

水利工程信息化监测系统的设计与运行效能 优化路径探析

王继开

中铁水利信息科技有限公司, 江西 南昌 330200

DOI:10.61369/WCEST.2025100011

摘 要 : 本论文围绕水利工程信息化监测系统的设计与运行效能优化展开研究。首先, 论文从系统架构设计的基础理论出发, 结合传感器与数据采集技术的具体应用, 阐述了信息化监测系统的设计原理与构建方法。其次, 研究深入探讨了提升系统运行效能的优化路径与实施策略, 具体包括技术升级与创新的方向、管理流程与运维的优化建议、相关政策支持与标准制定的分析, 并辅以案例研究进行经验借鉴。通过上述理论与实证相结合的分析过程, 论文总结了系统设计与效能优化的关键发现, 指出了当前研究的局限性, 并对未来发展趋势进行了预测。最终, 本研究旨在为水利工程信息化监测系统的科学设计、高效运行与持续改进提供系统的理论参考与实践指导。

关 键 词 : 水利工程; 信息化监测; 系统设计; 运行效能; 优化路径; 技术升级

Design and Operational Efficiency Optimization Path Analysis of the Informationized Monitoring System for Water Conservancy Projects

Wang Jikai

China Railway Water Conservancy Information Technology Co., Ltd. Nanchang, Jiangxi 330200

Abstract : This paper focuses on the design and operational efficiency optimization of an informatized monitoring system for water conservancy projects. First, starting from the foundational theories of system architecture design and incorporating the practical applications of sensor and data acquisition technologies, the paper elaborates on the design principles and construction methods of the informatized monitoring system. Second, the study delves into the optimization pathways and implementation strategies for enhancing system operational efficiency, specifically including directions for technological upgrades and innovations, optimization suggestions for management processes and operations, analysis of relevant policy support and standard formulation, and supplemented with case studies for practical insights. Through this theoretical and empirical analysis process, the paper summarizes key findings on system design and efficiency optimization, identifies the limitations of current research, and forecasts future development trends. Ultimately, this study aims to provide systematic theoretical references and practical guidance for the scientific design, efficient operation, and continuous improvement of informatized monitoring systems in water conservancy projects.

Keywords : water conservancy engineering; information monitoring; system design; operational efficiency; optimization path; technological upgrading

引言

水利工程作为国家关键基础设施, 是防洪减灾、水资源调配、农业灌溉、能源供应与生态保护的核心载体, 其安全稳定运行直接关系到国计民生与生态安全。然而, 随着全球气候变化加剧, 极端水文事件频发, 加之众多已建水利工程逐步进入运维“老龄化”阶段, 传统依赖人工巡查、离散化数据采集和滞后性分析的工程管理模式, 已难以适应新时期对工程安全预警精准性、调度决策科学性与运行管理精细化的迫切需求。在此背景下, 以物联网、大数据、人工智能、云计算为代表的新一代信息技术与水利工程的深度融合, 催生了水利工程信息化监测系统。这类系统通过构建“空天地”一体化的立体感知网络、实现监测数据的实时汇聚与智能分析, 正推动水利工程管理从被动响应向主动预警、从经验判断向数据驱动的深刻变革。

一、信息化监测系统设计原理

（一）系统架构设计基础理论

水利工程信息化监测系统的架构设计，其核心在于构建一个能够实现数据精准感知、高效传输、智能处理与协同应用的技术框架。这一框架的构建并非孤立的技术堆砌，而是需要遵循一系列基础理论原则，以确保系统在功能性、可靠性、可扩展性及经济性之间取得平衡。系统架构设计必须紧密围绕水利工程安全运行与效能提升的核心需求，将现代信息技术与水利工程专业深度融合，形成支撑精准决策与智能管控的数字化神经中枢。系统架构设计的首要理论基础是分层解耦与模块化思想。一个稳健的信息化监测系统通常采用分层架构，典型结构包括感知层、传输层、数据层、平台层和应用层。感知层负责通过各类传感器与采集设备，实时获取水位、流量、渗压、应力、变形、水质等多元物理参数，是系统的数据源头。传输层借助有线或无线通信网络，如光纤、4G/5G、LoRa、卫星通信等，实现监测数据从现场到数据中心的可靠、低延时传输。数据层负责海量异构监测数据的接收、清洗、存储与管理，构建统一的数据资源池。平台层提供数据计算、分析、模型模拟与可视化等核心服务，是系统的“大脑”。应用层则面向不同用户角色，提供安全预警、运行调度、巡检维护、综合展示等具体业务功能。这种分层模块化设计，使得各层技术相对独立，便于技术选型、升级维护与功能扩展，降低了系统的整体复杂性与耦合度。

面向服务的架构理念是另一个关键设计基础。现代水利工程监测系统需要整合来自不同时期、不同厂商的设备和子系统，同时要预留与上级防汛指挥系统、水资源管理系统等外部平台对接的接口。采用面向服务的架构，将系统的核心功能封装成标准的、可复用的服务，通过定义清晰的接口协议进行交互。这种方式能够有效解决“信息孤岛”问题，实现跨系统、跨平台的数据共享与业务协同，提升系统的开放性与互操作性。例如，将数据查询服务、预警分析服务、报表生成服务等进行标准化封装，不同应用模块可以按需调用，增强了系统组装的灵活性。系统架构设计还必须充分考虑可靠性与安全性理论。水利工程事关公共安全，监测系统必须具备高可靠性与强健壮性。这要求在硬件层面采用冗余设计，如双机热备、冗余电源与通信链路；在软件层面具备故障自诊断与快速恢复能力。信息安全是生命线，架构设计需贯穿网络安全等级保护要求，构建涵盖物理安全、网络安全、主机安全、应用安全和数据安全的多层次纵深防御体系，确保监测数据在采集、传输、存储、处理全过程中的保密性、完整性与可用性。

（二）传感器与数据采集技术应用

水利工程信息化监测系统的核心在于对工程结构、环境参数、水文要素等关键信息的实时、精准感知与获取。传感器与数据采集技术构成了这一感知体系的物理基础与数据源头，其技术选型、部署策略与性能表现直接决定了监测数据的质量、系统响应的时效以及后续分析与决策的可靠性。

传感器技术是感知物理世界的触角。在水利工程监测领域，

传感器种类繁多，功能各异。结构安全监测常采用应变计、裂缝计、位移计、倾角仪等，用于感知大坝、堤防、闸门等结构的应力、变形与位移。渗流监测则依赖于渗压计、量水堰计等设备，用以捕捉坝体、坝基的渗透压力与渗流量变化。环境与水文监测涉及水位计、雨量计、流速仪、水质多参数传感器等，实现对库水位、降雨量、流速流量以及水体 pH 值、浊度、溶解氧等理化指标的连续观测。现代传感器技术正朝着微型化、智能化、集成化与网络化方向发展。MEMS（微机电系统）技术使得传感器体积更小、功耗更低；智能传感器内置微处理器，具备初步的数据处理、自诊断与校准功能；多参数集成传感器可同时测量多个相关变量，减少了设备数量与安装复杂度；无线传感器网络技术则摆脱了传统有线部署的束缚，增强了在复杂地形与偏远区域部署的灵活性。

数据采集技术负责将传感器输出的各类模拟或数字信号进行规范化收集、转换与初步整理。数据采集单元通常由信号调理电路、模数转换器、微控制器、存储模块及通信接口构成。信号调理电路对传感器输出的微弱信号进行放大、滤波、隔离，以消除噪声干扰并匹配 ADC 的输入范围。高精度、多通道的模数转换器确保了模拟信号数字化过程的准确性与同步性。微控制器作为采集单元的核心，控制采样时序、执行初步的数据处理算法、管理本地数据缓存，并响应上位机指令。在通信方式上，根据现场条件与传输需求，可采用有线方式如 RS-485、工业以太网，或无线方式如 ZigBee、LoRa、NB-IoT、4G/5G 等。有线方式稳定可靠、传输带宽宽，适用于固定设施的核心监测点；无线方式部署便捷、扩展性强，尤其适用于分布广泛、地形复杂的监测网络，但需综合考虑功耗、传输距离、抗干扰能力与网络覆盖。

二、优化路径与实施策略

水利工程信息化监测系统的效能提升，离不开持续的技术迭代与创新突破。当前，监测技术正朝着智能化、集成化、高精度和实时化的方向演进，这为系统优化提供了明确的技术路径。核心的升级方向聚焦于感知层、传输层、数据处理层与应用层的协同创新。在感知层，传感器技术的革新是基础。传统的点式、接触式传感器逐步向分布式、非接触式、微型化与多功能集成方向发展。光纤传感技术因其抗电磁干扰、耐腐蚀、可实现长距离分布式监测的优势，在坝体应变、渗流、温度场监测中展现出巨大潜力。无线传感器网络技术能够有效解决复杂地形和偏远区域监测点布线困难、成本高昂的问题，提升监测网络的覆盖密度与部署灵活性。同时，开发具有自校准、自诊断功能的智能传感器，能够从源头提升数据的可靠性与准确性，降低后期维护的复杂度。

数据传输与通信网络的升级是保障信息流畅的关键。随着 5G、窄带物联网等新一代通信技术的成熟应用，监测系统数据传输的速率、容量、实时性与可靠性将得到质的飞跃。5G 网络的高带宽和低时延特性，能够支持海量监测数据、高清视频乃至三维点云数据的实时回传，为结构安全实时预警提供可能。构建天地

一体化的通信网络，综合利用光纤专网、无线公网及卫星通信，形成冗余备份，确保在极端灾害条件下监测通信链路不中断，提升系统的鲁棒性。数据处理与分析能力的智能化是挖掘数据价值的核心。引入大数据、人工智能与数字孪生技术，是实现从“数据采集”到“智能决策”跨越的关键。利用大数据平台对多源、异构、海量的监测数据进行融合治理，打破数据孤岛。机器学习算法，特别是深度学习模型，能够从历史与实时数据中学习复杂模式，实现结构异常行为的早期识别、安全风险的智能评估与预警。数字孪生技术通过构建与物理工程高保真同步的虚拟模型，能够实现监测数据的可视化映射、工程状态的仿真推演与运行方案的优化预演，为工程管理提供沉浸式的决策支持平台。

三、结语

展望未来，随着物联网、数字孪生、人工智能大模型等技术的不断突破，水利工程信息化监测系统将向全域立体感知、全要素数字映射、全周期智能决策的更高阶形态演进。系统将不仅仅服务于工程安全，更将深度融入水资源调度、水灾害防御、水生态管理等多维业务，成为构建具有预报、预警、预演、预案功能的智慧水利体系的核心基石。后续研究可进一步聚焦于数字孪生场景下的虚实交互与智能仿真、基于边缘计算的实时智能分析、以及人工智能模型在复杂水文水利场景中的可解释性与可靠性等前沿方向，持续推动水利工程信息化监测向更智能、更可靠、更高效的目标迈进。

参考文献：

[1] 中华人民共和国水利部. 智慧水利建设与发展规划纲要（2021-2025年）[EB/OL]. 北京：水利部，2021.

[2] 张建云，刘九夫，金君良. 智慧水利框架体系研究 [J]. 水利学报，2021, 52(9): 1015-1024.

[3] 王浩，田雨，蒋云钟. 数字孪生水利工程建设框架与关键技术 [J]. 水利学报，2022, 53(1): 1-10.

[4] 陈生水，钟启明，王国利. 水利工程智能监测技术研究进展 [J]. 水利水电科技进展，2021, 41(3): 1-9.

[5] 李典庆，周创兵. 大坝安全监测的物联网技术应用 [J]. 水利学报，2020, 51(8): 901-912.

[6] 刘汉龙，王桂林. 基于云平台的水利工程安全监测大数据系统 [J]. 岩土工程学报，2019, 41(S2): 1-6.

[7] 顾冲时，苏怀智. 大坝安全监测数据分析方法研究进展 [J]. 水利水电科技进展，2020, 40(1): 1-9.

[8] 汪小刚，王玉杰. 水利工程智慧运维关键技术与展望 [J]. 水利学报，2022, 53(4): 379-389.

[9] 金峰，方咏来. 基于 BIM 与物联网的水利工程全生命周期管理 [J]. 土木工程学报，2021, 54(S1): 1-8.

[10] 周建平，杜雷功. 新时期水利工程信息化发展战略思考 [J]. 水利规划与设计，2020(8): 1-5.