

某混凝土重力坝前倾现象成因分析

陶 丛 丛, 吴 波, 宋 永 占

(国网电力科学研究院, 江苏 南京 211100)

摘要:西南某水电站混凝土重力坝原型监测资料显示,左岸坝段坝体和坝基上下游向水平位移存在向上游发展的趋势,即出现前倾现象。采用综合过程线对比分析、数学建模分析等多种手段,对大坝各监测项目进行了定性和定量分析,证实这种前倾现象是真实的,且估计为坝前泥沙淤积所致。大坝左岸基岩较为软弱,坝前逐年淤积加大了库底压重,使得上游库盘沉陷,从而呈现出大坝前倾的现象,而坝前淤积对大坝造成的具体影响值还需进一步研究探讨。

关 键 词:混凝土重力坝;大坝前倾;成因分析;坝前淤积

中图法分类号:TV643.2

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.10.021

1 工程概况

某水电站是一座以发电为主,兼具防洪等综合利用效益的水力发电工程。枢纽建筑物主要由拦河坝、坝后式发电厂房及开关站等组成。拦河坝为混凝土重力坝,最大坝高132.0 m,坝顶全长418.0 m,共分19个坝段,其中1~7号坝段为右岸非溢流坝段,8号坝段为冲沙底孔坝段,9~14号坝段为溢流表孔及电站进水口坝段,15号坝段为泄洪底孔坝段,16~19号坝段为左岸非溢流坝段。电站为大(一)型工程,拦河坝按1级建筑物设计。大坝于1988年开始浇筑混凝土,1993年3月27日下闸蓄水,1994年5月到达设计高程,1995年6月30日完工,5台机组全部投产发电。大坝坝址区河道曲折,呈反S形,河谷狭窄(底宽约60 m)。左岸为一单薄的条形山脊,三面临江,岸坡较陡。山坡第四系堆积较薄,因临近澜沧江断裂带,流纹岩体结构碎裂,节理裂隙发育。

2 原型监测布置概况

在1、7、12、17号及19号坝段上布设正倒垂线,在大坝坝顶布置了两条引张线,961 m和908 m高程纵向廊道分别布置一条引张线,监测大坝水平位移,如图1所示。在坝顶、961 m高程观测廊道、908 m高程

观测廊道以及尾水平台进行精密水准测量,以观测坝体垂直位移情况。为监测大坝基础扬压力的变化及分布情况,在3~14号及16号坝段基础的帷幕后主排水幕处布置测压管13根,其中3~5号坝段测压管位于坝轴线后7.4 m处,其它坝段测压管位于坝轴线后10.4 m处。大坝内部布设了较为全面的各类内观监测仪器,主要有应变计、无应力计、应力计、温度计、渗压计、基岩变位计、测缝计、钢筋计、钢板计及土压计等。

3 坝前淤积测量成果及冲沙情况

2012年冲沙前对坝前淤积进行了测量,主要测量内容为坝前1 km、正常蓄水位994 m以下水库淤积高程(见图1)。从坝前淤积测量的成果可以看出,坝前淤积中间高,两边低,呈现出明显的“漏斗状”,反映了2010年的冲沙效果。库底预计高程在905~925 m之间,越靠近坝体,预计高程逐渐降低,两侧的“漏斗状”地形越为明显,坝前淤积最大厚度近50 m。

4 水平位移监测资料分析

4.1 坝基水平位移

左岸17号、19号坝段倒垂线监测成果显示,坝基上下游水平位移在呈典型的年周期性变化的同时,又

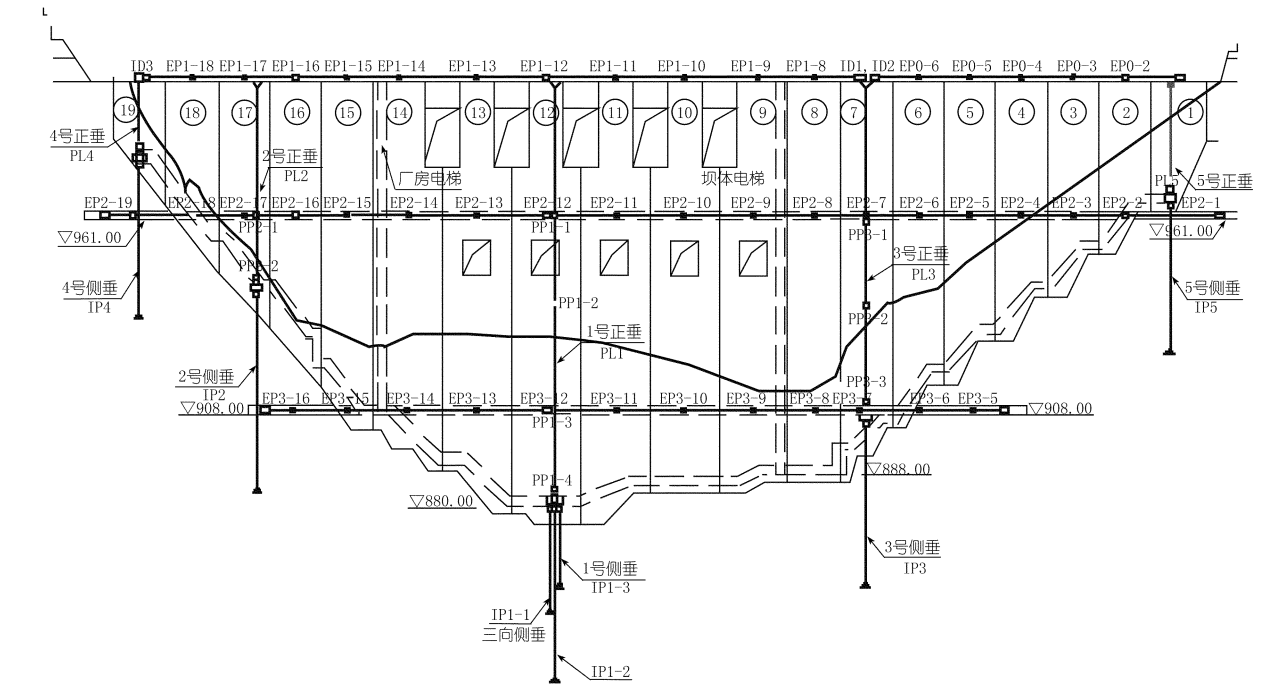


图 1 大坝水平位移监测布置及坝前淤积示意

表现出逐年向上游变形的趋势,2010 年以前基本呈线性增长,2010 年后基本稳定。1999 ~ 2010 年期间,坝基上下游向的最大变形量约为 1.2 mm,典型过程线如图 2 所示。水位和温度均未见趋势性变化,说明坝基向上游的趋势性变化另有原因。河床 12 号坝段以及右岸 1 号,3 号坝段趋势性均不明显。

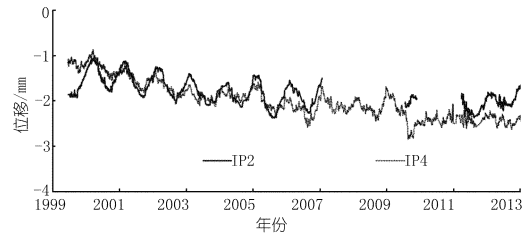


图 2 坝基上下游向水平位移典型过程线

4.2 坝体水平位移

左岸 17 号、19 号坝段正垂线监测成果也呈现出类似的变化趋势,上下游向水平位移在呈典型的年周期性变化的同时,又表现出逐年向上游变形的趋势,2010 年以前基本呈线性增长,2010 年后基本稳定,过程线如图 3 所示。河床坝段和右岸坝段趋势性变化不明显。

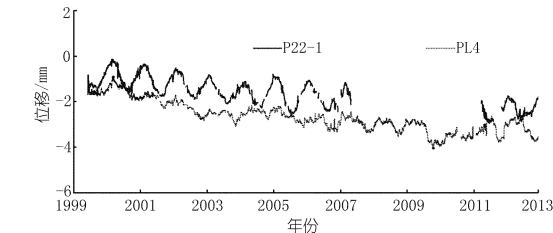


图 3 垂线测点水平位移典型过程线

表 1 统计了 1999 ~ 2010 年间 17、19 号坝段不同高程处的上下游向水平位移变化量。从表中可以看出,不同高程处坝体均在向上游变形,高程越高往上游的变形越大,最大为 3.02 mm。

表 1 17、19 号坝段不同高程处的水平位移量

| 坝段编号 | 高程/m | 位移量/mm |
|--------|------|--------|
| 17 号坝段 | 1002 | -3.02 |
| | 961 | -0.74 |
| | 930 | -0.38 |
| 19 号坝段 | 1002 | -1.89 |
| | 980 | -1.20 |

注:“+”表示向下游变形,“-”表示向上游变形。

961 m 高程的引张线测点基点设于两岸山体,完全独立于垂线系统。左岸坝段引张线测点的监测成果也显示出与垂线类似的变化趋势,如图 4 所示。

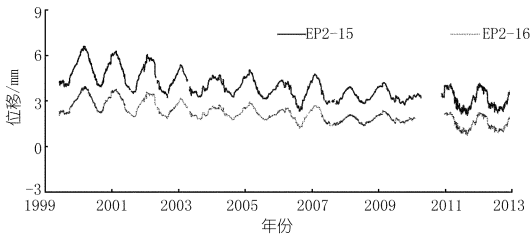


图 4 引张线测点水平位移典型过程线

PP2 - 1 和 EP2 - 17 测点均位于 17 号坝段的 961 m 高程上,其水平位移过程线如图 5 所示。由过程线对比图可以看出,虽然两者测值、变幅略有差异,但变化规律和趋势基本是一致的。分析认为,测值差异是因为两者的起测时间不同所致;而变幅差异是因为 961 m 高程引张线的基点位于 40 m 深的平硐内,垂线

基点位于 42.5 m 深的坝基内,两基点的稳定性尚不能认为完全一致。由此可见,垂线系统和引张线系统相互印证,共同证明该重力坝前倾现象是真实存在的。

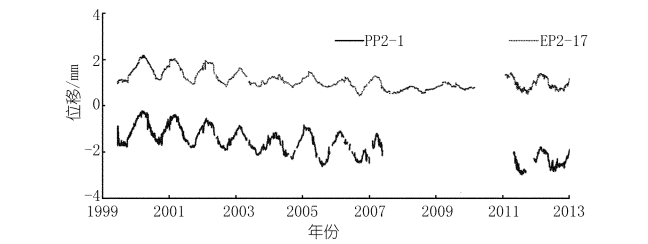


图 5 垂线测点、引张线测点水平位移对比过程线

5 建模分析

通过建立统计模型对左岸坝段垂线测点和引张线测点的观测资料进行分析,回归分析成果列于表 2。由建模分析成果可知,各模型的复相关系数 R 为 0.801 ~ 0.957,相对精度为 0.1355 ~ 0.4761,说明模型分析结果可靠性较高。

从表 2 中可以看出,水压和温度对基岩变形的影响都较小,时效分量约占 51.99% ~ 84.89%,占主导地位。尚需指出,由于各类因子间并非完全相互独立,各类因子分量间存在相互替代的可能性。因子间相互关系越密切,相互替代的可能性就越大。经计算,水压因子与温度因子间的简单相关系数常达到 $-0.6 \sim -0.7$,因此水压分量与温度分量间有部分相互替代的可能性。而时效因子无论与水压因子或温度因子间的简单相关系数均小于 0.1,故分解出的时效分量是比较准确的。

表 2 建模分析成果

| 测点 | 复相 关系数 | 剩余 标准差 | 水压分量/ % | 温度分量/ % | 时效分量/ % |
|--------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| IP2 | 0.804 | 0.1747 | 40.02 | 7.99 | 51.99 |
| IP4 | 0.957 | 0.1442 | 10.85 | 4.26 | 84.89 |
| PP2-1 | 0.885 | 0.2865 | 29.28 | 14.66 | 56.06 |
| PP2-2 | 0.801 | 0.1775 | 41.54 | 5.78 | 52.68 |
| PL4 | 0.934 | 0.2821 | 7.74 | 10.34 | 81.92 |
| EP2-15 | 0.888 | 0.4761 | 27.66 | 15.39 | 56.95 |
| EP2-16 | 0.868 | 0.3722 | 25.85 | 14.01 | 60.14 |
| EP2-17 | 0.804 | 0.2241 | 28.98 | 15.79 | 55.23 |
| EP2-18 | 0.837 | 0.1355 | 18.36 | 8.64 | 73 |

图 6 为典型模型分析过程,从中可以看出,水压分量和温度分量均呈稳定的年周期变化,时效分量呈现向上游发展的趋势,说明大坝前倾现象主要是时效位移引起的。

时效位移包括坝体混凝土和岩基的徐变以及坝基的裂隙、节理和其他软弱构造等在荷载作用下发生的压缩和塑性变形^[1],除此之外还包含泥沙对位移的影

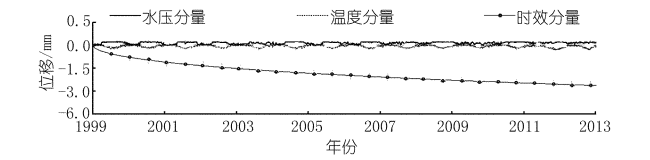


图 6 典型模型分析过程

响。泥沙对位移的影响十分复杂,为了简化计算,通常由时效因子来体现^[1]。一般情况下,时效位移在蓄水初期(或坝体灌浆加固等措施的一两年内)变化急剧,而后随着时间的推移而逐渐稳定^[1]。该重力坝运行十几年期间一直存在位移趋势性变化,2010 年后才趋于稳定,因此,推测时效位移的趋势性是由泥沙淤积造成的。

6 前倾现象成因分析

通过对监测资料的对比分析,不难发现 2010 年是个分界线。2010 年以前左岸坝段坝基、坝体均呈趋势性前倾现象,2010 年后各趋势性变化均趋于稳定。

由此联想到 2010 年 8 月之前水电站未冲过沙,2010 年之后开始每隔 2 a 冲一次沙。坝前淤积对坝基、坝体上下游向水平位移有一定影响,泥沙的湿容重约为 $17.5 \sim 22.0 \text{ kN/m}^3$,远大于水的容重,坝前逐年淤积加大了库底压重,使得上游库盘沉陷,从而左岸坝基、坝体出现向上游变形的趋势。2010 年后每 2 a 冲沙一次,库底压重基本稳定在某一范围,所以坝基水平位移也基本稳定下来。河床坝段和右岸坝段上下游水平位移较为稳定,推测河床坝段和右岸坝段的基础较为稳固,坝前淤积对其影响较小。

通过定性分析和定量分析可知,坝前淤积确实对混凝土坝有一定影响,尤其对于地基条件较差的部位,会造成坝体前倾的现象。据调查,国内黄河沿线多个梯级电站均因泥沙淤积,使坝体前倾 10 mm 左右。

7 结论

该混凝土重力坝左岸坝段前倾现象是真实的,坝前逐年淤积加大了库底压重,使得较为软弱的左岸基础出现不均匀沉陷,导致大坝前倾。但从目前大坝变形的发展趋势还看不出对大坝安全有何危害。且在目前每隔 2 a 冲沙一次的情况下,大坝的趋势性变化已趋于稳定。但坝前淤积仍应引起重视,对此有必要做进一步的研究。

参考文献:

[1] 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:河海大学出版社,2006.

(编辑:胡旭东)

Cause analysis of lean – forward phenomenon of a concrete gravity dam

TAO Congcong, WU Bo, SONG Yongzhan

(State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 211100, China)

Abstract: The prototype monitoring data of a concrete gravity dam in Southeast China shows that the dam body and dam foundation at the left bank is leaning toward the upstream direction. The qualitative and quantitative analysis results by using different analytical methods such as comprehensive process line contrast and mathematical modelling demonstrate that the leaning phenomenon is real and the underlying cause is the sedimentation in front of dam. The bedrock of dam foundation at left bank is weak, and the sedimentation year by year in the front of the dam weights the bottom of reservoir, causing the sink of the upstream reservoir base. The sedimentation phenomenon should be focused, and the effect of the sedimentation on the dam deserves further study.

Key words: concrete gravity dam; lean – forward phenomenon of dam; cause analysis; sedimentation in front of dam

(上接第 73 页)

Study on rainfall isoline mapping by using VFP and CASS

ZHAO Deyou¹, XIE Yunshan²

(1. Jiangsu Hydrology Water Resources and Surveying Bureau, Nanjing 210029, China; 2. Jiangsu Hydrology Water Resources and Surveying Bureau Zhenjiang Sub – bureau, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: In order to timely and accurately understand the spatial and temporal distribution and rainfall intensity in a region to meet the demand of practical work, the rainfall isoline should be mapped by computer technology with the rainfall data of relevant rainfall station in the region. Under the CAD environment, the coordinate and rainfall data file of the stations in special region can be generated by VFP database programming language, then, with the rainfall isoline generated by CASS graph software and relevant base map, the regional rainfall isoline can be generated. In the combination of the practical condition of Zhenjiang City, Jiangsu Province, this paper gives a detail introduction to this technology. The practical application shows the generated rainfall isoline map is satisfactory with good universality.

Key words: VFP; CASS; remote sensing rainfall; isoline; computer technology

(上接第 76 页)

参考文献:

- [1] 郑静, 严富海, 陈东平. 堰塞湖水文应急预报常用方法及实践[J]. 人民长江, 2013, 44(11): 27 – 30.

- [2] 段唯鑫, 沈游英. 舟曲堰塞湖水文气象预报应急保障实践[J]. 人民长江, 2011, 42(S): 48 – 50.

(编辑: 李慧)

Study on joint regulation of reservoirs in danger – removal and treatment of dammed lake

WANG Shaozhi, SHU Yuanhua, LANG Xueyou

(Zhaotong Branch, Hydrological and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Zhaotong 657000, China)

Abstract: 6.5 magnitude Ludian earthquake struck Ludian County, Yunnan Province on 3 August in 2014 and generated a large scaled dammed lake on the mainstream of Niulan River, bringing along difficulties for the emergency danger – removal and treatment. On the basis of the measured data of multiple hydrological stations on stem Niulanjiang River, a joint regulation scheme containing 4 reservoirs was conducted. The flood control pressure of the dammed lake was mitigated by using upstream Deze Reservoir to retain the flood and reduce the peak. The strict regulation on Xiaoyantou Hydropower Station is to make the incoming discharge equal to the releasing discharge under special water regime. Tianhuaban Hydropower Station and Huangjiaoshu Hydropower Station in downstream were emptied to ensure their flood storage function in dam break situation. After 6 times of joint regulation and the following up treatment for 3 months, the flood control pressure was reduced effectively and the safety of downstream area was guaranteed.

Key words: reservoir regulation; dammed lake; danger – removal treatment; Niulan River; Yunnan Province