

基于数字孪生的泵站工程安全运行管理系统设计与实现

陈响 李洋 马凯文

江苏省骆运水利工程管理处

DOI: 10.12238/ems.v6i5.7699

[摘要] 近年来,伴随着物联网、大数据和 AI 等科技的飞速进步,利用最新的信息科技来构筑数字孪生流域和智慧水利保障系统,促使水利项目实现智能化的转型,深入了解泵站在水利设施中的核心地位,运用数字技术实施有力的运营管理以保证泵站稳定可靠地运作,彻底排查并消弭潜在的安全风险,充分利用泵站潜能,以助推水利基建的可持续增长。

[关键词] 数字孪生; 水利工程建设; 现实困境; 管理路径

Design and Implementation of a Safe Operation Management System for Pump Station Engineering Based on Digital Twins

Chen Xiang, Li Yang, Ma Kaiwen

Jiangsu Luoyun Water Conservancy Engineering Management Office

[Abstract] In recent years, with the rapid progress of technologies such as the Internet of Things, big data, and AI, the latest information technology has been used to construct digital twin watersheds and smart water conservancy guarantee systems, promoting the intelligent transformation of water conservancy projects, deeply understanding the core position of pumping stations in water conservancy facilities, implementing effective operational management using digital technology to ensure stable and reliable operation of pumping stations, thoroughly identifying and eliminating potential safety risks, fully utilizing the potential of pumping stations, and promoting sustainable growth of water conservancy infrastructure.

[Key words] Digital twin; Water conservancy engineering construction; Realistic dilemmas; Manage Paths

数字孪生技术,通过将传统科技、人工智能、区块链、云计算、大数据、虚拟现实等创新科技相结合,形成一个基于实体和虚拟映射的网络系统,这个系统能够对物理环境进行全面、多角度、多层次的模拟仿真,从而实现物理环境与信息环境的实时互动和整合。通过将数字孪生技术与水利工程建设相融合,创造出一种拥有实时监控、动态管理等多元化特性的数字孪生模型,这对于在水利工程建设现实世界和虚拟世界之间架起桥梁,以及解决水利工程建设与信息化技术交叉融合的难题,都起到了积极的推动作用。水利项目中泵站扮演着不可或缺的角色,具备供给城镇居民生活及工业农业生产用水的能力,并且拥有水量调节和排涝的功能,能有效防止暴雨洪水造成的洪灾,确保民众生命与财产的安全,同时也能确保国家的水资源安全得以维护。泵站的稳定运作对于水利建设的工程品质具有决定性作用,倘若其日常操作不具备必要的安全性,频发的故障或各种潜在安全风险必然削弱了水利工程的整体性能,难以达到水资源合理调配的目标,从而极大减少了水资源的使用效率,并对防治水旱灾情、促进流域整体协调发展产生负面效应。

1 数字孪生技术应用于泵站的关键能力研究

1.1 基于多源异构数据融合的数据底板研究

信息基础层在水利枢纽的安全监控管理系统中担任关键

数据动力角色,通过构建集中的数据资源库,聚集所有与水利枢纽保障运营息息相关的数据,并依托于高效的数据管理策略,构建数据共享框架及规范标准,旨在为高级业务处理提供坚实的数据基础。

1.1.1 数据资源池

通过运用监控工具、应用软件、网络等手段搜集并集中泵站稳定运作所需的关键数据,建立资料数据库,涵盖水利泵站的 BIM 模型、河流两岸的倾角摄影资料、垂直视角地图照片、数字化地形等多种地理空间信息,同时包含了水工建筑、金属构造、机械电子器械、监控设施等基本属性信息,以及位移量、地面沉降、水渗流量、结构应力与应变、环境参数等由人工观察和实时监测所获取的数据。

1.1.2 数据模型

搜集而得的数据需整合进水资源实体的空间定位、职能职责、特性参数及其相互关系中,从而构建出包括建筑信息模型和地理信息系统实景模型在内的数据模型体系。工程的土木结构和电力设施部分须创建用于展示和性能分析之用的功能性 BIM 模型,且模型精确度需达到 LOD2.0 水平;泵站及其启闭机械等重要装置必须创建包括精确数目、尺寸、外形、定位以及方位详细资料的构件级建筑信息模型,其精细程度需符合 LOD3.0 的标准;项目邻近的区域须运用自动飞行器、

全球定位系统实时动态技术等仪器, 搜集倾角摄影成果、地面控制点位置和航测定位系统资讯等资料以构建地理信息系统的实地模型, 其地表解析度需达到高于 0.03 米的标准。

1.1.3 数据管理

水利枢纽的作业信息显示它融合了跨学科、多样性和各种数据形式, 必须实施对来源不一的数据的集中治理, 以增强数据的标准化和实用性具体工作包括:

①就泵站项目操作的数据属性和实际需求来看, 我们将搜集到的数据进行了分门别类, 并创建了一个数据资源索引。

②构建数据溯源结构, 执行数据联系、结构调整、特征规范化以及逻辑一致性的相关处理任务。

③形成品质评估准则, 实时跟踪整体数据品质状态。

④拟定数据安全控制策略, 对数据的储存、获取、复制、淘汰等进行层次性管理。

1.1.4 数据服务

为满足泵站项目运维安全的管理要求, 应构建数据互通共享的体系及其配套功能。对机制构造而言, 泵站工程的基础数据平台依据流域基础数据平台的数据互换体系, 其与区域水利机构和不同领域的部门间的资讯共享是通过信息共享平台来完成的。就功能而言, 泵站项目的基础数据平台需要拥有数据互通功能, 并能够支持状态跟踪、信息检索、数据订阅服务、以及生成可视化报告等数据共享服务。

1.2 基于数据驱动的水泵站安全模型研究

1.2.1 安全评估模型

针对工程属性及运营维护的必要性, 对泵站的所有部分以及相关设备进行了安全性影响的深入考察, 进而构建了包含标准、条款、主体、领域四个层级的全面安全评价框架, 涉及建筑物、金属构架、设备设施、操作流程、周边环境等六个类别。依托网上监控数据及专人评判结果, 构建安全评价标准: 对定量指标, 将历史监控数值与设定的标准范围进行对照, 并对各个级别的异常数据出现的几率进行统计, 运用概率分析方法来推算出量化指数的评分; 对定性指标, 运用模糊评价方法, 经由运维团队对指标各阶段状况的差异性判断, 构筑起了一个集成了指标和评述的模糊评估矩阵, 以此来推算出定性指标的评分结果。

1.2.2 安全分析模型

工程所在地的水文和气象条件、工程的操作模式与工程的安全状况息息相关。为了预判工程安全性未来的发展方向, 首要任务是评估周边环境因素及泵站开闭方式对安全性的作用力度。对上下游水位、泄洪量、降水情况、风力强度、泵站开启程度等因素进行逐一估算其与结构位移、沉降情况、渗水量、受力与变形等的关联度, 挑选出关联度显著的关键影响因子。利用过往的监控数据作为学习样本, 构筑起一个将安全指标与各影响要素相联系的多重回归分析模型。伴随着持续流入的监控数据, 系统将自行调整算法参数, 以提升计算模型的精细度, 并且实现安全分析模型的实时刷新。

2 典型泵站应用分析

2.1 安全评估

计算各个监控指标与构件/设备、相关专业和整体工程的

评估得分, 有助于管理者了解施工现场的安全状况, 识别潜在的问题和风险区域, 为之后的维护与修复活动提供决策支持。对定量指标, 必须确立一系列评估指数的标准划界, 该系统将这些指数的实际测量数据作为输入源, 并利用评估程序自行推算出每项指数的评分; 对定性指标, 用户依据其经验需输入相应的得分。系统提供自动建议或手动设定的指标权值, 算出结果后会显示不同层次的指标评价, 对于异常的指标进行风险识别与成因探究, 并提出适当的维护保养计划。

2.2 安全监测

汇总测量仪器的基础资料、监控数值动态、预警日志等众多数据, 采用二维和三维展现、虚拟模拟、简化图解等多重视觉手段进行归纳呈现, 全方位跟踪监督工程安全状况, 为泵站的调控操作提供建议与监督支持。利用 BIM 模型作为平台连接监控装置, 显示装置的特性、安装详情、监测数值动态和监控视讯等内容, 能够实时检索监测参数的即时与过往变化, 并且提供图形分析、数据输出和视频复查等多项服务功能。一旦监测到的数据超出设定的临界范围, 系统马上向操作者发出通知, 并在数字孪生模拟环境中把出现问题的机械及其潜在危险区用突出的色彩标示出来, 同时利用色彩的差异来区别警告的严重程度。

2.3 安全分析预警

针对调度指令发布、极端气候变化、紧急状况等多种实际操作环境, 通过实时跟踪监控水库的上游和下游水位、泄洪量、风力强度、降水量以及安全运行标准等数据, 利用复合回归分析预测手段和有限元素法, 对泵站结构的变形与渗漏行为实施预判和模拟, 从而为决策层提出的决策供给科学论证和技术辅导。

3 结论

利用数字技术构建泵站运营的保障体系, 在数值基础架构的支持下, 通过应用安全分析模型与评估算法, 实现对水利工程重点区域的预测警示和虚拟演练, 对异常数据进行成因解析和风险判定, 并智能搭配适宜的应急预设方案。通过整合宏观地域布局、精细的工程 BIM 模型、泵站操作数据、及数模算法的分析结果等数字孪生关键组件, 能够模仿工程要害节点在多变环境下的安全性能动态, 这样不仅减少了运行维护的开支、增强了管理效率, 也为确保泵站稳健运作提供了重要决策支持和依据。进一步探讨泵站运作的安全机制和维修保养工作对其有多大影响是必要的, 我们需要不停地优化计算模型, 以此来为泵站的智能化安全管理系统提供实践基础。

[参考文献]

- [1] 贾新胜, 马存兵, 董庆杰. 数字孪生调水泵站工程可视化模型构建和数据交互技术研究与应用[J]. 中国水利, 2024, (01): 64-69.
- [2] 曹帅. 大型泵站立式水泵机组大修管理的质量管理对策研究[J]. 流体测量与控制, 2023, 4 (06): 11-13.
- [3] 朱博文. 基于 Pareto 最优解的调水泵站多目标优化运行方法研究[D]. 扬州大学, 2023.