

水库除险加固设计方案与施工质量控制研究

杨 涛, 林莉梅, 杨 彭

(沧源佤族自治县水库管理局, 云南 临沧 677499)

摘 要 水库运行一定周期以后, 容易出现坝体渗漏、溢洪道损毁及输水设施老化等现象。因此, 为提升水库整体结构的稳定性, 增加水库基础设施的运行功能, 本文以某水库除险加固工程项目为例, 通过分析该水库现存的安全隐患, 提出采用高压旋喷灌浆防渗、溢洪道底板重建及启闭机系统更新等针对性设计方案, 并分析了水库除险加固施工准备、关键工序管控、全过程监测及后期验收等质量控制要点, 以期为增加水库除险加固设计方案的合理性、提升水库除险加固工程的施工质量提供参考, 从而消除工程隐患, 提升水库防洪调蓄能力与结构安全, 保障下游人民的生命财产安全。

关键词 水库除险; 加固设计; 施工质量; 隐患治理

中图分类号: TV697.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.25.040

0 引言

水库作为现代社会重要基础设施, 尤其是河流域防洪体系的关键, 对水资源调度和利用具有重要意义。水库安全运行, 对社会稳定以及经济发展存在直接影响。然而, 水库在长期运行之下, 因为地质条件变化、材料自然老化、早期建设标准局限等因素影响, 造成结构性病害以及功能性缺陷。在水库运行过程中, 可通过除险加固措施使其恢复设计功能、延长使用寿命, 并具备较高的防灾韧性。基于此, 应针对水库除险加固确定适宜设计方案, 落实施工质量控制措施, 采取精细化控制方案保证水库除险加固效果合格, 构建完善水库管理体系, 为社会对资源合理调配利用奠定基础。

1 水库除险加固工程概况与现存隐患

1.1 工程基本概况

某中型水库位于长江支流上游丘陵地带, 始建于1975年, 是一座以农业灌溉为主, 兼顾城乡供水、防洪及水产养殖的综合利用水利工程。大坝为均质土坝, 最大坝高28.5 m, 坝顶轴线长320 m, 顶宽6 m, 防浪墙高1.2 m。水库正常蓄水位158.0 m, 相应库容1 200万 m^3 , 设计洪水标准为50年一遇, 校核洪水标准为100年一遇。溢洪道布置于大坝右岸坝口, 为开敞式宽顶堰结构, 净宽15 m, 设有3孔弧形闸门。输水涵管位于左岸坝体内, 为钢筋混凝土箱涵结构, 进口设检修闸与工作闸, 设计流量3.5 m^3/s 。经过近五十年的运行, 该水库在

历次汛期发挥了重要调蓄作用, 但随着时间推移, 工程设施逐渐老化, 部分技术指标已低于现行规范要求, 亟须进行全面除险加固。

1.2 水库现存主要安全隐患

在本水库除险加固开始前, 由专业机构进行安全鉴定以及现场勘查, 确定水库存在严重安全隐患, 评定为三类坝。首先, 水库坝体防渗体系几近失效, 背水坡脚位置出现常年散浸现象, 雨季形成明显沼泽化现象, 浸润线抬高, 渗透破坏风险加剧; 水库坝顶路面坑洼不平, 防浪墙多处存在开裂、倾斜现象。其次, 水库溢洪道混凝土内钢筋露筋明显, 侧墙裂缝发育且存在渗水现象, 消力池冲刷坑深度超标, 尾坎损毁, 已经无法满足水库运行稳定性、可靠性。再次, 输水涵管进出连接段不均匀、错位现象明显, 管身有纵向裂缝, 在长期运行下出现严重渗漏问题; 原有铸铁闸门锈蚀卡阻无法正常开启, 传动部件损坏严重。最后, 防汛道路狭窄、泥泞。由于水库运维单位未采取雨水情自动测报系统以及视频监控系统, 管道维护相对落后, 造成设备运行过程中无法满足功能性需求, 对下游三个行政村以及万亩良田安全产生危害^[1]。

2 除险加固的必要性与目标

水库除险加固的主要目的是消除安全隐患, 确保水库运行过程中达到安全性、可靠性要求。由于本水库所在地区下游分布大量村庄, 人口密集度较高, 是当地极为重要的水资源调配设施, 若该水库坝体出现

作者简介: 杨涛(1993-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电工程。

渗透破坏或溢洪道失事造成溃坝,其产生的灾难性后果极为严重。目前,该水库存在渗漏、结构裂缝、设备失灵等问题,已经存在严重安全隐患,需及时进行加固维修处理才能保证人员与农田安全性。同时,水库除险加固是促进区域可持续发展、实现工程综合效益提升的关键。水库除险加固能提高供水效率,确保防洪调蓄精度达到要求,为农业增产、农民增收奠定基础。此外,水库除险加固需建设完善监控系统,构建水库现代化管理体系实现水资源高效利用,为区域经济社会发展做出贡献。本次水库除险加固设计目标如下:一是达标性,确保水库大坝抗震、防洪标准满足规范性要求;二是安全性,消除水库运行中渗漏、滑坡、结构性破坏隐患等,使水库长期运行达到稳定性要求;三是功能性,水库除险加固后恢复泄洪输水功能,确保机电设备具备可靠性与自动化水平;四是耐久性,通过除险加固提高水库耐久性,发挥新材料、新工艺特性延长水库使用寿命,构建完善水库运维管理体系^[2]。

3 水库除险加固设计方案

3.1 坝体除险加固设计

针对坝体渗漏及稳定性不足问题,采用“上截下排、加强护坡”的综合治理方案。在坝体上游面铺设复合土工膜防渗层,下设砂砾石垫层,顶部锚固于新建防浪墙底部,底部嵌入坝基截水槽,形成连续封闭防渗屏障。对于坝基深层渗漏,采用高压旋喷灌浆技术构建垂直防渗帷幕,钻孔深入基岩 0.5 m,桩径 80 cm,搭接长度 20 cm,确保截水效果。背水坡设置贴坡排水体,由碎石、粗砂及土工布反滤层组成,降低浸润线,防止渗透变形。坝顶加宽至 8 m,采用沥青混凝土路面,重建钢筋混凝土防浪墙。上下游坝坡分别采用预制混凝土六角块护坡与生态草皮护坡,增强抗冲刷能力与景观效果,确保坝体整体稳定与防渗安全。

3.2 溢洪道优化设计

本水库溢洪道进行全线重建与水力优化,能保证其运行过程中达到安全性。在该理念下需将水库原破损的底板、侧墙拆除掉,再浇筑 C30 钢筋混凝土,保证底板厚度达到 40 cm。而侧墙则增加锚杆加固系统,确保其具备较高的抗滑稳定性与刚度。水库进口段改为圆弧形翼墙,在设计过程中翼墙圆弧半径须 ≥ 3 m,翼墙倾斜角度控制在 $30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 左右,并且翼墙厚度 ≥ 50 cm,水流阻力系数 ≤ 0.025 ,使水流状态得以改变,减少进水损失与涡流振动。控制段堰型优化为实用堰,使水库泄流系数得以提高,能满足 100 年一遇洪水安全下泄要

求。水库出口消力池加深加长,消力池加深深度 ≥ 0.8 m,消力池加长长度 ≥ 5 m,辅助消能墩间距 1.5 m $\sim$ 2 m,尾坎高度 ≥ 0.5 m,消能效率 $\geq 85\%$,增加辅助消能墩与尾坎消除剩余能量,以防对水库产生过大冲击。同时,水库溢洪道两侧建设检修通道与安全护栏,检修通道宽度 ≥ 1.2 m,安全护栏高度: ≥ 1.2 m,排水系统坡度: $\geq 2\%$,护栏间距 ≤ 15 cm,通过设置完善排水系统,以提高后续运维管理的操作性与安全性。

3.3 输水建筑物除险设计

由于本水库输水涵管存在渗漏、设备老化等问题,在除险加固中采取内衬修复与设备更新组合的方式。原涵管使用高压水枪清理打磨后植入钢筋网,再喷射高强聚合物砂浆内衬加固,以增强结构完整性与止水性。水库进口连接段拆除重建,选择使用柔性橡胶止水带进行沉降缝处理,橡胶止水带宽度 ≥ 300 mm,厚度 ≥ 10 mm;沉降缝间距: ≤ 6 m;止水带搭接长度 ≥ 100 mm;混凝土强度 $\geq$ C30,进而避免发生不均匀沉降问题。铸铁闸门存在锈蚀、强度下降的情况,将其整体更换为平面钢闸门,钢闸门厚度设计为 ≥ 12 mm;同时采取热喷锌加环氧涂料防护处理,热喷锌厚度设计为 ≥ 80 μ m,环氧涂料厚度设计为 ≥ 150 μ m,闸门承载力设计值不低于设计荷载的 1.2 倍。水库闸门启闭系统升级为螺杆式电动启闭机,配合使用备用电源与手动装置,确保在断电情况下依然能够紧急关闭。此外,该水库增加电磁流量计与高清视频监控系统,将现场运行数据及时传输到后台管理系统,确保水库运维管理达到高可靠性^[3]。

3.4 配套设施设计

该水库除险加固建设完善配套管理措施,促进水库管理现代化水平的提升。本次除险加固建设防汛管理用房 200 m²,包含值班室、会议室、设备间,以满足日常办公与应急指挥需求。水库内部防汛道路进行硬化处理,将宽度增加到 6 m,浇筑混凝土路面满足车辆通行需求。而在现场运行中建设自动化监测系统,包含坝体表面位移、内部变形、渗流压力、雨量、水位监测等点位,设计过程中坝体表面位移监测精度为 ± 1 mm,内部变形监测频率:每 30 分钟 1 次,渗流压力监测范围:0 MPa $\sim$ 1.6 MPa,精度 $\pm 0.5\%$,雨量监测精度 ± 0.1 mm,水位监测精度 ± 2 mm,数据传输延迟设计在 ≤ 1 s 之内,并且将所有监测数据传输到水利管理平台,能时刻掌握大坝溢洪道主要出入口的运行状态并设置预警功能。

4 水库除险加固施工质量控制要点

4.1 施工准备阶段质量控制

水库除险加固开始前需做好施工准备工作,这关系到各项加固措施是否有效落实。首先,对除险加固单位以及人员资质进行审查,确保关键岗位人员持证上岗。同时,组织多方人员进行技术交底,使现场人员了解设计方案和施工质量标准。其次,严格落实材料质量管理。水库除险加固中水泥、钢筋、土工膜、止水带为关键材料,按照规定比例抽样检测,各项指标合格再开展现场加固施工。在现场施工环节,根据设计方案布置测量控制网,确保大坝轴线高程、断面尺寸精度合格。再次,检查设备性能。针对水库除险加固中大型设备,如起重机械、灌浆设备、混凝土搅拌站,保证其性能处于最佳状态。最后,建设完善质量管理体系,明确各岗位人员质量责任并制定奖惩措施,为后续施工奠定基础^[4]。

4.2 关键工序施工质量控制

水库除险加固关键工序是核心,其对除险加固效果有直接影响,需落实旁站监理与全程精细化控制措施。水库除险加固中,高压旋喷灌浆保证垂直度、喷浆压力、提升速度、水泥浆液比重合格,且确保现场灌浆作业达到连续性、均匀性。而在灌浆完成后,需使用取芯检测、压水试验检测防渗效果,使其合格率达到100%。土工膜铺设保证基层表面平整性,焊接部位使用双焊缝工艺,且焊缝宽度超过10 cm,再使用充气检测以防存在焊接缺陷。混凝土浇筑保证混凝土配合比符合要求,各项参数合格,分层振捣施工以提高混凝土结构密实度。预应力锚索保证钻孔角度、深度合格,张拉环节采取应力与伸长值双控方式^[5]。此外,灌浆作业全程固定设备运行参数,施工时保持匀速作业,施工过程中不能随意调整设备参数。土工膜铺设搭接区域严格清理干净,彻底清除区域内杂物、积水与尖锐颗粒,规避焊接空鼓、开裂问题。混凝土振捣严格遵循快插慢拔施工规范,合理控制振捣间距与振捣时长,减少漏振、过振、蜂窝麻面等施工情况出现。锚索张拉采取分级匀速施压作业模式,每一级张拉完成后保持稳压静置,严格核对孔位、张力及伸长值各项施工参数,全程标准化合规作业。

4.3 施工过程质量监测与管控

水库除险加固建设动态化质量监测措施,对施工现场进行全面施工监督管控。在本项目水库除险加固中,需对坝基沉降、位移、渗流定期监测,及时掌握数据变化趋势,一旦发生质量缺陷则及时停止施工作业。溢洪道高边坡支护进行深层位移监测,避免发生

滑坡风险。而在现场施工环节落实隐蔽工程检查验收工作,基础清理、钢筋绑扎、止水安装等关键环节留存影像,确保施工质量具备可追溯性。同时,水库除险加固引入第三方机构对水库实体质量进行抽样检测。在水库除险加固中建设信息化管理平台,及时掌握现场施工质量信息,针对潜在质量隐患采取应对方案^[6]。

4.4 施工后期养护与质量验收控制

水库除险加固后需进行养护,这是保证除险加固质量的核心环节。混凝土浇筑后及时进行养护处理,保证养护时间在14天以上,采取夏季遮阳降温、冬季保温防冻的措施,避免发生混凝土结构裂缝。水库中金属部件安装后,采取全程调试与防腐涂层修补措施,使其开启灵活且防腐性能达到要求。水库除险加固后组织专业技术团队进行质量验收,主要从实体质量检测、外观评定、资料核查、功能测试等方面展开质量检查。上述工作结束后收集项目施工以及质检资料,确保资料真实、准确^[7]。

5 结束语

水库除险加固属于复杂系统性工程,其关系到水库运行功能以及社会稳定。本文以某水库为例,深入探讨坝体渗漏、溢洪道损毁、输水设施老化的具体加固措施,在水库除险加固中进行质量监督管控,以保证水库除险加固效果合格。在水库除险加固中,通过高压旋喷灌浆、复合土工膜防渗、智能化监测等技术,能及时消除安全隐患,确保水库运行达到安全性、可靠性。同时,水库除险加固需落实各方责任,将新材料、新工艺、数字化技术应用到实践中,构建全生命周期管理模式,确保水库运行状态合格,符合当前水利事业发展需求。

参考文献:

- [1] 王雪婷,贾云龙,张甲栋.浅析李家川水库除险加固设计洪水复核计算[J].地下水,2023,45(06):213-215.
- [2] 夏初阳,于海洋,张晓青.通辽市库伦旗养畜牧东水库坝体除险加固设计方案浅析[J].内蒙古水利,2023(09):18-19.
- [3] 简从义.某水库枢纽大坝工程除险加固设计要点[J].河南水利与南水北调,2023,52(10):77-78.
- [4] 李东文.阳春市北河水库除险加固工程中输水涵加固设计研究[J].陕西水利,2023(11):162-163,166.
- [5] 胡衍,邱云强,张松.水利工程中小型水库除险加固设计探讨[J].中国设备工程,2024(17):239-241.
- [6] 鞠晓东.小型水库除险加固设计方案分析[J].陕西水利,2025(03):163-165,168.
- [7] 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.