

# 现代化技术在河道堤防工程管理维护中的应用

文 / 彭 辉 济宁市水利事业发展中心

程广阔 济宁市水利事业发展中心

**摘要：**现代化技术在河道堤防工程管理维护中发挥了重要作用，显著提升了工程的安全性与效率。遥感技术与GIS为堤防状态监测提供了精准的空间数据支持，物联网实现了多参数的实时采集与动态传输，大数据与人工智能则通过数据挖掘与模型构建，优化了风险预测与决策效率。同时，无人机和机器人技术有效增强了巡检与修复工作的精度与速度，自动化管理系统更将多种技术集成，构建了一体化的智能管理平台。本文旨在系统探讨现代化技术在河道堤防管理维护中的核心应用及优化路径。

**关键词：**现代化技术；河道堤防工程；管理维护；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.077

## 引言

河道堤防作为重要的防洪减灾基础设施，其管理维护直接关系到流域安全与生态稳定。然而，随着极端气候事件频发和堤防老化问题加剧，传统的管理手段已难以满足复杂流域环境对精准、高效维护的需求。现代化技术的迅速发展为堤防工程带来了全新的管理方式，通过高精度数据采集、智能化分析和自动化控制，实现了从监测到维护的全流程优化。

### 一、河道堤防的功能定位与工程特点

河道堤防是防洪减灾的重要工程设施，其主要功能在于通过阻隔洪水侵袭，保障沿岸区域的安全与发展。堤防工程不仅承担着防洪防汛的基础作用，还在生态保护、区域排水调节及水资源管理等方面发挥关键作用。堤防的结构通常由堤身、护坡、排水设施及基础工程组成，这些构造的设计与建设需充分考虑河道的水文地质特性、流域生态系统及人类活动的干扰影响。河道堤防的建设必须兼顾多种功能需求，包括维持区域稳定性、防范潜在灾害以及促进区域经济发展。与普通土木工程不同，堤防工程的特点在于其长期的稳定性和动态适应能力要求，堤防不仅需要抵御高强度洪水冲击，还需适应气候变化导致的水文特性变化，同时保护河流生态环境的完整性<sup>[1]</sup>。

### 二、现代化技术在河道堤防管理中的核心应用

#### （一）遥感技术与地理信息系统（GIS）

遥感技术与地理信息系统（GIS）在河道堤防管理中的应用已成为现代工程维护的关键工具。遥感技术通过获取地表特征的光谱、热红外和微波信息，能够实时监测堤防周边区域的地形变化、水体分布和植被覆盖状况。高分辨率卫星影像与无人机航空影像的结合，可生成精确的数字高程模型（DEM）和数字表面模型（DSM），为堤防的空间分析提供基础数据支持。例如，通过光学遥感和雷达遥感技术的叠加分析，可以识别堤防局部沉降区域和堤身滑坡隐患，误差范围通常控制在0.5米以内。地理信息系统（GIS）则以其强大的空间分析和数据可视化能力，将遥感采集的数据与堤防的

历史信息、地质特性、气象数据等多源数据进行整合，构建堤防全生命周期管理模型。利用GIS平台，管理者可进行堤防的区域划分、风险评估和应急规划。动态数据更新功能使GIS能够实时追踪洪水沿河道的传播路径，为防汛决策提供精确的水位预测与区域预警支持。

#### （二）物联网（IoT）技术

物联网（IoT）技术在河道堤防工程的管理维护中具有极高的应用价值，其核心在于通过传感器网络实现数据的实时采集与动态传输。堤防监测系统通常包括土壤湿度传感器、变形传感器、水位传感器和地震监测装置等，用以监测堤身结构内部的物理状态以及外部环境的动态变化。例如，布设在堤身内部的分布式光纤传感器，能够检测渗漏路径和堤体应力分布，其精度达到毫米级，且支持连续24h监测。采集到的数据通过无线通信技术（如LoRa或NB-IoT）传输至中央控制系统，进行多层次分析与处理。物联网平台能够将传感器的实时数据与历史数据进行对比，分析堤防潜在风险趋势，触发自动化预警机制，为管理者提供基于数据的精准决策支持。通过引入边缘计算技术，部分数据处理可直接在传感节点完成，减少数据传输延迟并提高系统响应速度。在维护操作中，物联网与机器人技术结合可实现远程控制和自动化操作，从而降低人力需求与维护成本<sup>[2]</sup>。

#### （三）大数据与人工智能（AI）

大数据与人工智能（AI）技术在河道堤防管理中的融合应用，为科学决策和精准维护提供了强大支撑。大数据技术通过对多源异构数据的存储、处理和分析，实现了河道堤防管理中复杂信息的全生命周期管理。数据来源包括遥感影像、传感器网络、历史监测记录以及气象和水文数据等，通常涉及数百TB至PB级的数据量。大数据平台通过分布式计算框架（如Hadoop和Spark）对数据进行高效处理，并基于时间序列分析和机器学习算法挖掘堤防潜在风险特征。人工智能技术则在模式识别、异常检测和风险预测中发挥核心作用，例如深度学习算法能够自动分析堤防影像数据，识别裂缝、渗漏和变形区域，其准确率可达90%以上。此外，AI技术通

过构建预测模型，可以对洪水峰值、水位波动和堤防承压能力进行精准模拟，为应急响应方案提供实时支持。

#### （四）无人机与机器人技术

无人机与机器人技术在河道堤防工程管理中的应用，显著提高了巡查效率与维护精准性。无人机凭借其灵活的飞行能力和多功能负载设备，在堤防巡检、立体建模和灾害评估中具有不可替代的优势。装载高分辨率光学相机和LiDAR传感器的无人机能够以厘米级精度采集堤防表面数据，生成高质量的数字表面模型（DSM）和正射影像，为堤防形变分析提供详细支持。无人机巡检速度快（如图1所示），可在短时间内覆盖数十公里的堤防区域，大幅减少人工巡查的时间成本。水下机器人在堤防的水下基础探测和隐患排查中发挥重要作用，其搭载的声呐设备和高精度摄像系统可捕捉水下结构的细微变化，定位堤基渗漏点的误差小于10cm。此外，维护机器人能够完成堤防裂缝修补、堤坡植被修整等操作，降低高风险作业中的人工介入率。



图1 无人机巡检

#### （五）自动化与智能化管理系统

自动化与智能化管理系统在河道堤防工程中，构建了一种以技术为核心驱动的高效运行模式。该系统集成遥感、物联网、大数据和人工智能技术，通过一体化平台实现堤防工程的实时监测、动态分析与自动化决策支持。自动化管理系统的核心功能包括数据采集、分析处理和执行控制，其中数据采集模块依托分布式传感器网络获取堤防的水位、压力、应变等多种实时信息，并通过云计算技术整合多源数据，实现对堤防状态的全方位掌握。智能化管理系统能够通过人工智能算法对堤防安全状态进行在线评估，并自动生成维护方案，涉及堤身修复、基础加固等具体措施。系统支持远程控制功能，可通过自动化设备执行紧急修复操作，提高应急响应效率。智能管理平台的动态调控功能还能够根据水文变化实时优化防汛调度策略，例如当河道水位超过临界值时，系统自动发出预警信号并启动相关设备，减少人工干预的滞后性<sup>[3]</sup>。

### 三、现代化技术在河道堤防维护中的优化路径

#### （一）预测性维护与风险评估

预测性维护与风险评估是河道堤防维护优化的重要

方向，其核心在于基于数据驱动技术与智能分析手段，提前识别潜在风险并制定针对性维护策略。预测性维护通过整合多源监测数据，如堤防应力、渗流速率和水位动态等，利用时间序列分析和机器学习算法构建风险评估模型，对堤防结构的劣化趋势和突发风险进行精准预测。例如，基于贝叶斯网络的堤防稳定性评估模型能够结合堤防设计参数、历史故障记录和实时监测数据，计算堤防发生渗漏或滑坡的概率，其预测准确率可达85%以上。在应用中，传感器网络与大数据平台的结合提供了全面的堤防运行信息，数据更新频率通常为秒级，为实时决策提供了可靠依据。风险评估进一步依托GIS平台对高风险区域进行空间定位与分类管理，结合人工智能技术优化维护资源的配置效率。相比传统的定期检查模式，预测性维护显著降低了资源浪费，同时提升了对突发风险的响应能力，为河道堤防的长期安全运行提供了技术保障。

#### （二）智能监测与动态调整

智能监测与动态调整是实现河道堤防管理维护精准化与高效化的重要路径。智能监测依托物联网技术，通过在堤防内部布设多类型传感器，如渗流传感器、应变计和水压监测装置，实时采集堤体内部结构信息和外部环境数据。这些数据通过低功耗广域网（LPWAN）或5G网络传输至中央监控平台，形成动态更新的多维数据集。动态调整则基于采集数据和分析结果，通过人工智能算法实现对堤防维护策略的实时优化。例如，深度学习模型可以快速检测异常渗流速率和堤体变形趋势，异常特征识别精度超过90%，并根据风险等级自动调度应急维护设备。动态调整还依托控制系统对水泵、泄洪闸和排水通道进行精确操作，以应对突发性洪水或渗漏问题，显著降低因人为决策延迟导致的风险。此外，系统的预测模块结合气象预报和水文数据，对未来水位和堤防承压状态进行模拟，动态更新维护方案<sup>[4]</sup>。智能监测与动态调整相关数据见表1。

#### （三）技术融合与系统集成

技术融合与系统集成是优化河道堤防维护的关键路径，通过将多种现代化技术有机整合，实现堤防管理的智能化与高效化。融合技术包括物联网、大数据分析、遥感技术及人工智能等，系统集成则通过统一平台协调多元技术的协同运行。例如，遥感影像数据通过GIS系统实现空间定位，与物联网传感器数据结合后，可实时评估堤防状态变化并生成三维模型。在集成平台中，传感网络可每日生成多达1TB的监测数据，经过分布式计算后传递至控制终端，确保分析与响应延迟小于1s。智能决策模块基于机器学习算法，将历史故障数据、实时监测参数和气象预测模型相结合，优化堤防的动态维护策略。

#### （四）数据驱动的决策支持

数据驱动的决策支持通过建立基于海量数据的分析体系，为河道堤防管理提供科学依据和动态响应能力。

表 1 智能监测与动态调整相关数据

监测项目	设备类型	采集参数	数据更新频率	分析精度
堤体内部渗流监测	渗流传感器	渗流速率 (L/h)、水压力 (kPa)	每秒 1 次	≥ 90%
堤体变形监测	光纤应变计	应变变化 ( $\mu\epsilon$ )、位移 (mm)	每分钟 1 次	≥ 95%
外部水位监测	超声波水位传感器	水位高度 (cm)	每 10 秒 1 次	≥ 98%
气象数据监测	气象站传感器	降雨量 (mm)、风速 (m/s)	每分钟 1 次	≥ 97%
实时数据传输	LPWAN/5G 网络	数据包大小 (KB)	毫秒级传输	数据完整性 99%
风险预测分析	深度学习模型	渗流速率、变形趋势、多参数融合	动态更新	异常识别率 ≥ 90%
维护策略动态调整	中央控制系统 + 执行设备	操作指令 (泵流量、闸门开度等)	实时调整	响应延迟 < 1 秒

其核心在于整合多源异构数据，结合大数据平台与人工智能算法对堤防风险进行精准分析与预测。典型的数据来源包括传感器监测、无人机巡查、遥感影像和历史气象记录，单日数据量可达数十TB级。数据驱动决策模型通过卷积神经网络和随机森林算法对渗漏、滑坡和变形等风险特征进行分类，其识别准确率可稳定维持在92%以上。决策支持系统进一步通过数字孪生技术构建堤防全生命周期虚拟模型，将实时监测数据与预测结果进行可视化呈现。该系统具备多场景模拟能力，例如通过水文模型预测洪水传播路径，并优化资源调度以最大程度降低灾害损失<sup>[5]</sup>。

#### 四、现代化技术应用的挑战与未来发展方向

##### (一) 技术应用的局限性与挑战

现代化技术在河道堤防工程中的应用虽展现出显著成效，但仍存在多方面的局限性与挑战。首先，数据的准确性与完整性问题对决策支持的科学性构成制约。传感器网络在高湿度、高腐蚀性环境下运行时易出现故障，数据缺失率可达10%以上，增加了分析误差。其次，技术成本较高，尤其是高精度遥感设备、无人机和分布式传感器的采购与维护费用，对中小型项目形成经济压力。此外，系统集成的复杂性和多技术协同应用中的兼容性问题也是主要挑战。例如，不同传感器协议和数据格式的标准化不足，使得数据整合效率降低，延迟可能超过5s，从而影响实时响应能力。人力资源方面，技术操作和维护需要高水平的专业知识，但技术培训和人才储备相对滞后，难以满足大规模推广需求。

##### (二) 未来技术发展的关键趋势

未来现代化技术的发展将着眼于提高效率、降低成本与提升集成性。低功耗、高精度的传感器技术研发是关键方向之一，通过改进材料与工艺，可实现传感器的能耗降低50%，数据采集精度提升至微米级。同时，云计算与边缘计算的深度结合将显著提升数据处理效率，使大规模堤防监控系统的响应延迟控制在毫秒级。区块链技术的引入将在数据存储和共享中发挥重要作用，通过分布式账本机制提高数据的可信度和透明度。无人机与机器人技术的发展将继续朝着自动化和多任务处理方向推进，未来具备自主学习能力的机器人将可以同时完

成堤防巡检和局部修复操作。

##### (三) 政策支持与跨学科协作

政策支持与跨学科协作是推动现代化技术在河道堤防管理中进一步发展的重要保障。首先，国家和地方政府应加强技术研发的资金支持，推动关键技术的突破和产业化应用，例如设立专项基金支持智慧堤防平台建设。政策层面需进一步完善技术应用的规范与标准，如传感器网络的协议统一、数据存储与分析的法律保障等。此外，跨学科协作是技术集成的核心途径，水文地质学、生态学、信息技术与土木工程的联合研究有助于突破复杂环境下的技术瓶颈。例如，通过生态学与工程技术的协同，研发新型绿色防护材料以提升堤防的生态兼容性。教育与培训的持续投入将提高技术操作与管理人员的专业素质，从而形成技术与人才的双重保障。

##### 结语

总而言之，现代化技术的应用为河道堤防工程的管理维护提供了科学性和高效性的全新路径。从遥感技术、物联网到人工智能的深度融合，这些技术手段显著提升了堤防安全监测、风险预测与动态调整的能力，弥补了传统管理模式的诸多不足。在智能化和自动化系统的推动下，堤防管理实现了从单一任务到全局优化的转变，同时也为突发状况提供了更强的响应能力。未来，随着技术的进一步发展与应用领域的扩展，河道堤防的管理效率和安全性必将迈向更高水平，为区域防灾减灾与生态保护提供更加可靠的技术支持。

##### 参考文献

- [1] 刘景贤. 河道堤防工程日常管理与维护的分析应用[J]. 黑龙江水利科技, 2024, 52(02): 98-100.
- [2] 王剑. 现代化技术在河道堤防工程管理维护中的应用[J]. 治淮, 2022, (08): 77-78.
- [3] 吴凤阳. 现代化技术在河道堤防工程管理、维护中的应用[J]. 长江技术经济, 2021, 5(S2): 126-128.
- [4] 王自忠. 现代化技术应用到河道堤防工程的管理及维护措施[J]. 低碳世界, 2021, 11(03): 160-161.
- [5] 申世哲. 无人机机载激光雷达技术在堤防水毁修复中的应用[J]. 河北水利, 2024, (11): 38-41.