

# 基于云策略和 MMS 协议的智能变电站 继电保护设备自动测试系统

刘大伟<sup>1</sup>, 宋爽<sup>2</sup>, 马泉<sup>1</sup>

(1. 江苏省送变电有限公司, 江苏 南京 210028; 2. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

**摘要:** 针对部分继电保护装置检测过程存在需要大量人力、测试时间长、准确性差等问题, 研究了一套智能变电站继电保护设备自动测试系统。在测试系统中引入云存储和物联网标签技术, 智能获取待测保护装置的相关参数, 自动生成测试列表。同时将 MMS 协议集成在测试系统中, 可实现测试过程中的实时自动读写保护装置定值、设置测试参数、投退装置软压板来配合当前的测试项目, 并自动完成整个测试过程。该系统在整体提升二次系统安全性的同时, 可以避免人力、物力的浪费, 有效提升实验室检测效率以及现场调试效率, 减少基建、检修阶段的时间和开支, 对智能变电站的推广应用具有十分重要的意义。

**关键词:** 继电保护设备; 自动测试系统; 云存储; 物联网标签; MMS 协议

## Automatic test system of relay protection device for intelligent substation based on cloud strategy and MMS protocol

LIU Dawei<sup>1</sup>, SONG Shuang<sup>2</sup>, MA Quan<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Transmission and Transformation Co., Ltd., Nanjing 210028, China; 2. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China)

**Abstract:** The automatic test system of relay protection equipment of intelligent substation is studied in order to detect the existing relay protection devices. In the test system, cloud storage and isolable technology are introduced, and the intelligent acquisition of relevant parameters of the protection device is obtained, and the test list is automatically generated. At the same time, it integrates the MMS protocol in the test system, which can realize real-time automatic test in the process of reading and writing protection setting value, setting up the test parameters, casting back device soft plate to match the current test project, and automatically complete the whole test process. The system fully improves the safety of secondary system, avoids the waste of manpower and material resources, effectively improves laboratory testing efficiency and on-site debugging efficiency, and reduces the time and expenditure of infrastructure and maintenance. So it is very important for the promotion and application of smart substation.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. (No. J2017036).

**Key words:** relay protection equipment; automatic testing system; cloud storage; internet of things tags; MMS protocol

## 0 引言

智能变电站作为坚强智能电网的重要组成部分, 在国内得到了大力推广建设, 智能化的继电保护装置等智能二次设备也得到了愈发广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。与传统保护装置相比, 新的保护装置在结构、信息

共享标准、传输方式以及日常运行维护和检修等诸多方面均存在着较大差异, 同时也在实时性、可靠性、准确性等方面对继电保护测试技术提出了更高的要求。因此, 目前智能变电站采用 IEC61850 标准<sup>[4]</sup>, 对保护装置的功能、定值、接口等各方面都进行了严格的限定, 实现了设计的规范化、标准化和统一化, 同时在数据的交互共享方面也提供了便利。

但由于保护装置测试通常是针对单台设备开展, 虽然对装置的测试接口进行了规范, 但在检测

基金项目: 国网江苏省电力有限公司科技项目资助 (J2017036)  
“就地化继电保护装置流水线自动检测技术研究”

过程中仍需要反复进行通信配置以及测试项目和参数的修改,需要投入很大的人力、物力才能完成,无法实现自动化,也未能体现智能变电站高度信息化的优势。同时,由于人工操作速度和熟练程度的限制,保护装置的测试需要耗费大量的时间才能完成,也在客观上造成了测试周期普遍较长,测试的准确性下降等问题,无法适应智能变电站高效、可靠投运以及日常运维检修的要求。

针对上述问题,开发一套保护设备自动测试系统成为目前智能变电站推广应用的关键。

文献[5]基于继电保护装置的测试需求,提出了智能变电站继电保护装置一键式测试方法,分别从软、硬件两方面进行测试系统的集成,以降低测试过程中人力物力等资源浪费,但由于系统中缺乏通用的测试模板,预期效果并不明显。而文献[6]同样分别从软、硬件两方面集成测试系统,同时该系统中采用可扩展标记语言(XML)的通用测试接口创建测试模型库,从而实现不同保护装置的兼容,具有较好的测试效果。但由于在集成测试系统中仍需人为的操作来获取保护装置的相关信息,未实现智能化的需求。

因此,本文研究一套智能变电站继电保护设备自动测试系统,基于云存储和物联网标签技术,智能获取待测保护装置的相关参数,自动生成测试列表,减少人为的干预。并将所需 MMS 信息和服务集成到测试系统中,包括定值-参数映射关联信息、控制字信息、软压板信息和报告信息,用于在测试过程中自动更新测试参数、投退压板、修改控制字、获取动作报告,从而实现保护装置的自动测试。该系统的研发有助于解决目前智能变电站继电保护测试配置繁琐的问题,在整体提升二次系统安全性的同时,可以避免人力、物力的浪费,有效提升实验室检测效率以及现场调试效率,减少基建、检修阶段的时间和开支,对智能变电站的推广应用具有重要的意义。

### 1 保护自动测试系统构成

智能变电站继电保护自动测试系统主要包括变电站配置描述文件测试和保护装置功能测试。

#### 1.1 变电站配置描述文件测试

变电站配置描述文件(Substation Configuration Description, SCD)文件通过变电站配置描述语言 SCL(Substation Configuration description Language)描述了站内所有智能化电子设备 IED(Intelligent Electronic Device)通信参数、实例配置、各设备之间的通信配置及信号连线等相关信息<sup>[7]</sup>。因此通过

变电站配置文件可以获取待测试保护装置的功能参数、连接方式、面向通用对象的变电站事件(GOOSE)和采样值(SV)服务参数等。保证变电站配置描述文件与待测试保护装置信息的一致性进行保护装置功能测试的前提,因此在进行保护装置功能测试前应进行变电站描述(SCD)文件的测试。

变电站配置描述文件测试即对 SCD 文件进行校验,对 SCD 文件与待测试保护装置信息的一致性进行检测。本系统基于二维校验码<sup>[8]</sup>实现对 SCD 文件及一致性的校验检测。具体操作流程如图 1 所示。

- (1) 首先将 SCD 文件分解处理,主要包括 Header 部分、Communication 部分和 Inputs 部分。
- (2) 采用集合和映射概念,对 Header、Communication 和 Inputs 三部分的行  $m$ 、列  $n$  进行编码,对  $m$ 、 $n$  以及校验量  $Z_{mn}$  赋值。
- (3) 校验各部分的  $m$ 、 $n$ 、 $Z_{mn}$  值,获取各部分的校验结果,进而获得 SCD 文件的总体校验结果。
- (4) 若 SCD 文件正确,且与待测试保护装置信息一致,则通过测试,反之,则配置文件测试失败。

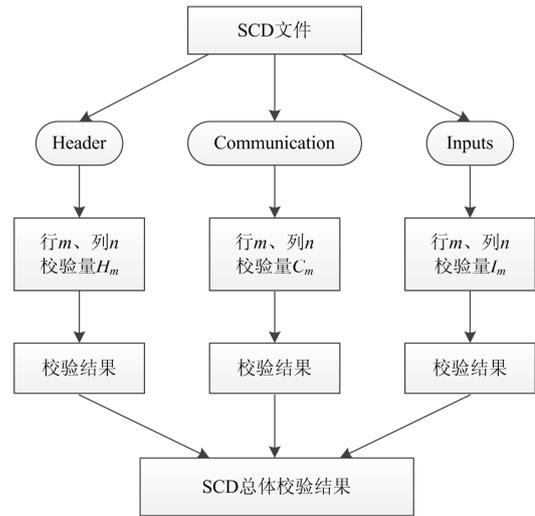


图 1 变电站配置描述文件测试流程  
Fig. 1 Test process of SCD

对装置的 SCD 文件正确性及一致性进行测试,是本文研究的重点。但在实际应用中,SCD 文件在装置投运后可能随着扩建、增容等进行修改,针对这一问题,将在后续的研究中进一步展开说明。

#### 1.2 保护装置功能测试

基于云策略和 MMS 协议的智能变电站保护装置的功能测试(如图 2 所示),可以自动完成整个测试过程,减少人工干预,有效地提高测试效率,缩短测试时间。

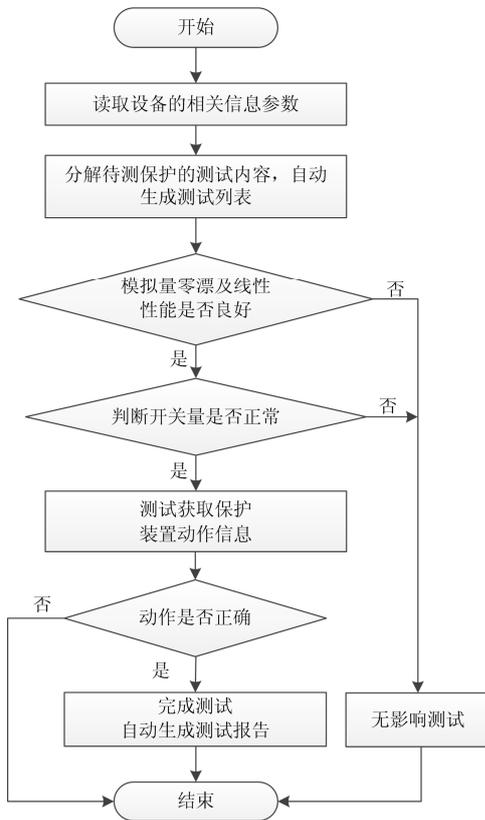


图 2 保护装置功能测试

Fig. 2 Function test of protection device

具体的测试操作步骤如下:

(1) 基于云存储和物联网标签技术, 读取设备的相关信息参数, 包括设备型号、保护定值等。对待测保护的测试需求进行分解, 将测试内容细分为一系列基本测试类型, 自动生成测试列表。

(2) 通过判断模拟量零漂及线性性能是否良好, 进而判断采样值正常与否。若采样值正常, 则进行下一步操作, 反之, 则继续进行后续的无影响测试。

(3) 判断开关量正常与否, 若开关量正常, 则进行下一步操作, 反之也应继续进行后续的无影响测试。

(4) 各个量检测正常后, 进行测试。发送 GOOSE 信号投入保护项目软压板, 通过 MMS 协议加载保护定值。设置故障电压值分别进行测试。获取保护装置动作信息, 若其正确动作, 则根据测试列表的内容, 进行下一项操作, 若动作错误, 则立即告警并记录, 再进行下一项操作。

(5) 完成测试列表中的全部测试项目后, 自动生成测试报告, 结束测试。

## 2 云存储和物联网标签技术的应用

在保护装置功能测试的第一步中引入云存储

和物联网标签技术<sup>[9-10]</sup>, 可快速读取设备的相关信息参数, 包括设备功能、型号、保护定值等。被测保护装置在出厂时, 装置上应贴有专用的二维码标签, 通过二维码链接可读取保护装置的基本信息(或直接读取装置本身读取的二维码), 并存于云端服务器。待测装置信息获取云策略的实现, 主要包括: 二维码扫描识别装置、云端服务器、PC。用二维码扫描装置扫描待测保护装置的二维码标签, 并将扫描结果输出至 PC, PC 显示识别被测装置的型号、额定参数、保护定值等相关信息, 通过 wifi 将数据上传至云端服务器, 与服务器中相关设备的信息进行匹配, 以保证信息的准确可靠性, 将未存储的信息进行备份。云端服务器根据待测装置的功能和性能, 提供需要测试的项目。云策略的硬件构架示意图如图 3 所示。

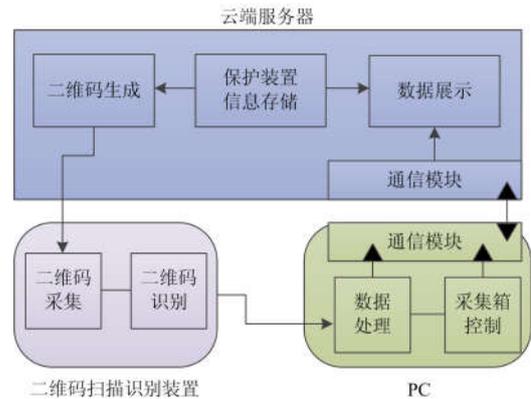


图 3 云策略的硬件构架示意图

Fig. 3 Schematic diagram of hardware architecture of cloud policy

基于云策略的被测保护装置信息的获取, 仅有扫描二维码的操作需要人为的参与, 大大减少了人力的需求, 同时保证了信息获取的准确性和可靠性, 排除了人为的失误, 为后续的保护装置测试奠定了基础。

## 3 基于 MMS 协议的自动测试系统

### 3.1 MMS 协议概述

MMS 是由 ISO TC184/SC5 开发维护的网络环境下计算机或智能电子设备之间交换实时数与监控信息的一套通信协议<sup>[11]</sup>。MMS 协议使各个智能电子设备的通信行为规范化, 解决不同厂家设备参数不同、兼容性、操作性差等难题, 进而实现智能变电站集成化的要求。MMS 的优势<sup>[12-14]</sup>如图 4 所示。

### 3.2 基于 MMS 协议的自动测试系统

在对被测设备测试前, 首先进行变电站配置描述文件测试, SCD 文件正确性和一致性满足要求后,



图 4 MMS的优势

Fig. 4 Advantages of MMS

通过扫二维码标签获取被测装置的相关参数信息，生成测试项目列表。被测装置基于 IEC 61850 标准通过 MMS 通信协议实现和自动测试系统之间的数据互通，以 MMS 协议<sup>[15]</sup>远程控制来代替人工操作，实现被测装置信息的智能读写、修改定值、投退压板、测试数据的汇总处理以及测试报告的生成和填写等一系列操作。

基于 MMS 协议的自动测试系统不仅能提高测试效率和测试准确度，还能优化测试流程，提供新型的非人力所及的测试方法，如批量长时间重复测试、快速状态转换连续测试等。

同时本系统对待测装置的测试需求进行分解，将测试内容细分为一系列基本测试类型，开发了相应的测试模板，在这些测试模板中采用 MMS 协议，在进行装置的测试过程中，实时自动读写装置定值、

设置测试参数、投退装置软压来配合当前的测试项目。因此，在实际的工程测试方案配置完成之后，可以自动完成整个测试过程，无需人工干预，有效地提高测试效率，缩短测试时间。

#### 4 自动测试系统的应用

以 PCS-943 高压线路保护装置为例，采用基于云策略和 MMS 协议的继电保护设备自动测试系统，可依次完成纵联差动保护、距离保护、零序过电流保护等所有相关测试。

首先基于二维校验码实现对 SCD 文件<sup>[16-21]</sup>及一致性的校验检测，校验结果显示 SCD 文件正确，进行保护装置测试；扫描待测保护装置的二维码标签，获取装置的功能、型号、保护定值等信息，生成测试项目列表；判断采样值良好、开关量正常后，根据第一项测试类型，发送 GOOSE 信号投入相应的软压板，同时通过 MMS 协议加载保护定值，可自动修改定值、获取测试参数。保护装置动作正确后可进行下一项测试，若动作错误，立即告警后进行下一项测试，最后自动生成测试报告。

首先对 PCS-943 保护装置进行纵联差动保护测试，投入“差动保护 I 段”，模拟对称或不对称故障，分别设定故障电流为 0.95 倍、1.05 倍和 1.2 倍的电流定值，依次检验对应电流值下保护是否能正确动作及动作的时间。该项测试结束后，存储测试结果，再发送 GOOSE 信号投入“差动保护 II 段”，通过 MMS 协议自动加载保护的定值，进行该项测试。顺次完成所有测试项目，测试报告如表 1 所示。

表 1 测试报告

Table 1 Test report

测试项目	预计结果	测试结果
差动保护 I 段	$m$ 为 0.95 时保护不动作可靠不动作	
故障电流为:	$m$ 为 1.05 时保护能动作	30.685 ms 动作
$I = m \times 0.5 \times I_{max1}$	$m$ 为 1.2 时动作时间校验	30.153 ms 动作
差动保护 II 段	$m$ 为 0.95 时保护不动作可靠不动作	
故障电流为:	$m$ 为 1.05 时保护能动作	80.965 ms 动作
$I = m \times 0.5 \times I_{max2}$	$m$ 为 1.2 时动作时间校验	80.235 ms 动作
距离保护 I 段	$m$ 为 1.05 时保护不动作可靠不动作	
故障电压为:	$m$ 为 0.95 时保护能动作	20.639 ms 动作
$U = m \times I \times Z_{D1}$	$m$ 为 0.8 时动作时间校验	20.118 ms 动作
...	...	...
零序电流保护 II 段	$m$ 为 0.95 时正向保护不动作可靠不动作	
故障电流为:	$m$ 为 1.05 时正向保护动作	280.705 ms 可靠动作
$I = m \times I_{0ZD2}$	$m$ 为 1.2 时反向保护不动作可靠不动作	

## 5 结论

针对现有的继电保护装置检测存在需要人力多、测试时间长、准确性差等问题, 本文研究了一套智能变电站继电保护设备自动测试系统, 分别从变电站配置描述文件测试和装置自动测试两方面进行, 保证 SCD 文件与装置信息一致的前提下进行保护装置的相关测试。在测试系统中引入云存储和物联网标签技术, 智能获取待测保护装置的相关参数, 自动生成测试列表; 同时将 MMS 协议集成在测试系统中, 实现了测试过程中的实时自动读写保护装置定值、设置测试参数、投退装置软压板, 并自动完成整个测试过程。通过对保护装置的检测验证了该系统的有效性。该系统在整体提升二次系统安全性的同时, 可以避免人力、物力的浪费, 有效提升实验室检测效率以及现场调试效率, 减少基建、检修阶段的时间和开支, 对智能变电站的推广应用具有十分重要的意义。

## 参考文献

- [1] 肖繁, 王紫薇, 张哲, 等. 基于状态监测的继电保护系统检修策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 74-83.  
XIAO Fan, WANG Ziwei, ZHANG Zhe, et al. Study on maintenance strategy of relay protection system based on state monitoring[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 74-83.
- [2] 李保恩. 智能变电站继电保护装置自动测试平台的研究和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(7): 131-135.  
LI Baoen. Research and application of automatic test platform for relay protection device of intelligent substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(7): 131-135.
- [3] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96.  
ZHANG Xuze, ZHENG Yongkang, KANG Xiaoning, et al. Several problems of intelligent substation relay protection system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 90-96.
- [4] Communication networks and system in substation: IEC 61850[S]. 2003.
- [5] 刘巍, 赵勇, 石光. 智能变电站继电保护装置一键式测试方法及系统[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(2): 152-155.  
LIU Wei, ZHAO Yong, SHI Guang. One-key test system for relay protection equipment of intelligent substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(2): 152-155.
- [6] 唐志军, 林国栋, 朱维钧, 等. 智能变电站二次设备集成测试系统[J]. 华东电力, 2014, 42(12): 2516-2521.  
TANG Zhijun, LIN Guodong, ZHU Weijun, et al. Integration test system of intelligent substation secondary device[J]. East China Electric Power, 2014, 42(12): 2516-2521.
- [7] 黄婷. 智能变电站 SCD 文件管理分析研究与应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.  
HUANG Ting. Research on the management analysis and application of SCD documents for an intelligent substation[D]. Nanchang: Nanchang University, 2016.
- [8] 伊洋, 胡苏凯, 周宇, 等. 智能变电站 SCD 文件二维校验码校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 113-118.  
YI Yang, HU Sukai, ZHOU Yu, et al. Research of smart substation SCD file check based on two-dimensional check code[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 113-118.
- [9] 龚钢军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 52-58.  
GONG Gangjun, SUN Yi, CAI Mingming, et al. Research of network architecture and implementing scheme for the internet of things towards the smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 52-58.
- [10] 谭霜, 贾焰, 韩伟红. 云存储中的数据完整性证明研究及进展[J]. 计算机学报, 2015, 38(1): 164-177.  
TAN Shuang, JIA Yan, HAN Weihong. Research and development of provable data integrity in cloud storage[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(1): 164-177.
- [11] Industrial automation systems manufacturing message specification: ISO 9506[S]. Geneva: ISO, 2002.
- [12] DAS S, ANANTHAN S N, SANTOSO S. Relay performance verification using fault event records[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 226-235. DOI: 10.1186/s41601-018-0094-0.
- [13] 董科, 关彬, 王巍. IEC61850与MMS的映射的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 92-95.  
DONG Ke, GUAN Bin, WANG Wei. Research on mapping between IEC61850 and MMS[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(10): 92-95.
- [14] 王德文. 基于 IEC 61850 和 MMS 的网络化电力远动通信的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2009.  
WANG Dewen. Research on networked telecontrol communication based on IEC61850 and MMS[D].

- Baoding: North China Electric Power University, 2009.
- [15] 钱浩, 邢海青, 韩永强, 等. 一种继电保护自动测试方案实现方法[J]. 自动化仪表, 2015, 36(5): 71-74, 79.  
QIAN Hao, XING Haiqing, HAN Yongqiang, et al. Implementing method of the automatic testing scheme for relay protection[J]. Automation Instrumentation, 2015, 36(5): 71-74, 79.
- [16] 苏辉, 邱夏青, 马文鹏, 等. 基于 Matlab 平台有限元方法的 GPU 加速[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2018, 31(4): 677-680.  
SU Hui, QIU Xiaqing, MA Wenpeng, et al. GPU acceleration of the finite element method based on Matlab platform[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2018, 31(4): 677-680.
- [17] SINGH M. Protection coordination in distribution systems with and without distributed energy resources-a review[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 294-310. DOI: 10.1186/s41601-017-0061-1.
- [18] 邓洁清, 车勇, 单强, 等. 基于标准中间过程文件的 SCD 版本比对的优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 95-99.  
DENG Jieqing, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Implementing method of the automatic testing scheme for relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 95-99.
- [19] 罗睿, 徐衍安, 王毅, 等. 电厂厂级监控信息系统移动端开发及应用[J]. 热力发电, 2018, 47(6): 137-142.  
LUO Rui, XU Yan'an, WANG Yi, et al. Development and application of mobile terminal in plant-level supervisory information system for power plant[J]. Thermal Power Generation, 2018, 47(6): 137-142.
- [20] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.  
YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Implementing method of the automatic testing scheme for relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [21] 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. Implementing method of the automatic testing scheme for relay protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 136-141.

收稿日期: 2018-07-20; 修回日期: 2018-09-28

作者简介:

刘大伟(1980—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为继电保护及电力系统自动化等;

宋爽(1989—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为智能变电站继电保护技术等; E-mail: sslouis@126.com

马泉(1981—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为继电保护及电力系统自动化等。

(编辑 张爱琴)