

基于全站系统配置文件解析的智能变电站二次设备 调试策略生成方法

邹经鑫, 刘 鑫, 袁明哲, 卢音朴, 张 帅, 李雪恺

(国网四川省电力公司成都供电公司, 四川 成都 610041)

摘要:智能变电站二次设备调试是运检工作的重点内容,为提升检修作业的质量和效率,开展了智能变电站二次系统“一键式”安措及调试项目自动生成方法研究。结合变电站全站系统配置文件(SCD)中的工程化模型,构建了XPath技术联合DOM方法的SCD文件解析方法,并运用该解析方法获取智能变电站二次回路与安措和调试项目的关系,提出了基于SCD文件解析的标准化作业书自动生成方法,形成了“一键式”调试项目自动生成的执行流程。最后通过试点工程验证了方法的有效性。该方法对智能变电站二次设备检修工作的标准化具有实际指导意义,应用前景广阔。

关键词:智能变电站;二次设备调试;SCD解析;“一键式”策略生成;安全措施

中图分类号:TM 76 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)06-26-06

DOI:12.16527/j.issn.1003-6954.20210606

Generation Method of Commissioning Strategy for Secondary Equipment in Smart Substation Based on SCD File Analysis

Zou Jingxin, Liu Xin, Yuan Mingzhe, Lu Yinpu, Zhang Shuai, Li Xuekai

(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: The commissioning of secondary equipment in smart substation is the key content of operation and inspection work. In order to improve the quality and efficiency of maintenance work, the research on automatic generation method of "one-click" security measures and commissioning items of secondary system in smart substation is carried out. Combined with the engineering model in substation configuration description (SCD), the SCD file analysis method based on XPath technology together with DOM method is constructed. The analytical method is used to obtain the relationship between the secondary circuit of smart substation and security measures and commissioning items. The automatic generation method of standardized operation book based on SCD file analysis is proposed, and the execution process of automatic generation of "one-click" commissioning project is formed. Finally, the effectiveness of the proposed method is verified by a pilot project, which has a practical guiding significance for the standardization of maintenance of secondary equipment in smart substation, and has broad application prospects.

Key words: smart substation; secondary equipment commissioning; SCD file analysis; "one-click" strategy generation; security measure

0 引言

近年来,变电站智能设备的推广应用已经得到了长足的发展,各大城市已经出现了大量智能变电站。智能变电站全站系统配置文件(substation configuration description, SCD)是智能变电站应用和管理的核心。目前各大厂家均已遵照 IEC 61850 规

范,推出各具特色的具有 SCD 文件解析及解析结果的可视化展示功能的配置工具。

在 220 kV 智能变电站中,正常运行设备涉及大量智能装置,其二次系统调试是变电检修工作的重要组成,需根据不同设备的详细情形因地制宜地制定可靠的个性化调试方案^[1]。一般情况下,二次检修人员将在工作前一周内开展现场查勘。在进行查勘工作时,查勘人员将对照该智能站最新的 SCD 归

档文件,核实现场工作涉及到的光纤回路、电缆回路、软硬压板、装置定值单等各类信息,据此编制安全措施票及调试项目。由于检修人员的技术水平和作业习惯存在差异,在智能站二次工作安全措施(以下称“安措”)制定的过程中可能遗漏重要回路,造成安措执行不到位,或是调试效率低下、调试项目不充分的问题^[2]。目前,已有学者针对智能变电站二次安措的生成进行了一些研究,但并未涉及设备调试内容^[3]。因此,亟需在充分了解智能变电站运行结构原理的基础上,结合 SCD 解析结果,及时对智能变电站二次设备调试方法进行创新升级,实现智能变电站二次系统调试项目的自动生成。实现设备的科学检修调试,为智能变电站安全、可靠、稳定运行提供条件。

与常规变电站相比,智能变电站的最大不同在于采用了 SCD 文件进行二次回路设计描述。SCD 文件包含了智能电子设备(intelligent electronic device, IED)通信、类型、参数、控制块、装置间联系等所有信息^[4]。其中二次系统调试的主要目标是精准确定调试方案,实现对 SCD 文件中二次回路的全面验证。下面采用 XPath(XML 路径查询语言)技术联合文档对象模型(document object model, DOM)方法对 SCD 进行语义解析,将原本不易理解的文本解析成结构化控制语言(structured control language, SCL)元素,以完整可靠地调试装置并清晰地反映二次回路的内容,生成调试方案及安全措施^[5]。

1 智能变电站过程层数据结构

智能变电站过程层数据通信引入发布/订阅机制实现,其通信参数、数据通道、虚端子连接等信息均在 SCD 文件中完成配置。通过过程层发布/订阅机制的 3 类核心参数描述及示例如表 1 所示。其中:前两类参数决定各智能装置间的逻辑链路关系;最后一类参数用于实现多端口应用需求,亦属必要配置参数。

作为 SCD 配置文件的重要组成部分,IED 过程层虚端子配置文件描述了通用面向对象变电站事件(generic object oriented substation event, GOOSE)发布/订阅、采样值(sampled value, SV)发布/订阅所需的通信、控制及端口信息。其中:GOOSE 发布/订阅分别属于 GOOSEPUB(GOOSE 发布)元素/GOOSE-

SUB(GOOSE 订阅)元素集合范畴;SV 发布/订阅分别属于 SVPUB(SV 发布)元素/SVSUB(SV 订阅)元素集合范畴。

表 1 过程层发布/订阅机制的核心参数及示例

核心参数	描述	示例
通信配置	发布/订阅的控制块配置信息,反映通信协议的基本参数和数据结构	<pre>< ReportControlName = " brch-RelayDin " datSet = " dsRelayDin " intgRd = "0" rptID = " NULL " confRev = "1" buffered = " true" bufTime = "0" > < TrgOps dchg = " true" qchg = " false" dupd = " false" period = " true7 > < OptFields seq Num = " false" timeStamp = " true" dataSet = " true" reasonCode = " true" dataRef = " true" entryID = " true" config Ref = " true"/ > < RptEnabled max = "16"/ > </ReportControl ></pre>
变量映射	装置内部变量与协议的映射关系,采用短地址形式表达	<pre>< Inputs > < ExtRef iedName = " IML1107" IdInst + RPIT" prefix = " InClass = " XCBR " lnInst = " 1 " doName = " Pos" daName = " stVar" intAddr = "7" PIGOO/GOINGGIOI - DPCSOI - StVal" > < Private type = " desc" > 断路器位置 </Private > </ExtRef > </Inputs ></pre>
端口绑定	控制块与装置物理端口之间的配置信,反映装置功能与光端口间对应关系	<pre>< PhysConn type = " Connection" > < P type = " Port" >7 - A </P > < P type = " Plug" > LC </P > < P type = " Type" > FOC </P > < P type = " Cable" > 1 </P > </PhysConn ></pre>

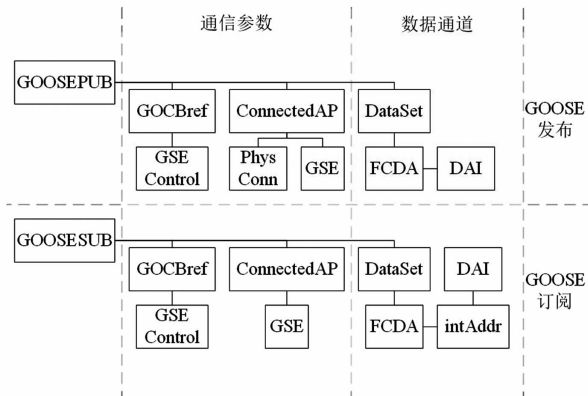


图 1 GOOSE 发布/订阅的基本结构

IED 过程层虚端子配置文件是其过程层通信配置的最小集合,直接影响 IED 之间二次回路过程层连接关系的具体表达^[4,6]。图 1 为二次回路 GOOSE

发布/订阅的基本结构,SV 发布/订阅具有与之相同的结构。依据 IEC 61850 标准,基于智能变电站过程层数据结构,针对性地提出 SCD 文件解析方法。

2 SCD 文件内核解析

2.1 解析过程

当前用于 SCD 文件解析的主要方法有 DOM 解析方法和 XML 简单应用程序接口 (simple API for XML, SAX) 解析方法^[7]。鉴于 DOM 模型优点^[8]及 SCD 文件的规模特征,引入 Xpath 技术^[9]联合 DOM 方法展开 SCD 文件解析。

SCD 文件解析过程主要包括读取文件和分析文件,解析过程如图 2 所示。首先,读取文件将 SCD 文件路径在内存中形成 DOM 树,节点类型为 XmlNode,可以访问其前节点、后节点、父节点和首个子节点,从而建起便于遍历的整棵树结构。同时,构建所有节点集合 (XmlNodeList),获取子节点信息,再运用 XPath 强大的查找功能,快速定位所查找 IED 的所有访问节点。

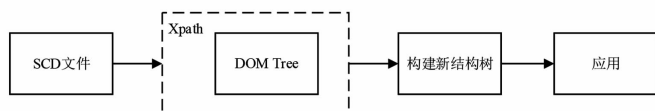


图 2 SCD 文件的解析过程

分析文件即是重构 SCD 文件的过程,以生成符合要求的新结构树。在重构过程中,使用具备一对一处理能力、能迅速通过关键字查找对象的 Map 关联容器^[7]构造新结构树的节点。

2.2 实现流程

为实现 SCD 文件读取,需调用 Load 函数,在内存中形成 DOM 树,采用语句 Xpath = “/SCL/IED” 获取相应 IED 名称,并将节点类型转换为 XmlElement,采用 GetAttribute 函数获取节点类型及名称等参数。将 IED 信息输出至列表框,完成系统初始化。

对于 SCD 文件分析,需要确立与 SCD 文件相对应的新结构树,以展开 SCD 解析。首先需预先定义树的数据结构。数据结构类型包括 Substation 根节点、IEDNode 等 5 类节点类型和功能约束数据属性 (functionally constrained data attribute, FCDA) 等^[7,10]。生成新的结构树是一个递归的过程,这里引入 XPath 快速查找功能从 DOM 树获取所需配置参数,然后写入新树对应属性,最终完成新结构树的

构建。SCD 文件解析配置主要流程如图 3 所示。

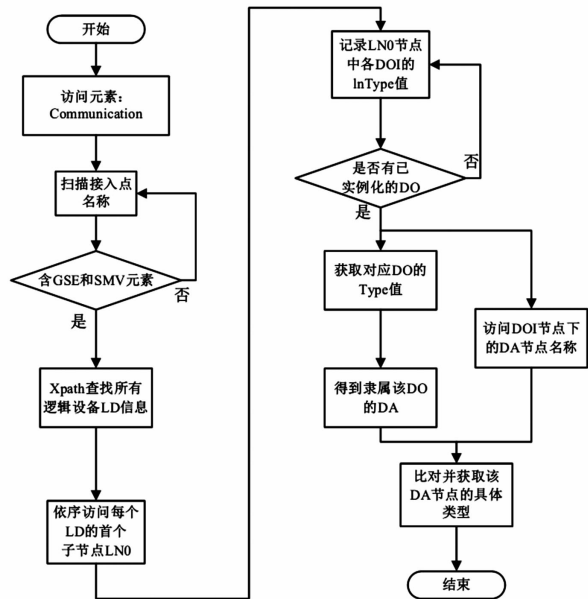


图 3 SCD 文件解析配置主要流程

1) 由根节点进入通信系统 (communication) 元素,查找 GSE/SMV 接入点,采用 XPath 查找功能获取第一个 IED 下所有逻辑设备 (logical device, LD) 信息。

2) 访问 LD 第一个子节点 LN0,记录 lnType 值,并访问其下 DOI 节点,记录 lnType 各 DOI 值;

3) 根据 lnType 和 DOI 值,在可实例化的逻辑节点类定义模型 DataTypeTemplates/LNodeType 中查找对应的 lnType,并找到对应的数据对象 (data object, DO),即可获取 DO 的 type 值。该过程可利用 XPath 技术快速完成。

4) 通过解析 DO 的 Type 值,可得隶属于 DO 的数据属性 (data attribute, DA),同时 DO 中各数据定义状态可进一步由 DA 的“功能约束 FC”这一属性获取^[11]。再次运用 Xpath 技术,查找 id 名与上步 DO 的 Type 值相同的 DOType 节点,并获取该节点下的所有 DA 节点。

5) 根据步骤 2 访问 DOI 节点下的 DA 节点,并依据 DA 节点名称得到步骤 4 中 DA 对应节点,从而获取该 DA 节点具体类型。

考虑到全站数据规模较大,同时为了数据复用和程序执行效率,引入 MySQL 数据库作为数据中转处理方案。此外,在数据处理过程中,该方法集中对各数据类型进行了分类定义归档,以便实际工程应用中根据不同的实例化需求 (如遥信、遥测数据单独调试) 快速读取数据。

依据上述 SCD 文件解析流程,可快速获取各 IED 名称、逻辑装置名称、控制块具体配置以及 DataSet 元素的中文描述。这些解析得到的配置信息可以用于指导智能变电站二次系统检修工作中安全措施及调试项目的生成,具体生成方法在下一章展开论述。

3 安全措施与调试项目生成

3.1 确定调试项目

智能变电站二次系统调试包括单体调试、整组调试。单体调试只针对单项测试展开,整组调试则是验证各智能设备间的联络与配合关系,二次回路的正确性通过整组调试进行验证^[4]。GOOSE 开入/开出测试、SV 输入/输出测试等项目属于单体调试的范畴。表 2 展示了二次回路发布/订阅配置参数与调试项目的对应关系。

表 2 二次回路与调试项目

二次回路类型	调试项目
发布通信参数	输出通信参数检查
发布数据通道	输出一致性检查
订阅通信参数	输入通信参数检查
订阅数据通道	输入单体调试+整组调试
订阅链路序号	链路告警一致性检查

根据表 2 所示对应关系,基于解析 SCD 方法生成对应调试项目的主要步骤如下:

1) 引入 XPath 技术快速搜索 GOOSE/SV 发布的配置信息,然后根据搜索结果对比控制块、通信、通道等配置信息的差异,最后生成对应调试项目。根据形成的调试项目对 IED 开展 GOOSE/SV 输出的单体调试。对于通信参数对应的 GOOSE/SV 输出的通信参数检查,需要保持 IED 发出的通信参数应与 SCD 文件相一致;对于数据通道的输出一致性校验,应采取 IED 功能测试,检验 IED 所发参数与 SCD 文件是否一致。

2) 再次引入 XPath 快速搜索 GOOSE/SV 订阅的配置信息,然后根据搜索结果对比控制块、链路、通信、通道等信息差异点,最后生成对应调试项目。对于 GOOSE/SV 输入的通信参数检查,需要保持 IED 接收数据通信参数与 SCD 文件相一致,并检查 IED 设备 GOOSE/SV 输入过程是否存在异常警报;对于 GOOSE/SV 输入的整组调试,需要从发送侧 IED 输出配置信息,检查确保 IED 的 GOOSE/SV 输

入与 SCD 文件保持一致;检查 IED 设备 GOOSE/SV 输入过程是否存在无异常警报,并核实接收过程中断报警信息的一致性,最后在模拟接收过程中断情形下,确保 IED 上传监控系统的过程警报描述与实际过程保持一致。

3.2 生成安全措施

在进行二次设备调试前准确制定和实施安全措施,实现调试与运行系统及时隔离,是调试工作的重要安全保障。变电站通常是根据图纸分析二次回路来界定工作分界面并制定安全措施^[12]。通过解析智能变电站 SCD 文件得到待调试设备所关联的其他二次设备,将订阅该调试设备数据的非试验设备视为运行设备,用以指导当前调试工作安全措施的制定。

1) 基于 XPath 技术快速获取 GOOSE/SV 订阅部分对应的 IED 二次回路文件,将控制块名称、接收 IED 名称进行记录,从而生成具有“一对多”特征的控制块与 IED 的对应关系。其中包含了各发送控制块的被订阅的情况,进而分析出可能受到此次整组调试影响的运行设备范围。

2) 标记与整组调试相关的发送 IED 和接收 IED 为试验设备;再由试验设备 GOOSE/SV 发布控制块名称,并在配置文件中搜索订阅此控制块的 IED 信息(已标定为试验设备的除外);再次利用 XPath 技术快速搜索运行设备的 GOOSE/SV 接收控制块信息,如果其发布 IED 是试验设备,就将该控制块标记成试验系统与运行系统的边界回路。隔离试验设备与运行设备在边界回路中的安全措施可设定为退出发送/接收软压板或断开光纤回路。

4 实例验证

采用所提方法,拟对某 220 kV 智能变电站某线路间隔进行常规调试及传动工作。利用生成工具高效实现本次线路保护年检工作安全措施及调试项目的自动生成,主要由以下两个步骤组成:1) 根据工作内容匹配模板库,导出 SCD 解析结果;2) 智能识别调试回路,生成本次工作的调试作业书。

4.1 匹配模板库

工作人员在进行 110 kV 待用 152 线路间隔保护年检、自动化联调工作前,将 SCD 文件导入生成工具后,SCD 文件通过自动解析生成图形化虚端子连接,如图 4 所示。

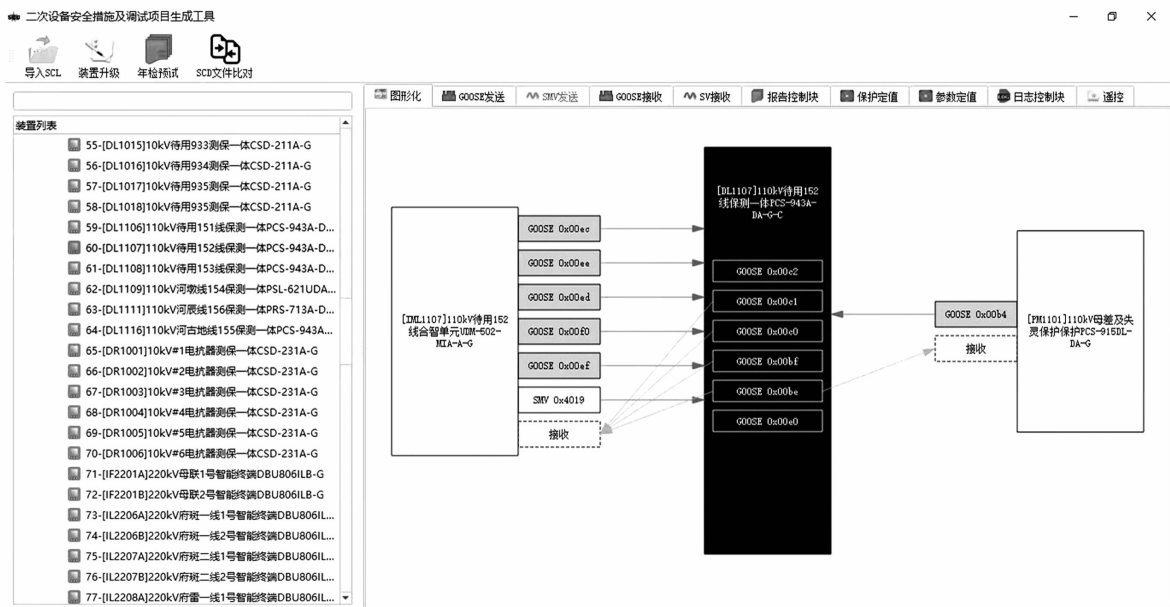


图 4 SCD 文件解析结果

工作人员需提供本次年检工作的间隔名称,向生成工具输入表 3 所示各项参数。

表 3 系统生成年检调试项目输入参数示意

项目	参数
工作类型	线路年检
工作间隔	待用 152
核心装置编号(可选)	DLI107

其中,“核心装置编号”为可选项,其目的是结合本系统的语义分析,更精确地定位检修范围与工作间隔,减少计算时间和错误率。

生成工具利用 SCD 解析得到的运行设备间链路关系,计算并生成图形化的二次设备安全措施展示如图 5 所示。其中,DLI107 代表待检修线路保护装置;IML1107 代表同线路间隔的合智一体装置。

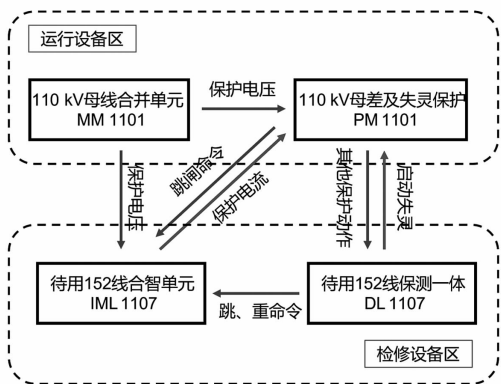


图 5 二次设备安全措施可视化展示

4.2 生成调试作业书

SCD 解析结果还可以给出在进行某项试验时,停电待检修设备与其他装置的关联链路信息。图 6

显示了 110 kV 待用 152 线路保护装置整组调试所涉及到的相关装置间的链路关系,每个回路同时标注了信号描述,这是系统对 SCD 文件进行信号分类的结果。



图 6 待用 152 间隔整组调试涉及链路信号

通过对 SCD 文件的解析,并剔除因涉及到安措不能够进行调试验证的项目,输出 152 线路保护装置调试项目如表 4 所示。

表 4 保护装置调试项目

调试项目	发送方	控制块	订阅方	备注
IML1107	0x00EC		DLI107	断路器位置
IML1107	0x00EE		DLI107	储能超时信号
IML1107	0x00ED		DLI107	运行异常
GOOSE	IML1107	0x00F0	DLI107	PT 切换同时动作
DLI107	0x00BE		IML1107	重合闸
DLI107	0x00BE		IML1107	保护跳闸
.....				
IML1107	0x4019		DLI107	保护电压
SV	IML1107	0x4019	DLI107	保护电流
.....				

同理,通过计算每个被试设备的虚端子链路关

系,分别得到各自的调试项目表。进一步合并消除其中的重复项,再经过语义匹配,将调试表中各项利用解析 SCD 文件虚端子回路形成的调试项目表,可以保证检修设备编号、运行设备编号、变电站设备编号与实际工作内容的一致性,大大减少了查勘人员因现场查勘不充分或手工编制而造成的错误。在实际工作中,部分涉及到检修装置的调试项目因本次工作安全措施要求所限,无法进行调试,该类项目表在生成标准化作业书的同时一并输出存储,便于为该站今后开展其他检修工作时提供参考。

参数(包括调试内容、物理链路、发送控制块、被调试装置、被调试光口等条目)嵌入到预制的调试作业书模板,最终生成标准化作业书(见图 7),满足现场实际工作需求。

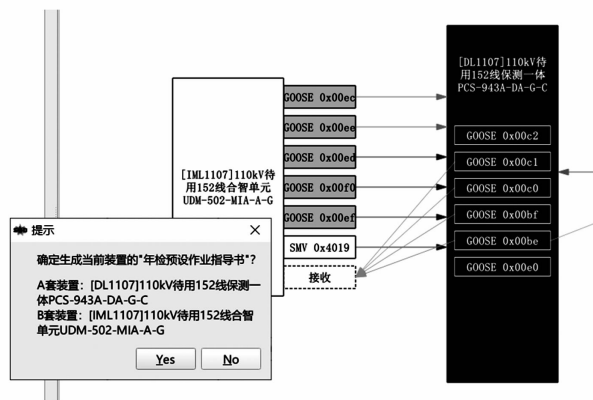


图 7 安全措施及调试项目的自动生成界面

5 结 论

围绕智能变电站二次系统检修作业效率与质量的提升,针对智能站检修中安全措施及调试项目可能出现遗漏的重要回路,造成安全措施执行不到位以及调试效率低下、调试项目不充分等问题,提出一种基于 SCD 文件解析的智能变电站二次设备调试策略生成方法,主要结论如下:

1) 构建了基于 XPath 技术联合 DOM 方法的 SCD 文件解析方法,为自动生成智能变电站安措及调试项目提供了基础平台;

2) 基于 SCD 解析方法,抽取了待检设备与关联设备间的过程层链路关系,并提出了二次设备安全措施自动生成方法;

3) 基于 SCD 解析方法,形成了包含调试项目在内的变电二次专业标准化作业书自动生成方法。

从工程实例应用结果可以看出,所研究成果能

够自动生成准确可靠的二次安措和对应调试项目。今后,还可就 SCD 文件的解析速度与调试作业书计算生成速度作进一步的优化与提升。

参考文献

- [1] 田彦,门富媛. 110 kV 智能变电站二次设备调试方法研究[J]. 电力设备管理, 2021(1):70-71.
- [2] 王优优,朱维钧,李辉,等. 智能变电站二次检修安全措施与 SCD 模型灵活适配方案[J]. 湖南电力, 2018, 38(4):24-28.
- [3] 赵子涵,刘鑫,叶翔,等. 智能变电站二次系统“一键式”安措自动生成方法研究[J]. 电测与仪表, 2019, 56(4):15-20.
- [4] 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.
- [5] 姜鹏,徐明宇,董尔佳,等. 基于典型继电保护语义的安全措施自动生成方法研究[J]. 黑龙江电力, 2017, 39(5):377-381.
- [6] 高旭,马迎新,王可,等. 基于连通状态矩阵的智能变电站安措校核方法[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(7):195-202.
- [7] 郭健生,吴文宣,王云茂,等. 基于 TinyXML 的智能变电站 SCD 文件的解析[J]. 电力与电工, 2011, 31(3):7-10.
- [8] 何卓彬,刘志勇,李璐,等. 异构文本数据转换中 XML 解析方法对比研究[J]. 计算机工程, 2020, 46(7):286-293.
- [9] 李柳青. 基于索引框架的 XPath 求值算法[J]. 电子技术与软件工程, 2021(3):179-180.
- [10] 继电保护 IEC 61850 工程应用模型:GB/T 32890—2016[S], 2016.
- [11] 董国威,汪雷,宋毅,等. 基于 SCD 的智能变电站安措预演纠错系统设计[J]. 信息技术, 2017(11):5-8.
- [12] 黄文英,郭炎福,宋福海. 图论在智能变电站二次安全措施中的应用探索[J]. 电网技术, 2020, 44(1):291-300.

作者简介:

鄧经鑫(1988),男,博士,研究方向为油纸绝缘故障与老化诊断及二次系统运行状态评估;

刘鑫(1986),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护;

表明哲(1985),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护及信号处理在电力系统中的应用;

卢音朴(1994),男,硕士,研究方向为电力系统继电保护;

张帅(1987),男,博士,研究方向为变电系统运行管理、可再生能源发电调控、电力系统不确定性分析与模拟。

(收稿日期:2021-10-05)