

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.201908

# 基于间隔 CRC 校验码的智能变电站改扩建配置文件定位研究

叶远波<sup>1</sup>, 陈晓东<sup>2</sup>, 项忠华<sup>2</sup>, 董怀普<sup>3</sup>, 纪陵<sup>3</sup>, 檀庭方<sup>3</sup>

(1. 安徽电力调度控制中心, 安徽 合肥 230022; 2. 国网安徽省宣城供电公司, 安徽 宣城 242000;  
3. 南京国电南自电网自动化有限公司, 江苏 南京 211153)

**摘要:** 随着智能变电站大规模的投入运行, 同时智能变电站扩建工作也在不断的推进。目前智能变电站改扩建技术缺乏完整的技术体系, 为了界定改扩建影响范围, 确保改扩建间隔配置信息不影响运行间隔信息, 提出一种基于二次虚回路自动识别间隔信息的方法, 将二次设备归属到间隔。同时提出一种基于间隔 CRC 的二次回路配置管控方法, 以明确定位改扩建对母线保护装置配置信息的影响范围。最后提出基于语义识别的方法, 对 CCD 文件二次虚回路校验, 保证虚回路配置的正确性, 为智能变电站改扩建提供技术支撑, 提高改扩建效率。

**关键词:** 虚回路; 间隔 CRC; 二次回路配置管理; 语义识别

## Research on configuration file location of smart substation reconstruction and extension based on bay CRC code

YE Yuanbo<sup>1</sup>, CHEN Xiaodong<sup>2</sup>, XIANG Zhonghua<sup>2</sup>, DONG Huaipu<sup>3</sup>, JI Ling<sup>3</sup>, TAN Tingfang<sup>3</sup>

(1. Anhui Electrical Power Dispatch Centre, Hefei 230022, China; 2. State Grid Anhui Xuancheng Electrical Power Company, Xuancheng 242000, China; 3. Nanjing SAC Power Grid Automation Co., Ltd., Nanjing 211153, China)

**Abstract:** With the large-scale operation of the smart substation, the construction of the smart substation is constantly advancing. Due to the lack of a complete technical system for the smart substation expansion and expansion technology, in order to solve the scope of influence and reconstruction and ensure that the reconstruction and expansion interval does not affect the operation interval information, this paper proposes an automatic identification interval information based on the secondary virtual loop to assign the secondary device to the interval. At the same time, the secondary loop configuration management based on bay CRC is proposed, and the interval of influence on the protection of the busbar protection is clearly defined. Finally, a method based on semantic recognition is proposed to verify the secondary virtual circuit of CCD to ensure the correctness of virtual circuit configuration, provide technical support for the reconstruction and expansion of intelligent substation, and improve the efficiency of reconstruction and expansion.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 521200170027).

**Key words:** virtual loop; bay CRC; secondary loop configuration management; semantic recognition

## 0 引言

智能化变电站具有“一次设备智能化、全站信息数字化、信息共享标准化、高级应用互动化”等特点, 2009 年国家电网公司提出建设“坚强智能电网”, 我国计划在 2020 年以前建成千座智能化变电站, 涵盖已有的各种电压等级, 目前在电力网系统内已建成各电压等级智能变电站超过 1 500 座<sup>[1]</sup>, 智能化成为变电站技术发展的必然趋势。

智能变电站以其信息共享的优势, 越来越受电力系统的青睐, 得到了广泛的应用。与此同时, 随着智能变电站大规模的投入运行, 由于前期试点工程中的部分智能化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, 智能变电站运行状况并不理想, 同时特别是各企业与居民用电量快速增长, 急需对已建成的智能化变电站进行改扩建, 满足电网快速的发展需求, 由此智能变电站的扩建工作在不断推进。对于已运行的智能变电站改扩建工程, 目前多采用全站停电的改造模式, 改扩建完成后对所有线路进行重新功

基金项目: 国家电网公司科技项目资助(521200170027)

能验证和实验调试, 这将给电力系统运行和维护造成难以承受的压力, 对电网运行影响较大。

近几年, 国内外针对智能变电站改扩建相关技术进行了相应的研究。文献[2]通过比较改扩建前后SCD文件中一次系统描述部分模拟信息, 实现对影响的间隔区域定位, 但是当SCD文件中缺少一次描述部分无法进行分析定位。文献[3]提出在变电站改扩建时, 对SCD文件解耦, 实现改扩建间隔与其他间隔的物理隔离, 防止误改动对其他间隔造成影响, 但是对于母线保护改动不能定位范围, 且物理解耦生成多个文件, 版本管控比较繁琐。文献[4]提出通过关键字匹配实现虚回路的自动设计和完整性校验, 能够校验二次虚回路的正确性, 但未分析虚回路更改前后对其他IED是否有影响。

目前智能变电站改扩建技术相对不够成熟, 缺乏完整的技术体系, 变电站改扩建基本采用SCD文件比对分析的方式, 并不能确定装置内部运行的配置文件更改前后的影响范围, 有必要开展智能变电站改扩建技术体系和理论支撑技术的研究, 提高改扩建效率。对线路间隔改扩建, 会导致母线保护装置配置文件重新下载, 因此无法定位改扩建前后的配置文件信息是否对其他已运行间隔设备造成影响, 为了保证安全性, 需要全部线路停电进行传动实验。分析智能变电站二次设备虚回路配置文件信

息, 实现改扩建前后有效的影响分析, 并且进行有效的校验, 降低改扩建调试时间, 对已确定没有更改和没有影响的间隔设备不用再调试, 从而减少停电时间, 为智能变电站改扩建提供技术支撑, 避免智能变电站改扩建工程对电网供电造成严重影响。

### 1 总体架构设计

智能变电站配置描述(Substation Configuration Description, SCD)文件描述了完整的变电站配置, 涵盖了整个变电站的数据模型信息、全部IED的实例化配置信息、通信参数及虚回路连接关系, 是智能变电站组态配置的基础, 相当于常规变电站中链接一二次设备的二次线缆回路, 是智能变电站所有设备互操作的基础<sup>[14-18]</sup>。在变电站改扩建阶段, SCD文件频繁变动, 容易造成调试人员不了解版本间的差异性。在变电站检修及技改阶段, 会牵涉到SCD文件的修改, 对于这些修改, 现在很多采用文本比对的方法, 以及部分可视化展示的工具, 用于界定虚拟二次回路上的差异性。但是对于影响范围的界定不够直观与具体, 难以保证配置信息修改后不影响正在运行的二次设备的正确动作, 以及误修改导致影响其他运行设备的配置信息, 无法准确指导改造工作的顺利进行, 往往扩大调试二次设备的范围, 对各个支路进行传动实验<sup>[19-20]</sup>。

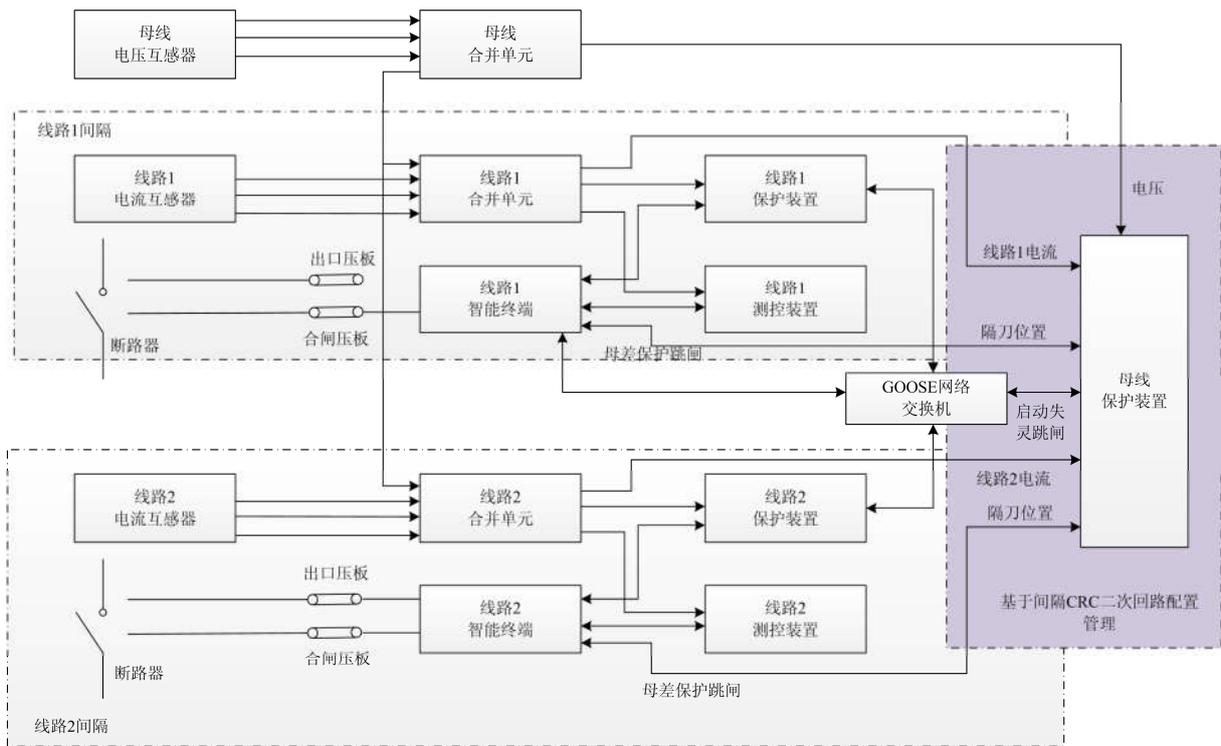


图 1 线路间隔与母线保护回路逻辑结构图

Fig. 1 Logic structure diagram of line bay and bus protection circuit

对于 SCD 文件结构比较复杂、可阅读性差、不利于运维检修人员现场工作等问题<sup>[21]</sup>, SCD 文件已经存在很多可视化的工具, 针对不同的运维人员进行数据解析, 可视化展示 SCD 数据逻辑关系<sup>[5-8]</sup>。在智能变电站改扩建中, SCD 文件各版本之间要做好管控, 否则易导致装置配置信息错误, 下装之后装置运行异常。对于 SCD 版本管控, 可通过解析 SCD 文件, 对智能变电站不同版本 SCD 文件对比, 以直观可视化的方式展示 SCD 文件的差异<sup>[9-10]</sup>, 以及虚回路的链接关系。

在系统集成人员生成 SCD 文件的操作过程中, 一旦对运行设备的 CCD 文件操作错误且没有发现时, 这些错误将直接影响设备的正常运行, 导致不可预知的状况产生。分析智能变电站二次设备的 CCD 文件格式与语法, 根据装置之间虚回路连接关系<sup>[11-13]</sup>, 提出基于二次虚回路自动识别间隔信息的方法, 将二次设备划分到间隔; 同时提出基于间隔 CRC 二次回路配置的管控方法, 根据间隔信息, 准确定位 CCD 变更间隔, 精确界定改扩建影响到的运行间隔的范围; 最后提出基于语义识别的方法, 对 CCD 文件进行校验, 根据间隔信息生成间隔模板信息, 通过 SCD 文件自学习, 自动增量生成模板信息, 以校验虚回路关联的正确性。通过以上方案, 对智能变电站配置文件进行管控, 提高智能变电站改扩建效率, 减少停电范围, 为电网调度运行和检修提供决策和参考。

## 2 基于二次虚回路自动识别间隔信息

CCD(Configured IED Circuit Description)文件是智能变电站二次设备 IED 虚回路配置文件, 国家电网公司发布实施了技术标准规范,《智能变电站继电保护工程文件技术规范》规范了 CCD 文件统一

的规范内容和格式;《智能变电站二次系统配置工具技术规范》规范了系统配置工具生成 CCD 文件, 并将该文件下装到装置的过程。CCD 文件用于定义 IED 订阅与发布 GOOSE 和 SV 信息, 包含虚回路内部地址与接收外部装置的地址映射关系、控制块通信参数信息、虚端子接收端口信息以及虚端子描述信息。该文件通过系统配置工具从 SCD 文件导出, 并且下载到装置内部生效运行。

由于早期运行的智能变电站 SCD 文件中缺少 SSD 部分, 无法获取到一次设备的间隔信息。通过二次回路拓扑关系, 采用基于二次回路自动识别间隔信息, 将二次设备依据一次间隔进行间隔划分。

根据典型间隔二次回路图, 如图 2 所示, 分析可知, 在 SCD 中获取接收支路信息并且接收启动失灵 GOOSE 信号的是母线保护装置; 接收母线跳闸信息, 发送断路器失灵信号的为线路保护装置; 根据线路保护装置发送的 GOOSE 跳闸信号出口, 及发送断路器位置的是本间隔的智能终端装置; 为线路保护装置发送 SV 电流与电压的是本间隔的合并单元; 接收本间隔合并单元的 GOOSE 信号为本间隔的测控装置, 由此可自动识别出本间隔所有的二次设备, 将这些设备归属为一个间隔。

## 3 基于间隔 CRC 的二次回路配置管理

### 3.1 二次回路 CRC 校验码

国家电网公司发布实施了技术规范 Q/GDW1396《IEC61850 工程继电保护应用模型》<sup>[22]</sup>, 对 SCD 文件中每个二次装置采用循环冗余校验(CRC)的方法生成计算其虚端子 CRC 码, 然后针对所有的 IED 按照 IEDName 升序组合 CRC 为一个字符序列, 对该字符序列计算 CRC 得到全站 SCD 文件的 CRC 校验码。

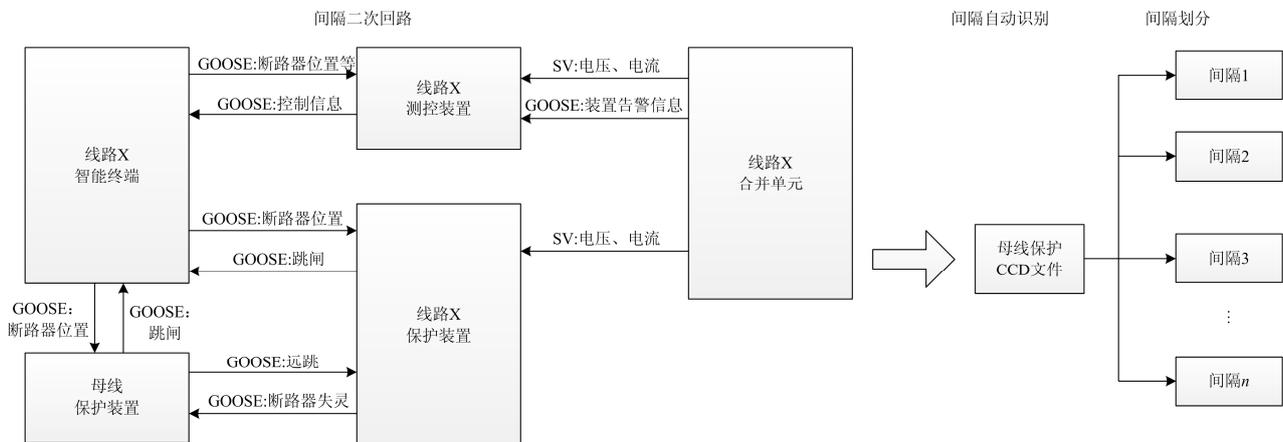


图 2 间隔回路拓扑与自动识别

Fig. 2 Bay loop topology and automatic identification

通过虚回路 CRC 校验码和信息比对校验的方法,实现对 SCD 文件虚回路的配置管控。装置虚回路 CRC 校验码的校验方法是以虚回路配置信息的完整性为基础,提取每个 IED 过程层相关虚回路的配置信息以及通信参数信息,形成可扩展标记语言 XML 文件,并对该文件的信息交换标准代码序列计算四字节 CRC-32 校验码。CCD 文件提取的虚端子内容包括四部分配置信息,分别是 GOOSE 发送信息、GOOSE 接收信息、SV 发送信息、SV 接收信息,CCD 模型文件结构和主要内容如表 1 所示。

表 1 CCD 文件数据格式

Table 1 CCD file data format

模型字段	说明
<IED>	装置信息,包括名称、描述、版本、厂家信息;
<GOOSEPUB>	GOOSE 发布信息
<GOOSESUB>	GOOSE 订阅信息
<SVPUB>	SV 发布信息
<SVSUB>	SV 订阅信息
<CRC>	CRC 校验码信息

### 3.2 基于间隔的 CRC 校验码

在 SCD 文件中对 IED 的管控,是通过提取该 IED 发布与订阅的信息,组合为一个数据序列,并对该数据序列计算为一个 CRC 值。但对于 GOOSE 和 SV 接收部分,没有针对每个发送过来的装置数据生成一个独立的 CRC 校验码。在调试或者改扩建阶段,经常发生 CCD 文件的变更,无法确定变更

对已调试装置是否产生影响。特别是扩建阶段,扩建的线路间隔,导致母线保护装置的 CCD 文件配置信息变更,使得母线保护在过程层配置 CRC 校验码改变时,不能准确定位 CRC 校验码变化的根本原因,无法确定本装置接收所有其他设备的信息当中,具体哪个装置的配置变化导致的 CRC 改变。为了系统安全,CCD 变更时需要对所有的线路做传动实验,验证配置信息改变是否影响其他的已运行装置。

分析 CCD 文件的数据结构与内容,针对 GOOSE 订阅和 SV 订阅信息,在订阅信息中,接收的每个装置的数据信息为一个独立的数据控制块信息,控制块中包含接收外部 IED 控制块的通信参数、端口信息和二次虚回路内外地址映射关系。采用基于间隔 CRC 的二次回路配置管理方法,依据 CCD 文件,将接收控制块信息通过基于二次虚回路进行间隔自动识别,将控制块信息根据装置名称归属到间隔内,自动识别间隔信息,获取间隔内所有的 GOOSE 和 SV,然后按照控制块 appid 进行排序和整理,组合为一个新的字符序列信息,最后对该字符序列信息进行 CRC 计算,得到该 CCD 文件接收间隔 CRC 校验码。只要确定母线保护 CCD 文件中的间隔 CRC 值不变化,该支路与母线保护的配置信息就没有变更,通过比对改扩建前后的间隔 CRC 值,就能够确定改扩建是否影响已投运线路,如图 3 所示。而对于扩建间隔内配置信息,需要一定的校验手段校验回路关联的正确性。

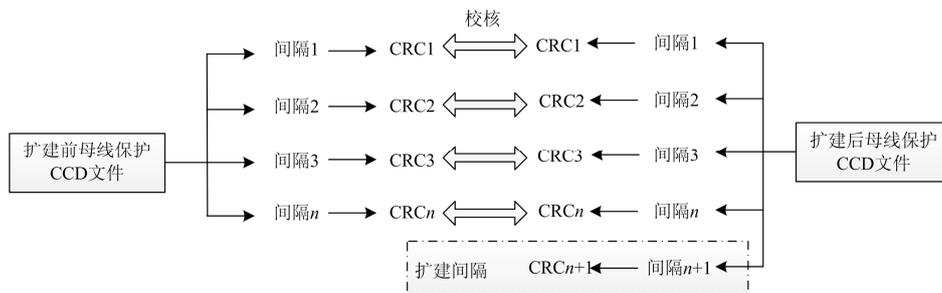


图 3 间隔 CRC 校核

Fig. 3 Bay CRC check

### 3.3 改扩建二次回路管控研究

当对线路进行改扩建时,为避免扩建间隔配置对已运行间隔设备或者无关间隔设备误修改,通过界定分析影响范围,缩小智能变电站扩建调试范围。

二次回路间隔变更定位流程图如图 4 所示。主要流程如下:

1) 首先获取改扩建前母线保护装置的 CCD 文件,然后从改扩建配置完成的 SCD 文件中导出母线保护的 CCD 文件;

2) 基于二次虚回路自动识别间隔信息提取方法,将二次设备归属到间隔;

3) 分别从两个 CCD 文件中获取接收其他装置的 GOOSE 和 SV 配置信息;

4) 基于二次虚回路自动间隔识别的方法,将获取的 GOOSE 和 SV 接收信息归属到间隔;

5) 对间隔内的 GOOSE 和 SV 重新组合与排序,组合为一个间隔接收数据字符序列,然后对间隔接收信息进行 CRC 计算,得到该间隔的 CRC 值;

6) 针对每个间隔 CRC, 对扩建前后的两个值进行对比, 如果不一致则可确认为该间隔配置信息发生了变更。

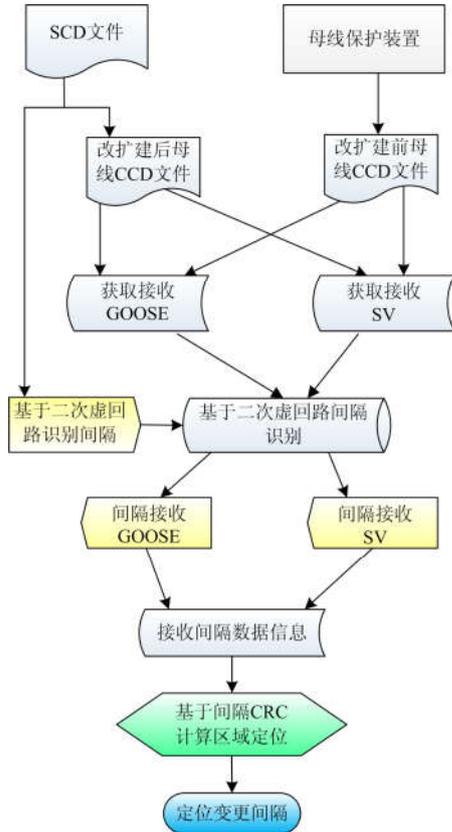


图 4 二次回路间隔变更定位流程图

Fig. 4 Flow chart of secondary loop interval change

## 4 基于语义识别的 CCD 校验

### 4.1 间隔之间虚回路信息校验

在实际的智能变电站中, 相同的电压等级不同的线路间隔, 采用相同的二次设备配置方式与设计方式, 间隔内的虚回路关联关系基本是相同的。对于扩建间隔, 根据已投运间隔二次设备配置信息, 校验扩建间隔二次设备配置方式是否一致, 逻辑是否正确。

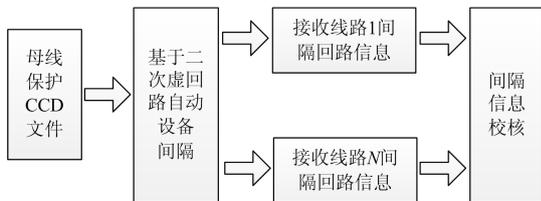


图 5 二次回路间隔对比校验

Fig. 5 Secondary loop interval comparison check

### 4.2 间隔内虚回路数据语义校验

由于智能变电站二次回路设计基本原理相同, 提出通过关键字基于语义识别的方法, 自动提取关键字, 实现对虚回路正确性校验。现阶段根据 Q/GDW1396 技术规范, “六统一”之后的保护装置已完成各个厂家虚端子描述的统一。

对于统一描述的生成标准规则库, 设计知识模板库<sup>[23-25]</sup>。对于描述不统一的, 进行自学习增量更新知识库, 通过导入经过验证的 SCD 模板库, 提取虚回路信息相应的描述信息, 采用语义识别, 提取语义规则, 加入到模板库中, 设计规则库模板格式如下所示。

```

<IED name="PL220" desc="线路保护装置">
  <ExtRef index="1" iedName="IL220" innerSignal="断路器分相跳闸位置 TWJa" outSignal="A 相断路器位置">
    <KeyValue>断路器分相跳闸, 断路器位置, TWJa, A 相</KeyValue>.
  < ExtRef>
  <ExtRef index="2" iedName="IL220" innerSignal="断路器分相跳闸位置 TWJb" outSignal="B 相断路器位置">
    <KeyValue>断路器分相跳闸, 断路器位置, TWJb, B 相</KeyValue>.
  < ExtRef>
  <ExtRef index="3" iedName="IL220" innerSignal="断路器分相跳闸位置 TWJc" outSignal="C 相断路器位置">
    <KeyValue>断路器分相跳闸, 断路器位置, TWJc, C 相</KeyValue>.
  < ExtRef>
  <ExtRef index="4" iedName="IL220" innerSignal="闭锁重合闸-1" outSignal="闭锁保护重合闸">
    <KeyValue>闭锁重合闸, 保护重合闸</KeyValue>.
  < ExtRef>
</IED>
    
```

模板各关键字说明如下。

1) IED: 表示接收装置, 对于属性 name 组成为装置类型+间隔类型+电压等级, 装置类型分为 P 保护装置, C 测控装置, I 智能终端, M 合并单元, desc 为描述信息。

2) ExtRef: 表示接收外部信号, index 为序号, iedName 为外部 IED 名称, 组合与 IED 中的 name 相同, innerSignal 内部虚端子描述, outSignal 为外部虚端子描述。

3) KeyValue: 表示匹配中模式识别的关键字, 在自我学习中增量进行更新。

采用基于语义识别方法进行匹配时, 首先根据

IED 类型与电压等级获取模板信息，然后获取待校验 CCD 文件中的虚端子信息，提取模板中的关键字进行语义识别匹配。

如果在虚端子中出现“断路器分相跳闸位置 TWJa”，而在对侧中出现“B 相”关键字，或者存在“TWJa”与“B”进行匹配关联的配置，判断该虚端子链接是错误的关联方式。通过语义识别检验，可避免出现三相断路器位置 GOOSE 相序关联错误、三相电流或者三相电压 SV 回路配置错误及其他配置错误，导致动作跳闸的事件。

### 5 结论

本文通过对二次设备的 CCD 文件二次虚回路配置信息进行研究，提出一种基于二次虚回路自动识别间隔信息的方法，将二次设备归属到间隔。同时提出基于间隔 CRC 的二次回路管控方法，对改扩建前后 CCD 文件配置间隔信息进行管控，确保改扩建修改配置信息不影响已投运设备和无关间隔设备的配置信息，对已经投运的间隔回路减少传动实验，提供技术支撑。分析虚回路关联关系，同时通过 SCD 文件自学习，自动生成校验模板知识库，提出基于语义识别的方法，对虚回路配置信息进行校验，并对改扩建间隔进行信息校核，为扩建配置提供校验手段，确保配置正确性。本文提出的技术研究方案，已在安徽电网 500 kV 沙河变智能变电站改扩建工程中得到了验证，效果比较显著、适应性强，大大提高了智能变电站的扩建效率，满足了智能变电站二次设备改扩建的应用需求。

### 参考文献

[1] 王明宏. 基于 IEC61850 智能变电站改扩建方案研究与实践[D]. 北京: 华北电力大学, 2016.  
WANG Minghong. Research and application on the reconstruction plans of the smart substation based IEC61850[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2016.

[2] 王宇辉. 220 千伏智能变电站技术改造工程实施方案研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.  
WANG Yuhui. Research on implementation technologies of 220 kV smart substation project[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 高磊, 闫培丽, 阮思焯, 等. 基于相似度计算的学习型模板库在虚回路设计和校验中的应用[J]. 电力系统自动化, 2017, 37(7): 205-212.  
GAO Lei, YAN Peili, RUAN Siye, et al. Application of similarity-calculation-based learning template library in design and check of virtual circuit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 37(7): 205-212.

[6] 熊华强, 万勇, 桂小智, 等. 智能变电站 SCD 文件可视化管理和分析决策系统的设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(5): 166-171.  
XIONG Huaqiang, WAN Yong, GUI Xiaozhi, et al. Design and implementation of visual management and analytical decision system for smart substation SCD files[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(5): 166-171.

[7] 刘宏君, 高旭, 杜丽艳, 等. 智能变电站 SCD 文件管控系统模块化设计[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(3): 154-159.  
LIU Hongjun, GAO Xu, DU Liyan, et al. Modular design of intelligent substation SCD file management and control system[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(3): 154-159.

[8] 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.

[9] 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, 131.  
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, 131.

[10] 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. Optimal research of SCD version comparison based on the standard middle process files[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(14): 95-99.
- [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] 杨辉, 温东旭, 高磊, 等. 智能变电站二次虚回路连线自动生成实践[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(23): 116-121.  
YANG Hui, WEN Dongxu, GAO Lei, et al. Automatic generation of secondary circuit virtual connection in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(23): 116-121.
- [13] 杨高峰, 谢兵, 曾志安, 等. 基于 SCD 与 CCD 校准的智能变电站跨间隔检修技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(2): 175-181.  
YANG Gaofeng, XIE Bing, ZENG Zhi'an, et al. Research on cross-interval maintenance technology of intelligent substation based on SCD and CCD calibration[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(2): 175-181.
- [14] IEC 61850-6 communication networks and systems in substation part 6: configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S].
- [15] BRAND K P, JANSSEN M. The specification of IEC 61850 based substation automation systems[C] // Distributed TECH 2005, January 25-27, 2005, San Diego, USA.
- [16] LIM S I, PARK D H, LEE D W, et al. Fault-tolerant technology to increase reliability for IEC 61850-based substation automation system[C] // CIGRE 5-105, August 27-September 1, 2006, Paris, France.
- [17] 陈艳艳. 基于 IEC61850 标准的变电站自动化系统数据通信研究[D]. 太原: 山西大学, 2013.  
CHEN Yanyan. The research of data communication on substation automation system based on IEC61850[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2013.
- [18] 阮泽棋. 基于 IEC61850 SCD 配置工具研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.  
RUAN Zeqi. Research on SCD configuration tool based on IEC61850[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [19] 孙一民, 刘宏君, 姜健宁, 等. 智能变电站 SCD 文件管控策略完备性分析[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(16): 105-109.  
SUN Yimin, LIU Hongjun, JIANG Jianning, et al. Analysis on completeness of substation configuration description file control strategy for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(16): 105-109.
- [20] 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): 95-98.  
WANG Song, XUAN Xiaohua, LU Chengyu. Version management method of smart substation configuration file[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(17): 95-98.
- [21] 陈艳艳, 尹少平, 焦锦绣. 变电站配置语言 SCL 的应用与解析[J]. 电力学报, 2012, 27(3): 233-236.  
CHEN Yanyan, YIN Shaoping, JIAO Jinxiu. Application and parsing of substation configuration language SCL[J]. Journal of Electric Power, 2012, 27(3): 233-236.
- [22] IEC 61850 工程继电保护应用模型: Q/GDW 1396—2012[S].
- [23] 吴文宣, 唐志军, 晁武杰, 等. 基于智能变电站组合设备仿真测试与集成联调技术方案研究[J]. 电网与清洁能源, 2018, 34(4): 42-48.  
WU Wenxuan, TANG Zhijun, CHAO Wujie, et al. Study on technical scheme of simulation test and integration of combined equipment in intelligent substation[J]. Power System and Clean Energy, 2018, 34(4): 42-48.
- [24] 梁佳佳, 司珍珍. 基于大数据采集的三相表错接线判断方法研究[J]. 电网与清洁能源, 2018, 34(6): 41-46.  
LIANG Sajia, SI Zhenzhen. Research on judgement method of three-phase meters' fault wire connection based on bigdata[J]. Power System and Clean Energy, 2018, 34(6): 41-46.
- [25] 曹永峰, 翟峰, 肖建红, 等. 用电信息采集系统故障运维知识库的设计与应用[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(3): 81-86.  
CAO Yongfeng, ZHAI Feng, XIAO Jianhong, et al. Design and application of fault operation and maintenance knowledge base for electric information collection system[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(3): 81-86.

收稿日期: 2019-03-31; 修回日期: 2019-08-25

作者简介:

叶远波(1973—), 男, 教授级高工, 硕士, 研究方向为电力系统继电保护; E-mail: yeyb7079@ah.sgcc.com.cn

陈晓东(1975—), 男, 高级工程师, 学士, 研究方向为电力系统自动化; E-mail: cxd@ah.sgcc.com.cn

董怀普(1988—), 男, 硕士, 研究方向为电力系统继电保护及自动化. E-mail: huaipu-dong@sac-china.com

(编辑 许威)