

# Study on Design of Hazard Elimination and Reinforcement for Medium-Sized Reservoirs Based on Safety Assessment and Systematic Analysis

Yuyan Chen

Shenzhen Water Planning Design and Research Institute Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518131, China

## Abstract

the core of “front blocking and rear drainage, local demolition and reconstruction, systematic repair, and intelligent upgrading”. The results show that through the reconstruction of the dam’s seepage prevention panel, reinforcement of the spillway gate piers, regulation of the reservoir bank, repair of energy dissipation facilities, and construction of information-based safety monitoring, the safety status of the project can be systematically improved and its designed functions can be restored. This study provides a full-process technical path (from defect diagnosis, scheme demonstration to design and implementation) for the hazard elimination and reinforcement of similar old reservoirs, and has reference significance for promoting the modernization of reservoir safety management.

## Keywords

reservoir engineering; hazard elimination and reinforcement; safety assessment; systematic analysis; design optimization; comprehensive treatment

## 基于安全鉴定与系统分析的中型水库除险加固设计研究

陈玉言

深圳市水务规划设计院股份有限公司, 中国·广东 深圳 518131

## 摘要

我国大量建于上世纪的中小型水库, 经长期运行普遍存在老化病害问题, 威胁工程安全与效益发挥。本文以某典型中型水库为例, 依据现行规范开展全面安全鉴定, 系统识别大坝防渗体系老化、结构裂缝、金属结构锈蚀、下游消能设施损坏、边坡失稳及监测管理缺失等系列病害。研究采用水文复核、地质勘察、结构计算与多方案比选等方法, 提出了以“前堵后排、局部拆除重建、系统修复与智能提升”为核心的除险加固集成方案。结果表明, 通过坝体防渗面板重建、溢流坝闸墩加固、库岸整治、消能设施修复及安全监测信息化建设, 可系统提升工程安全状态, 恢复设计功能。本研究为类似老旧水库的除险加固提供了从病害诊断、方案论证到设计实施的全过程技术路径, 对推动水库安全管理现代化具有参考意义。

## 关键词

水库工程; 除险加固; 安全鉴定; 系统分析; 设计优化; 综合治理

## 1 引言

水库作为调控水资源、防洪减灾、保障灌溉与发电的重要基础设施, 其安全运行直接关系到人民群众生命财产安全和区域经济社会可持续发展。我国现有水库中, 相当一部分建于二十世纪六七十年代, 受当时技术条件、材料性能及施工水平限制, 加之长期运行中的自然老化与管理维护不足, 普遍存在不同程度的病害隐患<sup>[1]</sup>。近年来, 随着极端气候事件频发与工程运行年限增长, 水库病险问题日益突出, 除险加固工作已成为水利工程领域的重点任务。

当前, 水库除险加固已从单一构件修补向系统治理、功能恢复与性能提升相结合的综合整治方向发展<sup>[2]</sup>。其技术核心在于精准诊断病害成因、科学评估工程状态、合理拟定加固方案, 并兼顾施工可行性与长期运行维护需求。然而, 在实际工程中, 仍存在病害识别不全面、方案比选不充分、新技术应用不足等问题, 影响加固效果与投资效益。

本文结合一例典型中型水库除险加固工程, 系统阐述从安全鉴定、病害分析、方案设计到效益评估的全过程。研究旨在探索一套适用于类似老旧水库的、基于多源信息融合与多方案决策的除险加固设计方法, 以期为我国水库安全管理与提质升级提供技术借鉴。

【作者简介】陈玉言(1992-), 女, 中国吉林白城人, 本科, 工程师, 从事水利工程设计研究。

## 2 工程概况与安全鉴定

### 2.1 工程基本情况

该水库位于某流域中上游，是一座以灌溉为主，兼顾防洪、发电等综合效益的中型水利枢纽。根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252-2017)<sup>[3]</sup>水库总库容超1000万m<sup>3</sup>，最大坝高约60m，为浆砌石重力坝，溢流坝段设有弧形闸门控制泄洪。工程于上世纪70年代初建成蓄水，并于21世纪初进行过一次局部除险加固。历经数十年运行，工程老化现象显著，安全隐患逐步显现。

### 2.2 安全鉴定主要结论

依据《水库大坝安全鉴定办法》及相关规范，对水库进行了全面现场检测与安全评估。鉴定结果表明，该水库大坝被评定为“三类坝”，主要存在以下问题：

**坝体结构方面：**上游防渗面板存在开裂、起鼓现象，抗渗等级不满足不满足现行《砌石坝设计规范》(SL 25-2006)<sup>[4]</sup>规范要求；坝体砌石局部存在空隙，下游坝面可见明显渗水点；溢流坝段闸墩混凝土强度偏低，牛腿部位出现结构性裂缝。

**金属结构与机电设备：**泄洪闸、冲砂闸及引水闸的闸门与启闭设备已超折旧年限，普遍存在严重锈蚀、变形、止水失效及运行故障问题，可靠性不足。

**库岸与消能设施：**近坝库岸存在塌滑体，稳定性差；下游消能区因长期冲刷形成深坑，已逼近坝脚及电站防洪墙，两岸坡脚存在淘刷，原有二道坝局部损毁。

**安全监测与管理：**安全监测设施严重缺失，仅有少量外观变形观测点，内部渗压、应力等监测仪器损坏或未设置；管理设施陈旧，缺乏必要的安全防护与自动化监控系统。

上述问题不仅影响工程自身安全，也制约了灌溉、发电等效益的正常发挥，实施彻底除险加固十分必要且紧迫<sup>[5]</sup>。

## 3 水文与工程地质分析

### 3.1 设计洪水复核

基于延长后的实测水文系列及历史洪水调查资料，采用频率分析法对设计洪水进行复核。复核后坝址设计洪水标准(P=2%)洪峰流量较原设计有所增加，校核洪水标准(P=0.2%)洪峰流量相应提高。采用水库调洪演算，确定了新的设计洪水位与校核洪水位。水文复核为评估大坝防洪能力与泄洪设施安全性提供了准确边界条件。

### 3.2 工程地质评价

依据《水利水电工程地质勘察规范》(GB 50487-2008)<sup>[8]</sup>开展的详细地质勘察揭示了以下关键地质条件与问题：

**坝基(肩)工程地质条件：**坝基岩体以硅质岩为主，总体完整性较好，但右坝肩受褶皱与断层影响，岩体较为破碎。前期实施的防渗帷幕经压水试验检验，效果基本良好，但局部透水性偏大。

**坝体质量：**钻孔揭示坝体砌石局部存在空隙，注水试

验表明坝体部分区段渗透系数较大，存在渗漏通道。

**边坡稳定性：**库区右岸近坝边坡为岩质倾向坡，受节理裂隙切割，在库水位变动及降雨作用下已发生局部塌滑，存在进一步失稳风险。

**下游抗冲刷问题：**溢流坝下游河床因长期挑流冲刷，形成深度较大的冲坑，对坝脚稳定及两岸岸坡构成威胁<sup>[7]</sup>。

地质评价为针对性制定防渗加固、边坡治理及消能防护措施提供了直接依据。

## 4 除险加固方案系统分析

基于安全鉴定与专项分析结论，遵循“消除隐患、恢复功能、提升标准、兼顾长远”的原则，对除险加固工程进行系统规划与多方案比选<sup>[5,6]</sup>。

### 4.1 大坝防渗加固方案比选

针对坝体渗漏问题，提出三种方案进行技术经济综合比选：

**方案一(新建混凝土防渗面板)：**凿除原缺陷面板，设置锚杆并浇筑新混凝土防渗面板。该方案防渗可靠、耐久性好、施工工艺成熟，但需库水位降至施工面以下，涉及施工导流与清淤。

**方案二(防渗涂料加固)：**对原面板进行表面处理后再涂刷高性能防渗涂料。该方案施工快捷、投资较省，但对基面处理要求高，涂料长期耐久性及与老混凝土粘结可靠性存在不确定性。

**方案三(坝体帷幕灌浆)：**从坝顶钻孔进行充填灌浆与帷幕灌浆。该方案施工受库水位影响小，但浆砌石坝体可灌性不均，幕体质量不易控制，且对坝体砌石结构可能产生不利影响。

经综合比较，方案一虽一次性投资较高且施工组织相对复杂，但其防渗效果持久可靠，能根本性解决面板老化问题，故被推荐为实施方案。

### 4.2 溢流坝结构加固方案比选

针对闸墩混凝土强度不足、牛腿裂缝等结构性缺陷，重点对闸墩加固方式进行比较：

**方案一(闸墩拆除重建)：**彻底拆除存在缺陷的闸墩上部结构及牛腿，按现行规范重建。此方案能完全消除原有质量隐患，结构受力明确，耐久性最佳，但工程量大、工期长、投资高。

**方案二(局部加固补强)：**仅拆除损坏的牛腿部位重建，同时对闸墩采用粘贴钢板等方式进行补强。此方案工程量小、投资省、工期短，但对施工工艺要求极高，且难以完全消除闸墩内部其他潜在缺陷。

从工程长期安全与根本消除隐患的角度出发，方案一被确定为优选方案。同时，结合闸墩重建，对锈蚀严重的弧形工作闸门及启闭机进行整体更换。

### 4.3 其他关键措施

**库岸塌滑体治理：**采取“上部清方减载+格构梁锚固，

下部锚喷支护+排水”的综合治理措施。

下游消能防护：对冲刷坑进行回填混凝土护底，对两岸受淘刷坡脚进行锚喷支护，对损毁的二道坝进行原址重建或加固修复。

安全监测系统升级：新建涵盖表面变形、渗流渗压、应力应变及视频监控的自动化安全监测系统，并建设统一的信息化管理平台。

金属结构全面更新：对所有工作闸门、拦污栅及启闭设备进行更新改造，提高设备可靠性。

## 5 主要建筑物加固设计

### 5.1 大坝防参与坝体加固设计

在推荐方案下，上游坝面新建 C30 钢筋混凝土防渗面板，面板厚度自上而下渐变增加，并设置锚杆系统确保其与坝体联合受力。面板设结构分缝并配备止水系统。同时对坝体下游面一定深度范围内的砌石进行充填灌浆，封堵内部空隙，减少渗漏途径。

### 5.2 溢流坝段重建与金属结构更新

拆除溢流坝段原有闸墩上部、牛腿及部分堰体，按现行规范重建钢筋混凝土结构，确保新闸墩的混凝土强度、配筋及牛腿尺寸满足弧形闸门推力传递要求。同步更换两孔弧形工作闸门及液压启闭机，更换冲砂闸及引水闸的平板闸门与卷扬启闭机。

### 5.3 库岸与下游消能区整治设计

对右岸塌滑体进行阶梯状开挖支护，结合排水措施。对下游河床冲刷坑采用钢筋混凝土进行护底，对两岸坡脚进行锚杆挂网喷混凝土防护。重建或加固二道坝，完善消能防冲体系。

### 5.4 安全监测与信息化系统设计

构建涵盖北斗/GNSS 表面位移监测、渗压计、测缝计、钢筋计等传感器的立体监测网络。建设监测数据自动采集、传输、存储、分析及预警的信息化管理平台，实现水库安全状态的实时感知与智慧管理<sup>[10]</sup>。

## 6 施工组织与综合效益分析

### 6.1 施工组织关键点

工程施工需利用枯水期，通过坝内底孔导流，创造干地施工条件。施工总布置需紧凑合理，减少临时占地。施工顺序上，优先完成导流工程与坝前清淤，继而开展大坝防渗、溢流坝重建等主体工程，最后实施下游整治与信息化工程。总工期约 20 个月。

### 6.2 综合效益分析

除险加固工程实施后，预计将产生显著的效益：

安全效益：彻底消除大坝溃决、结构失稳等重大安全风险，保障下游城镇、农田及人民生命财产安全。

经济效益：恢复和改善水库的灌溉与发电功能，提高

水资源利用效率，直接产生农业增产与发电收益。

社会效益：增强区域防洪抗旱能力，稳定农业生产，促进地方经济社会发展，提升水资源保障能力。

管理效益：通过现代化监测与管理设施建设，提升工程运行管理的精细化、智能化水平。

经济评价指标显示，项目经济内部收益率大于社会折现率，经济净现值大于零，效益费用比大于 1，表明项目在经济上是合理可行的。

## 7 结语

本文通过系统研究一例典型中型水库的除险加固工程，得出以下结论：

针对运行多年的老旧水库，必须依据现行规范进行全面的鉴定与专项复核（水文、地质、结构），这是科学制定加固方案的基础。

除险加固设计应坚持系统治理理念，统筹考虑坝体、坝基、泄洪设施、金属结构、库岸边坡、下游消能及管理设施等各方面问题，进行多方案技术经济综合比选。

对于类似浆砌石坝的防参加固，新建钢筋混凝土防渗面板结合坝体灌浆是可靠有效的方案；对于存在严重结构缺陷的闸墩等部位，在条件允许时，拆除重建优于局部补强，更能保证长期安全。

将自动化安全监测与信息化管理平台建设纳入除险加固内容，是实现水库安全管理现代化的必要举措。

科学合理的施工组织设计是确保复杂加固工程顺利实施、减少对环境的影响的关键。

建议在今后类似工程中，进一步加强对新材料、新工艺（如无损检测技术、生态修复材料等）的应用研究；同时，应建立健全水库加固后的长期效能评估与定期检查机制，确保工程持久发挥效益。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部. 水库大坝安全鉴定办法[S]. 北京, 2020.
- [2] 张建业, 杨正华, 李雷, 等. 我国水库大坝安全保障关键技术与应用[J]. 水利学报, 2018, 49(1): 1-14.
- [3] SL 252-2017, 水利水电工程等级划分及洪水标准[S].
- [4] SL 25-2006, 砌石坝设计规范[S].
- [5] 贾金生, 郑瑾莹, 李守义, 等. 病险水库除险加固技术进展与展望[J]. 水利水电科技进展, 2019, 39(5): 1-10.
- [6] 王仁坤, 周建平. 高坝工程安全与风险评估研究进展[J]. 水力发电学报, 2017, 36(8): 1-13.
- [7] 陈生水, 霍家平, 钟启明. 土石坝病险特征与除险加固技术[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(1): 1-22.
- [8] GB 50487-2008, 水利水电工程地质勘察规范[S].
- [9] 刘宁. 水库大坝安全评价与风险管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.