

# 基于流量控制的智能变电站网络传输可靠性提升方案

赵明君<sup>1</sup>, 吕航<sup>2</sup>, 杨贵<sup>2</sup>, 李力<sup>2</sup>

(1. 国网新疆信通公司, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

**摘要:** 智能变电站数据传输网络化是二次回路数字化的发展趋势,但在带来数据共享便利的同时,网络风暴等数据异常问题也给二次设备安全稳定运行带来一定隐患。分析了影响数据传输可靠性的主要问题,提出了基于数据流量控制的报文管理技术,可有效提高数据传输可靠性。针对跨网数据交换问题提出了基于跨网端口流量控制的解决方案。

**关键词:** 智能变电站; 数据传输; 可靠性; 流量控制

## Data transmission reliability promotion scheme in smart substation based on flow control

ZHAO Mingjun<sup>1</sup>, LÜ Hang<sup>2</sup>, YANG Gui<sup>2</sup>, LI Li<sup>2</sup>

(1. State Grid Information & Telecommunication Co., Ltd., Urumqi 830000, China;

2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** The secondary circuit digitization based on network is the developing trend of the smart substation, which facilitates the data sharing, while brings some hidden trouble to the safety and stability of the secondary equipment due to data abnormality such as network storm. In this paper, the main problems affecting the reliability of data transmission are analyzed and the message management technology based on data flow control is put forward, which can effectively improve the reliability of data transmission. A solution based on cross-network port flow control is also proposed for cross-network data exchange.

This work is supported by Science and Technology Project of the Headquarter of State Grid Corporation of China (No. JB71-16-008).

**Key words:** smart substation; data transmission; reliability; flow control

## 0 引言

智能变电站的主要特征是全站信息数字化、通信平台网络化、信息平台共享化<sup>[1-2]</sup>。目前广泛采用的保护直采直跳方式虽减少了交换机环节的影响<sup>[3-4]</sup>,但加剧了数据链路异常带来的可靠性问题,尤其是对于母线保护等跨间隔设备,多根点对点光纤的通信可靠性比双重化网络传输方式可靠性更低,且因网口数量多导致装置功耗高、发热量大,对设备长期稳定运行不利。所以二次回路网络化是必然的发展趋势,有利于实现更方便的数据共享、光纤回路简化以及数据传输冗余度的提升<sup>[5-9]</sup>。

智能变电站数据传输网络化在带来数据共享便利的同时,也给变电站安全运行带来一定隐患,网

络风暴等数据异常情况便是其中最为严重的问题,不仅会造成网络堵塞,严重影响信息流的实时性和可靠性,还会冲击智能变电站的过程层和间隔层中的所有组网设备,给保护控制等二次设备的可靠运行带来挑战,严重影响智能变电站安全稳定运行。

本文将分析导致智能变电站网络数据异常的主要原因,并针对性地提出提高数据传输可靠性的方案。智能变电站中为双重化设备配置了双套独立网络,但单套设备与双重化设备间存在数据交换需求,在分析跨网数据交换实现现状的基础上,提出了既方便跨网数据共享又安全可靠的解决方案。

## 1 数据传输可靠性问题分析

过程层网络是智能变电站信息传输及共享的基础,其性能决定了智能变电站乃至电网的安全可靠运行。智能变电站过程层网络信息流既承载着采样、开关状态等电网运行状态数据,也承载着二次设备

间跳闸、闭锁等控制命令，过程层网络的性能最终可表征为信息流的分布特性、实时性、可靠性和同步性等特征指标<sup>[10-12]</sup>。在设备异常导致网络数据异常的情况下，过程层网络可能出现网络拥塞、数据丢失等诸多异常情况，将严重影响信息流的实时性和可靠性，给继电保护等二次系统的可靠运行带来挑战。

网络数据传输异常的表现形式不同，但导致网络异常产生的原因既和网络的拓扑结构、数据传输方式等有关，也与过程层网络的交换机设备和 IED 设备的状况有关<sup>[13-22]</sup>，常见的几种导致网络数据异常的原因如下。

1) 网络环路

尽管国内智能站标准已经将星形网络作为标准的网络拓扑结构，并要求二次设备各网口采用相互独立的以太网适配器。但工程实施过程中，如果个别的厂家二次设备内各端口的网络适配器并不完全独立，如：采用一个以太网适配器+HUB 的方式扩展出多个网络端口，这些设备跨接在星形双网上，就有可能导致产生网络环路，虽然表面上是星形网络架构，但实际上由于这些端口的互联构成了网络环路，大量广播数据包反复在网络中转发，将可能导致网络风暴的产生，进而造成网络瘫痪。

如图 1 所示，图中设备 1、设备 2 分别有两个端口接入交换机 1 及交换机 2，如果二次设备的过程层网络端口均采用独立的以太网适配器，星形网络结构没有任何问题。但如果设备的两个端口内部实际是通过集线器芯片扩充的端口，两台设备与两台交换机就构成了环网架构，存在导致网络风暴的风险。

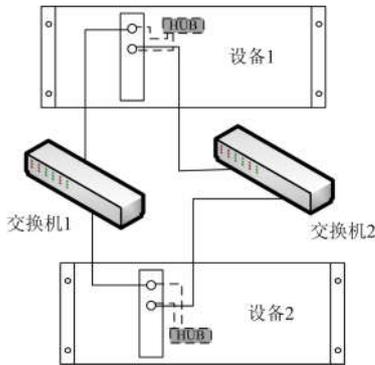


图 1 设备网口不独立导致的环网  
Fig. 1 Ring network caused by the non-independence of the equipment port

2) 设备端口或网卡损坏

当设备的某端口或者是网卡损坏后，有可能向网络中发送大量的异常报文，会导致大量无用数据

包的产生，进而占用大量带宽，严重时会产生网络风暴或者网络雪崩。

3) 应用程序问题

二次设备应用程序缺陷，比如应用程序失控地将大量报文写入报文缓冲区，也可能导致大量报文从过程层网卡发出，引起网络风暴或者网络雪崩。

VLAN 技术、静态组播技术和 GMRP 技术均有一定限度的流量管理功能，但是均无法有效解决同一物理链路中多个报文互相影响的问题。例如，当一路 GOOSE 报文异常而产生风暴时，会在瞬间达到几十兆甚至更大的流量，这个时候网络设备的带宽均被该 GOOSE 报文抢占，从而导致其他正常报文受到影响而出现丢包等异常情况，严重时会导致整网通信异常而扩大影响范围。

如图 2 所示，IED1 和 IED2 分别发送 SMV 及 GOOSE 报文到 IED3。正常情况下，两路 SMV 报文均可正常接收。

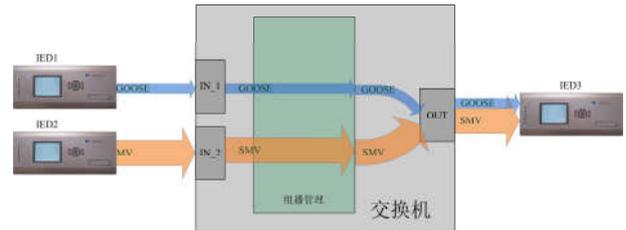


图 2 正常情况下的流量

Fig. 2 Normal flow of the switch

如图 3 所示，当 IED1 发出的 GOOSE 报文出现异常流量情况下，若 SMV 及 GOOSE 报文的优先级设置为相同，则交换机在 IED3 端口处因流量超过端口最大流量而出现了报文丢失现象，IED2 正常流量 SMV 报文受到 IED1 的异常流量报文影响而出现丢帧，导致 IED3 接收的 SMV 数据出现异常。

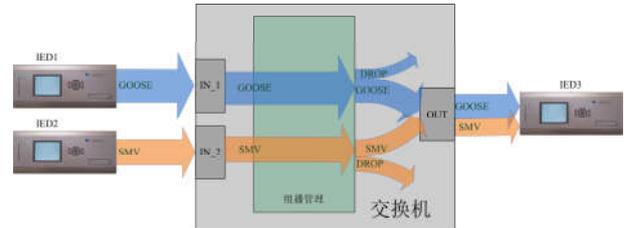


图 3 网络风暴情况下的流量

Fig. 3 Traffic in network storm cases

2 跨网数据交换问题

智能变电站某些应用场合下，单套配置的设备需要从双套配置的设备获取数据(或双重化的两套设备间交互数据)，不可避免地碰到跨网获取数据的问题，如单套备自投接收双套主变保护闭锁备投信

号、单套 110 kV 母联(或分段)智能终端接收双套主变后备保护跳闸信号等。

为提高过程层网络运行可靠性, 国标《智能变电站继电保护通用技术条件》要求:“双重化配置保护的过程层网络应遵循相互独立的原则, 当一个网络异常或退出时不应影响另一个网络的运行”。

目前工程应用中主要有单套配置装置跨双网、单套配置装置通过点对点方式与第二套设备直接通信两种方式。下面以单套配置的备自投装置订阅双套配置主变保护的闭锁备自投信号为例, 对这两种方案的运行风险进行分析。以下各图中, 红蓝实线表示物理链路, 红蓝虚线为数据流。

### 1) 单套配置装置跨双网

单套配置的 IED 设备通过不同的网口跨接在两套网络上, 如图 4 所示, 实现与双网设备间的数据交互。图中这种方案存在导致双套保护网络同时异常风险, 且跨网设备越多风险越大, 尤其是一些不起眼的设备容易被忽视, 从而导致网络异常。

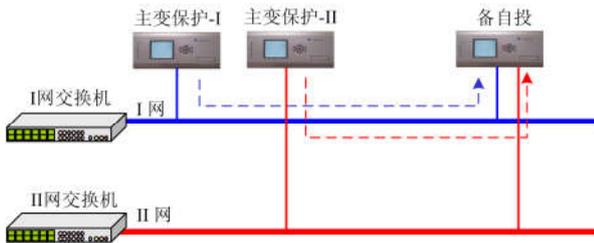


图 4 单套配置装置跨双网

Fig. 4 Single set equipment across two networks

如前所述, 设备各网口网络适配器不独立, 可能形成隐形的网络环路。现场曾经发生过由于设备跨网导致网络风暴的情况: 某 220 kV 智能站站控层网络出现异常, 经查是由于某厂家录波器 A、B 网的端口不独立, 导致 A、B 网被打通, 引起站控层广播报文风暴, 影响到全站的站控层通信, 这就是由设备跨网导致网络典型的典型案例。

国标《智能变电站继电保护通用技术条件》要求“装置接入不同网络时, 应采用相互独立的数据接口控制器”, 但即便按要求采用了相互独立的数据接口控制器, 仍存在因软件运行异常等原因导致设备同时向双重化网络发送大量数据的问题, 可能导致双套过程层网络同时出现异常。

在此方案基础上, 如果在跨网设备的接入点上增加流量控制, 如图 5 所示, 可以防止上述设备原因导致的双套保护网络同时出现异常的问题。但任一跨网设备都是风险点, 必须做好所有跨网设备的流量控制才能保证过程层网络整体运行的可靠性,

所以此方案风险点分散不易控制, 对工程实施质量要求很高。

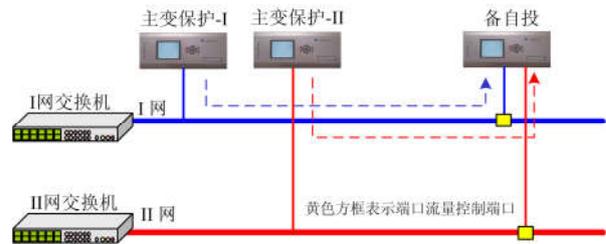


图 5 单套配置装置跨双网(增加流控)

Fig. 5 Single set equipment across two networks with flow control

2) 单套配置装置通过点对点方式与第二套设备直接通信

这种方案单套配置的装置挂在第一套过程层网络上, 通过点对点方式与第二套设备直接通信, 如图 6 所示。

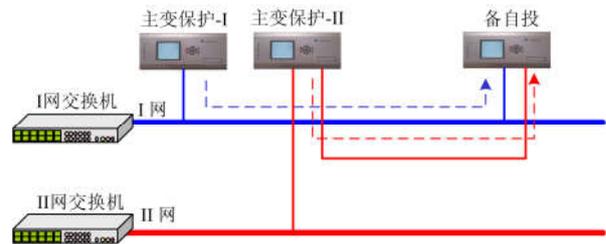


图 6 单套配置设备通过点对点与第二套设备通信

Fig. 6 Single set equipment communicates with the second equipment through point-to-point

这种方案要求设备具备更多的网络接口, 某些情况下增加的网口数量可能较多, 这将导致设备标准化困难, 通信环节的增加则可能导致装置整体的可靠性下降。

## 3 提高数据传输可靠性的措施

### 1) 基于数据流量控制的报文管理技术

VLAN 技术、静态组播技术和 GMRP 技术均有一定限度的流量管理功能<sup>[23-25]</sup>, 但是均无法有效地解决图 3 中报文间互相干扰的问题。

通过网络报文流量控制可以实现交换机对智能站网络报文的精确管理, 可解决智能变电站网络报文间互相影响的问题, 消除智能变电站网络风暴给二次设备安全运行带来的隐患。

如图 7 所示, 在开启交换机报文流量控制功能的情况下, 当 IED1 的 GOOSE 报文出现异常流量的情况下, 交换机内部的流控策略启动, GOOSE 报文流量被限制在门限值下。交换机在 IED3 端口

输出的正常的 SMV 报文和经流控的 GOOSE 报文，IED3 接收的 SMV 报文未受到影响。

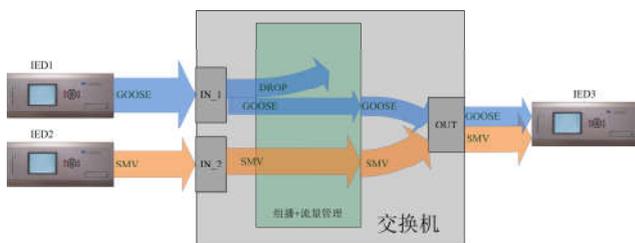


图 7 网络风暴情况下的流量(带流控)

Fig. 7 Traffic in network storm cases with flow control

引发网络风暴的原因主要有网卡损坏和网络环路等，涉及的报文分为三种：广播报文、组播报文和未知地址的单播报文。无论是什么类型的数据报文，在发生网络风暴时，均会在网络上出现大量重复的多播报文，即风暴报文具有重复性。网络风暴监测和过滤算法主要针对报文的重复性这一特点进行设计，只要在最短时间内判断出网络中存在大量重复的报文，即可为判断是否发生网络风暴提供有力的判据。

基于数据流量控制的报文管理技术的具体实现方案如下：

(a) 在 SWITCH(交换处理芯片)和 PHY(端口物理层)之间增加 FPGA(现场可编程门阵列)，交换机 CPU 向 FPGA 下发报文管理策略，由 FPGA 实现交换机的网络报文管理方法；

(b) FPGA 将合法网络报文的 MAC 地址、APPID 信息注册在接收报文白名单中，将非法网络报文的 MAC 地址、APPID 信息注册在屏蔽报文黑名单中，通过报文管理策略实现分类管理不同网络报文，如接收合法网络报文，丢弃非法网络报文并报警，对既不在白名单又不在黑名单中的网络报文丢弃或转发。

(c) FPGA 程序对不同网络报文分类进行流量统计，设置流量监视门槛，根据报文管理策略处理流量超限报文，丢弃超过流量监视门槛的网络报文并报警。SMV 报文每秒 4 000 帧报文且报文长度固定，其特点是流量基本稳定，交换机端口数据排队等情况导致 SMV 报文流量存在轻微的波动，因此 SMV 报文流控门槛设置只需在 SMV 报文理论流量基础上增加少量裕度即可。而 GOOSE 报文在无变位的情况下，维持 5 s 一帧的心跳报文，有变位情况下出现突发流量，需根据系统最严重突发情况下可能达到最大突发流量设置流控门槛。典型的 SMV 流量门槛为 10 M 左右，GOOSE 流量门槛为

2 M 左右。

(d) FPGA 将接收到的网络报文中的 CRC 校验码放入缓存，如在一个设定的数据窗内出现多个相同报文 CRC 校验码，说明网络中存在风暴报文，可根据报文管理策略对风暴报文进行丢弃处理。

采用网络流控可以实现智能变电站过程层交换机对网络报文的精确管理，有效地解决了过程层网络异常报文占用有效带宽的问题，最大限度地保证了过程层网络同一物理链路中各数据链路互不影响，显著提高了数据传输的可靠性。

### 2) 跨网数据交换解决方案

为解决单套设备从双套配置的设备获取数据问题，同时不影响两套过程层网络运行的可靠性，提出基于跨网端口流量控制的网络流控装置方案。

网络流控装置实现了双重化网络之间的有效隔离，网络流控装置端口及双重化网络接入端口均采用流量控制(如图 8 所示)，可见共有 4 个流量控制点，双重化网络接入点的交换机或网络流控装置中任一设备出现异常的情况下，仍能做到“一个网络异常或退出时不应影响另一个网络的运行”。

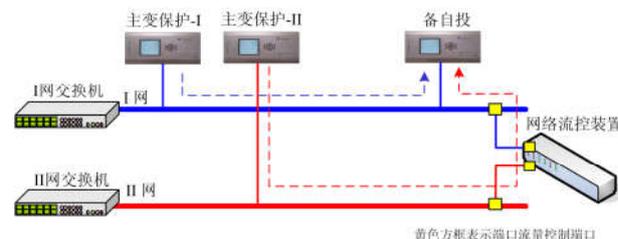


图 8 基于流量控制的网络流控装置方案

Fig. 8 Scheme of network device based on flow control

采用此方案，一方面实现了需要交互数据设备间的灵活共享，不再有信息交互的瓶颈；另一方面，通过对跨网端口的流量限制，保证了两套网络的相对独立，一套网络发生异常不会波及影响到另一套网络的安全稳定运行。

为了验证此方案的有效性，搭建如图 9 所示的测试系统，备自投装置挂在 I 网上，通过网络流控装置获取 II 网上第二套主变保护的闭锁备投信号，4 个流量控制点的流量限制均设置为 20 M。

测试一：退出主变保护 1 功能软压板，在合并单元通入故障电流模拟系统故障，主变保护 2 动作，备自投装置收到主变保护 2 的闭锁备投信号，其动作行为正常。此测试结果表明：该方案实现了双重化网络上的设备间数据交换。

测试二：为测试两网存在光纤连接的情况下，一套网络出现异常流量情况下，另一套网络是否会

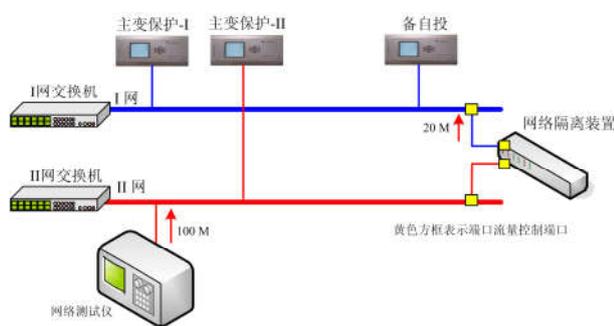


图9 网络风暴测试系统

Fig. 9 Network storm test system

受到影响, 在第二套网络上挂接网络风暴发生器, 模拟自备投装置订阅的第二套主变保护的GOOSE风暴/雪崩报文及SV风暴报文。

分别施加100 M的GOOSE风暴/雪崩报文及SV风暴报文, 从第一套网络接入光纤处测得的流量均被限制在20 M, 合并单元通入故障电流模拟系统故障, 第一套保护动作行为正常; 第二套保护因网络阻塞导致保护拒动。此测试结果表明: 采用基于流量控制的网络流控装置方案, 保证了两套网络的相对独立, 一套网络发生异常不会波及影响到另一套网络的安全稳定运行。

对于典型的220 kV智能站, 若存在跨网数据传输需求, 采用此方案一般仅需为220 kV及110 kV两个电压等级各增加一台网络流控装置(若为同源冗余双网, 需各增加两台), 在保证双重化网络相对独立的前提下, 显著提高了双网间数据共享的方便性, 具有良好的技术经济指标。

## 4 结论

本文详细分析了导致智能变电站网络数据异常的主要原因, 提出了基于数据流量控制的报文管理技术, 解决了同一物理链路中多个报文互相影响的问题, 而且具备白名单过滤、网络风暴抑制、异常报文识别等功能, 有利于提高智能站数据传输的可靠性。

针对智能变电站跨网数据交换的需求, 提出了基于跨网端口流量控制的网络流控装置方案。该方案既实现了跨网设备间的数据灵活共享又保证了两套网络的相对独立, 一套网络发生异常不会波及影响到另一套网络的安全稳定运行。该方案已在葛洲坝500 kV开关站等智能变电站工程中得到应用, 现场二次设备长期运行情况良好。

## 参考文献

[1] BO Zhiqian, LIN Xiangning, WANG Qingping, et al.

- Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 1-8. DOI 10.1186/s41601-016-0012-2.
- [2] ZHANG Baohui, HAO Zhiguo, BO Zhiqian. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(2): 27-33. DOI 10.1186/s41601-016-0025-x.
- [3] 韩本帅, 王倩, 孙中尉, 等. 智能变电站继电保护跳闸实现方式研究[J]. 中国电力, 2012, 45(8): 24-27. HAN Benshuai, WANG Qian, SUN Zhongwei, et al. Research on relay protection tripping modes in smart substation[J]. Electric Power, 2012, 45(8): 24-27.
- [4] 王同文, 谢民, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 58-66. WANG Tongwen, XIE Min, SUN Yueqin, et al. Analysis of reliability for relay protection systems in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 58-66.
- [5] 樊陈, 倪益民, 窦仁辉, 等. 智能变电站过程层组网方案分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 67-71. FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Analysis of network scheme for process layer in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(18): 67-71.
- [6] 王璐. 智能变电站过程层组网分析与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(2): 141-144, 150. WANG Lu. Analysis and application of the smart substation process level network[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(2): 141-144, 150.
- [7] 李辉, 刘海峰, 赵永生. 智能变电站过程层组网改进方案[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(3): 218-223. LI Hui, LIU Haifeng, ZHAO Yongsheng. Improved process-level networking scheme of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(3): 218-223.
- [8] 陶文伟, 高红亮, 杨贵, 等. 智能变电站过程层冗余组网模式及网络延时累加技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(8): 124-129. TAO Wenwei, GAO Hongliang, YANG Gui, et al. Research on redundant networking mode and network delay accumulation technology of smart substation process layer[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(8): 124-129.
- [9] 王芝茗, 张延鹏, 赵志刚. 智能变电站过程层网络技术的研究与应用[J]. 电气自动化, 2013, 35(6): 57-59. WANG Zhiming, ZHANG Yanpeng, ZHAO Zhigang. The research and application of the process layer network technology in intelligent substations[J]. Electrical Automation, 2013, 35(6): 57-59.
- [10] 陈桥平, 陈志光, 黄勇, 等. 智能变电站过程层网络报文与流量分布计算方法[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(9): 117-121. CHEN Qiaoping, CHEN Zhiguang, HUANG Yong, et al.

Calculation of distribution of message and traffic load for process bus network in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(9): 117-121.

[11] 刘昊昱, 左群业, 张保善. 智能变电站过程层网络性能测试与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(18): 112-116.  
LIU Haoyu, ZUO Qunye, ZHANG Baoshan. Process level network performance testing and analysis in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(18): 112-116.

[12] 徐春霞, 张艳霞, 葛跃田. 智能变电站过程层网络数据流的分析与研究[J]. 中国电力, 2013, 46(8): 153-159.  
XU Chunxia, ZHANG Yanxia, GE Yuetian. Analysis and study on intelligent substation process level network data stream[J]. Electric Power, 2013, 46(8): 153-159.

[13] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96.  
ZHANG Xuze, ZHENG Yongkang, KANG Xiaoning, et al. Several problems of intelligent substation relay protection system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 90-96.

[14] 欧阳帆, 刘海峰, 赵永生, 等. 智能变电站通信网络阻塞故障及其防范措施分析[J]. 电网技术, 2011, 35(11): 7-11.  
OUYANG Fan, LIU Haifeng, ZHAO Yongsheng, et al. Analysis on communication network congestion occurred in smart substation and preventive measures[J]. Power System Technology, 2011, 35(11): 7-11.

[15] 郝长端, 刘钰, 陈树果. 智能变电站网络通信异常的分析[J]. 电气技术, 2016(9): 135-138.  
HAO Changduan, LIU Yu, CHEN Shuguo. Analysis of the network communication faults for smart substation[J]. Electrical Engineering, 2016(9): 135-138.

[16] 朱来强, 陈新之, 高志勇. 数字化变电站中广播风暴的防治[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(11): 98-101.  
ZHU Laiqiang, CHEN Xinzhi, GAO Zhiyong. Prevention of digital substation broadcast storm[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(11): 98-101.

[17] 黄天啸, 刘平, 辛光明, 等. 智能变电站过程层网络风暴的分析与处理[J]. 中国电力, 2014, 47(11): 112-115, 120.  
HUANG Tianxiao, LIU Ping, XIN Guangming, et al. Analysis and treatment of process-level network storm in smart substation[J]. Electric Power, 2014, 47(11): 112-115, 120.

[18] 浮明军, 刘秋菊, 左群业. 智能变电站网络风暴测试研究[J]. 现代电力, 2013, 30(3): 85-89.  
FU Mingjun, LIU Qiuju, ZUO Qunye. Research on the network storm testing of smart substation[J]. Modern Electric Power, 2013, 30(3): 85-89.

[19] 姚亮, 邹磊, 王胜. 智能变电站继电保护应对网络风暴的策略探讨[J]. 电气自动化, 2016, 38(5): 60-63.  
YAO Liang, ZOU Lei, WANG Sheng. Strategies on how to use smart substation relaying to deal with the network storm[J]. Electrical Automation, 2016, 38(5): 60-63.

[20] 黄曙, 马文霜, 陈炯聪, 等. 智能变电站网络风暴的监测和过滤算法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(18): 68-72.  
HUANG Shu, MA Wenshuang, CHEN Jiongcong, et al. Research on the network storm monitoring and filtering algorithm in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(18): 68-72.

[21] 王志华, 杜振华, 董志平, 等. 智能变电站网络风暴抑制技术研究[J]. 电气工程学报, 2016, 11(2): 40-46.  
WANG Zhihua, DU Zhenhua, DONG Zhiping, et al. Study of intelligent substation network storm suppression technology[J]. Journal of Electrical Engineering, 2016, 11(2): 40-46.

[22] 余越, 周春霞, 詹荣荣, 等. 智能变电站继电保护装置网络压力产生原因及测试方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(18): 156-162.  
YU Yue, ZHOU Chunxia, ZHAN Rongrong, et al. Research on network stress causes and test method of relay protection in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(18): 156-162.

[23] 魏勇, 罗思需, 施迪, 等. 基于 IEC61850-9-2 及 GOOSE 共网传输的数字化变电站技术应用与分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 146-152.  
WEI Yong, LUO Sixu, SHI Di, et al. Research and application on digital substation based on IEC61850-9-2 and GOOSE communication in one network[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 146-152.

[24] 王文龙, 刘明慧. 智能变电站中 SMV 网和 GOOSE 网共网可能性探讨[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(增刊): 55-59.  
WANG Wenlong, LIU Minghui. Research on the shared-network of SMV and GOOSE in smart substation[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(S): 55-59.

[25] 卢岩, 宋玮, 于同伟, 等. 智能变电站过程层数据共网可靠性研究[J]. 电力科学与工程, 2012, 28(6): 51-55.  
LU Yan, SONG Wei, YU Tongwei, et al. Research on reliability of the process layer data in one network on smart substation[J]. Electric Power Science and Engineering, 2012, 28(6): 51-55.

收稿日期: 2018-06-05; 修回日期: 2018-08-31

作者简介:

赵明君(1970—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电网运行管理;

吕航(1971—), 男, 通信作者, 硕士, 研究员级高级工程师, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: lvh@nrec.com

杨贵(1976—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为变电站自动化。

(编辑 魏小丽)