

四川省某斜墙土石坝裂缝检测及成因分析

胡庸¹, 吴佳晔¹, 侯前荣², 杨诚³, 周永康³, 赵强⁴

(1 四川理工学院建筑工程学院, 四川 自贡 643000; 2 自贡市双溪水库管理处, 四川 自贡 643000

3 自贡市水利电力建筑勘测设计院, 四川 自贡 643000; 4 四川升拓检测技术有限责任公司, 成都 610000)

摘要: 四川省某水库大坝为粘土斜墙石渣坝, 自建成以来, 由于种种原因, 工程处于带病运行状态。大坝存在坝体沉降量过大, 坝顶有多处横向裂缝深入斜墙; 为了对水库进行除险加固, 需对大坝防渗体裂缝的有无、位置及其开展程度进行全面检测, 为裂缝的整治处理提供依据。通过现场实测资料 and 沉降观测资料, 对裂缝的形态和成因进行分析, 并对防渗体上部进行了二维有限元数值解析, 其结果与实测结果非常吻合。

关键词: 土石坝; 裂缝; 成因分析

中图分类号: TV 641

文献标识码: A

1 水库工程概况

四川省某水库位于自贡市境内, 在沱江水系釜溪河一级支流的旭水河上游, 属于中型水库。该水库控制流域面积 80.25 km^2 , 总库容 5800 万 m^3 , 正常库容 5500 万 m^3 , 兴利库容 4380 万 m^3 , 防洪库容 316 万 m^3 , 死库容 1120 万 m^3 , 是一座以灌溉为主, 兼有防洪、供水、旅游、发电等综合效益的中型骨干水利工程。

水库枢纽工程主要建筑物包括: 大坝、溢洪道、充水隧洞、放空(导流)隧洞以及放水隧洞等。

水库大坝为粘土斜墙石渣坝, 设计坝顶高程 393.4 m , 最大坝高 50 m , 坝长 400 m , 坝顶宽 8.0 m , 坝底最大宽度 273.4 m , 防浪墙顶高程 394.6 m 。上游坝坡为三级(自上而下): $1:3.0$ $1:3.5$ $1:2.0$ (堆石棱体), 下游坝坡为四级(自上而下): $1:2.5$ $1:2.75$ $1:3.0$ $1:2.0$ (堆石棱体)。粘土斜墙由粘土及风化粘土岩筑成, 石渣主要为新鲜的泥岩块碎石及砂岩块碎石, 少量灰岩块碎石。斜墙基础为混凝土齿墙, 齿墙下设悬挂式帷幕一道。斜墙上下游面分别设有过渡反滤层和石渣坝壳。上游坝面为干砌石护坡, 下游坝面为草皮护坡。大坝基本剖面如图 1 所示。

水库大坝于 1993 年 6 月 30 日下闸蓄水, 1993 年底

基本建成。工程建成至今已十多年, 由于种种原因, 一直处于带病运行状态。大坝存在坝体沉降量过大, 坝顶有多处横向裂缝深入斜墙; 下游坝坡及左右两岸都存在蚁害; 大坝坝基、坝肩存在渗漏。



图 1 大坝基本剖面

2 防渗体裂缝检测

由于该水库位置特殊, 位于荣县上游, 距离县城仅 1.5 km , 因此, 保证水库大坝的安全运行对水库下游人民的生命财产至关重要。在 2006 年的整治工作中, 对水库两岸部位的防渗体进行了检测(直接挖开防渗体前的壳体材料, 采用目测方法)和处理(采用铺设土工织物的办法进行防渗处理)。但是, 由于各种原因, 2006 年的裂缝检测及处理只局限于两岸坝肩(左岸处理部分桩号: $0+243.10 \sim 0+300.00$ 右岸处理部分桩号: $0+000.00 \sim 0+050.20$), 而对中间部分(桩号: $0+050.20 \sim 0+243.10$)未能检测。因此, 水库管理单位委托四川

省水利水电勘测设计院(以后简称该院)对水库大坝中段(桩号: 0+ 039. 35~ 0+ 239. 35)防渗体(斜墙)中裂缝的有无、位置以及开展程度进行了检测。

2.1 检测对象及内容

经过分析, 该院认为在防渗体上产生的横缝很可能会出现在防渗体上部。原因如下:

1) 工程经验: 根据 2006 年整治的结果, 在坝体两岸防渗体的裂缝均从防渗体上部开展, 并向下延伸约 6m ~ 8m;

2) 裂缝产生机理: 经过分析, 该院认为该水库大坝防渗体裂缝的产生很可能是由于坝体的不均匀沉降所造成。而不均匀沉降量则随着高程的增加而加大, 在坝顶附近达到最大, 容易在防渗体上部造成裂缝。

图 2 图 3 为检测方案示意图。

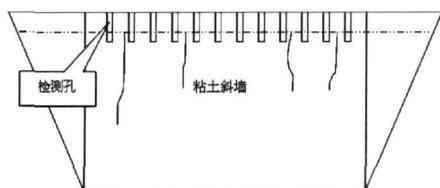


图 2 防渗体(斜墙)检测方案正面示意图

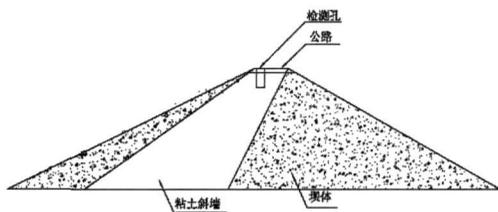


图 3 防渗体斜墙剖面示意图

对于防渗体可能出现的裂缝, 主要是采用弹性波综合检测设备(SCE-MATS)和岩土波速测试系统(SPS-VETS)来检测弹性波的衰减率及其传播速度, 并以此为依据进行分析判断^[1-3]。

利用表面波法和速度法, 综合衰减率和压缩波波速这两项指标, 可以比较准确地检测分析出各区间裂缝的有无以及位置等情况。

根据对检测结果的综合分析, 用波速和衰减的测试结果具有较好的一致性。

2.2 裂缝检测结果

对于防渗体上部裂缝的有无等情况, 采用下述 2 种方法进行综合分析推断。

2.2.1 弹性波的衰减率

根据双曲回归的综合衰减率进行分析, 结论如下:

(1) 在直线坝段中段, 裂缝存在的可能性较大。在 23#检测孔(桩号: 0+ 151. 35) ~ 32#检测孔(桩号: 0+

115. 35)之间, 有 3 处可能存在裂缝;

(2) 左岸和右岸可能有一定的裂缝存在, 左岸较右岸不太明显。左岸 10#检测孔(桩号: 0+ 203. 35) ~ 13#检测孔(桩号: 0+ 191. 35)之间有 2 处可能存在裂缝; 右岸 4#检测孔(桩号: 0+ 071. 35) ~ 46#检测孔(桩号: 0+ 059. 35)之间有 1 处可能存在裂缝。

2.2.2 弹性波的波速

根据波速处理结果和包络扫描的成果图信息分析, 结论如下:

(1) 1#检测孔(桩号: 0+ 239. 35) ~ 20#检测孔(桩号: 0+ 163. 35)的波速数据表明左岸裂缝不太明显;

(2) 20#检测孔(桩号: 0+ 163. 35) ~ 5#检测孔(桩号: 0+ 039. 35)的结果图表明, 右岸部分坝段相对波速比较小, 可能存在裂缝;

(3) 中间部位与弹性波衰减率成果图基本一致, 特别是其中两处吻合性好, 裂缝的可能性较大。

2.3 防渗体的变形和受力分析

2.3.1 防渗体变形和受力分析概要

该水库大坝存在不均匀沉降, 大坝及防渗体顶部的沉降变形模式见图 5。从图中的变型模式可知, 在(1)坝肩防渗体的上部迎水面(2)中段防渗体的上部背水面有存在受拉区的可能。此外, 在大坝中段坝顶部位也应存在受压区。根据对坝顶防浪墙及路面的观测, 在坝顶中段存在一定程度的压碎现象, 也印证了这一点。

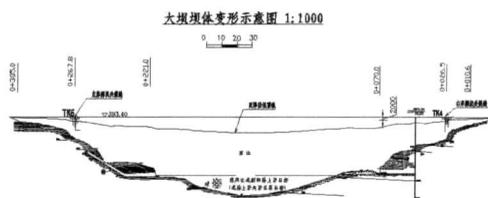


图 4 水库大坝变形示意图

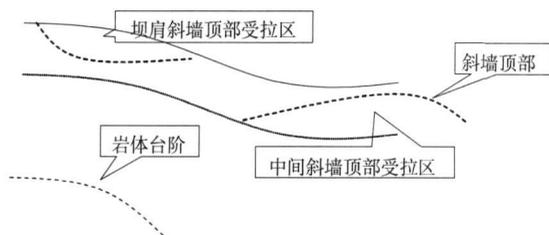


图 5 水库大坝防渗体(斜墙)变形及受力概况

2.3.2 防渗体变形和受力分析有限元解析

为了进一步验证对防渗体应力状态的分析, 根据业主单位提供的沉降观测资料, 我们对防渗体上部进行了二维有限元数值解析, 在现有的位移条件下, 进行防渗体上部的内力分析。

解析对象为该水库大坝防渗体上部。计算模型采

用线弹性二维平面模型。解析中采取的位移参数为业主单位提供的沉降观测资料,

由于具备坝顶沉降的观测资料, 因此可以用有限元解析根据已知的位移条件来反演防渗体的应力状态。为了分析防渗体的应力状态, 将沉降观测资料作为位移条件指定为模型的边界条件, 采用线弹性二维平面模型分析。以下为分析结果:

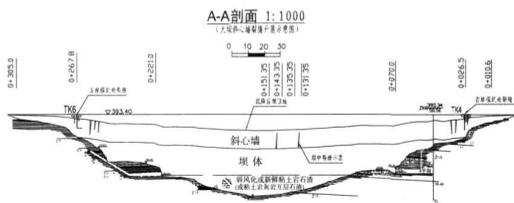


图 7 水库大坝防渗体裂缝示意图

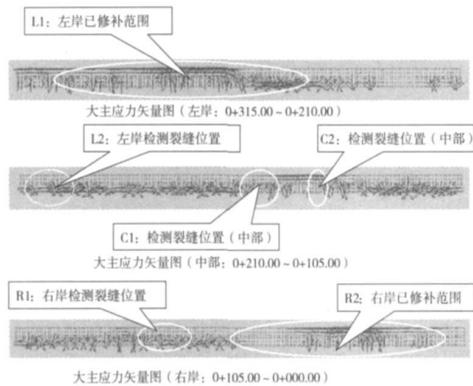


图 6 有限元计算大主应力局部放大矢量图

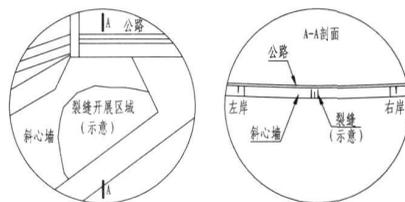


图 8 水库大坝中段防渗体裂缝示意图

2.3.4 综合推断

综合弹性波的衰减率和弹性波波速的检测结果, 以及根据沉降观测资料综述, 可以得出以下结论:

(1) 在直线坝段中间段, 23# 检测孔 (桩号: 0+151.35) ~ 25# 检测孔 (桩号: 0+143.35) (相对坐标在 88 m 到 96 m 之间) 之间的 8 m 长的坝段内, 以及 27# 检测孔 (桩号: 0+135.35) ~ 28# 检测孔 (0+131.35) (相对坐标在 104 m 到 108 m 之间) 之间的 4 m 长的坝段内, 裂缝存在的可能性很大;

(2) 左岸 10# 检测孔 (桩号: 0+203.35) ~ 13# 检测孔 (桩号: 0+191.35) (相对坐标在 36 m 到 48 m 之间) 之间的 12 m 长的坝段内, 以及右岸 43# 检测孔 (桩号: 0+071.35) ~ 46# 检测孔 (桩号: 0+059.35) (相对坐标在 168 m 到 180 m 之间) 之间的 12 m 长的坝段内, 有可能存在裂缝。

从计算结果可以看出:

(1) 在防渗体中的多处地方, 有明显的应力集中现象;

(2) 在防渗体两岸部位, 斜墙上部 (迎水面) 出现拉应力集中区的位置, 与 2006 年整治工作中发现的裂缝情况非常吻合;

(3) 防渗体中的拉应力集中多出现在下面, 即防渗体背水面。然而, 由于 0+144.00 处的沉降不连续, 使得计算出的 0+131.7 ~ 0+150.7 的范围内, 拉应力区从斜墙的下部 (背水面) 急剧变化到斜墙的上部 (迎水面)。值得注意的是, 计算出的拉应力急剧变化区正是检测出的 0+131.35 ~ 0+135.35 裂缝区间与 0+143.35 ~ 0+151.35 裂缝区间。

2.3.3 裂缝的形态分析

由于防渗体为粘土, 具有较强的受压及剪切变形适应能力。因此, 其裂缝主要由受拉引起。综合检测及有限元计算结果, 我们对防渗体裂缝的形态分析如下:

(1) 直线坝段中间段裂缝应主要从防渗体上部背水面发生, 向迎水面开展。也有部分裂缝是从迎水面发生, 向背水面开展;

(2) 左岸、右岸未处理部分裂缝应从防渗体上部背水面发生, 向上游迎水面开展;

(3) 左岸、右岸已处理部分裂缝应从防渗体上部迎水面发生, 向下游背水面开展, 这符合 2006 年整治时的观测结果。

下面为防渗体裂缝的示意图:



图 9 水库裂缝检测测点布置图

2.4 裂缝的形态和规模

(1) 在直线坝段中段, 其裂缝从防渗体上部的背水面 (即与防渗体后部垫层的接触面) 产生的可能性相对较大。但也不排除部分裂缝从防渗体上部迎水面产生的可能性。当裂缝没有贯穿防渗体时, 即使揭去坝壳表

面部分,也难以发现裂缝的存在;

(2)左岸和右岸检测区间的裂缝从防渗体上部背水面产生的可能性相对较大;

(3)根据受力分析和经验推断,裂缝的开展深度(上下方向)估计不会不长,可能与2006年整治工作中在两岸发现的裂缝相近或稍短,约为4~8m左右。中间坝段的裂缝应当主要集中在坝顶部分;

(4)根据受力分析和经验推断,裂缝应当具有一定的宽度,与2006年整治工作中发现的两岸的裂缝相近或稍窄。

2.5 裂缝的成因

关于裂缝的成因,推测有以下几个方面:

(1)不均匀沉降(梁效应):由于地形条件以及大坝的构造、施工等方面的原因,防渗体上部产生了一定的不均匀沉降。其结果,一方面造成在防渗体的两岸迎水面产生拉应力区并形成裂缝(已在2006年的开挖调查中得到证实),另一方面在中间坝段产生压应力区,造成坝顶中部防浪墙以及路面的挤压破坏。同时,由于粘土对压应力有较大的适应能力,因此压应力本身不会产生裂缝。但是由于在坝顶,防渗体的结构类似于弹性地基上梁,在迎水面产生压应力的同时,在背水面也会产生一定的拉应力,从而有可能形成裂缝。

(2)干燥收缩:近年来,该水库长期处于低水位运行状态。因此大坝防渗体上部的含水量普遍较低。根据钻孔取样的结果,可以明显看出防渗体部分的材料非常坚硬和干燥,敲击有声响并易碎。其结果,一方面容易产生干燥收缩裂缝,另一方面粘土塑性降低,在不均匀沉降产生的拉应力的作用下,更容易产生裂缝。

因此,大坝顶部防渗体的裂缝的成因在于不均匀沉

降和干燥收缩的双重作用。

2.6 裂缝的危害

从检测结果、受力分析和经验推断来看,坝顶防渗体的裂缝应当主要集中在防渗体上部,其贯穿防渗体的可能性不大。但是考虑到防渗体的健全性直接关系到大坝的安全,而且最近几年大坝未受高水位的考验,因此在防渗体上部有存在裂缝可能性的时候,建议予以高度的重视并加以妥善的处理。

3 结束语

(1)大坝中部产生裂缝的可能性很大,建议加以修补。其中,部分裂缝从表面可能难以观测得到。因此,结合坝顶的加高和防渗体的修补工程,在条件许可的情况下希望能够对裂缝的状况加以进一步核实;

(2)大坝坝顶两岸部分有一定存在裂缝的可能性,而且其从防渗体上部背水面开展的可能性较大。虽然相比中部裂缝,其危害要小,但从慎重的角度考虑,应加以修补;

(3)为了进一步保证大坝的安全性,应对大坝安全监测资料进行更加详细的整编和分析,对不能正常工作的大坝安全监测仪器、设备进行必要的维修和更换。

参考文献:

- [1] 工程地质手册 4版[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [2] 水利水电工程物探规程(DL5010-92)[S]. 北京:水利电力出版社,2002
- [3] 堤知明,吴佳晔,吴佳尔,等.表面波测裂缝的新测定技术及其在大坝监视中的应用[C].2005

Research on Crack of Existed Fill Dam in Sichuan

HU Yong¹, WU Jia-ye¹, HOU Qian-rong², YANG Cheng³, ZHOU Yong-kang³, ZHAO Qiang⁴

(1. School of Architecture Engineering Sichuan University of Science & Engineering Zigong 643000, China

2. Zigong Shuangxi Reservoir Management Zigong 643000, China

3. Zigong Water Conservation Electric Power Construction Survey Design Institute Zigong 643000, China

4. Sichuan Central Inspection Technology CO. Ltd, Chengdu 610000, China)

Abstract A fill dam with clay core in Sichuan Province, for various reasons, works in a sick state. It is excessive sedimentation and crest with multiple transverse cracks in core. To reinforce the structure, it is necessary to locate the cracks. After comprehensive inspection, in-situ measured datas and 2D FEM analysis, the location and causes are determined.

Key words earth-rock dam; crack; cause analysis