

数字灌区建设理念与实施路径

李益农^{1,2}, 张宝忠^{1,2}, 白美健^{1,2}, 雷波^{1,2}, 魏征^{1,2}, 戴玮^{1,2}

(1. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038;
2. 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100048)

摘要: “十四五”及未来相当长一段时间, 我国将开展现代灌区建设工作, 逐步实现灌区的数字化和智慧化。数字灌区作为现代灌区建设的重要阶段, 是涉及多学科、多行业, 覆盖面广、功能要求高的复杂而庞大的信息系统工程。数字灌区建设是实现灌区管理现代化的基础, 工程建设必须以服务灌区管理需求和指导灌区管理实践为核心要求, 旨在运用先进的水利、信息、控制和决策技术, 显著提升灌区管理水平和服务能力。为此, 文章基于灌区不断丰富和拓展的功能, 提出了数字灌区的建设理念内涵、总体架构和实施路径, 以期为数字灌区标准化建设与管理提供技术指导。

关键词: 数字灌区; 理念内涵; 总体架构; 实施路径; 现代化管理

doi: 10.13928/j.cnki.wrd.2020.12.002

中图分类号: S277.9

文献标识码: A

文章编号: 1671-1408(2020)12-0005-04

0 引言

灌区是我国经济社会发展的重大公益性基础设施, 是国家粮食安全和农产品有效供给的命脉, 是山水林田湖草系统治理和乡村振兴的关键支撑, 是城镇和工业以及生态环境供水的重要载体。灌区以占全国 49% 的耕地面积和 62.3% 的总用水量, 生产出占全国 75% 的粮食和 90% 以上的经济作物, 灌溉水利用系数约为 0.548, 灌区粗放型的用水管理模式和灌溉方式是造成水资源浪费的主要原因。因此, 转变灌区管理思路, 提升灌区管理水平, 提高农业用水效率, 对于节约水资源, 适应整个社会向现代化迈进具有重大意义。

自 2000 年左右启动续建配套与节水改造工作以来, 灌区严重病险、“卡脖子”工程基本得到解决, 骨干工程配套率和设施完好率明显提高, 灌区灌排基础设施薄弱、灌溉效益衰减的状况得到有效改善。但是, 灌区工程是集灌溉水源工程、输配水工程、排水工程、量控建筑物、管理工程于一体的系统工程, 节点工程散、多、杂、小、偏、远, 灌

区服务直接面向“三农”, 运行管理需多节点多过程协同调控, 管理技术与手段需求多样, 仅对灌区灌排工程等老基建进行升级改造已难以满足各行业对灌区高质量服务的需求。近年来, 中央相关文件提出要实施大中型灌区续建配套与现代化建设, 国家《乡村振兴战略规划》提出要加快农业现代化步伐, 水利部印发《关于开展“十四五”大型灌区续建配套与现代化改造实施方案编制工作的通知》(办农水[2020]56号), “十四五”及未来相当长一段时间, 我国将逐步开展灌区现代化建设工作。因此, 以灌区工程现状问题和灌区现代化管理需求为导向, 开展“数字灌区”工程建设已成为必然趋势。

数字灌区工程是涉及多学科、多行业, 覆盖面广、功能要求高的复杂而庞大的信息系统工程。近 20 年来, 灌区信息化工作在数据采集、通信与计算机网络、数据库建设与管理及业务应用系统开发

收稿日期: 2020-11-01

作者简介: 李益农(1963—), 男, 正高级工程师, 水利研究所所长。

等方面有了长足进步,但工程建设碎片化严重,数字灌区整体设计、定位和实施等方面,没有统一标准可依。为此,本文在分析现代灌区管理需求的基础上,从科学发展观和治水辩证法的视角,总结提出了数字灌区的理念内涵、总体架构和实施路径。

1 数字灌区内涵及架构

1.1 数字灌区的定位

数字灌区建设以灌区管理由传统的工程化、经验化上升到自动化、信息化,及数字化、智慧化等更高层面为总目标;以服务灌区管理需求和指导灌区管理实践为核心要求,坚持问题导向、需求牵引,立足灌区实际,根据灌区水资源调度、水旱灾害防御、工程管理运行等核心业务来充分挖掘管理需求;以实现“两个转变”和“两个提升”为着力点,即灌区管理由以主观判断为依据向以客观规律为依据转变,决策由以历史经验为主向数据支撑+历史经验的模式转变,显著提升灌区管理技术水平和灌区服务能力。

1.2 数字灌区的构成要素

数字灌区构成要素主要包括物理网、数据网、模拟网和决策网,其中,物理网是数字灌区建设的基础,在灌区现有灌排工程体系基础上,借助灌区信息化、自动化工程体系建设,打造数字灌区的基础硬件体系;数据网是数字灌区建设的支撑,在星-机-地立体监测技术及方法的基础上,针对灌区管理者和用水户的不同需求,提供时空各异的多元化数据信息,并通过数据治理和智能标签,构建各类标准数据库;模拟网是数字灌区建设的核心,针对灌区供-输配-排-需耗用水过程中的工程与用水管理决策需求,开发系列专业决策模型,形成物理机制模型库,并采用历史数据打造知识图谱库,提供灌溉用水全链条、全过程、全尺度系列化解决方案;决策网是以系统治理为抓手,在现有调度经验基础上,通过对输配水过程仿真和调度方案推演,提出基于灌区高质量服务和可持续发展的供需耗排多目标决策方案,打造情景决策“一张图”。为了满足灌区现代化管理需求,数字灌区从实验室的研究层面拓展到实际应用层面。

1.3 数字灌区的总体架构

数字灌区总体架构搭建以物理网、数据网、模

拟网和决策网的功能实现为核心。以包括立体感知体系、智能控制设施、信息交互设备的物理网建设为基础;以包括数据治理、基础数据库、监测数据库、专业数据库、智能标签、GIS系统的数据网为支撑;以包括基于历史大数据的AI模型、供需水预测模型、水资源配置模型、水调度调控模型、旱灾防御模型、洪灾防御模型及其他专业模型的模拟网为核心;以包括输配水过程仿真和灌区数字沙盘推演等组成的决策网为灵魂,四网合一,为数字灌区核心业务提供支撑。将业务的共性需求进行抽象,并打造成平台化、组件化的系统能力,通过用户交互、外部交互、系统交互等综合应用交互体系的建设,为灌区现代化管理提供有力工具。数字灌区总体架构如图1所示。

2 数字灌区实施路径

2.1 物理网建设

物理网建设重点包括感知层、智控层、信息交互设备和数据传输层等。

(1) 感知层:综合地面观测网络、无人机航拍、卫星遥感及地水下监测节点的多源观测手段,提出多源信息融合同化技术。覆盖近地、地表、土壤、植被、工程等各特征单元,可实现气象、上游来水、自产水、生产生活生态用水、作物长势、工程状况等水情、农情、工情实时监测,并发布洪水预报、旱情预警、作物需水预测等标准化产品,实现灌区供、需、耗、用、排水流全过程感知及预测预报。

(2) 智控层:基于闸(阀)群、泵站群、电站群的遥测、遥控、遥调和现代信息技术,建立调度决策指令执行、执行状态实时反馈、工程状态精准修正的灌区智能控制方法,实现用水过程控制与调度执行智能精准化。

(3) 信息交互设备:包括感知层和智控层所需要的各类感知器、控制器、调节器和执行器。

(4) 数据传输层:采用物联网和公网相结合的方式,物联网数据传输方式主要为LoRa或者RFID;公网数据传输方式主要为4G、5G或者光纤。

2.2 数据网建设

数据网建设重点包括数据上云、数据治理、智能标签、专业数据库以及GIS系统等。

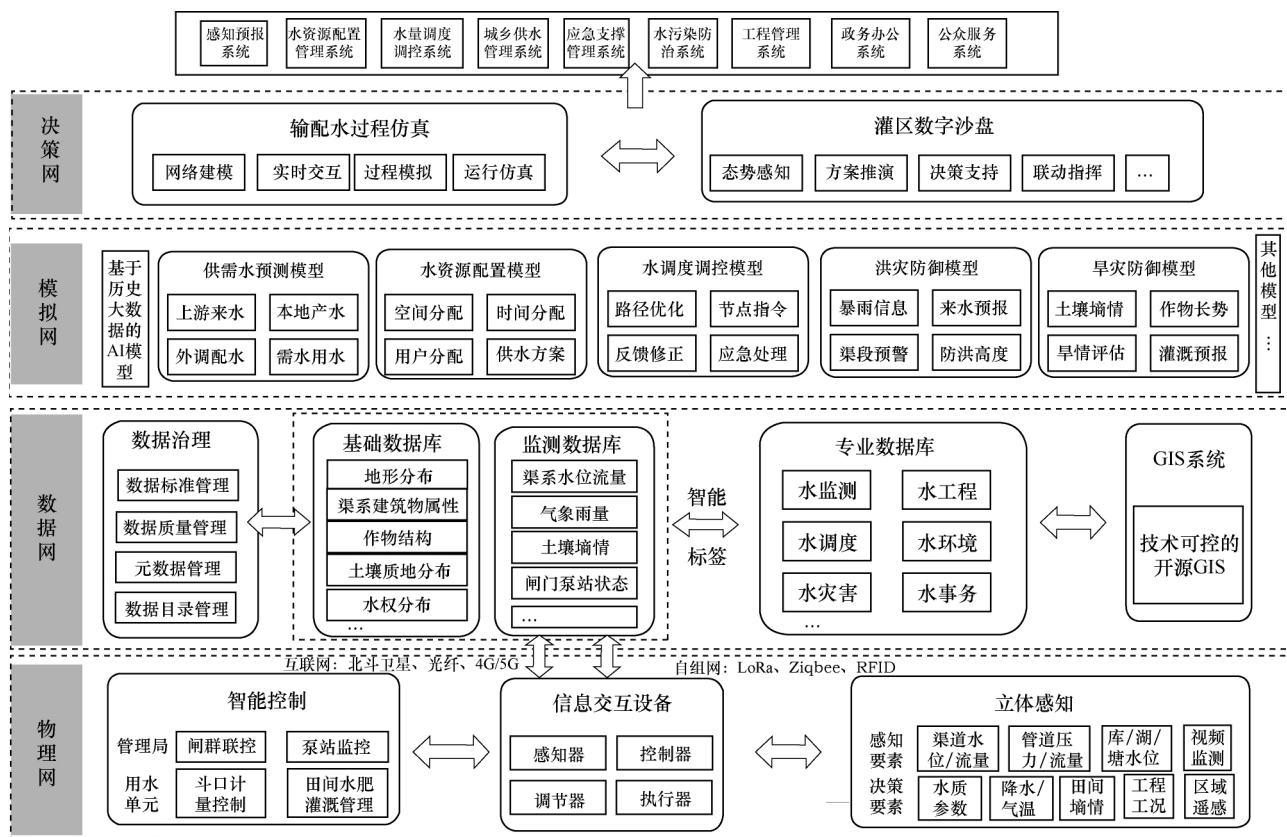


图1 数字灌区总体架构

(1) 数据上云：灌区线上、线下、互联网数据以及各相关单位共享数据的汇聚，主要包括三维地形、灌区各类工程与监测设施设备空间位置及属性，作物种植结构、区域需耗水与土壤墒情时空分布等农情信息，水位与流量时空特点等水情信息，降雨、气温动态等气象要素，以及灌区日常管理所需的各类工情信息等。

(2) 数据治理：对灌区各类数据进行清洗、标准化、融合加工，保证数据的一致性、完整性、合规性，实现数据质量控制和一数一源化。

(3) 智能标签：将治理后的多方数据进行标准化细分，挖掘数据关联属性和相互关联关系，实现结构化存储和更新管理，使这些细分数据可以直接推向平台。

(4) 专业数据库：通过数据治理和智能标签两个过程，进一步处理分类为灌区日常运行管理所需的各类主题数据，并搭建相应的专业数据库，为模拟模型和各类决策应用系统提供数据支撑。

(5) GIS系统：推荐采用开源可控技术手段，

搭建灌区GIS系统，为模拟网建设提供基础支撑。

2.3 模拟网建设

模拟网涵盖知识图谱库和物理机制模型库两大类。一类是知识图谱库，重点是将多年灌区运行经验数字化，形成基于历史大数据的AI模型。另一类是物理机制模型库，建设重点包括供需水预报模型、水资源配置模型、水调度调控模型、旱灾防御模型和洪灾防御模型等。

(1) 供需水预报模型：基于灌区工程供水能力及蓄水能力，集成准实时级别卫星遥感影像生产产品、天气预报数据等，构建数字灌区来水和供水预报方法，以及生产生活生态(“三生”)多时空需水预测技术。

(2) 水资源配置模型：基于“蓄引提调”多种水源来水预报与“三生”需水预测，结合灌区水资源系统网络图，构建水资源模拟与配置模型，实现水资源在不同时空和多用户间的精细配置。

(3) 水调度调控模型：涵盖水资源优化调度模型和闸群调控模型，水资源优化调度基于渠系拓扑结构，渠系控制区域面积、需耗水及高程等数据，

闸群过流能力和泵站扬程等，主要以配水时间最短和弃水最少为目标，制定灌区渠系常规和应急调度方案；闸群调控以渠系水动力过程模拟结果作为前馈预测，以渠系水位稳定最快为调控目标，采用前馈-反馈相结合模式方法，制定灌区闸群常规和应急调控方案。

(4) 旱灾防御模型：主要包括旱情评估模型和旱情应急响应模型，基于感知系统获取的水雨情监测及预报数据，结合遥感数据和地面监测，确定受旱范围及干旱等级，同时，预判干旱指标演变态势，制定缺水情况下的灌溉用水应急响应方案和调度措施。

(5) 洪灾防御模型：洪灾防御模型主要开展渠道汛期来水预报、渠道预警和防汛应急调度，主要考虑区域内暴雨形成的产流和河道/坡面汇流过程，结合天气预报数据，对渠道沿程的汛期来水过程进行预报，同时，考虑渠道泄水点分布，形成渠道的来/汇水、泄水的节点概化图，构建渠道水流推进模拟模型，提出不同渠段的泄水调度方案及其调度效果。

2.4 决策网建设

决策网建设重点包括灌区调度调控方案动态推演和灌区数字沙盘等。

(1) 灌区调控方案动态推演：基于数据网和模拟网，制定出不同场景下的决策调度方案，通过动态演示的方式，以时间和空间两个维度直观呈现不同调度调控方案执行过程、影响范围、执行效果，方便灌区管理者以数据为基础科学的、快速的进行调度决策。

(2) 灌区数字沙盘：基于GIS和BIM，实现灌区各类信息集中展示，主要包括灌区工程与建筑物的空间属性、各种实时监测信息、各类发展态势预测，以及预案实时推演等，实现灌区数字化管理和“多维一张图”表达。

3 结语

随着大型灌区续建配套与节水改造工作画上圆满句号，“十四五”规划启动了大型灌区

续建配套与现代化改造。数字灌区建设将成为关键核心，旨在运用先进的水利、信息、控制和决策技术，对传统的灌区管理手段进行升级改造，实现“信息技术标准化、信息采集自动化、信息传输网络化、信息管理集成化、调度决策智慧化、运行控制智能化、政务办公电子化”。在大力推进灌区现代化改造之前，归纳分析，总结提出数字灌区定位、建设内容和实施途径等对指明灌区现代化发展方向，推动灌区管理技术水平与服务能力两个提升的实现具有重要意义。数字灌区相关研究成果，可供从事与灌区现代化建设和管理相关的科研人员、管理部门、生产企业等参考，可为数字灌区标准化建设提供理论依据。

参考文献：

- [1] 康绍忠. 加快推进灌区现代化改造补齐国家粮食安全短板[J]. 中国水利, 2020(9): 1-5.
- [2] 倪文进. 大型灌区现代化建设需处理好几个问题[J]. 中国水利, 2020(9): 6-7.
- [3] 康绍忠. 贯彻落实国家节水行动方案推动农业节水发展与绿色高效节水[J]. 中国水利, 2019(13): 1-6.
- [4] 高占义. 我国灌区建设及管理技术发展成就与展望[J]. 水利学报, 2019, 50(1): 88-96.
- [5] 李国英. 治水辩证法[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [6] 戴玮, 李益农, 章少辉, 等. 智慧灌区建设发展思考[J]. 中国水利, 2018(7): 48-49.

(责任编辑 郭利娜)

