

# 考虑敏感设备“以旧换新”增值服务的定价策略

马愿谦,肖先勇,黄勇

(四川大学电气信息学院,四川成都610065)

**摘要:**在售电侧放开的背景下,针对用户电压暂降敏感设备的增值服务尚未深入研究。在电网公司和设备制造企业合作组成售电公司的基础上,提出一套用户电压暂降敏感设备“以旧换新”的优质电力增值服务策略。以用户感知价值为基础,分析用户的购买决策行为。分析售电公司销售新设备以及售电量增加给其带来的利润,并考虑售电公司的售后服务成本。在此基础上,研究相互竞争的售电公司的新设备销售价格和“以旧换新”折扣价格。通过数值实验的方法分析不同电力市场环境下“以旧换新”对售电公司定价和利润的影响,比较分析“以旧换新”定价策略和单一定价策略对售电公司的利润以及“以旧换新”优质电力增值服务对用户感知价值的影响,证明了所提敏感设备“以旧换新”定价策略的正确性和可行性。

**关键词:**电力市场;优质电力增值服务;敏感设备;电压暂降;以旧换新;定价策略

**中图分类号:**TM 73;F 123.9

**文献标识码:**A

**DOI:**10.16081/j.issn.1006-6047.2019.02.025

## 0 引言

高端用户对电压暂降非常敏感<sup>[1]</sup>,对供电质量要求较高,迫切希望获得优质电力<sup>[2]</sup>。狭义上,优质电力可定义为电能质量指标要求高于现有规程、标准等规定的电力<sup>[3]</sup>,具有成本和收益均高的特点,由于缺乏相应的市场机制,优质供电问题难以解决。广义上,优质供电是优质电力与优质供电服务的统称。在配售电一体化模式下,电力企业按单一购售电模式运营,供电区域垄断经营,用户无选择权,用户虽对供电质量有要求,但由于缺失选择权,所以优质电力市场难以形成,市场空间非常有限<sup>[4]</sup>。随着9号文的发布<sup>[5]</sup>以及各地电力交易中心的成立<sup>[6-7]</sup>,标志着售电侧的放开。在开放的售电市场中,供电模式将向定制化、市场化方向发展。售电公司和用户均可自主选择交易对象,尤其是用户有机会从“单纯购买电量”向“购买电量和优质供电服务”的模式转变,售电公司也将由“单一供电”向“提供全面优质供电服务”转变。在售电侧放开的背景下,研究优质电力增值服务问题具有重要的理论价值和现实意义。

关于电力市场环境下的电压暂降问题,国内外学者主要从投资策略优化<sup>[8-9]</sup>、优质电力定价<sup>[10-11]</sup>、售电公司优质电力增值服务经营模式<sup>[12]</sup>等方面展开了研究,但尚未针对用户电压暂降敏感设备的增值服务进行深入的研究。实际上,高端用户对优质电力的需求在于供电侧发生的电压暂降扰动与敏感设备的电压暂降免疫力不兼容<sup>[13]</sup>。通常情况下,不同的用户生产设备串联或并联组成不同的生产过程,并完成相应的功能,其中,高端用户大量使用的

计算机、可编程逻辑控制器、可调速驱动装置等对电压暂降非常敏感,1台设备停运或者发生故障就可能导致整条生产线产品报废、原料损失、次品或者半成品增多,给高端用户造成难以估量的损失<sup>[1]</sup>。因此,售电公司有必要提出一套针对电压暂降敏感设备的优质电力增值服务。

在现有电力市场环境下,针对某一类型电压暂降敏感设备,高端用户可分为2种类型:拥有和不拥有该类型敏感设备的用户,分别称为存量用户和增量用户。前者又可分为用户敏感设备满足和不满足电压暂降免疫力水平要求这2种情况,后者可分为本身不需要该类敏感设备和由于生产需要(如新建厂房)而需购买此类敏感设备的用户。在售电侧放开的背景下,根据用户种类和市场规模,并在提高资源能源利用效率循环经济发展的思想观念驱动下<sup>[14]</sup>,售电公司有必要提出一套“以旧换新”的用户电压暂降敏感设备的优质电力增值服务策略,在一定的条件下,存量用户以低于新设备的价格和旧的电压暂降敏感设备换取新的电压暂降敏感设备,增量用户以一定的价格购买新设备,实现市场细分,在提高用户满意度的同时,售电公司将争取到较多的存量用户和增量用户,使得年总售电量提升,进而获得更多的利润。

在售电侧放开的背景下,售电市场将呈现“多买方-多卖方”的格局,电网公司、第三方独立售电公司或者两者的联合体将展开竞争<sup>[7]</sup>。针对用户电压暂降敏感设备开展的“以旧换新”优质电力增值服务,由于投资成本较高,若仅靠电网企业和用户,由于其无法承受强大的资金,“以旧换新”策略难以得到解决;若仅靠设备制造企业(第三方独立售电公司),由于其市场份额有限,加之对用户设备受电压暂降的影响状况以及用户需求缺乏系统性的分析与了解,“以旧换新”策略难以实施。因此,有必要将电

收稿日期:2018-07-26;修回日期:2018-12-07

基金项目:中国留学基金委资助项目(201706240194)

Project supported by China Scholarship Council(201706240194)

网公司和设备制造企业合作组成新的售电公司,电网公司通过自身的电压暂降监测数据以及分析结果,为设备制造企业提供用户电压暂降水平信息,为用户提供敏感设备选型、容量以及安装位置等指导和建议,且通过提高用户的满意度来增加自身的售电量收益;设备制造企业为用户设计、制造满足一定免疫力水平的敏感设备。另外,电网公司拥有较大的市场份额,为“以旧换新”策略的实施带来了较多的市场机会。在这样的组织形式下,针对某一类型敏感设备,增量用户的决策依据是用户对不同敏感设备提供者能给用户带来的感知价值;存量用户主要根据“以旧换新”前/后的感知价值进行决策。实际上,用户感知价值是对用户满意度的一种刻画<sup>[3]</sup>,售电公司根据用户感知价值开展“以旧换新”,正是电力公司通过增强客户体验从而增加自身售电收益的经营策略。售电公司在综合考虑用户满意度和自身利润的情况下,研究电压暂降敏感设备“以旧换新”的条件,并对新电压暂降敏感设备的价格和“以旧换新”折扣价格予以确定。本文通过建立恰当的博弈模型,分析讨论不同电力市场环境下售电公司的价格竞争以及与“以旧换新”相关的一系列经营决策优化结果。

本文从较简单的情形出发,不考虑政府的补贴等非市场因素,提出一套针对用户电压暂降敏感设备的“以旧换新”优质电力增值服务。以用户感知价值为基础,分析用户的购买决策行为。在考虑售电公司利润的基础上,分析相互竞争的售电公司的新设备销售价格和“以旧换新”折扣价格。最后,通过数值实验的方法分析不同电力市场环境下“以旧换新”对售电公司定价和利润的影响,比较分析分别采取“以旧换新”定价策略和单一定价策略下的利润以及“以旧换新”优质电力增值服务对用户感知价值的影响,证明了本文所提“以旧换新”策略的正确性和可行性。

## 1 “以旧换新”策略

高端用户敏感设备电压暂降免疫力直接影响了用户的生产效率和收益,根据高端用户是否拥有某类敏感设备,可将电力市场中的敏感用户分为 2 类:一类是已经拥有该类敏感设备的存量用户,另一类是没有该类敏感设备的增量用户。存量用户通过比较新、旧设备给其带来的感知价值做出决策,增量用户通过比较各售电公司提供的新敏感设备给其带来的感知价值的大小做出决策。各售电公司根据电力市场中存在的存量用户的数量,以增量用户和存量用户的感知价值为基础,以利润最大化为目标,对新敏感设备的价格以及“以旧换新”折扣价格做出决策。“以旧换新”优质电力增值服务策略如图 1 所示。图中, $p$  为新的敏感设备价格, $p_1$  为“以旧换新”

的敏感设备价格,易知  $p_1 < p$ 。

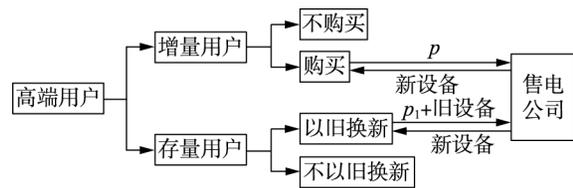


图 1 “以旧换新”优质电力增值服务策略

Fig.1 “Trade-in” premium power value-added service strategy

## 2 符号说明及假设

本文假设有 2 个设备制造企业与电网公司合作,组成了 2 个售电公司 A 和 B,存在多个售电公司情况下的分析方法与本文所提方法类似,只是在确定用户购买决策条件以及售电公司推出“以旧换新”活动的条件时,需比较多家售电公司的设备价值,价格的计算表达式更加复杂。针对同一类型的电压暂降敏感设备,售电公司 A 生产的该类设备的价值为  $v_a$ ,单位生产成本为  $c_a$ ,售电公司 B 生产的该类设备的价值为  $v_b$ ,单位生产成本为  $c_b$ 。设备价值即用户为了获得电压暂降敏感设备愿意支付的最高价格<sup>[3]</sup>,该变量可通过问卷调查统计的方法获得。针对设备的生产成本,考虑到商家的机密问题,基于文献[15],并结合市场调研结果和专家经验,本文将生产成本设置为设备生产价值的 80%,该假设并不影响本文所提定价策略的实施。

不失一般性,假设售电公司 A 生产的电压暂降敏感设备更加高端,即  $v_a > v_b, c_a > c_b$ 。为了简化下文的讨论,进一步假设售电公司 A 的潜在利润率更高,并且其提升设备价值所需的单位生产成本更高,即  $v_a - c_a > v_b - c_b, c_b/v_b < c_a/v_a$ 。

针对某一类型的电压暂降敏感设备,电力市场中的用户分为 3 类:第一类是没有旧敏感设备的增量用户;第二类是已经拥有售电公司 A 旧敏感设备的用户,称为售电公司 A 的存量用户;第三类是已经拥有售电公司 B 旧敏感设备的用户,称为售电公司 B 的存量用户。售电公司 A 和 B 的增量用户的数量分别设为  $I$  和  $J$ ,存量用户的数量分别设为  $M$  和  $N$ 。假设售电公司 A 和 B 的存量用户分别对售电公司 A 和 B 的设备有较强的偏好,因为既然此类用户在此之前选择购买了售电公司 A 或 B 的设备,说明售电公司 A 或 B 的设备给该用户带来的感知价值符合其自身要求,因此,其不再考虑售电公司 B 或 A 的设备。

假设每个用户最多更换 1 台电压暂降敏感设备就能够满足自身的生产需求,新设备的电压暂降免疫力水平符合要求且能够完全替代旧设备的功能,同时带来的感知价值更高。用户是异质的,不同的增量用户对新的电压暂降敏感设备的价值感知程度

不同,用  $\theta$  表示增量用户对新设备的价值感知系数,其表征了用户对新设备的满意程度,不同用户对应的不同的价值感知系数。实际上,用户对新设备的满意程度受电压暂降严重程度、电压暂降经济损失以及自身收益等因素的影响,其确定方法已在文献[3]中详细列出,本文不再赘述。为了简化计算,假设  $\theta$  服从  $[0,1]$  区间内的均匀分布<sup>[16]</sup>。同理,售电公司 A 和 B 的电压暂降敏感设备给不同的存量用户带来的感知价值是不同的,分别用  $\theta_a$  和  $\theta_b$  表示存量用户对售电公司 A 和 B 的电压暂降敏感设备的价值感知程度,表征存量用户对设备的价值感知差异,具体确定方法可参见文献[3]。同样地,假设  $\theta_a$  和  $\theta_b$  服从  $[0,1]$  区间内的均匀分布。由于存在一定的损耗,存量用户拥有的旧设备的价值是新设备价值的  $\beta$  ( $\beta \in [0,1]$ ),则售电公司 A 的存量用户持有的旧敏感设备的价值为  $\beta v_a$ ,售电公司 B 的存量用户持有的旧敏感设备的价值为  $\beta v_b$ 。 $\beta$  的大小是售电公司对“以旧换新”活动的决策以及价格制定的前提条件,考虑到售电公司针对每一个用户都制定一套设备价格模型的复杂度,本文采取综合处理的方法。基于文献[17],采用逐步线性回归的方法可确定  $\beta$  (由于文章篇幅限制,在此不再列写详细步骤)。因为“以旧换新”的价格低于新设备的价格,若存量用户不参加“以旧换新”活动而直接购买新设备,这显然是次优的。上述对用户感知价值和偏好的假设能够较为全面、真实地反映“以旧换新”的基本特征,简化了分析计算。

售电公司 A 和 B 的基本决策分别为新电压暂降敏感设备的价格  $p_a$  和  $p_b$ 。若售电公司推出“以旧换新”的优质电力增值服务,其将进一步决策“以旧换新”价格  $p_{a1}$  和  $p_{b1}$ ,且满足约束条件  $p_{a1} < p_a$  和  $p_{b1} < p_b$ 。假设“以旧换新”存在改进社会福利的空间,即“以旧换新”带来的价值提升空间高于生产成本:  $(1-\beta)v_a > c_a$ ,  $(1-\beta)v_b > c_b$ 。新设备价格、“以旧换新”折扣价格及其带来的用户感知价值提升量是售电公司获取利润的主要影响因素,是售电公司考虑是否推出“以旧换新”优质电力增值服务的主要依据。此外,本文不考虑“以旧换新”得到的旧电压暂降敏感设备的处置成本,设其不影响售电公司的利润。

### 3 用户购买决策分析

#### 3.1 增量用户购买决策分析

增量用户的决策准则为:针对某一电压暂降敏感设备,若购买售电公司 A(B)的设备为其带来的感知价值不低于购买售电公司 B(A)的设备为其带来的感知价值,并且不低于不购买设备时的感知价值(设为 0),则该用户将会选择购买售电公司 A(B)的设备。根据这一准则,分析增量用户的购买决策,

确定其对售电公司 A、B 设备的需求量。

增量用户购买售电公司 A 的电压暂降敏感设备的条件为:

$$\begin{cases} \theta v_a - p_a \geq \theta v_b - p_b \\ \theta v_a - p_a \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

同理,增量用户购买售电公司 B 的电压暂降敏感设备的条件为:

$$\begin{cases} \theta v_b - p_b \geq \theta v_a - p_a \\ \theta v_b - p_b \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

为了保证用户对售电公司 A、B 设备的需求量均为正,式(1)、(2)需满足如下限制条件:

$$\begin{cases} p_a/v_a > p_b/v_b \\ v_a - v_b > p_a - p_b \end{cases} \quad (3)$$

由式(1)~(3)可知,购买售电公司 A 设备的增量用户比例  $K_{A1} = I\left(1 - \frac{p_a - p_b}{v_a - v_b}\right)$ ,购买售电公司 B 设备的增量用户比例  $K_{B1} = J\left(\frac{p_a - p_b}{v_a - v_b} - \frac{p_b}{v_b}\right)$ 。该结论表明,用户对设备的需求随着售电公司自身价格的增加而减少,随着竞争对手价格的增加而增加,这是符合实际情况的。

#### 3.2 存量用户购买决策分析

根据第 2 节中的假设,2 类存量用户对原先所选择的售电公司的电压暂降敏感设备具有较强的偏好,其决策准则为:针对某一电压暂降敏感设备,若售电公司 A(B)的存量用户参加“以旧换新”活动后的感知价值高于其对旧设备的感知价值,则该用户选择参加售电公司 A(B)的“以旧换新”活动。

售电公司 A 的存量用户参加“以旧换新”的条件为:

$$\theta_a v_a - p_{a1} > \theta_a \beta v_a \quad (4)$$

其中,  $\theta_a v_a - p_{a1}$  为售电公司 A 的存量用户参加“以旧换新”活动后的感知价值;  $\theta_a \beta v_a$  为售电公司 A 的存量用户对旧设备的感知价值。

同理,售电公司 B 的存量用户参加“以旧换新”的条件为:

$$\theta_b v_b - p_{b1} > \theta_b \beta v_b \quad (5)$$

其中,  $\theta_b v_b - p_{b1}$  为售电公司 B 的存量用户参加“以旧换新”活动后的感知价值;  $\theta_b \beta v_b$  为售电公司 B 的存量用户对旧设备的感知价值。

由式(4)、(5)可知,参加售电公司 A“以旧换新”活动的存量用户的数目  $K_{A2} = M\left[1 - \frac{p_{a1}}{(1-\beta)v_a}\right]$ ,参加售电公司 B“以旧换新”活动的存量用户的数目  $K_{B2} = N\left[1 - \frac{p_{b1}}{(1-\beta)v_b}\right]$ 。

## 4 售电公司定价决策分析

在售电侧放开的背景下,售电公司推出电压暂降敏感设备“以旧换新”的优质电力增值服务,以自身的利润最大化为目标,研究电压暂降敏感设备“以旧换新”的条件,并确定新电压暂降敏感设备的价格和“以旧换新”折扣价格。因样本数据获取较困难,为了简化,本文仅考虑了售电公司销售设备和因售电量增加带来的直接利润,不考虑用户忠诚度提升、企业形象提升等“以旧换新”给售电公司带来的间接收益。但在实际应用时,应同时考虑直接收益和间接收益。

本节将针对以下 4 种情况展开讨论:情况 **a**,不存在“以旧换新”活动;情况 **b**,售电公司均开展“以旧换新”活动;情况 **c**,售电公司 B 退出“以旧换新”活动;情况 **d**,售电公司 A 和 B 均退出“以旧换新”活动。

### 4.1 情况 a

当售电公司均未推出“以旧换新”活动,即  $M=N=0$  时,售电公司 A 和 B 仅需针对增量用户优化设备价格。假设售电公司 A 和 B 的销量均为正,定义式(6)所示集合,则当售电公司定价  $(p_a, p_b)$  处于  $\Omega$  中时,售电公司 A 和 B 的销量均为正。

$$\Omega = \{ (p_a, p_b) : p_a/v_a > p_b/v_b, v_a - v_b > p_a - p_b \} \quad (6)$$

假设单位用户满意度提升使得售电公司的年售电量增加,进而给售电公司 A 和 B 带来的收益均为  $P$ 。另外,考虑用户购买新设备后,售电公司除了获得相应的收益外,还需承受一定的风险损失(如设备故障成本等),综合考虑对设备进行定期维护的运维成本以及其他成本,称为售后服务成本<sup>[18-19]</sup>。结合 3.1 节得到的用户对售电公司 A 和 B 的某一电压暂降敏感设备的需求量,售电公司 A 的利润最大化函数为:

$$y_A = \max_{(p_a, p_b) \in \Omega} [\pi_A(p_a | p_b) + \Delta\pi_A - E_A] \quad (7)$$

其中,  $\pi_A(p_a | p_b)$ 、 $\Delta\pi_A$  和  $E_A$  分别为售电公司 A 销售新设备所得利润、新增售电量所得利润以及售后服务成本,分别如式(8)~(10)所示。

$$\pi_A(p_a | p_b) = (p_a - c_a) K_{A1} \quad (8)$$

$$\Delta\pi_A = P\Delta S_A = P \sum_{i=1}^{K_{A1}} \Delta S_{A1i} = P \sum_{i=1}^{K_{A1}} (\theta_{A1i} v_a - p_a) \quad (9)$$

$$E_A = E_0 \frac{r_A}{\theta_A} \left( \frac{t}{\theta_A} \right)^{r-1} \quad (10)$$

其中,  $\Delta S_{A1i}$  和  $\theta_{A1i}$  分别为售电公司 A 的第  $i$  个增量用户满意度增量(即感知价值增量)和对新设备的价值感知系数;  $E_0$  为售后服务成本最大值的标么值,取为 1;  $t$  为设备的使用年限;  $r$  为表征设备寿命衰减快慢的参数;  $\theta_A$  和  $r_A$  分别为表征售电公司 A 的

设备寿命和分布形状的参数,实际应用中,基于文献[17],可采用逐步线性回归的方法获取其参数值。

同理,售电公司 B 的利润最大化函数为:

$$y_B = \max_{(p_a, p_b) \in \Omega} [\pi_B(p_b | p_a) + \Delta\pi_B - E_B] \quad (11)$$

其中,  $\pi_B(p_b | p_a)$  和  $\Delta\pi_B$  分别为售电公司 B 销售新设备所得利润和新增售电量所得利润,分别如式(12)和式(13)所示;  $E_B$  为售电公司 B 的售后服务成本,如式(14)所示。

$$\pi_B(p_b | p_a) = (p_b - c_b) K_{B1} \quad (12)$$

$$\Delta\pi_B = P\Delta S_B = P \sum_{i=1}^{K_{B1}} \Delta S_{B1i} = P \sum_{i=1}^{K_{B1}} (\theta_{B1i} v_b - p_b) \quad (13)$$

$$E_B = E_0 \frac{r_B}{\theta_B} \left( \frac{t}{\theta_B} \right)^{r-1} \quad (14)$$

其中,  $\Delta S_{B1i}$  和  $\theta_{B1i}$  分别为售电公司 B 的增量用户满意度增量(感知价值增量)和对新设备的价值感知系数;  $\theta_B$  和  $r_B$  分别为表征售电公司 B 的设备寿命和分布形状的参数。

求解式(7)和(11)的一阶导数构成的方程组,得到不考虑“以旧换新”优质电力增值服务时售电公司 A 和 B 的最优定价,如式(15)所示。

$$\begin{cases} p_a^* = \frac{(P-2)v_a(c_a+c_b) + (P-1)v_a(c_b+v_b) - Q_c}{(P-1)^2 v_b - (P-2)^2 v_a} \\ p_b^* = \frac{(P-2)v_a c_b + (P-1)(v_b c_a + v_a c_b) - (P-1)^2 v_b(v_a - v_b)}{(P-1)^2 v_b - (P-2)^2 v_a} \\ Q_c = 2(P-1)(P-2)(v_a + c_a) \end{cases} \quad (15)$$

### 4.2 情况 b

当存量用户数量  $M$  和  $N$  较为显著时,售电公司 A 和 B 推出“以旧换新”活动将具备市场基础。售电公司除了决策直接销售新电压暂降敏感设备的价格  $p_a$  和  $p_b$  外,还需决策“以旧换新”价格  $p_{a1}$  和  $p_{b1}$ 。在保证销量为正的前提下,需满足“以旧换新”价格小于新设备直接销售价格。定义如式(16)、(17)所示 2 个集合。

$$\Omega_{A1} = \{ (p_a, p_b, p_{a1}) : (p_a, p_b) \in \Omega, p_{a1} < p_a \} \quad (16)$$

$$\Omega_{B1} = \{ (p_a, p_b, p_{b1}) : (p_a, p_b) \in \Omega, p_{b1} < p_b \} \quad (17)$$

售电公司 A 的利润最大化函数为:

$$y_{A1} = \max_{(p_a, p_b, p_{a1}) \in \Omega_{A1}} [\pi_{A1}(p_a, p_{a1} | p_b) + \Delta\pi_{A1} - E_{A1}] \quad (18)$$

其中,  $\pi_{A1}(p_a, p_{a1} | p_b)$  和  $\Delta\pi_{A1}$  分别为售电公司 A 销售新设备所得利润和新增售电量所得利润,分别如式(19)和式(20)所示;  $E_{A1}$  为售电公司 A 的售后服务成本,如式(21)所示。

$$\pi_{A1}(p_a, p_{a1} | p_b) = (p_a - c_a) K_{A1} + (p_{a1} - c_a) K_{A2} \quad (19)$$

$$\Delta\pi_{A1} = P\Delta S_{A1} = P \left( \sum_{i=1}^{K_{A1}} \Delta S_{A1i} + \sum_{j=1}^{K_{A2}} \Delta S_{A2j} \right) \quad (20)$$

$$E_{A1} = E_0 \frac{r_{A1}}{\theta_{A1}} \left( \frac{t}{\theta_{A1}} \right)^{r-1} \quad (21)$$

其中,  $\Delta S_{A1i}$  和  $\Delta S_{A2j}$  分别为售电公司 A 的增量用户  $i$  和存量用户  $j$  的满意度增量, 分别如式 (22) 和式 (23) 所示;  $\theta_{A1}$  和  $r_{A1}$  分别为表征售电公司 A 的设备寿命和分布形状的参数。

$$\Delta S_{A1i} = \theta_{A1i} v_a - p_a \quad (22)$$

$$\Delta S_{A2j} = \theta_{aA2j} v_a - p_{a1} - \theta_{aA2j} \beta v_a \quad (23)$$

其中,  $\theta_{A1i}$  和  $\theta_{aA2j}$  分别为售电公司 A 的第  $i$  个增量用户和第  $j$  个存量用户对设备的价值感知系数。

售电公司 B 的利润最大化函数为:

$$y_{B1} = \max_{(p_a, p_b, p_{b1}) \in \Omega_{B1}} [\pi_{B1}(p_b, p_{b1} | p_a) + \Delta\pi_{B1} - E_{B1}] \quad (24)$$

$$\pi_{B1}(p_b, p_{b1} | p_a) = (p_b - c_b) K_{B1} + (p_{b1} - c_b) K_{B2} \quad (25)$$

$$\Delta\pi_{B1} = P \Delta S_B = P \left( \sum_{i=1}^{K_{B1}} \Delta S_{B1i} + \sum_{j=1}^{K_{B2}} \Delta S_{B2j} \right) \quad (26)$$

$$E_{B1} = E_0 \frac{r_{B1}}{\theta_{B1}} \left( \frac{t}{\theta_{B1}} \right)^{r-1} \quad (27)$$

$$\Delta S_{B1i} = \theta_{B1i} v_b - p_b \quad (28)$$

$$\Delta S_{B2j} = \theta_{bB2j} v_b - p_{b1} - \theta_{bB2j} \beta v_b \quad (29)$$

其中,  $\theta_{B1i}$  和  $\theta_{bB2j}$  分别为售电公司 B 的第  $i$  个增量用户和第  $j$  个存量用户对设备的价值感知系数;  $E_{B1}$  为售电公司 B 的售后服务成本;  $\theta_{B1}$  和  $r_{B1}$  分别为表征售电公司 B 的设备寿命和分布形状的参数。

“以旧换新”的价格应小于新设备的价格, 且“以旧换新”带来的价值提升空间应高于生产成本, 则得到如下约束条件:

$$\begin{cases} p_a > p_{a1} \\ p_b > p_{b1} \\ (1-\beta)v_a > c_a \\ (1-\beta)v_b > c_b \end{cases} \quad (30)$$

“以旧换新”的价格与新设备的价格相互独立, 不影响增量用户市场的价格。售电公司通过额外的“以旧换新”价格将存量市场和增量市场分离, 实现市场细分, 争取到更多的用户, 获得更多的收益。由式 (16) — (30) 并结合式 (15) 可求解得到: 当参数  $\beta$  满足式 (31) 时, 售电公司 A 和 B 的新设备的最优定价分别为  $p_a^*$  和  $p_b^*$ , 最优“以旧换新”价格分别为  $p_{a1}^*$  和  $p_{b1}^*$ , 如式 (32) 所示。

$$1 - \frac{y}{(P-1)^2 v_b - (P-2)^2 v_a} < \beta < 1 - \frac{c_a}{v_a} \quad (31)$$

$$\begin{cases} p_{a1}^* = \frac{(1-\beta)(P-1)v_a - c_a}{P-2} \\ p_{b1}^* = \frac{(1-\beta)(P-1)v_b - c_b}{P-2} \end{cases} \quad (32)$$

$$y = (P-2)(c_a + c_b) - (P-1)c_a - (P-1)(P-2)(v_a - v_b)$$

### 4.3 情况 c

当不满足约束条件  $p_a > p_{a1}$ 、 $p_b > p_{b1}$  时, “以旧换新”的活动对于存量用户将不再具有吸引力, 而是直接以较低的价格购买新设备, 这使得售电公司“以旧换新”的价格不再具有吸引力。

当  $\beta < 1 - \frac{y}{(P-1)^2 v_b - (P-2)^2 v_a}$  时, 约束条件  $p_b >$

$p_{b1}$  首先不被满足, 此时定位较为低端的售电公司——售电公司 B 推出的“以旧换新”活动对存量用户将不再具有吸引力, “以旧换新”价格  $p_{b1}$  被取消。此时, 售电公司 A 的决策优化不受影响, 仍可用式 (18) — (23) 表示, 售电公司 B 的利润最大化函数为:

$$y_{B2} = \max_{(p_a, p_b) \in \Omega} [\pi_{B2}(p_b | p_a) + \Delta\pi_{B2} - E_{B2}] \quad (33)$$

$$\pi_{B2}(p_b | p_a) = (p_b - c_b) (K_{B1} + K_{B3}) \quad (34)$$

$$\Delta\pi_{B2} = P \Delta S_B = P \left( \sum_{i=1}^{K_{B1}} \Delta S_{B1i} + \sum_{j=1}^{K_{B3}} \Delta S_{B3j} \right) \quad (35)$$

$$E_{B2} = E_0 \frac{r_{B2}}{\theta_{B2}} \left( \frac{t}{\theta_{B2}} \right)^{r-1} \quad (36)$$

$$K_{B3} = N \left[ 1 - \frac{p_b}{(1-\beta)v_b} \right] \quad (37)$$

$$\Delta S_{B3j} = \theta_{bB3j} v_b - p_b - \theta_{bB3j} \beta v_b \quad (38)$$

其中,  $K_{B3}$  为售电公司 B 退出“以旧换新”活动后, 购买新设备的存量用户的数目;  $\theta_{bB3j}$  为售电公司 B 的第  $j$  个存量用户对设备的价值感知系数;  $E_{B2}$  为售电公司 B 的售后服务成本;  $\theta_{B2}$  和  $r_{B2}$  分别为表征售电公司 B 的设备寿命和分布形状的参数。

式 (18)、式 (33) 将形成一个新的博弈, 当  $\beta \leq 1 - \frac{y}{(P-1)^2 v_b - (P-2)^2 v_a}$  时, 售电公司 A 以价格  $p_{a1}^*$  实施“以旧换新”活动, 售电公司 B 不实施“以旧换新”活动, 新设备的销售价格 ( $\tilde{p}_a$ ,  $\tilde{p}_b$ ) 由式 (18)、(33) 的一阶导数决定, 由于 ( $\tilde{p}_a$ ,  $\tilde{p}_b$ ) 的解析式较复杂, 在此不再列出。

### 4.4 情况 d

当  $\beta$  进一步降低时, 约束条件  $p_a > p_{a1}$  也不能被满足, 此时定位较为高端的售电公司 A 也将退出“以旧换新”活动。此时, 售电公司 A 的利润最大化函数为:

$$y_{A2} = \max_{(p_a, p_b) \in \Omega} [\pi_{A2}(p_a | p_b) + \Delta\pi_{A2} - E_{A2}] \quad (39)$$

$$\pi_{A2}(p_a | p_b) = (p_a - c_a) (K_{A1} + K_{A3}) \quad (40)$$

$$\Delta\pi_{A2} = P \Delta S_A = P \left( \sum_{i=1}^{K_{A1}} \Delta S_{A1i} + \sum_{j=1}^{K_{A3}} \Delta S_{A3j} \right) \quad (41)$$

$$E_{A2} = E_0 \frac{r_{A2}}{\theta_{A2}} \left( \frac{t}{\theta_{A2}} \right)^{r-1} \quad (42)$$

$$K_{A3} = M \left[ 1 - \frac{P_a}{(1-\beta)v_a} \right] \quad (43)$$

$$\Delta S_{A3j} = \theta_{aA3j} v_a - p_a - \theta_{aA3j} \beta v_a \quad (44)$$

其中,  $K_{A3}$  为售电公司 A 退出“以旧换新”活动后, 购买新设备的存量用户的数目;  $\theta_{aA3j}$  为售电公司 A 的第  $j$  个存量用户对设备的价值感知系数;  $E_{A2}$  为售电公司 A 的售后服务成本;  $\theta_{A2}$  和  $r_{A2}$  分别为表征售电公司 A 的设备寿命和分布形状的参数。

当售电公司 A 和 B 均不实施“以旧换新”时, 式 (33)、(39) 将形成一个新的博弈, 新设备销售价格 ( $\hat{p}_a, \hat{p}_b$ ) 由式 (33)、(39) 的一阶导数决定。

### 5 讨论与数值实验

上述理论分析表明, 新电压暂降敏感设备的价格随着新/旧设备的价值比例系数  $\beta$  以及存量市场规模  $M$  和  $N$  的变化而变化。当旧电压暂降敏感设备的价值很低时, 存量用户再次购买旧设备的可能性很大, 售电公司已没有必要推出“以旧换新”活动。随着  $\beta$  上升, 定位较为高端的售电公司将首先采取“以旧换新”策略以争取到更多的存量用户。当  $\beta$  处于较高水平时, 2 类存量用户对旧设备的感知价值较大, 再次购买旧设备的可能性较小, 售电公司 A 和 B 均采取“以旧换新”策略, 此时, 存量市场和增量市场相分离, 可分别独立进行优化。

由于用户电压暂降敏感设备“以旧换新”优质电力增值服务的实际运营数据较难获取, 本文通过合理设置参数以展开数值实验。

#### 5.1 情景 1: 售电公司 A、B 的市场定位差异较大

情景 1 的参数取值为  $\{v_a, v_b, c_a, c_b, I, J, M, N, P\} = \{8, 5, 2, 1, 1, 1, 1, 1, 0.5\}$  (参数设置和仿真结果均采用标么值表示, 后同), 代表售电公司 A 和售电公司 B 的市场定位差异较大、电压暂降敏感设备的价值区别明显且竞争不太激烈的情景。  $\beta$  从 0 逐渐增加至可行的最大范围  $1 - c_a/v_a$  时 (更高的  $\beta$  意味着“以旧换新”不存在盈利的可能, 故本文不予考虑), 图 2 为  $\{\theta, \theta_a, \theta_b\} = \{0.631\ 7, 0.861\ 2, 0.732\ 3\}$  情况下售电公司 A 和 B 的新设备销售价格以及利润随  $\beta$  的

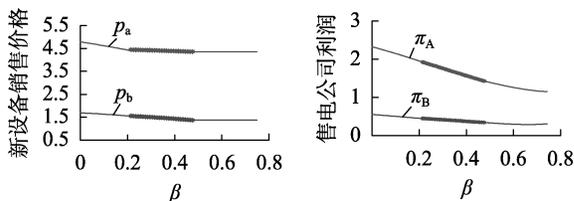


图 2 新设备销售价格和售电公司利润随  $\beta$  的变化曲线 (情景 1)

Fig.2 Curves of sale price of new equipment and profit of electricity retail company vs.  $\beta$  (Scene 1)

变化曲线, 其他取值情况下的变化规律与之相似。基于文献 [18-19], 本文取  $\{E_0, r, \theta, t\} = \{1, 0.5, 3.5, 1.5\}$ 。

由图 2 可知, 在情景 1 的参数取值下, 当  $0.472\ 8 < \beta < 0.75$  时, 售电公司 A 和 B 均开展“以旧换新”活动, 新的电压暂降敏感设备的销售价格不受“以旧换新”活动的影响, 分别为  $4.477\ 6$  p.u. 和  $1.475\ 9$  p.u., 而售电公司利润随着  $\beta$  的升高而降低, 这是因为更高的  $\beta$  意味着存量用户更难吸引, “以旧换新”价格随着  $\beta$  的增加而降低, 且用户满意度的增加量也在降低, 使得售电公司的年总售电量也呈下降趋势, 导致利润降低。

当  $0.215\ 5 < \beta \leq 0.472\ 8$  时, 定位较为低端的售电公司 B 将退出“以旧换新”活动, 而定位较为高端的售电公司 A 将继续开展“以旧换新”活动, 此时, 新设备的销售价格随着  $\beta$  的升高而降低, 且售电公司 B 的销售价格降低得相对较快。这是因为随着  $\beta$  的增加, 存量用户对旧的电压暂降敏感设备的感知价值也增加, 存量用户越不易接受直接购买新设备, 因此, 售电公司 B 只能以相对较低的价格获得较多的存量用户, 而售电公司 B 的低销售价格将压缩售电公司 A 的价格空间, 使得市场的竞争激烈程度增大。

当  $\beta$  进一步降低,  $0 \leq \beta \leq 0.215\ 5$  时, 售电公司 A 和 B 均退出“以旧换新”的活动, 两售电公司均只销售新设备, 且销售价格随着  $\beta$  的降低而升高。

#### 5.2 情景 2: 售电公司 A、B 的市场定位相似

情景 2 的参数取值为  $\{v_a, v_b, c_a, c_b, I, J, M, N, P\} = \{8, 7, 2.1, 1.5, 1, 1, 1, 1, 0.5\}$ , 代表售电公司 A 和售电公司 B 的市场定位相似、两者的设备价值和生产成本相差较小且竞争较激烈的情景。同 5.1 节, 当  $\beta$  从 0 变化至可行的最大范围  $1 - c_a/v_a$  时,  $\{\theta, \theta_a, \theta_b\} = \{0.631\ 7, 0.861\ 2, 0.732\ 3\}$  和  $\{E_0, r, \theta, t\} = \{1, 0.5, 3.5, 1.5\}$  情况下售电公司 A、B 的新设备销售价格以及利润随  $\beta$  的变化曲线如图 3 所示, 其他取值情况下的变化规律与之相似。

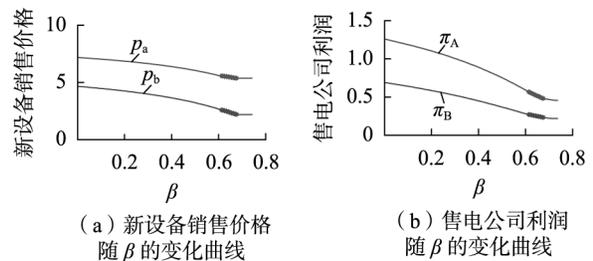


图 3 新设备销售价格和售电公司利润随  $\beta$  的变化曲线 (情景 2)

Fig.3 Curves of sale price of new equipment and profit of electricity retail company vs.  $\beta$  (Scene 2)

由图 3 可知, 在情景 2 的参数取值下, 当  $0.686\ 2 <$

$\beta < 0.737 5$  时,售电公司 A 和 B 均开展“以旧换新”活动,新的电压暂降敏感设备的销售价格不受“以旧换新”活动的影响,分别为 5.683 1 p.u.和 2.036 9 p.u.;当  $\beta$  降低,即  $0.615 4 < \beta \leq 0.686 2$  时,售电公司 B 不再推出“以旧换新”活动,而售电公司 A 仍然开展“以旧换新”;当  $\beta$  进一步降低,即  $0 \leq \beta \leq 0.615 4$  时,“以旧换新”对售电公司 A 和 B 均不再可行,两售电公司均只销售新设备,且销售价格随着  $\beta$  的降低而升高。

### 5.3 情景 1 与情景 2 的结果比较

比较情景 1 和 2 下的结果可知,新设备的销售价格和售电公司利润均随着  $\beta$  的增加而降低。这是因为  $\beta$  越高,存量用户对旧设备的感知价值就越大,售电公司越难吸引存量用户,且存量用户满意度的增加量也在降低,使得售电公司的年总售电量也呈下降趋势,因此,售电公司需降低销售价格、牺牲利润去争取更多的用户。当  $\beta$  处于相对较高的水平时,两售电公司的最优决策均为通过“以旧换新”策略争取更多的存量用户;当  $\beta$  较低时,只剩下市场定位较为高端的售电公司 A 开展“以旧换新”活动;当  $\beta$  继续降低到一定的水平时,两售电公司均退出“以旧换新”的活动。理论分析结果与数值实验结果相吻合。

另外,当市场竞争程度较低时(如情景 1), $\beta$  在较广的范围内会产生“以旧换新”的活动,即 5.1 节中  $\beta \in (0.472 8, 0.75)$ ;而当市场竞争较为激烈时(如情景 2),“以旧换新”的降价空间被压缩,仅当  $\beta$  处于一个较小的范围内时会存在“以旧换新”,即 5.2 节中  $\beta \in (0.686 2, 0.737 5)$ 。同时,本文的分析结果可解释文献[20]中的现象,即:对于差异化明显、竞争程度较低的售电公司而言,“以旧换新”活动较易实施,而在竞争较为激烈的电力市场环境,若无雄厚的资金支持,“以旧换新”活动较难实施。

### 5.4 “以旧换新”定价策略与单一定价策略的比较

售电公司的单一定价策略是指售电公司 A 和 B 采用的电压暂降敏感设备的销售方式为单一定价方式,不针对用户是否拥有旧电压暂降敏感设备而进行差异化定价。在情景 1 的参数取值下,售电公司 A 和 B 分别实施“以旧换新”定价策略与单一定价策略时的利润随  $\beta$  的变化曲线如图 4 所示,其中  $\pi_A$  和  $\pi_B$  分别为售电公司 A 和 B 采取“以旧换新”定价策略时的利润, $\pi'_A$  和  $\pi'_B$  分别为售电公司 A 和 B 采取单一定价策略时的利润。

由图 4 可知,当  $\beta$  较高时,存量用户对旧的电压暂降敏感设备的感知价值较大,“以旧换新”活动能够吸引较多的存量用户,并且使得售电公司的年总售电量增加,其相应的利润高于采取单一定价策略时的利润;而当  $\beta$  处于较低的水平时,“以旧换新”活动已无必要,两售电公司均退出“以旧换新”活

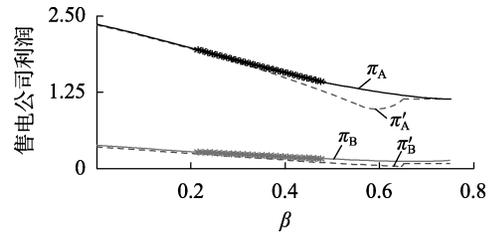


图 4 采取“以旧换新”定价策略和单一定价策略时售电公司利润比较(情景 1)

Fig.4 Comparison of profits of electricity retail companies between “trade-in” pricing strategy and unified pricing strategy (Scene 1)

动,此时售电公司的利润和采取单一定价策略时的利润近似相等。由此可知,当旧设备的价值相对于新设备的价值满足一定的条件时,售电公司采取“以旧换新”策略能够增加利润,说明了本文所提方法的正确性和有效性。

### 5.5 “以旧换新”优质电力增值服务对用户感知价值的影响

#### a. 用户感知价值变化量与 $\beta$ 、 $\theta$ 的关系。

根据用户感知价值,在本文所提约束条件下,考虑情景 1,分析了售电公司 A 推出“以旧换新”前/后增量用户和存量用户的感知价值变化量  $\Delta v$  与参数  $\beta$  (旧敏感设备价值相对于新敏感设备价值的比例系数)、 $\theta$  (用户价值感知系数) 的关系,分别如图 5 和图 6 所示。

由图 5 可以知道,当  $0.571 3 < \theta < 1$  且  $0 < \beta < 0.75$  时,增量用户的感知价值变化量大于 0;由图 6 可知,当  $0.628 9 < \theta < 1$  且  $0 < \beta < 0.75$  时,存量用户的感知价值变化量大于 0,此时,售电公司 A 实施“以旧换新”增值服务能够提升用户的感知价值,且随着  $\theta$  的增加( $\beta$  一定), $\Delta v$  也增加,这是因为  $\theta$  越大,说明用户对新设备的价值感知程度越大、满意度越高,对新设备的支付意愿越强,增量用户越易购买新设备,存量用户越易参加“以旧换新”活动。另外,随着  $\beta$  的增加( $\theta$  一定), $\Delta v$  也增加,这是因为随着  $\beta$  的增加,为了吸引较多的用户,售电公司只能压缩新设备销售

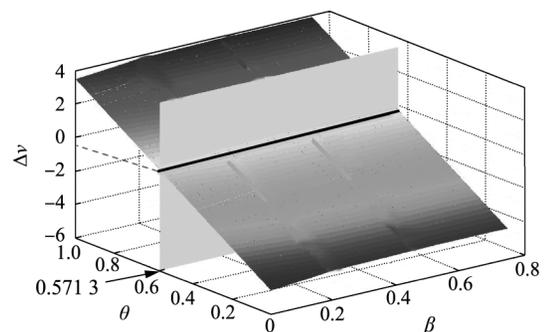


图 5 实施“以旧换新”策略前/后增量用户的感知价值变化量

Fig.5 Perceived value variation of incremental users before/after implementing “trade-in” strategy

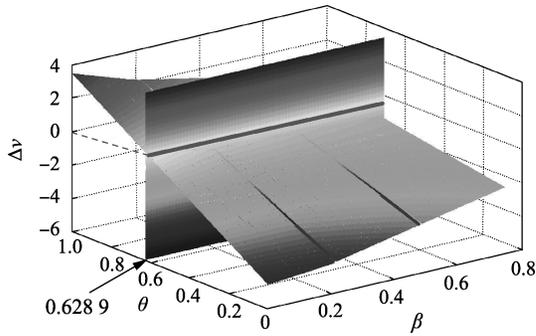


图 6 实施“以旧换新”策略前/后存量用户的感知价值变化量

Fig.6 Perceived value variation of stock users before/after implementing “trade-in” strategy

价格和“以旧换新”折扣价格以提升用户满意度。上述理论分析与实际结果一致,可见,在一定条件下,“以旧换新”优质电力增值服务能够增强用户体验,提升用户满意度。

比较图 5、6 可知,实施“以旧换新”活动后,增量用户的感知价值提升量比存量用户更大且范围更广,可见,在竞争激烈的增量市场中,“以旧换新”能显著提升用户满意度,在吸引较多的存量用户的同时,可吸引较多的增量用户,提升电力公司的客户竞争力,从而带来售电量收益增加、企业形象提升等效益。

**b.** 用户感知价值增量与售电公司 A 和 B 利润的关系。

在情景 1 下,其他变量取值保持不变,实施“以旧换新”前/后增量用户和存量用户的感知价值增量与售电公司 A 和 B 的利润的关系曲线如图 7 所示。图中,  $\pi_{Az}$  和  $\pi_{Ac}$  分别为增量用户和存量用户感知价值增量对应的售电公司 A 的利润,  $\pi_{Bz}$  和  $\pi_{Bc}$  分别为增量用户和存量用户感知价值增量对应的售电公司 B 的利润。

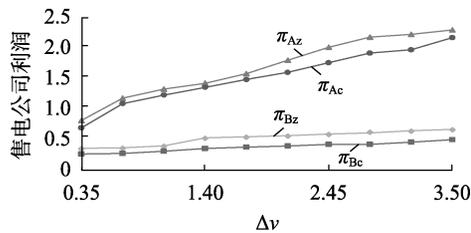


图 7 售电公司利润随增量用户和存量用户的感知价值增量的关系曲线

Fig.7 Relationship curves of profits of electricity retail companies vs. perceived value variation of incremental users and stock users

由图 7 可知,用户感知价值增量越大,售电公司的利润就越大,即感知价值增量越大,优质电力增值服务给用户带来的体验就越强,用户满意度就越高,针对存量用户而言,其越容易接受“以旧换新”策略;针对增量用户而言,“以旧换新”策略会影响新设备的销售价格,进而影响其感知价值,感知价值越

大,增值服务体验就越强烈,其支付新设备的意愿也越强,越容易购买新设备,使得售电公司吸引到更多的增量用户和存量用户,且售电公司增量用户和存量用户感知价值的提升使其年总用电量增加,进而可获得更多的收益。由此可见,电压暂降敏感设备的“以旧换新”优质电力增值服务能增强用户满意度,提升售电公司的年总售电量,进而提高售电公司的收益。

## 6 结论与展望

**a.** 针对某一类型的用户电压暂降敏感设备,将高端用户分为存量用户和增量用户,电网公司和设备制造企业组成售电公司,提出一套用户电压暂降敏感设备的“以旧换新”优质电力增值服务策略,实现市场细分并获得利润。

**b.** 以用户感知价值为基础,分析用户的购买决策行为以及相互竞争的售电公司的新设备销售价格和“以旧换新”折扣价格。

**c.** 将售电公司的利润分为两部分:一部分是销售新设备带来的利润;另一部分是实施“以旧换新”增值服务活动引起用户满意度增加,从而使售电量增加带来的利润。

**d.** 当旧电压暂降敏感设备的价值相对较高时,售电公司为了吸引存量用户,均采用“以旧换新”策略;随着旧设备价值降低,市场定位较为低端的售电公司首先退出“以旧换新”活动,市场竞争的激烈程度降低;当旧设备的价值降低到一定的程度时,售电公司均退出“以旧换新”活动。

**e.** 新设备的销售价格和售电公司最优利润均随着旧设备与新设备的价值比例系数的增加而减少。

**f.** 针对市场定位差异较大和定位相似 2 种情景分别展开讨论与数值实验,实验结果与理论分析结果相一致,表明了本文所提“以旧换新”策略的正确性与可行性。

随着售电侧放开的逐步深入和产业结构的转型升级,优质电力增值服务必将成为更多用户的共同需求,优质电力增值服务的内容和运营模式及其工程实际验证是亟需解决的问题。

### 参考文献:

[ 1 ] 李春海,李华强,刘勃江. 基于过程免疫不确定性的工业用户电压暂降经济损失风险评估[J]. 电力自动化设备,2016,36(12): 136-142.  
LI Chunhai, LI Huaqiang, LIU Bojiang. Risk assessment based on process immunity uncertainty for industrial customers' financial losses due to voltage sags[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(12): 136-142.

[ 2 ] LUO A, XU Q M, MA F J, et al. Overview of power quality analysis and control technology for the smart grid[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2016, 4(1): 1-9.

[ 3 ] XIAO X Y, MA Y Q, ZHANG Y, et al. Premium power valuation

- method based on customer perception of utility for high-technology manufacturing customers[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2016,31(4):1655-1662.
- [4] WANG Z, LI Y, SHEN Y W, et al. Virtual electricity retailer for residents under single electricity pricing environment [J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2017,5(2):248-261.
- [5] 中华人民共和国国务院. 关于进一步深化电力体制改革的若干意见(中发[2015]9号)[R]. 北京:国家能源局,2015.
- [6] 张晓萱,薛松,杨素,等. 售电侧市场放开国际经验及其启示[J]. 电力系统自动化,2016,40(9):1-8.  
ZHANG Xiaoxuan, XUE Song, YANG Su, et al. International experience and lessons in power sales side market liberalization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016,40(9):1-8.
- [7] 白杨,谢乐,夏清,等. 中国推进售电侧市场化的制度设计与建议[J]. 电力系统自动化,2015,39(14):1-7.  
BAI Yang, XIE Le, XIA Qing, et al. Institutional design of Chinese retail electricity market reform and related suggestions[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015,39(14):1-7.
- [8] 郭建龙,文福拴. 电动汽车充电对电力系统的影响及其对策[J]. 电力自动化设备,2015,35(6):1-9,30.  
GUO Jianlong, WEN Fushuan. Impact of electric vehicle charging on power system and relevant countermeasures[J]. Electric Power Automation Equipment, 2015,35(6):1-9,30.
- [9] MA Y Q, XIAO X Y, HUANG Y, et al. The optimal selection of investment scheme for premium power considering customer perception of utility[C]//2016 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Belo Horizonte, Brazil: IEEE, 2016:104-108.
- [10] 金广厚,李庚银,周明. 基于质量保险的多质量等级电能定价方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(9):113-119.  
JIN Guanghou, LI Gengyin, ZHOU Ming. Quality insurance based electric energy pricing with multi-quality grades[J]. Proceedings of the CSEE, 2006,26(9):113-119.
- [11] SU M, LI G Y, ZHOU M, et al. A power quality service pricing approach considering treatment expenses and stop loss insurance[C]//2007 IEEE Lausanne Power Tech. Lausanne, Switzerland: IEEE, 2007:1569-1574.
- [12] 肖先勇,马愿谦,莫文雄,等. 售电侧放开背景下电网公司优质电力增值服务模式[J]. 电力科学与技术学报,2016,31(4):4-10.  
XIAO Xianyong, MA Yuanqian, MO Wenxiong, et al. Premium power based value-added service model for power supply company under the opening electricity retail side[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2016,31(4):4-10.
- [13] Standards Coordinating Committee 22 on Power Quality. IEEE recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment; IEEE Std. 1346-1998[S]. New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1998.
- [14] 吴鹏,刘静,王冕晨. 竞争环境下考虑以旧换新的定价策略及优化模型[J]. 吉林大学社会科学学报,2014,54(6):82-90.  
WU Peng, LIU Jing, WANG Mianchen. Trade-in pricing strategy and optimization for duopoly firms[J]. Jilin University Journal Social Sciences Edition, 2014,54(6):82-90.
- [15] DRURY C M. Management and cost accounting[M]. Boston, MA, USA: Springer, 2013:144.
- [16] FERRER G, SWAMINATHAN J M. Managing new and remanufactured products[J]. Management Science, 2006,52(1):15-26.
- [17] MONTGOMERY D C, PECK E A. Introduction to linear regression analysis[M]. New York, USA: John Wiley & Sons, 2012.
- [18] 蒋仁言,左明健. 可靠性模型与应用[M]. 北京:机械工业出版社,1999:189.
- [19] JONES J A, HAYES J A. Use of a field failure database for improvement of product reliability[J]. Reliability Engineering & System Safety, 1997,55(2):131-134.
- [20] RAO R S, NARASIMHAN O, JOHN G. Understanding the role of trade-ins in durable goods markets: theory and evidence[J]. Marketing Science, 2009,28(5):950-967.

#### 作者简介:



马愿谦

马愿谦(1991—),女,四川成都人,博士研究生,主要研究方向为优质电力价值理论及其应用(**E-mail**: mayuanqianhorse@163.com);

肖先勇(1968—),男,四川成都人,教授,博士,主要研究方向为不确定性理论在电力系统中的应用、电能质量、绿色友好智

能电网(**E-mail**: xiaoxianyong@163.com);

黄勇(1970—),男,四川成都人,讲师,硕士,主要研究方向为电能质量(**E-mail**: 1536498520@qq.com)。

## Pricing strategy considering “trade-in” value-added service of sensitive equipment

MA Yuanqian, XIAO Xianyong, HUANG Yong

(College of Electrical Engineering and Information Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** Under the background of the opened electricity retail side, the subject of value-added service for customers' sensitive equipment to voltage sag has not been deeply researched. A set of “trade-in” premium power value-added service strategy for customers' sensitive equipment to voltage sag is proposed based on the electricity retail company formed from the cooperation between the power supply company and the equipment manufacturing enterprise. The behaviors of customers' purchasing decision are analyzed on the basis of their perceived values. The electricity retail company's profits coming from the sale of new equipment and the increase of electricity sales are analyzed, and the post-sale service cost of the electricity retail company is also considered, based on which, the new equipment's sale prices and the “trade-in” prices of the competing electricity retail companies are studied. The influence of “trade-in” on the pricing and profits of electricity retail companies under different electricity market environments are analyzed, the influences of the “trade-in” pricing strategy and the unified pricing strategy on the electricity retail company's profits are compared, and the influence of “trade-in” premium power value-added service on the customer's perceived value is analyzed by numerical experiment technique. Experimental results verify the correctness and feasibility of the proposed “trade-in” pricing strategy.

**Key words:** electric power market; premium power value-added service; sensitive equipment; voltage sag; trade-in; pricing strategy