

DOI: 10.7667/PSPC161326

# 智能变电站 SCD 文件虚回路自动生成技术的设计和实现

黄志高<sup>1</sup>, 李妍<sup>2</sup>, 李腾<sup>2</sup>, 赵雪霖<sup>2</sup>, 李鹏<sup>3</sup>, 顾俊捷<sup>3</sup>

(1. 江苏省电力公司, 江苏 南京 210008; 2. 江苏省电力公司经济技术研究院, 江苏 南京 210008;  
3. 南京五采智电电力科技有限公司, 江苏 南京 211106)

**摘要:** 针对目前智能变电站工程在 SCD 虚端子连接方面工作量大、出错率高和效率低的情况, 提出了一种虚回路自动生成的技术来提高 SCD 虚端子连接的效率。借助虚回路设计模板, 提出了一种基于模板库的虚回路自动生成方法, 开发了一种虚回路自动生成的技术。该技术可以解析模板文件, 依据模板文件内设备的 IEDname, IED 描述, GOOSE、SV 输入输出的描述关键字、引用名关键字等信息进行查找并实例, 自动生成 SCD 的虚回路。通过实际工程验证证明, 本方法兼容性强, 适应各类设备厂商装置, 可帮助设计或集成厂商等人员完成虚回路的自动生成, 并保证了 SCD 虚端子连接的准确度, 提高了设计人员的工作效率。

**关键词:** 智能变电站; SCD; 虚回路; 自动生成; 模板库

## Design and implementation of automatic generation technology of SCD file virtual circuit in smart substation

HUANG Zhigao<sup>1</sup>, LI Yan<sup>2</sup>, LI Teng<sup>2</sup>, ZHAO Xuelin<sup>2</sup>, LI Peng<sup>3</sup>, GU Junjie<sup>3</sup>

(1. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210008, China; 2. State Grid Jiangsu Economic Research Institute, Nanjing 210008, China; 3. Five-C Smart Power Grid Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

**Abstract:** In view of the current smart substation in SCD virtual terminal connection from workload, high error rate and low efficiency, this paper proposes a virtual circuit automatic generation technology to improve the efficiency of SCD virtual terminal connection. A method of automatic generation of virtual circuit based on template library is proposed by using the virtual circuit design template and a virtual circuit automatic generation of technology is developed. The technology can parse the template file, according to the template file IED name, IED description, GOOSE, SV inputs and outputs of the description of keywords, reference names and other information to find and replace, and finally automatically generate SCD virtual circuit. With actual engineering verification, it proves that the method has powerful compatibility and is applicable to various kinds of devices of different equipment manufacturers. Additionally, it can help designer to complete the virtual circuit automatically, ensure the accuracy of the virtual terminal connection of SCD, and improve working efficiency of all professional workers.

**Key words:** smart substation; SCD; virtual circuit; automatic generation; template library

## 0 引言

智能电网是智能电力的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>, 随着智能电网的发展建设<sup>[3-4]</sup>, 智能变电站<sup>[5]</sup>的配置描述文件(Substation Configuration Description, SCD)作为智能变电站各类 IED 设备的输入源<sup>[6]</sup>, 其配置的效率及准确度直接影响智能变电站的调试进度以及电网的安全稳定运行。同时基于智能变电站及其 SCD 文件开展的各种研究也日渐繁多, 比如基于 SCD 的实例化研究、在线监测研究、可视化研究、SCD 管控

研究、仿真系统研究和智能巡检研究等等<sup>[7-14]</sup>, 其重要性不言而喻。

SCD 配置的工作量主要是虚端子连线的配置, 最后形成虚回路, 主流的配置工具在配置 SCD 时主要是通过表格或图模一体的方式点对点依次连接完成, 一次连接只能完成一根虚端子连线; 有些工具虽然提供间隔复制, 批量复制等功能, 但依然主要依靠人力完成, 当变电站等级越高, IED 设备越多时, SCD 的虚端子连线也就会成倍增加; 而且 SCD 配置一般由一位设计院设计人员或集成商工程人员

(以下简称设计人员或工程人员)独立完成, 并不容易拆分为由多人独立完成, 多人完成也存在版本分散、即时同步合并的问题, 因此基于以上原因就造成了 SCD 的配置工作量大且配置效率不高的问题, 在时间紧迫的情况下此问题更显得突出。

目前针对 SCD 中核心的虚回路自动生成的研究尚没有开展, 虚回路当前主要为设计院直接在 SCD 配置工具上完成连接, 或者通过表格的方式完成连接后交由现场集成商, 再由集成商使用 SCD 配置工具完成连接, 后者的情况目前居多。但不管采用哪种方式, 其虚回路主要通过人工进行虚端子连接完成, 其效率不高, 且正确性直接取决于配置人员的技术水平, 经大量次数的修改完善后才能形成某个智能变电站的最终版 SCD 文件, 故而耗时且准确性不高。

本文对传统的虚端子点对点配置形成虚回路的配置方式进行重新梳理, 提炼出一种基于设计模板的虚回路自动生成方式, 为智能变电站的发展建设提供参考。

## 1 方案设计

### 1.1 虚回路模板的格式

虚回路自动生成最为重要的工作是虚回路模板(以下简称模板)的设计, 需要考虑的问题如下所述。

#### 1) 模板的存储方式

从后期维护管理的便捷性、存储的信息量和层次关系表达上考虑采用 XML 文件存储的方式。

#### 2) 模板文件的分类

从程序解析的角度, 如果所有的模板都存在一个文件, 解析占用的内存消耗过大, 而采用多个模板文件方式更为适宜。按照虚端子的特点, 多模板文件应当按照设备类型进行分类(如表 1 所示): 包括线路保护、母线保护、变压器保护、合并单元、智能终端和测控等<sup>[15-18]</sup>。每个设备类型模板文件含有不同电压等级的虚端子连接回路, 各个文件之间没有信息交叉, 避免出现冗余数据, 造成维护困难。

#### 3) 模板文件的结构

SCD 的虚端子连接采用 Inputs 方式进行存储, 每个 IED 下分 GOOSE 和 SV 存储接收连线, 接收的连线描述了外部 IED 的虚端子及内部 IED 虚端子的连接关系, 因此模板中也按照 SCD 的每个 IED 的层级分为四层: 第一层为模板 IED; 第二层为 GOOSE 接收和 SV 接收; 第三层为外部 IED; 第四层为虚端子关系。如图 1 所示。

#### 4) 虚回路生成的匹配设计

虚回路的生成通过解析 SCD 和模板文件, 再进行

两步匹配, 第一步是 IED 设备的匹配, 第二步是收发两侧虚端子的匹配。XML 格式的模板文件如图 2 所示。

表 1 模板文件的分类

模板文件	220 kV 及以上(双套)	110 kV 及以下(单套)
线路保护	3/2 接线线路保护	110(66)kV 线路保护
	双母线线路保护 母联(分段)保护等	10(35)kV 线路保护等
母线保护	3/2 接线母线保护	双母线、单母线、单母分段、 双母双分段; 双母单分段、 单母三分段等
	双母线接线和双母双分段 双母线单分段等	
变压器保护	220 kV 变压器保护	110(66)kV 变压器保护等
	330 kV 变压器保护	
	500 kV 变压器保护	
	750 kV 变压器保护等	
合并单元	220 kV 线路(主变)合并单元	110(66)kV 线路合并单元 110(66)kV 母线合并单元等
	220 kV 母线合并单元	
	500 kV 及以上断路器合并单元	
	500 kV 及以上线路(主变)合并单元等	
智能终端	220 kV 线路智能终端	110 kV 线路智能终端
	220 kV 主变智能终端	110 kV 主变智能终端
	220 kV 母线智能终端	110 kV 母线智能终端等
	500 kV 及以上断路器智能终端; 500kV 及以上线路智能终端等	
测控	220 kV 线路测控	110 kV 线路测控
	220 kV 主变测控	110 kV 主变测控
	220 kV 母线测控等	110 kV 母线测控等

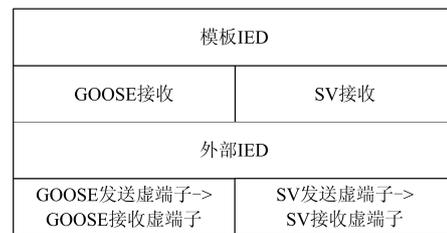


图 1 模板文件的结构

Fig. 1 Structure of template files

IED 设备的匹配主要通过 IED 的描述关键字和 IEDname 关键字进行匹配。描述关键字通过正则表达式来反应描述的匹配模式, 如“220 kV 甲乙线合智一体 A 套”, 关键字可以为“{合并单元 or 合智一体} and 220 and 线 and A”, 关键字通过逻辑符号连接, and 表示与, or 表示或, {}表示优先处理, 对于线路的匹配因为一般 SCD 的描述都会写成

“XX 线”，可能匹配到母线，因此需要增加 IEDname 的匹配进一步确定，当 IEDname 中含有“ML”、“PL”、“IL”、“HL”等则可以进一步确定是线路。

```

<IED configVersion="V1.00" extRule="name" desc="220kV线路保护A套" Connectionmode="双母
线"descKey="220kV 和 线 和 保护 and A" type="通用" name="PL22 and A" manufacturer="通用
">
  <GoRx>
  <TxIED extRule="descKey and name" desc="" descKey="智能终端 and 220 和 线 and A"
type="" name="IL22 and A" manufacturer="">
  <VLink desc="断路器分相跳闸位置TWJa" mark="">
  <Rx extRule="" stddesc="断路器分相跳闸位置TWJa" descKey="断路器分相跳闸位置TWJa
" refKey="PIGO*/GOINGGIO*.DPCSO.stVal" sthref="" />
  <Tx extRule="" stddesc="" descKey="{断路器 or 开关} and 位置 and A相" refKey="RPIT/
*XCBR*.Pos.stVal" sthref="" />
  </VLink>
  ...
  </TxIED>
  ...
  <GoRx>
  <SvRx>
  <TxIED extRule="" desc="" descKey="{合并单元 or 合智一体} and 220 和 线 and A" type=""
name="ML22 and A" manufacturer="通用">
  <VLink desc="额定延时" mark="">
  <Rx extRule="" stddesc="MU额定延时" descKey="额定延时" refKey="PISV*/
SVINGGIO*.Delay*" sthref="" />
  <Tx extRule="" stddesc="" descKey="额定延时 or 延迟" refKey="MUSV*/LLN0.Delay*"
sthref="" />
  </VLink>
  ...
  </TxIED>
  </SvRx>
</IED>
  
```

图 2 线路保护模板文件

Fig. 2 Line protection template files

收发侧虚端子匹配主要通过描述和引用名关键字进行匹配，这是因为考虑到现阶段虚端子的描述及引用名只有相关规范对保护的虚端子进行了统一，其他设备尚未进行或开展，因此这里全部采用描述和引用名关键字匹配的方式。如虚端子描述为“断路器分相跳闸位置 TWJa”，描述关键字为“{断路器 or 开关} and 位置 and A 相”，需要注意的是，对于时标 t，一般描述和 stVal 相同，需要借助引用名关键字进行匹配，如“PIGO/GOINGGIO1.DPCSO1.stVal”，关键字可以为“PIGO\*/GOINGGIO\*.DPCSO.stVal”，“\*”表示通配符，因此模板中也增加了引用名关键字部分，对于描述相同但是引用路径不同起到了辅助甄别的作用。

### 1.2 虚回路自动生成模板的建立方法

虚回路自动生成模板的建立可以通过两种方式进行创建。

1) 人工方式。参照 SCD，通过模板编辑软件将各个元素的内容进行填充，对 IED 描述和 IEDname 的关键字，对虚端子描述和引用名关键字通过人工判断进行填写。

2) 自动方式。直接批量导入各个新建变电站的 SCD，通过自动学习的方法提取各类元素信息，对设备描述和 IEDname 关键字和对虚端子描述和引用名关键字，采用全名称或的方式不断累加。

虽然第二种方式更加智能，但考虑到模板的内

容属于初步搭建和软件的实现难度，本文采用的第一种方案。

### 1.3 虚回路的生成流程

虚回路生成流程如图 3 所示。

1) 虚回路模板创建部分：在虚端子连接回路编辑模板，通过人工方式提取 SCD 的必要信息，以 XML 语言的方式创建虚回路模板。

2) 解析和匹配部分：导入 SCD，解析 IED 列表和 Inputs 信息，获取 IED 信息和虚端子信息。通过选定的内外部 IED 和接线方式，可以在模板文件库匹配到相应的 IED 模板。

3) 匹配生成和展示部分：将模板的 IED 虚端子匹配信息和 SCD 内的 IED 及虚端子信息通过描述关键字及引用名关键字进行对应查找，将匹配结果进行生成及展示。

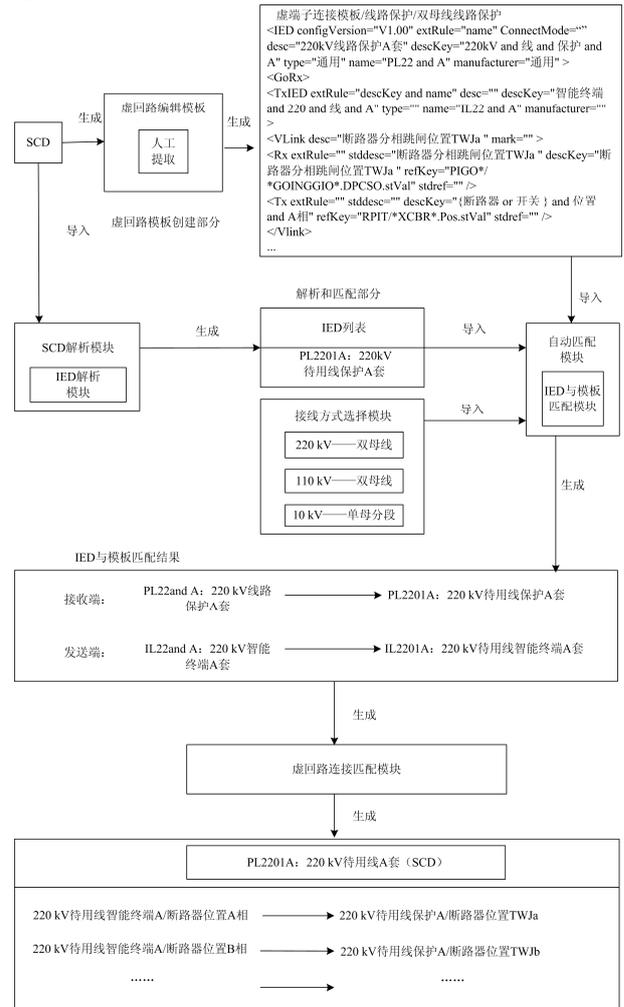


图 3 虚回路生成流程

Fig. 3 Match process of virtual circuit

### 1.4 模板匹配的具体方法

模板匹配包括如下几个具体步骤。

1) 根据解析 SCD 得到的 IED 列表, 选定内外外部 IED。

2) 根据接收端 IED 描述、IEDname 和接线方式确定模板文件的 IED。

3) 根据发送端 IED 描述和 IEDname 确定模板文件的外部发送 IED。

4) 根据模板文件中发送 IED 的虚端子描述和引用名关键字确定 SCD 的发送虚端子(GOOSE 或 SV)。

5) 根据模板文件中接收 IED 的虚端子描述和引用名关键字确定 SCD 的接收虚端子(GOOSE 或 SV)。

### 1.5 生成及展示结果

生成及展示结果应当包括: 虚回路的正确性, SCD 的虚端子连线是否匹配成功, 未匹配上的应差异化显示。

## 2 软件实现

### 2.1 软件架构

虚回路自动生成软件, 采用跨平台语言 Qt 实现软件平台, 加上虚端子连接模板解析库和图形化逻辑的搭建, 用户可以自行通过该软件对虚端子匹配模板进行增加、删除和修改操作, 软件架构设计如图 4 所示。

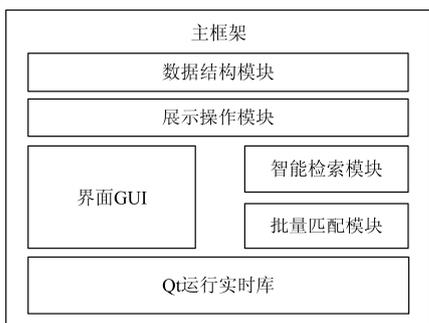


图 4 虚回路自动生成软件架构

Fig. 4 Automatic generation of software architecture for virtual circuit

### 2.2 软件实现

软件主要包括以下模块: 主框架、数据结构模块、展示操作模块、智能检索模块和批量匹配模块。软件拥有直观简洁的用户界面, 方便模板设计人员的使用。虚端子匹配模板生成及自动匹配软件采用经典界面布局模式, 拥有直观简洁的用户界面: 工具栏、树形导航栏和工作区域, 如图 5 所示。

1) 主框架实现虚回路模板生成软件的整体结构, 主框架作为一个容器, 内部分为工具栏、树形管理模块和工作编辑模块。

2) 数据结构模块包括虚端子匹配模板的解析



图 5 虚端子匹配软件界面

Fig. 5 UI of matching virtual terminal

和 SCD 的解析, 对虚回路模板的文件操作以及虚端子匹配模板和 SCD 对应的数据结构定义等。

3) 展示操作模块实现对虚回路模板的编辑操作, 主要展示形式为表格, 采用 MVC 模式实现对表格的操作, 方便定义各种编辑模式。

4) 智能检索模块为外部软件如批量匹配软件提供检索连接模板的接口, 采用描述和 IEDname 关键字的智能匹配方式, 能够精确匹配到 IED 模板; 采用描述和引用名关键字的智能匹配方式, 能够精确匹配到虚端子。

5) 批量匹配模块提供对虚端子匹配模板的解析、SCD 解析和 SCD 虚端子批量匹配, 批量匹配生成虚回路结果以界面方式展示。

## 3 工程应用

在虚端子生成和匹配软件中导入实际工程 220 kV 德银变的 SCD 和所有的虚回路模板, 选择各个电压等级的接线方式, 可以得出虚端子自动匹配的结果, 如图 6、图 7 所示。

### 3.1 兼容不同设备厂商

220 kV 德银变的 220 kV 马塘 1 线, 第一套为长园深瑞, 描述为“220 kV 马塘 1 线线路保护 A”, 第二套为南瑞科技, 描述为“220 kV 马塘 1 线线路保护 B”, A 套装置的匹配结果如图 6 所示(B 套类



图 6 匹配结果 (A 套)

Fig. 6 Matching result (A set)

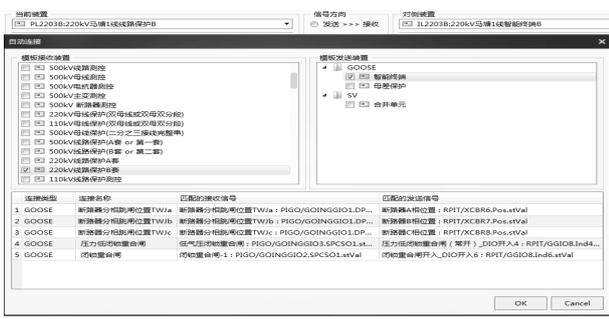


图 7 匹配结果 (B 套)

Fig. 7 Matching result (B set)

似等同 A 套, 如图 7 所示), 可以发现不同厂商的设备, 可准确匹配 IED 和虚端子信息, 具有一定的兼容性, 理论上只要模板具有足够的兼容性, 就能够完成对各个设备厂商的覆盖。

### 3.2 SCD 文件虚端子连线不正确

正确性在于其模板的关键字是否与 SCD 文件一致, 如图 8 所示, 如果正确匹配则正确, 如果无法正确匹配, 则空白显示。



图 8 匹配结果

Fig. 8 Matching result

图 8 中有一处接收匹配不正确, 空白显示。GOOSE 连线中的‘断路器分相跳闸位置 TWJa’连线接收侧, SCD 内 IED 虚端子的描述与模板不一致, 所以未匹配成功。

## 4 结论

鉴于当前的 SCD 尚未涉及虚回路自动生成的研究, 本文提出了一种基于设备模板库的虚回路自动生成的方法, 开发了虚回路自动生成技术, 基于虚端子相关规范创建虚端子自动匹配模板库, 通过关键字信息实现 SCD 和模板库形成对应查找替换, 并生成最终结果。通过实际工程验证证明, 本方法兼容性强, 可适应各类设备厂商装置, 可帮助设计、集成厂商等完成虚回路的自动生成, 而不需要通过人工方式对虚端子进行一一连接, 同时保证了 SCD 文件二次回路的标准化和准确性, 大大提高了相关专业人员的工作效率。

## 参考文献

- [1] 杨新民, 陈丰, 曾卫东, 等. 智能电站的概念及结构[J]. 热力发电, 2015, 44(11): 10-13.  
YANG Xinmin, CHEN Feng, ZENG Weidong, et al. Concept and structure of intelligent power stations[J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(11): 10-13.
- [2] 高海东, 王春利, 颜渝坪. 绿色智能发电概念探讨[J]. 热力发电, 2016, 45(2): 7-9.  
GAO Haidong, WANG Chunli, YAN Yuping. Discussion on the concept of green intelligent power plant[J]. Thermal Power Generation, 2016, 45(2): 7-9.
- [3] BO Z Q, LIN X N, WANG Q P, et al. Developments of power system protection and control[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2016, 1: 7pp.  
DOI 10.1186/s41601-016-00212-2
- [4] 梁姗姗, 吴军, 刘涤尘, 等. 智能电网技术体系与发展趋势研究[J]. 陕西电力, 2015, 43(10): 1-5.  
LIANG Shanshan, WU Jun, LIU Dichen, et al. technology system and development trend of smart grid[J]. Shaanxi Electric Power, 2015, 43(10): 1-5.
- [5] 国家电网公司. 智能变电站技术导则: Q/GDW383—2009[S]. 2009.  
State Grid Corporation of China. Technical guide for smart substation: Q/GDW383—2009[S]. 2009.
- [6] 国家电网公司. 国家电网公司关于规范智能变电站二次系统信息模型标准化管理的通知[S]. 2014.
- [7] 杨毅, 高翔, 朱海兵, 等. 智能变电站 SCD 应用模型实例化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 107-113.  
YANG Yi, GAO Xiang, ZHU Haibing, et al. Case study on SCD application based on demo smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 107-113.
- [8] 曹海鸥, 高翔, 杨毅, 等. 基于全模型 SCD 二次系统在线检测及智能诊断应用分析[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(14): 136-141.  
CAO Haiou, GAO Xiang, YANG Yi, et al. Analysis of online monitoring and intelligent diagnosis based on the full model SCD secondary system[J]. Power System Protection and Control, 2016, 46(14): 136-141.
- [9] 何志鹏, 郑永康, 李迅波, 等. 智能变电站二次设备仿真培训系统可视化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(6): 111-116.  
HE Zhipeng, ZHENG Yongkang, LI Xunbo, et al. Visualization research on secondary equipments

- simulation training system for smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(6): 111-116.
- [10] 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, CN104318006A[P]. 2015-01-28.
- [11] 高磊, 石慧, 杨毅, 等. 智能变电站配置描述文件管控系统研究与实现[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(12): 3328-3332.
- GAO Lei, SHI Hui, YANG Yi, et al. Research and implementation of configuration description file management system for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(12): 3328-3332.
- [12] 孙一民, 刘宏军, 姜建宁, 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.
- [13] 穆世霞, 田青, 张明, 等. 智能变电站数字物理混合仿真培训系统研究与应用[J]. 陕西电力, 2015, 43(7): 92-97.
- MU Shixia, TIAN Qing, ZHANG Ming, et al. Study and application of intelligent substation digital-physical hybrid simulation training system[J]. Shaanxi Electric Power, 2015, 43(7): 92-97.
- [14] 张伟, 龚娇龙, 张惠芳, 等. 基于视觉导航的变电站智能巡检机器人的研究[J]. 陕西电力, 2015, 43(6): 63-66.
- ZHANG Wei, GONG Jiaolong, ZHANG Huifang, et al. Study and substation intelligent inspection robot based on visual navigation[J]. Shaanxi Electric Power, 2015, 43(6): 63-66.
- [15] 国家电网公司. Q/GDW1161 线路保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW1161[S]. 2014.
- State Grid Corporation of China. Standardization design specification for transmission line protection and auxiliary equipments: Q/GDW1161[S]. 2014.
- [16] 国家电网公司. 变压器、高压并联电抗器和母线路保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW1175[S]. 2013.
- State Grid Corporation of China. Standardization design specification for power transformer, high voltage shunt reactor, bus bar protection and auxiliary equipments: Q/GDW1175[S]. 2013.
- [17] 国家电网公司. 10 kV~110 kV 线路保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW1766[S]. 2015.
- State Grid Corporation of China. Standardization design specification for 10 kV~110 kV transmission line protection and auxiliary equipments: Q/GDW1766[S]. 2015.
- [18] 国家电网公司. 10 kV~110 kV 元件保护及辅助装置标准化设计规范: Q/GDW1767[S]. 2015.
- State Grid Corporation of China. Standardization design specification for 10 kV~110 kV component protection and auxiliary equipments: Q/GDW1767[S]. 2015.

收稿日期: 2016-08-17; 修回日期: 2016-10-28

作者简介:

黄志高(1962—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为特高压电网规划与建设管理。

(编辑 姜新丽)