

浅谈老虎潭水库渗漏隐患探测及修复技术研究

蒋学成

湖州中环原水有限公司, 中国·浙江 湖州 313000

摘要:老虎潭水库是一座以防洪为主、兼顾灌溉利用的中型水库,也是湖州市的重要水源地之一。针对老虎潭水库渗漏隐患探测及修复技术开展研究工作。通过天然同位素识别技术、拟流场法、高密度电法、多波束声纳测试技术、水下视频检查等综合手段,结合数值计算结果查明了大坝渗漏隐患部位,为采取工程处置措施提供了重要依据。针对老虎潭水库开展的隐患部位钻孔灌浆修复工作,通过大坝渗流监测数据分析比对、天然同位素识别、拟流场法、高密度电法、水下视频探测等综合复测手段,结合数值计算量化评价了老虎潭水库大坝渗漏处置效果,实现了预期目标。

关键词:水利工程;渗漏定位;防渗施工;水下施工技术

Discussion on the Detection and Repair Technology of Leakage Hazards in Laohutan Reservoir

Xuecheng Jiang

Huzhou Zhonghuan Raw Water Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

Abstract: Laohutan Reservoir is a medium-sized reservoir that focuses on flood control while also considering irrigation and utilization. It is also one of the important water sources in Huzhou City. Conduct research on the detection and repair technology of leakage hazards in Laohutan Reservoir. Through comprehensive methods such as natural isotope identification technology, pseudo flow field method, high-density electrical method, multi beam sonar testing technology, and underwater video inspection, combined with numerical calculation results, the hidden leakage points of the dam were identified, providing important basis for taking engineering disposal measures. The drilling and grouting repair work for hidden danger areas in the Laohutan Reservoir was carried out. Through comprehensive retesting methods such as dam seepage monitoring data analysis and comparison, natural isotope identification, pseudo flow field method, high-density electrical method, and underwater video detection, combined with numerical calculation and quantitative evaluation, the leakage treatment effect of the Laohutan Reservoir dam was achieved, and the expected goals were achieved.

Keywords: water conservancy engineering; leakage location; anti-seepage construction; underwater construction technology

1 老虎潭水库防渗处理的必要性

老虎潭水库是一座以防洪为主,结合供水,兼顾灌溉等综合利用的水利工程,是湖州市最重要的水源地之一,水库设计日最高供水规模为 22 万吨,年基本保证水量为 6342 万吨,供水保证率 95%,因此保障并提升水库供水能力意义重大。但目前老虎潭水库直接测到排水沟内的渗漏水最大已达到 50L/s,这还不包括未汇集到的渗漏水量。第一,从水库安全角度来看,水库渗水量呈逐年增大趋势,且渗漏的范围也在增加,说明水库渗漏正日趋严重,若不及时处置,很可能导致“小病拖大”,发展成重大安全隐患,影响水库安全运行,对下游人民生命财产安全造成潜在威胁。第二,从渗漏损失和供水保障来看,目前水库渗漏水已占到水库径流量的 1/10 左右,特别是枯水期已影响到了水库正常用水调度,因水库渗漏损失,水库的供水能力已下降约 15%。粗略估计,水库日均渗漏损失超过 4000m³ 优质水源,日均损失可达 1 万余元,年均损失则超 300 万元。第三,渗漏病害处置难度来看,目前渗漏病害有进一步恶化的趋势,若不

尽快及时处置,将来渗漏病害进一步发展后,处置难度和成本将成倍增加,并对下游公众舆情和社会稳定带来负面影响。老虎潭水库承担着湖州市供水保障的重大任务,不可能深度放空水库,尽早将渗漏隐患处置于萌芽状态是极为必要的。

2 前期防渗处理结果

从老虎潭水库主坝渗漏历史来看,大坝渗水量较同类面板坝偏高,且与水位涨落、降雨等相关性较大。水库在 2021 年初进行了坝前抛土处理试验,虽处理完渗水量有所改善,但后续渗水量又恢复增大,这说明上述初步渗漏处理措施尚未达到预期效果。结合现场情况分析可能的原因有:①土颗粒入水后大部分在水下 2m 左右范围内雾化,沉入趾板上的土较少,未能对渗漏点进行有效淤堵。②土颗粒虽沉积至铺盖上,但沉积位置不理想。③土颗粒进入渗漏点后随带带入,无法封堵渗漏点。尽管初步抛土封堵试验未明显减小渗水量,但仍对认识渗漏原因提供了有益参考。抛投土沿面

板下滑,如果渗漏点位于面板上,则下游渗漏水必然出现浑浊现象但实际试验过程中并未发现下游渗漏水浑浊现象,因此可以判断抛投段面板出现破坏的可能性不大。

3 利用综合手段确定渗漏位置

3.1 基于天然同位素示踪的渗漏识别溯源

应用天然同位素对老虎潭水库的渗漏水体开展了识别溯源工作,得到的库区渗漏性质小结如下:

①下游左右岸两处渗漏水点溯源性质接近,左岸、右岸坝段渗水点与表征大坝浸润线以下水体的截渗墙水体相似度最高,库区水经过大坝坝基到达渗漏点;面板前侧不同深度的水体与渗漏水体的相似度均较低,大坝面板防渗系统服役性能较好;各环境因素未显著影响老虎潭水库的渗漏水性质,老虎潭大坝渗漏处于稳定状态。

②库区水体与消力池渗水不存在明显水力联系,重力坝与面板坝接触部位防渗性能较好。

3.2 渗漏路径高密度电法探测方法

根据反演得到的电阻率分布图得出以下结论:

①两条测线得到的电阻率剖面具有较好的对应关系,所得出的异常区分布位置基本一一对应,结果可靠,符合面板坝低阻区分布规律;马道异常区 1(桩号范围约 0+195m~0+235m)、马道异常区 2(桩号范围约 0+415m~0+435m)、坡脚异常区 1(桩号范围约 0+190m~0+220m)、坡脚异常区 2(桩号范围约 0+415m~0+435m)的低阻区狭长,其对应位置埋设有观测设施,可能为干扰所导致。

②马道异常区 3(桩号范围约 0+455m~0+635m)、坡脚异常区 3(桩号范围约 0+455m~0+535m)、坡脚异常区 4(桩号范围约 0+560m~0+635m)低阻区连续面积较大,其电阻率多小于 10 欧姆米,判断为富水、高含水区域。应为大坝渗水从上游进入坝体后在这几处异常区对应的桩号 0+455m~0+635m 范围内扩散所致。

3.3 上游入渗点拟流场法探测

应用拟流场法对大坝坝前水体的电场分布进行了探测,分析上游水体与下渗漏水的连通性,进而判断上游渗漏点具体位置,得到如下结论:

①大坝中部坝段、右部坝段以及库区近坝区域内的电场强度较为稳定为 0.1~0.15,没有明显渗漏隐患。

②根据电场强度值以及电场分布特征判断得出异常点 2~6 共 5 处渗漏点集中分布在大坝左岸坝段趾板附近,分布规律较为统一,电场强度值均在背景值的三倍以上,分布范围与高密度电法探测得到的桩号 0+455m~0+625m 范围一致其中异常点 2、异常点 5 的信号较强,位于桩号 0+588.5m 处和桩号 0+632.0m 为主要渗漏位置。

3.4 入渗区域多波束声呐地形探测

应用多波束声呐探测技术,对老虎潭水库坝前水下地形进行了精准扫描,绘制水下地形图并对地形变化进行分析,可以得出:

①老虎潭水库大坝面板平整无异常,近坝库底有正常施工痕迹,但左岸坝段趾板上方回填土存在异常凹陷,判断为渗漏引起的回填土流失,凹陷局部极值位于桩号 0+588.7m 处和号 0+632.35m 位置处。

②对比拟流场法和高密度电法探测结果,可以看出,多波束声呐探测得到的左岸坝段回填土异常凹陷位置与拟流场法得出的渗漏区域高度重合,凹陷极值与电场强度极值位置一致,与高密度电法测得的坝体内低阻富水区位置对应。

3.5 人工及水下无人机水下复核

开展水下检查发现得出结果:

①桩号 0+588m,距面板底部坡脚 7m 处回填粉层上有上下游方向长 60cm、左右岸方向宽 20cm,深度超 100cm 的坑洞,该坑洞的水吸入不明显,经后续水化学验证后发现该点与下游渗漏水仍存在较强连通性。

②桩号 0+632m、距面板底部坡脚 5m 处回填粉层上有上下游方向长 30cm、左右岸方向宽 20cm,深度超 100cm 的坑洞,该坑洞有明显水流吸入现象。

③大面板及面板接缝面貌较好,面板接缝和面板表面有均匀的沉积物,无水流冲刷痕迹。左岸坝肩码头处有钢筋裸露,解释了拟流场法检测出的该部位异常信号。

4 渗漏修复施工流程

4.1 施工准备

采用地质钻机下套管进行水下钻孔灌浆,搭设水面施工平台,将地质钻机布施工准备设在水面施工平台上,采用型钢结合浮板搭设,上游两侧采用抛锚固定,下游两侧缆绳固定在坝上。通过缆绳移动施工平台,确保钻机定位准确。

4.2 水下清淤区回填

为确保水下灌浆效果,先对 48# 面板上游渗漏点铺盖清淤区,向上游 3m 左右各伸展 2m,厚度 1m 范围进行粘回填处理。先将填筑材料装袋通过船将填筑材料运至渗漏点上方施工船部位,在潜水员的指挥下,利用船舶上布置的小型吊机将填筑料送至水下,潜水员水下解开蛇皮袋将砂砾石、黏土分层将开挖清理的覆盖层填平。

4.3 定位孔

根据设计要求在防渗墙上游 50cm 处布置双排灌浆孔,孔距 100cm,排距 50cm。灌浆采用分序加密原则,采用全站仪测出水面平台上正确孔位置,利用回转钻机上的卷扬机铅垂下设定位导向管。导向管下伸至离水底 50cm,用管夹固定导向管在水上施工平台上,再通过潜水员协助观察水下导向管是否在设计要求的防渗墙上游 50cm 施工范围内,确保水下钻孔位置精准。钻孔采用回转钻进方式施工设备选用 XY-1 钻机。

施工平台与灌浆区域存水下深度目前在 15m 左右,需先下套管进行导向才能进行防渗墙前钻孔灌浆施工,不同水下深度选择不同直径的套管以满足现场施工。水下灌浆采

用中 110mm 套管,可以在水下 20m 深度范围内准确下设。在 48# 面板渗漏区和 44# 面板渗漏区,目前位于水下 15m 深度左右,中 110mm 套管材料能保证下设稳定性和垂直度;水下深度超过 20m 时应采用中 127mm 套管才能达到水下各方面施工要求。

4.4 防渗墙前灌浆

提前制作水上施工平台,将钻灌设备转移至平台上,根据设计灌浆孔孔位使用钻机在水中下设套管至面板前渗漏区顶部,在套管内下设钻具钻进至面板前渗漏区下部,钻孔完成后下设灌浆塞,采用多种配比的膏浆及混合浆液对防渗墙前下部垫层料或砂卵石层进行充填加固灌浆处理,在面板前或防渗墙前下部形成良好的防渗固结体,从而达到良好的封堵防渗效果,48# 面板前渗漏点单排孔布置,深度 5m。

4.5 施工方法

4.5.1 水下灌浆技术控制

①灌浆孔位控制。通过全站仪对水上灌浆施工孔位进行放样,同时在潜水员的帮助下套管能精准落在面板前防渗墙施工平台上,更好达到灌浆效果。并将水上施工平台固定牢靠,施工过程中使用全站仪对孔位偏移进行监测。

②灌浆浆液选择。前期进行浆材试验,确定不同比级的稳定浆液或膏状浆液,以应对不同大小渗漏部位的处理施工需要。具体配比通过现场试验确定。渗漏量大的渗漏点,采用粘度较大、抗水流冲刷能力强的稳定浆液或膏状浆液进行灌浆封堵。例如,灌入量水泥超过 300kg/m,流量无明显变化,采用速凝水泥或加水玻璃;渗漏量较小的渗漏点,采用合适的稳定浆液进行灌浆封堵。

③钻孔及套管下设。因钻机机地距仅约 70cm,套管下设困难,配置一定高度的钻机小平台,提高机地距离,方便铺盖料钻孔过程中安装长度 3m 的套管。钻机平台就位后通过焊接与施工平台连成整体,增加钻机平台稳定性,防止平台晃动影响钻孔质量钻孔下套管,利用套管自重及潜水员在水下辅助保证套管下设的垂直度。套管入防渗墙施工平台 20~30cm,保证套管的稳定性。钻孔过程中钻机操作员可根据钻孔经验控制套管嵌入混凝土深度。套管下设到位后,从套管内下设钻具进行防渗墙施工平台下部砂卵石钻孔。

④灌浆工艺。灌浆采用防渗墙施工平台内阻塞、自上而下分段、冲压式灌浆法;砂卵石层灌浆采用自上而下分段卡塞花管灌浆法。

⑤灌浆压力、流量控制。为防止灌浆时浆液冒浆,水下灌浆时选择合适的灌浆压力,控制灌浆流量。防渗墙施工平台硷及水头高度对灌浆区域有压重作用,通过分析,灌浆在防渗墙施工平台硷底部,又有 15~20m 水头产生压强为 0.15~0.20MPa,灌浆压力采用不大于 0.3MPa。

4.5.2 深水灌浆二次封孔

水下灌浆处理中封孔质量极为重要,封孔质量差的部

位可能会在高水位水压作用下被击穿,造成二次渗漏。水下灌浆封孔采用强度较高的 0.5 : 1 纯水泥浆液,同时掺入少量膨胀剂,以两次封孔加套管注浆的方式,保证良好的封孔质量。灌浆孔灌浆结束后进行第一次封孔,第一次封孔确保灌浆塞仅卡入面板或防渗墙施工平台混凝土内 15m 左右,对整孔进行冲压灌浆封孔,保证封孔时灌浆压力达到 0.3MPa,持续时间 15min,以确保灌浆孔内部充填密实。

第一次封孔结束后,将灌浆塞上提 0.5m 左右,卡在套管内进行第二次封孔因套管仅嵌入混凝土 20cm 左右,套管与防渗墙施工平台混凝土间可能存在缝隙第二次封孔达到设计压力 0.3MPa 延续 15min 或注浆 150L 左右时结束封孔。第二次封孔结束后,上提灌浆塞并向套管内继续注入 150L 水泥浆液,在上提套管时,套管内的浆液通过重力作用可对灌浆孔上部铺盖料进行充填,提升封孔质量。

5 最终修复结果

①灌浆修复后,对比历史相近库水位下的量水堰流量,修复后量水堰处渗漏量较 2022 年相似水位时下降了约 20L/s,渗漏量减小比例达到 65.08% (剔除大坝基准量水堰处汇流流量),截至监测资料收集日期 2023 年 11 月 24 日,量水堰渗漏量仅为 8.53L/s,接近大坝运行初期水平,渗漏情况改善明显。②灌浆修复后的渗压值全面低于施工处置前测值,浸润线显著下降,坝基渗流位势规律恢复正常,修复处置措施有效修复了大坝防渗体系。③通过天然同位素—水化学综合处置识别技术,计算得到处置期间库水对量水堰流量平均为 4.37L/s,处置结束后该值为 1.60L/s,仅为处置期间的 24.3%,下降幅度显著。④开展了老虎潭水库有限元计算,分别计算了处置前、处置后典型日期的渗流分布情况,发现处置前防渗墙缺陷得到的计算结果与监测值接近且趋势相仿,而处置后防渗墙完好得到的计算结果与监测值接近且趋势相仿,同时大坝浸润线相比计算工况更低。⑤将老虎潭水库坝基背景渗流值进行分离,发现在存在防渗墙缺陷的情况下,约有两成渗漏量是水库的自然渗流引起,与天然同位素—水化学分析结果一致,与渗流观测结果规律相近。⑥经过修复处置,存在渗漏的左岸坝段因渗漏引起的电场异常区域明显减小,数值明显减弱,渗漏情况明显好转,目前上游水体与下游已无明显集中连通区;左岸隐患坝段内部坝基富水区面积明显减小,10m 和 100m 的电阳率边界线均有约 5m 幅度的下降,坝体内部受渗漏水影响而形成的低阻区面积明显减小,说明大坝渗漏情况得到了较好的控制。

参考文献:

- [1] 朱士彬,张诵彦.综合物探法在水库渗漏检测中的应用研究[J].治淮,2022(8):23-25.
- [2] 蒋强强,潘海军.汪岭水库渗漏原因分析及处理措施[J].甘肃水利水电技术,2022,58(2):60-64.