

# 数字孪生技术在胶东调水工程中的应用

尹晓东<sup>1</sup>, 张昊鹏<sup>1</sup>, 张迎东<sup>2</sup>

(1. 山东省调水工程运行维护中心, 山东 济南 250000; 2. 山东省调水工程运行维护中心寿光管理站, 山东 寿光 262700)

**【摘要】** 文章介绍了数字孪生技术在胶东调水工程中的实践应用, 在深入分析数字孪生胶东调水工程建设需求的前提下, 结合存在的问题, 通过搭建数字孪生胶东调水基础框架和先行先试五大试点, 构建了感知更精准、数据更完备、模型更优化、决策更智慧、控制更精确的现代数字孪生水网工程, 为全面建设数字孪生胶东调水工程提供了支撑。

**【关键词】** 数字孪生; 胶东调水工程; 水网工程

**【中图分类号】** TV85

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1009-6159(2025)-07-0010-03

## Application of Digital Twin Technology in Water Diversion to Jiaodong Project

YIN Xiaodong<sup>1</sup>, ZHANG Haopeng<sup>1</sup>, ZHANG Yingdong<sup>2</sup>

(1. Water Diversion Project Operation and Maintenance Center of Shandong Province, Jinan, Shandong 250000, China; 2. Shouguang Management Station of Water Diversion Project Operation and Maintenance Center of Shandong Province, Shouguang, Shandong 262700, China)

**Abstract:** This paper introduces the practical application of digital twin technology in the water diversion to Jiaodong area project. On the premise of in-depth analysis of the construction requirements of the digital twin Project, and combined with the existing problems, a modern digital twin water grid project with more accurate perception, more complete data, more optimized models, smarter decision-making and more precise control has been constructed, by building the basic framework of the Project, which takes the lead in implementing five pilot projects, and provides a foundation for the comprehensive construction of the digital twin water diversion to Jiaodong area project.

**Key words:** Digital twin; Water diversion to Jiaodong area project; Water grid project

胶东调水工程是国家南水北调东线工程山东“T”字型调水大动脉的重要组成部分, 由引黄济青工程和胶东地区引黄调水工程组成, 工程全长约 600 km。2018 年起实施全线自动化调度系统工程, 2021 年建成并验收投运, 敷设光缆 2 034 km, 安装传输及网络设备 3 000 多台套、摄像机 3 000 多套, 在工程全线 13 座泵站、87 座闸站、42 座阀站设置信息点 69 723 个, 并对工程设施、设备及自动化系统进行了升级改造, 实现全线工程基础信息、工情、水情信息实时采集和调水全流程线上操作, 为数字孪生胶东调水工程建设鉴定了良好基础。

山东省胶东调水工程存在多水源联合、多工程混联、多目标供水、多工况切换、多层级管理等“五多特点”, 导致水量均衡调配难、优化调度控

制难、安全运行管理难等“三大难题”。以人工经验为核心的运行管理模式, 已经遇到了发展瓶颈, 亟需实施工程智能化管理与数字化转型。

## 1 存在的现状问题

### 1.1 业务应用方面

现有自动化调度系统虽然覆盖了胶东调水工程水资源优化配置、工程安全与运行管理、应急指挥调度 3 个核心业务, 但在具体业务上仍覆盖不全, 各应用系统之间横向关联不足。

### 1.2 专业模型方面

专业模型有待更新升级, 原有的模型对调水工程沿线各水库的调蓄能力考虑不充分, 对各类

收稿日期: 2025-03-26

作者简介: 尹晓东(1989—), 男, 工程师

监测误差、模拟误差和预报误差的应对措施有限,与“智慧化模拟、精准化决策”的要求仍有一定差距。另外,各模型缺乏统一管理,模型的调用过程、计算过程不可视,模型之间的数据流程过程不明确,难以对模型参数进行修正,无法精准评估模型结果、效果<sup>[1]</sup>。

### 1.3 知识平台方面

一方面,未对编制的各项制度进行标准化抽取形成真正服务于日常工作的知识库;另一方面,长期运行与管理积累的调度经验与各项事件处置经验没有转化为可重复利用的知识储备,实现管理经验的长期积累与复用。

### 1.4 数据资源方面

胶东调水自动化调度系统汇集了大量基础数据、监测数据、业务数据等数据资源,具备基本的信息查询、阈值告警、共计报表等功能,但现有数据资源管理体系尚不能有效支撑水利专业模型计算、大数据分析、智能识别等应用场景。

### 1.5 基础设施方面

胶东调水工程输水线路长,明渠、管道、暗渠、渡槽、隧洞、泵站、倒虹、水闸、阀门井等各种输水形式兼具。自动化调度系统虽然能够比较全面地反映工程整体运行情况,但在测站布局、风险识别和应急监测等方面仍不能全面支撑数字孪生应用。

## 2 试点场景

### 2.1 全局水利智慧调配试点

在现有水量调度系统、模型建设成果的基础上,充分考虑水源区可供能力,结合受水区需引调水量以及受水区本地水源的可供水量及调蓄能力,利用 BIM 技术建模<sup>[2]</sup>,升级水量调度评价模型,升级年月水量调配模型,实现水源区受水区水资源的均衡调配。

### 2.2 泵站智慧运行维护试点——打渔张泵站

以“BIM+GIS”技术为支撑,构建打渔张泵站 L3 级数字底板,补充完善基础感知体系,构建调度运行的数字化场景,搭建数字孪生平台,实现工程运行状况全方位监测;通过建立泥沙淤积模拟模型、泥沙对水泵机组损耗预测评价模型、泵站智能调控模型、健康评价模型、泵站运行状态综合评价模型,对泵站机组运行、泥沙影响情况、

设备设施维护等工作提供支撑。

### 2.3 平原水库智慧管控试点——棘洪滩水库

以棘洪滩水库为试点,构建棘洪滩水库区域 L3 级数据底板,将棘洪滩水库工程一一映射到虚拟空间,构建“可看”“可控”的水库数字化场景和工控系统,开展水库优化调度模型、工程安全监测预警模型和水质分析预测模型研究与应用,优化水库运行调度情况,实现水库工程安全和水质的预报预警分析,全面保障水库供水安全。

### 2.4 明渠梯级闸泵智能运行控制试点——王耨至胶莱河明渠段

开展梯级闸泵群智能调控模型研究与应用,从感知、预测、调控和评价四个方面构建该区段渠道一维水利模型(省级)、渠池偏离目标状态评价模型、闸泵实时调控模型,提升闸泵群调水系统深度感知能力和水平,实现闸泵群智能调控,支撑胶东调水工程明渠段的智慧调度。

### 2.5 管道泵阀智能应急调控试点——高疃至星石泊管道输水系统

围绕复杂管道输水系统在各工况下的平稳、安全运行目标,通过升级管道输水系统实时调控模型和有压管道瞬变流计算模型,构建管道输水系统水力安全评价模型,建设管道泵阀联合安全与应急调控应用,结合现地监控,提供泵站、调流调压阀及工程沿线的工情、水情及报警信息进行评估、预测和诊断,为运行管理计算调控方案,提供应急处置方案。

## 3 项目特点

### 3.1 感知更精准、数据更完备

基于投入式水位计、超声波流量计等渠道传统监测手段和智能巡河、视联网等新兴技术,构建全方位、精细化多元数据融合感知体系。

通过数据治理可实现一站式数据治理运营服务,满足数据共享交换、数据开发、数据运营多种应用场景,并通过构建数据工厂,实现数据治理的标准化、流程化与组件化。

### 3.2 模型更优化

采用数据与机理双重驱动方法,实现复杂水系统调度问题解耦,有效特生调度精度。

### 3.3 业务更智慧、控制更精准

以水利专业模型计算、智能识别、模拟仿真、

知识推理等技术为驱动,强化了“四预”在各项业务中的应用,并基于 MPC 逻辑的实时闸泵智能调控,实现泵站阀工程的智能、精确控制。

## 4 技术亮点

### 4.1 多元融合感知助力泵站智慧运行维护

依托胶东调水工程沿线已建成的视频监控设备,结合无人机巡航,构建全线动态覆盖的调水工程运行监视视联网,研发调水工程运行状态识别智能算法并形成智能模型库,首次在调水工程领域将视频识别算法从传统的漂浮物、人员入侵等运行维护类算法拓展至流速、蓄量等调度运行类算法,基于云边协同算力实现胶东调水工程沿线运行状态实时在线视频监控与智能分析,融合传统水情、工情监测体系与视频监测体系,打造明渠运行维护智能应用,提升调水工程运行维护安全性与效率。

### 4.2 调水工程调度运行大数据全生命周期管理

提出“汇聚—治理—模型—开发—服务—运维”调水工程调度运行数据全生命周期管理模式。提出调水工程全类型数据汇集标准,创新业务区—控制区数据双向汇集模式,研发针对流量倒挂等调水工程数据高级清洗算法库,提出调水工程数据血缘等数据模型并与数据运维机制结合,研发面向调水工程调度运行、安全与运行管理、应急处置全业务流程的调水数据产品,创新数据全生命周期运维体制,有效提升调水工程各类数据的质量,打造坚实、可靠的数字孪生胶东调水工程数据底板。

### 4.3 调水工程水利专业模型深度应用与平台集成

系统梳理了水资源优化调配工程安全与运维管理、应急处置管理全业务流程中需要水利专业模型决策支持的关键节点,提出业务流程关键决策节点与模型推演、数据分析支持能力的集成方案,研发面向胶东调水工程实际业务需求的水利专业模型库,设计面向调水工程智慧调度模型的标准数据接口、标准封装接口,提出调水工程智慧调度多专业模型标准耦合集成技术,实现对模型库的统一管理、统一算力支撑、统一计算。

### 4.4 调度、控制集合实现调水工程双向孪生驱动

突破传统的远程控制、自动控制的调水工程调度运行集控模式,提出了“远程集中调度、分区

现地控制”的调控新模式,在中心层面,汇集海量数据并基于模型对吊事工程全要素转台进行实时模拟与情景推演,将现实调水工程实时映射到虚拟调水工程,并实时确定各工程节点水位、流量等调度指令。

现地工程在边缘算力支撑下,汇聚现地全要素运行工况及上下游工程运行状态,在水量、流量等调度指令下,智能控制闸门、泵站运行状态,将虚拟调水工程的调度动作反馈到现实调水工程,实现现地闸、泵、阀工程的智能控制。通过中心全要素模拟调度、各分区现地智能运行控制,实现调水工程双向孪生驱动。

## 5 预期成效

1) 通过数字孪生技术,实现工程管理精细化、趋势预测精准化、调度决策科学化,将有力保障胶东调水工程安全稳定运行,保障其综合效益的发挥。

2) 通过构建数字孪生胶东调水工程,提升现有信息化系统效率,支撑业务联动,有效解决资源整合和共享问题、信息深度开发和利用问题。实现资源优化配置,信息互联互通,处理按需协同,促进信息基础设施和应用系统效能最大化。

3) 通过加强水情、视频、工程安全等数据整合应用,提高调水沿线各类预报要素与模拟预演能力,提升工程安全趋势预判、渠道水位流量变化、水质变化、机电设备等的预见期,通过预演功能提升日常调度的智能化水平及突发性事件的快速处置能力,减低危险事件发生的概率,从而提升工程安全、供水安全、水质安全的保障能力,有效降低社会经济损失。

4) 实现典型工程及河渠输水闸泵群联动控制的智能化、智慧化,全面提升胶东调水工程有压管道在多工况切换过程中安全保障与应急处置能力,保障有压管道运行安全。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部.水利部部署数字孪生流域建设工作[M].2022.
- [2] 陈钊,赵梦玲.基于 BIM 的水利工程施工进度实时监测系统优化设计[J].水利科技与经济,2020,26(10):102-107.

(责任编辑 赵其芬)