

DOI: 10.7667/PSPC201851

## 继电保护远程运维技术研究与应用

裘愉涛<sup>1</sup>, 周震宇<sup>2</sup>, 杨剑友<sup>2</sup>, 奚洪磊<sup>2</sup>

(1. 国网浙江省电力有限公司, 浙江 杭州 310000; 2. 国网浙江省电力有限公司温州供电公司, 浙江 温州 325000)

**摘要:** 为加强变电二次设备专业管理、提高现场作业人员运维检修效率, 对继电保护远程运维关键技术进行研究与总结。电网事故快速分析、二次回路可视化、二次设备实景展示与远方操作、装置故障智能诊断及检修辅助决策等远程运维技术的应用, 可实现调度端电网故障智能分析与远程指挥, 检修端二次设备在线诊断与远程运维, 运维端二次设备在线监视与远方操作。最终实现信息共享、业务协同、精益管理, 大大提高了设备检修运维工作效率及电网故障处置能力。

**关键词:** 变电站; 继电保护; 远程; 运维

### Research and application of remote operation and maintenance technology of relay protection

QIU Yutao<sup>1</sup>, ZHOU Zhenyu<sup>2</sup>, YANG Jianyou<sup>2</sup>, XI Honglei<sup>2</sup>

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Co., LTD., Hangzhou 310000, China;

2. Wenzhou Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., LTD., Wenzhou 325000, China)

**Abstract:** In order to enhance the management of secondary equipment and improve the working efficiency of the operation and maintenance personnel, this paper studies and summarizes the key technologies of remote operation and maintenance of relay protection. The application of technologies such as power grid fault rapid analysis, secondary circuit visualization, real scene display and remote operation of secondary equipment, intelligent diagnosis of device failure and auxiliary decision of maintenance, etc. can realize the function of intelligent analysis of grid fault for dispatching, on-line diagnostics for maintenance and on-line monitoring for operation. The information sharing, business collaboration and lean management are ultimately achieved, the operation efficiency of equipment maintenance and the ability of power grid fault disposal are greatly enhanced.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. JBB17201500108) and Zhejiang Electric Power Co., LTD. Technology Project (No. 5211WZ15013Q).

**Key words:** substation; relay protection; remote; maintenance

## 0 引言

近年来, 随着智能电网建设全面推进, 在电网规模迅速扩大的同时, 智能变电站新技术、新设备得到广泛应用, 尤其二次系统的整体架构、配置等与常规变电站相比均有较大变化, 使得继电保护运维工作面临以下几个问题。一是变电站无人值守模式大力推广。变电检修人员为了分析、定位、处理变电站缺陷需要多次往返变电站, 急需加强变电站继电保护远程全方位管控, 实现对电网故障的快速

定位, 快速隔离, 快速恢复供电。二是智能变电站大量建成, 变电站二次设备之间的回路联系高度集成到SCD文件中, 二次回路变成了“看不见”、“摸不着”的“黑匣子”, 使得原有二次设备操作、检修方式无法适应。三是电网规模扩大, 二次检修人员数量和技术水平与电网发展不匹配, 运维、检修工作量大, 效率低、维护成本高。四是通信技术条件不断成熟。随着继电保护信息的日益规范, 通信技术的不断提高, 已经具备了建设二次设备远程运维系统的条件<sup>[1-6]</sup>。本文主要介绍继电保护远程运维关键技术, 利用先进的智能化在线自诊断和故障定位技术, 通过海量告警信息的筛选和智能化展示, 实现对站内保护设备进程、配置、通信状态的智能诊

基金项目: 国家电网公司总部科技项目资助(JBB17201500108); 浙江省电力有限公司科技项目资助(5211WZ15013Q)

断,从而减少检修人员检修工作强度,提高设备的精细化管理水平。

### 1 整体思路

利用保护在线监视与智能诊断技术,采集、处理、上送全站保护信息,实现电网事故快速分析、二次回路可视化、二次设备实景展示、二次设备远方操作、远方自动巡视、设备状态智能诊断、检修综合决策等功能,实现二次设备从“就地诊断”到“远程诊断”的精益化转变,提高设备检修运维工作效率及电网故障处置能力。

图1为远程运维系统整体架构示意图,从中可以看到,继电保护及安全自动装置的软报文类信息,通过二次设备在线监控系统与厂站端就地保护子站进行采集,该保护子站通过变电站自动化系统的站级网络与间隔层保护装置通信;在运维站的保护在线监控应用软件,通过调度数据网(IEC104+103规约或IEC61850规约)与保护子站通信,实现具体动作信息、装置告警信息、故障分析报告、测距、定值自动比对等功能;在此基础上实现保护装置远程可视化、远程控制、远程诊断及应急抢修等高级应用。

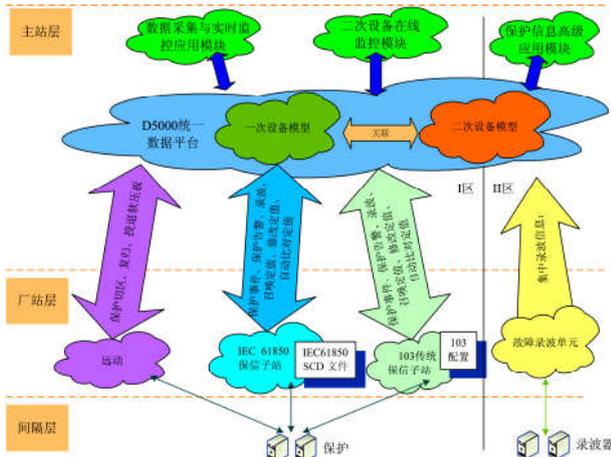


图1 系统框架示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the system

由保护信息流分解梳理,通过厂站端远动通信工作站传输继电保护信号并实现远方在线切换定值运行区、远方复归微机保护信号、投退软压板等控制功能,统一实现二次继电保护设备重要信息监视和远方控制。

### 2 关键技术

#### 2.1 电网事故快速分析技术

为使调控人员能在第一时间快速、准确地了解到电网故障信息,通过在原有故障信息系统的基础

上,对故障录波器的智能联网和诊断功能进行了扩展和提升,通过智能判断实现区内(外)故障分类并在列表文件中自动标识、故障线路波形及开关变位信息自动筛选关联、故障简报自动推送等功能,大大缩短了事故处理时间,加快了故障恢复速度(见图2)。

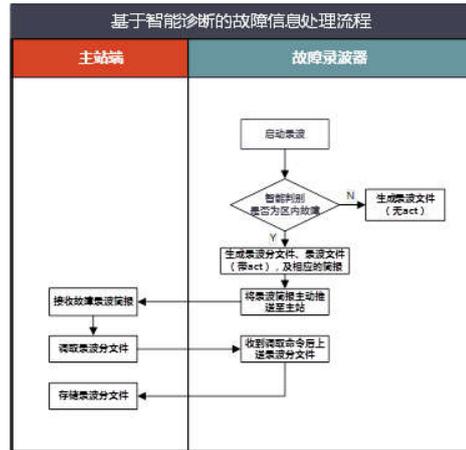


图2 智能诊断的故障信息处理流程

Fig. 2 Intelligent diagnostic fault information processing flow

故障录波器根据启动量、开关量变位及保护动作条件判别是否为区内故障,如为区内故障,同时形成故障简报与录波分文件,主动推送至主站端;如为区外故障,则作为普通录波文件处理,不主动上送。基于智能诊断的录波文件列表、录波简报和分文件波形图如图3—图5所示。

图3 录波文件列表

Fig. 3 List of record files

图4 录波简报示意图

Fig. 4 Schematic diagram of wave record briefing

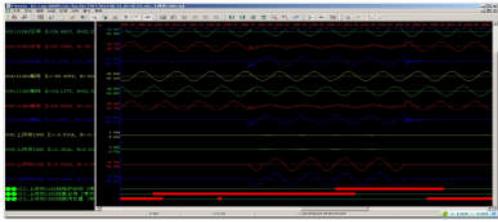


图 5 故障间隔关联的模拟量波形及开关量信息  
Fig. 5 Analog waveform and switching information associated with fault interval

### 2.2 虚回路可视化技术

采用 SCD 虚拟二次回路可视化技术, 将智能变电站“看不见”、“摸不着”的虚端子、二次回路, 以传统电缆二次回路“看得见”、“摸得着”的连接方式展示给运维人员, 改变智能变电站二次系统“黑匣子”的状态, 为运维人员提供直观的状态确认手段, 提高二次系统的可维护性<sup>[7-9]</sup>。图 6、图 7 展示了二次虚回路图及其关联域图, 在二次回路连接图上, 按照实时采集的虚端子连接情况刷新图上虚端子连接线, 以不同颜色表示出连接出现异常的虚回路。同时, 在保护装置支持上送跳闸返校信息的情况下, 可以对跳闸回路的工作情况进行实时监视, 在跳闸操作失败需要分析原因时, 可以根据各级返校信息迅速定位到异常的点。实现虚回路的通断状态的可视化以及压板投退状态的可视化。



图 6 二次虚回路图

Fig. 6 Secondary virtual circuit diagram

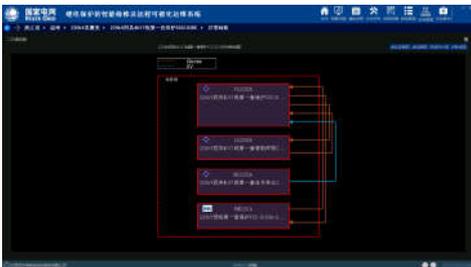


图 7 二次虚回路图关联域图

Fig. 7 Domain diagram of the secondary virtual circuit diagram

### 2.3 二次设备实景展示技术

保护设备的远程全景可视化将保护设备的液

晶面板、告警灯信息和软压板状态在远方进行全景化展示<sup>[10]</sup>。通过将实时采样值、运行定值、装置自描述、压板状态、定值修改记录、告警记录、动作记录、录波信息等信息在远程画面中实时展示, 如同运维人员在现场保护屏前巡视一样(见图 8), 从而实现运维人员远程人工查询。



图 8 保护远程可视化实时在线监视示意图

Fig. 8 Schematic diagram for real-time online monitoring

### 2.4 二次设备远方操作技术

保护设备的远方操作主要包括远方在线切换定值运行区、远方复归微机保护信号、投退软压板等功能。

#### 1) 保护定值远方下装

传统保护设备执行新定值需要检修人员和运维人员均前往现场, 执行完成后需双方现场核对正确。利用二次设备远程运维系统, 检修人员可实现远方定值调阅、远方定值在线下装等功能。系统会自动比对原定值与新定值的不同之处, 并用红色高亮显示(见图 9)。下装完成后, 系统会在次调阅当前定值, 检查下装是否成功。检修人员在工区对装置的操作, 通过视频或后台操作记录的方式保存下来, 可以做到事后追溯, 有据可查<sup>[11]</sup>。变电运维人员也可通过该系统调阅现场定值, 进行核对确认(见图 10)。

#### 2) 软压板的远方投退

变电运维人员可通过二次设备远程运维系统对保护装置部分功能进行远方操作, 减少人员往返现场时间(见图 11)。

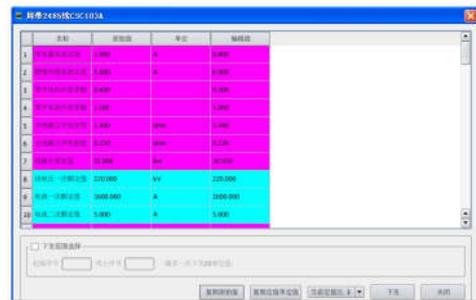


图 9 定值下发界面

Fig. 9 Value download page

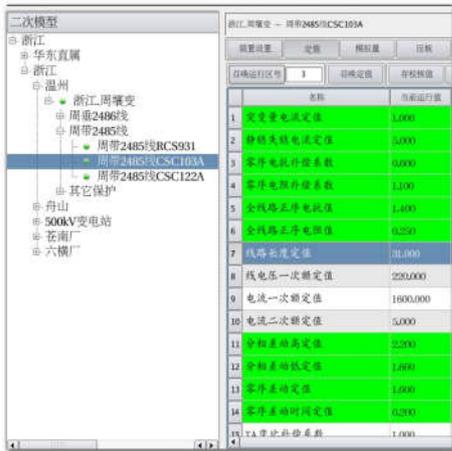


图 10 修改前实时调取的定值

Fig. 10 Value retrieved in real time before modification

2) 二次设备通信状况巡视  
 对厂站端二次在线监测与智能诊断设备通信状况的巡视主要通过分析厂站通道关联是否正常，站内设备与厂站端二次在线监测与智能诊断设备通信是否正常来判断，保证站内设备能控、可控(见图 13)。



图 13 二次设备通信状况巡视图

Fig. 13 Inspection map of the secondary equipment communication status



图 11 保护远程可视化全景实时在线监视示意图

Fig. 11 Schematic diagram for real-time online monitoring

3) 二次设备远方巡视策略  
 为了减少通信的信息量，降低复杂度并减轻二次运维主站端的工作负荷，通过采用子站端巡视模式，能避免 103 主子站规约的一些不足，同时可根据实际的接入规约最大化地获取装置的各种数据，该模式相比主站端巡视方式更具有优势性。其巡视策略逻辑如图 14 所示。

### 2.5 变电站远方巡视技术

继电保护远方巡视技术主要包括两个方面，一是对保护装置运行健康水平的巡视，二是对厂站端二次在线监测与智能诊断设备通信状态的巡视。

1) 二次设备健康状况巡视

采用实时采集站端保护设备功能投退状态、开关量输入、模拟量采集、差动保护差流、运行温度及光口光强等信息，并进行分析判断，动态掌握二次设备运行健康状况(见图 12)。



图 12 二次设备健康水平一键巡视窗

Fig. 12 One key inspection window of the secondary equipment health level

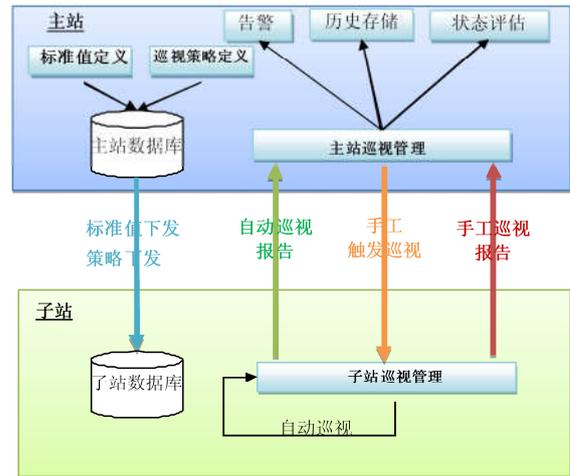


图 14 子站端巡视策略图

Fig. 14 Patrol strategy of the substation inspection

### 2.6 装置故障智能诊断技术

通过采用决策树的自顶向下的递归算法，在决策树的内部节点进行属性值的比较，并根据不同属性判断从该节点向下的分支，在决策树的叶节点得到结论(见图 15)。

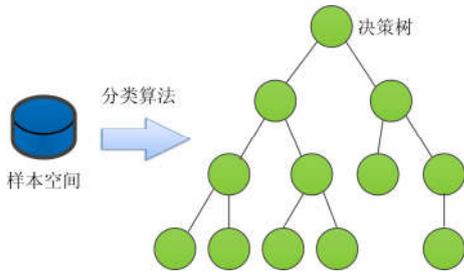


图 15 决策树构建算法

Fig. 15 Decision tree building algorithm

以 ID3 算法为基础构建故障诊断决策树, 建立告警原因、告警处理方法知识库, 依据决策树实时对继电保护告警诊断分析, 给出继电保护状态异常的严重程度判断及故障处理措施<sup>[12-14]</sup>。通过决策树和专家库的建立, 实现了以各种继电保护告警事件为触发条件, 按照决策树路径定位故障产生的位置, 将缺陷定位至板件级, 从而实现了继电保护设备故障的智能诊断(见图 16)。



图 16 二次设备故障智能诊断

Fig. 16 Intelligent diagnosis of secondary equipment failure

### 2.7 二次设备状态评估技术

设备状态评估以继电保护运行数据为基础, 通过数学计算方法将继电保护的运行状况量化, 可对继电保护进行针对性的检验和检修<sup>[15]</sup>。二次设备状态评估的具体算法为:  $S = K_A \cdot (S_R \cdot 0.6 + S_H \cdot 0.4)$ 。其中  $S$  为最终得分(满分为 100 分),  $K_A$  为评价系数,  $S_R$  为在线状态评估得分,  $S_H$  为历史状态评估得分。 $K_A$  正常为 1, 当保护有 I 类告警信号时为 0.8, 当保护有 II 类告警信号时为 0.9。当 I 类信号和 II 类告警信号同时存在时为 0.8。根据量化结果, 将保护设备的状态分为正常、注意、异常、严重 4 个状态(见表 1)。

表 1 二次设备在线监测状态得分区间划分

Table 1 Secondary equipment on-line monitoring status score interval division

工况状态	正常	注意	异常	严重
得分	90~100	80~90	70~80	0~70

历史运行评估的指标见图 17。

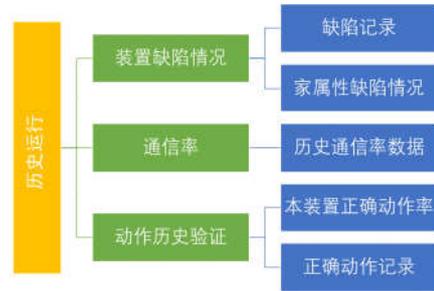


图 17 历史信息状态评估

Fig. 17 Status evaluation of historical information

### 2.8 故障应急抢修技术

二次设备的故障抢修往往需要经历故障发现、故障定位、装置配件更换、参数下装(定值下装)、校验确认等阶段。二次设备远程应急抢修指挥体系充分利用远程运维主站信息化优势, 利用装置故障智能诊断技术将故障定位到板件级, 并自动推送设备唯一性编码, 检修人员根据编码准备相应备品备件, 并通过 SCD 管控平台对备品进行参数下装。同时, 利用以虚拟机为核心的仿真测试系统, 实现装置功能工厂化调试。设备完成现场更换时, 通过远方运维系统对现场状态实时监控, 并进行远程指导; 更换完成后, 同步更新检修策略, 为日后检修决策提供依据(见图 18)。

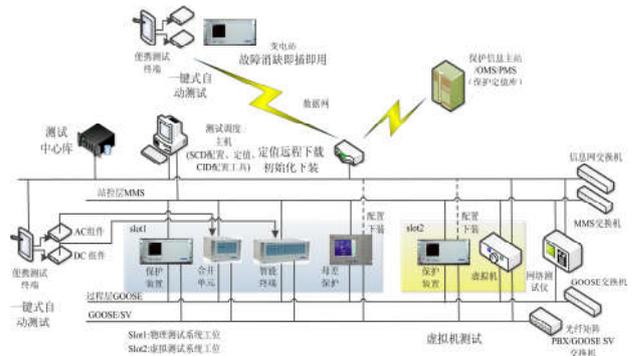


图 18 应急抢修技术支撑平台

Fig. 18 Technical support platform of emergency repair

### 2.9 检修辅助决策技术

根据保护装置的历史告警信息、保护动作信息、历史检修记录等对该装置的设备状态、二次回路情况进行综合研判, 可对继电保护进行全功能的检验检测, 依据检测结果给出需进行设备停运检修的提示<sup>[16-17]</sup>。通过对保护设备建议检修计划和检修策略的提出、检修计划的制定和下达、检修计划的执行各个环节的信息智能采集和综合分析以及对检修效果的综合评价, 对检修计划实施关键环节进行

管控，对超期未检设备准确发出预警提示并分析原因，实现对检修计划的全过程闭环管理，提高保护设备检修专业管理水平及风险管控能力(见图 19)。



图 19 二次设备检修辅助决策

Fig. 19 Assist decision of the secondary equipment maintenance

### 2.10 就地化保护远程运维技术

就地化保护装置有力推动“工厂化调试”和“更换式检修”运维模式创新。在调试中心完成单装置调试或整站二次设备联调工作，现场更换后仅需传动验证回路，调试时间缩减 70%以上。保护装置采用标准化接口、模块化组合及“即插即用”设计，可实现不同厂家设备之间的整机更换，现场作业简单高效<sup>[18-20]</sup>。

#### 1) 更换式检修模式

相比于传统式检修，更换式检修模式更加安全、高效。通过开发就地化智能变电站继电保护控制设备和设备混合仿真平台，实现变电站二次设备的仿真系统快速搭建和精确模拟，具备就地化保护设备、仿真系统及自动测试系统接入功能，为就地化智能变电站改扩建及更换式检修提供验证手段和实验平台。

#### 2) 工厂化调试平台

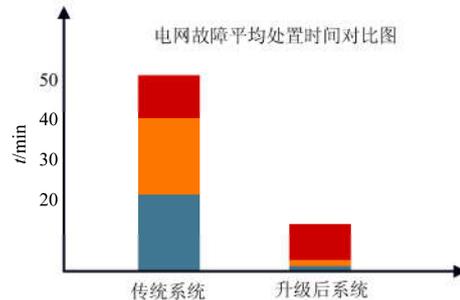
工厂化调试是指通过充分的资料收集，进行调试任务分解，优化变电站调试流程，将现场调试工作最大限度地前移至厂内开展。通过研究基于接口测试装置的就地化保护装置测试方案，开发一套由测试主机、服务器、交换机、测试终端等四部分组成的自动测试系统，具备测试模板自动生成、保护行为指标自动甄别、测试报告自动生成等功能，满足就地化保护工厂化调试要求，达到了提高调试质量、缩短调试周期及节约人工成本的目的。

## 3 应用效果

### 3.1 大幅提升调度端电网故障处置效率

事故应急处理时，通过电网事故快速分析与二次设备实景展示技术，调控人员及专业管理人员实

现足不出户，全盘掌握变电站现场实时信息，为事故应急处置决策提供信息支撑。通过故障录波智能诊断技术使调控人员获取信息的时间缩短至原来的 1/10，处置故障时间平均缩短约 38 min，效率提高 76%以上，节约人工成本，减少停电造成的售电量损失(见图 20)。



	传统系统	升级后系统
调度恢复送电/min	10	10
分析故障时间/min	20	1
查找故障时间/min	20	1

图 20 系统升级前后电网故障平均处置时间对比  
Fig. 20 Comparison of average time of power grid fault disposal before and after system upgrade

### 3.2 大幅提高检修端二次设备检修效能

发生二次设备紧急缺陷时，变电检修人员从接到调度指令到处理故障往往需要经过“信息沟通-准备备品-现场检查-执行消缺”等过程，通过虚回路可视化、装置故障智能诊断以及故障应急抢修检修辅助决策等技术，可实现二次设备的状态监测及远程诊断功能，检修人员可预先判断保护装置故障点位置，将故障点定位到板件级，大幅减少备品备件准备时间。依托检修辅助决策，可实现对检修计划的全过程闭环管理，提高保护设备检修专业管理水平及风险管控能力，检修人员的紧急消缺时间可节约一半以上；在日常检修工作时，检修人员在单位即可完成装置的定值修改和重启操作，工作效率提高 80%以上，节省大量人力物力，同时减少一次设备停电时间，提高供电可靠性。

### 3.3 大幅优化运维端设备巡视操作流程

通过二次设备实景展示、远方操作以及变电站远方巡视技术，变电运维人员可在集控站直接对二次设备进行状态核对和信息收集，减轻运维人员工作量及劳动强度。以线路重合闸压板远方操作为例，变电运维人员由集控站出发分别赶赴变电站的平均车程为 34 min，车程所耗时间占整个操作的 85%，实现远方操作之后，可以彻底消除集控站到工作变

电站路程上的时间消耗, 大大提高变电运维人员的工作效率(见图 21)。

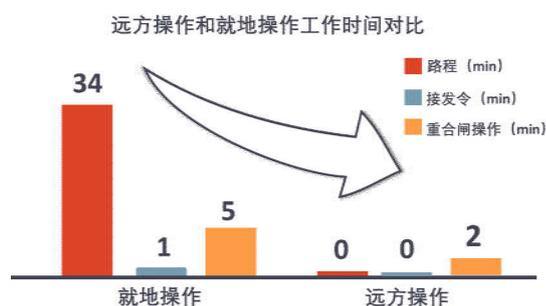


图 21 远方操作和现场操作工作时间对比

Fig. 21 Comparison of working hours between remote operation and field operation

#### 4 总结展望

变电站二次设备远程运维技术的发展, 统筹了多方资源, 形成常态、高效的管控新模式, 实现了变电站二次设备远程监控、远程巡视、远程检修、远程诊断、远程指挥等功能, 为解决专业人员配置与电网规模不断扩大的矛盾、加快电网异常及故障处理效率、优化变电站运维检修模式等方面发挥了积极的作用, 大大提高了二次设备运维检修工作效率和调度应急处置水平, 取得较好的经济和社会效益。

下一步需继续深化应用大数据、物联网、移动互联网等信息技术, 推动继电保护专业管理信息化水平进一步提升。开发信息化单兵装备, 提高现场智能感知和作业能力, 减轻现场检修工作压力, 缩短检修停电时间。研究智能巡检技术, 实时掌握设备运行状态, 动态掌握设备健康水平。建立继电保护设备综合评价模型和量化指标体系, 将保护设备远程管控系统与云平台相结合, 全面提升继电保护设备运维管控水平, 优化运维检修工作模式。

#### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 张烈, 王德林, 刘亚东, 等. 国家电网220 kV及以上交流保护十年运行分析[J]. 电网技术, 2017, 41(5): 54-59.  
ZHANG Lie, WANG Delin, LIU Yadong, et al. Analysis on protective relaying and its operation conditions in 220 kV and above AC system of SGCC in past ten years[J]. Power System Technology, 2017, 41(5): 54-59.
- [3] 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.
- [4] 马杰, 李磊, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统全过程管控平台研究与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 67-72.  
MA Jie, LI Lei, HUANG Debin, et al. Research and practice on the whole process management platform of the secondary system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 67-72.
- [5] 张宝旭, 王安山, 毛琨, 等. 一种变电站智能运维管理系统: 中国, CN202798149U[P]. 2013.  
ZHANG Baoxu, WANG Anshan, MAO Kun, et al. An intelligent operation and maintenance management system of substation: China, CN202798149U[P]. 2013.
- [6] 王强, 贺洲强. 智能变电站运行维护管理探讨[J]. 电力安全技术, 2012, 14(5): 1-5.  
WANG Qiang, HE Zhouqiang. Discussion on operation and maintenance management of intelligent substation[J]. Electric Safety Technology, 2012, 14(5): 1-5.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 李宝伟, 倪传坤, 李宝潭, 等. 新一代智能变电站继电保护故障可视化分析方案[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 73-77.  
LI Baowei, NI Chuankun, LI Baotan, et al. Analysis

scheme for relay protection fault visualization in new generation smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 73-77.

[11] 汪溢, 黄曙, 马凯. 继电保护在线校核技术研究[J]. 热力发电, 2016, 45(8): 87-93.  
WANG Yi, HUANG Shu, MA Kai. Relay protection online verifying technology[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(8): 87-93.

[12] 王继业, 王德林, 杨国生, 等. 大数据技术在继电保护领域的研究与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2016(12): 1-8.  
WANG Jiye, WANG Delin, YANG Guosheng, et al. Research and application of big data technology in relay protection[J]. Electric Power ICT, 2016(12): 1-8.

[13] 彭小圣, 邓迪元, 程时杰, 等. 面向智能电网应用的电力大数据关键技术[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(3): 503-511.  
PENG Xiaosheng, DENG Diyuan, CHENG Shijie, et al. Key technologies of electric power big data and its application prospects in smart grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(3): 503-511.

[14] 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.

[15] 熊小伏, 陈星田, 郑昌圣. 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. Overview of research on state evaluation of relaying protection system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 51-58.

[16] 王佳明, 刘文颖, 魏帆, 等. 基于寿命周期成本管理的输变电设备状态检修策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 77-80.  
WANG Jiaming, LIU Wenyong, WEI Fan, et al. Study on policies of condition based maintenance of transmission and distribution equipments combined with life cycle cost management[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 77-80.

[17] 何旭, 姜宪国, 张沛超, 等. 考虑检修策略的智能变电站保护系统可用性分析[J]. 电网技术, 2015, 39(4): 21-26.  
HE Chao, JIANG Xianguo, ZHANG Peichao, et al. Availability analysis of smart substation protection system considering maintenance strategies[J]. Power System Technology, 2015, 39(4): 21-26.

[18] 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 & play and outdoor installation protection in substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(16): 12-19.

[19] 裘愉涛, 王德林, 胡晨, 等. 无防护安装就地化保护应用与实践[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 1-5.  
QIU Yutao, WANG Delin, HU Chen, et al. Application and practice of unprotected outdoor installation protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 1-5.

[20] 刘颖. 智能变电站全寿命周期“即插即用”技术体系的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 23-28.  
LIU Ying. Research and application on the technology system of plug & play in the smart substation's life cycle[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 23-28.

收稿日期: 2018-03-10

作者简介:

裘愉涛(1967—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事继电保护专业管理、智能变电站研究工作; E-mail: zdqyt@vip.sina.com

周震宇(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事继电保护专业管理工作; E-mail: zhouzhenyu0071@sina.com

杨剑友(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事继电保护专业运维技术研究工作。E-mail: tcyjy@126.com

(编辑 周金梅)