

综合物探方法在堤防质量检测中的应用

石明², 冯德山³, 戴前伟³

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明650093; 2. 贵州省有色物化探总队, 都匀, 558004;
3. 中南大学信息物理工程学院, 长沙410083)

摘要 在堤防质量检测中, 地球物理方法能够实现快速、无损的探测, 但采用单一物探方法对堤防隐患的判别易形成多解, 也很难对堤防质量做出准确分类. 本文中应用探地雷达、高密度电法、地震勘探等综合物探方法对大源渡堤防质量进行检测, 并以龙荫港为例, 通过综合三种物探方法互相参照、相互验证, 互为补充, 查明了堤防隐患的分布位置与埋深, 为堤防质量检测提供一种新的工作方法.

关键词 综合物探, 堤防质量检测, 地震勘探, 地质雷达, 高密度电法

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2006)04-1328-04

Application of integrated geophysical method in quality detection of dikes

SHI Mng, FENG De-shan, DAI Qian-wei

(1. Faculty of Land Resource Engineering Kunming, University of Science and Technology, Kunming 650093, China;
2. Nonferrous Metals Geophysical and Geochemical Prospecting Team of Guizhou Province, Duyun 558004, China;
3. School of Info-Physics and Geometrics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract In the quality detection of Dikes, the geophysical method could carry out fast, undamaged detection. It would form multiresolution easily if adopting single geophysical prospecting method to distinguish dike hidden fault, and it also very difficult to do the accurate classification to the dike quality. This article applies the integrated geophysical prospecting method such as GPR, high-density resistivity method and seismic prospecting to detecting the DaYuanDu dike quality. It also takes the LongYi port as example, and through integrating these three geophysical prospecting method to consult, validate and supplement each other, then it finds out the locality and buried depth of dike hidden faults, and provides a new working method to the dike quality detection.

Keywords integrated geophysical, quality detection of Dikes, seismic prospecting, ground penetrating radar, high-density resistivity method

0 引言

目前用于堤防质量与隐患检测的物探方法有多种^[1], 地震波法(浅震法)^[2]、高密度电法^[3]、探地雷达^[4]等方法, 它们都在堤防质量检测中发挥过重要作用. 但是由于堤防土质的复杂性, 采用单一物探方法对堤防隐患的判别易形成多解, 也很难对堤防质量做出准确分类^[5,6]. 而作者根据大源渡河道堤防的特点, 提出了以探地雷达普查堤身、堤基, 发现异常地段, 在异常地段应用高密度电阻率法详查, 并选

择有代表性测段采用地震法检测, 以补充堤身土体分层情况. 这样通过综合几种物探方法^[7,8]互相参照、相互验证、综合分析, 以提高隐患判断的准确性和可靠性, 达到准确、经济、高效评价堤防质量的目的.

1 工程概况

湘江大源渡航运枢纽工程位于衡山县及衡东县交界的湘江干流上, 防护区分布在衡阳市及所辖衡山县、衡东县、衡阳县、衡南县各个不同地域, 防护堤

的结构不尽相同,堤高为4~10 m,大多数堤坝都是由填筑土从下至上分层填筑而成.整个库区堤身填筑的材料主要有两大类:一类是第三系紫红色泥岩、泥质粉砂岩及板岩风化岩土、大源渡防护区堤防属此类.一类是二级阶地的黄红色网纹状粘土、粉质粘土和其下的砂卵石层,龙荫港、黄泥港、大源江、糖铺、大水田、白衣港、石头港七个防护区的堤身填筑料基本属此类,各防护区水文地质条件较简单,地下水类型为松散岩层孔隙水.

2 检测方法

采用探地雷达、高密度电阻率法与地震勘探的综合地球物理勘探方法对大源渡进行探测,下面就这三种方法的基本原理分别进行简单的阐述.

2.1 探地雷达原理

探地雷达是一种利用地下介质对广谱电磁波的不同响应来确定地下介质分布特征的地球物理技术.探测时,探地雷达由发射天线向地下发射某一中心频率附近的高频、宽带的短脉冲电磁波,电磁波在地下介质中传播时,其振幅、相位和频率等波形特征会随介质的电性、几何形状等变化而变化,经地下地层或目的体(借助堤防松散区、软弱夹层、不均匀沉陷带以及裂缝、洞穴等隐患与堤防正常介质的电磁性差异)反射而返回地面,被另一天线R所接收.由雷达波在地下介质传播过程中,当遇到空洞或高阻不均体时,则反射波长加大、频率变低、强度增高,当遇到松散介质或低阻不均质体时,雷达波形杂乱无章,常以窄细形同相轴出现,依此识别堤防隐患.

2.2 高密度电阻率法原理

高密度电阻率法其基本原理与传统的电阻率法完全相同,所不同的是高密度电法在观测中设置了较高密度的测点,现场测量时,只需将全部电极布置在一定间隔的测点上,然后进行观测.因其使用的电极数量较多并且电极之间可以自由组合,使电法勘探能象地震勘探一样使用覆盖式的测量方式,这样就可以提取更多的关于地下介质的地电信息.当堤身土体质量均匀无空洞、裂缝、土体不均一等异常隐患存在时,视电阻率等值线有规律的均匀分布,近水平层状;当堤身或堤基内有上述类型隐患存在时,则视电阻率等值线将发生变化,表现为成层性差、梯度变化大,出现高阻或低阻闭合圈等异常形态,进而可以判识堤身内部是否有洞穴或其它不良结构现象(体)的存在.

2.3 地震勘探法原理

地震勘探是地球物理勘探的一种重要方法,是以研究人工激发的弹性波在地壳中的传播为基础的,包括一整套探测地壳地质结构的方法.由爆炸或撞击激发的弹性波从激发源向各个方向传播,可穿透地壳很深的层位,在地层中它们产生折射和反射,部分地传回地表,人们用专门的仪器记录到这些振动,并通过测量波的传播时间,研究振动的特征,来判断波所通过的堤防土体的性质.

3 应用实例

在大源渡水库工程的8个防护区中,龙荫港防护区以龙阴港公路大桥为界,上游堤顶高程52.8 m,下游为52.5 m,顶面宽度3.0~4.5 m,坡比1:1.5~1:2,地形平缓,起伏较小;左堤长3666 m,右堤长2730 m,堤身外坡长期迎水,该防护区局部出露泥盆系棋子桥组(D₂q)灰岩,其岩溶发育,漏水严重.为了说明综合物探方法在堤防检测中的应用效果,我们选择比较典型的能体现堤身隐患及介质堆积韵律、变化特征的龙荫港右堤B段0+030~0+80段进行分析.

3.1 雷达资料解释

本此雷达探测工作全部采用美国GSSI公司生产的SIR-10H型雷达探地雷达,结合探测目的层的埋深、分辨率、介质特性以及天线尺寸是否符合场地需要等因素综合考虑^[9],通过现场试验,选用中心频率为100 MHz的选定3207型天线,自激自收,天线方向与测线方向平行同步移动,记录点距为0.5 m,记录时窗为500 ns;每道扫描采样点数设为1024.图1为应用探地雷达普查该堤段堤身、堤基的雷达扫描图,图中可见浅部的(0~3 m)的雷达图

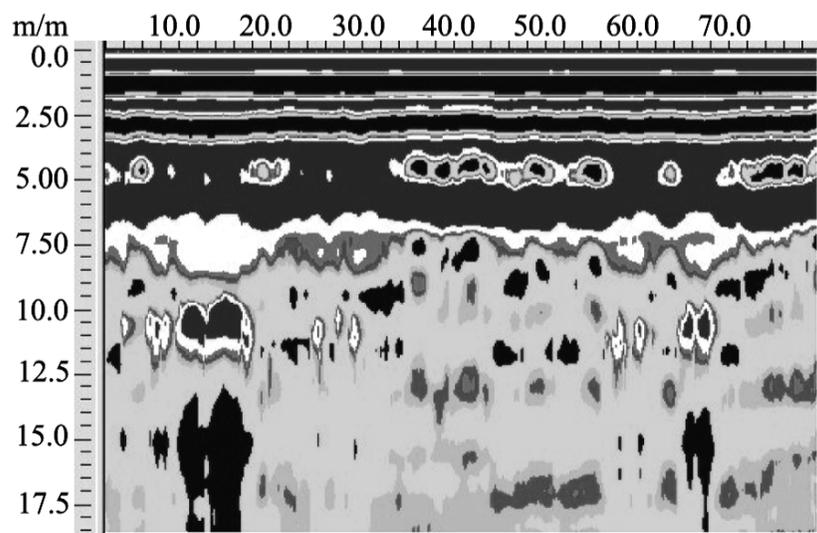


图1 龙荫港右堤B段0+030~0+110雷达剖面图
Fig.1 The radar section map at right bank B zone 0+030~0+110 of Long Yi port

像同相轴具有连续可追踪性,说明浅部填土较为均匀、无裂缝、洞穴等隐患存在.但是在深度大于7.5 m以后,雷达图像的同相轴变复杂,呈现错断、缺失、不连续或杂乱无章等现象,并且在位置约10~20 m及60~70 m之间深度约10.5 m处存在雷达异常体,推断空洞、洞穴隐患.

3.2 高密度电阻率法资料解释

此次高密度电阻率法探测工作全部采用重庆奔腾自动化研究所生产的WDJD-2多功能数字直流激电仪测试仪器,采用的装置类型为MN-B三极排列,测量时M、N不动,B逐点向右移动,得到一条滚动线;接着M、N、B同时向右移动一个电极,M、N不动,B逐点向右移动,得到另一条滚动线;这样不断滚动测量下去,得到矩形断面.测量中设置剖面数(B移动次数)为20个电极,而滚动数(MN移动次数)为39个电极,这样设置可以使60个电极得到充分的使用,从而提高效率.图2为该堤段相应的高密度视电阻率等级剖面图^[10,11],所谓等级剖面图在指定剖面内,计算出所需的所有数据的总平均值,装置系数K,标准差,求出相对电阻率值 ρ_r .依据总平均值与标准差值的关系求出以下四个界限值: $D_1 = -$; $D_2 = -/\sqrt{3}$; $D_3 = +/\sqrt{3}$; $D_4 = +$.把相对电阻率值 ρ_r 划分成五个等级: $\rho_r > D_4$; $D_3 < \rho_r < D_4$; $D_2 < \rho_r < D_3$; $D_1 < \rho_r < D_2$; $\rho_r < D_1$.每个等级对应一种颜色(或符号),绘制出彩色剖面图(或黑白剖面图).由此高密度视电阻率等级剖面图可见,视电阻率等值上低下高,层次尚分明,基本呈水平层状分布,同样在位置约10~20 m及60~70 m之间深度约10.5~17 m处存在3个大的高阻封闭圈,同时在图2中约30 m处位置还存在低阻体向下而高电阻体的侵染现象,推断为不均匀筑堤所致.

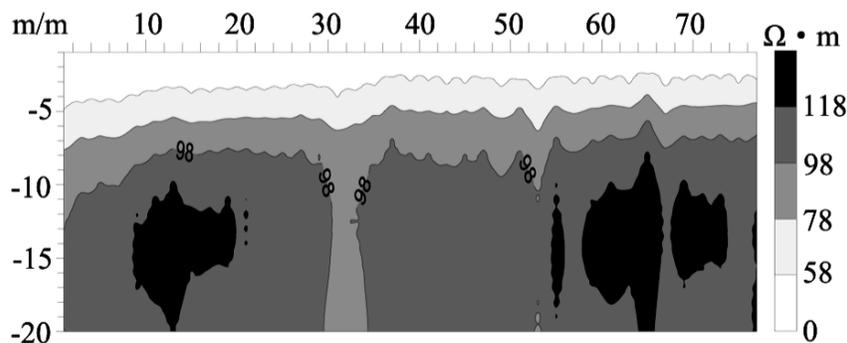


图2 龙荫港右堤B段0+030~0+110
高密度视电阻率等级剖面图

Fig.2 The high density resistivity rate section map
at right bank B zone 0+030~0+110 of Long Yi port

3.3 地震勘探资料解释

使用的测试仪器为美国乔美特利公司生产的

R24型数字化工程地震仪以及与之配套的专用电缆和频率为38 Hz的检波器等,采用锤击震源.本次地震勘探采用反射法观测系统.施测选用相遇时距曲线完整对比观测系统,道间距2.0 m,排列长度48 m,最小偏移距2.0 m,并采用每隔2 m连续追踪锤击的方法.图3为龙荫港右堤B段0+030~0+220段地震信号分析与解释成果图,其中纵坐标为地震波的双程走时,横坐标为95个检波距,其长度为190 m,该图是由野外采集到的地震反射波曲线记录,利用地震反射软件处理包,将全部记录进行CDP选排、振幅平衡、反褶积滤波、速度分析、动静校正、CDP叠加等处理而得到.根据地震反射信号分析与解释成果图,我们可以更清楚地对堤身进行分层,同时可以清楚地找出堤身中各层厚度及土力学分布特征,从而更好地对堤身质量予以准确评价.

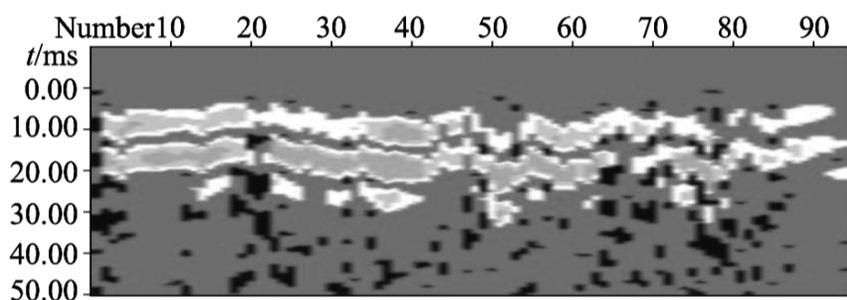


图3 龙荫港右堤B段0+030~0+125段地震
信号分析与解释成果图

Fig.3 The seismic signal analysis and interpret outcome
map at right bank B zone 0+030~0+110 of Long Yi port

3.4 综合解释

综合地质雷达、高密度电阻率法及地震反射波三种方法可知,龙荫港右堤B段0+030~0+80段浅层填土较为均匀、无裂缝、洞穴等隐患存在,而在位置约10~20 m及60~70 m之间深度约10.5 m处存在雷达异常体,在同一位置高密度视电阻率等级剖面图上存在3个大的高阻封闭圈,故推断此处存在空洞、洞穴隐患.说明了雷达探测结果与高密度电阻率法具有很好的对应性,可以相互验证,而在图2中约30 m处位置存在低阻体向下部高电阻体的入侵现象,推断为不均匀筑堤所致,此特征又是对雷达普查结论的有益补充;而地震反射波法可以更清楚地对堤身进行分层,同时找出堤身中各层厚度及获得重要的土力学分布特征;显然,如果我们能综合利用好这几种物探方法,就可以更好地对堤身质量予以准确评价.

4 结论

物探方法种类繁多,但在堤防质量检测中,没有

一种方法能全面解决各类问题,而本文中在大源渡库区堤防质量检测中,通过采用以探地雷达探测为普查,高密度电法以及地震勘探方法详查为补充的综合物探方法,检测到可能存在的堤防隐患部位,为堤防质量检测提供一种新的工作方法.当然基于堤防隐患类型复杂,仅依靠物探方法是不全面,最好能结合地质资料,同时布置少量的钻孔或土工试验资料进行更直接验证^[12,13],期望提高物探成果的可靠性与实用性.

参 考 文 献 (References):

- [1] 冷元宝,黄建通,张震夏,等. 堤坝隐患探测技术研究进展[J]. 地球物理学进展,2003,18(3):370~379.
- [2] 王兴泰. 工程与环境物探新方法新技术[M]. 北京:中国地质出版社,1996.
- [3] 徐方全,董延朋,秦月涛,等. 高密度电阻率法在堤防隐患探测中的应用[J]. 地质装备,2006,8:29~31.
- [4] 曾提,徐兴新,李富才,等. 地质雷达在探测南方岩溶地区堤坝隐患中的应用[J]. 地质与勘探,1998,34(3):43~46.
- [5] 刘康和. 堤防隐患的综合物探勘探[J]. 长江职工大学学报,2000,17(2):15~19+34.
- [6] 田世炀,李东丽,聂荣智,等. 堤防隐患综合探测技术及其应用[J]. 物探装备,2002,12(3):197~200.
- [7] 龚育龄,汤洪志,王良书,等. 综合物探方法在中坊水库坝体隐患勘查中的应用[J]. 水文地质与工程地质,2002,29(3):49~51.
- [8] 葛双成,江影,颜学军,等. 综合物探技术在堤坝隐患探测中的应用[J]. 地球物理学进展,2006,21(1):263~272.
- [9] 石念增,刘康和. 堤防隐患探测实例分析[J]. 地质灾害与环境保护,2005,16(4):376~382.
- [10] 石林珂,冷元宝,孙文怀,等. 堤坝隐患探测资料多维灰色综合评估方法[J]. 地球物理学进展,2005,20(1):252~256.
- [11] 曾昭发,刘四新,刘少华,等. 环境与工程地球物理的新进展[J]. 地球物理学进展,2004,19(3):486~491.
- [12] 胡祥云,杨迪坤,刘少华,等. 环境与工程地球物理的发展趋势[J]. 地球物理学进展,2006,21(2):598~604.
- [13] 郑灿堂. 土坝自然电场的分布特点[J]. 地球物理学进展,2006,21(2):665~669.

《地球物理学进展》2007 年征订启事

各期刊订户:

2007 年《地球物理学进展》由季刊改为双月刊,每年6期,每期定价不变,仍为35元,全年定价变为:210元。特此通知。

订刊联系方式

(1) 本刊编辑部(邮局汇款与单位电汇均可)

汇款地址 100029 北京市9825信箱《地球物理学进展》编辑部

电话传真 010-62007709,010-62007696

联系人 刘少华,汪海英,肖台琴

电子邮件 shliu@cgs.org.cn, wanghy@mail.igcas.ac.cn

开户行 中国农业银行北京建德支行 账号 190901040000456

收款单位 中国科学院地质与地球物理研究所

(务必在注释行写上:购《地球物理学进展》款,同时写上您的姓名和联系地址)

(2) 天津全国非邮发联合证订服务部

邮编地址 300385 天津市大寺泉集北里别墅17号

电话传真 022-23973378,022-23962479

网 址 <http://www.LHZD.com>

E-mail LHZD@public.tpt.tj.cn