

# 数字孪生技术与智慧水利枢纽建设思考

王岩,刘斌,徐立建,张璇

(江苏省骆运水利工程管理处,江苏宿迁 223800)

**摘要:**结合泗阳水利枢纽的实际状况,就数字孪生技术和智慧水利枢纽融合,提升工程管理信息化、标准化、精细化水平进行了分析和思考,为后续技术应用和系统建设提供参考依据。

**关键词:**数字孪生;智慧水利;泵站工程;计算机监控;管理系统

**中图分类号:**TV213.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2022)Sup2-0076-05

## Thoughts on digital twin technology and construction of smart water conservancy projects

WANG Yan, LIU Bin, XU Lijian, ZHANG Xuan

(Siyang Water Gate and Pump Station managerial Station of Jiangsu Province, Suqian 223800, China)

**Abstract:** Combined with the actual situation of Siyang Water Conservancy Project, this paper analyzes and thinks about the integration of digital twin technology and smart water conservancy project to improve the level of informatization, standardization and refinement of project management, and provides reference for subsequent technology application and system construction.

**Key words:** digital twin; smart water conservancy; pumping station engineering; computer monitoring; management system

### 1 工程概况

泗阳水利枢纽位于泗阳县城东南的中运河输水线上,是南水北调东线第四梯级、江苏省江水北调、淮水北调第一梯级抽水工程。枢纽主要由泗阳站、泗阳二站和泗阳节制闸等3座大型水工建筑物及其附属工程组成,上承沂沭泗、下接洪泽湖,是中运河水系重要节点控制工程,是江苏省淮北宿迁、徐州地区补水、泄洪的关键性口门工程。

泗阳站建成于2012年5月。该站设计调水流

量165 m<sup>3</sup>/s,总抽水能力199 m<sup>3</sup>/s,是南水北调东线一期装机容量、抽水流量最大的泵站。该站装设6台套立式全调节轴流泵(含备机1台),叶轮直径3 100 mm,单机设计流量33 m<sup>3</sup>/s,单机功率3 000 kW,总装机容量18 000 kW;设110 kV户内变电所,同时担负泗阳站、泗阳二站的供电功能,主变为110 kV/35 kV/10 kV三圈油浸式变压器,容量31 500 kVA。

泗阳二站建成于1996年,2022年8月完成加固改造。该站装设2台套液压全调节轴流泵,单机流量33 m<sup>3</sup>/s,总装机容量6 000 kW;设35 kV户内变电

收稿日期:2022-11-01

作者简介:王岩(1972—),男,高级工程师,本科,主要从事大型泵站工程管理工作。E-mail:754528776@qq.com

站,主变容量10 000 kVA。

原泗阳节制闸建成于1960年,2013年拆除重建。主闸身共7孔,每孔净宽10 m,设计流量1 000 m<sup>3</sup>/s,配弧形钢闸门和绳鼓启闭机。

## 2 现状分析

### 2.1 计算机监控系统

泗阳站、泗阳二站、泗阳节制闸计算机综合监控系统目前已经建成。基于DCS架构的计算机监控系统,技术上已经成熟,运行状况良好,实现了技术数据采集、运行参数越限报警、自动控制、远程控制、数据统计、运行报表自动打印、数据自动存储和远程传输等功能。泗阳水利枢纽集中监控中心已经建成,可以实现对3座水利工程的集中监控和数据向上级监控中心上传,具备了“无人值班、少人值守”的技术条件。

### 2.2 视频监控系统

工程视频监控系统已经建成,安防结合技防,实现了重要部位、重要设备视频站点的全覆盖布设,数据存储、图像摄取处理、传输都实现了数字化,显示设备、网络设备完备。

### 2.3 网络系统

枢纽内部局域网建设和网段划分完成。传输线路为租用电信公司专用线路,实现了工控网和办公网物理隔离。

### 2.4 网络安全

由于没有架设行业专用骨干网络,网络安全的硬件设施还不是很完备,系统运行存在安全隐患。网络设备防护、安全机制、信息存储和传输的保密控制等,还存在不少安全漏洞,亟需加强管理。

### 2.5 存在短板

现有系统的技术架构,包括数据交换架构、应用集成架构,还没有统一标准,数据的利用率不高,共享度较低,与流域相关系统没有形成协同,没有形成有价值的资源。

工程现有的综合监控系统具备了数字孪生工程的雏形,基本实现了工程管理的智能化要求,但管理技术和管理手段仍然是传统模式,对照数字孪生工程的技术要求,在实现对泵站、水闸、河道等基础设施的全面数字化建模,形成虚拟对象在信息维度上对实体对象的精准信息进行表达和映射,在实现管理过程的模拟仿真、评估、优化、预测和决策等智慧化功能上,还不具备相应的现实条件。

## 3 系统规划

### 3.1 功能需求

智慧泗阳水利枢纽建设需要实现的功能是:工程设施、设备安全运行;机组、闸门调度方案优化;运行效益优化;对工程运行的缺陷进行分析和预警;建有节点工程的基础数据库;为调水系统和流域提供数字赋能,服务于水利工程运行的技术经济指标。在此基础上,实现“预报、预警、预演、预案”功能,为工程管理业务决策提供科学化和智慧化的数据支撑和精准指导。

### 3.2 数据要素

泗阳水利枢纽管理着2座大型泵站、1座大型水闸、2个高压变电所(站)、泵站和水闸的进出水河道,具有一定的节点枢纽典型性特点。从技术管理的角度看,数据要素是关键。相关数据主要有:变电所(站)的技术数据,主要包括电流、电压、功率、功率因数、电能计量、运行温度湿度,以及气体绝缘开关设备的气体压力数据、在线绝缘数据、操作信息、报警信息、故障和事故信息、调度信息等;泵站技术数据,主要包括主机组运行技术参数,含励磁设备和辅机设备,除相关电气数据外,还有叶片角度、流量、抽水量、振动、转速、运行时间及相关统计数据、辅机设备的运行压力、运行温度等;水文数据,主要包括水位、水质、雨量、河道断面、水下地形数据等;水闸运行数据,主要包括开展孔数、闸门开度、流量及数据统计等;水工建(构)筑物数据,主要包括高程、垂直位移和水平位移、裂缝观测等。

### 3.3 基于BIM的数字孪生平台建设需求

#### 3.3.1 设计原则

(1)数据获取和存储。充分利用现有计算机监控系统、LCU、RTU等设备,完善设备功能;增设前端感知设备和传感器;增设监测功能,重点是监测机电设备的在线监测数据;数据地板需要提供的相关水利专业数据,含水文、水力学、生态环境等数据;进一步完善要素数据的采集,保证数据精度,以数据库服务器为核心,实现数据的安全、存储、高速读取和链接,构建基础数据底板,提供支撑“算据”。

(2)数据模型平台搭建。以工程单元、网格为模块,应用成熟的BIM、GIS技术进行地理空间大数据模型建设。地理空间数据模型主要包括数字正射影像图(DOM)、数字高程模型(DEM)、数字表面模型(DSM)、倾斜摄影影像/激光点云、水下地形、建筑信息模型(BIM)。结合系统规划,完成泵站、水

闸、管理环境地理空间、厂房及设备空间全息模型建设。

(3)专业智能模型开发。基于水利工程运行的原理、规律等进行数理统计和数据挖掘,构建数据驱动的知识库,进行工程运行模拟仿真,开发水利工程管理精细化管理平台,实现“2+N”智能应用运行,优化重塑调度运行流程,提高优化调度和运行效益及安全管理质量。

(4)组件开发与集成。实现枢纽一站图,对工程运行全要素、全场景进行数字映射,实现运行场景数字化,进一步完善计算机监控与视频监控系统的融合,实现图像和声音摄取对应相关电气、机械参数的相互参照,提高预警反应能力,同时实现高度集成的运行现实场景模拟动画演示、动态可视,进行模型渲染,改善人机交互技术条件。

(5)软件优化。结合工程改造,升级计算机监控系统软件、应用软件,包括相关服务器报表、统计软件,优化开发环境,提高系统运行的可靠性、安全性和可维护性。

(6)硬件升级。随着数据库规模容量的扩大和数据处理、服务功能、传输速率技术要求的提高,现有系统硬件设备需要进行升级,在保证安全可靠的

前提下,提高数据采集和传输设备、现地控制设备、上位机设备、应用服务器等相关硬件设备的技术性能,增加数据存储、处理设备,满足软件开发、兼容与系统运行及服务功能要求。

(7)网络建设。以B/S为架构,完善枢纽局域网建设,完善网络功能分区,建设标准化机房,为系统接入水利专业广域网提供安全、可靠的接口技术条件,进一步完善网络安全建设,保证数据存储、传输的安全性。

### 3.3.2 系统架构设计

泗阳水利枢纽信息化平台总体框架主要包括智慧感知层、基础支撑层、数据资源层、应用支撑层、业务应用层、展示层并融合标准规范、网络安全等方面技术基础。具体技术架构见图1。

(1)智能感知层。主要是指终端采集传感器,包括水位计、流量计、监控探头、安全监测设备、PLC等,数据直接送至位于服务器中的物联平台。工情监测信息通过ModbusTCP/OPC协议采集自动化控制系统信息。视频监视画面通过架设的流媒体服务器和相应的转流平台接入综合管理平台。

(2)基础支撑层。基础支撑层主要指网络、存储、计算三大基础。其中网络主要是指涉及的工控



图1 泗阳水利枢纽信息化平台总体框架

网、视频网、5G传输网、互联网以及水利专网,以五大网络为基础,实现不同业务间的数据互联,同时保证边界网络的安全。存储和计算由具有虚拟化能力的私有云平台组合而成,负责数据的存储、转发、计算、备份等工作。

(3)数据资源层。数字资源层以数据为核心,负责对数据资源进行管理,包括元数据、库数据、集合数据等,通过资源管理层进行不同类别数据资源的管理,并基于元数据进行数据筛选,根据仓库数据进行数据的分析和决策等服务,满足系统平台的多层次多业务的调用分析,为运行管理监督决策服务。

(4)应用支撑层。应用支撑层主要是只针对具体业务系统需采用的一些中间件,为业务应用开发使用提供基础支持,包括接口服务、上传下载插件、BIM引擎、视频流转码中间件、GIS地图等。基于这些中间件,为应用系统平台提供更好的使用体验。

(5)业务应用层。业务应用层以具体业务为基础,综合管理平台支持单业务系统和多业务系统,同时为满足系统的扩展需求,后期可基于开发框架继续新增业务模块或业务逻辑等,最终形成一个同平台、同账号、不同权限、不同终端的综合业务平台,避免了信息孤岛和多系统的重复建设。

(6)展示层。展示层主要是可访问系统平台的界面。在网络环境下,本项目信息系统可通过浏览器、手机以及监控中心大屏等方式访问,满足随时随地使用系统平台的需求,无需独立下载客户端,所有展示端均为客户端,业务及信息交互均通过自建的私有云数据中心进行,可有效保障数据安全,降低对本地运行环境的配置要求。

(7)安全及规范体系。安全及规范体系是指信息安全和开发设计规范。系统设计开发严格遵循信息安全标准,从网络通讯、安全设备、操作系统、软件程序、数据库以及信息安全管理等多维度提升信息安全,多层次守住信息安全底线。同时软件开发及部署遵循水利信息化及软件开发相关规范,提升软件开发质量和使用体验。

### 3.3.3 系统技术要求

数字化工程管理在BIM应用支撑模块的基础上,构建面向泵站的具有个性化的数字化工程展示平台,为泗阳水利枢纽日常运行管理工作提供丰富多彩的数据展示服务。

总体架构设计遵循“安全实用、适度超前”的指导思想,综合利用人工智能、数字孪生等新一代信

息技术,建设“三网合一、三层融合、二体系贯穿”的架构体系。横向融合层面,主要包括泗阳水利枢纽数据补充采集、会商系统、泗阳水利枢纽数字孪生3个功能层融合建设;纵向贯穿层面,主要构建数字河湖建设标准化和数字信息安全保障两大体系,满足泗阳水利枢纽数字河流建设、数字流场分析、水利数据挖掘、定制化飞行场景展示以及涉水信息智能推送等功能的需求。

泗阳水利枢纽数字孪生平台建设需采用HTML5、WebGL等移动互联网三维可视化技术,在集成泗阳水利枢纽地形地貌、河流断面、枢纽信息等静态信息与降水、水位、视频等动态信息的基础上,实现泗阳水利枢纽数字化映射。具体包含全河三维数字建模、视频智能分析、雨水工情信息接入与动态展示、数字流场分析、水利枢纽运行状态管理、水利数据挖掘、定制化飞行展示场景、涉水信息智能推送等功能。

针对枢纽日常工作的主题业务,遵循当前主流W3C标准和规范,采用SOA架构,基于BIM、GIS等技术,通过数字化设计,为用户提供泵站监控类、工程概要类、工程模型类、工程维护类、工程防洪类、水情类、空间类、视频类、预警类信息的服务功能,通过多维空间的平台展示完成对以上类型信息重构、查询、深度处理、统计分析等功能。

## 4 智慧平台管理制度建设

建设智慧管理制度平台的三维交互式展示平台,将通过地理信息系统技术、虚拟现实技术、BIM建模技术把泗阳水利枢纽管理范围内场地、建筑物、设备模型、感知及运维信息以数字孪生的形式在计算机中真实、直观、形象、方便地进行泵站运行状态、异常监控的可视化管理与运维。

### 4.1 工程展现方面

通过三维展示,把工程管理范围内的泵站、水闸等工程实体按空间地理位置有机组织,能直观、形象、全面地表现整个工程及沿线周边环境,为全面认识和了解工程提供一个三维可视化的虚拟平台。

### 4.2 工程管理方面

基于信息模型,对工程的特征属性信息进行有效集成,在可视化环境下可以对全线工程进行有效管理。泵站管理方面,从实景三维虚拟场景中点击站房,即可进入泵站的机组管理界面,对泵站运行状态、异常监控等实现三维可视化管理与运维。

数字孪生智慧水利枢纽建设是一项系统工程,涉及的专业门类广泛,如系统的规划、设计、建设、运行、维护等,对工程管理单位来说,这是一项突破传统思维的工作,原有的计算机监控管理办法已经不能完全适应新的技术条件的要求。技术的进步必将带来管理体制的变革,需要以系统化、工程化思维,加强前期制度设计,加快引进、培养专业人才,开展技术研究,完善工程措施和技术管理办法,提供可复制的制度保障。

## 5 结 语

水利是国民经济的战略性基础产业和基础设施,不仅是农业的命脉,也是保障国家安全和可持续、高质量发展的基础性保障。建设智慧水利,是提升水利工程品质、实现高质量发展的重要举措。

这对具体的工程管理提出了更高的要求,迫切需要进一步适应信息化要求,提升工程建设和管理的数字思维能力和专业素质,加快技术手段的创新,为工程安全、高效、优化、经济运行和水资源的优化调度和集约利用提供更坚强的技术保障。

### 参考文献:

- [1] 张建云,刘九夫,金君良. 关于智慧水利的认识与思考[J]. 水利水运工程学报,2019(6):1-7.
- [2] 仇宝云,冯晓丽,黄海田. 南水北调梯级泵站技术管理评价指标研究[J]. 水力发电学报,2005(2):114-118.
- [3] 陈玲,黄介生. 灌区管理模型与GIS的集成及应用[J]. 灌溉排水学报,2003,22(3):29-32.
- [4] 蒋亚东,石焱文. 数字孪生技术在水利工程运行管理中的应用[J]. 科技通报,2019,35(11):5-9.

(上接第75页)

不合理,枯水期有时会取不到水,需要对取水口进行改造。改造后二教楼雨水回用系统的处理能力将从日均150 m<sup>3</sup>提升至300 m<sup>3</sup>,每年可多节约自来水5万 m<sup>3</sup>。

## 5 结 语

高等院校是社会的重要组成部分,以高校为平台开展节水建设,“以点带面”对全社会节水氛围的形成意义重大<sup>[4]</sup>。江南大学是无锡规模最大的一所高校,在江南大学开展节水型高校建设具有重要示范作用。学校通过建设数字化节水监管系统、微生物滤床技术雨水处理回用工程、计量设施智能升级、用水设施节水改造、浴室刷卡计时收费系统等一系列节水措施,实现年节水99万 m<sup>3</sup>,节省经费

437万元,经济效益显著,也产生较好的社会效益和环境效益,可将江南大学建设节水型高校的成功经验进行推广,为类似的节水型高校建设提供参考。

### 参考文献:

- [1] 郑瀚,张治江,胡勇,等. 高校节水实施路径探索与思考[J]. 大众科技,2019(10):3.
- [2] 吴长宏,武荣华. 节水型高校建设实践与思考——以辽宁石油化工大学为例[J]. 中国水利,2013(11):18-19.
- [3] 冯家锦,王景芸,吴浩,等. 节水型高校建设探究——以华中农业大学为例[J]. 城镇供水,2021(3):96-101.
- [4] 陈良蕾,朱奕蓉. 苏南地区节水型高校建设刍议[J]. 水利发展研究,2011(12):66-70.