

智能变电站改扩建配置变更定位及校验技术研究

窦会光¹, 王义波², 毛玉荣², 王 权¹, 宋 阳¹

(1. 辽宁省送变电工程有限公司, 辽宁 沈阳 110000; 2. 武汉凯默电气有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘要: 针对智能变电站改扩建工程配置文件现场传动测试停电范围大、测试时间长等问题, 提出一种智能变电站改扩建配置文件变更定位及校验技术。根据改扩建工程 IED 的虚连接情况以及通信参数的变化划分工程子块, 提取 SCD 文件中各工程子块相关配置信息并进行循环冗余计算, 得到各工程子块 IED 校验码。通过改扩建前后 SCD 文件中各工程子块 IED 校验码比对精确定位改扩建工程配置变更, 识别测试范围。利用虚拟仿真设备对需要测试的虚回路进行模拟传动测试, 验证改扩建配置文件虚回路的正确性, 并通过实际工程验证了所提智能变电站改扩建配置变更定位及校验技术的有效性。

关键词: 改扩建; 配置文件; 变更定位; 循环冗余计算; 模拟传动

Research on configuration change location and verification technology for reconstruction and expansion of intelligent substation

DOU Huiguang¹, WANG Yibo², MAO Yurong², WANG Quan¹, SONG Yang¹

(1. Liaoning Power Transmission and Transformation Construction Co., Ltd., Shenyang 450000, China;

2. Wuhan Kemov Electric Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: Aiming at the problems of large power failure test range and long test time in the field drive test of the configuration file in the reconstruction and expansion project of intelligent substation, a change location and verification technology for the configuration file in the reconstruction and expansion project of intelligent substation is proposed. According to the virtual connection of secondary equipment and the change of communication parameters in the reconstruction and expansion project, the project sub-blocks are divided. The configuration information of each engineering sub-block in the SCD file is extracted for cyclic redundancy calculation to obtain the IED check code of each engineering sub-block. By comparing the IED check code of each project sub-block in the SCD file before and after the modification and expansion, the configuration change of the modification and expansion project is located and the test range is identified. The virtual simulation equipment is used to simulate the transmission test of the virtual loop to verify the correctness of the virtual loop of the modified configuration file. The effectiveness of the proposed configuration change location and calibration technique is verified by a practical project.

Key words: reconstruction and expansion; configuration file; change location; cyclic redundancy calculation; analog transmission

0 引言

在我国推进碳达峰、碳中和的大背景下，数字电网将成为承载新型电力系统的最佳形态，作为能源流、信息流的汇聚节点的智能变电站已成为数字电网的重要支点。智能变电站自2009年启动试点建设以来，目前已进入规模建设阶段，截至2021年新建及改造智能变电站7 000多座。智能变电站配置描述文件（SCD）建立了智能变电站的分层信息模型^[1]，依据变电站的实际情况描述智能变电站分层信息模型中的逻辑节点、数据、数据属性以及ACSI服务，通过配置文件的传递实现不同厂商智能电子设备（IED）配置信息交换^[1-2]。

我国智能变电站已逐渐进入建设高峰阶段，变电站的建设通常根据设计、资金计划及负荷情况分阶段进行，设计院在设计阶段设计出包括远期规划的整个变电站，然后分若干期实施，因此变电站投运后再增加出线或其他间隔是经常开展的工作。改扩建工作需要修改相关配置文件，通过对更改配置的IED及相关运行的虚回路进行验证，可以确定改扩建测试边界，减少二次设备的投退操作^[3-5]。当前技术多通过人工文本或模型查看、专业软件可视化比对^[6-9]和现场实际传动测试等方式比对改扩建前后的SCD文件的虚回路差异性。这些方法技术难度大，对人工专业技术要求高，且无法确定配置改变是否对运行装置产生影响，也无法确定改扩建测试范围。

针对以上问题，本文提出一种智能变电站改扩建配置变更定位及校验技术，将循环冗余校验应用到智能变电站改扩建配置变更定位。针对改扩建工程中IED设备的虚连接情况以及通信参数的变化，划分全站IED设备为若干工程子块，提取各工程子块的相关配置信息进行循环冗余计算，获得各工程子块IED校验码，通过各工程子块IED校验码比对结果精确定位配置文件变更范围，自动识别改扩建测试边界，缩小现场传动测试范围，并利用虚拟仿真设备对配置文件进行模拟传动测试，校验改扩建配置文件虚回路的正

确性。

1 智能变电站改扩建配置变更定位及校验

智能变电站改扩建工程新增或更换设备，并对变电站配置文件进行修改，改扩建完成后需要对相关配置文件进行调试验证，确保改扩建配置文件变更不影响设备的正常运行。现场实际传动测试需要通过一次设备轮流停电及二次设备停运来配合，如在220 kV及以上线路间隔改扩建工作中，需要对母线间隔IED以及母线间隔关联的所有其他线路IED的虚回路进行测试，停电测试范围大、测试时间长，不利于电网安全稳定运行。通过相关技术缩小改扩建调试影响范围，减少改扩建现场传动测试，提高调试效率，对电网安全稳定运行意义重大。

针对改扩建系统联调中SCD文件变更，根据IED设备的虚连接情况以及通信参数的变化，将IED划分为改扩建子块、直接关联子块和间接关联子块，如图1所示。改扩建子块包括改造间隔或扩建间隔的IED；直接关联子块包括与改扩建设备有直接虚回路关联、须重新下装配置文件的IED；间接关联子块包括与直接关联子块有虚回路关联、无须重新下装配置文件的IED。

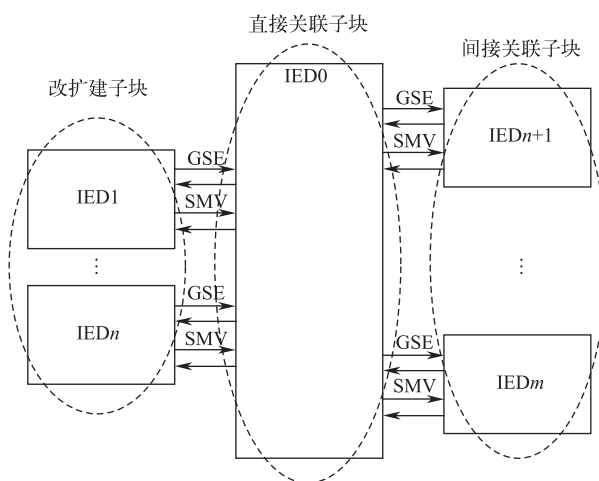


图1 子块划分

Fig. 1 Sub block division

如220 kV智能变电站新增一个220 kV线路间隔，则新增间隔的保护装置、智能终端、合并

单元和测控装置组成改扩建子块，与新增线路间隔有虚回路关联的220 kV母线保护为直接关联子块，与该母线保护有虚回路关联的原220 kV线路间隔、主变压器间隔构成间接关联子块。

提取SCD文件中相关配置信息，计算各子块IED之间GOOSE发送校验码GTCRC、GOOSE接收校验码GRCRC、SV发送校验码STCRC和SV接收校验码SRCRC。比对改扩建工程变更前后SCD文件中各工程子块的校验码，改扩建工程前后发生变化的校验码代表的虚回路即为发生变化的虚回路，通过校验码比对待确定位置配置变更，自动识别测试边界。

在现场进行实际传动测试需要设备陪停,影响供电可靠性,操作风险大。本文研究智能变电站配置模拟传动测试技术,在实验室或者调试中心通过虚拟仿真设备模拟IED进行信号交互验证各设备之间虚回路及相关配置的正确性,缩短现场调试时间。虚拟仿真设备分别模拟不同子块的IED,虚拟仿真设备根据模拟的IED,从SCD中获取当前IED发布/订阅的SV/GOOSE报文,基于信号交互实现智能变电站工程配置及二次回路模拟传动校验,校验设备之间是否存在多连、错连和漏连的虚回路等问题,以及校验设备的数据集、通道数目、收发报文类型和APP ID等通信参数是否正常。

2 配置信息提取及循环冗余计算

SCD文件描述了全站IED的实例配置、通信参数以及虚回路配置信息，其结构如图2所示，包含Header、Substation、Communication、IED和Data Type Templates五部分。Header部分描述文件版本、配置工具和修改记录等信息；Substation部分描述变电站的功能结构；Communication部分描述各个IED的SV、GOOSE控制块的地址信息；IED部分描述各个IED的SV、GOOSE的发布和订阅等具体内容；Data Type Templates部分描述逻辑节点、数据对象等数据类型模板。工程子块配置信息提取依据工程子块划分提取图2中Communication部分通

信参数节点 (ConnectedAP)，以及IED部分数据集 (DataSet)、数据输入节点 (Inputs)、SV控制块 (Sampled Value Control) 和GOOSE控制块 (GSE Control) 相关配置信息进行循环冗余计算。

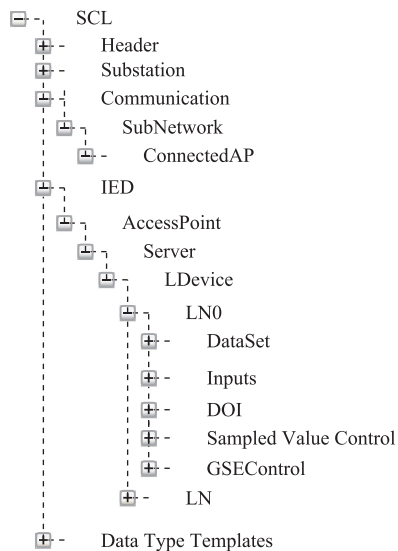


图 2 SCD 模型结构

Fig. 2 SCD model structure

计算GOOSE发送校验码GTCRC提取配置包括本IED的GSEControl节点的APP ID、confRev、datSet、name和type等属性；ConnectedAP部分GSE节点下MAC-Address、VLAN-ID、VLAN-PRIORITY、APP ID、Min Time和MaxTime等元素；以及DataSet节点下各个FCDA的IdInst、prefix、InClass、InInst、doName、daName和fc等属性。

计算GOOSE接收校验码GRCRC提取配置包括对端IED的GSEControl节点的APP ID、confRev、datSet、name和type等属性；ConnectedAP部分GSE节点下MAC-Address、VLAN-ID、VLAN-PRIORITY、APP ID、Min Time和MaxTime等元素；DataSet节点下各个FCDA的IdInst、prefix、InClass、InInst、doName、daName和fc等属性；以及本IED的Inputs节点下各个ExtRef的intAddr属性。

计算SV发送校验码STCRC提取的配置包
括本IED的Sampled Value Control节点下的

confRev、datSet、name、nofASDU、smpRate和SMV ID等属性；ConnectedAP部分SMV节点下MAC-Address、VLAN-ID、VLAN-PRIORITY和APPID等元素；以及DataSet节点下各个FCDA的IdInst、prefix、InClass、InInst、doName、daName和fc等属性。

计算SV接收校验码SRCRC提取的配置包括对端IED的Sampled Value Control节点下的confRev、datSet、name、nofASDU、smpRate和SMV ID等属性；ConnectedAP部分SMV节点下MAC-Address、VLAN-ID、VLAN-PRIORITY和APPID等元素；DataSet节点下各个FCDA的IdInst、prefix、InClass、InInst、doName、daName和fc等属性；以及本IED的Inputs节点下各个ExtRef的intAddr属性。

所有提取元素的子元素与SCD文件中的顺序一致，没有子元素和赋值的元素采用“/>”结尾，所有提取元素的属性按字母从a~z的顺序排列，描述性属性desc、dU元素不提取，并剔除元素间及属性间的空格、换行符、回车符和列表符。使用循环冗余计算方法，对提取的信息进行校验码计算，计算UTF-8序列四字节CRC-32校验码，计算的四字节CRC-32校验码不满四字节的，高字节补0×0^[10]，生成校验码，如图3所示。

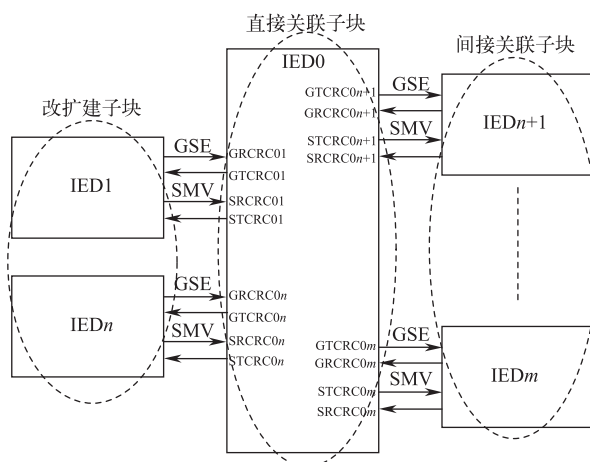


图3 工程子块配置信息校验码

Fig. 3 Check code for configuration information of project sub block

3 智能变电站配置变更定位

基于变电站配置文件变更前后工程子块配置信息校验码比对，可定位智能变电站配置文件变更位置，识别配置文件测试边界，智能变电站配置变更定位实现流程如图4所示。

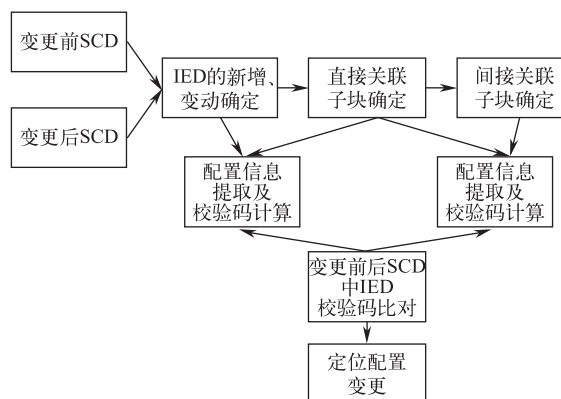


图4 配置变更定位流程

Fig. 4 Configuration change positioning process

比对改扩建前后的SCD文件识别改扩建子块，可能是多个IED；搜索与改扩建子块外有虚回路关联关系的IED确定直接关联子块，搜索与直接关联子块有虚回路关联关系的IED确定间接关联子块，计算改扩建前后SCD文件中该部分IED的校验码GRCRC、GTCRC、SRCRC和STCRC，比对改扩建前后两个SCD文件中IED的校验码是否一致。

若间接关联子块与直接关联子块的校验码一致，则改扩建前后间接关联子块的配置未发生变化，不需要测试，发生变化的配置为GRCRC01~0n ∪ GTCRC01~0n ∪ SRCRC01~0n ∪ STCRC01~0n代表的虚回路，即图5中虚线箭头部分，该部分虚回路即为测试边界。

若间接关联子块与直接关联子块的校验码不一致，用GRCRC0i、GTCRC0j、SRCRC0k和STCRC0f代表直接关联子块与间接关联子块间校验码发生变化的虚回路，可能是一个，也可能是多个，则发生变化的配置为GRCRC01~0n ∪ GTCRC01~0n ∪ SRCRC01~0n ∪ STCRC01~0n ∪ GRCRC0i ∪ GTCRC0j ∪ SRCRC0k ∪ STCRC0f代表的虚回路，即图6中虚线箭头部分。

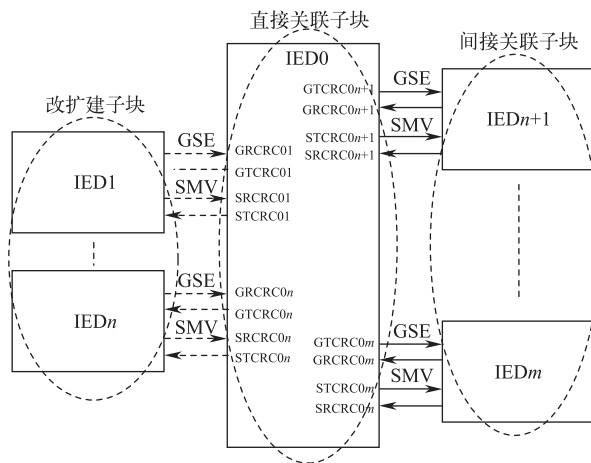


图5 配置变更定位 1

Fig. 5 Configuration change positioning 1

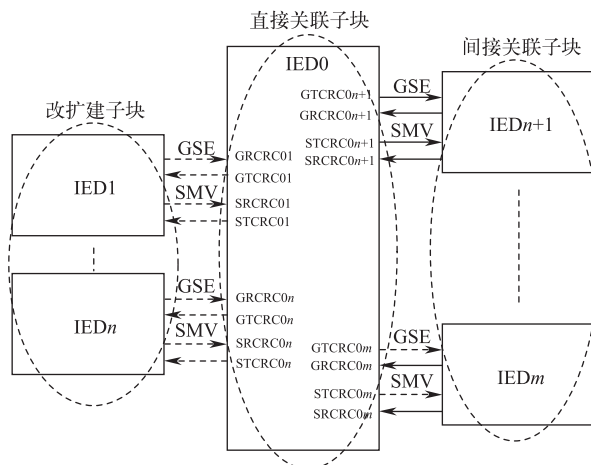


图6 配置变更定位 2

Fig. 6 Configuration change positioning 2

基于该技术可自动给出智能变电站改扩建工程联调过程中需要测试的设备及回路，缩小测试范围，显著缩短现场调试时间。

4 工程应用

某220 kV智能变电站，220 kV双母线接线、110 kV侧单母分段接线，改扩建工程每条220 kV母线新增一个220 kV线路间隔，110 kV母线新增两个110 kV线路间隔。

利用本文所提方法进行校验测试，该改扩建工程的改扩建子块由新增的4个间隔的保护装置、合并单元和智能终端组成，直接关联子块由220 kV母线第一套保护、220 kV母线第二套保护和110 kV母线保护组成，间接关联子块由

直接关联子块有虚回路关联的IED组成，包括原220 kV线路间隔、220 kV母联间隔、主变压器间隔和110 kV线路间隔等间隔的IED设备。提取改扩建工程前后SCD文件中各子块的配置信息进行循环冗余计算各子块的校验码，并进行比对，比对结果如图7所示。直接关联子块与间接关联子块的校验码在改扩建工程前后一致，相关配置没有发生变化。改扩建子块与直接关联子块间的校验码在改扩建工程前后不一致，此部分虚回路为配置发生变化的虚回路。

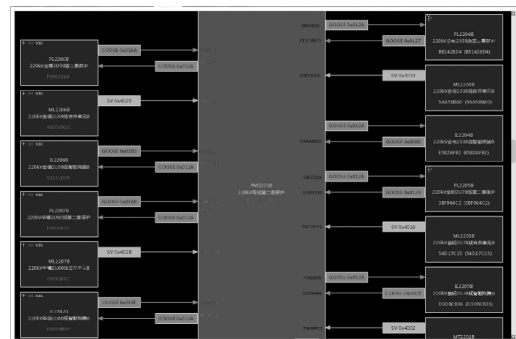


图7 校验码比对

Fig. 7 Check code comparison

利用虚拟仿真设备模拟直接关联子块的IED和改扩建子块的IED进行模拟传动测试，如图8所示。一台虚拟仿真设备模拟PM2201A 220 kV母线保护第一套，一台虚拟仿真设备模拟改扩建子块PL2207A 220 kV华塘2U59线第一套保护、IL2207A华塘2U60线路智能终端A、PL2206A 220 kV金塘2U59线第一套保护等IED设备，两台虚拟仿真设备依据SCD文件中虚连接关系进行报文交互，验证了改扩建修改配置文件虚回路的正确性。

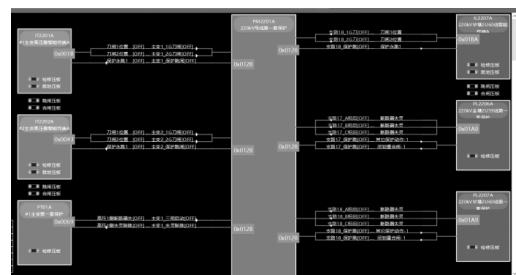


图8 模拟传动测试

Fig. 8 Simulated transmission test

5 结束语

针对智能变电站改扩建配置文件变更校验面临的难题，本文提出一种智能变电站改扩建配置变更定位及校验技术。通过工程子块划分及相关配置信息循环冗余计算及比对精确定位改扩建工程中配置变更，自动识别改扩建测试边界，缩小现场传动测试范围，利用虚拟仿真设备进行模拟传动测试，验证改扩建配置文件虚回路的正确性，缩短现场传动测试时间，提高改扩建调试可靠性，对电网安全运行意义重大。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 高磊, 刘鹏, 卜强生, 等. 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[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 153-158.
- [3] 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.
- [4] 叶远波, 陈晓东, 项忠华, 等. 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[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(6): 173-179.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 陆承宇, 王松, 高秀荣, 等. 基于文件校核比对的智能变电站配置文件管控系统研究与实现 [J]. 电工技术, 2016, (7): 64-66.
- [8] 唐凡, 董默, 刘守瑞, 等. 智能变电站虚回路检验工具的开发应用[J]. 中国电力, 2016, 49(5): 136-140.
- [9] 郝晓光, 赵宇皓, 尹项根, 等. 基于中间模型文件的智能变电站虚回路校验研究[J]. 电力科学与技术学报, 2020, 35(5): 132-137.
- [10] 智能变电站继电保护工程文件技术规范: Q/GDW 11471—2015[S].

作者简介

窦会光（1973—），男，高级工程师，主要负责继电保护调试管理工作。

毛玉荣（1989—），女，通讯作者，硕士，工程师，研究方向为智能变电站二次设备测试技术。

（收稿日期：2022-10-25）