

土石坝渗漏坝段 防渗墙加固效果评估

欧阳辉¹, 王 迪¹, 曹 昕²

(1. 常州市金坛区水旱灾害防御调度指挥中心, 江苏 常州 213000; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 防渗墙作为改善土石坝渗漏坝段防渗性能的重要设施, 评估其加固后的防渗效果是保障大坝安全运行的关键, 其中监测资料是评估防渗墙防渗效果的重要依据。以茅东水库渗漏坝段防渗墙加固工程为例, 防渗墙加固前在渗漏坝段布置渗流压力测点。通过收集整理相关渗流监测数据, 结合实测数据的大坝渗流参数反演, 对比分析加固前后大坝不同部位渗透性变化, 提出针对渗漏坝段防渗墙加固效果的综合评估方法。

关键词: 渗漏坝段; 防渗墙加固; 监测资料; 参数反演; 效果评估

中图分类号: TV698 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2024)05-0062-0005

Effect evaluation of anti-seepage wall reinforcement in the seepage dam section of earth and rockfill dam

OUYANG Hui¹, WANG Di¹, CAO Xin²

(1. Flood and Drought Disaster Prevention and Control Center of Jintan District Changzhou City, Changzhou 213000, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: As an important facility to improve the anti-seepage performance of the seepage dam section of earth and rockfill dam, the evaluation of the anti-seepage effect after reinforcement is the key to ensure the safe operation of the dam, and the monitoring data is an important basis to evaluate the anti-seepage effect of the wall. Taking the anti-seepage wall reinforcement project of Maodong reservoir seepage dam section as an example, seepage pressure measurement points are arranged in the seepage dam section before the anti-seepage wall reinforcement. Through collecting and sorting the relevant seepage monitoring data, and combining with the seepage parameters inversion of the dam measured data, the permeability changes of different parts of the dam before and after reinforcement are compared and analyzed, and a comprehensive evaluation method for the reinforcement effect of the seepage dam section is proposed.

Key words: seepage dam section; anti-seepage wall reinforcement; monitoring data; parameter inversion; effect evaluation

收稿日期: 2023-09-23

基金项目: 南京水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(Y722006)

作者简介: 欧阳辉(1970—), 男, 工程师, 主要从事水利工程建设与管理方面工作。E-mail: 1950323656@qq.com

1 概述

防渗墙作为一种有效的防渗设施,广泛用于改善大坝的防渗性能,从而维护土石坝的渗流稳定性和运行安全性^[1-2],如何全面、科学地评估土石坝防渗墙加固效果,一直是保障大坝安全运行的关键问题^[3]。

监测资料分析和基于实测资料的大坝参数反演分析是评估防渗墙加固效果的重要手段。李鸣等^[4]对防渗墙施工及运行初期监测数据进行统计分析,评价深覆盖层上混凝土防渗墙实际工作状态;王相烜等^[5]基于实测渗流压力数据,采用多因素敏感性分析方法,反演心墙堆石坝的渗流参数,评估了防渗墙的防渗性能。但在实际工程中,往往存在大坝无渗流监测设施,现有的监测断面与渗漏坝段距离较远,或测点为加固后新建,监测数据缺乏动态变化等问题,难以获得足够的、有代表性的动态监测数据用于防渗墙加固效果分析^[6-7]。

针对上述问题,以茅东水库下游坝坡渗漏问题为例,防渗墙加固前在渗漏坝段增设了渗流压力测点,用于收集防渗墙加固前后坝体渗漏坝段的渗流压力。通过监测资料分析和大坝渗流参数反演,分析加固前后土石坝不同部位的渗透性变化,据此提出了一种渗漏坝段防渗墙加固效果评估方法。该方法可为解决土石坝渗漏坝段监测数据不足的问题提供参考,以确保大坝的渗流稳定性和运行安全性。

2 工程概况

茅东水库位于江苏省常州市金坛区茅山东麓薛埠镇,属太湖流域薛埠河水系,始建于1958年,集水面积22 km²,总库容1 730万 m³。正常蓄水位与汛限水位均为27.00 m(吴淞高程,下同),死水位16.70 m,设计洪水位28.46 m,校核洪水位29.51 m。枢纽工程主要由大坝、溢洪闸、南涵、北涵、非常溢洪道组成。大坝为均质土坝,坝顶长668.0 m,坝顶高程31.26 m,最大坝高18.5 m。下游坝坡采用草皮护坡,桩号0+047~0+423段坝脚建顶宽2.0 m的反滤排水棱体。

茅东水库2009年1月至2010年9月进行了除险加固,大坝桩号0+350下游一级平台上部存在渗水现象,渗水出逸点位置较高(高程24.50 m),渗水面积约3.0 m²。2009年除险加固中,在原址拆除重建南灌溉输水涵洞,新建混凝土防渗墙,其中

开挖段、回填段无防渗墙,填筑区下部采用高压定向喷射防渗墙施工处理。渗漏位置位于南涵填筑区内,新旧填土分界面附近。渗漏发生后,2022年8月,下游坝坡已采取了临时防渗灌浆处理,但处理后渗漏问题仍未彻底解决。

为彻底截断渗漏通道,2023年5—7月,在南涵开挖段新建防渗墙。新建防渗墙位于原防渗墙上游侧1.0 m处,以南涵轴线为中心(桩号0+314.5),左右各延伸75.0 m。桩号范围0+239.5~0+389.5,总长度150.0 m,采用水泥搅拌桩工艺,设计顶高程30.00 m,底高程13.94~15.85 m,成墙厚度0.45 m。鉴于新建防渗墙加固处理效果尚不明确,本文综合监测资料分析和渗流参数反演分析方法,对防渗墙加固处理效果进行分析和评估。

3 渗流压力监测资料分析

渗漏现象发生后,在渗漏坝段安装了5根测压管,平面上成“T”字型布置。测压管K1、K2、K3位于坝顶下游侧,构成一个监测纵断面;K4、K5分别位于下游戕台和排水棱体上游坝坡,与K2构成一个监测横断面,断面桩号0+350。5根测压管于2022年11月安装完成,并经注水试验^[8]检测灵敏度全部合格。由于渗漏坝段防渗墙施工,2023年4月后暂停监测,2023年8月起恢复监测,为避免施工对测压管干扰,在恢复监测前再次对5根测压管进行灵敏度检验,检验结果全部合格。

根据2022年11月16日至2023年8月11日的监测数据进行监测资料分析,重点对比防渗墙施工前后监测数据的变化情况,据此评估防渗墙加固效果。以纵断面和横断面为单元绘制的测点水位过程线见图1、图2,防渗加固处理前(2023年4月25日)0+350横断面浸润线见图3,防渗加固处理后(2023年8月11日)该断面浸润线见图4。

(1)3根测压管水位总体呈现K3>K2>K1,K3早期几组监测数据高于库水位,属于异常现象,主

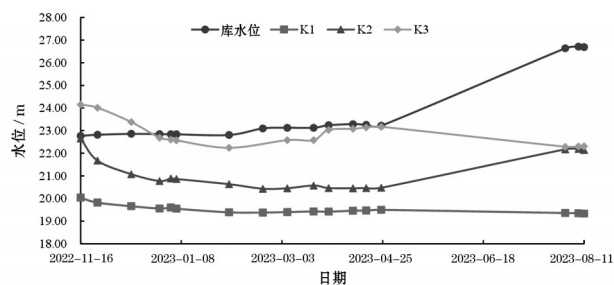


图1 纵断面测点水位过程线

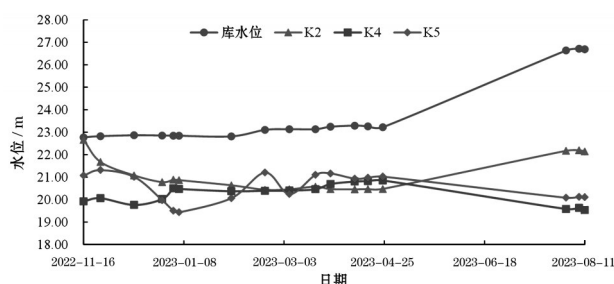


图2 0+350断面测点水位过程线

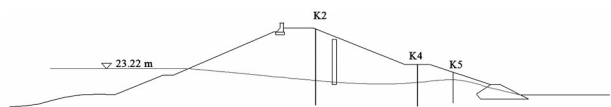


图3 0+350断面防渗处理前(2023年4月25日)实测浸润线

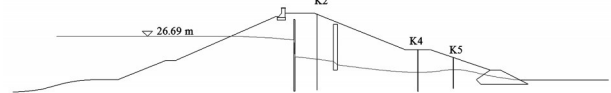


图4 0+350断面防渗处理后(2023年8月11日)实测浸润线

要因钻孔形成的孔隙水压力未完全消散。库水位由防渗墙施工前的23.22 m上升至施工后的26.71 m, K3、K1测压值不升反降, K2测压值随库水位上升而升高, 表明K3、K1所在断面防渗墙防渗效果明显, K2断面防渗效果需进一步分析测点位势变化情况后判断。

(2)为定量分析各断面防渗效果, 定义渗流压力测点位势=(渗流压力水位-下游水位)/(上游水位-下游水位), 一般认为关键部位(紧临防渗墙下游侧或坝顶下游路肩附近)测点位势小于50%, 大坝防渗效果总体较好。以坝脚鱼塘实测水位17.89 m为下游水位, 计算防渗墙加固前后各测点渗流压力位势, 结果见表1。由表1可知, 经加固前后渗流压力位势对比, 除K2位势基本无变化外, 其余测点渗流压力位势均显著下降。加固后各测点位势均小于或略大于50%, 表明防渗墙防渗效果总体较好。

表1 防渗墙加固前后关键测点渗流压力位势 单位:%

测点	加固前	加固后
K1	30.24	16.82
K2	48.46	48.95
K3	99.06	50.29

(3)K5位于K4下游, 但K5水位却略高于K4, 主要与测量误差以及下游水位顶托影响有关。K5与K4测压值相差较小, 呈现的测压值局部异常对渗流性态整体分析影响不大。

(4)采用2023年8月相对高水位监测数据计算的防渗墙渗透比降为10, 小于防渗墙渗透比降经验值80~100, 防渗墙不会发生渗透破坏。

(5)防渗墙加固处理后大坝浸润线形态总体正常, 并未从下游坝坡出逸。

4 渗流计算对比分析

4.1 反演目标函数

为进一步对比分析防渗墙加固处理前后渗流坝段防渗效果, 基于加固前后的实测渗流压力数据, 反演大坝各分区渗透系数, 并对反演计算结果进行分析。渗透系数反演目标函数为

$$Q = \sum_{i=1}^n (h_i - h'_i)^2 \quad (1)$$

$$h'_i = f(q_1, q_2, \dots, q_m) \quad (2)$$

式中: Q 为反演目标函数; h_i 为测点 i 处的实测水位; h'_i 为测点 i 处的有限元计算浸润线水位; $f(q)$ 为有限元导出函数; q_1, q_2, \dots, q_m 分别为 m 个分区的待反演渗透系数。

4.2 有限元模型

根据防渗墙加固前后的大坝结构特征, 分别建立0+350断面有限元计算模型, 坝基面以下取2.0倍坝高, 上、下游坝脚分别向外延伸2.0倍坝高。防渗加固前断面网格数7 814个, 节点数7 981个; 防渗墙加固后断面网格数7 842个, 节点数8 009个。防渗墙加固前后有限元网格见图5、图6。

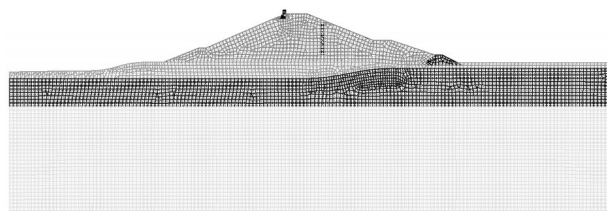


图5 防渗墙加固前0+350断面有限元网格

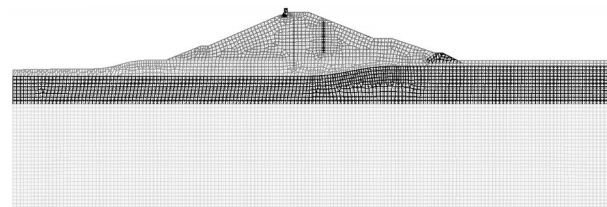


图6 防渗墙加固后0+350断面有限元网格

4.3 计算参数和反演成果

根据工程设计、施工控制标准及历次地勘资料, 选取各分区渗透系数初始值或初始值区间。基于防渗墙加固前后的库水位和下游实测水位等边

界条件以及测压管实测水位,利用有限元模型和构建的目标函数,分别反演计算得到加固前后各分区渗流参数。其中,2023年4月25日加固前实测库水位为23.22 m,2023年8月11日加固后实测库水位为26.71 m,下游水位取坝脚鱼塘实测水位,均为17.89 m。

各分区渗透系数初始值和反演值见表2,加固前后反演成果对比见表3,加固前后的反演计算浸润线和渗流位势分布见图7、图8。

从表2可见,反演得到的防渗墙渗透系数为 1.1×10^{-6} cm/s,渗透性等级属于微透水,表明防渗性能较好,可以满足土石坝工程防渗需要。根据钻孔取样检测结果,防渗墙渗透系数为 $3.28\times10^{-7}\sim9.59\times10^{-7}$ cm/s,反演值超出了检测结果范围上限值,主要因钻孔取样检测样本数较小,少数取样位置的检测结果不能代表防渗墙整体防渗性能,而基于实测资

料反演可以全面反映整个断面的渗透特性,因此反演参数更符合工程实际。

由图7、图8可见,由于临时防渗体是悬挂式,对消减渗流压力水头作用不明显,仅起到一定延长渗径的作用。通过防渗加固前后对比可知,下游侧浸润线未明显下降,主要因加固前水库限制水位运行,加固后水库逐渐蓄水至相对高水位。增加的这部分水头约占蓄水后总水头的40%,与新建防渗墙阻挡的水头占总水头的比例相当,表明防渗墙有效消减了渗流压力水头,防渗效果较好。

此外,防渗墙加固后坝体素填土渗透系数比加固前增大,原因在于防渗墙加固施工过程中对坝体填土有扰动。同时,防渗墙加固前水库处于控制水位运行状态,而完工后水位已接近正常蓄水位,由于反演得到的渗透系数仅能反映对应库水位以下填土的平均渗透性,推断由于该断面坝体填土在高

表2 大坝0+350断面各分区渗透系数初始值和反演值

序号	分区	渗透系数初始值(区间) ($\times 10^{-5}$ cm/s)		防渗墙加固前反演值 ($\times 10^{-5}$ cm/s)		防渗墙加固后反演值 ($\times 10^{-5}$ cm/s)	
		k_x	k_y	k_x	k_y	k_x	k_y
1	坝体素填土	[20,100]	[20,100]	45	32	55	47
2	坝基粉质黏土	0.90	0.59	0.90	0.59	0.90	0.59
3	坝基粉质黏土夹砾石	0.40	0.25	0.40	0.25	0.40	0.25
4	坝基强风化凝灰岩	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
5	排水棱体	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
6	临时防渗体	[1.0,5.0]	[1.0,5.0]	1.9	1.9	2.0	2.0
7	防渗墙	[0.04,0.15]	[0.04,0.15]	/	/	0.11	0.11

表3 大坝0+350断面渗流场反演成果对比

测点	防渗墙加固前(2023年4月25日)		防渗墙加固后(2023年8月11日)	
	反演计算水位/m	断面实测水位/m	反演计算水位/m	断面实测水位/m
K2	20.31	20.47	22.22	22.19
K4	20.97	20.85	20.03	19.63
K5	20.71	21.02	19.87	20.12

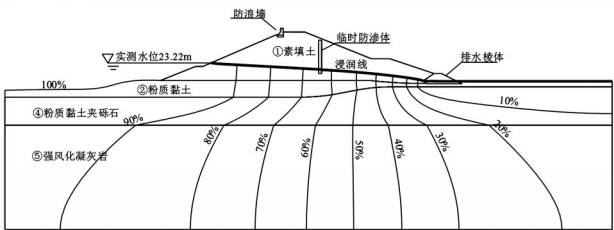


图7 0+350断面防渗墙加固处理前渗流分布

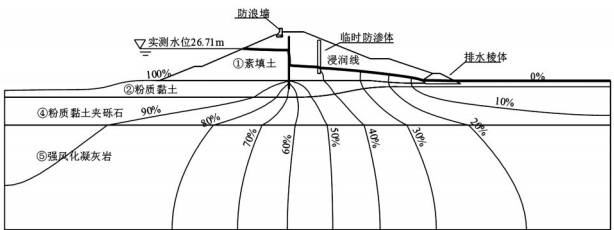


图8 0+350断面防渗墙加固处理后渗流分布

程23.22~26.71 m之间存在渗流薄弱带,因此高水位下反演得到的坝体填土渗透系数更大。渗水出逸点高程为24.50 m,与可能存在渗流薄弱带的高程范围相吻合。

5 防渗墙加固效果综合评估

渗流监测资料分析表明,经防渗墙加固处理后,大部分测点渗压位势下降明显,当前浸润线形态总体正常,并未从下游坝坡出逸。渗流参数反演分析结果表明,坝体填土存在渗流薄弱带,薄弱带高程较高。从计算浸润线与实测浸润线形态可见,渗流压力水位经防渗墙后下降显著,现场检查原渗水点位置仍轻微渗水,但散浸现象已不明显。针对渗水点仍轻微渗水问题,可采取隐患探测、下游坝坡填土取样分析等手段进一步研究,并继续对新增的5根测压管开展日常安全监测,加强渗水部位的巡视检查,关注渗水和降水、库水位的关联性。综上所述,下游坝坡渗漏原因为南涵填筑区无防渗墙,填土中存在渗漏薄弱带,经防渗墙加固处理后渗漏问题已基本得到解决,防渗墙起到了截断坝体主要渗漏通道的作用,防渗加固处理效果总体较好。

6 结 语

(1)通过防渗墙加固前在渗漏坝段布置多个渗流压力测点,监测渗漏坝段加固前后的渗流压力,有助于掌握关键部位渗流动态变化和空间分布情况,可为全面科学评估防渗墙加固效果提供准确有效的数据基础。

(2)通过加固前后渗漏坝段监测数据的动态对

比分析和空间分布特征分析,结合基于实测数据的渗流参数反演分析,提出了一种基于实测资料的防渗墙加固效果综合评估方法,相较于钻孔取样检测法,可以更准确、更全面地评估防渗墙加固效果。

(3)虽然防渗墙加固已经完成,下游坝坡散浸现象已不明显,但原渗水点处仍然存在轻微渗水现象,建议采取隐患探测和下游坝坡填土取样分析等手段进一步研究,并重视渗水部位的日常安全监测和巡视检查,确保大坝安全运行。

参考文献:

- [1] 刘兆楠. 防渗墙在水库大坝防渗中的应用分析[J]. 江苏水利, 2017(3): 66-68.
- [2] 李家正. 水工混凝土材料研究进展综述[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(5): 1-9.
- [3] 张廷华, 蒋景东, 李卓, 等. 何家沟水库大坝“台阶式”混凝土防渗墙质量综合物探检测与评价[J]. 水电能源科学, 2023, 41(1): 96-99.
- [4] 李鸣, 覃源, 徐程勇, 等. 深厚覆盖层上混凝土防渗墙服役性能分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(10): 137-145.
- [5] 王相烜, 刘得潭, 何传凯, 等. 长河坝水电站特高心墙堆石坝双防渗墙渗流控制特性反演分析[J]. 水利水电科技进展, 2023, 43(5): 88-93.
- [6] 王赵汉. 基于分布式光纤测温技术的土石堤坝渗流监测方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [7] 吴云星, 王士军, 谷艳昌, 等. 土石坝突发事件特征分析及应急监测探讨[J]. 大坝与安全, 2019(3): 29-34.
- [8] 王士军. 水库大坝安全监控与信息化[M]. 南京: 河海大学出版社, 2019.