

# 水库除险加固与运行安全提升设计策略

何臻峰

武义县水利水电勘测设计有限公司, 中国·浙江 金华 321200

**摘要:** 水库工程在长时间运行过程中受自然侵蚀和材料老化的双重影响, 坝体渗漏、泄洪能力下降、输水设施损坏等问题逐渐显现, 严重威胁下游公共安全与水资源调配功能。然而, 传统的维修模式大多采取事后处理方式, 未对隐患等级与治理优先次序作出系统界定, 造成加固资源分散、重要风险难以被及时锁定。因此, 本文从隐患分类和等级划分入手, 对坝体、泄洪及输水建筑物等重点部位采取差异化加固措施, 创建了包含安全监测、运行管理、应急处置和智能化提升在内的运行安全保障体系, 形成隐患治理与运行管控的协同架构。

**关键词:** 水库工程; 隐患分级; 差异化加固; 运行安全保障体系; 协同管控

## Design Strategies for Reservoir Risk Mitigation, Reinforcement, and Operational Safety Improvement

He Zhenfeng

Wuyi County Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Co., Ltd., China Zhejiang Jinhua 321200

**Abstract:** During long-term operation, reservoir projects are affected by both natural erosion and material aging, leading to problems such as dam leakage, decreased flood discharge capacity, and damage to water conveyance facilities, which gradually emerge and seriously threaten downstream public safety and water resource allocation functions. However, traditional maintenance models mostly adopt a reactive approach and fail to systematically define hazard levels and governance priorities, resulting in scattered reinforcement resources and difficulty in promptly identifying significant risks. Therefore, this paper starts from hazard classification and grading, implements differentiated reinforcement measures for key parts such as the dam body, flood discharge, and water conveyance structures, and creates an operational safety assurance system that includes safety monitoring, operational management, emergency response, and intelligent upgrades, forming a collaborative framework for hazard management and operational control.

**Keywords:** Reservoir engineering; Hidden danger classification; Differentiated reinforcement; Operational safety assurance system; Collaborative management and control

## 0 引言

我国大量水库建于20世纪中期, 受当时施工条件和材料标准的限制, 加之运行年限增加, 工程老化、功能退化等问题愈发严重。坝体渗漏、溢洪道冲刷、闸门启闭失灵等隐患互相叠加, 使水库处于防洪能力不足和结构失稳的双重压力下。现有加固实践大多只重视单个工程措施, 忽略了隐患分类治理和运行管理体系间的系统匹配, 造成加固效果无法获得长期保证。所以, 如何在隐患识别阶段创建科学的等级划分准则, 将加固设计与后续运行监测、应急响应构成逻辑闭环, 成为提升水库总体安全水平的重要命题。

## 1 水库隐患分类与等级划分

### 1.1 隐患分类

水库隐患分类以科学识别风险、精准施策治理为目标, 通过双维度划分方式构建系统的隐患分类体系, 主要

从隐患存在的物理部位入手, 将隐患分为坝体、溢洪道、输水建筑物等类别, 该划分方式契合水库工程结构组成和功能分区的特点, 可准确识别隐患发生的工程部位, 确定风险控制的物理方向<sup>[1]</sup>。同时, 将隐患分为重大隐患和一般隐患, 根据隐患对水库结构稳定、运行安全的影响程度确定风险等级, 实现对隐患危害程度的量化区分, 使水库隐患管理更具针对性、条理性。

### 1.2 隐患等级划分

水库隐患等级划分是在隐患分类的基础上开展深度风险研判工作, 核心是通过科学评价各类隐患的实际危害程度, 结合隐患发展趋势、影响范围和可能造成的影响, 明确不同隐患的整改优先次序。抛弃无差别化的治理思想, 通过等级划分将隐患分成不同的治理层次, 使治理资源向危害程度高、整改紧迫的隐患集中, 实现治理资源最优分配。隐患等级划分结果可直接为水库除险加固设计提供核

心依据,设计人员根据隐患等级确定加固设计的技术路线、施工工艺和实施节奏,保证除险加固设计精准对接隐患治理需求,提高加固设计的科学性和实效性。

## 2 水库除险加固核心设计策略

### 2.1 坝体除险加固设计

坝体是水库挡水的主要建筑物,其安全稳定直接影响水库的整体运行安全,除险加固设计需根据坝体常见隐患类型,按照隐患的严重程度和地质情况,针对性制定不同的治理措施,从根本上消除安全隐患。

根据坝体渗漏隐患,应先准确划分渗漏类型,坝基渗漏大多因坝基岩土体渗透性高、防渗设施不完备造成,设计采用帷幕灌浆工艺,沿坝轴线布置灌浆孔,选用适应岩土体的灌浆材料,利用高压灌浆形成连续防渗帷幕,阻断地下水渗透通道,坝体渗漏主要采用固结灌浆加固坝体岩土体,同时铺设防渗膜,提高坝体防渗能力,保证渗流量符合规范要求<sup>[2]</sup>。

对于坝体裂缝隐患,采取表层裂缝嵌缝和深层裂缝灌浆的方式进行处理,清理裂缝周围的松动岩体,填充柔性嵌缝材料,防止雨水渗入扩大裂缝,深层裂缝采用灌浆处理,通过钻孔将灌浆材料注入裂缝深处,实现裂缝胶结加固,同时配套加固补强措施,提高坝体整体性。坝坡加固针对不稳定坝坡,通过削坡减载降低坝坡坡度,减小下滑力,坡面采用浆砌石或混凝土护坡,提高坡面抗冲刷能力,对下滑风险较大的区域设置抗滑桩,加强抗滑能力。坝基处理应对软弱坝基进行换填优质岩土体、分层夯实等处理,提高坝基的承载力,同时设置排水减压设施,降低坝基孔隙水压力,从根本上提高坝体的抗滑、抗渗能力,保证坝体长期稳定运行。

### 2.2 泄洪建筑物除险加固设计

泄洪建筑物是水库泄洪、调节库水位的主要建筑物,过水能力与结构稳定性直接影响水库的防洪安全,除险加固设计需从提高泄洪能力、修复结构破损、完善消能设施三方面入手,保证泄洪顺畅、安全可控。

溢洪道是主要泄洪设施,加固设计针对边坡、底板破损问题,对冲刷、剥蚀的边坡进行衬砌修复,采用高强度混凝土衬砌底板,提高抗冲刷、抗磨损能力;对过水能力不足的溢洪道,根据水库防洪标准,合理拓宽溢洪道断面或改造泄洪结构,提高泄洪流量,满足防洪要求。另外,完善溢洪道消能设施,优化消力池尺寸和结构,增设消能坎、护坦等装置,削弱洪水冲击力,防止下游冲刷破坏。

泄洪洞加固以洞身破损、渗漏和结构安全隐患为重

点,对洞身混凝土破损、裂缝部位进行衬砌、灌浆修复,填补破损缝隙,提高洞身防渗、抗裂能力;加固洞门结构,采用钢筋混凝土浇筑加固,防止洞门坍塌、变形;优化启闭设备,修复或更换老化、损坏的启闭机械,完善启闭控制系统,保证闸门启闭灵活、准确,实现泄洪洞按需泄洪。

### 2.3 输水建筑物除险加固设计

输水建筑物肩负水库供水、灌溉、发电等功能,其完好性关乎水库综合效益的发挥,除险加固设计需针对破损、渗漏、堵塞等主要隐患进行针对性的修复和加固,保证输水安全、畅通。

根据输水洞、涵管常见破损、渗漏问题,先对破损部位进行全面检查,清除破损、松动的混凝土块,采用高强度衬砌材料进行衬砌修复,对渗漏部位用灌浆工艺封堵,形成防渗隔离层,杜绝渗漏隐患。同时,清理输水通道内的堵塞物,疏通输水路径,保证输水畅通,防止堵塞造成管内压力增大引发破损。

进出口部位是输水建筑物的薄弱环节,易受水流冲刷、岩体坍塌的影响,加固设计应采用钢筋混凝土浇筑加固进出口结构,增设护砌、防冲槽等设施,提高抗冲刷能力,防止进出口坍塌、冲刷破坏;完善止水设施,在进出口衔接处设置止水带、密封胶等,防止水流渗漏,保证进出口结构稳定<sup>[3]</sup>。

### 2.4 附属设施除险加固设计

附属设施是水库正常运行和日常维护所必需的部分,影响水库运行效率与运维安全,除险加固设计应全面考虑各种附属设施,针对老化、损坏、功能缺失等状况提出具体的解决办法,形成完整的附属保障体系。

闸门和启闭设备是水库调节水位、控制水流的重要附属设施,加固设计主要对老化、损坏的闸门、启闭机进行修复或更换,对锈蚀的闸门进行除锈、防腐处理,更换损坏的零部件,保证闸门密封性能良好、启闭灵活,完善启闭控制系统,升级智能化控制模块,实现闸门启闭的精准控制和远程监控,提高运行便捷性和可靠性,防止因闸门失效、启闭不畅造成安全隐患。

防汛道路、管理房等附属设施,针对路面破损、墙体开裂等问题进行防汛道路修补、硬化处理,保证防汛物资运输、应急处置车辆通行顺畅;对管理房进行加固修复,修补墙体裂缝、更换损坏的门窗,完善防水、排水设施,提高管理房的安全性、实用性。同时,修复破损的防护设施,在坝体周围、泄洪建筑物附近增设防护栏杆、警示标

志等,防止人员坠落、意外事故的发生,全面提高附属设施的功能,为水库日常运维、应急处置提供强有力的保障,保证水库安全稳定运行。

### 3 水库运行安全提升设计策略

#### 3.1 安全监测体系设计

安全监测体系是水库运行安全的“眼睛”,其设计核心是实现水库各类隐患的实时监测、精准预警,为安全决策提供科学的数据支持,全面覆盖水库关键部位和运行参数,保证监测无死角、数据无偏差。监测内容应根据水库隐患的特点和运行需求确定,主要监测坝体沉降、位移、渗流量、渗压等指标,同时对库水位、雨量、泄洪建筑物运行状态进行监测,全方位捕捉水库运行过程中出现的各种异常情况,及时发现潜在隐患<sup>[4]</sup>。

选择适用于水库复杂环境的自动化监测仪器,合理布置监测点位,坝体重要部位设沉降计、渗压计,库岸和溢洪道设位移监测设备,库区周边设雨量计,使监测数据及时、自动上传;创建智能化监测平台,将各种监测数据融合,具有数据实时显示、趋势分析、异常报警等特性,可自动识别数据的异常变动,立刻发出警报,为运维人员提供准确的监测依据。同时,设计监测设备的定期校准、维护方案,明确校准周期和维护程序,指定专人负责设备维护,保证监测设备长期稳定工作、监测数据真实有效,利用全方位、智能化的监测系统实现水库运行状态动态控制,为除险加固和安全运行提供强有力的数据支持。

#### 3.2 运行管理体系优化设计

运行管理体系优化是保证水库运行安全的关键所在,设计重点是健全管理制度、提高人员素质,使水库运维走向规范化、专业化,从管理角度杜绝安全隐患。

健全管理制度需立足水库运行实际,根据除险加固后的运行特点,制定全面的日常运维、巡查、检修制度,明确各岗位职责分工,规范运行操作流程,细化巡查频次、巡查内容,保证每一项运维工作有章可循、有据可查;根据水库主要设施、重点部位制定专项巡查、检修方案,确定检修周期、检修标准,及时发现并消除运行过程中存在的各种隐患,防止小隐患造成大问题。

人员能力提升是管理体系优化的重要部分,应设计针对性的人员培训计划,根据运维人员岗位需求,开展专业技能、安全知识、应急处置等各方面培训,邀请行业专家现场授课,采用理论+实践的方法,提高运维人员对监测设备、启闭设施的操作能力,提高隐患识别和应急处置的专业水平。

#### 3.3 应急处置体系设计

应急处置体系设计的核心是提高水库应对突发事件的能力,最大限度减少灾害损失,根据水库隐患特点建立预案完善、物资充足、演练到位的应急处置体系,保证突发事件发生后可迅速响应、科学处置。

应急预案编制需结合水库实际情况,针对洪水、坝体渗漏、闸门失灵等常见突发事件,编制专项应急预案,明确应急响应程序、处置办法、责任划分,细化各类突发事件的应对措施,保证预案具有针对性、可操作性,可指引应急处置工作有条不紊进行<sup>[5]</sup>。

应急物资储备设计需以应急处置需求为出发点,制定详细的应急物资储备清单,包括沙袋、水泵、应急照明、通讯设备、急救药品等,明确物资储备数量、储备地点,选择交通便利、易调取的区域存放,建立物资定期检查、更新制度,保证应急物资完好可用,可及时调配使用。

应急演练设计需制定常态化的应急演练计划,明确应急演练的流程、频次,根据不同突发事件类型开展针对性的应急演练,模拟突发事件发生后应急处置的过程,提高运维人员应急响应能力、协同配合能力,保证突发事件发生后,能够快速启动应急预案,科学开展处置工作,最大限度保障水库安全和周边群众生命财产安全。

#### 3.4 智能化运行提升设计

智能化运行提升设计是顺应水利数字化发展潮流、提升水库运行效率和安全水平的必要手段,核心是利用智能化技术的加持完成对水库运行的自动控制和精准预警,促使水库运行由“人工维护”向“智能管理”转变。

智能化控制以水库主要运行环节为重心,创建水库运行智能化平台,融合监测数据和控制设备,实现库水位、闸门启闭的自动化操控,结合库水位变动、雨量状况,自动调节闸门开度,准确掌控泄洪、输水流量,改善运行效能,减少人工操作失误,防止因人为操作失误引发的安全隐患。另外,对闸门启闭控制系统进行优化,采用远程监控、精准操作的方式,运维人员可借助智能化平台远程控制闸门的运行情况,并根据需要随时调节运行参数,从而保证运行安全。

预警系统优化利用智能化监测平台的优势,创建分级预警体系,依据监测数据异常程度的不同,将预警分为不同等级,确定各等级预警的处置流程和应对办法,从而实现隐患提前预警并及时处理。智能化运行可提高水库运行效率,加强安全管控能力,使水库运行更精确、更智能,为其长期安全稳定运行提供了强有力的保障。

## 4 结语

总之, 本文从水库运行隐患的特征出发, 对双维度分类和等级划分进行了系统分析, 实现对水库运行隐患进行准确识别, 为除险加固提供了科学依据。根据坝体、泄洪设施等部位的差异性加固设计, 可从根本上消除结构安全隐患, 安全监测、运行管理等体系的建立, 形成了水库运行安全的全过程管控能力, 实现了隐患治理和日常运维的共同作用。因此, 水库除险加固应按隐患等级合理安排治理资金, 重视加固设计和现场施工的精确对接, 同时健全运行管理制度和流程, 保证加固效果长期有效。未来, 可针对不同水文地质条件下加固技术的适应性进行研究, 探寻监测数据与应急处置高效联动的模式, 持续改进水库智能化运行管控体系, 使设计策略更契合水库工程实际运行

需求。

## 参考文献:

- [1] 郑于浩. 城市小型水库除险加固工程关键施工技术[J]. 陶瓷, 2025(11):138-140.
- [2] 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.
- [3] 梁炳育. 水库除险加固工程质量监督策略[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(31):43-45.
- [4] 高力强, 张志国. 中小型水库安全运行的管理要点研究[J]. 水上安全, 2025(12):37-39.
- [5] 王曼丽. 水库安全运行自动化监测管理系统设计研究[J]. 水上安全, 2024(06):70-72.