

漳南灌区信息化平台构建关键技术与实践探索

孟振军 何 洁 寇战锋

安阳市水利工程运行保障中心 河南 安阳 455000

摘要：在国家大力推进智慧水利与数字中国建设的战略背景下，大型灌区的现代化改造已成为保障国家粮食安全、提升水资源利用效率和推动农业高质量发展的关键举措。本文以河南省漳南灌区中的幸福灌区为研究对象，深入剖析其在信息化水平低下、管理粗放等现实困境下，如何通过构建一套先进的信息化平台实现转型升级。文章系统阐述了该平台“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”的总体设计思想，并重点围绕“立体感知体系构建”、“数字孪生平台打造”、“智能业务应用开发”及“全方位安全保障”四大核心板块，详细论述了其中涉及的关键技术路径与创新实践。研究表明，通过融合物联网、大数据、云计算、数字孪生、人工智能等新一代信息技术，能够有效构建覆盖“感知—汇聚—决策—智控”全链条的智慧灌区管理体系，显著提升灌区的预报、预警、预演、预案（“四预”）能力，为全国同类大型灌区的现代化改造提供了可复制、可推广的“漳南方案”。

关键词：漳南灌区；信息化平台；数字孪生；智慧水利；关键技术

引言

水是生命、生产与生态之基，大型灌区作为重要粮食生产基地，对保障国家粮食安全等意义重大。但许多建于上世纪中叶的大型灌区，工程设施老化、信息化滞后、管理粗放，制约水资源高效利用与可持续发展。漳南灌区是典型代表，始建于1966年，控制面积1450平方公里，设计灌溉面积120万亩，却信息化水平低，监测控制不足，管理依赖人工，缺乏关键要素实时监控。新时代治水思路及水利部指导意见下，对漳南灌区，尤其是幸福灌区（灌溉面积29.5万亩）信息化升级迫在眉睫。改造核心目标是利用智慧水利成果，构建综合性信息化平台，提升“四预”能力，实现高质量发展。本文将梳理总结其信息化平台构建的关键技术、体系架构与实践，为同类工程提供参考。

1 平台总体设计思想与架构

1.1 设计原则与目标导向

漳南灌区信息化平台的构建并非简单的技术堆砌，而是遵循了一系列科学严谨的设计原则。首先，坚持“科学规划、因地制宜”，确保系统建设切实满足灌区管理的实际需求，避免华而不实。其次，强调“需求牵引、突出重点”，紧紧围绕灌区调度、运行管理、决策支持等核心业务，进行全面的需求分析，确保资源投入的有效性。再次，贯彻“实用、可靠、先进、标准、开放、安全”的综合原则。实用性要求系统界面友好、操作便捷；可靠性要求硬件设备与软件系统均能7×24小时稳定运行；先进性则体现在积极融合物联网、云计算、

移动应用等前沿技术；标准性与开放性确保了系统能够与未来技术无缝对接，避免形成信息孤岛；安全性则是整个系统稳定运行的生命线^[1]。在此原则指导下，平台确立了清晰的目标：通过建设数字孪生灌区，完善“六大体系”——立体感知体系、自动控制系统、支撑保障体系、数字孪生平台、业务应用平台、网络安全体系，最终实现“四个全”——骨干渠系水量计量全覆盖、灌区监测要素全整合、干渠闸门控制全联通、供水感知与预测及时化，从而为灌区的科学决策与高效管理提供坚实的数据与技术支持。

1.2 总体技术架构

为实现上述目标，平台采用了层次分明、逻辑清晰的总体技术架构，自下而上依次为物理灌区层、信息化基础设施层、数字孪生平台层、智能应用层和用户层，形成了一个从实体到虚拟再回归实体的闭环管理循环。

物理灌区层：这是整个数字孪生体系的映射对象，涵盖了幸福灌区内所有的物理实体，包括渠道、水闸、泵站、灌溉区域、作物及用水户等。

信息化基础设施层：作为连接物理世界与数字世界的桥梁，该层由三大体系构成。一是立体感知体系，通过部署各类传感器和监控设备，全面采集水情、工情、农情、气象、水质等多维数据；二是自动控制系统，实现对闸门等关键设施的远程自动化控制；三是支撑保障体系，包括通信网络、计算存储资源、信息中心环境等，为上层应用提供稳定可靠的运行环境。

数字孪生平台层：这是整个信息化平台的“智慧大

脑”与核心中枢。它汇聚来自基础设施层的海量数据,构建高精度的数据底板,并在此基础上集成模型库(如旱情预警、水位预报、需水预测、水资源配置等专业模型)与知识库(包含预案、规则、历史场景等),为上层的智能应用提供强大的内核支撑。

智能应用层:基于数字孪生平台的能力,面向具体的业务场景开发一系列功能模块,如综合信息管理、渠系水位预警及调度、旱灾监测及预警、水资源配置与工程调度、水价综合改革、工程巡检管理等,将数据价值转化为实际的管理效能。

用户层:平台的服务对象涵盖省市级水管部门、县级水管部门、灌区管理处、一线水管人员以及广大用水户等不同角色,通过权限分级管理,为各类用户提供定制化的信息服务与操作界面。

整个架构依托于网络安全体系和运行维护体系两大保障,确保了平台的安全性、适应性、先进性和可拓展性。

2 关键技术与分项设计实践

2.1 立体感知体系构建:打造“空天地”一体化监测网络

感知是智慧的前提。针对幸福灌区原有监测空白点多、覆盖面窄的问题,本次改造构建了一个点、线、面结合的立体化感知网络,实现了对灌区运行状态的全方位、全天候、全要素感知。

2.1.1 水情监测

在干支渠的关键节点共布设10座测流站和10处水位监测点。核心技术在于采用超声波时差法的一体化测流箱,该技术通过测量超声波在顺流和逆流中的传播时间差来计算流速,再结合水位数据精确计算出瞬时流量。这种方法精度高、实时性强,且不受水中漂浮物影响,远优于传统的量水堰槽或人工观测。

2.1.2 工情监测

工情监测主要依赖于视频监控与无人机巡检的有机结合。在10处远程控制闸站(总干渠4座、幸福干渠6座)共部署20个高清视频监控点,采用红外高清球机和筒机,具备夜视、旋转等功能,可对闸门工作状态、渠道安全及内部设备运行情况进行实时监控。对于穿越高速、铁路等复杂地形的半山渠道,则引入无人机巡检系统,通过预设航线或手动操控,高效完成人工难以到达区域的巡查任务,极大地提升了巡检效率与安全性。

2.1.3 农情与气象监测

为实现农业灌溉的精准化,平台融合了“天”与“地”两种手段。在地面,建设4处土壤墒情监测站,利用SDI-12接口的传感器实时采集土壤水分、温度等参

数,并通过4G/5G网络回传数据。在天空,则利用国产高分卫星遥感影像,通过遥感解译技术定期提取灌区的作物种植结构,为需水量估算提供宏观依据^[2]。同时,在灌区内建设1处七要素气象监测站,实时获取雨量、温湿度、风速风向、太阳辐射等关键气象数据,为灌区需水预测模型提供重要输入。

2.1.4 水质监测

在漳南总干渠取水口设置1处五参数自动水质监测站,对pH、水温、浊度、电导率、溶解氧等关键指标进行在线自动监测,确保引水水质安全,为水生态健康提供保障。

2.2 数字孪生平台打造:构建灌区的“智慧大脑”

如果说感知体系是灌区的“感官”,那么数字孪生平台就是其“大脑”。该平台是本次信息化建设的核心,其关键技术在于数据底板、模型库与知识库的深度融合。

2.2.1 高精度数据底板建设

数据底板是数字孪生的基石。平台参照相关技术导则,构建了多尺度、多维度的数据底板。对于漳南总干上游段、幸福干渠及3条支渠等骨干渠系,建设了L2级数据底板;对于渠首、主要分水口等关键节点,则建设了更为精细的L3级数据底板。这些底板不仅包含了基础地理信息、水利工程BIM模型、倾斜摄影三维实景等空间数据,还动态汇聚了来自感知体系的实时监测数据、业务管理数据及外部共享数据(如气象预报)。通过GIS平台对多源异构数据进行统一集成与可视化展示,管理者可以“一眼知全局,一屏统全局”。

2.2.2 专业模型库构建

模型库是平台实现智能化的核心引擎。针对灌区管理的核心痛点,平台开发了一系列专业模型:(1)旱情监测与预警模型:该模型融合历史水文、气象、墒情数据,建立符合本地特点的干旱等级划分标准,能够提前对干旱风险进行预警。(2)干渠水位预报与预警模型:结合渠系水动力学原理,利用上游引水、山洪入流等边界条件,对干渠关键节点的水位过程进行模拟和预报,为防洪调度提供“提前量”^[3]。(3)灌区需水感知与预测模型:该模型是精准灌溉的关键,它综合考虑作物类型、种植面积、土壤墒情、气象预报等因素,科学计算出不同地块在不同时间的适宜灌溉水量,从源头上减少水资源浪费。(4)水资源配置与调度模型:这是一个多目标优化模型,旨在统筹协调农业、工业、生态等不同用水需求。模型通过寻优算法,结合渠系水动力过程模拟,能够自动生成最优的闸口启闭调度方案,实现供水

综合效益最大化。

2.2.3 灌区知识库沉淀

知识库是模型智能运行的“经验法则”。平台系统性地梳理和沉淀了灌区管理中的各类知识,包括应急预案、业务规则、水利对象属性、历史典型场景(如大洪水、大旱情的应对过程)、规程方案等。这些知识与模型库联动,使得平台的决策建议不仅基于数据和算法,也融入了长期积累的管理智慧,更具实用性和可操作性。

2.3 智能业务应用开发:赋能灌区精细化管理

数字孪生平台的价值需借助具体业务应用展现。平台围绕灌区核心业务开发八大类应用功能,实现从“人找数”到“数找人”、从被动响应到主动预警的转变。综合信息管理集中展示与查询灌区概况等信息,是业务应用基础;渠系水位预警及调度作为防洪安全核心应用,水位预报有风险时自动预警并联动防洪预案,辅助决策;旱灾监测及预警动态分析旱情、评估等级,提前发布预警;供需水感知与预报体现水资源精细化管理,动态感知供需矛盾;水资源配置与工程调度是核心智能应用,可直观看到不同方案效果并一键下发指令;水价综合改革将用水相关环节线上化、透明化,支撑改革落地;工程巡检管理将纸质记录转为数字化流程,实现运维闭环管理;“灌区一张图”作为总览入口,叠加各类信息直观展示,支持移动端访问。这些业务应用通过统一数据底板和模型库紧密耦合,形成有机整体,真正“数字赋能”,显著提升幸福灌区管理水平。

2.4 全方位安全保障体系:筑牢平台运行防线

在信息化高度依赖的今天,安全是不可逾越的红线。鉴于灌区信息系统的重要性,平台严格遵循国家网络安全等级保护制度,被定为第二级,并构建了“一个中心、四重防御”的安全体系。(1)安全物理环境:信息中心的建设充分考虑了防火、防水、防雷、防盗等物理安全措施,确保核心设备的安全。(2)安全通信网络:通过部署互联网防火墙和专网防火墙,对来自不同网络(互联网、水利政务外网)的访问进行严格管控,防止外部攻击。(3)安全区域边界:在网络的关键边界

处,部署了网闸、入侵检测系统(IDS)和入侵防护系统(IPS),实现内外网的逻辑隔离,并对恶意流量进行实时监测与阻断。(4)安全计算环境:在服务器、工作站等终端层面,部署了防病毒系统、漏洞扫描系统和安全审计系统,对内部操作行为进行监控,防止数据泄露、篡改和内部攻击^[4]。同时,通过统一的身份认证和访问控制机制,确保不同用户只能访问其权限范围内的数据和功能。此外,平台还建立了完善的运行维护机制,包括数据备份与恢复、日志分析、应急响应等,确保在发生故障时能够快速恢复,最大限度地保障系统的连续性和数据的完整性。

3 结语

漳南灌区(幸福灌区部分)信息化平台构建,成功将新一代信息技术深度融入传统水利业务,有效解决了灌区感知不全、信息孤岛、决策粗放等难题,初步建成“强感知、增智慧、精管理”的现代化管理体系。实践表明,大型灌区信息化改造需坚持顶层设计、需求导向,以解决业务痛点为目标,关键在于构建全面感知网络、打造数字孪生平台赋予系统“思考”能力、开发紧贴业务的智能应用场景实现技术价值转化、建立网络安全屏障保障系统运行。展望未来,随着技术迭代和业务需求深化,该平台有广阔提升空间,可深化人工智能在图像识别、智能预测等方面应用,探索区块链技术在水权交易等环节存证,加强与多部门数据共享与业务协同,构建开放智能的区域水网协同调度体系,为大型灌区智慧化、现代化提供宝贵经验。

参考文献

- [1]张明.灌区管理信息化建设分析[J].工程技术研究,2025,10(11):171-173.
- [2]范颜军,陈小丽,庄旭东,等.信息化技术赋能智慧灌区建设路径探讨[J].水利技术监督,2025,(11):54-56+105.
- [3]孙煜.灌区节水改造项目信息化建设的几点建议[J].北方经济,2025,(08):48-51.
- [4]秦秀霞.水利智能信息化技术在农业灌区节水灌溉工程中的应用[J].农业工程技术,2025,45(20):74-75.