

小型农田水利工程灌溉智能化管理研究

张其双

山东省东营市河口区六合街道办事处 山东 东营 257000

摘要: 针对当前小型农田水利传统灌溉管理精细化程度不足、设备运行效率偏低、数据统筹体系缺失的共性问题,本研究构建适配小型农田场景的灌溉智能化管理核心体系,依次明确智能感知监测、智能自动调控、智能运维管理三大核心模块的技术功能边界,提出适配性硬件选型、管控逻辑本地化优化、后台数据统筹应用三类关键实施要点。实践应用结果表明,该智能化管理体系可有效提升灌溉水资源利用效率,降低全周期人工运维成本,保障农田全生长周期灌溉稳定性与供水质量,可为国内县域级小型农田水利工程的智能化改造提供标准化技术支撑。

关键词: 小型农田水利工程;灌溉管理;智能化技术;精细化灌溉

引言: 我国小型农田水利工程覆盖范围广、服务耕地占比高,是保障区域农业生产稳定的核心水利基础设施。当前多数地区的小型农田灌溉管理仍沿用传统人工管控模式,在精细化程度、设备运行效率、数据统筹能力等方面存在明显短板,难以适配新时期农业高效节水与集约化生产的发展要求。本研究针对小型农田灌溉场景的实际运行特征,系统梳理传统管理模式的现存问题,构建由智能感知监测、智能自动调控、智能运维管理三大模块组成的核心技术体系,明确落地实施的关键管控要点,量化分析智能化改造的实际应用价值,为国内同类小型农田水利工程的智能化升级提供可落地的技术参考与实践路径。

1 小型农田水利工程传统灌溉管理现状及短板

1.1 灌溉管控精细化程度不足

传统小型农田灌溉管理完全依托人工经验开展作业,管理人员根据田间直观土壤干湿状态、作物长势主观判断灌溉时间与灌溉水量,无标准化、数据化的灌溉依据。不同农作物、不同生长周期、不同田间地块的需水需求存在明显差异,同时土壤墒情、空气湿度、光照等环境因素的动态变化也会影响实际需水量。经验化灌溉模式无法精准匹配差异化的需水需求,极易出现苗期灌溉过量、生长期供水不足、地块灌溉不均等问题,既无法保障农作物最优生长水环境,也造成水资源的无效消耗,灌溉资源利用率整体偏低。

1.2 设备运行管理效率低下

小型农田水利灌溉设备主要包括水泵、输水管道、闸阀、取水设施等,设备数量多、分布零散、覆盖范围广。传统管理模式下,设备启停、工况调节均依靠人工现场操作,耗时耗力且响应速度慢。同时,设备日常巡检、故障排查完全依赖人工定期排查,无法实时掌握

设备运行状态,设备空载运行、管道渗漏、部件老化等问题难以被及时发现,往往在出现灌溉供水异常后才开展检修工作。设备故障滞后处理不仅会中断农田灌溉作业,影响灌溉连续性,还会加剧设备损耗,缩短设备使用寿命,增加运维成本^[1]。

1.3 灌溉数据统筹体系缺失

传统灌溉管理模式无系统化的数据采集、记录与分析机制,田间土壤墒情、灌溉用水量、设备运行参数、灌溉时长等核心数据均无法实现常态化采集与留存。管理人员无法通过数据梳理掌握区域农田灌溉规律、作物需水特征与设备运行工况,灌溉作业、设备运维、资源调配均无数据支撑,难以实现针对性优化调整。同时,零散的小型灌溉工程之间无数据联动,单一地块、单套设备的运行数据孤立存在,无法形成区域化灌溉统筹管理体系,整体管理科学性严重不足。

2 小型农田水利灌溉智能化管理核心体系构建

2.1 智能感知监测体系

智能感知监测体系是智能化灌溉管理的基础核心,主要依托各类标准化传感设备实现农田灌溉全流程相关数据的实时、精准采集,全面替代传统人工定时观测、人工记录上报的工作模式。该体系主要涵盖水土环境感知、设备工况感知两类核心功能模块。水土环境感知模块通过在田间不同深度土层、各级渠系分水节点布设经校准的土壤墒情传感器、水位传感器、田间小气候温湿度传感器、光照传感器等设备,实时采集不同土层土壤含水率、渠系田间水位、近地面环境温湿度、作物冠层光照强度等基础参数,精准反馈田间水土环境动态变化状态与不同生育阶段农作物的实际需水条件。设备工况感知模块通过在灌溉水泵、电动闸阀、干支输水管道等关键设备上安装运行状态监测传感器,实时采集设备运行电流、电压、启停状态、

输水瞬时流量、管道承压值等运行参数,全程掌握所有灌溉设备的实际运行工况。所有感知数据可通过专用物联网通信链路实现秒级实时传输、云端自动分类留存,为后续灌溉决策智能调控、设备全生命周期运维分析提供全面、可靠的底层数据支撑^[2]。

2.2 智能自动调控体系

智能自动调控体系是实现农田精细化灌溉的核心执行环节,依托前端感知监测体系回传的实时数据与内置标准化管控逻辑,实现灌溉全流程作业的自动化、精准化闭环控制,彻底摆脱传统灌溉依赖人工经验判断、人工现场操作的管控局限。该体系以工业级可编程逻辑控制器、防护型智能电磁阀、水泵变频调控设备为核心硬件载体,结合本地化作物需水参数数据库搭建分级智能调控逻辑,根据不同农作物品种、对应生长周期、地块土壤持水特性设置差异化灌溉触发阈值与终止阈值。当监测数据判定土壤含水率低于预设下限值、田间作物存在明确需水需求时,系统可自动触发启动灌溉动力设备、按序开启对应输水闸阀,按照预先核定的供水流量、灌溉时长开展精准灌溉作业;当田间水土参数达到作物生长最优区间阈值后,系统自动关停灌溉动力设备、逐级切断对应供水支路,从机制上避免无效过度灌溉。同时,针对分布零散的农田地块,可实现多分区独立调控,根据不同地块的实时需水情况差异化分配供水配额,解决传统粗放灌溉均匀性差、供需水量不匹配的工程痛点。

2.3 智能运维管理体系

智能运维管理体系聚焦农田灌溉全系统设备全生命周期规范化管理,实现设备故障主动预警、运行状态实时管控、运维作业高效落地。该体系依托前端设备工况感知模块回传的全量运行数据,建立适配灌溉场景的设备运行工况分析模型,可实时识别输水管道渗漏、动力设备过载、管网压力异常、闸阀启停失效等各类典型异常问题,一旦监测数据超出预设的正常运行阈值,系统立即触发分级智能预警,通过运维后台终端同步推送异常发生位置、故障具体类型与异常诱因判定结果,让运维人员无需现场逐一排查即可掌握核心信息,实现靶向精准检修,彻底改变传统故障发生后再被动处置的运维模式。同时,系统可自动分类记录设备累计运行时长、启停操作频次、历史故障次数等核心运维数据,通过多维度数据分析梳理不同类型设备的自然损耗规律,为设备定期保养周期设定、易损部件提前更换、运行工况参数优化提供量化数据依据,有效降低设备非计划停机故障率,延长设备整体使用寿命,保障农田灌溉全周期系

统稳定运行^[3]。

3 小型农田水利灌溉智能化管理实施要点

3.1 适配性硬件设备选型

小型农田水利工程普遍单站覆盖灌溉面积有限、站点空间分布零散、田间作业环境复杂,智能化改造阶段的硬件设备选型需严格遵循场景适配性、建设投入可控、后期运维简便的核心原则,完全匹配小型农田的实际应用场景。感知类设备需优先选用电磁干扰性能达标、高等级防水防尘、低功耗长续航的民用级智能化传感器,适配田间露天布设、长期高湿多尘的特殊运行环境,同时保证核心参数的数据采集精度满足灌溉精细化管理的最低要求。调控类设备需选用机械结构精简、现场操作门槛低、长期运行故障率低的智能闸阀与水泵变频控制器,设备额定参数完全适配小型输水管道与常规灌溉动力设备的运行区间,避免硬件功能冗余、性能过剩造成的不必要建设资源浪费。同时所有选型硬件需搭载标准化通信协议,具备良好的跨设备兼容性,可统一接入本地灌溉管理后台,实现全链路数据互通与集中管控,保障整套智能化系统的运行完整性与长期稳定性。

3.2 智能化管控逻辑优化

管控逻辑的科学性直接决定灌溉智能化管理的实际落地效果,需紧密结合小型农田灌溉场景特征与区域作物生长规律持续迭代优化系统内置参数。管理人员需系统梳理区域内主流农作物的全生育期生长特性,核定不同生长阶段对应的最优土壤含水率、单次灌溉定额、灌溉间隔频次等核心管控参数,将参数批量录入系统基础数据库,搭建适配本地种植结构的差异化灌溉管控模型。同时,结合不同季节气象要素变化、田间不同地块的土壤质地持水差异,动态调整系统灌溉触发与终止管控阈值,进一步提升智能灌溉策略的场景适配性。针对布局零散、存在明显高低落差的农田地块,优化多分区独立调控逻辑,规避不同支路输水压力不均、地块间供水失衡等运行问题,保障每一块农田的实际灌溉质量,最终实现全区域按需精准灌溉。

3.3 后台数据统筹与应用

数据后台是小型农田灌溉智能化管理体系的核心中枢载体,需覆盖数据自动汇总、多维度分析、场景化应用的全流程规范化管理。系统需对前端回传的各类水土感知数据、设备运行数据、灌溉作业记录完成自动归集、分类分级存储,形成全周期可追溯的标准化灌溉数据台账,从机制层面杜绝数据丢失、分类混乱、溯源困难等常见问题。管理人员可依托后台内置的多维度数据统计分析功能,系统梳理区域农田灌溉用水时空分布规

律、灌溉设备实际运行效率、灌溉供需动态匹配情况,精准识别现有灌溉管理体系中的薄弱环节,针对性迭代优化灌溉作业方案与设备运维计划。同时通过跨站点数据联动分析,实现区域内所有小型灌溉工程的统一统筹管控,动态优化不同地块间的水资源分配方式,全面提升区域整体灌溉管理的科学化运行水平^[4]。

4 小型农田水利灌溉智能化管理的应用价值

4.1 提升水资源利用效率

智能化灌溉管理模式彻底改变了传统依赖人工经验判断的粗放式灌溉作业方式,依托前端智能感知监测体系实时采集的田间水土状态参数,结合作物不同生育阶段的核定需水定额,按需精准调控灌溉供水流量与单次灌溉时长,从运行机制层面有效杜绝无依据过度灌溉、非作业时段无效供水、管网跑冒滴漏造成的水量浪费等常见问题,实现农作物实际需水过程与灌溉供水过程的精准动态匹配。相较于传统人工管控的灌溉模式,覆盖全流程的智能灌溉管控体系可大幅降低农业灌溉环节的无效水资源损耗,显著提升田间灌溉水资源利用系数,实现区域内灌溉水资源的精细化、高效化配置,完全契合当前农业高效节水灌溉的核心政策导向与实际落地需求。

4.2 降低人工管理成本

传统小型农田灌溉场景下,需配置固定专人负责灌溉设备启停操作、田间渠系全线巡查、各分水节点水量人工管控等全流程工作,整体人工投入量大、单人员工作覆盖范围有限、日常作业强度高,传统分散式管理模式整体运行效率偏低。智能化灌溉管理体系落地后,实现了灌溉作业全流程自动化执行、设备运行状态全时段智能化监测、异常故障分级主动预警,可大幅削减非必要的现场人工操作与全覆盖人工巡检工作量。管理人员可通过远程管控后台终端完成全区域灌溉系统的状态监控、参数调整与指令下发,无需高频次往返各分散农田地块开展现场作业,在保障灌溉管控精度的前提下有效降低全周期人工运维成本,提升灌溉管理的整体工作流转效率,最终实现小型农田灌溉场景下的轻量化、高效化、集约化管理^[4]。

4.3 保障农田灌溉稳定性与质量

智能化灌溉管控体系可根据不同作物的分阶段生长

需水定额与田间水土环境的实时动态变化,自动迭代调整灌溉作业方案,持续将田间水土参数维持在作物生长最优区间,从执行层面规避传统人工灌溉模式中易出现的地块间供水不均、需水响应滞后、突发断供缺水等典型问题,精准覆盖农作物全生长周期的灌溉用水需求。同时,配套的智能运维管理体系可通过全量运行数据的持续分析,提前识别排查设备潜在隐患,在异常触发预警后快速定位故障点位完成处置,保障灌溉全系统连续稳定运行,有效规避因设备突发故障、人工管控疏漏导致的灌溉中断、供水不达标等异常问题,实现农田灌溉质量的全过程稳定可控,为区域农业稳产、作物增产提供可靠的水利基础支撑。

结束语

小型农田水利灌溉智能化管理是农业水利数字化转型的核心落地方向,其技术体系构建与落地实施必须紧密贴合小型农田场景分散化、低成本、易运维的实际特征,避免照搬大型灌区的复杂智能化方案造成资源浪费。本研究构建的全流程管控体系,从感知、调控、运维三个核心环节补齐传统灌溉管理的短板,可在保障技术可靠性的前提下有效降低落地门槛。后续工程实践中,需持续结合区域作物种植结构、田间水土特性迭代优化管控参数,逐步完善区域级灌溉数据统筹机制,进一步释放智能化管理的技术效能,为农业高效节水与稳产增产提供坚实的水利技术支撑。

参考文献

- [1]刘景辉.小型农田水利工程智能化管护技术的应用前景研究[J].江西农业,2026,(3):133-135.
- [2]李骏.小型农田水利工程建设与管理研究[J].粮油与饲料科技,2026,(3):201-203.
- [3]高兴.农田水利工程中节水灌溉的管理与维护策略研究[J].农业开发与装备,2026,(7):171-174.
- [4]李曙光.乡村全面振兴背景下小型农田水利工程管理的优化对策研究[J].江西农业,2026,(7):134-136.
- [5]李泳.小型农田水利工程建设和管理问题、优化策略及运行保障研究[J].广东蚕业,2026,60(6):133-135.