

Huainunzhuang Pump Station in the middle route of the South-to-North Water Diversion Project Construction and application of digital twin

Xuhui Niu Xiaoling Liu

China South-North Water Diversion Group Co., Ltd., Beijing 100010, China

Abstract

Digital twin Huainunzhuang Pumping station through the construction of equipment status warning, fault diagnosis, economic operation, fault disposal knowledge base, spare parts management, intelligent inspection, water quality prediction, pollutant diffusion and other related module functions, Provide a more comprehensive, more refined, more accurate and more real-time information for the operation and management of the pump station, Enhanced the water resources dispatching capacity, water pollution traceability, diffusion prediction and management control ability of the middle route of the South-to-North Water Diversion Project, Improve the risk prevention and management level of water supply quality, Improve the comprehensive management level of information electromechanical equipment, Improve the intelligent inspection level of the pump station, At the same time, the economic operation model of the pump station provides a solution for the green, safe and efficient operation of the pump station.

Keywords

digital twin; intelligent inspection; water pollution traceability

南水北调中线惠南庄泵站数字孪生建设与应用

牛旭辉 刘晓岭

中国南水北调集团中线有限公司惠南庄管理处, 中国·北京 100010

摘要

数字孪生惠南庄泵站通过建设设备状态预警、故障诊断、经济运行、故障处置知识库、备件管理、智慧巡检、水质预测、污染物扩散等相关模块功能, 为泵站运行管理工作提供更全面、更精细、更准确、更实时的信息, 增强了南水北调中线水资源调度能力、水污染溯源、扩散预测研判与管理调控能力, 提升供水水质的风险防范管理水平, 提升信息机电设备综合管理水平, 提高泵站智能化巡检水平, 同时泵站经济运行模型对泵站绿色安全高效运行提供了解决方案。

关键词

数字孪生; 智慧巡检; 水污染溯源

1 引言

为推进数字孪生南水北调建设, 水利部南水北调司多次召开数字孪生南水北调建设协调会, 对数字孪生南水北调建设作出工作部署。根据有关工作部署, 围绕“作用重要、基础较好、积极性高、经费有保障”的遴选要求, 选择惠南庄泵站作为数字孪生水利工程的先行先试对象。基于智慧水利和数字孪生流域建设总体框架, 以“三个安全”和“四预”需求为核心开展数字孪生南水北调中线惠南庄泵站先行先试工作。

惠南庄泵站是南水北调中线工程唯一一座大型加压泵站, 设计流量 60m³/s, 共安装 8 台卧式单机双吸离心泵, 配

套 8 套变频调速驱动装置。水泵单泵流量 10m³/s, 配套电动机功率为 7300kW, 总装机容量为 58.4MW。水泵与电动机采用直联传动方式, 额定转速为 375r/min。泵站采用单输水管道 2 台或 3 台机组并联运行方式。

2 必要性和可行性分析

2.1 建设必要性

国家“十四五”新型基础设施建设规划明确提出, 要推动大江大河大湖数字孪生、智慧化模拟和智能业务应用建设。惠南庄泵站作为南水北调中线工程数字孪生建设先行先试的试点, 将为数字孪生南水北调中线工程建设提供指导。

推进数字孪生惠南庄泵站建设, 是提升泵站数字化、网络化、智能化水平的迫切要求。数字孪生是一种数字化理念和技术手段, 已成为助力企业数字化转型、促进数字经济发展的重要抓手, 与大数据、人工智能、5G 等一并成为国

【作者简介】牛旭辉(1988-), 男, 中国山西侯马人, 本科, 工程师, 从事水利水电工程研究。

家数字化战略中的新技术，将会成为各行各业数字化转型的一项关键基础设施。要抓住新一代信息技术引发的产业变革新机遇，围绕数字孪生工程建设，促进数字化与工程建设运行维护深度融合，切实维护中线工程“三个安全”，推动国家水网骨干工程智慧化建设高质量发展。

2.2 建设可行性

一方面，选择与制造业车间较为相近的泵站工程，可参考相对成熟的数字孪生车间技术成果和解决方案，开展物理泵站“人一机一物一环境”互联共融技术、虚拟泵站仿真运行与验证技术、泵站孪生数据管理技术、数字孪生泵站虚实交互技术、泵站自组织自适应动态调度技术的研究与应用工作，保证技术的可实施性。同时惠南庄泵站拥有较完备的基础设施条件、BIM数据和业务应用系统，有力支撑了数字孪生建设工作。

另一方面，信息化技术的快速发展和广泛应用，为数字孪生水利工程系统建设提供了应用示范及技术支撑。特别是云平台技术、大数据技术、物联网技术、高分辨率空间网格及面向服务的体系架构的日益成熟^[1]，为项目建设提供了大量新的技术和方法。随着高性能计算存储技术的快速发展，大规模的智能化、网格化的实时调度及模型计算已经成为可能。

3 数字孪生建设

3.1 水质预测模型

利用水质机理模型对全线水质监测站点的温度、氨氮、高锰酸盐指数、溶解氧等监测指标的水质时空变化进行预测预报。

3.2 污染物输移扩散模型

基于不同类型风险污染物的扩散输移规律，耦合水动力模型、风险污染物输移扩散模型及现代数据挖掘技术，通过污染发生渠段、污染投放量、污染发生位置、流量、水深，计算时间步长、退水闸启用情况等输入条件，模拟预测调水工程风险污染物发展趋势，基于数字孪生场景，实现风险污染物时空变化过程演进的精准仿真模拟，提升水动力数字孪生效果和模型效率，为风险污染物预警处置和调度调控决策提供智能化应用服务和决策支持。

3.3 安全监测数据错误及粗差辨识模型

研发中线工程安全监测数据错误及粗差辨识模型，基于安全监测数据趋势预测、仪器量程、材料强度极限等信息，运用统计学、机器学习、构建模型等，对安全监测感知数据粗差自动辨识，对粗差处置提出建议，夯实数据底板，输出整理整编后的监测效应量观测序列。

3.4 设备风险分析统计模型

构建金属结构场景感知模块，实现场景数据的获取、处理和存储，针对多源数据中存在噪声和干扰问题，采用信号处理方法进行波形数据降噪处理；由于不同通道的信号对

诊断和预测有不同的贡献，基于分布式注意力机制构建特征注意力机制来加权不同特征和时间步长数据的表示；构建自编码神经网络模型，实现故障特征的自动提取。

以物理模型和虚拟模型的数据为基础，构建高斯混合模型实现对金属结构全寿命周期的健康阶段划分；结合场景感知模型和迁移学习实现对闸门关键零部件的故障定位；构建时间卷积神经网络的预测模型，实现对金属结构的剩余寿命预测^[2]。

建立泵站设备及供配电设备分类故障预测算法，结合设备使用过程中固有周期性、运行变化趋势等特点，有效对泵站设备及供配电设备运行过程中常见故障做出预测性判断。如闸门腐蚀预测、轴承寿命预测、振动损伤预测、供配电故障预测等。

3.5 视频 AI 识别模型

主要包含建筑物风险识别模型、金结类风险识别模型、关键区域风险识别模型。基于高清视频，在视频 AI 识别模型下，针对建筑物风险（如流道异物堵塞，闸孔、过流孔洞外立面破损）、金结类风险（如闸门、启闭机等设备锈蚀或者变形）及关键区域风险（未知人员的进出、危险器具来源的携带等）进行视频智能分析识别，及时发现安全隐患并告警。

风险污染物智能识别：基于水质和藻贝类的常规监测数据，以及无人机影像、水下机器人自主巡航等补充数据，结合现场信息反馈，实现风险污染物智能识别。

视频识别模型包括对人脸识别、人员逗留、烟火检测、水尺读数识别、闸门开度尺读数识别、安全帽佩戴检测、救生衣穿着检测、漂浮物检测、垃圾堆检测、水体颜色检测等视频监控场景进行图像智能分析^[3]。

4 数字孪生业务应用

4.1 生产运行系统

生产运行系统充分利用数字映射、数字孪生、仿真模拟等信息技术，构建惠南庄泵站输水调度业务场景，通过预报预警，结合智慧化模拟与调配预演，制定相应的预案措施，为调度手段选用等提供决策依据。基于二/三维可视化场景，对惠南庄泵站及北拒马河暗渠工程管理区域内的设备进行综合管理、可视化表达，结合设备状态在线监测数据、状态分析指标等数据以及摄像头 AI 识别结果，构建生产运营管理专题场景，并实现运行状态实时展示、设备故障智能诊断、检修记录可追溯以及巡检过程实时跟踪，满足管理者针对生产运行场景的管理需要^[4]。

4.1.1 智能诊断

数字孪生惠南庄泵站作为南水北调中线工程的先行先试试点，在系统建设时在保证满足自身需求的前提下，尽可能地推广到数字孪生南水北调中线工程建设。智能诊断系统作为通用性系统，在建成后应部署到中线云，供中线全线

调用。

智能诊断模块汇集泵站温湿度、水泵振动等实时运行工况的监测感知信息,结合 BIM 模型实现泵站实时状态及报警信息的展示。通过构建数理统计模型,进行机电设备故障诊断分析,对泵站机组运行状态进行预测性分析研判,实现设备故障预判及智能诊断。

4.1.2 智慧巡检

智慧巡检系统基于物联网、视频识别、无人机、巡检机器人等技术手段,将位置信息、声像信息通过 4G、5G 等网络进行传输,系统下达各类巡检任务后,根据计划任务,对整个巡检开展事前管理、事中控制以及事后分析,并将最终巡检结果进行输出,实现巡检工作的闭环管控。包括数据底板:健康预测大数据模型、智能巡检一张图,系统建设(事前管理、事中控制以及事后分析):巡检网格化管理、巡检信息管理、违法行为等统计管理、异常预警及预案发布、泵站维修养护管理、突发事件响应、实地巡检 APP 功能,各功能整体包含巡检预报、健康预测、异常预警、预案生成的“四预”功能体系^[5]。泵站远程监控系统如图 1 所示。

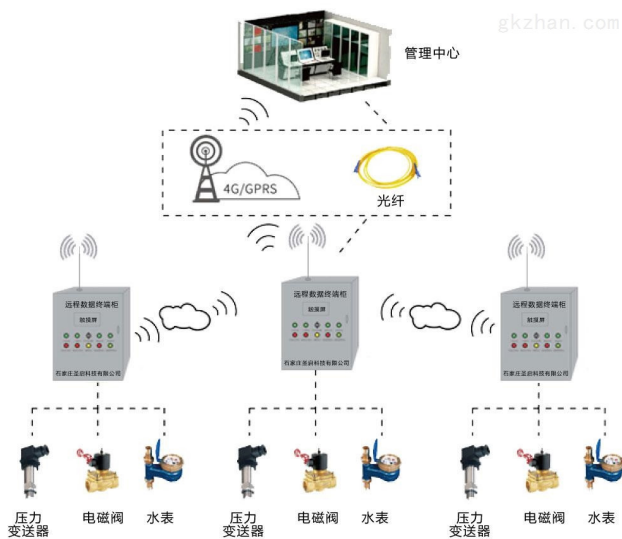


图 1 泵站远程监控系统

4.2 泵站安全管理系统

泵站安全管理系统汇集了泵站变形、渗流、应力、温度等安全监测信息,依托泵站数字化场景综合展现工程安全监测、设备工况、危险源、隐患信息,全面掌握工程环境、视频监控、安全监测、安全隐患排查动态,实现工程管理的规范化、标准化及信息化,不断提高泵站设备作业人员的安全意识、责任意识,最大程度减少或规避工程运行中的安全隐患。

4.2.1 工程安全预演

通过调用仿真计算模型,在数字孪生场景中对工程安全状态进行评估和推演,超前发现潜在风险,得到不同调度场景下的不同结果,利用可视化模型生动直观地展示预演场

景的各种要素。

4.2.2 隐患排查管理

对工程安全隐患问题进行管理,主要实现安全检查隐患上报治理及统计分析,制定标准的隐患排查治理工作流程,主要包括登记、审核、整改、验收、关闭、输出报表。通过建立隐患台账,实现隐患核查、隐患整改、隐患复验收的全流程化封闭式管理。各项隐患状态实时跟踪并预警提醒,保证隐患核查、整改、经办、复验收的及时有效。

4.2.3 安全监督考核

对惠南庄泵站工程运行管理中的考评办法制定、现地工程管理检查、分级考评等环节提供信息支持。该系统由工程管理考核模型管理、考核计划及组织管理、工程现地检查情况记录、工程管理考核分级考评等 4 个模块组成。

4.2.4 应急会商决策

应急会商决策基于数字孪生平台对应急事件的实时监控信息进行可视化展示,通过对应急事件实时信息的智能分析,获取对当前应急事件的总体描述,并通过对应急事件的态势推演,为应急事件的综合研判、应急现场处置及部署提供辅助决策支持。

根据惠南庄泵站会商业务流程的特点和需要,将会商支持系统划分为会议管理模块、信息组织处理模块和会商结果管理模块三大模块。会议管理模块主要包括会议流程管理、议题管理和讨论管理三个功能,会商信息组织处理模块主要包括会商信息组织、会商汇报平台和会商模板管理三个功能,会商结果管理模块主要包括程序性文档管理和技术型文档管理两个功能。

5 结语

数字孪生惠南庄泵站项目建设,应用数字孪生技术,在泵站全域范围内实现 BIM 建模,实现全要素监控、全过程监管,对水量调度、泵站检修、日常巡检等过程进行精准化模拟和超前仿真推演,有助于科学合理地制定调度运用方案、精准可靠地控制工程设施以及实时精确地掌握泵站安全状况,实现对泵站管理精细化、趋势预测精准化、决策支持科学化,将有力保障惠南庄泵站安全稳定运行,提高应急处置能力,保障泵站效益充分发挥。

参考文献

- [1] 张绿原,沈启航,谈震,牛霄飞. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电, 2021(1):4-21.
- [2] 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(11):5-9.
- [3] 刘斌,蒋涛,吉庆伟,等. 数字孪生技术与智慧水利系统的融合及应用[J]. 江苏水利, 2022, (z2).
- [4] 霍建伟,李永胜,张军辉,等. 数字孪生技术在引调水工程运行管理中的应用[J]. 小水电, 2021(5).
- [5] 张绿原,胡露露,沈启航,等. 水利工程数字孪生技术研究与探索[J]. 中国农村水利水电, 2021(11).