

浅析下游近坝区动态开挖影响下的 库坝系统安全性能

孙卓麒¹, 练伟², 汪明元³, 可建伟², 王亚军^{1,4}

(1. 浙江海洋大学海洋工程装备学院, 浙江 舟山 316022; 2. 舟山市水利勘测设计院, 浙江 舟山 316022; 3. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 4. 浙江省近海海洋工程技术重点实验室, 浙江 舟山 316022)

摘要: 本文主要针对浙江某库坝下游近坝区的基坑开挖过程对库坝系统的动态影像, 通过静动力分析、强度指标折减模拟、渗透及整体稳定性仿真计算等多方面研究, 重点探究基坑开挖引发下游近坝区工程地质及水文地质环境变化条件下、该库坝系统可靠性及动态响应机制, 并就此对库坝系统做出整体安全评价。

关键词: 基坑动态开挖; 库坝系统; 仿真模拟; 安全性能

中图分类号: TV698.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 07—0026—03

我国经济发达地区用地紧张带来的新开发区域施工对老旧建筑物、构筑物的影响越来越大^[1,2], 特别是商用及住宅区的修造环境与大型工业化区域的重叠越来越多^[3], 由此引发的综合安全事故连锁反应逐年增多, 工程技术与科研人员必须对此类问题重点关注^[4-6]。浙江是沿海地区中的水利大省, 省内各地区普遍存在水利工程设施与民用及商用建筑物相距较近的问题^[7-9], 其中, 水库大坝作为重要的水源及水能基地在稠密的人口聚集地星罗棋布, 特别是许多库坝系统的服役年龄较大^[10-12], 库区附近新开发市政地块的建造极易对老旧水利设施产生复杂且不利的工程影响, 有些影响还具有显著的隐蔽性与滞后性, 给建筑环境内相关构筑物及建筑物造成的威胁极大^[13-16]。基于此, 本文通过仿真模拟计算, 重点研究浙东某库坝系统在邻近区基坑开挖影响下的动态响应机制与整体可靠性, 以保证后续工程有序、安全实施。

1 工程概况

本文研究的库坝系统地处浙江东部沿海(图1), 坝体为均质土坝, 坝高14.2m, 总库容6万m³, 为V等以下山塘库区^[17], 坝基岩性为坚硬块状晶屑玻屑熔结凝灰岩, 上覆平均厚度5m的坡洪积碎石土。与其紧邻的是开发中的某商住小区, 区内正在施做的深基坑开挖及部分隐蔽工程距离大坝坝趾最近处约40m(图2)。



图1 库坝现场



图2 下游近坝区基坑作业现场

本次研究考虑该下游近坝区近场基坑开挖最大开挖深度8m, 分8个土层单元逐次完成, 基坑动态开挖过程见图3。

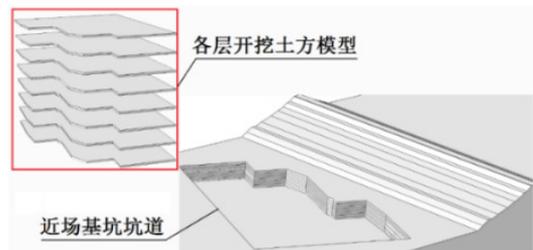


图3 下游近坝区基坑开挖模型图

2 材料分区及数值模拟

本文采用个性化、精细化建模手段, 前期模型经细化雕刻后划分为5个材料大区, 即两岸山体、坝体、上游坝踵区底板、坝基以及下游近坝区。本文所涉及各区域材料在仿真计算中均考虑其非线性特征, 坝基及两岸山体统一使用 Drucker-Prager 本构模型, 坝体、坝肩以及上游坝踵区底板统一使用 Mohr-Coulomb 本构模型。对于降雨、渗透作用下, 坝体填筑材料指标折减的仿真模拟主要依据图4双曲线折减模型完成, 折减方程如式(1)所示。

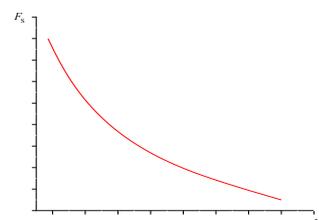


图4 双曲线的折减模型图

$$I_d = I_0 / (1 + rF_s) \quad (1)$$

式中, I_d 为折减后指标值, I_0 为折减指标参照量, F_s 为安全系数, r 为形状系数。

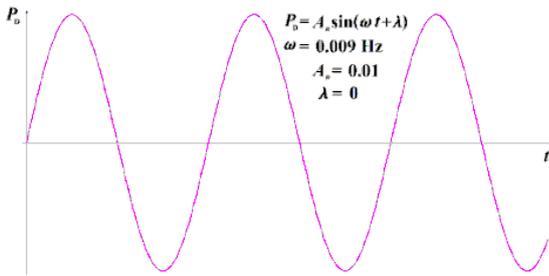


图5 振冲脉动激振波形

为模拟下游近坝区地盘工程施工对区域内工程地质与水文地质环境的动态影响,本次研究引入虚实单元,以仿真工程对象环境变化过程;对于部分不含虚实单元的工况,基坑开挖后边坡不施加专门支护单元,该类边界条件用以模拟坑道初始地应力卸载后长间歇自由变形情况;除专门仿真模拟空库运行的若干工况外,坝体上游面将普通施加静水压力,依据实地情况将下游坡面作自由处理;同时考虑了下游近坝区地盘工程动态施工(地基处理)对库坝系统的影响,并将施工中产生的振冲荷载作为动力学加载条件引入仿真计算;动力仿真计算采用脉动激振荷载(图5),模拟下游近坝区地盘工程开挖加固对库坝系统产生的持续振冲效应;但不考虑下游近坝区振冲效应下上游水库的动力耦合作用。

3 结果分析

篇幅所限,本文仅列出部分代表性结果如图6、7。

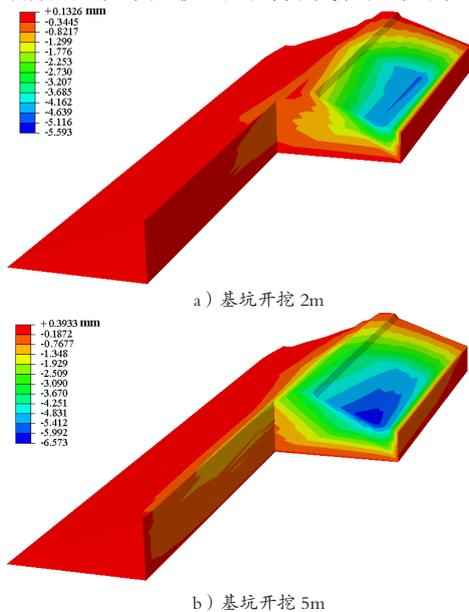


图6 坝体铅垂向位移场

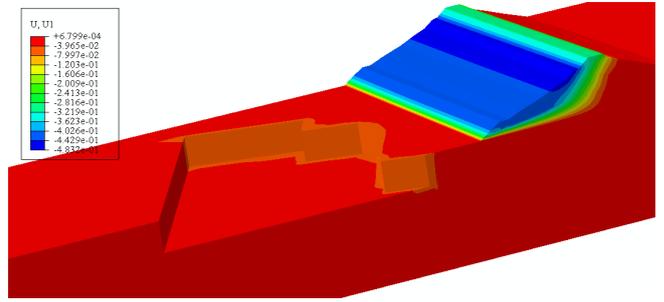


图7 塑性圆弧滑动区

依据模拟结果,在该基坑开挖过程中,若系统在高水位下持续运行,则系统可靠性将显著下降,尤其是在下游近坝区长期开挖揭露、无可靠支护设施以隔断地应力卸载对库坝系统扰动影响条件下,坝体顺河向位移水平普遍较高。

在基坑开挖过程中,坝体变形对库水位极为敏感,相同位置处高水位下坝体的最大变形量可以达到低水位下变形量的10倍以上;而在空库下,即便考虑基坑开挖时边坡及坑道承受动力冲击,坝体各特征点处的变形量依旧较小。

尤其是开挖卸载,其对坝体之影响效应极为显著,即使将开挖看作静载过程,当近场开挖深度超过5m后,此过程对坝体下游坡变形仍有一定影响,依据仿真模拟结果,影响范围可达到坝趾以外10m。

下游近坝区基坑开挖产生的动力影响会引发坝顶下游侧的弯曲变形,即该区域会出现顺河向位移变号,这种影响还会向两岸坝肩传递,这种弯曲变形对坝顶附属结构物会造成不同程度破坏。

下游近坝区基坑开挖动态过程中,坝顶由于静力卸载和动力冲击发生位移是客观存在的,只是不同工况下幅度有所差异。同时,与短期高库水位相比,基坑开挖过程中的持续高水位不良影响更大,与低水位情况相比,高库水位下考虑左岸坝肩渗透引发填筑材料密度折减带来的坝体变形量增加更为明显,特别是由此引发的自右岸向左岸传递的横河向不平衡拉应力较大,最大不平衡拉应力大于100 KPa,这种应力状态极易引发坝体局部拉裂;考虑降雨、渗透带来的填筑材料强度折减主要对坝体的动力性能产生显著影响,这种不利影响在下游近坝区及坝肩处更为明显。

4 结论

本文采用个性化、精细化建模手段,前期模型经细

化雕刻后划分为5个材料大区,即两岸山体、坝体、上游坝踵区底板、坝基以及下游近坝区。

根据本次研究,基坑开挖期内的该库坝系统最大库水位不宜超过1.8 m(即不超过本次研究模拟低水位的20%),同时须避免下游近坝区基坑施工期库水位的剧烈变化,这种库水位的变化幅度达到或超过50%时,会将下游近坝区开挖松弛带来的坝体下游坡变形影响成倍放大。

下游近坝区基坑开挖后需及时做好水平及竖向支护,尽早将地应力卸载带来的下游近坝区岩土体松弛控制在较小的范围内,避免触发坝体下游坡变形的连锁反应,尤其应避免基坑开挖后未做可靠支护的“长间歇”出现;依据仿真计算结果,间歇时间最长不宜超过7天,且优先推荐连续墙加锚杆的支护形式。

为安全起见,至少需在基坑边缘、下游近坝区一侧做一道隔振沟,以消减基坑开挖过程中动力荷载带来的不良影响,避免基坑开挖后期尤其是坝顶出现较大变形。

参考文献:

[1] 韩健勇, 赵文, 李天亮, 等. 深基坑与邻近建筑物相互影响的实测及数值分析[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2020, 52(4): 149-156.

[2] 魏涛. 邻近建筑物撞击对基坑开挖的影响研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.

[3] 洪秋云. 基坑开挖变形对周边已有建筑物的影响研究[D]. 济南: 济南大学, 2019.

[4] 李青青. 邻近建筑物对基坑工程影响的研究[D]. 西安: 长安大学, 2016.

[5] S.Yimsiri, K.Soga, K.Yoshizaki, et al. Lateral and Upward Soil-Pipeline Interaction in Sand for Deep Embedment Conditions[J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2004, 130 (8):830-842.

[6] 张鸿儒, 侯学渊, 夏明耀, 等. 深开挖对周围工程设施的影响预测[J]. 北方交通大学学报, 1996(02): 205-209.

[7] 林建生, 谢文杰, 林子健, 等. 大直径钻成孔灌注桩在桩基施工中振动影响的测试与分析[J]. 世界地震工程, 2005, 21(4): 169-174

[8] 文杰. 深基坑开挖对不同邻近建筑物影响效应对比研

究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.

[9] 李进军, 王卫东, 邱国恩, 等. 基坑工程对邻近建筑物附加变形影响的分析[J]. 岩土力学, 2007, 28(S1): 623-629.

[10] 陈生水. 新形势下我国水库大坝安全管理问题与对策[J]. 中国水利, 2020(22): 1-3.

[11] 张为民. 水电站大坝安全管理应持续发展[J]. 大坝与安全, 2003,(1): 3-5.

[12] 孙会社, 赵国栋, 于立强, 等. 打桩施工对周围建筑影响的测试与评定[J]. 工程质量, 2009, 27(12): 25-26.

[13] 吴中如, 金永强, 马福恒, 等. 水库大坝的险情识别[J]. 中国水利, 2008(20): 32-33.

[14] 曹洪, 房营光. 深圳水库高边坡的稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2004(06): 906-910.

[15] 李飒, 刘松良, 要明伦, 等. 地震作用下渗流对平原水库土石坝稳定的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2008,27(4): 858-864.

[16] 刘志红. 新引河进洪闸改建设计中新老建筑物的结合问题[J]. 水利水电技术, 1999, 30(9): 65-67.

[17] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程等级划分及洪水标准 SL 252-2000[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.

基金项目: 国家自然科学基金

(51879236;51109118); 浙江省自然科学基金
(LHY21E090003)

