

智慧水利赋能下灌区干渠改建与信息化融合技术创新及应用研究

张文莉

新疆维吾尔自治区塔里木河流域喀什噶尔河水利管理中心 新疆 喀什 844000

摘要: 本文聚焦智慧水利赋能下灌区干渠改建与信息化融合技术。先评估干渠现状,指出工程老化、输水效能低、管理滞后等问题。接着阐述智慧水利对干渠改建在智能化感知、数据分析与决策、自动化控制方面的要求。随后介绍融合技术创新点,包括感知、分析决策、控制及管理平台创新。通过清泉灌区案例分析,验证智慧水利赋能效果显著,最后总结经验并提出推广建议,为灌区干渠改建提供参考。

关键词: 智慧水利; 灌区干渠改建; 信息化融合技术; 创新应用

引言: 在水利事业迈向高质量发展的进程中,智慧水利成为关键驱动力。灌区干渠作为输水核心,其运行状况直接影响灌溉效益与水资源利用效率。而当前部分灌区干渠存在工程老化、管理滞后等问题,难以适应现代灌溉需求。在此背景下,探索智慧水利赋能下灌区干渠改建与信息化融合技术,成为提升干渠性能、实现科学管理的必由之路,本文将围绕此展开深入研究。

1 智慧水利赋能下灌区干渠现状评估

智慧水利技术的深度应用为灌区干渠现状评估提供了精准化手段,通过整合物联网感知、大数据分析等技术可实现对干渠关键指标的全面排查。从工程实体来看,多数运行超三十年的灌区干渠存在渠身结构老化问题,混凝土护砌层出现裂缝、剥落现象,部分渠段因地基沉降导致渠底平整度不足,影响输水效率。从输水效能分析,传统干渠缺乏动态监测手段,存在沿程渗漏损失率偏高的情况,通过智慧监测系统实测数据显示,部分重点渠段渗漏损失率达15%以上,远超规范标准。从管理层面观察,现有管理模式以人工巡检为主,巡检周期长、隐患识别滞后,且缺乏对水文、气象等动态数据的实时整合,导致灌溉供水调度缺乏科学性。同时,干渠配套的闸门、量水设施等设备自动化程度低,难以适应精准灌溉对输水过程动态调控的需求,这些问题通过智慧评估体系可实现量化呈现,为后续改建提供数据支撑。

2 智慧水利对干渠改建的要求

2.1 智能化感知要求

智慧水利下干渠改建,要构建全要素、全时段监测体系,实时精准捕捉运行状态。感知范围涵盖渠身结构、水文情势、周边环境三大维度,针对不同维度设置相应感知节点与参数监测。技术选型上,采用低功耗、

高稳定性传感设备,如光纤光栅传感器、雷达水位计等^[1]。数据传输方面,搭建无线与有线结合网络,偏远渠段用卫星通信补充,确保感知数据实时上传至管理平台,保障数据采集连续可靠。

2.2 数据分析与决策要求

智慧水利对干渠改建的数据分析与决策要求需建立多维度数据处理模型,实现从数据采集到决策输出的闭环管理。在数据处理上,需对感知系统采集的结构化数据和视频监控等非结构化数据进行融合处理,通过数据清洗、降噪、标准化等技术,提升数据质量。在分析模型构建上,应结合灌区历史运行数据、水文气象数据、工程设计数据,建立输水效率分析模型、裂缝发展预测模型、供水调度优化模型等,实现对干渠运行状态的动态评估和趋势预测。在决策支撑上,模型输出结果需转化为直观的决策建议,如当渗漏监测数据超出阈值时,系统自动生成渗漏位置定位及修补方案建议;灌溉高峰期根据土壤墒情和作物需水量数据,优化闸门启闭方案。决策系统需具备人机交互功能,支持管理人员对模型参数进行调整,对决策方案进行人工审核,确保决策的科学性和可行性,提升干渠改建及运行管理的智能化决策水平。

2.3 自动化控制要求

智慧水利对干渠改建的自动化控制要求需构建分级联动的控制体系,实现干渠输水过程的精准调控和无人化值守。在控制对象上,需覆盖干渠沿线的节制闸、分水闸、退水闸等关键建筑物,以及泵站、清淤设备等配套设施,确保各设备协同运行。在控制逻辑上,应基于感知系统采集的实时数据和数据分析模型的输出结果,建立闭环控制机制,如根据干渠水位变化自动调节节制

闸开度,根据分水口需水量精准控制分水闸流量,实现输水过程的动态平衡。在系统可靠性上,需采用冗余设计,关键控制节点配备备用设备和应急手动控制装置,防止因系统故障导致停水事故。

3 灌区干渠改建与信息化融合技术创新

3.1 智能化感知技术创新

灌区干渠改建与信息化融合的智能化感知技术创新聚焦多源感知融合与低成本化应用,突破传统单一感知模式的局限。在技术融合上,创新采用“光纤传感+无人机巡检+卫星遥感”的立体感知模式,光纤传感实现渠身结构微观裂缝的实时监测,无人机搭载高清摄像头和红外热成像设备开展定期巡检,快速识别渠身破损、渗漏等隐患,卫星遥感则用于大范围渠段周边地质环境和水域变化监测,形成全方位感知网络^[2]。在设备创新上,研发适用于灌区环境的低功耗自供电传感设备,采用太阳能与风能互补供电模式,解决偏远渠段供电难题,同时优化传感器数据采集频率自适应算法,根据干渠运行状态动态调整采集频率,降低能耗。在数据处理创新上,引入边缘计算技术,在感知节点就近完成数据预处理和初步分析,减少数据传输量和延迟,提升感知系统响应速度,为干渠改建过程中的隐患排查和运行状态监测提供更精准高效的技术支撑。

3.2 数据分析与决策技术创新

灌区干渠改建与信息化融合的数据分析与决策技术创新核心在于人工智能算法应用与决策模型优化,提升数据处理和决策支撑能力。在算法创新上,引入深度学习和机器学习算法,构建基于长短期记忆网络的干渠渗漏预测模型,通过历史渗漏数据训练模型,实现对未来渗漏风险的精准预测;采用卷积神经网络对无人机巡检图像进行处理,自动识别渠身裂缝、剥落等病害,提升隐患识别效率和准确率。在模型融合上,创新构建“工程力学+水文模型+人工智能”的复合决策模型,将干渠结构力学分析、水文输水模拟与AI预测相结合,实现对改建方案效果的精准评估,如通过模型模拟不同改建方案下的输水效率、结构稳定性,为方案优化提供数据支撑。在决策呈现上,创新采用数字孪生技术,构建干渠数字孪生体,将数据分析结果和决策建议以三维可视化形式呈现,管理人员可通过数字孪生体直观查看干渠运行状态,模拟不同决策方案的实施效果,提升决策的直观性和科学性。

3.3 自动化控制技术创新

灌区干渠改建与信息化融合的自动化控制技术创新重点突破协同控制与智能容错技术,提升控制系统的智

能化水平和可靠性。在协同控制创新上,研发干渠多闸门协同控制算法,基于模型预测控制理论,实现沿线闸门群的联动调节,解决传统单闸门控制导致的输水波动问题,确保干渠水位和流量的稳定控制,例如在灌溉高峰期,通过算法优化各分水闸开启顺序和开度,实现全渠段水量的均衡分配。在智能容错技术上,创新采用故障诊断与自愈控制机制,通过设备运行数据实时监测和故障特征提取,实现对闸门电机、传感器等设备故障的早期诊断,当某一设备出现故障时,系统自动切换至备用设备或启动容错控制策略,保障控制过程不中断。在控制方式创新上,引入无线传感网络与工业以太网融合的控制网络架构,提升控制指令传输的实时性和可靠性^[3]。

3.4 信息化管理平台创新

灌区干渠改建与信息化融合的信息化管理平台创新致力于构建“云边端”一体化架构,实现管理功能的集成化和智能化升级。采用云端平台、边缘节点和终端设备协同的架构,云端平台负责数据存储、大数据分析和全局决策,边缘节点承担就近数据处理、实时控制和本地决策任务,终端设备负责数据采集和指令执行,提升系统响应速度和运行效率。新增改建工程数字孪生管理模块,通过BIM技术构建干渠改建工程三维模型,将工程设计图纸、施工进度、质量检测数据与三维模型关联,实现改建过程的可视化管理;开发智能预警模块,基于多维度数据构建预警模型,对工程质量隐患、设备故障、输水异常等情况自动预警并推送处置方案。采用虚拟现实技术打造沉浸式管理界面,管理人员可通过VR设备直观查看干渠三维模型和运行状态,实现人机交互的智能化升级。

4 智慧水利赋能下灌区干渠改建案例分析

4.1 案例选择与背景

本次案例选择位于华北平原的大型灌区——清泉灌区,该灌区始建于1975年,承担着周边5个县(区)120万亩农田的灌溉任务,其中干渠总长度达180公里,是灌区输水的核心骨干工程。近年来,随着灌溉面积扩大和气候条件变化,该干渠逐渐暴露出一系列问题:渠身混凝土护砌层老化严重,累计发现裂缝超300处,部分渠段渗漏损失率高达20%,年浪费水量超500万立方米;沿线120座闸门多为手动操作,调度响应滞后,灌溉高峰期常出现上游漫灌、下游缺水的现象;人工巡检模式效率低下,单次巡检需20人耗时5天,且难以发现隐蔽性渗漏隐患。为解决上述问题,2020年灌区管理部门启动干渠改建工程,明确以智慧水利技术为核心,构建“感知-分析-控制-管理”一体化系统,总投资1.2亿元,改建周期

为2年。

4.2 改建方案设计

清泉灌区干渠改建方案以智慧水利技术融合为核心,分工程改造和信息化建设两大板块设计。工程改造方面,对180公里干渠进行分段处理,重点修复300处裂缝及破损渠段,采用高性能混凝土进行护砌层翻新,对15公里沉降严重渠段实施地基加固;将沿线120座手动闸门全部更换为智能液压闸门,配套安装伺服控制系统,实现闸门开度精准调节。信息化建设方面,构建立体感知网络,沿渠每2公里布设1套光纤光栅裂缝传感器和雷达水位计,在10个关键节点设置水质监测站,配备5架无人机用于定期巡检,同步接入气象部门卫星遥感数据;搭建“云边端”数据分析平台,集成渗漏预测、水量调度、故障诊断等8个核心模型,采用边缘计算节点实现现场数据实时处理;建设自动化控制系统,通过工业以太网连接所有智能闸门和泵站,实现闸门群协同控制;开发一体化管理平台,整合工程进度、运行监测、设备管理等功能模块,支持电脑端和移动端访问。方案还设计了冗余备份系统,关键设备均配备备用装置,确保极端情况下系统稳定运行。

4.3 实施效果对比分析

清泉灌区干渠改建工程于2022年竣工并投入运行,通过一年试运行监测,各项指标与改建前相比实现显著提升,智慧水利技术赋能效果突出。输水效能方面,改建前干渠渗漏损失率为20%,改建后通过智能感知和防渗处理,渗漏损失率降至5%以下,年节约水量达375万立方米,相当于1.5个中型水库蓄水量;灌溉保证率由改建前的85%提升至98%,灌溉高峰期下游缺水问题彻底解决,受益农田亩均增产10%。运行效率方面,改建前闸门调度需人工现场操作,单座闸门调节耗时30分钟,改建后通过自动化控制系统实现远程一键调控,闸门响应时间缩短至30秒,调度效率提升60倍;巡检模式由人工改为“传感器实时监测+无人机巡检”,单次巡检仅需2人耗时1天,效率提升50倍,且隐蔽性渗漏隐患识别准确率由原来的30%提升至95%。管理成本方面,改建前年运行管理成本为800万元,改建后因自动化程度提升,年节约人工成本300万元,加之水量浪费减少,年综合效益达600万元,投资回收期预计为20年。

4.4 经验总结与推广建议

清泉灌区干渠改建案例的成功实施,为智慧水利赋能灌区干渠改建积累了宝贵经验。核心经验包括三点:一是坚持技术融合与工程改造同步推进,将智能化感知、控制设备与渠身修复、闸门更换等工程施工紧密结合,避免信息化与工程建设脱节;二是注重数据资源整合,打通感知设备、管理平台与上级部门数据接口,实现水文、气象、工程等多源数据的共享共用,为数据分析和决策提供支撑;三是建立“建管并重”机制,在改建过程中同步组建专业运维团队,开展设备操作、平台管理等技能培训,确保智慧系统长期稳定运行^[4]。基于上述经验,提出推广建议:针对北方平原灌区,可借鉴该案例的立体感知网络和闸门群协同控制技术,重点解决渗漏和调度问题;针对南方丘陵灌区,需优化感知设备的抗湿热、抗腐蚀性能,调整数据分析模型适配地形复杂特点;建议上级水利部门建立智慧灌区技术标准体系,搭建区域数据共享平台,同时设立专项补贴资金,降低中小型灌区改建成本,推动智慧水利技术在全国灌区干渠改建中广泛应用。

结束语

智慧水利为灌区干渠改建带来了新的契机与方向。清泉灌区的成功案例表明,融合智能化感知、数据分析、自动化控制及信息化管理等技术,能有效提升干渠输水效能、运行效率,降低管理成本。各地灌区可借鉴其经验,结合自身特点推进改建。同时,需建立技术标准体系、搭建共享平台、给予资金支持,推动智慧水利技术在全国灌区干渠改建中广泛应用,助力水利事业高质量发展。

参考文献

- [1]尚天津,张建新.疏勒河灌区不同灌溉方式下不同作物水效益分析[J].智慧农业导刊,2024,4(09):29-33.
- [2]薛雨,薛亚杰.河北省石津灌区数字孪生灌区建设探析[J].河北水利,2024,(04):25-27.
- [3]马宏伟.数字孪生技术在水库大坝及灌区信息化建设中的应用[J].现代工业经济和信息化,2023,13(01):163-165.
- [4]杨阳.物联网技术在智慧港口安全信息化建设中的应用探究[J].黑龙江交通科技,2022,45(10):159-161.