

## 220 kV 智能变电站检修二次安措优化研究

彭少博<sup>1</sup>, 郑永康<sup>2</sup>, 周波<sup>1</sup>, 李小鹏<sup>3</sup>

(1. 国家电网四川电力送变电建设公司, 四川 成都 610051; 2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072; 3. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

**摘要:** 现有智能站检修二次安措存在安全性低、易导致保护误闭锁等问题, 可靠性不高。对此, 分析了智能站二次设备新功能特征和安措基本方法利弊, 提出了 220 kV 智能站分间隔停电检修二次安措新思路。并针对首检、定检两种不同情况, 分别制定二次安措优化方案。利用打开连片、解芯线方式隔断场地二次电回路; 利用先退软压板断开数字通道设置第一道防线; 利用后拔光纤形成明显断点(或投检修压板启用智能站检修机制)设置首检(或定检)二次安措的第二道防线。通过四川沙坝、扎窝两座 220 kV 智能变电站首检中证实, 该方案简单、安全、可行, 对日后智能站检修维护二次安措的实施具有一定参考价值。

**关键词:** 智能变电站; 停电检修; 二次系统; 安全措施; 数字通道; 检修机制

### Study of optimization of secondary safety measures of 220 kV smart substation maintenance

PENG Shao-bo<sup>1</sup>, ZHENG Yong-kang<sup>2</sup>, ZHOU Bo<sup>1</sup>, LI Xiao-peng<sup>3</sup>

(1. State Grid Sichuan Electric Power Transmission & Transformation Construction Company, Chengdu 610051, China;  
2. Electric Power Research Institute, State Grid Sichuan Province Electric Power Company, Chengdu 610072, China;  
3. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** The present secondary safety measure in smart substation has low reliability due to the low safety and frequent protection blocking. On this basis, a safety measure based on interval interruption maintenance is proposed by analyzing the new function features of secondary equipment, as well as the advantage and disadvantage of the basic safety measures. The optimal scheme corresponding to the first maintenance and periodic maintenance is also determined. The secondary circuit will be cut off by disconnecting the terminal connecting piece or the cable conductor. Then the first defense line will be established by turning off the soft pressing board and breaking the digital channel. The second defense line is formed after pulling out the fiber or starting the smart substation maintenance mechanism. The first maintenances of 220 kV Sha-Ba substation and 220 kV Zha-Wo substation in Sichuan show that this scheme is simple, safe and available, which is of certain reference value for secondary safety measures in the smart substation maintenance.

**Key words:** smart substation; interruption maintenance; secondary system; safety measures; digital channel; maintenance mechanism

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)23-0143-06

## 0 引言

智能变电站作为智能电网“电力流、信息流、业务流”三流汇集的核心枢纽, 是国家电网公司智能电网整体部署的重点, 也是未来变电站技术发展的风向标<sup>[1-3]</sup>。近年来, 随着智能变电站大规模建设投运和相关基建调试技术力量的迅猛增强, 各网省公司已逐步将智能变电站重心由较成熟的规划建设

转移至待探究的检修运维以及提高继电保护的容错性方面<sup>[4-5]</sup>。其中, 二次安全措施作为待检设备与运行设备的隔离防线, 关系着检修期间电网安全稳定运行, 不容丝毫差池, 在智能站的检修运维中占有重要地位<sup>[6-7]</sup>。

目前, 现行智能站检修二次安措实施方案主要有退软压板、投检修压板、拔光纤<sup>[8-9]</sup>。单纯基于首检中待验的软压板或检修压板实施二次安措, 将无法避免压板功能不可靠所产生的安全风险; 未考虑安措执行的先后顺序, 还可能造成智能保护误闭

基金项目: 国网四川省电力公司 2014 年科技项目(52199713506B)

锁。同时，拔纤频繁、安措冗余，又易致使光口或纤头损坏、操作繁琐。因此，研究出一套安全性高、优化精简、能与智能变电站新技术特点相适应的检修二次安措实施方案十分必要。

由于电子式互感器与光互感器技术尚未成熟<sup>[10-11]</sup>，目前并未大规模推广，现行智能站大多采用常规互感器搭配合并单元模式设计<sup>[12]</sup>，本文也仅针对此模式研究。

## 1 智能设备新功能与特征分析

对比常规站，智能站采用场外就地数字化采集二次量，二次设备之间应用光纤通信、网络传输数据流，其设备部分功能与特征发生改变<sup>[13-14]</sup>。其中，与二次安措息息相关的新功能特征主要包括：数字通道与软压板、检修机制、光纤通信。

### 1.1 数字通道与软压板

智能设备采用功能模块化、划分数据集、虚端子连接的思想进行设计。每类数据流由设备对应功能模块的数据集流出，以虚端子连接作导向，流至指定设备相应的功能模块数据集内，从而构成数字通道。软压板则作为开启与关断数字通道的唯一工具，控制数字化二次量开入、开出设备，可视作“数字端子连片”，一般应用于保护、测控、备自投等间隔层设备。图1为数字通道与软压板概念示意图。



图1 数字通道与软压板概念示意图

Fig. 1 Schematic diagram of digital channel and soft pressing board

### 1.2 检修机制

与常规站不同，智能站新增了检修机制。智能设备检修硬压板投入后，设备进入检修状态，其发出的数据流将绑定“TEST置1”的检修品质位，其收到数据流必须有相同的检修品质位，才可实现对应功能，否则设备判别采样或开入量“状态不一致”，屏蔽对应功能。

智能数字化保护装置将“状态不一致”的电流、电压、开入量排除在外，不参与保护逻辑运算，且闭锁保护相关功能。涉及多个电流采样的保护，如变压器或母线差动保护，若有任意一组采样电流置检修位，将闭锁差动保护。

智能终端收到“状态不一致”的跳合闸指令或控制信号后，将不动作于断路器和刀闸。

### 1.3 光纤通信

智能站过程层网络采用光纤通信传输，智能设备根据检测接收到的数据流（如“心跳报文”）的有无，判定所对应通信链路是否中断<sup>[15]</sup>。若发生链路中断，智能设备将出现三个特征：界面中显示对应的链路中断告警；通信板件对应光口监测灯熄灭；该链路承载数据流所应对的设备功能将被屏蔽，即涉及多个电流采样的保护，如变压器或母线差动保护，若有任意一组直采断链，将闭锁差动保护。

## 2 智能站检修二次安措思路及优化分析

目前，智能站检修二次安措的基本方法共有4种：退软压板；投检修压板；断电回路（例如打开连片或解开芯线）；断光链路（例如拔光纤）。退软压板与投检修压板视为数字断开方式；断电回路与断光链路看作物理断开方式。

数字断开方式优势在于操作便捷，但由于断点不可见，再加之软压板定义错误、功能失效以及检修机制不正确、检修压板虚接等多种不可靠因素的制约，大大降低了基于单一数字断开方式的二次安措的安全性。物理断开方式可制造明显断点，安全可靠，但其实施较为繁琐，而且频繁插拔光纤将损坏光口和纤头，应减少拔纤数量。此外，在未退出对应通道软压板前，投检修压板或断光链路致使通道接收数据异常或中断，均会造成数据需求侧智能设备闭锁相关保护功能，安措基本方法间的配合与顺序至关重要。

基于此，在不影响运行设备功能（例如误闭锁保护功能、误跳运行开关、误启动运行保护、误计量等）的前提下，智能站检修二次安措应依照双重化、最少化的原则进行优化。除此之外，在未验证软压板、检修压板正确性、可靠性之前，不宜直接单纯采用数字断开方式实施安措。因此，首检二次安措应以物理断开方式为主、数字断开方式为辅；建立在首检验明数字断开方式可靠性基础上，日后定检中可直接采用双重数字断开方式实施二次安措。

由此可得，优化后的二次安措基本思路：①防二次试验电压反送一次侧以及防二次试验电流窜入运行间隔采取断电回路方式隔离；②断数字通道避免试验量开入运行设备，首检中应采取先退软压板再拔光纤方式，定检中宜使用先退软压板再投检修压板方式；③不影响保护、开关、电度表正常运行工况的检修间隔开出量以及检修间隔接收运行间隔的开入量可被精简忽略，最大可能减少解芯线、断连片、拔光纤数量。

### 3 智能变电站检修二次安措优化方案

#### 3.1 线路间隔停电检修

待检线路间隔开出至运行设备的二次量：①线路二次电流开至母线保护；②线路二次电流开至线路电度表（常规式）；③线路间隔母线侧刀闸位置开至母线保护；④线路保护启动失灵开至母线保护；⑤线路保护发送远跳、本侧线路电流、开关位置至对侧线路保护；⑥线路二次试验电压反送一次侧。

由于母线带电，母线侧刀闸不允许操作，母线电压无法切换，单纯试验电流开入电度表不会造成误计量，因此，②、③均可忽略。针对①、④，采用先退相应接收软压板再拔光纤（或投检修压板）的方式隔离；针对⑤，则直接拔光纤；针对⑥，则打开连片。表1为线路间隔检修二次安措实施方案。图2为线路间隔首检二次安措物理断开处示意图。

（“X”表示断开处，下同）

表 1 线路间隔检修二次安措实施方案

Table 1 Implementation scheme of the secondary safety measures for line interval maintenance

检修类型	安措对象	第一道安措防线 (先执行)	第二道安措防线 (后执行)
首检 或 定检	⑤	待检线路间隔保护装置 上拔掉至线路对侧保护的 光纤 (TX)	无
	⑥	打开线路电压二次回路 连片	无
首检	①	母线保护中退出待检线 路间隔电流SV接收软压 板	待检线路间隔合并单元 上拔掉至母线保护的直 采光纤 (TX)
	④	母线保护中退出待检线 路间隔失灵接收软压板	待检线路间隔交换机上 拔掉至中心交换机的级 联光纤 (TX)
定检	①	母线保护中退出待检线 路间隔电流SV接收软压 板	待检线路间隔合并单元 投检修硬压板
	④	母线保护中退出待检线 路间隔失灵接收软压板	待检线路间隔保护装置 投检修硬压板

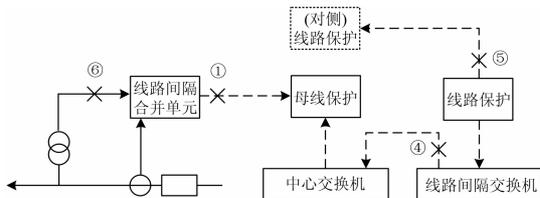


图 2 线路间隔首检二次安措物理断开处示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the physic breaking point of the secondary safety measures for first interval maintenance of line

#### 3.2 母联间隔停电检修

待检母联间隔开出至运行设备的二次量：①母联二次电流开至母线保护；②母联手合闭锁母差开至母线保护；③母联间隔刀闸、开关位置开至母线保护以及母线电压合并单元；④母联保护启动失灵开至母线保护。

母联刀闸、开关位置必须同时置合位，才使母线保护、母线电压合并单元判为母线并列运行方式，而实际停电方式总会有一把刀闸常置分位，不满足同时置合位条件，因此，③可忽略。针对①、②、④均采用先退软压板再拔光纤（或投检修压板）的方式隔离。表2为母联间隔检修二次安措实施方案。图3为母联间隔首检二次安措物理断开处示意图。

表 2 母联间隔检修二次安措实施方案

Table 2 Implementation scheme of the secondary safety measures for bus couple interval maintenance

检修类型	安措对象	第一道安措防线 (先执行)	第二道安措防线 (后执行)
首检	①	母线保护中退出待检 母联间隔电流 SV 接收 软压板	待检母联间隔合并单元 上拔掉至母线保护的直 采光纤 (TX)
	② ④	母线保护中退出待检 母联间隔失灵等 GOOSE 接收软压板	I、待检母联间隔智能终 端上拔掉至母线保护的 直跳光纤 (TX) II、待检母联间隔交换 机上拔掉至中心交换机的 级联光纤 (TX)
定检	①	母线保护中退出待检 线路间隔电流 SV 接收 软压板	待检母联间隔合并单元 投检修硬压板
	② ④	母线保护中退出待检 母联间隔失灵等 GOOSE 接收软压板	待检母联间隔保护装置、 智能终端投检修硬压板

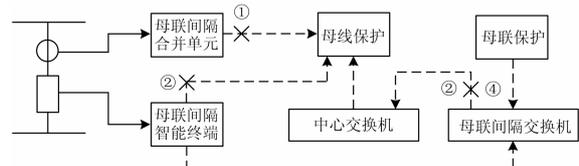


图 3 母联间隔首检二次安措物理断开处示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the physic breaking point of the secondary safety measures for first maintenance of bus couple interval

#### 3.3 主变及三侧开关间隔停电检修

待检主变及三侧开关间隔开出至运行设备的二次量：①主变高（中）侧电流开至 220 kV（110 kV）母线保护；②主变三侧电流、电压开至三侧电度表（常采用光数字式）；③主变高（中）侧间隔母线侧刀闸位置开至 220 kV（110 kV）母线保护；④主变保护启动高（中）侧失灵、解复压开至 220 kV（110 kV）母线保护；⑤主变保护发送跳三侧母联（分段）至三侧母联（分段）间隔；⑥主变低压侧电流、电压

开至低压侧备自投；⑦主变低压侧母线二次试验电压反送一次侧。

由于母线带电，主变高（中）侧母线侧刀闸不能操作，也不属于检修范围，再加之仅有刀闸位置无电流不影响母差保护功能，因此③可忽略。针对②采用光数字式电度表时，合并单元电压切换功能试验时，可能同时开至光电度表电流、电压，造成误计量，而且电度表无状态不一致的检修机制功能，仅能采取拔纤将其隔离；针对⑤，主变保护采用网跳实现跨间隔母联、分段跳闸，而接收跳闸指令的智能终端又无软压板供操作，从而采用拔光纤（或投检修压板）实现；针对①、④、⑥，均采用先退软压板再拔光纤（或投检修压板）的方式隔离；针对⑦，则打开连片。表3为主变及三侧开关间隔

表3 主变及三侧开关间隔检修二次安措实施方案

Table 3 Implementation scheme of the secondary safety measures for main transformer and three side switch interval

检修类型	安措对象	第一道安措防线 (先执行)	第二道安措防线 (后执行)
首检或定检	②	高（中）侧间隔合并单元、低压侧间隔综合智能单元上拔掉至各侧电度表的光纤（TX）	无
	⑦	打开低压侧母线电压二次回路连片	无
首检	①	220 kV（110 kV）母线保护中退出待检主变高（中）侧间隔电流 SV 接收软压板	待检主变高（中）侧间隔合并单元上拔掉至 220 kV（110 kV）母线保护的直采光纤（TX）
	④	220 kV（110 kV）母线保护中退出待检线路间隔失灵、解复压 GOOSE 接收软压板	待检主变高压侧及本体（中、低压侧）间隔交换机上拔掉至 220 kV（110 kV）中心交换机的级联光纤（TX）
	⑤	无	I、待检主变高压侧及本体（中、低压侧）间隔交换机上拔掉至 220 kV（110 kV）中心交换机的级联光纤（TX） II、待检主变中低压侧间隔交换机上拔掉至低压侧分段备投装置的光纤（TX）
	⑥	低压侧备自投退出待检主变低压侧间隔 SV 接收软压板	待检主变低压侧综合智能单元上拔掉至低压侧分段备投装置的光纤（TX）
	①	220 kV（110 kV）母线保护中退出待检主变高（中）侧间隔电流 SV 接收软压板	待检主变高（中）侧间隔合并单元投检修硬压板
定检	④	220 kV（110 kV）母线保护中退出待检线路间隔失灵、解复压 GOOSE 接收软压板	待检主变保护投检修硬压板
	⑤	低压侧备自投退出待检主变低压侧间隔 SV 接收软压板	待检主变间隔低压侧综合智能单元投检修硬压板
	⑥	低压侧备自投退出待检主变低压侧间隔 SV 接收软压板	待检主变间隔低压侧综合智能单元投检修硬压板

检修二次安措实施方案。图4为主变及三侧开关间隔首检二次安措物理断开处示意图。

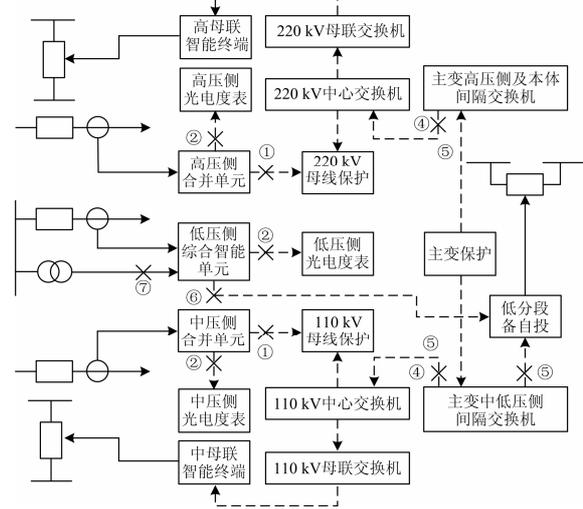


图4 主变及三侧开关间隔首检二次安措物理断开处示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the physic breaking point of the secondary safety measures for the first maintenance of main transformer and three side switch interval

### 3.4 单条母线间隔停电检修

在双母线接线方式实际运行中，往往不允许双母全停，仅允许停单条母线检修。待检单条母线间隔存在诸多二次作业危险点：①误碰运行母线二次电压；②误造成保护失去运行母线电压；③误造成母线电压合并单元对时异常；④待检母线二次试验电压反送一次侧。

智能站由母线电压合并单元采集电压，而在双母线接线方式中，I母（II母）间隔的母线电压合并采集双母电压再经间隔合并单元电压切换后供A网（B网）内保护、测控使用。因此，即使I母间隔停电，内部装设的母线电压合并单元仍处于运行，且二次端子接入运行的II母电压；而II母间隔虽未停电，但内部母线电压合并单元仍接入待检的I母二次电压，其也属待检设备。综上，对①、②、③特殊危险点，应采取标记隔离措施，严禁母线电压合并单元直采或对时光纤被拔掉、运行母线电压空开被拉开、装置失电，警醒二次作业人员；针对④，则打开电压连片隔离即可。图5为单条母线间隔检修二次安措物理断开处示意图。其中，I母停电检修，II母处于运行。

### 3.5 母线保护停电检修

一次设备均不停电，仅停母线保护时，待检母线保护开出至运行设备的二次量：①母线跳闸指令开至母线上所有间隔；②远跳开至线路保护；③失灵联跳开至主变保护。

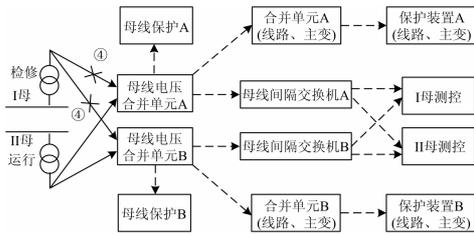


图 5 单条母线间隔检修二次安措物理断开处示意图  
Fig. 5 Schematic diagram of the physic breaking point of the secondary safety measures for single busbar interval maintenance

对于①、②、③，均可采用先退软压板再拔光纤（或投检修压板）的方式隔离。此外，为增加安全性，防止直采断链未闭锁保护而母差动作误跳运行开关，应按先拔直跳、再拔组网、最后拔直采的顺序拔纤。表 4 为母线保护检修二次安措实施方案。图 6 为母线保护检修二次安措物理断开处示意图。

表 4 母线保护检修二次安措实施方案

Table 4 Implementation scheme of the secondary safety measures for busbar protection maintenance

检修类型	安措对象	第一道安措防线 (先执行)	第二道安措防线 (后执行)
首检	①	待检母线保护中退出母差保护功能软压板及 GOOSE 发送出口软压板及保护功能软压板	待检母线保护上拔掉所有直跳光纤 (TX)
	②	接收待检母线保护开出量的线路 (主变) 保护中退出远跳 (主变对应侧失灵联跳) GOOSE 接收软压板	待检母线保护上拔掉所有组网光纤 (TX)
	③		
定检	①	待检母线保护中退出母差保护功能软压板及 GOOSE 发送出口软压板及保护功能软压板	投待检母线保护检修硬压板
	②	接收待检母线保护开出量的线路 (主变) 保护中退出远跳 (主变对应侧失灵联跳) GOOSE 接收软压板	投待检母线保护检修硬压板
	③		

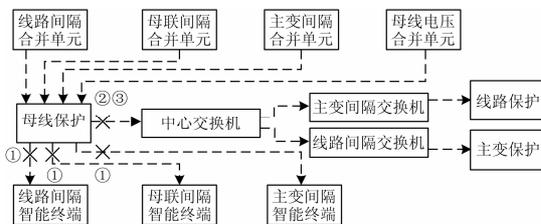


图 6 母线保护检修二次安措物理断开处示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the physic breaking point of the secondary safety measures for busbar protection maintenance

## 4 讨论与建议

定检二次安措建立在对数字断开方式的可靠性上，若在新建调试、初次验收中，加强对软压板功能、定义、名称以及检修硬压板、检修机制功能严格把关，可直接将首检二次安措转为定检模式。由于二次安措必经退软压板方式，为了避免误退运行间隔 SV 软压板造成差动保护动作，保护装置需统一增设间隔有流（大于零漂阈值）禁止退出对应的电流 SV 软压板或有流间隔电流采样不退出逻辑计算等相关防误功能。此外，仅有单间隔二次设备连接的间隔交换机上，才可采用拔级联光纤方式彻底隔断与运行间隔的过程层网络联系，建议将多间隔共用一台间隔交换机改造为单间隔独立配备间隔交换机，一来提高间隔网络可靠性，二来便于检修二次安措隔离。

## 5 结论

本文基于智能变电站二次系统结构特点及智能设备新功能特征，提出了 220 kV 智能站分间隔停电检修二次安措思路，并针对首检、定检两种不同情况，分别制定二次安措优化方案。利用打开连片、解芯线方式隔断场地二次电回路；利用先退软压板断开数字通道设置第一道防线；利用后拔光纤形成明显断点（或投检修压板启用智能站检修机制）设置首检（或定检）二次安措的第二道防线。该方案可有效解决单纯基于待检压板的安措安全性低、安措实施误闭锁保护、安措冗余操作繁琐、拔纤频繁光口损坏等问题。通过四川沙坝、扎窝两座 220 kV 智能变电站首检中证实，该方案简单、安全、可行，对日后智能站检修维护二次安措的实施具有一定参考价值。

## 参考文献

[1] 张文亮, 刘壮志, 王明俊, 等. 智能电网的研究进展及发展趋势[J]. 电网技术, 2009, 33(13): 1-11.  
ZHANG Wen-liang, LIU Zhuang-zhi, WANG Ming-jun, et al. Research status and development trend of smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(13): 1-11.

[2] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 1-7.  
CHEN Shu-yong, SONG Shu-fang, LI Lan-xin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7.

[3] 李孟超, 王允平, 李献伟, 等. 智能变电站及技术特点分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 38(18): 59-63.  
LI Meng-chao, WANG Yun-ping, LI Xian-wei, et al.

- Smart substation and technical characteristics analysis[J]. Power System Protection and Control, 2012, 38(18): 59-63.
- [4] 李秀丽, 李旭, 葛艳娜, 等. 智能变电站基于信息交互模式的全景检修的研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(15): 127-131.  
LI Xiu-li, LI Xu, GE Yan-na, et al. Research and application of panoramic maintenance scheme based on information interaction[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(15): 127-131.
- [5] 朱林, 段献忠, 苏盛, 等. 基于证据理论的数字化变电站继电保护容错方法[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 154-161.  
ZHU Lin, DUAN Xian-zhong, SU Sheng, et al. Evidence theory based fault-tolerant method for protective relays in digital substations[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 154-161.
- [6] 吴卫民. 110 kV 数字化变电站二次系统检验规范的研究[J]. 华东电力, 2009, 37(7): 1185-1188.  
WU Wei-min. Study of testing criteria for secondary systems of 110 kV digital substations[J]. East China Electric Power, 2009, 37(7): 1185-1188.
- [7] 金言, 段振坤, 范华. 智能变电站继电保护系统检修试验方法综述[J]. 华北电力技术, 2013(10): 68-70.  
JIN Yan, DUAN Zhen-kun, FAN Hua. Overhaul test method summary of smart substation relay protection system[J]. North China Electric Power, 2013(10): 68-70.
- [8] 王冬青, 李刚, 曹楠. 智能变电站保护功能自动校验研究[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 8-12.  
WANG Dong-qing, LI Gang, CAO Nan. Research on automatic checking of protection functions for smart substation[J]. Power System Technology, 2012, 36(1): 8-12.
- [9] 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 Hai-tao. Recommendations for the standardization of relay protection secondary safety measures of smart substation[J]. Smart Grid, 2014, 2(1): 62-66.
- [10] 李振华, 李红斌, 张秋雁, 等. 一种高压电子式电流互感器在线校验系统[J]. 电工技术学报, 2014, 29(7): 229-236.  
LI Zhen-hua, LI Hong-bin, ZHANG Qiu-yan, et al. An online calibration system for high voltage electronic current transformers[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(7): 229-236.
- [11] 肖智宏. 电力系统中光学互感器的研究与评述[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(12): 148-154.  
XIAO Zhi-hong. Study and comment of the optical transformers in power system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(12): 148-154.
- [12] 倪兆瑞, 王延安. 智能变电站合并单元延时特性现场测试仪的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(10): 119-124.  
NI Zhao-rui, WANG Yan-an. Design of field testing instrument for merging unit delay characteristics in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(10): 119-124.
- [13] 曹楠, 李刚, 王冬青. 智能变电站关键技术及其构建方式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 63-68.  
CAO Nan, LI Gang, WANG Dong-qing. Key technologies and construction methods of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 63-68.
- [14] 张敏, 刘湘琼, 范培培, 等. 一种智能变电站手合检同期的方法[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(17): 82-85.  
ZHANG Min, LIU Xiang-qiong, FAN Pei-pei, et al. A synchronization method of breaker manual closing for smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(17): 82-85.
- [15] 刘玮, 王海柱, 张延旭. 智能变电站过程层网络报文特性分析与通信配置研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(6): 110-115.  
LIU Wei, WANG Hai-zhu, ZHANG Yan-xu. Study on message characteristics and communication configuration of process layer network of intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(6): 110-115.

收稿日期: 2014-07-25; 修回日期: 2014-10-29

作者简介:

彭少博(1989-), 男, 助理工程师, 主要从事变电检修继保二次调试、智能变电站检修方案研究等工作; E-mail: peng\_zheng\_li@126.com

郑永康(1977-), 男, 高级工程师, 主要从事智能变电站二次技术研究工作;

周波(1979-), 男, 副高级工程师, 主要从事变电检修生产管理工作。