

水利工程中无损检测技术的应用与发展趋势

许 昆

新疆兵团水科院(有限公司) 新疆 乌鲁木齐 841100

摘 要: 水利工程中,无损检测技术扮演着至关重要的角色,尤其在大坝、水闸、渠道和泵站等关键结构中。在大坝结构中,无损检测技术不仅精准监测坝体裂缝、渗漏等安全隐患,还确保了大坝的整体稳定性;在水闸结构中,它密切关注闸门及启闭机构的健康状态,预防潜在故障;渠道结构检测中,该技术侧重于发现混凝土裂缝、衬砌破损等问题,保障输水效率;泵站结构中,无损检测则专注于材料和焊接质量检测以及机械部件的故障诊断,确保泵站高效运行。

关键词: 水利工程;无损检测技术;应用;发展趋势

引言: 水利工程作为保障国家水资源安全与经济社会发展的重要基石,其结构健康与运行安全备受关注。无损检测技术,作为水利工程检测领域的一项重要手段,以其非破坏性、高精度及高效性的优势,在水利工程的结构监测、故障诊断及预防性维护等方面展现出巨大潜力。随着科技的日新月异,无损检测技术正逐步迈向智能化、多元化及远程化的发展趋势,为水利工程的长期稳定运行与安全保障开辟了新路径。

1 无损检测技术在水利工程中的作用

无损检测技术在水利工程领域的作用举足轻重,它不仅是确保工程安全、质量和效率的关键手段,更是实现水利工程可持续发展的技术基石。在不破坏工程结构的前提下,无损检测技术能够深入细致地检查水利工程的每一个环节,及时发现潜在的安全风险,从而有效避免事故的发生,确保水利工程的长期稳定运行。在水利工程施工阶段,无损检测技术通过实时监测施工质量和进度,能够精准识别材料内部的缺陷,如空洞、裂纹等,有效防止因材料问题导致的工程质量隐患。同时,该技术还能严格把控施工过程中的焊接质量、螺栓紧固等关键环节,确保施工符合设计要求^[1]。在运营维护阶段,无损检测技术同样至关重要。通过定期检测,它能够及时发现工程结构的损伤和老化情况,为修复和加固工作提供有力支持。此外,该技术还能对水利工程进行健康监测,评估结构的整体稳定性和耐久性,为工程的长期安全运行提供科学依据。值得一提的是,无损检测技术与先进传感器和数据处理技术的结合,更是实现了远程监测和智能化管理,不仅提高了检测效率,还降低了运维成本,为水利工程带来了显著的整体效益。

2 无损检测技术在水利工程不同结构中的应用

2.1 大坝结构中的应用

大坝作为水利工程的核心构筑物,其结构完整性和稳定性至关重要,无损检测技术在此领域的应用,主要聚焦于精确识别并评估大坝材料(如混凝土、岩石)的内部状态及潜在缺陷。在大坝建设初期,无损检测技术如地质雷达和地震波勘探,能有效揭示地基和坝体材料的内部结构,为设计提供精准的地质信息,预防因地质条件不良导致的坝体失稳。施工过程中,超声波检测成为监测混凝土浇筑质量和内部空洞、裂缝等缺陷的重要手段,确保施工品质符合设计要求。进入运营阶段,大坝长期承受水压力、温度变化及地质活动等多重因素影响,其结构完整性面临持续挑战。此时,红外热成像技术能够检测大坝表面的温度异常,揭示潜在的渗漏通道;而声发射监测技术则能捕捉大坝内部微裂纹的产生和发展,为预测大坝结构老化趋势和及时采取维护措施提供预警。此外,结合现代传感器技术和大数据分析,无损检测技术正逐步实现远程、实时监测大坝结构状态,提高检测效率和准确性,为水利工程的安全管理提供智能化支持。

2.2 水闸结构中的应用

无损检测技术在水利工程水闸结构中的应用,是保障水闸高效、安全运行的重要技术手段,水闸作为调节水流、控制水位的关键设施,其结构的健康状态直接关系到水利工程的整体效能和安全性。在水闸结构中,无损检测技术主要用于检测闸门的金属构件和混凝土结构。对于金属构件,如闸门框架、启闭机等,无损检测技术如涡流检测、超声检测等,可以精确识别金属内部的裂纹、腐蚀等缺陷,确保金属构件的强度和耐久性满足设计要求。同时,对于混凝土结构,无损检测技术如回弹法、超声回弹综合法等,可以评估混凝土的强度和内部质量,预防因混凝土质量问题导致的结构失效^[2]。此

外,无损检测技术还能够用于水闸的渗漏检测和振动监测。渗漏是水闸结构中常见的问题之一,无损检测技术如红外热成像、示踪气体检测等,可以准确识别渗漏位置和渗漏量,为修复工作提供精确定位。振动监测则是通过布置传感器,实时监测水闸在启闭过程中的振动情况,预防因振动过大导致的结构损伤和机械故障。值得一提的是,随着物联网、大数据等技术的快速发展,无损检测技术正逐步与智能化、远程监控等技术相结合,实现水闸结构的实时监测和预警。

2.3 渠道结构中的应用

无损检测技术在水利工程渠道结构中的应用,是保障渠道长期稳定运行的重要技术手段,具体体现在以下几个方面:(1)内部缺陷检测:在渠道衬砌结构的施工过程中,无损检测技术如超声波检测、电磁波层析成像等,能够穿透衬砌材料,准确识别内部的空洞、裂缝等缺陷,确保渠道结构的完整性和密封性,防止水流渗漏和侵蚀。(2)渗漏定位与监测:渠道在运行过程中,由于地质条件、施工质量或老化等因素,可能出现渗漏问题。无损检测技术如红外热成像、示踪气体法等,能够非接触式地检测渗漏点,为及时修复渗漏提供精确位置信息,减少水资源浪费。(3)结构健康监测:渠道结构长期承受水流冲刷、温度变化等自然因素的影响,可能产生裂缝、变形等损伤。无损检测技术如激光测距、三维扫描等,能够实时监测渠道结构的变形情况,评估结构的健康状态,为预防性维护提供数据支持。(4)地基稳定性评估:渠道地基的稳定性直接关系到渠道的安全运行。无损检测技术如地质雷达、地震波勘探等,能够探测地基的土层分布、地质构造等信息,评估地基的稳定性和承载力,为渠道的设计和施工提供科学依据。(5)环境适应性分析:随着气候和环境条件的变化,渠道结构需要适应不同的运行条件。无损检测技术结合环境监测数据,可以分析渠道结构在极端天气条件下的适应性,为渠道的改造和加固提供决策依据。

2.4 泵站结构中的应用

2.4.1 超声波检测技术的应用

在泵站结构中,超声波检测技术是一种常用的无损检测方法。该技术通过发射超声波并接收其反射波,可以有效地检测混凝土结构的内部缺陷,如裂缝、空洞和蜂窝等。在泵站结构中,对泵站基础的完整性进行检测,确保基础没有影响结构安全的缺陷;对泵站墙体和底板的厚度进行测量,以验证施工质量是否符合设计要求;通过超声波检测可以评估混凝土的强度,为后续的维护和加固提供依据。超声波检测技术的优势在于其操作简

便、检测速度快、精度高,且不会对结构造成损害。

2.4.2 射线检测技术的应用

射线检测技术,包括X射线和 γ 射线检测,是另一种在泵站结构中应用的无损检测方法。射线检测技术利用射线穿透材料的能力,通过检测射线在材料中的衰减情况来发现内部缺陷。在泵站结构中,射线检测技术主要用于检测焊接接头、铸件和高压管道等关键部件的内部缺陷。例如,对于泵站的管道系统,射线检测可以有效地发现焊缝中的裂纹、气孔等缺陷,确保管道的运行安全。射线检测技术的特点是检测结果直观、分辨率高,但操作较为复杂,对人员和环境的安全性要求较高。

2.4.3 红外热成像检测技术的应用

红外热成像检测技术在泵站结构中的应用主要是通过检测结构表面的温度分布来发现潜在的问题。由于泵站结构在运行过程中可能会因为水流冲刷、机械磨损或材料老化等原因产生局部温度变化,红外热成像技术可以非接触地捕捉到这些变化,从而揭示结构的健康状况。在泵站结构中,红外热成像技术常用于检测以下几个方面:一是检测泵站设备的运行状态,如轴承温度异常;二是监测混凝土结构的渗漏情况,因为渗水会导致局部温度降低;三是评估保温材料性能,确保泵站运行环境的稳定。红外热成像技术的优势在于其快速、大面积扫描和高灵敏度,但受环境温度和湿度的影响较大,需要在适宜的条件下进行检测。

3 水利工程中无损检测技术的发展趋势

3.1 智能化与自动化发展

3.1.1 智能检测系统的集成

在水利工程中,智能检测系统的集成将成为无损检测技术的重要发展趋势。通过将先进的传感器、数据采集与处理系统以及智能分析算法相结合,可以实现对渡槽、泵站、水闸等关键结构的实时监测和精准诊断。这种集成化的智能检测系统不仅能够提高检测效率,还能在第一时间发现潜在的安全隐患,为及时采取修复措施提供有力支持。

3.1.2 自动化检测流程的优化

自动化检测流程的优化将进一步提升无损检测技术在水利工程中的应用效果。通过引入自动化设备和机器人技术,可以实现检测任务的快速执行和高效处理。例如,利用无人机搭载无损检测设备进行空中巡检,可以大幅度提高检测范围和精度。同时,自动化检测流程还能减少人为因素的干扰,提高检测结果的客观性和准确性。

3.1.3 数据处理与分析的智能化

在水利工程无损检测领域,数据处理与分析的智能

化也是不可忽视的发展趋势。借助大数据、云计算等先进技术,可以对收集到的大量检测数据进行深度挖掘和分析,揭示结构内部缺陷的分布规律和发展趋势。这种智能化的数据处理方式不仅有助于提前预警潜在的安全风险,还能为水利工程的维护决策提供科学依据,推动水利工程向更加安全、高效的方向发展。

3.2 多技术融合应用

在水利工程领域,无损检测技术的发展正呈现出多技术融合应用的趋势。这种融合不仅提高了检测的准确性和效率,还拓展了无损检测技术的应用范围。(1)超声波与红外热成像技术的结合:超声波技术能够穿透材料内部,检测其内部的缺陷和损伤;而红外热成像技术则通过捕捉物体表面的温度分布,揭示潜在的热量异常。将这两种技术结合使用,可以实现对水利工程结构内部和外部的全面检测,提高检测的准确性和可靠性。

(2)电磁检测与射线检测的互补:电磁检测技术主要用于检测金属材料的内部缺陷,如裂纹、腐蚀等;而射线检测技术则能够穿透较厚的材料,检测其内部的密度变化和缺陷。在水利工程中,这两种技术可以相互补充,实现对不同材料和不同厚度的结构的全面检测。(3)激光扫描与三维建模技术的融合:激光扫描技术能够快速获取水利工程结构的表面形貌和几何尺寸;而三维建模技术则可以根据扫描数据构建出结构的立体模型。将这两种技术结合使用,可以实现对水利工程结构的精确测量和可视化分析,为结构的安全评估和修复提供有力支持。(4)无人机与遥感技术的结合:无人机搭载无损检测设备,可以实现对水利工程结构的远程巡检和监测;而遥感技术则能够从宏观角度捕捉水利工程区域的地理信息。这两种技术的结合,不仅提高了检测的效率和范围,还为水利工程的规划和管理提供了科学依据。(5)智能算法与数据分析技术的应用:通过引入智能算法和数据分析技术,可以对收集到的无损检测数据进行深度挖掘和分析,揭示结构内部缺陷的分布规律和发展趋势。这种技术的应用,将进一步提升无损检测技术在水利工程中的价值和意义。

3.3 远程实时监测拓展

随着信息技术的不断进步,水利工程中无损检测技

术的发展正逐渐向着远程实时监测的方向拓展。这一趋势不仅提高了检测的时效性和准确性,也为水利工程的运行管理和安全维护带来了革命性的变化。远程实时监测技术通过结合传感器网络、物联网、云计算等先进技术,实现了对水利工程结构状态的实时监控和数据采集^[1]。传感器被布置在水利工程的各个关键部位,能够实时感知和记录结构内部的应力、变形、温度等参数,这些数据通过物联网技术被传输到云端服务器进行存储和分析。在云端,先进的数据分析算法和智能识别技术被应用于处理和分析这些数据,从而实现对水利工程结构状态的实时监测和预警。当结构出现异常或潜在的安全隐患时,系统会立即发出警报,并将相关信息发送给管理人员,以便他们及时采取措施进行处理。远程实时监测技术的拓展不仅提高了水利工程的安全性和稳定性,还为水利工程的运行管理提供了更加科学、高效的手段。通过实时监测和分析结构状态,管理人员可以更加准确地了解水利工程的运行状况,从而制定出更加合理的维护计划和应急方案。

结语

未来,面对水利工程领域日益复杂多变的挑战,我们应继续加大无损检测技术的研发投入,不断优化技术性能,拓宽应用范围。同时,积极推动无损检测技术与物联网、大数据、人工智能等前沿技术的深度融合,提升检测的智能化、自动化水平,实现水利工程结构状态的实时监测与预警。通过这些努力,我们将能够更有效地保障国家水资源的安全,提升水利工程的运行效率,为经济社会的可持续发展提供更加坚实的技术支撑和保障,让无损检测技术在水利事业中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]张步良,丁连杰,张云磊,程勇.无损检测技术在水利工程中的应用研究[J].城市建设理论研究:电子版,2020,100(129):191-194.
- [2]薛翔骏.超声波检测技术在水利工程质量检测中的应用[J].黑龙江水利科技,2020,48(06):132-134.
- [3]李海华,姜有忠,李维.水利工程无损检测技术实践应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(4):0186-0189.