

DOI: 10.7667/PSPC171773

基于电力无线虚拟专网的继电保护智能移动 运维系统设计及实现

崔玉¹, 吴奕¹, 张志², 宋爽³, 杨毅³, 汤小兵⁴

(1. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024; 2. 国家电力调度控制中心, 北京 100031; 3. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 4. 南京国电南思科技发展股份有限公司, 江苏 南京 211153)

摘要: 继电保护设备及其二次回路的可靠运行是确保电网安全稳定的重要因素, 提升继电保护设备及其二次回路的运维效率具有重要意义。文章针对基于电力无线虚拟专网的继电保护智能移动运维管理系统进行设计, 详细阐述了系统的架构设计、通信网络环境部署方式, 并讨论了系统与继电保护统计分析及运行管理模块、状态检修辅助决策模块等系统模块数据的信息同步方法。系统通过智能化信息的采集、整理、交互和共享, 实现了设备信息的移动化、无纸化和标准化管控, 从而提升了现场运维工作的效率及便捷性, 提高了运维工作的管理水平, 对保障电网安全稳定运行具有重要意义。该系统目前已在变电站成果试点应用并取得良好效果。

关键词: 继电保护; 电力无线虚拟专网; 智能移动终端; 移动运维作业

Intelligent mobile operation and maintenance technology and its application of relay protection based on power wireless virtual private network

CUI Yu¹, WU Yi¹, ZHANG Zhi², SONG Shuang³, YANG Yi³, TANG Xiaobing⁴

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited, Nanjing 210024, China; 2. National Electric Power Dispatching and Control Centre, Beijing 100031, China; 3. State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited Research Institute, Nanjing 211103, China; 4. Nanjing SP-NICE Technology Development Co., Ltd, Nanjing 211153, China)

Abstract: The reliable operation of the relay protection equipment and its secondary circuit is an important factor to ensure the safety and stability of power grid. It is of great significance to improve the operation and maintenance efficiency of the relay protection equipment and its secondary circuit. In this paper, the design of relay protection intelligent mobile operation and maintenance management system based on power wireless virtual private network is elaborated, including the architecture of system and the deployment mode of communication network. In addition, information synchronization methods between the system and relay protection statistical analysis and operation management module, condition-based maintenance assistant decision-making module and some other system data modules are illustrated in detail. Through collection, collation, interaction and sharing of intelligent information in substation, the system realizes the purpose that equipment information are of mobile, paperless and standardized management and control, which can improve the convenience and efficiency of on-site operation and maintenance work and its management level, and as a result is quite significant to ensure the safety and stable operation of power grid. The system has been successfully applied in substation and achieved good results.

This work is supported by Youth Fund of National Natural Science Foundation of China (No. 61602251) and Science and Technology Project of State Grid Corporation of China "Key Technology Research of Relay Protection Data Acquisition and Operation Analysis".

Key words: relay protection; power wireless virtual private network; intelligent mobile terminal; mobile operation and maintenance

0 引言

当前二次检修人员通常采用纸质文档来记录现

场继电保护设备及二次回路的巡视及定校结果, 工作完结后, 再通过班组内网电脑将现场记录的各类数据录入到相关运维管理系统中。这种运维模式导致继电保护现场数据采集、设备台账录入等工作繁琐易错, 同时不利于同一设备不同时期运维数据的校核比对等同质化问题统计分析。此外, 数据平台之间无法实现互通、运维信息难以实现共享、数据

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目资助(61602251); 国家电网公司总部科技项目资助“继电保护数据采集和运行分析关键技术研究”

挖掘能力较弱等问题也造成现场运维效率低下，一方面不利于二次回路的可靠运行，另一方面也不便于继电保护装置的全寿命周期管理^[1]。

随着物联网、移动互联技术的发展，用于电网移动运维业务的电力无线虚拟专网技术日趋成熟。建设电力无线虚拟专网可以有效解决使用运营商公共网络模式下的无线网络覆盖率低、通信传输带宽不足、设备传输速率过低、故障处理不及时、网络信息安全性差等问题，为继电保护设备及二次回路的智能移动运维管理提供了安全可靠的通信网络^[2-4]。

本文介绍了基于电力无线虚拟专网的继电保护智能移动运维管理系统的架构设计和通信网络环境部署方式，并阐述了系统与继电保护统计分析 & 运行管理模块、状态检修辅助决策模块进行数据信息同步带来的智能运维优势。系统目前已在变电站现场试点应用，实现了设备基础台账信息的实时校核及设备运维数据的流程化控制、集中化管理、综合性分析，在降低运维成本的同时，有效提升了继电保护设备及二次回路现场运行、检修的作业水平和管理水平。

1 系统建设的必要性

1.1 电力无线虚拟专网建设必要性

电力载波通信、租用运营商专用网络接入是解决变电站现场网络覆盖问题的早期方式。该种方式主要存在以下问题：(1) 无线网络连接不稳定，对于位置较为偏僻的厂站，运营商的无线网络无法实现全面有效的覆盖；(2) 通信传输带宽不足，难以支撑作业现场对运维业务实时通信的要求；(3) 故障处理不及时，对运营商的依赖导致网络故障处理的时效性存在众多不可控因素；(4) 网络信息不安全，将电力系统运维数据与公众信息数据置身于同一公共网络中传输，存在较大的信息安全隐患^[5-6]。

电力无线虚拟专网的建设，可以充分满足电力通信网络在传输速率、带宽、稳定性以及信息安全性等方面的要求，进而在此基础上开展继电保护设备及二次回路的智能移动运维业务。

1.2 继电保护智能移动运维系统建设必要性

继电保护设备以及二次回路的可靠运维是保障电网安全运行的基础。目前，现场继电保护设备运维管理主要存在以下几方面问题：(1) 采用纸质记录、人工管理的方式，存在工作量大、易出错的问题；(2) 基础数据收集汇总、填报等工作工作量大、难以核对，出现数据问题查找困难；(3) 设备管理工作作业指导书缺少标准化、电子化、全局共用的统

一平台，各基层单位工作缺少参照比对。

通过建立继电保护智能移动运维系统，采用“集中管理、分布式运维”模式，实现智能移动终端与管理系统通过电力无线虚拟专网进行数据信息实时交互，可以有效加强运维业务工作质量过程管理，规范作业行为，提高继电保护专业人员运维工作管理水平^[7-9]。

2 总体架构

继电保护智能移动运维系统基于国网 SG-UAP 平台 cim3.0 公共数据模型开发，采用 B/S 结构设计。管理系统主要由主站端系统、智能移动终端、电力无线虚拟专网三部分组成。主站端系统采用 Web 访问模式进行业务数据的访问；前端采用智能移动终端设备进行业务数据的采集；业务数据的传输通道采用电力无线虚拟专网，系统总体架构如图 1 所示。

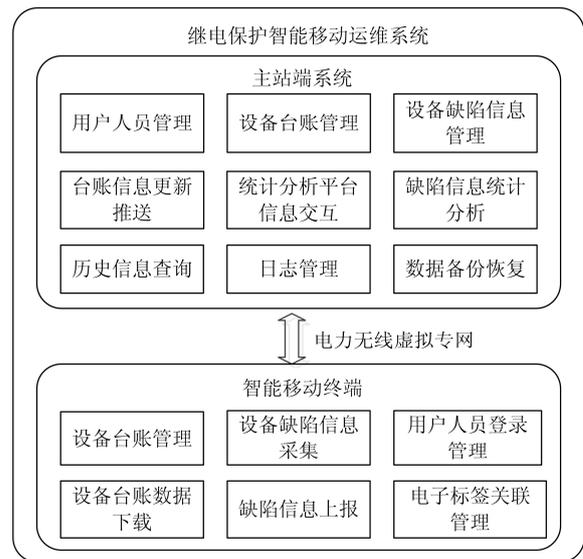


图 1 系统总体架构图

Fig. 1 Overall architecture diagram of the system

1) 主站端系统

主站端系统基于国网 SG-UAP 平台开发，采用 B/S 结构设计，主要实现设备台账管理、设备缺陷信息的收集，并与调度端的继电保护统计分析 & 运行管理模块进行数据交互，完善继电保护统计分析 & 运行管理模块的业务数据管理并提供数据资料存储、缺陷信息的统计分析、历史信息查询等功能。通过智能移动终端在变电站的应用，能够实时有效地对现场设备信息进行监督与管理，确保现场设备安全稳定运行。

2) 智能移动终端

智能移动终端作为继电保护智能移动运维系统

的前端设备, 主要实现变电站继电保护设备台账信息的校核、缺陷信息的采集、各类运维数据记录的查询等功能。智能移动终端上部署智能运检 App, 软件界面风格考虑人性化设计, 力求达到简明易用的效果。软件包含设备台账管理模块、设备缺陷管理模块及信息交互模块三部分。设备台账管理模块实现了统计分析及运行管理模块中的设备台账前端管理, 利用智能移动终端可以在变电站直接面对设备进行设备台账信息的校核, 并实时与统计分析及运行管理模块的台账信息进行变更比对。设备缺陷管理模块实现了变电站继电保护设备缺陷信息的采集, 通过将采集信息实时传输至主站端系统, 并以 e 文件的方式推送至统计分析及运行管理模块进行数据共享, 解决了运维业务数据“单端维护、多端使用”的问题。

3) 电力无线虚拟专网

电力无线虚拟专网为业务数据提供实时传输通道, 便于二次检修和运行人员及时维护设备台账信息和开展缺陷信息的数据采集和校对, 有效提升运维业务水平。

2.1 物理部署

以某具有电力无线虚拟专网的 220 kV 智能变电站为例, 继电保护智能运维系统建设中主要涉及电力无线虚拟专网和安全接入平台部分, 具体建设部署结构如图 2 所示。其具体实现方式为在对变电站已有设备及统计分析和运行管理模块的基础上加以改造, 实现部署系统与统计分析及运行管理模块的信息交互, 从而达到继电保护智能移动运维系统建设的目的。

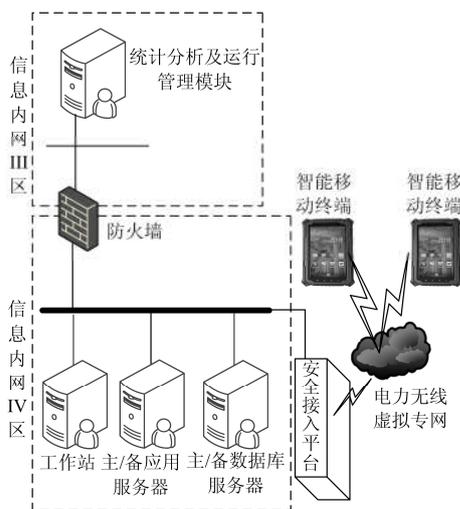


图 2 系统物理部署方案

Fig. 2 Physical deployment plan of the system

2.2 技术架构

2.2.1 主站端系统

继电保护智能移动运维系统主站端系统技术架构如图 3 所示, 主要分为数据层、服务层、逻辑层和展示层四个层次, 其中:

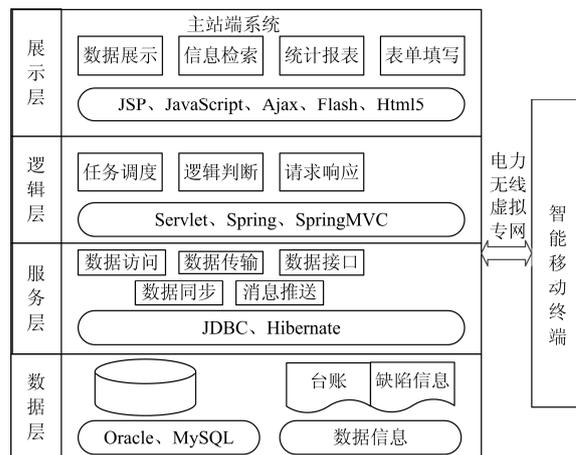


图 3 主站端系统技术架构示意图

Fig. 3 Technology architecture diagram of master station system

1) 数据层使用关系型数据库来存放设备台账、缺陷业务数据等内容, 文件数据库主要存放图片、报告等文件信息, 主要技术包括数据库管理工具 (Oracle or MySQL) 和文件管理系统。

2) 服务层提供系统内部之间数据交互的数据访问服务及与外部系统之间的数据接口服务以及地理信息服务。主要技术包括 ApacheCamel、ActiveMQ、JDBC、Ibatis、GIS 等。

3) 逻辑层为展示层提供各种展示所需的数据资源。主要技术包括 Servlet、Struts、Spring 等。

4) 展示层使用较为成熟的页面、图表展示技术, 为用户提供友好的系统交互界面, 主要技术包括 JSP、JavaScript、Ajax、Flash、Html5、SVG、DWZ、Fusionchart 等。

2.2.2 智能移动终端

继电保护智能移动运维系统的智能移动终端技术架构如图 4 所示。

智能移动终端基于广泛应用的 Android 平台, 充分整合了电力无线虚拟专网、存储、相机、蓝牙等硬件资源, 同时能够通过电力无线虚拟专网与主站端系统进行数据交互, 具有较强的实时性, 满足移动终端在业务、技术等方面的要求。

2.2.3 信息交互

智能移动终端 APP 与主站端系统的服务端数据的信息交互主要通过以下两种方式:

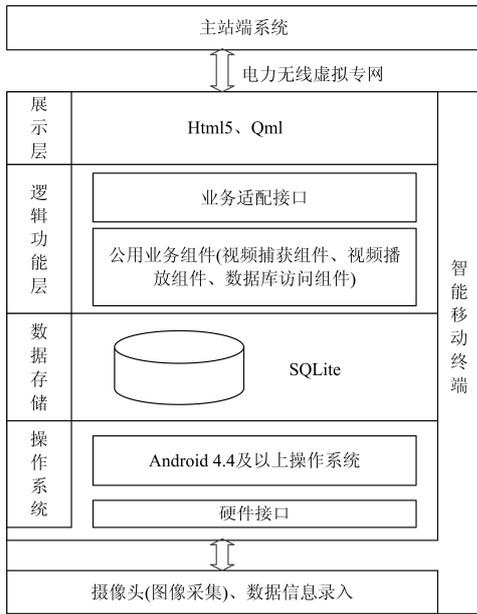


图 4 智能移动终端技术架构示意图

Fig. 4 Technology architecture diagram of intelligent mobile terminal

1) 不建立长连接，APP 通过发送 HTTP 请求信息与 Server 实现通信，这种方式用于 APP 从 Server 获取信息的场景，如用户登录，台账查询等。采用不建立长连接方式通信，实现继电保护运维业务数据的传输。

2) 建立长连接，APP 通过 WebSocket 与 Server 通信。这种方式用于 Server 主动推送信息至 APP 的场景，如新任务信息等。采用 WebSocket 长连接的方式实现信息推送，避免了 HTTP 轮询方式的弊端，能够同时减轻服务端和客户端的压力。

2.3 软件功能架构

继电保护智能移动运维系统的软件架构如图 5 所示。

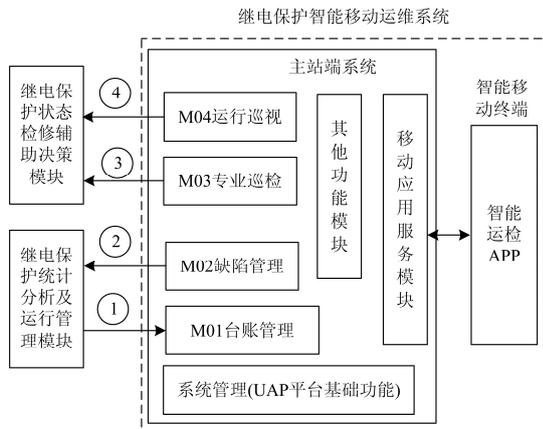


图 5 软件功能架构示意图

Fig. 5 Software function architecture diagram

主站端系统具体实现功能如下：

1) 台账管理模块。台账信息是其他业务开展的基础，台账管理模块主要实现从统计分析模块同步台账基础信息，如图 5①所示。

2) 缺陷管理模块。缺陷管理模块实现缺陷信息录入、消缺过程管理等功能，缺陷处理完成后，可根据需要(手工同步或设定同步条件)将缺陷记录同步至统计分析及运行管理模块，如图 5②所示。

3) 专业巡检模块。专业巡检管理模块提供巡检作业指导书模板编制、巡检任务管理、巡检任务查询统计等功能，巡检结束后将专业巡检记录同步至状态检修辅助决策模块，同步接口如图 5③所示。

4) 运行巡视模块。运行巡视管理模块提供运行巡视作业指导书模板编制、巡视任务管理、巡视任务查询统计等功能，巡视结束后将运行巡视记录同步到状态检修辅助决策模块，同步接口如图 5④所示。

5) 移动应用服务模块。主站端系统移动应用服务模块采用 RESTful 架构设计，主要为智能移动终端提供各类业务功能接口，可快捷地在移动终端实现各类业务功能。

6) 其他功能模块。主要负责根据业务需求实现新业务模块的功能扩展。

智能移动终端安装核心业务智能运检 APP，主要用于继电保护及二次回路的运维工作的执行、记录、查阅等，具体可实现功能包括：

- (1) 工作任务单及相关数据下载功能；
- (2) 依据作业指导书流程进行工作过程管控；
- (3) 运维业务数据采集记录功能；
- (4) 台账、历史数据等查阅功能；
- (5) 设备图档资料与设备的关联功能；
- (6) 与主站端系统进行自动数据同步功能。

3 基于电力无线虚拟专网的移动运维作业

3.1 与统计分析及运行管理模块进行信息交互

继电保护统计分析及运行管理模块覆盖继电保护设备台账、检验管理、验收管理、缺陷管理等运维核心业务功能模块。该系统是二次检修人员的主要工作平台，与继电保护智能运维系统对接后，可实现核心业务作业的移动化、图档资料的共享。

目前，继电保护设备台账管理采用后端维护的方式，这也导致系统台账数据与现场不一致的情况难以避免。继电保护智能移动运维系统与统计分析及运行管理模块互联互通后，可以将后者的台账数据同步至运维系统，再通过运维系统的智能移动终端在现场面对设备进行台账信息的校核及反馈，从

而实现统计分析及运行管理模块的台账数据前端校核工作模式,提升继电保护设备台账数据维护的准确性和便捷性。

继电保护检验管理的工作模式是在统计分析及运行管理模块上建立检验管理任务,生成检验作业指导书和安全措施票,之后,二次检修人员携带纸质的检验作业指导书和安全措施票赴变电站现场开展定校等检验工作。这种工作模式需要二次检修人员在完成工作后进行工作报告的整理和录入,同时整个工作过程也无法实现在线管控。通过继电保护智能移动运维系统与统计分析及运行管理模块信息的即时交互,可以便捷接收统计分析及运行管理模块的检验任务并实时监控现场检验工作状态,实现电子化、在线化的业务操作、数据录入、智能整理、报告自动生成,进而减轻了二次检修人员的工作量,提高工作效率^[10-15]。

3.2 与状态检修辅助决策模块数据进行实时同步

继电保护状态检修辅助决策模块承载着运行巡视和专业巡检两个核心业务功能模块。继电保护智能移动运维系统与该模块互联互通后,可以协助二次检修和运行人员解决繁琐的记录整理、系统数据录入和巡检报告生成等问题,并保证业务数据的真实性。在巡视、巡检过程中,运维人员在工作现场就能将运行巡视或专业巡检作业结果数据信息及实时回传至状态检修辅助决策模块,同时生成报告,保证了任务数据的实时性,减轻了工作负担,规范了运维人员的工作流程,提高了工作效率^[16-20]。

4 继电保护智能移动运维系统实现及应用

1) 继电保护智能移动运维系统的应用

系统与其他业务系统进行信息业务数据交互,实现了运维业务数据的共享;并对智能移动终端的业务数据进行收集、存储、分析。系统包括了任务管理、设备管理、专业巡检、检验管理、验收管理、缺陷管理等模块。系统主界面如图6所示。

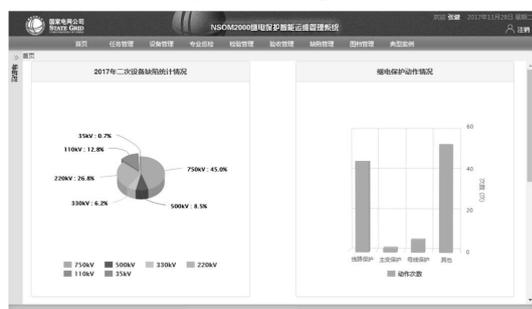


图6 继电保护智能移动运维系统主界面

Fig. 6 Main interface of relay protection intelligent mobile operation and maintenance system

2) 运维业务工作的应用

继电保护设备运维业务工作包括了设备台账校核、设备检验、设备验收等工作。利用智能移动终端进行运维业务工作,实现运维核心业务过程管控标准化和流程化,实现了运维工作的规范化、智能化^[5]。主要应用业务模块如图7所示。



图7 运维业务应用

Fig. 7 Application of operation and maintenance business

3) 状态检修作业的应用

继电保护设备状态检修作业工作包括了运行巡视和专业巡检等工作。利用智能移动终端进行状态检修作业工作,简化工作人员的数据采集整理录入工作,体现了运维工作的便捷性。软件应用界面如图8所示。



图8 状态检修作业应用

Fig. 8 Application of status maintenance business

4) 故障远程诊断的应用

运维人员利用智能移动终端实现了继电保护及二次回路故障远程诊断,及时指导故障处理,如图9所示。



图9 智能移动终端波形分析

Fig. 9 Waveform analysis in intelligent mobile terminal

5 结语

本文提出了一种基于电力无线虚拟专网的继电保护智能移动运维系统的设计架构, 构建了包含主站端、电力无线虚拟专网、移动终端的一体化智能移动运维系统, 并通过实际变电站试点应用验证。该系统的试点应用满足国网公司对完成智能移动终端在一座试点变电站应用要求, 符合国网公司推进继电保护运维智能移动终端应用部署的精神。该系统通过对变电站继电保护信息的智能化采集、整理、交互和共享, 最终实现现场设备信息的移动化、无纸化和标准化管控, 提升了现场运维工作的便捷性、高效性和可靠性, 保障了电网安全稳定运行。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 马仲能, 钟立华, 卢锴, 等. 基于电力设备全寿命周期成本最优的检修策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 34-39.
MA Zhongneng, ZHONG Lihua, LU Kai, et al. Study on the maintenance strategy of power equipment based on the optimal life cycle cost[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(16): 34-39.
- [3] 李鹏, 卫星, 郭利军, 等. 智能变电站继电保护运维防误技术研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(19): 123-129.
LI Peng, WEI Xing, GUO Lijun, et al. Study and application of relay protection maintenance anti-misoperation technology in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(19): 123-129.
- [4] 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.
- [5] 李勋, 龚庆武, 乔卉. 物联网在电力系统的应用展望[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(22): 232-236.
LI Xun, GONG Qingwu, QIAO Hui. The application of IOT in power systems[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(22): 232-236.
- [6] 周雅. 智能化电力调度数据专网建设方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 133-137.
ZHOU Ya. Analysis on intelligent construction scheme for power dispatching data network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 133-137.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 赵凤贤, 孟祥博, 周雷, 等. 基于变电站 SCD 文件的智能作业系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(15): 92-96.
ZHAO Fengxian, MENG Xiangbo, ZHOU Lei, et al. Research of intelligent test system based on SCD file for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(15): 92-96.
- [10] 笃俊, 叶翔, 葛立清, 等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(7): 163-168.
DU Jun, YE Xiang, GE Liqing, et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 163-168.
- [11] 赵雨田, 都晨, 程青青, 等. 基于 SCD 文件的智能变电站二次系统 C#模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(11): 126-132.

- ZHAO Yutian, DU Chen, CHENG Qingqing, et al. Research on C# model for smart substation secondary system based on SCD file[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(11): 126-132.
- [12] 胡道徐, 沃建栋. 基于 IEC 61850 的智能变电站虚回路体系[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(17): 78-82.
- HU Daoxu, WO Jiandong. Virtual circuit system of smart substations based on IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(17): 78-82.
- [13] 杨晓辉, 尹玉君, 寇晓适, 等. 基于风险评估的特高压受端电网输电设备检修策略研究[J]. 电力工程技术, 2017, 36(2): 1-5.
- YANG Xiaohui, YIN Yujun, KOU Xiaoshi, et al. Research on the maintenance strategy of UHV receiving power grid transmission equipment based on risk assessment[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(2): 1-5.
- [14] 王冬青, 李刚, 曹楠, 等. 智能变电站保护功能自动校验研究[J]. 电网技术, 2012, 36(1): 7-11.
- WANG Dongqing, LI Gang, CAO Nan, et al. Research on automatic checking of protection functions for smart substation[J]. Power System Technology, 2012, 36(1): 7-11.
- [15] 熊小伏, 陈星田, 郑昌圣, 等. 继电保护系统状态评价研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 51-58.
- XIONG Xiaofu, CHEN Xingtian, ZHENG Changsheng, et al. Overview of research on state evaluation of relaying protection system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 51-58.
- [16] 徐敏, 刘井萍, 左重华, 等. 变电设备状态检修中试验数据的处理方法探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(22): 91-93, 98.
- XU Min, LIU Jingping, ZUO Zhonghua, et al. Researches on test data processing method in electric equipments maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(22): 91-93, 98.
- [17] 叶远波, 陈晓东, 项忠华, 等. 继电保护在线状态检修的应用和探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(22): 132-138.
- YE Yuanbo, CHEN Xiaodong, XIANG Zhonghua, et al. Application and discussion on online condition-based maintenance of relay protection devices[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(22): 132-138.
- [18] 祁忠, 华煌圣, 董传燕, 等. 基于通用保护模型的保护操作校核系统的研究[J]. 电力工程技术, 2017, 36(3): 71-75.
- QI Zhong, HUA Huangsheng, DONG Chuanyan, et al. Research of relay operation verification based on general protection model[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(3): 71-75.
- [19] 戴志辉, 张天宇, 刘 譞, 等. 面向状态检修的智能变电站保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 14-21.
- DAI Zhihui, ZHANG Tianyu, LIU Xuan, et al. Research on smart substation protection system reliability for condition-based maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 14-21.
- [20] 李明, 韩学山, 王勇, 等. 变电站状态检修决策模型与求解[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25): 196-202.
- LI Ming, HAN Xueshan, WANG Yong, et al. Decision-making model and solution of condition-based maintenance for substation[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25): 196-202.

收稿日期: 2017-12-06; 修回日期: 2018-03-01

作者简介:

崔玉(1978—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护及调度控制技术研究; E-mail: cuiy@js.sgcc.com.cn

吴奕(1968—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护及调度控制技术研究; E-mail: wu_yi@js.sgcc.com.cn

张志(1980—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为智能变电站及就地化保护技术研究。E-mail: zhangz@sgcc.com.cn

(编辑 葛艳娜)