

水库大坝除险加固结构设计与工程实践研究

李 行 黄甫丞

广西珠委南宁勘测设计院有限公司 广西 南宁 530000

摘 要：随着水库大坝使用年限的增长，多种安全隐患逐渐显现，包括坝体渗漏、裂缝、稳定性不足等问题。本研究致力于水库大坝除险加固的结构设计与工程实践探索，通过详细的病害探测、科学的结构加固设计及高效的工程实施，有效提升了大坝的防洪能力与稳定性。实践案例验证了加固方案的有效性，为类似工程提供了宝贵经验，确保了水库大坝的长期安全运行。

关键词：水库大坝；除险加固；结构设计；工程实践

引言：水库大坝作为重要的水利工程设施，承担着防洪、灌溉、发电等多重功能，对社会经济发展至关重要。然而，随着运行年限的增长，许多水库大坝面临坝体渗漏、裂缝、稳定性下降等安全隐患。为确保大坝安全运行，除险加固工作势在必行。本研究从结构设计与工程实践的角度出发，探讨有效的加固方法和技术，旨在为水库大坝的除险加固提供科学依据和技术支持，保障人民生命财产安全和社会经济稳定发展。

1 水库大坝现状及存在问题分析

1.1 水库大坝概况

水库大坝作为关键水利设施，在广西地区的水资源调配中发挥着核心作用。以位于郁江中游的某水库为例，该工程于1978年建成，是集防洪、灌溉、发电、供水于一体的大（2）型水利枢纽。水库总库容达2.3亿立方米，设计洪水标准为百年一遇，校核洪水标准达千年一遇，保障了下游数百万亩农田和城镇安全。

该大坝采用土石坝坝型，坝高85米，坝顶长1200米，形成的库区面积广阔。大坝主体由粘土心墙和上下游反滤层构成，心墙选用当地优质粘土夯实，反滤层铺设砂砾石增强渗透稳定性；坝基通过帷幕灌浆实现高效防渗。此外，配套的溢洪道、引水涵管及排水系统，配合坝壳风化料填筑的稳固结构，全方位保障大坝安全运行，兼具生态养殖与休闲旅游等综合效益。

1.2 水库大坝存在的问题

随着使用年限的增长，该水库大坝逐渐暴露出一些问题，主要包括以下几个方面：（1）坝体渗漏与裂缝。由于地质条件复杂、施工质量控制不严或材料老化等原因，大坝心墙和坝壳之间出现了渗漏通道，导致坝体内部水分过多。同时，坝体表面也出现了裂缝，影响了大坝的整体性和稳定性。这些渗漏和裂缝问题不仅降低了大坝的防洪能力，还可能引发更大的安全隐患。（2）坝

体稳定性不足。由于大坝建设时地质勘探资料不准确或设计缺陷等原因，导致大坝在运行过程中出现了抗滑稳定性不足的问题。特别是在极端天气条件下，如暴雨、洪水等，大坝可能面临更大的安全风险。（3）溢洪道泄洪能力不足。由于溢洪道设计标准较低或长期缺乏维护等原因，导致溢洪道在洪水期间泄洪能力不足。这不仅可能引发洪水漫坝等安全事故，还可能对下游地区造成严重的洪涝灾害。（4）引水涵与排水系统问题。引水涵和排水系统作为大坝的重要附属设施，在长期运行过程中也出现了老化、堵塞等问题。这些问题不仅影响了大坝的正常运行，还可能引发更大的安全隐患。

2 水库大坝除险加固结构设计

2.1 挡水建筑物加固设计

（1）坝体加固措施。坝体加固是大坝除险加固工作的核心。针对坝体存在的渗漏、裂缝和稳定性不足等问题，可以采取以下加固措施：1）培厚坝体。通过增加坝体的厚度，可以提高其抗渗性能和整体稳定性。培厚过程中，应选用合适的土石料，并严格控制施工质量，确保坝体内部无空洞、无裂缝。2）防渗墙建设。防渗墙是大坝防渗的重要措施之一。可以采用混凝土或塑性混凝土等材料建设防渗墙，其深度和宽度应根据坝体的实际情况和地质条件确定。防渗墙的建设应确保与坝体紧密结合，形成有效的防渗体系。3）灌浆处理。灌浆处理包括帷幕灌浆和固结灌浆等。帷幕灌浆主要用于截断坝基和坝肩的渗漏通道，提高大坝的防渗性能；固结灌浆则用于提高坝体的整体性和密实性。灌浆材料应选用流动性好、凝结时间可控的材料，确保灌浆效果^[1]。（2）坝顶高程与宽度设计。坝顶高程和宽度的设计应充分考虑大坝的防洪能力和稳定性要求。根据水库的设计洪水位和校核洪水位，合理确定坝顶高程，确保大坝在极端天气条件下能够安全泄洪。同时，坝顶宽度应满足运行管

理、巡视检查和应急抢险的需要,确保人员和设备的通行安全。(3)护坡与排水系统设计。护坡和排水系统是大坝安全运行的重要保障。护坡可以采用块石、混凝土或土工织物等材料,以增强坝体的抗冲刷能力。排水系统包括坝面排水和坝基排水两部分,通过设置排水孔、排水沟等设施,有效排出坝体内部的水分,降低大坝的渗透压力,提高稳定性。

2.2 泄水建筑物加固设计

(1)溢洪道设计与优化。溢洪道是大坝泄洪的重要通道。针对溢洪道泄洪能力不足的问题,可以通过拓宽、加深溢洪道或增设闸门等措施来提高其泄洪能力。同时,还应加强溢洪道的衬砌和防护措施,确保其在洪水期间的安全运行。(2)泄洪闸与泄洪洞的设计。泄洪闸和泄洪洞是另一种重要的泄水设施。其设计应充分考虑大坝的泄洪需求和地质条件。泄洪闸可以采用平板闸门或弧形闸门等形式,通过控制闸门的开启程度来调节泄洪流量。泄洪洞则应设置合理的断面形状和衬砌材料,以确保其泄洪能力和耐久性。(3)消能防冲设施设计。消能防冲设施是保护下游河床和岸坡免受洪水冲刷的重要措施。可以采用消力池、海漫等设施来消耗和分散洪水的能量。消力池的设计应充分考虑洪水的流速、流量和河床地质条件,确保洪水在通过消力池后能够平稳地流向下游^[2]。

2.3 输水建筑物加固设计

(1)引水涵的设计与改造。引水涵作为大坝的重要输水设施,其设计和改造应充分考虑其安全性和可靠性。针对引水涵老化、堵塞等问题,可以通过清淤、加固或重建等措施来恢复其输水功能。同时,还应加强引水涵的防渗和防护措施,确保其在水库运行期间的正常运行。(2)管道、隧洞等输水结构的加固。管道和隧洞等输水结构是连接水库和下游用水区的重要通道。其加固设计应充分考虑其承受的内水压力和外部荷载等因素。通过加强管道和隧洞的衬砌和防护措施,提高其承载能力和耐久性。同时,还应加强管道和隧洞的维护和检修工作,确保其在水库运行期间的安全运行。

3 水库大坝除险加固工程实践

3.1 工程实践案例概述

3.1.1 选取典型的水库大坝除险加固工程实例

位于郁江中游的广西某水库,作为当地重要的水利枢纽,承担着防洪、灌溉、发电等多项重任,守护着下游数百万亩农田与城镇的安全。但因建成于1978年,历经四十余年的运行,坝体受雨水冲刷、水位变化等影响,出现了坝基渗漏、坝坡稳定性下降、溢洪道老化等

诸多安全隐患。这些问题严重威胁水库正常运行与下游群众生命财产安全,因此该水库的除险加固工程极具典型性,其经验可为广西乃至全国类似工程提供参考。

3.1.2 工程的基本情况、加固目标与实施方案

该水库大坝为土石坝,坝高85米,坝顶长1200米,总库容达2.3亿立方米。由于长期运行,坝基出现渗漏通道,导致库水流失,同时坝体下游坡面局部塌陷,反滤层功能减弱;溢洪道因年久失修,泄洪能力不足。2020年,除险加固工程正式启动,目标是消除安全隐患,提升水库防洪标准,增强坝体整体稳定性和耐久性。

实施方案包括:对坝基采用高压旋喷灌浆与帷幕灌浆相结合的方式,彻底封堵渗漏通道;对坝体下游坡面进行培厚加固,更换失效的反滤层材料,增设排水棱体;对溢洪道进行拓宽、加深改造,加固边墙,并更新闸门及启闭设备,确保其泄洪能力满足设计要求。

3.2 工程实践中的关键技术

(1)基础的开挖与处理。工程团队借助地质雷达、钻孔勘探精准定位渗漏区域,依地质条件差异实施不同方案。覆盖层薄处采用高压旋喷灌浆,快速形成防渗墙;覆盖层厚且地质复杂区域,则运用帷幕灌浆,通过分段钻孔、分层灌浆,严控压力与浆液配比,确保裂隙充分填充,形成密实防渗帷幕。同时,合理调配开挖土方,用于坝体培厚及库区场地平整。(2)加固材料的选择与施工。大坝培厚选用本地优质风化石料,严格控制级配、含水量,分层填筑压实,每层厚 ≤ 30 厘米,压实度达98%以上。反滤层采用砂砾石与土工布组合,保障排水防土流失。溢洪道加固使用添加纤维的高强度抗冲刷混凝土,配合滑模技术,提升浇筑平整度与密实度。

(3)施工过程中的质量控制与安全管理。构建施工单位自检、监理复检、建设单位抽检的三级质量管控体系,对灌浆、混凝土浇筑等关键工序全程旁站,实时监测压力、坍落度等指标。安全管理上,落实岗前培训交底,设置安全设施,针对高危作业制定预案并演练。同步采取降尘、废水处理等环保措施,减少施工影响^[3]。

3.3 工程实践效果分析

3.3.1 通过监测数据评估加固前后的坝体稳定性与泄洪能力

工程竣工后,经一年多的运行监测,坝基渗漏量从加固前的每天50立方米降至5立方米以下,坝体位移、沉降趋于稳定,整体稳定性显著提高。溢洪道泄洪能力由原来的每秒800立方米提升至每秒1200立方米,达到设计标准,在2022年的汛期,成功抵御了强降雨考验,保障了下游地区安全。

3.3.2 分析加固工程的经济效益与社会效益

经济效益方面,水库灌溉保障能力增强,每年可多灌溉农田10万余亩,粮食增产约500万公斤,带动农业增收超千万元;发电效率提高,年发电量增加15%,直接经济效益显著。社会效益上,消除了水库溃坝风险,保障了下游数十万群众的生命财产安全;改善了库区生态环境,促进了当地旅游业发展,提升了居民生活质量。该工程的成功实施,为广西地区老旧水库除险加固积累了宝贵经验,对推动水利事业高质量发展具有重要意义。

4 水库大坝除险加固的安全监测与维护

4.1 安全监测系统设计

(1) 针对水库大坝关键部位的监测。安全监测系统应重点关注水库大坝的坝体、溢洪道、引水涵等关键部位。坝体作为水库大坝的主体结构,其稳定性、渗漏情况及裂缝发展是监测的重点。溢洪道作为水库泄洪的主要通道,其泄洪能力、冲刷情况及结构稳定性同样不容忽视。引水涵作为水库输水的重要设施,其渗漏、堵塞及结构破坏情况也应纳入监测范围。(2) 监测设备与方法的选择与安装。监测设备应选用高精度、高可靠性的传感器和测量仪器,如位移传感器、渗压计、应力应变计等。监测方法应根据监测对象的特性和监测需求进行选择,如采用自动监测与人工巡检相结合的方式,确保监测数据的准确性和全面性。监测设备的安装应遵循专业规范,确保监测点的布置合理、数据采集准确。

4.2 安全监测数据的分析与应用

(1) 对监测数据进行处理与分析。监测数据的处理与分析应基于统计学、数据挖掘及机器学习等先进技术。通过对监测数据的清洗、整理、异常值检测及趋势分析,提取关键信息,评估大坝的安全状况。对于异常数据,应及时进行复核与调查,确保数据的准确性,同时结合大坝的实际情况进行综合分析,判断大坝是否存在安全隐患^[4]。(2) 根据监测结果提出相应的维护与管理建议。根据监测数据的分析结果,应及时提出针对性的维护与管理建议。对于坝体,如监测到位移过大或渗流异常,建议加强巡视与检查,必要时进行加固处理;对于溢洪道,如监测到泄洪能力不足或结构破坏,建议进行修复或加固;对于引水涵,如监测到渗漏或堵塞问

题,建议进行清理或修复。同时,应建立健全的安全监测预警机制,确保在发生异常情况时能够迅速响应,保障大坝的安全运行。

4.3 大坝的维护与保养

(1) 日常检查与巡视。日常检查与巡视是确保大坝安全稳定运行的基础。应建立定期巡查制度,对大坝及其附属设施进行全面检查,记录异常情况,及时发现并处理。检查内容包括但不限于坝体裂缝、渗漏、位移情况,溢洪道泄洪能力及结构安全,引水涵堵塞、渗漏情况等。(2) 定期的维修与加固。根据日常检查与监测结果,制定定期的维修与加固计划。对于发现的异常情况,应及时进行处理,如修复裂缝、更换老化部件、加固薄弱部位等。同时,应定期对大坝进行全面评估,根据评估结果制定长期的维护计划,确保大坝的结构完整和性能稳定。(3) 应急处理与灾害预防。制定完善的应急预案,提高应对突发事件的能力。建立健全的灾害预警机制,及时发布预警信息,采取必要的预防和应对措施。对于可能发生的极端天气、地质灾害等,应提前做好应急准备,确保大坝在极端情况下的安全运行。

结束语

在水库大坝除险加固结构设计与工程实践研究中,我们深入探讨了水库大坝的现状、存在的问题以及加固措施。通过对典型工程案例的分析,我们认识到科学设计与精心施工对于确保大坝安全稳定运行的重要性。未来,随着科技的进步和材料的发展,水库大坝的加固技术将会更加先进,监测与维护手段也将更加智能化。我们期待水利行业能不断创新,保障人民群众生命财产安全,促进经济社会的可持续发展。

参考文献

- [1]金建国.水库大坝施工中的临时结构设计及其稳定性分析[J].建筑理论,2024,(09):96-97.
- [2]林延钊.水库大坝除险加固防渗设计处理探究[J].市政工程,2021,(05):55-56.
- [3]齐晓军.水库大坝除险加固防渗设计处理分析[J].建筑理论,2022,(06):61-62.
- [4]康涛,胡登权,周莉.水库除险加固大坝防渗设计研究[J].市政工程,2022,(10):104-105.