

# 地震映像法及其应用

王治华<sup>1</sup>, 仇恒永<sup>2</sup>, 杨振涛<sup>1</sup>, 夏学礼<sup>2</sup>

(1. 上海市地质调查研究院, 上海 200072; 2. 安徽省地质矿产勘查局 第一水文地质工程队, 安徽蚌埠 233000)

**摘要:** 简述了地震映像法的特点, 并列举了在各种浅部不均体探测中的应用实例, 指出了提高其应用效果, 拓宽其应用领域应研究的问题。

**关键词:** 地震映像; 浅部不均匀体; 散射波

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2008)06-0696-05

地震映像法是近 10 年来用于探测浅部介质中纵、横向不均匀体(构造、洞穴、障碍物、非金属管道、岩溶、土坝中白蚁巢及空洞、地裂缝与疏松带、滑坡体等)的有效方法。它不同于常规地震勘探中的折射波法及反射波法有明确的勘查目的层(速度界面、波阻抗界面)。实质上,它采集的是近震源处的弹性波场,在采集的炮记录上能识别的地震波形有直达波、瑞雷面波、绕(散)射波、转换波,在特殊情况下也能采集到反射波;但它和共偏移距反射波法虽在采集方法是相同的,却有着本质的区别。共偏移距反射波法在进行正式数据采集前要进行干扰波调查,确定浅层反射波的最佳接收窗口,然后确定偏移距,以共偏移的采集方式采集某一目的层的反射波。共偏移反射波法有明确的勘查目的层及它必须严格遵循浅层反射波的最佳接收窗口技术,是它和地震映像法的根本区别。由于在地震映像图上直达波、面波、绕(散)射波、转换波的干涉现象十分常见,这给波的识别带来困难,目前对复杂波场中各种波的识别尚主要应用波的动力学特征(振幅、相位、频率),并应用这些特征解释勘探剖面下纵、横向的不均匀体。概括起来该方法有以下特点:数据采集方法简单,共偏移距单道(或 2~3 道)采集,施工人员需要 2~3 人即可,具有很高的工作效率;采用小偏移距、小道距采集,地形的影响很小,适用于各种复杂的工作环境;在近震源的面波区采集,锤击震源即可采集到能量较强的弹性波;和常规地震勘探中的反射波法和折射波不同,地震映像法对地下三度体也可探测,可解决常规地震勘查方法解决不了的问题;它主要应用弹性波的动力学特征对波场进行

解释,没有繁杂的资料处理流程,是一种能适应各种工作环境、简便、快速的工程物探勘查手段。

## 1 应用实例

### 1.1 构造勘查

在地形复杂、松散沉积层覆盖较薄(小于 30 m)的山区进行地质构造勘查的常用方法是折射波法勘探,但地震映像法也能取得较好的效果。图 1 是在浙江隧道勘查中的地震映像,图中在桩号 100 处其波动场特征和两侧明显不同,表现为面波相位发育,后经钻孔验证,该处为一断层破碎带。应当指出,在地震映像图上可以解释断层破碎带的平面位置,至于其埋深、性质等无法提供确切的解释。仅是一种定性、快速的普查方法。它和折射波法相结合在山区进行构造和破碎带勘查应是行之有效的。

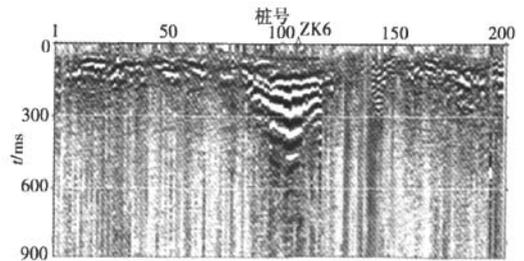
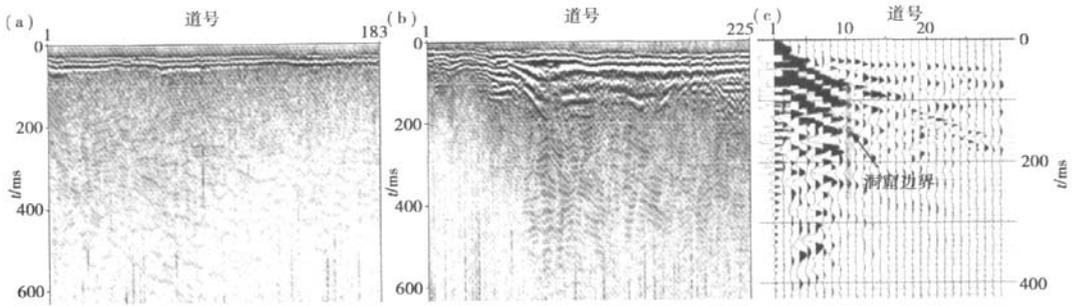


图 1 断层破碎带处的地震映像

### 1.2 洞穴调查

安徽黄山的花山、烟山一带有数十处洞窟,已开发的花山迷窟成为千古之谜、具有很高的研究和旅游价值,为了调查其他尚未开发洞窟的规模,开发旅游资源,笔者曾采用地震映像法进行过调查。图 2a



a—无洞窟山体地震映像;b—有洞窟山体地震映像;c—已知洞窟边界处的共炮点记录

图2 安徽黄山谜窟地震映像

是山体下没有洞窟的地震映像,图2b是有洞窟存在的地震映像。对比可见,在无洞窟山体处的地震映像图上直达波、面波相位没有畸变,也无特殊波出现,表明被勘查山体的介质是相对均匀的。而在有洞窟存在的山体下地震映像图上散射波十分发育,为了确定洞窟的边界,还在已知洞窟处采集了共炮点记录(图2c)。从图2c可见,在第8道处,面波突然中止,而该处也正是洞窟的边界,选译地震映像法和共炮点采集相结合,成功地圈定了山体下洞窟的边界,并计算出其大致的面积,为旅游开发提供了充足的依据。

### 1.3 隐伏岩溶勘查

隐伏岩溶勘查长期以来是工程物探研究的主要课题。实践已表明,地震映像法是快速普查勘查区内隐伏岩溶的较好方法:一是因为它的方法特点,可快速进行普查,确定详细勘探的靶区;二是它解释地下是否赋存岩溶发育带的结果是可靠的。虽然目前该法尚无法解释出隐伏岩溶的埋深、规模等亟待解决的问题。但它的潜在效果值得我们去研究、开发。由于赋存碳酸岩中的岩溶发育带无论是充水、充土或充气,其密度和完整的碳酸岩都有很大的差异,弹性波在这样不均匀介质中传播会形成散射波,且十分发育,如果我们能对散射波进行归位,则可解释出岩溶发育带的埋深和规模。

图3是淮南土坝孜岩溶勘查中的地震映像,可见在右侧的溶洞发育区散射波发育,左侧由于岩溶塌陷形成的地裂缝呈多相位的图像特征。

图4是浙江江山岩溶勘查某线地震映像,同样在岩溶发育带,散射波十分发育。由于地下隐伏岩溶发育,在地下水的作用下,上伏土层中形成的土洞的散射波也清晰可见。

图5是浙江江山岩溶勘查已知塌陷坑处的地震映像。从图可见,在塌陷坑下方隐伏溶洞的散射波呈双曲线状,且面波的相位也发生了畸变。

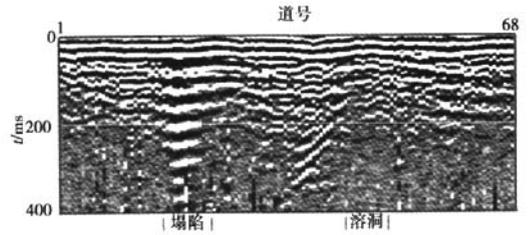


图3 淮南土坝孜岩溶调查地震映像

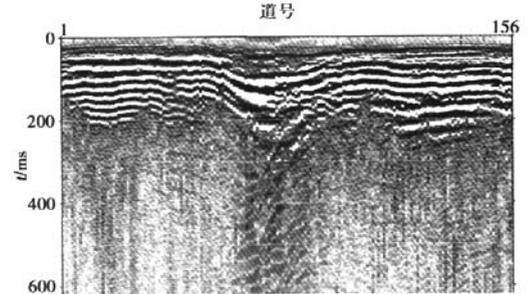


图4 浙江江山岩溶勘查地震映像

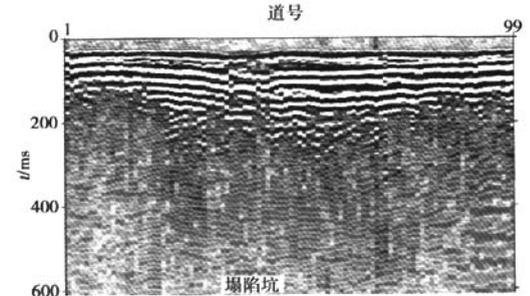


图5 浙江江山已知塌陷坑旁地震映像

### 1.4 堤坝隐患探测

自20世纪中期以来,国内累计修建、加固堤防26万多km,建成大、中、小型水库8.6万座,如何快速、准确地探测堤坝隐患,及时对堤防的病患区进行加固处理,一直是防洪工程管理工作的重要课题之

一,也是工程物探应重点研究的领域。从地震映像法的快速探测这一特点及其取得的效果来看,该法可以快速圈出存在有隐患的堤防区段,给采用其他勘查手段进行详细探测提供了靶区。

图6a是安徽定远青春水库白蚁巢穴上的地震映像,在20~30号点处有一似双曲线状的散射波,显然这是由于该处存在有较两侧疏松的土体或洞穴所致。结合白蚁巢发育的规律,解释该处的散射波是由白蚁巢穴所引起。为了进一步确定白蚁巢穴的发育深度,又在该处进行了瞬态面波勘查。图6b是面波频散曲线,在对应于白蚁巢发育处频散曲线存

在有明显的拐点,埋深在3~4m,这一解释结果已被证实。图7是安徽定远黄桥水库堤坝的地震映像。该水库堤坝的背水坡脚严重渗水,在渗水处对应的地震映像图上有一组清晰的散射波,说明该处土坝已十分疏松,并局部形成空洞。图8是淮河临淮岗黄岗—张集段隐伏涵管处的地震映像,从图可见,不但隐伏涵管反映清晰,左侧由于涵管渗漏而导致的疏松带也有明显的图像特征。图9是上海南汇围海造地海堤地震映像,该段地下7m深处理有数根排水管道,由管道渗水,导致土坝受损,从图可见,散射波十分发育,在直达波、面波相位畸变处的路面

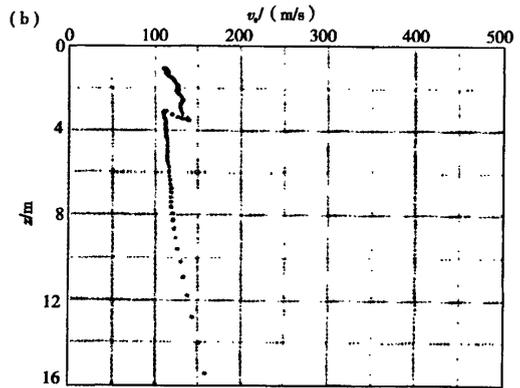
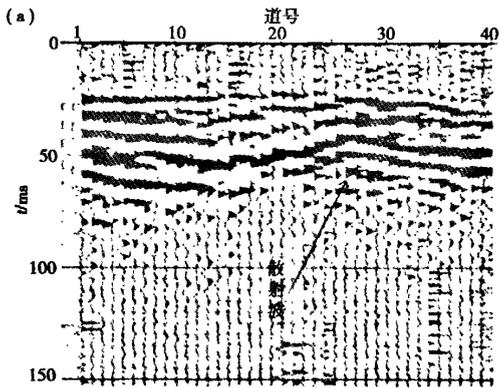


图6 安徽定远青春水库白蚁巢穴地震映像(a)及面波频散曲线(b)

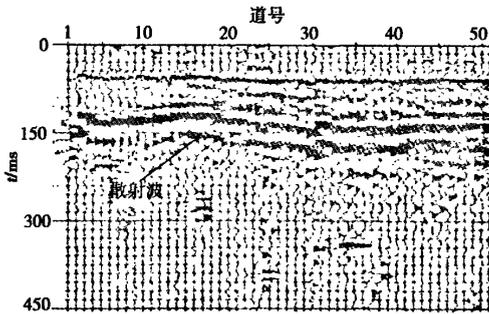


图7 安徽定远黄桥水库土坝地震映像

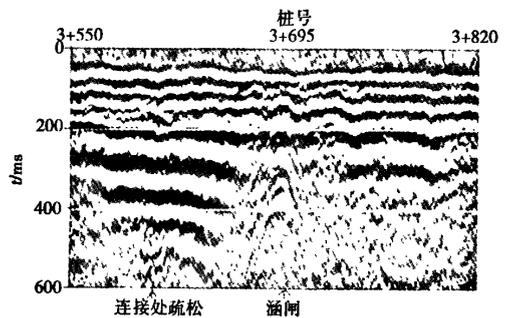


图8 淮河临淮岗黄岗—张集段隐蔽涵管的地震映像

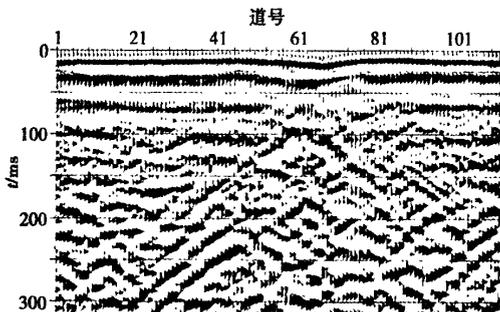


图9 上海南汇海堤沉降区地震映像

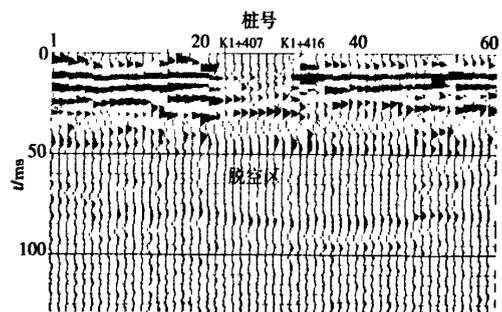


图10 上海奉贤海堤脱空区地震映像

已发生沉陷。图 10 是上海奉贤海堤地震映像,该海堤兼作公路,临水一侧由于水流作用,形成脱空,图中脱空区的波组特征与两侧差异明显。

### 1.5 管道及障碍物探测

在城市建设中管道(非金属)及障碍物的探测已是工程物探的一项主要任务。由于城建区的空间狭小,常用的共偏距单道采集很难实施,我们采用了多道单排列采集的方式。图 11 是寻找一组 15 m 长的板桩记录,从图可见在记录上有一组和基阶面波呈“V”字形的波,这就是当激发点和接收排列位于钢板桩同一侧时接收到的基阶面波遇钢板桩后的反射波。据此可以确定板桩的存在,并确定其位置对应第 17 道。图 12 是在上海地区寻找地下管道的单炮记录,可见管道形成的绕射波反映十分清晰,第 12 道对应绕射波的最小走时,利用公式

$$h = [(tv)^2 - d^2] / 2tv,$$

计算出绕射点(即管道顶面)的埋深,式中,  $t$  为旅行时,  $d$  为偏移距,  $h$  为绕射点深度,  $v$  为速度。

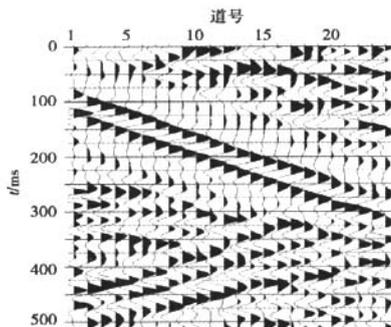


图 11 上海地区探测地下板桩的单炮记录

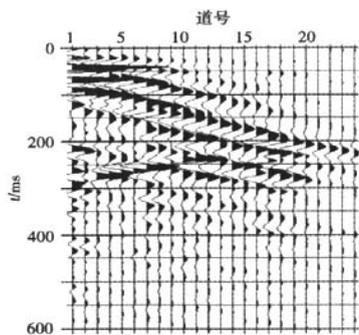


图 12 上海地区探下地下管道的单炮记录

在上海金山石化海堤上探测排水箱涵(顶埋深 4 m)的地震三分量记录,使用的震源为 20 cm × 30 cm × 50 cm 铁盒装置,铁盒底部焊接一些短钉可插入地面形成耦合,水平锤击径向长边可激发 SV 波,

水平锤击短边可激发 SH 波,垂向锤击激发瑞利波,从记录上可见(图 13),对地下箱涵反映最清晰的是 SV 波记录。

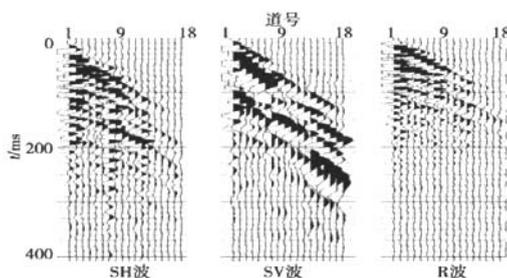


图 13 金山石化海堤探测排水箱涵的地震三分量记录对比

### 1.6 滑坡体探测

图 14 是浙江富阳一已知滑坡上的地震映像,从图像上可见,滑坡体的上沿边界位于图中左侧对应已知裂缝带的左侧,凡在地面观察到有裂缝带处,在地震映像上都显示为能量较强的多相位特征。

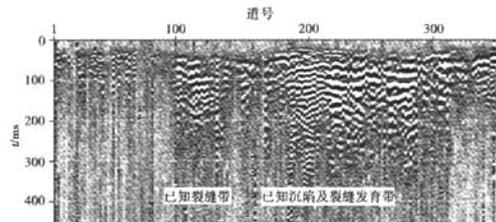


图 14 浙江富阳一已知滑坡体上的地震映像

从上述几个应用实例可见,地震映像法在探测浅部纵、横向不均体的应用都取得了很好的效果,相信它的应用领域还会扩展,随着研究的深入,其应用效果还会更好。

## 2 结论

纵观上述各应用实例,在应用地震映像法探测浅部地层中纵、横向不均体中,主要是利用波动场的动力学特征,也仅能进行定性的解释,尚不能确定地层中纵、横向不均体的埋深、形态等要素。另外,在波动场的动力学特征中,也主要利用了绕(散)射波的特征形态及各种波的相位特征,其他如频率特征、振幅特征等也没有充分利用。

众所周知,地震散射波法对寻找局部不均体是有效的,而具有明确勘查目的层的折射波法和反射波对解决这类问题却很困难。地震映像法所采集的实质上是近震源处的散射波场,因此,从散射波场的角度去理解地震映像法,会对该法的数据采集、观察系统的选择、资料处理软件的开发及应用解释的

提高,更有帮助。

目前,地震映像法数据采集和解释仅利用了垂直分量。三分量测量是今后的研究和发展方向。

在计算地下管道的埋深时,若速度选择体波中的纵波传播速度,计算的深度和实际结果相差相当大,若选用横波传播速度,则算出的深度和实际情况较吻合,可以初步认为在地震映像图上得到的散(绕)射波是面波的散射,并不是体波的散射,是否如此敬请同行们讨论。

据散射波的传播特征,在炮记录上散射波走时极小值的位置总是位于散射(点)体的正上方,而与激发炮点位置无关。但在实际应用中,应用该特征进行解释,而验证的结果总是出现偏差,一般偏移 1~2 m,最大可偏移 4 m,这是什么因素造成的,也是一个值得讨论的问题。

参考文献:

[1] 杨文霞,袁明德. 锤击横波研究[J]. 勘察科学技术,1990(2): 61.

[2] 刘云楨,王振东. 瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实例[J]. 物探与化探,1996,20(1).

[3] 黄嘉正,周鸿秋,关小平. 工程地质中瑞利波勘探的理论初探[J]. 物探与化探,1991,15(4).

[4] 肖柏勋,凡有华,刘家奇. 瑞雷波勘探方法研究现状分析[J]. 工程物探,2002Q(2):138.

[5] 张碧星,鲁来玉,鲍光淑. 瑞雷波勘探中“之”型频散曲线研究[J]. 地球物理学报,2002,45(2):3.

[6] 黄嘉正,周鸿秋,关小平,等. 工程地质中瑞利波勘探的理论初探[J]. 物探与化探,1991,15(4):268.

[7] 杨天春,何继善,吕绍林,等. 二层层状介质中瑞利波的频散曲线特征[J]. 物探与化探,2004,28(1):41.

[8] 黄真萍,刘振干. 瞬态振动法瑞雷面波采集质量的探讨与分析[J]. 物探与化探,2005,29(2):179.

[9] 杨天春,易伟建,何继善,等. 求取道路结构型地层瑞利波频散曲线的方法[J]. 物探与化探,2005,29(5):459.

[10] 尹军杰,刘学伟,李文慧. 地震波散射理论及应用研究综述[J]. 地球物理学进展,2005,20(1).

[11] 王振东. 面波勘探技术要点与最新进展[J]. 物探与化探,2006,30(1):1.

[12] 杨天春,杨立新,郑京杰. 地层中存在裂缝情况下的瑞利导波频散特征[J]. 物探与化探,2007,31(4):361.

[13] 夏学礼,仇恒永,孙秀容,等. 多道瞬态面波勘探频散曲线唯一性问题[J]. 物探与化探,2008,32(2):168.

[14] 仇恒永,王治华,王书增,等. 浅层 SH 反射波法和多道瞬态面波法进行联合工程勘察的讨论[J]. 物探与化探,2008,32(4): 451.

SEISMIC PHOTOGRAPHY AND ITS APPLICATION

WANG Zhi-hua<sup>1</sup>, QIU Heng-yong<sup>2</sup>, YANG Zhen-tao<sup>1</sup>, XIA Xue-li<sup>2</sup>

(1. Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai 200072, China; 2. No. 1 Hydrogeological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration of Anhui Province, Bengbu 233000, China)

**Abstract:** In this paper, the authors summarized characteristics of high density seismic photography and gave some examples concerning the survey of shallow underground obstacles. Several problems related to the application effect and application field of seismic photography are pointed out in this paper, which deserve further studies.

**Key words:** seismic photography; shallow underground obstacle; scattered wave

作者简介: 王治华(1978 - ),男,湖北人,2001年毕业于中国地质大学(武汉)物探系,就职于上海市地质调查研究院,工程师,一直从事工程物探的研究与实践,公开发表学术论文数篇。



上接 704 页

**Abstract:** This paper has dealt with the application of the ultrasonic transmission method to the test of foundation pile in the transmission line project, with some practical examples given concerning the test of foundation pile in the transmission line project. The advantages and existing problems of ultrasonic transmission are analyzed for quality evaluation, which include the critical value of acoustic velocity, the critical value of amplitude, the value of PSD and the measured wave.

**Key words:** ultrasonic transmission method; critical value of acoustic velocity; critical value of amplitude; PSD; wave

作者简介: 邢庆祝(1978 - ),女,硕士,2005年毕业于福州大学(福州)环境工程专业,现从事物探勘查和物探检测工作,公开发表学术论文数篇。