

多种电能交易的统一实现算法

韩文长, 唐学军, 张 维, 范玉宏

(华中电网有限公司, 湖北 武汉 430077)

摘要: 介绍了笔者所在项目组研发的电能交易仿真系统, 该系统能够提供三种交易模式: 撮合交易、节能调度交易和竞价交易, 经过研究, 设计了一个能统筹三种交易模式的算法—动态匹配对队列算法, 实现了多种交易模式算法的统一, 从而使复杂问题简单化, 使系统具备极强的扩展能力。还使用集合、矩阵等数学符号来描述动态匹配对队列, 使之成为一个数学问题, 以便更精确地描述, 并启发读者作更深入的研究。

关键词: 动态匹配对队列; 电能交易仿真系统; 匹配交易; 交易矩阵; 交易模式

Unified algorithm of multi transaction modes in electric power market

HAN Wen-chang, TANG Xue-jun, ZHANG Wei, FAN Yu-hong
(Central China Grid Company Limited, Wuhan 430077, China)

Abstract: The paper develops an electric transaction simulation system including high-low match, energy-saving generation dispatching, and bidding modes. To reduce the complexity caused by so many modes, this paper proposes a novel algorithm, dynamic match queue algorithm, which can unify the multi transaction algorithm. So the simulation system has very strong expansibility. In order to accurately describe dynamic match queue, it introduces a mathematic description by sets, matrixes and so on, which can enlighten the readers to research deeply.

Key words: dynamic match queue; electric transaction simulation system; match exchange; exchange matrix; transaction mode

中图分类号: TM73;F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0001-04

0 引言

伴随改革开放, 电力行业处在从计划到市场体制转变的探索期和电力市场逐步建立期, 各种各样的电能交易模式应运而生, 各区域电网、省市电网纷纷投资建设电力市场技术支持系统^[1], 但这些系统因定位于实际运行, 极大地受到实际需求和现有模式的制约, 不能适应探索期快速变化的要求, 因此重复建设在所难免, 能不能有个系统, 跳出实际因素的制约, 并能充分反映这些已经出现的各种市场交易模式呢? 基于此目的, 2008 年, 我们组织了一个研发小组, 研发一套电力市场电能交易仿真系统。

1 交易仿真系统

交易仿真系统分为七个模块(如图 1 所示)。市场主体基本信息管理、历史记录管理、市场预测系统、交易配置管理、交易申报管理、交易模拟管理、交易影响分析和指标管理。

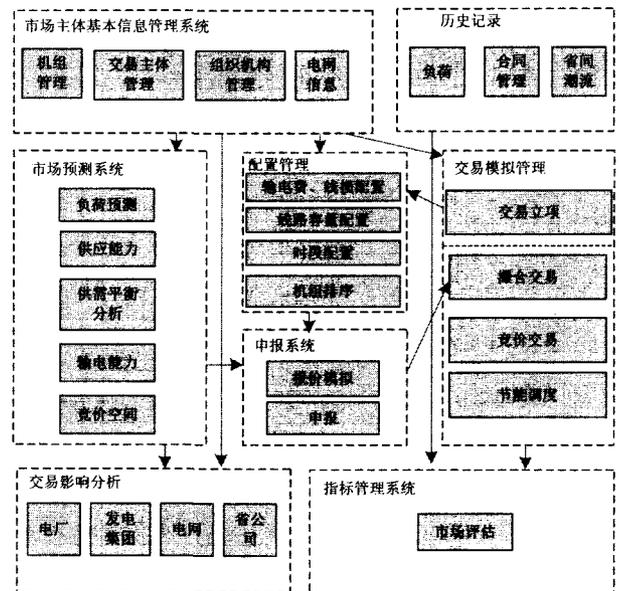


图 1 仿真系统功能体系

Fig.1 Function frame of simulation system

交易仿真系统的定位是: (1) 为政府部门、电

监会提供政策研究、市场研究、电价研究提供决策咨询服务；(2)为电力市场参与者提供参与策略研究服务；(3)为电力市场参与者提供培训服务；(4)为电力市场管理者提供对电力市场分析的服务；(5)为电力市场支持系统开发和维护提供服务平台。

交易仿真系统提供的服务是：(1)研究国家政策变化对电力市场影响；(2)研究电价变化对电力市场影响；(3)研究交易模式变化对电力市场影响；(4)研究电力市场交易过程及结果分析评估。

2 交易模式原型

交易仿真系统由多种交易模式组成，目前比较常见的交易模式有：撮合交易、竞价交易、节能调度。

按照交易时间范围分，交易又可以分为：年度交易、月度交易、单笔挂牌（多日）交易、日前交易。

按照市场级别分：一级电力市场（国家电网，交易主体为区域电网），二级电力市场（区域电网，交易主体为各个省市电力公司或者电厂），三级电力市场（省市电网公司），本系统主要针对二级电力市场，并以华中电网作为案例原型。

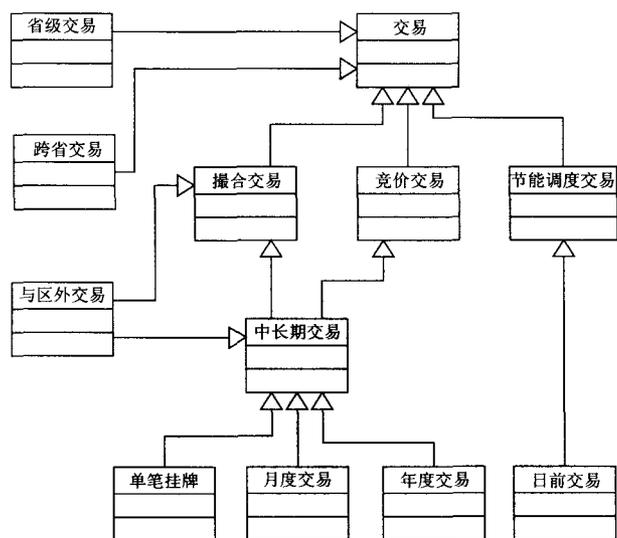


图 2 仿真系统交易类型 UML 类图

Fig.2 UML class diagram of transaction modes in simulation system

2.1 撮合交易

对于二级电力市场而言，撮合交易的交易主体是各省市公司，还有部分的电厂可以直接参与交易。

撮合交易将交易所在期限内的每天分为多个不连续的时段，每个时段可以单独进行报价，单独进

行撮合，匹配原则是根据买卖价差大者优先成交(扣除买卖双方之间的线路损耗)，并受限于跨省联络线容量。

单个时段匹配算法步骤如下：

- (1) 获取某个时段的售电和购电报价；
- (2) 依次计算购电方与售电方之间的价差，价差等于购电方折算后的价格减去售电方申报价格；
- (3) 购电方折算后的价格=购电方的申报价格×(1-输电线损率)-输电价格；
- (4) 价差大于或等于零的购电方与售电方之间形成一个有效匹配对；
- (5) 从价差最大的匹配对开始撮合，计算该匹配对的成交电力、电量和成交价格；
- (6) 存在价差相同的多个匹配对时，以售电方申报价格低的优先成交；若售电方申报价格相同，以申报时间早的优先成交；
- (7) 按照购、售电双方平均分配价差的原则，确定匹配对的成交价格；
- (8) 确定一个匹配成交对后，相应调整可用通道容量和各主体的报价中可供撮合的容量，继续进行其他有效匹配对的撮合计算，直到可供撮合的容量为零或跨省联络线的可用通道容量为零。

2.2 竞价交易

竞价交易的交易主体仍是各省市及其所有参与竞价的电厂机组，算法分为三步：第一步确定开机机组，第二步确定各机组的发电量，第三步确定各机组发电曲线，具体步骤如下：

(1) 根据省(市)的用电需求，将省(市)的发电机组按售电报价排序，报价低者优先满足本省。这样就将省(市)的发电机组分为了边际内机组和边际外机组。

(2) 将各个省(市)的边际外机组报价考虑网损和跨省输电费折算到其他省(市)，并与其他省(市)的边际内机组进行匹配。用其他省(市)的边际内机组的报价值减去该折算值，如果报价值之差大于 0，则形成一个匹配对。依次循环，直至列出全部的匹配对。

(3) 将匹配对按照报价差进行排序，报价差最大者优先“中标”，中标发电量为两者发电量和线路容量三者中的最小值。

(4) 在确定完开机方式后，对用电负荷 96 点曲线进行分配，形成所有开机机组的 96 点发电负荷曲线。

2.3 节能调度交易

2007 年国家有关部委出台了《节能发电调度办

法》^[2], 节能调度交易成为大量关注电力市场的研究人员的研究重点, 并且在全国有几个省市电力公司已经开始了试点工作, 经过充分论证, 只要将竞价交易中的售电价改为煤耗, 节能调度和竞价算法是一致的, 因此这里就不赘述。

3 统一算法的实现

3.1 算法的统一

经过对上述交易模式的仔细研究和分析, 笔者认为: 不管是哪种模式, 都有一个共同的要素——匹配交易, 即有一个需方队列和一个供方队列, 两个队列根据不同的交易模式进行不同地排序, 并形成有效的匹配对队列, 这个队列按照煤耗差或者价差排序, 形成一个有序匹配对队列, 按照这个思路, 笔者设计了统一的算法, 其中总算法框图如图 3。

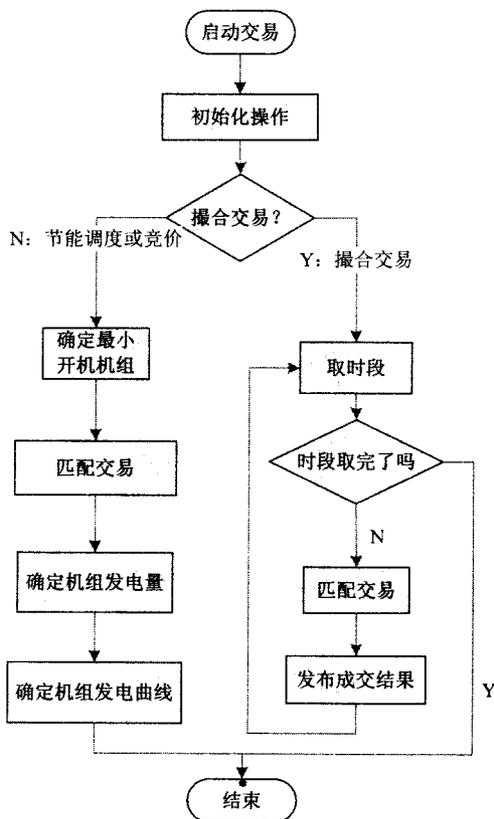


图 3 交易总算法框图

Fig.3 Flowchart of main algorithm of transaction

3.2 匹配

三种交易模式在框图中的统一点是“匹配”。

匹配对于三种交易来说, 所起的作用是不一样的, 对于节能调度交易来说, 匹配是通过优化确定煤耗低的机组优先中标为开机机组, 对于竞价交易来说, 匹配是通过优化确定报价低的机组优先中标

为开机机组, 对于撮合交易来说, 匹配就是售购双方(省市电力公司或部分可以参与交易的电厂)按照价差(扣除线路损耗)大者优先成交的原则进行的交易, 包括确定成交量。

对于不同的交易虽然匹配的作用不同, 但执行的算法却是一样的(如图 4 匹配框图)。

(1) 准备匹配对队列: 根据申报和交易模式, 形成两个有序队列: 需方队列(称之为 A 队)和供方队列(称之为 B 队)。

(2) 产生匹配对队列: 将 A 队每个数据和 B 队所有数据匹配, 形成匹配对, 并计算比较量(煤耗或申报电价)的差额, 排除差额不满足要求的匹配对, 按照差额倒序形成一个有效匹配对的队列。

(3) 成交: 将差额最大的匹配对作交换, 并通过考虑供需双方的电量、以及联络线容量, 计算交换电量。

(4) 调整匹配对列, 将刚成交的匹配对从匹配对队列中删除, 并根据交换量修正其他相关匹配对, 即某个匹配对的供方和刚成交的匹配对的供方一样, 则将该匹配对的供量大于交换量, 则供量减去交换量, 如果小于等于交换量, 则去掉该匹配对, 需方用同样的方法处理。

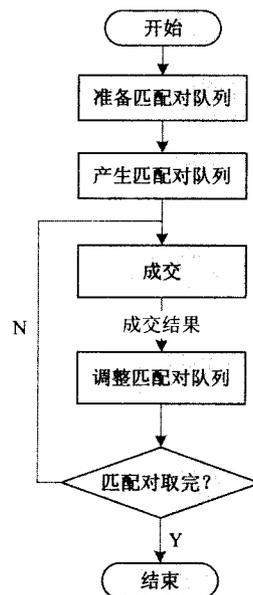


图 4 匹配框图

Fig.4 Flowchart of high-low match algorithm

3.3 动态匹配对队列

在匹配交易算法中, 匹配对队列随着算法的执行是在动态地变化着的, 一直到匹配对处理完, 算法结束, 这里给出一个“动态匹配对队列”的概念, 并用数学符号定义, 使得动态匹配对队列问题变成

一个数学问题, 以便更精确地描述, 并启发读者作更深入的研究。

动态匹配对队列为一个六元组:

$$T=(A, B, R_{ab}, J, F)$$

(1) A

为供方集合, 设 $a \in A$, 则 a 是一个四元组:

$$a=(i_d, c, p, v), \text{其中 } i_d \text{ 为元素身份, 相当于供}$$

方, c 为比较值, 煤耗或电价, p 为报价, v 为可供交易的量。

(2) B

为需方集合, 设 $b \in B$, 则 b 是一个四元组:

$$b=(i_d, c, p, v), \text{其中 } i_d \text{ 为元素身份, 相当于需}$$

方, c 为比较值, 煤耗或电价, p 为报价, v 为可供交易的量。

(3) R_{ab}

是一个 $A \times B$ 关系矩阵, 我们称之为交易矩阵,

假设, $A=\{a_1, a_2, a_3\}$, $B=\{b_1, b_2, b_3\}$, 则 R_{ab} 矩阵如下:

$$R_{ab} = \begin{pmatrix} r_{(a_1, b_1)} & r_{(a_1, b_2)} & r_{(a_1, b_3)} \\ r_{(a_2, b_1)} & r_{(a_2, b_2)} & r_{(a_2, b_3)} \\ r_{(a_3, b_1)} & r_{(a_3, b_2)} & r_{(a_3, b_3)} \end{pmatrix}$$

设 $r_{(a,b)} \in R_{ab}$, $a=(i_{da}, c_a, p_a, v_a)$, $a \in A$, $b=(i_{db}, c_b, p_b, v_b)$, $b \in B$, 则 $r_{(a,b)}$ 是一个三元组: $r_{(a,b)}=(a, b, l_r)$, l_r 为限制因子, 即 i_{da} 和 i_{db} 之间的联络线限制容量。

(4) J

为成交结果集, 设 $j_{ab} \in J$, 则 j_{ab} 为一个四元组:

$j_{ab}=(i_{da}, i_{db}, p, v)$, p 为 i_{da} 和 i_{db} 之间的成交价, v 为成交量。

(5) F : 为一个处理集, 包括成交及队列调整。

(a) 成交, 方法是在 R_{ab} 中选取 $c_a - c_b$ (我们称之为差额) 最大者, 经过处理, 加入 J 集合中。

这里有两种情况, 分别成为情况一和情况二。

情况一, 如果 R_{ab} 中只有一个元素的差额最大时, 如图 5 中 $r_{(a_2, b_2)}$ 的差额最大, 设:

$$r_{(a_2, b_2)} = (a_2, b_2, l_{a_2 b_2})$$

则:

$$j_{a_2 b_2} = (i_{da_2}, i_{db_2}, (p_{a_2} + p_{b_2})/2, \min(v_{a_2}, v_{b_2}, l_{a_2 b_2}))$$

$$J = J \cup j_{a_2 b_2}$$

情况二, R_{ab} 中如果有两个或以上元素的差额同样最大, 并且在矩阵属于同一列或同一行时, 如图 5 矩阵中虚线框内, 假设图 5 中 $r_{(a_2, b_2)}$ 和 $r_{(a_1, b_2)}$ 的差额一样最大, 则:

$$j_{a_2 b_2} = (i_{da_2}, i_{db_2}, (p_{a_2} + p_{b_2})/2, \min(v_{a_2}, v_{b_2}, v_{a_1}/(v_{a_2} + v_{a_1}), l_{a_2 b_2}))$$

$$j_{a_1 b_2} = (i_{da_1}, i_{db_2}, (p_{a_1} + p_{b_2})/2, \min(v_{a_1}, v_{b_2}, v_{a_1}/(v_{a_2} + v_{a_1}), l_{a_1 b_2}))$$

$$J = J \cup j_{a_2 b_2} \cup j_{a_1 b_2}$$

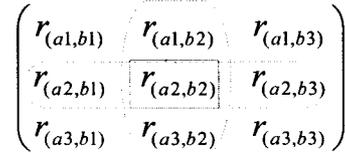


图 5 成交元素及相关元素

Fig.5 Transaction components and related components

(b) 调整匹配对队列:

对于情况一, 作如下处理:

$$R_{ab} = R_{ab} - \{r_{(a_2, b_2)}\}$$

对于纵向虚线框集合 $R_{b_2} = \{r_{(a_1, b_2)}, r_{(a_3, b_2)}\}$,

中每个元素, 如果 $v_{b_2} - \min(v_{a_2}, v_{b_2}, l_{a_2 b_2}) > 0$ 则: 修改每个元素的 b_2 的 v_{b_2} 为 $v_{b_2} - \min(v_{a_2}, v_{b_2}, l_{a_2 b_2})$, 否则:

$$R_{ab} = R_{ab} - R_{b_2}$$

对于横向虚线框集合 $R_{a_2} = \{r_{(a_2, b_1)}, r_{(a_2, b_3)}\}$,

中每个元素, 如果 $v_{a_2} - \min(v_{a_2}, v_{b_2}, l_{a_2 b_2}) > 0$ 则: 修改每个元素的 a_2 的 v_{a_2} 为 $v_{a_2} - \min(v_{a_2}, v_{b_2}, l_{a_2 b_2})$, 否则:

$$R_{ab} = R_{ab} - R_{a_2}$$

对于情况二, 处理道理和情况一相同, 由于有两个匹配对成交, 相应的虚线框有两对, 需要分别处理, 这里就不赘述。

4 结论

本文用一个统一的算法——动态匹配对队列算法统筹三种目前流行的电能交易模式, 这正是仿真系统所需要的:

1) 目前, 电力体制处在改革期, 研究者需要探索各种可能的交易模式并分析其效果, 是电力行业大量建设交易仿真系统的原因, 也是华中电网成立

(下转第 10 页 continued on page 10)

- [7] 陆进军,黄家裕.电力系统多端直流(MTDC)潮流算法改进[J]. 电力系统及其自动化学报, 2000,12(5): 4-7.
LU Jin-jun, HUANG Jia-yu. An Improved Multi-terminal HVDC Power Flow Method[J]. Proceedings of the EPSA, 2000,12(5): 4-7.
- [8] 庄慧敏,肖建,黄彦全.AC/DC 系统潮流计算的部分直流变量消除法[J].西南交通大学学报, 2008,43(1): 8-13.
ZHUANG Hui-min, XIAO Jian, HUANG Yan-quan. Partial DC Variable Elimination Method for Calculation of AC/DC Power Flow[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2008,43(1): 8-13.
- [9] 王秀婕,李华强,李波,等.基于连续潮流法及内点法的交直流负荷裕度算法[J].继电器, 2006, 34(22): 22-26.
WANG Xiu-jie, LI Hua-qiang, LI Bo, et al. An Algorithm for Voltage Stability Assessment of AC/DC Power System Based on Continuation Method and Interior Point Theory[J]. Relay, 2006, 34(22): 22-26.
- [10] 欧开建,荆勇,任震.多馈入直流输电系统换流母线电压稳定性评估模型和算法[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(9): 24-26.
OU Kai-jian, JING Yong, REN Zhen. Model and Algorithm for Accessing Voltage Stability at Commutation Bus in MIDC System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(9): 24-26.
- [11] 胡林献,陈学允. AC/MTDC 系统电压稳定极限的计算[J]. 电力系统自动化, 1997,21(7): 34-37.
HU Lin-xian, CHEN Xue-yun. Voltage Stability Limits Calculation of AC/MTDC Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(7): 34-37.

收稿日期: 2008-12-23; 修回日期: 2009-03-05

作者简介:

姜志勇(1986-),男,硕士研究生,研究方向为交直流混合系统电压稳定性分析; E-mail:jiangzy@yeah.net

胡林献(1966-),男,博士,教授,硕士生导师,主要从事电力系统分析与控制方面的教学研究;

于汀(1984-),男,硕士研究生,研究方向为交直流混合系统电压稳定性分析。

(上接第4页 continued from page 4)

交易仿真系统项目组的原因,不确定性和可扩展性是其重要特征,本算法包含了国内已经出现的三种交易模式,成为交易仿真系统的核心模型,在国内可以为其他类似系统建设者提供模型,也可以为实际运行电力交易技术支持系统所借鉴或采用。

2) 一个成功软件系统主要特点是其包容性、代码的重用性和可读性,本算法正好体现了这一点,算法灵活,适应能力强,概念明确易于学习。

交易仿真系统最为显著的特点是灵活性、整体性和复杂性,它的灵活性是能适应各种交易模式和各式各样参数配置,这些从客观上决定了系统的复杂性,它的整体性是系统用统一的算法、统一的界面去实现不同的交易模式。

要想实现统一的算法以达到降低实现复杂度的效果,需要我们从中归纳、抽象出它们共同的东西,以便寻找统一的实现算法,降低复杂度。

参考文献

- [1] 尚金成,黄永皓,等.电力市场技术支持系统设计与关

键技术研究[M].北京:中国电力出版社,2002.

- [2] 张维,范玉宏.华中电力市场双边交易模拟分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(11): 97-102.

ZHANG Wei, FAN Yu-hong. Analysis on Bilateral Transaction Simulation of Central China Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(11): 97-102.

- [3] 王锡凡,王秀丽,陈皓勇著.电力市场基础[M].西安:西安交通大学出版社,2003.

收稿日期: 2008-12-19; 修回日期: 2009-02-16

作者简介:

韩文长(1966-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为电力信息化及电力交易; E-mail: hwcyp@sina.com.cn

唐学军(1965-),男,硕士,高级经济师,主要研究方向为电力市场、电力规划、电力技术经济;

张维(1966-),男,硕士,高级经济师,主要研究方向为电力市场、电力规划、电力技术经济。