

DOI: 10.7667/PSPC160825

基于 SCD 文件的智能变电站二次系统 C#模型研究

赵雨田¹, 都 晨², 程青青¹, 沈岳峰¹

(1. 南京理工大学自动化学院, 江苏 南京 210094; 2. 江苏方天电力技术有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要: 针对智能变电站 SCD 文件结构复杂和操作繁琐的问题, 设计了智能变电站二次系统在 C#中的模型。该模型包含负责 SCD 文件操作的 SCDDocument 类、负责 IED 信息提取的 IED 类以及负责子网信息获取的 SubNetwork 类, 给出了各类的属性和方法设计。通过实际智能变电站的 SCD 文件数据, 利用 C#编写的验证程序, 验证了设计的可行性。利用该模型可方便地读取 SCD 文件中的数据, 以面向对象的方式管理 SCD 文件中的数据, 并为相关应用软件开发过程中的 SCD 文件操作提供解决方案。

关键词: 智能变电站; SCD 文件; 二次系统; 模型

Research on C# model for smart substation secondary system based on SCD file

ZHAO Yutian¹, DU Chen², CHENG Qingqing¹, SHEN Yuefeng¹

(1. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Jiangsu Frontier Electric Technology Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: According to the problem of complex structure and verbose operation of SCD file in smart substation, C# model for smart substation secondary system is designed. The model consists of SCDDocument class, IED class and SubNetwork class, namely responsible for SCD file operation, IED data extraction and subnetwork data acquisition. Attribution and functions in each class are designed. The feasibility is verified by SCD file in real smart substation and C# verification programming. It is convenient to read data from SCD file and to manage data in SCD file in object-oriented way by means of model construction. Besides, it is also a solution for SCD file operation design in software development.

Key words: smart substation; SCD file; secondary system; model

0 引言

智能变电站由于二次回路高度网络化, 继电保护装置之间信息交互不再通过传统的实体端子实现, 取而代之以虚端子^[1-4]。与常规的变电站继电保护相比, 智能变电站继电保护实现了用光纤取代交流采样回路, 用面向通用对象的变电站事件(Generic Object Oriented Substation Event, GOOSE)数字信息流代替了传统的直流二次回路^[5]。这些配置信息均保存在 SCD(Substation Configuration Description)文件中。C#是一种安全的、稳定的、简单的、优雅的, 由 C 和 C++衍生出来的面向对象的编程语言, 以其强大的操作能力、优雅的语法风格、创新的语言特性和便捷的面向组件编程的支持成为 .NET 开发的首选语言^[6]。

智能变电站二次设备均由智能电子设备构成(Intelligent Electronic Device, IED)。开发基于 .NET

的智能变电站应用软件需首先实现对 SCD 文件的操作。由于 C#程序具有良好的可移植性^[7], 建立 IED 在 C#中的模型, 并为该模型设计描述属性和数据操作方法, 有利于缩短智能变电站相关应用软件的开发时间, 并为复杂的 SCD 解析和数据获取等操作提供一种快速方便的解决方案。

C#模型设计即建立相应的类(Class), 类是一种复杂的数据类型, 将不同类型的数据和这些数据相关的操作封装在一起构成一个集合体。类实例化为相应的对象, 可用于关联和描述具体的事物。

1 SCD 文件的 C#模型

智能变电站 SCD 文件描述了智能变电站的二次设备配置、通信配置, 是智能变电站运行的重要数据来源, 包含了全站的 IED 设备、通信参数、参数集、各类控制块等, 还包含了 IED 虚端子关联配置等^[8]。

SCD 文件是一种基于 XML 规范的文档, 满足 XML 文档的所有规范并且更加严格。为便于应用软件对 SCD 文件进行操作, 需建立 SCD 文件类, 命名为 SCDDocument, 其具体属性与方法的设计如表 1。

表 1 SCDDocument 类的属性和方法

序号	名称	类别	类型
(1)	xml doc	属性	私有
(2)	scd nsmgr	属性	私有
(3)	SCDDocument()	方法	公有
(4)	GetDoc()	方法	公有
(5)	GetDocNsmgr()	方法	公有
(6)	GetDocRoot()	方法	公有

其中属性(1)表征 SCD 文件对应的 XML 文档对象, 属性(2)用于表示 SCD 文件的命名空间管理器。方法(3)为该类的构造方法, 其带有一个 string 类型的参数, 该参数表示 SCD 文件在计算机中存放的路径。该方法被调用时的流程如图 1。

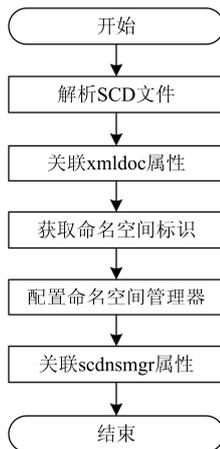


图 1 SCDDocument 类构造方法流程图

Fig. 1 Flow diagram of SCDDocument constructor

其中 SCD 文件的解析采用 DOM(Document Object Model)方法^[9-11], 将解析后的文档对象全部加载到计算机内存中, 以加快后续 SCD 文件信息的访问速度。同时配置 SCD 文件的命名空间管理器, 设置命名空间标识为“ns”。方法(4)返回 xml doc 属性值, 以保证私有属性的安全性。同理, 方法(5)返回 scd nsmgr 属性值。方法(6)返回 SCD 文件的根节点, 它将作为后续 SCD 文件信息查找操作的重要数据。该节点是 XmlElement 类型的变量, 是 xml doc 的一个属性, 即:

```

public XmlElement GetDocRoot()
{
    return xml doc.DocumentElement;
}
  
```

确定了 SCD 文档的根节点并正确配置了命名空间管理器, 即可满足 C#对 SCD 文档操作的条件。SCD 文件 C#模型对应的类能够完成 SCD 文件的 DOM 解析, 设置模型的属性值, 并提供属性值的获取方法。

2 IED 的 C#模型

SCD 文件的 IED 节点表征了全站 IED 的配置参数和虚端子信息。描述 IED 特征的重要信息通常包含设备名称、型号、制造商、配置版本、描述以及接入点等。同时, 为了实现 IED 节点内部信息的获取等操作, 还需要设计相应的方法。因此设计 IED 类, 该类的具体属性和方法如表 2。

表 2 IED 类的属性和方法

序号	名称	类别	类型
(1)	ownerdocumnet	属性	私有
(2)	ied	属性	私有
(3)	IED()	方法	公有
(4)	GetName()	方法	公有
(5)	GetType()	方法	公有
(6)	GetManufacturer()	方法	公有
(7)	GetConfigversion()	方法	公有
(8)	GetDesc()	方法	公有
(9)	GetAccesspoint()	方法	公有
(10)	LDInstContain()	方法	私有
(11)	LDContainLN()	方法	私有
(12)	GetFrontIEDs()	方法	公有
(13)	GetRearIEDs()	方法	公有

属性(1)表示 IED 所属的 SCD 文件, 为上文所述的 SCDDocument 类型数据。属性(2)表示 IED 在 DOM 树中的节点, 为 XmlNode 类型数据。方法(3)为该类的构造方法, 其包含两个参数, 分别为表示 IED 所在 SCD 文件的 SCDDocument 类型实例和 IED 在 DOM 树中的 XmlNode 类型数据节点, 其具体调用流程如图 2。

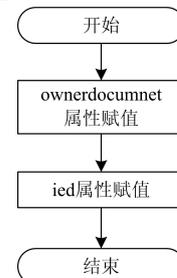


图 2 IED 类构造方法流程图

Fig. 2 Flow diagram of IED constructor

方法(4)一方法(8)分别返回 IED 的名称、型号、

制造商、配置版本和描述, 这些信息均为 IED 节点的 XML 属性信息。以方法(4)为例, 其实现方式为:

```
public string GetName()
{
    if(ied.Attributes["name"] != null)
    {
        return ied.Attributes["name"].Value;
    }
    else
    {
        return string.Empty;
    }
}
```

同理, 将 name 替换为 type、manufacturer、configVersion 和 desc 可分别实现方法(5)(6)(7)(8)。方法(9)用于获取 IED 接入点信息, 其实现方法为:

```
public string GetAccesspoint()
{
    XmlNodeList list=ied.SelectNodes(
        ".//ns:AccessPoint[@name]",
        ownerdocumnet.GetDocNsmgr());
    string apstr = string.Empty;
    foreach(XmlNode xnode in list)
    {
        apstr += xnode. Attributes["name"].Value + ",";
    }
    return apstr;
}
```

方法(10)用于判断 IED 各个接入点下的 LDevice 节点的 inst 属性是否包含给定的字符串。该方法带有一个 string 类型的参数, 指示需要判断的字符串, 方法的返回值为布尔型, 当 LDevice 节点的 inst 属性包含给定的字符串时, 返回 true, 否则返回 false。由于智能变电站 IED 的 LDevice 节点的 inst 属性包含特定的字符串, 可用于判定 IED 包含的逻辑设备(Logic Device, LD)功能, 如测量 LD 包含"MEAS"字符串, 保护 LD 包含"PROT"字符串等^[12]。其具体实现方式如下:

```
private bool LDInstContain(string str)
{
    XmlNodeList Inclasslist;
    Inclasslist = ied.SelectNodes(
        ".//ns:LDevice[@inst]",
        ownerdocumnet.GetDocNsmgr());
    foreach(XmlNode xnode in Inclasslist)
    {
```

```
        if(xnode.Attributes["inst"].Value.IndexOf(
            str,StringComparison.OrdinalIgnoreCase) == 0)
        {
            return true;
        }
    }
    return false;
}
```

方法(11)用于判断 IED 中的 LD 是否包含某个 InClass 属性为指定值的逻辑节点(Logic Node, LN)。由于智能变电站 SCD 文件中 LN 节点的 InClass 属性的值可以反映 IED 的具体功能, 例如"XCBR"代表断路器控制, "TCTR"代表电流互感器等^[12]。在应用软件开发中, 多次调用该方法可用于判断 IED 的具体功能。该方法的具体实现为:

```
private bool LDContainLN(string ldstr, string lnstr)
{
    if (ied.SelectSingleNode(string.Format(
        ".//ns:LDevice[@inst = '{0}']/ns:LN[@InClass = '{1}]",
        ldstr, lnstr), ownerdocumnet.GetDocNsmgr()) != null)
    {
        return true;
    }
    return false;
}
```

LDContainLN()含有两个 string 类型参数, 参数 ldstr 为要判断的 LD 节点 inst 属性值, 参数 lnstr 为要判断是否包含的 LN 节点的 InClass 属性值。如果在给定的 LD 中包含给定的 LN, 则返回 true, 否则返回 false。

由于 IED 之间通过光纤或高速以太网相联系, 因此确定 IED 的输入输出端子信息十分重要, 对于给定的 IED, 可通过其包含的 Inputs 节点下的 ExtRef 节点确定。在 SCD 文件中, 每个 IED 在同一命名空间下的 name 属性值唯一。

定义发送 GOOSE 或 SV 信号至当前 IED 的所有设备集合称之为当前 IED 的前向设备, 接收当前 IED 的 GOOSE 或 SV 信号的所有设备集合称之为当前 IED 的后向设备。

如果确定了当前 IED 的前向设备和后向设备, 再通过遍历这些设备获取具体信息, 就可以确定当前 IED 的输入和输出详细信息。方法(12)为确定 IED 的前向设备方法, 其调用流程如图 3。

该方法返回的是 IED 类型的链表, 在 C#中, 可利用 List<IED>泛型来管理这类数据。

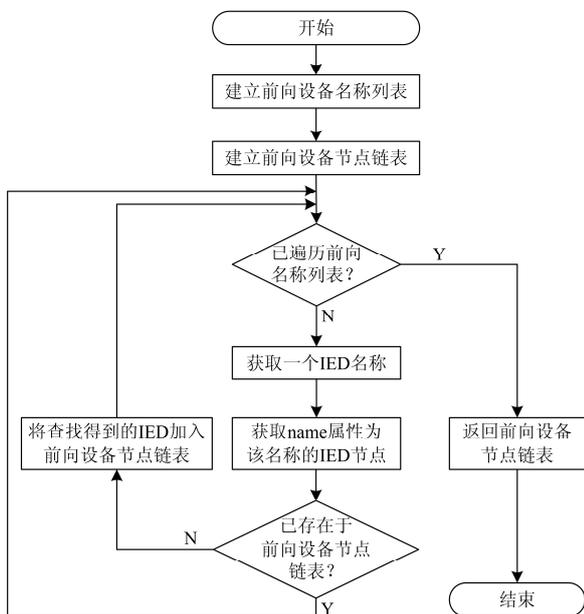


图 3 GetFrontIEDs()方法流程图

Fig. 3 Flow diagram of function GetFrontIEDs()

类似地, 方法(13)用于确定 IED 的前向设备。由于 SCD 文档中仅能反映 IED 的输入信息, 因此为了获取 IED 的输出信息, 需遍历命名空间下的所有 IED 节点下的 Inputs 节点中的 ExtRef 节点, 如果存在 iedName 属性与当前 IED 的 name 属性相同的 ExtRef 节点, 则该设备为当前 IED 的后向设备, 其算法实现流程如图 4。该方法返回的是 IED 类型的链表, 同样, 可利用 List<IED>泛型来管理这类数据。

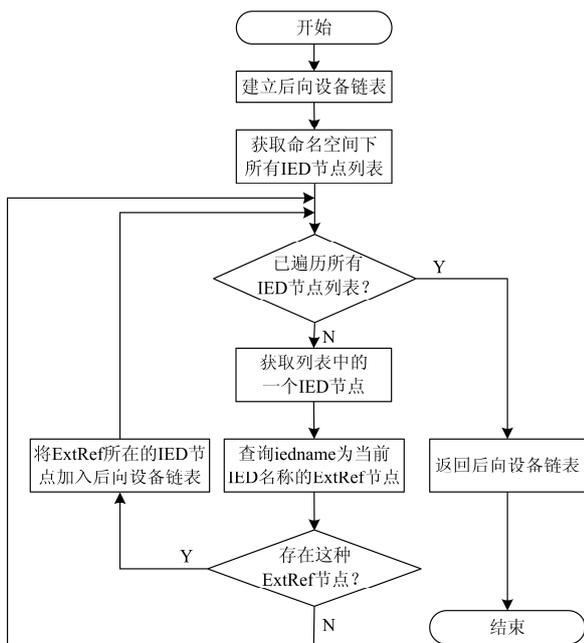


图 4 GetRearIEDs()方法流程图

Fig. 4 Flow diagram of function GetRearIEDs()

3 智能变电站二次系统结构的 C#模型

SCD 文件的 SubNetwork 节点表征了变电站中数字化二次回路的子网构成信息, 通常包含 MMS 子网和 GOOSE 子网, 有时也含有 SV 子网^[13-15]。根据子网中 IED 的接入点(Access Point, 简称 AP)不同, 通常可划分为 M*、G*、S*接入点, 其中“*”表示任意的字符串, 即规范的接入点名称应以 M、G 和 S 开头, 其后通常为 1~2 位的数字。

SCD 文件中的包含的子网结构本质是一种有向图。在图论中, 有向图通常用其邻接矩阵和关联矩阵描述。在计算机数据结构中, 图可由链式结构的邻接表表示。在 C#中分别建立这两类模型, 可用于子网中 IED 关系分析和计算机数据处理。据此, 构造子网类, 命名为 SubNetwork, 其属性和方法设计如表 3。

表 3 子网类的属性和方法

Table 3 Attribution and functions of SubNetwork

序号	名称	类别	类型
(1)	ownerdocument	属性	私有
(2)	subnetwork	属性	私有
(3)	IEDlist	属性	私有
(4)	adjmatrix	属性	私有
(5)	adjlist	属性	私有
(6)	SubNetwork()	方法	公有
(7)	GetAdjMatrix()	方法	公有
(8)	GetAdjList()	方法	公有

属性(1)用于指明当前子网信息所在的 SCD 文件, 其为 SCDDocument 类型数据。属性(2)表明子网在 DOM 树中的节点, 是 XmlNode 类型数据。属性(3)为子网包含的所有 IED, 为 List<IED>泛型, 即所包含的 IED 构成的一种链式数据结构。属性(4)为子网的邻接矩阵, 是 $n \times n$ 的整型二维数组, 其中 n 为子网包含的 IED 数目。属性(5)为子网的邻接表。方法(6)为该类的构造方法, 在实例化子网时, 同时确定所有属性的值。设子网的结构如图 5 所示。

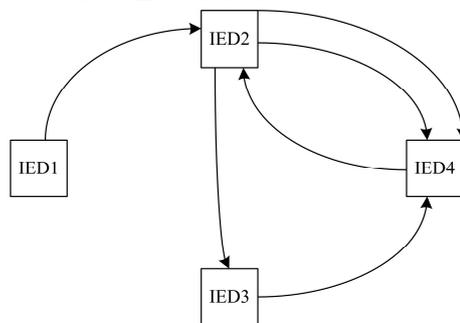


图 5 子网结构示意图

Fig. 5 Schematic of subnetwork structure

SubNetwork 类构造方法调用流程与 IED 类的构造方法调用流程类似，都需要首先对 ownerdocument 属性赋值。随后对 subnetwork 属性关联子网节点。其次遍历该子网节点下的 ConnectedAP 节点，每个 ConnectedAP 节点都具有 iedName 属性，它唯一表征该命名空间下的 IED。针对每一个 iedName 的值，在命名空间下所有 IED 节点中搜索 name 属性为该值的 IED 节点，创建对应的 IED 类的对象，并加入到子网设备列表 IEDlist 中。子网结构可用图来描述，对于子网中的每一个 IED，其在 IEDlist 中的索引值(从 0 开始)为 index，那么 $v = index + 1$ 可作为图顶点 IED 的编号，子网中 IED 构成的图为无环有重边有向图。若定义子网的邻接矩阵用 $A_{n \times n}$ 表示，初始化时 A 中全部元素均为 0，依序遍历 IEDlist，按照 IED 类中的 GetFrontIEDs() 方法确定每个 IED 的前向设备列表。依序遍历 IED 的前向设备列表，并使 A 中对应元素 $a_{ij} = a_{ij} + 1$ ，其中 i 为前向设备列表中的 IED 顶点编号， j 为当前 IED 的顶点编号。邻接矩阵的构造流程如图 6。

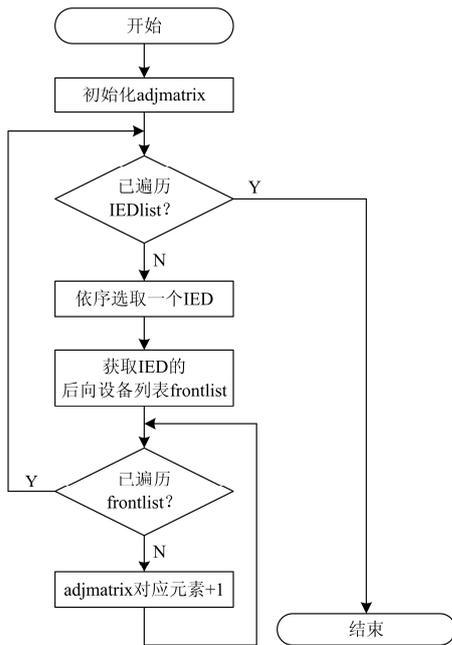


图 6 邻接矩阵构造流程图

Fig. 6 Flow diagram of adjacent matrix construction

图 5 中子网经图 6 所示流程后可得到其邻接矩阵为

$$A_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

最后建立子网的邻接表，按照顶点入边建立，

可得到图 5 的子网邻接表为图 7。

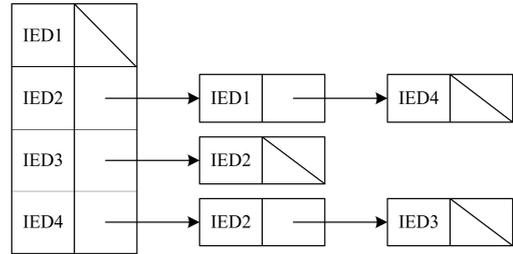


图 7 子网的邻接表

Fig. 7 Adjacent list of subnetwork

邻接表中的每个元素都具有数据区和指针区，其中数据区为 IED 类的实例以及该顶点的入度，指针区用于指示元素的关联关系。邻接表的每一行都表示子网中的一个 IED 的前向设备，由于 IED 的前向设备为 List<IED>类型的泛型，因此表头的纵向结构可用二重泛型 List<List<IED>>来表示。可以避免在 C# 中使用非安全的指针类型数据。子网邻接表的构造流程如图 8。

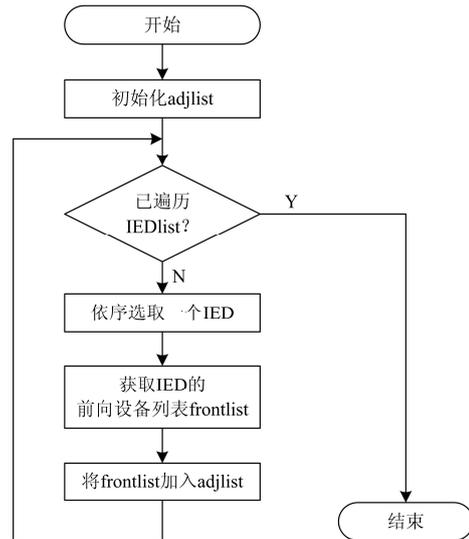


图 8 邻接表构造流程图

Fig. 8 Flow diagram of adjacent list construction

方法(7)和方法(8)分别用于返回子网的邻接矩阵和邻接表，返回的数据可供网络分析软件分析子网结构等。

4 实例验证

利用文中给出的模型设计方法，载入某 220 kV 智能变电站配置的 SCD 文件。该站中 10 kV 设备的 GOOSE 子网包含 15 个设备。在 C# 中实例化该 SCD 文件为 LHKSubstation，其为 SCDDocument 类型数据。随后建立该 10 kV GOOSE 子网中的 15 个 IED

的模型, 依序分别为 IED1 至 IED15, 均为 IED 类型数据。图 9 显示了对 IED1 参数数据的调取操作结果, 可见, IED 类中的方法成功获取了 IED 的设备名称、设备类型、设备制造商、配置版本、设备描述以及接入点信息。同时由于 IED 类需利用 ownerdocument 属性中的命名空间管理器 and 根节点数据, 命名空间管理器为 SCDDocument 类的 scdnsmgr 属性, 根节点可由 SCDDocument 类的 GetDocRoot() 方法获得, 所以间接验证了 SCDDocument 类设计方案的可行性。

图 9 IED 类测试结果

Fig. 9 Results of IED class test

其次构造 10 kV GOOSE 子网的邻接矩阵, 由于子网中含有 15 个 IED, 故邻接矩阵为 15 阶方阵。通常子网的邻接矩阵为高度稀疏矩阵, 可采用压缩方式存储数据, 通过文中给出的子网邻接矩阵构造方法, 可得出该子网的邻接矩阵稀疏表示如表 4。

表 4 10 kV GOOSE 子网的邻接矩阵

Table 4 Adjacent matrix of 10 kV GOOSE subnetwork

行号	列号	数据
1	6	15
2	6	20
6	2	3
6	12	1
9	3	1
11	6	9
12	6	11

程序测试结果如图 10。

图 10 邻接矩阵测试结果

Fig. 10 Results of adjacent matrix test

表明了子网构造方法的正确性, 由于 15 个顶点的邻接表结构较为复杂, 难以用文字描述, 但其验证方法与邻接矩阵类似, 此处不再赘述。

5 结论

为了便于开发基于智能变电站 SCD 文件以及二次系统相关的应用软件, 在 C#中建立了智能变电站二次系统模型。该模型包含 SCDDocument 类、IED 类和 SubNetwork 类。其中 SCDDocument 类负责 SCD 文件的操作和管理, 并同时作为其他类的一种属性类型。IED 类用于对智能变电站中的实际 IED 建模, 可以方便地通过 SCD 文件获取和管理 IED 信息, 极大地方便了利用 C#语言对 IED 信息获取的操作。SubNetwork 类用于分析智能变电站子网的结构, 可生成子网的邻接矩阵和邻接表, 以方便子网分析软件对数据的调用, 可为网络分析软件提供获取子网数据的简单解决方案。利用这 3 种模型, 可以方便地操作结构复杂的 SCD 文件, 有利于基于 C#的智能变电站应用软件的开发。

参考文献

- [1] 刘曦, 奚洪磊, 钱碧甫. 基于智能变电站 SCD 文件的虚端子图形化展示方法[J]. 电气应用, 2015, 34(2): 97-100.
LIU Xi, XI Honglei, QIAN Bifu. Graphical methods of virtual terminal based on SCD file of smart substation[J]. Electrotechnical Application, 2015, 34(2): 97-100.
- [2] 嵇建飞, 袁宇波, 王立辉, 等. 某 110 kV 智能变电站合并单元异常情况分析及对策[J]. 电工技术学报, 2015, 30(16): 255-260.
JI Jianfei, YUAN Yubo, WANG Lihui, et al. Analysis and countermeasure on abnormal operation of one 110 kV intelligent substation merging unit[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(16): 255-260.
- [3] 申春红, 苏晓毅, 潘巧梅, 等. 智能高压开关控制系统检测装置[J]. 高压电器, 2015, 51(4): 19-23.
SHEN Chunhong, SU Xiaoyi, PAN Qiaomei, et al. Test device of intelligent high voltage switchgear control system[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(4): 19-23.
- [4] 白申义, 李刚, 王晓峰, 等. 集成开关控制及状态监测功能的一体化智能单元研制[J]. 高压电器, 2016, 52(8): 146-154.
BAI Shenyi, LI Gang, WANG Xiaofeng, et al. Development of integrated intelligent unit with the functions of switch control and state monitoring[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(8): 146-154.
- [5] 石光, 赵军, 孔圣立, 等. 智能变电站 SCD 文件版本

- 差异化比较研究与应用[J]. 电子技术与软件工程, 2015, 22(18): 198.
- SHI Guang, ZHAO Jun, KONG Shengli, et al. Research on vision difference comparison of SCD file of smart substation and application[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2015, 22(18): 198.
- [6] 王舒憬, 周峤楨. 基于 C# 的电表零部件质量抽检的软件实现[J]. 电测与仪表, 2009, 46(增刊 2): 31-35.
- WANG Shujing, ZHOU Qiaozhen. Implementation for electric-energy-meter part's sampling system based on C#[J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2009, 46(S2): 31-35.
- [7] 齐立波, 黄俊伟, 黄静. C#入门经典[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [8] 刘蔚, 杜丽艳, 杨庆伟. 智能变电站虚回路可视化方案研究与应用[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(10): 32-37.
- LIU Wei, DU Liyan, YANG Qingwei. Research and application of smart substation virtual circuit visualization[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(10): 32-37.
- [9] 郭健生, 吴文宣, 王云茂, 等. 基于 TinyXML 的智能变电站 SCD 文件的解析[J]. 电力与电工, 2011, 31(3): 7-10.
- GUO Jiansheng, WU Wenxuan, WANG Yunmao, et al. Analysis of intelligent substation SCD file Based on TinyXML[J]. Dianli yu Diangong, 2011, 31(3): 7-10.
- [10] 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.
- [11] 伊洋, 胡苏凯, 周宇, 等. 智能变电站 SCD 文件二维校验码校验方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(2): 113-118.
- YI Yang, HU Sukai, ZHOU Yu, et al. Research of smart substation SCD file check based on two-dimensional check code[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(2): 113-118.
- [12] 彭少博, 郑永康, 周波, 等. 220 kV 智能变电站检修二次安措优化研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(23): 143-148.
- PENG Shaobo, ZHENG Yongkang, ZHOU Bo, et al. Study of optimization of secondary safety measures of 220 kV smart substation maintenance[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(23): 143-148.
- [13] 国家电网公司. 工程继电保护应用模型: Q/GDQ 396—2009 IEC 61850 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- State Grid Corporation of China. engineering relay protection application model: Q/GDQ 396—2009 IEC 61850[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [14] 王明松, 马鸿雁. 基于组态王的变电站运行状态在线监控系统设计与应用[J]. 电工技术学报, 2015, 30(增刊 1): 484-489.
- WANG Mingsong, MA Hongyan. Design and application of running status of substation online monitoring system based on kingview[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(S1): 484-489.
- [15] 张巧霞, 贾华伟, 叶海明, 等. 智能变电站虚拟二次回路监视方案设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 123-128.
- ZHANG Qiaoxia, JIA Huawei, YE Haiming, et al. Design and application of virtual secondary circuit monitoring in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 123-128.

收稿日期: 2016-06-07; 修回日期: 2016-08-29

作者简介:

赵雨田(1991—), 男, 通信作者, 硕士, 研究方向为电力系统继电保护与计算机应用; Email: routin141@yeah.net

都晨(1986—), 女, 硕士, 研究方向为电力系统继电保护;

程青青(1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护。

(编辑 姜新丽)