

大坝强震监测安全预警与决策支持系统研究

Study on Strong Motion Observation with Safety Early Warning and Decision Support System

郭永刚/GUO Yong-gang¹, 王卫东/WANG Wei-dong²

1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044
2. 黄河水利职业技术学院, 河南开封 475001

1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China
2. Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng 475001, Henan Province, China

[摘要] 介绍了目前国内国外大坝强震安全监测技术的现状, 阐述了大坝强震监测仪器的特点、功能和发展趋势, 指出了强震监测工作在实际工程应用中存在的问题和在大坝强震安全监测中存在的模糊认识。利用计算机及网络技术, 将信息远程传输和信息数据库管理概念引入大坝强震监测技术领域, 提出了大坝强震监测安全预警与决策支持系统的新思想。对系统的功能、基本原理、系统的总体结构、系统的研究内容以及系统的数据流程等大的技术要点进行了论述性研究, 为水电工程强震安全评价工作的发展方向提出个人的观点, 以及实现这一观点的技术思路。

[关键词] 大坝; 强震监测; 决策支持系统

[中图分类号] TV741, P315.62

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)08-0012-04

Abstract: In this paper, the status of strong motion observation is introduced. The characteristic, function and developing trend of earthquake monitor in dam structure are illuminated. Some fuzzy understanding which exists in strong motion observation on dam in actual project application is pointed out. A new idea of strong motion observation with decision support system on the base of technique of computer and network, which of long-distance transmission and data base administration, is put forward. The system is studied and discussed on the technique outline of function, basic principle, general structure, and content of study and data flow. As an individual viewpoint, the direction of strong motion observation in hydroelectric project is brought forward, as well as the idea of realizing this viewpoint in technique.

Key Words: dam; strong motion observation; decision support system

CLC Numbers: TV741, P315.62

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)08-0012-04

1 前言

地震监测工作始于 1932 年。这一年, 美国成功研制了 VSCGS 标准型强震仪, 并于次年在长滩 (Long Beach) 地震时首次获得了破坏性地震记录^[1-2]。此次地震检测记录至今已有 60 多年的历史, 其使用范围已由个别国家发展到几十个国家。强震记录真实地记录了地震时地面运动的全过程, 以及在地面运动的作用下结构物的反应情况, 是认识地震破坏作用和结构抗震性能的重要手段。

强震加速度仪的水平随着科学技术的发展也在不断提高。20 世纪 70 年代研制的光直记录式三分量强震是第一代强震仪, 但由于此仪器存在着记录“丢头”、动态范

围小和数据处理慢等不足, 不久被第二代模拟磁带记录式强震仪取代。第二代强震仪采用了调频技术, 将模拟信号记录到磁带上, 但记录“丢头”、动态范围小等缺点依然存在。第三代数字磁带强震仪于 80 年代研制成功并投入使用, 但存在着误触发、需要专门回放设备等问题。随着大规模集成电路的出现和通信技术的进步, 固态存储式数字强震仪研制成功, 标志着强震仪进入了一个新时代——第四代强震仪^[3]。该仪器将地震模拟信号通过 A/D 变为数字量后, 直接记录在 SRAM 存储器里, 直接通过 RS-232 接口与微机相连即可达到回放的目的。

地震发生后, 如何使得损失降至最小,

这一直是从事工程地震和结构抗震研究的科技工作者所致力研究的问题。20 世纪 80 年代, 美国、日本等国就开始了地震预警系统的研究工作, 并应用于核电、高速铁路等系统。日本在主要铁路干线布置强震监测点, 一旦发生强震, 通过预警速报, 使火车停止或降低速度, 避免脱轨、翻车和火车冲入地震区等事故的发生。近年来, 日本东京的城市防灾系统也采用了预警系统的技术路线, 提高了城市综合应急的能力。在美国加州, 科研人员利用网络传输技术, 建立了一个地震预警网, 它可以在地震发生前极短的时间内发出地震报警, 以最大限度地减少地震灾害。

传统的大坝强震观测是作为水电工程

来稿日期: 2006-06-15

作者简介: 郭永刚, 男, 北京西城区车公庄西路 20 号中国水利水电科学研究院抗震中心, 高级工程师, 主要研究方向为水工结构抗震分析、大坝强震监测与结构振动测试研究; E-mail: Guoyg@ivhr.com

抗震研究的基础性工作^[4],目的是提供坝址的输入地震动和坝体的地震反应资料,验证大坝抗震安全性能的评价步骤和方法,为研究水工抗震理论、制定水工抗震规范提供工程实际信息资料。如何通过大坝强震监测技术,对大坝的震后安全进行分析预警,制定应急预案,为震后决策提供支持,减少震害损失,是大坝强震监测值得考虑的问题,也是大坝强震监测技术领域的一个新方向^[5]。本文就此在概念和主要技术角度进行了论述。

2 大坝强震监测的特点及安全预警与决策支持的基本思想

2.1 大坝强震监测的特点

大坝强震监测的最终目的是通过对强震信号的监测和实时采集,分析地震对结构安全的影响,验证抗震设计的合理性和已有大坝抗震理论及科研成果的可靠性。监测工作涉及利用结构抗震理论知识进行测点的选取、仪器的布设,对强震信号的采集、处理和各种分析,最后利用取得的地震动信息对结构抗震能力进行安全评价。因此,大坝的强震监测工作是一个多方向专业理论知识在实际工程中的综合应用,而不仅仅是将强震监测仪器系统布设在大坝结构上的工作。文献[6]对大坝的强震监测与一般的地震监测的本质差别进行了阐述。

与其他工程相比,大坝强震监测在内容和方式方法上也存在着很大的差别。主要原因是,对于铁路、道桥、隧洞、煤气和输油管线等重大生命线工程,一次强烈地震,可通过快速拉闸断电、关闭阀门等方式,控制震后灾害的扩大。而水利工程的地震灾害具有以下特点:①次生灾影响范围大、成灾严重、难以快速修复和控制,是水利工程震害不同于其他工程的一个特点;②隐蔽性的滞后灾害是水利工程震害不同于其他工程震害的另一特点。相对于破坏性大的地震,中小强度的地震发生的频率很高,一次中小强度的地震发生过后,大坝等结构在地震荷载的作用下可能发生局部裂隙或损伤,进而由于渗水导致结构破坏。引发的次生水患灾害程度将不亚于一次大地震的破坏。

2.2 大坝强震安全预警与决策支持的基本思想

计算机技术的突飞猛进,极大地提高了对大坝结构动力反应数值分析的速度。而电子技术和遥测传输通讯技术的发展,使对大坝震后安全分析的结果信息进行远程管理成为可能。一旦发生地震,数字自动的固态存储强震仪开启记录,并将地震信号遥传至分析中心的中央处理机,采用统计模型或数学模型实时处理,通过调用信息库中的信息进行比较、分析,评估大坝结

构的形态和危险度,将评估结果提供给决策部门,以便发布命令,采取有效的应急措施。

大坝强震安全监测技术随着计算机技术、电子技术、通讯及网络技术的发展,各种数学理论与方法逐步成熟与完善,已不应该局限于早期的对地震监测记录的获取和简单的谱分析技术之中了。它是一个包含通过多种手段对有关强震信息进行获取,并以此为切入点,对大坝的抗震安全进行综合分析评价,制定相关决策方案,最终实现计算机远程网络传输、决策及有关信息的查询与发布的一个庞大的管理与决策系统。它包括对原始数据的采集、录入及分析处理(其中包括对同一组数据采用不同方法进行处理),对结构进行不同形式和方法的抗震分析、结果的处理,基于WEB下的各数据库之间的协调与管理等多个子系统。整个系统的实现需要进行大量复杂的工作,技术难度较大,需要实现数据获取的自动化、数据处理及结构分析的模型化、分析评判的智能化、图表和结果输出的可视化、数据传输和管理的网络化。要实现上述目标,许多技术问题尚待解决。以下就部分相关问题进行阐述。

3 大坝强震安全监测系统的研究内容

系统开发主要包括以下内容:①地震目录及监测数据的实时查询;②研究区内地质、构造等空间图形数据的浏览与查询等;③水库诱发地震判别、模型预测(可能性预测与影响评价);④大坝设计信息资料数据库,大坝有限元地震动力分析模型库;⑤构造地震发生对坝体可能造成危害的预测分析评估系统;⑥预警决策系统。

一个完善的大坝强震监测与决策支持系统,需具备“四库三功能”(即数据库、模型库、方法库、知识库;综合信息管理子系统、综合分析推理子系统和输入输出子系统)的体系,其核心是综合分析推理决策子系统(如图1)。在系统设计中,应注重对强震监测信息的管理及离线分析模块的开发,以保证系统基本功能的实现。系统核心部分即安全评价部分,在强调数据可靠性的检查与判断的基础上,按工作内容将流程分为4个阶段,即测值异常的发现、结构异常的确定、结构异常程度的确定、安全评价及相应措施的确定。系统研究内容分为以下5个部分。①建立大坝结构基本参数数据库、大坝库区地震地质纲要及全国水系分布图等专题图层,能够对坝址区域的地质构造及坝区地震震源、断层等分布进行查询显示,并实现其空间图形数据的查询、浏览、缩放、漫游等。②对大坝建立有限元分析数据库。依据有关规范建立数学及力学分析模型库、大坝设计的相关数据与

图形库。将有限元自动剖分技术与计算机交互式绘图显示输出技术融为一体,操作或管理人员可在计算机上随时显示结构在各种条件下的图形,在屏幕上可以看到不同角度的二维或三维图形,通过剖面可看到结构的内部形态,实现结构的计算机几何仿真。③建立强震记录自动管理数据库及分析资料库。当发生地震时通过调用数据库中的数据能够对大坝进行梯级动力反应分析。④利用历史数据信息和已有分析成果,建立能够对大坝进行对比分析的国内外强震记录数据库及分析资料库。⑤建立综合决策支持与管理信息系统。

4 系统的总体结构

大坝强震监测及震害预警与决策支持系统是一个综合性的系统,其中涉及地质学、水工结构、结构动力学、数学、电子技术等学科。系统总体设计主要包括主控部分、输入输出系统、数据信息库、模型库、方法库、知识库、综合分析推理系统、图形图像库、多库协调管理中心等。系统的数据管理核心是一个分布式数据库,系统的数据及信息处理以各种数学模型为后台,通过代码编程实现前台人机交互对话形式操作管理。系统的强震安全评价和决策支持是基于知识库的自动分析系统,采用三维可视化仿真与虚拟现实技术。整个系统宜采用分级管理或网络管理模式。

4.1 系统硬件总体结构

大坝强震安全监测数据自动采集系统利用布设在大坝结构上的各强震监测点的传感器拾取振动信号,并通过信号传输电缆将信号自动实时传输至中央监控系统,通过数据采集软件,将采集到的实际振动信号进行A/D转换及格式规范化,经底层通信网络传给实时监控平台,在该平台上动态显示数据、动态绘制振动波形线等图形。如果发现异常,现场工作人员可及时做出分析与处理。监测得到的振动信号可通过后台的分析/算法代理、综合分析代理和其他代理,产生分析结果和判断结果,形成知识库中的新知识,并将数据保存到后台SQL数据库中,便于后台分析、判断。地震动输入与响应数据经采集并保存为文件后,即可应用各种分析算法对其进行分析和计算,生成各种分析结果和图形,再通过结构振动分析等手段对其处理,从而得出大坝的整体抗震性能,提供辅助决策。

4.2 系统软件总体结构

系统软件的结构设计本着易于模块化、便于移植、适应性强、便于控制的原则。系统软件总体框架见图1与图2所示。软件的运行框架层次分明、模块清楚,可以描述为:底层→中层→高层→最高层。

在系统的最底层为硬件采集系统的驱动、控制程序,提供系统对混凝土高拱坝强

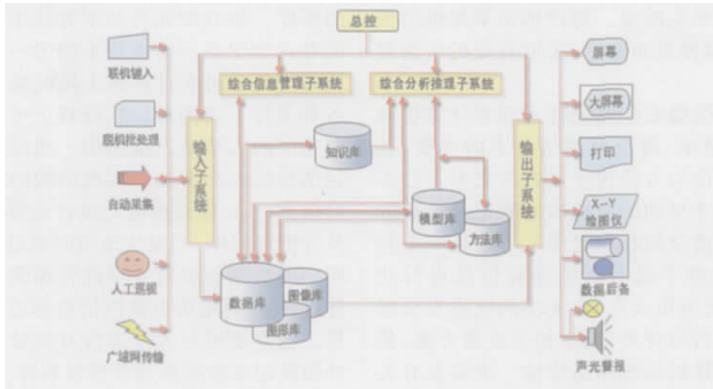


图1 大坝强震监测及安全预警与决策支持系统软件总体结构框图

Fig. 1 Frame diagram of strong motion observation with safety early warning and decision support system in the dam

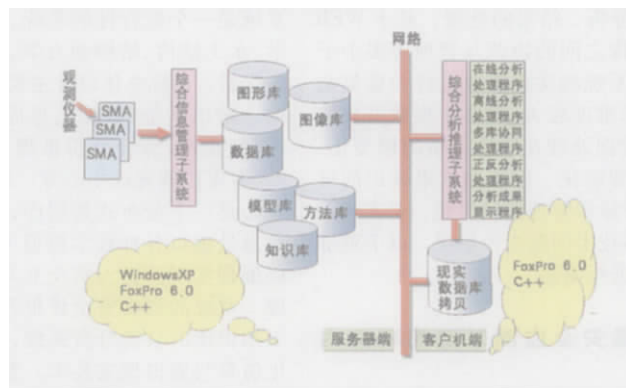


图2 大坝强震监测及预警与决策支持系统体系结构示意图

Fig. 2 Structure schematic diagram of strong motion observation with safety early warning and decision support system in the dam

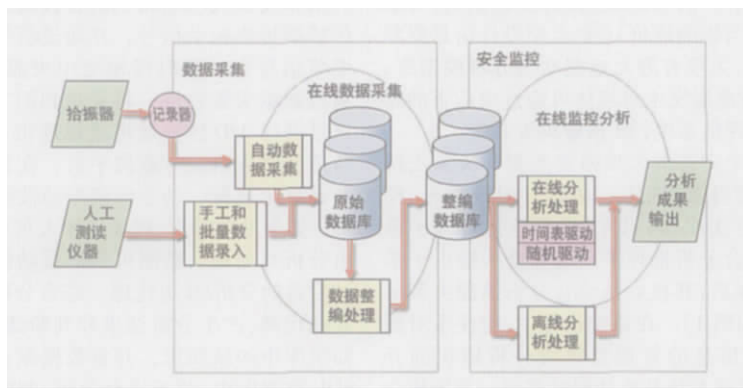


图3 大坝强震安全监测与决策支持系统工作数据流程图

Fig. 3 Data flow diagram of strong motion observation with safety early warning and decision support system in the dam

震监测仪器的直接控制;在系统的中层,运行高级控制程序和部分代理,提供途径来实现数据的接收/传递;在系统的高层,主要对数据库、预处理、图形/图像、分析/算法、综合分析,提供各种对象和服务的隐形实现,提供系统安全和控制;在系统的最高层,运行用户界面,用来维护人机交互界面,提供各种功能的显形表示。

4.3 系统数据流程

混凝土高拱坝强震监测分析预警系统数据流程设计见图3所示。

大坝强震监测数据自动采集系统(硬件)对地震信号的采集是根据工程的需要进行设置的。系统具有连续采集、自动触发采集、定时采集、手动采集等多种采集功能,并通过记录器实现信号的A/D转换,数

字信号最终进入系统数据库系统中。人工采集的数据、巡视检查数据、监测仪器标定数据、历史分析数据和工程抗震设计相关数据,通过人工录入的方式输入各自的数据库。这些数据可以直接输出,即在计算机屏幕显示或打印;亦可以通过预处理系统进行误差识别、异常数据识别和疑点判别。若无疑点,则进入资料整编数据库,若存在疑点,则进行成因分析。整编数据可以输出,也可以运行图形/图像代理,将整编数据形象地用图形表示输出或存入图形/图像库。统计分析、频谱分析和结构分析(包括统计分析、功率谱分析、反应谱分析、结构的动力反应分析和应力变形分析)调用知识库、模型库、分析/算法库中的知识、模型和分析/算法进行各项分析,然后运用专家知识、判别标准进行综合分析,提供辅助决策。整编资料也可以通过调用模型库的预测预报模型进行预测预报。上述综合分析、辅助决策和预测预报成果可以直接输出,或进入成果整编数据库,再以成果报告形式提供给相关部门。

5 系统总控平台

通过总控平台实现系统参数设置、系统查询与显示、系统管理。

5.1 系统参数设置

系统参数设置通过窗口菜单由操作人员根据实际工程要求,对系统运行过程中的有关功能、工作条件、运行方式等进行设定。系统运行前,需要完成以下设置。①对系统进行整机和诸通道标定,然后将标定系数输入作为系统的原始设置(图4)。②对系统的触发条件及其触发参数进行设置。系统对于地震监测信息的获取,应开发以下几种方式,即自动采集、阈值触发采集、长短比触发采集、手动采集、定时采集和连续采集。按监测需要进行设置即可实现信号获得的方式(图5)。③采样频率的设置。根据系统的性能和工程实际中监测通道的多少以及工程的规模,设置信号采样频率。④系统显示设置,包括颜色、坐标轴、实时显示通道数等。

系统管理包括系统用户帐号管理、系统用户权限的分配、操作日志管理和系统错误管理。系统用户帐号管理是指管理申请和维护本系统用户的帐号,将系统的用户分为3组:①系统管理员;②系统用户;③客户。用户帐号包括:用户的组别、用户名、用户帐号(用代码表示)、帐号密码。为保证帐号的安全性,需输入帐号密码,显示用“*”代替,保存到数据库中的数据进行加密。系统管理员有权对用户帐号进行管理,但用户更改密码后,由于显示的密码是用“*”代替,故密码对系统管理员是不公开的,保证了用户帐号的安全性。操作日志管理是指对操作日志进行记录、查询、删除、

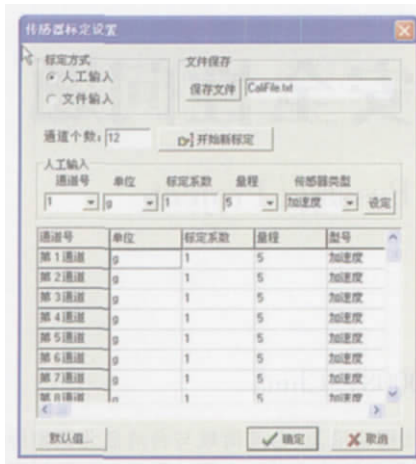


图4 传感器标定界面

Fig. 4 Interface of sensor calibration

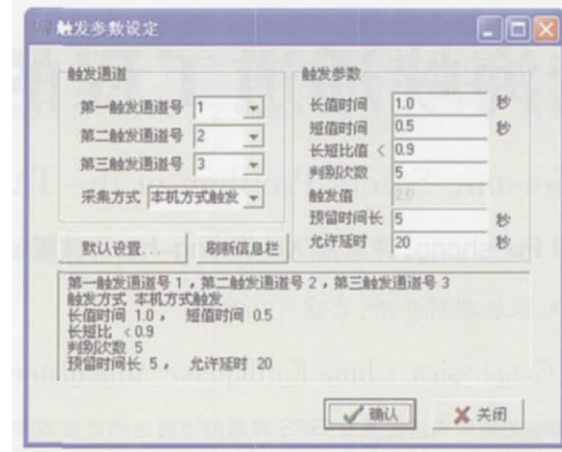


图5 系统触发参数设置界面

Fig. 5 Interface of system trigger parameter setting

备份和打印,记录系统的运行情况,为系统的恢复提供依据。

5.2 实时监控平台

实时监控平台主要完成对大坝日常运行状态监测到的振动信号进行实时跟踪,跟踪范围为布设在大坝结构上的每一个监测通道。实时监控平台包括数据采集、监控平台参数设置、监控平台和在线分析。

数据采集包括下列功能:采集控制参数设置、硬件采集系统性能、硬件采集接口协议性能、监测数据采集、自动采集数据完整性检验和监控数据维护。采集监测数据分为自动采集和人工采集。系统根据采集控制参数和策略,传递采集命令给采集系统,采集系统根据采集命令将采集到的数据传递至采集接口,本系统从采集系统的数据接口读取监测的数据到本系统的数据接口。在线分析时,对采集的数据进行可靠性、正确性和完整性判断。读取采集的控制参数,根据采集的控制参数,读取硬件采集系统的接口数据,然后,将从硬件采集接口读取的数据保存到本系统的采集数据接口。在线分析时,调用预处理模块对监测数据进行预处理(经过预处理的检测数据不再需要进行预处理,设定预处理的标志),其结果另存。根据条件查询或打印监测到的数据。若为在线分析,可以查询和打印经过预处理的整编数据。

5.2.1 硬件采集接口协议性能

根据控制系统向硬件采集系统发出的指令和硬件采集系统返回数据的一致性,来判断接口协议的正确性;根据统计数据采集时间和接口协议传输数据占用时间的比例,来判断接口的效率;根据输入硬件采集系统的接口数据和系统的接口数据、硬件采集耗用时间和接口传输数据耗用时间的比较,判断数据的一致性,检查接口协议

的正确性和接口的效率,输出硬件采集系统协议的性能指标。根据工程实际的规模、测点和通道数量来检验实时监测显示和采集的数据是否完整。若不完整,及时对系统进行检查,与硬件采集系统提供的数据接口内容进行比较,对采集到的监测数据进行查询、备份。

通过监控平台可实时动态地反映监控系统对大坝强震数据采集情况和监测大坝运行时的振动情况。输入硬件采集接口返回给本系统的当前采集仪器和工作状况、采集的工作方式、测点的位置、测点的特征参数和刚刚监测到的记录数据。根据监控平台的参数设置,实时动态地显示大坝各测点部位运行过程脉动情况(可以多通道显示)。系统可对监控平台上的波形曲线和显示信息进行打印输出。

5.2.2 在线分析

对于布设在实际工程中的系统,通过监测站点的传感器,在监控平台中,可实现对监测数据的实时显示、采集,并能够对实时数据进行一般的在线分析,如统计分析、趋势项分析、傅立叶谱分析等。系统将监测整编后的信息和人工巡视检查资料,利用知识库和模型库中的各种评判准则/指标来判断监测信号的情况是否正常。对于正常和有价值振动信号,可作为资料返回到整编数据库中;若异常,则通过对系统测试和检查,进行成因分析和评判;若测值异常是由硬件采集系统产生的,则及时对仪器系统进行检修,并将异常情况说明保存到相应的系统日常维护记录资料数据库。

6 结语

水电工程领域的强震监测在水电工程结构的抗震安全、防震减灾以及对坝址区域地震动输入机制研究的作用越来越受到

工程设计和研究人员的关注。加强水电工程强震监测的技术储备、深入水电工程结构的抗震研究已经成为共识。建立水电工程领域的强震监测数字化网络与传输系统,建立一个水电工程强震监测的信息互通、梯级管理、统一指挥调度的地震应急支持系统,是水电工程强震监测未来发展的方向,也是目前水电工程结构强震安全监测工作的空白。

本文从技术角度对大坝震后安全预警与决策支持系统实现的几个主要部分做了概括性的研究。系统的实现涉及的问题很多,其中包括对基础问题的研究,如大坝震后安全标准的判别、震害指数的选取、系统开发中的模块协调、系统的整体设计、结构分析模块的嵌入和远程传输的方式等。需要进一步开展的工作还有很多,系统的完善尚需大量科研和技术的投入。

参考文献(References)

- [1] 苏克忠, 张力飞, 等. 大坝强震安全监测[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [2] 陈厚群, 苏克忠, 等. 中国水工结构重要强震数据及分析[M]. 北京: 地震出版社, 2000.
- [3] 郭永刚. 水利水电工程强震监测和强震监测仪器[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 422-426.
- [4] 苏克忠, 杨道友. 水工建筑物强震反应台阵设计中的几个问题[C] // 水利论文集第30集. 北京: 中国水利水电出版社, 1988.
- [5] 郭永刚, 等. 混凝土高拱坝震害预警与决策支持系统研究[R]. 中国水利水电科学研究院, 2005.
- [6] 郭永刚, 常廷改, 苏克忠. 大坝强震监测及震害预警问题的探讨[J]. 大坝与安全, 2006(2): 7-10.

(责任编辑 肖庆山)