

基于期权的水电厂交易模型设计

李明¹, 李艳芳²

(1. 青海大学, 青海 西宁 810016; 2. 江西科技师范学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 制定了一种基于期权的新型电力交易模式, 通过一个电力双边合同和两个电力期权加上调度中心的撮合交易, 将水电厂、火电厂及电力公司结为风险同盟, 共同分担现货市场的电价波动。文章首先从经济学的角度研究了水电厂交易的过程和方法, 进而建立了考虑期权的交易模型。最后通过对典型模式和期权模式的算例分析, 得出基于期权的水电厂交易是一种新颖而有效的交易方式, 三方的合作有效规避了水电厂参与市场面临的电价风险。

关键词: 电力市场; 水电; 电价; 风险; 电力期权

Research of option based bidding mode for hydroelectric plant

LI Ming¹, LI Yan-fang²

(1. Hydroelectric Engineering Department, Qinghai University, Xining 810016, China;

2. Jiangxi Science and Technology Normal University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper makes a new model of exchange electricity, which unites hydroelectric power plant, thermal power plant and electricity company from the way to make contract side by side and to trade by control center with two electricity option to share the price wave in market. The model and mechanism of hydroelectric bidding are analyzed from economics. Then the option bidding mode is proposed. Finally, two modes of typical bidding and option bidding are evaluated by case study. It is showed that option bidding is a novel and effective transaction form and the three partner cooperation will avoid risk when hydroelectric factory participate in market to face the risk of price.

Key words: electricity market; hydroelectric; electricity price; risk; electricity option

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0032-04

0 引言

在现有的典型电力交易模式中, 现货交易在整个市场交易中占据了很重要的地位, 同时, 现货市场中的电价对最终的电价产生决定性的影响^[1]。对于电力市场并未成熟的条件下, 完全地进行现货交易具有很大的风险性, 同时也会损害市场的平稳运行。对于水电厂来说, 面对现货市场同样具有风险, 尤其对那些一次投资很大的新水电厂, 比起老的水电厂, 由于要考虑投资回收及银行的还贷等问题, 所以这类水电厂也希望通过签订合同以保证自己拥有一定的发电市场和利润, 为以后的发展积累资金。因此, 在电力市场中引入期权合约交易的思想, 可以在一定程度上避免或转移现货市场上的价格风险。

1 基于期权的新型电力交易模式

电力期权是电力市场高度发展的产物。期权合

约可用于电力市场中规避电价风险^[2]。例如某用户预期为了未来某时期电价会上涨, 则他可以买入看涨期权。当未来电价高于敲定价格时, 他执行期权, 以敲定价格购买电力; 当未来电价低于敲定价格时, 他将市场购电而不执行期权, 最多只付出了期权费, 因此, 用户完全规避了电价上涨的风险 (付出的代价是看涨期权费)。同样的分析适于买入看跌期权的发电商, 此时发电商完全规避了电价下跌的风险 (付出的代价是支付了看跌期权费)。

电力期权合约主要是靠期权保值交易达到其规避风险的目的, 另一方面也可以获得由于电力价格升降而带来利润的机会。文献[3,4]综述了多种期权交易模型的研究, 指出了期权交易具有良好的灵活性和多样性, 期权交易不但能使参与者回避不利情况下的利益损失风险, 而且可以保留有利情况下的获利机会。

1.1 新型电力交易模式的交易过程

水电厂和电力公司之间制定一份可选择的供电

合同, 而水电厂和火电厂会通过购买电力期权转让发电权。图 1 和图 2 给出了这种合同交易的权利和义务。具体分析如下:

(1) 当预测电价下跌时

当预测电价下跌时(如丰水期水电大发), 火电厂卖出一个电力看涨期权给水电厂。此时若水电厂的电量高于合同电量的情况时, 水电厂履行电力合同后还有部分剩余电量, 为保证水电厂不弃水, 水电厂将执行期权, 即行使发电权。由于水电电量高于合同电量, 水电厂可以通过上网竞价销售剩余电量, 而火电厂可能丧失部分竞价上网的电量的机会收益, 这部分机会收益完全能通过卖出电力期权的权利金得到补偿。这样火电厂在未产生发电成本的情况下通过转让发电权获得了差额收益, 同时减少了煤炭消耗与环境污染, 相当于通过经济形式由水电厂向火电厂提供一定补偿, 使双方都获得最大收益。对于电力公司来说, 不但通过与水电厂签订的双边合同得到了合同电量, 而且可以在现货市场买到水电厂的剩余电量。

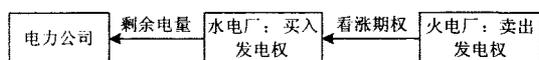


图 1 看涨期权交易形式

Fig.1 A call option obligation

(2) 当预测电价上涨时

当水电厂预测电价上涨时, 为回避违约风险, 此时水电厂可以给火电厂卖出一个电力看跌期权, 即卖出发电权, 并指定买入发电权的火电厂要将电量卖给电力公司, 弥补电力公司的缺额电量。若火电厂执行期权, 电力公司可以从火电厂买入水电厂的缺额电量, 而水电厂可以通过卖出电力看跌期权价格弥补缺额电量造成的机会损失。这样就回避了电量短缺的风险。电力公司要么从水电厂得到全部的合同电量, 要么从火电厂和水电厂得到全部的合同电量, 保证了电力公司合同电量的正常供给。交易过程如图 2 所示。

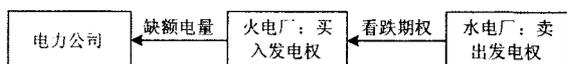


图 2 看跌期权交易形式

Fig.2 A put option obligation

1.2 辅助电价交易过程

在丰水期交易的过程中可能由于市场电量过剩出现电价下跌, 造成水电厂面临竞价失败的风险; 而在枯水期由于水电厂来水偏少, 电力公司电力供给不足, 需向所指定的火电厂买入水电厂的缺额电量, 因此可能造成电力公司从火电厂会以高于合同

价格的电价购电, 造成购电机会损失。所以期间可采用系统调度充当经纪人模式, 弥补合约缺陷, 其交易流程如图 3 所示。

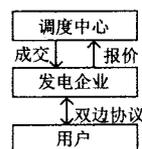


图 3 交易流程框图

Fig.3 Trading flow diagram

在报价排序过程中, 卖方由低到高进行排序, 买方由高到低进行排序。交易撮合时采取卖方最低价与买方最高价匹配, 其余依此类推的方式。交易撮合后买卖双方交易执行价格为两者的平均价, 这样水电厂和电力公司都避免了电价波动的风险。

2 新型电力交易模式的总体效用

2.1 典型交易的效用模型

首先假定: P_i 、 Q_i 表示第 i 个卖家的报价及欲购买量; P_j 、 Q_j 表示第 j 个买家的报价及欲出售量。因电力公司总是能从交易中获得合同电量, 所以在总效用中只考虑水火电厂的交易过程。

卖家 i 和买家 j 的交易量为 Q_{ij} , 对应的交易价格为 P_{ij} , 交易产生的社会总效用为 U_T , 根据经济学理论, 对于买卖电量的双方存在如下的关系^[5]:

$$U_i = (P_i - P_{ij})Q_{ij} \quad (1)$$

$$U_j = (P_{ij} - P_j)Q_{ij} \quad (2)$$

则一次交易的效用为

$$U_T = U_i + U_j = (P_i - P_{ij})Q_{ij} + (P_{ij} - P_j)Q_{ij} = (P_i - P_j)Q_{ij} \quad (3)$$

在实际的应用过程中, 从公平性角度出发, 可以考虑该交易的执行价格 P_{ij} 为买家和卖家报价的平均值, 即:

$$P_{ij} = \frac{(P_i + P_j)}{2} \quad (4)$$

因此, 若要使交易中系统的总体效用达到最大, 即

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_T \quad (5)$$

则交易必须满足以下约束条件

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Q_{ij} \leq Q_j \\ \sum_{j=1}^m Q_{ij} \leq Q_i \\ U_T = (P_i - P_j) Q_{ij} \end{cases} \quad (6)$$

其中: $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ 。

式(5)与式(6)组成了一个线性规划问题。该问题的最优解就是之前所描述的“高低匹配”的结果。

2.2 基于期权的社会总效益模型

在上述交易中若加入期权的金融手段,即通过买卖发电权来规避交易中的金融风险,则必须考虑期权买卖过程中的权利金问题,即期权买方向期权卖方支付的费用。如何考虑权利金对总效用的影响?本文提出如下解决方法:

设卖家 i 和买家 j 之间期权交易的权利金为 K_{ij} ,由此构成 $n \times m$ 的权利金矩阵。考虑期权权利金的效用如下:

$$\max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m U_T \quad (7)$$

约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n Q_{ij} \leq Q_j \\ \sum_{j=1}^m Q_{ij} \leq Q_i \\ U_T = (P_i - P_j - K_{ij}) Q_{ij} \end{cases} \quad (8)$$

其中: $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ 。

由式(7)、(8)可知,考虑期权权利金的交易也是线性规划问题,只是通过权利金矩阵对效用进行了修正。

考虑权利金的交易仍然可以按照“高低匹配”的原则进行,但优先级是按照交易对来排的,共 $n \times m$ 个交易对,以报价差减权利金为依据排定优先级。

下面以一个2个卖家和3个买家的系统为例,简要说明考虑权利金的交易过程。考虑权利金的交易过程如表1所示:

表1 考虑期权的交易矩阵

Tab.1 Trading matrix of considering option

	A1	A2	A3
B1	$P_{B1} - P_{A1} - K_{11}$	$P_{B1} - P_{A2} - K_{12}$	$P_{B1} - P_{A3} - K_{13}$
B2	$P_{B2} - P_{A1} - K_{21}$	$P_{B2} - P_{A2} - K_{22}$	$P_{B2} - P_{A3} - K_{23}$

假设表中第2行第3列 $P_{B2} - P_{A3} - K_{23}$ 为最大的元素,并且 $P_{B2} - P_{A3} - K_{23} > 0$,则撮合第2个卖家和第3

个买家的交易,使这一对交易双方尽可能多成交。撮合这对交易后,若第3个买家的购买量已经全部满足,则删除第3列;若第2个卖家申报出售量已经全部出售,则删除第2行,在剩下的降阶矩阵上继续同样的操作。

2.3 期权权利金矩阵的确定及特点

期权权利金 K 的设置直接影响发电权期权交易合同双方的利益分配。故可采用等收益改变量期望值理论进行权利金的计算。该方法的核心思想是找到合适的期权权利金来满足期权合同买卖双方拥有相同的收益改变量期望值,使得参与期权交易的合同双方都是公平的。此方法在文献[6]中已有详细计算,本文不再累述。

由于卖出看跌期权模式和卖出看涨期权模式都会分别涉及到交易合同的买卖双方,即卖出看跌期权模式会有各自的买方和卖方,而卖出看涨期权模式也是如此,所以在期权权利金矩阵中的元素会有正有负。换言之,矩阵的行和列只能表示期权的买方和卖方,至于是卖出看跌期权还是看涨期权就要由具体的情况而定。

3 算例分析

3.1 典型的收益模型

假设电力市场中共有5个发电公司,表2为各发电公司申报购入(或出售)发电权的范围和报价。

表2 各发电公司申报数据

Tab.2 Bidding data of each electricity plant

发电公司	买卖关系	数量 /MW	报价 元/(MW·h)
A1	购入	0~100	235
A2	出售	0~120	230
A3	购入	0~100	228
B1	出售	0~120	238
B2	购入	0~60	220

如果用典型模式交易,由于A2出售发电权的价格低于A1购入的价格,不能交易。因此,用典型模式的交易结果如表3所示。

表3 典型交易模式的结果

Tab.3 Trading result of typical model

交易次序	卖方	买方	成交量 /MW	成交价 元/(MW·h)
1	B1	A3	100	233
2	B1	B2	20	229
3	A2	B2	40	225

3.2 考虑期权的效用模型

若采用考虑期权的效用模型, 设这 5 个发电公司进行发电权交易的权利金矩阵为:

$$K = \begin{bmatrix} -10 & 6 & 2 \\ 0 & -1 & 12 \\ 4 & 3 & 5 \end{bmatrix}$$

将权利金矩阵代入式(8)的效用约束条件, 则交易矩阵如表 4 所示。

表 4 交易矩阵
Tab.4 Trading matrix

交易方	A1	A3	B2
A2	5	-4	8
B1	3	11	6

采用考虑期权权利金的交易方式计算, 计算结果如表 5 所示。

表 5 考虑期权模式交易结果

Tab.5 Trading results of considering option model

交易次序	卖方	买方	成交量/MW
1	B1	A3	100
2	A2	B2	60
3	A2	A1	60
4	B1	A1	20

对比上述两种情况的交易结果, 可以发现, 与典型模式相比, 期权模式不但撮合了更大的交易, 而且使交易结果更公平有效。

4 小结

本文设计的新型电力期权合约有效规避了水电厂的电价风险, 确保了水电厂的效益。更为重要的是避免了水电厂因无法售电而造成的弃水和来水量突减时与电力公司的违约责任, 充分利用了可再生的水能资源。该机制下水电厂剩余电量和缺额电量的实际价格是市场撮合交易后的电价, 通过算例可

以分析看出该模式不但能使交易量增大, 而且能使交易更加公平。因此该机制有良好的社会效益。

参考文献

- [1] 李帆,朱敏,宋永华.英国电力市场模式改革回顾与发展.国际电力,1999,3(1):55-59.
LI fang,ZHU Min,SONG Yong-hua. Review and Prospect of Restructuring Electricity Market Modes in United Kingdom[J]. International Electric Power, 1999,3(1):55-59.
- [2] 马歆,蒋传文,侯志俭.电力金融合约市场及其风险控制研究[J].华东电力,2002,(9):8-10.
MA Xin,JIANG Chuan-wen,HOU Zhi-jian. Studying on Electricity Financial Contract Market and its Risk Control[J]. East China Electric Power, 2002,(9):8-10.
- [3] 约翰 赫尔.期权,期货和其他衍生产品.第 3 版(3rded)[M].北京:华夏出版社,2000.
- [4] Gedra T W.Optional Forward Contracts for Electric Power Markets[M].IEEE Trans on Power Systems,1994,9(4):1766-1773.
- [5] 高志华,任震,黄雯莹.电力市场中的调峰权及其交易机制[J].中国电机工程学报,2005,25(3):88-92.
GAO Zhi-hua,REN Zhen,HUANG Wen-ying.Peak Regulation Right and the Corresponding Transaction Mechanism in Electricity Market[J].Proceedings of the CSEE, 2005,25(3):88-92.
- [6] 姚建刚,周启亮,张佳启,等.基于期权理论的发电权交易模型[J].中国电机工程学报,2005,25(21):76-81.
YAO Jian-gang,ZHOU Qi-liang,ZHANG Jia-qi,et al.Generation Rights Trade Mode Based on Option Theory[J].Proceedings of the CSEE,2005,25(21):76-81.

收稿日期: 2008-12-06; 修回日期: 2009-02-19

作者简介:

李明(1977-),女,硕士,讲师,主要从事电力市场的研究。E-mail:kemaoli@163.com

(上接第 14 页 continued from page 14)

- [14] Mohammed O A, Liu Z, Liu S,et al. Finite Element Based Nonlinear Physical Model of Iron Core Transformers for Dynamic Simulations[J]. IEEE Trans on Magnetics,2006, 42(4):1027-1030.
- [15] Hans Vande Sande, Tim Boonen, Ioan Podoleanu,et al. Simulation of a Three Phase Transformer Using an Improved Anisotropy Model[J]. IEEE Trans on Magnetics,2004, 40(2):850-855.

收稿日期: 2008-12-30; 修回日期: 2009-03-02

作者简介:

王雪(1978-),男,讲师,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护; E-mail:wangxuedl@126.com

王增平(1964-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统继电保护和变电站综合自动化。