智慧水利背景下灌区自动化灌溉系统建设与运维研究

王瑞霞[1] 常 静[2] 韩彩娜[3] 陈悦蓉[4] 吴一凡[4]

1.内蒙古河套灌区水利发展中心义长分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015100

2.内蒙古河套灌区黄河水利文化博物馆 内蒙古 巴彦淖尔 015100

3.内蒙古河套灌区水利发展中心总干渠分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

4.内蒙古河套灌区水利发展中心总干渠分中心第三枢纽所 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘 要】：灌区供水调度面对来水波动、末端用水分散和工程设备老化等压力，单纯依靠人工报水和现场开闸难以保持精细控制。本文梳理智慧水利对灌区自动化灌溉的支撑条件，分析感知终端、数据平台、调度模型和闸泵阀执行设备的衔接关系，识别建设中的测点布设、数据校核、模型转化、联动保护以及运维中的巡检预警、平台安全、用水服务协同等关键环节，提出以真实数据支撑调度、以安全边界约束控制、以责任链条组织运维的系统建设思路。灌区自动化灌溉的稳定运行依赖可靠数据、可解释调度、可接管控制和基层可执行流程共同支撑。

【关键词】：智慧水利；灌区；自动化灌溉；系统建设；运维管理

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.047

引言

灌区灌溉调度连接水源、渠道、泵站、闸门和田间用水户，来水过程、作物用水和末端取水常存在时间差。人工报水和现场巡查在小范围运行中尚可维持，在多水源、多支渠和节水约束叠加时，容易出现计量断点、指令滞后和设备故障发现迟缓。智慧水利把传感器、通信网络、数据平台和自动控制设备接入同一运行链，为灌区自动化灌溉提供了新的建设条件。系统建设与后续运维必须同步设计，才能让数据采集、灌溉决策、远程执行和维修反馈形成稳定闭环。

1 灌区自动化灌溉建设基础

（1）智慧水利对灌区灌溉的支撑：智慧水利对灌区灌溉的支撑集中体现在连续感知和协同调度[1]。水位、流量、雨情、墒情、闸位和泵站工况依托传感器与遥测终端形成数据流，管理人员可以同步掌握渠首来水、支渠配水和田间用水状态。数据进入平台后，用水计划、作物生育期、天气变化和渠道输水能力被放在同一运行图中比对，开闸时间、轮灌顺序和供水量不再只依赖经验判断。现代化灌区建设中的水资源管理，应把监测、分析、调度和执行连成可追溯链条。这种支撑还改变了灌区管理的时间尺度，调度人员能够在水位变化刚出现时调整供水节奏，而不是等到末端缺水或渠道漫溢后再被动处理。

（2）自动化灌溉系统的组成结构：自动化灌溉系统由感知层、传输层、平台层、控制层和服务层构成。感知层采集水位、流量、闸位、泵站电参量、土壤含水率和雨情；传输层依托光纤、专网、移动通信或低功耗物联网回传数据；平台层承担校核、存储、展示和模型计算；控制层面向闸门、泵站、电动阀和计量设施下发指令；服务层提供巡检、工单、报表和用水反馈。各层不能只做设备堆叠，测点编码、权限分级、反馈确认和维修记录必须随业务流同步配置。

（3）建设运维面临的现实约束：灌区自动化建设受工程条件、数据条件和管理条件共同制约。部分渠道存在断面老化、淤积、回水和供电不稳，传感器与执行器要适应潮湿、冻融、雷击和漂浮物冲击。水位流量关系会随渠道状态变化，墒情数据又受土质、作物和埋设深度影响，未经校核的数据直接进入模型会放大调度误差。管理层面还涉及站所、用水组织和农户之间的责任划分，远程控制能力提高后，操作授权、异常复核、断网接管和维修响应都要前置设计。

2 自动化灌溉系统建设要点

（1）感知终端与数据采集网络建设：感知终端应围绕调度问题布设，而不是平均铺开[2]。渠首、分水口、重要节制闸、泵站前池、支斗渠交接点和典型田块，是识别来水、输水、配水和末端用水的关键位置。水位计、明渠流量计、闸位计、雨量站、墒情站和视频设备要结合水流形态、维护可达性和供电条件选型。数据采集网络还要记录采集时间、设备编号、通信状态、电源状态和异常码，保证在线率、补传机制和数据追溯能力满足灌溉调度要求。

（2）灌溉决策模型与调度平台建设：灌溉决策模型要把灌区运行规则转化为平台可计算的逻辑。模型输入包括可供水量、渠道输水能力、作物用水阶段、土壤墒情、降雨预报、泵

站能耗和用水计划，输出落实为开闸时段、泵站启停、配水流量和轮灌顺序。调度平台给出的方案应显示数据来源、约束条件和执行边界，便于管理人员审核。数字孪生和方案预演可以提升可视化水平，但平台仍要保留人工复核、方案比选、执行回写和异常退回功能。

（3）闸泵阀联动控制与安全保护：闸泵阀联动控制要先明确水源、干渠、支渠、泵站和田间阀门之间的上下游关系，再设置启闭顺序、开度限制、水位边界和互锁条件。上游闸门未达到目标开度时，下游泵站不宜提前满负荷启动；渠道水位接近警戒边界时，平台应限制继续开闸并要求人工复核。安全保护覆盖电气、通信、机械和水力风险，控制指令应权限分级、二次确认、日志留存和超时回退，重要节点还应保留现场手动操作方案。控制策略还要考虑水流传播滞后，避免上游动作尚未形成稳定水位时，下游设备连续调整造成渠道水位振荡。

3 自动化灌溉系统运维优化

（1）设备巡检与故障预警机制：系统投运后，运维重点从单次安装转向持续巡检[3]。巡检对象包括传感器清洁、太阳能或市电供电、通信模块、闸门行程、泵站振动、控制柜防潮和防雷接地。预警机制要区分数据异常、设备异常和调度异常：水位突跳、流量为零但闸门开启、墒情长期不变属于数据异常；启闭超时、通信离线和电池低电压属于设备异常；计划水量与实供水量偏差过大属于调度异常。每条告警都应绑定责任人、处理时限和复核结果。告警关闭前应完成现场照片、处理措施和复测结果归档，防止同一故障在灌溉季反复出现。灌区自动化灌溉故障预警与巡检处置流程见图 1。

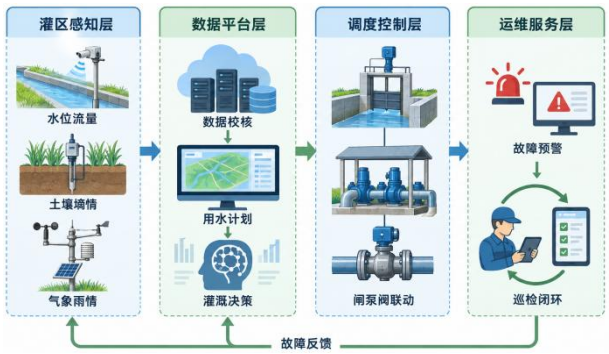


图 1 灌区自动化灌溉故障预警与巡检处置流程

图 1 显示，感知层采集水位流量、土壤墒情和气象雨情，平台层完成数据校核、用水计划和灌溉决策，控制层执行闸泵阀联动；运维服务层接收故障预警并形成巡检处置结果，再把故障反馈回传到前端和平台，构成设备巡检与预警处置的业务链。

（2）数据质量校核与平台安全维护：数据质量决定自动化灌溉系统的可信度[4]。平台可依托上下游水位、闸门开度、流量变化、雨量记录和墒情变化开展多源校核，对长期离线、漂移明显或超过物理范围的数据标记为待核验，避免直接参与模型计算。平台安全维护包括账号权限、通信加密、日志审计、备份恢复和接口管理。控制类账号与浏览类账号应分离，关键操作保留操作者、时间、设备、指令和返回状态，便于灌溉季结束后追溯调度偏差。数据备份还可服务年度复盘，帮助管理单位识别高频故障测点、异常用水时段和模型参数薄弱处。

（3）用水服务协同与长效管理：灌区自动化灌溉最终要服务用水秩序和农业生产。平台可向基层站所和用水组织开放计划申报、供水通知、异常反馈和灌溉进度查询，使农户了解轮灌安排和预计供水时间。计量到斗口或田间的区域，还可把用水量、灌次和缴费信息联动，推动计划用水和节水激励落地。长效管理还要核算传感器更换、通信资费、软件维护、备件采购和人员培训成本，把有效数据率、故障闭环率和供水兑现率纳入评价。当平台把服务记录与设备台账、调度日志相互关联后，灌区管理才能从一次性建设转向持续改进。

4 结语

智慧水利背景下的灌区自动化灌溉系统，应把感知网络、数据平台、调度模型和闸泵阀执行单元联成一体。建设阶段重点在测点布设、通信可靠、模型适配和联动保护，运维阶段重点在巡检、告警、数据校核、权限审计和用水服务协同。系统价值不取决于上线设备数量，而取决于有效数据能否进入调度、控制指令能否安全执行、故障记录能否闭环复盘。后续改造可继续吸收数字孪生和预测调度方法，但可靠数据和明确责任仍是长效运行的基础。

参考文献：

[1] 吴慧.水利信息化系统在灌区水资源管理中的应用研究[J].价值工程,2026,45(11):163-165.

[2] 蔡露.基于水网建设的安徽现代化灌区建设与管理[J].江淮水利科技,2026,21(4):61-64.

[3] 王建梅.基于用户参与的灌区灌溉用水管理实践与探索[J].当代农机,2026,(8):85-86.

[4] 邹俊.浭史杭灌区强化水资源管理的实践与思考[J].治淮,2026,(7):23-25.