

水利工程信息化管理平台的构建与应用

洪波

麻城市水利事业发展中心

DOI:10.12238/etd.v6i10.17185

[摘要] 本文以国家“智慧水利”战略为背景,系统探讨了水利工程信息化管理平台的构建逻辑、核心架构、关键技术及其在工程全生命周期中的深度应用。文章首先剖析了传统水利管理面临的困境及必要性;其次,详细论述了平台“感知-传输-数据-应用-安全”五层一体化的总体架构设计,并深入分析了物联网、大数据、数字孪生、人工智能等前沿技术在其中的关键作用;再次,通过水库大坝安全监测、灌区智能调度、河湖长制协同管理等典型应用场景,具体展示了平台如何赋能水利工程的精细化、智能化管理;最后,文章指出了当前平台建设中存在的数据壁垒、标准缺失、人才匮乏等共性问题,并对未来发展趋势进行了展望。

[关键词] 水利工程; 信息化管理平台; 智慧水利; 数字孪生; 物联网; 大数据

中图分类号: TV39 **文献标识码:** A

Construction and Application of Information Management Platform for Water Conservancy Projects

Bo Hong

Macheng Water Conservancy Development Center

[Abstract] Against the backdrop of the national "Smart Water Conservancy" strategy, this paper systematically explores the construction logic, core architecture, key technologies, and in-depth applications of an information management platform for water conservancy projects throughout their entire lifecycle. The article first analyzes the challenges and necessity of traditional water conservancy management. It then elaborates on the overall architectural design of the platform, which integrates five layers—perception, transmission, data, application, and security—and provides an in-depth analysis of the critical roles played by cutting-edge technologies such as the Internet of Things, big data, digital twins, and artificial intelligence. Furthermore, through typical application scenarios such as reservoir and dam safety monitoring, intelligent irrigation district scheduling, and collaborative river and lake management, the paper specifically demonstrates how the platform enables refined and intelligent management of water conservancy projects. Finally, the article highlights common issues in current platform development, including data silos, lack of standards, and talent shortages, and offers insights into future development trends.

[Key words] Water Conservancy Projects; Information Management Platform; Smart Water Conservancy; Digital Twin; Internet of Things; Big Data

引言

水是生命、生产、生态之基,水利工程在防洪、供水、灌溉、发电、生态保护等方面作用重大。但我国水利工程管理长期“重建轻管”,手段粗放、信息不畅、决策依赖经验,难以满足新时代高质量发展需求。极端天气频发威胁工程安全,公众对水利服务精准高效的要求也日益提高。在此形势下,云计算、大数据等新一代信息技术催生“智慧水利”新范式。水利工程信息化管理平台作为其核心载体,构建综合性数字系统,打通工程全生命

周期信息流,可全面感知工程状态、智能预警风险隐患、优化配置水资源、高效协同管理业务。因此,深入研究水利工程信息化管理平台的构建方法与应用模式,兼具重要理论价值与迫切现实意义。

1 水利工程信息化管理平台建设的必要性与挑战

水利工程信息化管理平台建设必要且具挑战。传统水利管理模式有三大困境:一是信息获取滞后片面,人工巡检与少量测点使数据更新慢、覆盖窄,关键指标难监控;二是决策支持能力

薄弱, 缺乏分析预测工具, 依赖经验决策, 难应对突发险情; 三是业务协同效率低, 涉水业务分属不同部门, 信息系统独立, 形成“信息孤岛”, 协同调度与应急响应效率差。信息化平台建设有战略机遇, 国家重视水利信息化建设, 《“十四五”水安全保障规划》为其提供政策支撑。构建统一平台可提升工程本质安全、优化水资源配置、推动管理方式变革。然而, 平台建设也面临挑战: 数据整合难度大, 历史与实时数据多源异构; 技术标准体系不健全, 设备系统难互联互通; 专业复合型人才短缺, 制约平台深度开发与高效应用。

2 水利工程信息化管理平台的总体架构设计

一个先进、可靠的水利工程信息化管理平台应遵循“顶层设计、分步实施、标准先行、安全可控”的原则, 其总体架构可划分为五个核心层次。

2.1 感知层: 构建全域物联感知网络

感知层是平台的“神经末梢”, 负责采集物理世界的各种信息。其核心任务是构建覆盖工程本体及周边环境的立体化、全天候感知网络。(1) 工程本体感知: 在大坝内部埋设渗压计、应变计、测斜仪等传感器, 监测其内部应力、变形、渗流等关键参数; 在水闸、泵站部署流量计、水位计、视频监控等设备^[1]。(2) 水文气象感知: 布设雨量站、蒸发站、水质自动监测站, 并接入气象雷达、卫星遥感等外部数据源, 获取流域面雨量、土壤墒情、水质变化等信息。(3) 空间地理感知: 利用无人机航拍、倾斜摄影、激光雷达(LiDAR)等技术, 定期获取高精度的工程三维实景模型, 用于工程形变分析和库区淹没模拟。

2.2 传输层: 打造高速可靠的信息通道

传输层是连接感知层与上层应用的“高速公路”, 负责将海量感知数据安全、稳定、高效地传输至数据中心。(1) 有线传输: 对于固定站点, 采用光纤专线, 确保数据传输的高带宽和低延迟。(2) 无线传输: 针对偏远、分散的监测点, 灵活运用4G/5G、LoRa、NB-IoT等无线通信技术, 实现广域覆盖和低功耗传输。(3) 边缘计算: 在网络边缘部署计算节点, 对原始数据进行初步清洗、压缩和本地化处理, 减少无效数据上传, 降低中心服务器负载, 并能实现部分本地快速响应(如超限报警)。

2.3 数据层: 构筑统一的数据资源池

数据层是平台的“心脏”, 负责数据的汇聚、治理、存储和管理。(1) 数据湖仓一体架构: 采用数据湖存储原始、未经处理的多源异构数据(如时序数据、日志、视频、图像), 同时构建数据仓库存储经过清洗、整合、建模后的结构化业务数据, 满足不同场景下的分析需求。(2) 时空数据引擎: 引入专业的时空数据库(如PostGIS), 高效管理和查询带有地理位置和时间戳的水利数据, 支撑空间分析和动态可视化。(3) 数据治理: 建立完善的数据标准、元数据管理和数据质量管控体系, 确保数据的准确性、一致性和可用性, 这是平台发挥价值的基础。

2.4 应用层: 提供智能化的业务服务

应用层是平台价值的直接体现, 面向不同用户角色提供多样化的业务功能模块。(1) 工程安全监测与预警: 集成各类监测

数据, 运用机器学习算法建立安全评估模型, 对异常数据进行自动识别和分级预警^[2]。(2) 水资源优化调度: 构建水文预报模型、水库调度模型、灌区配水模型等, 通过多目标优化算法, 生成最优调度方案。(3) BIM+GIS可视化: 将建筑信息模型(BIM)与地理信息系统(GIS)深度融合, 实现工程从宏观流域到微观构件的全尺度、沉浸式三维可视化展示。(4) 移动应用: 开发移动端APP, 供一线管理人员进行现场巡查、工单处理、信息上报等, 打通管理“最后一公里”。

2.5 安全层: 贯穿始终的防护体系

安全是信息化平台的生命线, 必须贯穿于所有层级。(1) 网络安全: 部署防火墙、入侵检测系统(IDS)、虚拟专用网(VPN)等, 防止外部攻击。(2) 数据安全: 采用数据加密(传输加密、存储加密)、访问控制、数据脱敏等技术, 保护敏感数据隐私。(3) 应用安全: 实施严格的用户身份认证(如双因素认证)和权限管理, 确保操作可追溯。

3 平台构建中的关键技术解析

3.1 物联网(IoT)与边缘智能

IoT技术是实现万物互联的基础。通过为水利工程的每一个关键要素赋予唯一的“数字身份”, 并将其接入统一的物联网平台, 实现了物理世界与数字世界的无缝连接。边缘智能则进一步提升了系统的响应速度和可靠性^[3]。例如, 在大坝安全监测中, 边缘计算节点可以在本地完成数据滤波和初步分析, 一旦发现渗压突变, 可立即触发本地声光报警并同时向中心平台发送告警信息, 为应急处置赢得宝贵时间。

3.2 大数据与人工智能(AI)

水利工程每天产生TB乃至PB级别的数据, 传统方法难以处理。大数据技术提供了分布式存储(如HadoopHDFS)和并行计算(如Spark)的能力, 使得海量数据的处理成为可能。在此基础上, AI技术被广泛应用于:(1) 预测预报: 利用LSTM(长短期记忆网络)等深度学习模型, 对降雨径流、水库水位进行高精度短期预报。(2) 故障诊断: 通过训练卷积神经网络(CNN)对大坝裂缝、混凝土剥落等病害的无人机影像进行自动识别和分类。(3) 智能调度: 运用强化学习算法, 在复杂的约束条件下(如防洪限制水位、生态基流、灌溉需水), 自主探索并学习最优的水库群联合调度策略。

3.3 数字孪生数字孪生是当前智慧水利最前沿的技术方向

它不仅仅是工程的三维可视化模型, 更是一个与物理实体实时同步、能够进行仿真推演的“活”的虚拟映射。(1) 机理模型驱动: 将描述水流运动、结构力学、泥沙输移等物理过程的数学模型(如MIKE、HEC-RAS)内嵌于数字孪生体中。(2) 数据驱动校准: 利用实时监测数据不断校准和优化机理模型的参数, 确保虚拟模型的准确性。(3) 仿真推演与预案预演: 在数字孪生平台上, 可以模拟不同暴雨情景下的洪水演进过程, 预演不同调度方案的效果, 从而为真实世界的决策提供科学依据。例如, 在汛前, 可以通过数字孪生平台模拟百年一遇洪水对水库和下游的影响, 提前制定并优化应急预案。

4 典型应用场景与实践

4.1 水库大坝安全智能监控

以某大型水库为例,其信息化管理平台集成了超过2000个各类传感器,构建了覆盖坝体、坝基、库岸的全方位监测网络。平台通过AI算法对十年的历史监测数据进行深度学习,建立了大坝安全状态的正常行为模型。当实时数据偏离该模型时,系统会自动发出预警,并结合数字孪生模型进行三维定位和成因分析,辅助专家快速判断风险等级,极大地提升了大坝安全管理的主动性和科学性。

4.2 灌区水资源精细化管理

在现代化灌区建设中,信息化平台实现了从水源到田间的全链条管控。通过在干、支、斗、农各级渠道安装智能量水设施,平台可以精确计量每一亩地的用水量。结合土壤墒情监测和作物生长模型,平台能够为每个农户生成个性化的灌溉处方图,并通过手机APP推送。管理人员可在平台上直观看到全灌区的用水分布、水费收缴情况,并根据实时数据动态调整配水计划,有效解决了过去“大水漫灌”和水费征收难的问题,实现了节水增效。

4.3 河湖长制协同管理

河湖长制的推行需要强大的信息化支撑。平台为各级河湖长提供了专属的工作台,集成了巡河轨迹记录、问题上报(支持拍照、录像)、任务交办、进度跟踪、考核评价等功能。同时,平台整合了环保、住建、农业等部门的污染源、排污口、水质断面等数据,形成“一张图”管理。当水质自动监测站数据异常时,系统可自动关联上游污染源信息,辅助河湖长精准溯源、靶向治理,显著提升了河湖治理的协同效率和治理能力。

5 存在的问题与未来展望

5.1 当前存在的主要问题

尽管取得了显著进展,但水利工程信息化管理平台的建设和应用仍存在一些问题:一是重硬件轻软件,重建设轻运营:部分项目过于关注传感器、服务器等硬件投入,而对数据治理、模型迭代、业务流程再造等软性投入不足,导致平台建成后“不好用、用不深”。二是数据共享机制缺失:跨部门、跨区域的数据共享依然存在行政壁垒和技术障碍,限制了平台综合效益的最大化发挥^[4]。三是模型的普适性与精度有待提高:许多专业模型(如水文模型、调度模型)对特定流域或工程有较强的依赖性,通用性不强,且在复杂边界条件下的模拟精度仍有提升

空间。

5.2 未来发展趋势展望

面向未来,水利工程信息化管理平台将朝着以下方向深化发展:一是从“数字孪生”走向“智慧孪生”:未来的孪生体将不仅是物理世界的镜像,更将具备自主学习、自主决策和自主优化的能力,成为一个真正的“智慧体”。二是云原生与微服务架构普及:采用云原生技术(如Kubernetes, Docker)和微服务架构,将使平台具备更强的弹性伸缩能力和敏捷开发能力,能够快速响应业务需求的变化。三是与国家水网深度融合:平台将不再局限于单个工程,而是作为国家水网的重要数字节点,实现跨区域、跨区域的水资源全局优化配置和联合调度,服务于国家水安全战略大局。四是公众参与和社会化服务:平台将逐步开放部分数据和服务接口,鼓励社会力量参与水环境监督、节水宣传等,形成政府、企业、公众共同治水的良好格局。

6 结语

水利工程信息化管理平台的构建与应用,是推动传统水利向现代智慧水利转型升级的核心引擎。本文系统阐述了平台的五层架构设计,深入剖析了物联网、大数据、AI和数字孪生等关键技术的作用,并通过典型应用场景验证了其实践价值。然而,平台的成功不仅在于技术的先进性,更在于业务的深度融合、数据的有效治理和持续的运营迭代。未来,应着力破除数据壁垒,完善标准体系,加强复合型人才培养,并积极探索“智慧孪生”等前沿方向,使信息化管理平台真正成为守护江河安澜、促进人水和谐的“智慧大脑”,为国家水安全保障和经济社会高质量发展贡献坚实力量。

[参考文献]

- [1]洪攀.智慧水利背景下水利工程信息化管理系统的构建与应用[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.2025人工智能与工程管理学术交流会议论文集.黄河建工集团有限公司,2025:494-495.
- [2]陈德.信息化技术在水利工程管理中的应用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(21):207-209.
- [3]陶凤博,李洋.信息化技术在水利工程管理中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(19):217-219.
- [4]李维琴.信息化技术在水利工程管理中的应用探究[J].科技与创新,2025,(09):211-214.