

基于摆动期权合约的发电商风险回避模型研究

马 歆¹, 蒋传文¹, 侯志俭¹, 汪德兴², 施炜伟², 高伏英², 黄 琳²

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200240; 2. 华东电网有限公司, 上海 200002)

摘要: 电力工业正在进行打破垄断、鼓励竞争的市场化改革, 在这个过程中, 市场参与者将获得不少的机会, 同时他们也将面临巨大的风险, 一个关键的问题是市场参与者如何来管理这些新的风险。市场环境下的电力价格呈现出比管制条件下更为复杂的变化形式, 发电商要同时面对燃料市场和电力市场中的市场风险。该文首先在燃料市场和电量市场之间构造出交叉商品组合, 在此基础上引入摆动期权合约设计了发电商的风险回避模型。该模型形式简单, 易于实现, 通过该模型发电商能够比较有效地回避市场风险。

关键词: 发电商; 风险回避; 摆动期权合约

中图分类号: TM73; F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)19-0001-04

0 引言

近年来, 电力工业市场化的浪潮席卷了全球, 电力系统原来发、输、配垂直一体化的模式被打破, 在这个过程中, 市场参与者将获得巨大的机会, 同时也面临巨大的风险, 一个关键的问题是市场参与者如何管理这些新的风险。电力是一种特殊的商品, 不能大规模存储, 供需双方要实时保持平衡, 在市场环境下, 电力价格呈现出强烈的跳跃和尖峰特性, 比传统条件下的变化形式更为复杂。这不仅影响到电力市场的运营稳定性, 而且将危及电力系统的运行安全性和稳定性。越来越多的市场参与者开始寻求合适的风险管理工具来回避或者控制风险。1996年3月, 电力期货合约在美国纽约商品交易所(New York Mercantile Exchange, NYMEX)被推出。电力远期合约在挪威、澳大利亚等国也已经得到了广泛应用。一种融合期权思想的BOT电厂投资商和电力公司之间的可选择的供电合约由A. K. David提出^[1, 2]。但是这些研究基本上是针对电量市场的, 而发电商则要同时面对燃料市场和电量市场中的市场风险。本文在基于燃料市场和电量市场之间交叉商品组合的基础上, 引入摆动期权合约设计了发电商的风险回避模型。

1 摆动期权合约

一份摆动期权合约^[4]是若干份基本远期合约组合的扩展, 每份基本远期合约定义为在预先确定的时间段 $[T_S, T_E]$ 内, 合约的持有人(多头)可以任

意选择一些时间点 $t = t_i (i = 1, \dots, n)$, $T_S < t_i < T_E$, 按照预先确定的敲定价格 K 交割数量为 V 的商品, 但是总的交易量不能超过预先确定的范围。摆动期权合约则在此基础上具有更大的灵活性, 在双方预定义的时间段内, 摆动期权合约的多头可以行使 n 次权利, 但是总次数不能超过合约双方预先规定的量, 每行使一次权利, 相当于交割一份基本远期合约, 但是每次交割的数量可以围绕着基本远期合约中规定的基本交割数量进行一定范围的上下变动, 同时合约的多头既可以按照合约购买一定数量的商品, 也可以将一定数量的商品回售给合约的出售方(空头)。例如, 多头可以行使权利, 在时间点 t_i 从空头购买数量为 $V(t_i) = V_{Buy}(t_i)$ 的商品, $V_{Buy}(t_i)$ 可以不等于基本负荷合约中规定的数量 V 。也允许将数量为 $V(t_i) = V_{Sell}(t_i)$ 的商品回售给空头。对摆动期权合约可做如下数学描述:

合约的执行时段为 $[T_S, T_E]$, $0 < T_S < T_E$; 可能的交割时间点为 $\{t_1, t_2, \dots, t_n\} \subset [T_S, T_E]$, 由期权合约的多头确定; 总的期权执行次数 $n \leq N$; 在每个时间交割点 t_i , 交割容量的变化限制为: $[v_1(t_i), v_2(t_i)] \subset [v_3(t_i), v_4(t_i)]$, 其中 $v_1(t_i) \leq v_2(t_i) \leq 0 \leq v_3(t_i) \leq v_4(t_i)$; 合约敲定价格为 $K(t_i)$, $t_i \in [T_S, T_E]$; 当 $1 \leq i \leq N$, 摆动期权合约中的多头执行期权的决策变量定义为:

$$X_{Buy}(t) = \begin{cases} 1 & V(t_i) = V_{Buy}(t_i) & t = t_i \\ 0 & \text{多头不执行期权} & t = t_i \end{cases} \quad (1)$$
$$X_{Sell}(t) = \begin{cases} 1 & V(t_i) = V_{Sell}(t_i) & t = t_i \\ 0 & \text{多头不执行期权} & t = t_i \end{cases} \quad (2)$$

决策变量应该满足如下限制:

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50079006)

$$X_{\text{Buy}}(t) + X_{\text{Sell}}(t) = \begin{cases} 1 & t = t_i \\ 0 & t \neq t_i \end{cases} \begin{cases} t = t_i & [T_S, T_E] \\ 1 & i \quad N \end{cases} \quad (3)$$

$$0 \leq \sum_{t=t_1}^{t_n} X_{\text{Buy}}(t) + X_{\text{Sell}}(t) \leq N \quad (4)$$

其中: N 为合约中规定的总的可执行权利数。

每次交割的数量应满足:

$$\begin{cases} X_{\text{Buy}}(t_i) v_3(t_i) \leq V_{\text{Buy}}(t_i) \\ X_{\text{Buy}}(t_i) \cdot v_4(t_i) \\ t = t_i \quad [T_S, T_E] \\ 1 \leq i \leq N \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} X_{\text{Sell}}(t_i) v_1(t_i) \leq V_{\text{Sell}}(t_i) \\ X_{\text{Sell}}(t_i) \cdot v_2(t_i) \\ t = t_i \quad [T_S, T_E] \\ 1 \leq i \leq N \end{cases} \quad (6)$$

总的交割数量限制为:

$$V_{\text{Total}}^{\text{Min}} \leq V_{\text{Total}} = \sum_{t=t_i}^{t_n} [V_{\text{Buy}}(t_i) + V_{\text{Sell}}(t_i)] \leq V_{\text{Total}}^{\text{Max}} \quad (7)$$

在合约执行时段中,如果多头交割的总量超过合约所规定的限制,那么多头就要向合约的空头支付一定数量的罚金 (V_{Total}),一般采用如下处罚形式:

$$(V_{\text{Total}}) = \begin{cases} C(S_{TE}) & \text{if } V_{\text{Total}} < V_{\text{Total}}^{\text{Min}} \\ 0 & \text{if } V_{\text{Total}}^{\text{Min}} \leq V_{\text{Total}} \leq V_{\text{Total}}^{\text{Max}} \\ P(S_{TE}) & \text{if } V_{\text{Total}} > V_{\text{Total}}^{\text{Max}} \end{cases} \quad (8)$$

式中: S_{TE} 为 T_E 时刻的现货电价; $C(S_{TE})$ 和 $P(S_{TE})$ 为一个 T_E 时刻现货价格的函数。

当然,也可以将多头交割的总数量严格地限制在 $[V_{\text{Total}}^{\text{Min}}, V_{\text{Total}}^{\text{Max}}]$ 之间,则惩罚函数形式为:

$$(V_{\text{Total}}) = \begin{cases} 0 & \text{if } V_{\text{Total}} < V_{\text{Total}}^{\text{Min}} \\ 0 & \text{if } V_{\text{Total}}^{\text{Min}} \leq V_{\text{Total}} \leq V_{\text{Total}}^{\text{Max}} \\ 0 & \text{if } V_{\text{Total}} > V_{\text{Total}}^{\text{Max}} \end{cases} \quad (9)$$

2 发电商风险回避模型

在电力市场环境下,发电商的收益取决于发电成本和现货电价,发电成本又主要由燃料的价格所决定,燃料价格也是随市场的供需状况在持续变化。因此,发电商要同时面对燃料市场和电力市场两个市场中的价格风险。它并不能对未来价格和需求量进行准确预测,因此只能求助于合约市场来回避现货市场中的风险。发电商可以通过与燃料供应商签署长期合约来稳定燃料价格,控制发电成本,但是由

于现货电价的高度易变性,发电商的净收益仍将出现剧烈的波动,尤其是在一些负荷波动较大的月份。此外,在签署长期燃料供应合约的时候并不能准确地预测到今后燃料的现货市场价格,可能在某些时段,燃料现货价格低于合约价格,同时现货电价也较低,如果发电商出售电量所获得的收入不足以抵消通过合约购买的燃料成本,那么发电商就会产生亏损。这就需要寻求一种途径,有效地控制发电商的风险。本文首先在燃料市场和电量市场之间构造出一个交叉商品组合^[3],寻求两者之间的联动关系,然后在此基础上引入摆动期权合约,设计了发电商的风险回避模型,本文不考虑基础资产的回售,即认为 $X_{\text{Sell}}(t) = 0$ 。通过以下算例对模型的设计进行描述。

假设发电商 A 的机组为 30 MW 燃气机组,定义机组热效率 H :

$$H = \frac{S_E}{S_G} \quad (10)$$

式中: S_E 为电力市场中的现货电价,单位元/MWh; S_G 为燃料市场中的天然气的现货价格,单位元/100m³,每次交易的天然气不存在品质差异; H 是一个与现货电价和天然气的现货价格相联系的变量, H 满足如下条件:

$$\begin{cases} \text{if } H > 1 & \text{发电商 A 赢利或收支持平} \\ \text{if } H < 1 & \text{发电商 A 亏损} \end{cases}$$

为保证发电商 A 不亏损的基本热效率。发电商 A 所在地区冬季主要采用天然气为供暖燃料,由于气候等原因造成冬季天然气价格和电力价格都将有较大的波动,如果天气预报显示 1 月份的第 2 周气温将有较大波动,那么发电商 A 可以在燃料合约市场上购买一份为期 1 周的摆动期权合约,基础资产是天然气,根据天然气和电量价格的变化,通过期权合约锁定热效率,在两个市场中价格易变性较高的情况下,尽可能使总的净收益保持在一个较稳定的水平。合约中规定每次天然气的基本交割量为

$$\times 20 \text{ MWh}, \text{每次交割量的变化不超过 } \pm \times 5 \text{ MWh}, \text{总的交割量限制为 } V_{\text{Total}} \in [\times 300 \text{ MWh}, \times 410 \text{ MWh}]。 \text{从 1 月份的第 2 周的第一天开始,一周 (168 h) 内共有 25 次执行期权的机会。}$$

$$= 3 \frac{\text{hm}^3}{\text{MWh}} \quad (11)$$

每次交割时购买天然气的执行价格 $K_G(i)$ 为:

$$K_G(i) = S_E(i) / H \quad 1 \leq i \leq 25 \quad (12)$$

$S_E(i)$ 为执行期权时的现货电价。惩罚项采用

式(8)的形式。

$$(V_{Total}) = \begin{cases} \alpha S_{TE}(V_{Total}^{Min} - V_{Total}) & \text{if } V_{Total} < V_{Total}^{Min} \\ 0 & \text{if } V_{Total}^{Min} \leq V_{Total} \leq V_{Total}^{Max} \\ \alpha S_{TE}(V_{Total} - V_{Total}^{Max}) & \text{if } V_{Total} > V_{Total}^{Max} \end{cases} \quad (13)$$

其中： α 为实际交割总量低于下限时惩罚系数； β 为实际交割总量高于上限时惩罚系数，此处均取为 0.25； S_{TE} 为 T_E 时刻的现货电价。为简化起见，本文对市场做如下假设：

- 1) 该期权交易市场是一个无摩擦市场^[5]，即不考虑交易成本、税收、不要求保证金等市场提供了连续交易的机会。
- 2) 整个市场交易在 T_E 时刻进行结算。
- 3) 如果进行电力期权的实物交割时，暂时不考虑转运费用和输电损失费用的分配。
- 4) 在发生危及系统运行安全的情况下，ISO(独立系统操作员)有权中断某些交易的交割。
- 5) 现货电价的变化服从一个均值 $\mu_E = 350$ 元/MWh，标准差 $\sigma_E = 100$ 的正态分布；天然气现货价格的变化服从一个均值 $\mu_G = 60$ 元/100m³，标准差 $\sigma_G = 25$ 的正态分布，如图 1 所示；发电商 A 在电力现货市场上的中标售电量满足一个均值 $\mu_{sale} = 20$ MW，标准差 $\sigma_{sale} = 4$ 的正态分布，如图 2 所示。
- 6) 权费为 1.5 元/(α MWh)。
- 7) 不考虑机组最小出力限制。
- 8) 天然气和电力市场的现货价格均为统一市场出清价格。

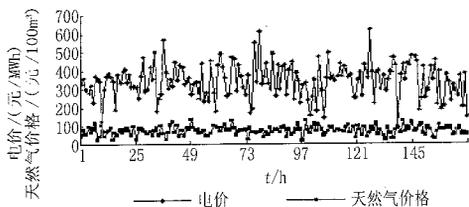


图 1 一周电价和天然气价格的变化

Fig. 1 A-week price fluctuation of electricity and gas

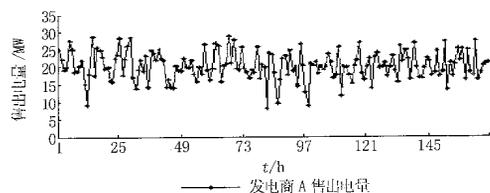


图 2 一周内发电商 A 在电力现货市场上的售电量

Fig. 2 A-week sales of generator A in electricity spot market

根据热效率的定义，由图 1 可知，在 4、10、34 等 21 个时间段中， $H < \dots$ 。如果发电商 A 通过现货市场购买天然气，然后按照电力现货市场中的统一市场出清价出售中标售电量，将会遭受损失，那么，它可以在这些时段执行期权来减少损失，增加收益。可以全部执行，也可以部分执行，每次交割量在 [$\alpha \times 15$ MWh, $\alpha \times 25$ MWh] 之间。假设发电商 A 依次在上述 21 个时间段执行期权，那么随着执行期权次数的增加，发电商 A 比只通过现货市场进行交易增加的净收益见图 3 (已经减去预先支付给空头的期权费)，总的天然气交割量为 $\alpha \times 406.15$ MWh，发电商 A 执行摆动期权以后比直接进行现货交易累计增加的净收益总量为 21 806 元。

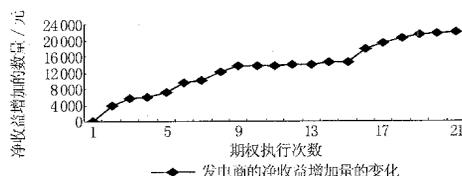


图 3 依次执行期权时发电商 A 的净收益增加的变化情况

Fig. 3 Increasing profit of generator A when it executes options

由于在实际的操作过程中，发电商 A 并不能对未来的价格变化进行准确预测，从而达到完美套期保值。因此，可能存在总的交易量越限的情况，假设发电商 A 仍然在上述 21 个时间段中执行期权，但是总的交割量为 $\alpha \times 426.15$ MWh，而结算时刻 T_{168} 时的现货电价为 147.49 元/MWh，那么根据式(13)，发电商 A 在结算时刻就要向合约的出售者支付 595.5 元的罚金；与此类似，如果发电商 A 在上述执行时段中只执行了 $\alpha \times 226.15$ MWh，那么在结算时刻，发电商 A 在结算时刻就要向合约的出售者支付 2 728.5 元的罚款，此时发电商 A 总的净收益增加总量等于 19 077.5 元，虽然略低于完全套期保值时的值，但仍比不只执行期权合约时的总收益有所提高。

结果表明，摆动期权合约可以比较有效地控制发电商所面对的价格风险。期权中规定的可执行的次数越多，每次可执行的基础资产数量越大，发电商所面临的风险就越小，当然，发电商所要支付的期权费也越高。

3 结语

本文引入摆动期权合约设计了一个发电商的风险回避模型，算例结果表明，针对电力市场环境下发

电商所同时面对的燃料市场和电力市场中的价格风险,该模型能够使发电商比较有效地予以回避。该模型形式灵活,易于实现,比较符合燃料市场和电力市场中价格和需求量多变的特点。

参考文献:

- [1] David A K. Modeling Risk in Energy Contracts with Investor Owned Generation [J]. IEE Proc—Gener, Transm and Distrib, 1994, 141(1):75-80.
- [2] David A K. Risk Modeling in Energy Contracts Between Host Utilities and BOT Plant Investor [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11(2): 359-365.
- [3] Deng S J, Blake J, Aram S. Exotic Electricity Options and Valuation of Electricity Generation and Transmission Assets

[J]. Decision Support Systems, 2001, 30(3): 383-392.

- [4] Patrick J, Ehud I R. Valuation of Commodity-based Swing Options [Z]. Texas: The University of Texas, 2001.
- [5] 叶中行,林建忠 (YE Zhong-xing, LIN Jiann-zhong). 数理金融 (Financial Mathematics) [M]. 北京:科学出版社 (Beijing: Science Press), 1998.

收稿日期: 2004-02-04; 修回日期: 2004-03-16

作者简介:

马 歆 (1972 -),男,博士研究生,主要从事电力市场方面的研究; E-mail: maxin@sjtu.edu.cn

蒋传文 (1966 -),男,副教授,博士,主要从事电力市场方面的研究;

侯志俭 (1942 -),男,教授,博导,主要从事电力市场和电力系统静态安全分析方面的研究。

Study of generators risk-avoiding model based on swing options contract

MA Xin¹, JIANG Chuan-wen¹, HOU Zhi-jian¹, WANG De-xing², SHI Wei-wei², GAO Fuying², HUANG Lin²

(1. Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Southeast China Power Grid Corporation, Shanghai 200002, China)

Abstract: Market innovation is being executed in electricity industry in order to destroy the monopoly structure and introduce competition. In this process, market participators will face more chances as well as market risks, the focus is to own capacity of managing these risks. In deregulated markets, the variety of electricity price will be more drastic and complex than these ones in regulated industry. Generators will face market risks in energy market and electricity market at the same time. Crosscommodity unit is constructed between energy market and electricity market, based on which risk-avoiding model is designed incorporating swing options. This model is flexible and easy to realize. Generators can effectively avoid market risks with this model.

Key words: generators; risk avoiding; swing options contract



产品推介

测控仪表

产品提供: 许昌昌安科技有限公司 电话: 0374-3321607

CAKJ-42Z1系列多功能电力仪表



CAKJ-42Z1系列产品是一种具有可编程测量、显示、数字通讯和电能脉冲变送输出等功能的多功能智能电表,能够完成电量测量、电能计量、数据显示、采集及传输,可广泛应用变电站自动化、配电自动化、智能建筑、企业内部电能测量、管理、考核。测量精度为0.5级,实现LED现场显示和远程RS-485数字接口通讯,采用MODBUS通讯协议。

CAS系列电量变送器



CAS-I4电流变送器,是一种将被测电流(0-5A)转换成按线性比例输出的模拟直流电流(4-20mA)、电压信号(0-5V)。

CAS901E模块是一智能型三相电参数数据综合采集模块;三表法准确测量三相三线制或三相四线制交流电路中的三相电流、三相电压(真有效值)、有功功率、无功功率、功率因数、频率、正反向有功电度、正反向无功电度等电参数。

其输入为三相电压(0-500V)、三相电流(0-1000A);输出为RS-485或RS-232接口的数字信号,支持的通讯规约有4种: (ASCII码)研华ADAM兼容通讯协议、十六进制LC-02协议、MODBUS-ASCII、MODBUS-RTU。