

病险水库除险加固中渗流控制措施效果分析

邱捷宁

四川宝鑫建设有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6648

[摘要] 病险水库的渗流状况会直接影响大坝安全以及下游民众生命财产,此类渗流问题主要以坝体渗漏、坝基渗透破坏和绕坝渗流等多种形式体现,严重影响工程的安全与稳定。针对上述这些渗流隐患,需要采取坝体防渗处理、坝基及绕坝渗流控制、排水系统优化和渗流监测系统完善等综合性加固措施。加固完成之后,基于现场监测数据进行对比分析可以看到,坝体渗流量大幅减少且渗透压力得到有效抑制,坝基渗透稳定性也显著增强。实践能够证明,实施有针对性的渗流控制措施可有效消除水库安全隐患并恢复工程正常功能,为同类型病险水库的加固治理提供技术支撑和实践借鉴。

[关键词] 病险水库; 除险加固; 渗流控制; 防渗处理; 效果评价

中图分类号: TV697 文献标识码: A

Analysis of the Effect of Seepage Control Measures in the Reinforcement and Hazard Elimination of Dangerous and Faulty Reservoirs

Jiening Qiu

Sichuan Baoxin Construction Co., LTD

[Abstract] The seepage conditions of dangerous and faulty reservoirs directly affect the safety of the dam and the lives and property of the people downstream. Such seepage problems are mainly manifested in various forms such as dam body seepage, dam foundation seepage damage and seepage around the dam, which seriously affect the safety and stability of the project. In response to the above-mentioned seepage hazards, comprehensive reinforcement measures such as anti-seepage treatment of the dam body, seepage control of the dam foundation and around the dam, optimization of the drainage system, and improvement of the seepage monitoring system need to be adopted. After the reinforcement is completed, a comparative analysis based on the on-site monitoring data shows that the seepage flow of the dam body has been significantly reduced, the seepage pressure has been effectively suppressed, and the seepage stability of the dam foundation has also been significantly enhanced. Practice has proved that implementing targeted seepage control measures can effectively eliminate potential safety hazards in reservoirs and restore the normal functions of the project, providing technical support and practical reference for the reinforcement and treatment of similar dangerous and faulty reservoirs.

[Key words] Faulty and dangerous reservoir Risk elimination and reinforcement; Seepage control Anti-seepage treatment Effect evaluation

我国境内有着数量众多的水库,但很多中小型水库受建设时期早、施工标准低和后期维护不足等因素限制,普遍存在不同程度的病害与安全隐患。在各类溃坝事故当中,渗流破坏是主要诱因之一,严重威胁着大坝的稳定性。近年来因渗流问题引发水库险情的案例频繁发生,造成了巨大的财产损失,所以对存在病害的水库进行安全加固成为水利建设领域核心工作,而防渗技术科学规划与有效落实是决定加固项目成败的关键。深入剖析典型病险水库渗流问题特征并构建综合性防渗体系,同时评

估各类技术方案应用效果,对提升水库运行安全具有显著实践价值。

1 工程概况

攀枝花跃进水库是在20世纪60年代建成的,它采用的是均质土坝结构,最大坝高达到了31米,坝顶长度为186米,总库容有900万立方米。这个水库具备灌溉与供水两种功能,服务的灌溉面积有1.2万亩,能惠及3万余人口。在运行60多年之后,由于受到地质条件与施工工艺的限制,再加上长期使用的影响,坝体形

成了多处渗漏通道, 坝基存在着渗透变形的风险, 坝后排水设施出现淤堵而失效, 渗流监测设备也老化损坏了。经过安全鉴定认定该水库存在严重渗流问题, 属于三类病险水库。渗流病害不仅会危及大坝的安全运行, 还会影响水库效益的发挥, 所以急需实施除险加固。地质勘察表明坝基是砂卵石层, 透水性比较强, 渗流控制的难度较大, 需要通过综合措施来消除安全隐患。

2 渗流病害特征分析

2.1 渗流病害表现

渗流病害主要呈现坝体渗漏、坝基渗透破坏和绕坝渗流三种典型形式。坝体中部段背水坡有多处散浸点出现, 渗水浑浊且带有细颗粒物质, 局部形成集中渗流通道, 渗流现象持续存在^[1]。坝后排水体淤堵严重, 反滤层失去应有作用导致排水功能丧失, 坝脚沼泽化明显, 土体长时间处于饱和状态, 浸润线埋深不足且远超安全控制标准。左坝肩接触段渗漏明显, 水质浑浊, 渗流出逸点高程异常, 接触带防渗效果完全丧失。汛期高水位运行时坝后渗水量显著增加, 渗流稳定性急剧降低且坝坡局部有管涌迹象, 细颗粒流失现象进一步加剧。右岸绕坝渗流沿着基岩裂隙不断发展, 渗径短并且水力梯度较大, 对坝肩稳定构成了严重的威胁。坝体渗漏和坝基渗透相互叠加起来, 加剧了工程安全方面的风险, 渗流破坏呈现出持续发展的趋势, 危及了大坝整体的安全状况。

2.2 渗流病害成因分析

渗流病害的产生是由于设计、施工、运行等多环节存在疏漏, 问题具有复杂性且呈逐步恶化的特点。坝体填筑时质量控制方面比较松懈, 碾压密实度未达到标准且分层填筑过厚, 土料级配不佳同时黏土含量较少, 导致防渗能力处于薄弱状态。坝基砂卵石层具有较强透水性且渗透系数高, 初期设计未采取有效防渗措施, 形成了主要的渗漏路径, 地下水位波动进一步加大渗流风险。坝体与岸坡接合处处理方式比较粗糙, 接触面清理不够彻底且回填土压实不足, 形成了渗漏方面的薄弱点, 坝后排水设施出现老化失修状况, 反滤层材料发生流失且排水管道堵塞严重, 渗水无法及时排出造成浸润线上升和渗流压力增加。渗流监测设备存在陈旧损坏问题, 测压管失效且数据缺失未能及早发现异常, 病害持续恶化使安全隐患愈发严重^[2]。

3 渗流控制措施设计与实施

3.1 坝体防渗处理

部分坝体防渗采用高压摆喷灌浆工艺, 沿坝轴线布设防渗结构, 墙体设计厚度为0.4米, 需穿透坝体到达弱透水层, 以阻断渗流路径^[3]。选用水泥黏土混合浆液作为灌注材料, 水灰比控制在0.8~1.2之间, 浆液配比结合地质条件动态调整, 以确保扩散范围和凝固效果良好。对裂缝密集区域实施劈裂灌浆, 利用压力使浆液充填坝体裂隙, 增强结构密实性和整体均匀度。灌浆作业分阶段实施, 先期完成帷幕灌浆, 构建主防渗体系, 后续开展接触灌浆, 强化薄弱环节, 保障防渗结构的连续性和完整性。防渗墙顶部与坝体衔接处采用特殊密封工艺, 避免结合面形成渗漏点。施工质量通过现场压水测试验证, 透水率符合规范指标, 可

显著改善坝体抗渗性能。

3.2 坝基及绕坝渗流处理

处理坝体基础防渗问题时, 选用帷幕灌浆技术, 在坝轴线上游侧布置单排灌浆孔, 孔距为2~3米。灌浆孔深度根据地层渗透性试验数据确定, 需钻入相对不透水层至少5米, 以构建可靠防渗体。灌浆压力采用分阶段调控方式。浅层段采用低压灌注, 防止岩土受扰动; 深层段逐步升高压力, 提升灌注效果, 避免岩体劈裂。对于两岸坝肩接触部位, 采用接触灌浆与帷幕灌浆联合处理。先清理和整治接触面, 再通过高压灌注封堵渗漏路径。为解决绕坝渗流问题, 适当加深帷幕灌浆深度, 将灌浆范围延伸至两岸稳固岩层, 彻底阻断基岩裂隙渗流, 形成完整封闭的防渗系统。施工期间需通过钻孔取芯检验浆液填充状况, 确保灌注密实度达到规定的要求, 帷幕灌浆结束后应实施全面的压水试验, 透水率参数必须满足设计的相关规范^[4]。

3.3 排水系统改造

对坝后排水设施进行全面更新改造工作, 将老旧失效的原有排水结构彻底移除掉, 重新构建起反滤层与排水体的体系^[5]。反滤层采用三级配这样科学合理的方案, 各层级材料粒径严格按照反滤标准精准调配好, 实现高效排水和防止土粒流失的双重功效。排水体选用具有高透水性的优质碎石材料, 其厚度达到设计所要求的排水能力标准, 排水管采用耐用性强的聚乙烯双壁波纹管, 管径为200毫米且管道纵坡保持在0.3%以上, 以此确保排水能够顺畅无阻。在坝脚处设置钢筋混凝土纵向排水沟, 其断面尺寸依据最大渗流量计算来确定, 可有效收集并排放坝后所产生的渗水, 排水出口安装专门的消能设施, 避免水流对下游河床造成冲刷现象。施工过程中严格把控材料质量并进行分层压实, 保障排水系统能够长期稳定运行, 有效降低坝体浸润线的高度。

3.4 渗流监测系统完善

按照水库大坝安全监测技术规范的标准要求, 对渗流监测系统开展了重新规划与布置工作, 在坝体的关键控制部位进行测压管的布设操作, 以此实时掌握浸润线的动态变化具体情况, 沿着坝轴线的方向设置了三个典型的监测断面, 并且在每个断面安装不同深度的测压管。在坝基帷幕灌浆施工前后分别设置对比测压孔, 通过对数据进行对比分析来科学评价帷幕灌浆的防渗效果, 在坝后设置专门的渗水流量观测相关设施, 采用标准三角形量水堰精确测量渗水流量, 而且量水堰的断面尺寸满足流量测量的精度要求, 在两岸坝肩接触带合理布置巡视观测点, 清晰标记渗流出逸位置的具体坐标并定期检查渗流状况的变化趋势, 监测设施采用现代自动化数据采集系统, 通过高精度压力传感器实时监测记录测压管水位, 监测数据通过无线传输快速汇集到监控中心, 实现工程的远程监控与预警功能, 为工程长期安全稳定运行提供可靠的技术保障。

4 渗流控制措施效果分析

4.1 坝体防渗性能提升

坝体防渗加固工程实施以后, 防渗墙构建起连续封闭的阻

水结构,成功切断坝体原有的渗流路径,依据压水试验所得到的数据,防渗墙的透水率从加固之前的 15.6 吕荣 降低到 2.8 吕荣 ,透水率降幅达到了82%,符合设计规范相关要求。经过坝体劈裂灌浆方面的处理,土体干密度由 1.62 g/cm^3 提高到 1.78 g/cm^3 ,压实效果得到显著增强,密实度满足相关规定标准,同时渗透系数从 $8.5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 减少到 $1.2 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,降幅达到85.9%。背水坡存在的散浸问题已经完全消除,坝体渗漏情况得到有效控制,湿润线监测所显示的数据表明,加固之后湿润线位置明显下降,坝脚处湿润线埋深从0.6米增加到2.8米,提高了3.7倍,安全系数显著增加。在汛期高水位持续运行的条件之下,坝体渗流状态保持稳定,未出现异常渗漏的相关情况,防渗性能完全达到设计预期目标。

4.2 渗流量及渗透压力降低

渗流控制工程全部落实以后坝体下游侧渗出水量明显下降,依据量水堰监测数据在常水位18.5米运行时坝后总渗漏量从处理前4.3升/秒减少到0.8升/秒,减少了81.4%控制成效突出。当汛期水位升至21.2米时渗漏量从7.8升/秒降至1.6升/秒,降幅达79.5%渗流控制效果保持稳定且良好,测压管监测反映出坝基渗透水压显著下降。帷幕灌浆处理后坝基测压管水位回落4.5米至6.2米,扬压力折减系数由0.52降至0.25降幅51.9%。渗流稳定性得到明显增强,左坝肩接触部位渗漏量从2.5升/秒降至0.15升/秒,减少了94%右岸坝肩渗流现象基本杜绝。排水系统优化后排水功能恢复正常运作坝后长期积水问题完全解决,湿润线稳定维持在安全标准内各项渗流参数,均符合大坝安全运行技术规范。

4.3 综合评价与建议

渗流控制综合治理的效果十分显著,加固之后连续两个水文年的监测数据显示各项指标都符合规范要求,有效消除了渗流方面的隐患。坝体防渗墙和坝基帷幕灌浆构成立体防渗体系,配合排水系统之后渗控效果非常明显,监测数据表明坝体湿润线年变幅不会超过0.3米,渗流量季节波动在20%以内且渗透压

力保持稳定。建议加强运行期的管理工作,每月要定期开展巡查且汛期每周进行一次监测,及时掌握渗流的动态情况。重点关注高水位运行超过15天的渗流响应状况,测压管水位异常上升超过0.5米时须立即进行排查,完善监测设施的维护制度,每年汛前对测压管进行清洗确保数据准确,为工程安全提供有力保障。

5 结语

针对病险水库开展的加固工程运用坝体防渗、坝基处理、排水改造及监测完善等综合措施有效消除了渗流安全问题。监测结果显示渗流控制各项指标都符合设计标准,使得工程安全性显著提升。实际经验表明,渗流控制方案设计要基于病害特征全面勘察并结合具体情况,选择适宜技术且采取防排结合多种手段。加固后渗流监测系统持续运行可为掌握工程运行状况提供可靠数据支撑。该工程成功经验为同类水库治理提供参考对推动水库安全管理有借鉴意义,还为渗流控制理论与技术体系完善提供实践案例。

[参考文献]

- [1]聂鹏,周琨.大型病险水库土石坝防渗加固设计研究[J].内蒙古科技与经济,2025,(04):153-156+160.
- [2]李晓娟.基于有限元法的水库渗流场变化研究[J].大坝与安全,2024,(06):68-71.
- [3]禤衡行.小型水库除险加固工程的设计要点探析[J].水上安全,2024,(13):182-184.
- [4]夏亚平,肖俊,王荣鲁.滚钟口水库渗漏问题的分析处理及思考[J].中国水能及电气化,2023,(07):21-25.
- [5]郑福杰,谭海劲,谭文超,等.当卡土石坝段渗流及稳定性分析[J].水利技术监督,2023,(07):190-192+222.

作者简介:

邱捷宁(1982--),男,汉族,四川成都人,本科,工程师,研究方向: 水利工程施工。