

无损检测技术在水利堤防工程质量管控中的应用局限性及改进措施

梁海伟

浙江省水利河口研究院（浙江省海洋规划设计研究院），浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/WCEST.2026010005

摘 要： 无损检测技术在水利堤防工程质量管控中的应用逐渐普及，其以快速、精准、非破坏性的优势，被广泛用于堤防隐患识别、结构状况评估和材料缺陷探测。然而，堤防工程具有规模大、结构形式多样、材料差异明显、环境复杂等特征，使无损检测技术在实际应用中面临多重挑战。当前的无损检测方法虽能辅助工程管理部门提升监测效率，但某些技术在准确性、适用性、数据连续性及经济性等方面仍存在不足，影响检测结果的可靠性。本文在分析主要无损检测方法特征的基础上，针对水利堤防工程的结构特点系统探讨其应用局限性，从环境干扰、检测深度限制、技术适配性不足及人员技术能力要求等方面进行归纳，并结合现代水利工程建设需求提出改进措施，包括技术融合路径、智能监测系统构建、设备升级优化以及标准体系完善等，以期推动无损检测技术在堤防质量管控中的高效应用。研究表明，提升技术适应性、强化数据智能处理及构建多源监测系统，是未来堤防无损检测技术优化的重要发展方向。

关 键 词： 无损检测；水利堤防；质量管控；检测局限性；改进措施

Application Limitation and Improvement Measures of Nondestructive Testing Technology in Quality Control of Water Conservancy Embankment Engineering

Liang Haiwei

Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary (Zhejiang Institute of Marine Planning and Design), Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： Non-destructive testing (NDT) technology has been increasingly adopted in quality control of hydraulic embankment projects. With its advantages of rapidity, precision, and non-destructiveness, it is widely used for hazard identification, structural condition assessment, and material defect detection. However, the large scale, diverse structural forms, significant material variations, and complex environments of embankment projects pose multiple challenges for NDT implementation. While current NDT methods assist engineering management departments in improving monitoring efficiency, certain techniques still exhibit limitations in accuracy, applicability, data continuity, and cost-effectiveness, affecting the reliability of test results. This paper systematically explores the application limitations of major NDT methods for hydraulic embankment projects based on their structural characteristics. Key issues identified include environmental interference, depth constraints, inadequate technical compatibility, and personnel skill requirements. Combining modern hydraulic engineering needs, the paper proposes improvement measures such as technology integration pathways, intelligent monitoring system development, equipment upgrades, and standard system optimization to promote efficient NDT application in embankment quality control. Research indicates that enhancing technical adaptability, strengthening intelligent data processing, and establishing multi-source monitoring systems represent critical development directions for future NDT optimization in embankment projects.

Keywords： non-destructive testing; hydraulic embankment; quality control; limitations of testing; improvement measures

引言

水利堤防工程作为保障防洪安全、维护水资源利用与保护生态安全的重要基础设施，其质量直接影响区域水安全与防灾减灾能力。

作者简介：梁海伟（1978.12-），男，汉族，湖北襄阳人，本科，助理工程师，研究方向：水利工程质量检测。

随着堤防老化、极端气候增多及工程管理任务加重，堤防隐患排查及检测需求呈现增长趋势。无损检测技术因其不破坏结构、检测效率高、结果直观等优势，逐渐成为堤防工程质量管控的重要手段，广泛应用于堤体渗漏检测、结构病害识别、材料缺陷评估及地下隐患探测。然而，堤防工程自身的材料构成复杂性、地基条件差异性和环境作用强烈性，使无损检测在实际应用中受到局限，检测结果的准确性与稳定性面临考验。当前研究对无损检测技术在建筑、交通、桥梁等领域已有较多实践，但在水利堤防工程中，由于检测场景特殊性，其技术适配难度更大。因此，有必要从堤防工程特点出发，深入分析无损检测技术的应用局限，提出切实可行的改进策略，为堤防质量管控体系的完善提供理论与实践支持。

一、水利堤防工程无损检测技术的应用基础与主要特征

（一）无损检测技术在堤防工程中的功能定位

无损检测技术在堤防工程质量管控中主要承担隐患识别、结构状态评估及长期监测数据提供等功能。通过现代检测设备，能够快速识别堤体内部空洞、管涌通道、渗漏路径、土层扰动区等异常结构，为防灾减灾提供前置数据保障。此外，利用无损检测可辅助评估堤防加固效果与老化程度，使养护管理更具针对性。

（二）堤防工程典型无损检测方法的技术特征

常见的无损检测技术包括地质雷达、电法探测、红外热成像、超声检测及地震波探测等。地质雷达可对浅层结构变化敏感，适合探测堤体填料缺陷；电阻率法能够反映渗漏通道和含水量变化；红外成像技术适用于识别堤体热异常区域，如渗漏造成的温湿差异；超声检测常用于识别密实度与材料状态；地震波法则适用于分析深部结构稳定性。不同技术的探测原理与检测深度差异较大，可根据堤防材料与隐患类型进行选择。

（三）堤防工程材料与结构对检测结果的影响特性

堤防结构通常由黏土、砂土、卵石、混凝土与防渗膜等材料组成，材料间差异导致电性、声学参数差别显著。填筑层次、压实度、含水量与局部地质条件均会影响检测信号的传播，使无损检测结果出现复杂性。此外堤防沿线环境变化明显，如水位波动、湿度变化与太阳辐射等均会干扰检测过程，使检测结果需结合实际情况进行判读。

二、无损检测技术在水利堤防工程中的应用局限性分析

（一）复杂地质条件下检测精度受限

堤防工程多建于河流、湖泊附近，地基土质结构复杂，具有高含水性及不均匀性。从物理性质看，水体对电法检测信号影响较大，容易造成数据波动；高含水黏土会减弱雷达信号穿透能力，使地质雷达检测深度不足。复杂的土体结构易造成不同检测信号衰减不一致，使结果呈现不连续性，影响定位精度。

（二）外部环境干扰造成信号异常

检测过程中容易受到温度变化、植被覆盖、堤面构筑物及输电线路等干扰。红外热成像对太阳辐射与堤面湿度特别敏感，若在非最佳时段进行检测，将产生较大误差；电法探测易受附近金属物体与电磁干扰影响；地质雷达则易受堤面粗糙度、植被根系影响，导致成像图谱出现噪声。

（三）技术适应性不足导致结果可靠性降

多种无损检测技术对堤防工程的适应性存在差异，例如电阻率法适用于湿度梯度明显的区域，但在均质土体中效果有限；地质雷达适用于干燥环境，而湿土环境会显著降低穿透能力。部分设备对深部缺陷的识别存在限制，导致只能实现浅层探测，难以满足加高加固堤防的大尺度监测要求。检测数据常需经验分析，依赖技术人员判断，增加人为误差风险。

三、无损检测技术在堤防工程应用中的管理与技术短板

（一）检测设备技术水平不统一

目前无损检测设备来源多样，性能参差不齐，部分堤防管理单位使用老旧设备，难以满足高精度需求。设备标定不规范会影响检测数据的连续性与一致性，不同设备的成像模式难以统一，使检测结果的横向对比受到限制。

（二）人员专业能力不足

无损检测技术专业性强，涉及测绘学、地球物理学、水利工程等多学科知识。部分检测人员缺乏系统培训，检测过程中可能出现参数设置不当、数据处理方法不规范、结果判读偏差等问题，导致检测结果科学性不足。技术能力不足是造成检测误差的重要因素之一。

（三）数据管理与结果应用机制不完善

当前部分堤防管理部门存在检测数据存储方式不统一、输出格式不规范、数据未能形成时间序列分析等问题，导致难以建立完善的堤防健康档案。同时，检测结果在工程管理中的使用率低，未能依据数据形成有效的养护策略与风险预警机制，使无损检测的价值未能充分体现。

四、提升无损检测技术应用效果的改进措施

（一）构建多源融合的检测技术体系

单一检测技术在适用范围和识别能力方面存在客观局限，面对结构复杂、条件多变的堤防工程，容易出现信息不完整或判读偏差的问题。通过多源检测技术的融合应用，可充分发挥不同方法在探测深度、分辨率和敏感参数方面的优势，提升整体检测准确性。将地质雷达与电法探测相结合，能够在获取浅层结构信息的基础上识别潜在渗漏通道，使内部缺陷判定更加直观可靠。红外成像与声波检测的联合应用，有助于从温度异常和介质特性变化两个角度锁定风险区域，提高异常定位的精度。多技术互补方

式通过交叉验证检测结果，降低单一方法误判的可能性，增强数据解释的科学性和稳定性，为堤防隐患排查和安全评估提供更加全面、可信的技术支撑。

（二）推行堤防智能化监测技术

借助物联网、智能传感与遥感监测等技术手段，可逐步构建覆盖全面、运行稳定的堤防实时监测体系，对堤防变形量、孔隙水压力和渗流量等关键参数开展长期连续观测，有助于及时掌握工程运行状态及其变化趋势。通过自动化采集与远程传输方式，监测数据能够实现高频更新与快速汇集，减少对人工巡检的依赖，提升监测工作的连续性和响应效率。智能监测系统在异常识别和预警方面具备明显优势，可为管理部门提供更加直观和可靠的技术支撑。引入无人机航测技术，对堤顶、堤坡和堤脚区域进行快速巡查与影像获取，能够准确反映局部形态变化和潜在隐患，扩大巡查范围，提高工作效率与覆盖能力，为堤防安全管理提供更加立体、精准的信息保障。

（三）提升检测人员专业能力与标准化水平

检测人员的专业水平直接影响无损检测成果的科学性与可信度，建立系统化的培训机制具有现实必要性。通过持续开展专业培训与实践演练，使检测人员熟练掌握各类设备的操作要点、数据处理方法和异常特征判读原则，有助于提升现场检测与结果分析能力，减少人为误判风险。结合工程实例开展针对性学习，可增强人员对复杂工况和特殊问题的识别能力，提升检测工作的整体质量。统一检测规范与评价标准，是保障检测结果一致性的重要基础，对设备校准程序、检测流程和成像解释规则进行明确规定，有利于规范操作行为，控制技术偏差。标准化体系的实施能够提升不同区域、不同项目检测成果的可比性与应用价值，为堤防安全评估和管理决策提供更加稳定、可靠的技术依据。

五、完善无损检测在堤防工程中的应用保障机制

（一）构建检测数据共享与应用平台

建立统一的数据平台，是提升堤防检测管理水平和信息化能力的重要支撑。通过对各类检测数据进行集中存储与统一管理，可有效解决数据分散、标准不一和利用效率不高等问题，为后续分析与应用奠定坚实基础。数据平台在采集阶段引入规范化标准，有助于提高数据完整性与一致性，增强不同时间、不同区域检测结果的可比性。堤防管理部门依托平台开展长期数据积累与动态更新，能够直观掌握工程运行变化规律，及时识别潜在风险。借助数据分析和模型计算功能，对历史数据进行趋势研判和隐患比对，可为年度安全评估和运行管理提供科学依据。数据共享机制的完善，有利于加强部门之间的信息协同与业务联动，推动堤防管理向精细化、智能化方向发展，为风险预警和科学决策提供稳定可靠的数据支撑。

（二）建立无损检测设备更新与维护制度

检测设备是堤防质量检测工作的基础，其性能水平直接影响检测结果的准确性与可靠性。定期对检测设备进行更新换代，引入精度更高、适应性更强的新型仪器，有助于提升对堤防内部结构和潜在隐患的识别能力，为科学决策提供可信数据支撑。建立完善的设备维护与检定制度，对仪器运行状态进行持续监测和规范管理，可有效降低故障率，延长设备使用寿命，保障检测工作的连续性和稳定性。通过规范操作流程和技术管理，减少人为因素对检测结果的干扰，进一步提高数据质量和应用价值。积极推广先进检测设备和成套技术在堤防工程中的应用，有利于推动检测手段向数字化、自动化方向发展，提升堤防检测的整体技术水平与工作效率，为堤防工程安全运行和精细化管理提供更加有力的技术保障。

（三）强化政策支持与经费保障

政府部门在堤防无损检测技术推广应用中承担着关键引导职责，加大财政投入有助于缓解基层水利单位在设备购置、系统建设与技术升级方面的资金压力，为检测工作的常态化开展创造稳定条件。通过设立专项资金和长期支持机制，可推动先进检测设备与信息化平台在堤防工程中的应用，提高隐患识别的精度与时效性。完善无损检测技术标准体系，有利于统一技术要求和操作流程，提升检测结果的可比性与权威性，为堤防安全评估提供可靠依据。加强科研成果转化通道建设，推动科研机构与工程单位深度合作，有助于将成熟技术快速应用于实际工程，提升整体管理效能。依托政策扶持，逐步健全堤防检测体系和监督机制，推动检测工作向规范化、科学化方向发展，不断提升堤防工程的安全管理水平，为防洪减灾和区域安全提供坚实保障。

六、结论

无损检测技术在水利堤防工程质量管控中发挥着不可替代的作用，是保障工程安全运行的重要技术手段。该技术能够在不破坏结构完整性的前提下识别内部缺陷，对提升堤防隐患排查的科学性与准确性具有现实价值。受复杂地质条件、多变水文环境及现场干扰因素影响，检测结果易出现不确定性，加之部分设备精度有限、适应性不足，制约了技术优势的充分发挥。检测人员专业素养和实践经验差异，也在一定程度上影响数据判读与成果应用。提升无损检测成效，需要推动多种检测技术的协同应用，强化数据交叉验证与综合分析能力，构建集感知、传输与分析于一体的智能监测体系。通过完善技术规范与管理制度，加强人员培训与实践锻炼，有助于提升检测工作的规范化和专业化水平。面向未来，应加快技术创新步伐，深化信息化、智能化手段应用，提高检测数据的稳定性与可信度，为水利堤防工程的长期安全运行提供有力支撑。

参考文献

[1] 李宏伟, 张军. 无损检测技术在堤防工程隐患识别中的应用研究 [J]. 水利科技, 2025.
[2] 王志勇, 周亮. 水利工程无损检测技术发展现状及应用挑战 [J]. 水利建设与管理, 2025.
[3] 陈斌, 赵瑞. 堤防工程渗漏检测方法与技术优化研究 [J]. 水资源与水工程学报, 2025.
[4] 黄磊. 基于多源探测的堤防隐患检测技术进展 [J]. 岩土工程技术, 2025.
[5] 刘敏, 高翔. 智能化监测技术在堤防工程管理中的应用 [J]. 地下空间与工程学报, 2025.