

探地雷达检测技术在水利工程检测中的应用

张才礼

(广东建科源胜工程检测有限公司, 广东 东莞 523710)

摘要: 随着科学技术的发展, 我国的探地雷达监测技术有了很大进展, 并在水利工程检测中得到了广泛的应用。检测结果残差值较大是传统方法检测水利工程质量普遍存在的问题, 通过合理布设发射与接收天线、精准计算探地雷达参数、实时接收电磁波信号等探测水工结构是否存在裂隙, 并进一步计算裂隙深度, 达到质量检测的目的。本文首先对地质雷达技术进行简介, 其次探讨了三维探地雷达的优点, 然后就水利工程质量检测进行研究, 最后就探地雷达检测原则以及探地雷达检测技术应用要点进行论述。

关键词: 水工结构 裂隙检测 探地雷达

DOI: 10.12319/j.issn.2096-1200.2022.09.190

一、引言

在水利工程检测中, 运用探地雷达向目标物体发射电磁波, 然后接受反射回来的电磁波图像与数据, 通过图像数据分析方法进行处理, 从而确定最终检测结果。此时, 水利工程建筑人员就可以根据检测结果, 选择正确的解决措施, 推进水利工程建设工作更加顺利地完成, 也确保水利工程的施工质量达到预期目标。目前, 探地雷达在水利工程中的应用范围已经非常广泛, 例如, 泵站工程质量检测、城市地下管网检测、防渗墙建设、堤坝渗漏情况检测等, 都能够看到探测雷达工作的身影。

二、地质雷达技术简介

GPR (Ground Penetrating Radar, 地质雷达技术) 是一种利用高频电磁波对目标物体和周围物体电性差异高度敏感特性, 对地下物体位置、结构进行探测的地球物理勘查技术。地质雷达技术可以向地下发射高频电磁波, 电磁波以脉冲形式向地下介质传播, 在遇空气界面、岩性边界、底层界面等电性差异发生变化的目标体后, 电磁波会发生反射并被接收天线接收, 通过处理分析, 结合电磁波反射波的强弱、波形、走时差等参数, 推理解释地下目标体的位置、几何形态、内部结构特征, 最终实现完整形态下的目标介质探测目标。

三、三维探地雷达的优点

三维探地雷达适用于近地表的工程勘探, 有高分辨率、全覆盖、效率高、无损、准确性高、结果直观等特点。三维地质雷达最突出的优点表现在以下几点。第一, 通过阵列的多通道采集技术, 获取的雷达数据具有全覆盖、高密度的特点, 不会造成数据的丢失。第二, 数据分

辨率高, 在道路地下异常体检测中可以查明很细小的异常, 利用不同中心频率的天线可以完成不同埋深的探测要求。第三, 可对获取的三维数据任何深度、任何平面位置随意截取, 达到三维展示的效果。第四, 数据采样和接收时间短, 探测效率高, 不影响工程的施工进度; 不仅无须破坏路面, 实现真正意义的“无损”探测, 还能快速准确地圈定地下异常体范围并对其进行分析。

四、水利工程质量检测

水利工程建设对于保障区域防洪安全、促进经济高效发展等具有重要作用, 对其具有严格的质量要求。中国水利管理机构明确提出, 大型水利工程建设质量必须由甲级资质的机构开展专业的检测, 而中小型水利工程建设质量必须由乙级资质的机构开展专业的检测, 保证投入运行后水利工程切实发挥农田灌溉、交通运输、防洪排涝等功能。水利工程质量检测精度随工程建设规模的增大而不断提高, 在检测水利工程水下部分时传统方法往往具有一定的难度, 由于水深过大无法实现全面检测, 水下部分易出现错检、漏检等情况, 难以满足质量检测要求。实际工程中主要有试验法、测量法和目测法等质量检测方法。其中, 试验法是对水泥、钢筋等水工构件的物理力学性能利用实验仪器进行检测, 结合检验结果合理评估工程质量。测量法就是对水利工程利用测量仪器取样, 通过检验所取样品评估工程质量状况。目测法主要是凭借专家经验, 通过现场“照、敲、摸、看”等一系列操作判断工程质量是否合格。在检测工程质量时, 以上3种方法都存在一定的不足, 如试验法主要是分析构件的力学性能, 无法对深水区的混凝土和钢筋等进行检测, 难以保证工程检测的整体性和

全面性。测量法利用仪器测量样品,但取样时会一定程度上损坏工程结构。目测法无法保证检测结果的客观性,检测时花费的时间长且检测结果精准度低。因此,亟须进一步提高工程质量检测精度^[1]。1974年,国外最先将一种探地雷达无损检测技术成功应用于土木工程领域,后于1990年代初该技术被引入国内,至今已经过40多年的研究发展。探地雷达因具有操作简单、无损害、分辨率高、图像清晰、无损检测等优点,在考古、采矿、电力、水利、市政、环境、水文、地质、铁路、建筑等多个领域中已被广泛地应用,近年来在岩土、隐蔽物或混凝土内部缺陷探测等领域也逐渐应用,如混凝土内部布筋、脱空不实、线缆分布以及水库或涵闸底板掏空、钢筋布置、内部积水等。

五、探地雷达检测原则

探地雷达主要包括计算机控制系统、地质雷达控制单元系统、发射和接受天线、电路等模块,在计算机控制下探地雷达对地下物体发射电磁波,电磁波传播过程中遇到介质或障碍物则产生反射,系统接受反射波,以此完成探测作业。接收到的反射波信号经编程处理和对比分析,可以判定被探测物体的尺寸、地理位置、深度以及探测地质中是否存在介质面。通过偏移、滤波、叠加和校正处理所接受的信号,然后根据反射波的变化特征、振幅、形态和目标体相应参数,即可确定目标体或界面的尺寸大小。

六、探地雷达检测技术应用要点

(一) 技术要求

水利工程隧道雷达无损检测布线时,应贯彻纵向布线为主、环向布线为辅的方针,对测线位置进行精准记录。一般两车道隧道测线数量应不少于5条,布置在隧道拱顶、左右拱腰及左右边墙;对于三车道及以上车道,应在隧道拱腰部位增加测线。为确保地质雷达图像剖面各测点位置与实际隧道检测里程位置相对应,应沿着隧道边墙,每间隔5.0m或10.0m作1个单线标记,每间隔50.0m作1个双线标记,便于后期核对。隧道衬砌厚度是水利隧道地质雷达无损检测的主要指标之一,雷达波速是隧道衬砌厚度计算的主要参数。受工艺实施、材料使用的影响,混凝土衬砌、喷射混凝土中的雷达波速势必会出现一定幅度的变化。此时,为确保水利工程地质雷达隧道检测精度,需要进行现场雷达波速标定。鉴于屏蔽天线在水利工程隧道地质雷达无损检测中使用频次较高,根据隧道衬砌混凝土厚度,结合检测目标,要选择恰当的天线频率。比如,在探测目标为隧道衬砌背后围岩时,可以选择中心频率为250MHz的天线,并调整混凝土波速为12cm/ns,波长为48.0cm,分

辨率为 $150\lambda/B$,穿透深度为150cm,精度误差为4.0%;在探测对象为模筑混凝土/喷射混凝土时,可以选择中心频率为400MHz、500MHz或900MHz的天线,混凝土波速均为12.0cm/ns,波长分别为30.0cm,24.0cm,13.0cm,分辨率分别为 $3.8\lambda/B$, $3.0\lambda/B$, $1.7\lambda/B$,穿透深度分别为100cm,100cm,40cm,精度误差分别为3.8%,3.0%,1.7%^[2]。

(二) 探地雷达在水利工程裂缝检测中的应用

1. 裂隙数据采集

检测结构表面是否有存在裂隙是水利工程质量检测的主要内容,若水工结构的力学性能未达到设计要求,结构内部的钢筋势必会因荷载作用而产生变形,并最终导致结构表面产生裂隙。因此,将结构表面是否存在裂隙作为探地雷达的检测目标,裂隙数据采集流程如下:充分考虑检测需求和工程实际情况,合理设置采样率、测点间距、时窗大小、天线中心频率等探地雷达技术参数。根据检测区域面积和检测目标深度等因素,考虑到地下介质介电特性和雷达天线中心频率共同决定了雷达测点间距。雷达参数设置完成后,在水利工程质量检测区域的两侧分别布置探地雷达的信号接收和发射天线,接收和发射天线布置过程中应保持间距不少于10m,然后打开点源开始进行检测。水利工程表面接收到发射天线发出的波形后将其折射给接受天线,各测点的地质雷达会全过程检测波形信息,最终将信号传输至接收器,从而完成裂隙数据的采集^[3]。

2. 路面指标评价

在路面检测过程中,除了对路面厚度及病害的检测,检测单位还可以利用探地雷达技术检测路面的性能,并根据性能评价来判定公路当前是否需要制定养护方案等,其中探地雷达技术可有效地确定路面结构中的含水率,在路面结构中,其混合料的介电常数在4~20,而水的介电常数为81,如路面中的含水率过大,则混合料的介电常数会发生变化,其电磁脉冲波的传播速度就不同。因此,根据其传播速度,进而计算出混合料的介电常数,然后依据含水率与介电常数的变化关系可计算得出路面的含水率。据研究表明,路面的压实度与混合料之间的孔隙率存在负相关的联系,即路面的孔隙率越大,其压实度就越小,路面的孔隙率越小,其压实度就越大,而孔隙率主要是指路面沥青混合料取出矿料、沥青等材料后孔隙体积和混合料总体积的百分比,路面的孔隙率不同,探地雷达检测时电磁脉冲波的传播速度就不同,因此,检测人员可通过对路面电磁脉冲波传递速度进行分析,从而判断路面的孔隙率,最后对其压实度作出评价。

(三) 渗漏的探测

土石结合部位极易产生渗漏问题,由于渗漏是隐蔽损伤,一旦发现就已出现破坏。一般地,防渗设施失效、基础防渗处理不良或强透水性地基处理不当等因素就会导致渗漏破坏。在水压力作用下混凝土结构产生裂缝,并随着裂缝的延展逐渐出现渗漏;由于施工质量问题或材料选择不当土体结构也易出现裂缝,土体颗粒随渗漏水流失,并进一步产生渗透破坏。如果被检测的结构没有出现渗漏破坏,则雷达反射波具有波形平缓、同轴连续性好等特点;若已经出现渗漏破坏,则周围材料与渗漏通道达到饱和状态,导电率和节点常数偏高,高频信号在水作用下出现明显衰减,反射波频率降低使得波长增大,波形“变胖”,与不渗漏部位形成明显的交界面和强烈的反射区。水的介电常数一般为80,水闸基础出现渗漏破坏时会形成明显的反射区。雷达剖面反射波强度因渗漏破坏而明显增大,反射波局部连续或基本不连续,雷达图像出现明显异常且反射波具有明显的同轴间断效应。强反射区位于1.7m深度处,这可能是基础内容存在松散区、裂缝或孔洞等缺陷^[4]。

(四) 水利工程质量分析

采用经过处理后的数据信息科学分析水利工程质量状况,经过其表面时电磁波连续不间断,而结构表面存在裂缝时电磁波就会出现断波,此时放射波的衰减速度快、规律性差且反射剧烈。探地雷达能够在水利工程质量检测中发挥重要作用,能够在水利工程中得到广泛应用,其得出的结论是准确的、可执行的,能够准确判断水利工程质量是否存在问题。

(五) 检测分辨率要求

对于地质雷达天线来说,应保证垂直分辨率超过2.0cm。地质雷达分辨率包括垂直分辨率和水平分辨率,分别指地质雷达可以检测出的垂向和水平向最小异常体的能力,与电磁波波长大小有关。当电磁波波长增加时,接收的波形信号辨识能力下降,检测精度下降,反之则上升。

(六) 数据处理

三维探地雷达探测过程中,会受周围环境、仪器、地下介质等因素的影响,记录的信号除地下信号外,还有许多其他干扰因素,这些干扰因素降低了信号的信噪比,掩盖了真实异常信号并产生假异常,使检测判断的结果不准

确。因此,在对雷达图像解译之前,还需要进行数字处理来压制干扰波,提高信号的信噪比。雷达图像处理主要是利用雷达探测的基本原理及电磁波在介质中的传播规律和数字信号处理的方法在计算机上对采集的雷达数据进行有效处理,获得地下管线的位置、形态、结构和大小等有关的信息,为后期的解译服务。

(七) 非金属管线的探测

非金属地下管线容易受到地下环境的多方因素影响,比如:空气、土壤等,会降低地下管线探测的准确度,导致探测效果不理想。因此,在非金属地下管线探测工作中应用探地雷达技术,对提升地下探测的效率及准确性,减轻探测人员的工作量大有裨益。具体原因体现在:非金属管道周围的介质多样且复杂,会影响电磁波的传输状态。地面天线发射出的电磁波受介质的影响,不同的介质会影响电磁波的传播效果,具有较大差异性^[5]。介质的电导率和吸收指数呈正相关关系,当吸收指数上升时,介质的电导率也逐渐上升。

七、结语

综上所述,探地雷达具有探测精度高、使用方便快捷、无损害等优点,在检测水利工程缺陷等方面具有较好的适用性和可行性。应用探地雷达分析水利工程病害时,主要取决于介质节点常数是否异常,可为水利工程加固维护、施工和验收提供一种新的检测方法。

参考文献

- [1]汪小力.探测雷达在中型水利工程质量监督检测中参数设置方法及存在问题的探讨[J].水利技术监督,2018(03):6-8,11.
- [2]徐茂辉,赖恒,谢慧才.探地雷达在混凝土板钢筋检测中的应用[J].无损检测,2004,26(01):30-33.
- [3]郭士礼,段建先,张建锋等.探地雷达在城市道路塌陷隐患探测中的应用[J].地球物理学进展,2019,34(04):1609-1613.
- [4]王小丽,廉文政,吴云飞.水利工程质量检测中应用探地雷达的探究[J].建筑工程技术与设计,2016,18(05):12-15.
- [5]丁浩.探地雷达技术在水利工程检测中的应用[J].水利规划与设计,2018,176(06):154-158.