

峰谷分时电价的实施及大工业用户的响应

李 扬¹, 王治华¹, 卢 毅¹, 李军红², 张长沪²

(1. 东南大学电气工程系, 南京 210096; 2. 南京供电局, 南京 210008)

摘要: 峰谷分时电价是实施需求侧管理的措施之一。文中利用电价理论及有关经济学原理阐述了峰谷分时电价的结构、定价策略以及大用户响应的经济计量模型, 并对南京市实施峰谷分时电价以来部分大工业用户的响应进行了分析。通过对一些重点用户的响应分析, 认为合理的峰谷电价结构能收到较好的负荷调整效果, 同时影响用户对峰谷电价响应的因素是多种多样的。

关键词: 电力市场; 分时电价; 定价策略

中图分类号: TM 92; F 014. 3

0 引言

目前, 电力工业改革席卷全球。我国也正进行着电力工业商业化运营的改革。其根本目的是提高效益、改善服务、增加活力、实行电力工业的可持续发展。电力工业改革的关键问题之一——成本分析和电价形成机制成为国内外学者普遍关注的问题。普遍认为公平合理的电价能够提供正确的经济信息, 调节经济运行, 实现资源在整个社会中最优化配置。其中的调节功能包括了负荷管理功能, 在电价引导下, 用户主动采取节约电力与电量的措施, 改变用电方式, 改善负荷曲线形状, 从而减少电力系统建设和运行的费用乃至全社会的成本。

江苏省自 1999 年 10 月 1 日起, 凡在江苏电网供电区域内, 机械、冶金、化工、医药、建材、纺织六大行业, 受电容量在 315 kVA 及以上的工业用户及电热锅炉(含蓄冰制冷)用电的电价实行峰谷电价。峰谷电价比定为 3:1, 即峰谷电价分别在平价的基础上上下浮动 50%。根据江苏省用电负荷曲线的特点, 划分为峰时、平时、谷时 3 个时段, 每一个时段为 8 h, 即峰时: 7:00~11:00, 17:00~21:00; 平时: 11:00~17:00, 21:00~23:00; 谷时: 23:00~次日 7:00。

虽然江苏省实行峰谷电价的时间比较晚, 峰谷电价也只是实时电价^[1]的一种初级模式, 但本文通过实施峰谷电价前后的实际数据, 分析峰谷电价结构对用户负荷的影响程度和大用户的响应, 为制定新的销售电价体系提供一些有益的结论。

1 峰谷分时电价理论

电能是一种特殊的商品, 供需的瞬时平衡及运

行状态的不断变化导致电能具有独特的成本信息。发电设备容量是按系统高峰时期最大用电负荷来设计的, 设备投资费用极大, 因而高峰时电能边际成本高。为了在不同用电性质的用户之间合理分配电能的成本, 电价必须正确反映用户不同消费方式对电力系统成本的影响, 因而峰谷分时电价必不可少^[2]。峰谷电价制从经济学角度来讲较好地符合边际成本价格形成理论, 有利于实现资源的有效配置。当边际成本等于边际效益时, 可实现利润的最大化。从理论上讲, 实行实时电价最有可能实现社会总效益最大, 可以最好地发挥电价对资源的有效配置。但是目前就我国而言, 还不具备实行实时电价的条件, 所以首先执行峰谷电价。

1.1 电价结构

设在 1 年内某地区峰荷、谷荷、腰荷小时的集合分别为 T_p, T_v, T_s , 相对应的时间和生产的电能分别为 t_p, t_v, t_s 和 Q_p, Q_v, Q_s , 则平均峰荷电价 $\bar{r}_p$ 、平均腰荷电价 $\bar{r}_s$ 、平均谷荷电价 $\bar{r}_v$ 、全年平均电价 $\bar{r}$ 分别为:

$$\bar{r}_p = \frac{\sum_{t \in T_p} q(t) \bar{r}(t)}{\sum_{t \in T_p} q(t)}, \quad \bar{r}_s = \frac{\sum_{t \in T_s} q(t) \bar{r}(t)}{\sum_{t \in T_s} q(t)}$$
$$\bar{r}_v = \frac{\sum_{t \in T_v} q(t) \bar{r}(t)}{\sum_{t \in T_v} q(t)}, \quad \bar{r} = \frac{\sum_{t=1}^{8760} q(t) \bar{r}(t)}{\sum_{t=1}^{8760} q(t)}$$

式中 $q(t)$ 为 t 时刻的电能量; $\bar{r}(t)$ 为 t 时刻的电价。

若平均腰荷电价 $\bar{r}_s$ 取全年平均电价 $\bar{r}$, 可以对平均电价分别修正一个常量 Δr_p 和 Δr_v , 即得到峰谷电价: $\bar{r}_p = \bar{r} + \Delta r_p$, $\bar{r}_v = \bar{r} - \Delta r_v$ 。从电力公司来看, 根据全年电费收支平衡原则: $Q_p \bar{r}_p + Q_s \bar{r}_s + Q_v \bar{r}_v = C_r$, 且有 $(Q_p + Q_s + Q_v) \bar{r} = C_r$, 其中 C_r 为全年供电费

用。并设峰谷电价比 $\frac{r_p}{r_v} = k_1$, 峰谷电能量比 $\frac{Q_p}{Q_v} = \frac{\Delta r_v}{\Delta r_p} = k_2$, 于是有:

$$\begin{cases} \bar{r}_p = \frac{k_1(1+k_2)}{1+k_1k_2} \bar{r} \\ \bar{r}_v = \frac{1+k_2}{1+k_1k_2} \bar{r} \end{cases} \quad (1)$$

1.2 定价策略

由峰谷电价的结构得到:

$$k_1 = \frac{k_3}{1 - k_2(k_3 - 1)} \quad (2)$$

式中 k_3 为峰平电价比。

从式(2)可以看出,为满足全年电费收支平衡原则,峰谷电价比 k_1 不仅和峰谷电能量比 k_2 有关,还与峰平电价比 k_3 或平谷电价比有关。而且根据 k_2 可以由式(2)求出多组 k_1 和 k_3 的解。峰谷电价结构调节曲线如图 1 所示,它由一组曲线簇组成。

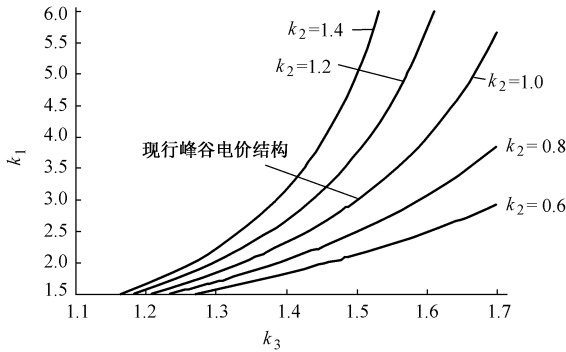


图 1 峰谷电价调节曲线

Fig. 1 Curves of the time-of-use (TOU) tariff structure's adjusting

供电部门要确定合理的峰谷电价,就必须计算过去某一时期各时间段的电能量比。如在某一划定的峰谷时段, $k_2=1.0$ (或希望 k_2 调节到 1.0), 则在图 1 中曲线 3 上所对应的 k_1 和 k_3 值是合理的峰谷电价结构。峰谷电价结构确定后,用户即可调整自己的各时段用电电能量比。如果 $k_2 < 1.0$, 则用户就收益,反之则利益受损,这就促使用户降低 k_2 , 从而达到移峰填谷的目的。

1.3 用户-峰谷电价结构响应度模型

用户对峰谷电价的响应与其用电方式、负荷特性、行业特点,包括生产班制、工艺流程、生产计划、产品产值单耗、主要耗能产品的性能等有关,还与电费的支出、电价结构等其他方面因素有关。

考虑其主要因素,用户响应度模型可表示如下^[3]:

$$\ln \rho_{AR} = \alpha_1 + \alpha_2 \ln(k_1 k_3) + \alpha_3 \ln k_2 + \alpha_4 \ln |C| + \alpha_5 \ln K_{RC} + \alpha_6 \ln K_{BZ} + \varepsilon \quad (3)$$

其中 ρ_{AR} 为用户-峰谷电价结构响应度,其数值越大,则响应度越高; C 为峰谷分时电价持续曲线的形状系数^[4,5],它主要反映出峰谷时段划分的变化对响应度的影响; K_{RC} 为用户电费支出比例标么值; K_{BZ} 为用户生产班制系数; ε 为随机变量,是其他不可测因素影响的集合; $\alpha_1 \sim \alpha_6$ 为方程系数,都为正值。

k_1, k_2, k_3 的增大能促使用户采取响应措施,如当 k_1, k_3 增大时,将增加用户电费支出,从而增加 K_{RC} ,迫使用户调整用电方式, k_2 增大说明用户将负荷转移至平时段和谷时段的潜力增大,用户响应度也会提高。取一个平均的电费支出比例作为基准值,各用户的比例和它的比值即为 K_{RC} 。当用户的电费支出比例高于平均值时,其 $K_{RC} > 1$, 则在式(3)中对应的对数值大于 0, 从而增大 ρ_{AR} 的值,反之同理。对于 K_{BZ} , 单班制系数最小, $K_{BZ} = 1$, 则其对应的对数值为 0, 基本认为单班制对响应度贡献为 0; 若为多班制, 则 $K_{BZ} > 1$, 班制越多, 其值越大, ρ_{AR} 就越大。

峰谷分时电价持续曲线是实时电价中的每小时边际电价持续曲线 (hourly marginal rate duration curve, 简称为 HMRDC)^[4] 的一个特例, 该曲线形状为凹时, C 值为负, 凸时 C 值为正, 具有负斜率的线性时 $C=0$ 。其值的详细推导见文献^[4,5]。

目前南京市实施的峰谷分时电价中, 峰、平、谷电价之比为 3:2:1, 各时段之比为 1:1:1, 此时的峰谷分时电价持续曲线的形状系数 $C < 0$ (见图 2 中实线)。若对原有的电价结构进行调整, 将峰时段区间由原来的 8 h 扩至 10 h, 同时缩小平时段的比例至 5 h, 则 C 值的绝对值增大, 变为 C' (见图 2 中虚线)。这样, 通过 C 值大小的变化可以体现出峰谷时段变化的影响, 峰谷时段的变化又影响着电能需求函数和用户利益函数, 从而响应用户的响应度。

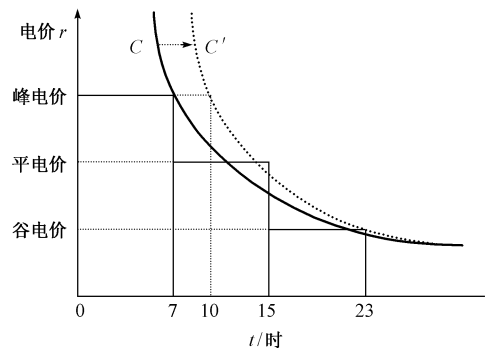


图 2 峰谷分时电价持续曲线

Fig. 2 TOU rate duration curve

1.4 用户利益增量模型

在现行的峰谷电价结构下, 需方电费收支的不平衡量 ΔB_d 可表示为现行峰谷电价结构下的电费支出与根据电费收支平衡原则的峰谷电价结构下的

电费支出之差:

$$\Delta B_d = \bar{r}(1.5Q_p + Q_s + 0.5Q_v) - \bar{r}(k_3Q_p + Q_s + \frac{k_3Q_v}{k_1})$$

并且考虑到式(2)的关系,可得:

$$\Delta B_d = 0.5Q_v\bar{r}(k_2 - 1) \tag{4}$$

用户由于生产班制的调整、生产设备的更新改造等响应措施带来的费用开支为:

$$\Delta B_r = \sum_i \gamma_i \Delta Q_i \quad i = p, v, s$$

则用户的利益增量模型如式(5)所示:

$$\Delta B = -\Delta B_d - \Delta B_r \tag{5}$$

如果 $\Delta B > 0$, 则用户利益增加;反之,利益受损。

2 大工业用户的响应^[1]

大工业用户在仅占用户数很小比例的同时占有很大的用电负荷,理所当然它就成为负荷控制中的重要部分。

2.1 部分重点行业用户的响应

由式(3)定义可知,各行业用户对于峰谷电价的响应度各不相同。这里我们取南京市从执行峰谷电价起(1999年10月1日)半年来的电能量数据与1998年同期半年中的电能量数据相比,观察不同行业的响应情况(见表1)。

表 1 执行峰谷电价以来各行业响应分析表

Table 1 Response analysis of the six industries since the implementation of the TOU tariff

行业	时间	峰电量/(kW·h)	谷电量/(kW·h)	峰占比/(%)	谷占比/(%)	峰谷比	最大峰谷差/kW
化工	1998-10~1999-03	85 757 352	80 991 237	34.07	32.18	1.058 8	22 400
	1999-10~2000-03	107 978 422	104 656 937	33.72	32.68	1.031 7	23 600
医药	1998-10~1999-03	1 991 710	1 303 487	37.58	24.60	1.528 0	1 810
	1999-10~2000-03	1 803 022	1 139 712	37.05	23.42	1.582 0	1 710
纺织	1998-10~1999-03	6 033 432	4 729 130	35.93	28.16	1.275 8	1 890
	1999-10~2000-03	6 604 816	5 240 271	35.79	28.40	1.260 4	1 980
建材	1998-10~1999-03	64 710 944	60 109 914	34.33	31.89	1.076 5	22 000
	1999-10~2000-03	78 118 609	87 603 129	30.93	34.69	0.891 7	22 200
冶金	1998-10~1999-03	181 247 259	172 807 757	33.98	32.40	1.048 8	65 300
	1999-10~2000-03	207 650 627	206 744 525	33.34	33.19	1.004 4	67 700
机械	1998-10~1999-03	92 570 105	50 747 478	38.89	21.32	1.824 1	15 500
	1999-10~2000-03	97 223 483	62 013 003	37.02	23.61	1.567 8	14 500

由式(4)可知,当 $k_2=1$ 时, $\Delta B_d=0$, 即在现行峰谷电价结构下,供需双方的电费收支在峰谷电能量比为1时达到均衡。从表1可以看出,冶金和化工行业受峰谷电价的影响较小,基本处在均衡状态;建材行业是峰谷电价的最大受益者,同时也对峰谷电价的响应最为灵敏;纺织和机械行业虽有不同程度的响应,但仍属于利益受损的情况;医药行业出现了利益受损增大的现象。

与前一同期相比,从峰占比和谷占比的数据来看,六大行业的峰占比都有不同程度的下降,而谷占比除医药行业外都有不同程度的上升(如图3和图4所示)。该项指标基本反映出移峰填谷的效果。从图3和图4可以看出,建材、机械和冶金行业的效果比较明显。尤其是建材行业,变化的绝对幅度最大,变化率也最大,峰占比和谷占比分别下降、上升了3.4%,2.8%,变化率分别是9.9%和8.8%。

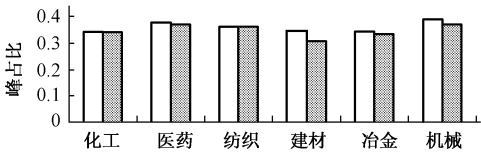
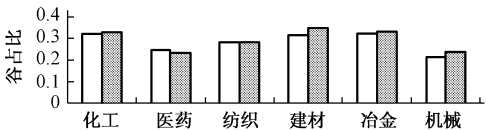


图 3 六大行业的峰占比图

Fig. 3 Peak ratios of the six industries



□ 1998-10~1999-03各行业谷占比; ■ 1999-10~2000-03各行业谷占比

图 4 六大行业的谷占比图

Fig. 4 Valley ratios of the six industries

从峰谷电价实施半年的情况来看,移峰填谷工作取得了一定的成绩,效果较明显。但由于时间较短,有些措施执行不到位,部分行业、用户的积极性还未充分调动起来,电网最大峰谷差未能取得有效改善。峰谷分时电价政策应继续贯彻执行。

2.2 影响用户响应的因素

2.2.1 生产班制因素

根据式(3)的定义,生产班制影响用户响应。三班制企业如化工、冶金、纺织等行业,由于是连续生产,在不降低设备综合利用率和保证产品质量的前提下,企业会尽可能地把高峰负荷转移到低谷去,少用高峰电、多用低谷电。水泥行业的用户容易采取调整措施以响应电价的变化,如将磨粉机的运行避开高峰时段,而在其他时段利用储料仓的原料,使其从峰谷电价制中收益。

一班制和二班制生产的企业,其用电高峰与电网的高峰基本一致。一班制的日负荷肯定高于

70%。这些企业的一部分,由于主要产品在夜间生产无法保证质量,必须在白天生产,或者其他因素使得调整生产计划不方便、不利,这部分企业转移负荷的难度就较大,在峰谷电价下其利益受损,必须采取其他措施以减少损失。

根据式(5)也可得知:三班制企业其峰谷电能量比较小,在现行电价结构下, $\Delta B > 0$;一班制和二班制企业,或夜班开工不足的企业, $\Delta B < 0$,这将迫使这些企业采取措施,改变这一现象。

2.2.2 电费支出比例因素

根据式(3),电费支出比例高,响应度也高。企业进行负荷转移的调整会减少电费支出,所以它们有移峰填谷的积极性,会尽可能多地转移高峰负荷。

电费在生产成本中的比重差别很大,一些机械厂的电费要占成本的10%,水泥生产企业电费比例约占30%,而一些电子装配厂的电费只占成本的1%。电费支出比例高、高耗能设备多的企业会积极采取措施把高峰负荷转移。而电费支出低、对产品质量有较高要求的企业,则基本上不考虑转移负荷。如表1中建材行业实行峰谷电价后,峰谷比变化大,正是验证了这一分析。

2.2.3 电价结构因素

根据定价策略,可以通过峰谷电价结构的调整,针对不同行业、不同用户采取不同的结构,可以最大程度地调动用户的积极性,采取相应的措施改变其用电方式或生产方式,使其自身从峰谷电价结构中获得最大利益。譬如,对于纺织、机械和医药行业,可以拉大峰谷电价差,即提高峰谷电价比,充分限制峰期用电,挖掘低谷电力市场,更好地实现移峰填谷的目的。

3 结论

a. 合理的峰谷电价结构能收到较好的负荷调整效果。目前情况下,峰谷电价结构的制定应以实行峰谷电价前后各时段的电能量为依据。

b. 峰谷电价结构固定,如用户均采取响应措

施,则供电部门的利益会受损,因而最终还应采取实时电价,进行电价的动态调整。

c. 影响用户对峰谷电价响应的因素是多种多样的。通过数据分析和用户的实际反应,可得出班制、电费支出比例及电价结构是其主要因素。

d. 目前实行峰谷电价结构的企业,其峰谷电能量比大多接近1,因而从全局来看,移峰填谷的效果不明显,可逐步向其他行业推行峰谷电价。

峰谷分时电价透明度高,经济得失明确,企业用电有主动权,便于安排生产,大大减轻了政府部门用电或停电的协调工作。由于峰谷电价较好地发挥了价格的信息传递、动力刺激、利益分配和经济调剂功能,因而它能促进社会福利总量的增加。

参考文献

- Schweppe F C, Caramanis M C, Tabors R D, et al. Spot Price of Electricity. USA: Kluwer Academic Publishers, 1988
- 刘树杰(Liu Shujie). 特殊的电力成本形成及电价体系(The Forming of Special Power Cost and Electrovalence System). 价格理论与实践(Price Theory and Practice), 1998(8):32~36
- Pindyck R S, Rubinfeld D L. Econometric Models and Economic Forecasts. 4th ed. USA: The McGraw-Hill Companies Inc, 1998
- Roos J G, Lane I E. Industrial Power Demand Response Analysis for One-Part Real-Time Pricing. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(1): 159~164
- Rinaldy R S. An Efficient Load Model for Analyzing Demand-Side Management Impacts. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(3): 1219~1226

李 扬,男,副教授,系副主任,主要从事电力市场、需求侧管理的研究与教学工作。

王治华,男,硕士研究生,主要从事电力市场、需求侧管理的研究与开发工作。

卢 毅,男,副所长,主要从事需求侧管理、高电压技术的研究与教学工作。

THE IMPLEMENTATION OF PEAK AND VALLEY TIME PRICE FOR ELECTRICITY AND THE RESPONSE OF LARGE INDUSTRIES

Li Yang¹, Wang Zhihua¹, Lu Yi¹, Li Junhong², Zhang Changhu²

(1. Southeast University, Nanjing 210096, China)

(2. Nanjing Power Supply Bureau, Nanjing 210008, China)

Abstract: As one special time-of-use (TOU) tariff, peak and valley time price is one of the measures for implementing DSM. The structure and price-setting strategy of TOU tariff based on peak-valley and the econometric model of large user's response are expounded by using price theory and economics theory. Then the analysis of the six large industries' response since the implementation of the TOU tariff in Nanjing is obtained. Some useful conclusions can be drawn from the study of the response that efficient results of load management can be obtained from reasonable structure of TOU and the response is affected by a variety of factors.

This project is supported by the Foundation of Ministry of Education of China for Outstanding Young Teacher.

Keywords: power market; time-of-use (TOU) tariff; price-setting strategy