

DOI: 10.7667/PSPC171393

智能变电站站控层设备监测系统设计及应用

邓科¹, 张海庭², 孙振², 李挺¹, 王广民², 王向宇²

(1. 国网湖北省电力公司检修分公司, 湖北 武汉 430050; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对变电站无人值守环境下智能变电站站控层设备缺乏全面有效监测手段的问题, 设计了一套站控层设备监测系统。系统对站控层设备硬件、软件和核心业务进程进行实时状态监测, 提出了一种周期动态变化轮询策略, 使用图形可视化方式展示监测数据。对监测数据进行故障分析和智能告警, 通过告警直传上送调度主站, 实现远方和本地对站控层设备健康状态的全面掌握和故障预判。最后给出了该系统在工程实施中的部署方式和应用效果。

关键词: 智能变电站; 站控层设备; 监测系统; 故障诊断; 告警直传; 类 UNIX 系统; 运维检修

Design and application of equipment monitoring system for station level in smart substation

DENG Ke¹, ZHANG Haiting², SUN Zhen², LI Ting¹, WANG Guangmin², WANG Xiangyu²

(1. State Grid Hubei Electric Power Company Maintenance Branch, Wuhan 430050, China;

2. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: Aiming at the lack of comprehensive and effective monitoring measures for station level equipment of smart substation in unmanned environment, an equipment monitoring system for station level in smart substation is designed. The system provides a real-time monitoring on the hardware, software and core business process of station level equipment and also proposes a periodic dynamic variation polling strategy by using graphic and visual method to display the monitoring data. After that, it makes fault analysis and smart alarm to the monitoring data, and sends to the master station by alarm direct-transmission to achieve the comprehensive control and fault prediction to station level equipment remotely and locally. Finally, the deployment and effect of project application about this system are given.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 52152016000Q).

Key words: smart substation; station level equipment; monitoring system; fault diagnosis; alarm direct-transmission; UNIX-like systems; operation and maintenance

0 引言

智能变电站在体系结构上分为过程层、间隔层和站控层^[1], 针对间隔层和过程层保护装置、测控装置、智能终端、合并单元等二次设备的状态监测与检修维护技术已经取得不少成果^[2-4], 而对于站控层设备的状态监测与故障诊断技术仍较少。文献[2-3]提出了智能变电站二次设备状态监测的范围和内容; 文献[4]提出了一种用于智能变电站二次设备回路故障的诊断分析方法; 文献[5]提出了智能变电站站控层测试系统架构, 设计了针对站控层监控主机和远动装置的业务功能测试方案, 但该方案未集成设备监测与告警直传功能, 无法大规模应

用于运行变电站中; 文献[6]设计并开发了智能变电站远动装置的在线监测系统, 但未考虑到全部站控层设备。

过程层、间隔层设备均采用无风扇硬件和嵌入式软件, 并向远方实时传送设备自检信息, 再加上实时的设备状态监测, 可靠性与可控性较高。而站控层设备除远动装置外大多使用有风扇的服务器式硬件, 长期运行时可靠性相对较低。

为了网络和应用安全, 变电站后台操作系统通常采用类 UNIX 系统(包括各种传统 UNIX、开源 Linux 和麒麟、凝思等安全操作系统), 相较 Windows 桌面操作系统而言, 类 UNIX 操作系统具有不普遍性和操作复杂的缺点^[7]。通用的网络及计算机监测管理软件大多仅支持 Windows 系统, 跨平台能力差, 与站控层应用业务交互困难, 导致针对变电站

业务相关的异常问题缺乏分析诊断手段,更不支持故障告警信息向调度端的直传上送,无法满足智能变电站运行监视和运维检修的需要。

尤其在变电站无人值守的大环境下,如果站控层设备软硬件发生故障或监控系统服务产生异常,将导致监测数据无法实时刷新、异常信息无法上传主站,造成变电站自身及调度端对全站失去监控能力,后果将会非常严重。

本文通过对智能变电站站控层设备软硬件运行状态、后台核心业务进程的实时监视分析,搭建了站控层设备运行状态监测系统,设计开发出友好易用的监视分析与诊断修复工具,根据预设的异常故障阈值和故障特征库,能够对站控层设备全生命周期运行状态进行实时监测,并对异常和故障状况进行分析告警,同时可通过告警直传方式上传调度,提前告知可能存在的问题和隐患,从而保证智能变电站站控层设备的安全可靠运行。

1 系统架构

系统架构如图 1 所示,系统采用通用的 C/S(客户端/服务端)架构^[8]分布式部署于智能变电站站控层,其中客户端部署在所有被监测设备,服务端和异常与故障数据库部署在图形网关机。

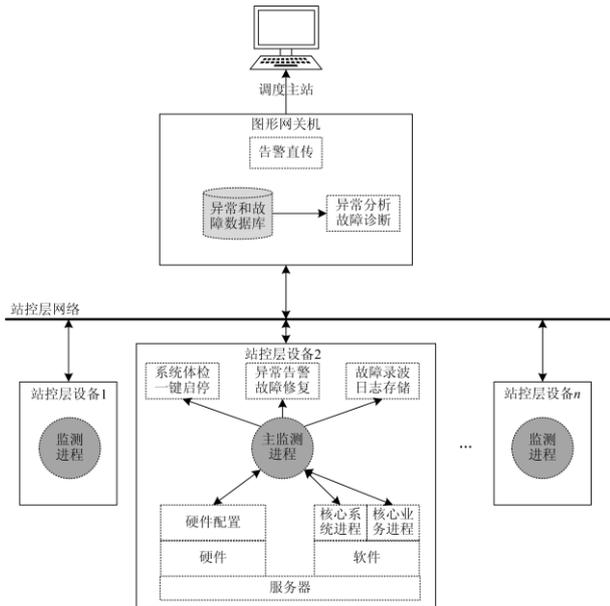


图 1 系统架构

Fig. 1 Architecture of system

客户端主要实现本机的状态监测与数据采集、异常与故障告警、日志与报文存储、监视和分析结果展示等功能。

服务端主要实现对客户端上送的监测数据的异

常分析和故障诊断、基于告警直传方式的信息上送功能。由于图形网关机在智能变电站中主要负责与调度主站的远程浏览和告警直传的功能^[9],为了实现与站控层业务统一的告警直传服务,将监测服务端程序部署于此。

2 模块应用功能设计

2.1 客户端设计

客户端包含系统体检、硬件监测、软件监测、业务监测和一键启停 5 个模块,每个模块又包含不同的细化功能,如图 2 所示。

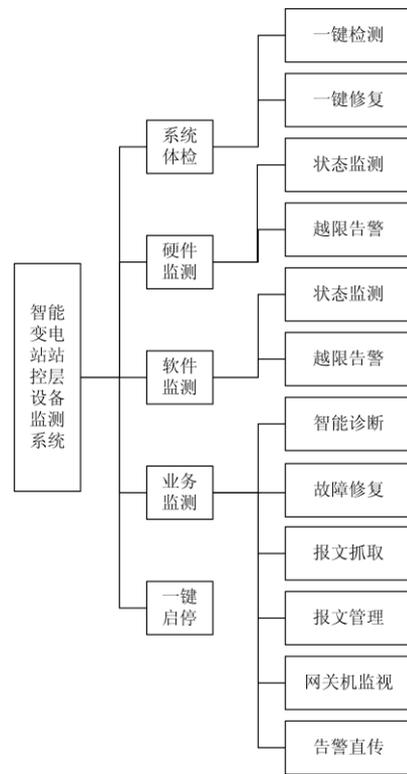


图 2 模块及功能划分

Fig. 2 Module and function division

系统体检模块主要完成一键检测和一键修复功能,实现系统软硬件环境的一键式检测,包括硬件信息、软件信息、变电站业务核心进程信息、清理优化、硬件防护、硬件性能等。检测后结果信息依次详细列出,针对检测异常或故障,可选择性忽略,也可执行一键修复等。

硬件监测模块负责服务器硬件的实时状态监视和越限异常告警,涉及的数据包括硬件静态信息(如服务器品牌型号、CPU 品牌型号、硬盘型号与容量等)和动态监测数据(如 CPU/硬盘/显卡温度、风扇转速等)。

软件监测模块主要负责系统软件的实时状态监视和越限异常告警,涉及的数据包括软件静态配置信息(如操作系统版本、系统内核版本、网络 IP 地址配置、用户信息等)和动态监测数据(如运行进程的名称和数量、CPU 和内存占用率、磁盘和数据库剩余空间等)。

业务监测模块主要监测服务器在变电站中业务相关的核心软件运行状态和异常告警。智能变电站站控层设备包括监控主机、综合应用服务器、数据服务器、操作员站、工程师站、数据通信网关机、图形网关机^[10],不同的站控层设备负责不同的功能,而在该设备上部署的程序也有所不同,因此需要针对不同的站控层设备角色配置不同的业务监测信息,实现监测系统与变电站业务的高度融合。该模块主要负责当前设备业务核心进程的数据智能分析诊断、故障报文自动截取、报文日志就地存储、异常信息远程调阅、图形网关机集中监视、简单故障一键修复等功能。

一键启停模块主要是针对服务器系统的重启和关机操作,由于不同站控层设备上运行有不同的业务进程,如果强制关机或重启,可能会导致数据库或服务器异常等问题,因而需要先退出当前站控层设备的所有服务进程后,方可进行服务器的关机或者重启操作。该模块可实现服务进程按业务逻辑顺序一键自动安全关机,一键重启后自动启动业务程序,防止站控层业务数据的异常和丢失。

2.2 服务端设计

服务端包含数据分析与故障诊断、告警直传两个模块。

数据分析与故障诊断模块包括数据分析和故障诊断两个功能。数据分析主要实现对各监测设备所采集数据的统一分析,根据设定阈值和故障特征库来判断当前采集数据正常与否,如果异常则自动判定为异常或故障。故障诊断依赖于故障特征知识库和推理机^[11],并对判断为故障的信号进行专家诊断和智能决策,为客户端提供可能的优选解决方案。

告警直传模块主要实现异常告警信息的远程上送,供调度端及时获知各级变电站的站控层设备异常和故障信息,根据设备的运行状态和异常与故障信息及时安排检修任务计划^[12],快速解决可能或已经出现的设备异常或故障。

3 周期动态变化轮询监测策略

针对主要的客户端监测功能,信息采集实时性的高低直接决定当前系统的优良。这就要求在服务器状态正常的情况下,需要降低轮询频率,节约

CPU 和内存的使用开销,同时要求告警条件一旦满足,又能尽快触发轮询监测,保证较高的告警灵敏度。是否告警取决于当前被监测对象及其相关对象是否满足触发条件^[13],因此,只要能够判断出被监测对象及其相关对象的变化幅度,再利用该变化幅度来调整轮询的周期,就可以满足信息采集效率的要求。

基于这一思想,本文借鉴数据变化幅度的判断策略,提出一种周期动态变化的轮询策略,表达式可写成如下形式。

被监测对象下一次轮询的时刻为

$$t_n = t_i + T_i \cdot \frac{|TH - \sum_{i=1}^n v_{i,t}|}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (1)$$

式中: T_i 为被监测对象 i 最大的轮询间隔周期; $v_{i,t}$ 为被监测对象 i 在采集时刻 t_i 时的值; TH 为故障告警全局阈值; t_i 为被监测对象 i 轮询的当前时刻; t_n 为被监测对象 i 下一次轮询时刻。

被监测对象相邻两次轮询数值之差的绝对值为

$$\Delta v_i = |v_{i,t} - v_{i,t'}| \quad (2)$$

式中, t' 为采集时刻 t 前一次信息采集时刻。

被监测对象 i 的变化值 Δv_i 的阈值为 λ_i 。

故障告警计算函数为

$$f_i = \sum_{i=1}^n v_{i,t} \quad (3)$$

它将所有与当前被监测对象有关联的其他被监测对象都纳入计算,包括被监测对象 i 在内。

周期动态变化轮询的步骤如下:

Step1 在时刻 t_i 采集被监测对象 i 及与其相关对象的实时数据。

Step2 计算当前被监测对象的变化值 Δv_i 。

Step3 如果 $\Delta v_i < \lambda_i$, 则根据 t_n 的计算方法计算下次轮询时刻。

Step4 如果 $\Delta v_i \geq \lambda_i$, 则判断 f_i 与 TH 的大小,如果 $f_i < TH$, 则根据 t_n 的计算方法计算下次轮询时刻,否则,如果 $f_i > TH$, 则除根据 t_n 的计算方法计算下次轮询时刻,并给出相应的故障告警信息。

以典型的站控层监控系统通信模块^[14]运行是否正常为例,监测对象 1 为“IEC61850 通信进程内存占用”,内存占用需要处于正常范围,监测对象 2 为“通信测试数据”,需要满足测试数据的正常接收和实时库写入。其中轮询的最大间隔周期 T_i 为 60 s,采集对象 1 正常的内存占用约为 60 MB,故障告警

全局阈值 TH 为 100 MB, 变化值 Δv_i 的阈值 λ_i 为 20 MB; 采集对象 2 的正常状态为测试用的变化遥测数据通过数据通信接口发送后, 监测端能在实时数据库中准确查询到对应的遥测数值。

周期动态变化轮询的具体步骤为: ①在初始时刻 t_i 采集被监测对象 1 和被监测对象 2 的实时数据。②计算被监测对象 1 的变化值 Δv_1 , 被监测对象 2 的变化值 Δv_2 。③如果被监测对象 1 变化值小于 20 MB, 下次的轮询时刻由式(1)计算得出。例如当前监测时刻 t_i 的监测值 $v_{1,i}$ 为 72 MB, 则下一次监测时刻为 $t_i + 60 \cdot \frac{|80 - 72|}{20}$, 即 $(t_i + 24)s$, 下次监测将于 24 s 后进行, 如果内存不断加速增加, 则轮询周期将随之减小, 加速重点监测; 被监测对象 2 的监测数据与测试源数据相同则判定为状态正常, 即可进行下一次周期轮询。④如果被监测对象 1 某次的变化值大于 20 MB, 则判断当前监测值 f_i 是否大于告警全局阈值 100 MB, 如果小于 100 MB, 则继续使用式(1)进行计算, 如果大于 100 MB, 则继续监测的同时发出异常告警。

4 故障分析与告警

4.1 模型定义

根据监测数据、异常分析和故障告警的需求, 本文抽象出故障分析与异常告警统一模型, 模型数据表包括配置信息表、故障相关信息表、故障告警表等^[15]。故障告警模型表结构如表 1 所示。

表 1 故障告警表结构

Table 1 Fault alarm table structure

| 字段 | 属性 | 字段描述 |
|-------|---------|-------------------|
| 索引号 | int | 告警存储 ID |
| 级别 | int | 告警级别 |
| 时间 | time | 告警产生时间 |
| 设备类型 | int | 当前告警所在的服务器类型 |
| 设备 ID | int | 当前告警所在服务器节点 ID |
| 动作描述 | varchar | 告警描述 |
| 推理方式 | int | 告警细分类型, 如单事件、多事件等 |
| 告警阈值 | double | 异常或故障的设定阈值 |
| 关联信号 | int | 与当前告警类型关联的其他告警信号 |

4.2 特征库定义

异常和故障特征库给出了告警信号的名称、信号含义、信号来源、信号类别、产生原因以及处理建议等信息。具体示例如表 2 所示。

通过对站控层设备在现场遇到的各种异常和故障历史数据的收集、统计和分析, 监测系统已经默认提供了大量的异常和故障特征数据, 组成为原始

表 2 核心故障库示例

Table 2 Core fault library example

| 告警 | 故障库示例 1 | 故障库示例 2 |
|------|----------------------------|---------------------|
| 信号名称 | IEC61850 通信模块异常 | 报表功能异常 |
| 信号含义 | IEC61850 通信模块数据无法刷新 | 报表功能异常 |
| 信号来源 | 前置通信 | 变电站监控系统 |
| 信号类别 | 故障信号 | 异常信号 |
| 产生原因 | 程序数据故障、线程死锁等 | 报表客户端异常或报表服务进程异常 |
| 处理建议 | 保存当前进程堆栈; 重启 IEC61850 通信进程 | 查看并调试报表配置信息; 报表缓存清理 |

故障特征库。同时, 系统对于新发现的异常或故障也可进行选择性更新, 当告警数据得到可作为特征数据使用的确认后, 系统将自动增加并将其更新到特征库, 统一作为故障诊断的判据。因此, 随着对站控层设备异常和故障认识的进一步加深, 故障特征库数据将不断壮大, 系统的分析诊断处理能力也将不断增强。

4.3 处理流程

根据数据模型将不同告警级别的告警信号按异常、故障等类型进行分类^[16], 基于特征库对告警阈值、推理方式和关联信号进行周期动态变化轮询监测, 经过智能分析推理得出监测与诊断结果。具体异常或故障的分析诊断和故障告警处理流程如下。

第一步, 初始化监测原始状态, 读取额定阈值和故障特征库数据。

第二步, 通过周期动态变化轮询策略获取站控层设备正在运行的硬件、软件和业务进程实时状态数据, 实现在线监视功能。

第三步, 将采集到的硬件和软件数据与异常和故障数据库的特征数据进行智能比对分析, 判断站控层设备运行是否正常, 如果满足变化幅度条件, 则对该监测对象及其关联被监测对象进行告警判断, 若同时满足告警条件, 则诊断为异常或故障。

第四步, 根据故障诊断结果给出修复建议, 确定是否需要及如何修复, 同时发出异常或故障告警, 另外在站控层业务进程发生告警时还增加了故障录波^[17]、日志存储、报文截取等功能。

5 工程应用

智能变电站站控层监测系统采用独立分布式^[18]方式部署。随着智能变电站的不断发展和工程实施, 全国范围内已建成投运了大量的智能变电站^[19], 而不同地区、不同电压等级站控层操作系统多样, 监控版本也历经数次换代升级, 与变电站后台监控系统再次集成的难度很大。因此, 为了不影响原有智

能变电站站控层业务功能的正常运行,宜将监测系统独立部署,即在原有站控层设备上增量式部署系统监测客户端,在图形网关机上增量式部署系统监测服务端,不额外增加新硬件,实现站控层设备监测系统的快速便捷部署。

目前,该系统已在智能变电站多个版本和类型的站控层设备上进行了试点应用,包括湖北某 500 kV 智能变电站(操作系统为 solaris10 /监控后台版本为 CJK8506Bv3.10)、河南某 220 kV 智能变电站(操作系统为 RHEL6.5/监控后台版本为 MCS8500v2.0)、广东某 110 kV 智能变电站(操作系统为 Windows7/监控后台版本为 CJK8504Bv2.0),监测系统的图形化展示界面如图 3 所示。经过工程试点,系统已经监测出包括监控通信功能异常、磁盘空间不足、程序内存泄漏等问题,告警信息经告警直传上送至调度主站^[20],使运维人员提前获知站控层设备异常信息,从而及时安排了检修维护计划,使异常故障得到了快速响应和处理,有效提升运行、维护、检修效率。



图 3 图形化展示界面

Fig. 3 Graphical display interface

6 总结

本文针对智能变电站站控层设备缺乏全面有效监测手段的需求,设计了一套可视化的站控层设备在线监测系统,可实现各种操作系统下软硬件与电力业务核心应用程序的状态监测。同时根据设备应用需求,提出了周期动态变化轮询策略,对监测数据进行故障诊断和提前预警,并结合智能变电站的设备和网络结构,将告警信息通过告警直传方式上送调度主站,实现调度主站端和厂站端对站控层设备的运行状态的全掌握,在智能变电站的实际应用过程中,为运维检修提供了一种便利化手段,取得了良好的应用效果。

参考文献

- [1] 智能变电站技术导则: Q/GDW 383—2009[S]. 北京: 国家电网公司, 2009.
- [2] 袁浩, 屈刚, 庄卫金, 等. 电网二次设备状态监测内容探讨[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(12): 100-106.
YUAN Hao, QU Gang, ZHUANG Weijin, et al. Discussion on condition monitoring contents of secondary equipment in power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(12): 100-106.
- [3] 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.
- [4] 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(20): 148-153.
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(20): 148-153.
- [5] 张小易, 彭志强. 智能变电站站控层测试技术研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 88-94.
ZHANG Xiaoyi, PENG Zhiqiang. Research and application on substation level test technology of smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 88-94.
- [6] 杨红培, 马国强, 韩建定. 智能变电站远动装置在线监测系统设计与实现[J]. 通信电源技术, 2016, 33(3): 101-104.
YANG Hongpei, MA Guoqiang, HAN Jianding. Smart substation design and implementation of online monitoring system for RTU[J]. Telecom Power Technology, 2016, 33(3): 101-104.
- [7] 李挺, 邓科, 洪叶, 等. 变电站类 Unix 系统服务器常见问题分析及优化策略研究[J]. 通信电源技术, 2016, 33(4): 66-67.
LI Ting, DENG Ke, HONG Ye, et al. Analysis of common problems and optimization strategies of Unix-like system server in substation[J]. Telecom Power Technology, 2016, 33(4): 66-67.
- [8] 赵卓君, 张晓燕. 论 B/S 和 C/S 架构相结合的多层次系统架构设计和开发模式的选择[J]. 信息系统工程, 2012(11): 99-100.

- [9] 李永照, 茹东武, 陈哲, 等. 运行变电站增加告警直传和远程浏览功能的实现方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 112-117.
LI Yongzhao, RU Dongwu, CHEN Zhe, et al. Implementation method of adding the functions of alarm transmission and remote browser in working substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(17): 112-117.
- [10] 樊陈, 倪益民, 窦仁晖, 等. 智能变电站一体化监控系统有关规范解读[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 1-5.
FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Interpretation of relevant specifications of integrated supervision and control systems in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 1-5.
- [11] 姬书军, 朱学科, 李淮海. 变电站智能告警专家系统研究[J]. 华东电力, 2011, 39(5): 773-775.
JI Shujun, ZHU Xueke, LI Huaihai. Research on the intelligent alarm expert system of substation[J]. East China Electric Power, 2011, 39(5): 773-775.
- [12] 唐燕, 刘艳. 考虑电网总风险和检修收益的设备状态检修计划优化[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 33-39.
TANG Yan, LIU Yan. Optimization for maintenance schedule based on equipment condition considering the overall risk of grid operation and the maintenance revenue[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 33-39.
- [13] 刘强, 杨岳湘, 唐川. 基于动态轮询策略的网络故障监视算法[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(9): 2164-2166.
LIU Qiang, YANG Yuexiang, TANG Chuan. Network fault monitoring algorithm based on dynamic polling scheme[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(9): 2164-2166.
- [14] 王丽华, 王治民, 任雁铭, 等. IEC61850 通信模块设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(5): 82-85.
WANG Lihua, WANG Zhimin, REN Yanming, et al. Design and realization of IEC 61850 communication module based on plug-in technique[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(5): 82-85.
- [15] 沈云斐, 李丹, 陶琨, 等. 基于关联规则和情景规则的网络告警分析模型[J]. 小型微型计算机系统, 2007(2): 271-273.
SHEN Yunfei, LI Dan, TAO Kun, et al. Research of alert correlation model based on association rule and episode rule[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2007(2): 271-273.
- [16] 刘伟, 李江林, 杨恢宏, 等. 智能变电站智能告警与辅助决策的实现[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 146-150.
LIU Wei, LI Jianglin, YANG Huihong, et al. Implementation of intelligent alarm and AMD system in the smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 146-150.
- [17] 付国新, 戴超金. 智能变电站网络分析与故障录波一体化设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(5): 163-167.
FU Guoxin, DAI Chaojin. Intergrated design and implementation of network analysis and fault recording for intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(5): 163-167.
- [18] 李江林, 张道杰, 赵毅, 等. 智能变电站分布式数据平台应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(24): 126-131.
LI Jianglin, ZHANG Daojie, ZHAO Yi, et al. Research and application of distributed data platform in the smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(24): 126-131.
- [19] 樊陈, 倪益民, 申洪, 等. 中欧智能变电站发展的对比分析[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(16): 1-7.
FAN Chen, NI Yimin, SHEN Hong, et al. Comparative analysis on development of smart substations in China and europe[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(16): 1-7.
- [20] 丁德鑫, 史金伟, 严亚琦. 告警直传在电力调度系统中研究与应用[J]. 电力科学与工程, 2014, 30(12): 55-60.
DING Dexin, SHI Jinwei, YAN Yaqi. The research and application of alarm direct-transmission in power system[J]. Electric Power Science and Engineering, 2014, 30(12): 55-60.

收稿日期: 2017-09-19; 修回日期: 2018-01-04

作者简介:

邓科(1971—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为500~1 000 kV变电站电力主设备检修管理及统筹; E-mail: 2911918928@qq.com

张海庭(1985—), 男, 通信作者, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统自动化产品研发; E-mail: xjtc_zhanghaiting@126.com

孙振(1985—), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为电力系统自动化产品研发. Email: xjtc_sunzhen@126.com

(编辑 周金梅)