

小型水库除险加固中的勘察设计与施工要点

李力¹ 陈蒙²

1 陕西丹水林工程有限责任公司

2 陕西银河汇润水利基础有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i2.6845

[摘要] 针对小型水库长期运行中普遍存在的渗漏、结构老化及运行设施失效等问题,以陕西某地区红星水库为例,对小型水库除险加固中的勘察设计与施工要点进行了分析。通过现场调查、地球物理探测及工程地质勘察,查明坝体渗漏通道及坝基渗流条件,并开展渗流数值模拟分析。在此基础上提出以高压旋喷防渗墙为核心的综合加固方案,同时对溢洪道结构修复和输水涵管修复施工技术进行研究。工程实施后,通过稳定性复核计算及运行监测数据,对加固效果进行了综合评价。结果表明,加固措施有效降低坝体浸润线并改善渗流条件,坝体稳定性得到提升,为类似小型水库除险加固提供了参考。

[关键词] 小型水库; 除险加固; 渗流分析; 防渗墙; 施工技术

中图分类号: TV62 **文献标识码:** A

Key points of survey, design, and construction in the reinforcement and elimination of risks in small reservoirs

Li Li¹ Meng Chen²

1 Shaanxi Danshuilin Engineering Co., Ltd

2 Shaanxi Galaxy Huirun Water Conservancy Foundation Co., Ltd

[Abstract] In response to the common problems of leakage, structural aging, and operational facility failure in the long-term operation of small reservoirs, taking Hongxing Reservoir in a certain area of Shaanxi Province as an example, this paper analyzes the key points of survey, design, and construction in the reinforcement of small reservoirs. Through on-site investigation, geophysical exploration, and engineering geological survey, identify the leakage channels of the dam body and the seepage conditions of the dam foundation, and carry out numerical simulation analysis of seepage. On this basis, a comprehensive reinforcement scheme with high-pressure rotary jet grouting anti-seepage wall as the core is proposed, and research is conducted on the construction technology of spillway structure repair and water conveyance culvert pipe repair. After the implementation of the project, a comprehensive evaluation of the reinforcement effect was conducted through stability review calculations and operational monitoring data. The results show that the reinforcement measures effectively reduce the infiltration line of the dam body and improve the seepage conditions, and the stability of the dam body is improved, providing a reference for the reinforcement of similar small reservoirs.

[Key words] small reservoir; Risk elimination and reinforcement; Seepage analysis; Anti-seepage wall; construction technology

引言

小型水库在农业灌溉、防洪调蓄及区域水资源调配中具有重要作用,但多数工程建成时间较早,受设计标准及长期运行影响,坝体渗漏、结构老化和运行设施失效等问题逐渐显现^[1]。针对病险水库治理需求,开展科学的工程勘察、合理的加固设计及规范的施工控制具有重要意义。以陕西地区红星水库为研究对象,通过隐患调查、工程地质勘察及渗流条件分析,提出针对性

的防渗与结构加固措施,并对关键施工技术及工程运行效果进行分析,以为小型水库除险加固工程提供实践参考。

1 工程概况

以陕西某地区红星水库为例,该水库建于上世纪70年代,是一座以灌溉、防洪为主要功能的小(1)型水库。水库集水面积为18.5 km²,总库容125万m³。主坝为均质土坝,最大坝高22.5 m,坝顶长188 m。枢纽建筑物包括坝体、溢洪道及输水涵管。经过

多年运行,水库暴露出多种安全隐患。现场调查发现,大坝下游坡脚存在多处渗水点,尤其在接近正常蓄水位时,渗流量增大,坝体背水坡存在浸润线偏高迹象。溢洪道堰顶及侧墙混凝土出现碳化、剥落与裂缝。输水涵管为砌石结构,接缝漏水,启闭设施锈蚀严重,无法正常运行。受上述病险因素影响,水库安全等级被评定为三类坝,亟需进行全面的除险加固处理,以消除安全隐患,保障工程效益。

2 小型水库除险加固的勘察设计分析

2.1 病险水库隐患调查与坝体检测

对病险水库的隐患调查是后续设计与施工的基础。调查工作首先开展宏观巡查,对坝体、坝基、两岸坝肩及相关建筑物进行系统性排查^[2]。在红星水库的调查中,重点记录了坝体表面变形迹象,如坝顶沉降、边坡滑塌及纵横向裂缝的分布与宽度。对下游坡的渗水点进行标记,并测量其出逸流量与水温,初步判断渗漏通道的来源。为进一步掌握坝体内部结构状况,采用地球物理勘探技术进行探测。利用高密度电阻率法(ERT)沿坝轴线和典型横断面布设测线,通过反演电阻率剖面,识别出坝体内部存在的低阻异常区,这些区域被推断为高含水率的潜在渗漏通道或压实度较低的薄弱区域。同时,采用地质雷达(GPR)对溢洪道底板及输水涵管周边进行探测,探明了混凝土结构下方的空洞与脱空范围。结合钻孔取样,获取了坝体填筑料、坝基覆盖层及基岩的土工试验参数,为后续稳定性分析和防渗设计提供了直接依据^[3]。通过综合调查与检测,厘清了水库的主要病害类型、分布范围与严重程度,为制定针对性的加固方案奠定了基础。

2.2 工程地质勘察与渗流条件分析

工程地质勘察的主要任务是查明坝址区地层结构、岩土体工程特性及水文地质条件,为除险加固设计提供基础参数^[4]。在红星水库勘察阶段,通过布设钻孔并结合现场原位测试,对坝基及两岸地层分布情况进行了系统调查。勘察结果表明,坝基覆盖层主要为第四纪(Q₃)黄土状粉土,厚度约为3.2m~8.5m,结构松散,具有一定湿陷性,遇水后强度降低明显。其下伏基岩为三叠系(T)泥岩,岩体风化程度不均,局部夹有薄层砂岩,节理裂隙较为发育,岩体完整性整体较差。为查明坝基渗透条件,在坝基接触带及可能存在构造破碎带的区域进行了加密钻探,并开展压水试验和渗透试验。试验结果显示,浅层黄土状粉土的渗透系数(k)主要分布在 1.5×10^{-4} cm/s~ 5.2×10^{-4} cm/s之间,属于中等透水层,易形成坝基水平渗流通道,是坝体渗漏的重要控制层。

在此基础上,根据实际地形条件、地层结构及材料渗透参数,建立坝体一坝基渗流有限元计算模型,对水库运行工况下的渗流场分布进行了数值模拟^[5]。分析结果表明,在正常蓄水位条件下,坝体浸润线整体位置偏高,下游坡溢点与现场调查发现的渗水位置基本一致,说明坝体内部存在较为明显的渗流通道。进一步分析发现,坝体与坝基黄土层之间的接触带以及覆盖层黄土本身构成主要渗流路径,局部区域渗流梯度已接近或超过允许值,存在产生渗透变形甚至管涌的潜在风险。

2.3 除险加固结构设计方案

依据隐患调查和渗流分析结果,制定了一套综合性的除险加固设计方案。针对坝体和坝基的渗漏问题,设计采用高压旋喷灌浆技术,在坝轴线上游侧构建一道垂直防渗墙。该防渗墙设计为双排布置,桩径800mm,桩间距600mm,相互搭接形成连续的防渗帷幕。墙体深度设计为穿透坝体和坝基黄土覆盖层,并嵌入下伏相对不透水的泥岩层不小于1.5m,以确保有效隔断水平渗流。对于溢洪道结构老化问题,设计方案为清除所有老化剥落的混凝土,对原有钢筋进行除锈处理,并增补锈蚀严重的钢筋。在此基础上,重新浇筑一层150mm厚的C30抗渗混凝土,并在混凝土中掺加抗裂纤维,以提升结构的耐久性和抗裂性能。针对输水涵管的修复,设计采用内套钢管法。在涵管内部穿入一根直径小于原涵管内径的钢管,然后对钢管与原涵管壁之间的环形空隙进行压力灌浆填充,形成复合结构。同时,将原有的平板闸门更换为密封性更好的PZ型铸铁闸门,并配套更新启闭机设备。此外,对坝体上游坡面采用预制混凝土块护坡,下游坡面则采用植草皮护坡,以防止水流冲刷和雨水侵蚀,全面提升水库的整体安全水平。

3 小型水库除险加固的施工要点

3.1 坝体防渗加固施工

坝体防渗墙的施工质量直接关系到整个加固工程的核心效果。本次采用的高压旋喷灌浆施工,其技术控制至关重要。施工前,需根据设计图纸精确放样,确保钻孔位置与垂直度满足要求。钻机采用潜孔钻,钻进过程中密切监测地层变化,当钻至设计深度,确认进入稳定基岩后,方可开始旋喷作业。旋喷施工采用三管法,可同时喷射高压水、压缩空气和水泥浆液,切削土体的范围和浆液置换效果较好。施工参数的控制是质量保证的关键,旋喷提升速度控制在15~25cm/min,旋转速度为20r/min,浆液压力维持在25MPa左右。水泥浆液的水灰比严格控制在0.8:1至1.0:1之间,并添加早强剂以缩短凝结时间。施工过程中,需对每根桩的喷浆量、压力、提速等参数进行实时记录。为保证墙体的连续性和完整性,桩与桩之间的搭接时间间隔不宜过长,通常在前一序桩体初凝前完成相邻桩的施工。施工结束后,通过开挖样洞、钻孔取芯或声波透射法对墙体质量进行抽检,确保防渗墙的厚度、连续性和强度均达到设计标准,形成一道可靠的地下防渗屏障。

3.2 溢洪道结构加固施工控制

溢洪道加固施工的核心在于新旧混凝土的结合质量。施工第一步是凿除老化混凝土,采用小型风镐进行人工凿毛,凿除深度要求完全清除疏松、碳化层,直至露出坚实骨料。作业中严禁使用大型机械,以避免对保留的结构造成振动损伤。钢筋处理环节,对暴露的钢筋采用喷砂或钢丝刷进行除锈,达到Sa2.5级标准。对于锈蚀截面损失超过10%的钢筋,需按设计要求进行搭接补焊。在浇筑新混凝土前,必须对旧混凝土基面进行充分湿润,但不留明水,并均匀涂刷一层环氧树脂基底的界面剂,以增强新旧界面的粘结力。混凝土浇筑需分层进行,每层厚度不超过30cm,

并使用插入式振捣器充分振捣,避免漏振或过振。特别注意边角部位的振捣密实度。混凝土浇筑完成后,需立即进行养护。鉴于陕西地区气候较为干燥,采用覆盖塑料薄膜和湿麻袋的方式进行保湿养护,养护时间不少于14天,期间保持表面湿润,防止因水分过快蒸发而产生收缩裂缝,确保加固后混凝土的整体性和抗渗性。

3.3 输水建筑物修复施工要点

输水建筑物修复施工空间狭小,作业难度较大。在进行涵管内套钢管施工前,必须做好上游围堰,确保施工区域无水作业。首先对原涵管进行彻底清淤和冲洗,检查内部结构状况。钢管在场外预制分段,运至现场后逐段吊入涵管内进行焊接。焊接质量是关键,所有焊缝均需进行外观检查 and 无损探伤,确保焊缝强度和密闭性。钢管就位后,利用定位支架将其固定在涵管中心,保证环形间隙均匀。接下来进行环形间隙的压力灌浆,灌浆材料选用流动性好、微膨胀的水泥基灌浆料。灌浆从涵管底部开始,由低处向高处进行,并设置排气孔,确保浆液能完全填充所有空隙。灌浆压力应严格控制,初压一般为0.2-0.4MPa,终压根据现场情况调整,以防止压力过大导致钢管变形或损坏原涵管结构。闸门更换施工中,需保证闸槽的平整度和垂直度,安装时精确调整闸门门叶与门框的间隙,确保止水橡胶的压缩量均匀且在允许范围内。安装完成后,进行无水 and 有水状态下的启闭试验,检查运行是否平稳、有无卡阻现象,并验证止水效果,确保其满足运行要求。

4 工程运行效果评价

4.1 坝体安全稳定性评价

除险加固工程完成后,需对坝体的安全稳定性进行重新评价。评价工作基于更新后的工程地质参数和加固措施进行。通过对旋喷桩芯样进行室内试验,获得了防渗墙的实际抗压强度和渗透系数。将这些实测参数代入原有的坝体稳定计算模型中。采用瑞典条分法和简化毕肖普法,对不同工况下的坝体边坡稳定性进行复核计算,包括正常蓄水位、设计洪水位以及考虑下游水位骤降等多种组合。计算结果表明,由于防渗墙的设置,坝体浸润线位置显著降低,尤其是在下游坡体内。浸润线的下降有效增大了下游坡体的抗剪强度,从而提升了边坡的稳定安全系数。在最不利工况下,下游坡的抗滑稳定安全系数由加固前的1.18提升至1.42,满足规范要求的安全储备。同时,对坝基的抗渗稳定性和整体应力状态也进行了校核,结果均表明加固后的坝体结构处于安全稳定状态,能够抵御设计标准内的各种荷载作用。

4.2 工程运行监测数据分析

为持续评估加固效果,水库建立并完善了安全监测系统,包括渗流监测、变形监测等。工程竣工并蓄水运行一个周期后,对监测数据进行了系统分析。渗流监测数据显示,原下游坡脚的

各渗漏点已基本干涸,设置在下游的量水堰测得的总渗流量大幅减小。变形监测方面,布设在坝顶和坝坡的沉降观测点数据显示,坝体变形已趋于稳定,累计沉降速率小于0.5mm/月,无异常变化。监测结果表明,除险加固措施取得了明显成效。部分关键监测点加固前后数据对比情况如表1所示。

表1 加固前后主要监测项目数据对比表

监测点编号	监测项目	加固前数据	加固后数据
P-01	浸润管水位(m)	148.65	144.21
P-02	浸润管水位(m)	147.92	143.58
S-01	渗流量(L/s)	2.35	0.41
D-01	垂直位移(mm/a)	-15.8	-4.2
D-02	水平位移(mm/a)	8.3	2.1

从表1可以看出,坝体内浸润管水位平均下降超过4m,总渗流量减少了约80%,坝体的变形速率也明显放缓。监测数据表明,以高压旋喷防渗墙为主体的防渗体系发挥了预期的作用,有效控制了坝体渗漏,改善了坝体应力状态,工程运行状况良好。

5 结论

以红星水库除险加固工程为例,对小型水库加固过程中的勘察设计及施工关键技术进行了研究。通过隐患调查和工程地质勘察明确坝体渗漏特征,并结合渗流分析确定主要渗流路径,据此提出以高压旋喷防渗墙为核心的综合加固方案。施工过程中对防渗墙施工、溢洪道结构修复及输水建筑物修复等关键环节进行了技术控制。工程实施后监测结果表明,坝体浸润线与渗流量明显降低,坝体稳定性得到提升。实践表明,合理的勘察分析与施工控制是小型水库除险加固取得良好效果的重要保障。

[参考文献]

- [1]陈红星,潘鑫,梁锦安,等.小型水库除险加固设计方案与工程效益研究[J].水利技术监督,2026,(02):96-100.
- [2]黄玮玮.小型水库除险加固问题与对策[J].城市建设理论(电子版),2025,(35):53-55.
- [3]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.
- [4]刘彬.小型水库除险加固防渗提升技术应用探究[J].城市建设理论(电子版),2025,(29):190-192.
- [5]卢浩.基于有限元模拟的小型水库除险加固分析及渗流安全评价[J].云南水力发电,2025,41(11):182-185+198.

作者简介:

李力(1996—),男,汉族,陕西商洛人,本科,助理工程师,研究方向:水利工程。

陈蒙(1993—),女,汉族,陕西商洛人,本科,助理工程师,研究方向:水利水电。