

基于虚拟电交易的水火电置换机制研究

陈 岭¹, 李 俊²

(1. 成都电业局, 四川 成都 610041; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 电力产业能效严重影响着整个能源行业的效率。如何通过经济手段提高发电能效是提高整个能源行业效率的关键。在遵循国家能源政策, 充分有效利用水资源的前提下, 引入了市场机制的调节作用, 构建了基于水火电置换的虚拟电交易市场, 其市场交易主体包括各发电企业、供电企业及大型用电企业。在虚拟电交易的基础上, 各交易主体根据各自利益最大化原则, 制定市场参与计划, 并建立置换电量在虚拟电交易主体中的优化分配模型, 应用线性规划法进行求解, 以合理分配各方利益。计算表明该模型简单实用, 能够较好地兼顾国家能源政策和市场机制的调节作用两方面的因素, 在中国电力市场改革的初级阶段具有一定的实用性。

关键词: 电力市场; 水火电置换; 虚拟电; 虚拟电交易

Abstract: The efficiency of power industry is related to the efficiency of the entire energy industry. How to improve the power efficiency in production process by economic method is the key to increase the efficiency of the entire energy industry. With the preconditions of complying with the state energy policies and sufficiently utilizing the water resource, the regulation of market mechanism is introduced. A market for virtual electricity trade is constructed on the basis of hydro-thermal exchange. The main participants of this market include power generation companies, power supply companies and high energy-consuming enterprises. Based on the virtual electricity market, each participant formulates their own plan considering the principle of maximizing benefits. An optimal dispatch model is set up for electricity volume exchanged among the plants which participate in the virtual electricity trades, and the linear programming approach is used to calculate the results. The calculation and results indicate that the discussed model is simple and easy to use. It can give consideration to both state energy policies and market mechanism quite well, and can be practically used in the initial phase of electricity market reform in China.

Key words: electricity market; hydro-thermal exchange; virtual electricity; virtual electricity trade

中图分类号: TM714 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)05-0026-05

0 前 言

电力产业在整个能源行业中居于核心地位, 水火电是中国未来电力市场中参与市场竞争交易的主要电源类型。因此, 如何通过经济手段设计合理机制, 实现水火电能源置换, 以提高水电资源的利用效率, 是提高发电能效的关键, 也是提高整个能源行业效率的关键。

水火电置换就是采用签订双边容量合同(合同中确定合同电量与合同电价)的方式, 解决各发电公司(或电厂)由于历史原因而引起的容量(固定)成本的差异, 从而使它们处在“同一起跑线上”竞争。当前对水火电置换交易的研究文献相对比较少, 四川电力公司和华中电网都对水火电置换进行过实验性

研究^[1-3]。文献[4]对水火电置换的发电权调节市场进行了研究, 提出了以社会总效用最优的置换电量优化模型。文献[5]提出了“容量合同+效率置换+实时市场”模式。文献[6]研究了在水火电混合系统中制定现货交易计划, 将水电和火电划分成两个独立的子集, 各子集内部分别按照购电费最低的原则竞价上网。文献[7]在研究水火电协调的日交易计划时, 综合考虑了水火协调与能源、环境和经济的关系, 将多目标优化问题较好地统一到购电费用最低这个单目标问题中。以上研究主要集中在两个方面: 一方面是利用电力准确调度实现水火电置换, 需要电网调度中心信息充分并能准确预测; 二是通过经济学办法, 设计发电权交易市场, 利用市场机制实现资源的合理配置。但在发电权交易市场中, 由于发电权的局限, 市场参与方只能是发电企业, 对合同电能的风险

规避能力不强。

在借鉴国外可再生能源市场 (ROS)^[9-10]发展的基础上,考虑中国自身资源特点,引入了市场机制的调节作用,构建了基于水火电置换的虚拟电交易调节市场。在虚拟电交易的基础上,各交易主体根据各自利益最大化原则,制定市场参与计划,并建立置换电量在虚拟电交易主体中的优化分配模型,应用线性规划法进行求解,以合理分配各方利益。

1 虚拟电及虚拟电交易市场

1.1 虚拟电概念及特点

虚拟电是指发电企业在电网公司分配的发电权之外以及和工业用户已经签订的直购电合同之外还具有的剩余发电能力,是指以“虚拟”的形式隐形于发电企业发电剩余能力中的电。虚拟电的特征主要表现为:①非真实性。虚拟电是以“虚拟”的形式包含在生产能力中的电,是“看不见”的电。②社会交易性。没有虚拟电交易及虚拟电交易市场,虚拟电就只是一种发电能力,不能通过这种发电能力转为真正的电。③便捷性。基于实体电能交易中的种种瓶颈,虚拟电以“无形”的形式存在于发电企业剩余发电能力中,其市场化交易的特点使虚拟电交易成了一种可以利用市场基础功能优化能源配置的有用工具,并为实现水火电量置换及充分利用可再生能源发电提供了有效途径。

1.2 虚拟电交易市场

虚拟电交易是指发电企业剩余发电能力的交易,其交易主体包括电网内的各种竞价发电企业(主要指火电厂和水电厂)和供电企业,还包括电网外的大型用电企业。

虚拟电交易市场是在合约市场、月竞价市场和日前市场的基础上建立起来的,其任务是通过市场机制,利用发电企业的剩余发电能力,进行电量置换。交易主要采用市场方式,各交易主体采用挂牌交易的方式。被批准进入市场的各交易主体根据平等自愿的原则,在不推动上网电价上涨的前提下,按照市场运行规则和约定,相互之间进行虚拟电量转让交易,通过竞价实现买进或卖出虚拟电量。虚拟电交易市场实质上是一种剩余电量的期货交易市场。结合合约市场上各方年度电量合约的签定情况,虚拟电卖方是在合约电量基础上卖出自身的剩余发电能力,并在交易的虚拟电中确定的执行时段发电或利用年初合

同电补偿,即在期货市场提前卖出产品并通过现货市场平仓,其虚拟电卖价是其自愿利用其剩余发电能力发电的价格;而虚拟电买方是在经济上自身发电不划算或电力需求超过年初预测的情况下,通过买入虚拟电量,并利用虚拟电量执行合约电量或利用虚拟电满足增加的电力需求,其虚拟电买价是其自愿放弃自身发电能力发电或为满足电力市场新增需求时的价格;市场调度交易中心负责计算买卖双方的交易是否符合电网潮流约束,并在通过潮流约束条件下同意双方执行交易,并收取相应的费用。

这里的虚拟电交易类型指月间虚拟电交易市场,其最大的时间范围为申报月的下一个月到当年年底,交易时段为“月”。其他日间虚拟电交易及小时虚拟电交易与月间发电类似,只是交易时段的不同,在此不再详述。

1.3 各利益方交易价格限值

由于各发电企业发电成本不同,各参与方是否参与虚拟电市场的买卖价格上下限存在了差异。目前,水、火电及大型用电企业并没有在同一电能市场平台上参与竞争的实际情况,根据各参与方的利润最大化原则,虚拟电交易的价格上下限,见表 1。

表 1 虚拟电市场各参与方报价限值

参与方	卖方 (价格下限)	买方 (价格上限)
水电	水电边际成本	未完成合同电量的惩罚成本
火电	火电边际成本	火电边际成本
供电企业	0	销售电价
用电企业	合同电价 + 生产利润	合同电价

1.4 虚拟电交易市场组织流程

虚拟电交易市场的组织流程类似于期货市场,不同之处在于需要考虑电力系统的网络约束性,即交易必须在通过潮流约束后才能成交。其组织流程如图 1 所示。

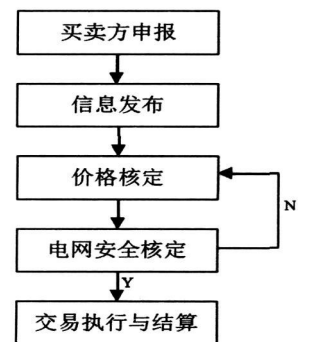


图 1 虚拟电交易市场组织流程

(1)虚拟电卖方申报:虚拟电卖方针对年度内未来某月自身发电能力的预测,考虑已签定的合约电量,计算该月度自身的剩余发电能力多少,并向交易中心进行申报,申报内容包括:虚拟电时间、虚拟电量与每个交易时段的虚拟电卖价,以及到期平仓时对应实际电能的来源。

(2)虚拟电买方申报:买方通过分析自身的生产成本、经营特点等,按照利益最大化原则向交易中心申报:虚拟电时间、虚拟电量与每个交易时段的虚拟电买价。

(3)交易中心发布信息:在规定的时间内,交易中心发布虚拟电卖方和买方的交易信息。

(4)价格核定:交易中心按照 PAB 模式进行交易价格核定,并将成交价格反馈与买方和卖方,双方同意即通过价格核定。

(5)电网安全核定:对价格核定通过的虚拟电交易前,调度中心应进行电网的潮流计算和安全校核,若无法通过安全校核,交易无效。

(6)虚拟电交易确认:在规定的时间内,交易中心发布通过价格核定和电网安全核定的虚拟电交易结果,内容包括:交易时段、虚拟电交易量、成交价格及到期平仓对应实际电能的来源。

(7)交易执行与结算:交易确定后,买卖双方执行虚拟电交易。买方获得虚拟电量,并按照价格核定内容支付卖方虚拟电价格。买卖双方平摊安全校核费用。

1.5 相比发电权交易市场的优势

发电权市场转让的只是发电权,而发电权是调度中心分配给各电厂的发电权利,市场参与方局限于拥有发电权和需要发电权的发电企业,相比而言,虚拟电市场参与方除了发电企业外,增加了供电企业和大型用电企业,大型用电企业通过参与产品期货市场安排自身用电时段及用电量,可将电力系统中无法解决的问题(如电力传输、垄断定价)转移到成熟的商品市场给予解决。

当市场参与主体签定年初发电合同或购电合同后,由于经济原因或不可抗力因素出现了市场预测错误时,参与方可以通过在虚拟电市场买入虚拟电或卖出虚拟电的形式,增加自身收入或减少自身损失,因此,虚拟电市场相对于发电权市场而言,提高了参与方的风险规避能力。

2 交易电量电价优化模型

2.1 假设条件

(1)假设共有 I 个发电企业(包括火电和水电),第 i 个企业用下标 i 表示;有 J 个大型用电企业,第 j 个企业用下标 j 表示;有 K 个供电企业,第 k 个供电企业用下标 k 表示。

(2)合约电量和合约电价分别为 W_e 和 P_e ;虚拟电量和价格核定的虚拟电价分别为 W_v 和 P_v ,虚拟电市场参与方卖出虚拟电时 W_v 为正,买入虚拟电时 W_v 为负。 C 表示企业的单位生产成本。

(3)假定共有 T 个时段,且信息不对称。

2.2 发电企业

发电企业在自身发电能力的约束下通过虚拟电市场实现自身的利益最大化,目标函数为

$$M \alpha x S_i = P_{e,i} W_{e,i} - C_i W_{e,i} + \sum_{j=1}^T P_{v,i} W_{v,i,t} - C_i \sum_{j=1}^T W_{v,i,t}$$

约束条件包括电厂共有约束和水电特有约束,其中共有约束为

① 电厂发电能力限制

$$W_{e,i,t} + W_{v,i,t} \leq E_{i,t}$$

$E_{i,t}$ 为发电企业 i 在第 t 时段的最大发电能力。

水电特有约束包括水流平衡约束和水电发电出力约束。

② 水流平衡

$$V_{i,t+1} = V_{i,t} - I_{i,t} - Q_{i,t} - S_{i,t}$$

式中, $V_{i,t}$ 为第 i 个电站水库 t 交易时段初存水量; $I_{i,t}$ 为水库 i 交易时段天然来水量; $Q_{i,t}$ 水库 i 交易时段发电用水量; $S_{i,t}$ 水库弃水量。有不等式约束条件:

$$V_{i,t \min} \leq V_{i,t} \leq V_{i,t \max}$$

$$Q'_{i,t \min} \leq Q'_{i,t} \leq Q'_{i,t \max}$$

③ 水电厂发电出力

$$P_{hj,i,t} = R_i H_{i,t} Q'_{i,t}$$

式中, R_i 第 i 水电厂 t 交易时段出力系数,由水库水头和发电效率决定; $H_{i,t}$ 水电厂 i 交易时段平均水头。

④ 水库存水量边界条件

水库在调度期始末的存水量分别为 V_0 和 V_e 。

2.3 大型用电企业

大型用电企业是在自身产品生产能力的约束下通过虚拟电市场购电或投机获得自身利益最大化。对用电企业 i 其目标函数为

$$M \alpha x S_j = P_j Q_j - C_j Q_j - \sum_{i=1}^T (P_{v_{ji}} W_{v_{ji}} + P_{e_{ji}} W_{e_{ji}})$$

其中 P_j 为企业产品单价, C_j 为企业产品的单位成本。 Q_j 为企业产品产量, 企业产品产量与企业的实际生产用电量呈正相关关系, 为简化模型, 假设为线性关系:

$$Q_j = \alpha \sum_{i=1}^T (W_{e_{ji}} + W_{v_{ji}})$$

约束条件为生产能力约束:

$$Q_{j,t} \leq Q_{j,max}$$

2.4 供电企业

供电企业根据自身利润最大化制订参与虚拟电市场计划, 其目标函数为

$$M \alpha x S_k = P_k W_{e_k} - P_{e_k} W_{e_k} + \sum_{i=1}^T P_{v_{ki}} W_{v_{ki}} - P_k \sum_{i=1}^T W_{v_{ki}}$$

约束条件为负荷需求约束:

$$W_{e_{kt}} - W_{v_{kt}} = D_{kt}$$

其中, D_k 为供电企业 k 管辖区域在 t 时段的负荷需求。

2.5 调度中心

虚拟电市场价格核定通过之后, 调度中心要计算电网的安全约束, 即虚拟电交易能否满足平衡约束和电网输电约束。

①平衡约束

$$\sum_{i=1}^I (W_{e_{it}} + W_{v_{it}}) = \sum_{j=1}^J (W_{v_{jt}} + W_{e_{jt}}) + \sum_{k=1}^K (W_{e_{kt}} + W_{v_{kt}})$$

即 t 时段总的发电量等于总的用电量。

②输电约束

$$I_i \leq I_{i,max}$$

$I_{i,max}$ 表示线路 i 的最大输电能力。

3 算例分析

利用前面所建立的数学模型, 针对水火电置换问题, 在虚拟电交易市场规则中, 应用线性规划法对丰水期 (8 月份) 的虚拟电量在虚拟电市场进行交易。

设 8 月份来水偏丰, 提前一个月将进行 8 月份的虚拟电市场交易。各参与方在 7 月份预测自身 8 月份的发电量见表 2。

从交易结果可以看出, 在 8 月份共完成水火置换电量 30 000 MW h。其中火电企业 2 和火电企业 3 根据自身生产平均成本和各参与方报价, 决定不参与虚

拟电市场; 水电企业 1 和水电企业 2 通过虚拟电市场交易, 增加了利润; 火电企业 1 和用电企业 1 通过虚拟电交易, 降低了生产成本。

表 2 八月份预测发电量

电厂	月份	预计发电量 /MW h
火电 1	8	48 000
火电 2	8	42 000
火电 3	8	24 000
水电 1	8	750 000
水电 2	8	450 000

表 3 八月已签合同电量

参与方	月份	类型	合同	合同	平均
			电量 /MW h	电价 / (元 /MW h)	成本 / (元 /MW h)
火电 1	8	卖出	40 000	288	130
火电 2	8	卖出	42 000	288	120
火电 3	8	卖出	24 000	288	114
水电 1	8	卖出	400 000	288	84
水电 2	8	卖出	420 000	288	60
供电 1	8	买入	180 000	288	288
企业 1	8	买入	12 000	160	160

表 4 水电厂约束条件

水电	R_i / 10^{-4}	Q_{max} / (m^3/s)	Q_{min} / (m^3/s)	V_{max} / $(10^8 m^3)$	V_{min} / $(10^8 m^3)$	H_i /m
1	87	1 500	170	170	70	115
2	86	1 100	70	65	15	100

表 5 各市场参与方申报数据

参与方	类型	月份	虚拟电量 /MW h	报价 (元 /MW h)
火电 3	买家	8	24 000	94
火电 2	买家	8	40 000	100
火电 1	买家	8	30 000	106
企业 1	买家	8	10 000	110
水电 2	卖家	8	30 000	120
水电 1	卖家	8	350 000	140
企业 1	卖家	8	12 000	200

表 6 八月份虚拟电市场交易结果

交易次序	卖方	买方	虚拟电量 /MW h	成交价格 / (元 /MW h)
1	水电 2	企业 1	10 000	115
2	水电 2	火电 1	20 000	113
3	水电 1	火电 1	10 000	123

4 结 论

建立月间虚拟电交易市场, 各参与主体可根据自身能力和市场条件确定是否参与虚拟电交易。通过虚拟电市场, 发电企业可实现自身利益最大化, 供电企业和大型用电企业可规避市场风险。参与主体达

到自身目的同时,通过市场机制实现了水火电置换,水电资源得以充分利用,国家相关政策得到较好的实施。算例结果表明,所提出的模型简单可行,能较好的发挥市场调节功能,在中国电力市场改革初期具有一定的实用性。

参考文献

[1] 四川省电力公司编.探索中的四川电力市场[M].北京:中国电力出版社,2000.

[2] 国家电力监管委员会.华中电力市场建设研究报告[R].北京:国家电力监管委员会,2004.

[3] 国家电力监管委员会供电监管部.东北区域电力市场试点工作理论与实践探索——两部制电价模式[R].北京:国家电力监管委员会,2004.

[4] 王雁凌,张粒子,杨以涵.基于水火电置换的发电权调节市场[J].中国电机工程学报,2006,3(26):131-136.

[5] 江岳春,姚建刚,周丽兰,等.基于“容量合同+效率置换+实时市场”模式的发电竞价系统的研究[J].电工技术学报,2006,21(1):52-57.

[6] 蔡兴国,林士颖,马平.现货交易中梯级水电站竞价上网的研究[J].中国电机工程学报,2003,23(8):56-59.

[7] 马瑞,贺仁睦,颜宏文,等.考虑水火协调的多目标优化分组分段竞标模型[J].中国电机工程学报,2004,24(11):53-57.

[8] 陈晓林,刘俊勇,宋永华,等.利用差价合同和金融输电权的组合规避电力市场风险[J].中国电机工程学报,2005,25(10):75-81.

[9] Bialek J W. Transmission Charging and Growth of Renewables in the UK[C]. Power Engineering Society General Meeting 2007:1-6.

[10] Soni A. Ozveren C S. Renewable Energy Market Potential in U. K. [C]. Universities Power Engineering Conference 42nd International 2007:717-720.

作者简介:

陈岭(1971),女,成都人,成都电业局。

李俊(1981),男,四川大学电气信息学院博士研究生,主要从事电力市场、电力经济评估等方面的研究工作。

(收稿日期:2010-05-27)

(上接第 6 页)

4 结束语

雷电活动具有很大的随机性和分散型,惠州地区的雷电参数统计结果表明,惠州地区属于特殊强雷区,雷电流极性的分布与现行规程分布一致,但是在雷电流小于 40 kA 出现的概率比规程推荐公式高 10 个百分点,认为应当加强 110 kV 以上高压输电线路绕击的防护。而落雷次数几乎以三年为周期呈上升趋势,雷电活动也有增强的趋势,同时惠州地区各行政区域的雷暴日均很高,属于特殊强雷区,落雷次数差异比较大,落雷次数与雷暴日正相关,建议加强现有线路的防雷改造,适当提高惠州地区的防雷设计标准,在防雷设计中应当考虑各区域雷电频度的差异。

参考文献

[1] 陈水明,樊灵孟,何宏明,等.广东省雷电定位系统运行情况[J].中国电力,2001,34(12):43-47.

[2] DL/T 62021997.交流电气装置的过电压保护和绝缘配

合[S].北京:电力工业出版社,1997.

[3] 孙萍,郑庆均,吴璞三,等.220 kV 新杭线 1 回路 27 年雷电流幅值实测结果的技术分析[J].中国电力,2006(7):74-76.

[4] 杜澍春.关于输电线路防雷计算中若干参数及方法的修改建议[J].电网技术,1996,20(12):53-56.

[5] 李功新.基于 GIS 的电网生产管理系统建设与应用[M].北京:科学出版社,2008.

[6] 陈家宏,童雪芳,谷山强,等.雷电定位系统测量的雷电流幅值分布特征[J].高电压技术,2008,34(9):1893-1897.

作者简介:

谢鹏(1978)男,硕士,工程师,主要从事高电压技术及变电一次设备的管理与研究。

魏莱,男,工作于广东电网公司惠州供电局。

赵紫辉(1985)男,硕士研究生,主要研究方向为过电压防护与接地技术。

马御棠(1986)男,硕士研究生,研究方向为架空线路防雷与接地技术。

吴广宁(1969)男,教授,博士生导师,主要从事高电压与绝缘技术方面的研究。

(收稿日期:2010-07-15)