

基于爆破源的大坝隐患探测新技术

周厚贵, 谭恺炎

(中国葛洲坝集团公司, 湖北宜昌 443002)

[摘要] 采用无损检测技术对大坝进行隐患探测的方法, 是目前国际上的新兴检测技术。文章介绍了基于爆破源的大坝隐患探测新技术的测试原理、系统组成、实施步骤及关键技术。

[关键词] 爆破源; 大坝; 隐患探测; 弹性波; 动态监测; 激励信号

[中图分类号] TV698 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742 (2007) 04-0079-04

1 前言

我国已建和在建水库、大坝多达8万余座, 其中坝高30 m以上的近5 000座, 高于100 m的近200座, 这一座座水库大坝, 防治和减少了洪涝灾害, 有效利用了宝贵的水资源, 为国家经济建设和人民生活提供了源源不断的能源。但是大坝一旦失事又将会给人民群众生命财产和国家经济带来不可估量的损失! 由此, 大坝安全监测就犹如“大坝医生”, 是水库、大坝安全运行的耳目。

我国大坝安全监测经历了从目测、简单工器具测量到仪器测量、自动化观测的发展历程, 特别是近20年来, 随着我国仪器仪表技术的快速发展, 大坝安全监测技术进入了一个辉煌发展时期, 安全监测系统的建立为我国大坝安全高效运行提供了科学依据。

上世纪末, 国外开始将CT层析技术应用于工程研究并取得了一些应用成果。我国自上世纪90年代开始研究大坝CT技术, 主要有电磁波CT与弹性波CT, 按测试方法又分反射法与透射法。弹性波主要根据其介质物性参数变化进行检测, 探测范围主要受激励能量大小、接收仪器精度以及介质阻抗影响, 可以在大尺度范围探测, 因而在无损检

测领域得以广泛应用。近年来, 国内在检测仪器, 尤其是声波仪器、测振传感器以及接收处理仪器的快速发展, 加上分析方法与工程经验的不断积累, 一种全新的基于爆破源的大坝隐患探测新技术呼之欲出。

2 系统原理及组成

2.1 系统原理

基于爆破源的大坝隐患探测技术, 是利用近坝区工程爆破产生恰当的地震冲击波, 冲击波在坝体内产生弹性波并沿一定方向传播, 弹性波在遇到内部缺陷处会产生反射与折射, 同时发生波速、波幅、传播时间、频率等声学参数的变化及波形的畸变等等。通过传感器来接收弹性波的声学参数, 对这些声学参数及波形变化进行分析研究, 确定不同材料边界、坝体缺陷及缺陷范围, 还可以确定坝体材料的动态力学特性参数, 通过已知当量的爆破, 运用动态力学模型预测大坝的预期工作能力以及在不同工况下的安全度, 实现在运用前对大坝进行全面、科学的“体检”。

一般通过反射波探测大坝内部隐患, 根据反射信号的强弱、时间来判断隐患的大小和埋深位置, 埋深位置公式为

$$H = v_p \cdot t/2$$

式中， H 为隐患部位距测点的距离； v_p 为纵波波速； t 为反射时间。

一般的震源振动以纵波（P 波）和横波（S 波）两种基本形式向周围介质中传播，经过不同物性界面时发生折射和反射，出现波形转换，在一定条件下形成沿界面或层面传播的面波，这种以不同的振动形成，经过不同的传播途径，由震源到测点的地震波动称为震相。

对反射波的分析一般需要做纵波的震相分析，震相分析主要包括两个方面：一是运用波动理论分析地震波动由震源发射到界面反射回来的波的传播过程，从而得到关于震相特征的理论认识；二是对测点的实测波形记录进行分析，研究和揭示震相的运动学、动力学特征。震相分析一般从震源分析、

射线分析、走时分析、震相的初动方向分析、波形分析、振幅分析、波谱分析等方面着手，对资料进行全面综合分析，以提高判断能力和分析的准确性。

由于大坝结构、材料以及边界条件的复杂性，弹性波在坝体内传播将是十分复杂的。受测试仪器与分析方法的限制，通过弹性波 CT 检测到的缺陷及缺陷位置可能是大尺度的。采用大尺度扫描定位，针对有问题的区域集中发射能量进行弹性波密集扫描，实施精确定位，并采用常规钻探方法进行验证与加固处理，以达到隐患探测及预防的效果。

2.2 系统结构组成及关键技术

基于爆破源的大坝隐患探测系统主要由动态激励发射系统、接收系统、数据记录系统、数据分析处理系统组成。典型的结构组成如图 1 所示。

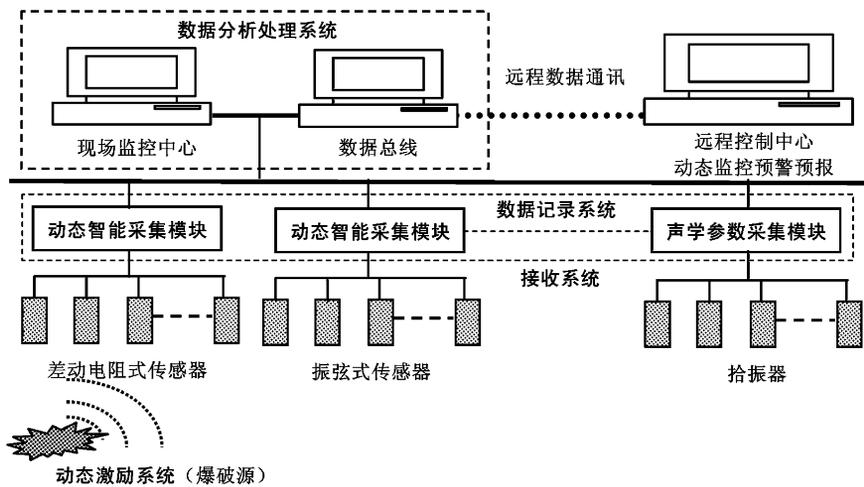


图 1 基于爆破源的大坝隐患探测系统结构示意图

Fig.1 Schemetic diagram of the blasting source_based inspection system for faults in dam

2.2.1 动态激励系统 爆破源的设计是基于爆破源的大坝隐患探测系统的一项关键技术。针对大坝的结构特点“量身定做”，设计一种“爆破当量（或爆破强度）时域上成正弦变化规律”的爆破源。爆破源可采用微差延时爆破，以获得系统的、连续的激励信号，必要时可采用干涉型双源爆破，提高检测分析精度。爆破源的几何位置主要考虑选取在大坝的几何中心点或几何中心线上的某一个点上，如图 2 所示。

2.2.2 接收系统 主要由动态信号拾震器组成。已建大坝除了可在大坝表面的适当位置布置拾震器外，还可利用埋设在坝体内的大量观测仪器来接收爆破振动信号。对于待建工程，则可根据大坝安全

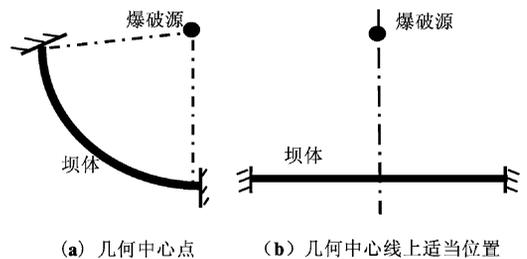


图 2 爆破源位置的选定原则

Fig.2 Locating principle for the blasting source

监控的要求，在做安全监测设计时适当布置一些动态传感器。由于大坝结构、材料以及边界条件的复杂性，接收到的波形将是十分复杂的，如何正确区

分并提取有用信息至关重要。一般通过优化爆破源设计、优化传感器布置,对复杂的问题加以简化,使接收的波形特征更便于分辨,比如采用测线代替测点,在沿波传播路径按一定间隔布置多个测点等等,所以优化测点布置是本系统的又一关键技术,需要在检测实践中积累经验,不断优化改进。

2.2.3 数据记录系统 主要是将传感器接收到的模拟信号进行放大处理并转换为数字信号,进行传输与储存,又分坝内常规观测仪器数据采集记录系统和弹性波检测记录系统,要求多通道同时采集、抗干扰能力强、动态范围大、频带宽、采样速度快等,其关键是两个系统要连接起来,保持采集同步以便于分析。

2.2.4 数据分析处理系统 负责对采集的波形进行过滤抽提,计算分析弹性波在传播过程的声学参数变化,反演大坝振动特性参数,对测试断面进行声波 CT 成像等,一般要求具有对原始数据进行频谱分析、数字滤波、微积分、能量均衡、波形平滑、动静校正、指数放大、小波分析等功能。

3 实施步骤

在我国水利水电工程建设与运行管理过程中,不少单位已采用声波与振动激励的方式进行大坝局部块体结构或构件的无损检测,取得了许多宝贵经验,为基于爆破源的大坝隐患探测技术的实际应用奠定了坚实基础。如采用弹性声波扫描方法几次对丰满大坝混凝土实施缺陷检测^[1],获得了许多剖面波形资料;又如在三峡工程的升船机底板、永久船闸输水洞以及二期工程大坝等混凝土结构中开展的弹性波 CT 检测,获得了很多断面的 CT 影像资料。

对三峡工程二期土石围堰防渗墙爆破拆除进行了系统监测^[2],包括振动参数及其衰减特性、水击波、脉动压力、动应变以及对大坝的宏观影响等,积累了关于爆源设计、建筑物振动声学参数以及建筑物动态响应方面的丰富资料与宝贵经验。

虽然利用弹性波对混凝土结构进行无损检测的技术已广泛应用于水电工程,但是,采用基于爆破源的大坝隐患探测技术对大坝等水工建筑物进行整体探查还需要开展以下工作:

1) 由于水工建筑物的复杂性,分析模型需要通过大量的与常规方法对比试验来修正和优化;

2) 爆破源设计需要进行模型试验,确定爆破源主要设计参数;

3) 利用现有内部观测仪器,需要对二次采集仪表的动态测试性能进行改进,以实现真正的动态采集。

在水工建筑物上建立和使用基于爆破源的大坝隐患探测系统,可依照如下三个步骤来实施。

1) 第一步。通过“量身定制”的爆破源给建筑物以合适的激励信号,通过安装在建筑物表面的拾振传感器检测接收到的弹性波传播的各种声学参数,进行全断面弹性波 CT 成像,达到全面检测缺陷的目的。

2) 第二步。改进和完善现有的观测系统,使之具有动态测试性能,实现重点工程、重点部位的自动化动态监测,以提高安全监控在时间上的分辨水平,进而提高安全监控的可靠度。

关于水工建筑物是否需要开展动态监测的问题,过去很多人认为:水工建筑物的自振频率很低,对有害振动反映缓慢,宏观监测重于微观监测,外观监测重于内观监测。但事物都有两面性,任何结构的破坏都是从材料的微观破坏开始的,只是微观结构的变化不易被觉察而已,借助先进仪器可以测量这些微观变化,还事物的本来面目。比如混凝土裂断过程就是一个从微观到宏观的变化过程。首先表现为应力集中,超过混凝土容许拉应力而出现微裂缝,然后由于混凝土的黏聚力不断抵抗拉应力导致裂缝扩展,进而裂断。如果在应力集中过程甚至初裂阶段能监测到这个变化,采取卸荷、补强等措施,就可以预防裂缝的产生或扩大。目前国内外大坝安全监测系统均采用静态观测方法观测应力、变形、位移等特性参数并进行工作性态评价,但大坝的运行过程实际是一个动态的过程,尤其在洪水、地震以及水位、水流急剧变化时,其动态特性更为重要。此时静态观测往往不易捕捉到诸多不利的数据,致使观测结果不能准确反映大坝的真实变化,影响决策的准确性与及时性,对大坝的安全运行产生不可忽视的隐患,甚至溃坝。因此,开展大坝动态安全监测才能真正地做到实时监控,也是完全可以实现的。

3) 第三步。在动态监测的基础上,建立大坝动态力学分析模型,然后通过已知能量的爆破源激励,通过安装的动态接收系统检测大坝的动态力学变化及声学参数变化,将检测参数代入动态力学模型进行分析,以预测大坝预期的抵抗能力。

4 结语

基于爆破源的大坝隐患探测技术是一门集水工结构、爆炸力学、声学、信息学、自动化等于一体的跨学科的复杂技术,目前虽然在几个关键技术研究方面都取得了一定的成果,但作为一种实用的大坝检测技术应用于工程,还需要工程各界技术人员通力合作。

参考文献

- [1] 张震夏,张进平,李平,等. 混凝土大坝声波层析检测系统[J]. 大坝与安全, 2003, 13(2): 39~43
- [2] 文德钧,曾明,张开广. 三峡工程二期下游围堰混凝土防渗墙拆除爆破试验、设计与监测[A]. 中国葛洲坝集团公司. 三峡工程施工技术二期工程卷[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2003

A Blasting Sources-Based Approach to Inspection of Faults in Dam

Zhou Hougui, Tan Kaiyan

(China Gezhouba Group Corporation, Yichang, Hubei 443002, China)

[Abstract] An approach to inspection of incipient faults in dam by non-destructive testing is a so far emerging inspection technology in the world. In this paper, inspection principles, system integrity and key items of the new blasting source-based technology for inspection of incipient faults in dam, different from common non-destructive testing, are presented, following briefing experiences in dam inspection by elastic wave CT in recent years. Specific procedures and goals for further spreading and application as well as conclusion are introduced finally.

[Key words] blasting source; dam; inspection of incipient fault; elastic wave; dynamic monitoring; excitation signal

(cont. from p.44)

Design of Hygroscope for Tongue Moisture

Jia Guixi¹, Pei Xiaona¹, Kang Yingpeng¹, Zhu Kai²

(1. School of Electrical & Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

[Abstract] In traditional Chinese medicine, tongue moisture plays an important role in tongue diagnosis. However, there are still some problems in conventional measurement. Therefore, a hygroscope, which uses digital humidity and temperature sensor, was developed to test tongue moisture based on mass transfer means. This paper presents its testing principle and the design method of its hardware and software. This hygroscope finds itself with some attractive features, such as portability, handy operation, low power consumption, etc. It has been proved that the standard deviation of this tester, only 2.9%, is better than that of other conventional instruments, and the tongue moisture could be measured rapidly and accurately.

[Key words] tongue moisture; mass transfer; digital humidity temperature sensor