

智慧水利工程建设与信息化管理技术研究

李佳鑫

黑龙江省肇东市中铁水务, 中国·黑龙江 绥化 151100

摘要: 论文围绕智慧水利工程建设与信息化管理技术展开全面且深入的探究。详述其于当代水利行业发展进程中的关键意义, 系统性剖析智慧水利工程架构体系, 详细解读核心信息化管理技术, 结合丰富实际案例点明实践成果与现存困境, 进而提出针对性发展策略, 旨在全方位推动水利工程朝智能化、精细化、高效化方向转型, 强化水利行业综合服务与管控效能。

关键词: 智慧水利工程; 信息化管理技术; 水资源管理; 防洪减灾

Research on Smart Water Conservancy Engineering Construction and Information Management Technology

Jiaxin Li

China Railway Water Service in Zhaodong City, Heilongjiang Province, Suihua, Heilongjiang, 151100, China

Abstract: This paper conducts a comprehensive and in-depth exploration of smart water conservancy engineering construction and information management technology. Elaborate on its key significance in the development process of the contemporary water conservancy industry, systematically analyze the architecture system of smart water conservancy projects, interpret core information management technologies in detail, combine rich practical cases to point out practical achievements and existing difficulties, and then propose targeted development strategies, aiming to comprehensively promote the transformation of water conservancy projects towards intelligence, refinement, and efficiency, and strengthen the comprehensive service and control efficiency of the water conservancy industry.

Keywords: smart water conservancy engineering; information management technology; water resource management; flood control and disaster reduction

0 前言

水利工程, 作为国民经济的关键根基, 犹如庞大机体的血脉网络, 贯穿水资源调配、防洪御涝、农业灌溉以及城乡供水等众多命脉领域。步入信息时代, 物联网、大数据、人工智能等前沿科技浪潮汹涌澎湃, 为水利工程带来蜕变契机。智慧水利工程建设, 仿若为传统水利设施注入智慧灵魂, 借助信息化管理技术打破数据隔阂、激活数据潜能, 达成水利设施智能运维、水资源科学统筹、水灾害精准预警防控, 对筑牢水安全防线、践行水资源可持续利用意义非凡。

1 智慧水利工程架构体系

1.1 感知层

感知层作为智慧水利工程的前沿触角, 肩负着数据捕捉的重任, 其传感器类型丰富多样, 各自发挥独特效能。除常见的水位、流量、水质、土壤湿度和雨量传感器外, 气象雷达也是关键成员。气象雷达能对大面积区域的降雨云团移动、强度变化进行实时监测, 为洪水的提前预判提供宏观层面的数据支持。例如, 在山区流域, 暴雨云团往往形成迅速且移动路径难测, 气象雷达提前捕捉其动态, 结合地形数据, 就能预估哪些区域会率先遭遇强降雨, 进而引发山洪, 为下

游地区争取宝贵的预警与疏散时间。

此外, 视频监控设备在感知层也扮演重要角色。高清摄像头不仅能直观呈现水利设施外观状况, 还能借助图像识别技术, 自动识别水面漂浮物、冰凌等异常情况。在北方河流冬季, 摄像头监测到冰凌堆积, 系统及时预警, 工作人员可提前采取破冰、疏导等措施, 防止冰凌堵塞河道, 引发河水漫溢。并且, 对于水库大坝这样的关键设施, 坝体表面安装的应变片、位移传感器等微机电传感器, 能以极高精度感知坝体最细微的变形, 哪怕是毫米级的位移, 都逃不过它们的“眼睛”, 为大坝的长期安全运行持续护航。

1.2 传输层

传输层的通信网络建设, 正朝着更智能、更冗余的方向发展。在有线通信领域, 除光纤网络外, 工业以太网也逐步应用于水利工程。工业以太网具备高带宽、强实时性的优势, 能满足水利枢纽内部大量设备之间高速、稳定的数据交互需求, 像是大型泵站中, 众多电机、阀门的实时控制数据, 通过工业以太网可精准、迅速传达, 保障设备协同运作不出差错。

而无线通信方面, 5G 与卫星通信的融合应用成为新趋势。5G 网络高速率、低时延的特性自不必说, 卫星通信的广覆盖则弥补了地面网络的盲区。在偏远山区的小型水库,

当遭遇暴雨、泥石流等灾害致使地面通信基站受损时,卫星通信能迅速接手,确保水位、雨量等关键数据持续传输,同时利用 5G 的大带宽优势,把现场高清视频画面实时回传指挥中心,辅助远程精准决策,让应急抢险调度更加有的放矢。另外,智能路由技术也融入传输层,它能自动识别最优传输路径,当某条链路出现拥塞或故障时,迅速切换路线,保障数据传输不中断,让整个智慧水利系统的“神经网络”时刻畅通。

1.3 数据处理与存储层

数据处理与存储层如今愈发强调数据的深度挖掘与智能应用。大数据平台不仅存储海量数据,还开始利用人工智能算法主动挖掘数据价值。例如,通过对历年不同季节、不同流域的水位、流量数据进行深度学习分析,系统能够总结出长期的水文变化规律,预测未来数年可能出现的枯水期、丰水期,为水资源的长期规划与调配提供战略依据。

边缘计算也融入其中,在靠近数据源的感知层边缘节点处,就对部分数据进行预处理。例如在污水处理厂的水质监测点,边缘计算设备实时分析水质传感器数据,一旦发现污染物超标,立即触发本地警报,同时只把关键异常数据传输至云端数据中心,这样既减轻了传输负担,又能实现快速响应,避免污染扩大。而且,区块链技术悄然入场,保障数据的真实性与不可篡改。水利数据关乎国计民生,引入区块链后,从数据产生源头开始,每一次记录、传输都被打上“时间戳”,全程留痕,让数据在共享、交互过程中更具公信力,杜绝数据造假隐患。

1.4 应用层

应用层不断拓展服务场景,水利生态保护应用逐渐兴起。利用卫星遥感、无人机航测获取的图像数据,结合地面水质、土壤湿度监测,精准分析流域内湿地、河岸带的生态健康状况。一旦监测到湿地面积萎缩、河岸植被退化,系统发出预警,促使管理部门及时开展生态修复工程,涵养水源、保护生物多样性。

同时,水利科普教育应用也借助虚拟现实(VR)、增强现实(AR)技术落地。民众通过手机 APP 或者线下展馆,就能身临其境地感受水利工程运行原理、洪水演进过程等知识场景。例如学生戴上 VR 设备,仿佛置身于大型水坝内部,直观了解发电、泄洪流程,让水利知识科普不再枯燥,激发公众保护水资源、爱护水利设施的意识,实现全民参与水利事业的良好氛围。

2 智慧水利工程信息化管理核心技术

2.1 传感技术

传感技术正朝着高精度、微型化、多功能集成方向大步迈进。激光雷达传感器开始应用于水利地形测绘,相较于传统测量手段,它能快速获取大面积的高精度地形数据。以大型水库的库容校准为例,激光雷达安装在无人机上,低空飞行扫描,短时间内就能生成三维地形模型,精确计算出水

库实际库容,相比人工测量,效率提升数倍,且数据精度更高,为水库科学调度提供精准底数。

光纤光栅传感器在水利结构健康监测领域持续升级,它不仅能感知应变、温度,如今还能检测应力腐蚀、疲劳损伤等深层次问题。在跨海大桥的桥墩等涉海水利设施中,长期受海水侵蚀、海浪冲击,光纤光栅传感器如同敏锐的“体检医生”,实时监测结构内部细微变化,提前发现潜在安全隐患,大幅延长设施使用寿命,降低维护成本。而且,传感器的自供电技术取得突破,利用水流能、太阳能等清洁能源,小型水流水力发电装置与太阳能板搭配,为偏远地区的传感器持续供能,摆脱对传统电网的依赖,保障长期稳定监测。

2.2 通信技术

通信技术创新成果斐然,太赫兹通信技术崭露头角。太赫兹频段介于微波与红外之间,拥有超大带宽,可实现超高速数据传输,这对于水利大数据的快速回传意义重大。在未来的大型水利枢纽智能化升级中,海量监测数据、高清视频监控画面,借助太赫兹通信,瞬间即可传输至数据中心,极大提升信息流通效率。

可见,光通信也步入水利工程视野,利用 LED 灯光既照明又通信的特性,在水利地下隧洞、机房等封闭空间,无需额外铺设通信线路,就能实现短距离高速数据传输。工作人员在隧洞巡检时,手中的智能终端通过灯光就能接收设备运行数据、检修指令,操作便捷又安全。此外,软件定义网络(SDN)与网络功能虚拟化(NFV)技术重塑水利通信网络架构,让网络管理更灵活。通过软件编程,可按需定制网络流量走向、带宽分配,面对突发洪水等应急场景,迅速调配通信资源,保障关键数据优先传输,提升应急通信保障能力。

2.3 数据处理与分析技术

数据处理与分析技术融入更多新兴算法与架构。联邦学习开始应用,水利行业各部门、各区域的数据因隐私、安全考量难以整合共享,联邦学习则能让不同主体在不交换原始数据的前提下,协同训练模型。例如,不同城市的供水公司,各自掌握本地用户用水习惯数据,利用联邦学习,共同优化用水需求预测模型,既保护数据隐私,又提升行业整体数据分析能力。

图计算技术处理水利复杂关系数据别具优势。水利工程涉及众多设施、水系之间的拓扑关系,图计算可快速分析管网连通性、流域上下游关系,当某段管网出现故障,能迅速定位受影响区域,辅助制定抢修与供水调度方案。而且,强化学习算法助力水利智能决策。在水库优化调度场景中,强化学习智能体通过不断试错,学习不同工况下最优的泄洪、蓄水策略,最终实现长期效益最大化,让水利资源调配更加科学高效。

2.4 智能决策支持技术

智能决策支持技术愈发智能与人性化。智能助手融入水利决策流程,基于自然语言处理技术,管理者只需用日常

语言描述问题,智能助手就能解析需求,调用相关数据、模型给出初步建议。例如,管理者询问“未来一周水库是否需要提前泄洪”,智能助手迅速整合气象、水位数据,结合预训练模型,给出专业判断,降低决策门槛,让非专业人员也能快速获取专业意见。

数字孪生技术让水利工程决策有了“平行世界”参照。通过构建与真实水利工程完全对应的虚拟模型,实时同步物理实体状态,在虚拟模型中试验不同调度方案、工程改造计划,提前观察效果,避免真实工程实施的试错成本。例如,要对一座老旧水闸进行升级,先在数字孪生模型里模拟不同的闸孔尺寸、开启方式变化,评估对上下游水位、流量的影响,选出最优方案后再施工,保障工程决策精准无误。

3 智慧水利工程建设与信息化管理应用案例

3.1 案例一:某大型流域智慧防洪工程

该大型流域地跨广袤区域,洪涝灾害犹如高悬之剑,历年受灾严重。智慧防洪工程精心构筑全方位感知网络,成千上万个雨量站、水位站如忠诚卫士,实时回传海量数据。大数据团队深挖历史洪水数据,结合实时降雨动态,运用先进算法精准预测洪峰行程、水位涨幅。智能决策系统据此提前疏散群众、科学调度水库库容拦蓄洪水。近年来,成功抵御多次特大洪水侵袭,受灾面积相较以往锐减 30%,人员伤亡更是显著降低,防洪减灾成效斐然。

3.2 案例二:城市智慧供水系统

城市供水,民生所系。智慧供水系统于供水管网关键节点密布压力、流量传感器,24 小时不间断监测运行状态,物联网实时回传数据。一旦管网“生病”,爆管、漏水致数据异常,系统即刻报警,精准定位故障点。借助数据分析优化供水调度堪称一绝,考量不同区域用水习性、时段峰谷差异,泵站供水压力调控恰到好处,能耗顺势降低 15%,管网漏损率牢牢控制在 10% 以内,保障供水稳定高效。

3.3 案例三:某灌区智慧灌溉工程

某灌区积极拥抱智慧灌溉。土壤湿度传感器广布田间,联姻气象数据、作物需水模型,精准拿捏灌溉时机与水量。自动化灌溉设备闻令而动,滴灌、喷灌均匀施水,节水效果显著,较传统漫灌节水幅度超 40%,农作物产量也水涨船高,提升 10%~20%,真正实现农业增产增效,农户喜笑颜开。

4 智慧水利工程建设与信息化管理面临的挑战

4.1 技术融合难题

传统水利技术与新兴信息技术融合,恰似新旧齿轮磨合,困难重重。老旧水利设施改造适配新传感器、通信设备,成本高昂且工程复杂,如同给老旧房屋强行换装高科技门窗。不同厂家技术标准各行其是,系统集成时兼容性堪忧,数据交互梗阻,智慧水利功能大打折扣。

4.2 数据安全和隐私

水利数据关乎国家安全、民生安稳,存储传输如处风口

浪尖。黑客攻击、恶意软件入侵时刻觊觎,一旦敏感数据泄露,不法分子可操纵水利设施,后果不堪设想。数据共享时,隐私边界模糊,跨部门协作瞻前顾后,整体效率大受影响。

4.3 人才短缺

既精通水利工程原理又熟稔信息技术的复合型人才,堪称行业“稀世珍宝”。高校水利专业课程更新蜗牛爬行,信息技术融入浅尝辄止;在职人员培训体系千疮百孔,知识更新滞后,复杂智慧水利项目只能望洋兴叹,行业发展受限。

4.4 资金投入不足

智慧水利建设,前期设备购置、系统研发烧钱,后期运维升级亦是无底洞。地方财政常捉襟见肘,水利项目资金偏爱传统工程,信息化建设投入寥寥,新技术落地只能“望钱兴叹”。

5 智慧水利工程建设与信息化管理的发展策略

5.1 加强技术协同创新

产学研携手破局,高校科研机构专注底层理论突破,啃下技术融合“硬骨头”;企业结合实际项目试炼新技术,加速成果转化落地。建立统一技术标准体系迫在眉睫,规范传感器接口、数据格式,让系统兼容性脱胎换骨。

5.2 强化数据安全保障

加密水利数据存储传输,高级加密标准(AES)等算法筑牢安全防线;部署防火墙、入侵检测系统,御敌于外。完善数据共享法规,明晰隐私保护细则,为安全共享保驾护航。

5.3 完善人才培养与引进

高校大刀阔斧改革课程,增添跨学科实践课程,打造复合型人才“摇篮”;企业抛出橄榄枝,出台激励政策吸引外部贤才,内部开展师徒结对、技术竞赛,提升员工实操技能。

5.4 拓展资金筹措渠道

政府加大财政投入同时,活用专项债券、政策性贷款,为智慧水利“输血”;鼓励社会资本入局,采用 PPP 模式,企业投资建设运营,按约获回报,缓解资金之困。

6 结论

智慧水利工程建设与信息化管理技术,是水利行业迈向智能化未来的必由之路。尽管荆棘满途,挑战重重,但凭技术协同、安全加固、人才培育与资金开源,定能跨越艰难险阻,让智慧水利熠熠生辉,为经济社会可持续发展筑牢水安全堤坝。

参考文献:

- [1] 李纪人.水利信息化技术手册[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 谭徐明.中国水利史典[M].北京:中国水利水电出版社,2015.
- [3] 王光谦.水文学原理[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [4] 周怀东.水环境监测与评价[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [5] 赵人俊.流域水文模拟[M].北京:水利电力出版社,1984.
- [6] 朱尔明.水利工程概论[M].北京:中国水利水电出版社,2006.