

DOI: 10.7667/PSPC180535

智能变电站监控系统新型体系架构研究与实践

王勇¹, 韩少晓¹, 尚力¹, 耿晓辉², 宋王³, 朱成超³

(1. 国网山东省电力公司, 山东 济南 250001; 2. 国网淄博供电公司, 山东 淄博 255000;
3. 积成电子股份有限公司, 山东 济南 250100)

摘要: 针对智能变电站监控系统按间隔配置测控装置存在的装置数量多、无后备等问题, 提出了一种智能变电站监控系统新型体系架构。对站控层进行功能整合及提升, 优化站内通信网络, SV 与 GOOSE 共网传输。间隔层采用集群测控装置, 将全站所有间隔的测控功能集中于数台集群测控中, 依靠动态迁移技术实现间隔测控功能的装置级热备用。开发了全景可视化的运维系统, 提高了智能变电站改、扩建时的调试效率。阐述了新型监控系统的关键技术及实现方案, 并结合新型监控系统在智能变电站中的试运行情况, 分析和展望了其应用前景。

关键词: 智能变电站; 监控系统; 站控层; 间隔层; 过程层; IEC61850

Research and practice of novel architecture of supervision and control system in smart substation

WANG Yong¹, HAN Shaoxiao¹, SHANG Li¹, GENG Xiaohui², SONG Wang³, ZHU Chengchao³

(1. State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250001, China;
2. State Grid Zibo Power Supply Company, Zibo 255000, China;
3. Integrated Electronic Systems Lab Co., Ltd, Jinan 250100, China)

Abstract: Supervision and control system of smart substation is usually configured by bays, which will lead to problems such as numerous facilities and a lack of alternative devices. To solve these problems, a novel architecture of supervision and control system for smart substation is proposed. This architecture enhances the degree of functional integration of station level. Because of allowing SV and GOOSE transferred within the same communication network, the communication network in smart substation is also optimized. The bay level adopts clustered measurement-control devices, which can integrate the measurement and control tasks into several physical devices. The bay level of proposed supervision and control system architecture can achieve hot standby at device level through the dynamic migration technology. In the meantime, visualization maintenance software has also been developed, which increase the efficiency of the reconstruction and expansion on smart substations. The crucial technology and implementation scheme of supervision and control system are elaborated. Through the trial operation of a new-built smart substation, this paper analyzes and predicts the application prospects of the novel supervision and control system.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 5206001601YU).

Key words: smart grid; supervision and control system; station level; bay level; process level; IEC61850

0 引言

随着 IEC 61850 标准的不断完善^[1-4], 电子式互感器、合并单元、智能终端和过程层网络等关键技术研究成果显著^[5-8]。但是智能变电站监控系统仍然普遍按照过程层、间隔层、站控层三层结构建设^[9], 过程层网络和间隔层网络也分别独立设置。虽然这

种智能变电站的监控系统方案和运行管理较成熟, 但是仍存在子系统相互独立^[10]、监控通信网络复杂、测控装置数量众多、运行维护工作量大^[11]、无备用装置等弊端, 经济性和可靠性均有待进一步提高^[12]。

显然, 在完成监控功能和保证单装置可靠性不变的前提下, 适当减少设备数量、简化网络结构可以使监控系统的可靠性和可维护性得到提升^[13]。因此, 较多研究和试点工程都关注了网络整合和设备集成^[14]等方面, 成为智能变电站监控系统的研究热

基金项目: 国家电网公司科技项目资助(5206001601YU)“智能变电站监控系统新型体系架构及关键技术研究与应用”

点, 该领域的研究也取得了较多成果^[15-18]。但是与建设完全符合 IEC 61850 标准的新一代智能变电站自动化系统的最终目标仍存在较大差距。

为适应智能变电站自动化技术的新要求、新发展, 本文对“三层两网”、按间隔配置测控装置等传统方案的适应性进行了深入思考, 探索了智能变电站监控系统的新型体系架构, 特别是在间隔层装置优化、过程层网络与间隔层网络合一等方面进行了有益尝试, 最后总结了试点工程应用的经验, 为智能变电站自动化系统的进一步发展提供了参考。

1 智能变电站监控系统需求分析

智能变电站较常规变电站在数字化和信息共享等方面有了很大提升, 但从电网安全运行角度看, 监控系统仍然是采集基础数据、掌控运行状态的唯一来源, 是智能变电站稳定、高效运行的基本保证。智能变电站新一代监控系统除应保证安全可靠及经济性外还应满足测控功能完备、运行维护便捷和支撑调控一体化运行等更高要求。

1.1 安全可靠及经济性

智能变电站新一代监控系统最根本的要求仍然是安全可靠。智能变电站由于增加了合并单元、智能终端等过程层设备, 监控系统中的测控功能实际上由过程层、间隔层及通信网络共同完成, 实现环节的增多, 不仅延长了测控功能的响应时间, 也在一定程度上降低了监控系统的可靠性。因此, 有必要进一步探讨测控装置和测控功能的科学划分, 减少测控装置数量, 提高监控系统的可靠性和经济性。

虽然在较低电压等级实现了测控保护功能一体化, 但是目前智能变电站的间隔层测控装置普遍仍按间隔配置, 不仅测控装置数量多、维护不便, 更重要的是测控装置没有备用设备, 对保证连续供电可靠性十分不利, 因此有必要研究新型体系架构, 提高监控系统的整体性能。

智能变电站的通信环节也直接影响着整个监控系统的安全、可靠运行。目前智能变电站监控系统普遍采用的站控层和过程层两层网络结构, 过程层分别构建传输 SV 和传输 GOOSE 的独立网络。为了提高网络通信可靠性, 站控层网络多配置独立的冗余双网, 但相关标准缺乏, 难以实现双网的无缝切换, 不同厂商产品的互操作程度不高。针对通信网络, 需要研究过程层 SV、GOOSE 共网传输以及过程层和间隔层共网的具体实施方案。

智能变电站站控层设备和功能虽然经过统一和规范, 但由于智能变电站信息采集量巨大, 远动通信信道和规约传输容量有限, 受调度端系统数据处

理能力等制约, 智能变电站无法远传所有数据。目前, 站控层功能在一定程度上限制了监控系统对变电站整体运行情况的掌控能力和远传能力, 难以进一步提高智能变电站的运行水平, 也不利于调控一体化的进一步推广。优化站控层功能, 提高信息传输效率, 向调度主站传送变电站全景式信息, 提高设备运行效率也是智能变电站监控系统的重要需求。

1.2 测控功能完备性

智能变电站测控装置目前具备的功能可以满足电网运行的基本要求, 但是在提供同步相量测量、非关口计量、非智能化设备监控等功能方面需要进一步完善。特别是新能源的分布式接入, 给测控装置的功能完备性提出了新要求。

目前已逐步进行了一些相关研究, 如监控系统中的分布式状态估计功能被用于从源头解决基础数据问题, 提高电网应用的可靠性。监控系统的智能告警应用也已经被用于高效地处理电网故障, 缩短故障恢复时间。

此外, 从测控装置本身出发, 进行功能集成和集中, 减少装置数量和成本, 提高装置性能也是一个重要发展方向。

1.3 运行维护便捷性

在监控系统的物理回路方面, 常规变电站的电缆回路大部分转变为智能变电站光纤回路; 二次回路的虚拟化, 虽然简化了二次接线设计和施工, 但是如果缺乏直观的图形化展示手段, 不仅调试周期长, 而且运维人员也难以掌握二次回路在物理装置之间的连接关系, 因此可视化运维工具在智能变电站中已经占据举足轻重的地位。

智能变电站在进行改、扩建, 或者更换不同厂家的二次设备时, 通常需要对 SCD(变电站配置描述)文件进行升级, 这一操作往往难以事先确定影响范围, 所采取的安全措施可能存在隐患。二次回路出现故障时, 根据 SCD 文件进行快速故障定位困难, 对故障排除和检修效率的提高不利。

因此, 在提高智能变电站监控系统性能的同时, 必须适应现有运维和管理体系, 通过减少装置数量和虚端子数量、降低虚端子关联复杂度简化运行维护, 提高监控系统的易维护性, 方便变电站改扩建。

2 智能变电站监控系统新型体系架构

2.1 新型体系架构概况

现有智能变电站监控系统体系架构及设备配置尚不能满足新一代智能变电站技术发展和调控一体化运行要求。主要表现在: 站控层设备种类多、功能分散、信息交叉、服务效率低; 间隔层设备数量

多、功能单一、无冗余备用,故障后数据采集功能失效,造成实时数据缺失不全;缺乏有效的设备状态监视和维护工具,对变电站设备巡视、维护业务支撑不够,运维人员难以及时处理故障。

针对智能变电站监控系统中存在的上述问题,本文全面梳理了监控系统的二次设备功能及配置,并结合智能变电站新技术的发展,提出了一种监控系统新型体系架构,如图1所示。

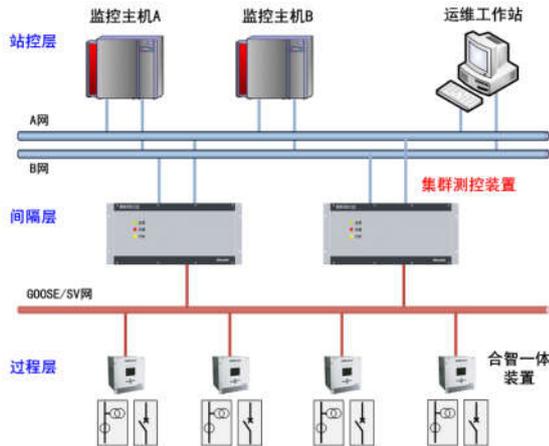


图1 智能变电站监控系统新型体系架构

Fig. 1 Novel architecture of supervision and control system in smart substation

新体系架构从设备布置和功能整合两个层面对监控系统进行了优化,达到减少二次设备数量,简化二次回路的目的。该方案减少了测控装置种类和数量,在提高设备功能集中度、充分节约资源的同时,也提高了可靠性。

集群式测控是本项目的核心内容,是对集中式测控的改进和提升。运维工作站是集群测控的可视化维护工具,以简洁、直观的全景式图形界面展示,满足运维功能需求。站控层维持原有的物理配置模式,在此基础之上部署服务化功能组件,以服务的形式为调控中心提供功能访问接口。

2.2 站内通信网络优化

本文所研究的新型体系架构从变电站全局角度,对智能变电站的站内通信网络进行了整合及优化。虽然沿用了三层设备、两层网络的基本结构,但是已经将过程层原本分别设置的SV和GOOSE网络合并。这种方案最直接的优势在于:将测控装置原本分别设置的合并单元、智能终端端口进行了整合,减少了测控装置的过程层接口数量,降低了装置发热量和功耗;还减少了过程层交换机数量,显著缩减了建设成本,使数据传输更有效、快捷。

新型体系架构中对站内通信网络的进一步优化

目标是实现三层设备、一个网络,即将站控层网络与过程层网络合并,全站形成一个公用网络。这种结构可以实现网络最简化,但对于各种应用的响应实时性影响有待于进一步研究,实用化尚有一定困难。

2.3 站控层功能整合及提升

新型监控系统的站控层采用云平台架构和开源虚拟化软件及开源框架实现。云平台所需硬件资源较高,需配置中等以上规模的硬件资源环境。所采用的云平台产品基于Browser/Server架构,利用各种“服务”,实现对资源的分配和远程访问、对用户及角色的设置和管理、硬件设备及虚拟机状态的监视和运维、计量统计等高级应用功能。

站控层应用软件以智能变电站一体化监控平台软件为基础,引入面向服务体系架构,以服务的形式实现站控层应用功能访问接口。为了与站控层应用功能解耦,降低对底层架构的影响,增强服务化组件可扩展性,在服务化组件与监控平台之间增加应用代理。

站控层应用功能接口代理部署于智能变电站一体化监控软件平台上,与服务化的应用功能接口对接。服务化接口与上层服务代理模块、服务管理模块、消息管理模块之间采用通用服务协议通信,实现服务的注册、注销、定位、调用、状态推送等功能。具体实现方案如图2所示。



图2 站控层的功能服务化

Fig. 2 Service-oriented functions of station level

“服务化”主要指针对站控层应用功能实现规范化的服务接口,以智能变电站服务化的研究成果为基础,实现站端服务管理功能、代理网关通信功能、应用功能与服务化接口代理对接适配,并实现

服务访问量的负载均衡。

站控层应用功能服务化业务组件及交互关系如下。服务提供者可分为两种类型：一是站控层监控系统中已具备某功能组件，将其调用接口转化为标准服务接口，此类服务与功能实现实体分离，可同机部署也可异机部署，文件访问服务属于这个类型；二是设计和实现站控层监控系统尚不具备的功能，其接口设计为标准服务接口，此类服务与功能实体为同一软件模块，顺空服务属于这种类型。

2.4 间隔层集群测控装置的应用

间隔层采用新研制的集群测控装置，打破传统的按照间隔配置测控装置的方案，而是由数台物理设备完成全站所有间隔的测控功能。集群测控装置不同于已有的集中式测控装置，集中式测控装置中固定完成某几个或全部间隔的测控功能，而集群测控装置中完成哪些间隔的测控功能部署是动态的和可变的，称之为“动态部署”和“动态迁移”。本文所提出的新型监控系统正是利用逻辑测控的动态迁移实现间隔测控的热备用^[19]。

每一台物理集群测控装置内部，均保存一份自定义的系统配置，内容包含集群测控装置的编号、类型，全站 SCD 文件以及所有间隔的测控逻辑设备对应的 CID 模型等配置信息。集群测控装置初始化时，根据预先确定的对应关系，将测控逻辑装置逐一在集群测控物理装置上进行注册和初始化。在初始化过程结束后，变电站中每一个实际间隔将对应有一个测控逻辑装置处于运行状态，并有一个测控逻辑装置处于热备用状态。

正常运行时，集群测控装置通过任务管理程序中的负载调度策略工具监视各间隔逻辑测控装置是否正常，并通过负载平衡策略进行逻辑测控装置的动态迁移。任务管理程序驻留在所有集群测控装置内，是整个间隔层测控功能的软件核心，直接决定着监控系统的各项技术指标能否实现。

负载调度策略工具按照系统配置文件调度策略或采用智能优化算法生成的实时调度策略，遍历网络通信模块接收的心跳数据报文，对所有测控逻辑装置进行注册登记，以确定需要迁移的测控逻辑装置和最优的迁移目标物理装置。实施动态迁移优化目标装置选择时用到的数据结构如下：

```

struct TaskInfo
{
    int    iSerial;    //测控逻辑编号
    int    iCurrentID; //当前物理装置标识
    int    iDesID;     //迁移目标物理装置标识
    int    iStrategy;  //优化策略选择
};

```

该数据结构由任务负载调度根据应用策略进行构建和维护，通过组播传递给所有集群测控装置。

完整迁移过程的时间流水线如图 3 所示。为尽快完成整个迁移过程，系统运行中实施预拷贝机制，实时或周期性迭代各间隔参数配置表，原则上每套装置均具备全站测控各间隔的参数配置。整个迁移过程控制在 60 s 之内，调度端服务等待响应时间短于 50 s，保证了数据采集有效性和连续性。

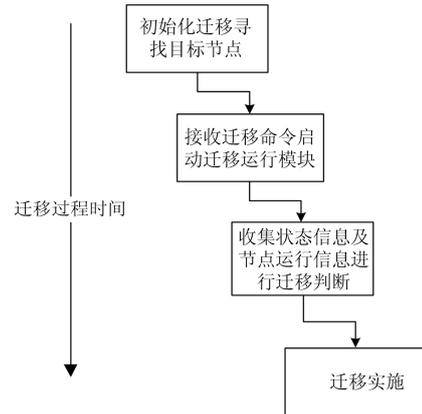


图 3 间隔测控功能在集群测控装置内的部署及动态迁移
Fig. 3 Deployment and dynamic migration of bay-level functions among cluster measurement and control devices

2.5 系统运维的全景可视化

间隔层集群测控装置不配置液晶、键盘等人机交互模块，而是在站控层部署运维管理工作站和对应的维护软件。这样设计目的是为了适应新型监控系统打破测控与间隔间的物理对应，变为逻辑对应的新模式，同时提供给运维人员与传统间隔相类似的展示形式，以方便运行管理。

维护软件的主界面如图 4 所示。



图 4 维护软件主界面

Fig. 4 Interface of maintenance software

维护软件还负责设置集群测控的备用、扩容和迁移策略；设置每台集群测控最低限度的间隔承载策略；设置运行、冷备用和热备用策略；监视所有间隔的测控功能运行情况；一旦出现测控逻辑功能

异常, 启动迁移进程。

图 5 以集群测控装置中某间隔的测控参数下装为例, 给出了维护软件与装置之间的交互过程。

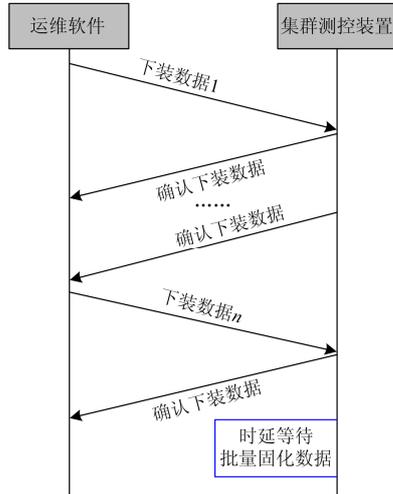


图 5 参数设置流程

Fig. 5 Flowchart of parameter setting

2.6 改扩建及检修设备更换

为达到便捷高效运维的目的, 基于 IEC 61850 标准和即插即用技术, 实现了间隔测控的动态重构和冗余备用。功能及信息做到标准化设计, 方便调试和仿真。在设备维护更换或扩建时, 完全可以做到厂内调试, 能够有效地控制站内调试周期及调试质量^[20]。

原则上每套装置均具备全站测控各间隔的参数配置, 各套装置之间可互为备份。当其中一套装置进行维护更换后, 无需繁杂的人工配置操作, 而是通过网络交互直接获取其他装置的运行状态, 简便快速地实现恢复。同时, 为保证全站各套装置参数配置的一致性, 正常运行时, 各套装置之间针对参数配置进行校验, 当出现不一致时产生告警提示。

以下通过几个典型应用场景阐述运维流程。

1) 装置检修: 为实现集群测控装置检修管理, 抛弃了传统检修硬压板而更改为间隔检修软压板方式。检修软压板与逻辑测控装置一一对应。当检修软压板置入时, 可自动将其迁移策略更改为禁止, 直至检修软压板退出。

2) 设备维护更换: 集群测控装置物理维护更换时按以下步骤进行。

第 1 步: 运维工具→系统状态→获取全站集群测控系统运行状态;

第 2 步: 通过运维工具→系统部署→将待维护更换设备的装置状态设置为“在线停用”, 下发手动部署命令, 集群内任务管理模块接收到部署指令后,

根据迁移策略及优先级将本节点机处于运行状态的 IED 动态迁至其他节点机。

第 3 步: 本节点机所有运行测控 IED 迁移结束后, 进行实际物理操作。

第 4 步: 装置进行维护更换后, 无需人工配置操作, 上电后通过网络交互直接获取其他装置的配置信息及全站测控各间隔的参数配置, IED 自动部署为运行状态, 能够简便快速地实现恢复。

3) 间隔扩容: 实施扩建时按以下步骤进行。

第 1 步: 运维工具→ICD|SCD 文件导入→进行 SCD 文件解析, 新增间隔信息并自动建模。

第 2 步: 运维工具→文件下装→通过文件服务或 FTP 将全站更新后的 SCD 文件及新增间隔 CID 文件、CCD 文件下装至全站各集群测控装置。

第 3 步: 运维工具→系统部署→将扩容间隔部署策略初始化。

第 4 步: 下发手动部署命令, 集群内任务管理模块接收到部署指令后, 确定新增间隔部署的目标节点机, 同时向对集群内各节点即时广播计算部署关联信息, 相应节点机根据收到的关联信息进行策略实施。

3 试点工程应用情况

本文所提出的新型监控系统体系架构及站控层、间隔层新型装置和设备已通过出厂验收, 并在国网淄博供电公司的营子 110 kV 智能变电站工程中调试通过, 投入试运行, 图 6 为集群测控装置调试示意图。



图 6 集群测控装置调试

Fig. 6 Test of cluster measurement and control device

该站终期规模: 50 MVA 两卷变压器 3 台; 110 kV 扩大内桥接线, 110 kV 进线 2 回, 内桥 2 回; 10 kV 单母四分段; 10 kV 出线 37 回; 电容器 6 回, 接地变 3 台。本期规模 110 kV 内桥接线, 10 kV 单母三分段; 10 kV 出线 25 回; 电容器 4 回, 接地变 2 台。

由于采用新型体系架构, 监控系统完全按照终

期规模配置, 配置有监控主机屏、集群测控屏、测控运维屏和远动通信屏等设备。集群测控屏内配置有集群测控装置 4 台, 物理设备上预留了终期规模的容量, 待改扩建时无需增加物理设备, 仅需要修改逻辑配置。经过比较, 由于采用集群测控装置完成智能变电站间隔层测控功能, 取代了物理的间隔层测控装置, 使得监控系统间隔层物理设备数量减少到传统智能变电站的大约 70%, 屏柜数量也相应减少。虽然集群测控的单台成本较高, 但是由于台数较少, 经测算总共可减少投资约 30%, 建设成本大幅降低。由于设备数量减少, 运维工具效率提高, 明显缩短了调试周期, 调试工作量降低约 1/3, 直接缩短了建设工期。

此外, 新型智能变电站监控架构下, 由于集群测控装置的采用, 给变电站改扩建带来极大便利。在间隔增加等改、扩建时, 仅需对间隔层集群测控装置的 SCD 文件升级即可完成升级改造涉及的所有间隔同步、同时升级, 相比逐间隔停电改造, 效率大幅提高。

在间隔测控功能的可靠性方面, 由于采用了逻辑功能的动态迁移技术, 任一间隔的逻辑测控功能均有热备用, 当任一物理装置故障时, 可以保证热备用测控功能立即投入, 在站控层和调度中心看来是无缝切换。

在监控系统的运维方面, 由于做到了全景可视化以及定值和软压板统一在维护终端进行操作和管理, 相比按间隔配置的测控装置, 大幅降低误操作的概率。

4 结论

本文研究了智能变电站监控系统的新型体系架构, 对站控层进行功能整合及提升, 优化站内通信网络, SV 与 GOOSE 共网传输。间隔层采用集群测控装置, 将全站所有间隔的测控集中于数台集群测控中, 依靠动态迁移技术实现间隔测控功能的装置级热备用。开发了全景可视化的运维系统, 提高了智能变电站改、扩建时的调试效率。所研制的新型监控系统已在新建智能变电站成功投入试运行, 解决了智能变电站监控系统中存在的装置数量多、无后备等突出问题, 减少了投资和运维成本, 而且在管理模式上也与现有智能变电站完全兼容。试点工程的安全稳定运行也为大范围推广新型监控系统体系架构积累了丰富经验。

参考文献

[1] IEC 61850 communication networks and systems in

substations[S]. Ed 1.0, 2003.

- [2] IEC 61850 communication networks and systems for power utility automation[S]. Ed 2.0, 2010.
- [3] 高志远, 黄海峰, 徐昊亮, 等. IEC 61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169.
GAO Zhiyuan, HUANG Haifeng, XU Haoliang, et al. Discussion on applications of IEC 61850 and its development[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(1): 162-169.
- [4] 梅德冬, 周斌, 黄树帮, 等. 基于 IEC 61850 第二版变电站配置描述的集成配置[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(11): 132-136.
MEI Dedong, ZHOU Bin, HUANG Shubang, et al. Decoupling integrated configuration of substation configuration description based on IEC 61850 edition 2.0[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(11): 132-136.
- [5] 李晓朋, 裘愉涛, 钱建国, 等. 智能变电站二次设备互换性探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 76-81.
LI Xiaopeng, QIU Yutao, QIAN Jianguo, et al. Discussion on interchangeability of secondary devices in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 76-81.
- [6] 李辉, 刘海峰, 赵永生, 等. 智能变电站过程层组网改进方案[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(3): 218-223.
LI Hui, LIU Haifeng, ZHAO Yongsheng, et al. Improved process-level networking scheme of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(3): 218-223.
- [7] 刘益青, 高伟聪, 高厚磊, 等. 适用于智能变电站混合数据源接人的保护同步采样方法[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(11): 158-164.
LIU Yiqing, GAO Weicong, GAO Houlei, et al. Synchronous data acquisition from hybrid sources for smart substation protections[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(11): 158-164.
- [8] 杨凯, 余高旺, 宋勇辉, 等. 智能变电站冗余数据处理方案的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 150-154.
YANG Kai, YU Gaowang, SONG Yonghui, et al. Research and application of redundant data processing scheme for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 150-154.
- [9] 邓洁清, 车勇, 单强, 等. 基于标准中间过程文件的 SCD 版本比对的优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 95-99.

- DENG Jieqing, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Optimal research of SCD version comparison based on the standard middle process files[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 95-99.
- [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 specification of integrated supervision and control systems in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 1-5.
- [11] 肖燕. 新一代智能变电站信息流架构设计[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(5): 1245-1251.
XIAO Yan. Design of information flow scheme for new smart substation[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(5): 1245-1251.
- [12] 刘俊红, 邓兆云, 李泽科, 等. 基于即插即用的智能变电站信息自动校核技术[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(2): 137-143.
LIU Junhong, DENG Zhaoyun, LI Zeke, et al. Automatic information verification technology of smart substation based plug and play[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(2): 137-143.
- [13] 胡绍谦, 李力, 朱晓彤, 等. 提高智能变电站自动化系统工程实施效率的思路与实践[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 173-180.
HU Shaoqian, LI Li, ZHU Xiaotong, et al. Scheme and practice for improving engineering implementation efficiency of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(11): 173-180.
- [14] 王文龙, 崔建勇, 胡荣, 等. 基于智能远动装置的监控终端相关技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 187-191.
WANG Wenlong, CUI Jianyong, HU Rong, et al. Discussion on related technologies of supervision and control terminal based on smart remote terminal unit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 187-191.
- [15] 杨志宏, 周斌, 张海滨, 等. 智能变电站自动化系统新方案的探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14): 1-7.
YANG Zhihong, ZHOU Bin, ZHANG Haibin, et al. Discussion on novel scheme of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 1-7.
- [16] 李峰, 易永辉, 陶永健, 等. 智能变电站测控技术方案研究[J]. 电测与仪表, 2013, 50(7): 118-122.
LI Feng, YI Yonghui, TAO Yongjian, et al. Research on the programs of smart substation measurement and control technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2013, 50(7): 118-122.
- [17] 姚志强, 吴艳平, 徐歆, 等. 面向智能电网的主厂站一体化关键技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(8): 179-185.
YAO Zhiqiang, WU Yanping, XU Xin, et al. Exploration of key technologies in integration of dispatching center and substation for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(8): 179-185.
- [18] 王琳, 权宪军, 刘海波, 等. 智能变电站自动化系统一体化技术探讨[J]. 供用电, 2016, 33(7): 61-65.
WANG Lin, QUAN Xianjun, LIU Haibo, et al. Research on integration technology of automation system in smart substation[J]. Distribution & Utilization, 2016, 33(7): 61-65.
- [19] 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): 35-40.
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): 35-40.
- [20] 王德文, 刘晓萌. 基于虚拟机动态迁移的电力仿真云计算平台资源调度策略[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(12): 97-105.
WANG Dewen, LIU Xiaomeng. A resource scheduling strategy for cloud computing platform of power system simulation based on dynamic migration of virtual machine[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(12): 97-105.

收稿日期: 2018-05-08; 修回日期: 2018-08-25

作者简介:

王勇(1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向电力系统及其自动化; E-mail: wangyong@sgcc.com

韩少晓(1964—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向电力系统及其自动化; E-mail: hanshaoxiao@sgcc.com

尚力(1963—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向电力系统及其自动化。E-mail: shangli@sgcc.com

(编辑 葛艳娜)