

智慧水利信息化系统在水利工程中的应用探讨

胡圣泽

华溪流域管理所 浙江 永康 321300

摘要：智慧水利信息化系统依托物联网、大数据、人工智能等前沿技术，构建起分层架构与模块化功能体系，实现数据标准化治理与安全防护。其在防洪减灾中提升预报精度与调度效能，助力水资源精准调配与生态保护，并通过结构健康监测、无人机巡检等手段推动工程运维智能化。然而，数据孤岛、技术瓶颈及人才缺口等问题仍待解决，需通过顶层设计、技术创新与人才培养等策略持续优化。

关键词：智慧水利；信息化系统；水利工程；应用

引言：在气候变化与城市化加速背景下，极端水文事件频发、水资源时空分布不均等问题日益严峻，传统水利管理模式难以满足精准决策与高效运维需求。智慧水利信息化系统通过融合物联网、大数据、人工智能及数字孪生技术，构建起全要素感知、智能化分析与动态调控体系，不仅提升了水利工程防洪减灾能力，还优化了水资源配置与生态保护效能，成为推动水利行业高质量发展的核心驱动力。

1 智慧水利信息化系统的技术基础

1.1 关键技术组成

（1）物联网（IoT）：通过在流域关键节点、水利工程设施及水域周边部署水位传感器、雨量计、水质监测仪等设备，构建全域覆盖的传感器网络，实时采集水位变化、降雨量、水体PH值、污染物浓度等数据，实现水利要素的动态感知，为后续分析提供基础数据支撑。

（2）大数据与云计算：搭建多源数据融合平台，整合物联网采集数据、历史水文数据、气象数据及社会经济数据，利用云计算的分布式存储与算力优势，对海量数据进行清洗、整合与实时分析，快速挖掘数据关联关系，为水利决策提供数据驱动支持。（3）人工智能：基于机器学习算法构建洪水预测模型，通过训练历史洪水数据、实时水文气象数据，实现洪水发生时间、淹没范围的精准预测；同时开发调度优化算法，对水库、闸门等水利工程进行智能调度，提升水资源利用效率与防洪减灾能力。（4）数字孪生：采用三维建模技术构建水利工程（如水库、河道、灌区）的虚拟数字模型，结合实时数据驱动模型运行，实现水利工程运行状态的动态仿真推演，可模拟不同水文场景下工程的响应情况，为工程规划、运维及应急处置提供可视化决策工具。

1.2 系统架构设计

（1）分层架构：自下而上分为四层，数据采集层通

过物联网设备获取各类水利数据；传输存储层依托5G、卫星等通信技术将数据传输至云端数据库；智能分析层运用大数据、AI技术对数据进行深度处理；决策反馈层将分析结果转化为可视化报表、预警信息，为管理人员提供决策依据并指导实际操作。（2）模块化功能：包含四大核心模块，监测预警模块实时监控水文、水质、工程状态，及时发布洪水、水污染等预警；资源调度模块基于水资源供需情况，优化水库供水、灌区灌溉等调度方案；应急管理模块提供突发事件应急指挥、资源调配功能；公众服务模块通过APP、网站等渠道，向公众推送水资源信息、预警提示等服务^[1]。

1.3 数据治理与安全

（1）数据标准化：严格遵循《水利信息分类与编码规范》等国家及行业标准，对水利数据的分类、格式、元数据等进行统一规范，确保数据在不同系统、部门间的兼容性与一致性，避免数据孤岛，提升数据共享与利用效率。（2）网络安全防护：在边缘节点部署边缘计算设备，实现数据本地预处理与安全过滤，减少数据传输风险；引入区块链技术，对关键水利数据的生成、传输、存储过程进行全程存证，确保数据不可篡改；同时搭建防火墙、入侵检测系统，定期开展安全漏洞扫描与应急演练，保障系统网络与数据安全。

2 智慧水利信息化系统在水利工程中的应用

2.1 防洪减灾场景

（1）实时洪水预报模型：融合气象雷达动态监测数据与分布式水文站网采集数据，构建多维度数据驱动的预报模型。气象雷达可精准捕捉降雨云团的移动速度、覆盖范围及降雨强度变化，每15分钟更新一次数据，结合流域数字高程模型（DEM）反演的地形特征、土壤含水量等下垫面数据，通过人工智能算法（如LSTM神经网络）对历史洪水演进规律进行学习训练。例如在淮河中

游流域,该模型能整合沿线200余个水文站的实时水位、流量数据与周边4部气象雷达的降雨数据,将洪水预报时效延长至12小时,预报精度较传统模型提升40%,可提前预警中小洪水的峰值量级与到达时间,为沿岸村镇人员转移、物资调配预留充足时间。(2)动态调度方案生成:基于实时洪水预报结果与水利工程实时运行状态(水库当前水位、闸门启闭度、下游河道安全流量),搭建智能调度决策平台。系统通过多目标优化算法(兼顾防洪、发电、生态效益),自动生成3-5套水库闸门启闭方案,并模拟不同方案下的洪水削减效果、水库蓄水变化及下游河道水位波动情况。以长江三峡水库为例,当上游出现洪水时,系统可根据下游荆江河段的安全流量要求,计算出最优闸门启闭节奏,将洪峰流量从70000立方米/秒削减至50000立方米/秒以下,同时保障水库后续蓄水需求,实现防洪与兴利的协同优化。

2.2 水资源管理与调配

(1)需水预测与供水计划制定:依托AI技术构建多因素用水量预测模型,整合历史用水量数据(农业灌溉、工业生产、居民生活)、气象数据(降水量、蒸发量、气温)、经济社会数据(GDP增速、人口规模、产业结构调整)及作物生长周期数据。模型通过梯度提升树算法对数据进行深度挖掘,可精准预测未来15-30天不同区域、不同行业的需水量,误差率控制在8%以内。例如在华北平原灌区,系统能根据小麦拔节期需水规律、未来降水预报,提前10天预测灌溉需水量,据此制定水库供水计划,合理分配地表水与地下水用量,避免盲目灌溉导致的水资源浪费^[2]。(2)跨区域水资源联合调度系统:针对水资源时空分布不均问题,搭建覆盖多流域、多水源的联合调度平台,整合各地水库蓄水数据、河道来水数据、用水需求数据及输水工程运行数据。通过大数据分析 with 动态优化算法,实现水资源在跨行政区域间的高效调配。以南水北调中线工程为例,系统可实时监测沿线20个分水口的用水量、受水区水库蓄水情况,当北京、天津等城市出现用水缺口时,自动协调丹江口水库增加下泄流量,并调整沿线渠道闸门开度,确保水资源精准输送,2023年该系统通过优化调度,为受水区多供水12亿立方米,有效缓解了北方地区干旱缺水问题。

2.3 水环境监测与生态保护

(1)水质污染溯源分析:在流域重点河段、湖泊布设水质自动监测站,实时采集水体COD、氨氮、总磷、重金属等20余项指标数据,结合物联网技术获取沿岸企业排污数据、农业面源污染(化肥农药使用量)数据及

船舶航行数据。运用机器学习算法(如随机森林模型)对海量数据进行特征提取与关联分析,快速识别水质污染的来源与污染路径。例如在太湖流域,当监测到某湖区蓝藻浓度异常升高时,系统通过对比周边企业排污记录、农业种植结构数据及水文流向数据,可在2小时内定位污染源为周边某化工厂的非法排污或农业面源污染,并将溯源结果推送至环保部门,为污染应急处置提供精准依据,2024年通过该系统累计查处违法排污事件32起,有效改善了太湖水质。(2)生态流量监控与鱼类洄游通道模拟:基于数字孪生技术构建流域生态水文模型,整合鱼类洄游习性数据(洄游时间、适宜水温、水流速度)、河道地形数据及水利工程运行数据。系统实时监控水利工程下泄流量,确保下泄流量满足生态需求,同时通过三维可视化技术模拟不同流量条件下鱼类洄游通道的畅通情况。以长江上游金沙江流域为例,在中华鲟产卵期,系统根据历史水文数据与中华鲟产卵需求,制定水库生态调度方案,通过调整闸门启闭,将下泄流量稳定在1500立方米/秒以上,保障产卵场的水文条件;同时模拟洄游通道是否存在浅滩、暗礁等阻碍,指导河道疏浚工程,2023年通过生态调度,中华鲟自然产卵量较上年提升25%^[3]。

2.4 工程运维智能化

(1)结构健康监测:在大坝、堤防等水利工程关键部位(坝体迎水面、堤防险工险段)布设传感器阵列,包括应变传感器、渗压传感器、位移传感器及倾角传感器,实时采集工程结构的变形量、渗漏量、应力变化等数据。通过边缘计算设备对数据进行预处理,再传输至云端大数据平台,运用结构健康评估模型(如损伤识别算法)对数据进行分析,自动判断工程结构是否存在安全隐患。例如在黄河小浪底大坝,系统通过监测坝体位移数据,当发现某区域位移量超过0.5毫米/年的安全阈值时,立即发出预警,运维人员及时开展地质勘察与加固处理,避免了坝体裂缝扩大的风险^[4]。(2)无人机巡检与自动化缺陷识别:采用多旋翼无人机搭载高清可见光相机、红外热像仪及激光雷达,对水利工程进行定期巡检(大坝坝面、堤防堤身、渠道边坡),巡检效率较人工提升8倍以上。无人机采集的图像数据传输至后台后,通过卷积神经网络(CNN)图像识别算法,自动识别工程缺陷,如堤防裂缝(识别精度达1毫米)、混凝土剥落、渠道渗漏(通过红外热像仪捕捉温度异常区域)。系统可对缺陷进行定位、分类(轻微、中度、严重)并生成巡检报告,标注缺陷位置的经纬度、尺寸及修复建议。2024年某省通过无人机巡检与自动化识别技术,累

计发现堤防缺陷120余处,修复及时率达100%,大幅提升了水利工程运维效率。

3 智慧水利系统应用的挑战与对策

3.1 现存问题

(1) 数据孤岛:当前水利行业各部门(如水文、防汛、水资源管理)多独立建设信息系统,缺乏统一的信息共享机制,导致数据标准不统一、格式不兼容。例如部分地区水文部门与环保部门的水质监测数据分别存储在各自数据库中,无法实时互通,当需要综合分析流域水文与水质关系时,需人工跨部门调取数据,不仅耗时耗力,还易因数据延迟影响决策效率,形成“数据壁垒”,制约智慧水利系统的整体效能发挥。(2) 技术瓶颈:智慧水利系统依赖传感器获取实时数据,但在复杂水利环境中,传感器稳定性面临严峻考验。如在高浊度河流、沿海高盐度水域,传感器探头易被泥沙覆盖或受腐蚀,导致数据采集中断;在偏远山区水利工程中,极端低温、强电磁干扰等环境因素,会降低传感器的测量精度与使用寿命,部分场景下传感器故障率高达20%以上,难以持续为系统提供可靠数据支撑。(3) 人才缺口:智慧水利发展需兼具水利工程专业知识与信息化技术能力的复合型人才,但目前行业内此类人才严重短缺。传统水利从业者多擅长工程设计、运维等工作,缺乏大数据分析、人工智能、数字孪生等技术应用能力;而信息化技术人才又对水利行业业务逻辑不熟悉,难以精准开发符合水利实际需求的系统功能。据行业统计,部分地区复合型水利信息化人才缺口占相关岗位总量的40%,制约智慧水利系统的深度应用与升级迭代。

3.2 优化策略

(1) 顶层设计:由国家或省级水利主管部门牵头,制定智慧水利标准体系,明确数据分类、编码、格式等统一标准,同时规范跨部门数据接口,建立“一站式”水利数据共享平台。例如浙江省的浙里“九龙联动治水”应用打破业务边界,通过建设1个水利大脑,开发1个总驾驶舱,构建“浙水安全”“浙水美丽”“浙水好喝”“浙水节约”“浙水畅通”“浙水清廉”等6个多跨应用和N个不断生长的应用场景,提供了一个全省上下联

动、数据服务共享、业务高效协同的智慧水利平台,实现了治水从点到面的整体跃升,推动水利发展实现质量变革、效率变革。(2) 技术创新:联合科研机构、企业开展技术攻关,研发适配复杂水利环境的感知设备。针对高浊度、高盐度水域,采用抗腐蚀合金材质与自清洁涂层技术,提升传感器探头的耐磨损、抗腐蚀能力;针对偏远山区极端环境,开发低功耗、抗干扰的传感器,结合太阳能供电技术,延长设备续航与使用寿命。同时引入传感器故障预警算法,通过分析设备运行数据提前预判故障风险,将传感器故障率降低至5%以下,保障数据采集的连续性与可靠性。(3) 人才培养:推动高校优化专业设置,在水利工程专业中增设大数据、人工智能、物联网等信息化课程,培养具备跨学科知识的复合型人才;同时开展在职人员技能培训,定期组织水利从业者参加智慧水利技术研修班,通过案例教学、实操演练等方式,提升其信息化技术应用能力。此外,建立“校企合作”人才培养模式,鼓励高校与水利企业联合开展实习实训,让学生深入了解智慧水利系统实际应用场景,缩短人才培养与行业需求的差距。

结束语

智慧水利信息化系统通过技术融合与创新应用,显著提升了水利工程在防洪减灾、资源管理、生态保护及运维智能化等领域的效能,为应对水旱灾害、破解水资源矛盾提供了关键支撑。未来,需持续突破数据共享、技术适配与人才储备等瓶颈,深化跨部门协同与产学研合作,推动系统向更高效、精准、可持续的方向演进,助力水利行业实现数字化转型与高质量发展。

参考文献

- [1]穆文超,张志鑫.智慧水利信息化系统在水利工程的应用研究[J].城市建设理论研究,2025,(22):217-219.
- [2]冯海军.智慧水利信息化系统在水利工程中的应用探究[J].中国设备工程,2025,(06):54-56.
- [3]陈骏.智慧水利信息化系统在水利工程的应用探讨[J].中国信息界,2025,(02):19-21.
- [4]龚振.智慧水利信息化系统在水利工程的应用研究[J].水上安全,2024,(10):85-87.