

文章编号:1000-582X(2005)09-0157-04

电力需求侧管理中的价格规制*

唐浩阳,任玉珑,李俊,卢安文

(重庆大学经济与工商管理学院,重庆 400030)

摘要:峰谷分时电价是电力需求侧管理中,实现削峰填谷的重要手段之一,科学合理的分时电价的制定,依赖于对电价的作用机理和社会效益的综合分析,从 Ramsey-Boitex 定价一般原理出发,利用博弈论方法,通过对电力用户对电力公司的电力报价反应行为分析和提出了一个实现最优负荷控制目标的分时电价确定模型,并在此基础上对政府为实现社会福利最大化的价格规制进行了分析,指出政府应给予电力公司在具体分时电价制定上的灵活性而只对电力平均价格水平进行限价规制。

关键词:电力定价;博弈控制;Romsey-Boitex 定价

中图分类号:F416.61

文献标识码:A

近年来,由于国民经济高速增长,电力消费日趋上升,电力供需矛盾已由过去的需求不足转变为供给不足,全国众多省市均出现了拉闸限电现象,加强需求侧管理,利用电价信号,引导消费者采取合理用电结构和方式,从而实现电力消费的削峰填谷,达到提高电力资源的利用效率,节约电力生产投资目的已成为当务之急,国内外大量的学者和电力工作者在这方面进行了深入细致的研究,其中电价对电力负荷的影响更成为研究重点,文献[1-2]从电力消费需求 and 电力价格相互作用反馈的角度进行了分析,利用自我弹性(self-elasticity)和交叉弹性(cross-elasticity)描述了价格和需求的相互影响,文献[3]提出了一种负荷模型,利用负荷总消费电量,描述了反转负荷曲线从而对 DSM 的实施效果进行了分析.文献[4]利用每小时边际电力曲线(hourly, marginal rate duration curve, 缩写为 HMRDC)描述了工业电力需求对实时电价的影响,文献[5-6]认为中国实行实时电价的条件还不成熟,但是首先实行分时电价是必不可少的一步,文献[7-8]分别分析了广东省实行分时电价后大工业用户的响应和云南省实行分时电价的成效,文献[9-11]分别从各自的角度提出了基于 DSM 的分时电价数学模型.文献[12]指出了现行峰谷分时电价存在的问题,在以上文献中,大多数的定价模型都主要针对电价对负荷的影响作用,较少考虑用户以及用户与电力供给方的搏

弈关系.没有考虑政府作为规制者,对电价的规制作用和规制方式.

电价的确定是一个涉及政府、电力公司和消费者多方面的利益的问题,因此其定价必须从公用事业部门产品定价的一般原理出发,以 Ramsey-Boitex 定价原理为基础,利用博弈控制论方法,笔者提出一个由政府确定价格水平,电力公司确定电价结构,用户确定用电量的分时电价确定模型.

1 模型介绍

由于分时定价问题,其实是实现电价与用户需求用电量挂钩,当电力需求总量较大时供给电价就相应较高,反之则低,这样就使得电力用户在价格信号的作用下,选取在电价较低的时段进行电力消费,从而达到削峰填谷的目的.因此对电力公司不同时段的不同报价,用户也就会根据电力公司不同时段的报价进行相应的用电量安排.但是,由于所有的电力用户都会同时根据电力公司的不同时段的电力报价同时安排自己的消费电量,因而用户在进行自己的用电量安排时必须考虑到其他电力用户对电力公司电力报价的反应行为,才能使得用户根据自己的用电需求合理的安排自己不同时段电力消费,达到成本节约的目的.在了解到用户对电价的反应行为之后,如何通过适当的报价方式使得在实现各时段的负荷控制目标的同

* 收稿日期:2005-03-31

作者简介:唐浩阳(1970-),男,重庆江津人,重庆大学博士研究生,研究方向为电力市场经济.

时,实现自己利润最大化.因此对电力公司而言必须通过适当报价对所有用户在进行使用电量安排时的博弈均衡结果进行控制,以实现自己的负荷控制目标.

由于电力作为社会生活中最重要的基本能源,需求弹性小,电力供应又具备垄断的特点,因此政府必须对电价进行规制,但是政府选取什么样规制方式才能达到在保证一定的社会福利的同时而又给电力公司一定的自由度,使得电力公司能够完成各个时段的负荷控制目标.

在以上两个问题中,前者实质是一个博弈控制问题,即电力公司对用户在电力公司即定不同时段的报价下,为合理安排各个时段的使用电量而进行的博弈的均衡结果进行控制.而后者是一个 Ramsey-Boitex 定价问题.在信息对称的假设下,以 Ramsey-Boitex 定价原理为基础建立的相应的模型,回答了上述问题.

2 电力公司的负荷控制目标

在目前能管问题的大多文献中,就为实现移峰填谷,有利于电力公司进行负荷管理,所选用的负荷控制目标面论主要有以下 3 种:

1) 线性负荷控制策略

通过不同时段的电价差激励用户,使得各时段的电力负荷水平相等,为一常数,即,如图 1 所示.

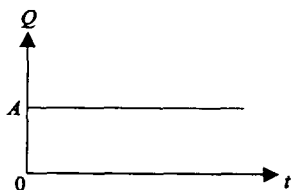


图 1 线性负荷控制

2) 最小负荷被动幅度控制策略

通过不同时段的电价差激励用户,使得各时段的电力电负荷的被动幅度尽可能小,控制目标函数为

$$\min[\max_i Q_i - \max_j Q_j] \text{ 或 } \min \sum_i [Q_i - \frac{1}{n} \sum_j Q_j]^2 \text{ 等,}$$

如图 2 所示.

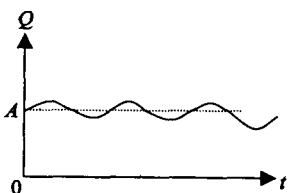


图 2 最小波动幅度控制

3) 供需平衡控制策略

通过不同时段的电价差激励,使得各时段的电力需求处于电力供给能力范围内,即 $Q_D(t) \leq Q_S(t)$, 如

图 3 所示.

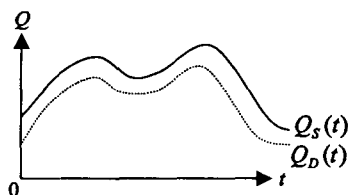


图 3 供需平衡控制

以上 3 种控制方法前两种在忽略各时段的最大供给能力,电力输送成本等因素时实际是一致的,1) 为 2) 的特殊情况,但是 1)、2) 两种控制办法的社会福利损失均较 3) 大. 3 种标准的优劣比较这里不再详细讨论了,在后面的模型中,为数学上表述的方便,采用线性控制策略,而且不考虑电力公司的供电能力限制,以及不同电量的输送成本等因素,这样做不影响所关心的定价问题的实质,而又避免了模型求解过程中过多的数学讨论.

3 模型的建立与求解

3.1 模型假设

1) 假设有 m 个电力用户, n 个用电时段,分别用下标表示,在有两个下标时第 1 个下标表示电力用户,第 2 个下标表示用电时段.

2) 各时段电价由向量 $P = (P_1 \dots P_n)$, 用电量由向量 $Q = (Q_1 \dots Q_n)$ 表示,电力公司的联合成本函数为 $C(Q_1 \dots Q_n) = K_0 + \sum_{i=1}^n C_i Q_i$, 电力公司向用户宣布的供给函数为 $P_j = a_j + b_j Q_j$, 其中 a_j, b_j 为常数 $j = 1 \dots n$.

3) 用户 i 在各时段的电用收益为 r_{ij} , 用电量为 q_{ij} .

4) 假设信息对称.

3.2 用户反应行为模型

由于用户在给定分阶段电力供给报价的情况下选择最优电量以使得利润最大化,故对用户 i 存在如下规划问题:

$$\max_{q_{i1} \dots q_{in}} \pi_i = \sum_{j=1}^n r_{ij} q_{ij} - \sum_{j=1}^n p_{ij} q_{ij},$$

$$\text{s. t. } p_j = a_j + b_j \sum_{i=1}^m q_{ij}, \quad j = 1 \dots n, \quad i = 1 \dots m.$$

经简单数学推导后可得

$$Q_j = \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} - m a_j}{(m+1) b_j},$$

$$q_{ij} = \frac{(m+1) r_{ij} - \sum_{i=1}^m r_{ij} - a_j}{(m+1) b_j}, \quad j = 1 \dots n, \quad i = 1 \dots m.$$

3.3 电力公司电力供给报价函数的确定与最优供电水平模型

确定对电力公司而言,首先确定在负荷控制水平为 A 时的供给报价函数,即确定 $a_j(A), b_j(A), j=1 \dots n$, 实现负荷控制,在此基础上确定自己的最优供电水平,故面临如下的问题:

1) 在政府对电价的最高限价的条件下,供给报价函数的确定。

供给报价函数的目的在于在满足用户参与约束的情况下,实现负荷控制目标,因此对任给负荷水平 A 须选取 $a_j(A), b_j(A)$ 使得对 $j=1 \dots n$ 都有下式成立:

$$Q_j = \sum_{i=1}^m q_{ij} = A,$$

$$r_{ij} \geq p_j \text{ (用户参与约束)}$$

经数学推导后可得

$$a_j(A) = \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} - (m+1)Ab_j}{m},$$

$$b_j(A) = h_j \text{ 常数, 满足 } h_j \geq \max_j \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} - mr_{ij}}{A}.$$

此时负荷水平 A 电力公司的供给报价函数为,

$$p_j = \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} - (m+1) + Ah_j}{m} + h_j Q_j,$$

$$\text{均衡电价为 } p_j(A) = \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} - Ah_j}{m}, \text{ 用户 } i \text{ 均衡用电量}$$

$$q_{ij}(A) = \frac{1}{h_j} \left[r_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \right] + \frac{A}{m}.$$

2) 最优供电水平的确定

$$\max_A \pi = \sum_{j=1}^n p_j A - \sum_{j=1}^n C_j A - K_D,$$

$$\text{s. t. } \frac{1}{nA} \sum_{j=1}^n p_j A \leq \bar{p} \text{ (限价约束),}$$

$$p_j = \frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} - Ah_j}{m}.$$

经数学推导后可得

$$A^* = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m r_{ij} - m \sum_{j=1}^n C_j}{2 \sum_{j=1}^n h_j} - \frac{1}{2n} \lambda(\bar{P}),$$

其中 $\lambda(\bar{P})$ 为限价约束的影子价格,在这里为避免由于互补松弛条件带来的烦琐的数学讨论,又考虑

到电力的需求弹性较低,价格上涨会对电力公司产生正文的收益,故假设限价约束是紧的,故:

$$A^* = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} - mn\bar{P}}{\sum_{j=1}^n h_j}.$$

3.4 最高限价水平的确定

最高限价水平是在政府对电力公司和用户收益权衡的基础上做出的,孰轻孰重取决于经济环境所诱导的政府政策取向。

故政府面临如下的问题。

$$\max \pi_0 = \alpha \sum_{i=1}^m \pi_i + \beta \pi$$

$$\text{s. t. } \pi \geq 0$$

其中 α, β 为反应政府取向的权重 $\alpha + \beta = 1$, 这是一个简单的二次规划问题,限于篇幅所限,在这里就进一步求解与讨论了。

4 结论

1) 电力公司如果在 j 时段给出供给报价函数 $p_j =$

$$\frac{\sum_{i=1}^m r_{ij} - (m+1) + Ah_j}{m} + h_j Q_j, \text{ 则 } i \text{ 个用户在 } j \text{ 时段选}$$

择均衡用量为 $q_{ij}(A) = \frac{1}{h_j} \left[r_{ij} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij} \right] + \frac{A}{m}$, 显然 j 时段的负荷控制目标正好实现本文所要求的线型控制目标,即各个时段的用电总负荷为 A 。

2) 由模型可以知道,政府对电价的规制只应限于电价水平上,而各时段电力供给报价应由电力公司根据负荷控制目标确定,只有这样才能在实现负荷控制目标的同时,使得社会福利要求得到满足。

3) 当政府的最高限价采用各阶段均衡使用电量加权时, Ramsey-Boitex 定价得以实现,这样各个阶段的均衡电价的确定也就建立在各个阶段电价相互作用相互影响的基础上. 这样也就最小化由于价格结构扭曲而导致的社会福利损失。

参考文献:

[1] DAVID A K, LI Y Z. Effect of Inter-temporal Factors on the Real Time Pricing of Electricity[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(3):44-52.
 [2] KIRSCHEN D S, STRBAC G, CUMPERAYOR P. et al. Factoring the Elasticity of Demand in Electricity Prices[J].

- IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(3):44-52.
- [3] RAHMAN S RINALDY. An Efficient Load Model for Analyzing Demand Side Management Impacts[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(3):1 219-1 226.
- [4] ROOS J G, LANE I E. Industrial Power Demand Response Analysis for One-part Real-time Pricing[J]. IEEE Trans on Power System, 1998,13(1):159-164.
- [5] 郑斌,王秀丽. 电力市场电价理论分析与综述(1): 边际成本电价理论[A]. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第 15 届学术年会论文集[C]. 武汉: 1999. 1 202-1 207.
- [6] 郑斌,王秀丽. 电力市场电价理论的分析与综述(2): 竞价机制及转运电价[A]. 全国高等学校电力系统及其自动化专业第 15 届学术年会论文集[C]. 武汉: 1999. 1 208-1 215.
- [7] 李保平. 云南实行错峰让峰优惠电价成效明显[J]. Power DSM Oct, 2002, 4(5):31-35.
- [8] 谭东. 广东省峰谷电价实施及大工业户响应研究[J]. 湖北电力, 2003, 27(5):42-47.
- [9] 汤玉东,王明飞,吴军基,等. 基于 DSM 的分时电价研究[J]. 电力需求侧管理, 200,0(3):14-16.
- [10] 丁宁,吴军基,邹云. 基于 DSM 的峰谷时段划分及分时电价研究[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(23): 25-27.
- [11] 吴秋伟,汪蕾,邹云. 基于 DSM 和 MCP 的分时电价确定与分析[J]. 电力需求侧管理,2003,5(1):17-20.
- [12] HAN HONGZHOU, LU SHOUJIN, Suggestions on Time-of-Use Price Reformation[J]. POWER DSM Aug, 2002,4(4)13-15.

Electricity Pricing Regulation in Demand Side Management

TANG Hao-yang, REN Yu-long, LI Jun, LU An-wen

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Time of use (Tou) price is one of the most efficient measure for modern demand side management (DSM). But a scientifically pricing is based on understanding the function of pricing mechanism and comprehensive analysis to social benefit. The authors develop a pricing model by game theory based on analysis of consumer's response to the time of-use price and analyze the pricing regulation of government for maximum social benefit. A conclusion is drawn, which suggests that government should let the electricity corporation to pricing, but just give a regulation on the average price level.

Key words: electricity pricing; game control; Romsey-Boitex pricing

(编辑 张小强)