

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.180704

基于 SED 文件的智能变电站改扩建二次系统 配置文件自动重构技术研究

高磊¹, 刘鹏², 卜强生¹, 崔玉³, 张志⁴, 顾俊捷⁵, 张国辉⁵

(1. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 国网经济技术研究院有限公司, 北京 102209;
3. 国网江苏电力调度控制中心, 江苏 南京 210029; 4. 国家电网公司国家电力调度控制中心, 北京 100031;
5. 南京五采智电电力科技有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要: 针对改扩建工程实施过程中原 SCD 文件更新时存在版本控制、设计交互困难的问题, 结合 IEC61850 Ed2 国际标准, 首次提出了基于 SED 文件的改扩建二次系统配置文件自动重构技术。采用基于 SED 文件的局部重构技术在改扩建工程中将 SCD 文件在设计配置流程上充分解耦, 保证了改扩建部分的相对独立性。通过 SED 文件在改扩建工程中的规则定义机制, 保证了已投运设备不会在改扩建设计阶段误修改, 同时提升了在运设备的安全性。

关键词: 智能变电站; SCD 文件; 改扩建工程; SED 文件; 自动重构; 解耦

Study on automatic reconfiguration technology of secondary system configuration file based on SED file for smart substation reconstruction and expansion

GAO Lei¹, LIU Peng², BU Qiangsheng¹, CUI Yu³, ZHANG Zhi⁴, GU Junjie⁵, ZHANG Guohui⁵

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. State Grid Economic and Technological Research Institute Co., Ltd, Beijing 102209, China; 3. State Grid Jiangsu Power Dispatching Control Center, Nanjing 210029, China; 4. National Electric Power Dispatching and Control Center, State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China; 5. Five-C Smart Power Grid Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: In the process of implementation of the reconstruction and expansion project, there are problems of version control and design interaction when the original SCD file is updated. Combined with the international standard of IEC61850 Ed2, the automatic reconfiguration technology of the secondary system configuration files for the reconstruction and expansion project based on the SED file is proposed for the first time. In the reconstruction and expansion project, the local reconfiguration technology based on SED file is used to fully decouple the SCD file from the design and configuration process, which ensures the relative independence of the reconstruction and expansion. Through the rule definition mechanism of the SED file in the reconstruction and expansion project, it is guaranteed that the operation equipments will not be modified in the design stage of the reconstruction and expansion and the safety of the operation equipments is improved.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 61602251).

Key words: smart substation; SCD file; reconstruction and expansion project; SED file; automatic reconfiguration; decoupling

0 引言

智能变电站具有“一次设备智能化、全站信息

基金项目: 国家电网公司科技项目(61602251)“新一代智能变电站二次系统虚回路自动连接与扩建回路自动重构技术研究”

数字化、信息共享标准化、高级应用互动化”等特点, 通过高速网络通信平台实现变电站内设备双向通信功能, 可通过站内信息网进行统一管理, 是变电站技术的发展趋势。随着智能变电站大规模的投入运行, 特别是前期试点工程中的部分智能变电站限于当时设计理念、技术水平、装备制造水平、施工安全调试经验等因素影响, 运行状况并不理想,

同时按照用电量增加、电网规划发展，已建成的智能变电站的改扩建工程已经处于建设上升期^[1-5]。

现阶段智能变电站的设计、调试、运维、检修过程都高度依赖 SCD 配置描述文件，但 SCD 文件在调试阶段修改频繁，存在版本管理混乱的问题，给现场工作带来极大的不便和风险^[6-10]。智能变电站改扩建工程同新建工程一样，采用同样的设计修改方法，但其实，智能变电站改扩建工程施工难度大、风险高，单一智能二次设备的改造工作，可能影响电压、母差等公用设备，造成停电范围的扩大和改造风险增大，所以在设计过程中尤其需要要考虑安全性问题^[11-16]。

上述问题在一定程度上影响了电网的安全运行和智能变电站扩建工程的建设效率。本文重点研究 IEC61850 Ed2 中 SED 文件在改扩建工程中的局部解耦及重构技术^[17]。进行不同工程之间的数据流配置，数据流配置权限的转移通过 SCL 配置文件进行，这种文件称为 SED 文件，即系统交换描述文件。SED 文件包含数据流配置权限以及对 IED 配置数据流时所需要的数据集、控制块等信息^[18-19]。本文针对智能变电站 SCD 文件进行自动重构，对改扩建项目所关联 IED 设备的 SED 文件进行自动分析和导出，将智能变电站改扩建的设计方法重新定义，实现改扩建 SCD 文件的解耦设计^[20-23]，实现优化和提高改扩建 SCD 的设计效率，建立改扩建 SCD 的安全机制，实现改扩建工程的自动重构、自动连接及校验^[24]。提高改扩建设计过程中的安全性，有效规避对运行设备的影响，从而有效提高智能变电站改扩建工程的建设质量，减少设计人员、运维人员和检修人员的工作量，有力支撑智能变电站改扩建工程的建设。

1 SED 文件在改扩建中的规则定义

智能变电站工程实施方法一般是基于 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如图 1 所示。IEC61850-6 Ed2 中新增加系统交换描述文件(System Exchange Description, SED)如图 1 所示，新增 SED 文件主要用于不同项目或工程的配置交换，其格式类同 SCD 文件。

依据 IEC61850 Ed2 中对 SED 文件的定义，并结合现有智能变电站改扩建技术方案，本文就智能变电站改扩建工程实施中对项目间的通信数据流、项目间必须交换某些接口数据以及涉及的项目应重新导入工程化接口制定下列规则。

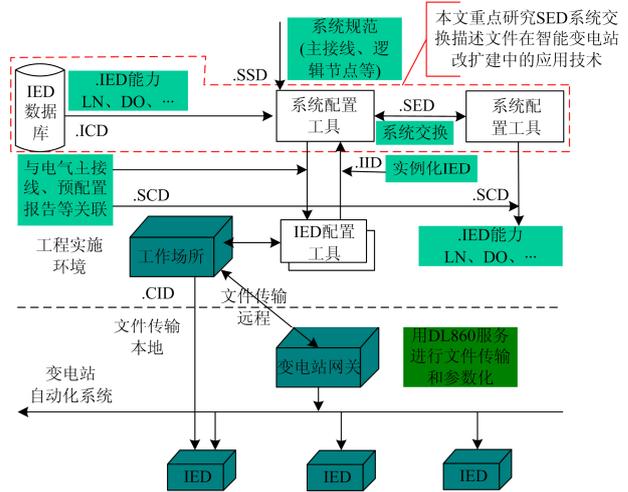


图 1 IEC61850 工程配置信息流程图

Fig. 1 Flow chart of IEC61850 project configuration information

(1) 对改扩建所涉及的 IED 设备增加 engRight 和 owner 两个属性

engRight 属性的值包含 full、fix、dataflow 三种，full：可以对该 IED 可修改部分进行任意修改，fix：涉及该 IED 的任意信息均不可修改，dataflow：可对该 IED 配置修改其订阅部分信息。

owner 属性的值表示了该 IED 设备属于哪个工程，可默认取本工程 SCD Headerid 值。

(2) 从当前改扩建项目 SCD 导出 SED 文件时，应对此次受改扩建影响的 IED 设备进行不同 engRight 属性标注，应注明哪些设备可任意修改、不可修改、只可修改订阅部分，以此最小化影响范围。

(3) 从当前改扩建项目 SCD 导出 SED 文件时，应相应的将 communication 和 substation 部分同时导出，应包含受改扩建影响的设备及其关联设备控制块。

(4) 将改扩建 SED 文件导回原 SCD 文件时，应区分不同设备的 engRight 值，full：合并时应对该类型 IED 设备所涉及的所有信息进行直接替换合并处理，fix：对该类型 IED 设备不进行合并处理，dataflow：对该类型设备的订阅部分信息进行替换合并处理。

(5) 将改扩建 SED 文件导回原 SCD 文件时，应对 communication 和 substation 部分进行合并。

2 智能变电站自动重构

2.1 自动重构整体方案

智能变电站改扩建二次系统配置文件自动重构的整体方案流程如图 2 所示。

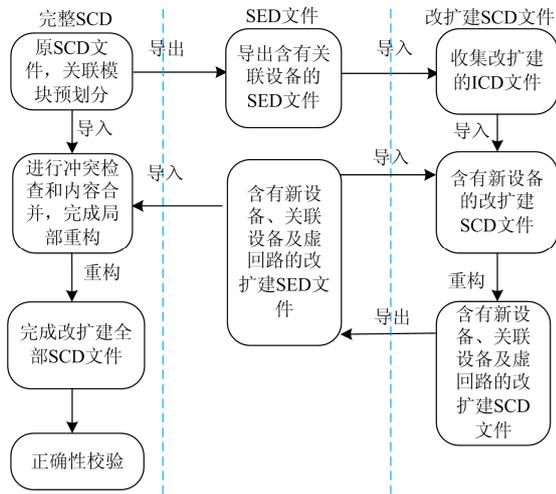


图2 智能变电站改扩建二次系统配置文件自动重构的整体方案流程图

Fig. 2 Overall program flow chart of automatic reconfiguration of secondary system configuration files for smart substation reconstruction and expansion

整体实施流程:

(1) 解析 SCD 文件, 选定改扩建设备, 经虚回路连接规则库分析并实例化, 输出第一级关联设备, 对第一级关联设备的 Inputs 内容解析并输出第二级关联设备, 完成关联模块的划分;

(2) 将上述改扩建设备、第一级关联设备、第二级关联设备以 SED 文件格式输出, 形成改扩建关联 SED 文件;

(3) 搜集改扩建 ICD 文件, 完成含有新 IED 设备的改扩建 SCD 文件, 通信配置部分按原始 SCD 建立;

(4) 将(2)所述改扩建关联 SED 文件导入改扩建 SCD 文件, 重构改扩建关联 SCD 文件并进行自动虚回路连接, 形成含有改扩建新 IED 设备、第一级关联设备、第二级关联设备的终版改扩建 SCD 文件;

(5) 从终版改扩建 SCD 文件内, 导出终版改扩建 SED 文件, 同样包含了改扩建新 IED 设备、第一级关联设备、第二级关联设备;

(6) 将终版改扩建 SED 文件, 导入原始 SCD 文件, 进行冲突检查并替换原改扩建设备, 合并关联冗余设备、连线, 形成最终版 SCD 文件;

(7) 对最终版 SCD 文件与原始 SCD 文件进行正确性校验, 确保最终版 SCD 文件改扩建部分准确无误。

2.2 改扩建关联模块局部解耦设计

改扩建关联模块局部解耦流程如图3所示。

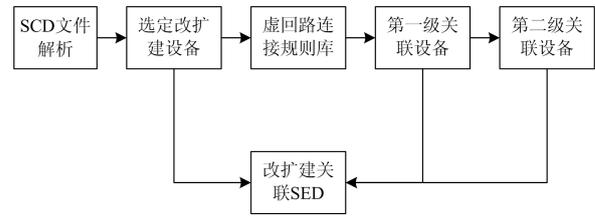


图3 改扩建关联模块局部解耦流程图

Fig. 3 Part decoupled flow chart with associated for reconstruction and expansion

(1) 根据改扩建间隔对关联模块进行划分

针对本次的改扩建间隔, 基于已有的虚端子连接规则库^[24], 此规则库含有丰富的虚回路连接模板, 虚回路连接模板库的原理已在文献[24]内进行详细阐述, 此处不再赘述。可根据规则库内的连接模板, 分析与此次改扩建设备第一级相关设备并解析 SCD 进行实例化, 作为导出 SED 文件的基本 IED 构成, 同时对已实例化 IED 设备的 engRight 属性进行赋值, 待改造设备和扩建设备为 full, 可任意修改, 相关联基本设备为 dataflow, 只可修改订阅部分内容。

(2) 自动选择第二级关联设备并导出改扩建的 SED 文件

根据上述的第一级相关联基本 IED 设备, 解析 SCD 分析基本 IED 设备的 Inputs, 获取第二级关联设备, 并对此类设备 engRight 属性赋值 fix, 此类设备不可修改, 最终将改扩建设备、第一级关联设备、第二级关联设备一并以 SED 文件的方式导出。

2.3 改扩建关联模块局部重构设计

局部重构技术在两个地方使用: (1) 原 SCD 文件导出的改扩建相关联 SED 文件需要与包含新设备的改扩建初始 SCD 文件自动重构形成包含改扩建新设备、第一级关联设备、第二级关联设备的改扩建终版 SCD 文件; (2) 改扩建终版 SCD 文件内导出的改扩建终版 SED 文件与原始 SCD 文件进行自动重构, 形成最终的 SCD 文件。

(1) 改扩建相关联 SED 与改扩建 SCD 的重构流程如图4所示。

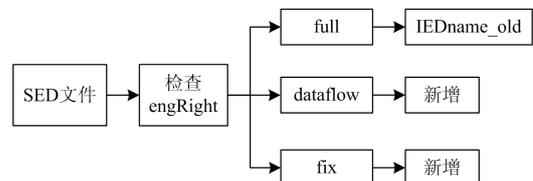


图4 改扩建相关联 SED 与改扩建 SCD 的重构流程图

Fig. 4 Reconfiguration flow chart for reconstruction and expansion associated SED and reconstruction and expansion SCD

将改扩建相关联 SED 文件导入改扩建 SCD 文件，首先进行 IED 设备的拼接，对于标记为 full 的设备，将 IEDname 标记为 IEDname_old，相应的将标记为 dataflow 的设备的 inputs 订阅部分是 full 设备的一并改为 IEDname_old，以便自动连接的时候直接覆盖此部分订阅，fix 的设备直接新增，由此完成各类设备的添加，此过程中同时将 Communication 部分进行添加合并。

此后，可根据虚端连接规则库对 SCD 文件进行虚回路自动连接，形成了回路完整的改扩建 SCD 配置文件，自动连接过程中会避开文件中以 fix 锁定的接收虚端子，避免自动连接对原有连线产生影响。

(2) 改扩建终版 SED 与原始 SCD 的重构流程图如图 5 所示。

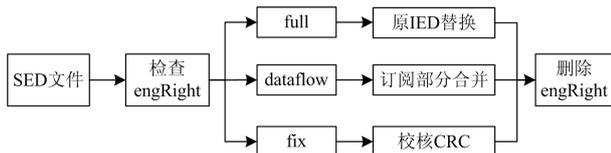


图 5 改扩建终版 SED 与原始 SCD 的重构流程图

Fig. 5 Reconfiguration flow chart for reconstruction and expansion final SED and original SCD

相比于改扩建关联 SED 文件，改扩建终版 SED 文件含有新增设备信息及虚回路连线，在从改扩建终版的 SCD 文件导出改扩建终版的 SED 文件时，SED 文件中仍保留各 IED 设备的 engRight 属性。

改扩建终版 SED 与原始 SCD 进行重构前，同样需要对 engRight 进行检查，标记为 full 的设备将替换原设备，标记为 dataflow 的设备，对订阅部分标记为 full 的进行替换及合并，标记为 fix 的设备，则需校核 CRC，如果发生变化，则拒绝导入。同时，对 Communication 部分进行合并，新设备与原有设备的通信参数发生冲突时，则拒绝导入。

重构结束后，为符合 IEC61850 ed1 的要求，将重构流程中新增的 engRight 等属性删除。

2.4 改扩建 SCD 文件反演设计

改扩建的 SCD 完成后，可以通过可视化在线检测的方式对改扩建的信息和内容进行反演。可以通过比对的方式，反演出 SCD 文件到扩建后 SCD 文件的变化范围，包括新增设备，新增虚端子连接、已有设备 CRC 校验码的变化、已有设备虚端子连接的变化等。

通过修改前和修改后 SCD 文件比对的方式，反演出 SCD 文件到扩建后 SCD 文件的变化范围，包括新增设备，新增虚端子、已有设备 CRC 校验码的变化、已有设备虚端子的变化等，具体 SCD 文件比

对细节本文就不再赘述。

3 工程应用

基于 SED 文件的智能变电站改扩建二次系统配置文件自动重构技术研究成果在某 220 kV 变电站 3 号进线扩建工程的 SCD 文件得到了示范性应用。

3.1 某 220 kV 变电站应用

在设计阶段，首先收集变电站一期最终 SCD 文件、此次需要增加间隔智能电子设备的 ICD 模型文件和设计蓝图；其次，进行扩建间隔二次系统配置文件自动重构，设计新增智能电子设备的通信参数及虚端子信息；最后，将最终扩建版本的 SCD 文件反演，新增智能电子设备、新增虚端子连接、已有智能电子设备 CRC 校验码的变化、已有设备虚端子连接的变化等。上述文件随同其他设计资料一同交付给现场调试工程师和运维单位。

3.2 应用效果

引入基于 SED 文件智能变电站改扩建二次系统配置文件自动重构技术的智能变电站改扩建技术方案，不需要人工方式核对阶段，直接提供给客户完整的最终扩建 SCD 文件，并通过软件的方式核对智能电子设备通信参数及虚回路信息，完全可以保证零误差率，通过在上述 220 kV 变电站的应用表明，此改扩建技术方案将有效地缩短设计和施工周期，减少一次设备停役时间。

4 结语

改扩建二次系统配置文件自动重构技术的重点在于重新梳理了改扩建 SCD 文件的设计方法，优化和提高了改扩建 SCD 的设计效率，建立了改扩建 SCD 设计的安全机制，通过改扩建二次系统配置文件自动重构及校验技术，实现改扩建中 SCD 文件的自动重构、虚回路自动连接及智能校验。

通过改扩建二次系统配置文件自动重构技术，可将智能变电站改扩建的设计方式重新定义，实现改扩建 SCD 文件的解耦设计，提高改扩建设计过程的安全性，有效规避对运行设备的影响。从而提高智能变电站改扩建的建设质量，减少设计人员、运维人员和检修人员的工作量，有力支撑智能变电站改扩建工程的建设。

参考文献

[1] ZHANG Baohui, HAO Zhiguo, BO Zhiqian. New development in relay protection for smart grid[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1(1): 121-127. DOI: 10.1186/s41601-016-0025-x.

- [2] 黄昕, 杨宁, 孟楠, 等. 基于 DL/T860 协议的通信模拟装置在智能变电站检修和扩建中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(21): 176-181.
HUANG Xin, YANG Ning, MENG Nan, et al. Application of communication simulator based on DL/T860 in smart substation maintenance and expansion[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(21): 176-181.
- [3] 宋璇坤, 韩柳, 鞠黄培, 等. 中国智能电网技术发展实践综述[J]. 电力建设, 2016, 37(7): 1-11.
SONG Xuankun, HAN Liu, JU Huangpei, et al. A review on development practice of smart grid technology in China[J]. Electric Power Construction, 2016, 37(7): 1-11.
- [4] 裘愉涛, 胡雪平, 凌光, 等. 国网公司智能变电站继电保护标准体系研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(20): 7-13.
QIU Yutao, HU Xueping, LING Guang, et al. Research on state grids technical specification system of relay protection in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(20): 7-13.
- [5] 宋爽, 乔星金, 卜强生, 等. 智能变电站就地化继电保护技术方案研究[J]. 电力工程技术, 2018, 37(2): 83-88.
SONG Shuang, QIAO Xingjin, BU Qiangsheng, et al. Research on technical scheme of outdoor-layout relay protection in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(2): 83-88.
- [6] 赵雨田, 都晨, 程青青, 等. 基于 SCD 文件的智能变电站二次系统 C#模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(11): 126-132.
ZHAO Yutian, DU Chen, CHENG Qingqing, et al. Research on C# model for smart substation secondary system based on SCD file[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(11): 126-132.
- [7] 邓洁清, 车勇, 单强, 等. 基于标准中间过程文件的 SCD 版本比对的优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 95-99.
DENG Jieqing, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Optional research of SCD version comparison based on the standard middle process file[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 95-99.
- [8] 王小立, 刘海涛, 张旭丰, 等. 基于网络分析仪的智能变电站配置文件在线管控研究与应用[J]. 中国电力, 2017, 50(8): 141-145.
WANG Xiaoli, LIU Haitao, ZHANG Xufeng, et al. Research and application of smart substation configuration file online control based on network analyzer[J]. Electric Power, 2017, 50(8): 141-145.
- [9] 刘清泉, 郝晓光, 何磊. 智能变电站二次系统信息标准化平台关键环节与技术[J]. 中国电力, 2017, 50(4): 176-180.
LIU Qingquan, HAO Xiaoguang, HE Lei. Key link and technology of secondary information standardization platform of smart substation[J]. Electric Power, 2017, 50(4): 176-180.
- [10] 左欢欢, 彭奇, 王德辉, 等. 基于智能变电站配置文件的智能变电站交换机自动配置实现[J]. 电力工程技术, 2018, 37(1): 91-96.
ZUO Huanhuan, PENG Qi, WANG Dehui, et al. Implementation of switch automatic configuration of smart substation based on SCD files[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(1): 91-96.
- [11] 徐鹏, 张哲, 丁晓兵, 等. SCD 升级对二次回路影响范围定位的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(18): 140-144.
XU Peng, ZHANG Zhe, DING Xiaobing, et al. Research on positioning the influence scope in secondary circuit by upgrading SCD[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(18): 140-144.
- [12] 张曼, 陈典丽. 智能变电站扩建二次实施方法的探讨[J]. 湖北电力, 2016, 40(2): 43-47.
ZHANG Man, CHEN Dianli. Research on methods of secondary circuit connections in intelligent substation expansion[J]. Hubei Electric Power, 2016, 40(2): 43-47.
- [13] 徐东伟, 李富强, 张贵中, 等. 基于 SCD 文件风险现状的管控策略体系研究与应用[J]. 浙江电力, 2016, 35(6): 17-20.
XU Dongwei, LI Fuqiang, ZHANG Guizhong, et al. Research and application of control strategy system based on SCD file risk status[J]. Zhejiang Electric Power, 2016, 35(6): 17-20.
- [14] 高磊, 卜强生, 袁宇波, 等. 基于二次回路比对的智能变电站调试及安全措施[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(20): 130-134.
GAO Lei, BU Qiangsheng, YUAN Yubo, et al. Smart substation commissioning and safety measures based on secondary circuit comparison[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(20): 130-134.
- [15] 朱维钧, 林冶, 唐志军. 智能变电站不停电改扩建方案的研究[J]. 电力与电工, 2013, 33(1): 17-20.
ZHU Weijun, LIN Ye, TANG Zhijun. Research on extension scheme for smart substation without power off[J]. Electric Power and Electrical Engineering, 2013, 33(1): 17-20.

- [16] 纪陵, 李忠明, 蒋衍君, 等. 智能变电站二次系统仿真测试和集成调试新模式的探索和研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(22): 119-123.
JI Ling, LI Zhongming, JIANG Yanjun, et al. Exploration and research of smart substation secondary system simulation testing and integration testing new mode[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(22): 119-123.
- [17] IEC 61850-6 communication networks and systems for power utility automation-part 6: configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S]. Ed2.0. 2010.
- [18] IEC 61850 工程继电保护应用模型: Q/GDW1396—2012[S]. 北京: 国家电网公司, 2012.
- [19] 智能变电站信息模型及通信接口技术规范: Q/GDW 695—2012[S]. 北京: 国家电网公司, 2012.
- [20] 黄树帮, 倪益民, 张海东, 等. 智能变电站配置描述模型多维度信息断面解耦技术[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(22): 15-21.
HUANG Shubang, NI Yimin, ZHANG Haidong, et al. Multi-dimensional information section decoupling technology of substation configuration description model for smart substations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(22): 15-21.
- [21] 梅德冬, 周斌, 黄树帮, 等. 基于 IEC 61850 第二版变电站配置描述的集成配置解耦[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(11): 132-136.
MEI Dedong, ZHOU Bin, HUANG Shubang, et al. Decoupling integrated configuration of substation description based on IEC 61850 edition 2.0[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(11): 132-136.
- [22] 张海东, 黄树帮, 杨青, 等. 面向扩建场景的变电站配置描述模型间隔解耦技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(10): 129-134.
ZHANG Haidong, HUANG Shubang, YANG Qing, et al. Discussion on technology of substation configuration description model bay decoupling for expansion project of smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(10): 129-134.
- [23] 邹振宇, 孙中尉, 修黎明, 等. 智能变电站信息模型组态解耦技术研究[J]. 中国电力, 2017, 51(1): 78-82.
ZOU Zhenyu, SUN Zhongwei, XIU Liming, et al. The research of decoupling technology used to smart substation model configuration[J]. Electric Power, 2017, 51(1): 78-82.
- [24] 黄志高, 李妍, 李腾, 等. 智能变电站 SCD 文件虚回路自动生成技术的设计和实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 106-111.
HUANG Zhigao, LI Yan, LI Teng, et al. Design and implementation of automatic generation technology of SCD file virtual circuit in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(17): 106-111.

收稿日期: 2018-06-08; 修回日期: 2018-08-25

作者简介:

高磊(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护试验研究工作。E-mail: gaolei.seu@gmail.com

(编辑 姜新丽)