

# 多波地震勘探技术在堤防质量探测中的应用

高建华,蔡耀军,黄小军,魏岩峻,魏小坤

(水利部长江勘测技术研究所,湖北 武汉 430011)

**摘要:**地球物理探测是堤防质量无损探测的重要手段之一。在江西丰城赣江大堤填筑质量探测试验中,采用地震横波反射及纵波折射层析成像勘探方法,取得了良好的效果,探明了大堤缺陷的位置,并对缺陷产生的原因进行了分析。介绍了地震数据的采集方法、资料处理及分析。试验结果表明采用多波地震勘探技术对土石堤坝碾压质量进行探测是可行的。

**关键词:**地震勘探;纵波;横波;堤坝质量探测;赣江大堤

中图法分类号:TV698.14

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.07.013

建国以来,我国累计修建及加固堤坝 26 万多 km<sup>[1]</sup>,初步控制了大江大河的洪水,堤防工程对保障沿线人民生命财产安全起到了巨大作用。但是,受地质条件、施工技术、管理水平等影响,堤防质量仍存在较大差异。1998 年以后,国家逐步投入大量人力物力对江河堤防进行加固整治,大量隐患得到了修复。在经过 10 多年的运行后,目前堤防是否存在新的隐患需要进行详查。

堤防质量隐患主要有两种,一是在堤基部位,由于对天然地基处理不彻底可能造成堤基松软;二是堤身部位,如果碾压夯实不均匀、不密实,在运行过程中可能产生不均匀沉降,形成裂缝、暗隙甚至空洞等。

传统的堤防隐患探测方法主要是人工锥探和机械钻探等,这些方法虽然直观,但是会对堤防造成破损。随着技术的逐渐进步,地球物理探测方法在堤防隐患探测中应用广泛,目前常用方法有高密度电法、瞬变电磁、探地雷达、浅层地震等<sup>[2]</sup>。

此次在江西丰城市城西防洪整治工程中新建赣江大堤进行探测试验,采用了地震纵波折射层析成像与横波反射相结合的方法,取得了较好的探测效果,基本

探明了该段堤防的施工质量及存在的问题。

## 1 探测方法及技术

### 1.1 纵波折射层析成像

纵波折射层析成像是利用地震波射线的走时和路径反演介质速度结构的一种高精度反演方法<sup>[3-4]</sup>。首先在原始记录上进行初至波时间的拾取,并对拾取的初至波时间进行质量监控,然后利用初至波射线走时和路径进行表层模型层析反演。层析反演时先给定初始模型(常速模型),用网络法射线正演得到依赖模型的初至时间,求模型正演初至时间与实际初至时间的走时残差,并根据射线轨迹计算微分系数矩阵,该系数阵是一个大型稀疏矩阵,最终建立起以射线轨迹微分为系数矩阵的关于走时残差与模型变化量的线性方程组。对于已建立的高阶方程组采用带阻尼的最小二乘 QR 分解迭代算法求解,然后根据方程组的解修改速度模型,再进行迭代直至满足反演精度,获得最终的深度-速度成像结果。

### 1.2 横波反射

地震反射波法应用前提是地层之间存在明显的波

阻抗差异,在波阻抗分界线处可以产生反射波。横波反射法是采用水平方向的激振,并用水平传感器接收的方式进行工作。与纵波相比,横波具有速度低、波长短、不受地下水影响等特点,使得横波地震勘探的分辨率及精度较纵波有很大的提高<sup>[5]</sup>。同时,从横波原始记录中可以看出,面波干扰较弱,一般采用中间激发方式可以取得很好的效果。

1.3 现场数据采集方法

采用“引进国际先进水利科学技术计划”(简称 948 计划)引进的 S-FLEX 全数字化纵横波两用多功能地震数据采集系统,该设备传感器采用全数字化技术,通过改变传感器埋置方向可以接收纵波或横波,信号响应频带宽,并有效降低传输干扰,提高信号保真度。

纵波折射层析成像法,用 70 kg 重的夯锤作为震源,108 道采集,道间距为 2 m。最大偏移距为 25 m,炮间距 12 m。观测系统如图 1 所示。

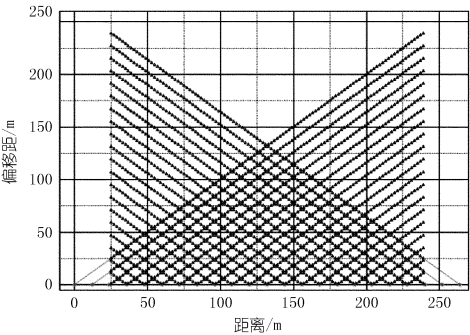


图 1 纵波折射层析成像观测系统示意

横波反射法采用专用横波震源作为激发源,72 道采集,道间距为 2 m,激发点位于接收排列中心。观测系统如图 2 所示。

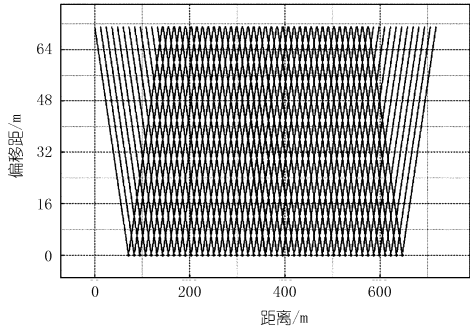


图 2 横波反射观测系统示意

为了加强信号强度,消除随机干扰,采集中进行多次叠加,叠加次数为 5~10 次。

2 资料处理及解释

2.1 数据处理

2.1.1 纵波折射

资料分析处理过程如 1.1 节所述通过不断修改速度模型,进行迭代直至满足反演精度,获得最终的深度-速度成像结果。

纵波原始记录如图 3 所示,深度-速度成像结果见图 4。

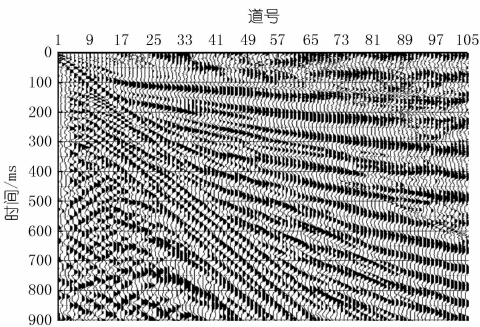


图 3 纵波原始单炮记录

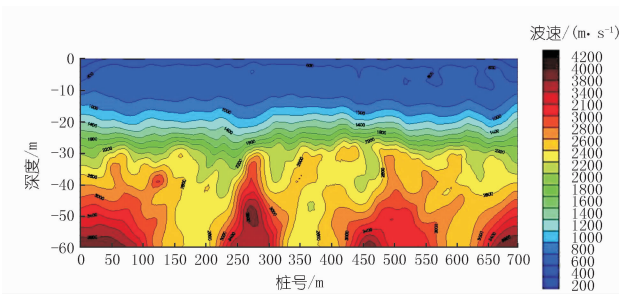


图 4 纵波折射层析成像波速等值线剖面

2.1.2 横波反射

横波反射数据处理方法与纵波反射基本一致,主要包括预处理、抽道集、速度分析、正校正、剩余静校正、叠加、叠后偏移等流程。

横波原始记录如图 5 所示,叠加剖面结果见图 6。

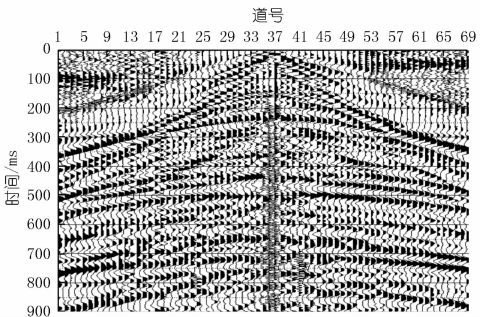


图 5 横波原始单炮记录

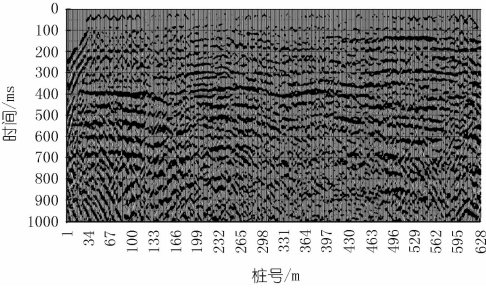


图 6 横波反射叠加剖面

2.2 资料解释

从图 4 可以看出,深度 30 m 以上等值线基本为水平层状分布,其中深度 0 ~ 15 m 段波速为 600 ~ 1 000 m/s,深度 15 ~ 25 m 段波速为 1 000 ~ 1 800 m/s,深度 25 ~ 30 m 段波速为 1 800 ~ 2 200 m/s,深度 30 m 以下段波速整体大于 2 200 m/s,局部存在低速区。桩号 570 m 及桩号 640 m 附近速度等值线明显下凹,各存在一处相对低阻异常区,宽约 15 m,埋深为 4 ~ 10 m 之间,推断为该处碾压相对不密实;桩号 670 ~ 690 m 段表层深度 0 ~ 3 m 范围内存在一处低速异常区,波速值小于 400 m/s,推断该处为隐患。

从图 6 可以看出,在桩号 485 ~ 590 m 段、 $T = 140$  ms 附近存在明显的反射同相轴,说明该段存在波阻抗差异; $T = 300$  ms 及  $T = 400$  ms 附近存在较为连续的反射同相轴,其趋势与纵波波速等线图趋势一致。

前期地质勘察及堤防施工资料显示,探测区段由上到地下层分布依次为:堤身填土层,厚约 15 m;砂卵石层,厚约 6 ~ 10 m;全风化 - 强风化粉砂岩,厚约

5 ~ 25 m;中风化 - 微风化粉砂岩,厚度不详,强风化与中风化界面存在一定的起伏变化。

经过纵波折射与横波反射资料的对比,结合地质资料综合分析认为,堤身填土填筑质量整体较好,桩号 485 ~ 590 m 段,埋深 4 ~ 10 m 之间存在局部碾压相对不密实区域,异常幅度不是很大;桩号 670 ~ 690 m 段,深度 0 ~ 3 m 之间存在碾压不密实段,波速较低,从现场施工情况推断认为,异常形成的主要原因是旁边正在进行涵闸施工,该段位于开挖临空面附近,降雨等因素影响造成了土体松弛。

3 结 语

此次联合采用横波反射及纵波折射层析成像两种方法对堤防施工质量进行探测,探明了存在缺陷及隐患的区段,并对缺陷的形成原因进行分析,取得了良好的效果。试验证明用多波地震勘探技术探测堤防填筑质量是可行的。

参考文献:

[1] 才致轩.堤防隐患探测测评工作综述[J].水利技术监督,2001,9(1):32-34.  
[2] 朱庆鹏,冯琳.堤防隐患探测技术应用初探[J].地质装备,2002,3(2):24-25.  
[3] 高建华,蔡耀军,魏岩峻,等.综合物探在南水北调中线工程岩溶探测中的应用[J].工程地球物理学报,2014,11(4):533-536.  
[4] 罗省贤,李录明.地面地震初至波层析反演复杂表层速度结构方法[J].地球科学进展,2004,19(增刊):30-34.  
[5] 许强,张学强.横波地震在工程勘察中的应用[J].工程地球物理学报,2009,6(6):746-749.

(编辑:赵凤超)

Application of multi-wave seismic exploration technology in embankment quality detection

GAO Jianhua, CAI Yaojun, HUANG Xiaojun, WEI Yanjun, WEI Xiaokun

(Changjiang Institute of Survey Technical Research of MWR, Wuhan 430011, China)

**Abstract:** The geophysical exploration is one of the important means of non-destructive detection of embankment. In the detection and test of Ganjiang River embankment in Fengcheng, Jiangxi Province, by using the tomography technology of S-wave reflection and P-wave refraction tomography, the satisfactory results were achieved, locations of the defects in the embankment were detected and the causes were analyzed. This paper introduces the collection, treatment and analysis method of the data. The test results show that the rolling quality of the earth-rock embankment can be detected by the multi-wave seismic exploration technology.

**Key words:** earthquake survey; P-wave; S-wave; embankment quality detection; Ganjiang River embankment