

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.180776

变电站远程运维平台设计与实现

张巧霞¹, 王广民¹, 李江林¹, 张道杰¹, 任辉², 梁运华³, 梁勇超³

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 中国电力科学研究院, 江苏 南京 210003;
3. 国网湖南省电力有限公司检修公司, 湖南 长沙 430000)

摘要: 首先, 从分析目前电力监控系统无法支持变电站远程运维及“运维一体化”模式运维的现状出发, 提出了构建区域运维中心的必要性。接着, 提出了区域站域两层体系结构的变电站远程运维架构方案, 在此架构下, 基于运维业务需求, 给出了站端、区域端、运维班终端3级应用功能部署方案。之后, 基于面向服务的区域站域交互框架, 详细设计了站域服务接口方案。最后, 利用区域站域分布式业务处理实现了设备状态远程监视、远程巡视、远程故障处理和远程智能诊断等远程运维业务。应用实践表明, 变电站智能设备远程运维平台的应用提高了设备及系统缺陷预警、故障定位的自动化程度, 减少了设备现场巡检次数, 降低了运维成本。

关键词: 变电站远程运维; 区域运维中心; 运维一体化; 分布式业务; 安全防护技术

Design and implementation of substation remote operation and maintenance platform

ZHANG Qiaoxia¹, WANG Guangmin¹, LI Jianglin¹, ZHANG Daojie¹, REN Hui², LIANG Yunhua³, LIANG Yongchao³
(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. China Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;
3. State Grid Hunan Electric Power Corporation Maintenance Company, Changsha 430000, China)

Abstract: Firstly, based on the analysis of the current situation that the power monitoring system cannot support the substation remote operation and maintenance and the “operation and maintenance integration” mode, this paper puts forward the necessity of constructing the regional operation and maintenance center. Then, a substation remote operation and maintenance architecture scheme with a two-layer architecture in the regional station domain is proposed. Under this architecture, based on the service requirements of substation intelligent device operation and maintenance, a three-tier application function deployment scheme of station end, regional end and operation and maintenance class terminal is presented. After that, based on the service-oriented regional station domain interaction framework, the station domain service interface scheme is designed in detail. Finally, the remote operation and maintenance services such as remote monitoring of equipment status, remote patrol, remote fault processing and remote intelligent diagnosis are realized by using distributed service processing between the regional domain and the station domain. The application practice shows that the application of substation intelligent device remote operation and maintenance platform improves the automation degree of equipment and system defect early warning and fault location, reduces the number of on-site inspection of device, and decreases the operation and maintenance cost.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. DZN17201700055) “Research and Application of Regional/Station Domain Intelligent Equipment Visible Operation and Maintenance Management Platform”.

Key words: remote operation and maintenance of substation; regional operation and maintenance center; substation integrated operation; distributed service; safety protection technology

0 引言

随着智能电网建设全面推进, 智能变电站大量投运, 无人值守变电站广泛应用, 但是变电运检的

模式却未能随着技术的进步而革新^[1], 导致变电站运维面临以下几个难题: 1) 相对传统变电站设备, 智能设备的逻辑和配置复杂, 维护管理难度大, 运维工作量急剧增加; 2) 运维技术应用滞后, 自动化程度严重不足, 对运维人员技术水平要求过高; 3) 缺乏远程运维手段, 设备状态监视依赖运维人员现场巡视, 无人值班条件下, 对事故与缺陷的响应

基金项目: 国家电网公司科技项目 (DZN17201700055) “区域站域智能设备可视化运维管理平台研究与应用”

速度慢^[2-4]。

针对上述问题,国内相关领域的技术专家积极开展研究工作。文献[5]探讨了智能变电站二次设备状态监测的概念和监测对象,分析了信息建模和监测数据分析处理方面的关键技术和方法,并针对交换机和网络拓扑给出了一种建模方案。文献[6]提出了二次设备智能运维系统的系统架构,研究了二次设备运维可视化、智能告警、故障诊断和状态评估等技术,实现了二次设备的可视化运维;文献[7-8]针对智能变电站硬电缆回路被虚拟二次回路代替造成的信息不透明问题,提出了一种可视化的虚拟二次回路监视方案;文献[9-10]建立了二次设备状态评估指标体系,对智能变电站二次设备的实际运行状态进行了合理有效评估;文献[11-13]提出的检修安措策略自动生成及在线校核技术,有效保障了二次安措执行步骤的正确性;文献[14]提出了变电站智能设备的远程测试方法,提高了智能变电站测试的方便性和测试效率。这些研究成果,大部分是在二次设备运行状态数据采集的基础上实现二次设备运行状态可视化,少部分为测试、验收、检修等现场作业提供了辅助手段,在一定程度上降低了作业难度。但是这些研究没有考虑现运检部门对于远程运维的需求及对“运维一体”模式的支持。

文献[15]提出了面向监控的分布式智能告警架构,实现了主站和子站间故障诊断的协同处理;文献[16]提出了智能变电站远程虚拟终端访问系统,检修人员通过该系统可在主站端远程安全调阅变电站内二次设备和交换机的配置和运行情况。文献[17]将传统主站业务划分成主子站互动的分布式业务,提出了主子站一体化的分布式应用架构思路。这些研究考虑了远程运维的需求,但是没有给出系统的解决方案。

本文从“运维一体化”模式下智能变电站运行维护需求出发,以支撑智能变电站远程运维为主线,针对智能设备远程监视、远程巡视、远程故障处理、远程诊断等方面开展研究,构建区域和站域智能设备远程运维管理平台,提供丰富的运维手段,降低运维门槛要求,减少智能变电站运维工作量,提高变电站设备运行的连续性与稳定性,促进运维管理工作向自动化、规范化和远程运维方向发展。

1 现有的电力监控系统架构分析

电力监控系统由站端一体化监控系统和调度端电网调度控制系统组成,系统结构如图1所示。

一体化监控系统实时采集各类变电站监控信息,实时监视、存储并向调度端转发^[18]。按照规范

要求变电站端向各级调度转发的数据如表1所示,主要为:事故信息、异常信息、越限信息、变位信息、告知信息等,其中告知信息反映了电网设备运行情况。

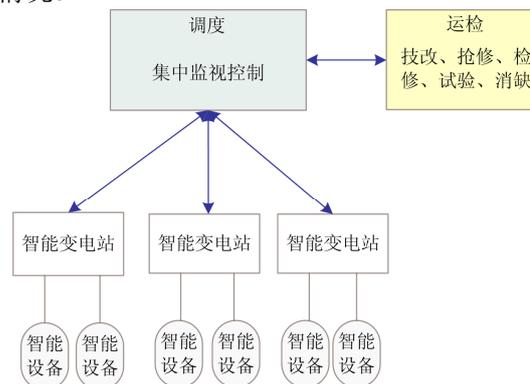


图1 电力监控系统结构

Fig. 1 Power monitoring system structure

表1 变电站监控信息分类

Table 1 Substation monitoring information classification

信息类型	信息内容
事故信息	全站事故总信息;单元事故总信息;各类保护、安全自动装置出口信息;开关异常变位信息
异常信息	一次设备异常告警信息;二次设备、回路异常告警信息;自动化、通信设备异常告警信息;其他设备异常告警信息
越限信息	主要有设备有功、无功、电流、电压、主变油温、断面潮流等
变位信息	指开关类设备状态(分、合闸)改变的信息
告知信息	主要包括隔离开关、接地刀闸位置信息、主变运行档位以及设备正常操作时的伴生信息,如:保护压板投/退,保护装置、故障录波器、收发信机的启动、异常消失信息,测控装置就地/远方等

调控中心负责监控范围内变电站设备监控信息、输变电设备状态在线监测告警信息的集中监视,对监控系统发出的事故、异常、越限、变位信息进行处置^[19]。调度中心值班监控人员对各类变电站监控信息的处理方式如表2所示^[20]。由表1、表2可见,某些告知类信息对设备运行状态的判断非常重要,但是却没有得到及时处理。

表2 调控中心对各类数据的处理方式

Table 2 Data processing method in control centers

信息类型	处理方式
事故信息	实时监控、立即处理
异常信息	实时监控、及时处理
越限信息	实时监控、及时处理
变位信息	实时监控
告知信息	信息定期查询

通过前述分析，可以看出目前的电力监控系统无法满足变电站远程运维需求，主要表现在：

1) 目前转发到调度的数据无法满足远程运维的需求

从表 1、表 2 可以看出，目前一体化监控系统向调度端转发的数据更侧重于为调度和调控中心提供电网实时监视和控制服务，对运维检修的支持功能严重不足。以某 220 kV 变电站为例，调控中心未监视测控装置遥信失电信号，测控装置误发遥信变位，导致开关位置失去监控，最终导致紧急情况下无法遥控开关。又如，调控中心没有采集“消防水泵水压低告警”信号，缺乏消防设施监测手段，如果在设备、设施发生火灾时，消防系统供水不足，无法控制火情蔓延，将造成人身、电网、设备的巨大损失。

一方面是仅依靠目前调度采集到的数据无法满足远程运维需要，另一方面，大部分数据只能停留在变电站内，不能得到充分利用，严重制约了智能化变电站运检管理水平的提高。

2) 运维人员缺乏远程运维手段

电网操作采取集中监视控制模式，所有设备的操作命令都由调度部门下达^[21]，变电站实行无人值守后，变电运检人员对管辖设备无有效监视手段，无法实时掌握站内设备状态，仅凭传统周期性巡视了解设备情况，周期长、反应慢。发生异常时，运维人员需依靠调控人员电话通知，再赴现场进行检查。同时，因无监视手段，运维人员无法预判故障严重程度，需频繁进站检查设备，在运维班和变电站间反复往返，造成人员浪费。

3) 各子系统数据分散，不利于数据综合分析

为了掌握变电站设备运行情况，运维人员除了要监视电网运行数据外，还需要了解变电站一次设备、二次设备、辅助设备运行状态信息、视频数据以及变电站人工和机器人巡检数据。目前各类数据都有独立的系统，缺乏数据的统一处理。

4) 缺乏支持“运维一体”模式的运检平台

多年来，变电运行和变电检修两个专业始终是单独设置，独立运作的。变电运行人员负责设备巡视、倒闸操作、日常维护及事故异常处理等，变电检修人员负责设备消缺、预试、检修等。随着国网公司“三集五大”的推进，传统的变电运行业务已逐步消失，取而代之的是“运维一体”模式。运维一体是指把变电运维与变电检修业务进行整合，由同一组人员实现设备巡视、倒闸操作、设备维护和检修、应急处置等业务^[22]，要求运维人员既要熟悉规范化和标准化的作业流程，又要具备装置检修、消缺等现场作业能力，对运维人员技术水平要求过

高，因此运维人员亟需支持“运维一体”模式的运维管理平台为他们提供丰富的运维手段，帮助他们降低运维难度。

2 变电站远程运维架构

变电站远程运维管理平台采用分层分级的体系架构，由两级平台，三级应用组成，整体架构如图 2 所示。

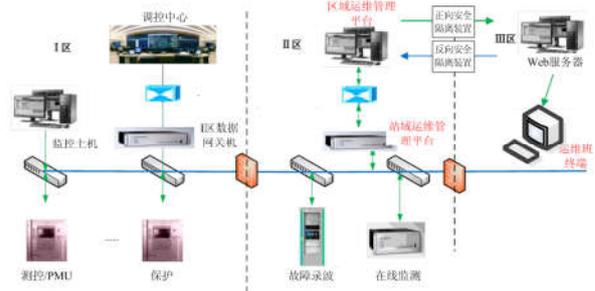


图 2 区域站域体系架构

Fig. 2 Regional/station domain architecture

2.1 两层平台

1) 站域平台

站域智能设备运维管理平台部署于变电站内，站域平台基于一体化业务平台实现，利用“平台+插件”的开放式软件体系架构，与一体化监控系统融合，统一采集站内主设备监控、一次设备在线监测、故障录波、通信报文等数据，与主站协作支持远程运维。

2) 区域平台

区域智能设备运维管理平台部署在运检部门，作为支撑运维的一个独立系统，建立区域运维管理中心，接收多个站域平台数据，实现对多个变电站智能设备的远程运维。区域运维管理平台通过正向专用安全隔离装置将数据备份至 III 区的 Web 数据服务器，Web 数据服务器提供数据发布服务，运维班终端以 Web 浏览的方式对辖区内的变电站进行信息查询。

2.2 三级应用

针对变电运维一体化目标，对于智能设备的运维管理、区域和站域分别有不同的功能定位需求：站域端侧重于数据采集与存储，区域端侧重于对多个站域的远程管理。区域和站域功能架构分布如图 3 所示。

2.2.1 站域平台应用功能

1) 站域全景数据中心

站域平台实现变电站全景数据采集，建立站域数据中心，对数据统一分类，统一存储，并提供统

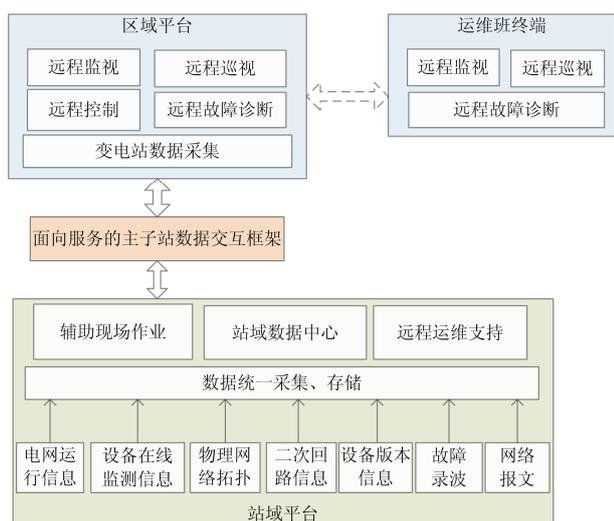


图3 区域站域运维平台应用架构

Fig. 3 Functional architecture of regional/station domain platform

一的数据访问接口。站域数据中心数据涵盖主设备监控信息、一次设备在线监测信息、二次设备在线监测信息、物理网络监测信息、虚回路监视信息、故障录波、网络报文、配置文件、模型文件等全站全景信息。对各类结构化、非结构化数据统一分层分类，建立面向设备的存储模型，对同一设备的环境、资源、保护动作、告警等各种信息建立关联，提供统一的快速数据访问接口，支持各种业务的同步、异步数据查询。

2) 辅助现场作业

站域平台另一个重要的功能是帮助运维人员进行设备故障定位、装置检修、变电站二次设备巡视等现场作业。

(1) 辅助设备故障定位

运维人员可以通过站域平台查看故障后各设备的通信状态、自检信息、异常告警、对时状态、保护动作、压板状态、内部温度、工作电压、光口功率、光强等各种运行状态信息，还可以通过历史数据查询还原故障发生时各种设备的运行状态，从而辅助运维人员进行故障定位。

(2) 智能安措

辅助运维人员执行装置安全隔离措施，通过全站 SCD 文件获取装置间安措连接关系，确定检修装置影响的范围及需要投退的压板，根据安措规则自动生成二次安措操作票；对安措执行、检修、安措恢复的整个过程进行监视，以图形化方式直观显示安全措施的执行状态，包括 GOOSE 虚回路连线、SV 虚回路连线、检修压板状态、GOOSE 压板状态、

SV 压板状态等；安措执行完成后与标准化安全措施进行对比，以检查检修安措是否实施到位；若检修安措实施不到位，给出相应提示并发出安措风险报警，检修工作完成后，检查相关设备的检修压板、GOOSE 压板、SV 压板是否恢复至检修前状态，提高智能站安措实施的可靠性。

(3) 在线模型诊断

通过在线读取装置 CID 文件与后台 SCD 文件比对，校验装置的 MMS 模型与后台是否一致；在线读取装置虚端子连线 CRC，并与后台 SCD 文件比对，校验版本的一致性。

3) 远程运维支持

主要包括远程操作支持、远程画面浏览、远程历史数据查询、实时数据上送等，实现远程巡视、远程诊断等主从两级分布式运维业务。

2.2.2 区域平台应用功能

1) 远程设备状态监视

实现对区域内所有变电站智能设备的远程全景监视，按照地区-站-电压等级-间隔-装置的层级，分层展示区域所有变电站设备运行状态。

2) 远程控制

在区域平台对站内设备进行信号复归、装置复位、软压板投退等控制操作，减少运维人员往返变电站次数。

3) 远程巡视

通过区域平台对区域内所有变电站智能设备进行远方巡视，减少变电站现场巡视次数。

4) 远程诊断

目前变电站设备发生故障时，由运检人员到变电站现场，对设备异常告警、通信状态、内部温度、湿度、光强、光口功率等设备运行状态数据进行分析、追溯，再依据经验进行故障定位。这种处理方式需要运检人员多次往返变电站，且依赖个人经验，故障处理时间长、效率低。远程诊断是在区域端建立设备状态智能诊断专家系统，实时监视分析站端上送的设备运行状态数据，对设备健康状态进行准确诊断和主动预警；设备发生故障时，综合设备运行状态、通信报文、配置文件等多维数据进行智能分析，自动进行设备故障定位。

2.2.3 运维班终端应用功能

运维班终端应用功能提供基于运维班的视图管理，各运维班只需关注责任片区内的变电站监控信息，主要功能如下所述。

1) 变电站信息查看

采用分层分级展示的方式，对运维班辖区内的所有变电站设备监视数据进行实时展示；运维人员

可随时随地查询、下载设备台账信息、配置参数、设备运行状态、历史数据等。

2) 辅助变电站巡视

辅助运维人员制定巡视计划，编写巡视报告。

3) 辅助现场作业

提供问题解决方案，指导检修过程，编制检修报告。

3 关键技术

3.1 面向服务的区域站域交互

3.1.1 服务框架

区域站域之间的通信基于面向服务的交互接口实现，采用通用服务协议(GSP)实现数据传输服务，系统服务体系结构如图 4 所示。

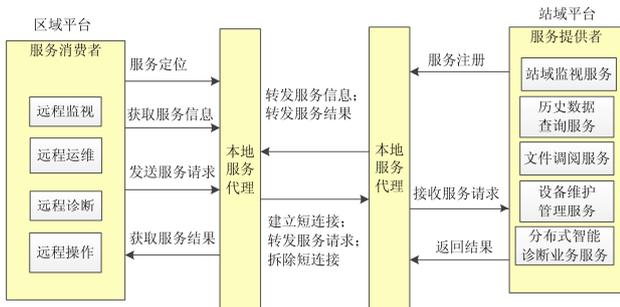


图 4 区域站域交互服务体系结构

Fig. 4 Regional station domain interactive service architecture

区域站域系统之间的服务交互采用基于代理的服务模式实现，所有的数据和功能都通过代理进行转发，该模式一方面解决了电力设备不允许上网直连的问题，另一方面可以减少调度数据网通信安全问题。

服务代理作为服务管理者，提供本地服务管理及远方服务运行状态信息查询、服务定位、数据转发等功能。

区域端的远程监视、远程运维、远程诊断及远程操作等各种业务应用作为服务消费者，通过使用站域端提供的各种服务完成业务功能；站域端提供实时数据订阅/发布、历史数据查询、文件调阅、控制操作等服务支持主站业务，这些服务要向服务管理中心进行服务注册和服务上线申请。

3.1.2 服务设计

区域站域之间数据交互可以分为两类。第一类可简单概括为运行监视数据交互，主要包括站域系统主动上传设备状态监视数据、智能分析结果、区域系统查询历史数据、调阅画面文件等；第二类是区域站域分布式业务交互，主要包括：远程控制业务、远程巡视业务、远程智能诊断等。根据前述区

域站域应用需求，站端服务接口设计如图 5 所示。

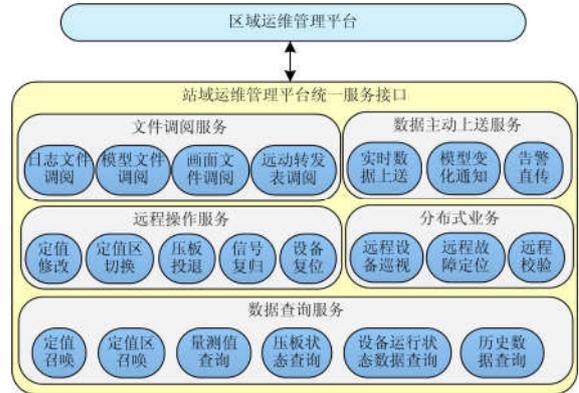


图 5 站域平台服务接口设计

Fig. 5 Service interface design of station platform

站域平台对外部提供统一服务接口，主要包括以下几类服务：

1) 数据主动上送服务

主动上送动作报告、设备异常告警、压板状态、遥测超限等实时数据；站内 SCD 模型改变时，主动上送通知；站域系统智能分析结果以告警直传的方式主动上送区域平台，例如网络流量同期数据比对异常、温度变化趋势告警、通信频繁中断等。

2) 远程数据查询

数据查询服务主要包括：定值、压板、设备参数、自检信息、异常告警、通信工况、网络流量、工作电压等数据的当前值及历史值查询；历史查询服务可按照时间段、间隔、设备、LD 等条件查询。

3) 文件调阅服务

站域平台通过文件调阅服务支持区域平台对 SCD 文件、CID 文件、ICD 文件、画面文件、远动转发表等各种文件的调阅。

4) 远程操作服务

区域平台通过调用站域平台的远程控制操作服务进行远方定值修改、定值区切换、压板投退、信号复归、装置复位等控制操作。

5) 分布式运维服务

将设备巡视、远程故障定位、远程校验等业务设计为分布式业务，区域平台调用站域平台的分布式业务服务完成。

3.2 安全防护

区域站域智能设备一体化运维系统采用开放式安全防护，不刻意割裂网络传输，而是对应用业务运行和关键数据流动进行监视。工作原理如图 6 所示。采用安全探针技术获得日志数据，然后用大数据分析技术，对可能存在的数据异常访问、业务运

行异常风险进行精确感知与管控;通过大数据分析,还可以分析出网络内已经发生、即将发生的恶意攻击,并可追溯到攻击源头,帮助管理者及时修复安全短板,进一步做好安全防护。

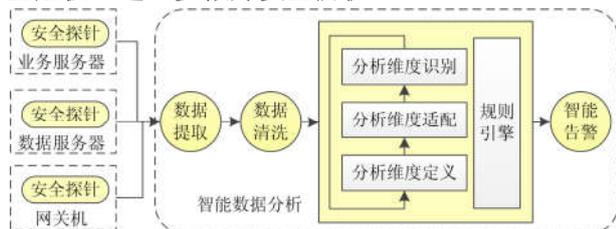


图6 安全防护

Fig. 6 Safety protection

安全探针服务,可以对宿主设备进行监控,主要完成以下工作:文件访问监控、网络访问监控、应用行为监控、安全事件线索分析、安全事件报警分析、IO设备控制(USB、蓝牙等)。

安全探针部署在诊断分析、配置管理等业务服务器上,也可部署在网关机代理设备上,对代理网络数据流和终端业务应用状态进行监控和数据采集,传给本区域的智能数据分析服务器;智能分析服务器根据规则关联分析各种被监控行为的关联关系,能够精确感知数据访问及变化,捕获间谍软件,服务器完成异常告警分析,把告警传给监控系统的智能告警服务。

4 远程运维业务实现方案

4.1 区域平台建模

数据模型统一在站端进行配置和维护,区域端导入站端数据模型直接使用,站端模型有变更时,通过模型变更服务通知区域端,区域端通过文件服务获取最新站端模型文件,实现模型同步更新,保持区域端与站端模型的一致性。

站域系统将站端画面导出为G格式文件,同时导出画面上数据图元与站端数据库的数据映射关系。主站通过文件服务读取站端G文件及数据映射关系文件,通过G文件建立主站端画面,通过数据映射关系文件建立与SCD模型的关联,最终实现变电站画面远程浏览。

4.2 远程监视及故障告警

1) 设备状态健康评价模型

变电站智能设备提供了丰富的设备运行状态信息,设备异常时会产生各种告警例如温度超限、电压不稳、通信中断、操作失败等,这些告警表征了设备的健康状态,因此可以基于设备告警建立设备健康状态评价模型。如图7所示。

健康状态等级	分值范围	处理方案
故障	0-40	需要立即停电检修
异常	40-60	需要关注其运行状态,优先安排检修
一般	60-80	根据计划检修
良好	80-100	无需检修

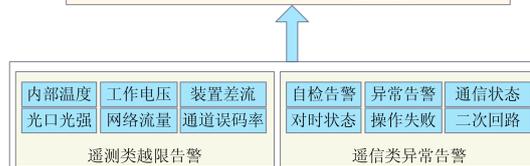


图7 设备健康状态评价模型

Fig. 7 Evaluation model of device health status

在线分析各种设备异常告警,从实时异常告警积分、历史异常告警积分、运行年限积分等方面,对设备健康状态进行定性和定量的评估。

2) 远程设备监视与故障告警

按照地区-站-电压等级-间隔-装置的层级,分层展示区域内所有变电站设备运行状态。区域级监视画面以地图的形式展示区域内所有变电站运行状况,将变电站运行状态用故障、运行、检修3个总信号表示,故障表示该站至少有一个设备的健康状态评估为故障,运行表示该站没有设备状态评估为故障,检修表示该站有设备正在检修;在区域级画面点击变电站可以打开该站的监视画面,站级监视画面以主接线图的形式展示智能设备在各间隔的分布,可以看到哪个装置健康状态异常,点击该装置可以打开该装置的监视画面;装置级画面以设备为中心对运行灯状态、异常告警、内部温度、光口光强、网络流量、压板状态、相关二次回路状态、相关物理回路状态等设备相关的多源信息进行多维度集成展示。远程监视3级展示画面如图8所示。

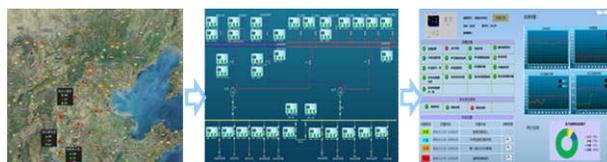


图8 区域级-站级-设备级监视画面

Fig. 8 Area level-station level-device level monitoring display screen

3) 远程故障处理

站域平台提供定值修改、定值区切换、压板投退、装置复位、信号复归等操作服务,区域平台借助这些服务,可在区域端对故障进行处置。在简单故障情况下,运维人员可在远方迅速做出操作,甚至可以直接修正错误。在较严重情况下,运维人员可在权限范围内做出相应减轻后果的部署,再赴现场进行故障处理,防止事故进一步蔓延,提高异常

事件响应和突发故障处理速度。

4.3 远程巡视

子站端提供设备巡视服务,可巡视的内容包括:信号灯状态、异常告警、保护动作、定值、压板、ABC三相差流、开入量、异常事件报告、装置操作报告、装置CRC码等。区域端根据业务需要定制巡视内容,子站巡视服务根据区域端指定的巡视内容,对设备进行巡视,生成巡视报告,以文件的形式上传巡视结果。

定值和压板状态对保护装置能否正确保护动作起着至关重要的作用,因此对于保护装置的定值和压板除了常规的巡视之外还进行状态校验。

1) 压板智能巡视

实现全站压板状态监视、压板状态自动校核、压板状态异常告警。实现方案如图9所示。

压板状态自动校核:通过全站实时数据,形成变电站一次系统拓扑结构图,判断当前的运行方式,匹配规则库中与当前运行方式一致的规则,判断当前的压板状态是否与规则要求的一致,如果不一致进行告警。

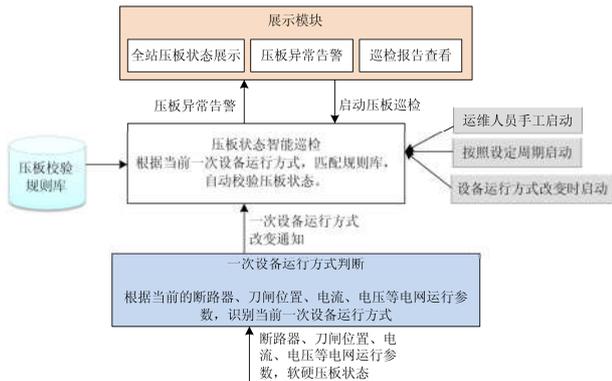


图9 压板状态智能巡视实现方案

Fig. 9 Platen intelligent patrol implementation scheme

全站压板状态展示:按照站、区域(室)、屏柜、装置层级进行压板状态全景展示,画面区域、屏柜、装置及压板的位置布局与实际一致,符合运维人员巡视习惯,当压板状态异常时,界面以闪烁的方式提示用户注意,帮助运维人员及时发现问题。压板智能巡视画面如图10所示。



图10 压板智能巡视展示画面

Fig. 10 Platen intelligent patrol display screen

2) 定值智能巡视

运维人员通过站域平台设置经过继保专家审核过的定值作为定值校验的基准值,系统通过定时或者手工启动的方式对定值进行巡视校验,发现与设置的基准值不一致时,产生告警,并将巡视结果记录在历史库中。

4.4 远程设备故障定位

利用变电站二次设备运行过程中积累的大量检修记录及状态监测历史数据,根据故障设备类型、故障类型、故障特征信息集和解决方案构造故障案例,并将故障案例存储在数据库中形成变电站设备故障案例库;设备发生故障时,根据设备的运行状态信息,在变电站设备故障案例库中进行匹配案例检索,根据检索到的故障案例,实现故障快速诊断,实现方案如图11所示。

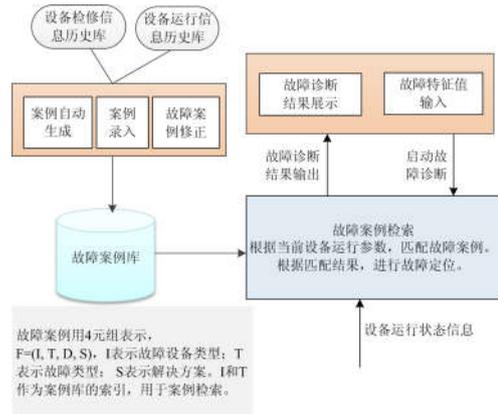


图11 基于案例分析的设备故障定位

Fig. 11 Case based analysis of device fault location

4.5 远程操作故障定位

在主站端对智能设备进行远方操作时,站端对主站端的响应只有一个执行结果信号返回,运维人员无法确定遥控操作执行过程情况,若出现执行故障,也无法确定故障点。远程操作控制障碍功能追踪遥控执行过程,通过对遥控流程的各个环节(主站、变电站、监控、保护装置/测控装置、智能终端、交换机)之间的报文进行分析,并结合设备异常告警、链路告警、通信中断、端口流量、光口功率等数据综合判断定位故障节点,并以图形化的方式展示,展示画面如图12所示。



图12 远程操作故障定位展示画面

Fig. 12 Remote operation fault location display screen

5 应用验证

本文开展的变电站智能设备远程运维平台研究及应用, 为运维一体化提供了支撑平台, 将一、二次设备状态信息全部纳入监控范围, 实现了对现有监控系统的补充, 填补了支撑运维一体化平台的空白。随着“大运行、大检修”体系和变电运维一体化不断推进, 根据本文设计开发的系统已经成功应用于长沙 220 kV 生药变电站, 图 13 所示为生药站物理网络监视画面。从图中可以看出, 当某保护装置的光口出现故障时, 在图中可以清楚地看到状态异常的光口及链路中断告警, 能够帮助运维人员及时发现网络异常及快速定位故障节点。

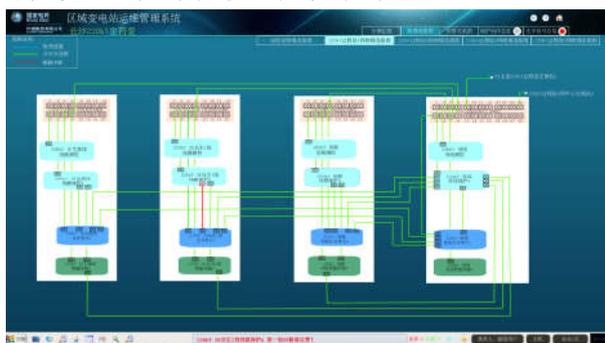


图 13 试点工程应用效果图

Fig. 13 Application effect diagram of pilot project

本文研究成果支持设备状态远程监视、远程操作、远程故障诊断等远程运维功能, 能够有效减少变电站现场巡视次数。以工程试点的 220 kV 生药变为例, 按照所属地区要求该变电站每周一次例行巡视, 一个月一次全面巡视, 每年需要巡视 60 次。变电站智能设备远程运维平台应用后, 可以在区域端实时监视站内设备运行状况, 在设备正常运行的情况下减少一半巡视次数, 每年可减少现场巡视次数 30 次左右, 以每次巡视成本费用 5 000 元计, 该站每年可节约成本 15 万元。按照生药变的应用效果, 本文研究成果如果迅速推广应用于全国 3 000 多座 110 kV 以上的智能变电站中, 每年约可节约 4.5 亿元巡视成本。本文研究成果为运维人员提供了便捷的运维手段, 提高了运维效率, 可帮助运维人员及时发现设备缺陷, 快速响应, 保障用户安全用电、放心用电, 尽可能消除因突发停电为用户带来的损失, 将产生显著的社会效益。

6 结语

本文从变电站运维一体化的需求出发, 提出构建统一的变电站远程运维平台, 并给出了平台的设

计及实现方案。该平台基于区域站域两级分布式架构, 通过站端、区域端、运维班终端 3 级应用, 实现了远程监视、远程巡视、远程故障处理和远程智能诊断等远程运维业务。该平台的功能侧重于设备运行状态的监视及诊断, 对变电站现场巡视、设备检修等现场作业的支持功能不足, 还需进一步研究。

参考文献

- [1] 何晶金. 智能化变电站运维检修管理模式的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
HE Jingjin. Research on intelligent substation operation and overhaul management model[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [2] 卢强. 基于三集五大绍兴供电公司“大检修”体系优化研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
LU Qiang. Research on optimization of SEPC “big maintenance system” based on three intensifications and five systems[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2017.
- [3] 陶鸿飞, 魏伟明, 姚建生. 变电运维一体化作业风险管控的实践[J]. 华东电力, 2014, 42(8): 1733-1734.
TAO Hongfei, WEI Weiming, YAO Jiansheng. Risk control for substation integrated operation[J]. East China Electric Power, 2014, 42(8): 1733-1734.
- [4] 张健. 变电站主动式运维模式研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
ZHANG Jian. Studies on active operation and maintenance management mode[D]. Jinan: Shandong University, 2017.
- [5] 蔡骥然, 郑永康, 周振宇, 等. 智能变电站二次设备状态监测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 148-154.
CAI Jiran, ZHENG Yongkang, ZHOU Zhenyu, et al. A survey of research on secondary device condition monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 148-154.
- [6] 秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 等. 智能电网二次设备运维新技术研讨[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 36-39.
QIN Hongxia, WU Fangying, PENG Shikuan, et al. New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 36-39.
- [7] 黄志高, 李妍, 李腾, 等. 智能变电站 SCD 文件虚回路自动生成技术的设计和实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 106-109.
HUANG Zhigao, LI Yan, LI Teng, et al. Design and implementation of automatic generation technology of SCD file virtual circuit in smart substation[J]. Power

- System Protection and Control, 2017, 45(17): 106-109.
- [8] 张巧霞, 贾华伟, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.
ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.
- [9] 王月月, 陈民铀, 姜振超, 等. 基于云理论的智能变电站二次设备状态评估[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 72-76.
WANG Yueyue, CHEN Minyou, JIANG Zhenchao, et al. A state assessment method for secondary equipment in intelligent substation based on cloud model[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 72-76.
- [10] 赵红. 智能变电站二次设备状态评估方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
ZHAO Hong. Research on status evaluation method for smart substation secondary equipments[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [11] 刘孝刚, 施琳, 张帆, 等. 智能变电站二次安措策略自动生成和在线校核技术[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(23): 83-86.
LIU Xiaogang, SHI Lin, ZHANG Fan, et al. Automatic generation and online checking technology for secondary safety measures of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(23): 83-86.
- [12] 李鹏, 卫星, 郭利军, 等. 智能变电站继电保护运维防误技术研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(19): 123-128.
LI Peng, WEI Xing, GUO Lijun, et al. Study and application of relay protection maintenance anti-misoperation technology in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(19): 123-128.
- [13] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 148-152.
YE Yuanbo, SUN Yueqin, HUANG Taigui, et al. Online state detection and fault diagnosis technology of relay protection secondary circuits in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 148-152.
- [14] APOSTOLOV A. Efficient maintenance testing in digital substations based on IEC 61850 edition 2[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 407-420. DOI: 10.1186/s41601-017-0054-0.
- [15] 张永刚, 庄卫金, 孙名扬, 等. 大运行模式下面向监控的分布式智能告警架构设计[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(22): 149-153.
ZHANG Yonggang, ZHUANG Weijin, SUN Mingyang, et al. Architectural design of distributed intelligent alarm application for equipment monitoring in the "large operation" mode of State Grid[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(22): 148-153.
- [16] 李澄, 陆玉军, 王宁, 等. 智能变电站远程虚拟终端访问系统设计与实现[J]. 电测与仪表, 2016, 53(13): 123-126.
LI Cheng, LU Yujun, WANG Ning, et al. Design and implementation of a remote access system of virtual terminal for the smart substation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2016, 53(13): 123-126.
- [17] 李江林, 张道杰, 董江虹, 等. 主子站一体化分布式业务架构研究与应用[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(增刊): 43-48.
LI Jianglin, ZHANG Daojie, DONG Jianghong, et al. Research and application about the master-slave station integration of distributed business application architecture[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(S): 43-48.
- [18] 国家电网公司. 变电站设备监控信息规范: Q/GDW 11398-2015 [S]. 北京: 国家电网公司, 2015.
- [19] 国家电网公司. 国家电网公司调控机构设备集中监视管理规定: (调/4)222-2014[S]. 北京: 国家电网公司, 2014.
- [20] 国家电网公司. 国家电网公司调控机构设备监控信息处置管理规定: (调/4)223-2014[S]. 北京: 国家电网公司, 2014.
- [21] 王立. 大型变电站运维实践与探索[D]. 济南: 山东大学, 2016.
WANG Li. Operation and maintenance practice and exploration of large transformer substation[D]. Jinan: Shandong University, 2016.
- [22] 魏本成. 智能变电站验收及运检方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2015.
WEI Bencheng. Research of intelligent substation check and operation[D]. Jinan: Shandong University, 2015.

收稿日期: 2018-06-28; 修回日期: 2018-09-19

作者简介:

张巧霞(1979—), 女, 通信作者, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化产品研发, 变电站智能运维; E-mail: 147599689@qq.com

王广民(1976—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化, 变电站智能运维;

李江林(1967—), 男, 本科, 教授级高工, 从事电力系统自动化领域研究开发工作。

(编辑 葛艳娜)