

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181428

# 智能变电站一键式二次安措的研究探讨

张琪琦, 郑超, 孟洋洋, 白树斌, 魏佛送, 常宝

(国网济宁供电公司, 山东 济宁 272000)

**摘要:** 现阶段智能变电站已被广泛应用, 由于部分标准与技术的不断更新, 对智能变电站的建设提出了更高的要求。通过与常规变电站二次安措措施的对比分析, 提出了智能变电站继电保护构成及安全检修原则, 从主变压器和线路保护检验两个方面分析二次安措的检验方法。智能变电站二次安措系统采用模块化, 分为图形化显示模块和安全措施模块, 建立安措防误规则库、一键式遥控操作。和传统二次安全措施相比, 智能变电站一键式二次安全措施更精确, 快捷地实现二次安措安全隔离和防误验证。

**关键词:** 智能变电站; 一键式; 二次安措; 安全隔离

## Research and investigation of one-button secondary safety measures in smart substation

ZHANG Qiqi, ZHENG Chao, MENG Yangyang, BAI Shubin, WEI Fosong, CHANG Bao

(State Grid Jining Power Supply Company, Jining 272000, China)

**Abstract:** At present, intelligent substations have been widely used, and the renewal of some standards and technologies has put forward higher requirements for the construction of intelligent substations. Through the comparative analysis of the secondary safety control measures of the conventional substation, this paper puts forward the relay protection composition and safety maintenance principles of the intelligent substation and analyzes the inspection methods of the secondary safety measures from the inspection of the main transformer and the line protection. The secondary safety measures system of the intelligent substation is modularized and divided into a graphic display module and a safety measures module to establish a safety measures anti-misoperation rule base and a one-button remote control operation. Compared with the traditional secondary safety measures, the one-button secondary safety measures in intelligent substations are more accurate and quick to realize the secondary safety isolation and anti-misoperation verification.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 390034734600010).

**Key words:** intelligent substation; one-button; secondary security measures; safe isolation

## 0 引言

在智能电网技术应用过程中, 智能变电站可以变换电压, 实现电力流向的控制。基于我国信息技术发展的现状, 智能变电站技术在我国电力自动化技术发展的过程中具有重要的作用。尤其在输电、发电等环节中, 备受我国电力企业的重视<sup>[1]</sup>。在执行国家电网公司部署智能电网建设措施的过程中, 各省变电部门在智能变电站建设实践中积累了大量经验, 促进了智能变电站技术的推广。

在常规变电站中, 实施二次继电保护安措就是

实现待检修设备和其他运行设备在二次回路中的关联, 其中包括带电检修及停电检修两种。在实现安全检修的过程中, 每个步骤都有严格操作规程要求, 通过熟悉整个流程的检修人员利用封电流、投退硬压板等方式来实现安措。常规站中带电检修过程中需要重视电路中电流互感器, 并且保证输出端不短路, 长期操作可能出现误动作。而智能变电站能较好地克服这一缺陷, 实现安全隔离和便捷的系统防误操作。

在现代智能变电站建设中, 不断更新的全新标准及技术的使用对变电站继电保护技术可靠性及安全性方面提出了较为严格的要求。在二次安全措施领域, 很多学者做了深入的研究, 文献[2]对智能站

基金项目: 国家电网公司科技项目资助(390034734600010)

二次系统虚回路链接关系进行研究, 提出了详细的实施方案, 将可操作的系统具体化; 也有学者针对二次设备的监测控制和后期维护技术进行深入研究<sup>[3]</sup>, 实现了可视化的智能站二次系统安全措施操作。在智能站一次设备的操作防误系统设计中, 文献[4]进行系统保护设计; 温泉铭等人研究表明, 目前, 二次安全措施具有以下问题: 没有考虑安措执行先后顺序, 因而导致保护误闭锁; 拔光纤操作频繁, 导致光纤和光纤接口损坏。因此, 有必要对智能变电站二次安全措施标准化问题进行研究分析。

本文针对常规变电站二次继电保护输出端短路, 长期操作出现误动作的情况进行改进, 提出智能变电站一键式二次安措系统, 可以更精确、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。

## 1 智能变电站继电保护和安措检修

传统智能变电站继电保护利用双重化原则及三层两网拓扑结构来实现, 图1为智能变电站继电保护单套结构, 其主要表现为:

(1) 采样及执行单位就地化。智能变电站继电保护的布置是利用智能终端及合并单元实现, 假如利用常规的互感器及合并单元模式, 就需要通过电缆来连接实现; 假如利用电子互感器和合并单元结合, 就要通过光纤连接实现。

(2) 保护信息网络化。智能变电站继电保护利用交换机、光纤、虚端子、保护装置相互结合, 实现二次回路的创建, 并且利用双网实现信息数据保护, 实现数据独立及共享。和常规变电站二次回路相比, 有效节约二次电缆。智能变电站内保护可以使用直接采样和直接调差结合的模式, 从而降低中间环节, 使采样及跳闸过程快速性、可靠性得到提高, 继电

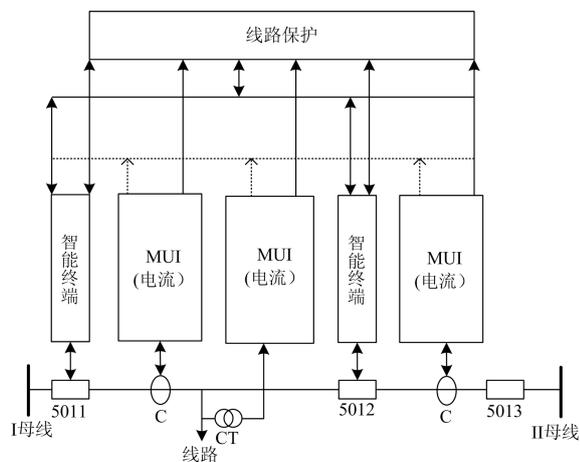


图1 智能变电站继电保护单套结构

Fig. 1 Intelligent substation relay protection single-set structure

保护可以使用直采直跳的方式。

(3) 使用网络交换机。利用网络采样实现故障录波、测控、网络报文和计量等信息收集。

(4) 网络交换机能够为二次回路、信息数据及硬件资源共享的在线检测提供基础。

(5) 特殊的设备配置。双重化保护与智能变电站二次保护具有一定联系, 也就是独立的过程层网络及双套保护, 如果其中一套出现故障不会对另外正常工作造成影响。和常规的变电站不同, 智能变电站中母联分段保护是通过双重化实现配置。另外, 为了简化装置外部接线, 智能变电站过电压保护和远跳就地判别功能在线路保护装置中具有集成性。

智能变电站在安措设置方面存在不同, 常规变电站安全隔离主要根据解除接线、硬压板将物理回路断开, 智能变电站安全隔离是根据软压板投退及检修机理进行软件隔离, 必要的时候将光物理回路解除, 具有多重安全措施, 涉及的范围较广。其一, 检修设备隔离要求具有双重安全措施; 其二, 在出现检测装置异常的过程中, 要对异常设备安全措施的不可靠性进行考虑, 通过相邻的设备实现安全措施执行与隔离<sup>[5]</sup>; 其三, 智能变电站线路保护过程中的SV接收软压板及开关检修软压板, 只能在一次设备停运之后投入使用; 其四, 在接受端及发送端实现压板回路的设置, 在两端同停同投, 只在单侧设置压板时, 设置软件为退出状态; 其五, 在一次设备停运时, 实现二次设备检修压板的投入<sup>[6]</sup>。

## 2 二次安措的检验方法

将500 kV智能变电站主变压器、断路器、线路及母线等设备首检作为基础, 将常规变电站二次危险设备点作为突破口, 实现二次安全隔离措施, 提高二次系统工作过程中安全性。图2为主变压器三侧主接线结构。

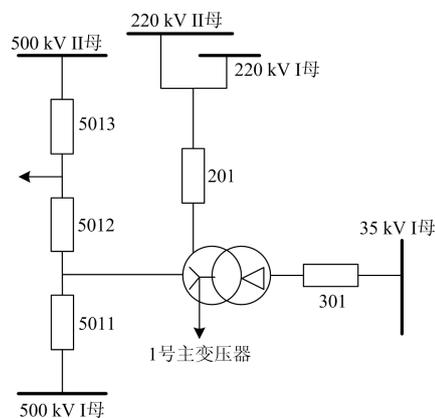


图2 主变压器三侧主接线结构

Fig. 2 Main transformer three-side main wiring structure

### 2.1 主变压器保护检验

主变压器首检预测包括运行设备回路保护。第一种为模拟量，比如母线保护、线路保护、电流回路及电压回路；第二种为开关量，比如 500 kV 保护失灵、开关失灵。二次安措主要流程如图 3 所示。

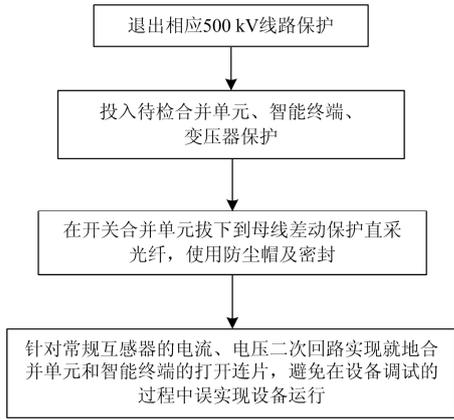


图 3 二次安措主要流程

Fig. 3 Primary process of secondary safety control measures

### 2.2 线路保护检验

线路保护检验时，主要考虑电压等级，对 500 kV 线路来说<sup>[7]</sup>，主要包括：500 kV 母线保护、主变压器保护电流回路、主变压器高压侧及电压回路、开关母线保护失灵、开关失灵等，二次安措内容为：① 利用智能终端、待检合并单元及线路保护装置检修压板；② 退出和待检保护装置相关主变压器保护开关电流接收软压板；③ 线路保护装置实现物理自环，并且设置纵联码及控制字，从而形成光纤自环状态<sup>[8-9]</sup>。

### 2.3 不完整串改扩展

以图 2 中的 500 kV 线路扩建为例，由于扩建之后要添加 5013 开关，所以在实现设计的过程中，开关失灵之前二次回路就会出现变化<sup>[10]</sup>。扩展之后的完整串开关，失灵相互关联如图 4。

对于以上线路间隔扩展工程，相关二次回路变化主要为电压、电流、失灵回路、跳闸四方面，可能具备的施工风险为：更改电路回路以后，试验电流误入到已经运行的母线差动保护及主变压器保护中；CT 极性和原主变压器保护与新线路保护极性不同，其主要内容为：

- (1) 实现 5012 开关合并单元和智能终端装置检修压板的添加；
- (2) 使母线差动保护及主变压器保护接受软压板，在保护侧拔下相应光缆，并使用防尘帽密封；
- (3) 使线路保护装置物理自环，并且设置纵联码和控制字，从而使装置成为光纤自环状态<sup>[11]</sup>。

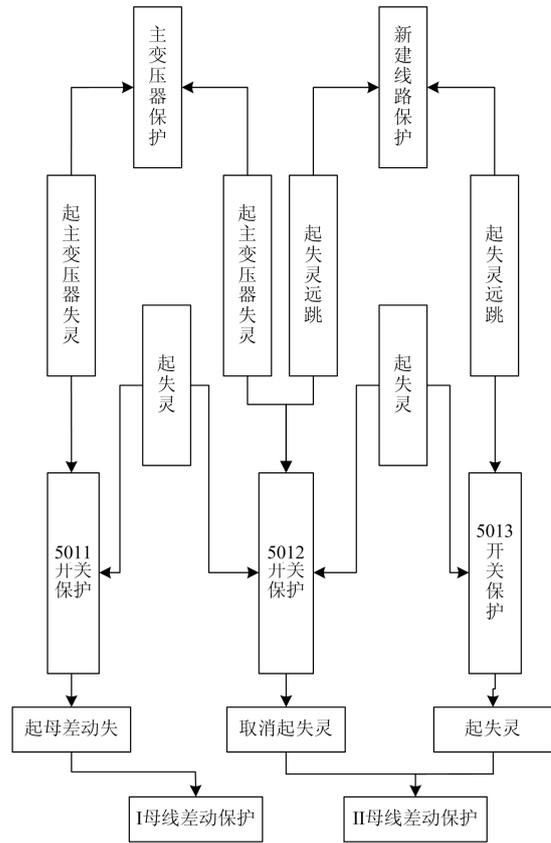


图 4 失灵二次关联结构

Fig. 4 Loss of secondary quadratic structure

## 3 二次安措的执行

因为需全面考虑后期维护性、可扩展性及兼容性，实现功能模块的划分，智能变电站二次安措系统使用模块化的方式实现，图 5 为智能变电站二次安措系统的模型。

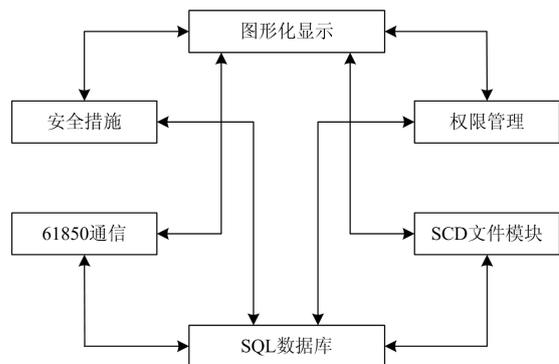


图 5 智能变电站二次安措系统的模型

Fig. 5 Model of the secondary safety system of the intelligent substation

### 3.1 图形化显示模块

图形化显示模块的主要目的是将装置检修状

态、二次虚回路的连接状态和交流回路、软压板状态、合闸回路充分展现出来, 图形化展示信息主要包括将装置作为核心展现此状态, 表示二次回路中的信息流内容, 之后通过直观的方式在屏幕中将信息流接收及发送的情况充分展现出来。装置软压板及检修压板利用图形方式在相应虚端子连线中及装置框中进行展现, 并且通过软压板退、投的方式进行区分<sup>[12]</sup>。

### 3.2 安全措施模块

目前在相关智能变电站继电保护事故中, 因为故障点误拆或者漏拆导致运行开关误跳闸情况较多, 所以在装置中设置安全措施票模板, 利用导出、导入的功能, 使工作仍能够实现检修工作, 表 1—表 4 为标准安全措施票模板。

### 3.3 防误校验

基于安措防误规则库的防误操作检验能够对安措内容操作项目实现防误验证, 还能够对安全隔离措施正确性及有效性进行验证。防误检验通过位置模块进行智能验证, 当一开始并不了解安措及操作

表 1 线路保护、常规采样及跳闸

Table 1 Circuit protection, routine sampling and tripping

间隔 采样	采样 模式	跳闸 模式	一次设备 运行情况	作业类型	故障 设备
线路保护校验					
线路	常规	GOOSE	停电	线路保护和母线保护失灵回路试验	线路保护
			不停电	缺陷处理	智能终端

表 2 线路保护 SV 采样及跳闸

Table 2 Sampling and tripping of line protection SV

间隔 采样	采样 模式	跳闸 模式	一次设备 运行情况	作业类型	故障 设备
线路保护校验					
线路	常规	GOOSE	停电	线路保护和母线保护失灵回路试验	线路保护
			不停电	缺陷处理	智能终端

表 3 主变、常规采样及跳闸

Table 3 Main changes, routine sampling and tripping

间隔 采样	采样 模式	跳闸 模式	一次设备 运行情况	作业类型	故障 设备
主变	常规	GOOSE	停电	主变间隔安全校验	主变保护
				主变间隔和保护失灵回路试验	
			不停电	缺陷处理	断路器保护

表 4 主变、SV 采样及跳闸

Table 4 Main transformer, SV sampling and tripping

间隔 采样	采样 模式	跳闸 模式	一次设备 运行情况	作业类型	故障 设备
主变	SV	GOOSE	停电	变间隔安全校验措施	合并单元 主变单元
				主变间隔和保护失灵回路试验	
			不停电	缺陷处理	断路器保护

内容时, 从第一项开始, 利用已知的操作及安措项目实现验证<sup>[13-14]</sup>。

防误校验在安措或者操作项中实现变电站数据有效性的验证, 然后选择防误方案, 再安置到安措顺序中, 因此智能识别此项目能否满足现代典型安措顺序, 通过典型的安措顺序进行防误校验, 检索二次回路的数据是否具有遗漏的问题<sup>[15-17]</sup>。

### 3.4 安措防误规则库

为了能够使防误校验机制独立进行, 并使用不同的安措防误规则库, 确定防误校验的正确性和客观性。安措防误规则库实现多种典型的安措顺序库的执行, 因此能够有效判断安措防误<sup>[16]</sup>。典型安措顺序库需要的防误校验策略为: 其一, 退运行对功能软压板保护; 其二, 退检修设备出口硬压板; 其三, 投检修设备实现硬压板的检修; 其四, 投运行保护断路器强制分位软压板; 其五, 拔检修设备光线。

GOOSE 软压板的定义为: 退行保护; 退检修保护失灵跳闸软压板; 软压板判据总使能; 退检修保护闭锁运行软压板<sup>[18-20]</sup>。

### 3.5 遥控操作

遥控操作的方式主要包括一键式、单步控制及混合控制等。其中一键式操作是指以操作票的操作项目顺序为基础, 逐一地实现二次设备遥控。单步控制操作指的是根据操作票操作项目顺序, 人工执行二次设备遥控。混合控制操作指的是来回切换一键式控制及单步控制操作, 在实现顺序操作时, 停止顺控过程, 通过人工单步控制之后操作项目<sup>[19]</sup>。

在实现顺控操作时, 利用配置对是否实现人员身份验证进行分析。假如需要实现人员身份验证, 那么一键式顺序控制操作在最开始实现验证。在实现单步控制操作过程中利用身份验证操作, 实现操作项目遥控的执行而且顺控操作之间实现时间间隔的设置<sup>[21-22]</sup>。

## 4 结论

智能变电站继电保护的二次安全措施在智能变电站运行维护过程中具有重要的作用, 首先从智能变电站继电保护和安全检修原则出发, 提出二次安措的检验方法, 包括主变压器和线路保护检验。智能变电站二次安措系统采用模块化进行, 从图形化显示模块和安全措施模块到建立安措防误规则库, 对安措内容操作项目实现防误验证。和传统二次安全措施相比, 智能变电站二次安全措施更精确, 方便快捷地对安措内容操作项目实现防误验证, 有利于工程应用的推广。

### 参考文献

- [1] 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. Debugging and safety measures of intelligent substation based on secondary loop comparison[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(20): 130-134.
- [2] 曹萌, 周海娟, 孙嘉翼. 智能变电站继电保护二次安全措施的规范化管理[J]. 科技与企业, 2015, 12(3): 185-185.  
CAO Meng, ZHOU Haijuan, SUN Jiayi. Standardized management of secondary safety measures for relay protection of intelligent substation[J]. Science Technology and Business, 2015, 12(3): 185-185.
- [3] 许家焰, 宋福海, 陆榛. 智能站二次检修安措可视化及一键式操作系统设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(16): 136-144.  
XU Jiayan, SONG Fuhai, LU Zhen. Design and realization of the secondary maintenance safety measures visualization and one-touch operation system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(16): 136-144.
- [4] 张曼. 智能变电站设备检修的二次安全控制措施[J]. 湖北电力, 2015, 39(2): 31-34.  
ZHANG Man. Secondary safety control measures for smart substation equipment maintenance[J]. Hubei Electric Power, 2015, 39(2): 31-34.
- [5] 宋会平, 杨东熏, 王友怀, 等. 智能变电站二次设备检修及故障隔离措施研究[J]. 湖北电力, 2016, 40(2): 48-52.  
SONG Huiping, YANG Dongxun, WANG Youhuai, et al. Research on secondary equipment maintenance and fault isolation measures in intelligent substation[J]. Hubei Electric Power, 2016, 40(2): 48-52.
- [6] 温钱明, 秦纪平, 胡治中, 等. 500 kV 智能变电站检修二次安措探讨[J]. 江西电力职业技术学院学报, 2015, 29(4): 10-12.  
WEN Qianming, QIN Jiping, HU Zhizhong, et al. Discussion on the maintenance of 500 kV intelligent substation secondary safety measures[J]. Journal of Jiangxi Electric Power Vocational College, 2015, 29(4): 10-12.
- [7] 张威力, 张永超. 智能变电站二次设备检修及故障隔离措施研究[J]. 科研, 2016, 12(9): 254-257.  
ZHANG Weili, ZHANG Yongchao. Research on overhaul of secondary equipment and fault isolation measures in intelligent substation[J]. Research, 2016, 12(9): 254-257.
- [8] 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 the secondary equipment maintenance and security rule database for intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(2): 111-116.
- [9] 蓝海涛. 智能变电站继电保护二次安措标准化的研究[J]. 电力安全技术, 2014, 16(2): 12-16.  
LAN Haitao. Research on standardization of secondary protection of relay protection in intelligent substation[J]. Electric Power Safety Technology, 2014, 16(2): 12-16.
- [10] 彭少博, 郑永康, 周波, 等. 220 kV 智能变电站检修二次安措优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(23): 143-148.  
PENG Shaobo, ZHENG Yongkang, ZHOU Bo, et al. Optimization of secondary safety measures for 220 kV intelligent substation maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(23): 143-148.
- [11] 李智锦. 智能变电站继电保护二次安全措施的规范化管理[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015(22): 3-8.  
LI Zhijin. Standardized management of secondary safety measures for relay protection of intelligent substation[J]. City Construction Theory Research (Electronic Edition), 2015(22): 3-8.
- [12] 张雪辉. 智能变电站继电保护二次安全措施规范化的建议[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014(12): 90-93.  
ZHANG Xuehui. Suggestions on standardization of secondary safety measures for relay protection in intelligent substation[J]. City Construction Theory Research (Electronic Edition), 2014(12): 90-93.

- Edition), 2014(12): 90-93.
- [13] 崔旭. 智能变电站二次检修过程实施安措的分析[J]. 电气技术, 2014(12): 147-148.  
ZHAI Xu. Analysis of the implementation of safety measures in the secondary maintenance process of intelligent substation[J]. Electric Technology, 2014(12): 147-148.
- [14] 丁冬. 智能变电站母线保护二次系统提升安全措施可靠性的研究[J]. 电子世界, 2017(21): 150-151.  
DING Dong. Research on reliability improvement of safety protection measures for secondary system of intelligent substation busbar protection[J]. Electronic World, 2017(21): 150-151.
- [15] 卢少松. 智能变电站二次设备运行维护管理措施探究[J]. 大科技, 2016(35): 23-26.  
LU Shaosong. Research on operation and maintenance management measures of secondary equipment in intelligent substation[J]. Big Science, 2016(35): 23-26.
- [16] 张志朋, 彭桂喜, 卞海波, 等. 智能变电站二次检修安全措施自动生成方法研究[J]. 电气技术, 2018, 19(1): 97-102.  
ZHANG Zhipeng, PENG Guixi, QI Haibo, et al. Research on automatic generation method of secondary maintenance safety measures in intelligent substation[J]. Electric Technology, 2018, 19(1): 97-102.
- [17] 张旭升, 李江林, 赵国喜. 智能变电站二次安措防误系统研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 45(11): 141-146.  
ZHANG Xusheng, LI Jianglin, ZHAO Guoxi. Research and application of anti-misoperation system for secondary safety measures in intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 45(11): 141-146.
- [18] 雷杨, 张侃君, 洪梅子, 等. 关于智能变电站二次安全措施的探讨[C] // 中国电机工程学会年会, 11月17—20日, 2015, 中国, 武汉: 1-6.  
LEI Yang, ZHANG Kanjun, HONG Meizi, et al. Discussion on secondary safety measures of intelligent substation[C] // China Electrical Engineering Society Annual Meeting, November 17-20, 2015, Wuhan, China: 1-6.
- [19] 王锋, 魏勇, 刘星, 等. 智能变电站二次系统提升安全措施可靠性策略研究[J]. 现代工业经济和信息化, 2016(20): 53-55.  
WANG Feng, WEI Yong, LIU Xing, et al. Research on reliability strategy for improving safety measures of secondary systems in intelligent substation[J]. Modern Industry Economics and Informatization, 2016(20): 53-55.
- [20] 于振, 朱朝阳, 房殿阁, 等. 变电站作业智能监控防护系统研究[J]. 中国电力, 2017, 46(2): 72-75.  
YU Zhen, ZHU Zhaoyang, FANG Diange, et al. A study of intelligent monitoring and protection system for substation operating worker[J]. Electric Power, 2017, 46(2): 72-75.
- [21] 赵勇, 张道杰, 程宏伟, 等. 智能变电站高级应用功能测试系统研究与开发[J]. 中国电力, 2017, 47(6): 157-160.  
ZHAO Yong, ZHANG Daojie, CHENG Hongwei, et al. Research and application of testing system for advanced application function in smart substations[J]. Electric Power, 2017, 47(6): 157-160.
- [22] 董国威, 汪雷, 宋毅, 等. 基于SCD的智能变电站安措预演纠错系统设计[J]. 信息技术, 2017, 5(11): 5-8.  
DONG Guowei, WANG Lei, SONG Yi, et al. Design of safety measures previously corrected system in the smart substation based on the SCD file[J]. Information Technology, 2017, 5(11): 5-8.

收稿日期: 2018-11-15; 修回日期: 2019-01-09

作者简介:

张琪琦(1993—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为大数据应用、智能电网技术; E-mail: yyxxtt2015@163.com

郑超(1984—), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向为电力系统自动化、智能电网技术;

孟洋洋(1986—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统自动化、智能电网技术。

(编辑 张爱琴)