

无损检测技术在水利工程质量检测中的应用研究

张景辉

河南百川工程质量检验有限公司 河南新乡 453000

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18444

[摘要] 水利工程是国民经济基础设施的重要组成部分, 水利工程的安全质量同人民生命财产、社会稳定发展息息相关。传统的破坏性检测技术存在着检测效率低、容易破坏工程结构等缺点, 不能满足现代水利工程高质量建设的需求。本文以无损检测技术为研究重点, 阐述无损检测技术的特点和应用价值, 对超声检测、回弹检测、雷达检测等主流无损检测技术在水利工程混凝土结构、岩土体、金属构件等关键部位的应用情况进行分析, 讨论无损检测技术应用过程中存在的问题, 并提出相应的改进措施, 为提高水利工程质量检测精度和效率、保证水利工程长期运行提供技术支持。

[关键词] 无损检测技术; 水利工程; 质量检测; 混凝土结构

引言

随着我国水利事业的发展, 大型水库、跨流域调水、堤防加固等各类水利工程建设规模越来越大, 工程质量检测作为保证工程安全的关键环节, 其技术水平直接影响着工程建设质量及使用寿命。目前我国水利工程建设存在地质条件复杂、施工环境恶劣、结构形式多样等诸多问题, 传统的钻芯取样、荷载试验等检测技术由于具有破坏性、检测范围小、数据滞后等缺点, 已经不能满足工程全生命周期质量控制的要求。无损检测技术因为具有非破坏性、高效性、全面性等特点, 在工程质量检测领域受到人们的关注并得到应用。在此背景下, 对无损检测技术在水利工程质量检测中的应用场景、技术要点、优化途径做进一步的研究, 可以提高水利工程检测技术水平, 加强工程质量监督, 降低水利工程运行维护成本。

1 无损检测技术概述

1.1 无损检测技术的定义与核心特性

无损检测技术 (Non-Destructive Testing, NDT) 是在不破坏被检测对象结构完整性、不影响其使用性能的前提下, 用物理、化学等手段, 对工程结构的材质、内部缺陷、力学性能等关键指标进行检测和评价的技术总称。无损检测技术与传统破坏性检测技术相比, 有三个主要特点, 第一, 非破坏性, 检测过程中不会对工程结构造成损伤, 可以实现对同一个检测对象的多次重复检测, 适用于工程建设全过程以及运行阶段的质量控制; 第二, 高效性, 依靠现代传感技术和数据处理技术, 无损检测技术可以实现快速检测和批量检测, 大大提高了检测效率, 缩短了检测周期; 第三, 全面性, 可以对工程结构内部缺陷、隐蔽工程质量等传统检测技术难以

覆盖的区域进行检测, 有效弥补了传统检测技术的不足, 给工程质量评估提供更加全面、准确的数据支持^[1]。

1.2 水利工程质量检测中常用的无损检测技术类型

根据水利工程结构特点和检测要求, 目前常用的无损检测技术主要有五类, 第一类是超声检测技术, 利用超声波在不同介质中传播特性不同的原理, 检测混凝土内部空洞、裂缝等缺陷, 精度高、操作方便, 是混凝土结构检测的主要技术; 第二类是回弹检测技术, 根据混凝土表面硬度与抗压强度的相关性, 通过回弹值结合碳化深度来推算强度, 适用于混凝土强度快速普查, 操作简单、成本低; 第三类是雷达检测技术, 利用电磁波反射和透射的特性检测结构内部钢筋分布、孔洞等缺陷, 检测范围广、非接触, 适合于堤防、大坝等岩土及混凝土工程; 第四类是磁粉检测技术, 对闸门、启闭机等金属构件, 利用缺陷处磁粉聚集的特性来检测表面及近表面裂纹、夹渣等, 保证构件的力学性能和运行安全; 第五类是红外热成像检测技术, 通过检测结构表面温度分布差异来判断内部缺陷的位置和范围, 适合于混凝土渗漏、空洞等检测, 特别适合大面积快速检测^[2]。

2 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用实践

2.1 在混凝土结构质量检测中的应用

混凝土结构是水利工程的核心部分, 大坝坝体、溢洪道等重要部位均采用混凝土作为主要材料, 混凝土质量直接影响工程的承载能力及抗渗性, 无损检测技术在此领域应用较多, 包括强度、内部缺陷、钢筋分布等各方面的检测。强度检测主要采用回弹检测和超声-回弹综合检测, 回弹检测操作简单、成本低, 适合现场快速检测, 通过回弹值结合碳化深度推算抗压强度, 但是容易受表面平整度等因素影响存在精

度局限;超声-回弹综合检测将超声波传播速度与回弹值结合起来,通过建立相关性模型提高检测精度,适用于大坝关键部位等高精度需求场景。内部缺陷检测中超声和雷达技术协同效果明显,超声技术通过布置换能器,利用超声波传播特性变化准确找到内部空洞、裂缝等缺陷,某水库大坝加固工程中根据此找到多处空洞为加固方案提供依据;雷达技术可以检测钢筋分布、保护层厚度和大面积空洞,在输水隧洞衬砌检测中可以准确识别钢筋问题和衬砌与围岩空隙,保证结构稳定性。

2.2 在岩土体质量检测中的应用

水利工程建设中堤防、大坝基础等岩土体开挖、填筑,岩土体质量决定工程抗滑稳定性、防渗性能,无损检测技术主要用在压实度检测、防渗层完整性检测、边坡稳定性监测等方面。压实度检测主要采用核子密度仪和地质雷达检测技术,核子密度仪利用射线与岩土体相互作用来快速测量密度和含水量,从而推算压实度,虽然检测速度快、操作简单、适合现场检测,但是受颗粒级配等因素影响需要提前充分标定;地质雷达利用电磁波在不同压实度岩土体中传播的差异进行连续检测,可以准确地找到压实薄弱区域,在某堤防加固工程中,该技术成功找到了多处压实度不达标的地方,为补压处理提供支撑保障防渗稳定。防渗层完整性检测主要采用红外热成像、电磁感应两种技术,土工膜防渗层、混凝土防渗墙等属于防渗重要屏障,完整性影响防渗效果;红外热成像凭借温度分布图像找出破损漏洞,适合大面积土工膜检测且高效非接触;电磁感应依靠电磁波传播特性变化来检测防渗层的完整性,适合金属膜、混凝土防渗墙检测,可以准确找到大坝防渗墙内部的裂缝、孔洞等缺陷,保证防渗效果^[3]。

2.3 在金属构件质量检测中的应用

水利工程中闸门、启闭机、压力钢管等金属构件是保证工程正常运行的重要部分,其质量安全直接关系到工程的运行稳定性,无损检测技术主要用在这些金属构件的表面及近表面缺陷、内部缺陷检测和力学性能评价等方面。表面及近表面缺陷检测常用磁粉检测和渗透检测两种方法。磁粉检测适用于铁磁性金属构件,利用磁场使缺陷处产生漏磁场吸附磁粉形成磁痕,检测灵敏度较高、操作简便,被广泛用于闸门、启闭机等定期检测;渗透检测不受构件磁性的限制,可以检测各种材质表面的缺陷,利用渗透液渗入缺陷、显像剂吸附显现痕迹,适用于压力钢管、金属预埋件等的检测。内

部缺陷检测以超声检测和射线检测为主,超声检测通过分析超声信号反射特性来准确地定位内部裂纹、缩孔等缺陷,适合大型金属构件内部检测;射线检测利用射线穿透和衰减的特性来实现高精度检测,适合压力钢管焊缝等关键部位,但是由于存在辐射危害、检测成本高,限制了其大规模的应用。

3 无损检测技术在水利工程质量检测应用中的现存问题

3.1 技术应用受环境与结构特性影响较大

水利工程大多修建在野外,地质条件复杂、气候多变,给无损检测技术的应用效果造成较大影响。高温高湿的环境下,超声波检测技术的超声波信号很容易受到干扰,从而降低检测精度;在风沙大的施工现场,雷达检测技术的电磁波传播容易受到阻挡,造成雷达检测范围和精度下降。同时水利工程结构形式多样,部分结构体型大、表面不平整,比如大坝坝体、堤防等,使无损检测设备的布置难度增大,从而产生检测盲区。

3.2 检测技术标准化与规范化不足

目前我国无损检测技术在水利工程质量检测中虽有进展,但是相关技术标准和规范还不完善。不同的检测技术适用范围、检测流程、数据处理方法等没有统一的标准规范,造成不同的检测机构、不同的检测人员检测出的结果存在较大差异,影响检测数据的权威性以及可比性。以混凝土回弹检测为例,不同地区、不同工程所用的回弹值和强度换算公式不同,造成检测结果不一致,在雷达检测中,电磁波频率的选择、检测参数的设置等没有统一的标准,造成检测结果的准确性受到影响。

3.3 专业检测人才匮乏

无损检测技术是集物理学、材料学、电子技术、计算机技术等学科知识于一身的综合性技术,对检测人员专业素质的要求很高。检测人员要熟悉无损检测技术的基本原理、操作方法,了解水利工程结构特点、质量标准和有关规范,具有较强的数据分析、解读能力。目前我国水利工程领域无损检测专业人才短缺,部分检测人员缺少系统培训,操作技能不熟练,对检测设备的调试、检测参数的优化掌握不够,造成检测过程中容易出现操作失误,影响检测结果的准确性^[4]。

3.4 检测数据整合与智能化应用不足

随着水利工程建设规模的扩大,无损检测产生的检测数据量也大大增加,但是对检测数据的整合和智能化应用还远远不够。大部分检测项目仍然采用传统的数据处理方式,检测数据分散存储,缺少统一的数据管理平台,造成不同检测技

术、不同检测阶段的检测数据不能有效整合,不能对工程质量进行全面评价。智能化数据处理技术,比如大数据分析、人工智能算法等,在无损检测数据处理中应用较少,不能从大量的检测数据中发现潜在的工程质量问题,检测数据的应用价值没有得到充分发挥。

4 无损检测技术在水利工程质量检测中应用的优化对策

4.1 优化检测技术与设备,提升环境适应性

根据水利工程野外复杂环境及结构特点,加强无损检测技术与设备的研发与改进,提高技术的环境适应性。一方面要研发出适应恶劣环境的专用检测设备,耐高温、高湿、抗干扰的超声波检测设备、抗风沙、穿透性好的雷达检测设备等,提高检测设备的检测性能和稳定性。另一方面根据水利工程结构特点,改进检测技术方案,对于大型不规则结构采用无人机搭载检测设备的方式进行全方位检测,减少检测盲区,对于非均匀介质采用多参数融合检测技术,结合多种检测手段的优势提高检测数据的准确性。另外加强检测设备的校准与维护,定期对检测设备进行检定,保证检测设备性能稳定,保证检测结果可靠。

4.2 完善技术标准规范,强化行业监管

加快推进无损检测技术在水利工程质量检测中标准化和规范化的进程,建立健全技术标准体系。相关部门要组织行业专家,根据我国水利工程实际情况,制定统一的无损检测技术应用标准,确定各种检测技术的应用范围、检测流程、操作规范、数据处理方法和质量评定标准,保证检测工作有章可循。同时加强对新型无损检测技术的研究与标准的制定,推进新型技术的规范化应用。另外,要加大对行业的监管力度,健全检测机构资质审核和考核制度,加强对检测人员执业资格的管理,规范检测市场的秩序,严厉打击违规检测、数据造假等行为,保证检测数据的权威性、可靠性。

4.3 加强专业人才培养,提升队伍素质

加强无损检测专业人才的培养,组建一支高素质的无损检测专业队伍。一方面高校要强化水利工程与无损检测交叉学科的建设,开设相关课程,培育出既有水利工程知识又有无损检测技术的复合型人才,另一方面企业、协会要强化已有的检测人员的专业培训,定时开展技术交流、技能比武活动,改进检测人员的操作能力与数据分析水平。创建并健全科学合理的激励机制,引进优秀人才到水利工程无损检测这一行业,提升该行业人才整体素质。另外加强国际技术交流

与合作,引进国外先进的无损检测技术及人才培养经验,提高我国无损检测技术水平^[5]。

4.4 推进检测数据智能化管理,实现动态管控

加强无损检测数据的整合和智能化应用,建立统一的检测数据管理平台,实现检测数据的集中存储、管理和共享。利用大数据、人工智能等先进技术,创建智能化的数据处理系统,对大量的检测数据实施分析和挖掘,找出可能存在的工程质量问题,给工程质量评判赋予科学的依据。推进无损检测技术同工程信息化管理系统深度整合,实现检测数据实时同步并动态更新,创建工程质量动态管控体系,优化工程质量管控智能化程度。加强检测数据的安全管理,建立数据安全保障机制,防止数据泄露、篡改,保证检测数据的安全、完整。

5 结语

无损检测技术是保证水利工程质量安全的重要手段,它具有非破坏性、高效性、全面性等特点,在水利工程混凝土结构、岩土体、金属构件等质量检测中起着不可替代的作用。目前无损检测技术在水利工程质量检测方面虽然取得了一定成效,但是还存在着环境适应性差、标准规范不全、专业人才缺乏、数据智能化应用不足等不足。未来要依靠改善检测技术和设备,健全标准规范,加强人才培养,推进数据智能化管理等方式来促进无损检测技术的创新发展。伴随着人工智能、大数据等技术同无损检测技术的深度整合,无损检测技术会朝着智能化、精准化、全面化方向发展,给水利工程全生命周期质量管控赋予更强的技术支撑,助力我国水利事业高质量发展。

[参考文献]

- [1]涂杰. 无损检测技术在水利工程质量检测中的实践[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (32): 199-201.
- [2]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.
- [3]刘露. 无损检测技术在建设工程质量检测中的应用分析[J]. 工程建设与设计, 2024, (12): 105-107.
- [4]李少旭. 无损检测技术在建筑工程质量检测中的应用[J]. 石家庄职业技术学院学报, 2024, 36(02): 5-9.
- [5]鲁玉良. 无损检测技术在建筑工程质量检测中的应用研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (03): 66-68.