

基于用户用能意愿及负荷特性的 需求响应用户自动筛选策略

杨 斌¹, 陈振宇¹, 黄奇峰², 郑爱霞², 吕 帅³, 孙永辉³

(1. 国网江苏省电力有限公司, 南京 210024; 2. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 南京 210019; 3. 河海大学 能源与电气学院, 南京 210098)

Automatic screening strategy for demand response user based on user desire
and load characteristics

YANG Bin¹, CHEN Zhen-yu¹, HUANG Qi-feng², ZHENG Ai-xia², LV Shuai³, SUN Yong-hui³

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210024, China; 2. Jiangsu Electric Power Research Institute, Nanjing 210019, China; 3. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

摘要:需求响应是电力需求侧管理的一个重要组成部分,选择合适的用户参与需求响应是需求响应实施中的一个关键步骤。首先建立用户的满意度模型,综合考虑用户用电方式的满意度以及电费支出的满意度。然后,基于用户侧不同负荷的特性,构建用户在不同响应等级下可以参与调整的容量模型,进而构建需求响应中用户自动筛选的整数规划模型,并采用分支定界方法求得模型最优解。最后,借助算例分析,验证模型的正确性和可行性,结果表明该策略是公平、有效的。

关键词:需求响应;自动筛选模型;用能意愿;整数规划

Abstract: Demand response (DR) is an important part of demand-side management (DSM). Choosing the suitable users to participate in demand response is a key issue in the implementation of demand response. Firstly, the user satisfaction model is developed, in which the satisfaction of the user's electricity consumption and the satisfaction of the electricity expenditure are both taken into account. Then, based on the characteristics of different load on the user side, a capacity model that users can participate in adjustment under different response levels is constructed. Thus, an integer programming model for automatic screening of users in demand response is proposed, which can be solved by using the branch and bound method. Finally, by using the case study, the usefulness and feasibility of the model is illustrated, which shows that the strategy is fair and effective.

Key words: demand response; automatic screening model; willingness to use electricity; integer programming

中图分类号:F407.61;TK018;TM715 文献标志码:A

随着智能电网的发展和风电大量接入电网^[1],需求侧管理(demand-side management, DSM)在电力系统运行中越来越得到重视,已成为消纳风电的重要途径之一^[2]。需求响应(demand response, DR)是需求侧管理中的一个分支,通过价格信号和激励措施引导用户改变用电行为,保障电网稳定运行,抑制电价上升^[3]。因此,需求响应是一种有效优化和调整电能消耗的方式,并且其实施成本远低于为了满足用户端的需求而增加更多的发电设备和改造电网的成本,在实践中得到了日益广泛的运用^[4-7]。

针对需求响应问题,国内外学者已经做了大量的研究^[8-15]。文献[8]将智能电能表作为传递市场价格的媒介,设计了一种基于价格的用户需求响应策略。文献[9]介绍了电动汽车在需求响应中的应用。文献[10]和文献[11]的研究结果表明,随着激

励水平的提高,价格因素会逐渐成为影响用户用电方式的最主要因素,同时负荷响应的不确定性随之降低;反之,外界环境因素会成为影响负荷响应率的主要因素,负荷响应的不确定性随之增加。文献[12]和文献[13]按照用户拥有的负荷性质对用户进行聚类。在用电高峰期,具有同一种负荷的用户会被分配相同的负荷曲线。但是,这种聚类方法不能够反映用户的意愿对需求响应结果的影响。文献[14]根据用户参与需求响应的意愿进行聚类,结论表明用户的意愿会影响其对价格信号的反应。文献[15]借助多智能体模拟方法,建立双向互动的改进分时电价调价模型,分析了用户响应的不确定性对需求响应的影响。值得注意的是,上述研究在建模时并未考虑如何自动筛选合适的用户参与需求响应项目。在需求响应执行过程中,能否合理有效地选择合适的用户参与项目,会直接影响需求响应执行的最终效果。除此之外,在面对同一个价格信号时,由于用户的消费习惯、用能意愿和价格敏

收稿日期:2018-05-23;修回日期:2018-06-27

基金项目:国家自然科学基金项目(61673161);国网江苏省电力有限公司科技项目(SGJS0000YXJS701014)

感性的差异,不同用户会做出不同的选择。因此,自动筛选合适的用户参与需求响应项目就显得至关重要。

基于以上分析,针对需求响应项目中用户选择的问题,本文结合用户满意度以及用户侧不同负荷特性,提出一种用户自动筛选整数规划模型,该方法可以克服单一考虑用户用能意愿或用户负荷的局限性,提高用户自动筛选的准确度和效率。

1 用户用能满意度模型构建

用户的用能满意度是指用户在参与需求响应一段时间后对该项目的整体评价。用户的态度和行为之间存在正相关的关系。如果满意度过低,会导致用户不满,不利于需求响应项目的持续开展^[16]。因此,在制定需求响应策略的时候,应该充分考虑用户的用能满意度。

在评估用户的用能满意度时,本文从用户的用电方式满意度和电费支出满意度2个方面进行考虑。

1.1 用户用电方式的满意度

用户用电方式的满意度是用来评估用户参与需求响应前后的用电方式变化程度的指标。用户在参与需求响应前,按照其最喜欢的方式使用电能,此时用户对用电方式的满意度最大。参与需求响应项目后,用户需要在某个时间段调整负荷的使用,甚至关闭某些设备的运行。原来的用电负荷曲线会发生改变,形成新的负荷曲线。在其它条件不变的情况下,用户的用电方式满意度可以用用户新的用电负荷曲线与原来用电负荷曲线的差值来进行表示。

ε = 1 - (∫₀²³ |f_{TOU,t}(P_p, P_s, P_v) - f_i(P_t)| dt) / (∫₀²³ f_i(P_t) dt) (1)

式中: ∫₀²³ |f_{TOU,t}(P_p, P_s, P_v) - f_i(P_t)| dt 为参与需求响应项目用户的电价各时段用电量的变化值; ε ∈ [0, 1] 为用户用电方式的满意度。由于用户的用电方式具有一定的惯性,在一天内不同的时间段用电方式也不一样,因此在选择用户的时候,可以根据一天的特定时刻选择不同的用户,以尽可能减少用户用电方式的改变。

用户在参与需求响应项目后,各个时间段变化的用电量越大,说明新的用电方式的改变程度越大,其满意度越低;在极端情况下,其满意度为0;反之,如果用户的用电方式不发生改变,则用户的用电方式满意度最高为1。

1.2 用户电费支出的满意度

用户参与需求响应项目的动机之一是因为其可以降低日常使用电能的费用,因此在选择用户参与需求响应项目时,应充分考虑用户对价格的敏感度。用户参与需求响应项目的电价主要由3部分组成:在用户的舒适度之内参与调节的电价为 P_p, 在用户的舒适度之外参与调节的电价为 P_s, 不参与调节的电价为 P_v。用户电费支出满意度是用来衡量用户电费支出的变化量,具体表示为

θ = 1 - (c(P_p, P_s, P_v) - c(P_o)) / c(P_o) (2)

式中: θ 为用户电费支出的满意度; c(P_o) 为用户未参与需求响应项目时候的电费支出,是原电价 P_o 的函数; c(P_p, P_s, P_v) 为用户参与需求响应项目之后的电费支出,是用户不同参与调节程度的电价函数。

1.3 用户的用能满意度测量

用户的用能满意度是用户的用电方式满意度和用户电费支出满意度的加权平均数。其用户综合满意度模型可以描述为

R = γ₁ε + γ₂θ (3)

γ₁ + γ₂ = 1 (4)

式中: R 为用户用能满意度; γ₁ 为用户用电方式满意度的权值; γ₂ 为用户电费支出满意度的权值。

由于不同用户的用能偏好有所差别,因此,其对于 γ₁、γ₂ 的偏重也不一样。如对于电费支出很大的用户,其 γ₁ 的值就比较大;对于对供电可靠性要求比较严格的用户,其 γ₂ 的值比较大。

用户的用能满意度含有的主观因素比较多,在计算时可以考虑根据不同用户的用能偏好进行赋值。由于缺乏历史数据及相关用户的数据信息,本文采用如表1所示的赋值方法^[17],其大小随着用户参与项目时间的增加得到修正和优化。

表1 模糊描述的赋值方法

模糊表示	赋值[ε, θ]
ε 与 θ 同等重要	[0.5,0.5]
ε 比 θ 稍重要	[0.6,0.4]
ε 比 θ 明显重要	[0.7,0.3]
ε 比 θ 很重要	[0.8,0.2]
ε 比 θ 非常重要	[0.9,0.1]

2 用户可参与需求响应的负荷能力统计

每一个居民用户家中的负荷可以分为3类^[18]:可中断负荷、温控负荷和不受控制的负荷。对用户来说,可以参与需求响应的负荷主要有2种:可中断

负荷和温控负荷。

(1) 可中断负荷指可以调整用电时间的负荷。这种负荷可以实现负荷从电价高峰期到低谷期的转移,但是需要注意的是这类负荷在安排的时候需要设置一个截止时间,以免影响用户的正常生活。常见的可中断负荷包括洗衣机和洗碗机。

(2) 温控负荷主要是指用来控制某一个区域的温度的负荷。通过改变电器的设定温度和设备的运行功率,来达到调整电能消耗的目的。定义负荷在最大功率运行状态下,每个小时消耗的电能为单位小时最大消耗电量;负荷在最小功率运行状态下,每个小时消耗的电能为单位小时最小消耗电量。常见的温控负荷包括冰箱、空调和电热水器。

(3) 不受控制的负荷指用户负荷不受控制,在运行时不能退出。常见的不受控制负荷有电脑、监控设备和电灯。本文把这种负荷定义为用户的基本负荷,在运行过程中必须满足这部分的负荷需要。

用户的可参与负荷能力是指用户在需求响应项目中所能够提供的电能削减范围。根据用户在一次需求响应项目中参与程度的不同,可以把用户的负荷参与程度分为高中低3个等级。低等级指关闭或调节某些设备,例如在用户的空调舒适度区间内调整空调温度设定,不影响用户的舒适度;中等级指关闭或者调整某些设备可能会影响到用户的舒适度,例如在用户的空调舒适度区间范围之外进行调整;高等级指只保证用户的基本负荷需求,一般只有在系统发生紧急状况的时候才会需要,并且持续时间不会太长,对用户造成的影响也是可控的。随着用户的增加与可调整范围的扩大,用户的高等级削减尺度请求也会随之减少。

由于不同用户的设备负荷以及可接受的温度调整范围都不相同,用户的各个等级的电量需要提前确定。用户的可参与负荷能力与对应的等级关系如表2所示。

表2 用户对应的可参与需求响应的不同等级负荷
kW

用户名称	高等级	中等级	低等级
用户1	600	300	200
用户2	400	300	100
用户3	500	400	200

用户侧的负荷都装有用户能源管理系统,通过通信网络、负荷聚类商可以实时接收用户侧的负荷运行信息。当需求响应调节信号到达以后,居民负荷聚类商选择合适的优化控制策略,再通过用户侧的用户能源管理系统调节用户侧的负荷,完成需求响应的调节。

3 用户筛选模型

3.1 模型的构建

根据用户用能方式的满意度和用户的可参与负荷构建基于用户用能意愿和负荷统计的自动用户筛选模型,如图1所示。首先,居民负荷聚类商在接收到负荷提供商提供的电力缺口容量信息后,根据用户的家庭负荷信息,筛选出所有能够满足这次调整容量信息的候选用户;然后根据用户的用能满意度对用户进行排序,建立求解需求响应用户的自动筛选模型;其次,对模型进行求解,得到参与本轮时间段的用户,并与用户进行互动,根据用户的反馈,最终确定参与需求响应项目的用户;最后,负荷聚类商把相关的优化控制策略,发送到用户侧的用户能源管理系统,完成需求响应。

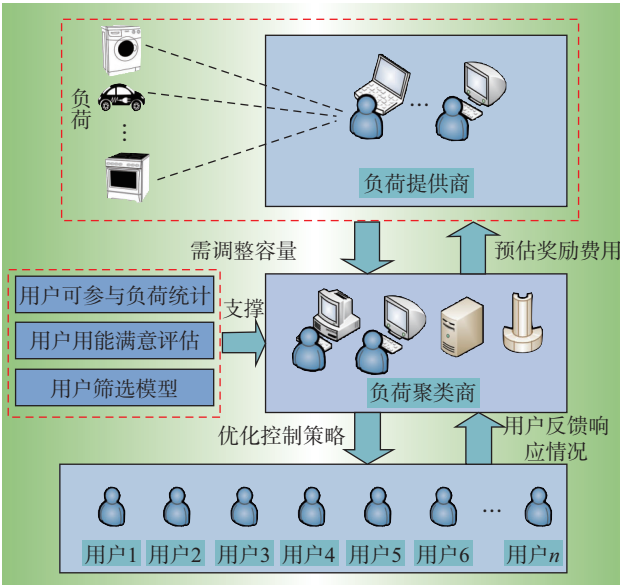


图1 用户筛选模型

为了保证在需求响应项目中用户削减负荷达到负荷提供商的要求,同时尽可能提高用户满意度,将候选用户定义如下:根据用户在需求响应项目中参与次数和用能满意度以及参与需求响应的的时间,对剩余需求响应用户进行从高到低排序,排序后选择位于前 N_c 位的用户作为此次筛选的候选用户,表示为

$$N_c = \max(L/2, P) \tag{5}$$

式中: L 为所有可以参与需求响应的用户总数; P 为满足电力负荷缺口要求的最少用户数。

在用户自动筛选的过程中遵循如下原则:

- (1) 在某一次需求响应日中,用户只能在削减容量高等级、中等级和低等级中选择一种进行参与;
- (2) 在用户筛选的过程中,应该按照低、中、高的等级参与需求响应。即先选择一部分用户参与

低等级负荷的需求响应,再选择一部分用户参与中等等级负荷的需求响应,最后根据还剩余的电力缺口容量,选择合适的用户参与高等级负荷的需求响应,从而提高用户的用能满意度,同时减少居民负荷聚类商的支出;

(3) 用户参与需求响应负荷削减累加值应该不小于负荷提供商所要求的数值,以保证电网安全稳定运行;

(4) 在保证完成负荷提供商电力负荷减少的基础上,最大化用户用能满意度。

本文采用整数规划模型,在已知负荷提供商电力缺口、用户负荷削减能力以及用户用能意愿的基础上,同时考虑其满足的约束条件,求解用户参与项目等级,完成需求响应调节,并尽可能提高用户用能意愿。目标函数为

$$\max Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ij} \tag{6}$$

$$\max R \tag{7}$$

式中: Z 为经过筛选参与需求响应项目的用户数; N 为候选的用户数量; M 为候选用户的负荷参与等级。 X 为决策矩阵,如果筛选后选择了候选用户 i 的第 j 等级,则记为 $x_{ij} = 1$,否则记为 $x_{ij} = 0$ 。

决策矩阵可以描述为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{N1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1M} & \cdots & x_{NM} \end{bmatrix} \tag{8}$$

约束条件为

(1) 用户参与约束

$$\begin{cases} x_{ij} \geq 0 \\ \sum_{j=1}^M x_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M \tag{9}$$

(2) 顺序筛选约束

$$\begin{cases} \sum_{j=M}^M x_{ij} \geq \sum_{j=M}^M x_{(i+1)j} \\ \sum_{j=M-1}^M x_{ij} \geq \sum_{j=M-1}^M x_{(i+1)j} \\ \sum_{j=1}^M x_{ij} \geq \sum_{j=1}^M x_{(i+1)j} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N-1 \tag{10}$$

(3) 完成电力负荷缺口约束

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ij} c_{ij} \geq E_{\text{gap}} \tag{11}$$

$$\begin{cases} x_{ij} \geq 0 \\ \sum_{j=1}^M x_{ij} \geq 0 \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M \tag{12}$$

式中: c_{ij} 为候选用户 i 第 j 响应等级的负荷削减能力; E_{gap} 为本轮用户筛选的电力负荷缺口; C 为候选用户的负荷削减能力矩阵,可以表示为

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{N1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{1M} & \cdots & c_{NM} \end{bmatrix} \tag{13}$$

(4) 用户削减总量满足所需要的电力负荷削减约束

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M x_{ij} c_{ij} \leq E_{\text{gap}} + E_{\text{exceed}} \tag{14}$$

式中: E_{exceed} 为循环求解因子,保证最大满足电力负荷缺口 E_{gap} ,求解目标函数的最优解。

3.2 模型的求解

采用分支定界法求解^[19],具体步骤如下:

步骤1:初始化循环求解因子 E_{exceed} ,利用分支定界法求解整数规划模型的最优解,得出本轮筛选的用户及其响应等级。其中对于 E_{exceed} ,居民负荷聚类商可以根据响应精度进行调整,初始值在本文中设置为5‰,即等于 $E_{\text{gap}} \times 5 \text{‰}$;

步骤2:如果在步骤1没有求出可行解,则调整循环求解因子 E_{exceed} ,如果设定每次增加本轮电力负荷缺口的5‰,则 $E_{\text{exceed}} = E_{\text{exceed}} + E_{\text{gap}} \times 5 \text{‰}$,返回步骤1继续求解;反之,结束本轮筛选,得出筛选结果;

步骤3:发送相应的优化策略到用户侧的用户能源管理系统,调节用户侧的负荷,等待用户反馈;

步骤4:得到用户反馈后,负荷聚类商根据用户的反馈情况,判断其是否满足需求响应负荷削减要求。如果不满足,则更新用户信息,进入下一轮筛选,重复步骤1;如果满足,则根据用户反馈调节用户侧的负荷,此次筛选结束。

4 算例分析

本文以某公共楼宇某次削峰项目的模拟调峰为例,在一天内负荷提供商需要减少的总电力负荷为8 000 kW,共20位用户可以参与需求响应,其各个响应等级的负荷削减能力见表3。

表3 用户可响应等级及对应负荷削减

				kW			
编号	高等级	中等级	低等级	编号	高等级	中等级	低等级
601	1 500	1 000	500	611	500	200	100
602	900	600	300	612	3 000	2 000	1 000
603	800	400	200	613	2 400	1 500	900
604	3 000	2 000	1 000	614	3 000	2 000	1 000
605	900	600	300	615	900	500	300
606	500	200	100	616	1 800	1 200	800
607	800	500	200	617	900	600	300
608	1 500	1 000	500	618	1 500	1 000	500
609	3 000	2 000	1 000	619	800	600	400
610	900	600	200	620	3 000	1 500	700

首先进行第一轮用户筛选:按照用户用电方式满意度选择 N 个用户的高等级负荷削减能力累加值大于本轮所需要的电力负荷缺口值。在本文中,前10位用户的高等级负荷削减能力累加值为13 800 kW,大于本轮所需要的电力负荷缺口8 000 kW。因此选择前10位用户(即编号为601至610)作为本轮的筛选用户。可以得到其可参与负荷削减能力矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} 500 & 300 & 200 & 1\,000 & 300 & 100 & 200 & 500 & 1\,000 & 200 \\ 1\,000 & 600 & 400 & 2\,000 & 600 & 200 & 500 & 1\,000 & 2\,000 & 600 \\ 1\,500 & 900 & 800 & 3\,000 & 900 & 500 & 800 & 1\,500 & 3\,000 & 900 \end{bmatrix}$$

根据式(6)一式(13)建立整数规划模型,初始化循环求解因子为 $8\,000 \times 0.005 = 40$ 。根据分支定界法求最优解,但结果显示无可行解。再继续更新求解因子为 $8\,000 \times 0.01 = 80$,再次求解可行解,得到决策矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

即第一轮筛选结果是选择编号为601到610的用户,其中606、607、609、610号负荷响应低等级负荷的削减,在用户的舒适度范围内进行调节,不会对用户的舒适度产生影响;601、602、603、605、608号负荷响应中等级的削减,在用户的舒适度之外进行调节。604号负荷响应高等级的削减,会影响用户的舒适度。用户总共能提供的响应容量为8 100 kW。

居民负荷聚类商下发相关的优化控制策略给相应的用户。用户有一定的时间来反应是否参与响应,并把相关的反馈发送给居民负荷聚类商。在本轮筛选中,601号到603号选择参与响应中等级;604号选择不参与这次响应;605号选择不参与这次响应;606号和607号选择响应低等级的负荷削减;608号选择响应中等级的负荷削减;609和610用户选择响应低等级的负荷削减。可以得到本轮筛选用户总的参与削减容量为4 500 kW,还剩余3 600 kW的电力负荷等待响应。进入第二轮筛选。

更新用户的相关信息,此时还剩下611到620号的用户可以参与需求响应,需要响应的负荷为3 600 kW。选择611到617号用户作为本轮的待筛选用户,可以得到其负荷削减能力矩阵为

$$C = \begin{bmatrix} 100 & 1\,000 & 900 & 1\,000 & 300 & 800 & 300 \\ 200 & 2\,000 & 1\,500 & 2\,000 & 500 & 1\,200 & 600 \\ 500 & 3\,000 & 2\,400 & 3\,000 & 900 & 1\,800 & 900 \end{bmatrix}$$

重复第一轮筛选的步骤,初始化循环求解因子为 $3\,600 \times 0.005 = 18$,通过分支定界法求解,出现可行解为

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

即本轮的筛选结果为选择611—617号的用户参与响应低等级的负荷削减,在用户的舒适度范围内进行调节,不会影响用户的舒适度。其总的负荷削减为3 600 kW,把相关的调节策略发送给用户后,在用户舒适度范围内进行调节,第二轮筛选结束。由于参与需求响应可以减少其价格的支出,将会提高用户的用电方式满意度,在下一轮用电方式满意度的重新排序中会进入到前列。

经过2轮的筛选,最终筛选出15名用户参与此次需求响应项目,总的削减容量为8 100 kW,用户筛选结果如图2所示。

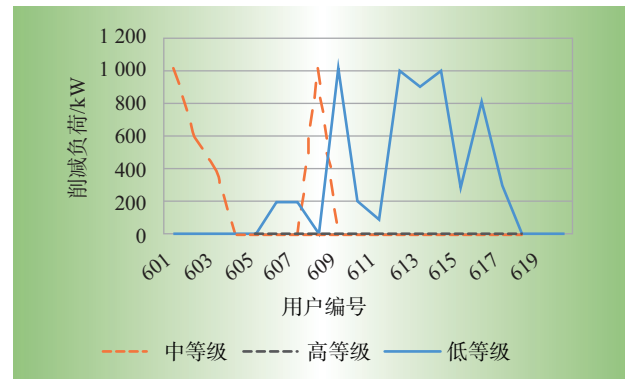


图2 用户筛选结果

5 结论

本文结合用户用能意愿及用户负荷特性,提出了一种用户自动筛选策略。首先,构建了用户用电方式满意度的评估策略,用户可以根据自己的偏好对用电方式满意度和电费支出满意度进行选择。然后结合用户拥有的不同负荷的特性,构建在用户的舒适度范围内进行调节、在用户的舒适度范围外进行调节以及在紧急状况下进行调节的多层次调节模型。最后构建自动筛选参与需求响应用户的模型。在对用户排序的过程中,将对用电方式满意度高的用户排在前面,一方面可以提高用户的响应效率,确保负荷的顺利削减;另一方面,如果在用户的舒适度以外进行调节,也可以减少用户的抵抗情绪。为了保证用户参与的公平性,用户的满意度会重新进行排序。算例验证了模型的有效性。

由于缺乏用户的数据,本文对用户的用电方式满意度集中在用户参与需求响应前后用电方式的变化以及费用支出的改变。考虑结合深度学习构建用户对价格激励的反应程度^[20-22]是下一步的研究方向。D

参考文献:

- [1] Braithwait S. Behavior modification [J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2010, 8(3):36-45.
- [2] 田世明,王蓓蓓,张晶. 智能电网条件下的需求响应关键技术[J]. 中国电机工程学报,2014,34(22):3 576-3 589.
- [3] 董军,王秉晶,冯琪,等. 国外电力需求响应研究与实践 [J]. 电力需求侧管理,2014(5):62-64.
- [4] 李作锋,陈振宇. 江苏电力需求响应的探索和实践[J]. 电力需求侧管理,2018,20(1):4-8.
- [5] Weng Y, Rajagopal R. Probabilistic baseline estimation via Gaussian process [C]// IEEE Power and Energy Society General Meeting, Denver, USA, 2015, 1-5.
- [6] Taylor J, Mathieu J. Index policies for demand response [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2014, 29(3): 1 287-1 295.
- [7] Hu Q, Fang X, Li F, et al. An approach to assess the responsive residential demand to financial incentives [C]// IEEE Power and Energy Society General Meeting, Denver, USA, 2015, 1-5.
- [8] Farhad K, Mohammadhadi A, Siamak S, et al. Demand response program in smart grid using supply function bidding mechanism [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2016, 7(3):1 277-1 284.
- [9] Zhang P, Qian K, Zhou C, et al. Demand response for optimization of power systems demand due to EV charging load [C]// Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Shanghai, China, 2012, 1-4.
- [10] Pipattanasomporn M, Kuzlu M, Rahmans. An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2012, 3(4):2 166-2 173.
- [11] 周晓薇,李扬,陈昕儒,等. 欧洲电力金融衍生市场发展状况及其与需求侧管理的融合[J]. 电力需求侧管理,2018,20(2):60-64.
- [12] Haben S, Singleton C, Grindrod P. Analysis and clustering of residential customers energy behavioral demand using smart meter data [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2016, 7(1):136-144.
- [13] Mahmoudi-Kohan N, Eghbal M, Moghaddam M.P. Customer recognition-based demand response implementation by an electricity retailer [C]// Australasian Universities Power Engineering Conference, Brisbane, QLD, 2011, 1-6.
- [14] Asadinejad A, Varzaneh M G, Tomsovic K, et al. Residential customers elasticity estimation and clustering based on their contribution at incentive based demand response [C]// IEEE Power and Energy Society General Meeting, Boston, USA, 2016.
- [15] 姜勇,杨雪纯,王蓓蓓,等. 计及需求响应不确定性的智能用电双向互动仿真[J]. 电力系统及其自动化学报,2016,28(9):48-55.
- [16] 阮文骏,王蓓蓓,李扬,等. 峰谷分时电价下的用户响应行为研究[J]. 电网技术,2012(7):86-93.
- [17] 丁伟,袁家海,胡兆光. 基于用户价格响应和满意度的峰谷分时电价决策模型. 电力系统自动化,2005, 29(20):10-14.
- [18] Tan Z, Yang P, Nehorai A. An optimal and distributed demand response strategy with electric vehicles in the smart grid [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014, 5(2):861-869.
- [19] 丁涛,郭庆来,柏瑞,等. 考虑风电不确定性的区间经济调度模型及空间分支定界法[J]. 中国电机工程学报,2014,34(22):3 707-3 714.
- [20] Shi H, Xu M, Li R. Deep learning for household load forecasting-A novel pooling deep RNN [J]. IEEE Transactions on Smart Grid, DOI:10.1109/TSG.2017, PP(99):1-1.
- [21] 周静,周琪,谈健,等. 江苏电网夏季空调负荷特性挖掘与温度敏感性辨识[J]. 电力工程技术,2018,37(3):28-32.
- [22] 任建锋,颜云松,罗剑波,等. 毫秒级精准负荷控制系统设计与工程应用[J]. 电力工程技术,2018,37(1): 45-50.

广告索引

南京捷泰电力设备有限公司 (封面)
南京华设科技股份有限公司 (封二)
上海方融科技有限责任公司 (封三)

江苏苏源高科技有限公司 (封底)
深圳市科陆电子科技股份有限公司 (广01)