

基于节能降耗的发电权交易模型

王雁凌, 程倩

(华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

摘要: 结合现行节能减排政策, 提出将节能指标转化为能耗约束引入发电权交易模型, 并从数学和经济学角度分析了以节能降耗为目的的发电权撮合交易的内涵。在此基础上分别建立了以节能量最优和基于节能控制的效益最优为目标的两种发电权撮合交易模型。通过算例对上述两种模型进行了分析, 交易结果表明, 基于节能控制的效益最优模型在给定节能指标的基础上实现了交易的经济效益最大化, 较好地兼顾了国家能源政策与市场机制。该模型操作性和实效性较强, 适用于以节能降耗为目的的发电权中长期交易。

关键词: 节能降耗; 高低匹配; 发电权交易; 电力市场

Generation rights trade model based on energy conservation

WANG Yan-ling, CHENG Qian

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Considering the energy reduction target in the policy of energy conservation and pollution reduction, this paper introduces energy restrictions into the transaction of generation rights, and analyzes the connotation of the trade matchmaking model from the viewpoint of mathematics and economics. Furthermore, the maximum energy-saving amount model and the energy-saving-constrained maximum social utility model are built and evaluated by case study. The results indicate that the second model can realize the maximum economic benefits in a given energy conservation index, and it takes into consideration both the national energy policy and the market mechanism. It is simple and practical, which is applicable to the energy-conservation based medium-term and long-term generation rights trade.

Key words: energy conservation; high-low match methods; generation rights trading; electricity market

中图分类号: TM73; TM123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)18-0028-05

0 引言

基于节能降耗的发电权交易是指在具有成本、能耗和效率等差异的发电企业之间进行的以许可发电份额为标的的交易行为, 通过相互自发的发电补偿效益, 可以实现发电资源的优化配置。在国外较为成熟的电力市场中, 虽然没有明确提出发电权交易这一品种, 但发电企业之间可以通过期货交易、期权交易、合约交易等手段实现发电权交易的功能^[1]。

在国家节能减排的大局下, 江苏、河南、四川等多个省(网)开展了“水火置换”“以大代小”等形式的发电权交易, 国家和部分省份也纷纷出台发电权交易办法^[2], 发电权交易得到了进一步的实践和发展。国内学者对发电权交易基本理论的研究较早^[3-4]。随着目前节能减排政策的实施, 发电权交

易在节能降耗中的应用得到越来越多的关注和探索^[5-8]。

论文结合国家现行的电力行业节能减排政策^[9]和发电权交易基本原理, 提出在传统发电权交易模型中将政策规定的能耗指标转化为能耗约束, 并针对集中撮合发电权交易方式分别建立了节能量最优模型和基于节能控制的效益最优模型。通过算例表明, 基于节能控制的效益最优模型在满足一定的节能要求的基础上实现了效益最优, 能够较好地兼顾交易的经济效率和节能降耗要求, 适用于市场初期以节能降耗为目的的中长期发电权交易。

1 能耗约束

发电权交易方式主要有双边与集中撮合交易两种: 双边交易是指发电企业交易双方自主协商确定发电权转让电量和转让价格; 集中撮合交易则是指

电力交易中心根据买卖双方申报信息按照“价格优先”“高低匹配”原则撮合交易成交。

我国发电环节节能降耗主要以降低平均发电煤耗为工作目标,相关政策还规定了各大发电集团、各地区平均发电能耗的达标标准。论文将这些达标标准转化为能耗约束条件引入发电权交易模型,确保在达到节能降耗既定目标的基础上,通过市场机制实现经济效益的最大化。这种方式既可以清晰地给出市场节能减排的尺度,又可通过发电企业自发的竞争,提高市场的经济效率。

下面分别讨论在这两种方式中根据既定能耗达标标准设置能耗约束的方法。

1.1 双边发电权交易的能耗约束

发电权双边交易方式的节能效益取决于交易双方的能耗差和交易量。为了使有限的交易份额产生更大节能效益,需要对双边交易的对象进行适当的约束,保证交易更多地发生在能耗差较大的机组之间。

双边交易方式能耗约束:

$$C_2 \leq C_1 - (C_1 E_1 - a E_1) / Q \quad (1)$$

其中: C_1 为出让方机组平均发电煤耗,其初始获取的发电量指标为 E_1 , Q 为其计划发电权出让量; a 为相关政策的平均发电煤耗达标标准, C_2 为受让方的平均发电煤耗。只要发电权受让方的能耗水平 C_2 满足上述约束条件,发电权出让方的平均发电煤耗就能降至政策规定的达标标准,从而促进了区域内总体发电煤耗达标。

从发电权出让方的角度根据能耗水平限制发电权受让的对象,能从机制上保证能耗低的机组在获取受让发电权时具有更强的竞争力,能耗高的机组在出让发电权时更具竞争性,从而提高了发电权交易整体的节能效益。

1.2 集中撮合发电权交易的能耗约束

在集中撮合交易方式中,交易中心可以通过集中化的方式进行区内资源优化配置和系统管理,应用能耗管理方法进行节能总量控制。

节能总量计算公式:

$$C_T = \sum_{r=1}^s C_r E_r - a \sum_{r=1}^s E_r \quad (2)$$

式中: C_r 为第 r 台机组 $r = 1, \dots, s$ (s 为区内机组总台数) 的平均发电煤耗,其交易前发电量指标为 E_r ; C_T 为使交易后机组的平均发电煤耗降至 $a \text{ g/kW}$ 以下,通过撮合交易至少要实现的节能量。

则集中撮合交易的能耗约束为:

$$\sum_{i=1}^m C_i Q_i - \sum_{j=1}^n C_j Q_j \geq C_T \quad (3)$$

其中: C_i 、 Q_i 分别为发电权出让方 i 的平均发电煤耗和实际交易量; C_j 、 Q_j 分别为发电权受让方 j 的平均发电煤耗和实际交易量; m 为出让方总数, n 为受让方总数。

2 发电权撮合交易模型

传统的发电权撮合交易以社会福利最大化为目标函数,按照“高低匹配”交易算法撮合出让和受让方成交,并取买卖双方报价平均值为交易价格。基于节能降耗的发电权交易更具有针对性,其交易模型也需要相应的改进。

2.1 外部性在交易模型中的内化

一般交易模型忽略了企业对环境的外部性。外部性是指企业或个人向市场之外的其他人所强加的成本或利益^[10]。基于节能降耗的发电权交易通过将效率低,能耗高机组的部分或全部发电权电量有偿转让给有剩余发电能力的高效率、大容量火电机组或清洁能源机组,可以促进节能减排,优化资源配置,保护环境,具有正外部性。这样的正外部性是以节能降耗为目的的发电权交易开展的前提,对资源配置水平起着至关重要的作用,如果忽略其影响,将会由于社会收益大于个人收益而造成市场最优交易量低于社会最优交易量,导致市场本身在以福利最大化为目标配置资源方面的失灵。因此本文在建立交易模型时考虑了外部性对交易的影响。

为消除正外部性对市场均衡的影响,通常采取的方法是对产生外部正影响的生产者进行补贴。然而由于社会收益难以准确衡量,社会最优产量也难以确定,补贴的额度如何制定也成为了难题。考虑到发电权交易的社会收益主要取决于交易的节能量,本文利用社会收益与节能量的这种正相关性,以节能量来代替社会收益,从而确定最优社会交易量,并根据交易结果确定补偿对象与补偿额度。

下面分别以节能量最优和节能控制下效益最优为目标,建立基于节能降耗的发电权撮合交易模型,两种模型均兼顾考虑了交易的经济效益与节能效益,但对节能目标和经济目标的实现程度有所不同。

2.2 节能量最优的发电权交易模型 (模型 I)

2.2.1 数学模型

$$\text{目标函数: } \max \sum_{i=1}^m C_i Q_i - \sum_{j=1}^n C_j Q_j \quad (4)$$

即目标函数为交易的总节能量最大。

约束条件:

1) 电量约束

$$Q_i \leq Q_{B_i}, \quad Q_j \leq Q_{S_j} \quad (5)$$

2) 交易电量平衡约束

$$\sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{j=1}^n Q_j \quad (6)$$

3) 单个交易价格约束

$$b_i \geq b_j \quad (7)$$

4) 输电约束

$$W_{L_{\min}} \leq W_L \leq W_{L_{\max}} \quad (8)$$

式中: C_i 为出让方 i 的平均发电煤耗, 其申报电量为 Q_{B_i} , 报价为 b_i , 实际出让量为 Q_i ; C_j 为受让方 j 的平均发电煤耗, 其申报电量为 Q_{S_j} , 报价为 b_j , 实际受让量为 Q_j ; m 为出让方总数; n 为受让方总数。其中, $W_L = [W_{L1}, W_{L2}, \dots, W_{Lk}]$ 为流经输电断面的电量向量, k 为需要校核的输电断面条数; $W_{L_{\max}}, W_{L_{\min}}$ 分别为输电断面最大、最小允许输送电量向量。

2.2.2 模型说明

交易模型的决策变量为交易者的实际总成交量, 而不是撮合成交对交易双方的交易量。由撮合交易原理图 (图 1) 几何意义可知, 使图 1 中阴影部分面积最大即可实现福利最大化。阴影部分面积为需求曲线下方面积与供应曲线下方面积之差, 取决于报价水平和实际成交量, 与交易对象无关。即最大化福利问题可以通过求解交易量来解决, 而不依赖于交易对象的报价差。类比于最大化福利问题, 最大化节能量问题也只取决于买卖双方的能耗水平与实际成交量, 与交易对象无关。基于节能降耗的发电权交易需要同时兼顾交易的节能性与经济性, 不同的交易模型对两者的侧重有所不同。以交易者的实际总成交量作为决策变量, 在求解模型的过程中通过撮合不同的交易对象, 确定交易价格, 可以在确定实现主目标函数的交易量的基础上, 进一步实现次目标的优化, 并保证收益的公平分配。

模型中单个交易的报价约束是在考虑政府补贴的基础上, 使得撮合每笔交易的出让方价格高于或

等于受让方价格, 以保证交易双方的经济利益。

该模型还计及了系统安全约束, 以节能降耗为目的的发电权交易主要为中长期的电量交易, 其输电约束主要考虑输电断面的电量约束^[11]。

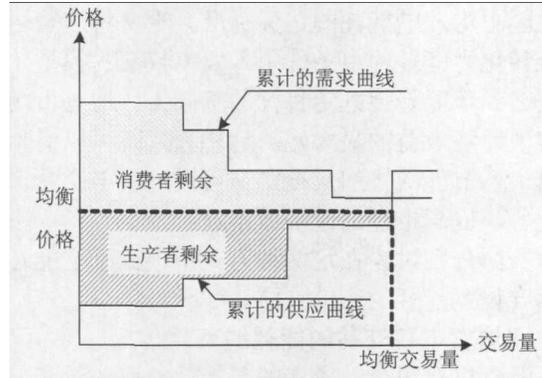


图 1 撮合交易模式交易原理示意图

Fig.1 Principle of high-low match method

2.2.3 交易步骤

1) 根据模型求解出各申报机组的实际交易量, 该求解结果在满足约束条件式 (5)、(6)、(8) 的基础上实现了节能量最大;

2) 对竞价成功机组按照其报价和实际交易量进行高低排序, 按“高低匹配”的方法撮合成交易对, 交易价格为双方报价的平均值;

3) 如交易对中出现出让方报价低于受让方报价的情况, 则双方按照出让方报价成交, 给予受让方一定的补贴。

2.3 基于节能控制的效益最优发电权模型 (模型 II)

由于各机组的燃料来源等方面的差异, 机组的发电煤耗与发电成本的关系并不确定, 导致发电权交易的经济目标和节能目标不一致, 要实现一定的节能目标就可能会削弱交易的经济效益。在这种情况下, 为保障交易的经济效益, 可以考虑循序渐进的进行节能降耗。论文设立一定的节能降耗尺度, 将其转化为能耗约束条件引入交易模型, 使其在一定的能耗约束和系统约束下实现福利最大化, 能耗约束的设立方法如 1.2 所述。

2.3.1 数学模型

$$\text{目标函数: } \max \sum_{i=1}^m b_i Q_i - \sum_{j=1}^n b_j Q_j \quad (9)$$

即目标函数为交易主体的总效益最大。

约束条件:

1) 电量约束

$$Q_i \leq Q_{B_i}, \quad Q_j \leq Q_{S_j} \quad (10)$$

2) 交易电量平衡约束

$$\sum_{i=1}^m \varrho_i = \sum_{j=1}^n \varrho_j \quad (11)$$

3) 单个交易价格约束

$$b_i \geq b_j \quad (12)$$

4) 能耗约束

$$\sum_{i=1}^m C_i \varrho_i - \sum_{j=1}^n C_j \varrho_j \geq C_T \quad (13)$$

2.3.2 交易步骤

1) 根据“高低匹配”原则求解得出经济效益最优时的撮合结果。

2) 计算该交易结果的总节能量, 与能耗约束相比较, 如果未达能耗约束节能量要求, 则继续按“高低匹配”步骤撮合交易至能耗约束满足为止。

3) 对交易结果进行安全校核, 如不满足, 则相应调整与阻塞有关的“交易对”的成交电量, 同时继续撮合后续交易, 直到满足安全约束和能耗约束为止。

4) 交易价格确定如模型 I。

3 算例分析

3.1 算例

以某电力调度辖区系统为例, 根据该区内电源结构, 月度负荷预测等信息, 计算得出本月度区内节能量为 410 吨标准煤。选取其中 9 台机组为发电权交易对象进行模拟交易, 表 1 为参与发电权的发电厂申报参数。分别应用传统的经济效益最大化模型和本文提出的节能量最优和基于节能控制的效益最优对算例进行计算。

表 1 市场成员申报数据

Tab.1 Bidding data of each participant

机组 序号	属性	发电权交易		机组煤耗特性
		申报电量 / MWh	申报价格 / 元·(MWh) ⁻¹	机组平均发电煤耗 / g·(kW·h) ⁻¹
1	卖方	600	310	452.75
2	卖方	800	307	426.10
3	卖方	700	291	411.7
4	卖方	400	285	396.4
5	卖方	200	280	365.5
6	买方	800	270	369.0
7	买方	700	286	325.5
8	买方	900	271	320.1
9	买方	700	260	0

基于节能降耗的发电权交易是在考虑环境外部性的基础上对节能目标和经济目标的双重优化, 对

其交易结果的评价也应综合考虑经济效益与社会效益两方面。本文将节能量按照标准煤单价 (本文取 350 元 / 吨) 转化为节省燃煤成本作为交易的社会效益, 以综合经济效益 (经济效益与社会效益之和) 作为评价交易结果的综合指标, 可以更直观、全面地分析比较各种交易模型的交易结果。交易结果如表 2 所示。

表 2 三种交易模型的交易结果比较

Tab.2 Comparison of the trading results of three models

交易模型	经济效益 / 节能量 / 综合经济效益 /		
	元	吨	元
传统经济效益最大化模型	73 000	389.86	209 451.0
节能量最优模型	66 300	428.57	215 249.5
基于节能控制的效益最优	72 714	410.00	228 514.0

3.2 结果分析

由表 2 可以得出传统模型的节能效果较差; 节能量最优模型的煤耗下降较大, 然而经济效益不佳。基于节能控制的效益最优模型的经济效益虽然比传统模型有所下降, 但是在完成了节能目标的基础上实现了经济效益最优, 在三种模型中综合经济效益最大, 较好地兼顾了交易的经济性与节能性, 达到了真正的效益最优。

4 结语

发电权交易通过市场机制实现了发电环节的节能减排和发电侧利益格局的渐进调整, 是推进当前电力市场改革和深化节能减排工作的有效方式。本文从发电环节的节能降耗与电力市场机制相结合的角度出发, 将能耗约束引入发电权交易中。在此基础上建立了考虑外部性的节能量最优模型和基于节能控制的效益最优模型, 并对其结算与补偿方法进行了探讨。算例分析表明节能量最优模型能够最大程度地降低发电能耗, 但是削弱了交易的经济性; 节能控制的效益最优模型在满足一定的节能要求的基础上实现了效益最优, 使节能降耗要求与经济性得到较好的统一, 实效性可与操作性强。

参考文献

- [1] Green R.J. The electricity contract market in England and Wales[J]. Journal of Industrial Economics, 1999, 47(1): 107-124.
- [2] 电监会. 发电权交易监管暂行办法. 电监市场 (2008) 15 号[S].
- [3] 黎灿兵, 康重庆, 夏清, 等. 发电权交易及其机理分析[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(6): 13-18.
LI Can-bing, KANG Chong-qing, XIA Qing, et al. Generation rights trade and its mechanism[J].

- Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (6): 13-18.
- [4] 陈启鑫, 康重庆, 程旭东, 等. 考虑阻塞管理的发电权交易模型及其网络流算法[J]. 中国工程电机学报, 2008, 28 (34): 106-111.
CHEN Qi-xin, KANG Chong-qing, CHENG Xu-dong, et al. Generation rights trade model and its network flow algorithm considering congestion management[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28 (34): 106-111.
- [5] 陈赞, 严正. 考虑节能减排与网络约束的发电权交易模型[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (12): 52-57.
CHEN Yun, YAN Zheng. Generation rights trade model based on energy-saving emission-reducing and network constraint[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (12): 39-42.
- [6] 肖健, 文福拴. 发电权交易的阻塞调度[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (18): 24-29.
XIAO Jian, WEN Fu-shuan. Congestion dispatch for generation rights trade[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (18): 24-29.
- [7] 郑欣, 蒋传文, 李磊, 等. 基于能耗和效益最优的发电权节能降耗分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (24): 39-42.
ZHENG Xin, JIANG Chuan-wen, LI Lei, et al. Analysis of generation rights trade based on optimization of energy-saving and efficiency[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (24): 39-42.
- [8] 张森林. 区域电力市场中月度撮合交易竞价机制研究(一)考虑输电价格和输电损耗折价的 MCP 结算机制[J]. 继电器, 2006, 34 (10): 50-52.
ZHANG Sen-lin. Research on matchmaking tradeoff competition mechanism in regional electricity market, part one: a MCP competition mechanism based on transmission price and loss[J]. Relay, 2006, 34 (10): 50-52.
- [9] 国家发展和改革委员会. 关于印发节能发电调度试点工作实施方案和实施细则(试行)的通知(发改能源[2007]3523号文)[S].
- [10] 张粒子, 陈之栩, 舒隽, 等. 东北区域市场中长期交易安全校核改进方法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31 (8): 95-99.
ZHANG Li-zi, CHEN Zhi-xu, SHU Juan, et al. An improved security correction method for medium and long-term transaction of northeast electricity market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31 (8): 95-99.
- [11] 庇古. 福利经济学[M]. 金镛, 译. 北京: 华夏出版社, 2007.

收稿日期: 2009-09-22

作者简介:

王雁凌(1970-), 女, 副教授, 从事电力经济分析、电力市场运营理论与技术的研究工作; E-mail: yanling.wang@vip.sina.com

程倩(1985-), 女, 硕士研究生, 主要从事电力市场方面的研究。

(上接第 27 页 continued from page 27)

- LIU Yong-qiang, YAN Zheng, NI Yi-xin. An auxiliary-variable-based direct Mmethod for computing quadratic turning bifurcation points of power flow equations[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (5): 9-13.
- [6] Iba K, Suzuki H, Egawa M, et al. Calculation of critical loading condition with nose cure using homotopy continuation method[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6 (2): 584-593.
- [7] Yorino N, Harada S, Cheng H Z. A method to approximate a closest loadability limit using multiple load flow solutions[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12 (1): 424-429.
- [8] 包黎昕, 张步涵, 段献忠, 等. 电压稳定裕度指标分析方法综述[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(8): 52-55.
BAO Li-xin, ZHANG Bu-han, DUAN Xian-zhong, et al. A summary of the state of the art of voltage stability margine indices[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (8): 52-55.
- [9] 胡彩娥. 应用基于连续潮流算法的遗传算法进行静态电压稳定分析[J]. 电网技术, 2004, 28 (15): 57-61.
HU Cai-e. Application of continuation power flow based genetic algorithm to analysis of static voltage stability[J]. Power System Technology, 2004, 28 (15): 57-61.
- [10] 史继莉, 邱晓燕. 基于免疫算法的电压稳定裕度计算[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19 (1): 79-82.
SHI Ji-li, QIU Xiao-yan. Voltage stability margine caculation based on immune algorithm[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 19 (1): 79-82.
- [11] 刘科研, 盛万兴, 李运华. 基于改进免疫遗传算法的无功优化[J]. 电网技术, 2007, 31 (13): 11-16.
LIU Ke-yan, SHENG Wan-xing, LI Yun-hua. Reactive power optimization based on improved immunity Genetic algorithm[J]. Power System Technology, 2007, 31 (13): 11-16.

收稿日期: 2009-10-15; 修回日期: 2009-11-12

作者简介:

李娟(1972-), 女, 副教授, 博士, 从事电力系统运行控制及 FACTS 研究;

陈继军(1979-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统电压稳定性研究; E-mail: ahfengyongli@126.com

司双(1985-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统运行控制及 FACTS 研究。