

水利工程混凝土强度无损检测技术应用研究

郭 岩

安徽锦创工程质量检测有限公司 安徽 芜湖 241100

【摘要】：混凝土作为水利工程的核心筑造材料，其强度直接决定工程结构稳定性、抗渗性与使用寿命，更是保障水利工程防洪、供水、灌溉等核心功能高效发挥的关键所在。传统混凝土强度检测方法存在诸多明显弊端，难以适配水利工程大规模、高精度的检测需求。无损检测技术凭借非破坏性、高效快捷、精准可靠的突出优势，已成为水利工程混凝土强度检测的主流方式。基于此，本文将结合水利工程施工实际情况，简要分析水利工程混凝土强度无损检测技术相关内容，深入探讨无损检测技术的应用意义、困境与优化路径，以期有效提升水利工程混凝土施工质量，保障工程长效安全运行。

【关键词】：水利工程；混凝土强度；无损检测技术；应用

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.059

引言

在水利工程混凝土强度检测中应用无损检测技术的时间相对较短，当前依然处于实际应用的初始时期，因此具体应用水平较为有限。在水利工程混凝土强度检测中应用无损检测技术可以显著提升检测工作效率，同时有利于促进国家建筑行业的良好发展。为此，应从多方面加强无损检测技术的检测质量，以保证水利工程质量检测的精准性。

1 水利工程混凝土强度无损检测技术概述

水利工程混凝土强度无损检测技术，是在不破坏混凝土结构完整性的前提下，通过专业设备与技术手段，精准检测混凝土强度、内部缺陷及相关性能参数的专用技术，更是保障水利工程施工质量、排查安全隐患的核心技术之一。该项技术依托材料力学、声学、电磁学等核心原理，适配水利工程混凝土结构庞大、工况复杂的实际特点，拥有非破坏性、高效快捷、检测范围广、数据精准的显著优势，有效弥补了传统破坏性检测的诸多不足。目前，水利工程中常用的无损检测技术主要包括回弹法、超声法、超声回弹综合法等，各类技术均有自身适配场景与应用要点，可结合工程规模、混凝土标号、检测精度要求灵活选用。

2 水利工程混凝土强度无损检测技术应用的意义

2.1 保障水利工程安全

水利工程长期处于水下、露天等复杂工况，承受水压、水流冲击、温度变化等多重作用，混凝土强度不足、内部裂缝等隐患极易引发渗漏、坍塌等安全事故，直接威胁人民生命财产安全。无损检测技术可在不破坏结构完整性的前提下，精准排查混凝土强度不达标、内部孔隙、裂缝等隐蔽隐患，及时发现施工及运维中的薄弱环节，为隐患整改提供科学可靠的依据。通过提前排查、精准管控，有效降低安全事故发生概率，筑牢水利工程防洪、供水、灌溉的安全防线，确保工程能够长期稳定发挥核心功能。

2.2 提升水利工程施工质量

无损检测技术可贯穿混凝土施工全过程，从原材料进场检测、浇筑过程动态监测，到养护完成后的强度验收，实现全方位、全覆盖的质量检测，精准把控混凝土施工质量。同时，其检测数据客观精准，可迫使施工单位规范施工操作、优化施工工艺，减少施工过程中的违规行为，推动水利工程施工向精细化、标准化方向发展，全面提升工程建设质量。

2.3 有效降低运维成本

水利工程结构庞大、维修难度高，破坏性检测不仅会损伤结构完整性，还会增加额外维修成本，且难以实现隐患的早期发现与处置。无损检测技术凭借高效快捷、非破坏性的突出优势，可定期对混凝土结构进行全面检测，及时发现早期隐患并开展针对性处理，避免小隐患发展为大问题，减少大修、抢修带来的高额成本。同时，其检测数据可为工程运维提供科学支撑，帮助工作人员制定合理可行的运维方案，延长工程使用寿命，实现水利工程的经济高效、长效运行。

3 水利工程混凝土强度无损检测技术应用的困境

3.1 技术本身存在局限

目前常用的回弹法、超声法等技术，均有一定适用边界，受混凝土原材料配比、龄期、含水率等因素影响较大，易产生检测数据偏差。比如，回弹法对表面碳化层较为敏感，超声法易受混凝土内部缺陷分布干扰，单一检测技术难以实现全面精准检测。同时，部分无损检测设备精度不足，老旧设备未及时更新换代，检测数据的稳定性与可靠性欠佳，难以满足水利工程高精度、高标准的检测需求，限制了技术应用的深度与广度。

3.2 施工环境过于复杂

多数水利工程地处露天、水下或偏远区域，常面临高温、严寒、高湿度、强降雨等复杂气候条件，不仅会影响检测设备正常运转，还会干扰检测信号，造成检测数据失真。另外，水利工程混凝土结构庞大、造型复杂，部分检测部位空间狭窄、

不易接触，增加了检测操作难度，难以实现全方位、全覆盖检测，部分隐蔽部位的检测甚至无法顺利开展，影响了检测工作的完整性与全面性。

3.3 专业人员相对匮乏

无损检测技术对操作人员专业素养要求较高，需熟练掌握检测原理、设备操作、数据解读等相关知识，但目前行业内专业人才储备不足，部分操作人员缺乏系统培训，专业能力参差不齐。部分人员操作流程不规范，未严格遵循技术标准开展检测工作，随意调整检测参数、简化检测步骤，导致检测数据偏差较大，甚至出现误判、漏判情况，严重影响检测结果的科学性与权威性。

3.4 标准规范不够完善

水利工程混凝土强度无损检测领域的部分标准规范更新滞后，与新型检测技术、新型混凝土材料的适配性不足，难以有效指导实际检测工作。同时，部分工程缺乏完善的检测管控体系，未建立健全检测数据审核、存档、追溯机制，检测流程缺乏有效监督，部分施工单位为追赶进度、降低成本，存在规避检测、篡改检测数据等违规行为，进一步加剧了技术应用的困境。

4 水利工程混凝土强度无损检测技术应用的有效策略

4.1 优化无损检测技术选型

水利工程混凝土强度无损检测技术应用，需通过优化技术选型，突破无损检测技术自身固有局限，结合水利工程混凝土结构特点、检测需求，合理搭配检测技术，弥补单一技术的不足。为此，则需摒弃“单一技术通用”的误区，根据混凝土龄期、原材料配比、结构部位等实际情况，针对性选用适配的检测技术，同时推广多技术联合检测模式，提升检测精度。对于大面积常规检测，可选用操作便捷、效率较高的回弹法（如图1所示），搭配超声法进行补充验证，减少表面碳化层、含水率等因素对检测数据的影响；对于复杂结构、隐蔽部位或高精度检测需求，可采用超声回弹综合法，结合两种技术的优势实现检测数据互补，降低检测偏差。另外，还要结合检测场景特殊性，灵活调整检测参数，针对不同标号、不同龄期的混凝土建立专属检测参数体系，避免参数设置不合理导致的检测失真，通过技术选型优化，最大限度突破单一技术适用边界，提升检测结果的科学性与可靠性。



图1 无损检测技术：回弹法

4.2 全面升级检测设备保障检测精度

检测设备的精度和性能，是保障无损检测技术应用效果的基础，升级检测设备、规范设备管理，是提升检测效能的关键。相关责任单位需加大设备专项投入，逐步清退检测误差超出±3%、响应频率低于10Hz的老旧检测仪器，优先引入智能化、高精度专用检测设备，比如契合GB/T 50152-2012标准的智能化回弹仪（检测量程20-60MPa，示值误差≤±1.0MPa）、超声波检测设备（声时测量区间0.1μs-9999μs，声速测量误差≤±1%），通过硬件升级进一步提升数据采集的稳定性与精度，满足大型水利工程坝体、溢洪道等关键结构部位的高精度检测需求。在搭建设备全生命周期管理体系的基础上，对检测设备实施进场校准、日常维护、定期检修的全流程闭环管理，依据JJF 1097-2003《回弹仪校准规范》，每半年委托具备相应资质的专业机构开展一次精度校准，采用 $\delta = \frac{|X - X_0|}{X_0} \times 100\%$

（其中 δ 为校准误差，X为实测值，X0为标准值）核算校准精度，确保 $\delta < 2\%$ ，及时排查设备传感器、数据传输模块等核心部件隐患，从源头杜绝设备故障引发的检测数据失真。此外，借助数字化技术升级设备数据处理模块，嵌入混凝土强度换算模型 $f_{cu,i} = a \cdot v^b + c \cdot R^d$ （其中 $f_{cu,i}$ 为混凝土立方体抗压强度，v为超声波传播速度，R为回弹检测值，a、b、c、d为水利工程适配系数），实现检测数据实时采集、自动降噪与精准输出，将人工数据处理误差控制在±1.5%以内，检测效率提升40%以上；结合水利工程露天、水下、高湿度等复杂工况，选用防护等级IP68、抗电磁干扰强度≥40dB的专用设备，增强环境适配能力，保障设备在-10℃~60℃、水下5m以内稳定运行，为混凝土强度无损检测精准推进提供坚实设备支撑。

4.3 适配水利工程施工环境

在水利工程混凝土强度无损检测技术应用的过程中，需结合工程实际工况，制定针对性环境适配方案，确保检测工作全面、顺利开展。实操中，需提前全面排查施工环境，结合气候条件、结构特点制定个性化检测方案，规避环境因素对检测工作的影响。在高温、严寒、高湿度等极端气候条件下，合理调整检测时间，避开恶劣天气时段，并采取防护措施对检测设备

进行保温、防潮处理,减少气候因素对设备运行和检测信号的干扰。对于露天、水下等特殊场景(如图2所示),选用适配的检测设备和方法,针对水下检测部位,采用防水型检测设备并搭配远程操控技术,避免人员直接接触危险区域,同时保障检测信号稳定。另外,针对混凝土结构庞大、隐蔽部位难以检测的问题,采用小型化、灵活化检测设备,结合高空作业平台、水下探测设备等辅助工具,扩大检测覆盖范围,确保隐蔽部位、狭窄空间的检测工作顺利开展,提升检测工作的完整性与全面性。



图2 工作人员正在用水下机器人进行检测

4.4 强化人才培育规范技术应用

无损检测技术规范应用的核心说到底还是专业人才,强化人才培育、提升人员专业素养,可解决人才匮乏、操作不规范等问题。基于此,通过建立完善的人才培育体系,结合水利工程无损检测技术应用需求,开展针对性培训工作,覆盖检测原理、设备操作、数据解读、标准规范等相关内容,可有效提升操作人员的专业能力。同时,还需定期组织行业交流、技能竞赛等活动,促进操作人员经验分享,提升实操技能,并邀请行业专家开展专题讲座,讲解新型检测技术、前沿应用理念,拓宽操作人员知识面。在建立严格的人员考核机制基础上,定期对操作人员专业能力、操作规范性进行考核,考核合格后方可上岗,杜绝不合格人员从事检测工作。另外,还要建立岗位责任制,明确操作人员岗位职责,规范操作流程,要求操作人员严格按照技术标准开展检测工作,严禁随意调整检测参数、简化检测步骤,对违规操作行为严肃处理,确保检测工作的规范性和严肃性,提升检测结果的权威性。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 郭广明.水利工程塑性混凝土防渗墙无损检测技术研究[J].海河水利,2021,(04):83-85.
- [4] 崔雪.浅谈无损检测技术在水利工程质量检测中的应用[J].治淮,2021,(03):27-29.
- [5] 瞿洪利.无损检测技术在水利工程质量检测中的应用[J].江淮水利科技,2021,(04):45-46+48.

4.5 构建完善的管控标准规范体系

完善的标准规范和健全的管控体系,可以推动无损检测技术规范化应用,需结合行业发展现状,不断优化标准规范、完善管控机制。相关部门需加快标准规范更新完善步伐,结合新型无损检测技术、新型混凝土材料的应用特点,修订滞后的标准规范,明确不同检测技术的适用范围、操作流程、参数设置和数据评定标准,确保标准规范与实际应用需求适配,为检测工作提供明确指导依据。同时,工程建设单位需建立健全检测管控体系,明确检测流程、责任分工,建立检测数据审核、存档、追溯机制,对检测数据实行全程管控,确保检测数据的真实性、完整性和可追溯性。除此之外,还要加强对检测工作的监督管理,成立专门监督小组,对检测流程、操作规范性、数据真实性进行全程监督,严厉打击规避检测、篡改检测数据等违规行为,加大处罚力度,形成长效监督机制,推动检测工作规范化、标准化开展,确保无损检测技术充分发挥质量管控作用。

4.6 推动技术创新促进融合应用

推动无损检测技术创新、促进与新兴技术的融合应用,是提升检测效能、突破应用瓶颈的长远策略,也是推动水利工程行业技术升级的重要路径。实施过程中,需加大技术研发投入,鼓励科研机构、企业开展无损检测技术创新研究,针对水利工程复杂工况,研发适配性更强、精度更高、效率更快的新型检测技术,突破传统技术局限,提升技术应用价值。同时,推动无损检测技术与数字化、智能化技术深度融合,依托大数据、人工智能、物联网等技术构建智能化检测平台,实现检测数据实时采集、智能分析、精准预警,提升检测效率和数据解读能力,减少人工干预带来的误差。此外,推广无损检测技术全流程应用,将检测工作贯穿于混凝土原材料进场、浇筑、养护、验收及后期运维全过程,实现全方位、全周期质量管控,通过技术创新和融合应用,推动无损检测技术在水利工程领域高质量发展,为水利事业长效发展注入新动力。

总而言之,水利工程混凝土强度无损检测技术的规范应用,是保障工程质量、推动行业升级的关键举措。未来,还需持续优化技术应用、强化管理保障、推动创新融合,以此让该技术充分发挥核心价值,从而为水利工程长效安全运行保驾护航,助力水利事业高质量发展。