

三屯河数字孪生灌区的建设现状与存在问题

贾 君

昌吉市水利管理站 新疆 昌吉 831100

摘 要：本文聚焦三屯河数字孪生灌区，阐述其基本情况、建设目标任务、进展成效，并深入剖析建设过程中存在的问题，提出针对性建议。研究发现，三屯河灌区在信息化建设方面取得一定成果，但数字孪生体系在决策支撑、智能应用深度与场景适配性、信息服务覆盖度与针对性等方面存在不足，需从建设导向、网络数据安全、工程基础条件等方面加以改进。

关键词：三屯河灌区；数字孪生；建设现状；存在问题；建议

1 引言

随着信息技术的飞速发展，数字孪生技术在水利领域的应用日益广泛，为灌区的现代化管理提供了新的思路 and 手段。三屯河灌区作为新疆唯一入选水利部数字孪生先行先试试点建设的大型灌区，其建设情况对于推动新疆乃至全国灌区的数字化转型具有重要的示范意义。深入研究三屯河数字孪生灌区的建设现状与存在问题，有助于总结经验教训，为后续灌区的数字孪生建设提供参考和借鉴。

2 三屯河灌区基本情况

三屯河发源于天山天格尔峰，流域面积广阔，年径流量较为稳定。灌区下辖多个乡镇和涉农办事处，控制灌溉面积大，是以地表水为主、地下水为辅的国家大型灌区，且灌溉保证率较高，已形成较为完善的引、调、蓄、节供水体系。自1996年起，灌区便开始探索通过信息化手段解决存在的问题，历经单机时代、网络时代、互联网+时代，经过20多年的发展，目前形成了以灌区一张图为基础，各类业务应用系统为核心，数字孪生平台为发展方向的现代化灌区。2022年底，三屯河被水利部确定为数字孪生先行先试试点建设灌区，截至2023年，基本建成包含立体感知体系、自动控制体系、支撑保障体系、智能应用体系、信息服务体系的五大体系。

3 数字孪生灌区建设的目标任务

三屯河灌区信息化建设结合水利部“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求，以灌区业务应用为导向，以数字化、网络化、智能化为主线，在灌区已建信息化平台的基础上重点开展灌区业务管理软件系统的扩展，补充闸门自动控制站点和视频监控站点等，完善通信网络，建立安全可靠的保障体系，突出闸门自动化控制、视频监控在灌区全面应用，强化配水调度管理，构建具有预报、预警、预演、预案功能的数字化灌区。

3.1 提升供水调度能力、工程管理数字化水平。

三屯河灌区水资源调配周期为日调配，三屯河灌区通过信息化平台操作，已实现水资源调配全过程信息化管理，但在整个输配水过程中，配水站工作人员无法提前预知水头的位置，无法准确判断上游调闸后水量何时到达，尤其在汛期随时可能出现来水水量变化、突发降雨等各类情况，无法实现精准调度及决策。需要由经验决策向科学决策转变。推进调配决策预演等业务，以支持智慧化模拟和精准化决策，进一步提高水利工程的现代化管理水平。

3.2 提升防汛抗旱防范能力

危害三屯河灌区的洪水有两部分，一部分在三屯河水库上游山区，一部分在西干渠首上游的洪沟。在建设山区雨情自动监测站之前，灌区的防洪工作处于被动状态，要么洪水到来采取抗汛措施，要么提前提闸放水等待洪水^[1]。在已建雨情监测站的基础上，加密雨情监测站，需要通过洪水预报模型，实现对洪水的短期预报分析，提高了洪水预测能力，结合智能配水调度可实现两库联调，进一步提升洪水风险防范能力。

3.3 提升工程运行安全监控能力和风险防范能力

在已建视频监控的基础上补充建设了各分水闸视频，监控范围涵盖灌区干支流渠道、重要闸站、水库库区、灌溉渠系关键节点等核心区域，实现了对水位变化、工程运行状态、水流情况及周边环境的实时可视化监测，为工程安全管护和应急处置提供了直观、及时的影像支持，提升工程安全监控和风险防范能力。

3.4 提升灌区网络安全能力。

在网络安全建设中，严格依照国家信息安全等级保护三级标准（GB/T22239-2019）完成了全流程建设。具体涵盖网络架构优化、安全设备部署（防火墙、态势感知和备份一体机）、安全管理制度完善、人员安全培训

等关键环节,构建了“技术+管理”双重防护体系^[2]。通过三级等保建设,有效满足了信息化平台在物理安全、网络安全、主机安全、应用安全、数据安全及运维安全等方面的合规要求,为平台稳定运行筑牢了安全屏障,保障了水情监测、闸门控制、调度决策等核心业务数据的保密性、完整性和可用性,切实提升了三屯河灌区信息化系统的抗风险能力。

4 数字孪生灌区建设进展

2023年4月三屯河灌区通过“新疆昌吉市三屯河‘十四五’大型灌区续建配套与现代化改造工程项目(二期)”进行数字孪生建设。在已建信息化基础上,又完善了如下内容:

(1) 立体感知体系建设。已经完成水情监测9处、农情监测30处、工情监测2处、雨情监测6处、视频监控40处。(2) 自动控制体系建设。建设了闸门远程控制7处25孔、一体化闸门1处9孔、视频监控40处。(3) 支撑保障体系建设。完成了计算存储、通信网络(包括自建光缆14.91公里)、网络安全的建设。(4) 数字孪生平台建设。完成了模型库(短期洪水预报模型、配水调度模型、水动力仿真模型、可视化模型)的建设、数据底板(包括两座水库一总干渠一西干渠的无人机倾斜摄影和三维数据制作)的建设。(5) 业务应用平台建设。目前完成了配水调度和防汛预警系统的建设。

5 数字孪生灌区建设取得的成效

5.1 扩展业务应用,强化管理手段

在已建信息化软件平台基础上,扩展了防汛预报预警、智能配水调度功能,提升灌区业务管理数字化水平,初步构建具有预报、预警、预演、预案功能的数字化灌区。

5.2 水动力仿真,保障供水安全

水动力仿真与配水调度模型实现了常规调度和防汛调度运行方案的预演功能,可编制调度预案和年度供水计划,形成反演模型,保障供水安全。

5.3 调度“预演”和调度“预案”

通过水动力仿真模型对输配水过程进行动态仿真模拟,实现防汛调度和日常配水调度“预演”可视化。通过修改边界条件生成多种输配水预案,提高应对突发状况的处置能力。制定两库联调调度预案和渠道闸群调度预案,形成最优调度方案和调度指令。优化配水调度结合总量控制、定额管理要求,实现配水到户、计量到户、按方收费、收费到户,提高用水户节水意识,降低灌溉定额。同时,通过软件平台自动核算水费并公布,促进“水价、水量、水费”三公开。

5.4 加密监测站点,提升防汛能力

新增山区雨(雪)情自动监测站,通过短期洪水预报模型实现对洪水的短期预报分析,提高洪水预报能力。利用多元线性回归及逐步回归算法对三屯河水库未来一年逐月的中长期来水情况进行自动预报,为灌区制定全年供水计划和水土平衡分析提供数据保障。

5.5 工程智能巡检,提升工程运行安全监控能力

采用复合翼巡检无人机、便携式无人机及人工巡检相结合的方式,提高山区雨量站、水库、渠首的巡检效率,及时排查工情险情,保障工程安全运行。

6 数字孪生灌区建设存在的问题

6.1 决策支撑层面存在短板

目前已建数字孪生体系中,自动感知与安全保障环节已实现有效落地——通过全灌区布设的传感器网络(如水位、雨情、视频监控等监测设备),已能实现对物理对象的实时数据采集与状态感知,且依托网络安全防护、数据备份等机制,保障了感知数据的稳定传输与存储安全。但决策支撑层面仍存在明显短板:目前系统更多停留在“数据呈现”与“状态模拟”阶段,尚未充分发挥数字孪生“虚实交互、智能推演”的核心价值。例如,针对灌区水量调度、闸门优化控制、险情预警等实际业务场景,未能通过数据建模(如水文预测模型、工程安全评估模型)实现智能化分析,也难以基于模拟仿真结果生成多方案对比、最优决策建议,导致数字孪生技术与管理决策的深度融合不足,尚未真正转化为辅助科学决策的有效工具。

6.2 智能应用体系深度与场景适配性不足

受管理边界限制,智能应用体系存在缺陷。灌区管理范围仅到支渠出口,现有智能分析模型多集中于支渠级别的水量分配、闸门控制等场景,未能覆盖田间地头需求^[3]。例如,无法依据田间土壤墒情、作物长势等终端数据,构建“支渠配水-田间用水”的联动智能模型,也难以实现从水源到田间的精准用水模拟与优化建议,智能应用效能仅停留在支渠以上层级,未延伸至实际用水终端。

6.3 信息服务体系覆盖度与针对性存在局限

信息服务体系同样受管理范围制约。目前信息服务主要面向支渠及以上层级管理部门,提供水量调度、设备状态等数据服务,对田间用水主体(如农户、合作社)的服务几乎缺失。既无法通过终端设备向农户推送“支渠出口水量、建议田间灌溉时段”等实用信息,又因缺乏田间实际用水数据,难以形成“从管理端到用户端”的闭环信息服务链条,导致信息服务与田间实际用

水需求脱节。

7 针对问题的建议

7.1 以“实用、好用”为核心导向建设数字孪生灌区

关于数字孪生灌区建设,建议应始终以“实用、好用”为核心导向,避免陷入“重建模、轻实效”的误区。考虑到建模环节成本较高,且灌区管理实际需求聚焦于功能实用与操作便捷,可以不必在精细化建模上投入过多精力和资金。例如,针对灌区物理对象的数字化呈现,可优先采用概化图形式——以简化的图形符号标注支渠走向、闸门位置、监测点位等核心要素,清晰反映水利设施的空间关系与运行逻辑即可。这种方式既能大幅降低建设成本,又能满足灌区日常调度、水量分配、设备监控等实际工作需求,反而更贴合基层管理的实操性要求。简言之,数字孪生建设的价值不在于模型的“高精尖”,而在于是否能真正解决管理中的问题。适度简化建模方式,以低成本实现核心功能落地,反而更能体现技术服务于实际业务的本质。

7.2 强化网络数据安全“防患于未然”的意识

网络数据安全方面则需强化“防患于未然”的意识。系统搭建后,从防火墙监测数据可见,外部攻击频发,网络边界安全面临持续威胁;同时,数据库硬盘故障等硬件问题也曾出现,若缺乏完善的数据备份机制,极易导致关键监测数据、调度记录等丢失或损坏,进而影响灌溉决策的精准性,甚至干扰灌区正常运行^[4]。我们在实际运行中已遭遇过网络安全事故,深刻体会到“事后整改”不仅需投入大量人力物力,还可能因数据泄露、系统瘫痪造成不可挽回的损失——相较之下,提前部署防御措施的成本更低、风险可控性更强。

7.3 确保工程基础条件达标以提升模型精度与仿真可靠性

在数字孪生灌区建设中,工程基础条件是否达标直接影响模型精度与仿真可靠性。当前灌区部分渠道因纵坡过大、断面尺寸不标准等问题,已对孪生模型构建形成明显制约:一方面,纵坡偏大导致水流速度过快,加之断面不规整,使得监测设备的计量精度受显著影响——水流扰动下,水位、流速等监测数据易出现波动

偏差,难以反映真实水情;更因流速超出常规率定条件,无法通过实测建立稳定的水位-流量关系曲线,导致基础数据的准确性和连续性不足。另一方面,这类工程缺陷直接影响水动力仿真模型的适配性。由于实际渠道的非标准形态与模型预设的理想边界条件存在差异,仿真过程中常出现闸前水位与流量、闸后水位与流量的对应关系偏离逻辑预期的情况——例如闸前水位实测值与模型计算的对应流量不匹配,或闸后水位变化趋势与闸前调控动作的联动性不符合水力规律,进而导致模型对水情调度的模拟与实际运行存在偏差,需在模型校准阶段针对性纳入工程缺陷参数进行修正,才能提升孪生系统的实用性。

结语

三屯河数字孪生灌区在建设过程中取得了一定的成效,在业务应用扩展、供水安全保障、防汛能力提升、工程安全监控等方面有了显著进步。然而,也存在决策支撑不足、智能应用体系深度与场景适配性不够、信息服务体系覆盖度与针对性有限等问题。通过以“实用、好用”为核心导向建设数字孪生灌区、强化网络数据安全意识、确保工程基础条件达标等建议的实施,有望解决这些问题,进一步提升三屯河数字孪生灌区的建设水平和管理效能,为其他灌区的数字孪生建设提供有益的参考和借鉴,推动我国灌区现代化建设的进程。未来,随着技术的不断进步和经验的不断积累,三屯河数字孪生灌区有望实现更高水平的智能化管理,为我国水利事业的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1]李梦瑶.灌区现代化进程中数字孪生技术的应用效能与发展路径[J].大众标准化,2025,(16):139-141.
- [2]肖宏宇,陈石磊,王帅,等.数字孪生灌区水资源调度管理平台设计与实现[J].长江科学院院报,2025,42(08):170-178.
- [3]顾涛,王一之,沈莹莹,等.数字孪生灌区先行先试建设成效与发展思考[J].中国水利,2025,(13):34-41.
- [4]蒋云钟,冶运涛.数字孪生灌区内涵解析及建设思路与关键技术[J].中国水利,2025,(13):24-33.