

水电站枢纽边坡开挖工程水土保持管理措施研究

彭越洋

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 陕西 西安 710000

摘 要: 水土保持管理的核心难题在于如何将技术措施的有效性转化为全过程的系统性管控能力。本文在系统分析水电站边坡开挖水土流失机理与影响因素的基础上,从工程措施、植物措施和临时措施三个维度构建了技术措施体系,围绕组织保障、过程管控、监测评估和应急管理四个环节设计了水土保持管理机制,针对当前管理薄弱环节从体系完善、过程管控、监理监测和生态恢复四个方面提出了优化对策。研究表明,构建“技术措施+管理机制”双轮驱动的防控体系,是实现边坡开挖区水土流失系统化、规范化管控的关键路径。

关键词: 水电站枢纽; 边坡开挖; 水土保持; 管理措施

引言: 水电站枢纽工程边坡开挖是坝肩、洞脸和道路建设中的关键工序,其施工形成大量裸露高陡边坡和松散弃渣堆积体,在降雨和地表径流作用下水土流失强度远超自然状态,严重时诱发滑坡、泥石流等次生灾害,直接威胁工程安全与下游生态环境。随着国家对水土保持和生态文明建设的要求日益严格,水电站边坡开挖工程的水土保持管理已成为项目环保验收的刚性约束。本文从边坡开挖水土流失机理出发,系统梳理技术措施体系与管理机制,探索优化管理对策,以期为提升水电站边坡开挖工程水土保持管理水平提供参考。

1 水电站边坡开挖工程水土流失特征与影响因素

1.1 边坡开挖工程的特点与水土流失机理

水电站边坡开挖具有开挖强度大、裸露面积广、扰动时间长等特点,是水土流失最集中的环节。开挖彻底破坏地表植被和土壤结构,形成高陡裸露坡面和松散堆积体,抗蚀性急剧下降。水土流失涵盖水力、重力和风力侵蚀的综合作用——降雨击溅和坡面径流构成水力侵蚀,高陡边坡在自重和渗流下发生崩塌、滑坡等重力侵蚀,旱季大风造成风蚀。其特殊性在于:边坡坡度大、临空面高,径流冲刷能力强;弃渣堆积体松散、孔隙率高,抗蚀性极差;施工期长达数年,植被恢复窗口有限,流失总量远超一般工程。

1.2 水土流失的主要影响因素

边坡开挖区水土流失受自然、工程和管理因素综合影响。自然因素中,地形坡度决定径流流速和冲刷能量;降雨是直接驱动力,暴雨单次侵蚀量占全年绝大部分;土壤质地决定抗蚀性,砂质土渗透好但结构松散;植被覆盖度直接影响地表保护。工程因素方面,

开挖方式决定扰动强度;开挖面积和裸露时长影响流失总量;弃渣量与堆存方式决定潜在流失源;边坡防护及时性制约流失过程。管理因素涉及水保方案科学性、施工时序合理性和设施维护水平,三者共同决定水土流失实际强度^[1]。

1.3 水土流失的主要类型

边坡开挖区水土流失主要有面蚀、沟蚀、重力侵蚀和弃渣流失四种形态。面蚀是降雨击溅和薄层径流对坡面的均匀剥蚀,开挖初期最为普遍,范围广、持续时间长。沟蚀是径流集中冲刷形成的线状侵蚀,切沟、冲沟形成后成为泥沙输移主要通道,溯源侵蚀加速坡面失稳。重力侵蚀表现为高陡边坡的崩塌、滑坡和剥落,突发性强、破坏力大。弃渣流失是水电工程特有的大规模流失类型——松散渣体在降雨和径流冲刷下大量外输,若未及时拦挡碾压,流失量惊人,是下游河道淤积的主要来源。

2 水电站枢纽边坡开挖工程水土保持措施体系

2.1 工程措施

工程措施是边坡开挖水土保持的主体手段,涵盖拦挡工程、排水系统、边坡防护和弃渣场整治四大类。拦挡工程方面,挡渣墙和拦渣坝是控制弃渣流失的核心设施,须根据渣量、地形和地质条件确定结构型式和断面尺寸,墙身设排水孔释放墙后积水,基础埋深满足抗滑和抗倾覆要求。排水系统方面,截水沟布置于开挖边坡顶部拦截坡面来水,排水沟沿马道和施工道路布设疏导径流,跌水与消能设施消减水流能量,施工期临时排水须与永久排水系统合理衔接。边坡防护方面,混凝土喷护适用于岩质边坡快速封闭,格构护坡与锚固结合用于

不稳定边坡加固,干砌石和浆砌石护坡用于坡脚防护。弃渣场整治要求先挡后弃、分级堆放、分层碾压,堆满后及时进行坡面整治和植被恢复。

2.2 植物措施

植物措施是边坡水土保持的长期治本之策,物种选择须坚持乡土植物优先、抗旱抗贫瘠、快速覆盖等原则——草本选择根系发达、生长迅速的品种,灌木和乔木选择耐旱耐瘠的乡土树种。不同边坡类型采用差异化方案:岩质边坡以客土喷播或植被混凝土技术为主;土质边坡直接撒播草种加栽植灌木;混合边坡采用植生袋或生态格宾挡墙。草灌乔立体配置形成多层拦截体系——草本快速覆盖地表减少溅蚀,灌木根系固持浅层土体,乔木深根锚固深层。实施后须建立养护管理机制,包括浇水、补植、病虫害防治和追肥,确保三年养护期后植被群落稳定,发挥长期水土保持功能^[2]。

2.3 临时措施

临时措施重点解决主体工程与水土保持建设之间的时间差问题。临时苫盖采用防尘网或彩条布覆盖裸露面和临时堆土,减少降雨击溅和风蚀,雨前重点苫盖坡面和堆渣,雨后及时收起重复利用。临时排水与沉沙在永久排水系统未建成前布设土质排水沟和沉沙池,疏导汇水、拦截泥沙,沉沙池定期清淤。临时拦挡采用编织袋装土或草袋堆砌,用于坡脚和临时堆土场围护。表土剥离要求在开挖前将表土集中剥离并单独堆存,表面撒播草籽或苫盖养护,施工结束后用于绿化覆土。施工道路洒水降尘既控制扬尘又减少风蚀,是施工期日常水土保持管理的基本措施。

3 边坡开挖工程水土保持管理机制

3.1 水土保持管理组织体系

健全的组织体系是水土保持管理有效运转的基础保障。建设单位须设立水土保持管理部门或专职管理岗位,统筹协调设计、施工、监理各方水土保持工作,明确各层级水土保持管理职责——建设单位负责水土保持方案审批落实和总体协调,施工单位承担现场水土保持措施的具体实施,水土保持监理单位负责过程监督和质量控制,监测单位承担水土流失动态监测和数据报送。施工承包商应配备专职水土保持管理人员,负责施工区日常水土保持巡查和措施落实。建立各参建单位之间的水土保持联席会议制度,定期召开会议协调解决水土保持问题。将水土保持管理责任纳入各级岗位职责和合同条款,形成建设单位统一领导、施工单位具体落实、监理单位过程监督、监测单位独立评估的四方协同管理格局,确保水土保持管理责任层层压实、不

留盲区。

3.2 水土保持过程管理

全过程管理是将水土保持要求嵌入施工各环节的关键机制。施工前阶段,须编制水土保持实施方案并报批,开展水土保持设计交底确保施工方理解设计要求,对施工承包商的水保资质和过往业绩进行审查。施工中阶段,严格执行水土保持设施与主体工程“同时设计、同时施工、同时投产使用”的“三同时”制度,将水土保持措施纳入施工进度计划同步推进;实施施工期水土流失动态监测,定期采集监测数据;开展水土保持设施质量检查与工序验收,上一道工序水土保持措施未达标不得进入下一道工序;水土保持工程变更须按程序报批,严禁擅自取消或削弱水土保持措施。施工后阶段,编制水土保持设施验收报告,组织专项验收;验收通过后明确管护责任主体,办理管护移交手续;建立水土保持设施运行维护台账,定期检查设施完好性,及时修复损坏设施。

3.3 水土保持监测与评估

水土保持监测是掌握流失状况、评估防治效果和指导动态调整的核心手段。监测内容涵盖水土流失量、植被覆盖度、拦渣率、扰动土地整治率和土壤流失控制比等关键指标。监测方法采取地面观测、调查监测与遥感监测相结合——地面观测通过布设径流小区、简易坡面量测点获取准确实测数据;调查监测通过现场巡查和样方调查评估植被恢复和工程完好情况;遥感监测利用无人机航拍和卫星影像掌握大范围扰动变化。监测点位应覆盖开挖边坡、弃渣场、施工道路等不同类型扰动区,代表性测点按规范布设。监测频次实行汛期加密、非汛期常规的分时段策略,暴雨后须加测^[3]。监测成果须定期编制监测报告,发现数据异常或水土流失超预警值时及时反馈施工方和管理层,支撑水土保持措施的动态调整和优化。

3.4 水土保持应急管理

应急管理是水土保持管理体系的兜底防线,针对汛期极端降雨可能引发的水土流失灾害风险。汛前须编制水土保持应急专项预案,明确应急组织体系、预警响应流程和抢险处置措施,储备必要的应急物资(编织袋、彩条布、应急排水管等)。汛期建立24小时水土保持值班制度,值班人员密切关注天气预报和上游降雨情况,暴雨预警发布后立即进入戒备状态。极端暴雨条件下的临时防护措施包括:暴雨前对裸露坡面和临时堆土进行应急苫盖,对排水沟和沉沙池进行紧急清淤疏浚,对存在失稳风险的弃渣场坡脚进行临时压脚加固。弃渣场滑坡与

泥石流风险预警须设置位移监测点和巡查制度,发现异常立即启动人员撤离和应急抢险程序。每次应急响应后须进行复盘总结,评估应急措施有效性并修订完善应急预案。

4 水土保持管理优化对策

4.1 完善水土保持管理体系

完善管理体系是提升水保管理水平的首要任务。建设单位应建立水土保持管理委员会或专职机构,制定《水土保持管理办法》,明确各参建单位的职责分工、工作流程和考核标准。将水土保持指标纳入施工合同,在合同中明确扰动土地整治率、水土流失总治理度、拦渣率、土壤流失控制比、林草植被恢复率等量化指标及违约责任。推行水土保持网格化管理,将开挖区、弃渣场、施工道路等划分为若干管理网格,每个网格指定责任人,实现管理无死角。建立水保管理考核评估机制,定期对各施工标段水保工作评分排序,考核结果与工程款支付和信用评价挂钩。同时建立水保管理台账和信息报送制度,确保水保管理工作有据可查、过程可溯。

4.2 强化施工全过程水保管控

全过程管控的核心是将水保措施深度融入施工组织的每个环节。施工前须由水保专工对施工管理人员和班组长进行专项设计交底和技术培训,使其充分理解水保设施的功能要求和施工标准。施工中将水保措施纳入施工进度计划,与主体工程同步安排、同步推进,杜绝“先破坏后补救”的粗放模式。推行“开挖一级、防护一级、绿化一级”的阶梯式施工模式,每级边坡开挖完成后立即跟进截排水沟施工和坡面防护,减少裸露时间。加强土石方调运管理,开挖料优先用于场地回填和筑路,减少临时堆存和二次转运,确需临时堆存的须在指定地点集中堆放并采取防护措施。施工过程中定期开展水保自查自纠,发现水保设施损坏或缺失立即修复^[4]。

4.3 提升监理与监测实效性

监理与监测是水保管理质量的两道重要防线,须切实提升其实效性。水保监理方面,项目须配备专职水保监理工程师,制定水保监理实施细则和检查清单,将水保设施质量、施工过程水保行为、监测数据真实性等纳入监理范围;对隐蔽性水保工程(如挡墙基础、排水管理设)实行旁站监理并留存影像资料。监测方面,优化监测点位布设方案,确保测点覆盖各类扰动类型和不同空间位置;引入自动化监测设备(如自动雨量计、泥沙自动采样器)提高数据采集精度和频次;建立监测预警

—信息反馈—措施调整的联动机制——监测数据经分析后形成预警信息,预警信息触发相应的水保措施调整指令,确保监测成果真正服务于管理决策,避免“测而不用、监而不控”的形式主义。

4.4 提高植物措施成活率与生态恢复效果

植物措施成活率是当前水保管理的突出短板,须从物种选择、基盘改良、施工质量和后期管护四方面综合施策。物种选择上,坚持“适地适树”原则,充分调查项目区原生植被群落,优先选用乡土乔灌草种,避免引入外来物种造成生态风险。种植基盘改良方面,对贫瘠边坡进行客土覆盖,掺入保水剂、有机肥和微生物菌剂改善土壤条件。施工质量方面,规范栽植季节和工序安排——雨季来临前完成栽植,种植穴规格、株行距、覆土厚度严格执行设计标准。后期管护方面,建立种植后管护责任制,明确养护责任人和养护期限(一般不少于三年),养护期内定期浇水、追肥、补植和病虫害防治,建立养护档案记录每次养护内容。对连续补植仍无法成活的困难地段,组织专家分析原因并调整技术方案,确保植被恢复达标。

结束语

水电站枢纽边坡开挖工程水土保持管理是工程建设与生态保护协同推进的关键领域,直接关系到工程区生态环境质量与下游河道安全。本文在系统分析边坡开挖水土流失机理与影响因素的基础上,从工程措施、植物措施和临时措施三个维度构建了技术措施体系,围绕组织保障、过程管控、监测评估和应急管理设计了水土保持管理机制,并从体系完善、全过程管控、监理监测提升和植物措施优化四个方面提出了管理对策。随着“空天地”一体化监测技术和生态修复新材料的推广应用,水电站边坡开挖工程的水土保持管理将向更智能、更高效的方向持续演进。

参考文献

- [1] 罗承昌. 基于 FLAC3D 与 Slide 的银江水电站边坡开挖支护优化研究 [J]. 水利水电快报, 2025, 46(z2): 41-45.
- [2] 孙鹏昌, 杨招伟, 卢文波, 等. 白鹤滩水电站坝肩边坡开挖爆破振动概率分布研究 [J]. 工程科学与技术, 2024, 56(3): 179-188.
- [3] 陈曦, 喻文振, 彭春林, 等. 旭龙水电站石料场高陡边坡分级开挖模拟 [J]. 水利水电快报, 2024, 45(5): 66-71.
- [4] 谢斌, 万邦圆, 王赛, 等. 复杂地质条件下巴沙水电站高陡岩质边坡开挖与支护技术 [J]. 吉林水利, 2025(10): 63-67, 84.