水电水利
Hydropower and Water Resources
第 10 卷◆第 6 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

传统灌区渠系量测设备信息化升级改造关键技术研究

贺亚红
新疆维吾尔自治区水利运行调度中心（新疆维吾尔自治区灌溉排水发展中心）
DOI:10.32629/hwr.v10i6.7024

[摘　要] 文章围绕传统灌区存量量测设备数字化提质难题,开展信息化升级改造关键技术系统性研究。结合多级渠系复杂运行工况,梳理传统设备的运行短板与信息化改造技术约束,搭建包含感知提质、组网传输、数据适配、智能运维的成套技术体系,明确各项技术的优化逻辑与应用优势。性能测试与场景分析表明,整套技术可有效改善传统设备监测误差大、数据传输不稳定、新旧设备兼容性差、运维成本高的问题,显著提升灌区水量监测的自动化与规范化水平。
[关键词] 传统灌区；渠系量测设备；信息化改造；智能感知；混合组网；智能运维
中图分类号：S275　文献标识码：A

Research on Key Technologies for Informatization Upgrade and Renovation of Canal Measuring Equipment in Traditional Irrigation Districts

Yahong He
Xinjiang Water Conservancy Operation and Dispatching Center (Xinjiang Irrigation and Drainage Development Center)

[Abstract] Aiming at the problems of digital improvement of existing measuring equipment in traditional irrigation districts, this paper conducts a systematic research on the key technologies for informatization upgrade and renovation. Combined with the complex operating conditions of multi-level canal systems, this paper analyzes the operational deficiencies of traditional equipment and technical constraints in informatization transformation, and establishes a complete technical system covering perception improvement, network transmission, data adaptation and intelligent operation & maintenance. The optimization logic and application advantages of each technology are also clarified. Performance tests and scenario analysis verify that the proposed technologies can effectively solve the problems of large monitoring errors, unstable data transmission, poor compatibility between new and old devices and high operation & maintenance costs of traditional equipment, and greatly improve the automation and standardization of water quantity monitoring in irrigation districts.
[Key words] traditional irrigation district; canal measuring equipment; informatization transformation; int elligent perception; hybrid networking; intelligent operation and maintenance

引言

灌区是保障农业灌溉、调配区域水资源的重要水利基础设施,渠系水量精准监测是灌区节水调度与规范化运维的核心基础。国内多数老旧灌区长期沿用传统机械式量测设备与人工观测模式,设备功能简单、自动化程度有限,数据采集滞后、人为误差偏大,难以适配智慧水利与数字灌区的建设要求。本文依托灌区实际复杂工况,搭建存量量测设备信息化升级技术框架,系统开展核心技术优化研究,探索低成本、可落地的数字化改造路径,助力传统灌区实现信息化、精细化管控升级。

1 传统量测设备缺陷及升级改造技术瓶颈

1.1传统渠系量测设备运行现状

国内传统灌区大多形成多级配套渠系输水体系,依据不同渠段输水规模布设对应的机械式量测设备。受制于建设时期技术条件,多数老旧灌区仍沿用传统人工监测运维模式,数字化、自动化改造进度滞后。从现场运行工况来看,存量老旧设备主体结构完好、机械性能稳定,基础量测功能仍可正常使用,整体更换不仅浪费资源,还会大幅提升改造成本。因此,依托原有设备开展数字化赋能升级,是传统灌区提质增效的最优方式,具备较高的工程应用价值与推广潜力[1]。

1.2传统设备核心技术缺陷

长期工程运行过程中,传统机械式量测设备的技术短板逐步显现,难以适配现代灌区精细化监测管控需求。此类设备缺乏自动化采集模块,数据采集依赖人工操作,不仅作业效率较低,还易产生人为观测误差,导致原始监测数据失真。同时,设备不

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

具备数据校正与数字化传输能力，水流波动、泥沙淤积、漂浮杂物等环境干扰，都会造成监测数据偏差，且数据归档、统计溯源难度较大。结合运维模式来看，传统人工定期巡检方式存在明显滞后性，设备故障无法及时发现处置，难以保障渠系水量监测工作的连续性与稳定性。

1.3信息化升级改造的关键技术瓶颈

相较于全新设备整体布设的改造模式，传统灌区存量设备信息化升级存在诸多现场技术约束。灌区多级渠系工况差异较大，水流状态动态波动，对数据采集精度形成明显干扰。同时，灌区监测点位布局零散，末端渠系多处于信号薄弱区域，单一传输模式无法保障全域数据稳定上传。受分期建设影响，灌区新旧设备混杂布设，各类设备信号输出与数据标准不统一，设备协同性差，难以实现全域数据整合分析[2]。

2 信息化升级改造关键技术总体架构与设计思路

2.1关键技术研发总体思路

为适配传统灌区低成本数字化改造需求，本文立足现场复杂工况与存量设备运行特点，确立存量提质、按需赋能的核心研发思路，摒弃传统整体换新的高成本改造模式。在充分保留原有设备完好主体结构的基础上，通过加装智能功能模块、优化设备运行逻辑的方式完成数字化升级。针对前文梳理的监测精度不足、数据传输不稳、设备兼容性弱、长效运维困难四大技术难题，逐一匹配对应优化方案，形成问题导向的成套改造体系。

2.2关键技术体系整体架构

基于既定研发思路，本文搭建分层联动、协同适配的信息化升级技术架构，整体包含四大相辅相成的核心功能模块。其中，感知提质模块用于优化数据采集方式，解决复杂工况下监测精度不足的问题。传输稳定模块通过优化组网结构，保障全域数据传输连续完整。兼容适配模块统一数据协议与输出标准，破除新旧设备的联动壁垒。运维保障模块聚焦长效服役需求，优化设备防护与故障处置机制。各模块各司其职、有机联动，共同支撑渠系量测设备数字化升级工作有序落地。

2.3关键技术设计原则

为保障改造技术贴合工程实际、落地可行，本次技术优化遵循多项核心设计原则。改造过程充分适配多级渠系差异化工况，保障设备可适应复杂现场环境。以设备长期稳定运行为核心，通过技术优化弱化外界环境干扰、降低故障频次。兼顾新旧设备性能差异，统一数据对接标准，实现全域设备协同运行。严控改造成本，依托存量设备完成功能提质，以低成本方式实现灌区信息化管理水平的整体提升。

3 信息化升级改造核心关键技术研究

3.1渠系量测智能感知提质关键技术

传统接触式量测设备易受渠道泥沙淤积、水流波动、水面漂浮杂物等因素干扰，监测数据存在持续性偏差，无法满足灌区精准量水的管控要求。本文针对性优化存量设备感知体系，在保留设备原有主体结构的基础上，完成数字化与精准化双重升级改造。改造过程中，在传统机械式量测设备外部加装高精度传感采集模块，同时引入非接触式雷达量测手段，弥补单一接触式量测方式的场景适配短板。为弱化复杂环境的监测干扰，研究搭建多环境误差补偿方案，结合现场实时水温、水流速度、泥沙含量等参数校准原始监测数据。

3.2灌区混合组网稳定传输关键技术

灌区监测点位分布范围广、布局零散，骨干渠与末端渠网络覆盖条件差异显著，单一传输模式无法覆盖全域监测点位，现场易出现数据断联、信息丢失等问题。针对灌区复杂场景的数据传输难题，本次研究构建4G与LoRa双模混合通信组网体系，整合两类通信模式的差异化应用优势[3]。信号覆盖稳定的骨干渠段采用4G网络开展高速数据传输，保障核心渠段数据更新的实时性。信号薄弱、存在网络盲区的偏远末端渠段，启用低功耗LoRa通信模式，突破地形与信号限制，保障偏远点位的数据连通性。技术优化增设数据断点续传机制，设备断网期间可自动留存监测数据，网络恢复后完成批量补传，有效改善数据丢包、链路波动等问题，确保全域量测数据完整、持续上传。

3.3新旧设备异构数据兼容适配关键技术

传统灌区建设周期较长，现场布设的量测设备型号繁杂，老旧机械设备与新型智能设备的信号输出、数据传输标准存在明显差异。不同类型设备无法直接联动运行，监测数据格式杂乱，难以统一汇总整理，制约灌区一体化管控工作推进。针对新旧设备适配难题，本文研发适配多类型设备的协议转换技术，兼容不同制式的设备信号输出，可自主完成模拟信号与数字信号的相互转换，统一全域设备的数据输出格式。在此基础上，研究搭建标准化数据处理流程，对原始采集数据开展清洗、筛选与规整处理，剔除无效、异常数据。

3.4户外设备长效运行智能运维关键技术

灌区量测设备长期露天运行，风雨侵蚀、温湿度交替变化、泥沙堆积等外界因素会持续损耗设备硬件性能，提升设备故障发生概率。传统人工定期巡检模式响应效率有限，故障排查与处置存在滞后性，难以适配信息化设备的长效运行需求。本次研究对传统运维体系进行全方位优化，搭建设备在线状态监测机制，实时采集设备运行电压、信号强度、数据传输状态等核心参数[4]。系统可通过参数动态变化精准判定设备运行状态，自主识别异常故障并及时推送预警信息，提升故障处置的时效性。硬件层面同步升级设备防护结构，强化防尘、防水、防淤积性能，降低外界环境对设备的损耗影响。

4 关键技术应用效果与适用性分析

4.1技术评价指标设置

结合灌区量测设备信息化改造的核心目标与实际管控需求，本文选取四项代表性指标构建完善的技术评价体系，全面衡量成套技术的应用效果。评价体系涵盖数据监测精度、数据传输稳定性、设备系统兼容性与长期运行可靠性，分别对应前文四类核心技术的优化方向。各项指标贴合灌区实际运行场景，可客观量化技术改造带来的设备性能提升，为技术应用效果的科学评判提供可靠依据。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

4.2关键技术改造前后技术性能对比

对比传统设备运行模式与本文技术改造模式的运行参数，可直观体现整套技术的优化提升价值。改造后的设备依托智能感知提质技术，有效抑制环境干扰引发的监测误差，水量监测数据精准度显著提升。混合组网传输模式的应用，大幅降低数据丢包与链路断联概率，数据传输的成功率和实时性更加稳定。数据适配技术有效破除新旧设备联动壁垒，系统数据规整度与灌区一体化管控水平明显提高。智能运维体系落地后，设备故障发生频次大幅减少，长期运行状态更加平稳。多维度性能优化效果，充分验证整套改造技术的实用性与工程有效性。

4.3成套关键技术场景适配性分析

本文研发的升级改造技术体系具备良好的场景适配能力，可满足多级渠系差异化的运行监测需求。整套技术能够适配骨干渠大流量稳定输水、末端渠小流量波动输水等各类工况，覆盖不同渠系的监测作业要求。技术改造以存量设备提质为核心，无需大规模拆除更换设备，既适配小型老旧灌区的数字化升级，也可满足大中型灌区的精细化提质需求。该改造模式施工简便、成本可控、通用性强，可在国内多数传统灌区现代化改造工程中推广应用。

5 关键技术优化迭代方向

5.1极端工况感知技术优化

为进一步提升设备复杂场景适配能力，后续可针对性优化极端工况下的数据校正算法。结合渠道高速水流冲击、大面积漂浮杂物堆积、汛期水质波动等特殊场景，优化数据修正逻辑与误差补偿参数，细化不同工况下的感知校准策略。通过优化算法适配特殊工况的监测需求，持续提升设备抗干扰能力，保障极端环境下水量监测数据的稳定性与准确性。

5.2监测数据深度应用优化

在现有数据采集与传输功能基础上，系统可新增专业化数据分析模块。依托灌区历年输水统计数据、区域用水规律、作物灌溉需求等基础资料，搭建数据挖掘与分析模型，对实时监测数据进行深度处理。通过梳理输水损耗规律、时段用水特征、渠系运行状态等关键信息，让监测数据从基础统计功能转向辅助管理功能，强化数据对灌区日常运维、节水管控的支撑作用。

5.3灌区智能管控功能拓展

依托全域设备监测数据体系，后续可逐步拓展智能辅助调度功能，搭建渠系输水智能调度机制。结合不同渠系的输水能力与用户用水需求，实现输水流量动态调配、用水定额精准管控、异常输水状态智能预警，推动灌区设备改造从基础信息化升级，逐步转向精细化、智能化管控转型，全面适配现代智慧灌区的建设发展要求。

6 结论

本文针对传统灌区存量量测设备老化、监测精度不足、信息化程度偏低等工程问题，结合多级渠系复杂运行工况，梳理设备运行短板与改造技术约束，搭建集感知提质、组网传输、数据适配、智能运维于一体的成套信息化升级技术体系。通过性能对比与场景适配分析验证技术成效，结果表明，该技术体系可有效解决设备监测误差大、数据传输不稳、新旧设备兼容性差等问题，显著提升灌区水量监测规范化水平。整套技术以存量设备升级为核心，成本可控、适配性广、落地性强，可为老旧灌区数字化转型与水资源精细化管控提供可靠的实践参考。

[参考文献]

[1]张晓颖,李天华,李沁书.我国大型灌区信息化建设与发展[J].水利规划与设计,2023,(12):4-8.

[2]刘宏路.基于数字孪生技术的水库及灌区信息化建设分析[J].水上安全,2024,(19):47-49.

[3]林思文,黄常熙,杨丁颖,等.基于LoRa Mesh的水利自组网系统设计与实现[J].物联网技术,2025,15(22):66-70.

[4]罗少轩,乔爱民,王艳春.基于改进粒子群优化支持向量机的水利闸门卡阻故障诊断[J].齐齐哈尔大学学报(自然科学版),2015,31(5):19-23+27.

作者简介：

贺亚红(1974--),男,汉族,四川资中人,大学本科,中级工程师,研究方向：水资源管理、渠系量测水信息化技术、农业高效节水技术等水利科技示范应用。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.