

# 基于数字孪生技术的水电站安全集中式监控平台

黄鑫 廖婉莹 谢怀宇

福建水口发电集团有限公司 福建 福州 350001

**摘要:** 针对传统水电站安全监控平台中各子系统集成性弱,不利于工作人员综合多类信息进行安全评判的不足。本文基于数字孪生技术,提出一种水电站安全监控集中式管理平台,通过将高精度三维仿真模型与现实数据信息深度融合,建立可集中管理大坝安全的虚拟场景,具备有大坝监测、状态监测、水情调度、航运调度、智能监控等多种功能,并最终在我国东南部某水利枢纽工程中进行了应用,证明平台的有效性和可行性,为提升水电站安全管理水平提供有效的技术方案。

**关键词:** 水电站安全管理; 信息化; 数字孪生

## 引言

水电作为关键的清洁能源,是构建新型电力系统的重要调节性资源,对实现我国双碳目标有着极大意义<sup>[1,2]</sup>。然而水电站在发挥电网调峰调频、防汛保电等工程效益的同时,也承受着各类动、静循环荷载的耦合作用,且随着电站服役年限的增加,水工结构也将产生不同程度的老化问题,造成结构的稳定性下降,严重影响电站健康服役<sup>[3]</sup>。

为确保能够在水电站服役性态转异前及时发现异常,从而降低水电站各结构的病变风险,多种安全监控系统被应用于各大水利工程中,并取得了诸多的成效,切实提高了水电站的安全管理水平<sup>[4-6]</sup>。然而,传统的安全管理监控平台由于各系统间相互独立,各个功能数据无法一体化管控,不同类型的数据交互性弱,需要通过作业人员依靠人工经验,不断在各系统间查阅数据才能完成对水电站安全的综合评判,极大增加了人工成本<sup>[7,8]</sup>。因此,如何建立一套可有效集中管理水电站多源异构数据的安全监控平台以进一步保障水电站安全稳定运行,成为当前坝工界研究的重点之一。

近年来,随着信息技术的持续发展,多种先进的数据融合技术被提出并应用在各大工程领域之中,其中,数字孪生技术由于可在虚拟空间中映射真实对象,能够有效集成对应实物的全方位数据信息,从而直观反应出本体的运行情况,被证实是一种可有效集成数据的技术手段,已在工程建设、能源电力等行业中创造了良好的效益<sup>[9-10]</sup>。为此,本文提出一种基于数字孪生技术的水电站安全监控集中式管理平台,通过数字孪生技术实现将水电站安全管理中机组信息、结构监测信息等多方位数据一体化管理,以进一步克服传统水电站安全监控管理平台集成性弱的不足,切实提升大坝安全管理水平。

## 1 关键技术

### 1.1 面向水电站安全管理的数字孪生技术

数字孪生的核心在于通过集成多种仿真技术,建立某个实体对应虚拟版的“克隆体”,从而能够实时反应实物的真实状态,并模拟推演该实物在各类工况下的变化情况,通过将数字孪生技术应用于水电站安全管理,可以有效将水电站运行中机组发电、航运调度、大坝服役性态等多方位数据统一在虚拟平台中展现,使得用户可通过查看虚拟水电站的服役状态即可快速对当前电站的安全状况做出判断。

### 1.2 高精度三维虚拟建模技术

为建立接近真实状态的水电站仿真模型,需要采用高精度的建模手段,通过三维激光扫描、倾斜摄影等多种技术手段,可获得精细的细节、锐利的边缘和几何精度,从而创建出细节丰富的三维实景模型,为提高安全管理平台的交互性和直观性提供了良好的技术支持与解决方案。



图1 高精度激光扫描点云

### 1.3 高并发量系统框架

为保障平台能够根据现场监测数据实时更新虚拟场景,需要建立能够应对高并发量数据流的系统框

架。平台采用具备良好稳定性的“B/S+C/S”框架进行研发，能够有效调动计算机资源，面对传输繁杂的安全监测信息数据时，能够有效保障数据的安全性和高效性，大大降低系统数据交互时的承载负荷。

## 2 基于数字孪生技术的水电站安全监控集中式管理平台设计

### 2.1 系统架构

为切实强化水电站安全管理的智能化水平，本文通过以数字孪生技术为核心，设计了水电站安全监控集中式管理平台架构，主要包括有业务应用层、管理对象层、数据层和信息传输层组成，系统总体架构设计如图2所示。

在对象层中，平台主要面向水电枢纽中大坝、船闸、厂房、升船机等主体水工建筑物的安全管理需求进行设计研发，通过建立各个结构对应的安全管理规则，

使得系统逻辑更趋近于现场实际需求，以便于用户能够好分析判断水电站的安全运行情况。

在数据层中，平台依托数字孪生技术，将变形、水位、渗漏等安全监测值以及建筑物空间信息等多方位数据集中融入至虚拟模型中，使得用户仅需在单个虚拟三维场景中就能够实时查阅水电站的多方位数据，有效克服传统安全监控管理平台数据集成性弱的问题。

在应用层中，平台可为用户提供大坝监测、状态监测、水情调度、航运调度、智能监控等应用服务，为用户实现水电站的安全智能管理提供有效技术支持。

在展示层中，平台可基于三维虚拟场景、实时监测报表、现场真实影像等多种可视化形式向用户反映水电站的运行情况，可为用户提供良好的交互体验，有效提升水电站安全评判的效率。

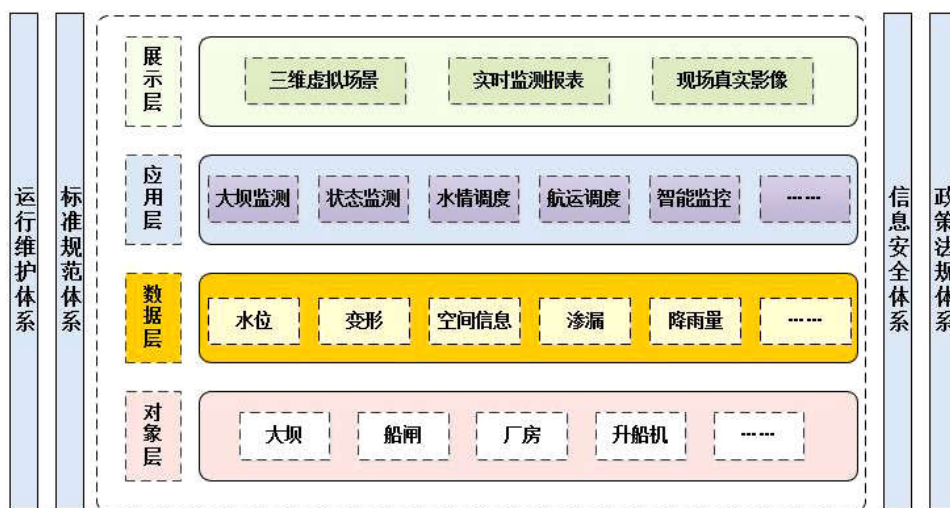


图2 系统框架

### 2.2 主要功能设计

#### 2.2.1 大坝监测模块

该模块可24小时不间断监测水电站中各结构部位中变形、渗流、应力应变、环境量、强震等数据，并可对监测数据进行自动处理和分析评判，在线监控大坝安全状况，辅助大坝安全管理决策。

#### 2.2.2 状态监测模块

该模块通过采集机组各处传感器，可远程在线监测机组运行情况，涵盖了机组振动、摆度、压力脉动监测，转轮空化噪声监测、发电机空气间隙监测等多种监测指标。同时该模块可在监测数据的基础上通过结合人工智能技术，实现对每台机组的故障分析、安全报警等功能，切实为保障机组的安全稳定运行、改进机组的检修水平提供有效的技术支撑。

#### 2.2.3 水情调度模块

该模块采用VHF、GPRS和北斗卫星混合同心组网方式，具有水文数据自动计算、流域水情动态监视、图形报表自动生成等功能。

#### 2.2.4 航运调度模块

该模块集成船闸计算机监控系统、船舶吃水深检测系统、船舶调度系统等多种航运管理系统，可提供有船舶登记、过闸数据统计、报表生成等功能。

#### 2.2.5 智能监控

该模块结合机器视觉、物联网、机器学习等技术，可结合现场监控视频实现识别人员违章、设备故障等功能，切实提升工作人员对设备状态、作业人员状态的掌控力度。

## 3 工程应用

为验证平台的应用效果，将本文所提出的基于数字孪生技术的水电站安全监控集中式管理平台应用于我国

东南部某水利枢纽工程中。该枢纽由混凝土重力坝、坝后式厂房、一线三级船闸等结构组成,承担有防汛拦洪、航运发电等多个重要任务。

本文基于上述平台设计思路和关键技术,采用三维激光扫描仪和高分辨率相机获取水电站各部位完整三维坐标点云数据和表面图像及纹理,建立相应虚拟三维模型,并通过数据导入,使得各模型与现场监测数据连通,达到“孪生”效果,并最终基于虚拟场景,搭建对应的可视化管理平台,从而实现水电站安全的集中式管理,该平台界面如图5所示。



图3 全息图像



图4 虚拟三维场景



图5 平台界面

#### 4 结语

随着我国安全管理标准的持续提升,当前水利行业对水电站安全管理的智能化需求也在不断提升,本文针对传统水电站安全管理系统集成性弱,交互性不足等问题,提出了基于数字孪生技术的水电站安全监控集中式管理平台,有效集成了水电站安全管理中水情、雨情、安全监测值等多方位数据,并可通过三维虚拟场景等多种方式直观地向用户展示了水电站的运行情况,实现了大坝监测、智能监控、水情调度等功能,有效帮助工作人员进一步强化水电站的安全管理水平,为实现智能管理提供了有效的技术手段。

#### 参考文献

- [1]张彬.“双碳”目标下水电未来发展思路浅析[J].中国电业,2021(12):78-80.
- [2]张博庭.水力发电是我国能源革命电力转型的安全保障[J].水电与新能源,2022,36(05):1-6.DOI:10.13622/j.cnki.cn42-1800/tv.1671-3354.2022.05.001.
- [3]顾冲时,苏怀智,王少伟.高混凝土坝长期变形特性计算模型及监控方法研究进展[J].水力发电学报,2016,35(05):1-14.
- [4]张治.黄河流域梯级水电站大坝安全监控信息管理系统建设[J].中国科技信息,2021(Z1):77-78.
- [5]朱亭.基于BIM的托口水电站大坝三维可视化安全监控研究[D].长沙理工大学,2019.DOI:10.26985/d.cnki.gsjc.2019.001185.
- [6]杨娟.基于BIM技术的水电站建设施工现场安全监控系统设计[J].水利科学与寒区工程,2021,4(03):80-83.
- [7]向行,盛金保,刘成栋.水库大坝安全智慧管理的内涵与应用前景[J].中国水利,2018(20):34-38.
- [8]张晓松,冯永祥,李小伟.雅砻江流域大坝安全信息化建设与应用[J].四川水力发电,2014,33(02):158-161.
- [9]董杰,宋利明,黄赞鹏,陈志敏,林丽娟,贾清泉.含高比例光伏配电网电压安全性数字孪生预警方法[J/OL].现代电力:1-13[2022-10-07].DOI:10.19725/j.cnki.1007-2322.2021.0261.
- [10]丁恩杰,俞啸,夏冰,赵小虎,张达,刘统玉,王卫东.矿山信息化发展及以数字孪生为核心的智慧矿山关键技术[J].煤炭学报,2022,47(01):564-578.DOI:10.13225/j.cnki.jccs.yg21.1930.