

## 智能电网二次设备运维新技术研讨

秦红霞, 武芳瑛, 彭世宽, 葛亮, 游涛

(北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085)

**摘要:** 通过分析智能电网二次设备运维技术的发展目标, 阐述了智能电网二次设备的智能化运维原则。为了实现可视化运维、定制化检修、智能化运维的目标, 提出了智能运维系统的整体系统架构和功能部署方案。在技术方案上, 重点介绍了二次设备运维可视化技术、智能告警、故障诊断和状态评估等关键技术, 有效解决了目前智能变电站二次设备在实际运维过程中出现的一系列问题。设计开发的智能电网二次设备运维系统已经成功应用于多个示范工程现场, 并取得了良好的运维效果。

**关键词:** 智能电网; 二次设备; 运维; 可视化

### New technology research on secondary equipment operation maintenance for smart grid

QIN Hongxia, WU fangying, PENG Shikuan, GE Liang, YOU Tao

(Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China)

**Abstract:** Through the analysis of development goals on operation and maintenance of substation secondary equipment, this paper elaborates intelligent operation and maintenance principles of secondary equipment. In order to achieve visual operations, intelligent, customized maintenance operation and maintenance goals, the intelligent maintenance system structure and functions scheme are presented. In terms of technical solutions, it focuses on some key technologies including the visualization technology, intelligent alarms, fault diagnosis and status evaluation technology and so on. All these technologies are effective solutions to solve the current problems on operation and maintenance stages. The intelligent operation and maintenance systems have been successfully used in a variety of demonstration projects and achieved good operating results.

**Key words:** smart grid; secondary equipment; operation maintenance; visualization

中图分类号: TM76

文章编号: 1674-3415(2015)22-0035-06

## 0 引言

随着智能电网的快速发展, 变电站二次设备的智能化提升到了更高的水平, 二次设备数量也增长迅速, 对设备的管理、运行、维护、检修人员提出了更高的要求。

例如, 智能变电站采用数字信息取代了常规变电站的模拟量信息, 采用光纤通信取代常规电缆通信, 智能变电站数字信息处理技术的应用, 使变电站可实际操作的二次回路变成了可编辑的文本信息, 由看得见摸得着的电缆连接, 变成了看不见摸不着的虚连接。在运维人员眼中, 一个可以操作可以检测的变电站, 由“实”变“虚”了<sup>[1-3]</sup>。

但从常规变电站到智能变电站, 由于采用了新设备、新技术, 设备自检能力和通信能力也由“弱”

变“强”了, 提供的信息也更加全面, 设备与设备之间、设备与人之间的信息能够得到充分交互, 使得运维人员能够更准确的掌握设备的运行情况。

目前围绕着确保装置和回路基础状态良好的目的, 通常对二次设备会进行定检、全检(生命周期检修)、特维(高保真试验)几种运维模式。但在设备数量大量增加, 新技术大量引入, 但运维人员编制相对固定, 为提高供电可靠性检修时间往往又很短的情况下, 在有限的时间内, 要完成大量的运维检修任务势必面临巨大的挑战, 也会带来一些问题, 如维修不足(该修的项目未修)、维修过剩(不该修的项目修了)、提前维修(设备未坏, 修坏)、维修滞后(坏了才修, 达不到预防检修的目的)、盲目维修(不知道该不该修, 时间到了就修)<sup>[4]</sup>。特别是目前的智能站, 为了及时掌握设备的运行状态、处置异常运行

状态，达到跟踪控制设备的目的，仍需花费大量的人力、物力对变电站设备进行日常巡视、专业巡视等。

随着精细化管理要求的不断提升，传统的运维模式已经不能适应智能电网运维需求。为适应智能电网的发展，新的运维技术、运维模式得到了快速推动及应用。

### 1 智能电网二次设备运维目标

#### 1.1 运维目标

针对变电站信息传递由“实”到“虚”，设备自检和通信能力“弱”到“强”的特点，当前提出的运维目标是：可视化运维、定制化检修、智能化运维。

可视化运维，是针对智能电网二次回路的“实”到“虚”，通过网络通信技术、计算机技术以及变电站高级应用技术，将“虚”再恢复为“实”，实现二次回路的当地/远程在线可视化查看和管理。

定制化检修，是针对二次设备的“弱”到“强”，发挥二次设备的自检功能、强大的通信功能、丰富的信息资源，充分利用设备的信息交互技术，结合监控系统的高级应用，对二次设备进行在线监视、智能诊断，根据设备的健康状况制定合理的检修计划和检修方案。促使传统的定检、全检向面向个体的定制化检修模式转变。

智能化运维，是充分利用二次设备的自检功能和丰富的状态信息，实现相关设备之间回路检查、配置检查、运行状态自诊断以及顺序控制，达到不停电检修的目标。

#### 1.2 运维原则

为了达到上述目标，需要面向二次设备和回路，提供全面的信息共享、可视化展示和智能诊断决策几个主要方面的运维技术，如图 1 所示。

1) 二次设备方面，需要提供全面的运行状态信息和强有力的自检能力，并实现信息全面共享。这需要稳定可靠的通信技术的支撑。

2) 二次回路方面，站控层回路和过程层回路要能够提供完善的自检信息，并为回路监视提供必要的辅助条件。这不仅需要对完整信息的采集，还需要对二次回路和 SCD 文件的完善管理。

3) 可视化展示技术，需要包括信息的分级分类展示和二次回路可视化展示两大方面。

4) 智能诊断决策技术，需要对设备健康状态评估、回路完整性评估、设备寿命评估等做出有效评估，为决策方案提供依据。

5) 网络方面，要具备坚强、可靠、稳定、实时

的网络通信设备，为变电站数据共享提供网络基础。

6) 工具方面，为实现装置的信息共享、二次回路的在线可视化展示，还需要通过工具将设备和二次回路的信息进行建模，以实现信息的规范化共享。

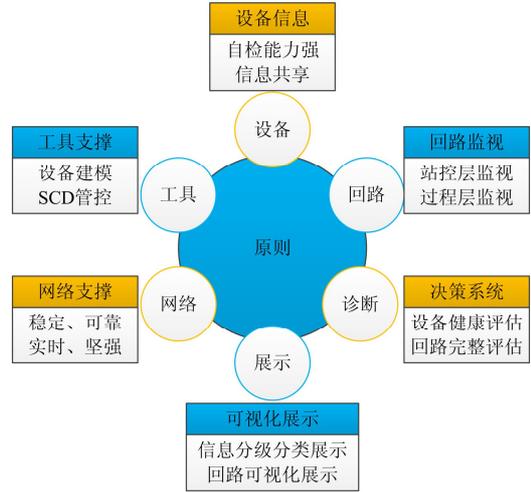


图 1 运维原则示意图

Fig. 1 Principle of operation maintenance

### 2 智能电网二次设备运维系统架构

#### 2.1 系统功能架构

针对可视化运维、定制化检修、智能化运维的目标，对于二次设备运维管控，厂站端和主站端分别有不同的功能定位需求：厂站端侧重于信息采集、过滤和简单处理，对就地设备的信息要有全面的掌握，主站端则侧重于基于多维度信息的分析、展示、诊断评估和辅助决策。

信息展示首先在厂站端应能实现，但由于无人值班的推广，主站端对于展示信息的完整性和全面性要求也越来越高，因此，可视化展示的重点也在从厂站端向主站端转移。

图 2 展示了主站端和厂站端基于不同定位和需求的功能架构分布。

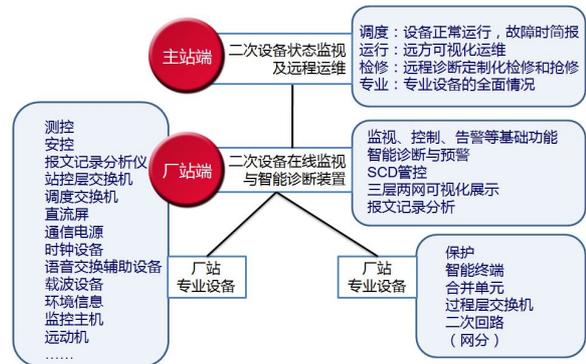


图 2 系统功能分布图

Fig. 2 Function of the operation maintenance system

厂站端设备繁多, 需分别确定过程层、间隔层和站控层分别监测哪些信息, 并通过通信手段实现信息的采集, 实现基础的监视、控制、告警、信息过滤和统计分析, 简单的智能诊断和预警。有人值守变电站, 还需具备可视化展示和 SCD 管控功能。

调度端具备相应级别的全网数据, 可以实现综合的统计分析、智能诊断和状态评估。从运维角度, 展示的信息需要面向使用对象, 分别针对调度人员、运行人员、检修人员、保护、自动化、通信等各专业人员的不同应用需要来提供信息。根据运行、巡视、检修各类工作的不同功能定位, 确定需要站端上送哪些信息, 需要展示哪些信息。

## 2.2 系统网络架构

基于目前智能变电站的系统架构, 提出了二次设备运维系统架构方案, 见图 3。

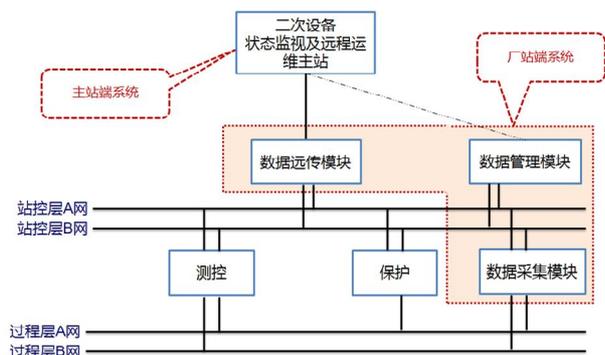


图 3 系统网络架构图

Fig. 3 Network architecture of the operation maintenance system

厂站端的在线监视和智能诊断功能在逻辑上由数据采集模块、数据管理模块和数据远传模块共同配合实现。

1) 数据采集模块, 采集过程层、间隔层、站控层设备送出的信息。

2) 数据管理模块, 根据数据采集模块传送的信息, 实现厂站端应用功能。

3) 数据远传模块, 实现信息的集中上送, 减轻调度端、巡视中心和运行中心的信息处理压力。

以上相关模块可配置独立设备实现, 也可集成在已有设备中实现相关功能。

## 3 智能电网二次设备运维关键技术

### 3.1 可视化技术

可视化技术包含很多方面, 和设备运维密切相关的技术, 主要集中于设备状态可视化、SCD 管理可视化、虚端子可视化、故障逻辑可视化、故障回

路可视化等。

#### 3.1.1 设备状态可视化

二次设备状态可视化通常分层级进行展示, 可分为网省级、地区级、站级、设备级等多个层次。

例如, 从网调层关注的信息, 可以关注到全景信息, 多为统计类信息, 主界面信息可以根据关注度进行定制。同时, 也可以进入到下一层级了解更详细的设备状态, 如保护装置的告警状态, 压板状态等运行情况。图 4 为一个实际应用项目的网调层可视化界面。

在变电站层, 可以通过视频监控、视频告警联动、机器人巡检等多种模式, 对设备状态进行实时监控和展示, 并进行设备信息联动分析和信息及时推送, 包括远程信息上传、移动终端信息传输等等, 以提升运行检修的准确性、及时性, 提升整体效率。



图 4 网调层可视化界面图

Fig. 4 Visual display of dispatching centre

#### 3.1.2 SCD 管理可视化

基于 SCD 的二次回路监测本质是实现变电站自动化系统二次回路的可被管理。IEC61850 体系下传统的二次回路、端子排被“虚端子”、“虚回路”替代, 如无有效的技术、管理措施, 变电站的可靠性将大大下降<sup>[5]</sup>。SCD 的管理可视化就是要将这些“虚端子”、“虚回路”变成可见的, 可被识别的, 可被管理的。其中关键点在于静态文件一致性管理和动态 CRC 校验<sup>[6]</sup>。

SCD 文件的一致性比较是 SCD 管理的重要内容, 主要对不同 SCD 文件的二次回路虚端子连接做比较, 并以图形化方式将比较结果展示出来, 差异可以用不同的颜色和标识显示。例如: 某两个装置之间有增加的虚连接, 可以在连接处标一个小加号; 某两个装置之间的虚端子连接有修改, 可以在连接处标一个小星号等等。

例如: 图 5 中左上角的装置与本装置之间的连接标了一个小星号, 表示虚端子连接发生了变化。但这个图中两个装置间只示意性的画了一个连接,

若想看到具体虚连接的变化,则可点击该连接处,可以进一步看到详细信息流。

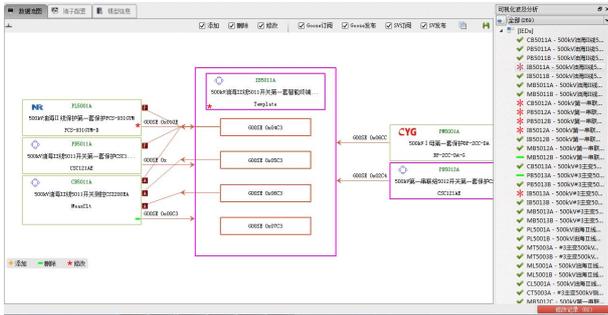


图 5 虚端子一致性比较示意图

Fig. 5 Difference comparison of virtual terminals

随着智能变电站的建设,SCD 管控方面,电力系统厂站端采用 IEC61850 体系标准进行全站建模,对变电站的电网结构、一次设备、二次设备及一、二次设备关联关系进行建模,生成变电站配置描述(SCD)文件,并转换成 IEC61970 公共信息模型(CIM),主站可以根据这个 IEC61970 CIM 模型自动导入<sup>[7]</sup>,进行源端维护,对设备的运维管控能力也将显著得到提升。

### 3.1.3 虚端子可视化

虚端子可视化包括虚端子变化可视化和虚端子实时状态可视化。图 5 中 SCD 一致性比较可视化部分,已经展示了虚端子连接情况的图形化比较。图 6 展示的是虚端子可视化的动态状态更新,根据实时的虚端子连接情况,可动态刷新虚端子连接图,

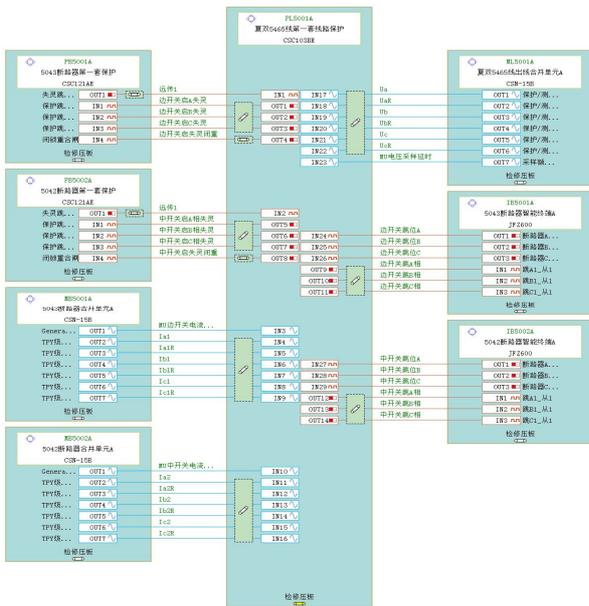


图 6 虚端子可视化界面

Fig. 6 Visual display of virtual terminals

运维检修人员可一目了然地了解虚端子的连接状态是正常还是中断<sup>[8]</sup>。

### 3.1.4 故障逻辑可视化

传统的微机保护装置,通过软件实现了各种保护功能和逻辑,对于运行人员来说,是一个“黑匣子”,只能通过保护动作报文和故障录波数据,动作接点来进行事故分析,为了更有效、快速地进行故障分析和定位,现在的微机保护设备大多都能实现故障逻辑的可视化,即保护设备输出大量中间计算信息,并通过后台分析软件实现故障逻辑可视化,如图 7 是故障后根据保护设备的中间节点逻辑分析故障现象的画面,可按时序跟踪保护每一步动作逻辑,与实际的动作事件、故障参数、波形和运行定值一一对比分析,大大提升了运维的时效性和准确性。

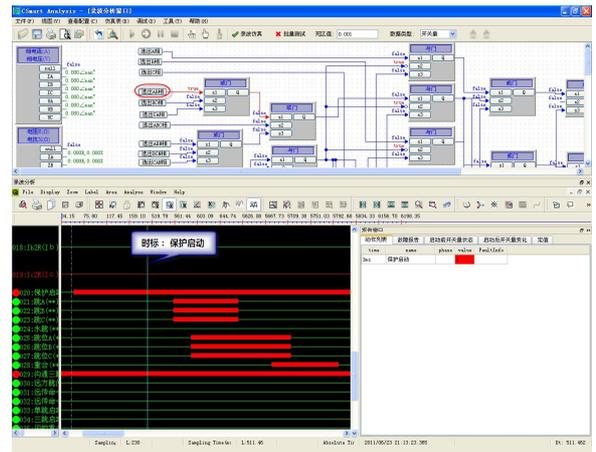


图 7 故障逻辑可视化界面

Fig. 7 Visual display of the action logic of protection relay

### 3.1.5 故障回路可视化

为了能够清晰了解并分析故障过程,对故障过程中保护设备动作时二次回路虚端子链接状态,也可以采用可视化技术,按时序跟踪虚端子变化情况,以分析 GOOSE 信息流与预期情况是否吻合,图 8 展示了一个装置之间二次故障回路可视化的界面。

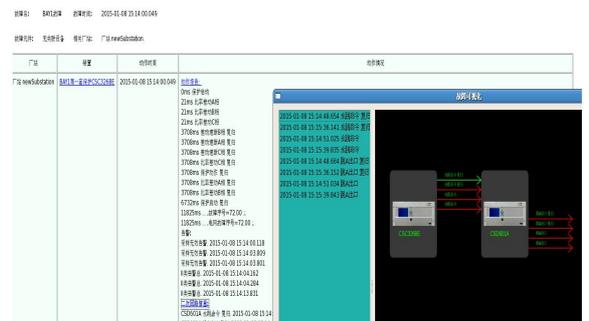


图 8 故障回路可视化界面

Fig. 8 Visual display of the fault secondary circuit

### 3.2 智能诊断技术

#### 3.2.1 智能告警

同等规模的智能变电站告警和动作信息是常规站的3倍以上,告警信息太多太繁杂,往往重要的告警信息被淹没在海量告警中,影响了对重要信息和事故的及时处理<sup>[9]</sup>。为了解决这个问题,需要对告警信息进行分析处理,针对应用需求,进行智能判断,将判断结果展示出来。

智能告警主要分成以下几个方面:

- 1) 分级分类告警;
- 2) 过滤检修信息;
- 3) 重要告警自动推图;
- 4) 多源数据不一致告警;
- 5) 频繁告警。

#### 3.2.2 故障定位

智能变电站中二次设备除了提供大量的告警信息外,还可监视正常运行时的各种运行信息,根据对正常运行中数据信息的监测和分析,可以掌握二次回路的链接情况。

- 1) 根据开关量位置信息和正常倒闸操作情况,可检测开关量回路的正确性。
- 2) 基于模拟量异常告警信息和多源数据综合分析,可及时发现系统运行工况及二次回路中的异常状况。
- 3) 基于录波数据,可实时监控保护设备二次电流、电压等模拟量采样回路及开入输入回路的完好性。

- 4) 基于保护动作录波数据,结合一次系统故障的分析,可验证保护设备二次电流、电压等模拟量采样回路、开入输入回路、及开出跳闸回路的完好性。
- 5) 基于GOOSE返校信息,可对跳闸回路进行闭环监测,如果跳闸失败,可以跟踪信息确认故障点。

综合上述信息,可以实现对回路故障的定位,减少运维、巡视工作量。在调度端可基于这些数据和结果,采用大数据存储和挖掘技术,对故障的特征以及与设备的关联关系实现信息提取,并结合周边变电站信息,对告警变电站的运行状态评估<sup>[10]</sup>,针对变电站二次设备及回路给出检修建议。

综合上述信息,可以实现对回路故障的定位,减少运维、巡视工作量。在调度端可基于这些数据和结果,采用大数据存储和挖掘技术,对故障的特征以及与设备的关联关系实现信息提取,并结合周边变电站信息,对告警变电站的运行状态评估<sup>[10]</sup>,针对变电站二次设备及回路给出检修建议。

### 3.3 状态评估技术

二次设备正常运行期间,获取并处理二次设备相关基础资料、设备实时、历史数据等反映设备健康状态的特征参数,可评价设备当前健康状况。图9给出了一些关键二次设备的典型评价指标。

对状态劣化和趋势不良的设备及时发布状态预警消息,并进行有效故障模式和原因的分析。

对设备运行状态、隐患和共性缺陷的诊断分析,最终通过综合优化检修策略模型分析,提出检修决策建议,对处于不同健康状况的二次设备,提出不同的检修方案、检修策略,例如重点检修项目,检修周期,紧迫性程度等等,最终可实现定制化检修和智能化运维。对于具有模糊性质的自检信息,需要通过模糊综合评价法实现状态评估<sup>[11]</sup>。图10展示了基于模糊理论的状态评估思路。

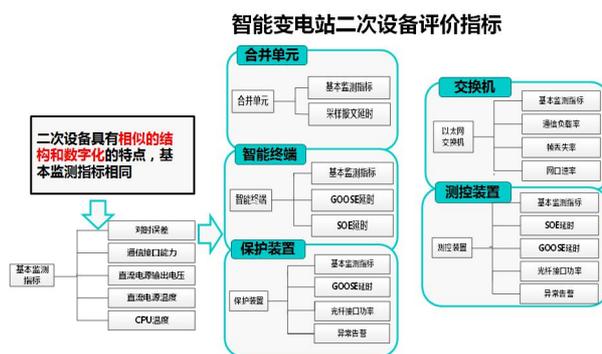


图9 二次设备评价指标

Fig. 9 Evaluation indicator for secondary equipment

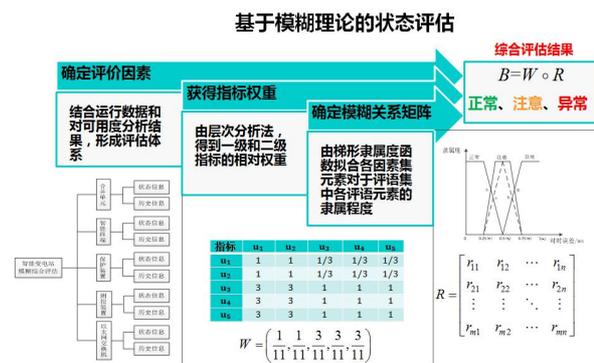


图10 基于模糊理论的状态评估

Fig. 10 State evaluation based on fuzzy theory

## 4 结语

本文通过对智能电网中变电站二次设备运维新技术的研究,对二次设备智能运维系统的系统架构、功能部署方案,以及所涉及到的关键技术等进行了介绍。根据本文设计开发的系统已经成功运行于示范工程现场,能够满足智能电网二次设备运维的技术发展需求,达到了预期的设计目标。未来随着互联网,云计算,大数据分析等技术的发展和运用,智能电网二次设备运维水平必将有更大的提升和突破。

参考文献

[1] 修黎明, 高湛军, 黄德斌, 等. 智能变电站二次系统设计方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 124-125.  
 XIU Liming, GAO Zhanjun, HUANG Debin, et al. Secondary system design method for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 124-125.

[2] 高亚栋, 朱炳铨, 李慧, 等. 数字化变电站的“虚端子”设计方法应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 124-127.  
 GAO Yadong, ZHU Bingquan, LI Hui, et al. Application research on design method for “virtual terminal” of digital substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 124-127.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 黄凯, 杨骥, 顾全. 一体化电网运行智能系统的源端维护技术[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(15): 71-75.  
 HUANG Kai, YANG Ji, GU Quan. A source-based maintenance technology for integrated intelligent operation system of power grids[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(15): 71-75.

[8] 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.

[9] 刘伟, 李江林, 杨恢宏, 等. 智能变电站智能告警与辅助决策的实现[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 146-150.  
 LIU Wei, LI Jianglin, YANG Huihong, et al. Implementation of intelligent alarm and AMD system in the smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 146-150.

[10] 姚浩, 李鹏, 郭晓斌, 等. 基于大数据的告警信息处理和故障设备定位技术研究[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(12): 72-77.  
 YAO Hao, LI Peng, GUO Xiaobin, et al. Research on alarm information disposal and fault device location based on mass data[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(12): 72-77.

[11] 王晓亮, 董海鹰, 任伟. 基于信息融合的 750kV 电网二次设备状态评估[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(1): 40-46.  
 WANG Xiaoliang, DONG Haiying, REN Wei. State evaluation of secondary device in 750 kV power grid based on information fusion[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2013, 25(1): 40-46.

收稿日期: 2015-05-11

作者简介:

秦红霞(1971-), 女, 高级工程师, 主要从事电力系统自动化、继电保护、安全稳定控制等领域的研究工作; E-mail: qinhx@sf-auto.com

武芳瑛(1973-), 女, 高级工程师, 主要从事电力系统自动化、继电保护故障信息系统、二次设备在线监测等领域的研究工作。

(编辑 张爱琴)