

特高压数字换流站建设的技術探究

文/李 杰 孔 鑫 吴春昇 李金旗
中国电气装备集团许继集团

阐述了特高压数字换流站的系统架构与平台软件的功能，并详细介绍了平台数据接入的方式和数据梳理的技术特点。特高压数字化换流站平台已经完成了在特高压站内的初步建设，在运行期间极大地提高了运检作业人工替代率，其功能和稳定性完全满足特高压换流站运行的要求。

近年来，随着我国经济水平的快速发展，沿海发达地区用电需求日益增加，由于电力资源主要分布在我国西北部地区，因此亟需特高压输电工程提高电力输送能力，解决用电需求和发展供需不平衡的问题。特高压换流站作为整个输电工程最基础的系统设施，站内一二次设备和信息化子系统种类多，给站内运行人员的监督管理带来很大的负担。加快特高压换流站智能化提升和数字化转型，加速推进新型数字基础设施建设，是我国电力行业数字经济发展新形势。特高压数字化换流站打破了站内各子系统信息孤岛，将全站信息系统数据整合，实现了全站数据可视化、智能化和数字化，解决了运行监控不便、预警诊断不佳、作业管控不强及信息化支撑不足等业务痛点。加快了全国特高压换流站设备管理数字化转型和智能化升级，依托物联网、边缘计算、人工智能等新技术，推进数字换流站建设，充分挖掘运检信息价值，强化运检作业人工替代，促进作业模式转型。

目前，全国将近20座数字换流站系统基本完成了数字化建设，在建设过程中制定了系统的技术路线、标准模型规范和统一实施流程等。本文主要对数字化换流站系统的整体架构和平台软件功能进行分析和探讨。

数字换流站系统架构设计

特高压数字换流站的结构按照功能类型大致可

以分为三层，分别是基础平台、公共组件和平台软件，系统架构图如图1所示。基础平台层是由计算节点、计算融合节点、存储节点、图形处理节点及AI计算节点等通过虚拟融合技术搭建成的华为云平台，该平台具有基础设备管理、虚拟化、分布式存储及容器管理等基础功能，是整个数字换流站的最基本的硬件资源支撑。公共组件层是全站所有数据和视频资源集中化、结构化和持久化的关键环节。换流站内的子系统遥信、遥测等测点数据，通过安全隔离装置与数字换流站平台连接；录像机、NVR等录的视频资源通过平台的视频节点直接接入平台的视频组件中，供应用软件进行监控视频调用，并进行全站视频管理。接入平台的遥信、遥测等告警数据由数据组件进行报文解析和结构化处理，并分别存储到对应的数据库中；业务组件根据国网制定的统一数据接口规范将数据分装成对应的数据模型，开放规范化的调用接口。与运维人员业务需求相关的各类应用都部署在平台的最上层——平台软件层，基础应用软件通过调用公共组件层开放的API，完成了多维信息呈现、全站视频管控、录波管理、智能报表、设备告警与状态管理等功能；具有分析与决策功能的高级应用软件，则依托基础软件和平台存储的大量生产数据，通过诊断算法进行预测分析，并在前端界面实时展示结果。

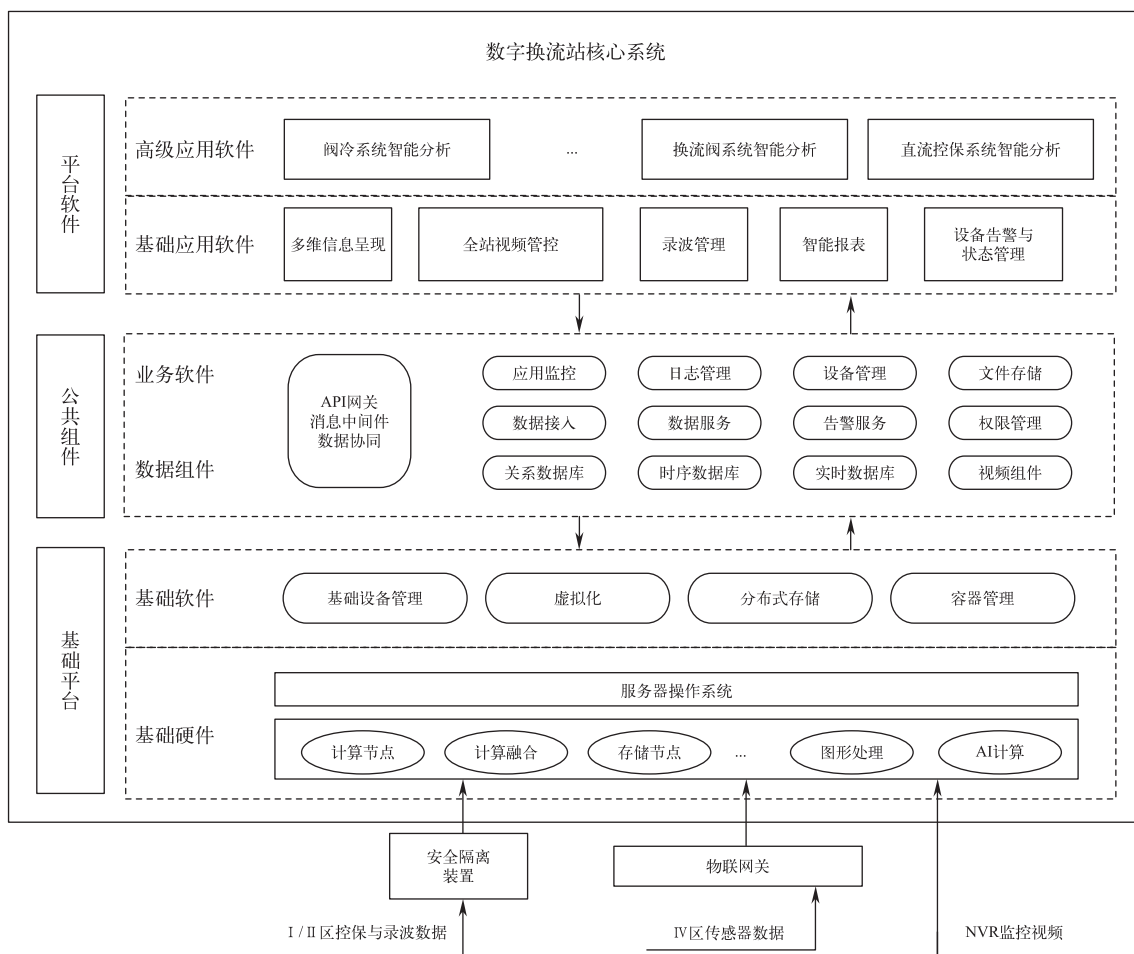


图1 特高压数字换流站系统架构图

数据接入

为支持数字换流站业务数据，在换流站内安全 IV 区建立数字换流站平台，整合基础软硬件资源，

强化边缘计算能力。站内要实现 I、II 和 IV 区的数据汇聚、标准数据模型转换和业务处理等站端功能。子系统数据接入拓扑结构如图2所示。

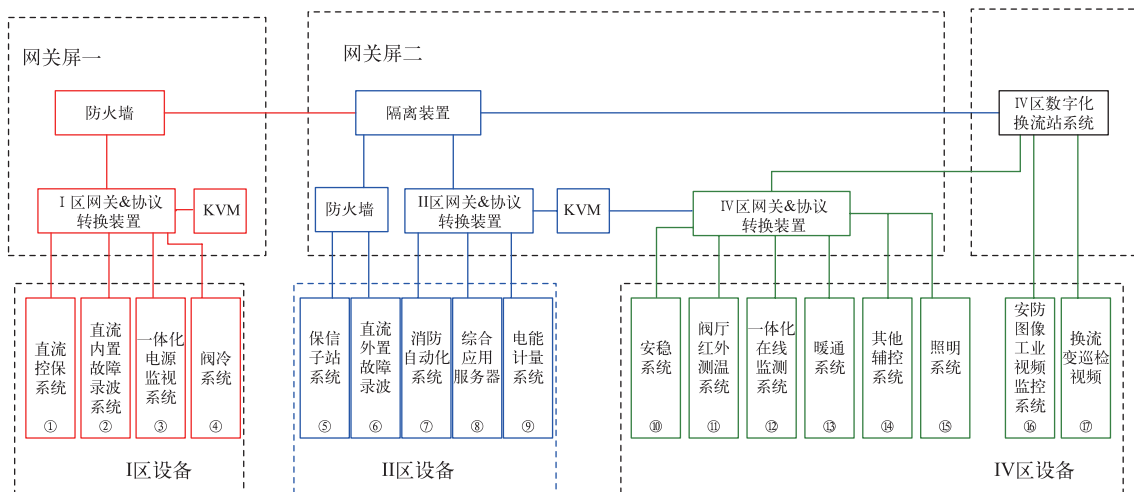


图2 数字换流站子系统数据接入拓扑图

I 区主要由直流控保系统、阀冷系统、一体化电源监视系统及直流内置故障录波系统等子系统组成，这些子系统采集的遥测、遥信信号通过 DL/T 634.5104 规约传输到 I 区数据接入节点，然后再通过单向 DL/T 634.5104 规约和正向隔离装置上传到 IV 区边缘物联代理。子系统产生的故障录波文件则通过文件传输方式和正向隔离装置上传到 IV 区边缘物联代理。

II 区主要包括综合应用服务器、消防自动化系统、保信子站系统、外置故障录波系统和电能计量系统，以及采用 DL/T 860 规约、Modbus 规约等进行通信的辅助系统。综合应用服务器、保信子站系统和消防自动化系统分别采用 DL/T 634.5104 规约、DL/T 634.5103 规约，将交直流保护信息和消防报警消息上传至 II 区数据接入节点，II 区数据接入节点再采用单向 DL/T 634.5104 规约，经正向隔离装置将数据上传至 IV 区边缘物联代理；外置故障录波文件采用文件传输协议（FTP）经正向隔离装置上传至 IV 区边缘物联代理。

IV 区主要包括一体化在线监测系统、安稳系统、阀厅红外测温系统、暖通系统及安防图像工业视频监控系统等。接入数据主要分为非结构化数据和结构化数据两种。安防图像工业视频监控系统采集的为非结构化数据（视频、图片和声纹等），可直接接入数字换流站系统。阀厅红外测温系统、安稳系统及暖通系统等采集的为结构化数据（传感器采集、图片识别等），需先接入汇聚节点，经规约转换后再接入 IV 区接入节点，IV 区接入节点再将数据上传至 IV 区数字化换流站系统。

数据治理

接入特高压数字换流站的遥信、遥测数据多达数十万条，涉及不同区域、不同间隔的设备。数字技术将每台设备抽象化为与实物设备相对应的数据模型，包含每台设备的资产属性、台账信息等相关参数，并将设备模型和对应的遥信、遥测数据相关联，实现站内数据的分析、诊断及故障预测等功能。数据治理是夯实数字换流站基座的关键环节，也是高级应用软件在平台内快速部署和实现的前提条件。

平台公共组件

接入平台的数据在经过模型映射和数据治理后，由平台的数据组件和业务软件进行封装并开放接口；部署在平台上的各类应用通过公共组件的接口获取相关设备的数据，进行分析并呈现。平台公共组件可以分为两种：一种是数据组件，主要依据数据查询与存储响应需求，持久化存储对应的业务数据，并开放相对应的增删查改的接口供相关的应用调用，数据组件包括关系型数据库、实时数据库、时序数据库及视频组件等；另一种是业务软件，包括文件存储、设备管理、数据接入、数据服务、告警服务、消息中间件、API 网关、应用监控及日志管理等相关软件，使平台具有分布式的消息队列，实现资源使用监控和统一告警等功能。

平台软件

1. 基础应用软件

1) 多维信息呈现应用软件主要对全站设备、附属设施、建筑物、道路及安防设施等进行彩色激光点云扫描及素材采集，根据真实的换流站环境进行精细化三维场景建模；再利用数字孪生技术将各设备的数据模型与三维模型绑定，实现系统告警信息、导航树、系统集成框架与三维场景的联动功能，如图 3 所示。多维信息呈现应用软件的页面对各类信息进行定位，包含设备的台账信息、运行参数信息、状态信息、实时运行数据、在线监测数据、检修记录及缺陷记录等；直观呈现设备的真实运行状态；一次设备测点数据可视化；接收、读取平台中的设备报警信息，并在三维画面中予以提醒。

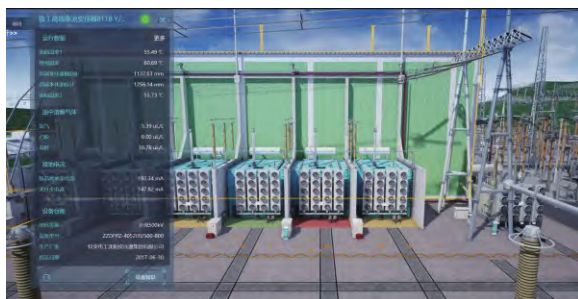


图3 多维信息呈现应用软件页面示意图

2) 基于三维地理信息系统（3D-GIS）实现全

站视频管控功能,采用地理信息+三维模型+实时视频结合的方式,实现摄像机画面与地理信息数据关联,可通过摄像机区域列表、三维模型可视化点选及小地图导航定位区域等方式实现对全站视频资源的访问。另外,通过视频融合技术,可以实现站内全景球机追视、人员定位及运动轨迹溯源等功能。这些视频联动功能可以对工作班成员进行安全管控和作业风险监视,极大地提高了站内运维人员的工作效率。视频管控应用软件的页面如图4所示。

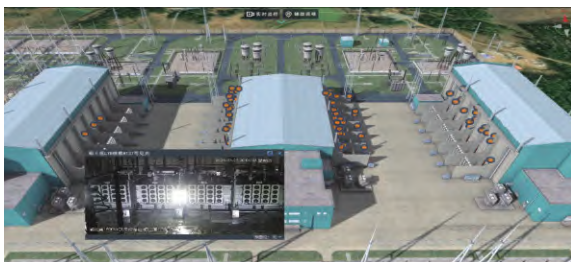


图4 视频管控应用软件页面示意图

3) 录波管理软件基于数字换流站系统平台,实现换流站内置故障录波与外置故障录波的集中管理。能够统一查询与检索接入平台的故障录波文件,并对文件进行在线解析,展示各通道波形、配置参数与故障报告信息。同时提供录波文件下载功能。

4) 智能报表管理软件实现了数字换流站直流控保系统、在线监测、阀冷系统及红外测温系统等的数据统计,按照运维需求通过日报、周报、月报展示进出线路负荷、直流系统负荷、换相失败、滤波器投切、光学电流互感器、油色谱、阀冷系统及电量等历史数据、统计数据和分析数据,实现报表的任务制定、报表自动生成、报表导出及打印等功能。

5) 基于数字换流站平台汇聚的全站数据,实现设备告警总览,支持告警信息在设备、等级及时间等维度上的统计及信息展示,并支持告警信息的实时刷新及过滤检索功能;实现换流变压器、站用变压器、GIS、阀冷系统、光学电流互感器、直流穿墙套管、直流分压器、直流开关、交流滤波器及换流阀等重要设备的状态总览,支持关键设备数据在

日、周、月及自定义时间范围的比对分析和异常信息标注提示。

2. 高级应用软件

数字换流站平台在建设过程中所有的数据接口和模型严格遵守数据交互规范,因此具有很强的软件兼容能力。在日常运维中运行人员可以根据实际的业务需求,开发和部署具有分析和决策功能的高级应用软件。已经实现的高级应用软件包括阀冷智能分析软件、换流阀智能分析软件及直流控保智能分析等。它们的原理都是基于数字站平台,获取系统相关的运行数据,经格式化处理后送入诊断算法并进行算法分析,精准开展设备状态监测分析、状态评估及趋势预测。结合状态分析结果、同类设备数据、历史数据和缺陷案例等,诊断缺陷原因,定位缺陷部件,形成消缺建议。

结束语

特高压数字换流站的建设极大地提升了运维人员的设备管理水平和工作效率,汇集全站的设备运行数据,在应用软件的加持下,实现了设备的故障分析、状态预测及缺陷定位的功能。本文对特高压数字换流站建设的关键技术与功能进行探究和分析,对于特高压数字站的进一步优化提升和推广有一定的参考意义。EA

参考文献

- [1] 王林,晏锋,任重,等.基于数字孪生技术的换流站运维平台的研究[J].电工技术,2021(21):167-168,171.
- [2] 熊念明.基于DL/T 860标准的数字化换流站的建设和运行维护[J].江西电力,2011,35(2):9-13,16.
- [3] 孙燕.基于三维GIS的土地储备管理系统建设研究[J].测绘与空间地理信息,2023,46(01):90-93.
- [4] 秦瀚瀚,李阳阳,彭涛.特高压直流输电铁塔附近三维电场仿真计算[J].电气应用,2022,41(6):16-22.