

面向智能用电的高级量测体系关键技术探讨

周恒俊

(南京供电公司, 江苏 南京 210009)

摘 要: 高级量测体系在促进电网与用户的互动方面起着最为关键的作用, 被认为是智能用电建设的第一步。从地域及功能层面上提出分层分区的高级量测体系架构, 在此架构的基础上, 对智能电表、用户智能管理系统、ZigBee 家域网等门户层关键技术, GPRS/CDMA、ANSI C12 系列协议等通信层关键技术, 计量数据管理系统、IEC61968 信息共享与集成等主站层关键技术进行探讨。

关键词: 高级量测体系; 用户智能管理系统; 家域网; ANSI C12; 计量数据管理系统; IEC61968

0 引言

进入 21 世纪以来, 我国电力工业面临着新的形势, 能源发展格局、电力供需状况、电力发展方式正在发生着深刻变化。面对新形势和新挑战, 国家电网公司提出加快建设以特高压电网为骨干网架的坚强智能电网^[1-3]。坚强智能电网以通信信息平台为基础, 包含发电、输电、变电、配电、用电和调度六大环节^[4], 覆盖从低压到特高压所有电压等级, 实现电力流、信息流与业务流的高度一体化融合, 是经济、高效、互动和清洁的现代电网。作为智能电网六大环节之一, 智能用电为用户提供优质的供电服务、提高电能利用效率。

高级计量体系 (advanced metering infrastructure, AMI)^[5,6]、高级配电运行系统 (Advanced Distribution Operation, ADO)、高级输电运行系统 (Advanced Transmission Operation, ATO)、高级资产管理系统 (Advanced Asset Management, AAM) 是智能电网四大技术支持系统。在这四个系统中, AMI 在促进电网与用户的互动方面起着最为关键的作用, 被认为是智能用电建设的第一步。本文从地域及功能层面上提出分层分区的高级量测体系架构, 在此架构的基础上, 对智能电表、用户智能管理系统、ZigBee 家域网等门户层关键技术, GPRS/CDMA、ANSI C12 系列协议等通信层关键技术, 计量数据管理系统、IEC61968 信息共享与集成等主站层关键技术进行探讨。

1 智能用电

智能用电对于社会经济的可持续发展具有重要

意义, 一是有助于分布式电源与储能设备的接入, 实现大规模清洁能源的使用, 提高清洁的电能终端能源消费中的比重, 促进节能减排, 同时带双向计量功能的智能表计为用户提供新型的能源增值服务, 使得用户从单方面的用能模式转变为发/用一体模式; 二是有助于改善用户的用电习惯, 通过用户智能用电管理中心为用户提供节能方案, 用户可以主动参与电力市场, 通过改变用电方式、将自有分布式电源有序接入电网而获得最大经济利益; 三是提升供电服务水平, 通过用电信息采集系统、95598 供电服务系统和门户网站、计量数据管理系统等的建设, 建立灵活供用电关系。

智能用电的研究内容主要包括智能双向互动服务、用电信息采集系统、智能用电服务、用户侧分布式电源与储能设备等^[7-11]。智能双向互动服务主要是电力公司与终端用户的电能与信息互动, 电力公司获取所有终端用电设备或分布式电源的运行状态, 并根据电网运行需求下达协同工作指令, 同时用户根据电力公司发布的实时电价实施需求响应, 适时调整用电方式、分布式电源发电量以获取自身利益的最大化。用电信息采集系统是对电力用户的用电信息 (安装智能电表与分布式电源的高级用户还包括发电信息) 进行采集、处理和存储的系统, 它可以实现远程抄表及电价结算的智能化, 提高电力公司营销技术水平, 同时还可以实时监测和优化用户侧电能质量, 防止用户窃电, 快速检测和隔离停电区域。智能用电服务指通过家域网技术将家庭中各智能电器有机地结合到一起, 即可以在家域网内实现资源的共享与通信, 又可以通过家庭网关与电力公司或外部网络进行信息交互, 其主要包括供

用电信息服务、家电远程控制服务、自助缴费服务以及节能管理服务等。用户侧分布式电源与储能设备指建有小型风电、小型光伏及光伏/建筑一体化发电、冷热电联产等有条件的家庭别墅，在我国用户侧分布式电源及储能管理系统建设还处于起步阶段。

高级计量体系正是在双向计量、双向互动服务以及用电信息采集系统的基础上，支持用户侧分布式电源与储能设备的接入，实现电网与用户的双向互动。

2 分层分区的高级量测体系架构

高级量测体系是一个用来测量、收集、储存、分析和运用用户用电信息的完整的网络和系统，由用户智能用电管理系统、智能表计、本地通信网络、连接电力公司数据中心的通信网络、表计数据管理系统以及数据集成平台组成^[5]。AMI将全面改变电

能和信息单方向流动的现状，为用户和电网的双向互动提供平台和技术支持。

从横向上看，AMI 可分为计量维和业务维两个维度。与电力系统的生产控制大区（一、二区）和管理信息大区（三、四区）相对应，计量维实现计量数据的实时采集、存储和处理，业务维则实现实时电价等电价机制、负荷控制等需求响应业务信息的发布与订阅。

从纵向上看，AMI 可划分为门户层、通信层和主站层。在门户层，智能用电管理系统同时将耗能情况传递给本地用户和电力公司，通过分析 AMI 数据实现智能的节能方案。在通信层，可选择 OPLC 光纤专网、GPRS/CDMA 公用商用网、电力无线专网实现电力公司与用户之间的信息交互。在配电中心层，利用 AMI 数据来帮助优化电网运行，降低成本以提升用户服务，有利于企业资产的改进或者更好地进行资产维护、增加或者替换。

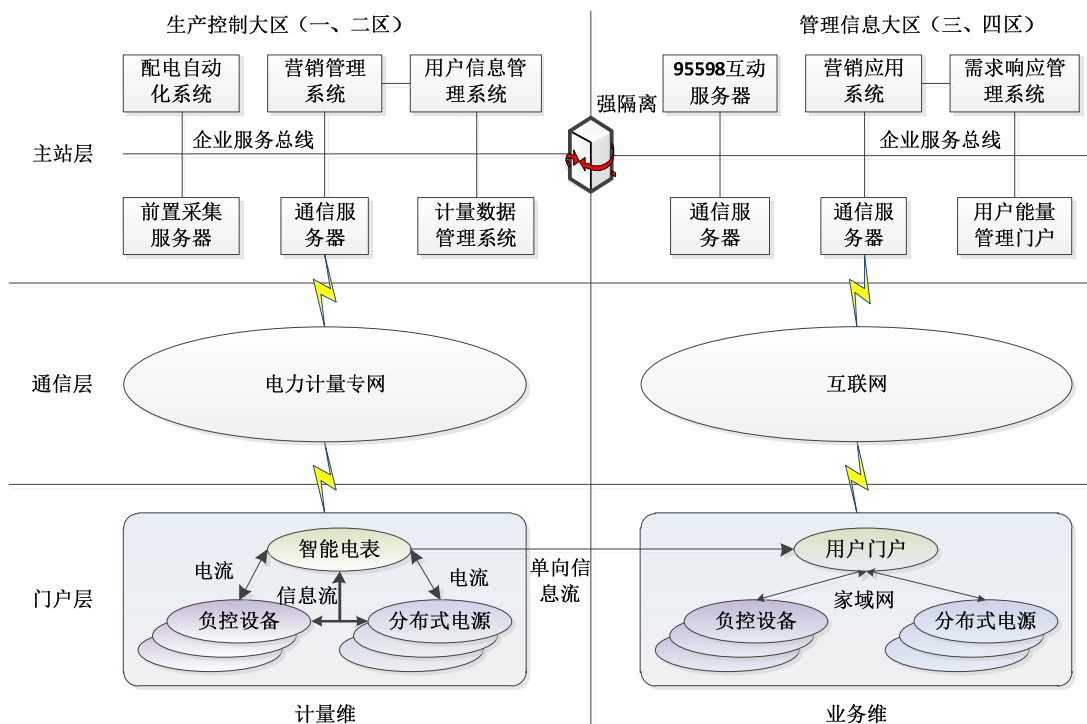


图 1 高级量测体系层次结构图

3 高级量测体系关键技术探讨

3.1 门户层关键技术

1) 智能电表

智能电表是高级量测体系的基础单元和核心设备^[12-14]，高级量测体系通过智能电表和配电中心之

间建立安全网络架构，从而实现电力公司和用户之间的双向计量^[15-17]。智能电表可分为单相智能表计和三相智能表计两大类，其中单相智能表计又包括单相本地费控电能表和单相远程费控电能表，三相智能表计包括 0.2s级三相智能电能表、0.5s级三相费控电能表、1 级三相费控电能表和 1 级三相智能

电能表。

智能电表可提供可选 5、15、30、60min 的分时段双向电能计量，记录并报告异常用电事件，提供谐波、闪变、畸变等电能质量问题的监视与告警，支持实时电价、激励电价、紧急峰值电价等电价机制，支持智能电器与分布式电源的接入，并可远程控制参与需求响应的用户负荷^[18-19]，实现用户侧分布式电源、储能设备、电动汽车的实时监控，制定最优发电/用电方案。

2) 用户智能用电管理系统

用户侧的电能管理及其与电力公司的电能与信息交互是高级量测体系的重点，以用户智能用电管理系统作为电网与用户的信息入口点，通过用户智能用电管理系统，电力部门可以进行远程负荷控制、更新费率等高效用户管理，用户也可以实现预付费、查询账单、实施需求响应等全方位的用电管理。用户智能用电管理中心的引入是AMI与传统用电信息采集系统的区别所在，该中心可以与用户的多种设备进行接口，为用户和电网进行交互提供了支持平台，如图2图所示。

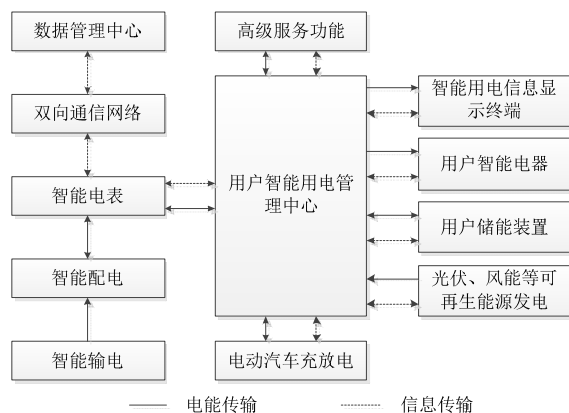


图2 AMI 功能结构图

3) 家域网

要实现用户侧智能电能管理需要解决关键问题之一是能够覆盖智能表计与家庭所有智能设备的通信网络，从目前国内外发展情况来看，适合用于构建家域网的通信方式主要有HomePlug技术^[20-21]和ZigBee技术^[22-23]，HomePlug利用电力线载波通信技术（Power Line Communication, PLC）实现表计与家庭设备的通信以及家庭与外网的通信，2001年第一个HomePlug标准HomePlug 1.0得到批准，更进一步促进了HomePlug在家域网的应用。ZigBee技术以一个开放、可互操作的标准实现了从公用设备到家

域网为负荷控制和需求响应目的而进行的通信，是现今也是以后组建家域网最为普遍使用的一种方式。而对于电磁污染比较严重的大型工业企业，采用ZigBee或PLC通信会产生较严重的信号畸变，为此企业用户在部署内部通信网络时大多采用现场工业总线技术。

3.2 通信层关键技术

1) 通信数据网

AMI 采用固定的双向通信网络能够每天多次读取智能表计，并能把表计信息包括故障报警和装置干扰报警近于实时地从电表传到数据中心。该通信网络需要涵盖各类不同的用户和负荷点，这其中不仅有小型家庭用户，还有中型商业用户和大型工业用户。在通信信道方面，电力线载波通信与无线通信是两种比较常见的通信方式。而考虑到无线通信网络在可靠性、稳定性、安全性和实时性上的缺陷，可采用 GPRS/CDMA 双无线组网以及无线虚拟专网的方式来构建主站与用户之间安全可靠的专用信息交互通道，如图3所示。

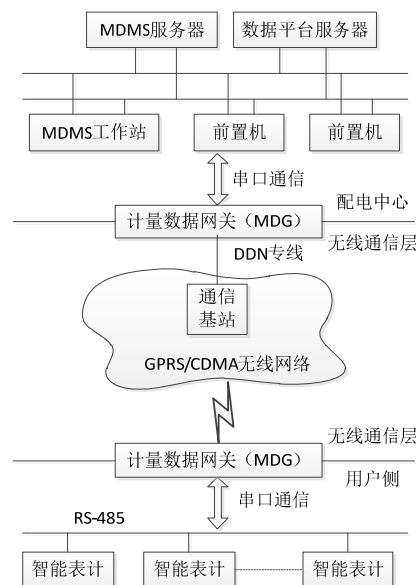


图3 基于 GPRS/CDMA 的通信网络

2) 通信规约

美国于 1996 年、1997 年分别发布的ANSI C12.18 和C12.19 提供了一个基于光的标准表计通信协议。C12.18 标准仅仅对简单的基于会话的协议进行了定义。C12.19 标准为计量通信定义了标准数据结构，其表结构如表 所示。1999 年，美国ANSI C12 委员会又提出了用于电话调制解调器的C12.21 标准，其内容基本和C12.18 类似，只对局部内容做

出了修改和调整。但是C12.18 和C12.21 的通信模式都是基于会话和点对点，这限制了其他大部分通信网络在表计通信中的应用。C12.22 延伸并扩展了ANSI协议集，从而可适应任何表计通信网络。C12.22 的目的是，基于开放式系统互联模型允许数据表在任何可靠的网络通信系统上传输^[24-25]。

表 1 ANSI C12.19 表计数据结构

系列号	名称	表的数量
0	Configuration Tables	9
1	Data Source Tables	8
2	Register Tables	9
3	Local Display Tables	5
4	Security Tables	6
5	Time-of-Use Tables	7
6	Load Profile Tables	8
7	History and Event Logs	10
8	User Defined Tables	10
9	Telephone Control Tables	9
10	Extended Source Tables	4
11	Load Control and Pricing Tables	9
12	Network Control Tables	8
13	Relay Control Tables	7
14	Extended User Defined Tables	4
15	Quality of Service	9
16	One Way Devices	5

C12.22 协议定义了一个自带寻址信息的数据包能够将 C12.19 数据表在任何网络上传输，并分别提供一个 full-stack 定义作为 C12.22 设备和 C12.22 通信模块的接口和本地端口的点对点通信，C12.22 还提供了公共数据的加密和安全技术，使得终端设备在一个公共通信环境下能够安全的互操作。ANSI C12.22 可以进一步和 GWAC 定义的互操作性环境框架联系在一起。并通过使用 C12.19 的数据表来实现语法的互操作性。C12.19 定义了系统间交换的信息结构，那么不同类型的设备就可以在一个网络内交换信息。

3.3 主站层关键技术

1) 计量数据管理系统

信息系统的应用是 AMI 的一个重要组成部分，而计量数据管理系统(Meter Data Management System, MDMS)更是重中之重。作为一个带有分析工具的数据库，MDMS 通过与 AMI 自动数据收集系统的配合实现对电表计量值的处理和储存。

自动数据收集系统对智能表计的计量以及报警信息的读取可以按照预先设定的时间进行，也可以被偶然的事件所触发，开启后通过企业服务总线与其他系统进行数据的分享。实时运行所需要的信息将直接转发到停电管理系统、调度管理系统、能量

管理系统等相关的系统。

MDMS首先对从ESB取得的数据进行处理和分析，然后按需求传给一些对实时性要求不高的系统，如用户信息系统、计费系统、负荷预测系统、电能质量管理、变压器负荷管理等。MDMS具有确认、编辑、估算AMI数据的功能，即使通信网络中断或用户侧出现故障，也能够完整准确地完成与软件及信息系统之间的数据传输。对于计费系统的功能设计和类型，MDMS提供的数据支持分時計费、峰谷电价以及其他一些复杂的计费方法。MDMS数据不仅支持对多种市政计量仪表(气、电、水)的管理，同时支持对电表的控制(如根据需求及时的读取、接通或断开)，对系统读表时间的维持，以及对需求侧的响应和停电修复^[26-28]。

2) 计量数据共享与集成

为实现电力系统应用软件之间无缝集成，国际电工委员会(International Electrical Committee, IEC)定义了一种公共信息模型(Common Information Model, CIM)使得这些应用或系统能够不依赖于信息的内部表示而访问公共数据和交换信息。IEC61970 和 IEC61968 标准中的 CIM 分别定义和详细描述了能量管理系统和配电管理系统所涉及的电力对象。

因此，要使得计量数据在用户账单管理、负荷预测、馈线自动化等应用程序中得到应用，必须借助 CIM 将计量数据与其他网络拓扑数据相关联。图 4 展示了面向 AMI 的 CIM 中按对象建模的公共数据类或数据属性之间扩展后的多层嵌套和继承的关联关系，如智能表计类(CustomerMeter)继承能量用户类的属性值，并与馈线、变压器存在一对多的关联关系；在时间轴上，智能表计类由时间间隔类(Interval)聚合而成，并借助与量测类的关联关系将量测数据与各智能表计相关联。

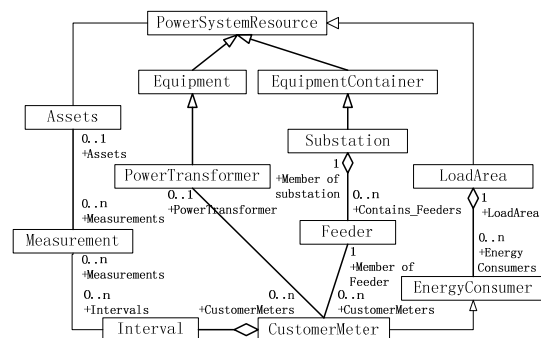


图 4 高级量测体系关联关系图

4 结束语

智能电网与传统电网的一个重要不同点就是智能电网尤其强调与用户的信息与电能互动,而高级量测体系分层分区的系统架构、用户的智能用电管理、全方位覆盖的通信网络、标准规范化的通信规约和“即插即用”的软件平台正是实现信息与电能互动的最优实现方式。

参考文献:

- [1] 傅书远. 中国智能电网发展建议[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 23-26.
- [2] 余贻鑫, 奕文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 1-7.
- [3] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 32(9): 1-5.
- [4] 国家电网公司.(国家电网公司智能计[2010]09 号)国家电网智能化规划总报告[Z].
- [5] 奕文鹏. 高级量测体系[J]. 南方电网技术, 2009, 3(2): 6-10.
- [6] 张景超, 陈卓娅. AMI 对未来电力系统的影响[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(2): 20-22.
- [7] Richard E. Brown. Impact of Smart Grid on Distribution System Design[C]. Pittsburgh, PA, USA: IEEE Power and Energy Society 2008 General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008.
- [8] Mohd Alaa, Oitjohann Egon, Schmeltey Andyeas, et al. Challenges in Integrating Distributed Energy Storage Systems into Future Smart Grid[C]. Cambridge, United Kingdom: IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2008.
- [9] Damiy Novosel. Emerging Technologies in Support of Smart Grids[C]. Pittsburgh, PA, United States: IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.: Conveys. Deliv. Elects. Energy Century 2008.
- [10] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络. 软件学报, 2003, 14(7): 1282-1291.
- [11] U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Advanced control methods[R/OL]. [2007-03-21]. http://www.netl.doc.gov/moderngrid/docs/Advanced%20Control%20Methods_final_V2_0.pdf.
- [12] 李会容. 基于 DSP 的智能电表的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [13] 李剑. 单相智能复费率电能表的设计与开发[D]. 上海: 同济大学, 2008.
- [14] 李大鹏, 王祁. 三相复费率网络化智能电能表的研制[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 1811-1812.
- [15] Li Wei-xuan, Wang Xin-yi. The Research of AMR in Smart Meter. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific, 2010: 1-4.
- [16] Tse Norman C. F., Chan John Y. C., Lai L L. Development of a smart metering scheme for building smart grid system. The 8th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM 2009), 2009: 1-5.
- [17] Appraisal of costs & benefits of smart meter roll out options[R/OL]. 2007. <http://www.berr.gov.uk/files/file45997.pdf>.
- [18] Samarakoon K., Ekanayake J. Demand side primary frequency response support through smart meter control. 2009 Proceedings of the 44th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009: 1-5.
- [19] Mak S. T. A synergistic approach to implement demand response, asset management and service reliability using smart metering, AMI and MDM systems. IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009: 1-4.
- [20] Yonge L. The HomePlug Power line Alliance and Home Plug AV Overviews. 2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2006: 9-10.
- [21] Afkhamie K.H., KatarS., YongeL., Newman R. An overview of the upcoming HomePlug AV standard. 2005 International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2005: 400-404.
- [22] Shang-Wen Luan, Jen-Hao Teng, Shun-Yu Chan, Lain-Chyr Hwang. Development of a smart power meter for AMI based on ZigBee communication. International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2009: 661-665.
- [23] Hoi Yan Tung, Kim Fung Tsang, KaLun Lam. ZigBee sensor network for Advanced Metering infrastructure. 2010 Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2010: 95-96.
- [24] American National Standard Utility Industry End Device Data Tables, ANSI C12.19-1997, Mar. 1997.
- [25] American National Standard Protocol Specification for Interfacing to Data Communication Networks (draft), ownership by ANSI C12 SC17WG1, and will be designated "ANSI C12.22" when approved.
- [26] USSI. MDMSMETER DATA MANAGEMENT SYSTEM. <http://www.utilitysoftwaresolutions.com/pdf/AMR%20MDMS%20with%20VE.pdf>.
- [27] EcoLogic Empowering Energy Efficiency-The Ecologic Meter Data Management System. Intelligent Outage Management for the Smart Grid. <http://www.ecologicanalytics.com/pdf/ProdSheet-Enhanced-Outage-Management-Module.pdf>.
- [28] BChydro for generations. REQUEST FOR PROPOSALS METER DATA MANAGEMENT SYSTEM (MDMS). http://www.partnershipsbc.ca/files/documents/mdms_rfp_final.pdf.

作者简介:

周恒俊(1984-), 男, 江苏扬中人, 工程师, 从事电网分析与规划工作