

新型输电权期权交易及其模式研究

周启亮¹, 王 罡², 李 伟¹, 杨力俊³

(1. 北京电力设计院 系统室, 北京 100055;

2. 北京电力公司 延庆供电公司, 北京 102100;

3. 北京电力经济研究中心, 北京 100055)

摘要: 引用和结合了国内外已经研究得比较成功的输电权交易模式, 并在此基础上进一步结合输电阻塞管理各环节中经济性分析, 对原有的模式进行了进一步的优化设计, 提出了一种新的电力输电权交易模式, 即电力发电商与电力用户之间的输电权期权交易模式。以输电阻塞损失期望值均衡为基础, 使电力发电商与电力用户之间通过输电权期权交易, 公平地承担输电阻塞引起的利益损失风险。同时, 通过交易优化电力市场条件下电网潮流经济性流动, 降低输电阻塞的发生。输电权期权交易的分析表明: 输电权交易具有良好的特性, 能够显著降低发电商与电力用户的阻塞利益损失风险, 提高社会效益。

关键词: 商业化; 输电权; 期望值; 期权交易; 模型

中图分类号: TM 721; F 224

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)12-0048-04

0 引言

由于很长一段时期以来, 我国电网建设落后于电源建设, 电网的输送能力已经很难满足负荷增长的需求, 全国很多地方的输电线路都发生了输电阻塞情况。同时, 由于电网建设不可能完全配合电源建设及负荷分布, 所以在一定程度上也加大了电力在传输过程中发生潮流阻塞的机会。

在传统的垂直管理环境下, 输电调度都是在电力调度中心事先知道发电企业发电成本基础上进行的。电力调度中心根据各发电企业的成本特点, 利用最优潮流程序进行调度, 以避免出现传输阻塞现象。当输电网络发生阻塞时, 输电调度在考虑阻塞成本因素影响下, 以系统运行成本最小为目标函数进行调度和控制。这在一定程度上能够降低系统的运营成本, 有利于社会资源的利用^[1-6]。随着电力市场改革的深入, 出现了许多新的问题。电力市场中网络潮流的分布主要取决于电力交易的分布, 而电力交易以利润最大化为导向, 于是不可避免地出现系统中某些输电价格较低的线路或某些电能价格较低的发电机周围的线路往往承载着较重的负荷, 增加了发生阻塞的机会。同时, 电力市场中系统各成员之间是纯粹的经济利益关系, 以传统的行政命令方式, 通过发电再调度来消除输电阻塞的方法在电力市场中将很难奏效, 必须利用市场经济手段对市场各成员进行协调。

本文提出一种输电权交易的思想及交易机制。在输电权交易市场中, 电力公司成为输电权交易的

中间人, 发电商与电力用户通过签订输电权期权交易合约, 使发电商和电力用户共同承担输电阻塞引起的利益损失, 避免了因独立承担而导致利益损失风险巨大的局面。文中以社会效益最优化为原则, 同时兼顾合同双方利益, 给出了输电权交易执行价格的有效范围。依据交易利润平衡原则, 得到执行价格的均衡点。通过分析合同方收益改变量函数与执行价格、执行交易量及其他影响因素之间的关系, 为合同内容的确定提供一定的决策帮助。

1 输电权交易的基本理论

本文提出的新输电权期权交易实质是一种保险形式, 它给其输电权期权持有者, 一般为电力用户, 在电力潮流发生阻塞的时候有权利申请执行输电权期权, 以固定的价格购买一定容量的电量, 降低由于电力潮流发生阻塞时从期权出让者处购买高价电的风险, 避免了成本损失, 锁定电量成本风险; 在系统不发生潮流阻塞的时候, 输电期权持有者没有义务执行输电权期权。

输电权期权交易可以在各电力运营独立经济实体中进行, 但一般主要是在发生阻塞现象时, 存在调度支援的电力发电商与对应的电力用户之间。通过输电权期权的交易把不可预测的电力传输阻塞利益损失风险量化, 降低由于不可预测性而带来的额外利益损失风险。同时, 由于输电权在电力运营实体之间的自调整, 因此对所有运营实体都是公平的。

期权有 2 种交易模式, 即看涨期权模式和看跌期权模式。前者是指期权合约有效期内按执行价格买进输电阻塞支援电量的权利(买进输电权); 后者是指期权合约有效期内按执行价格卖出输电阻塞支

援电量的权利(卖出输电权)。

根据潮流发生阻塞时发电商和电力用户的利益分配特点,只有一种模式适合输电期权交易,即买进输电权模式,电力用户与发电商通过签订输电期权合同,电力用户为输电期权购买者,电力发电商为输电期权的出让者。因为电力用户在潮流发生阻塞时需要选择多个其他电力发电商与供电商为其提供电力供应,降低阻塞影响,但是这时电力发电商可能会大幅度提高电价,因此电力用户希望锁定电价,减少运营风险。而电力发电商则在潮流发生阻塞时可以把电价提高,一般不愿意限定电价,但是由于电力用户有可能选用其他发电商的电量,所以电力发电商有与电力用户达成固定的潮流阻塞服务的意愿。同时,由于潮流阻塞引起的成本损失一般是由负荷侧的负荷情况决定的,所以潮流阻塞解决方案主动权应该在负荷侧^[7-10]。

1.1 输电权交易过程及特点

输电权交易的主要目的是通过交易降低电力输电过程由于阻塞而形成的运营成本损失与风险,并且适应当前电力商业化运营的模式。输电权交易的主要方式是签订输电权交易合同^[11]。

1.2 输电权期权合同的交易特点

a. 期权买方(buyer)向期权卖方(vendor)支付权利金,即电力用户向发电商支付权利金。

b. 期权卖方在期权买方要求执行输电权期权交易时,应按照期权合同中规定的执行价格进行输电权交易。

c. 期权卖方如果由于经济等因素影响而拒绝完成输电权期权交易时,要向期权买方支付赔偿金。

d. 为限制期权买方的过度投机行为,合同中必须设置期权交易的免责条件,即在一定的条件下,期权卖方可以拒绝履行期权合同而不需支付赔偿金。

e. 期权期限结束后,若期权卖方没有执行输电权期权交易,视为放弃行使期权,不能得到经济补偿。

1.3 期权合同中符号约定和基本假设

设输电权期权合同双方在 t_0 时刻为将来某时段 $[t_1, t_N]$ 的输电权签订期权合同。根据输电权的不连续性交易特点,合同采用美式期权模式,即在一定时间期限内期权买方在任意时刻都可以要求执行期权的模式。则可以把 $[t_1, t_N]$ 划分为若干区域时段,区域集合可以表示为

$$t_S = \{t_{S1}, \dots, t_{Si}, \dots, t_{SN}\}$$

其中, $t_{S(2i+1)}, t_{S(2i+2)} (i=0, 1, \dots, n)$ 分别为不执行和执行期权时间段区域,则

$$\sum_{i=0}^n [t_{S(2i+1)} + t_{S(2i+2)}] = t_N - t_1$$

由于输电权交易与期权权利金 p 、期权执行日期权出让者的电价 $S_V(t)$ 、期权执行价格 K_1 、发电权转让执行价格 K_2 、期权执行交易量 $M(t)$ 有直接的关系,故可作一些假设。

a. 由于 $S_V(t)$ 受到现实的发电情况以及负荷大小等多种因素的影响而呈现随机性,可以认为 $S(t)$

围绕电价的时段平均值 μ_1 为中心呈近似正态分布,即 $S_V(t) \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$,其中 μ_1, σ_1^2 可以通过历史数据或者是现实中的客观条件确定。

b. 同理,假设 $M(t) \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$,其中 μ_2, σ_2^2 都可以通过历史数据和现实情况进行近似估计。

c. 由于线路阻塞导致部分发电厂被迫降低发电量,从而导致利益损失,所以必须给这部分失去发电权的电厂以一定量的经济补偿。通过设定阻塞发电权转让执行价格 K_2 是一种可行的办法。其中, K_2 由电力公司根据实际情况设定, K_2 为统一的阻塞转让价格,且 K_2 为恒定常数,并对全体发电商和电力用户公布。

d. 文中 $f(x)$ 与 $\varphi(x)$ 分别表示一般正态分布的密度函数与标准正态分布函数。而 $F(x)$ 与 $\Phi(x)$ 分别表示相应的分布函数。

e. 忽略其他次要因素影响,认为 $S_V(t), M(t)$ 为相互独立的事件。

1.4 期权权利金的计算

期权权利金 p 的设置直接影响输电权期权交易合同双方的利益分配,故采用等收益改变量期望值理论进行权利金的计算。

期权合同双方的收益改变量函数如下:

$$P_{BT} = \int_{t_0}^{t_N} [S_V(t) - K_1 - K_2] M(t) h_1 dt - pw \quad (1)$$

$$P_{VT} = pw - \int_{t_0}^{t_N} [S_V(t) - K_1] M(t) h_1 dt \quad (2)$$

$$w = 1 + (t_N - t_0) \eta \quad (3)$$

其中 P_{BT} 表示期权买方(电力用户)采用期权模式与不采用期权模式的收益改变量, P_{VT} 表示期权卖方(发电商)采用期权模式与不采用期权模式的收益改变量, h_1 表示资金的时间价值修正系数, η 表示银行同期无风险利率。

根据期权双方的收益改变量函数式(1)(2)(3),不难得到期权买方权利金的最大可接受范围:

$$0 \leq p \leq \frac{1}{1 + \eta(t_N - t_0)} [\max\{S_V(t)\} - K_1 - K_2] \times [1 + \eta(t_N - t_1)] M^* \quad (4)$$

式中 M^* 表示期权合同中规定的最大交易量。

期权卖方最大可接受权利金范围:

$$p \geq 0 \quad (5)$$

根据合同双方收益函数期望值相等原理的计算方法:

$$E(P_{BT}) = h_1 \left[\int_{\min[S_V(x)]}^{\max[S_V(x)]} S_V(x) f_{sv}(x) dx - K_1 - K_2 \right] \int_0^{M^*} M(x) f(x) dx - pw \quad (6)$$

$$E(P_{VT}) = pw - h_1 \left[\int_{\min[S_V(x)]}^{\max[S_V(x)]} S_V(x) f_{sv}(x) dx - K_1 \right] \int_0^{M^*} M(x) f(x) dx \quad (7)$$

设 $E(P_{BT}) = E(P_{VT})$

$$\Rightarrow p^* = \frac{h_1}{1+\eta(t_N-t_0)} \left[\int_{\min[S_V(x)]}^{\max[S_V(x)]} S_V(x) f_{sv}(x) dx - K_1 - \frac{1}{2} K_2 \right] \int_0^{M^*} M(x) f(x) dx \quad (8)$$

又因为

$$S_V(t) \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), M(t) \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$$

所以

$$p^* = \frac{h_1}{1+\eta(t_N-t_0)} (\mu_1 - K_1 - K_2/2) \mu_2 \quad (9)$$

即当 $p = p^*$ 时期权合同双方拥有相同的收益改变量期望值, 这对于参与输电权期权交易的合同双方都是公平的。

如果出现 p^* 不满足式(4)(5)条件的约束, 则说明合同双方的互补效益不足, 如 2 个传输距离比较远的发电商和电力用户。

1.5 执行价格的计算

实时电价组成集合为 $S_V = \{S_{V1}, \dots, S_{Vi}, \dots, S_{Vl}\}$, $i=1, \dots, l$, 其中 $S_{Vi} < S_{V(i+1)}$ 。

则 K 的设定原则是: 买进输电权模式, 当 K_1 设定为确定值时, 一定存在 p, q , 使得 $i > p$ 时, $S_{Vi} - K_1 - K_2 > 0$ 恒成立, 即

$$K_1 < S_{Vi} - K_2 \quad (10)$$

1.6 收益函数与 $p, K, M(t)$ 的关系分析

以买进输电权模式的买者收益函数为例分析收益函数与权利金 p 、执行价格 K 及交易量 $M(t)$ 的关系。

根据输电权买方的收益改变量函数式(1)(2)(3), 可知:

$$\frac{\partial P_{BT}}{\partial K_1} = - \int_{t_0}^{t_N} M(t) h_1 dt \leq 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial P_{BT}}{\partial K_2} = - \int_{t_0}^{t_N} M(t) h_1 dt \leq 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial P_{BT}}{\partial M} = - \int_{t_0}^{t_N} [S_V(t) - K_1 - K_2] h_1 dt \geq 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial P_{BT}}{\partial p} = -w \leq 0 \quad (14)$$

从上面的公式不难看出:

a. 期权买者的收益变化与执行价格 K_1 、发电权阻塞转让价格 K_2 及权利金 p 的变化方向相反, 即当其他条件不变时, 如果权利金 p 或者执行价格 K_1 或者发电权转让价格 K_2 增加时, 其收益将减少;

b. 买者的收益与交易量 M 的变化方向相同, 即当其他条件不变时, 如果交易量 M 增加, 买者的受益也会相应增加;

c. 期权卖者的收益变化与执行价格 K_1 、发电权阻塞转让价格 K_2 及权利金 p 的变化方向相同, 即当其他条件不变时, 如果权利金 p 或者执行价格 K_1 或者发电权转让价格 K_2 增加时, 其收益将相应增加;

d. 卖者的收益与交易量 M 的变化方向相同, 即当其他条件不变时, 如果交易量 M 增加时, 买者的受益也会相应减少。

2 结论

本文提出的基于期权理论的输电权交易模型具有如下主要特点:

a. 采用的方式是一对一的合同模式, 使得发电商与电力用户之间的交易目标明确, 降低了市场运营的复杂性, 有利于电力市场的稳定;

b. 采用的是均衡期望值定价方式, 所以对于合同的参与者公平;

c. 当执行交易出现不利的情况时能够让参与者回避利益损失风险, 同时在有利的情况下参与者有进一步获利的机会;

d. 输电权交易为电力发电商与电力用户提供了一个共同承担市场风险的模式, 有助于交易双方的风险规避和健康发展;

e. 输电权交易为在阻塞时失去发电权的电力发电商提供了经济补偿, 符合市场经济规律。

总之, 本文提出的基于期权模式下的新的输电权交易模式是对原有输电权交易模式的一种优化、创新。应用新的输电权期权交易, 有助于降低发电商和电力用户市场运营风险, 提高输配电环节的运营效率。新的输电权期权模式对优化输配电环节的电力商业化运营有一定的实际意义。

参考文献:

- [1] 汤玉东, 吴军基, 邹云. 电力市场下的传输阻塞管理[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(3): 23-25.
TANG Yu-dong, WU Jun-ji, ZOU Yun. Transmission congestion management in electricity market[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(3): 23-25.
- [2] 江辉, 欧亚平, 李朝昀, 等. 面向全电网用户的阻塞成本分摊方法[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(11): 26-29.
JIANG Hui, OU Ya-ping, LI Zhao-yun, et al. User-oriented method for congestion cost allocation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(11): 26-29.
- [3] 陈志姚, 毕天姝, 文福拴. 运用保险理论的备用容量辅助服务分散决策机理初探[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(20): 18-22.
CHEN Zhi-yao, BI Tian-shu, WEN Fu-shuan. Discussion on decentralized ancillary service trading based on insurance theory[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(20): 18-22.
- [4] 王秀丽, 甘志, 雷兵, 等. 输电阻塞管理的灵敏度分析模型及算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(4): 10-13.
WANG Xiu-li, GAN Zhi, LEI Bing, et al. Sensitivity analysis approach to transmission congestion management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(4): 10-13.
- [5] 张永平, 方军, 魏萍, 等. 输电阻塞管理的新方法述评(二): 金融性输电权及与 FGR 之比较[J]. 电网技术, 2001, 25(9): 16-20.
ZHANG Yong-ping, FANG Jun, WEI Ping, et al. A new market-based congestion management method. Part II: financial transmission rights and comparison with flowgate rights[J]. Power System Technology, 2001, 25(9): 16-20.
- [6] 方军, 张永平, 魏萍, 等. 输电阻塞管理的新方法述评(一): 基于潮流的可交易输电权[J]. 电网技术, 2001, 25(7): 4-8.
FANG Jun, ZHANG Yong-ping, WEI Ping, et al. A new market-based congestion management method. Part I: flow-based tradable transmission rights[J]. Power System Technology, 2001, 25(7): 4-8.
- [7] 任震, 吴杰康, 吴重民. 在竞争的电力市场下的传输阻塞管理与

定价[J]. 电力系统自动化,2002,26(4):19-22.

REN Zhen,WU Jie-kang,WU Zhong-min. Congestion management and pricing in competitive power market[J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(4):19-22.

[8] 杨洪明,段献忠,何仰赞. 阻塞费用的计算和分摊方法[J]. 电力自动化设备,2002,22(5):10-12.

YANG Hong-ming,DUAN Xian-zhong,HE Yang-zan. Calculation and allocation of congestion cost[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(5):10-12.

[9] 樊志强,潘姿君,戴玉超,等. 电力市场的输电阻塞优化管理[J]. 工程数学学报,2004,21(增刊):101-108.

FAN Zhi-qiang,PAN Zi-jun,DAI Yu-chao. Optimizing management of transmitting-electricity's jam-up in electricity market [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics,2004,21(supplement):101-108.

[10] 万磊,龙振兴,欧小亮,等. 电力市场输电阻塞管理模型[J]. 工程数学学报,2004,21(增刊):109-116.

WAN Lei, LONG Zhen-xing, OU Xiao-liang. Models for electric jam management[J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics. 2004,21(supplement):109-116.

[11] 罗孝玲. 期货投资学[M]. 北京:经济科学出版社,2003.

(责任编辑:柏英武)

作者简介:

周启亮(1981-),男,湖南湘乡人,硕士,主要从事电力系统规划和设计、电力市场、电力特高压研究(E-mail:henry991e@hotmail.com);

王 罡(1973-),男,吉林四平人,副经理,硕士,从事电力运营、电力营销管理与分析研究;

李 伟(1975-),男,天津人,主任,硕士,从事电力系统规划和设计、配网分析研究;

杨力俊(1975-),女,山西大同人,博士,从事电力经济研究、电力规划设计。

Research on option transmission right trade and its mode

ZHOU Qi-liang¹, WANG Gang², LI Wei¹, YANG Li-jun³

(1. Beijing Electric Power Design Institute, Beijing 100055, China;

2. Beijing Yanqing Power Company, Beijing 102100, China;

3. Beijing Electric Power Economy Research Center, Beijing 100055, China)

Abstract: Based on the research on the successful transmission right trade mode and combined with the economic analysis of transmission congestion management, the old mode is optimized and an option transmission right trade mode between power suppliers and consumers is presented. Based on the balanced expectation of transmission congestion loss, power suppliers and consumers come to option agreement in transmission right trade to take on the profit loss equally. At the same time, the power flow is optimized in electric power market to reduce the probability of transmission congestion. It is showed that the option transmission right trade mode has distinguishing characteristics, which decreases profit loss risk and improves social profit.

Key words: commercialization; transmission right; expectation; option trade; mode