

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.200832

应用于智能变电站二次检修的一键式安措系统设计

陈海滨¹, 谭畅¹, 张宾宾¹, 毛建忠²

(1. 国网河北省电力有限公司邯郸供电分公司, 河北 邯郸 056000;

2. 南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211153)

摘要: 智能变电站的大规模建设, 对变电站的二次检修提出了更高的要求。为提高智能变电站检修效率, 结合智能变电站检修业务需求, 提出了一键式安措系统整体架构, 设计了智能变电站安措票自动生成的总体规则。在智能变电站一体化监控系统中部署了一键式安措应用模块, 实现了二次回路检修安措票的自动生成、安措票自动顺控执行和校准、安措恢复等高级功能。该模块已在国网河北省电力公司试验站运行, 结果表明该方案具有良好的可行性, 有效提高了运维人员的检修效率。

关键词: 智能变电站; 二次回路; 安措票; 自动生成; 自动执行

Design of a one-click safety measure system for secondary maintenance of an intelligent substation

CHEN Haibin¹, TAN Chang¹, ZHANG Binbin¹, MAO Jianzhong²

(1. Handan Power Supply Branch, State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Handan 056000, China;

2. Nanjing SAC Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

Abstract: Intelligent substations are widely used, and have higher requirements for the secondary maintenance of substations. To improve the maintenance efficiency of the smart station, a one-click security measure application module integrated in the monitoring system of the station is proposed. The general rules for automatic generation of operation-order-sheet for an intelligent substation are designed. The one-click safety measure application module is deployed in the integrated monitoring system of an intelligent substation. The advanced functions such as automatic generation of operation-order-sheet, automatic sequence control execution and check of operation-order-sheet and recovery of the safety measure are realized. The safety measurement system proposed in this paper has been tested at the State Grid Hebei Electric Power Company Test Station. The test results show that the scheme has good feasibility and can effectively improve the maintenance efficiency of operation.

This work is supported by the Transformation of Scientific and Technological Achievements Special Fund of Jiangsu Province (No. BA2016057) and the Science and Technology Project of Hebei Electric Power Company (No. KJ2019-018).

Key words: intelligent substation; secondary loop; operation-order-sheet; automatic generation; automatic execution

0 引言

变电站检修是保证电力系统供电可靠性的重要手段之一, 分为周期性检修和状态检修等方式^[1-2]。

变电站检修要同时关注检修的质量、效率与电网的隔离。为了兼顾三方面的影响, 安全措施票是行之有效的, 已经使用了数十年。随着智能变电站的发展, 这一传统领域也有了新的变化。传统

变电站的二次回路和压板均为实物, 可形成明显的物理断开点, 根据“明显电气断点”的原则, 运维人员在检修二次回路时只需检查是否存在电气物理断点, 便可保证设备出口不会误动。但是智能变电站中采用光纤传输数据, 通过光纤通信链路实现内部各装置间的联系^[3], 在相应的二次回路与压板则变为程序内部构建的“虚拟回路”和“软压板”^[4]。原变电站中的明显电气断点由“实”变“虚”^[5]。若在智能站的二次检修中遵循传统站的安措规则, 容易造成设备继电保护误动或不正确动作。这个由“实”到“虚”的变化对检修隔离是不利的, 但传

基金项目: 江苏省科技成果转化专项基金资助(BA2016057); 河北省电力公司科技项目(KJ2019-018)

统变电站到智能变电站的转变, 也有诸多有利影响, 例如传统变电站的二次电路安全措施涉及大量回路, 则需要较多的安措工作^[6], 而在智能变电站中只需要主站发送一定的命令即可以完成安全措施的设置与校验。

如何在智能变电站中扬长避短, 充分发挥智能变电站对变电站检修的有利影响、抑制不利影响是现在变电站检修领域的重要研究方向。部分工程中, 智能站的运维人员进行二次回路检修工作时, 沿用旧的模式, 对现场运行方式、设备运行情况等进行分析后手工编制安措票^[7], 根据安措票手动在保护装置上逐个投退相应压板, 并确认每一步的操作结果是否正确。这种方式效率低下, 检修作业的实际效果完全依赖于运维人员的技术水平和工作经验, 检修效果得不到有效保障^[8], 没有发挥出智能变电站的优势, 反而被智能变电站的劣势所困扰。为解决上述问题, 文献[9-11]提出通过解析SCD文件构建匹配数据库, 再通过专家系统完成与检修二次信息的匹配, 实现智能变电站二次检修安措票的自动生成, 但该方法未对安措规则进行有效分类, 导致匹配时间长。文献[12]基于SCD文件、ICD文件和SPCD文件对智能变电站仿真建模, 提出适于计算机处理的安措票形式化描述机制。研究人员也在安全检修系统可视化^[13-14]、二次操作校核方法^[15]、智能变电站检修的隔离措施^[16-17]及二次回路的状态检修策略^[18-20]等方面进行研究, 文献[21]对智能变电站中的软压板应用进行研究分析, 并提出软压板防误操作以及防误逻辑生成。文献[22]分析了二次安全措施可靠性不高的原因并总结了三种解决方案, 即预检、在线错误预防和二次安全措施自动生成。文献[23]根据传统变电站的不足提出了智能变电站安措系统, 可以较精确、方便快捷地对安措内容操作项目实现安全隔离和防误操作。这些研究为本文一键式安措提供了技术基础。文献[24]提出了一种基于检修边界自动生成二次检修安全措施的方法。但这些研究仅关注了检修的某个具体方面。

为了充分发挥智能变电站的优势, 本文提出了一种一键式安措系统的架构, 并设计适用于智能变电站安措票自动生成的总体规则, 提出安措票自动生成、顺序执行、自动反校方案。该方案有效提高了智能变电站二次回路检修效率, 对保障电网的安全稳定运行具有积极意义。

1 一键式安措系统架构

智能变电站安措系统是辅助站内运维检修人员

快速完成检修作业的系统, 主要由运维人员操作。对于依次检修, 所需的安全措施(包括安全措施的内容、执行和校验)若全部由系统自身实现, 将是一种理想的方案。基于此, 本文提出了一键式安措系统, 运维人员只需要选择检修目标, 系统将根据目前站内设备的运行情况、运行方式等工况自动生成检修安措票, 并根据安措票实现顺控操作并返校操作结果。一键式安措系统部署于站控层一体化监控系统, 作为现有监控系统的一个新增模块, 系统架构如图1所示。



图1 一键式安措系统架构图

Fig. 1 Structure of one-click safety measure system

1) 主要功能: 主要实现安措票自动生成、安措票预演、顺控执行和校核、安措恢复等功能。

2) 通信方案: 一键式安措功能模块部署于站控层监控系统中, 其通过监控系统既有的61850规约及MMS协议采集保护装置中各二次回路的压板状态, 包括保护功能压板状态、保护出口压板状态、GOOSE发送/接收压板状态、SV发送/接收压板状态、间隔接收软压板状态、隔离刀闸强制使能软压板状态。智能终端及合并单元的检修硬压板和出口硬压板状态可通过测控或者配置采集单元装置接入到一键式安措功能模块。对软压板的遥控操作采用MMS遥控服务。

3) 部署方案: 通过在智能变电站的原有监控系统中新增独立软件模块的方式实现系统功能。软件架构简单易实现、经济性高, 与不同厂家的智能变电站监控系统有良好的兼容性。

2 一键式安措票自动创建

安措票自动生成功能是一键式安措系统的重要组成部分。

2.1 面向各类型检修作业的标准安措规则数据库的创建

创建标准安措规则数据库是实现安措票自动生

成功的前提条件。

首先通过变电站安全措施相关规范和大量典型设备检修安全措施分析，设计安措策略自动生成的总体规则；然后对不同电压等级、不同接线方式、不同间隔类型下各种检修任务和操作方式进行分类；最后根据类别和对应的规则建立安措规则数据库。安措规则库主要包括间隔类型、操作任务、操作对象、安措规则编码表以及设备安措规则的映射表五个部分。

智能变电站典型的二次安全措施包括：退出继电保护功能软压板；退出装置 GOOSE 接收/发送软压板；退出装置 SV 接收软压板；退出智能终端跳、合闸出口硬压板；投入装置检修压板；断开设备之间的光纤通信等。

典型间隔包括：线路、变压器、母线、母联等^[25]；间隔内各种检修安措任务及安措实施步骤相对固定，采用规则模板形式顺序定义各检修安措任务的安措步骤。安措操作包含软压板操作、光纤插拔操作、检修硬压板操作和智能终端出口硬压板操作。

图 2 是 220 kV 线路间隔典型配置以及网络联系图。以该间隔为例分析规则数据库的建立方法。

220 kV 线路保护间隔可能的检修业务包括：

- 1) 一次设备停电，220 kV 线路保护校验；
- 2) 一次设备不停电，220 kV 线路保护校验；
- 3) 一次设备停电，220 kV 线路保护消缺(区分保护缺陷、合并单元缺陷、智能终端缺陷)；

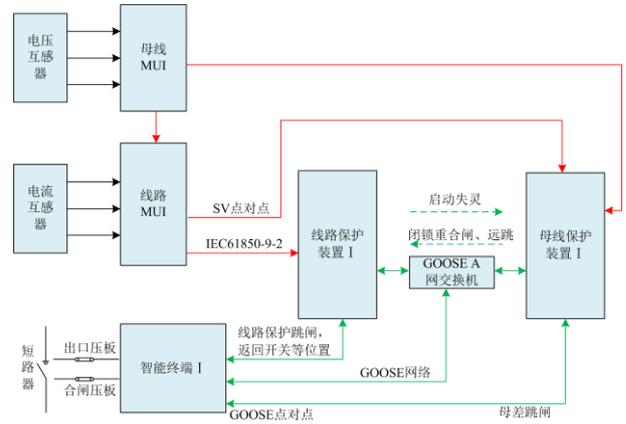


图 2 220 kV 线路保护典型配置与网络联系示意图

Fig. 2 Typical configuration and network connection diagram of 220 kV line protection

- 4) 一次设备不停电，220 kV 线路保护消缺(区分保护缺陷、合并单元缺陷、智能终端缺陷)；
- 5) 一次设备不停电，通用故障；
- 6) 停用和投入重合闸；
- 7) 一次设备不停电修改定值。

利用同样的方法可以分析母线、变压器等间隔的检修安措内容。根据设备的接线形式以及运行状态，得到智能变电站安措规则数据库如表 1 所示。其中部分项目区别 A 套和 B 套，表中仅列出一套，另外一套类似。

表 1 标准安措规则数据库

Table 1 Standard safety measures rules database

| 任务状态 | 相应一次设备状态 | 线路保护状态 | 主变保护状态 | 母线保护状态 | 智能终端状态 |
|-------------|--------------|----------|---------|-----------|----------|
| 线路运行 | 运行 | 两套投入 | / | / | 两套投入 |
| 主变运行 | 运行(至少一侧) | / | 两套投入 | / | 相应侧两套投入 |
| 母线运行 | 运行(至少一条相连开关) | / | / | 两套投入 | 相应支路两套投入 |
| 线路定检 | 冷备用/检修 | 两套检修 | / | 两套配合二态 | 两套检修 |
| 主变定检 | 检修(三侧) | / | 两套检修 | 两套配合二态 | 三侧两套检修 |
| 母线 A 套保护定检 | 运行(至少一条相连开关) | 主一保护配合 | A 套保护配合 | A 套保护检修 | 投入 |
| 线路主一保护改定值 | 运行 | 主一保护改定值态 | / | A 套保护配合一态 | 投入 |
| 主变 A 套保护改定值 | 运行(至少一侧) | / | A 套保护检修 | A 套保护配合一态 | 投入 |
| 母线 A 套保护改定值 | 运行(至少一条相连开关) | / | A 套保护配合 | A 套保护检修 | 投入 |
| 线路停运 | 检修 | 两套退出 | / | 两套配合二态 | 两套退出 |
| 主变停运 | 检修(三侧) | / | 两套退出 | 两套配合二态 | 三侧两套退出 |
| 母线停运 | 无任一条相连开关运行 | / | 两套配合 | 两套退出 | 退出(相应支路) |

2.2 一键式安措票自动生成

在标准安措规则数据库的基础上，对某个具体间隔内部的操作对象实例化，即对本间隔内和安措操作任务相关的具体压板进行标识和关联。例如线路间隔需要指定线路保护的各类 GOOSE 出口软压

板、重合闸软压板、纵联差动保护软压板、开关启动失灵发送软压板、检修硬压板，及对应母线保护内部支路 SV/GOOSE 接收软压板(或间隔接收软压板)、启动失灵接收软压板、隔离刀闸强制分合软压板，相应智能终端检修硬压板和出口硬压板，合并

单元检修硬压板等。对于光纤插拔操作, 则作为提示项进行处理。对间隔内部所有类型压板进行实例化后, 即可根据设备安措规则映射表, 找到对应的安措规则编码表, 进行安措操作任务步骤的实例化。

安措策略自动生成步骤如下:

- 1) 遍历所有选定的检修设备分析隔离点;
- 2) 退出运行设备内所有检修设备相关的 SV 接收软压板;
- 3) 退出运行设备内所有检修设备相关的 GOOSE 接收软压板;
- 4) 退出检修设备内至运行间隔的 GOOSE 发送软压板;
- 5) 断开运行设备与检修设备间的光纤回路;
- 6) 如果一次设备不停电, 退出该间隔智能终端出口硬压板;
- 7) 投入检修硬压板;
- 8) 如果一次设备停电, 则将电压回路断开, 电流回路断开并短接。

根据所选择的检修设备和检修任务, 基于安措规则数据库和自动生成原则自动编制安措票, 提高了安措票的生成效率, 减少了安措票错误的风险, 从而保证检修操作的规范性和准确性, 保障了电力系统稳定运行。

3 安措顺序自动执行技术

安措顺序自动执行是一键式安措系统的核心内容, 主要包括安措预演、顺序执行、信息返校等功能。实现安全措施自动执行, 是提高变电站检修可靠性的重要措施。

3.1 设备的安措状态

安措顺序执行过程中, 判断每台设备的安措状态非常重要。

根据装置(包含间隔内保护、智能终端、合并单元及跨间隔有安措联系的外部保护)内部压板状态的不同组合枚举定义保护装置的安措状态。如图 3 所示, 装置可以有五种安措状态, 部分状态之间可

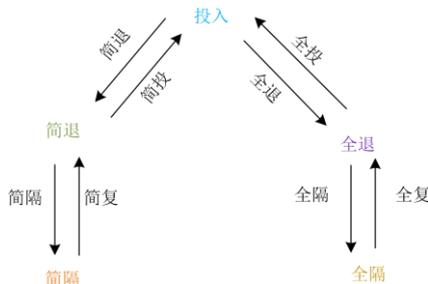


图 3 设备安措状态图

Fig. 3 State of equipment safety measures

以相互转换。建立安措票和保护状态的对应关系校核规则库(一张安措票对应一个状态), 对安措执行结果进行状态校核。安措状态具体包括:

1) “投入”状态: 本装置正常运行, 所有与之相关的保护装置(如母差保护、安全自动装置等)二次回路的软压板均应在相应正确状态。

2) “全退”状态: 本装置状态判断压板集中本装置的出口压板、启动失灵发送压板及与之相关的运行保护装置的启动失灵接收压板等均处于退出状态。主要适用于一次设备不停电的装置消缺、保护轮停改定值等工作。

3) “简退”状态: 本装置所有功能压板、出口压板与“投入”状态位置相同, 仅退出可能引起与之相关的运行保护装置(如母差保护、安全自动装置等)误动的软压板。主要适用于一次设备停电场景。

4) “全隔”状态: 在装置处于“全退”的基础上, 为避免在消缺过程中发 SV 链路断链、GOOSE 链路断链等告警信号, 仅退所有与之相关的运行保护装置(如母差保护、安全自动装置等)的 SV 接收软压板, 主要适用于一次设备不停电装置(合并单元、智能终端、保护装置等)消缺工作。

5) “简隔”状态: 在装置处于“简退”的基础上, 仅退所有与之相关的运行保护装置(如母差保护、安全自动装置等)的 SV 接收软压板, 避免停电支路定检校验工作试验电压、电流模拟量误通入运行设备引起误动事故, 主要适用于一次设备停电保护装置定检等工作。

在指定设备的指定检修措施中, 所有设备都会有明确的安措状态, 安措执行过程中需要对每台设备进行安措状态的比对和校验。

3.2 安全措施预演

运维人员在一键式安措系统中选择检修间隔和检修操作, 系统自动生成二次检修安措票, 同时系统画面将自动切换到对应间隔的安措可视化监视界面并对安措票进行可视化的模拟预演。安措票模拟预演中, 操作票执行过程中对操作步骤和顺序进行监视, 当非预期的压板变位操作发生时, 进行安措预警, 并提示期望操作。在安措预演正确的基础上可以正式执行安全措施。

3.3 安全措施顺序自动执行

鉴于一般的典型安措票中大部分操作步骤都是针对软压板的分合操作, 只有少部分不可遥控的硬压板步骤。针对自动生成的二次安措操作票, 实现手动或自动一键式顺控操作保护装置二次安措并按步骤反校功能, 实现按二次安措操作库顺序、批量

操作保护装置软压板。

1) 手动操作时, 手动完成所有二次安措操作步骤, 系统根据当前采集的信息, 判断当前步骤是否操作成功, 经手动确认进入下一步操作;

2) 自动操作时, 二次安措中的软压板由一键式安措功能遥控实施, 过程中自动比对操作是否成功, 若不正确停止自动操作。并且自动操作不成功时转手动操作;

3) 装置检修硬压板和光纤插拔, 只能通过手动方式投退;

4) 智能终端出口硬压板, 因监控系统无法采集到其位置信息, 构建为虚拟压板, 采用人工确认方式。

4 现场运行案例

本文所提出的一键式安措系统实现了安措票自动生成、安措票顺控执行及校准等功能, 已经在国网河北省电力公司试验站进行运行、测试。

运维人员进行检修作业时, 可在该系统的设备列表中选择相应的检修目标。选定检修目标后, 系统根据所选定的检修目标和当前系统的运行状态自动生成安措票。安措票生成之后, 检修人员仅需要在确定安措步骤后, 点击“确认”按钮, 一键式安措系统再根据所生成的安措票进行顺控操作, 并确定每一步的执行结果, 很好地实现了一键式安措。以 220 kV 主变间隔为例, 安措票导航界面如图 4 所示。

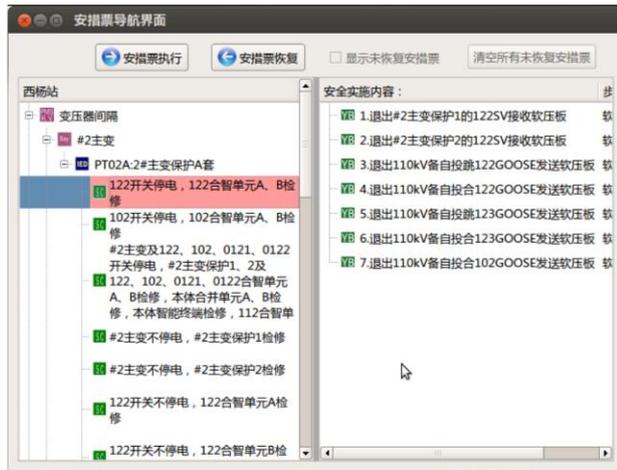


图 4 安措票导航界面

Fig. 4 Operation-order-sheet navigation interface

5 结论

本文提出的一键式安措系统的架构简单易实现, 能在各类智能站中实现部署; 以线路间隔为例阐述了安措规则库的生成; 创造性地将装置的安措

执行分为五种状态, 便于安措票的执行返校; 系统实现了安措票自动生成、安措票顺控自动执行、自动校验的功能, 其有效性和可行性已在实际工程中得到验证。在智能变电站中大规模部署该套系统, 能有效地提高检修效率。

参考文献

[1] SAASSOUH B, DIEULLE L, GRALL A. Online maintenance policy for a deteriorating system with random change of mode[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2007, 92: 1677-1685.

[2] 罗智恺. 智能变电站二次专业安全措施研究[J]. 电工技术, 2019(15): 144-146.

LUO Zhikai. Study on secondary safety measures of smart substation[J]. Electric Engineering, 2019(15): 144-146.

[3] HUANG Q, JING S, LI J, et al. Smart substation: state of the art and future development[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2017, 32(2): 1098-1105.

[4] 赵子涵, 刘鑫, 叶翔, 等. 智能变电站二次系统“一键式”安措自动生成方法研究[J]. 电测与仪表, 2018, 56(4): 21-26.

ZHAO Zihan, LIU Xin, YE Xiang, et al. Research on “one-click” automatic generation method for maintenance safety measures of secondary device in smart substation[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 56(4): 21-26.

[5] 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, China: 1498-1502.

[6] ZHENG Y, WANG D, ZHOU Z, et al. Hierarchical protection control system of smart substations[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2014, 2(3): 282-288.

[7] JING S, HUANG Q, WU J, et al. A novel whole-view test approach for onsite commissioning in smart substation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(30): 1715-1722.

[8] 郭炎福, 黄文英, 宋福海, 等. 基于专家系统的智能变电站二次检修安措票自动生成技术[J]. 电气技术, 2019, 20(4): 104-109.

GUO Yanfu, HUANG Wenying, SONG Fuhai, et al. Expert system based automatic generation technology for secondary safety measures of smart substation[J]. Electrical Engineering, 2019, 20(4): 104-109.

[9] 杨高峰, 谢兵, 曾志安, 等. 基于SCD与CCD校准的智能变电站跨间隔检修技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(2): 175-181.

YANG Gaofeng, XIE Bing, ZENG Zhi'an, et al. Research on cross-interval maintenance technology of intelligent

- substation based on SCD and CCD calibration[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47(2): 175-181.
- [10] 徐晓春, 汤同峰, 赵雨田, 等. 智能变电站二次设备检修安措规则数据库设计与实现[J]. *电力系统保护与控制*, 2017, 45(2): 111-116.
XU Xiaochun, TANG Tongfeng, ZHAO Yutian, et al. Design and implementation of maintenance protection rule database for secondary equipment of smart substation[J]. *Power System Protection and Control*, 2017, 45(2): 111-116.
- [11] FAN Wen, LIAO Yuan. Wide area measurements based fault detection and location method for transmission lines[J]. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2019, 4(1): 53-64. DOI: 10.1186/s41601-019-0121-9.
- [12] 鲍伟, 王可, 高翔, 等. 基于可视化仿真的智能变电站二次安措校核方法[J]. *电力系统保护与控制*, 2018, 46(24): 150-157.
BAO Wei, WANG Ke, GAO Xiang, et al. Secondary safety isolation measures checking method of smart substation based on visual simulation[J]. *Power System Protection and Control*, 2018, 46(24): 150-157.
- [13] 彭志强, 周航, 韩禹. 智能变电站自动化设备透明运维系统构建与应用[J]. *电力系统保护与控制*, 2020, 48(13): 156-163.
PENG Zhiqiang, ZHOU Hang, HAN Yu. Construction and application of transparent operation and maintenance system for smart substation automation equipment[J]. *Power System Protection and Control*, 2020, 48(13): 156-163.
- [14] 孔圣立, 韩伟, 时晨, 等. 具有可视全景功能的智能变电站二次系统[J]. *电测与仪表*, 2018, 55(19): 72-77.
KONG Shengli, HAN Wei, SHI Chen, et al. The second system of intelligent substation with visual panoramic function[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2018, 55(19): 72-77.
- [15] 范卫东, 董金星, 冯晓伟, 等. 智能变电站二次操作校核方法研究[J]. *电测与仪表*, 2020, 57(13): 40-46, 54.
FAN Weidong, DONG Jinxing, FENG Xiaowei, et al. Research on checking method of safety operation in intelligent substation[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2020, 57(13): 40-46, 54.
- [16] LIU H C, YOU J X, YOU X Y, et al. A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method[J]. *Applied Soft Computing*, 2015, 28: 579-588.
- [17] 黄少瑞, 朱婷婷. 基于 IEC61850 标准的智能变电站检修机制设计与分析[J]. *电气自动化*, 2015, 37(2): 70-72, 81.
HUANG Shaorui, ZHU Tingting. Design and analysis of the maintenance mechanism for the intelligent substation based on IEC61850[J]. *Electrical Automation*, 2015, 37(2): 70-72, 81.
- [18] 徐秦, 杨振, 刘曦, 等. 智能变电站安全隔离措施的研究和应用[J]. *电工技术*, 2015(12): 3-4, 8.
XU Qin, YANG Zhen, LIU Xi, et al. Research and application of safety isolation measures for intelligent substation[J]. *Electric Engineering*, 2015(12): 3-4, 8.
- [19] HUYNH K T, CASTRO I T, BARROS A, et al. On the use of mean residual life as a condition index for condition-based maintenance decision-making[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2014, 44(7): 877-893.
- [20] HUYNH K T, CASTRO I T, BARROS A, et al. Modeling age based maintenance strategies with minimal repairs for systems subject to competing failure modes due to degradation and shocks[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 218(1): 140-151.
- [21] 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.
- [22] ZHANG H, ZHENG Y, DU Q, et al. Summary of research on error prevention technology of secondary safety measures in smart substations[C] // 2020 Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES), 2020, Chengdu, China: 684-690.
- [23] 张琪琦, 郑超, 孟洋洋, 等. 智能变电站一键式二次安措的研究探讨[J]. *电力系统保护与控制*, 2019, 47(18): 176-181.
ZHANG Qiqi, ZHENG Chao, MENG Yangyang, et al. Research and investigation of one-button secondary safety measures in smart substation[J]. *Power System Protection and Control*, 2019, 47 (18): 176-181.
- [24] WU J, LIU M, ZHENG Y, et al. Research on automatic generation technology for secondary equipment of security measures of smart substation[C] // 2018 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE), 2018, Kajang, Malaysia: 223-227.
- [25] 高磊, 卜强生, 袁宇波, 等. 基于二次回路比对的智能变电站调试及安全措施[J]. *电力系统自动化*, 2015, 39(20): 130-134.
GAO Lei, BU Qiangsheng, YUAN Yubo, et al. Smart substation commissioning and safety measures based on secondary circuit comparison[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2015, 39(20): 130-134.

收稿日期: 2020-07-13; 修回日期: 2020-09-20

作者简介:

陈海滨(1977—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。

(编辑 姜新丽)