

某航电枢纽大坝测压管渗流监测与分析

程浩¹, 张忠举², 李立贡¹, 陈静¹

(1. 南京理工大学, 江苏 南京 210094; 2. 水利部水文水资源监控工程研究中心, 江苏 南京 210012)

摘要: 水工建筑物大坝由于长期处于涉水环境中, 受到高水头作用, 掌握其结构内部的渗流状态尤为重要。工程上多采用测压管或渗压计来进行坝体结构的渗透压力监测。本文以某航电枢纽大坝渗流监测为工程实例, 介绍了测压管的工作原理、安装埋设及监测方案, 通过对测压管水位变化规律、测值特征值及扬压力折减系数等的分析, 判断监测工程部位的渗流状态。通过对监测资料的整理及分析, 闸坝底板和帷幕灌浆的防渗效果良好, 并对相关工程具有一定的参考价值及实际意义。

关键词: 大坝; 测压管; 渗流状态; 监测分析

中图分类号: TV39 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 01-0068-05

Seepage monitoring and analysis of the piezometric tube of a navigation power junction dam

CHENG Hao¹, ZHANG Zhongju², LI Ligong¹, CHEN Jing¹

(1. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, Jiangsu;

2. Water Resources Monitoring and Control Engineering Research Center of MWR, Nanjing 210012, Jiangsu)

Abstract: Due to the wading environment for a long period, the hydraulic buildings are under high water head. It is very important to master the internal structure of the seepage state. The seepage pressure monitoring of the dam is carried out by using the piezometric tube or the seepage pressure gauge in the engineering. In this paper, a navigation and hydropower dam seepage monitoring is taken as an example, the working principle, installation and monitoring program of the piezometric tube is introduced. The seepage state is judged by analyzing the water level change law, measured value and uplift pressure reduction coefficient of the piezometric tube. Through the collation and analysis of the monitoring data, the seepage control has good effect. References are provided for related project.

Key words: dam; piezometric tube; seepage condition; monitoring and analysis

0 引言

某航电枢纽位于嘉陵江中游河段四川蓬安县某镇境内, 距蓬安县城 31 km, 系低水头河床式水电站, 是一个航电结合的综合利用工程。水库正常蓄

水位 310.00 m, 水库总库容 14530 万 m³, 具有日调节性能。电站总装机容量 150mW (4×37.5mW), 保证出力 4.29 万 kW, 年发电量 71022 万 kW·h, 装机利用时数 4735 h, 有效电量 63565 万 kW·h。最大水头 16.8 m, 引用流量 1148 m³/s。船闸按 IV 级建筑物设

收稿日期: 2016-08-19

作者简介: 程浩 (1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事水工建筑物安全监测方向研究。

计,其有效尺度为 $120\times 16\times 3$ m(闸室长度 \times 闸室宽度 \times 吃水深度),设计通航船队为 2×500 t。

为了解闸坝底板和帷幕灌浆防渗效果,在监测纵剖面(坝0+005.00)和泄洪闸坝段监测横剖面(闸0+389.10、闸0+325.90、闸0+262.70、闸0+199.50)、冲沙闸坝段监测横剖面(闸0+136.30)及左岸挡水坝段监测横剖面(闸0+098.00)共布设有26支测压管观测孔(编号为UP0~UP25),进行工程部位的渗流监测。

1 测压管监测设计与实施

1.1 测压管特点与组成

测压管是渗流监测中常用的一种孔隙水压力仪器,其靠管中的水柱高度来表示渗透压力的大小。在水工建筑物原位观测中,测压管常用于监测地下水位、堤坝浸润线、坝基扬压力、绕闸坝渗流等。

测压管具有结构简单、技术性要求低,便于制造与安装、成本低廉等优点,在水工建筑物渗流监测中应用广泛。

测压管由导管和透水管组成。

a) 测压管的导管段应顺直,内壁光滑无阻。两端接头处宜用外丝扣,用外箍接头相连。导管长度视管材和埋设方式而定。管口应高于地面,并加保护装置,防止雨水进入和人为破坏。

b) 测压管的透水段指具有透水孔的管体部分,可用导管管材加工制作,面积开孔率约10%~20%。孔眼形状不限,但须排列均匀和内壁无毛刺。透水段顶端与导管牢固相连。透水段外部用以防止周围土体颗粒进入的无纺土工织物包扎,透水段与孔壁之间用反滤材料填满。

1.2 测压管安装工艺

(1) 造孔

a) 测压管、地下水长期观测孔测管造孔在坝体填筑前,及坝基、周围灌浆完成后才能进行测压管埋设。

b) 孔位应按照详细设计阶段观测仪器埋设图中的桩号进行放点定位,要求平面点位误差小于 ± 5 cm。

c) 采用地质钻机进行钻孔,终孔孔径不小于 $\Phi 90$,为垂直孔,孔壁完整光滑,倾斜度不得超过每60 m偏差1.5 m,孔深误差小于 ± 20 cm,要求作地质素描图,钻孔深度以穿过地下水位线以下5 m左右为准。

(2) 测压管、地下水长期观测孔测管

a) 测压管、地下水长期观测孔测管使用PVC管,内径 $\Phi 50$ mm。把PVC管放入孔内,在管壁与孔壁之间先填入直径为10~20 mm砾石,直至距孔口1 m处,而后填入50 cm细砂,余下的50 cm孔段全部用水泥砂浆灌满。

b) 花管段透水孔孔径 $\Phi 5$ mm,间距5 cm左右,按梅花形分布。

c) 在花管段外包2层土工布,并用铅丝扎紧,作为保护装置。

d) 花管段和沉淀管段,按设计要求加工好,再进行埋设,并在管顶加盖保护,防止异物掉入管内,导管顶部应伸出坝面以上不少于30 cm。

(3) 测压管安装

a) 对钻孔深度、孔底高程、孔内水位、有无塌孔以及测压管加工质量、各管段长度、接头、管帽情况等进行全面检查并做好记录。

b) 坝基测压孔应在孔底填约20 cm厚的反滤料,下测压管。下管过程中,必须连接严密,吊系牢固,保持管身顺直,并在管外回填反滤料,反滤料至花管段以上20 cm,其上用膨润土封闭至坝基面。其位于坝体部分的导管,周围30 cm范围回填细砂或土,其外再填筑坝体料。

c) 用于监测坝体浸润线高程的坝体测压管,周围有仪器时在仪器挖坑埋设时一同埋设,无仪器时随坝体填筑埋设,其管底20 cm及进水段管周围30 cm范围回填中反滤料,进水段之上导管周围30 cm范围内回填细砂或土。

4) 测压管周围1.2 m范围内用人工填筑密实。

5) 测压管就位后,立即测量管底高程和管水位,记录进水段长度。从孔底至反滤料顶面的孔段长度,为测压管进水段,也是该测压管的实际监测范围,故应在埋设中严格遵守设计意图,精确测量并记录存档。

6) 反滤料应能防止细颗粒进入测压管,同时又具有足够的透水性,可用细砂到粗砂的混合料。回填前需洗净、风干、缓慢入孔。

(4) 灵敏度检验

测压管安装、封孔完毕后应进行灵敏度检验。检验方法采用注水试验,一般应在库水位稳定期进行。试验前先测定管中水位,然后向管内注清水。若进水段周围为壤土料,注水量相当于每米测压管容积的3~5倍;若为砂粒料,则为5~10倍。注入后不断观测水位,直至恢复到或接近注水前的

水位。对于粘壤土，注水水位在五昼夜内降至原水位为灵敏度合格；对于砂壤土，一昼夜降至原水位为灵敏度合格；对于砂砾土，1~2h降至原水位或注水后水位升高不到3~5m为合格；其他情况参照相关要求做灵敏度试验。

(5) 管口保护

管口保护装置，采用现浇混凝土(砖石砌筑)及孔口保护管，要求结构简单、牢固，能防止雨水流入和人畜破坏，并能锁闭且开启方便。

2 监测数据分析

选取6根测压管UP1、UP5、UP9、UP13、UP17、UP21的监测资料进行分析，各测点资料系列均截止到2013年6月24日。测压管测值-时间变化曲线图，见图1~图6。

2.1 变化规律分析

由图3~8可以看出：

(1) 一般而言，测压管水位主要受上游库水位变化的影响，库水位升高，管水位升高；反之，库水位下降，则管水位也相应下降。

(2) 库水位变化对测压管水位的影响具有一定的滞后效应，即测压管水位的变化滞后于库水位变化；当测孔越靠近下游时，测孔水位滞后库水位变化的时间越长。

(3) 下游水位变化对靠近下游的测压管水位也有一定的影响，下游水位升高，测孔水位上升；下游水位下降，测孔水位下降。

(4) 降雨对测压管水位也有一定的影响，并具有一定的滞后效应。一般当降雨过多，测压管水位上升；当降雨过少，测压管水位下降。某航电枢纽

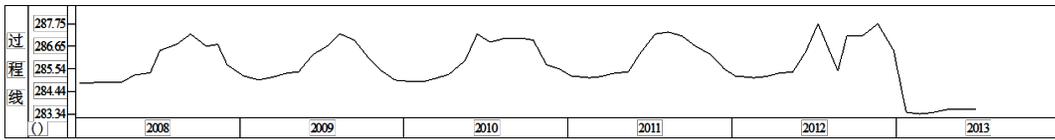


图1 测压管UP1测值-时间变化曲线(单位:m)

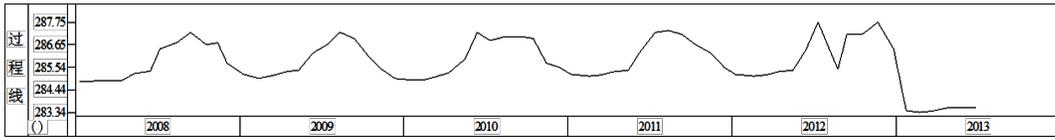


图2 测压管UP5测值-时间变化曲线(单位:m)

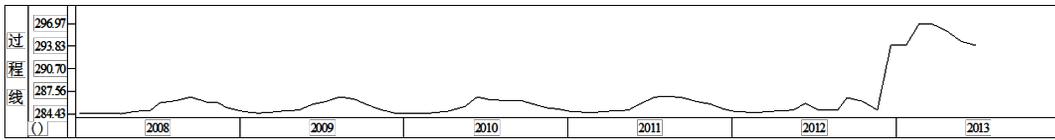


图3 测压管UP9测值-时间变化曲线(单位:m)

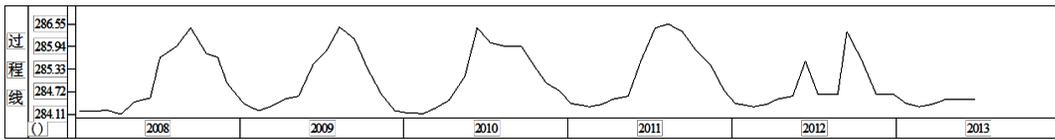


图4 测压管UP13测值-时间变化曲线(单位:m)

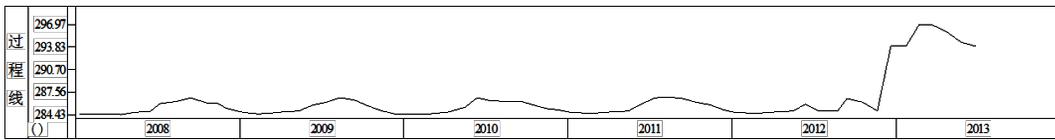


图5 测压管UP17测值-时间变化曲线(单位:m)

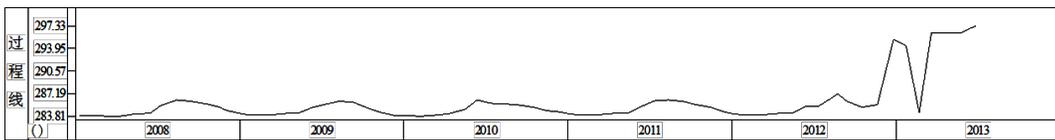


图6 测压管UP21测值-时间变化曲线(单位:m)

所在地夏季降雨多余冬季, 故各测压管水位呈一定的年周期变化, 夏季降雨过多, 测压管水位出现了明显的上升过程; 冬季降雨过少, 测压管水位也出现了明显的下降过程。

(5) 测压管 UP1、UP5、UP13 测值在 2012 年与之前存在略微差异, 但仍呈年周期变化, 在 2013 年变小并趋于平稳。

(6) 测压管 UP9、UP17 测值在 2012 年与之前存在略微差异, 但仍呈年周期变化, 在 2013 年变大并有继续增长趋势, 建议加强监测和分析。

在 2012 年 7 月~2013 年 6 月, 测压管 UP1、UP5、UP13 测值在 2012 年继续呈年周期变化, 在 2013 年变小并趋于平稳。其他各测压管均发生了不同程度的突变, 且测值不再稳定, 基本脱离了各测压管前期的变化规律, 建议加强监测和分析。

2.2 特征值分析

大坝测压管测值的特征值(包括年最大值、最小值、年变幅和年均值)见表 1 和表 2。

为 283.04 m(2010 年 2 月 13 日)。2012 年 7 月~2013 年 6 月: 测压管 UP13 的最大值在各测点中最大, 其值为 298.29 m(2013 年 6 月 24 日), 大于该测压管历史最大值, 建议加强监测和分析; 各测点中最小值最小为 283.34 m, 出现在 UP1(2013 年 2 月 19 日)。

(2) 测压管测孔水位年变幅分析

在 2012 年 7 月之前: 各测点最大年变幅在 1.92 m ~ 2.42 m 之间变化, 其中测压管 UP13、UP17 最大年变幅最大, 其值为 2.42 m, 均发生在 2008 年; 各测点最小年变幅在 1.65 m ~ 2.24 m 之间变化, 其中测压管 UP21 最小年变幅最小, 其值为 1.65 m, 发生在 2009 年。

在 2012 年 7 月~2013 年 6 月: 各测点年变幅在 2.00 m ~ 13.00 m 之间变化, 其中测压管 UP13、UP17 年变幅最大, 其值为 13.00 m, 大于相应测压管历史最大年变幅, 建议加强监测和分析; 测压管 UP21 年变幅最小, 其值为 2.00 m。

(3) 测压管测孔水位年均值分析

表 1 大坝测压管特征值统计表(2008 年 1 月~2012 年 6 月)

| 测点 | 最大值(m) | 日期 | 最小值(m) | 日期 | 最大年变幅(m) | 年份 | 最小年变幅(m) | 年份 | 最大年均值(m) | 年份 | 最小年均值(m) | 年份 |
|------|--------|-----------|--------|-----------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
| UP1 | 287.35 | 2011/8/11 | 284.85 | 2008/1/11 | 2.40 | 2008 | 2.24 | 2011 | 286.06 | 2011 | 285.81 | 2008 |
| UP5 | 287.03 | 2011/8/11 | 284.59 | 2008/4/11 | 2.34 | 2008 | 2.24 | 2011 | 285.74 | 2011 | 285.48 | 2008 |
| UP9 | 286.71 | 2011/8/11 | 284.27 | 2008/4/11 | 2.34 | 2008 | 2.24 | 2011 | 285.42 | 2011 | 285.17 | 2008 |
| UP13 | 286.39 | 2011/8/11 | 283.97 | 2010/2/13 | 2.42 | 2008 | 2.15 | 2009 | 285.10 | 2011 | 284.86 | 2009 |
| UP17 | 286.08 | 2011/8/11 | 283.66 | 2010/2/13 | 2.42 | 2008 | 2.15 | 2009 | 284.79 | 2011 | 284.55 | 2009 |
| UP21 | 285.06 | 2011/9/11 | 283.04 | 2010/2/13 | 1.92 | 2010 | 1.65 | 2009 | 284.14 | 2011 | 283.81 | 2009 |

表 2 大坝测压管特征值统计表(2012 年 7 月~2013 年 6 月)

| 测点 | 最大值(m) | 日期 | 最小值(m) | 日期 | 年变幅(m) | 年均值 |
|------|--------|------------|--------|-----------|--------|--------|
| UP1 | 287.75 | 2012/7/9 | 283.34 | 2013/2/19 | 4.41 | 285.21 |
| UP5 | 286.83 | 2012/9/11 | 284.79 | 2013/2/19 | 2.04 | 285.27 |
| UP9 | 286.51 | 2012/9/11 | 284.47 | 2013/2/19 | 2.04 | 284.96 |
| UP13 | 298.29 | 2013/6/24 | 285.49 | 2012/8/22 | 12.80 | 292.82 |
| UP17 | 297.18 | 2012/8/22 | 284.18 | 2012/7/9 | 13.00 | 293.39 |
| UP21 | 285.56 | 2012/12/24 | 283.56 | 2012/7/9 | 2.00 | 284.56 |

通过特征值可见:

(1) 测压管测孔水位极值分析

在 2012 年 7 月之前: 测压管 UP1 的最大值在各测点中最大, 其值为 287.35 m(2011 年 8 月 11 日); 测压管 UP21 的最小值在各测点中最小, 其值

在 2012 年 7 月之前: 各测点最大年均值在 284.14 m ~ 286.06 m 之间变化, 其中测压管 UP1 最大年均值最大, 其值为 286.06 m, 发生在 2011 年; 各测点最小年均值在 283.81 m ~ 285.81 m 之间变化, 其中测压管 UP21 最小年均值最小, 其值

为 283.81 m, 发生在 2009 年。

在 2012 年 7 月~2013 年 6 月: 各测点年均值在 283.69 ~ 293.39 m 之间变化, 其中测压管 UP17 年均值最大, 其值为 293.39 m, 稍大于该测压管历史最大年均值; 测压管 UP21 年均值最小, 其值为 284.56 m。

综上所述, 在 2012 年 7 月~2013 年 6 月, 测压管 UP13、UP17 测值的特征值都超出前期监测序列的最大值、年变幅和年均值, 建议对其进行重点监测和分析。其余测压管水位测值基本均在前期监测序列的极值、年变幅和年均值之间, 未超出各测压管前期的监测范围。

2.3 扬压力折减系数分析

根据《混凝土坝安全监测规范》DL/T5178-2003, 结合本工程具体情况, 由于该电站为日调节水库, 上游水位基本均在正常蓄水位 310.00 m 上下浮动, 且当前上下游水位只有 2012 年度的数据, 故此处仅对 2012 年度(即 2012 年 7 月~2013 年 6 月)各测压管的扬压力折减系数进行计算并绘制扬压力折减系数分布图, 见图 7。

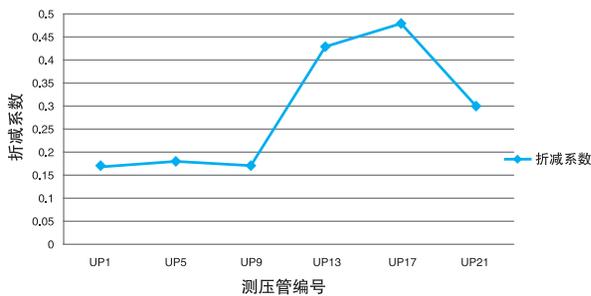


图 7 各测压管的扬压力折减系数分布图

在 2012 年 7 月~2013 年 6 月, 测压管 UP13、UP17、UP21 的扬压力折减系数偏大, 可能由于坝基内断层破碎带影响, 或该部位坝基防渗帷幕存在潜在渗流通道, 应加强监测并结合工程具体情况及仪器埋设位置深入分析, 必要时采取工程措施。测

压管 UP1、UP5、UP9 的扬压力折减系数均小于 0.25, 说明该部位防渗帷幕效果较好。

3 结论

(1) 从测压管监测数据曲线分析得出, 测压管水位主要受上游库水位变化、下游库水位变化及降雨的影响, 同时库水位的变化及降雨对测压管水位影响表现出一定滞后作用。

(2) 测压管的测值在 2012 年前均呈年周期变化, 在 2013 年有部分测压管测值呈现明显变化趋势, 应加强监测。测压管 UP13、UP17 测值的特征值都超出前期监测序列的最大值、年变幅和年均值, 建议对其进行重点监测和分析。其余测压管水位测值基本均在前期监测序列的极值、年变幅和年均值之间, 未超出各测压管前期的监测范围。

(3) 测压管 UP13、UP17、UP21 的扬压力折减系数偏大, 应加强监测并结合工程具体情况及仪器埋设位置深入分析, 必要时采取工程措施。测压管 UP1、UP5、UP9 的扬压力折减系数均小于 0.25, 说明该部位防渗帷幕效果较好。

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3版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [2] 严良平, 顾冲时, 卢兆辉. DELPHI 在大坝安全监测信息系统开发中的应用[J]. 大坝与安全, 2004, 05: 57-59+62.
- [3] 王建, 郑东健. 大坝安全监测系统中传感器信息的动态管理[J]. 水电自动化与大坝监测, 2003, 06: 41-44+47.
- [4] 张雪芹. 某大坝右岸坝肩测压管水位监测资料分析[J]. 大坝与安全, 2011, 01: 42-47.
- [5] 王林生, 曹建生, 王凤燕, 毕新熙. 大坝测压管水位监测系统的设计[J]. 人民黄河, 2013, 07: 101-102.
- [6] DL/T5178-2003, 混凝土坝安全监测规范[S].

(责任编辑: 华智睿)