

小型水库设计中除险加固技术要点与应用研究

曹丹

昆明龙慧工程设计咨询有限公司，云南省昆明市，650000；

摘要：小型水库属于我国水利基础设施体系的有机组成部分，对于保障农业灌溉用水、局部区域防洪调度和局部生态环境平衡有着不可替代的作用。但由于早期建设标准低、施工技术水平不高和长期运行导致的自然老化，大量的小型水库都存在各种安全隐患。本文主要研究小型水库典型病害的表现形式及产生原因，在论述除险加固工程设计阶段的关键技术环节时，主要是坝体防渗体系的构建、整体稳定性提高策略、泄洪设施的升级改造等。结合具体的工程实例来分析各种加固技术的适用范围和现场施工方案，以期给小型水库安全运行与综合效能的提高提供理论依据和实践指导。

关键词：小型水库；病险治理；防渗加固；结构稳定；泄洪能力

DOI：10.69979/3060-8767.26.01.049

随着我国水利事业的快速发展，小型水库的运行安全问题也日益突出。据相关调查数据显示，在全国范围内，存在安全隐患的小型水库占绝大多数，其中以渗漏、坝坡失稳、泄洪能力不足居多。这些病害不但影响水库原有的功能正常发挥，而且给下游人民生命财产安全造成潜在的危险。因此，对系统进行研究并大力推广使用高效、可靠的除险加固技术就显得十分必要。本文从工程实践出发，对小型水库除险加固技术路径进行归纳阐述，希望能够对类似工程的规划设计起到一定的借鉴作用。

1 小型水库主要病害类型及其成因探析

1.1 坝体渗漏现象分析

坝体渗漏是小型水库最常见的一种工程病害，主要表现为坝身浸润线异常升高、下游坝坡大面积散浸或者形成集中渗流路径。其原因比较复杂，主要有历史施工质量控制不严，防渗结构初始设计存在不足，材料在长期的环境作用下性能下降等。对于土石坝，心墙、斜墙等防渗体如果压实度不符合要求，或者不同材料的结合处处理不当，很容易形成渗流的优势通道。混凝土坝多为温度变化引起的收缩裂缝、地基不均匀沉降引起的结构性裂缝等造成渗漏。如果不及时有效地治理渗漏，渗漏问题会慢慢发展成管涌或者流土等渗透破坏形式，严重削弱坝体的安全根基。

1.2 结构稳定性缺陷探讨

小型水库的坝体结构稳定性差主要是边坡滑塌、沉降过大及抗震能力达不到现行规范的要求。许多上世纪修建的库坝，多用就地取材的方式填筑，压实控制标准

低，缺少系统的稳定性分析计算。库水位频繁波动加上雨水持续入渗，坝体土料的抗剪强度参数就会慢慢衰减，局部或者整体失稳的风险就会产生^[1]。另外坝体填筑材料分区设计不合理、内部排水系统失效等问题，也会加重稳定性隐患。土石坝在地震荷载下，对坝料液化情况也不能掉以轻心。

1.3 泄洪设施能力欠缺问题

由于早期的设计洪水标准低，许多小型水库的泄洪设施存在着先天不足的问题，泄洪道断面尺寸小、消能工设计不完善、闸门及启闭设备老化严重等。当遇到超标洪水的时候，有限泄洪能力就会使库水位急剧上升，增大洪水漫顶的风险。同时泄流能量消散不充分会造成下游坝脚和河床的强烈冲刷，危及坝基稳定。金属结构锈蚀、混凝土碳化剥落等材料劣化，使泄洪设施的运行可靠性、安全性大幅降低。

2 除险加固核心技术要点解析

2.1 坝体防渗关键技术

防渗处理是解决小型水库渗漏问题的根本办法，根据坝型、地质情况和渗漏特点来选择相应的处理方法。土石坝的防渗加固，塑性混凝土防渗墙技术应用较多，利用专用机具构筑连续的地下墙体，截断渗流途径。高压喷射灌浆技术是用高速浆液流切割并置换土体，形成板墙或者桩柱式的防渗幕体，适用于各种地层条件。对混凝土坝的裂缝渗漏，可以采用低粘度环氧树脂等化学浆液进行灌浆封堵，也可以在表面涂刷柔性防渗涂层。坝基渗漏一般用帷幕灌浆法，即钻孔向基岩裂隙中灌注浆液，形成深层的垂直防渗屏障。所有防渗措施的顺利

实施都依靠选用优质的材料、严格控制施工工艺。

2.2 结构稳定性增强措施

提高坝体结构稳定性的途径有改善受力条件和提高材料性能两方面。对抗滑稳定性不足的土石坝,在下游坝脚处增设压重体,利用增加的抗滑力矩提高稳定性。完善坝体内部排水系统,设置或者修复排水棱体、水平排水垫层等,可以明显降低浸润线,减小渗流压力,进而提高坝坡的稳定安全系数。抗震加固,采用土工合成材料(土工格栅)加筋或者振冲碎石桩等方法对坝体和地基土体进行加密,提高抗液化能力。混凝土坝加固可采用外包钢筋混凝土加大截面法、粘贴碳纤维复合材料法或者施加预应力锚索等^[2]。任何加固方案都必须用静动力稳定性计算加以证明。

2.3 泄洪设施改造与升级

泄洪设施改造的主要任务就是使其泄流能力满足最新的防洪标准要求。对泄流能力不足的工程,可采取拓宽现有的泄洪道或者增加非常溢洪道的方案。拓宽改造时要特别注意新老混凝土结构结合面的处理,保证整体性、受力性。消能设施设计要依据下游水位、单宽流量等水力参数,合理选择底流消力池或者面流消能工的型式和尺寸。闸门及启闭系统的更新为更换老化的闸门、启闭机,修复或者重建门槽轨道系统,对金属结构进行全面防腐处理。重要的泄洪设施改造应通过水工模型试验来验证水流流态、消能效果及对下游的冲刷影响。

3 加固技术的工程应用与质量控制体系

3.1 前期勘察与方案决策

在除险加固工程开工前,应做好充分的地质勘察和病害专项检测。应该综合运用地质雷达探测、跨孔声波测试等现代勘察技术,准确地查明隐患的空间分布及严重程度。设计方案的形成要依靠详细的比选分析,权衡技术可行性,经济合理性,施工难度,环境影响等各方面因素。技术复杂或者重要的工程,应组织专家评审会对设计方案进行论证。勘察工作要重视坝体和基岩接触带、不同填筑料分区界面等薄弱环节。方案比选要建立科学的评价指标体系,进行综合评价来确定最优加固路线。

3.2 施工过程质量控制要点

除险加固工程的最后效果很大程度上依赖于施工质量。必须创建起包含材料、工艺、检测全过程的质量控制体系。所有进场的材料如水泥、土工膜、灌浆材料等都要做质量检验。施工时应做好防渗墙槽孔垂直度、灌浆压力、浆液水灰比等工艺参数的监测记录工作。对

防渗体施工、基础处理等隐蔽工程要进行旁站监理,并保留完整影像资料。工程质量验证可以采用钻孔取芯观察、现场压水试验来检验防渗效果,用静力触探、载荷试验等原位测试方法来检验地基加固的效果^[3]。施工过程中,若发现实际的地质情况或者病害情况与设计假定有较大的出入,应立即做设计变更。

3.3 运行维护与长期监测预警

除险加固工程完工之后,创建科学的长效运行维护及安全监测机制就显得十分关键。应制订详细的日常巡查规程,重点观察坝体有无新出现的裂缝、变形迹象,渗流量变化情况以及泄洪设施的状态。完善安全监测系统,布置表面位移、内部变形、渗流压力、库水位等自动化监测设施,提高数据采集的效率和准确性。对监测得到的数据要定时分析,设置合理的预警指标和阈值,做到险情早发现、早预警。定期进行水库安全鉴定或者评价,根据运行情况调整监测的重点和频率^[4]。同时还要制定闸门启闭设备的维修保养周期、金属结构的防腐处理等周期性保养计划。加强管理人员专业技术培训,并用信息化管理平台整合监测、运行、维护信息,为水库安全运行提供决策支持。

4 材料选择与技术创新在加固中的应用

4.1 新型工程材料的选用原则

加固材料的科学选择是保证水库除险加固工程长久安全和效能的前提。选材时要根据不同的加固目的加以区别,防渗材料要从其抗渗等级、耐久性、环境耐受性等方面考虑,高性能塑性混凝土、聚合物改性沥青混凝土等是常用材料;用于结构补强的土工格栅、纤维复合材料等,重点考察其极限强度、韧性以及与原有构筑物的相容性。总体原则是权衡技术的先进性、经济的合理性、工程的安全性、现场施工的便利性,经由严格实验室及现场试验对材料性能加以证实,保证其符合特定工程的苛刻需求^[5]。

4.2 施工工艺的技术创新与发展

施工工艺和装备技术革新对提高除险加固工程质量、加快工程进度起着重要的作用。防渗墙施工时用液压铣槽机进行高精度的槽孔开挖;灌浆作业时用智能灌浆记录仪来精确控制压力、流量等参数,保证帷幕的完整性、均匀性。技术进步不但能大大提高施工效率,降低人为误差,还能从工艺上加强工程质量的过程控制。未来要大力推广技术可行、效益显著、生态环境影响小的新技术、新工法,促进行业智能化、精细化不断发展。

5 除险加固工程中的生态环保考量

5.1 减小加固工程对生态环境的扰动

现代除险加固工程要把生态保护理念融入规划、设计、施工的全过程，力求在消除安全隐患的时候，尽可能地减少对库区和周边生态系统的影响。项目初期要进行施工总平面布置、料场开采、弃渣场地选址和运输路线等的设计优化，严格避开生态敏感区。施工过程中要严格按照水土保持方案的要求执行，采取喷雾降尘、设置隔音屏障等措施控制扬尘、噪声污染。技术方案的选择要优先选用生态友好型技术，在坝坡加固中，以满足结构稳定为前提，采用植生型生态混凝土护坡、生态袋护坡等工艺，促进植被恢复，保持水域和陆地的自然连通，实现工程结构与自然环境的有机协调^[6]。

5.2 促进水库生态系统健康

除险加固工程不但是消除安全隐患的补救措施，而且应该被当作修复和改善水库生态系统功能的一个宝贵机会。工程设计阶段就要有意识地加入生态要素，在对泄洪建筑物进行改造的时候，根据水力条件，研究增设适合本土鱼类的鱼道或者仿自然旁通通道，从而减轻大坝给水生物洄游造成的阻碍。同时要修订、完善水库的运行调度规程，将下游河道的生态基流保障作为刚性要求写入其中，合理调控闸门，保证河流基本生态需水。将安全保障目标同生态修复目标结合起来的综合治理策略，有利于推动水库由单一的水利工程向有利于区域生态健康的方向转变，实现工程安全和生态健康两方面的协同共赢。

6 经济性分析与长效管理机制

6.1 加固方案的经济性评价

科学的方案比选要引入全生命周期成本的理念，从多个方面进行经济论证。评估不能只看初期的建设投入，必须系统预测其未来几十年的维护成本、由于安全性提高而延长使用寿命所带来的效益，以及避免下游洪灾损失的巨大间接社会效益。只有建立包含直接支出和间接收益的综合评价模型，才能选择出在整个生命周期里达到技术可行、经济最优、风险可控的最佳平衡的加固方法，保证投资长期的价值^[7]。

6.2 建立长效管理机制

保证工程效益的持续性主要依靠建立权责分明、保障有力、技术支撑的长效管护体系。这就需要依法确定管理主体和责任边界，建立稳定可靠的维护资金渠道。同时应该加强专业技术人员的技术培训，并积极运用智能监测与信息化管理平台，实现水库安全运行的精准调控和

风险早期预警，形成工程加固到可持续运行良性闭环。

7 结论与展望

7.1 结论

小型水库除险加固是包含多学科、多环节的系统工程，要实现成功，必须准确判定病害产生原因，合理选择加固技术，严格把控施工质量，规范后续管理。本文对病害识别、关键技术、质量控制以及运行维护全过程的技术要点进行了系统的整理。经研究得知，对小型水库的安全隐患进行防渗处理并加以结构稳定性的加固，同时提高泄洪能力的改造也是重要技术方法之一。

7.2 展望

未来除险加固技术的发展方向主要有三个方面，即生态环保型加固材料和技术的研发和应用，工程安全和生态健康相协调；信息化、智能化技术与病害检测、监测预警、运行管理的深度融合，提高水库管理的现代化水平；对加固后的水库长期性能进行跟踪研究和评价，不断完善技术标准体系。依靠不断的科技创新以及精细的管理，我国小型水库的安全状况及综合效益将会得到明显改善，为经济社会可持续发展提供更加可靠的水利支持。

参考文献

- [1] 白阳. 水库除险加固工程坝体加固设计方案研究[J]. 东北水利水电, 2025, 43(11): 53-56+72.
- [2] 李昕洁, 姬浩翔, 李金妹. 浅谈小型水库大坝除险加固技术和防渗处理措施[J]. 中国设备工程, 2025, (21): 220-223.
- [3] 方肖晨, 李瑞青, 周树朋. 山东省小型水库除险加固监督检查问题及对策[J]. 山东水利, 2025, (10): 40-42.
- [4] 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.
- [5] 潘智聪. 小型水库除险加固设计与施工工艺研究[J]. 科技与创新, 2025, (09): 166-169.
- [6] 杨建华. 水利工程中小型水库除险加固设计的相关研究[J]. 工程建设与设计, 2020, (06): 128-129.
- [7] 罗云团. 小型水库除险加固工程设计存在的问题及对策[J]. 湖南水利水电, 2024, (04): 25-27.

作者简介：曹丹（1991.10-），男，汉族，籍贯：云南玉溪，学历：大学本科，职称：工程师，研究方向：水利水电工程。