

光纤传感器在茜坑水库土坝渗流监测中的应用

金可礼 顾昭明 李永祥 梁少娟

(深圳市观澜河引水工程管理处 广东 深圳 518110)

摘要 从系统结构、测点布置、光纤传感器的选择、软件设计等几方面介绍光纤传感器在茜坑水库土坝渗流监测中的应用,并对监测系统可靠性与监测数据的精度进行分析.结果表明:采用光纤传感器进行土坝渗流自动监测,其准确性、可靠性等均符合要求,特别是在系统防雷击、抗干扰性方面,与传统仪器相比具有明显优势.

关键词 光纤传感器 光纤渗压计 土坝 渗流监测 茜坑水库

中图分类号:TV697.2

文献标识码:B

文章编号:1006-764X(2005)04-0053-03

Application of optical-fibre sensors to seepage monitoring of earth dam of Xikeng Reservoir//JIN Ke-li, GU Zhao-ming, LI Yong-xiang, LIANG Shao-juan(Shenzhen Guanlanhe Water Conservancy Management Bureau, Shenzhen 518110, China)

Abstract : An introduction was given to the application of optical-fibre sensors to seepage monitoring of the earth dam at Xikeng Reservoir from aspects of system structure, arrangement of monitoring points, selection of optical-fibre sensors, and software design. The analysis of the monitoring results shows that the system meets the requirement for precision and reliability in seepage monitoring, and that the system has good performance in resistance to thunderbolts and disturbances as compared with conventional instruments.

Key words : optical-fibre sensor; optical-fibre osmometer; earth dam; seepage monitoring; Xikeng Reservoir

随着科学技术的不断发展和大坝安全监测理论的进一步完善,大坝安全监测已经逐步从人工方法向计算机自动监测方向迈进.与人工方法比较,自动监测具有测量精度高、采集信息量大、受外部环境影响小等优点.随着光纤技术的飞速发展,以光纤传感技术为基础的新一代监测仪器在国外已经逐步从研究走向实用阶段.近年来,我国已先后在古洞口混凝土面板堆石坝、鱼跳混凝土面板堆石坝、长江三峡工程等应用光纤传感检测技术进行工程安全监测的现场试验和应用研究^[1],为在我国推广应用光纤传感器这一新型仪器积累了成功的经验.

在应用光纤传感技术进行渗流监测方面,国内有研究机构选用加拿大 Roctest 公司生产的 FOP 型光纤渗压计进行了室内检验、标定和现场实验,结果^[2]表明:光纤渗压计的各项技术指标完全满足国家标准 GB/T13606-92《岩土工程用钢弦式压力传感器》的要求,具有体积小、精度高、测量范围宽等优点,可在水下、电磁干扰、高能辐射等恶劣环境下正常工作,与传统监测仪器相比具有明显的优越性和更好的发展前景.深圳市观澜河引水工程管理处与国内有关科研单位合作,利用水利部“948”项目引进

加拿大 Roctest 公司生产的光纤传感器和数据采集软件,结合国内研制的中央控制装置和管理软件,研究开发了茜坑水库土坝渗流自动监测系统.

1 系统设计

1.1 工程概况

茜坑水库位于深圳市宝安区观澜镇,距深圳市中心约 25 km.该工程由主坝、4 座副坝、溢洪道和坝下输水涵管等建筑物组成.水库设计正常蓄水位 75.0 m、设计洪水位 75.2 m、校核洪水位 75.3 m、总库容 1982 万 m³.主坝和 4 座副坝均为均质土坝.主坝坝顶高程 76.8 m,最大坝高 27.8 m,坝顶轴长 387.9 m;1~4 号副坝最大坝高分别为 24.3 m、25.8 m、11.0 m、7.0 m.

1.2 系统结构与原理

茜坑水库土坝渗流自动监测系统由光纤传感器(光纤渗压计和光纤温度计)、DMI 光信号调制器、CCU 中央控制装置和数据采集软件、数据转换软件、大坝安全信息管理软件、连接光缆等组成.系统结构见图 1.中央控制装置由 1 台工控机、输入输出设备、通讯接口和电源等部件组成,与光信号调制器一

起安装在中央控制室内,通过光缆与安装在大坝内的光纤传感器连接。

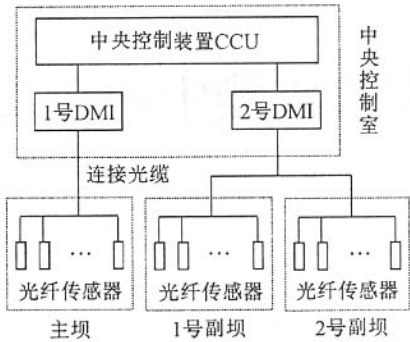
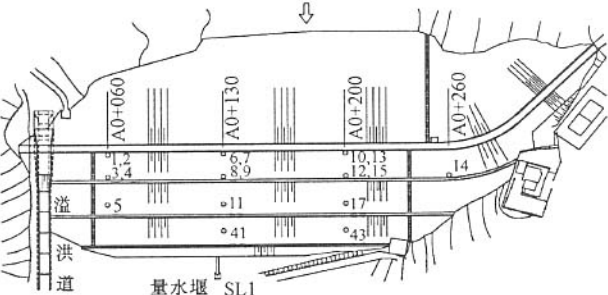


图1 系统结构

光纤传感器的工作原理是用被测物理量(变形、压力、温度等)的变化来调制光波的某一参数(强度、相位、频率、波长等)使其随之变化,然后对已调制的光信号进行检测和转换,从而得到被测物理量。用于渗流压力监测的光纤渗压计是基于 Fabry-Perot 白光干涉原理设计的,被测物理量变化使得传感器 Fabry-Perot 干涉腔长线性地变化。当调制器发出的白光进入传感器干涉腔时,腔长的变化使反射光被调制并通过光缆返回至调制器,然后通过调制器将光信号转换成渗压数据存储,从而实现对大坝渗压的自动监测。由于系统在数据采集和传送过程中与电信号无关,因此不受电磁波及电流的干扰,精度高、稳定性好,环境适应性强。光纤温度计测量大坝坝体内不同部位的温度,用于对各测点的光纤渗压计进行温度修正。

1.3 测点布置

茜坑水库土坝渗流自动监测系统是在原人工测压管的基础上改建的,监测范围包括主坝、1号和2号副坝,监测项目有坝体渗压、坝基渗压、绕坝渗压和渗流量。主坝在 A0+060、A0+130、A0+200 设 3 个监测横断面和左坝端绕坝渗压监测点(见图 2,图中 14 为绕坝渗压监测点,SL1 为渗流量监测点,其余单数为坝体、双数为坝基渗压监测点);1号副坝在 B0+100 设 1 个监测横断面;2号副坝在 C0+085、C0+135、C0+185 设 3 个监测横断面。各测点仍采用原人工测压管编号(编号为 1~44),其中 40、42、44 号测压管已



入输出的专门软件.该软件除了能够处理渗流监测数据外,还设计了人工巡视检查数据库、大坝变形监测数据库以及与大坝安全管理有关的工程设计、施工数据库等.除渗流监测数据外其他数据采用人工方式录入,可供大坝安全分析使用.

2 系统可靠性考核与监测数据分析

2.1 可靠性考核原则和标准

光纤传感器应用于土坝渗流自动监测在国内尚属首次,因此对系统可靠性进行严格考核和对监测数据进行人工比测分析,是本项目研究开发的一个重要环节.系统可靠性考核的原则和标准是:①以每周星期一的测量成果为考核数据并以此计算试运行期间总的测次;②凡是仪器设备造成的异常超差、突跳等,均计入缺测点次,但运行管理不善等其他非仪器设备性能原因造成的故障则不计入;③非光纤设备(如计算机、电源等)不作为故障考核对象;④系统故障率(系统发生故障的次数与总测次之比)小于或等于1%;⑤数据缺失率(漏测、错测数据的点次与总测次之比)小于或等于1%.

2.2 系统故障率与数据缺失率

茜坑水库土坝渗流自动监测系统于2002年10月底安装完成,同年11月1日起投入试运行,至2003年8月共试运行10个月.

茜坑水库位于南方雷击多发地区,试运行期间曾遭遇10余次强雷暴袭击,水库供水计量装置几次遭雷击损坏,但渗流监测系统一直安全运行,表明系统在防雷击、抗干扰性方面具有很好的性能.试运行期内系统故障率为零,满足设计要求($\leq 1\%$).

试运行期间共进行2214点次数据实测考核,数据缺失数为11点次,数据缺失率为0.5%,满足设计要求($\leq 1\%$).

2.3 监测数据人工比测分析

根据光纤传感器的测量范围、精度、温度修正影响和人工观测水位计误差、人工读数误差等,分别取自动监测综合误差 $M_{\text{自}}=0.10\text{ m}$ 、人工观测综合误差 $M_{\text{人}}=0.04\text{ m}$,则比测差(自动测值与人工测值之差)的2倍中误差为

$$2M = \pm 2\sqrt{M_{\text{自}}^2 + M_{\text{人}}^2} = \pm 0.22\text{ m}$$

按照概率统计原理,绝对值大于2倍中误差的随机误差出现的概率是4.5%,因此以比测差不超过 $\pm 0.22\text{ m}$ 、比测差超限率小于或等于4.5%为标准进行考核.

对单个测点进行分析,以19号测点(1号副坝坝体)为例,自动监测与人工观测数据如表2所示.从表中可以看出,比测差均小于设计规定.另外,绘

制各个测点人工测值与自动测值对比过程线,分析表明自动测值与人工测值具有良好的一致性,但个别测点自动测值与人工测值相比普遍偏大.经过对传感器厂家提供的技术资料、实验室检测数据和现场安装数据等进行分析,初步认为属于传感器安装高程数据误差所致.由于该偏差对系统测量精度无实质性影响,故未做修正.

表2 19号测点人工观测与自动监测数据

测次	自动测值/m	人工测值/m	比测差/m
1	64.21	64.01	0.20
2	64.21	64.02	0.19
3	63.93	63.96	-0.03
4	63.93	63.99	-0.06
5	63.93	63.81	0.12
6	63.86	63.69	0.17
7	62.79	62.81	-0.02
8	62.79	62.73	0.06
9	62.66	62.71	-0.05
10	62.47	62.49	-0.02
11	62.40	62.39	0.01
12	62.37	62.36	0.01
13	62.23	62.15	0.08
14	62.13	62.10	0.03

从整体上分析,对试运行期14次人工比测共560个数据进行统计计算,比测差超限($\geq \pm 0.22\text{ m}$)的数据有17个,超限率为3.04%,满足设计规定的精度标准($\leq 4.5\%$),说明自动监测数据是可信的.

3 系统评价

茜坑水库土坝渗流自动监测系统是一套全光纤分布式数据采集渗流自动监测系统.该系统采用当今世界上先进的光纤传感器和国内研制的中央控制装置进行渗流监测,其准确性、可靠性等均符合要求.特别是在系统稳定性、测量精度和防雷击、抗干扰性方面,与传统仪器相比具有明显的优势.利用光纤传感技术进行大坝安全监测和岩土工程测量,是国际上的最新研究成果,引进吸收这一先进技术,对于我国大坝安全监测设备的更新换代,提高大坝安全管理水平,具有重要意义.

受光纤传感器生产厂家提供的数据采集软件的限制,该系统采集的数据只能临时存储于采集器内,需要定期通过人工干预才能将数据写入永久数据库,有待于以后在光纤传感器产品国产化的研究中改进完善.

参考文献:

[1] 蔡德所. 光纤传感技术在大坝工程中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. 109—141.
[2] 汤平, 李端有, 马水山. 光纤渗压计试验研究[J]. 长江科学院院报, 2000(增刊): 52—55.

(收稿日期 2004-11-09 编辑 熊水斌)