

地震 CT 技术在复杂岩溶坝基渗漏探测工程中的应用^{*}

毛先进¹, 陈绍青², 杨玲英¹, 陈 刚¹

(1. 云南省地震局, 昆明 650224 2. 云南省地质工程勘察总公司, 昆明 650051)

摘要: 地震 CT 获得的结果是地下介质弹性波速度的空间分布, 与电磁波 CT 相比, 弹性波速度与介质力学性质的关系要密切得多, 更有利于确定异常性质。以云南文山某水电站大坝为例, 介绍了地震跨孔 CT 技术在复杂岩溶坝基渗漏探测工程中的应用及应注意的问题。

关键词: 岩溶坝基; 渗漏探测; 地震 CT 技术; 云南

中图分类号: TV691.8⁺4 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2008)02-0171-03

0 引言

地震 CT (Computerized Tomography) 技术又称地震层析成像技术, 它借鉴了医学上利用 X 射线对人体内部器官透射成像来发现病灶的 CT 医疗诊断方法。该方法经过 40 余年的发展, 到目前已取得很大进展 (杨文采等, 1993), 在国内亦有不少研究和成功应用的实例 (黄金莉等, 1994; 金亚荣等, 2000)。一方面, 地震 CT 技术能多方位地对目的体进行探测, 较常规的地震勘探方法获得更多的信息; 另一方面, 地震 CT 获得的结果是地下介质弹性波速度的空间分布, 与电磁波类方法相比, 弹性波速度与介质的力学性质的关系要密切得多, 因此不仅有利于全面细致地了解探测区域异常体的大小、形态及空间分布, 也有利于确定异常性质。笔者介绍了一个利用地震 CT 技术在复杂岩溶区水库坝基渗漏探测中的实例, 供同行参考。

1 坝址区工程地质条件

云南文山某水电站坝址区河流总体由南向北流, 经约 300 余米的一条暗河流出坝址区, 属岩溶峡谷地貌。坝址区主要出露有二迭系和第四系地层。二迭系 (P) 下统栖霞组 (P₁^q) 岩性为灰色、浅灰色厚层块状灰岩夹生物碎屑灰岩, 主要分布于坝址上游和坝址右岸; 上统 (P₂^q) 岩性为灰色、灰黑色厚层块状灰岩、燧石灰岩, 广泛分

布于坝址区内。

坝址区地质构造复杂, 主要以断裂构造为主, 次级结构 (小断层) 发育; 坝址区岩溶发育, 在 0.3 km² 的范围内, 调查发现共有 6 条规模较大的溶洞或暗河, 溶洞宽一般为 10~30 m, 高 5~20 m, 深度 50~300 m, 洞内崩塌较为发育, 钙化胶结一般较少, 洞底多充填有粘土和块石等。据钻孔资料和物探资料, 坝址区存在有隐伏的溶洞和岩溶管道等岩溶现象。

2 大坝渗漏情况

大坝蓄水至库水位高程达到 365 m (设计正常蓄水水位高程为 385 m) 时, 坝后河床中出现 3 个涌水点, 漏水量达 3 m³/s, 经灌浆处理后, 堵住了其中 1 个漏水点, 但还有 2 个未能堵住。为使渗漏治理工作更具针对性, 提高灌浆处理效果, 并减少处理成本, 我们开展了物探工作, 以查明渗漏区基岩节理裂隙和溶蚀裂隙 (或溶沟、溶洞) 的空间分布。

3 物探方法简述

3.1 原理简介

在勘探过程中, 由于要在钢筋混凝土衬砌过的下层灌浆廊道 (位于坝体内, 廊道净空断面 3.5 m×2.5 m, 底板高程 340 m) 中施工, 廊道中的湿度较大, 并且廊道中架设有 380 V 的高压电, 又正值汛期, 库水位较高, 造成钻孔中地下水位

* 收稿日期: 2007-07-30.

基金项目: 云南省科技攻关项目“昆明新机场建设岩土工程关键技术研究”(2006GG38) 资助。

较高，从而限制了多种物探方法的使用。结合现场岩性、构造出露情况等条件，经过研究，确定采用跨孔地震 CT方法开展本次物探工作。

图 1 是孔间地震波速层析成像原理图，在钻孔 1（ZK1）中的所有激发点上依次激发地震波，每次激发后在钻孔 2（ZK2）中的所有接收点（布置有检波器）上同时接收地震波，然后利用计算机对所有观测数据（地震 P波走时）进行联合处理和图像重建，获得两钻孔（即 ZK1、ZK2）之间的地震波速度的平面分布。

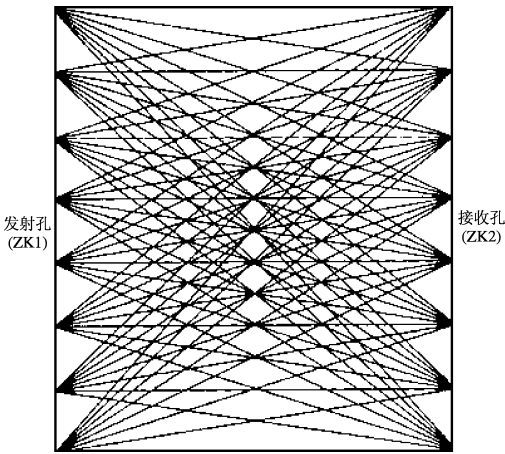


图 1 跨孔地震 CT观测系统图

3.2 成像孔位布置

根据坝基岩体工程地质特性，结合前期灌浆资料，确定本次 CT成像孔间距小于等于 15 m。实际成像孔间距：CT₁与 CT₂孔间距为 14.1 m，CT₂与 CT₃孔间距为 15.05 m。地震 CT孔位布置平面示意如图 2。为了获得丰富的信息，本次探测工作中，在下层廊道内的每两个相邻的钻孔之间进行成像观测时，激发点（在发射孔内）间距选择为 1 m，接收信号的检波器（在接收孔内）间距也选择为 1 m。3个物探观测孔（即下层廊道内的 CT₁、CT₂、CT₃）孔深均为 70 m，因沉淤作用，实际工作时震源与接收检波器最深放至 68 m。

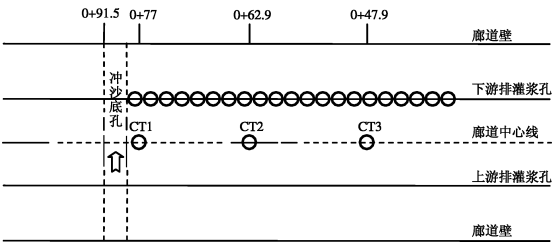


图 2 CT孔布置平面示意图

3.3 检测设备

本次探测的激发装置采用 HX-DHH-02 电火花震源仪，它安全稳定，输出功率较大。接收装置采用 DZQ24 工程地震仪和井中专用串式检波器。

4 结果分析

经室内人工读数与地震 CT专用软件分析处理，得到 CT₁、CT₂、CT₃ 孔之间的地震纵波波速剖面（图 3）。

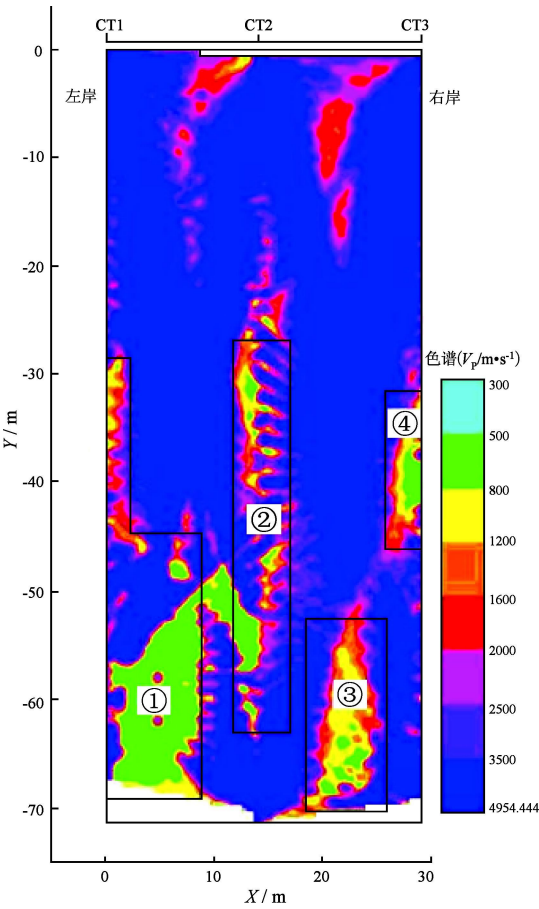


图 3 地震 CT成像波速剖面图

把地下介质的地震波速分布转换为对地下岩性、构造的地质解释，依据的是不同地质单元具有不同的地震波速度值。本次探测中的 3 个物探孔所处位置大部分为基岩，少量为素混凝土。根据弹性理论，完整、致密基岩的波速值较高，而在基岩内裂隙发育、破碎、夹泥、含水，即强度较低的情况下，弹性波速度值会明显降低。因此，我们据波速剖面（图 3）圈定了如下 4 个岩石强度较低的异常区域：

(1) 以 CT_1 孔和 CT_2 孔向左 5 m 为左右边界, 及下层廊道底板之下 28 m 和 70 m 为上下边界的范围内, 纵波波速只有 500~1 200 m/s;

(2) 以 CT_2 孔向左 4 m 和向右 3 m 为左右边界, 及下层廊道底板以下 30 m 和 65 m 为上下边界的范围内, 纵波波速只有 800~1 200 m/s;

(3) 以 CT_2 孔向右 5 m 和 CT_3 孔向左 5 m 为左右边界, 下层廊道底板之下 53 m 和 70 m 为上下边界的范围内, 纵波波速只有 500~1 200 m/s;

(4) 以 CT_3 孔深 35 m 和 50 m 为上下边界, 在其左、右各 5 m 范围内, 纵波波速只有 800~2 000 m/s;

5 灌浆验证

本次探测工作结束后, 根据探测结果, 在图 3 中的各异常区共布置灌浆孔 10 个。其中 4 个灌浆孔的单孔灌浆量远大于物探异常区域之外其它单孔的灌浆量; 4 个灌浆孔中最小单孔灌浆量达到 18.7 t, 最大单孔灌浆量达到 39.6 t, 物探地质解释结果得到了较好印证。

6 结语

本次物探工作及灌浆验证表明, 异常区定位较准确, 地震跨孔 CT 技术是探测地下介质中软弱破碎区的有效手段。同时也应看到, 本次工作并没有达到预期目的, 虽然异常区灌浆量较大, 但库水渗漏情况并未改观, 究其原因, 岩石张裂隙发育、裂隙间连通性好、破碎、夹砂是形成渗漏通道的必要条件, 但不是充分条件, 即并不是有此条件就一定是渗漏通道, 因此坝体岩溶渗漏通道探测是一个十分复杂的问题, 要解决这一问题还需要做很多工作。

参考文献:

- 黄金莉, 刘家琦, 欧阳代俊, 等. 1994. 工程物探中地震层析成像的研究 [J]. 地球物理学报, 36 (5): 682—687.
- 全亚荣, 陈周平. 2000. 层析技术在岩溶地区岩土工程勘察中的应用 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 39 (2): 114—118.
- 杨文采, 李幼铭. 1993. 应用地震层析成像 [M]. 北京: 地质出版社.

Application of Seismic Computerized Tomography to Water Leakage Path Detection of the Dam Base in Karst Area

MAO Xian-jin, CHEN Shao-qing, YANG Ling-ying, CHEN Gang

(1. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

(2. Geological Engineering Exploration Co. of Yunnan Province, Kunming 650051, Yunnan, China)

Abstract

The exploration result of Seismic Computerized Tomography (SCT) is the spatial distribution of elastic wave velocity of medium. Compared with ElectroMagnetic wave, the relationship is closer between elastic wave velocity and mechanical characteristics of medium, so SCT is more advantageous than ElectroMagnetic Computerized Tomography in determining the elasticity characteristics of medium. Exemplified by a dam of the hydroelectric station in Wenshan of Yunnan, SCT technology was applied to detect the water leakage path of the dam base in Karst area, and some problems that should be paid attention to in application were pointed out.

Key words: dam base in Karst area; water leakage path detection; Seismic Computerized Tomography



毛先进 云南省地震局正研级高级工程师。1997年毕业于中南工业大学地质系应用地球物理专业,获博士学位。主要从事工程地球物理勘探及地震电磁学研究。



Kamal AbdelRahman El-Sayed 埃及国家天文和地球物理研究所地震学室副研究员。分别于1999、1994、1990年毕业于Zagazig大学,并获工程地震学博士学位、地质学硕士学位和地球物理学学士学位。现主要从事场地效应评估、地震灾害评估和强震动数据的工程应用研究。



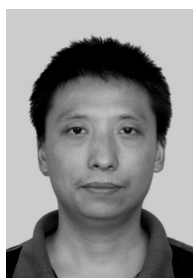
李志祥 云南省地震局地震工程研究院高级工程师。1991年毕业于北京大学地震地质专业。现主要从事建筑工程检测及水库地震监测台网建设工程设计工作,承担“复杂构造区水库地震监测预警研究”运用方面的子课题研究工作。



王 琼 新疆维吾尔自治区地震局副局长研究员。1997年毕业于新疆师范大学地理专业,获学士学位;2000年毕业于中国地震局兰州地震研究所固体地球物理专业,获硕士学位。主要从事地震预报和应力触发等方面的研究。



张卫东 广州航海高等专科学校交通建筑工程系副教授,一级注册结构工程师。2001年毕业于哈尔滨工业大学结构工程专业,获硕士学位。主要从事土—结构相互作用,工程结构抗震、隔震,差异沉降对上部结构的影响及防控等方面的研究及土木工程的教学工作。



皇 民 河南工程学院讲师。1996年毕业于西安矿业学院建筑工程系,获学士学位;现为西南交通大学土木学院博士研究生。研究方向为地下结构动力分析及抗减震研究。



王曰风 河北省地震局张家口中心台工程师。1999年毕业于石家庄经济学院(原河北地质学院)水文地质与工程地质专业,获学士学位;现为中国科学技术大学固体地球物理专业在读硕士研究生。主要从事地震观测与地震分析预报工作。



史 榕 2005年毕业于吉林大学地球探测科学与技术学院,获硕士学位;现为同济大学海洋与地球科学学院固体地球物理专业在读博士研究生。主要从事GPS与遥感图像处理方面的工作。