智能化节水背景下农田水利灌溉系统优化改造实践

侯　利

（山东省济南市长清区人民政府孝里街道办事处，山东 济南 250300）

摘　要　水资源短缺与农业用水低效是制约我国现代农业高质量发展的核心瓶颈，推进农田水利灌溉系统智能化、节水化改造是落实国家节水行动、发展智慧农业的关键举措。本文立足于智能化节水发展背景，系统梳理农田水利灌溉系统优化改造的核心理论基础，深入剖析传统灌溉系统存在的设施老化、管控粗放、水资源利用率低、智能化水平不足等突出问题，构建“感知—传输—决策—执行—运维”一体化的智能灌溉优化改造体系。结合农田灌溉工程实践，阐述智能化改造的关键技术、改造方案与实施路径，通过实例验证优化改造的节水、节能、增产增效成效，并针对改造过程中的技术短板、资金投入、运维管理、普及应用等现实难题提出优化对策。研究结果可为新时期农田水利智能化升级、农业水资源高效利用、灌区现代化建设提供实践参考。

关键词　智能化节水；农田水利；灌溉系统；硬件设施；运维管理体系

中图分类号：S275　　**文献标志码**：A　　DOI：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.30.041

0　引言

我国是农业用水第一大国，农业灌溉用水量占全国总用水量 60% 以上，但当前农田灌溉水有效利用系数偏低，农业水资源浪费突出。随着物联网、大数据、人工智能等数字技术与水利工程深度融合，智能化节水已成为农田水利核心发展趋势，为传统灌溉系统转型升级提供了全新路径。农田水利灌溉系统是支撑农业生产的基础性保障工程，其运行效率直接决定农业用水水平与粮食生产稳定性。近年来，国家高度重视农田水利现代化，出台了《国家节水行动方案》等政策，对大中型灌区智能化改造、精准节水灌溉技术推广、智慧灌溉体系构建提出明确要求。本文梳理现有农田灌溉工程运行现状，开展灌溉系统优化路径研究，识别影响运行效能的核心技术瓶颈，形成科学可落地的系统性优化策略，补齐传统灌溉模式短板，实现节水减耗与生态环保目标，最终助力农作物产量与品质同步提升。

1　传统农田水利灌溉系统存在的主要问题

1.1　基础设施老化，输水损耗严重

传统土渠输水方式渗漏、蒸发损失大，输水利用系数普遍低于 0.6，大量的水资源在输送过程中被浪费。而且老旧泵站设备能耗高、运行不稳定，水泵与管网匹配度差，灌溉供水压力不均，容易造成局部过灌、局部欠灌，不仅造成水资源的浪费，还会增加灌溉能耗和运维成本。部分农田灌溉设施布局不合理，碎片化严重，无法满足规模化、标准化智能灌溉改造的需求。

1.2　灌溉管控粗放，精准化水平不足

传统的农田灌溉大多依靠农户的人工经验来决定灌溉的时机和灌溉量，没有科学的数据支持，主观性和盲目性都很明显。多数灌区还采用统一的大水漫灌方式，不能按照作物种类、生育期、土壤墒情等不同条件进行差异化灌溉，造成无效灌溉现象比较普遍。由于传统灌溉管控模式信息化程度低，无法对土壤湿度、管网流量、田间积水等情况进行监测，在灌溉过程中不能动态调节，因此雨后重复灌溉、干旱少灌等问题频繁出现，水资源浪费更加严重。

1.3　智能化水平滞后，系统协同性差

目前，基层农田灌溉智能化普及率整体偏低，大部分灌区没有安装智能监测、调控设备，仍然依靠人工启闭阀门、人工巡查管网、人工统计水量。少数完成初步智能化改造的灌区存在设备碎片化、系统不兼容问题，感知终端、控制设备、管理平台各自独立运行，数据不能互通共享，不能形成闭环管控体系[1]。缺乏成熟的智能决策算法支撑，大多数属于定时灌溉、定

作者简介：侯利（1978-），女，本科，工程师，研究方向：农田水利。

量灌溉，不能根据气象、作物生长动态来调整灌溉方案，智能化节水优势不能充分发挥。

1.4 运维体系不健全，长效运行能力差

农田水利灌溉系统存在“重建设、轻运维”的问题。传统的灌溉设施没有形成常态化的巡查、维护、检修机制，设备故障不能及时发现和处理，从而造成灌溉系统运行效率不断下降。智能化改造后，部分灌区缺少专业运维人员，基层管护人员数字技术操作能力不够，不能熟练使用智能管理平台、排查设备故障、优化灌溉参数，造成智能设备闲置、系统功能浪费。此外，灌溉系统管护资金投入不足，市场化运维机制缺失，无法保证智能灌溉系统的长期稳定运行。

2 智能化节水背景下农田水利灌溉系统优化改造方案与实践路径

2.1 总体改造原则

本次优化改造根据农田灌溉实际情况，按照四大核心原则来执行。一是节水高效原则，以提高灌溉水有效利用系数为目标，用设施改造、智能管控的办法最大程度地减小水资源的浪费。二是因地制宜的原则，依据地区气候特点、土壤特征、农作物种植方式以及灌区面积等不同情况选择合适的智能化改造方案，防止同质化的现象发生。三是经济适用原则，既要考虑改造投入又不能忽略日常运行支出，在保证系统运行的基础上优先进行改造，并且选用价格便宜、性能好并且易于维护的智能设备来达到最佳效果。四是长效稳定原则，在完成硬件设施建设后还要做好软硬件平台运维和后期保障工作，创建出具有长期运营能力的现代智能灌溉系统。

2.2 硬件设施优化改造，夯实节水基础

对传统灌溉设施老化、损耗严重的问题进行全面的硬件升级。实施输水设施提质改造，淘汰老旧土渠、破损管网，采用防渗渠道、PE防渗管网替代传统的输水设施，大幅度降低输水渗漏和蒸发损耗，把灌区输水利用系数提高到0.85以上。依据农田分布、灌溉半径来安排管网及渠道布局，使各个灌溉单元相互衔接又不造成干扰，形成一张没有空隙且均匀稳定地提供水流的网络。完成泵站、动力设备智能化改造，更换高能耗、低效率的老水泵，使用变频调速水泵、智能稳压装置，用变频控制技术按照灌溉要求动态调节供水量和压力，降低灌溉耗能15%到20%。对泵站运行状态进行实时监控，达到设备过载、缺水、故障自动报警的目的，使设备运转稳定可靠[2]。优化田间灌溉终端，根据作物种植模式，配置滴灌、微喷灌、低压管道灌溉等节水终端，替代传统的漫灌方式，从而实现田间精准供水，减少田间无效水分蒸发。

2.3 智能管控系统搭建，实现精准灌溉

基于五层闭环技术架构，搭建一体化智能灌溉管控平台，实现灌溉全过程数字化、智能化管控。一是覆盖全部的灌区，把灌区面积、地块分布、土壤差异都考虑到进去，在布设土壤墒情、气象、流量、压力传感器的时候，根据各个地方的不同情况进行合理布置，从而实时获取到各个方面的各种数据，并以此来建立起全面完善的农田灌溉感知网络。二是搭建云端智能决策平台，嵌入优化的PSO-LSTM需水量预测模型、作物需水算法，整合实时监测数据、历史灌溉数据、气象预报数据，智能分析不同地块、不同作物的实时需水量，自动生成精准灌溉方案，动态调整灌溉时间、灌溉水量、灌溉区域，彻底替代人工经验灌溉模式。系统可以利用未来气象数据提前预判灌溉需求，规避雨天无效灌溉，进一步提高节水效果。三是部署智能执行控制系统，在各灌溉分区安装智能电磁阀、远程控制闸门、PLC控制器，对接云端平台，实现灌溉指令自动执行、分区独立管控。管理人员可以通过电脑端、手机APP远程实时监控灌溉状态、手动调整灌溉参数，实现无人值守智能灌溉，大大提高灌溉管控效率[3]。同时，安装精准计量设备，达到灌溉用水精确计量的目的，为按量计费和节水考核提供数据支撑。

2.4 运维管理体系优化，保障长效运行

构建以专业化管护、常态化运维、数字化监管为特点的长效机制。一是建立常态化的设备运维机制，制定智能设备、管网、泵站定期巡查、检修、维护制度，定期清理管网堵塞、校准传感器、检修控制设备，及时排查安全隐患，保证系统稳定运行。二是加强对基层人员的技术培训，就智能平台的操作、设备故障的排查、参数的优化设置等方面开展专项培训，提高管护人员的数字化运维水平，解决智能化设备“不会用、用不好”的问题。三是完善资金保障机制，把农田水利建设、节水改造专项资金整合起来，创建智能化灌溉系统运维专项资金，确保设备更新、系统升级、日常维护等方面有充足的资金支持。市场化运营方式可以借助专门的水利运维公司来实现，并对灌溉系统的管护进行专业化、标准化的操作。四是建立健全用水管理制度，推行精准计量、按量收费制度，建立农业用水节水考核机制，强化农户节水意识，倒逼农业用水高效利用。

2.5 分阶段改造实施路径

为保证改造工作的顺利开展，效果可控，采用分阶段、分区域推进的策略。第一阶段是摸底规划和试

点改造，全面排查灌区设施的短板、设备现状、灌溉痛点问题，结合区域农业发展规划，制定差异化的改造方案，选取典型地块开展智能化改造试点，验证技术适配性及节水成效。第二阶段是全域推广改造，总结试点经验，分批推进管网、泵站、智能终端、管控平台全域改造，完成老旧设施替换、智能系统搭建、灌溉模式升级。第三阶段为优化提升和长效运维，完善运维管理制度，优化智能算法参数，升级平台功能，建立常态化监测、评估、优化机制，持续提升灌溉系统智能化节水效能。

3 农田水利灌溉系统优化改造过程中存在的问题和优化对策

3.1 现存突出问题

从目前农田灌溉智能化改造工作实施情况看，还存在着一些问题和不足之处。一是技术适配性不够好，部分改造工程盲目套用通用方案，没有考虑区域土壤、气候、种植模式差异化的设计方案，智能算法参数适配性差，精准灌溉效果不理想；部分智能设备抗恶劣环境能力差，在田间复杂环境下故障率高。二是资金投入大，智能化设备采购、管网改造、平台搭建前期投入大，基层财政压力大，小型农田地块改造覆盖率低。三是技术普及和人才储备不足，农户和基层管护人员对智能化技术认识不够，操作能力差，存在重建设、轻应用的问题；专业的智慧水利技术人才匮乏，不能支撑系统的持续优化升级。四是数据融合程度低，部分灌区智能系统数据孤立，没有与农业气象、农田管护、水资源调度平台数据互通，数据价值没有被充分挖掘。

3.2 针对性优化对策

一是加强因地制宜的精准改造，提高技术适配性。创建灌区改造前期调研机制，全面排查区域水土资源、种植结构、灌溉需求，制定差异化、个性化的改造方案。根据不同的场景选择适合的智能设备和灌溉模式，大田规模化种植采用智能管网滴喷灌模式，小块零散农田使用低成本智能节水设备[4]。不断改进智能算法，按照本地作物需水规律来调整模型参数，提高灌溉决策的精确度；选用耐高低温、抗腐蚀、高稳定的田间智能终端，减少设备故障率。二是拓宽资金投入渠道，降低改造成本压力。整合国家、地方农田水利专项扶持资金，加大对智能化节水改造的政策扶持和资金补贴。积极引入社会资本，探索政企合作、市场化运营模式，鼓励企业参与灌区智能化改造和运维[5]。优化改造方案，优先聚焦核心短板，分批分期推进改造，避免盲目投入，提高资金利用效率。三是加强人才培育和技术普及，提高应用实效。建立常态化技术培训机制，面向基层管护人员、种植大户、农户开展智能灌溉技术实操培训，提高群众技术应用能力。引进智慧水利、数字农业等专业技术人才，组建专项技术团队，负责系统优化、故障排查、技术指导。用田间示范、案例宣讲、效益比较的方式向农民展示智能化节水灌溉的优点，提高农民自发使用的意愿[6]。四是推进数据融合共享，创建一体化智慧体系。打通灌溉管控平台和气象、农业、水利调度等系统的数据接口，实现多源数据融合共享，构建全域智慧水利管控体系。深度挖掘灌溉数据、作物生长数据、水资源利用数据，给灌区水量调度、种植结构优化、节水成效评估提供数据支撑，充分发挥数字化技术赋能作用。

4 结束语

在智能化节水与农业现代化发展的双重背景下，推进农田水利灌溉系统智能化改造，是破解农业水资源浪费难题、提升灌溉效率、保障粮食安全、推动农业绿色高质量发展的必由之路。本文梳理归纳智能节水领域的核心理论与主流技术方法，从传统农田灌溉系统普遍存在的设备老化、管控粗放、智能化水平不足等痛点切入，构建涵盖硬件提质、智能管控、运维升级三大维度的系统性改造体系，并结合工程实践验证了该方案的科学性与可行性。随着数字技术持续迭代与节水技术不断创新，农田水利灌溉系统将朝着全域感知、智能预判、自主调度、无人值守、精准高效的智慧化方向演进。未来需持续深化数字技术与农田水利场景的深度融合，迭代优化智能灌溉算法模型，建立健全长效运维保障机制，推动智能化节水灌溉技术全域普及，全面提升农业水资源利用效率，为智慧农业建设与节水型社会构建提供坚实的支撑。

参考文献：

[1] 阿勇嘎.智能化高效节水灌溉系统在农田水利工程中的应用研究[J].农业机械,2026(05):139-141.
[2] 冉小丽.农田水利节水技术的创新与应用[J].南方农机,2025,56(17):70-72,91.
[3] 薛玉东.农田水利灌溉中的节水灌溉技术革新研究[J].农机市场,2025(08):96-98.
[4] 张盘英.小型农田水利灌溉可持续发展运行机制研究[J].河南农业,2025(12):73-75.
[5] 陈国.高效节水灌溉技术在农田水利灌溉中多元化应用的探讨[J].农民致富之友,2026(20):105-107.
[6] 阿勇嘎.智能化高效节水灌溉系统在农田水利工程中的应用研究[J].农业机械,2026(05):139-141.