

文章编号: 1001-0920(2002)06-890-04

一种双边可选择电力远期合同的定价模型

张少华, 李渝曾, 王长军
(上海大学 自动化系, 上海 200072)

摘 要: 激烈竞争的电力市场需要有效的风险管理工具来回避易变的价格风险。结合金融期权交易思想的电力远期合同(或称可选择远期合同)因其灵活性和多样性而将发挥重要作用。提出一种合同双方均有选择权的双边可选择电力远期合同模型, 根据期权定价思想给出了合同价格计算方法, 并通过一个合同买卖双方各自追求最大期望报酬的均衡模型, 给出了有关期权敲定价的均衡选择。比较分析表明, 这种双边可选择远期合同模型具有良好的特性。

关键词: 电力市场; 双边可选择远期合同; 定价模型; 均衡

中图分类号: TM 73; F 123.9 **文献标识码:** A

Pricing model of bilateral optional electricity forward contracts

ZHANG Shao-hua, LI Yu-zeng, WANG Chang-jun

(Department of Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: A bilateral optional electricity forward contract model is introduced, in which the seller holds a right to curtail the contracted energy when the spot price is high, while the buyer has a choice to reject the contracted energy when the spot price is low. The option pricing theory is employed to formulate the contract price. The strike prices of options are derived from solving an equilibrium model in which both the buyer and seller are inclined to maximize his/her own profit. Some distinguishing characteristics of this kind of optional forward contract are concluded from comparisons with forwards presented in some literatures.

Key words: electricity markets; bilateral optional forward contracts; pricing model; equilibrium

1 引 言

在电力市场寡头垄断竞争环境下, 电力价格呈现强烈的易变性, 使得各个市场参与者都面临巨大的利益损失风险。因此, 越来越多的市场参与者认识到电力市场中风险管理的重要性, 并积极采用合适的远期、期权等风险管理工具和方法来回避或控制

风险。尤其是近期美国加州电力危机的爆发, 进一步表明了电力市场改革进程中电力远期合同交易的重要性^[1]。

文献[2]对电力市场中的远期合同交易及其理论研究作了简要综述, 指出期权交易具有较好的灵活性和多样性^[3], 结合期权交易思想的可选择电力远期合同不但能使参与者回避不利情况下的利益损

收稿日期: 2001-06-25; 修回日期: 2001-09-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(50107006); 上海市教委科技发展基金项目(99QD53)

作者简介: 张少华(1966—), 男, 浙江平湖, 副教授, 博士, 从事电力市场风险管理与分析等研究; 李渝曾(1947—), 男, 上海人, 教授, 博士, 从事电力市场定价等研究。

失风险,而且可以保留在有利情况下的获利机会。文献[4,5]中的可选择远期合同模型只考虑单边的选择权利,如文献[4]中只给予电力公司在现货电价较高时中断用户供电的权利,但没有给予用户在现货电价较低时拒绝接受电力公司供电,而去市场买低价电的权利,从而有可能使用户失去进一步获利的机会;文献[5]中只给予电力公司在现货电价较低时拒绝接受独立发电商(IPP)供电的权利,但没有给予IPP在现货电价较高时拒绝供电给电力公司,而以高价卖给市场的权利,从而也有可能使IPP失去进一步获利的机会。文献[6]中的合同买卖双方即电力公司和IPP虽然都有选择权利,但其合同定价是基于双方各自的所谓“理性行为”模型,并没有给出合同双方在合同电价不一致时的仲裁方法。

本文提出一种双边可选择电力远期合同模型,其中给予合同卖电方在高现货电价时中断买方供电,而卖电给市场的权利;同时给予合同买电方在低现货电价时拒绝接受卖方供电,而到市场上去买电的权利。另外,根据期权定价思想^[3]给出了合同价格计算方法,并通过一个买卖双方各自追求最大期望报酬的均衡模型,推出了有关期权敲定价(strike price)(或称中断电价)的均衡选择。

2 双边可选择电力远期合同模型

某买电方为将来某时刻 T 的购电而与某卖电方签订远期合同。假设:1)将来时刻 T 的电力现货市场价格为 p (随机变量)[元/kWh],其概率分布函数为 $Q_p(x)$,概率密度函数为 $q_p(x) = dQ_p(x)/dx$,合同电价为 f [元/kWh]。2)卖电方在时刻 T 的单位电量成本为 w [元/kWh]。卖电方在时刻 T 有权利不履行合同,即拒绝供电给买电方,但须支付给买电方违约金 K_1 (元/kWh)。假设该卖电方是理性的,则当 $p > K_1$ 时,卖电方将拒绝供电给买电方,而把电卖给现货市场。3)买电方在时刻 T 的单位电量效益为 v [元/kWh]。买电方在时刻 T 有权利不履行合同,即拒绝接受卖电方的供电,但要求卖电方支付补偿金 K_2 (元/kWh)(在通常情况下, $K_1 > K_2$)。假设该买电方是理性的,则当 $p < K_2$ 时,买电方将拒绝接受卖电方的供电,而以现货价格从现货市场购电。4)假设买电方和卖电方均是理性的,而且合同模型中暂不考虑买电方在时刻 T 的用电需求的不确定性以及卖电方在时刻 T 的“发电运行”的不确定性。

根据有关期权理论^[3],以上可选择远期合同等价于卖电方在卖出一个远期合同给买电方的同时,向买电方买入一个看涨期权(期权敲定价为 K_1),且卖给买电方一个看跌期权(敲定价为 K_2)。图1给出了该合同双方的权利和义务。

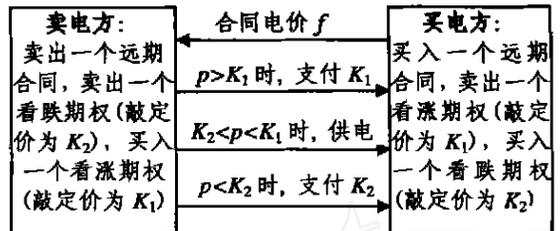


图1 双边可选择远期合同双方的权利和义务

2.1 合同电价的计算

合同电价 f 的确定在原理上可作如下分析:假如不发生卖电方拒绝供电或买电方拒绝接受该卖电方的供电的情况,则合同电价应等于在时刻 T 的现货市场价格的期望值,而事实上卖电方有权拒绝供电,而买电方也有权拒绝接受该卖电方的供电,因此合同电价中应考虑与这两种权利相对应的价格(即看跌期权和看涨期权的价格)。

对于卖电方拒绝供电的情况,当条件 $p > K_1$ 时,此时拒绝供电权利会给卖电方产生单位电量($p - K_1$)的价值;当 $p < K_1$ 时,卖电方不履行拒绝供电权利,此时这种权利没产生实际价值。因此,卖电方拒绝供电权利所产生的单位电量价值为 $\max\{0, p - K_1\}$ (即看涨期权的内涵价值^[3])的期望值,应在合同电价中扣除(由于 p 为预测的合同交货时的现货市场价格,因而看涨期权的时间价值在此无需考虑)。

对于买电方拒绝接受供电的情况,当条件 $p < K_2$ 时,此时拒绝接受供电的权利会给买电方产生单位电量($K_2 - p$)的价值;当 $p > K_2$ 时,买电方不履行拒绝接受供电权利,此时这种权利没产生实际价值。因此,买电方拒绝供电权利所产生的单位电量价值为 $\max\{0, K_2 - p\}$ (即看跌期权的内涵价值^[3])的期望值,应附加在合同电价中(由于 p 为预测的合同交货时的现货市场价格,因而看跌期权的时间价值在此也无需考虑)。

假定 H_t 为合同签订时刻 t 时所能利用的全部信息,则根据风险中立的期望值定价原理,合同电价可表示为

$$f = E[p | H_t] - E[\max\{0, p - K_1\} | H_t] +$$

$$\begin{aligned}
 E[\max\{0, K_2 - p\} | H_t] = & \\
 & \int_0^{K_1} x q_p(x) dx - \int_{K_1}^{K_2} (x - K_1) q_p(x) dx + \\
 & \int_0^{K_2} (K_2 - x) q_p(x) dx = \\
 K_1 - & \int_0^{K_1} Q_p(x) dx + \int_0^{K_2} Q_p(x) dx = \\
 K_1 - & \int_{K_2}^{K_1} Q_p(x) dx \quad (1)
 \end{aligned}$$

由上式可知

$$\begin{aligned}
 \partial f / \partial K_1 &= 1 - Q_p(K_1) = 0 \\
 \partial f / \partial K_1^2 &= -q_p(K_1) = 0 \quad (2) \\
 \partial f / \partial K_2 &= Q_p(K_2) = 0 \\
 \partial f / \partial K_2^2 &= q_p(K_2) = 0 \quad (3)
 \end{aligned}$$

因此, 合同电价 f 是关于 K_1 的一个非减向上凸函数, 是关于 K_2 的一个非减向下凸函数。由式(1) 还可知, 假设 T 时刻现货市场的价格 p 为一确定值, 则当 $p > K_1$ 时(买电方被该卖电方中断供电), $f = K_1$; 当 $K_2 < p < K_1$ 时(买电方获得该卖电方的供电), $f = p$; 当 $p < K_2$ 时(买电方拒绝接受该卖电方的供电), $f = K_2$ 。但通常 T 时刻现货市场的价格 p 总会存在不确定性, 因而一般情况下, $K_2 < f < K_1$ 。

2.2 中断电价 K_1 和 K_2 的均衡选择

由图 1 易于看出, 在合同交货时买电方单位电量的期望报酬 EB_b 可表示为

$$\begin{aligned}
 EB_b = & (K_1 - f)[1 - Q_p(K_1)] + \\
 & (V - f)[Q_p(K_1) - Q_p(K_2)] + \\
 & \int_0^{K_2} (V + K_2 - f - x) q_p(x) dx \quad (4)
 \end{aligned}$$

利用式(1) 并经过分部积分, 上式可简化为

$$EB_b = (V - K_1)Q_p(K_1) + \int_0^{K_1} Q_p(x) dx \quad (5)$$

卖电方在合同交货时单位电量的期望报酬 EB_s 可表示为

$$\begin{aligned}
 EB_s = & \int_{K_1}^{K_2} (f - K_1 - W + x) q_p(x) dx + \\
 & (f - W)[Q_p(K_1) - Q_p(K_2)] + \\
 & (f - K_2)Q_p(K_2) \quad (6)
 \end{aligned}$$

利用式(1) 并经过分部积分, 上式可简化为

$$\begin{aligned}
 EB_s = & \bar{p} - W + (W - K_2)Q_p(K_2) + \\
 & \int_0^{K_2} Q_p(x) dx \quad (7)
 \end{aligned}$$

其中 \bar{p} 为 T 时刻现货市场价格的期望均值。

由式(5) 和式(7) 可知, 当合同价格由式(1) 给出时, 卖电方单位电量的期望报酬与 K_1 无关, 买电方单位电量的期望报酬与 K_2 无关。因此, 卖电方与

买电方在确定中断电价 K_1 和 K_2 时的均衡选择应满足

$$\begin{cases} \frac{\partial EB_b}{\partial K_1} = (V - K_1)q_p(K_1) = 0 \\ \frac{\partial EB_s}{\partial K_2} = (W - K_2)q_p(K_2) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

由于通常 $q_p(\cdot) > 0$, 显然均衡解为

$$\begin{cases} K_1 = V \\ K_2 = W \end{cases} \quad (9)$$

即 K_1 由买电方的理性选择来确定, 而 K_2 则由卖电方的理性选择来确定。

3 双边可选择电力远期合同模型的特点

文献[4] 给出的用户与电力公司的可选择合同模型只给予公司在现货电价较高时中断供电给用户的权利, 其中的中断电价按用户的理性选择应等于该用户的单位用电效益 V ; 而文献[5] 进一步给出的 IPP 与电力公司的可选择合同模型只给予公司在现货电价较低时拒绝接受 IPP 的供电的权利, 其中的中断电价按 IPP 的理性选择应等于该 IPP 的单位发电成本 W 。本文则把合同双方推广为一般的买电方和卖电方, 不但给予卖电方在现货电价较高时中断供电给买电方的权利, 其中的中断电价按买电方的理性选择应等于该买电方的单位电量效益 V ; 而且给予买电方在现货电价较低时拒绝接受卖电方的供电的权利, 其中的中断电价按卖电方的理性选择应等于该卖电方的单位电量成本 W 。这种理性选择使得当买电方的单位电量效益小于现货电价时将被中断用电, 当卖电方的单位电量成本大于现货电价时也将被中断供电, 从而有利于电力资源的最优分配与调度。

上述双边可选择远期合同模型在形式上可看作是文献[4, 5] 中介绍的两种合同模型的综合, 因而它不但具有文献[4, 5] 中的两种合同模型的一些特点, 如合同模型易于理解和操作、能引导合同双方有关成本和效益的信息披露、可有效促进电力资源的高效调度和消费等, 而且还具有如下特性:

1) 对于合同买电方来说, 不但可回避高市场价格的风险, 而且在低市场价格时还有进一步获利的可能。同时, 对于合同卖电方来说, 不但可回避低市场价格的风险, 而且在高市场价格时还有进一步获利的机会。显然与文献[4, 5] 中的两种合同模型相比, 这种合同形式对合同双方更公平, 也更具灵活

性。

2) 合同的有关中断电价是通过一个买卖双方各自追求最大期望报酬的均衡模型来确定, 因而给出的有关中断电价反映了合同双方的理性均衡选择, 从而在方法上克服了文献[4, 5]中通过合同的某一方理性选择来确定中断电价的片面性。

3) 由于合同电价按风险中立的期望值原理, 根据有关期权定价思想而直接给出, 从而避免了文献[6]中根据合同双方各自行为模型分别定价所导致的不一致性, 因而更具可操作性。

4 算例分析

假设在将来 T 时刻的现货电价 p 服从一对称 Beta 分布, 其均值为 0.5 元/kWh, 方差取 0.01 和 0.04 两种情况。利用式(1) 可求得在这两种情况下, 合同电价 f 与中断电价 K_1 和 K_2 的关系曲线分别如图 2 和图 3 所示。需要说明的是, 图 2 和图 3 中的有效区域均应满足 $K_1 > K_2$ 。

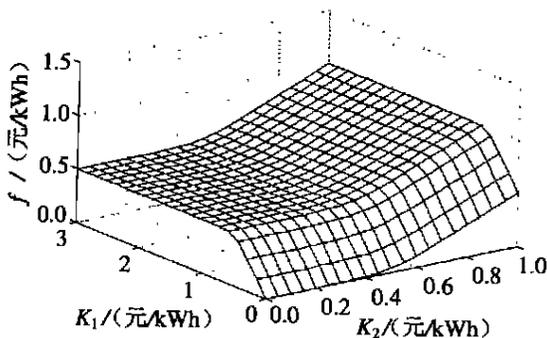


图 2 现货电价方差为 0.01 的情况

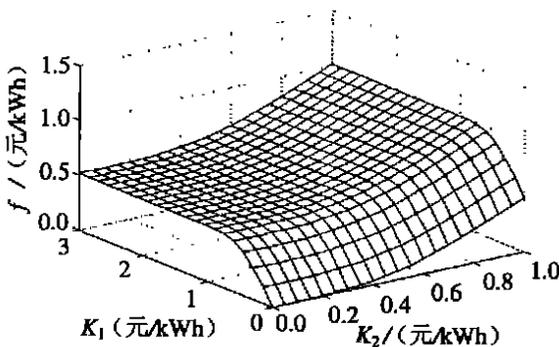


图 3 现货电价方差为 0.04 的情况

由图 2 和图 3 可以看出:

1) 合同电价 f 既是关于中断电价 K_1 的非减向下凹函数, 又是关于中断电价 K_2 的非减向下凸函数, 在图中的有效区域内(即满足 $K_1 > K_2$), f 总是大于 K_2 且小于 K_1 。

2) 当 K_1 较小时, 卖电方中断供电买电方的可能性较大, 此时卖电方的中断供电权利会带来较大价值, 因此合同电价 f 较小; 当 K_1 变大时, 卖电方中断供电买电方的可能性将变小, 此时卖电方中断供电权利的价值也逐渐减少至 0, 因此合同电价 f 将逐渐趋于不随 K_1 变化。

3) 当 K_2 较小时, 买电方拒绝卖电方供电的可能性较小, 此时买电方的中断供电权利会带来较小价值, 因此合同电价 f 相对较小; 随着 K_2 的增加, 买电方拒绝卖电方供电的可能性变大, 此时买电方的中断供电权利会带来较大价值, 因此合同电价 f 也不断增加。

4) 由于中断电价 K_1 的均衡选择为买电方的单位电量价值 v , 则 v 越大, 合同电价也越大, 作为回报, 卖电方中断供电该买电方的可能性越小。

5) 由于中断电价 K_2 的均衡选择为卖电方的单位电量成本 w , 则 w 越小, 合同电价也越小, 作为回报, 买电方拒绝该卖电方供电的可能性越小。

6) 现货电价不确定性越大(即方差越大), 一方面卖电方利用高现货电价来获利的机会增多, 导致在 K_1 较低的区域(现货电价的均值附近) 合同电价下降; 另一方面买电方利用低现货电价来获利的机会也增加, 导致在 K_2 相对较高的区域(现货电价的均值附近) 合同电价增加。

5 结 语

作为电力市场风险管理的一种有效手段, 电力远期合同交易因其灵活性和多样性而具有良好的应用前景。本文提出一种双边可选择电力远期合同模型, 并结合有关期权定价思想和均衡原理, 给出了有关合同价格的确定方法。比较分析表明, 这种双边可选择电力远期合同模型具有良好的特性, 它克服了现有文献中有关合同模型的某些不足, 因而更具可操作性。

(下转第 897 页)

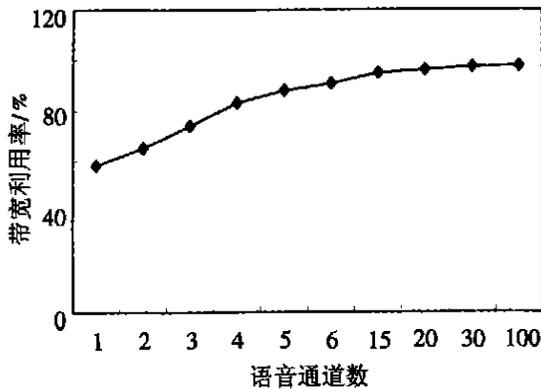


图 3 N 路语音同时处理的带宽利用率

2) 在 IP 电话网关中, 如果编码器采用了静音检测机制, 则各部件之间的接口所需最小带宽要大于数据传输的平均比特率。而且随着处理密度 N 的增大, 最小带宽趋近于平均比特率。

3) 在 IP 电话网关中, 如果编码器采用了静音检测机制, 带宽的利用率与 IP 电话网关的处理密度 N 有关, 处理密度 N 越大, 带宽利用率越高。也就是说, 只有在处理密度 N 较大时, 才能显示出编码器的静音压缩所带来的带宽优势。

需要指出的是, 上述带宽计算模型是在假设网关各部件之间没有传输缓冲区的情况下建立的, 实际上不是如此。当存在缓冲区时, 实际需要的最小传输带宽要比上述计算值小, 而且缓冲区越大, 实际需要的最小传输带宽就越接近于极限平均比特率。但是, 在 IP 电话网关中, 缓冲区不可能很大, 因为随着缓冲区的增大, 排队的分组延迟会增大, 这就减低

了通话的交互性。由于 IP 电话的最大受限是端到端的延迟, 如果以降低 IP 电话的交互性为代价来换取一定的带宽是很不明智的作法。因此, 在 IP 电话网关中缓冲区不可能设置很大, 本文所建立的计算模型对实际设计网关带宽仍然很有参考价值。根据该计算模型, 对于处理密度较小的网关, 虽然会导致一定程度的带宽过度分配, 但这对网关中的控制信号的传输是必要的。

4 结 语

计算 IP 电话网关中各处理器之间的接口带宽是开发网关的一个重要环节, 带宽设计过小, 会造成语音数据丢失, 过大会造成资源浪费。因此, 本文提出的带宽计算模型对网关的开发和研究有很重要的理论指导意义。

参考文献 (References):

- [1] Maryni P, Pacific G. Real-time estimation of the link capacity in multimedia networks [A]. *Proc of IFIP 1997, Building QoS into Distributed Systems* [C]. 1997. 12: 101-102
- [2] H Schulzrinne, S Casner, R Frederick, et al. RTP-A transport protocol for real-time applications [J]. *Internet Draft, draft-ietf-avr-rtsp-new-ops*, Internet Engineering Task Force, 1997, 6(4): 12-18
- [3] Daigle J N, Langford J D. Models for analysis of packet voice communications system [J]. *IEEE JSA C*, 1986, 4(6): 1871-1894

(上接第 893 页)

参考文献 (References):

- [1] Borenstein S. The trouble with electricity markets (and some solutions) [R]. University of California Energy Institute, 2001.
- [2] 张少华, 李渝曾, 王长军, 等. 电力市场中的远期合同交易 [J]. *电力系统自动化*, 2001, 25(10): 6-10
(Zhang Shaohua, Li Yuzeng, Wang Changjun, et al. Forward contract trading in an electricity market [J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2001, 25(10): 6-10)
- [3] 茅宁. 期权分析——理论与应用 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2000.
- [4] Gedra T W, Varaiya P P. Markets and pricing for interruptible electric power [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1993, 8(1): 122-128
- [5] Gedra T W. Optional forward contracts for electric power markets [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1994, 9(4): 1766-1773
- [6] David A K. Risk modeling in energy contracts between host utilities and BOT plant investors [J]. *IEEE Trans on Power Systems*, 1996, 11(2): 359-365