

水利工程高边坡施工加固技术与风险管控

马青惠

新疆维吾尔自治区金沟河流域水利管理中心 新疆维吾尔自治区 塔城地区 832100

摘要：水利工程高边坡施工中，前期需做好场地清理、设备调试与材料管控。常用加固技术涵盖锚杆、锚索、喷射混凝土等多种技术，施工流程要规范有序。风险管控包括风险识别、管控措施与应急处置。施工加固与风险管控需协同配合，后期保障要做好维护技术与管控体系维护。通过全面系统的施工加固与风险管控措施，保障水利工程高边坡施工安全与质量，推动水利工程稳定建设与发展。

关键词：水利工程；高边坡施工；加固技术；风险管控；后期保障

引言：在水利工程领域，高边坡施工是关键且具挑战性的环节。其地质条件复杂，施工过程受多种因素影响，易出现边坡失稳等风险，不仅威胁施工安全，还影响工程整体质量与进度。因此，水利工程高边坡施工中，科学合理的加固技术是保障边坡稳定的基础，全面有效的风险管控是确保施工安全的关键。二者相辅相成，共同作用于高边坡施工全过程，对水利工程的顺利推进与长期稳定运行意义重大。

1 水利工程高边坡施工加固技术

1.1 边坡加固施工前期准备

施工场地清理需全面清除坡体表面危石、浮土及杂物，梳理坡面植被与障碍物，修整坡面平整度以满足施工基准要求，同时清理施工区域内影响作业的各类障碍物，为后续施工创造安全有序的作业环境^[1]。施工设备调试与布置需结合加固技术类型及现场地质条件，选用适配的钻孔、喷射、吊装等设备，设备进场后逐一对运行参数进行调试，排查部件损耗与运行隐患，再根据施工流程合理规划设备布置位置，保障设备作业效率与施工衔接顺畅。施工材料准备与管控需严格按照相关规范要求选用材料，锚杆、锚索、混凝土骨料等核心材料进场后按批次抽样检验，合格后方可投入使用，存储过程中做好防潮、防腐蚀处理，建立材料领用与管控机制，确保材料性能符合施工标准。

1.2 常用加固技术施工要点

锚杆加固技术施工需精准放线确定孔位，选用适配钻头与钻进工艺控制孔径和孔深，钻孔完成后及时用高压风或清水清孔，清除孔内岩粉与积水，锚杆安装需保证居中定位，注浆过程中控制浆液配比与压力，确保浆液填充饱满。锚索加固技术施工需按设计长度裁剪钢绞线，钻孔后进行清孔处理，钢绞线安装后实施注浆作业，注浆完成且浆液达到设计强度后进行分级张拉，张拉后

采用夹片锁定锚具。喷射混凝土加固技术施工需提前清理坡面，配置符合强度要求的混凝土混合料，控制喷射压力与喷射角度，分初喷与复喷完成作业，确保喷射层厚度均匀、密实。抗滑桩加固技术施工需按设计尺寸开挖桩孔，做好孔壁护壁防护，绑扎钢筋笼并精准安装，浇筑混凝土时控制浇筑速度与振捣质量，保障桩体完整性。格构加固技术施工需按设计尺寸放线开挖格构沟槽，绑扎钢筋并浇筑混凝土，确保格构节点连接牢固，成型后及时进行养护。排水加固技术施工需合理布设排水孔与排水系统，选用耐腐蚀性排水管材，确保排水通道畅通，有效排出坡体内部积水，降低坡体含水量。

1.3 加固施工流程规范

施工顺序安排需结合坡体地质条件与加固技术特性，遵循自上而下、分层分段的原则规划作业顺序，优先完成坡面清理与前期准备工作，再依次开展钻孔、安装、注浆等核心工序，最后进行养护与后续处理。各工序衔接需提前明确衔接节点与技术要求，上一道工序完成后需进行质量检查，合格后方可进入下一道工序，避免工序脱节导致施工质量隐患。施工过程中的技术控制要点需贯穿施工全过程，严格控制钻孔垂直度、孔径与孔深，精准把控浆液配比与注浆压力，规范控制张拉参数与喷射厚度，加强对施工各环节的技术管控，确保施工操作符合相关规范与设计要求。

2 水利工程高边坡施工风险管控

2.1 施工风险识别

边坡失稳相关风险主要源于坡体地质条件差异、开挖扰动及地下水作用，易引发边坡坍塌、滑坡等隐患，需结合坡体岩土性质、坡度及开挖深度精准识别^[2]。施工设备相关风险涵盖设备故障、安装偏差及操作不当等情形，设备长期高负荷作业易出现部件磨损、运行异常，设备布置不合理或操作失误可能引发安全事故。施工人

员相关风险集中在操作不规范、安全意识薄弱及专业技能不足，违规操作易导致施工质量缺陷，技能欠缺则难以应对复杂施工场景下的各类风险。环境因素相关风险包括暴雨、暴雨引发的山洪、强风、高温等恶劣天气，以及施工区域周边水文地质条件变化，此类因素易干扰施工进度，加剧坡体失稳隐患。

2.2 风险管控措施

边坡施工过程中的实时管控需依托专业监测设备，对坡体位移、沉降及应力变化进行持续监测，及时捕捉异常数据并调整施工节奏，优化开挖与加固工序，防范坡体失稳风险。施工设备的日常管控需建立常态化检查与维护机制，定期对设备运行状态进行排查，及时更换损耗部件，规范设备操作流程，明确操作权限，确保设备始终处于良好运行状态。施工人员的管控需开展专业技能培训与安全警示教育，提升人员操作规范性与安全防范意识，建立岗位责任制，明确各岗位工作职责，加强施工过程中的现场监管，杜绝违规操作行为。环境因

素的防控管控需提前研判施工区域气象及水文地质变化趋势，针对恶劣天气制定专项防控方案，合理安排施工工期，完善排水系统，防范环境因素对施工安全及质量造成的不利影响。

2.3 风险应急处置

应急处置流程需遵循快速响应、科学处置的原则，明确各环节责任分工，发生风险隐患后立即启动处置流程，停止相关施工作业，组织人员撤离至安全区域，同时开展隐患排查与应急处置。应急物资准备需结合可能发生的风险类型，储备足够的应急救援设备、防护用品及抢险材料，定期对物资进行检查、维护与补充，确保应急状态下能够快速调用。应急响应机制需划分应急响应等级，根据风险隐患的严重程度启动对应等级的响应措施，建立多方联动机制，加强与相关部门的沟通协作，确保应急处置工作高效有序推进，最大限度降低风险造成的损失。应急响应等级按隐患严重程度进行分级，具体划分标准与响应措施见表1。

表1

应急响应等级	风险隐患严重程度	响应措施
一级	发生重大边坡坍塌、滑坡事故，造成多人伤亡和重大财产损失	立即启动最高级别应急响应，组织专业救援队伍进行抢险救援，同时向上级主管部门和相关政府部门报告，协调各方资源进行支援
二级	出现较大边坡失稳迹象，可能引发事故，但尚未造成人员伤亡和重大财产损失	启动二级应急响应，加强现场监测和管控，组织技术人员进行评估和分析，采取相应的加固和防范措施
三级	存在一般性边坡安全隐患，对施工安全有一定影响	启动三级应急响应，安排专人进行现场巡查和监控，及时处理发现的问题，确保施工安全

3 施工加固与风险管控的协同配合

3.1 加固技术选择与风险管控的适配性

加固技术选择需紧密结合施工区域地质条件、边坡形态及潜在风险特征，实现与风险管控要求的精准适配。不同加固技术的适用场景存在显著差异，技术选型过程中需充分考量各类风险的发生概率与影响范围，避免技术选择与管控需求脱节导致管控失效^[3]。加固技术的工艺特性、施工难度及作业周期，均需与风险管控的流程设计、资源配置形成呼应，通过技术参数与管控标准的协同优化，构建科学合理的施工管控体系。技术选型需依托工程地质勘察数据与边坡工程理论，确保所选技术既能满足边坡加固的结构安全需求，又能为风险管控提供可行的实施路径，实现技术应用与风险防控的有机融合。

3.2 施工过程中加固与管控的同步推进

施工加固作业与风险管控工作需贯穿施工全流程，依托流程衔接实现有序推进。加固施工各工序开展前，需完成对应环节的风险排查工作，结合排查结果优化加

固施工方案，避免施工过程中因风险隐患未及时处置引发安全问题。加固作业实施过程中，需同步开展风险动态监测，根据监测数据调整加固工艺参数，确保加固效果符合设计要求的同时，及时化解施工过程中出现的各类风险隐患。管控工作需融入加固施工的各个环节，通过作业流程的规范化管控，引导加固施工严格按照技术标准推进，通过风险隐患的实时处置，为加固施工提供安全保障。两者的推进需依托统一的施工管理机制，实现工序衔接顺畅、数据互通共享，保障施工过程的安全性与稳定性。

3.3 后期维护中的加固与管控衔接

后期维护阶段，加固结构的稳定性保障与风险管控工作需形成有效衔接，依托常态化维护实现长期安全管控。加固结构的后期维护需遵循边坡工程维护技术规范，定期开展结构状态检测，及时发现加固构件的损伤、老化等问题并进行针对性处理，维持加固结构的承载能力。风险管控需延续至后期维护全流程，结合加固结构的维

护数据,动态更新风险管控重点,针对维护过程中发现的潜在风险,制定针对性的防控措施。维护作业的开展需与风险管控要求紧密结合,维护方案的制定需充分考量各类风险因素,维护过程中需严格落实管控措施,避免维护作业引发新的风险隐患。通过加固维护与风险管控的紧密衔接,构建长效安全保障机制,确保边坡工程长期处于安全稳定状态。

4 水利工程高边坡施工加固与风险管控的后期保障

4.1 后期维护技术要求

4.1.1 加固结构的日常巡检

加固结构的日常巡检需严格遵循《水利水电工程边坡工程施工规范》相关要求,结合高边坡岩土性质、运行年限及周边环境工况,合理制定差异化巡检周期,重点围绕锚杆、锚索、喷射混凝土层、格构结构及排水系统等核心加固部件实施全面排查^[4]。巡检工作需注重精细化操作,逐点排查加固结构表面是否存在开裂、松动、锈蚀或破损等异常现象,重点核查排水管道通畅程度,及时清理管道内杂物、排查渗漏隐患,避免地下水积聚加剧坡体失稳。巡检需规范留存完整记录,清晰标注巡检时段、具体部位及发现的各类问题,为后续维护作业提供精准数据支撑,及时捕捉加固结构早期运行异常,提前采取干预措施防范隐患升级,保障加固结构持续发挥稳定防护作用。

4.1.2 维护作业的流程规范

维护作业的流程规范需结合加固结构实际类型、运行状态及维护需求科学制定,作业前需完成现场全方位勘察,明确维护重点、技术参数及安全管控要求,针对性编制专项维护方案。维护作业需严格按照方案分步推进,先清理作业区域内杂物及潜在安全隐患,选用与原有加固结构性能匹配的维护设备和材料,确保维护材料各项指标符合水利工程相关规范标准。维护过程中精准把控作业力度与操作精度,合理规避对原有加固结构造成二次损伤,作业完成后对维护部位进行全面核查,确认维护质量达到设计要求,同步完善维护档案记录,实现维护作业全流程的规范化、标准化管控,保障维护效果的稳定性。

4.2 管控体系的长效维护

4.2.1 管控流程的优化完善

管控流程的优化完善需立足后期维护实际工作,结合日常巡检、维护作业中发现问题,系统梳理现有管控流程存在的短板与不足,结合高边坡运行规律、地质

条件动态变化及风险演变趋势,逐步调整优化管控环节。优化后的管控流程需清晰界定各环节操作标准、责任主体及衔接节点,精简冗余操作步骤,提升管控工作效率,同时融入最新水利工程运维技术与规范要求,强化风险监测、隐患排查、应急处置等关键环节的管控力度,构建管控流程动态优化机制,确保管控流程始终适配后期保障工作的实际需求。

4.2.2 管控责任的落实细化

管控责任的落实细化需建立健全分级分层管控责任体系,清晰划分各级岗位在后期管控工作中的工作职责与覆盖范围,将管控责任层层分解至具体岗位、具体人员,做到权责清晰、分工明确、层层落实。完善管控责任考核机制,将管控工作质量、隐患处置时效与考核结果直接挂钩,强化相关人员的责任意识,杜绝责任悬空、推诿扯皮等问题出现^[5]。定期组织管控人员开展专业技能与责任意识培训,结合水利工程运维最新规范要求更新知识储备,提升人员业务能力与履职水平,确保各项管控措施落地落细,实现管控责任全覆盖、无死角,保障后期管控工作有序高效推进,为高边坡长期安全稳定运行筑牢保障。

结束语

水利工程高边坡施工加固与风险管控是一项系统性工程,涉及施工前准备、加固技术实施、风险识别与管控以及后期保障等多个方面。从前期精心筹备到施工过程严格把控,再到后期持续维护,每个环节都紧密相连、缺一不可。只有将施工加固与风险管控深度融合,协同推进,并不断完善后期保障措施,才能切实保障高边坡施工安全,提升工程质量,为水利工程的稳定运行和可持续发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]王奋发.高边坡水利工程施工安全防控技术研究[J].水上安全,2026(4):178-180.
- [2]代屯龙.水利工程施工中边坡开挖技术的应用研究[J].云南水力发电,2024,40(z2):68-70.
- [3]刘明.中山市水利工程堤围加固施工技术分析[J].河南水利与南水北调,2021,50(2):34-35.
- [4]姚红霞.水利工程施工中高边坡开挖与支护技术的应用[J].建材发展导向(下),2022,20(10):160-162.
- [5]汪立政.水利水电工程建设中的高边坡加固施工技术[J].中国高新科技,2021(18):79-80.