及业主审批后组织全员安全技术交底。在边坡顶部及作业区域外围设置硬质围挡和警示标志,严禁无关人员进入。每级台阶开挖完成后,沿坡顶边缘搭设高度不低于1.2

米的临时防护栏杆,并悬挂安全网。对于高边坡作业面,设置多条上下爬梯通道,通道两侧设扶手和防滑踏板,保证人员紧急撤离畅通。爆破作业严格执行火工品领用退库制度,爆破前对爆破警戒区进行全面清场,起爆前鸣笛三次确认无人后起爆,爆破后等待足够时间由爆破员进入检查处理哑炮。开挖与支护交叉作业时,设置隔离层或错开作业时段,防止落石伤人。现场配备专职安全员,每日开工前检查坡面有无裂缝、掉块及支护结构变形情况,发现异常立即停工并报告。在边坡关键部位安装位移监测点,使用全站仪或自动化监测系统定期测量地表位移和深层位移,数据实时上传,设置预警阈值,一旦超限自动报警并启动预案。雨季施工时加强排水系统检查,备足防汛物资,雨后复工前全面排查边坡稳定状态。定期组织高处坠落、塌方及爆破事故应急演练,储备急救药品和通信设备,确保突发事件时能快速响应。所有安全检查和监测记录形成台账,做到隐患不消除不作业、措施不落实不施工。

4 结束语

本文详细梳理了技术交底、测量放线、洞室及竖井开挖等主要流程,并从地质勘查、工艺规范、支护优选及全程安全管控四个维度提出了具体应用措施,形成了覆盖施工全过程的标准化操作框架,旨在有效降低边坡失稳风险,提高开挖成型质量与支护结构的可靠性,为保障水利水电工程边坡安全及顺利实施提供技术参考。

参考文献:

- [1] 徐贺,张尉,范永顺.水利水电施工过程中边坡开挖支护技术的运用[J].门窗,2024(02):220-222.
- [2] 杨德海.水利水电施工过程中边坡开挖支护技术的运用[J].数码设计(电子版),2023(09):314-316.
- [3] 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.
- [4] 谢丹.水利水电施工过程中边坡开挖支护技术施工技术研究[J].环球人文地理,2022(15):278-280.
- [5] 周辉.水利水电施工项目中的边坡开挖支护技术应用[J].大众科学,2026,47(04):171-173.
- [6] 逢建波.水利水电施工工程中运用边坡开挖支护技术对策探析[J].科技创新导报,2020,17(07):26-27.
- [7] 陈森,秦烨,王拓.水利水电施工工程中边坡开挖支护技术探析[J].建材与装饰,2017,13(35):294.