

无损检测技术在水利工程质量检测中的应用

檀 瑞

河北水科工程技术有限公司 河北 石家庄 250021

摘 要：水利工程质量检测是保障工程安全运行的核心环节，传统检测技术存在破坏性、覆盖范围有限等局限。本文围绕无损检测技术在水利工程中的应用展开研究，阐述了水利工程质量检测核心指标与传统技术短板，分析了超声波、回弹法等关键无损检测技术的要点，探讨其在混凝土构件、土石坝、金属结构中的应用规范，提出数据处理与误差控制策略。研究表明，无损检测技术具备非破坏性、广覆盖性等优势，可精准支撑水利工程质量管控，为工程建设与运维提供可靠技术保障。

关键词：无损检测技术；水利工程；质量检测；应用

引言：水利工程作为国民经济基础设施，其质量安全直接关系到防洪、供水等核心功能的实现。随着工程规模扩大与运行年限增长，传统质量检测技术已难以适配现代工程高精度、低损伤的检测需求。无损检测技术凭借独特适配优势，成为突破传统检测瓶颈的关键手段。本文立足水利工程实际检测需求，系统梳理无损检测关键技术体系，探究其在主要工程构件中的应用路径，完善数据处理与误差控制方法，为提升水利工程质量检测水平提供理论与实践参考。

1 水利工程质量检测概述

1.1 水利工程核心构件质量检测指标

核心构件质量检测指标以结构安全与功能实现为导向，涵盖力学性能、耐久性及使用功能等维度。混凝土强度是衡量承重构件承载能力的核心指标，直接决定构件抵御外力与环境作用的稳定性；防渗性是堤坝、输水结构等构件的关键指标，关乎工程是否存在渗漏风险及功能失效隐患；此外，构件的尺寸精度、外观完整性、材料均匀性等基础指标，共同构成全面的质量评价体系，确保核心构件符合设计标准与运行要求。

1.2 传统检测技术局限性分析

传统水利工程质量检测技术存在诸多局限，难以适配现代工程检测需求。多数传统技术依赖破坏性检测方式，会对构件造成不可逆损伤，破坏结构完整性；检测范围有限，难以实现全断面、全覆盖检测，易遗漏隐蔽性缺陷；同时检测效率低下，数据获取周期长，无法满足工程施工进度与运维管控的时效性要求，且检测结果受人操作影响较大，精度与稳定性不足，难以提供全面精准的质量评估支撑^[1]。

2 无损检测技术在水利工程中的适配优势

无损检测技术凭借独特特性，与水利工程大规模、

高风险、长周期的质量检测需求高度适配，是弥补传统检测不足的核心支撑，具体优势如下：（1）非破坏性适配核心构件保护需求。水利工程核心构件多为承重、防渗关键结构，传统破坏性检测易损伤构件完整性。无损检测可在不破坏构件、保留原有性能的前提下完成检测，尤其适用于已建成运行的核心设施，避免检测造成二次安全隐患。（2）广覆盖性适配复杂空间布局。水利工程构件分布广、隐蔽性强，无损检测借助超声波、雷达等技术突破空间限制，实现全断面、大范围检测，有效排查隐蔽缺陷，提升检测全面性。（3）高效时效性适配进度管控。水利工程施工与运维周期紧张，传统检测流程繁琐、效率低。无损检测操作简便、数据获取快，可快速完成分析，适配实时质量管控与紧急隐患排查需求，保障工程进度与运维效率。（4）精准稳定性适配高质量要求。依托现代传感与数据处理技术，无损检测能精准捕捉构件内部缺陷、强度变化等细微指标，减少人为误差，结果稳定，为质量评估、安全预警提供精准数据支撑，契合工程高质量建设运维需求。

3 水利工程无损检测关键技术

3.1 超声波检测技术

超声波检测技术是水利工程混凝土构件内部质量检测的核心技术，要点如下：（1）技术原理：基于超声波在不同密实度、缺陷状态介质中传播速度、衰减程度及反射信号的差异，通过信号参数反演内部质量；（2）设备选型与调试：根据构件厚度、材质选配合适频率换能器，检测前校准换能器，调试发射电压、增益等参数，保障信号稳定；（3）现场操作规范：平整清洁检测面，去除浮浆、油污，采用耦合剂保证换能器与构件贴合，避免信号衰减，控制检测间距与测点密度，确保覆盖均匀；（4）数据处理与质控：对传播速度、幅值等数据滤

波降噪、信号增强，剔除干扰与误差导致的异常数据，通过有效性验证提升结果精准度。

3.2 回弹法检测技术

回弹法是水利工程混凝土强度快速检测的关键技术，优势在于便捷高效，要点包括：（1）核心原理：通过回弹仪施加固定弹击能量，由弹击锤反弹距离确定回弹值，结合表面状态与材质修正系数间接判定强度；（2）设备保障：回弹仪需定期计量校准，确保弹击能量、指针摩擦力等参数达标，检测前检查仪器状态排除故障；（3）现场操作：测点避开边缘、预埋件、钢筋密集区及表层缺陷，均匀布设且符合规范的点数与间距要求，弹击时保持仪器轴线垂直构件表面，力度均匀；（4）结果修正与验证：根据表面湿度、碳化深度、龄期修正回弹值，必要时结合其他技术交叉验证，保障数据可靠。

3.3 地质雷达检测技术

地质雷达检测技术适配水利工程堤坝、地基等大型构件深层隐蔽结构及隐患检测，核心要点：（1）技术核心：发射高频电磁波，利用不同介电常数介质分界面的反射、折射信号，结合传播时间、幅值等参数反演内部介质分布与缺陷；（2）参数设置：依据检测深度与材质选天线频率，高频适浅表层高精度检测、低频适深层探测，合理设定采样率、扫描速度，平衡深度与分辨率；（3）现场操作：清理检测面障碍物，保持天线平行贴合、匀速移动，控制移动速度与测线间距确保数据连续完整，必要时叠加扫描增强信号；（4）信号解读与质控：结合结构设计材料与参数建立信号与缺陷的对应关系，剔除杂波干扰，通过反演算法优化精度，避免误判。

3.4 其他典型无损检测技术

此类技术是主流技术的重要补充，构成全方位检测体系，要点如下：（1）声发射检测：捕捉构件缺陷扩展产生的弹性波信号，合理设定信号阈值、采样频率与传感器间距，过滤环境噪声，实现缺陷动态监测与定位；（2）红外热成像检测：基于构件表面温度差异识别缺陷，保障检测环境稳定，避开日照、风雨等干扰，校准仪器精度，通过温差分析锁定缺陷；（3）通用要求：根据检测目标与工程场景明确适配性，制定专项方案，检测前校准设备、评估环境，严格把控操作流程，检测后与主流技术数据融合分析，提升结果全面性与可靠性^[2]。

4 无损检测技术在水利工程主要构件中的应用

4.1 在混凝土水利构件质量检测中的应用

混凝土构件是水利工程的核心承重与防渗载体，其质量直接关乎工程安全，无损检测技术在此类构件检测

中要结合材质特性与结构功能开展系统性检测，具体应用要点如下：（1）检测目标定位：核心聚焦混凝土强度达标情况、内部缺陷（空洞、裂缝、疏松区）分布、保护层厚度及钢筋分布密度等关键质量参数，同时兼顾构件表面完整性检测；（2）技术选型适配：根据检测目标选择对应技术，强度检测优先采用超声波-回弹法联合检测，内部缺陷探测选用超声波透射法或反射法，保护层厚度与钢筋分布检测采用电磁感应法，表面裂缝检测可搭配裂缝宽度观测仪；（3）现场应用规范：检测前需明确构件检测范围，清理检测表面浮浆、油污及杂物，对于超声波检测需保证换能器与构件表面良好耦合，回弹法检测需避开钢筋密集区与构件边缘，电磁感应检测需提前排除周边金属构件的干扰；（4）数据整合分析：对不同技术采集的检测数据进行交叉比对，如将超声波传播速度与回弹值结合修正混凝土强度计算结果，通过多维度数据验证排除单一技术检测的偏差，形成完整的质量评估结论。例如在某混凝土重力坝浇筑完成后，采用超声波-回弹法联合检测坝体混凝土强度。检测前对回弹仪与超声波检测仪进行校准，在坝体迎水面均匀布设30个检测区域，每个区域布置16个回弹测点与3个超声波测区，避开坝体施工缝与预埋件位置。通过采集回弹值与超声波传播速度数据，结合混凝土碳化深度修正系数计算得出，坝体混凝土强度均值为32.5MPa，满足设计强度等级C30的要求。

4.2 在土石坝与堤防工程质量检测中的应用

土石坝与堤防工程以散体材料为核心构建，其质量隐患多隐蔽于内部，无损检测技术需重点突破深层探测与大范围覆盖的技术需求，应用要点如下：（1）核心检测方向：主要针对坝体/堤防压实度、内部空洞、渗漏通道、软弱夹层及坝基沉降变形等质量隐患开展检测，同时关注坝体表面有无裂缝、塌陷等表观缺陷；（2）主导技术应用：压实度检测以地质雷达法与瞬态瑞雷波法为主，地质雷达法可通过电磁波反射信号识别压实不均匀区域与空洞，瞬态瑞雷波法通过波速反演土体密实度；渗漏通道探测采用地质雷达法与高密度电阻率法联合应用，利用不同介质导电性差异定位渗漏路径；沉降变形检测可采用GPS定位结合静力水准测量技术；（3）现场应用管控：检测前需清理坝顶或堤顶检测面的杂物与植被，保障检测仪器与地面良好接触；地质雷达检测需根据探测深度选择适宜频率的天线，深层探测选用低频天线，浅层精细检测选用高频天线；检测路线需平行于坝轴线均匀布设，测线间距根据检测精度要求控制在2-5m，确保检测覆盖全面；（4）环境干扰排除：检测过

程中需避开雨天、大风等恶劣天气，减少雨水渗透与气流对检测信号的干扰；对于坝体周边存在电力线路、金属构筑物的区域，需提前规划检测路线，避免电磁干扰影响数据准确性。

4.3 在水利金属结构质量检测中的应用

水利金属结构（闸门、压力钢管、启闭设备等）长期处于水环境与交变荷载作用下，易产生腐蚀、裂纹等缺陷，无损检测技术需适配金属材质特性与复杂结构形态，应用要点如下：（1）重点检测对象：聚焦金属结构的焊缝质量、表面及近表面腐蚀程度、内部裂纹扩展情况、构件厚度减薄量及连接部位紧固状态等关键质量指标；（2）技术适配选择：焊缝质量检测优先采用超声波检测与射线检测，超声波检测可识别焊缝内部裂纹、未焊透、气孔等缺陷，射线检测适用于焊缝内部缺陷的精准定位与定量分析；表面及近表面缺陷检测采用磁粉检测或渗透检测，磁粉检测适配铁磁性金属构件，渗透检测可用于非磁性金属构件；厚度检测采用超声波测厚仪，腐蚀程度评估可结合超声波测厚与电磁感应腐蚀检测技术；（3）现场应用规范：检测前需对金属构件表面进行除锈、除油处理，确保检测面平整干燥，对于焊缝检测需明确检测范围，保证探头移动顺畅；磁粉检测需根据构件形状选择适宜的磁化方式（轴向磁化、周向磁化），确保磁场覆盖缺陷区域；超声波测厚需在构件不同部位均匀布设测点，每个测点多次测量取平均值；（4）检测周期与维护：结合金属结构的运行工况与环境条件制定定期检测计划，对于水下金属构件需采用水下专用检测设备，检测完成后及时对检测面进行防腐处理，避免检测过程对构件造成二次腐蚀^[3]。

5 无损检测技术在水利工程质量检测中的数据处理与误差控制

水利工程无损检测数据量大且易受环境干扰，科学的数据处理与误差控制是保障检测精度的关键。具体要

点如下：（1）多源数据融合处理：整合不同检测技术（如超声波、回弹法）采集的数据，通过加权平均、特征匹配等方法实现数据互补，剔除冗余信息，提升数据完整性与可靠性；（2）误差来源精准识别：主要误差包括设备校准偏差、环境干扰（如温度、电磁）、操作不规范及构件材质不均匀等，需结合检测场景逐一排查；（3）针对性误差修正：对设备误差采用定期校准与参数补偿方式修正，环境干扰通过现场屏蔽、数据修正模型调整，操作误差需规范流程并加强人员培训；（4）质量管控闭环：建立检测数据审核机制，对异常数据进行复核验证，确保数据处理全过程可追溯，为工程质量评估提供精准数据支撑^[4]。

结束语：本文系统研究了无损检测技术在水利工程质量检测中的应用相关问题，明确了核心检测指标与传统技术局限，分析了主流无损检测技术要点及在不同构件中的应用规范，构建了科学的数据处理与误差控制体系。无损检测技术在水利工程中的应用可有效提升检测精度与效率，保障工程安全。未来需进一步推动检测技术智能化升级，优化多技术协同检测模式，结合工程数字化发展，为水利工程高质量建设与长效运维提供更全面的技术支撑。

参考文献

- [1]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,2025,4(3):153-156.
- [2]张先树.无损检测技术在水利工程质量检测中的应用[J].农家科技,2025(18):88-90.
- [3]王忠波.无损检测技术在水利工程质量检测中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2025(12):117-120.
- [4]赵鹏飞.无损检测技术在水利工程质量检测中的应用研究[J].低碳世界,2022,12(12):76-78.