

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190554

# 智能变电站间隔集群测控模式下的运维体系研究

刘红军<sup>1</sup>, 管 萑<sup>1</sup>, 朱玉锦<sup>1</sup>, 白英伟<sup>1</sup>, 于 洋<sup>2</sup>, 田君茹<sup>3</sup>

(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 250104)

**摘要:** 以间隔层集群测控为代表的智能变电站新型监控技术的研究和实用化, 亟需与之相匹配的、新模式下的集中式运维体系, 以满足集中监控、高效维护和安全管理的目标。为此, 以集群测控系统的特殊设备形态为背景, 研制了一种基于集中运维理念的新型监控系统运维平台。系统阐述了新型运维平台的功能设计、架构设计和关键实现技术。研制的智能变电站集中运维平台采用了先进的通信技术, 提升了间隔防误操作能力, 可实现对智能变电站监控系统和新型集群测控装置的全景、可视化运维。工程现场的实际应用情况表明, 所提出的集中运维体系和平台完全满足智能变电站新型监控系统下运维需求, 为新型监控系统的推广奠定了基础。

**关键词:** 智能变电站; 间隔层; 集中运维体系; 间隔防误; DBUS 总线

## Research on operation-maintenance system of cluster measurement and control device for bay level in smart substation

LIU Hongjun<sup>1</sup>, GUAN Ti<sup>1</sup>, ZHU Yujin<sup>1</sup>, BAI Yingwei<sup>1</sup>, YU Yang<sup>2</sup>, TIAN Junru<sup>3</sup>

(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 250104, China)

**Abstract:** With the research and application of new monitoring technology in smart substation represented by the Cluster Measurement and Control System (CMCS), it is urgent to develop a centralized mode of operation and maintenance matching to match the new architecture. It should focus on meeting the needs of centralized monitoring, efficient maintenance and security management. On the basis of the new equipment form of CMCS, a new operation and maintenance management system and platform based on centralized operation and maintenance idea has been successfully developed. The function design, architecture design and key implementation technologies of the centralized platform are systematically expounded. The developed platform enhances the ability of mal-operation proof between bays through advanced communication technology and security measures and provides effective support for realizing panoramic and visual operation and maintenance of CMCS. The practical application shows that the proposed centralized operation and maintenance system and platform fully meet the new requirements of the new monitoring system for smart substation, and lay a solid foundation for the promotion of the new monitoring system.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 5206001601YU) "New System Architecture of Intelligent Substation Monitoring System and Key Technology Research and Application".

**Key words:** smart substation; bay level; centralized operation and maintenance system; mal-operation proof between bays; DBUS bus

## 0 引言

智能变电站监控系统对保障电网连续、稳定运

行起到了至关重要的作用<sup>[1-2]</sup>。IEC61850 标准以及合并单元<sup>[3]</sup>、智能终端<sup>[4]</sup>等新型设备的广泛采用, 推动了智能变电站监控系统的发展。

为解决传统监控系统中单间隔测控装置无热备用装置的突出问题<sup>[5]</sup>, 对间隔层测控装置进行改进的新技术、新方案得到了广泛研究, 代表性成果

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”

包括集中式测控<sup>[6-9]</sup>、多功能测控<sup>[10]</sup>和集群测控<sup>[11-12]</sup>等。特别是文献[11-12]依托国家电网科技项目的研究任务,提出了以间隔集群测控系统为核心的新型体系架构,大幅减少了间隔层设备数量,并具备秒级切换的冗余热备用能力。

上述间隔层测控领域新技术在不同程度上打破了按间隔固定布置单一测控装置的限制,因而在调试和运维时无法直观对应单间隔。在采用新型间隔测控装置的监控系统中除了面临与传统监控系统中相同的软硬件版本繁多、运维工作量大<sup>[13-14]</sup>等老问题之外,由于间隔层测控装置同一物理装置中运行较多数量的虚拟逻辑间隔,这无疑增加了物理间隔虚拟化后的运维难度,易出现误操作的新问题<sup>[15-16]</sup>。为此,研究智能变电站新型间隔测控模式下的集中高效运维技术具有重要的实用价值。

现有智能变电站单间隔测控的运维模式下,效率难以进一步提升<sup>[17-18]</sup>,间隔层防误操作效果较差。而变电站级的集中式运维及远程运维是提高运维效率、避免误操作的有效途径。文献[19]提出了一种基于智能电网调度支持系统的集中运维技术方案;文献[20]设计了基于电力无线虚拟专网的继电保护智能移动运维系统,实现了远程运维,虽然远程运维技术需要高可靠性的通信网络支持,但是可借鉴其基本思想,实现智能变电站内集中运维。

智能变电站就地化继电保护的集中运维理念具有很强的代表性,也可为间隔测控新型运维体系设计提供借鉴。文献[21]提出了继电保护运维智能防误方法,从虚端子可视化和智能诊断等方面为测控装置的集中运维和防误操作提供了参考。文献[22]主要从继电保护设备的状态监测、二次回路的状态检测及辅助检修操作三方面关键技术研究了智能变电站继电保护在线运维防误系统。文献[23]提出了一种采用保护智能管理单元实现无液晶的就地化二次设备的运维方案,提高了集中运维效率。

本文研究了适应集群测控新模式的集中运维体系,研制了运维平台,并在实际工程中获得成功应用,可大幅提高运维效率,完善了间隔集群测控装置推广过程中的运维体系。

## 1 间隔层新型测控模式下的集中运维体系

### 1.1 适用于集群测控模式的集中运维体系设计

集中式测控和集群测控装置均由单个物理装置实现多个逻辑测控单元,它与其承载的间隔测控单元之间并非紧密绑定的关系,而是可以相互迁移和动态部署<sup>[11-12]</sup>,不对应关系更加复杂。图1所示为集群测控装置的典型应用方案。

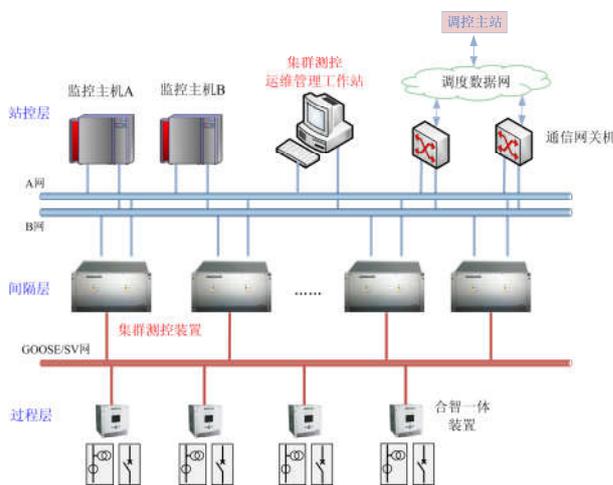


图1 智能变电站新型监控系统体系架构

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

在图1所设计的集中运维体系中,集群测控装置不再保留装置级的液晶显示和操作按键,而是全部依托独立部署于“运维管理工作站”中的“运维平台软件”实现全景可视化监视、调试和运维。

面向单间隔的测控装置通常具备液晶显示功能,人机交互区采用键盘或触摸屏实现,如图2所示。面向单间隔的测控装置一般采用就地运维方式,其缺点明显:受限于装置液晶屏幕尺寸,操作灵活性低;多间隔之间的运维操作重复性工作量大;操作过程中,多装置的密码雷同,仅依靠装置的密码校验,极易出现误操作。

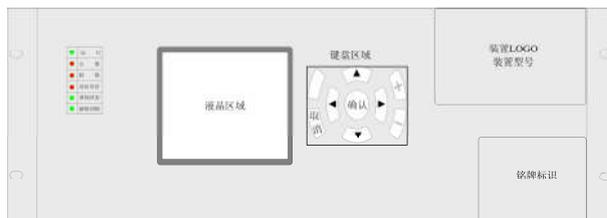


图2 传统测控装置面板

Fig. 2 Traditional panel of measurement and control device

可见,集中式测控和集群测控等新型测控技术实现过程中,由于物理装置与一次间隔无法一一对应,不可能再采用单间隔的传统液晶和按键的交互方式。同时,为改善运维效果,减少误操作,亟需研究适应智能变电站间隔集群测控模式的新型运维体系。本文基于集中式、可视化运维设计思想,开发新型运维平台,不仅满足了运维便捷性要求,而且也为变电站监控系统防误操作提供了更有效的支撑。

所设计的运维体系完全不同于单间隔测控的

“分散式”运维模式, 而是采用基于运维管理工作站的“集中式”运维模式。图 1 中的运维管理工作站独立于监控后台, 仅实现对集群测控装置的运维管理。在运维平台软件的界面设计中, 沿用了与传统单间隔测控装置一致的展示方式, 如附录 A 所示。完全模拟了传统单间隔测控装置的 LED 指示灯、通信网络连接状态、CPU 负荷及间隔测控单元软压板状态等信息。

在运维平台与集群测控装置之间互联通信技术上, 采用了以通用 IEC61850 协议为主, 辅之内部数据总线方式, 既保证了数据稳定可靠地传输和互操作性, 又做到了最大限度地扩展运维平台功能。

除了考虑日常运维的功能需求外, 在变电站改扩建、增加间隔时, 也可通过本文设计的运维平台对间隔层集群测控装置的 SCD 文件进行升级。升级改造过程中将涉及改动的所有间隔同步、同时升级, 相比逐间隔停电改造, 效率上也得到了大幅提升。

### 1.2 运维管理平台的功能设计

运维平台软件将虚拟间隔测控模块以逻辑 IED 的形式统一呈现; 实现间隔层的图形化、全景展示, 提高运维效率, 降低运维工作强度。

为实现上述目标, 设计了如图 3 的运维平台软件功能结构, 包含通信层、对象层、业务层和展示层。其中, 通信层用于提供基础平台, 设计中采用了 DBUS 总线作为进程间通信框架, 提供包括文件服务在内的各种服务应用功能。对象层将物理的集群测控装置进行抽象, 将虚拟的测控模块与一次系统的物理间隔实现一一对应, 为业务展示和人机交互提供实体对象。业务层和展示层实现对集群测控装置内部的虚拟间隔测控模块的运行监视、数据浏览、参数配置、运行/备用态的人工切换等核心功能, 并且为上述核心功能设计了防误操作模块实现辅助闭锁。

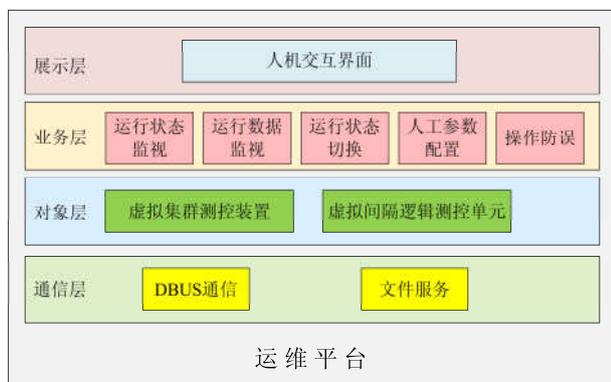


图 3 运维平台分层设计

Fig. 3 Hierarchical design of operation and maintenance platform

运维平台软件从业务角度设计了以下 6 个主模块: 装置总览、间隔总览、运行矩阵、人工切换、功能监视和网络配置。重点设计了装置总览、间隔总览、运行矩阵和人工切换 4 个模块, 通过这 4 个模块实现集群测控装置的高效管理。通过装置总览模块可以查看当前站内所有集群测控装置的基础信息, 通过该模块可以方便地查看运行中的集群测控装置实时信息, 而不必到集群测控装置上进行操作。

6 个模块的功能分布及菜单结构如图 4 所示。图 4 中虚线标注的部分为与传统单间隔测控装置相一致的界面部分, 按照四统一要求设计, 其余部分是依据集群测控装置的运维需求单独设计开发的模块。

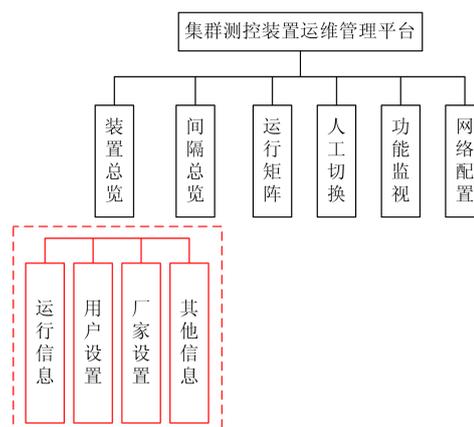


图 4 运维平台功能分布及菜单结构

Fig. 4 Functional distribution and menu structure of operation and maintenance platform

间隔总览模块分为运行间隔、热备间隔和间隔对比 3 个部分, 可直观地查看虚拟间隔的运行信息。

运行矩阵用于实时监视所有虚拟间隔测控单元运行在不同集群测控装置上的实时部署状态。人工切换模块是运维平台中实现集群测控虚拟间隔迁移和部署的核心环节, 通过该模块可以通过人工设置的方式实现虚拟间隔测控单元迁移到不同的物理装置上。基于人工管控策略达到了统一、集中的虚拟间隔管控, 提高了切换效率, 特别方便装置检修时的批量间隔操作。

## 2 新型运维平台的关键技术

### 2.1 基于虚拟测控模块的间隔防误操作闭锁

智能变电站监控系统的操作防误闭锁划分为三个层次, 分别是站控层一体化五防逻辑闭锁、间隔层 GOOSE 联闭锁、过程层电气闭锁。在间隔层部署集群测控装置的变电站监控系统中, 运维平台和站控层监控平台处于同一层级, 且运维平台监控范围涵盖了站内所有间隔测控信息, 一定程度上具备

了实现一体化防误闭锁的前提条件，能够作为智能变电站站控层一体化五防的有效补充。

利用运维平台进行间隔操作有误操作的风险，这也是集中式运维面临的共性问题。压板检修操作若未做到有效隔离，误投检修压板可能导致运行装置的功能闭锁。

因此，运维管理平台设计了防误操作闭锁模块，其技术方案如图 5 所示。运维平台进行间隔操作时，首先向防误闭锁模块发起操作请求，防误闭锁模块执行闭锁逻辑，根据闭锁规则运算结果以确定是否向集群测控装置发起操作请求；待装置返回操作允许信息并且防误闭锁模块也同时返回操作允许信息时，运维管理平台方可继续操作，否则闭锁操作。

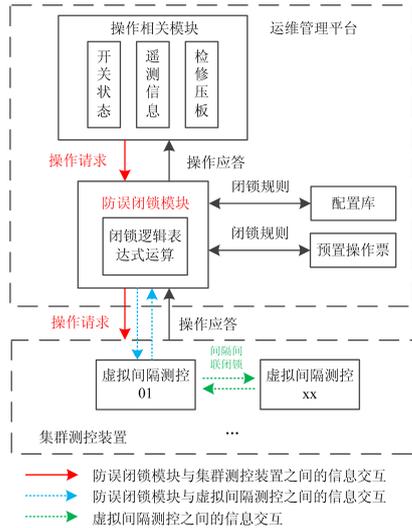


图 5 间隔防误操作闭锁方案

Fig. 5 Locking scheme of mal-operation proof between bays

图 5 所示的闭锁方案核心是“防误闭锁模块”及预置的操作票和规则配置库。利用“防误闭锁模块”中的“闭锁逻辑表达式”校核可实现完善的防误操作。本平台设计的特色在于登陆校核虚拟测控单元的 ID 号，之后生成总闭锁信号，并将该总闭锁信号用于之后的全部防误操作逻辑表达式的生成和校验。间隔控制命令和菜单操作也全部与总闭锁信号相关联，如果误入菜单，总闭锁信号将给出告警提示。提供总闭锁信号的措施，改进了全人工预置的方式，提高了操作效率，并将操作过程可视化展示，进一步提高了防误能力。

“闭锁逻辑表达式”中的防误操作规则还包含操作对象、间隔测控单元的运行方式、操作条件等信息。通过对操作对象唯一标识的校核，对间隔测控单元的的运行方式校核，并构成闭锁逻辑表达式来实现防误操作规则，当逻辑表达式成立时方可操

作，否则闭锁操作。

防误闭锁规则库用于定义及存储装置、间隔测控单元、软压板的操作防误闭锁规则。本平台的设计中还开发了预置操作票库，其中保存有典型的间隔操作对应的已执行过的操作票，根据不断积累的操作票也可丰富闭锁规则库。

图 5 中，在集群测控装置内部的虚拟间隔测控之间通过 GOOSE 信息实现间隔间联闭锁功能，实现技术上与物理间隔装置之间的联闭锁完全一致。

### 2.2 运维平台与集群测控装置间通信技术

为便于扩展运维功能，采用 DBUS 总线实现与集群测控装置中虚拟间隔测控单元之间的数据交互，其通信结构图如图 6 所示。

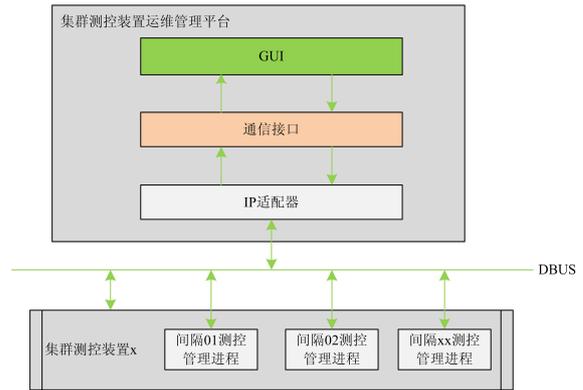


图 6 通信结构

Fig. 6 Communication structure

DBus 总线<sup>[24]</sup>提供了一种高效的进程间通信机制，总线设计理念灵活开放。运维平台、部署在集群测控装置中的虚拟间隔测控模块向 DBUS 注册后，可以接收总线传输的消息，各应用软件模块也可通过总线广播消息或向模块发送消息。DBus 总线的低延迟、低开销和高可用性等特性满足了运维平台与集群测控装置、间隔测控单元应用程序之间跨网络、多进程通信的应用需求，并能实现标准 IEC61850 协议无法提供的专用运维功能和服务。

特别地，由于目前通用的跨平台开发工具中，仅考虑访问单一 IP 地址的物理装置的情况<sup>[25]</sup>，而集群测控装置内运行了相互独立的虚拟多间隔测控模块，为适应跨平台开发工具的固定长延时的 IP 访问策略，缩短 IP 访问的时间间隔，本文设计开发了图 6 所示系统中的 IP 适配器。通过采用 IP 适配器，减少了运维平台 GUI 模块通过 DBUS 总线与虚拟多间隔测控模块之间的通信延时，实现协议匹配。

### 2.3 数据全景可视化界面技术

图 7 展示了运维平台中的虚拟间隔界面及其与传统单间隔测控装置界面的对应关系。通过这种虚

拟化设计, 完全兼容了单间隔测控装置的界面, 使运维人员很容易掌握集群测控这种新设备的日常运维。

运维平台通过全景可视化的界面设计, 达到了简洁、直观、易操作的交互效果。配合集群测控装置本身的技术创新, 最大限度地提高了运维工作效率。全景可视化的界面设计技术特色如下。

1) 完整地全景化展示所有的集群测控装置及虚拟间隔测控模块的基础数据信息, 图形化展示集群测控装置与虚拟间隔测控单元的部署关系, 使运行人员一目了然。具体展示效果参见附录 A 的运维平台截图。

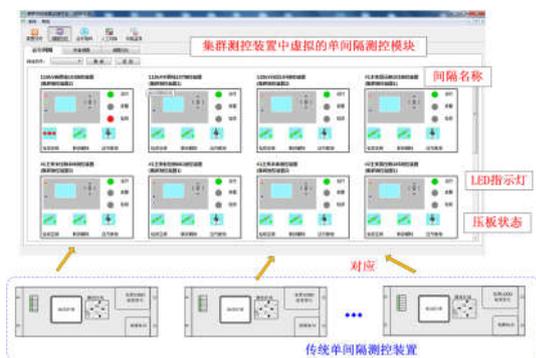


图 7 运维平台间隔总览界面

Fig. 7 Bay overview of operation and maintenance platform

2) 遵循传统单间隔测控装置风格、界面统一。界面显示区域划分合理且整体风格保持一致, 界面中所有具有相同含义的术语与传统单间隔测控装置保持一致, 易于理解, 避免歧义。

3) 完善的防误操作功能。在登录到选定的虚拟间隔测控模块时采用唯一性编码认证、预置操作票校核、规则库匹配等技术避免误入其他间隔界面。参数下装过程也采用类似技术确保操作间隔正确, 避免误修改参数。

4) 符合运行人员习惯, 运维便捷。参数设置界面支持批量设置, 间隔总览界面具有筛选功能以过滤同类条件的间隔测控单元, 具备间隔测控单元中的信号描述编辑功能等, 这些设计提高了日常运行中的高频度操作的便利性。

### 3 运维平台在实际工程中的应用

本项目所研制的运维平台已在某 110 kV 变电站正式投入现场运行。现场使用的新型监控系统配置有集群测控屏、测控运维屏、远动通信屏和监控主机屏, 其中测控运维屏内配置一台运维管理工作站, 运维平台部署于运维管理工作站上。

该站作为试点工程同时建设了两套独立的监控系统, 分别采用传统测控方案和集群测控方案。由

于新型监控系统中采用了集中、统一的运维平台, 用键盘和鼠标的便捷化操作取代传统测控装置的液晶、按键的交互方式, 使运维工作集中化处理, 大幅减少了工程施工时现场安装调试的工作量。

基于建设过程中统计的施工调试工作量表明, 由于采用集中运维平台, 集群测控装置的施工调试效率大幅提高, 工作量相比传统监控系统降低约 1/3, 大大缩短了整个变电站的建设周期。

除了在建设调试阶段提高效率外, 根据该站在日常运行过程中的情况, 运行人员总结该运维平台具有以下特色和优势:

1) 有效降低误操作的机率。采用的集中、可视化展示方式使得所有间隔测控单元的数据信息均可以在运维平台实时查看, 运维操作方式上得到较大的优化, 实现了高效率的运维操作。

2) 基础数据信息展示时模拟了传统测控装置的菜单结构, 使得运维人员能够快速掌握和使用运维平台。

3) 运维平台作为独立的工具软件, 部署于独立的运维工作站, 可实现多机、灵活部署方式, 便于操作, 提高了运维灵活性。

## 4 结论

针对集群式测控等智能变电站新型测控装置的技术形态变化, 研究了智能变电站新型运维体系, 优化了采用间隔层集群测控装置时的运维方式, 研制了运维平台, 实现了智能变电站集群测控装置的集中式运维和全景可视化展示。该运维平台的应用大幅减少了变电站施工和维护工作量, 提高了智能变电站的运行可靠性和稳定性, 为智能变电站监控系统及其运维水平的提高积累了经验, 为集群测控装置的推广应用提供了运维保证。

### 附录 A



图 A1 虚拟间隔测控模块遥测信息展示界面

Fig. A1 Telemetering information of virtual bay measurement and control modules

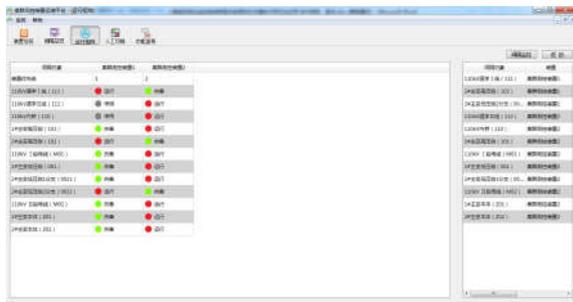


图 A2 虚拟间隔测控模块运行状态展示界面  
Fig. A2 Running state of virtual bay measurement and control modules

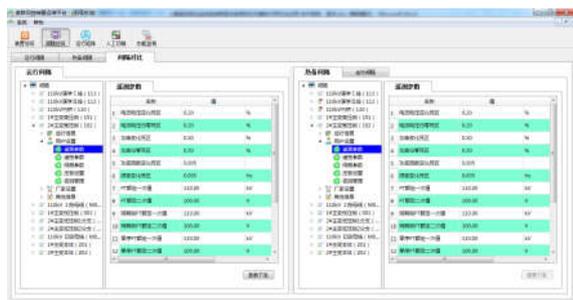


图 A3 运行间隔与热备间隔数据信息对比界面  
Fig. A3 Data information comparison between operation state and hot standby state

参考文献

[1] REN Manman, HUANG Qing, HUANG Qi, et al. The design and implementation of visualized function correlation for secondary system in smart substation[C] // 2015 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE), October 20-23, 2015, Offenburg, Germany.

[2] KRISHNAMURTHY S, BANINGOBERA B E. IEC61850 standard-based harmonic blocking scheme for power transformers[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2019, 4(4): 121-135. DOI: 10.1186/s41601-019-0123-7.

[3] 刘凯波, 吕航, 李仲青. 合并单元高采样率数据在继电保护中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(11): 123-129.

LIU Kaibo, LÜ Hang, LI Zhongqing. Application of high sampling rate data in merging unit to relay protection[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2016, 28(11): 123-129.

[4] 倪益民, 杨松, 樊陈, 等. 智能变电站合并单元智能终端集成技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(12): 95-99, 130.

NI Yimin, YANG Song, FAN Chen, et al. Discussion on integration technology of merging unit and intelligent

terminal in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(12): 95-99, 130.

[5] 刘益青, 高厚磊, 魏欣, 等. 智能变电站中过程层和间隔层功能一体化 IED 的设计[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(21): 58-62.

LIU Yiqing, GAO Houlei, WEI Xin, et al. Design of IED with integrated functions of process level and bay level in intelligent substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(21): 58-62.

[6] 吴小忠, 郑玉平, 万洛飞, 等. 220 kV 智能变电站设备纵向集成方案及其研制[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(18): 146-151.

WU Xiaozhong, ZHENG Yuping, WAN Luofei, et al. Vertical integration scheme and development of devices in 220 kV smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(18): 146-151.

[7] 文博, 蔡勇, 严守道, 等. 智能变电站集中式后备测控技术研究[J]. 湖北电力, 2018, 42(1): 22-27.

WEN Bo, CAI Yong, YAN Shoudao, et al. Research on centralized backup measurement and control technology in smart substation[J]. Hubei Electric Power, 2018, 42(1): 22-27.

[8] 王建邦. 变电站一体化运维平台的应用与研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.

WANG Jianbang. Application and research of integrated platform of operation and maintenance for substation[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.

[9] 杨剑友, 赵张磊, 奚洪磊, 等. 就地化保护智能运维检修模式研究[J]. 浙江电力, 2018, 37(12): 57-61.

YANG Jianyou, ZHAO Zhanglei, XI Honglei, et al. Research on intelligent maintenance and repair mode for localized protection[J]. Zhejiang Electric Power, 2018, 37(12): 57-61.

[10] 余高旺. 新一代智能变电站中多功能测控装置的研制与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 127-132.

YU Gaowang. Research and application of multifunctional measurement & control device of new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 127-132.

[11] 王勇, 韩少晓, 尚力, 等. 智能变电站监控系统新型体系架构研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(8): 145-151.

WANG Yong, HAN Shaoxiao, SHANG Li, et al. Research and practice of novel architecture of supervision and control system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(8): 145-151.

[12] 王永福, 张方正, 王亚飞, 等. 基于虚拟化技术的智能

- 变电站间隔层集群测控装置研制[J]. 电力系统自动化, 2019, 43(13): 169-176, 190.
- WANG Yongfu, ZHANG Fangzheng, WANG Yafei, et al. Development of virtualization-technology-based cluster measurement and control device for bay level in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(13): 169-176, 190.
- [13] SONG Qipeng, SHENG Wanxing, KOU Lingfeng, et al. Smart substation integration technology and its application in distribution power grid[J]. CSEE Journal of Power and Energy Systems, 2016, 2(4): 31-36.
- [14] 彭志强, 张琦兵, 苏大威, 等. 基于GSP的变电站监控系统远程运维技术[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(4): 210-216.
- PENG Zhiqiang, ZHANG Qibing, SU Dawei, et al. Remote operation and maintenance technology of substation supervisory control system based on GPS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2019, 39(4): 210-216.
- [15] 卜强生, 高磊, 闫志伟, 等. 智能变电站继电保护软压板防误操作策略及实现[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(12): 156-160, 168.
- BU Qiangsheng, GAO Lei, YAN Zhiwei, et al. Strategy and implementation of soft-clamp misoperation prevention for smart substation protections[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(12): 156-160, 168.
- [16] QIN Jian, WANG Zhanyang, SHI Hui, et al. Research on automatic testing method of anti-maloperation blocking in smart substation bay level[C] // 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), November 26-29, 2015, Changsha, China.
- [17] 沈国辉, 刘梦, 高保成, 等. 智能电网调度技术支持系统集中运维关键技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2013, 11(11): 1-5.
- SHEN Guohui, LIU Meng, GAO Baocheng, et al. Research of key technologies of centralized operation and maintenance for power grid dispatching technical support system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2013, 11(11): 1-5.
- [18] WANG Haifeng, ZHOU Bin, ZHANG Xie. Research on the remote maintenance system architecture for the rapid development of smart substation in China[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2018, 33(4): 1845-1852.
- [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] 崔玉, 吴奕, 张志, 等. 基于电力无线虚拟专网的继电保护智能移动运维系统设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(23): 175-181.
- CUI Yu, WU Yi, ZHANG Zhi, et al. Intelligent mobile operation and maintenance technology and its application of relay protection based on power wireless virtual private network[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(23): 175-181.
- [21] 楚天丰, 张武洋, 王同, 等. 就地化继电保护运维检修关键技术研究[J]. 东北电力技术, 2019, 40(5): 7-9.
- CHU Tianfeng, ZHANG Wuyang, WANG Tong, et al. Research on key techniques of operation and maintenance for on-site protection[J]. Northeast Electric Power Technology, 2019, 40(5): 7-9.
- [22] WANG Yijun, ZHANG Bichi, NI Junlong, et al. A design of on-line intelligent lock of anti-maloperation system[C] // 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), August 19-22, 2011, Jilin, China.
- [23] 笃峻, 叶翔, 葛立青, 等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术研究及实现[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(7): 163-168.
- DU Jun, YE Xiang, GE Liqing, et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 163-168.
- [24] 周俊扬, 杨丰瑞, 杨程. 基于DBUS的QT进程间通信机制的实现与优化[J]. 广东通信技术, 2014(1): 23-26.
- ZHOU Junyang, YANG Fengrui, YANG Cheng. Implementation and optimization of QT inter-process communication mechanism based on DBUS[J]. Guangdong Communication Technology, 2014(1): 23-26.
- [25] 沈宇飞, 葛宁. 基于以太网传输的E1到IP适配设计[J]. 电讯技术, 2005, 45(1): 129-133.
- SHEN Yufei, GE Ning. Ethernet-based design of E1 circuit emulation service over IP networks[J]. Telecommunication Engineering, 2005, 45(1): 129-133.

收稿日期: 2019-05-17; 修回日期: 2020-01-16

作者简介:

刘红军(1964—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: liuhongjun@sgcc.com

管 蓁(1979—), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: guanti@sgcc.com

朱玉锦(1978—), 女, 本科, 高级工程师, 研究方向为电力系统及其自动化。E-mail: zhuyujin@sgcc.com

(编辑 葛艳娜)