智能变电站远程可视化运维与无人值守技术研究与实现

栾士岩[1]，杨晶鑫[1]，王永辉[1]，贾亚飞[1]，孙　浩[1]，甄家林[2]

（1. 国网河北省电力有限公司雄安新区供电公司，河北 保定 071600；
2. 武汉凯默电气有限公司，湖北 武汉 430223）

摘要：为了加快“无人值守＋远程运维”的变电运维新模式的转型升级，提出一种基于移动端数据推送的智能变电站远程可视化运维与无人值守技术，搭建智能变电站远程可视化运维系统，通过站端在线数据采集装置对变电站数据进行采集分析，然后将数据推送汇总到主站端在线监视系统。主站端在线监视系统通过图形化建模技术实现站端一二次设备状态远程可视化，通过制定智能巡视策略定期对站端采集的数据进行分析评估，通过隔离装置进行数据跨区穿越，将保护动作信息实时主动推送到运维相关人员的手机等移动设备，实现智能变电站远程可视化运维与无人值守。通过变电站现场实际应用验证了所提方案的有效性。

关键词：智能变电站；可视化运维；无人值守；故障简报

Research and implementation of remote visual operation and maintenance and unattended technology of intelligent substation

LUAN Shiyan[1], YANG Jingxin[1], WANG Yonghui[1], JIA Yafei[1], SUN Hao[1], ZHEN Jialin[2]

(1.Xiong’an New District Power Supply Company of State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Baoding 071600, China; 2. Wuhan Kemov Electric Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: In order to accelerate the transformation and upgrading of the new substation operation and maintenance mode of “unattended + remote operation and maintenance”, a remote visual operation and maintenance and unattended technology of intelligent substation based on mobile terminal data push is proposed, and a remote visual operation and maintenance system of intelligent substation is built, and the substation data is collected and analyzed through the station-end online data acquisition device, and then the data is pushed and summarized to the main station-side online monitoring system. The online monitoring system of the main station side realizes the remote visualization of the primary and secondary equipment status of the station end through graphical modeling technology, regularly analyzes and evaluates the data collected at the station end by formulating an intelligent patrol strategy, crosses the data across regions through the isolation device, actively pushes the protection action information to mobile devices such as mobile phones of operation and maintenance related personnel in real time, and remotely visualizes the operation and maintenance of intelligent substations and unattended. The effectiveness of the proposed scheme is verified by the practical application of the substation site.

Key words: intelligent substation; visual O&M; unattended; breakdown briefing

0 引言

随着国家电网规模的不断扩大以及智能变电站的大量投运，为了保证电网安全稳定地运行，运维人员的工作任务日益增长，传统变电站的运维模式不再适合当下的需求[1-3]。如何保证继电保护设备的安全运行，解决运维人员配置与日益增长的运维任务之间的矛盾，成为当前电网设备运维面临的重大和迫切问题。

在国家电网深入推进站端无人值守及远程可视化运维的主导思想后，调度端“距离远、手段少、监控难、响应慢”的问题逐渐暴露出来，按照精细化管理要求，调度端亟须加强变电站继电保护远程全方位管控[4-5]。各省市级电网调度端需要能够实时监控辖区内所有变电站内的保护运行状态，站端无须长期安排人员驻守监视，调度端远程根据实时运行状态数据合理安排保护检修，同时可以根据不同变电站的保护设备检修的紧急状态合理规划检修人员的工作计划，最大力度减少运维检修班组人员的工作量。

为分析运维站、检修工区远程在线监视和智能运维问题，本文提出一种智能变电站远程可视化运维与无人值守技术，搭建智能变电站远程可视化运维系统，实现继电保护装置远程巡视与运维、状态监视与预警、缺陷故障诊断及动作行为分析，并通过隔离装置进行数据跨区穿越，最终将分析数据主动推送到运维人员的手机等移动设备上[6]。运维检修人员根据推送数据远程作出相应决策，实现继电保护设备从定期检修到状态检修、就地运维到远程诊断；从被动检修到主动抢修和经验式管理到数据分析专家诊断的精益化转变，以满足无人值守以及远程可视化运维的应急抢修需求[7-8]。

1 网络架构与系统平台架构

1.1 网络架构

智能变电站远程可视化运维系统网络架构如图1所示，包括安全Ⅰ区的站端在线监视数据采集装置、安全Ⅱ区的在线监视主站系统、安全Ⅲ区和互联网大区的移动终端数据推送系统。数据通过调度数据网内的横向隔离装置和纵向加密装置从安全Ⅰ区到安全Ⅱ区，再到安全Ⅲ区和互联网大区，满足多个应用场景对于网络安全的需求。

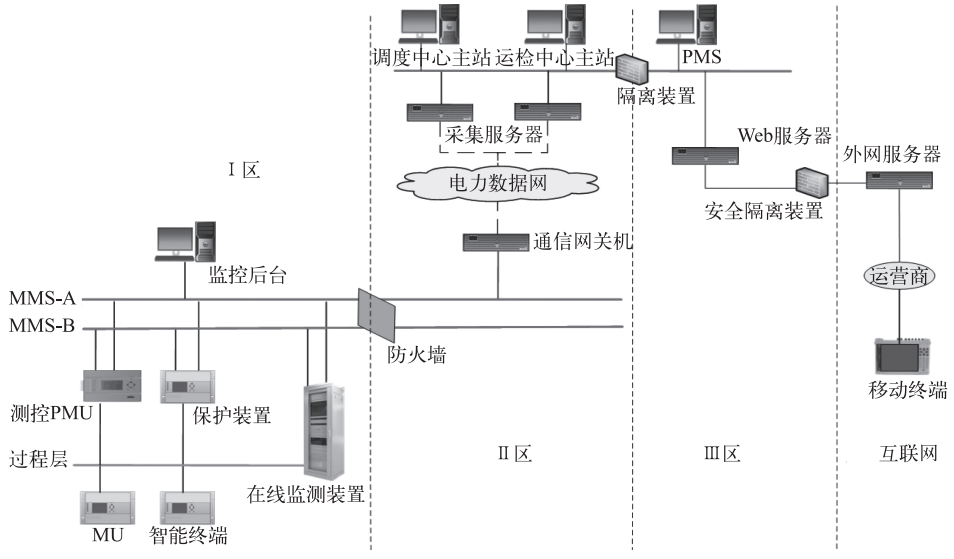


图 1 网络架构

Fig. 1 Network architecture

1.2 系统平台架构

系统平台架构如图2所示，可以分为三层和一些支撑服务。三层包括通信层、业务层和展现层，支持服务主要包括数据存储服务、系统交互

服务和服务自注册服务。

通信层：负责从各个子站通过相应的规约获取需要的数据，原则上通信层只与业务层进行数据交互。

业务层：负责子站数据的业务处理，响应展现层界面的业务请求。它既可以和展示层交互，也可以和通信层进行交互。

展现层：主要用于图形及数据的展示以及用户的交互，它只与业务层进行数据交互。

系统交互服务：主要负责各层之间的数据通信及命令数据传递。

数据存储服务：主要负责各层之间的数据固化及实时数据存储和读取。

服务自注册服务：为了各个层之间的交互方便，各个层需要和其他层进行数据交互时，无须知道自己所需要的服务是哪个业务服务，无须获取业务的通信参数，通过服务自注册服务可以自动地查找到相应的服务进行业务请求分配。

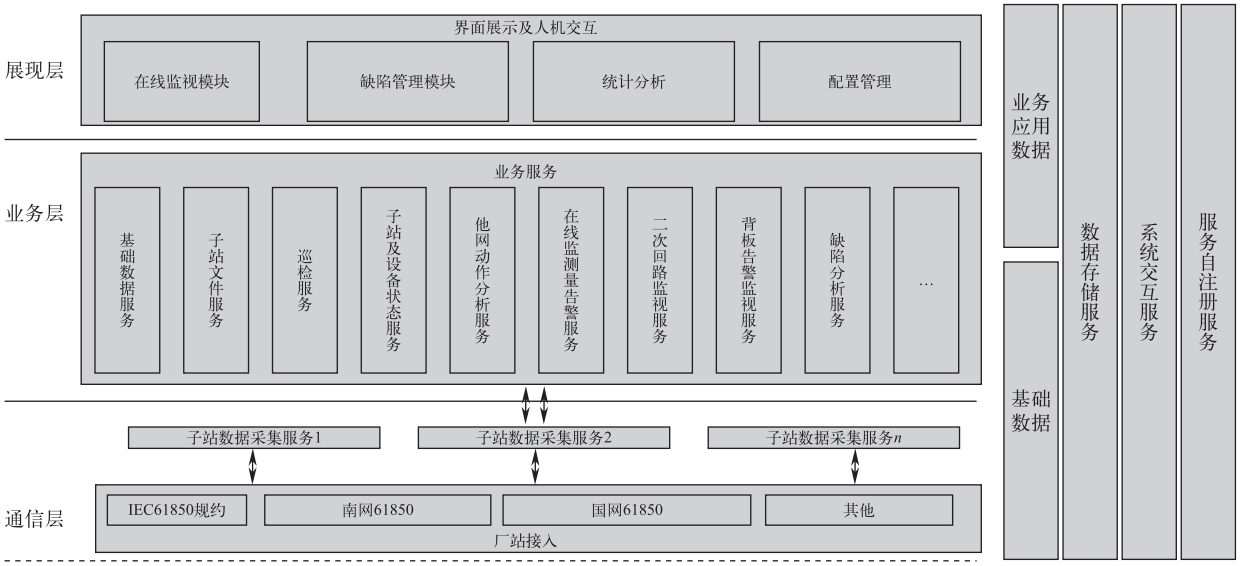


图 2 系统平台架构

Fig. 2 System platform architecture

2 智能变电站远程可视化

智能变电站的全站信息数字化、通信平台网络化和信息共享标准化为智能变电站远程可视化提供了信息基础。通过图形化建模将电网状态、变电站状态、间隔二次回路状态和保护设备状态抽象为图形化元素，结合从过程层以及站控层网络中获取到的报文数据，可以实时动态地将智能变电站的状态远程展示在运维人员面前，满足变电站远程运维和无人值守的需求[9-11]。

2.1 全网变电站状态可视化监视

通过配置各个子站地理位置信息将子站抽象为地图上的一个信号点，信号点状态数据来源于站内保护状态信息。

保护状态信息分为五大类，按照优先级排序分别是闭锁、动作、异常、检修和运行，根据优先级计算出保护状态信息，再根据保护状态信息计算得到子站站点状态信息。

如图3所示，全网变电站状态可视化监视可以实现电网公司辖区内所有变电站的状态远程可视化，并通过将全网采集到的告警数据进行分类，采用饼状图形式展示各类告警信息占比。通过三级电网事件处理机制，自动收集电网故障时两侧变电站所有的保护动作信息，并通过智能分析自动形成装置级、变电站级和电网级三级分层式故障报告。



图 3　全网变电站状态可视化监视

Fig. 3 Visual monitoring of substation status in the whole network

2.2　全站一二次设备状态可视化监视

通过将全站开关、刀开关、母线、主变压器、TV和TA等一次设备进行图元建模，使用一次主接线配置工具，根据变电站实际状态绘制一次主接线图信息，从而得到全站一次主接线图的静态图信息。再根据子站SCD文件，将一次主接线图元与二次设备信号进行关联，实现一二次信息关联，从而根据采集到的二次设备信号状态动态显示一次设备状态。

如图4所示，全站一二次设备状态可视化监视可以实现开关、刀开关等一次设备以及全站保护设备状态远程可视化，并通过光字牌形式展示全站告警信息。

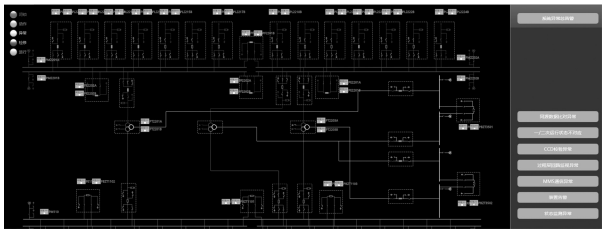


图 4　全站一二次设备状态可视化监视

Fig. 4 Visual monitoring of primary and secondary equipment status in the whole station

2.3　间隔二次回路状态可视化监视

SCD文件中的communication节点信息可以获取到子站每个设备包含的光口以及光口对端连接信息，通过提取SCD文件中全站光口连接信息可以自动生成全站光纤连接图。通过实时对采集数据中GOOSE光纤断链告警信息、光口光强信息、MMS层SV和GOOSE断链信息进行综合分析诊断可以得到实时的光纤连接状态信息，从而进行二次回路状态动态展示，如图5所示。

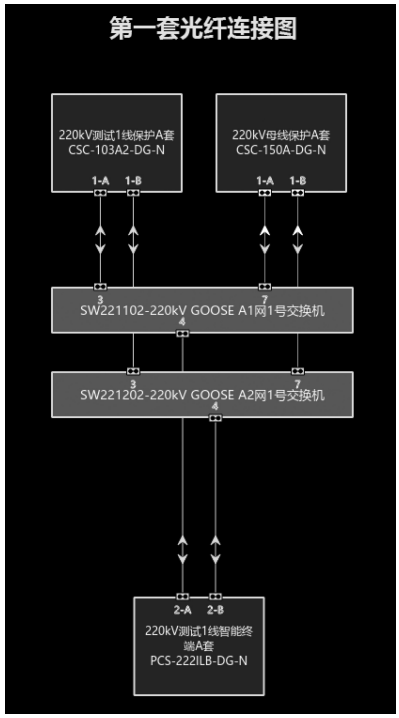


图 5　间隔二次回路状态可视化监视

Fig. 5 Visual monitoring of interval secondary circuit status

间隔二次回路状态可视化监视可以实现监视物理链路、逻辑链路断链并预警和支持物理连接故障定位功能，能定位到具体的故障类型和故障链路。

2.4　继电保护装置可视化监视

通过对保护装置面板进行图形建模，生成各个厂家各个型号的装置面板图，然后根据子站SCD文件中IED装置厂家以及型号信息自动选择对应的面板图元，将面板图元中的信号灯与SCD文件中MMS信号进行关联，实现保护装置信息动态展示。

如图6所示，继电保护装置可视化监视可以实现装置指示灯、告警信息的远程可视化展示，实现二次设备运行工况（指示灯、面板和功能压板等）远程虚拟再现。

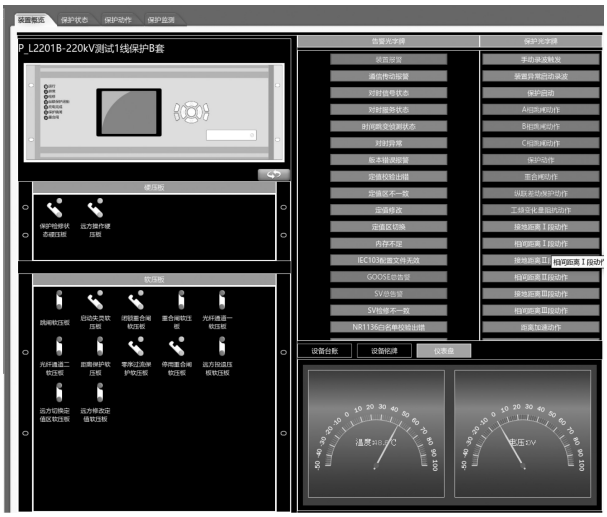


图 6　继电保护装置可视化监视

Fig. 6 Visual monitoring of relay protection device

3　智能变电站远程智能巡视

主站在线监视系统通过智能巡视策略定期巡视站端采集上送的站控层和过程层数据，依赖专家系统制定的判据体系给出运维检修意见，实现数据远程巡视分析，从而通过自动化远程运维，满足站端无人值守需求。远程巡视内容主要包括定值压板校核巡视、二次回路链路状态巡视、电压电流回路巡视和保护动作诊断巡视；巡视结果包含正常不需要检修、异常需要关注和严重需要检修。

3.1　定值、压板校核巡视

定值、压板校核巡视是巡视保护装置定值、装置参数、装置压板、通信参数及定值相关告警信息，判断定值、压板是否有问题及修改情况。

定值、压板校核逻辑条件为：①各区定值、装置参数、通信参数和出口矩阵与各区标准值比较无差异；②运行定值区号与标准值比较无差异（断面正常，定值不记录历史，定值区变化记录历史）；③运行定值区号（遥测上送）或装置参数里的定值区号与标准值比较有差异（断面）；④定值召唤失败；⑤各区定值、装置参数（不包含定值区号）、通信参数和出口矩阵与标准值比较有差异；⑥严重异常信号发生（断面）。

若满足条件①∩②，则巡视结果为正常不需要检修；若满足条件③∪④，则巡视结果为异常，需要关注；若满足条件⑤∪⑥，则巡视结果为严重，需要检修。

定值、压板信息校核巡视界面展示了保护设备所有定值、压板信息的校核巡视结果。

3.2　二次回路链路状态巡视

二次回路链路状态巡视是通过巡视装置各个具体的GOOSE和SV控制块的虚回路链路状态和物理实回路链路状态判断二次链路是否正常。

二次回路链路状态巡视逻辑条件为：①遥测和遥信（网分和保护装置）历史及当前都无异常；②遥测越限或相关严重信号发生（历史或断面）。

若满足条件①，则巡视结果为正常，不需要检修；若满足条件②，则巡视结果为严重，需检修。

二次回路链路状态巡视界面展示了保护设备所有二次回路链路状态相关信息的巡视结果。

3.3　电压电流回路巡视

电压电流回路巡视是通过巡视各个具体的电流、电压相关告警和稳态量同源比对（A套保护、B套保护和采集单元三者之间两两比对）结果判断交流采样是否正常。

电压电流回路巡视逻辑条件为：①遥信和遥测都无异常；②遥测量大于异常需关注阈值（包含历史）；③遥测量大于严重需检修阈值或遥信量有异常（包含历史）。

若满足条件①，则巡视结果为正常不需要检修；若满足条件②，则巡视结果为异常，需要关注；若满足条件③，则巡视结果为严重，需要检修。

电压电流回路巡视界面展示了保护设备所有电压电流相关遥测数据以及越限数据的巡视结果。

3.4　保护动作诊断巡视

保护动作诊断巡视是巡视各装置启动、动作、录波和关联回路的综合情况，判断装置是否正常。

保护动作诊断巡视逻辑条件为：①跳合闸回路诊断正常，且录波暂态同源比对正常（针对区内故障）；②保护启动，且录波正常，录波暂态同源比对正常（针对区内故障）；③保护启动，且录波正常，录波暂态同源比对正常（针对区外故障）；④保护出口跳闸相别与保护动作信息相别（MMS）上送不一致；⑤重合闸动作信息与保护动作信息不一致；⑥录波暂态同源比对异常（连续三个点有效值误差大于5%）；⑦两套保护同相别动作信号发送时刻的时间差大于20 ms；⑧两套保护动作相别不一致；⑨从保护发出跳合闸信号到开关实际变位信号的时间差不小于100 ms；⑩跳合闸回路诊断异常；⑪录波暂态同源比对异常（连续三个点有效值误差大于10%，开关量暂态同源比对变位时差大于10 ms）；⑫故障电流（相突变量电流或零序电流）大于400 A，且保护未启动；⑬保护启动但没录波；⑭跳闸相虚端子错接（比如跳A相实际B相断路器分开）；⑮从保护发出跳合闸信号到开关实际变位信号的时间差大于150 ms；⑯从智能终端发送收保护跳闸信号后的150 ms（可设置）内，对应跳闸相别的电流不小于0.1 *I*n。

若满足条件①∩②∩③，则巡视结果为正常，不需要检修；若满足条件④∪⑤∪⑥∪⑦∪⑧∪⑨，则巡视结果为异常，需要关注；若满足条件⑩∪⑪∪⑫∪⑬∪⑭∪⑮∪⑯，则巡视结果为严重，需要检修。

保护动作诊断巡视界面展示了保护设备中所有与保护动作相关的录波文件、同源比对和跳合闸分析等数据巡视结果。

4 远程移动端数据推送

当电网出现运行故障时，故障区内区外的保护设备产生一系列的保护动作事件来切除故障，实时掌握保护动作信息以及故障数据能够极大地方便运维人员开展运维检修工作。

4.1 移动端故障简报数据格式

故障简报数据包含保护动作时间、电力地市局位置、厂站名称、间隔名称、动作情况、故障相别、最大一次电流和最大二次电流，数据格式见下表。

表 故障简报数据格式

Tab. Fault briefing data format

内容	示例
地区名称	XX 市
场站	XX 站
间隔	甘祥 2U21 线
保护	PL2201A
保护动作情况	过电流Ⅱ段动作,重合闸动作(成功),(保护处于检修态)
故障相别	BC 相
最大一次电流	14.509 kA
最大二次电流	29.017 A

4.2 移动端故障简报数据获取方案

保护动作时间：从故障录波hdr文件中Fault Start Time获取。

电力地市局位置：通过配置获取。

厂站名称：通过配置获取。

间隔名称：通过开关控制每个设备从装置参数被保护设备信号点获取或者从调度命名配置文件获取。

保护设备：从scd中iedName获取。

保护动作情况：动作元件是从故障录波hdr文件中TripInfo节点根据“保护”“动作”“跳”“合”等关键字来获取。保护检修信息是根据保护MMS报告中的检修品质位来获取。重合闸状态是根据重合闸后续是否存在继续动作来判断，若重合闸后续依旧存在后加速等动作，则认为重合闸失败；否则重合闸成功。

故障相别：从故障录波hdr文件中FaultInfo节点根据“故障相别”关键字获取。

最大二次电流：从故障录波hdr文件中FaultInfo节点数据来提取最大电流数据。

最大一次电流：从故障录波hdr文件中SettingValue节点数据根据“TA一次额定值”“TA二次额定值”关键字获取电流比信息，根据电流比信息和最大二次电流计算得到最大一次电流。当hdr文件中不包含电流比信息时，根据配置文件获取。

4.3 移动端故障简报数据跨区穿越推送

1）二区主站系统实时将故障简报信息保存为文本文件。

2）二区主站系统将故障简报文本文件保存在二区主站服务器固定目录下。

3）通过设置二三区横向隔离装置实现定时将二区主站服务器的故障简报文本文件同步到三区移动端数据推送系统服务器固定目录下。

4）三区移动端数据推送系统会读取推送的文本文件信息，将故障简报数据以短信形式推送到移动终端。

5）从站端保护动作事件产生到二三区数据穿越以及移动终端推送系统推送短信耗时大概在2 s左右，能够保证运维人员及时收到推送信息。

5 现场应用案例

在某220 kV智能变电站应用本文提出的智能变电站远程可视化运维与无人值守技术方案，在子站机房部署数据采集单元，在调度机房部署主站服务器和工作站服务器。工作站界面如图7所示，现场运维检修人员可以远程在调度办公室监视负责区域内所有站点的实时状态。



图 7 现场应用工作站界面

Fig. 7 Field application workstation interface

2022年5月6日，某子站发生保护动作事件，图8为现场检修人员在移动端手机收到的变电站动作数据短信。从图8中可以看到，当变电站出现保护动作时，运维人员无须值守现场即可收到故障间隔、故障电流和故障相别等重要的动作信息数据推送，根据推送信息即可知道本次保护动作情况，可以根据推送数据信息来制定后续的运维工作安排。

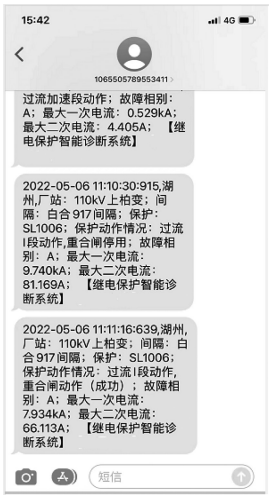


图 8 故障简报数据短信推送案例

Fig. 8 Fault briefing data SMS push case

6 结束语

变电站作为电网的核心环节，智能变电站的出现改变了传统变电站运维模式，实现变电站智能化、绿色化的转变，加快构建“无人值守+远程运维”的变电运维新模式，亦推进了智慧电网的发展。本文结合实际存在的问题，从网络架构与部署、远程可视化图形建模、远程智能巡视分析和远程移动端数据推送四个方面作为突破口，实现智能变电站的远程可视化运维与无人值守，解决了运维成本和日益增长的运维任务之间的矛盾。采用本文提出的智能变电站远程可视化运维与无人值守技术方案，可减少现场运维检修工作量，并且通过主动运维推送技术提前发现处置了多例严重隐患，切实提高了二次设备运维工作效率。

参考文献

[1] 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)：163-175．

[2] 郑明亮．探讨变电站变电运行管理的几点措施[J].

通讯世界，2014(9)：54-55．
[3] 金东．关于变电站变电运行管理的探索[J]．科技与企业，2015(24)：22．
[4] 叶远波，孙月琴，黄泰贵，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．
[5] 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．
[6] 裘愉涛，周震宇，杨剑友，等．继电保护远程运维技术研究与应用[J]．电力系统保护与控制，2018，46(18)：18-23．
[7] 管益斌，严国平，陈久林，等．继电保护装置运行失效特性分析与状态检修策略[J]．江苏电机工程，2013，32(2)：1-3．
[8] 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．
[9] 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．
[10] 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)：77-90．
[11] 叶远波，孙月琴，黄太贵，等．继电保护相关二次回路的在线状态检测技术[J]．电力系统自动化，2014，38(23)：108-113．
[12] 陶文伟，周凯，李金，等．基于状态监测的智能变电站二次设备状态检修[J]．电气技术，2016，103(12)：37-39．
[13] 张晓华，刘跃新，刘永欣．智能变电站二次设备的状态监测技术研究[J]．电气技术，2011，44(4)：51-53．

作者简介

栾士岩（1984—），男，高级工程师，主要研究方向为电力系统及其自动化。

（收稿日期：2022-11-02）