

DOI: 10.7667/PSPC162129

智能变电站二次检修安措防误技术研究

车兵¹, 许家焰², 徐晓春¹, 汤同峰¹

(1. 国网江苏省电力公司淮安供电公司, 江苏 淮安 223002; 2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 智能变电站二次设备检修作业出现二次安全措施错误或不到位, 容易引起继电保护误动或拒动的电网事故。为了实现安措的预防错误、在线监视和防误告警, 首先分析智能变电站二次检修安措的特征, 然后从可视化、防误机制、模拟预演、遥控操作及在线监视等方面阐述了安措防误的关键技术。最后通过应用表明, 这些关键技术不仅能预防安措问题, 保证安全措施工作的正确性和合理性, 而且能对安措过程进行在线监视。并通过防误告警及时发现安措问题, 增强电网安全运行水平, 是大检修和大运行体系安全生产的技术保障。

关键词: 智能变电站; 二次检修安措; 模拟预演; 遥控; 在线监视; 防误技术

Research of secondary maintenance safety measures error proofing technology in smart substation

CHE Bing¹, XU Jiayan², XU Xiaochun¹, TANG Tongfeng¹

(1. Huaian Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Company, Huaian 223002, China;

2. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: There are wrong or insufficient secondary safety measures in secondary equipment maintenance work of smart substation, which will easily lead to power grid accident of relay protection malfunction or refusing to trip. In order to realize error preventing, online monitoring and error proofing alarm for safety measures, this paper firstly analyzes the characteristics of the smart substation secondary maintenance safety measures. Then, the key technologies of safety measures error proofing are expounded in terms of visualization, error proofing mechanism, simulation preview, remote control, and online monitoring. Finally, the application shows that the key technologies can not only prevent the problems of safety measures and ensure correct and reasonable safety measures work, but also realize online monitoring for safety measures process and find safety measures problems in time by error proofing alarm and enhance the level of power grid safe running, which are the technical guarantee for safe production of the large maintenance and large running system.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Jiangsu Electric Power Company (No. J2016082).

Key words: smart substation; secondary maintenance safety measures; simulation preview; remote control; online monitoring; error proofing technology

0 引言

智能变电站的回路主要依靠光纤和网络, 整个二次系统基于SCD文件, 传统的端子已被“虚端子”取代。理论上不破坏网络结构的前提下, 物理上不能完全将检修设备和运行设备隔离, 要实现逻辑上的有效隔离, 只有改变智能变电站信息流发送, 给二次检修安措工作带来了很大困难。如果二次检修安措出现差错, 容易造成继电保护误动或拒动严重的电网事故, 如甘肃330 kV永登变全停, 西藏220 kV墨竹工卡变母差误动等事件。

为了保障智能变电站安全稳定运行, 国家电网公司发布了一系列保护标准化设计规范, 针对二次检修安措也制订了国网企标^[1]。智能变电站二次回路监视^[2-4]技术越来越成熟, 二次设备在线监视^[5-8]技术不断完善, 二次设备运维^[9]研究逐渐受到关注和重视。尤其二次运维领域的二次检修安措^[10-15]已有不少研究, 但主要集中在二次检修安措策略以及二次检修安措分析等方面, 目前在二次检修安措防误技术方向研究不足。

智能变电站二次检修安措防误技术, 主要解决智能变电站二次检修安措缺乏的预防错误、在线监视和防误告警等技术手段。同时, 扩展了二次设备在线监视的技术范畴。二次检修安措防误技术能有

效提升二次设备检修安措的安全性和可靠性, 防止智能变电站因二次安全措施错误引起的继电保护误动或拒动的电网事故, 增强电网安全运行水平, 提高电网精益化和智能化调控能力, 是大检修和大运行体系安全生产的技术保障。

1 智能变电站二次检修安措特征分析

智能变电站二次检修安措工作典型特征, 包括退出保护功能软压板、投入线路保护断路器强制分位软压板、投入母线保护隔离刀闸强制软压板、退出 GOOSE 发送软压板、退出 GOOSE 接收软压板、退出 SV 接收软压板、投入检修硬压板、退出出口硬压板、断开至另一套智能终端闭锁重合闸联线、断开 PT/CT 端子连接片、断开光纤等。典型特征通常分类如下所述。

1) 直接监视

各类软压板和检修硬压板通过装置上送遥信进行监视。其中, 过程层的智能终端和合并单元的检修硬压板, 通过测控装置转发的遥信进行监视。

2) 间接监视

光纤无法通过装置上送遥信进行监视。但光纤可通过交换机或过程层控制块链路状态进行监视。

3) 无法监视

出口硬压板、闭锁重合闸联线和 PT/CT 二次回路连接片无法通过装置上送遥信进行监视, 也无法通过关联装置其他的信号进行监视。

有些研究试点, 出口硬压板可通过加装传感器或图像识别等方式进行状态采集, 这些技术不符合目前变电站的标准设计, 而且增加了成本, 工程推广有一定难度。如果工程实现了硬压板状态采集, 能更有效地监视二次检修安措过程。

2 关键技术

2.1 可视化

2.1.1 关联域可视化

关联域包括检修域和影响域。检修域包含二次安措工作中需检修的合并单元、智能终端、继电保护及安全自动装置、交换机和网络。影响域是指检修域中设备进行检修工作时, 可能受影响的正在运行的二次设备组成的域。

关联域能清晰地展示检修对象的检修域和影响域所含设备以及虚回路数据流, 如图 1 所示。

通过点击关联域图上的虚回路数据联接线, 可进一步详细展示装置间虚回路连接和虚端子, 保护控制虚端子的软压板和检修压板, 如图 2 所示。其中, 通过实时采集数据, 软压板和检修压板能实时

显示其状态, 虚回路连接线能通过不同的颜色实时显示虚回路链路通信状态。

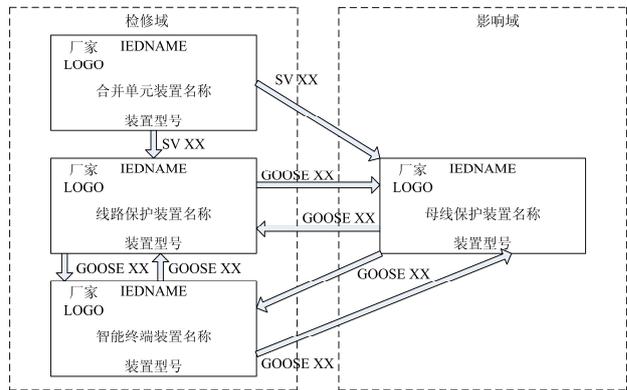


图 1 关联域示意图

Fig. 1 Sketch map of associated zone

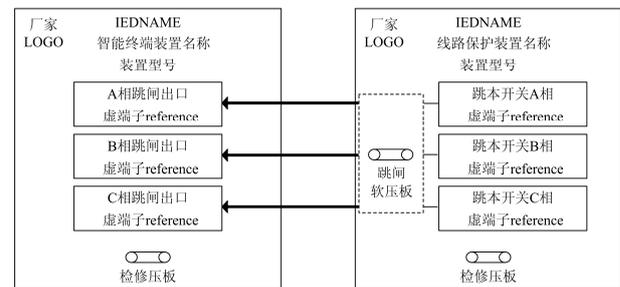


图 2 虚回路示意图

Fig. 2 Sketch map of virtual circuit

2.1.2 二次回路可视化

与传统虚回路可视化相比, 二次回路可视化尽可能展现二次检修安措涉及的元素。二次回路图不仅包括虚回路、虚端子、GOOSE 软压板、SV 接收软压板和检修压板, 还包括出口压板、PT/CT 端子连接片和光纤等, 通过屏柜信息建模获取二次检修安措信息, 如图 3 所示。

二次回路图具有如下特征:

1) 以检修对象为中心, 延伸到与其有二次回路连接关系的运行设备; 通常以间隔、间隔同套多装置, 或单装置为检修对象, 针对 3/2 接线方式的线路、主变和母线, 对应断路器间隔装置可同属检修对象。

2) 软压板和检修压板状态实时显示。

3) 光纤和虚回路连接线通过不同颜色, 实时显示其链路通信状态。

4) 无法监视的出口压板、闭锁重合闸联线、PT/CT 端子连接片, 人工置数设置其状态。

5) 关联了遥信的图元, 遥信变位闪烁, 且能人工消闪。

通过典型安措顺序方案对二次检修安措进行防误验证,关键流程如下:

- 1) 确定检修作业开始,对检修过程每次安措内容进行防误验证;
- 2) 验证作业设备是否检修作业关联域设备;
- 3) 确定安措内容所属安措项;
- 4) 查漏本次安措项之前安措项,是否存在未执行的有效安措内容;
- 5) 验证之前未确认的安措内容是否正确;
- 6) 验证本次安措内容是否正确;
- 7) 确定检修作业结束,查漏本次安措项及之后安措项是否存在未执行有效安措内容。

显然,安措防误验证结果是否准确,还需一个关键条件参与,即二次检修设备所关联一次设备是否停电。另外,屏柜信息模型配置了设备光纤,且方案制定了光纤安措项,对于可通过退发送侧和接收侧两侧软压板以隔离虚回路连接关系的光纤回路,可不对其防误验证;对于无法通过退检修装置发送软压板,且相关运行装置未设置接收软压板来实现安全隔离的光纤回路,可对其防误验证。

2.2.2 GOOSE 软压板判据机制

退出 GOOSE 软压板,是实现检修设备与运行设备 GOOSE 虚回路安全隔离的重要措施,是二次检修安措的重要工作内容。由于 GOOSE 软压板种类繁多,为了更加具体灵活地对表 1 安措项 6 进行防误验证,增加 GOOSE 软压板判据条件参与防误判断。GOOSE 软压板判据见表 3 所示,如有需要可扩展。

表 3 GOOSE 软压板判据

Table 3 Criteria of GOOSE soft plate

值	判据名称	备注
0/1	GOOSE 软压板总判据	启用 GOOSE 判据有效
0/1	GOOSE 发送接收软压板顺序	执行:先接收后发送/先发送后接收;恢复:顺序相反。
0/1	检修相关运行保护 GOOSE 接收软压板	启用且有效:判执行退出,恢复投入。
0/1	检修保护 GOOSE 失灵跳闸软压板(发送软压板)	启用且有效:判执行退出,恢复投入。
0/1	检修保护 GOOSE 失灵联跳变压器软压板(发送软压板)	启用且有效:判执行退出,恢复投入。
0/1	检修保护 GOOSE 跳本侧断路器软压板(发送软压板)	启用且有效:判执行退出,恢复投入。
0/1	检修保护 GOOSE 跳他侧断路器软压板(发送软压板)	启用且有效:判执行退出,恢复投入。
0/1	检修保护 GOOSE 闭锁运行保护软压板(发送软压板)	启用且有效:判执行退出,恢复投入。
0/1	检修保护 GOOSE 启动失灵软压板(发送软压板)	启用且有效:判执行退出,恢复投入。

2.3 二次检修安措模拟预演及防误校核

二次检修作业之前,基于二次回路图,类似一次五防的模拟预演,对要执行的安措操作进行模拟预演。通过人工预演每一项安措内容,并根据安措防误机制对其进行防误校核,验证安措工作的有效性和正确性。

为了能有效执行防误校核,关键流程如下:

- 1) 人工置预演开始,设置“预演态”;
- 2) 检索检修对象安措相关状态量当前状态,自动识别预演的安措过程是执行或恢复;
- 3) 在“预演态”内的所有操作,采用人工置数机制进行模拟操作,预演的安措项目防误校核正确则执行预演结果,防误校核错误则报告错误及原因,并禁止预演执行;
- 4) 人工置预演结束,执行最后一次防误查漏,生成一份模拟预演报告,取消“预演态”,自动恢复预演前状态。

模拟预演报告内容包括报告时间、正确安措项目、被禁止的误操作安措项目及错误原因、遗漏安措项目、总体评价。总体评价是针对模拟预演过程,给出正确安措或问题安措的结果,存在误操作或遗漏安措项目评价为问题安措。同时,可将预演安措执行过程,正确和遗漏安措项目自动生成安措票。

2.4 二次检修安措遥控操作及防误闭锁

二次检修作业时,软压板的安措操作,通常由运检人员在监控上对软压板进行遥控,但这种方式并不能完全避免误操作的风险。基于二次回路图,类似一次五防的防误闭锁,对安措操作涉及的软压板逐一进行人工遥控,在实际遥控前根据安措防误机制中涉及软压板的防误机制,执行防误闭锁逻辑,实现正确的安措操作。

为了能有效执行防误闭锁,关键流程如下:

- 1) 人工置遥控开始,设置“遥控态”;
- 2) 检索检修对象安措相关状态量当前状态,自动识别遥控的安措过程是执行或恢复;
- 3) 在“遥控态”内逐一对软压板进行操作,操作的安措项目防误校核正确,则执行对保护的实际控制,防误校核错误,则报告错误及原因,并闭锁遥控执行;
- 4) 人工置遥控结束,执行最后一次防误查漏,生成一份遥控操作报告,取消“遥控态”。

遥控操作报告内容包括报告时间、正确的操作项目、被闭锁的误操作项目及错误原因、遗漏的操作项目、总体评价。总体评价是针对遥控操作过程,给出正确操作或问题操作的结果,存在误操作或遗漏的操作项目时评价为问题操作。

2.5 二次检修安措在线监视及防误诊断

通过与二次设备通信，实时采集二次检修安措相关的状态变化信息，并根据安措防误机制中涉及可监视安措的防误机制，对监视到的安措状态变化进行防误诊断，验证安措操作的正确性，在线监视二次检修安措过程。

为了能有效执行防误诊断，关键流程如下：

- 1) 监视到第一条安措状态变化信息置安措开始，设置“安措态”；
- 2) 检索检修对象安措相关状态量当前状态，自动识别监视的安措过程是执行或恢复；
- 3) 在“安措态”内对所监视安措状态变化信息进行防误诊断，给出正常或错误及原因的诊断结果；
- 4) 检索检修对象安措相关状态量当前状态，防误查漏已无可操作安措项则自动识别安措结束，或可设置的周期内未监视到下一条安措状态变化信息，置安措结束并执行最后一次防误查漏，生成一份在线监视报告，取消“安措态”。

在线监视报告内容包括报告时间、监视到的安措状态变化信息及诊断结果、遗漏安措项目、总体评价。总体评价分为正确检修和问题检修，监视到安措过程中所有的操作完备无误视为正确检修，存在错误操作或存在遗漏安措项目视为问题检修。

1) 在线监视及防误诊断还具备如下技术特点：允许毫无关联的间隔或装置，作为不同检修对象并行检修，分检修对象进行在线监视及防误诊断，并

生成各自在线监视报告；

2) 非“安措态”且保护已投入检修压板，监视到与运行保护无关的检修保护试验信号，判定为试验信息，不进行防误诊断；

3) 实时告警展示在线监视到的安措状态变化信息及其防误诊断结果；

4) 安措结束自动推图展示当前检修对象的二次回路图，报告问题检修时，产生虚遥信告警“发生问题检修告警”，并上送主站。

3 技术应用

基于四方公司的智能变电站一体化监控系统平台，采用安措防误的关键技术，依据安措防误机制制定二次检修安措防误规则库，开发安措防误模块实现安措防误功能。开发的系统可作为智能变电站二次检修安措防误系统独立运行，为二次检修安措工作提供技术支撑和系统支撑。同时，不仅扩展了一体化监控系统的功能，还扩展了四方公司其他基于一体化监控系统平台，开发的二次设备在线监视系统和二次设备运维系统的功能，具有良好的可移植性。

智能变电站二次检修安措防误系统，试点应用于江苏淮安智能变电站 220 kV 范集变。通过现场工程的应用，安措防误技术得到了实践检验。同时，实现了将安措防误告警信息，实时上送主站系统，提高了系统的应用价值。系统架构如图 4 所示。

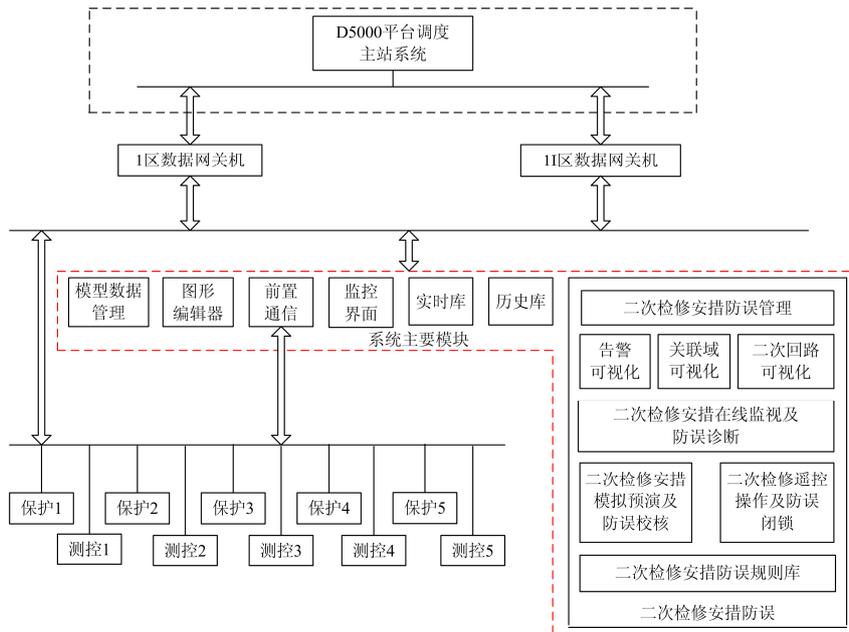


图 4 系统架构

Fig. 4 Architecture of system

系统在标准化设计的智能变电站,更好地在现场工程实现安措防误技术,还需具备如下特征:

1) 屏柜信息建模并获取屏柜及屏柜内装置、硬压板、闭锁重合闸联线、PT/CT 端子和光纤等变电站数据;其中,检修压板已关联实际遥信,出口压板、闭锁重合闸联线和PT/CT 端子已关联其虚遥信,光纤已关联其链路通信状态遥信。

2) 从 SCD 模型中获取已建立虚回路连接(虚端子订阅)的 GOOSE 和 SV 虚回路数据。

3) 从 SSD 模型中获取一、二次映射关系,或系统上自行建立一、二次映射关系。

4) 虚端子与 GOOSE 发送/接收软压板、SV 接收软压板已建立映射关系。

5) 各种软压板已准确分类。

6) 装置已关联检修时,相关运行保护需退出的保护功能软压板。

7) 线路保护断路器强制分位软压板已关联对应的断路器保护,母线保护隔离刀闸强制软压板已关联对应的间隔刀闸。

8) 根据变电站数据,实现关联域可视化和二次回路可视化的自动成图。

4 结语

智能变电站二次检修安措防误技术,主要涉及可视化、二次检修安措防误机制、二次检修安措模拟预演及防误校核、二次检修安措遥控操作及防误闭锁、二次检修安措在线监视及防误诊断等技术。关联域可视化和二次回路可视化以图文并茂的形式,清晰直观地展示了变电站检修作业涉及的内容。通过安措防误机制,实现类似一次五防技术的二次模拟预演和遥控闭锁以及在线监视安措操作过程,实现安措的预防错误、在线监视和防误告警的目的。通过技术应用表明,安措防误技术有效提升了二次检修安措的安全性和可靠性,防止智能变电站因二次安全措施错误引起的继电保护误动或拒动的电网事故,增强电网安全运行水平,提高电网精益化和智能化调控能力,是大检修和大运行体系安全生产的技术保障,具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 智能变电站继电保护和电网安全自动装置现场工作保安规定: Q/GDW 11357—2014[S].
Security regulations on relaying protection and stability control equipment for smart substations: Q/GDW 11357—2014[S].
- [2] 高翔,杨漪俊,姜健宁,等. 基于 SCD 的二次回路监

测主要技术方案介绍与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 149-154.

GAO Xiang, YANG Yijun, JIANG Jianning, et al. Analysis of secondary circuit monitoring methods based on SCD[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 149-154.

- [3] 张巧霞,贾华伟,叶海明,等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.

ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.

- [4] 叶远波,孙月琴,黄太贵,等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 148-153.

YE Yuanbo, SUN Yueqin, HUANG Taigui, et al. Online state detection and fault diagnosis technology of relay protection secondary circuits in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 148-153.

- [5] 袁浩,屈刚,庄卫金,等. 电网二次设备状态监测内容探讨[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(12): 100-106.

YUAN Hao, QU Gang, ZHUANG Weijin, et al. Discussion on condition monitoring contents of secondary equipment in power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(12): 100-106.

- [6] 徐长宝,庄晨,蒋宏图. 智能变电站二次设备状态监测技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 127-131.

XU Changbao, ZHUANG Chen, JIANG Hongtu. Technical research of secondary equipments' state monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 127-131.

- [7] 蔡骥然,郑永康,周振宇,等. 智能变电站二次设备状态监测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 148-154.

CAI Jiran, ZHENG Yongkang, ZHOU Zhenyu, et al. A survey of research on secondary device condition monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 148-154.

- [8] 曹海欧,高翔,杨毅,等. 基于全模型 SCD 二次系统在线监测及智能诊断应用分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 136-141.

CAO Haiou, GAO Xiang, YANG Yi, et al. Analysis of online monitoring and intelligent diagnosis based on the full model SCD secondary system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 136-141.

- [9] 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.

[10] 杨晨, 王强, 沈通, 等. 智能变电站二次系统检修安全策略研究[J]. 电气工程, 2013, 1(1): 31-36.

YANG Chen, WANG Qiang, SHEN Tong, et al. Research on the security strategies of the protection system maintenance in smart substation[J]. Journal of Electrical Engineering, 2013, 1(1): 31-36.

[11] 蓝海涛. 智能变电站继电保护二次安全措施规范化的建议[J]. 智能电网, 2014, 2(1): 62-66.

LAN Haitao. Recommendations for the standardization of relay protection secondary safety measures of smart substation[J]. Smart Grid, 2014, 2(1): 62-66.

[12] 侯伟宏, 裘愉涛, 吴振杰, 等. 智能变电站继电保护GOOSE回路安全措施研究[J]. 中国电力, 2014, 47(9): 143-148.

HOU Weihong, QIU Yutao, WU Zhenjie, et al. Study on GOOSE isolation measures in smart substation relay protection[J]. Electric Power, 2014, 47(9): 143-148.

[13] 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. Study of optimization of secondary safety measures of 220 kV smart substation maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(23): 143-148.

[14] 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.

[15] 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): 32-34, 51.

ZHANG Man. Secondary safety control measures for smart substation equipment maintenance[J]. Hubei Electric Power, 2015, 39(2): 32-34, 51.

收稿日期: 2016-12-30; 修回日期: 2017-03-01

作者简介:

车兵(1968—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化;

许家焰(1976—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为变电站自动化、保信及二次运维; E-mail: xujiayan@sf-auto.com

徐晓春(1970—), 女, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力系统自动化。

(编辑 姜新丽)