

# 水利工程中病险水库加固工程技术研究

张颖

内蒙古自治区红山水库管理中心，内蒙古赤峰市，024511；

**摘要：**水利工程中病险水库加固工程技术研究涉及多方面的技术和管理措施，随着水利设施年限增长和自然环境的影响，病险水库问题日益凸显，成为公共安全的一大隐患。病险水库的安全事故不仅会导致巨大的经济损失，还会威胁人民生命安全。因此，加固和改造病险水库成为水利工程中的一个紧迫任务。通过科学的技术方法和先进的工程技术，可以有效地提升水库的结构安全性，保证其在极端自然条件下的稳定运行。

**关键词：**水利工程；病险水库；加固技术

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.12.072

水利工程中病险水库的防渗加固技术是保障水库安全运行的核心措施，其中垂直防渗技术因其直接截断渗流路径而成为关键手段。水利工程中病险水库的结构稳定性提升是除险加固的核心目标，需结合坝体类型、病害特征及工程条件综合施策。

## 1 病险水库的主要成因

### 1.1 自然因素

水利工程中病险水库的成因可分为自然因素和人为因素两大类。自然因素，超标准洪水，当水库遭遇突发暴雨洪水，超出工程自身防御标准时，可能导致严重水毁甚至溃坝。例如 2020 年洪涝灾害导致全国 131 座大中型水库和 1991 座小型水库出现水毁，其中许多被鉴定为病险水库。强烈地震，地震可能引发坝体结构损坏或地基失稳，尤其对建设于地质活跃区域的水库威胁更大。水库蓄水还可能诱发岩体变裂，释放能量导致断层活动，进一步加剧风险。地质灾害，滑坡、泥石流等自然灾害可能直接冲击坝体，或堵塞泄洪通道，影响水库正常运行。长期自然侵蚀，水库运行数十年后，受水流冲刷、冻融循环等自然作用，坝体材料逐渐老化，出现渗漏、裂缝等问题<sup>[1]</sup>。这些自然因素往往与水库的“先天不足”（如建设年代久远、设计标准偏低）叠加，加速了病险问题的形成。

### 1.2 设计施工缺陷

水利工程中病险水库的成因复杂多样，其中设计施工缺陷是重要因素之一。设计施工缺陷的具体表现，设计不合理，部分水库因设计标准偏低或结构设计缺陷，导致防洪能力不足、坝体稳定性差。例如溢洪道设计不当可能影响泄洪能力，增加溃坝风险。施工质量问题，

施工过程中存在偷工减料、填筑不合格等问题，如坝体防渗体不符合技术要求、坝体存在蚁穴等隐患。此外，钻孔灌注桩等隐蔽工程若施工不当，易引发质量缺陷。材料与工艺缺陷，早期建设受限于技术条件，材料性能不足（如混凝土碳化）或工艺落后，导致结构老化加速。其他关联成因，自然因素：地震、滑坡等自然灾害可能加剧设计施工缺陷引发的隐患。管理维护不足：部分工程存在“重建轻管”现象，日常维护缺失导致小病积成大病。超期服役：我国 80% 以上水库建于 20 世纪 50-70 年代，已超设计年限，老化问题突出。典型病害案例，渗漏问题：坝基或坝肩渗漏多与防渗设计不足、施工质量差相关。裂缝与滑坡：坝体裂缝可能因施工填筑不均或结构设计缺陷导致，进而引发滑坡。穿坝建筑物渗漏：涵管等接触部位渗漏常因施工工艺不当或止水破坏。治理与预防措施，科学论证：治理前需结合地质勘察数据，针对性设计加固方案（如灌浆、防渗墙）。技术升级：采用无人机、水下机器人等先进技术排查隐患，结合数字孪生技术实现动态监测。制度完善：加强施工监管，落实维护保养制度，避免“以建代管”。病险水库的成因需从设计、施工、管理等多维度综合防治，通过技术升级和制度优化降低风险。

### 1.3 材料老化与管理不足

水利工程中病险水库的成因复杂，其中材料老化与管理不足是核心因素之一。结合权威资料，材料老化：超期服役与自然侵蚀，历史遗留问题，我国 80% 以上的水库建于 20 世纪 50-70 年代，已超过设计使用年限，工程材料（如混凝土、土石坝体）自然老化，导致结构强度下降、渗漏风险增加。例如，土石坝因长期浸泡易出现裂缝，混凝土结构因碳化而剥落。自然灾害加剧老

化, 超标洪水、地震等极端事件会加速材料损坏。如 2020 年汛期, 全国因洪水损坏大型水库 131 座, 其中多数因材料老化在灾害中进一步恶化。管理不足: 重建轻管与维护缺失, “重建轻管”现象普遍, 部分地区重视建设而忽视后期管理, 小型水库尤其突出。农村集体经济组织所有的小型水库因资金不足、技术薄弱, 维修养护不及时, 导致“积病成险”。安全监测设施不完善, 部分水库缺乏实时监测系统, 无法及时发现渗漏、裂缝等隐患, 延误治理时机。例如, 土石坝的局部渗漏若未及时处理, 可能发展为溃坝风险。其他辅助成因, 设计缺陷: 早期水库未充分考虑地质灾害风险, 结构设计不合理。施工质量问题: 如混凝土浇筑不均、防渗材料选用不当, 直接降低工程耐久性。治理方向, 针对上述问题, 需采取除险加固(如坝体加高、防渗墙修复)与强化管理(完善监测制度、落实管护责任)相结合的措施。水利部已明确要求压实地方责任, 推动水库安全动态监测常态化。

## 2 关键加固技术

### 2.1 防渗加固技术

(1) 垂直防渗: 垂直防渗技术分类, 防渗墙技术, 水泥土防渗墙: 通过多头小直径搅拌机将水泥浆与土体混合形成连续墙, 具有造价低、施工便捷的特点。房山水库工程应用表明, 该技术可显著降低坝体渗透坡降和流量, 满足规范要求。混凝土防渗墙: 适用于高水头或复杂地质条件, 通过地下连续墙施工形成刚性防渗体, 耐久性更优。垂直铺膜技术: 在粘土坝中铺设土工膜, 形成柔性防渗帷幕。灌浆技术, 高压喷射灌浆: 利用高压浆液切割土体并固结, 形成防渗帷幕。适用于砂砾石坝体, 可降低工程造价并减少对周边环境的影响。帷幕灌浆: 通过钻孔注入浆液填充裂隙, 形成深层防渗带。河南某病险水库应用后, 坝体塑性区面积减小, 稳定性显著提升。技术选择与优化, 位置与厚度: 防渗墙越靠近上游坝坡、厚度越大, 防渗效果越显著。数值模拟表明, 上游布置可降低逸出坡降, 增强边坡稳定性。材料适配性: 水泥土墙适用于低水头土坝, 混凝土墙则用于高渗透性坝基; 复合土工膜因轻质、延展性好, 常用于渠道防渗。施工控制: 混凝土防渗墙需重点控制垂直度、接缝衔接及塌孔处理, 确保墙体连续性。工程效果评价, 渗流改善: 垂直防渗技术可延长渗径, 降低渗透流量<sup>[2]</sup>。稳定性提升: 灌浆帷幕使坝体应力二次调整, 塑性区面

积减小, 整体抗滑能力增强。经济性: 水泥土防渗墙造价仅为混凝土墙的 30%-50%, 适合中小型水库推广。发展趋势, 结合数值模拟(如 FLAC3D)优化防渗体设计, 并探索注浆技术与防渗墙的复合应用, 是未来病险水库加固的重要方向。(2) 坝体加固: 水利工程中病险水库的加固技术主要包括防渗加固和坝体加固两大类, 防渗加固技术, 高压喷射注浆法, 通过单管或双管喷射工艺, 在堤坝内部形成固结体, 适用于覆盖层和触面加固, 施工简便且效果显著。垂直铺设防渗技术, 成本低, 适用于低水头堤坝, 但需注意材料老化和脆性问题。混凝土防渗墙技术, 成本低、防渗效果好, 广泛用于水利工程, 常用黏土混凝土或塑性混凝土作为墙体材料。土工膜应用, 包括复合土工膜、乙烯乙酸改性沥青混凝土膜等, 具有轻质、防渗性强、延展性好的特点。坝体加固技术, 土石坝坝坡滑动加固, 通过勘探地质、清理坝基杂物、修补裂缝等措施增强稳定性, 重点处理坝基和岸坡的隐蔽工程。坝体密实加固, 采用振冲压实法、强夯法、换填法等提升填筑质量, 或通过化学灌浆、深层搅拌法处理软弱坝基。反滤沟导渗与透水压渗平台, 适用于坝体背面大面积渗水或结构问题, 但后者施工难度和成本较高。综合管理措施, 安全监测与信息化, 新建或加固水库需规范监测设计, 采用新技术, 并与全国监测平台互联, 实现风险早发现、早处置。病险水库分类处理, 针对土坝裂缝、渗漏、白蚁滋生等六大类病险, 需结合具体场景选择加固工艺。以上技术需根据坝体类型、地质条件及施工需求灵活调整, 以确保加固效果和工程安全。

### 2.2 结构稳定性提升

坝体加固技术, 坝体培厚与放缓, 上游坝坡: 采用抛石或透水性材料(如砂砾料)培厚, 增强抗滑稳定性, 同时利于库水降落时排水。下游坝坡: 使用透水性材料培厚以降低浸润线, 局部不满足稳定性的区域可采用格构加固(如带脚槽的钢筋混凝土结构)。案例: 安徽卢村水库通过上游抛石、下游格构加固, 经 3 年运行验证稳定性达标。防渗处理, 坝体注浆: 通过水泥浆、砂浆等材料注入坝体, 提升抗渗能力, 减少渗漏对稳定性的影响。防渗墙技术: 适用于土石坝, 如水库采用混凝土防渗墙, 同步解决渗漏和抗滑问题。材料选择: 土工布、防渗混凝土等可针对性处理渗漏点。护坡与抗震加固, 护坡加固, 上游护坡: 块石、现浇混凝土或预制混凝土

块护坡,增强抗冲刷能力;旅游区可选用美观的预制块。下游护坡:草皮、格构草皮或块石护坡,兼顾生态与稳定性。案例:水库采用“工”型预制混凝土块护坡,兼具防风浪和美观效果。抗震液化加固,对密实性差的砂土坝体,采用加密或置换法提升抗震性能,避免地震时液化破坏。溢洪道与监测设施加固,溢洪道加固:堆石加固、混凝土喷涂,提升抗冲刷能力,确保泄洪安全。监测预警:安装变形、渗压等监测设备,实时掌握坝体状态,为维护提供数据支持。施工与管护要点,质量控制:严格施工监管,确保材料与工艺符合设计要求。长效管护:推行专业化管护模式,定期巡查维护,避免“边加固边出险”。

## 2.3 监测与预警系统建设

水利工程中病险水库的加固技术与监测预警系统建设是保障水库安全运行的核心环节。病险水库关键加固技术,防渗加固技术,针对坝体渗透问题,常采用土工膜防渗、黏土墙防渗、高压旋喷桩防渗及帷幕灌浆等技术。例如,坝体全段高压旋喷桩可有效改善渗漏和不稳定性。结构加固与老化处理,对防洪标准低、结构老化的水库,需结合工程特点进行加固,如泄洪设施改造、闸门检修等,以恢复库容和防洪能力。2023年珠江流域通过除险加固恢复防洪库容60亿立方米。配套管理设施建设,除险加固需同步完善雨水情测报、防汛道路、通讯设备等,提升极端气候下的预警能力。监测与预警系统建设,系统架构,监测系统包括一体化监测站、物联网云平台及用户终端,覆盖地表位移、深部位移、库水位、浸润线等关键指标。例如,CNSS在线监测仪可实时采集地表变形数据。功能特点,全天候监测:支持恶劣环境下数据采集,具备多级报警功能(如短信、软件界面预警)。智能化管理:整合水雨情、大坝安全、视频监控等数据,实现三维可视化呈现和精准管控。政策依据,水利部明确要求“十四五”期间完成小型水库雨水情测报和大坝安全监测设施建设,并纳入河湖长制管理。实施与管理要求,安全监督:项目开工前需办理安全监督手续,由水行政主管部门或专职机构负责监管。资金与责任:地方政府需落实主体责任,中央对重点地区(如革命老区)加大支持力度。

## 3 管理机制优化

1. 强化责任落实与分级管理。明确责任主体,大中型病险水库除险加固实行分级负责制:地方项目由县级以上地方政府负总责,中央项目由水利部负总责。小型水库需落实区域集中管护、政府购买服务等模式,明确管护主体和人员。建立常态化机制,推行安全鉴定和除险加固常态化管理,新增病险水库需在2年内完成加固,到期水库应当年开展安全鉴定。

2. 规范前期工作与审批流程,严格安全鉴定与核查,安全鉴定需由有资质单位按《大坝安全评价导则》执行,中央补助项目需报水利部指定机构核查,明确病险部位、程度及成因。优化项目审批,总投资2亿元以上或库容10亿立方米以上的项目需编制可行性研究报告,初步设计内容须与安全鉴定核查意见严格对应,禁止超范围建设。

3. 保障资金投入与使用效率,落实配套资金,地方需承担主要投资责任,避免“等靠要”思想,建立稳定投资渠道,集中资金优先安排防洪保安关系密切、病险程度重的项目。加强资金监管,防止“小病大治”或“大病小治”,确保资金用于核心病险问题,避免浪费。

4. 加强运行管护与信息化建设,推行标准化管理,2025年前实现大中型水库标准化管理,小型水库通过区域集中管护提升效率。提升监测能力,2025年前完成小型水库雨水情测报、大坝安全监测设施建设,实现信息化动态监管。

5. 解决突出问题与长效机制。纠正“重建轻管”倾向,加强建后管理投入,完善管理设施,避免因维护不足导致病险复发。强化监督与考核,建立责任追究机制,对前期工作不扎实、资金不到位等问题加强督查,确保工程长期效益。

总之,病险水库加固需以坝体稳定性为核心,结合防渗、护坡、抗震等技术,并强化施工质量与后期监测。通过系统性工程措施,可显著提升水库安全性能,保障下游防洪与供水安全。

## 参考文献

- [1] 支钰智, 谢文栋. 水利工程中病险水库加固工程技术的应用探讨[J]. 城镇建设, 2025(2): 226-228. DOI: 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.076.
- [2] 梁培烟. 水利工程中病险水库加固工程技术研究[J]. 水上安全, 2024(18): 172-174.