

地质雷达在堤坝隐患(裂缝)探测中的应用

曹恒亮¹ 杨潇¹ 陆晓春²

(1. 上海市堤防(泵闸)设施管理处, 上海 200080;
2. 上海山南勘测设计有限公司, 上海 201206)

【摘要】 堤坝建设从施工阶段开始,在各个环节都存在产生隐患的可能。另外,加上外界环境因素的综合影响,使得堤坝存在的安全隐患大大增加。本文利用地质雷达,对大坝进行探测,圈定隐患(裂缝)区域。通过工程钻探,证明雷达探测堤坝裂缝行之有效,值得在类似工程中运用。

【关键词】 地质雷达; 堤坝隐患; 裂缝

中图分类号: TV871

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2017)03-0074-04

Application of geological radar in dam hidden danger (crack) detection

CAO Hengliang¹, YANG Xiao¹, LU Xiaochun²

(1. Shanghai Dike (Pump and Sluice) Facilities Management Office, Shanghai 200080, China;
2. Shanghai Shannan Survey and Design Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Dam construction has the possibility of hidden dangers since the construction stage in all links. Safety hidden danger of the dam is greatly increased with comprehensive influence of external environment factors. In the paper, geological radar is utilized for detecting dam and delineating hidden danger (crack) area. It is proved that radar detection of dam crack is effective through engineering drilling, which is worthy of application in similar projects.

Key words: geological radar; dam hidden dangers; cracks

中国各地的堤坝建设中,土坝建造可以就地取材,构造简单,施工方便,特别是对地形、地质条件要求低,因此应用广泛。由于环境和人为因素的原因,土坝会产生裂缝,如果日常缺乏必要的检查与养护,裂缝会越来越来大,加上未能及时发现和处理,导致土坝发生重大事故的情况很多。因此加强土坝的日常检查和养护,及时发现、处理土坝裂缝,是一项非常重要的工作。

地质雷达作为工程物探的技术方法之一,可以通过选择不同的发射频率,来探查不同深度的管线^[14]、

测定土壤含水率^[5-7]等。经过国内外众多学者的应用研究,它也可以成功用于堤坝隐患的探测^[8-10]。堤坝隐患包括洞穴、松软层、裂缝和渗漏等,常用的探测方法有人工探查、工程钻探和工程物探,人工探查费时费力,而且仅能观测表面现象。而工程钻探具有局部破坏性,对堤坝本身就有损伤。堤坝的空洞、裂缝中存在空气介质,其与坝体混凝土存在密度差异,有了探测异常的前提,地质雷达以其无损快速的特点成为堤坝裂缝探测的首选方法。

1 工区概况

工区位于长沙市宁乡县回龙铺镇,回龙铺镇位于宁乡县中北部,东经 $112^{\circ}24' \sim 112^{\circ}31'$ 、北纬 $28^{\circ}11' \sim 28^{\circ}16'$ 之间,丘陵地形。境内地势西高东低,南缓北陡。基本地形有丘陵、岗地、平原。镇城内水资源丰富,洩水河自西向东流经镇域南部,有小(2)型水库 2 座。气候属亚热带季风性湿润气候。热量充足,无霜期长,雨量充沛。作业区大坝坝顶为混凝土浇筑,下部为土体。由于长年受到环境因素及人为因素的作用,京枫渠道(回龙铺段)的地下溶洞和透水大裂隙较为发育,坝顶混凝土已产生裂缝,因此在渠两侧堤坝上布置两条测线并进行剖面测量。测线 1 位于渠道左侧,长 200m;测线 2 位于渠道右侧,长 106m。布置测线总长 306m。

根据国内学者的应用研究^[11],得到堤坝各目的层的物性参数(见下表)。

常见介质物理参数表

介质	介电常数	电导率/(ms/m)	衰减系数/(dB/m)
空气	1	0	0
纯水	80	0.5	0.1
黏土	5~45	2~1000	1~300
粉砂	5~35	1~100	1~100
干砂	3~6	0.01	0.01
花岗岩	4~7	0.01~1	0.01~1

2 工作原理与测试方法

2.1 工作原理

GPR 又称为表层穿透雷达(SPR: Surface Penetrating Radar)和表层下雷达(SSR: Subsurface Radar),是指利用电磁波在媒质电磁特性不连续处产生的反射和散射实现非金属覆盖区域中目标的成像、定位进而定性或者定量地辨识探测区域中电磁特性变化,实现对探测区域中目标的探测。简单地说,GPR 的任务就是描述目标的几何和物理性质。GPR 具有优于其他遥感技术的特点,包括:快速、高空间分辨率、对目标的三维电磁特征敏感。典型的冲激脉冲体制 GPR 系统构成和

探测原理如图 1 所示。

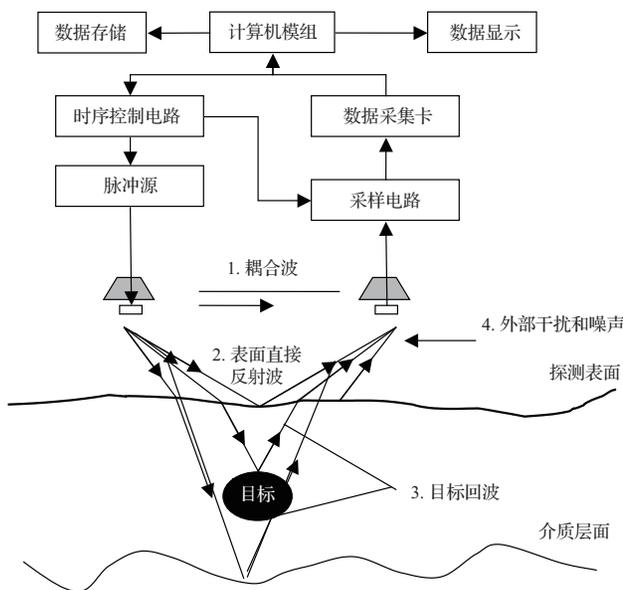


图 1 冲激脉冲体制 GPR 系统构成

在计算机控制下,时序控制电路(包括:比较器、可变电平、快斜坡信号、慢斜坡信号和控制电路等电路模块)输出同步脉冲和取样脉冲。同步脉冲触发脉冲源发射纳秒级宽频带窄脉冲信号,经由位于地面上的宽带发射天线耦合到地下。当发射的脉冲波在地下传播过程中遇到电磁特性不同的介质界面、目标或局域介质不均匀体时,一部分脉冲波能量被反射回地面,由地面上的宽带接收天线所接收。取样电路在取样脉冲的控制下,按等效采样原理将接收到高速重复的脉冲信号变换成低频信号。该信号送往数据采集卡,经过放大、滤波,再进行 A/D 变换,通过 CompactPCI 总线传输给计算机模组。计算机模组的应用软件对数据进行信号处理和成像,并在显示器上显示出来。

与其他电磁方法类似,地质雷达对于探测深度与探测精度及频率有一个对应关系,即:频率越高,探测深度越浅,探测精度越高;频率越低,探测深度越深,探测精度越低。并且其探测效果与目标体大小、埋深、土壤结构、土壤含水率等有关,因此须根据实际情况采取合适的测量参数。

2.2 测线布置

探测利用 Pulse EKKO PRO 雷达作业。根据坝体

深度并结合以往探测经验,选择 50MHz 的发射频率,用测绳布设各物探测线,测线点距 0.2m。测线 1 收发距 2m,测线 2 收发距 1.5m(见图 2)。



图 2 坝体探测

2.3 数据处理内容

雷达数据处理的目的是压制各种随机干扰和规则干扰,以最大可能提高探测目标在雷达图像上的反映程度,即提高数据图像的分辨率,帮助识别各种反射信息。该次雷达数据处理内容如下:

a. 数字滤波,滤掉雷达记录上的干扰波,保持反射波,提高信噪比,使雷达记录的波形接近反射波的波形。

b. 频域滤波,对雷达记录进行频谱分析(傅里叶变换),确定有效波的频率范围与干扰波的频率范围。设计一个滤波器,使其频率响应在有效波频率范围内为 1,在干扰波频率范围内为 0。将雷达记录的频谱与滤波器的频谱相乘,作为滤波器输出响应的频谱。将输出响应的频谱进行反傅里叶变换,即可获得该输入数据道滤波器的输出结果。

c. 时域褶积滤波,首先对雷达记录进行频谱分

析,确定通频带中心频率 f_0 及带宽 $2\Delta f$ 。确定滤波因子长度 N (奇数)。为了既保证滤波效果又节省工作量,滤波因子长度一般由试验确定。根据所确定的滤波形式、滤波因子长度、频带宽度及中心频率,写出褶积滤波的离散计算公式,注意到滤波的零相位特性, n 的取值应为 $n=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \dots, \pm (N-1)/2$ 。根据褶积滤波公式进行褶积运算。

d. 反滤波,包括最小平方反滤波和预测反滤波。最小平方反滤波的目的是把雷达记录中的具有一定延续长度的雷达子波压缩成尖脉冲,从而使雷达记录接近反射系数序列。预测反滤波是设计一个预测因子 $c(t)$,对输入雷达记录的过去值 $x(t-m), x(t-m+1), \dots, x(t-1)$ 和现在值 $x(t)$ 预测其未来值 $x'(t+a)$ 。

e. 增益调整技术,改善图像质量,有利于图像识别。

f. 校正处理,雷达野外探测场地存在的地形起伏变化和在进行连续扫描雷达探测时存在的雷达天线拖动速度差异影响(未安置测量轮的情况),都将使探测目标图像发生畸变,校正处理的目的是要消除这种畸变影响,使目标图像还原为其真实特征。

g. 偏移处理,探地雷达测量的是来自地下介质交界面的反射波。偏离测点地下介质交界面的反射点只要其法平面通过测点,都可以被记录下来,在资料处理中要把雷达记录中的每个反射点移到其本来位置。

3 结果分析

测线 1 剖面:该测线位于渠道左侧,地表为水泥路面,偶有过往车辆,在 28m 测点位置上方有高压线,高压线对雷达探测造成影响,剖面图上的相位产生畸变(见图 3)。该测线坝体 0.3m 深度的浅层成图效果较好,同相轴清晰可见,较好地反映了混凝土地面的情况。坝体深度 2~3m,可见多处层位不连续(位于测线 5~6m、29~40m、56~80m、178~183m,用红色方框圈出),该区域透水裂隙可能性较大。坝体深度 7~8m 以下未见大的强反射波,地层成分较单一,为基岩的可能性较大。

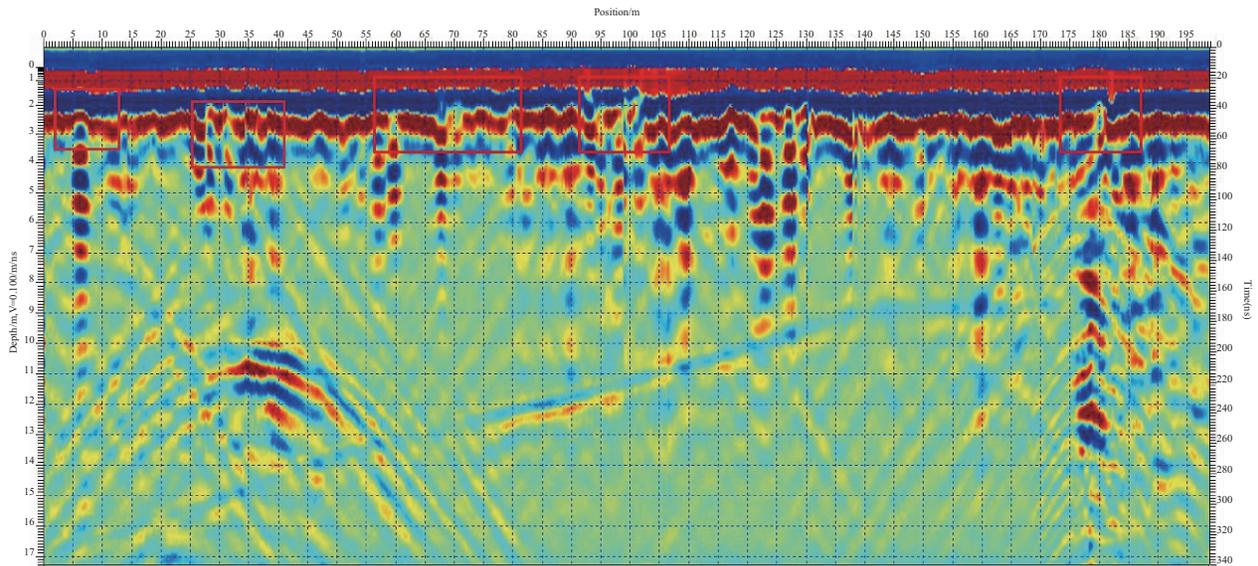


图3 测线1 雷达剖面

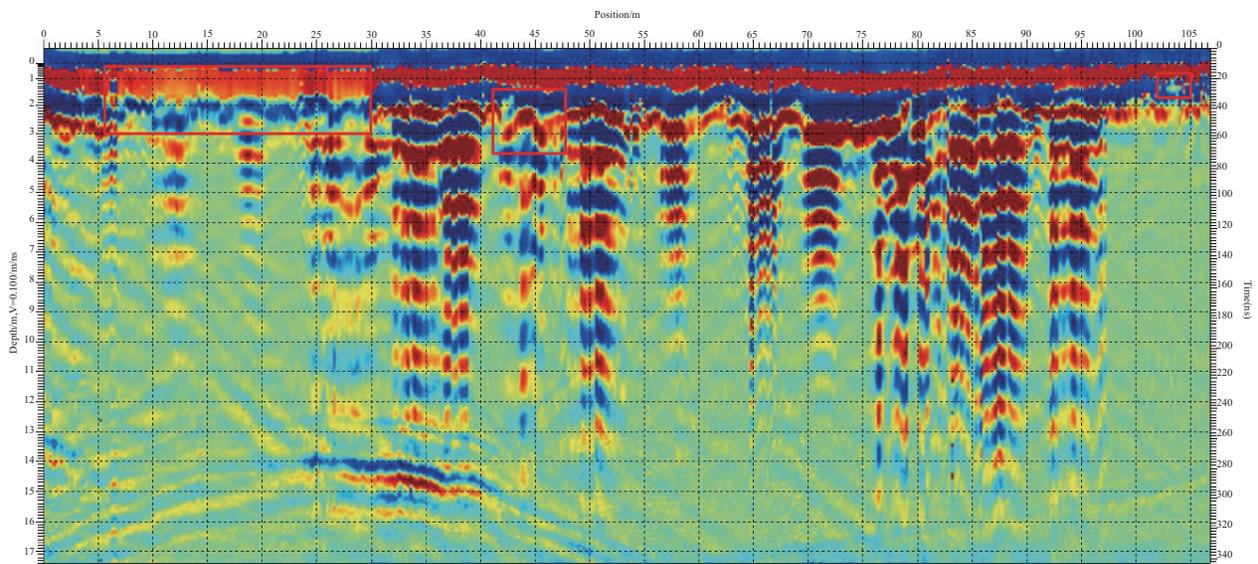


图4 测线2 雷达剖面

测线2剖面:该测线位于渠道右侧,地表不平整。该测线坝体0.3m深度的浅层成图效果较好,同相轴清晰可见,较好地反映了混凝土地面的情况(见图4)。结合探测实际工况,测线0m处有一台挖机,10~25m上方存在高压线,因此测线6~30m范围区域(红色方框圈出)受到高压线干扰,浅层影像无法识别。测线102~103m,坝体1.5m深度处较好反映了堤坝上可见的一处理深约1m的空洞。据此推测图中其他影像不连续处为裂隙的可能性较大,在图中用红色方框圈出。

根据工程钻探验证,红色方框圈出区域均发现裂

缝,该坝体裂缝的成因主要有以下4个方面。

a. 坝基承载力不均匀,坝体材料不一致,施工质量差。堤坝建成后,细小的横向裂缝可能发展成为坝体的集中渗流通道,而细小的纵向裂缝可能是坝体滑坡的先兆。

b. 堤坝岸坡与水渠交接部位填土高度变化大,施工时碾压不密实而出现过大的沉降差。坝基有压缩性过大的软土,施工时未加处理,泡水湿陷或加荷下沉。

c. 坝体存在横向裂缝。横向裂缝具有极大的危险性,水库水位上涨后,渗水通过裂 (下转第51页)

注意现场签证与批准的施工方案相结合,这样计算出的结果才科学公正。

3.4 地质变更引起索赔的审核依据和重点

该类索赔要在整个引水隧洞贯通后才有定论。审查该类索赔的重点是依据招标文件中发包人给出的围岩地质情况与实际围岩做比较,认真分析围岩变化给施工进度和施工成本所带来的影响。根据“标准施工招标文件”中第 2.3.3 款的约定,发包人应向承包人提供施工场地内的工程地质图纸和报告并保证资料的真实、准确、完整。承包人投标时根据发包人提供的地勘资料 and 不同围岩种类的开挖强度,据此编制满足合同工期的进度计划。实际围岩揭露后应与发包人提供的地勘资料进行对比,比较各类围岩的变化情况,测算出对施工进度、投资所造成的影响,并据此发起索赔。

3.5 设计变更引起索赔的审核依据和重点

引水隧洞施工工期长、地质条件复杂,施工期间难免会出现很多变更,审查该类变更引起的索赔时,主要分析是否属于以下情形:发包人指令增加、减少工作

(上接第 77 页)缝,很容易将裂缝冲刷扩大而导致险情。因此,在安全检查中,必须特别重视横向裂缝检查。除了在坝面进行普遍检查外,还应对较易出现横向裂缝的部位做重点检查。

d. 堤坝的迎水坡为干砌石护坡,因施工辅砌不牢、厚度和重量不够,加上年久失修和水体冲刷、侵蚀,导致护坡变形、滑落,局部甚至小面积被冲毁。

4 结 语

a. 地质雷达在坝体探测中效果较好,分辨率高,施工效率高。

b. 在该次探测过程中,地质雷达对明显裂缝有较好的发现,经过钻孔验证后,能够有效圈定坝体裂隙。

c. 对堤坝的安全性进行评估,为堤坝进一步定性研究提供依据并采取有效的抢险做法,避免危险事故的发生。

d. 结合环境、地质、水文条件,找到产生堤坝裂缝的原因,总结经验,为以后堤坝的施工找到更好的质量控制措施。◆

量;增加新的工程,提高设计标准、质量标准;由于非承包人原因,发包人指令中止工程施工;发包人要求承包人采取加速措施,其原因是非承包人责任的工程拖延,或发包人希望提前交付工程;发包人要求修改施工方案,打乱施工顺序;发包人要求承包人完成合同规定以外的工作等。依据标准施工招标文件中第 11.3 款发包人的工期延误,承包人由于以上变更所带来的费用增加和(或)工期延长均可向发包人提出赔偿要求。

4 结 语

长大引水隧洞工程,实际施工处理索赔过程中,要注意收集相关证据,除依据施工合同外还应包括双方的往来函件和会议纪要、气象报告、相关影像资料等,针对不同索赔诉求提供翔实的支撑性材料。随着国内大型引调水工程的陆续开工建设,隧洞工程所占比重越来越大,相关参建各方在工程建设过程中应注意各级索赔工作经验,并实现动态索赔管理,以更好适应工程投资控制需要。◆

参考文献

- [1] 王东. 土石坝渗漏成因及处理方法[J]. 水利建设与管理, 2009(12):70-71.
- [2] 李德群. 土石坝体(基)渗漏勘察与分析[J]. 水利建设与管理, 2015(12):39-43.
- [3] 杨桂权. 地质雷达无损探测技术在新疆阜康白杨河水库隧洞衬砌检测中的应用[J]. 水利建设与管理, 2013(10):47-50.
- [4] 贺茉莉, 彭环云. 地质雷达在可控压密注浆桩地基加固效果检测中的应用[J]. 水利建设与管理, 2014(11):52-55.
- [5] 易书斌. 地质雷达在弥勒县雨补水库工程建设中的运用[J]. 水利建设与管理, 2010(1):69-68.
- [6] 窦宝松, 鲍维猛, 陈楠. 地质雷达在隧洞衬砌检测中的应用[J]. 水利建设与管理, 2009(5):12-14.
- [7] 王传金, 孙晓林, 朱长河. 电法探测堤坝隐患在济南黄河大堤上的应用与启示[J]. 水利建设与管理, 2001(6):54-55.
- [8] 吴南山. 高密度电阻率法在长江堤防隐患探测中的应用[J]. 水利建设与管理, 2008(12):33-41.
- [9] 徐新兴, 沈锦音. 应用探地雷达检测大坝粘土斜墙隐患[J]. 水利建设与管理, 2001(4):61-62.
- [10] 葛双成. 坝体渗漏探测的雷达和电阻率综合法[J]. 工程勘察, 2005(5):69-71.