

水利工程混凝土强度无损检测技术应用分析

杨家明

肇庆市水利水电工程质量检测站 广东 肇庆 526060

【摘要】：混凝土强度关乎水利工程结构品质与运行安全，无损检测可保全建筑本体开展质量查验，适配工程大体积混凝土、隐蔽构件繁多的施工特点。文章围绕回弹、超声波、回弹超声联合及电磁感应四类常用检测手段，阐释各项技术原理与适用场景，对比不同检测方式的实用价值与现存缺陷。结合现场复杂作业条件，分析干扰检测精度的相关要素，制定可行的技术改良方案，梳理该技术在工程验收、病害排查、日常运维监测中的实际作用。合理选配并优化检测工艺，能够提升混凝土强度检测准确度与作业效率，为水利工程质量把控、设施长久安全运转提供坚实技术支撑。

【关键词】：水利工程；混凝土强度；无损检测；质量检测

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.052

引言

水利工程所处区域水文地质条件错综复杂，混凝土构件的力学强度与结构稳定性，深刻左右工程服役时长、防汛减灾能力以及整体运行安全，贯穿项目建设全程的质量管控也以此为要点。传统取样检测手段会损伤原有建筑结构，监测范围存在局限，难以持续追踪结构状态，跟不上现阶段水利工程精细规范化的管控准则。无损检测不会损伤构件实体，检测速率可观，还能多次原位复测，已然成为混凝土质量查验的主流形式。文章分析各类检测技术实际应用特点，挖掘现场作业面临的技术阻碍，拟定对应的优化举措，为工程质量查验和设施长期管护提供理论参照。

1 水利工程混凝土无损检测技术应用背景与基础概述

如今水利基础设施建设不断升级，工程体量逐步增大，服役年限持续拉长，建筑构造也愈发复杂。堤坝、水闸、输水隧渠等关键设施普遍采用混凝土构筑承重与防渗主体，结构整体性能直接决定工程运行的稳定性与安全性。混凝土构件常年置身野外复杂环境，长期经受水流冲刷、寒暑干湿交替、地基不均匀沉降等多重外力侵蚀，极易出现内部孔隙增多、力学强度衰减、细微裂缝扩张等隐性病害，仅依靠表面巡查难以掌握结构内部真实质量情况。传统钻孔取芯类破坏检测方式会破坏构件完整性，对在用水利设施造成不可逆损伤，难以满足常态化监测要求。无损检测融合多学科技术原理，以非破坏作业方式精准探测结构内部缺陷与强度指标，可贯穿施工建设与后期运维全过程，完好保留构筑物原有形态，为混凝土质量核验、安全隐患排查及结构性能综合评估筑牢技术根基。

2 水利工程混凝土强度无损检测现存技术与应用问题

现阶段各类无损检测手段已普遍用于水利工程混凝土强度质量的核验工作，但受水利施工现场复杂环境条件及各类检测技术自身固有属性限制，实际检测作业依旧存在多项亟待解

决的技术缺陷与应用漏洞。回弹检测方式仅可测定混凝土表层的强度指标，难以真实反馈结构体内部密实状态与深层破损问题，检测结果极易被混凝土表层碳化深度、骨料材质差异以及现场养护环境等条件干扰。超声波检测作业开展期间，现场积水、高湿环境、构件内部钢筋布设密度等外界条件均会干扰声波传播轨迹，引发声波偏移、能量衰减等问题，最终导致检测数据出现误差。各类无损检测技术的现场应用尚未形成统一的适配标准，针对不同结构区域、不同作业工况的技术选用缺乏科学依据，单一检测模式难以兼顾检测精度与检测覆盖全面性^[1]。多数现场检测作业缺少精细化操作准则约束，设备未及时校准、测点布局不合理等不规范操作频繁出现，进一步降低检测数据的精准度。除此之外，现阶段检测数据的分析与判定工作大多依托从业人员实操经验，智能化数据解析技术普及率较低，难以精准识别混凝土结构存在的微小强度缺陷，难以契合高标准水利工程的质量检测工作标准。见图1所示：

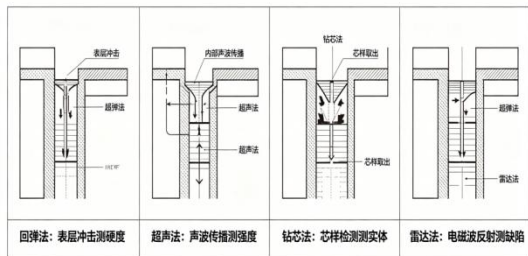


图1 四种无损检测技术原理示意图

3 优化水利工程混凝土无损检测质量的针对性技术策略

3.1 科学适配检测技术，实现多技术融合应用

(1) 依据工程工况匹配单项检测技术：结合水工混凝土构件的结构形式、受力特征、现场环境及检测目标，科学选用适配的无损检测方法，最大限度规避单一技术的固有局限，提升检测针对性与有效性。针对大面积表层强度普查、常规外观质量筛查等简单场景，优先采用回弹法，凭借其操作简便、检测高效、成本较低的优势，快速完成常态化质量核验，满足大

范围初步排查需求。对于需要掌握内部密实度、深层裂缝分布、整体强度指标的关键构件与隐蔽部位，则选用超声波检测技术，利用声波穿透性强、可反映内部缺陷的特点，精准识别结构深层隐患。按工况差异化选型，能够充分发挥各类技术的核心优势，实现表层强度与内部质量的分层检测、全域覆盖，真实、全面地反映混凝土结构质量状态，为后续评价与处置提供可靠依据。

(2) 推行多技术联合检测模式：单一无损检测方法存在明显适用边界，仅靠单项技术难以全面反映水工混凝土结构的真实状态，通过多技术协同联用可实现优势互补，显著提升检测结果的完整性与准确性。对于坝体、闸墩、承重梁柱等核心受力构件及内部隐蔽区域，采用回弹法与超声波法联合检测，既能精准获取混凝土表层强度数据，又能通过声波穿透特性探明内部密实度、缺陷分布与整体强度，实现内外质量综合判定^[2]。面对钢筋密集、积水高湿等复杂工况，可引入电磁感应技术辅助检测，有效削弱金属干扰与水环境对信号的影响，降低数据偏移与误判概率。多技术融合检测能够弥补单一方法的短板，缩小检测盲区、减少数据偏差，更真实地呈现结构内部状况，全面适配水利工程复杂构件与恶劣现场环境下的高精度质量检测需求。

3.2 规范现场检测流程，统一作业实施标准

(1) 完善设备运维与校准机制：检测仪器的工作状态直接决定数据采集的准确性与可靠性，常态化设备维护与精准校准是保障现场检测质量的关键基础。各类回弹仪、超声波检测仪、电磁感应设备等均需按规范周期开展全面检修与精度标定，重点检查传感器老化、参数漂移、线路接触不良、电量不稳等隐患，从硬件源头降低数据偏差风险。水利工程多处于野外露天、高湿、积水等复杂环境，检测前必须结合现场温度、湿度、工况条件对仪器进行参数调试与零点校正，确保设备性能适配水工混凝土检测要求。通过落实日常维护、周期标定、现场预调三项关键工作，可使仪器长期保持稳定可靠的工作状态，有效避免因设备故障、精度不足导致的数据失真、误判等问题，为混凝土强度评定、结构缺陷识别、工程质量验收提供真实、有效、可追溯的检测数据支撑。

(2) 标准化布设检测测点：测点布设的科学性与规范性是保障混凝土无损检测数据精准、客观的重要前提，直接影响结构质量评价结果的可信度。实际检测作业过程中，需结合水工混凝土构件的外形尺寸、受力分布规律以及病害高发区域，编制系统化、标准化的测点布设方案，杜绝传统随机布点的粗放作业形式。针对坝体、闸墩、护坡等不同类型水工构筑物，合理规划测点间距、检测深度与整体覆盖范围，着重覆盖结构接缝、核心受力节点、新旧混凝土结合面等抗性能薄弱、易产生隐蔽病害的关键区域^[3]。通过精细化、标准化的布点方式，能够全面、系统采集结构实测数据，有效规避布点稀疏、分布

不均、点位遗漏造成的数据片面问题，充分保障检测结果的完整性与准确性，为后续结构性能研判提供可靠的数据基础。见图2所示：

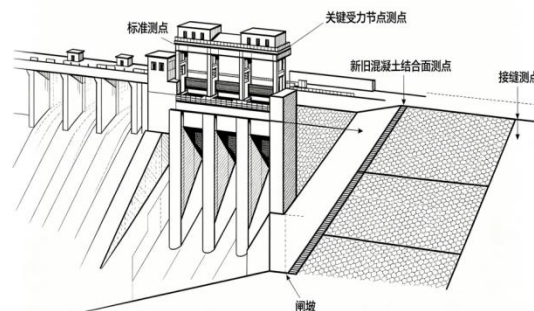


图2 水利工程混凝土构件测点布置示意图

3.3 升级数据处理体系，强化检测成果研判

(1) 搭建专业化数据处理模式：摒弃传统依赖人工经验判断检测数据的粗放模式，全面引入数字化、智能化分析手段，对现场采集的海量原始数据进行系统化处理与深度挖掘。利用专业数据处理软件完成噪声过滤、误差修正、数据拟合与归一化汇总，精准剔除环境干扰、设备漂移、操作不规范等因素带来的异常值与无效信息，显著提升数据可靠性与一致性。通过标准化、可复现的处理流程，最大限度降低外部条件对检测结果的影响，让处理后的数据真实反映混凝土构件内部强度、密实度与缺陷分布情况。规范高效的数据处理体系，可为混凝土强度等级评定、结构质量综合评估提供精准可靠的数据基础，大幅提升数据分析的科学性与客观性，为后续结构性能研判、病害识别与运维决策提供有力支撑。

(2) 构建精细化成果研判机制：严格遵循水利工程相关施工规范与结构设计技术准则，建立适配不同水工混凝土构件的质量评价体系，依据构件设计强度、服役年限、受力特点制定分级判定标准，确保研判依据权威、尺度统一。在数据分析阶段，全面融合现场施工工艺、养护条件、环境侵蚀等多重影响因素，对检测数据进行多维度交叉验证与综合解析，精准识别混凝土强度衰减、内部裂缝扩展、密实度不足等隐蔽性病害，准确判断缺陷位置、深度与发展趋势^[4]。依托这套完整的研判体系，可客观评估结构当前安全状态与剩余承载力，为后续修补、加固、补强等处置方案提供精准依据。精细化成果研判能够全面反映构件真实质量水平，辅助管理人员制定针对性运维策略，高效推进隐患整治与长期管护，从根本上提升水利工程结构安全性与耐久性，保障工程长期稳定运行。

4 水利工程混凝土无损检测技术应用实际成效

4.1 全面提升工程质量检测的综合效能

无损检测技术在水利工程混凝土质量核验环节的落地实施，突破了传统破损检测模式存在的各类作业桎梏，兼顾了质量检测开展与结构体完好保护两大核心需求。应用该技术手段

无需对各类水工混凝土构筑物实施钻孔、取芯等破坏性操作，可完整保留结构原貌与原始受力特性，杜绝检测作业对新建工程及现役水利设施造成的二次损害。该检测模式适配水利工程大范围、多点位、全覆盖的质量排查需求，可对坝体、闸室、隧洞、护坡等多种混凝土构筑物实施全方位质量核验，检测覆盖维度优于传统检测方法。整套检测流程高效便捷，可适配施工阶段分项验收、日常运维抽检、专项病害排查等多种作业场景，显著提升水利工程混凝土质量检测的整体工作效能，为工程全周期质量管控提供优质技术保障。

4.2 优化工程施工与运维管控体系

无损检测技术的常态化应用，推动水利工程混凝土质量管控模式实现根本性转变，由传统事后被动抽样核查，升级为覆盖施工、服役全周期的主动动态监管。在工程施工阶段，通过无损检测可实时掌握混凝土浇筑、振捣、养护各环节的密实度与强度发展情况，快速定位内部疏松、裂缝、欠密实等隐蔽缺陷，为施工工艺优化、工序调整提供精准数据支撑，从源头预防质量隐患，保障结构施工达标。工程投入运行后，依托无损检测开展定期持续性监测，长期追踪混凝土强度衰减、病害萌生与扩展趋势，全面掌握结构在水流冲刷、温变循环、荷载作用下的真实服役状态^[5]。基于多周期检测数据建立标准化质量档案，可完整记录结构性能变化轨迹，为设施检修决策、加固改造方案、安全等级评定提供可靠依据，推动水利工程运维管理向数字化、精细化、标准化方向持续升级。见图3所示：

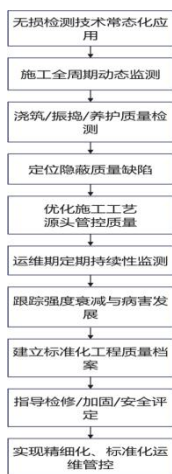


图3 水利工程混凝土无损检测全周期施工与运维管控流程图

参考文献：

- [1] 叶治.水利工程水下混凝土检测方法与结果分析[J].陕西水利,2025,(11):178-181.
- [2] 王亚鑫.水利工程混凝土浇筑质量无损检测与缺陷修复技术[J].产品可靠性报告,2025,(09):120-121.
- [3] 屈鑫平.水利工程中混凝土检测试验及其质量标准化控制的措施[J].大众标准化,2025,(14):108-109+112.
- [4] 刘剑峰.水利工程建设中混凝土试验检测及其质量控制[J].水上安全,2025,(01):58-60.
- [5] 闫瑞.水利工程建设中混凝土试验检测及其质量控制[J].工程建设与设计,2024,(06):209-211.

4.3 降低工程建设与运维综合成本

无损检测技术的广泛推广，有效压缩了水利工程质量检测的整体成本，具备突出的工程应用价值与经济优势。传统破损检测完成后，需针对检测点位开展修复复原作业，会产生额外的材料、人工与工期损耗，且修补后的结构衔接部位易产生质量隐患，威胁工程整体运行安全。无损检测技术无需后续修复工序，能够减少额外施工投入，缩短工程检测与验收的整体周期。同时，精准的无损检测结果可提前识别结构潜在病害，规避混凝土强度不达标、内部裂缝拓展等问题引发的结构损坏、工程故障等重大风险，减少后期病害修缮、结构加固乃至返工重建的高额费用。此外，精准的结构状态研判结果，可规避过度维修、盲目加固带来的资源损耗，实现水利工程建设与运维阶段的资源最优配置，有效提升工程整体建设与运营效益。

5 结语

本文系统梳理水利工程混凝土无损检测技术的应用现状，总结当前检测工作存在的技术适配性较差、现场作业标准不统一、数据研判精细化不足等突出问题。结合水工工程复杂的现场作业特点，提出多技术融合应用、规范现场作业流程、升级数据处理体系等优化策略。实践表明，优化后的无损检测模式可有效弥补传统检测方式的短板，在保护结构完整性、提升检测精度、完善质量管控体系、降低工程运维成本等方面优势显著。作为水工混凝土质量管控的核心技术，无损检测技术可依托实际工程持续完善迭代，适配复杂水工工况，为水利工程结构安全与长期稳定运行提供坚实技术保障。