

智慧水利在水利工程管理中的应用

刘永刚

内蒙古河套灌区水利发展中心乌拉特分中心九排干沟排水所 内蒙古 巴彦淖尔 014400

摘要: 智慧水利通过物联网、大数据、云计算等技术,将水利工程管理推向数字化、智能化新阶段。其应用涵盖防洪调度、水资源监测、工程安全维护等核心领域,如构建数字孪生流域实现“四预”能力,利用智能传感器实时监测水库水位与工程结构,通过AI算法优化灌溉用水分配。智慧平台整合多源数据,打破信息孤岛,提升决策精准度,推动水利管理从被动响应向主动调控转型,显著增强工程效益与风险防控能力。

关键词: 智慧水利; 水利工程管理; 应用

引言: 在科技飞速发展的当下,传统水利工程管理面临数据分散、响应滞后、决策粗放等挑战,难以满足水资源高效利用与防灾减灾的迫切需求。智慧水利作为数字技术与水利业务深度融合的产物,依托物联网、大数据、人工智能等技术,构建起“空天地水”一体化监测网络与智能决策体系。其应用不仅重塑了水利工程全生命周期管理模式,更推动管理范式向精准化、动态化、可持续化转型,成为破解水资源管理难题的关键路径。

1 智慧水利的技术体系与理论基础

1.1 智慧水利的核心技术架构

(1) 感知层: 作为数据采集源头,物联网(IoT)通过各类传感器实时获取水位、水质、流量等水利基础数据;无人机可对偏远或危险水域进行航拍巡检,捕捉地表水利设施状态;卫星遥感则实现大范围流域监测,掌握宏观水文变化,三者协同构建全方位感知网络。(2) 传输层: 5G/6G技术凭借高带宽、低时延特性,保障海量感知数据高速传输;边缘计算在靠近数据采集端进行预处理,减少数据传输量,提升响应效率,为后续数据处理奠定基础。(3) 平台层: 大数据技术对多源异构水利数据进行存储、清洗与分析;云计算提供弹性算力支持,满足大规模数据处理需求;数字孪生技术构建与实体流域一致的虚拟模型,实现流域动态映射。(4) 应用层: AI决策支持通过分析数据生成水利调度、灾害应对等方案;智能调度系统依据方案自动调控水利设施,提升水利管理智能化水平。

1.2 关键技术原理

(1) 实时数据采集与融合技术: 整合感知层多设备数据,通过数据校验、格式转换等手段,消除数据冗余与误差,形成统一、准确的数据集,为后续分析提供可靠数据支撑。(2) 机器学习在洪水预测中的应用: 利用历史洪水数据训练模型,让模型学习洪水发生规律,进

而对未来洪水发生时间、规模进行预测,为防洪决策提供依据。(3) 数字孪生流域的建模与仿真: 基于流域地理信息、水文数据等,构建数字孪生模型,模拟不同水文场景下流域的水流变化、水利设施运行状态等,为流域规划、管理提供仿真测试环境^[1]。

1.3 理论支撑

(1) 系统工程理论: 将智慧水利视为复杂系统,运用系统分析、优化等方法,统筹协调感知、传输、平台、应用各环节,实现智慧水利系统整体功能最优。

(2) 复杂适应系统(CAS)理论: 考虑智慧水利系统中各要素的适应性、互动性,分析系统在外部环境变化下的演化规律,为智慧水利系统的动态调整、优化提供理论指导。(3) 智慧治理理论: 以提升水利治理效能为目标,融合信息技术与治理理念,构建多元主体参与、数据驱动的水利治理模式,推动水利治理从传统向智慧转型。

2 智慧水利在水利工程管理中的具体应用

2.1 水资源管理

(1) 智能监测与动态配置: 依托感知层的物联网传感器、卫星遥感技术,实时采集流域内降水、水库蓄水量、河道流量及各区域用水数据,构建全域水资源监测网络。通过大数据分析与AI算法,精准计算不同区域水资源供需缺口,尤其在跨区域调水工程中,可动态优化调水时序与流量。例如,南水北调沿线借助智慧系统,根据受水区用水负荷变化,实时调整输水规模,避免水资源浪费,保障受水区生产生活用水稳定,实现水资源在时空上的高效配置^[2]。(2) 节水型社会建设中的智能监管: 在农业灌溉领域,部署土壤墒情传感器与智能灌溉设备,根据作物需水规律自动调节灌溉量,替代传统漫灌模式,节水率可达30%以上;在工业用水场景,通过智能水表实时监测企业用水强度,结合用水定额标准,

对超量用水行为实时预警，倒逼企业开展节水技术改造；在居民生活用水端，推广智能远传水表，实现用水量实时统计与异常用水识别，助力培养居民节水意识，推动节水型社会建设落地。

2.2 防汛抗旱与应急管理

(1) 基于AI的洪水预警与风险评估：整合气象卫星、水文站、水位传感器等多源数据，利用机器学习模型对历史洪水数据、实时水文气象信息进行分析，精准预测洪水发生时间、淹没范围及影响程度。同时，结合数字孪生技术构建流域洪水仿真模型，模拟不同洪水情景下的淹没过程，评估沿岸城镇、农田、基础设施的风险等级，提前划定危险区域并发布预警信息，为人员转移、物资准备争取时间。(2) 应急资源智能调度系统：建立应急资源数据库，实时存储防汛抗旱物资（如沙袋、水泵、救生设备）的储备量、存放位置及运输路线信息。当灾害发生时，系统根据灾害严重程度、受影响区域范围及资源需求，通过AI算法自动规划最优运输路径，调度附近储备点的物资与救援力量，实现应急资源的快速调配。例如，在干旱地区，系统可优先调度移动供水设备至缺水严重的村镇，保障居民基本饮水需求^[3]。

2.3 工程运维与安全监测

(1) 大坝、堤防的实时健康诊断：在大坝坝体、堤防关键部位布设振动传感器、渗压计、位移监测设备等，实时采集结构振动、渗流量、变形数据。通过边缘计算对数据进行实时分析，若发现振动异常、渗流量突增或位移超阈值等情况，立即触发预警。例如，某大型水库大坝借助振动分析技术，及时识别坝体因水流冲刷产生的结构隐患；通过渗流监测数据，精准定位渗漏点，为维修加固提供精准依据，避免安全事故发生。

(2) 预测性维护与全生命周期管理：利用大数据技术记录水利工程从建设、运维到老化的全生命周期数据，结合设备运行参数与故障历史数据，通过AI模型预测设备故障风险与使用寿命。例如，对闸门启闭机、水泵等设备，根据运行时长、负荷强度等数据，提前预测易损部件的更换时间，安排计划性维护，替代传统“故障后维修”模式，减少设备停机时间，降低运维成本，延长工程使用寿命。

2.4 水环境与生态保护

(1) 水质智能监测与污染溯源：在河流、湖泊、水库等水域布设水质传感器，实时监测pH值、溶解氧、化学需氧量(COD)、氨氮等指标，数据通过5G网络实时传输至平台层。若监测到水质异常，系统结合水流动力学模型与沿岸污染源分布数据，快速追溯污染源头，锁

定排污企业或污染区域，并将信息推送至环保部门，助力及时开展污染治理，防止污染扩散^[4]。(2) 生态流量调度与生物多样性保护：基于流域生态需水模型，结合鱼类产卵期、水生植物生长周期等生物节律数据，通过智慧调度系统合理调控水库下泄流量，保障河道生态基流，维持水域生态平衡。例如，在鱼类繁殖季节，通过增大下泄流量，模拟自然水文情势，为鱼类产卵、孵化提供适宜环境；同时，监测水域生物多样性变化，根据监测结果动态调整调度方案，促进水生生态系统修复与保护。

3 智慧水利驱动的管理模式创新

3.1 从“经验驱动”到“数据驱动”的决策转型

多源数据融合决策支持系统(DSS)成为核心支撑。该系统整合感知层的水文、气象、水质等实时数据，以及历史用水记录、工程运维档案等静态数据，通过大数据清洗、AI算法分析，将碎片化数据转化为决策依据。例如，在水资源调度中，系统无需依赖传统经验判断，可基于实时降雨量、水库蓄水量、各区域用水需求数据，自动生成最优调水方案，避免因经验偏差导致的资源浪费或供需失衡，实现决策从“拍脑袋”向“精准化”转变。

3.2 协同治理机制的构建

(1) 跨部门数据共享与业务协同平台：打破水利、环保、气象等部门的“数据壁垒”，依托统一数据标准搭建共享平台，实现数据实时互通。如水利部门可直接调用环保部门的水质监测数据，环保部门也能获取水利部门的河道流量数据，双方无需重复采集，在水污染治理、生态保护等工作中同步行动，提升跨部门协同效率，避免“各自为政”的治理困境。(2) 公众参与式治理：借助移动端应用搭建互动渠道，公众可通过APP举报河道污染、水利设施损坏等问题，并上传现场照片与位置信息；系统接收反馈后自动流转至对应管理部门，处理进度实时向公众同步。同时，平台定期发布水利治理动态、用水知识，引导公众参与节水、护水行动，构建“政府主导+公众参与”的共治格局^[5]。

3.3 动态监管与精细化服务

(1) 网格化管理与“一图统管”：将流域划分为若干网格，每个网格配备智能监测设备与专属管理人员，通过数字孪生技术构建“水利一张图”，整合网格内水利设施分布、用水情况、隐患点位等信息。管理人员在平台上可实时查看网格动态，发现异常（如堤防渗漏、非法取水）能快速定位并调度人员处置，实现监管从“粗放式”向“网格化、可视化”转变。(2) 面向用户的个性化服务：以用水户信用评价体系为典型代表，

系统根据用户历史用水合规性、节水措施落实情况等数据,自动生成信用等级。对信用良好的用户,可提供优先供水、水费优惠等激励;对违规用水(如偷水、超量用水)用户,采取信用扣分、限期整改等措施,通过差异化服务引导用户规范用水,推动水利服务从“一刀切”向“个性化、精准化”升级。

4 智慧水利发展中的挑战与对策建议

4.1 主要挑战

(1) 数据安全与隐私保护:智慧水利依赖海量数据采集与传输,涵盖流域地理信息、用水户数据、工程运维数据等敏感信息。当前数据存储与传输过程中,面临网络攻击、数据泄露等风险,如黑客入侵平台篡改水文数据可能导致决策失误;同时,用水户个人用水数据若未妥善保护,易侵犯用户隐私,对智慧水利数据安全提出严峻考验。(2) 部门间标准不统一导致的“数据孤岛”:水利、环保、气象等部门在数据采集格式、存储标准、传输协议等方面存在差异,缺乏统一规范。例如,水利部门水质监测数据格式与环保部门不一致,导致数据无法直接共享,形成“数据孤岛”,阻碍跨部门协同治理,降低智慧水利系统整体运行效率。(3) 基层技术人员能力不足:智慧水利涉及物联网、AI、大数据等前沿技术,基层水利部门技术人员普遍存在技术储备不足、操作能力欠缺的问题。部分人员难以熟练操作智能监测设备与数据分析平台,无法充分发挥智慧系统的功能,制约智慧水利在基层的落地应用。

4.2 对策建议

(1) 完善顶层设计与标准体系:由国家层面牵头,制定智慧水利数据安全规范与数据共享标准,明确数据采集、存储、传输、共享的统一要求,打破部门间标准壁垒,推动跨部门数据互通;同时,建立数据安全防护机制,部署加密技术、入侵检测系统,加强数据安全监管,保障数据安全与隐私。(2) 加强复合型人才培养:

构建“高校培养+企业培训+基层实践”的人才培育体系,高校开设智慧水利相关专业,定向培养兼具水利知识与信息技术的复合型人才;组织基层技术人员参与技术培训与实操演练,邀请专家现场指导,提升人员对智慧系统的操作与应用能力,为智慧水利发展提供人才支撑。(3) 探索PPP模式吸引社会资本参与:积极推广政府与社会资本合作(PPP)模式,鼓励社会资本参与智慧水利项目建设与运营。政府通过政策扶持、补贴激励等方式,降低社会资本投资风险,引导社会资本投入智能设备研发、平台建设等领域,缓解政府资金压力,拓宽智慧水利融资渠道,推动智慧水利可持续发展。

结束语

智慧水利为水利工程管理注入了全新活力,从实时精准监测到科学智能决策,从提升工程效益到强化风险防控,全方位革新了传统管理模式。随着技术持续迭代升级,其应用深度与广度将不断拓展。未来,需进一步融合新兴技术,完善标准体系,强化数据安全保障,推动智慧水利与生态保护、乡村振兴等战略深度协同,让水利工程在保障水安全、支撑经济社会高质量发展中发挥更强劲、更持久的作用。

参考文献

- [1]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):254-256.
- [2]孙春奇,余丽华,程海洲.宁波市推进水利工程运行管理智能化的实践与探索[J].水利信息化,2019,(06):41-43.
- [3]王勇,李建民.智慧水利技术及其应用现状分析[J].水资源与水工程学报,2022,33(4):117-118.
- [4]王宁,王伟,湛东海.典型水利工程配套智慧管理系统设计研究[J].水电站机电技术,2022,45(12):28-30.
- [5]于博文.智慧水利工程建设与管理实施新路径研究[J].中国水运,2024,24(14):105-107.