

智慧水利视角下灌区末级渠系自动化控水技术集成与效益分析

薛 涛

保定市王快水库事务中心 河北 保定 073100

摘要: 智慧水利融合新一代信息技术,实现水利系统智能化管理。灌区末级渠系作为“最后一公里”,存在信息化水平低、老化失修等问题。本文从感知、传输、决策、执行、应用层集成自动化控水技术,构建效益评估体系,通过案例实证分析表明,技术集成可显著提升水资源利用效率、管理效率,改善土壤与水环境,实现经济、社会和生态效益共赢,具有广阔推广价值。

关键词: 智慧水利;灌区末级渠系;自动化控水;技术集成;效益分析

1 智慧水利的内涵与核心特征

1.1 核心内涵

智慧水利是水利行业与新一代信息技术深度融合的产物,旨在通过物联网、大数据、云计算、人工智能等先进技术手段,实现水利系统的智能化感知、分析、决策和执行。它以全面感知、可靠传输、智能处理和高效应用为基本特征,构建起覆盖水利全要素、全业务、全流程的智慧化管理体系。从本质上看,智慧水利是对传统水利的升级和拓展。传统水利主要侧重于工程建设和防洪减灾等基础功能,而智慧水利则在此基础上,更加注重信息的整合与共享、决策的科学性与精准性以及服务的便捷性与高效性^[1]。它打破了水利各部门之间的信息壁垒,实现了数据的实时流通和协同处理,使得水利管理能够从宏观层面进行统筹规划,从微观层面进行精准调控。

1.2 核心特征

智慧水利具有以下几个核心特征。首先是全面感知,通过部署大量的传感器和监测设备,对水利对象的状态、环境参数等信息进行实时、动态的采集,实现对水利系统的全方位、多层次感知。这些传感器可以分布在河流、水库、灌区等各个水利场景中,监测水位、流量、水质、土壤湿度等关键指标,为水利管理提供丰富的数据支持。其次是可靠传输,利用多种通信技术,如无线传感器网络、4G/5G通信、光纤通信等,将感知层采集到的数据快速、准确地传输到数据处理中心。多网协同通信的方式确保了数据传输的稳定性和可靠性,即使在复杂的地理环境和恶劣的气候条件下,也能保证数据的及时送达。智能处理是智慧水利的又一重要特征。借助大数据分析和人工智能算法,对海量的水利数据进行

深度挖掘和分析,提取有价值的信息和知识,发现数据背后的规律和趋势。通过建立智能模型,实现对水利系统的模拟、预测和优化,为决策提供科学依据。例如,利用机器学习算法对历史洪水数据进行分析,可以建立洪水预报模型,提前预测洪水的发生时间、地点和规模,为防洪减灾工作争取宝贵时间。最后是高效应用,将智能处理的结果应用到水利业务的各个环节,实现水利管理的智能化和自动化。通过构建智慧管理平台,集成各种水利应用系统,为用户提供便捷、高效的服务。

2 智慧水利视角下灌区末级渠系的功能与管理现状

2.1 末级渠系的功能定位

灌区末级渠系是灌区水利系统的“最后一公里”,它直接与农田相连,承担着将灌溉水精准分配到田间地块的重要任务。其主要功能包括水量分配、水位调节和灌溉服务。在水量分配方面,末级渠系根据农田的灌溉需求和作物生长阶段,将上级渠道输送来的灌溉水合理分配到各个支渠和毛渠,确保每块农田都能获得适量的水分。通过合理的渠系布局和闸门控制,实现水量的均匀分配,避免出现部分农田灌溉不足而部分农田灌溉过度的情况^[2]。水位调节是末级渠系的另一重要功能,根据农田的地形和土壤条件,通过调节渠系中的水位,保证灌溉水能够顺利渗入土壤,满足作物根系对水分的需求。合理的水位调节还可以防止渠道漫溢和渗漏,减少水资源的浪费。末级渠系还为农民提供灌溉服务,包括灌溉时间的安排、灌溉方式的指导等。通过与农民的沟通和互动,了解他们的实际需求,及时解决灌溉过程中出现的问题,提高农民的灌溉满意度和农业生产效益。

2.2 末级渠系管理的现存问题

目前,灌区末级渠系管理存在诸多问题。首先,信

息化水平较低,大部分末级渠系缺乏有效的监测设备,无法实时掌握渠系的水位、流量、水质等信息,导致管理决策缺乏科学依据。管理人员主要依靠经验进行渠系的运行调度,难以实现精准灌溉和水资源的优化配置。其次,渠系老化失修严重,由于长期使用和缺乏维护,许多末级渠系的渠道衬砌破损、闸门锈蚀、建筑物损坏,导致渠系渗漏严重,输水效率低下。据统计,我国部分灌区末级渠系的输水损失率高达30%以上,严重影响了水资源的利用效率。再者,管理体制不健全,末级渠系管理涉及多个部门和利益主体,存在职责不清、协调困难等问题。在用水管理方面,缺乏有效的计量和收费机制,导致农民节水意识淡薄,浪费水资源的现象较为普遍。同时,由于缺乏资金投入和技术支持,末级渠系的改造和升级面临诸多困难。农民参与度不高也是末级渠系管理面临的一个重要问题。农民作为末级渠系的直接使用者和受益者,对渠系的管理和维护缺乏积极性和主动性。一方面,农民缺乏相关的知识和技能,不知道如何参与渠系管理;另一方面,缺乏有效的激励机制,农民参与渠系管理得不到相应的回报,导致他们参与管理的意愿不强。

3 智慧水利视角下末级渠系自动化控水技术集成路径

3.1 感知层技术集成:多源数据融合采集

感知层是末级渠系自动化控水系统的基础,其主要任务是通过各种传感器和监测设备,实时采集渠系的水位、流量、水质、土壤湿度等多源数据。为了实现全面、准确的感知,需要集成多种类型的传感器。水位传感器可以采用压力式水位传感器、超声波水位传感器等,实时监测渠系中不同位置的水位变化。流量传感器则可选用电磁流量计、超声波流量计等,精确测量渠系的输水流量。水质传感器能够检测水中的酸碱度、溶解氧、电导率等参数,为灌溉水质评价提供依据。土壤湿度传感器可以埋设在田间,实时监测土壤的湿度状况,根据作物需水情况实现精准灌溉。多源数据融合采集技术能够将不同类型传感器采集到的数据进行整合和处理,消除数据之间的冗余和矛盾,提高数据的准确性和可靠性。通过数据融合算法,将水位、流量、水质、土壤湿度等数据进行关联分析,挖掘数据背后的潜在信息,为渠系的智能控制提供更全面的数据支持。

3.2 传输层技术集成:多网协同通信

传输层负责将感知层采集到的数据快速、可靠地传输到决策层和应用层。由于末级渠系分布广泛、地理环境复杂,单一的通信方式往往无法满足数据传输的需求。因此,需要采用多网协同通信技术,将无线传感器

网络、4G/5G通信、光纤通信等多种通信方式有机结合。无线传感器网络适用于小范围、低功耗的数据传输,可以在渠系的关键节点部署无线传感器节点,实现数据的就近采集和传输。4G/5G通信具有高速、稳定的特点,能够满足大量数据的实时传输需求,适用于将远程监测点的数据传输到数据中心。光纤通信则具有带宽大、抗干扰能力强等优点,可用于构建渠系的主干通信网络,确保数据传输的可靠性和安全性。多网协同通信技术通过智能切换和负载均衡算法,根据不同的通信环境和数据传输需求,自动选择最佳的通信方式,实现数据的高效传输。同时,采用数据加密和身份认证等安全技术,保障数据在传输过程中的安全性和保密性^[1]。

3.3 决策层技术集成:智能模型协同调度

决策层是末级渠系自动化控水系统的核心,其主要功能是根据感知层采集的数据和预设的控制策略,通过智能模型进行模拟、预测和优化,生成科学的决策指令。智能模型协同调度技术集成了多种智能算法和模型,如神经网络模型、模糊控制模型、遗传算法模型等。神经网络模型具有强大的非线性映射能力,能够对渠系的水位、流量等数据进行学习和预测,为渠系的运行调度提供参考。模糊控制模型可以根据不确定的信息进行模糊推理和决策,适用于处理渠系控制中的模糊性和不确定性问题。遗传算法模型则通过模拟生物进化过程,对渠系的调度方案进行优化,寻找最优的调度策略。通过智能模型协同调度,实现对渠系水量的精准分配和水位的合理调节。例如,根据农田的灌溉需求、土壤湿度和气象条件等因素,利用智能模型预测未来一段时间内的需水量,制定科学合理的灌溉计划,并通过闸门控制设备实现渠系水量的自动调节。

3.4 执行层技术集成:多设备联动控制

执行层负责将决策层生成的决策指令转化为实际的控制动作,实现对渠系中各种设备的联动控制。执行层设备主要包括闸门控制设备、水泵控制设备、阀门控制设备等。多设备联动控制技术通过建立设备之间的通信协议和控制逻辑,实现设备的协同工作。同时,通过传感器实时监测设备的运行状态,如闸门的位置、水泵的转速等,将设备状态信息反馈给决策层,实现闭环控制,确保设备运行的稳定性和可靠性。

3.5 应用层技术集成:智慧管理平台构建

应用层是末级渠系自动化控水系统与用户交互的界面,通过构建智慧管理平台,为用户提供便捷、高效的服务。智慧管理平台集成了数据管理、决策支持、设备监控、灌溉调度等多种功能模块。数据管理模块负责

对感知层采集的数据进行存储、管理和分析,为用户提供数据查询和统计报表功能。决策支持模块基于智能模型的计算结果,为用户提供科学的决策建议,如灌溉时间、灌溉水量等。设备监控模块实时显示渠系中各种设备的运行状态,当设备出现故障时能够及时发出警报信息。灌溉调度模块根据农田的灌溉需求和渠系的供水能力,制定合理的灌溉计划,并通过执行层设备实现自动灌溉。智慧管理平台采用可视化技术,将渠系的运行状态、设备信息、灌溉计划等以直观的图表和地图形式展示给用户,方便用户进行操作和管理,平台支持移动终端访问,用户可以通过手机、平板电脑等设备随时随地监控渠系的运行情况,实现远程管理和控制。

4 灌区末级渠系自动化控水技术集成效益评估

4.1 效益评估指标体系构建

构建科学合理的效益评估指标体系是评估末级渠系自动化控水技术集成效益的关键。经济效益指标主要包括水资源节约量、灌溉成本降低率、农作物产量增加率等。水资源节约量反映了自动化控水技术对提高水资源利用效率的作用;灌溉成本降低率体现了技术集成在减少人力、物力和财力投入方面的效益;农作物产量增加率则直接反映了技术集成对农业生产的影响。社会效益指标包括农民满意度、灌溉管理效率提升率、供水保障率等。农民满意度是衡量技术集成是否得到农民认可的重要指标;灌溉管理效率提升率反映了技术集成对提高灌溉管理水平和决策科学性的作用;供水保障率体现了技术集成在保障农田灌溉用水方面的能力。生态效益指标主要有土壤质量改善率、水环境质量改善率等。土壤质量改善率反映了合理灌溉对土壤结构和肥力的积极影响;水环境质量改善率则体现了技术集成在减少农业面源污染、保护水生态环境方面的作用。

4.2 效益评估方法与模型

常用的效益评估方法包括层次分析法、模糊综合评价法、数据包络分析法等。层次分析法是一种将复杂问题分解为多个层次,通过两两比较确定各层次元素相对重要性的方法。模糊综合评价法基于模糊数学理论,将定性评价转化为定量评价,能够处理评估指标中的模糊性和不确定性问题^[4]。它通过建立模糊评价矩阵和权重向量,计算综合评价结果,适用于对末级渠系自动化控水

技术集成效益进行全面、综合的评价。数据包络分析法是一种非参数技术效率分析方法,它通过比较决策单元的投入产出效率,评估各决策单元的相对有效性。在效益评估中,可以将不同的灌区或不同的技术集成方案作为决策单元,利用数据包络分析法评估其效益的相对优劣。

4.3 案例实证分析

以某灌区为例,对该灌区末级渠系自动化控水技术集成进行效益评估。该灌区在实施自动化控水技术集成后,通过感知层设备实时采集渠系的水位、流量、土壤湿度等数据,利用传输层技术将数据传输到决策层,通过智能模型协同调度生成决策指令,执行层设备实现多设备联动控制,应用层智慧管理平台为用户提供便捷的服务。在经济效益方面,通过自动化控水技术实现了精准灌溉,水资源节约量达到20%以上,灌溉成本降低15%左右,农作物产量增加10%左右。在社会效益方面,农民对自动化控水技术的满意度达到90%以上,灌溉管理效率提升30%以上,供水保障率提高到95%以上。在生态效益方面,土壤质量得到一定改善,水环境质量也有所提升。通过案例实证分析表明,灌区末级渠系自动化控水技术集成能够带来显著的经济、社会和生态效益,具有广阔的应用前景和推广价值。

结束语

智慧水利为灌区末级渠系管理带来新契机。通过多层次技术集成,实现从数据采集到智能决策、设备联动及智慧管理的全流程自动化控水。案例实证验证了其在节水、增产、提升管理效率及改善生态等方面的显著效益。未来,应加大技术推广与应用,持续优化系统性能,推动灌区水利管理向智能化、精细化迈进,助力农业可持续发展。

参考文献

- [1]陈守伟.大型灌区续建配套与节水改造工程建设与管理[J].工程建设与设计,2019(22):114-115.
- [2]谭剑波,宋亮,王立青.智慧灌区智能节水灌溉系统设计与应用[J].吉林水利,2022(10):7-10.
- [3]董佳,梅欢,刘利军,等.智能灌溉系统设计与实现[J].河北省科学院学报,2021,38(3):14-19.
- [4]田新星,张娜.灌区现代化改造中量测水技术研究[J].海河水利,2023(12):71-74.