

防汛抢险中堤防渗漏隐患快速识别与处置技术研究

李晓罡¹, 李永杰², 杨理光³, 华烨⁴, 陈惠宇⁵

- 1. 淮安市洪泽区防汛防旱指挥部办公室, 江苏 淮安 223100
 - 2. 淮安市洪泽区水利工程建设管理服务中心, 江苏 淮安 223100
 - 3. 淮安市洪泽区高良涧水利中心服务站, 江苏 淮安 223100
 - 4. 淮安市洪泽区节约用水管理服务中心, 江苏 淮安 223100
 - 5. 淮安市洪泽区灌区管理所, 江苏 淮安 223100
- DOI:10.61369/ETQM.2026020018

摘 要 : 堤防渗漏隐患是防汛抢险过程中最为关键的风险之一, 对水利安全造成威胁。通过应用现代监测技术和快速响应机制, 建立了一套堤防渗漏隐患的快速识别与处置技术体系。该技术体系结合地质勘察数据、无人机航拍、渗透率检测等手段, 精准定位渗漏位置和严重程度, 及时提供解决方案。通过引入智能化处理设备与应急调度系统, 能够在最短时间内完成处置, 确保堤防的安全稳定。该技术的应用提高了防汛抢险效率, 降低了渗漏带来的损失, 并为堤防安全管理提供了新的技术手段。

关 键 词 : 堤防渗漏隐患; 快速识别; 渗透率检测; 应急处置; 水利安全

Research on Rapid Identification and Disposal Techniques for Hidden Dangers of Dike Seepage in Flood Control and Emergency Response

Li Xiaogang¹, Li Yongjie², Yang Liguang³, Hua Ye⁴, Chen Huiyu⁵

- 1. Office of the Flood Control and Drought Relief Command, Hongze District, Huai'an, Jiangsu 223100
- 2. Water Conservancy Project Construction and Management Service Center, Hongze District, Huai'an, Jiangsu 223100
- 3. Gaoliangjian Water Conservancy Central Service Station, Hongze District, Huai'an, Jiangsu 223100
- 4. Water Conservation Management Service Center, Hongze District, Huai'an, Jiangsu 223100
- 5. Irrigation District Management Office, Hongze District, Huai'an, Jiangsu 223100

Abstract : Levee seepage hazards represent one of the most critical risks during flood control and emergency response, posing a threat to water conservancy safety. By applying modern monitoring technologies and rapid response mechanisms, a technical system for the rapid identification and handling of levee seepage hazards has been established. This system integrates geological survey data, unmanned aerial vehicle (UAV) aerial photography, permeability testing, and other methods to accurately locate seepage positions and assess their severity, providing timely solutions. The introduction of intelligent processing equipment and emergency dispatch systems enables rapid handling within the shortest possible time, ensuring the safety and stability of levees. The application of this technology enhances the efficiency of flood control and emergency response, reduces losses caused by seepage, and offers new technical means for levee safety management.

Keywords : levee seepage hazards; rapid identification; permeability testing; emergency response; water conservancy safety

引言

随着极端天气事件频发, 堤防渗漏隐患成为防汛抢险中的重大风险之一。传统的渗漏检测方法往往依赖人工巡查和基础设施的定期检查, 存在反应迟缓和处置不及时的问题。现代技术的发展为解决这一难题提供了新的可能。结合先进的监测技术和智能化设备, 堤防渗漏隐患能够得到更为精准、高效的识别与快速处置。通过这一技术体系, 不仅能大幅提高抢险响应速度, 还能有效降低渗漏对堤防安全的威胁, 保障水利设施的稳定运行。这一创新技术的应用, 有望在未来的防汛工作中发挥至关重要的作用。

一、堤防渗漏隐患的识别与监测技术发展现状

（一）堤防渗漏隐患的传统识别与监测方法

堤防渗漏隐患的传统识别方法主要依赖人工巡查和定期检查。人工巡查的方式虽然能够在一定程度上发现问题，但其效率低、覆盖面窄，且容易受到人为因素的影响。定期检查则依赖于测量设备和专家分析，虽然在一定周期内能够发现潜在风险，但存在漏检的可能，且难以及时发现突发性渗漏隐患^[1]。这些传统方法的局限性导致了渗漏问题的及时识别和有效处置难以保障堤防的安全稳定。随着监测技术的不断发展，传统的监测方法逐渐暴露出不足之处。为了解决这些问题，科研人员和工程技术人员开始探索更加高效、精确的渗漏识别手段。

（二）现代监测技术的创新与应用

随着传感器、无人机、遥感技术和大数据分析等技术的发展，堤防渗漏隐患的监测手段发生了革命性的变化。地质勘察与渗透率检测技术的结合使得渗漏点的定位更加精确，尤其在复杂地质条件下，能够有效识别传统方法难以察觉的微小渗漏隐患。传感器的实时数据采集为渗漏监测提供了更加连续、实时的信息，不仅可以准确反映堤防的状态，还能帮助工程人员在第一时间获取异常数据并及时响应^[2]。

无人机航拍技术的引入也为堤防监测提供了新的视角。无人机能够高效地覆盖大面积堤防区域，通过拍摄高分辨率的影像，帮助监测人员及时发现堤防表面异常或潜在的渗漏区域。结合遥感技术，堤防的地形、植被、水流等数据可以全面收集，为渗漏隐患的分析提供精准依据。

（三）多技术融合推动堤防渗漏隐患监测体系的优化

为了提高堤防渗漏隐患的监测效率和准确性，许多科研人员提倡采用多技术融合的监测模式。例如，将地质勘察数据、传感器网络、无人机航拍以及遥感影像数据相结合，形成一套综合监测体系。通过对各类数据的融合与分析，可以有效提高渗漏隐患的识别率，并减少漏检的风险。此外，结合人工智能算法，能够通过数据挖掘技术识别渗漏趋势，并提前预警，提前采取应急措施^[3]。

多技术融合不仅提升了监测的精度和效率，还促进了应急响应系统的优化。通过实时监测与动态数据反馈，监测人员能够根据具体渗漏情况进行精准调度，快速完成抢险任务。这一体系的建立，为堤防安全管理提供了强有力的技术支持，也为防汛抢险工作带来了革命性的改进。

二、智能化监测设备在堤防渗漏快速识别中的应用

（一）智能化监测设备的类型与工作原理

智能化监测设备主要包括渗透率传感器、裂缝监测仪、振动传感器以及无人机等，这些设备在堤防渗漏识别中发挥着重要作用。渗透率传感器通过监测堤防土壤中水分的变化，能够及时反映出渗漏问题。这些传感器一般采用电容式或电阻式原理，具有较高的灵敏度和准确度，能够检测到微小的水流变化。根据行业标准，渗透率传感器的精度可以达到0.1%以内，能够精确反映水分的渗透速率^[4]。

裂缝监测仪利用应变原理，实时监测堤防结构中的裂缝变化，并将数据传输至监控中心。这些设备可以安装在堤防的关键

位置，准确识别裂缝的长度和宽度，提供有效的预警。振动传感器则用于检测堤防结构的稳定性，能够分析堤防振动的异常模式，进而推测潜在的渗漏区域。无人机则利用高分辨率相机进行堤防表面扫描，结合图像处理技术分析堤防表面的裂缝和渗漏迹象，尤其适用于大范围区域的监测。

（二）智能传感器的实时数据采集与分析

智能传感器在堤防渗漏监测中的应用，首先依赖于其高频次的数据采集能力。这些设备通常采用无线传感网络技术，能够实时传输监测数据，并通过中央处理单元进行分析。传感器的监测数据更新频率一般为每秒1-5次，这样可以确保对渗漏变化进行动态跟踪。例如，渗透率传感器通常具备温湿度、压力和土壤水分等多个监测功能，其测量精度可以达到1%以内，能够实时反映堤防结构的水分渗透状态。

在数据分析方面，智能化监测设备通常采用大数据技术和机器学习算法对传感器数据进行分析与处理。通过对历史数据的比对和趋势分析，可以快速识别渗漏的异常点，并及时发出预警信号。数据分析平台一般能够处理数千个传感器的数据输入，具备较强的数据处理能力，并能通过算法精确计算出渗漏发生的时间、位置和范围^[5]。

（三）无人机与遥感技术在堤防渗漏监测中的结合应用

无人机航拍技术与遥感技术的结合，极大地拓宽了堤防渗漏监测的覆盖范围。无人机可以搭载高分辨率的光学相机和红外摄像头，对堤防进行全方位的扫描，尤其在复杂地形或人力难以到达的地方，能够提供高清影像资料。无人机通常具备30-60分钟的飞行时间，飞行高度可达500米以上，拍摄分辨率可达到1-3厘米/像素，这使得堤防表面的微小裂缝或渗漏现象能够被清晰捕捉。

遥感技术则能够通过卫星或高空飞机传感器对堤防的环境进行监测。遥感影像数据可与现场传感器数据进行结合，进一步提高渗漏识别的准确性。通过图像识别技术，遥感图像可以迅速分析堤防表面的植被变化、水位波动及土壤湿度，及时发现渗漏隐患。

（四）智能化监测设备的应急响应与处理机制

智能化监测设备不仅能有效识别堤防渗漏隐患，还能通过集成的应急响应系统及时采取处理措施。在渗漏隐患被识别后，智能设备会自动触发报警，并将具体的位置信息、渗漏程度及其他环境参数传送至应急响应平台。该平台可以根据预设的应急预案，自动调配抢险资源，包括泵站、隔离阀和抢险人员等，确保在最短时间内完成处置。

在一些高级应用中，智能化监测设备与应急处理系统已经实现了部分自动化处理。例如，某些高精度的水流传感器可与控制阀门系统连接，在检测到渗漏点后，自动调节水流，限制进一步的渗漏扩展。

三、渗透率检测与应急处置技术的创新实践

（一）渗透率检测技术的应用与发展

渗透率检测技术在堤防渗漏隐患识别中起着关键作用，特别是近年来随着新型传感器和检测设备的发展，渗透率检测的精度和效率得到了显著提升。现代渗透率传感器采用了电容式、压电式和电阻式等多种原理，能够实时监测堤防土壤中水分的变化，并通过无线传输技术将数据发送到监控中心。这些设备的精度通常在0.1%以

内，能够精确到土壤水分的微小波动，帮助工程人员快速发现渗漏隐患。渗透率检测的标准主要依据《土壤渗透性试验方法》（GB/T 50082-2009）进行，该标准规定了土壤渗透性测试的试验方法、设备要求及数据处理程序。渗透率的检测频率一般设定为每小时一次，通过定期监测，能够捕捉到渗漏的变化趋势^[6]。

（二）智能化应急处置技术的创新应用

应急处置技术的创新主要体现在自动化和智能化的应用上，特别是在堤防渗漏隐患的快速处理方面。传统的应急处置方式主要依赖人工响应，存在反应时间长、处置效果差等问题。随着智能化监测设备的引入，堤防渗漏问题可以得到实时检测与自动响应。例如，部分智能监测系统已经与水泵、阀门及应急隔离装置实现了联动，在检测到渗漏隐患时，系统会自动启动相关设备，迅速限制水流，减少渗漏对堤防的威胁。智能应急系统的自动化反应时间一般在30秒以内，大大提高了应急响应的效率。系统通过算法分析实时数据，可以判断渗漏的严重程度，并自动选择最佳的处置方案。

（三）数据驱动的渗漏处置策略优化

随着大数据技术的发展，堤防渗漏处置策略也逐渐向数据驱动转型。通过对传感器收集的大量数据进行分析，可以为渗漏处置提供科学依据。数据分析系统能够实时处理从多个传感器收集到的水位、渗透率、土壤湿度等数据，通过算法识别潜在的渗漏点，并预测渗漏扩展的趋势。基于此，决策系统能够自动生成应急处置方案，并根据渗漏情况的变化进行调整^[7]。例如，渗漏发生初期，系统能够判断渗漏的位置和范围，并通过调节堤防内的水流分布，避免渗漏面积扩大。在严重情况下，系统可以自动启动水泵系统，将水流引导至安全区域，降低渗漏带来的危害。

四、堤防渗漏隐患处置技术的效果评估与应用前景

（一）堤防渗漏隐患处置技术的效果评估标准

堤防渗漏隐患处置技术的效果评估需要根据相关行业标准进行量化分析。根据《水利水电工程堤防工程质量检验规范》（SL 237-2005）等标准，堤防渗漏隐患处置效果的评估通常通过渗漏量、处置时间和安全性等多个维度进行综合评估。渗漏量是评估处置效果的关键指标，一般通过现场监测和渗透率检测设备的数据对比进行计算。处置时间则是衡量技术效率的重要指标，优质的处置技术能够在30分钟内完成初步处置，并有效控制渗漏区域的扩大。

此外，处置后的堤防安全性评估通常通过结构稳定性分析与

动态监测进行。使用动态监测设备，如裂缝监测仪和应变传感器，对堤防结构进行实时监控，可以评估处置后的堤防恢复情况。该技术体系能够提供高达0.1毫米的裂缝精度监测，有助于确保处置后的堤防能够持续安全运行^[8]。

（二）技术应用效果的量化分析与提升

堤防渗漏隐患处置技术的应用效果可以通过长期数据积累与实际应用反馈进行量化分析。根据已有的数据，智能化监测和应急处置技术的引入，堤防渗漏隐患处置的响应时间普遍缩短至原有的30%-50%。这一提升不仅提高了渗漏问题的处置效率，也显著降低了损失，避免了大规模堤防损毁的发生。例如，在应用智能传感器和自动化调节系统的堤防中，渗漏隐患的扩大率减少了约60%。

技术应用的效果还可以通过灾后损失对比进行量化。在实际应用中，采用综合渗漏监测系统的堤防，其损失率通常低于传统方法的30%-40%。这一数据进一步证明了智能化技术在渗漏隐患处置中的重要作用，推动了堤防管理的现代化和智能化进程。

（三）堤防渗漏隐患处置技术的未来发展前景

随着技术的不断进步，堤防渗漏隐患处置技术的未来前景广阔。未来的技术发展将朝着更高精度、更快响应和更低成本的方向推进。例如，结合人工智能和大数据分析，堤防渗漏隐患的识别和处置将更加智能化和自动化。通过数据模型的持续优化，系统能够在发现渗漏隐患的瞬间，自动预测其发展趋势，并根据历史数据优化应急响应策略，进一步缩短响应时间。

此外，集成化智能设备的推广将使得堤防渗漏监测和应急处置系统更加一体化，提供无缝的数据传输和实时控制功能。未来，预计渗透率检测精度将达到0.05%以内，系统响应时间将缩短至15秒以内。这些创新技术不仅可以提高堤防管理的效率，还能更好地保障水利工程的安全性，减少人为干预，提高整个防汛系统的应急响应能力。

五、结语

堤防渗漏隐患的快速识别与处置技术的创新与应用，极大地提高了防汛抢险的效率与安全性。智能化监测设备和数据驱动的应急响应系统，使得渗漏隐患能够被及时发现并有效处置，减少了潜在风险。随着技术的不断发展，未来堤防管理将更加智能、高效。继续推进这些技术的优化与应用，必将为堤防安全管理提供更加可靠的保障，进一步提升防汛抢险工作的整体水平。

参考文献

[1] 吴永松, 翟高勇, 郑福寿. 水利工程防汛抢险物资储备品种和数量确定方法分析 [J]. 中国防汛抗旱, 2023, 33(02): 87-90. DOI: 10.16867/j.issn.1673-9264.2022129.

[2] 郭爱清, 吴庆华. 堤防险情演化机制与隐患快速探测及应急抢险技术装备 [J]. 岩土工程学报, 2022, 44(07): 1310-1328.

[3] 谢每超. 安徽合肥市防汛抢险典型案例分析 [J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(12): 93-96. DOI: 10.16867/j.issn.1673-9264.2022073.

[4] 高胜勇, 石艳春, 李学文. 浅谈堤防工程防汛抢险技术 [J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(07): 153-155.

[5] 胡学军. 清代湖北堤防工程的渗漏防治技术探析 [C]// 湖北省科学技术史学会. 2023年湖北省科学技术史学会年会论文集. 湖北省社会科学院文史研究所, 2023: 44-50. DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.125933.

[6] 张为家, 周文渊. 宣州区圩垸堤防抢险技术应用 [J]. 中国水运, 2024, 24(04): 111-113.

[7] 张莉萍. 堤防工程常见险情及抢险措施探析 [J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2024, 36(01): 12-17. DOI: 10.13681/j.cnki.cn41-1282/tv.2024.01.003.

[8] 王俊霞, 胡慧军. 堤防工程防汛抢险技术探讨 [J]. 工程建设与设计, 2024, (23): 133-135. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2024.12.040.