

DOI: 10.7500/AEPS201211281

构建新一代智能配用电通信网建议

徐焜耀¹, 徐 鑫¹, 侯兴哲¹, 胡致远²

(1. 重庆市电力公司, 重庆市 400014; 2. 重庆大学通信工程学院, 重庆市 401123)

摘要: 智能电网是电力、控制与信息结合的新技术领域,其通信网络建设,尤其是在电力配电网段的建设,是目前的重点和难点。文中从工业控制角度讨论了智能配用电网的通信需求,提出了智能配用电通信网络设计应考虑的技术适应性问题及定制改造方向。讨论了现有局域工业通信技术和广域电信技术的标准体系,提出了智能配用电通信网应参考电信的技术发展路线以及网络设计关键点。进一步讨论了智能电网信息通信一体化的必要性和可行性,提出了深度融合的信息结构。讨论了电力公司智能配用电通信网络的工程建设路线,提出了“专网”与“公网”的建设原则。

关键词: 智能配电; 智能用电; 广域工业控制通信网; 信息通信一体化

0 引言

智能电网是电力、信息、自动化高度融合的高新技术,已成为电力行业的优先发展领域^[1],也是国家电网公司重要的建设内容。目前,国家电网公司已建成世界上最大的电力专用通信网络,但该通信网络总体上呈“骨干网强,接入网弱”“高压环节强,中低压环节弱”的状态^[2-5]。配电网段的智能配用电通信网络是目前通信网络建设的重点和难点,同时又面临技术需求与建设成本矛盾等诸多亟待解决的问题。

目前,在智能配用电通信网络的技术选择上,大多采用工业通信总线的简单叠加组网模式,也有直接采用电信大网络技术路线。但是,面对智能电网信息化将带来的海量智能信息终端以及多样化的信息应用模式,传统工业通信总线技术不能满足海量终端设备的接入控制和带宽分配需求;而现有公共电信网络技术又难以适应工业控制信息传输保障需求,存在着“工业控制通信分域管理、刚性管道需求”和“电信宽带技术信道资源复用、排队交换”的内在矛盾。从而在技术层面上造成各电力业务部门独立建设通信网络的局面,阻碍了通信网络的平台化发展。

智能配用电通信建设是具有技术高度和应用广度的系统工程,不能依靠局域网的简单叠加,或者照搬现有电信组网模式。本文从智能配用电的业务流程、通信网技术体制、信息与通信一体化等多个角度来梳理技术路线,探索智能配用电通信网络工程建

设的演进发展策略。

1 配用电通信网结构

配用电通信网与其电网拓扑结构相似^[6],如图 1 所示,由中压通信网(10 kV)和低压通信网(0.4 kV)构成树形或环形网络;以配电自动化、用电信息采集等各类远方终端为下行终点,以 110 kV 或 35 kV 变电站骨干通信网节点为上行终点,为信息系统提供接入通道。其中,10 kV 段是通信网建设的重点和难点,本文着重讨论该网段问题。

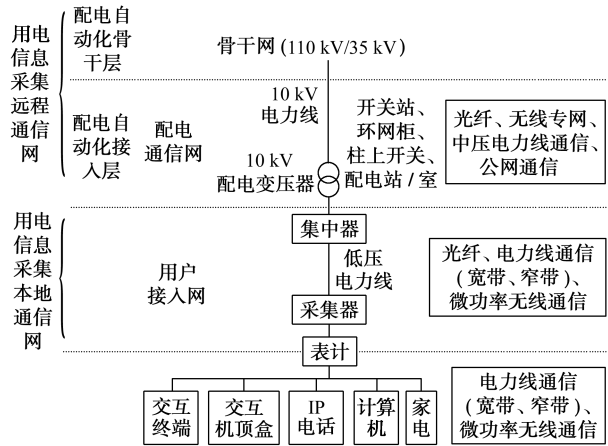


图 1 配用电通信网结构

Fig. 1 Communication network structure of distribution and consumption network

2 通信网行业需求及定制化方向

2.1 配用电通信网业务定位

智能配用电业务按信息应用大体可分为 3 类^[7]:①对配电网及其设备的远程监控,涉及配电

自动化、配电变压器监控等环节;②电力公司与终端用户之间的互动操作,包括用电信息采集和费控、负荷控制、分布式电源接入管理;③现场视频、语音、数据等辅助业务。

从信息内容来看,前 2 类业务直接参与电力生产过程,是电力公司的核心业务。承载这 2 类业务的配用电通信网络既具有传统工业控制系统的实时性、安全性要求,又有网络化后的广域多点接入要求,体现了“广域工业控制网”的特征。而最后一类生产辅助业务与公共电信业务没有实质性区别^[8]。

从信息流模型来看,前 2 类业务系统的终端沿电力线逐级分布,主站设备设置在公司、变电站等电网汇聚点,其信息流向和容量特征与电能流特征类似。而后一类业务则是由生产的组织方式决定,与电网结构关系不紧密。

因此,从信息层角度来看,前 2 类业务是具备前文所述的工业控制特征和电网结构特征的信息业务,是新一代智能配用电通信网的主要服务对象和发展驱动力。

2.2 通信网络结构和承载需求

2.2.1 平台化要求

通信网络的平台化将为综合业务提供有效的承载服务,同时提高网络利用率。通信和信息平台化模型如图 2 所示,由面向各业务部门的应用层、承担信息处理任务的信息层以及实现信息传输的通信层组成。这要求配用电通信网既要考虑对信息层各项配用电业务的综合承载能力,也要解决通信层不同设备间的接口统一、管理统一、资源备份、扩展能力等问题。

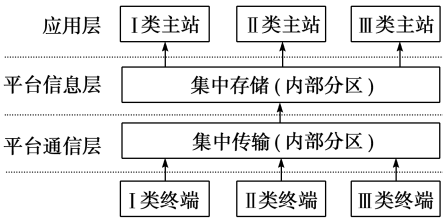


图 2 通信和信息平台化模型
Fig. 2 Platformization model for communication and information

2.2.2 传输性能要求

配用电业务当前处于整合阶段,10 kV 段通信信息量涉及配电自动化和营销业务流程。配电变压器监测终端(TTU)、馈线终端单元(FTU)、集中器、采集器等智能终端的单点数据量一般在 10 kbit/s 数量级,变电站辖区汇聚数据量约在 10 Mbit/s 数量级。由此可见,工业控制信息的数据量远比公网多媒体数据量小,更注重实时性、可靠性指标。附录 A

表 A1 为典型配用电业务承载性能指标,该表为全业务流程刚性指标(非统计平均)要求,通信部分可按高一个数量级来考虑,即通信延时小于 100 ms,正确率大于 99.999%。

2.2.3 安全性要求

配用电业务系统处于网络边缘,应对其业务内容和用户身份进行加密/认证。还需要保障通信网络传输通道和远端设备的安全,即数据包(如 IP, MAC, TCP)和设备的保密性、可用性和完整性:①通过独占传输介质或逻辑物理通道实现物理隔离,防止信息的物理介质泄露;②采用 WPA, IPsec, SSL 等传输通道加密算法,防止通信数据包(MAC, IP, TCP)内容外泄;③采取远端设备的接入认证、用户鉴权以及数据包过滤等措施,防止非法通信设备和数据包进入网络;④通过网络地址转换(NAT)和隔离区(DMZ)等措施将关键的信息设备隐藏,减少被攻击的可能性。

2.3 智能电网的工业控制特殊需求

2.3.1 面向业务的刚性管道分配能力

智能电网控制类业务的信息传输要求其通信网络具有“终端—主站的全程刚性管道”保障,以避免业务复用信道资源带来的拥塞延时、信息泄漏等问题^[9-11]。

工业控制网更趋向“电路交换”的专用通道方式,而非公共电信网的带宽复用方式。前者更强调保障工业控制信息的实时性、可靠性和安全性,后者则侧重提高带宽综合利用率。因此,配用电通信网的资源分配策略需要在现有电信网的基础上重新设计,以在保障传输性能和提高资源利用率之间取得平衡。上述刚性管道可以永久独占物理信道资源,也可以根据业务模型周期性独占。

2.3.2 通信与信息深度一体化能力

智能电网通信网存在技术要求高与综合利用率低的矛盾,采取与信息网协同建设,向更高层面的 ICT(information, communication, technology)方向发展是解决问题的有效途径^[12-15]。公共电信网由于其规模庞大,信息用户与网络运营商分离,难以做到通信和信息网的定制融合。而电力公司可以通过信息和通信平台的深度一体化定制,提高网络利用率和运行效果。可以说,智能电网通信网比公共电信网在 ICT 方面具有更强烈的需求和更好的实现条件。

首先,公共电信网的用户数量、业务随机性很强,无法准确估计信息流并配置相应资源;作为企业网,配用电通信网的终端设备位置、网络状态、业务流程都可以按确定性指标设计,从而为通信层的定

制设计及动态配置提供了可能。配用电网的 ICT 建设可考虑以下技术要点。

1)信息层的流程优化。从时间、空间等物理维度安排不同等级业务的处理和传输间隔,平滑网络负荷、提高信道利用率。同时,从信息层隔离业务,降低通信层的实现复杂度。

2)配电网终端数量多、单点数据量小,一方面采用信息汇聚存储、集中发送的模式,减少通信网的并发终端数和接入规模;另一方面采用分布式信息系统,通过“本地数据”的预处理减少配用电网络中压段的信息传输量。

3)信息网和通信网采用统一或可互参考的信息服务质量描述,便于一体化设计。信息与通信时间的统一则有效支持了电力信息的时间同步能力。

其次,传统的企业信息网采用了面向服务的体系结构(SOA)实现不同应用系统的信息共享。该总线由多个专用服务器和存储器组成,每个业务部门都有独立的信息网络建设和运维负担。随着配用电网的智能化建设,二次系统向网络化、广域化、跨专业化发展,分割独立的信息和通信系统既不经济,也不利于整个智能配用电网的运行。ICT 系统通过信息与通信网的一体化建设和资源共享来支持不同业务部门的应用,弱化了信息与通信平台的界限,其建设需要考虑信息结构 3 个平面的问题。

1)在数据平面,主要从智能电网的信息应用、信息处理和传输的角度讨论信息的采集、处理、分发、存储、传递,从而将 SOA 推向类似服务导向网络架构(SONA)的结构。

2)在控制平面推动网络虚拟化,将原有参数化的网络资源优化发展为结构化的网络动态重构,实现计算、存储和通信网络的虚拟化。

3)在管理平面实现信息与通信的一体化运维管理。ICT 系统的深度融合对原有的层次化、区域化分割的配置、监控、安全等技术都带来挑战,需要构造面向 ICT 的信息与通信的统一管理平台。

3 配用电通信网技术体制

3.1 智能配用电通信网标准

智能配用电通信网是多种通信技术的混合组网,需要选择适应于广域工业控制网的标准体系。小规模局域网主要源于 IEEE 802 协议簇,这类“轻量级”局域网易于工程实施,但网络规模和通信距离受限。大规模组网则需要依靠 ITU 和 3GPP 等电信标准,以解决大量终端设备和不同接入网络技术带来的带宽消耗、业务控制和网络管理等问题。工业以太网、以太无源光网络(EPON)和全球微波互

联接入(WiMAX)、多载波无线信息本地环路(McWill)等数据通信网络技术多适用于小规模的网络建设,通用分组无线服务(GPRS),3G,4G,长期演进(LTE)这类电信级标准则是大规模组网技术的参考。

如图 3 所示,配用电通信网是广域工业控制通信网,是 ICT 技术向工业领域渗透的结果,既有广域网特征,又有工业控制通信要求。考虑到接入网的投资、建设、运维规模、产业链等问题,较合理的技术路线应该是在现有电信广域网技术体系的基础上,以工业控制通信技术的实时、安全性能为细节特征,进行工业化、行业化定制(这种定制的方向就是智能工业、物联网的方向)。

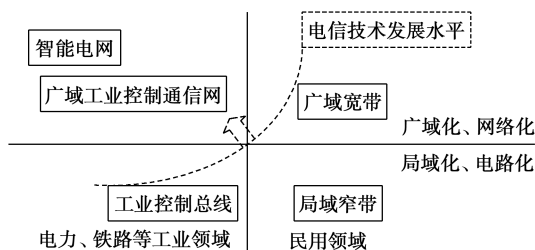


图 3 广域工业控制通信网技术路线
Fig. 3 Roadmap for wide area industrial control communication network

3.2 业务承载与通信网络规划

3.2.1 信息传输信道设计

从带宽效率、可靠性和隔离能力考虑智能配用电通信网的信息传输通道设计原则如下。

1)配用电网络信息节点多,单点数据量小,应避免数据包过度封装从而降低通信带宽效率。

2)经典的 TCP/IP 协议簇建立在统计复用基础上,而控制信息传输需要通过有效的通信资源管理技术,构建“电路型”可靠通道。

3)配用电业务有不同的安全等级,在遵循“横向隔离、纵向受控”的设计原则下,通过通信网络平台化来提升网络可用性。

3.2.2 通信网时钟考虑

通信网络不仅仅是信息传输通道,还应考虑时钟同步以支持配用电业务需求。全球定位系统(GPS)等外基准同步体系受到安装位置和成本限制,而采用通信网络的同步协议可支持时钟无缝传递到电力终端设备,体现了智能电网 ICT 的需求和思路。

3.2.3 通信网接口适配

配用电通信网需要考虑不同技术体制的接入网之间以及接入网与骨干网之间的接口。从纵向信息结构层次来看,考虑信息功能(协议)层次的对接。

从横向通信网系来看,考虑多种标准协议关口匹配问题,例如:采用 ITU 标准的骨干网与采用 IEEE 标准的接入网之间需要实现业务优先级、对等资源预留控制措施之间的匹配。

3.2.4 通信网络运行控制

作为具有层次和区域特征的网络,配用电通信网需要考虑运行控制能力。

1)规模化的网络需要将实际通信网络划分为多层和多个逻辑子网络。网络划分将引起网络带宽、可靠性、可用性和安全性问题:一层网络技术最简单,但业务承载效率最低;二层网络组建相对简单且业务承载效率高;三层网络具备故障条件下的重路由能力,可以提高业务传输的可靠性。应根据配用电业务信息的整合情况划分网络。

2)配用电信息穿透通信网需要考虑业务在网络中的寻址问题。地址分为物理地址和逻辑地址,包括 IP 和 MAC 或其他类型的网络物理地址,以及 TCP/UDP 等应用进程的逻辑地址。

3)配用电通信网安全运行要求对网络设备和业务实施控制,需要配备相应网络验证、授权、数据量统计的 AAA(authentication, authorization, accounting)服务器。

3.2.5 网络综合运维管理

配用电通信网综合管理应该考虑设备、线路、租用网络的综合管理。综合网络管理系统不仅需要实现不同种类和厂商的网络设备的统一管理,还应增强网络的故障定位能力。进一步可以考虑与公网的管理系统衔接,对租用的网络通道进行有效管理。

配用电通信网是多种设备的混合,各网络都有自身的专业网管系统,从技术、管理、商业竞争各方面给综合管理的实现带来困难,因此对综合管理的功能应有合适的定位。目前来看,对混合组网进行“综合监视”,对各系统设备、全网运行状态进行实时监视的定位比较适合电力公司运行方的角色且较易实现。

4 配用电通信网建设策略

配用电通信网的技术和资产属性高度混杂,其工程建设需要综合考虑大网架结构以及工业控制细节特征。

4.1 专网与公网混合组网

考虑到投资规模和行业分工问题,智能配用电通信网必然是自建专网与租用电信公网的混合组网。专用网络主要承载生产控制类核心业务,对于辅助类业务,考虑租用公网为补充,从而获得更好的性价比。

专网建设应坚持“专网技术路线公网化”的原则。专用技术能更好地满足实时性、安全性等行业要求,然而其技术成熟度、适应性、扩展性和运维支持都具有不确定性,技术风险和设备成本较高。通过对成熟公网通信技术的行业化定制来满足电力行业的需求,可以充分分享电信行业的发展成果。

租用公网应坚持“公网管理和传输方式专网化”的原则。租用公网业务和通道可以降低电力公司的投资和工作量,但目前公网的网络结构、传输方式并非针对行业用户设计,国内电信运营商对行业用户暂时只提供 VPN 级别的服务,而电力公司还需要考虑远方终端网络设备的有效监控、终端到主站的全程刚性管道的控制管理等问题,故在租用公网时还应要求电信运营商在网络管理和传输方式上提供更高层次的服务。

电力行业租用公网有分工和成本上的需求,但目前又缺乏有效管理。要求电信企业重点考虑适应工业环境的通信服务,将促成“专网运营商”的出现,为包括电力行业的不同专业部门,乃至其他工业行业提供工业控制类的行业定制服务。

4.2 通信组网的功能分离与耦合

智能配用电通信网的平滑演进应将功能模块化,避免单一功能改进对系统的影响。例如:下一代网络(NGN)划分了信息应用层、网络管理控制层、核心传输层与接入层,定义了灵活的信息服务接口与通信接入网络接口。

电信网络由于规模庞大,其移动网络和固网独立建设,从而降低了运维管理复杂度。然而,这样就造成了通信接入网络的管道资源、控制和管理设备的重复建设和采购。对于规模相对较小的电力通信专网则可以在保障功能分离的前提下,通过网络设备的耦合减少实际工程中的设备及其线路资源消耗。例如:采用有线和无线的网络紧耦合方式可以提高通信网络可靠性、降低投资成本,也充分发挥了有线通道可靠性与无线通道的灵活性特点。

4.3 配用电通信网工程演进策略

平滑演进是智能配用电通信网规划的重要策略,充分利用现有网络基础设施保护现有投资,可以有效实施网络升级与扩容。智能配用电通信网有“广域宽带”和“工业控制”的特点,而“专网技术公网化,公网管理专网化”是建设的总体原则。从配用电网核心业务保障层面出发,应该是“专网为主,公网为辅”;从设备技术选择层面出发,应该是“光纤为主,无线为辅”。可以考虑租用公网+专网骨干线覆盖、公网面覆盖、专网基本覆盖、公网补盲+专网全

覆盖的过渡路线,各地根据具体条件选择建设的起点和终点。

5 结语

智能配用电网是推动智能电网发展的最后的关键步骤,其通信网络建设是必须克服的发展瓶颈。“广域工业控制”是其信息的基本特征,满足大区域工业控制要求的通信网络,对电力、电信行业来说都是一个新的技术和市场方向。本文认为:在技术层面上,智能配用电通信网应该走电信接入网技术的工业化定制路线,按照工业控制网带宽、实时性、安全性、可靠性等方面的要求,在通道配置、安全策略等方面开展研发;在企业层面上,电力公司应该按“专网技术路线公网化,公网运行管理专网化”的原则,走专—公结合的平滑建设路线,做到“技术开放,深度定制”,同时内部与信息网络充分融合,向深度ICT化发展。为此,还需要在业务信息的整合梳理、通信网功能应用标准化、运维管理标准化、网络评价体系等系列问题上开展进一步研究。

附录见本刊网络版(<http://aeps.sgepri.sgcc.com.cn/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards release 1.0(draft)[S]. 2010.
- [2] 国家电网公司. 国家电网智能化规划总报告[R]. 北京:国家电网公司,2010.
- [3] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009,33(8):1-7.
CHEN Shuyong, SONG Shufang, LI Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 1-7.
- [4] 徐丙垠,李天友,薛永端. 智能配电网与配电自动化[J]. 电力系统自动化,2009,33(17):38-41.
XU Bingyin, LI Tianyou, XUE Yongduan. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 38-41.
- [5] 苗新,张凯,田世明,等. 支撑智能电网的信息通信体系[J]. 电网技术,2009,33(17):8-13.
MIAO Xin, ZHANG Kai, TIAN Shiming, et al. Information communication system supporting smart grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 8-13.
- [6] 国家电力调度通信中心,国网信息通信有限公司. 配用电通信发展综合研究报告[R]. 北京:国家电力调度通信中心,国网信息通信有限公司,2009.
- [7] 梁芝贤,王剑,谷明英. 智能配用电网通信技术应用研究[J]. 电力系统通信,2012,33(3):75-79.
LIANG Zhixian, WANG Jian, GU Mingying. Research and application on power distribution communications technology for

- smart grid[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2012, 33(3): 75-79.
- [8] 王金丽,盛万兴,王金字,等. 中低压配电网统一数据采集与监控系统设计和实现[J]. 电力系统自动化,2012,36(18):72-77.
WANG Jinli, SHENG Wanxing, WANG Jinyu, et al. Design and implementation of a centralized data acquisition and supervisory system for medium-low voltage distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(18): 72-77.
- [9] 李威,丁杰,姚建国. 智能电网发展形态探讨[J]. 电力系统自动化,2010,34(2):24-28.
LI Wei, DING Jie, YAO Jianguo. Views on smart grid evolution[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(2): 24-28.
- [10] 王益民. 坚强智能电网技术标准体系研究框架[J]. 电力系统自动化,2010,34(22):1-6.
WANG Yimin. Research framework of technical standard system of strong & smart[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(22): 1-6.
- [11] ZABALLOS A, VALLEJO A, SELGA J M. Heterogeneous communication architecture for the smart grid[J]. IEEE Network, 2011,25(5): 30-37.
- [12] ROMÁN-PORTABALES A, PÉREZ-CARRERA E, GONZÁLEZ-CASTAÑO F J, et al. IMS signaling for smart grid home controllers[C]// IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), January 9-12, 2011, Las Vegas, NV, USA: 541-542.
- [13] CHENG Peng, WANG Li, ZHEN Bin, et al. Feasibility study of applying LTE to smart grid[C]// 2011 IEEE First International Workshop on Smart Grid Modeling and Simulation (SGMS), October 17, 2011, Brussels, Belgium: 108-113.
- [14] PANAJOTOVIC B, JANKOVIC M, ODADZIC B. ICT and smart grid[C]// 2011 10th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), October 5-8, 2011, Niš, Serbia: 118-121.
- [15] NEUMAN C C, TAN K. Mediating cyber and physical threat propagation in secure smart grid architectures[C]// 2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), October 17-20, 2011, Brussels, Belgium: 238-243.

徐焜耀(1975—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:智能电网、电力通信技术。E-mail: xky@cq.sgcc.com.cn

徐鑫(1980—),男,通信作者,博士,主要研究方向:电力通信技术。E-mail: cqxuxin@163.com

侯兴哲(1967—),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电能计量、电力通信技术。

(编辑 蔡静雯)

(下转第 18 页 continued on page 18)

Suggestions on Next Generation Communication Network for Smart Distribution and Consumption Network

XU Kunyao¹, XU Xin¹, HOU Xingzhe¹, HU Zhiyuan²

(1. Chongqing Electric Power Corporation, Chongqing 400014, China;

2. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 401123, China)

Abstract: Smart power grid technique is a new technology that integrates electric power, control and information. The construction of its communication network, especially at the distribution and consumption network, is currently a key and difficult point. This paper discusses the communication demand of distribution and consumption network from the industrial control perspective, and proposes the adaptability and the direction of having installations custom-made and transformed that should be considered in the communication network. Then the standard system of the existing local industrial communication technology and the wide area telegraphy are discussed, and a proposal is put forward that the communication network construction for smart distribution and consumption network should consult the development route and network design key points of telegraphy. Further more, some discussions about the necessity and feasibility of integration of information and communication in smart grids, and the deep fusion information structure are presented. Also, the construction route in smart distribution and consumption network is discussed, and the construction principle of “private network” and “public network” is put forward.

Key words: smart power distribution; smart power consumption; wide area industrial control communication network; integration of information and communication