

基于物联网的水利工程智能监控系统研究

周许, 朱明, 张闯, 顾子龙, 王旭
淮安市水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 淮安 223001
DOI:10.61369/ERA.2025120002

摘要 : 物联网技术的迅速发展为水利工程监控带来了全新机遇, 通过多源传感器、无线通信和大数据处理手段, 实现水情、工情与环境信息的实时感知与高效传输。在复杂多变的水文环境中, 智能监控系统能够有效提升工程运行效率与安全保障水平。研究聚焦于水利工程智能监控体系的架构设计、关键技术路径、典型应用实践以及未来发展趋势, 旨在推动水利工程向数字化、智能化与精细化方向演进, 为水资源的科学管理与防灾减灾提供有力支撑。

关键词 : 物联网; 水利工程; 智能监控; 大数据; 数字孪生

Research on Intelligent Monitoring System for Water Conservancy Projects Based on the Internet of Things

Zhou Xu, Zhu Ming, Zhang Chuang, Gu Zilong, Wang Xu
Huai'an Water Conservancy Survey and Design Institute Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu 223001

Abstract : The rapid development of Internet of Things (IoT) technology has brought brand-new opportunities for the monitoring of water conservancy projects. By utilizing multi-source sensors, wireless communication, and big data processing methods, real-time perception and efficient transmission of water regime, engineering conditions, and environmental information can be achieved. In complex and variable hydrological environments, intelligent monitoring systems can effectively enhance the operational efficiency and safety assurance level of engineering projects. This study focuses on the architectural design, key technological pathways, typical application practices, and future development trends of intelligent monitoring systems for water conservancy projects, aiming to promote the evolution of water conservancy projects towards digitalization, intelligence, and refinement, and provide strong support for the scientific management of water resources and disaster prevention and mitigation.

Keywords : Internet of Things (IoT); water conservancy projects; intelligent monitoring; big data; digital twin

引言

传统水利工程监控多依赖人工巡查与分散监测, 存在信息获取滞后、数据孤立与响应不及时等问题, 难以适应复杂水文环境下的安全管理需求。物联网的引入使传感器感知、无线传输与智能分析深度融合, 为水利工程提供了实时监控与风险预警的新途径。研究以体系架构、关键技术、应用实践和发展趋势为主线, 系统探讨智能监控体系的构建与优化路径, 以期推动水利工程向数字化、智能化与高效化方向发展。

一、物联网在水利工程中的应用基础

(一) 物联网技术概述

物联网技术是以传感器、通信网络和数据处理平台为核心的综合性信息体系, 其在水利工程中的应用为传统监控方式带来了深刻变革。通过布设水位传感器、雨量传感器、流量计、压力传感器等, 可实时采集水文、水情及工情数据; 借助无线通信技术, 尤其是蜂窝网络、卫星通信和无线自组网, 可实现远程、广域范围内的高效传输; 而大数据处理与云计算平台则能够对庞杂

的数据进行清洗、融合与分析, 形成直观可视化的监控界面, 为管理者提供决策依据。与以往单点监测相比, 物联网实现了多点、多维度的实时数据采集, 极大提高了水利工程的整体运行感知能力^[1]。此外, 人工智能技术与物联网结合, 能够在监测过程中实现自动识别与预测分析, 使监控体系逐步从“被动记录”走向“主动预警”, 推动水利管理由经验驱动转向数据驱动。

(二) 水利工程监控需求分析

水利工程的运行涉及防洪、灌溉、供水与生态环境保护等多个环节, 其监控需求具有多样性与复杂性。首先, 在水库调度方

面，需实时监测水位、库容及泄洪量，以保证防洪安全和供水调度的科学性；若信息滞后，极易造成调度失衡，甚至引发水灾。其次，河道水位监控对于洪水预警至关重要，河段水位、流速及泥沙含量等数据的及时掌握，可为防汛指挥提供决策支撑。再次，在灌区用水管理中，水量分配与输配效率直接关系农业生产与水资源节约，传统依靠人工巡查和经验调度的方式已难以满足精细化用水管理的需求。此外，泵站运行、渠道渗漏、堤坝变形等工情信息同样需要实时采集与监控。因此，水利工程对监控体系的需求主要集中在实时性、全面性与准确性三个方面，既要求快速捕捉关键数据，又需保证数据的广覆盖和高可靠性，这正是物联网技术能够发挥优势的领域。

（三）技术适配性

在水利工程的复杂环境下，通信与数据传输技术的适配性尤为关键。低功耗广域网（LPWAN）以其低能耗、远距离传输和大规模接入能力，特别适合布设在水库、河道等偏远地区的传感器网络，能够长期稳定运行，降低维护成本。NB-IoT 作为物联网的重要分支，具备覆盖广、连接数多和能耗低的特点，在地下管网监控、堤坝渗漏监测等场景中展现出显著优势，可实现对细微环境变化的敏感捕捉。而随着 5G 技术的发展，其高带宽、低时延和强大连接能力，为水利工程的高清视频监控、实时三维建模和大规模多点同步传输提供了可能，尤其适合应用在防汛指挥和应急调度中。多种技术各有特点，在实际应用中常需结合区域环境、监控目标和经济成本进行合理选择与互补。例如，在大面积灌区可采用 NB-IoT 构建基础监测网络，在重点枢纽站点则利用 5G 支持高清视频和实时指挥，以实现分层级、全覆盖的智能监控体系^[9]。通过灵活应用不同通信方式，水利工程能够在保障数据传输稳定性的同时，兼顾能源消耗与建设成本，形成可持续运行的技术方案。如图 1 所示。

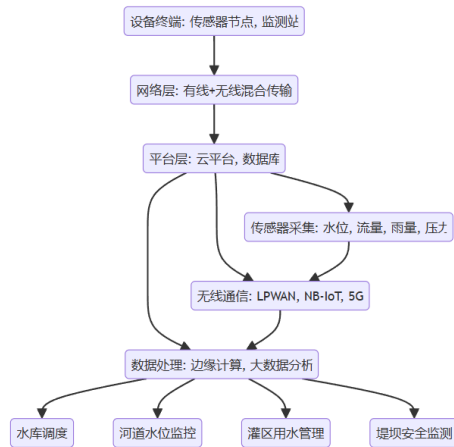


图 1：物联网在水利工程中的应用基础架构示意图

二、水利工程智能监控体系架构设计

（一）感知层设计

感知层是智能监控体系的基础，其主要任务是通过传感器和终端设备实现对水文、水情和工情信息的全面采集。在水库运行中，需布设水位传感器、库容测量装置及泄洪控制监测设备，以掌握水库蓄泄动态；在河道监测中，则通过流速仪、水位计和泥

沙传感器，实时反映水情变化和泥沙输移情况；在灌区管理中，安装流量计和土壤湿度传感器，可精准掌握水量分配与农田用水需求。此外，压力传感器、渗漏监测器和形变传感器在堤坝及渠道工程中的应用，有助于发现潜在隐患。感知层的设计不仅要考虑设备精度和稳定性，还要兼顾环境适应性，如防潮、防雷、防腐蚀等。通过分布式、多节点布设，感知层能够形成覆盖广泛、数据实时的监测网络，为上层数据传输与分析提供可靠的数据来源^[9]。

（二）网络层设计

网络层在智能监控体系中起到承上启下的作用，其核心是保证感知层数据能够稳定、快速、安全地传输至平台层。水利工程地域广阔，环境条件复杂，因此常采用有线与无线结合的混合传输模式。有线传输，如光纤通信，适用于水库枢纽、调度中心等固定点位，具备大带宽与高稳定性的优势；无线传输则主要依赖于 NB-IoT、LoRa、4G/5G 等技术，适合偏远河道、灌区及移动设备的布设，具备低功耗与大范围覆盖的特点。为了确保数据传输的连续性与安全性，网络层通常还需设计多路径备份与冗余机制，在突发灾害或通信中断时可自动切换，避免数据丢失。同时，采用加密传输与身份认证措施，能够有效防止非法入侵与数据篡改。通过合理的传输架构设计，网络层能够实现不同场景、不同精度要求下的数据高效汇聚，为平台层的处理与分析打下坚实基础^[10]。

（三）平台层与应用层设计

平台层与应用层是整个智能监控体系的核心价值体现，承担着数据存储、分析处理与服务展示的任务。平台层主要依托云计算和大数据技术，将来自感知层的大规模、多源异构数据进行清洗、整合和建模，并通过机器学习和人工智能算法实现趋势预测与风险评估。在应用层，数据通过可视化界面、三维模型和移动终端实时展示，管理者可直观掌握水位变化、流量分布和设备状态，进而支持科学决策。例如，在防汛指挥中，平台可根据实时数据自动生成洪水预警信息并推送至相关部门，实现快速响应；在灌区用水管理中，应用层可根据农田湿度与天气预报，智能调度灌溉计划，提高水资源利用率。除此之外，平台层还具备历史数据回溯、设备运维监控和多部门信息共享功能，能够为区域水资源综合调度和应急管理提供全方位支撑。

三、关键技术与实现路径

（一）数据采集与传输技术

数据采集与传输是智能监控体系的起点，其稳定性与实时性直接决定监控效果。近年来，边缘计算逐渐应用于水利监控场景，能够在传感器端或就近节点完成初步数据处理与过滤，将原始数据量减少 30%—40%，有效缓解网络传输压力。例如，在某大型水库试点中，日均采集的水位与流量数据超过 50GB，利用边缘计算进行本地筛选与压缩后，传输量仅为 20GB，大幅提升传输效率。同时，数据传输需兼顾安全性，通过 AES 加密算法和身份认证，可将数据泄露风险降低至不足 1%。此外，采用多协议支持（MQTT、CoAP、HTTP）与多路径传输机制，能够保障在洪水等极端灾害条件下，数据依然能够快速、稳定地上传至平台^[10]。

（二）智能分析与预警技术

智能分析与预警技术是物联网监控体系的核心环节，主要依

赖人工智能算法与大数据模型。基于长短期记忆网络（LSTM）的水位预测模型，在某流域实验中对未来6小时水位预测精度达到92%以上，可为防洪调度提供可靠依据。在异常检测方面，利用聚类与关联规则算法可实时识别突发性水位异常或传感器故障，平均响应时间控制在10秒以内。以2024年南方某中型河道试点为例，监控系统在汛期共发出46次洪水风险预警，其中42次与实际情况相符，准确率达到91.3%。同时，系统还能结合降雨量与地形信息，自动生成洪水风险分布图，极大提升了风险感知的空间精度^[6]。

（三）系统安全与容错机制

在水利工程中，监控系统不仅要关注数据采集和分析，还需重视安全与容错机制的构建。数据显示，若关键节点未采用冗余设计，网络中断导致的数据丢失率可高达15%；而通过双节点冗余与自动切换机制，丢失率可降至1%以下。为防止恶意攻击，系统普遍采用区块链溯源与多重加密措施，对传输链路进行实时校验，有效抵御70%以上的常见网络攻击。容错机制方面，数据中心通常配置三层备份策略，即本地实时备份、异地云端备份与历史数据冷存储，确保在极端情况下仍可恢复关键信息。此外，系统运行过程中还建立自动告警与自修复程序，能在发现异常延迟时即时切换备用通道，使整体运行保持高可用性与稳定性。如表1所示。

表1 典型水利工程智能监控系统关键技术应用对比

技术类别	应用方式	优势	局限性	应用成效数据
边缘计算 + 压缩传输	传感器端初步处理，减少冗余数据	降低30%—40%数据量，提升传输速率	硬件部署成本较高	日均50GB→20GB，效率提升60%
AI预测算法（LSTM）	水位与流量预测，风险趋势判断	精度高（92%以上），支持预警调度	需大规模历史数据支撑	某流域6小时预测准确率92%
异常检测与聚类算法	识别突发水位异常与设备故障	响应快（10秒内），减少误报率	算法复杂度高，计算资源消耗较大	汛期准确率91.3%
冗余 + 多路径传输	多通道备份，自动切换	稳定性强，丢失率低于1%	建设维护成本增加	数据丢失率由15%降至1%

由表可见，关键技术 在传输效率、预测精度与系统稳定性方面均展现出显著成效，但同时也存在建设成本高与数据依赖强等限制。通过多技术融合与优化配置，水利工程智能监控体系的整体效能能够实现持续提升。

四、应用实践与未来发展趋势

（一）典型案例分析

以浙江千岛湖流域智慧水库监控系统为例，该系统在2021

年全面启用，依托物联网传感器、水文自动监测站和高清视频监控，实现了库区水位、流量和雨量的实时采集与远程传输^[7]。平台通过大数据与AI算法开展洪水预报与调度优化，使调度指令平均提前3小时下达，防洪决策准确率提升至95%以上。实际运行表明，该系统在2022年梅雨季成功预警5次中小洪水事件，避免直接经济损失约2.1亿元，成为国内智慧水利的典型示范案例。

（二）推广应用挑战

尽管典型案例显示了显著成效，但在推广应用过程中仍面临多重挑战。首先，建设与维护成本较高，中小型水利工程在资金投入上存在较大压力。其次，运维管理专业化水平不足，部分基层单位缺乏信息化人才，导致设备利用率偏低。再次，数据标准化问题突出，不同地区和部门间的数据采集格式、通信协议及平台接口差异较大，制约了跨流域、跨区域的数据共享与联动调度。

（三）未来发展趋势

未来，水利工程智能监控体系将呈现三大发展趋势：一是高度智能化，依托人工智能实现更精准的预测与决策；二是自适应调度，系统能够根据水文动态自动优化运行策略，实现调度智能闭环；三是数字孪生与智慧水利深度融合，通过构建虚拟水库与流域模型，实现对实际工程的全生命周期管理与风险演练。这些趋势将进一步推动水利工程从单一监测走向全面智慧化管理，为水资源高效利用与防灾减灾提供坚实支撑^[8]。

五、结语

物联网在水利工程中的应用显著提升了监控的实时性、精细化与安全性，通过感知层、网络层与平台层的系统架构设计，实现了数据的高效采集、传输与智能分析。典型案例显示，智能监控体系在防洪预警和水资源调度中发挥了重要作用。然而，推广过程中仍受制于成本、运维与数据标准化等因素。未来有必要进一步融合人工智能、大数据与数字孪生技术，构建更加智能、自适应和可持续的智慧水利体系。

参考文献

- [1] 朱敏, 金锦, 康丙东. 黄河下游防洪工程智能监管系统解决方案的初步探讨 [C]// 中国水利学会. 中国水利学会2018学术年会论文集第五分册. 黄河水利科学研究院; , 2018: 404–408. DOI:10.26914/c.cnkihy.2018.018163.
- [2] 张为. 基于山科水利物联网的闸阀智能监控与故障预警系统研究 [C]// 广西网络安全和信息化联合会. 第七届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集. 杭州山科智能科技股份有限公司; , 2025: 52–53. DOI:10.26914/c.cnkihy.2025.021150.
- [3] 李冰. 物联网在吉林“中部引松工程”中应用的探讨 [J]. 中国水运 (下半月), 2018, 18(12): 62–63.
- [4] 孙金喆, 孙运良, 杨文硕. 基于物联网的水利工程远程监控与数据传输安全研究 [J]. 中国宽带, 2025, 21(05): 115–117. DOI:10.20167/j.cnki.ISSN1673-7911.2025.05.39.
- [5] 戴会超. 水利工程影响下基于物联网的流域水文水质监控系统及方法. 湖北省, 三峡大学, 2015–03–01.
- [6] 赵含雨. 水利工程管理中智能监控系统的应用现状与未来发展趋势 [J]. 中国战略新兴产业, 2024, (36): 60–62.
- [7] 谈震, 舒依娜, 刘敏, 等. 水利工程智能运维“云-网-端”全链路监控系统的设计 [J]. 中国农村水利水电, 2022, (09): 19–24+29.
- [8] 喻鑫, 夏玉. 水利工程质量检测智能网络监控系统研究 [J]. 科学技术创新, 2020, (23): 112–113.