

DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.190424

智能变电站虚端子辅助自动设计系统

王培林¹, 宋小丽², 王涵宇², 黄霞², 童晓阳³, 郑永康⁴

(1. 山东职业学院铁道机车与机电装备系, 山东 济南 250104; 2. 成都城电电力工程设计有限公司, 四川 成都 610016;
3. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031; 4. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 针对当前智能变电站的虚端子表设计过程繁琐、智能性不高问题, 为提高虚端子设计的自动化, 设计了智能变电站虚端子辅助自动设计软件系统。利用以往SCD构建了历史数据库, 以历史关联设备及其虚连接为参考, 研究了基于IED信息和共同关键词的目标设备对的准确匹配与查找方法, 给出目标设备的目标虚连接的模糊匹配方法。研究了在历史数据库中查找目标关联对、与当前待设计IED的虚端子模糊匹配、自动生成参考的虚连接等技术, 提供了界面上手工拖放修改虚连接、复制设备与间隔的虚连接等功能。通过实际变电站的设计应用, 验证了本系统的有效性, 提高了虚端子设计的智能性和工作效率。

关键词: 智能变电站; 虚端子; SCD; 辅助自动设计; 字符串匹配

Aided automatic design system of virtual terminals in intelligent substation

WANG Peilin¹, SONG Xiaoli², WANG Hanyu², HUANG Xia², TONG Xiaoyang³, ZHENG Yongkang⁴

(1. Department of Railway Locomotive and Electro-mechanical Equipment, Shandong Polytechnic, Jinan 250104, China;
2. Chengdu Urban Electric Power Design and Institute Co., Ltd., Chengdu 610016, China; 3. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 4. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: For the problem of virtual terminal table design in the intelligent substation such as complicated process and low intelligence, the aided automatic design system of virtual terminal is designed to improve intelligence of design for virtual terminal. This paper uses previous SCD files to build history database, takes historical associate equipment and its virtual links as references, studies accurate matching and searching method based on IED information and common keywords, and gives the fuzzy matching method for target virtual links of target equipment. The technologies including searching associated virtual links of IED from the history database, the fuzzy matching with the virtual terminals of current designing IED, automatic generation of virtual links are achieved. The functions, such as the modifying virtual links with dragging and dropping manually on the interface, duplicating virtual links among similar bays and devices, etc. are provided. The effectiveness of the automatic design method is verified by the practical intelligent substation design. The system can improve the intelligence and work efficiency of virtual terminal design.

This work is supported by Key Research Project of Sichuan Department of Science and Technology (No. 2017GZ0054) and Science and Technology Project of State Grid Sichuan Electric Power Company (No. 52199717002A).

Key words: intelligent substation; virtual terminal; SCD; aided automatic design; string matching

0 引言

近几年基于 IEC61850 的智能变电站得到了大力的建设^[1-5]。国内各电力设计院主要采用虚端子表

设计智能变电站中各装置之间的虚端子联系。设计人员主要采用手工设计各设备的虚连接, 从厂家得到各设备的虚端子源头表, 手动复制、粘贴, 形成各设备的虚连接, 包括接收设备、发送设备、输入虚端子描述、输入虚端子引用、输出虚端子描述、输出虚端子引用, 该做法没有智能性, 工作繁琐, 易出现粘贴错位或错误, 给智能变电站设计、调试

基金项目: 四川省科技厅重点研发项目(2017GZ0054); 国网四川省电力公司科技项目(52199717002A)

带来了诸多困难^[5-12]。

已研究虚端子的自动设计与管控^[13-23],文献[13]提出一种虚端子设计方案,给出 GOOSE 虚端子、虚端子逻辑联系图表及虚端子信息流图。文献[14]提出一种虚端子设计的优化方法,智能提取 ICD 中预定义的有效 GOOSE 和 SV 输入虚端子并添加到 Inputs 节点,复制典型间隔创建新闻隔中各设备虚连接,一定程度提高了虚端子设计的工作效率,但是典型设备虚连接仍需手工产生。上述两种方法仅对设计过程中某些部分做了优化,仍然依靠设计人员手工进行大量虚端子设计工作,工作量仍较大。

文献[15]以间隔标准化和装置标准化为基础,建立典型间隔知识库,将虚端子模糊匹配原理用于工程设计,建立典型设计智能辅助平台提高二次系统典型设计效率。文献[16]提出采用关键字匹配虚端子的自动关联方法,手工建立各典型设备的模板虚端子表,采用关键字匹配使待关联文件中虚端子与模板文件中功能相同的虚端子位置一致,取得较好效果,但是需要先手工建立典型模板文件,不同厂家不同型号装置的虚端子描述差异较大,通用模板有一定局限性。文献[17]对已有 SCD 处理,得到多个 SCD 模板文件,为每个待设计装置在各 SCD 模板中找到相似模板装置,利用后者的虚连接,自动形成虚连接,该发明提高了虚端子表设计的智能化程度,但是没有考虑采用数据库存储模板虚连接,当 SCD 文件很多时,搜索目标关联对的速度会较慢。文献[18]采用数据库存放历史 SCD 的模板虚连接,采取设备编码和字符串模糊匹配方法,查找目标虚连接,但是没有对查询的相同关联对其虚连接进行过滤与优化处理,造成搜索目标关联对的速度仍很慢,需做改进。文献[19]开发了基于模板库的一种虚回路自动生成技术,解析模板文件,依据模板文件中设备的 IEDname、IED 描述、GOOSE、SV 输入输出描述的关键字、引用关键字等查找和自动生成虚回路,但需事先为每个设备设计模板文件,较为麻烦,不太通用。文献[20]基于相似度计算的学习型模板库,通过匹配虚回路模板文件中 IED 和虚端子的关键字,自动完成虚回路设计,有效提高虚回路设计和校验效率及准确性。

本文在已有研究的基础上,以历史关联对其虚连接为参考,研究基于 IED 信息和共同关键词的目标设备对匹配方法、目标关联对其目标虚连接的搜索与匹配方法,开发智能变电站虚端子辅助自动设计系统,实现在历史数据库中自动查找目标关联对、匹配虚端子,形成目标虚连接,界面上手工

修改虚连接、复制设备与间隔虚连接。

1 系统框架

针对智能变电站虚端子表的自动设计目标,本文利用多个历史 SCD 构造了历史 SCD 数据库,自动设计时尽量选取与当前待设计接收 IED 与发送 IED 相同厂家、类型、版本号的历史关联对其虚连接,实现自动设计目标设备的虚连接。

对于待设计接收 IED 和发送 IED,先为其指定相应 ICD 文件,再从 ICD 文件中提取接收 IED 的输入虚端子,提取发送 IED 的输出虚端子。

利用多个历史 SCD,解析其中各 IED 节点,得到每个 IED 的基本信息(包括 name、desc、type、manufacturer、configVersion)、拥有的各关联对(一个关联对由某发送设备和当前接收设备组成)、每个关联对拥有的虚连接集,存入历史 SCD 数据库,作为后续目标关联对准确匹配的数据源头。

针对待设计接收 IED 和发送 IED 的基本信息,研究基于 IED 信息和共同关键词的目标设备对的准确匹配与查找方法。在历史数据库的历史关联对中,先查找与待设计接收 IED 和发送 IED 具有相同的类型、制造商、版本号的历史关联对设备,如果找到多对历史关联对,则利用共同关键词和字符串匹配算法 RKR-GST 匹配设备描述,找到最接近的目标关联对集合,具体见第 2 节。

针对从历史数据库中匹配的目标关联对集合中每对历史关联对,提取它拥有的每条模板虚连接,检查模板虚连接的接收虚端子能否与待设计接收 IED 的接收虚端子、模板虚连接的发送虚端子能否与发送 IED 的输出虚端子分别准确或模糊匹配上,将虚端子匹配数量最多的历史关联对作为最终的目标关联对,其虚连接为目标虚连接,具体见第 3 节。这样利用历史库中相关设备的虚连接,对当前待设计的接收 IED 和发送 IED 自动生成目标虚连接。

将由历史 SCD 匹配生成的目标虚连接在界面上显示,为设计人员提供手工拖放接收虚端子、发送虚端子到界面的方式,可进行手工修改、新增、删除虚连接等操作,消除了传统手工拷贝虚端子的弊端,提供了很大的方便性。

将各 IED 新生成的虚连接设计保存到一个工程文件,供下次重新加载后继续设计。

最后将设计好的各 IED 的虚连接保存到一个规范虚端子表文件,以便脱离本系统来查看。

智能变电站虚端子辅助自动设计的流程图如图 1 所示。

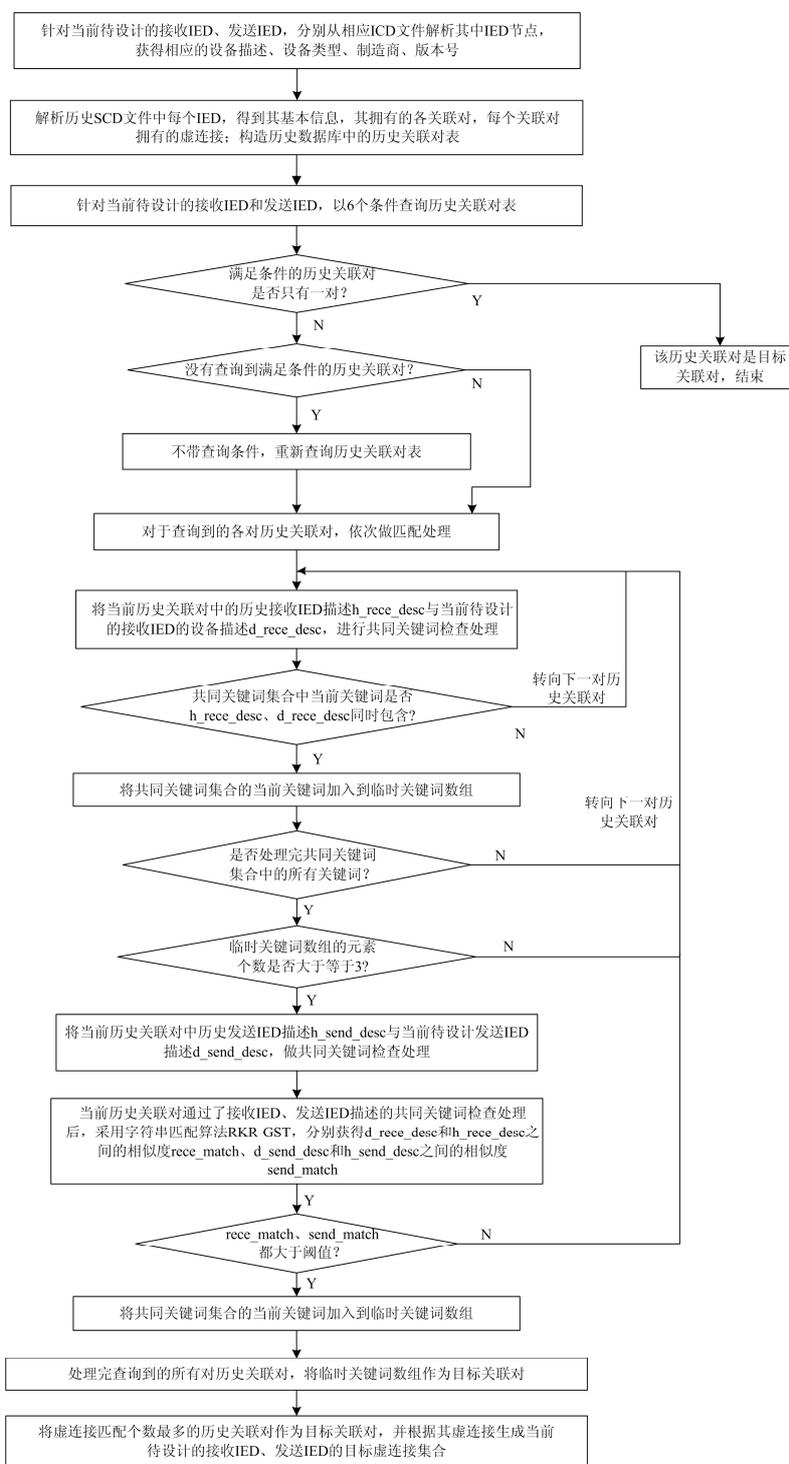


图 1 智能变电站虚端子辅助自动设计的流程图

Fig. 1 Flow diagram of aided automatic design method of virtual terminal in intelligent substation

2 基于IED信息和共同关键词的目标设备对的准确匹配方法

针对当前待设计的接收 IED、发送 IED 一对设备，分别从相应 ICD 文件解析其中 IED 节点，获得

接收 IED 和发送 IED 的设备描述 desc、设备类型 type、制造商 manufacturer、版本号 configVersion 信息。例如一个 IED 节点为，<IED name="TEMPLATE" desc=" LINE_PROTEC 思源 TION_DEVICE" type="UDL531" manufacturer=" "

configVersion="1.00">。

对于各历史 SCD，分别解析其中各 IED 节点，得到每个 IED 的基本信息(包括 name、desc、type、manufacturer、configVersion)，其拥有的各关联对(一个关联对由某发送设备和当前接收设备组成)，每个关联对拥有的虚连接集；构造历史 SCD 数据库，构造数据库中的历史关联对表 T_RelatedPair，它包括发送设备描述、发送设备类型、发送设备制造商、发送设备版本号、接收设备描述、接收设备类型、接收设备制造商、接收设备版本号、SCD 编号等字段，存储各 SCD 的每个设备的关联对。

对于当前待设计的接收 IED、发送 IED，以接收设备类型 d_rece_type、接收设备制造商 d_rece_manufacturer、接收设备版本号 d_rece_configVersion、发送设备类型 d_send_type、发送设备制造商 d_send_manufacturer、发送设备版本号 d_send_configVersion 为查询条件，在历史关联对表中查询满足条件的关联对。如果查询到存在只有一对历史关联对，则将该历史关联对作为目标设备对，放入到“匹配历史关联对集合”。

如果没有查询到一对历史关联对，则对表 T_RelatedPair 重新查询，此时不指定查询条件，或查询到多对历史关联对，做以下匹配处理。

先将当前历史关联对中的历史接收 IED 的设备描述 h_rece_desc 与当前待设计的接收 IED 的设备描述 d_rece_desc 进行共同关键词检查；

事先构造通用共同关键词集合(比如包含母线、母联、线!母线、主变、保护测控、保护!保护测控、测控!保护测控、保测、智能终端、合并单元、110、220、500、35、10!110、1#、2#、A 套、B 套等关键词)，其中部分关键词带有限制词，比如线!母线表示当前关键词“线”带有限制词“母线”。

构造一个临时关键词数组。

对于共同关键词集合中每个关键词，如果它没有限制词，检查被 h_rece_desc、d_rece_desc 同时包含，如果是，则 h_rece_desc、d_rece_desc 共同拥有当前关键词，将该共同关键词加入到临时关键词数组，否则，处理下一个关键词。

如果当前关键词有限制词，检查当前关键词是否被 h_rece_desc、d_rece_desc 同时包含，检查 h_rece_desc 和 d_rece_desc 同时都不包含限制词，如果这两点都满足，就将该共同关键词加入到临时关键词数组，否则，处理下一个关键词。

依次处理共同关键词集合中所有关键词，检查临时关键词数组元素个数大于等于 3，如果是，则 h_rece_desc、d_rece_desc 通过了共同关键词检查，

转向下一步，否则转向下一对历史关联对。

例如 h_rece_desc 为“110 kV 大石线保护”、d_rece_desc 为“110 kV 母线保护”，对于关键词“线!母线”，其中关键词“线”被 h_rece_desc、d_rece_desc 同时包含，但是 h_rece_desc 不包含限制词“母线”，d_rece_desc 包含限制词“母线”，h_rece_desc 和 d_rece_desc 不能满足“同时都不包含限制词”，则“线”不能加入到临时关键词数组，最终该 h_rece_desc 和 h_rece_desc 的关键词匹配个数为 2，没有通过关键词检查。例如 h_rece_desc 为“110 kV 大石线保护”、d_rece_desc 为“110 kV 和平线保护”，则临时关键词数组的元素个数为 3，它们通过了关键词检查。

将当前历史关联对中历史发送 IED 的设备描述 h_send_desc 与当前待设计的发送 IED 的设备描述 d_send_desc，进行类似的共同关键词检查处理，如果 h_send_desc、d_send_desc 通过了共同关键词检查处理，转向下一步，否则转向下一对历史关联对。

采用快速的字符串匹配算法 RKR-GST，分别获得 d_rece_desc 和 h_rece_desc 之间的相似度 rece_match、d_send_desc 和 h_send_desc 之间的相似度 send_match。如果 rece_match、send_match 都大于相似度阈值 0.65，则判定当前历史关联对与当前待设计的接收 IED、发送 IED 的设备描述比较匹配，将它放入到“匹配历史关联对集合”。

同理处理下一对历史关联对，直到处理完。

3 目标设备的目标虚连接的自动生成

逐个处理“匹配历史关联对集合”中 M 对“历史关联对”，从数据库读取当前“历史关联对” i 拥有的虚连接集合及其虚连接个数 N_i 。

如果 N_i 小于等于目标关联对虚连接匹配成功个数最大值，则跳过，转向下对历史关联对。

处理当前历史关联对 i 拥有的每条模板虚连接，检查该模板虚连接是否有效，具体如下所述。

1) 如果当前模板虚连接的输入虚端子引用包含“GO”，说明类型是 GOOSE，做以下处理。

(1) 将该模板输入虚端子描述只与当前待设计接收 IED 的 GOOSE 类型各输入虚端子描述依次进行字符串比较，得到各自的字符串匹配度。

将这些匹配度从大到小进行排序，如果能够找到匹配度最大值、且其数值大于 0.7，就认为当前模板虚连接的输入虚端子被匹配上，将该匹配度对应的当前待设计接收 IED 的输入虚端子描述作为目标虚连接的输入虚端子描述；否则，就继续处理下一条模板虚连接。

(2) 再将当前模板虚连接的输出虚端子描述与当前发送 IED 的各输出虚端子描述, 依次进行字符串匹配; 如果该模板输出虚端子描述与当前发送 IED 的某输出虚端子描述的匹配度最大且其数值大于 0.7, 则认为当前模板虚连接的输出虚端子被匹配上, 将当前发送设备的该输出虚端子描述作为目标虚连接的输出虚端子描述; 否则, 继续处理下一条模板虚连接。

(3) 如果当前模板虚连接的输入虚端子、输出虚端子都被匹配上, 则当前模板虚连接是有效的, 被匹配上, 将“历史关联对” i 的虚连接匹配成功个数加 1, 再转向处理下一条模板虚连接。

2) 如果当前模板虚连接的输入虚端子引用包含字符串“SV”, 说明该模板输入虚端子类型是 SV, 则做与 1) 类似的处理, 将该模板输入虚端子只与当前待设计接收设备的 SV 类型各输入虚端子描述依次进行字符串比较, 将该模板输出虚端子与当前待设计发送设备的 SV 类型各输出虚端子描述依次进行字符串匹配, 处理过程同前述 GOOSE 类型输入虚端子和输出虚端子的处理。

当处理完当前历史关联对 i 的所有模板虚连接后, 如果其虚连接匹配个数大于已有的目标关联对虚连接匹配成功个数最大值, 则将它赋值给目标关联对虚连接匹配成功个数最大值, 并记录下历史关联对 i 的关联对编号; 然后处理下一对历史关联对。

如果处理完当前待设计关联对 j 的 M 对历史关联对, 将虚连接匹配成功个数最大值对应的关联对编号, 作为待设计关联对 j 的最佳匹配目标关联对, 其拥有匹配后的历史虚连接集作为目标虚连接集。

然后再针对目标虚连接集中每条历史虚连接, 检查其输入虚端子的描述或引用(根据事先选择的描述或引用匹配类型选项)是否属于当前待设计接收 IED 的输入虚端子描述或引用, 如果不属于, 则将其输入虚端子的描述或引用与当前待设计接收 IED 的输入虚端子描述或引用依次比较, 得到相应的字符串匹配度, 对这些匹配度从大到小排序, 如果匹配度最大值大于 0.7, 则对应的待设计接收 IED 的输入虚端子为该虚连接的目标输入虚端子。同理处理历史虚连接的发送虚端子, 得到该虚连接的目标发送虚端子。这样生成匹配后的目标虚连接集合。

4 系统功能

根据上述辅助自动设计方法, 实现了智能变电站虚端子辅助自动设计系统, 为了消除设计人员拷贝厂家 ICD 中虚端子描述与引用的麻烦, 本系统直接读取 ICD 中接收虚端子和发送虚端子信息, 在界

面上供用户选择; 通过基于 IED 信息和共同关键词的目标设备对匹配方法和目标虚连接自动生成方法, 为目标设备自动生成虚连接; 在界面上允许用户拖放接收设备的接收虚端子和发送设备的输出虚端子, 来修改虚连接, 大大方便了虚连接的设计。

本系统完成以下功能: 1) 构建全站的间隔及其设备。一次性导入多个 ICD, 对间隔进行新增、复制、修改、删除操作, 对设备做新增、编辑、更新 ICD、删除等操作; 2) 构建和管理 SCD 数据库。将各历史 SCD 导入 SCD 数据库, 通过关键字在数据库中查找 SCD、比较两个 SCD 虚连接、删除 SCD; 3) 自动设计虚连接, 为当前待设计设备自动关联和手工指定发送设备, 按照虚连接描述或引用, 到历史 SCD 数据库中查找虚连接描述匹配个数最多的目标关联对及其虚连接, 在界面上以表格显示和分类标记自动设计结果; 4) 手工设计虚连接。设计人员以拖放方式, 修改已有虚连接, 新增和删除虚连接; 5) 复制间隔和设备的虚连接到目标间隔或设备; 6) 工程文件管理, 包括导入、保存工程文件、另存为工程文件; 7) 导出设计结果, 将自动设计结果导出形成规范虚端子表 Excel 文件。该软件系统的各项功能的设计另文论述。

5 系统验证

运用所设计的智能变电站虚端子辅助自动设计系统, 对一个实际变电站进行设计, 该系统的一个自动设计结果如图 2 所示。

例如, 对 110 kV 桥迎线保护测控设备设计虚连接, 其发送设备分别是 110 kV 桥迎线合并单元、110 kV 桥迎线智能终端。此时待设计接收 IED 为“110 kV 桥迎线保护测控”、发送 IED 为“110 kV 桥迎线合并单元”, 采取辅助自动设计, 在历史数据库的历史关联对表中找到了与待设计接收 IED、发送 IED 具有相同类型、制造商、版本号的历史接收 IED、历史发送 IED, 然后找到历史多对关联对中虚连接匹配个数最多的目标关联对, 再将其各条虚连接的虚端子转化为与之匹配的当前待设计接收 IED、发送 IED 的虚端子。

由于为待设计接收 IED、发送 IED 找到了具有相同类型、制造商、版本号的历史接收 IED、历史发送 IED, 自动生成的虚连接成功率在 90% 以上, 但是仍存在少量不匹配的虚连接, 其原因是历史虚连接的虚端子描述或引用与当前待设计接收 IED 的内部虚端子、发送 IED 的发送虚端子描述的或引用存在版本上或设计上的差异。

图 2 中当前接收 IED“110 kV 桥迎线保护测控”

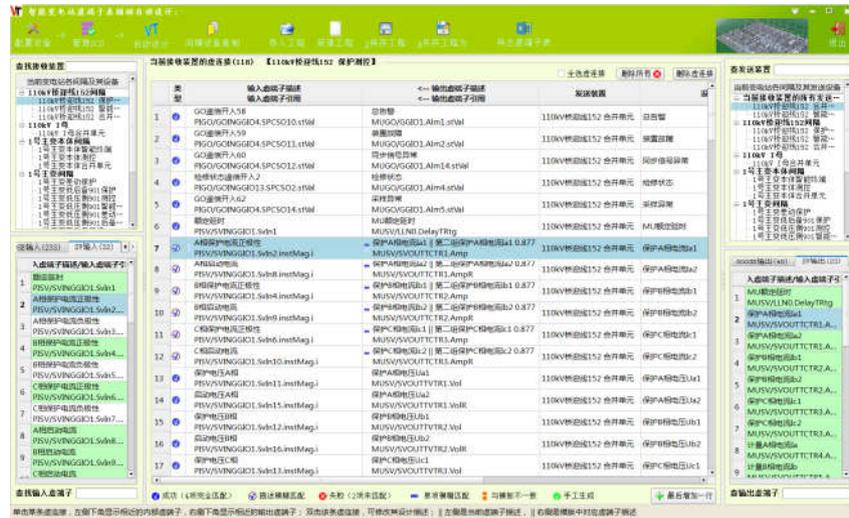


图 2 智能变电站虚端子辅助自动设计系统的自动设计结果

Fig. 2 Design results of aided automatic design system of virtual terminal in intelligent substation

自动生成的虚连接大多数匹配成功，有少量虚连接不太成功，例如第 7 条历史虚连接的输入虚端子完全匹配上，但是历史输出虚端子是“第二组保护 A 相电流 I_{A1} ”（其不够规范），而当前待设计发送 IED “110 kV 桥迎线合并单元”的各输出虚端子没有与之完全匹配的，程序通过逐个匹配，模糊找到了匹配度最高为 0.877 的输出虚端子“保护 A 相电流 I_{A1} ”，自动作为该条虚连接的输出虚端子，设计结果也算合理。

设计人员再拖放左右接收 IED 和发送 IED 的虚端子，进行各虚连接的修改，可快速完成各设备的虚连接设计，可避免了以往拷贝虚端子的麻烦和不方便，大大提高了设计的效率和智能性。

如果在历史关联对表中没有找到与待设计接收 IED、发送 IED 具有相同类型、制造商、版本的历史接收 IED 与发送 IED，则查找设备描述最匹配的关联对，同样可生成虚连接，有一定的参考作用。

6 结论

针对当前智能变电站虚端子表设计过程繁琐、智能性不高问题，利用以往历史 SCD 构建了历史数据库中历史关联对及其虚连接，研究了基于 IED 信息和共同关键词的目标设备对准确匹配方法，给出了目标虚连接的模糊匹配方法，设计了智能变电站虚端子辅助自动设计系统。通过实际变电站的设计应用，验证了其有效性，大大提高了虚端子设计的智能性和工作效率。

参考文献

[1] Communication networks and systems in substations part

6: configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs: IEC 61850-6[S]. 2004.

[2] AZAR R. Substations: transformations and improvements[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2019, 17(4): 108-115.

[3] 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.

[4] YANG Y, SONG L L, CAO H O, et al. Smart substation secondary system visualization and intelligent diagnosis based on improved SCD model[C] // International Conference on Renewable Power Generation (RPG 2015), October 17-18, 2015, Beijing, China: 25-31.

[5] 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. Electrical Measurement & Instrumentation, 2018, 55(20): 148-152.

[6] 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.

[7] HUNT R, FLYNN B, SMITH T. The substation of the future: moving toward a digital solution[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2019, 17(4): 47-55.

[8] WAN Yong, CAI Ming, ZHOU Di, et al. Visualizing IED

- interaction in smart substation[C] // 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), October 12-14, 2018, Chongqing, China: 68-73.
- [9] 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.
- [10] 兰林. 基于智能变电站 SCD 文件管控软件的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
LAN Lin. Design and implementation of management and control software based on the substation SCD files[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2016
- [11] 王文焕, 杨国生, 李妍霏, 等. 保护设备在线分析与智能诊断技术研究及系统架构[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(4): 1-8.
WANG Wenhuan, YANG Guosheng, LI Yanfei, et al. Research on relay protection on-line analysis and intelligent diagnosis technology and system structure[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(4): 1-8.
- [12] 梅德冬, 周斌, 黄树帮, 等. 基于 IEC 61850 第二版变电站配置描述的集成配置解耦[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(11): 132-136.
MEI Dedong, ZHOU Bin, HUANG Shubang, et al. Decoupling integrated configuration of substation configuration description based on IEC 61850 edition 2.0[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(11): 132-136.
- [13] 周桂中, 张俊伟, 戎世华, 等. 一种智能变电站虚端子的新型设计方法, 中国专利: CN104682357A[P]. 2015-06-03.
- [14] 周化, 梅德冬, 郑文彬, 等. 一种智能变电站虚端子设计的优化方法, 中国专利: CN104318006A[P]. 2015-01-28.
- [15] 马凯, 黄曙, 侯艾君, 等. 智能变电站二次系统典型设计智能辅助方案研究[J]. 广东电力, 2014, 27(3): 40-43.
MA Kai, HUANG Shu, HOU Aijun, et al. Study on typical designed assistant intelligent scheme for secondary system in intelligent substation[J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(3): 40-43.
- [16] 陈盼, 林传伟, 汤惠芳, 等. 基于关键字匹配的虚端子自动关联方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(18): 132-137.
CHEN Pan, LIN Chuanwei, TANG Huifang, et al. A method for virtual terminals automatic connection based on key-character matching[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(18): 132-137.
- [17] 刘明忠, 郑永康, 童晓阳, 等. 一种基于多 SCD 模板的虚端子表自动生成方法, 中国专利: CN201510169738.5[P]. 2015-04-13.
- [18] 庄先涛. 智能变电站虚端子设计关键技术的研究与开发[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
ZHUANG Xiantao. Research and development on key techniques of virtual terminal design in intelligent substation[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [19] 黄志高, 李妍, 李腾, 等. 智能变电站 SCD 文件虚回路自动生成技术的设计和实现[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(17): 106-111.
HUANG Zhigao, LI Yan, LI Teng, et al. Design and implementation of automatic generation technology of SCD file virtual circuit in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(17): 106-111.
- [20] 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.
- [21] 万勇, 辛建波, 谢国强, 等. 基于双层 CRC 校核的智能变电站配置文件在线诊断方法[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(7): 175-180.
WAN Yong, XIN Jianbo, XIE Guoqiang, et al. Online diagnosis method for configuration file of smart substation based on double CRC checking method[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(7): 175-180.
- [22] 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研究[J]. 电力系统保护与控制, 2019, 47(12): 153-158.
GAO Lei, LIU Peng, BU Qiangsheng, et al. Study on automatic reconfiguration technology of secondary system configuration file based on SED file for smart substation reconstruction and expansion[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(12): 153-158.
- [23] 林波, 李凯, 杨康, 等. 智能变电站 SCD 文件管控系统的研究与实现[J]. 四川电力技术, 2017, 40(3): 73-77, 94.
LIN Bo, LI Kai, YANG Kang, et al. The implement of management control system of SCD files[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2017, 40(3): 73-77, 94.

收稿日期: 2019-04-29; 修回日期: 2019-07-25

作者简介:

王培林(1972—), 男, 硕士, 副教授, 主要研究方向为铁道牵引供电、牵引交流控制技术;

宋小丽(1988—), 女, 本科, 中级工程师, 主要从事变电站电气二次设计工作; E-mail: 396671658@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: xyong@swjtu.cn

(编辑 姜新丽)