

# 多售电主体非合作博弈电价制定方法研究

宝昕宇 于洪霞

(沈阳工业大学 辽宁沈阳 110000)

摘要: 售电市场改革, 用户自由选择售电公司交易, 形成多买多卖的竞争格局。用户选择行为受电价和相关电力服务影响, 因此售电公司应考虑影响用户选择的关键因素, 提高其收益。本文提出一种用户效用评价体系, 计算售电公司在多指标影响下的市场份额, 以售电公司收益为目标, 构建售电公司非合作博弈模型并在 Python 环境下进行仿真验证。实例表明, 该模型能提升售电公司收益, 为售电公司购售电决策提供参考。

关键字: 市场份额; 非合作博弈; 购售电决策

Study on pricing method of non-cooperative game of multi-electricity sellers

Xinyu Bao, Hongxia Yu

Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: Electricity market reform, users freely choose electricity company trading, the formation of more buy more sell competitive pattern. Customer choice behavior is affected by the price of electricity and related power services, so the electricity selling company should consider the key factors affecting customer choice to improve its profit. In this paper, a user utility evaluation system is proposed to calculate the market share of electricity selling companies under the influence of multiple indicators. With the income of electricity selling companies as the target, a non-cooperative game model of electricity selling companies is constructed and simulated under Python environment. The example shows that this model can improve the income of electricity selling company and provide reference for the decision of electricity buying and selling company.

Key words: market share; Non-cooperative game; Purchasing and selling power decisions

## 0 引言

电力市场化改革, 引入竞争, 放开用户选择权允许用户自由选择售电公司, 形成多买多卖的市场格局[1]。作为竞争性电力市场参与者, 售电公司收益除受自身购售电决策影响外, 还与其他公司策略相关。售电公司应优化自身购售电策略, 提升企业竞争力。

售电主体在考虑用户的基础上, 通过制定购售电策略使自身收益达到最大。文献[2]针对市场环境下售电业务发展方向进行探索。文献[3]在统购统销模式下建立一套分析售电市场发展态势和营销效果的指标体系。文献[4]在考虑用户满意度基础上, 实现购电价格与购电量间的联动, 节省运营成本。文献[5]利用层次分析法构建用户效用模型, 采用博弈论分析各指标对用户选择行为的影响。

综上, 目前研究没有考虑电价与其他服务对公司所占市场份额的影响。本文在多售电公司共存情况下, 建立用户效用评价体系, 计算售电公司在多指标影响下的市场份额, 以公司收益为目标, 构建售电公司非合作博弈模型并通过算例验证模型正确性。

## 1 市场结构及博弈框架

本文构建售电公司非合作博弈购售电决策模型。售电公司除签署中长期合约, 在现货市场中也需要通过集中交易方式获取电能, 独立决策最优购电比例, 将电量销售给用户。售电公司通过调整售电价格同其他售电公司进行博弈, 实现自身收益最大, 而电力用户根据各公司销售电价变化调整自身决策, 该行为采用市场份额函数描述, 当各主体决策都稳定在一定水平时, 电力市场实现均衡。

## 2 基于 AHP 的售电侧收益建模

### 2.1 基于 AHP 的用户效用建模

电力用户是售电公司盈利来源, 售电公司扩大市场份额, 提高收入, 应从用户角度出发, 分析影响用户选择行为的关键因素。本文从电力用户关注的电力服务类型出发, 建立售电公司用户效用评价体系, 求解各指标权重和评分进行, 并计算不同售电公司的市场份额, 为售电公司制定合理的销售电价提供理论依据。售电公司用户效用评价体系如图 1 所示。

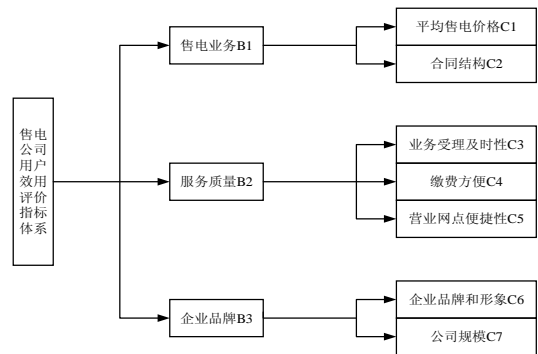


图 1 用户效用评价体系

Fig 1 User utility evaluation system

评价体系中各要素重要程度不同, 综合考虑各因素权重, 将所有因素两两对比构造判断矩阵, 并经过一致性检验得到各指标权重。用户效用表达式为:  $U = \sum_{i=1}^7 k_i \cdot C_i$ , 其中,  $k_i$  为指标  $C_i$  的权重系数。

### 2.2 基于 Logit 的售电公司收益

Logit 用来考察个体选择行为, 由可观测因素和不可观测因素组成, 效用函数可表示为:  $U_i = V_i + \varepsilon_i$ , 当  $U_i > U_j$  时, 消费者选择  $i$  方案概率为  $P(U_i) = 1$ , 反之, 选择  $i$  方案概率  $P(U_i) = 0$ 。但实际生活中, 消费者选择行为随效用值上升缓慢变化, logit 曲线符合消费者在效用值起伏下的行为。引入市场份额表示用户选择概率, 运用博弈论  $i$  和  $-i$  表示法, 售电公司所占市场份额为:

$$\rho_{i,j} = \frac{e^{U_{i,j}}}{e^{U_{i,j}} + e^{U_{-i,j-1}}} \quad (1)$$

式中,  $\rho_{i,j}$  为市场份额,  $U_{i,j}$  指用户效用值,  $U_{-i,j-1}$  为售电公司  $i$  的竞争者  $-i$  在  $j-1$  轮博弈中用户效用值。

售电收入为售电公司制定电价乘以用户购买量, 即:

$$E_{i,j} = \sum_{i=1}^T P_{i,j}^S \cdot D \cdot \rho_{i,j} \quad (2)$$

式中,  $E_{i,j}$  为售电收入;  $t$  为时间段,  $T$  为总时间段数;  $P_{i,j}^S$  为

销售电价;  $D$  为电力用户总电力负荷。

### 3 售电公司购电侧成本建模

#### 3.1 中长期双边合约购电成本

中长期电价由售电公司与发电商定, 售电公司中长期市场购电成本为:

$$C_{i,j}^{HT} = \sum_{t=1}^T P_{i,t}^{HT} \cdot q_{i,j}^{HT} \quad (3)$$

式中,  $C_{i,j}^{HT}$  为合同购电成本;  $P_{i,t}^{HT}$  为合同中  $t$  时段电价;  $q_{i,j}^{HT}$  指合同购电量。

#### 3.2 现货市场购电成本

售电公司在现货市场购电成本为:

$$C_{i,j}^{RO}(\omega) = \sum_{t=1}^T \sum_{\omega \in \Omega} \pi(\omega) \cdot P_j^{RO}(t, \omega) \cdot q_{i,j}^{RO}(t, \omega) \quad (4)$$

式中,  $C_{i,j}^{RO}(\omega)$  为购电成本;  $\pi(\omega)$  为第  $\omega$  场景概率;

$P_j^{RO}(t, \omega)$  为  $t$  时段现货市场电价;  $q_{i,j}^{RO}(t, \omega)$  为  $t$  时段购电量。

#### 3.3 运营成本

售电公司运营成本为二次函数:

$$C_{i,j}^Y(\omega) = -k_i \cdot \sum_{t=1}^T \sum_{\omega \in \Omega} [q_{i,j}^{HT}(t) + \pi(\omega) \cdot q_{i,j}^{RO}(t, \omega)]^2 + m_i \cdot \sum_{t=1}^T \sum_{\omega \in \Omega} [q_{i,j}^{HT}(t) + \pi(\omega) \cdot q_{i,j}^{RO}(t, \omega)] + c_i \quad (5)$$

式中,  $C_{i,j}^Y(\omega)$  为运营成本;  $-k_i$  为单位电量运营成本降低速率;  $m_i$  为单位电量缴税成本;  $c_i$  为固定成本。

#### 3.4 售电公司购售电收益

售电公司收益为售电收入去除购电成本和运营成本后的净利润。

$$profit_{i,j}(\omega) = E_{i,j} - C_{i,j}^{HT} - C_{i,j}^{RO}(\omega) - C_{i,j}^Y(\omega) \quad (6)$$

售电公司需协调各变量, 使收入最大成本最小。同时应考虑购售电平衡情况:  $D \cdot \rho_{i,j} = q_{i,j}^{HT}(t) + q_{i,j}^{RO}(t, \omega)$ 。

## 4 算例分析

### 4.1 算例数据

根据图 1 构造判断矩阵, 得到各指标权重值, 分别为: 0.604、0.102、0.066、0.039、0.042、0.070 和 0.077。假设用户一天用电 2100MWh, 售电公司电价上下限分别为 650 元/MWh 和 300 元/MWh, 售电公司在中长期市场购电比例为 [0.1, 0.9]。

### 4.2 仿真结果

假设 A 为已有大规模售电公司, B 为社会资本投资的中型售电公司, C 是新成立的小型售电公司。售电公司在博弈达到均衡时售电公司制定的售电价格如图所示:

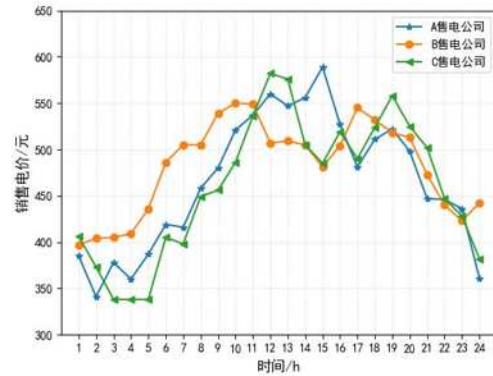


图 2 各公司电价

Fig 2 Electricity prices for each company

当博弈达到平衡时, A、B、C 三家售电公司的收益分别为 185800 元、159700 元和 139600 元。中长期市场的购电比例分别为 0.45、0.66 和 0.74。所占市场份额分别为: 39.7%、34.2% 和 26.1%。

## 5 结语

本文提出多售电主体非合作博弈电价制定方法。售电公司在中长期市场与现货市场购买电量, 考虑售电价格及其他电力服务质量对公司的用户效用的影响, 建立了基于 AHP-Logit 方法的市场份额模型, 实现售电公司收益最大, 有助于引导售电公司提高电力服务水平, 进行良性竞争。

### 参考文献:

- [1] 孙云涛, 宋依群, 姚良忠等. 售电市场环境下的电力用户选择售电公司行为研究[J]. 电网技术, 2018, 42(04): 1124-1131.
- [2] 彭一海, 刘继春, 刘俊勇. 两级电力市场环境下考虑多类型零售套餐的售电公司购售电策略[J]. 电网技术, 2022, 46(03): 944-957.
- [3] 马莉, 张晓莹, 杨素等. 中国售电市场发展动态及关键问题[J]. 中国电力, 2017, 50(07): 5-9.
- [4] 李艳梅, 任恒君, 张致远, 等. 考虑储能系统调度与风电消纳的峰谷分时电价优化模型研究[J]. 电网技术, 2022, 46(11): 4141-4149.
- [5] 孙云涛, 宋依群, 姚良忠, 等. 售电市场环境下的电力用户选择售电公司行为研究[J]. 电网技术, 2018, 42(04): 1124-1131.