

云龙水库初蓄期大坝渗流观测资料分析

王国利, 霍家平, 陈生水

(南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 云龙水库是昆明市掌鸠河引水供水工程的水源工程, 水库大坝为黏土心墙堆石坝, 属大(二)型水库。工程于2000年8月开工, 2004年3月下闸蓄水, 至2006年10月水位已超过正常蓄水位。为评价云龙水库在首次正常蓄水位下的渗流安全状况, 根据云龙水库从开工到首次正常蓄水位下的渗流安全监测资料, 对云龙水库初蓄期大坝的渗流压力、渗透水位、绕坝渗流以及渗流量等进行了分析, 绘制了观测断面的浸润线。综合分析结果表明, 云龙水库大坝在首次正常蓄水位下的渗流状况是安全的。

关键词: 渗流压力; 渗透水位; 渗流量; 安全分析; 云龙水库

中图分类号: TV698.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2009)03-0093-06

云龙水库是昆明市掌鸠河引水供水工程的水源工程, 位于昆明市西北部禄劝县的云龙乡, 距昆明市区约86 km。水库枢纽建筑物由大坝、泄洪导流隧洞、引水隧洞及溢洪道等组成, 属大(二)型水库, 工程等别为二等。

1 工程概况

云龙水库大坝坝址位于金沙江水系二级支流掌鸠河上游峡谷河段内, 控制径流面积745 km², 占掌鸠河流域径流面积的38.5%, 多年平均产水量3.08亿m³。水库分期建设, 初期规模正常蓄水位2 087.97 m, 校核洪水位2 091.98 m, 总库容4.48亿m³, 向昆明市年供水2.2亿m³, 终期规模水库正常蓄水位2 089.67 m, 设计洪水位2 092.59 m, 校核洪水位2 093.58 m, 总库容4.84亿m³, 向昆明市年供水2.5亿m³。云龙水库为一座多年调节水库, 库容系数为1.23。

水库大坝为黏土心墙堆石坝, 填筑材料由心墙防渗料、坝壳堆石料和反滤料组成。心墙防渗料为全强风化泥岩和冲洪积黏土。坝壳堆石料主要为石英砂岩。反滤料采用人工砂, 母岩为白云质石英砂岩。坝顶高程2 095.00 m, 坝顶宽10 m, 最大坝底宽318 m, 最大坝高77.33 m, 坝顶长249.50 m。上游坝坡2 057.00 m高程以下为1:2.2, 以上为1:1.8。大坝上游部分坝体与施工围堰结合, 利用坝体做抬头挡水围堰, 堤顶高程2 057.00 m, 堤顶设置9 m宽的戗台。下游坝坡2 063.00 m高程以下为1:1.85, 以上为1:1.75。下游坝坡排水棱体以上直至堤顶均采用0.3 m厚干砌块石护坡。堤顶上游侧设“L”型防浪墙, 墙顶高出堤顶1.2 m, 防浪墙底部与黏土心墙防渗体连为一体并嵌入心墙内0.5 m。大坝心墙顶高程2 094.00 m, 宽3.0 m, 最大断面心墙底高程2 018.67 m, 底宽41 m, 底板用1.0 m厚的混凝土盖板将基岩与土质防渗体分开。心墙上、下游坡度均为1:0.25。心墙上游设两层2.0 m厚反滤料, 靠近心墙、颗粒较细的为Ⅰ料, 靠近上游堆石、颗粒较粗的为Ⅱ料, 下游也设两层3.0 m厚反滤料, 同样分为Ⅰ料和Ⅱ料。大坝横剖面详见图1。

收稿日期: 2008-08-08

作者简介: 王国利(1974-), 男, 湖北黄石人, 工程师, 硕士, 主要从事土石坝原型监测及离心模型试验研究。

E-mail: glwang@nhri.cn

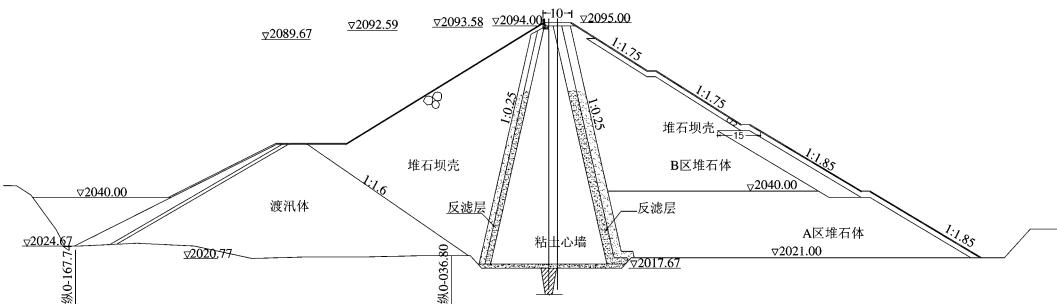


图1 云龙水库大坝横剖面图
Fig. 1 Cross-sectional profile of the dam

大坝左岸心墙基础开挖至强风化上部岩体,平均挖深8 m;河床部位心墙基础开挖至弱风化岩体,平均挖深7.5 m;右岸原山体边坡倒悬,开挖需清除不稳定岩体,基面大部分为弱风化岩体,平均挖深8 m. 坝基采用固结灌浆和帷幕灌浆以增强基岩的整体性及抗渗性.

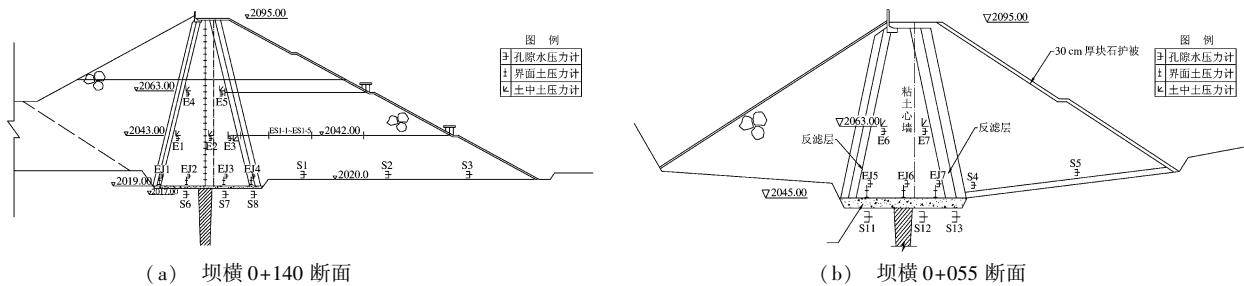
坝址右岸山坡有F2断层贯穿上下游,断层走向N60°~70°W,倾向SW,倾角76°~83°. 坝基下断层带宽20~22 m,断层带岩体破碎,透水性较强. 因此,工程中掏挖断层带破碎岩体,以混凝土置换,置换深度3 m,增加局部混凝土盖板厚度并进行固结灌浆,以提高岩体强度及整体性.

云龙水库枢纽工程于2000年8月15日开工,2001年10月28日截流. 大坝于2002年11月底开始填筑,保持黏土心墙、反滤料和堆石料基本同步施工,2004年2月底大坝填筑至坝顶高程. 云龙水库于2004年3月1日下闸蓄水,至2006年10月下旬库水位已超过终期规模水库正常蓄水位2 089.67 m.

2 云龙水库大坝渗流监测设施布置

按设计规范^[1,2]要求,云龙水库设置了较为全面的原型监测系统. 通过分析原型观测资料监视土石坝的安全运行,检验设计的正确性^[3,4]. 渗流安全是土石坝安全的重要保证之一,很多学者在渗流与土石坝的安全方面进行了研究^[5~10]. 本文对云龙水库大坝自施工至2006年10月底初蓄期的渗流观测资料进行分析,以综合评价正常蓄水位下大坝的渗流状况.

云龙水库大坝的渗流监测项目包括坝体、坝基渗流压力,绕坝渗流,渗流量等. 选取坝横0+140和坝横0+055两个断面布设钢弦式渗压计观测坝体、坝基的渗流压力,其中坝横0+140断面为最大坝高断面;大坝左右两岸各布置8孔埋设渗压计观测绕坝渗流;坝后设有一个直角三角形量水堰观测坝体的渗流量. 具体布置见图2.



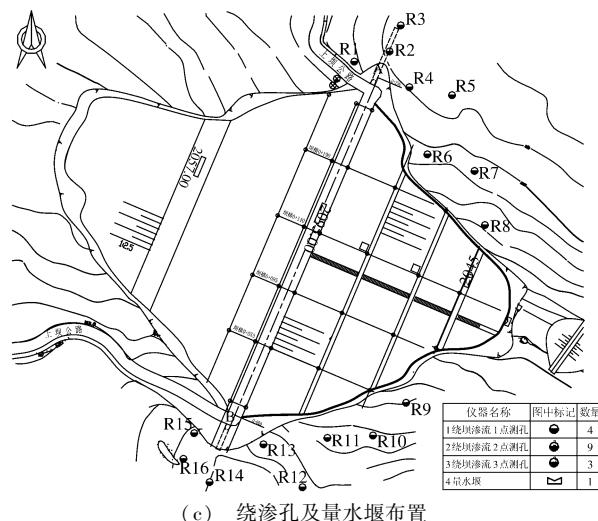


图 2 渗流监测仪器布置

Fig. 2 Layout of the seepage monitoring instruments

云龙水库坝基、坝体中共埋设 35 支渗压计, 施工中随坝体填筑采用坑式埋设法; 绕坝渗流观测共埋设 31 支渗压计, 采用钻孔埋设法。渗压计采用 Gekon 公司生产的 GK4500S 型钢弦式渗压计, 量程包括 0.35, 0.75 及 1 MPa, 分辨率小于 0.025% F. S., 精度小于 0.1% F. S.. 坝体内部独立埋设的渗压计以 Si (i 为渗压计序号) 表示, 结合界面土压力计组埋设的渗压计以 EPi (i 为渗压计序号) 表示, 结合土中土压力计组埋设的渗压计以 $EiPj$ (其中 i 为土压力计组序号, j 为结合土压力计组 Ei 埋设的渗压计序号) 表示, 绕坝渗流监测渗压计以 $Ri-j$ 表示 (其中 i 为绕渗孔序号, j 为该孔中埋设的渗压计序号)

3 渗流观测资料分析

云龙水库 2000 年 8 月 15 日开工, 2004 年 3 月 1 日下闸蓄水, 库水位经历了 2004 年 3~8 月和 2005 年 6~11 月两个快速上升期以及自 2006 年 6 月开始的新一轮上升期, 2006 年 9 月上旬库水位已达 2 087.6 m 左右, 2006 年 10 月下旬库水位已超过正常蓄水位 2 089.67 m. 下面以最大坝高断面坝横 0+140 断面为主分析云龙水库初蓄期的渗流状况.

云龙水库施工期心墙内曾有一定的超静孔隙水压力, 2003 年 5 月 22 日坝横 0+140 断面孔隙水压力等值线分布见图 3. 心墙内超静孔隙水压力未对心墙下游坡的稳定产生影响, 在水库蓄水后转化为渗流压力.

坝横 0+140 断面 EP1 ~ EP4 测点的渗流压力、渗透水位及位势过程线见图 4. 坝横 0+140 断面坝基渗流观测资料表明: 坝基渗流压力、渗透水位都和库水位有较好的相关性, 尤其是靠近上游的测点; 坝横 0+140 断面坝基扬压力不大, 该断面坝基 S6、S7、S8 三个测点分别位于上游侧、帷幕后部、下游侧, 间距分别为 14 和 14.5 m, 但 2006 年 9 月上旬这 3 个测点的水位分别为 2 058.51, 2 037.02 和 2 027.08 m, 这说明帷幕削减了超过 11.5 m 的扬压力水头, 帷幕防渗效果明显; 各测点的位势过程线自 2006 年年初有趋于稳定的迹象, 位势过程线和库水位的相关性

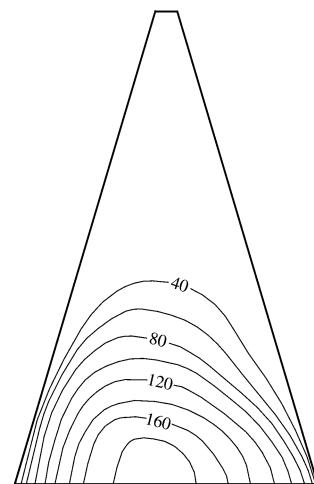


图 3 0+140 断面超静孔隙水压力(单位: kPa)

Fig. 3 Isolines of excess pore water pressure in profile 0+140 (unit: kPa)

较差,说明坝基渗流趋于稳定。值得注意的是,坝横 0+124.2 和 0+115.4 断面局部位置坝基位势较高(超过 60%),建议今后加强观测,查明原因。

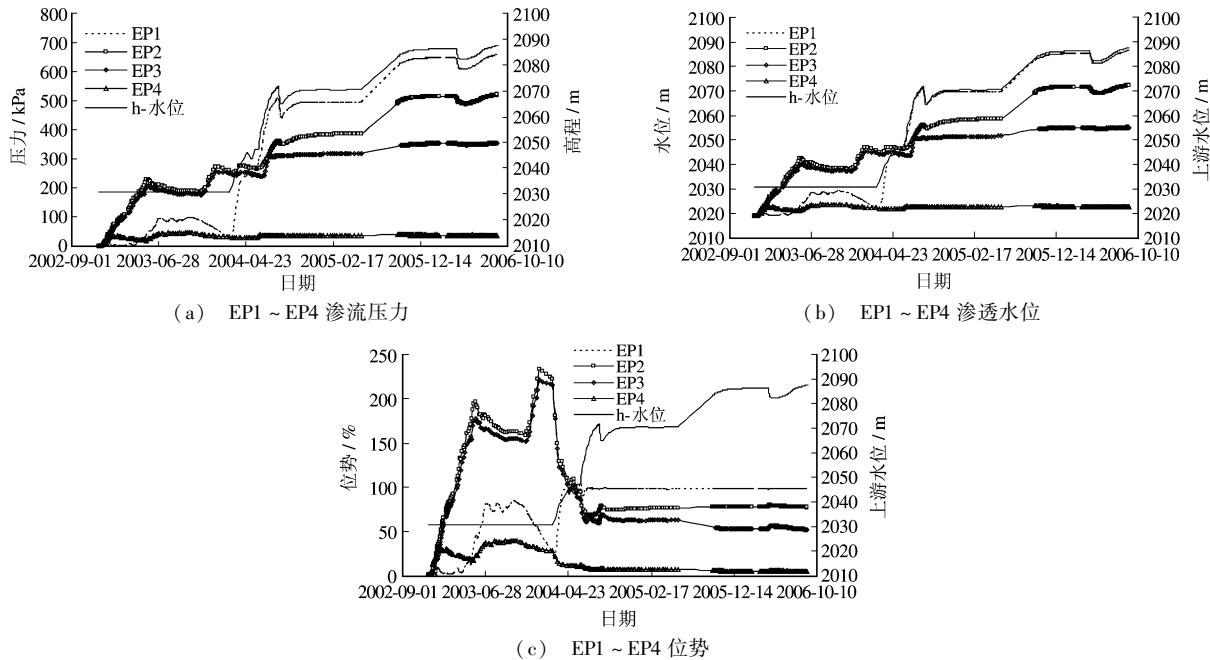


图 4 0+140 断面 EP1 ~ EP4 渗流压力、渗透水位及位势

Fig. 4 Curves of seepage pressure, seepage water level and seepage potential EP1 ~ EP4 in profile 0+140

坝体渗流观测表明:心墙上游侧渗压计所测的压力较大,渗透水位和位势很高,渗透水位接近上游库水位,位势在 97% 以上,心墙下游侧渗压计压力值明显小于同高程上游侧渗压计,渗透水位和位势较低,0+140 断面心墙底部下游侧 EP4 测点的渗透水位仅略高于下游坝壳 S3 测点,心墙中心部位渗压计的压力、渗透水位和位势介于上下游测点之间,依从上游到下游的方向递减;上游测点的压力过程线和渗透水位线和库水位相关性较好,而下游测点的上述过程线和库水位相关性较差;下游坝壳渗透水位很低,0+055 断面下游坝壳两支渗压计测点处甚至无水,说明水头基本被心墙削减,心墙防渗效果明显。综合分析坝横 0+140 和 0+055 断面内渗压计的观测结果后,绘制这两个断面的浸润线(见图 5)^[11-16]。

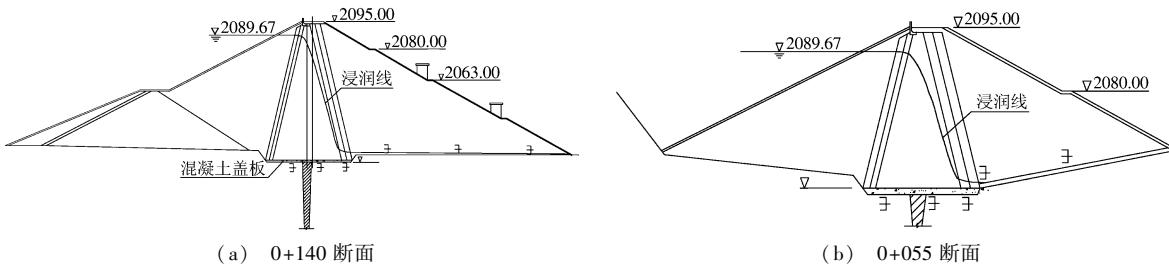


图 5 0+140 和 0+055 断面浸润线

Fig. 5 Seepage lines in profile 0+140 and profile 0+055

绕坝渗流分析表明:右坝肩 R12, R13 和 R15 孔渗压计压力过程线和水位过程线有波动现象,而且在持续高水位下所测压力和水位都比较高,说明在右坝肩沿“库区-R15 孔-R13 孔-R12 孔-下游”可能存在绕坝渗漏通道。左岸绕渗孔底部渗压计的压力值和水位普遍较低,上中部的渗压计压力值和水位反而较高,说明在左岸地下有比较完整的隔水带,总体来看,左岸绕渗没有右岸明显。各绕渗孔内渗压计 2006 年 9 月上旬所测压力值见表 1。

表1 2006年9月上旬绕坝渗流观测值

Tab. 1 Values measured by osmometers around dam abutments on the early days of Sep. 2006

| 仪器编号 | 埋设高程/ m | 压力/ kPa | 水位/ m | 仪器编号 | 埋设高程/ m | 压力/ kPa | 水位/ m |
|------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|
| R1-1 | 2000 | 587.81 | 2059.94 | R7-1 | 2005 | 129.28 | 2018.18 |
| R1-2 | 2038 | 324.58 | 2071.10 | R7-2 | 2055 | 0 | / |
| R2-1 | 1999 | 289.50 | 2029.52 | R8 | 2015 | 62.71 | 2021.39 |
| R2-2 | 2037 | 273.06 | 2064.84 | R9 | 2015 | 0 | / |
| R2-3 | 2075 | / | / | R10 | 2010 | 149.27 | 2025.22 |
| R3-1 | 1995 | 377.43 | 2033.49 | R11 | 2010 | 147.71 | 2025.06 |
| R3-2 | 2031 | / | / | R12-1 | 2010 | 295.36 | 2040.12 |
| R3-3 | 2070 | 168.84 | 2087.22 | R12-2 | 2079 | 1.76 | 2079.18 |
| R4-1 | 2005 | 80.07 | 2013.16 | R13-1 | 2002 | 525.83 | 2055.62 |
| R4-2 | 2045 | 151.82 | 2060.48 | R13-2 | 2082 | 0 | / |
| R4-3 | 2079 | 0 | / | R14-1 | 2022 | 171.66 | 2039.50 |
| R5-1 | 1998 | 323.34 | 2030.97 | R14-2 | 2085 | / | / |
| R5-2 | 2045 | 181.40 | 2063.50 | R15-1 | 2005 | 603.61 | 2066.55 |
| R6-1 | 2007 | 112.52 | 2018.47 | R15-2 | 2080 | 10.91 | 2081.11 |
| R6-2 | 2057 | 23.95 | 2059.44 | R16-1 | 2005 | 381.16 | 2043.87 |
| | | | | R16-2 | 2078 | 0 | / |

注: ①压力栏中标注“/”的渗压计已失效; ②2006年9月上旬对应的库水位约为2 087.6 m, 下游水位约2 019.2 m.

量水堰自2004年7月上旬开始观测, 目前观测到的最大渗流量为3.83 l/s, 发生在2005年7月16日, 距此前的库水位开始上涨约1个月。渗流量观测资料表明: 2006年9月上旬的渗流量约2 l/s, 蓄水至今, 渗流量没有出现异常的突变。参比一些类似工程, 可以看出云龙水库的渗流量是很小的, 这得益于心墙良好的防渗效果。

4 结语

分析了云龙水库从开工到首次正常蓄水位下的渗流监测资料, 结果表明云龙水库大坝坝基渗流中帷幕防渗效果良好, 但有局部位置坝基位势较高; 坝体渗流中下游坝壳浸润线很低, 水头基本被心墙削减, 心墙防渗效果良好; 绕坝渗流左岸没有异常, 右岸可能沿“库区-R15-R13孔-R12孔下游”存在绕坝渗漏通道, 渗流量很小, 渗流状况已趋向稳定。总之, 虽然云龙水库坝基局部位置位势较高, 右坝肩可能存在绕坝渗漏, 但帷幕及心墙防渗效果良好, 渗流量很小, 渗流状况趋向稳定, 坝体巡视检查也未发现明显异常, 这说明云龙水库在初蓄期首次正常蓄水位下的渗流状况是安全的。

参考文献:

- [1] SL274-2001, 碾压式土石坝设计规范[S]. (SL274-2001, Design code for rolled earth-rock fill dams[S]. (in Chinese))
- [2] SL60-94, 土石坝安全监测技术规范[S]. (SL60-94, Technical criterion on earth-rockfill dam safety monitoring[S]. (in Chinese))
- [3] SL169-96, 土石坝安全监测资料整编规程[S]. (SL169-96, The regulations of data compilation for earth-rockfill dam safety monitoring[S]. (in Chinese))
- [4] 张启岳. 土石坝观测技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993. (ZHANG Qi-yue. Monitoring technology for earth-rockfill dam [M]. Beijing: Water Conservancy Press, 1993. (in Chinese))
- [5] 顾淦臣. 土石坝安全问题述评(一)[J]. 大坝与安全, 1995(3): 17-25. (GU Gan-chen. Narration and appraisement on the safety of earth-rockfill dam (1)[J]. Large Dam & Safety, 1995(3): 17-25. (in Chinese))
- [6] 张建荣. 土石坝渗流安全评价刍议[J]. 湖南水利水电, 2007(6): 8, 10. (ZHANG Jian-rong. Discuss on appraisement about seepage safety of earth-rockfill dam[J]. Huan Hydro & Power, 2007 (6): 8, 10. (in Chinese))

- [7] 司春棣, 练继建, 郑杨. 土石坝渗流安全监测的遗传支持向量机方法[J]. 水利学报, 2007, 38(11): 1341–1346. (SI Chun-di, LIAN Ji-jian, ZHENG Yang. Genetic support vector machine model for seepage safety monitoring of earth rock dams [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(11): 1341–1346. (in Chinese))
- [8] 蔡金宝, 刘培斌, 李五勤. 通过观测资料分析土石坝的渗流安全状况[J]. 北京水利, 2001(3): 39–41. (CAI Jin-bao, LIU Pei-bin, LI Wu-qin. Evaluating the seepage safety of earth-rock dams through analyzing monitoring data[J]. Beijing Water Resources, 2001(3): 39–41. (in Chinese))
- [9] 姜帆, 宓永宁, 张茹. 土石坝渗流研究发展综述[J]. 水利与建筑工程学报, 2006, 4(4): 94–97. (JIANG Fan, MI Yong-ning, ZHANG Ru. Development of research on seepage of embankment dam [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2006, 4(4): 94–97. (in Chinese))
- [10] 孔祥言, 卢德唐. 渗流力学的理论应用及其前沿研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2007, 37(10): 1262–1266. (KONG Xiang-yan, LU De-tang. Application and development of fluid in multipore media flowing[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2007, 37(10): 1262–1266. (in Chinese))
- [11] 陈洪凯, 唐红梅, 张录坤. 渗流自由面求解的基本方法、修正及应用[J]. 重庆交通大学学报, 1997, 16(3): 5–10. (CHEN Hong-kai, TANG Hong-mei, ZHANG Lu-kun. Basic methods, revisions and applications of identifying seepage free surface[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 1997, 16(3): 5–10. (in Chinese))
- [12] 关明芳, 陈洪凯. 渗流自由面求解方法综述[J]. 重庆交通大学学报, 2005, 24(5): 68–73. (GUAN Ming-fang, CHEN Hong-kai. Review of solution methods of seepage free surface of slope[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2005, 24(5): 68–73. (in Chinese))
- [13] 王金芝, 陈万吉, 齐淑华. 求解渗流自由面的有限元混合不动点法[J]. 大连理工大学学报, 2007, 47(6): 793–797. (WANG Jin-zhi, CHEN Wan-ji, QI Shu-hua. Mixed fixed-point FE method for seepage problems with free surfaces[J]. Journal of Dalian University of Technology, 2007, 47(6): 793–797. (in Chinese))
- [14] 党发宁, 王晓章, 耿旭光, 等. 求解渗流自由面的一种新方法[J]. 水力发电学报, 2004, 23(6): 88–91. (DANG Fa-ning, WANG Xiao-zhang, GENG Xu-guang, et al. A new method to solve seepage free surface[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2004, 23(6): 88–91. (in Chinese))
- [15] 李钰, 金吾根, 薛馨, 等. Trefftz 间接法解自由面渗流问题[J]. 计算力学学报, 2005, 22(3): 295–298. (LI Yu, JIN Wu-gen, XUE Xin, et al. Solution of free surface seepage problems by Trefftz indirect method[J]. Chinese Journal of Computational Mechanics, 2005, 22(3): 295–298. (in Chinese))
- [16] 薛馨, 金吾根, 李钰, 等. Trefftz 直接法解渗流自由面问题[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(13): 2322–2326. (XUE Xin, JIN Wu-gen, LI Yu, et al. Solution of free surface seepage problems by Trefftz direct method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(13): 2322–2326. (in Chinese))

Analysis on dam seepage of Yunlong Reservoir during the first storing-up period

WANG Guo-li, HUO Jia-ping, CHEN Sheng-shui
(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Yunlong Reservoir is the headstream of Zhangjiuhe water supply project for Kunming city. The dam of the reservoir is a 77.33 m high clay-core rock fill dam, and the total storage capacity of the reservoir is 4.84×10^8 m³. The project began in August 2000, and the water level had exceeded the normal water level in October 2006 since the closing of the sluice gates in March 2004. To judge the safety rank of Yunlong Reservoir during the first storing-up period, based on the data monitored from the beginning of the project to the time when the water level reached the normal water level, the seepage pressure, seepage water level, seepage around the dam abutment and seepage discharge of the dam are analyzed in this paper, and seepage lines are also drawn. The results indicate that the seepage state of Yunlong Reservoir is safe during the first storing-up period.

Key words: seepage pressure; seepage water level; seepage discharge; safety analysis; Yunlong Reservoir