

智慧水利在水利工程中的应用

吴林康 颜一农

浙江省丽水龙泉市水利局 浙江 丽水 323700

摘要: 传统水利工程面临信息壁垒、管理粗放、应对被动等问题,难以满足新时代水资源可持续利用与水安全保障需求。本文围绕智慧水利在水利工程中的应用展开研究,阐释了智慧水利的概念,明确其是现代信息技术与水利工程融合的新型发展模式。分析了物联网、大数据与云计算、人工智能与机器学习、数字孪生四大核心技术及原理,涵盖技术构成、运行逻辑等。探讨了智慧水利在水资源监测与管理、防洪减灾、农业灌溉中的具体应用,包括全要素监测、智能调度等实践方向。研究旨在为水利工程数字化转型提供理论支撑,助力提升水利系统运行效率与水安全保障能力。

关键词: 智慧水利; 水利工程; 技术与原理; 具体应用

引言: 随着现代信息技术发展,智慧水利成为水利行业转型核心方向。它通过多技术整合,实现水利系统全要素感知、精细化管理与智能化决策。本文先界定智慧水利概念,再剖析核心技术原理,最后结合水资源监测、防洪减灾、农业灌溉场景阐述具体应用,为解决传统水利痛点、推动水利工程高质量发展提供思路。

1 智慧水利的概念

智慧水利是依托现代信息技术与水利工程深度融合,构建的具有感知、分析、决策、执行、反馈能力的新型水利发展模式,是水利行业数字化、网络化、智能化转型的核心方向。其核心在于通过整合多领域技术资源,打破传统水利的信息壁垒与管理局限,实现对水利系统全要素、全流程的精细化管控与高效协同。从技术构成来看,智慧水利以物联网、大数据、云计算、人工智能、数字孪生等技术为核心支撑,通过部署各类感知设备获取水资源、水环境、水工程等关键数据,借助云端算力与算法模型对数据进行深度挖掘与分析,形成对水利系统运行状态的实时感知与动态研判。

在功能定位上,智慧水利并非单纯的技术叠加,而是以实现水资源可持续利用、提升水安全保障能力、优化水利工程效能为目标,通过智能化决策机制,推动水利管理从“被动应对”向“主动预见”转变,从“经验驱动”向“数据驱动”升级,最终构建起适应新时代水利发展需求的智慧化治理体系。智慧水利强调系统的整体性与协同性,注重打通水利各业务环节的数据通道,实现跨区域、跨部门的信息共享与业务协同,为水利工程规划、建设、运维及水资源调配、防洪减灾、水生态保护等提供全周期、智能化的技术支撑与决策依据,是现代水利发展的高级形态^[1]。

2 智慧水利的核心技术与原理

2.1 物联网技术

物联网技术是智慧水利“万物互联”的核心支撑,通过构建覆盖水利要素的感知网络完成数据实时采集与传输,为后续处理与决策提供原始依据,核心原理围绕感知层、传输层协同展开。(1)感知层技术构成:作为数据入口,感知层以水位、水质、流速、降雨量、土壤墒情等传感器为核心,具备高精度、低功耗、抗干扰特性,可实时采集监测对象的物理量与化学量,将非电信号转化为可传输的电信号或数字信号,保障数据采集的准确性与连续性。(2)传输层技术选择:负责将感知数据高效传输至数据中心或云端,需适配不同场景。远距离、大范围场景常用LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术,凭借覆盖广、功耗低、成本低的优势适配偏远水利设施;短距离、高带宽场景则采用WiFi、蓝牙或以太网,实现数据高速传输以满足实时监测需求。(3)网络管理与协同:含网络管理模块,通过监测感知节点与传输设备状态实现故障自动诊断与报警,同时调度优化数据传输流量,避免网络拥堵,保障数据传输可靠性与时效性,实现感知层与传输层协同。

2.2 大数据与云计算

针对智慧水利产生的海量监测、工程、管理数据,大数据与云计算通过高效架构解决存储、整合与分析问题,为数据价值挖掘提供保障,原理聚焦存储架构、处理流程与资源调度。(1)大数据存储架构:采用分布式存储架构,将数据分散存储于多节点,通过数据分片、副本备份提升存储容量、扩展性与安全性,避免单一节点故障导致数据丢失;同时按数据类型(结构化、半结构化、非结构化)分类存储于适配系统,为后续处理提供便利。

(2) 数据预处理流程: 针对数据缺失、异常、冗余问题, 通过清洗(剔除异常、填补缺失)、集成(整合多源数据消除异构性)、转换(标准化与归一化)、规约(减量提质)四步, 将原始数据转化为适合分析的格式, 提升后续处理效率。(3) 云计算资源调度: 以资源虚拟化为核心, 将物理硬件抽象为虚拟资源池, 调度模块根据任务复杂度、优先级动态分配计算、存储与网络资源, 实现资源高效利用, 确保数据处理任务快速响应, 满足时效性需求。

2.3 人工智能与机器学习

通过深度分析水利数据挖掘规律与关联, 构建智能模型为决策提供依据, 原理围绕数据特征提取、模型构建与优化、决策推理展开。(1) 数据特征提取: 借助特征工程, 从预处理数据中筛选能反映水利系统运行状态与变化趋势的特征变量(如水资源分析中的降雨量、径流量, 工程安全评估中的结构位移、应力), 为模型训练提供高质量输入。(2) 模型构建与训练: 根据需求选择适配算法(回归分析用于预测、分类算法用于事件识别、聚类算法用于数据关联、深度学习用于复杂系统建模), 利用标注历史数据训练模型, 通过调整参数降低误差, 提升模型准确性与泛化能力, 适配不同水利场景。(3) 模型推理与优化: 训练后的模型可输入实时数据输出预测结果或决策建议; 同时建立优化机制, 定期用新数据更新迭代模型, 调整结构与参数, 确保模型适应水利系统动态变化, 提升决策科学性。

2.4 数字孪生技术

通过构建与物理水利系统高度一致的虚拟模型, 实现全生命周期动态映射、模拟分析与优化控制, 核心原理为物理与虚拟双向映射、数据驱动更新及多维度模拟。(1) 虚拟模型构建: 以几何、物理、规则建模为核心, 通过三维扫描、BIM技术构建与实体一致的几何模型; 依据材料特性、力学原理、水力学规律建立数学模型; 整合运行规则、调度策略、应急预案形成规则库, 确保虚拟模型反映物理系统运行逻辑。(2) 数据双向映射与同步: 通过物联网将物理系统实时数据(水位、流量、结构状态)传输至虚拟模型, 驱动模型更新以反映物理状态; 同时将虚拟模型的模拟优化结果、控制指令反馈至物理设备, 指导运行调整, 形成闭环交互。(3) 多维度模拟与分析: 依托虚拟模型开展正常运行(模拟状态、预测趋势)、极端工况(洪水、干旱、地震下的系统响应与抗风险评估)、故障模拟(模拟故障过程、分析原因与影响), 为水利系统规划、建设、运维与调度提供全面支撑^[2]。

3 智慧水利在水利工程中的具体应用

3.1 在水资源监测与管理中的应用

智慧水利通过技术整合, 实现水资源监测的实时化、管理的精细化, 打破传统管理的时空局限, 为水资源高效利用提供全流程支撑, 具体应用如下: (1) 全要素实时监测与数据整合: 依托物联网技术部署覆盖水源地、输水干线、用水终端的感知设备, 对水位、水量、水质、水温、蒸发量、土壤墒情等水资源关键要素进行不间断采集, 同时整合水利工程运行数据、气象数据、用水户数据等多源信息, 通过统一数据平台实现数据标准化存储与共享, 消除“数据孤岛”, 为后续管理提供全面、准确的基础数据。(2) 水资源动态评估与趋势预测: 运用大数据与人工智能技术, 对采集的水资源数据进行多维度分析, 构建水资源评估模型, 实时计算区域水资源总量、可利用量、水质达标率等核心指标, 动态掌握水资源供需平衡状态; 同时结合历史数据与气象预测信息, 建立趋势预测模型, 对未来一段时间内的水资源量、水质变化、用水需求进行预判, 为水资源管理决策提供前瞻性依据。(3) 水资源优化配置与智能调度: 基于动态评估与预测结果, 结合区域经济社会发展需求、生态保护要求, 利用优化算法构建水资源配置模型, 制定多情景下的水资源分配方案, 明确生活、生产、生态用水的优先级与配额; 通过远程控制技术, 对水库、泵站、闸门等水利设施进行智能化调度, 实现水资源在不同区域、不同用户间的精准分配, 提升水资源利用效率, 减少浪费。(4) 用水监管与节水管控: 通过安装智能水表、流量计等设备, 对工业、农业、生活用水户的用水量进行实时监测, 建立用水台账, 实现用水数据的精准计量与统计; 针对高耗水行业或区域, 设置用水定额预警阈值, 当用水量超出阈值时自动报警, 同时结合用水效率分析模型, 为用户提供节水建议与技术指导, 推动节水措施落地, 促进水资源节约集约利用^[3]。

3.2 在防洪减灾中的应用

智慧水利通过构建“监测-预警-调度-应对”的全链条防洪减灾体系, 提升防洪减灾的精准性与时效性, 降低洪水灾害风险, 具体应用聚焦以下环节。(1) 洪水全流程实时监测: 在流域内的河道、水库、堤防、蓄滞洪区等关键部位, 部署水位、流量、降雨量、堤防位移、土壤含水量等感知设备, 结合遥感、无人机巡查技术, 实现对洪水形成、演进、影响范围的全方位、实时监测; 通过数据传输网络将监测数据实时传输至防洪指挥平台, 动态呈现洪水发展态势, 为后续预警与调度提供数据支撑。(2) 多级别精准预警: 基于实时监测数据与气象预报信息, 利用水文水动力学模型与人工智能算法, 模拟洪水

演进过程,计算不同区域的洪水到达时间、淹没范围、淹没深度等关键参数;根据洪水风险等级划分标准,制定多级别预警机制,通过短信、APP、广播、预警喇叭等多种渠道,向受影响区域的政府部门、群众发布预警信息,明确预警级别、影响范围、避险建议,为人员转移与避险争取时间。(3) 防洪工程智能调度:在接到预警信息后,防洪指挥平台结合流域防洪规划、水利工程调度规程,利用优化算法构建调度模型,制定水库、堤防、蓄滞洪区等防洪工程的联合调度方案;通过远程控制技术,对水库闸门开度、泵站运行状态进行实时调整,科学调控洪水下泄流量,充分发挥水利工程的拦洪、削峰、错峰作用,减轻下游地区的防洪压力,降低洪水灾害损失。(4) 灾后快速评估与辅助恢复:洪水过后,利用遥感影像、无人机航拍数据与地面监测数据,结合地理信息系统(GIS)技术,构建灾后评估模型,快速计算洪水淹没面积、受灾人口、受灾农作物面积、房屋损毁数量、基础设施破坏程度等指标,形成灾情评估报告;同时根据评估结果,为灾后救援物资调配、基础设施修复、受灾群众安置等工作提供决策支持,助力灾后恢复重建。

3.2 在农业灌溉中的应用

智慧水利通过技术赋能实现灌溉的精准化、智能化,提升农业用水效率,保障农业生产稳定,具体应用围绕以下方面展开。(1) 土壤墒情与作物需水实时监测:在农田区域部署土壤墒情传感器、作物长势监测设备、气象站等,实时采集土壤含水量、土壤温度、作物株高、叶面积指数、降雨量、蒸发量等数据;通过数据分析模型,结合不同作物在不同生育期的需水规律,精准计算作物实际需水量,明确灌溉的必要性与灌溉量,避免盲目灌溉。(2) 智能化灌溉控制与执行:基于土壤墒情与作物需水监测结果,利用物联网与自动控制技术,构建智能灌溉系统,实现灌溉的自动化与精准化。根据作物需水情况,系统可自动控制灌溉设备的开启与关闭时间、灌溉水量,同时支持远程手动控制,农户可通过手机APP、电脑终端实

时查看农田墒情与灌溉状态,并根据实际需求调整灌溉方案,确保灌溉水精准输送至作物根部,提升灌溉效率。(3) 灌溉用水计量与成本管控:在灌溉系统中安装智能流量计、水表等计量设备,对农业灌溉用水量进行实时计量与统计,建立灌溉用水台账,明确不同地块、不同作物的用水量与用水成本;通过用水数据分析,为农户提供用水成本优化建议,同时为政府部门制定农业水价、水资源税等政策提供数据支撑,推动农业用水成本合理分摊,增强农户节水意识。(4) 灌溉效果评估与优化:利用大数据技术对灌溉用水量、作物长势、产量、土壤肥力等数据进行关联分析,构建灌溉效果评估模型,评估不同灌溉方案下的作物生长状况与水分利用效率;根据评估结果,结合作物品种、土壤类型、气象条件等因素,优化灌溉制度,形成适配不同农业生产场景的高效灌溉方案,持续提升农业灌溉的科学性与经济性^[4]。

结束语:智慧水利通过融合多领域技术,突破传统水利局限,在水利工程多场景中展现显著应用价值,为水资源管理、防洪减灾、农业灌溉提供高效解决方案,推动水利管理向数据驱动、主动预见转型。未来需进一步攻克技术瓶颈,完善应用体系,强化多部门协同。相信随着智慧水利持续发展,将为水利行业现代化提供更强大支撑,助力实现水资源可持续利用与国家水安全战略目标。

参考文献:

- [1] 罗兰.智慧水利在水利工程中的应用[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2020(4):3907-3908.
- [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(6):254-256.
- [3] 孔凡军.“互联网+智慧水利”在水利工程施工中的应用[J].南国博览,2025(2):57-61.
- [4] 桂许亮.智慧水利技术在中小型水利工程节水灌溉中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)农业科学,2025(3):040-043.