

# 智能电网引领智能家居及能源消费革新

张新昌, 周逢权

(许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 随着智能电网技术的发展, 分布式电源的接入, 家庭能源的供需发生了重大变化, 传统的家庭能源消费模式将产生重大变革, 基于此, 从智能家居能源的生产、消费及管理三个方面进行了探讨。在家庭能源利用方面, 提出了家庭微电网交流、直流及交直流混合供电模式, 给出了家庭能源控制中心的控制方案来实现家庭微网的“即插即用”。在能源消费方面, 通过对比不同的电能量计量模式, 为达到精细化的需求侧管理, 提出了基于网络数据的计量, 即网络计量, 给出了其在智能家居中的应用方案。在家庭能源管理方面, 总结了家庭能效管理的新特征, 阐述了一种智能家庭能效管理“云+端”架构模式, 在此模式下, 真正实现了泛在网络式的家庭能效管理。智能家居能源消费模式的革新对分布式电源柔性接入, 优化家庭电能使用及负荷管理, 提高用电效率, 降低用电成本, 具有十分重要的意义。

**关键词:** 智能电网; 智能家居; 家庭微电网; 网络计量; 泛在网; 云计算; 能效管理

## Smart grid leads the journey to innovative smart home and energy consumption patterns

ZHANG Xin-chang, ZHOU Feng-quan

(XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** With the development of smart-grid technology and the access of distributed generation (DG), the supply and demand of home energy will be greatly changed as well as traditional home energy consumption pattern. This paper discusses the major changes in home energy consumption pattern from three aspects: energy production, measurement and management. In the first part, it proposes three power supply architectures for the home micro-grid utilization, which are AC power supply, hybrid of DC and AC supply, and DC power supply. It points out that the control mode of home energy control center is the most important factor in enabling home micro-grid “plug-and-play”. The second part focuses on the electricity energy measurement. By comparing different electricity metering methods, it provides a new measurement mode based on network data, i.e. network measurement, to enhance demand-side management and gives its application scheme in smart home. In the third part, combining the new features of home energy efficiency management, it designs one new “cloud + terminal” energy service architecture to enable ubiquitous management of smart home energy efficiency, and also analyzes the impact of the new mode on the flexible access of DG. The new smart home energy consumption innovation optimizes home energy use and load management, improves home energy efficiency and reduces electricity cost.

**Key words:** smart grid; smart home; home micro-grid; network measurement; ubiquitous network; cloud computing; energy management

中图分类号: TM619 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)05-0059-09

## 0 引言

随着技术和经济的发展以及世界各国对于节约能源、降低损耗和低碳排放的关注, 世界各国智能电网的建设已经取得了大量有效的成果, 引领着技术和产业模式的变革。具有高速、双向、实时、集成等特点的通信技术可以实现各种不同的智能电子设备、保护系统以及用户之间网络化的互联<sup>[1]</sup>; 先

进的量测技术可以获取电网运行的实时数据并提供给智能电网的各方面使用; 先进数据采集、动态监测、数据及控制技术可以实现在智能电网中对各单元体的分析、诊断、预测状态, 并确定和采取适当的措施以消除、减轻和防止供电中断和电能质量扰动<sup>[2-3]</sup>。

智能电网在对可再生能源和分布式能源的接入和管理方面进行了大量的研究和实践, 带动了整个

行业发展模式的改变，特别是分布式发电在家庭微电网中的应用，为智能家居带来了全新的内涵，改变了传统的智能家居成本高昂、功能简单、实用性不强、难以推广的缺陷<sup>[4]</sup>。随着智能电网的发展，智能家庭作为能源使用的末端单元也纳入到智能电网的体系内，越来越多的智能社区和家庭开始安装分布式能源，并利用微电网技术来进行柔性控制<sup>[5-6]</sup>。交直流供电技术、能源管理接口技术以及模块化可插拔部件使得微电网的能源控制更安全、更简单，家庭微电网走向了实用化阶段<sup>[7-10]</sup>。

借助覆盖更大范围的通信网络，高级量测体系（AMI）可以获取整个配用电网络中大部分量测数据<sup>[11-12]</sup>。而得益于智能家庭传感控制技术及通信技术的发展，AMI可以进一步获取终端用电户的详细信息，包括用户内部的设备运行信息、电网故障信息、用电量信息、电能质量信息、储能信息、分布式能源信息、环境信息等，实现了智能电网的“配用电广域情景知晓”，促成了“网络计量”技术的产生和发展，引发了传统计量模式的变革。网络计量技术的应用实现了包括用户户内设备的精确计量<sup>[13]</sup>。

智能电网对用户内部用电行为的高效引导能有效地避免电网的高峰负荷，使电网运行更安全更有效率；电网与家庭的双向互动可以引导用户主动参与智能电网的建设和管理，为用户提供更好的服务<sup>[14-16]</sup>，引导着传统的家庭能源消费观念产生重大变革。电能的消费者变成电能生产和消费的结合体；电能的使用由被动变为主动；能源管理从本地转向远程、离线转向在线<sup>[17]</sup>。本文将从智能家居能源生产、消费、控制管理三个方面，探索智能家居中这种能源模式的革新。

## 1 智能电网带动了家庭微电网的实现

### 1.1 家庭微电网供电模式革新

智能电网是一个开放式的能源系统，新能源的快速发展，促使家庭兼具用电和发电的双重角色，家庭供电网络也由单一的交流电网供电转变为多种供电的模式。

#### 1.1.1 家庭微电网交流供电模式

家庭微电网交流供电模式是指家庭安装的DG、储能装置等通过逆变装置接至交流母线，交流母线再通过公共接点断路器控制，实现家庭微网的并网和离网运行，从而为整个家庭的交流负荷提供持续交流电力。图1是智能家庭交流供电示意图。

家庭微电网交流供电模式，符合交流用电习惯，但是含分布式电源的家庭微电网的运行控制较为困难。

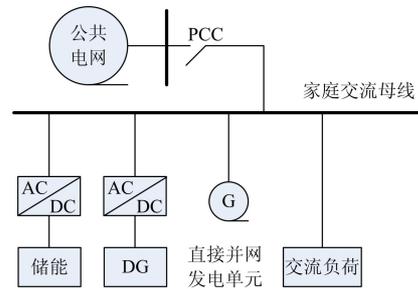


图1 智能家庭交流供电示意图

Fig. 1 Smart home AC power supply

#### 1.1.2 家庭微电网纯直流供电模式

家庭微电网直流供电模式是指家庭安装的DG、储能装置等通过DC/DC变流装置接至直流母线，外接电源通过AC/DC接入家庭的直流母线上。家庭负荷以直流负荷为主，剩下的交流负荷则通过逆变装置接至直流母线。图2是智能家庭直流供电示意图。

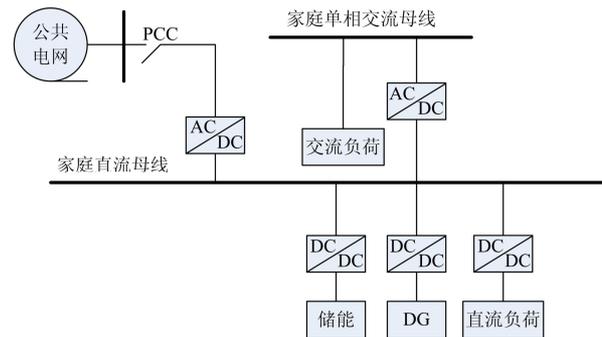


图2 智能家庭直流供电示意图

Fig. 2 Smart home DC power supply

与家庭微电网交流供电模式相比，直流母线供电模式的控制简单。由于DG的控制只取决于直流电压，无需考虑各个DG之间的协同问题，环流抑制更具优势。此外，DG和负荷的波动也可由储能装置在直流侧直接补偿。

#### 1.1.3 家庭微电网交/直流混合供电模式

家庭微电网交/直流混合供电模式是指在家庭中安装两种类型母线：直流母线负责接入易控的直流发电及用电单元，交流母线接入外接电源通道及易控的交流发电机及交流用电单元，图3是智能家庭交/直流混合供电示意图。

交直流混合的新型供电模式，不仅极大地方便光伏、风机等各种适用于家庭的分布式电源的接入，而且可以直接给交流负荷和直流负荷供电。

家庭微电网的三种供电模式，有效地改善了智能家庭的能源利用结构：可以利用屋顶和外立面铺设光伏发电设备，在一层开阔的院子里安装小型风

力发电设备; 利用冷、热、电联供设备实现家庭夏天供冷、冬天供热, 提供高效用能模式。此外, 家庭还可配置适当容量的储能设备, 既满足家庭储能和电网调峰, 以及故障后重要负荷的持续供电等需要, 又能够提高清洁能源消费的比重。

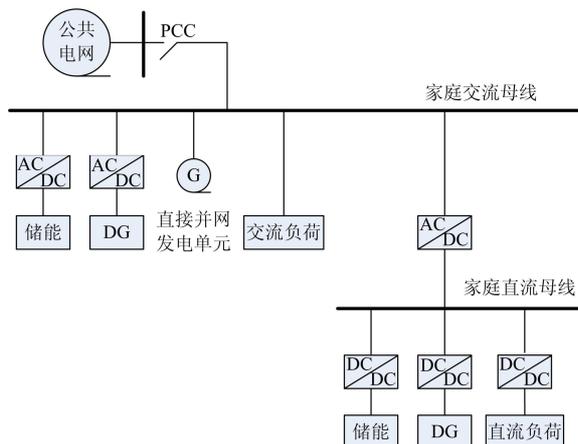


图 3 智能家庭交直流混合供电示意图

Fig. 3 Smart home hybrid AC/DC power supply

## 1.2 智能家庭微网能源控制中心的实现

家庭微电网并网的关键控制设备就是家庭能源控制中心。本文提出了建立智能家庭能源控制中心, 使其不仅具备各类分布式发电设备、负荷、公共电网的电气连接端口和丰富的通信组网端口, 还具有并/离网控制、分布式发电出力平滑、微电网与配电网互动等多种功能, 可以实现分布式电源发电、配电网供电、用户用电的统一协调管理, 实现能源的最优利用, 为智能家庭提供了更便捷的供电解决方案。图 4 为智能家庭能源控制中心功能结构图。



图 4 智能家庭能源控制中心功能结构图

Fig. 4 Functional block diagram of home energy control center

家庭微电网对于配电网表现为单一可控、可灵活调度的单元, 既可与配电网并网运行, 也可在配电网故障或计划孤岛需要时与配电网分列运行。智能家庭能源控制中心具有自我量测、自我保护功能, 在配电网故障后, 自动识别并与配电网断开, 实现家庭微电网离网运行能量平衡, 保证整个系统的安全性和稳定性, 图 5 给出了家庭微电网运行模式转

变的控制框图。

智能家庭微电网控制中心监测家庭微网中电压、频率、谐波等信息, 并调节控制相应的设备, 保证家庭用电的电能质量; 同时对间歇式的分布式发电出力进行平滑控制, 为用户提供可靠优质的电能, 实现分布电源的友好接入。

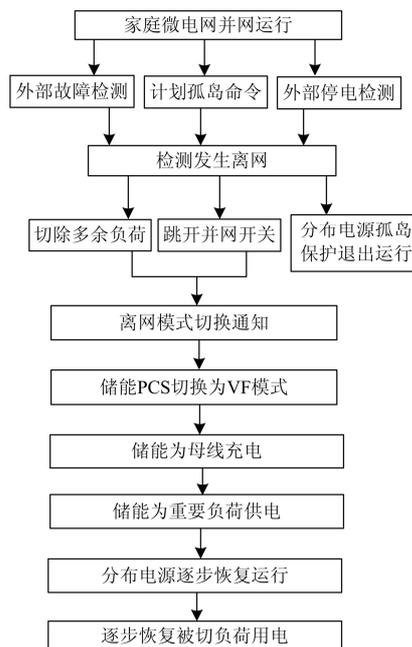


图 5 智能家庭并/离网切换流程图

Fig. 5 Smart home on/off switch flow chart

## 2 智能电网下智能家居计量方式革新

传统家庭用电计量靠电能表完成, 但是, 传统的电能表除了基本的计量功能以外, 不具备节能用电管理功能。随着智能电网技术的发展, 诞生了智能电表, 将双向通信、动态电价、负荷监控等功能融入电网服务, 迈出了电能计量智能化的重要一步。智能电表的诞生引导了传统抄表系统 (AMR) 向高级量测体系 (AMI) 的发展, 特别是集成了户内网关功能的智能电表, 能够对户内用电设备进行控制, 丰富了用户用电管理功能。

但是, 具有双向计量功能的智能电表还是不能掌握单个用电设备用电信息的详细信息。随着大量的先进传感技术、通信技术、嵌入式计算技术在智能电网领域的应用, 传统的电能计量方式也在发生深刻的变化, 电能计量作为一种智能化功能, 也可以通过网络计算来实现<sup>[18-20]</sup>。在这种新型计量中, 智能电表的测控和计算两个基本功能被分离, 测控功能保留在用电节点处以不同形式存在的量测设备上, 而电能计算功能则集中上移。量测设备将本地采样的电压电流量序列发送到网络, 由应用软件进行

集中计算和处理,生成各计量点的计量数据。这种本地采样、远程计算的电能计量方式叫网络电能计量,简称网络计量,图6是家庭计量方式的变迁图。

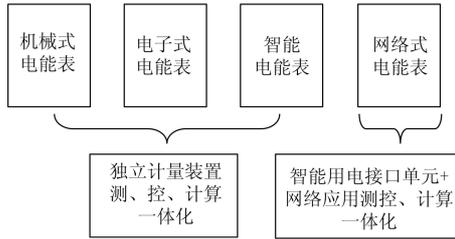


图6 电能计量方式演变

Fig. 6 Evaluation of power energy metering

网络计量较好地解决了智能电表在用电管理上存在的问题,这些问题主要包括不能对户内用电设备的能源消耗与运行状态进行计量、监测,窃电的发现与定位比较困难,对于需求响应与柔性负荷控制的支持比较欠缺等。采用网络计量,可以为用户及供电企业提供更加丰富的用电信息、更加灵活的监控方式、更加智能的互动服务。

### 2.1 网络计量原理

网络计量采用“本地采样、远程计算”的方式进行电能计量。网络计量的对象可以是用户节点,也可以是单个设备节点(如空调、洗衣机等),不受物理空间的局限;电能计算的时间尺度可以是确定的月、日、时、分,也可以是任意时段,还可以是不同的电价区间等。

电能计算是电能表的基本功能,也是网络计量的基本功能。电能的计算公式为

$$W = \int_T u(t) i(t) dt \quad (1)$$

式中:  $u(t)$  是  $t$  时刻的电压瞬时值;  $i(t)$  是  $t$  时刻的电流瞬时值;  $T$  是电能计量时段。实际的电压和电流是连续变化的,而计算机只能存储和传输离散信号,因此网络计量的电能计算使用式(1)的离散形式,即

$$W = \sum_{k=1}^n U_k I_k \Delta t \quad (2)$$

式中,  $\Delta t$  是电压电流序列采样间隔。为了保证网络计量精度达到电能计量要求,数据采样间隔需要非常小,因此每秒产生的电压电流序列数据量很大,为便于电能计量与统计,网络计量选取一个电能计算的最小时间间隔  $T_m$ ,按最小时间间隔分别计算各时刻消耗的电能值  $W_m$  为

$$W_m = \sum_{k=1}^{T_m/\Delta t} U_k I_k \Delta t \quad (3)$$

式中:  $W_m$  为网络计量的电能计算单元;  $T_m$  可取分时电价最小时段或其整数分之一,以便于分时电价方案的实施。

利用式(3)计算出基本单元电能量以后,即可进行各种时间与空间组合的电能计算,各种形式的电能计算均可用式(4)描述。

$$W = \sum_{\Omega} \sum_T W_m(\omega, t) \quad (4)$$

式中:  $W$  为需要计算的电能值;  $\sum_T$  表示时间的累加;  $\sum_{\Omega}$  表示空间的累加;  $W_m(\omega, t)$  为处在计算区间内的电能计算单元。

### 2.2 网络计量方案

网络计量系统逻辑上可分为量测层、网络层和计算层,如图7所示。

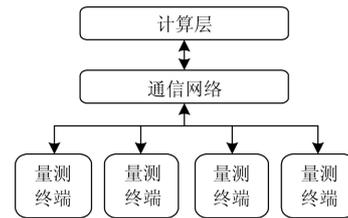


图7 网络计量基本结构

Fig. 7 Structure of network measurement

量测层由分布在电网的所有量测终端组成,包括用户节点处的量测终端以及电视、空调等设备节点处的量测终端。量测终端的主要功能是电流电压的高频采集和传输,并接收计算层控制指令。量测终端可以多种形式出现,既可以是独立的装置,也可以是封装在空开、插座、开关或用电设备中的智能模块。

网络层由高速、高可靠性的通信网络构成。量测终端的电流电压时空序列经网络上传到计算层,电能计算结果再经网络返回各量测终端。

计算层接收网络层传输过来的电流电压时空序列,按照不同需求灵活计算各节点电能数据,还可以对线路损耗、电能质量等变量进行全局分析,监测电网中异常或事故设备,对电网进行更加有力、高效的监控。

计算层由电能计量软件与相关硬件装置构成,可根据应用场合不同而位于不同层次,具有不同的物理存在形式。例如,在家庭网络计量系统中,可位于用户节点处的量测终端上,其表现形式可以是一个具备量测、计算、通信功能的智能空开,用于实现户内各设备节点量测数据的计算和处理;在楼宇/小区网络计量系统中,可以是一台或者多台计算机;在更大范围的网络计量系统中,可以是多台服

务器组成的海量数据中心。

### 2.3 网络计量应用

网络计量的量测终端去掉了计算功能, 设备结构简化, 体积减小, 降低了软硬件复杂度。测量功能可采用寄生式传感器, 或者集测控、通信技术于一体的智能芯片, 广泛集成于空开、开关、插座乃至用电设备中, 因而可以在电网中更加广泛分布。

图 8 是一个实际运行的网络计量示范项目, 其中, 智能插座、智能开关为设备节点的量测终端, 用于监测电器耗电量和运行状态; 智能空开为用户节点的量测终端, 用于监测用户的总用电量。

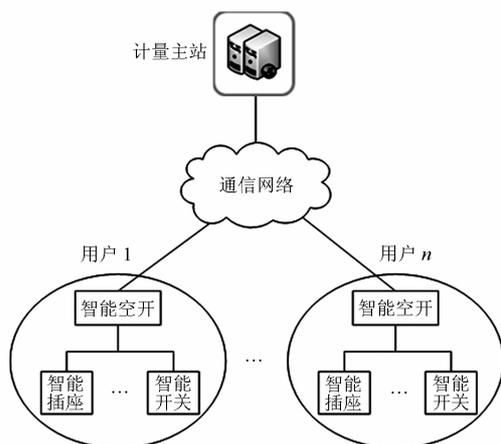


图 8 网络计量系统

Fig. 8 Network measurement system

智能空开产品如图 9 所示, 作为量测终端, 其核心是由测控、通信等单元组成的智能模块, 封装于智能空开中, 下行与智能插座、智能开关通过无线网络连接, 上行通过光纤与计量主站相连, 作为用户的智能用电接口, 为网络计量应用提供所需的量测数据。

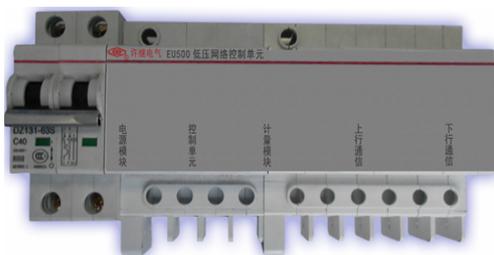


图 9 集成测控功能的智能空开

Fig. 9 Integrated network measurement air switch outlet

由此可见, 网络计量把计量监管范围延伸到了户内线路及用电设备上, 实现了用电设备的在线监测, 能够快速发现和定位窃电行为。通过智能空开、智能插座、智能开关等, 把用户及其用电设备连接起来, 实现了用电设备的网络化和信息化, 形成泛

在的用电和信息交互网络, 为用户提供包括电器用电量在内的更加丰富的用电信息。通过长期的数据采集, 可以建立用户能耗模型, 挖掘用户用电行为模式, 通过对用电信息的分析, 帮助用户调整用电方式, 提高用电效率, 降低用电成本, 满足用户经济用电与互动用电的需要。

网络计量环境下, 电能计量成为了一种基于覆盖全部用电节点之智能用电接口的网络应用, 这对传统电能计量来说是革命性变革, 与包括智能电表在内的传统计量相比, 具有显著优势, 如表 1 所示。

表 1 网络计量与传统计量对比

Table 1 Comparison of network measurement and traditional measurement

	传统计量	网络计量
计量点设置	一户一表	覆盖全部用电节点
计量数据	总用电量	总用电量、设备用电量
计量装置	电表	智能用电接口单元
用电设备在线监测	不具备	具备
窃电监测	不具备	具备
与户内网络连接	不支持	支持
需求响应	不支持	支持
双向交互	不支持	支持
物联网应用	不支持	支持

基于传感器、网络通信、嵌入式计算等技术的网络计量, 为实现家庭节能管理和经济用电提供了低成本、易实现的解决方案; 同时, 网络计量与智能家居户内网络的融合与一体化, 对于两者的实施起着互相促进的作用。通过网络计量, 将智能家居户内网络与供电企业 AMI 系统连接起来, 建立用户与电网之间的双向实时通信。

## 3 家庭能效管理的实现

### 3.1 家庭能效管理新特征

随着分布式发电及需求侧响应技术的发展, 家庭作为能源使用的末端单元, 呈现出以下重要特征。

电能消费从被动变为主动。从电网的角度来看, 用户的需求是另一种可管理的资源, 它将有助于平衡供求关系。从用户的角度来看, 电力消费是一种经济的选择, 可以通过主动响应电力公司电价政策, 调整其消费电能的方式, 从而获得实际的经济利益。

需求响应计划将满足用户在能源购买中有更多选择的基本需求，减少或转移高峰电力需求的能力使电力公司尽量减少资本开支和营运开支；透明开放和友好互动的电网，从根本上实现电网与用户之间信息的透明共享，兼容各类电源和用户接入，促进用户主动参与电网的运行调节。

消费者需要随时对电网状态做出响应，实时调整其用电方案，因此用户对能源的使用和调节从本地转向远程，离线变成在线。

随着智能电网向用户户内延伸和扩展，数以亿计的家庭能源管理终端（或网关）设备将被安装和使用，如何对海量的智能终端进行统一的接入和管理，为用户参与电网运行和调节提供统一的入口，满足用户对能源远程管理和时刻在线的需求，是电力公司需要解决的重要问题。

### 3.2 家庭能效管理的实现

#### 3.2.1 云加端架构模式

为了满足上述需求，本文提出“云+端”能源管理架构模式，如图 10 所示。

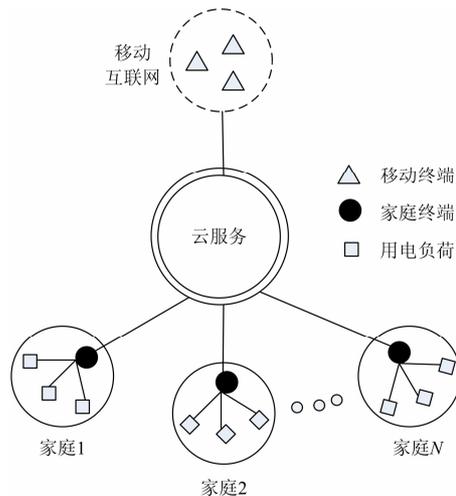


图 10 “云+端”架构模式

Fig. 10 Cloud + terminal architecture

云加端能源管理架构模式在技术实现策略上按“云+端”的方式来设计，即采用一个位于互联网中的基于云计算技术构建的能源服务中心，加上数以亿计的家庭能源管理终端及智能移动终端构成，这些海量的终端通过主动注册的方法接入到能源服务云上，实现家庭能效管理的云端化。本模式中包 含能源服务云、家庭能源管理终端和掌上能源管家三个组成部分。

#### (1) 能源服务云

能源服务云是面向互联网基于云计算技术构建的数据及应用服务中心，它的主要任务是实现大规

模家庭能源管理终端及移动终端的可靠接入及并发访问，并存储用户能效数据。能源服务云包含用户管理、终端接入前置服务、终端在离线状态管理以及和电力公司数据交换等功能。

#### (2) 家庭能源管理终端

家庭能源管理终端（或能源网关）内置嵌入式自动化控制系统，它除了具备对本地设备接入，家庭微电网的控制管理的功能外，还需要完成与能源服务云的对接工作。其包含设备用电信息量测及可视化建模、分布式电源实时监测及控制、需求侧能源使用计划设置、家电控制、能效分析及节能建议等功能。

#### (3) 掌上能源管家

掌上能源管家是安装在移动终端（智能手机或 Pad）上的移动应用程序，是用户身边最贴心、最便捷的能源管理助手。掌上能源管家可以利用移动互联网实现远程家庭能源的管理，包含远程设备状态查看、远程分布式电源实时监测及控制、远程能源使用计划执行、远程家电控制、远程报警等功能。

#### 3.2.2 “云+端”模式通信策略

“云+端”模式最关键的技术就是端到云端的通信策略及数据交换方式。通信方案除了要求具备双向、实时和高速的特点外，在系统的互操作性方面也必须是开放、透明和标准化的。

#### (1) 终端到云端通信方案

Socket 接口是一种网络上跨平台的应用程序进程间通信机制，利用 Socket 可以构造任意跨操作系统、跨网络协议的分布式处理系统。Socket 依赖客户机/服务器（C/S）模型实现网络进程间通信，客户机和服务器分别是 2 个应用程序进程，客户机向服务器发出服务请求，服务器作出响应。

终端（家庭终端和移动终端）设计为 Socket 的客户机，当客户机启动后将通过注册和认证流程主动连接到云服务器，注册成功后，该连接将作为长连接状态一直保持，当其中任何一方需要推送数据时可以直接使用该连接。图 11 描述了采用 Socket 方式实现的终端到云端的数据交换过程。

#### (2) 终端到终端通信方案

为了满足用户远程对能源管理的需求，通过云加端，实现了远程移动终端到家庭终端之间的点对点的连接通信方案，通信方案按图 12 中三步进行。

通信过程的第一和第二步按终端到云端的通信标准过程完成，此时移动终端和家庭终端均已连接到云服务，当远程移动终端需要对家庭用电设备进行远程控制或数据读取时，传统的方法是通过云服务进行两端数据转发，本方法与传统方法的不同之

处在第三步, 移动终端通过云端获取已经在线的家庭终端的临时注册地址, 移动终端使用该临时地址, 通过 TCP/IP “点对点” 通信技术和家庭终端建立通信会话, 从而实现移动终端到家庭终端之间的“端到端”直连, 减少云服务器转发的压力, 满足智能电网通信高效和实时性要求。

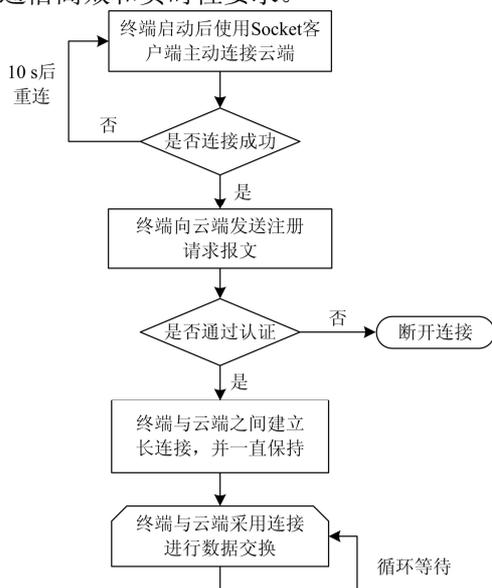


图 11 终端到云端通信方案

Fig. 11 Terminal to cloud communication scheme

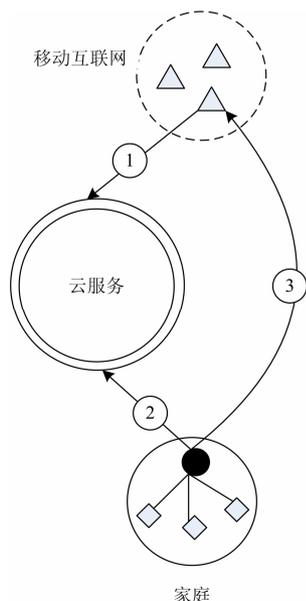


图 12 终端到终端通信方案

Fig. 12 Terminal to terminal communication scheme

### 3.3 新模式下家庭能效管理产生的影响

“云+端”模式使智能家庭能源管理终端将主动注册到能源管理门户上, 简化了整个系统由于大量的家庭能源管理终端接入带来的管理困难。电力消费者可以使用其提供的在线服务, 远程管理家庭

电器的用电, 或对发电设备出力进行调整。该模式把家庭能效管理推向了更加广泛的移动互联网, 用户可随时随地参与电网调节, 同时通过智能移动终端(智能手机)实现能效管理的“掌上”化。方便人们随时关注实时的能源消费, 从而达到节能的目的。如图 13。



图 13 掌上能源管家

Fig. 13 Ubiquitous network pocket energy butler

另外把家庭本地存储的量测数据, 能效计算所需的计算资源全部上移至能源服务云, 实现能效数据、计算资源及能效管理的“云化”。这样不仅能简化家庭终端的设计, 减少其制造成本, 有利于大量推广和实施。而且容易产生“聚集效应”, 能源服务云聚集了大量具有类似负荷容量、负荷特性的用户, 通过分析大量用户的用电量、负荷特征等数据, 可以更好地为用户提供节能指导。

## 4 总结

本文讨论了智能电网的发展引导的智能家居在能源利用领域的一系列革新。分布式发电技术、家庭微电网技术的出现, 原来能源集中供给方式发生根本性变化, 能源的生产者和消费者不再明显区分。更加清洁、经济和就地化的生产方式, 可以对未来大电网提供有力补充。

智能电网对精细的需求侧响应的要求, 带来了传感技术和通信技术的快速发展, 网络计量方式的出现, 改变了电能量计量依靠传统表计的模式, 促进了智能家居内涵的发展。

需求侧响应技术的进一步发展, 激励家庭对电网的响应由被动变为主动, 电力负荷的需求变得更加透明和可以预测, 它有助于有序的、友好的新型供求关系建立, 能有效改变电力负荷增长与电力固定资产投资的线性关系; 而移动互联技术则有力推动家庭能源管理“掌上”化, 能源消费最终变为端对端管理。在智能电网时代, 个人将能更有效地管理家庭能源的消耗, 使其更智能、更高效的用电, 同时还能配合电力公司推动需求侧管理, 通过节约用电、降低尖峰需求及负荷控制等, 逐渐引导用户养成良好的用电习惯, 构建一个用户与电力公司及

全社会多赢的用电形式。

### 参考文献

- [1] LIU Jian-ming, LI Xiang-zhen, CHEN Xi, et al. Applications of internet of things on smart grid in China[C] // Advanced Communication Technology (ICACT), 2011 13th International Conference on, 2011: 13-17.
- [2] 龚钢军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 52-58.  
GONG Gang-jun, SUN Yi, CAI Ming-ming, et al. Research of network architecture and implementing scheme for the internet of things towards the smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 52-58.
- [3] 张保会, 付科源, 郑涛, 等. 用电设备智(自)联网的概念与实现技术(一)——定义、架构与功能[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(6): 1-6.  
ZHANG Bao-hui, FU Ke-yuan, ZHENG Tao, et al. Conception and technologies of the smart (autonomous) internet of power consumption equipment part 1: conception, architecture and functions[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(14): 1-6.
- [4] MARTINS J F, OLIVERRA-LIMA J A, DELGADO-GOMES V, et al. Smart homes and smart buildings[C] // Electronics Conference (BEC), 2012, 13th Biennial Baltic, 2012: 27-38.
- [5] ZHAO Yong, SHENG Wan-xing, SUN Jun-ping, et al. Research and thinking of friendly smart home energy system based on smart power[C] // Electrical and Control Engineering (ICECE), 2011 International Conference, 2011: 4649-4654.
- [6] CIUCIU I G, MEERSMAN R, DILLON T. Social network of smart-metered homes and SMEs for grid-based renewable energy exchange[C] // Digital Ecosystems Technologies (DEST), 2012 6th IEEE International Conference on, 2012: 1-6.
- [7] 周逢权, 毛建容, 马红伟, 等. 含高渗透分布式电源的独立海岛供电系统稳定控制探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 84-90.  
ZHOU Feng-quan, MAO Jian-rong, MA Hong-wei, et al. Investigation for steady control of independent island electrical power supply system including high penetration distributed power supply[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(2): 84-90.
- [8] 刘文, 杨慧霞, 祝斌. 微电网关键技术研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(14): 152-155.  
LIU Wen, YANG Hui-xia, ZHU Bin. Survey on key technologies of microgrid[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(14): 152-155.
- [9] BYUN Jinsung, HONG Insung, KANG Byeongkwan, et al. A smart energy distribution and management system for renewable energy distribution and context-aware services based on user patterns and load forecasting[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2011, 57(2): 436-444.
- [10] LI Jian, CHUNG Jae-yoon, XIAO Jin, et al. On the design and implementation of a home energy management system[C] // Wireless and Pervasive Computing (ISWPC), 2011 6th International Symposium on, 2011: 1-6.
- [11] KHAN A A, MOUFTAH H. Web services for indoor energy management in a smart grid environment[C] // Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2011 IEEE 22nd International Symposium, 2011: 1036-1040.
- [12] AL-ALI A R, EL-HAG A H, DHAOUADI R, et al. Smart home gateway for smart grid[C] // Innovations in Information Technology (IIT), 2011 International Conference, 2011: 90-93.
- [13] ZHOU Feng-quan. The change of smart community under new generation energy system[C] // Smart Grid World Forum, Beijing, China, 2011.
- [14] ASAD O, EROL-KANTARCI M, MOUFTAH H. Sensor network web services for demand-side energy management applications in the smart grid[C] // Consumer Communications and Networking Conference

- (CCNC), 2011: 1176-1180.
- [15] XIONG Gang, CHEN Chen, KISHORE S, et al. Smart (in-home) power scheduling for demand response on the smart grid[C] // Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011 IEEE PES, 2011: 1-7.
- [16] HYUN Sang-cho, YAMAZAKI T, MINSOO Hahn. Determining location of appliances from multi-hop tree structures of power strip type smart meters[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2009, 55(4): 2314-2322.
- [17] CHOI In-ho, LEE Joung-han, HONG Seung-ho. Implementation and evaluation of the apparatus for intelligent energy management to apply to the smart grid at home[C] // Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2011: 1-5.
- [18] EROL-KABTARCI M, MOUFTAH H T. Management of PHEV batteries in the smart grid: towards a cyber-physical power infrastructure[C] // Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), 2011 7th International, 2011: 795-800.
- [19] EROL-KANTARCI M, MOUFTAH H T. Wireless sensor networks for cost-efficient residential energy management in the smart grid[J]. IEEE Trans on Smart Grid, 2011, 2(2): 314-325.
- [20] EROL-KABTARCI M, MOUFTAH H T. Wireless sensor networks for domestic energy management in smart grids[C] // Communications (QBSC), 2010 25th Biennial Symposium on, 2010: 63-66.

---

收稿日期: 2013-10-31; 修回日期: 2014-01-07

作者简介:

张新昌(1962-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统保护与控制、分布式发电与微电网技术、电动汽车充换电技术; E-mail: xinchangzh@xjgc.com

周逢权(1969-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事智能电网应用技术的研究。