

换流站三维数字化及智能巡检系统设计与应用

简思亮[✉], 张浩, 张珏, 王彦, 王曦悦, 郭俊韬

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 针对换流站运维的痛点, 提出了换流站三维数字化应用及智能巡检系统的设计方法, 并将其在工程中进行实际应用。[方法] 首先阐述了系统的总体架构、技术架构、数据架构和功能模块, 利用数字孪生技术实现了智能巡视、智能操作、智能安全等运维业务; 接着研究了系统的关键技术, 包含换流站建模及精细化处理、模型数据融合技术、全景可视化技术, 实现了三维场景下全站集中运维管控; 最后, 将系统部署在工程现场, 大幅提升了运维效率与体验。[结果] 系统的应用情况表明, 日常智能巡视项目人工替代率达大于 80%, 现场操作时间减少 60%, 提高作业风险管控能力与安全水平, 节省 65% 工时。[结论] 换流站三维数字化与智能巡检系统能有效提高运维人员对设备的精准管理, 实现运维业务的降本增效。

关键词: 换流站; 智能运维; 数字孪生; 全景可视化; 三维数字化

中图分类号: TM7; TM76

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2023)05-0041-09

开放科学(资源服务)二维码:



Design and Application of Three-Dimensional Digitization and Intelligent Operation System for Converter Station

JIAN Siliang[✉], ZHANG Hao, ZHANG Jue, WANG Yan, WANG Xiyue, GUO Juntao

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] In response to the pain points of the operation and maintenance of the converter station, the design methods of the three-dimensional digitization and intelligent operation system are proposed, and the actual application is performed in the project. [Method] Firstly, the overall architecture, technical architecture, data architecture and functional modules of the system were explained, and by using digital twin technology, operation and maintenance services such as intelligent inspection, intelligent operation, and intelligent security were realized. Then the key technologies of the system were studied, including converter station modeling and refined processing, model and data fusion technology, and panoramic visualization technology, which realized the centralized operation and control of the whole site in the three-dimensional scenarios. Finally, the system was deployed at the project site, which greatly improved operation and maintenance efficiency and experience. [Result] The application of the system shows that the manual replacement rate of daily intelligent inspection projects reaches more than 80%, the on-site operation time can be reduced by 60%, and the operating risk management and control capabilities and safety levels are improved, saving 65% of working hours. [Conclusion] The three-dimensional digitalization and intelligent operation system of the converter station can effectively improve the accurate management of the equipment, and realize the cost reduction and benefit increasing of the operation and maintenance business.

Key words: submission converter station; intelligent operation; digital twin; panoramic visualization; three-dimensional digitization

2095-8676 © 2023 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

自 2020 年以来, 南方电网建成了多个直流输电工程。昆柳龙直流工程实现了云南、广东电网联网,

保障了广东地区的能源需求; 粤港澳大湾区中通道背靠背直流输电工程是广东电网东西分区电力交换的重要联络通道, 增强了联网容量效益, 起到了异步联网、事故隔离的重要作用。

收稿日期: 2023-05-10 修回日期: 2023-07-09

基金项目: 中国能建广东院科技项目“数字孪生技术在智能电网中的应用研究”(EV06421W)

随着换流站建设进程加速,站内设备运维难度大,人均运维工作量逐年增加,传统人工巡视模式效率低下,无法在设备巡视精细化、状态掌握实时化等方面满足电网高质量发展要求^[1-3]。目前换流站运维主要存在以下几点问题:(1)远程巡视需求大,由于换流站地处偏远且占地面积大,站内日常巡视任务工作量极大,且直流运行时阀厅无法进入,巡视难度大;(2)站端各子系统分散独立开发,包含计算机监控、保信、视频监控、动环、在线监测等子系统,运维人员需要在多个系统、界面之间切换监控,无法掌握全部信息;(3)运维业务自动化程度低,巡视记录、维护记录、运行日志都是在换流站现场手工完成,对操作票与工作票的管控高度依赖人工管控。

国内学者针对新型电力系统建设背景下,数字电网技术^[4-6]的应用现状和发展方向进行了详细的分析论述。其中,数字孪生技术^[7-9]可以对物理实体进行 100% 映射建模,在电网运维、培训、仿真计算等领域具备广泛的应用前景。在智能运维方面,文献 [10] 提出了变电站运维业务的两层平台与站端、区域端、运维班终端三级功能应用架构,并初步实现了区域站远程运维业务应用;文献 [11] 针对变电站自动化装置远程运维调试业务提供了 App 化的解决思路,支持运维应用的灵活扩展和快速部署;文献 [12] 以某 220 kV 变电站为例,提出数字孪生变电站的设计与建设思路,为运维模式的数字化转变提供了范例支撑。在数字孪生技术应用方面,文献 [13] 建立了基于数字孪生技术的变电站巡检系统数字化模型,采用面向对象的方法建模,并借助人工智能算法规划了巡检路径;文献 [14-15] 提出了变电站数字孪生系统的搭建流程及系列数字应用,含全景展示、智能辅助监控、智能运维作业等。

然而,现阶段未开发出针对换流站的三维数字化与智能运维平台。一方面,当前的智能运维平台大部分部署在区域主站端,站端业务数据和管理数据存在壁垒,数据采集和更新频率只能达到分钟级,滞后于感知终端采集数据,使站内数据不能得到充分挖掘和利用,对现场巡视、检修等现场作业的支持能力不足;另一方面,当前基于三维技术的运维平台的功能应用都停留在视频、动环、台账等数据展示层面,未集成设备运行的实时数据,三维模型与运维数据割裂。

文章研究的换流站三维数字化应用及智能巡检系统,对换流站设备分层分级建模,搭建标准化的电网统一信息模型实现物理设备数字化,模型承载各阶段业务数据,实现各阶段数据与业务应用贯通;开展信息模型与业务数据的结构化设计,结合标准化数据与应用接口,支持智能操作、智能巡视、智能安全、智能分析等智能运维业务应用,可以实现换流站运维业务降本增效与本质安全提升。

1 系统设计

1.1 总体架构

换流站三维数字化应用及智能巡检系统采用分层、分布式的网络构架,由站控层设备和前端设备构成,独立部署于安全Ⅲ区。系统主要由平台应用服务器、数据库服务器、数据转发服务器、图像算法服务器、三维渲染服务器、定位引擎服务器、智能网关、网络视频录像机等站控层设备,以及在线监测、视频终端、微型传感器、定位系统、门禁、智能锁控等感知层终端设备及配套的通信网络设备、通信接口设备等构成。系统总体架构如图 1 所示。

基于数字孪生技术三维数字化应用及智能巡检系统采集Ⅰ区实时运行数据、Ⅱ区的在线监测系统及Ⅲ区的视频监控系统、动环监测系统、智能巡检设备数据,实现可视化展示、设备状态评估、事故告警特殊巡视与智能分析决策等功能。

1.2 视频终端设备配置

中通道换流站基本呈现柔直变压器—启动回路及桥抗—阀厅—启动回路及桥抗—柔直变压器—交流场的流线性布局,二次设备间环绕主场地布置,设备区域划分清晰。根据各区域的主设备的布置、高度等特点,站内部署了一套视频终端设备,基本覆盖了换流站运维人员日常巡视需求,视频终端设备配置方案如表 1 所示。

1.3 技术架构

三维数字化应用及智能巡检系统采用微服务架构^[16-17],为换流站业务应用、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,如图 2 所示。

通过数据接入、数据集成、消息中间件、数据库、视频组件、微服务等公共组件,实现Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区的数据汇聚、模型转换以及与电网管理平台的云边协同等功能。

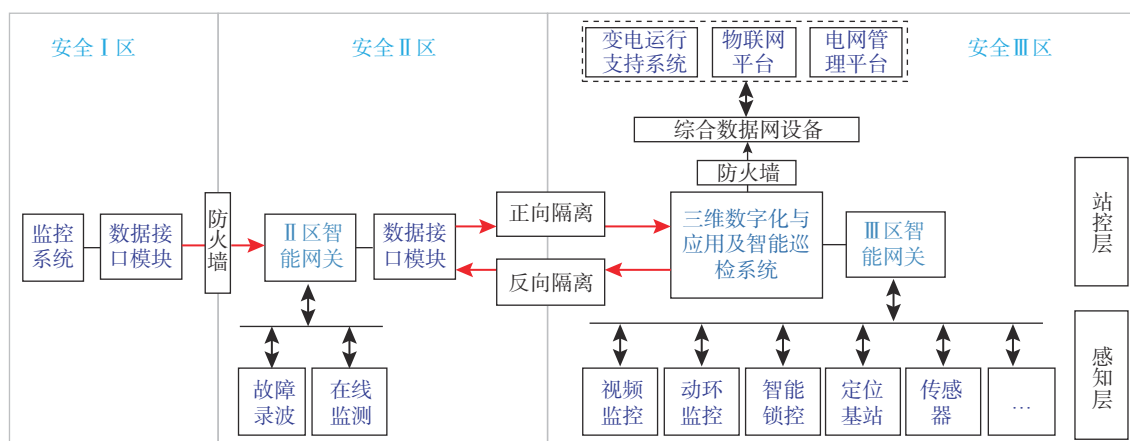


图 1 系统总体架构示意图

Fig. 1 Overall system architecture diagram

表 1 视频终端设备配置方案

Tab. 1 Configuration plan for video terminal equipment

配置区域	主设备布置特点	终端类型	覆盖范围
阀厅区域	户内布置, 设备距离地面 1.8 ~ 23 m 均有分布。	高清固定摄像头	阀塔微漏水监视、地面积水监视
		卡片机	避雷器放电计数器监视
		可见光云台	接地开关、隔离开关位置识别
柔直变区域	户内布置, 设备距离地面约为 8 m, 油枕高度距离地面约为 10 m。	卡片机	柔直变油泵监视及表计监视
		双光云台	柔直变场地设备的温度检测、外观监视
		高清固定摄像头	柔直变有载调压开关档位监视
启动回路区域	户内布置, 设备距离地面约为 10 m。	高清固定摄像头	刀闸位置指示识别监视
交流配电装置区域	户内布置, 500 kV GIS 仪表高度约为 3 m, 出线高度约为 6 m。	双光云台	交流场内主设备的温度检测、外观监视
		可见光云台	GIS 汇控柜面板监视
		卡片机	刀闸位置识别及表计监视
二次设备间	户内布置, 设备高度均为 2.26 m。	可见光球机	二次屏柜面板监视

1.4 数据架构

三维数字化应用及智能巡检系统在站端部署 I/II 区防火墙与 II/III 区正、反向隔离装置, 实现站端 I 区与 II 区间、II 区与 III 区间横向数据交互的安全防护; 系统配置 III 区纵向防火墙, 实现 III 区站端与主站端纵向数据交互的安全防护; 系统配置 II 区/III 区智能网关实现 HTTP、TCP、IEC 104、MQTT 等多种不同的网络协议感知层设备接入。

站内数据接口主要包括系统与 I 区监控系统、II 区智能网关、III 区智能网关等通信接口, 如图 3 所示。

1) 站端 I 区实时运行数据和顺控操作指令经防火墙接入 II 区数据转发服务器, 再通过正向隔离装

置传输至 III 区站端运维系统。同时, 站端运维系统能基于图像识别技术智能识别开关、刀闸等位置状态, 并把识别结果以文件形式通过反向隔离装置传至 I 区监控系统, 辅助完成顺控执行结果的判别。

2) 站端 II 区在线监测子系统包含主变油色谱、GIS 局放在线监测、SF₆ 气体监测等系统, 在线监测相关信息接入 II 区交换机, II 区数据转发服务器完成信息采集和传输, 并通过正向隔离装置接入 III 区站端运维系统。

3) 站端 III 区视频监控、动环监测、智能锁具、人员定位等子系统信息直接经 III 区智能网关接入 III 区站端运维系统。



图 2 系统技术架构示意图

Fig. 2 System technical architecture diagram

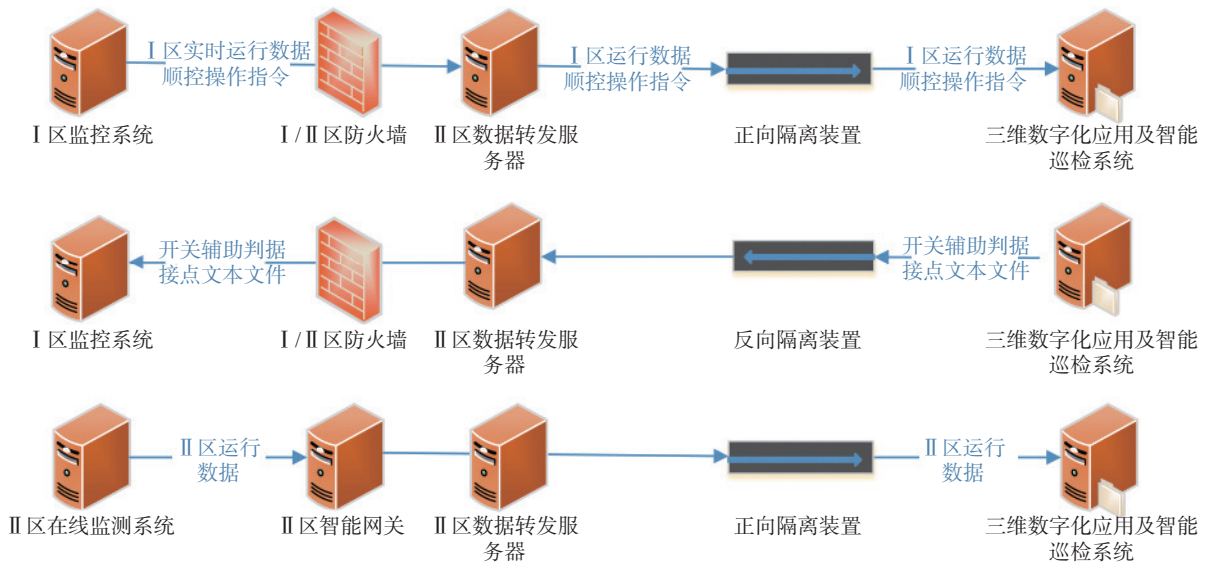


图 3 站内数据接口示意图

Fig. 3 Station data interface diagram

与主站接口方面,系统通过综合数据网将 III 区数据上送至物联网平台,并通过物网上送至变电运行支持系统和电网管理平台;同时,系统从电网管理平台相关系统获取设备台账信息、操作票和工作票信息等数据,为站端智能巡视、智能安全、台账管理等功能应用提供支持。

1.5 功能模块

1.5.1 智能巡视模块

1)智能联动:系统实现主辅设备间、辅助设备间及与在线智能巡视的智能联动,便于运维人员全方位感知设备状态信息。

2)三维立体巡视:支持设备巡视“指哪看哪”,

实现全覆盖、高精度、三维化的立体巡视,大幅提升巡视效率。

1.5.2 智能操作模块

1)顺控操作调用:监控员根据调度指令,调用站端一键顺控服务,完成远方操作。

2)无纸化操作:调度与运维部门间业务通过电子化交互,实现从调度下令到操作完成的全过程无纸化交互。

3)联合防误:根据防误原理的差异性,联合变电站各类防误技术手段,提升设备远方操作的安全性。

1.5.3 智能安全模块

1)进站人员资质检查:进站人员资质检查采用视频图像,进站安防识别区域视频图像采集后,软件系统能正确反馈人员资质库中信息,形成人员、车辆的进站记录。同时可采用电子标签,电子标签能与工作人员信息进行绑定。

2)工作地点的遮拦检查:智能安全模块可与3D模型、定位技术结合,设置工作地点的遮拦。通过设置电子围栏或视频识别的方式进行工作地点的遮拦检查。工作过程中,如发生遮拦位置变动,智能安全模块应给出反馈,至少应包含即时的现场声光警示,以及在后台记录的告警信息。

3)安全帽、工作服、安全带穿戴情况:系统可智能判断作业人员安全帽、工作服和安全带的佩戴是否符合要求。

4)其他各类不安全行为

在作业过程中,系统可通过视频采集和行为识别算法判断作业人员是否存在不安全行为。

5)作业区域风险评估及告警

系统能将站内所有设备、设施的运行状态和作业情况形成各作业区域风险评估,并实时反馈至现场作业人员。

1.5.4 智能分析模块

1)智能告警:通过提取主辅设备告警信息的特征,将大量孤立的告警信号转化为综合的事件结果,降低监控员监盘压力。

2)监控助手:将设备状态监视、事件分析判断等重复性工作,转化为系统自动完成,辅助监控人员日常监盘,减轻工作负担。

3)设备状态预警:结合设备在线监测数据、实时量测和状态数据,对设备实时健康状态和短周期趋

势变化进行分析,并对设备状态分析结果进行预警。提前发现故障隐患,支撑运维人员制定更为科学的设备检修计划。

4)缺陷识别推送:系统能自动提取异常数据,智能分析设备缺陷,一键生成缺陷记录并实时推送。

2 关键技术

2.1 换流站建模及精细化处理

2.1.1 数字化建模

换流站主要设备为换流阀、换流变压器、控制调节系统、保护系统、平波电抗器、交流滤波器、直流滤波器、避雷器等。按照数字化移交标准对换流站开展设备级及部件级建模,模型精度满足基建及运维标准。换流站三维模型如图4所示。

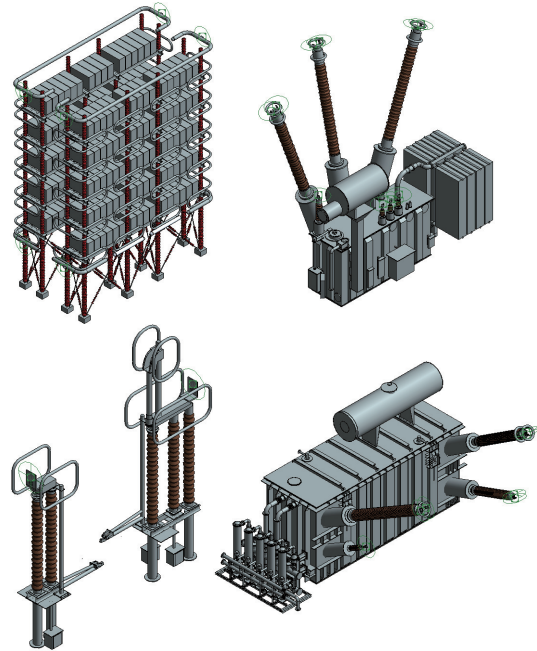


图4 换流站三维模型

Fig. 4 Three-dimensional model of converter station

2.1.2 精细化处理

换流站全景数字模型如图5所示。首先,本项目运用三维引擎^[18-19]实现BIM/GIM、激光点云、倾斜摄影、3DMax等多源异构三维数据处理与渲染,主要包含以下工作步骤:

1)现场信息采集:将基建阶段移交的正向三维建模模型按照运维需求精细化处理为运维模型,并在此基础上,运用全站激光扫描技术实现换流站内场景的各种电气设备、现场布局、实际结构的数字

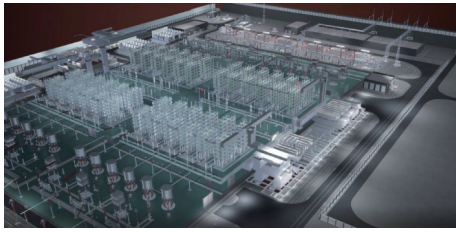


图 5 换流站全景数字模型

Fig. 5 Panoramic digital model of converter station

采集,融合生成三维空间点云进行实景复刻。

2)点云数据合成:通过扫描测量现实中真实存在的物体,获取物体表面的基本点云数据,通过点云数据校准、设备部件及元件级结构建模、外观处理及模型贴图、设备铭牌及标识牌制作,生成相应的三维数据模型。

3)数字场景构建:结合正向设计三维模型、点云数据和视频图像融合,将现实中的物体按照 1:1 的比例搭建实体模型,最终形成三维模型。

其次,由于换流站工程涉及的信息范围较广、空间结构复杂,中通道工程的 BIM 模型体量较大,模型加载缓慢,亟需对模型进行轻量化处理。系统采用云渲染引擎提供的轻量化组件,利用简化三角面、合并图元等手段,在保持模型外观的同时,极大地减小了模型量级。

此外,为提升数字孪生场景渲染效率,系统进行渲染调度的优化设计,主要包含 3 个方面的优化提升:

1)引擎在展示前预先建立空间分块的数据结构,根据工程数据的空间分布,采用八叉树或者四叉树对数据进行空间分块,实现动态加载调度,快速索引到对应块中的文件,加快数据传输速度。

2)引擎应用了实例化渲染技术,减少调度过程中内存空间占用,加速 CPU 到 GPU 的通信进程。

3)引擎采用了批次合并技术,通过降低调度渲染次数来加快渲染效率。

2.2 模型数据融合技术

统一数据模型如图 6 所示。南方电网从模型信息、基本信息、技术参数、量测参数、消息和服务这 5 个维度对物联网终端设备建模,并规定了各终端的属性名、数据类型、字符长度等。本系统建立设备的统一数据模型,即以站内设备的唯一实物 ID 为标识,在南网物联网平台的物模型的基础上,将三维模型与站端各子系统的的核心数据字段进行关联/匹配,支持站端运维系统不同业务对三维模型的调用和对监测数据的读取与交互。通过换流站的统一数据模型可以提取设备分析、资产管理、设备运维等各项业务所需的一次设备、二次设备、辅助设备、测点信

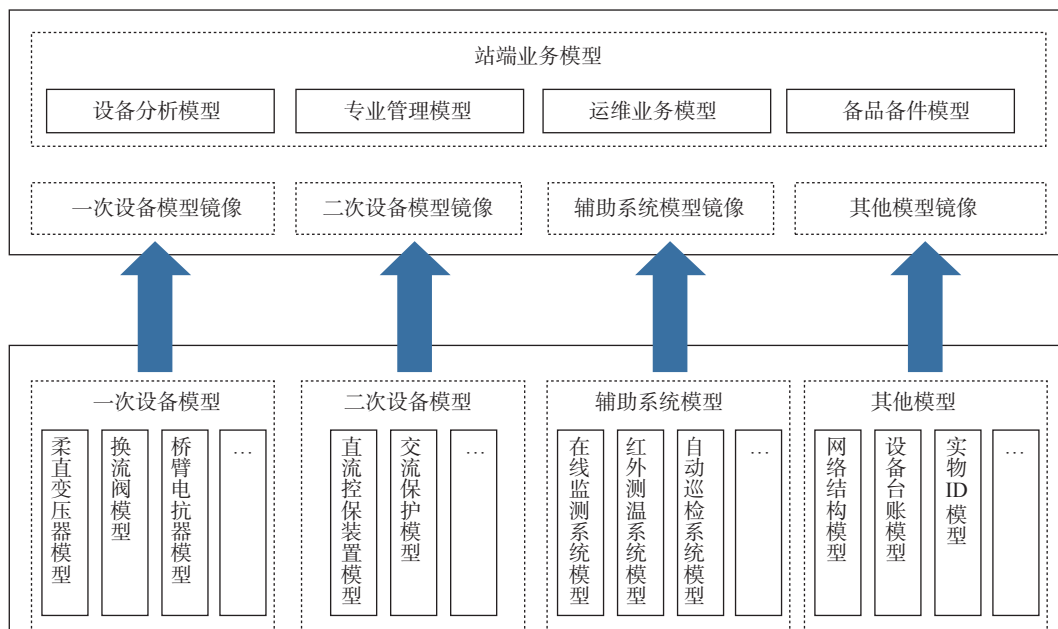


图 6 统一数据模型

Fig. 6 Unified data model

息、台账信息,实现站端数据有序汇集、融通共享。建立设备的统一数据模型包含以下关键步骤:

1)对站端一次设备、二次设备、辅控系统建模,模型深度满足运维需求。

2)参考南方电网物模型规范,对各终端数据进行信息建模。

3)采用“调度命名+实物ID”^[20]的双重检索机制,分别对三维模型和信息模型进行结构化编码,编码规则满足主站端管理要求。

4)编码完成后,通过映射表的方式维护三维模型和信息模型的关联/匹配关系。

2.3 全景可视化技术

本系统以运维人员的使用、决策环境为依据,提取出换流站运行工况、设备状态和运维工作开展情况的关键数据指标,以饼状图、报表等组件进行数据的关联探索,实现换流站运维业务的全景可视化,主要包含以下内容:

1)一体化监控:根据业务需求,结合多屏、多窗口展现方式,实现主辅设备监控信息在同一界面上融合展示。

2)全景展示:结合运维计划、特殊巡视、重要保电任务提供设备运行、运维管理的全景展示,辅助运维人员全面掌握设备运行状况。

3)数据穿透:通过纵向数据穿透,按需调阅站端在线监测信息、故障报告等,召唤故障时刻历史数据,支撑运维人员对设备异常、故障的分析与定位。

3 系统部署及应用效果

项目依托粤港澳大湾区中通道背靠背直流输电工程,建设三维数字化应用及智能巡检系统,通过站内全景数字化建模,打通各子系统的数据壁垒,实现数据透明化,运维可视化,如图7~图10所示。

通过可视化运维,实现了三维场景全站集中运维管控,大幅提升了运维效率与体验:日常智能巡视项目人工替代率达大于80%;现场操作时间减少60%;提高作业风险管控能力与安全水平,节省65%工时;系统可以自动生成事故处置报告,提升了事故处置的速率和准确度。

4 结论

文章从生产运维的需求出发,以资产全生命周



图7 三维可视化运维界面

Fig. 7 3D Visual operation and maintenance interface



图8 智能巡视界面

Fig. 8 Smart patrol interface



图9 智能操作界面

Fig. 9 Intelligent operation interface



图10 智能安全界面

Fig. 10 Intelligent security interface

期管理为指导,搭建标准化的电网统一信息模型实现物理设备数字化,建立三维场景下的换流站智能巡检系统。与其他变电站智能运维系统相比,本系统采用数字孪生技术将三维模型与全站运维数据的深度融合,增强了系统的视觉呈现效果和交互操作体验,以最直观的、最全面的展示方式,打破数据壁垒,实现有效数据的全局流通和结构化表达。此外,系统积累的全生命周期数据可进一步促进故障诊断、

检修模拟、员工培训等衍生应用快速发展,提高换流站运行维护水平,为电网向更高层次的智能化赋能。

参考文献:

- [1] 李卫国, 黄伟, 李奇, 等. “双碳”背景下特高压换流站现场管理升级 [J]. *中国质量*, 2022(4): 32-37. DOI: [10.16434/j.cnki.zgzl.2022.04.003](https://doi.org/10.16434/j.cnki.zgzl.2022.04.003).
LI W G, HUANG W, LI Q, et al. Field management upgrade of UHV converter station under the background of carbon peak and neutrality [J]. *China quality*, 2022(4): 32-37. DOI: [10.16434/j.cnki.zgzl.2022.04.003](https://doi.org/10.16434/j.cnki.zgzl.2022.04.003).
- [2] 江一, 梁秉岗, 陶敏, 等. 换流站阀厅运行环境在线监测系统及传感器布点方法研究 [J]. *高压电器*, 2021, 57(10): 77-82. DOI: [10.13296/j.1001-1609.hva.2021.10.010](https://doi.org/10.13296/j.1001-1609.hva.2021.10.010).
JIANG Y, LIANG B G, TAO M, et al. Research on distribution method of online monitoring system of operation environment and sensor of valve hall in converter station [J]. *High voltage apparatus*, 2021, 57(10): 77-82. DOI: [10.13296/j.1001-1609.hva.2021.10.010](https://doi.org/10.13296/j.1001-1609.hva.2021.10.010).
- [3] 全晓方, 杨海亮, 乔彦彤. 换流站机器人全覆盖巡检可视化管理系统设计 [J]. *自动化与仪器仪表*, 2021(11): 172-175, 187. DOI: [10.14016/j.cnki.1001-9227.2021.11.172](https://doi.org/10.14016/j.cnki.1001-9227.2021.11.172).
QUAN X F, YANG H L, QIAO Y T. Design of a visualized management system for full coverage inspection of robots in converter stations [J]. *Automation and instrumentation*, 2021(11): 172-175, 187. DOI: [10.14016/j.cnki.1001-9227.2021.11.172](https://doi.org/10.14016/j.cnki.1001-9227.2021.11.172).
- [4] 全晓方, 黄松强, 黄繁朝. 换流站设备状态多方面管理及远程管控系统设计 [J]. *能源与环保*, 2022, 44(1): 236-241. DOI: [10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.01.038](https://doi.org/10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.01.038).
QUAN X F, HUANG S Q, HUANG F C. Multi-aspect management of converter station equipment status and design of remote control system [J]. *China energy and environmental protection*, 2022, 44(1): 236-241. DOI: [10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.01.038](https://doi.org/10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.01.038).
- [5] 齐波, 张鹏, 张书琦, 等. 数字孪生技术在输变电设备状态评估中的应用现状与发展展望 [J]. *高电压技术*, 2021, 47(5): 1522-1538. DOI: [10.13336/j.1003-6520.hve.20210093](https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20210093).
QI B, ZHANG P, ZHANG S Q, et al. Application status and development prospects of digital twin technology in condition assessment of power transmission and transformation equipment [J]. *High voltage engineering*, 2021, 47(5): 1522-1538. DOI: [10.13336/j.1003-6520.hve.20210093](https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20210093).
- [6] 任智慧. 数字化+高效节能解决方案, 共同助力“双碳”目标实现——访ABB运动控制事业部中国区负责人戚鲁平 [J]. *电气时代*, 2022(1): 6-8.
REN Z H. Digital high-efficiency energy-saving solution, helping to achieve the "Double carbon" goal-interview Qi Luping, head of ABB's Motion Control Division in China [J]. *Electric age*, 2022(1): 6-8.
- [7] 黄敬志, 冯国平, 黄小强, 等. 广东电网“十四五”数字化建设规划研究 [J]. *南方能源建设*, 2022, 9(增刊1): 132-138. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.S1.020](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.S1.020).
HUANG J Z, FENG G P, HUANG X Q, et al. Research on digital construction planning of Guangdong power grid in the 14th Five Year Plan [J]. *Southern energy construction*, 2022, 9(Suppl. 1): 132-138. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.S1.020](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2022.S1.020).
- [8] 张露, 鲁非, 刘睿, 等. 新型电力系统背景下电力装备数字孪生技术架构及应用展望 [J]. *湖北电力*, 2022, 46(3): 36-44. DOI: [10.19308/j.hep.2022.03.006](https://doi.org/10.19308/j.hep.2022.03.006).
ZHANG L, LU F, LIU R, et al. Framework and application of digital twin technology in electric equipment under the background of new power system [J]. *Hubei electric power*, 2022, 46(3): 36-44. DOI: [10.19308/j.hep.2022.03.006](https://doi.org/10.19308/j.hep.2022.03.006).
- [9] 蒲天骄, 陈盛, 赵琦, 等. 能源互联网数字孪生系统框架设计及应用展望 [J]. *中国电机工程学报*, 2021, 41(6): 2012-2028. DOI: [10.13334/j.0258-8013.pcsee.201757](https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.201757).
PU T J, CHEN S, ZHAO Q, et al. Framework design and application prospect for digital twins system of energy internet [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2021, 41(6): 2012-2028. DOI: [10.13334/j.0258-8013.pcsee.201757](https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.201757).
- [10] 张巧霞, 王广民, 李江林, 等. 变电站远程运维平台设计与实现 [J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(10): 165-173. DOI: [10.19783/j.cnki.pspc.180776](https://doi.org/10.19783/j.cnki.pspc.180776).
ZHANG Q X, WANG G M, LI J L, et al. Design and implementation of substation remote operation and maintenance platform [J]. *Power system protection and control*, 2019, 47(10): 165-173. DOI: [10.19783/j.cnki.pspc.180776](https://doi.org/10.19783/j.cnki.pspc.180776).
- [11] 张敏, 徐春雷, 张琦兵, 等. 基于微服务架构的变电站自动化装置远程运维技术 [J]. *电力工程技术*, 2022, 41(4): 177-182. DOI: [10.12158/j.2096-3203.2022.04.023](https://doi.org/10.12158/j.2096-3203.2022.04.023).
ZHANG M, XU C L, ZHANG Q B, et al. Remote operation and maintenance technology of substation automation device based on micro-services architecture [J]. *Electric power engineering technology*, 2022, 41(4): 177-182. DOI: [10.12158/j.2096-3203.2022.04.023](https://doi.org/10.12158/j.2096-3203.2022.04.023).
- [12] 刘海峰, 池威威, 贾志辉, 等. 变电站数字孪生系统的设计与应用 [J]. *河北电力技术*, 2021, 40(3): 8-14.
LIU H F, CHI W W, JIA Z H, et al. Design and application of substation digital twin system [J]. *Hebei electric power*, 2021, 40(3): 8-14.
- [13] 高赛. 数字孪生的变电站巡检系统数字化模型 [D]. 保定: 华北电力大学, 2021.
GAO S. Digital model of digital twinning substation inspection system [D]. Baoding: North China Electric Power University, 2021.
- [14] 郭俊韬, 张珏, 郑宁敏, 等. 数字孪生技术在电网工程中的应用研究 [J]. *南方能源建设*, 2023, 10(2): 136-142. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.018](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.018).
GUO J T, ZHANG J, ZHENG N M, et al. Research on the

- application of digital twin technology in power grid engineering [J]. *Southern energy construction*, 2023, 10(2): 136-142. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.018](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.02.018).
- [15] 王林, 晏锋, 任重, 等. 基于数字孪生技术的变电站运维平台的研究 [J]. *电工技术*, 2021(21): 167-168,171. DOI: [10.19768/j.cnki.dgjs.2021.21.056](https://doi.org/10.19768/j.cnki.dgjs.2021.21.056).
WANG L, YAN F, REN Z, et al. Research on substation operation and maintenance platform based on digital twin technology [J]. *Electrical technology*, 2021(21): 167-168,171. DOI: [10.19768/j.cnki.dgjs.2021.21.056](https://doi.org/10.19768/j.cnki.dgjs.2021.21.056).
- [16] 肖逸, 李俊业, 方必武, 等. 基于微服务的大电网在线安全稳定分析系统数据中台与架构设计 [J]. *中国电机工程学报*, 2022, 42(增刊1): 126-135. DOI: [10.13334/j.0258-8013.pcsee.221710](https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.221710).
XIAO Y, LI J Y, FANG B W, et al. Microservice based data integration platform and architecture design of online security and stability analysis system for a bulk power system [J]. *Proceedings of the CSEE*, 2022, 42(Suppl. 1): 126-135. DOI: [10.13334/j.0258-8013.pcsee.221710](https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.221710).
- [17] 王毅, 王智微, 何新. 智能电站数据中台建设与应用 [J]. *中国电力*, 2021, 54(3): 61-67,176.
WANG Y, WANG Z W, HE X. Construction and application of intelligent power station data center [J]. *Electric power*, 2021, 54(3): 61-67,176.
- [18] 田子昭. 三维虚拟牵引变电站交互仿真系统设计与实现 [D]. 兰州: 兰州交通大学, 2021. DOI: [10.27205/d.cnki.gltec.2021.000317](https://doi.org/10.27205/d.cnki.gltec.2021.000317).
TIAN Z Z. Design and implementation of interactive simulation system for 3D virtual traction substation [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2021. DOI: [10.27205/d.cnki.gltec.2021.000317](https://doi.org/10.27205/d.cnki.gltec.2021.000317).
- [19] 张爱枫, 彭东, 项方宇. 基于BIM-5D技术的特高压换流站工程管控系统 [J]. *电测与仪表*, 2020, 57(24): 125-132. DOI: [10.19753/j.issn1001-1390.2020.24.016](https://doi.org/10.19753/j.issn1001-1390.2020.24.016).
ZHANG A F, PENG D, XIANG F Y. Engineering controlling system of UHV converter station based on BIM-5D technology [J]. *Electrical measurement & instrumentation*, 2020, 57(24): 125-132. DOI: [10.19753/j.issn1001-1390.2020.24.016](https://doi.org/10.19753/j.issn1001-1390.2020.24.016).
- [20] 姜骞, 刘亚东, 严英杰, 等. 电力设备多源异构数据空间合成与立体展示方法 [J]. *高电压技术*, 2022, 48(1): 66-74. DOI: [10.13336/j.1003-6520.hve.20210807](https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20210807).
JIANG Q, LIU Y D, YAN Y J, et al. Spatial synthesis and stereoscopic display method for multi-source heterogeneous data of power equipment [J]. *High voltage engineering*, 2022, 48(1): 66-74. DOI: [10.13336/j.1003-6520.hve.20210807](https://doi.org/10.13336/j.1003-6520.hve.20210807).

作者简介:



简思亮

简思亮 (通信作者)

1994-, 女, 工程师, 电气工程硕士, 主要从事电网工程电气设计以及电网数字化研究工作(e-mail)jiansiliang@mail.com。

项目简介:

项目名称 数字孪生技术在智能电网中的应用研究(EV06421W)

项目类型 中国能建广东院科技项目

承担单位 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

项目概述 以电网正向三维设计模型作为输入, 以智能操作、智能巡视、智能安全等业务应用为切入点, 结合电网的全景监测数据采集平台, 汇聚电网多维度信息等实现贯穿智能电网工程建设、生产和运维阶段的全生命周期的数字化应用, 在此基础上可实现电网多维数据的深度挖掘及智能分析等数字孪生应用。

主要创新点 (1)运用数字孪生技术实现电网设备三维建模与数据关联、数据实时采集、可视化展示与高级应用、数据分析计算与模拟仿真等功能, 试点数字全景可视化运维、智能巡视与操作、安全管控、设备台账接入、基于激光点云和倾斜摄影的通道重构、输电线路状态评估等技术应用;(2)实现物理空间与信息空间中数字孪生电网全生命周期的精准映射与融合协同, 为打造覆盖电网规划、工程建设、生产运行全业务、全时态的数字电网提供基础, 并通过孪生电网的数据价值挖掘, 通过孪生交互实现物理电网的风险预警和自我优化, 支撑电网各项业务数字化运营;(3)形成数字电网服务的产品录, 支持数字电网服务的应用推广。

(编辑 叶筠英)