

文章编号:1672-3031(2014)03-0332-05

某重力坝岸坡坝段上游面裂缝对工作性态影响分析

官照光¹, 高 鹏¹, 周秋景², 李海枫²

(1. 中国长江三峡工程开发总公司 向家坝工程建设部, 四川 宜宾 644625;

2. 中国水利水电科学研究院 结构材料研究所, 北京 100038)

摘要: 某重力坝岸坡两个坝段上游坝踵附近存在裂缝, 考虑极端恶劣情况, 即不考虑上游面裂缝前混凝土, 采用有限元和材料力学两种方法对大坝工作性态进行分析, 给出结构变形、应力和抗滑稳定安全情况。结果显示, 存在裂缝时, 坝体刚度减小, 顺河向和横河向变形值增大, 坝踵和坝趾压应力值较设计情况略有增加, 未出现应力恶化现象; 坝段抗滑安全系数略有减小, 仍满足安全要求。整体来看, 现有裂缝对结构工作性态不会产生明显影响, 坝体可以安全运行。

关键词: 重力坝; 上游面裂缝; 变形; 应力; 抗滑稳定

中图分类号: TV642.3

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2014.03.020

1 研究背景

混凝土坝在建设期和运行期不可避免地会出现裂缝, 裂缝的成因复杂多样, 裂缝的空间展布状态各异, 裂缝数量和尺度存在差异, 对结构造成的影响也各不相同^[1]。针对坝体裂缝成因、扩展、裂缝控制、裂缝影响以及处理措施等, 目前已有大量的研究成果^[2], 但由于各个工程都有自身显著的特点, 因此借鉴已有成果时要准确把握裂缝对结构的实际影响, 进行细致的定量分析^[3]。

大坝上游面裂缝, 尤其是坝踵部位裂缝是最需要关注的, 因该部位处于水下, 受力状态复杂, 同时涉及到防渗性能和结构安全两个方面。针对上游面坝踵部位裂缝问题, 以往的研究成果多从坝踵裂缝的成因和稳定性^[4-5]、坝踵部位裂缝对坝体静力和动力性能的影响^[6-7]以及坝踵开裂的解决措施^[5]等方面探讨。本文针对某重力坝岸坡两个坝段上游坝踵附近存在裂缝的情况, 采用有限元和材料力学方法分析裂缝可能对坝体变形、应力和稳定性造成的影响, 并对大坝的整体安全情况给出评价, 以期为大坝蓄水和运行提供科技支撑。

2 大坝裂缝情况

某水电站位于金沙江流域下游, 拦河大坝为常态混凝土实体重力坝, 最大坝高162.00 m。其中左岸岸坡坝段挡水前缘总长199.92 m, 共分为12个坝段, 最大坝高122.00 m, 图1为典型坝段整体结构剖面。左岸坡坝段坝前山体单薄, 坝基岩体优势结构面节理发育, 在这种不利的地形地质条件下, 帷幕灌浆施工时坝基岩体产生了一定的抬动变形, 同时叠加自重荷载和温度荷载作用, 使坝体出现了一些裂缝。

其中有两个坝段(编号为1[#]坝段、2[#]坝段)上游面存在裂缝:(1)1[#]坝段缝长7 m, 缝宽0.2~1.0 mm, 与水平面夹角约10°, 经钻孔取芯检查, 缝面倾下游, 初步判断裂缝已延伸至建基面高程;(2)2[#]

收稿日期: 2014-03-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51209235, 51109035); 水利部公益性行业科研专项(201201050); 十二五科技支撑计划课题(SQ2013BAJY4138B02); 国家973计划课题(2013CB035904, 2013CB036406); 中国水利水电科学研究院科研专项(1412)

作者简介: 官照光(1982-), 男, 山东乳山人, 工程师, 硕士, 主要从事坝工建设研究。E-mail: 158164518@qq.com

坝段缝长 10.0 m, 缝宽 1.0~2.0 mm, 缝面倾下游, 与铅直线夹角较陡, 经检查和判断应已延伸至建基面高程。

1#坝段裂缝分布如图 2 所示, 2#坝段与此相似。由图 2 可知, 在上游面, 裂缝长度在 0.5~1.0 倍坝段长度之间, 在横剖面上坝体坝踵部分被上游面裂缝与整体相分割。在这种情况下, 坝段结构整体性受到影响, 整体刚度会降低, 同时, 顺河向实际抗剪长度变短, 抗滑安全系数减小, 本文对存在上游面裂缝的 1#和 2#坝段进行研究, 分析结构安全情况。

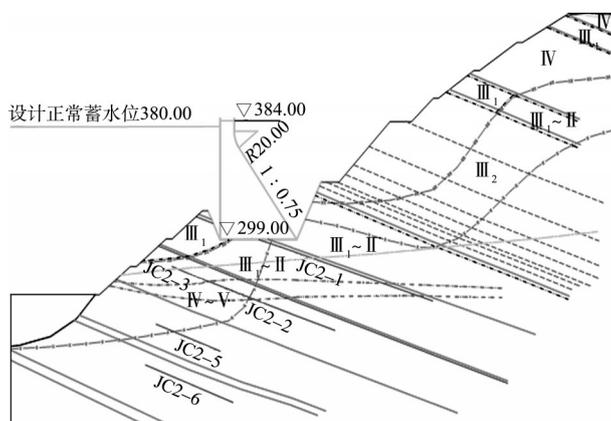


图1 典型坝段整体结构剖面(单位: m)

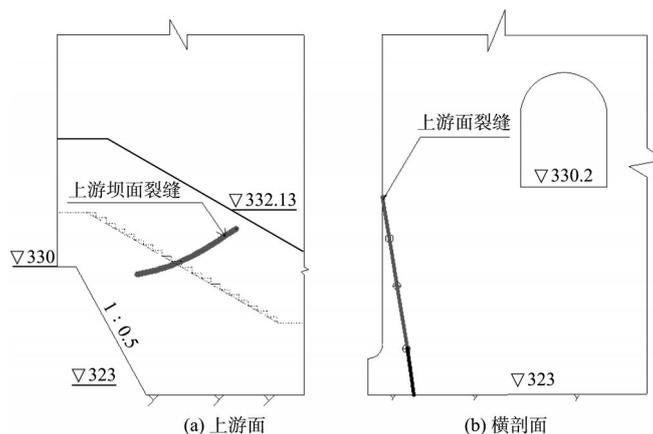


图2 1#坝段上游面裂缝(单位: m)

3 分析方法和网格模型

3.1 分析方法 为研究上游面裂缝对大坝的影响, 本文进行两种工况的对比分析, 即无裂缝完好情况下结构工作性态和极端恶劣情况下结构工作性态, 其中考虑极端恶劣情况时, 裂缝上游部分混凝土完全不予考虑, 这时结构如满足各项安全要求, 则结构应是安全的, 其它裂缝扩展程度的影响均应小于此极端恶劣情况。

计算采用线弹性有限元分析方法, 荷载考虑坝体自重、正常蓄水位时静水压力、淤沙压力以及扬压力。计算软件为中国水利水电科学研究院结构材料所自行开发的结构多场仿真与非线性分析软件 Saptis^[8-9]。抗滑稳定采用规范^[10]规定的材料力学分析方法进行计算, 即:

$$K = \frac{f' \cdot \sum W + c' \cdot A}{\sum P}; \quad \sigma_y = \frac{\sum W}{A} \pm \frac{\sum M \cdot x}{J} \quad (1)$$

式中: K 为抗剪断稳定安全系数; f' 为计算截面的抗剪断摩擦系数; c' 为计算截面的抗剪断凝聚力; $\sum W$ 为作用于单宽坝段上全部荷载在计算断面上法向分力的总和; A 为单宽坝段的计算断面面积;

$\sum P$ 为作用于单宽坝段全部荷载对滑动平面的切向分力； σ_y 为竖向应力； $\sum M$ 为作用于单宽坝段上全部荷载对计算断面截面形心轴的力矩总和； J 为单宽坝段的计算断面面积对形心的转动惯量； X 为计算截面上计算点到形心的距离。

3.2 网格模型 根据工程实际地形地质条件、坝体结构以及材料分区等，建立了能较为客观、准确模拟大坝结构特点、地质构造特征的计算模型，包括坝体混凝土和基岩分区、坝基软弱夹层、优势节理、挤压破碎带和坝体主廊道等。基础网格模型见图3，坝体网格见图4所示。

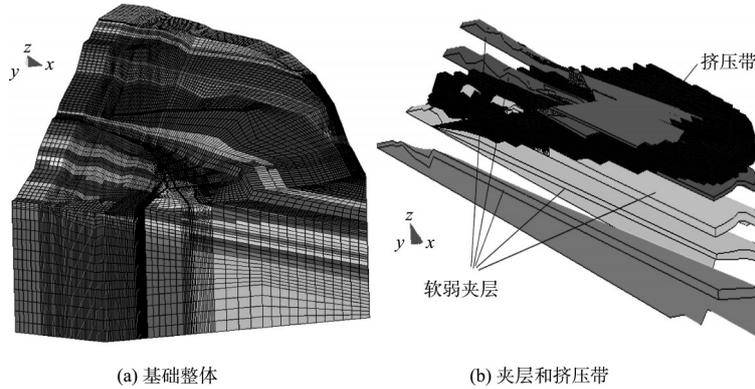


图3 基础网格模型

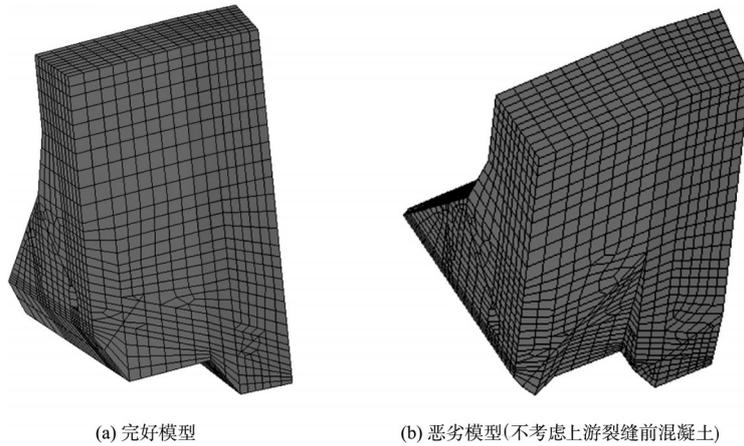


图4 坝体网格模型

4 计算结果分析

4.1 有限元分析结果 有限元计算结果显示，坝体上游裂缝前混凝土是否考虑对坝体整体变形规律和变形值大小有一定影响。整体变形规律方面，两者基本相同，其中顺河向指向下游，横河向指向河床中部；坝体高程越高，变形越大；随上游水位升高，坝体变形增大。

表1 坝段迎水面顶部中点变形 (单位：mm)

水位	完好结构		恶劣结构(不考虑裂缝前混凝土)		
	顺河向	横河向	顺河向	横河向	
1#坝段	正常水位	5.59	7.64	6.21	8.40
	死水位	2.66	3.58	3.01	4.08
2#坝段	正常水位	5.38	7.35	5.97	8.10
	死水位	2.52	3.37	2.87	3.85

变形值方面,完好情况和恶劣情况下坝体变形对比如表1所示,该变形不包括自重阶段变形,为单纯静水压力变形。从表1可以看到,在不考虑坝体上游裂缝前部混凝土时,坝体顺河向和横河向变形均有所增大,增幅在30%左右,说明结构整体刚度受到裂缝影响有所降低,使得变形明显增大。

坝体上游裂缝前混凝土是否考虑,对坝体整体应力分布影响不明显,上、下游面均为压应力。图5为正常水位时恶劣情况下坝体上游面竖向应力情况。从图5可以看到,上游面未出现拉应力,压应力值随高程增大逐渐减小,高程越高,压应力越小。

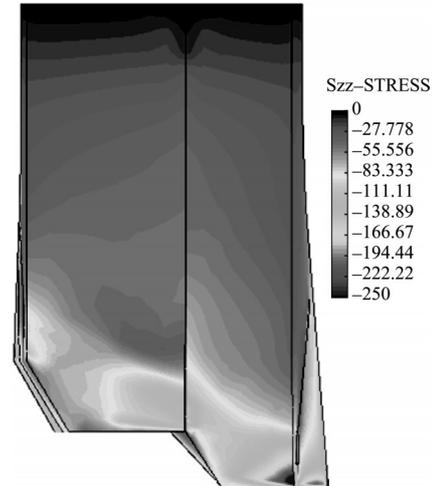


图5 正常水位下混凝土坝体竖向应力云图(单位: MPa)

表2 竖向应力 (单位: MPa)

水位	完好结构		恶劣结构(不考虑裂缝前混凝土)		
	坝踵	坝趾	坝踵	坝趾	
1#坝段	正常水位	-0.76	-3.13	-0.93	-3.15
	死水位	-1.63	-2.92	-2.11	-2.93
2#坝段	正常水位	-0.50	-2.66	-0.55	-2.69
	死水位	-1.40	-2.45	-1.49	-2.48

表2为完好情况和恶劣情况下坝踵、坝趾竖向应力情况。由表2可以看出,两种工况下坝体坝踵、坝趾均为压应力,符合规范要求。尽管恶劣情况下坝体刚度有所削弱,但坝踵和坝趾部位仍为压应力,且压应力有所增大。坝踵部位压应力增大的原因在于自重作用下建基面减小,同时重心前移,造成坝踵部位特别是低水位时应力增加较多。坝趾部位应力有所增大,但增加幅度较小。

4.2 材料力学方法成果 采用材料力学法对两种情况下坝体稳定性进行验算,抗滑稳定安全系数结果见表3所示。由表3数值可以看到,恶劣情况下,建基面抗滑稳定安全系数有所降低,其中1#坝段降低3.7%,2#坝段降低9.27%,但两个坝段安全系数仍达到3.91和4.11。

表3 建基面抗滑稳定安全系数

坝段	完好结构	恶劣结构(不考虑裂缝前混凝土)
1#	4.06	3.91
2#	4.53	4.11

表4 正常水压荷载下坝踵坝趾应力(单位: MPa)

坝段	完好结构		恶劣结构(不考虑裂缝前混凝土)	
	坝踵应力	坝趾应力	坝踵应力	坝趾应力
1#	-0.18	-1.10	-0.20	-1.11
2#	-0.21	-0.94	-0.22	-0.98

表4为采用材料力学方法得到的坝踵、坝趾竖向应力。由表4可以看到,两种工况下坝踵、坝趾均为压应力,恶劣情况下坝踵、坝趾压应力比完好情况有所增大,1#坝段坝踵、坝趾分别增大11%和9%,2#坝段坝踵、坝趾分别增大5%和4%,与有限元分析成果规律一致,能够相互吻合。

5 结论

通过对某重力坝上游面出现裂缝的1#和2#坝段的分析,可以得到如下结论:(1)坝体上游裂缝前混凝土是否考虑对坝体整体变形和应力分布规律影响不明显,两者变形场和应力场分布规律基本相同;(2)坝体上游裂缝前混凝土是否考虑对坝体刚度有一定程度的影响,不考虑该混凝土时,坝体顺河向和横河向变形有所增大,说明坝体整体刚度有所减小;(3)坝体上游裂缝前混凝土是否考虑对坝

体坝踵、坝趾应力有一定影响,两者压应力均有所增大,其中坝踵部位压应力增大的原因应在于自重作用下建基面减小,同时重心前移,造成坝踵部位特别是低水位时应力增加较多。坝趾部位压应力有所增大,但增加幅度较小;(4)材料力学法计算结果显示,不考虑坝体上游裂缝前混凝土时,坝体抗滑稳定安全系数有所减小,但仍大于3.0,符合安全要求;同有限元计算结果一样,坝踵、坝趾均为压应力且比完好结构有所增大,符合规范要求;(5)工程上采取了裂缝灌浆、锚杆穿缝连接以及上游贴混凝土板封闭缝面等措施,对提高坝体抗滑稳定安全系数以及减小坝踵、坝趾应力有一定的作用。

参 考 文 献:

- [1] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999.
- [2] 周秋景,张国新,杨波.高坝混凝土裂缝问题研究综述[J].南水北调与水利科技,2012,10(1):129-132.
- [3] Zhang Guoxin, Liu Yi, Zhou Qiuqing. Study on real working performance and overload safety of high arch dam [J]. Science in China Series E-Technological Sciences, 2008, 51(supplement 2): 48-59.
- [4] 贾金生,李新宇.高拱坝坝踵开裂问题和新的解决措施[J].水利学报,2008,39(10):1183-1188.
- [5] 黄云,金峰,王光纶,等.高拱坝上游坝踵裂缝稳定性及其扩展[J].清华大学学报:自然科学版,2002(4):555-559.
- [6] 李宗利,刘霞,周宁娜.高混凝土重力坝坝踵开裂对坝体静力学性能影响研究[J].水力发电,2009(4):84-87.
- [7] 厉易生,杨波,张国新.消除混凝土坝坝踵拉应力集中的一种结构措施-设置坝踵块[J].水力发电,2008,(6):59-61.
- [8] 张国新.SAPTIS:结构多场仿真与非线性分析软件开发及应用(之一)[J].水利水电技术,2013,44(1):31-35.
- [9] 周秋景,张国新.SAPTIS:结构多场仿真与非线性分析软件开发及应用(之二)[J].水利水电技术,2013,44(9):39-43.
- [10] SL319-2005,混凝土重力坝设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2005.

Analysis of impact of upstream face cracks on working performance in slope dam section of a gravity dam

GONG Zhao-guang¹, GAO Peng¹, ZHOU Qiu-jing², LI Hai-feng²

(1. China Three Gorges Corporation, Xiangjiaba Project Construction Department., Yibin 644625, China;

2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Cracks near dam heel exist in two dam sections of a gravity dam. In order to analyze the impact on working performance of the dam, the extreme case is considered that the concrete before the cracks are removed. Deformation, stress and stability against sliding are given with FEM and Mechanics of materials. The results show that the global stiffness decreases and deformation increases slightly with cracks in the dam. The compressive stress value of dam heel and dam toe increase, therefore the stress status is better than the integrated dam. The stability coefficients against sliding decrease slightly. Overall, the existing cracks will not have a significant impact on the structure working performance and the dam will work safely.

Key words: gravity dam; upstream face crack; deformation; stress; stability against sliding

(责任编辑:王冰伟)