

面向智能变电站模型应用的二次设备建模优化

宋福海¹, 翟博龙¹, 黄翔宇¹, 黄见虹¹, 吕航^{2,3}, 李力^{2,3}, 代小翔^{2,3}

(1. 国网福建电力调度控制中心, 福建 福州 350003;

2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102;

3. 智能电网保护和运行控制国家重点实验室, 江苏 南京 211102)

摘要:目前智能变电站二次设备建模主要关注通信层面的互操作性,而信息语义层面的互操作较差,难以支撑实现业务功能的自动配置。随着基于二次设备信息的智能变电站运维等高级应用技术的应用,二次设备模型语义基础的薄弱越来越成为阻碍变电站智能化技术发展的主要问题。针对上述问题提出了二次设备模型优化原则,通过智能电子设备能力描述模型的语义化增强模型的自描述特性,支撑实现基于间隔关联的一、二次设备模型自动关联,为智能变电站各类配置工作的模板化奠定了基础。该方案可实现智能变电站运维等高级应用功能自动配置,可显著提高智能变电站配置的效率及质量。

关键词:智能变电站; IEC 61850; 语义建模; 设备模型关联; 自动配置

中图分类号: TM 73

文献标志码: A

DOI: 10.16081/j.epae.202204058

0 引言

IEC 61850标准是智能变电站建设的基础,该系列标准的主要特点是采用面向设备对象建模技术,通过模型自描述适应应用功能的需要及发展^[1-3]。但从国内最早的数字化变电站开始,IEC 61850标准更多地被视为一种通用的通信协议,以实现不同厂家设备间数据传输的互操为主要目标,并未充分考虑正确获取数据后如何更好地使用这些数据。因此目前的智能变电站工程中实际上并未真正使用模型语义,而主要通过传统通信对点或名称字段模糊匹配的方式实现数据到应用的映射,工程效率和正确性都无法保证,不利于智能电网各类智能应用技术的推广和应用^[4-12],降低了主子站互动的广度和深度。

智能变电站保护运维等高级应用功能主要基于二次设备状态及自检等信息,这些应用功能的输入、输出、参数等配置信息非常多,目前这些配置工作主要由人工逐点完成,配置效率极低,且正确性难以保证。为提高应用配置效率及质量,必须实现配置自动化,目前这方面的研究工作还不多^[13-15],且多采用针对特定应用场景的组态优化方法,而未从建模的源头出发系统性地解决问题。为了将智能变电站二次设备内的大量信息自动配置到各应用功能,必须让所配置的信息具备物理含义,为从源头解决这个问题,就要充分利用智能电子设备能力描述 ICD (Intelligent Electronic Device Capability Description) 文件的自描述特性承载信息语义及关联关系,但目

前二次设备模型普遍存在信号语义缺失、信息关联性差等诸多问题,导致无法依托模型实现信息语义承载。

本文提出二次设备模型优化原则,通过 ICD 模型优化提高模型的语义互操作能力,根据智能变电站一次设备与单间隔、跨间隔二次设备间的关联特点,研究不同二次设备模型关联规则,实现基于间隔关联的一、二次设备模型自动关联,最终建立变电站主接线系统中各间隔一、二次设备以及间隔内二次设备逻辑节点 LN (Logic Node) 间的关联关系,在此基础上建立信息间的关联关系,为智能变电站运维等高级应用优化配置奠定坚实的基础。

1 通信及语义 2 个层面的互操作

首先,对智能变电站通信和语义 2 个层面的互操作现状进行分析。图 1 为欧洲提出的智能电网架构模型,其直观地体现了变电站模型、通信、数据、功能、业务之间的关系,有助于更加透彻地理解什么是通信的互操作、什么是语义的互操作。变电站设备间流动的数据及其所承载的语义构成了变电站的信息层。功能层是数据的应用层,根据不同的场景选取不同的数据完成特定的业务功能,这个选取数据的过程即为语义识别和数据选取的过程。

现有的智能电网系统主要关注通信互操作性,包含信息模型一致性、通信服务的一致性、通信服务映射和通信协议栈的一致性 3 个层面,以保证设备之间在通信层正确地发送和接收数据。但目前设备间语义互操作性普遍较弱,即设备间很难在信息层实现语义互通以支撑上层的功能和业务,换言之就是如何让计算机知道设备模型中信息的实际物理含义,并自动建立这些信息之间的关联关系。

收稿日期: 2021-08-06; 修回日期: 2021-10-18

在线出版日期: 2022-04-20

基金项目: 国网福建省电力有限公司科技项目 (52130019001L)

Project supported by the Science and Technology Project of State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd. (52130019001L)

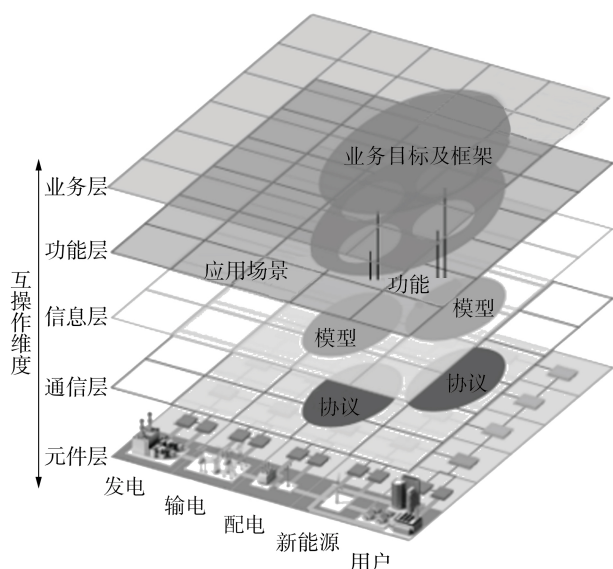


图1 智能电网架构模型

Fig.1 Architecture model of smart grid

IEC 61850标准提出信息模型一致性本意是实现一定意义上的信息承载标准化,但模型中强制性元素占比低,完全不承载语义的通用输入输出LN(GGIO LN)的应用等,导致实际应用效果不尽人意。

为了弥补设备间语义互操作的不足,目前主要通过系统集成商的人工操作完成应用功能配置工作,这已经成为智能电网系统应用推广的主要瓶颈。目前,各国智能电网领域的专家对语义互操作短板已达成共识,CIGRE和IEC等国际组织开始积极推进提升设备间的语义互操作性,并认为需要在标准化、配置工具、信息综合分析等方面做大量工作,以满足智能电网日益增长的数据高效处理及挖掘需求。然而与通信互操作相比,语义互操作实现难度很大,任重而道远。

2 智能变电站二次设备建模现状分析

下面对智能变电站二次设备建模存在的主要问题归纳和分析。目前智能变电站二次设备模型基础薄弱,主要体现在以下方面。

1)GGIO LN的大量应用导致信号语义缺失。

IEC 61850标准中定义了上百个有特定物理含义的LN用于承载设备信息,并支持扩展自定义LN,这为实现模型自描述特性奠定了基础。但仅从满足信息传输的需求来看,目前国内IEC 61850工程应用规范中除了保护控制功能类LN外,二次设备的自检、开入、软硬压板及虚端子等大量使用GGIO LN,导致完全无法从模型的角度理解信号的物理含义。

目前国网和南网虽然对信息的中文描述进行了规范,但并不是真正语义上的规范,应用只能通过中文名称进行语义的自动匹配,并非系统性的解决方案,也难以满足图、模、数的各种关联要求。

2)模型中相关信号逻辑关联性差。

二次设备ICD模型中相关信号散落在多个LN中,不利于高级应用程序获取所需关联信息,例如:对于标准的保护功能LN,如差动保护LN(PDIF LN)、过流保护LN(PTOC LN)等,并没有包含与保护元件功能相关的所有信息,保护功能投退软、硬压板等信息通常采用GGIO LN合并承载。

另外,二次设备ICD模型中站控层与过程层相关信号没有关联,导致无法通过站控层开入遥信信号自动关联到对应的过程层通用面向对象变电站事件GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)开入信号,造成智能变电站二次回路诊断等应用软件配置工作量增加。例如:线路保护启动失灵输出虚端子连接到母线保护的失灵启动输入虚端子,线路保护发出跳闸命令后,希望通过母线保护站控层的启动失灵开入变位事件顺序记录SOE(Sequence Of Event)验证过程层二次回路虚端子连接的正确性,但由于母线保护模型中过程层失灵启动输入虚端子与对应的站控层启动失灵开入遥信信号间并无关联关系,导致该关联关系必须由人工配置,工作量大。

3)二次设备模型关联困难。

IEC 61850标准定义了全站系统描述SSD(System Specification Description)文件,可通过SSD文件承载一次系统结构以及一、二次设备模型关联关系^[16-17]。但目前智能变电站工程普遍未通过SSD文件承载一、二次设备模型关联关系,高级应用功能仍是通过手动进行一、二次设备信息的关联。而由于在二次设备的信息模型中有大量关于一次设备的状态信息和控制信息,要通过SSD文件承载所有一、二次设备模型关联关系,同样存在大量关联关系配置工作量,一个中等规模的220 kV智能变电站需关联数千个LN,客观上给SSD文件的应用带来了很大障碍。

3 智能变电站配置现状分析

下面以变电站智能运维应用中二次设备的模拟量及开关量一次同源比对分析和一、二次设备对应状态监视等功能的信息配置为例,说明智能变电站应用功能配置现状。

双重化保护电流采样值同源比对功能配置如图2所示。由图可见,为了实现一次各间隔双重化保护电流采样值的同源比对功能,由于各间隔保护相关信号的引用名没有任何规律,需要逐个间隔配置与其关联的2套保护A、B、C相采样电流,以15个间隔为例,则需配置90个输入信号,如果需要完成各间隔双重化保护、测控、母线保护对应通道的比对功能,配置工作量还将增加数倍。

一、二次设备状态对应监测功能配置见图3。

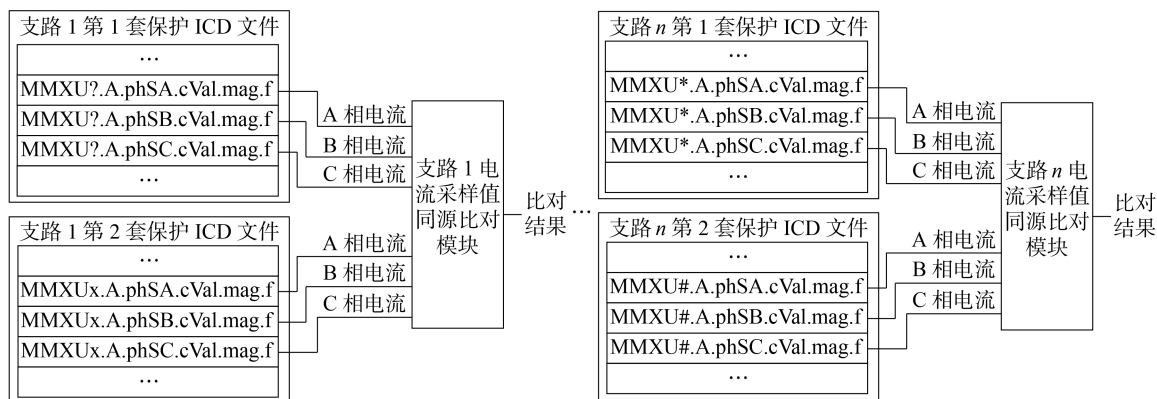


图2 双重化保护电流采样值同源比对功能配置

Fig.2 Configuration of homologous compare function of dual protection current sampling value

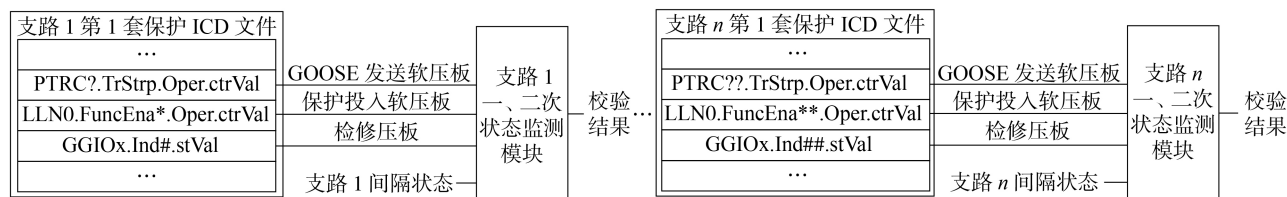


图3 一、二次设备状态对应监测功能配置

Fig.3 Configuration of detection function of corresponding status of primary and secondary equipments

由图可见:为实现一次设备运行状态与保护装置运行状态对应关系的监测功能,同样需要逐个间隔配置保护 GOOSE 发送软压板、保护功能投入压板、检修压板,以 15 个间隔为例,双套保护需配置 90 个点,且此处还未计及一次设备运行状态组态的配置工作量;为实现一次设备运行状态与保护装置运行状态对应关系的监测功能,同样需要逐个间隔配置保护 GOOSE 发送软压板、保护功能投入压板、检修压板,以 15 个间隔为例,双套保护需配置 90 个点,且此处还未计及一次设备运行状态组态的配置工作量。

综上所述,由于缺乏一、二次设备关联关系,基于一、二次设备状态以及间隔内二次设备间状态信息的高级应用的数据利用效率很差,所有的配置过程都直接面对实例化的具体装置模型,单一间隔的配置工作成果完全无法复用,需要各间隔各应用功能逐一配置信号,配置效率极低,且配置正确性难以保证,一旦某个设备的模型发生变化,相关的配置工作需要重新完成。

IEC 61850 标准定义的变电站一次配置 SSD 文件中能够承载一次设备模型和与之关联的二次设备的相关 LN 的信息,但需要在 SSD 文件中逐一建立一、二次设备模型关联关系,二次设备的相关 LN 数量也较为庞大,因此关联配置工作量同样也很大,这客观上给 SSD 文件承载一、二次关联关系的应用带来了障碍,目前尚未进行广泛的工程应用。

4 智能变电站二次设备模型优化

针对二次设备模型存在的上述问题,本文提出模型优化原则如下。

1)通过专用 LN / DO / DA 体现信息语义。

对于相关信息可以承载于 IEC 61850 标准专用 LN 的情况,应尽量采用专用 LN,避免采用不明语义的 GGIO 类 LN,以最大限度地实现模型语义的自描述。

对于信号无法找到 IEC 61850 标准原生 LN 或对应数据对象 / 数据属性 (DO / DA) 承载的情况,应根据 IEC61850 标准的要求进行 LN、DO / DA 扩展。

2)建立模型中信号间关联关系。

(1)同一功能相关的信号集成在同一个 LN 模型中。

根据 IEC 61850 标准的 LN 扩展原则,尽量将同一功能相关的信号集成在 1 个 LN 中。对于标准的保护功能 LN,如 PDIF LN、PTOC LN 等,并没有保护功能投退软、硬压板的属性,目前一般的做法也是用 GGIO 承载软硬压板信息,而在标准保护功能 LN 内直接扩展软、硬压板属性,显然更有利于表达信息间的关联性,例如:对于 PDIF LN,已有 enable 的属性承载差动保护控制字,建议增加 Link 属性和 BI_en 属性分别承载差动保护投入软、硬压板,减少高级应用程序功能额外的配置工作。

(2)同一对象不同接入点相关信号采用相同 LN 实例名。

智能变电站二次设备设置有站控层及过程层接

入点,且不同接入点信号存在关联性。例如:母线保护通过过程层接入点发出间隔6跳闸信号的同时,站控层S接入点相关遥信信号变位反映了该间隔跳闸事件。又如:从过程层接入点输入虚端子接入间隔6开关位置开入,站控层接入点对应遥信信号状态反映保护感受到该间隔的开关位置状态。

为建立信号间的关联关系,同一对象不同接入点相关信号应采用相同的LN实例名,即要求LN实例采用相同的LN类型及实例号,对于跨间隔设备需要采用相同间隔名前缀,例如:上述示例中站控层及过程层接入点信号均采用BAY6PTRC1 LN、BAY6XCBR1 LN承载,模型关联示意图如图4所示。图中:站控层S1及过程层接入点G1对应的信号采用相同的信号前缀BAY6和相同的实例号1。信号关联将给高级应用程序的实现带来很大的便利,例如可以方便地实现“保护输出动作报文(站控层)→保护GOOSE跳闸信号输出(过程层)→智能终端接收到GOOSE跳闸信号→智能终端发出开关位置GOOSE变位(过程层)→保护发出开关位置变位报文(站控层)”这样一个完整的业务链监视功能。

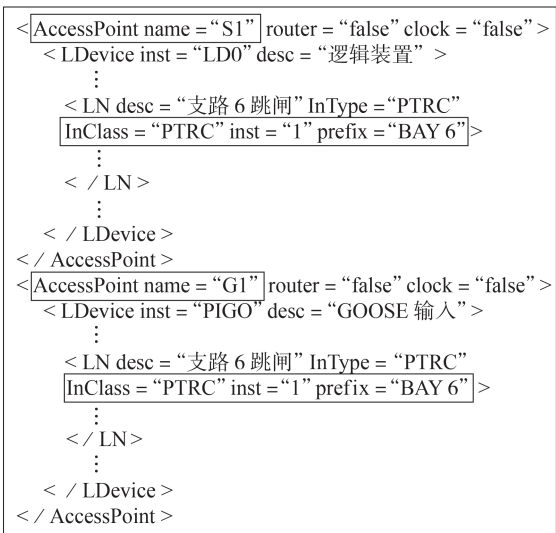


图4 不同接入点同一功能模型关联示意图

Fig.4 Schematic diagram of association of same function model in different access points

3) 支撑实现一、二次设备模型自动关联。

如第3节所述,SSD文件承载一次系统结构及一、二次设备模型关联关系,由人工建立一、二次设备模型关联关系的配置工作量很大。要实现一、二次设备模型自动关联,必须有环节承载关联规则,因为二次设备的功能一旦确定,该设备模型中LN与相关一次设备之间的关联关系也就基本确定了,所以作为设备能力描述的ICD模型文件是承载关联规则的最优选择。而变电站的集成过程是由SCD配置工具将SSD文件导入SCD文件,并建立一、二次设备模

型关联关系,所以应由SCD配置工具基于ICD模型中的关联规则完成自动关联工作。

IEC 61850标准中变电站采用面向对象的建模方法,将设备或功能根据其关联关系或功能关系组织到一系列的间隔中,一次设备对象信息包含在间隔对象内。以图5所示的双母双分主接线各间隔一次设备模型为例,图中母线1间隔(EBUS1)、母线2间隔(EBUS2)、母联间隔(TIE)、分段1间隔(SEG1)、分段2间隔(SEG2)、主变1间隔(PTR1)、线路1间隔(LINE1)为间隔对象,母线(EBUS)、刀闸(DIS₁、DIS₂)、开关(CBR)、电流互感器(CTR)、电压互感器(VTR)、线路(LIN)、变压器(PTR)为各间隔内的一次设备对象。单间隔二次设备(如线路保护)中LN与对应间隔内的一次设备相关,而跨间隔二次设备(如母线保护)中LN与相关各间隔内的一次设备相关,所以在二次设备ICD模型中,应按间隔对该间隔内所关联的各个一次设备的LN进行声明。

1)对于单间隔二次设备,以线路保护为例,对间隔内LIN、CBR等各一次设备关联的线路保护LN进行声明,关联关系的承载方式等同SSD文件中的一、二次设备模型承载关系,即各一次设备关联哪些相关的线路保护LN,如附录A图A1所示,线路间隔中的线路、断路器、电流互感器及电压互感器等一次设备分别关联了相关的保护LN。

2)对于跨间隔二次设备,以双母双分段主接线母线保护为例,主接线中各间隔一次设备模型如图5所示。针对图5所示的主接线系统,母线保护模型中需要对母线、母联/分段、线路、主变等各间隔内一次设备关联的母线保护LN进行声明,关联关系的承载方式等同于SSD文件中的一、二次设备模型承载关系,如附录A图A2所示。图中:母线1间隔中仅母线及电压互感器设备与母线保护相关,这2个设备分别关联母线保护的相关LN;类似地,母联间隔中仅开关及电流互感器设备与母线保护相关,主变及线路间隔则是开关、电流互感器及刀闸设备与母线保护相关,在这些间隔下各一次设备分别关联母线保护的相关LN。

5 基于优化模型的应用配置

5.1 一、二次设备模型自动关联

在变电站集成阶段,在第4节中二次设备模型内一、二次设备模型关联建模的基础上,只需由人工完成SSD和ICD文件中对应一次间隔维度的关联,即可实现间隔内所有一次设备对应LN的自动关联。

1)对于单间隔保护,直接将保护装置模型关联被保护一次间隔,例如:将线路保护模型关联到对应的线路间隔,即可按声明的一、二次模型关联信息将线路保护相关LN直接关联到对应的一次设备。由

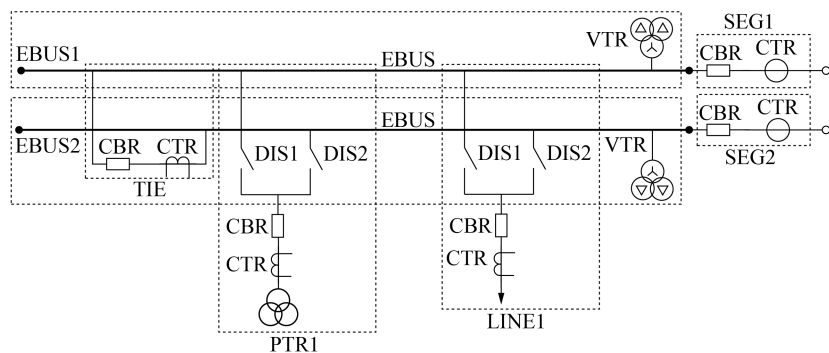


图5 双母双分主接线中各一次设备模型示意图

Fig.5 Schematic diagram of primary equipment model for double busbar with two bus sections

此,线路保护装置采集的模拟量、开关量等信号都能够自动对应到相关的电流互感器、断路器等一次设备。

2)对于跨间隔保护,将上述保护模型中声明的一、二次模型关联信息对应的各间隔分别关联到实际系统的一次间隔,如:将母线保护中声明的母线、母联/分段、线路、主变等各间隔关联到工程中实际对应的一次间隔,即可按声明的一、二次模型关联信息,将母线保护模型内各间隔相关LN关联到对应间隔内相关一次设备。由此,母线保护装置采集的各个间隔模拟量、开关量等信号都能够自动对应到相关间隔的电流互感器、断路器等一次设备。则在变电站集成阶段,设备模型关联工作由人工将全站二次设备中的LN逐个关联到各间隔相关一次设备,改进为只需对SSD文件和二次设备ICD文件中对应的一次间隔进行关联,就能够实现所有一、二次设备模型的自动关联,该方案将SCD模型关联工作量降低了至少1个数量级,显著提高了工作效率和质量。

针对图4所示的主接线系统,线路间隔的一、二次设备模型关联关系如附录A图A3所示。图中:线路间隔中线路、断路器、电流互感器及电压互感器等一次设备已分别关联线路及母线保护的相关LN实例,建立了二次设备间信息的关联关系。例如:LIN一次设备中自动关联了线路保护的测量(MMXU1)及母线保护的间隔6测量(BAY6MMXU1),即可作为同源比对功能的配置基础,因为同一间隔的采样测量值应该是同源的。又如:在CBR一次设备中,可以自动建立线路保护跳闸PTRC1和母线保护启动失灵BAY6RBRF1的关联关系,可作为二次回路诊断功能的配置基础。

所以,一次设备与相关各二次设备LN完成关联后,间接建立了同一间隔各二次设备LN间的关联关系,这些关联关系将作为实现各类应用配置模板间隔级复用的基础。

5.2 高级应用配置优化

如第3节所述,目前的智能变电站运维应用各

功能模块需对面向全站进行人工逐点配置,配置效率低、质量差。通过上述工作,实现了全站二次设备模型的语义化及一、二次设备模型自动关联,在此基础上将通过基于标准信号建模的应用功能配置模板复用机制实现高效配置。

仍以支路电流采样值同源比对功能模块配置为例,这个功能模块的输入是一个间隔内2套保护A、B、C相采样电流幅值。

1)建立信号助记符并关联模型引用路径。

基于专用LN/DO/DA的信息模型承载,为二次设备各类信号建立助记符并关联模型引用路径,如A相电流幅值助记符为IA,对应LN类型为MMXU,其DA为A.phSA.cVal.mag.f,注意这里的LN非LN实例,而是LN类型。

2)构建应用功能模块间隔配置模板。

应用信号助记符构建应用功能模块间隔配置模板,并声明信号的设备来源,例如第1套线路保护(LP1)或第2套母线保护(BP2)等,以便后续在SCD文件中匹配相关设备的信号。各间隔重用同源比对功能模板实现自动配置的示意图如附录A图A4所示。图中:同源比对配置模板的输入分别为LP1-IA/IB/IC和LP2-IA/IB/IC,对应双重化线路保护A、B、C相采样电流幅值。

3)配置模板实例化完成自动配置。

需要基于间隔配置模板完成实际工程各间隔的配置实例,从工程SSD文件中匹配各间隔信号实例,参照图A3,MMXU关联于间隔内LIN一次设备,完成一、二次设备关联后,在LIN上已关联了各套线路及母线保护等MMXU实例,根据智能电子设备通用命名原则,配置工具可以从数个MMXU实例中挑选出指定设备的LN,在LN实例的基础上拼接信号助记符对应的DA,即可获取完整的信号实例引用路径。例如:支路1对应第1套线路保护LN实例PL2201A/MMXU1及第2套线路保护LN实例PL2201B/MMXU1,因为IA信号助记符对应的DA为A.phSA.cVal.mag.f,配置工具在LN实例的基础上

拼接信号助记符对应的 DA,即可以得到 PL2201A / MMXU1.A.phSA.cVal.mag.f 及 PL2201B / MMXU1.A.phSC.cVal.mag.f 等信号实例引用路径,从而实现各间隔功能模板的自动实例化配置。

重复上述步骤,根据各间隔对应的二次设备 LN 实例将各功能模块通用配置模板按间隔逐一实例化,即完成各间隔功能模块的自动配置工作。

以第 3 节中列举的同源比对及一、二次设备对应状态监视 2 个应用功能为例进行配置工作量比较,系统规模为 15 个间隔,比较结果如表 1 所示。由表可见,原先各功能模块需要按各间隔逐个信号地进行配置,而在一、二次设备模型信息关联的基础上,实现了各间隔的应用功能模块配置模板复用,只需配置间隔模板中的信号,将信号配置工作量降低了 1 个数量级。

表 1 配置工作量比对

Table 1 Comparison of configuration workload

应用功能	配置工作量	
	改进前方案	改进后方案
同源比对	6×15	6
一、二次设备状态监视	6×15	6

当然,为实现应用功能间隔模板复用,需要在优化模型的基础上进行一、二次设备间隔级关联,以 15 个间隔系统规模为例,将一次间隔关联到双重化配置的线路、主变及母线保护,需要完成 60 个间隔关联操作。全站一、二次设备间隔关联操作只需完成 1 次,关联结果应用于一、二次设备模型关联,作为全站应用功能配置的基础,此项配置工作量在全站配置工作中的占比很小。

综上所述,采用基于配置模板复用的高级应用配置优化方案,将原先需要按各间隔逐个信号配置各功能模块的方式,改进为只需配置间隔模板,并在一、二次设备模型关联的基础上实现配置模板自动复用,不但大幅降低了配置工作量,更重要的是通过配置自动化显著提高了配置质量。

6 结语

本文主要从数据模型语义的互操作和语义的关联性 2 个角度阐述如何提高变电站数据应用的可靠性和效率。

针对目前智能变电站二次设备模型基础薄弱的问题,本文提出了基于语义建模的智能变电站配置优化方法,支撑实现基于间隔关联的一、二次设备模型自动关联,为智能变电站各类配置工作的模板化奠定了基础。基于上述改进工作的保护 ICD 模型,信号承载的 LN 含义清晰,信号间关联关系明确,具有较强的自描述能力。应用二次设备模型语义化及一、二次设备模型自动关联技术,可实现基于模板复

用的智能变电站运维等高级应用自动配置,有利于提高智能变电站配置的效率及质量,推动二次专业各类高级应用功能的推广实施,真正实现智能变电站内二次设备信息的高效处理,提升智能变电站的运行维护水平。

本文提出的二次设备模型优化机制已经应用于国网自主可控新一代变电站二次系统优化工作中,实现了模型中相关信号自动关联及一二次设备模型自动关联,后续将在 LN 构建上继续开展工作,以进一步提高模型的语义自描述能力。

附录见本刊网络版(<http://www.epae.cn>)。

参考文献:

- [1] 杨青,黄树帮,张海东,等. 智能变电站信息模型工程应用标准化校验技术[J]. 电力系统自动化,2016,40(10):132-136.
YANG Qing, HUANG Shubang, ZHANG Haidong, et al. Standardized check technologies of information model for engineering application in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(10): 132-136.
- [2] 任雁铭,操丰梅. IEC 61850 新动向和新应用[J]. 电力系统自动化,2013,37(2):1-6.
REN Yanming, CAO Fengmei. New development and new application of IEC 61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(2): 1-6.
- [3] 薛晨,黎灿兵,黄小庆,等. 智能变电站信息一体化应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):110-114.
XUE Chen, LI Canbing, HUANG Xiaoqing, et al. Application of intelligent substation information integration[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(7): 110-114.
- [4] 笃峻,叶翔,葛立青,等. 智能变电站继电保护在线运维系统关键技术的研究及实现[J]. 电力自动化设备,2016,36(7):163-168,175.
DU Jun, YE Xiang, GE Liqing, et al. Key technologies of online maintenance system for relay protections in smart substation and its implementation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 163-168, 175.
- [5] 刘琨,黄明辉,李一泉,等. 智能变电站故障信息模型与继电保护在线监测方法[J]. 电力自动化设备,2018,38(2):210-216.
LIU Kun, HUANG Minghui, LI Yiquan, et al. Fault information model and online monitoring method for relay protection system in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(2): 210-216.
- [6] 高磊,卜强生,袁宇波,等. 基于二次回路比对的智能变电站调试及安全措施[J]. 电力系统自动化,2015,39(20):130-134.
GAO Lei, BU Qiangsheng, YUAN Yubo, et al. Smart substation commissioning and safety measures based on secondary circuit comparison[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(20): 130-134.
- [7] 王德文,肖磊,肖凯. 智能变电站海量在线监测数据处理方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(8):142-146,156.
WANG Dewen, XIAO Lei, XIAO Kai. Processing of massive online monitoring data in smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 142-146, 156.
- [8] 笃峻,叶翔,王长瑞,等. 智能变电站设计配置一体化功能规范研究及工具开发[J]. 电力系统自动化,2014,38(20):85-89.
DU Jun, YE Xiang, WANG Changrui, et al. Functional specification study on integration of configuration and design in smart substation and corresponding tool development[J]. Auto-

- mation of Electric Power Systems, 2014, 38(20): 85-89.
- [9] 曹海欧, 高翔, 杨毅, 等. 基于全模型SCD二次系统在线监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, 44(14): 136-141.
- [10] 范卫东, 朱浩瑜, 冯晓伟, 等. 基于信号仿真的智能变电站二次安措校核方法[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(10): 218-224.
- FAN Weidong, ZHU Haoyu, FENG Xiaowei, et al. Verification method of secondary safety measures of intelligent substation based on signal simulation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(10): 218-224.
- [11] 张晓彤, 陈青, 孙梦璇, 等. 针对智能变电站二次回路故障的高压断路器故障追踪[J]. 电力自动化设备, 2020, 40(10): 212-217, 224.
- ZHANG Xiaotong, CHEN Qing, SUN Mengxuan, et al. Fault tracking of high-voltage circuit breakers in case of secondary circuit faults in intelligent substations[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(10): 212-217, 224.
- [12] 王永明. 智能电网调度控制系统的二次设备防误技术[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(14): 94-100.
- WANG Yongming. Anti-misoperation technology of secondary devices for dispatching and control system of smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(14): 94-100.
- [13] JIANG Yabin, QI Jiaen, CHEN Yuhong, et al. Research and implementation of automatic configuration method for monitoring information table of smart substation equipment[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 645(1): 012065.
- [14] DU Zhen'an, WEN Bo, WANG Qi, et al. Research on advanced application configuration design technology of smart substation[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 651(2): 022064.
- [15] 陈桥平, 纪陵, 李一泉, 等. 智能变电站二次设备自动关联技术研究与应用[J]. 广东电力, 2015(12): 74-79.
- CHEN Qiaoping, JI Ling, LI Yiquan, et al. Research and application of automatic association technology for intelligent substation secondary equipments[J]. Guangdong Electric Power, 2015(12): 74-79.
- [16] 陈锦山, 唐志军, 翟博龙, 等. 基于间隔的智能变电站SSD建模规范研究与应用[J]. 智能电网, 2017, 5(9): 876-882.
- CHEN Jinshan, TANG Zhijun, ZHAI Bolong, et al. Research and application of bay-based SSD modeling specification for smart substation[J]. Smart Grid, 2017, 5(9): 876-882.
- [17] 张海东, 黄树帮, 杨青, 等. 面向扩建场景的变电站配置描述模型间隔解耦技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(10): 129-134, 160.
- ZHANG Haidong, HUANG Shubang, YANG Qing, et al. Discussion on technology of substation configuration description model bay decoupling for expansion project of smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(10): 129-134, 160.

作者简介:



宋福海

宋福海(1975—),男,高级工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护及自动化(E-mail: song_fuhai@163.com);

翟博龙(1986—),男,高级工程师,硕士,主要研究方向为电力系统继电保护及自动化;

黄翔宇(1987—),男,工程师,主要研究方向为电力系统继电保护及自动化。

(编辑 任思思)

Optimization of secondary equipment modeling for application of model in smart substation

SONG Fuhai¹, ZHAI Bolong¹, HUANG Xiangyu¹, HUANG Jianhong¹, LÜ Hang^{2,3}, LI Li^{2,3}, DAI Xiaoxiang^{2,3}

(1. State Grid Fujian Electric Power Dispatch Control Center, Fuzhou 350003, China;

2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China;

3. State Key Laboratory of Smart Grid Protection and Control, Nanjing 211102, China)

Abstract: At present, the secondary equipment modeling of smart substations mainly focuses on the interoperability at the communication level, while the interoperability at the semantic level of information is relatively poor, and it is difficult to support the automatic configuration of business functions. With the application of advanced application technologies such as smart substation operation and maintenance based on secondary equipment information, the weak semantic foundation of secondary equipment models has increasingly become a major problem hindering the development of substation intelligent technology. Aiming at the above problem, the optimization principle of the secondary equipment model is proposed. Through the semantic enhancement of the ICD (Intelligent electronic device Capability Description) model, the self-describing feature of the model is enhanced to realize the automatic association of the primary and secondary equipment models based on the bay association, which builds up the foundation for the modular configuration of various configuration tasks of the smart substations. The scheme can realize automatic configuration of advanced applications such as smart substation operation and maintenance, significantly improving the efficiency and quality of smart substation configuration.

Key words: smart substation; IEC 61850; semantic modeling; equipment model association; automatic configuration

附录 A

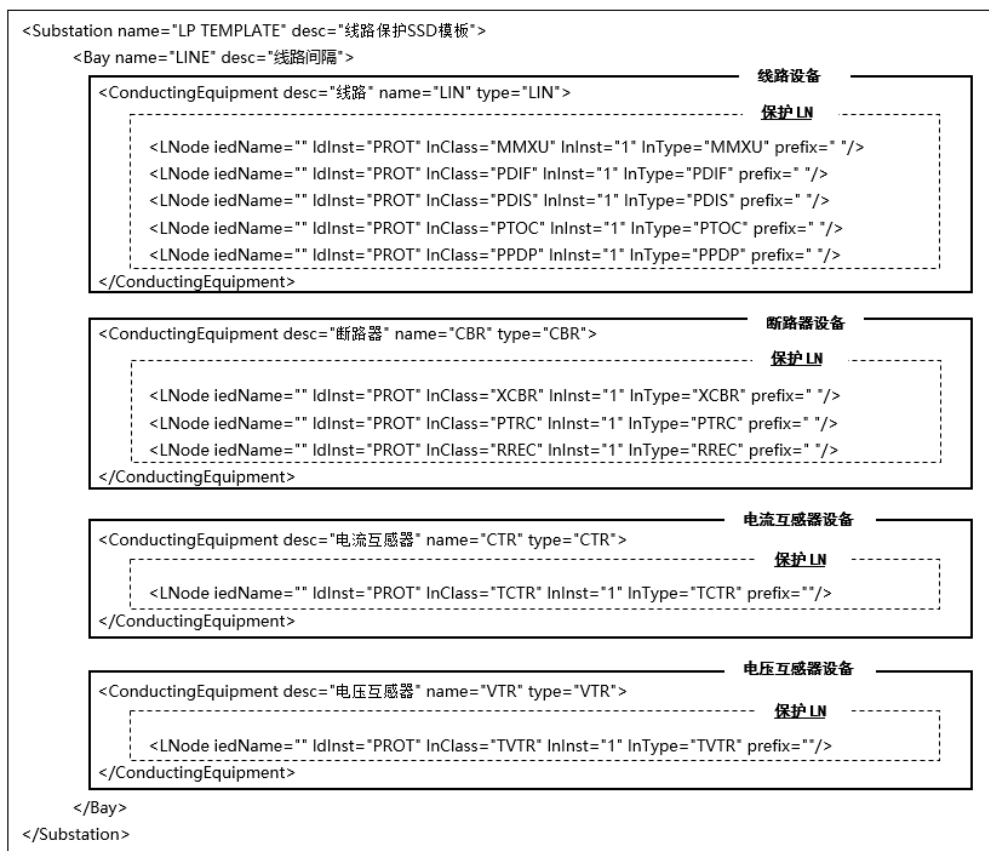


图 A1 线路保护一、二次设备关联关系模型示意图

Fig.A1 Schematic diagram of correlation model of primary and secondary equipments of line protection

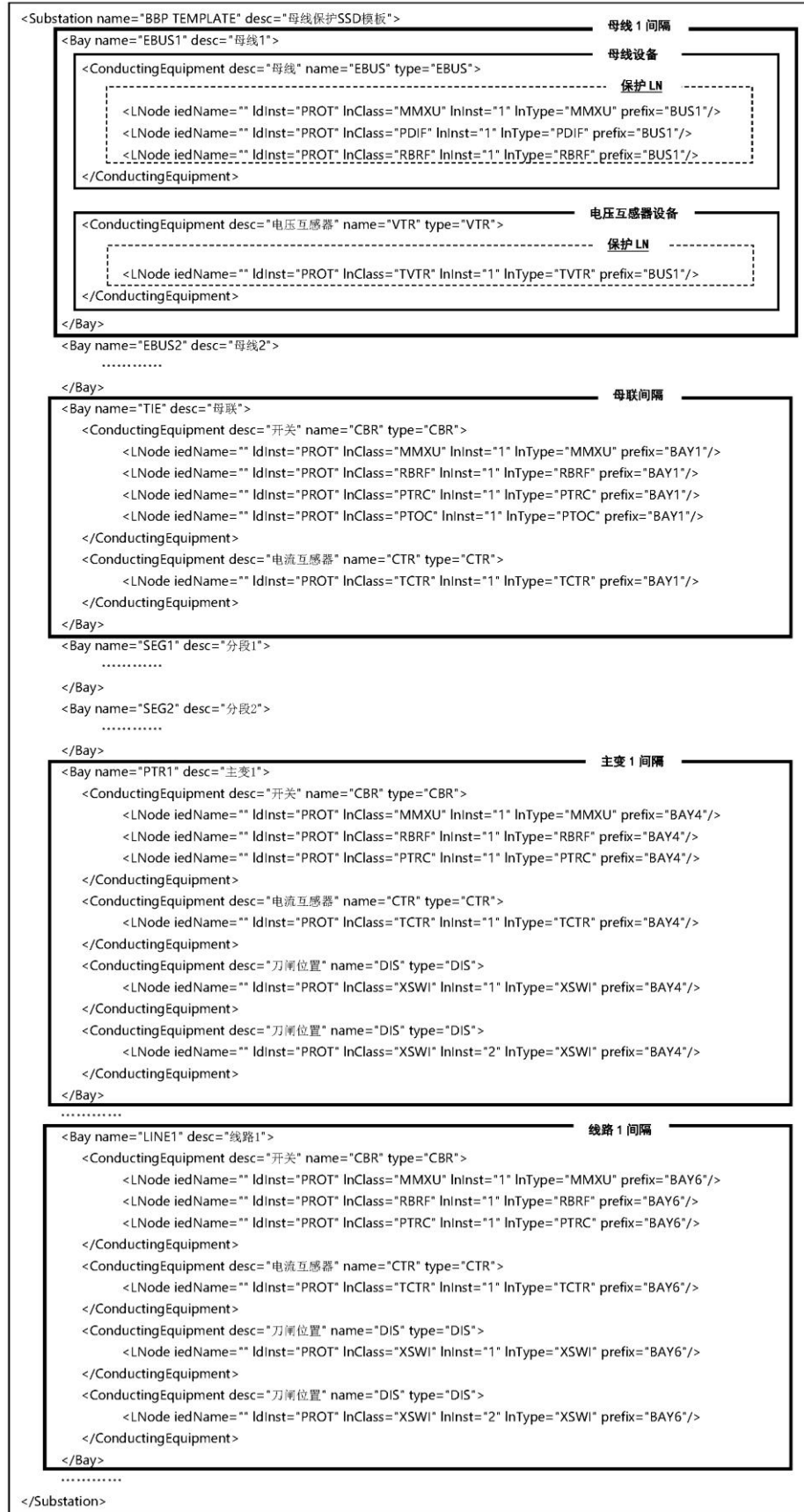


图 A2 母线保护一、二次设备关联关系模型示意图

Fig.A2 Schematic diagram of correlation model of primary and secondary equipments of busbar protection

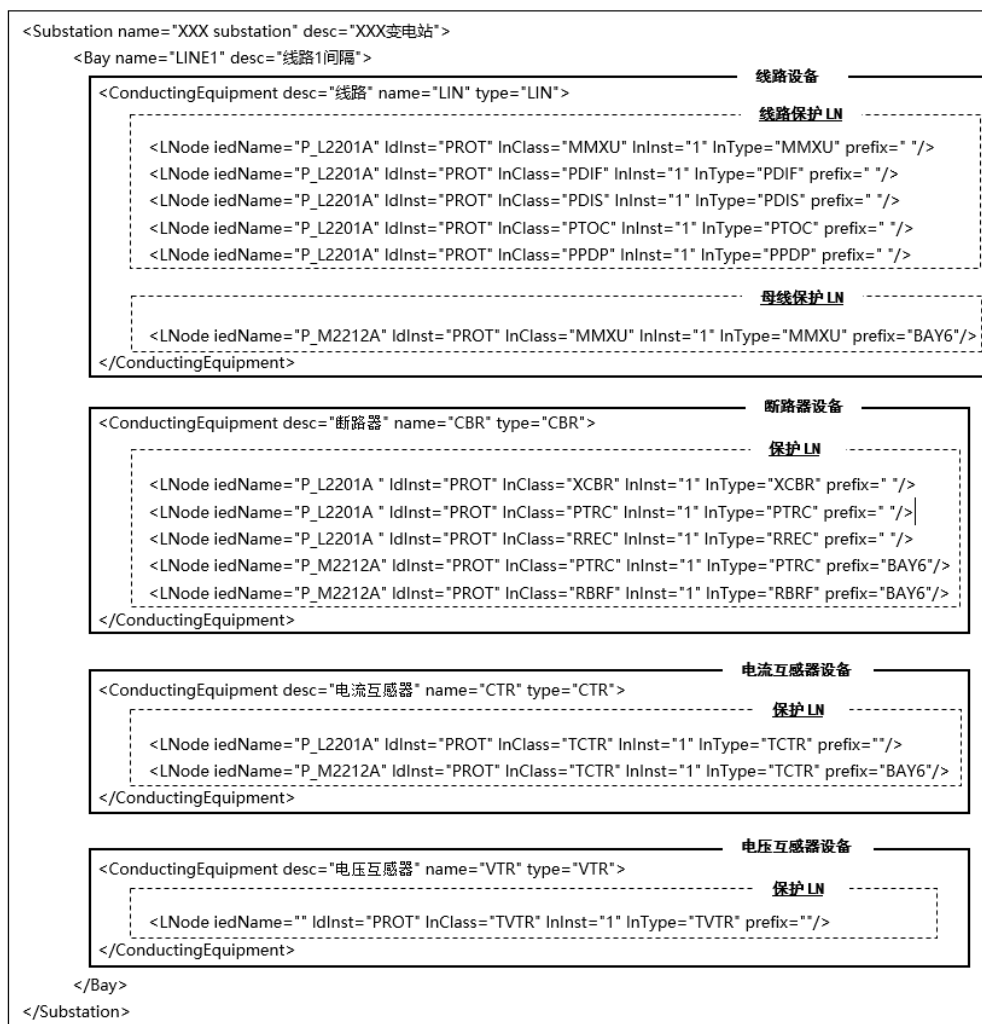


图 A3 线路间隔一、二次设备模型关联示意图

Fig.A3 Schematic diagram of correlation between primary and secondary equipment models of line bay

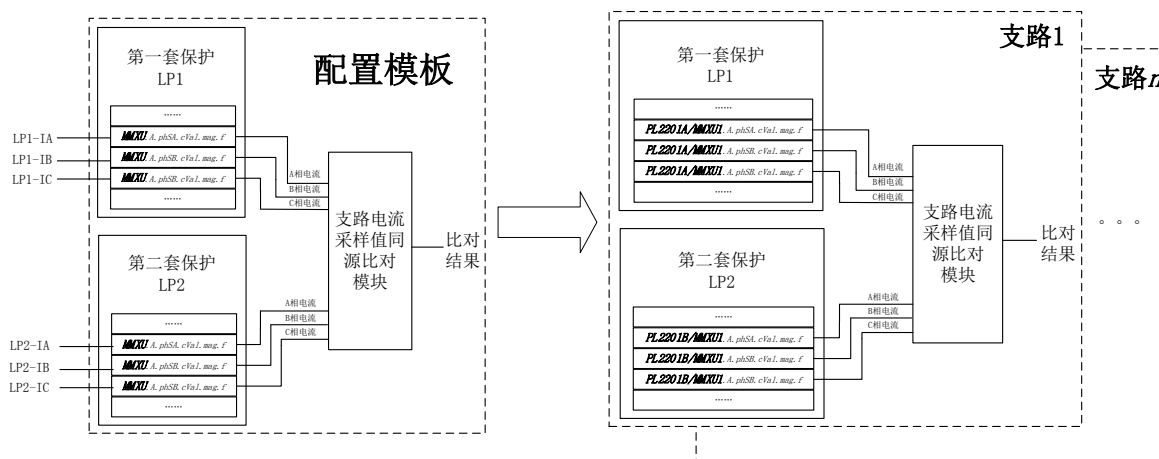


图 A4 应用功能配置模板实例化实现自动化配置

Fig.A4 Application function configuration template instantiation for automated configuration