

近海软基水闸水平位移监控指标研究

付传雄^{1,2,3}, 张君禄^{1,2,3}, 廖文来^{1,2,3}, 陈晓文^{1,2,3}, 陈克振⁴, 林少川⁴

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610;

2. 广东省山洪灾害突发事件应急技术研究中心, 广东 广州 510610;

3. 广东省岩土工程技术研究中心, 广东 广州 510610;

4. 广东省潮州供水枢纽管理处, 广东 潮州 521011)

摘要: 针对当前大坝安全监控指标拟定方法未同时考虑运行期的监测成果、结构材料特性以及结构荷载情况的问题, 建立基于变形监测数据的近海软基水闸水平位移监控指标拟定方法。以某近海软基拦河闸变形监测资料为基础, 通过对长序列的水平位移监测成果进行分析, 结合库水位变化情况, 研究闸坝变形特征及与库水位的相关性, 获得该枢纽的位移变化规律, 同时建立水闸三维有限元模型, 分析不同工况下的水平位移值, 可为该类水闸监测与安全运行提供指导。

关键词: 大坝安全监测; 水平位移; 监测数据分析; 安全监控指标

中图分类号: TV698.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2017)06-0173-04

Monitoring Index of Horizontal Displacement of Sluice of Soft Foundation in Offshore Area

FU Chuanxiong^{1,2,3}, ZHANG Junlu^{1,2,3}, LIAO Wenlai^{1,2,3}, CHEN Xiaowen^{1,2,3}, CHEN Kezhen⁴, LIN Shaochuan⁴

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou, Guangdong 510610, China;

2. Guangdong Technical Research Centre of Flood Disaster Emergency, Guangzhou, Guangdong 510610, China;

3. Guangdong Research Center of Geotechnical Engineering Technology, Guangzhou, Guangdong 510610, China;

4. Chaozhou Water Supply Complex Administration Department, Chaozhou, Guangdong 521011, China)

Abstract: A combined method to determine safety monitoring index for concrete dams based on analysis of horizontal displacement monitoring data of offshore soft foundation was proposed in this paper. A case study of deformation monitoring data of a coastal soft foundation was carried out, based on the analysis of the results of horizontal displacement monitoring of long sequence, the deformation characteristics of the dam and the correlation between the deformation characteristics and the water level are analyzed, and the displacement rule of the horizontal displacement is obtained. At the same time, the three-dimensional finite element model of the sluice is established to calculate the horizontal displacement value of the sluice, which can provide guidance for the monitoring and safe operation of the sluice.

Keywords: dam safety monitoring; horizontal displacement; monitoring data analysis; safety monitoring index

大坝安全监测不仅可以作为保证大坝安全正常运行, 充分发挥工程效益的有效手段, 同时还可以检验设计的合理性, 提高设计技术水平, 以及为了解结构的施工质量、改进施工技术、加快施工进度提供可靠的信息, 已被越来越多的工程科研、管理、设计及施工人员所重视。

水平位移监控指标作为能够快速判定结构的工

作性状, 指导运行管理, 是保障水工建筑物安全运行的重要依据^[1], 其拟定方法主要有基于实测数据的统计模型分析^[2-7]和考虑结构性态的确定性分析^[8-11]等方法。前者虽有考虑实测变形值, 但未考虑水工建筑物的结构材料特性, 无法真实反映水工结构实际情况; 后者虽充分考虑水工建筑物的结构材料特性和受力情况, 但未考虑时效变形影响。本

文拟结合某近海软基水闸结构的多年监测成果,建立该水闸结构的三维有限元模型,分析其在不同荷载工况下的变形特征,通过多年监测成果确定该结构的水平位移时效分量,确定该水闸的水平位移变形监控指标,为工程运行提供指导。

1 监测数据分析

1.1 工程概况

本工程地处华南沿海,是一座以供水为主拦河闸枢纽。拦河闸的正常蓄水位、设计洪水位和校核洪水位分别为 10.50 m、12.93 m 和 14.63 m。

拦河闸为闸门控制的平底开敞式水闸,东、西溪各布置了 16 孔共 32 孔泄洪闸,两孔整体一联一缝,每闸孔净宽 14.0 m。闸室采用平底宽顶堰,底流消能。闸墩结构尺寸见表 1^[12]。

表 2 复合地基物理力学参数

部位	高程/m	抗压强度 /MPa	弹性模量 ($\times 10^4$ MPa)	泊松比	变形模量 /MPa	容许承载力 /kPa
复合地基层	-0.5 ~ -20.0	2.0	34.0300	—	0.167	150 ~ 170
中细砂岩层	-20.0 ~ -50.0	25.1	4.7622	0.35	—	180 ~ 220
砂砾岩层	-50.0 ~ -80.0	52.3	4.0300	0.22	—	250 ~ 300

1.3 监测布置

枢纽布设有上下游水位观测、闸坝变形、扬压力 and 地基反力观测等观测项目^[14]。以枢纽东溪闸坝 8# 闸墩介绍闸坝水平位移监测设施布置情况。在闸墩上游侧顶部,布置了测量机器人法^[14]用于监测

表 1 闸墩结构尺寸

结构类型	高程/m	长/m	宽/m
中墩	顶部高程 16.20	26.00	2.20
	底部高程 1.50		
缝墩(半边)	顶部高程 16.20	26.00	1.25
	底部高程 1.50		
底板	顶部高程 1.50	26.00	14.00
	底部高程 -0.50		

1.2 地质条件

拦河闸下分布深厚第四系冲积层,总厚度大于 80 m。高程在 -20.00 m 以上主要为新近沉积的中细砂、淤泥、淤泥质黏土夹淤质粉细砂,由于其具有高压缩性和承载力小的特点,不宜作天然地基,因此采用深层搅拌桩复合地基,复合地基的基本材料参数见表 2^[13]。

闸坝坝顶水平位移;在闸墩上游侧布设测斜孔监测闸墩水平位移,测斜孔深入砂卵石层,孔深 35.5 m;闸墩上下游分别布设表面垂直位移测点,监测闸墩上下游倾斜位移。测点布置图如图 1 所示。

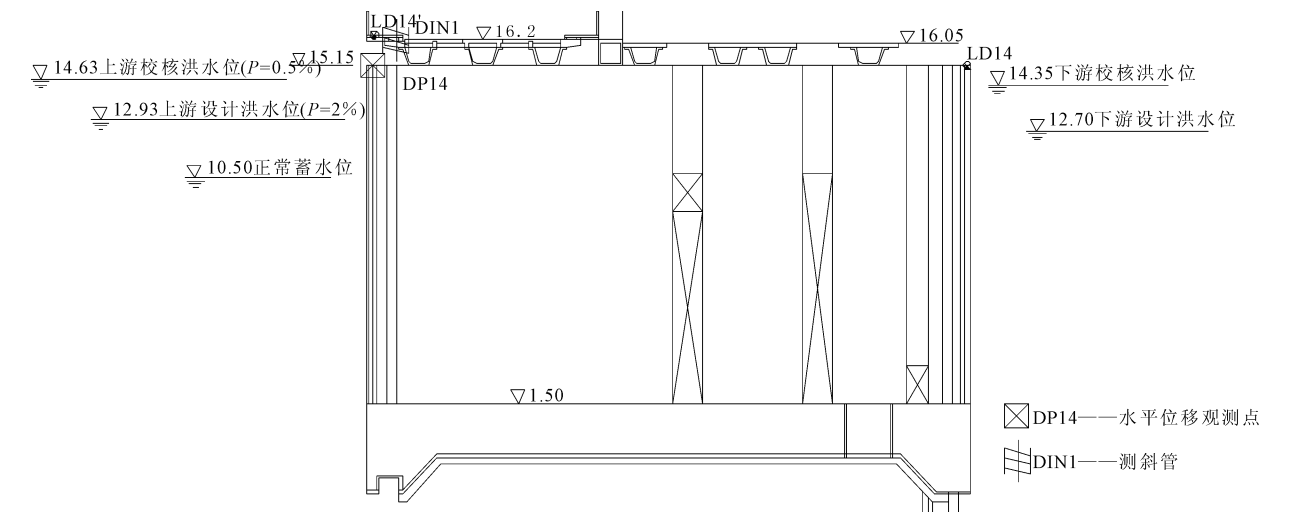


图 1 变形监测测点布置图

1.4 变形分析

闸墩水平位移初始值于 2005 年 9 月测得,闸坝坝顶水平位移初始值于 2008 年 7 月测得,蓄水后定

期监测。至 2016 年 12 月 31 日,8# 闸坝坝顶水平位移过程线如图 2 所示。闸坝坝顶各测点水平位移多年均值在 -10 mm ~ 10 mm 之间^[15]。

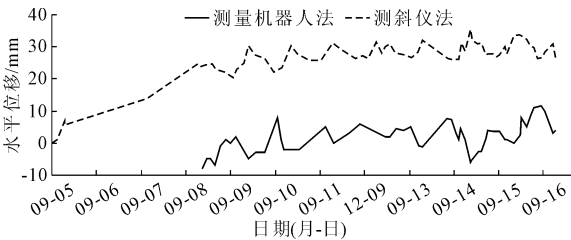


图 2 两种方法的水平位移过程线图

由于测量机器人法的初始值于 2008 年 7 月才测得,当时枢纽已建成蓄水,因此测量机器人法的水平位移变形增量小于测斜仪法的增量值,且该值在 0 附近呈规律性的上下波动,说明此时枢纽水平位移变形趋于稳定。

图 3 为 8# 闸墩测斜管测得的闸墩位移,图 4 为 8# 闸墩测斜管管顶位移和建基面位移过程线,图 5 为 8# 闸墩上下游沉降情况和上下游沉降差。由图 4 和图 5 可知,建基面的位移比闸顶位移量大,上游沉降量比下游大,反映出闸坝向上游测倾斜。

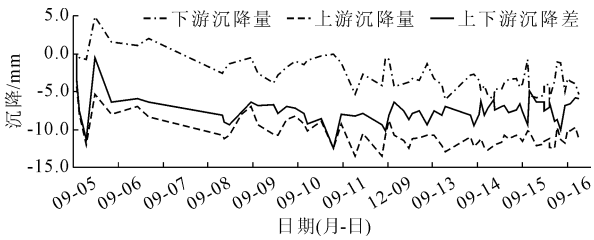


图 5 8# 闸墩上下游沉降情况

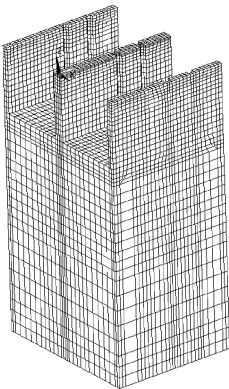


图 6 8# 所在闸坝结构整体有限元模型

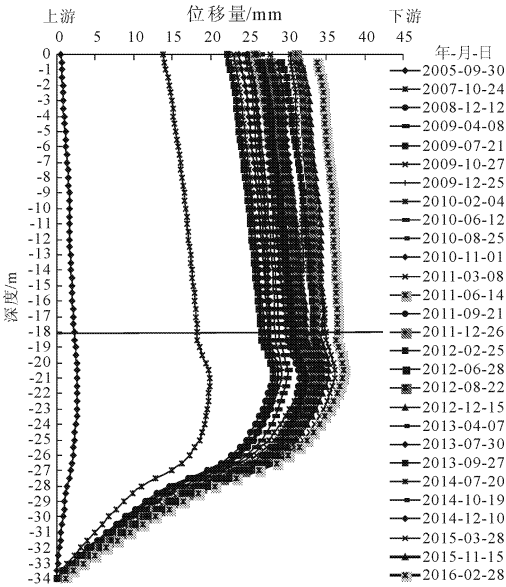


图 3 8# 闸墩水平位移变化图(- 18 m 位置为建基面)

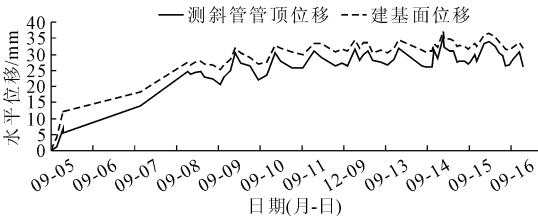


图 4 8# 闸墩管顶和建基面位移情况

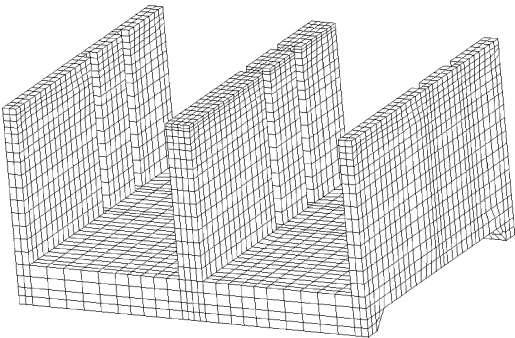


图 7 8# 闸墩所在闸室结构整体有限元模型

有限元模型分三个部分,上部混凝土水闸结构,下部分别为复合地基层、中细砂岩层和砂砾岩层,下部结构的材料参数见表 2,上部混凝土水闸结构的材料参数为弹性模量 29.00 GPa、泊松比 0.167、抗压强度 40.00 MPa 及抗拉强度 3.00 MPa。

分别考虑自重作用、正常蓄水位、设计洪水位和校核洪水位 4 种工况,对结构开展静力分析。分析结果见图 8~图 11。

通过有限元分析了上述 4 种工况下 8# 闸墩的位移情况,由图 8~图 11 可知,闸坝的最大顺河向水平位移发生在闸墩下部,向下游侧,规律与实测值十分相似,4 种工况下的水平位移分别为 0.24 mm、7.06 mm、10.57 mm 和 16.32 mm,通过有限元计算出的变形值为闸墩稳定后的值,计算得到的结果与测量机器人法的实测值相近。

2 水平位移监控指标研究

根据闸坝结构设计特点,考虑闸坝的地基特性,建立 8# 闸墩三维有限元模型,如图 6、图 7 所示。

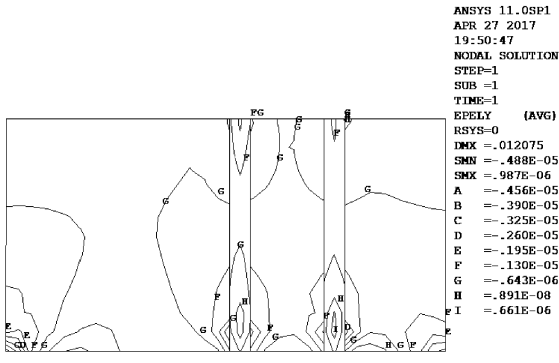


图 8 自重工况中墩水平位移

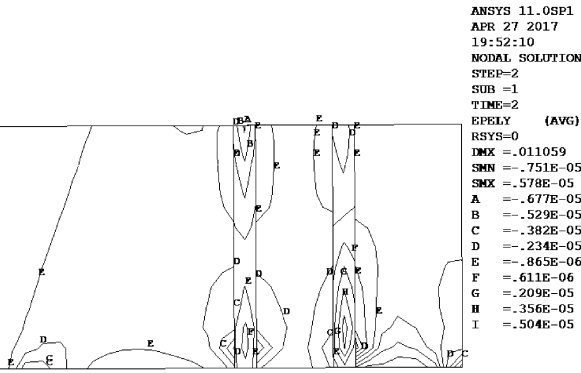


图 9 正常水位工况中墩水平位移

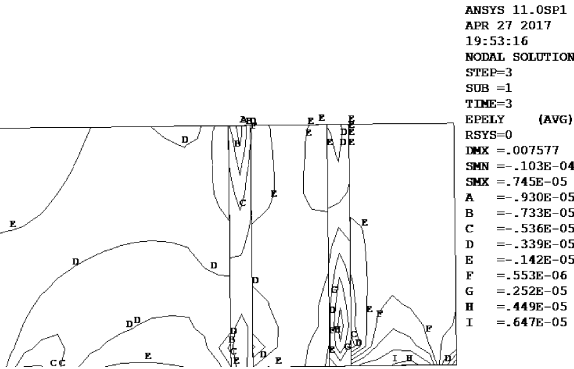


图 10 设计水位工况中墩水平位移



图 11 校核水位工况中墩水平位移

根据三维有限元计算结果,在最不利工况时,闸墩结构各处应力强度均在弹性范围内,结构未出现

破坏。因此,取最不利工况下的最大位移为 16.32 mm 作为水平位移监控指标计算值,同时结合变形实测数据,取 8# 闸墩的测斜管管顶最大位移作为监控指标的时效位移分量为 35.47 mm,综合得出 8# 闸墩弹性阶段的水平位移监控指标 51.79 mm。

3 结 语

本文通过对软基上的闸坝水平位移监测成果分析和监控指标研究,得出如下结论:

(1) 软基上闸坝枢纽水平位移变形主要发生在枢纽建成后的蓄水期,运行 3 a 左右后闸坝的水平位移趋于稳定。

(2) 对于近海软基上闸坝枢纽,在水压作用下,闸坝上下游发生不均匀沉降,且表现为向上游倾斜,从闸坝的测斜数据分析发现,建基面的水平位移比闸顶的水平位移大,闸墩整体表现为向上游倾斜。

(3) 通过有限元分析了 4 种工况下闸墩的位移情况,闸坝的最大顺河向水平位移发生在闸墩下部,向下游侧,规律与实测值非常相似,4 种工况下的水平位移分别为 0.24 mm、7.06 mm、10.57 mm 和 16.32 mm,通过有限元计算出的变形值为闸墩稳定后的值,计算得到的结果与测量机器人法的实测值相近。

(4) 根据变形实测数据,定出闸墩的时效位移分量为 35.47,同时结合三维有限元工况下的计算位移值 16.32 mm,综合得出 8# 闸墩弹性阶段的水平位移监控指标 51.79 mm。

参考文献:

[1] 方卫华,徐超健,陈允平,等.大坝安全监控研究进展[J].水利信息化,2013(2):5-10.
[2] 李小奇,储冬冬,程琳.不确定模型在大坝安全监测中的应用[J].水电能源科学,2012,30(6):86-88.
[3] 张鑫,王冬利,李琦,等.基于改进粒子群算法的坝体位移监控模型[J].水利与建筑工程学报,2012,10(1):155-159.
[4] 李占超,张慧莉,刘兴阳,等.混凝土坝小样本安全监控模型研究[J].中国科学:科学技术,2014,44(10):1043-1051.
[5] 徐南,陈逸凡,吴彦.基于交叉验证 LSSVM 的大坝监测数据处理模型[J].水利与建筑工程学报,2013,11(3):67-69.
[6] 聂兵兵,赵二峰,殷详详,等.基于极值理论的大坝变形监控指标拟定[J].水电能源科学,2015,33(12):101-104.

(上接第 176 页)

- [7] 罗倩钰,杨 杰,程 琳,等.混凝土坝运行初期安全监控指标拟定方法研究[J].水利与建筑工程学报,2017,15(2):32-36.
- [8] 魏 超,陶家祥.丰满大坝水平位移安全监控指标的拟定[J].人民黄河,2012,34(1):108-110.
- [9] 李占超,侯会静.大坝安全监控指标理论及方法分析[J].水力发电,2010,36(5):64-67.
- [10] 冯甲林,方朝阳.飞来峡大坝坝顶水平位移安全监控指标拟定[J].人民黄河,2014,37(7):130-131,134.
- [11] 付传雄,张 伟,刘文静,等.软基上的大型航运枢纽闸墩监控指标分析[J].水力发电,2014,40(5):88-90.
- [12] 廖文来,付传雄,张君禄,等.某软基水闸闸墩结构工作性态分析[J].水电能源科学,2015,33(7):144-147.
- [13] 唐福来,段 虹.潮州供水枢纽工程闸坝复合地基处理[J].华北水利水电学院学报,2003,24(4):55-57.
- [14] 廖文来,张君禄,付传雄.潮州供水枢纽拦河闸变形分析[J].广东水利水电,2015(7):48-51,55.
- [15] 付传雄,廖文来,张君禄,等.广东省潮州供水枢纽2016年度安全监测资料分析报告[R].广州:广东省水利水电科学研究院,2017.