

水利工程边坡支护施工优化方案研究

冯铮 屈晓歌

DOI:10.32629/hwr.v10i7.7074

[摘要] 在水闸、泵站等水利枢纽工程建设过程中,基坑边坡与挡墙边坡的支护施工,是保障整体工程结构稳定的关键核心工序。水利边坡长期经受地下水渗透作用、河道水位周期性涨落、降雨径流冲刷等外界不利因素影响,极易出现土体软化、整体滑移及局部坍塌等病害问题,严重影响基坑施工安全,同时降低挡墙结构长期服役稳定性。现阶段,国内部分水利边坡支护工程普遍存在支护方案匹配度不足、施工工艺精细化程度低、各支护结构协同作业效果差、防水抗渗防护措施不完善等问题,易引发边坡变形超标、支护体系失效等各类工程隐患。本文以水闸及泵站基坑边坡、挡墙地基边坡为具体研究场景,系统梳理水利边坡常见失稳病害类型与施工难点,探究各类主流边坡支护技术的工况适配特征,从方案精准选型、施工工艺提质、施工工序管控、防水防渗处理、全过程动态监测五大维度,构建全方位的施工优化体系,完善水利边坡支护全流程质量管控机制。本次研究成果可有效提升临水工况下水利边坡支护结构的稳定性与耐久度,可为同类型水闸、泵站边坡支护施工提供可靠的技术参考与实践依据。

[关键词] 水利工程; 边坡支护; 水闸泵站; 基坑边坡; 施工优化

中图分类号: TV5 文献标识码: A

Research on Optimization Scheme for Slope Support Construction of Water Conservancy Projects

Zheng Feng Xiaoge Qu

[Abstract] The support construction of foundation pit slopes and retaining wall slopes is the key process to guarantee the overall structural stability during the construction of water conservancy hub projects including sluices and pump stations. Affected by long-term external adverse factors such as groundwater infiltration, periodic fluctuation of river water level and rainfall erosion, the slopes of water conservancy projects are prone to soil softening, sliding, collapse and other diseases, which seriously endangers the construction safety of foundation pits and reduces the long-term service stability of retaining wall structures. At present, many water conservancy slope support projects in China face common problems including inappropriate scheme selection, crude construction technology, poor coordination of support structures and imperfect waterproof and anti-seepage measures, which easily cause engineering hidden dangers such as excessive slope deformation and support system failure. Taking the foundation pit slopes and retaining wall foundation slopes of sluices and pump stations as the research objects, this paper systematically sorts out the common instability types and construction difficulties of water conservancy slopes, explores the working condition adaptation characteristics of various mainstream slope support technologies, and constructs a comprehensive construction optimization system from five aspects including accurate scheme selection, construction technology improvement, process management, waterproof and anti-seepage treatment and whole-process dynamic monitoring, so as to perfect the whole-process quality management mechanism of water conservancy slope support. The research results can effectively improve the stability and durability of water conservancy slope support under waterfront working conditions, and provide reliable technical reference and practical basis for the construction of similar slope support projects of sluices and pump stations.

[Key words] Water Conservancy Engineering; Slope Support; Sluice And Pump Station; Foundation Pit Slope; Construction Optimization

1 引言

水闸与泵站是水资源调度调控、防洪排涝、农田引水灌溉的核心水利基础设施,这类工程大多毗邻河湖水域建设,基坑及周边挡墙边坡的地质、水文条件极为复杂。边坡土体多由淤泥质软土、杂填土等软弱土层构成,具备天然含水率高、土体抗剪强度偏低、固结稳定性不足等特性。同时,施工开挖扰动、地下水持续渗流以及河道水位动态变化等叠加影响,极易诱发边坡滑移、坍塌、局部塌陷等安全事故,不仅会拖延施工进度、增加工程建设成本,还会对挡墙地基、泵站设备基础造成不可逆的结构损伤,直接威胁工程长期安全运行。

2 水闸泵站边坡常见失稳形式及施工痛点

2.1 边坡主要失稳形式

水闸泵站基坑与挡墙边坡属于典型的临水边坡,其失稳破坏规律与水文环境密切相关,主要分为四类破坏形式。第一,表层冲刷坍塌,降雨及河道水流的持续冲刷会剥离边坡表层松散土体,逐步形成冲刷沟槽与空洞,进而引发表层土体大面积坍塌。第二,浅层滑移失稳,地下水渗透会持续软化边坡浅层土体,大幅降低土体抗剪强度,在土体自重应力与施工外荷载的共同作用下,易出现整体或局部浅层滑坡问题。第三,支护结构变形失效,部分工程因支护方案选型不当、施工质量不达标,易出现锚杆松动、喷射混凝土层开裂、挡墙变形等问题,进一步诱发边坡二次失稳破坏。第四,渗透变形破坏,地下水长期渗流会持续带走土体细颗粒,导致边坡土体结构疏松、孔隙增大,引发管涌、流土等渗透病害,显著提升边坡失稳风险。

2.2 现有施工核心痛点

当前水利边坡支护施工存在诸多亟待解决的痛点问题。其一,支护方案选型针对性不足。多数施工单位未结合水闸泵站临水、软基、高渗水的特殊工况,盲目套用通用支护设计方案,对浅层软土边坡采用重型支护结构,造成工程资源浪费;对深基坑、高渗水边坡采用简易支护工艺,无法满足边坡稳定要求,遗留重大安全隐患。其二,施工工艺精细化水平较低,锚杆钻孔、注浆、混凝土喷射等关键工序施工规范性不足,普遍存在注浆不饱满、喷层厚度不均匀、锚固深度不达标等质量缺陷,大幅削弱支护结构的承载能力与整体稳定性。

与此同时,防水防渗施工与支护施工存在严重脱节问题。多数工程重点关注边坡土体加固支护作业,忽视地下水疏导与整体防渗处理,支护结构成型后,地下水会通过支护缝隙持续渗透,长期侵蚀土体与支护结构,大幅降低支护体系的服役耐久性。此外,施工全过程动态管控机制缺失,传统施工多采用完工后一次性检测模式,无法实时监测施工过程中边坡变形、渗流参数的动态变化,难以提前预判边坡失稳风险,无法实现隐患前置处置、动态管控。

3 水利工程主流边坡支护技术适配性分析

3.1 喷锚支护技术

喷锚支护是水闸、泵站中小型基坑边坡应用最广泛的轻型支护技术,该技术依托系统锚杆、双向钢筋网与高压喷射混凝土

层组合形成整体支护结构,通过各构件协同受力实现边坡加固防护。其核心优势在于施工流程简便、现场工况适配性强、作业效率高,无需大型施工设备,工程造价经济,适用于坡度平缓、地下水渗流量小、土体整体稳定性较好的常规水利基坑边坡。施工完成后,喷射混凝土层可快速封闭边坡裸露土体,隔绝降雨、地表水流对坡面的冲刷侵蚀,防止表层土体松散脱落,同时借助锚杆深层锚固作用,将浅层松动土体与深层稳定土体紧密结合,有效约束边坡浅层位移变形,显著提升浅表土层整体稳定性。但该支护结构整体刚度有限,抗渗止水、深层抗滑移性能较弱,针对临水高水位、地下水渗透剧烈、坡体陡峭、基坑开挖深度大的高危边坡,单一喷锚支护无法抵御水压力与土体侧压力的叠加作用,支护稳定性难以满足工程设计标准,易出现边坡变形、局部坍塌等安全隐患。

3.2 挡土墙支护技术

重力式与悬臂式挡土墙是水闸泵站挡墙边坡、基坑临边防护的经典刚性支护工艺,在中小型水利临水边坡工程中应用普遍。该类支护结构依靠自身自重与基底摩擦力平衡边坡土体侧压力,具备结构刚度大、整体性强、抗倾覆与抗滑移性能优异等特点,可有效约束土体位移、阻挡边坡坍塌,同时具备良好的隔水防渗、坡面防护效果,能够适配临水边坡、上部荷载大、坡面受力复杂的水利工况。从施工层面来看,挡土墙施工工艺标准化、成熟度高,现场施工可控性强,结构成型后耐久性好、后期运维便捷,无需频繁检修加固,工程服役周期较长。但该技术存在明显工况局限性,挡土墙自重荷载大,对基底地基承载力要求严苛,而水闸泵站边坡多为淤泥质软土、杂填土等软弱地基,天然承载力不足、土体压缩性高,若直接开展挡土墙施工而未提前进行地基加固处理,极易引发地基不均匀沉降、墙体倾斜、结构开裂等质量病害,严重影响边坡支护整体稳定性与工程运行安全。

3.3 土钉墙支护技术

土钉墙支护属于原位土体加固型支护技术,通过在边坡土体中密集布设土钉杆件,搭配坡面喷射混凝土面层,使土钉、面层与原位土体形成协同受力的复合支护体系,充分发挥土体自身承载能力,实现边坡自主稳固。该支护技术施工灵活便捷、场地占用面积小、对周边土体扰动程度低,浅层土体加固效果突出,尤其适配水闸泵站工程常见的软土、杂填土、素填土等软弱土层浅基坑边坡,可有效控制边坡浅层收缩、沉降与滑移变形,是水利浅基坑边坡的核心支护工艺。相较于刚性支护技术,土钉墙支护工程造价更低、施工周期更短,具备显著的经济优势。但该技术存在防水排水、抗渗能力不足的短板,水闸泵站边坡毗邻河湖水域,地下水位动态波动频繁,土体长期处于饱和含水状态,水分持续浸润会大幅降低土体抗剪强度,弱化土钉与土体的握裹力,极易引发土钉锚固失效、坡面开裂、土体滑移等问题,在高渗水、高湿度的复杂临水工况下,单一土钉墙支护的服役稳定性无法得到有效保障。

4 水利工程边坡支护施工优化方案

4.1 精准适配工况, 优化支护方案选型

摒弃传统模板化、同质化的支护方案选型模式, 结合水闸泵站边坡的地质条件、基坑开挖深度、水文状况、荷载等级, 开展差异化、精准化的方案选型设计。针对浅层、低渗水、坡度平缓的常规基坑边坡, 优先采用土钉墙结合喷锚的联合支护方案, 兼顾工程经济性与施工高效性; 针对临水挡墙边坡、中等荷载作用边坡, 选用重力式挡土墙支护形式, 同步优化墙体基础结构, 适配软土地基承载特性; 针对深基坑、高陡坡面、强渗水的高危边坡, 采用抗滑桩搭配挂网喷锚的组合支护体系, 强化边坡抗滑移与整体抗渗能力。通过差异化工况选型, 杜绝支护结构冗余浪费或支护强度不足的问题, 实现工程安全与经济效益的双向平衡。

4.2 细化施工工艺, 提升支护成型质量

针对各施工工序的质量短板开展工艺优化, 统一规范标准化施工流程。锚杆、土钉施工阶段, 精准把控钻孔孔径、深度、倾斜角度, 钻孔作业完成后及时清理孔内杂物, 避免杂质残留影响锚固稳定性; 全程采用压力注浆工艺, 严格把控浆液水灰比等核心参数, 保障注浆饱满密实, 杜绝空洞、松散等质量缺陷。混凝土喷射采用分层施工方式, 严格控制单次喷射厚度与坡面平整度, 单次喷射厚度控制在50-80mm, 确保喷层与坡面粘结牢固、整体连续性良好。挡土墙施工优化分层浇筑、分层振捣施工工艺, 合理布设沉降缝与止水带, 有效规避墙体开裂、渗漏等质量问题, 全方位提升支护结构施工成型质量。

4.3 支护与防渗协同施工, 阻断渗水隐患

结合水闸泵站边坡高渗水、高湿度的工况特点, 构建“支护+排水+防渗”一体化施工体系, 弥补传统施工重支护、轻防渗的技术短板。施工前期在边坡顶部布设截水沟, 彻底阻断地表雨水汇入基坑内部; 边坡施工过程中合理布设泄水孔、排水盲沟, 及时导出边坡内部滞留地下水, 降低土体含水率与渗透压力, 从源头减少土体软化、滑移风险。支护结构成型后, 在边坡表层涂刷专用防渗涂层, 对支护拼接缝隙、墙体接缝位置进行密封防渗处理, 形成闭环式整体防渗体系, 彻底解决地下水渗透引发的边坡失稳、支护结构老化破损问题, 有效提升支护结构长期服役耐久性。

4.4 优化施工工序, 规避施工扰动风险

科学统筹规划施工工序, 严格遵循“先排水、后开挖、分层挖、分层支”的核心施工原则, 严禁超挖、陡挖等违规施工操作。基坑边坡开挖采用分层、分段的施工方式, 严格管控单次开挖深度, 坚持“开挖一段、支护一段”的施工节奏, 缩短边坡裸露时

长, 减少土体受水浸泡、自然风化的扰动时间。合理规划雨季、汛期开展大规模边坡施工作业, 若因工程进度需要必须雨季施工, 需提前搭建防雨防护设施, 完善场地排水体系, 雨后第一时间排查边坡变形、渗水隐患, 隐患整改验收合格后方可恢复施工, 保障施工全过程边坡结构稳定。

5 结论

水闸泵站基坑及挡墙边坡水文地质条件复杂多变, 边坡失稳风险突出, 支护施工质量直接决定水利工程施工安全与长期服役寿命。传统边坡支护施工模式存在方案工况适配性差、施工工艺粗放、防渗防护薄弱、全过程管控滞后等诸多缺陷, 无法满足临水边坡的高标准稳定支护需求。本文结合水利工程实际施工工况, 系统梳理边坡典型失稳病害形式与施工难点, 对比分析各类主流支护技术的适配场景与优劣特性, 从方案精准选型、工艺精细化升级、支护防渗协同管控、施工工序优化、全周期动态监测五个维度, 构建系统化的施工优化方案。通过工况适配化选型、精细化工艺施工、支护防渗一体化管控、全过程动态监测, 可有效解决临水边坡滑移、渗漏、支护失效等行业难题, 大幅提升边坡支护施工质量与结构耐久性。本次研究成果可为水闸泵站类水利工程边坡支护施工提供实操性极强的技术参考, 助力水利工程施工质量与安全管控水平稳步提升。

【参考文献】

- [1]梁靖, 裴向军, 罗路广. 水电站高边坡变形监测及稳定性分析[J]. 水利水电技术, 2021, 52(4): 180-185.
- [2]张建军, 李鹏飞. 水闸基坑边坡挡墙防渗加固施工技术研究[J]. 人民珠江, 2024, 45(2): 98-103.
- [3]吴志强. 水利工程基坑边坡稳定性控制与支护施工技术[J]. 中国水运, 2023(11): 132-134.
- [4]赵鑫. 临水基坑边坡失稳成因及支护优化技术研究[J]. 地下水, 2023, 48(6): 215-217.
- [5]王景涛. 水利工程边坡支护施工质量管控要点[J]. 水利技术监督, 2023, 31(4): 189-192.
- [6]周建峰. 水利工程边坡防渗支护一体化施工技术[J]. 水利科技与经济, 2024, 30(3): 76-79.

作者简介:

冯铮(1993—), 男, 汉族, 湖北广水人, 硕士, 水利中级(中级工程师), 研究方向: 水工结构(地基基础工程)。

屈晓歌(1996—), 女, 汉族, 湖北宜昌人, 本科, 中级工程师。研究方向: 水工结构。