

智能变电站 SCD 应用模型实例化研究

杨毅¹, 高翔², 朱海兵³, 崔玉³, 李云鹏⁴

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 上海毅昊自动化有限公司, 上海 201204;
3. 国网江苏省电力公司, 江苏 南京 210024; 4. 国网南通供电公司, 江苏 南通 226006)

摘要: 变电站配置描述(SCD)文件是智能变电站二次系统的核心部分。针对目前智能变电站工程 SCD 文件应用过程中无法有效支持 IEC 61850 面向对象高级应用的问题, 提出了一种基于全模型 SCD 的智能变电站二次系统可视化管理及智能诊断技术方案。该方案通过建立 SCD 应用模型, 完整构建了一、二次设备及网络通信的拓扑关系。通过 500 kV 智能变电站二次演示系统的推演, 验证了全模型 SCD 对于实现面向对象管理模式的有效性, 可为变电站无人值守、调控一体化、运维一体化提供技术支持。

关键词: 智能变电站; 继电保护; SCD; 全模型; 可视化

Case study on SCD application based on demo smart substation

YANG Yi¹, GAO Xiang², ZHU Haibing³, CUI Yu³, LI Yunpeng⁴

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. Shanghai Yihao Automation Co., Ltd., Shanghai 201204, China; 3. State Grid Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China;
4. State Grid Nantong Power Supply Company, Nantong 226006, China)

Abstract: Substation configuration description (SCD) plays a critical role in IEC 61850 based smart substations. This paper proposes a solution of smart substation secondary system visualization and intelligent diagnosis based on a complete SCD model, in order to mitigate the issue that the SCD file is difficult to effectively support object-oriented IEC 61850 advanced applications. This solution builds topological relationships among primary, secondary equipment, and network communication using SCD application models. The effectiveness of the proposed solution is validated in a demo platform of a 500 kV smart substation secondary system. This demo system realizes various advanced applications and object-oriented management of smart substation based on the complete SCD model, which will provide reliable technical support for substation operation without human being, dispatching and control integrated, as well as operation and maintenance integrated.

Key words: smart substation; relay; SCD; complete model; visualization

中图分类号: TM76

文章编号: 1674-3415(2015)22-0107-07

0 引言

随着基于 IEC 61850 标准的智能变电站自动化技术的不断推广和应用, 目前我国已成为智能变电站投运数量最多的国家^[1-4]。

智能变电站有别于常规变电站的最大特征是二次系统高度依赖于变电站配置描述文件(Substation configuration description, SCD), 整个二次系统涵盖在 SCD 文件中, 常规综合自动化系统智能电子装置(Intelligent electronic device, IED)基于端子的二次联

接关系, 演变为基于面向通用对象变电站事件(Generic object oriented substation event, GOOSE)数据包的虚端子/虚回路对应关系^[5-8]。由此, SCD 文件成为智能变电站二次系统的关键, 二次系统成为“黑匣子”, 这给智能变电站二次系统的运行维护管理带来了新的挑战^[9-10]。

本文通过分析现阶段 SCD 文件的工程应用特征, 结合实验室 500 kV 智能变电站演示系统, 提出了基于 SCD 的二次系统可视化管理及二次系统智能诊断技术方案。该方案可以有效提高智能变电站二次系统的可维护性, 为变电站无人值守、调控一体化、运维一体化管理模式提供技术支持。

基金项目: 江苏省自然科学基金资助(BK20140114)

1 关于继电保护应用模型的思考

1.1 智能变电站工程模式

智能变电站工程实施一般基于 SCD 文件通过系统配置工具(System Configurator)及 IED 配置工具(IED Configurator), 完成二次系统的信号关联配置, 参见图 1^[11-12]。

智能变电站的.SCD 文件描述了: ① 变电站一次设备模型与电气拓扑信息; ② 功能视图, 自动化功能在各间隔内的分配; ③ IED 视图, IED 能力描述; ④ 通信视图, 通信配置信息; ⑤ 产品视图, IED 视图中的逻辑节点(logical node, LN)与功能视图中的 LN 的映射; ⑥ 数据流, IED 之间的水平通信与垂直通信, 参见图 2^[13-14]。

1.2 工程实践存在的问题

随着智能变电站的大范围推广, 智能变电站前

期设计、设备及应用的问题也逐渐暴露, 尤其二次系统的运行维护管理出现了很大的困难, 具体如下。

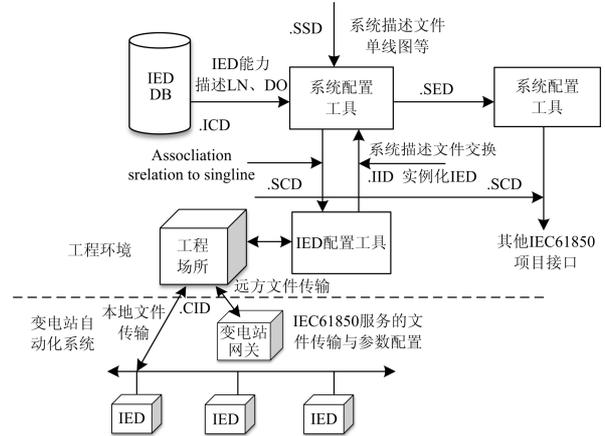


图 1 IEC 61850 工程的配置过程
Fig. 1 Configuration process of IEC 61850 project

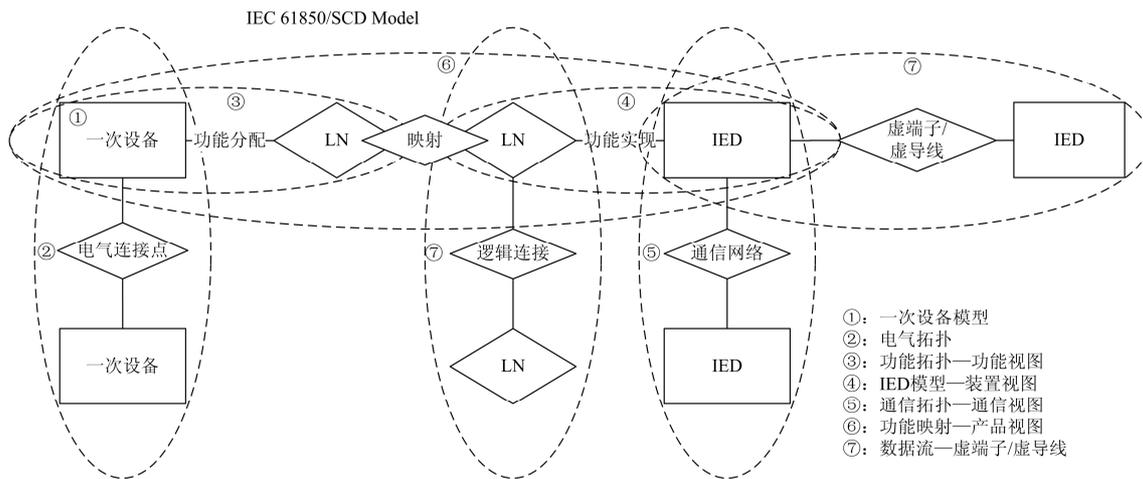


图 2 SCD 信息示意图
Fig. 2 SCD information model

(1) 增加合并单元、智能终端及大量以太网交换机, 二次系统构成更加复杂;

(2) 用光缆替代电缆联接, 整个二次系统基于 SCD 文件, 对于运行检修人员, 二次回路(虚端子、虚回路)变成了“黑匣子”;

(3) 现阶段二次系统产品没有有效解决智能变电站二次系统的可维护性问题, 管理极其复杂, 安全风险大;

(4) 进行智能变电站间隔改扩建或 IED 装置升级时, 由于全站二次系统保存于同一 SCD 文件中且彼此深度耦合, 不得不采取全站停电或模拟搭建完整站方案进行 SCD 验证试验。

实际工程应用中 SCD 应用不够规范, 仅停留在

满足互联互通的基本要求, 如无一次元件的应用规范, 无一、二次关联模型, 缺乏交换机模型, 以及没有逻辑通道(端口)与物理通道(端口)的对应关系等, 无法支持 IEC 61850 面向对象的高级应用, 例如无法实现面向对象的电网故障智能分析功能。

现阶段 SCD 基本采取离线管理机制, 但由于全站二次系统保存于同一 SCD 文件中且彼此深度耦合, 即在完成智能站工程验收后进行智能变电站间隔改扩建或 IED 装置升级时, 有时不得不采取全站停电或模拟搭建完整站方案进行 SCD 验证试验。

文献[15]提出了一种配置文件差异化的比对技术方案, 核心思想在于对 SCL 文件的关键元素定义了键值和比较判据, 查找出变更前后两个 SCL 文件

之间结构、元素、属性的差异性;文献[16]提出了基于 CRC 的 SCD 管控思路,核心思想在于通过配置工具形成过程层 SCD 子文件(CRC),由装置配置工具将配置文件及 CRC 下载至 IED 装置,通过读取 IED 装置的 CRC 比对与 SCD 配置文件的差异;文献[17]对于离线、在线、实施等各种 SCD 比较方案进行了综合分析,指出了 SCD 管理的主要难点在于被管理对象(IED 配置文件)的不可获取。

1.3 SCD 应用的思考

为了规范 IEC 61850 标准的应用,国家电网公司组织编写了《IEC 61850 工程继电保护应用模型》^[18],但是这个规范仅仅定义了保护等 IED 装置的信息模型,可以实现装置之间的互操作,但未涉及作为 SCD 重要组成部分的二次回路的模型描述,在实际工程应用中基本没有系统规范描述(System specification description, SSD)文件的工程化配置与应用。因此,本质上现阶段智能变电站自动化系统几乎就是采用 IEC61850 的通信协议部分,完成了等同于 IEC 60870-5-103 规约效用的工程应用。

现阶段智能变电站的系统集成商主要关注工程实施过程,很少关注智能变电站二次系统的可维护性,从工程投产的角度,二次系统的功能试验可以不依赖于完整的 SCD 模型。但是,从智能变电站 SCD 全生命周期的视角^[19],完整的 SCD 模型将具有非常高的实用价值,参见图 3。这是建立面向对象应用的基础,其主要难点在于需要完整构建一、二次及网络通信的拓扑关系。

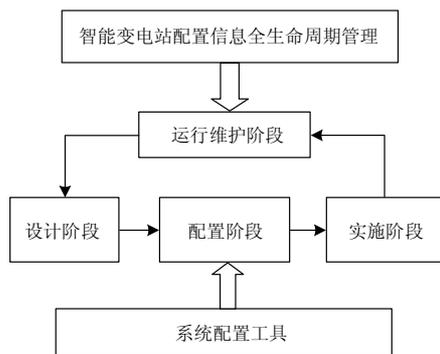


图 3 SCD 全生命周期管理示意图

Fig. 3 Life-cycle management of SCD

2 SCD 应用模型

2.1 一次设备建模

现阶段工程 SCD 文件基本没有变电站标签、一次设备模型,没有一、二次设备的关联信息模型,也没有交换机模型^[20],例如江苏某 220 kV 智能变电站 SCD 文件,如图 4 所示。

由图 4 可见,SCD 仅仅反映二次虚回路的关联性,无法支持面向对象的各种高级应用,这也是现阶段智能变电站工程 SCD 的典型缩影。

一次设备建模需要规范:主变建模原则、母线建模原则、其他一次设备建模原则、接地点建模原则、间隔建模原则、虚拟设备建模原则等。

```

<!--Item version="V1.02" revision="V1.02" when="2013-03-07T15:32:36" who="runy" what="增加1109
-->
</History>
</Header>
<Substation desc="清阳后周变" name="清阳后周变"/>
<Communication>
<SubNetwork desc="" name="RMS" type="R-RMS">
<ConnectedAP sIDname="S1" desc="" idIDname="CE2221"/>
<Address>
<P type="IP" IP="172.016.022.21"/>
<P type="IP-SUBNET" IP="255.255.0.0"/>
</Address>
<GSE cbName="goch0" idInst="CTRL">
<Address>
<P type="MAC-Address" MAC="01-0C-CD-01-00-01"/>
<P type="VLAM-ID" VLAM="000"/>
<P type="VLAM-PRIORITY" VLAM="4"/>
<P type="APPID" APPID="0001"/>
</Address>
<MaxTime multiplier="M" unit="s"/>
<MaxTime multiplier="M" unit="s"/>
</GSE>
</ConnectedAP>
<ConnectedAP sIDname="S1" desc="" idIDname="CE2223"/>
<Address>
<P type="IP" IP="172.016.022.23"/>
<P type="IP-SUBNET" IP="255.255.0.0"/>
</Address>
<GSE cbName="goch0" idInst="CTRL">
<Address>
<P type="MAC-Address" MAC="01-0C-CD-01-00-03"/>
<P type="VLAM-ID" VLAM="000"/>
<P type="VLAM-PRIORITY" VLAM="4"/>
</Address>
</GSE>
</ConnectedAP>
    
```



图 4 某 220 kV 智能变电站 SCD 截图

Fig. 4 SCD file of a 220 kV smart substation

2.2 二次设备配置

IEC 61850 标准的重要思想就是支持面向对象的建模,确保信息的唯一性。借鉴 SSD 用于描述变电站一次拓扑结构的思路,规范一次设备建模原则,规范二次设备的配置原则,以实现一、二次设备的模型关联。规范 IED 配置,采用模型描述一次设备与保护功能之间的关联关系。IEC 61850(Ed2.0)新增了 LCCH 逻辑节点,用于交换机建模^[21]。

2.3 通信建模

由于智能变电站的二次系统通过物理联接和链路联接构成,因此,需要规范光缆、光口、板卡的命名,保证全站唯一;需要监视物理通信端口的状态,如在<Substation>分支中配置相应的<Function>标签,然后在该标签下层配置描述端口状态的相应 LN 智能变电站;同时需要验证 SCD 变更后过程层二次关联性的一致性;支持物理链路和逻辑链路的通道及端口状态监视。

2.4 压板建模

需要对二次系统的隔离环节,建立基于模型描述,如输入/输出软压板、功能投退软压板、检修压板、跳合闸硬压板等。

由于机器很难自动识别不同类型的压板与其控制对象的关系,因此需要通过约定压板的描述 desc 来区分不同类型压板的语义。

3 演示系统实例化推演

3.1 演示系统概述

智能变电站的 IED 装置通过数据集(DATA Set)

定义了与其他 IED 信号的关联, 以往的 IED 装置端子排作为管理界面, 演变成了数据包(GOOSE OUT)的发送和(GOOSE IN)接收关系。因此, 装置端子排的可视化有助于确定管理维护界面, 装置可视化范畴包含合并单元、智能终端、线路保护、母线保护、变压器保护、断路器保护(含测控、失灵)等。

项目研究结合江苏典型 500 kV 智能变电站设计方案搭建了演示系统, 同时结合国调中心调继

(2014) 80 号文“继电保护设备在线监视与分析提升方案”^[22]的精神配置了继电保护在线监测装置, 以验证全模型 SCD 推演的有效性, 项目研究的演示系统如图 5 所示。演示系统所接入的二次设备来自南瑞继保、国电南自、北京四方、长园深瑞、许继电气等国内主流电力自动化设备厂家, 包括主变保护、开关保护、母线保护、线路保护、合并单元、和智能终端等 IED。

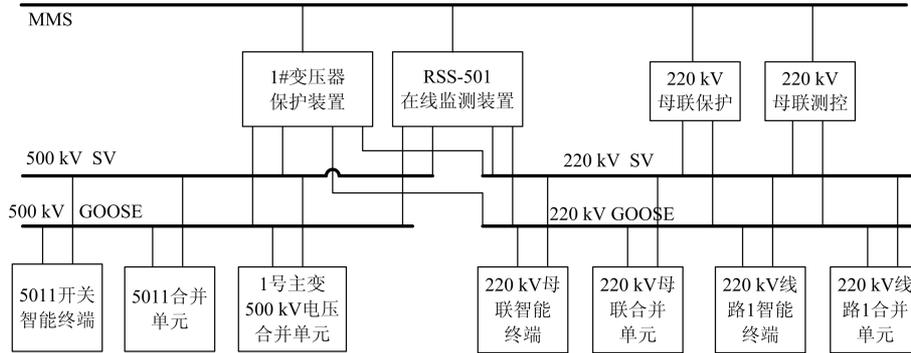


图 5 演示系统示意图

Fig. 5 Demo smart substation

3.2 演示系统 SCD 推演

在完成演示系统搭建后, 采用江苏电科院的系统配置工具, 完成了 SCD 文件的配置, 形成的 SCD 文件截图参见图 6。

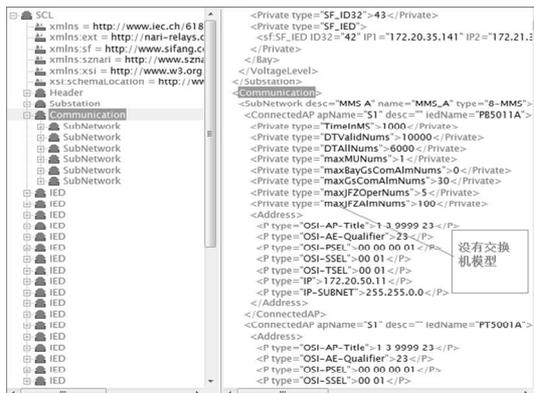


图 6 演示系统 SCD 文件

Fig. 6 SCD file of demo smart substation

由图 6 可知, 演示系统 SCD 同样缺乏 SSD、一、二次关联模型、通信联接模型等信息。为此, 项目研究过程中采用自主研发的 RSW-50 SCD 全模型配置工具, 补充了全模型 SCD 所需参量, 形成全模型 SCD 文件, 见图 7。

全模型 SCD 配置的核心思想是克服 IEC 61850 通信描述机制不足, 解决弱化物理通信介质和网络设备描述的问题, 使得智能变电站二次系统的所有

物理对象具备可描述的特征, 如过程层交换机, 联接光纤、压板等, 这样就可以实现基于模型的可视化映射。

图 7 全模型 SCD 参数配置示意图

Fig. 7 Parameter configuration for complete SCD model

由此, 在 SCD 全模型推演中通过交换机及过程层物理联接建模, 具备了完整的对象描述基础, 可支持实现基于 SCD 模型的各种高级应用。

3.3 二次系统可视化

项目研究基于全模型 SCD, 采用图模映射技术实现了二次系统功能回路的可视化展示, 可视化展示内容依据业务特征, 如交流回路、光纤内部虚回路等, 如图 8 所示。

这种基于业务的功能回路摒弃了以往基于链路

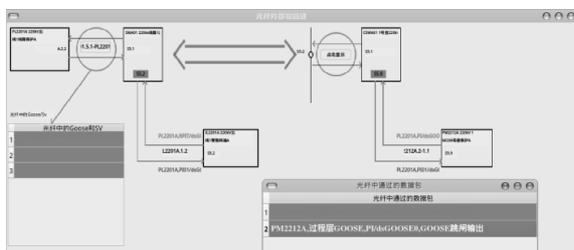


图 8 光纤内部虚回路图

Fig. 8 Virtual circuits inside the optical fiber

可视化展示的弱点, 实现 SV、GOOSE 报文与二次系统功能回路的映射, 使得运维人员无需关注 IEC 61850 特征, 仍然可以以常规综自的方式, 实现智能变电站二次系统的运维管理。

智能变电站二次系统运行维护的关键环节之一是功能配置、检修隔离点, 具体反映在 IED 功能投退压板、输入/输出压板、及装置检修压板(用于隔离信号), 尽管修订后的 Q/GDW 1396-2012 标准^[23]对于压板建模提出了具体要求, 但没有压板关联关系的描述。项目研究采用磁性原理压板, 压板的投退状态可以经智能终端的 GOOSE 反映, 实现了跳合闸联接回路的状态监测, 如图 9 所示。

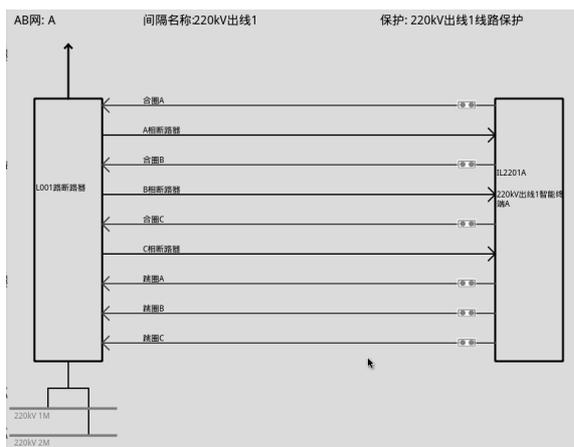


图 9 硬压板可视化示意图

Fig. 9 Hard strap visualization

4 二次系统异常推演

4.1 基于全模型 SCD 智能诊断

在建立全模型 SCD 后, 整个二次系统具备了基于模型的对象管理基础, 实现二次系统智能诊断也将具备信息源基础。依据在线获取的保护系统信息, 即合并单元、智能终端、保护装置及二次回路状态, 结合一、二次设备的关联关系, 对于二次系统的异常状态进行智能判断, 为运行检修提供决策依据。

如前所示, 由于通过对于二次系统的物理设备

完成全模型建模, 这样就可以基于 SCD 模型在通信物理联接与通信链路之间建立映射关系, 以及在通信链路及二次功能回路上建立映射关系, 由此, 构建了二次系统智能诊断的模型基础。

4.2 二次系统异常判别原则

物理链路异常判别, 其中包含: 智能设备、交换机及其包含的物理端口及物理连接。项目研究过程中在演示系统模拟断开 XX 光纤, 状态监测装置 RSS-501 显示所影响的功能回路, 如图 10 所示。

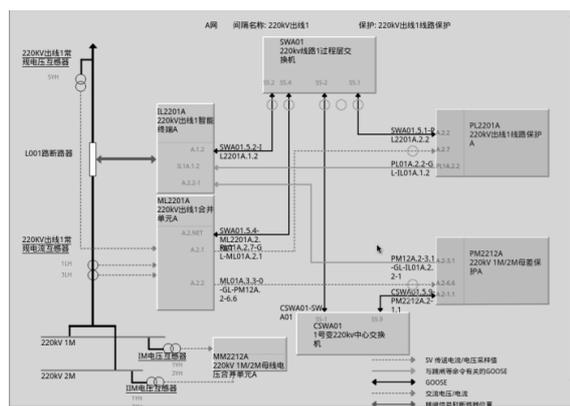


图 10 光纤物理连接异常告警

Fig. 10 Alerts for abnormal fiber connection

逻辑链路异常判别: 其中包含智能设备、逻辑链路及其包含的逻辑信号, 项目研究过程中人为设定某 SV 链路、GOOSE 链路, 在线监测装置 RSS-501 展示对应的功能回路, 如图 11 所示。

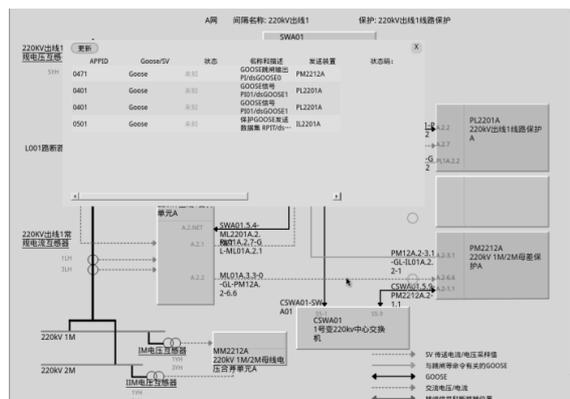


图 11 SV/GOOSE 链路可视化

Fig. 11 SV/GOOSE link visualization

SCD 变更判别: 项目研究中模拟某 IED 二次回路变更, RSS-501 展示相应变更影响范畴, 模拟增加某一个回路, RSS-501 展示相应变更影响范畴, 如图 12 所示; 至此完成演示系统功能验证试验。



图 12 虚回路变更

Fig. 12 Virtual circuit alteration

5 结语

本文提出了基于全模型 SCD 的智能变电站二次系统可视化管理及智能诊断技术方案，解决了目前 SCD 应用过程中无法有效支持 IEC 61850 面向对象高级应用的问题。基于此方案开发的全模型 SCD 在线运行维护系统有效验证了《智能变电站二次设备在线监视和智能诊断技术规范》中相关要求的可实现性^[20]，可支持对智能变电站继电保护设备及二次回路的状态监测，并可为运行检修工作提供辅助决策支持。随着智能变电站的快速推广，基于全模型 SCD 在线运维系统将成为继电保护运维人员维护和检修保护设备的重要技术管理手段。

参考文献

[1] 李永亮, 李刚. IEC 61850 第 2 版简介及其在智能电网中的应用展望[J]. 电网技术, 2010, 34(4): 11-16.
LI Yongliang, LI Gang. An introduction to 2nd edition of IEC 61850 and prospects of its application in smart grid[J]. Power System Technology, 2010, 34(4): 11-16.

[2] 张沛超, 高翔. 智能变电站[J]. 电气技术, 2010, 13(8): 4-10.
ZHANG Peichao, GAO Xiang. Smart substation[J]. Electrical Engineering, 2010, 13(8): 4-10.

[3] 高翔. 智能变电站技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[4] 吴威, 宋亮亮. 江苏电网 500kV 智能变电站建设技术综述[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(6): 51-54.
WU Wei, SONG Liangliang. Review on 500 kV substation construction technology in Jiangsu power grid[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2013, 32(6): 51-54.

[5] 胡道徐, 沃建栋. 基于 IEC61850 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.

[6] 伊洋, 胡苏凯, 周宇, 等. 智能变电站 SCD 文件二维校验码校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 113-118.
YI Yang, HU Sukai, ZHOU Yu, et al. Research of smart substation SCD file check based on two-dimensional check code[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 113-118.

[7] 高吉普, 张沛超, 何旭, 等. 智能变电站保护系统可靠性的自动分析方法[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(15): 107-112.
GAO Jipu, ZHANG Peichao, HE Xu, et al. An automatic reliability analysis method for protection systems in smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(15): 107-112.

[8] 张磐, 张艳霞, 宣文博, 等. 基于智能变电站的继电保护动态特性仿真系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25(5): 92-95.
ZHANG Pan, ZHANG Yanxia, XUAN Wenbo, et al. Simulation system for dynamic characteristics of relay protection based smart substation[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2013, 25(5): 92-95.

[9] 高磊, 石慧, 杨毅, 等. 智能变电站配置描述文件管控系统的研究与实现[J]. 电网技术, 2014, 38(12): 3328-3332.
GAO Lei, SHI Hui, YANG Yi, et al. Research and implementation of configuration description file management system for smart substation[J]. Power System Technology, 2014, 38(12): 3328-3332.

[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): 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.

[11] IEC 61850 communication networks and systems in substations[S]. 2005.

[12] 范瑾, 郭歌, 牛利涛, 等. 智能电子设备面向对象的软件设计方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(3): 87-91.
FAN Jin, GUO Ge, NIU Litao, et al. Object oriented software design method of intelligent electronic device[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2015, 27(3): 87-91.

[13] 高翔. 智能变电站应用技术探讨[J]. 供用电, 2014(2): 54-59.
GAO Xiang. Study on application technology of smart

- substation[J]. *Distribution & Utilization*, 2014(2): 54-59.
- [14] 叶翔, 刘辉, 周永忠, 等. 智能变电站图模一体化设计软件实现方案[J]. *江苏电机工程*, 2014, 33(3): 41-44.
YE Xiang, LIU Hui, ZHOU Yongzhong, et al. Implementation of graph and model integration software for smart substation[J]. *Jiangsu Electrical Engineering*, 2014, 33(3): 41-44.
- [15] 高磊. IEC61850 SCL 配置文件比对工具的研究与实现[J]. *电力系统自动化*, 2013, 37(20): 88-96.
GAO Lei. Research and implementation of comparison tool for IEC 61850 SCL configuration file[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2013, 37(20): 88-96.
- [16] 王松, 宣晓华, 陆承宇. 智能变电站配置文件版本管理方法[J]. *电力系统自动化*, 2013, 37(17): 1-4.
WANG Song, XUAN Xiaohua, LU Chengyu. Version management method of smart substation configuration file[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2013, 37(17): 1-4.
- [17] 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.
- [18] Q/GDW396-2009 IEC61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 国家电网公司, 2010.
Q/GDW1396-2009 data model of protection relay in project based on IEC61850[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2010.
- [19] 张沛超, 姜健宁, 杨漪俊, 等. 智能变电站配置信息的全生命周期管理[J]. *电力系统自动化*, 2014, 38(10): 85-89.
ZHANG Peichao, JIANG Jianning, YANG Yijun, et al. Life-cycle management of smart substation configuration information[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2014, 38(10): 85-89.
- [20] 徐勇, 陆玉军, 张雷. 智能变电站网络交换机在线监测设计与实现[J]. *江苏电机工程*, 2014, 33(2): 52-55.
XU Yong, LU Yujun, ZHANG Lei. Design and realization of switches monitoring in smart substation[J]. *Jiangsu Electrical Engineering*, 2014, 33(2): 52-55.
- [21] IEC61850 communication networks and systems for power utility automation[S]. 2009.
- [22] 调规〔2014〕80号文. 继电保护设备在线监视与分析提升方案[S]. 北京: 国家电网公司, 2014.
- [23] Q/GDW1396-2012 IEC61850 工程继电保护应用模型[S]. 北京: 国家电网公司, 2012.
Q/GDW1396-2012 data model of protection relay in project based on IEC61850[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2012.
- [24] Q/GDW XX 智能变电站二次设备在线监视和智能诊断技术规范(送审稿)[S]. 北京: 国家电网公司, 2014.
Q/GDW XX technical specification for protection equipment on-line monitoring and diagnosis in smart substation[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2014.

收稿日期: 2015-04-11

作者简介:

杨毅(1983-), 男, 通信作者, 博士, 高级工程师, 研究方向为智能变电站二次系统及信息安全、电力系统继电保护试验; E-mail: yyang09@qub.ac.uk

高翔(1962-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为继电保护及变电站自动化系统;

朱海兵(1978-), 男, 高级工程师, 研究方向为调度自动化专业研究以及调控运行技术管理。

(编辑 姜新丽)