

蛮陂头水库防渗安全隐患分析及除险管控加固对策研究

邓沃泉

(台山市塘田水库管理所, 广东 台山 529200)

摘要 水库病险问题特别是渗漏安全问题是水库长期安全稳定运行的关键。本文以蛮陂头水库为研究对象, 针对存在坝体填筑土透水、大坝与左坝肩接触带存在渗漏通道、输水管涵老化的问题, 对水库坝顶缝内填聚乙炔闭孔泡沫板, 护坡后采用黏性土进行培厚防渗, 坝体进行充填灌浆、左坝肩原山体帷幕灌浆, 对输水管涵进行重建, 对水库防汛设施进行补充整改。经过加固后, 解除了水库存在的严重安全隐患, 保证了库区及下游灌区人民的生命财产安全。本文的研究结果旨在为类似项目提供可参考的经验。

关键词 水库安全; 渗漏; 除险加固; 大坝防渗

中图分类号: TV62

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.33.032

0 引言

水库作为防洪、供水、生态调节的核心水利设施, 存在一定的安全运行风险^[1]。病险水库存在渗漏、坝体失稳、溢洪道功能失常等隐患, 民众的生命财产和地域经济环境受到威胁^[2]。然而, 传统技术以物理工程措施为主, 包括防渗墙施工、帷幕灌浆、溢洪道改建等, 但在极端洪水下的稳定性仍需验证, 且复杂地质条件下的长效稳定性缺乏保障, 亟需通过精准识别—智能决策—高效实施的治理模式转型^[3]。

1 工程概况

蛮陂头水库坝址距四九圩镇约 12 km, 水库所在的河流为五十水, 水库坝址以上控制集雨面积为 19.86 km², 总库容 330 万 m³, 为小(1)型水库, 其功能包括发电、灌溉、防洪等, 正常蓄水位 160.47 m, 设计洪水位 163.86 m (p=3.33%, 校核洪水位 165.33 m (p=0.2%)。大坝为均质土坝, 最大坝高 41.64 m, 坝顶长 150 m, 坝顶宽 5 m。现状坝顶高程为 166.49 ~ 166.85 m, 现状防浪墙顶高程为 167.30 ~ 167.40 m。

溢洪道位于主坝左侧山坳处, 距离左坝肩约 250 m, 为单孔无闸门控制的开敞式实用堰, 泄洪为自由出流, 库水位高于 160.47 m 时开始泄洪。溢洪道主要由进水段、控制段、水平过渡段、泄槽段组成。现状输水管位于坝体右侧, 为钢管圆涵, 进口高程为 139.47 m, 直径为 1.2 m, 管长 200 m, 闸门型式为转动门盖, 最大放水流量为 9.85 m³/s。水库大坝经安全评定水库大坝安全类别为三类坝, 建议采取措施消除险情隐患。

2 水库病险分析

上游护坡冲刷破损严重。大坝渗流计算存在高逸出现象, 该坝体透水性为中等渗透系数, 难以符合目前的规范标准。现状溢洪道质量较好, 虽然边墙衬砌高度不够, 两岸高边坡较陡, 但局部已出露岩体, 抗冲性能较好。下游微风化花岗岩基岩出露, 无冲深等问题。库区淤积严重, 淤积物已覆盖转动门盖。进水口砼结构老化, 转动门盖漏水, 没有启闭房, 启闭设备锈蚀严重, 操作运行不便。钢涵管锈蚀严重。

3 水库除险加固措施

3.1 大坝加固

坝顶面高程取 166.53 m。坝顶总宽度 5.5 m, 净宽 5.0 m, 上游侧防浪墙维持现状, 下游侧设坝顶路缘石, 路缘石采用现浇 C20 砼, 尺寸 150×400 mm (宽×深), 坝顶沥青砼路面, 向下游方向做成 2% 的斜坡, 以排除坝顶雨水^[4]。坝顶路缘石每 10 m 分缝一道, 缝宽 20 mm, 缝内填聚乙炔闭孔泡沫板 (PE 板)。拆除上游六角块、干砌石护坡后采用黏性土进行培厚防渗, 填筑土料要求有良好的级配、渗透系数 $k \leq 1 \times 10^{-4}$ cm/s, 填筑压实度不小于 0.96。上游坝坡坡度 1:2.75, 现浇 C20 砼护坡厚 120 mm, 护坡高程范围从坝脚 142.10 m 至坝顶 166.53 m, 砼护坡下设砂石混合料厚 100 mm。砼护坡选用 4×4 m 大小的板块, 并采用错缝布置, 各板块之间均铺设了宽度为 1.0 m 的反渗透土工布, 与此同时, 在每个板块的中心位置, 特意设置了直径为 $\phi 75$ 的排水孔, 且在排水孔的底部铺设了土工布。上游坝坡高程 156.70 m 处设 C20 砼抗滑齿墙, 宽×高=0.5×1.0 m;

坡脚设 C20 砼护脚, 宽 \times 高 = 0.5 \times 1.0 m。坝后坡较好, 保留现状^[5]。坝体填筑土主要由花岗岩残积的砾石粘性土夹含风化碎砾土填筑而成, 富含粗砾砂粒, 成份不均, 呈黄褐色、黄色, 大多数为硬塑~坚硬状态, 稍湿。填筑土渗透系数 $k = 3.3 \times 10^{-4}$ cm/s, 大于规范要求的 1×10^{-4} cm/s, 即渗透系数偏大。经过现场检查, 大坝与左坝肩接触带存在渗漏通道。针对以上情况, 本次设计拟对坝体进行充填灌浆、左坝肩原山体帷幕灌浆以提高坝体防渗性能。具体设计如下。

3.1.1 充填灌浆

在坝体的灌浆作业中, 所采用的灌浆材料为水泥粘土浆。其中, 水泥选用的是强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥, 且水泥的用量设定为干料总质量的 10%。灌浆材料性能指标应满足表 1 的要求, 浆液物理力学性能指标应满足表 2 的要求; 灌浆深度伸入坝基强风化二长花岗岩 2.0 m。充填灌浆造孔分 2 序进行, 比起初始的设计位置, 现状的灌浆孔位置要小于其孔深的 2%, 并用干法造孔, 钻孔完成后, 要求下套管保护。在灌浆工序中, 要先轮灌第一序孔, 一次灌注至设计要求。完成首序孔的灌浆后, 接着执行二序孔的灌浆任务。在充填灌浆作业过程中, 对于每米孔深而言, 每次灌浆时其灌浆量一般会被控制在 0.3 m³ 到 0.5 m³ 这个区间内。此外, 充填灌浆所运用的灌浆压力必须低于 50 KPa, 但具体应采用多大的灌浆压力数值, 需要根据现场灌浆试验所得到的结果来进行最终确定。一旦浆体到达孔口位置, 并经过三次持续补充而无继续吸浆的情况出现, 那么就可以停止灌浆了。每个孔位的灌浆工作完毕之后, 需要对该孔位实施灌浆封闭措施。此时应该移除注浆管, 然后往孔中输入比 1.5 g/cm³ 更浓密的浆料, 重复此过程数次直到浆体上升到孔口不再下落为止。

表 1 灌浆土料性能指标

项目	指标
塑性指数 (%)	10 ~ 25
粘粒含量 (%)	20 ~ 45
粉粒含量 (%)	30 ~ 70
砂粒含量 (%)	0 ~ 30
有机质含量 (%)	≤ 2
可溶盐含量 (%)	≤ 3

表 2 灌浆浆液物理力学性能指标

项目	指标
密度 (g/cm ³)	1.3 ~ 1.6
黏度 (s)	20 ~ 100
稳定性 (g/cm ³)	0 ~ 0.15
胶体率 (%)	≥ 70
失水量 (cm ³ /30min)	10 ~ 30

3.1.2 帷幕灌浆

帷幕深度伸入坝基强风化二长花岗岩不少于 3.0 m。暂时设定的灌浆压力在 0.5 ~ 0.8 MPa 之间, 具体数值需要通过现场灌浆试验来确认。灌浆分三序施工, 各孔施工工序按钻孔、冲洗、压水试验、灌浆、封孔等工序执行。灌浆段长依据钻孔深度和基岩透水性来分, 一般 $\omega > 0.1$ L/min.m 时, 段长不宜超过 3.0 m, 0.03 L/min.m $< \omega < 0.1$ L/min.m 时, 段长控制在 5 m 左右, $\omega < 0.03$ L/min.m 时, 灌浆段长可控制在 10 m 左右。

对于深度不超过 6 m 的灌浆孔, 采用一次性全孔灌浆技术; 而对于超过 6 m 深的孔, 则采取从底部向顶部逐步推进的方式进行灌浆。在执行过程中, 选择孔内循环法作为灌浆手段。灌浆材料选用了标准不低于 42.5# 的普通硅酸盐水泥, 并且该水泥通过 80 微米方孔筛后的残留比例不得超过 5%。灌浆液的稠度需遵循由稀渐浓的原则逐级调整。在规定压力条件下, 如果注入速度低于或等于每分钟 0.4 L 时, 应持续注浆半小时; 若流速不高于每分钟 1 L, 则需连续作业一小时, 以此完成整个灌浆过程。每个孔位完成灌浆后, 必须立即提交给监理人员进行检验, 只有经过确认符合要求的孔才能进入封闭阶段。封闭操作应当依照《水工建筑物水泥注浆施工技术规范》(SL 62-94) 中规定的“置换和压力灌浆封孔法”或“压力灌浆封孔法”来实施。

在充填灌浆作业中, 质量检查体系包含两个关键环节, 即灌浆过程监控与灌浆成效评估。先看灌浆过程监控, 其核心要点涉及多个工序执行情况, 包括布孔布局是否合理、钻孔作业是否精准、制浆流程是否规范以及灌浆操作是否稳定等。同时, 要严格把控工艺参数设定和技术实施的综合控制效果, 保证每个灌浆孔位都能达到既定的结束标准。除此之外, 还要全面审查灌浆监测数据的可靠性, 以及针对突发状况所采取应对措施的有效性。再谈灌浆成效评估, 重点聚焦泥墙的物理特性, 涵盖其厚度、密度、连续性和均匀性等方面, 同时评估泥墙对原有隐患区域的充填密实程度。此外, 还需密切留意坝体变形情况、坝顶裂缝发展状况、浸润线出逸点位置以及坝后渗流量的动态变化。在具体操作方面, 要沿着纵断面精心设置 3 个检查孔, 开展分段注水试验, 以此精确测定渗透系数, 确保该系数严格控制在 $k < 1 \times 10^{-4}$ cm/s 的范围内。一旦发现渗漏现象严重的区域, 必须马上采取补灌措施进行加固。对于帷幕灌浆作业, 有着更为严格的标准, 要求防渗帷幕的透水率必须控制在 5 Lu 以内。在灌浆作业顺利完成并经过 14 天的稳固期后, 需按照灌浆孔总数的 10% 的比例钻设检查孔。特别要注意的是, 对于检查孔中坝体与基岩接触段及其紧邻下一段的检测, 合格率必须达到 100% 的完美水平。

3.2 输水涵管加固

重建输水涵管进水口放水塔包括进水渠段、进水口段、闸室段,总长度35.2 m。进水渠段长19.2 m,渠底高程由141.87 m渐变至139.47 m,渠底宽3.0 m,左岸为梯形土坡,边坡1:1,右岸为C20砼衡重式挡墙,墙顶宽0.5 m,上墙高1.5 m,背坡的各项指标包括:下墙高2.0 m,倾斜坡度为1:0.45,背坡倾斜坡度为1:-0.4,台宽0.7 m,墙顶高程142.47 m,墙高3.5 m。

进水口段长度为4 m,应用混凝土等级为C25级,结构为U型,前端渠宽为3.0 m,后端渠宽为2.0 m,底板和侧墙厚度均为0.5 m,底板下铺等级为C15级,设定为0.1 m混凝土垫层厚度,两侧边墙高度为142.47 m。此部分的闸室长度达到10.5 m,其设计成具有塔式的入水口结构,底部标高设定为139.47 m,而闸墩的高度则定位于142.47 m。闸墩的厚度范围是0.7~1.15 m,底部与顶部的厚度分别设为0.8 m和0.4 m或者0.5 m。闸墩两侧设有单孔空箱,空箱净宽1.65 m,内填粗砂。闸室区被划分为四个阶段:第一阶段包括了拦污栅区域,该区域的长度为1.95 m,通过的水流面积为2 m²,高度达3.5 m,并设置有拦污栅装置。第二阶段则是入口过渡区,长度约为1.7 m,水流量逐渐增大,同时水位也逐步上升,最终形成了一个椭圆曲线的顶部平面。第三阶段包含的是闸门区域,总长度达到了3.85 m,采用的是正方形的出水通道,每边的尺寸都是1.1 m,并且在此处安装了钢制闸门,并在门后面预留了通风孔。最后一段就是方圆形转换区,长度为3.0 m,水体流动方式从正方形转变为了圆形,两者的尺寸都保持在了1.1 m。

墩顶启闭塔共有7层,总高度23.56 m,为C25砼框架结构。启闭平台高程为165.33 m。在闸室段,使用了一个尺寸为1.5×1.3 m的平面钢闸门来控制水流,启闭应用的启闭机为LQ20t手电两用螺杆式,最高控制水位为164.80 m。通过一条长度达79.95 m的人行桥,启闭室和坝顶被相互连接起来。此桥梁的整体宽度达到了2.2 m,共有十个跨段。其上方部分采用了预制T型梁板构造,梁板的厚度是0.15 m,主要梁的高度达到800 mm,而梁的宽度则是250 mm。每个跨段都包含了两条主要梁,它们的间隔为1.55 m。此外,还有高度为500 mm、宽度为200 mm的三条副梁,它们之间的距离则设定为3.5 m或者3.3 m。所有这些构件均使用C30混凝土进行了预制。

输水涵管管身内套 $\phi 1100$ 钢管 $\delta=14$ mm,出口保留现状。输水涵管进口新建一拦砂坎,拦砂坎采用抛石结构,顶宽2.0 m,净高1.4 m,两侧边坡均为1:2。

输水涵管出口镇墩采用C20砼,共2个,镇墩两侧方向厚1.0 m,上下方向厚0.5 m,长4 m。

3.3 防汛配套设施整改

蛮陂头水库现有一条砼路进入库区,但现状较破旧,水库左坝肩至溢洪道路段坑洼不平,路面较窄,均需要维修,总长度2.1 km。维修采用C25砼路面0.18 m厚,路面宽3.5 m,两侧设路肩宽0.5 m,底铺石粉垫层0.1 m厚,靠山侧设排水沟。每600 m设一错车平台,长20 m,宽7.5 m。为避免排水沟淤积、堵塞,在防汛路较低处设过路涵,将雨水排至路面另一侧低洼处。过路涵采用盖板涵结构,涵身净宽0.4 m,净高0.42 m,侧墙及底板均采用C25钢筋砼厚200 mm,盖板采用C25钢筋砼,厚80 mm。

溢洪道下游防汛公路路面高程较低,宣泄洪水时,水流从路面漫过,防汛车辆无法通行,不利于防洪抢险。本次拟在该路段新建漫水箱涵,当遭遇一定洪水时,防汛车辆可以通行。新建漫水箱涵顺水流向总宽度4.0 m,净宽3.5 m,两侧设有防撞墙。单孔过水净宽×净高=3×2 m,共11孔,过水净宽共33 m。箱涵的各项厚度指标都是0.5 m,包括底板、侧墙、顶板,底高程129.50 m,下设0.1 m C15砼垫层。

4 结束语

通过对四九镇蛮陂头水库进行病险分析和除险加固处理,对水库防汛设施进行了整改:对大坝拆除上游干砌石及六角块护坡;对上游坝坡进行填土培厚并重建砼护坡;对坝体进行充填灌浆、左坝肩原山体帷幕灌浆;对输水涵管进水口新建放水塔及人行桥并在上游设置拦砂坎、进行套管处理并重建出口镇墩。工程实施后,能保证水库下游农田的灌溉任务,同时解除水库存在的严重安全隐患,保证库区及下游灌区人民的生命财产安全,提高当地人民的生活水平,促进农村经济发展,效益显著。

参考文献:

- [1] 余敏.基于双层评价指标综合算法的除险加固水库康复度研究[J].水利技术监督,2025(03):181-184,261.
- [2] 蒋文健,曾敏.水库除险加固工程护岸结构型式比选[J].水利技术监督,2025(03):265-269.
- [3] 郭晓妮,刘泽军.云良水库V型坝基斜陡坡段防渗墙成槽施工技术[J].广西水利水电,2025(01):39-42.
- [4] 付晓.塑性混凝土防渗墙在西部水库除险加固工程中的应用[J].陕西水利,2025(02):148-150.
- [5] 王芳,张芳娟.苜蓿河水库大坝除险加固设计分析[J].陕西水利,2025(02):122-124.