

· 本刊特约撰稿 ·

智能配电网讲座

徐丙垠^{1,3}, 李天友^{2,5}, 薛永端³, 金文龙⁴

(1. 山东理工大学, 山东 淄博 255031; 2. 福建省电力公司, 福建 福州 350003;
3. 山东科汇电力自动化公司, 山东 济南 250100; 4. 中国电机工程学会, 北京 100044;
5. 华北电力大学, 北京 102206)

第四讲 互动功能与高级量测体系

除支持分布式电源的大量接入外, 智能配电网(SDG)不同于传统配电网的另一个关键特征, 是能够实现与用户的互动, 使用户由被动的电力消费者变为电网运行管理的积极参与者, 而高级量测体系(AMI)^[1]是支持 SDG 互动功能的关键技术。本讲首先讨论 SDG 的互动功能及其作用, 在此基础上介绍 AMI 的基本功能、系统构成、关键技术及其应用情况。

1 智能配电网的互动功能

SDG 的互动功能主要体现在用电信息的互动与需求侧响应两个方面。

1.1 用电信息的互动

用电信息的互动指的是采用现代通信与信息技术, 实现用电信息在供电企业与用户之间的即时交换。交换的用电信息具体如下。

1) 智能电表采集的负荷运行数据: 包括电能、有功功率、无功功率、电压、电流等反映用户用电情况的数据, 停电、电压越限报警信号以及其他电能质量监测数据等。

2) 向用户侧发布的需求侧响应(见本文 1.2 的介绍)控制信息: 包括实时电价信息、负荷通断与用电水平控制命令、用户自备分布式电源(DER)的调度控制命令等。

3) 用户服务信息: 包括电费缴纳、用电查询、停电投诉等信息。

早期用电管理主要依赖人工操作与记录, 工作效率低、响应速度慢, 难以对用电负荷有效管理。

20 世纪 80 年代起, 供电企业开始应用计算机与通信技术, 实现自动抄表(AMR)、远程负荷控制与客户管理信息化。目前, 国内外供电企业客户管理基本都实现了计算机化, AMR、负控技术也有大量的应用, 但供电企业与用户之间即时交换的信息一般只是电能量与负荷投切控制命令, 在提高用电管理与用户服务水平方面发挥的作用有限。

用电信息的全面互动为供电企业和用户都带来明显的好处, 主要有以下几个方面。

1) 提供更加方便快捷的缴费、停电投诉、用电查询等用户服务。

2) 避免人工抄表引起的错抄、漏抄现象, 提高电能量信息采集精度。

3) 提高用电管理效率, 减少管理成本。

4) 支持需求侧响应(Demand Response, DR), 在节省用户电费支出的同时提高电网负荷率。

5) 用户停电报警信息的及时上传, 使供电企业能够及时检测出故障元件与停电范围, 缩短故障处理时间。

6) 使供电企业掌握完整的负荷信息, 能够对电网供电可靠性、电能质量与线损进行准确的统计分析, 及时发现并解决问题, 提高供电质量与电网运行效率。

在实际工程应用中, 供电企业通过高级量测体系(AMI)、客户信息系统(CIS, 又称用电管理系统或营销管理系统)、电话投诉管理(Trouble Call Management, TCM)系统这 3 套自动化系统实现与用户之间用电信息的互动。AMI 用于采集处理负荷运行数据并发布 DR 控制命令; CIS

提供 Web 服务,供用户在网上进行缴纳电费、用电查询、报装、停电投诉等操作;TCM 系统为用户提供电话呼叫服务。

1.2 需求侧响应

1.2.1 需求侧响应的基本概念

需求侧响应(DR)是指用户根据电价信号或奖励措施调整用电时间、用电量及用电方式,并应用自备 DER 发电的市场参与行为^[2,3]。DR 使用的电价信号有分时电价(Time Of Use, TOU)、实时电价(Real Time Pricing, RTP)、尖峰电价(Critical Peak Pricing, CPP)等;奖励措施包括直接负荷控制、需求侧竞价(Demand Side Bidding, DSB)、容量市场计划、辅助服务计划等。用户的 DR 行为包括调整可平移负荷(热水器、洗衣机、电动汽车等)的用电时间,使其避开高电价时段用电;运用自有 DER(如蓄电池储能装置、微型燃气发电机、电动汽车等)在低电价时储能,在高电价时发电自用或向电网送电。

按照现代电网的运营观念,用电负荷是和发电容量、电网传输容量与储能容量一样可以调度管理的资源,而 DR 是在电力市场环境下对用电负荷进行调度管理的重要措施。DR 主要有以下作用。

1) 在电力系统因故障或负荷突增出现功率缺额时,减少用电,防止电网出现稳定破坏事故,提高供电可靠性。

2) 平滑负荷曲线,提高电网负荷率,减少并延缓电网固定资产投资,进而减少运行成本。

3) 优化电能利用,节省用户电费支出。

4) 参与电网互动,优化电网运行。

电网应用 DR 潜力很大,由此产生的经济效益也是十分可观的。根据加拿大安大略电网独立调度中心(Independent System Operator)的研究,其所属地区 2006 年负荷最大为 27 000 MW,其中超过 25 000 MW 的时间不到 32 h,约占全年时间的 0.4%。如果能够全面应用 DR,峰值负荷将降低 7.4%。据美国 Brattle 公司 2007 年发布的研究报告,如果能够将峰值负荷降低 5%,可使美国避免建设 625 个调峰电厂,每年节约运营成本 30 亿美元。

DR 与业界熟悉的需求侧管理(DSM)^[4]既有着密切的联系又有所不同。DSM 包含负荷管理与节电降耗两项内容,其中负荷管理的目标和 DR 一致,也是削峰填谷、平滑负荷曲线,但在采

取的措施上,则包括行政管理手段(如计划用电)的推动,而对价格手段运用相对不足。DR 是 DSM 的负荷管理在电力市场化形势下的发展,重在利用电价机制调整用户的用电行为。它依托 AMI,采用反映电网动态功率平衡情况的实时电价,可以更好地发挥 DR 资源的作用。

1.2.2 需求侧响应与智能电网

DR 与智能电网有着密切的联系。智能电网为 DR 提供技术支撑,而 DR 的应用对于实现智能电网建设目标具有十分重要的意义。DR 的应用能够提高供电可靠性与电网资产利用率,这是智能电网追求的两个基本目标。而更重要的作用则是支持可再生能源发电(Renewable Energy Generation, REG)的大量接入和适应电动汽车的充电需要,这是智能电网不同于传统电网的两个关键功能特征。

REG 的有功出力具有很大的随机性和明显的间歇性,容量的可信度很低。REG 的大量接入,将给电网的功率平衡带来新问题。如果一味地依靠增加备用容量补偿 REG 的随机性和间歇性,势必增加发电与电网资产的闲置率,降低电力系统运行的经济性。而通过应用 DR,使用户自行调整用电与 DER 发电方式参与调峰,则可以降低对系统备用容量的需求。在智能电网中,DR 电价信号的调整除要考虑用电需求的变化外,还要考虑 REG 的发电情况。在 REG 有功出力比较充足时,降低电价;反之则增加电价。

随着人类对气候变化与可持续发展的高度关注,在世界范围内掀起了研发应用电动汽车的热潮。据报道,2020 年电动汽车的市场份额将达到 40%。一辆电动汽车的充电功率达数百千瓦,作为未来电动汽车专用充电设施的充电站将像现在的加油站一样遍布各地,为电网带来十分可观的用电需求。在汽车应用较为普及的国家里,社会汽车功率之和远大于发电装机容量。以中国为例,2008 年社会汽车保有量超过 6 000 万辆,按平均每辆汽车额定功率 50 kW 计算,社会汽车总功率超过 30 亿 kW,接近 4 倍的发电装机容量。而电动汽车对充电时间要求并不是很严格,是一种时间上可平移的负荷。因此,对电网来说,它是一笔巨大的功率平衡资源。通过 DR 的应用,合理地调整电动汽车充电时间,将显著地减少峰谷负

荷差,有力地补偿 REG 的间歇性。通过建设智能电网支持 DR 的应用,完全可以在不增加或很少增加装机容量情况下,满足电动汽车的充电需要。这对于推动节能减排、提高电网资产利用率,具有十分重要的意义。

2 高级量测体系基本概念

高级量测体系(AMI)是一个采集处理用户负荷运行数据并进行 DR 控制的计算机网络系统。它是用户侧的数据采集与监控(SCADA)系统,与本讲座上一讲介绍的配电网测控体系(DMACI)一起,构成 SDG 运行监控信息传输的基础设施。AMI 是 SDG 实现互动的先决条件,是 SDG 的关键支撑技术。

AMI 并不是一项全新的概念,其功能与系统构成都和现在大量应用的 AMR 系统与负荷管理系统(简称负控系统)都有着相同之处。AMR 系统用于采集居民用户电能记录,而负控系统用于大型工商业用户的负荷控制与监视。AMI 是对 AMR 系统、负控系统的继承与发展,是 SDG 意义下的负荷管理系统。如高级配电自动化一样,高级量测体系中的“高级”二字,主要是为了将其与传统 AMR 系统、负控系统相区别。

AMI 主要有以下技术特点。

1) AMI 是一个面向所有类型用户的用电数据采集与监控系统,克服了建设两套系统(AMR 系统、负控系统)带来的条块分割、用户数据管理分散以及重复投资、管理维护工作量大等问题。

2) 功能更为丰富、完善。采集更多的负荷数据,使电网运行人员能够完整地掌握电网负荷运行状态与变化情况;支持实时电价的应用,为 DR 提供全面的技术支撑。

3) 能够与其他自动化系统无缝集成,共享负荷数据;向 CIS 提供用户电能记录,供计算电费、回答用户用电查询时使用;及时向配电管理自动化系统发送停电报警信号,供确定电网故障元件与停电范围,提供负荷运行记录以对供电可靠性、电能质量与线损进行统计分析。

4) 可提供读取自来水表、煤气表以及智能家电控制等增值服务。

5) 系统采用标准化设计,具有良好的开放性,能够实现智能电表、应用程序、智能用电设备

的“即插即用”。

3 高级量测体系的构成

3.1 系统结构

AMI 是一个集成了许多技术和应用的计算机网络系统,包括智能电表、通信网络与量测数据管理主站(简称 AMI 主站)3 个主要组成部分,如图 1 所示。



图 1 AMI 的结构

3.2 智能电表

传统的电能表只是简单地记录用户电能消费量,而智能电表则是一个多功能用户侧终端装置(Customer Portal Terminal, CPT)。

按照支持互动功能的要求,智能电表主要应具备以下功能。

1) 双向电能计量功能。能够记录从电网上获取的电能和用户 DER 送到电网上的电能,能够根据电价的变化计算出累计电费。

2) 用电数据采集功能。采集并根据预先设定的时间间隔(如 15 min, 30 min 等)储存有功、无功、电压、电流等反映负荷运行情况的数据,在主站召唤时上传数据。检测并上传停电报警、电压越限信号以及其他电能质量扰动数据。

3) 电表内置超级电容器的蓄电,以在停电时维持电表工作一段时间,上传停电检测信息。

4) 负荷控制功能。根据来自主站的命令或按照用户基于电价变化设定的 DR 控制程序进行负荷的通断与用电水平控制。

5) 具备防窃电功能。检测擅自改动电表或其他窃电行为。

6) 显示当前电价与电费,供用户进行用电决策(如是否开动洗衣机)并及时了解用电情况。

7) 能够进行远方配置参数并进行程序升级。

8) 用作用户网络(Home Area Network, HAN)的网关,转发实时电价与 DR 控制命令。HAN 指的是连接用户内部智能电器(如智能电

冰箱)或用电监控设备(如可编程温控器)的局域网。

电能计量是智能电表的基本功能,因为记录的电能量值是计算用户电费缴纳数额的依据,对其可靠性和精度都有很高的要求。鉴于这一点,业界对智能电表的功能设计还有争议。有人主张电能计量使用独立的电能表,其他数据采集、控制与通信功能由 CPT 完成。CPT 通过通信接口,获取电表记录的电能量值。

3.3 通信网络

AMI 通信网络由主干广域通信网(WAN)与分支局域通信网(LAN)两部分组成。用户智能电表接在分支网中,采用数据集中器或通信处理机向 AMI 主站转发智能电表的数据,如图 2 所示。

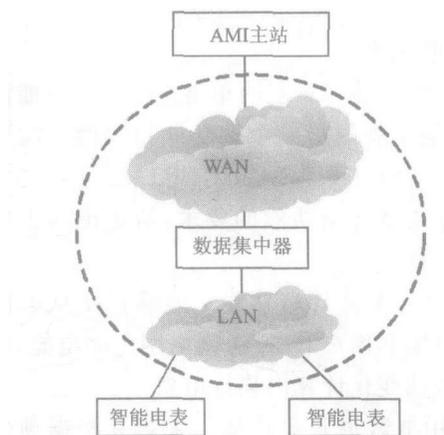


图 2 AMI 的通信网络

主干通信网连接数据集中器与 AMI 主站,可单独组网,亦可与配电网自动化系统共享通信网络。目前,AMR 与负控系统一般采用单独组网的做法,通信方式有配电线载波、通用分组无线服务技术(GPRS)、无线电台、电话拨号、光纤等。随着建设 SDG 进程的推进,供电企业将逐步建起覆盖整个配电网的 IP 通信网,用以解决高级配电自动化与 AMI 的通信问题。这是 AMI 主干通信网的发展方向。

分支通信网用于一个小区域内智能电表的通信。组网技术有配电线载波、金属导线、无线射频等。配电线载波是目前应用比较多的技术,安装方便、投资小,但存在通信速率低、稳定性差的缺点。近年来发展起来的用于无线传感网络通信的 Zigbee^[5]技术,是一种有前途的 AMI 分支通信技术。Zigbee 具有以下特点。

1) 可靠性高。采用网状(Mesh Network)通信方式,网络内通信节点之间通过中继转发,形成一个互通互联的通信网络。对于一个具体的通信节点来说,只要它能够和一个相邻节点之间接通,就可将数据可靠地传出去。

2) 分别提供 250、40、20 kbps(取决于使用的频段)的原始数据吞吐率。

3) 标准模块通信距离在 100 m,加装功率放大器后通信距离超过 2 km。

4) 低功耗。可在电池的驱动下,运行数月甚至数年。

5) 低成本。通信模块价格仅有几美元。

需要说明,有一种观点把前面提到的 HAN 也作为 AMI 的一部分。HAN 通过智能电表或 CPT 接入分支通信网。HAN 覆盖的范围有限,比较适宜采用配电线载波、Zigbee 技术组网。

3.4 主站

AMI 主站用于收集、处理、保存智能电表量测数据并向智能电表发送 DR 控制信息;通过人机界面与分析工具,对量测数据进行编辑、确认、纠错、补缺并实现数据查询、检索、浏览、统计分析、制表打印等功能;提供系统集成接口,对外共享负荷数据。

AMI 主站的硬件与软件和常规 SCADA 系统的主站类似,其关键技术是系统集成接口的设计。目前,AMR 系统主站一般采用专用通信连接向 CIS 提供电能量数据。AMI 主站应采用基于 IEC 61968 的企业信息集成总线(UIB)技术,实现与 CIS、配电管理自动化系统的无缝集成。

4 国外高级量测体系应用案例

建设 AMI,对于提高电网资产利用率、减少运营成本、提高供电可靠性与用户服务水平,都具有十分重要意义。鉴于 AMI 的基础作用,国际上许多发达国家都把实施 AMI 作为建设智能电网的第一步,其中意大利电力公司(ENEL)建起了目前世界上最大、功能比较完善的 AMI,很有参考价值。

ENEL 在国内拥有近 3 000 万电力用户,是意大利最大的公共事业公司。为适应电力市场化形势,提高电网管理与用户服务水平,ENEL 于 1999 年启动了使用智能电表取代传统机械表的“Telegestore”项目^[6],至 2005 年底,共安装智能

电表3 000多万块,数据集中器 35 万多个,总投资额达 21 亿欧元。该系统投运以后,应用效果好,每年可节约运营成本 4~5 亿欧元,减少峰值负荷 300 多万千瓦,占原峰荷的 5%。

Telegestore 系统低压用户电表与数据集中器之间的局域通信使用配电线载波(DLC)。采用窄带(2 400/3 200 bps)调制技术,以简化载波电路,减少制造成本。数据集中器与读表数据管理主站之间的主干通道以采用公网全球移动通信系统(GSM)为主。据报道,局域 DLC 通信运行比较稳定,而主干通道 GSM 有 2%~3%的掉线率。设在控制中心的自动读表管理主站(Automatic Meter Management, AMM)负责读表数据管理以及整个的系统监控与维护,通过局域网(以太网)向 CIS 提供读表数据。

Telegestore 系统的主要功能如下。

- 1) 支持电能分时段、多费率的计量,最小时间间隔 15 min。
- 2) 能够对用户负荷进行远程控制。
- 3) 采集有功、无功,可记录 5 周内的负荷曲线(15 min 间隔)。
- 4) 停电与电能质量监视功能。
- 5) 防窃电功能。
- 6) 智能电表自诊断,远方配置与程序升级功能。

2006 年 12 月 18 日,意大利发布了关于实施 AMI 的电力监管 292 号令,要求全面应用智能电表。围绕着满足电力监管 292 号令要求、充分发挥 Telegestore 系统的作用,ENEL 开展的工作主要如下。

- 1) 低压电表增加双向电能计量功能,以支持太阳能发电等分布式发电并网。
- 2) 使用 GPRS 替代 GSM 通信,提高主干通信可靠性。
- 3) 同时提供自来水表、煤气表读表服务。

5 结语

支持与用户的互动,是提高电网运行管理水平、支持可再生能源发展的必然选择,也是区分现代智能电网与传统电网的分界点。从 AMR、DSM 到 AMI、DR,不是一个简单概念的转变,是适应与用户互动的要求,对用电管理功能的实质

性升级。建设智能配电网,应把建设功能完善的 AMI、全面实施 DR 作为一项基础的工作来抓。

目前,我国配电网的互动功能十分有限,其原因首先是缺少技术支持手段。尽管我国建设了大量的 AMR、负控系统,但它们分别主要用于电能自动抄录、用户负荷应急(缺电)通断控制,功能单一,不能实现用电信息的全面互动。更重要的是电力市场化程度不够,法律法规不完善,已有的电价政策还不能很好地调动用户参与电网调峰与功率平衡的积极性。

发达国家的智能电网建设规划与实施方案都把实现与用户的互动作为重点内容。针对我国终端用电效率较低、节能减排压力大的实际状况,在建设智能配电网的过程中,更应该重视互动功能的实现。在这方面,国家要发挥主导作用,积极推进电价改革,推动 DR 应用。要在加大智能配电网互动技术科研投入的同时,建立完善的法律法规体系。要对智能电表应用、DER 并网做出强制性法律规定。鼓励智能家电的研发与应用,扩大 DR 资源。此外,还要加强 AMI 标准化工作,以扩大智能电表、通信终端批量生产,减少制造与安装维护成本,促进 AMI 的推广应用。

参考文献

- [1] 栾文鹏. 高级量测体系[J]. 南方电网技术, 2009, 3(2).
- [2] 张 钦, 王锡凡, 付 敏, 等. 需求响应视角下的智能电网[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17).
- [3] 刘宝华, 王冬容, 曾 鸣. 从需求侧管理到需求侧响应[J]. 电力需求侧管理, 2005(9).
- [4] 朱成章, 徐任武. 需求侧管理(DSM)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [5] 赵景宏, 李英凡, 许纯信. Zigbee 技术简介[J]. 电力系统通信, 2006, 27(165).
- [6] Brunello Bottega, Vincenzo Cannatelli, Sergio Rogai. The Telegestore Project In Enel's Metering System [C]. 19th International Conference on Electricity Distribution (CIRD). Vienna, Austria June 2007.

收稿日期: 2009 年 11 月

徐丙垠 山东理工大学教授, 科汇电力自动化公司董事长
 李天友 高级工程师, 福建省电力公司副总工程师
 薛永端 教授级高级工程师, 科汇电力自动化公司总工程师
 金文龙 教授级高级工程师, 国家电网公司原发输电部处长