

文章编号: 1672-3031(2007)02-0149-05

坝基深风化槽安全监测技术应用及成果分析

熊成林, 王万顺, 田冬成, 孙建会

(中国水利水电科学研究院 工程安全监测中心, 北京 100044)

摘要: 株洲航电枢纽闸坝基础经勘探发现有多处溶蚀风化深槽, 这些风化深槽的存在破坏了坝基岩体的完整性, 影响闸坝的稳定。设计部门对坝基深风化槽提出了处理方案, 经计算和分析, 处理方案在理论上是可行的。为验证深风化槽的工程处理效果和满足蓄水后安全运行监测需要, 应用监测传感器对风化槽重点部位进行渗压、变形、应力应变等监测。本文介绍了深风化槽主要监测项目和监测仪器布设方案, 通过整编分析观测数据, 说明监测仪器能真实反映所监测部位的受力变形特点, 起到工程安全监测和验证设计的效果, 为株洲航电枢纽工程安全运行管理奠定了良好的基础。

关键词: 株洲航电枢纽; 坝基风化槽; 安全监测; 成果分析

中图分类号: TV698.1

文献标识码: A

1 工程概述

株洲航电枢纽工程位于株洲县湘江干流空洲岛, 枢纽属二等大(2)型工程, 主要建筑物为 3 级。洪水标准采用 50 年一遇设计, 500 年一遇校核。枢纽正常蓄水位 40.5m, 相应库容 4.743 亿 m^3 。闸坝坝顶高程 51.0m, 建基面高程 20.0m, 闸底板高程 26.0m, 堰顶高程 28.5m, 坝顶公路桥宽 12.0m, 坝顶总长 1180m。枢纽主要建筑物有船闸、泄水闸、发电厂房、空洲副坝等。枢纽主要建筑物从左至右依次为厂房、一期 11 孔泄水闸坝、空洲岛副坝、二期 13 孔泄水闸坝、船闸。二期闸坝地基岩石为砾岩、泥质粉砂岩与红砂砾岩。坝区地下水主要由第四系松散层孔隙水和基岩裂隙水组成, 均受大气降水补给, 地下水位埋深 5~11m。

2 处理措施及监测项目

二期闸坝基础存在的主要工程地质问题是溶蚀风化深槽, 槽内全风化土体结构松散, 力学强度低, 抗滑、抗变形及抗渗性能差, 直接影响建筑物的稳定与安全。受构造切割等因素影响, 二期闸坝基础形成了 1[#]、3[#]、7[#] 及 8[#] 溶蚀风化深槽(因基岩含大量灰质砾石及钙质胶结物, 存在溶蚀问题), 其中 7[#] 风化槽规模最大。7[#] 风化槽位于 12[#]~16[#] 闸墩基础下游及下游护坦和消力池范围内, 为横河向, 长度 60m, 宽 2~20m, 最深处深度约 30m。处理方案采用桩基+钢筋混凝土承台+上游岩体灌浆的综合处理方案, 即建基面以下至高程 11.0~13.0m 为桩基承台混凝土, 高程 11.0~13.0m 以下布置 2m 人工挖孔灌注桩, 桩身伸入完整新鲜岩石 0.5~1.0m, 上游增加一排灌浆帷幕^[1]。

风化槽的安全监测项目主要是渗流渗压、应力应变、深部位移, 监测仪器主要布设在 14[#]~16[#] 坝段的基础风化槽内, 即较大的 7[#] 风化槽。监测仪器均选用进口弦式仪器, 性能相对稳定, 仪器精度满足设计要求。

在 14[#] 坝段基础风化槽内埋设有 6 支渗压计, 监测渗流渗压。在建基面上布置有 4 支渗压计(P_{14}^1 、 P_{14}^2 、 P_{14}^3 、 P_{14}^4), 其中在基础垫层下面布置有 1 支渗压计(P_{14}^4), 在风化槽与基岩交界处布置有 1 支渗压计

收稿日期: 2007-04-17

作者简介: 熊成林(1974-), 男, 江西抚州人, 工程师, 主要从事工程安全监测技术应用及研究。E-mail: xiongcl@iwhr.com

(P_{14}^6)。

应力应变监测和深部位移监测主要任务是监测风化槽工程处理措施是否有效, 监测仪器的埋设位置及数量见表 1。

表 1 监测仪器布置

仪器名称	数量	工程部位	仪器布置
渗压计	6	14 [#] 坝段	4 支布设于建基面上, 其中 P_{14}^1 布置在帷幕前, 1 支布设于基础垫层
基岩变位计	3	14 [#] 坝段	2 支布设于建基面上, 1 支布设于人工挖孔桩底部
	1	15 [#] 坝段	布设于人工挖孔桩底部
土压力盒	1	14 [#] 坝段	布设于基础垫层下方
	2	16 [#] 坝段	分别布设于 2 个断面的基础垫层下
混凝土压力盒	4	14 [#] 坝段	3 支布设于人工挖孔桩底部, 1 支布设于基岩与混凝土交接斜面上
	1	16 [#] 坝段	布设于人工挖孔桩底部
多点位移计	1	14 [#] 坝段	布设于排水孔后
测缝计	2	16 [#] 坝段	布设于不同断面的混凝土与基岩斜交面上
位错计	1	16 [#] 坝段	布设于不同断面的混凝土与基岩斜交面上
单向应变计	3	14 [#] 坝段	布设于人工挖孔桩内
	1	16 [#] 坝段	布设于人工挖孔桩内
无应力计	3	14 [#] 坝段	布设于人工挖孔桩内
	1	16 [#] 坝段	布设于人工挖孔桩内

3 监测成果分析

3 1 渗流渗压监测 图 1 为 14[#] 坝段风化槽水压力过程线。从图 1 可以看出, 通过渗压计测得的水压力反映出渗透水大范围存在, 说明风化槽基础岩石裂隙比较发育。 P_{14}^1 和 P_{14}^2 分别在帷幕上、下游埋设, 2006 年 10 月二期闸坝破堰蓄水后, 帷幕前的 P_{14}^1 水压力明显高于帷幕后的 P_{14}^2 水压力, 说明帷幕处理效果良好。 P_{14}^4 埋设在垫层下面风化岩石(土)里, 埋设高程最低, 破堰蓄水后测得的水压力与 P_{14}^2 变化趋势基本一致, 反映出帷幕后风化槽基础岩石裂隙比较发育, 在水头压差作用下具有渗流通道。图 1 所显示的较高的水压力突变点, 与 2006 年 7 月湘江流域出现一次强降雨过程有关, 当时湘江水位壅高, 渗压计测得的水压力也相应增大, 说明渗压计具有较高的测量精度和灵敏度。

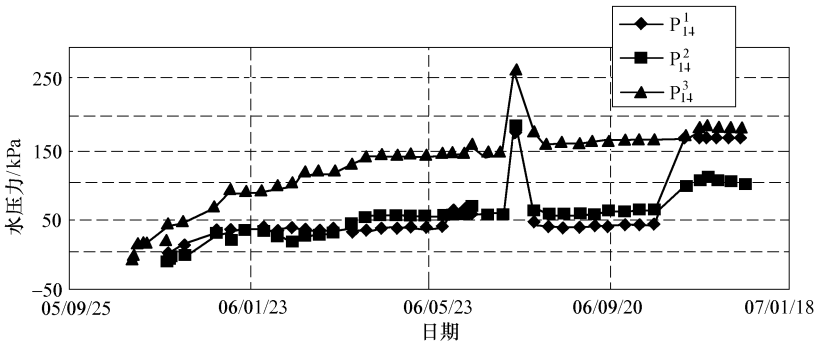


图 1 风位槽 14[#] 闸坝水压为过程线

3 2 内部变形监测

3 2 1 基岩变位计 图 2 为风化槽内埋设的 4 支基岩变位计位移变化过程线。14[#] 闸坝建基面部位的 M_{14}^2 位移变化说明, 该部位的基础表现为较明显的相对下沉, 相对下沉量为 0.98mm。埋设在人工挖孔桩底部的 M_{14}^3 、 M_{15}^1 位移变化说明, 仪器埋设部位相对下沉量小, 相对下沉量在 0.2mm 左右, 在 M_{14}^1 仪器埋设部位有微小的抬升。监测数据真实反映出风化槽经处理后, 在仪器上部混凝土自重作用下风化岩石变形较小且逐渐趋于稳定。

3 2 2 测缝计和位错计 埋设在风化槽 16[#] 闸坝部位的 3 支测缝计用以监测风化槽上、下游岩体与混

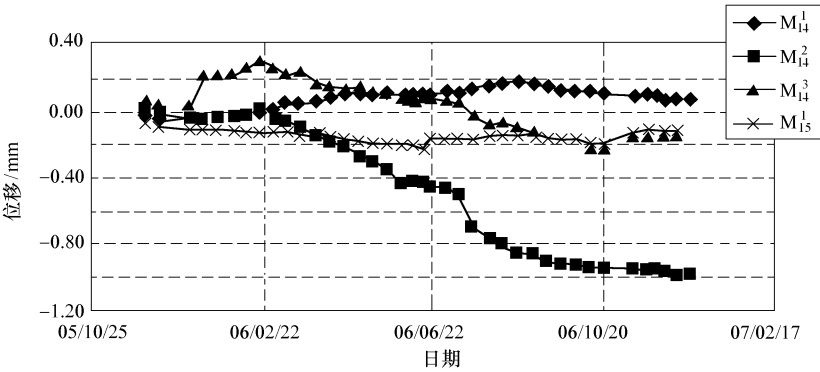


图2 风化槽基岩变位计过程线

凝土之间的缝开合和位错情况。其中 J_{16}^1 、 J_{16}^2 监测 16[#] 闸坝风化槽上、下游倒悬体岩石与混凝土间的开合度。从图 3 可以看出, 开合度有张开有闭合, 最大张开度为 0.21mm, 最大闭合为 0.31mm, 开合度与环境温度及混凝土沉降变形有关; J_{16}^3 监测混凝土塞下游面与基岩之间的位错, 呈现闭合状态, 变化不大。2006 年 10 月二期闸坝破堰蓄水后, 3 支测缝计测得的开合度变化均趋于稳定。

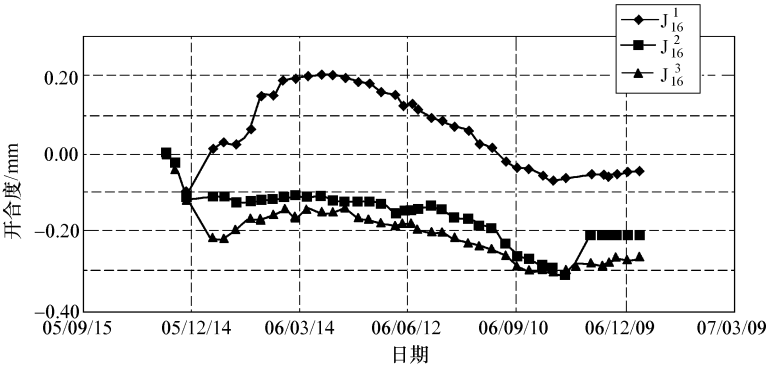


图3 风化槽测缝计(位错计)开合度过程线

3.2.3 多点位移计 为了解风化槽上游岩石楔体的深部位移变化, 设计在 14[#] 闸坝中心线楔体上布置了一套三点式多点位移计。根据钻孔施工岩芯描述, 在 10.5m 和 14.5m 之间存在一个软弱夹层, 故将多点位移计锚头分别布设在 9.9、14.5 和 17.3m 位置。从图 4 可以看出, 各锚头相对位移变化趋势基本一致, 各层间位移变化较小, 破堰蓄水后 9.9~14.5m 之间的地层在外力作用下压缩, 与钻孔地质描述软弱夹层所处位置相吻合。

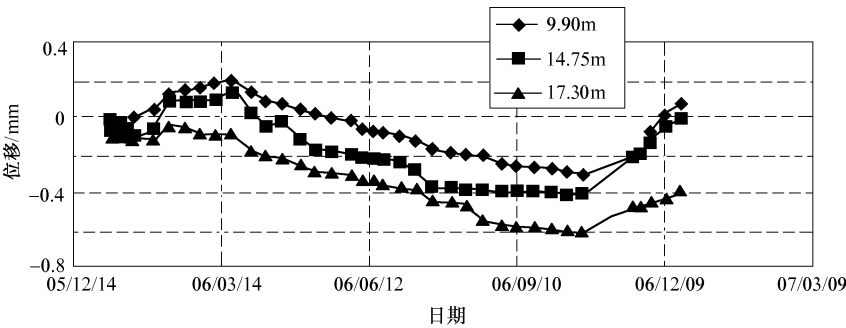


图4 多点位移计不同深度位移过程线

3.3 应力应变监测

3.3.1 土压力盒 风化槽垫层风化岩石(土)下面布设 3 支土压力盒, 在施工期, 随上部混凝土的浇注, 测得的土压力均有逐渐增大的趋势(图 5), 混凝土浇注施工完毕, 土压力变化逐渐趋于稳定。2006 年 7

月3支土压力盒测得的压力值突变,与当时大洪水的特殊工况有关,说明所选用的土压力盒具有较高的测量精度和灵敏度。3支土压力盒土压力变化趋势一致,真实反映了基础处理垫层下岩石(土)的受力过程,2006年10月二期闸坝破堰蓄水后,土压力盒测值的变化与水位变幅相关。

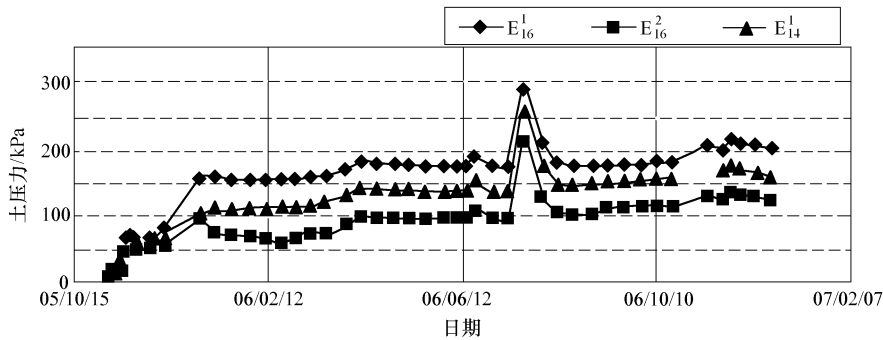


图5 风化槽处理垫层土压力过程线

3.3.2 混凝土压力盒 混凝土压力盒监测混凝土与基岩接触的压力,在风化槽中布设5支混凝土压力盒,其中14# 闸墩底部基础人工挖孔灌注桩底部3支(C_{14}^1 、 C_{14}^2 、 C_{14}^3),14# 闸坝风化槽下游斜坡上布设1支(C_{14}^4),16# 闸坝基础 ZK02 灌注桩底部布设1支(C_{16}^1)。从图6可以看出,布设在灌注桩底部的混凝土压力盒所测得的混凝土压力变化趋势基本一致,说明混凝土压力盒安装埋设得当,反映出了混凝土与基岩接触面的受力特点。 C_{14} 测值变化与闸坝上、下游水位差有关,上游水位上升而形成水头差通过闸坝受力传递向风化槽下游斜坡挤压,使得压力值增大,说明仪器具有较高的测量精度和灵敏度。

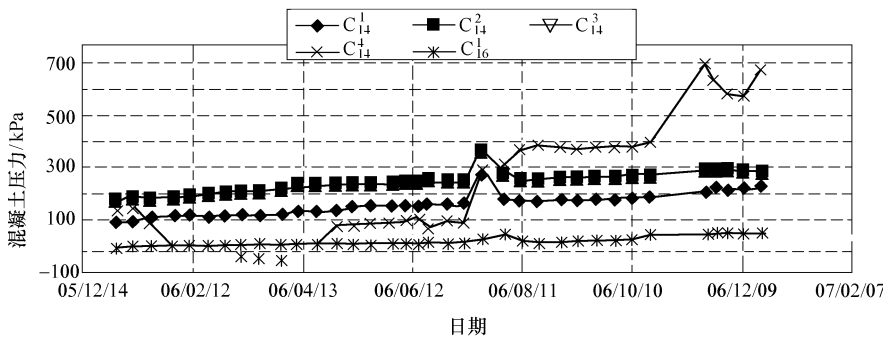


图6 风化槽混凝土压力盒过程线

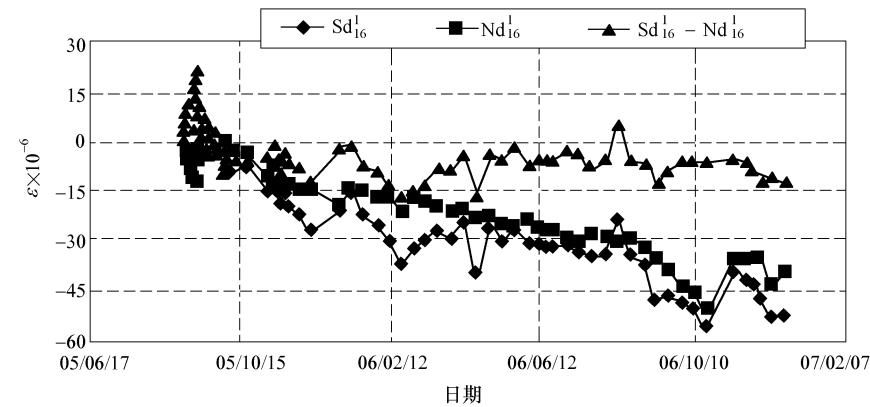


图7 风化槽16# 闸坝混凝土应变过程线

3.3.3 应变计(无应力计) 在14#、16# 闸坝风化槽人工挖孔桩内布设有4支单向应变计和4支无应力计。从图7可以看出,人工挖孔桩浇注的混凝土应变在施工期主要为自身体积变形所致,2006年10月二期闸坝破堰蓄水后,仪器埋设部位的混凝土应变表现为压应变且逐渐增大,说明在水压力作用下,闸坝基础桩体受力起到桩基础承压的作用。

4 结语

株洲航电枢纽闸坝基础风化深槽的有效处理是保证工程安全运行的关键,应用监测技术可以验证处理效果,为枢纽工程安全运行提供科学依据。通过布设在风化深槽重点及典型监测部位传感器的监测成果,提出以下几点结论及建议:(1)监测结果表明,基础渗流渗压稳定,沉降变形较小,软弱夹层呈压缩状态,人工开挖灌注桩起到承载作用,各监测项目相互验证,均在设计许可的限值范围内;(2)布设在风化槽内的监测仪器选型合理,仪器性能稳定,测量精度及灵敏度高。仪器安装埋设得当,能真实反映仪埋部位受力、变形特点,对风化槽工程处理措施起到合理的验证效果;(3)株洲航电枢纽工程监测项目齐全,对今后工程安全运行管理奠定了良好的基础。在运行期应加强监测资料的收集,定期进行资料的整理分析,为工程安全运行和科学管理提供真实可靠的监测成果。

参 考 文 献:

[1] 彭映凡,李健君,等. 株洲航电枢纽二期闸坝工程设计工作报告[R]. 长沙: 湖南省水利水电勘测设计研究院, 2006.
[2] 孙建会. 株洲航电枢纽二期闸坝阶段验收报告[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2006.

Technology application and data analysis of safety monitoring
on weathered deep troughs in a dam foundation

XIONG Cheng-lin, WANG Wan-shun, TIAN Dong-cheng, SUN Jian-hui
(Engineering Safety Monitoring Center, IWHR, Beijing 100044, China)

Abstract: Several weathered deep troughs have been detected in the lock-dam foundation of the Zhuzhou Navigation and Power Project. The troughs would destroy the integrity of the dam foundation and affect the stability of the lock-dam. The designer brought about a treatment scheme, which was proved to be feasible theoretically after calculation and analysis. In order to validate the treatment effect on the weathered deep troughs and meet monitoring requirement of safe operation after impounding, parameters in seepage, deformation, stress and strain have been monitored at important positions of the weathered deep troughs. This paper introduces the major monitoring items and relevant layout of embedded instrument. Troughs analyzing the monitoring data, the results truly reflect the characteristics of stress and deformation at the monitored positions. The design was validated. This work established a good base for safe operation and management of the Zhuzhou Navigation and Power Project.

Key words: Zhuzhou Navigation and Power Project; weathered deep troughs in dam foundation; safety monitoring; data analysis

(责任编辑:王冰伟)