

# Multi-Mode Intelligent Power Utilization System with Two-Way Shiftable Feature and Its Implementation

Youwei Liu, Jing Xu, Yan Xiao

China Electric Power Research Institute (CEPRI), Beijing

Email: liuyw@epri.sgcc.com.cn, xujing@epri.sgcc.com.cn, xiaoyan@epri.sgcc.com.cn

Received: Mar. 5<sup>th</sup>, 2018; accepted: Mar. 20<sup>th</sup>, 2018; published: Mar. 27<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

This paper presents an intelligent power utilization system with two-way shiftable feature, which is based on smart appliances and works with 3 response modes, *i.e.*, active response mode, passive response mode and artificial participation mode. In an active response mode, smart appliances switch their operating states actively on account of frequency and voltage limit violation in order to meet power grid stable operation demand. In a passive response mode, the dispatching system decomposes load regulation demand top-down to smart appliances in consideration of power utilization information of standby load and load in working state and makes smart appliances response orderly as required. In this way, the power output random fluctuations caused by renewable energy power generation can be suppressed effectively. In an artificial participation mode, smart appliances work on or off under the guidance of the dispatching system combined with user remote confirmation to ensure electrical safety. Load can be increased or decreased as needed in 3 above modes. It designs a code-based representation method for power utilization information and takes account of standby load, which lays the information foundation of load increment. It also presents shiftable index, which can be used to comprehensively reflect feature of electrical equipment and users and provides a basis for load priority.

## Keywords

Intelligent Power Utilization, Load to Be Increased and Decreased, Smart Appliance, Shiftable Index

---

# 多模式双向平移智能用电系统及其实现方法

刘有为, 许婧, 肖燕

中国电力科学研究院有限公司, 北京

Email: liuyw@epri.sgcc.com.cn, xujing@epri.sgcc.com.cn, xiaoyan@epri.sgcc.com.cn

## 摘要

本文提出了一种支持负荷双向平移的智能用电系统，该系统以智能用电设备为基础，具有主动响应、被动响应和人工响应三种智能用电响应模式。主动响应基于电源电压及频率的越界信息，由智能用电设备自主切换工作状态，快速响应电网稳定运行需求；被动响应模式基于工作和待机设备的用电信息，由调度系统根据用电信息自上而下将负荷调控指标逐级分解至用电设备，再由用电设备有序响应，以平抑源侧电力输出随机波动。人工参与模式则基于保障用电安全的需要，由电网调度引导、用户远程确认用电设备启停。上述三种模式均支持负荷双向平移，即既可调减也可调增。设计了一种基于编码的用电信息表征方法，计及了待机设备的用电信息，为负荷调增提供了信息支撑；提出了可综合反映用电设备属性及用户类型的可平移指数概念，为确定负荷调度优先次序提供了依据。

## 关键词

智能用电，负荷双向平移，智能用电设备，可平移指数

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来，风电、光伏等可再生能源迅猛发展，正逐步成为我国电网的主力电源。随着可再生能源的大规模接入，源侧电力输出的间歇性及反调峰特性给电网的安全及经济运行带来了极大的挑战[1] [2] [3]，这将在很大程度上改变电网的运行和管理现状。储能技术、电源间的协调控制技术 & 智能用电技术是解决上述挑战的重要技术手段。

在国内已经开展的实践中，智能用电以高级量测体系(AMI)系统及终端技术为支撑，通过智能电表实现用电信息的采集及信息交互，借助智能用电交互终端完成智能用电互动业务的执行[4]-[9]。但是，已有智能电表主要面向计费计量等营销业务，采集的用电信息主要是有功及无功计量信息，信息维度单一，不支持感知电网需求的功能；另一方面，智能电表只采集处于工作状态的设备用电信息，对待机设备的用电信息无法采集，因此，仅适宜调减负荷，无法满足负荷调增的需要，从而难以有效发挥需求侧响应的潜力。此外，由于用电信息采集主要来自智能电表，在应对快速波动方面存在明显不足。

针对响应迟滞的问题，有研究者提出了将感知及控制技术与用电设备融合实现智能用电的新构想，这一构想具有响应快速和控制精准的优点。文献[10]从发电和用电两个方面论述了电网友好型智能用电技术；文献[11]以智能家居为背景，将一种频率响应控制器嵌入到用电设备中，控制器实时监测电网频率，一旦频率低于设定的阈值即主动采取减载措施；文献[12]以空调负荷为研究对象，提出了空调负荷的低压减载主动响应策略。

需要指出的是，间歇性新能源电力输出的波动是双向的，现有的负荷平移技术大都集中在源侧电力输出向下波动时的减载问题，对于向上波动时如何调度处于待机状态的用电设备，消纳源侧的过裕电力，相关研究甚少。显然，就平抑源侧电力输出波动而言，负荷调增的意义同样重大。可以预见，双向平移

的智能用电技术是未来智能电网的核心组成部分，延迟用电型的单向平移技术将逐步被双向平移技术所取代。

本文阐述了一种支持双向平移的智能用电系统，提出了具有感知与控制功能的智能用电设备架构及智能用电的主动响应模式；阐述了一种基于编码的用电信息表征方法，提出了分级管理、逐级汇总的用电信息采集方案，在此基础上，详细论述了调度系统基于用电信息实施负荷调增与调减的具体实施方法，具有很强的可操作性。

## 2. 智能用电概述

### 2.1. 智能用电

作为应对大规模间歇性新能源接入带来的挑战，智能用电受到广泛关注。如前所述，源侧电力输出波动是双向的，因此，智能用电的工作机制应是调度可双向平移的需求侧用电资源，使之服从于电网供需平衡之需要。所谓双向平移，即当源侧电力输出间歇性跌落致使电力供给暂时不足时，将部分可延迟用电负荷平移至电力供给充裕的时段；当源侧电力输出间歇性陡涨致使电力供给暂时过裕时，启动部分可提前用电的负荷以平抑发电量的正向波动，以减少弃风、弃光及对储能的依赖。特别指出，这里所述智能用电突出了双向平移的重要性，且平移的目标不是传统意义的削峰填谷，而是尽可能冲抵源侧电力输出的间歇性，服务于电网的稳定运行。

### 2.2. 智能用电设备基本结构

智能用电设备是实现智能用电的基础，其主要特征是具有通信、感知与控制功能。智能用电设备可以是物理设备(适用于工厂新造用电设备)，也可以是逻辑设备(适用于存量用电设备，由常规用电设备与智能用电模块的组合而成)。智能用电模块(以下简称智能模块)由通信单元、智能用电单元及工作状态切换单元等组成，如图 1 所示。其中，通信单元(如通过 WIFI)负责与智能用电管理子站(以下简称子站)的信息交互；智能用电单元是智能用电模块的核心，承担着用电信息报送、主动用电管理、平移控制响应等关键任务；工作状态切换单元受智能用电单元控制，用以改变用电设备的工作状态，使其在待机、用电、放电(如可用)之间自动切换，以实现负荷平移。

### 2.3. 智能用电响应模式

用电设备量大面广，特征各异，任何单一的智能用电响应模式均有局限性。本文设计了主动响应、被动响应和人工参与三种响应模式。

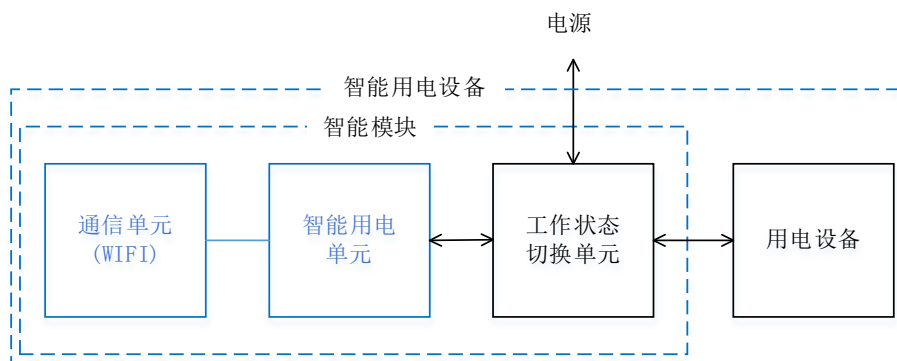


Figure 1. Basic structure of a smart appliance

图 1. 智能用电设备的基本结构

主动响应模式完全由智能用电设备自主完成，即智能模块基于电源频率及电压的越界信息、实时电价信息，在内置的规则及协议驱动下，自主双向切换用电设备的工作状态，以支持电网的稳定运行。

被动响应模式是智能用电设备在调度系统引导下，基于用电协议，自律切换其工作状态，以满足调度系统调增或调减负荷的需要。

人工参与模式是指出于用电安全的考虑，部分存在切换风险的用电设备，在实施切换之前或切换之后的一定时间内，由用户基于“互联网+”予以远程确认的响应模式。

实际应用中，上述三种响应模式可以独立或叠加使用。

### 3. 智能用电主动响应模式及实现方法

主动响应模式的特征在于，用电状态的改变与否完全根据内置的程序自主决策。主动响应模式包括电价诱导和状态感知两种工作机制。

实时电价是一种通过价格诱导用户有序用电的技术举措。其工作机制是：由通信单元接收实时电价信息，智能单元基于经济用电规则，自主控制用电设备的工作状态。如电价高到一定水平时，由工作状态暂时切换到待机状态，电价低到一定水平时由待机状态切换到工作状态，电价在中间区间时保持工作或待机状态不变。具体电价阈值由用户根据自身对电价的敏感性、用电设备的可平移指数(参见表 1)以及有序用电的社会义务来综合确定。

状态感知专指电源电压和频率的感知，基于感知结果，借鉴了电网“低频低压减载”的技术理念，并将这一理念进一步扩展至“高频高压加载”，智能单元自主控制用电设备的工作状态，形成一种完整的主动响应工作机制，参见图 2，当电网频率低于某个阈值(应稍高于第三道防线的设置)，或电压幅值低于某个阈值时，处于工作状态的可平移负荷的用电设备有序主动切换至待机状态(图中⑦→⑧)，直至恢复至下限阈值+Δ 以上才再次恢复至初始的工作状态(图中⑨→⑩)；同理，当电网频率高于某个阈值，或电压幅值高于某个阈值时，处于待机状态的协议可平移负荷的用电设备有序主动切换至工作状态(图中②→③)，直至恢复至上限阈值-Δ 以下才再次恢复至初始的待机状态(图中④→⑤)。这里所谓有序是出于避免同一时刻大量智能用电设备切换工作状态可能带来的冲击。为此，可为各个智能用电设备设置一个随机时延(如 0 s 至 30 s)再执行切换。随机时延宜大于频率及电压采样周期 2 倍以上。

需要指出的是，基于状态感知的主动响应或多或少地制约了用户的用电意愿，需要法规予以规范，使之成为用户应遵循的基本义务。

电源频率和电压的采样也可由子站完成，然后通过网络广播至各智能用电设备，也可以由智能用电设备直接采样。前者可简化智能用电设备的硬件需求，而后者更加灵活并有更快的响应速度。其中电源电压采样宜用 14 位以上 AD，采样频率宜不少于 15 K/s，电源频率通过正交等算法获取，两次采样的时

Table 1. Power utilization information code and its meaning

表 1. 用电信息编码及其意义

编码位数(右起)	意义	属性	备注
1~15	用电功率	只读	铭牌额定功率(百瓦)
16-17	可平移特征	只读	00 不可平移、01 可延迟用电、10 可提前用电、11 可双向平移；
18~20	可平移指数	只读	000 不可平移、111 协议可平移； 001 至 110 表示因负荷平移对用户产生的影响逐渐减少
21~22	可放电属性	只读	00 不可放电、01 可放电、11 协议许可
23~38	放电功率	只读	输出功率(百瓦)
39~40	工作状态	读写	00 待机、01 用电、11 放电

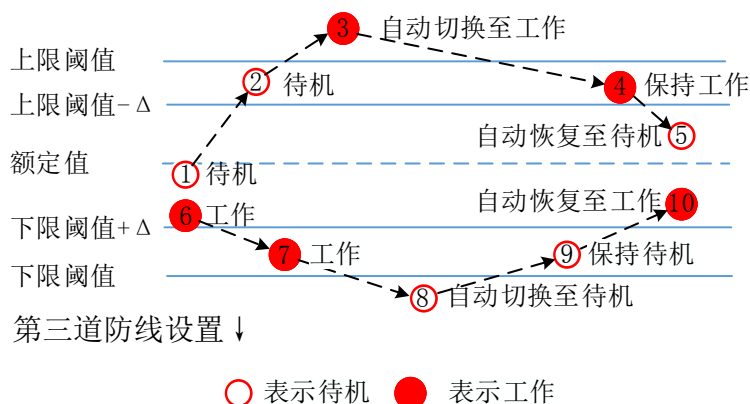


Figure 2. Diagram of active response mode based on frequency and voltage limit violation

图 2. 基于电源频率及电压越界的主动模式示意图

间间隔应小于前述随机时延的 1/2，如设置每 10 s 采样、判断一次。

#### 4. 智能用电被动响应模式及实现方法

被动响应的工作机制是：在用电信息的支持下，调度系统基于电网稳定运行之需要，确定负荷调增或调减的总需求，再引导所辖供电范围的部分或全部可平移负荷进行有序响应。具体工作过程包括用电信息编码、用电信息采集及负荷调度三个方面。

1) **用电信息编码**：本文确定的用电信息包括用电功率、可平移特征、可平移指数、可放电属性、放电功率和工作状态等共 6 类。为了提升用电信息的报送效率，将前述 6 类用电信息混编为一个 5 字节的二进制数，如表 1 所示。通过可平移特征和可平移指数这两个关键信息，用电设备的可平移特性可得到规范、一致且稳定的表述。其中，可平移特征由两位二进制数表示，00 表示不可平移，如基本生活用电以及不可中断的商业及工业用电，01 表示可延迟用电，包括可中断和可延时的负荷；10 表示可提前用电；11 表示双向可平移，即既可以延迟用电也可以提前用电的负荷；可平移指数由 3 位二进制数表示，从 111 到 000 共 8 级，数字越大，表示因负荷平移给用户造成的影响越小，属于智能用电的优先控制对象；可平移指数综合反映了用电设备属性和用户的类型，可以直接与电力市场相挂钩。可放电属性(非 00)用以表述以用电为主、必要时可向电网反馈电力的用电设备(如电动汽车)。其中，11 表示供需间已有协议，在调度系统召唤时可以转入放电状态。

用电信息编码包括只读和读写两部分，只读部分属于设备的基本用电信息，不可编辑；工作状态可读写，由智能单元自主管理。

2) **用电信息采集**：用电信息采集自下而上，分三个层级，采用下级报送、上级接收方式，如图 3 所示。采集过程由智能用电设备发起，经子站、区域智能用电管理主站(以下简称主站)逐级接收、汇总，最终报送至调度系统。

进一步说明如下：

智能用电设备首次启用或离线后重新启用时，先建立与子站的通信联系，然后自主将设备 ID 及用电信息编码(统称用电信息)报送至子站，其中工作状态一项随工作状态的切换及时更新。

子站接收用电信息，并按表 1 第一列格式解码，并以表的形式存储，一台智能用电设备对应一条用电信息记录。智能用电设备切换工作状态或离线时，子站同步更新。

子站按表 2 所列格式对接收的全部用电信息进行汇总，形成一条汇总的、代表子站整体的用电信息。以主站  $m$  所属的子站  $s$  共接入  $n$  台智能用电设备、汇总表 2 所列  $PO_j^{(y)}$ 、 $PS_j^{(y)}$  的用电信息为例：



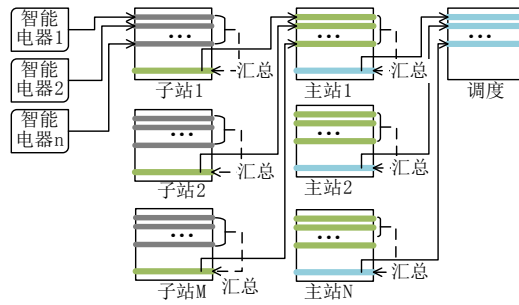


Figure 3. Acquisition and management scheme of power utilization information

图 3. 智能用电信息采集与管理方案

Table 2. Information summarization in power utilization substation or main station

表 2. 智能用电管理子站/主站的汇总信息

字段	意义备注
ID	唯一标识(子站/主站)
PO	处于工作状态的用电设备总用电功率
PS	处于待机状态的用电设备总用电功率
$PO_1^{(1)}$	处于工作状态、可延迟用电、可平移指数为 1 的用电设备总用电功率
$PS_1^{(1)}$	处于待机状态、可延迟用电、可平移指数为 1 的用电设备总用电功率
$PS_1^{(2)}$	处于待机状态、可提前用电、可平移指数为 1 的用电设备总用电功率
...	
$PO_7^{(3)}$	处于工作状态、可双向平移、可平移指数为 7 的用电设备总用电功率
$PS_7^{(3)}$	处于待机状态、可双向平移、可平移指数为 7 的用电设备总用电功率
PAD	协议可放电且处于放电状态的总放电功率
PSD	协议可放电且处于待机状态的总放电功率

$$\begin{cases} PO_j^{(Y)}(m, s) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot W_i \cdot f(y_i, K_i) \\ PS_j^{(Y)}(m, s) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (1 - W_i) \cdot f(y_i, K_i) \\ j = 0, 1, 2, \dots, 7, Y = 1, 2, 3 \end{cases} \quad (1)$$

式中： $PO_j^{(Y)}(m, s)$ ——子站  $s$  内正在工作、可平移特征为  $Y$  且可平移指数为  $j$  的设备总用电功率；

$PS_j^{(Y)}(m, s)$ ——子站  $s$  内处于待机、可平移特征为  $Y$  且可平移指数为  $j$  的用电设备用电总功率；

$P_i$ ——第  $i$  台用电设备的额定功率；

$W_i$ ——第  $i$  台用电设备状态，待机 = 0，工作 = 1；

$y_i$ ——第  $i$  台用电设备的可平移特征；

$K_i$ ——第  $i$  台用电设备的可平移指数；

$Y$ ——可平移特征，可延迟 = 1，可提前 = 2，可双向平移 = 3；

$f(y_i, K_i)$ —— $= 1 \Big|_{y_i=Y \text{ 且 } K_i=j}$ ， $= 0 \Big|_{y_i \neq Y \text{ 或 } K_i \neq j}$ 。

通过专网或公网，子站与主站间建立并保持通信联系，子站将汇总的用电信息自主上报至主站，主

站接收并为每一子站报送的用电信息建立一条记录。子站的用电信息更新后，主站同步更新。

主站对所有接入子站的用电信息进行汇总，形成一条代表该主站的智能用电信息。假设主站  $m$  共接入  $L$  个子站，汇总的用电信息如下：

$$\begin{cases} PO_j^{(Y)}(m) = \sum_{i=1}^L PO_j^{(Y)}(m,i) \\ PS_j^{(Y)}(m) = \sum_{i=1}^L PS_j^{(Y)}(m,i) \end{cases} \quad (2)$$

式中： $PO_j^{(Y)}(m)$ ——主站  $m$  内正在工作、可平移特征为  $Y$  且可平移指数为  $j$  的用电设备用电总功率；

$PS_j^{(Y)}(m)$ ——主站  $m$  内处于待机、可平移特征为  $Y$  且可平移指数为  $j$  的用电设备用电总功率。

主站将汇总的用电信息自主报送至调度系统(如县级调度)，数据更新时自主重新报送。

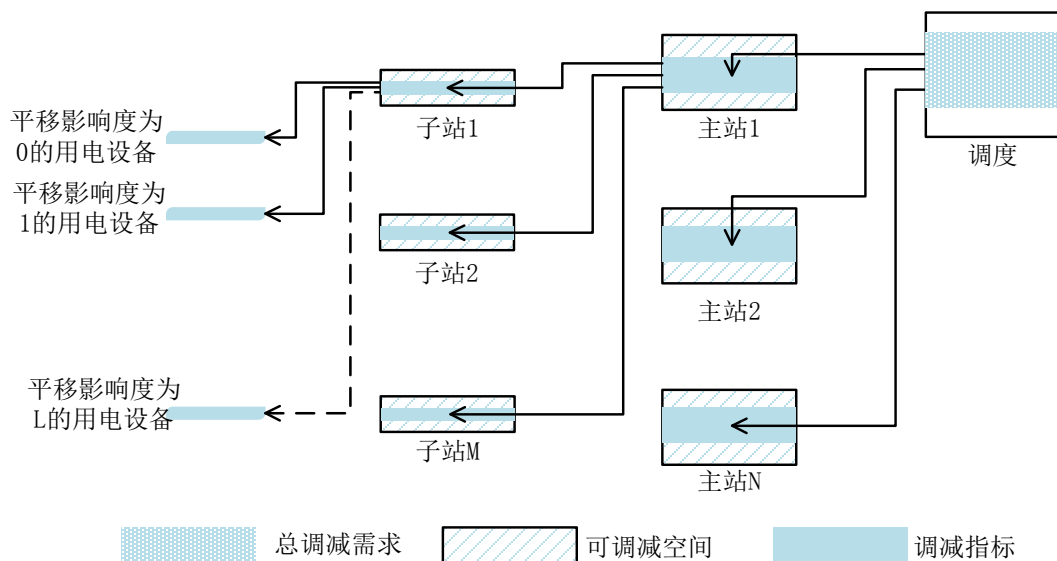
至此，采用分层的方法完成了用电信息采集。由于采用了用电信息逐级汇总上报的方式，较好地均衡了各层级通信流量和用电信息管理总量。其意义在于，调度系统不仅可以掌握当前负荷水平，而且可以掌握当前负荷水平中各级可平移负荷的总量，即  $\sum_j \sum_m PO_j^{(Y)}(m)$ ，以及当前待机的协议可平移负荷总量，即  $\sum_j \sum_m PS_j^{(Y)}(m)$ 。这部分信息构成了自上而下实现被动响应模式及人工参与模式智能用电的基础。

特别需要指出，处于待机状态与处于工作状态的设备用电信息同等重要，这是调度系统进行负荷调增和调减控制决策的基础。对于处于离线状态的设备用电信息，因其与子站的信息交互中断，不宜采集，已采集的应予以剔除。

3) **负荷调度工作机制**：所谓负荷调度即指负荷的调增或调减由调度系统发起，自上而下分解调增或调减指标，并引导智能用电设备按需响应。具体实现方法如下(参见图 4)：

调度系统根据当前供需的电力平衡态势，或响应上一级调度系统的要求，确定拟增加或减少的负荷规模。考虑到用户的依从度问题，应适度放大拟增减规模(经验确定)。显然，拟增减规模不能超越所辖智能用电设备总的响应能力。以负荷调增为例，基于汇总的用电信息，处于待机状态的协议可平移负荷总量应大于拟增加负荷的总规模，否则应与其它调度措施(如储能)一并应用。即：

$$PS_d < \sum_{m=1}^N \sum_{j=1}^7 (PS_j^{(2)}(m) + PS_j^{(3)}(m)) \quad (3)$$



**Figure 4.** Diagram of dispatch response mode based on hierarchical load distribution  
**图 4.** 基于负荷指标分层分解的被动响应模式示意图

式中： $PS_d$ ——负荷调增需求总量；

$N$ ——主站数。

调度系统根据各主站汇总的用电信息，以不超过其响应能力且优先控制可平移指数高的用电设备为原则，将负荷控制要求分解到各主站：

$$\begin{cases} PS_d = \sum_{i=1}^N PS_d(i) \\ PS_d(i) < \sum_{j=1}^7 (PS_j^{(2)}(i) + PS_j^{(3)}(i)) \end{cases} \quad (4)$$

式中： $PS_d(i)$ ——调度系统分解到第  $i$  个主站的负荷调增需求总量。

各主站基于类似的原则，进一步将负荷控制要求分解到各子站。以主站  $m$  为例：

$$\begin{cases} PS_d(m) = \sum_{i=1}^N PS_d(m,i) \\ PS_d(m,i) < \sum_{j=1}^7 (PS_j^{(2)}(m,i) + PS_j^{(3)}(m,i)) \end{cases} \quad (5)$$

式中： $PS_d(m,i)$ ——主站  $m$  分解到第  $i$  个子站的负荷调增指标。

各子站根据智能用电设备的用电信息，将负荷控制要求按可平移指数由高到低的原则，下达至相关智能用电设备，要求其响应控制要求(负荷调增时由待机状态切换至工作状态，负荷调减时由工作状态切换至待机状态)。

在自上而下分解负荷控制需求时，不论所属主站或子站，受影响用电设备的可平移指数应大致一致。因为可平移指数已经考虑了用户类型的因素。

## 5. 智能用电人工参与模式及实现方法

出于用电安全的需要，在对负荷进行调增或调减前，宜通过信息互动的方式由用户远程确认。确认信息可有子站或智能用电设备(基于公网)发出，基于“互联网+”手机 APP 方式通知用户，待用户确认之后再实际完成工作状态的切换。为了保障较高的响应率和响应的时效性，需通过经济杠杆约束用户履行积极响应的义务。

对于紧急情形，针对相对安全的用电设备，为了保证时效性，也可以先行响应，再通知用户确认，一定时间内用户未确认或用户拒绝响应时，重新恢复原用电状态。

## 6. 分析与讨论

1) 随着能源互联网的发展，新能源的消纳问题成为我国也是国际上的一大难题。负荷的响应能力是解决新能源消纳的重要手段之一。本文提出的智能用电实现方法，目的是通过可平移负荷的调节与转移，调度负荷曲线使之与源侧输出曲线匹配，适应新能源出力的波动，减少弃风弃光，真正实现绿色用电。

2) 文中提出的主动响应、被动响应和人工响应三种模式可以根据需要或电网实际情况选用。主动响应与被动响应互补。以电压和频率越界作为控制策略的主动响应模式，具有响应速度快、选择性好的特点；被动响应则是基于用电信息采集，由调度系统逐级分解负荷或调减需求，这是源网荷协调控制的重要组成部分。人工响应模式则是出于用电安全的考虑，增加了用户确认环节。

3) 负荷双向平移是智能用电的基本特征。为消纳新能源的接入，仅有延迟性的负荷平移是无法满足要求的。本文所提出的用电响应模式均支持双向平移，既支持调增，也支持调减。

4) 必须同时采集工作和待机设备的用电信息。以往用电信息主要源于处于“用电”状态的信息，对于待机状态的设备用电信息未建立相应的采集机制，这种状态无法满足负荷调增时的信息需求。本文确立了将待机状态与工作状态的设备用电信息一并处理的工作机制，为负荷调增提供了重要信息支撑。



5) 采用铭牌功率而非电表计量功率不仅可突破了依赖营销系统的壁垒, 而且有更高的时效性, 同时解决了营销系统无法处理待机设备的用电信息的问题, 而这是负荷调增不可或缺的信息。

6) 基于编码的用电信息采集具有更高的效率。电网中各类用电设备数以亿计, 状态瞬息万变, 由调度系统采集并维护每一台设备的用电信息是极为困难的。本文采用由智能用电设备编码上报、逐级汇总的用电信息采集方案, 极大地压缩了主站及调度系统用电信息的规模, 增加了智能用电的决策与控制效率, 同时也显著降低了整个系统的成本。

7) 引入负荷可平移性指数可综合表征用电设备平移产生影响的大小, 为确定负荷调度的优先次序提供了依据。

8) 新能源出力的波动性和不可预知性, 直接导致了新能源消纳的困难。依靠大规模储能装置能有效平滑新能源输出曲线, 缓解可再生能源对电网的不利影响, 但整体成本高, 目前尚处于产业化初级阶段。而采用本文提出的支持负荷双向平移的智能用电系统, 通过负荷的调增或调减, 主动匹配新能源发电的波动性, 可以大大减少对储能的依赖, 经济效益显著。

## 基金项目

国家电网公司总部科技项目资助, 项目名称: 全球能源互联网技术体系研究(JS71-16-001)。

## 参考文献

- [1] 康重庆, 姚良忠. 高比例可再生能源电力系统的关键科学问题与理论研究框架[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(9): 1-11.
- [2] 程浩忠, 李隽, 吴耀武, 等. 考虑高比例可再生能源的交直流输电规划挑战与展望[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(9): 19-27.
- [3] 鲁宗相, 李海波, 乔颖. 含高比例可再生能源电力系统灵活性规划及挑战[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(13): 147-158.
- [4] 李扬, 王蓓蓓, 李方兴. 灵活互动的智能用电展望与思考[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(17): 2-9.
- [5] 史常凯, 张波, 盛万兴, 等. 灵活互动智能用电的技术架构探讨[J]. 电网技术, 2013, 37(10): 2868-2874.
- [6] 孙国强, 李逸驰, 卫志农, 等. 智能用电互动体系构架探讨[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(17): 68-74.
- [7] 吴文丽, 刘馨卉, 宋贵杰. 智能用电信息采集终端检测装置研究[J]. 自动化与仪表, 2015, 30(10): 61-65.
- [8] 胡江溢, 祝恩国, 杜新纲, 等. 用电信息采集系统应用现状及发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(2): 131-135.
- [9] 葛磊蛟, 王守相, 张明, 等. 智能用电条件下用户用能管理与服务平台[J]. 电力自动化设备, 2015, 35(3): 152-156.
- [10] 薛晨, 黎灿兵, 曹一家. 智能电网中的电网友好技术概述及展望[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(15): 102-107.
- [11] Kaigama, M.A., Wahab, N.I.A., Othman, M.L., et al. (2016) Electrical Grid Stability Enhancement Using Smart Home Frequency-Response Grid-Friendly Appliance System. *Journal of Electrical System*, **12**, 216-229.
- [12] 张志丹, 黄小庆, 曹一家. 电网友好型空调负荷的主动响应策略研究[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(25): 4207-4218.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2333-5394，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)