基于IEC 61850的智能配电网信息通信模型研究

针对传统配电网系统在通信架构、各子系统间接口、互联互通能力、以及适应大量分布式电源接入等方面的不足，结合IEC 61850在开放互联、互操作及其在变电自动化中成熟的应用经验等优点。研究了未来智能配电业务的典型需求，构建了智能配电系统功能模型，提出分布式电源控制及中压配电自动化典型用例，并从系统接口、时延需求、负载需求等方面提出其ICT需求模型，根据上述模型，构建基于IEC 61850的智能配电系统通信网络模型，一方面提高了传统配电通信网络的可靠性，另一方面为未来智能配电网的规划与建设提供了重要的理论依据。

李建岐 赵勇 黄必尧/国网智能电网研究院

李建岐／教授级高工

关键词/Keywords
智能配电系统 · 典型用例 · ICT需求 · IEC61850 · 网络模型 ·

0 引言

配电系统作为智能电网的重要组成部分，随着未来大量分布式可再生能源、微电网等新型能源节点的接入[1]，会要求配电网在智能化、自动化、互动化等方面具备较高水平。同时由于配电网具有点多面广，通信方式灵活多样，必须与其他能量系统进行信息交互等特点，使得未来智能配电网必须在系统结构、网络模型、ICT(Information Communication Technology)需求等方面进行优化与调整。

IEC 61850[2]具备互操作、面向对象、即插即用、优秀的可扩展性等特点，国际电工委员会（IEC）TC57已经将其扩展到变电站自动化以外的分布式能源发电、输电、配电自动化等领域[3]。

国家电网公司科技项目“能源互联网信息通信体系架构研究”。

本文根据未来智能配电系统场景以及业务需求，研究了智能配电系统功能模块及其系统架构；并结合两个典型配电网需求用例，从其系统接口、时延需求、负载大小、数据并发特性等方面研究其ICT需求；最后，基于IEC 61850标准，构建智能配电网信息通信网络模型，为未来配电网的规划与建设提供了重要的理论依据。

1 智能配电系统

配电网络是电网系统的重要部分，智能电网业务需求是构建智能电网架构的重要依据，欧盟第7框架计划（Seventh Framework Programme）开展了未来能源互联网（Future Internet For Smart Energy，FINSENY）项目（2011.4~2013.3）[5]的研究，FINSENY针对未来智能配电网络业务需求，总结出了未来智能配电系统典型用例（如移动作业管理，故障定位、隔离与恢复，中压配电自动化，分布式能源接入管理等），并在各用例基础上研究其ICT需求，针对需求开展典型架构设计，提出科学的功能及系统架构模型，图1为未来智能配电网络典型场景图。

图1中，未来智能配电网络将出现大量分布式电源、电动汽车充换电设施、智能楼宇等新型能源节点的接入。下面针对未来电网需求，分析智能配电系统功能模型，总结典型智能配电网用例ICT需求。

1.1 智能配电系统功能模型

智能配电管理系统是对整个配电网

中国知网 https://www.cnki.net

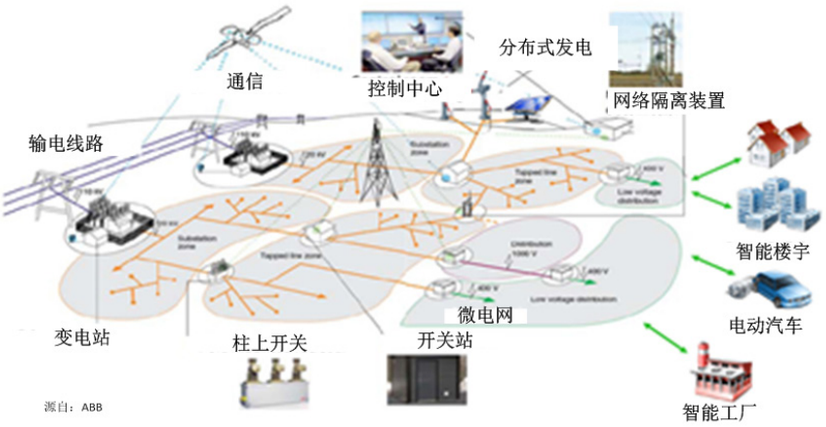

图1 智能配电系统网络场景图[4]

进行统筹管理与监控，使得电网自动化水平、故障恢复时间以及用电安全等得到大幅提升，图2为智能配电管理系统的典型功能模块架构图，可以把整个配电自动化系统分为配电系统控制中心、变电站级配电系统以及远方配电终端。

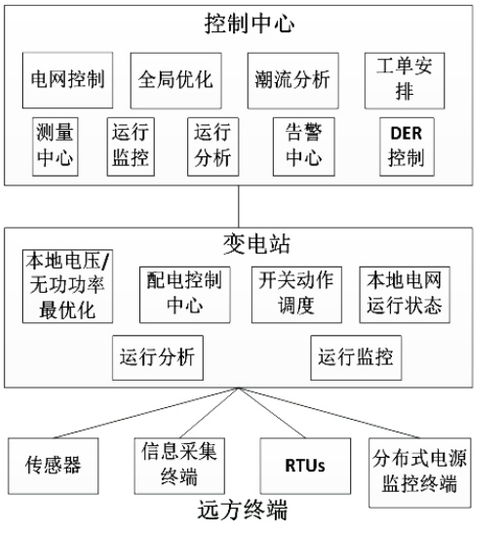

图2 配电系统功能模块架构

（1）控制中心功能组件

电网控制：该组件主要用于电网的监视和控制功能，可以通过图形化界面向电网监控人员实时显示电网状态，并可通过SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）系统发送实时控制命令。

1）全局优化。该组件通过计算不同的操作策略以优化电网运行，如计算分布式电源、柔性负载以及其他电源设备的最优化值，以保证配网系统电压稳定运行和最小功率损失。

2）测量中心。该组件负责管理与更新来自远方测量终端的非实时测量数据，测量信息的更新周期（如小时、天、月）可以根据各类测量信息的具体需求而设置。

3）运行监控。该组件提供对配电网络的监控，包括：设备状态、网络连接、负载情况和现场工作组位置管理等，以确保电网的稳定运行以及最小功率损耗。

4）运行分析。该组件监测和记录网络连接，负载和事故信息，以优化操作和安排定期的维护。

5）工作单调度。该组件提供对系统运维及检修人员工作单的制定，工作人员的派遣与调度。

6）分布式电源控制。该组件负责控制连接到电网的各类分布式电源的电子逆变器。使得电能量生产达到平衡。

7）潮流分析。该组件用于分析每个变电站当前以及预期潮流信息。

8）告警中心。该组件负责收集系统产生的所有告警信息，并通过可视化界面实时通知系统安全操作人员。

（2）变电站层功能组件

1）运行分析。该组件用于与故障定位和隔离

中国知网 https://www.cnki.net

相关的分布式操作，它监测和记录网络连接，负载和事故信息，以优化操作和安排定期的维护。

2）配电控制中心。该组件用于变电站层的电网监视和控制功能，可提供自动控制操作以实现网络的自愈。

3）运行监控。该组件用于实时监控现场电网设备。

4）开关动作调度。该组件用于在实现故障隔离的情况下对变电站层的一系列开关动作的调度。

5）本地电网运行监控。该组件用于监控和分析变电站和现场电网设备的状态。

6）本地电压/无功功率最优化。该组件用于对变电站和现场电网设备进行最优化操作管理。

1.2 典型用例ICT需求分析

智能配电系统中各典型用例的实现过程均可以看成上述的单一或一系列功能组件的集合。要研究系统的ICT需求，需从以下几个角度分析：

1）接口。指分别连接系统或设备上联或下联方向的接口。

2）时延。单方向的传输时延，指消息从发送端的应用层产生到接收端的应用层收到数据所用的时间。

3）净负荷。不包含路径和传输等冗余信息的最大数据包大小（KBytes）。

4）时间分辨率。系统度量时间的最小尺度（ms）。

5）发送间隔。循环发送的数据的发送周期。

本节通过两个典型用例研究智能配电网ICT需求。

（1）分布式电源控制

分布式电源控制主要是由于分布式发电（如分布式光伏、分布式风力发电、分布式存储设备等）具有随机特性，必须对接入电网的分布式电源的逆变器进行控制以保证分布式电源与整个电网的平衡，网络控制系统需要随时监控逆变器的状态以实现对能量转换过程的全过程监控。在任何情况下，逆变器必须具备自我保护的能力，如短路状态下的过电流保护。并且当系统中出现警告或者紧急报警信息时，逆变器必须尽快将信息传输给控制中心。根据分布式电源控制的功能需求，图3、图4分别列出了两种分布式电源控制系统的ICT模型图。

根据图3与图4所示的分布式电源控制系统功能模块及接口示意图，表1详细列出了各接口之间传输信息的ICT需求[4]。

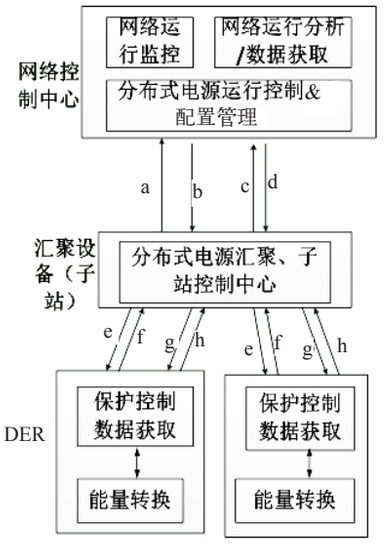

图3 含汇聚设备的分布式电源控制系统ICT模型

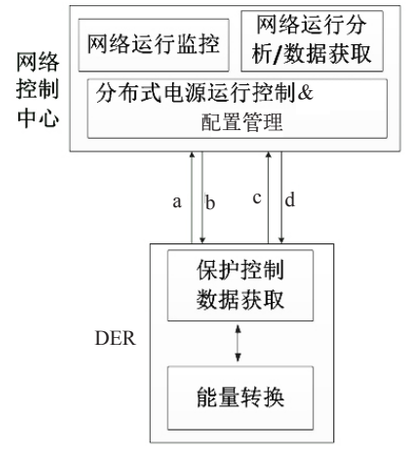

图4 分布式电源直接控制系统ICT模型

（2）中压配电自动化

中压配电自动化是配电网的主要应用系统，它主要监控中压配电系统中的中压配电线路、配电变压器以及分布式电源的状态，其主要功能是遥控、遥测、遥信以及安全功能等。

中国知网 https://www.cnki.net

表1 分布式电源控制ICT需求

接口	信息	净负载量/KB	时延/s	时间分辨率/ms	发送间隔
a/b(e/f)	配置参数	50	60	–	需要时发送
	参数获取（电压、电流、相位、功率）	0.25	1	0.1	150 ms
	系统维护	1	60	–	需要时发送
c/d(g/h)	控制指令	0.25	100 ms	–	500 ms
	状态信息/确认信息	0.25	100 ms	–	500 ms
	紧急报警	2	250 ms	–	事件触发
	告警信息	1	2	–	事件触发

1）遥控。遥控功能要求通信必须具有较高的实时性，同时遥控信息的QoS（Quality of Service，服务质量）等级必须具有较高的优先级。

2）遥测。遥测功能主要是从远方智能测量终端获取数据，对信息传输的实时性要求不高，但是数据量较大，未来智能电网需要实现对所有的配电变压器和分布式电源实现远程遥测信息的采集。

3）遥信。遥信功能主要是获取各类远程终端的状态，如开关位置变化信息等。

根据如图5所示的中压配电自动化功能模块及接口示意图，表2详细列出了各接口之间传输的信息及ICT需求[5]。

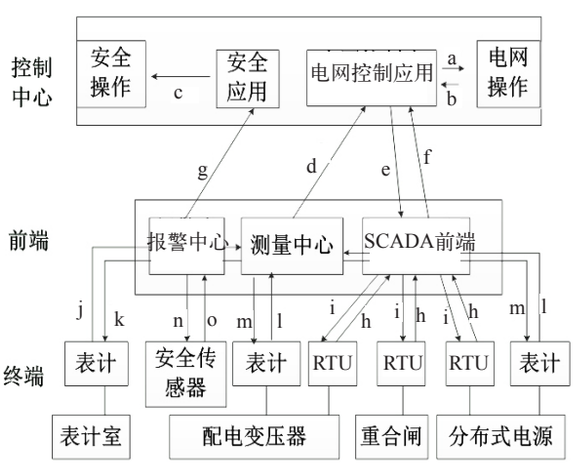

图5 中压配电自动化系统ICT模型

2 基于IEC 61850的智能配电网络模型

上述1.2节描述了典型智能配电系统用例的ICT需求，根据表1、表2所示的ICT需求可知，系统中控制报文及紧急报警对时延要求较高，一般要求在500 ms以内完成数据传输。IEC 61850标准根据变电站内各类报文的时延需求，定义了7类报文（快速、中速、低速、原始数据、文件传输、时间同步、命令报文），其中各类报文根据功能不同对时延要求也不同，如快速报文（跳闸）要求传输时间<10 ms，文件传输要求传输时间<1 s等[3,6]。根据不同的时延要求，IEC 61850制定了相应的通信模型（如：客户端/服务器，订阅/发布等）及服务通信映射机制（如MMS、WebService、101/104规约等）。配电系统可借鉴上述机制实现对各类报文的传输。本节根据1.2节的ICT需求建立了如下基于IEC 61850的配电网络模型。

2.1 主站与终端

主站与终端之间采用基于IP的通信网络，由于目前主站应用系统（能量管理系统、配电管理系统）主要使用基于IEC 61970/IEC 61968的通用信息模型（Common Information Model，CIM）[7,8]，需要在主站系统设置IEC 61970/IEC 61968与IEC 61850模型之间的转换机制，实现网络的无缝连接。

如图6所示，主站与终端之间可采用客户端/服务器（C/S）模式进行通信，主站作为客户端，终端作为服务器。为实现无缝连接，主站需配置协

中国知网 https://www.cnki.net

表2 中压配电自动化ICT需求

接口	信息	净负载量/KB	时延/s	时间分辨率/ms	发送间隔
a/b	网络操作、控制	0.02	0.5	–	–
c	安全监控	–	–	–	–
d	电网非实时控制信息检索	5-20	5	15 min	12 h
e	电网控制命令下发	0.02	0.5	–	需要时发送
f	电网实时控制信息检索	1	0.5	1	2 s
g	安全报警信息	1	2	1 000	事件触发
h/i	状态和测量值变化信息	0.256	1	–	2 s
	状态和测量值	1	1	–	10 min
	控制命令下发	0.02	1	–	需要时发送
j/k	测量值检索	1	15	–	15 min
	控制命令	1	5	–	需要时发送
l/m	测量值检索	1	15	–	15 min
n/o	报警感应	1	2	–	事件触发

议转换功能，将终端使用的IEC 61850信息模型转换为其各个应用系统所对应的CIM模型，配电终端可以将自己的ACSI映射到特定的通信协议上。IEC 61850通信前置机用于接收与发送多个配电终端的数据。

在通信技术的选择方面，主干网络一般采用光纤通信技术，带宽在100 Mbit/s以上，常用的组网技术有工业以太网交换机和EPON技术。对于分支接入网络，可根据实际需求选择合适的技术，对于需求量较大密集城区可采用光纤组网，较偏远的地方可选择PLC、无线等多种通信技术[9]。

IEC 61850将通信技术本身和通信服务进行分离，这样加大了在实现方面的灵活性，用户可根据其特定的应用场景以及系统的复杂度选择合适的通信规约进行特定通信服务映射，终端与主站之间的通信可选择如下的映射方式：①MMS映射；②IEC 60870-5-104映射；③WebServices映射。

2.2 终端与终端

故障的快速定位、隔离与恢复（Fault Location、Isolation and Service Restoration，FLIR）是智能配电网的主要功能之一，而要真正实现FLIR，需要实现终端之间的互操作，各配电终端之间的数据需要不经过配电主站直接进行信息交互，如图7所示为其通信模型。

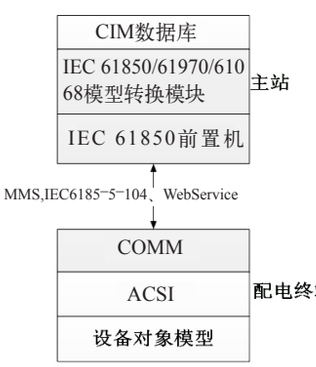

图6 主站—终端通信模型

图7 终端-终端通信模型

采用上述通信模型可以实现配电网络中故障的快速定位与故障自愈，配电终端之间的通信可以采用客户/服务器模式，支持发布/订阅模型，配电终端作为客户端向邻近的终端订阅需要的实时信息，同样也作为服务端向邻近的终端发布本身监测的实时信息。通过采用IEC 61850，可以规范配电终端的模型和接口方式，增强终端之间的互操作性，便于实现不同厂家的配电终端之间的互联互通。但上述模型要求配电终端需要对数据进

中国知网 https://www.cnki.net

行收发和处理，增加了软硬件的实现复杂度。

在通信技术选择方面，可以优先考虑PLC技术。一方面，由于其无须布线的先天的优越性，大大节省了施工与维护的工作量，另一方面，近年来随着PLC技术的发展，其在数据传输速率和可靠性方面均得到了较大突破。

为了实现数据快速传输的功能，支持快速的数据刷新，对通信规约的实时性能要求比较高，可以选择GOOSE模型，也可以采用 IEC 60870-5-101/104的映射方式以保证通信的实时性能。

2.3 采用代理的网络模型

常规的配电终端无法支持IEC 61850协议的信息模型，为实现常规配电终端的信息接入，可采用配电子站作为代理，通信模型如图8所示。配电通信网络中存在大量的配电终端，其中一部分为支持IEC 61850的配电终端，另外一部分为常规配电终端，可以采用设置配电子站作为代理的网络模型。配电子站可以识别配电终端的类别，针对IEC 61850配电终端，其仅对数据进行转发的方式发送给主站。针对常规配电终端，子站设备协议转换功能模块，对收到的数据转换为IEC 61850协议数据模型，再发送给主站，这样便大大提高了系统的互联互通和互操作性。

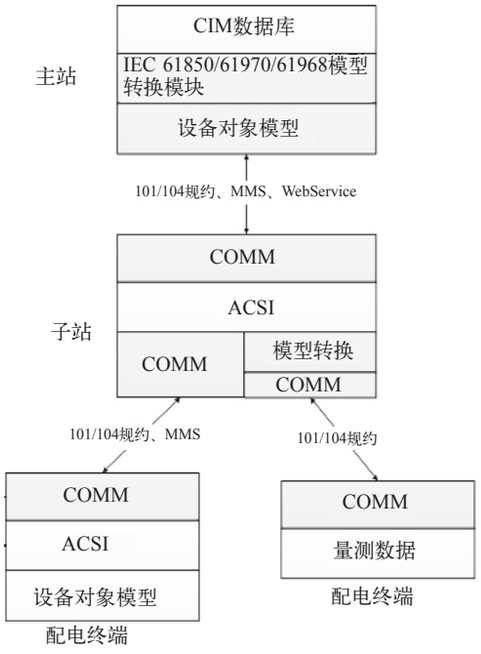

图8 采用子站的配网通信模型

3 结束语

在广泛调研国内外最新智能配电网业务需求及系统架构的基础上，构建了未来智能配电系统功能模块架构图，采用分层架构针对主站层、变电站层及远方终端构建典型的配电系统功能模块。结合分布式电源控制及中压配电自动化两个典型用例，建立用例功能架构模型，并针对模型定义信息交互接口，给出各接口信息的ICT需求。最后，在上述ICT需求的基础上，结合IEC 61850的特点及配网系统现状，构建基于IEC 61850的智能配电系统网络模型，对未来智能配电网的建设提供了重要的理论依据。

参考文献

[1] 余琼，余胜，李晓晖. 含分布式电源的配网自适应保护方案[J]. 电力系统保护与控制，2012, 40(5).

[2] IEC 61850 Communication networks and systems in substation [S]. Ed1.0, 2004.

[3] 丁心志，李慧杰，等. 基于IEC/TC57 国际标准体系现状分析研究与展望[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(21).

[4] IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation [S]. Ed 2.0, 2010.

[5] Yvonne-Anne Pignolet, Holger Elias, Timo Kyntäjä, et al.Future internet for smart distribution systems[C]. IEEE Conference Publication, 2012: 1-8.

[6] FI.ICT-2011-285135 FINSENY D2.3 V1.2, Distribution network functional architecture description[S]. April 3rd, 2013.

[7] IEC 61968-13 CIM RDF Model exchange format for distribution[S]. 2009.

[8] IEC 61960-301 Common information model(CIM) base[S]. 2009.

[9] 韩国政，徐丙垠，等. 基于IEC 61850的配网自动化通信技术研究[J]. 电力系统保护与控制，2013, 41(2).

作者简介

李建岐（1969-），男，教授级高工，主要从事电力线通信、光纤通信和无线通信技术在电力系统自动化应用的研究及产品开发工作。

（收稿日期：2015-12-10）EA

（编辑：鞠佳）

中国知网 https://www.cnki.net