

乌井水库坝顶纵向裂缝变形监测与分析

王乐芹¹, 胡松涛², 章李乐³, 林太清², 戴国强²

(1. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451; 2. 江西省水利科学院, 江西 南昌, 330029;
3. 南昌市水利规划设计院, 江西 南昌, 330009)

摘 要: 设有混凝土防渗墙的土石坝出现坝顶纵向裂缝是常见的一种安全隐患, 坝顶纵向裂缝的出现和扩展增加了大坝安全风险。本文在详细调查乌井水库纵向裂缝分布情况的基础上, 经过一年运行周期的裂缝观测与变形观测, 分析获得了纵向裂缝开度随库水位变化的扩展规律。进一步采用变形倾度法分析了大坝表面变形与坝顶纵向裂缝的相关性, 结果表明: 坝顶纵向裂缝的开度变化规律基本与变形倾度的增量变化一致, 裂缝随变形倾度增量的减小而闭合, 随变形倾度增量的增加而张开。

关键词: 坝顶纵向裂缝; 监测; 变形倾度法; 分析; 乌井水库

中图分类号: TV698.1⁺1

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2021)03-0229-06

0 引 言

裂缝是土石坝十分常见的一种安全隐患, 国内外已见报道的水库大坝都已经非常多, 如社上水库大坝^[1]、白莲河水库^[2]、小浪底水库^[3]、佛寺水库大坝^[4]。分析土石坝坝顶纵向裂缝的变形规律、影响因素, 探讨裂缝的形成机理及其发展趋势、研究防治措施, 是土石坝安全风险管理和控制的重要课题。

顾淦臣^[5]1982 年根据裂缝的调查和土石坝变形观测总结出一些土石坝的裂缝类型和成因, 并提出通过提高土石坝的压实质量来减小大坝变形以防止裂缝的产生。近年来随着早期建设的一系列大坝的除险加固和新建的一大批高土石坝在完工后出现了大量的裂缝, 土石坝裂缝问题得到了许多学者的关注和研究, 总结起来现阶段主要通过监测分析^[1,2]、室内试验^[10,11]和数值分析^[12-16]3 种方法进行分析研究。

根据江西省的调查^[17]发现, 许多土石坝在除险加固中增设混凝土防渗心墙后, 出现了坝顶纵向裂缝的现象。裂缝的出现和扩展增加了土石坝的安全风险, 受技

术和经济等因素的限制, 在役的许多中小型水库土石坝裂缝问题未得到根本的解决。本文针对此情况, 以南昌市乌井水库为例, 通过监测大坝一个库水涨落周期内的变形进行分析研究, 讨论了土石坝坝顶纵向裂缝的变形规律及形成机理。

1 工程概况

乌井水库位于江西省南昌市湾里城区北面高山上, 距湾里城区 3.0km, 是一座以供水为主, 兼顾防洪、旅游等综合利用的重点小(1)型水库。该水库始建于 1970 年, 1972 年基本建成蓄水。进行过多次除险加固和配套整修, 达到现有工程规模。水库枢纽主要由大坝、溢洪道、输水涵管组成。大坝为均质土坝, 坝顶高程 192.55m (黄海基面, 下同), 最大坝高 45.4m, 坝顶长 181.0m、宽 8.0m。正常蓄水位 190.0m, 设计洪水位 190.0m, 校核洪水位 190.16m, 总库容 448.0 万 m³。除险加固时, 对大坝坝体及坝肩进行了防渗加固。坝轴线上增设高喷防渗心墙, 防渗墙贯穿整个坝身底部嵌入弱风化基岩以下 1.0m, 厚度为 0.7m, 上部为高压摆喷防渗

收稿日期: 2021-04-11

项目来源: 江西省水利厅科技项目(201820ZDKT03, 202021TGKT13)。

作者简介: 王乐芹(1978-), 女, 博士, 工程师。

墙,下部为高压旋喷防渗墙,如图 1 所示。

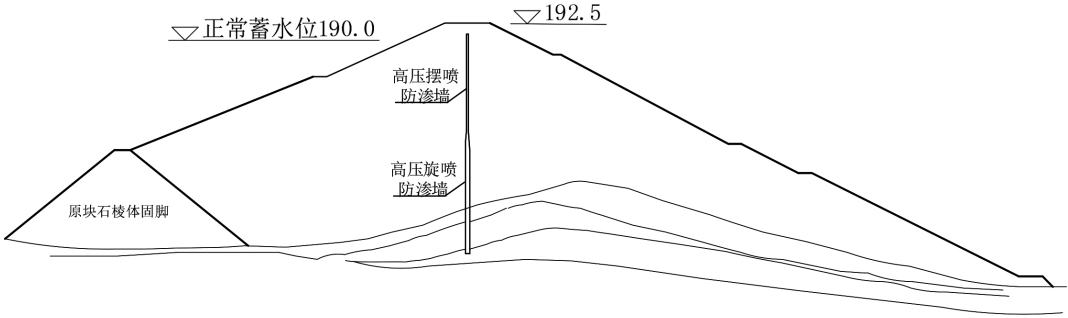


图 1 乌井水库大坝典型横剖面图

2 裂缝情况

乌井水库于 2011 年 11 月至 2012 年 5 月完成除险加固,2015 年水库巡查人员首次发现坝顶路面出现纵向裂缝,2015 年~2018 年期间坝顶裂缝继续延伸。2018 年 2 月现场检查,裂缝长约 132.0m,位置紧靠坝轴线(混凝土防渗墙)前后,裂缝平均宽度 3.0mm、最宽处 40.0mm,最大错位约 4.0mm(见图 2 和图 3)。具体情况如下:

- ①裂缝纵向分布在 0+003 至 0+018,横向分布在坝顶防渗墙后,约 15m 长,最大缝宽为 3mm,裂缝两侧最大错位 0.5mm。
- ②裂缝纵向分布在 0+018 至 0+129,横向分布在坝

顶防渗墙后,约 111m 长,最大缝宽为 40mm,裂缝两侧最大错位 4mm。

③裂缝纵向分布在 0+129 至 0+135,横向分布在坝顶防渗墙后,约 6m 长,最大缝宽为 3mm,裂缝两侧最大错位 0.5mm。

为进一步调查裂缝的深度分布,在坝顶路面沿着裂缝开挖了 8 个探坑,编号为 TK1~TK8,每个探坑间隔约 15m,尺寸为 50cm×50cm,其中 TK3(桩号 0+060 左右)为裂缝最宽处的探坑,尺寸为 50cm×100cm,裂缝已贯通混凝土路面,且下部垫层发现一条较细小的裂缝,如图 4 所示。调查后,对裂缝进行了充填沥青处理。

为进一步分析裂缝的扩展规律及其形成机理,2020 年 3 月~2021 年 3 月对裂缝开度进行了一年的运行周期的监测。

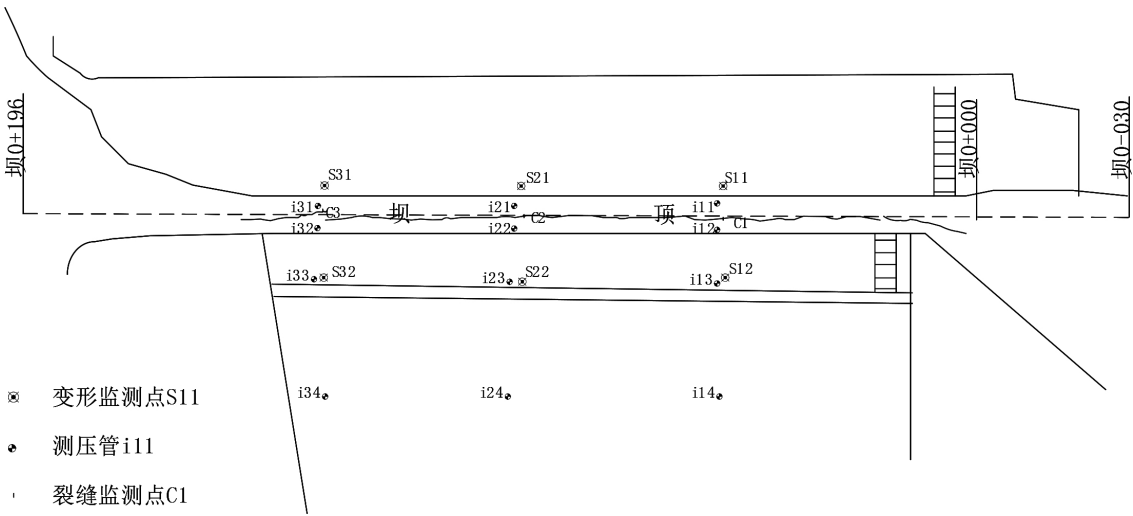


图 2 坝顶纵向裂缝分布及变形监测布置示意图



图 3 乌井水库坝顶纵向裂缝



图 4 TK3 裂缝分布情况

3 裂缝开度过程规律分析

从裂缝开度观测过程线可知,如图 5 所示,自 2020 年 3 月 5 日开始,至 2021 年 2 月的观测数据显示裂缝开度变化整体相对稳定,裂缝开度变化与库水位变化敏感性较低。总体而言,随着库水位的上涨裂缝开度发展变化呈现一定的收缩趋势,之后库水位降落过程裂缝开度发展变化呈现张开的趋势。

4 基于变形倾度法的裂缝扩展规律

4.1 变形倾度法

变形倾度法^[18]是由南京水利科学研究院等根据坝体沉降观测资料提出的预测坝体裂缝的一种方法。如图 6 所示,假如在坝身同一高程处有 2 个观测点 a 和

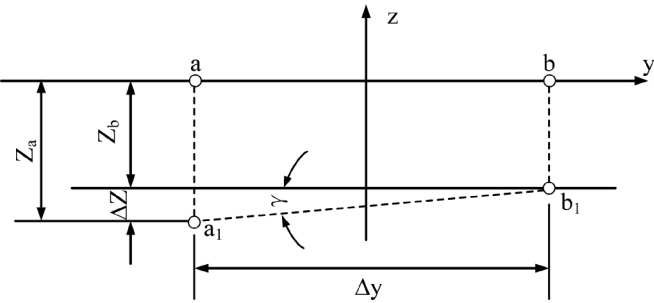


图 6 变形倾度法示意图

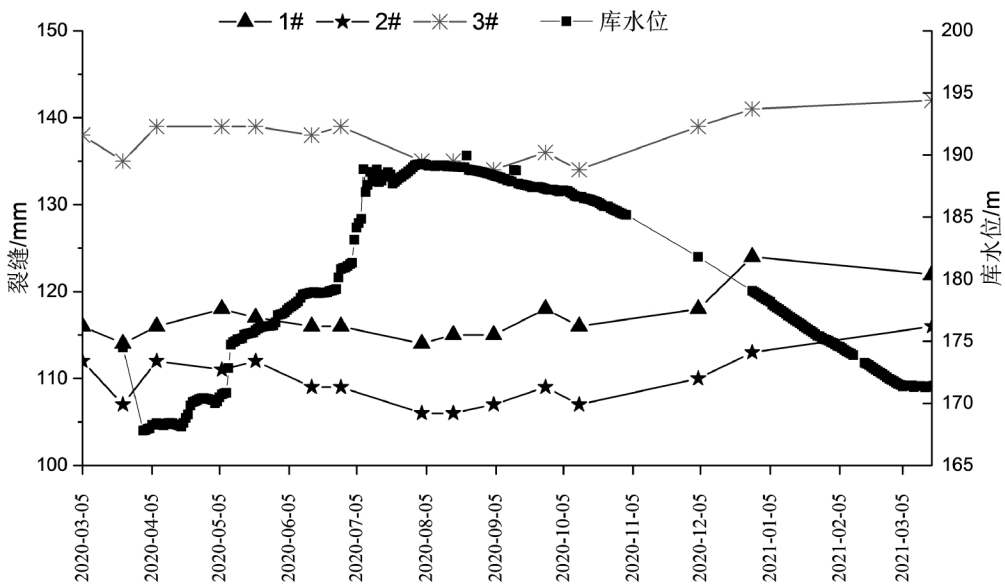


图 5 裂缝开度与库水位的时程变化曲线

b , 两点间的水平距离为 Δy , 如在某一计算日期 T_i 测得的累积沉降量分别为 Z_a 和 Z_b , 则定义 a 和 b 两点在日期 T_i 的变形倾度为:

$$\gamma \approx \tan \gamma = \frac{\Delta Z}{\Delta y} \times 100 = \frac{Z_a - Z_b}{|y_a - y_b|} \times 100 \quad (1)$$

考虑到为充分利用大坝现有的表面变形监测设施, 观测结果处理时与变形倾度法中观测点在同一高程出现冲突而不适用。而常见的土石坝变形监测设施布置时, 同一个横断面监测点基本不在一个高程上。如图 7 所示, 假设在坝身不同高程处的 2 个观测点 a 和 b , 两点间的水平距离为 Δy , 两点间的初始高差为 ΔZ_1 , 在某一计算日期 T_i 测得的高差为 ΔZ_2 , 则定义 a 和 b 两点在日期 T_i 的广义变形倾度增量为:

$$\Delta \gamma \approx |\tan \gamma_1 - \tan \gamma_2| \times 100 \quad (2)$$

$$\tan \gamma_1 = \frac{\Delta Z_1}{\Delta y} \quad (3)$$

$$\tan \gamma_2 = \frac{\Delta Z_2}{\Delta y} \quad (4)$$

$$\Delta Z_2 = Z_a - Z_b + \Delta Z_1 \quad (5)$$

令初始高差即 a 和 b 在同一高程, 代入 (2)~(3) 式即得到 (1) 式的结果。因此不同高程的两个监测点可认为适用变形倾度法。

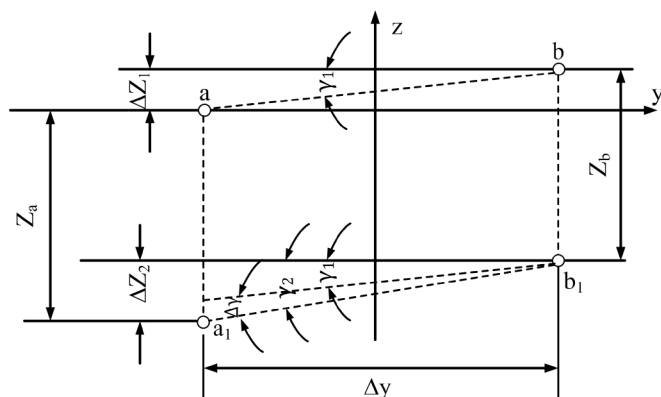


图7 改进的变形倾度法示意图

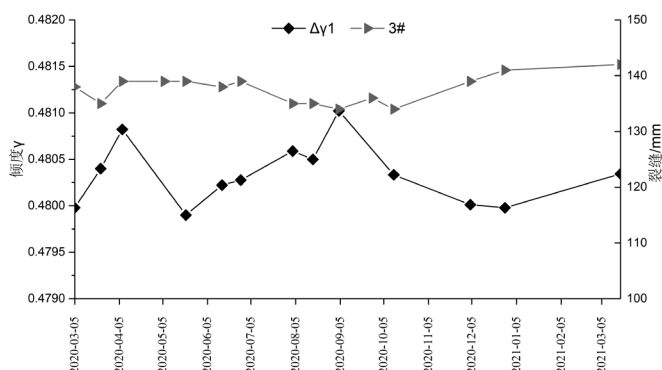
4.2 变形监测布置

大坝的表面变形监测布置了3个横断面, 每个断面迎水坡1个观测点, 背水坡2个观测点。具体布置如图2所示, 本文选取其中的1-1和2-1、1-2和2-2、1-3和2-3共3组监测点进行变形倾度分析, 3组监测点分别与本文分析的3个裂缝监测点在同一个横断面上。

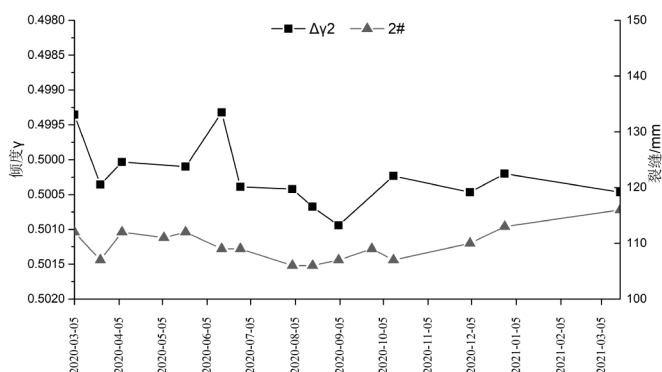
4.3 结果分析

变形倾度法认为变形倾度小于临界值, 即认为不会发生张拉裂缝^[18]。本工程监测点不在同一个高程, 主要通过分析变形倾度增量来探讨现有裂缝的扩展规律, 表1为根据乌井水库2020年3月~2021年3月的监测数据, 计算变形倾度增量的结果。

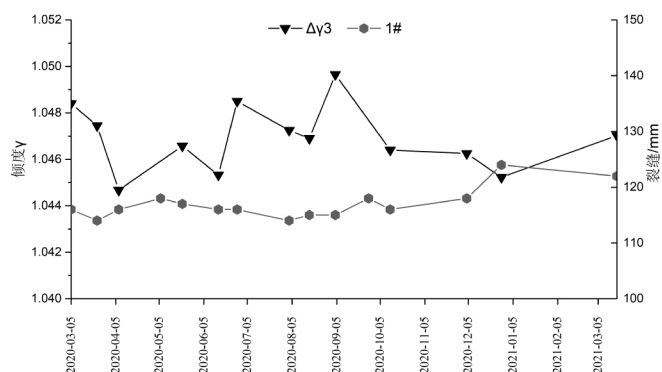
图8给出了大坝变形倾度增量与裂缝开度的变化



1# 断面



2# 断面



3# 断面

图8 裂缝开度与变形倾度的变化曲线图

表 1 变形倾度计算结果

监测时间 /(年-月-日)	沉降量 Z/mm						同一断面 观测点 平距/m	倾度增量		
	1# 断面		2# 断面		3# 断面			$\Delta\gamma_1$	$\Delta\gamma_2$	$\Delta\gamma_3$
	1-1	2-1	1-2	2-2	1-3	2-3				
2020-03-05	0	0	0	0	0	0		0	0	0
2020-03-23	-32.4	-28.6	-34.2	-25.19	-34.5	-38.3		0.042 2	0.100 1	0.042 2
2020-04-07	4.1	7.9	7.7	4.79	15.5	4.4		0.042 2	0.032 3	0.123 3
2020-05-21	1.7	-6.6	-3.5	-2.9	-9.3	-1.7		0.092 2	0.006 7	0.084 4
2020-06-15	-8.2	-5.3	-9	-16	-4.8	-9.8		0.032 2	0.077 8	0.055 6
2020-06-28	1.1	1.6	-0.1	9.5	-5.9	6.8		0.005 6	0.106 7	0.141 1
2020-08-03	-4.7	-1.9	-4.4	-4.1	-6.2	-11.2	9.00	0.031 1	0.003 3	0.055 6
2020-08-17	2.6	1.8	-1.5	0.8	6.8	5.4		0.008 9	0.025 6	0.015 6
2020-09-04	-4.2	0.5	4.3	6.7	-2.3	8.7		0.052 2	0.026 7	0.122 2
2020-10-12	3.2	-3	-2.5	-8.9	3.1	-9.9		0.068 9	0.071 1	0.144 4
2020-12-04	4.6	1.7	/	/	/	/		0.032 2	/	/
2020-12-28	2.6	2.3	5.9	3.5	4.0	-0.1		0.003 3	0.026 7	0.045 6
2020-12-04	-4.3	-1.0	-3.1	-0.7	-3.7	3.5		0.036 7	0.026 7	0.080 0

曲线, 监测结果显示 3 条裂缝的开度随变形倾度的变化规律基本一致。除 6 月 28 日监测情况外, 其余监测计算结果均显示变形倾度增量的变化与裂缝开度的变化基本一致, 即裂缝开度随倾度增量的减小而减小, 随倾度增量的增加而增加。

5 结 论

通过调查和观测资料分析, 对乌井水库坝顶纵向裂缝得出如下结果:

(1) 坝顶纵向裂缝随着库水位的上涨裂缝开度发展变化呈现一定的收缩趋势, 库水位降落过程裂缝开度发展变化呈现张开的趋势。

(2) 采用变形倾度法分析坝顶纵向裂缝得出: 变形倾度增量的变化与裂缝开度的变化基本一致, 即裂缝开度随倾度增量的减小而减小, 随倾度增量的增加而增加。

(3) 根据监测分析可知, 乌井水库大坝坝顶纵向裂缝的扩展受库水位涨落和坝坡表面变形影响, 因此建

议水库在汛期及库水涨落明显时间段加强对坝顶裂缝的观测和大坝的巡查。

参考文献:

- [1] 盛金保, 王昭升. 社上水库一号坝坝顶裂缝成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2003(02): 41-45.
- [2] 牛运光. 湖北省白莲河水库土石坝裂缝原因及加固[J]. 大坝与安全, 2006(01): 65-68.
- [3] 屈楚杰, 朱晟, 罗坤. 小浪底斜心墙堆石坝坝顶纵向裂缝数值仿真分析[J]. 水电能源科学, 2015, 33(10): 50-53.
- [4] 陶卫华, 王彦军, 胡光炎, 等. 佛寺水库坝顶路面裂缝调查及分析[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(06): 1229-1232.
- [5] 顾淦臣. 土石坝的裂缝和压实质量 [J]. 岩土工程学报, 1982(04): 56-67.
- [6] 胡涛, 贾军, 陆俊, 等. 基于示踪法的土石坝裂缝发育深度检测及成因分析[J]. 人民长江, 2019, 50(07): 201-205.
- [7] 李荐华, 甘建军, 方正, 等. 长江济益公堤河湖相淤泥质软基堤防裂缝成因分析 [J]. 浙江水利水电学院学报, 2019, 31(02): 10-14.
- [8] 林道通, 朱晟, 邬铭科, 等. 瀑布沟砾石土心墙堆石坝初次蓄

- 水期坝顶裂缝成因分析[J]. 水力发电, 2017, 43(10): 56-61.
- [9] 陈文辉. 锦屏水库大坝裂缝成因分析及除险加固处理[J]. 广东水利水电, 2017(09): 20-25.
- [10] 张丙印, 张美聪, 孙逊. 土石坝横向裂缝的土工离心机模型试验研究[J]. 岩土力学, 2008(05): 1254-1258.
- [11] 韩朝军, 朱晟. 土质防渗土石坝坝顶裂缝开裂机理与成因分析[J]. 中国农村水利水电, 2013(08): 116-120.
- [12] 徐建. 高心墙堆石坝坝顶裂缝成因分析[J]. 水科学与工程, 2017(05): 46-50.
- [13] 彭涛. 基于流固耦合的高砾石土心墙坝坝顶开裂研究[J]. 人民长江, 2020, 51(08): 186-190.
- [14] 高志良, 张瀚, 熊敏. 深厚覆盖层上高心墙堆石坝坝顶开裂特征及原因研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(05): 103-108+113.
- [15] 吉恩跃, 陈生水, 傅中志, 等. 高土质心墙坝坝顶裂缝模拟方法及应用[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(06): 997-1004.
- [16] 彭翀, 张宗亮, 张丙印, 等. 高土石坝裂缝分析的变形倾度有限元法及其应用[J]. 岩土力学, 2013, 34(05): 1453-1458.
- [17] 喻蔚然, 史明涓, 等. 土石坝加固防渗心墙后坝顶纵向裂缝调查报告[R]. 南昌: 江西省水利科学研究院, 2019.
- [18] 水利电力部、交通部、南京水利科学研究所、湖北水利局. 土坝裂缝及其观测分析[M]. 水利电力出版社, 1979: 28-87.

编辑: 张绍付

Monitoring and analysis of longitudinal crack in the dam crest of Wujing reservoir

WANG Leqin¹, HU Songtao², ZHANG Lile³, LIN Taiqing², DAI Guoqiang²

(1. China Offshore Oil Engineering Company, Tianjing 300451, China;

2. Jiangxi Academy of Water Science and Engineering, Nanchang 330029, China;

3. Nanchang Municipal Hydraulic Planning and Designing Institute, Nanchang 330009, China)

Abstract: The longitudinal crack is a general potential vulnerability in the crest of earth-rock dam with concrete cut-off wall. However, the formation and propagation of longitudinal cracks in the dam crest increases the safety risk of dam. The longitudinal cracks distribution of Wujing Reservoir was investigated in detail in this study. Based on this investigation and monitor in a full operating cycle of the reservoir, the propagation law of longitudinal cracks with the variation of reservoir water level is obtained. With the deformation gradient method, the results reveal the deformation of the cracks are similar to the deformation gradient.

Key words: Longitudinal crack; Monitor; Deformation gradient method; Analysis; Wujing reservoir

翻译: 王乐芹