

# 基于实测垂线资料的山口岩大坝变形分析

谢长江

(中国水利水电第八工程局有限公司,湖南长沙410004)

**摘要:**建筑物除需要进行垂直位移观测和水平位移观测外,还需要进行挠度观测,这对混凝土大坝,特别是双曲拱坝尤为重要。所谓挠度观测就是指建筑物垂直断面内各个高程点相对于底部基点的水平位移变化,垂线就是一种观测挠度的简便有效手段。垂线监测作为大坝变形监测的重要手段,一直以来都是大坝变形安全资料分析、评价的关键项目。垂线监测主要以正、倒垂线法实现坝体水平位移监测。本文以山口岩碾压混凝土双曲拱坝近4年来垂线实测资料为基础,初步讨论和评价坝体水平位移变化规律及坝体稳定性,环境量、库水位的变化直接影响着坝体水平位移的变化。通过对实测垂线监测数据的分析,认为山口岩大坝处于稳定变化态势。

**关键词:**垂线;挠度;水平位移;实测资料;监测数据

**中图分类号:**TV698.1<sup>+</sup>1

**文献标识码:**B

**文章编号:**1004-4701(2018)04-0254-07

## 0 引言

山口岩水利枢纽工程地处赣江一级支流袁河上游的萍乡市芦溪县境内,坝址位于江西省芦溪县上埠镇山口岩村上游1 km处,距芦溪县城7.6 km,距萍乡市30 km。是一座以供水、防洪为主,兼顾发电、灌溉等综合利用的大Ⅱ型水利枢纽工程。本工程水库总库容为 $1.0481 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年平均日供水量 $20 \times 10^4 \text{ t}$ ,电站装机容量12 MW,灌溉面积6 746.67  $\text{hm}^2$ ,本工程等级为Ⅱ等,大(2)型工程。

山口岩大坝为碾压混凝土双曲拱坝,坝顶高程为247.60 m(黄海高程,下同),坝基最低开挖底高程为148.50 m,最大坝高99.10 m,坝底最大宽度30.00 m,坝顶宽度5.00 m,坝顶长度为268.23 m,大坝上游面设置 $R_{90}200$ 二级配碾压砼防渗层,防渗层顶宽2.00 m,底宽为8.20 m,大坝砼采用 $R_{90}200$ 三级配碾压砼。坝址区处于构造侵蚀中、低山地貌,坝肩两岸山体雄厚,坡角 $35^\circ \sim 40^\circ$ ,河谷狭窄,横向“V”型河谷,河流近南北流向,岩体风化不甚强烈,左岸分布崩塌堆积体、右岸见卸荷带等不良物理地质现象。

坝体和坝基变形是大坝安全评价的关键<sup>[1]</sup>,对于双曲拱坝中挠度的监测垂线是最简便有效的手段,可以

有效的反映坝体垂直断面内各个高程点相对于底部基点的水平位移变化。长期以来都是大坝安全资料分析、评价的关键所在,作为使用最广泛的位移监测手段之一,它拥有测点多、深入坝体等特征,获取的监测数据包含了反映坝体安全状况的信息。所以对大坝外部变形中的垂线位移监测及分析是大坝安全监测的重点内容,是整个监测资料分析工作的重点。

## 1 垂线系统的布置原则

山口岩碾压混凝土双曲拱坝的挠度变形主要采用正、倒垂相结合的方法进行观测,正垂线是在坝体观测井的上部悬挂带重锤的不锈钢丝<sup>[1]</sup>,因为正垂的作用,当正垂线稳定时总处于铅直状态,提供了一条基准线。在沿铅垂线不同高程的坝体上设置测点,就可测定测点与悬挂点之间的相对水平位移。因为垂线悬挂在坝体上,故随坝体变形而整条垂线也产生位移。山口岩大坝正垂线采纳的是“一线多测站式”,主要监测坝体位移。由3条正垂线6个测点组成,分别布置在大坝0+070.494断面、大坝0+141.323断面、大坝0+212.724断面,监测点分别设在大坝 $\nabla 195.00 \text{ m}$ 和 $\nabla 220.00 \text{ m}$ 观测廊道内。

倒垂线是将垂线钢丝的下端用锚块埋设在大坝地

收稿日期:2018-03-07

作者简介:谢长江(1982-),男,大学本科,高级工程师。

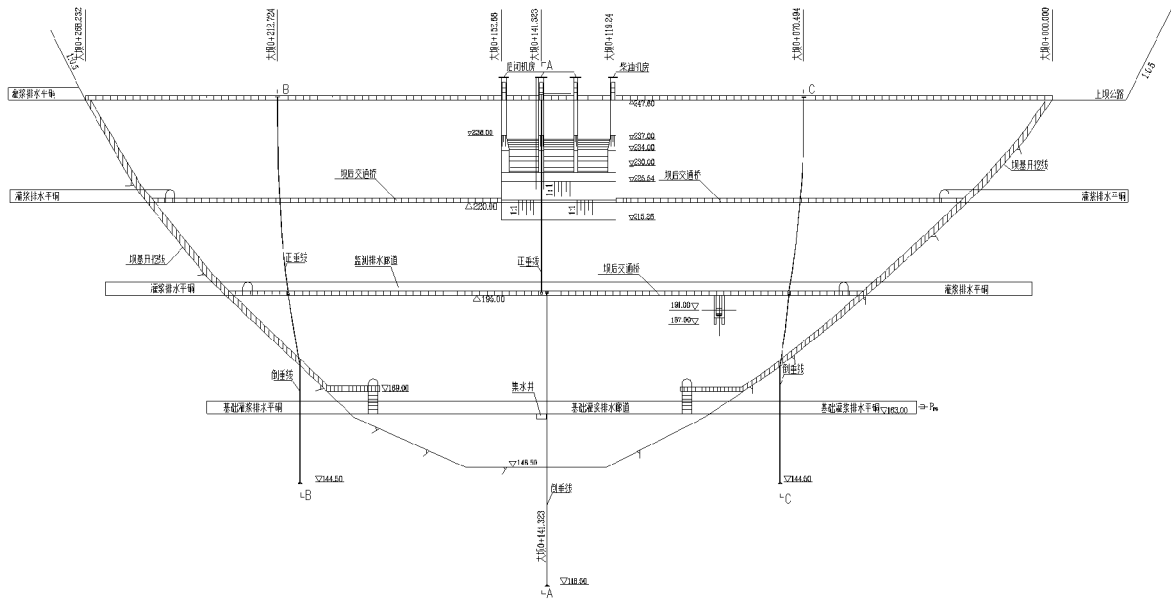


图 1 山口岩大坝垂线监测点立面布置图

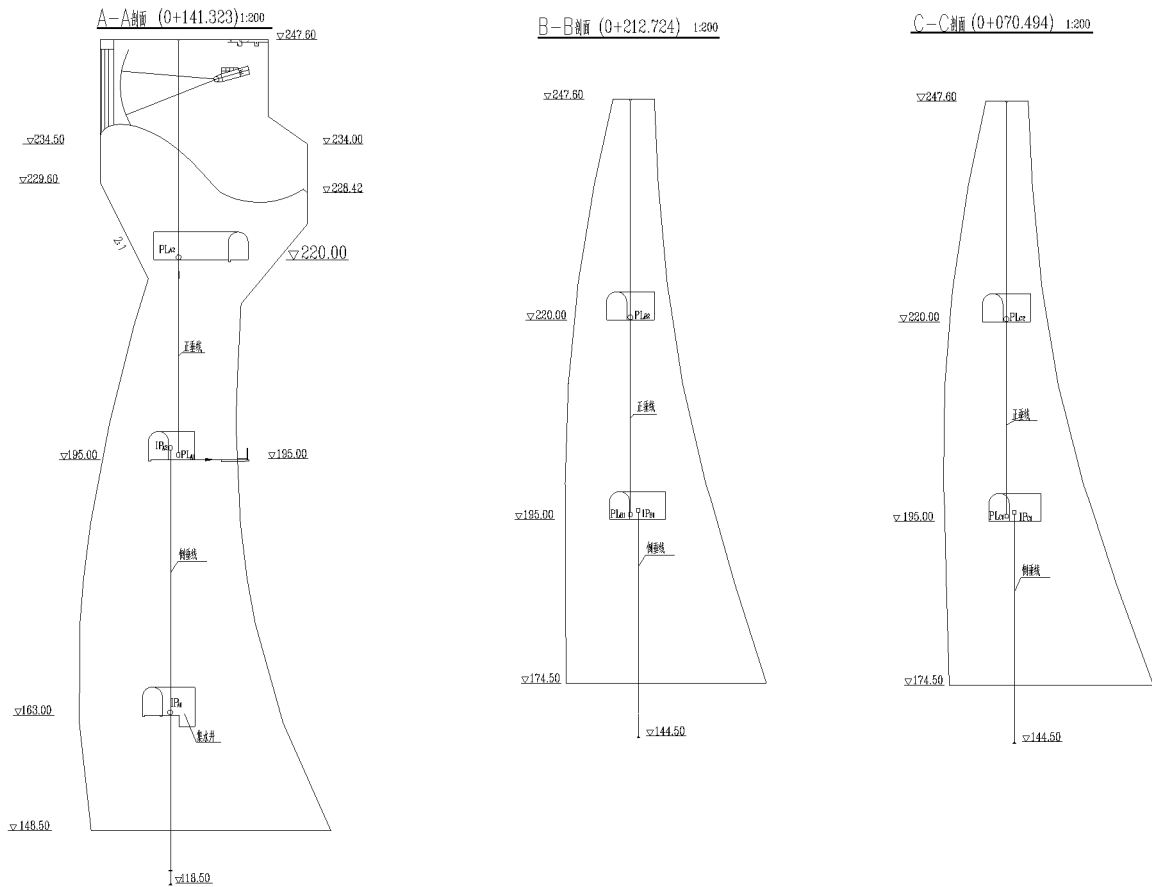


图 2 山口岩大坝垂线监测点剖面布置图

基深层基岩内<sup>[1]</sup>，而上端与浮托设备相连。在浮力的作用下，钢丝沿铅直方向被拉紧，只要底部锚块不动，那

么钢丝始终将位于同一铅直位置上。沿倒垂线不同高程坝体设置测点，即可测出测点相对于垂线的水平位

移。大坝坝基和坝肩岩体深层滑动位移,主要采用倒垂线法进行监测。由3条倒垂线4个测点组成,分别布设在大坝0+070.494断面、大坝0+141.323断面、大坝0+212.724断面。大坝0+070.494断面、大坝0+212.724断面倒垂线锚固点高程为 $\nabla$ 144.50 m,观测点设在大坝 $\nabla$ 195.00 m观测廊道内。大坝0+141.323断面倒垂线锚固点高程为 $\nabla$ 118.50 m,观测点设在大坝 $\nabla$ 195.00 m和 $\nabla$ 163.00 m观测廊道内。

根据《混凝土坝安全监测技术规范》(DL/5178-2016)7.2.6规定<sup>[2]</sup>:“梁向监测断面应布置在拱冠梁坝段(或拱坝中心线坝段)、最大计算位移坝段、左右1/4拱弧坝段、地质或坝体结构复杂的坝段或其他有代表性的坝段,可设3~5个,对于坝顶弧线长度大于500 m的,宜布置5~7个。高坝宜在两岸拱座增设监测断面。”因此,设计内容满足规范要求。

垂线测点的观测采用人工观测与自动化观测相结合的方式,人工观测选用四川省飞翔测绘设备有限公司生产的光学垂线坐标仪ZBY-2A进行观测,测量读数精度为0.02 mm。自动化观测设备采用水利部南京水文自动化研究所的步进式垂线坐标仪进行观测。水平位移正负号的规定按照向下游为正,反之为负的原则。

## 2 测值的变形分析

### 2.1 水平位移最大测值分析

#### (1) 正垂线监测

2013年10月25日开始监测正垂线,初始值以2013年10月25日为基准。由于正垂线安装于2013年第4季度,因此资料分析从2014年开始。各典型工况正垂线监测成果见表1~2。监测时序曲线图如图3~6。

表1 最高库水位时正垂线监测成果表

mm

时间	库水位/m	PLA1	PLA2	PLB1	PLB2	PLC1	PLC2
2014-06-22	243.85	43.40	41.92	18.82	19.67	18.70	19.43
2015-07-08	244.41	44.92	40.29	19.73	17.52	20.53	17.30
2016-07-19	243.02	40.21	36.98	16.67	16.15	16.80	15.04
2017-08-02	244.73	42.04	37.37	17.72	16.13	19.07	16.61

表2 最大位移量时正垂线监测成果表

mm

时间	库水位/m	PLA1	PLA2	PLB1	PLB2	PLC1	PLC2
2014-05-29	243.10	45.53	42.04	19.77	19.67	20.12	19.43
2015-12-28	242.43	62.91	48.57	30.50	19.87	31.00	19.69
2016-01-29	238.39	64.13	48.13	30.64	20.16	31.80	20.47
2017-03-28	236.56	58.40	46.22	27.05	18.60	25.89	17.95

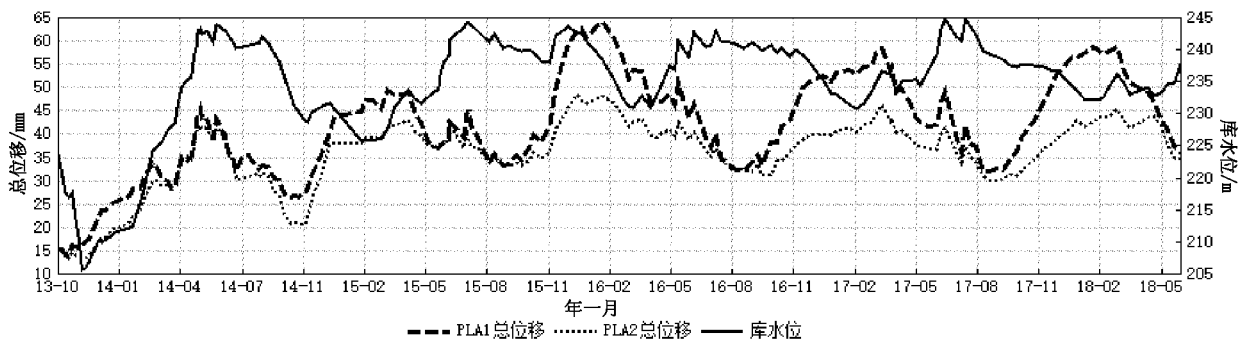


图3 正垂线 PLA1、PLA2 与库水位时序曲线图

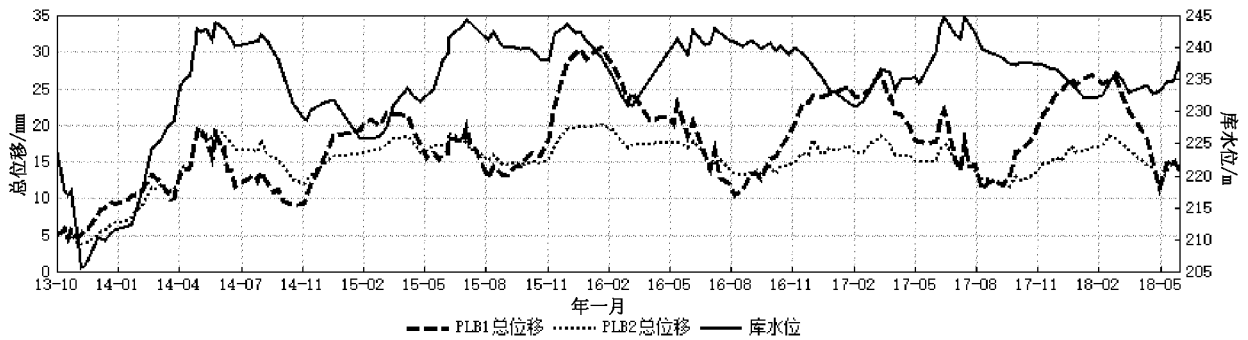


图4 正垂线 PLB1、PLB2 与库水位时序曲线图

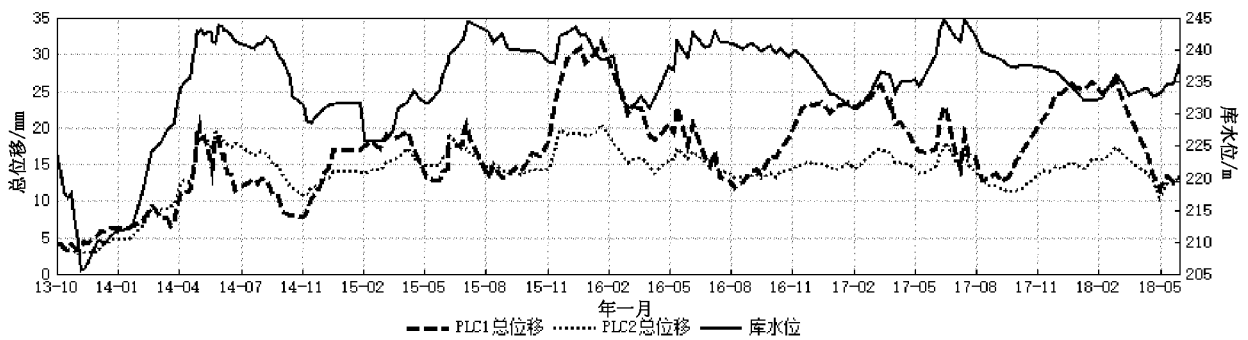


图5 正垂线 PLC1、PLC2 与库水位时序曲线图

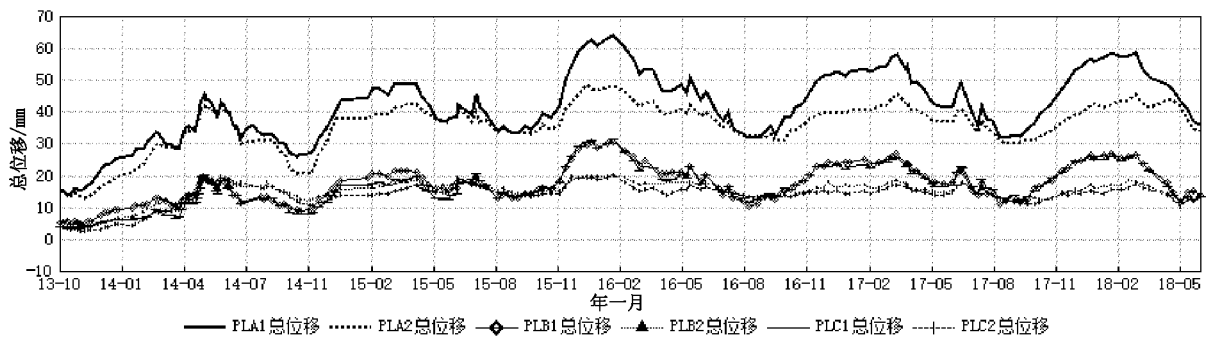


图6 正垂线位移时序曲线对比图

(2) 倒垂线监测

以2012年6月30日下闸蓄水前为基准计算倒垂线初始值。由于山口岩大坝是二次蓄水,2012年7月

~2013年12月属于初蓄期,且库水位还未达到设计值。因此,2013年测值只作为参考值,不做分析。各典型工况倒垂线监测成果见表3、表4。

表3 最高库水位时倒垂线监测成果表

mm

时间	库水位/m	IPA1	IPA2	IPB1	IPC1
2013-10-20	223.92	8.26	15.02	5.27	4.25
2014-06-22	243.85	18.85	36.93	15.00	14.38
2015-07-08	244.41	21.63	33.86	12.63	11.74
2016-07-19	243.02	22.67	32.80	11.83	10.56
2017-08-02	244.73	23.54	33.23	11.90	10.98

表4 最大位移量时倒垂线监测成果表

mm

时间	库水位/m	IPA1	IPA2	IPB1	IPC1
2013-03-05	213.70	9.18	19.83	7.03	5.50
2014-06-22	243.85	18.85	36.93	15.00	14.38
2015-12-28	242.43	23.60	37.67	14.24	13.34
2016-01-05	241.15	23.39	37.73	12.86	11.38
2017-03-28	236.56	24.56	35.89	12.16	11.26

时序曲线图如图7~9。

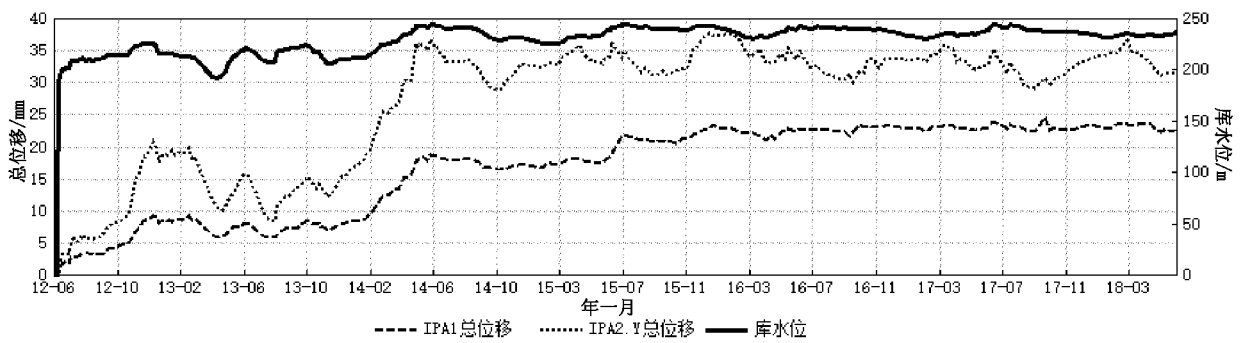


图7 倒垂线 IPA1、IPA2 与库水位时序曲线图

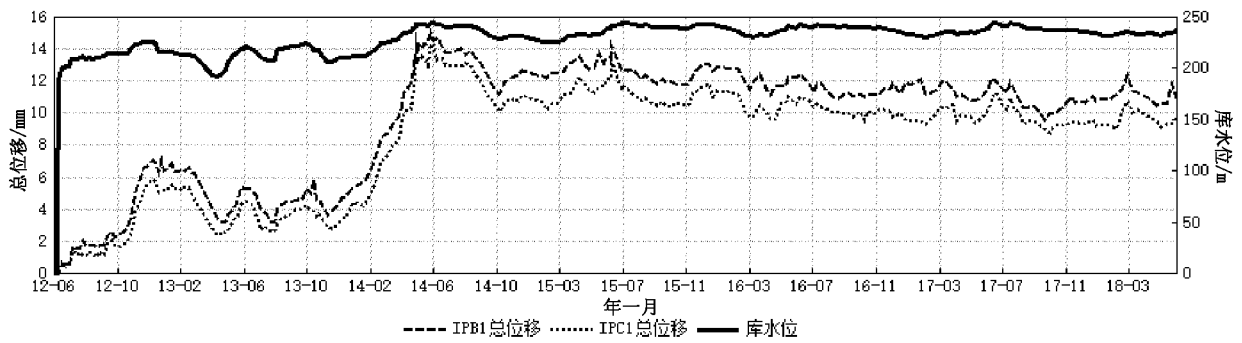


图8 倒垂线 IPB1、IPC2 与库水位时序曲线图

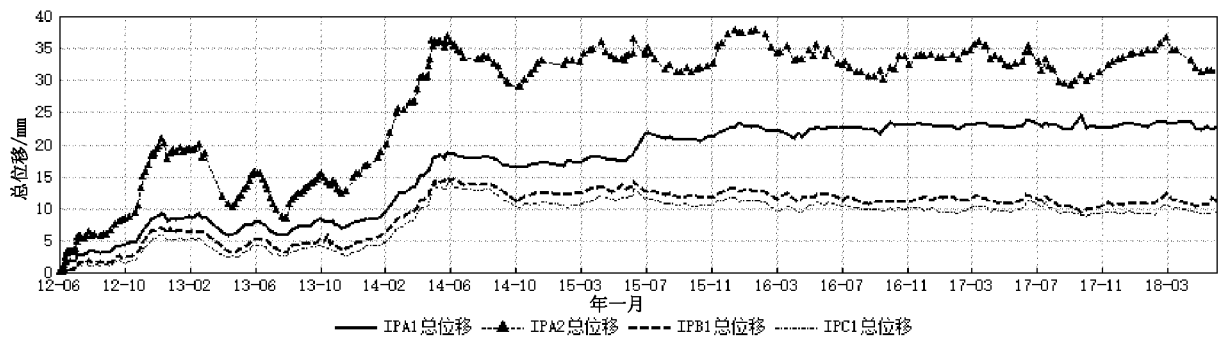


图9 倒垂线位移时序曲线对比图

从观测数据和时序曲线图分析,大坝正倒垂线监测数据表明:径向位移的变化,大坝拱冠、大坝 0 + 070.494 断面和 0 + 212.724 断面最大变化均出现在低温高水位时段,且最大位移的出现不一定就是最大水位时。

## 2.2 典型工况下的测值分析

各坝段水平位移的变化过程受库水位的影响,基本能与库水位的升降进程对应。以 2017 年度测值拱冠梁为例分析位移时间演化规律,各典型工况下拱冠梁径向位移空间分布情况如表 5 所示。

表 5 各典型工况拱冠梁径向位移

mm

工况	最大值	时间	库水位/m	最小值	时间	库水位/m
IPA1	24.56	2017-10-9	237.47	22.28	2017-02-17	230.82
IPA2	35.89	2017-03-28	236.56	29.11	2017-09-19	238.99
PLA1	64.13	2017-02-07	231.49	32.07	2017-08-29	239.77
PLA2	54.32	2016-07-19	242.02	30.02	2017-03-01	231.73

可以看出,拱冠梁径向位移测值与库水位的升降和温度都有直接的关系,坝顶径向位移大于坝基。在低温季节时,坝顶径向位移最大达 64.13 mm。

## 2.3 实测垂线测值变形分析

从水平位移最大测值和典型工况下的实测垂线测值分析,坝体实测垂线监测表明:

(1) 坝体变形与库水位具有明显的相关性。

(2) 坝体垂线监测到的径向变形分布呈中部大,两岸小,左右岸基本对称,从相关性、对称性和规律一致性方面综合印证了坝体监测成果可靠性高。变化表现出以下规律性:

①一般情况下,水荷载作用对坝顶水平位移有一定的影响,上游水位高,位移朝下游增大;水位降低,位移朝上游增大。

②水平位移与坝体温度状况有关。因为气温对坝体温度的影响有一个传递时段,且愈向坝体深处影响幅度愈小,所以受温度影响的位移趋势滞后于气温变化。

(3) 另外,垂线实测位移受库水位升降及温度变化影响,正垂线与倒垂线有如下变化规律:

①对于坝顶测点,一般高温季节向上游位移,低温季节向下游位移。

②分析大坝倒垂线监测数据:径向位移的变化拱冠部位和 0 + 070.494 断面、0 + 212.724 断面有着明显的区别。大坝拱冠部位最大变化出现在低温高

水位时段,大坝 0 + 070.494 断面、0 + 212.724 断面最大变化出现在高温高水位时段。

③分析大坝正垂线监测数据:径向位移的变化大坝拱冠、0 + 070.494 断面和 0 + 212.724 断面最大变化均出现在低温高水位时段。

## 3 结 论

(1) 水平径向位移表现出库水位提升或温降时,坝体朝下游位移,反之朝上游位移的变化特征;同时表现出越接近拱冠、位移越大,高程越高、位移越大的分布规律;水压荷载是影响径向位移的最主要原因。

(2) 由于坝体累计位移变化量量级不大,同时现场巡视检查亦未见异常,因此坝体挠度变形正常。

(3) 从近 4 年实测垂线测值变化规律分析,目前山口岩大坝的水平位移变化满足设计要求,符合拱坝坝体位移变化规律。

## 参考文献:

- [1] 国家电力监管委员会大坝安全监察中心. 岩土工程安全监测手册(第三版)[M]. 北京:中国水利水电出版社,2013. 10.
- [2] DL/T5178-2016 混凝土坝安全监测技术规范[S]. 北京:中国电力出版社,2016.

编辑:张绍付

## Deformation analysis of Shankouyan dam based on measured vertical data

XIE Changjiang

(SINOHYDRO Bureau 8 Co. Ltd, Changsha 410004, China)

**Abstract:** In addition to the need for vertical and horizontal displacement observations, buildings need to be observed for deflection, which is particularly important for concrete dams, especially the double curved arch dams. The deflection observation refers to the horizontal displacement of each elevation point in the vertical section of a building relative to the base point of the base, and the vertical line is a simple and effective means to observe the deflection. Vertical monitoring, as an important means of dam deformation monitoring, has always been a key project for dam deformation safety data analysis and evaluation. Vertical line monitoring mainly uses horizontal and vertical plumb line to monitor horizontal displacement of dam. Based on the measured data of the vertical line of Shankouyan RCC double curved arch dam in the last 4 years, the variation of the horizontal displacement of the dam and the stability of the dam body are discussed and evaluated. The change of the horizontal displacement of the dam is directly affected by the changes of the environmental quantity and the water level of the reservoir. Based on the analysis of measured data, it is considered that the Shankouyan dam is stable.

**Key words:** Vertical; Deflection; Horizontal displacement; Measured data; Monitoring data

翻译: 谢长江

---

## 省政府常务会议讨论通过 《江西省实施河长制湖长制条例(草案)》

2018年7月27日,省政府召开第7次政府常务会议,讨论通过《江西省实施河长制湖长制条例(草案)》,要求按程序提请省人大常委会审议。

会议认为:全面推行河长制湖长制是完善水治理体系、保障国家水安全的重大制度创新;要以对党、对人民、对子孙后代高度负责的态度,上下联动协同推进,强化监管严格考核,发动群众全员参与,确保河长制湖长制各项工作落到实处、取得实效。

《江西省实施河长制湖长制条例》是省政府2018年立法计划中的地方性法规确保项目。《条例(草案)》对河长制湖长制工作组织体系构架、各级河(湖)长职责及工作要求、河长制湖长制各项工作机制等作出明确规定。

(江西省水利厅政策法规处 黄小明)