

佛寺水库坝顶路面裂缝调查及分析

陶卫华¹, 王彦军², 胡光炎¹, 张 凯³

(1. 南京市水利建筑工程有限公司, 南京 210001; 2. 三门峡明珠集团故县水利枢纽管理局, 河南 洛宁 471715; 3. 南京水利科学研究院, 南京 210029)

摘要: 在对佛寺水库坝顶裂缝情况详细普查的基础上, 通过挖探坑和灌浆方法, 对裂缝进行了针对性的调查分析。结合普查与调查分析成果, 对佛寺水库坝顶裂缝进行了成因分析。得出如下结论: (1) 坝顶裂缝并未延伸至原砂石路下垫层, 亦即未影响到心墙部位, 表明坝顶混凝土路面裂缝不是心墙与坝壳料沉降不均匀造成的。(2) 坝顶混凝土路面砂砾石层在顺河向分布厚度不均, 是造成坝顶混凝土路面裂缝的内因。车辆超过坝顶混凝土路面设计荷载是造成其裂缝的外因。同时由于坝顶在上游侧设置有防浪墙, 车辆通过坝顶过程中本能地偏向下游侧行驶, 这也是造成坝顶混凝土路面不均匀裂缝的外因。(3) 建议对坝顶裂缝进行处理, 限制坝顶路面通过社会车辆, 同时加强监测与巡视检查, 防止坝顶裂缝进一步发展。

关键词: 佛寺水库; 混凝土路面; 裂缝; 成因分析

中图分类号: TV 314 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)06-1229-04

Investigation and analysis of pavement crack on dam crest of Fosi Reservoir

TAO Wei hua¹, WANG Yan jun², HU Guang yan¹, ZHANG Kai³

(1. Nanjing Water Conservancy Construction Engineering Company Ltd., Nanjing 210001, China;

2. Gu County Water Conservancy Bureau of Sanmenxi Mingzhu Group, Luoning 471715, China;

3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: On the basis of general survey on the cracking situation at the crest of the Fosi Reservoir dam, a specific study on the cracks was conducted using the test boring and grouting methods. The cause of cracks on the dam crest of the Fosi Reservoir was analyzed. The results suggested that (1) the cracks at the crest do not extend to the underlayer of the original gravel road, i.e., no influence on the core wall, which indicates that the cracks on the concrete pavement are not caused by the non uniform settlement between the core wall and dam shell; (2) The non uniform distribution of the gravel layer material of the concrete road is the primary cause of the cracks, and the higher loading from the vehicles than the design loading of the road is the secondary cause. Meanwhile, due to the existence of wave walls in the upstream of the crest, vehicles tend to move towards the downstream side, leading to the non uniform cracks on the dam crest; and (3) the cracks at the dam crest need to be fixed, the number of public vehicles needs to be limited, and more monitoring and perambulatory inspection are proposed to prevent the crack propagation.

Key words: Fosi Reservoir; concrete road; crack; cause analysis

裂缝是水工建筑物中普遍存在的问题, 而随着高土石坝的大量兴建, 土石坝施工运行中的坝顶裂缝成为了近年来的一个重要研究课题。例如, 江西省安福县社上水库一号坝^[1]为斜心墙土坝。2001年10月17日, 一号坝坝顶出现了一条与坝轴大致平行纵向裂缝, 裂缝长106.15 m, 呈张开状, 最大缝宽约30 mm。根据现场检测及实验^[2-4], 结合裂缝追踪开

挖结果等因素综合判断, 一号坝坝顶出现裂缝的原因主要是库水位的快速下降, 使上游坝坡处于抗滑失稳的临界状态, 并因此产生了过大的变形。小浪底水库大坝^[5]为斜心墙坝, 坝顶高程281.00 m, 设计坝高154 m, 坝顶长1667 m, 坝顶宽15 m。2001年巡视检查时发现坝顶存在一条长约100 m、最大宽度约10 mm的非连续纵向裂缝; 2003年发现坝顶存

收稿日期: 2014-05-19 修回日期: 2015-02-13 网络出版时间: 2015-11-30

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20151130.2100.044.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目“气候变化对高海拔地区水库大坝影响及应急管理研究”(51179108)

作者简介: 陶卫华(1977-), 男, 江苏如东人, 工程师, 主要从事水利水电工程建设管理方面研究。E-mail: Zhangkai_hhu@163.com

通讯作者: 张 凯(1988-), 男, 安徽广德人, 工程师, 主要从事大坝安全管理方面研究。E-mail: Zhangkai_hhu@163.com

在一条长 160 m、最大宽度约 4 mm 的连续裂缝。为了分析裂缝产生的原因,在裂缝最大部位范围横跨裂缝开挖探坑,探坑裂缝沿坝轴线方向平直无弧形,缝面基本竖向,裂缝两侧无错台。裂缝特征和研究结果表明坝顶部位的不均匀变形是坝顶下侧产生纵向裂缝的直接原因。埃尔因菲尼罗坝^[5]位于墨西哥西南巴尔萨斯河,坝高约 148 m,坝顶长 344 m。水库蓄水后左岸坝肩出现一条横向裂缝,宽约 1 cm,右岸坝肩出现一系列的横向细纹裂缝,宽约 1 mm,开裂部位存在于心墙上游保护层的粗粒料内。由实测资料分析得出结论,蓄水过程和高水位对坝顶沉降与顺河向的水平变位有着直接的影响,是导致该坝坝顶产生横向裂缝的主要原因。裂缝的存在会导致大坝长期带病运行,影响水库效益的发挥,继续发展还将可能导致溃坝等严重后果。因此,当土石坝坝顶出现裂缝时,需对裂缝的形态进行调查检测,分析其成因,制定和采取合适的措施防止裂缝的进一步发展^[6]。本文针对佛寺水库坝顶混凝土路面裂缝^[7]进行了调查,分析了成因,提出了处理建议。

1 工程概况

佛寺水库位于辽宁省阜新蒙古族自治县佛寺乡境内细河支流伊马图河中下游,属大凌河流域,距阜新市约 20 km,是一座具有防洪、供水、灌溉、养鱼等综合效益的大(二)型水库。最大库容 1.47 亿 m³,水库控制流域面积 600 km²。

佛寺水库枢纽工程主要由主坝、溢洪道、输水洞、副坝组成。主坝为黏土心墙砂砾石坝,最大坝高 23.05 m,坝顶为混凝土路面,长 720.0 m,宽 6.0 m,顶高程为 148.05 m。防浪墙顶高程为 149.25 m。黏土心墙顶高程为 146.00 m,顶宽 4.0 m,底宽 11.0 m。上游坝坡坡比自下而上分别为 1:3.0、1:2.75、1:2.5,在 130.00 m、137.00 m 高程上各设置宽 2.0 m 的马道,坡面采用大块石护坡,厚度约为 0.85 m;下游坝坡坡比自下而上为 1:2.75、1:2.5,在 137.00 m 高程上设置宽 1.5 m 的马道,采用碎石护坡,厚度约为 0.35 m,下游坝坡每隔 150 m 设一道阶梯道与纵横排水相配合。黏土心墙两侧坝壳为壤土,壤土两侧坝壳料为砂砾石,主坝典型断面结构图见图 1。

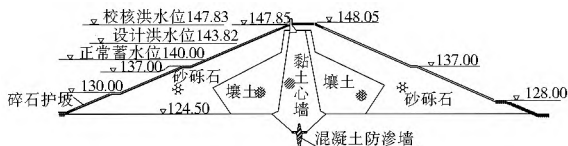


图 1 佛寺水库主坝典型断面结构

Fig. 1 The typical section of the main dam of Fosi Reservoir

2 坝顶路面裂缝现状调查

2.1 裂缝现状

佛寺水库 2001 年对原有路面加高 25 cm 砂砾石垫层,并在其上部浇筑 10 cm 厚混凝土,形成 6.0 m 宽坝顶路面。经调查,坝顶公路沿坝轴线方向 90% 已出现裂缝,统计共有裂缝 167 条,裂缝宽度 5~30 mm,局部可达到 40 mm。坝体中部个别段裂缝两侧路面可见 1~5 mm 高差。防浪墙墙面抹灰出现网状裂纹。下游路肩为混凝土连续墙结构,与路面之间大部分开裂,其裂缝宽度一般在 40 mm 左右,最大为 60 mm。坝顶裂缝特征见图 2~图 5,主要裂缝情况统计见表 1。



图 2 主坝混凝土路面裂缝走向

Fig. 2 The fracture strike of concrete pavement on the main dam



图 3 主坝混凝土路面裂缝走向

Fig. 3 The fracture strike of concrete pavement on the main dam



图 4 坝顶混凝土路面裂缝现状

Fig. 4 The situation of pavement crack on dam crest



图 5 坝顶混凝土路面现状

Fig. 5 The situation of pavement crack on dam crest

表 1 坝顶路面主要裂缝情况统计

Tab. 1 Statistics of the main pavement cracks on dam crest

典型桩号	裂缝宽度 / mm	裂缝两侧路面高差 / mm	说明
0+ 030	5	0	0+ 000 至 0+ 015 未见裂缝、0+ 040 至 0+ 065 未见裂缝
0+ 090	10	2.5	0+ 065 至 0+ 115 高差明显
0+ 165	15	2.8	0+ 115 至 0+ 300 裂缝较大、高差明显
0+ 330	40	5.0	0+ 300 至 0+ 350 裂缝较大、高差明显
0+ 465	7	2.8	0+ 462~ 0+ 468 之间出现两条平行裂缝
0+ 550	17	1.8	裂缝有扩张、联通的趋势
0+ 670	5	0	0+ 670 出现交叉裂缝,0+ 694- 0+ 700 未见裂缝,0+ 700~ 0+ 720 裂缝较小

2.2 裂缝现场检查

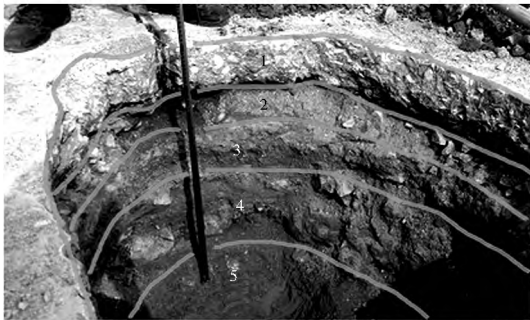
为了调查坝顶路面裂缝天然状态及向下延伸情况,在坝顶路面选择裂缝较大处先后挖探坑3个(桩号分别为0+338、0+348、0+350),探坑位置见图6。其中,TK5为直接开挖;BTK1、BTK2先沿裂缝灌注白灰浆液,待白灰浆液渗透12~14h后进行开挖,在探坑断面处,观测白灰浆液渗透路径及渗透范围^[8]。



图6 探坑及钻孔布置

Fig. 6 Layout of test pitting and boring on dam crest

如图7所示,坝顶路面至黏土心墙顶面约70cm,根据揭露土层状况,从上至下可分为5个主要人工填筑层,即混凝土路面、路面下10cm厚砂砾石垫层、原砂砾石路上垫层、原砂砾石路下垫层、黏土心墙。其中原砂砾石路面上层颗粒较细,粒径多为2~5mm;下层较粗,多为大于2cm的碎石,并且含有粒径为5~10cm的较大块石。



1.混凝土路面;2.约10cm厚砂砾石垫层;3.原砂砾石路上垫层(相对颗粒较细);4.原砂砾石路下垫层(相对颗粒较粗);5.黏土心墙
1.concrete pavement;2.10 cm sand gravel cushion;3.the original sand gravel (fine particle);4. the original sand gravel cushion(coarse particle);5.clay core wall.

图7 BTK1探坑断面

Fig. 7 Pit profile of BTK1

裂缝贯通混凝土路面,混凝土路面下探坑侧壁未发现贯通裂缝,白灰浆液沿混凝土路面裂缝渗入下部垫层,沿下部垫层向两侧有扇形渗入现象。BTK1探坑在原砂石路上、下垫层中未见明显渗入现象,见图8;BTK2探坑在原砂石路面不均匀处,白灰浆液沿原砂石路上垫层碎石边缘也有部分渗入现象,原砂石路下垫层及其下部未见渗入,见图9。

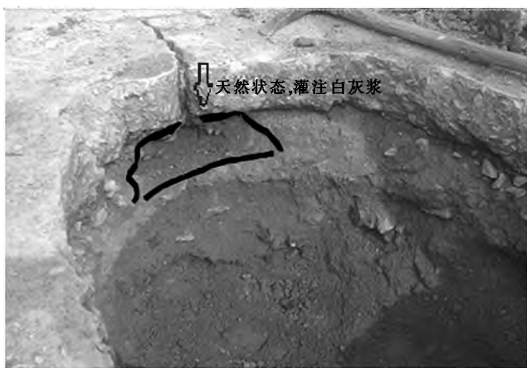


图8 BTK1探坑白灰浆浸润范围

Fig. 8 The scope of mortar in pit profile of BTK1



图9 BTK2探坑白灰浆浸润范围

Fig. 9 The scope of mortar in pit profile of BTK2

3 坝顶路面裂缝成因分析

布置钻孔ZK4-1,与ZK4连线垂直坝轴线,距离ZK4钻孔1.5m,距离防浪墙0.5m,ZK4-1钻孔原砂砾石路垫层厚2.6m,ZK4钻孔原砂砾石路垫层厚2.1m。可见,原砂砾石路厚度在垂直坝轴线方向上并不均匀。示意剖面见图10。在沿坝轴线方向上,原砂砾石路厚度也不均匀,左坝段厚度为1.5~2.3m,右坝段厚度为0.7m。

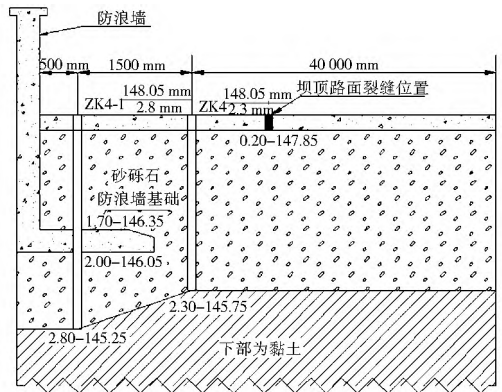


图10 钻孔ZK4-1、ZK4砂砾石层剖面

Fig. 10 Profile of sand gravel in the bores of ZK4 and ZK4-1

从挖坑灌注石灰浆现场试验结果^[9-11]看,坝顶裂缝并未延伸至原砂石路下垫层,亦即未影响到心墙部位,可见坝顶混凝土路面裂缝不是心墙与坝壳料^[12-14]沉降不均匀造成的。

通过钻孔ZK4-1和ZK4揭示的混凝土路面以下砂砾石层分布情况看,坝顶混凝土路面砂砾石层在顺河向分布厚度不均,这是造成坝顶混凝土路面裂缝的内因。

从佛寺水库多年运行情况看,坝顶路面未设置任何路障,经常通过各类车辆,其中不乏运输煤炭的重型货车。车辆超过坝顶混凝土路面设计荷载是造成其裂缝的外因^[15]。同时由于坝顶在上游侧设置有防浪墙,车辆通过坝顶过程中本能地偏向下游侧行驶,这也是造成坝顶混凝土路面不均匀裂缝的外因。

4 结论

(1) 坝顶裂缝并未延伸至原砂石路下垫层, 即未影响到心墙部位, 表明坝顶混凝土路面裂缝不是心墙与坝壳料沉降不均匀造成的。

(2) 坝顶混凝土路面砂砾石层在顺河向分布厚度不均, 是造成坝顶混凝土路面裂缝的内因。坝顶路面未设置任何路障, 经常通过各类车辆, 其中不乏运输煤炭的重型货车。车辆超过坝顶混凝土路面设计荷载是造成其裂缝的外因。同时由于坝顶在上游侧设置有防浪墙, 车辆通过坝顶过程中本能的偏向下游侧行驶, 这也是造成坝顶混凝土路面不均匀裂缝的外因。

(3) 建议对坝顶裂缝进行处理, 限制坝顶路面通过社会车辆, 同时加强监测与巡视检查, 防止坝顶裂缝进一步发展。

参考文献(References):

- [1] Appalaraju Vetsa. Performance of doweled concrete joints subjected to fatigue loading[D]. Thesis submitted to the College of Engineering and Mineral Resources at West Virginia University, 2003.
- [2] Tang G X, Graham J. A Method for Testing Tensile Strength in Unsaturated Soils[J]. Geotechnical Testing Journal, 2000. 23(3): 377-382.
- [3] Mosaid A. Tensile Properties of Compacted Soils[M]. Laboratory Shear Strength of Soil. Special Technical Publication, ASTM, 1981: 207-225.
- [4] Tschebotarioff G P, Ward E R, Dephilippe A A. The Tensile Strength of Distributed and Recom pacted Soils[C]. Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1953.
- [5] W A Yrjanson. E concrete in Pavement Design. International Conference on Concrete Pavement Design[R]. Purdue. 1997.
- [6] Maocai Zhao. Strengthening the Transive Plate of a Highway Bridge[C]. Proceedings of the Kazakhstar Japan Joint Geotechnical Seminar. 2001(8).
- [7] William G. Davids and Zongmu Wang. 3DFinite element analysis of jointed plain concrete pavement with EverFE2. 2[R]. TRB 2003 Annual Meeting.
- [8] SHEN zhurjiang. Analyses of Seismic Pore Pressure and Permanent Deformation of Anth Dam. International Symposium on Earthquakes and Dams. Beijing. 1987.
- [9] Jur chun Li. Practical Examples of Safety Monitoring and Analysis for Earth and Rockfill Dams. Proc. of the ICOSD, 1984, 2(6).
- [10] 盛金保, 王昭升. 社上水库一号坝坝顶裂缝成因分析, 水利水运工程学报, 2003, (2): 44-45. (SHENG Jir bao, WANG Zhaosheng. Analysis of cracking in the 1st dam of Sheshang Reservoir[J]. Hydror Science and Engineering. 2003(2) : 44-45. (in Chinese))
- [11] 韩朝军, 朱晟. 土质防渗土石坝坝顶裂缝开裂机理与成因分析, 中国农村水利水电, 2013, (8): 116-120. (HAN Chaorjun, ZHU Sheng. The analysis of the factor of crack on crest in earth dam[J]. China Rural Water and Hydropower. 2013(8) : 116-120. (in Chinese))
- [12] Jur chun Li. A Simple Estimation Method on Crack of Earth Dam[J]. Hydror Science and Engineering. 1983, (3): F11.
- [13] Leonards G A, Narain J. Flexibility of Clay and Craejing of Earth Dams, proc. ASCE, 1963, 89(SM2).
- [14] Kjaornslis B, Torbla I. Leakage through Horizontal Cracks in the Core of Hytttejuvot dam. Geotechnical Institute Publication, 1968(80): 39-47.
- [15] Squier L R. Load Transfer in Earth and Rockfill Dams. Proc, ASCE1970, 96(SM1): 213-233.
- [11] 单新兰, 苏占胜, 张智, 等. 宁夏山区春季降水对冬小麦生长发育的影响[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 426-430. (SHAN Xinlan, SU Zhan sheng, ZHANG Zhi, et al. Impact of spring precipitation on the growing period and production of winter wheat in Ningxia southern mountain region[J]. Journal of Arid Meteorology, 2012, 30(3): 426-430. (in Chinese))
- [12] 郭元裕. 农田水利学[M]. 三版. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. (GUO Yuanru. Irrigation and Drainage Engineering[M]. 3 edition. Beijing: China Water & Power Press, 1997. (in Chinese))
- [13] 杨晓娟, 刘园, 白薇, 等. 黑龙江省大豆作物系数的确定[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 53-56. (YANG Xiaojuan, LIU Yuan, Bai Wei, et al. Estimation of crop coefficients for soybean in Heilongjiang province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(6): 53-56. (in Chinese))
- [14] 任禾, 李月英, 韩成伟, 等. 吉林省玉米增产潜力分析[J]. 玉米科学, 2010, 18(6): 148-152. (REN He, LI Yueying, HAN Chengwei, et al. Analysis on increasing production potential of maize in Jilin province[J]. Journal of Maize Sciences, 2010, 18(6): 148-152. (in Chinese))
- [15] 赵宏伟, 李秋祝, 魏永霞. 不同生育时期干旱对大豆主要生理参数及产量的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(3): 329-332. (ZHAO Hongwei, LI Qiuzhu, WEI Yongxia. Effect of drought at different growth stages on main physiological parameters and yield in soybean[J]. Soybean Science, 2006, 25(3): 329-332. (in Chinese))

(上接第 1228 页)