

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.180822

# 智能变电站 ICD/CID/SCD 模型内容差异检查方法及工具

袁明旭<sup>1</sup>, 余洋<sup>1</sup>, 童晓阳<sup>2</sup>, 刘勇<sup>3</sup>, 王晓涛<sup>3</sup>, 郑永康<sup>4</sup>

(1. 国网四川省电力公司雅安供电公司, 四川 雅安 625000; 2. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031; 3. 国网四川省电力公司阿坝供电公司, 四川 茂县 623200; 4. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:** 针对目前智能变电站中 ICD/CID 之间与 SCD 中对应 IED 内容的差异不宜查找的问题, 研究了一种多种文档内容差异检查方法及其工具。针对 SCD、ICD、CID 的语法特点, 采用堆栈技术, 获得各节点的开始行与结束行号。以两侧节点为完整单位, 对节点的标签名和关键属性, 进行两侧的交叉检查, 找出两侧相同节点, 并给出其中非关键属性的顺序错乱、属性值不同、内容不同等多种差异情况。能够对两侧同名节点的开始与结束行进行并列显示, 直观同步地对照展示出两个文件中各种差异细节, 并能切换到原始文档的相应位置。多个变电站的运行实例验证了该差异检查方法及其工具的有效性。该工具能够提高多个不同文档之间差异检查的准确性和效率。

**关键词:** 智能变电站; ICD; CID; SCD; 差异检查; 同步显示

## Difference checking method and software of the ICD/CID and SCD in smart substation

YUAN Mingxu<sup>1</sup>, YU Yang<sup>1</sup>, TONG Xiaoyang<sup>2</sup>, LIU Yong<sup>3</sup>, WANG Xiaotao<sup>3</sup>, ZHENG Yongkang<sup>4</sup>

(1. State Grid Sichuan Electric Power Yaan Power Supply Company, Yaan 625000, China;  
2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;  
3. State Grid Sichuan Electric Power Aba Power Supply Company, Maoxian 623200, China;  
4. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** To solve the problem of differences checking among the ICD/CID and IED of SCD in intelligent substation, a difference checking method as well as the tool is proposed. According to the grammatical features of SCD, ICD and CID, the stack technology is adopted to obtain the starting and ending line number of the nodes. As the complete units, the bilateral nodes join the cross checking on the tag name and key attributes to find the same nodes, and the differences of the non-key attributes, such as the out-of-order, different attribute values and contents. The starting and ending line of the same nodes on both sides can be displayed side by side. The details of differences in two kinds of files can be displayed intuitively and synchronously, as well as switched to original location of the document. The examples of typical substations illustrate the effectiveness of the proposed method. The tool can improve the accuracy and efficiency of difference checking among multiple documents.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Sichuan Electric Power Company (No. 52199717002A) and Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 521999160004).

**Key words:** intelligent substation; ICD; CID; SCD; difference checking; synchronous display

## 0 引言

SCD、ICD、CID 等文件在智能变电站的建设、调试、运维中起到重要作用<sup>[1-2]</sup>。智能变电站各设备

的可靠运行很大程度上依赖于这些文件的正确配置, 取决于它们之间保持高度的一致性, 对变电站多种文档进行有效的管控、比对与检查就显得较为重要<sup>[3-19]</sup>, 从而才能保证设备的可靠运行, 包括就地化保护装置的模型检查。

SCD、ICD、CID 等是 XML 文件, 结构较为复杂, 代码从几千行到几十万不等。需要检查厂家现

基金项目: 国网四川省电力公司科技项目资助 (52199717002A); 国家电网公司科技项目资助 (521999160004)

场提供的 ICD/CID 与其在国网网站发布的 ICD/CID 版本、检查现场 ICD/CID 与 SCD 中对应 IED 之间内容的一致性,以帮助设计、调试人员发现各种文档之间差异,纠正其中存在的不一致与错误。

目前虽然国内已有的智能变电站 SCD 文件管控系统中有 SCD 与 CID 比对服务功能,主要是根据两侧节点的关键属性,比较它们的相同、新增、删除,忽略了比较多种文档之间各节点其他属性的差异;通过表格给出两侧节点的差异,用路径名表示两侧节点,不够直观,不好理解,也没有给出不同节点的父级节点信息(上文背景),差异节点的同步对照显示功能弱;也不能快速地定位到差异点在原文档中的原始位置。文献[15-16]采用定量的对比算法-基于位置的文本文件比较算法,对文件进行对比监控。文献[17]探究了 SCD 文件的管控的完备性。文献[18]针对 SCD 比较,采用主键查找两侧相同节点进行差异比较,提供了良好的比较思路。现有的 UltraEdit、Notepad++ 等常规文本编辑软件能够比较两个文本文件,给出较好的比较结果突出显示效果,但是它们主要依靠于字符串相似性比较<sup>[20]</sup>,没有针对 SCD、ICD 自身特点,比较和显示效果都不够理想,存在一些不足,如只要两侧节点标签名相同、关键属性相同,应该当作相同节点,而已有软件没有做区别,当作不同节点;在显示两侧不同节点时,如果其各级父辈节点相同,就不会显示父辈节点,造成不好理解两侧不同节点的差异点;同名的结束节点没有并列显示。因此需要研究对两个文档进行逐级的细节比较、带有上文背景的对照展示,以方便查看和定位两侧的差异点。

针对 SCD、ICD 的语法特点,研究了 ICD/CID 与 SCD 之间内容差异检查方法及工具。以各级节点为单位,对两侧节点的标签名和关键属性进行交叉检查,比较同名节点的非关键属性的差异,对两侧同名节点的开始行与结束行并列显示,保留差异节点的父亲节点的开始行和结束行(上下文背景),同步对照显示,便于理解它们之间不一致细节。

## 1 软件的需求

需要对不同版本的 ICD 之间、CID 之间、ICD/CID 与 SCD 中对应 IED 的内容进行细节检查、对照显示差异点、定位差异点。完成的细节检查功能包括:1)对于两侧正在比较的当前行节点,采用标签名相同、关键属性相同,来衡量它们是否相同;2)对于两侧相同节点,还要比较两侧节点中非关键

属性的属性值是否相同;3)对于叶子节点,需要比较叶子节点的内容是否相同。差异点对照显示功能,对两侧不相同节点,即使各级父辈节点相同,也对照显示各级父辈节点的开始行与结束行,便于理解两侧当前不同节点的上文背景,以节点为单位展示其各下级不同节点的差异点。定位差异点模块能够指示和快速定位差异节点在原始文档中的位置。

## 2 系统的工作原理

ICD 之间、CID 之间、ICD/CID 与 SCD 中对应 IED 之间内容差异检查软件的任务是一样的,都是对两个文件中两个 IED 内容的差异检查,只是第 3 种检查需要先选择 SCD 中对应 IED,再进行检查。这里以 ICD 与 SCD 中对应 IED 之间内容差异检查为主来说明系统的工作原理,包括以下步骤。

1) 获取 ICD 侧 IED 节点的型号、厂家、版本号属性,获取 SCD 侧所有 IED 节点的型号、厂家、版本号属性;将 ICD 侧 IED 的型号、厂家、版本号属性与 SCD 侧各 IED 的型号、厂家、版本号属性进行匹配,获取型号、厂家、版本号一致的目标 IED;

2) 解析 ICD 侧 IED 节点的各级子孙内容,存入到链表 A;解析 SCD 侧目标 IED 的各级子孙内容,存入到链表 B;

3) 逐行比较链表 A 中 ICD 侧与链表 B 中 SCD 侧当前节点的标签 Tag、关键属性值是否都相同,判断 ICD 侧与 SCD 侧的当前节点是否相同;

4) 若 ICD 侧与 SCD 侧的当前节点相同,则分别对两侧当前相同节点的各非关键属性及其各级子孙节点进行比较,根据比较结果进行显示;

若 ICD 侧与 SCD 侧相同节点不存在子孙节点(属于叶子节点),则获取两侧相同节点的各自内容,如果各自内容不同,则标记为“不同”,并在界面上将 ICD 侧与 SCD 侧节点并列显示出来;

若两侧相同节点的各级子孙节点都相同,则两侧当前相同节点及其各级子孙都不显示;

若循环逐级搜索两侧相同节点至少有一个不相同的子孙,则显示两侧该子孙节点的内容,并保留该子孙的各级父辈节点,并列显示两侧各级父辈节点的开始行和结束行的内容。

5) 若 ICD 侧与 SCD 侧的当前节点不相同,则进行交叉检查,即先查找 SCD 侧当前节点后面可能存在与 ICD 侧当前节点相同的节点;再查找 ICD 侧当前节点后面可能存在与 SCD 侧当前节点相同的节点,获取比较结果并进行显示。

两个文档 IED 内容差异检查的流程如图 1 所示。

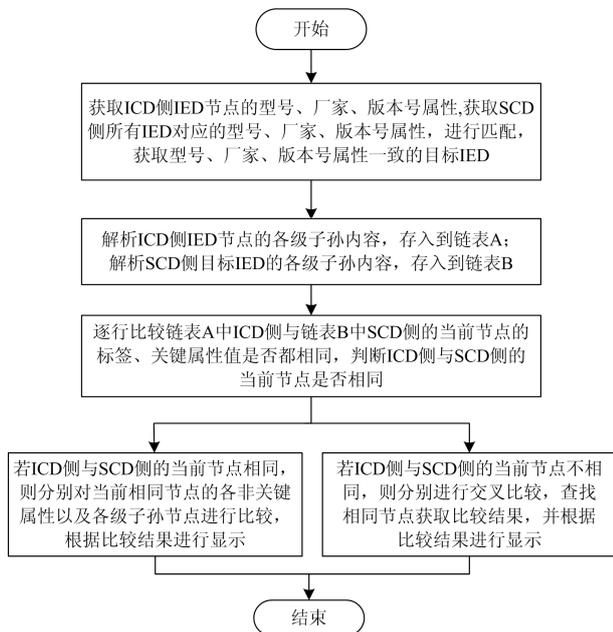


图 1 两个文档 IED 内容差异检查的流程图

Fig. 1 Flow chart of difference checking for two documents

### 3 关键技术

#### 3.1 各级节点的开始行与结束行的获取

以节点及其子孙为单位来进行两侧内容的比



图 2 利用堆栈技术获取各级节点的开始行与结束行

Fig. 2 Acquisition of beginning and ending line by the stack technology

#### 3.2 基于节点名称和关键属性对两侧节点进行检查

对于两侧待比较的当前节点,先解析节点标签名称,比如<IED name="TEMPLATE" ...>的标签名为 IED。如果标签名相同,再根据国网公司规范,检查两侧同名节点的关键属性,如 IED、AccessPoint、DataSet、GSEControl、Sampled Value Control、Report Control、DAI、DOI、SDI、DAI、DO、DA、BDA、SDO 等节点的关键属性名称都为 name, LDevice 的关键属性名称为 inst, LN 的关键属性名称由 prefix、lnClass、inst 组合得到,等。

如果 ICD 侧与 SCD 侧当前节点的标签、关键

属性值都不相同,则首先在 SCD 侧链表 B 中循环查找与 ICD 侧当前节点的标签、关键属性值都相同的目标相同节点,然后在 ICD 侧链表 A 中循环查找与 SCD 侧当前节点的标签名、关键属性值都相同的目标节点。

若在链表 B 中找到对应的目标节点,且在链表 A 中没有找到对应的目标节点,则 SCD 侧当前节点和目标相同节点之间各行节点都标记为“新增”,而 ICD 侧的相应各行都设置为空行。

若在链表 B 中没有找到对应的目标相同节点,且在链表 A 中找到对应的目标相同节点,则 ICD 侧

较,因此需要获得每个非叶子节点的开始行和结束行。采用堆栈技术,获得每个开始节点对应的结束行节点的行号。设计一个堆栈。从 IED 节点起逐行检查当前节点,为每个节点构造一个节点结构体,包含节点标签名、开始节点行号、结束节点行号(待求)。如果当前节点属于开始节点类型(如<LN ...>、<DOI>、<DAI>等),把该开始节点的结构体压入堆栈。当检查当前节点的类型是结束节点(如<LN>、<DAI>等),先在堆栈中找到当前栈顶的结构体,如果栈顶结构体的标签名等于当前结束节点的标签名,则说明栈顶就是当前结束节点的开始节点,找到栈顶结构体中对应的开始节点结构体,将当前结束节点的行号赋值给该结构体的结束节点行号,这样每个开始节点结构体就获得了配对的结束节点行号,同时将开始节点的行号赋给当前结束节点结构体中的开始节点行号。然后把栈顶结构体(即当前结束节点的开始节点)从堆栈中弹出,新的栈顶结构体变成了上一级父亲节点的开始结构体。一个 ICD 解析到 487 行的 <DAI>结束节点时的堆栈内容如图 2 所示。

当前节点和目标相同节点之间的各行节点都标记为“删除”，而 SCD 侧相应各行都设置为空行。

若在链表 B 和链表 A 中都能找到对应的目标相同节点，则获取 ICD 侧当前节点与 SCD 侧目标相同节点各自的各级子孙节点，若各级子孙节点都相同，则 ICD 侧当前节点与 SCD 侧目标相同节点及其各级子孙都不显示；若各级子孙节点至少有一个不相同的子孙，则显示两侧不同子孙节点的内容，并保留该子孙的各级父辈节点，获取 SCD 侧目标相同节点与 SCD 侧当前节点之间的行数距离  $m$ 。

同时获取 SCD 侧当前节点与 ICD 侧目标相同节点各自的各级子孙节点，若各级子孙节点都相同，则 SCD 侧当前节点与 ICD 侧目标相同节点及其各级子孙都不显示；若子孙节点至少有一个不相同子孙，则显示两侧不同子孙节点的内容，并保留该子孙的各级父辈节点，获取 ICD 侧目标相同节点与 ICD 侧当前节点之间的行数距离  $n$ 。

若  $m$  小于  $n$ ，则 SCD 侧的当前节点和目标相同节点之间的各行节点都标记为“新增”，而 ICD 侧的相应各行都设置为空行。

若  $m$  大于等于  $n$ ，则 ICD 侧的当前节点和目标相同节点之间的各行节点都标记为“删除”，而 SCD 侧的相应各行都设置为空行。

若在链表 B 和链表 A 中都没有找到对应的目标相同节点，则 ICD 侧当前节点连同它的子孙节点的内容整体都标记为“删除”，SCD 侧右侧都标记为空行，同时 SCD 侧当前节点连同它的子孙节点的内容整体标记为“新增”，ICD 侧左侧设置为空行。

这样对两侧相同的节点不予显示(也可根据操作者的事先选择，显示相同节点)，对于两侧不同节点，除了突出显示不同的属性或内容，还给出了其父级节点的开始行与结束行内容。

### 3.3 两侧同名节点的结束行的并列显示

为了保证两侧文档中同名结束节点的并列显示，如果两侧当前节点都是结束元素，则先检查它们的标签名是否相同，如果相同，则两侧当前节点并列显示；如果不相同，如果左边结束节点的标签名是右边结束节点的父亲节点的标签名，则左边增加一行空白行，即左边结束节点应该向下错开一行。

同理，右边结束节点的标签名是做边结束节点的父亲节点的标签名，则右边增加一行空白行，即右边结束节点应该向下错开一行。

如果左边是开始节点、右边是结束节点，则左边的开始节点及其儿子和结束行，都是新增，右边在结束节点之前都补上空行。这样两侧各级节点的开始行和结束行能够并列显示，保持了两侧节点的

完整结构，便于明确地查看两侧节点的背景。

## 4 软件功能实现

1) 加载 ICD 文件。分别点击“加载 ICD/CID”、“加载 SCD”按钮，加载 1 个 ICD/CID 和 SCD 文件进行解析。将 ICD 内容在一个文本框中显示。

2) 从 SCD 的各 IED 列表选取一个被比对的 IED，读取该 IED 的内容在一个文本框中显示。

3) 对 ICD/CID 和 IED 的各级节点，运用第 3 节进行逐级的内容比较。

4) 同步对照展示比对结果：

① 如果 ICD 和 IED 的当前行内容相同，则并列显示它们，背景用白色、前景用黑色。

② 如果 IED 的内容在 ICD 中不存在，则属于新增，IED 侧的比较结果类型显示为“新增”，显示 IED 的当前行内容，背景用灰色、前景用蓝色。ICD 侧的当前行为空行(以 ICD 为基准)。

③ 如果 ICD 的内容在 IED 中不存在，则属于删除，ICD 侧的比较结果类型显示为“删除”，显示 ICD 的当前行内容，背景用灰色、前景用蓝色。IED 侧当前行变成空行。

④ 如果 ICD 和 IED 的两侧当前行的标签名和关键属性都相同，但是某个属性值不同，两侧的比较结果类型显示为“不同”，则并列显示它们，背景用黄色、前景用黑色，不同的属性值显示为紫色，以便加以对照区别。

⑤ 如果 ICD 和 IED 侧当前行的标签名和各属性都相同，但是某个属性及其值的顺序不同，则两侧的比较结果类型显示为“混乱”，则并列显示它们，背景用黄色、前景用黑色，将第 1 个不同属性及其值显示为红色，以便对照突出显示不同属性。

⑥ 如果 ICD 和 IED 当前行的标签名和关键属性相同，但是某非关键属性的属性值不同，则两侧的比较结果类型显示为“属不”(属性不同)，则并列显示它们，背景用黄色、前景用黑色，第 1 个不同属性值显示为紫色，以便突出对照显示区别。

5) ICD 和 IED 内容的同步显示选择。对界面右上方的检查框“两个原始 ICD 是否同步”打勾后，表示第 1 个 Tab 页“原始 ICD”中左右文本框的内容同步显示，即在一个文本框用滚轮上下滚动或点击垂直滚动条时，另一个文本框的内容也跟着同步垂直滚动；或同时按着 Alt 键，再用滚轮上下滚动，使得两个文本框内容在水平方向同时滚动。

6) 从比对结果切换到原始 ICD 对应行展示。双击第 2 个 Tab 页“ICD 比较结果”左右两个文本框中某行，自动跳转到第 1 个 Tab 页对应 ICD 与 IED

文本框的原始节点所在行。

### 5 运行实例

运用本工具对多个变电站的 ICD/CID 与对应 SCD 进行了测试。某保护 ICD 与 SCD 对应 IED 中差异检查的运行界面如图 3 所示。内容不同的检查结果如图 4 所示。

每一行的前每行的前 6 列显示的数字为当前节点在 ICD 和 SCD 文档中的原始行号，接着的 4 列表示当前的比较结果类型。

如果 ICD 和 SCD 侧 IED 的当前行内容相同，则并列显示它们，背景用白色、前景用黑色。

如果 SCD 侧内容在 ICD 中不存在，则属于新增，IED 侧比较结果类型为“新增”，显示 SCD 侧当前行内容，背景用灰色、前景用蓝色。ICD 侧当前行为空行(以 ICD 为基准)。

如果 ICD 的内容在 SCD 侧 IED 中不存在，则属于删除。ICD 侧的校核结果类型显示为“删除”，

显示 ICD 当前行内容，背景用灰色、前景用蓝色。SCD 侧 IED 当前行为空行。

如果两侧当前行的节点名称和关键属性都相同，属于相同节点，但是某个非关键属性值不相同，则两侧的校核结果类型显示为“属不”，则并列显示它们，背景用黄色、前景用黑色，不同的属性值显示为紫色，以对照突出。如图 3 中两侧 LN0 节点的属性 lnType 的内容就不相同。

如果 ICD 和 IED 当前行的各属性都相同，但是某些属性及其属性值的顺序不同，则两侧的校核结果类型显示为“顺乱”，则并列显示它们，背景用黄色、前景用黑色，第 1 个顺序错乱的属性值显示为红色，加以区别，如图 5 所示。

如果两侧当前行的关键属性相同，但是某非关键属性值不同，则两侧的校核结果类型为“属不”，则并列显示它们，背景用黄色、前景用黑色，第 1 个不同属性值显示为紫色，加以区别，如图 6 所示。

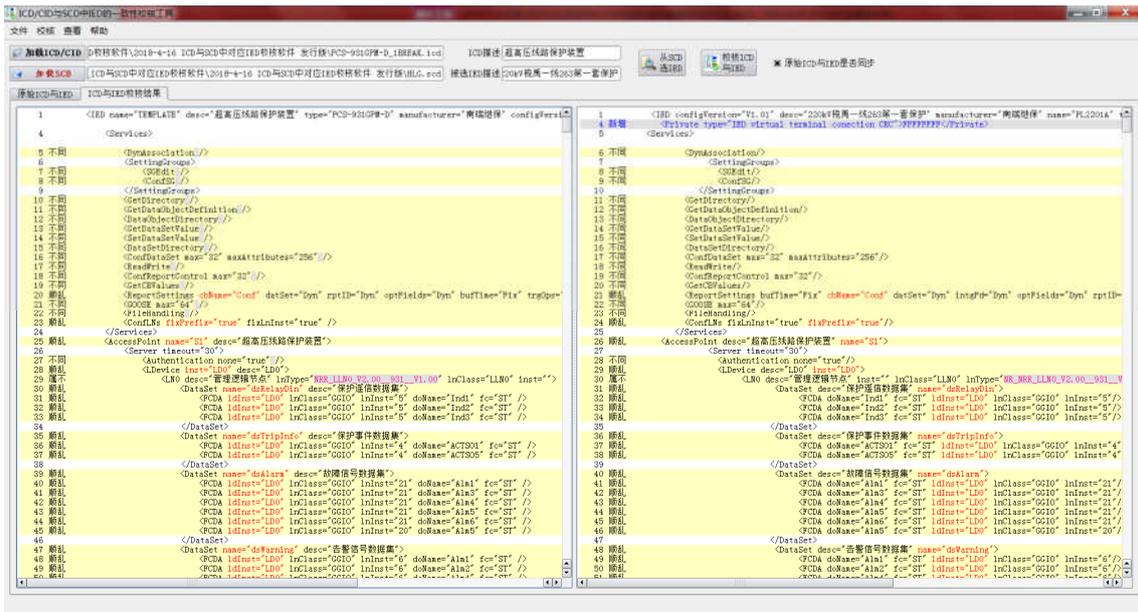


图 3 ICD 与 SCD 中 IED 内容差异检查的运行界面

Fig. 3 Operation interface of the difference checking for ICD and IED in SCD

44 不同	QCD A doName="SPoverSV09" fc="MX" lIdInst="LD0" lnClas	58 不同	QCD A lIdInst="LD0" lnClass="SCL1" lnInst="1" doName="
45 不同	QCD A doName="SPoverSV10" fc="MX" lIdInst="LD0" lnClas	59 不同	QCD A lIdInst="LD0" lnClass="SCL1" lnInst="1" doName="
46 不同	QCD A doName="SPoverSV11" fc="MX" lIdInst="LD0" lnClas	60 不同	QCD A lIdInst="LD0" lnClass="SCL1" lnInst="1" doName="
47 不同	QCD A doName="SPoverSV12" fc="MX" lIdInst="LD0" lnClas	61 不同	QCD A lIdInst="LD0" lnClass="SCL1" lnInst="1" doName="
48 不同	QCD A doName="SPoverSV13" fc="MX" lIdInst="LD0" lnClas	62 不同	QCD A lIdInst="LD0" lnClass="SCL1" lnInst="1" doName="
49 不同	QCD A doName="SPoverSV14" fc="MX" lIdInst="LD0" lnClas	63 不同	QCD A lIdInst="LD0" lnClass="SCL1" lnInst="1" doName="
50 不同	QCD A doName="SPoverSV15" fc="MX" lIdInst="LD0" lnClas	64 不同	QCD A lIdInst="LD0" lnClass="SCL1" lnInst="1" doName="

图 4 内容不同的检查结果

Fig. 4 Checking result of different contents

26 顺乱	<AccessPoint cId="false" desc="常规nms服务器功能" name="S1" router="false">	22 顺乱	<AccessPoint name="S1" desc="常规nms服务器功能" router="false" cId="false">
27	<Server>	23	<Server>
28 顺乱	Authentication none="true"/>	24	Authentication none="true"/>
29 顺乱	<Device inst="LD0" desc="公用">	25 顺乱	<Device inst="LD0" desc="公用">

图 5 属性顺序错乱(顺乱)的检查结果

Fig. 5 Checking result of the out-of-order of the attributes

|| 345 属不 <LN desc="物理设备逻辑接点" lnType="RR LPFD P2.00 931 P1.00" lnClass="L1" || 346 属不 <LN desc="物理设备逻辑接点" lnType="RR LPFD P2.00 931 P1.00"> ||

图 6 某属性值不同(属不)的检查结果

Fig. 6 Checking result of different attribute values

当用户想查看某行在原始文档的信息, 则双击当前行, 可切换到原始文档的相应差异行的位置。为了方便快速查看两个文档的差异, 本软件为用户提供了比较前的“仅显示差异行”选项, 供选择显示全部、仅显示差异行。比较前的选项窗口如图 7 所示。

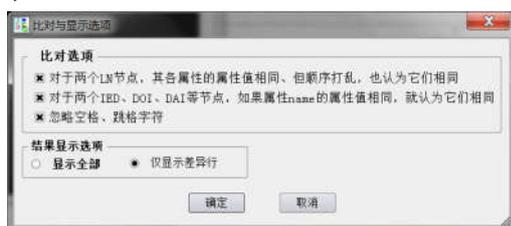


图 7 比较前的选项窗口

Fig. 7 Options window before comparing

通过本工具能够帮助工程师快速发现和定位于该 ICD 与 SCD 对应 IED 内容的各差异点, 直观对照显示出来, 获得较好的检查效果, 工程师可快速直观地看到两侧差异细节及其在 ICD 与 SCD 文档中的原始位置, 及时予以修改。

## 6 结论

本文研究了一种 ICD/CID 之间及与 SCD 中对应 IED 内容差异检查的方法, 研发了相应的检查工具, 较好地解决了两种相似文档的细节比较与突出对照显示问题, 具有以下特点:

1) 以文档中各级节点为单位, 采用基于节点名称和关键属性来识别两侧的不同节点, 通过交叉检查, 找到了两侧的不同节点, 并对其非关键属性值进行比较, 获得了属性不同、顺序错乱等差异, 实现了对两个文件之间差异内容的准确比较。

2) 能够直观同步展示出两侧文档的差异细节。采用不同颜色区别显示不同类型差异的不一致细节, 对两侧同名节点的开始与结束行进行并列显示, 便于操作者理解错误的上文背景, 快速获得不一致的细节, 方便进行快速的修改。

## 参考文献

- [1] IEC 61850-6 communication networks and systems in substations part 6: configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S]. 2004.
- [2] 袁明旭, 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 Grid's technical specification system of relay protection in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(20): 7-13.

- [3] 赵晓东, 李锋, 张驰, 等. 基于 SCD 配置文件的高度可视化工具研究[J]. 电测与仪表, 2018, 55(20): 148-152.

ZHAO Xiaodong, LI Feng, ZHANG Chi, et al. Research on highly visualized tool based on SCD configuration file[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(20): 148-152.

- [4] 廖小君, 吕飞鹏, 黄忠胜, 等. 一种 SCD 层次信息集成可视化系统开发研究[J]. 四川电力技术, 2018, 41(2): 12-17.

LIAO Xiaojun, LÜ Feipeng, HUANG Zhongsheng, et al. Research on a visual system for SCD hierarchical information integration[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2018, 41(2): 12-17.

- [5] 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.

- [6] 葛立青, 赵光元, 杨凡, 等. 智能变电站二次回路故障诊断方法研究[J]. 智能电网, 2014, 2(6): 28-31.

GE Liqing, ZHAO Guangyuan, YANG Fan, et al. Research on the secondary circuit fault diagnosis methods[J]. Smart Grid, 2014, 2(6): 28-31.

- [7] 李金, 胡荣, 王丽华, 等. 智能变电站 IEC 61850 Ed 2.0 工程配置应用方案[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(2): 154-159.

LI Jin, HU Rong, WANG Lihua, et al. Engineering configuration scheme based on IEC 61850 Ed 2.0 in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(2): 154-159.

- [8] 何磊, 田霞, 韩永进, 等. IEC 61850 配置文件工程化测试探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(16): 147-150.

HE Lei, TIAN Xia, HAN Yongjin, et al. Research on the testing of IEC 61850 configuration file in engineering[J].

- Power System Protection and Control, 2011, 39(16): 147-150.
- [9] IEC61850 工程继电保护应用模型 Q/GDW1396—2012[S]. 北京: 国家电网公司, 2012.  
Data model of protection relay in project based on IEC61850: Q/GDW1396—2012[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2012.
- [10] 叶翔, 刘辉, 周永忠, 等. 智能变电站图模一体化设计软件实现方案[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(3): 41-44.  
YE Xiang, LIU Hui, ZHOU Yongzhong, et al. Implementation of graph and model integration software for smart substation[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(3): 41-44.
- [11] 范瑾, 郭歌, 牛利涛, 等. 智能电子设备面向对象的软件设计方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015, 27(3): 87-91.  
FAN Jin, GUO Ge, NIU Litao, et al. Object oriented software design method of intelligent electronic device[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2015, 27(3): 87-91.
- [12] 吴恒福, 窦会光, 向前, 等. 基于设计规范智能变电站 SCD 文件规范性检查[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(4): 84-88.  
WU Hengfu, DOU Huiguang, XIANG Qi, et al. The SCD file check method based on design specification of smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2015, 31(4): 84-88.
- [13] APOSTOLOV A. Efficient maintenance testing in digital substations based on IEC 61850 edition 2[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 407-420. DOI: 10.1186/s41601-017-0054-0.
- [14] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96.  
ZHANG Xuze, ZHENG Yongkang, KANG Xiaoning, et al. Several problems of intelligent substation relay protection system[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(6): 90-96.
- [15] 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.
- [16] 王轩, 杨文丽, 汪凤月, 等. 智能变电站中 SCD 管控系统的研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(2): 68-74.  
WANG Xuan, YANG Wenli, WANG Fengyue, et al. Research on SCD management and control system in smart substation[J]. Power System and Clean Energy, 2017, 33(2): 68-74.
- [17] 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.
- [18] 高磊. IEC61850 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): 88-96.  
GAO Lei. Research and implementation of comparison tool for IEC 61850 SCL configuration file[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(20): 88-96.
- [19] 赵凤贤, 孟祥博, 周雷, 等. 基于变电站 SCD 文件的智能作业系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(15): 92-96.  
ZHAO Fengxian, MENG Xiangbo, ZHOU Lei, et al. Research of intelligent test system based on SCD file for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(15): 92-96.
- [20] 王艳清, 王云维. 监控文本文件内容变化的文本比较算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(增刊 1): 133-134, 142.  
WANG Yanqing, WANG Yunwei. Text comparison algorithm for detecting content change in text files[J]. Journal of Computer Application, 2010, 30(S1): 133-134, 142.

收稿日期: 2018-07-06; 修回日期: 2018-12-19

作者简介:

袁明旭(1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为微机保护及变电站综合自动化; E-mail: ymingxu@sina.com

余洋(1987—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为继电保护; E-mail: 328215936@qq.com

童晓阳(1970—), 男, 通信作者, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要研究方向为电网故障诊断、智能变电站、广域后备保护。E-mail: xytong@swjtu.cn

(编辑 姜新丽)