

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.181139

# 基于移动互联网技术的继电保护设备智能运维 管理模式探讨

曾治安<sup>1</sup>, 姚树友<sup>1</sup>, 郑晓玲<sup>2</sup>, 黄敏<sup>3</sup>

(1. 国网重庆市电力公司, 重庆 400010; 2. 国网重庆市电力公司江北分公司, 重庆 400123;  
3. 国网重庆市电力公司检修分公司, 重庆 400039)

**摘要:** 随着智能变电站建设的高速发展, 对继电保护设备的运维要求越来越高。从继电保护运维面临的问题和业务需求出发, 提出基于移动互联网技术的继电保护设备智能运维管理模式。以智能运维管理平台为核心, 以移动终端为载体, 智能分析继电保护实时监测数据和全过程业务数据, 实现继电保护设备的实时、在线监测和缺陷故障告警、核心运维业务的全过程管控。以移动化、可视化、互动化、智能化的工作模式替代传统的人工运维模式, 提出了移动智能运维系统的功能架构和标准化工作流程, 对关键技术进行了探讨。示范应用成果表明, 移动智能运维模式显著提升了二次运维水平。

**关键词:** 智能变电站; 继电保护; 移动互联网; 智能运维

## Discussion on intelligent operation and maintenance management mode of relay protection equipment based on mobile internet technology

ZENG Zhi'an<sup>1</sup>, YAO Shuyou<sup>1</sup>, ZHENG Xiaoling<sup>2</sup>, HUANG Min<sup>3</sup>

(1. State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 400010, China; 2. Jiangbei Branch of State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 400123, China; 3. Maintenance Branch of State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** With the rapid development of intelligent substation construction, the requirement for the operation and maintenances of relay protection equipment is getting higher and higher. Starting from the problems and business requirements of relay protection operation and maintenance, this paper proposes an intelligent operation and maintenance management mode for relay protection equipment based on mobile internet technology. With the intelligent operation and maintenance management platform as the core and the mobile terminal as the carrier, the real-time monitoring data and the whole process business data of relay protection are analyzed intelligently. As a result, real-time and on-line monitoring, fault diagnosis and alarm, whole process management and control of core operation and maintenance business are realized in this system. So the traditional manual operation and maintenance mode are replaced by the mobile, visual, interactive and intelligent working mode. This paper puts forward the functional framework and standardized workflow of mobile intelligent operation and maintenance, and discusses some key issues. The demonstration application results show that the mobile intelligent operation and maintenance mode is able to improve the operation and maintenance level of relay protection significantly.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51607019).

**Key words:** smart substation; relay protection; mobile internet; intelligent operation and maintenance

## 0 引言

变电站继电保护设备对保障电力系统的安全可

靠运行起着决定性作用。随着我国变电站特别是智能变电站建设的高速发展, 新能源大量接入, 智能电力电子器件的不断增多, 变电站保护的整定配合越来越复杂。智能站的二次网络结构与传统变电站完全不同, 智能站按照 IEC61850 标准建模, 采用

光纤组网, 传统站二次设备间直观的电缆硬连接被抽象不可见的光纤传输取代, 运维难度大幅增加; 随着坚强智能电网建设的推进, 以信息化、数字化、自动化、互动化为特征的智能模式在数据源端和调控主站产生了海量运行数据, 传统的人工管理模式面对庞大的设备信息、运行信息和业务信息几乎无能为力<sup>[1-5]</sup>。

目前变电站继电保护运行维护和管理存在以下问题: 1) 对于继电保护的设备信息管理, 采取的都是人工管理的方式, 工作量大, 易出现账实不符的问题; 2) 现场运维操作缺乏有效的跟踪手段, 存在不符合实际操作或误操作的可能; 3) 运维核心业务缺乏自动化支撑载体, 需要依赖于个人经验或大量纸质化的资料协助, 效率低下; 4) 运维的智能化程度不够, 大量的二次监测数据和历史运维数据未进行有效挖掘, 二次缺陷和故障处置效率低下。

近年来快速发展的移动互联技术、物联网技术和移动终端等技术, 为继电保护运维的智能化发展提供了重要方向<sup>[6-10]</sup>。本文提出的基于移动互联网技术的继电保护设备智能运维管理模式, 以移动终端为载体, 以信息内外网互联为特征, 以智能管控系统为核心, 通过收集人工导入、移动终端采集和站端/主站系统数据, 采用大数据分析的方法, 关联整合业务数据、评估分析运行状态, 并将分析结果实时反馈至移动终端, 支撑变电站现场核心运维业务。

## 1 移动智能运维系统的功能架构

移动智能运维系统的功能架构如图 1 所示, 包括数据源、数据存储与分析、应用层三个层面。移动智能运维系统的数据来源包括三个方面, 人工导入、移动终端采集和站端/主站系统数据。人工导入主要是针对传统站的模型、拓扑结构, 业务资料和设备资料等; 移动终端采集的数据包括运维业务数据、缺陷录入数据等; 站端/主站系统数据包括全过程状态监测数据, 装置告警、保护动作和保护状态信息, 设备状态、二次回路状态以及压板状态的监测信息。移动终端采集的数据需经过内外网安全隔离平台进入内网, 站端/主站系统数据通过 IEC104 规约或 FTP 传输协议进入智能运维系统。数据库包括结构化数据库和非结构化数据库, 结构化数据易于分析, 因此通过约定移动终端数据采集的内容和格式, 应尽可能提高移动端采集数据的结构化程度。数据服务包括数据预处理、数据过滤筛选、数据分类、关联分析和数据存储等。应用层定义了智能运维系统的主要功能, 状态监测模块主要通过接入分析变电站继电保护状态监测信息, 实现对设备、二

次回路、压板、保护状态、保护动作行为的监测和告警, 并将实时信息推送至移动终端, 是智能运维系统的核心模块。运维业务模块, 包括设备台账管理、巡检管理、检验管理、验收管理、设备缺陷管理、电网事件管理、图档资料管理等业务项目, 通过移动终端和运维系统的双向互动, 即系统向终端下达工作任务, 终端向系统反馈工作结果, 并通过系统资料共享和移动视频会商, 实现运维指挥中心与生产现场的实时互动, 本质提升变电站现场二次运维水平。



图 1 移动智能运维系统功能架构图

Fig. 1 Functional architecture diagram of mobile intelligent operation and maintenance system

移动智能运维系统, 移动终端承担基础数据收集和智能运维执行, 移动终端与运维系统间的通信效率对系统整体性能具有决定性影响。移动终端通信采用运营商网络, 简称外网, 移动智能运维系统部署于电力系统信息内网, 外网数据接入内网有三种途经。1) 变电站 WIFI, 其本质为内网 WIFI, 可在变电站 WIFI 范围内实现终端与内网的信息交互, 但使用范围局限于变电站内, 不符合移动智能运维模式的需要; 2) 强隔离装置, 通过强隔离装置对内外网数据交互进行隔离、检查, 用以保证内网数据安全, 但其“卡脖子”效应使得数据交换效率低下, 只能用于文本类数据的流畅接入; 3) 安全接入平台, 安全接入平台通过对接入内网的数据进行安全验证以保证内网安全, 数据交互效率高, 可满足大容量数据的快速接入要求。移动终端可采用普通手机加安全 TF 卡, 以运营商提供的 APN 专网通信, 外网数据经过安全接入平台验证后进入内网移动应用服务器, 移动应用服务器通过与统一权限平台 ISC 沟通, 完成用户的登录认证。进一步, 内网移动应用服务器与移动智能运维系统沟通, 完成智能终端采集数据向系统的推送, 同时接收系统的相关

服务、数据以及即时消息。移动运维平台的总体技术构架如图 2 所示。

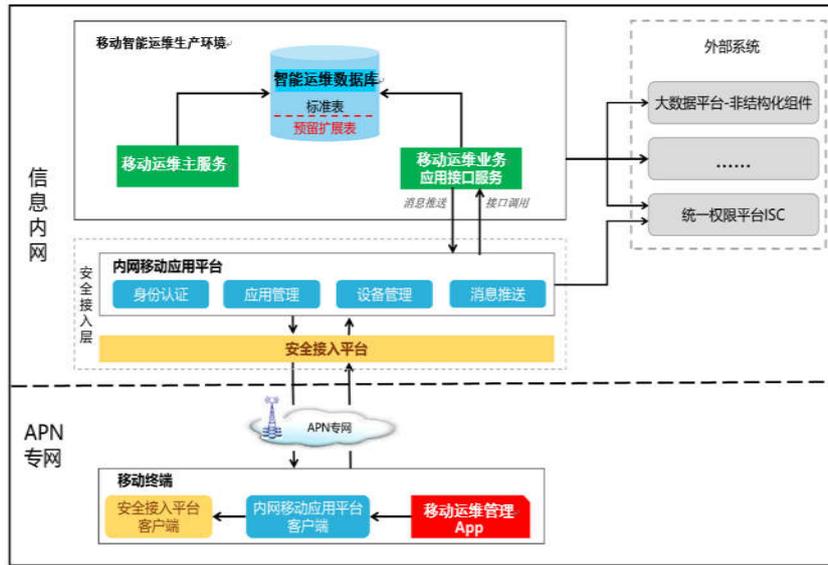


图 2 移动运维平台技术构架

Fig. 2 Technical framework of mobile operation and maintenance platform

## 2 标准化工程流程

标准化作业采用简约、规范、统一的工作流程，既可以有效减少人为误操作，提高作业效率，同时也有利于对工作的管理和评价。标准化流程的关键过程包括：梳理业务需求，划分 workflow 集合；明确每个 workflow 实施过程及需要记录的过程信息；确定 workflow 之间的交叉点，形成流程配置图；根据流程配置图，设计数据逻辑存储结构，实现标准化流程的自动运转体现。

基于本文提出的移动智能运维系统，实现继电

保护设备运行状态的在线监测，以在线运维替代人工驻站监测；以大数据、云计算为支撑，实现海量实时数据的智能分析，对继电保护设备的异常和故障状态进行实时告警，并支撑运维管理人员作出在线或现场运维决策；以移动终端为载体，接收来自系统的实时监测信息、异常故障告警以及运维管理人员下达的现场运维任务，通过建立和识别设备的唯一标识码，开展现场运维工作，并将现场工作采集的信息自动反馈给系统，实现数据流的闭环。标准化工程流程及工作数据流如图 3 所示。

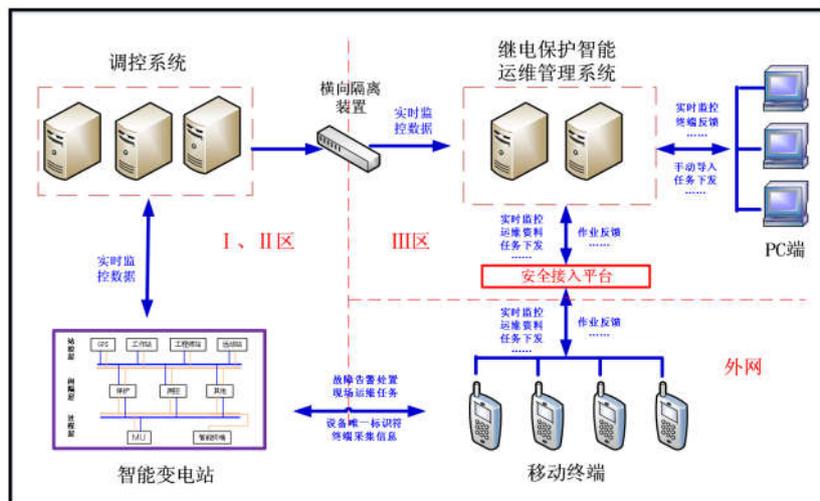


图 3 基于移动智能运维平台的工作数据流图

Fig. 3 Data flow of work based on mobile intelligent operation and maintenance system

以一个简单的二次回路故障为例, 说明系统的标准化工程流程。根据 IEC 61850 的建模规范, 在智能运维管理系统中建立保护装置 PL101、测控装置 CL101、交换机和智能终端 IL101 的 GOOSE 通信模型, 各端口及端口间的拓扑关系如图 4 所示。

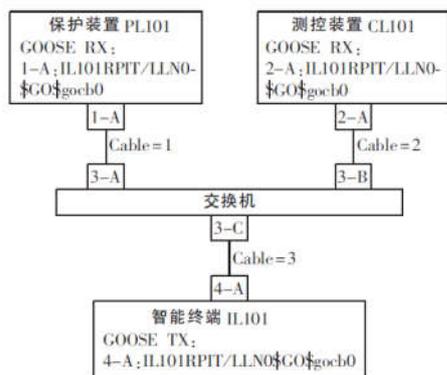


图 4 GOOSE 通信建模示意图

Fig. 4 Schematic diagram of modeling the GOOSE communication

当智能运维系统受到来自站端/调控系统的保护装置 PL101 的端口 1-A GOOSE 断链信号, 系统通过调取、分析所有相关通信链路的逻辑关系, 对故障原因和故障点进行定位。系统首先对该条通信链路(1-A)-(3-A)-(3-C)-(4-A)的所有端口运行状态进行扫描, 若存在端口运行状态报 FALSE, 首先排查网线端口、接头松动等最基本的问题。进而需进一步对故障位于发送端还是接收端进行定位, 检查来自同一 GOOSE 控制模块的测控装置 CL101 端口 2-A。如果端口 2-A 未收到过该 GOOSE 断链信号, 则表明发送端应该没有故障, 故障点很可能位于接收端即保护装置 PL101 本身; 相反, 如果 2-A 也收到过该 GOOSE 断链信号, 则表明在 GOOSE 发送方向上存在问题的概率很大, 需进一步排查发送方向上交换机和智能终端 IL101 有无问题。假定端口 4-A 没问题, 而端口 3-A、3-B、3-C 同时报 FALSE, 则系统判定为交换机故障, 给出的可能故障原因为 GOOSE 通信配置有误。

智能运维管理系统将上述结果生成一条疑似缺陷/故障记录, 实时推送至用户端, 即 PC 端和移动终端, 同时, 系统按照缺陷管理的任务模板, 生成一条缺陷/故障确认任务单, 运维管理人员在 PC 或移动终端上将该任务签发给某一移动终端。该移动终端收到任务后, 即由相应运维人员携带该终端对指定的设备和故障原因进行排查、确认。

运维人员到达现场后, 找到疑似故障交换机, 通过查看故障设备端口状态、运行状态等, 确认是否故障。通过扫描该设备的唯一标识符, 调阅设备的所有相关资料, 如厂家、投运时间、历史缺陷和故障信息、GOOSE 通信配置文件等, 确定故障原因。同时, 在移动终端对该条缺陷/故障确认任务进行反馈, 输入实际的故障点和故障原因, 完成工作闭环。

同时, 系统根据终端反馈的结果, 记录该次告警的结果, 并自动判定告警的正误。系统将对该告警数据、告警确认任务、告警检查结果生成可唯一关联的事件编号, 存入系统数据库。现场检查出的异常、缺陷、故障点位及原因将纳入相应的数据库, 通过对历史数据关联挖掘, 提升系统智能诊断的准确性; 同时, 通过对历史缺陷故障数据的集中分析, 掌握继电保护设备的总体运行情况, 为年度重点技改项目提供决策支撑依据。依据上述标准化工程流程, 进行以状态评估和故障诊断为核心的分析模型, 是决定智能运维系统高效运转的核心关键技术<sup>[11-15]</sup>。

通过智能运维系统, 还可以直接对智能终端下发巡检、检验、验收等工作任务, 移动终端可以在变电站内面对设备进行继电保护设备台账的录入、修改、更新等操作工作。在运维核心业务中, 通过设备唯一标识符的定位, 防止误入间隔、误操作; 对于设备缺陷和事件的管理, 可以做到面向设备进行必要数据信息的采集, 使得数据的录入更形象化、直观化; 网络化的图档资料的管理, 使得图档资料共享, 通过移动终端的移动网络可以实时调阅变电站(一次系统图、验收报告等)、屏柜(屏柜二次图、柜面设备状态图片等)、继电保护设备(定值单、说明书、缺陷记录、事件记录、巡检和检验报告等)的相关资料。

### 3 移动智能运维系统关键技术

#### 3.1 通信效率和信息安全

移动智能运维系统, 涉及电网内网多个分区和移动外网的双向通信, 传输数据量大, 对通信效率和信息安全的要求非常高。一方面, 系统需要实时接收变电站继电保护在线监测信息, 尤其对于智能变电站, 实时状态数据量非常庞大, 为了保证数据通信效率和安全, 智能运维系统必须布置于内网。继电保护实时监测信息是智能运维系统的核心数据来源, 保证实时监测数据的通信效率对移动智能运维系统非常关键, 是在线运维的基本前提。另一方

面,系统与移动终端间需要进行图像和视频类数据交互,移动终端既要访问系统数据库,也需要将现场视频回传系统实现会商诊断,内外网数据交互效率是移动智能运维系统落地的关键。电网内网分为 I 区、II 区、III 区、IV 区,其数据传输实时性和安全防护等级递减,继电保护实时监测信息在调度数据网的 I 区、II 区,而设备运检类系统通常位于 III 区,III 区与 I 区、II 区之间有横向物理隔离装置,使得从 I 区、II 区往 III 区的数据流通效率大受限制,难以满足海量数据的实时传输需求。但随着电网大数据的建设和发展,数据融合应用的需求与日俱增,内网分区及数据流通限制正在逐渐减弱。另外,根据系统需求,移动终端可能同时运行于内网和外网,即在向内网系统传输数据的同时,也在访问内网系统数据库,数据流在同一时刻出现双向流通,存在信息安全隐患。因此,如何同时兼顾通信效率和信息安全,是实现实时智能运维的关键。

### 3.2 故障诊断技术

智能运维系统通过 IEC61850 规约建立起全站继电保护设备的拓扑模型,通过拓扑模型的逐级检查实现对故障的定位。虽然举例说明了故障诊断的一般方法,但现实工程的 GOOSE 通信网络非常复杂,单个交换机上的通信节点就非常多,如果只是粗暴地对所有交换机和端口采用遍历式排查,其计算量将会非常庞大,而中间过程的任何一点误差就可能对整个结果的错误。因此,基于通信拓扑结构的故障定位,可能还需要结合交换机端口虚拟局域网(VLAN)的划分情况,将分析限制在特定的 VLAN 中,以提高分析的效率和准确率<sup>[8-9]</sup>。另外,一个时段内的监测告警数可能非常多,基于拓扑结构的逻辑分析法不能完全适用,如何开展多源告警的联合故障诊断,是当前智能站继电保护故障诊断的难点<sup>[16-18]</sup>。随着信息处理技术和人工智能技术的发展,国内外学者提出了许多故障诊断的技术和方法,包括专家系统、人工神经网络、遗传算法、Petri 网、贝叶斯网络、模糊集理论等,故障诊断技术大量应用于电力系统状态监测中。但是,智能变电站继电保护系统由于其通信网络复杂、节点端口众多、二次回路抽象化,远比一般的电力系统状态监测更加困难,还需要研究更加综合、优化的诊断模型以解决智能变电站多源告警的联合诊断难题。

### 3.3 数据挖掘技术

移动智能运维系统的运行,将产生海量的状态监测数据、过程业务数据、缺陷和电网事件等数据,如何对海量的历史数据进行管理、存储和挖掘分析,是提升系统高级分析能力的关键。数据挖掘是应用

算法对大量数据进行归类整理、抽取有效信息、发现潜在规律,对其中的有效、有用数据进行筛选、存储,既能充分利用数据价值,又能减少对存储空间占用。数据挖掘的常用模型包括分类模型、回归模型、时间序列模型、聚类模型、关联模型、序列模型等,数据挖掘技术已广泛应用于各个行业<sup>[19-23]</sup>。数据挖掘技术在电网中的研究应用,包括调度负荷预测、电网综合故障分析、设备状态评价等。继电保护智能运维系统的数据挖掘,就是要对海量的历史数据进行关联分析,从统计层面找到数据内部的关联性,提升故障缺陷的智能诊断水平,同时,通过整体性的分析,发现继电保护系统的整体性问题和突出薄弱点,为检修和技改项目提供决策依据。综合采用多种挖掘模型,可最大程度上提升系统数据利用价值,如:采用聚类分析挖掘系统各类运行数据的数值分布和聚类中心,形成了继电保护设备运行状态的风险定级区间;采用时间序列分析对运行监测数据在时间维度上进行趋势预测,推进系统风险预警技术的研发;采用 Apriori 算法定义关联分析规则,挖掘进程和应用之间的关联程度,作为故障诊断模型故障因子的权重系数,完善故障诊断技术的判据等。

## 4 工程应用实例

论文的研究成果在国网某省电力公司检修公司得到了示范应用,该检修公司完成了继电保护智能运维管理系统 I 期建设,通过人工录入的方式建立了完备的继电保护设备台账数据库以及历史缺陷、电网事件数据库,并通过系统开展继电保护核心运维业务,显著提升了二次运维效率和运维水平。

智能运维系统的继电保护设备台账数据库,包括三个变电站继电保护设备的台账信息、技术说明书、定值单、屏柜图纸、柜面状态图、缺陷记录、巡检标准化作业指导书、检验标准化作业指导书、验收标准化作业指导书等相关资料。利用移动终端,对台账信息和现场设备的信息进行了校核工作,解决了帐实不符的问题。系统根据标准化的作业指导书模板建立新的工作任务(例如巡检任务、检验任务、验收任务等),并进行自动派发;移动终端接收派发的任务后通过移动网络从系统即时获取工作任务所需的资料,运检人员携带移动终端到变电站内执行工作任务,通过视频会商,系统端可与现场实时互动,实现系统端管理人员对现场工作的实时监督、指导。当移动终端在变电站现场执行完工作任务提交后,系统自动形成结果记录,并进行智能化的归档存储。系统应用效果如图 5 所示。

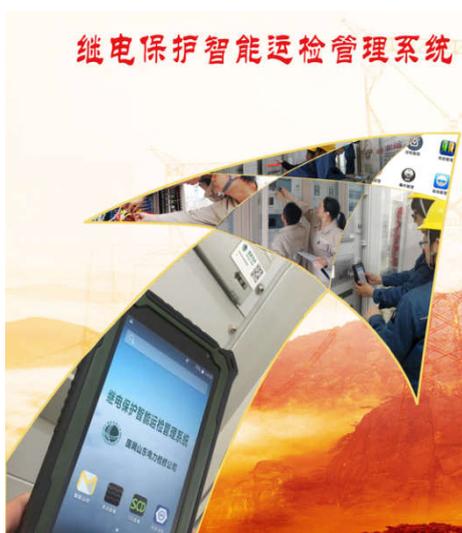


图5 继电保护智能运检管理系统现场应用

Fig. 5 Field application of intelligent operation and management system for relay protection

## 5 结论

基于移动互联网技术的继电保护设备智能运维管理模式,以智能运维管理平台为核心,以移动终端为载体,智能分析继电保护实时监测数据和全过程业务数据,实现继电保护设备的实时、在线监测以及缺陷故障的智能诊断,在线开展核心运维业务,在系统内实现业务流程的全过程管控。本文提出了移动智能运维系统的功能架构和标准化工作流程,对移动智能运维系统的关键技术进行了探讨,已开展的示范应用成果表明,移动智能运维模式能够显著提升二次运维水平。

## 参考文献

- [1] 葛遗莉, 葛慧, 鲁大勇. 数字化变电站设计、运行中面临的问题[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(12): 113-117.  
GE Yili, GE Hui, LU Dayong. Problems in design and operation of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(12): 113-117.
- [2] 陈国平, 王德林, 裘愉涛, 等. 继电保护面临的挑战与展望[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 1-11.  
CHEN Guoping, WANG Delin, QIU Yutao, et al. Challenges and development prospects of relay protection technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 1-11.
- [3] 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.
- [4] 张沛超, 高翔. 全数字化保护系统的可靠性及元件重要度分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 77-82.  
ZHANG Peichao, GAO Xiang. Analysis of reliability and component importance for all-digital protective systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 77-82.
- [5] 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.
- [6] 周国亮, 朱永利, 王桂兰, 等. 实时大数据处理技术在状态监测领域中的应用[J]. 电工技术学报, 2014, 29(增刊1): 432-437.  
ZHOU Guoliang, ZHU Yongli, WANG Guilan, et al. Real-time big data processing technology application in the field of state monitoring[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(S1): 432-437.
- [7] 笃峻, 叶翔, 葛立青, 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.
- [8] HEIDARI A, AGELIDIS V G, ZAYANDEHROODI H, et al. Prevention of overcurrent relays miscoordination in distribution system due to high penetration of distributed generation[C] // International Conference on Renewable Energy Research and Applications, October 20-23, 2013, Madrid, Spain: 342-346.
- [9] 鲁东海, 孙纯军, 王晓虎. 智能变电站中在线监测系统的设计[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(1): 134-137.  
LU Donghai, SUN Chunjun, WANG Xiaohu. Online monitoring system for smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(1): 134-137.
- [10] 王文焕, 杨国生, 李妍霏, 等. 保护设备在线分析与智能诊断技术研究及系统架构[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(4): 1-8.  
WANG Wenhuan, YANG Guosheng, LI Yanfei, et al. Research on relay protection on-line analysis and intelligent diagnosis technology and system structure[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(4): 1-8.
- [11] 李锋, 谢俊, 赵银凤, 等. 基于 IEC 61850 的智能变电

- 站交换机 IED 信息模型[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(7): 76-80.
- LI Feng, XIE Jun, ZHAO Yinfeng, et al. IEC 61850 based information model of switch intelligent electronic device for smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(7): 76-80.
- [12] 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.
- [13] 朱林, 王鹏远, 石东源. 智能变电站通信网络状态监测信息模型及配置描述[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(11): 87-92.
- ZHU Lin, WANG Pengyuan, SHI Dongyuan. Status monitoring information model and configuration description of communication network in smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(11): 87-92.
- [14] LAAKSONEN. Protection principles for future microgrids[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2010, 25(12): 2910-2918.
- [15] 陈星田, 熊小伏, 刘譞, 等. 基于多层次架构的继电保护在线状态评价方法[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 113-120.
- LIU Xingtian, XIONG Xiaofu, LIU Xuan, et al. An online evaluation method of relay protection operation state based on multi-level framework[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 113-120.
- [16] 刘琨, 黄明辉, 李一泉, 等. 智能变电站故障信息模型与继电保护在线监测方法[J]. 电力自动化设备, 2018, 38(2): 210-216.
- LIU Kun, HUANG Minghui, LI Yiquan, et al. Fault information model of intelligent substation and on-line monitoring method for relay protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 38(2): 210-216.
- [17] 王德林, 裘愉涛, 凌光, 等. 变电站即插即用就地化保护的应用方案和经济性比较[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(16): 12-19.
- WANG Delin, QIU Yutao, LING Guang, et al. Application scheme and economical comparison of plug and play and outdoor installation protection in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 12-19.
- [18] 邱金辉, 钱海, 张道农, 等. 基于 PFIS 的继电保护常态特性在线监视与隐性故障诊断[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 145-149.
- QIU Jinhui, QIAN Hai, ZHANG Daonong, et al. Online monitoring of normal behavior and diagnosis of hidden failures in protection system based on PFIS[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 145-149.
- [19] AL-MUHAINI M, HEYDT G T. Evaluating future power distribution system reliability including distributed generation[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2013, 28(4): 2264-2272.
- [20] 周国亮, 宋亚奇, 王桂兰, 等. 状态监测大数据存储及聚类划分研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(增刊 2): 337-344.
- ZHOU Guoliang, SONG Yaqi, WANG Guilan, et al. Research of condition monitoring big data storage and clustering[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(S2): 337-344.
- [21] 陈星田, 熊小伏, 齐晓光, 等. 一种用于继电保护状态评价的大数据精简方法[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(3): 538-548.
- CHEN Xingtian, XIONG Xiaofu, QI Xiaoguang, et al. A big data simplification method for evaluation of relay protection operation state[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(3): 538-548.
- [22] 宋亚奇, 周国亮, 朱永利. 智能电网大数据处理技术现状与挑战[J]. 电网技术, 2013, 37(4): 927-934.
- SONG Yaqi, ZHOU Guoliang, ZHU Yongli. Present status and challenges of big data processing in smart grid[J]. Power System Technology, 2013, 37(4): 927-934.
- [23] 杨光亮, 乐全明, 郁惟镛, 等. 基于小波神经网络和故障录波数据的电网故障类型识别[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(10): 99-103.
- YANG Guangliang, LE Quanming, YU Weiyong, et al. A fault classification method based on wavelet neural networks and fault record data[J]. Proceeding of the CSEE, 2006, 26(10): 99-103.

收稿日期: 2018-09-05; 修回日期: 2018-11-21

作者简介:

曾治安(1966—), 男, 本科, 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: 41717956@qq.com

(编辑 葛艳娜)