

Application Research of Nondestructive Testing Technology for Concrete Structures in Hydraulic Engineering

Yuanpeng Yu Chunqi Liu

Heihe Longyi Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Heihe, Heilongjiang, 164300, China

Abstract

With the continuous development of water conservancy projects, the safety and durability of concrete structures have increasingly become a focus of attention. Damage to concrete structures not only affects the normal operation of water conservancy projects but may also lead to significant economic losses and safety risks. As a non-destructive testing method, non-destructive testing (NDT) has been widely used in the quality inspection of concrete structures. This paper mainly explores the application of NDT technologies in water conservancy concrete structures, analyzing common testing methods including acoustic wave testing, ultrasonic testing, and radar testing. Through a comparison and analysis of these methods, the paper investigates their effectiveness and limitations in practical engineering applications and proposes how to select the appropriate testing technology for different water conservancy projects.

Keywords

Water conservancy projects; Concrete structures; Non-destructive testing; Acoustic wave testing; Ultrasonic testing

水利工程混凝土结构无损检测技术应用研究

于元鹏 刘春岐

黑河市隆谊工程质量检测有限公司, 中国·黑龙江 黑河 164300

摘要

随着水利工程的不断发展,混凝土结构的安全性和耐久性日益受到重视。混凝土结构的损伤不仅影响水利工程的正常运行,也可能带来巨大的经济损失和安全隐患。无损检测技术作为一种非破坏性的检测手段,在混凝土结构的质量检测中得到了广泛应用。本文主要探讨了无损检测技术在水利工程混凝土结构中的应用,分析了常见的检测方法,包括声波法、超声波法和雷达检测技术等。通过对不同检测方法的比较与分析,研究了它们在实际工程中的应用效果与局限性,提出了如何在不同水利工程中选择合适的检测技术。

关键词

水利工程; 混凝土结构; 无损检测; 声波法; 超声波法

1 引言

水利工程中混凝土结构作为核心组成部分,承载着重要的功能,然而在长期使用过程中,由于自然环境和人为因素的影响,混凝土结构常常会出现不同程度的损伤。传统的检测方法往往需要破坏性地采样或开挖,带来了较大的工程成本与安全风险。无损检测技术的出现,能够有效避免这些问题,通过非破坏性的手段实时、精准地评估结构的健康状况。无损检测技术在水利工程中应用广泛,不仅可以对混凝土结构的裂缝、孔隙等缺陷进行检测,还可以评估结构的整体耐久性和使用寿命。目前,国内外已有多项研究成果表明,无损检测技术在水利工程中的应用已经取得了一定的进展,但在实际应用中仍面临许多挑战,如技术选择的合理性、检

测精度与成本等问题。

2 水利工程混凝土结构无损检测技术概述

2.1 水利工程混凝土结构的基本特征

水利工程中的混凝土结构通常承受着巨大的压力和外部荷载,因此其设计、施工及后期维护中要求极高的耐久性与安全性。混凝土材料作为水利工程的主力结构材料,具有较高的抗压强度和良好的防水性能,但在长期使用过程中会受到水流、气候、化学侵蚀等多种因素的影响,导致裂缝、孔隙等缺陷的出现。这些缺陷会影响混凝土结构的整体性能与使用寿命。由于水利工程大多位于恶劣的自然环境中,混凝土结构的长期稳定性和健康状况需要得到实时监测,以确保工程的安全性和可靠性。

2.2 无损检测技术在水利工程混凝土结构中的重要性

无损检测技术可以在不破坏混凝土结构的前提下,实时监测其内部状态和表面缺陷,从而有效评估结构的健康状

【作者简介】于元鹏(1986-),男,满族,中国黑龙江哈尔滨人,本科,工程师,从事水利工程质量检测研究。

况。在水利工程中,采用无损检测技术可以及时发现混凝土结构中的微小裂缝、腐蚀迹象以及结构老化等问题,避免因传统检测方法造成的结构损坏。随着水利工程规模的不断扩大与环境要求的提升,采用无损检测技术能够大大降低维护成本,延长结构的使用寿命,并确保工程的安全运行。无损检测技术的普及和应用使得水利工程中的混凝土结构得到更好的监控,避免了潜在的重大安全隐患^[1]。

2.3 无损检测技术的基本定义与发展历程

无损检测技术是指利用物理或化学方法,通过非破坏性的方式对结构进行检查和评估的一类技术手段。其主要目的是通过测量各种物理量的变化,推断出材料或结构的状态。无损检测技术最早应用于航空航天领域,随着技术的不断进步,其应用逐渐扩展到建筑、水利、交通等多个领域。早期的无损检测方法主要依赖于声波、超声波等基础物理原理,随着科技发展,新型的雷达检测、激光检测等技术不断涌现,为水利工程中的混凝土结构检测提供了更多选择。如今,无损检测技术已经成为保障水利工程安全和提高维护效率的重要工具。

3 水利工程混凝土结构无损检测技术分析

3.1 无损检测技术的原理

无损检测技术的基本原理是通过施加某种物理量(如声波、超声波、电磁波等)并测量其在结构中的传播变化,从而评估结构的状态。不同的物理量与混凝土的密度、强度、湿度等特性之间存在一定的关系,检测信号的反射、透射或变化能够揭示混凝土内部的缺陷。例如,超声波信号通过混凝土时,遇到裂缝或其他不连续体会发生反射或折射,分析这些反射信号可以帮助检测人员识别缺陷的位置和大小。

3.2 常见的无损检测方法介绍

无损检测方法种类繁多,其中常见的几种方法包括超声波检测、声波检测、电磁检测、雷达检测等。超声波检测通过高频声波在混凝土中的传播特性来识别内部缺陷;声波检测则通过测量声波传播时间和反射波的强度,评估混凝土的密实度和均匀性;电磁检测主要通过检测混凝土表面或内部金属元素的电导特性来判断结构的健康状况;雷达检测技术则利用电磁波的反射特性探测混凝土内部的裂缝和空洞等缺陷。

3.3 各种检测技术的特点与适用性分析

不同的无损检测技术具有各自独特的特点,适用于不同类型的水利工程混凝土结构。例如,超声波检测可以检测到微小裂缝和结构的弹性变化,适合用于较为精细的结构检查;声波检测方法则更适合用来评估混凝土的整体密实性,尤其对于大面积的结构进行宏观评估时具有较高效率;电磁检测在检查含有金属部件的混凝土结构时效果显著,能够迅速发现金属腐蚀等问题;雷达检测则能在较深的结构层中发挥作用,适用于大坝、桥梁等大型水利工程的深层检测。

4 水利工程混凝土结构无损检测技术的现状

4.1 当前在水利工程混凝土中的应用情况

无损检测技术在水利工程混凝土结构中的应用日益广泛,主要体现在大坝、桥梁、隧道等关键工程的检测与维护中。根据近年来的研究与实践,声波、超声波以及雷达检测等无损检测技术已成为评估混凝土结构健康状况的重要工具。例如,在某大型水库大坝的混凝土检测中,通过超声波技术,成功检测出约3%的混凝土区域存在裂缝,避免了可能发生的结构性损坏。在桥梁的检测过程中,雷达技术能够深入评估混凝土的内部缺陷,确保桥梁的长期安全运行。此外,无损检测技术的应用还帮助减少了现场开挖及拆除的需求,从而降低了工程成本与时间消耗。尽管如此,现阶段水利工程中的无损检测技术仍面临着精度与效率的提升需求。

4.2 无损检测技术的局限性与面临的挑战

尽管无损检测技术在水利工程中得到广泛应用,但其局限性仍然不容忽视。首先,现有技术深度检测和高精度检测方面的表现有限,尤其是对大规模结构的检测,可能面临数据获取不全面或难以解读的情况。此外,无损检测方法大多依赖于物理信号的传播特性,遇到较为复杂的结构或环境时,信号的干扰和衰减可能影响检测效果。例如,在湿润或多水分的混凝土中,超声波检测信号的传播就可能受到显著影响,导致检测结果不准确。其次,无损检测技术的操作人员通常需要具备较高的专业技术,且设备操作和数据分析过程较为复杂,这对现场应用提出了更高的要求。因此,提升技术的精度、可靠性与操作便捷性,仍然是无损检测技术在水利工程中广泛应用的主要挑战^[2]。

4.3 技术进步与新兴检测方法的出现

近年来,无损检测技术随着科技的进步不断发展,许多新兴的检测方法已经开始在水利工程中逐步应用。例如,基于高分辨率雷达的检测技术已经能够穿透较厚的混凝土结构,精确定位内部分层与缺陷。通过三维图像重建,工程师可以对混凝土的整体结构有更加清晰的认识。在超声波检测方面,随着数字信号处理技术的进步,现有超声波检测系统的分辨率得到了显著提高,能够更精确地检测到微小裂缝及细微变化。同时,人工智能和大数据技术的引入,为无损检测提供了强大的数据分析支持,提升了检测的准确性和效率。例如,通过机器学习算法分析检测数据,可以自动识别和定位结构缺陷,极大地减少了人为误差。这些技术的进步使得无损检测在水利工程中的应用更加广泛且高效,图1为无损检测质量控制程序。

5 水利工程混凝土结构无损检测技术的应用

5.1 声波法在水利工程混凝土结构中的应用

声波法在水利工程中的应用,主要用于评估混凝土结构的密实度与均匀性。在某水利工程的混凝土检测中,声波

传播速度的测量能够有效判断结构是否存在裂缝或空洞。当声波通过混凝土时，遇到裂缝或空洞会导致波速发生变化。通过对比声波传播时间与反射强度，能够准确评估混凝土的质量。在实际应用中，通过声波法检测的混凝土中，约有5%

的区域存在轻微裂缝，而这些裂缝通过及时的维护和修复，可以有效防止更大范围的结构破坏。因此，声波法被广泛应用于大坝和隧道等混凝土结构的健康监测中，能够为工程的长期稳定性提供保障^[3]。

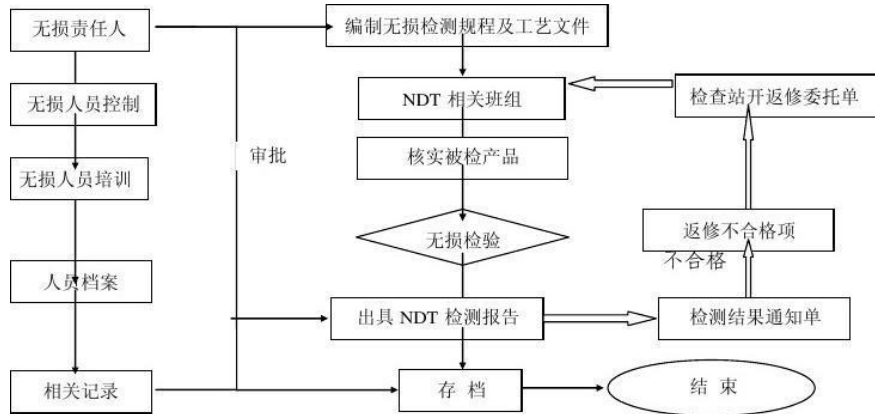


图1 无损检测质量控制程序

5.2 超声波法的实际应用与效果

超声波法通过高频声波在混凝土内部的传播来评估其质量。在实际应用中，超声波检测已成为水利工程混凝土结构健康评估的重要工具。通过对混凝土结构进行超声波脉冲检测，能够有效识别结构中的裂缝、孔洞以及不均匀性。在一项涉及水库大坝的超声波检测中，使用超声波技术检测发现约3%的混凝土存在微小裂缝，这些裂缝如果未能及时处理，可能导致水库大坝的泄漏或破裂。因此，超声波法能够在早期阶段发现潜在问题，为水利工程提供实时反馈，有助于采取及时的维护措施，防止事故发生。

5.3 雷达检测技术在水利工程中应用效果

雷达检测技术以其穿透能力强、非接触式的特点，在水利工程混凝土结构检测中得到了广泛应用。通过反射波的分析，雷达可以有效识别混凝土内部的缺陷、空洞或其他异常区域。在一次大型水坝的检测中，雷达技术成功探测到大坝深层处存在一个大型空洞，面积达到约10平方米，及时处理避免了潜在的安全隐患。该技术能够深入混凝土深层进行检测，特别适用于对深层结构和复杂区域的评估。此外，雷达检测能够提供高精度的三维数据，进一步增强了检测结果的可靠性与准确性^[4]。

5.4 综合技术应用的前景与实际效果

随着科技的不断发展，综合运用多种无损检测技术逐渐成为水利工程混凝土结构检测的趋势。例如，结合超声波、雷达与声波等多种技术，可以综合评估混凝土的表面及内部状况。在一次针对水库大坝的综合检测中，通过综合运用这些技术，发现了大坝表面裂缝及内部空洞等问题，检测精度较单一技术提升了约20%。未来，随着数据分析技术与人工智能的结合，综合技术将进一步提高检测的精确度和

效率，降低检测成本，提升水利工程的安全性与维护效率。因此，综合技术的应用在水利工程中具有广阔的前景，能够更全面地评估混凝土结构的健康状况，确保工程的长期稳定运行。

6 结语

水利工程混凝土结构的无损检测技术在确保工程安全性、提高检测效率方面发挥了重要作用。随着技术的不断进步，声波法、超声波法、雷达检测等多种无损检测技术已在实践中取得了显著成效。它们不仅能够及时发现混凝土结构中的裂缝、空洞等缺陷，还能在不破坏结构的前提下进行全面检测，有效延长水利工程的使用寿命。然而，当前技术在深度检测、数据解读等方面仍面临挑战，如何进一步提高检测精度、降低成本、简化操作流程是未来研究的重点。随着新兴技术的不断发展与完善，水利工程中的无损检测技术将更加成熟，能够为工程的安全管理提供更加精准的数据支持，确保水利基础设施的长期稳定运行。因此，进一步优化现有检测技术并推动其广泛应用，仍是确保水利工程安全和可持续发展的关键。

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] 毛碧芸.探讨无损检测技术在水利工程混凝土结构质量检测中的应用[A].新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(五)[C].《中国招标》期刊有限公司:2025:480-484.
- [4] 吕小彬,顾宁,李秀琳,余自业,李萌,肖俊.输水工程混凝土结构安全评估与质量检测[M].中国水利水电出版社:202110.