

变电站数字孪生系统的设计与应用

刘海峰,池威威,贾志辉,李志雷,孙文凯

(国网河北省电力有限公司雄安新区供电公司,河北 雄安新区 071000)

摘要:“十四五”期间,雄安新区电网设备规模将快速增长,传统运检模式下需要配置大量运检人员,设备信息获取难以做到及时全面。提出建设变电站数字孪生系统,利用实时感知数据和设备三维数字模型,在虚拟空间构建现实变电站的映射体,实现变电站远程巡检、在线诊断和全寿命周期管理。该系统已在220 kV 刷村变电站投入应用,验证了系统的有效性和先进性。

关键词:数字孪生变电站;三维建模;虚拟映射;人工智能

中图分类号:TM76;TP311 **文献标志码:**B **文章编号:**1001-9898(2021)03-0008-07

Design and Application of Substation Digital Twin System

LIU Haifeng,CHI Weiwei,JIA Zhihui,LI Zhilei,SUN Wenkai

(State Grid Hebei Electric Power Co.,Ltd.Xiong'an New Area Power Supply Company,Xiong'an New Area 071000,China)

Abstract: During the 14th Five-Year period, the scale of power grid equipment in Xiong'an New Area will grow rapidly. Under the traditional mode of operation and maintenance, a large number of operation and maintenance personnel are needed, and it is difficult to obtain equipment information timely and comprehensively. The digital twin system of substation is proposed. By using real-time sensing data and 3D digital model of equipment, the mapping body of real substation is constructed in virtual space to realize remote inspection, online diagnosis and life-cycle asset management of substation. This system has been used in 220 kV Jucun substation, and verified the effectiveness and advancement of the system.

Key words: digital twin substation; 3D modeling; virtual mapping; artificial intelligence

0 引言

在数字经济、能源革命、国家战略多重浪潮的叠加之下,身处能源行业核心枢纽地位的电网企业实施数字化转型已是大势所趋。根据《河北雄安新区规划纲要》,雄安新区坚持数字城市与现实城市同步规划、同步建设,打造具有深度学习能力和全球领先的数字城市。当前,雄安新区正处在大规模集中建设阶段,“十四五”期间电网设备规模快速增长,现状电网、过渡电网、目标电网三张网将长期交织共存,传统运检管理模式下需要配置大量运检人员,必须通过数字化转型化解电网快速发展与运检人员配置不足之间的矛盾。国网河北省电力有限公司雄安新区供电公司落实国家电网有限公司和国网河北省电力有限公司数字化转型工作部署,顺应能源革命和数字革命相融并进大趋势,全力打造雄安数字化主动电网,利用大数据、云计算、物联网、移动互联、人工智能、区块

链(简称“大云物移智链”)等现代信息网络技术对传统电网进行全方位、全角度、全链条的改造^[1]。

当前,雄安新区正处在大规模建设阶段,电网将长期处于现状电网、过渡电网、目标电网交织共存状态,传统运检管理模式下需要配备大量运检人员,必须采用新的技术手段化解电网大规模快速增长和运检人员不足之间的矛盾。

1 数字孪生变电站的概念

数字孪生是以数字化方式为物理对象创建的虚拟模型,来模拟其现实环境中的行为,从而反映相对应的实体设备的全寿命周期过程。

数字孪生变电站是基于数字化标识、自动化感知、网络化连接、普惠化计算、智能化控制、平台化服务的信息技术体系和电网信息模型,在数字空间再造一个与物理电网匹配对应的数字变电站,全息模拟、动态监控、实时诊断、精准预测电网物理实体在现实环境中的状态,推动电网全要素数字化和虚

收稿日期:2021-02-26

作者简介:刘海峰(1975—),男,正高级工程师,主要从事电网运行管理等工作。

平台层利用公司一体化“国网云”、全业务统

2.1 技术路线

变电站数字孪生体系按场景应用分为设备层、电网层、业务层及管理層。其基础是围绕设备管理和评估开展的设备层,核心是围绕电网安全运行管理和决策开展的电网层,关键支撑是围绕设备及电网的安全运行开展的业务层,顶层框架是围绕物(设备及电网)和人(作业人员、管理人员)开展的管理层。

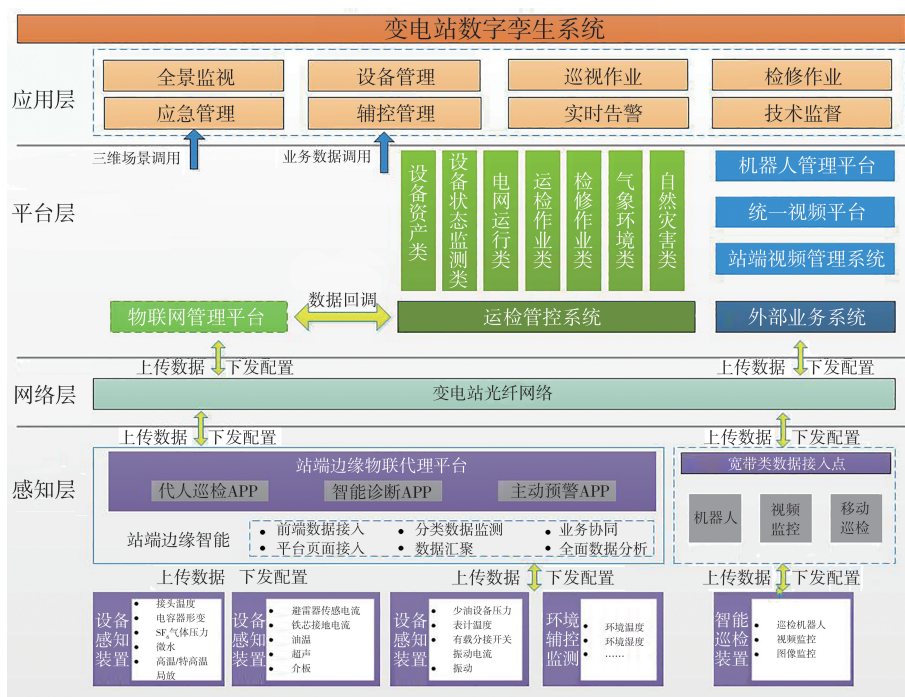


图 1 系统总体架构

一数据中心、物联管理中心等平台实现数据共享交互。物联管理平台实现物联网各类传感器及网络节点装备的管理、协调与监控,承担数据获取、状态分析和实时预警等任务,对物联网边缘计算算法进行远程配置,实现多源异构物联网数据的开放式接入和海量数据存储。

应用层实现实时监视、统计分析、三维视频融合、作业管理、虚拟巡视、模拟演练功能,融合于全景监视、统计分析、环境监视、作业管理、缺陷管理、实时告警、设备管理、技术监督 8 个子模块。

2.2.2 应用架构

变电站数字孪生系统支撑运检人员进行变电站全寿命周期运维管理。系统应用架构,见图 2。

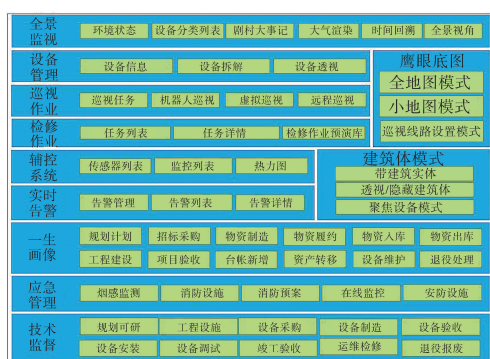


图 2 系统应用架构

a. 全景监视:实现在三维场景中以全景视角查看环境状态、设备分布、详细信息、变电站大事记、天气情况,并可以选择不同时间对变电站场景进行回溯。

b. 设备管理:实现按照不同方式查看设备信息,查看拆解的设备部件,对设备进行透视。

c. 巡视作业:实现各类巡视过程及报告查看,包括机器人巡视、虚拟巡视、远程巡视。

d. 检修作业:实现对检修过程及报告进行查看,并支持检修预演。

e. 辅控系统:实现对传感器及监控信息查看。

f. 实时告警:实现对告警信息的查看。

g. 设备一生画像:实现对设备从规划到退役的信息追溯。

h. 应急管理:实现对在线监控数据查看,并在出现消防或安防问题时,自动寻优逃生路线。

i. 技术监督:实现对监督指标的查看,并判断设备对应阶段的数据是否达标。

2.2.3 技术架构

雄安变电站数字孪生系统采用 C/S 架构,前端

使用 UE4 图形渲染引擎,采用蓝图、C++ 语言开发设计实现;后端基于 SG-UAP 3.1.8 平台开发,遵循组件化开发模式,满足“国网云”的部署和迁移要求。各功能模块通过定义的接口实现数据互通和功能调用。关系型数据库采用 MySQL 5.7,文档数据库采用 MongoDB 3.6.13。系统采用微服务架构以及前后端分离的方式进行开发,保证平台的高可用性、高可靠性及灰度发布。系统技术架构,见图 3。



图 3 系统技术架构

2.2.4 安全架构

依据 GB/T 22240—2008《信息安全等级保护定级指南》和国家电网有限公司《关于深化管理信息系统安全等级保护定级与备案相关工作的通知》,雄安变电站数字孪生系统的业务信息安全保护等级(S)定为二级,系统服务安全保护等级(A)定为二级,整体安全保护等级定为二级(S2A2G2)。系统安全架构,见图 4。



图 4 系统安全架构

3 技术创新性

3.1 数字建模

传统三维建模方法制作繁复、计算复杂、耗时耗力、效果欠佳、信息易缺失^[4]。针对变电站设备种类及数量多、环境复杂等情况,提出不同模式组合建模的策略,实现变电站可视信息快速高精度建模还原。

利用激光扫描技术对变电站整体进行全方位扫描,快速获取变电站整体模型,将得到的粗略模型进行细节优化算法计算,达到高精度模型标准,适用于大场地外景和现成场地的情况,具有结构精确、建模迅速的特质,非常适合室外变电站 1:1 无误差高精度还原^[5]。利用变电站建设时固有的 GIM 模型,包括设备、地台基础、建筑等高精细模型的内外结构及多维度信息,对其进行模型简化计算,得到高精度模型,适用于带有 GIM 模型的所有情况,特别用于未完工变电站,具有结构细致、建模迅速的特质,非常适合室内变电站 1:1 高精度建模。高精度变压器设备数字建模示例,见图 5。

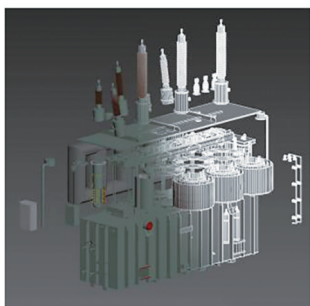


图 5 高精度变压器设备数字建模

3.2 “虚—实”映射

基于设备传感器、物联网与云平台技术的飞跃发展,通过广泛布置先进的设备传感器对全专业设备进行全面状态信息感知,经物联网汇集至云平台进行数据智能分析处理,将结果反馈至孪生系统客户端,实现虚拟计算机世界与现实变电站的高效交互映射,实时感知数据“虚—实”空间快速同步更新和数字孪生体的快速动态生长,解决复杂动态作业环境下,变电站设备的信息时空互联不全面、更新集成效率低等问题。

3.3 互联融合

基于数字孪生体“虚—实”映射与动态生长,将设备状态信息数据与对应孪生设备在虚拟计算机世界进行 1:1 匹配,客户端中以“AR 增强现实”技术可视化呈现,实现可视化数据与实景三维模型的信息互联融合,提升“虚—实”信息时空互联全面性和信息融合深度。可视化数据互联示例,见图 6。

3.4 虚拟仿真

基于变电站设备的高精度内外部结构建模与部件级拆解,将拆解技术运用于设备检修作业、知识讲解、模拟演练以及设备部件级可视化数据互

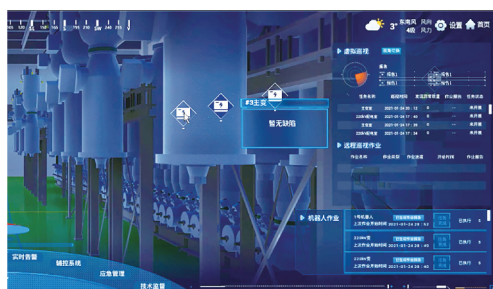


图 6 设备可视化数据互联示例

联融合,可在计算机世界对设备进行模拟检修与拆解练习,实现变电专业人员对于设备知识与操作技能的快速学习与无成本模拟演练。

3.5 管控系统

基于变电站各管控系统的高度集成,采用数字孪生技术作为核心技术底层,通过引入数字孪生标准体系,建立智慧变电站信息化标准体系,打破各系统业务壁垒,使变电站各项业务有效关联,实现变电站系统全面的高质量、高效率综合管控。

4 应用实践

4.1 三维建模

基于剧村变电站数字化移交的 RVT 模型或 GIM 模型进行模型处理和优化,包括减面、轻量化、增加材质和配色等,对变电站 27 类设备进行部件级拆分和设备台账图属关联,重点对剧村变电站变压器和开关柜三维模型进行深层分组和部件级颗粒度拆分,将变压器三维模型拆分为本体箱体、铁心、绕组、各套管、分接开关、储油柜、各类非电量保护装置、冷却系统、接地装置等,并对各个位置继续细化。将开关柜拆分为真空断路器、电流互感器、电压互感器、熔断器和避雷器等,使设备三维模型的动作状态可以与现场设备的动作状态实时同步,实现设备机械状态实时仿真。

4.2 三维可视化

建立可视化平台,用于集中展示所有三维模型信息、数据信息、环境信息以及人员信息,包括设备数模、建筑外形与室内、周边地形、人员动态、天气、时间等。

4.2.1 场景孪生

根据变电站模型在计算机世界 1:1 还原变电站的 GIS 信息和全专业设备信息,实现对真实变电站场景的孪生。系统中可对变电站及周边环境进行全方位观察,对全专业设备进行三维信息

和全专业数据信息观察。

4.2.2 实时天气

通过接入高精度气象信息获取变电站所在区域环境的实时天气情况,例如雨、雪、晴、阴、风、雷等,并在孪生系统进行模拟,可以推演天气变化趋势,实现变电站气象信息孪生。

4.2.3 自动定位

获取场地内变电设备、作业人员、巡检机器人、巡检无人机的地理位置,实现对上述设备、设施和人员的快速定位。

4.2.4 路径导航

对场地内全专业设备 GIS 地理信息存储,可根据变电设备位置进行三维可视化路径导航,方便寻找设备具体位置;根据设计的智能巡检路线,对巡检机器人和无人机进行三维可视化导航,实现快捷路径设置便于高效作业。

a. 将三维可视化与 VR 相结合,实现远端控制中心指挥人员身临其境监视并指挥现场人员操作目标设备。

b. 应用 AR 技术可大大降低运维班组人员的专业门槛,有效避免操作失误。

4.3 三维视频融合

针对雄安所辖变电站开发运检管控系统三维实时视频融合和人员异动智能识别模块,在三维场景中进行变电站内环境巡视,通过三维视频融合技术,实现三维模型与环境、人员动态信息的无缝融合,实时查看变电站环境状态,实现变电站重点安防区域监控视频、重要仪表表计读数、重要开关状态等视频可视化信息与真三维场景的无缝融合,实现站内人员异动实时侦测与告警、站内运行重点表计示数实时监控,进一步提高站所管理的智能化水平以及突发事件处理的效率。

4.4 人工智能应用

基于多种检测/监控手段的综合管控平台,统筹融合了一次、二次设备数据资源,基于大数据和人工智能算法实现面向精益运维、精益检修与精益管控的各类应用场景,有效增强了变电站设备全状态量感知力与管控力,增强了变电站安全生产保障能力,进一步提高了运检精益管理水平,赋能基于数据驱动的智能变电站运维管理发展与效能提升。变电站巡检中的人工智能设备,见图 7。

4.4.1 智能联合巡检

平台与机器人巡检系统对接,实时调取巡检

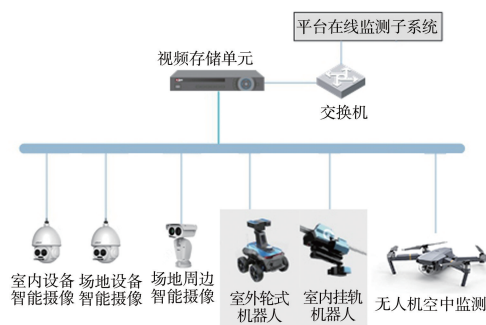


图 7 变电站巡检中的人工智能设备

任务,在孪生变电站内直观展示机器人巡检路线,对接机器人实时画面和热成像画面。由于设备自身高度以及遮挡,站端的巡检机器人难以做到全面检测,结合虚拟巡检,针对于室内高空进行巡检,从空中各角度进行全方位检测,完美解决了这一难题,通过虚拟巡检与站端机器人“空地结合”的巡检方式,可以真正实现对室内变电站设备的全面检测。

4.4.2 智能监控

采用先进的 AI 摄像头,通过对设备进行图像识别,自动对图像进行智能分析,可精确分析设备状态、作业操作动态、周边界控状况等^[6]。

4.4.3 智能门禁

通过与智能门禁系统对接,实时了解门禁状态,对变电站人员考勤、人员进出等信息全面了解,并可通过孪生系统远程对一键门禁开关控制,实现变电站门禁无人值守。

4.5 虚拟仿真应用

通过构建三维数字孪生场景和设备的高精度内外部结构模型,开发设备部件级拆解系统,实现设备检修过程仿真、设备部件信息仿真、设备拆解演练仿真、仿真设备知识讲解。变电设备虚拟仿真模型,见图 8。

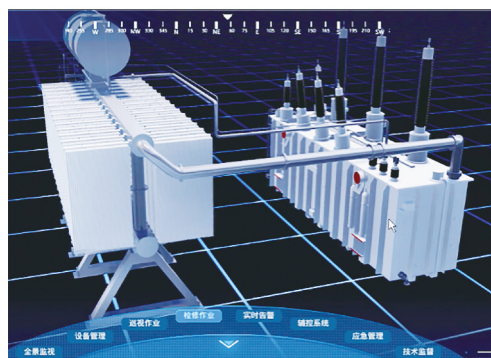


图 8 变电设备虚拟仿真

4.5.1 设备检修过程仿真

在虚拟场景中放置与设备同比例的人、物模型,并设置设备检修规则与情景提示,通过观察与系统计算模型间的空间距离识别风险,实现设备检修过程仿真模拟,以帮助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。

4.5.2 设备部件信息仿真

通过对仿真设备的部件级拆解,将设备各部件全专业信息孪生化,采用部件级“数模一体”方式呈现,全面精确地表达设备信息,给检修作业、知识讲解提供更加精准的设备信息。

4.5.3 设备拆解演练仿真

通过将设备拆解虚拟仿真技术应用于变电专业学员的仿真演练,达到快速高效的模拟练习,节省演练时间与成本。

4.5.4 仿真设备知识讲解

通过对设备部件级全专业信息的解读讲解,清晰直观地了解变电设备的机组构成、安装拆解步骤与详细信息,帮助变电专业学员更高效、更全面的掌握设备知识。

4.5.5 沉浸式安全培训

为满足安全培训需要,结合人身伤亡事故典型案例,搭建典型安全事故场景数字模型,建立沉浸式安全教育体验模块,打造机械伤害、高处坠落、人身触电等虚拟培训场景。培训场景中模拟震动、坠落失重、触电等违章后的物理效果,最大限度还原事故发生经过、体验事故过程及严重后果,便于提升一线运检作业人员自我安全意识。

4.6 全面感知

结合物联网、智能终端与先进传感器,实现感知信息多样化协同采集,通过统一采集汇聚,实现动态数据整合与共享,形成全站覆盖、三维立体的全面数据采集布局,对各子系统数据进行全专业采集,就地分析、就地处理,并优化结果、上传交互,得到精确的设备状态信息、环境状态信息和周边界控信息。

4.7 智能分析

大数据模型通过全专业数据与对应模型的提炼挖掘、比对分析,发现各系统、各终端的监测数据、业务流程和工单数据之间有效链接关系,不同业务的执行决策、冲突、反馈、修正过程中的关键元数据,多维度认识变电系统特征,实现设备监

测、异常告警、寿命预测、远程调度、维修规则、故障预警,以及人员和设备的健康评估功能。

4.7.1 设备监测

将设备各项实时状态数据与对应的状态检测模型进行比对,及时捕捉发现设备异常状态。

4.7.2 自动告警

当设备状态检查出现异常状况时,系统依托提前植入逻辑判据,获得状态检测模型反馈,及时发出告警,大幅减少人工监控工作量。

4.7.3 故障预警

设备运行数据与大数据故障预测模型进行比对,实现对全专业设备可能会发生的故障精准预测。

4.7.4 维修规则

远程诊断模型不断汇集各类设备问题及解决方案,形成一套行之有效的维修规则,当设备出现故障时,系统将自动推送维修方案,快速、高效处理设备故障。

4.7.5 设备寿命预测

将设备运行数据、使用时间、损耗、维护等信息与设备健康管理模型进行对比,对设备寿命做出大数据合理预测。

4.7.6 远程调度

统计各变电站全专业设备信息,通过大数据模型分析,得知各变电站的理想设备型号,完成各电站设备调度利益最大化。

4.7.7 健康评估

通过与大数据设备健康管理模型进行比对,得出全专业设备目前的生命周期阶段,实现对设备使用率的准确掌控。

4.8 室内变电站应用

针对室内变电站多楼层、多房间的特征,通过应用鹰眼地图、透视模式、分层管理以及漫游操作改进等方式,更好地实现室内变电站孪生系统的合理性、易用性和可操作性。室内站设备模型,见图9。

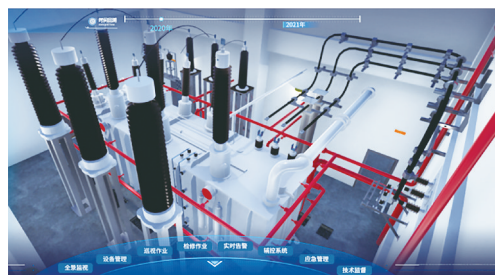


图9 室内站设备模型

4.8.1 鹰眼地图

应用鹰眼地图完成对变电站各楼层的 720° 观察,将变电站建筑整体按楼层进行平面解剖,得到各楼层模型,可单独进行缩放与旋转查看,并结合各楼层平面地图,清晰直观了解楼层房间与全专业设备分布。

4.8.2 设备透视模式

应用透视模式对变电站建筑体进行隐藏设置,只显示本层设备孪生模型,方便查看各楼层全专业设备。

4.8.3 分层管理

应用分层管理对变电站设备进行楼层划分,结合透视模式,能够直观有效地对各层全专业设备进行管理。

4.8.4 漫游操作改进

应用多模式漫游方式,解决室内漫游需求,设置行走漫游与飞行漫游结合方式,满足不同情况的漫游需要,实现各个房间全专业设备与室内结构的全方位、无死角查看。行走漫游巡视模式,见图10。

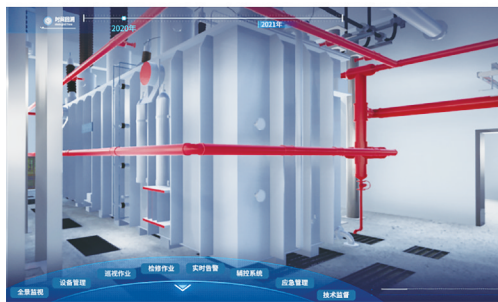


图10 行走漫游巡视

4.9 技术监督

通过设置技术监督功能模块,可以扫码调阅变电站总体情况信息与全专业设备各项信息,包括监督指标、规划可研、工程设计、设备采购、设备制造、设备验收、设备安装、设备调试、竣工验收、运维检修、退役报废等,实现对变电站主辅设备的技术监督。

4.10 应急管理

对变电站内烟感、消防设施以及门禁数据进行三维动态渲染,基于三维孪生场景的仿真功能建立消防预案库,并可通过视频融合的方式对虚拟的数字孪生场景进行现实增强,还原真实场景,提高现场应急管控能力。通过集成站端消防系统、站端门禁系统以及物联感知平台,对站内消防设施、烟感、门禁数据进行统计,对这些数据进行三维化的呈现,并将达到告警的数值进行动态的三维渲染,让监视人员更直观地注意到这些紧急

情况指标,提高应急情况下的处理效率。

支持在三维数字孪生场景中设定一个起火点,进行火灾情况模拟,可对发生火灾时站内消防设施的启动和消防人员、车辆的进场路线和现场工作人员逃生路线等进行模拟规划。根据火灾应急流程,有序规划遭遇火灾的应急方案,提升现场人员火灾应急掌控能力,优化火灾应急流程,降低火灾风险,提高变电站现场应急安全管控能力。

5 结束语

变电站数字孪生系统作为数字孪生电网的关键组成部分,能够为提升变电站设备及环境全景实时感知能力、在线诊断设备健康状态、推动提升设备隐患故障定位和检修效率、实现设备全生命周期管理等提供有力支撑^[8]。基于数字孪生系统的运维模式,可有效提升设备运维精益化管理水平,减少现场作业频度,降低现场作业误操作风险;通过对设备状态的精准评估,延长设备寿命周期,实现资产增值。管理上,能为变电站的运行管理、作业管理、安全管理、施工管理带来全新的业务决策模式变革;业务上,以数字孪生技术的应用落地,通过信息系统分析决策,数字孪生变电站实时运行状态的反馈,支撑变电站内业务仿真与实时智能控制,真正由预防性检修向预测性检修转变,使运维管理更高效、生产作业更精准、成本开支更精益、安全防御更主动、人员配置更集约。

参考文献:

- [1] 莫永明.电力信息通信中网络技术的运用[J].通信电源技术,2020,37(12):147-149.
- [2] 冯晓敏.智能电网通信系统技术探索与应用研究[J].现代工业经济和信息化,2020(12):113-114.
- [3] 宋宇.三维全景智能电网技术在电网规划中的应用[J].电子技术与软件工程,2021,(9):211-212.
- [4] 王仁德,杜勇,沈小军.变电站三维建模方法现状及展望[J].华北电力技术,2015,(2):19-23.
- [5] 史少维,李玉富,王瑞忠,等.一种基于三维激光点云建模的技术方案[J].测绘通报,2017,(3):83-85.
- [6] 季秀怡.浅析人工智能中的图像识别技术[J].电脑知识与技术,2016,12(14):147-148.
- [7] 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.
- [8] 贺兴,艾芊,朱天怡,等.数字孪生在电力系统应用中的机遇和挑战[J].电网技术,2020,44(6):2009-2019.

本文责任编辑:齐胜涛