

配电网全景信息感知架构设计

王 鹏¹, 林佳颖¹, 宁 昕², 郭 岫¹, 张冀川¹, 房 牧³

(1. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192; 2. 国家电网有限公司, 北京 100031;

3. 国网山东省电力公司, 济南 250001)

摘 要: 为适应数字经济对能源电力领域产生的革命性影响, 进一步深化配电数据资源开发利用和价值挖掘, 在继承原有配电网量测实践的基础上, 提出了一种配电网全景信息感知系统构建方式。首先针对配电感知系统建设现状, 梳理了存在问题, 并基于配电未来发展趋势, 充分考虑各专业业务需求, 提出一种分层分域的配电感知系统信息架构设计, 然后从主站建设、终端研制、通信选择、模型完善等角度设计了实现目标架构的演进路线; 为描述新架构下配电数据服务主业发展和深化应用对策, 从应用场景出发, 提出了数据驱动型配电业务创新方向; 最后对新架构下配用电感知数据应用工作进行了展望, 希望为我国在此方面工作的深入开展提供参考。

关键词: 配电网; 感知系统; 分层分域; 区域自治; 云边协同; 差异配置

Architecture of Power Distribution Network Measurement System

WANG Peng¹, LIN Jiaying¹, NING Xin², GUO Shen¹, ZHANG Jichuan¹, FANG Mu³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China;

3. State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250001, China)

Abstract: In order to adapt to the revolutionary impact of digital economy in the field of energy and power, and to further development and utilization of power distribution data resources, this paper proposes a new strategy based on the practice of the existing medium-voltage and low-voltage measurement systems. Firstly, the current status of the power distribution measurement system is presented. According to the future development trend, needs and application characteristics, the reconstruction plan for architecture and data interaction based on the idea of hierarchical partitioning and difference configuration is proposed. Then, the evolution route is presented in the fields of data planning, master station, terminal development, communication modes, and model strategy. To demonstrate the value of the new architecture of power distribution measurement system, the innovation direction of the data-driven applications is proposed. Finally, the prospects of the data applications of power measurement system under the novel architecture are discussed.

Key words: power distribution system; measurement system; hierarchical partitioning; local autonomy; edge-cloud collaboration; difference configuration

0 引言

在能源结构变革、电力低碳转型和数字浪潮席卷的时代背景下^[1], 配电网将进入综合能源多能互补^[2]、信息物理深度融合^[3]的全新发展阶段。电力信息的爆发式增长需要更加轻量级的数据管理框架^[4], 新兴业务的快速扩展需要更加开放的应用结构^[5], 时空能源的实时互补需要去中心化的协调手段^[6-7], 而上述应用均依赖于全景数据感知能力的完备

性, 即具备全链条的数据获取、理解和投射环节^[8-9]。

国外电力机构开展了大量基于配电信息感知的科学研究和业务应用。德国西门子推出了基于云平台的开放式物联网系统 MindSphere, 并提供了用于电力行业的 App Energy IP, 基本覆盖了电力各环节的数据收集、分析与管理^[10]; 美国纽约电力公司启动了新一代端对端数字化电网建设, 对其所负责供电的 1 000 座市政建筑能耗进行全面的数字化监控分析^[11]; 日本关西电力投入使用虚拟电厂的辅助系统, 基于智能电表信息支撑实时需求响应、能源管理^[12]。

国内配电信息感知系统建设虽然滞后, 但是“十一五”到“十三五”期间在配电领域大面积推

基金资助项目: 国家电网公司科技项目(低压配电设备数字化提升与智能化应用技术研究)(SGSDDK00PDJS2000375)。

Project supported by Science and Technology Project of SGCC (Digitalization and Intelligence of Low-voltage Distribution Equipment)(SGSDDK00PDJS2000375).

广了多种类智能配电设备^[13-14], 大范围试点建设了由多个独立业务系统组成的综合信息系统^[15-16]。但是各业务系统在扩展升级的过程中遇到了难以解决的发展瓶颈: 建设运维方面, 传统的以新增主站和终端适应新需求的方式带来了巨大的建设运维成本^[17]; 数据采集方面, 配电感知的“最后一公里”问题尚未完全解决, 量测配置既局部重复冗余又总体可观性不足^[18]; 系统集成方面, 垂直封闭的业务系统架构不能实现数据的深度融合, 各系统之间在模型定义、数据类型、采集频度等方面缺乏协同^[19], 数据驱动的价值链条未完全打通。针对上述问题, 电力公司和研究机构开展了许多工作, 提出了新型配电台区成套化设计方案^[20], 并在新增业务数据接口、制定数据交互规范等方面为打通营配调数据提供了重要支撑^[21-22], 但是独立规划、拼接组合的建设思路仍然无法从本质解决全面感知、数值精准、即采即用的全景数据感知难题, 导致基于实验理论数据的高级算法都不具备推向实践的基础。因此, 需要重新以核心资产的视角对感知信息进行重新审视, 从源端数据唯一、信息全局共享的视角出发, 充分借鉴数据与模型融合的工业数字孪生技术, 对配电感知系统架构进行优化, 以轻量、充盈的分布式边缘计算算力对配电数据决策能力进行重构, 并对配电数据映射能力进行拓展和深化, 驱动配电感知控制、数据集成、预测分析的关键能力, 解决长期以来存在的业务实时性、灵活性和多样性难题, 从而适应碳中和、碳达峰的目标愿景对能源电力提出的综合承载力要求^[23-24]。文中梳理了下一阶段配电网感知系统建设目标和原则, 提出了配电网感知系统的信息架构设计, 阐述了其中的技术演进重点和应用方向, 以台区环节为例介绍了实践应用案例, 最后对配电感知系统发展前景进行了展望, 希望以技术、应用方面的尝试和修正, 推动配电感知系统走向成熟和完善。

1 配电感知系统架构

1.1 架构设计

为解决传统配电感知系统架构存在的主要问题, 整合电网运行、设备运维、客户服务等分立体系, 需通过统一的数据规划实现配用电一体化感知及运营体系重塑, 统筹考虑终端布点、数据采集类型、数据采集频率、数据存储、数据交互以及数据应用。文中提出一种配电感知系统架构规划方法,

按照分层分域的机制调整系统架构。

所谓分层, 是继承原有感知系统的主站层和终端层。主站层逐渐演化为业务支撑平台, 具有统一接入和终端管理、整合沉淀核心公共服务、业务快速灵活构建等功能; 终端层则以经配电馈线延伸至用户内部范围内的量测终端所组成, 支撑感知系统的数据采集和分析处理。

所谓分域, 是根据配电网电压等级和电网公司运营管理特点, 将终端层划分为线路域、台区域和用户域 3 个信息域。其中, 线路域以单条馈线为单位, 覆盖从变电站出线侧至 10/0.4 kV 配电变压器的馈线线路, 通常在变电站、开闭站、环网柜、配电室等位置部署量测点。台区域以单个 10/0.4 kV 配电台区为单位, 覆盖配变低压侧至用户并网点的电网资产范围, 通常在配变低压出线、分支开关、电表处部署量测点; 用户域以一个电力用户为单元, 通常在智能家居、智能园区设备部署量测点。

面向上述规划设计, 需要对传统感知系统架构进行升级, 具体来说呈现 3 方面演进趋势, 如图 1 所示。

1) 区域自治

为从数据源头打破多个量测系统之间割裂封闭状态, 需要对原有数据架构进行重构, 实现面向全业务范围、全数据类型、全时间维度的统一采集、存储、管理和服务。终端层中每个信息域内至少设置一个具备多业务承载能力的边缘计算节点, 其位置可参考管理划分习惯, 以信息域为单元实现本地的跨专业设备互联、数据融合和区域自治。在逻辑层面, 每个信息域由一个边缘计算节点实现域内一体化业务管理; 在物理层面, 域内的边缘计算节点可根据一次网架结构, 具体映射到一个或多个实体终端。为了最大程度利用原有感知系统、衔接已有管理权限, 需对同一位置功能类似的终端进行精简, 并对终端架构进行升级。而与边缘计算终端互联的末端量测终端应在利用现有终端配置的基础上满足配电运营需求。

2) 云边协同

边缘计算不是单一的部件, 也不是单一的层次, 而是以多体协同的方式解决低时延、大带宽、大连接、本地化等需求的计算组合形态。各信息域按照“区域自治”的原则, 以边缘计算节点为中心, 重点对域内所有专业终端进行统一接入, 并依据已有策略, 在域内完成分散杂乱的多源异构数据处理,

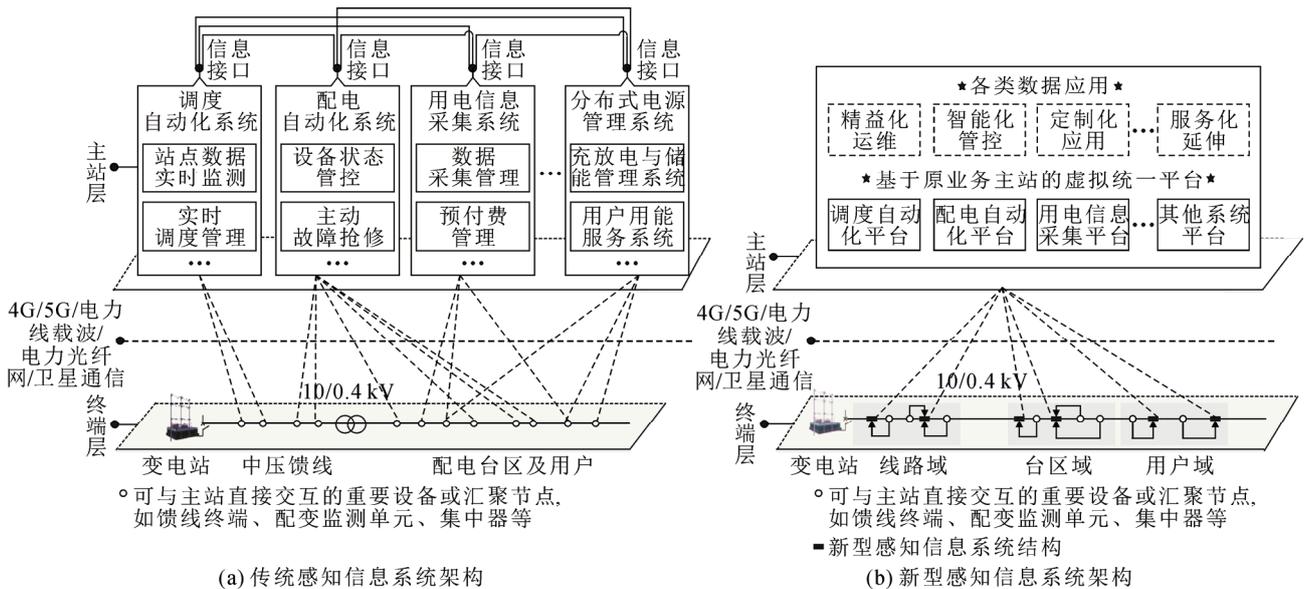


图 1 信息感知系统架构演进路线图

Fig.1 Roadmap of measurement system architecture

形成统一有序的新数据源。主站层主要与边缘计算节点进行信息交互,完成各信息域之间的数据汇聚,而不同信息域之间原则上不进行本地直接通信,以降低信息交互的复杂度。与此同时,主站层也向统一的开放式平台化载体演进,并通过平台微服务功能的集成和调用,实现对业务创新模式和生产组织方式的重构。

3) 差异配置

综合分析各信息域的网架结构和业务特点,其对应的交互架构和功能配置也存在技术差异。

(1) 交互架构

针对线路域中设备沿线分布的特点,应设计量测设备单点及链状接入方案,即可将各类量测设备数据分别以不同的通信方式上传至汇聚节点,采用多跳组网实现长距离的节点多级连跳,最终接入边缘计算终端,将数据统一汇聚并接入主站层。

针对台区和用户域的块状分布特点,根据具体场景中的传感器或感知设备数量、密度和类型,选择单点接入或经由汇聚节点接入边缘计算终端,并上传主站层的组网方式。

(2) 功能配置

线路域利用设备台账资源、量测点管理数据和采集数据,对馈线沿线设备资产进行预测性维护;台区打破配电网“最后一公里”的监测盲区,以即插即用的运维手段实现台区自治管理;用户域针对普通用户、工业用户、并网型用户的需求,分别

提供智能用电、能效分析、并网管理等本地分析控制功能,承载煤改电、电动汽车等终端电能替代所带来的灵活、多样、集约的用电需求。

针对各信息域的业务构想,边缘计算终端采用跨专业共享共用的设计原则和统一的硬件平台和软件架构设计理念,以 APP 的方式实现不同信息域的业务应用,并组合形成基于差异化性能参数、数据计算、功能形态的不同等级的区域自治能力。除边缘计算终端外,末端量测终端的具体设备选型也采取差异化、个性化配置思路,根据一次设备、供电质量和现场条件,选取不配置模式、简洁模式、标准模式、扩展模式等多种设备系列配置模式,有选择性地对电气参量、环境状态、设备状态进行采集。

1.2 数据交互

线路域、台区、用户域的量测范围从变电站出线间隔的断路器开始,贯穿中配电网节点及其所涵盖的设备状态,直至渗透到低压用户。通过本地信息流和远程信息流,共同构成纵向穿行的数字化应用闭环网络,如图 2 所示,各域主要数据交互情况见附录 A 表 A1。

本地信息流通过边缘计算终端实现电气量、状态量、环境量的本地处理,并将本地处理发现的异常告警、重要事件上传;远程信息流按照信息的优先级分为 3 类,包括优先级最高的即时上传信息,如开关变位与保护动作;优先级次之的周期上传信息,如电气量测与设备状态;优先级最低的主动召

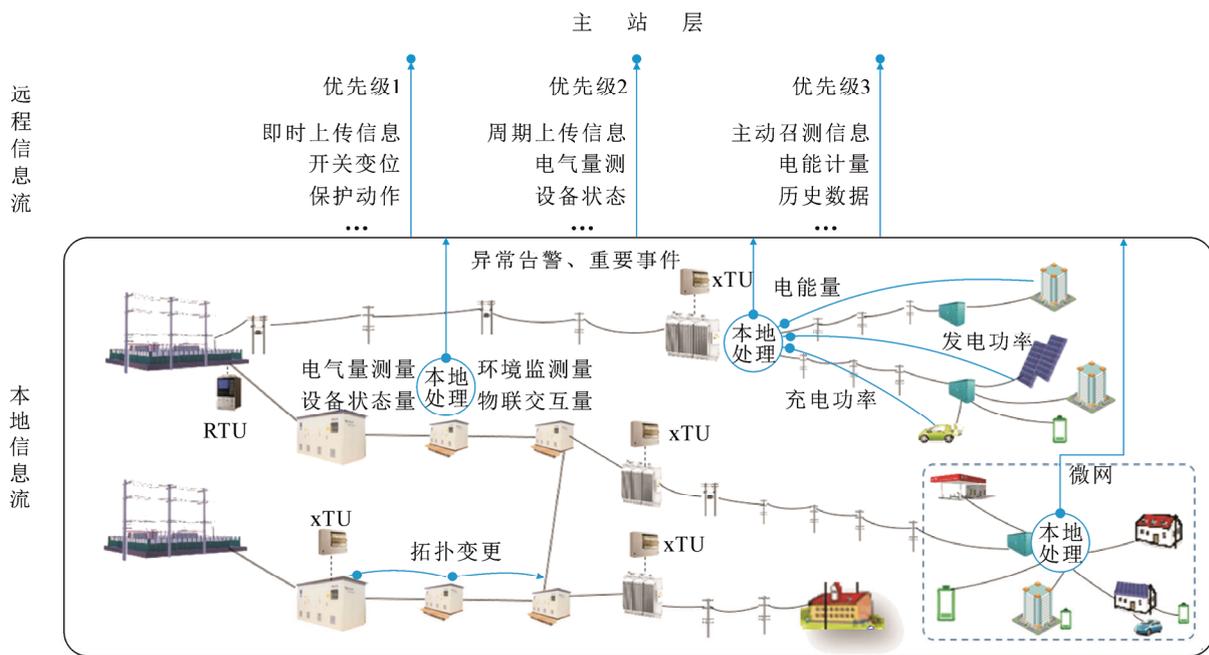


图2 信息感知系统数据架构

Fig.2 Data flow of measurement system

测信息，如电能计量与历史数据。

对于线路域，站所终端、馈线终端等边缘计算终端对本地信息进行采集，数据类型包括秒级的开关位置信号、故障信号，分钟级的电气信息和接头温度、局放信号、杆塔状态、通道状态等设备状态数据，支撑线路巡检、故障抢修等常态化作业。其中，电气信息、开关状态和本地分析结果将作为远程信息上传主站层。

对于台区域，台区智能融合终端作为边缘计算终端，对配电变压器、低压出线开关、剩余电流断路器、末端终端、换相开关、传感器等智能设备数据进行汇集分析，为本地运行控制和灾害防备提供信息。台区域的电气信息、异常信号和辅助决策的本地计算结果将上传至主站层。

对于用户域，本地数据主要包括台区电能采集，以及光伏用户、重要用户、充电站用户等用户的停电事件、并网状态、充电状态，其异动信息和需求信息将通过边缘计算终端上传主站分析，支撑同期线损计算、双向潮流监控、保供电任务、偷窃电分析等工作。

2 技术演进重点

为实现从现有感知系统向分层分域的新型感知系统架构演进，需要在主站建设、终端研制、通

信选择、模型完善等方面重点演进升级。

2.1 业务主站云化

感知系统从现有业务主站向统一采集平台演进，考虑到对已有资产的保护和现有电网业务的稳定，建议充分利用原有系统基础，采用各业务主站云化的方式实现量测系统的统一采集。现有业务主站由于早期建设背景不同，向云主站演进的路线必然不同，可以分别采用基础架构上云、容器改造上云和应用改造上云等多种策略等，对于涉及共享数据及与其他应用服务调用的部分应进行微服务化，系统界面通过平台统一集成。

2.2 量测终端智能化

各信息域的边缘计算终端在硬件方面采用平台化和模块化设计理念，实现对于温湿度等不同传感模块、多回路交直流采集模块、多种通信模块的自由拼装组合与灵活扩展。软件设计方面，则构建通用、开销最小的架构，以支持不同的软件定义的功能，组合或分配资源；采用虚拟化技术，实现操作系统与硬件解耦，及应用程序与操作系统解耦，使得任何第三方公司可在终端的通用软件平台上快速开发部署定制化 APP，满足未来配电变化的应用需求。

对于信息域内的其他量测设备，则需尽快提升标准化和免维护方面的能力，具体内容包括：

(1) 完善配电感知设备技术标准体系。

(2) 优化设备序列, 简化设备类型, 提高配电网感知设备通用性和互换性。

(3) 对传统感知设备进行智能化改造, 以外挂或内置通信模块的方式, 搭载标准化通信规约, 向边缘计算终端实时传输采集数据。

(4) 研究基于物联网技术的低成本、高可靠性、便于现场安装的低压感知终端, 支持设备的自动监控、在线监测、自我诊断、状态预警等智能化应用。

2.3 本地通信网建设

配电网应用环境复杂, 业务承载需求多样, 本地通信具有终端分布区域广、量测监控点多、易受配电网扩容和城建影响等特点, 单独采用任何一种通信方式都不能完全满足业务需求。

因此, 各信息域需要围绕边缘计算节点, 统一规划和建设域内本地通信接入网, 结合配电业务的实际需求因地制宜选择通信方式, 如表 1 所示。线路域宜通过微功率无线通信方式完成本地通信网组网, 实现感知设备的接入; 台区域可采用电力线载波与无线的双模通信, 解决通信盲点的接入问题, 扩大通信覆盖范围, 提高通信性能和业务支撑能力; 用户域为满足充电桩/分布式电源量测装置的接入, 可通过 NB-IoT、LoRa 等无线通信方式或宽带载波接入边缘计算终端。而新一代信息技术的推广应用, 还将持续优化组网方案, 提供更加可靠、快捷、灵活的数据传输能力。

2.4 信息模型完善

配电状态感知和建模仿真需要以统一信息模型为基础。现有信息模型尚不能完全覆盖所有量测数据, 且模型灵活性仍不足。信息模型范围上需覆盖终端层的智能终端模型、量测模型、传感器模型、表计模型, 还需涉及主站层的一二次设备模型、网络拓扑模型以及业务应用模型等。模型完善需要从即插即用、设备互联、量测上送、指令下发等业务场景出发, 探索模型完备性和交互效率之间的平衡, 为配电云化主站设计、边缘计算数据描述、末端终端设备研发以及自下而上全流程的数据交互提供可快速开发、即插即用、高效传输的标准规范。

3 应用实践

本章以台区域为例, 介绍配电台区侧的感知信息系统改造建设改造应用, 重点提升数据覆盖广度

表 1 本地设备接入需求

Table 1 Access requirements of proximity networks

信息域	主要设备	设备接入需求			
		接入数量	传输距离	传输速率	实时性、可靠性
线路域	开关类	较多	长	高	高
	监测类	多	长	较高	较低
台区域	开关类	少	短	较高	高
	无功补偿	少	短	较低	较低
	传感类	少	短	较低	较低
用户域	采集类	多	长	较低	较低
	光伏类	较少	长	较高	较高
	充电桩	较少	长	较高	较高

和应用深度, 解决台区长期存在的低压供电可靠性和主动精准运维检修问题。

3.1 总体建设架构

台区域建设以具备边缘计算能力的台区智能融合终端为核心, 分别在电源侧、低压线路侧、用户侧部署各类低压感知设备, 实现对配电变压器、低压网架分支线、低压用户运行电气量、状态量、环境量等数据的采集监测。台区智能融合终端将台区数据按需分析、计算、整理后, 通过光纤或无线专网/公网上送至云主站。台区域总体建设架构如图 3 所示。

(1) 设备互联

台区智能融合终端通过端口与协议的对应关系和物理地址约定, 实现低压智能设备与台区智能融合终端的接入自动化。台区智能融合终端规定端口和协议的对应关系, 使得各低压设备按照约定地址段配置通信地址, 实现互联。终端运行的数据采集 APP 按照约定轮询各低压设备, 解析和转发设备数据, 同时将响应情况保存至本地设备管理数据库。

(2) 平台接入

边缘设备管理组件是连接台区智能融合终端和业务应用的枢纽, 支持本地数据汇聚与分发、节点设备管理与控制、边缘算法配置、算法 APP 管理等, 实现感知数据源端融合、边缘计算规范配置、信息有效汇聚与传输。平台与台区智能融合终端交互分为管理通道和业务通道, 其中管理通道实现设备管理、容器管理、APP 管理等业务。业务通道通过台区智能融合终端内置的 101/104 APP 与平台进行数据交互。

(3) 主站应用

对原有配电主站系统采用微服务架构改造和应用上云策略, 在统一数据模型、技术标准和框架

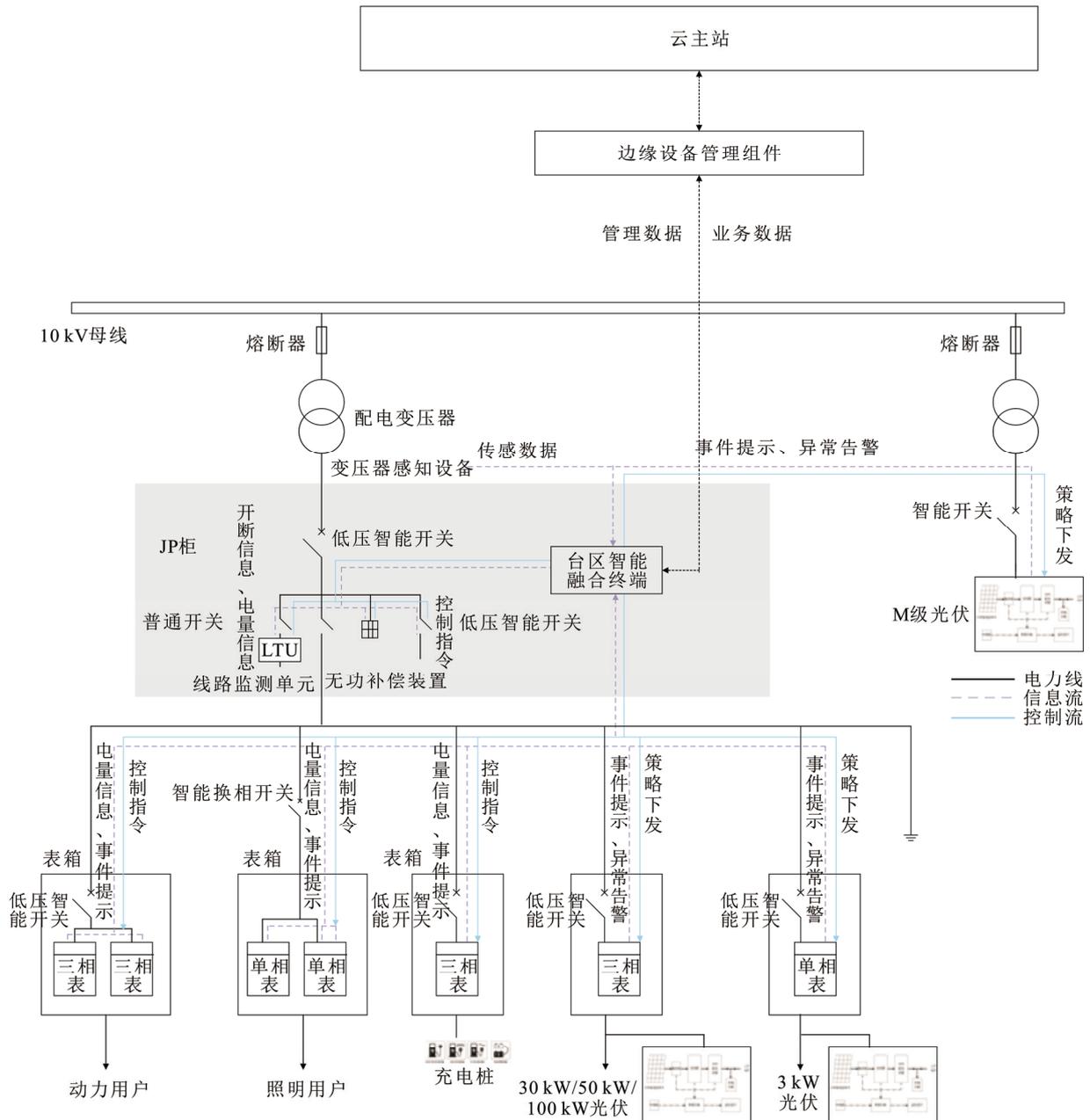


图3 台区总体建设架构

Fig.3 Construction architecture of transformer area

下，以微服务形式，对外支撑分布式能源管控服务、电动汽车有序充电等新型业务，对内实现原有配电业务，满足需求快速响应、应用弹性扩展等要求。

3.2 终端差异化配置

台区侧差异化配置主要由台区配套设施的部署情况，配合相应软件 APP 实现。成套的定制化配置类型可分为简洁型、标准型和扩展型，其具体配置参数详见附录 A 表 A2。

简洁型终端配套设施仅需智能电表，实现配变监测、电能计量、线损分析、故障研判和停电信息上报等功能，适用于农村、城乡结合部、小容量公

变和一般专变用户。

标准型终端配套设施在简洁型基础上，增加智能断路器、环境传感器、拓扑识别模块、无功补偿电容器、智能换相开关等设备，实现功能在简洁型基础上，增加开关运行监测、台区运行环境监测、电能质量治理、拓扑自动识别、分段线损分析，适用于城市和重要负荷区。

扩展型终端配套设施在标准型基础上，增加充电桩、分布式能源、视频监控装置，在标准型基础上，增加充电桩有序充电管理、分布式能源接入、

电能质量综合治理、配电站房视频监控等功能, 适用于分布式电源、充电桩集中地区和重要专变用户。

3.3 应用成效

(1) 提升台区运行监测能力

台区智能融合终端极大地拓展了台区域状态感知范围, 除传统的台区侧监测, 实现了向低压线路侧和用户侧的延伸, 总计接入设备约 200 个, 基于即插即用的物联网模式, 可大幅节约运维调试时间。在范围扩展的基础上, 全面提升了数据采集频率, 低压告警类信息可实现重点地区秒级获取, 其他地区 1~5 min 内获取, 常态数据的采集周期压缩至 15 min 以内。截至 2020 年底, 台区智能融合终端已在 13 万个台区实现配电运行工况和设备状态的智能识别, 试点区域通道外破隐患、发生率降低 75%, 台区停电信息通知由 270 s 缩短至 30 s, 用户投诉数量同比减少 47%。

(2) 扩展数据本地处理能力

改造后的台区域信息感知系统具有更完善的连接配置和管理能力。以扩展型终端配置为例, 其数据采集周期为 15 min, 单日数据采集量约为 10.5 MB, 经过本地处理后, 单日上传数据缩减至 507 kB, 与传统模式相比传输数据节省 95.2%。基于边缘计算机生成台区电能质量综合治理策略, 协调控制台区补偿和切换设备, 解决台区三相不平衡和谐波问题, 试点地区配变侧电压合格率提高 2.4%, 台区线损率降低 1.8%。利用量测数据, 台区智能融合终端还可精准定位低压故障, 支撑低压主动抢修和快速复电, 平均复电时间缩短 46%。

(3) 提高业务响应实现能力

在云主站层面, 相较于传统主站功能更新带来的系统停运和大量现场准备工作, 云化迁移的微服务系统只需升级对应模块, 不影响其他业务功能, 系统升级频率从月度或年度缩短至每日或每周; 在边缘节点层面, 台区智能融合终端提供现场级的实时计算、存储和通信机制, 应用封装大量基础功能的边缘 APP 也进一步降低业务功能开发部署难度, 提高实施应用效率, 终端功能升级也从现场的模块插拔改为远距离零接触的 APP 下载模式, 软件更新时间可缩短至 1 min。

(4) 提升源网荷储协调能力

通过台区智能融合终端对光伏并网网点状态进行监测, 对分布式电源的特性进行跟踪研究, 分析

评估低压分布式光伏电源并网对低压配电线路的影响, 优化分布式能源布局, 提高配电网对分布式电源的接纳能力。此外, 还可以促进电动汽车有序充电与充电桩布点优化。基于分时电价、用户申请充电模式和预测负荷曲线, 生成多种优化充电策略, 引导用户选择适当充电方式, 实现充电效益最大化和电网消峰填谷要求。

4 展望

配电网感知系统从原来的以专业系统为基础的组式设计, 转变为以数据资产为核心的一体化设计, 其本质是更加突出数据作为资产的理念, 客观上将带来从局部最优向全局最优的利益增值。配电网感知系统信息架构设计主要依靠 IT 硬件资源、通信组网能力和信息化技术 3 个方面, 当其中任何一方面产生技术突破, 都将直接影响着配电网感知系统整体的信息架构, 因此配电网感知系统信息架构设计工作需要随着技术发展持续开展研究。

文中通过重构系统部署, 明晰交互方式, 可有效降低感知系统的建设运维成本, 在本地实现数据的聚合和呈现, 以扁平、灵活、高效的软件定义方式快速满足形态多样的业务融合和快速变化的服务要求, 并将在电网运行、客户服务、新兴业务方面驱动配电效率提升、发展创新方向。在此架构下, 数据及业务安全仍需新的探索, 如何在最大程度实现业务功能的前提下, 提供有效的安全保障仍然是亟待解决的重要课题。

附录见本刊网络版(<http://hve.epri.sgcc.com.cn/CN/volumn/current.shtml>)。

参考文献 References

- [1] IRENA. Global energy transformation: a roadmap to 2050[R]. Abu Dhabi, United Arab Emirates: IRENA, 2019.
- [2] BEDI G, VENAYAGAMOORTHY G K, SINGH R, et al. Review of internet of things (IoT) in electric power and energy systems[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2018, 5(2): 847-870.
- [3] 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.
- [4] 国家电网有限公司. 智慧物联体系总体设计(2020 版)[R]. 北京: 国家电网有限公司, 2020.
SGCC. The architectural design of smart IoT system[R]. Beijing, China: SGCC, 2020.
- [5] 国家电网有限公司. 配电物联网技术发展白皮书[R]. 北京: 国家电网有限公司, 2019.

- SGCC. White paper on PD-IoT[R]. Beijing, China: SGCC, 2019.
- [6] Internet of things (IoT) — edge computing: ISO/IEC TR 30164[S], 2020.
- [7] 王宣元, 刘敦楠, 刘 蓁, 等. 泛在电力物联网下虚拟电厂运营机制及关键技术[J]. 电网技术, 2019, 43(9): 3175-3183.
WANG Xuanyuan, LIU Dunnan, LIU Zhen, et al. Operation mechanism and key technologies of virtual power plant under ubiquitous Internet of Things[J]. Power System Technology, 2019, 43(9): 3175-3183.
- [8] PRIMADIANTO A, LU C N. A review on distribution system state estimation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2017, 32(5): 3875-3883.
- [9] 王守相, 梁 栋, 葛磊蛟. 智能配电网态势感知和态势利导关键技术[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(12): 2-8.
WANG Shouxiang, LIANG Dong, GE Leijiao. Key technologies of situation awareness and orientation for smart distribution systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(12): 2-8.
- [10] Siemens Digital Industries Software. Mindsphere: enabling the world's industries to drive their digital transformations[R]. Plano, USA: Siemens, 2020.
- [11] New York Power Authority. NY energy management[EB/OL]. <https://www.nypa.gov/services/green-energy/ny-energy-manager>.
- [12] Kansai Electric Power. Future vision drawn by "K-VIPs"[EB/OL]. https://www.kepcoco.jp/energy_supply/energy/vpp/vpp/index.html.
- [13] 李有铨, 黄郁远, 于 力, 等. 南方电网配电自动化管理与实践[J]. 供用电, 2014(9): 20-23.
LI Youcheng, HUANG Shaoyuan, YU Li, et al. Management and practice on distribution automation of China Southern Power Grid[J]. Distribution & Utilization, 2014(9): 20-23.
- [14] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 131-135.
HU Jiangyi, ZHU Enguo, DU Xingang, et al. Application status and development trend of power consumption information collection system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(2): 131-135.
- [15] 刘 东. 我国配电自动化的发展历程与技术进展[J]. 供用电, 2014(5): 22-25.
LIU Dong. Development history and technical progress of DA in China[J]. Distribution & Utilization, 2014(5): 22-25.
- [16] 黄志龙, 邱家驹. 配网 SCADA 和 GIS 功能的集成[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000, 12(4): 36-41.
HUANG Zhilong, QIU Jiaju. Integration of SCADA and GIS functions of distributing network[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2000, 12(4): 36-41.
- [17] 吕 军, 梁文鹏, 刘日亮, 等. 基于全面感知和软件定义的配电网物联网体系架构[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.
- [18] 张勇军, 刘斯亮, 江金群, 等. 低压智能配电网技术研究综述[J]. 广东电力, 2019, 32(1): 1-12.
ZHANG Yongjun, LIU Siliang, JIANG Jinqun, et al. Research review on low-voltage intelligent distribution network technology[J]. Guangdong Electric Power, 2019, 32(1): 1-12.
- [19] 张铁峰, 梁思博, 顾建炜. 配用电大数据应用综述[J]. 电测与仪表, 2017, 54(2): 92-99.
ZHANG Tiefeng, LIANG Sibao, GU Jianwei. Overview of the distribution and utilization big data application[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(2): 92-99.
- [20] 张冀川, 陈 蕾, 张明宇, 等. 配电网智能终端的概念及应用[J]. 高电压技术, 2019, 45(6): 1729-1736.
ZHANG Jichuan, 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.
- [21] 刘日亮, 刘海涛, 夏圣峰, 等. 物联网技术在配电台区中的应用与思考[J]. 高电压技术, 2019, 45(6): 1707-1714.
LIU Riliang, LIU Haitao, XIA Shengfeng, et al. Internet of things technology application and prospects in distribution transformer service area management[J]. High Voltage Engineering, 2019, 45(6): 1707-1714.
- [22] 孙浩洋, 张冀川, 王 鹏, 等. 面向配电网的边缘计算技术[J]. 电网技术, 2019, 43(12): 4314-4321.
SUN Haoyang, ZHANG Jichuan, WANG Peng, et al. Edge computation technology based on distribution internet of things[J]. Power System Technology, 2019, 43(12): 4314-4321.
- [23] 郭 经, 刘文霞, 张建华, 等. 主动配电信息物理系统可靠性建模与评估方法综述[J]. 电网技术, 2019, 43(7): 2403-2412.
GUO Jing, LIU Wenxia, ZHANG Jianhua, et al. A survey of reliability modeling and evaluation methods for active distribution cyber-physics systems[J]. Power System Technology, 2019, 43(7): 2403-2412.
- [24] 国务院新闻办. 新时代的中国能源发展[R]. 北京: 国务院新闻办, 2020.
SCIO. Energy in China's new era[R]. Beijing, China: SCIO, 2020.



WANG Peng
Ph.D.
Senior engineer

王 鹏

1982—, 男, 博士, 高级工程师
研究方向为配电网运行分析、配电自动化、分布式电源接入运行等
E-mail: w1213@epri.sgcc.com.cn



LIN Jiaying
Corresponding author

林佳颖(通信作者)

1992—, 女, 硕士, 工程师
研究方向为配用电数据分析、配电网物联网等
E-mail: linjiaying@epri.sgcc.com.cn

收稿日期 2021-02-25 修回日期 2021-07-06 编辑 程子丰

附录 A

表 A1 配电网主要数据交互情况

Table A1 Main data of distribution network

信息域	量测对象	数据类型	数据项
线路域	环网柜/ 柱上开关	电气量	电压、电流、有功、无功、电量 故障录波 统计/历史数据
		状态量	开关位置、故障信号、储能信号、远方/就地保护 接头温度、局放信号、接地泄露电流、气体压力
		环境量	温度、湿度、烟感、门禁传感器
		状态量	接头温度、局放信号、绝缘、通道状态（温度、湿度、气体）
	电缆	状态量	绝缘状、通道状态（异物、车辆）、杆塔状态
	架空线	电气量	并网点/公共连接点电压、电流、功率因数、有功、无功
		状态量	并网点/公共连接点开关状态、故障保护信息
		环境量	温度、湿度、光照、风力
	分布式电源	电气量	公共连接点电压、电流、功率因数、有功、无功
		状态量	公共连接点开关状态、故障保护信息
环境量		温度、湿度	
充电桩/站	电气量	公共连接点电压、电流、功率因数、有功、无功	
	状态量	公共连接点开关状态、故障保护信息	
	环境量	温度、湿度	
台区域	配电变压器	电气量	电压、电流、有功、无功、电量
		状态量	分接头位置、故障信号、接头温度、局放信号、油位、振动、噪声、接地泄露电流
		环境量	温度、湿度、烟感、门禁、视频
	低压设备	电气量	电压、电流
		状态量	开关状态、故障信号、告警信息
	户表	电气量	电压、电流、功率因数有功、无功、电量
		状态量	告警信息
	低压分布式电源	电气量	并网点/公共连接点电压、电流、功率因数、有功、无功
		状态量	并网点/公共连接点开关状态、故障保护信息
		环境量	温度、湿度、光照、风力
低压充电桩/站	电气量	公共连接点电压、电流、功率因数、有功、无功	
	状态量	公共连接点开关状态、故障保护信息	
	环境量	温度、湿度	
用户域	户表	电气量	电压、电流、功率因数有功、无功、电量
		状态量	告警信息
	低压分布式电源	电气量	并网点/公共连接点电压、电流、功率因数、有功、无功
		状态量	并网点/公共连接点开关状态、故障保护信息
		环境量	温度、湿度、光照、风力
	低压充电桩/站	电气量	公共连接点电压、电流、功率因数、有功、无功
		状态量	公共连接点开关状态、故障保护信息
能效/智能家居	电气量	工商业用户能效数据、居民用户智能家居电压、电流	
	状态量	居民用户智能家居开关状态	

表 A2 台区智能融合终端差异化配置表

Table A2 Differentiated configuration of smart distribution transformer terminal

类型	配套设施	交互数据	功能配置	适用范围
简洁型	智能电表	配变侧： 1、三相电压、三相电流、有功功率、无功功率、功率因数、正反向有功电能、谐波实时数据(2~19次)(频率 15 min)。 2、谐波统计数据(频率 1 d)。 3、停电告警、三相不平衡告警、无功过补、欠补告警(实时上报)。 分支侧： 1、电容器容量状态(频率 15 min)。 2、断路器电压、电流(频率 15 min)。 用户侧： 1、电压、电流、有功功率、无功功率(频率 15 min)。 2、停上电事件(实时推送)。 3、正/反向有功电能示值(频率 1 d)。	配变监测 电能计量 线损分析 故障研判 停电信息上报	农村 城乡结合部 小容量公变 一般专变
标准型	在简洁型基础上增加： 智能断路器 环境传感器 拓扑识别模块 无功补偿电容 智能换相开关	在简洁型基础上，增加交互数据包括： 配变侧： 1、温湿度、烟感、柱头温度、线缆温度，变压器油温等环境数据。 分支侧： 1、SVG 补偿容量、负载侧电流、系统侧电流(频率 15 min)。 2、换相开关功率、相位、运行状态(频率 15 min)。 3、支路电压、电流、电容投切容量、电容投切状态(频率 15 min)。 4、无功补偿节能总电量、电容支路投切次数(频率 1 d)。	在简洁型基础上增加： 开关运行监测 台区环境运行监测 电能质量治理 拓扑自动识别 分段线损分析	城市 重要负荷区
扩展型	在标准型基础上增加： 充电桩 分布式能源 电能质量治理 视频监控装置 AI 加速模块	在标准型基础上，增加交互数据包括： 用户侧： 1、充电桩电压、电流、功率、功率因数、充电开关状态(频率 15 min)。 2、充电桩充电开关跳闸告警(实时上报)。 3、分布式电源并网电压、电流、功率、功率因数、并网开关状态(频率 15 min)。 4、分布式电源公共连接点有功、无功出力、公共连接点(频率 1 d)。 5、远程配置调试、APP 管理、无功投切控制、开关控制、状态采集、遥测、通讯功能等。	在简洁型基础上增加： 充电桩有序管理 分布式能源接入 电能质量综合治理 站房视频监控 视频图像分析告警 人工智能应用	分布式电源、充电桩集中地区 重要专变