

面板堆石坝实测沉降分析与研究

——以积石峡为例

苏晓军^{1,2}, 权全², 王进³, 沈冰²

(1. 黄河上游水电开发有限责任公司, 青海 西宁 810008; 2. 西安理工大学, 陕西 西安 710048;
3. 长江委上游水文局金沙江水文水资源勘测队, 四川 攀枝花 617027)

摘要: 通过积石峡大坝施工期浸水前后的沉降研究, 可取得坝体自然状态与浸水期间的变形规律。本文对积石峡面板坝实测沉降进行整理分析并与公伯峡大坝进行对比。得到结果: 大坝变形监测仪器工作正常; 坝体实测沉降分布规律合理, 最大沉降小于可行性研究报告的1%。结果表明: 与公伯峡大坝相比, 积石峡后期变形明显小, 而且坝体沉降收敛速度明显要快, 坝体浸水加速坝体沉降变形效果显著。

关键词: 混凝土面板堆石坝; 浸水期; 沉降分析

中图分类号: TV641.43

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)01-0115-04

Analysis of settlement of actual measurement for CFRD:

A case study in Jishixia dam

SU Xiaojun^{1,2}, QUAN Quan², WANG Jin³, SHEN Bing²

(1. Huanghe Hydropower Development CO. LTD, Xining 810008, China; 2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 3. Upper Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Panzhihua 617027, China)

Abstract: Through the research on settlement of Jishixia dam before and after immersion in construction period, the paper obtained the deformation law in natural state of dam and during immersion period. It also analyzed the settlement of actual measured of Jishixia CFRD and compared with Gongboxia dam. Results showed that the dam deformation monitoring instruments is normal; the dam measured settlement distribution law is reasonable, the maximum settlement is less than 1% of the feasibility study report. The final conclusion is that compared with Gongboxia dam, the late Jishixia deformation is very small and dam settlement convergence rate significantly accelerates. The immersion accelerates dam settlement and the deformation effect is significant.

Key words: concrete face rockfill dam(CFRD); immersion period; settlement analysis

浸水变形往往使坝顶发生横向的伸长变位而引起坝体发生不均匀沉降, 甚至导致坝体产生纵向裂缝^[1-3]。本文研究的积石峡面板坝体浸水主要是利用坝前至上游围堰和左右岸山体围成的基坑蓄水, 坝体自然渗透达到坝料浸水的效果, 以加速坝体EL1785以下的沉降。因此, 如何对浸水期坝体的浸水变形进行准确而合理地分析, 在此基础上掌握其发生和发展的规律, 对确保大坝的正常运行具有重要意义。

1 工程概况

积石峡水电站位于青海省循化县境内积石峡出

口处, 是黄河上游干流“龙青段梯级规划”25座水电站的第11座水电站, 是继羊龙峡、拉西瓦、李家峡、公伯峡等大型水电站之后的第5个大型水电站, 该工程总库容2.94亿m³, 最大发电水位73m, 总装机容量1020MW。积石峡水电站工程枢纽建筑物由砼面板堆石坝、左岸表孔溢洪道、左岸中孔泄洪洞、左岸泄洪排沙底孔、左岸引水发电系坝后厂房组成。工程规模为二等大(2)型, 大坝为1级建筑物, 泄水建筑物、引水发电及厂房均为II级建筑物。工程的主要任务是发电。电站主体建筑物大坝采用混凝土面板堆石坝, 坝顶高程为1861m, 坝顶长度为355.5m, 坝顶宽度为10m, 最大坝高103m, 趾板开挖最

收稿日期: 2012-11-21; 修回日期: 2012-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(50939004)

作者简介: 苏晓军(1978-), 男, 青海西宁人, 硕士研究生, 研究方向: 水利水电工程设计理论与管理运行。

通讯作者: 权全(1980-), 女, 陕西西安人, 博士, 研究方向: 水文水资源。

低高程为1761 m,上游坝坡坡比为1: 1.4,下游坝坡综合坡比为1: 1.71。坝体从上游到下游依次分粘土铺盖区、盖重区、混凝土面板、垫层区、特殊垫层区、过渡区、主堆石区、下游堆石区。

工程于2005年开始筹建,2007年3月实现截流,2008年10月开始填筑大坝,2009年9月大坝主体填筑完成,2010年5月面板混凝土施工完毕,2010年10月14日下闸蓄水,2010年11月9日1号机组正式并网发电,至2010年12月12日三台机组全部投产发电。

1.1 坝体填筑过程与浸水过程概述

积石峡混凝土面板堆石坝从2008年10月开始填筑,采用全断面填筑方式。2009年8月初坝体填筑到防浪墙底部高程(1857.00 m高程),2011年5月中旬填筑到1860.0 m高程。坝右0+167.36 m断面坝轴线附近坝体填筑过程线见图1。

积石峡水电站大坝两岸地形不对称,为了减小

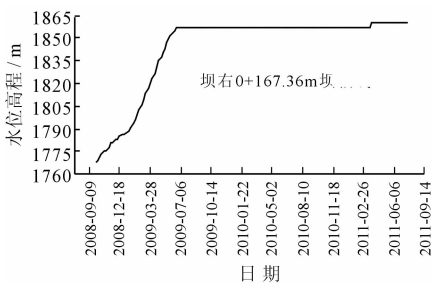


图1 大坝填筑高程变化过程线

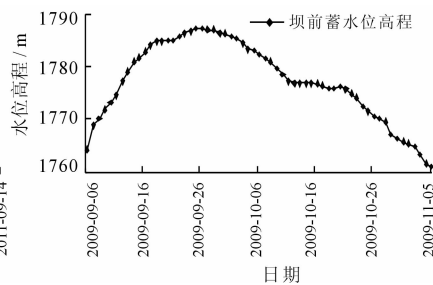


图2 浸水期坝前蓄水位高程变化过程线

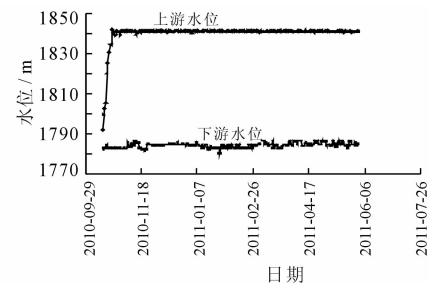


图3 上、下游水位变化过程线

2 监测设计简介

根据《土石坝安全监测技术规范》SL60-94等标准和规范的要求,并结合工程本身的特点,坝体内部垂直、水平位移大致布置3个监测断面(坝右0+88.50、坝右0+167.50、坝右0+248.5),在监测断面内分层(高程1800.00、1820.00、1840.00 m)布置水管式沉降仪和钢丝水平位移计,监测坝体内部垂直、水平位移以及坝基沉降。

水管式沉降仪和电磁式沉降管同时用来监测堆石坝坝体沉降变化,水管式沉降仪分别布置在坝右0+088.36m、坝右0+168.36 m和坝右0+248.36 m 3个观测断面,1800、1820 m和1840 m 3个高程上布置7套31个观测点来监测坝体内部沉降。电磁式沉降管一共布置了4套仪器。其中,一套埋设在坝右0+167.36 m断面的中心坝轴线上,编号为ES1,设有16个测点;一套埋设在坝右0+167.36 m断面,坝轴线下游34.5 m处,编号ES2,设有14个

左右岸坝体沉降变形的量差,加速坝体沉降的速率,2009年9月6日对坝体EL1785高程以下进行了浸水,浸水高度25 m。浸水前坝体沉降1.57 mm/d,浸水过程中坝体沉降6.9 mm/d,是浸水前沉降速率的4.5倍,坝体沉降明显。9月25日坝前水位蓄到1787.3m高程,9月27日开始抽水,坝前水位在11月5日抽完(表1),水位过程线见图2。

1.2 水库蓄水情况概述

积石峡水电站于2010年10月14日正式下闸蓄水,库水位变化大致可分为二个阶段:第一阶段为水位上升阶段,从2010年10月14日20:00时水位从1792.0 m开始升起,至2010年10月23日4:00时水位上升至1840.95 m高程止;第二阶段为水位变化平缓阶段,从2010年10月23日开始,库水位基本保持在1841 m高程左右。上下游水位过程线见图3。

测点;一套埋设在坝右0+167.00m断面,坝轴线上游30.0 m处,编号ES4,设有13个测点;最后一套埋设在坝右0+166.70 m断面,坝轴线上游58.0 m处,编号ES5,设有12个测点。电磁式沉降管能监测几乎整个坝体高度范围内的坝体沉降,并且测量结果可以与水管式沉降仪互补。电磁式沉降管测线沿垂直方向大约每7 m设置一个测点。沉降仪分层布置见图4。

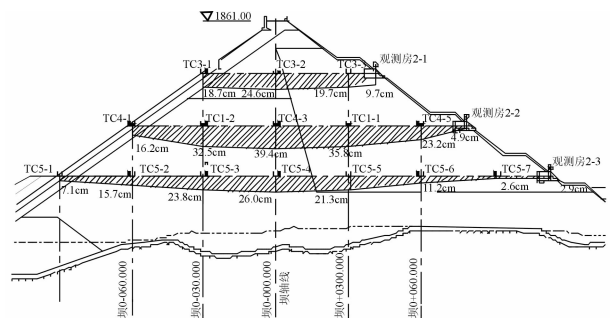


图4 分层沉降示意图

3 坝体实测沉降分析

堆石坝的沉降主要是由堆石料的压缩变形产生的^[4-6]。堆石料的压缩变形,初期主要是颗粒的位移与结构调整、并伴有少量的颗粒棱角破碎,这是变形较快的主压缩阶段;其后,随着颗粒破碎的增加,将进入次压缩阶段,并趋于平稳^[7-8]。

在坝体填筑阶段,坝体沉降随坝体填筑高程的升高逐渐增大。2009 年 9 月初测点沉降速率有较明显的增大趋势,这主要与大坝浸水有关。浸水期最大沉降 10 cm。

ES4 沉降管位于坝右 0 + 167.00 m 断面、坝上 0 - 030.00 m,沉降管随坝体填筑安装。2009 年 2 月 14 日,ES4 沉降管开始观测。ES4 沉降管沉降过程线见图 5。

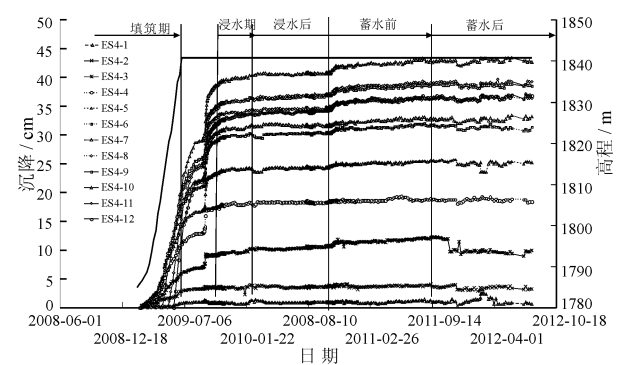


图 5 ES4 电磁式沉降管测点沉降过程线

浸水前:在坝体填筑阶段,各测点随坝体填筑高程的升高沉降逐渐增大。

浸水期:浸水期测点沉降速率有较明显的增大趋势,主要受 2009 年 9 月 - 2009 年 11 月堆石体预沉降浸水影响。

浸水后,蓄水前:浸水后,沉降量随时间缓慢增大。蓄水前最大沉降量为 40.9 cm,发生在坝体中部 1804.86 m 高程的 ES4 - 10 测点。

蓄水后:大坝蓄水后,位于沉降管下部的 ES4 - 1 ~ ES4 - 4 测点沉降变化不大,位于中上部测点变化显著。从沉降管下部至顶部沉降增幅逐渐增大。截止 2011 年 5 月 31 日,最大沉降为 42.4 cm,发生在坝体中部 1804.86 m 高程的 ES4 - 10 测点。蓄水后最大沉降增幅为 1.8 cm,发生 1820.99 m 高程的 ES4 - 12 测点。目前,各测点沉降变形基本稳定。

4 与计算结果对比分析

根据电磁式沉降管实测资料,绘制坝右 0 + 167.00 m 断面左右坝体沉降等值线图如图 6(2011

年 5 月 31 日)。中国水利水电科学研究院积石峡三维非线性有限元静力计算坝右 0 + 160.00 m 断面满蓄期坝体沉降成果(考虑堆石体流变)见图 7。

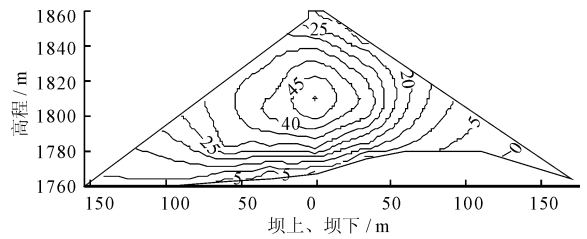


图 6 坝右 0 + 167.00 m 断面左右坝体沉降等值线图(单位:cm)

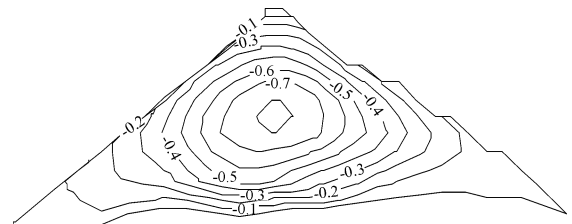


图 7 满蓄期坝右 0 + 160.00 m 断面坝体沉降计算成果(考虑流变)单位:m

通过实测值与有限元计算成果对比可知:坝体沉降变形规律与有限元计算成果基本一致。实测坝体最大沉降 49.7 cm,远小于有限元计算成果(80 cm 以上);实测坝体最大沉降发生位置在 1810.00 m 高程左右、坝轴线附近,与有限元计算成果基本一致。

4.1 与公伯峡大坝沉降对比分析

公伯峡水电站位于积石峡水电站的上游,也是混凝土面板堆石坝,坝顶高程 2010.00 m,最大坝高 132.20 m,坝顶长度 429.0 m,顶宽 10.0 m;与积石峡大坝相似。公伯峡大坝沉降过程线见图 8,蓄水后沉降过程线见图 9。

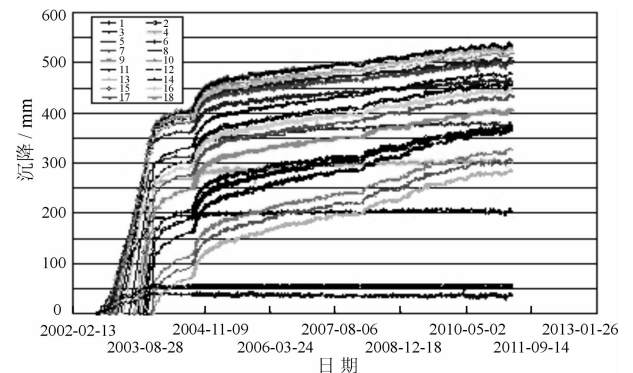


图 8 测点沉降过程线

公伯峡大坝最大沉降 53.9 cm 与积石峡相当,但公伯峡大坝蓄水后沉降较大;到 2011 年 4 月(2004 年 8 月 8 日下闸蓄水)蓄水后各测点沉降最大值为 21.3 cm,且仍未趋于稳定^[9]。积石峡大坝

蓄水后沉降最大 3.5 cm,且基本趋于稳定。大坝浸水期最大沉降 12 cm;大坝浸水明显加速了坝体沉降,减小大坝后期,尤其是蓄水后坝体沉降变形效果非常显著。

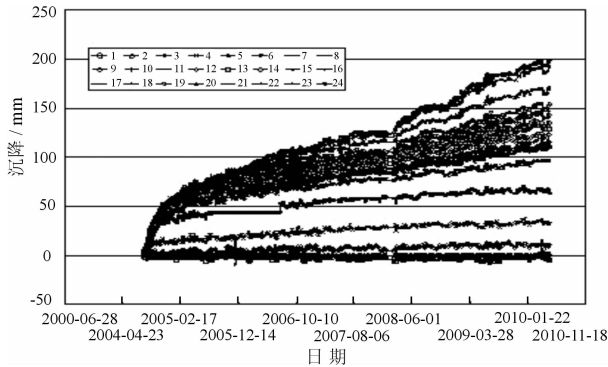


图9 蓄水后测点沉降过程线

4.2 主要分析结论

各沉降管浸水期和蓄水后沉降变形见表 1。

表 1 浸水期和蓄水后测点沉降统计表 cm

沉降管	桩号	浸水期沉降	蓄水后沉降
ES1	坝上 0+000.00m	12.0	蓄水后测值有误
ES2	坝下 0+034.50m	8.5	0.8
ES4	坝上 0-030.00m	10.3	1.8
ES5	坝上 0-058.00m	8.3	3.5

(1)在坝体填筑阶段,坝体沉降随坝体填筑高程的升高逐渐增大。

(2)浸水期,测点沉降明显增大;该期间最大沉降 12 cm。浸水后,测点沉降速率明显减小。

(3)蓄水后,到 2011 年 5 月 31 日,坝体最大沉降 49.7 cm,远小于有限元计算成果(80 cm 以上);实测坝体最大沉降发生位置在 1810.00 m 高程左右、坝轴线附近,与有限元计算成果基本一致。蓄水后最大沉降 3.5 cm。

(4)与公伯峡大坝相比,积石峡后期变形明显小而且,坝体沉降收敛速度明显要快;坝体浸水加速坝体沉降变形效果显著。

5 结 语

从坝体变形资料来看,积石峡水电站实施的浸

水方案效果非常显著,大大加速了大坝的预变性,对于减小大坝后期变形取得了较好的效果。电磁式沉降管的工作状态良好,运行正常,各测点测值随时间平稳增长。蓄水后,在水荷载的作用下,累计最大沉降量为 50.2 cm,发生在坝体中部,为坝高的 0.487%,小于可行性研究报告的 1%,主要由于在施工过程前坝体流变变形很小,而且目前坝体变形已趋于稳定。大坝蓄水 180 d 后,流变变形增加的沉降量为 3 mm,是可行性研究报告中 6 cm 的 5%。主要由于在施工期采取了合理的施工参数和施工期浸水时坝料变形较大,后期随时间变化较小。与公伯峡大坝相比,积石峡后期变形明显小而且,坝体沉降收敛速度明显要快;坝体浸水加速坝体沉降变形效果显著。

参考文献:

- [1] 张建民,张嘎,刘芳. 面板堆石坝挤压式边墙的概化数值模型及应用[J]. 岩土工程学报,2005,27(3): 249-253.
- [2] 沈珠江. 土石料的流变模型及其应用[J]. 水利水运科学,1994(4):335-342.
- [3] 刘祖德. 土石坝变形计算的若干问题[J]. 岩土工程学报,1983,5(1):1-13.
- [4] Zhang Ga, Zhang Jianmin. A large-scale apparatus for monotonic and cyclic soil structure interface test [J]. Geotechnical Testing Journal, 2006,29(5):401-408.
- [5] 刘宁,杜丽惠,廖柏华. 水布垭面板坝土体参数反馈分析中清华非线性 K-G 模型参数敏感性分析[C]//. 混凝土面板堆石坝筑坝技术与研究,中国水利学会,2005. 10.
- [6] Sakurai S, Takeuchi K. Back analysis of measured displacement of tunnels[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 1983,16(3):173-178.
- [7] 李广信. 堆石料的湿化试验和数学模型[J]. 岩土工程学报,1990,12(5):58-64.
- [8] 王辉. 小浪底堆石料湿化特性及初次蓄水时坝体湿化计算研究[D]. 北京:清华大学硕士论文,1992.
- [9] 李全明,于玉贞,张丙印,等. 黄河公伯峡面板堆石坝三维湿化变形分析[J]. 水力发电学报,2005,24(3):24-29.