

水利工程质量检测技术及应用研究

杨梦晨

河南省水利第一工程局集团有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i6.16830

[摘要] 本文聚焦水利工程质量检测技术及应用。首先阐释水利工程质量检测概念,接着介绍无损、有损及其他常见检测技术原理。随后探讨技术在原材料、中间产品、实体质量检测中的应用。最后分析智能化、绿色、多功能一体化检测技术的发展趋势,并提出加大研发投入、制定标准、推动模块化设计等对策建议,为保障水利工程质量提供参考。

[关键词] 水利工程; 质量检测; 无损检测; 质量控制

中图分类号: TV523 **文献标识码:** A

Research on Quality Inspection Technologies and Their Applications in Hydraulic Engineering

Mengchen Yang

Henan No.1 Water Resources Engineering Bureau Group Co., Ltd.

[Abstract] This study focuses on quality inspection technologies and their applications in hydraulic engineering. It begins by elucidating the conceptual framework of quality inspection in this field, followed by an introduction to the fundamental principles of common inspection techniques, including non-destructive, destructive, and other prevalent methods. The paper subsequently discusses the application of these technologies in inspecting raw materials, intermediate products, and the quality of structural entities. Finally, it analyzes emerging trends in the development of intelligent, environmentally friendly, and multifunctional integrated inspection technologies, and proposes countermeasures such as increasing investment in research and development, establishing standardized protocols, and promoting modular design. The findings are intended to serve as a reference for ensuring quality assurance in hydraulic engineering projects.

[Key words] Hydraulic Engineering; Quality Inspection; Non-Destructive Testing; Quality Control

引言

水利工程关乎国计民生,质量是生命线。水利工程质量检测作为质量控制的关键环节,贯穿工程建设全周期,对保障工程安全意义重大。随着科技发展,检测技术不断革新,从传统人工检测迈向智能化、自动化。本文旨在系统梳理常见检测技术原理,剖析其在各环节的应用,探讨技术发展趋势并给出对策,为提升水利工程质量检测水平提供理论支持与实践指引。

1 水利工程质量检测的概念

水利工程质量检测是依据国家法律法规和标准,对水利工程实体及原材料、中间产品、金属结构、机电设备等进行检查、测量、试验,并将结果与标准对比以判定工程质量是否合格的活动。作为工程质量控制的基础环节,其贯穿施工全周期,涵盖原材料进场检验、中间产品过程检测、实体结构验收等环节。检测结果不仅是工程验收的法定依据,更是质量事故处理的法定证据。例如,混凝土强度检测需通过回弹法或钻芯法获取数据,金属结构焊缝质量需经超声波探伤确认,这些数据直接决定工

程能否通过验收^[1]。随着技术发展,检测手段已从传统人工检测向智能化、自动化方向演进,形成覆盖设计、施工、运维全生命周期的质量控制体系。现代检测技术融合了物联网、大数据、人工智能等前沿科技,实现了检测数据的实时采集、自动分析与风险预警,为水利工程建设提供了更精准、高效的质量保障手段。

2 常见水利工程质量检测技术原理

2.1 无损检测技术

无损检测通过声、光、磁等物理量与材料内部结构的相互作用,在不破坏结构的前提下评估质量。超声波检测利用高频声波在混凝土中的传播速度差异,识别内部空洞、裂缝等缺陷。当声波遇到缺陷时,传播路径发生改变,导致接收信号的幅度、频率或相位发生变化,通过分析这些变化可定位缺陷位置并评估其严重程度。红外热成像通过检测表面温度分布异常,定位渗漏或疏松区域。材料内部缺陷会导致热传导性能变化,形成局部温度异常,红外热像仪可捕捉这些温度差异并生成热图像,直观显

示缺陷分布。磁粉检测适用于铁磁性材料表面缺陷检测,通过磁粉聚集显示裂纹。当材料被磁化后,表面缺陷处会产生漏磁场,吸附磁粉形成可见的磁痕,从而揭示缺陷特征。涡流检测利用电磁感应原理,检测导电材料表面及近表面缺陷。交变磁场在导电材料中感应出涡流,缺陷会导致涡流分布变化,通过检测涡流变化可识别缺陷。这些技术已形成标准化体系,如超声波回弹综合法被纳入行业标准,在三峡工程等大型项目中,无损检测覆盖率达100%,有效保障了结构安全。

2.2 有损检测技术

有损检测通过破坏性试验获取材料性能数据,主要包括钻芯法、压载试验等。钻芯法通过提取混凝土芯样进行抗压强度测试,虽会损伤结构,但能直接反映内部质量。芯样从结构中钻取后,经加工处理在压力机上测试其抗压强度,结果真实可靠。

压载试验通过逐级加载模拟实际受力状态,验证结构承载能力。试验中,在结构上施加设计荷载或超载,观测其变形、应力等响应,评估结构安全性。此类技术多用于争议处理或关键部位验证,如水库大坝在施工期采用钻芯法复核混凝土强度,发现局部区域配比偏差,及时调整施工参数避免了质量事故。随着技术进步,有损检测正与无损技术结合,形成“无损筛查-有损验证”的复合检测模式。无损检测先进行大面积快速筛查,定位可疑区域,再通过有损检测获取精确数据,既提高了检测效率,又保证了结果准确性。

2.3 其他检测技术

目视检测依赖专业人员经验,通过肉眼观察混凝土表面裂缝、麻面等缺陷,配合放大镜、手电筒等工具提升精度。检测人员需具备丰富的工程经验和敏锐的观察力,能识别细微缺陷并判断其严重程度。尺寸检测使用激光测距仪、全站仪等设备,精确测量结构几何尺寸,确保符合设计要求^[2]。激光测距仪利用激光脉冲测距原理,可快速测量两点间距离;全站仪集测角、测距于一体,能测量水平角、垂直角和斜距,计算坐标和高程。化学分析通过光谱仪、色谱仪等设备,检测钢材化学成分、水质污染物含量等指标。光谱仪利用元素特征光谱分析材料成分,色谱仪通过分离和检测化合物鉴定水质污染物。

3 水利工程质量检测技术的应用

3.1 在水利工程原材料检测中的应用

原材料检测堪称水利工程质量控制的“第一道坚固关卡”,其检测范围广泛,涵盖了水泥、钢筋、外加剂等多达12类关键材料。水泥检测中,初终凝时间与抗压强度是两项核心指标。初终凝时间精准反映了水泥的水化速度,这对于施工进度把控至关重要;抗压强度则直接体现了水泥的承载能力,关乎工程结构的稳固性。检测时,需严格依照标准方法精心制作试件,并在规定条件下进行精心养护后展开测试。钢筋检测同样不容忽视,屈服强度、伸长率以及焊接质量是重点检验内容。屈服强度标志着钢筋开始产生明显塑性变形时的应力大小,伸长率则直观反映了钢筋的塑性性能。而焊接质量,需通过拉伸试验、弯曲试验等多种方式严格验证。外加剂检测中,减水率与含气量等性能指标

是关键。减水率影响着混凝土的工作性和强度,含气量则对混凝土的抗冻性有着重要影响。例如,在一泵站工程中,钢筋进场检测时发现某批次钢筋抗拉强度不达标,检测人员立即责令退场处理;在混凝土拌合用水检测环节,通过严谨的pH值、氯离子含量等指标分析,成功排除了污水误用的风险。检测频次严格按照规范执行,如水泥每200吨抽检一次,钢筋每60吨抽检一次,全方位确保原材料质量始终处于可控状态。

3.2 在水利工程中间产品质量检测中的应用

中间产品检测紧密聚焦于水利工程施工过程的质量把控,检测指标丰富多样,包括混凝土试块、砂浆强度、土方压实度等。混凝土试块检测时,需将其置于标准养护条件下,精准测定其28天抗压强度。标准养护条件极为严格,要求温度控制在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度保持在95%以上,如此才能确保试块强度发展完全符合规律。砂浆强度检测主要采用贯入法或回弹法^[3]。贯入法借助贯入仪精准测量砂浆的贯入深度,进而换算得出强度;回弹法则利用回弹仪测量砂浆表面硬度,以此推算强度。土方压实度检测,常用环刀法或核子密度仪。环刀法直接取土样测量干密度,核子密度仪则利用放射性元素精确测量土体密度和含水率。例如,在堤防工程中,土方填筑层间结合面检测发现压实度不足,检测人员立即要求返工处理;在混凝土浇筑过程中,通过坍落度检测灵活调整用水量,有力确保了施工性能。检测数据会实时反馈至施工方,形成“检测-整改-复检”的严密闭环管理,及时将质量隐患消除在萌芽状态。

3.3 在水利工程实体质量检测中的应用

实体质量检测主要针对已完工的水利工程结构展开,检测内容丰富且关键,涵盖混凝土强度、钢筋保护层厚度、金属结构焊缝质量等。混凝土强度检测通常采用回弹法或钻芯法。回弹法借助回弹仪测量混凝土表面硬度,并结合碳化深度进行修正,从而得到强度数据;钻芯法则是直接取芯进行测试,所得结果更为准确可靠。钢筋保护层厚度检测依靠电磁感应仪,仪器发射电磁场,精准检测钢筋位置和保护层厚度。金属结构焊缝质量检测则需经超声波探伤确认,超声波在焊缝中传播时,遇到缺陷会产生反射波,通过专业分析反射波特征,能够准确判断缺陷类型和大小。例如,在一水闸工程验收过程中,超声波检测发现底板焊缝存在未熔合缺陷,检测人员果断要求补焊处理;在混凝土结构耐久性检测中,通过严谨的氯离子含量分析,科学评估其抗腐蚀能力。实体检测结果作为工程竣工验收的核心依据,直接决定着工程能否顺利投入使用,对于保障水利工程长期安全稳定运行起着至关重要的作用。

4 水利工程质量检测技术的发展趋势与对策建议

4.1 智能化检测技术

智能化检测技术借助物联网、大数据、人工智能等前沿科技,达成检测数据的实时采集、自动分析以及风险预警。以智能混凝土回弹仪为例,它能够自动记录检测数据并生成详细报告。其内置的高精度传感器,可实时精准测量回弹值和碳化深度,随后通过无线传输技术,将数据迅速发送至云端。在云端,强大的

算法会自动计算混凝土强度,极大地减少了人为因素导致的误差,提高了检测结果的准确性和可靠性。无人机搭载热成像仪在大面积渗漏检测中发挥着重要作用。无人机按照预设航线稳定飞行,热成像仪则精准捕捉结构表面的温度分布情况,并生成直观的热图像。通过对这些热图像进行专业分析,能够快速准确地识别出渗漏区域,显著提升了检测效率,尤其适用于大型水利工程的大面积检测任务。BIM模型与检测数据的联动,实现了三维可视化分析。将检测数据与BIM模型紧密关联,在三维场景中能够直观清晰地显示质量缺陷的位置和严重程度。这为维修决策提供了科学、可靠的依据,有助于制定更具针对性和有效性的维修方案。为推动智能化检测技术的发展,建议加大研发投入,积极推动检测设备的国产化替代,降低对进口设备的依赖。建立全国统一的水利工程质量检测大数据平台,实现检测数据的共享与智能分析。另外,还应加强检测人员的AI技术培训,提升他们对智能设备的操作能力和数据分析水平,培养既精通工程技术又掌握信息技术的复合型人才。

4.2 绿色检测技术

绿色检测技术严格遵循减量化、再利用的原则,致力于减少检测过程对环境造成的负面影响。在检测试剂的选择上,采用无溶剂型渗透检测剂替代传统的含苯试剂。无溶剂型渗透检测剂以水为基体,不含有任何有机溶剂,对环境十分友好,而且其检测灵敏度较高,能够有效满足检测需求,同时大大降低了挥发性有机物的排放。开发便携式检测设备也是绿色检测技术的重要举措之一。便携式设备集成了多种检测功能,可以在现场快速完成检测任务,无需大量取样并送往实验室进行检测。这不仅减少现场取样量,还降低运输和处置成本,同时也有助于减少检测过程对环境的干扰。推广数字化检测报告,替代传统的纸质文档,也是绿色检测的重要体现。数字化报告通过电子签名、加密传输等先进技术,确保报告的安全性和真实性。它可以长期存储,并且便于查询和共享,有效减少纸张的使用,符合环保理念。为促进绿色检测技术的广泛应用,建议制定完善的绿色检测技术标准,鼓励检测机构积极采用环保材料和设备。同时,对绿色检测项目给予政策倾斜,如提供资金支持、税收优惠等。

4.3 多功能一体化检测技术

多功能一体化检测技术将多种检测功能集成于单一设备之中,极大地提升检测效率,拓宽了检测覆盖范围。多功能检测车便是这一技术的典型代表,它能够同时完成路面平整度、裂缝、车辙等多项指标的检测。检测车配备激光传感器、高清摄像头等先进设备,在行驶过程中自动采集相关数据,并通过专业的软件进行分析,快速生成全面、准确的检测报告。桥梁检测机器人同样展现了多功能一体化检测技术的优势,它可以搭载摄像头、激光扫描仪、应变计等多种设备,实现对桥梁结构外观与内部应力的同步检测^[4]。机器人在桥梁上能够自主行走或者通过缆索进行移动,对桥梁进行全方位、无死角的检测,获取多维度、高精度的数据,为桥梁的安全评估提供有力支持。为推动多功能一体化检测技术的进一步发展,建议推动检测设备采用模块化设计。模块化设备可以根据不同的检测需求,灵活组合功能模块,提高设备的利用率和适应性。同时建立完善的多功能检测技术标准体系,规范设备的性能指标和检测方法,确保检测结果的准确性和可靠性。

5 结束语

水利工程质量检测技术不断发展,智能化、绿色化、多功能一体化成为趋势。通过应用先进技术,可提升检测效率与准确性,保障工程质量。未来,应加大研发投入,完善标准体系,培养复合人才。相信在各方努力下,水利工程质量检测技术将更成熟,为水利工程建设高质量发展筑牢根基,推动水利事业迈向新台阶。

[参考文献]

- [1]柯青.水利工程施工质量检测技术与应用研究[J].建筑技术与设计,2025,13(29):150-152.
- [2]胡峰.水利工程质量无损检测技术研究[J].水上安全,2025(15):63-65.
- [3]张宝文.无人机技术在水利工程施工质量控制中的应用研究[J].水上安全,2025(15):33-35.
- [4]梁娟.无损检测技术在水利工程中的应用研究[J].工程技术研究,2020,5(13):99-100.