

# 数字孪生农村供水工程建设思考

胡 孟<sup>1,2</sup>, 李连香<sup>1,2</sup>, 徐玮彤<sup>1,2</sup>

(1. 中国灌溉排水发展中心, 100054, 北京; 2. 水利部农村饮水安全中心, 100054, 北京)

**摘要:** 数智化建设是推动农村供水现代化发展的必由之路。在梳理数字孪生农村供水工程建设现状基础上, 分析当前部分存在需求分析不清、投入产出效率不高、可持续运行较困难等问题, 解析了农村供水数字孪生“是什么、建什么、怎么建”, 系统性思考并提出针对性建议。数字孪生农村供水工程建设应坚持需求牵引和问题导向, 以实现安全供水、自动供水、经济供水、长效供水、便捷供水为目标, 构建以数字为基础、孪生为路径、智慧为大脑、供水为目标的虚实融合系统, 实现供水工艺和供水系统数字化映射、智能化模拟和智慧化决策。具体实施中, 系统建设包括工程级智慧供水系统和区域级智慧供水管理平台, 工程级智慧供水系统聚焦智能感知体系、数字孪生平台与业务应用体系闭环, 区域级智慧供水管理平台侧重全域监管与多业务协同。农村供水数字孪生系统建设以“管用、实用、好用”为导向, 监控设备以“稳定、经济、便捷”为准则, 软件设计以“有效、简约、直观”为目的, 系统运行以“安全、可控、适配”为要素, 推动农村供水从传统管理向数智化管理转变, 为农村供水高质量发展和现代化建设提供数智赋能。

**关键词:** 农村供水; 数字孪生; 智慧供水; 数智化; 智能感知; 供水安全; 建设思路

## Thoughts on construction of digital twin rural water supply projects

HU Meng<sup>1,2</sup>, LI Lianxiang<sup>1,2</sup>, XU Weitong<sup>1,2</sup>

(1. China Irrigation and Drainage Development Center, Beijing 100054, China; 2. Center for Rural Drinking Water Safety, Ministry of Water Resources, Beijing 100054, China)

**Abstract:** The construction of digital and intelligent systems is the inevitable path to promoting the modernization of rural water supply. Based on an analysis of the current status of digital twin rural water supply projects, this paper identified some existing problems such as unclear demand analysis, low input-output efficiency, and challenging sustainable operation. It also delved into the essence, construction content, and methods of digital twin rural water supply, offering systematic thinking and targeted implementation suggestions. The construction of digital twin rural water supply projects should adhere to demand-driven and problem-oriented approaches, aiming to achieve safe, automatic, economic, long-term, and convenient water supply. It is necessary to build a virtual-real integration system with digital technology, twin paths, smart decision-making, and water supply as the object, to realize the digital mapping, intelligent simulation, and smart decision-making of water supply processes and systems. In a specific implementation, the system construction includes an engineering-level smart water supply system and a regional-level smart water supply management platform. The engineering-level system focuses on the closed loop of the intelligent perception system, digital twin platform, and business application system, while the regional-level platform emphasizes comprehensive supervision and multi-business collaboration. The construction of a digital twin rural water supply system should be guided by the principles of “practicality, usability, and ease of use”, with monitoring equipment

收稿日期: 2025-12-31 修回日期: 2026-01-26

作者简介: 胡孟, 副主任, 正高级工程师, 主要从事农村水利水电相关研究。

基金项目: 重大项目管理-农村饮水安全工程项目管理(2-1-2130304)。

following the criteria of “stability, economy, and convenience”, software design aiming for “effectiveness, simplicity, and intuitiveness”, and system operation emphasizing “safety, controllability, and adaptability”. This will facilitate the transformation of rural water supply management from traditional management to digital and intelligent management, providing digital and intelligent empowerment for the high-quality development and modernization of rural water supply.

**Keywords:** rural water supply; digital twin; smart water supply; digital and intelligent; intelligent perception; water supply safety; construction idea

中图分类号: TU991.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1123(2026)02-0011-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2026.02.002

## 一、建设背景

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》明确提出“构建智慧水利体系”。“十四五”以来,水利部党组把智慧水利建设作为推动新阶段水利高质量发展六条实施路径之一,印发一系列文件,统筹推进建设由数字孪生流域、数字孪生水网、数字孪生水利工程组成的数字孪生水利体系。2023年,水利部办公厅印发《数字孪生农村供水工程建设技术指南(试行)》及相关通知,加快推进数字孪生农村供水工程建设。2024年,水利部部长李国英在数字孪生水利建设现场会上强调,要以县域为单元,加快数字孪生农村供水工程建设,依托数字化、网络化、智能化平台,实现水源、水量、水质、水压等要素的在线监测,实时掌握净水设施设备、泵站、消毒设备等运行状态,提前开展风险预报预警,形成科学有效的防控处置方案,切实保障农村居民饮水安全。同年,李国英部长提出推动农村供水管理从“传统管理”向“数智化管理”转变。党的二十届四中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》提出“推进传统基础设施更新和数智化改造”。2026年全国水利工作会议将“构建数字孪生水利体系取得决定性进展”列为“十五五”时期六大战略任务之一。李国英部长指出,要以县域为单元加快数字孪生农村供水工程建设,依托数字化、网络化、智能化平台,实现对供水全要素的实时监测、智能模拟与前瞻预警,切实提升供水安全保障水平。

农村供水事关民生福祉,数智化建设是推动农村供水现代化发展的必由之路。从保障农村供水安全角度看,随着经济社会发展,农村居民对供水的水量、水质、水压、供水保证率及服务水平提出了更高要求,必须依托现代化装备、管理和服务手段,推动农村居民饮水从“有水喝”向“喝好水”转变,增强群众的获

得感、幸福感、安全感。从供水工程良性运维角度看,传统的人工巡查与现场管理模式成本高、效率低,难以及时发现、预测和防范供水安全风险,迫切需要利用实时监测与自动控制等现代技术手段,实现农村供水工程从“传统管理”向“数智化管理”转变,以降低运营成本、提高服务效能。从政府部门行业监管角度看,截至2025年年底,全国农村供水工程达380余万处,这是一项重大民生工程,覆盖面广、监管任务重、难度大,必须借助数字化、网络化和智能化手段,提升行业监管能力,实现从“单体工程管理”向“县域统一监管”转变。本文结合数字孪生农村供水工程建设现状,分析了存在的问题,进一步提炼了要素和功能,提出了数字孪生农村供水工程建设思路、系统架构及相关建议。

## 二、要素功能和发展现状

数字孪生农村供水工程是以物理供水系统为对象、时空数据为基础、数学模型为核心、供水知识为支撑的新型基础设施,通过对农村供水工程“取水—输水—净水—配水—用水”全链条、“水源—水厂—管网—用户”全流程进行数字映射、智能模拟和前瞻预演,实现与物理系统同步仿真、虚实交互和迭代优化,从而支持对农村供水工程运行状态的监测预测、问题诊断与优化调度。

数字孪生农村供水工程可从4个关键词进行要素分析:第一是“数字”,即将物理工程接入全面感知体系,通过数据采集和模数转换,将其转化为数字化工程;第二是“孪生”,通过构建农村供水工程的数字镜像,融合全景一张图(集成GIS、BIM与设备拓扑关系)、监控组态图(表征供水工艺逻辑与实时运行状态)、视频监控(提供现场视觉反馈)以及必要的三维建模等多源信息,实现对工程的高保真视景再现、工艺过程模拟与动态行为仿真;第三是“智慧”,在数据库、

模型库与知识库的支撑下,提供智能决策依据,开展优化调度、风险预测和应急处置,提升预报、预警、预演、预案“四预”能力;第四是“供水”,通过智能化决策和自动化控制,实现供水无人值守、少人值守、远程管理和良性运行。四要素中“数字”是基础,“孪生”是路径,“智慧”是大脑,“供水”是目标。

数字孪生农村供水工程从应用层面看,是通过将农村供水工程基础信息和运行数据以一定频率采集并传输至系统平台,形成与现实动态一致的“虚拟孪生体”。这一孪生体的准确性取决于数据采集的精度、上传频率以及模型构建的可靠性,其本质是数字化的农村供水工程。主要功能可概括为3个方面:一是“感知监测”,在数据共享和互联互通的基础上,健全完善“天空地水工”一体化监测感知系统,实现全覆盖、全空间、全要素、全天候的监测感知,动态掌握供水系统运行状况,及时发现水量水质水压异常、设施设备运行故障等问题;二是“仿真验证”,通过虚拟场景模拟不同的运行工况和调度方案,预演运行效果并提出智能优化管理决策方案;三是“预测预警”,基于气象、水文、水源和设施设备运行数据以及对突发供水事件开展前瞻性分析,提前预报供水安全风险并制定针对性的干预和防范措施,从而有效保障农村供水安全,提升决策效率和效能。

实践中,宁夏回族自治区早在2017年就在固原市彭阳县启动“互联网+人饮”试点建设,实践探索成效显著并在全自治区推广应用,实现让“数据多跑路,群众少跑腿”;2020年,水利部批复同意宁夏开展“互联网+城乡供水”示范省(区)建设,并两次在宁夏召开全国现场会。浙江省自2022年起全面推进“浙水好喝”数字平台建设(见图1),推动全省7900余座供水水厂(站)、7500余处供水水源全部入库、上图、联网,水量、水压、水质等关键指标在线监测,覆盖全省98%的人口,助力用水户喝上优质水。在地方积极探索基础上,水利部2023年启动数字孪生农村供水工程建设,指导地方结合农村供水工程建设加快推进数字孪生等新技术应用,经过大力推进,目前全国有230个数字孪生农村供水工程建设取得了阶段性成效,并在此基础上推出了30个可复制可推广的典型案列,有力提升了农村供水数字化、网格化、智能化管理水平。但是实践中也存在一些问题值得进一步认识和思考。

### 三、主要问题分析

#### 1. 从需求分析看,部分未能做到需求牵引和以问题为导向

截至2025年年底,全国建成农村集中供水工程43万



图1 浙江省“浙水好喝”数字平台

余处,其中千吨万人供水工程1.3万余处,约68%的千吨万人供水工程配置了具备一定功能的计算机监控系统或视频安防监视系统。但调研发现,部分数字孪生农村供水工程建设缺乏顶层设计和全局谋划,未能有效解决实际供水问题。有的主管部门和建设单位参与或研究不够,未能提出明确的系统建设需求,过度依赖系统开发单位,存在“不知道为什么建”和“为了建而建”现象;有的系统建设内容重点不突出,没有聚焦解决生产需求和实际问题,导致建设目标发散、内容缺乏针对性;有的在需求分析阶段思路模糊、表达不清,造成后期修改频繁、效率低下,难以达到预期成效。

## 2. 从系统建设看,部分存在投入产出效率不高现象

有的系统建设投入未能形成预期收益,资金投入和使用缺乏精准性。在感知体系建设方面,有的系统出现不同渠道资金建设的监测信息、不同建设阶段监测信息未全面共享等问题。在设备选型与布点上,有的存在系统配置高但监测点位少、布局不合理现象,如有的水厂范围小却布设了较多监测点,同时水源和管网监测点设置不足,导致无法有效掌握供水系统全貌。在软件系统开发方面,有的过度重视大屏建设和三维建模演示,投入过高,忽视其实用性。有的模型库精度不足,与实际情况差异较大,知识库缺乏提炼,实用性不强。

## 3. 从运行管护看,部分存在难以实现可持续运行和维护的困难

部分系统设计和实施阶段对后期运维需求考虑不周,未能充分考虑运维人员技术能力水平和运行费用负担成本。部分设备和系统操作复杂,运行维护难度大,对基层管水人员专业素质要求较高。有的数据采集与传输费用高,设备维护和系统升级投入需求大;有的系统架构未进行模块化设计,更新迭代费用高,技术升级滞后且与物理工程脱节,难以实现可持续运行。

## 4. 从应用成效看,部分存在“重建设、轻应用”问题

有的系统过度突出三维建模和动画展示,缺乏实际业务应用操作,实战性不强。如农村供水管网多为地下设施,有的水厂规模较小,三维建模缺乏必要性。部分系统无法根据水源取水水量和水质状况对加药量进行动态调节,导致供水水质不稳定;有的系统管网漏点和漏损水量判断不准确,未能根据管网承压状况动态调整水压,易发生爆管等情况,难以实现安全调控和

经济运行。另外,有的系统仍停留在展示和演示层面,未进入日常实战应用和绩效考核工作。

## 四、建设思路和系统架构

### 1. 建设目标

数字孪生农村供水工程建设应坚持“需求牵引、应用至上、数智赋能、提升能力”原则,主要包括以下5个方面建设目标。

#### (1) 安全供水

安全是农村供水的底线要求。安全供水的要求包括水量、水质、水压、供水保证率等指标达标,实现供水安全;水源、水厂、泵站和管网工程稳定可靠,做到工程安全;取水、输水、净水、配水等环节功能完好,供水正常稳定,制水、产水等安全生产风险可控,做到运行安全。通过数智赋能,进一步提升农村供水工程安全韧性水平,实现高水平安全。

#### (2) 自动供水

自动化是智慧供水的重要条件和标志。通过对水厂进厂水的水量、水质和出厂水、管网水、末梢水的水质等进行监测,自动确定混凝剂和消毒剂的投加量,自动控制净化消毒设施设备运行状态,保障水质达标;通过水量、压力监测及供用水需求平衡分析,满足安全调控和故障保护需求,自动控制水泵机组的启停、变频调速、台数切换及控制性阀门的开关、开度调节等远程操作,实现无人值守或少人值守。

#### (3) 经济供水

降本增效是智慧供水的动力。通过建立制水、产水环节优化运行系统和管网漏损控制系统,降低水厂自用水量 and 管网漏损率,实现节水;建立“预警—派单—处置—销号”闭环,利用现代技术手段节省人工巡查成本,实现节工;实时监测进出厂水关键指标的量质变化情况,动态调节药剂投加量,实现节药;通过构建泵站优化调度系统,优化水泵机组的开机台数、组合模式与电机转速,实现节能。

#### (4) 长效供水

智慧供水应能做到可持续运行。根据气象和水文预报、水源来水需水状况和可供水量动态分析,优化调节供水和节水方案,延长可供天数和保供能力。对净水各个环节水质数据进行集成分析,实现预处理、常规处理(混凝、沉淀、过滤、消毒)和强化常规处理等工艺联动调控,提升水质稳定性。根据管材、管龄和管道承压能力研判分析,实现管网压力和流量的自适应调

节,降低爆管频率。

### (5) 便捷供水

打造线下便民服务中心、乡村服务站点、线上网络服务平台(如网上营业厅+客服热线+移动终端)等综合服务体系,开通线上咨询、报装、报修、缴费、查询等“一网通办”服务渠道,推行服务事项“零上门”办理、“一键式”操作和“一次性”服务,让群众省心。推行维修、水质、水价、服务等信息公开,让群众放心。压缩报修响应时间,提升供水质量和服务水平,降低群众投诉率,让群众舒心。

## 2. 系统架构和建设内容与案例

为解决农村供水点多面广、小散工程占比大、专业化运营程度低、供水不稳定以及其他群众反映比较强烈的问题,应充分发挥统管单位的规模优势和专业优势,实现“以大带小、以丰补欠”,变各处工程分散管理为县域集中统一管理,整体提升农村供水工程专业化运行管护水平和供水保障能力。“十四五”期间,水利部加快推进农村供水县域统管,截至2025年年底农村供水县域统管比例达到72%，“十五五”期末农村供水县域统管比例目标为90%。

按照建设内容、运行机制和管理层级划分,数字孪生农村供水工程系统架构可分为工程级智慧供水系统(以下简称工程级系统)与区域级智慧供水管理平台(以下简称区域级平台)两个层级。一般而言,工程级系统建设内容主要包括监测感知体系、数字孪生平台、业务应用体系、保障体系、网络安全体系等;区域级平台按照管理层级可分为省级、地市级、县级。系统架构示意如图2所示。

### (1) 工程级系统建设内容

工程级系统聚焦于单个数字孪生农村供水工程建设,除通用性的建设内容外,结合农村供水特点,主要涵盖以下方面。

①监测感知体系建设方面。利用传感器、物联网、人工智能等技术,在水源地取水口监测水位、取水量、水质、水温等参数;在水厂监测出厂水水量、水质,以及加药、混凝、沉淀、过滤、消毒等各净水工艺的运行参数;在干支管网适宜位置监测压力、流量、水质等参数和阀门运行状态;在取水、供水、配水泵站和水厂监测水泵机组、净化消毒等设施设备运行状态,利用视频监控水源地取水口、水厂、泵站、高位水池等关键部位

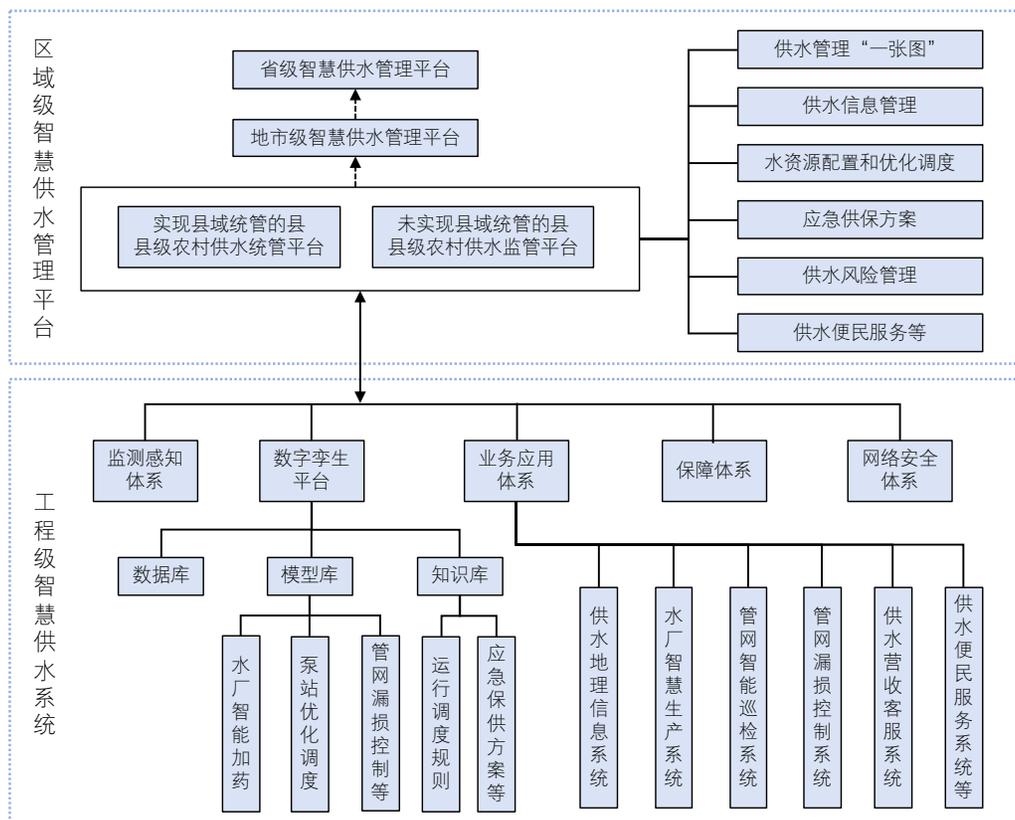


图2 数字孪生农村供水工程系统架构示意

运行状况,并尽可能共享相关监测数据,全面动态掌握农村供水系统运行状况。

②数字孪生平台方面。坚持需求牵引和问题导向,构建监测感知全面、数据治理有效、信息互联互通、通信安全可靠的数据库。模型库应涵盖泵站优化调度、水厂智能加药、管网漏损控制等模型,用于全流程动态模拟和调度优化,加强人工智能等数智技术与专业模型融合应用。受技术和资金投入限制,在模型库难以覆盖和有效解决的环节,可通过知识库汇集多年运行管理经验、调度规则及应急方案,形成经验和实践支撑。模型库强调精准模拟和精确控制,知识库依托历史场景和实践经验,两者相辅相成。

③业务应用体系建设方面。基于感知体系实现数据采集、组态软件搭建和应用软件开发,构建精准自动控制系统。支持水厂加药、水泵机组启停、净化消毒设备开关、阀门启闭与调节等环节的命令自动执行与远程控制,形成“监测—控制—反馈”闭环调节,实现智慧生产。构建全天候、适配供水工艺流程、自定义路线和自动生成可追溯报告的智能巡检系统,建立基于GIS平台和DMA分区计量的管网漏损监控与精准定位系统,形成“发现问题—实时预警—专业处置”闭环处置链,降低管网漏损率,做到从“被动运维”到“主动管控”,实现智能运维。构建热线、微信公众号、手机App等便捷水费收缴方式,提供咨询、报修、问题受理处置等便民服务,实现群众服务“零跑腿”,促进智慧服务。

④保障体系方面。合理配置监控软硬件设施及网络通信方式,降低后期运行成本和维护难度。设立专门的运行管理部门和人员,明确岗位职责与应用考核机制,定期开展技能培训。通过增加效益、水费提留和申请财政补助等方式落实系统运行维护资金,用于供水设施设备日常维护、故障维修及系统升级改造,保障系统正常运行和稳定发挥作用。

⑤网络安全体系方面。遵循国家信息安全保护相关要求,构建统一的安全保障体系,工程级系统安全保护等级不宜低于二级。传感器与现地控制单元等近距离布线、数据传输实时性与稳定性要求高的固定场景,宜采用有线通信方式;山区、偏远地区、管网等布线难度大、成本高的场景,可采用无线通信方式。泵站、水厂等关键供水设施设备的自动控制,宜采用专线保障通信安全。监控设备在线畅通率应不低于95%。

案例简介:黑龙江省鹤岗市绥滨县连生乡供水厂

通过安装水量、水质、水压等近千个感知设备,搭建供水一张图、运行管理、用户服务、风险管理、标准化评价、赋能培训等功能模块,依托BIM+GIS+AR+VR等技术,构建具有“四预”功能的数字孪生供水体系,实现供水水质全面达标,线下每日人工巡检次数由5次变为1次,每年人力成本节省效益显著,22个村屯1.6万余人受益。湖南省长沙市望城区东城水厂数字孪生平台紧扣需求,在实践中打磨出用水智能调度、水质预警、“一图统管全域”综合运营和设备故障预测性维护等四大业务应用,保障5139户居民供水安全,实现供水保证率、水质达标率、用户满意率、水费收缴率大幅度提升。

## (2) 区域级平台建设内容

区域级平台建设面向省、市、县级农村供水系统,遵循“标准统一、耦合贯通、共享共用、协同高效”原则,强调全域监管与多业务协同,主要包括以下内容。

①构建区域级平台。对已经实现县域统管的县,县域智慧供水管理平台对纳入县域统管范围的所有农村供水工程实现智慧生产、智慧运维和智慧服务,这与工程级系统建设要求没有本质区别。对于未实现县域统管的县,利用水利部已建成运行的农村水利水电信息系统,对“省—市—县”农村供水实行信息化管理,实现项目管理和行业管理两个功能;同时,积极推进县域统管,同步建设县级农村供水统管平台。地市级平台与省级平台与县级平台相比,主要是辖区管理范围不同,只有“监测”,没有“控制”功能。区域级平台安全保护等级不宜低于三级。

②构建农村供水管理“一张图”。基于GIS地图,以县域行政区划为单元,以农村供水水源、水厂(站)、泵站、干支管网分布、工艺流程、感知监测点、供水覆盖范围、用水大户等为关键要素,实现全域农村供水系统关键环节和位置的可视化展示、数字化映射与运行状态的“一图总览、动态可视”,助力行业监管部门和统管单位快速掌握辖区供水全貌,提升优化调度和智能决策能力。强化农村供水风险管理,构建供水风险管理图。通过建立科学的风险评价体系,梳理分析静态与动态风险,提供风险查找、研判、预警、防范、处置和隐患排查治理措施,为供水安全和应急保供提供智慧决策支持。

③业务应用体系建设。除构建农村供水管理“一张图”外,还包括供水信息管理、水资源配置和优化调度、应急保供、便民服务等内容。在接入农村供水工

程在线监测数据的基础上,汇集工程建设和运行管理、供用水管理、行政区划和用水户等静态信息,实现区域内供水信息管理和智能业务应用。智能业务应用重点聚焦干旱、洪涝、冰冻、台风、地震等自然灾害和水污染等突发事件下的供水安全需求,精准预报天气变化和突发事件影响下的供水量与水质变化,留出提前应对时间;建立多维度异常指标自动触发下的分级预警机制,将预警信息快速传达至主管部门、供水单位及受影响区域用户,指导巡查、调度、引水调水、维修、应急供水和储水节水工作;以AI算法等模型驱动进行干旱等灾情预演和基于“正向—逆向—正向”的水资源配置和优化调度方案预演,提前发现问题,调整供水策略;制定不同场景和工况下的优化调度、资源配置及应急保供方案,集成历史场景、调度规则和专家经验,形成辅助决策预案,实现“四预”的全流程应用。此外,通过整合农村供水规章制度、技术标准、工程档案、调度方案、运行策略、专家经验、本地数据、历史场景等,聚焦用水户和农村供水工程运行管理中出现的高频问题及需求,构建交互式、沉浸式的智慧平台,实现符合本地供用水特点和语言习惯的专业技术搜索、咨询问答交互、巡查维护方案编制、漏损控制方案生成、水资源调度方案优化、应急保供方案预演、用户个性化服务支持、便民服务等功能。

案例简介:山西省晋中市祁县将7个乡镇、103处水源、263座水厂(站)、249个自然村、8.7万户农村居民饮水全部纳入智慧供水平台进行管理;全县实现24 h稳定供水、水质全面达标,管网漏损率降至5%左右,应急响应时间缩短至30 min以内。山东省聊城市阳谷县构建1个智慧水务平台基座和安全监测、数据驱动决策、便民服务、智能运维、水费营收等5个业务应用模块,安装1550个流量、水质和压力监测点,对1000余km主管网、3.2万个附属设施进行数字化模拟,关联20余万台阀门、水表实时数据,形成“一张图”可视化管理和全流程全覆盖的智能管控体系,建立“零上门”服务清单,故障平均修复时间从4 h缩短至1 h以内,用水户服务投诉量下降80%,惠及70余万人。

## 五、思考和建议

### 1. 系统建设应突出“管用、实用、好用”导向

“管用”就是要遵循目标导向与需求牵引,聚焦安全、自动、经济、长效、便捷等关键供水需求,有效解决农村供水运行管理中存在的实际问题,提升供水系

统的整体运行水平和供水保障程度,支撑高质量的发展需求和目标。“实用”就是要聚焦系统的可操作性与实用性,明确应用主体是供水单位、主管部门和用水户,确保使用者能够便捷高效地操作运用系统,做到日常工作离不开系统,实现数字技术与供水业务的深度融合。“好用”就是通过数智赋能,实现农村供水“三节”(节水、节能、节工)、“三增”(增大水量供给能力、增加管网安全运行能力、增强水质保障水平)与“三提”(提高运行效率、提增经济效益、提升管理效能)。

### 2. 设备选择应以“稳定、经济、便捷”为准则

设备选择“稳定”是前提,优先选择监测数据可靠、测量误差小、数据漂移低的传感器和运行稳定可靠、控制指令安全的控制器、工控机等“硬件”设备。设备性能和安全需具备较好的环境适应性,能够在室外、野外等复杂环境中长期稳定运行,并满足安全等级、电能消耗低及数据传输安全要求。设备选择“经济”是关键,在保证性能的前提下,优先选择一次性投资低和运行维护成本低的国产化设备,尽可能实现高性价比的投入产出。设备选择还应考虑后期维修养护和服务的“便捷性”,同一工程、同一县域或片区、同一类型的水泵机组、阀门、净化、消毒、电气与自控等设备宜选用同一供应商的产品。同时,应合理布设监控点位,在功能达效的同时,便于施工安装和后期运维。

### 3. 软件设计应以“有效、简约、直观”为目的

软件设计要以解决实际供水问题、实现建设目标、便于操作应用为前提,明确系统的“有效”需求和功能定位。“简约”就是在需求分析、模型定制和软件开发时,要本着节约够用和搭建模块化架构的原则进行设计,供水监测控制单元数量适宜、安装位置合理,切忌进行大范围、高精度的三维建模和历史场景动画设计,以免“中看不中用”。在软件开发和系统建设时,要充分考虑水厂和基层管水人员的理解能力、操作习惯和技术水平,提供“直观形象”“量身定制”“便于拓展”的设计方案,建设单位、供水单位及使用者要深度参与软件开发的全过程,包括需求提出、系统架构和界面设计、测试、培训、验收和移交等。

### 4. 系统运行要以“安全、可控、适配”为要素

“安全”和“可控”是数字孪生农村供水工程建设和运行的底线要求。对高精度地图、海量业务数据、控制指令、水质等敏感信息以及水厂运营数据,要严格执行数据管理要求,确保数据在采集、传输与存储过程中

的安全性及可控性。同时,按照网络安全等级保护标准要求,构建安全的物理环境、通信网络、区域边界与计算环境,强化数据防护与安全访问控制。在系统安全、算法安全与工程安全等方面,要统筹规划、协同防控,构建全链条、全周期的安全防护体系,确保系统安全、稳定、可靠运行。“适配”是数字孪生农村供水工程能否正常运行和达效的关键。随着物理供水工程的更新改造和管理需求的不断提升,数字孪生体与物理实体的数据要实时映射和同步校准,相关模型算法和软件系统功能要适时进行迭代优化与升级改造,不断提升系统的适配性和应用效能。

#### 参考文献:

- [1] 李国英.进一步全面深化水利改革 为推动水利高质量发展、保障我国水安全作出新的贡献[J].中国水利,2025(2):1-9.
- [2] 李国英.系统谋划推进数字孪生水利体系建设[N].人民日报,2025-12-26(10).
- [3] 李国英.深入贯彻习近平总书记重要指示批示精神全面推动农村供水高质量发展[J].中国水利,2024,(1):1-3.
- [4] 倪文进.聚焦民生福祉 勇担时代使命“十四五”农水水电高质量发展取得新成效[J].中国水利,2025(24):32-34+39.
- [5] 陈明忠.农村供水高质量发展的路径思考[J].中国水利,2024(15):3-6.
- [6] 王浩,孟现勇,丁建丽,等.数字孪生驱动的水-能-粮-生耦合系统协同治理新范式[J].中国水利,2025(18):1-11.
- [7] 王浩.水利新质生产力赋能水利高质量发展的思考[J].中国水利,2025(2):10-14+22.
- [8] 左其亭.未来“水利5.0”构想及研究展望[J].中国水利,2025(19):14-19.
- [9] 刘志明,姜佩奇.基于BIM技术的大坝设计施工一体化管理平台架构研究[J].中国水利,2025(16):23-30.
- [10] 钱峰,付静,陈德清,等.水利遥感卫星应用星座构建与应用研究[J].中国水利,2025(1):15-20.
- [11] 王忠静,胡孟,王正良,等.宁夏“互联网+城乡供水”探索与实践[M].北京:中国水利水电出版社,2023.
- [12] 胡孟,姚彬,李连香,等.农村供水现代化发展研究与思考[J].中国水利,2025(14):28-33.
- [13] 胡孟,闻童,姚彬,等.农村供水标准化发展思考[J].中国农村水利水电,2025(12):118-122.
- [14] 胡孟,李连香,包严方.农村供水县域统管有关思考[J].中国水利,2025(8):22-27.
- [15] 胡孟.关于“跳出供水发展供水”的辩证思考[J].中国水利,2022(16):4-6.
- [16] 胡孟,李晓琴,邬晓梅.农村供水工程自动化控制技术与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2019.
- [17] 高玉生,王国岗,赵文超,等.水利工程勘测全过程数字孪生技术研究[J].中国水利,2025(19):3-13.
- [18] 唐文忠,黄鑫,张洪,等.饮用水安全保障技术挑战与对策建议[J].科技导报,2025,43(11):34-44.
- [19] 徐强,张佳欣,王莹,等.智慧水务背景下的供水管网漏损控制研究进展[J].环境科学学报,2020,40(12):4234-4239.
- [20] 陈燕波,龙程理,张碧波.给水厂全流程智能控制应用场景需求及价值分析[J].给水排水,2024,60(S1):459-466.
- [21] 唐璎,刘明娟,杨溢,等.双闭环自适应调参法在城镇供水需水量预测机器学习模型中应用研究[J].中国农村水利水电,2024(12):248-254.
- [22] 赵星明,刘锋范,徐军,等.多水源给水管网现状评价与节能优化研究[J].中国农村水利水电,2020(2):164-167+180.
- [23] 王西平,吕谋,赵桓.基于漏损削减的供水管网压力优化调控研究与算法比较[J].中国农村水利水电,2023(11):219-223.
- [24] 何洁,张军,钱炯,等.安吉县智慧供水平台构建及应用效果分析[J].中国给水排水,2024,40(14):8-12.
- [25] 张新.在线模型推动供水企业数字化转型的探索与实践[J].环境工程,2023,41(11):141-147.
- [26] 王忠静,沈文欣,石羽佳,等.数字孪生催动水利新质生产力与数字水利经济发展研究[J].中国水利,2024(15):7-12.
- [27] 王文佳,王忠静.县域水务轻量化微服务智慧管理平台框架研究[J].水利信息化,2021(6):22-28+46.
- [28] 梁涛,韩超,张志果.建设智慧供水全流程监管“一张网”的思考[J].给水排水,2020,56(6):157-162.

责任编辑 李卢祎