

岩溶探测中井间地震波层析成像的应用

汪兴旺^{1,2}, 杨勤海³, 孙党生³, 薛典军⁴

(1. 成都理工大学 油气藏地质与开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 核工业井巷建设公司, 浙江 湖州 313000; 3. 中国地质调查局 水文地质工程地质技术方法研究所, 河北 保定 071051; 4. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 结合在岩溶地区开展的工程勘察实例, 运用井间地震波层析成像技术研究钻孔之间的地质剖面。在确定岩溶、裂隙、破碎带的空间位置方面所能解决的程度、适用条件、准确性等方面, 表明该技术是一种数字化、高精度的技术方法。

关键词: 井间地震; 层析成像; 岩溶探测

中图分类号: P631.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2008)01-0105-04

随着城市建设的发展, 多层及高层建筑、地下通道等工程的大量兴建, 在岩溶地区, 工程勘察时经常遇到诸如岩溶、塌陷、裂隙破碎带等不良地质现象的探测问题。为了综合评价区内岩溶塌陷地质灾害影响范围和危害程度, 在探测目的明确, 研究横向2维地质体情况的目标下, 井间地震波层析成像技术是解决上述问题的一种行之有效的方法; 在划分、确定岩溶区域或岩体破碎带等方面, 表明了该技术是一种高分辨率的有效探测技术手段。

1 井间地震波层析成像原理

井间地震波层析成像技术又被称为井间地震波CT, 是利用地震波探测钻孔间地质体介质分布的一种地球物理勘探方法。实践表明, 它可以分辨地下1~10 m的介质分布。井间地震波层析成像的基本原理与医学X-射线透视诊断技术类似, 是一种边界投影反演方法, 即在一钻孔内通过人工激发震源, 透射地层或目的体后, 在另一钻孔内同步用检波器接收地震波信号^[1-4]。

井间地震波层析成像探测井间地质剖面的方法主要是根据被探测的“不良”地质体(岩溶、裂隙、破碎带等地质灾害)与围岩体的波速存在明显差异。即存在探测的地球物理前提。利用人工激发的地震波射线穿透地质体内部, 其走时和振幅的观测值与地质体内部的物理参数(速度、振幅衰减特性)存在线积分关系, 高精度地震仪接收并记录、测定地震波走时或振幅变化, 再通过进一步的信号处理、反演计

算和解释即可了解钻孔之间的地质情况, 得出地质体内部介质二维速度结构和衰减特性, 并以速度图像表示其结果^[5]。

CT技术是利用波在不同介质中传播速度的不同差异, 目的是确定一个沿路径的积分图像函数

$$d = \int f(x, y) dl,$$

即为Radon变换。每个成像单元的地质介质是均匀的, 波速是单一的。一般而言, 致密完整的岩体波速较高, 疏松碎裂岩体波速较低。数据处理满足方程

$$t_i = \left[\int dl/C(x, y) \right] + \delta t_i.$$

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场的分布特征, 来推断地质构造的位置、形态和分布状况。由此获得地震波初至波时数据并进行速度 $C(x, y)$ 分布反演。井间地震波层析成像成果是以速度标识图像形式记录。图形常以不同速度色标形象地表明钻孔间地质体介质内部结构和特性。同时再结合地质体介质的岩土物理特性, 即可形象地反映出地质剖面。根据地质剖面图像, 可以判断出岩溶、裂隙破碎带与周围基岩的赋存关系。

2 工程实例

某场区主要分布有第四系冲洪积地层和古生界寒武系的泥灰岩、灰岩。在自然和人为因素影响下, 曾多次发生岩溶塌陷, 地面变形、塌陷等地质灾害。

岩溶地面塌陷成为城市建设和经济发展的重大制约因素。它不仅造成了巨大的经济损失,也带来了较大社会影响。因此,为了对岩溶塌陷进行综合防治对策研究,最大限度地减轻灾害造成的损失,对该场区岩溶塌陷地质灾害进行勘察,利用 CT 技术对已查明不稳定区的钻探工作进行佐证。为后续治理灌浆工作提供定量指导与验证。

2.1 探测方法

目前,常用的 CT 技术测量方法有一发一收观测法、一发多收观测法。其中以一发多收观测法应用最为广泛,对于钻孔之间的岩溶及破碎带的探测,使用一发多收观测的连续扫描效果显著。因此本次工作中使用一发多收观测法进行测试。仪器采用美国 GEOMETRICS 公司的 GEODE NZ 地震系统。震源采用湘潭无线电厂生产的电火花震源。接收采用日本 OYO 公司生产的 12 道防水检波器串。

工作按以下步骤进行。

(1) 获取各种可以收集到的有用资料,根据探测区域的具体情况。首先走访勘察施工单位,确定钻孔的地层分布及钻进情况。收集探测区域其他物探方法勘查报告,了解其特征,以便与井间层析成像实测资料进行对比^①。

(2) 测量前需准备:①仪器测试和检波器的一致性校正;②震源试验,确定最佳的震源能量、频带宽度、震源信号的形状和可重复性等;③环境噪声的测试,尽量避开噪声源;④检波器耦合试验,找出改善耦合的办法,如在底部加黏合剂,加大井中泥浆的稠度;⑤井下震源和检波器深度误差的测试。

(3) 观测系统设计的好坏是层析成像取得良好地质效果的重要因素之一,观测系统的设计应考虑以下几点:①成像区域的井深与井间距之比值尽可能小于 1,比值越大,陡倾角射线数越多,成像地质效果越好;②被探测的不良地质体的几何尺度及埋藏深度;③射线尽可能覆盖整个成像区域且均匀分布,尽量使每个成像单元网格内有一条射线通过;④炮点距及检波点距尽可能分布在多个方位上;⑤现场测试时,对激发、接收点应准确定位,同时应保证每张记录的信噪比高、地震波初至清晰,对不合格记录应坚决去掉或重测。同时,由于测试数据量大,应及时准确填写原始记录的激发、接收关系。

在探测过程中,介质中地震波的传播速度和介质的地球物理特性是重要的影响因素。相对于泥灰岩介质其纵波速度范围介于 1.4~4.5 km/s 之间,冲洪积层等介质其纵波速度范围介于 0.5~1.6 km/s 之间。由于地质体变化的复杂性,针对具体场

地,需要进行探测试验与参数标定,以确保探测结果解释的精度。

2.2 探测方案

井中地震波层析成像的施工过程是:一般先将震源放到井底部,检波器串也先放在另一口井底部,然后激发、记录后逐渐提升,完成一个共炮点道集后再继续进行下一个共炮点道集的接收。就是采用一发多收的扇形穿透观测系统。经过多点激发,在探测区域形成致密的射线交叉网络,构成扫描式观测系统。注意记录发射点、接收点坐标及走时数据。

3 资料处理及解释推断

3.1 资料处理

3.1.1 资料预处理

资料预处理过程为野外数据记录→格式转换→共炮点显示→坏道剔除→小波多尺度分析→自动与人机交互初至拾取。在数据预处理中,注意剔除不良记录,反复校核数据,使初至走时拾取准确、可靠。井间地震波数据预处理流程如图 1 所示。经过测试得到的记录剖面,应该信噪比高,波形清晰,首波初至清楚。后续的反演计算成像提供了高质量的走时数据。

3.1.2 反演成像

井间地震走时层析成像(CT)数据处理流程如图 1 所示。利用 Moser, T. J 的弯曲射线追踪方法进行最小走时射线追踪来计算理论走时,采用 DLSQR + SLRT 联合算法进行反演成像,并引入适当约束条件。反演计算成果是以速度彩色谱图方式给出。

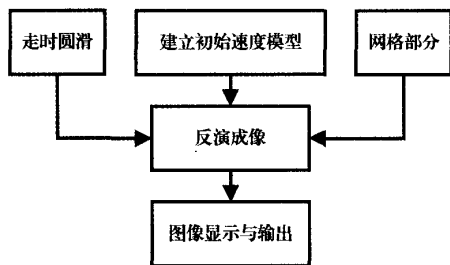


图 1 井间地震走时层析成像数据处理流程

3.2 资料解释

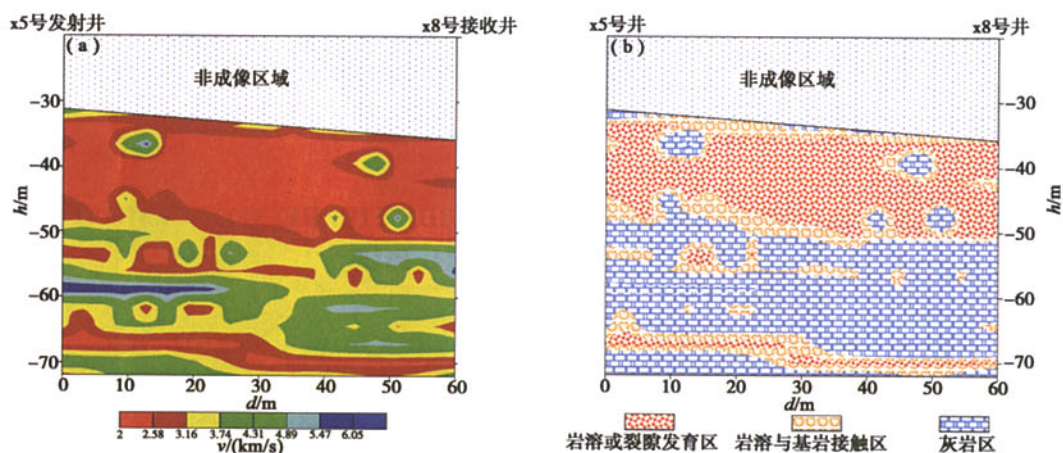
因为钻孔需要为下一步注压浆工作留用,上部第四系地层易塌孔,故下有套管。将井口作为计算标准零点,因套管的影响,井中激发与接收均在井下基岩裸孔中进行,因此 CT 图像上部为非成像区域。笔者介绍的 x5 号-x8 号钻孔剖面为井下基岩的成像

情况(图2)。由x5号-x8号井间地震层析成像剖面图与地质解释剖面图可以看出:在CT图中波速为2.0~2.5 km/s之间区域视为低速区,对应地质解释即为贯穿两孔之间的区域,推断解释为岩溶发育带或风化强烈的岩体破碎带,其岩溶发育带范围较大,规模不等;CT图中波速为2.5~3.0 km/s之间区域视为中速区,对应地质解释图推断解释为风化较强的岩体与完整岩体的过渡部分,岩性判断为较强风化基岩;成像图中波速在3.0 km/s以上区域为高速区,对应的解释为岩体相对完整,其岩性可判断为完整基岩。

在测试过程中,受现场工作条件所限,部分钻孔上部有套管护壁无法取得记录,因此上部覆盖层中的情况只能由其他物探技术方法确定^[4,6]。在掌握了该场区基本地质情况后,依据CT测试资料,其他物探、钻孔、区域地质资料综合分析推断,基本明确了该场区内基岩破碎的空间展布、岩溶发育情况。

以x5号-x8号钻孔示例说明如下:x5号钻孔资料为37.1~38.2 m,40.8~41.0 m,41.6~41.8 m,44.1~44.6 m,44.7~44.9 m,47.8~48.4 m,52.1~53.2 m,67.1~67.7 m部位均为钻探探到的破碎带,x8号钻孔资料为40.8~41.2 m,41.6~41.8 m,44.1~44.4 m,44.5~44.7 m,47.8~48.4 m,69.7~70.2 m部位均为钻探探到的破碎带,与CT成像结果资料相对应。为后续治理灌浆工作提供了科学、详实的基础数据资料。在后期的钻孔压浆处理工作中依据CT成像资料做到有的放“矢”。

另外,井间地震波层析成像技术属地球物理应用技术,在实际应用中物探工作的误差和多解性是不可避免的。研究成果表明,在岩溶区域开展此项工作,物探成果资料的解释对应到地质现象,以岩土体的动力学物理性质为依照基础,才更能体现物探成果的精确度。



a—地震层析成像剖面;b—地质解释剖面

图2 x5号-x8号井间地震层析成像剖面与地质解释剖面对比

4 结论

在岩溶地区的工程勘察中,井间地震层析成像技术在划分岩溶、确定岩溶或岩体破碎带位置等方面表明了地震层析成像技术是一种高分辨率探测岩溶发育区的有效手段。

参考文献:

[1] 王建军,廖全涛,曹建伟,等.应用井间CT探测某桥墩基础断裂[J].物探与化探,2006,30(2):186.

[2] 王兴泰.工程与环境物探新方法新技术[M].北京:地质出版社,1996.
[3] 林宗元.岩土工程试验手册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994.
[4] 王振东.浅层地震勘探应用[M].北京:地质出版社,1988.
[5] 杨文采.地球物理反演和地震层析成像[M].北京:地质出版社,1989.
[6] 郭建强.地质灾害勘查地球物理技术手册[M].北京:地质出版社,2003.

THE APPLICATION OF WELL SEISMIC WAVE TOMOGRAPHIC IMAGING TECHNIQUE TO KARST SURVEY

WANG Xing-wong^{1,2}, YANG qin-hai³, SUN Dang-sheng³, XUE Dian-jun⁴

(1. State Key Lab. of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Nuclear Industrial Wells Tunnel Construction Company, Huzhou 313000, China; 3. Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Techniques, CGS, Baoding 071051, China; 4. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: With the engineering investigations in karst areas as examples, a geological profile was studied by using the well seismic wave tomographic imaging technique. The technique has been proved to be a digitized and high accuracy technique suitable for dividing and detecting locations of karst, cracks and fracture zones.

Key words: well seismic exploration; tomographic imaging; karst study

作者简介: 汪兴旺(1963-),男,浙江人,高级工程师,现任核工业井巷建设公司总工程师,1986年6月毕业于成都地质学院应用地球物理专业,长期从事地球物理勘查工作,2005年至今,在成都理工大学攻读地球探测与信息技术专业博士学位,公开发表学术论文数篇。

上接 104 页

MAGNETIC ANOMALY CHARACTERISTICS INSIDE THE REINFORCEMENT CAGE OF THE CAST-IN-SITU PILE

DONG Ping¹, FAN Jing-liang¹, WANG Liang-shu¹, PAN Wei-yu², YANG Yi-wen²

(1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Jiangsu Bureau of Communication, Nanjing 210004, China)

Abstract: Based on an analysis of magnetic anomaly characteristics inside the perpendicular cylinder and the result of model piles test, the authors studied the magnetic anomaly characteristics inside the reinforcement cage of the cast-in-situ pile. The results indicate that the magnetic anomaly curve along the borehole depth inside the reinforcement cage has the form "a valley between two peaks, on which a wide negative anomaly region like a saddle corresponds to the middle part of reinforcement cage". The bottom of the reinforcement cage corresponds both to the inflexion of the magnetic anomaly curve and to the maximum of the magnetic anomaly gradient curve.

Key words: cast-in-situ pile; reinforcement cage; perpendicular cylinder; magnetic anomaly

作者简介: 董平(1963-),男,副教授,博士。主要从事岩土工程检测、地基基础理论方面的教学与研究工作, email: dongping@ndjc.com。