

# 基于博弈论的发电厂多代理报价系统

潘虹, 陈奇志, 魏杰, 杨俊

(西南交通大学 电气工程学院, 四川省 成都市 610031)

## A Power Plant Bidding System Based on Multi-Agent and Game Theory

PAN Hong, CHEN Qi-zhi, WEI Jie, YANG Jun

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan Province, China)

**ABSTRACT:** A power plant bidding system in the environment of electricity market opened at generation side is designed. Based on the analysis of power plant's operating mechanism, the market behavior of power plant is simulated by the combination of Multi-Agent technology with game theory to guide rational bidding of power plant. The designed bidding system possesses the features of Agent such as reasoning, interaction, negotiation and cooperation, and the game is implemented by the collaboration of the constructed Agents for cost, profit, bidding and so on, thus the achieved bidding is more reasonable than that by conventional bidding system.

**KEY WORDS:** electricity market; power plant; multi-agent; game theory; bidding

**摘要:** 设计了处于发电侧开放的电力市场环境下的发电厂报价系统, 分析了发电厂的运行机制, 运用多代理技术结合博弈论模拟发电厂的 market 行为, 指导发电厂进行合理报价。该系统具备代理的推理交互、协商合作特性, 由所构建的成本、利润、报价等代理共同协作实现博弈, 因此所得报价比常规系统报价更合理。

**关键词:** 电力市场; 发电厂; 多代理; 博弈论; 报价

## 0 引言

目前, 虽然我国的电力市场发展仍处于起步阶段, 但是经过近几年的发展, 发电侧的电力市场已初步形成, 发电厂要想获得发电量首先要提出报价来参与竞争, 因此如何做到准确把握市场, 得出具有竞争力的报价十分重要。近年来, 众多 IT 技术, 如面向对象的分布式计算技术、.net 技术、代理技术、公共对象请求代理体系结构技术等<sup>[1-7]</sup>都被逐步运用到电力市场研究中, 但研究重点多集中在发、输、用电全面开放的电力市场技术支持系统上, 即使只考虑发电市场也多集中在交易中心系统平台上。此类系统包括众多子系统, 如能量管理、交易管理、

发电报价等<sup>[8-12]</sup>, 虽有发电报价子系统, 但其功能是对各电厂所提交的报价进行接收、发布及验证其正确性和有效性, 不能对发电厂自身如何获得报价进行指导。对发电厂自身报价系统的研究目前讨论较少<sup>[13-14]</sup>, 因此对市场参与者发电厂的报价进行科学指导以适应市场运行规律是非常有必要的。

由于国家的行政干预和扶持, 整个电力行业具有自然垄断的属性。发电侧引入竞争后, 有限的发电厂(寡头)主导着发电市场状态。每个发电厂的行为都会影响对手的行为, 从而影响整个发电市场, 这使得发电市场具有典型的寡头竞争特点, 即同时包含垄断因素和竞争因素<sup>[15]</sup>。因此, 发电厂需要从多角度去考虑问题, 需要综合自身和外界信息磋商协调以获得合理报价从而竞价上网。

本文根据发电厂的竞价特点, 以单个发电厂的报价系统为研究对象, 运用多代理技术并结合博弈论模拟发电厂的 market 行为, 指导发电厂进行合理报价。

## 1 多代理技术和博弈论

### 1.1 多代理技术

代理是在特定环境下能感知环境, 并能灵活、自主地运用以实现一系列设计目标的, 自主的计算实体或程序。而多代理是指多个代理通过协作完成共同目标任务的计算系统, 其中每个代理成员的目标和行为是相对自主与独立的, 各代理之间相互协同与服务, 彼此的矛盾与冲突通过竞争与磋商等手段协调解决, 共同完成一个任务。多代理非常适合用于解决多个角度或多个问题求解实体的问题, 具有社会性、自治性、协作性的特点<sup>[16]</sup>。

### 1.2 博弈论

博弈论又称对策论或竞赛论, 是研究决策主体

的行为发生直接相互作用时候的决策及这些决策均衡问题的理论，是一门以数学为基础研究对抗冲突中最优解的学科<sup>[17]</sup>。它在经济学中得到广泛运用，特别是在揭示经济行为相互制约性质方面已成为十分标准的分析工具，是在市场经济中为研究寡头垄断市场常用的决策工具。

## 2 发电厂报价系统设计

### 2.1 系统结构

基于多代理和博弈论的发电厂报价系统采用如图 1 所示的 3 层结构，分别为客户层、应用服务层和数据层。

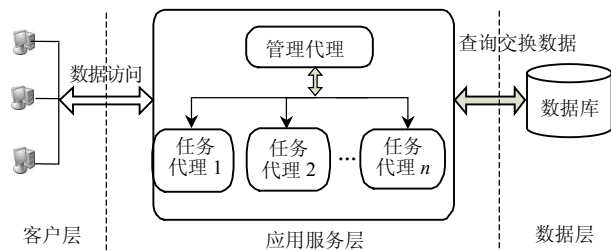


图 1 发电厂报价系统层次结构图

Fig. 1 Three-layer structure for power plant price system

客户层用于实现报价系统的各种人机会话操作，如各类报价数据访问与查询，以及特定时期对某些信息录入。

应用服务层为报价系统的核心业务层，在该层主要处理完成发电厂生成报价的各项任务为：各类代理的计算与分析，代理之间的协商，各代理信息的提交，博弈论的实现等。

数据层实现各类静态或动态数据的数据库存取服务，各代理可根据各自任务的需求对该层进行数据查询、交换、存储、修改、更新、插入、删除等操作。

### 2.2 多代理应用服务器架构

位于应用服务层的应用服务器采用多代理技术，其系统架构及多代理的部署如图 2 所示。

应用服务器的核心部分为总控模块，该模块又包括管理模块和任务分配、实现模块 2 个子模块。

管理类代理位于管理模块中，包括管理代理和重构代理，负责接受报价任务、分配任务及管理各任务类代理；任务类代理位于任务分配、实现模块中，包括报价代理、成本代理和利润代理以及三者生成的其他代理，负责系统中具体任务的实现。

#### 1) 管理类代理。

管理代理的主要功能为：负责与用户的人机对

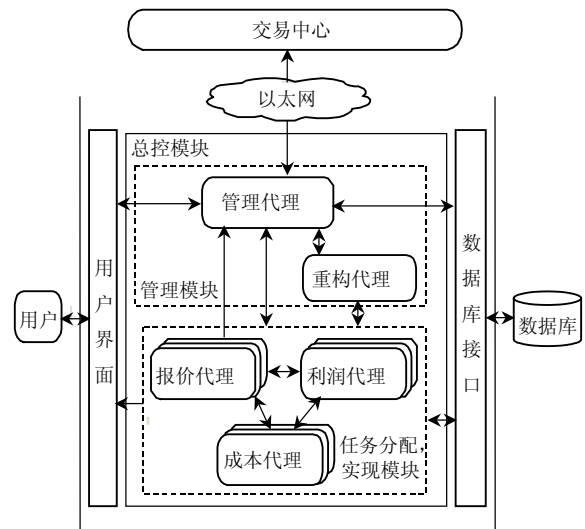


图 2 多代理应用服务器架构及功能部署

Fig. 2 Architecture of multi-agent application server

话，包括接收用户在用户界面中录入的指令及有关数据，同时通过用户界面向用户展示系统相关信息；负责与交易中心的信息交换，如向交易中心提交报价或下载其它发电厂历史报价、成交电量、系统总容量等信息；将从交易中心获取的数据信息通过数据库接口存入数据库中；接收其它代理的信息同时为它们提供所需信息；组织部分任务类的代理对其他电厂情况分析权进行招标等。

重构代理的主要功能为：生成任务类代理并完成它们的重构；当任务类代理完成各自任务并经管理代理确认后，有权注销任务类代理的信息。

#### 2) 本厂任务类代理。

本厂任务类代理包括报价代理、成本代理和利润代理，三者均由重构代理生成，用于分析本厂情况。

报价代理用于得出报价，收集其它电厂的可能报价，模拟竞价，以及将报价上交管理代理。

成本代理收集当前与以往的成本信息并进行比较，分析计算当前成本，绘制成本变化图形以使用户形象了解成本涨跌项目与幅度。

利润代理制定利润的可接受范围，分析现在利润并判断能否接受，收集以前的利润绘制利润变化图，给出本厂在此利润基础上的发展建议。

以上 3 类代理具备很强的专业性，对整个系统有利，可提高整个系统处理问题的效率。

#### 3) 其它电厂任务类代理。

针对进入市场的同型或不同型的发电厂(火电厂、水电厂等)，本厂任务类代理能生成相应的子任务类代理，包括子报价代理、子成本代理和子利润代理，用于对这些电厂的情况进行估计。从而使得

本厂能在一定程度上做到知己知彼。

子报价代理由报价代理生成，负责估计这些发电厂可能的报价；子成本代理由成本代理，用于估计相应的成本；利润子代理由利润代理生成，用于分析其它发电厂可能得到的利润。

各任务类代理及其生成的各个任务类代理所得信息、数据及图形可在用户界面显示，以使用户得知整体系统报价情况，同时也可通过数据库接口存入数据库中。

### 2.3 代理的层次关系

本系统中各代理的层次关系如图 3 所示。

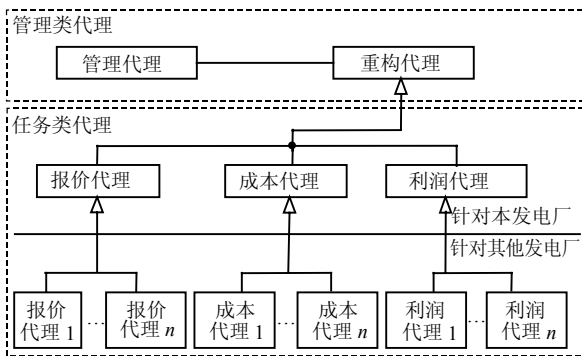


图 3 代理的层次关系

Fig. 3 Hierarchical level of agents

## 3 报价生成协商机制

### 3.1 系统报价过程

本发电厂报价系统的基本流程如图 4 所示。报价生成是靠各代理自身的机制及其之间的协调合作而共同完成的。

1) 管理代理接到报价任务后，在能力(人力和物力)许可下，接受并下达重构代理，重构代理将任务分配给其生成的报价、成本、利润代理，三者接受后在管理代理处进行注册登记。然后三者启动，根据参与竞争或用户指定的其他发电厂数目  $n$  生成  $n$  个子报价代理， $n$  个子成本代理和  $n$  个子利润代理，其中报价代理  $i$ 、成本代理  $i$  和利润代理  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 三者自动构成一个整体。

2) 对本发电厂而言，成本代理获取成本信息(包括设备能力、人力及发电资源等)计算成本。报价代理向成本代理请求获取成本，在满足本厂利益下，综合其他电厂情况由边际成本期望得出报价，请求利润代理分析利润。利润代理接受后，向成本代理请求成本信息，分析利润判断是否在接受范围内并将信息传递给报价代理：若利润不可接受，报价代

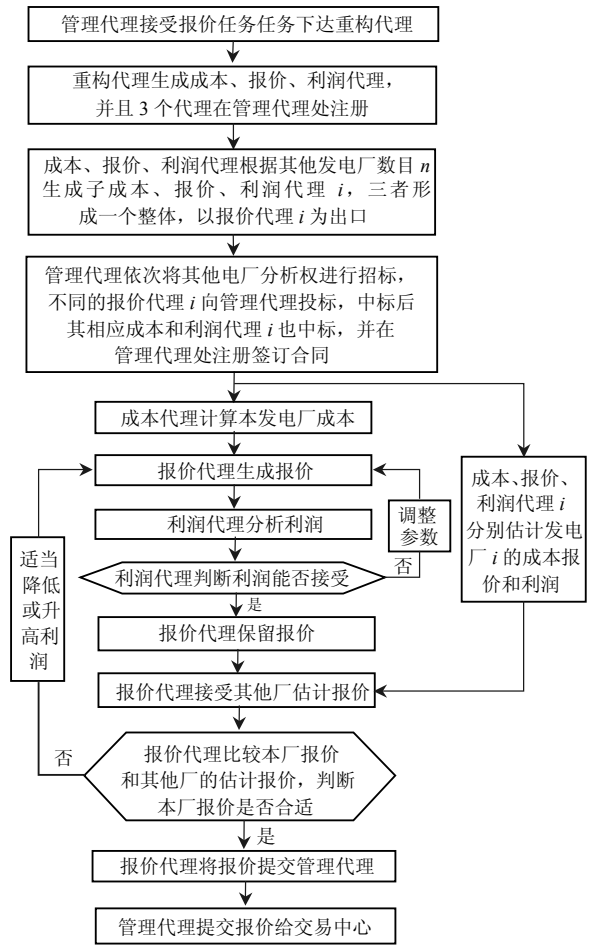


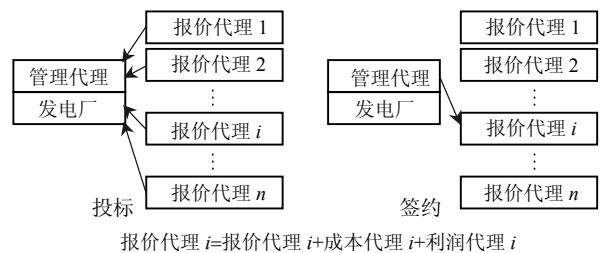
图 4 系统流程图

Fig. 4 Flow chart of the system

理重新报价，利润代理重新判断，重复至可接受为止；若利润可接受，报价代理再将报价与分析其他发电厂所得到的可能报价进行比较，若报价合适则提交给管理代理，任务完成，若不合适则做调整。

3) 对其他发电厂而言，管理代理首先将其依次进行招标，各报价代理  $i$  (代表相应的成本代理  $i$  和利润代理  $i$ ) 进行投标，中标后在管理代理处签约注册。投标和签约过程如图 5 所示。

假设中标为报价代理  $i$ ，其分析的电厂为发电厂  $i$ ，则各代理的协作关系如图 6 所示。成本代理  $i$



报价代理  $i$  = 报价代理  $i$  + 成本代理  $i$  + 利润代理  $i$

图 5 投标与签约协商机制

Fig. 5 Bid and award mechanism

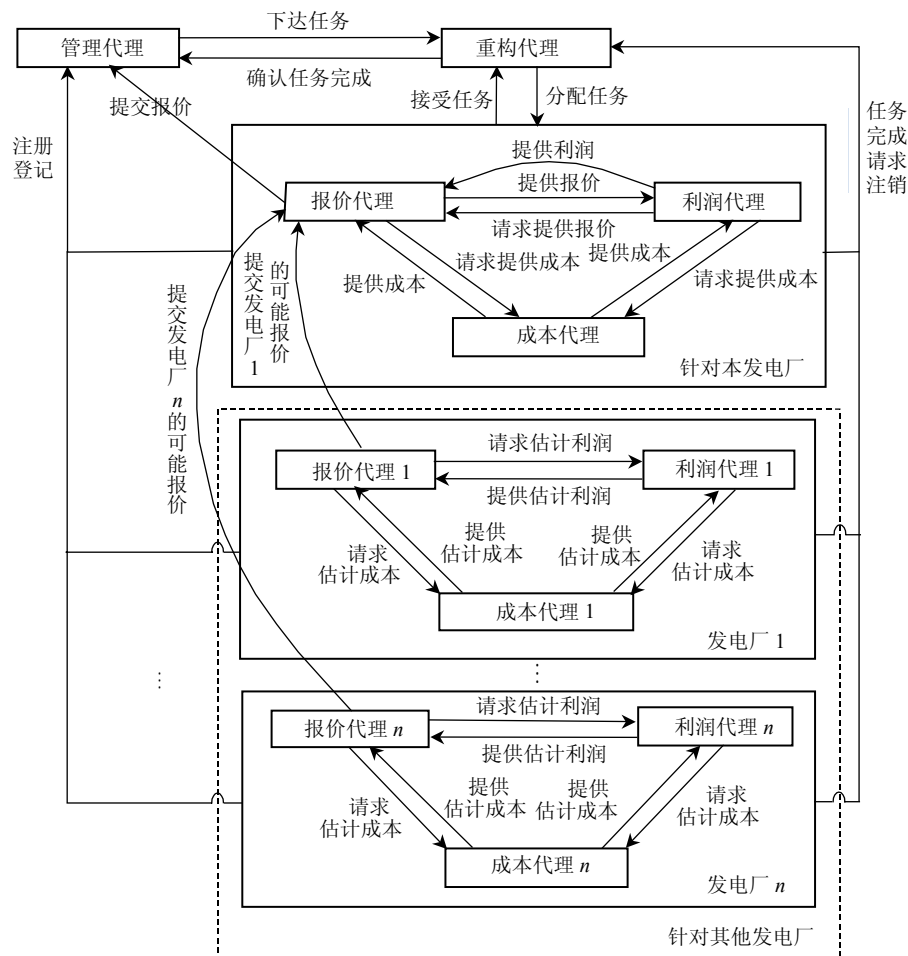


图 6 代理的协作关系  
Fig. 6 Collaboration of agents

估计出发电厂  $i$  的成本，并将其传递给利润代理  $i$  和报价代理  $i$ ，利润代理  $i$  分析出可能获得的利润后，将其传给报价代理  $i$ ，报价代理  $i$  得出可能的报价，然后将其提交给报价代理。则报价代理便会对加上自身的  $n+1$  个报价进行比较。

4) 代理  $i$ 、利润代理  $i$  等向重构代理发出注销申请；重构代理接收后，向管理代理发出信息以确认任务是否完成；当接收到管理代理的确认信息后，重构代理便可对他们进行注销。之后便可等待下一轮的报价任务。当然上述各个代理可将各自信息存入数据库中，以备日后查询。

系统中，报价代理对各个报价比较就如同本发电厂在把报价提交交易中心进行竞价前便做了一次预演。从某种意义上说，本发电厂内部事先就做了一次模拟竞价，从而避免了本发电厂竞价的盲目性，增加了其真正竞价时中标的可能性。

### 3.2 代理间的通信机制

通信是各代理获取信息的必要手段，是其做出

决策的基础，也是体现多代理社会性、自治性、协作性等特点的重要表现方式，而通信协议保证了各代理能够交换并理解信息。本系统中各代理具有共同的目标即生成报价，这使得其通信协议具有协作协议的重要特征，即强调交互各方具有一致的或暂时一致的利益关系，协议的目的是帮助它们相互合作以达到共同目标<sup>[16]</sup>。

本系统采用协作协议中广泛应用的合同网技术同时结合消息传递的通信方式进行各代理之间的信息交流。合同网模型如图 7 所示。

消息传递采用一对一的信息交流方式，各代理发送同时也接受来自其它代理的信息，并对其编码。每个代理在系统中拥有各自唯一的名字即 ID 号。为保证代理间彼此理解对方的意图和目的，需要通信语言的支持。目前被广泛接受的代理通信语言有 ARPA 的 KQML 和 FIPA 的 ACL<sup>[16]</sup>，二者在语法上十分相似。图 8 为代理(以管理代理、重构代理为例)的通信简例。

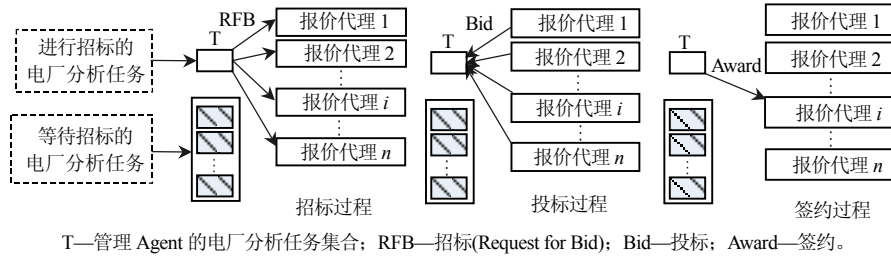


图 7 合同网模型

Fig. 7 Contract net model

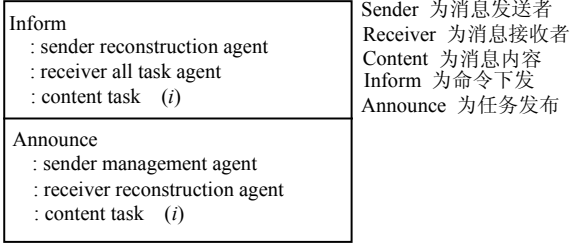


图 8 代理通信简例

Fig. 8 Example of agents' communication

#### 4 运用博弈论优化报价

发电厂报价时要考虑 2 点因素：一是自身的成本；二是其它发电厂的报价。实际中，其它发电厂的报价事先是不可能准确获取的，这种不知对手完全信息的博弈称为不完全信息博弈。寡头市场中的不完全信息博弈被称为不完全信息的古诺模型，显然，发电厂之间的报价博弈就属于该模型<sup>[18-19]</sup>。由于参与竞争的发电厂数目有限且在一定时间内较为固定，通过以往的竞价情况和报价信息，电厂可以部分甚至绝大部分地了解对手信息及其概率分布；发电厂之间为追求共同利益不排除合作的可能，因此估计成为可能<sup>[20]</sup>。以下详细说明博弈报价理论和系统中各代理如何实现博弈。

##### 1) 按博弈报价的理论推导。

发电厂的发电成本只与自身情况有关，能够准确地计算出来。其自身成本函数为

$$C(P_G) = aP_G^2 + bP_G + C_t \quad (1)$$

式中： $C$  为总成本； $a$ 、 $b$  为成本常系数； $aP_G^2 + bP_G$  为可变成本包括燃料费用、购入电力费用、外购水费、消耗材料费等随发电量变化而变化的费用； $C_t$  为固定成本包括工资及福利、折旧、修理费用及其他不随发电量变化的费用； $P_G$  为发电厂的发电量。

为了确保发电厂自身利益，将成本费用函数上浮一定比例  $\lambda$ ，则式(1)变为

$$C(P_G) = (1 + \lambda)(aP_G^2 + bP_G + C_t) \quad (2)$$

假设除本发电厂还有  $n$  个发电厂参与竞争，则

发电厂  $i$  可能的成本函数为

$$C_i(P_{Gi}) = (1 + \lambda_i)(a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + C_{ti}), \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

式中： $a_i$ 、 $b_i$  为发电厂  $i$  的成本常系数； $C_{ti}$  为固定成本； $\lambda_i$  为上浮比例； $P_{Gi}$  为发电量。除  $P_{Gi}$  外，其他几个可通过一些途径获得，即在此处为已知。

本发电厂的获利函数为

$$U = P_G \rho - C(P_G) \quad (4)$$

式中  $\rho$  为该时刻的电价。

估计发电厂  $i$  的获利为

$$U_i = P_{Gi} \rho - C_i(P_{Gi}), \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

由古诺平衡条件可得

$$\frac{\partial U}{\partial P_G} = \rho - (1 + \lambda)(2aP_G + b) = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial P_{Gi}} = \rho - (1 + \lambda_i)(2a_i P_{Gi} + b_i) = 0, \quad i=1,2,\dots,n \quad (7)$$

根据交易中心给出的该时刻负荷，可预测确定所有电厂总的发电量(已知条件)：

$$P = P_G + \sum_{i=1}^n P_{Gi}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (8)$$

式(6)~(8)联立，求解得本发电厂在估计其他电厂情况后的自身最佳发电量为

$$P_G = \frac{P + \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{2a_i} - \sum_{i=1}^n \frac{b}{2a_i} \frac{1 + \lambda}{1 + \lambda_i}}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{a}{a_i} \frac{1 + \lambda}{1 + \lambda_i}}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (9)$$

式(2)求导可得本发电厂边际成本价格的期望值为

$$\rho_M(P_G) = \rho = \frac{\partial C(P_G)}{\partial P_G} = (1 + \lambda)(2aP_G + b) \quad (10)$$

相应其他发电厂的估计期望产量为

$$P_{Gi} = \frac{1 + \lambda}{1 + \lambda_i} \cdot \frac{\rho - b_i}{2a_i}, \quad i=1,2,\dots,n \quad (11)$$

相应其他发电厂的估计期望价格为

$$\rho_{Mi}(P_{Gi}) = \frac{\partial C_i(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} = (1 + \lambda_i)(2a_i P_{Gi} + b_i), \quad i=1,2,\dots,n \quad (12)$$

理论上,按式(9)、(10)的最佳产量和边际成本报价即可保证本发电厂利益最大化,但同时也不能超出本厂机组的发电范围 $[P_{Gmin}, P_{Gmax}]$ 。

2) 由代理实现博弈。

系统中的成本代理根据式(1)分析本发电厂的成木;报价代理得到成本后根据式(10)得出本厂报价;利润代理将成本和报价通过式(4)分析出本厂利润。若最终分析出的利润不能为本厂所接受,或得到的报价没有实现本发电厂的利益最大化,此时便可将成本上浮比例进行调整,然后重新报价,直到得出满意报价为止。

## 5 结论

本文采用3层系统结构,运用多代理技术和博弈论相结合的方法设计了发电厂的报价系统。该系统有助于发电厂得到合理报价从而实现竞价上网,其主要的特点为:

1) 3层结构使得整个系统具有良好的扩展性、维护性与安全性。

2) 系统中各代理协调合作使整个系统具有良好的智能性与协作性,能对其他发电厂派生出相应的代理也使得该系统具有良好的灵活性。

3) 用博弈论来指导发电厂报价,能得出更符合发电市场竞价特点的合理报价。

4) 从某种意义上模拟与其他发电厂竞价,可在一定程度上避免报价的盲目性。

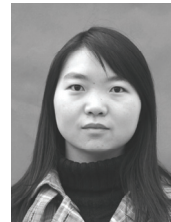
## 参考文献

- [1] Marcelino M, Marcelo F. Integrated software platform to teach different electricity spot market architectures[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2004, 19(1): 88-96.
- [2] 邵丽琴,管晓宏,高峰.基于.net平台的电力市场仿真系统的实现[J].电网技术,2004,28(13):60-65.  
Shao Liqin, Guan Xiaohong, Gao Feng. Implementation of electricity market simulation system on .net platform[J]. Power System Technology, 2004, 28(13): 60-65(in Chinese).
- [3] 刘梅招,杨莉,甘德强.基于Agent的电力市场仿真研究综述[J].电网技术,2005,29(4):76-80.  
Liu Meizhao, Yang Li, Gan Deqiang. A survey on agent based electricity market simulation[J]. Power System Technology, 2005, 29(4): 76-88(in Chinese).
- [4] 陈皓勇,王锡凡,王秀丽,等.基于Java的电力市场竞价实验平台设计、实现及应用[J].电力系统自动化,2004,28(17):22-28.  
Chen Haoyong, Wang Xifan, Wang Xiuli, et al. Design, implementation and application of a Java-based platform for electricity market auction experiments[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(17): 22-28(in Chinese).
- [5] 王玉荣,魏萍,李庆昌,等.电力市场仿真和培训系统的设计及实现[J].电力系统自动化,2007,31(12):96-101.  
Wang Yurong, Wei Ping, Li Qingchang, et al. Design and implementation of power market simulation and training system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(12): 96-101(in Chinese).
- [6] Sueyoshi T, Tadiparthi G R. Agent-based approach to handle business complexity in U.S. wholesale power trading[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2007, 22(2): 532-544.
- [7] 方德斌,王先甲,张玉新,等.电力市场环境下发电公司投标智能决策支持系统[J].电网技术,2003,27(11):38-42.  
Fang Debin, Wang Xianjia, Zhang Yuxin, et al. Intelligent bidding decision support system for generating companies under electricity market[J]. Power System Technology, 2003, 27(11): 38-42(in Chinese).
- [8] 宋燕敏,曹荣章,华定中,等.PMOS-2000发电市场技术支持系统概述[J].电力系统自动化,2000,24(4):10-14.  
Song Yanmin, Cao Rongzhang, Hua Dingzhong, et al. Introduction of PMOS-2000 power market operator system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(4): 10-14(in Chinese).
- [9] 宋燕敏,杨争林,胡俊,等.发电市场的核心技术:预计划处理子系统[J].电力系统自动化,2000,24(8):23-26.  
Song Yanmin, Yang Zhenglin, Hu Jun, et al. Introduction of PMOS-2000 power market operator system: pre-dispatch schedule disposal subsystem(PDS)[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 23-26(in Chinese).
- [10] 曹荣章,胡俊,杨争林,等.PMOS-2000电力市场结算子系统[J].电力系统自动化,2000,24(16):9-13.  
Cao Rongzhang, Hu Jun, Yang Zhenglin, et al. Introduction of PMOS-2000 power market operator system: settlement management subsystem(SMS)[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(16): 9-13(in Chinese).
- [11] 曹荣章,方艺,宋燕敏,等.PMOS-2000电力市场即时信息发布子系统[J].电力系统自动化,2000,24(17):8-11.  
Cao Rongzhang, Fang Yi, Song Yanmin, et al. Introduction of PMOS-2000 power market operator system: same-time information subsystem(SIS)[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(17): 8-11(in Chinese).
- [12] 杨争林,华定中,肖云富.PMOS-2000发电报价管理系统[J].电力系统自动化,2000,24(13):5-9.  
Yang Zhenglin, Hua Dingzhong, Xiao Yunfu. Introduction of PMOS-2000 power market operator system: power plant bidding and managing subsystem[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(13): 5-9(in Chinese).
- [13] 李胜利,陈勇,任军.基于J2EE和构件技术实现发电厂报价支持系统[J].电力设备,2004,5(12):48-51.  
Li Shengli, Chen Yong, Ren Jun. Development of power bidding support system based on J2EE and component technology [J]. Electrical Equipment, 2004, 5(12): 48-51(in Chinese).
- [14] 江健健,康重庆,夏清.电力市场模拟中基于信念的发电商智能个体决策模型[J].电网技术,2005,29(14):4-9.  
Jiang Jianjian, Kang Chongqing, Xia Qing. A new belief-based bid decision model of GenCo Agent in electricity market simulation [J]. Power System Technology, 2005, 29(14): 4-9(in Chinese).
- [15] 宋依群,侯志俭,文福拴,等.电力市场三种寡头竞争模型的市

- 场力分析比较[J]. 电网技术, 2003, 27(8): 10-15.  
 Song Yiqun, Hou Zhijian, Wen Fushuan, et al. Comparison of market power in three oligopoly models of electricity market[J]. Power System Technology, 2003, 27(8): 10-15(in Chinese).
- [16] 张洁, 高亮, 李培根. 多 Agent 技术在先进制造中的应用[M]. 北京: 科技出版社, 2004: 10-13.
- [17] 范如国, 韩民春. 博弈论[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006: 274-292.
- [18] 王锡凡, 王秀丽, 陈皓勇. 电力市场基础[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2003: 40-49.
- [19] 袁智强, 侯志俭, 蒋传文, 等. 电力市场古诺模型的均衡分析[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 6-9.  
 Yuan Zhiqiang, Hou Zhijian, Jiang Chuanwen, et al. Analysis of cournot equilibrium in electricity market[J]. Power System Technology, 2003, 27(12): 6-9(in Chinese).
- [20] 魏震波, 曹文雨, 王志强, 等. 博弈论在上网竞价中的应用[J]. 四

川电力技术, 2007, 30(2): 1-4.

Wei Zhenbo, Cao Wenyu, Wang Zhiqiang, et al. Application of game theory to price bidding[J]. Sichuan Electric Power Technology, 2007, 30(2): 1-4(in Chinese).



潘虹

度自动化研究;

杨俊(1982—), 男, 硕士研究生, 主要从事变电站自动化研究。

收稿日期: 2008-09-10。

作者简介:

潘虹(1982—), 女, 硕士研究生, 主要从事电力市场及相关技术研究, E-mail: panhong20010871@163.com;

陈奇志(1970—), 女, 硕士, 副教授, 主要从事调度自动化及相关网络通信技术的研

究;

魏杰(1981—), 男, 硕士研究生, 主要从事调

(编辑 张玉荣)

(上接第 59 页 continued from page 59)

- [17] Keivani H, Askari M R, Kavehnia F. Novel multi-carrier PWM method for a three-phase cascaded h-bridge multi-level inverter [C]. Universities Power Engineering Conference, Britain, 2006.
- [18] McGrath B P, Holmes D G. Multicarrier PWM strategies for multilevel inverters[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 2002, 49(4): 858-867.
- [19] 李建林, 赵栋利, 赵斌. 载波相移 SPWM 级联 H 型变流器及其在有源电力滤波器中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(10): 109-113.  
 Li Jianlin, Zhao Dongli, Zhao Bin. Cascade H-bridge converter with carrier phase shifted SPWM technique and its application in active power filter[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(10): 109-113(in Chinese).
- [20] 马丰民, 吴正国, 侯新国. 基于统一 PWM 调制器的随机空间矢量调制[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(7): 98-102.  
 Ma Fengmin, Wu Zhengguo, Hou Xinguo. Random space vector PWM based on the generalized modulator[J]. Proceedings of the

CSEE, 2007, 27(7): 98-102(in Chinese).

- [21] 姜旭, 肖湘宁, 赵洋. 改进的多电平 SVPWM 及其广义算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(4): 90-95.

Jiang Xu, Xiao Xiangning, Zhao Yang. An improved multilevel SVPWM and its generalized algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(4): 90-95(in Chinese).

- [22] 李永东. 大容量多电平变换器: 原理 控制 应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 82-130.



侯世英

收稿日期: 2008-08-20。

作者简介:

侯世英(1962—), 女, 博士, 教授, 研究方向为控制理论、电力电子技术在电力系统中的应用, E-mail: houshiying@163.com;

徐曦(1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向为变换器理论、高压变频技术。

(责任编辑 沈杰)

## 地震灾区电网恢复重建有望于 6 月底完成

在 2008 年“5·12”汶川地震中受到重创的四川、重庆、陕西、甘肃共 23 个地市、110 个县的电网恢复重建计划有望于今年 6 月底全面完成。

国家电网的整个灾区重建计划预计总投资 326 亿元以上, 原计划利用 3 年时间达到并超过灾区的用电需求, 如今只用了 1 年半时间。截至目前, 在供电系统部分受损的灾区, 供电能力已经全部恢复; 在需要原地重建和异地规划重建的灾区, 电网的重建工作进度已经大大提前。据国家电网公司相关人士介绍, 整个灾区重建计划之所以能够顺利提前完成, 是因为国家电网集中了全国 6 个省的电力公司对灾区实行对口援建, 提高了工作效率。如四川省汶川县映秀镇二台山 220 kV 变电站, 在震前还只是一座 220 kV 开关站, 在重建过程中, 四川省电力公司考虑到二台山电站的供电枢纽地位, 决定将其由开关站升级为变电站。在各省电力部门的共同努力下, 整个二台山输变电站项目的重建时间由原计划的 18 个月缩短至 8 个月, 已于今年 5 月 11 日顺利投入运行。

震前国家电网在全国各大电网的备用系统只有 1 套。在震后的电网恢复重建中, 国家电网在四川省南充市已建成全国第一个省级电网的备用调度中心, 这样可以充分确保四川地区的电力供应。除此之外, 国家电网还将筹划成立一个直升机电力作业公司, 大幅提升整个电力系统的应急救援能力。