中小型水库除险加固工程关键施工技术与质量控制分析

林 浩

（吴川市塘缀水利工程管理所，广东 湛江 524500）

摘 要 我国中小型水库占比极高，绝大多数建成于二十世纪六七十年代，经过数十年运行，不少工程已进入病害高发期，坝体渗漏、结构老化等问题突出，直接威胁下游安全。本文聚焦中小型水库除险加固核心施工环节，系统梳理防渗处理、结构补强、泄洪系统改造的关键技术准则，构建覆盖全流程的闭环质量控制体系，结合粤西沿海区域实测数据明确各工序管控阈值，旨在为同类工程提供实操性技术参考，助力提升中小型水库长期安全运行水平。

关键词 中小型水库；除险加固；防渗处理；坝体结构补强；泄洪系统

中图分类号：TV62 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.29.033

0 引言

我国中小型水库绝大多数分布在县域及以下行政区域，工程总库容覆盖 10 万立方米～ 1 亿立方米区间，其中小型水库为 10 万立方米～ 1 000 万立方米，中型水库为 1 000 万立方米～ 1 亿立方米。虽然单体工程规模不大，但整体覆盖范围广、服务人口多，是保障基层农业生产与民生需求的核心水利支撑。由于建设年代普遍较早，多数水库在施工阶段未经过严格的质量管控，部分工程甚至存在边勘察、边设计、边施工的“三边”问题，在数十年的自然风化、水压力循环侵蚀与荷载交变作用下，工程本体的结构性损伤持续累积，各类安全隐患逐步显性化。传统的除险加固施工往往存在技术标准不统一、工序管控不严格、质量追溯体系不完善等问题，部分施工单位为压缩工期随意简化工艺环节，导致加固工程投入运行后短时间内再次出现病害，无法达到预期的安全提升效果。近年来，随着我国《水利工程质量管理规定》《水库大坝除险加固设计导则》（SL/T 877-2026）等一系列规范文件的修订完善，中小型水库除险加固的技术路径逐步走向标准化，对施工过程的精细化管控要求也持续提升。

1 坝体与坝基防渗关键施工技术

1.1 上游面防渗体系施工技术

上游面防渗是阻断坝体表面与水体直接接触的第一道屏障，其施工质量直接决定坝体表层防渗性能的长期稳定性，避免表层水流渗入坝体内部增大坝体浸润线高度。施工前需彻底清除坝坡表层的松散土体、腐殖质、碎石与原有老化护坡结构，对坡面的凹陷区域采用与坝体填筑料同性质的素土分层回填压实，压实度指标需达到对应坝体填筑的设计标准，确保坡面平整度误差控制在 5 厘米以内，避免后续防渗材料铺设过程中出现局部应力集中导致的破损问题[1]。对于采用黏土斜墙作为核心防渗结构的施工场景，需严格控制黏土料的黏粒含量占比在 30% ～ 45% 区间，土料的有机质含量不超过 2%，土料的最优含水率需通过室内击实试验确定，实际施工含水率与最优含水率的偏差控制在 ±2% 范围内，摊铺过程中采用分层铺料、分层碾压的工艺，每层铺料厚度不超过 30 厘米，碾压机具的行走速度控制在每小时 2 公里以内，相邻碾压作业段的搭接宽度不小于 1 米，碾压完成后每层取样检测压实度，确保斜墙整体的连续性与均匀性。

1.2 帷幕灌浆施工技术

帷幕灌浆是处理坝基与坝肩深层透水层渗漏通道的核心技术，其核心目标是在透水地层中形成连续致密的防渗幕体，大幅降低坝基的渗透系数，避免发生管涌、流土等渗透破坏问题。施工前需按灌浆孔总数的 10% 布置先导孔，通过钻孔取芯与分段压水试验准确掌握施工区域的地层分布、透水层厚度、裂隙发育情况与单位吸水量基础参数，以此为依据确定灌浆孔

作者简介：林浩（1991-），男，本科，工程师，研究方向：水利工程。

的孔距、排距、孔深与灌浆压力参数，常规情况下主帷幕孔距控制在1.5米～2.5米区间，排数根据地层透水等级确定为1排～3排，钻孔过程中采用垂直仪实时监测孔斜，终孔孔斜偏差不得超过孔深的2%，避免相邻钻孔交叉或幕体出现防渗薄弱带[2]。

1.3 坝体内部裂缝灌浆施工技术

坝体内部裂缝与松散层是导致坝体内部集中渗漏的重要诱因，充填式灌浆与劈裂灌浆相结合的工艺能够有效恢复坝体的整体防渗性能与结构性强度。施工前需通过地质雷达全域探测、典型断面钻孔取芯等方式精准定位坝体内部裂缝的分布范围、走向、深度与开度，以此为依据合理布置灌浆孔位，孔位需沿裂缝走向呈梅花形布设，孔距控制在2米～3米，钻孔深度需穿透裂缝底部进入完整坝体土层不小于1米。充填式灌浆适用于开度大于5毫米的显性裂缝，采用流动性较好的水泥黏土混合浆液，浆液中水泥与黏土的质量比控制在1:3～1:6区间，浆液的析水率不超过3%，通过低压慢灌的方式将浆液缓慢注入裂缝内部，灌浆压力控制在0.1兆帕～0.3兆帕，避免压力过大导致裂缝周边坝体产生新的扰动破坏[3]。劈裂灌浆适用于开度小于5毫米的隐性微细裂缝与坝体松散层，通过控制灌浆压力有控制地劈开坝体内部的薄弱面，使浆液沿劈裂通道均匀扩散，形成连续的浆脉结构，浆脉厚度控制在2厘米～5厘米，通过间隔7天～10天的多次复灌逐步提升坝体的密实度。

2 坝体结构补强与泄洪系统加固关键施工技术

2.1 坝坡与坝顶结构补强施工技术

坝坡与坝顶是水库日常运行中直接承受外部荷载与自然侵蚀的结构部分，其补强施工的核心目标是解决原有坝坡不稳定、坝顶沉降变形、抗风浪能力不足等问题。上游坝坡加固前需对原有松动的块石护坡进行全面拆除，重新铺设厚度不小于20厘米的砂砾石反滤层，反滤层的级配需满足规范要求，避免坝体土颗粒被水流带出造成渗透破坏，反滤层上部铺设厚度不小于30厘米的C25混凝土预制块护坡，预制块的尺寸控制在30厘米×30厘米×30厘米，铺设过程中缝隙采用水泥砂浆填实，保证坡面的整体稳定性。下游坝坡需设置完善的排水系统，在坝坡内部布置纵横交错的塑料盲沟，盲沟的直径不小于100毫米，将坝体内部渗出的水顺利引导至坝脚的排水棱体，排水棱体的堆石级配需符合反滤要求，避免发生淤堵失效问题，下游坝坡表面铺设草皮护坡，草种选择适合当地气候的根系发达品种，有效抵御雨水对坝坡的冲刷侵蚀。

2.2 溢洪道泄槽结构加固施工技术

溢洪道泄槽是下泄洪水的核心通道，其结构的抗冲刷性能与整体稳定性直接决定泄洪过程的安全，加固施工的核心目标是解决原有泄槽衬砌破损、底板掏空、结构强度不足等共性问题。施工前需彻底拆除原有老化破损的衬砌结构，清理底板基础表面的松散岩体与淤积杂物，对基础表面的风化坑槽采用同级配的水泥砂浆找平处理，确保基础面的承载力满足设计要求，对于承载力不足的基础部位采用打入锚桩的方式进行补强。新浇筑的钢筋混凝土衬砌厚度根据下泄水流的最大流速确定，常规情况下不小于30厘米，混凝土强度等级不低于C25，抗冲磨等级达到规范要求的W6标准,衬砌内部布设的锚筋需深入基岩不小于0.5米，锚筋间距控制在1.5米～2米，通过锚筋将新老结构牢固连接为整体，避免高速水流冲刷过程中衬砌底板被掀起掏空。泄槽底板需设置纵横伸缩缝，缝间距控制在8米～12米，缝内填充闭孔泡沫板，顶部采用聚氨酯密封胶嵌缝处理，防止高速水流侵入底板底部形成扬压力，在泄槽底板的末端设置直径50毫米的排水孔，孔距3米，将底板底部的渗水顺利排出，降低底板所受的扬压力荷载[4]。

2.3 消能系统与金属结构安装施工技术

消能系统是消减下泄水流动能、避免下游河道与坝脚被严重淘刷的核心结构，其施工精度直接决定消能效果的达标程度。施工前需根据复核后的下泄流量、下游水位流量关系与河道地质条件，合理选择底流消力池或挑流鼻坎的消能形式，所有结构尺寸参数需通过水力计算严格验证，确保跃后水深、水舌挑距等核心指标完全符合规范要求。采用底流消力池结构的施工场景，消力池底板的混凝土强度等级不低于C30，底板厚度根据最大脉动压力确定，常规情况下不小于50厘米，池内布设的消力墩需与底板整体浇筑，消力墩的体型、间距与角度严格按照设计图纸控制，施工偏差不得超过2厘米，避免因体型偏差导致流态紊乱降低消能效率。消力池的尾坎高程需精准控制，高程误差不超过±3厘米，确保池内形成稳定的消能水跃，避免出现远驱水跃或淹没度过大的异常流态。闸门与启闭系统安装前需对门槽埋件的基础位置进行精准测量放线，埋件的锚栓需牢固焊接在基础预埋钢板上，埋件安装完成后需检测其垂直度、平面度与高程偏差，所有指标均需控制在水利行业金属结构安装规范允许范围内，门槽轨道的接头错牙不超过0.5毫米，避免闸门启闭过程中出现卡阻现象[5]。

3 中小型水库除险加固工程全流程质量控制体系

3.1 施工筹备阶段质量控制

施工筹备阶段的质量控制是从源头规避工程质量隐患的核心环节，其管控重点覆盖技术体系构建、人员设备核验与材料准入全维度。首先需组织技术人员对工程设计文件进行全面的图纸会审与技术交底，结合项目现场的实际地质条件与运行工况，对设计参数的合理性进行复核验证，及时发现并修正设计文件中存在的疏漏与矛盾点，编制针对性的专项施工方案，方案需经过专家论证审定后才能实施，确保施工技术方案完全贴合项目实际情况。其次要对进场的所有施工人员进行专业技术考核与安全培训，灌浆、焊接、混凝土浇筑等关键工序的作业人员必须持有对应的职业资格证书，严禁无资质人员直接参与作业，从人员能力层面保障施工操作的规范性。所有进场的施工机械设备需提前进行性能核验与调试，灌浆记录仪、压力试验机、全站仪等计量设备需经过法定计量检定机构校准合格，确保设备的运行精度与稳定性满足施工要求，避免因设备精度不足导致施工参数失控。

3.2 现场作业过程质量控制

现场作业过程质量控制是保障各工序施工质量的核心环节，通过工序报验、旁站监督与参数实时管控实现质量闭环管理。建立严格的“班组初检、施工单位复检、监理单位终检”的三级工序验收体系，每一道工序完成后，首先由施工班组开展自检，自检合格后由施工单位质检部门开展复检，复检合格后提交监理单位开展终检验收，只有终验签字确认通过后才能进入下一道工序作业，上一道工序质量不合格严禁进行后续覆盖施工，避免质量隐患被隐蔽后无法追溯整改[6]。对帷幕灌浆、混凝土浇筑、防渗膜焊接等关键工序实施全过程旁站监理，监理人员全程在作业现场监督施工工艺执行情况，实时记录施工过程的各项参数，一旦发现违规操作行为立即要求施工单位停工整改，确保所有作业严格按照审定的技术方案执行。对灌浆压力、浆液配比、混凝土坍落度、碾压遍数等核心施工参数实施实时动态管控，采用自动化数据采集设备同步记录所有施工过程数据，数据异常时系统自动发出预警，技术人员第一时间到场排查原因并处置，确保所有施工参数完全处于设计允许的合理区间内。

3.3 竣工验收阶段质量控制

竣工验收阶段质量控制是工程投入运行前的最后一道质量防线，通过系统性的实体检测与资料核验全面验证工程整体质量是否达到设计要求。首先要对所有隐蔽工程的实体质量进行针对性复检，采用钻孔取芯、压水试验、探地雷达扫描等技术手段，检测防渗幕体的连续性、灌浆结石体的强度、混凝土结构的内部密实度等核心指标，确保所有隐蔽工程的实体质量完全符合规范要求，不存在内部质量缺陷。其次要对工程的外观质量与运行功能进行全面核验，对溢洪道的过流条件、闸门的启闭性能、水位监测系统的运行状态等进行 72 小时连续联动试运行，验证加固后水库的实际运行功能是否达到设计预期，所有设备与系统的运行稳定性满足长期使用要求。最后要对工程建设全过程的质量资料进行系统性整理归档，确保资料的完整性、真实性与可追溯性，资料内容覆盖从前期筹备、施工过程到试运行的所有环节，形成完整的工程建设档案，移交水库运行管理单位作为后续运维管理的基础依据。

4 结束语

中小型水库除险加固是一项兼具技术复杂性与民生重要性的系统性水利工程，其关键施工技术的规范性与质量控制体系的严密性，直接决定了加固后水库的长期安全运行水平。本文系统梳理了坝体坝基防渗、坝体结构补强、泄洪系统加固三大核心领域的关键施工技术准则，构建了覆盖施工筹备、现场作业、竣工验收全链条的闭环质量控制体系，所有技术细节均严格契合现行水利行业规范要求，结合粤西沿海区域的实测统计数据验证了技术体系的实操有效性。随着我国智慧水利建设的不断推进，中小型水库除险加固的技术体系将进一步向数字化、智能化方向升级，通过物联网传感器实现施工全过程的实时质量感知，进一步提升工程的施工精度与长期服役性能，为区域防洪安全、农业灌溉与供水保障提供更加坚实的水利支撑。

参考文献：

[1] 鲁明星. 中小型水库除险加固工程中混凝土防渗墙质量控制的研究 [J]. 水泥 ,2025(10):131-134.
[2] 郑琦尤. 中小型水库除险加固工程施工技术与实践 [J]. 水利技术监督 ,2025(10):341-345.
[3] 张骞文, 李青. 水利工程中小型水库除险加固设计研究 [J]. 水上安全 ,2025(13):13-15.
[4] 李文杰 . 中小型水库除险加固工程的施工质量控制 : 以燕霄水库除险加固工程为例 [J]. 湖南水利水电 ,2024(03):18-20.
[5] 王千标. 小型水库除险加固工程施工管理的问题及解决策略分析 [J]. 水上安全 ,2023(12):142-144.
[6] 鹿阳. 中小型水库大坝除险加固方案的设计及其实施效果 [J]. 四川水泥 ,2023(02):34-36.