

DOI: 10.7667/PSPC171593

支撑变电站自动化系统广域运维的服务管理中心设计与实现

万书鹏^{1,2,3}, 苏大威⁴, 张凯^{1,2,3}, 张小易⁵, 易强^{1,2,3}, 张琦兵⁴

(1. 南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院), 江苏 南京 211106; 2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 211106; 3. 智能电网保护和运行控制国家重点实验室, 江苏 南京 211106; 4. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024; 5. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

摘要: 为解决广域范围内变电站自动化系统类型多、分布广及难以统一运维的问题, 设计并实现了一种应用于变电站广域运维的服务管理中心。基于现有变电站、主站和检修三地的网络结构, 设计广域运维服务管理中心的架构。提出服务注册、申请、监视等服务全过程管控流程, 以简单服务描述语言和通用服务协议作为服务管理标准化交互方式。应用安全证书、权限、责任区等安全防护机制, 实现对广域范围内变电站自动化系统运维服务的统一展现、监视和管理。变电站广域运维服务管理中心已在江苏省调、南京和苏州地调试点应用。

关键词: 服务管理中心; 广域运维; 标准化交互; 安全防护机制

Design and implementation of service management center for substation automation system wide operation and maintenance

WAN Shupeng^{1,2,3}, SU Dawei⁴, ZHANG Kai^{1,2,3}, ZHANG Xiaoyi⁵, YI Qiang^{1,2,3}, ZHANG Qibing⁴

(1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China; 2. NARI Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China; 3. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, Nanjing 211106, China; 4. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China; 5. State Grid Jiangsu Electric Power Co. Ltd. Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: In order to solve the problem of substation automation system which contains multi types and is distributed widely and maintained difficultly, this paper designs and implements a service management center for substation maintenance. The architecture of the wide area operation and maintenance service management center is designed based on the existing network structure which contains substation, main station and overhaul. This architecture proposes a whole process control of service which contains service registration, application, monitoring and so on, using simple service description language and general service protocol as service management standardization interaction. Security mechanism such as safety certificate, authority, and responsibility area is used to implement the display, monitoring and management of the substation automation system in wide area. The service management center for substation wide operation and maintenance has been used in Jiangsu provincial dispatch center, and Nanjing and Suzhou local dispatch center.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China "Research and Application of Wide-area Operation and Maintenance Techniques of Substation Automation Equipment".

Key words: service management center; wide-area operation and maintenance; standardized interaction; security mechanism

0 引言

随着调控一体化“大运行”的深入, 变电站建设已为无人值守模式。目前智能变电站已进入全面建设阶段, 变电站自动化系统的技术复杂度越来越

高, 对运维技术和机制提出了更高的要求。变电站具有地域宽、维护点分布广等特点, 以现场作业为主的常规变电站自动化运维机制已经越来越难以适应智能电网发展的需要, 迫切需要改变现有自动化运维模式^[1-3]。

国内有关研究人员已做了这方面的研究。早期在主子站间网络带宽有限的情况下, 文献[4]采用拨号 MODEM 的方式建立调度与变电站 RTU 之间的

基金项目: 国家电网公司科技项目“变电站自动化设备广域运维技术研究及应用”

通信链路,实现 RTU 的参数传递和重启等基本远程维护功能。文献[5]提出了基于 Web 的变电站远程监控系统,实现通过 IE 浏览器查看变电站的各种图形和数据信息。文献[6-7]提出基于 C/S 结构的远程维护系统,客户端负责传送要执行的命令和显示返回,服务端实现具体的维护功能。文献[8]介绍引用 KVM 技术的远程运维解决方案,实现集控站对变电站后台系统的远程显示。文献[9]基于微软操作系统的远程桌面功能,给出了一种通过登录到变电站内本地监控机进行远程维护的方案。文献[10]通过为主站端用户构建变电站虚拟终端,实现了对智能变电站内设备在主站端的安全远程访问。文献[11]提出两级分布式智能告警系统,实现主子站直接通过服务的方式进行交互,但是仅针对告警服务,缺少通用性。

现有的变电站远程运维方案,主要针对单一类型的系统或固定功能的需求进行设计,难以对广域范围内的所有变电站推广使用,主要问题在于:一是广域范围的变电站自动化系统分属于不同的厂家,使用不同的硬件、操作系统和软件版本,现有方案难以兼容所有的系统;二是随着变电站维护需求的发展,现有方案难以扩展新的远程运维功能;三是现有方案未考虑远程运维的安全问题,包括登录验证、通信安全以及权限管理等。

为解决以上问题,本文应用变电站服务化的思想^[12-14],提出一种用于变电站广域运维的服务管理架构,其核心思想是在主站端建立服务管理中心,对所有变电站站服务进行统一的注册、监视和管理。通过设计服务注册、审批、监视等全过程管控流程,实现服务的扩展和维护;通过设计基于简单服务描述语言^[15]和通用服务协议^[16-17]的服务管理标准化交互方式,实现不同子站服务的注册和监视;通过设计并实现广域运维服务安全管理机制,提高变电站广域运维的安全性。

1 广域运维服务管理中心架构

1.1 系统总体架构

对于以省为单位的广域范围内的变电站,一般根据地域划分到各自的地级电力公司,由当地的检修点负责运维,因此为实现全省范围的广域运维,需要在省、地电力公司分别部署服务管理中心。根据网络和机房条件,服务管理中心架设在调度中心,而各个检修点只部署运维工作站。同时出于安全考虑,检修点不与变电站直接连接,两者之间需要通过服务管理中心进行代理才能通信。变电站广域运维服务管理中心总体架构如图 1 所示。

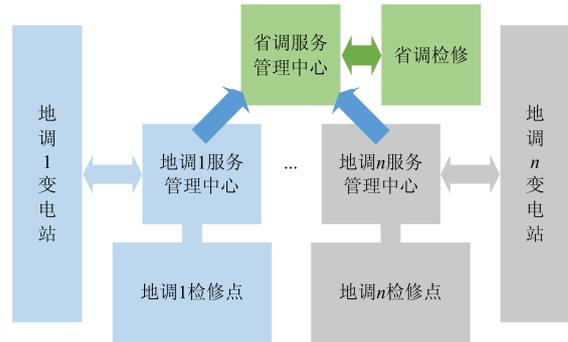


图 1 服务管理中心总体架构

Fig. 1 Overall architecture of service management center

地调侧的服务管理中心通过调度数据网与变电站和省调侧的服务管理中心连接,并通过内部网络与地调侧的各个检修点连接。省调侧的服务管理中心分别与地调侧的服务管理中心和省调检修连接。服务管理中心需要接收并保存对应变电站的运维服务信息,同时为各个检修点提供服务路由和代理功能。

1.2 省、地服务管理中心互备机制

地调管辖的变电站将运维服务注册到地调的服务管理中心,由地调侧的服务管理中心统一监视和管理。同时地调侧的服务管理中心实时同步服务信息到省调侧的服务管理中心,省调侧的服务管理中心保存全省所有变电站的运维服务信息。

当省调侧的服务管理中心发生故障,此时地调停止向省调同步服务信息,其远程运维功能不受影响,仍然正常进行。当省调侧的服务管理中心故障恢复后,地调恢复向省调同步服务信息。

当地调侧的服务管理中心发生故障时,根据故障情况,省调可以完全或部分接管地调功能。在地调路由功能故障的情况下,如数据库故障或对应软件功能故障,此时地调的代理功能仍然正常,地调检修可以通过地调代理从省调侧的服务管理中心进行服务路由,再通过地调代理进行服务调用。在地调代理功能故障的情况下,如检修点或地调代理服务网络故障,此时地调检修无法正常工作,需要由地调其他检修点或省调检修临时接管相关工作。当地调故障恢复后,需要从省调侧的服务管理中心重新下载最新的与该地调相关的服务信息,再进行工作。

2 服务全过程管控

2.1 服务管理交互流程

用于变电站广域运维的服务管理中心包含服务注册服务、服务审批服务、服务监视服务、服务

查询服务、服务定位服务和权限认证服务等主要服务模块。服务管理中心通过这些主要服务实现对变电站内运维服务的全生命周期管理。服务管理交互流程如图 2 所示, 包括服务创建、服务注册、服务申请、服务审批、服务通知、服务状态监视、服务查询、服务定位和服务调用等过程。

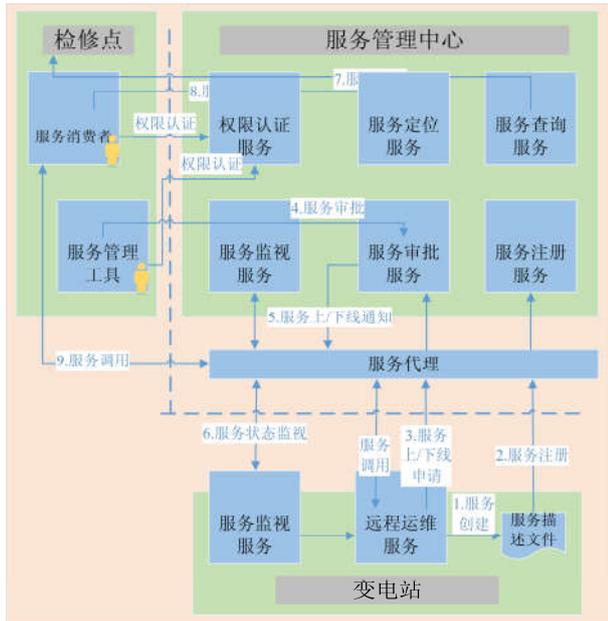


图 2 服务管理交互流程

Fig. 2 Service management interactive process

2.2 服务创建与注册

服务创建与注册是指各个变电站自动化系统厂家根据自身系统特点, 按照电力系统简单服务接口规范^[15]要求定义运维服务, 提供服务的静态信息, 如服务名、服务输入输出参数、版本号等, 最终产生该服务的服务描述文件, 并分别提交到地调和省调的服务管理中心。服务描述文件格式为:

```
<? xml version="1.0"? >
<Service(type1:param1,type2:param2,...) prompt />
<param1 mode type1 />
<param2 mode type2 />
...
<version value />
```

其中第一行为 XML 版本号。第二行为服务定义的描述, 与电力系统简单服务接口的服务定义格式一致, Service, type 和 param 分别表示服务名、参数类型和参数名, 用英文标识, prompt 为提示符, 是对服务功能的说明, 可以使用中文进行描述。从第三行开始为参数列表, 是对参数的补充说明, mode 可以为 in, out 或 in/out, 分别表示输入参数、

输出参数或输入输出参数。最后的 version 标签定义了服务的版本号。

2.3 服务申请、审批和通知

在服务注册成功后, 自动进入下线状态, 此时服务还不能正常使用。服务需要提交服务测试申请, 经审批同意后, 才能进入测试状态。测试状态的服务只能通过测试服务代理实现服务调用, 当网络速率达到限值时, 系统会优先拒绝测试服务的请求。在服务测试完成后, 服务可以提交服务上线申请, 经管理员审批同意后, 服务状态变为上线, 正式对外提供服务。服务状态的变化关系如图 3 所示。

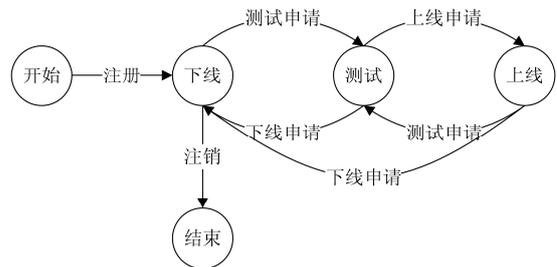


图 3 服务状态

Fig. 3 Service state

通过对服务状态的管理, 可以实现服务的无缝升级。当服务需要升级到新的版本时, 新版本的服务通过注册和测试申请进入测试状态。此时正常的运维工作仍然使用原有的老版本服务, 而测试程序可以定位并使用处于测试状态的新版本服务。完成测试后, 新版本的服务进入上线状态, 同时老版本服务进入下线状态, 此时新的服务请求将会提交给新版本的服务。下线的服务仍然会完成已提交的工作, 但是不会接收新的服务请求。当所有已有工作完成后, 下线状态的老版本服务通过服务注销, 从服务管理中心中删除。

2.4 服务监视、查询与定位

服务注册后, 注册服务将服务信息保存到商用数据库中。监视服务从商用数据库中查询所有上线的服务, 并将服务监视信息更新到本地实时库中。查询服务根据查询请求, 分别从商用数据库和实时库中获取服务静态和动态信息。定位服务从实时库获取服务地址信息, 实时推送到各个检修点的工作站上。服务监视、查询与定位流程如图 4 所示。

服务定位操作是系统中最基本、最频繁的操作之一, 为提高服务定位性能, 本文采用了本地无锁共享内存^[18]的设计方案。定位服务定时从实时库中获取服务运行状态信息, 并推送给各个检修点的定位代理。定位代理负责将服务运行状态写入本地共享内存。服务消费者在定位服务时, 可以直接从本

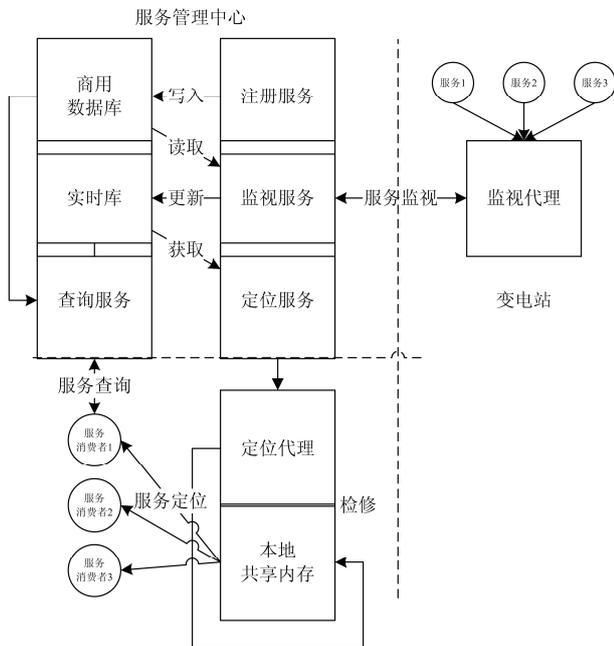


图 4 服务监视、查询和定位流程

Fig. 4 Service monitoring, query and location process

地共享内存中获取，而不再从服务管理中心的定位服务获取。根据服务消费者的需求，服务定位可以返回服务主机的位置，或者返回内存、CPU、连接数等最低的服务的主机位置，或者返回服务所有的主机位置供服务消费者自行选择。

3 主子站交互技术与安全机制

3.1 主子站标准化交互技术

在服务管理交互流程中涉及三处主子站间的通信环节，分别为服务注册、服务申请和服务监视。为保证服务管理中心的通用性，主子站之间的通信方式采用通用服务协议定义的基于代理的方式。在主站与变电站之间进行远程通信时，通过本地服务代理和远方服务代理间的配合，在服务消费者和服务提供者之间建立起逻辑的数据连接，进行服务通信。由于服务监视功能需要周期性地向所有变电站获取服务监视信息，其调用比较频繁，为不影响其他服务的正常调用和维护，在主站端为服务监视功能提供专门的服务代理。

主子站代理间的服务交互格式采用通用服务协议定义的“代理帧头+应用协议数据单元 (APDU)”的格式。代理帧头为标识关联关系的数据头，应用协议数据单元包含控制码、服务码、帧长度和服务原语报文。本文为实现广域运维的服务注册、服务申请和服务监视功能，通过扩展通用服务协议的服务原语，定义了广域运维注册服务、广

域运维申请服务和广域运维监视服务 3 个新的专有服务原语。其中广域运维注册服务原语是组合通用服务协议原有的服务创建和服务注册两个通用服务原语的基础上，增加服务所在域、服务注册域等服务参数，形成的新的专有服务原语。广域运维申请服务原语的服务参数主要包括服务名和申请的服务状态，由于通用服务原语中没有对服务申请状态的定义，因此申请服务原语是全新定义的专有服务。广域运维监视服务原语的输入参数是一组服务列表，包括服务名、服务版本、服务地址和端口号等，输出参数则是对应与输入参数的一组服务状态信息，包括服务运行状态、服务的内存、CPU 和连接数等。

3.2 安全机制

通过建立服务管理中心，对变电站服务进行统一管理和控制，广域运维系统比传统的远程运维系统具有更多的安全控制手段。如图 5 所示，除了传统的加密装置、审计日志和录屏等安全手段外，广域运维系统还具有 UKey 登录、权限和责任区认证、服务审批和安全认证等安全机制。

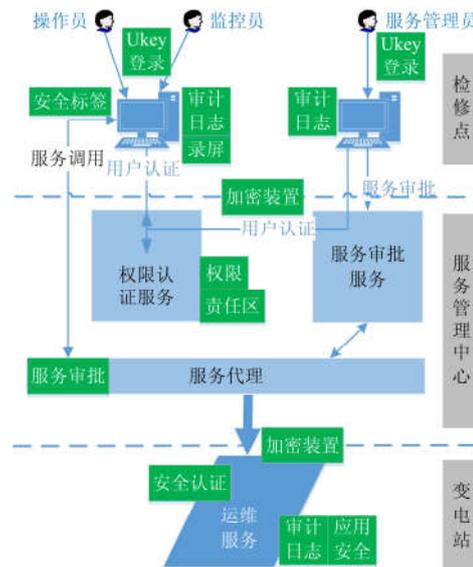


图 5 广域运维安全机制

Fig. 5 WAN operating security mechanism

UKey 登录和安全认证是应用电力调度证书实现的安全机制，目前已在电力调度系统内广泛应用^[19-20]。相比于加密装置只能实现对调度数据网的数据传输保护，使用 UKey 登录和安全认证，可以实现从人员登录到服务调用整个运维过程的安全防护。UKey 登录中使用人员证书，系统通过人员证书和密码的双因子认证，确定登录人员身份。安全认证使用服务证书进行数据的签名认证，从而保证

服务调用过程中的数据安全。

用户登陆后, 可以对该用户的权限和责任区进行精细化管控。服务管理员、操作员和监控员具有不同的职责范围, 关注对象和功能需求不同, 因此需要分权管理。对于每个操作员和监控员, 可根据其关注的范围设置责任区, 当用户登录时, 仅显示责任区内的信息。一些关键运维操作需要具备调用权限和监控权限的两个用户共同登陆才能执行。

检修点和各个变电站在网络上不能直接通信, 检修点必须通过服务管理中心的服务代理才能实现与变电站服务的通信。服务代理通过节点认证和服务审批确保客户端的可信和服务端的可控。通过服务代理的安全机制, 服务管理员可以将关键服务下线, 已防止操作员的误操作。在需要使用时, 由操作员申请后, 服务管理员再将服务上线, 从而确保关键服务的调用需要服务管理员、操作员和监控员三者的确认。

4 试点应用情况

目前广域运维服务管理中心已经在江苏省调、南京地调和苏州地调试点应用。其中南京地调部署的服务管理中心已接入双闸、城北、浦口、六合、江宁等区域的 89 座变电站的运维服务, 涉及南瑞科技、许继电气、南瑞继保、国电南自等 6 家主流变电站自动化厂家的 11 个型号的变电站自动化系统。已接入的运维服务包括转发表查询、历史调阅、参数管理、应急管理、设备复位等 7 类, 各个变电站自动化厂家根据变电站的实际条件, 选择实现并部署全部或部分服务。通过服务管理中心提供的服务管理、通信和安全保障, 用户在城北检修点可以看到各个变电站的运维服务情况, 并完成已提供的运维功能。苏州地调的情况与南京地调类似, 第一阶段服务管理中心将接入 60 多座变电站的服务。江苏省调的服务管理中心不单独接入变电站, 而是从各个地调的服务管理中心获取服务信息, 作为备份使用。

5 结论

随着技术的发展, 常规变电站自动化运维已难以满足运维要求, 本文在变电站服务化的思想上, 设计与实现涉及变电站、主站和检修三地的广域运维服务管理中心的架构, 提出服务注册、申请、监视等服务全过程管控流程, 并采用基于简单服务描述语言和通用服务协议的服务管理标准化交互方式, 应用安全证书、权限、责任区的安全防护机制,

实现了对广域范围内变电站自动化系统运维服务的统一展现、监视和管理, 为提高变电站自动化系统运维管理效率, 提升广域运维规范化水平, 提供了一种新的技术手段。随着技术的进步, 每一次技术的创新都会与常规管理模式发生碰撞, 很多技术创新都在促进管理的变革。广域运维服务管理中心的建立及变电站自动化系统运维方式的改变, 促使今后需要进一步对相应的管理模式展开研究。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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): 148-153.
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.
- [3] 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.
- [4] 高峰, 胡绵超, 张阳志, 等. 远动系统中远程维护的技术探讨与实现[J]. 继电器, 2001, 29(8): 42-45.
GAO Feng, HU Miaochao, ZHANG Yangzhi, et al. The discussion and realization of remote maintenance technology in remote terminal system[J]. Relay, 2001, 29(8): 42-45.
- [5] 郝晓弘, 苏渊. 基于 Web 的变电站远程监控系统[J]. 电网技术, 2003, 27(7): 32-35.
HAO Xiaohong, SU Yuan. A web based substation remote supervisory control system[J]. Power System Technology, 2003, 27(7): 32-35.
- [6] 侯贤军, 钱清泉. 基于网络的变电站远程维护系统的开发[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(11): 3158-3161.
HOU Maojun, QIAN Qingquan. Development of substation remote maintenance system based on network[J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(11): 3158-3161.

[7] 马如远. 基于 C/S 结构的远程维护调试系统[J]. 机电工程, 2007, 24(4): 73-74.
MA Ruyuan. Remote maintenance & regulation system based on C/S structure[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2007, 24(4): 73-74.

[8] 费林渊. 基于 KVM 技术的变电站后台系统远程监视方案[J]. 电工技术, 2009, 17(8): 16-18.
FEI Linyuan. Remote monitor scheme of substation background system based on KVM technology[J]. Electric Engineering, 2009, 17(8): 16-18.

[9] 夏友斌. 基于远程桌面的厂站自动化系统远程维护[J]. 电力系统自动化, 2011, 31(23): 113-115.

[10] 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): 123-128.
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): 123-128.

[11] 贾华伟, 郭利军, 叶海明, 等. 智能变电站分布式智能告警研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(12): 92-99.
JIA Huawei, GUO Lijun, YE Haiming, et al. Research and application of distributed intelligent alarm in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(12): 92-99.

[12] 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.

[13] 孙大雁, 许祖锋, 苏大威, 等. 基于调度与变电站一体化系统的分布式故障诊断[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(23): 125-130.
SUN Dayan, XU Zufeng, SU Dawei, et al. Distributed fault diagnosis based on dispatch and substation integrated system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(23): 125-130.

[14] 葛亮, 张建华, 余斌, 等. 智能变电站数据中心及其应用服务[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(24): 54-59.
GE Liang, ZHANG Jianhua, YU Bin, et al. Smart substation data center and its application service[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(24): 54-59.

[15] 中国国家标准化管理委员会. 电力系统简单服务接口规范: GB/T 33604—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[16] 辛耀中. 智能电网调度控制技术国际标准体系研究[J]. 电网技术, 2015, 39(1): 1-10.
XIN Yaozhong. Research on international standard architecture for smart grid dispatching and control technology[J]. Power System Technology, 2015, 39(1): 1-10.

[17] 国家电网公司. 电力系统通用实时通信服务协议: Q/GDW 11068—2013[S]. 北京: 国家电网公司, 2013.

[18] 王瑾, 彭晖, 侯勇, 等. 基于共享内存的能量管理系统实时库非主键 HASH 索引[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(11): 72-76.
WANG Jin, PENG Hui, HOU Yong, et al. HASH index on non-primary key columns of EMS real-time database based on shared memory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(11): 72-76.

[19] 王文, 鲁玉华, 陶静娜, 等. 电力调度证书系统的特点及应用[J]. 电网技术, 2007, 31(12): 23-27.
WANG Wen, LU Yuhua, TAO Jingna, et al. Features and application of certificate for power dispatching system[J]. Power System Technology, 2007, 31(12): 23-27.

[20] 易强, 万书鹏, 彭晖, 等. 调度与变电站一体化系统远程维护安全防护设计[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(1): 40-46.
YI Qiang, WAN Shupeng, PENG Hui, et al. Design of security protection for remote maintenance in dispatch and substation integrated system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(1): 40-46.

收稿日期: 2017-10-27; 修回日期: 2018-01-08

作者简介:

万书鹏(1982—), 男, 通信作者, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化。E-mail: wanshupeng@sgepri.sgcc.com.cn

(编辑 周金梅)