

基于大用户能效的电网需求响应机制

郝勇生^{1,2}, 王培红¹, 高赐威³, 江承潮¹, 赵刚¹

(1. 东南大学 能源与环境学院, 江苏 南京 210096; 2. 东南大学 计算机科学与工程学院, 江苏 南京 210096;

3. 东南大学 电气工程学院, 江苏 南京 210096)

摘要:提出一种基于等效节能量的大用户能效评价方法,设计基于大用户能效的需求响应机制。建立涉及用户侧、发电侧、电力市场的需求响应系统仿真模型,根据仿真模型对基于大用户能效的需求响应机制进行优化,结果表明:实施基于大用户能效的需求响应机制不仅可以提高高耗能行业的平均能效水平,而且可以保证总用电量、电力市场成交额基本不变;最大能效惩罚系数设为0.15元/(kW·h)时可实现社会等效节能量最大化,此时需求响应机制最优。

关键词:需求响应机制;大用户能效;等效节能量;电力市场

中图分类号:TM 761

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2019.04.007

0 引言

当前,我国社会用电需求增长缓慢,而电力新增装机仍相对较快地增长,这使得电力供需形势由以前的供不应求转变为现在的供大于求,如云南出现了大规模弃水现象,造成巨大的能源浪费。同时,我国万家重点高耗能企业(大用户)能耗占全社会能耗总量的60%以上。鼓励高耗能企业多用电以及提高能效不仅有助于提高我国整体的能效水平,同时也有利于缓解当前电力供需不平衡的矛盾。因此,研究基于大用户能效的需求响应机制具有重要意义。

现有关于需求响应的研究主要是以引导用户错峰用电为目的^[1],如分时电价、实时电价和尖峰电价的研究^[2-3],而对于用户侧的能效水平关注较少。文献[4-5]将能效管理引入需求响应系统中,通过对用户用能状态的监测,实现挖掘需求侧用能系统的节能潜力和设备调峰潜力。但能效管理工作没有从机制入手,因此无法从机制上引导用户自发地提升自身能效。本文针对云南电力市场机制,将能效引入需求侧响应机制中,通过设计有利于高能效企业的电力交易机制,鼓励高能效企业扩大发展规模,抑制低能效企业的发展规模,推动用电企业进行相关的节能技术改造。本文对实施基于用户能效的需求响应系统进行模拟仿真,分析该机制对能效及电网主

要运营指标的影响,为电网公司和政府部门制定合理电价政策和奖惩政策提供科学依据。

1 基于等效节能量的大用户能效评价

建立基于大用户能效的电网需求响应机制,首先需要建立一种可对不同高耗能行业企业的能效水平进行合理、科学评价的方法。当前,能效评价方法分为2类:一类方法是直接利用能耗指标,如以单位产品能耗、单位产值能耗、单位产品电耗等进行能效评价,这类评价方法一般用于同行业企业间的比较,进行跨行业企业间能效评价时,由于各行业能耗数值差距巨大,单纯依据能耗指标无法客观评价企业间能效水平的实际差异;另一类方法是基于新兴的数学方法,将层次分析法、模糊综合评估法、人工神经网络等引入能效评价中^[6-8],这类综合评价方法通过采用涵盖能效、经济、环境指标的指标集,建立多级指标综合评估方法,但这类方法仍无法解决不同行业企业间的能效评价问题,此外,综合评估指标权重的选取通常伴随着主观色彩,无法避免主观因素的影响,导致这类方法无法保证良好的客观性^[9-10]。因此,本文提出一种基于等效节能量的大用户能效评价方法。

本文引入等效节能量的概念,将其作为评价高耗能企业能效水平的评价指标。企业等效节能量定义为企业生产各类产品相比于特定基准的总的节能量。

企业总的等效节能量计算式如下:

$$J_i = \sum_{j=1}^m (\bar{E}_j - E_j^i) P_j^i \quad (1)$$

$$\bar{E}_j = \frac{\sum_{i=1}^n E_j^i P_j^i}{\sum_{i=1}^n P_j^i} \quad (2)$$

其中, J_i 为企业*i*总的等效节能量; $\bar{E}_j$ 为产品*j*的行业单位产品综合能耗基准值,可取为行业平均值,也

收稿日期:2018-07-23;修回日期:2019-02-13

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2015-AA050401);国家自然科学基金资助项目(51577029);国家电网公司科技项目(面向电力市场化的需求响应机制及实现技术研究)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2015AA050401), the National Natural Science Foundation of China(51577029) and the Science and Technology Project of SGCC(Research on Demand Response Mechanism and Realization Technology of Electricity Market)

可取为国家标准中该行业的能耗限定值等; E_j^i 为企业 i 生产产品 j 的单位产品综合能耗; m 为企业生产的产品种类数; n 为生产产品 j 的企业数; P_j^i 为产品 j 的合格产品产量。

基于等效节能量的能效评价方法,根据企业总等效节能量的大小对企业能效进行排序和评价。等效节能量越大,则认为企业的能效水平越高。

基于等效节能量的能效评价方法主要有以下优点。

a. 可用于不同行业、不同产品或工艺的企业之间能效水平的比较或评价。

b. 等效节能量测算方法简便易行,工程应用可行性高。

c. 具有明确的物理意义,表示对企业节能的实际贡献值,即节约标准煤的总量。

d. 为企业提升其能效水平提出了可行的路径:一是通过技术节能的方法降低其主导产品的单位产品能耗;二是通过产品结构调整,扩大单位产品等效节能量较大的主导产品的产能规模。

2 基于等效节能量的大用户能效的电网需求响应机制设计

2.1 能效奖惩机制

2.1.1 考虑大用户能效的电力市场准入规则

电力市场准入机制中考虑高耗能企业能效,即通过规则的设置,对不同能效的企业参与电力市场竞价的竞争能力进行区分。企业主营产品能耗高于能耗标准限额限定值的企业不予通过电力市场竞价交易电量,促使能效水平落后的企业进行节能改造升级^[11]。

2.1.2 基于能效指标的能效奖惩系数

能效奖惩系数的设计思路是对等效节能量小于0的企业征收能效惩罚电价,将征收的惩罚金额以能效奖励电价形式奖励高能效企业,并确保奖励总额与惩罚总额相等。具体能效奖惩系数算法如下。

a. 低能效(等效节能量小于0)企业的能效惩罚系数为:

$$p_i^{\text{EEpunishment}} = \frac{|J_i|}{|J_{\min}|} p_{\max} \quad (3)$$

其中, $p_i^{\text{EEpunishment}}$ 为企业 i 的惩罚系数; $J_{\min}$ 为参与电力市场大用户等效节能量最小值; $p_{\max}$ 为最高能效惩罚系数。

b. 高能效(等效节能量大于0)企业的能效奖励系数为:

$$p_i^{\text{EEpunishment}} = \sum_{j=1}^M (Q_j p_j^{\text{EEpunishment}}) \frac{|J_i|}{\sum_{k=1}^N |J_k|} \frac{1}{Q_i} \quad (4)$$

其中, M 为惩罚企业的数量; N 为奖励企业的数量;

Q_i 为企业 i 电力市场购电量; $\sum_{j=1}^M Q_j p_j^{\text{EEpunishment}}$ 为低能效企业的能效惩罚总额; $\sum_{k=1}^N |J_k|$ 为高能效企业等效节能量之和。

由于目前云南电力市场机制中是否参与电力市场是用户的自愿行为,为了鼓励用户参与集中竞价电力市场,电力市场购电价格与能效奖惩系数之和不超过市场外的购电价格——目录电价(当地现在执行的目录电价是0.5元/(kW·h))。

2.1.3 基于能效指标的优先成交权

基于能效指标的优先成交权就是将能效指标即等效节能量的优势转化为优先成交权,也即当多家企业同时市场中竞争购电时,以各家报价由高到低排序,报价高的优先成交,直到供需曲线相交。实际交易中往往会出现图1中所示的情况,若以统一出清价结算市场时,以市场价作为报价的企业不能完全满足所需电量,此时能效指标的优先成交权会发挥作用,即将这些不能购足电量企业的能效指标从高到低排序,能效指标高的企业优先成交,获取所需电量,直到市场成交的总电量达到供需曲线交点处的电量为止。

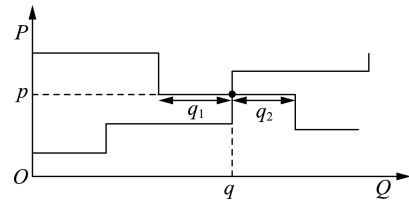


图1 市场成交情况图

Fig.1 Schematic diagram of market bargain

图中, P 为用户和发电商报价, Q 为电量。若有3家企业以相同价格 p 报价,分别向市场购电 q_a 、 q_b 、 q_c ,且满足 $q_a + q_b + q_c = q_1 + q_2$,能效指标分别为 e_a 、 e_b 、 e_c ,且满足 $e_a > e_b > e_c$,则市场中企业 a、b、c 依次成交电量,直到市场总成交电量为 q 为止。

2.2 电力市场交易机制

本文电力市场交易机制主要参考《2016年云南电力市场化交易实施方案》。

2.2.1 撮合规则

撮合交易的原则为社会福利最大化,即购电申报价越高、售电申报价越低优先撮合成交。首先计算所有购电方和售电方报价折算后的价差,按照价差由大到小排序(价差小于0的不参与排序),优先撮合价差大的售电方和购电方,价差相同时按照申报比例成交。其中折算售电报价表达式为:

折算售电报价 = 售电申报价 + 输电电价 + 政府基金

2.2.2 结算规则

采用云南省电力市场当前实施出清方式作为结

算规则,具体规则为:对所有购电企业报价由高到低进行排序,对发电企业报价由低到高进行排序,在 2 条曲线交汇点之前都能够成交。供需双方结算方法如下:

$$\text{售电成交价} = \text{售电申报价} + 0.35 \times \text{价差}$$

$$\text{购电成交价} = \text{购电申报价} - 0.35 \times \text{价差}$$

其中,价差=购电申报价-折算售电报价。

对于电力市场未成交的电量,统一按目录电价以挂牌交易的形式向售电方购买。

3 基于大用户能效的需求响应系统仿真模型

3.1 单位产品能耗-电价响应模型

一般而言,由于生产的规模化效应,企业在生产线上一定的条件下,随着产量的提高,单位产品能耗会有所下降^[12]。如燃煤机组,一般机组负荷越高(产量),供电标煤耗越低(单位产品能耗)。类似的单位产品能耗与产量的关系普遍存在于高耗能企业中,如图 2 所示。

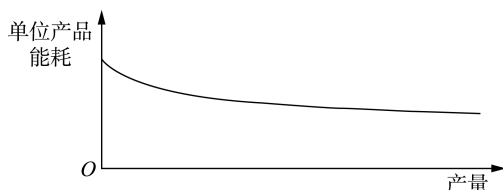


图 2 单位产品能耗与产量关系示意图

Fig.2 Relation between energy consumption and output of unit product

电能作为企业的主要用能形式之一,阶段性电价的变动必将或多或少地影响该阶段的生产成本和企业产量。电价变动将产生以下几个方面的影响:一是电价变动对能源成本的直接影响;二是电价对产量的影响;三是产量变化对企业单位产品能耗的影响。阶段性电价变动会产生阶段性产能变动,亦即阶段性电价降低将引起阶段性(非市场主导的)产能扩大的内生动力,一种理想的估计是以总能源成本和原有单位产品能耗估算电价变动后增加的产量,进而,以新产量估算单位产品能耗。因此,为了充分利用企业能效与产能之间的正相关关系,并客观反映企业能效对电价奖惩的响应规律,本文假设用户的能源费用投入总量不变,在该假设条件下,研究电价变动对企业产量的影响,进而计算出对单位产品能耗的影响,即对企业能效的影响。单位产品能耗-电价响应模型计算流程如图 3 所示。

3.2 电力市场仿真模型

虽然允许发电商、用户在电力市场中分段进行申报购/售电价格及电量,但由于多段申报在云南省电力市场实施过程中较少出现且考虑多段申报导致复杂性极大增加,因此本文电力市场仿真模型中对

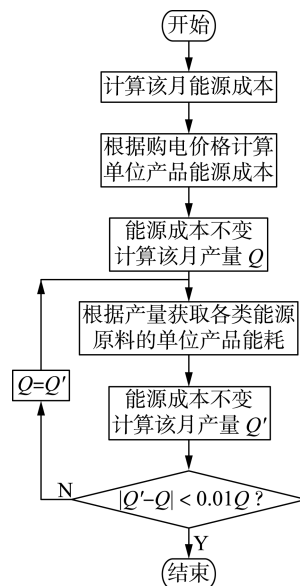


图 3 单位产品能耗-电价响应模型计算流程图

Fig.3 Calculation flowchart of energy consumption of unit product-electricity price response model

此进行简化,发电商、用户只进行单段申报,用户申报电量为其当月用电量,发电商申报电量按照云南当月的电力供需比计算,即发电商申报电量为用户申报电量乘以供需比。对于报价模型,考虑到用户及发电商在报价时可参考的信息仅为历史申报价格、电力市场成交量及市场平均成交价,无法获知其他用户/发电商在电力市场的交易情况,因此对用户、发电商报价模型如下。

a. 用户下月报价策略。

$$k'_b = \begin{cases} \min(k_a, k_b) & L_d = L_b \\ \frac{k_a + k_b}{2} & 0 < L_d < L_b \\ k_a & L_d = 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, k'_b 为用户下月电力市场申报购电价格; k_b 为用户本月电力市场报价; k_a 为本月电力市场平均成交价格; L_d 为用户电力市场交易电量; L_b 为用户电力市场申购电量。

b. 发电商报价策略。

$$k'_s = \begin{cases} \min(k_a, k_s) & Q_d = Q_s \\ \frac{k_a + k_s}{2} & 0 < Q_d < Q_s \\ k_a & Q_d = 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中, k'_s 为发电商下月电力市场申报售电价格; k_s 为发电商本月电力市场报价; Q_d 为发电商电力市场交易电量; Q_s 为发电商电力市场申报售电量。

3.3 仿真数据说明

3.3.1 仿真大用户

仿真选取的企业名单包含云南省主要高耗能行业,包括黄磷、钢铁、水泥、工业硅、合成氨、焦炭、电

解铝行业的111家主要企业。

3.3.2 电量数据

企业的用电量数据来自云南电网营销系统导出的《云南主要工业用户2014年电费清单》、《云南主要工业用户2015年电费清单》。企业电量数据包含名单上全部企业各月份峰电量、谷电量以及平电量等数据。

3.3.3 能耗数据

企业的单位产品能耗、产量数据是通过整理云南省工业和信息化委公布的2014年和2015年主要高耗能行业企业的能源消耗数据而得到,主要包含企业的年总用电量、单位产品综合能耗、单位产品综合电耗等数据。

3.3.4 产量数据

由于企业用电量与产量关系十分紧密,当各月单位产品电耗不变时,企业各月份用电量与产量关系成正比关系。通常,企业单位产品综合电耗变动不大。因此,折算企业各月份产量数据时,可以假设企业各月产量与各月用电量成正比,通过这种方法折算出2014—2015年共24个月各月的产量数据。折算公式如下:

$$\frac{L_{\text{month}}}{L_{\text{year}}} = \frac{P_{\text{month}}}{P_{\text{year}}} \quad (7)$$

其中, L_{month} 为用户的月用电量; L_{year} 为用户的年用电量; P_{month} 为用户产品的月产量; P_{year} 为用户产品的年产量。

3.4 仿真结果及分析

3.4.1 仿真参数设置

根据云南省物价局相关规定,对电解铝、铁合金、电石、水泥、钢铁、黄磷等高耗能行业执行差别电价,淘汰类企业加价标准为0.2元/(kW·h),故仿真时将最高能效惩罚系数 p_{max} 设定为0.2元/(kW·h)。

本文仿真系统中参与电力市场的发电商数设为4。发电商申报电量按发电供需比进行折算。各月电力供需比(发电企业总最大发电量/社会总用电量)参考云南省2015年各月电力供需比,如表1所示。

表1 云南省2015年电力供需比

Table 1 Ratio of electricity supply and demand of Yunnan province in 2015

月份	供需比	月份	供需比	月份	供需比
1	2.6	5	3.3	9	3.5
2	2.0	6	3.4	10	3.7
3	4.2	7	3.7	11	3.0
4	3.3	8	3.4	12	2.7

3.4.2 仿真结果及分析

(1) 行业单位产品能耗水平。

图4为黄磷和工业硅行业单位产品能耗的仿真结果,图中横轴表示2a共计24个月,纵轴表示相应

每吨产品耗用标准煤量。结果分析如下:

a. 在实施集中竞价电力市场后,由于企业购电价格下降,在用户的能源费用投入总量不变的条件下,提高了企业产量,降低了企业单位产品能耗;

b. 进一步地,在电力市场中增加能效奖惩机制后,由于能效奖励系数,高能效企业用电价格下降,从而进一步增加了生产,降低了单位产品能耗;

c. 低能效企业由于需要承担能效惩罚系数,用电成本提高,在用户的能源费用投入总量不变的条件下,其生产受到抑制。

因此,实施能效奖惩系数后,行业平均单位产品能耗水平相比于实施能效奖惩机制前进一步提高。

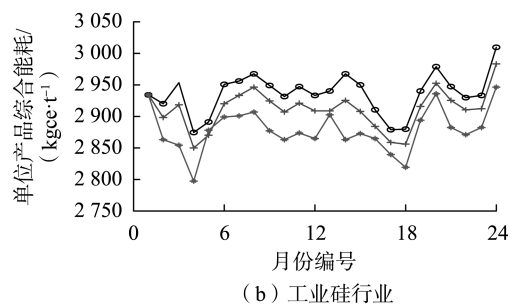
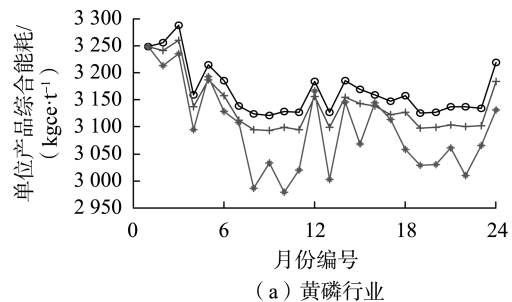


图4 高耗能行业在不同电力市场机制下的平均能耗水平

Fig.4 Average energy consumption of high energy consumption industry under different electricity market mechanisms

(2) 平均购电价格。

图5为用户平均购电价格。由图中可以看出,平均购电价格曲线呈现先下降后稳定的趋势,这是由于电力供需比较大,在市场的的作用下,价格逐渐下

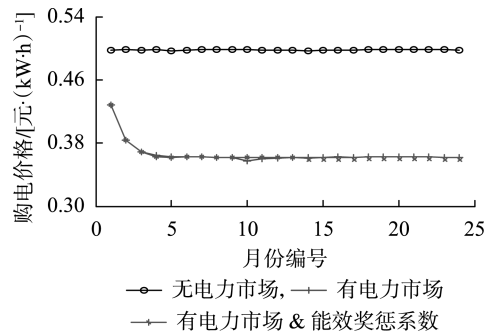


图5 用户平均购电价格

Fig.5 Average electricity purchase price

降。当稳定时,用户购电平均价格基本维持在 0.36 元/(kW·h),这与当前云南省用户平均购电价格 0.35 元/(kW·h) 十分接近,仿真效果较好。实施能效奖惩系数前、后用户平均购电价格曲线几乎一致,这说明加入实施能效奖惩系数不影响用户的平均用电价格。

(3) 总用电量。

图 6 为大用户总用电量。可见,总用电量在有市场的条件下明显比无市场条件下高出很多,这主要是由于企业参与市场交易,购电价格降低,节省的费用可以进一步投入生产,从而需要购买更多电量。纯电力市场和考虑能效的电力市场之间用电量差距不大,这主要是由于加入能效后,会对能效差的企业进行惩罚,对能效高的企业进行奖励,从而导致企业的用电有增有减。

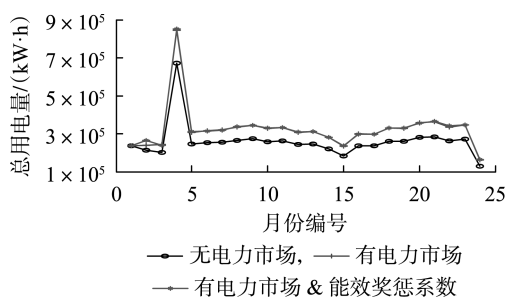


图6 大用户总用电量

Fig.6 Total electricity consumption of large users

(4) 总购电成交额。

图 7 为大用户购电总成交额。从图中可看出,增加电力市场后,由于购电价格的降低,总购电成交额降低,企业购电成本下降。在市场中引入能效奖惩机制后,由于奖惩的平衡,不会对电力市场的购电成本产生影响。

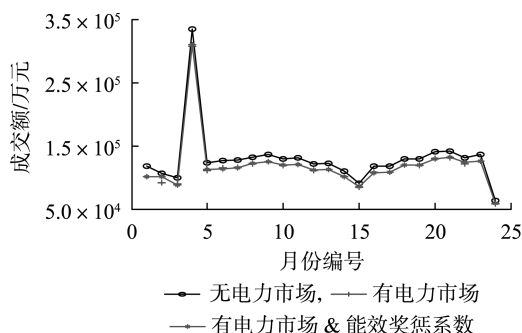


图7 大用户购电总成交额

Fig.7 Total turnover of large users

4 基于大用户能效的需求响应机制优化

3.4 节中仿真设置的最高能效惩罚系数 $p_{\max}=0.2$ 元/(kW·h),这是参考目前云南省对于淘汰类企业的加价标准。最高能效惩罚系数是需求响应机制最关键的参数,最高能效惩罚系数的设置直接影响基

于大用户能效的需求响应机制最终的实施效果。若最高能效惩罚系数值设置得过小,会导致实施效果不明显;反之,若设置得过大,则会导致电力市场低能效用户用电价格过高,从而使得企业失去参与电力市场交易积极性。因此,基于大用户能效的需求响应机制优化,即对最高能效惩罚系数的参数进行优化。

图 8 为社会总等效节能量。由图中可见,当能效惩罚系数在 0.01~0.15 元/(kW·h) 之间时,随系数的提高,社会总等效节能量增加,原因是能效惩罚系数增加,促进高能效企业生产的作用更加明显,从而能效水平不断提高。而当能效惩罚系数大于 0.15 元/(kW·h) 时,由于电力市场大用户购电成本低于 0.5 元/(kW·h) 的限制,即使能效奖惩系数增加,实际对低能效企业的惩罚电价不变,因此导致社会总等效节能量也基本不变。可以看出,当 $p_{\max}$ 设为 0.15 元/(kW·h) 时,社会总等效节能量最高,此时基于大用户能效的需求响应机制最优。

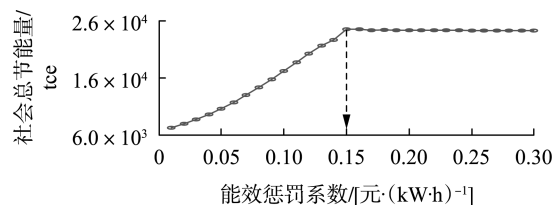


图8 社会总等效节能量

Fig.8 Total social saved energy

5 结论

本文设计了基于大用户能效的电网需求响应机制,得出结论如下:

a. 有电力市场化交易的条件下,社会总用电量、行业能效水平均有明显提高,因此引入电力市场能够提升社会用电量,并能够在一定程度上促进用户改进生产提高能效;

b. 在市场中增加能效奖惩机制后不影响用户的平均用电价格;

c. 在市场中增加能效奖惩机制后,行业平均单位产品能耗获得进一步提高,这也是实施惩罚机制的主要目的;

d. 最高能效惩罚系数设定为 0.15 元/(kW·h) 时,社会等效节能量达到最大值,基于大用户能效的电网需求响应机制实施效果最优;

e. 后续研究可以根据等效节能量对企业的惩罚电价设置机制继续进行探讨,比较不同惩罚机制对市场的影响。

参考文献:

- [1] 沈运帷,李扬,焦系泽,等. 新电改背景下需求响应成本效益分析及其融资渠道[J]. 电力自动化设备,2017,37(9):124-130.

- SHEN Yunwei, LI Yang, JIAO Xize, et al. Cost-benefit analysis and financing channels for demand response under electric reform [J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(9): 124-130.
- [2] 王蓓蓓, 李扬. 面向智能电网的电力需求侧管理规划及实施机制[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(12): 19-24.
- WANG Beibei, LI Yang. Demand side management planning and implementation mechanism for smart grid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(12): 19-24.
- [3] 董军, 张晓虎, 李春雪, 等. 自动需求响应背景下考虑用户满意度的分时电价最优制定策略[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(7): 67-73.
- DONG Jun, ZHANG Xiaohu, LI Chunxue, et al. Optimal TOU pricing strategy considering user satisfaction in automated demand response background [J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 67-73.
- [4] 闫华光, 陈宋宋, 钟鸣, 等. 电力需求侧能效管理与需求响应系统的设计[J]. 电网技术, 2015, 39(1): 42-47.
- YAN Huaguang, CHEN Songsong, ZHONG Ming, et al. Research and design of demand side energy efficiency management and demand response system [J]. Power System Technology, 2015, 39(1): 42-47.
- [5] 汤奕, 鲁针针, 宁佳, 等. 基于电力需求响应的智能家电管理控制方案[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(9): 93-99.
- TANG Yi, LU Zhenzhen, NING Jia, et al. Management and control scheme for intelligent home appliance based on electricity demand response [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(9): 93-99.
- [6] 胡小梅, 朱文华, 王宇颖, 等. 高能耗企业能效综合评估系统设计研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(17): 4081-4084.
- HU Xiaomei, ZHU Wenhua, WANG Yuying, et al. Research on design of overall energy efficiency assessment system for high energy consumption enterprises [J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(17): 4081-4084.
- [7] 任慧, 王坚. 能效评估系统的应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2008, 4(2): 260-262, 274.
- REN Hui, WANG Jian. The application research of energy efficiency evaluating system [J]. Computer Knowledge and Technology, 2008, 4(2): 260-262, 274.
- [8] 田贺平, 杜松怀, 韩晓慧, 等. 基于 AHP-熵权法的企业电力综合能效评估[J]. 智能电网, 2015, 3(2): 112-118.
- TIAN Heping, DU Songhui, HAN Xiaohui, et al. Assessment of power integrated energy efficiency for industrial enterprise users based on AHP-entropy method [J]. Smart Grid, 2015, 3(2): 112-118.
- [9] 王志勇, 邱泽晶, 王振宇, 等. 高耗能企业能效水平的多级模糊综合评估方法[J]. 冶金能源, 2013, 32(6): 12-16.
- WANG Zhiyong, QIU Zhejing, WANG Zhenyu, et al. Multi-level fuzzy comprehensive energy efficiency evaluation for high energy-consuming enterprises [J]. Energy for Metallurgical Industry, 2013, 32(6): 12-16.
- [10] 赵焕臣, 许树柏. 层次分析法 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 1-116.
- [11] 杨悦. 能源市场准入法律制度研究 [D]. 北京: 北方工业大学, 2017.
- YANG Yue. Research on legal system of energy market access [D]. Beijing: North China University of Technology, 2017.
- [12] 司睿. 基于单位能耗的金属冶炼业节能潜力测算研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- SI Rui. Research of metal smelting industry's energy-saving potential based on unit energy consumption [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2014.

作者简介:



郝勇生

郝勇生 (1978—), 男, 江苏姜堰人, 副教授, 博士, 主要研究方向为综合能源管控 (E-mail: haoys@seu.edu.cn);

王培红 (1959—), 男, 上海人, 教授, 博士研究生导师, 博士, 主要研究方向为电厂经济性分析和系统优化与控制 (E-mail: phwang@seu.edu.cn);

高赐威 (1977—), 男, 浙江淳安人, 教授, 博士, 主要研究方向为需求侧管理、电力市场、电力规划、电力安全、电动汽车接入电网 (E-mail: ciwei.gao@126.com)。

Demand response mechanism of power grid based on energy efficiency of large user

HAO Yongsheng^{1,2}, WANG Peihong¹, GAO Ciwei³, JIANG Chengchao¹, ZHAO Gang¹

(1. School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

3. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: An energy efficiency evaluation method of large user is proposed based on equivalent energy saving quantity, and a demand response mechanism based on the energy efficiency of large user is designed. The simulation model of demand response system is built, which includes user side, generation side and electricity market. The mechanism is optimized according to the simulation model, and results show that the implementation of the mechanism can not only improve the average energy efficiency level of high energy dissipation industry, but also guarantee total electricity consumption and turnover of electricity market unchanged, and the maximum social equivalent energy saving quantity can be realized when the maximum energy efficiency punishment price is set as 0.15 ¥/(kW·h) with the most optimal demand response mechanism.

Key words: demand response mechanism; energy efficiency of large user; equivalent energy saving quantity; electricity market