

山美水库大坝安全监控系统

王逸民¹, 王士军², 董福昌², 王 宏², 鲍 亮²

(1. 泉州市山美水库管理处, 福建 泉州 362000; 2. 南京水利科学研究院大坝安全与管理研究所, 江苏 南京 210029)

摘要 通过对山美水库大坝设计、施工、运行及监测资料分析, 确定了水库大坝安全监测方案, 建立了山美水库大坝安全判别体系及监控指标, 在此基础上, 采用先进的电子技术、网络通信技术、计算机技术和数据管理技术, 开发山美水库大坝安全监控系统。系统可实时综合分析大坝安全运行状态, 评定大坝安全类别, 对大坝安全隐患自动进行预警。

关键词 大坝安全; 安全监测; 判别体系; 监控指标; 山美水库

中图分类号: TV698.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-764X(2007)04-0077-03

Safety monitoring system for dam of Shanmei Reservoir // WANG Yi-min¹, WANG Shi-jun², DONG Fu-chang², WANG Hong², BAO Liang² (1. Quanzhou Shanmei Reservoir Management Bureau, Quanzhou 362000, China; 2. Dam Safety and Management Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract : Through an analysis of design, construction, operation and monitoring data for the dam of Shanmei Reservoir, the safety monitoring scheme for the dam was determined, and a safety evaluation framework and control index for the dam were established. Then the safety monitoring system for the dam was developed by use of advanced electronic technique, network communications technique, computer technique, and data management technique. The system can realize real-time comprehensive analysis of the safe operation status of the dam, evaluate its safety degree, and alarm for hidden troubles.

Key words : dam safety; safety monitoring; evaluation framework; control index; Shanmei Reservoir

山美水库位于福建省晋江干流东溪中游, 是一座集防洪、供水、灌溉、发电、生态调节等综合利用的大(2)型水利枢纽工程, 水库集雨面积 1 023 km², 总库容 6.56 亿 m³, 为闽东南地区库容最大的水库。水库正常蓄水位 96.48 m, 设计洪水位 98.78 m, 校核洪水位 100.70 m。水库枢纽工程于 1958 年兴建, 1972 年建成。枢纽工程包括主坝、副坝、溢洪道、引水隧洞及地下厂房、坝后厂房等。主坝为黏土心墙坝, 坝顶长 315.00 m, 坝顶宽 8.00 m, 最大坝高 75.50 m, 坝顶高程 105.48 m。

山美水库是晋江流域唯一可控制的大型水利枢纽工程, 承担防洪调度的重要任务, 对晋江下游防洪起重要调节作用, 保护下游 200 多万人口生命财产安全及保证 400 多万人口生活生产和 4.33 万 hm² 农田灌溉的用水需求, 为保障泉州经济社会的可持续发展提供水资源支撑, 被誉为“泉州人民的生命库”。为提高山美水库大坝安全管理信息化和现代化水平, 研究与开发了山美水库大坝安全监控系统, 系统于 2005 年 3 月进行试运行, 运行效果良好。

1 大坝工程安全监测项目布置

山美水库大坝原有变形监测、渗流压力(浸润线)监测和渗流量监测项目, 采用人工监测。根据水库大坝施工资料、原有监测资料及运行表现等综合分析, 山美水库大坝安全监测关键项目是主坝渗流监测和变形监测。由于下游坝壳代替料存在水饱和区, 心墙和代替料的渗流压力及心墙与基础的接触渗流压力是渗流监测的关键部位, 两坝肩防浪墙多处出现裂缝, 该部位心墙变形是变形监测的关键部位。为此, 确定山美水库大坝安全监测项目包括主坝变形监测、主坝渗流监测和环境量监测^[1]。

1.1 主坝变形监测

主坝变形监测包括表面变形监测和心墙裂缝监测。

表面变形监测在坝顶、下游 87.48 m, 72.48 m, 57.48 m 和上游迎水坡 87.48 m 平台设 5 排表面变形测点, 桩号分别为 0+045, 0+085, 0+125, 0+175, 0+225 和 0+265, 共 20 个。

主坝两坝肩(0+000~0+105 和 0+207~0+300)防浪墙多处出现裂缝, 在此部位开挖探槽,

埋设 11 只测缝计 ,进行心墙顶部裂缝或应变监测。

1.2 主坝渗流监测

主坝渗流监测包括坝体坝基渗流压力监测、绕渗监测和渗流量监测。

主坝共布置 3 个横断面 ,即 0 + 100 ,0 + 167 和 0 + 225断面 ,每个断面分别在防渗帷幕后、心墙、代替料、砂卵石层设置渗流压力监测点 ,共布置 32 个测点 ,大坝两岸各布置 6 个绕渗测点 ;大坝下游设 1 个量水堰 ,进行渗流量监测。

1.3 环境量监测

环境量监测包括上游水位、下游水位、降雨量、水温 and 气压监测。

2 大坝安全监测数据自动化采集系统

2.1 系统组成

系统包括根据监测项目选型的各种传感器 ,测量控制单元和中央控制装置 ,传感器与测量控制单元通过信号电缆连接 ,测量控制单元与中央控制装置采用光纤通信。

2.2 设备选型

仪器设备的稳定可靠及先进性是设备选型的主要依据 ,其技术性能指标应满足 SL 269—2001《大坝安全自动监测系统设备基本技术条件》^[2]及工程监测需求。

2.2.1 传感器设备选型

传感器设备主要选择 Geokon 产品 ,其技术性能指标见表 1。

表 1 传感器技术性能指标

监测项目	仪器型号	技术性能指标
裂 缝	Geokon4420	量程 20 ~ 50 mm ,灵敏度 0.02% F. S ,精度 ± 0.1% F. S ,工作温度 - 20 ~ 80℃
渗流压力	Geokon4500	量程 0.1 ~ 0.7 MPa ,分辨率 0.025% F. S ,精度 0.1% F. S ,最大过载为 2 倍量程 温度测量分辨率 0.034℃ ,精度 ± 0.5℃
渗 流 量	Geokon4675LV	量程 600 mm ,分辨率 0.025% F. S ,精度 ± 0.1% F. S ,工作温度 - 20 ~ 80℃
下游水位	Geokon4500ALV	量程 0.07 MPa ,分辨率 0.025% F. S ,精度 0.1% F. S
气 压	BP091 气压计	测量范围 88 ~ 108 kPa 精度 ± 0.125% F. S ,工作温度 - 40 ~ 50℃

2.2.2 测量控制单元选型

测量控制单元选用南京水利科学研究院研制开发的 IHSMS-1 型智能分布式测量控制单元 ,该控制单元采用模块化的结构 ,集成度高 ,软件控制功能强 ,易于组建配置监控网络 ,防雷及抗干扰能力强 ,能够在恶劣的条件下长期保证系统稳定可靠运行。其技术性能指标见表 2。

表 2 测量控制单元技术性能指标

技术参数	性能指标
通信距离	双绞线 :≤ 1 200 m(增加中继可使传输距离更远) 光纤 2 ~ 50 km ,无线 5 ~ 7 km(加大功率或者增加中继传输距离更远)
节点数量	20 ~ 80 个
传感器类型	振弦式传感器 ,电位器式传感器 ,输出电流、电压信号传感器 ,脉冲类型传感器(如雨量计) 编码类型传感器(如浮子式水位计) 等
采集时间	≤ 3 s/点
存储容量	2000 条测量数据(每条数据包括测量日期和时间)
通信速率	有线 600 ~ 19 200 bps ,无线 1 200 bps
工作环境	温度 : - 25 ~ 60℃ ;湿度 : ≤ 85%
电源与功耗	工作电压 :直流 12 V ;充电电源 :交流 150 ~ 240 V/50 Hz ;功耗 :休眠 120 mW ,待机 480 mW ,测量小于 1.2 W
通道防雷电感应	1 500 W

2.2.3 中央控制装置

中央控制装置设在山美水库调度中心 ,配置有硬件和软件 ,硬件包括便携式计算机、台式计算机、激光打印机和不间断电源。

软件包括操作系统 Microsoft Windows 2000 Server、数据库管理系统 Microsoft SQL Server 2000、Internet 信息服务(IIS)和数据采集软件。

数据采集软件基于浏览器/服务器结构 ,采用 Microsoft .NET 框架 ,开发语言以 C 语言为主 ,开发工具采用 Microsoft Visual Studio. NET。客户可通过 Internet/Intranet 与安全管理系统所在服务器相连 ,实现安全监测信息远程管理。系统具有数据采集、系统设置、系统自检、数据存储、维护及管理等功能。

2.3 系统防雷

中央控制室设置在调度中心 ,计算机连接到建筑物的接地网 ,计算机电源配接交流隔离变压器和电源避雷器。

测量控制单元房位于大坝左坝肩 ,由于左坝肩为完整基岩 ,将测量控制单元的接地引到大坝测压管连接的接地网中 ,MCU 供电电源配接交流隔离变压器和电源避雷器。

所有传感器均安装信号避雷器 ,并接地到大坝测压管连接的接地网中 ,接地电阻应小于 5Ω。传感器到测量控制单元连接电缆均采用钢管保护。

3 大坝安全判别体系与监控指标

3.1 大坝安全判别体系

按 SL 258—2000《水库大坝安全评价导则》^[3] ,结合山美水库大坝特点 ,山美水库大坝安全评价分 5 个专项进行 ,即渗流安全、变形安全、结构稳定、抗震稳定和现场检查 ,每一专项的安全性分为 3 级 ,即 A 级、B 级和 C 级 ,A 级为安全可靠 ;B 级为基本安全 ,但有缺陷 ;C 级为不安全。大坝安全类别分为 3

类 ;所有专项的安全性为 A 级的 ,为一类坝 ;至少有一专项的安全性为 B 级的 ,为二类坝 ;至少有一专项的安全性为 C 级的 ,为三类坝^[3]。

3.2 安全监控指标

山美水库大坝安全监控指标见表 3 ,每一监控指标分为 3 级 ,按判别体系确定每一专项的安全性。

表 3 山美水库大坝安全监控指标

项目	监控指标	确定依据
渗流安全	心墙后测点水位	设计值和历史监测值
	坝基渗透坡降	砂砾料级配曲线、历史监测值和经验值
	心墙底部渗透坡降	基岩风化程度、历史监测值和经验值
	渗流量	历史监测值和设计值
变形安全	竖向位移测点沉降速率	坝体填筑材料和厚度
	竖向位移测点沉降速率	坝体填筑材料和经验值
	水平位移数值	历史监测资料 and 坝体填筑材料
结构稳定	最小安全系数	SL258—2000 中有关规定
抗震稳定	最小安全系数	SL258—2000 中有关规定
现场检查	变形、裂缝、渗漏、散漫、滑坡等	运行表现

4 山美水库大坝安全分析评价系统

在山美水库安全监测系统的自动监测数据、人工观测数据和巡视检查记录等基础上 ,基于山美水库大坝安全评判体系与监控指标研究成果 ,建立基于浏览器下的大坝安全分析评价子系统。

a. 系统架构。系统架构基于通用平台的、以 Java 为基础的 J2EE 技术 ,采用分布式多层体系结构。综合数据库为系统提供数据服务 ,J2EE 应用服务器 Tomcat 为系统提供 Web 服务 ,浏览器提供系统访问。

b. 系统运行环境。应用服务器的操作系统采用 Windows 2000 Server ,Web 服务器采用 Apache Tomcat 5 ,数据库管理系统采用 Microsoft SQL Server 2000。客户端采用 Windows 系列操作系统 ,浏览器采用 Internet Explorer 5.5 以上 ,Java 运行环境采用 JRE 1.4.2 以上。

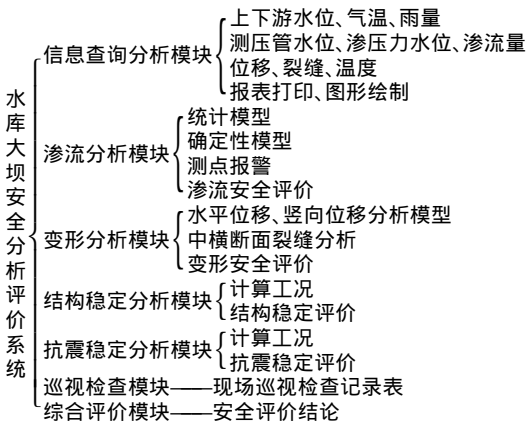
c. 系统功能。山美水库大坝安全评价系统包括信息查询分析模块、渗流分析模块、变形分析模块、结构稳定分析模块、抗震稳定分析模块、巡视检查模块及综合评价模块 ,详见表 4。

5 系统运行

经 1 年试运行 ,系统运行稳定可靠 ,先进实用。监测资料分析表明 ,工程监测布置合理 ,安全判别体系及监控指标确定合理 ,分析结论符合工程实际。系统可在 10 min 实时综合评价山美水库大坝安全性态 ,评定大坝安全类别 ,对异常信息进行自动报警。

经综合判别 ,目前大坝安全类别为 B 级 ,属二

表 4 大坝安全评价系统功能



类坝 ,大坝总体是安全的 ,但存在一定的安全隐患 ,主要为部分心墙基础存在渗压力水位偏高及下游代替料存在饱和区 ,应加强安全监测。

该系统应用为 2005 年水库调度起到了重要辅助决策作用 ,水库成功拦蓄 4 次台风洪水 ,试行水库汛限水位动态控制 ,取得了显著的经济效益和社会效益。

6 结 语

a. 通过对山美水库大坝设计、施工、运行及监测资料分析 ,针对控制山美水库大坝安全的关键变量和关键部位 ,进行了大坝安全监测方案的设计与实施 ,并建立了山美水库安全监测数据自动化采集系统 ,为山美水库大坝安全监控与预警提供基础条件和信息平台。

b. 在总结国内外水库大坝安全监控理论的基础上 ,结合山美水库大坝运行现状和专家经验 ,研究了山美水库大坝安全评价判别体系和监控指标 ,开发了山美水库大坝安全分析评价系统 ,实现实时综合分析大坝安全运行性态 ,评定大坝安全类别 ,对异常信息进行自动报警 ,为山美水库大坝安全监控与预警提供技术保障和应用平台。

c. 山美水库大坝安全监控系统的应用表明 ,系统运行稳定可靠 ,先进实用 ,实现了大坝安全数据采集的自动化、数据处理的模型化、分析评判的智能化和输出成果的可视化。该系统的应用将对我国水库大坝安全运行管理信息化和现代化建设起到示范作用 ,具有重要的推广应用价值。

参考文献 :

[1] WANG Shi-jun , DONG Fu-chang , GE Cong-bin. Study on structural health monitoring design for defective dams[C]// New Developments in Dam Engineering. London :A A Balkema Publishers , 2004 941-945.
[2] SL268—2001 大坝安全自动监测系统设备基本技术条件[S].
[3] SL258—2000 水库大坝安全评价导则[S].

(收稿日期 2006-04-17 编辑 熊水斌)