

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191113

智能变电站自动化设备透明运维系统构建与应用

彭志强¹, 周航², 韩禹³

(1. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 国网江苏省电力有限公司南京供电分公司, 江苏 南京 210000; 3. 国网江苏省电力有限公司泰州供电分公司, 江苏 泰州 225300)

摘要: 针对常规变电站在运行监视、操作与控制、综合信息分析与智能告警等方面不规范的问题, 开发智能变电站自动化设备(Smart Substation Automation Equipment, SSAE)透明运维系统。首先将智能变电站运维系统划分为现场运维和远程运维以适应不同场景, 并基于信息模式, 细化设备一体化运维细节。对变电站监控系统配置规范化、自动化设备和运行参数网络化统一配置运维。研制一体化运维工具, 在广域运维主站新增透明运维功能模块, 实现交换机、测控装置和版本一体化管控运维。

关键词: 智能变电站; 自动化设备; 运行管理; 一体化运维

Construction and application of transparent operation and maintenance system for smart substation automation equipment

PENG Zhiqiang¹, ZHOU Hang², HAN Yu³

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. Nanjing Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited, Nanjing 210000, China; 3. Taizhou Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited, Taizhou 225300, China)

Abstract: This paper addresses the problems of irregular operation of conventional substation in operation monitoring, operation and control, comprehensive information analysis, intelligent alarm, etc. A transparent operation and maintenance system of Smart Substation Automation Equipment (SSAE) is developed. This paper first divides the smart substation operation and maintenance system into on-site operation and maintenance and remote operation and maintenance to adapt to different scenarios. It refines the details of equipment operation and maintenance based on the information model. It standardizes the configuration of the substation monitoring system, network automation equipment and operating parameters, and configures their operation and maintenance. Integrated operation and maintenance tools are developed, and transparent operation and maintenance function modules are added to the wide-area operation and maintenance main station to realize integrated management and operation of switches, measurement and control devices and versions.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61602251) and Science and Technology Project of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. (No. J2019038).

Key words: smart substation; automation equipment; operation management; integrated operation and maintenance

0 引言

近年来电网发展迅速, 变电站的规模与数量随之增加, 常规变电站专业化与集约化程度却相对滞后, 同时资源配置效率低、管理链条长。相较于常规变电站, 智能变电站^[1-2]在信息数字化、平台网络

化和信息互通互享化下, 实现监测运行、操作控制以及智能告警等功能^[3-4]。智能变电站虽然实现了自动化设备通讯规约和SCD模型文件的规范化, 但厂家设计的维护界面、监控后台配置、操作与控制和综合信息分析等没有规范化, 不利于变电站的集中运维管理和规范标准化建设。

对于智能变电站数据流传输、二次设备状态和智能监控等已取得不少成果, 但对规范测控装置、交换机和监控后台等运维界面以及统一配置运维自

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(61602251); 国网江苏省电力有限公司科技项目资助(J2019038)

自动化设备、运行参数少有研究。文献[5]以虚拟局域网为基础,对变电站内智能电子设备的综合数据流建立了全面的数学模型。文献[6]利用模糊评价法找寻对智能变电站二次设备状态准确性起作用的关键因素,并对其进行了评价,给出了评价的计算步骤。文献[7]改进了物联网以及智能变电站二次设备启用信息的存储方式,但各自动化装置信息单独配置,没有进行统一运维。文献[8]评估了智能变电站监控系统的工作机制,但未考虑测控装置运行参数规范化问题。

针对上述问题,开发智能变电站自动化设备透明运维系统,通过对运维通信服务接口标准化,研制一体化运维工具,在广域运维主站新增透明运维功能模块,实现远方与本地的同质化运维。面向不同的运维对象采用模块化设计,交换机、测控装置和版本一体化运维分别实现交换机的一体化管控、全站所有测控装置配置文件和配置参数一体化修改以及自动化设备的软硬件版本信息有效维护。

1 SSAE 透明运维系统框架

1.1 一体化运维层次结构

一体化运维的对象是站内自动化设备,为适应不同场景分为现场运维和远程运维两种模式。层次结构功能如下,采集层通过 IEC 61850 协议获取运维对象的数据,包括实时信息、参数信息和日志信息等。数据服务层将采集的数据进行统一管理、用数据库存储并进行分析和交换。应用层将数据服务层数据以模块化的方式进行数据管理、应用和展示,最终实现透明化运维的目标。一体化运维的层次结构如图 1 所示。

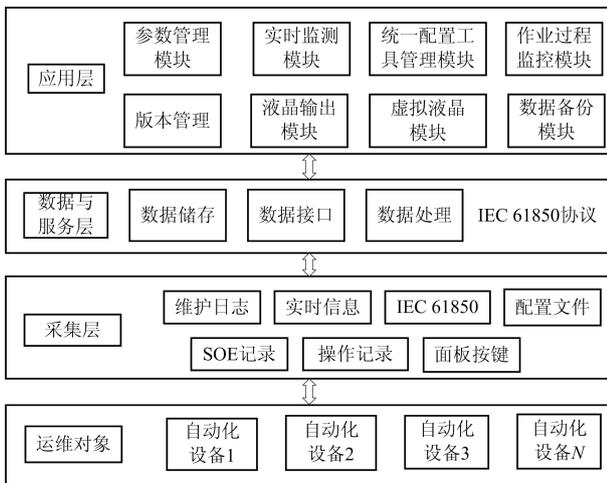


图 1 一体化运维层次结构图

Fig. 1 Diagram of integrated operation and maintenance hierarchy

1.2 现场运维模式

一体化运维工具具备工程配置上传、校核及下载功能,可查阅装置运行信息,包括实时数据及日志记录,同时具备虚拟液晶功能。

制定测控装置生成装置的最新画面位图的规则,基于 IEC 61850 协议实时传输位图,一体化运维工具可实时获取液晶最新画面。同时制定面板按键协议,远程通过按键协议去控制测控的界面操作。现场运维模式下的透明运维架构如图 2 所示。

站控层及间隔层设备与 MMS 共网,过程层设备可采用调试网口连接站控层网,实现运维网对全站变电站自动化设备互连互通,由一体化运维工具集中对站内二次设备配置及运维。

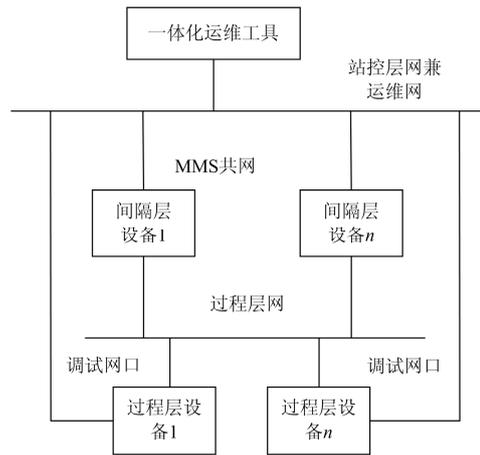


图 2 现场运维模式下的透明运维架构

Fig. 2 Transparent operation and maintenance architecture in live mode

1.3 远程运维模式

在广域运维主站增加透明运维功能模块,实现的功能与变电站一体化运维工具一致,数据通信网关机作为服务代理,向广域运维服务管理中心注册装置透明运维服务,服务上线后在广域运维中心进行透明运维服务的调用。变电站内数据网关机实现对站内自动化设备远程运维服务。远程运维模式^[9]下的透明运维架构如图 3 所示。

2 SSAE 透明运维信息模型

信息模型指的是变电站自动化设备在一体化运维中与设备相关的模型数据,基于信息模型,进一步细化设备一体化运维的细节。模型如图 4 所示。

2.1 交换机信息模型

变电站工业以太网交换机^[10]开展一体化运维管理应开放以下参数,参数模型应能提供输入输出参数节点。

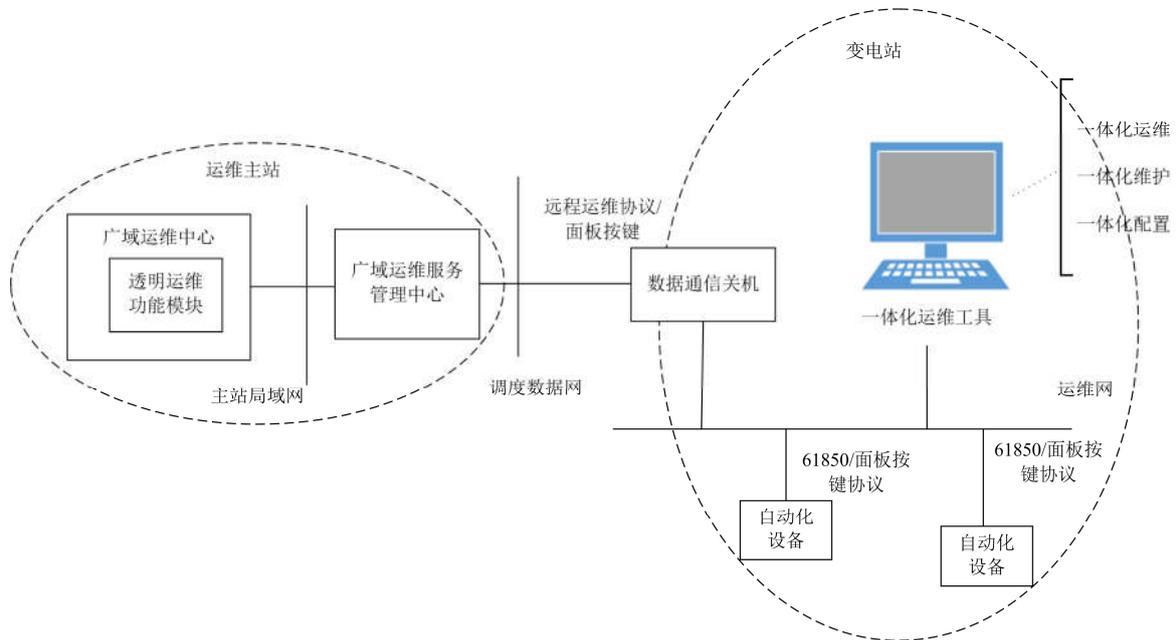


图 3 运维远程模式下的透明运维架构

Fig. 3 Transparent operation and maintenance architecture in operation and maintenance remote mode

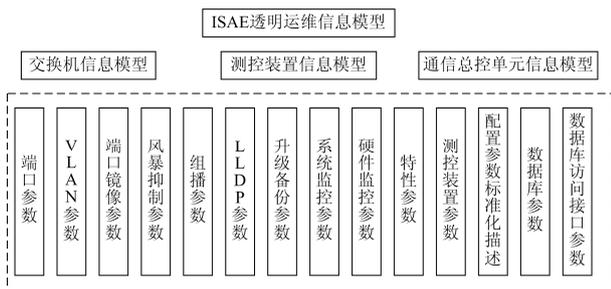


图 4 智能变电站变电站自动化设备透明运维信息模型

Fig. 4 Transparent operation and maintenance information model of smart substation automation equipment

1) 端口参数

端口参数应包括: a) 打开/关闭端口; b) 配置双工、速率; c) 查看端口 Link 状态; d) 查看端口出方向发送字节数; e) 查看端口入方向接收字节数。

2) VLAN 参数

VLAN 参数应包括: a) 创建静态 VLAN; b) 设置端口的 VLAN 模式; c) 设置端口的 ACCESS VLAN ID; d) 设置端口 TRUNK 模式时的默认 VLAN ID; e) 设置端口 TRUNK 模式时候端口所允许通过的 VLAN; f) 设置端口 TRUNK 模式时候端口所允许通过的 UNTAG VLAN。

3) 端口镜像参数

端口镜像参数应包括: a) 打开/关闭镜像; b) 监视端口; c) 出端口列表; d) 入端口列表。

4) 风暴抑制参数

风暴抑制参数应包括: a) 全局设置未知单播抑制; b) 全局设置未知组播抑制; c) 全局设置广播抑制。

5) 特性参数

QoS 特性参数应包括: a) 启动/关闭 QoS; b) 严格优先级(SP)调度; c) 信任 CoS 或端口优先级; d) 显示端口 QoS 配置情况; e) 设置 CoS 和优先级映射关系; f) 查看优先级和队列映射关系。

6) 组播参数

组播参数应包括: a) 二层静态组播; b) 启动/关闭组播; c) 设置组播地址及端口。

7) LLDP 参数

LLDP 参数应包括: a) 配置 LLDP 全局使能; b) 配置 LLDP 端口使能; c) 配置 LLDP 基本参数; d) 显示本地配置信息; e) 显示端口信息; f) 显示邻居信息。

8) 升级备份参数

升级备份参数应包括: a) 通过 FTP/TFTP 升级系统文件或配置文件; b) 通过 FTP/TFTP 备份系统文件或配置文件。

9) 系统监控参数

系统监控^[11]参数应包括: a) 查看内存利用率; b) 查看 CPU 利用率。

10) 硬件监控参数

硬件监控参数^[12]应包括: a) 查看电源信息, 支持设备掉电告警; b) 查看温度信息, 支持温度异常告警; c) 查看电压信息, 支持电压异常告警。

2.2 测控装置信息模型

1) 测控装置参数

测控装置技术规范中要求的参数如下:

(1) 遥测参数: 包括测量变化死区、测量零死区、PT/CT 一二次额定值, 遥测参数整定范围、默认值、单位等属性。

(2) 遥信参数: 包括信号防抖时间设置, 遥信参数整定范围、默认值、单位等属性。

(3) 遥控参数: 包括控制出口脉宽, 遥控参数整定范围、默认值、单位等属性。

(4) 同期参数: 包括同期抽取电压、测量侧和抽取侧额定电压、有压定值、无压定值等, 参数整定范围、默认值、单位等属性。

2) 配置参数标准化描述

配置描述文件^[13-14]用来描述变电站自动化设备业务功能的配置参数, 采用 XML 文件格式, 每类功能采用一个配置描述文件。参数分为公共部分和私有部分, 用标签和属性等加以描述。公共部分即统一化配置参数, 根据运维需求和设备功能进行提炼, 形成统一的标准参数; 私有部分为厂商扩展参数, 用以描述重要的私有属性, 数量不宜过多, 其描述方式应遵循参数名和属性表述方式, 应采用简洁易懂的描述, 不应存有歧义。

需要说明的是, 由于参数具备可配、可选、只读属性, 因此在该文件中, 参数还需具备相应的属性描述, 如果为可选属性, 应穷举其选项。

装置参数包括: 遥测参数、遥信参数、遥控参数以及同期参数。其导入导出的参数文件文件名定义为“formatted_set.xml”。

2.3 通信总控单元信息模型

1) 数据库参数

通信总控单元数据库内部包含以下参数:

(1) 系统参数: 用于描述特殊参数, 如本机和副机的双网 IP 地址。

(2) 远动接口参数: 保存物理口数据信息, 同时使用以太口, 包含五个端口。

(3) 间隔层设备参数: 设备的类型、地址, 装置的类型、描述以及 YC 和 YX 等总数, 总库中起始号。

(4) 实时运行参数: 包括主动和被动保护、遥控、虚遥信和 SOE。

(5) 计算参数: 通过计算而得到的各类型参数, 如变量、指针和初始化计算。

2) 数据库访问接口参数

在信息总控单元中存放测控、保护装置得到实时数据, 为让各模块访问到这些数据, 提供必要 API 接口。其中初始设备参数库在静态分配中占最大数

目分配, 并设有规约转换器。初始化子设备信息库则由文件配置或者设备参数库得到子装置总数目。系统中需要的实时数据若包含较大的信息量并难以识别则将其共享到缓冲区。

3 SSAE 透明运维应用

一体化运维工具主要实现对变电站内自动化装置的透明运维, 面向不同的运维对象采用模块化设计。

3.1 交换机一体化运维

交换机一体化运维^[15]主要实现变电站内交换机的一体化管控, 一体化运维工具通过 SNMP 协议与变电站内交换机进行通信和交互。主要实现的功能包括: 交换机集中配置、交换机日志的管理和拓扑管理等。

3.1.1 集中配置

一体化运维工具具备可对管理的交换机进行集中配置、一体化管理的功能, 首先变电站内交换机设备应无差别地接入到一体化运维工具中, 支持采用 SNMP 协议进行监控、管理和交互。采用 SNMP 协议进行配置时, 交换机一体化运维工具提供统一的配置入口, 并能提供集中设备监控和维护界面及手段。

1) 交换机配置文件备份

一体化运维工具可对交换机配置文件进行一键备份和管理, 保持本地备份的交换机配置文件与实际交换机运行中的一致。

2) 交换机参数修改

一体化运维工具可在线读取最新的交换机的配置参数, 并在人机界面中以树状列表的形式罗列出来, 模拟在交换机本地修改配置类似的界面逻辑, 进而完成交换机配置参数的获取、修改, 保存、发布和下装等一系列流程。

交换机节点下的主要参数^[16]包括: CPU 及内存、LLDP 配置、QOS 配置、VLAN 参数配置、端口参数配置、端口镜像配置、风暴抑制配置、光模块数字诊断、监控及告警、组播配置、HTTP 管理和固件升级等。

3) 参数自动校核

交换机参数通过一体化运维工具修改完成以后, 需要校核其参数有无修改成功。一体化运维工具读取修改后的交换机参数并与工具中修改参数的记录进行对比校核, 可自动分析出交换机参数修改完成情况。

3.1.2 日志管理

变电站交换机日志^[17]的管理主要分为两类日志: 一类是交换机配置修改时一体化运维工具本身

产生的日志，此类日志是对交换机配置修改过程的安全管控；另一类是交换机自身运行时产生的日志，此类日志中记录了交换机运行过程中的异常情况。

1) 系统日志管理

交换机系统日志指的是用一体化运维工具在交换机管控模块操作过程中产生的日志，主要记录的内容包括：厂站的建立、网络的建立和交换机的配置等。并建立一套系统日志的自动生成、保存和手动调取分析的规范要求。

2) 运行日志管理

交换机运行日志指的是用交换机在运行中产生的相关告警而生成的日志，对日志的管理也分日志的生成、保存和手动调取分析。

与配置日志管理不同的是运行日志生成的方式不同，运行日志是基于 SNMP 协议中交换机主动发送的 trap 信息。日志的生成、保存和调取分析方式与配置管理日志类似，日志生成的文件名为 Function_年+月+日.log。此方式需要制定交换机基于 SNMP 协议发送 Trap 信息的相关协议，定义交换机的哪些信息需要触发 Trap 信息。

3.1.3 拓扑管理

交换机设备与一体化运维工具管理客户端配合使用采用图形化的拓扑显示，真实反映设备拓扑连接关系和设备状态。交换机一体化运维工具管理客户端提供 SNMP 信息、Trap 主机等网管功能参数配置入口，实现基本拓扑信息显示、告警管理等功能。

1) 拓扑功能

(1) 可通过用户对网络以结构手动设计，创建各种类型的拓扑节点以及节点间的各种链路连接关系。

(2) 支持探测指定网段或指定 IP 段设备，网络拓扑自动设计，快速完成拓扑的构建。

(3) 采用层次、级别分类方式监控设备在拖网情况下监测，若发现拖网发生，发出警告。

(4) 支持依靠设备 IP 地址以及节点名称迅速准确查询管理对象节点。

(5) 告警节点以颜色确定告警的级别，并能迅速查询产生告警的具体信息。

(6) 可根据用户需求提供树形、星形、网格型等网络布局图形分布自动完成网络拓扑布局。

(7) 可根据告警事件快速找到故障设备在网络中的位置。在当前告警列表中，提供右键单击键“拓扑定位”显示产生该告警信息设备位置节点功能。

2) 告警管理

(1) 一体化运维工具支持解析设备告警，提供告警事件的详细信息，并能够精确找出故障点。

(2) 一体化运维工具支持以下告警管理功能：a)

告警状态管理：支持确认/取消确认、告警清除操作、告警状态和历时等信息的查看；b)告警级别分类划分为五个级别，严重程度以颜色加以区分如表 1 所示。

(3) 告警分组显示：系统提供当前告警的实时分组监视功能，通过该功能可以将接收到的告警事件按指定条件进行分组显示，并提供按级别统计计数、定位等功能。

表 1 告警严重程度区分显示表

Table 1 Alarm severity classification display table

告警分类	告警严重程度	颜色显示
紧急告警(Critical)	最高等级，将导致业务系统中断	红色
主要告警(Major)	业务系统没有中断，但性能严重下降 影响用户业务运作	橘色
次要告警(Minor)	系统出现告警信息但不影响业务系 统运行	黄色
提示告警(Warn)	业务系统正常运行，但出现一般性使 用问题	蓝色
未知告警(Unknown)	无法识别的告警信息	灰色

3.2 测控装置一体化运维

变电站测控装置一体化运维主要实现测控装置的实时数据监测^[18]、一体化配置、虚拟液晶功能和设备的日志解析。测控装置遵循“四统一、四规范”测控装置的技术要求。

3.2.1 实时数据监测

一体化运维工具可实时监测测控装置遥信遥测数据。一体化运维工具通过站控层网络交换机与全站测控装置进行通信。运维工具中导入全站的 SCD 文件，并在应用中罗列每个 IED 设备的遥信和遥测列表以及相应的状态和数值。

3.2.2 一体化配置

一体化配置可实现全站所有测控装置配置文件一体化管控、配置参数一体化修改等功能，完成测控装置的一体化运维。

1) 配置变电站

针对每个场站需要添加变电站和变电站下的测控装置的信息。工具中可进行新增变电站、修改变电站名称和删除变电站的操作。

2) 通信形式

包括用数据的读写服务读取测控装置实时数据，用文件服务完成测控装置与平台文件的传输。

3) 配置文件备份还原

在工具中可设置和更改测控装置中配置文件的文件路径和文件名，通过 IEC 61850 文件服务，可一键获取装置配置文件并备份至本地中。本地中

备份路径按照变电站名称-电压等级-间隔名称-装置名称-备份时间进行备份。从测控装置备份至本地的备份文件可同样还原至测控装置指定路径中, 完成所有配置文件的还原。

4) 测控装置参数修改

一体化运维工具可一键召唤测控装置的最新配置文件并解析, 确保本地中某测控装置的配置文件为最新配置。然后解析最新的配置文件, 并提供人机界面修改, 修改完成设置一键下装, 完成测控参数的修改。

3.2.3 虚拟液晶

虚拟液晶技术即在一体化运维工具中虚拟实际的液晶, 能看到液晶中的画面状态和进行按键操作。在一体化运维系统中模拟出跟装置一致的面板界面, 包括一定尺寸的液晶屏和上下左右确定取消等按键。虚拟液晶屏显示^[19]的画面与装置实际液晶的画面一致, 数据实时刷新。在虚拟液晶中通过按键操作将按键命令传输给装置, 装置执行相应的指令, 与实际在装置上按实体按键效果一致。

3.2.4 日志解析

一体化运维工具中具备一键召唤测控装置日志的功能, 可按照变电站不同电压等级不同间隔的不同装置的不同日期来进行选择。在召唤出日志, 可选择进行查看原始的日志文件, 或者通过一体化运维工具对其解析后的日志文件。

3.3 版本一体化管控

版本一体化管控^[20]解决目前智能变电站自动化设备的软硬件版本信息缺乏有效维护手段的问题。通过定义自动化设备软件、硬件版本文件的生成、通信和管理形式, 增加版本有效的管理手段。版本信息记录格式包括基础版本管理信息和扩展信息。为便于版本信息记录文件的自动生成及存储、处理, 定义了版本信息记录文件的标准化 XML 文件格式, 对前述各版本信息的记录格式作出统一规定。自动化设备按照统一格式生成版本记录文件, 在硬件维修或者更换时, 版本记录文件可以上电重启自检阶段完成信息的更新, 软件更新后投入运行或参数修改保存成功后即时更新。通过 IEC 61850 文件服务, 工程调试或现场维护结束后通过文件服务召唤各装置的版本记录文件入库归档。

3.3.1 基本版本信息

各设备的基础版本信息管理内容包含设备基本信息、程序版本和模型版本等内容。各信息为所有自动化设备以装置自动生成方式产生记录文件, 生成版本号依据相关软件、模型或参数综合计算的方式, 最后显示出唯一的版本号。校验码生成规则

采用将所有相关软件、模型或参数打包计算的方法, 校验码即备份打包文件的校验码。具体示例如表 2 所示。

表 2 自动化设备版本管理系统设备基本信息示例

Table 2 Basic information example of automated device

类别	示例
生产厂商	XXXX
装置名称	XXX 线路测控装置
装置型号	PCS-9705-DA-A
软件版本	2.11
软件发布日期	2016-10-10
软件校验码	C3DA56B1
CID 模型版本	1.0
CID 模型校验码	4A5CB91A
参数文件版本	1.0
参数文件校验码	751A2CB3

对于监控系统的监控主机、工程师站、综合应用服务器等设备^[21-25], 每个变电站生成一张监控系统设备基本信息表, 包含本站当地监控系统的基本信息。监控系统设备基本信息的具体内容示如表 3 所示。

表 3 监控系统设备基本信息示例

Table 3 Basic information example of monitoring

类别	示例
生产厂商	XXXX
装置名称	XXX 监控系统
装置型号	XXXX
软件版本	6.3
软件发布日期	2016-10-10
软件校验码	C3DA56B1
SCD 模型版本	1.0
SCD 模型校验码	4A5CB91A
数据库参数版本	1.0
数据库参数校验码	751A2CB3
图形文件版本	1.0
图形文件校验码	751A2CB3
配置文件版本	1.0
配置文件校验码	751A2CB3

3.3.2 扩展版本信息

在基础版本管理信息基础上, 增加了自动化设备扩展版本信息内容, 在基本版本管理信息基础上, 增加了详细的版本信息细节, 包括不同信息模型版本信息、不同硬软件版本信息、不同参数文件的版本信息。记录的扩展版本信息保存在设备自身, 当

分析诊断需要时可随时调阅。

4 结论

论文开发智能变电站自动化设备透明运维系统,划分现场运维和远程运维以适应不同场景需求。基于信息模式,细化设备一体化运维细节。采用一体化运维工具配置变电站自动化参数、调阅装置运行数据以及管理设备自动化版本,以统一图形界面显示。通过与装置通信实时访问接受设备运行数据,实现虚拟液晶和装置液晶相同按键操作功能。对变电站自动化设备的标准化配置、规范化操作和建设工作有一定参考价值。

参考文献

[1] 王义军, 刘斌, 陈樨. 智能变电站全站统一式通信网络研究[J]. 电测与仪表, 2014, 51(14): 27-31.
WANG Yijun, LIU Bin, CHEN Xi. Intelligent substation unified communication network research[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(14): 27-31.

[2] 宋晓帆, 樊庆玲. 模块化智能变电站智能组件与一次设备集成方案研究[J]. 集成电路应用, 2019, 36(9): 76-77.
SONG Xiaofan, FAN Qingling. Research on modular intelligent substation intelligent component and primary equipment integration scheme[J]. Integrated Circuit Application, 2019, 36(9): 76-77.

[3] 胡建利, 李俊, 左宝峰, 等. 智能变电站二次设备的新在线监测系统设计和应用[J]. 电子设计工程, 2019, 27(9): 186-190.
HU Jianli, LI Jun, ZUO Baofeng, et al. Design and application of a new online monitoring system for secondary equipment of intelligent substation[J]. Electronic Design Engineering, 2019, 27(9): 186-190.

[4] 施蔚锦. 智能变电站调控远方操作监视及分析研究[J]. 电气应用, 2019, 38(8): 64-71.
SHI Weijin. Intelligent substation control remote operation monitoring and analysis[J]. Electrical Application, 2019, 38(8): 64-71.

[5] 方子璐, 杨俊杰, 刘娟. 基于虚拟局域网的智能变电站通信网络实时性仿真[J]. 电测与仪表, 2017, 54(24): 62-67.
FANG Zilu, YANG Junjie, LIU Juan. Simulation on real-time communication network in smart substation based on virtual local area network[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(24): 62-67.

[6] 吴俊杰, 陈程, 程林, 等. 基于模糊综合评价法的智能变电站二次设备状态评价研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(8): 72-76.

WU Junjie, CHEN Cheng, CHENG Lin, et al. Study on state evaluation of two equipment in intelligent substation based on fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(8): 72-76.

[7] 王凯. 智能变电站二次设备运行信息存储系统[J]. 自动化与仪器仪表, 2018, 230(12): 218-221.
WANG Kai. Intelligent substation secondary equipment operation information storage system[J]. Automation and Instrumentation, 2018, 230(12): 218-221.

[8] 戴志辉, 谢军, 陈曦, 等. 基于动态贝叶斯网络的智能变电站监控系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 74-82.
DAI Zhihui, XIE Jun, CHEN Xi, et al. Reliability analysis of intelligent substation monitoring system based on dynamic Bayesian network[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(23): 74-82.

[9] 邢颖, 郎燕生, 李强, 等. 多级智能电网调控系统集中运维模式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(15): 142-148.
XING Ying, LANG Yansheng, LI Qiang, et al. Discussion on pattern of centralized operation and maintenance for multilevel smart power dispatching control system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(15): 142-148.

[10] 周晓龙. 智能变电站保护测控装置[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(8): 128-133.
ZHOU Xiaolong. Protection and measuring-control devices in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(8): 128-133.

[11] 冷欧阳, 田立山. 特高压变电站监控系统调试要点的研究[J]. 东北电力技术, 2018, 39(4): 12-14.
LENG Ouyang, TIAN Lishan. Research on the main points of monitoring system monitoring of UHV substation[J]. Northeast Electric Power Technology, 2018, 39(4): 12-14.

[12] 蔡月明, 仇新宏, 李惠宇, 等. 基于低压差分信号高速串行总线的智能变电站硬件平台设计[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(21): 73-76.
CAI Yueming, QIU Xinhong, LI Huiyu, et al. Design of intelligent substation hardware platform based on low voltage differential signal high speed serial bus[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(21): 73-76.

[13] 汪溢, 倪辉, 黄曙, 等. 变电站测控装置运行参数统一化配置方法[J]. 广东电力, 2016, 29(3): 46-51.
WANG Yi, NI Hui, HUANG Shu, et al. Unified configuration method for operation parameters of substation

- measurement and control devices[J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(3): 46-51.
- [14] 高磊, 石慧, 杨毅, 等. 智能变电站配置描述文件管控系统的研究与实现[J]. 电网技术, 2014, 38(12): 3328-3332.
GAO Lei, SHI Hui, YANG Yi, et al. Research and implementation of configuration description file management system for smart substation[J]. Power System Technology, 2014, 38(12): 3328-3332.
- [15] 徐华跃. 阿拉善电网变电站调控一体化运维模式的探索与研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
XU Huayue. Exploration and research on substation operation mode of dispatching & control system in Alxa Power Grid[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [16] 周志勇, 孙中尉, 张凡, 等. 智能变电站交换机选型[J]. 中国电力, 2011, 44(7): 40-43.
ZHOU Zhiyong, SUN Zhongwei, ZHANG Fan, et al. Selection of intelligent substation switches[J]. Electric Power, 2011, 44(7): 40-43.
- [17] 何世俊. 基于 Syslog 的网络信息日志管理系统[D]. 上海: 华东理工大学, 2012.
HE Shijun. Log of network information management system based on Syslog[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012.
- [18] 贺超波, 陈启买. 基于 Web 的实时数据监测系统的研究与实践[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 200-204.
HE Chaobo, CHEN Qimai. Research and practice of web-based real-time data monitoring system[J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(3): 200-204.
- [19] 王志奎, 朱清慧. 基于 Proteus ISIS7.4 的虚拟液晶显示屏设计[J]. 液晶与显示, 2009, 24(4): 586-591.
WANG Zhikui, ZHU Qinghui. Design of virtual LCD display based on Proteus ISIS7.4[J]. LCD & Display, 2009, 24(4): 586-591.
- [20] 刘海峰, 朱维钧, 陈宏. 智能变电站配置文件一体化管控系统的研究与实现[J]. 湖南电力, 2016, 36(6): 33-36.
LIU Haifeng, ZHU Weijun, CHEN Hong. Research and implementation of integrated substation configuration file control system[J]. Hunan Electric Power, 2016, 36(6): 33-36.
- [21] 谢黎, 周华良, 于同伟, 等. 一种智能变电站新型双网冗余设备及实现[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(11): 151-156.
XIE Li, ZHOU Hualiang, YU Tongwei, et al. A new network redundancy device for smart substation and its implementation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(11): 151-156.
- [22] 王德文, 葛亮. 智能变电站一体化监控系统通信服务映射与封装方法[J]. 中国电力, 2015, 48(10): 127-133.
WANG Dewen, GE Liang. The mapping and encapsulation of communication services for integrated supervision and control system of smart substation[J]. Electric Power, 2015, 48(10): 127-133.
- [23] CHEN Fan, NI Yimin, ZHAO Guoqing, et al. Research of new method about the test of secondary system for refurbishment and extension of smart substation[C]// 2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), 2018, Tianjin: 1498-1502.
- [24] 蔡亮亮, 龚世敏, 唐斌, 等. 智能变电站虚拟后备测控单元自动投退及无缝切换技术研究[J]. 华电技术, 2019, 41(10): 30-34.
CAI Liangliang, GONG Shimin, TANG Bin, et al. Research on automatic and seamless switching technology for virtual backup measurement and control units in smart substations[J]. Huadian Technology, 2019, 41(10): 30-34.
- [25] 冯自权, 赵景峰, 陈罗飞. 基于静态组播搜索的电力交换机检修技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(2): 182-187.
FENG Ziquan, ZHAO Jingfeng, CHEN Luofei. Maintenance technology research of power switch based on static multicast search[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(2): 182-187.

收稿日期: 2019-09-13; 修回日期: 2019-11-01

作者简介:

彭志强(1986—), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 研究方向为厂站自动化技术研究及应用; E-mail: 15850511190@163.com

周航(1979—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为厂站自动化;

韩禹(1986—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为调度自动化。

(编辑 张爱琴)