

DOI: 10.7667/PSPC180167

# 基于 CIM 和 OPC 统一架构的配用电网数据平台研究

江疆<sup>1</sup>, 黄剑文<sup>1</sup>, 杨秋勇<sup>1</sup>, 梁成辉<sup>2</sup>

(1. 广东电网公司信息中心, 广东 广州 510600; 2. 威海欣智信息科技有限公司, 山东 威海 264209)

**摘要:** 以公共信息模型和 OPC 统一架构为基础, 研究了支撑综合数据分析的配用电网数据管控平台构建, 包括系统架构和信息模型研究、数据管理、服务体系构建及数据汇集等。分析配电、用电领域业务系统数据, 裁制 IEC TC57 公共信息模型并扩展补充, 形成配用电数据统一信息模型。建立信息模型及对象数据到 OPC 统一架构信息模型的映射规则, 在 OPC 统一架构地址空间中对经规范化汇集整合的多个配用电业务系统的数据进行管理。实现 OPC UA 统一架构服务, 为分析应用提供安全高效的数据访问支持。配用电网数据平台与业务系统、综合分析应用有机地协同在一起, 在工程中得到实践。

**关键词:** 配电; 用电; 公共信息模型; OPC 统一架构; 数据平台

## Research on data platform for power distribution and utilization based on CIM and OPC UA

JIANG Jiang<sup>1</sup>, HUANG Jianwen<sup>1</sup>, YANG Qiuyong<sup>1</sup>, LIANG Chenghui<sup>2</sup>

(1. Information Center of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510600, China;

2. Weihai CIMSTech Co., Ltd, Weihai 264209, China)

**Abstract:** On the basis of the common information model and the OPC unified architecture, this paper studies the construction of distribution and utilization grid data platform to support comprehensive data analysis, including system architecture and information model research, data management, service system construction, and data aggregation. A unified information model is formed through analyzing the data in each distribution and utilization business system, tailoring the IEC TC57 common information model accordingly, and supplementing undefined elements in the CIM. The mapping rules of information model and object data to the OPC unified architecture information model are established. After the data of distribution grid and utilization system from multiple business systems have been standardized and aggregated according to the unified information model, all schema and object data are managed in the OPC unified architecture address space. Services defined by the OPC unified architecture are implemented to provide secure and efficient data access support for analysis applications. The data platform is organically coordinated with the business systems and comprehensive analysis applications, and its technical scheme has been put into practice in engineering.

This work is supported by Science and Technology Project of China Southern Power Grid Ltd (No. GDDWKJXM 00000025).

**Key words:** distribution grid; utilization system; CIM; OPC UA; data platform

## 0 引言

配用电网作为向电力用户直接提供服务的电力网络部分, 与用户密切相关的供电可靠性、电能质量、需求侧响应、有序用电、线损管理以及随着新能源发展所需的分布式能源接入、电动汽车及储能

协同负控、多能互补等等都涵盖其中<sup>[1-5]</sup>。配、用电一体化运行管控的智能化程度是配用电网性能和效率提升的基础, 也是智能电网能否充分发挥社会效益和经济效益的重要环节<sup>[6]</sup>。配用电领域已经建立的配网自动化、集中抄表、配变监测、负荷监测、配网安全生产、营销自动化等系统和应用, 为配用电网的各项业务实施提供良好的支撑。

技术研究和配用电网管理的发展要求综合利用多个业务系统的数据, 这需要各个系统能够采用

基金项目: 中国南方电网有限责任公司科技项目资助 (GDDWKJXM00000025)

一致或相容的信息描述、统一的对象编码体系以及标准化开放的数据访问服务。为此业务系统被要求采用国际标准、国家标准和企业标准以提升可集成能力, 这些标准包括电力系统管理及其信息交换标准化组织开发的公共信息模型(Common Information Model, CIM)和组件接口规范(Component Interface Specification, CIS)<sup>[7-8]</sup>、行业组织或企业颁布的对象编码规范等等。但业务系统由于建设时间、所属管理体系、功能侧重和演化速度等各方面存在较大差异的原因, 很难做到完全符合规范并支持数据直接集成引用, 从而导致几乎每次增加综合分析功能时, 都需要做大量的系统对接以及(对象)数据的匹配整合工作。

为支持日渐深入的配用电网管控和综合分析, 建立覆盖多业务系统数据的数据平台是一种适宜的解决方案, 即由平台完成数据整合和管理从而避免与业务系统直接对接并降低对其标准化水平的依赖。文献[9]将各业务系统数据抽取整合, 建立主题供各类分析使用; 文献[10]将商务智能、数据仓库技术运用于电网数据分析, 实现平台化的数据灵活展示; 文献[11-13]通过将业务系统数据搜集、整合到大数据平台, 完成指标分析、电网运维管控、应急管理、电网线损与窃电预警分析等。这些(大)数据平台及其上的应用, 以数据库归并及对象编码链接等方式整合需要分析统计范围内的业务数据, 数据分析主要基于平台基础设施提供的算法。由于侧重于数据集中, 数据和服务标准化方面存在不足, 导致平台和分析应用耦合度大, 不利于持续进行业务数据整合和应用拓展。解决上述问题的关键是平台数据及访问服务标准化。CIM 用于规范数据已被互操作试验和大量实践证明最为可行; 数据访问服务方面适应标准的发展, 解决第一代 CIS 存在的跨防火墙访问困难、数据安全访问控制薄弱等问题, 应支持 IEC 61970 新一代 CIS——具有强大通信安全性(避免数据丢失及非授权数据访问)、跨防火墙数据传输和高效 Web 服务通信等能力的 OPC 统一架构(OPC Unified Architecture, OPC UA)<sup>[14-15]</sup>。

本文研究基于 CIM 和 OPC UA 构建数据语义及访问服务高度标准化的配用电网数据平台。确定平台系统的架构, 通过强化模式管控实现高可扩展性; 以 IEC TC57 CIM 为基础, 与配用电网数据相结合, 裁制、扩展, 定制配用电网统一公共信息模型, 规范数据语义; 研究 CIM 模式及对象数据映射到 OPC UA 地址空间的规则, 建立标准化的 OPC UA 数据访问服务。协同开发多组数据汇集任务将来自不同系统的数据规范化整合, 形成符合统一公

共信息模型的对象数据, 通过 OPC UA 服务供平台数据应用方使用。

## 1 强化模式管控的平台系统架构

模式(信息模型)是数据的抽象描述, 在模式层级细化管控, 能够对数据规范化汇集、对象数据地址空间管理、存储、访问控制等提供良好的支撑。基于 CIM 的、能够持续根据需要扩展的配用电网数据平台采用强化模式管控的平台系统架构(图 1)。平台系统各软件模块的运行依赖于模式及其附加配置信息。

模式和在模式元素之上附加的配置信息是平台数据管理的顶层控制点。平台利用信息模型管控工具, 以符合 UML 标准的面向对象界面管理平台数据的模式, 提供包、类、属性、关联等模式元素的增加、删除、修改及附加属性设定等编辑功能。

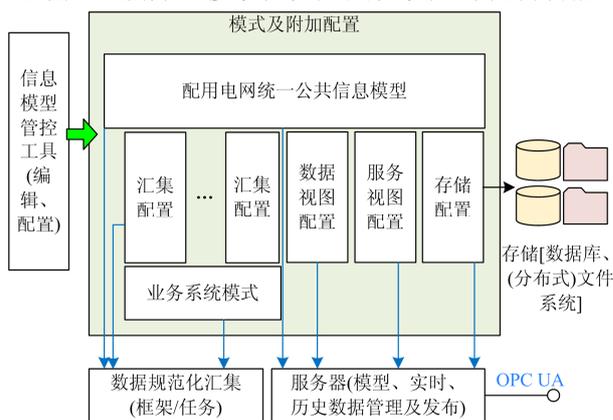


图 1 强化模式管控的系统架构

Fig. 1 Architecture of the intensified mode control platform

首先模式编辑产生的差分结果直接作用于存储基础设施, 完成存储结构的调整。其次平台系统中的软件模块在线感知并跟踪模式变化对软件内处理的数据进行调整, 典型地包括服务器(模型、实时、历史数据管理及发布)模块和数据规范化汇集模块。服务器模块在模式变更后, 增量调整内存数据缓存、数据视图、服务发布视图等, 使管理和发布端与模式保持同步。数据汇集模块根据源系统数据到平台数据的映射规则(模式级别和对象级别的规则)执行汇集任务, 将源系统数据规范化整合到数据平台。

服务器通过 OPC UA 接口为客户端提供数据访问服务, 提升接口标准化水平、安全性、传输效率及跨路由数据传输能力。

## 2 配用电网统一信息模型

平台的构建和扩展始终围绕着一个整体描述

配用电网领域数据的统一信息模型。这个模型称为配用电网统一公共信息模型(Unified Information Model of Power Distribution and Utilization, DUUM)。DUUM 以电力系统管理及其信息交换领域国际标准定义的 IEC TC 57 CIM 为基础,通过裁制、扩展形成,并随着配用电网数据平台涵盖的数据范围扩展不断升级。

### 2.1 DUUM 构建与体系脉络

CIM 在国内电力系统自动化和信息化领域系统建设的应用始于CIM10(20030501版),到2017年IEC TC57 发布了 CIM17v16。电力行业标准 DL890.301(等同采用的“IEC 61970-301 公共信息模型基础”)的第二版2016年升版、2017年出版,对应的是 IEC 于2012年发布的 CIM15v33版。因此以CIM15作为DUUM的基础版本,同时参考CIM16和CIM17<sup>[6]</sup>。扩展CIM时,依据IEC 61970-301的建模导则先扩展属性,再扩展关联,确有必要再扩展类<sup>[7]</sup>。源自不同版本CIM及扩展的模式元素,通过命名空间区分。扩展建立的模式元素的命名空间为“http://www.csg.cn/gd/duum”。

DUUM从大的数据分类体系上,与输变电领域的统一信息模型基本一致<sup>[17]</sup>,主要包括电力系统资源体系(功能位置,含拓扑)、资产(物理设备)、位置、文档及工作记录、量测、环境数据等,此外还包括配用电网特有的用户体系。各个体系中的具体子类型详细描述了组成配用电网的对象及其关联关系,典型的包括馈线、馈线段、台区、计量点等等。DUUM从各体系包含的主要子类型见表1。

电力系统资源体系建模逻辑层面的配用电网,资产是构成配用电网的实体,这两部分构成配用电网的核心。位置描述资源和资产放置的地点。量测和文档等用于描述配用电网的运行、维护、试验等各个侧面。环境是影响配用电网运行的客观条件。用户是配用电网的服务对象。

### 2.2 对 TC57 CIM 的扩展与优化

DUUM是在裁制TC 57 CIM基础上进行的主要扩展与优化,包括:①用电计量中的台区与计量点扩展;②资产体系优化;③监测点扩展;④配用电网故障信息模型扩展;⑤环境信息模型扩展等等。通过扩展与优化,使DUUM更贴合国内配用电网的运行及生产管理实际。

计量点是用电计量信息模型的核心。DUUM扩展出计量点类(MeteringPoint)和台区类(Transformer District),并将计量点作为核心与用电计量的其他对

表 1 DUUM 类体系概览

Table 1 Overview of DUUM classes

体系	主要子类型
电力系统资源(含拓扑)	Substation(变电站)、VoltageLevel(电压等级区)、Bay(间隔)、Feeder(馈线)、FeederSection(馈线段)等设备容器; Busbar Section(母线段)、Breaker(断路器)、Load Break Switch(负荷开关)Power Transformer(变压器)、Disconnecter(隔离开关)、AC Line Segment(交流线段)、Energy Consumer(负荷)等导电设备; ConnectivityNode(连接点)、Terminal(端子) Metering Point(计量点); MonitoringPoint(监测点); PolePSR(杆)、Tower PSR(塔)等支撑设备; Current Transformer(CT)、Potential Transformer(PT)等辅助设备
资产	Asset(资产)、AssetType(资产类型)、UserAttribute(技术参数)、TechParamDes(技术参数描述)
位置	Location(位置)、PositionPoint(位置点)
文档及记录	TestDataSet(试验报告)、DefectDataSet(缺陷报告)、EquipmentEvaluation(设备评价)、PlannedOutage(计划停电)、FAFaultLocate(FA故障定位)、TripRecord(跳闸记录)
量测	Analog(模拟量)、AnalogValue(模拟量值)、Discrete(数字量)、DiscreteValue(数字量值)、Accumulator(累加量)、AccumulatorValue(累加量值)
环境	气象预报(WeatherForecast)、台风预报(TyphoonForecastData)、台风实况(TyphoonLiveData)
用户	Customer(用户)

象建立联系: 计量点作为电力系统资源的子类, 聚合多个表征计量点采集信息的量测; 与表计资产关联以明确读数的归属; 与设备容器(变电站、线路类的父类)、台区等关联指明站、线、变级别的计量配置; 与用户关联给出用户用电的计量点; 与导电设备的端子关联确定计量点配置的位置等等(图2)。

DUUM增加技术参数描述优化资产模型(图3)。

为方便针对特定资产类型分析根据技术参数语义进行资产的分析诊断, 需要对技术参数(User Attribute)进行详细描述。由于技术参数众多, 在每个对象中增加描述会导致大量信息冗余, 因而增加“技术参数描述”类(Tech Param Des)为多个技术参数提供共享的描述。

与输变电设备状态监测系统相同, 为配用电网设备的监测点建立监测点类(Monitoring Point)。Monitoring Point建模为电力系统资源的子类, 可包含监测点的监测量(量测)。通过Monitoring Point到Power System Resource的关联, 指明该监测点所监测的目标对象。

扩展馈线自动化故障定位信息(FA Fault Locate)、跳闸记录(Trip Record)等类记录配用电网运行故障信息供分析配用电网运行情况使用。根据对环境的关心情况, 扩展气象预报(Weather Forecast)、

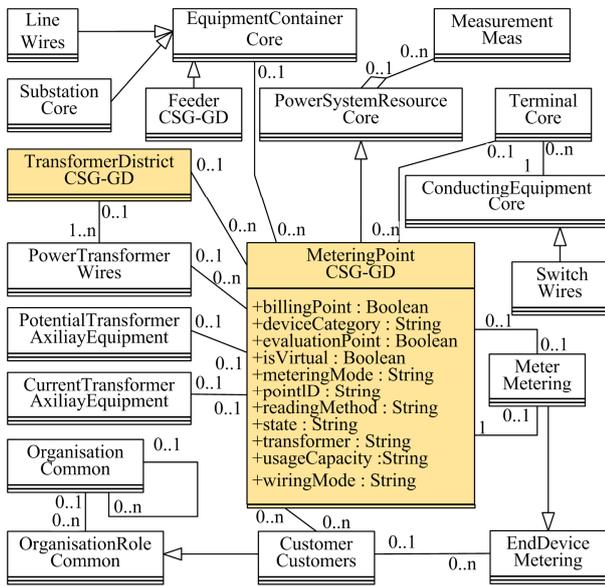


图 2 计量点模型

Fig. 2 Metering point and relative classes

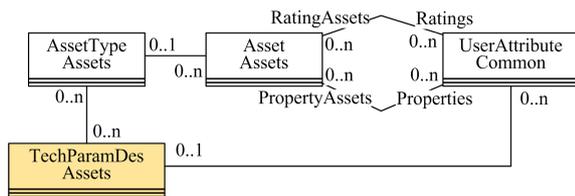


图 3 资产模型

Fig. 3 Asset model

台风实况(Typhoon Live Data)、台风预报(Typhoon Forecast Data)等类。

此外,为分立支撑设备的功能位置,建立杆、塔的电力系统资源对象,将其归为支撑设备(SupportEquipment)的子类;针对配用电网中配电站中以柜体包含设备的通用做法,建立 Bay 的子类柜体式间隔(CabinetPSR)作为细化的间隔类型。

### 2.3 DUUM 的管理

DUUM 在线存储于平台数据库中,同时发布离线的符合 IEC 61970-501 标准的 CIM RDF Schema 文件<sup>[18]</sup>。在线存储可有效支持版本关联、后续在线模式升级,以及与对象数据在平台的 OPC UA 服务器的地址空间中建立关联。

## 3 OPC UA 服务体系构建

符合 CIM 的标准化电网对象数据访问使用的服务标准已经由组件接口规范(Component Interface Specification, CIS)升级到 OPC 统一架构(OPC

Unified Architecture, OPC UA)<sup>[14]</sup>。2017 年 9 月,等同采用 OPC UA(IEC 62541)的国家标准 GB/T 33863 发布,OPC UA 不仅 IEC 采纳为对象数据访问服务规范,也成为智能制造领域基础核心国标<sup>[19]</sup>。

平台采用 OPC UA 作为数据访问服务。首先明确 CIM 模式和对象数据到 OPC UA 地址空间模型的映射;在此基础上结合 CIM 对象内存库,在 OPC UA 地址空间中管理 CIM 模式及数据对象,并基于 OPC UA SDK 实现 OPC UA 服务。

### 3.1 在 OPC UA 地址空间中管理 CIM 数据

支持标准的 OPC UA 数据访问服务的前提是将 CIM 数据(配用电网统一信息模型及对象实例数据)等建模到 OPC UA 地址空间中。OPC UA 采用面向对象思想,建立了自成体系的基于节点及节点间关系的地址空间模型。但 CIM 数据用包、类、属性、关联、对象概念描述,OPC UA 地址空间模型用节点和节点类型(对象类型、变量类型、数据类型、对象、变量、方法等)、引用类型描述,需建立 CIM 数据存储到 OPC UA 地址空间的映射关系。

CIM 数据到 OPC UA 地址空间模型映射可划分为模式和实例数据两部分。文献[20]给出了一种 CIM 数据到 OPC UA 地址空间模型的映射规则,在此基础上,增强细化处理:① 时变的量测值属性(AnalogValue.value 等等),对应到数据变量(BaseDataVariable);② 为方便客户端在模式查询时过滤,CIM 类引用其拥有的角色(指定方向的关联)时使用扩展的继承 Aggregates 关联类型的子类 HasCIMReference。细化后的 CIM 数据到 OPC UA 地址空间模型的映射规则见表 2。

使用上述映射规则,将 CIM 模式及对象实例数据(含取值)在 OPC UA 地址空间中组织后的一个示例见图 4,使用 OPC UA 规定的图形展示法<sup>[21]</sup>。图 4 除最下一行图元是对象实例数据,其余为模式数据。

模式示例从包元素(IEC 61970)开始,包含类(及继承)、关联、属性。图中用不同颜色的框线将模式元素间关系分段,从模式层面勾勒出数据间关系:

从变电站(Substation)开始,经其包含的间隔(Bay)至设备容器(Equipment Container);设备容器包含设备,本例中体现为变压器间隔中有变压器(PowerTransformer,设备的子类);设备是特化的电力系统资源(Power System Resource);电力系统资源拥有量测以及量测值(Power Transformer 继承于 PowerSystemResource 关联,使变压器拥有 Analog 型量测和 AnalogValue 型量测值)。图中虚线表示引

表 2 CIM 数据到 OPC UA 地址空间模型映射

Table 2 Mapping CIM data to OPC UA address space

CIM 数据	OPC UA 地址空间元素	说明
模式包	Object	对象的类型为 FolderType。包通过 Organizes 管理子包及数据类型、模式类
数据类型	DataType	BaseDataType 的各子类型
模式类	ObjectType	模式类的继承关系通过 HasSubtype 表示; 模式类通过 Organizes 管理类属性和类关联
类属性	Variable (Property / DataVariable)	复杂类型的实例声明中的变量节点。通过 HasProperty 或 HasComponent 被模式类管理。量测值和状态变量值属性使用 DataVariable 类型, 使用 HasComponent 关联; 属性使用 Property, 使用 HasProperty 关联
类关联	Reference Type	通过 HasCIMReference (Aggregates 的子类型)被模式类管理。关联的多端建为被组织(Organizes)的目标, 相应的引用类型建模为 Organizes 引用类型的子类型, 可用于构建层次路径
对象实例	Object	通过 HasTypeDefinition 关联到对象实例的类型(模式类)定义
对象属性	Variable	对象实例的变量节点。关联处理方式与“类属性”的相同
对象链接	Reference	通过 HasTypeDefinition 指向相应的“类关联”引用类型定义。需注意类关联的方向, 结合类关联的 InverseName 属性使用

用类型间存在对应关系但 OPC UA 规范中没有显式的链接, 通过引用对端名称可互相定位。对象实例数据的各个条目通过类型定义(Has Type Definition)引用关联至模式类节点。

对象实例数据从变电站开始, 逐级组织管理, 直至量测值的时间及取值。

### 3.2 平台 OPC UA 服务器支持的服务

OPC UA 的服务分为通信基础设施管理、会话上下文及基于会话的数据访问、数据访问三类<sup>[22]</sup>。通信基础设施管理的服务器发现(FindServers)、注册服务器(RegisterServer)是与发现服务相关的部分, 不需由平台 OPC UA 服务器支持。除此以外的各服务, 配用电网数据平台 OPC UA 服务器均实现, 服务列表见表 3。其中涉及到地址空间结构改变的服务 (AddNodes、DeleteNodes、AddReferences 和 DeleteReferences), 服务器通过连接客户端的标识进行区分, 仅向高信任客户端开放。由于不需直接支持业务功能, 平台 OPC UA 服务器不提供方法调用(Call 服务)。

表 3 平台支持的 OPC UA 服务

Table 3 OPC UA services supported by platform

分类	服务	说明
通信基础	OpenSecureChannel	打开安全通道, 创建物理通信连接
	CloseSecureChannel	关闭安全通道, 关闭物理通信连接
会话及基于会话的服务	CreateSession	创建会话(逻辑会话)
	ActivateSession	激活会话(绑定到物理通信通道)
	CloseSession	关闭会话
	Cancel	取消未完成的 UA 服务请求
	CreateSubscription	创建订阅
	ModifySubscription	修改订阅
	TransferSubscription	转移订阅
	DeleteSubscriptions	删除订阅
	CreateMonitoringItems	创建监视项
	ModifyMonitoredItems	更新监视项
	DeleteMonitoredItems	删除监视项
	SetPublishingMode	设置发布模式
	SetMonitoringMode	设置监视模式
	SetTriggering	设置触发器
	Publish	发布服务, 确认或激活变化数据或事件发布
	Republish	重新发布
RegisterNodes	注册节点, 设定重点跟踪的节点以获得优化	
UnregisterNodes	注销节点注册	
数据访问	Browse、BrowseNext	浏览服务器地址空间中的节点
	TranslateBrowsePaths	基于对象浏览路径, 获得对象的 NodeId
	ToNodeIds	NodeId
	QueryFirst、QueryNext	查询节点的引用和属性取值
	AddNodes	添加节点
	DeleteNodes	删除节点
	AddReferences	添加节点间的引用
	DeleteReferences	删除节点间的引用
	Read、Write	读/写节点属性, 包括变量值
	HistoryRead	读变量值的历史或事件的历史
HistoryUpdate	修改历史数据	

客户端建立配用电网分析模型时, 使用数据访问服务获取节点及其关联; 跟踪模型和实时数据变化, 使用基于会话的服务。

### 3.3 OPC UA 服务实现

配用电网数据平台在服务器模块中实现 OPC UA 服务。OPC 基金会提供了 OPC UA 客户端与服务器交互使用的通信栈的公共实现, 使用此通信栈不仅减少了服务器模块实现工作量, 也提高了与客户端的互操作能力。

实现 OPC UA 服务的关键模块有两个, 一个是 OPC UA 服务器模块, 另一个是服务网关模块(图 5)。

服务网关模块对接平台应用客户端, 将访问路由到内部的 OPC UA 服务器模块。

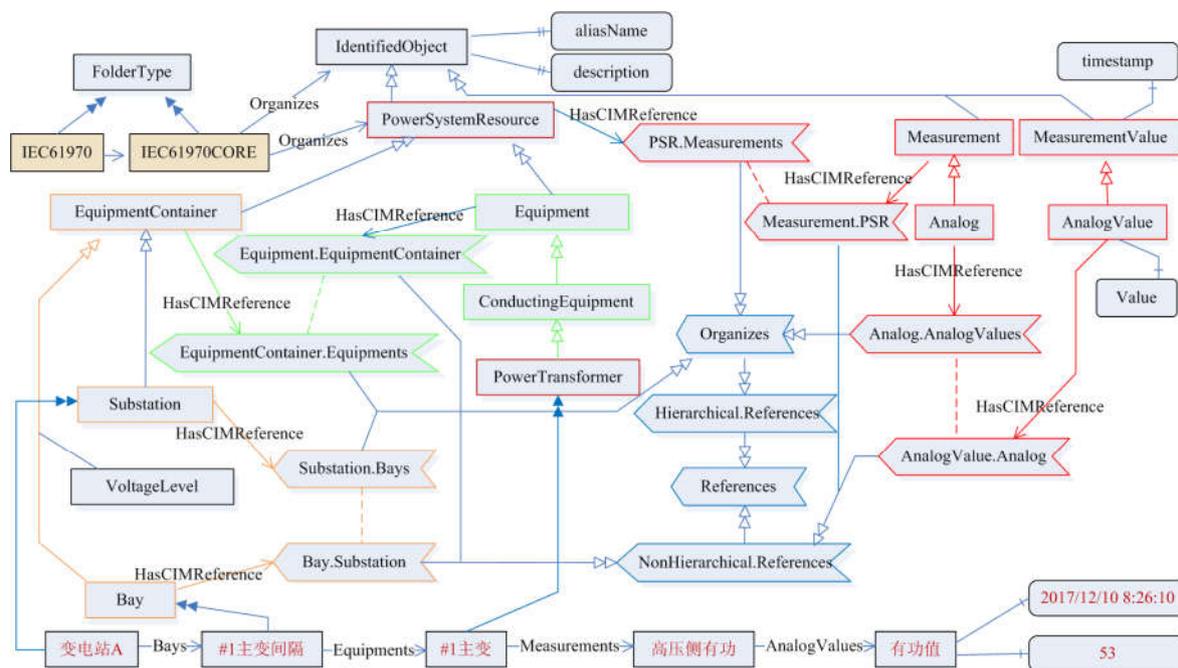


图 4 在 OPC UA 地址空间中管理 CIM 数据的示例

Fig. 4 Example of CIM data in OPC UA address space

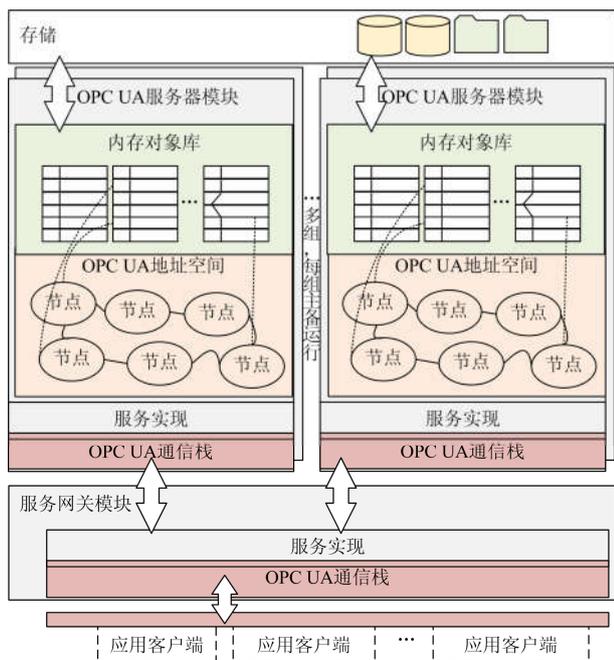


图 5 OPC UA 服务实现关键模块

Fig. 5 Key software models of OPC UA services

增加服务网关模块的意义在于: ① 为应用客户端提供不间断的数据访问服务。平台内部的 OPC UA 服务器模块配置为主备运行, 切换时需要客户端配合处理, 增设服务网关模块后切换的影响可由网关模块的处理而消除; ② 提高数据处理的可扩展

性。配用电网数据平台的数据量比输变电数据平台大一个数量级, 且数据的地域属性突出(配用电网数据跨地区的极少), OPC UA 服务器模块由此可配置为一个服务器模块管理一个或几个地区的数据, 由此可根据数据规模的增长灵活地将 OPC UA 服务器模块配置到相应的硬件设备上, 而服务网关模块根据客户端的访问需要, 综合各个服务器的能力组织数据; ③ 增强访问安全控制。

为提高数据访问性能, 每个 OPC UA 服务器模块建立内存对象库管理高频访问数据对象, 这些对象一旦在内存中建立, 即与节点和引用相关联, 可通过 OPC UA 地址空间被快速访问。

#### 4 基于模式的数据规范化汇集

配用电网数据平台向客户端提供符合统一公共信息模型 DUUM 的、规范化的配用电网数据。这些数据源自配用电业务系统以及集合业务系统数据形成的主数据平台、海量/大数据平台等等(图 6)。

数据平台自身不进行原始建模和数据生产, 但建立完备的数据修正体系。

数据汇集以 DUUM 作为数据规范化转换的基础。具体转换源系统数据的数据汇集任务提取源系统的模式, 与 DUUM 的模式建立映射转换规则和数据校验规则, 结合特定处理代码, 将源系统数据汇集到平台并完成数据对象的关联。

汇集任务根据配电网数据的特点分层、分块地完成数据分析校验和转换以提高处理性能。

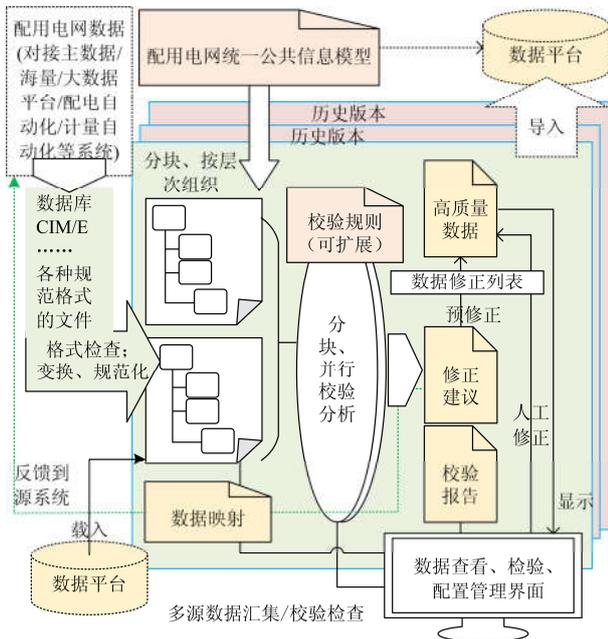


图6 数据规范化汇集

Fig. 6 Scheme of data collection

汇集过程发现的问题反馈到源系统，源系统修正后再增量合并到系统中，形成闭环的数据质量修正通道。对于源系统无法及时修正的数据，平台通过数据管理界面修正数据，并锁定修正数据以防止增量导入时被意外覆盖。

多源数据整合到平台后，客户端可通过 OPC UA 接口获取全面、规范化、高质量的配电网数据来构建各种应用，不再需要分别与各业务系统直接接口。

综合分析应用产生的结果数据如果有被进一步整合分析的需求，将视为与业务系统地位等同的新的源端纳入数据规范化汇集。

## 5 结论

基于可随配电网数据平台管理数据范围扩展的、遵从 IEC TC57 CIM 的配电网统一公共信息模型规定配电网对象数据语义，使数据交互的语义阻抗降到最低；OPC UA 服务体系提供标准化数据访问支持。CIM 与 OPC UA 结合的数据平台有效提升了配电网数据标准化管理、发布和应用支持水平。

数据汇集任务规范化汇集、整合业务系统数据为符合信息模型要求的对象数据，相较数据库归并方式，弥合了数据描述差异，增强了数据导航能力。

通过记录追溯信息使数据问题可回溯系统，有利于数据质量提升。

在平台后续研究、建设和应用中，应坚持模式强化管控和服务标准化，不断延展平台覆盖的配用电业务系统数据范围，使更全面的规范化数据为分析应用提供数据并吸收分析结果，持续提升配电网数据的价值。

## 参考文献

- [1] 王成山, 王守相, 郭力. 我国智能配电技术展望[J]. 南方电网技术, 2010, 4(1): 18-22.  
WANG Chengshan, WANG Shouxiang, GUO Li. Prospect over the techniques of smart distribution network in China[J]. Southern Power System Technology, 2010, 4(1): 18-22.
- [2] 丁伯剑, 郑秀玉, 周逢权, 等. 微电网多能互补电源容量配置方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(16): 144-148.  
DING Bojian, ZHENG Xiuyu, ZHOU Fengquan, et al. Research on method of capacity configuration for hybrid power in microgrid[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(16): 144-148.
- [3] ZHANG Delong, LI Jianlin, HUI Dong. Coordinated control for voltage regulation of distribution network voltage regulation by distributed energy storage systems[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2018, 3(3): 35-42. DOI: 10.1186/s41601-018-0077-1.
- [4] 李升, 姜程程, 赵之瑜, 等. 分布式光伏电站接入低压配电网系统暂态电压稳定性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(8): 67-72.  
LI Sheng, JIANG Chengcheng, ZHAO Zhiyu, et al. Study of transient voltage stability for distributed photovoltaic power plant integration into low voltage distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(8): 67-72.
- [5] CHEN Qixin, ZHAO Xiangyu, GAN Dahua. Active-reactive scheduling of active distribution system considering interactive load and battery storage[J]. Protection and Control of Modern Power Systems, 2017, 2(2): 320-330. DOI: 10.1186/s41601-017-0060-2.
- [6] 王鹏, 林佳颖, 郭岫, 等. 配用电数据分析及应用[J]. 电网技术, 2017, 41(10): 3333-3340.  
WANG Peng, LIN Jiaying, GUO Shen, et al. Distribution system data analytics and applications[J]. Power System Technology, 2017, 41(10): 3333-3340.
- [7] 能量管理系统应用程序接口(EMS-API): 第 301 部分: 公共信息模型(CIM) 基础: DL/T890.301—2004[S]. 北

- 京: 中国电力出版社, 2005.
- [8] 能量管理系统应用程序接口(EMS-API): 第 401 部分: 组件接口规范(CIS)框架: DL/T890.401—2006[S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [9] 张彩霞. 大型省级电网企业数据中心的研究与建设[J]. 硅谷, 2011(19): 92-93, 112.
- [10] 陆瑞华, 胡蓉, 刘林林. 电网一流调度智能数据平台设计与应用[J]. 华东电力, 2013, 41(1): 77-80.  
LU Ruihua, HU Rong, LIU Linlin. Design and application of power grid best dispatching intelligent data platform[J]. East China Electric Power, 2013, 41(1): 77-80.
- [11] 林静怀. 基于大数据平台的电网运行指标统一管控方案[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(4): 165-170.  
LIN Jinghuai. A unified scheme of grid operation index control based on big data platform[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(4): 165-170.
- [12] 杨飞勇, 王彦垒, 巴根那, 等. 基于智能化、大数据的配电网运维管控平台[J]. 电力自动化, 2018(3): 43-45.
- [13] 李端超, 王松, 黄太贵, 等. 基于大数据平台的电网友损与窃电预警分析关键技术[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(5): 143-151.  
LI Duanchao, WANG Song, HUANG Taigui, et al. Key technologies of line loss and stealing electricity prediction analysis based on big data platform[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(5): 143-151.
- [14] 曹阳, 姚建国, 杨胜春, 等. 智能电网核心标准 IEC 61970 最新进展[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 3-4.  
CAO Yang, YAO Jianguo, YANG Shengchun, et al. Latest advancements of smart grid core standard IEC 61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 3-4.
- [15] 华镭. OPC 统一架构的优势[J]. 中国仪器仪表, 2013(2): 54-56.
- [16] CIM User Group. Current official CIM model release [EB/OL]. [http://cimug.ucaiug.org/Current%20 Official%20CIM%20Model%20Releases/Forms/Custom%20All%20Documents.aspx](http://cimug.ucaiug.org/Current%20Official%20CIM%20Model%20Releases/Forms/Custom%20All%20Documents.aspx), 2017.
- [17] 谢善益, 杨强, 梁成辉, 等. 输变电设备远程诊断信息平台中的统一状态监测模型研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(11): 86-91.  
XIE Shanyi, YANG Qiang, LIANG Chenghui, et al. Research of unified condition monitoring information model in data platform of power transmission equipment remote monitoring and diagnosis[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(11): 86-91.
- [18] Energy management system application program interface (EMS-API), part 501: common information model resource description framework (CIM RDF) schema: IEC 61970-501[S]. 2006.
- [19] 工业和信息化部装备公司. 智能制造基础核心国标《OPC 统一架构》发布 国际授权实验室落户我国 [EB/OL]. [2017-09-07]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n1146402/n1146440/c5785957/content.html>.
- [20] 谢善益, 杨强, 徐庆平. 公共信息模型的 OPC UA 地址空间管理[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(14): 115-121.  
XIE Shanyi, YANG Qiang, XU Qingping. Address space management of OPC UA for common information model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14): 115-121.
- [21] OPC unified architecture – part 3 address space model: IEC 62541-3[S]. 2010.
- [22] OPC unified architecture – part 4 services: IEC 62541-4[S]. 2011.
- 
- 收稿日期: 2018-02-08; 修回日期: 2018-08-01  
作者简介:  
江 疆(1982—), 男, 通信作者, 工学博士, 工程师, 研究方向为电力信息系统建设与管理、电力数据分析及应用; E-mail: j.jiang@live.cn  
黄剑文(1963—), 男, 硕士, 教授级工程师, 研究方向为数据分析、数据应用; Email: huangjianwen@gdxx.csg.cn  
杨秋勇(1986—), 男, 工学硕士, 助理工程师, 研究方向为电力信息系统建设与管理、电力数据分析及应用。E-mail: romalove@qq.com

(编辑 姜新丽)