

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2010.06.010

李家峡拱坝水平位移监测资料统计模型对比分析

魏 超^{1,2,3}, 田振华^{1,2,3}, 张 博^{1,2,3}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏 南京 210098;

3. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了更准确地分析大坝水平位移的变化规律, 在建立坝体水平位移的统计模型时, 采用温度周期项和温度实测值对温度分量进行建模, 并将模型应用于李家峡拱坝进行对比分析. 结果表明, 利用温度周期项建立的模型, 模型计算值与实测值拟合较好, 模型能够很好地反映出大坝水平位移的变化规律.

关键词: 拱坝 水平位移 统计模型 温度分量 李家峡水电站

中图分类号: TV698.1+1

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2010)06-0651-04

李家峡水电站位于青海尖扎县与化隆县交界处, 是黄河上游重要的大型梯级水电站之一. 李家峡水电站的挡水建筑物为三圆心双曲混凝土拱坝, 最大坝高 155 m, 坝顶长 414.39 m, 坝基高程 2 030 m, 水库正常蓄水位 2 180 m, 总库容 16.5 亿 m³, 坝体共分 20 个坝段, 其中 11 号坝段为拱冠梁坝段. 李家峡水电站混凝土拱坝坝体共布置了 6 组垂线, 分别位于拱冠(11 号坝段)、左右岸 1/4 拱(6 号和 16 号坝段)、两拱端(1 号、重 1 号及重 3 号坝段), 其所对应的垂线编号分别为 3 号、4 号、2 号、5 号、1 号和 0 号^[1-4].

在日常运行中, 坝体及坝基承受着巨大的荷载, 且工作条件极为复杂, 因此, 大坝的安全关系到人民生命和财产的安全, 应引起高度重视. 水平位移监测资料的分析是在坝体中各个测点采集的监测数据的基础上, 分析坝体与各个因素之间的规律性关系, 以便及时发现和排除相应的隐患, 为大坝的安全运行提供相应的保证. 本文在对李家峡水电站水平位移监测资料分析的基础上, 建立坝体水平位移的回归统计模型, 并对模型中的温度分量分别采用温度周期项和温度实测值进行建模, 分析 2 种方法对模型精度的影响, 以便为大坝的安全运行提供及时的反馈信息.

1 监测资料分析

拱坝的位移一般分为水平位移和垂直位移, 而水平位移又分为径向和切向 2 个方向, 其中径向为上下游方向, 切向为左右岸方向. 通常情况下, 为了方便分析和计算, 常规定径向位移向下游为正, 向上游为负; 而切向位移向左岸为正, 向右岸为负. 为分析大坝的工作性态, 对李家峡拱坝 1/4 拱的 6 号和 16 号典型坝段 2 个测点(062185 和 162185) 1999 年 3 月 2 日至 2007 年 12 月 26 日系列水平位移监测资料进行分析^[4-7], 绘制李家峡拱坝水平位移的测值过程线如图 1 所示.

1.1 典型坝段切向位移分析

从图 1(a) 和 (b) 可以看出: (a) 右岸的 6 号坝段的切向位移呈周期性的变化, 而左岸的 16 号坝段规律性不明显, 并且各个测点的切向位移受温度的影响较大. 当温度上升时, 6 号坝段测点向左岸发生位移, 而 16 号坝段测点向右岸发生位移; 当温度下降时, 6 号坝段测点向右岸发生位移, 而 16 号坝段测点向左岸发生位移. (b) 库水位的变化对该坝段的位移也有较大的影响, 1999—2002 年是水位上升的过程, 此时 6 号坝段测点向右岸发生位移, 16 号坝段测点向左岸发生位移, 2002 年后水位变化逐渐变小, 相应的库水位变化对各测点

收稿日期: 2010-08-19

基金项目: 国家自然科学基金(51079046, 50909041) 国家“十一五”科技支撑计划(2008BAB29B03) 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室专项基金(2009586012, 2010585212)

作者简介: 魏超(1985—), 男, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生, 主要从事大坝安全监测研究. E-mail: weichaomail@gmail.com

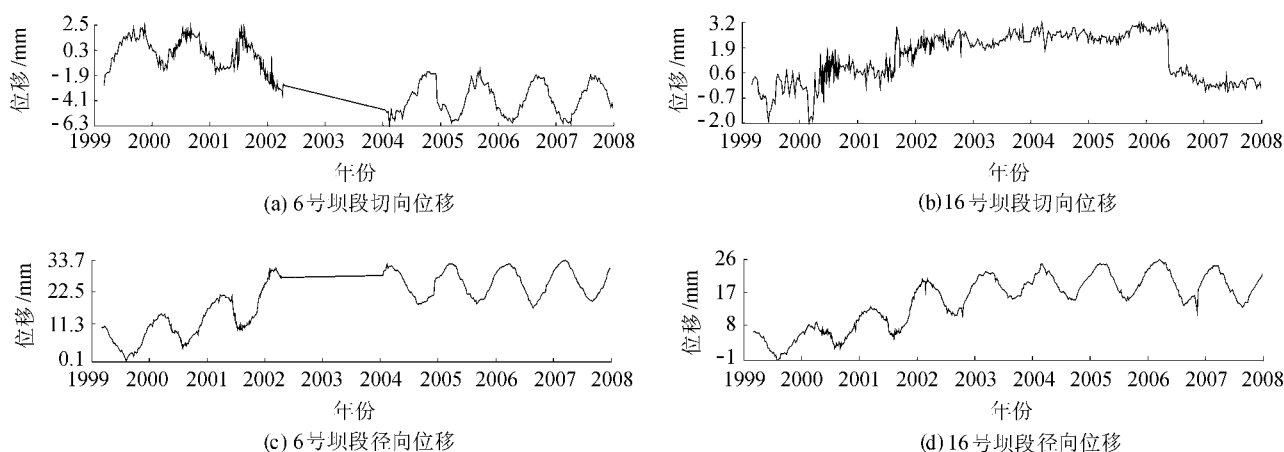


图1 典型坝段水平位移实测过程线

Fig. 1 Observed curves of horizontal displacement in the typical dam segment

的切向位移的影响也逐渐变小。(c)2006年大坝拆除了保温板,而从切向位移实测资料来看,其对大坝位移的影响不是十分明显,但由于观测的时间较短,具体的影响还需要对观测资料做进一步积累后,再进行分析。

1.2 典型坝段径向位移分析

从图1(c)和(d)可以看出:(a)2个坝段的径向位移呈较明显的周期性变化,并且径向位移的变化受温度变化的影响较大。当温度上升时,6号和16号坝段测点向上游发生位移,当温度下降时,6号和16号坝段测点向下游发生位移。而坝体的位移变化一般滞后于气温变化1~2个月,且坝体的不同部位受温度影响也不同。因此,测点的位移一般在每年的1~3月达到最大值,在7~9月达到最小值。(b)库水位的变化对该坝段的径向位移的影响也较为明显。2002年前,库水位变化较大,相应的对该坝段的径向位移的影响也较明显,当库水位上升时,6号和16号坝段测点向下游的位移增大,反之则减小。2002年后,库水位变化逐渐变小,其对6号和16号坝段测点的径向位移测值的影响也趋于平稳,径向位移变化无明显的趋势性,这主要是由于2002年以前库水位的升高以及坝体温度场的变化所引起的。(c)从统计中可知,6号坝段比16号坝段的年变幅大,而这可能与16号坝段设置坝内泄洪孔使坝体局部加厚,刚度相对较大有关。(d)2006年大坝拆除了保温板,从径向位移实测资料来看,对坝段测点位移的影响不是十分显著,而具体的影响还需对观测资料做长时间的积累,再进行分析。

2 坝体变形统计模型的建立及模型计算结果分析

2.1 模型的建立

由坝工知识可知,在水压力、扬压力、泥沙压力和温度等荷载作用下,大坝任一点都会产生位移。因此,在建立坝体的变形统计模型时,其位移 δ 主要由水压分量 δ_H 、温度分量 δ_T 和时效分量 δ_θ 组成^[8-9],即:

$$\delta = \delta_H + \delta_T + \delta_\theta \quad (1)$$

其中温度对大坝的安全状态有着重要的影响。因此,探究模型中温度项的选择,将会对模型的精度以及未来的预测精度起到至关重要的作用。李家峡水电站已经运行接近10a,坝体的温度场已基本稳定,考虑边界温度对坝体不同部位混凝土的热传导滞后效应,在建立回归统计模型时,对温度项分别采用温度周期项和温度实测值进行模拟。

在合理选择因子的基础上,根据大坝特点,并考虑初始值的影响,得到李家峡水电站水平位移的统计模型:温度周期项模型

$$\delta = \sum_{i=1}^4 [a_{1i}(H_u^i - H_{u0}^i)] + \sum_{j=1}^2 \left[b_{1j} \left(\sin \frac{2\pi jt}{365} - \sin \frac{2\pi jt_0}{365} \right) + b_{2j} \left(\cos \frac{2\pi jt}{365} - \cos \frac{2\pi jt_0}{365} \right) \right] + c_1(\theta - \theta_0) + c_2(\ln \theta - \ln \theta_0) + a_0 \quad (2)$$

温度实测值模型

$$\delta = \sum_{i=1}^4 [a_{1i}(H_u^i - H_{u0}^i)] + \sum_{j=1}^3 b_j T_j + c_1(\theta - \theta_0) + c_2(\ln \theta - \ln \theta_0) + a_0 \quad (3)$$

其中
$$\theta=\frac{t}{100} \quad \theta_0=\frac{t_0}{100}$$

式中： a_{1i} ——水压因子回归系数； H_u, H_{u0} ——监测日、始测日所对应的上游水头； b_{1j}, b_{2j}, b_j ——温度因子回归系数； t ——起始监测日到位移监测日的累计天数； t_0 ——始测日到建模资料系列第一个监测日的累计天数； T_j ——特征时段的平均气温,本文选取前 10 d、前 30 d、前 60 d 相应的大气平均气温； c_1, c_2 ——时效因子回归系数； a_0 ——常数。

2.2 模型计算结果比较与分析

通过对李家峡拱坝 1/4 拱的 6 号和 16 号典型坝段的 2 个测点 (062185 和 162185) 1999 年 3 月 2 日至 2007 年 12 月 26 日系列水平位移监测资料进行统计回归建模分析,可得两种模型的回归特征值^[8-12](表 1)。

根据初步分析和计算可知,在主要的影响量中,温度对大坝的水平位移影响最大.由李家峡水电站环境监测资料的分析可以看出,该地区在 2004 年气温年变幅最大,并且最低温度也较往年偏低.因此,比较典型年 2004 年 2 种模型的拟合结果,绘制拟合值和实测值的对比图如图 2 所示。

表 1 2 种模型回归特征值

Table 1 Calculated results of two regression models

测点	方向	复相关系数 R		标准差 S	
		温度周期项模型	温度实测值模型	温度周期项模型	温度实测值模型
062185	切向	0.993	0.861	1.11	1.25
	径向	0.980	0.866	0.52	0.76
162185	切向	0.984	0.841	1.28	1.78
	径向	0.989	0.925	0.70	0.81

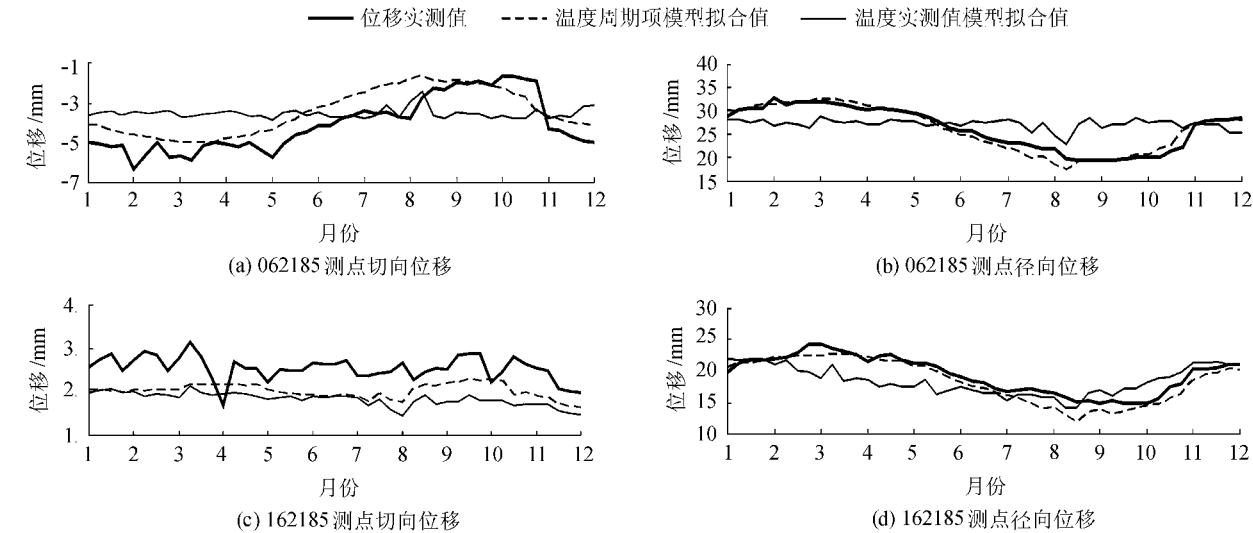


图 2 2004 年李家峡拱坝水平位移实测与拟合过程线

Fig. 2 Observed and fitting curves of horizontal displacement of Liji Xia Arch Dam in 2004

根据模型回归特征值的图中计算结果(表 1)可知,2 种模型中温度分量利用周期项来进行模拟的精度较高.从 2 种模型的实测与拟合对比图中(图 2),也可以发现温度实测值模型在模拟径向位移时精度尚可,但在模拟切向位移时精度较差,没有能够很好地表现出切向位移的变化规律,而温度周期项模型则较好地呈现了位移的变化规律^[8-13].因此,采用温度周期项来建立的模型精度较高,且与之相对应的模拟坝体温度场也相对较为合理.所以,在李家峡拱坝的水平位移监测中,选用温度周期项建立的模型作为最终的统计模型。

根据选定的统计模型对各分量的计算结果分析可知,在 2004 年切向位移的年变幅中,水压分量占 20% ~ 30%,温度分量占 60% ~ 80%,时效分量占 10% 以下.而在径向位移中,水压分量占 10% ~ 35%,温度分量占 60% ~ 80%,时效分量占 5% 以下。

3 结 语

通过对李家峡拱坝水平位移的监测模型分析可知,利用温度周期项建立的模型,其模型的计算值与实测值拟合较好,精度较高,模型能够很好地反映出大坝水平位移的变化规律.从建模计算的结果来分析,其水平位移主要受温度的影响,库水位和时效的影响较小,且坝体的水平位移变化规律基本正常,未发现明显的异

常变化.

参考文献:

- [1] 顾冲时,郑东健.李家峡水电站大坝监测资料分析[R].南京:河海大学,2008.
- [2] 朱济祥.李家峡高拱坝安全监控模型与监控指标研究[D].天津:天津大学,2007.
- [3] 李火坤,练继建,朱济祥,等.李家峡拱坝变形原型观测资料分析及安全监控模型研究[J].南昌大学学报:工科版,2006,28(3):289-294. (LI Huo-kun, LIAN Ji-jian, ZHU Ji-xiang, et al. Deformation analysis of the prototype observation data and research on monitoring model of safety of Lijiexia Arch Dam[J]. Journal of Nanchang University: Engineering & Technology, 2006, 28(3): 289-294. (in Chinese))
- [4] 李立辉,刘斌玲,雷霆,等.李家峡拱坝水平位移监测资料模型分析[J].红水河,2009,28(2):89-97. (LI Li-hui, LIU Bin-ling, LEI Ting, et al. Analysis on level displacement changes and study on safety monitoring model of Lijiexia Arch Dam[J]. Hongshui River, 2009, 28(2): 89-97. (in Chinese))
- [5] 关文海,苗隆德,杨杰.蓄水期李家峡拱坝垂直位移与安全性态分析[J].西北水力发电,2005,21(3):27-37. (GUAN Wen-hai, MIAO Long-de, YANG Jie. Analysis of vertical displacement and safety characteristics of Lijiexia Arch Dam in storage period[J]. Journal of Northwest Hydroelectric Power, 2005, 21(3): 27-37. (in Chinese))
- [6] 汤建斌.石门拱坝坝顶水平位移观测资料分析[J].大坝观测与土工测试,1998,22(2):24-38. (TANG Jian-bin. Observation data analysis of horizontal displacement at crest of Shimen Arch Dam[J]. Dam Observation And Geotechnical Tests, 1998, 22(2): 24-38. (in Chinese))
- [7] 陈宇清.纪村大坝坝顶垂直位移监测资料分析[J].红水河,2009,28(1):102-105. (CHEN Yu-qing. Analysis on vertical displacement monitoring data of Jicun Dam crest[J]. Hongshui River, 2009, 28(1): 102-105. (in Chinese))
- [8] 吴中如.水工建筑物安全监控理论及其应用[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [9] 顾冲时,吴中如.大坝与坝基安全监控理论和方法及其应用[M].南京:河海大学,2006.
- [10] 陈久宇,林见.观测数据的处理方法[M].上海:上海交通大学出版社,1987.
- [11] 李珍照.混凝土坝观测资料分析[M].北京:水利电力出版社,1989.
- [12] 关文海.混凝土拱坝变形分析的安全监控模型研究与应用[D].西安:西安理工大学,2006.
- [13] 袁晓峰.大坝安全监测资料分析若干问题研究[D].南昌:南昌大学,2007.

Statistical model analysis of observed data of horizontal displacement of Lijiexia Arch Dam

WEI Chao^{1,2,3}, TIAN Zhen-hua^{1,2,3}, ZHANG Bo^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to more accurately analyze the variation of horizontal displacement of dams, a statistical model was established. The temperature component of the horizontal displacement should be considered from two aspects of the temperature period item and the observed temperature data. The proposed regression model was applied in Lijiexia Arch Dam. The results show that the introduction of the temperature period item into the model leads to an agreement between the calculated and observed values, and the model can well reflect the variation of horizontal displacement of the dam.

Key words: arch dam; horizontal displacement; statistical model; temperature component; Lijiexia Hydropower Station