

DOI: 10.7667/PSPC180169

## 一种模型驱动的测控装置优化研究

任辉<sup>1</sup>, 窦仁晖<sup>1</sup>, 郑永康<sup>2</sup>, 樊陈<sup>1</sup>, 张海东<sup>1</sup>, 赵国庆<sup>1</sup>, 吴艳平<sup>1</sup>, 杨青<sup>1</sup>

(1. 中国电力科学研究院有限公司南京分院, 江苏 南京 210003;

2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:** 目前, 测控装置配置文件不统一, 配置信息不完善, 并未实现完全由 IEC 61850 模型驱动。针对以上问题, 提出一种模型驱动的测控装置设计方法。通过在变电站全站配置描述文件(SCD)中扩展系统规范模型(SSD), 由 SSD 表述全站一次设备拓扑且完成与二次设备信号的关联。基于 SSD 配置全站五防闭锁逻辑关系, 使模型文件包含通信连接关系、网络通信参数、功能配置参数、五防闭锁逻辑规则、可缩放矢量图形(SVG)格式的一次接线拓扑等几方面信息, 统一完成测控装置的全部配置, 消除配置文件被篡改的风险, 便于后期运行维护。

**关键词:** 模型驱动; 优化; SVG; SSD; 五防闭锁; 配置

### Optimization research of model-driven measurement & control device

REN Hui<sup>1</sup>, DOU Renhui<sup>1</sup>, ZHENG Yongkang<sup>2</sup>, FAN Chen<sup>1</sup>, ZHANG Haidong<sup>1</sup>, ZHAO Guoqing<sup>1</sup>, WU Yanping<sup>1</sup>, YANG Qing<sup>1</sup>

(1. Nanjing Department of China Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** Now, the configuration files of the measurement & control devices are not uniform and perfect, resulting that the measurement & control devices are not all dependent on IEC 61850 models. On account of those questions, this paper proposes a design method of MDA device. By extending Substation Specification Description (SSD) in Substation Configuration Description (SCD) model file, the SSD file describes primary circuit wiring diagram of substation, and makes relevancy with signals from secondary devices. It also configures all the mis-operation rules based on SSD file. The method makes the model file include five elements such as communication connections, network communication parameters, function configuration parameters, mis-operation rules and primary equipment wiring diagram with format of Scalable Vector Graphics (SVG). It will achieve the goal that measurement & control device is driven by models completely, what will eliminate the risks of configuration files tempered and be easy to operated and maintained.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China "Key Technology Research of Smart Substation Secondary System Optimization" (No. DZN17201600120).

**Key words:** model-driven; optimization; scalable vector graphics (SVG); substation specification description (SSD); mis-operation; configuration

## 0 引言

模型驱动架构(Model-Driven Architecture, MDA)是由国际对象管理组织(Object Management Group, OMG)提出的一种应用软件设计和实现方法, 其核心思想是通过抽象出与实现技术无关的业务功能描述模型, 即平台无关模型(Platform Independent Model, PIM), 针对不同实现技术制定多

个转换规则, 应用这些转换规则和辅助工具将 PIM 转换成与具体平台有关的平台相关模型(Platform Specific Model, PSM)<sup>[1-3]</sup>。模型驱动软件开发是指基于 OMG 制定的一系列标准对实际问题进行的模型建立、模型扩展、模型交换、模型变换等工作, 实现系统业务建模和实现细节的分离<sup>[4-5]</sup>。

基于 IEC 61850 模型的智能电子设备(Intelligent Electronic Device, IED)可以被认为是一种模型驱动的装置, IEC 61850 标准采用模型驱动的思想, 对变电站自动化功能进行信息建模, 模型涵盖了逻辑设备、逻辑节点、访问点、服务和数据集等信息,

基金项目: 国家电网有限公司科技项目(DZN17201600120)“智能变电站二次系统优化关键技术研究”

实现对保护、测控、计量、防误闭锁等功能的描述<sup>[6]</sup>。通过智能变电站全站配置描述文件(Substation Configuration Description, SCD)能够自动完整地获得变电站一次设备、二次设备与各类信号的映射关系以及各装置的配置信息。IED 配置描述文件(Configured IED Description, CID)是 SCD 文件的子集, 两者均包含了装置较为完整和规范的配置信息, 且是软件的一部分, 直接参与功能模块的运行, 极大地促进了不同厂家装置之间的互操作能力。

然而, 在工程应用中, IED 并未完全实现由模型驱动, 具体表现在:

(1) 在 IED 内部功能实现过程中, 没有应用到模型文件包含的 IED 配置信息, 如定值参数信息、网络参数等, IED 采用的是人工额外配置的参数。

(2) 模型文件所存储的信息没有被很好地执行, 功能的实现并非以模型文件为基础。例如, 某些 IED 的过程层配置并不需要 CID 文件, 只需下装包含 GOOSE 配置和 SV 配置的文本即可驱动 IED 运行。这一实现方式不够严谨, 虚端子连接关系容易被修改, 为设备运行带来潜在的安全隐患。

(3) 五防闭锁逻辑规则的配置依赖于厂站一次接线<sup>[7]</sup>, 而工程集成配置不支持一次接线模型, 且五防闭锁逻辑规则的配置工具为厂家私有, 测控的维护调试严重依赖于设备供应商。

近期, 国调中心正推行自动化设备的“四统一、四规范”工作, 要求测控装置的 ICD(IED Capability Description, ICD)文件统一, 配置文件格式、信息描述统一, 甚至对开入、开出端子也做了清晰的界定, 为实现模型驱动的测控装置提供了便利条件。然而, 设备参数配置和五防闭锁逻辑规则配置还沿用以往的模式, 需要进一步完善。

系统规范模型文件(System Specification Description, SSD)也是 SCD 文件的子集, 描述了全站一次设备拓扑结构信息<sup>[8]</sup>, 变电站主接线图就可以在 SCD 中有所体现, 其他厂家也可以获取。目前工程应用的 SCD 忽略了一次接线信息, 当然也无法包含一、二次设备之间的映射关系, 限制了 IED 的统一配置和模型驱动。

基于此, 本文针对测控装置模型驱动架构实现不彻底的现状, 提出一种测控配置完全由 SCD 模型驱动、不需要额外配置的实现方式, 消除配置文件被篡改的风险, 统一五防逻辑的配置方式, 便于后期运行维护。

### 1 模型文件设计

若遵循 MDA 架构, IEC 61850 信息模型不仅仅

是描述系统功能和辅助沟通信息内容的载体, 还是软件开发的核心和主干。IEC 61850 已经完成了大部分智能变电站自动化功能的信息模型构造。信息模型基于变电站功能结构的对象分层, 将每一层的变电站设备、功能与逻辑节点相关联<sup>[9-11]</sup>。另一方面, 模型又将变电站功能对象从程序中抽离出来, 与具体的逻辑功能相分离, 利于后续与维护与扩展。

逻辑节点以数据属性或数据对象的方式展示功能参数、模式等属性信息<sup>[12]</sup>, 例如五防逻辑节点的主要内容是状态信息与定值信息, 为 IED 或系统提供参数, IED 或系统也只抽取这些参数信息, 五防功能逻辑规则再额外配置。同样地, 装置或系统的网络协议以及其他逻辑关系也被隐藏在装置实现程序中, 从而阻碍了模型驱动架构的实现。

因此本文扩展一种 SCD 文件, 如图 1 所示, SCD 除包含原有的网络通信参数、通信连接关系、设备参数三种类别信息外, 进一步融合全站一次接线拓扑图和五防闭锁逻辑规则信息, 全面集成智能变电站一二次设备信息。其中, 一次接线拓扑由 SSD 实现, SSD 模型则通过可缩放矢量图形(Scalable Vector Graphics, SVG)来表述<sup>[13]</sup>。在 SSD 的基础上建立变电站一次接线拓扑与 IED 虚端子信号的映射关系, 为五防闭锁逻辑规则的配置提供必要条件。

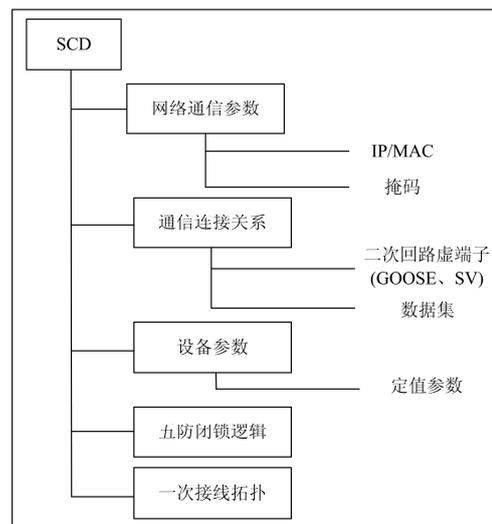


图 1 SCD 模型信息构成

Fig. 1 Information composition of SCD

SCD 和 SVG 都是基于可扩展标记语言(Extensible Markup Language, XML)的应用文件, 因此 SVG 能够与 SCD 文件有效结合<sup>[13]</sup>。经过与 SSD 的融合, SCD 文件将包含全站 IED 的通信连接关系、网络通信参数、五防闭锁逻辑规则、一次接线拓扑等信息, 可以完全驱动 IED 的运行。

## 2 一次拓扑与二次系统映射

SSD 是一种树状结构图形, 按变电站、电压等级、间隔、传导设备、终端的次序将一次接线图由大到小逐层分解, 且上一层元素与下一层元素构成主从关系, 每个传导设备作为一个节点, 节点上可以存在若干个终端。若干个传导设备节点组合成间隔, 传导设备节点的终端之间通过连接线连接。传导设备对应于间隔内的断路器、隔离开关、接地刀闸等一次设备, 而连接点附着在终端上。每个传导设备的终端数量是默认的, 可根据需求通过连接线连接目标终端。每条连接线上存在连接点, 其他连接线也可以通过连接点与此连接线相连。

SSD 图采用 SVG 来表述。SVG 包含矩形、圆形、椭圆、直线、折线、多边形等多种基础图形元素, 图形的显示尺寸可以无限缩放, 且图形质量不受影响, 用户可以根据需求调整图形大小。SVG 有 <defs>和 <g>两种元素组合, <defs>主要表述描述规则, <g>元素用来组合相关图形元素构建设备图元的容器元素。

将这些图形的元素绘制成变电站一次设备基本图元, 再由这些设备基本图元组合成一次拓扑接线图。以断路器图元为例, 其 SVG 代码如下。

```
<g id="CBR">
<rect x="50" y="50" width="15" height="45"
style="fill:green;stroke:black;stroke-width:0.5;fill-opa
city:0.1;
stroke-opacity:0.9"/>
</g>
```

以上 SVG 代码并未包含断路器图元与其他图元的连接关系, 而连接关系在 SCL 文件中表述, 两者都是采用 XML 语言格式, 因此将两者融合, 下面一段代码是融合了表述断路器连接关系 SCL 信息的 SVG 代码。

```
<g id="CBR">
<rect x="50" y="50" width="15" height="45"
style="fill:green;stroke:black;stroke-width:0.5;fill-opa
city:0.1;
stroke-opacity:0.9"/>
<ConductingEquipment name="N1" desc=""
virtual="false" type="CBR">
<Terminal name="T2" desc=""
connectivityNode="S1/V1/Q1/L3"
substationName="S1" voltageLevelName="V1"
bayName="Q1" cNodeName="L3"/>
<Terminal name="T1" desc=""
```

```
connectivityNode="S1/V1/Q1/L4"
substationName="S1" voltageLevelName="V1"
bayName="Q1" cNodeName="L4"/>
</ConductingEquipment>
</g>
```

SVG 支持脚本语言, 应用脚本语言将各一次设备封装成一个个图元, 通过拖动图元组合成间隔、电压等级等一次接线图, 灵活快捷。每个一次设备或终端可关联到相应的测控的逻辑节点, 将量测量或状态量信号即 SCD 中的 DOI(Data Object Instance, DOI)或 DAI(Data Attribute Instance, DAI)对象映射至一次设备的接线图上, 在一次设备和测控间建立一一映射的关系。读取 SSD 文件中的传导设备和连接点信息就能够获取一次设备的接线信息。

## 3 基于 SSD 的五防逻辑关系配置

测控装置中最重要的逻辑关系之一是五防闭锁规则, 目前五防逻辑单独配置, 各厂家均采用私有的配置方式, 存在着明显的差异。

SSD 将 SCD 按间隔分布, 以图形化的方式展示出来, 描述了变电站内设备的全景信息。根据 SSD 和 SCD 可重建全站模型, 包括主接线、一次设备、二次设备以及关联关系等信息。因此, 采用 SSD 模型构建五防闭锁逻辑关系和一次接线关系, 能够统一测控装置防误规则配置方式, 易于运维人员掌握。

电网中一段连通的电路被称为一个电气岛, 基于用途可将电气岛分为电源岛、接地岛、负荷岛等不同部分<sup>[14]</sup>。图 2 为某 220 kV 线路间隔的电气岛示意图。电气岛中设备的节点状态反映了此段线路的实时拓扑关系, 而设备节点的状态能够从关联的二次设备状态量中获取。

下面以图 2 中 220 kV 线路间隔为例对间隔范围内的电气岛进行五防闭锁规则设计, 并将五防逻辑规则在模型文件中配置。其中, 断路器 2201 不存在合分元规则, 隔离开关和接地刀闸须配置防误规则。隔离开关 22013 合分规则如下所述。

(1) 合规则: 接地刀闸 22014 或 22015 与接地岛相连(rule1), 断路器 2201 与电源岛相连(rule2), 不允许合; 隔离开关一端与电源岛相连(rule3), 一端与负荷岛相连(rule4), 不允许合。

(2) 分规则: 断路器 2201 与电源岛相连(rule5)、有流(rule6), 22013 不允许分。

接地刀闸 22015 的合规则为: 断路器 2201、隔离开关 22013 均处于合位(rule7、rule8), 隔离开关 22011 或 22012 处于合位(rule9、rule10), 且有流(rule11), 不允许合; 接地刀闸不存在分规则。

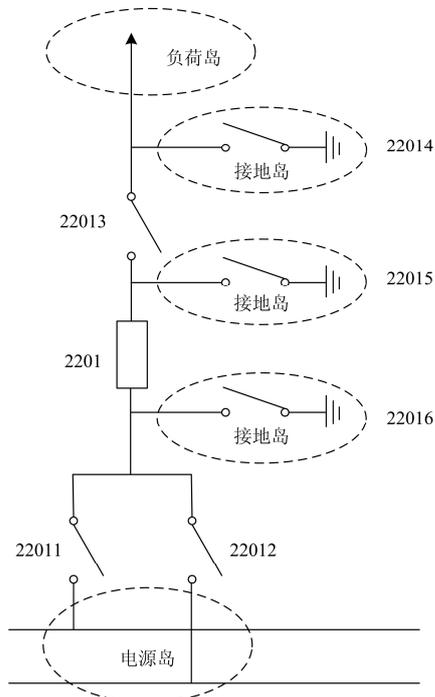


图 2 线路间隔电气岛

Fig. 2 Electrical island of line bay

测控装置采用逆波兰表达式表征其所操作对象的防误闭锁逻辑规则。逆波兰表达式是一种将运算符后置的算术表达式，表达式之间运算符不必有优

先级关系，也不用括号改变运算次序，对于运算器而言，只需入栈和出栈两种操作就可以完成任何普通表达式的运算，非常契合测控这种内存和运算速度有限的嵌入式装置。规则表达式运算符一般有逻辑与、或、非三种，其中以“|”表示逻辑或，“&”表示逻辑与，“!”表示逻辑非。

因此，隔离开关 22013 合规则逆波兰表达式为  $rule1\ rule2\ \&! \ rule3\ rule4\ \&!|$ ，分规则的逆波兰表达式为  $rule5\ rule6\ \&!;$ ；接地刀闸 22015 合规则的逆波兰表达式为  $rule7\ rule8\ \&\& \ rule9\ rule10\ | \ rule11\ \&!.$

测控装置根据过程层 PIGO 逻辑节点采集到的断路器/刀闸位置状态信号量进行逻辑判断。规则表达式即在这些遥信量的基础上建立，如何使模型包含这些规则表达式则是关键。

IEC 61850 第一版并不支持对联闭锁规则的配置。第二版新增了一系列通用逻辑节点类，为所有专用逻辑节点类提供可选或强制的数据对象，其中数据对象 InRef 用于描述通用输入对象引用，数据对象 BlkRef 是一种屏蔽引用，用于展示接收到的动态闭锁信号，两者均为设置信息、对象引用设置组类<sup>[15]</sup>。因此，在联锁功能逻辑节点 CILO 下扩展数据对象 InRef，控制逻辑节点 CSWI 则继承 BlkRef。

如图 3 所示，实例化后的节点 CILO1 配置了隔离开关 22013 的联锁功能规则，DOI EnaOpn 的 DAI

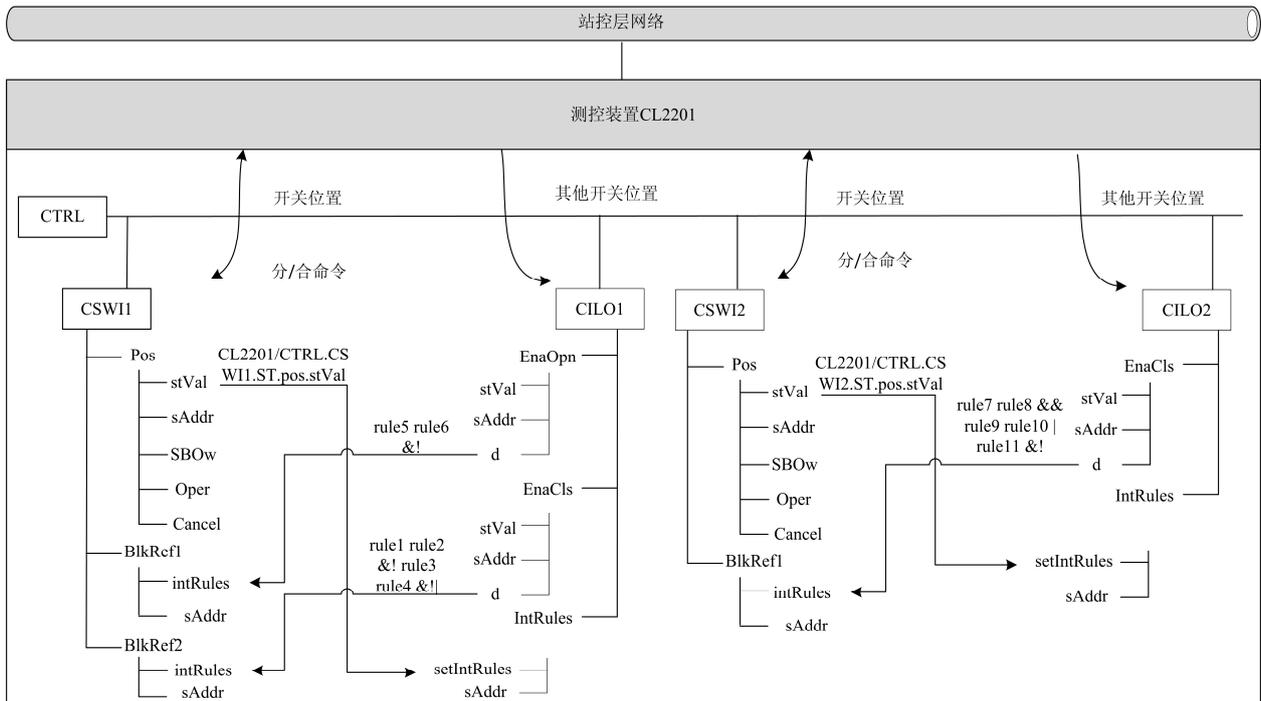


图 3 测控联闭锁功能信息交互

Fig. 3 Information exchange of interlock function on measurement and control device

描述 d 存储分闸规则逆波兰表达式 rule5 rule6 &!, 与控制逻辑节点 CSW11 的 DOI BlkRef1 关联; EnaCls DAI 描述 d 存储合闸规则逆波兰表达式 rule1 rule2 &! rule3 rule4 &!, 与 DOI BlkRef2 关联。sAddr 为短地址, 将模型与装置内部程序关联起来, 使装置能够识别模型信息。

EnaOpn 和 EnaCls 从装置内部控制节点 CSW11 数据对象 Pos 处获取开关的实时状态, 再从站控层网络接收其他开关/刀闸的位置信号, 以决定是否对控制功能进行解/闭锁操作。

同理, 实例化节点 CILO2 存储接地刀闸 22015 的分合规则逆波兰表达式, 并与控制节点 CSW12 进行信息交互。其他隔离开关与接地刀闸的防误闭锁规则配置与上面类似。至此, 在测控装置模型中完成对 220 kV 线路间隔开关防误闭锁逻辑规则的配置。

## 4 模型驱动测控方法

经过 SSD 的融入和防误闭锁逻辑规则的配置, 模型文件几乎包含了所有的配置信息, 测控装置不再需要额外的配置, 只是变电站的集成配置流程有少许变化。

### 4.1 配置流程

首先由设备集成商进行全站 SCD 模型文件的集成配置, 再绘制变电站一次接线 SSD 拓扑连接图, 并建立 SSD 与对应测控装置虚端子间的映射关

系。在 SSD 的基础上, 配置全站五防闭锁规则, 然后导出各测控装置的 CID 配置文件。最后将 CID 文件下装至测控装置。

### 4.2 模型驱动方法

基于模型驱动的测控装置软件平台由应用层和平台软件层构成<sup>[16]</sup>, 如图 4 所示, 其中应用层业务功能模块化设计, 每一个模块只实现一个变电站自动化功能, 如测量、控制、计量、告警等。

平台软件层为设备提供底层驱动服务、公共服务和系统管理的功能<sup>[17-20]</sup>。其中, 在公共服务中新增模型解析功能, 装置每次重启后, 测控装置首先完成对模型文件的解析。根据信息类别, 模型文件被解析为五组配置提供给各功能模块, 包括通信连接关系、网络通信参数、功能配置参数、五防闭锁逻辑规则库, 以及 SVG 格式的一次接线拓扑信息。这些文件被分别传递至各功能模块, 实现以下几方面功能。

(1) 基础平台通信。测控装置驱动层获取网络通信参数, 包括装置 IP、MAC、掩码等, 驱动装置 TCP/IP、FTP、Serial、Message 等基本通信服务。

(2) 消息传输。通信连接关系包括 GOOSE 和 SV 采样值虚端子连接关系、GOOSE 和 SV 采样值控制块连接关系, 以及控制块 MAC 地址、VLAN 划分、采样值采样率、GOOSE 控制块发送时间间隔配置信息、数据集等信息。装置根据虚端子信号找到相应的短地址, 驱动 GOOSE 与 SV 报文的发布和订阅。

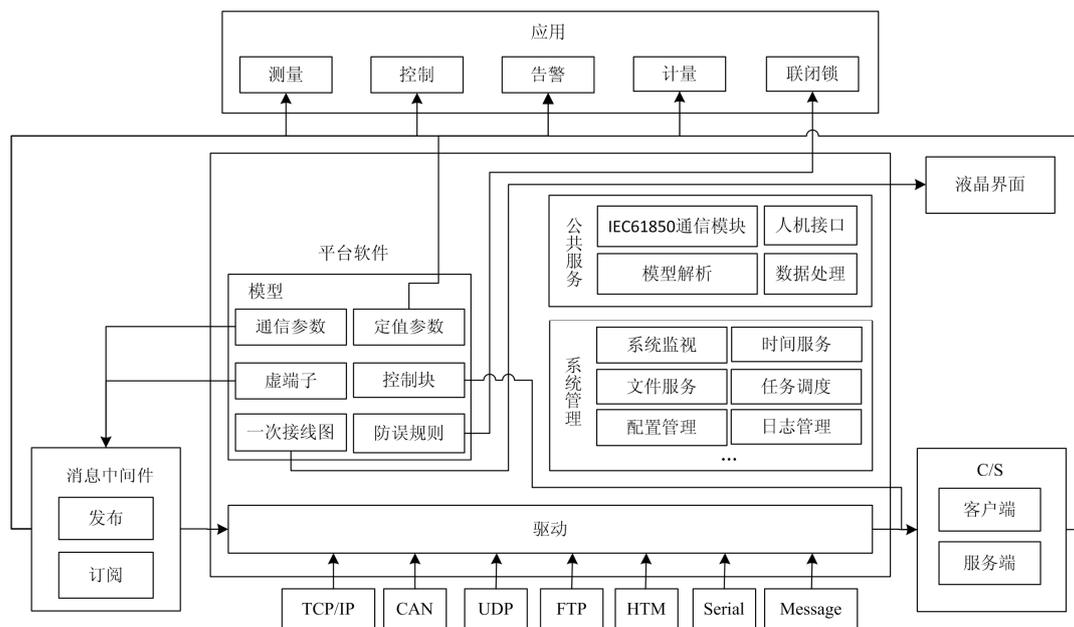


图 4 测控装置软件平台

Fig. 4 Software platform of measurement and control device

(3) 功能判定。测量模块、控制模块和计量模块从模型获取定值参数、越上下限参数等信息。

(4) 一次接线图的液晶显示。液晶界面人机交互程序解析 SVG 格式的图形并展示。SVG 图形根据液晶面板的大小自适应,且图形与监控后台的主接线图保持一致。

(5) 五防闭锁。模型中五防闭锁逻辑规则存储在联锁逻辑节点 CILO 中,监控主机和测控装置的五防闭锁逻辑规则库均可从模型中获取。远方操作时,远方先生成一张操作票,然后按照操作票一步步执行。远方向全站测控装置发送操作闭锁命令,并对遥控对象所在的间隔进行遥控闭锁逻辑规则运算,通过后向遥控对象所对应的测控装置发送遥控解锁命令,测控随后校验联锁条件<sup>[21-22]</sup>。测控从过程层获取开关实时信号,参与装置内部的逻辑规则运算,得到数据对象分操作 EnaOpn 和合操作 EnaCls 的值,最终决定控制逻辑节点 CSWI 是否能够出口使能。完成相应操作后,远方再一次向全站测控发送闭锁信号,继续按照操作票进行下一步操作。

## 5 结论

通过在 SCD 中统一扩展 SVG 格式的一次接线拓扑信息和五防闭锁逻辑规则,只需要 CID 模型文件即可完成对测控装置的全部配置,既避免了配置文件被篡改的风险,又减轻了装置的调试工作量,便于后期的运行维护,同时对实现装置互换具有积极的意义。

模型驱动测控的方法虽然能够解决现在装置配置复杂、配置文件容易被篡改的问题,但仍存在一些不足。首先,模型解析将消耗装置的大部分硬件资源,由测控装置直接解析 CID 模型需要较长的时间。某些装置硬件资源可能无法满足,因此需要升级装置的硬件平台。其次,模型文件作为唯一的配置文件,增加了一次接线拓扑及五防闭锁逻辑规则等信息后,模型的复杂度将进一步提升,凸显了模型集成配置工作的重要性,同时对后期模型管控工作提出了更高的管理要求。

## 参考文献

[1] BALCER M J. Executable UML: a foundation for model-driven architecture[J]. Addison Wesley Pub Co Inc, 2002, 16(6): 294.

[2] KAI H U, FLOR T, VOGLER G. Model driven architecture development approach for pervasive computing[C] // Companion of the ACM Sigplan Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications, ACM, 2003: 314-315.

[3] KLEPPE A, WARMER J, BAST W. 解析 MDA[M]. 鲍志云,译.北京:人民邮电出版社,2004.

[4] 刘静,何积丰,缪准扣.模型驱动架构中模型构造与集成策略[J].软件学报,2006,17(6):1411-1422.

LIU Jing, HE Jifeng, MIAO Huaikou. A strategy for model construction and integration in MDA[J]. Journal of Software, 2006, 21(6): 1411-1422.

[5] 贾利民,张遂征,袁宝军.信息互操作系统理论与实现方法[M].北京:电子工业出版社,2013.

[6] 张结. IEC 61850 目标内涵分析[J]. 电网技术, 2004, 28(23): 76-80.

ZHANG Jie. Analysis on intension of objectives in IEC 61850[J]. Power System Technology, 2004, 28(23): 76-80.

[7] 蒋宏图,袁越,程伟.智能变电站站控层在线防误的设计与实现[J].电力自动化设备,2013,33(8):147-151.

JIANG Hongtu, YUAN Yue, CHENG Wei. Design and implementation of online misoperation prevention for station control layer of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 147-151.

[8] 唐昆明,龙泓吉,张太勤.一种基于 SVG 的 SSD 文件生成新方法研究[J].电力系统保护与控制,2015,43(21):120-125.

TANG Kunming, LONG Hongji, ZHANG Taiqin. Research of a new method of generating SSD file based on SVG[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(21): 120-125.

[9] IEC 61850-7-4 communication networks and systems for power utility automation-part 7-4: basic communication structure-compatible logical node classes and data object classes[S]. Ed 2.0. 2010.

[10] IEC 61850 工程继电保护应用模型: Q/GDW 1396—2012[S]. 2012.

[11] 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.

[12] 高志远,黄海峰,徐昊亮,等. IEC 61850 应用剖析及其发展探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(1): 162-169.

GAO Zhiyuan, HUANG Haifeng, XU Haoliang, et al. Discussion on applications of IEC 61850 and its development[J]. Power System Protection and Control,

- 2018, 46(1): 162-169.
- [13] 胡红兵, 郑洁, 赵栋, 等. 基于可扩展置标语言的变电站可视化防误规则[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(24): 54-57.  
HU Hongbing, ZHENG Jie, ZHAO Dong, et al. Anti-misoperation rules of substation visualization based on extensible markup language[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(24): 54-57.
- [14] 笃峻, 祁忠. 基于 IEC 61850 标准的变电站防误闭锁系统的实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(24): 118-122.  
DU Jun, QI Zhong. Application of substation anti-misoperation locking system based on IEC 61850[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(24): 118-122.
- [15] 樊陈, 倪益民, 窦仁晖, 等. 智能变电站五防闭锁功能模型标准化设计及实现[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(4): 80-84.  
FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Standard design and implementation of anti-misoperation blocking model in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(4): 80-84.
- [16] 张磊, 郑力会. 一种基于模型驱动的系统架构设计方法[J]. 电光与控制, 2014, 21(3): 92-96.  
ZHANG Lei, ZHENG Lihui. A model-driven method for system architecture design[J]. Electronics Optics & Control, 2014, 21(3): 92-96.
- [17] 余高旺. 新一代智能变电站中多功能测控装置的研制与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 127-132.  
YU Gaowang. Research and application of multifunction measurement & control device of new generation smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(6): 127-132.
- [18] 黄雄, 刘晓铭, 郝永奇, 等. 智能变电站新型通用保护测控平台研制[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(7): 66-69.  
HUANG Xiong, LIU Xiaoming, HAO Yongqi, et al. Development of a new and universal protection and measurement-control platform for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(7): 66-69.
- [19] 饶冬, 孙甲琦, 贾林巧, 等. 基于 Linux 的航天地面站测控软件架构设计[J]. 遥测遥控, 2015, 36(4): 31-36.  
RAO Dong, SUN Jiaqi, JIA Linqiao, et al. Design of space station TT&C Software architecture based on Linux[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2015, 36(4): 31-36.
- [20] 熊剑, 刘陈鑫, 邓烽. 智能变电站集中式保护测控装置[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(12): 100-103.  
XIONG Jian, LIU Chenxin, DENG Feng. Centralized protection and monitoring device of smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(12): 100-103.
- [21] 李鹏, 卫星, 郭利军, 等. 智能变电站继电保护运维防误技术研究及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(19): 123-129.  
LI Peng, WEI Xing, GUO Lijun, et al. Study and application of relay protection maintenance anti-misoperation technology in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(19): 123-129.
- [22] 车兵, 许家焰, 徐晓春, 等. 智能变电站二次检修安措防误技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(2): 150-156.  
CHE Bing, XU Jiayan, XU Xiaochun, et al. Research of secondary maintenance safety measures error proofing technology in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(2): 150-156.

收稿日期: 2018-02-08; 修回日期: 2018-05-14

作者简介:

任 辉(1987—), 男, 通信作者, 硕士, 工程师, 研究方向为变电站自动化及一次设备智能化; E-mail: renhui@epri.sgcc.com.cn

窦仁晖(1972—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为变电站自动化; E-mail: dourenhui@epri.sgcc.com.cn

郑永康(1977—), 男, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向为继电保护、优化算法、智能变电站二次技术。

(编辑 姜新丽)