

支撑高效需求响应的高级量测体系

赵鸿图¹, 周京阳², 于尔铿²

(1. 河南理工大学 计算机学院, 河南省 焦作市 454000; 2. 中国电力科学研究院, 北京市 海淀区 100192)

Advanced Metering Infrastructure Supporting Effective Demand Response

ZHAO Hongtu¹, ZHOU Jingyang², YU Erkeng²

(1. School of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan Province, China;
2. China Electric Power Research Institute, Haidian District, Beijing 100192, China)

ABSTRACT: Advanced metering infrastructure (AMI) is the totality of systems and networks for measuring, collecting, storing, analyzing, using and transferring electricity consumption data of consumers, power price information and system operation conditions, and can effectively support demand response. Typical structure and composition of AMI are briefly introduced, and the benefits brought by AMI in the fields of consumers, public utility and social environment as well as its support to smart grid are analyzed. The design principle of AMI is proposed and the relation between AMI and smart grid is researched; the main problems existing in the investment of AMI and coping strategies are investigated and some key problems in the construction of AMI are pointed out, besides, some suggestions on the construction of AMI, which would be available for reference in further study on AMI and its implementation, are given.

KEY WORDS: demand response; smart meter; advanced metering infrastructure (AMI); home area network; meter data management system; smart grid

摘要: 高级量测体系(advanced metering infrastructure, AMI)是一个用来测量、收集、储存、分析、运用和传送用户用电数据、电价信息和系统运行状况的完整的网络和系统,能够有效地支持需求响应。简述了AMI的典型结构与组成,从用户、公用事业、社会环境、对智能电网的支持等方面讨论了AMI的收益,提出了AMI的设计原则,分析了AMI与智能电网的关系;探讨了AMI投资中存在的主要问题与应对策略,提出了AMI建设的关键问题,给出了中国AMI的建设模式建议,旨在为AMI的进一步研究及实现提供参考。

关键词: 需求响应; 智能电表; 高级量测体系; 家庭局域网; 计量数据管理系统; 智能电网

0 引言

传统的供电模式不考虑需求侧的作用,消费者仅仅充当被动购买者的角色,电网仅仅是为了单向

传输电力,而不是一个动态的能源供求互动的网络。随着经济技术的发展,用户的电力需求不断增长,用户希望了解用电成本并公平分摊的要求日益强烈,降低能源消耗和环境污染的任务仍十分艰巨。为了应对这些严峻挑战,需求响应应运而生。需求响应旨在通过经济手段激励引导用户避开高峰需求时的高电价与系统紧急状况时期,达到节能减排,优化资源配置,促使电力系统安全、可靠、经济、高效地运行,促进社会环境可持续发展的目的^[1]。实施需求响应的一个必要条件是用户具有实施需求响应的技术能力。为此,需要建立需求响应技术支持系统。

需求响应的支持技术的发展经历了从智能电表(smart meter)到高级量测体系(advanced metering infrastructure, AMI)^[2],再扩展到智能电网的过程。20世纪80年代智能电表被引入到电力系统中。智能电表可以实时取得用户带有时标的计量值,如用电量、电压、电流等信息,还具有远程自动抄表(automatic meter reading, AMR)功能。智能电表与控制设备和通信网络的整合,成为支撑高效需求侧响应的高级量测体系。2006年美国联邦能源管理委员会(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)在报告^[3]中把高级量测体系定义为:记录每小时或更短时间间隔的用户用电量等数据,并能够按每天或更短的时间周期把数据通过通信网络传输到数据采集中心的量测系统。本定义说明了AMI是通过通信媒介在请求时或按预先计划测量、采集、分析与管理电力设备用电的系统。AMI能够传递并实施一个完整的需求响应决策。随着数字化信息技术的发展,AMI成为智能电网的一个基础性功能模块,它与高级配电运行(advanced distribution

operations, ADO)、高级输电运行(advanced transmission operations, ATO)及高级资产管理(advanced asset management, AAM)成为智能电网(smart grid)的4大体系^[4-5]。智能电网增强了AMI的能力,充分支持需求响应。

文献[6-8]分析了AMI的组成、意义及其与智能电网的关系。本文将AMI对需求响应的作用为视角,进一步分析AMI的结构与组成、收益、设计原则及其和智能电网的关系,AMI投资中存在的主要问题与应对策略。最后,阐述AMI建设需要研究的关键问题,并给出在中国AMI建设模式的建议。

1 AMI的结构与组成

1.1 AMI的结构

基于文献[9-13]以及AMI的用途,可以设计AMI的典型结构如图1所示。它包括5个主要组成部分:智能电表、家庭局域网(home area network, HAN)、通信网络、计量数据管理系统(meter data management system, MDMS)和AMI接口。

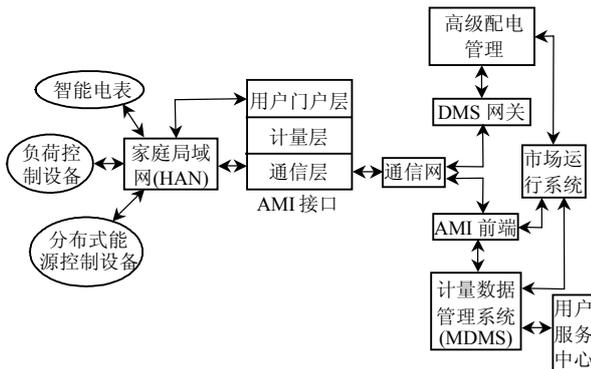


图1 AMI典型结构

Fig. 1 A typical AMI architecture

图中AMI的各部分通过网络连接起来,共同完成实施需求响应所必需的用户用电信息、电价与系统信息的双向传输与用电控制,实现需求响应的自动化与智能化。负荷控制设备能够远程断开与连接用电设备;分布式能源控制设备能够远程启动与停止用户的现场发电机组等;用户门户(consumer portal)是用户与网络的接口,提供用户对设备控制命令的输入(如限定电力公司对用户设备的控制权)等交互服务;计量数据管理系统存储并分析用户的用电数据;用户服务中心实现用户的用电结算、需求响应的确认以及用户用电信息的查询等功能;市场运行系统分析市场运行状况以及发输电成本,形成实时电价,并通过通信网络把相关信息传输到用户网络;配电管理系统(distribution management

system, DMS)分析AMI数据以优化运行、节约成本、提高用户服务水平。

1.2 AMI的组成

1.2.1 智能电表

智能电表是一种可编程的、有存储能力和双向通信能力的先进计量设备,是分布于AMI网络上的传感器。其主要功能有:

1) 编程设置比结算周期(通常为1个月)更短的计量时段(15 min~1 h),并按设定时段记录从电网传输给用户的能量或由用户电源输入电网的能量,因此可以支持以设定时段为计费单位的电价机制。

2) 自动化远程抄表或按需抄表,减少人工抄表所必需的人工、车辆等成本与抄录错误^[14]。

3) 远程连接与断开室内所有用电设备,实施需求响应并限制不良用电者(如不交纳电费者)的用电。

4) 报告电力参数越界状况,检测偷窃电现象,进行电力质量监测等。

5) 远程校准时钟。因为要实时记录用电量与电价,所以全网时间的同步是至关重要的。

1.2.2 家庭局域网

家庭局域网是一种室内局域网,它通过网关或用户门户把智能电表和户内可控的电器装置(如电脑、可编程温控器、冰箱、空调等)连接起来,通过用户能量管理系统与室内显示(in-home displays)设备形成一个响应的能量感知网络。家庭局域网给了用户远程控制室内用电设备的能力,它与用户门户一起提供了一个代理用户参与市场的智能接口。

1) 用户能量管理系统。

用户能量管理系统是用户侧的能量管理系统。其服务目标是保证需求响应的有效发生,最小化用户因改变负荷所受到的不利影响,增加用户用电的灵活性,提高系统运行的经济性和供电的可靠性。

用户能量管理系统包括用电管理系统与用电控制系统。用电管理系统管理用户的用电数据、用电策略和需求响应信息。它通过对用户的用电状况(用电量与设备运行状况)、用户预置的需求响应触发条件(如电价高于多少时停止用电)、实时电价、系统运行状况及调度需求响应的命令等信息进行实时分析和处理,形成需求响应实施方案、用电策略以及相应的控制信号。需求响应实施方案和用电策略传给室内显示设备,并可根据需要打印输出,控制信号传向用电控制系统;用电控制系统根据用电管理系

统给出的控制信号直接控制终端设备的需求响应(启停设备用电、维持现状或调整用电量等)。

2) 室内显示设备。

可以显示当前的电价、系统状况、用电量、用电等级、用电成本、用电优化方案等信息,使得用户及时准确地了解用电情况、费用和市场信息,从而根据市场或系统要求调整用电习惯,理性地选择用电模式,养成节能环保的思想行为。

1.2.3 通信网络

通信网络采用开放的、高安全性的双向通信标准,在智能电表、控制设备和公用事业的事务系统之间建立网络连接,实现在公用事业、用户和可控电力设备之间连续的信息交互^[15]。

1) 通信信息。分为下行信息与上行信息,下行信息是由配电市场到用户的数据,包括实时电价信息、系统运行状况信息与召唤用户实施需求响应的命令、电费清单等;上行信息由用户传向电力公司,包括带有时标的用电量、设备用电状况以及对召唤命令的响应情况等。

2) 通信性能。主要是有效性与可靠性,有效性指消息传输的速度,可靠性指消息传输的质量,对通信系统的基本要求是快速、可靠。通知速度越快,响应速度就越快,同时通知的用户越多,响应量就越大。如果通信系统具有事件跟踪功能,那么它可以记录通知发出的时间与收到通知的用户,正确判断用户执行需求响应的情况。常用通信方式有因特网、电力线载波、电话网、移动网、光纤网等。

1.2.4 计量数据管理系统

计量数据管理系统带有数据分析处理工具并能够与其他信息系统交互。它主要包括如下部分:

1) 用户信息系统(consumer information system, CIS)。对大量用户信息进行管理,如用户名称、地址、帐号、电话、用电数据、供电优先级、断电记录、用户因实施需求响应所得的补偿以及电费清单等。它用于区别不同的用户,并对用电数据进行有效性认定、编辑和评估(validation editing and estimation, VEE)。

2) 地理信息系统(geographic information system, GIS)。为了获取、存储、检索、分析和显示空间定位数据而建立的计算机化的数据库管理系统^[16]。它用于标识电网分布、监控设备布置、用户所在节点位置、用户用电量等。

3) 公用事业 WEB 站点。用于显示公用事业信

息、用电数据、电价、系统状况以及电费结算等,使授权用户方便快捷地访问。为了确保实时性,AMI 对数据延迟(data latency)、数据持久性(persistence)与数据规模(scalability)都有严苛要求。

4) 断电管理系统(outage management system, OMS)。管理断电与恢复,进行电表事故处理与电表资产管理等。

5) 电力质量管理和负荷预测系统。对电力质量实时进行监测及异常报告等;根据系统的运行特性、用电状况等因素,对未来某特定时刻的负荷进行预测。负荷预测是电力系统调度、实时控制、运行计划和发展规划的前提,是一个电网调度部门和规划部门所必须具有的基本信息。

6) 移动作业管理(mobile workforce management, MWM)。对调度中心、调度人员、户外作业人员进行管理。它以客户管理信息、资产管理信息、技术档案信息为基础,通过应用系统、通信网络、手持通信终端,对户外作业进行自动化调度和管理。从而优化资源配置,提高人员工作效率、服务水平和决策能力。

7) 变压器负荷管理(transformer load management, TLM)。对变压器所带负荷进行监测,对超负荷现象进行处理。

8) 企业资源规划(enterprise resource planning, ERP)。通过集成企业内部财务会计、生产、进销存等信息流,快速提供决策信息,提升企业的营运绩效与快速反应能力,体现完全按用户需要进行经营管理的全新思路。

由于 AMI 处理的数据量很大,复杂度很高,因此要求数据中心的存储容量必须足够大,以满足数据储存、检索、分析处理、计费差错更正、用户投诉处理等需要。2009年9月,FERC 在评估报告^[17]中估计美国大约有 7.95×10^6 只智能电表正在使用,而且按正常情况估计,到2019年,将会新增大约 80×10^6 只智能电表。这么多智能电表将要求数据管理系统具有更强的数据处理能力与更大的数据存储容量。

1.2.5 AMI 接口

AMI 通过接口与系统侧应用设备进行通信,为 ADO、ATO 与 AAM 提供可靠的数据支持。

AMI 主要为 ADO、ATO 的如下方面提供必要的数 据: 断电管理、变电站自动化、分布式资源管理、地理信息系统、高速信息处理、先进保护与控

制、微网运行等。

AMI 为 AAM 提供的信息有：资产健康状况、资产运行优化方案、输配电规划、设备维护、工程设计与建设、用户服务、作业与资源管理、建模与仿真等。

2 AMI 的收益

2.1 用户的收益

1) 获得需求响应补偿^[18]。AMI 为用户提供详细的用电信息与用电模式建议，也给予用户按电价、时间、用电量等信息控制用电的能力，从而促使用户从自身利益出发理性地实施需求响应，获得经济补偿。

2) 享有公平的电费结算。实时电价与用电量信息使电费计算更加公平合理，避免了估计用电量与平均电价情况下用户交费不足或交费过多的交叉补贴情况。

3) 享受优质零售服务。AMI 能够使零售商为用户提供更多的电价和服务选择，能够显著地降低新零售商的市场进入成本，从而增加市场中零售商的数量与竞争程度，降低零售电价，提高零售商的服务水平。

2.2 公用事业的收益

1) 激起需求响应。

AMI 的一个主要收益是能够为用户提供价格信号与系统紧急状况、实时记录用户的用电信息、自动控制用户的用电行为，从而促成了需求响应和实时定价机制^[19]。

2) 提高运行效率与断电管理水平。

AMI 提供给系统运行机构的实时系统运行信息、用户用电信息以及负荷预测能力，可使公用事业更全面、更快速地实时查看与分析系统状况并提前制定应对策略，从而增强公用事业对电网的监管能力和对用户的服 务能力。AMI 具有的断电检测与电网故障精确定位能力能够改进断电管理，有效调度维修人员，加快故障修复时间，显著减少断电期间供电中心的工作量。

3) 改进资产管理水平。

AMI 提供的详细准确的用户需求和用电模式数据能够帮助公用事业高效管理电网资产。通过设备预知维修(predictive maintenance)提前规划资产维护以消除事故隐患，减少偷漏电现象与设备的运行维护和管理成本，保障设备运行的安全健康，最大化资产使用寿命。

4) 提高资本运作水平。

AMI 具有的远程电表读数能力能够及时提供准确的用电数据，这不但减少了人工抄表成本，而且也使电费结算更准确快捷；远程设备诊断能力能够快速方便地远程连接或断开用户负荷，从而显著地减少公用事业的人工调派成本；AMI 激活的需求响应能够延缓对发、输、配环节中的固定资产投资，从而改进资本利用率，优化资本运作。

5) 提高服务能力。

AMI 可以激活时变定价与需求响应，消除交叉补贴并改进用电效率；远程抄表避免了抄表员到用户家中给用户造成的不便；远程负荷连接和断开功能可有效地进行用电管理；空闲用电检测和窃电报警功能能够优化公用事业收入，并增加计费的公平性；准确及时的电费清单能够减少用户电费查询量与争端事件，增进公用事业与用户的关系，提高用户满意度，降低服务成本。

2.3 社会与环境收益

AMI 减少或延迟了发电与输配电设施的建设投资，改进了帐目管理，加快了断电恢复，提高了电力系统的可靠性与效率，从而增加了社会经济收益；清洁能源的利用与需求响应的实施可以改善环境；用电成本的公平分摊促进社会公正、公平；AMI 所需要的新技术、新工艺、新产品为制造商提供了革新技术与工艺、研发新产品的动力，从而将促进科技进步。

2.4 为智能电网提供支持

AMI 支持用户侧的分布式发电资源接入电网，为智能电网建立通用通信网络和信息系统架构打下了基础。AMI 是建立智能电网的第一步^[20]，依次是 ADO、ATO 与 AAM。

3 AMI 的设计原则

1) 功能可扩展。在设计时必须考虑到未来可能的技术标准、系统接口和监管要求，具有一定的扩展升级能力以容纳新用户与新服务。

2) 设备互操作。不同厂商提供的 AMI 系统、所用的设备器件需要遵守一致的规格和标准。

3) 协议统一。有统一的数据传输格式和释义方法，以保证系统间的数据交换与共享。

4) 系统安全。包括硬件与软件安全^[21]。硬件安全主要指 AMI 具有应对设备或连接失效的自愈功能；软件安全主要是对用户私密信息不泄露、篡

改、伪造和丢失,并且只有授权设备能够收发并正确解析,只有授权用户能够访问等。

5) 管理简便。这是对系统最基本的要求。AMI 应该易于使用、排错和管理,而同时又不能影响有效性、安全性和可扩展性等。

4 AMI 与智能电网的相互关系

4.1 智能电网增强了 AMI 的功能

智能电网是以先进的计算机、电子设备和高级元器件等为基础,通过引入通信、自动控制和其他信息技术,从而实现对电力网络的改造,达到电力网络更加经济、可靠、安全、环保这一根本目标^[22]。智能电网的本质是能源替代、兼容利用和互动经济。正如互联网通过各种信息和物理网络把电脑后面的人连接起来一样,智能电网将电力流、信息流、业务流融为了一体,其技术组成如图 2 所示^[23-25]。

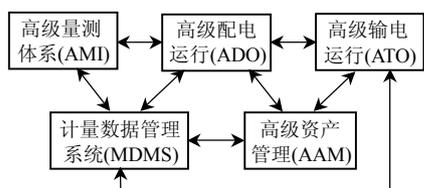


图 2 智能电网的技术组成

Fig. 2 Technical composition of smart grid

4 大体系由通信网络连接起来,用以实现整个电力系统范围内的信息共享与互动控制,使电网的运行智能化。

需求响应是负荷波动的有效调节器,实施它需要具备 3 个关键条件:1) 响应对象,如时变电价、系统状态或调用需求响应的命令等;2) 用户及时获得响应对象;3) 响应策略。实现这些条件是智能电网的关键应用(killer application)^[26-27],是检验智能电网性能的标杆。

1) 智能电网全系统范围的能量管理与控制技术增强了 AMI 驱动用户实施需求响应的有效性与可靠性。测量系统在充分采集电力系统的运行状态(正常、警戒、紧急、系统崩溃、恢复)与成本信息后,形成调度需求响应的命令与公平合理的时变电价并传输给 AMI。AMI 把收到的信息与用户预置条件进行比较,作出需求响应决策并对用户的需求实施控制。

2) 智能电网的先进监控系统与高速通信网络缩短了 AMI 驱动需求响应的的时间,提高了需求响应的实时性。

3) 智能电网可为分布式的可再生能源以及蓄

电式电动汽车提供灵活接入的动态平台,增强了 AMI 实施需求响应的方式,不仅有利于供电安全,也有利于可持续发展。

4) 智能电网的自愈功能与抵御攻击的能力增强了 AMI 的安全性。电网自愈是指实时掌握电网运行状态,预测电网运行趋势,及时发现、快速诊断故障隐患和预防故障发生;故障发生时,在没有或少量人工干预下,能够快速隔离故障、自我恢复,避免大面积断电的发生^[28-29]。自愈就是智能电网的“免疫系统”,它确保了电网的可靠性、安全性、电能质量和效率。

4.2 AMI 是智能电网的启动器

AMI 是智能电网通信主干网的关键部分,它能够把安装在关键位置上的低成本传感器和控制设备与电力控制中心连接起来,从而支持输配电运行和资产管理,改进电力系统的可视性,辅助电力系统运行机构在系统危急状态期间作出正确决策与在正常状态下控制系统最优运行。智能电网所依赖的大部分技术都与 AMI 相关。

1) 综合通信技术。AMI 提供了电网包括用户负荷与系统运行机构之间的最广泛的连接。

2) 传感和测量技术。AMI 的智能电表能够广泛地测量系统状态直到用户的用电状态。

3) 先进控制方法与技术。用户的能量管理系统能够处理实时电价等信息并发起控制行动;配电运行中心处理 AMI 信息并在系统级或区域级及时对网络设备进行智能控制。

4) 先进电网组件技术。AMI 支持分布式能量资源的应用并且能够减少通信成本。

5) 改善的界面与决策支持技术。AMI 的用户门户、HAN 及室内显示系统提供了人性化的交互界面。AMI 为用户和公用事业的智能决策提供数据支持。

6) 多种电源接入技术。可再生能源是有益于人与自然和谐发展的重要能源。但由于其固有的不稳定性 and 不确定性(如风能的输出依赖于不易控制的风速和不能精确预测的天气),当其接入电网运行时将对电网造成影响和冲击,有效的应对策略是采用 AMI 支持下的需求响应措施与储能技术。

5 AMI 的投资问题及应对策略

5.1 投资问题

1) 投资回报期短和回收期长导致成本回收

困难。

投资回收期短主要是由零售合约的短期性引起的，一般的零售合约期限都不超过 1 a。成本回收期长主要是由需求响应收益的分散性、低实施率引起的。收益的分散性使得较难定量全部收益，因此对投资的回报额较低，从而延长了回收期；需求响应的低实施率是因其主要在夏冬季负荷高峰期与事故发生时实施。由于只有当回报周期大于等于回收周期时，投资者才能赚钱，所以在市场和政策都可能随时变动的情况下，成本回收的长期性具有相当大的风险，使得人们不愿对需求响应的基础设施进行投资。这与供应侧的投资规模大、回报周期长（一般是当收益率为 5%~10% 时，回报周期超过 15~25 a）、投资环境较安全有较大的不同。

2) 需求响应收益的分散性导致搭便车。

需求响应给电力系统的所有参与者带来收益，这种收益的分散性导致每个受益人都不愿独自投资或期望别人投资自己受益，从而产生搭便车问题。

3) 技术进步导致投资被套牢。

当原有技术被更新时，制造商可能停止供应原产品，那么已有设备可能不能使用，有可能收不回旧有投资，从而出现投资被套牢的问题。

5.2 应对策略

1) 统一技术标准以解决投资被套牢的问题。

统一技术标准是指 AMI 所采用的技术要具有互操作性、开放性与可扩展性。互操作性能够让投资者从多个供应商处购置设备，从而寻找最低价格的供应商并且能够保护自己避免某些制造商脱离本行业所产生的风险；开放性能激励技术竞争，促使制造商提高效率，投资者还可要求制造商对特定产品和系统进行培训来支持对技术基础设施的投资；可扩展性可以为技术升级制定扩充项目，如为计量表预留扩充卡插槽等，这种方法有效地防止了原有投资的套牢风险，同时减少了二次投资，节约大量资金。

2) 集中负荷以减少设备投资。

集中负荷是指依据用户的用电行为、用电区域等情况，把多个小负荷分类集中起来，由负荷集中商代理参与需求响应项目。集中负荷的削减量由负荷集中商或系统运营商的计量表测量，从而减少用户在计量表等设备上的投资。

3) 政策干预以保障投资收益。

政策干预是指政府或系统管理者制定政策来

保证投资者的正当收益。可采用的措施有：①政府或者公用事业设置机构来负责投资的整个过程，并利用公众基金提供对技术投资的援助；②使技术投资者拥有技术成果，以出租形式给用户使用，收取租金或者分享需求响应的利益作为投资的回报；③尽可能地定量需求响应的全部收益，以在电价中包含需求响应收益费或者征收需求响应收益享用税等方式回收需求响应技术的投资成本。

6 中国 AMI 建设方案构想

6.1 建设 AMI 需要研究的关键问题

6.1.1 资金问题

包括投资收益、投资者、投资规模、投资与回收方式等。

需要在充分的投资效益分析后，实施建设方案，保证投资是有收益的。基于我国的现状，投资可以由供电公司、第 3 方与用户共同负担。投资回收可以采用分摊到电费中或以电费附加费的方式收回。

6.1.2 技术问题

1) 系统规划与建设。

①通信协议。对数据格式、同步方式、传送速度、传送步骤、检纠错方式以及控制字符定义等做出统一规定。制定全网统一的通信协议，并考虑到未来发展的需要。

②设备兼容性。不同厂商的设备或软件相互之间要能够良好配合、稳定工作、无缝连接，要考虑到成本性能与升级换代。

③网络安全。包括网络自愈功能与信息安全。用户的隐私要受到保护，不因偶然的或者恶意的原因而遭受破坏、更改、泄露，用电数据、电价、调度命令等关键数据在未授权的情况下不能被更改、伪造与否认等。需要通过复杂的监控措施、欺诈管理、加解密等技术手段来支持信息的保密性、完整性、可用性、真实性和可控性。

④人机交互。用户通过人机界面与系统进行交互。可视化界面要能够将用户用电、电价、系统运行状态等大量数据分栏目、分层次、有重点、清晰地呈现出来，并且提供用电优化方案、需求响应实施方案等相应的辅助决策支持。

2) 功能模块的规划、设计与实现。

①智能电表。智能电表可以使用户与电力机构之间实现互动。一方面帮助电力机构精确了解用户的用电规律，实施峰谷电价；另一方面，帮助用户

合理调整用电计划,实施需求响应,优化电费支出。其基本功能是按照设定时间记录用电量并显示和存储,能够远程自动抄表。存储能力可根据需要扩展,显示功能可显示用电量、实时电价、系统状态等信息。远程自动抄表可以采用电力线载波作为通信媒介,这是世界上分布范围最广的、最现成的通信资源,而且构建抄表系统的成本低廉。但需要解决2个关键问题:任意相邻节点的物理层通信保障能力与具有帧中继控制的网络传输协议。解决方案是:采用先进的数字化信道编码技术与自适应窄带调制/解调方式;使用嵌入式微处理器进行网络传输与信息安全控制等。

②家庭局域网。主要是速度、容量、路由、能量管理与控制系统和室内显示装置等的规划、设计与实现。对此系统的基本要求是既要能形成正确及时的优化方案,又要以友好的交互界面显示给用户,同时赋予用户实施决策的能力。要设计合理的能量管理算法方案并编制实现程序,选择满足系统需求的控制策略与先进的控制设备。

③通信网络。网络的速度、容量、路由、安全与外部接口等要满足要求,同时可根据需要进行扩展。

④计量数据管理系统。对用电数据进行存储管理,为用户提供用电信息核对、查询等业务,为计费中心提供用电数据,为系统运行机构提供本区域的用电状况分析与预测。要根据数据的存储时限与数据流量配置服务器容量并编制业务处理软件。

⑤实时计费和结算中心。实时计费和结算中心根据用户的用电数据计算用户的用电费用,并按一定规则计算用户实施需求响应获得的补偿^[30],形成结算清单。它还具有服务用户的电费查询、处理计费错误等功能。可以把需求响应结算模块嵌入到现有结算系统中,但要处理好由于结算内容的增加、结算方式的变化所带来的影响,这可能需要更新设备并重新编制相关程序。

6.1.3 政府政策

包括推动AMI建设的法律法规、政策监管、政策宣传与用户教育等。

建设AMI需要大量先进的计量、通信、控制、分析、计算与处理等设备,其投资是巨大的。需要对规划、建设、运行等各阶段实施全面的政策监管,规避不利因素,保证其公正、公平、公开地有序进行。

AMI的建设是需要与用户合作才能完成的。需要在项目的目的、规模、方案、投资、收益等各方

面与用户沟通,并教育用户充分理解项目的实质并能够熟练地使用这一基础设施。

6.2 建设模式建议

建设模式建议分为大区、省、市3级。在市级建设中,为保证建设质量并避免投资风险,可以按照电网结构、供电能力、供电质量、供电的经济合理性、用电量、用电特性等因素把市级建设划分为若干个区域,并选择基础条件较好的区域作为试点,成功后推广到全市,再到全省、大区,最后到全国。在每一级实施中,可以先针对大用户进行试点,待条件成熟后再扩展到中小用户。这样的模式便于管理与改善,也符合逐步发展的规律。

7 结论

1) AMI能够为需求响应提供技术支撑,为实时电价的实行提供基础,优化用户的用电模式,使用户的响应行为自动化,为用户、公用事业、社会环境等带来收益。

2) AMI是智能电网通信网的基础,是建立智能电网的第一步。智能电网强大的信息处理与控制能力可以增强AMI的功能。

3) AMI的投资巨大,且存在回收周期长、资金被套牢等风险,有效的应对策略是统一技术标准、多负荷共用一套设备、政府干预等,以规避投资风险、保证投资收益。

4) 中国AMI建设的关键问题包括资金投入与回收的方式、技术标准与系统功能的制定、政府政策的引导和支持等。为了减少投资风险、探求运作规律,建设AMI可以采用大区、省、市3级模式,在每一级实施中有步骤、分重点地进行,即首先针对大用户,然后再扩展到中小用户。这一建设模式需要在我国AMI建设的实践中不断丰富和完善。

参考文献

- [1] 赵鸿图,朱治中,于尔铿.电力市场中需求响应市场与需求响应项目研究[J].电网技术,2010,34(5):146-153.
Zhao Hongtu, Zhu Zhizhong, Yu Erkeng. Study on demand response markets and programs in electricity markets[J]. Power System Technology, 2010, 34(5): 146-153(in Chinese).
- [2] Hart D G. Using AMI to realize the smart grid[C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting: Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 2008.
- [3] Federal Energy Regulatory Commission. Assessment of demand response and advanced metering: 2006 staff report [EB/OL]. [2010-03-20]. <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/demand-response.pdf>.
- [4] 余贻鑫.智能电网的技术组成和实现顺序[J].南方电网技术,

- 2009, 3(2): 1-5.
Yu Yixin. Technical composition of smart grid and its implementation sequence[J]. Southern Power System Technology, 2009, 3(2): 1-5(in Chinese).
- [5] 李兴源, 魏巍, 王渝红, 等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(17): 1-7.
Li Xingyuan, Wei Wei, Wang Yuhong, et al. Study on the development and technology of strong smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(17): 1-7(in Chinese).
- [6] 刘畅, 周渝慧, 许蔚, 等. 基于智能电网高级计量体系的居室智能节电系统设计[J]. 电力需求侧管理, 2010, 13(1): 45-48.
Liu Chang, Zhou Yuhui, Xu Wei, et al. Smart residential energy-saving system design based on smart grid advanced measuring system[J]. Power Demand Side Management, 2010, 13(1): 45-48(in Chinese).
- [7] 栾文鹏. 高级量测体系[J]. 南方电网技术, 2009, 3(2): 6-10.
Luan Wenpeng. Advanced metering infrastructure[J]. Southern Power System Technology, 2009, 3(2): 6-10(in Chinese).
- [8] 刘连永, 陈锋, 季振东. 基于智能电网的AMI系统[J]. 江苏电机工程, 2010, 29(2): 21-24.
Liu Lianyong, Chen Feng, Ji Zhendong. AMI system based on smart grid[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2010, 29(2): 21-24(in Chinese).
- [9] Chris King. Advanced metering infrastructure (AMI) overview of system features and capabilities[EB/OL]. [2010-02-04]. <http://sites.energetics.com/madri/toolbox/pdfs/background/king.pdf>.
- [10] Electric Power Research Institute. Advanced metering infrastructure (AMI) [EB/OL]. [2010-03-04]. <http://www.ferc.gov/eventcalendar/Files/20070423091846-EPRI%20-%20Advanced%20Metering.pdf>.
- [11] Parks R C. Advanced metering infrastructure security considerations [EB/OL]. [2010-03-11]. <http://www.sandia.gov/scada/documents/Parks-2007-7327.pdf>.
- [12] Westar Energy. Advanced metering infrastructure and meter data management update 2008 PACS leadership meeting[EB/OL]. [2010-03-12]. [https://epower.wr.com/apps01/corp_com/corportal.nsf/resources/1PACS2008/\\$file/Kevin%20Heimiller.pdf?openelement](https://epower.wr.com/apps01/corp_com/corportal.nsf/resources/1PACS2008/$file/Kevin%20Heimiller.pdf?openelement).
- [13] 张强, 孙雨耕, 杨挺, 等. 无线传感器网络在智能电网中的应用[J]. 中国电力, 2010, 43(6): 31-36.
Zhang Qiang, Sun Yugeng, Yang Ting, et al. Applications of wireless sensor networks in smart grid[J]. Electric power, 2010, 43(6): 31-36(in Chinese).
- [14] Energy Futures Australia Pty Ltd. Advanced metering for energy supply in Australia[EB/OL]. [2010-03-20]. <http://efa.solstictrial.com/admin/Library/David/Published%20Reports/2007/AdvancedMeteringforEnergySupplyinAustralia.pdf>.
- [15] Gunther E W. Advanced Metering infrastructure[EB/OL]. [2010-03-21]. http://www.electricitydeliveryforum.org/2007/pdfs/AMI_Gunther_EnerNex_Feb07.pdf.
- [16] Terrell T J. Building a geographic information system[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1991(7): 50-54.
- [17] Federal Energy Regulatory Commission. 2009 assessment of demand response and advanced metering staff report[EB/OL]. [2010-05-12]. <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/sep-09-demand-response.pdf>.
- [18] Rochester Gas and Electric Corporation, New York State Electric and Gas Company. Advanced metering infrastructure overview and plan[EB/OL]. [2010-01-20]. http://www.dps.state.ny.us/NYSEG_RGE_AMI_Filing.pdf.
- [19] Hornby R, Salamone C, Perry S, et al. Advanced metering infrastructure: implications for residential customers in New Jersey [EB/OL]. [2010-02-20]. http://www.state.nj.us/publicadvocate/utility/docs/AMI_White_Paper-_final.pdf.
- [20] Itron. Meter data management: a key to the utility of the future [EB/OL]. [2010-04-05]. http://www.idswater.com/Common/Paper/Paper_223/Meter%20Data%20Management.htm.
- [21] Cleveland F M. Cyber security issues for advanced metering infrastructure(AMI)[C]. IEEE Power and Energy Society General Meeting, Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008.
- [22] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41(6): 19-22.
Xie Kai, Liu Yongqi, Zhu Zhizhong, et al. The vision of future smart grid[J]. Electric power, 2008, 41(6): 19-22(in Chinese).
- [23] Damir N. Emerging technologies in support of smart grids[C]. IEEE PES General Meeting, Pittsburgh, USA, 2008.
- [24] 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(in Chinese).
- [25] 胡学浩. 智能电网: 未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009, 33(14): 1-5.
Hu Xuehao. Smart grid: a development trend of future power grid[J]. Power System Technology, 2009, 33(14): 1-5(in Chinese).
- [26] Federal Energy Regulatory Commission. FERC report marks significant progress in demand response, advanced metering [EB/OL]. [2010-04-21]. <http://www.ferc.gov/news/news-releases/2008/2008-4/12-29-08.pdf>.
- [27] Brady D, Gramlich R. Getting smart about wind and demand response [EB/OL]. [2010-05-04]. http://www.awea.org/policy/regulatory_policy/pdf/Gramlich_Getting_Smart_About_Wind_and_Demand_Response.pdf.
- [28] National Energy Technology Laboratory. The modern grid strategy: a vision for the smart grid[EB/OL]. [2010-06-04]. http://www.netl.doe.gov/smartgrid/referenceshelf/whitepapers/Whitepaper_The%20Modern%20Grid%20Vision_APPROVED_2009_06_18.pdf.
- [29] 施婕, 艾芊. 智能电网实现的若干关键技术问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 1-4.
Shi Jie, Ai Qian. Research on several key technical problems in realization of smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(19): 1-4(in Chinese).
- [30] 赵鸿图, 朱治中, 于尔铿. 电力市场中用户基本负荷计算方法与需求响应性能评价[J]. 电网技术, 2009, 33(19): 72-78.
Zhao Hongtu, Zhu Zhizhong, Yu Erkeng. Demand response performance evaluation and basic load calculation method for customers in electricity market environment[J]. Power System Technology, 2009, 33(19): 72-78(in Chinese).



赵鸿图

收稿日期: 2010-05-24.

作者简介:

赵鸿图(1965), 男, 副教授, 研究方向为电力市场和电力系统通信, E-mail: ht-zhao@163.com;

周京阳(1962), 女, 教授, 博士生导师, 从事电力系统 EMS、电力市场等方面的研究工作;

于尔铿(1938), 男, 教授, 研究方向为能量管理系统和电力市场, E-mail: erkyu@mx.cei.gov.cn.

(责任编辑 李兰欣)