

水利工程检测中地质雷达技术运用探析

秦 盼

甘肃科瑞水电工程试验检测有限公司 甘肃 兰州 730046

摘要: 本文分析了水利工程中地质雷达检测的迫切需求,并阐释了地质雷达技术的基本原理及其显著优势。随后对地质雷达在水利工程领域的代表性案例进行综合回顾,揭示技术效益与影响。针对大坝、堤防以及渠道和水库等水利设施的完整性检测、损伤定位和淤积评估等具体场景,系统归纳了地质雷达技术的应用实践。最后就如何提升地质雷达技术在水利工程检测中的效能展开讨论,其中强调了技术融合、数据解读以及案例研究对于技术革新与进步的重要性。

关键词: 地质雷达技术; 水利工程检测; 完整性检测; 数据解读

引言

水利工程作为国家重要的基础设施,千年大计,质量第一。水利工程作为国民经济和社会发展的基础设施,质量是水利工程建设永恒的主题和核心。随着技术的发展,地质雷达成为了水利工程检测中的一项革命性技术,它以其非破坏性、高精度以及对复杂地质条件适应性强的特点,为水利工程带来了新的检测思路和方法。

1 地质雷达技术在水利工程检测中的应用概述

1.1 水利工程对地质雷达检测需求分析

水利工程在其生命周期中不可或缺的是对结构安全性与稳定性的精确检测,地质雷达技术由于其非破坏性、高分辨率探测特性,逐渐被推崇为检测工具的首选^[1]。在水利工程领域,该技术应用所需求的,远不止于表面层结构损伤的探查。工程中蕴含的地下空洞探测、裂缝深度评估甚至是内部水流动态监测等,均展现了核心技术需求的丰富性与复杂性。从案例实操角度来说,像三峡大坝这样的国家重点工程,其水利建设实践中融入地质雷达技术,提升了安全检测和预警工作的效率与准确性。施工前对地质条件进行全面评估,工程过程中监测土体密度与水土流失情况,以及后期对大坝结构健康状态进行长期跟踪,这些环节均对地质雷达技术寄予厚望。

1.2 地质雷达技术原理及优势

地质雷达技术通过发送高频率电磁波,捕捉其与地下物体相互作用后的反射信号,以此揭示地下世界的面貌。不同材料对电磁波的反射强度和速度不同,从而在接收到的信号中形成可区分的特征,这为解读地下结构提供了科学依据。其工作频率一般覆盖MHz至GHz范围,频率越高,分辨率越细,但穿透力逐渐减弱;相反频率降低则穿透能力增强但分辨率降低,因此在不同的应用场景下需要精心选择合适的工作频率以达到最佳的

探测效果。

地质雷达技术擅长于细致入微地探寻土壤湿度、密实度等关键因子,以及发现潜藏的裂缝、空洞等潜在危险点,由于其非侵入式的特性,保证了工程的原貌同时减少了可能的干扰,显著提升了安全评估的精确度。而且地质雷达相较于传统的钻探或开挖方法,地质雷达技术能够实现快速部署与数据获取,大幅度节约了人力物力,提高了检测工作的效率。在持续监测方面,这项技术能够对同一地点进行多次无损检测,为工程长期稳定性的评估和维护提供了极大的便利。除此之外,它还具备对复杂地质环境的适应能力,无论是山区河谷还是城市地下结构,均能展现出其优越的探测性能^[2]。

2 地质雷达技术在水利工程中的具体应用

2.1 大坝与堤防完整性检测

在水利工程的维护和检测作业中,地质雷达技术通过发射高频率的电磁波并收集被地下结构反射回来的信号,为水利设施的安全运行提供了强有力的技术支撑。事实上大坝和堤防的损伤或缺陷往往位于难以直接观察的内部或地下,这就使得地质雷达技术成为监测这些结构完整性的理想选择。而且其在揭示大坝和堤防潜在风险方面具备显著的灵敏度和精确度,例如对于裂纹和空洞的识别,这项技术能够通过分析反射回的电磁波信号变化,辨识出结构内部的微小变化,从而及时预警潜在的安全隐患。地质雷达技术还能评估土壤湿度和密度变化,对于堤防这种依赖于土壤性质维持稳定性的结构来说,能有效指出可能导致失稳的危险区域。这种能力降低了因结构问题引起的意外风险,同时也极大提高了检测的效率和准确性,使得维护和修复工作更加有的放矢。

值得强调的是,每一处大坝和堤防由于所处的环境和承担的任务不同,其潜在的风险点也大相径庭。因此

在实际检测过程中,必须根据具体情况制定详细的检测计划,比如选择适宜的频率、正确解释反射信号等,这些都需要检测人员具备丰富的专业知识和实践经验。随着技术的不断进步和经验的积累,地质雷达技术在水利工程大坝和堤防完整性检测领域的应用将越发广泛和深入,为确保水利设施安全和功能的可靠性提供了有力的技术保证。

2.2 渠道渗漏与破损定位

地质雷达技术利用高频率的电磁波穿透地表,在不同介质交界处产生反射,从而显现出地下结构的剖面图,此类图像信息的分析能够识别出渠道中存在的裂隙、空洞和其他异常结构,这些往往是渗漏和破损的前兆。由于水及其携带的物质具有不同的电磁特性,地质雷达能够辨别湿润区域和干燥区域,借此确定渗水点。这种技术的应用大幅提升了水利工程进行监测和维护的效率,降低了可能因渗漏或破损导致的灾害风险。

在实践中,执行操作人员将便携式雷达设备沿预定路线缓慢推进,持续收集渠道覆盖层下方的反射数据,这些数据随后通过专业软件处理成二维或三维的图像,揭示出潜藏在地表之下的复杂情况。需要指出的是由于地质条件、水质以及材质等多种因素的影响,雷达波的传播速度和反射特征可能受到变异。因此探测成果的精准解读需依赖于操作人员的经验判断与理论知识,同时也要结合水利工程的实际运行情况进行^[3]。综合运用地质雷达技术才能确保对渠道中的渗漏和破损进行高效准确的定位,而这无疑对于保障水资源的安全利用、延长工程寿命及避免环境的进一步破坏有着重要意义。

2.3 水库底质与淤积评估

在水库的管理与维护过程中,地质雷达技术能够透视不同介质层,这在水库淤积层厚度测量中极为有用,例如雷达波在穿越水和淤泥的传播速度差异,通过精确计算这些速度差,专业人员可评估出淤积层的厚度,这对于判断水库的蓄水能力和防治淤积的工作提供了科学依据。在淤积物中由于其含水量、密度等物理特性的不同,雷达波的反射特征也会有所不同。综合这些数据,可以对水库底部环境的质量进行全面评估,诸如淤积物的固结程度与可能含有的有机物质等质地信息,都能透过图像反映出来。除此之外,利用地质雷达技术进行长期监测,可以观察到淤积进程的变化趋势,这种动态的观测方法对于制定清淤计划和预测未来淤积趋势具有重要价值。通过对历史数据的深入分析,不难发现淤积速率与季节性降水、水库上游的土地使用情况等因素紧密相关。据此管理者不仅能优化日常的水资源调配,还能针对性地设计土地利用政策,以减

少上游的侵蚀与淤积。这种高科技的应用不仅提升了评估工作的精确度,更为水库长期持续的健康运营提供了强有力的数据支撑。

2.4 隧道超前地质预报

通过超前地质预报工作,可以更多地掌握和反馈掌子面前方一定范围内围岩的地质条件,为进一步的施工提供指导,可以为各类突发地质灾害发生提供预警。做好隧道超前地质预报工作,预测前方不良地质以及隐伏的重大地质问题,以便采取积极措施,降低地质灾害发生几率,避免施工及运营过程中发生涌水、瓦斯突出、岩爆、大变形等地质灾害。

其实质是利用不同介质界面的电磁特性差异而反射产生的电磁波探查各种介质从而进行地质预报,并通过数据反演,找出不好的地质体。其主要工作方法是首先通过地质雷达自身携带的宽带天线向需要探测的目的介质发射高频宽带短脉冲电磁波,此电磁波经过不同介质层位或目的体反射后返回为接收天线所接收。由于电磁波在介质中传播时,其路径、电磁场强度与波形将随所通过介质的电性质及几何形态的变化而变化,因此可以根据电磁波的物理特性如时间、振幅、波形等,确定不良地质体的规模、性质等参数。当掌子面前方为完整岩体时,电磁波的波形较均匀、完整,当出现不良地质体时,大多出现能量分布不均匀,波形杂乱等特点。

3 提升地质雷达技术在水利工程检测中的效能

3.1 技术融合与创新应用方法

在水利工程检测领域中,地质雷达技术的高效应用促成了更深层的技术融合与创新,例如将传统地质雷达技术与机器学习算法结合,为提取与分析地下数据提供了一个全新视角,该技术的融合加快了数据处理速度,显著提升了数据解读的精确性。机器学习模型可以从大量地质雷达数据中识别出模式与异常,能够定量和自动地监测结构变化,从而预测潜在的安全问题。再比如无人机搭载地质雷达设备飞越工程区域,收集覆盖面广泛的地理与结构信息,这种方法可以扩大检测范围,还实现了对难以接近区域的精确检测,通过高空的角度结合深入地底的探测,为工程安全管理提供了更全面的风险评估,有效地链接了空中和地下的信息流,极大增强了地质雷达技术在宏观与微观层面的功能性。而使用先进的图像处理与三维建模技术可以将不同角度获取的数据集成为一体,形成立体的地质模型,这无疑为工程师提供了一个更为直观的决策和分析平台,使得问题的诊断更为直接和有效。深入的技术融合和广阔的视野使得地质雷达技术的应用越来越多地突破传统边界,呈现出

多元化并且高度集成的新趋势^[4]。在未来,这种多技术的集成与创新应用将是水利工程检测领域中最具吸引力的发展方向,预计将大幅提升工程安全的保障水平及对复杂环境适应的能力,为我国水利建设的可持续发展注入新的活力。

3.2 数据解读精度与实时监控

在水利工程检测过程中,地质雷达波通过介质传播时的反射、折射及漫反射事件被详尽记录下来,形成了生动的剖面图像。然而图像背后的信息并非肉眼可直观解读,它们需借助精细的算法与软件处理来揭示其深层次含义^[5]。雷达回波的资料处理与分析,尤其是对于嵌入物的定位、裂隙的检测以及空洞的探明,必须依赖高水平的数据解析能力,包含信号增强、背景噪声滤除以及波速校正等步骤,确保最终输出结果的精确可信,此时放大细微差异的同时,避免错误的伪影出现是一项重大的挑战。依托于地质情况与物理特性的深刻理解,结合先进的数据处理技术,工程师们得以从复杂的回波中提取关键信息,预测潜在风险并制定相应对策。

实时监控结合地质雷达技术通过持续追踪工程结构的状态变动,设备可以快速响应任何微小的结构性变化。从延续持续观测中,专业的分析系统能够立即捕捉到数据中的异常模式,为管理团队提前敲响警钟,从而实施立即的干预措施,防患于未然。同时该监控系统还需具备高度自适应性,能够针对不同种类的水利工程结构、环境条件,以及工程运行阶段自动调整监测参数,确保实时数据的准确传输与及时解读。地质雷达持续搜集的海量数据流配合机器学习等智能化分析手段,能够在实时监控的基础上实现预测性维护,极大提升水利工程的安全系数。

3.3 案例研究及技术进步展望

以华东某大型水利工程为例,该项工程在建设过程中运用地质雷达技术对潜在的地质风险进行了全面评估,识别出若干隐藏的裂隙和空洞。经过精确的数据反馈,工程团队得以对这些风险区进行有针对性地加固,大大提高了工程安全性,此案例证实了地质雷达技术在

水利工程安全性评估及隐患排查中的重要作用。不仅检测结果令人信服,而且因其高效性和准确性,此项技术被更广泛地认可和推广,揭示了利用先进技术手段完善工程评估体系的必要性及有效性。

未来随着人工智能和大数据技术的融入,地质雷达系统预计将具备更加强大的数据处理与分析能力,使得细微差异的识别和潜在风险的预测更为精准,例如通过机器学习算法,地质雷达系统能够从历史数据中学习并自我优化,进而提高对复杂地质结构的识别效率。此外,随着无人机技术和机器人技术的发展,地质雷达技术有望与之结合,实现难以人工到达区域的自动化检测,不仅拓宽了技术的应用范围,同时也进一步提高了工作效率和检测的安全性。

结语

综上所述,虽然地质雷达技术在水利工程检测中已取得了诸多成就,但仍有广阔的发展空间。维持技术持续革新,以适应日益增长的工程检测需求,是当前一个主要挑战。未来的研究应当侧重于技术的融合使用,增强数据解读的准确性和实时监控的能力,同时通过案例研究,不断优化检测策略,促使地质雷达技术在水利工程检测中的应用走向更加成熟与完善。

参考文献

- [1]孙彩霞.水利水电工程勘察中地质雷达技术的应用[J].地下水,2024,46(01):183-184+205.
- [2]尚晓鹏,杨彦龙,张腾飞,等.地质雷达技术在桥梁板施工检测中的应用[J].测绘技术装备,2023,25(04):116-120. DOI:10.20006/j.cnki.61-1363/P.2023.04.024.
- [3]华兴林,孟颂颂.地质雷达在堤坝渗漏隐患探测中的应用[J].云南地质,2023,42(03):374-378.
- [4]刘金龙,张杰,吴一帆,等.基于地质雷达技术的基坑坍塌对相邻道路影响的应用研究[J].江苏建筑,2023,(04):109-111.
- [5]李智源.地质雷达技术在水利水电工程勘察中的应用[J].工程与建设,2023,37(03):849-852.