

基于 JADE 平台的发电厂 MAS 报价系统的开发

潘虹¹, 魏杰², 陈奇志², 刘洪涛³

(1. 四川石油天然气建设工程有限公司 四川 成都 610213; 2. 西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031;
3. 青海铁路局, 青海 西宁 810007)

摘要: 介绍了 MAS 技术与 JADE 平台的相关概念, 设计并开发了位于电力市场环境下的发电厂 MAS 报价系统, 以单个发电厂的报价系统为研究对象, 在 JADE 平台中实现了发电厂的多 Agent 报价原型系统。阐述了各 Agent 的构成、功能部署以及报价系统的协作机制, 最后对多 Agent 的开发过程做了详细的说明, 并对原型系统所得的报价结果做了简要的分析, 给出了发电厂得出合理报价并安排发电计划的可行方案。结果表明多 Agent 协调工作实现了发电厂的报价需求, 内部模拟竞价避免了报价的盲目性。

关键词: MAS; JADE; 电力市场; 发电厂; 报价系统

Realization of the power plant's price system using MAS technology in JADE platforms

PAN Hong¹, WEI Jie², CHEN Qi-zhi², LIU Hong-tao³

(1. Sichuan Petroleum Construction Engineering Co.Ltd, Chengdu 610213, China; 2. School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 3. Qinghai Rail Company, Xining 810007, China)

Abstract: Related concepts of MAS and JADE platform technologies are introduced. A power plant price system under the power market is designed and developed. Taking a single power plant price system as the research target, a power plant price system based on multi-agent is realized in the JADE platform. The composition, function deployment, and the coordination mechanism of the agents are described, the development of multi-agent system is detailed, and the gained results of the prototypes system are briefly analyzed. A workable plan of the power plant to arrange for generating by the reasonable quote is given. The result shows that the coordination of multi-agent's offer meets the price requirement of power plant, and the internal analog bidding avoids the blindness of the price.

Key words: MAS; JADE; electricity market; power plant; price system

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)05-0092-05

0 引言

电力市场是我国电力工业改革的必然趋势, 随着“厂网分开、竞价上网”实施, 及部分试点省市的探索与发展, 我国发电侧的电力市场已初步形成, 但仍处于起步阶段^[1-2]。在这样的背景下, 众多的 IT 技术运用到了电力市场的研究中, 当然也包括 MAS(Multi-Agent System)技术。但是, 这些研究多针对发、送、用电全面开放的电力市场, 即便是只考虑发电市场的, 也多集中于交易平台的支持系统, 对发电厂自身用于竞价的报价系统讨论较少^[3-13]。然而, 在发电市场中, 作为市场参与者的发电厂每个行为都会影响到对手的行为, 从而影响整个发电市场的状态^[14]。因此发电厂需要从多角度去考虑问题, 要综合自身和外界信息磋商协调以获得合理报

价和发电计划从而竞价上网。正因如此, 对发电厂的报价系统研究就显得十分有必要的。

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, 在 JADE 平台中设计并开发了发电厂的多 Agent 报价原型系统, 用于帮助发电厂得出合理的报价与发电计划。文中首先介绍了 MAS 技术与 JADE 的相关概念, 随后提出了在 JADE 中的报价系统总体设计, 并阐述了各 Agent 的构成、功能部署以及报价系统的协作机制。最后对多 Agent 的开发过程做了详细的说明, 并对系统所得的报价结果做了简要的分析。

1 JADE 中的报价系统描述

1.1 系统简介

在本文设计的发电厂 MAS 报价系统中, JADE

平台上各 Agent 的位置与关系如图 1 所示。

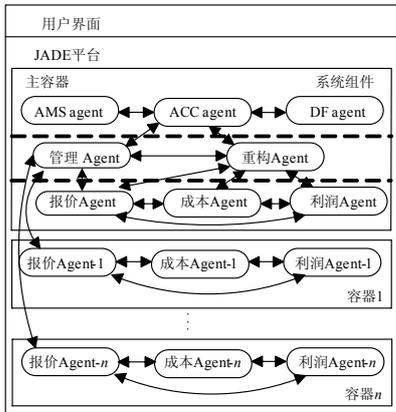


图 1 JADE 各容器中的 Agent 及其相互关系

Fig.1 Agents' relationship in the containers of JADE

所有 Agent 共分两类：管理类 Agent 和任务类 Agent。管理类 Agent 包括管理 Agent 和重构 Agent；任务类 Agent 包括由重构 Agent 生成的分析本厂情况的报价、成本和利润 Agent 及这三者所生成的分析其他竞争者情况的子报价、子成本和子利润 Agent。管理 Agent、重构 Agent 以及针对本发电厂的报价、成本和利润 Agent 位于主容器中；针对其他电厂的子报价、子成本和子利润 Agent 分别位于其他不同的容器中。他们派生的层次关系如图 2 所示。

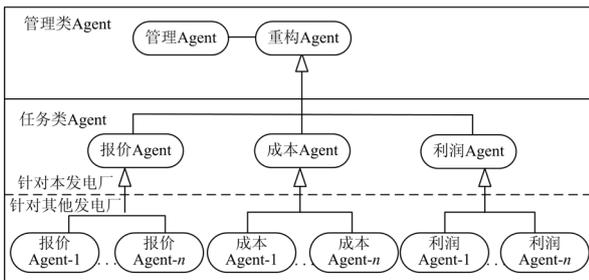


图 2 Agent 的层次关系图

Fig.2 Hierarchical level of Agents

1.2 各 Agent 的功能与报价协商过程

(1) 各 Agent 功能

管理 Agent: 与用户的各种人机对话；与交易中心的信息交换；与其它 Agent 的信息互换；存储各类信息与数据；模拟竞价等。

重构 Agent: 生成和重构分析本厂情况的任务类 Agent，包括报价 Agent、成本 Agent 和利润 Agent。

本厂任务类 Agent: 报价 Agent 计算报价与发电计划等；成本 Agent 收集分析成本信息，计算发

电成本等；利润 Agent 计算发电利润，判断利润等。

其它电厂任务类 Agent: 同理，各子报价、子成本和子利润 Agent 分别用于估计和计算其他电厂的报价、发电量、成本与利润等，从而做到知己知彼。

对这些 Agent 功能细分，使其具备较强的专业性，这对提高整个系统处理问题的效率有利，同时有利于各 Agent 的功能扩展。

(2) 报价协商过程

管理 Agent 接到报价任务下达重构 Agent，重构 Agent 生成报价、成本、利润 Agent。三者根据竞争者数目生成相应多的子报价、子成本和子利润 Agent，每个子报价 Agent 在管理 Agent 处登记所要分析的发电厂，然后向所有子成本和子利润 Agent 发出邀请，需要一个子成本和子利润 Agent 与自己组成一个集合，子成本和子利润 Agent 回应，各子报价 Agent 选择一个子成本 Agent 和一个子利润 Agent，形成一个整体。组合过程如图 3 所示。

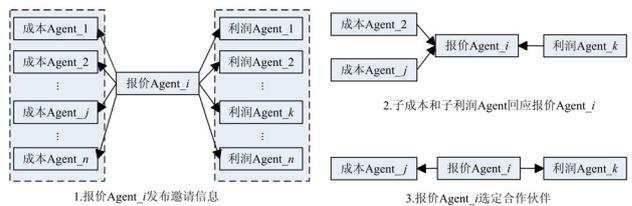


图 3 子任务类 Agent 组合过程

Fig.3 Combination of subtask Agents

1.3 系统内模拟竞价

系统内部的模拟竞价如图 4 所示。

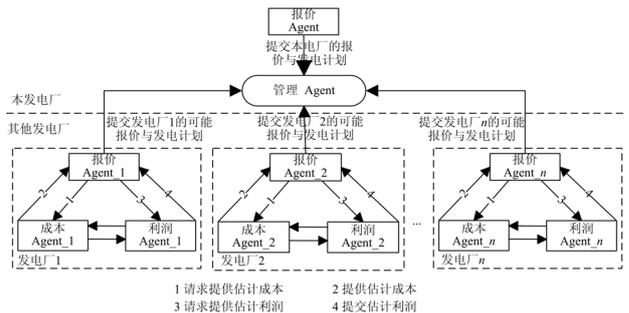


图 4 模拟竞价

Fig.4 Bidding simulation

报价 Agent 和各子报价 Agent 将本厂和其他发电厂的报价与发电计划提交给管理 Agent，管理 Agent 将各报价进行比较和排序，如果自身电厂的报价最低或者较低但符合竞价的要求，则管理 Agent 将其提交交易中心进行竞价。若不符合则报价 Agent 调整参数，重新计算。这个过程就如同本

电厂在真实竞价前便做了一次预演。

2 JADE 中各 Agent 具体功能实现

2.1 系统的总体实现

在发电市场中由于建造电厂的自然资源有限以及所需资金和技术数量巨大，再加上国家的垄断扶持决定了市场进入障碍较高，因此发电厂的数目不可能很多，但又绝不止一家。假设某个发电市场中有 3 家电厂，包括本厂、发电厂 1、发电厂 2^[14]。各发电厂的相关数据可由用户录入到用户界面中如图 5 所示，负荷与各电厂的发电范围的单位均为 MW。本厂虽不能完全准确知晓其他竞争者的成本信息，但可通过某些途径获得成本信息的概率分布，如下载它们的历史报价与发电量等。此处将不确定因素全部转移到其他发电厂的成本上浮比例上。

用户登录该界面同时 JADE 平台启动，管理 Agent(Sup)与重构 Agent(Roc)便处于等待状态，如图 6 所示。



图 5 用户界面
Fig.5 User interface

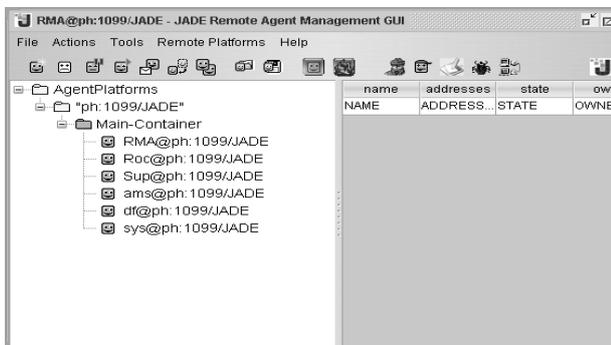


图 6 等待中的管理 Agent(Sup)和重构 Agent(Roc)
Fig.6 Sup and Roc in waiting state

用户点击“开始报价”后，其他各 Agent 相应生成，在 JADE 平台中的运行情况如图 7 所示。

Roc 生成的本厂报价、成本和利润 Agent(Bid、Cos 和 Pro)位于主容器 (Main-Container)，然后它们分生成 Bid1、Bid2、Cos1、Cos2、Pro1、Pro2，由于 JADE 平台自身的特性，各 Agent 在生成时会自动在 DF 中注册，Bid1、Bid2 访问 DF 读取 Cos1、Cos2、Pro1、Pro2 的服务列表，对它们按先到先入原则随机组成两组，为了方便，在组合完成后按所分析的发电厂对它们进行重命名。

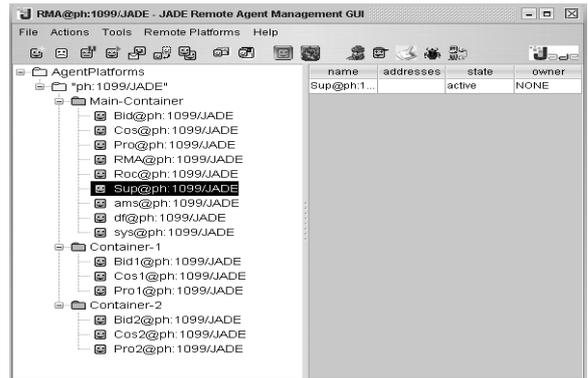


图 7 各 Agent 在 JADE 中的运行情况
Fig.7 Running state of Agents in JADE

2.2 各 Agent 的具体实现

系统的模拟竞价，包括所有报价的排序，对各发电厂的电量分配，制定清算电价，实现该功能的流程如图 8 所示。在实际竞价中，交易中心采用各发电厂同时暗标拍卖并按统一市场价格结算的机制，遵循“按同类发电厂最低电价顺序上网”的原则，将各发电厂的电价从低到高依次排列，同时各发电厂的发电量依次相加，直到第 *i* 个发电厂的电量叠加后达到负荷 *P* 时，这时发电厂 *i* 的报价就是市场的清算电价。

图 8 中的 P_{g_out} 、 P_{g1_out} 、 P_{g2_out} 为竞价后本厂、发电厂 1 和发电厂 2 所分配的发电量； P_{point1} 为负荷 *P* 减去最低电价所对应的发电量 P_{g_min} 后剩余的负荷，同理 P_{point2} 和 P_{point3} 。

重构 Agent 生成报价、成本和利润 Agent。以生成 Bid 为例，其关键代码为：

```
acBid=container.createNewAgent("Bid","poweragent.Bid", null);
```

通过容器中创建一个新的 Agent。

由于原型系统中对本厂任务类 Agent，即成本 Agent、报价 Agent 及利润 Agent 的功能进行了简化，它们分析成本、计算报价、分析利润的功能就容易实现，这里重点说明他们之间的信息交互与对报价的判断。其流程图如图 9 所示， P_{gmin} 和 P_{gmax} 为发电范围。

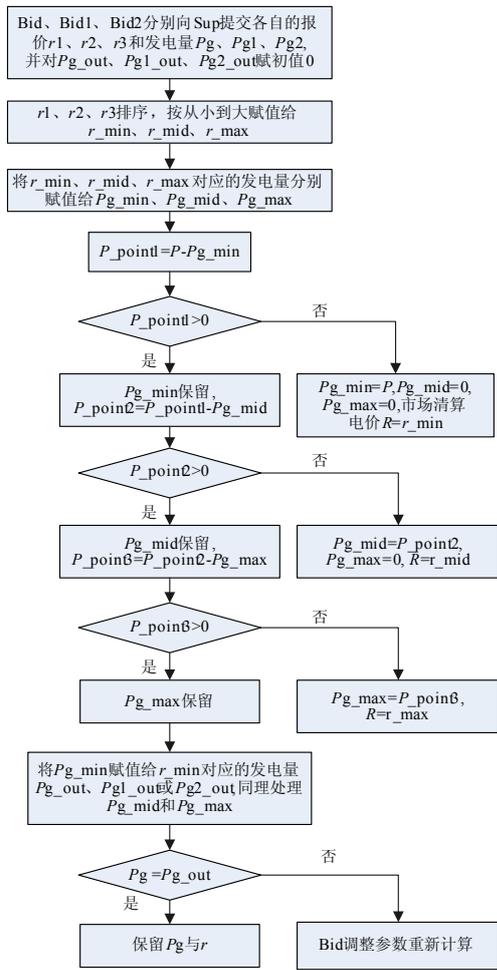


图 8 模拟竞价流程

Fig.8 Flow chart of bidding simulation

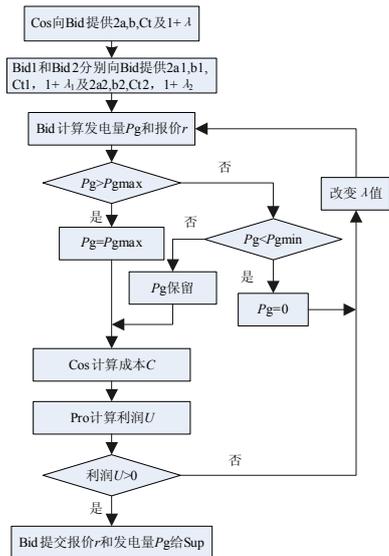


图 9 本厂任务类 Agent 生成报价与发电量的流程

Fig.9 Flow chart of bid cos and pro

2.3 各 Agent 的信息通信状况

在 JDAE 中 Agent 使用的 ACL 通信语言遵循 FIPA ACL 规范。图 10 为本系统运行时, 各 Agent 之间的部分信息传递情况。其中 INFORM() 表达传递的信息, 箭头表达信息传递的方向, 双击某个箭头可获得该传递信息的 ACLMessage 的内容, 以 Bid 发给 Sup 的一条 ACLMessage 为例, 见图 11 所示。其代码为:

```

    ACLMessage msg_Pg = new
    ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
    msg_Pg.setContent(String.format("Pg/%f",Pg));
    msg_Pg.addReceiver(new
    AID("Sup",AID.ISLOCALNAME));
    send(msg_Pg);
    
```

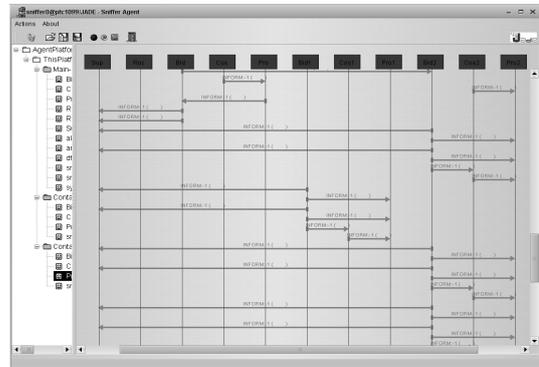


图 10 各 Agent 的信息传递情况

Fig.10 Agents' information transmission



图 11 Bid 传递给 Sup 的 ACLMessage

Fig.11 ACL Message sending from Bid to Sup

这段代码主要是构建一个 AID, 以此来指出该消息的目的 Agent。这里我们指定目的为一个本地的 Agent, 名字为 Sup。建立一个 ACL 消息标志其 performative 为 INFORM。设定 Sender 为自身, 指定接收者为 Sup。然后发送消息内容。

2.4 最终报价结果

当报价完成后, 所得到的结果返回到结果界面, 如图 12。

本厂的报价和发电量是在进行了模拟竞价后显示出来的, 从结果数据可知本厂的报价是 3 个发电

厂最低的，足可以保证本厂的利益，具有竞争力，由此可见系统可达到良好的运算结果。



图 12 报价结果展示

Fig.12 Result display

3 结论

本文在 JADE 平台上搭建了发电厂的 MAS 报价原型系统，该系统能够有效地生成报价和发电量方便发电厂商竞价上网，其主要特点为：

(1) 用户无需直接干预报价过程，系统会自动对报价进行调整。

(2) 各 Agent 具有较强的专业性，其协调合作使系统具有良好的智能性与协作性，对其他发电厂派生出相应的 Agent 也使得系统具有良好的灵活性。

(3) 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。

目前，本文是用一个较为简单的例子验证的在本地环境下的可行性与有效性，对报价、成本、利润这些 Agent 的功能设计不是很完善。下一步的工作是将本系统的主要部件和功能转变到客户层、应用服务层、数据层三层结构中；扩展加强各 Agent 的功能，如报价 Agent 如何在实用环境下制定不同的报价策略，成本 Agent 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 Agent 收集历史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等等；收集国内发电市场的真实数据测试与验证系统，以期在应用中获得良好效果。

参考文献

- [1] 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. 1-3, 79-80.
- [2] 吴至夏, 曾鸣. 符合国情的统一开放的电力市场体系研究[J]. 电网技术, 2007, 31(10): 74-78.
- WU Zhi-xia, ZENG Ming. Study on Consolidated and Open Electricity Market System According with National Conditions of China[J]. Power System Technology, 2007,

31(10): 74-76(in Chinese).

- [3] Marcelino M, Marcelo F. Integrated Software Platform to Teach Different Electricity Spot Market Architectures[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(1): 88-96.
- [4] 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 Yu-rong, WEI Ping, LI Qing-chang, et al. Design and Implementation of Power Market Simulation and Training System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(12): 96-101.
- [5] Toshiyuki Sueyoshi, Gopalakrishna Reddy Tadiparthi. Agent-Based Approach to Handle Business Complexity in U.S. Wholesale Power Trading[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22(2): 532-544.
- [6] 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 Yan-min, CAO Rong-zhang, HUA Ding-zhong, et al. Introduction of PMOS-2000 Power Market Operator System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(4): 10-14.
- [7] 宋燕敏, 杨争林, 胡俊, 等. 发电市场的核心技术——与计划处理子系统[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 23-26.
- SONG Yan-min, YANG Zheng-lin, 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.
- [8] 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 Rong-zhang, HU Jun, YANG Zheng-lin, 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.
- [9] 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 Rong-zhang, FANG Yi, SONG Yan-min, et al. Introduction of PMOS-2000 Power Market Operator System—SAME-TME Information Subsystem(SIS)[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(17): 8-11.
- [10] 杨争林, 华定中, 肖云富. PMOS—2000 发电报价管理子系统[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(13): 5-9.
- YANG Zheng-lin, HUA Ding-zhong, XIAO Yun-fu. 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.

(下转第 101 页 continued on page 101)

COM组件技术的,通用性、可重用、可扩展及计算效率等方面比其他程序设计方法有一定的优势,组件能够在不同开发环境开发的电力系统软件中实现“即插即用”。软件嵌入了专家系统来解决黑启动的路径搜索、恢复、决策等问题,为调度人员在大停电事故情况下,提供一定的建议和方法。当然软件也有一些需要改进的地方,例如计算模块执行的速率等方面需要在以后的工作中进一步完善。相信随着研究的深入,类似可视化的黑启动仿真软件必将在电力系统发挥越来越大的贡献。

参考文献

- [1] 赵希正. 强化电网安全保障可靠供电——美加“8.14”停电事故给我们的启示[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 1-7.
ZHAO Xi-zheng. Strengthen Power System Security to Ensure Reliable Power Delivery [J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 1-7.
- [2] 甘德强, 胡江溢, 韩祯祥. 2003 年国际若干停电事故思考[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 1-4, 9.
GAN De-qiang, HU Jiang-yi, HAN Zhen-xiang. Reflections on the Blackouts of Electric Power Grids in 2003[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 1-4, 9.
- [3] 林济铿, 蒋越梅, 郑卫洪. 电力系统黑启动初始方案的自动形成[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(2): 72-75.
LIN Ji-keng, JIANG Yue-mei, ZHENG Wei-hong. Automatic Establishment of the Initial Black Start Schemes for Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(2): 72-75.
- [4] 房鑫炎, 郁惟镛, 熊惠敏, 等. 电力系统黑启动的研究[J]. 中国电力, 2000, 33(1): 40-43, 96.
FANG Xin-yan, YU Wei-yong, XIONG Hui-min, et al. Study on Power System Black Start[J]. Electric Power, 2000, 33(1): 40-43, 96.
- [5] Draft IEC 61970, Energy Management System Application Program Interface (EMS-API), Part301: Common Information Model (CIM) [S].
- [6] 刘栋, 袁荣湘. 基于 IEC 61970 公用信息模型的电网接线图形软件的设计[J]. 电网技术, 2004, 28(16): 35-39.
LIU Dong, YUAN Rong-xiang. Design of Graphic Software for Power Network Diagram Based on Common Information Model in IEC 61970[J]. Power System Technology, 2004, 28(16): 35-39.
- [7] 胡旦, 王星华, 段献忠. 电力系统高级软件中的图形功能应用分析[J]. 继电器, 2005, 33(14): 72-77, 85.
HU Dan, WANG Xing-hua, DUAN Xian-zhong. Analysis of Graphic Functions Applications in Advanced Software of Power System[J]. Relay, 2005, 33(14): 72-77, 85.
- [8] 张海梁, 袁荣湘, 庄曰平, 等. 基于 COM 技术的图形化继电保护整定计算系统[J]. 电力建设, 2005, 26(5): 68-70.
ZHANG Hai-liang, YUAN Rong-xiang, ZUANG Yue-ping, et al. Graphical Relay Setting Calculation System Based on COM[J]. Electric Power Construction, 2005, 26(5): 68-70.
- [9] 顾雪平, 赵书强, 刘艳, 等. 一个实用的电力系统黑启动决策支持系统[J]. 电网技术, 2004, 28(9): 59-62, 79.
GU Xue-ping, ZHAO SHU-qiang, LIU Yan, et al. A Practical Decision Support System for Power System Black Start [J]. Power System Technology, 2004, 28(9): 59-62, 79.

收稿日期: 2009-03-30; 修回日期: 2009-06-22

作者简介:

杨德尚(1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统安全稳定分析与控制的研究; E-mail: yangdeshang327@163.com

袁荣湘(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统继电保护和电力系统安全稳定分析与控制的研究。

(上接第 96 页 continued from page 96)

- [11] 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 Sheng-li, CHEN Yong, REN Jun. Development of Power Bidding Support System Based on J2EE and Component Technology[J]. Electrical Equipment, 2004, 5(12): 48-51.
- [12] 杜松怀. 电力市场[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.

收稿日期: 2009-03-27; 修回日期: 2009-08-26

作者简介:

潘虹(1982-), 女, 助理工程师, 主要从事电力市场及供电相关研究; E-mail: panhong20010871@163.com

魏杰(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事数字化变电站及调度自动化研究;

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。