

# 探地雷达检测技术在水利工程检测中的应用

钟荣达

惠州水务集团东江工程检测有限公司

**摘要:** 本文为解决当前水利工程对无损检测的需求, 研究探地雷达检测技术。因此, 在介绍雷达工作原理、模式和参数的基础上, 进行了雷达裂纹检测和泄漏检测。本文详细介绍了雷达地面探测的应用过程, 为今后类似工程提供一些技术经验。

**关键词:** 探地雷达检测技术; 水利工程; 质量控制

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.03.158

在水利工程探测中, 利用探地雷达向目标物体发射电磁波, 然后接收反射的电磁波图像和数据。通过图像数据分析方法确定最终检测结果。此时水利建设人员可以根据检测结果选择正确的解决方案, 促进水利建设工作顺利完成, 保证水利工程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非常广泛, 如泵站工程的质量检测、城市地下管网检测、防渗墙施工、大坝渗漏检测等, 都能看到探测雷达的工作。

## 一、对地探测雷达技术的发展路径

20世纪初, 德国教授胡茨迈耶利用高频电磁波搜索地下金属物体, 为地面雷达探测开辟了道路, 而地面雷达探测被认为是雷达的主要形式。在其发明专利中, 伦巴和德国法律引入了地面雷达站的概念, 并开发了探测埋藏目标的方法。偶极子天线位于两个发射腔和接收腔中, 其中一个是高导电性介质, 对电磁波有阻尼作用。为了通过比较两个谐振腔之间的信号强度和所获得的强度来确定介质的高导电性, 德国Hutsmayer正式提出利用高频脉冲电磁波探测地下物质。它是一种电介质边界上具有非均匀介电常数的电磁波, 以获得镜像。地球定位器仅限于探测低电磁吸收物质。1970年以来, 随着电子科技的发展和数据处理技术的广泛应用, 背景传感雷达更加多样化。

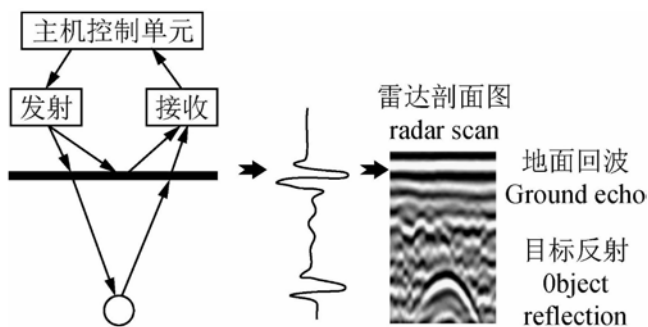


图1 探地雷达工作原理结构图

## 二、探测雷达在水力实验中的应用原理

雷达在液压研究中的应用主要是利用雷达设备发射的电磁波, 通过反射来确定目标的位置和性质, 并能获得完整、准确的图像。雷达背景巡检设备分为节点、天线和附件三部分。信号的采集和转换是通过计算机系

统、雷达电路、放大器、开关等完成的。在安装节能设施的实际应用中, 需要通过回路系统与计算机建立通信, 发送命令, 设置天线参数, 向发射极、放大器、变频器发送命令。发射器通过反射器返回到计算机, 反射器与雷达系统电磁波的放大装置和开关系统相连, 在探测过程中获得雷达设备各项参数的具体图像和数值。在探测可能包含电磁波反射和振幅的雷达背景图像和数据的过程中, 有效评估地表深度和位置等参数信息, 基本掌握水利工程建设和运行全过程的所有细节。雷达探头的结构如图2所示。

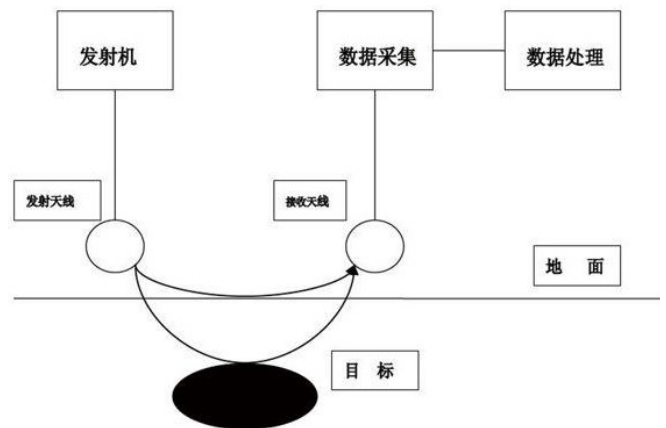


图2 探地雷达结构示意图

### (一) 接口防雷接地原理

利用天线从地面向地面发射高频电磁波, 然后从接收天线的目的地返回地面。电磁波在介质中的传播过程中, 电磁波的形状和强度随介质的几何状态和电学性质而变化。通过这种方式, 侦察雷达站接收到有关结构和HAR的情报。当相邻中间界面的平均差较大时, 电磁波从中低速向高速传播时, 入射波和反射波的幅值保持不变。因此, 利用雷达探测大坝损伤, 假定存在中等间隙。平均散度越大, 界面反射越强, 检测结果越明显。

### (二) 不均匀沉降

对于不均匀脱落引起的裂纹, 图像显示出一定的趋势。地下传输环境的分辨率相对较低, 雷达同轴连续性, 振荡小。

### (三) 滑坡裂缝

由于电磁波的宽度较大，在较宽的范围内会产生较强的反射，地层信号叠加，会部分干扰雷达图像形状连续性；同时，山体滑坡会引起土基的明显位移，导致位移、位移、雷达波位明显增大。

### 三、雷达在水利工程探测中的应用

#### (一) 质量控制

APR可以对整个水利工程的质量进行综合评价，然后用图像方法证明质量不符合标准，还可以准确地确定水利工程的风险因素。具体检查时，雷达部署在测量线上。在测量过程中，需要根据水利工程的实际位置确定测地线穿透地表的位置，然后根据水利工程的实际数据确定测地线的准确位置。定位完成后，将探测雷达安装在防水工程中，并正确安装天线和电缆，保持良好的信号。安装完成后，启动计算机设备，使用软件调整天线参数。为了保证最终检测结果的准确性，获得清晰准确的图像，需要选择频率较高的天线。

#### (二) 泄漏检测

渗漏是水利工程中典型的危险因素之一，常发生在土结构或混凝土与地面的接触面处。异常渗漏可能是多种原因造成的，如高渗透性土壤耕作不当、渗透耕作不足、防渗设施失效等；混凝土结构的渗漏可能是由排水沟引起的，在水压的作用下，随着裂缝的发展而产生的。土质结构是由于选材不当、未补偿压实或工程质量差造成的。大多数土壤容易入渗，导致入渗损害集中。通常，当探测结构均匀且无击穿损伤时，闪烁反射波较弱，具有连续同轴和小波衰减的特点。当结构泄漏时，泄漏通道和周围材料处于相对饱和状态，增加介电常数和电导率。

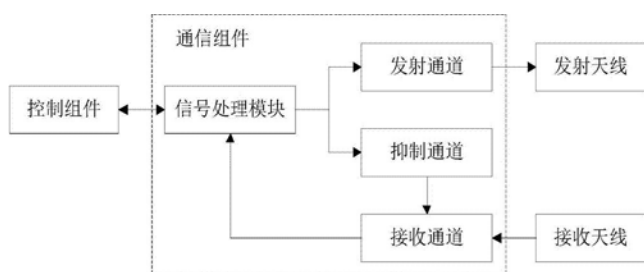


图3 探地雷达检测

岩石与土壤结合时渗漏是一个常见的问题。这是一个隐患。一旦检测到泄漏，通常会损坏。漏电造成的损害可能是由于高渗土处理不当、防止主漏电处理不当、防漏电设备损坏等原因造成的。混凝土结构渗漏是水力裂缝发展而产生的一种新裂缝。土结构裂缝是由于材料选择不当或结构质量问题造成的，造成大量颗粒的排出和渗透性破坏。

水的相对介电常数约为80。当基地泄漏和损坏时，雷达将有一个可见的发射区域。由于漏波的破坏，雷达廓线反射波强度显著增强，存在明显的同轴波反射干扰，以间断或部分连续为主。雷达图像异常明显，容易识别。反射区顶部的扭转、中断和损失主要是由空腔和裂纹的存在引起的。

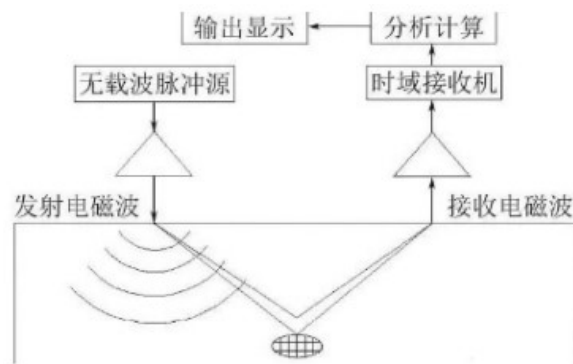


图4 雷达探测过程

#### (三) 水电站隧道岩体浸入质量检验

雷达天线的频率应为500毫米，视待探测目标层的厚度而定。数据判读就是识别采集到的雷达图像，利用熟悉的特征识别异常并确定其范围和尺度。

#### (四) 裂缝数据收集

水利工程质量检验的主要内容是检测结构表面是否存在裂缝。如果水工构筑物的力学性能达不到设计要求，结构内部的钢筋不可避免地会因荷载而发生变形，最终导致结构表面出现裂缝。因此，探地雷达的探测目标是结构体表面是否存在裂缝。裂缝数据采集流程如下：充分考虑探测需求和实际工程条件，合理设置探地雷达采样率、测点间距、时窗大小、天线中心频率等技术参数。根据探测区域面积、探测目标深度等因素，综合考虑地下介质的介电特性和雷达天线的中心频率，共同确定雷达测点之间的距离。雷达参数设置完成后，探地雷达的信号接收和发射天线应布置在水利工程质检区两侧。在敷设接收、发射天线的过程中，应保持至少10m的间距，然后打开点源开始检测。在水利工程表面上接收到发射天线发射的波形后，被折射到接收天线。各测点的地质雷达将检测整个过程中的波形信息，最后将信号传输给接收机，完成裂缝数据的采集。

### 四、工程应用

#### (一) 沉积物喷射质量差测量

在6米左右和0.4米左右深度的时间尺度上，有明显

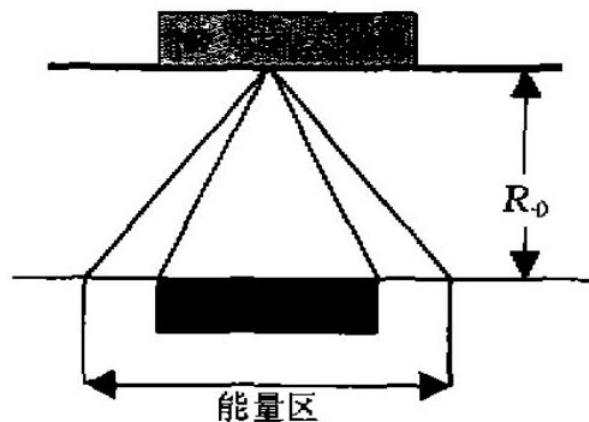


图5 为雷达反射示意图

的强烈搅拌反射期，反射光在混凝土介质中的分布和钢筋网的结合（第一层涂层）；约11n时间尺度和约0.7m深度，有明显相位强穿插反射，反射光在混凝土介质中的分布和钢筋网的结合（第二层涂层）；在18K左右的时间尺度上，存在一个强反射相位，反射雷达波在混凝土表面的传播。下面的雷达图像具有很强的局部反射和干涉波形，通过周围的孔隙和裂纹（溶液质量差）反射到雷达图像上。

（二）结构泄漏检测

土岩结合处容易发生渗漏，渗漏是一种隐性损伤，一旦发现就会造成损伤。一般情况下，防渗设施效果不佳、地基防渗处理差或高透水性地基处理不当等因素都会导致渗漏损伤。在水压作用下，混凝土结构产生裂缝，并随着裂缝的扩大而逐渐泄漏；由于施工质量问题或选材不当，土结构也会出现裂缝，使土粒泄漏，进一步造成渗水破坏。如果被探测结构没有泄漏或损坏，雷达反射波具有波形平坦、同轴连续性好的特点；如果泄漏损伤已经发生，则周围材料和泄漏通道达到饱和状态，具有较高的电导率和节点常数。高频信号在水作用下衰减明显，反射波频率降低，导致波长增加，形成“增肥”波形。这创造了一个清晰的界面和强反射区与非泄漏部分。水的介电常数一般为80，当水闸基础发生泄漏时，会形成清晰的反射区。由于泄漏损伤，雷达廓线反射波强度明显增加，反射波部分连续或基本不连续，雷达图像出现明显异常，反射波具有明显的同轴不连续效应。强反射区位于1.7m深度处，可能是基础内容物存在疏松区、裂缝、孔洞等缺陷。

（三）水库大气厚度的测定

储罐支架的处理十分重要，特别是在确定大气厚度方面，这将对后续储罐的安全产生不利影响。定位器可以准确地识别大气层的表层。试验的目的是了解岩石裂纹的发展及风化层厚度低于6米。根据辐射层的厚度，雷达天线的频率为500毫米，并通过点测量获得数据。数据判读可以识别采集到的雷达图像，确定目标层中的距离和比例，以及雷达波（电磁波）的相似性和形状。

（四）雷达探测结果左支架

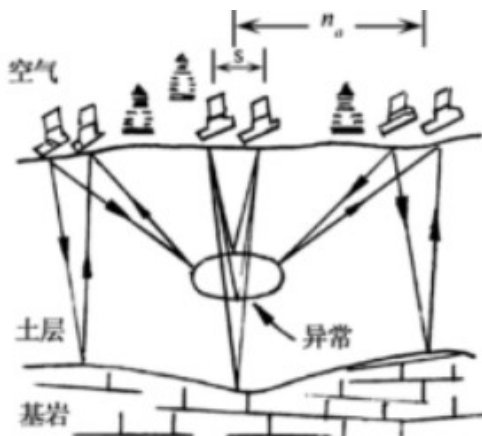


图6 为雷达探测示意图

在雷达探测范围（0~6.0毫米）内，雷达层表面形状超过5.0毫米时，会受到干扰，窄、细、同轴振动，根据其强大气岩石；5.0-6.0M灰黑色层的雷达图像应该是更完整的岩石。在试验现场，该站4-13米的雷达图像有亮红色反射、弯曲或类似位移。假设岩体中裂纹发育，则为有力的大气基底，岩体和沉积岩完整性较弱。

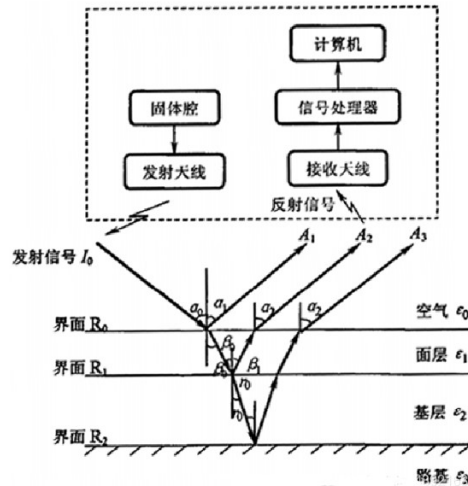


图7 为雷达反射时间

（五）试验台试验结果

在雷达探测范围（0~6.0米）内，4.5米以上的雷达图像层波被干扰，窄、薄、同轴被认为是强大的大气岩石。

雷达图像在该站截面3-15米处显示强烈的红色反射、弯曲或类似位移。假设生长裂纹和岩体裂纹，岩体和沉积岩的整体性较差。

五、结论

综上所述，探地雷达具有探测精度高、使用方便快捷、无损伤等优点。该方法在水利工程缺陷检测中具有良好的适用性和可行性。利用探地雷达对水工病害进行分析时，主要看介质节点常数是否异常，可为水工加固、维修、施工、验收等提供新的检测手段。

参考文献

[1]汪小力. 探地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.