

# 白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统研究与开发

饶小康, 罗 熠, 姚振和

(长江科学院 仪器及自动化研究所, 武汉 430010)

**摘 要:**在水利工程爆破施工技术规范的基础上,结合分布式数据库技术、无线传感器网络技术和B/S体系结构,建立了一套基于分布式数据库存储方式和无线网络传输的爆破信息共享平台——白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统。该系统的主要功能包括爆破基础数据管理、总体开挖方案管理、爆破作业流程管理、爆破器材管理、爆破监测管理、爆破质量检查管理、爆破监测预警、用户权限管理和系统帮助文档。该系统的建立可为现场爆破数字化系统的建设提供数字支持和技术支撑,提高了现场爆破开挖管理和控制水平。

**关键词:**白鹤滩水电站;开挖爆破;数据预处理;无线传感器网络;B/S网络结构

**中图分类号:**TV22

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-5485(2016)01-0143-04

## 1 工程背景

白鹤滩水电站位于金沙江下游的四川宁南县和云南巧家县境内,上接乌东德,下邻溪洛渡,是一座以发电为主,兼有防洪、拦沙、改善下游航运条件等综合利用效益的大型水电站,为在建的中国第二大水电站,也是国家西电东送骨干电源点之一。电站装机容量约1 600万kW,枢纽工程由拦河坝、泄洪消能建筑物和引水发电系统等主要建筑物组成。拦河坝为混凝土双曲拱坝,坝顶高程为834.00 m,最大坝高289.0 m,坝下设水垫塘和二道坝。

白鹤滩水电站大坝坝肩边坡岩石主要为玄武岩,在进行大坝基础开挖爆破时,要求尽量少损伤建基面岩体,特别是在边坡和坝基有柱状节理出露的部位(集中分布在高程600~660 m),爆破安全控制标准研究以坝肩基础,特别是柱状节理玄武岩基础为主,其它部位为辅。

白鹤滩水利工程周期长、规模大,其爆破开挖施工环节复杂、参建单位多、工程技术水平高、质量要求严格、监督困难,爆破监测数据采集量大、相关资料文档较多。如何利用信息化手段对爆破设计、爆破施工、爆破监测、爆破控制和爆破评价进行管理和控制,实现爆破作业流程的信息化、数字化管理,已经成为水利工程建设管理领域急需解决的一大课题。

以白鹤滩水电站基础开挖讨论会议纪要为基础,参考《水工建筑物岩石基础开挖施工技术规范》、《水

电水利工程爆破安全监测规程》等技术规范,应用现有无线传感器网络技术、数据库系统技术、B/S网络结构模式开发一套开挖爆破数字化系统,实现爆破开挖规范科学、有效的管理和精细化爆破<sup>[1]</sup>。

## 2 开挖爆破数字化系统的基本理论与方法

### 2.1 数据预处理及整编模块

由于爆破仪器设备、人员读数等多种原因都可能导致原始资料出现误差,资料分析时应先对其进行合理的数据整编处理,才能保证分析结论的可靠性。预处理模块旨在根据评判准则对实测资料进行突变值识别、趋势性变化识别和异常值识别,并将无异常的数据存入整编数据库,为下一步的数据分析提供可靠数据源。开挖爆破数字化系统采用t检验法对爆破监测数据进行预处理。t检验法采用临界值K作为判定异常值的标准,即若K大于显著水平 $\alpha$ (一般为0.001或0.005)下的t检验临界值 $K(n, \alpha)$ ,则其为异常值<sup>[2]</sup>。K的表达式为

$$K = (x_d - \bar{x})/s \quad (1)$$

其中:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $s = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 。

式中:  $x_i$  为序列监测值;  $x_d$  为待判定的实测值;  $\bar{x}$  为序列监测值的平均值;  $n$  为测点数。

该系统在中央服务器端利用该算法针对无线传

输网络爆破监测采集数据异常值进行识别处理,再由爆破设计人员根据工程设计资料对爆破监测资料进行审核确认,提交至爆破监测数据库。

## 2.2 无线传感器网络技术

无线传感器网络是由布置在监测区域内大量的廉价微型传感器节点,通过无线通信方式形成的一个多跳自组织网络。开挖爆破数字化系统针对白鹤滩水电站开挖爆破工期长、爆点多、数据传输快、完整性高等特点,在指定位置埋设爆破传感器,采用自主研发的爆破通讯协议,将开挖爆点振动冲击波通过 3G 网络无线传输至中央服务器,并同时保证数据传输的及时性和完整性。现场无线网络拓扑结构见图 1。



图 1 爆破监测网络拓扑结构图

Fig.1 Topological structure diagram for blasting monitoring network

## 2.3 B/S 体系架构

B/S 结构 (Browser/Server, 浏览器/服务器模式), 是 Web 兴起后的一种网络结构模式, 其最大的优点就是可以在任何地方进行操作而不用安装任何专门的软件, 只要有一台能上网的电脑就能使用, 客户端零安装、零维护, 系统的扩展非常容易。

系统采用 B/S 模式的网络系统要求在服务器端安装系统软件, 而对客户端没有特殊限制, 只要有网络浏览器即可。服务器通过 Web 协议 (HTTP 协议、SMTP 协议、FTP 协议) 和客户端沟通, 并响应客户端请求。B/S 模式下, 只要在服务器端安装一套系统软件, 就可以在各客户端共享该软件的强大功能, 系统维护也就只限于服务器端。系统可在客户端电脑、平板电脑、手机上运行, 方便用户随时随地进行操作和管理<sup>[3]</sup>。

# 3 系统设计

## 3.1 系统架构

白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统采用 Browse/Client 模式开发, 系统结构分为 3 层<sup>[4]</sup>:

(1) 数据访问层: 包括开挖爆破系统爆破监测数据、爆破安全控制资料库、爆破设计资料库、爆破

质量标准库、参建方人员信息等。

(2) 业务逻辑层: 包括开挖爆破系统各种功能, 如基础数据管理、总体方案及进度管理、地质超前预报管理、爆破设计及过程控制、爆破监测及评价管理、静态监测及评价管理 6 个功能。

(3) 表示层: 主要为用户提供信息, 以及把用户的指令翻译, 提供与用户交互的界面, 根据用户指令调用业务接口层相应接口, 并将数据传递给业务层, 如系统用户登录、注销、维护、爆破设计信息提交、导入、导出、数据预览、成果查询等。

## 3.2 功能设计

白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统, 是一套爆破作业综合管理的信息平台。各职能部门相关人员通过手机、平板电脑或计算机等终端, 在信息管理平台中进行爆破设计、爆破施工、爆破监测、爆破器材管理、爆破控制、爆破评价等工作, 实现爆破作业流程的信息化、数字化管理, 确保工作各个流程有序落实, 达到爆破振动监控和管理的实时化和自动化<sup>[5]</sup>。系统基本功能如图 2 所示。

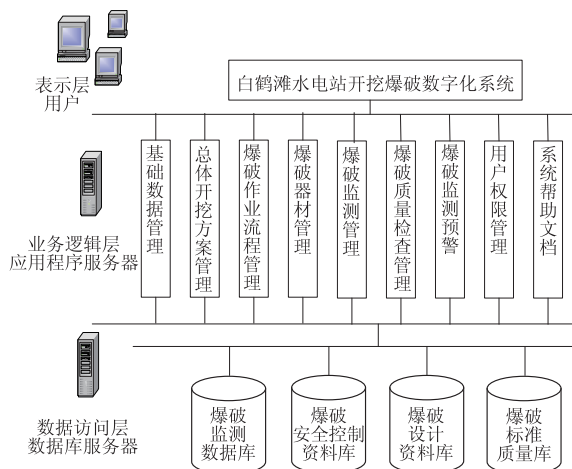


图 2 系统总体功能结构设计图

Fig.2 Structure design of overall functions of the system

## 3.3 系统主要特点

(1) 系统采用数理统计原理对长时间爆破开挖监测数据进行整编, 以保证后期数据分析的可靠性。

(2) 目前水利工程开挖爆破数字化系统大多采用仪器监测、人工导入资料的方式进行统计分析, 本系统针对白鹤滩现场爆破开挖环境, 在左右岸坝肩边坡开挖爆破组建无线传感器网络, 通过无线路由器设备将爆破监测数据传输至中央服务器, 并保证爆破仪器设备在无线网络覆盖范围内的长期自动监测和位置任意调整。除此之外, 系统还具备在无任何通讯信号的施工区域内组建无线局域网络, 自动收集、传输爆破监测数据的功能。

(3) 相对于以往单机版管理信息系统升级、维护的滞后性,系统采用 B/S 三层体系架构,易于扩展和升级,用户无需安装任何客户端,通过浏览器即可登录、管理爆破数字化系统。

## 4 系统开发

白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统主要采用开发工具 Microsoft Visual Studio 2012 与数据库 Microsoft SQL Server 2008 结合来实现。系统在开挖爆破区域内组建无线网络对爆破施工进行监测,爆破测振资料包括测振时间、机器号、 $x, y, z$  轴 3 个方向波形速度值,如表 1 所示。

表 1 白鹤滩水电站爆破测振资料

Table 1 Blasting vibration data of Baihetan hydropower station

编号	记录时刻	设备号	不同轴向的峰值速度/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )		
			x 轴	y 轴	z 轴
61	2014-06-20T14:55:14	0187	1.22	2.01	1.61
62	2014-06-20T14:54:46	0187	1.77	2.51	2.71
63	2014-06-16T15:50:52	6777	0.05	0.07	0.27
64	2014-06-16T15:50:37	6777	0.07	0.06	0.21
65	2014-06-16T15:50:11	6777	0.05	0.07	0.26
66	2014-06-16T15:49:55	6777	0.10	0.23	0.60
67	2014-06-16T15:46:10	6777	0.19	0.85	1.80
68	2014-06-16T15:41:50	c001	0.02	0.05	0.15
69	2014-06-16T15:41:39	c001	0.03	0.07	0.13
70	2014-06-16T15:41:25	c001	0.03	0.09	0.33

目前白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统在左右岸坝肩开挖爆破中已投入使用,进行施工期爆破安全监测和爆破试验研究,为现场爆破数字化系统的建设提供了数字支持和技术支撑。系统登录主界面如图 3 所示<sup>[6]</sup>,包括基础数据管理、总体方案管理、爆破过程管理、爆破器材管理、爆破监测管理和爆破质量检查管理等功能模块。



图 3 系统主界面

Fig.3 Main interface of the system

系统采用自主研制、具有物联网实时传输功能的 YBJ-III 远程微型动态记录仪和无线通讯协议,通过 GPRS 或 3G 网络将爆破监测数据实时传输至爆破数字化系统,记录各监测点爆破时间、设备号、

各通道振动峰值速度、波形图、传感器等信息,如图 4 所示,记录了传感器三轴爆破时间-速度值,直观反映现场爆破振动波形情况。

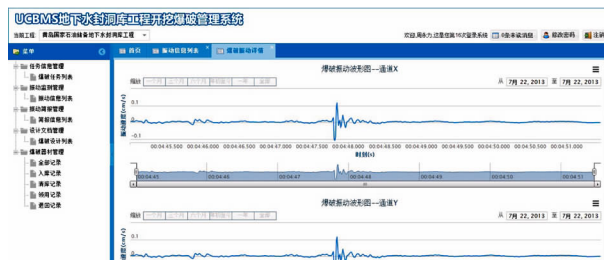


图 4 爆破振动监测波形图

Fig.4 Waveforms for monitoring blasting vibration

爆破作业申请经过创建、咨询及审核通过、工程部确认后即可生成爆破设计文档,用户可在线打印或导出 PDF 格式,如图 5 所示;系统设置爆破监测预警阈值,将现场实时爆破超标预警信息发送至用户,各建设方可通过手机及时了解现场开挖爆破效果情况。



图 5 爆破设计文档

Fig.5 Blasting design document

## 5 结 语

(1) 根据白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统的项目总体建设目标,初步建立了基础数据管理、总体方案及进度管理、地质超前预报管理、爆破设计及过程控制、爆破监测及评价管理、静态监测及评价管理 6 个功能。该系统将以开挖施工过程控制流程为主线,涵盖地质超前预报管理、爆破设计及过程控制、爆破监测及评价管理、静态监测及评价管理,对开挖作业过程进行全过程、全方位的控制与管理。

(2) 白鹤滩水电站开挖爆破数字化系统的实现是爆破开挖工作向数字化、信息化、网络化、高效率管理层次发展的一次飞跃,通过该系统能够及时对监测对象的状态、稳定程度和爆破设计进行分析,修正设计参数,优化爆破施工工艺,变更爆破施工方法。

### 参考文献:

- [1] 饶小康,罗 熠,姚振和.溪洛渡水电站灌浆网络管理信息系统建设及应用[J].长江科学院院报,2014,31(1):61-65.

- [2] 饶小康,王 晖.基于 B/S 结构的灌浆数字化系统在水利工程中的应用[J].长江科学院院报,2013,30(2): 79-83.
- [3] 余学农,王 路,饶小康.施工管理数字化体系在大岗山水电站中的运行[J].长江科学院院报,2013,30(4):98-102.
- [4] 李 喆,谭德宝,张 穗,等.水利工程建设项目管理系统的开发与开发[J].长江科学院院报,2014,31(1): 66-71.
- [5] 谢 伟,吕培印.地铁施工监测信息系统的设计与开发[J].施工技术,2006,35(4):87-89.
- [6] 吴世勇,陈建康,邓建辉.水电工程安全监测与管理[M].北京:中国水利水电出版社,2009.

(编辑:黄 玲)

## Research and Development of Excavation Blasting Digital System for Baihetan Hydropower Station

RAO Xiao-kang, LUO Yi, YAO Zhen-he

(Instrumentation and Automation Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** Based on the construction specification of blasting in water conservancy projects, combined with the distributed database technology, wireless sensor network technologies and B/S architecture, we established the excavation blasting digital system for Baihetan hydropower station. This blasting sharing information platform has the fundamental characteristics of distributed database storage and wireless sensor network transmission. The main functions of the system include blasting basic data management, overall excavation program management, blasting processes management, blasting equipment management, monitoring and management of blasting, blasting quality inspection management, prewarning of blast monitoring, user rights management and system help files. The system provides digital support and technical support for in-site digital blasting, improving site management and control for blasting excavation.

**Key words:** Baihetan hydropower station; excavation blasting; data preprocessing; wireless sensor network; B/S network structure

(上接第 142 页)

## Analysis of Lake Changes in Wuhan Based on Multi-source Remote Sensing Data

YANG Ke, DUAN Gong-hao, NIU Rui-qing, HUANG Si-yue, CAO Ya

(Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Urban lake is an important ecological and tourism resource. Its variation has profound impact on the city's development. The variations of lake surface and lake boundary in Wuhan are researched in detail by using NDWI and TM2+TM3> TM4+TM5 method in association with visual interpretation to extract the spatio-temporal information of 68 lakes. The research is based on Landsat 8 satellite data obtained in June 2013 and remote sensing images from 1975 to 2013 in the urban development area in Wuhan. Furthermore, thematic map of lake changes is given by using GIS spatial analysis technology and RS change detection method. The causes of lake changes are analysed through landscape indices. The research result is consistent with the government statistics of water resources in Wuhan city. It is also an instant basis for the protection and sustainable development of lake resources in Wuhan city.

**Key words:** Wuhan; lake change; Landsat 8; GIS; thematic map