

# 基于中间模型文件的智能变电站 虚回路校验研究

郝晓光<sup>1</sup>, 赵宇皓<sup>1</sup>, 尹项根<sup>2</sup>, 罗 蓬<sup>1</sup>, 杨经超<sup>3</sup>, 毛玉荣<sup>3</sup>

(1. 国网河北省电力有限公司电力科学研究院, 河北 石家庄 050021; 2. 华中科技大学强电磁工程与  
新技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430274; 3. 武汉凯默电气有限公司, 湖北 武汉 430023)

**摘要:**变电站配置文件中虚回路连接的正确性直接影响二次系统保护功能实现。针对当前配置文件不规范、人工校验效率低、校验结果受主观因素影响多等问题, 提出一种基于中间模型文件的智能变电站虚回路自动校验方法。首先通过对每一个厂家的 IED 的 ICD 建立一个对应的 IMCD 文件, 并根据相关规范建立 DOI、DAI 的规范化模型, 解决 ICD 文件模型的不规范问题。再通过严格审查的 SCD 文件建立 KMCD 模型, 保证虚回路的正确性, 最终实现对虚回路的自动校验。以某变电站 SCD 文件为例, 验证了该方法的可行性。

**关键词:**智能变电站; 中间模型文件; 校验模板; 自动校验

DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2020.05.018 中图分类号:TM 930 文章编号:1673-9140(2020)05-0132-06

## Intelligent substation virtual circuit check based on the intermediate model file

HAO Xiaoguang<sup>1</sup>, ZHAO Yuhao<sup>1</sup>, YIN Xianggen<sup>2</sup>, LUO Peng<sup>1</sup>,  
YANG Jingchao<sup>3</sup>, MAO Yurong<sup>3</sup>

(1. Electric Power Research Institute, State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd., Shijiazhuang 050021, China;  
2. State Key Laboratory of Advanced Electromagnetic Engineering and Technology, Huazhong University of  
Science and Technology, Wuhan 430074, China; 3. Wuhan Kemov Electric Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

**Abstract:** The correctness of the virtual loop connection in substation configuration (SCD) files affects the secondary system protection function. The current configuration file is not standardized, its manual verification is not efficient and its result would be influenced by subjective factors and other issues. This paper presents an automatic check method for the intelligent substation virtual circuit based on the intermediate model file. Firstly, a corresponding IMCD file is established for the ICD of each manufacturer's IED, and a standardized model of DOI and DAI is also established according to relevant specifications to solve ICD file non-standard issues. Then, the KMCD model is constructed through the strictly reviewed SCD file to ensure the correctness of virtual circuit. Finally, the automatic verification of the virtual is realized and the SCD file of a substation is included as an example to verify the feasibility of the proposed method.

**Key words:** intelligent substation; intermediate model file; check template; automatic check

收稿日期:2018-07-04; 修回日期:2018-08-17

基金项目:国网河北省电力有限公司重点科技项目(kj2017-016)

通信作者:毛玉荣(1989-),女,硕士,工程师,主要从事智能变电站测试技术研究;E-mail: maoyurong@kemov.com

在智能变电站中,基于 IEC 61850 通信规约,采用三层两网的架构体系<sup>[1-2]</sup>,以网络化信息共享替代传统的二次回路,以数字化的方式实现保护采样、跳合闸、启动、闭锁等二次系统分布式功能<sup>[3-5]</sup>。变电站的跳合闸、采样等二次回路连接关系受 SCD 文件中的虚端子以及反映虚端子连接关系的虚回路影响。SCD 文件中虚回路的正确性直接影响保护功能的实现,对智能变电站的安全运行至关重要,因此在智能变电站投运前需要对 SCD 文件进行虚回路校验。

SCD 文件依据 IEC 61850 标准规定的 SCL 语言进行信息建模和通信配置<sup>[6-8]</sup>,根据变电站电压等级的不同,最终的全站配置信息文件量可达 100 MB 甚至数 100 MB,使用文件编辑器查看可能会有上百万行代码,导致人工校验工作量大,校验困难,极易出错。

为解决人工校验的困难,文献[9-10]提出智能变电站 SCD 文件可视化方法,给人工校验提供一定的便利;文献[11]提出了一种 SCL 文件差异化的比对方法;文献[12]将 SCD 中的虚端子连接按间隔以表格格式导出,人工做静态校验,并通过分析通信工况和模拟报文收发,动态验证虚回路的规范性,按间隔导出虚端子连接关系进行人工校验,降低了人工校验的难度,但并未减轻工作量;文献[13]实现了 SCD 文件与虚端子表的比对,但虚端子表格格式不统一,使该方法不具有通用性;文献[14]针对虚端子描述不规范性问题,通过关键词匹配整合的方法创建虚回路模板库,实现虚回路自动设计和校验,但该方法正确率难以得到保证,与继电保护的高可靠性、正确性要求有一定差距。文献[15]提出一种基于间隔 CRC 的二次回路配置管控方法,为智能变电站改扩建提供技术支撑。

综上所述,在智能变电站虚回路校验上,以往研究实现了人工校验时 SCD 文件可视化,降低了校验难度,但该校验方式受主观因素影响较多,校验效率仍很低;而在自动校验方式上,ICD 文件模型的不规范性,通用性差,校验正确率不高等问题仍亟待解决。

针对以上问题,本文介绍了基于中间模型文件的虚回路自动校验方法,讨论了中间模型文件(IM-

CD)和校验模板(KMCD)的建模问题,并开发了智能变电站虚回路自动校验软件,介绍了软件的实际应用及效果。

## 1 基于中间模型文件的虚回路自动校验方法

SCD 文件由 ICD 文件通过系统集成工具集成,但文件中虚回路配置信息不规范。由于设计习惯的不同,不同地区的虚回路设计可能存在差异,无法建立统一的校验模板。该文通过建立 IMCD 文件,解决 ICD 文件模型不规范的问题;并基于已通过审查的 SCD 文件建立校验模板,解决不同地区虚回路设计的差异性。

基于中间模型文件的 SCD 文件虚回路自动校验实现方法及步骤:

- 1)对每一个厂家 IED 的 ICD 文件建立一个对应的 IMCD 文件及文件库;
- 2)基于 IMCD 文件库,根据已通过审查的 SCD 文件按间隔建立 KMCD 文件;
- 3)导入待校验的 SCD 文件,并进行 IED 名称规范化配置;
- 4)基于被校验对象属性特征自动匹配 KMCD,依据 IED 规范化命名及 KMCD 进行间隔虚连接校验;
- 5)输出校验结果报告。

智能变电站 SCD 文件由基于 ICD 文件采用系统集成工具生成<sup>[5]</sup>。现阶段,ICD 文件模型没有统一规范,各厂家根据自己装置的功能需求或对 IEC 61850 协议理解制定 ICD 文件。ICD 文件经相关审查后发布,发布后不可轻易改动。该文通过对每一个厂家 IED 的 ICD 建立一个对应的 IMCD 文件,根据虚回路两端 DOI、DAI 的特点,并依据相关规范建立 DOI、DAI 的规范化模型,从而解决 ICD 文件模型不规范的问题。

根据各地区已通过审查的 SCD 文件建立 KMCD,可解决不同地区虚回路差异性。KMCD 基于已通过审查的 SCD 文件中 IED 之间的虚连接关系,建立 IMCD 之间标准的虚连接关系,此标准的虚连接关系即可作为 KMCD 用于校验。

SCD文件中可能出现跨间隔虚连接错误,若错误发生在包含相同的IED且具有相同的虚回路连接关系的2个间隔,基于KMCD文件进行校验则无法识别此连接错误。由于目前SCD文件中IED名称并不规范,无法通过程序识别跨间隔的虚连接错误。该文通过将待校验SCD文件中IED名称规范化,根据IED名称划分间隔,基于跨间隔虚回路审查原则,通过程序自动识别跨间隔虚连接错误。

## 2 IMCD文件建模

Q/GDW 1161—2014《线路保护及辅助装置标准化设计规范》、Q/GDW 1175—2013《变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范》、Q/GDW 10766—2015《10 kV~110(66) kV线路保护及辅助装置标准化设计规范》等规范了保护装置虚端子DOI、DAI描述、引用路径等信息,但针对合并单元、智能终端等装置的虚端子描述、引用路

径信息并没有统一的规范。该文依据保护装置虚端子信息规范制定智能终端、合并单元等装置的虚端子信息规范,制定智能终端与合并单元的DOI、DAI规范化描述、引用路径等信息。

依据上述规范,对每一个厂家的IED的ICD建立一个对应的IMCD文件,在IMCD文件中针对ICD文件的每个虚端子添加DOI、DAI规范化描述、引用路径属性,并采用CRC特征码保证IMCD文件与ICD文件的一致性与唯一性。CRC特征码是将IED的ICD文件的站控层数据集、过程层数据集、过程层SV虚端子和过程层GOOSE虚端子进行CRC运算,并将运算结果建模于IMCD文件中。

IMCD文件模型参考IEC 61850标准模型建立,包含5个部分内容:设备类型、SV发送数据集、SV接收数据集、GOOSE发送数据集和GOOSE接收数据集。设备类型用于匹配KMCD,每条虚端子包含DOI、DAI标准化描述、标准化路径、ICD描述、ICD路径以及组属性。IMCD中元素及属性定义见表1。

表1 IMCD元素及属性定义

Table 1 IMCD elements and attributes definitions

元素	说明	属性	说明
SIMCDData	该文件为IMCD文件		
SMatchICD	匹配的ICD	strType	ICD中IED型号
		strFact	ICD中IED厂家
		strVer	ICD中IED版本号
		uCRC	ICD的CRC特征码
SDevType	设备类型	uVolt	电压等级,枚举值为空、10、20、35、66、110、220、330、500、750 kV
		uType	类型,枚举值为空、交换机、保护、测控、保测一体、合并单元、智能终端、合智一体、低周减载、低压减载、在线监测、四合一、失步解列、稳控、同步向量
		uObj	对象,枚举值为空、公用、开关、主变、主变本体、线路、母线、直流、电抗器/高抗、电容、所变、所用电、母联/分段、备自投、短引线、远眺判别、非电量
ISVSnd	SV发送数据集	—	—
ISVRcv	SV接收数据集	—	—
lGooseSnd	GOOSE发送数据集	—	—
lGooseRcv	GOOSE接收数据集	—	—
SIMCDItem	虚端子	strName	标准虚端子名
		strAdr	标准虚端子路径,用于配置IMCD时自动匹配模板
		strIcdName	ICD中虚端子名
		strIcdAdr	ICD中虚端子路径
		strGroup	组属性,例如:闭锁重合闸—1、闭锁重合闸—2、闭锁重合闸—3 都可配置为“闭锁重合闸”组

### 3 KMCD 文件建模

KMCD 文件基于已通过严格审查的 SCD 文件建立,保证了虚回路的正确性,通过 IMCD 文件规范虚端子两端 DOI、DAI 模型,建立标准的虚端子连接关系。

解析已通过审查的 SCD 文件,获取 IED 列表,计算各个 IED 的 CRC 特征码,比较 IED 和 IMCD 文件中的版本号、CRC 特征码,实现 SCD 文件中 IED 与 IMCD 文件的自动匹配。SCD 文件中描述了 IED 虚端子之间的连接关系,IMCD 文件针对

IED 的每条虚端子进行规范化建模,基于 SCD 文件中 IED 的虚端子之间的关联关系可以获得 IED 对应的 IMCD 文件中虚端子之间的关联关系,此关联关系即可作为校验模板用于校验。

提取 IMCD 文件中的标准虚端子名及路径等信息作为每条连接关系的本侧虚端子信息以及对侧虚端子信息,生成 KMCD 文件。

与 IMCD 类似,KMCD 同样包含 5 个部分信息:设备类型、SV 发送及接收数据集、GOOSE 发送数据集和 GOOSE 接收数据集。设备类型用于匹配 IMCD,每条连接关系包含本侧、对侧虚端子信息。KMCD 中元素及属性定义见表 2。

表 2 KMCD 元素及属性定义

Table 2 KMCD elements and attributes definitions

元素	说明	属性	说明
SKMCDChkModel	该文件为 KMCD 文件	uCnnType	接线类型,枚举值为空、3/2 断路器接线、双母线接线、双母线单分段、双母线双分段、单母线、内桥接线、扩大内桥接线、线变组
		uVolt	电压等级,枚举值为空、10、20、35、66、110、220、330、500、750 kV
		uType	类型,枚举值为空、交换机、保护、测控、保测一体、合并单元、智能终端、合智一体、低周减载、低压减载、在线监测、四合一、失步解列、稳控、同步向量
SDevType	设备类型	uObj	对象,枚举值为空、公用、开关、主变、主变本体、线路、母线、直流、电抗器/高抗、电容、所变、所用电、母联/分段、备自投、短引线、远跳判别、非电量
		ISVSnd	SV 发送数据集
ISVRcv	SV 接收数据集	—	—
lGooseSnd	GOOSE 发送数据集	—	—
lGooseRcv	GOOSE 接收数据集	—	—
SKMCDChkItem	本侧虚端子	strName	标准虚端子名
		strAdr	标准虚端子路径
SKMCDLinkItem	对侧虚端子	strName	标准虚端子名
		strAdr	标准虚端子路径

### 4 基于中间模型文件的虚回路自动校验

基于中间模型文件的虚回路自动校验方法,在 Qt 3.6 平台开发一套虚回路自动校验软件。校验流程如图 1 所示,校验结果在可视化的虚回路图中进行显示,以选中的 IED 设备为中心设备,与之关联的 IED 设备分列左右两侧,带箭头的直线表示 2 个设备之间关联的虚端子,箭头方向表示信息流向。异常虚连接的两侧虚端子采用符号标注,使用“X”

表示虚连接错误。

为验证该软件的有效性,利用该软件对 20 个 220 kV 变电站 SCD 文件进行虚回路校验。IMCD 建模耗时 3 h,KMCD 建模耗时 0.5 h,校验耗时 0.5 h,平均每个 SCD 文件校验过程耗时 0.2 h,校验正确率 100%。后期 IMCD 文件库与 KMCD 文件库逐渐完善,可大大缩短整个校验过程的时间。人工审查 1 个 220 kV 变电站至少需要 1 天的时间,该软件有效地提高了虚回路校验效率,也保证了检验结果的正确性。

该软件已成功应用于实际工程。利用该软件对

石家庄 220 kV 恒庄变 SCD 文件进行虚回路校验,恒庄变 SCD 文件中各 IED 自动匹配 IMCD 文件,建立 IMCD 文件间的虚端子连接关系,并与校验模板对比,结果如图 2 所示。220 kV 恒馆线保护装置 A 套虚端子同期电压  $U_{x2}$  与 220 kV 恒馆线合并单元 A 套虚端子同期电压 2 条目中出现“?”符号,由软件校验结果标示方式可知其间缺少连接,设计人员及时对 SCD 文件进行修改,消除变电站的安全隐患。

采用智能变电站虚回路自动校验软件中的虚回路校验,以图形化方式显示校验结果,直观易懂,可指导设计人员对 SCD 文件进行修改;依据校验模板自动校验,不受人的技术能力、仔细程度等主观因素影响,校验正确率高;采用软件自动校验还大大缩短了校验时间,节省了人力物力。

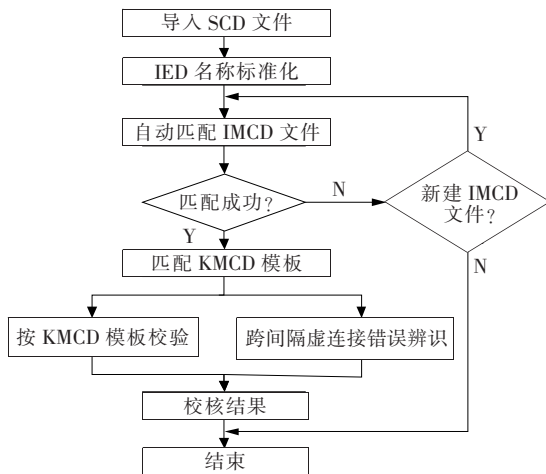


图 1 虚回路自动校验流程

Figure 1 Virtual circuit automatic check process

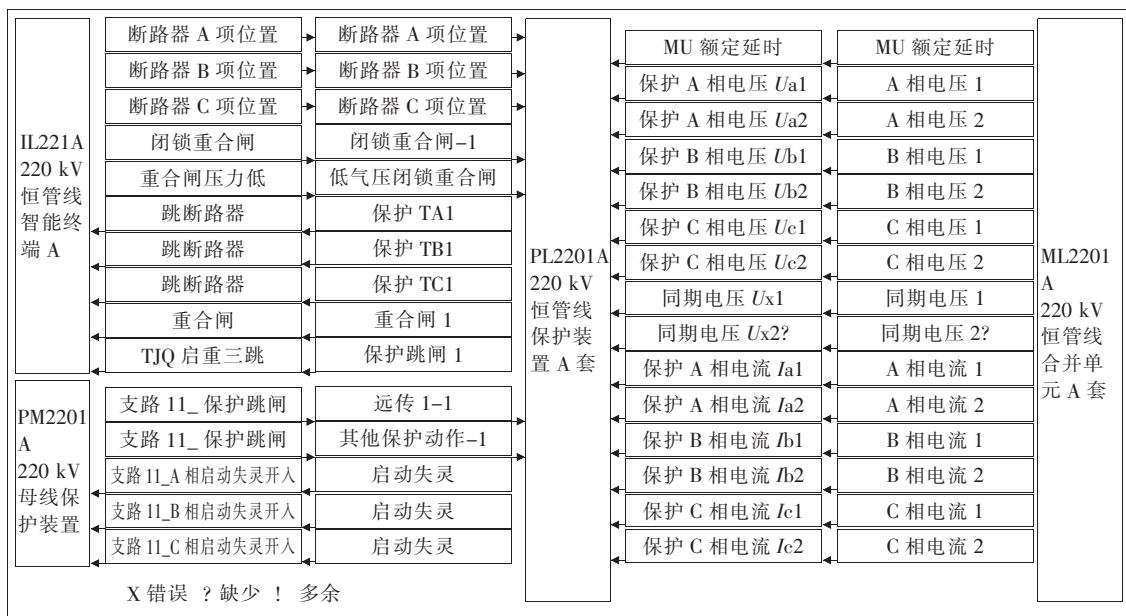


图 2 虚回路校验结果

Figure 2 Virtual circuit check results

## 5 结语

针对目前人工校验效率低,自动校验时 ICD 模型不规范、不同地区配置文件虚回路存在差异等问题,该文开展了以下研究工作:

1)提出了一种基于中间模型文件的智能变电站虚回路校验方法,基于中间模型文件实现智能变电站虚回路自动校验;

2)讨论了 IMCD、KMCD 文件的建模方法,通过建立 IMCD 模型,解决 ICD 模型不规范的问题,

依据已通过审查的 SCD 文件建立 KMCD 文件,解决不同地区虚回路差异性;

3)开发了智能变电站虚回路自动校验软件,并成功应用于实际工程中。

### 参考文献:

[1] Q/GDW 383—2009. 智能变电站技术导则[S].  
 [2] IEC61850—6—2003. Communication networks and systems in substation part 6: configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S].  
 [3] 朱炳铨,王松,李慧,等. 基于 IEC 61850 GOOSE 技术的

- 继电保护工程应用[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(8): 104-107.
- ZHU Bingquan, WANG Song, LI Hui, et al. Application of IEC 61850 GOOSE technology on protective relaying [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(8): 104-107.
- [4] 许伟国, 张亮. 数字化变电站网络通信在线故障诊断系统的设计与应用[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(6): 121-124.
- XU Weiguo, ZHANG Liang. Design and application of on-line fault diagnosis system for network communication of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(6): 121-124.
- [5] 胡道徐, 沃建栋. 基于 IEC 61850 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] 邹晓玉, 王浩, 吴晓波. IEC 61850 标准中 SCL 语言的几个实践应用问题探讨[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(15): 77-80+107.
- ZHOU Xiaoyu, WANG Hao, WU Xiaobu. Discussion on practical issues of substation configuration language in IEC 61850 standards [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(15): 104-107.
- [7] 王光亮, 陈文, 唐明帅, 等. 基于相关间隔解耦的 SCD 文件管控系统设计与开发[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(11): 157-164.
- WANG Guangliang, CHEN Wen, TANG Mingshuai, et al. Design and development of SCD file control system based on colleration interval decoupling[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(11): 157-164.
- [8] 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, 2018, 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, 2018, 51(1): 78-82.
- [9] 孙一民, 裘愉涛, 杨庆伟, 等. 智能变电站设计配置一体化技术及方案[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(14): 70-74.
- SUN Yimin, QIU Yutao, YANG Qingwei, et al. Configuration design integration technology and scheme for smart substation [J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(14): 70-74.
- [10] 韩伟, 姜帅, 马伟东, 等. 基于短地址关联数据标识的智能变电站虚回路可视化技术研究及应用[J]. 电力科学与技术学报, 2018, 33(4): 95-101.
- HAN Wei, JIANG Shuai, MA Weidong, et al. Research and application of virtual circuit visualization technology in smart substation based on the short address associated data identification [J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2018, 33(4): 95-101.
- [11] 高磊. IEC 61850 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): 88-91+96.
- GAO Lei. Research and implementation of comparison tool for IEC 61850 SCL configuration file[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(20): 88-91+96.
- [12] 刘彬, 林俊. 数字化变电站虚回路智能检测软件开发与应用[J]. 广西电力, 2011, 34(2): 5-7+29.
- LIU Bin, LIN Jun. Development and application of intelligent software for virtual circuit test in digital substation [J]. Guangxi Electric Power, 2011, 34(2): 5-7+29.
- [13] 唐凡, 董默, 刘守瑞, 等. 智能变电站虚回路校验工具的开发与应用[J]. 中国电力, 2016, 49(5): 136-140.
- TANG Fan, DONG Mo, LIU Shourui, et al. Development and application of testing tool for virtual circuits in smart substation[J]. Electric Power, 2016, 49(5): 136-140.
- [14] 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]. 电力自动化设备, 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]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(7): 205-212.
- [15] 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.
- YE Yuanbo, CHEN Xiaodong, XIANG Zhonghua, et al. Research on configuration file location of smart substation reconstruction and extension based on bay CRC code[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(6): 173-179.