

峡口拱坝变形监测资料分析研究

王明胜

(湖北正源电力集团有限公司南漳峡口电业分公司, 湖北 襄樊 441500)

摘要: 本文通过对混凝土双曲拱坝的变形特性研究, 建立数学模型, 分析峡口拱坝拱冠267.8m、230.5m、210.0m、188.0m高程径向位移的变化趋势和主要影响因素。分析结果表明拱冠径向位移主要受温度影响。

关键词: 拱坝; 变形; 统计模型

中图分类号: TV642.4 **文献标识码:** A

1 大坝概况

峡口水利水电枢纽工程位于湖北省襄樊市南漳县沮河上游的峡口镇(现巡检镇峡口村)西约2km处, 距南漳县城102km(经肖堰-小漳河公路), 距襄樊市145km, 距下游远安县城50km。沮河是长江中游北岸沮漳河的西支, 发源于保康县境内的荆山, 由西北向东南流经保康、南漳、远安和当阳, 于两河口汇入沮漳河。干流全长243.6km, 流域面积3367km²。峡口水库是沮河干流上的控制性枢纽工程, 控制流域面积1458km²。

峡口电站是一座以发电为主, 兼有防洪、库区航运、水产养殖和旅游等综合效益的Ⅱ等大(2)型水利水电枢纽工程。最大设计坝高84.8m, 坝顶高程267.8m, 坝顶宽5m, 坝底厚16m, 拱冠梁厚高比0.189, 坝顶顶拱上游弧长195.9m, 中轴弧长191.9m。水库正常蓄水位264.13m, 设计洪水位264.88m, 校核(最高)洪水位266.47m, 水库总库容 $1.36 \times 10^8 \text{m}^3$, 防洪容积 $3.4 \times 10^6 \text{m}^3$, 死水位248.13m, 有效库容 $6.329 \times 10^7 \text{m}^3$, 死库容 $6.235 \times 10^7 \text{m}^3$ 。峡口电站是南漳县电网供电唯一有调节性能的电站, 在县电网中主要起到调峰作用。电站总装机容量31.6MW, 多年平均发电量 $8.288 \times 10^7 \text{kW} \cdot \text{h}$, 年利用小时2763h^[1]。

为及时分析、总结并积累施工和设计经验, 同时监测大坝在施工、蓄水及运行期工作状态, 防患于未然, 在大坝各部位有代表性地布置观测系统, 其中通过3组5条垂线、前方交会13个测

点、水准测量11个测点、30支测缝计、8支基岩变位计等监控施工、运行时段大坝的坝体变形^[2]。

峡口拱坝布置有三条垂线, 1号垂线位于左岸3#坝段, 包括倒垂线(DC1)和正垂线(ZC1)各1条, 在210高程基础灌浆廊道衔接。倒垂线锚固点位于坝基186高程(视为相对不动点), 在210高程设置1个测点; 正垂线悬挂点位于263.8高程, 在255高程、236高程和210高程分别设置1个测点; 2号垂线位于拱冠6#坝段, 包括倒垂线(DC2)和正垂线(ZC2)各1条, 在188高程基础灌浆廊道衔接。倒垂线锚固点位于坝基158高程(视为相对不动点), 在188高程设置1个测点; 正垂线悬挂点位于坝顶267.8高程, 在230.5高程、210高程和188高程分别设置1个测点; 3号垂线位于右岸9#坝段, 只设置1条倒垂线(DC3)。倒垂线锚固点位于坝基188高程(视为相对不动点), 在236高程、255高程和263.8高程分别设置1个测点^[3]。

为分析峡口拱坝的变形规律, 本文针对拱冠部位2#垂线4个高程径向位移建立数学模型, 由此分析该部位位移的变化趋势。

2 拱冠坝顶径向位移数学模型

用数学模型法建立原因量(如库水位、气温等)与效应量(如位移、应力等)之间的关系是大坝变形资料定量分析的主要手段。

根据混凝土坝的特点, 其变形主要与水压、温度、时效以及施工因素外有关, 由于施工因素复杂, 很难用定量数据作为因子来表示, 因此在

建立模型时，主要考虑前三个因素的影响。数学模型表达式为

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

式中， δ_H 是水压分量； δ_T 是温度分量； δ_θ 是时效分量。

2.1 水压分量 δ_H

由工程力学理论得，拱坝在持续荷载作用下，坝体的位移、应力与坝前的水深 H 、 H^2 、 H^3 、 H^4 呈线性关系，即有

$$\delta_H = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i H^i \quad (2)$$

式中， a_0 为常数； a_i 为回归系数。

2.2 温度分量 δ_T

温度位移与混凝土温度呈线性关系，考虑到外界气温对坝体温度变化存在滞后效应，从而对坝顶水平位移的影响也存在滞后效应，采用水平位移观测日前期若干天气气温的平均值作为温度因子，即有

$$\delta_T = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i T_{i(s \sim e)}(t) \quad (3)$$

式中， b_0 为常数； b_i 为回归系数； $T_{i(s \sim e)}(t)$ 为第 i 个温度因子，系观测日 (t) 前第 s 天~第 e 天气温的平均值； m 为温度因子个数^[4]。

2.3 时效分量 δ_θ

时效分量是一种随时间推移而朝某一方向发展的不可逆分量，其成因比较复杂，其变化一般与时间呈曲线关系。时效分量常用的数学模型有指数函数、双曲函数、多项式、对数函数、线性函数等。时效因子一般可采用如下9种形式来表示，即：

$$I_1 = \ln(t+1), I_2 = 1 - e^{-t}, I_3 = 1/(1+e^{-t}), I_4 = t/(t+1), I_5 = t^2, I_6 = t^{0.5}, I_7 = t^{-0.5}, I_8 = t, I_9 = \ln(t)$$

时效分量表达式为：

$$\delta_\theta = c_0 + \sum_{i=1}^p c_i I_i(t) \quad (4)$$

式中， c_0 为常数； c_i 为回归系数； t 为测值序列至观测日的天数乘以0.01； p 为时效因子个数。

综合式(1)~(4)，混凝土拱坝的位移模型为

$$\delta = a + \sum_{i=1}^4 a_i H^i + \sum_{i=1}^m b_i T_{i(s \sim e)}(t) + \sum_{i=1}^p c_i I_i(t) \quad (5)$$

式中， a 为常数。

3 变形监控模型建立及应用

3.1 统计模型

本文分析建模序列取2010年1月13日至2012年7月10日观测数据，利用式(5)采用回归分析方法，对上述资料系列建立峡口拱坝267.8m、230.5m、210m、188m高程径向位移统计模型，回

表1 拱冠部位径向位移统计模型构成表

因子序号	因子表达式	测点回归系数			
		267.8m高程	230.5m高程	210.0m高程	188.0m高程
a0	常数	4.435068657	-85.50425247	-4.780751171	-61.79410408
X1	H				
X2	H^2	0.064283723	0.128335825	0.057540502	0.096584335
X3	H^3	-0.001373803	-0.002474909	-0.001103367	-0.001827871
X4	H^4	0.00000832917	0.0000135107	0.00000599744	0.00000972294
X5	T_1			0.043645926	0.018059936
X6	$T_{2 \sim 7}$	-0.127610631	-0.030910495	-0.020804822	-0.008417829
X7	$T_{8 \sim 15}$			0.032950967	
X8	$T_{16 \sim 30}$	-0.169369239			
X9	$T_{31 \sim 60}$	-0.406409821	-0.079853435	-0.10836796	
X10	$T_{61 \sim 90}$		-0.11603082		
X11	$t^{0.5}$				-6.49065829
X12	$t^{-0.5}$				
X13	$\ln(t+1)$	-13.05825587			
X14	t^2	0.043982143	0.041968781		0.0155068
X15	$\ln(t)$			-21.52664584	
X16	$t/(t+1)$				
X17	$1 - e^{-t}$				
X18	$1/(1+e^{-t})$				
X19	t	-1.137913797	-1.73022359	1.009081391	

表2 拱冠部位径向位移统计模型拟合情况表

测点编号	拟合时段	R	S (mm)	拟合时段各分量变幅 (mm)				
				实测值	拟合值	水压分量	温度分量	时效分量
2#-267.8	2010-01-13—2012-07-10	0.992	0.754	18.91	18.10	2.82	17.99	2.45
2#-230.5	2010-01-13—2012-07-10	0.989	0.272	6.48	6.35	1.86	5.29	1.98
2#-210.0	2010-01-13—2012-07-10	0.965	0.243	3.34	2.99	0.95	1.96	1.81
2#-188.0	2010-01-13—2012-07-10	0.943	0.195	1.79	1.87	0.28	0.33	1.81

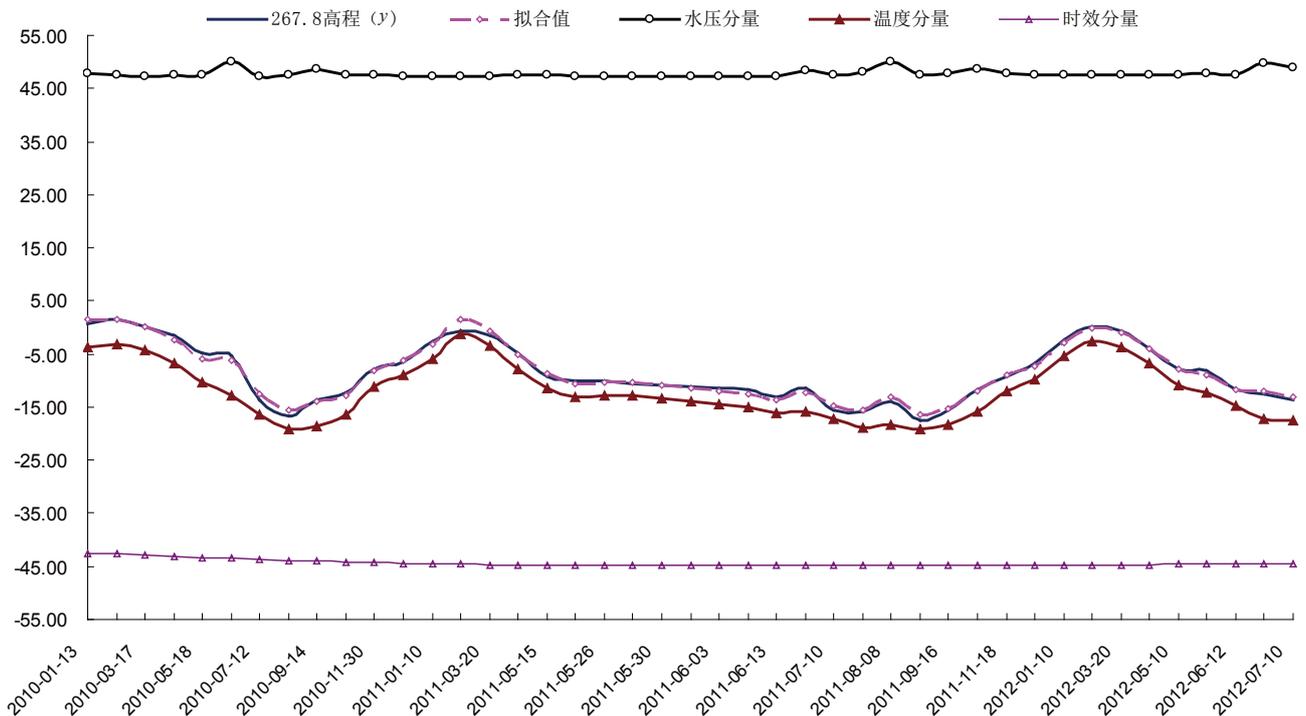


图1 峡口拱坝267.8m高程径向位移各分量过程线

归精度较高，其各高程测点回归系数和拟合情况见表1和表2：

3.2 分析结论

从峡口拱坝拱冠部位4个高程径向位移的各分量过程线可以看出，其变形规律基本一致，所以本文列出267.8m高程径向位移各分量过程线，见图1。

3.2.1 水压分量

库水位变化对大坝拱冠部位径向位移影响较小，主要原因为库水位变化不大，在径向位移典型变幅中，水压分量变幅很小^[5]。

3.2.2 温度分量

温度变化是拱冠部位径向位移变化的重要因素。温度升高，坝体向上游变形；温度降低，坝体向下游变形。温度变形的年变幅随高程升高而增大。

3.2.3 时效分量

时效变形是影响大坝径向位移变化的因素。时效位移表现向上游变形，大坝中下部分径向位移中时效分量比重较上部分大。

4 结束语

峡口拱坝拱冠部位径向位移变化的影响因素主要是温度，库水位及时效对拱冠径向位移影响较小。

本文采用的模型精度较高，复相关系数在0.90以上，在没有经过对大坝进行系列分析的前提下，该模型结果可用于峡口拱坝拱冠部位径向位移监控。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家经济贸易委员会，混凝土坝安全监测技术规范：DL/T 5178—2003[S].北京：中国电力出版社，2003.
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会，混凝土坝安全监测资料整编规程：DL/T 5209—2005[S].中国电力出版社2005.
- [3] 李珍照.混凝土坝观测资料分析[M].北京：中国水利电力出版社，1989.
- [4] 李珍照.大坝安全监测[M].北京：中国电力出版社，1997.
- [5] 何金平.大坝安全监测理论与应用[M].北京：中国水利水电出版社，2010.