



现代电力
MODERN ELECTRIC POWER

- 中国高校优秀科技期刊
- 中国科技核心期刊
- 万方数据收录期刊
- 全国中文核心期刊
- 中国知网收录期刊
- 《CAJ-CD规范》执行优秀期刊

面向配电物联网的配电终端一体化建模

宋祺鹏 杨红磊 李浙 王娜 李丽鹏 刘懿莹

Integrated Modeling of Distribution Terminals for Distribution Internet of Things

SONG Qipeng, YANG Honglei, LI Zhe, WANG Na, LI Lipeng, LIU Yiyang

引用本文:

宋祺鹏, 杨红磊, 李浙, 等. 面向配电物联网的配电终端一体化建模[J]. 现代电力, 2024, 41(1): 1–9. DOI: 10.19725/j.cnki.1007–2322.2022.0211

SONG Qipeng, YANG Honglei, LI Zhe, et al. Integrated Modeling of Distribution Terminals for Distribution Internet of Things[J]. *Modern Electric Power*, 2024, 41(1): 1–9. DOI: 10.19725/j.cnki.1007–2322.2022.0211

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2022.0211>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

利益驱动的泛在电力物联网

Profit-Driven Ubiquitous Power Internet of Things

现代电力. 2020, 37(1): 1–9 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2019.1063>

泛在电力物联网的发展分析

Development Analysis of the Ubiquitous Power Internet of Things

现代电力. 2021, 38(2): 119–128 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2020.0326>

具有黑启动功能的液化天然气一体化厂用电方案

An Liquefied Natural Gas-Integrative Auxiliary Power Scheme with Black Start Function

现代电力. 2020, 37(5): 456–462 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2019.1109>

电力物联网中基于深度学习的无蜂窝接入点选择算法

Deep Learning based Cell-free Access Point Selection Algorithm in Power Internet of Things

现代电力. 2021, 38(5): 529–534 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2020.0365>

基于数字孪生的变电站逻辑模型移交深化应用

Deep Application of Substation Logic Model Handover Based on Digital Twin

现代电力. 2023, 40(1): 108–116 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2021.0234>

含高比例光伏配电网电压安全性数字孪生预警方法

A Digital Twin Warning Method for Voltage Security of Distribution Network Containing High Proportion of Photovoltaic

现代电力. 2023, 40(2): 170–181 <https://doi.org/10.19725/j.cnki.1007–2322.2021.0261>

面向配电物联网的配电终端一体化建模

宋祺鹏¹, 杨红磊¹, 李浙², 王娜², 李丽鹏¹, 刘懿莹²

(1. 国网上海能源互联网研究院有限公司, 北京市海淀区 100192; 2. 西安交通大学电气工程学院, 陕西省 西安市 710049)

Integrated Modeling of Distribution Terminals for Distribution Internet of Things

SONG Qipeng¹, YANG Honglei¹, LI Zhe², WANG Na², LI Lipeng¹, LIU Yiying²

(1. State Grid Shanghai Energy Interconnection Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China; 2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi Province, China)

摘要: 针对当前基于 IEC61850 的配电终端信息模型对配电物联网的描述和覆盖能力的欠缺, 以及未考虑面向终端微应用的开发, 存在功能灵活扩展不足等问题, 提出一种面向配电物联网的配电终端一体化信息模型。该模型融合扩展了 IEC61850、CIM 和物模型, 采用扁平化模型层次结构和基于本体的模型抽象方法, 建立物、数据、设备和服务 4 个顶层本体。所建模型适用于云主站与终端之间设备的信息模型交互, 以及大规模接入场景下的配电终端即插即用, 有助于降低终端微应用间信息交互管理的复杂度, 以及配电终端功能一体化的实现, 能够全力支持当前配电终端的数字化转型。

关键词: 配电终端; 配电物联网; 一体化信息模型; 即插即用; 数字化转型

Abstract: In allusion to the problems that the current distribution terminal information model based on IEC61850 is not enough to describe and cover the distribution Internet of Things (DIoT), the development oriented to the terminal micro application for the model is not considered, and there are shortcomings in flexible extension of functions for the model, an integrated information model of distribution terminals for DIoT was proposed. In this model, IEC61850, CIM and object model were integrated and expanded, and four top level ontologies of object, data, device and service were established by means of flat model hierarchy and ontology-based model abstraction method, which is suitable for distribution terminals plug and play under large-scale access situation and equipment informa-

基金项目: 国家电网公司总部科技项目 (5500-202055466A-0-0-00)。

Project Supported by Science and Technology Research Program of State Grid Corporation of China (5500-202055466A-0-0-00).

tion model interaction between cloud master station and terminals. Also, this model helps to reduce the complexity of information interaction management between terminal micro-applications, and to realize the integration function of distribution terminals, which can fully support the digital transformation of current distribution terminals.

Keywords: distribution terminal; distribution Internet of Things; integrated information model; plug and play; digital transformation

DOI: 10.19725/j.cnki.1007-2322.2022.0211

0 引言

配电网作为电网的重要组成部分, 是用户对电网服务感受和体验的最直观对象。据统计, 用户 90% 以上的停电时间是由配电网故障造成的^[1-2]。同时, 由于能源革命和数字革命融合趋势日益明显, 配电网建设仍面临诸多挑战。因此, 配电网需引入“大云物移智”等新技术, 构建以配电网、物联网深度融合为导向的配电物联网创新技术体系, 实现配电网全面感知、数据融合、智能应用, 全力支持能源互联网快速发展^[3-4]。

配电终端是配电网的基本组成部分和核心设备, 承载着智能配电自动化的功能^[5-6]。传统的配电终端大多为实现某方面特定功能而单独设计, 功能相对单一且固定, 按业务功能可分为馈线终端 (feeder terminal unit, FTU)、站所终端 (distribution terminal unit, DTU)、配变终端 (transformer terminal unit, TTU) 等。随着营配融合以及一、二次融合的积极探索和深入实践, 对配电网全面感知、数据共享、就地化决策分析要求越来越高,

这就使得配电终端需集控制、保护、计量、测量、传感、电能质量管理、故障处理、状态监测、通信、就地化数据存储与决策分析等功能应用为一体,要发展为面向物联网的一体化智能配电终端,除了可为线损计算、状态监测、馈线自动化等多种管理功能提供基本数据外,还应具备更加强大的数据处理能力和信息交互能力^[7]。因此,建立一种面向配电物联网的配电终端一体化信息模型成为当前亟待解决的问题。

当前,配电终端采用的基于 IEC61850 的信息模型未考虑面向物联网的应用,且在功能灵活扩展、面向物联网应用的扩展及自定义配置方面存在不足^[8]。同时,在实际工程应用中,IEC61850 需与主站的 IEC61970 模型进行映射,但是 2 种模型在语法定义、模型结构、服务接口等方面^[9-10]存在明显差异,一些扩展的逻辑节点和数据对象在对应 IEC61970 模型上也存在较大困难。而公共信息模型 (common information model, CIM) 在数据抽象分类上增加了终端微应用 (轻量级 APP) 间信息交互管理的复杂度,不利于终端数据中心的数据存储及管理,同时缺少包括配变监测终端、分布式能源监测终端等各种新型智能终端的设备模型及相关描述^[11]。因此,本文通过融合扩展 IEC61850 信息模型^[12-14]、IEC CIM(IEC61970、IEC61968)^[15-16]以及物模型,结合新型配电网架构,建立一种面向配电物联网的配电终端一体化信息模型。

1 配电物联网智能终端

配电物联网是泛在电力物联网在配电领域的应用体现^[17],在架构上分为云、管、边、端四大层级,如图 1 所示。“云”作为云化的主站平台,通过采用云计算、大数据、容器技术等新技术,实现泛在互联、开放应用、协同自治及智能决策功能;“管”是“云”和“端”之间的数据通信桥梁,主要由远程通信网和本地通信网组成;“边”是一种靠近物或数据源头处于网络边缘的分布式物联网代理,具备边缘计算能力,作为“云”数据处理能力的延伸;“端”是配电物联网架构中的状态感知设备和执行控制主体的终端单元。

智能终端在传统设备的基础上被赋予边缘计算能力,使其既具备“端”设备的特征,又具备“边”设备的特征,两者虽在逻辑架构上互相独

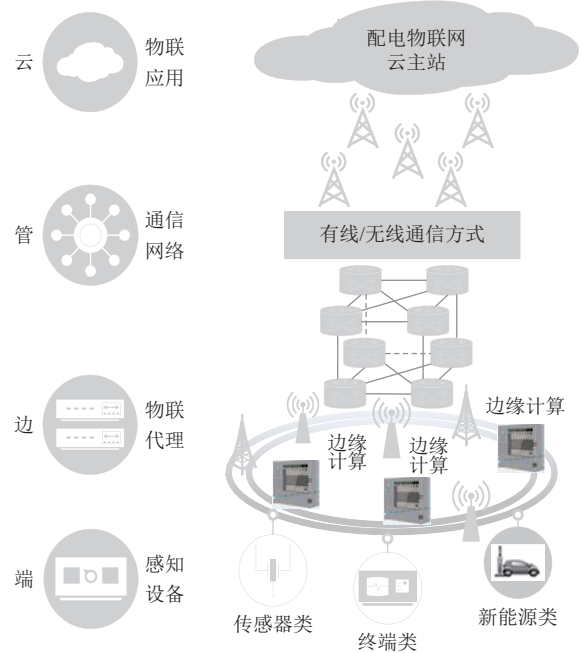


图 1 配电物联网架构

Fig. 1 Structure of D-IoT

立存在,但在物理空间上是可以一体的^[7],如正在规模化部署的台区智能融合终端。面向物联网的智能终端本质上是一款软件定义的终端,具备开放式的软件平台,在此平台上将数据采集接口、通信接口、控制接口与数据分析层、优化决策层的应用功能分离,并通过微应用定义设备中分析层和优化决策层的各种功能,就像使用智能手机时用户根据需要自行安装应用软件一样,以此来实现设备的平台化与智能化。

由于终端微应用共享容器内的存储、CPU 及内存等资源存在一定约束,如微应用使用的存储资源不能大于容器存储空间,不应占用 CPU 和内存过高,造成自身或其他微应用重启、容器重启甚至终端重启,因此,面向物联网的配电终端信息模型应具备扁平化、轻量级、自描述的特点。

2 信息模型建立方法

2.1 扁平化模型层次结构

当前,配电终端所采用的 IEC61850 信息模型由智能电子设备 (intelligent electric device, IED)、逻辑设备 (logical device, LD)、逻辑节点 (logical node, LN)、数据对象 (data object, DO)、数据属性 (data attribute, DA) 5 个层级组成,这样的层次结构较为复杂,未考虑面向物联网的应用。因此,本

文提出了一种面向物联网的智能配电终端扁平化信息模型的层次结构，如图 2 所示。本文建立的终端模型层级由物、类、属性 3 层组成。其中，物既是对物理设备的抽象，也是对虚拟设备的抽象，例如，既可以是配电物联网中实际的智能终端设备，也可以是将负荷预测、线损计算等抽象而成的虚拟设备。类是根据物模型对象(即物模型的实例化)的实际特征，采用相应的模型抽象方法抽象而成的物模型的组成单元，一个类可以有自己的子类，这些子类所描述的内容比父类更加详细。属性是描述类性质的具体数据单元，由属性标识来表示。



图 2 面向物联网的配电终端信息模型的层次结构
Fig. 2 Hierarchical structure of distribution terminals information model for IoT

采用扁平化的层次结构，能使面向物联网的配电终端信息模型具有轻量级的特点和弹性无限扩展的能力，同时满足系统接入信息量的动态递增和功能灵活扩展。

2.2 基于本体的模型抽象方法

本体是描述特定领域内的概念(即类)以及概念之间关系的概念模型。面向物联网的智能配电终端是开放、共享的价值创造平台，而本体是描述共享知识模型的重要手段，为信息共享和互操作提供共同理解[18-19]。同时，基于本体的方法更适合复杂的概念和关系表达，能使模型具备更好的自描述特点。因此，本文采用基于本体的方法来建立面向物联网的配电终端一体化信息模型。

按照领域依赖程度，本体可分为顶层本体、领域本体、任务本体和应用本体，如图 3 所示。顶层本体与具体问题或应用领域无关，用于描述最普通概念间的关系[20]，如时间、数据和物质等。领域本体和任务本体通过限定顶层本体中的术语，描述特定领域(如通信、表计)或任务和活动(如状态监测或电能质量治理)中的概念及概念之间的关系。应用本体则用于针对特定的应用需求(如开关控制、无功补偿)而构建，通常通过限定

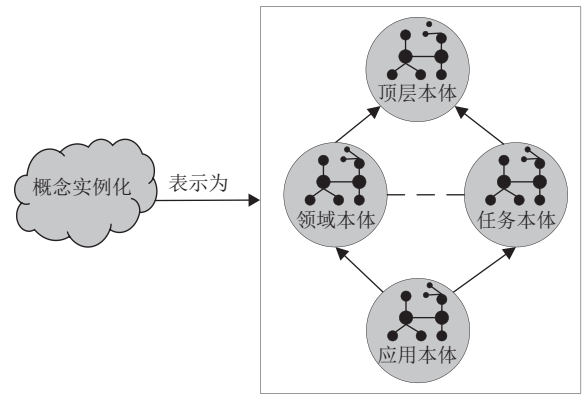


图 3 本体的分类及其关系
Fig. 3 Classification of ontologies and the relationship between them

相应的领域本体和任务本体中的概念而得到。下层本体的概念类是上层本体某个概念类的子类，或者是存在一定属性限制的子类。

本体通过属性来表达语义。属性由属性值来定义，同时，属性值有它的约束，例如可能存在最大值、最小值等。

3 智能配电终端一体化信息模型

面向物联网的智能配电终端信息模型顶层类如图 4 所示。“物”是将配电物联网智能终端连接“上网”的接入单元，它的属性包括名称、电力物联标识、描述。每个属性实例都必须具有一个单一且确定的值。

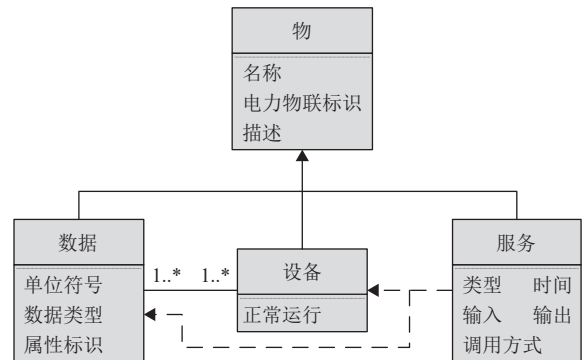


图 4 配电终端一体化信息模型的顶层类
Fig. 4 Top class of integrated information model for distribution terminals

数据类描述了配电终端全生命周期所包含的所有数据，属性包括单位符号、数据类型和属性标识。数据类型主要包括布尔型、整型、单精度浮点型、字符串型等。属性标识是属性的数字化表示。

设备类描述了配电终端具备的各类功能,包括物理设备类和虚拟设备类(终端分析类微应用,如线损计算)2个子类。正常运行是它的唯一属性,表示设备在正常运行状态下的可用性,数据类型是布尔型。设备类和数据类之间是关联关系。

服务类描述了一组与配电终端相关的服务接口,用户端应用通过本组服务接口提供所有与终端进行交互的必要功能。服务类属性包括类型、时间,服务类型用 IEC61850 中对逻辑节点的命名惯例来描述,如开关控制服务表示为 CSWI,遥测服务表示为 MMXU 等;调用方式,数据类型为布尔型,“1”表示异步调用,“0”表示同步调用;输入指的是设备在执行某项功能时需要的输入参数(执行代码),如需执行智能断路器“遥控跳闸”命令,可通过轻量级数据交换格式 JSON 标识的输入信息参数来执行命令定义,如“parameters”:“RemCtl_TrCtlReq”,然后通过解析程序(如 Java)编译成可执行代码,如 session.execCommand(“RemCtl_TrCtlReq”),终端执行该命令来实现“遥控跳闸”功能,输出指的是设备在执行某项功能后需要反馈的状态信息(操作返回结果);其他服务通过调用配电终端的服务来实现更高阶的功能,例如配合云主站实现故障定位与抢修、反窃电实时监测等。服务类依赖于数据类和设备类。

3.1 数据模型

本文模型在数据抽象分类上借鉴了当前一些主流物联网模型(如 Sensor ML^[21]、W3C's SSN^[22]、Kinect^[23])服务化的思想,淡化了从功能性和连续性上对数据进行细化分类的传统分类方法,这样有助于降低终端微应用间信息交互管理的复杂度,以及终端数据中心的数据存储及管理。同时,在属性标识字段上利用了原有终端 IEC61850 模型的数据对象命名优点,并对其进行了标准化,对于软件开发人员来说,能够以标准化的形式便捷准确地调用端设备数据和其他微应用数据,把精力更多地放到软件功能的开发上(如算法或服务),而非数据本身,以此开发出高价值的微应用,更好地促进各厂家模型标准化的实现。数据类包含 4 个子类,分别是静态属性类、动态属性类、消息域类和服务域类,如图 5 所示,其属性可根据实际应用情况进行灵活扩展。

静态属性类用于描述设备的身份信息,是对

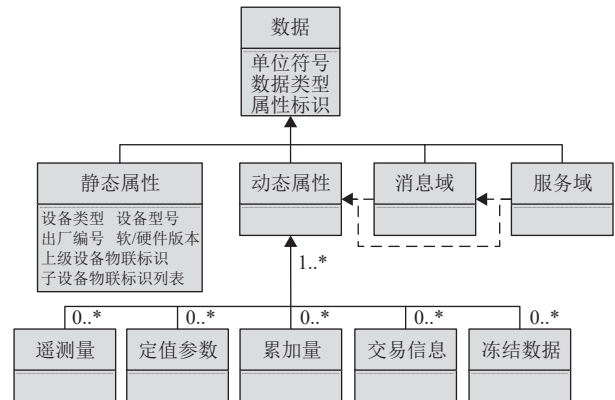


图 5 本文模型数据类的子类

Fig. 5 Subclasses of the data class for the integrated information model

设备自身身份的标识,属性包括类型、型号、出厂编号、上级设备物联标识、子设备物联标识列表等。在这些设备的全生命周期中,该类的实例信息会被资产管理系统记录并跟踪。

动态属性类描述的是设备运行时能持续提供采集功能的状态信息,包括遥测量类、定值参数类、累加量类、交易信息类和冻结数据类,它们与动态属性类是聚合关系。该类属性项统计如表 1 所示。

表 1 动态属性类的属性项统计

Table 1 Attribute item statistics of the dynamic properties classes

属性类型	属性项
遥测量	电气量 三相电压/电流、线电压、序电压、有功/无功/视在功率、总功率、功率因素、频率、相角、不平衡度、电压/频率偏差、基/谐波值、谐波含有率/有效值、谐波总畸变率、电容器投切次数/投入时间等
环境量	温度、温差、湿度、风速、日照强度、振动量、臭氧浓度、SF ₆ 浓度、噪声值
定值参数	保护定值/使能、时间参数、死区值、环境阈值、电容容量等
累加量	当前有功/无功/视在电能、日/月累计量、四象限无功电能等
交易信息	用户充电账号/余额/时间、交易类型/卡号/流水号、费率等
冻结数据	日冻结数据、事件记录、曲线数据、历史月数据等

消息域类用于描述设备主动上报的通知信息,此类信息需要被外部觉察和处理,且无法通过查询设备的属性而获知,如发生故障或异常时主动上报的告警信息、设备自检或个别参数更新等常规信息,其属性的数据类型都是布尔型,如果没有特殊说明,“1”表示发生,“0”表示恢复。

该类信息可以被订阅和推送。消息域类依赖于动态属性类。

服务域类用于描述设备中能被远程控制或调节而去执行的动作、指令等信息，如拓扑或相位识别、开关控制等。该类属性的数据类型一般都是布尔型，对于开关控制类属性，“1”表示开，“0”表示关；其他属性若无特殊说明，则“1”表示动作。服务域类依赖于动态属性类和消息域类。

属性的数字化表示靠属性标识来完成，而属性标识字段的标准化是建立面向物联网的统一信息模型的关键。本文中数据模型的属性标识字段参考了 IEC61850-7-4 中对逻辑节点、数据对象的命名惯例，采用“逻辑节点类_属性前缀_属性缩略语”来对属性标识进行标准化，其中属性前缀及包含的属性缩略语均采用 IEC61850-7-4（包括对应扩展规范）中的标准化定义。如果没有标准数据满足标准逻辑节点类的特殊实例，应通过使用 IEC61850-7-4 第四章中缩略语进行拼凑来创建“新的”数据，以确保不同厂家开发的微应用间数据的互通互用。

由于终端数据量庞大，下面以配电终端智能断路器为例，对其(部分数据)按上述方法进行标准化字段标识，如表 2 所示。

表 2 智能断路器的数据属性标识

Table 2 Data attribute identification of the intelligent circuit breaker

数据属性	属性标识	属性名称
	DevName	设备名称
静态属性	UpperDevCode	上级设备物联标识
	SubDevCodeList	子设备物联标识列表
动态属性	PTOC_Ovld_OpCntRs	过载保护跳闸次数
	PTUV_Loss_OpCntRs	缺相保护跳闸次数
消息域	PTOC_Ovld_Alm	过载保护告警
	PTLK_Op_En	剩余电流保护投跳闸
服务域	RemCtl_TrCtl	遥控跳闸控制
	CSWI_OpOpn_Test	模拟试跳控制

3.2 设备模型

终端数据中心存储的数据除了需包括常规的采集数据、台账数据等以外，还应包含分析类微应用计算结果等数据。为了降低数据管理难度，存储的数据应按物理设备和虚拟设备分类管理。因此，应分别建立物理设备模型和虚拟设备模型。设备类的 2 个子类如图 6 所示。虚拟设备类依赖

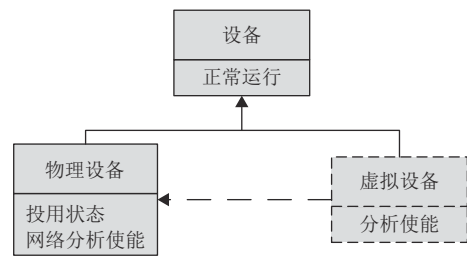


图 6 本文模型设备类的子类

Fig. 6 Subclasses of the equipment class for the integrated information model

于物理设备类。

3.2.1 物理设备模型

为了降低终端与主站的映射工作量，本文建立的物理设备模型采用了主站侧原有的 61970 模型基础架构，从现有 IEC CIM(IEC61970、IEC61968)到终端功能一体化的建模路线如图 7 所示。

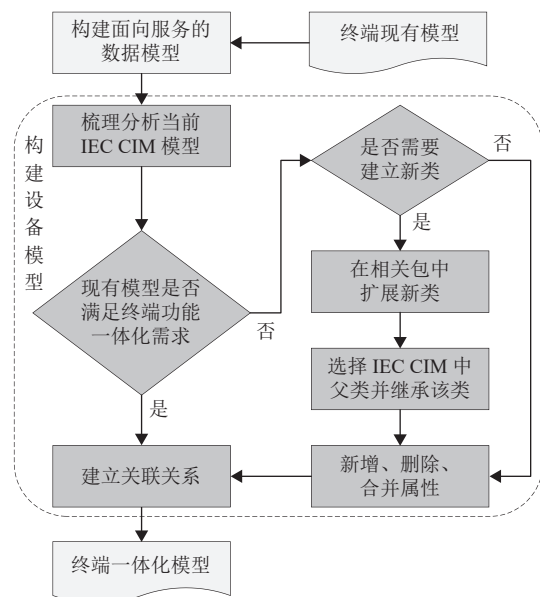


图 7 现有 CIM 模型到功能一体化建模路线图

Fig. 7 Roadmap from existing CIM to functional integration modeling

为实现终端功能一体化，需在 IEC CIM 相关包中扩展一些新的设备模型和属性，其中涉及到的 61970/61968 相关包及其依赖关系如图 8 所示。

物理设备类描述了配电终端的各类常规功能，如控制、保护、通信、监测和计量等，属性包括投用状态和网络分析功能，数据类型都是布尔型。投用状态表示设备的可用状况，“1”表示在线，“0”表示离线；网络分析功能如果未指定，则假定该值为“1”，即该设备可参与网络(电路)分析。物理设备类的子类如图 9 所示。

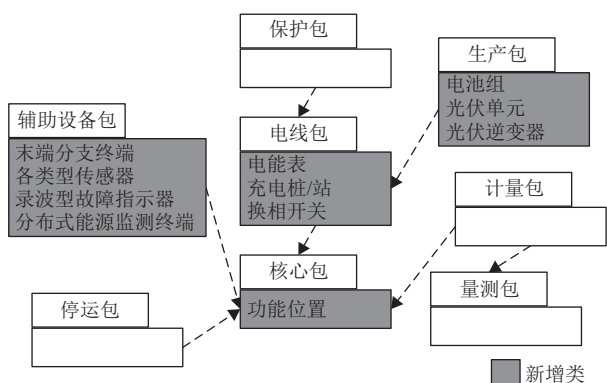


图 8 IEC61970 CIM 包及其关系图

Fig. 8 Package of IEC61970 CIM and the diagram between them

物理设备类和位置类是关联关系，一个位置类实例可对应多个设备类实例，而一个设备类的实例只能对应一个位置类实例。

端点类与物理设备类相关联，该类用于描述

与设备相连的电气连接点，连接在被称为连接节点的物理连接点上。一个端点只能关联一个设备，而一个设备可以关联多个端点。连接节点类用于将导电设备的端点通过零阻抗连接在一起，一个端点只能关联一个连接节点，而一个连接节点可以和多个端点相关联，这样其他不同的端点可通过和同一连接节点相关联而相互连接。因此，各物理设备便通过连接节点相互连接起来了。端点类的属性包括断开、相位和序号。断开为布尔型，“1”表示连接，“0”表示断开；相位表示正常的网络相位状态，连接到同一连接节点的端点的相位码必须一致；序号表示多端点设备的端点方向，序号从 1 开始，其他端点按升序排列。

由于篇幅有限，本文选取物理设备类下面 2 个较为重要的子类来进行建模说明。配电终端中一类很重要的设备是监测设备类，主要用于对相关遥测量的采集和设备状态监测。监测设备类的

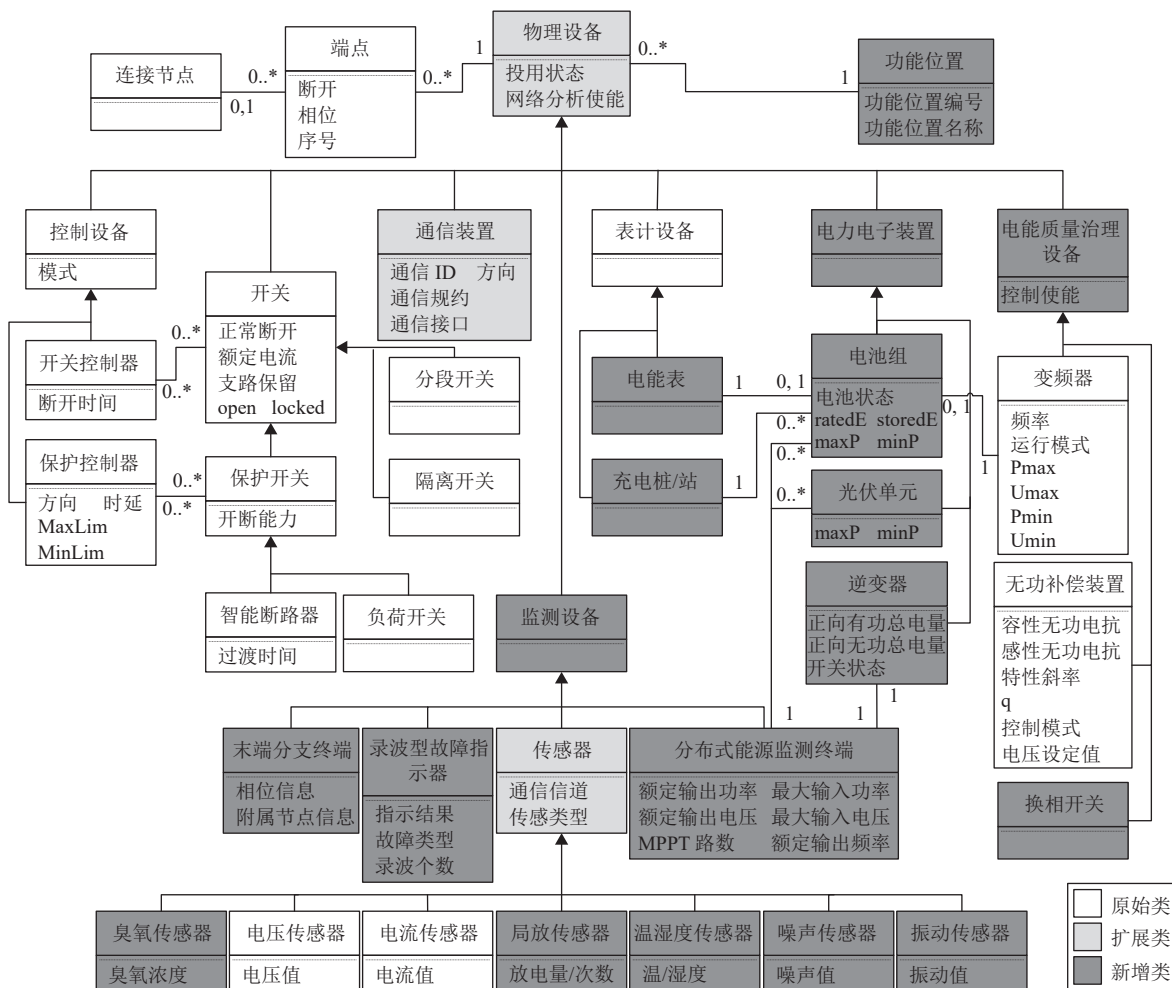


图 9 本文模型物理设备类的子类

Fig. 9 Subclasses of the physical equipment class for the integrated information model

子类包括传感器类、分布式能源监测终端类、录波型故障指示器类和末端分支终端类。其中传感器类用于测量电压、电流、SF₆ 浓度等，其他电气量(如功率、相角)可根据两表法或三表法计算得出。末端分支终端类除了具备常规电气量的监测功能外，主要用于拓扑或相位识别，属性包括相位信息和附属节点信息。录波型故障指示器类用于实现线路状态的监测及故障指示，故障类型属性的数据类型为整数型，1~5 分别表示永久性故障、间歇性故障、自熄性故障、瞬时性故障和演变性故障。分布式能源监测终端类与光伏单元类、电池组类以及逆变器类相关联，主要是对光伏系统和储能系统进行监测，如光伏板组串直流侧电气量、电池组状态、逆变器壳内环境温度等。

物理设备类另一个重要的子类是电能质量治理设备类，电能质量治理成效关系到配电终端乃至配电网的安全和效率。电能质量治理设备类的子类包括变频器类、无功补偿装置类和换相开关类。由于不同类型的配电终端包含的无功补偿装置可能不同，本模型仅对其中的静止无功补偿器进行了建模，如有需要可根据实际应用进行相应建模。配电终端的无功补偿主要作用于变压器，其智能式电容器能自成系统工作，实现无功自动补偿。无功补偿器类的属性如表 3 所示。

3.2.2 虚拟设备模型

虚拟设备类描述了配电终端的各类高级功能，是面向不同业务场景开发的微应用，如供电可靠性分析、分布式电源消纳、反窃电实时监测等。设备数据主要来源于配电终端数据中心。虚拟设备类的(部分)子类如图 10 所示。此外，还可根据实际业务功能需求进行扩展，开发新的微应用。

故障定位与抢修微应用通过配电终端管理的

表 3 无功补偿器类的属性

Table 3 Attributes of the static var compensator class

名称	类型	描述
电容额定值	电抗	最大可用容性无功电抗
电感额定值	电抗	最大可用感性无功电抗
特性斜率	浮点型	无功功率输出如何随受控母线电压与电压设定值的偏差成比例的变化
q	无功功率	无功功率注入。使用负载符号约定，正号表示从节点流出。
控制模式	布尔型	'1'表无功功率控制，'0'表电压控制
电压设定值	电压	调节母线电压与电压设定值相等时，无功功率的输出为0

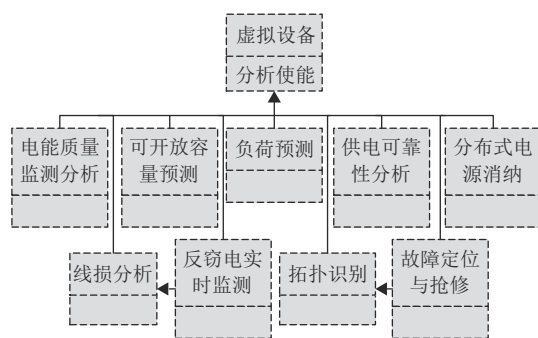


图 10 本文模型虚拟设备类的子类

Fig. 10 Subclasses of the virtual equipment class for the integrated information model

本地电网拓扑信息，在停电事件发生时，实时获取相关设备运行数据，对故障定位、停电影响范围进行实时分析。云主站在确定故障点和故障范围后，对内下派工单进行故障抢修工作，对外通过短信形式或网上国网 APP 进行停送电信息发布。同时，对故障抢修过程中的管控数据进行统计与分析，生成综合报表，如抢修到达现场时限统计、APP 退单记录等。

4 配电终端信息模型典型场景应用示例

4.1 云主站与终端间设备的信息模型交互

本文建立的配电终端信息模型适用于云主站与系统应用、电力物联终端之间设备的信息模型交互，如智能断路器模型的交互、光伏逆变器模型的交互、电能质量治理设备模型的交互等，用于交互中的本文信息模型建模方法通过轻量级的数据交换格式 JSON 详细说明，如图 11 所示。

4.2 规模化接入场景的配电终端即插即用

与传统调试手工配置相比，本文通过建立统一信息模型、免点表配置、主站侧设备上自发现和自注册，以及快速生成物理拓扑，能够大幅降低总调测时间，实现规模化接入场景的配电终端即插即用。具体实现流程如图 12 所示。

5 结论

本文通过融合扩展 IEC61850、CIM 和物模型，建立的面向配电物联网的配电终端一体化信息模型适用于云主站与系统应用、电力物联终端间设备的信息模型交互，以及大规模接入场景下的配电终端即插即用，有助于实现配电终端云边协同

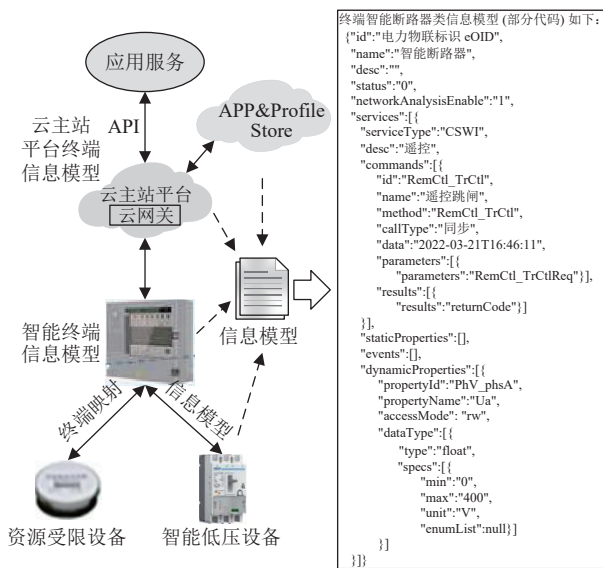


图 11 云主站与终端间设备的信息模型交互

Fig. 11 Equipment information model interaction between cloud master station and terminals

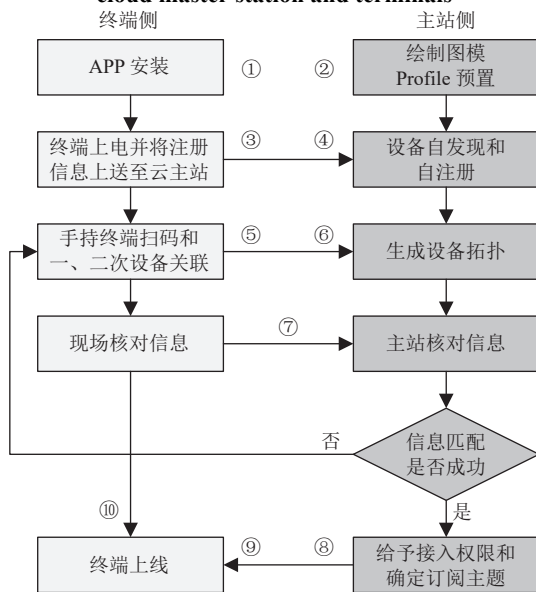


图 12 终端即插即用实现流程

Fig. 12 Plug and play implementation process of terminals

的应用与智能运维。

相较于直接采用 IEC61850 模型或 CIM 模型建模的传统终端建模方法,该模型考虑到了当前终端微应用的开发,采用扁平化层次结构和面向服务的数据抽象分类方法,同时结合统一的标准设备属性标识字段,有助于边缘侧的微应用以标准化的形式便捷准确地调用端设备数据和其他微应用数据,从而在数据共享层面实现跨专业的数据融通,使得终端能够集控制、保护、计量、测量、传感、电能质量管理、故障处理、状态监

测、通信、就地化数据存储与决策分析等功能应用为一体,发展为面向物联网的一体化智能终端,全力支持当前配电终端的数字化转型。

参考文献

[1] 史玉波. 2010年全国电力可靠性指标[R]. 北京: 中国电力可靠性管理中心, 2011.
SHI Yubo. National power reliability index 2010[R]. Beijing: Power Reliability Management Center of China, 2011 (in Chinese).

[2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网述评[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(34): 1-8.
YU Yixin, LUAN Wenpeng. Smart grid and its implementations[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(34): 1-8(in Chinese).

[3] 应俊, 蔡月明, 刘明祥, 等. 适用于配电物联网的低压智能终端自适应接入方法[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(2): 22-27.
YING Jun, CAI Yueming, LIU Mingxiang, et al. Adaptive access method of low voltage intelligent terminal for distribution internet of things[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(2): 22-27(in Chinese).

[4] 吕军, 栾文鹏, 刘日亮, 等. 基于全面感知和软件定义的配电物联网体系架构[J]. 电网技术, 2018, 42(10): 3108-3115.
LÜ Jun, LUAN Wenpeng, LIU Riliang, et al. Architecture of distribution internet of things based on widespread sensing & software defined technology[J]. Power System Technology, 2018, 42(10): 3108-3115(in Chinese).

[5] 席禹, 陈波, 袁智勇, 等. 基于IEC61850的配电自动化终端建模与测试需求研究[J]. 电测与仪表, 2020, 57(7): 41-47.
XI Yu, CHEN Bo, YUAN Zhiyong, et al. Research on modeling and testing demand of distribution automation terminal based on IEC 61850[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2020, 57(7): 41-47(in Chinese).

[6] LIU Q., ZHU Y. LIU G. Integrating the power distribution terminals into the power distribution internet of things[C]// 2021 Power System and Green Energy Conference (PSGEC). Shanghai, China: SJTU, 2021: 62-67.

[7] 张冀川, 陈蕾, 张明宇, 等. 配电物联网智能终端的概念及应用[J]. 高电压技术, 2019, 45(6): 1729-1736.
ZHANG Yichuan, CHEN Lei, ZHANG Mingyu, et al. Conception and application of smart terminal for distribution internet of things[J]. High Voltage Engineering, 2019, 45(6): 1729-1736(in Chinese).

[8] 朱越, 高媛, 刘强, 等. 面向配电物联网的配电终端公共信息模型框架[J]. 供用电, 2021, 38(7): 51-57.
ZHU Yue, GAO Yuan, LIU Qiang, et al. The frame of dis-

- tribution terminal common information model facing power distribution IoT[J]. *Distribution & Utilization*, 2021, 38(7): 51–57(in Chinese).
- [9] 刘东, 王伊晓, 陆一鸣. IEC61968和IEC61850量测模型的差异性分析[J]. *供用电*, 2016, 33(10): 19–24.
LIU Dong, WANG Yixiao, LU Yiming. Analysis of the difference between the measurement models of IEC61968 and IEC61850[J]. *Distribution & Utilization*, 2016, 33(10): 19–24(in Chinese).
- [10] 李佳. 基于IEC61850和CIM的配电自动化建模研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017: 12–28.
LI Jia. Research on modeling of distribution automation system based on IEC61850 and CIM[D]. Beijing: Beijing North China Electric Power University, 2017: 12–28 (in Chinese).
- [11] 江航, 苏毅方, 周金辉, 等. 面向配电物联网的中低压配电网拓扑建模[J]. *电力系统及其自动化学报*, 2022, 34(4): 58–63.
JIANG Hang, SU Yifang, ZHOU Jinhui, *et al.* Topology modeling of medium and low voltage distribution network for D-IoT[J]. *Proceedings of the CSU-EPS*, 2022, 34(4): 58–63(in Chinese).
- [12] 韩国政, 徐丙垠. 基于IEC61850标准的智能配电终端建模[J]. *电力自动化设备*, 2011, 31(2): 104–107.
HAN Guozheng, XU Bingyin. Modeling of intelligent distribution terminal according to IEC 61850[J]. *Electric Power Automation Equipment*, 2011, 31(2): 104–107(in Chinese).
- [13] 张理, 葛成, 俞斌, 等. 基于DTU与FPI的小电流接地故障定位及信息建模[J]. *电测与仪表*, 2019, 56(5): 130–136.
ZHANG Li, GE Cheng, YU Bing, *et al.* Small-current grounding fault line location and information modeling based on the interaction between DTU and FPI[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2019, 56(5): 130–136(in Chinese).
- [14] 郭少丰, 吕玉祥, 孙斌, 等. 基于IEC61850标准的电动汽车充电站电能质量IED建模[J]. *电子器件*, 2014, 37(6): 1239–1244.
GUO Shaofeng, LÜ Yuxiang, SUN Bing, *et al.* Modeling of EVCS power quality IED based on IEC61850 standard[J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2014, 37(6): 1239–1244(in Chinese).
- [15] 吴善, 郝思鹏, 杨李星, 等. 基于CIM的智能配电台区信息模型及应用[J]. *电测与仪表*, 2018, 55(10): 46–51.
WU Shan, HAO Sipeng, YANG Lixing, *et al.* Information model and application of intelligent distribution area based on CIM[J]. *Electrical Measurement & Instrumentation*, 2018, 55(10): 46–51(in Chinese).
- [16] 刘玉玺, 欧阳红, 李刚, 等. 基于IEC-CIM的营配网末端设备公共信息模型设计[J]. *智慧电力*, 2019, 47(2): 75–81.
LIU Yuxi, OU Yanghong, LI Gang, *et al.* Common information model design for integrated marketing and distribution terminal device based on IEC-CIM[J]. *Smart Power*, 2019, 47(2): 75–81(in Chinese).
- [17] 吕军, 盛万兴, 刘日亮, 等. 配电物联网设计与应用[J]. *高电压技术*, 2019, 45(6): 1681–1688.
LÜ Jun, SHENG Wanxing, LIU Riliang, *et al.* Design and application of power distribution Internet of Things[J]. *High Voltage Engineering*, 2019, 45(6): 1681–1688(in Chinese).
- [18] ZEMMOUCHI G L. Current development of ontology-based context modeling[J]. *International Journal of Distributed Artificial Intelligence*, 2018, 10(2): 51–64.
- [19] AZIEZ M., BENHARZALLAH S. BENNOUI H. . An ontology based context model for the discovery of IoT services in the Internet of Things[C]// 2017 International Conference on Mathematics and Information Technology (ICMIT). Adrar, Algeria: IEEE, 2017: 209–213.
- [20] 何仪周, 董庆超, 齐玉东, 等. 基于本体的装备保障信息模型建模方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2019: 24–27.
HE Yizhou, DONG Qingchao, QI Yudong, *et al.* Modeling method of equipment support information model based on ontology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2019: 24–27 (in Chinese).
- [21] ZHANG Yang, CHEN Junliang. Declarative construction of distributed event-driven IoT services based on IoT resource models[J]. *IEEE Transactions on Services Computing*, 2017, 31(9): 1707–1721.
- [22] JANOWICZ K, HALLER A, COX S J D, *et al.* A lightweight ontology for sensors, observations, samples, and actuators[J]. *SSRN Electronic Journal*, 2018(56): 1–10.
- [23] DIFIPPO N M, JOUANEH M K. Characterization of different Microsoft Kinect sensor models[J]. *IEEE Sensors*, 2015, 15(8): 4554–4564.

收稿日期: 2022-06-17

作者简介:

宋祺鹏(1980), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为智能配电、新能源技术, E-mail: songqipeng@epri.sgcc.com.cn;

杨红磊(1982), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为智能配用电、自动化技术, E-mail: yanghonglei@epri.sgcc.com.cn;

李浙(1993), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统智能化技术, E-mail: lizhe2513@163.com;

王娜(1998), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统智能化技术, E-mail: wangna980808@163.com;

李丽鹏(1977), 女, 本科, 工程师, 研究方向为智能配电、自动化技术, E-mail: lilipeng@epri.sgcc.com.cn;

刘懿莹(1981), 女, 通信作者, 博士, 副教授, 研究方向为智能电网技术, E-mail: liuyiying@xjtu.edu.cn.