

# 地质雷达技术在水利工程检测中运用分析

贺晨光

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710000

**摘要:** 地质雷达技术作为水利工程检测的关键手段,基于高频电磁波与介质相互作用原理,具无损、高效、高精度、灵活等特点。可应用于坝体结构、防渗结构、地基与基础检测。运用要点包括合理设置检测参数、防控现场干扰、准确解读分析数据。但存在探测深度有限、受介质影响大、对人员专业要求高等局限。针对性优化措施涵盖设备技术研发、检测流程完善。技术运用时要注意设备调试校准、保证天线贴合、重复探测异常区域、妥善保存数据。该技术为水利工程检测提供有力支持,保障工程安全运行。

**关键词:** 地质雷达技术; 水利工程; 无损检测; 运用分析

**引言:** 水利工程关乎国计民生,其安全运行至关重要。检测是保障水利工程质量和安全的关键环节。地质雷达技术凭借其独特优势,在水利工程检测中发挥着日益重要的作用。它基于高频电磁波与工程介质的相互作用,能精准探测水利工程内部结构、介质分布及潜在异常。本文将深入探讨地质雷达技术的基本原理、核心特点、在水利工程检测中的具体运用、运用要点、局限与优化措施以及运用注意事项,为该技术在水利工程检测中的科学应用提供全面参考。

## 1 地质雷达技术的基本原理与核心特点

地质雷达技术,亦称探地雷达技术,是水利工程检测领域的一项关键技术手段。其基本工作原理基于高频电磁波与工程介质间的相互作用。具体而言,通过雷达天线向工程介质内部定向发射高频电磁波,这些电磁波在传播进程中,一旦遭遇具有不同介电常数和电导率的介质分界面,便会发生反射、折射以及散射等物理现象。其中,反射波会被接收天线精准捕获,随后经信号处理系统进行一系列复杂处理,转化为可供深入分析的图像与数据。通过对这些图像和数据的专业解读,检测人员能够准确判断水利工程内部的结构特征、介质分布状况以及潜在的异常情况。值得注意的是,电磁波的传播速度和反射强度与介质的介电常数紧密相关,介电常数差异越大,反射信号就越强,不同介质分界面的识别也就越容易,这构成了地质雷达技术实现精准探测的核心理论基础<sup>[1]</sup>。

地质雷达技术的核心特点显著且突出。(1)为无损性,在探测过程中,无需对水利工程的结构本体进行破坏,不会对工程质量和运行安全产生任何负面影响,因而广泛适用于各类已建成或在建水利工程的检测工作。(2)为高效性,探测速度极快,能够实现大面积的连续

探测,极大地缩短了检测周期,有效提升了检测工作的整体效率。(3)为高精度,高频电磁波具备较高的分辨率,可精准识别水利工程内部细微的结构异常与隐患,检测精度完全能够满足水利工程严格的检测要求。(4)为灵活性,检测设备体积小、便于携带,可灵活适应水利工程复杂的现场环境,无论是地面、墙体还是水下周边区域,均能顺利开展探测工作。

## 2 地质雷达技术在水利工程检测中的具体运用

### 2.1 坝体结构检测

坝体是水利工程的核心构筑物,其结构完整性直接决定工程的防洪、蓄水能力,地质雷达技术可实现对坝体内部结构的全面探测,重点排查坝体内部的缺陷与异常。在坝体检测中,通过将雷达天线沿坝体表面按预设路线移动,发射高频电磁波穿透坝体介质,可精准识别坝体内部的空洞、裂隙、夹层等缺陷。当电磁波遇到空洞或裂隙时,由于空气与坝体介质的介电常数差异极大,会产生强烈的反射信号,通过分析反射信号的幅值、波形与传播时间,可确定空洞、裂隙的位置、大小、形态及延伸方向;对于坝体内部的软弱夹层、不均匀压实区域,由于其介电常数与正常坝体介质存在差异,会形成特征性的反射波形,据此可判断夹层的分布范围与厚度、压实不均匀的区域位置。同时,地质雷达技术还可用于检测坝体的压实度,通过分析电磁波传播速度与坝体介质介电常数的相关性,间接推算坝体的压实程度,判断是否符合工程设计要求<sup>[2]</sup>。

### 2.2 防渗结构检测

防渗结构是水利工程中防止水资源渗漏的关键设施,包括防渗墙、防渗帷幕、土工膜等,其防渗效果直接影响工程的水资源利用效率与运行安全,地质雷达技术可有效实现对各类防渗结构的质量检测。在防渗墙检测中,可

通过地质雷达探测防渗墙的厚度、连续性及墙体内部缺陷,当防渗墙厚度不足、存在断墙或墙体内部有孔洞时,电磁波的反射信号会出现明显异常,结合信号分析可精准定位缺陷位置与严重程度;对于防渗帷幕,地质雷达技术可探测帷幕的深度、分布范围及帷幕体的完整性,判断帷幕是否连续、是否存在未封闭区域,为防渗帷幕的质量评估提供依据。在土工膜防渗检测中,利用电磁波对土工膜的强反射特性,可检测土工膜的铺设连续性、搭接宽度及破损情况,当土工膜存在破损、搭接不规范时,反射信号会出现中断或异常波动,据此可及时发现防渗隐患,避免渗漏问题发生。

### 2.3 地基与基础检测

水利工程中,地基与基础的稳定性直接关乎工程能否安全持久运行,地质雷达技术为地基与基础的全面检测提供了有力手段,可有效排查地基内部不良地质条件以及基础施工缺陷。在地基检测方面,地质雷达能够精准探测地基土的分层状况,清晰呈现各层土的分布顺序;还能准确评估地基土的密实度,了解其压实程度;同时可确定地下水位分布情况。通过这些探测,可识别出地基内部软土、砂土、卵石层等不同土层的分布范围与厚度,进而判断地基土的均匀性,为准确评估地基承载力提供关键参考依据。此外,对于地基内部的暗沟、暗塘、溶洞等不良地质体,地质雷达也能精准定位其位置、确定规模大小。这些不良地质体易引发地基不均匀沉降,进而导致工程结构损坏,地质雷达的探测结果可为地基处理提供科学合理的依据;在基础检测中,针对混凝土基础、砌石基础等不同类型基础,利用地质雷达可探测基础的浇筑质量,识别出基础内部存在的蜂窝、麻面、空洞等施工缺陷,准确判断基础的完整性与强度是否满足设计要求,切实保障基础的承载能力与稳定性。

## 3 地质雷达技术在水利工程检测中的运用要点

### 3.1 检测参数的合理设置

在水利工程检测中,合理设置检测参数对地质雷达技术的检测精度与效果起着决定性作用。检测时,必须紧密结合检测对象、检测目的以及现场环境,科学设定雷达天线频率、探测速度、采样间隔等核心参数。天线频率的选择至关重要。高频天线具有较高的分辨率,然而其探测深度相对较浅,因此更适用于坝体表层缺陷检测、土工膜破损查找等浅层检测场景;低频天线虽分辨率较低,但探测深度大,可用于地基深层探测以及坝体内部大范围缺陷排查。探测速度应根据检测精度要求灵活调整。当对检测精度要求较高时,需降低探测速度,以保证采样充分,获取更详细准确的信息。采样间隔则要与

天线频率、探测速度相适配,防止出现采样不足导致信息缺失或采样冗余造成数据浪费的情况,从而保障检测数据的准确性与完整性。此外,还需依据现场介质的介电常数,对电磁波传播速度进行精准校准,最大程度减少检测误差<sup>[3]</sup>。

### 3.2 现场干扰的防控

水利工程现场环境错综复杂,存在诸多干扰因素,这些因素会严重影响地质雷达检测信号的质量,进而使检测结果产生偏差,所以必须切实做好现场干扰的防控工作。常见的干扰因素主要有电磁干扰、介质不均匀干扰以及地面起伏干扰等。电磁干扰大多源自现场的施工设备、高压线路等,在进行检测时,应尽量远离这些干扰源。若无法远离,则需采取有效的屏蔽措施,降低电磁信号对雷达接收信号的干扰程度。介质不均匀干扰主要是由坝体、地基介质的成分差异所引发,可通过优化检测参数、适当增加采样密度的方式,增强信号的识别能力,从而减少因介质不均匀而产生的误差。地面起伏干扰主要会对天线与检测面的贴合度造成影响,在检测前,要仔细清理检测面,确保其平整。对于那些不平整的区域,可选用柔性天线或者合理调整天线高度,以此保证电磁波发射与接收的稳定性,提高检测数据的准确性。

### 3.3 检测数据的解读与分析

地质雷达检测数据的解读与分析是达成精准检测的关键步骤。检测数据涵盖反射波形图、雷达剖面图等,解读时需紧密结合水利工程的结构特性、介质属性,并依据电磁波传播规律,对异常信号展开精准识别与判断。具体而言,(1)要对原始检测数据进行预处理。通过去除干扰信号、修正基线偏移等操作,有效提升数据质量,为后续分析奠定良好基础。(2)要结合检测对象的设计参数,深入分析反射信号的幅值、波形、传播时间等特征。通过细致比对,准确区分正常信号与异常信号,防止将正常的介质分界面错误判定为缺陷,确保判断的准确性。(3)针对异常信号进行综合分析。充分考量不同检测部位的受力特点、施工工艺等因素,判断异常的类型、严重程度以及影响范围,进而形成科学、精准的检测结论,为水利工程的工程质量评估以及隐患处理提供坚实可靠的依据。

## 4 地质雷达技术在水利工程检测中的运用局限与优化措施

### 4.1 主要运用局限

尽管地质雷达技术在水利工程检测领域展现出众多优势,然而在实际运用过程中,仍存在一些不可忽视的局限。(1)探测深度存在明显限制。受天线频率的制约,

高频天线虽能提供较高的分辨率,但探测深度往往仅在数米范围内;低频天线虽可将探测深度拓展至数十米,可分辨率却会大幅降低。这使得在面对深层大型隐患时,难以同时兼顾探测深度与分辨率,精准探测存在较大困难。(2)受介质影响显著。当检测介质中含有大量水分、金属杂质或者导电矿物时,这些物质会对电磁波产生吸收和衰减作用,进而导致反射信号减弱,严重时甚至无法接收到有效信号,极大地影响了检测效果。(3)对检测人员的专业能力要求颇高。检测数据的解读与分析需要综合运用地质、水利、电磁学等多学科知识,若检测人员专业素养不足,在分析数据时就容易出现误判、漏判等情况,最终影响检测结论的准确性和可靠性。

#### 4.2 针对性优化措施

为有效应对地质雷达技术在水利工程检测中存在的局限,可采取一系列针对性优化措施,以提升其运用效果。(1)在检测设备与技术方面,需紧密结合实际检测需求开展研发工作。致力于打造兼具高分辨率与深探测深度的雷达设备,采用多频率天线组合探测模式。在浅层检测时运用高频天线,确保能精准捕捉细微结构信息;深层检测则采用低频天线,拓展探测范围。同时,积极引入先进的信号增强技术,降低电磁波在导电介质以及高含水量介质中的衰减程度,提高有效信号的接收质量,从而获取更清晰准确的检测数据。(2)在检测流程上,检测前要对检测区域进行全面细致的勘察,充分掌握介质分布、现场干扰源等状况,据此制定科学合理的检测方案,并对参数进行精准设置。检测过程中加强现场管控力度,保证检测操作严格规范,避免人为因素导致误差。检测完成后,对数据进行多次复核,结合地质、水利等多方面信息展开综合分析,切实提升检测结论的准确性<sup>[4]</sup>。

#### 4.3 技术运用的注意事项

在运用地质雷达技术开展水利工程检测时,有几个关键事项需重点关注。(1)检测前,必须对检测设备进行全面且细致的调试与校准工作。仔细检查天线的灵敏度、信号处理系统的稳定性等设备运行状态,保证设备性

能处于稳定可靠的水平,最大程度减少因设备自身问题导致的误差,为后续检测提供坚实的硬件基础。(2)检测过程中,要确保天线与检测面紧密贴合,杜绝出现任何间隙。因为间隙的存在会使电磁波反射出现异常,进而干扰检测数据的准确性和可靠性。(3)对于检测中发现的异常区域,不能仅凭一次检测结果就下结论,需进行多次重复探测。同时,紧密结合现场实际情况,仔细排查可能存在的干扰因素,确保对异常情况的判断准确无误。(4)检测数据具有极高的价值,必须妥善保存。建立完整、规范的检测数据档案,以便为工程后续的维护、检修工作提供有力支持,也为工程质量追溯提供可靠的依据<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

地质雷达技术在水利工程检测中已展现出巨大潜力与价值,为工程安全评估与隐患处理提供了关键依据。尽管存在探测深度、介质影响、人员专业要求等方面的局限,但通过针对性的优化措施,如研发先进设备、完善检测流程等,能有效提升其运用效果。在实际运用中,严格遵循设备调试、天线贴合、异常区域复测、数据保存等注意事项,可确保检测结果的准确性和可靠性。未来,随着技术的不断进步和完善,地质雷达技术必将在水利工程检测领域发挥更为重要的作用,为水利事业的高质量发展提供坚实保障。

#### 参考文献

- [1]刘强,王超.探地雷达技术在水利工程质量检测中的应用研究[J].工程技术研究,2022,7(20):20-22.
- [2]郭杨.地质雷达检测技术在公路工程检测中的应用[J].交通世界,2022,(12):80-81.
- [3]宋丽月.探地雷达检测技术在水利工程检测中的应用[J].黑龙江水利科技,2022,50(03):171-174.
- [4]葛世儒.地质雷达检测技术在公路工程检测中的应用分析[J].运输经理世界,2022,(05):34-36.
- [5]李有福.地质雷达在公路隧道工程检测中的应用[J].运输经理世界,2024,(08):80-82.