

智慧水利背景下水文信息化建设与应用研究

刘繁星 刘祯文

巴彦淖尔市水文水资源勘测中心, 中国·内蒙古 巴彦淖尔 015000

摘要: 智慧水利背景下, 水文信息化已成为大型灌区提升水资源配置效率和现代化管理水平的重要支撑。内蒙古河套灌区近年来持续推进通信专网、自动监测、水权计量和数字孪生建设, 已形成覆盖水位、流量、闸位、视频等要素的信息采集体系。本文针对多源数据标准不统一、设备运维压力增加以及业务协同不足等问题, 应进一步完善立体感知体系, 强化数据治理和通信安全, 深化数字孪生、水权计量及智能调度应用, 推动水文信息由采集展示向分析决策和自动控制延伸。

关键词: 智慧水利; 水文信息化; 河套灌区; 数字孪生

Research on the Construction and Application of Hydrological Informatization under Smart Water Conservancy

Liu Fanxing, Liu Zhenwen

Bayannur Hydrology and Water Resources Survey Center, China Inner Mongolia Bayannur 015000

Abstract: Under the background of smart water conservancy, hydrological informatization has become an important support for large irrigation areas to improve water resource allocation efficiency and modern management levels. In recent years, the Hetao Irrigation Area in Inner Mongolia has continuously promoted the construction of dedicated communication networks, automated monitoring, water rights measurement, and digital twins, forming an information collection system covering elements such as water levels, flow, gate positions, and video. This paper addresses issues like non-uniform standards for multi-source data, increased equipment operation and maintenance pressure, and insufficient business collaboration. It suggests further improving the three-dimensional perception system, strengthening data governance and communication security, deepening applications of digital twins, water rights measurement, and intelligent scheduling, to extend hydrological information from data collection and display to analysis, decision-making, and automatic control.

Keywords: Smart water conservancy; Hydrological informatization; Hetao irrigation area; Digital twin

0 引言

河套灌区渠系规模大、灌溉任务重, 传统人工测水和经验调度已难以完全适应精准配水、农业节水和工程安全管理需求。当前, 灌区已建成 1284 处通信站点和 2141 处数据监控点, 国管渠道调度断面流量自动采集覆盖率达到 65%, 水情信息自动采集覆盖率达到 81%, 信息化建设已具备较好基础。同时, 2025—2028 年现代化改造项目持续推进, 为监测感知、自动控制和数字孪生应用提供了新的建设条件。因此, 有必要从建设要点和实际应用两个层面研究水文信息化发展路径。

1 智慧水利背景下水文信息化建设的必要性

智慧水利建设正推动灌区管理由工程控制向数据驱动转变, 河套灌区渠系层级多, 水量调度、工程运行和农业节水均依赖连续、准确的水文信息。2026 年内蒙灌区已建

成 1284 处通信站点、2141 处数据监控点, 实现水利通信专网全覆盖, 国管渠道调度断面流量自动采集覆盖率 65%, 水情信息自动采集覆盖率 81%; 2020—2024 年农田灌溉水有效利用系数由 0.467 提高到 0.530, 2025 年《巴彦淖尔市节水行动实施方案》提出推进数字孪生灌区国家级试点, 同年获批的现代化改造项目总投资 103 亿元、建设期为 2025—2028 年。由此, 水文信息化已成为灌区精准分水和现代化运行的基础支撑^[1]。

2 智慧水利背景下水文信息化建设要点

2.1 构建立体感知体系, 夯实水文数据采集基础

感知层是水文信息化建设的基础, 应围绕水情、工情、墒情、盐情建立分级布设、重点加密的监测体系^[2]。河套灌区可依托总干渠、干渠、分干渠及国管直口渠等关键断面, 合理配置水位、流量、闸位、视频和土壤水盐监

测设备,对渠首、分水枢纽、易淤积渠段及重要工程节点实施连续监测。渠道量水宜遵循现行 GB/T21303—2017《灌溉渠道系统量水规范》,自动采集与传输系统可衔接 GB/T41368—2022《水文自动测报系统技术规范》,两项标准目前均处于现行状态。建设中不宜单纯追求点位数量,而应根据调度层级、计量责任和数据用途确定监测密度,并通过人工比测、断面复测和设备校准保持测值可靠,为模型计算和自动控制提供稳定数据源^[3]。

2.2 统一数据标准体系,提升多源信息治理能力

水文信息化的关键不只是采到数据,还在于形成统一、可追溯的数据底座。河套灌区既有水位、流量、闸位、视频等监测系统,又逐步接入墒情、盐分、遥感和工程安全信息,不同建设时期的数据格式、采样周期和编码规则可能存在差异。对此,应统一测站编码、时间基准、计量单位、数据质量标识和接口规范,建立原始数据、治理数据、业务数据分层管理机制^[3]。对超量程、长时间恒定、突变、缺测等情况设置自动识别规则,并保留修正前后数据及处理记录。现行 GB/T20204—2006《水利水文自动化系统设备检验测试通用技术规范》可用于设备检验和系统质量控制。通过统一数据治理,可减少重复报送和口径冲突,提高跨业务调用效率。

2.3 完善通信安全保障,增强信息系统运行韧性

通信与算力支撑决定水文信息能否稳定汇聚和实时应用。河套灌区已形成覆盖灌区的水利通信专网,但随着监测点、视频终端和自动控制设备增加,数据传输量、网络安全和边缘节点运行压力同步上升。建设中应按照关键站点双保障、一般站点稳定接入的思路,结合光纤、无线专网和公网通信条件配置传输链路,对渠首、枢纽和重要闸站设置必要的备用通信与断点续传机制^[4]。平台侧应区分实时监控、历史查询、模型计算和视频业务,避免所有数据无差别高频上传造成资源浪费。2025—2028年现代化改造项目已明确将现有网络信息安全升级纳入信息化工程。因此,还应完善身份认证、访问控制、日志审计、数据备份和故障恢复制度,保证灌溉高峰期系统连续可用^[5]。

2.4 建设数字孪生平台,形成四预业务支撑体系

智慧水利平台建设应以业务需求为牵引,将监测、模型和调度流程整合为可执行的业务链。河套灌区数字孪生应用测试平台已能够利用遥感数据和地面监测信息开展需水评估、水量调配、方案对比和灌溉调度,永济灌域也已开展数字孪生灌区先行先试建设。后续应完善数字渠系和工程对象映射,将实时水情、作物需水、墒情盐情、水权

指标及闸门状态统一关联,并构建来水预测、需水分析和配水调度模型。水利部门关于智慧水网建设强调强化预报、预警、预演、预案能力。因此,平台不能停留在三维展示层面,还应通过多方案推演辅助决策,并利用实测资料持续校核模型,保留人工审核和异常状态下的应急接管功能。

2.5 健全运维管理体系,保障信息化设施长期稳定运行

水文信息化建设具有明显的长期运行属性,设备建成后能否持续稳定在线,直接决定监测数据的连续性和业务应用质量。河套灌区点多、线长、面广,监测终端长期处于低温、风沙、潮湿和雷电等复杂环境中,传感器漂移、通信中断及供电异常均可能影响数据可靠性。因此,应建立覆盖设备安装、运行巡检、周期校准、故障维修和更新报废的全生命周期管理制度,对渠首、重要闸站及关键量水断面实行重点保障。可结合设备在线率、数据完整率、故障频次和平均恢复时长等指标开展运维评价,并建立分级备件储备和应急处置机制。

3 智慧水利背景下水文信息化应用

3.1 服务精准水量调度,推动配水管理数据化转型

在水量调度方面,水文信息化可将传统依靠电话报水、人工汇总的管理方式转变为实时感知和动态配水。河套灌区通过水位、流量及闸位数据自动采集,可及时掌握各级渠道来水和分水变化,并结合灌溉计划形成阶段性调度方案。实际应用中,可按照渠首来水、干渠分配、直口渠执行的层级建立水量平衡关系,对计划量、实配量和累计量实施滚动校核;当监测值持续偏离计划时,由系统提示管理人员复核断面、闸门状态和实际用水需求。由此减少信息传递时滞,提高不同灌域之间分水调度的精细化程度。

3.2 支撑农业节水管理,强化水肥盐协同调控

在农业节水方面,水文信息化应推动渠道供水数据与田间实际需水相衔接,提高灌溉计划的针对性。实际应用中,可将渠道流量、气象、土壤墒情、盐分、作物类型和遥感信息统一分析,根据不同区域土壤条件及作物生育阶段识别需水差异,避免完全按照历史经验安排供水。对于秋浇和春汇,可利用水盐监测资料分析灌水后的保墒与脱盐变化,为下一轮配水提供依据。通过形成监测—分析—配水—评价闭环,使信息化由记录水量进一步拓展到农业节水和水盐协同管理。

3.3 融入水权计量管理,提高水资源配置精细化水平

在水权计量和用水管理方面,信息化能够为确权到

口、计量到口、按量管理提供技术基础。后续可把直口渠计量信息、水权指标、供水计划和实际用水记录统一关联，形成年度指标下达、过程计量、超用预警和结算评价的全过程台账。计量技术可参考现行 GB/T28714—2023《取水计量技术导则》，并根据明渠、闸控和不同断面条件合理选择计量方式。同时，应保留仪器校准、人工复核和异常处置记录，防止单点设备故障造成水量核算偏差，使水权管理建立在可验证、可追溯的数据基础之上。

3.4 强化工程智能运维，构建设备全生命周期管理机制

在工程运行与运维方面，信息化可将设备状态监测、巡检和故障处置由分散管理转为统一闭环。灌区可为监测站、闸门和泵站建立数字档案，持续记录设备在线状态、通信质量、校准时间、故障频次及维修过程，对离线、数据漂移和异常启闭等情况设置分级告警。关键枢纽宜实行周期巡检与远程诊断相结合，并对常用传感器、通信模块设置合理备件。通过关联实时运行数据与历史维修记录，可逐步由故障后抢修转向状态检修和预防性维护，提高水文信息化设施长期运行效能。

3.5 强化综合决策应用，提升灌区协同管理效能

水文信息化的最终价值在于将分散数据转化为可执行的管理依据。河套灌区可进一步整合水位、流量、闸位、墒情、盐分、水权指标、作物需水和工程运行等信息，形成面向不同管理层级的综合决策界面。对于日常配水，可自动汇总渠首来水、渠道分配量和直口渠实际用水情况，识别计划与实配之间的偏差；对于秋浇、春汇等重点时段，则可结合土壤水盐变化和遥感信息辅助调整供水顺序。与此同时，可将异常水量、设备离线、闸门状态异常等纳入统一预警体系，实现调度、工程、计量和运维部门信息共享。通过建立监测发现—系统分析—人工研判—调度处置—结果反馈闭环，可增强跨部门协同能力，使信息化平台由单纯数据展示工具转变为支撑精准调度和综合管理的业务平台。

4 案例分析——内蒙古河套灌区水利水文信息化建设实践

内蒙古河套灌区渠系规模大、灌水周期集中，传统依靠人工测水、电话报水和经验调闸的方式难以满足精准配置要求。针对这一问题，灌区近年来将水文监测、通信传输、水权计量和调度管理作为信息化建设重点。当前已建成 1284 处通信站点、2141 处数据监控点，实现水利通信专网全覆盖，国管渠道调度断面流量自动采集覆盖率达到

65%，水情信息自动采集覆盖率达到 81%。在具体运行中，渠首、分水枢纽及重要渠道通过水位、流量、闸位和视频设备获取实时信息，调度人员可在信息化平台查看水情变化，再依据供水计划调整分水过程。2025 年巴彦淖尔市进一步明确总干渠、沈乌干渠渠首、13 条干渠渠首及总干渠各泄口水口全部实现取水计量，使关键取水节点具备较完整的计量基础。

信息化还与水权管理同步推进。2023 年，河套灌区 2761 个国管直口渠全部完成水权确权与精准计量，使农业用水指标能够落实到较具体的计量单元；2025 年县域间水权交易实现突破，跨区域转让水量 2200 万立方米。在此基础上，管理部门能够将水权指标、实测水量和供水计划进行对应，为超量预警、用水结算和节水评价提供数据依据。永济灌域还开展数字孪生灌区先行先试，将遥感和地面监测数据用于需水评估、水量调配及灌溉方案比选，使水文信息由“采集展示”进一步向辅助决策延伸。

表1 河套灌区现代化建设相关效益指标对比

指标	基期水平	现状水平	变化情况
农田灌溉水有效利用系数	2020年0.467	2024年0.530	提高0.063
骨干渠道衬砌率	2020年36.0%	2025年55.6%	提高19.6个百分点
国管直口渠水权精准计量	尚未全面覆盖	2023年2761个全部实现	实现全面确权计量
水情信息自动采集覆盖率	—	81%	自动监测能力明显增强
调度断面流量自动采集覆盖率	—	65%	关键断面逐步在线化

数据来源：巴彦淖尔市人民政府公开资料。

从实际效果看，信息化建设首先改变的是灌区的管理方式，即由人工分散采集转向自动监测和集中管理，由经验配水逐步转向依据实时数据实施动态调度。与此同时，现代化工程建设与数字管理协同推进，“十四五”期间农田灌溉水有效利用系数由 0.467 提高至 0.530。2025—2028 年现代化改造项目又规划建设量测水、渠网水位、工程监测和视频监控等 3190 套感知设施，以及 369 处闸门、泵站自动控制设施。这表明河套灌区正由局部自动监测向“感知—计量—分析—调度—控制”一体化发展，其实践重点不是简单增加设备，而是利用可信水文数据支撑精准配水、水权管理和工程运行。

5 结语

河套灌区水文信息化建设正由局部自动监测向“感知—计量—分析—调度—控制”一体化转型。实践表明，

信息化与工程改造、水权改革和农业节水协同推进,有助于提升灌区水资源管理精细化水平。下一阶段应继续完善关键断面监测、统一数据标准、强化网络与设备运维,并将数字孪生与实际调度业务深度结合,依托可信、可追溯的水文数据提高精准配水、水权管理和工程运行效率,为河套灌区现代化建设提供持续支撑。

参考文献:

[1] 郑浩然. 信息化赋能流域水文化建设的现实困境与优化路径[J]. 水文化, 2026(6):46-49.

[2] 彭勇. 水文专业技术业绩档案信息化建设的思考[J].

四川水利, 2025,46(2):202-204.

[3] 张亚伟, 张一兵. 虚拟化技术在黄河水文信息化建设中的应用[J]. 数字技术与应用, 2024,42(12):123-125.

[4] 张梦娜. 浅谈水文档案信息化建设的重要意义[J]. 中国管理信息化, 2024,27(3):152-155.

[5] 包娜. 浅谈基层水文单位如何加强内部控制信息化建设[J]. 中国产经, 2023(20):55-57.

作者简介: 刘繁星 (1970.10.15), 男, 汉族, 内蒙古, 大学, 副高级, 研究方向: 水文水资源。