

# 应用井间地震 CT 探测某桥墩基础断裂

王建军, 廖全涛, 曹建伟, 李成香

(湖北省神龙地质工程勘察院, 湖北 武汉 430056)

**摘要:**介绍了井间地震 CT 技术原理及野外工作方法,以应用井间地震 CT 技术解决桥墩基础断裂的一个应用为例,指出依据经验获取高质量的井间地震 CT 原始资料以及利用现有钻孔的地质资料做联合反演,才能获取好的解释效果。

**关键词:**井间地震;层析成像;桥梁基础

中图分类号:P631;TU473.1 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2006)02-0186-03

井间地震 CT 以其分辨率高、解析成果直观等特点,目前广泛应用于工业及民用建筑、公路、铁路、环境等方面工程地质勘察中<sup>[1-6]</sup>,它在精细构造、隐伏地质体的探测中具有较好的效果。湖北京珠国道陆水河大桥河中桥基钻探过程中发现某桥墩两侧岩性差别较大,尤其右侧基础处岩溶极发育,根据区域地质资料判断有一断裂通过该桥墩处,但现有的地质资料无法判定其具体分布情况,因此必须查明该桥墩基岩中断裂构造的分布、产状和规模,以便为工程设计提供地质依据。为此,在现有的钻孔地质资料基础上,应用井间地震 CT 对该桥墩基础处基岩地质构造进行了勘察,收到了良好的勘察效果。

## 1 方法原理

地震层析 CT 成像技术在医学 CT 成像技术的基础上发展起来的,二者只是物理量不同而已,成像原理一样。井间地震 CT 成像技术以它独特的观测方式以及由此产生的比地面地震高一个数量级的分辨率,为人们提供了高精度的地下岩性信息。

地震 CT 技术是利用地震波在不同介质中传播速度的差异,确定一个沿路径的积分的图像函数

$$d = \int_C \alpha(x, y) dl,$$

即 Radon 变换。数据处理满足方程

$$t_i = \int dL/\alpha(x, y) + \delta t_i.$$

根据地震波信号初至时间数据的变化,利用计算机通过这种重建的测试区域地震波速度场的分部特征,来推断地质构造的位置、形态和分布状况。由此获得地震波到时数据并进行速度  $\alpha(x, y)$  分布反演。

对速度场图像重建,采用联合迭代法进行迭代,其反演结果为地震 CT 速度图像也就是图 1 两钻孔间剖面重建的速度场图像。

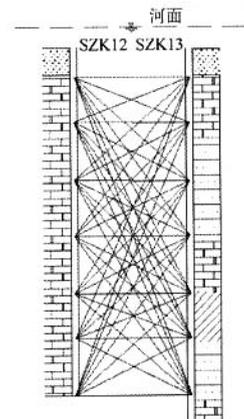


图 1 孔间地震 CT 观测系统

由于地震波在地下介质传播的过程中,地震波速度因岩体结构特征变化而发生变化。完整岩石与破裂岩体的地震波传播速度是不同的,即使是同一岩层,由于其结构特征发生变化,其波场分布亦表现为不同的特征图像。因此通过剖面速度场图像重建,可对断裂等构造的具体特征进行判定。

## 2 地质与探测概况

陆水河大桥位于蒲圻倒转向斜北翼近核部,地层为三叠系下统观音山组( $T_{1g}$ )灰岩、白云质灰岩、白云岩。陆水河水位受上游水库发电影响,涨落差达 2~3 m。ZK12 孔深 46.4 m,上部含砾中粗砂、砾卵石层厚 3.6 m,水深为 4.2 m;ZK13 孔深 52.4 m,水深为 4.6 m,上部含砾中粗砂、砾卵石层厚 3.5 m。2 孔下部白云质灰岩内岩溶发育,尤其是 ZK13,在

溶洞内又次生有钙质砂质。测区钻孔及地震 CT 测线布置见图 2。探测选用 ZK12 和 ZK13 孔,间距 20.8 m,探测深度范围 3.6 ~ 46.4 m,在 ZK12 基岩顶面以下至孔底激发地震波,在 ZK13 安置 12 道水听器接收地震波,从而获得不同深度透射波初至数据。由电雷管引爆炸药产生震动作为震源,自制爆炸设备进行激发,经试验药量选用 50 g,水听器采用专用电缆,孔中用泥浆耦合,最深至为 46.4 m,用自制吊装设备上下移动。

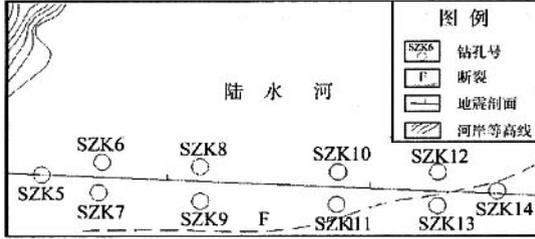


图 2 测区钻孔及地震 CT 测线布置示意

### 3 资料处理及成果分析

#### 3.1 数据采集

数据采集采用美国 R24 多道地震仪,孔中采用 12 道水听器接收,激发距和道间距均为 1 m,通过实验后确定采集技术参数为:采样间隔 31.25  $\mu$ s,记录长度 128 ms,滤波采用 100 ~ 250 Hz 带通,爆炸震源药量 30 g。取得了较理想的波形初至数据,图 3 为波形原始记录。

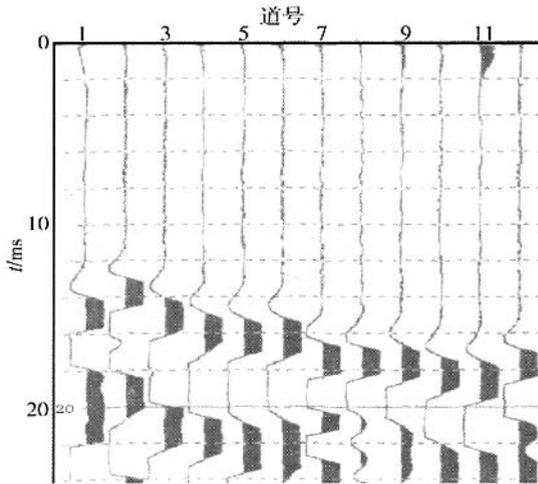


图 3 地震 CT 测线波形原始记录

#### 3.2 资料处理

数据处理采用自行开发的地震 CT 反演软件,在 CT 模块中将采集的各单炮波形数据进行编录和重排,组成 CT 阵列记录,并进行文头编辑、道数据编辑、噪声剔除、数字滤波、希尔伯特变换、初至拾取等处理过程。从波速度等方面进行透射数据处理和 CT 成像反演,数据处理过程中利用软件自动拾取初至

时间,取得时间参数。根据波速测孔速度数据给出反演时速度取值范围,然后用联合迭代法(SIRT法)进行迭代反演。

#### 3.3 成果分析

通过井间地震 CT 处理及反演结果成图,准确地确定了该桥墩基础断裂的位置和基本情况(图 4)。剖面中构造破碎带(断裂)地震 CT 成像清晰,表现为低速异常。完整基础纵波速度为 3.0 ~ 5.5 km/s,构造破碎带(断裂)的纵波速度为 1.5 ~ 3.0 km/s,断裂倾向 ZK12 孔,倾角陡,上部约 80°,下部约 70°。地震 CT 成像显示该断裂宽约 3 ~ 5 m,受其影响,下盘岩石破碎,故 ZK13 孔处岩溶发育成串珠状,显示该断裂为张性断层。成像图中白色区域为射线稀少区,形成原因有二:①受观测系统限制,该区域内通过射线本身就较少;②受断裂影响,该区域内部分段为形成小空洞,未形成小空洞段则纵波速度很低,致使射线在该段界面上形成折射,从其他处绕行。

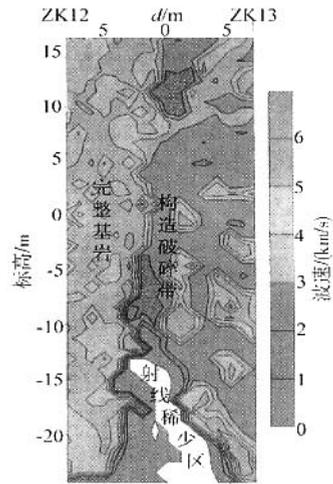


图 4 孔间地震 CT 成像及地质解释

### 4 结果验证

在地震 CT 工作同时用地震反射法进行了探测,均显示该断裂的存在;之后在断裂布置一钻孔进行验证,钻孔深度 15 m,从 5 m 开始岩石极破碎,岩芯呈碎石及碎块状,局部呈松散砂土状,表明该断裂确实存在。以此探测为依据,设计和施工时对该桥墩基础采取了处理措施,取得了较好的效果。

### 5 结语

实践证明,井间地震 CT 与钻孔资料相结合,可方便应用于工程地质勘察中,其解释准确可靠,适用于多种探测对象,具有较好的应用价值和广阔的应用前景。

参考文献：

[ 1 ] 杨文采,李幼铭.应用地震层析成像[ M ].北京:地质出版社,1993.

[ 2 ] 邱庆程,李伟和.跨孔地震 CT 层析成像在岩溶勘察中的应用[ J ].物探与化探,2001,25(3):236.

[ 3 ] 杨文采.地震层析成像在工程勘测中的应用[ J ].物探与化探,1993,17(3):182.

[ 4 ] 孙党生,李洪涛.井间地震波 CT 技术在水库渗漏勘查中的应用[ J ].勘查科学技术,2000.

[ 5 ] 朱介寿,严忠琼,曹俊兴.勘探地球物理层析成像软件系统研究[ J ].物探化探计算技术,1994,16(4):310.

[ 6 ] 朱介寿,严忠琼,曹俊兴,等.勘探地球物理层析成像软件系统及其应用[ J ].物探与化探,1998,22(2):90.

## THE APPLICATION OF THE CROSSHOLE SEISMIC COMPUTERIZED TOPOGRAPHY TO THE DETECTION OF FISSURES IN BRIDGE FOUNDATION

WANG Jian-jun ,LIAO Quan-tao ,CAO Jian-wei ,LI Cheng-xiang

( Hubei Magic Dragon Corporation of Geological Engineering Investigation , Wuhan 430056 , China )

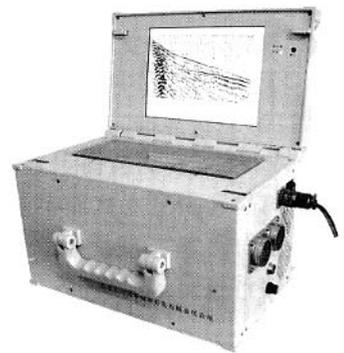
**Abstract :** The crosshole seismic CT is a high-resolution response method for geological exploration. This paper describes the theory and field techniques of crosshole seismic CT , and presents an example to illustrate the application of the crosshole seismic CT to the detection of fissures in the foundation of a bridge. The means for obtaining good seismic data based on the authors' experience are given in this paper. Only by performing joint inversion of crosshole seismic data and geological data can good interpretation result be achieved.

**Key words :** crosshole seismic survey , computerized topography , foundation of a bridge

作者简介:王建军(1974-)男,工程师,1995年毕业于中国地质大学(武汉)应用地球物理系,在读工程硕士,从事工程物探工作多年,公开发表学术论文数篇。

# 二十四道工程勘察浅震仪简介

由北京北方波华技术开发有限责任公司研制的多功能 24 道工程勘察浅震仪,具有多道瞬态面波、浅层工程地震、地震映像、地脉动等多种勘查与检测功能,是一种轻便可靠的地震数据采集与处理系统。并在地矿、水电、交通、铁道、建筑、地震、冶金、核工业等方面的工程勘察中发挥了作用,包括地质构造、工程场地基础勘察、灾害地质体及地下埋设物调查、地基动力特性测试与评价、基础处理(基桩、复合地基、强夯、碾压)质检等。



热情欢迎新老朋友垂询!

### 主要技术指标

- 通道: 1 ~ 24 道可选
- 模拟滤波器
- 接口: 串口、并口、网口、USB 口、鼠标口、VGA 口、软驱(外置)口
- 信号叠加增强: 32 bit
- 仪器增益: 20dB、40dB、60dB 可选
- 采样间隔: 10 ~ 500μs(1 道) 0.25 ~ 8ms(24 道) 5 ~ 20ms(微动)
- 抗震动: 1G(10 ~ 60Hz)
- 采样点数: 512 ~ 800000
- 频带: 0.5 ~ 5000 Hz
- 延时: 1 ~ 10000 ms
- 重量及尺寸: 14kg, 370mm × 225mm × 245 mm

**北京北方波华技术开发有限责任公司**  
地址及邮编: 北京市西城区德外大街 2 号 310 室, 100011  
联系人: 孟群  
电话: 010 - 62355487 ; 13801373062