

欧盟 AMI 经验对下一代 IR46 智能电能表规划的启示

肖勇¹, 张乐平¹, 李向锋²

(1. 南方电网科研院有限责任公司, 广州 510000; 2. 杭州海兴电力科技股份有限公司, 杭州 310011)

摘要: 欧盟第三能源法案为推广智能计量系统方便用户铺平了道路, 欧盟组成专业执行机构落实智能电网及计量相关标准制订, 积极推动成员国开展 CBA 分析, 要求 CBA 结论为正面的成员国制订为期十年的长期行动计划, 在 2020 年前将智能电能表覆盖率达到 80% 以上, 并在智能计量架构和功能、数据安全等方面给予指导。据此, 法国电力提出了 2015 年 - 2021 年基于 OPEN meter 架构建设 3500 万只智能电能表的 Linky 计划。文章介绍了 Linky 智能电能表基本功能、通讯方式、数据安全、质量认证、通过 G3-PLC 在 MV/LV 侧分别载波实现“营配贯通”、遇到的问题以及民意抵制等方面的情况。并结合南方电网自 2011 年以来建设智能电能表和低压集抄系统的经验, 面向下一个轮换周期的新一代智能电能表或智能能源网关部署, 提出了十个方面的基本构想。

关键词: 欧洲 AMI; CBA; OPEN Meter; Linky 项目; IR46 智能电能表, 数据安全; 智慧能源网关

DOI: 10.19753/j.issn1001-1390.2019.022.024

中图分类号: TM933

文献标识码: B

文章编号: 1001-1390(2019)22-0146-07

EU-27 AMI rollout and inspiration of the next generation IR46 smart meter planning

Xiao Yong¹, Zhang Leping¹, Li Xiangfeng²

(1. Electric Power Research Institute, China Southern Power Grid, Guangzhou 510000, China.

2. Hangzhou Hexing Electrical Co., Ltd., Hangzhou 310011, China)

Abstract: The Third Legislative Energy Package has paved the way for the rollout of smart metering systems, as well as for the benefit of consumers. The EU shall form a professional executive organization to implement the formulation of smart grid and metering standards, actively encourage member countries to carry out cost-benefit analysis (CBA), and the positive CBA conclusion of the member states are required to prepare an implementation timetable for a period of up to ten years, which means the deployment of smart metering systems in 80% of positively assessed cases by 2020 and guidance should be given on smart metering architecture and functions, data security and other aspects. On this basis, French ENEDIS/eRDF planned to buy 35 million smart meters in 2015-2021 with Linky Project based on OPEN meter infrastructure. This paper introduces the Linky smart meter base function, communication and protocol, data security, qualification, G3-PLC working in both MV and LV to realize consumption and distribution data sharing, rollout issues, public boycotts, etc. Combined with the experience of rollout smart meters and AMR system in CSG since 2011, we give 10 items suggestion for next new generation smart meter or smart energy gateway shifting.

Keywords: EU-27 AMI, CBA, OPEN meter, Linky project, IR46 smart meters, data security, smart energy gateway

0 引言

从全球范围来看, 智能电能表的推广使用有利于下面六个方面^[1]:

- (1) 降低电力成本
- (2) 形成高效的电力定价机制
- (3) 更多可供电力用户选择的服务和信息

- (4) 配电线路的停电管理和系统监控
- (5) 高效的能源利用
- (6) 减少温室气体排放

2009 年, 欧盟委员会通过了第三能源法案 (The Third Energy Package)^[2], 法案附录 I.2 要求各成员国基于成本-收益分析 (CBA—Cost-Benefit Analyses), 在

2012 年 9 月 3 日前,制订出符合本国国情的中长期智能电能表和智能燃气表大批量建设计划:

- (1)在 CBA 评估结果为正面的国家,到 2020 年,智能两表的大批量覆盖率至少达到 80% ;
- (2)尤其针对电力用户,要求成员国制订出为期 10 年的智能电能表批量应用时间表。

欧盟将工作组文件《智能计量仪表在 EU-27 的应用对比分析》以委员会报告的方式附录在法案中,对各成员国迄今为止的智能计量批量应用进展情况有一个全面概述,更详细的国别情况分析也在报告中罗列。

根据第三能源法案要求,欧盟地区使用的计量装置、智能计量仪表必须遵守计量仪器指令(MID—Metering Instrument Directive)。MID 当前版本为 2014/32/EU^[3]。而针对智能电表的更明确指令参见 2009/72/EC^[4]。

欧盟将过去 10 年来约一半欧盟国家在实施 AMI 建设过程中的经验教训以 2012/148/EU 推荐法案方式

发布,更强调了数据安全性要求,用于指导各成员国的智能电能表大批量应用,以确保 CBA 评估具有可比性、相关性、基于综合和现实的实施规划^[5]。

根据欧盟内部测算,到 2020 年预计将花费 450 亿欧元安装 2.4 亿只智能电能表和智能燃气表。覆盖约 72% 的欧盟 27 国用户。

各成员国 CBA 分析结果差异很大,每户智能计量(电表+燃气表)成本从 77 到 766 之间。主要反映在:各国的通讯基础设施条件不同,花费差异很大^[6]。

1 欧盟智能电网执行机构

为了推进第三能源方案的落地,欧盟委员会设立了智能电网专家执行委员会(EG),负责标准制订、批量和试点项目过程中的教训总结等等工作。下辖 5 个分委会(EG1~EG5),如图 1 所示。

其中 EG1 是智能电网标准化工作组。
其中,EG1 下属的 M/441 是智能计量标准化组。

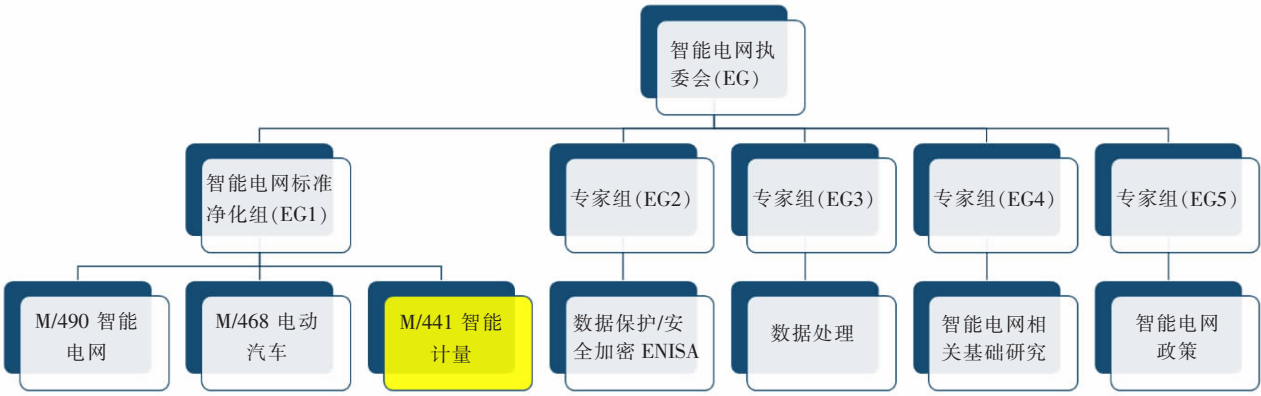


图 1 欧盟智能电网执委会组成
Fig. 1 Expert groups of Smart Grids Task Force

目前为止,已经制订发布了 50 多项计量相关的技术标准,内容涵盖 CEN/CENELEC/ETSI 表计、家庭显示单元、家庭网关、通讯等。如 EN62056, EN50470, EN13757, EN50491, CEN-CLC-ETSI 50572 等系列标准。

虽然欧盟各国没有就智能电能表的功能达成完全一致,但在基本架构和基本功能方面,还是形成了共识,即 2012/148/EU 指令和更早前在 FP7 科技合作框架下达成共识的 OPEN meter 欧盟量测体系。

这 10 项功能要求已经被 M/441 工作组纳入到强制性标准之中。欧盟各成员国也以此为参考,分别颁布了自己的能源法案或智能电能表标准。此外,预付费功能只是作为“高级费率系统”的一个功能选项,由各成员国根据本地市场需求进行增减,如表 1 所示。

表 1 智能电能表必须具备的 10 项基本功能列表

Tab. 1 List of the ten common minimal functional requirements for smart meter

消费方	a) 用户和任意第三方可直接抄读
	b) 根据各种节能方案频繁地刷新抄读
运营方	c) 允许运营商远程抄读
	d) 提供运维和控制需要的双向通讯
	e) 允许频繁抄读,方便网络规划
供电主体	f) 支持高级费率系统(合同电价)
	g) 远程开关控制、潮流或负荷限制
安全-数据保护	h) 支持通讯数据加密
	i) 防止和发现欺诈
分布能源发电方	j) 提供正、反有功及无功计量

需要特别说明的是,由于欧洲主要国家电力市场化交易开展较早,如法国、英国、德国、意大利等,所以,欧洲的智能电表要求具备“高级费率系统”,以适应电力市场化交易需求^[5]。

欧洲的智能计量器具部署,都是由成员国的配电系统运营商 DSO (Distribution System Operator) 来负责的,如意大利的 Enel、法国 Enedis (原 eRDF) 西班牙 IBERDROLA 等。

欧盟委员会积极推进各成员国的 AMI 标准化建设,并在欧盟 FP7 科研合作计划下,以 Grant Agreement No226369 条约方式发布了基于 OPEN meter 架构的 AMI 体系。其基本框架如图 2 所示。

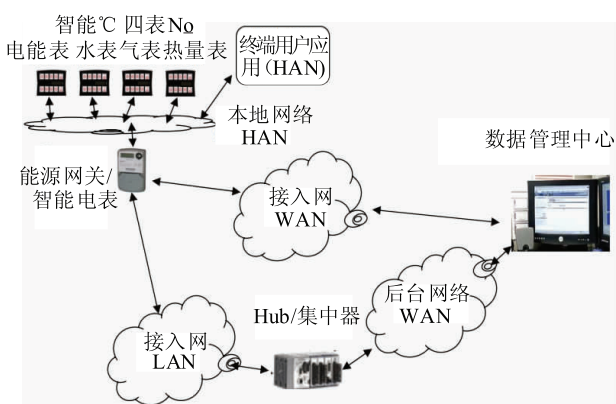


图 2 欧盟 OPEN meter 与 AMI 体系
Fig. 2 OPEN meter and AMI in EU-27

综上所述,欧盟的智能电表,首先是家庭能源网关 (Gateway),家庭内的水表、气表、热量表和光伏发电表等通过本地网络 (LAN 或 HAN) 接入到承担了采集器和网关功能的智能电表之中,由智能电表的上行通讯:(1)通过 PLC 或 RF 接入 Hub 或集中器,再由集中器到后台数据管理中心;或(2)通过无线公网等接入后台数据管理中心。

2 法国 Linky 项目简介

欧盟第三能源法案执行过程中,最具代表性的是 2015 年正式启动的法国 Linky 项目^[7]。

根据国际能源署 (IEA) 最新发布的报告,2017 年法国的发电量为 530.771TWh (5 307.71 亿千瓦时),其中核电比例最大,高达 71.5%;其次是水电,占 10.1%;其他电源为燃气 (7.0%)、风电 (4.6%)、太阳能 (1.7%)、生物质 (0.9%)、燃油 (0.6%)、其他 (0.9%)。

由于能源结构多样化和清洁能源占比高,法国的电力市场化起步较早,用户电费结算与月费、用电量和供电电价、税费等有关,电表需要有更复杂的费率系统支持。

此外,充电汽车、分布式光伏发电等新能源接入发展较快,传统的电表已经无法适应市场化交易、欠费回收、分布式能源接入、节能减排、信息安全和优质服务等方面的需求,因此,对新型 AMI 建设有非常迫切的需求。

法国输变电公司 (Enedis) 启动的 Linky 项目,计划从 2015 年 ~ 2021 年的 6 年间投资 50 亿欧元,安装约 3 500 万只智能电表和 70 万只智能网关 (集中器)。

Linky 项目涉及智能电能表、G3-PLC 通讯、通讯规约、配电集中器/中压网关、信息安全、数据管理主站等多项技术,这些技术都经历了标准起草、样机研发、功能验证、互联互通测试、现场试点、大批量采购、持续完善等过程。智能电表被赋予衔接消费者、配网公司、能源供应方、当地管理部门四方利益的职能,如图 3 所示。

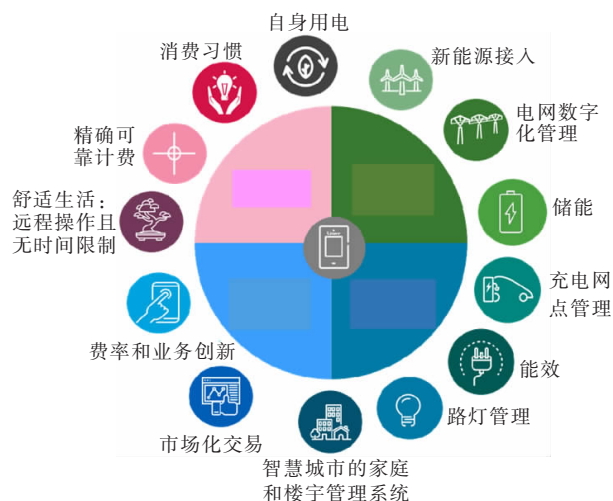


图 3 Linky 智能电表的作用

Fig. 3 Linky smart meter role in eco-system

2.1 Linky 智能电能表的基本功能

法电 Linky 智能电能表要求具有下列基本功能^[8]:

(一) 远程数据抄读功能

(1) 10 个供不同售电主体使用的寄存器,4 个共配电公司使用的寄存器;

(2) 发电和用电负荷记录 (时间分辨率为: 10/15/30/60 分钟);

(3) 每日最大功率与负荷控制;

(4) 状态数据: 分合闸记录、开断盖记录等等;

(5) 电能质量数据: 电压中断与异常记录、电流异常记录等;

(6) 状态寄存器, 出错寄存器等;

(7) 多达 43 个显示项目。

(二) 远程控制功能

(1) 外置式专用塑壳空开型断路器, 具备漏电保

Fig. 4 Linky smart meter and outside load switch

- (1) 互操作性;
- (2) 现场条件下的测试;
- (3) 单机合格认证;
- (4) 与其它信息系统的功能集成测试。

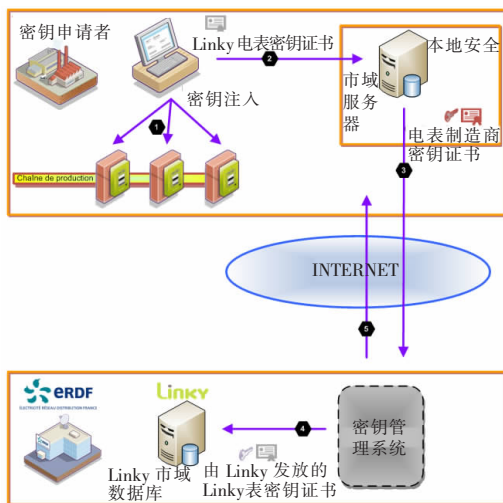


Fig. 5 Schematic diagram of Linky IS data security node

- (2) 功能符合性测试;
- (3) 型式评价测试(MID 法制化认证);
- (4) 数据安全认证测试;
- (5) 小批量试点认证;
- (6) 制造商能力认证;
- (7) 大批量部署。

- (1) CoAP: 类 HTTP 资源受限设备协议(传感器);
- (2) MQTT: 轻量级消息应用协议(自动化);
- (3) IEC61870-5-104/IEC61850 变电站自动化系统智能电子设备(MV/LV 变压器);
- (4) OpenADR 先进需求/响应;
- (5) IEC62055 STS 预付费应用。

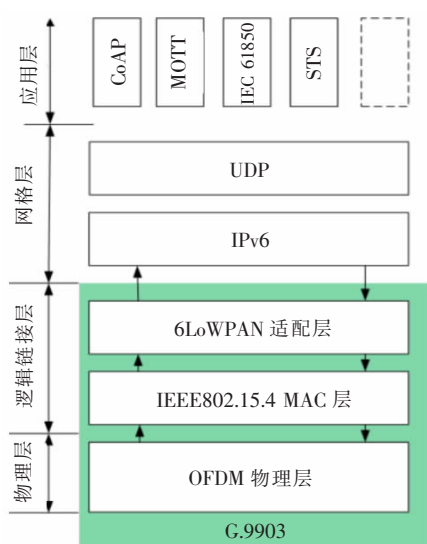


图 6 G3-PLC 在配用电一体化方面的应用

Fig. 6 G3-PLC deployment in distribution-consumption integration

2.3 存在的问题

Linky 项目在大规模实施过程中,遇到了一些比较突出的技术问题:

(1)充电桩和分布式屋顶光伏发电逆变器带来的 2 kHz ~ 150 kHz 频段污染对 G3-PLC 通信的干扰,会影响采集成功率;

(2)集中大批量采购导致关键元器件供应不上,影响了交付期;

(3)信息系统基础设施无法应对 3 500 万只智能电表的大量经过加密的数据,导致了信息阻塞。对潜在的网络攻击风险也评估不足。

然而,最让法国电力意想不到的问题还是来自公众(社会团体、选民)出人意料的激烈反对。反对理由多种多样^[7],概括起来有:

- (1)载波和无线通信对公众健康潜在影响;
- (2)黑客和隐私保护;
- (3)建设成本摊销增加消费者的负担;
- (4)火灾风险;
- (5)抵制智能电表。

2.4 Linky 项目经验总结

Linky 项目实施,有几个方面的特点值得我们在下一代智能电表的研制过程中借鉴:

(1)基于 CBA 原则,确认选用 OPEN meter 架构,即智能电表作为“能源网关”,利用下行通讯抄控“水、气、热”表及光伏发电表、充电桩、智慧路灯等,再利用电表的上行通讯上传到主站系统,在大批量建

设时经济性最优;

(2)允许经授权的第三方(如:水务、燃气、政府等部门)以 Web 方式接入电表,各自按权限获取所需要的信息如图 7 所示;

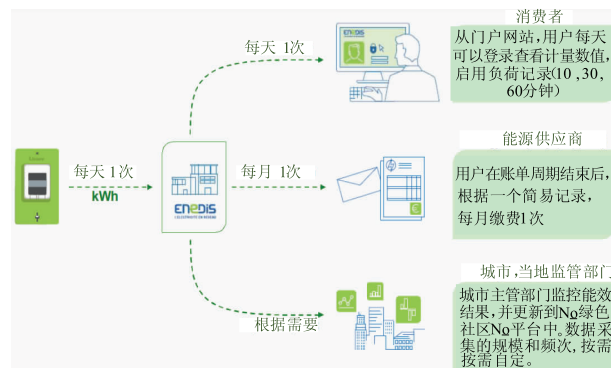


图 7 Linky 智能电表的多客户端

Fig. 7 Multi-clients of Linky smart meter

(3)基于保护消费者利益原则:计量产品需通过 MID 认证;

(4)配备显示单元接口 HMI,保障用户知情权;

(5)通过将安装在台区变压器中压侧的网关/集中的载波通讯在 MV/LV 侧分别载波,达到“配用电”设备共用载波通讯,实现“营配贯通”;

(6)制订开放性的标准,加强互联互通测试和试点测试认证;

(7)采用高级费率系统,支持电力市场化交易;

(8)采用“三级”数据加密算法;

(9)政府和民众的监督。

3 数字电网下的智能用电网关研发思考

某公司从 2011 年开始智能电表和低压集抄“两覆盖”项目,迄今为止,覆盖了约 8 900 万用户。

之前的智能电表,有这样几个方面急需改进:

(1)以窄带单载波为主的通讯方式,通信速度很慢(一般在 50 bps ~ 2 400 bps),无法抄读小时冻结数据(同期线损分析),远程充值和分/合闸操作的成功率不高,时效性也满足不了需求;

(2)现有载波或微功率无线通讯的 MAC 层没有采用传输密钥管理和加密措施,通信数据存在被黑客攻击或篡改的隐患;

(3)现有的 DL/T 645-2007 和 DL/T 698.45 通信规约的设备地址,未考虑未来 IPv4/v6 化需求,与电力物联网的融合程度不佳,需要改进和优化;

(4)不支持高级费率系统,无法支撑新电改 9 号文件对电力市场化交易和新能源消纳方面的需求。如果

依靠计量自动化系统将电表的电量负荷数据(如 15 分钟间隔)传到交易中心后台进行换算、“出清”,将显著提高对通信的可靠性、实时性要求,增加了成本,对直购电用户来说,计费不直观;

(5) 现在智能电能表未考虑智能水表和智能燃气表、充电桩等的低成本接入问题,没有下行通讯接口,不能为未来的综合能效管理提供技术支撑;

(6) 国际上目前的主流趋势是:将智能电能表和终端的运行维护、通讯网络管理等与电表和终端的用电数据分开管理。这样,核心用电数据在“内网”系统内运行,进一步提升了系统的抗攻击能力和安全性;设备状态信息在设备运维平台进行监控,方便实现设备的状态检修和轮换,这部分工作还可以根据需要外包给专业的检修公司,进一步提升 DSO 的运营经济性;

(7) 国家每年因用电引起的电器火灾和人身安全方面的损失在数百亿元,智能电能表作为用电末梢,如果具有用电故障诊断、漏电保护、电器消防等高级应用功能,将会发挥更大的经济和社会效益;

(8) 现有电能表没有谐波分析和无功监测功能(尤其是单相表),对劣质逆变器、充电桩这类用电负荷的无法有效监管,不利于电网安全和经济运行;

(9) 现有标准对电能表的可靠性设计和运行过程评价不足,现场运行的电表只能依靠定期轮换和检定方式进行管理,不仅费时费力,而且对大量到轮换期的电表能否继续使用,无法提供技术指引。

2019 年,恰逢基于 IR46^[11-12] 的 JJF1245 系列型式评价大纲和新国标即将发布之年,可以借鉴国际国内的成功经验,在下一代智能电能表应该立足应用电力物联网通讯技术,成为配网自动化的“末梢”感知节点、多种能源接入的“网关”节点、以及用电安全和电器消防的控制节点。在符合 IR46 标准的下一代智能电能表的基本功能方面,可以提前作出以下规划:

(1) 智能电能表采用高速上行通讯方式(如 HPLC 和 FTTH),在 HPLC 等高速通讯模块中,引入 IPv6、网络管理、传输层加密、时间片管理等四个方面的技术,进一步提升网络安全性和网络管理能力,如图 8 所示;

(2) 智能电能表能够支持标准统一的家庭显示终端接口(HMI),可通过增加户内显示单元(IHD),增加用户互动和知情权,改善用户体验;

(3) 智能电能表的管理芯为高速大容量的 CPU,并支持内存保护(MPU),引入实时多任务操作系统(OS)和 JVM 虚拟机,可以实现高级应用程序的 APP 化和跨硬件平台升级;

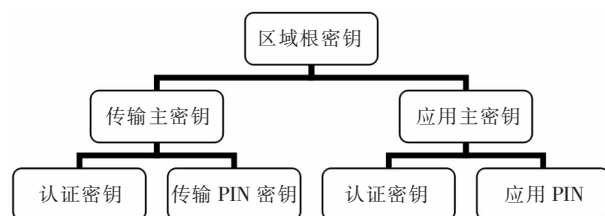


图 8 “三级”密钥管理

Fig. 8 3-level security key management

(4) 采用面向对象的通讯协议,协议中把用电信息与设备管理信息进行分类和独立权限管理,为运维与应用分离,提供可能,如图 9 所示;

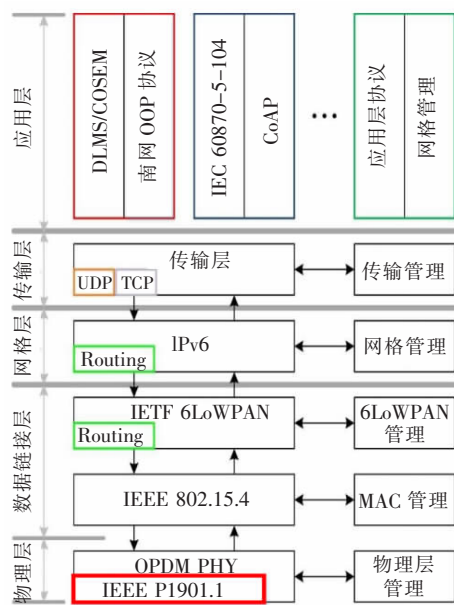


图 9 HPLC 配用电一体化应用与网管分离建议

Fig. 9 HPLC deployment suggestion in distribution-consumption integration and network management separation

(5) 增加电压和电流回路的误差自监测、剩余(漏)电流监测、端子温度监测、环境温湿度监测、开盖监测等功能,当电表出现误差异常时,能够主动上报。不仅解决了窃电难题,提升了用电安全性,而且变“定期轮换”为“按需更换”,将大幅度节约运维支出,减少资源浪费;

(6) 提高对实时时钟的要求,增加日计时误差自监测、全温度范围误差补偿等要求,支持高精度(毫秒级)主动对时功能。增加电池可更换和超级电容,降低时钟维持对锂电池的依赖程度;

(7) 增加高级费率功能,可以支持 10 个供电(售电)主体寄存器和 4 个配网用电寄存器,为电力期货和

日前市场交易,提供技术保障^[10];

(8) 为了实现配用电一体化管理需要,可以将 HPLC 拓展到中压侧,增强对配网侧设备的状态监控;

(9) 充分利用下一代智能电能表的高速采样和谐波处理能力,增加对电力线路过载、短路、接地、恶性负载等方面的自动诊断,为全域用电安全和电器消防控制、AI 应用等提供可能;

(10) 选用带过载保护、安全性高、抗过负荷能力强的外置断路器;

(11) 表内配置大容量负荷记录存储器(可以以 1-15 分钟间隔冻结数据并保存 1 年以上)。电表增加蓝牙接口,方便与手机等移动终端进行通信,并综合运用“云-管-边-端”协同技术、区块链技术等,提升用户与电能表(及其下挂设备)、后台系统的交互体验,保障知情权和参与权;

(12) 下一代智能电能表应该按 20 年以上使用寿命进行设计;

(13) 在这么长的寿命内,既要兼顾不断增加的高级应用需求(如:负载识别、充电桩有序充电管理、台区拓扑识别、微网发电与储能设备的减载调频、安全用电等),又要减少重复投资,并降低全寿命期安装使用成本,应参考 OIML R46 和欧洲 WELMEC 标准的强制要求,对下一代智能电能表软件进行法制相关和非法制相关的分离,允许对软件升级^[13]。

4 结束语

欧盟基于成本-收益分析(CBA)方法构建了 OPEN meter“四表”采集系统的思路,智能电能表实际上是作为多种能源的“路由器”或网关,大幅度降低了 AMI 总体建设成本。

欧美日等发达国家近几年纷纷推出了 Grid 2030 战略,在新的战略中,智能电能表越来越成为智能电网的感知末梢和能源网关来定位,采用高速通讯网络和高安全等级加密,是大势所趋。

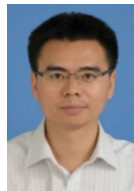
此外,以人为本,增加人机互动(户内显示),先试点后推广的 AMI 建设策略,值得我们借鉴。

参 考 文 献

- [1] NEMA SG-AMI 1-2009 Requirements for Smart Meter Upgradeability
www.nema.org.
- [2] The Third Energy Package, European Commission, 2009/72/EC.
- [3] Measuring Instrument Directives, Directive 2014/32/EU, the European Parliament and the Council of 26 February 2014.

- [4] DIRECTIVE 2009/72/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 July 2009, Official Journal of European Union.
- [5] On preparations for the roll-out of smart metering systems, Recommendation 2012/148/EU, European Commission.
- [6] Cost-benefit Analyses & State of Play of Smart Metering Deployment in EU-27, SWD(2014)189, Brussel, 17, 06, 2014.
- [7] Linky Smart Metering Program in France, G3-PLC Alliance, 2017, www.g3-plc.com.
- [8] Spécifications fonctionnelles des compteurs communicants Linky, v1.3 LINKY-GENEPI-FONC-CPT-G3, ERDF, 2014.
- [9] G3-PLC Specifications, G3-PLC Alliance, 2015, www.g3-plc.com.
- [10] 张乐平, 胡姗姗, 李向锋, 等. 电力交易改革与互动式电能表设计初探[J]. 电测与仪表, 2018, 55(23): 146-152.
- [11] OIML R46-1 Active Electrical meter Part 1: Metrologic and technical requirements, OIML 2012.
- [12] OIML R46-2 Active Electrical meter Part 2: Metrologic controls and performance tests, OIML 2012.
- [13] WELMEC7.2 Software Guide, (Measuring Instruments Directive 2014/32/EU), 2015.

作者简介:



肖勇(1978—),男,博士研究生,教授级高级工程师,从事电能计量、智能用电、电力信息通信技术研究。
Email: xiaoyong@csg.cn,



张乐平(1982—),男,硕士研究生,从事电能计量技术、计量自动化技术、用电通信技术研究。
Email: zhanglp@csg.cn



李向锋(1967—),男,硕士研究生,教授级高级工程师,从事国内外智能电能表、通讯技术、配用电终端、系统软件等与 AMI 系统相关技术的研究。

收稿日期:2019-05-28;修回日期:2019-08-09

(王艳丽 编发)