

# 基于无损检测技术的水利工程混凝土结构质量评估方法

舒成业

昭通渔洞水库管理局，云南省昭通市，657000；

**摘要：**水利工程混凝土结构的质量安全是工程长期稳定运行的核心保障，其所处环境的复杂性与受力的特殊性对质量评估方法提出了严苛要求。传统破损检测方法因破坏性、局限性难以满足全面评估需求，无损检测技术凭借非破坏性、全域覆盖、精准高效的优势，成为水利工程混凝土结构质量评估的核心技术支撑。

**关键词：**无损检测技术；水利工程；混凝土结构；质量评估方法

**DOI：**10.69979/3029-2727.26.01.058

## 引言

自改革开放以来，我国水利工程建设的规模和数量与日俱增，现阶段水利工程已经成为我国工程建筑中的重点项目，同时水利工程还影响着当前我国国民经济的发展。因此，水利工程的质量检测工作受到了有关部门和施工方的高度重视，通过工程施工中应用科学合理的质量检测工作来更好的保障水利工程的顺利开展。

## 1 水利工程混凝土结构质量评估指标体系构建

### 1.1 指标体系构建的核心原则

水利工程混凝土结构质量评价指标体系的搭建是科学评定的根基，得依照四大核心原则，系统性原则规定需全面囊括强度、完整性、密实性、耐久性等关键质量要素，构建全方位评价框架，防止忽略核心参数，针对性原则着眼于水利工程水环境、复杂荷载等独特质量风险，彰显抗渗性能、钢筋锈蚀程度等关键要素，适配工程实际要求。可测性原则规定指标要借助无损检测技术直接或者间接取得，保证定义精准、检测手段完备，防止出现难以量化或者高成本的指标，关联性原则突显指标间逻辑互助，紧扣质量评估核心目的开展，既自主又协作，保障与结构质量状态、安全档次达成明确关联，为评估论断提供可靠凭据，融合无损检测技术水准与工程质量要求，搭建科学恰当的指标体系。

### 1.2 强度性能评估指标

强度是混凝土结构承载能力的关键支撑，也是质量评判的首要标尺，强度性能评估要点涉及抗压强度、抗拉强度以及强度分布均匀性三个指标，抗压能力直接判定结构承受压力载荷的水平，借助声学类检测手段与回弹法协同运用，结合材料特性与时长可实现准确评估，

抗拉强度关联结构抗裂本事，运用声学检测方法与断裂力学学说，可间接得到相关参数，评定结构抗裂本事，强度分布均匀情况利用多点无损检测采集分布资料，剖析离散状况，以此评判浇筑质量与养护成效，防范局部强度欠缺造成安全风险<sup>[1]</sup>。

### 1.3 结构完整性与密实性指标

结构的完整度与紧实度是质量评定的关键方面，直接关联到承载水平与持久度，完整性指标关注裂缝和内部瑕疵，裂缝的宽度、深度、长度及其分布情形依靠光学类和声学类检测技术共同探测；内部的孔隙、疏松、离析等毛病依靠雷达检测、超声检测准确识别位置和模样，密实性指数展现内部颗粒装填紧实程度，利用超声检测度量声波传播速度，配合密度参数间接评判密实度等级；渗透检测方法可以直接度量抗渗系数，明确体现密实性与抗渗特性，评估应兼顾表层与内里检测，保证全面把控结构质量情形。

### 1.4 耐久性评估指标

耐久性直接关乎水利工程混凝土结构的使用年限，指标着重环境侵蚀抵御能力，钢筋锈蚀情形借助电磁类无损检测办法测量锈蚀电位与速度，判别锈蚀阶段及其对承载能力的影响，混凝土碳化深度运用回弹法联合碳化深度测量仪采集数据，评定保护层防护成效与钢筋锈蚀走向，含水量分布借助红外热成像与雷达检测评定均匀性，排查渗漏路径；抗冻融特性针对寒冷地带工程，运用超声检测度量冻融循环前后声波传播速度变动，测评抗冻融破坏能力，为使用寿命预判提供凭据<sup>[2]</sup>。

## 2 水利工程混凝土结构质量评估实施流程优化

### 2.1 检测数据采集规范

检测数据获取是质量评价的基础步骤，数据的精准性与完善性直接关乎评价结果的可信程度，要构建标准化的收集准则，采集之际需做好充足的前期谋划，明晰检测范围、检测点位安排、技术挑选与仪器校准等关键要点，检测范畴要包含结构的关键承载部位、易损地带和疑似质量缺陷区域，保证检测的周全性；检测点位规划应兼顾平衡性与目的性，在结构受力聚焦、环境作用强劲的区域合理加密检测点，提升检测精准度；技术选定应按照评估参数与现场环境情形，选取匹配的无损检测技术，针对复杂质量难题，应当采用多种技术联合检验，保证数据的互补性；仪器校准乃是确保检测精准度的基础，要依照相关标准对检测仪器开展校准，保证仪器能正常工作。

数据收集阶段要严格依照操作规范，把控检测环境的干扰条件，诸如温度、湿度、电磁干扰等，杜绝因环境条件引发数据偏离，采集阶段需开展细致记录，包含检测点位坐标、仪器参数、环境条件、原始数据等信息，保证数据的可追溯性，应关注数据采集的持续性与周全性，杜绝忽略关键节点或参量，保障采集的数据能够充分支撑质量评估工作，为后续的数据处理和分析筑牢稳固根基<sup>[3]</sup>。

## 2.2 检测数据预处理与融合分析

采集之后的初始数据常常含有噪声干扰与异常数值，要借助科学的预处理流程提高数据质量，数据预处理起始阶段开展异常值去除，借助统计剖析与逻辑判别，去除由仪器偏差、操作差错或环境扰动造成的异常数据，杜绝异常值对评估结果产生影响；其次实施数据标准化举措，把不同检测手段、不同度量的数据转变为统一规格，去除技术差异产生的影响，为多源数据融合打造条件；最后借助数据平滑、滤波等处理举措，削减噪声干扰，凸显数据的核心特质，增强数据的稳定性与实用性。

多源数据融合解析是实现全面精准评价的关键所在，其关键在于充分施展不同无损检测技术的长处，填补单一技术的短板，数据整合要依照层级式整合逻辑，自数据层、特征层跟决策层逐步开展，数据层融合聚焦于同一指标的不同检测数据，利用加权平均、回归分析等办法整合数据，减少随机误差，提升数据精准度；特征层融合着重不同指标的检测数据，萃取表征结构质量的核心特征参数，利用主成分分析、因子分析等办法实施降维处理，甄选出关键特征变量，组建综合特征向量；

决策层融合将整合评估指标体系，运用模糊综合评价法、层次分析法等评估手段，全面判定结构的质量等级。

融合分析阶段应设立合适的权重分配体系，依照不同检测技术的精准度、稳定性及指标的关键程度，明确各数据与指标的权重，保障融合结果的科学性；要构建数据矛盾处理体系，要是不同技术的检测成果产生矛盾时，借助追加检测、技术校验等手段排查缘由，恰当调节数据差异，保证评估结论的精准性。

## 2.3 质量评估结论与反馈

质量评估结论的得出要依据融合分析成果，整合评估指标体系与质量等级划分规范，实施科学判定与综合表述，质量等次划分应符合水利工程混凝土结构的质量准则与相关规程，划成优秀、良好、合格、不合格四个级别，卓越等级规定各项参数皆胜过设计规格，结构不存在质量瑕疵，耐久性呈现良好；优质等级规定核心指标符合设计规范，次要指标大致达标，不存在危及安全的质量隐患；合格档次要求关键指标契合设计规定，存在些许质量瑕疵但不妨碍结构正常运转，要开展局部保养；不达标等级规定的关键参数未契合设计规范，存在重大质量毛病，影响结构稳固性，得采取加固整修或重新建设办法。

评估结论应体现完整性、指向性与可用性，不光要明晰结构的质量档次，还需细致说明各评估指标的检测成效、质量隐患的具体状况、对结构安全的影响程度，根据评估论断提出具针对性的处理提议，涵盖维护保养手段、缺陷修复办法、加固改造工艺等，给工程质量把控与后续运营维护提供详细指引，评估判定需以正规的报告格式呈现，报告需囊括检测方案、数据处理步骤、融合分析成效、质量等级评判、问题分析探究、处理建议意见等核心要点，保障报告的规范性与可追溯性。

要构建评估结果的反馈体系，把评估结论迅速反馈给工程建设、运维等相关单位，为工程质量改良与管控优化供给凭据，针对评估里查出的普遍问题，要剖析问题出现的缘由，从设计、修筑、保养等环节拿出改进举措，促进水利工程混凝土结构质量管控水准的不断提高。

## 3 无损检测技术在质量评估中的应用局限与改进方向

### 3.1 当前技术应用的主要局限

尽管无损检测技术在水利工程混凝土结构质量评

估中具有显著优势，但在实际应用中仍面临诸多局限。技术层面，单一无损检测技术的检测范围与精度存在固有短板，如回弹法受混凝土表面状态影响较大，难以准确反映内部强度；超声检测对小尺寸缺陷的识别能力有限，易受结构厚度与材质均匀性的干扰；多种技术联合检测虽能弥补单一技术不足，但增加了检测成本与操作复杂度，数据融合过程也存在技术难点<sup>[4]</sup>。

环境适配性方面，水利工程现场环境复杂多样，高温、高湿度、强电磁干扰、野外恶劣条件等因素会影响检测仪器的稳定性与检测数据的准确性；水下结构、高空结构、狭小空间结构等特殊场景的检测需求，现有部分技术难以充分满足，缺乏专用检测设备与操作流程。标准规范方面，无损检测技术在水利工程领域的应用标准仍不够完善，不同技术的检测方法、数据处理流程、评估指标阈值等缺乏统一规范，导致不同单位的检测结果缺乏可比性，影响评估结果的权威性与公信力。

人员技术层面，无损检测与质量评估工作对专业人员的技术水平与实操能力要求较高，部分检测人员缺乏系统的专业培训，对技术原理、仪器操作、数据处理的掌握不够熟练，可能导致检测数据偏差与评估结论失真，影响评估工作的质量。

### 3.2 技术与方法的改进路径

针对当前应用局限，需从技术创新、方法优化、标准完善与人员培养等方面入手，持续提升无损检测技术在质量评估中的应用效果。技术创新方面，需加强检测仪器的研发升级，提高仪器的抗干扰能力、检测精度与操作便捷性，开发适用于水下、高空、狭小空间等特殊场景的专用检测设备；同时，优化现有检测技术的核心算法，如改进超声检测的信号处理算法，增强对小尺寸缺陷的识别能力，提升技术的检测性能与适配性。

方法优化方面，重点推进多源数据融合技术的创新，引入人工智能、机器学习等先进算法，建立智能化的数据融合模型，提高数据处理效率与融合精度；探索无损检测技术与数值模拟、BIM 技术的结合应用，通过数值模拟分析缺陷对结构性能的影响，借助 BIM 技术构建结构质量数字化模型，实现质量评估的可视化与动态

化；发展在线监测与实时评估技术，构建水利工程混凝土结构质量动态监测体系，实现质量状况的实时跟踪与预警，提升质量管控的主动性。

标准完善方面，需加快制定无损检测技术在水利工程混凝土结构质量评估中的专用标准规范，明确检测方法、数据处理流程、评估指标体系、质量等级划分标准等核心内容，统一技术要求与操作规范；加强行业内技术交流与合作，推广先进检测技术与评估方法的应用经验，建立检测数据共享平台，提高检测结果的可比性与权威性；同时，完善技术认证与质量监督机制，确保评估工作的规范化开展。

人员培养方面，需建立系统化的专业培训体系，加强对检测与评估人员的技术培训，涵盖技术原理、仪器操作、数据处理、评估方法等核心内容，提高人员的专业素养与实操能力；建立从业人员资质认证制度，规范人员从业行为，确保评估工作的质量与可靠性。

## 4 结论

本文构建的水利工程混凝土结构质量评估指标体系，以系统性、针对性、可测性、关联性为基本原则，全面涵盖强度性能、结构完整性与密实性、耐久性三大核心维度。各指标紧扣水利工程混凝土结构的环境特性与质量风险，与无损检测技术深度适配，既保证了评估的全面性，又突出了实操性。该体系通过科学整合检测数据，可精准反映结构质量状况，为质量评估提供清晰依据，有效支撑水利工程混凝土结构的安全管控，为工程长期稳定运行筑牢质量基础。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 姚菊香. 基于无损检测技术的水利工程混凝土结构质量评估方法[J]. 中国品牌与防伪, 2025, (08) : 197-199.
- [3] 董树林, 李倩倩. 基于无损检测技术的水利工程质量问题评估方法研究[J]. 水上安全, 2025, (03) : 125-127.
- [4] 宋忠利. 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(07) : 129-130.