

探地雷达和瑞雷波法在西险大塘渗漏探测中的应用

葛双成¹, 王伟², 叶利伟³, 徐勇², 刘超英¹

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 2. 杭州市余杭区苕溪堤防河道管理所, 浙江 杭州 311115;
3. 杭州市水利设施监管中心, 浙江 杭州 310016)

摘要: 在分析西险大塘堤基堤身特点及探地雷达和瑞雷波法原理的基础上, 开展了综合探测和研究工作。该工程实例表明, 探地雷达和瑞雷波法的综合运用能准确有效地圈出堤身材料软弱层, 为查明堤防渗漏原因提供依据。
关键词: 西险大塘 堤防 渗漏检测 雷达探测 瑞雷波法
中图分类号: TV698 文献标识码: B 文章编号: 1006-7647(2009)S1-0126-03

1 工程概况

西险大塘位于杭州西北部, 是防御东苕溪洪水入侵杭嘉湖东部平原、直接保护杭州市安全的重要屏障, 系浙江省重要防洪工程之一。该堤防始建于唐代, 标准低、质量差, 险工隐患多。历史上因限于财力物力, 未能较好地整修, 洪涝汛期险情屡出。1949 年中华人民共和国成立后虽进行了几次较大规模的加固整治, 终因抗渗能力和土体稳定条件较差, 当特大洪水侵袭时便险象环生。特别是近年来, 经历了 4 次特大洪水, 经大力抢险才转危为安。1989 年开始对堤身进行了多次加固和改造, 取得了一定成效。近年来, 作为太湖流域综合治理 10 项骨干工程之一和东西苕溪防洪工程的主体工程, 又进行了大规模的防渗加固施工, 其中以套井回填为主, 高喷灌浆为辅。

西险大塘建于滨海冲积相的松软沉积层上, 堤基主要由粉质黏土、黏质粉土、淤泥质土等组成, 中夹亚砂薄层。堤身主要为黏性杂填土, 局部有粉细砂土薄层。填土含水量一般为 25% ~ 29%, 干密度为 1420 kg/m³ 左右, 少数含水量在 30% 以上, 干密度达 1370 kg/m³ 左右。由于西险大塘是一条历史悠久的土堤, 经逐年加高而成, 堤身内可能埋有墓葬、瓦窑, 夹有树根残叶或砂层。此外, 该堤防堤身蚁患严重。

2008 年该堤段发现局部渗漏现象。为了调查渗漏原因, 开展了探地雷达和瑞雷波法探测^[1-2]工作, 探测结果与探井揭示情况较吻合, 为防渗处理提

供了参考依据。

2 探测方法技术

2.1 探地雷达

探地雷达^[1-15]是利用高频电磁波(主频 10 ~ 10³ MHz)以宽频带短脉冲形式, 由地面通过发射天线 T 送入地下, 经地下地层或目标体反射后返回地面, 为接收天线 R 所接收。当地下介质的波速 V (m/ns) 已知时, 可根据测得的脉冲波旅行时间 t (ns) 求出反射体的深度 h (m)。电磁波在介质中传播时, 其强度与波形将随所通过介质的电性及几何形态而变化。因此, 根据接收到波的旅行时间(亦称双程走时)、幅度及波形资料, 可推断介质性质及分布结构。电磁波传播的速度可由 $V = c/\sqrt{\epsilon_r}$ 近似算出(当介质的导电率很低时), 其中 c 为光速($c = 0.3$ m/ns), ϵ_r 为地下介质的相对介电常数, 后者可利用已知值或测量获得。在实际探测中, 一般可利用已知目标体的反射时间求取, 或根据钻孔揭示层位进行标定, 也可以结合其他探测方法综合确定。

探地雷达的应用前提是目标体与周围介质之间具有明显的电性差异及目标体具备适当深度和足够的大小, 表层无低阻屏蔽层, 探测区内无大范围金属构件或无线电发射频源等较强的人工电磁波干扰。探测深度主要取决于天线的中心频率和介质的电导率, 探测效果主要取决于目标体与周围介质之间的介电常数差异, 以及“周围介质”的均匀性。天线频率越高则探测深度越小, 分辨率越高; 天线频率

越低则探测深度越大 ,分辨率越低。

2.2 瑞雷波法

瑞雷波法^[1-2,13-19]是利用瑞雷波在层状介质中的传播速度随激发频率而变化的频散特性 ,对地下介质进行探测的一种地震勘探方法。若在地面上施加不同激振频率的瞬时冲击力 ,则不同频率的瑞雷波叠加在一起以脉冲形式传播 ,由距震源一定距离的多道检波器接收后 ,利用瑞雷波处理软件通过时间域开窗及 $f-k$ 域提取将各个频率分离开来 ,从而获得瑞雷波速度随深度变化的曲线 ,即“频散曲线”($V_R \sim H$ 曲线) ,其变化规律与地下介质条件有关。故通过频散曲线的解释 ,可获得地下某一深度范围内的介质性质及其深度和厚度分布。此外 ,可根据横波速度(据瑞雷波速度换算)、纵波速度及介质密度计算得到介质的动弹性模量、剪切模量、泊松比等物理力学参数。

瑞雷波法的应用前提是被探测地层与其相邻层之间、隐患与背景介质之间存在明显的波速差异 ,被探测地层应为横向相对均匀的层状介质。

3 探测技术方案

3.1 物理前提分析

根据该堤防的堤基和堤身材料及可能的隐患性质分析 ,与探地雷达法和瑞雷波法探测有关的主要介质为空气、水、黏土、砂等 ,它们具有明显的力学和电磁性质差异 ,具备方法应用的基本物理条件。但是 ,黏土、砂等各种介质本身的物性特征又因其含水量不同有较大变化 ,再加上缺陷性状和现场条件的复杂性 ,故应选择 2 种以上的方法进行探测 ,相互印证 ,以便提高隐患探测成效^[1-2,13-15]。

3.2 技术参数选择

本次雷达探测使用美国 SIR-20 型探地雷达 ,采用 400 MHz 和 100 MHz 工作频率的 2 种天线进行连续测量 ,增益为 5 级放大 ,采样率 512 ,带通分别为 150 ~ 800 MHz 和 25 ~ 200 MHz。瑞雷波探测采用北京水电物探研究所研制的 SWS-1G 型工程勘探与检测系统及相应的分析软件系统。瑞雷波测试时 ,检波器频率为 4 Hz ,道间距为 1 m ,偏移距分别为 10 m 和 15 m ,采样间隔为 0.50 ms ,采样点数为 1024 个。

4 探测成果分析

图 1(a)所示为测线上 12 m 处瑞雷波测试所得的频散曲线 ,其中 2.0 ~ 2.6 m 深处介质相对较软弱、密实性较差 ,剪切波速度为 150 m/s。图 1(b)所示为测线上 26 m 处瑞雷波测试所得的频散曲线 ,其中 2.7 ~ 3.3 m 深处介质相对较软弱、密实性较差 ,

剪切波速度为 152 m/s。

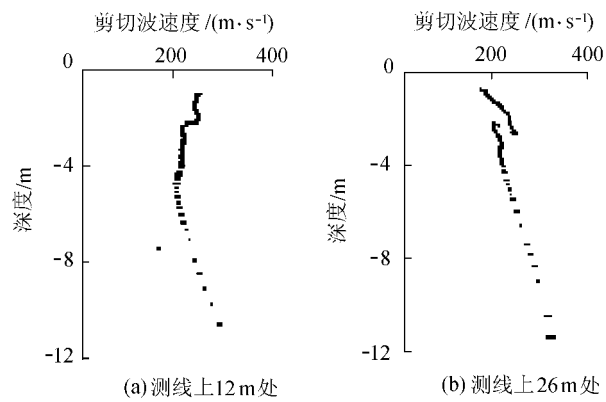


图 1 瑞雷波频散曲线

图 2 所示为雷达探测所得的反射图像 ,据反射波变化特征分析 ,12 ~ 30 m 位置约 0.8 ~ 2.6 m 深度范围内及测线右端 38 m 左右存在明显的异常。

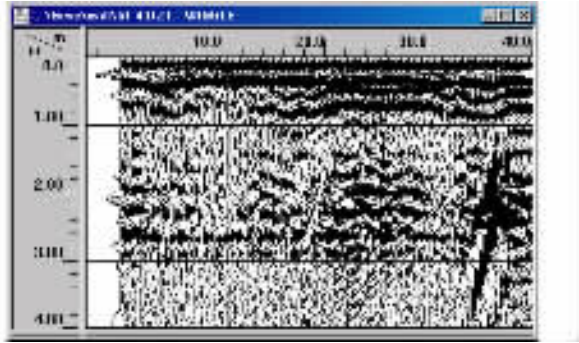


图 2 雷达图像(400 MHz)

综合雷达和瑞雷波探测资料分析认为 ,12 ~ 30 m 位置约 0.8 ~ 3.3 m 深度范围内介质较软弱、密实性较差 ,主要集中在 2.0 ~ 2.7 m 深度范围内。在探地雷达图像上 ,测线右端的异常则是堤顶道路金属挡桩和拦杠的反映。

在该探测实例中 ,采用探地雷达法在测线上圈出了电性异常的分布位置、测线位置及其深度范围 ,利用瑞雷波法判断弹性异常性质及重点深度范围。采用 2 种方法分别通过电磁场和地震波特征分析 ,对异常位置、深度和性质的判断作互补和综合 ,提高了探测成果的合理性和准确性。

5 探井验证情况

在 26 ~ 33 m 段所挖的 6 口探井观察表明 ,堤顶下约 2 ~ 2.5 m 有 1 层 50 cm 的透水层 ,颜色较黑 ,见图 3。

6 结 语

通过西险大塘堤基、堤身材料等特点和物性参数分析 ,以及实际探测表明 ,采用探地雷达和瑞雷波法综合探测 ,可以有效地圈出堤身材料软弱层 ,查明



图3 探井观察

堤防渗漏的原因。其中,探地雷达法圈出了电性异常的分布位置及其深度范围,显现出其连续性和整体性的优势,瑞雷波法则通过力学特征查明了弹性异常性质,并因其较强的纵向分辨能力进一步明确探测目标的深度。2种方法分别从弹性波场和电磁场方面反映探测对象和目标,使探测结果更合理准确。在本文所述实例中,据探地雷达和瑞雷波法探测成果综合判断,导致该堤段渗漏的主要原因是2.0~2.7m深度范围内堤身介质较软弱、密实性较差。该探测结果与井探揭示情况基本一致。

参考文献:

- [1] 冷元宝,朱文仲,何剑,等.我国堤坝隐患及渗漏探测技术现状与展望[J].水利水电科技进展,2002,22(2):59-62.
- [2] 葛双成,江影,颜学军.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.
- [3] 李大心.探地雷达方法与应用[M].北京:地质出版社,1994.
- [4] 葛双成,陈军,江影,等.深厚软土地基爆破挤淤效果检测方法及应用实例[J].岩土力学,2006,增2(2):748-752.
- [5] 葛双成,朱晓源,陈军,等.海堤抛石雷达图像特征及检测效果分析[J].中国港湾建设,2008(5):9-12.
- [6] 葛双成,梁国钱,许江南,等.公路路基病害特征与雷达检测实例分析[J].路基工程,2008(6):189-191.
- [7] 葛双成,邵长云.岩溶勘察中的探地雷达技术及应用[J].地球物理学进展,2005,20(2):476-481.
- [8] 葛双成,张莎,李强,等.探地雷达在海塘堤脚淘空损伤检测中的应用试验及分析[J].地球物理学进展,2007,22(3):989-993.
- [9] 祁明松.黄河大堤隐患的探地雷达探测[J].地球科学,1993,18(3):339-344.
- [10] 薛建,王者江,曾昭发,等.地质雷达方法在水坝渗漏检测中的应用[J].长春科技大学学报,2001,31(1):89-91.
- [11] 王水强,万明浩,谢雄耀,等.不同地质雷达测量参数对数据采集效果的影响[J].物探与化探,1999(3):211-215.
- [12] 施逸忠.地质雷达原理及其在水利水电工程中的应用[J].水利水电科技进展,1996,16(1):16-20.
- [13] 葛双成,梁国钱,陈夷,等.探地雷达和高密度电阻率法在坝体渗漏探测中的应用[J].水利水电科技进展,

2005,25(5):55-57.

- [14] 葛双成,张莎,梁国钱,等.海塘工程安全检测技术及应用实例[J].水利水电科技进展,2007,27(1):64-67,70.
- [15] 葛双成,叶可来,梁国钱,等.探地雷达和地震波法在抛石层探测中的应用[J].水利水电科技进展,2008,28(5):71-73.
- [16] 王书增,谭春,陈刚,等.面波法在堤坝隐患勘察中的应用[J].地球物理学进展,2005,20(1):262-266.
- [17] 任健.病险库探查中的瞬态面波剖面法技术应用与探索[J].陕西水利水电技术,2003(1):49-54.
- [18] 张碧星,鲁来玉,鲍光淑,等.瑞雷波勘探中“之”字形频散曲线研究[J].地球物理学报,2002,45(2):263-274.
- [19] 祁生文,孙进忠,何华,等.瑞雷波勘探的研究现状及展望[J].地球物理学进展,2002,17(4):630-635.

(收稿日期:2009-04-09 编辑:高建群)

·简讯·

“第十三届世界湖泊大会”将在武汉举行

为配合我国湖泊流域环境综合治理重点工作开展,在国家环境保护部的支持下,由中国环境科学学会、中国环境科学研究院、武汉市人民政府和国际湖泊环境委员会共同举办的“第十三届世界湖泊大会”将于2009年11月1~5日在湖北省武汉市举行。大会主题是“让湖泊休养生息,全球挑战与中国创新建设资源节约环境友好型社会”。会议共有6个方面的议题:

a. 全球变暖对湖泊环境影响与新问题及新机制研究,包括:①21世纪湖泊保护的难点、焦点与新问题;②全球变暖对湖泊环境与生态系统的影响;③跨界湖泊与河流的环境保护;④新型污染物与水污染机理;⑤湖泊保护与防治资金筹措机制;⑥湖泊流域综合管理的新机制和新体制;⑦其他新问题。

b. 湖泊流域水环境管理战略、政策及法规,包括:①湖泊水环境管理战略与理念;②湖泊流域水环境管理的政策和法律法规研究。

c. 湖泊流域水污染机理、污染监测及污染控制管理和技术对策,包括:①湖泊及流域水污染机理与控制基础研究;②湖泊流域城镇污染与农业面源污染防治技术;③水环境监测、预警与分析测试方法、技术及设备;④湖泊富营养化控制理念与新技术;⑤湖泊水华暴发机理与控制技术研究;⑥咸水湖泊水污染防治与咸化过程研究。

d. 湖泊流域综合管理及湖泊生态保护,包括:①湖泊流域水资源与可持续发展;②湖泊水量调控、水质改善与水源地保障技术研究;③湖泊萎缩与水量变化及生态退化;④湖泊生态系统健康与湿地保护;⑤湖泊流域人类活动影响及其综合管理。

e. 湖泊可持续利用的文化及公众参与,包括:①湖泊管理中的公众参与;②湖泊流域居民与传统文化及生态文明。

f. 中国湖泊污染控制研究,包括:①中国湖泊流域水污染问题及防治对策;②中国三湖(太湖、巢湖和滇池)水污染防治与蓝藻控制;③武汉湖泊的保护与管理。

(编辑部供稿)