

# 数字孪生水电站在智能化转型中的探索与应用

向青海

(国能大渡河瀑布沟水力发电总厂,四川雅安 625304)

**摘要:**当前世界正在经历第四次工业革命,随着人工智能、大数据、物联网、云计算等技术的飞速发展,能源行业也正在进行智能化升级,行业格局也在发生着深刻变化,传统生产模式正在被重新塑造,取而代之的是更加智能更加高效的数字生态系统。文章阐述了智能化转型的必要性,介绍了某大型水电站开展的以数字孪生水电站建设探索智能化转型升级的实践经验,以及取得的效果,为行业智能化升级提供参考和借鉴。

**关键词:**能源革命;数字孪生水电站;智能化转型

**中图分类号:**TV211.1+4;TV741

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2024)增 1-0015-04

## Exploration and Application of Digital Twin Hydropower Projects in Intelligent Transformation

XIANG Qinghai

(CHN ENERGY Dadu River Pubugou Hydropower General Plant, Ya'an Sichuan 625304)

**Abstract:** The world is currently experiencing the fourth industrial revolution, and with the rapid development of artificial intelligence, big data, Internet of Things, cloud computing and other technologies, the energy industry is also undergoing intelligent upgrading, and the industry landscape is undergoing profound changes, with the traditional production model being reshaped and replaced by a more intelligent and efficient digital ecosystem. This paper explains the necessity of intelligent transformation, and introduces the practical experience of exploring the intelligent transformation and upgrading with the construction of digital twin at a big hydropower project, as well as the results achieved, so as to provide reference and reference for the intelligent upgrading of the industry.

**Key words:** Energy revolution; Digital twin hydropower Project; Intelligent transformation

### 0 引言

云计算、大数据、物联网、量子通信、区块链与人工智能等数字技术,引领第四次工业革命发展与演进,加强了对信息的采集、存储、分析和共享,促进了生产方式和经济形态的数字蝶变,数字经济逐步成为中国高质量发展的重要推动力<sup>[1]</sup>。与之相适应,中国先后出台了“中国制造 2025”“互联网+先进制造业”“新一代人工智能”等发展战略与规划,各行各业都在推进创新工作,向智能化方向转型,共同支撑中国工业高质量发展。

党的二十大明确提出要“深入推进能源革命”,在产业智能化进程下,能源行业智能化转型的必要性和重要性愈发凸显。当前能源革命与数字革命融合发展、开放共享能源生态建设呈现“双

提速”趋势,大数据、互联网、5G、人工智能等关键技术不断发展融合<sup>[2]</sup>。国家电网公司提出“发展以特高压电网为骨干网架、各级电网协调发展的坚强电网为基础,以信息化、自动化、互动化为特征,自主创新、国际领先的坚强智能电网”,启动了电网智能化转型。水电站作为电网发电环节的重要组成部分,在智能电网规划和发展的统一要求下,其智能化建设将是今后的主要发展方向和全新的目标,同时,水电站智能化对于水电行业建设也是一项刻不容缓的重要工作<sup>[3]</sup>。

随着能源革命和数字革命的双重叠加,物理电厂与数字电厂孪生应用是一个重要的研究方向<sup>[4]</sup>,数字孪生技术已经成为现代工程建设领域的一种创新方法<sup>[5]</sup>。某大型水电站提出建设基于数字孪生技术的智能水电站,对水电站进行智能

收稿日期:2024-07-24

化升级。智能水电站的就是构建一个物理水电站的数字孪生体,对物理水电站全方位完整、精确的进行数字画像,将水电站的生产过程虚拟化、数字化,可用来对物理水电站实体进行模拟、监控、诊断、预测及控制。

## 1 智能化转型的必要性

(1)行业发展方面。国家电网公司提出的发展自主创新、国际领先的坚强智能电网已经全面启动,水电站作为电网发电的重要组成部分,在智能电网规划和发展的统一要求下,其智能化建设将是今后的主要发展方向和全新的目标,水电站智能化对于水电行业建设也是一件刻不容缓的重要工作。

(2)数据利用方面。水电站生产过程中每天都在产生海量的数据,目前仍旧只是使用实时数据来监视设备的运行状况,历史数据只是用作事故追忆和定期设备分析,生产数据的潜力价值有待开发。利用历史数据可以开发出设备状态监测系统预测预警设备故障,建立设备健康状态评价模型,科学评估并量化设备健康度,为设备检修维护策略提供技术支持,唤醒沉睡的历史数据,发挥出水电站生产数据的真正价值。

(3)生产模式方面。水电站运行维护仍旧有大量工作需要人来执行,例如巡回、倒闸操作、定期设备状态分析等,重复性、机械性的工作很多;以往设备定期进行检修,即刚性检修,刚性周期检修造成一定的浪费,需要向弹性周期性检修方面转化;监控系统能够实时监测设备状态,但无法提前预测设备故障,若能提前预测则可避免设备损坏;现场有监控系统、工业电视系统、通风系统、门禁系统等多个系统,但是系统之间相互孤立,形成信息孤岛,协同应用能力弱,缺乏统一平台破除数据壁垒,一站式综合应用这些系统,形成统一战

力;缺乏专家系统支持,现场管理太过依赖员工个人能力,生产方式亟待升级。

(4)生产成本方面。刚性的周期性检修,缺乏对设备状况进行精装把握,造成人力、物力、财力的浪费;运行维护中大量的机械的、重复性的工作浪费了人力;设备监控系统缺乏对设备故障的提前预测,造成设备损坏及相应的不良后果。这些均造成生产成本上的压力,成本管理亟待升级。

(5)安全生产方面。设备安全和人员安全管理的手段较为被动,人的因素影响较大,缺乏较为主动的管理模式,自动纠错、主动防御、实时监控、危险自动识别、智能提醒等手段较少。

## 2 智能化转型中的探索实践

当前中国能源革命和数字革命正如火如荼地展开,从中央到企业都非常重视创新工作,某大型水电站作为集团最大水电站引领着集团水电业务的发展,需要承担起智能化转型中的“排头兵”作用,因此率先提出建设数字孪生电厂的计划,利用物联网、云计算、人工智能、大数据等技术,推动传统水电站的智能化升级。

主要建设内容如下:

(1)系统通过水电站综合数据平台建设,在不同的安全分区部署数据采集服务器,针对不同的生产系统开发了标准的通信接口协议,实现了基于 IEC 60870-5 系列、Modbus 等水电站常见协议和工业电视、门禁、状态监测等厂家的专有协议的统一接入平台,并将各系统不同格式的水电生产原始数据归纳为七种基本的数据结构和数据类型,从而实现了复杂数据的集中规范存储,建成了厂站级生产数据中心,再通过电站综合数据平台将数据上送上级“云中心”,一年累计存储生产数据量超过 3 T,为各智能应用提供了坚实的数据基础。综合数据平台见图 1。



图1 综合数据平台

(2)开发了多系统智能联动系统,实现了全厂数据的全方位交互分析和应用,建立了实时监控

联动体、微机五防联动体、视频监控联动体等 5 大类 70 余项联动功能,有效降低了现场人员的工作强度,提高了电力生产的智能化水平。

(3)系统开发了一套设备运行监测分析系统。通过各系统数据内在关系、依照相关专家知识、运行经验建立的多参数联合分析数字化监盘模型,将运行人员的经验积累沉淀,通过系列规则、逻辑关系或函数表达式把专家思路与运行逻辑固化在

软件系统中,打造出智能监盘系统。同时,自动计算科学的动态报警阈值,实现设备在不同运行工况下的动态报警。通过挖掘设备运行的海量历史数据,引入机器学习、时间序列预测的方法,实时预测其变化趋势状态,当监测量将要出现异常趋势时,发出预警信息,使得运行人员有充分的时间采取相应的措施,将故障消除在萌芽状态,避免事故的发生。设备运行监测分析系统见图 2。



图 2 设备运行监测分析系统

(4)系统开发出健康度评价及趋势预警模型,对水电站主要发电设备相关评价指标进行自动计算,确定设备各部件健康状态,并根据评价结果调整检修策略,科学优化检修项目和工期,将“预防性维护”转向“预测性维护”,减少了检修中不必要的大拆大换,产生了良好的经济效益。

(5)系统应用激光导航、图像识别、物联网等技术建立了以智能巡检机器人为主、多种感知设备为辅的水电站智能巡检系统。智能巡检系统利用巡检机器人和工业电视摄像机、红外热成像、声音传感器等多种感知设备,应用巡检控制模型,自主对水电站生产设备开展巡检,实时识别处理采集的设备图像、视频、声音、温度、湿度等数据,对发现的设备缺陷及时报警。智能巡检系统见图 3。

### 3 数字孪生水电站建设成效

(1)感知能力全面提升。全面提高了现场信息的感知分析能力。系统具有标准化的数据采集、传输、处理、分析和判断功能,支持各种新型传

感器、智能仪器仪表、移动监测设备(单元)和手持智能终端到平台的接入和管控;能够实时接收和处理外部支撑系统,如气象、水情、市场等数据,具备不同生产要素信息的同步感知;支持与水电站现有音视频系统、人员定位系统、设备巡检系统的互联互通,满足不同生产场景融合应用的需要。

(2)协同优化能力提升。根据水电生产管理需求,建立了以数据驱动的水电站多系统智能联动模型,实现了不同场景下联动功能的精准触发和响应。

(3)预测预警能力提升。系统开发的设备运行监测分析系统,构建起设备分析诊断模型,利用完整的水电生产数据信息实现设备状态的实时监测和智能分析,预警预判设备运行风险,提高生产设备的可靠性。系统对生产现场安全风险定性、定量评价和计算,超过设定阈值时自动发出预警,提升现场安全管理能力。

(4)科学决策能力提升。系统利用大量的历史数据,建立水电设备健康状态评价模型,对设备



图3 智能巡检系统

健康度进行科学评价并量化,为调整优化水电站设备检修策略提供了技术支撑,为水电站设备维护节约人力和财力成本。

(5)自主运行能力提升。系统将感知能力、协同能力、决策能力和执行能力有机的结合起来,在特定场景下根据既定策略执行相应功能,并在执行过程中具备自动纠错功能,从而实现一定程度上自主运行的目标。

该数字孪生电站构建了水电站综合数据平台,并开发了标准的通讯接口,将实时监控、工业电视、门禁、状态监测、人员定位、智能巡回、智能安全帽等多个系统数据接入平台,打通各系统间数据孤岛的壁垒,为各智能应用提供坚实的数据基础。多系统数据联通后,根据水电生产管理的需要,建立了以数据驱动的多系统智能联动模型,实现了不同场景下的联动和精准触发,提高了电站应急处置能力。利用水电综合平台的生产数据建立了设备状态分析系统,具备预测预警能力,使设备故障后的被动告警通知转换为提前预测,减少设备故障率。利用海量的历史数据建立的设备健康状态评价模型,能够科学评价并量化设备健康度,以此来指导水电站设备检修维护策略,减少不必要的浪费,节省生产成本。智能巡检系统利用巡检机器人、工业电视摄像机、红外成像、声音传感器等多方面数据,综合判断及时发现设备缺陷并报警,而且系统还可具备深度学习能力,不断

提升判断的准确性,提高了水电站自主运行能力。

#### 4 结语

水电站智能化转型是能源革命的重要组成部分,也是水电行业适应未来发展的必经之路,建设智慧水电站既是响应国家号召,也是企业高质量发展的需求。该数字孪生水电站是水电行业智能化转型探索中的重要应用,它利用大数据、云计算、人工智能、物联网等技术对物理水电站进行虚拟化、数字化,实现对物理水电站实体的模拟、监控、诊断、预测及控制,升级水电站的生产管理模式,是传统电厂向智能化电厂转型的突破,对行业智能化转型升级提供了宝贵经验。

#### 参考文献:

- [1] 张亮亮,刘小凤,陈志. 中国数字经济发展的战略思考[J]. 现代管理科学,2018,(5):88-90.
- [2] 潘博,张弛,张华,等. 数字孪生变电站在电网企业数智化转型的探索与应用[J]. 电力与能源,2020,41(5):558-560,590.
- [3] 冯汉夫,石爽,马琴,等. 智能化水电站建设的思考[J]. 水电自动化与大坝监测,2010,34(6):1-5.
- [4] 彭远方,赖真明,杜广勇,等. 电力生产实时数据驱动数字水电站研究[J]. 四川水力发电,2022,1(6):58-61.
- [5] 都兴伟. 数字孪生技术在水电站建设中的探索[J]. 水电站机电技术,2024,47(2):52-55.

#### 作者简介:

向青海(1988-),男,湖北宜昌人,助理工程师,学士学位,从事水电站安全生产及智慧水电企业研发工作。

(编辑:廖益斌)