

变电站二次系统监视预警与在线运维系统的研究

张丽霞, 王琪, 程智浩, 魏真艳, 董泉, 梁向阳, 徐明, 邵季飞

国网河南省电力公司超高压公司, 河南 郑州 450000

摘 要 : 变电站二次设备是电网调度和运行监控的关键基础设施, 是电网安全可靠运行的重要保障。随着新型电力系统供需双侧的不确定性, 电网运行方式调整和集中监控操作越来越频繁和复杂; 同时, 变电站二次设备缺少全面的运行状态数据支撑, 无法满足变电站二次设备高可靠运行的要求和科学精细的管理运维。为了创新厂站二次设备运维管控模式, 增强二次设备整体可靠性, 应用边缘计算、容器化、微服务、知识图谱等技术, 在站端和集控站实现对站控层、间隔层各类二次设备的全景数智化运维管控功能, 为日常运检工作提质增效提供数字化技术手段, 推动电网生产业务数智化转型。

关 键 词 : 二次设备; 运行状态; 数据支撑; 运维管控

Research on Monitoring, Early Warning and Online Operation and Maintenance System for Secondary Systems in Substations

Zhang Lixia, Wang Qi, Cheng Zhihao, Wei Zhenyan, Dong Quan, Liang Xiangyang, Xu Ming, Shao Jifei

State Grid Henan Electric Power Company Ultra-high Voltage Company, Zhengzhou, Henan 450000

Abstract : Substation secondary equipment is a critical infrastructure for power grid scheduling and operation monitoring, serving as an important guarantee for the safe and reliable operation of the power grid. With the increasing uncertainty on both the supply and demand sides in the new power system, adjustments to power grid operation modes and centralized monitoring operations have become more frequent and complex. At the same time, there is a lack of comprehensive operational status data support for substation secondary equipment, which fails to meet the requirements for high-reliability operation of such equipment and the needs for scientific and meticulous management and maintenance. To innovate the operation and maintenance control model of substation secondary equipment and enhance the overall reliability of this equipment, technologies such as edge computing, containerization, microservices, and knowledge graphs are applied. These technologies achieve panoramic intelligent operation and maintenance control functions for various types of secondary equipment at the station level and bay level at the station end and centralized control stations. Additionally, offering digital technology means to improve the quality and efficiency of daily operation and maintenance work, promoting the digital and intelligent transformation of power grid production activities.

Keywords : secondary equipment; operating status; data support; operation and maintenance control

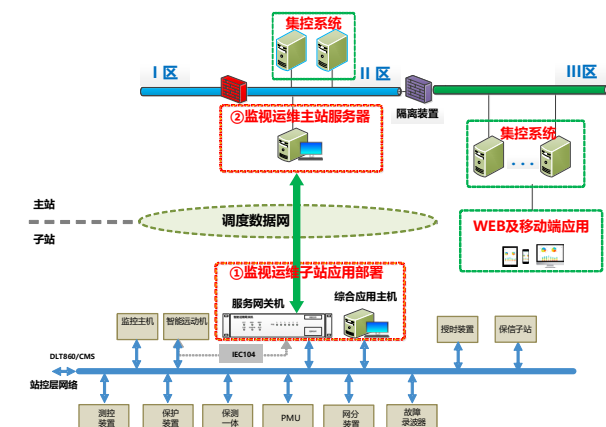
前言

目前变电站二次设备专业管理缺少全面的设备运行状态数据支撑, 缺乏准确的设备台账、SCD模型配置和定值参数等关键运行数据的管控手段, 运维检修也仍以大量人力投入的现场作业为主, 缺乏有效的远程化、数字化、高安全的运维检修技术手段, 设备的故障分析及处理往往需要运维检修人员多次往返于变电站现场, 故障消缺处理周期长, 运维检修效率偏低, 难以满足新型电力系统对变电站二次设备高可靠运行的要求。为了创新厂站二次设备运维管控模式, 面向二次专业管理、面向班组, 提升设备运维和专业管理效能, 增强二次设备整体可靠性, 应用边缘计算、容器化、微服务、知识图谱等技术, 在站端和集控站实现对站控层、间隔层各类二次设备的全景数智化运维管控功能, 为日常运检工作提质增效提供数字化技术手段, 推动电网生产业务数智化转型^[1]。

一、系统架构

系统架构如图1所示，整体部署于Ⅱ区，由站端二次设备监视运维子站（以下简称运维子站，部署于站内Ⅱ区）与集控站Ⅱ区前置服务器（以下简称运维主站）组成。

整体方案按照“应用下沉站端、主站轻量运行、业务安全贯通”的思路设计，充分利用厂站端设备算力，实现海量数据资源的就地分析、处理和应用，异常告警信息主动推送至运维主站，其它数据由运维主站定时或按需调阅。



> 图1 系统架构图

二、运维子站

运维子站平台及应用软件部署于站内服务网关机，接入站内间隔层与站控层网络，采集监控后台、数据通信网关机、授时装置、测控装置等二次设备的数据，实现包括模型文件的管理与合规性校验功能、遥控流程诊断功能、联闭锁逻辑诊断功能、装置告警智能诊断功能、二次设备全景感知功能等核心功能；对上与部署在集控站的前置服务器通信，为集控站提供运维数据调阅服务^[2]。

为解决站端设备类型多、厂商多的问题，运维子站采用开放共享软件架构设计，通过 App 化的方式进行各类业务扩展，一方面各设备厂商可针对各自设备开发专业化的运维 App，另一方面后续运维和管理上新的需求也可以便捷的进行迭代。运维子站上的 App 按功能职责划分为三类：负责数据采集的驱动类 App、负责业务逻辑功能的服务类 App、以及用于人机交互的界面类 App^[3]。

三、运维主站服务器

运维主站服务器部署在超高压集控站自动化机房，具备功能如下：

一是部署配置管理软件，提供运维子站接入管理、配置管理、App 远程部署、上线调试等功能。

二是集成设备监视、运行分析、巡视运维、台账管理、备份管控等应用功能。

三是部署监视运维业务数据聚合 App，按业务需求采集辖区内监视运维子站数据推送至集控站系统，实现站端 I/II 区二次设备精益化监视运维相关业务。

四、基础功能

（一）用户管理

具备用户管理功能，基于三权分立原则划分管理员、操作员、审计员等不同角色，并为不同角色分配不同权限，不存在拥有所有权限的超级管理员角色。

（二）厂站接入

具备厂站接入管理功能，运维主站上存储了所辖区域内所有变电站运维子站的基本信息，包括厂站名称、地理位置、电压等级、通信地址、硬件参数等。新接入子站时，只需完成手动录入新接入子站的通信地址接入即可，其它信息由运维主站向运维子站自动在线获取。

（三）厂站监视

可对接入运维主站的运维子站工况进行实时统计监视，包括服务网关机的在线状态、CPU 使用率、内存使用率、磁盘使用率等硬件资源使用情况进行实时监视，对资源越限情况记录告警事件。

（四）数据聚合

部署监视运维业务数据聚合 App，按业务需求采集辖区内监视运维子站数据进行数据聚合后推送至集控站系统，同时也可接收集控站系统下发的业务交互反馈数据，构建面向厂站二次设备的专业管理和运维检修统一平台。

五、全景感知

（一）台账管理

提供全站二次设备资产台账管理功能，站端基本台账信息由全站 SCD 导入运维子站后同步至运维平台，运维平台负责与集控站系统或省级调控云中资产模型进行关联同步和校核，台账信息包含设备名称、中文描述、设备类型、型号、生产厂家、版本号、网络 IP 等信息，可按区域、厂站、供应商、设备型号、板卡型号等进行分类查询展示，支持通过三维模型、实物影像等进行设备画像。支持资产在线维护，支持网络资产主动发现，支持资产报表导出，资产台账覆盖范围及属性字段。

同时提供站控层网络设备资产主动探测和接入设备资产自动监管功能，以 IP 地址台账数据为基础，主动扫描探测站控层网络中的接入设备 IP 地址，当发现存在非台账内 IP 地址的设备接入网络，产生相应的告警提示，并提供维护接口进行资产台账更新，站控层网络设备资产探测实施技术方案。

（二）二次设备状态监视

提供“厂站-间隔-装置”三级导航功能实现对厂站二次设备的全景感知功能。实现监控后台、网关机等站控设备的 CPU 占有率、内存使用率、磁盘使用率、通道状态、核心进程状态的监视。通过主接线图方式展示当前所访问的厂站的一次主接线图开

关、刀闸状态及对应间隔二次设备的总体运行工况。通过间隔设备展示界面展示该间隔内二次设备的详细工况，并可作为导航入口访问想要查看的二次设备运维界面。点击间隔视图内的二次设备即可进入装置的全景展示界面，实现对装置的指示灯、人机界面、主站告警、压板状态、参数定值、三维模型、设备台账等各种全景信息。

（三）时钟同步装置监视

集成地区已部署的时钟同步监测应用，提供地区所辖厂站时钟同步装置运行情况监视功能，实现对时间同步系统的收星及守时状态监视。可按地区、厂家、型号等统计时钟接入数量、占比、告警数量等指标。可查看各厂站时钟工作状态、时钟源状态、天线状态、收星状态及守时状态。

（四）网络管控

提供全站通信网络全景监视功能，实现对全站通信网络状况的可视化，通信网络的静态网络拓扑从全站 SCD 模型中解析获得，通过从交换机获取各类工况数据实时展示网络设备的端口状态、端口流量、端口告警以及网络链路状态，具体监测信息和功能展示界面。

（五）运行分析统计

提供二次设备状态分析功能，综合长期运行过程中的装置温度、工作电压、测量偏差、自检状态、通信状态、对时状态等多维度状态数据对设备的运行工况进行综合评估，按“优、良、中、差”等级进行设备工况归类，为用户制定检修计划提供依据。针对检修发现的设备缺陷进行归档统计，分析潜在影响范围。统计设备运行年限，按厂家、型号等绘制设备分布图。

六、设备巡视

自动巡视功能用于实现对厂站站二次设备的运行工况和关键运行数据进行在线巡视，巡视内容包括装置指示灯状态、参数定值、压板状态、遥测值、遥信状态、模型版本等等。自动巡视可按用户编制的巡视日程表自动启动巡视，巡视完成后自动生成巡视报告，对于存在异常巡视项的报告，主动推送巡视异常告警，巡视报告中对巡视异常项进行分类统计，方便用户及时掌握系统总体运行情况，历史巡视报告支持按时间进行检索查询。

七、智能诊断

（一）设备告警诊断

设备告警诊断功能用于检测、分析站内二次设备产生的告警信息，提供对告警信息的诊断结果和处置建议。通过 MMS 及相关专用规约驱动 App 进行基础数据和告警信息的收集与筛选，结合自建的故障诊断知识图谱库，自动发现告警产生的内在特征和潜在逻辑，以逐条对应的解释方式进行呈现，帮助快速定位并排除设备异常。

（二）遥控流程诊断

遥控流程诊断功能用于全流程监测遥控命令流转，诊断遥控

失败原因，精准定位问题。通过收集远动、交换机、测控装置等遥控关键节点的数据信息，监测遥控选择、遥控执行、遥控取消等操作的全过程状态，进行时域链式展现，当发生遥控操作异常时，自动逐级排查，定位失败原因，提升故障排查效率。

（三）联闭锁逻辑诊断

联闭锁逻辑诊断功能用于可视化展示测控装置中的五防规则文件，并依据监视运维网采集的实时遥信遥测值，对五防逻辑图进行渲染展示。通过解析装置内的五防联闭锁文件内容，根据其中每条规则对应的联闭锁逻辑在界面上生成对应的可视化逻辑图，计算出闭锁逻辑状态，并与测控装置的闭锁逻辑状态进行校核，不一致时给出告警提示，便于用户进一步检查核实。

八、在线运维

（一）远程虚拟人机交互

通过二次设备远程或虚拟液晶功能，将设备的液晶画面、指示灯、面板按键等延伸至主站，在主站端即可完成远程与间隔层设备的交互，实现沉浸式的设备监视和维护；通过监控后台画面调阅功能，提供后台画面信息和数据库信息的远程查看功能，出现问题时便于和调度信息核实^[4]。

（二）远动转发数据校核

结合远动转发表、EMS 前置信息表、监控信息表、全站 SCD、远动断面数据进行综合校核，确保远动转发表信息一致性。

（三）设备日志调阅

远程在线调阅各二次设备内运行日志信息，便于远程进行设备运行过程的异常分析、遥控操作流程异常的综合排查等工作。

（四）网络漏洞扫描

快速、全面的检测网络中各类资产的脆弱性及边界完整性问题，并进行自动化验证，提供直观的检测结果及专业的加固建议，网络漏洞扫描实施技术特点：

1. 资产脆弱性检测

平台支持识别各类系统漏洞、中间件漏洞、数据库漏洞、云平台漏洞、Web 漏洞、行业化漏洞（如视频专网的 IPC 漏洞、业务平台漏洞等），全面发现资产的安全隐患。

2. 漏洞自动化验证

平台支持模拟人工渗透测试的方式对漏洞进行验证，自动判断漏洞的真实性，用户可根据检测结果有针对性的制定漏洞修复计划。

3. 边界完整性检测

针对用户破坏网络边界完整性的违规行为进行检测，如：私接互联网、私接路由、一机两用、使用随身 WiFi 等，主动监测专网边界状态，预防出现跨网信息交互事件。

4. 资产风险可视化

针对发现的资产风险，提供各维度的数据分析展示，让用户迅速了解资产的整体安全状态。

九、备份管控

（一）模型文件管控

模型文件管控功能包括站端合规性校验和运维平台管控2部分。站端合规性校验是指运维子站定期通过 DLT/860 从站内 A/B 套远动分别获取模型文件，如：RCD 文件、SCD 文件等，解析并进行文件合规性校验（合规性校验规则见附录 E）、双套设备文件的一致性校验和受控版本校验，生成对应的管控简报。运维平台管控是指汇集了各子站模型文件和管控信息后，对文件进行归档管理，可进行各版本的模型文件调阅、异常检查、合规性规则管理等，实现全网模型文件统一管控^[5]。

（二）装置定值文件管控

支持装置参数定值单的人工导入和一致性核对。在运维子站的管理界面上，实现对设备定值和参数的批量对比功能。由初始时导入或人工确认生成的默认版本，后期可由用户根据需要生成不同的定值版本。实现定值参数变更的历史溯源，方便用户全过程跟踪和管控全站设备的定值参数变化。

（三）装置配置管控

通过 DLT/860 收集变电站二次设备的相关配置文件，包括装置 CID、CCD 模型文件、四统一测控装置配置版本信息文件等，装置程序包和定值参数配置文件等装置运行的关键文件。定期对这些文件的文件大小，校验码和 md5 等信息进行定期收集和记录形成历史比对，同时还可以通过版本管理工具进行装置程序包的备份，提供程序和关键运行数据的快照功能。对历史基线版本比对不一致的装置进行告警，以加强对装置程序配置的版本管控。

十、结论

现有变电站体系架构基础上，提出以开放共享架构为基础，以多元信息融合分析为思路，构建数字化的二次系统统一监测与在线运维平台，支撑电网“调、监、控”一体化业务，推进运行、检修、专业管理向自动化、规范化、远程化与智能化方向发展，支撑变电站二次系统安全可靠运行。

参考文献

- [1] 李晶, 吕占彪, 许静静, 等. 智能变电站综合自动化系统中的状态监测与诊断技术分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(09): 184–185. DOI: 10.19339/j.issn.1674–2583.2024.09.081.
- [2] 曹飞, 马红星. 220kV 智能变电站中的继电保护与控制技术分析 [J]. 电子技术, 2023, 52(06): 280–281.
- [3] 魏涛. 变电站自动化监测控制系统研究 [J]. 能源技术与管理, 2023, 48(02): 174–176.
- [4] 周建. 智能变电站二次设备故障状态自动化监测系统设计 [J]. 中国科技投资, 2021, (14): 59–60.
- [5] 张余佳. 智能变电站自动化在线监测系统的设计 [J]. 通信电源技术, 2017, 34(01): 87–88. DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2017.01.033.