

水利工程质量检测中的无损检测技术应用

何庆

(四川南充水利电力建筑勘察设计研究院, 四川南充 637000)

摘要 为提升水利工程质量检测的科学性, 本文围绕无损检测技术在水利工程中的应用展开系统研究, 分析了超声波检测、地质雷达检测与回弹法的技术原理与特点, 并探讨其在水利工程结构、探测内部隐患以及检测表层强度中的应用方法。研究表明, 无损检测技术能在不破坏工程实体的前提下, 准确识别结构内部缺陷, 提升工程实体质量评估精准度, 在水利工程质量检测中具有重要的工程价值, 可为工程运行管理提供可靠的技术支撑。

关键词 水利工程; 质量检测; 无损检测技术

中图分类号: TV512

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.04.034

0 引言

水利工程是当前我国国民经济和社会发展过程中的重要基础建设, 但由于水利工程应用年限较为久远, 在应用过程中无法保障周边环境, 从而导致我国部分水利工程在应用过程中长期受到洪水侵扰与河床底部沙土增厚等因素影响, 进而改变水利工程抗压性能。在此背景下, 探讨无损检测技术在水利工程质量检测中的应用, 对于提升工程安全保障能力具有重要的现实意义。

1 无损检测技术分类及特点

1.1 超声波检测

超声波检测是借助固体介质中超声波的传播速度、衰减与反射特性变化, 来识别结构内部缺陷的无损检测技术, 广泛应用于水利工程领域。检测人员在使用该检测技术时需要布置超声波发射与接收探头, 记录超声波传播时间、波幅衰减以及能量分布变化, 才能获取水利工程中的构件内部声学信息, 判断工程完整性^[1]。这种超声波检测具有非破坏性强、检测速度快与精度高等特点, 能在不损伤水利工程结构实体的情况下识别其内部缺陷, 有利于检测厚度较大的混凝土构件情况。同时, 检测人员还能分析超声波的波速, 以推算混凝土强度、弹性模量等参数, 为评估工程质量提供可靠依据。除此之外, 超声波检测能够良好适应金属、岩石等多种介质, 是水利工程质量验收中使用频率最高的无损检测方法。

1.2 地质雷达检测

地质雷达检测是利用高频电磁波在介质中的传播、反射与衰减特性, 获取建筑内部结构信息的无损检测

技术, 常用于堤坝、护坡及混凝土构件内部结构等方面的探测, 能够有效识别水利工程中的渗流通道、空洞等隐蔽缺陷。同时, 该技术具有穿透能力强、成像直观及对材料损伤小等特点^[2]。检测人员依据该技术采集的雷达数据, 能够生成二维或三维剖面图, 系统分析介质内部的反射波形强弱、连续性以及相位变化, 判断介质结构内部情况, 适用于大面积、长距离的工程实体扫描, 广泛应用于水利工程运行管理。由于地质雷达对电磁性质差异敏感, 可在无损条件下快速呈现内部材料变化, 是当前评估水利工程内部结构安全状况的主要手段。

1.3 回弹法

回弹法是依据混凝土表面硬度与抗压强度的相关关系, 推定结构表层强度的无损检测技术。在水利工程质量检测中, 回弹法主要借助回弹仪对混凝土表面施加弹击, 记录弹击后指针的回弹值, 结合强度换算曲线推定混凝土抗压强度, 广泛应用于评估水利工程中大坝表面、闸墩等混凝土构件的质量, 适合大面积、多测点的强度检测工作。同时, 回弹法具有操作简单、检测速度快以及成本低等特点, 无需破坏结构实体即可评估混凝土强度。在实际测试中, 检测人员要清理测区表面, 进行多次弹击取平均值, 以提高回弹值的稳定性。在此基础上, 检测人员还要根据混凝土碳化深度以及环境条件修正回弹值, 进一步提高换算结果的可靠性。

2 水利工程质量检测中应用无损检测技术的意义

2.1 精准评估工程实体质量

在长期水流作用下, 水利工程中的大量构件内部可能出现裂缝、空洞等隐蔽损伤, 难以依靠外观观察

作者简介: 何庆(1993-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程试验检测。

获得工程的真实状况。检测人员利用超声波、地质雷达等无损检测技术,能够在不破坏工程结构的基础上,捕捉其内部情况,形成反映水利工程结构完整性的量化数据,为细化评估工程实体质量提供可靠依据^[3]。同时,这些无损检测技术有助于以剖面图或结构影像的形式呈现水利工程的复杂结构信息,为判断异常区域创造条件。由此,工程实体质量评估将不再依赖局部抽样,有利于推动水利工程安全管理的科学化进程。

2.2 保障水利工程运行安全

从水利工程外观上难以明显看出长期水流冲刷与环境湿度影响造成的问题,而检测人员使用无损检测技术能够及时识别这些隐蔽损伤,为后续维护提供科学依据。同时,检测人员还能利用无损检测技术追踪水利工程运行周期内的状态,对比不同时期的检测结果,掌握其结构变化趋势,判断已存在的隐患区域是否会出现扩大迹象,为水利工程管理提供直观依据^[4]。同时,无损检测技术的多技术联合应用有助于进一步提升预警水利工程隐患的能力,大幅提高潜在风险识别精度,稳定水利工程运行状态,为其持续发挥防洪、供水等功能提供坚实的支撑。

2.3 提高检测效率并降低维护成本

传统破损性检测方法需要取样、切割或钻孔,既存在耗时长的缺点,还会对水利工程局部造成不必要的损伤。而无损检测技术主要是借助声波、电磁波等物理量的响应特性,测定大面积构件,能够显著缩短工程的检测周期,提升检测工作的覆盖度。同时,这种无损检测技术还能及早发现水利工程中可能存在的内部缺陷、渗流隐患,并促使管理人员在隐患扩展前进行修补,进而降低工程维护成本^[5]。在工程运行管理中,基于无损检测技术的周期性检测也能形成结构状态档案,帮助技术人员分析工程材料性能衰减趋势,减少不必要的重复维修。

3 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用

3.1 超声波检测技术在水利工程结构质量中的应用

1. 检测裂缝缺陷。受温度变化、水流冲刷等因素长期影响,水利工程的混凝土结构会在长期运行过程中产生不同程度的裂缝。而检测人员合理布置超声波发射探头与接收探头,能够借助超声波检测技术不断分析超声波在水利工程混凝土结构中的传播速度、反射波形与衰减特征,进而判断水利工程混凝土结构中可能存在的裂缝位置、深度以及开口宽度,识别裂缝走向。

2. 金属强度与均匀性检测。超声波检测技术的基本原理是金属内部越密实、强度越高,声波传播速度越快。在实际操作中,检测人员可以使用超声波透射法、直接法或绕射法测量声速,首先建立声速与水利工程金属结构抗压强度经验曲线,推算该金属的强度等级,并在检测前,采用砂轮打磨测试面平整,保证发射探头与金属结构表面的耦合良好,减少信号损耗。其次,检测人员还要在水利工程的坝体表面布设相应测线,使用数字超声仪采集并分析水利工程上的各点声时、波幅等参数。最后,检测人员便能根据该技术显示的声速异常降低情况判断水工工程中具体部位的金属结构劣化情况。

3. 钢筋位置与保护层厚度检测。当超声波技术的声波遇到水利工程内部钢筋时会产生强回波信号,所以检测人员在实际检测中需要先清理水利工程探测区域,保证探头紧密贴合工程表面。随后在构件表面沿垂直于钢筋方向布设检测线,使用单侧反射法或双侧穿透法进行测试,计算超声波反射返回时间,得出钢筋深度,确定保护层厚度。在复杂构件中,技术人员还能结合 B 扫描或 C 扫描技术,获取钢筋空间布置图,判断水利工程中的保护层情况与钢筋是否存在锈蚀征兆。

3.2 地质雷达技术在探测水利工程内部隐患中的应用

1. 堤坝与坝体内部结构探测。在检测水利工程的堤坝与坝体时,检测人员可以先根据坝体结构布置测线:沿坝顶布设主测线,坝坡沿坡线方向布设辅助测线,测线间距在 1~3 m,以形成连续覆盖。扫描时则使用 100~200 MHz 的中频天线,以提升检测的穿透深度与分辨率,并在扫描过程中保证天线紧密接触地表,以 0.1~0.5 m 的步距连续采样。之后,检测人员要移除采集数据的背景,并进行增益补偿,校正数据波速,生成雷达剖面图,进而观察水利工程的反射界面连续性、弯曲程度,判断该坝体的分层情况。若数据中的反射界面显现“阶梯状中断”情况,便可初步判定为存在夹层。

2. 渗流通道与潜在管涌路径探测方法。在使用地质雷达技术明确水利工程中的渗流情况时,检测人员要先在水利工程的下游坡面或坝基附近布设间距小于 1 m 的密集测线,使用网格化布设形成二维扫描区域,且使用 200~400 MHz 的高频天线,提高含水识别能力。在雷达扫描过程中,检测人员还要保持恒定步距,记录实际地表高程,以便后续展平处理数据。采集到数据后,检测人员及时分析反射波的振幅衰减、旅行时

间延长以及界面弯曲等特征,识别水利工程中的高含水区,实现精确定位隐患。

3. 防渗墙及混凝土结构完整性检测。在使用地质雷达技术检测水利工程防渗墙时,检测人员要注意采用400~900 MHz高频天线,才能有效提升识别水利工程墙体内部细节的能力。同时,在检测前,检测人员还要沿水利工程的防渗墙两侧布设连续测线,保证测线平行于墙体轴线,步距保持0.05~0.1 m,确保反射信息密集。扫描时贴地平稳移动天线,避免“假反射信号”。数据处理阶段,检测人员要剔除具有“平直、连续的反射带”特点的正常墙体反射图像,保留出现“强反射点团”“反射带中断”或“局部振幅异常增强”的空洞,不密实区,增加直观性。

4. 埋设管线与金属构件定位探测。地质雷达技术探测水利工程内部的金属构件情况主要是依据其强烈的反射特征。检测人员需要在检测过程中使用200~400 MHz的中高频天线,沿推测管线方向布设间距在0.5~1 m的平行测线,并在扫描时以均匀速度移动天线,记录连续反射图像。为提高整体定位精度,检测人员还会在检测后的多个测线上提取反射位置,利用三角测量法确定管线横向位置。在雷达图像中,这种金属管线会呈现典型的“抛物线形高反射曲线”,能够依据图形中的抛物线顶点位置确定构件埋深。若水利工程中存在部分金属构件接近其他金属物体,检测人员则要采用正交测线(垂直于原测线方向)进行补测,避免出现误判情况。

3.3 回弹法在检测水工建筑物表面强度中的应用

1. 划分测区与获取构件表层代表性。在检测水工建筑物表面强度过程中,检测人员需要先依据构件结构类型(如闸墩、坝面、护坡板)、受力特点及表面环境,划分检测区域为多个相对独立测区,并保证每个测区存在10个以上按照纵横方向均匀分布的测试点,才能保证检测结果具有相对充足的工程代表性。在水利工程中受水流冲刷明显且表面风化明显的区域中,检测人员还要针对该工程的构件受力与环境差异,调整测区划分,保证最终测得的回弹数能反映水利工程的表层实体质量。

2. 表面预处理与精确控制单点弹击。在水利工程检测中,回弹检测法对其表面状态极为敏感,因此检测人员要在正式测试前使用钢丝刷、砂轮除去测试点的污物,保证测试表面坚实、致密,形成严格表面预处理。在单点弹击过程中,检测人员还要保证回弹仪垂直于混凝土表面,连续弹击每个测试点9~16次,

并逐渐加压至触发机构动作,避免人为影响造成读数偏差。之后,剔除偏离明显的极端值,求平均值,确保每个回弹值具有可信度。

3. 测定碳化深度与强度换算修正。由于水利工程混凝土表层碳化会影响回弹值,因此检测人员要在每个测区选择相应的典型点,喷洒酚酞指示剂观察该区域的颜色变化,明确水利工程混凝土表层碳化深度。之后,检测人员要根据工程规范,碳化修正实测回弹值,并结合具体的混凝土标号、龄期及回弹—强度相关曲线,计算具体抗压强度,量化评估表层混凝土强度。

4. 强度分布分析方法。在获取水利工程全部测区回弹强度后,技术人员要分析不同部位的强度数据分布,识别水利工程表层存在的混凝土强弱差异,进一步绘制水利工程混凝土强度分布图、等值线图,分析水利工程不同区域的强度变化趋势,明确需要重点养护的水利工程薄弱区。在重要水工建筑物中,部分检测人员还能结合回弹结果与超声法、钻芯法进行交叉验证,进一步提升水利工程质量的评估精度,辅助相应人员从整体上掌握结构表层性能状况。

4 结束语

在水利工程质量检测中的无损检测技术为工程运行维护提供了更加科学、可靠的技术手段。随着检测设备的智能化、数据处理技术的提升,无损检测在水利工程领域的应用潜力将进一步扩大。基于此,应加快推进建设检测技术标准体系,实现快速判断检测结果,并结合物联网监测技术建立工程状态数据库,开展长期跟踪,形成完整的健康监测体系,为精细化管理水利工程提供支撑。未来,无损检测技术将在工程质量管理中发挥更加关键的作用,为水利工程的可持续发展提供坚实的保障。

参考文献:

- [1] 邓小龙. 渗流监测技术在水利工程施工质量检测中的应用[J]. 中国水运, 2025(16):112-114.
- [2] 程红娟. 弹性波测试技术在水利工程岩体质量检测中的应用与优化[J]. 地下水, 2025,47(05):158-160.
- [3] 曹敏, 林秀松. 无损检测技术在水利工程混凝土结构质量检测中的应用[J]. 水利技术监督, 2025(09):30-32,148.
- [4] 王林. 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用研究[J]. 现代工程科技, 2025,04(03):153-156.
- [5] 高振慧. 声音识别技术在水利工程质量检测中的应用[J]. 电声技术, 2024,48(12):194-196.