

水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术的研究

李 成

深圳市鹏城水务技术有限公司 广东 深圳 518000

摘要：混凝土结构作为水利工程中的主要承载结构，其强度是衡量工程质量与安全性的关键指标之一。然而，传统的破坏性检测方法不仅耗时费力，且会对结构造成不可逆的损伤，难以满足现代水利工程对检测效率与精度的要求。因此，非破坏性检测技术（NDT）在水利工程混凝土结构强度检测中的应用日益广泛。本文旨在深入探讨水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术的现状、原理、方法及应用，分析其优缺点，并展望未来的发展趋势，以为水利工程的质量控制、安全评估与维护管理提供理论支撑与实践指导。

关键词：水利工程；混凝土结构；强度检测；非破坏性检测技术；回弹法

1 引言

水利工程建设涉及大量混凝土材料的使用，混凝土结构的强度直接关系到工程的整体质量和安全性。传统的破坏性检测方法不仅费时费力，还会对结构造成损伤，影响工程的正常使用。因此，非破坏性检测技术应运而生，并逐渐成为水利工程混凝土强度检测的重要手段。

2 水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术概述

2.1 非破坏性检测技术的定义与分类

非破坏性检测技术是指在不破坏或不影响被测对象使用性能的前提下，利用物理、化学、声学、光学等手段，对被测对象的内部或表面缺陷、组织、成分、性能等进行检测、测量和评估的技术。根据检测原理和应用范围的不同，非破坏性检测技术可分为多种类型，包括超声检测、射线检测、磁粉检测、渗透检测、涡流检测、红外热成像、激光测距、回弹法等。在水利工程混凝土结构强度检测中，常用的非破坏性检测技术主要包括回弹法、超声波检测、红外热成像等。

2.2 非破坏性检测技术的意义

2.2.1 无损检测：非破坏性检测技术最大的特点是在不破坏结构完整性的前提下进行检测，避免了因检测造成的额外损伤和修复成本。

2.2.2 高效准确：相比传统破坏性检测方法，非破坏性检测技术通常具有更快的检测速度和更高的检测精度，能够更全面地反映混凝土结构的整体性能。

2.2.3 实时监测：部分非破坏性检测技术，如红外热成像，可实现实时监测，及时发现结构性能的变化，为工程维护和管理提供及时信息。

2.2.4 经济环保：非破坏性检测技术减少了检测过程中的材料消耗和废弃物产生，符合可持续发展的理念。

3 水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术详解

3.1 回弹法

3.1.1 回弹法原理

回弹法是通过测量混凝土表面回弹仪的反弹高度（即回弹值），结合混凝土的碳化深度、龄期等因素，推算混凝土抗压强度的一种方法。回弹仪的工作原理基于胡克定律，即弹性体的变形与应力成正比。当回弹仪的弹击杆以一定速度撞击混凝土表面时，混凝土表面的硬度决定了弹击杆反弹的高度，从而间接反映了混凝土的强度。

3.1.2 回弹法应用

回弹法因其操作简便、设备轻便、检测速度快、成本较低等优点，在水利工程混凝土结构强度检测中得到了广泛应用。特别适用于现场快速检测，如桥梁、隧道、大坝等结构的混凝土强度评估。但需要注意的是，回弹法的准确性受混凝土表面状态（如平整度、湿度、污染程度）、碳化深度、龄期、配合比等多种因素影响，因此在实际应用中需结合其他方法进行校正。

3.1.3 影响因素及改进措施

1)表面状态：确保混凝土表面干燥、清洁、平整，避免油污、浮浆、疏松层等对检测结果的影响。2)碳化深度：碳化会降低混凝土表面的硬度，影响回弹值的准确性。因此，需测量碳化深度，并根据相关标准进行修正。3)龄期：混凝土的强度随龄期增长而增加，回弹值也会相应变化。应根据混凝土的龄期选择合适的回弹仪和检测参数。4)配合比：不同配合比的混凝土，其回弹值与强度的关系可能有所不同。因此，在检测前应对同类混凝土进行标定试验，建立回弹值与强度的关系曲线。

3.2 超声波检测

3.2.1 超声波检测原理

超声波检测是利用超声波在介质中传播的特性，通过测量超声波在混凝土中的传播速度、衰减系数等参

数, 评估混凝土内部的质量、缺陷和强度。超声波在混凝土中传播时, 遇到不同介质界面(如裂缝、空洞)或材料性能变化(如强度降低)时, 会发生反射、折射和散射, 这些现象可以反映混凝土内部的结构和性能。

3.2.2 超声波检测方法

超声波检测方法包括穿透法、反射法和脉冲回波法等。在水利工程混凝土结构强度检测中, 常用的是穿透法和脉冲回波法。

1)穿透法: 在混凝土结构的两侧分别放置发射探头和接收探头, 测量超声波从发射到接收的时间, 根据波速和距离计算混凝土的厚度, 同时观察波形变化, 判断内部是否存在缺陷。2)脉冲回波法: 在混凝土结构表面放置单个探头, 发射超声波脉冲, 接收并记录反射回来的声波信号。通过分析反射波的振幅、频率、相位等特征, 可以判断混凝土内部缺陷的位置、大小和性质。

3.2.3 超声波检测应用

超声波检测在水利工程混凝土结构强度检测中的应用广泛, 可用于评估混凝土结构的完整性、检测内部缺陷(如裂缝、空洞)、评估混凝土强度等。特别是在大坝、隧道、桥梁等大型水利工程中, 超声波检测能够准确快速地定位并评估潜在的安全隐患, 为工程维护和管理提供重要依据。

3.2.4 影响因素及改进措施

1)混凝土组成与状态: 混凝土的骨料类型、水泥含量、含水量、龄期等都会影响超声波的传播特性。因此, 在检测前应对混凝土进行充分了解和准备, 确保检测结果的准确性。2)检测参数设置: 合理选择超声波的频率、发射功率、接收灵敏度等参数, 以提高检测的灵敏度和准确性。3)检测环境: 检测时应避免环境噪声的干扰, 确保接收到的声波信号清晰可辨。4)数据处理与分析: 采用先进的信号处理技术和数据分析方法, 提高检测结果的可靠性和准确性。

3.3 红外热成像

3.3.1 红外热成像原理

红外热成像技术是利用红外辐射原理, 通过测量物体表面温度分布的差异, 以图像形式直观显示物体内部热量传递和热流分布的一种非破坏性检测技术。混凝土在受到外力作用或内部缺陷影响时, 会产生热量分布的不均匀性, 这种不均匀性可以通过红外热成像技术进行检测和分析。

3.3.2 红外热成像应用

红外热成像技术在水利工程混凝土结构强度检测中的应用主要体现在以下几个方面:

1)检测内部缺陷: 通过加热混凝土表面, 观察热量在混凝土内部的传播情况, 可以检测混凝土内部的裂缝、空洞等缺陷。2)评估混凝土强度: 混凝土强度与其热传导性能有关。通过测量混凝土表面的温度分布, 可以间接评估混凝土的强度。3)监测结构健康状态: 红外热成像技术可用于监测混凝土结构的健康状态, 如裂缝扩展、腐蚀程度等, 为结构的维护和管理提供预警信息。

3.3.3 影响因素及改进措施

1)加热方式: 加热方式和加热强度对红外热成像的检测结果有显著影响。应根据混凝土的结构特点和检测需求选择合适的加热方式。2)环境条件: 环境温度、风速、湿度等环境因素会影响红外热成像的检测结果。应在稳定的环境条件下进行检测, 以减少误差。3)数据处理与分析: 红外热成像技术产生的数据量庞大, 需要采用先进的图像处理技术和数据分析方法, 提高检测结果的准确性和可靠性。4)人员培训: 红外热成像技术的操作和分析需要一定的专业知识和经验。应加强对检测人员的培训, 提高其专业技能和综合素质。

4 水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术的比较与选择

4.1 技术比较

4.1.1 检测精度: 超声波检测和红外热成像技术通常具有较高的检测精度, 能够准确反映混凝土内部的缺陷和强度变化; 回弹法的检测精度受多种因素影响, 相对较低。

4.1.2 检测速度: 回弹法检测速度快, 适用于现场快速检测; 超声波检测和红外热成像技术虽然检测过程相对复杂, 但能够实现大面积、快速扫描。

4.1.3 适用范围: 回弹法适用于混凝土表面硬度的快速评估; 超声波检测适用于混凝土内部缺陷和强度的详细检测; 红外热成像技术适用于混凝土结构健康状态的实时监测和评估。

4.1.4 成本: 回弹法设备简单, 成本较低; 超声波检测和红外热成像技术设备复杂, 成本较高。

4.2 技术选择

在选择水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术时, 应考虑以下因素:

1)检测目的: 明确检测的目的是评估混凝土强度、检测内部缺陷还是监测结构健康状态, 以选择合适的检测技术。2)结构特点: 根据混凝土结构的特点(如尺寸、形状、材料组成等), 选择适用的检测技术。3)环境因素: 考虑检测环境对检测结果的影响, 选择适应性强、抗干扰能力强的检测技术。4)成本效益: 综合考虑检测技术的

成本、效率、准确性等因素,选择性价比高的检测技术。

5 水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术的应用案例

5.1 背景介绍

某大型水利工程大坝,位于山区河流上,是当地重要的防洪和灌溉设施。大坝主体结构由混凝土构成,历经多年运行,需对其混凝土强度进行定期检测,以确保大坝的安全性和稳定性。

5.2 检测需求

5.2.1 全面评估:需要对大坝整体混凝土强度进行全面评估,包括坝体、坝基、溢洪道等关键部位。

5.2.2 高效准确:检测过程需高效且准确,避免对大坝正常运行造成影响。

5.2.3 实时监测:对部分关键区域进行实时监测,及时发现潜在问题。

5.3 检测方案

5.3.1 回弹法:作为初步筛选手段,对大坝表面混凝土进行快速检测,获取初步强度数据。

5.3.2 超声波检测:对回弹法检测出的疑似问题区域进行进一步检测,通过测量超声波在混凝土中的传播速度和衰减情况,评估混凝土内部的质量和强度。

5.3.3 红外热成像:对大坝进行夜间红外热成像检测,观察混凝土表面的温度分布,评估大坝内部的热量传递和热流分布,以检测潜在的缺陷和强度变化。

5.4 实施过程

5.4.1 准备阶段:对大坝进行详细的现场勘查,确定检测区域和检测点。准备回弹仪、超声波检测仪、红外热成像仪等检测设备,并对检测人员进行培训。

5.4.2 检测阶段:按照检测方案,对大坝进行回弹法、超声波检测和红外热成像检测。记录检测数据,对疑似问题区域进行标记和记录。

5.4.3 数据分析:对检测数据进行整理和分析,结合大坝的设计资料和运行历史,评估大坝混凝土强度的整体状况。

5.4.4 报告编制:根据检测结果和分析,编制检测报告,提出针对性的维护建议和改进措施。

5.5 检测结果与措施

5.5.1 检测结果:通过回弹法检测,发现大坝表面混凝土强度整体良好,但部分区域存在强度偏低的情况。超声波检测进一步确认了这些区域的内部缺陷,如裂缝和空洞。红外热成像检测则揭示了部分区域的热量传递异常,提示可能存在内部损伤。

5.5.2 维护措施:根据检测结果,制定了大坝的维护计划,包括修补裂缝、填充空洞、加强监测等措施。同时,对大坝的运行管理提出了改进建议,如加强日常巡查、优化调度方案等。

6 水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术的发展趋势

6.1 智能化与自动化

随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展,水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术正朝着智能化和自动化的方向发展。通过集成传感器、数据采集系统、智能分析算法等,实现对混凝土结构的实时监测和智能评估,提高检测效率和准确性。

6.2 高精度与多功能

随着检测技术的不断进步,非破坏性检测设备的精度和分辨率不断提高,能够更准确地反映混凝土内部的结构和性能。同时,多功能检测设备的发展使得一次检测能够同时获取多种信息,如强度、缺陷、耐久性等,提高了检测的全面性和实用性。

6.3 远程检测与无人化

随着无人机、遥控机器人等技术的广泛应用,水利工程混凝土结构强度非破坏性检测正逐步实现远程检测和无人化操作。这不仅可以减少检测人员的工作量和风险,还可以提高检测的灵活性和覆盖范围。

7 结论

水利工程混凝土结构强度非破坏性检测技术在保障水利工程安全、提高工程质量方面发挥着重要作用。本文详细介绍了回弹法、超声波检测、红外热成像等常用的非破坏性检测技术及其在水利工程中的应用案例。随着技术的不断进步和发展,非破坏性检测技术将朝着智能化、高精度、远程化和绿色化的方向发展。未来,应进一步加强检测技术的研究和应用,提高检测效率和准确性,为水利工程的质量控制、安全评估与维护管理提供更加有力的支持。

参考文献

- [1]甘奇峰.水利工程混凝土结构质量检测中的无损检测技术应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(6):0065-0068
- [2]白羽裳,郭亚静.建筑工程混凝土强度检测中回弹检测技术的应用[J].建筑与装饰,2024(17):196-198
- [3]杨柏超.水利建筑工程结构检测技术探讨[J].技术与市场,2018,25(1):78-79