

Application Analysis of Digital Twin Technology in Digital Construction of Substations

Guojie Wang Jun Li*

Inner Mongolia Electric Power Survey and Design Institute Co., Ltd., Hohhot, Inner Mongolia, 010010, China

Abstract

Against the backdrop of ongoing informatization, intelligentization, and digital transformation, substation digitalization enables comprehensive analysis of equipment online monitoring data, terminal operational status, and behavioral recognition through integrated intelligence systems. This significantly enhances smart grid infrastructure capabilities, elevates grid construction intelligence levels, and improves operational management efficiency. Digital twin technology serves as a pivotal enabler for substation digital transformation. This paper elucidates the core principles of digital twin technology, examines the system architecture and functional applications in substation digitalization, and provides actionable insights for industry research and practice. The findings aim to facilitate the development of smarter, safer, and more reliable digital solutions for substation operations.

Keywords

digital twin; digital transformation; digital construction

数字孪生技术在变电站数字化建设中的应用探析

王国杰 李军*

内蒙古电力勘测设计院有限责任公司, 中国·内蒙古·呼和浩特 010010

摘要

在当前信息化、智能化与数字化转型的大背景下, 变电站数字化建设可实现设备在线监测、终端运行状态、行为识别等信息的综合研判与智能分析, 有效提升智能电网基础设施水平、电网建设智能化程度及运维管理效率。数字孪生技术是推动变电站数字化转型的关键支撑技术。本文对数字孪生技术的核心内涵进行阐述, 分析变电站数字化建设的体系架构与功能应用, 为业内相关研究与实践提供参考, 助力构建更智能、安全、可靠的变电站数字化解决方案。

关键词

数字孪生; 数字化转型; 数字化建设

1 引言

科技创新引领新时代方案变革, 新技术的产生与应用是推动科技发展的重要条件, 如今是大数据时代, 所有行业领域承担起数字化转型的历史使命。变电站运行方式复杂, 设备数量繁多, 信息量庞大, 对整个大电网的安全稳定运行和可靠运营管理都是巨大挑战, 因此变电站数字化建设是大势所趋, 也是势在必行。面对大数据管理, 数字孪生技术应运而生, 通过对一、二次设备及变电站场景的实时监测, 能够分析、预判故障源, 提供智能化解决方案, 实现全站主辅设备异常信息智能联动; 全站表计全部数字化上传, 实现表计免抄录; 主辅设备监控系统, 实现倒闸操作一键顺控、设

备状态一键查询、设备巡检一键执行、现场作业一次录入; 让变电站的运维工作效率得到大幅度提高^[1]。

电气一次设备按照“一键顺控、智能巡检、状态感知、智能表计、免(少)维护、标准设备、绿色环保”等要求进行选型设计, 全面提升一次设备质量和智能化水平。电气二次系统按照“就近转化、就地保护、硬件标准、软件可控、信息共享、智能计量、方便一线”等要求进行设计, 实现运维便利化和智能化。辅助设备按照“一体设计、精简层级、数字传输、标准接口、远方控制、智能联动、方便运维”等要求进行设计, 全面提升辅助设备管控能力。

2 变电站数字化建设

2.1 数字孪生技术概念

所谓数字孪生, 是指通过变电站大数据的融合分析。通过采用先进传感技术对变电站内环境、设备运行状态、各种电气量、物理量以及视频数据进行全面实时传递和采集, 利用电力数据网等通信方式, 结合人工智能、移动互联等现

【作者简介】王国杰(1987-), 女, 中国内蒙古赤峰人, 硕士, 工程师, 从事电力勘测规划设计研究。

【通讯作者】李军(1975-), 男, 中国内蒙古呼和浩特人, 本科, 高级工程师, 输变电规划设计研究。

代信息技术,实现变电站“全域数字建模、全域状态感知、故障精确定位、风险实时预测、运检智能辅助”。

数字孪生技术是对变电站大数据的深度挖掘,在变电站站端建立数字孪生一体化平台,通过三维模型为载体,融合变电站设计、基建、运维等各阶段关键数据及站端 I/II/III 区实时运维数据,直观高效展示监控系统的数据(如各电气设备实时运行的电压、电流,开关设置的开、合状态信息,故障报警等信号数据);实现站内设备状态可视化、全站二次系统虚实回路可视化展示和全域感知,实现变电站全景监视和智能运维功能;依托数字孪生所提供的增强感知、实时仿真和态势推演等技术,基于设备标准化的业务功能模型和高精度仿真算法实现变电站关键设备状态评估、风险主动预警、故障研判、培训演练、作业勘测及分析决策等智能分析等功能应用,提高电网运维的智能化水平,实现贯穿变电站设备全生命周期的数字化业务应用。为提升设备运行可靠性和使用寿命的优化运维策略提供数据依据。提高供电安全可靠,提高智慧变电站可视化、全景化、降低操作人员巡线操作危险,提高巡线操作水平与安全管理水平^[2-4]。

2.2 结构分析

变电站数字化建设应用数字孪生技术可将整个系统功

能划分为五个层次,概括为设备层、网络层、数据层、平台层和应用层^[5]。

1) 设备层,也叫感知层,依托一二次设备电气量/非电气量传感器、测控保护装置、摄像头、环境监测装置、火灾报警监测系统等测量感知终端,提供全站实时感知数据;该层是提供数据的主要场所,需要感知设备具有安全性和可靠性,保证站内数据真实、全面上传;

2) 网络层,是设备数据的一层汇集处理,通过网络设备和通信管理设备,将站区所有数据分类采集和上传,同时能够接受收上级调度指令,传输给控制设备进行控制动作,所以网络层具有上传下达的功能;

3) 数据层,提供网络数据等结构化数据、非结构化数据,以及实时数据、历史数据等时序数据、以及镜像孪生数据的纳管与访问服务;

4) 平台层,是数字孪生电网的核心部分,也是数字孪生技术的应用价值体现,依托数字孪生平台建设,能够全面提供三维可视化服务、数据融合服务、业务逻辑服务、人工智能服务,也可以根据现场要求,提供精准应用服务;

5) 应用层,该层贯穿电网设备的全寿命周期,可以根据不同业务场景,提供应用服务。

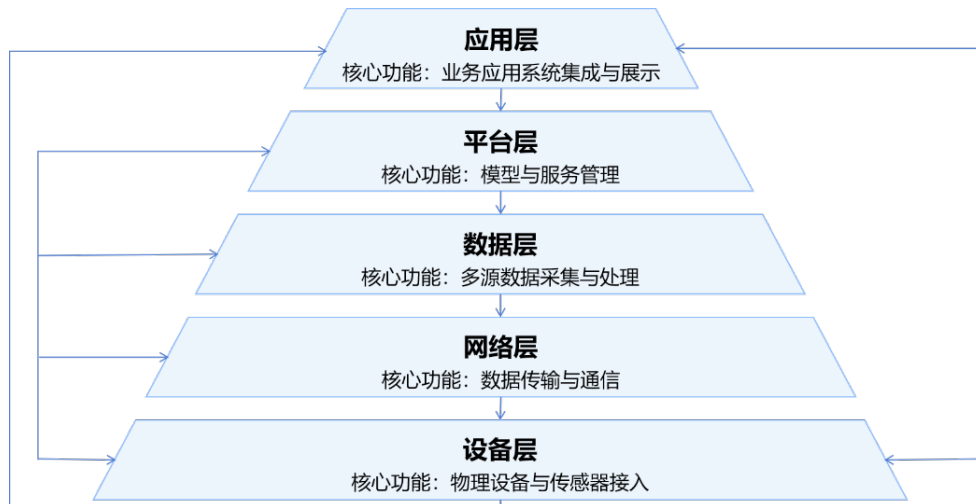


图 1 数字孪生技术在变电站的五层应用架构图

2.3 功能分析

变电站站端基于数字孪生一体化平台的建立,结合变电站实时数据的采集处理,通过通信网络设备,在站端能够实现变电站全景监视、智能运维、设备状态预警研判、培训演练和作业勘测等业务应用功能^[6]。

1) 全景监视:利用摄像头摄像资料,能够对现场实景进行联动、视频查看以及数字巡视,还可以进行三维演示,显示设备运行状态、厂区人员出入情况、设备数据信息等。包括全景 3D 技术,可查看变电站全站全景 3D 总览界面、告警信息等;实时运行数据展示、联动实时视频查看、二次系统全域感知、远程数字巡视等功能。

2) 智能运维:充分运用智慧变电站三维及点云数据,根据精确三维空间坐标,将智慧变电站设备三维模型与多维度智能巡视数据,包括在线监测、环境监测、火灾报警、视频监控和机器人巡检等系统进行关联绑定。视频智能联动、一键顺控确认、设备全生命周期管理、精准定位导航应用、故障异常设备定位。

3) 风险预警及故障研判:以设备为中心,基于资产信息、状态监测信息、运检信息以及设备设计制造特点等,结合状态监测厂家给出的设备状态信息分析结果,实现设备状态分析、趋势预测、孪生模拟、故障诊断定位等,提出变电站及设备运行风险预警。以设备在线监测为基础的状态检修是一

种动态的、根据设备实时运行状态的检修模式，能够根据设备的投运前基础信息、运行中信息、故障和事故情况、同类设备家族参考信息、实时在线监测等多源数据，有效对设备运行状态进行判断与感知。以变压器为例：对主设备温度、油色谱、历史负荷等状态监测信息及其增长率进行分析，对同一设备在相似运行工况下不同时间的监测数据进行比较，从而对监测数据变化趋势进行预测及预警。结合主设备负载、本体局放、冷却运行等特征信息，设备量测信息、辅控数据、在线监测数据等多源数据，进行主设备多维运行状态综合分析，对设备健康状态进行快速诊断。设置健康因子，对设备的监控状态进行量化评估。当诊断发现异常时，可自动进行设备异常或故障分析，对异常或故障状况进行快速定位与告警。

4) 培训演练：数字孪生技术为现场运维提供全景可视化的故障回溯演示，根据实时记录的数据，演示变压器、断路器、隔离刀闸、地刀等设备机械动作和故障发生的现象，可将已经发生的故障进行再现，实现三维故障诊断和三维故障模拟，生动的体现变电站设备运行状态，提高变电站设备操作培训、设备拆装培训、火灾模拟预演和灭火过程模拟等培训质量。

5) 作业勘测：远程数字勘测对三维场景的视角旋转、缩放，对所辖变电站内各处空间距离、面积、角度提供精确的1:1远程工勘测量；检修作业预演对检修相关数据进行动态三维渲染、检修工作三维预演以及增强现实还原现场检修场景，帮助检修作业人员熟悉现场环境、掌握作业流程，提升作业质量、优化作业预案、降低作业风险；基于AR的智能运维辅助系统由智能眼镜设备、无线传输网络及运维管理平台组成，在电力检修工作时，运维管理平台作为后台中枢部分与前端智能穿戴设备单兵终端之间建立“高效交互”渠道，健全“辅助决策”机制，搭建“数据资源”平台，赋予单兵终端智能基因。

2.4 技术难点

数字孪生技术在变电站中的应用领域包括35kV及以上新建、改扩建变电站的数字化变电站的各阶段设计。包括电网系统站、用户站的基建工程与技改工程。设计人员可根据该技术发展领域开展变电站数字化设计工作，可以全面提高设计质量和工作效率。

该技术是属于变电站科创领域里的新技术应用范畴，涉及变电站电压等级从35kV至500kV，包括户内站、半户内站、户外站等不同类型，数量多、类型复杂、建设规模差异大。涉及到30余种类型的设备，涵盖各类服务器、工作站、安全防护设备、网络设备、电源设备、通信设备、大屏幕显示设备、各类摄像机、各类传感器，设备种类多、数量大、连接方式多样、安装工艺位置等均有不同要求。

3 结语

为进一步提升工程建设数字化、智能化、智慧化水平，将深度融合基于云平台的互联网、人工智能、大数据、物联网等新技术，以整合资源，建立新一代电网生产智能运维体系，全面提升运维数字化水平。当前电网愈发复杂，运维水平相对偏弱，急需借助电网数字化管理提升整体运维能力，随着电网设备数量的不断增多，各变电站运维子系统之间业务出现高度的交叉，大量数据需要在各个运维环节中不断运转，并出现数据智能化分析的需求，以当前传统的运维方式已难以应对快速、复杂的运维需求。同时数字化技术、三维虚拟现实技术、人工智能技术在电网规划、设计、建设、运维各个阶段大量应用。本文系统阐述数字孪生技术概念、结构、功能及技术难点，为运维业务应用、公共组件提供计算、存储、网络融合资源池，实现计算、存储、网络的资源融合和统一运维，从而加快电网数字化转型，推进变电站数字化建设。

参考文献

- [1] 晏福.大数据驱动下基于数字孪生的高等教育教学模式转型[J].西部素质教育,2024,10(03):19-22.
- [2] 张惠仙,晋龙兴,付威等.面向变电站二次设备的数字孪生系统研究[J].供用电,2024,41(01):34-41.
- [3] 侯永全,王艳,苗林等.新技术下的电力智慧运维综合建设及应用研究[J].中国设备工程,2023,(S2):127-128.
- [4] 张冀,马也,张荣华等.数字孪生变电站框架设计与关键技术研究[J].工程科学与技术,2023,55(06):15-30.
- [5] 王宏霞,付艳云.建设更智慧更安全的数字电网[N].国家电网报,2023-09-19(002).
- [6] 郝向军,许明,宋晓雨.变电站数字孪生技术探讨与应用[J].数字技术与应用,2023,41(06):7-9.