

电力市场环境下水电厂报价决策系统研究^{*}

李郁侠¹, 石晓俊¹, 段凌剑², 高福荣²

(1 西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048; 2 南桡河流域水电开发总公司, 四川 成都 610061)

[摘 要] 简要介绍了我国电力市场的发展现状及改革方向, 以及发电企业参与电力市场的主要行为、工作重点和其面临的主要问题, 汇总了发电企业报价决策系统中实时发电成本分析、边际电价预测和报价策略的研究现状, 分析了将现有系统用于水电厂时存在的问题和不足。根据水电厂的特点, 采用基于 Web 技术和面向对象编程(Object-Oriented Programming, OOP)技术的开发工具 Visual C⁺⁺. net, 设计了水电厂报价决策系统。

[关键词] 电力市场; 水电厂; 报价决策系统

[中图分类号] TM622

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)12-0111-05

国家电力监管委员会提出, 到“十五”计划末期, 要初步形成华北、东北、华东、华中、西北、南方六大区域电力市场, 全国大部分地区多数发电企业要实现竞价上网。由于实行了“厂网分开、竞价上网”, 发电厂参与电力市场的主要行为是申报电能量电价曲线。通过电价曲线的合理申报获得最大利润, 成为发电厂新的工作重点。水电厂报价决策系统就是针对这一问题而开发的一套智能软件系统, 该系统的核心有发电成本分析、边际电价预测和报价策略研究等。

发电厂成本报价模型的研究一般以实时成本为基础, 让电厂在不同的时段承担不同的利润, 并以此来制定报价策略, 建立成本报价模型。系统边际电价 SMP (System Marginal Price) 的预测方法主要有三时点预测模型^[1]、基于数据挖掘的预测方法、人工神经网络(ANN)^[2]以及 ANN 与其他方法的结合等, 其中把 ANN 与小波变换^[3]、动态聚类^[4]、遗传算法^[5]等结合起来进行电价预测的研究最为活跃。发电商报价策略研究的方法及方向则有预测 SMP 的方式、寻找博弈对策和 Nash 均衡点方式^[6]、模糊优化模型以及基于遗传算法的最优报价策略模型等。

目前发电厂报价决策存在的问题主要有: (1) 对水电机组成本分析的研究很少。发电厂的成本分为固定成本和变动成本, 水电厂中固定成本占主要部分, 而火电厂却恰恰相反。所以, 有必要针对水电厂的特点设计其特有的成本分析方法。(2) 未将水库

水情预测与成本分析及其预测结合起来。(3) 电力市场边际电价预测的方法大多沿用电力系统负荷预测的方法, 对电价预测的研究才刚刚起步。(4) 同时考虑主辅市场竞争情况的报价策略研究很少。由于水电厂具有可调节性强的特点, 很多情况下可以竞争辅助服务市场。那么如何在两个市场的竞价过程中获得总的最大效益, 是一个迫切需要解决的现实问题。针对发电厂报价研究的现状, 本研究设计开发了水电厂报价决策系统, 现将结果报道如下。

1 水电厂报价决策系统的设计

1.1 系统功能

针对我国电力市场的现状和要求, 水电厂报价决策系统的主要功能有:

(1) 分级授权登录。保证系统及其数据的安全, 采用适当的加密防护措施, 对用户进行授权与管理。

(2) SMP 预测。根据负荷预测、电网运行数据等对未来市场进行分析预测, 预测交易日内各时段(每天 48 个时段)的市场边际电价, 为报价决策提供依据。

(3) 成本分析与管理。根据各个生产环节实际发生的成本, 分析核算水电厂各机组在不同出力水平下的发电成本和变动成本, 并分别生成总成本和变动成本曲线。结合水库水情预报信息和水库特点进行水电厂的成本预测与管理。

(4) 报价决策及评估。根据机组成本分析和对市场的预测, 并考虑其他电厂可能的报价策略、电力

^{*} [收稿日期] 2004-03-25

[作者简介] 李郁侠(1953-), 男, 陕西西安人, 教授, 硕士生导师, 主要从事水利水电动力工程研究。

市场定价原则和各类技术约束条件等,编制出多种报价方案,同时进行主辅市场多种组合分析,最后确定最优报价方案。

(5) 水电厂利润分析。针对不同报价方案下的水电厂盈利情况进行预估。

(6) 市场信息管理。提供市场信息、预测评估和交易计划信息等的查询功能,市场信息查询包括历史电价查询、市场信息分析图表等。

(7) 结算与评估。按照与运营中心规则相同的

方式,进行市场交易的日、月、年结算,同时根据市场反馈信息,对报价决策系统中边际电价预测模块和报价决策模块进行评估,进一步提高系统的可靠性和准确性。

1.2 系统网络连接

水电厂报价决策系统以企业内部网(Intranet)为运行环境,水电厂内部通过局域网访问本系统,外部或上级部门通过 Internet 或拨号方式进行访问,网络连接如图 1 所示。

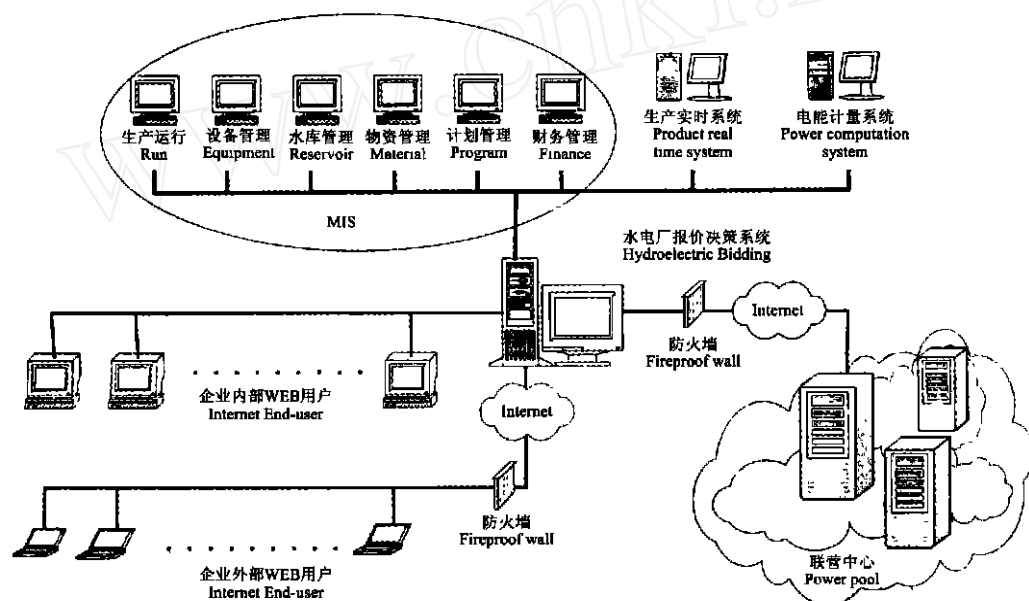


图 1 水电厂报价决策系统的网络连接

Fig. 1 Net link of hydroelectric bidding system

1.3 系统模块

水电厂报价决策系统由数据采集与管理、成本分析与管理、电力市场分析、报价分析与决策、结算与评估五大模块及其他功能(包括系统登录管理、在线帮助等)构成,系统模块构成如图 2 所示。

数据采集与管理模块负责从水电厂 MIS 系统和电力运营中心采集成本分析和市场分析所需数据,并负责有关信息查询;成本分析与管理模块负责水电厂实时成本分析与管理,结合水库水情预报信息进行发电成本预测;电力市场分析模块通过市场公布和其他途径得来的信息,进行次日市场边际电价预测和一定时期内电价走势分析;报价分析与决策模块根据成本分析和市场分析生成多种报价方案,并根据主辅市场情况进行优化组合,对不同报价方案进行风险和获益分析,最后得到最优方案进行申报;结算与评估模块根据电力市场结算方式进行

结算,与电力运营中心结果进行核对质疑,同时根据市场数据对市场分析方法和报价策略进行评估和改进。

1.4 系统基本流程

水电厂报价决策系统基本流程如图 3 所示,即首先根据水电厂的历史数据和水情测报数据等进行成本分析与预测,计算保本电量和成本报价,根据水电厂实时运行数据进行实时发电成本分析和费用在线控制;根据电力市场信息进行交易电价预测和走势分析,同时进行电价预测和成本分析;然后报价分析与决策系统根据成本分析和电价预测的结果生成报价方案,同时计算出风险分析和利润评估结果,根据选定的报价策略进行电价申报;结算与评估模块对历史报价和电厂交易机组进行评估与分析,进一步改善报价分析与决策系统。

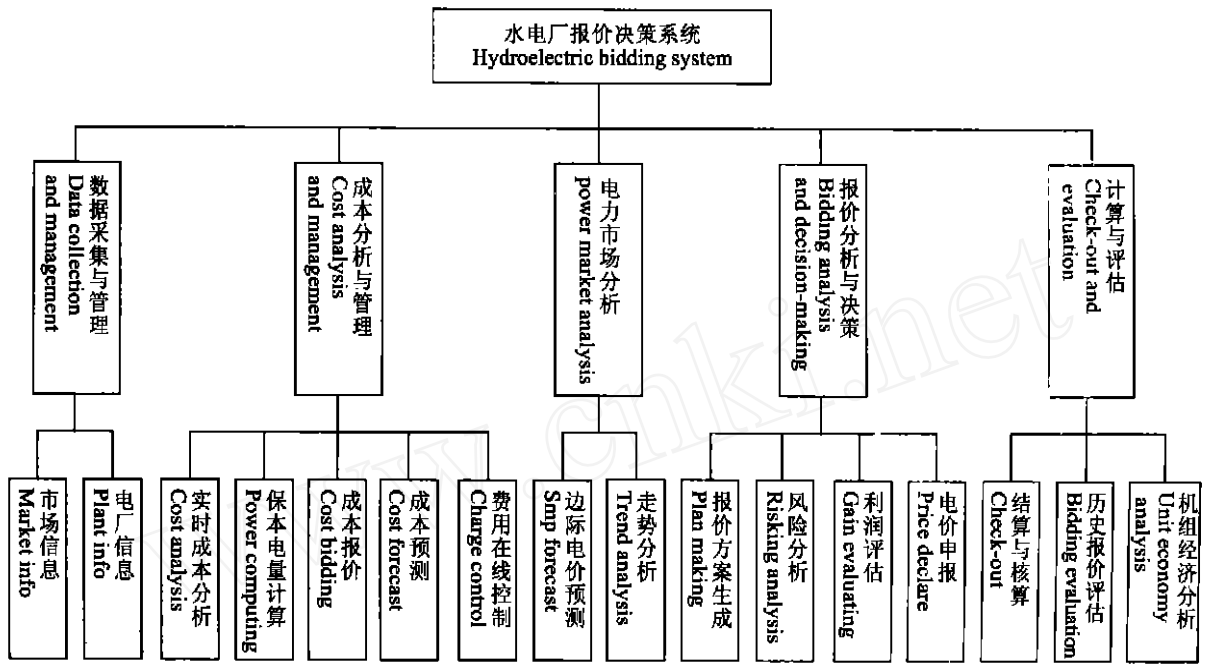


图 2 水电厂报价决策系统构成模块
Fig. 2 Units of the hydroelectric bidding system

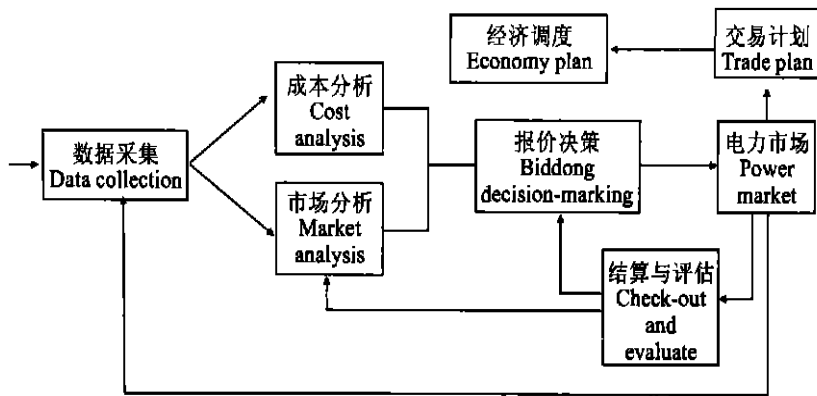


图 3 水电厂报价决策系统基本流程
Fig. 3 Flow of the hydroelectric bidding system

1.5 软件开发

水电厂报价决策系统的软件设计采用网络编程和面向对象编程 (Object-Oriented Programming, OOP) 的思想,开发语言采用 Visual C⁺⁺.net。由于 VC⁺⁺.net 是基于 Web 技术和 OOP 技术的开发工具,所以很容易实现分布式系统设计和友好的人机交互界面,同时也满足可扩展性和兼容性的要求。数据库操作采用 SQL Server2000,软件运行环境为 Windows XP/ Windows 2000 server。

2 系统主要功能的实现

2.1 发电成本分析

水力发电厂的成本分为固定成本和变动成本,其中固定成本占主要部分。水电厂发电成本分析模

块通过从水电厂 MIS 系统采集所需实时数据,根据历史数据进行计算分析与成本管理。同时,结合水库水情预报信息进行发电成本预测,为策略性报价提供支持。

2.2 SMP 预测

SMP 的预测采用基于相似搜索和人工神经网络(ANN)相结合的方法。预测模型采用 1 个 3 层 BP 神经网络构建,在进行网络训练以前,需进行相似负荷日的搜索,即在历史负荷数据中搜索与预测日负荷最相似的负荷日,相似程度用指数相似系数来衡量,计算公式为

$$C_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^n \min(L_{it}, L_{jt})}{\sum_{t=1}^n \max(L_{it}, L_{jt})} \quad (1)$$

式中, L_{it}, L_{jt} 分别表示第 i 日和第 j 日 t 时间段的负荷值。

网络的输出为次日各时段边际电价 $P(d, t)$, 输入分为负荷相似日历史数据、邻近日历史数据和预测日负荷数据等, 共计 25 个输入项。其中负荷相似日历史数据包括: 与预测日负荷相似的 5 日相应时段负荷和边际电价数据; 负荷相似日的选定由计算所得指数相似系数 c_{ij} 及其排序确定(指数相似系数的计算公式见式(1))。邻近日历史数据包括: 预测日前 7 天的相应时段负荷和边际电价数据; 预测日负荷数据指预测时段所在日的系统实际负荷 $L(d, t)$ (可通过短期负荷预测获得, 或对市场公布的预测负荷修正后得到)。

模型中输入层和隐含层神经元对应的传递函数为双曲正切 Sigmoid 型函数, 定义为:

$$f(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}} \tag{2}$$

式中, n 为神经元输入; $f(n)$ 为输出。输出层神经元对应的传递函数为线性函数, 定义为:

$$f(n) = n \tag{3}$$

2.3 报价策略的生成

通过分析水电厂调频、旋转备用、非旋转备用和替代备用等 4 种辅助服务的机会成本(也就是机组因为提供辅助服务而使得发电量减少, 从而使其收益减少, 减少的这部分收益就是机组提供辅助服务的机会成本), 可以得到增加辅助服务受益的方法, 然后利用遗传算法进行最优求解, 以期达到水电厂主辅市场的综合最佳效益。

3 应用实例

应用以上报价决策系统对某水电厂上网电量结构进行优化, 在年发电量相同的情况下, 增加发电收益 1 096.060 3 万元(表 1)。

表 1 某水电厂优化报价策略前后电量及电费的对比

Table 1 Contrast of electric quantity and cost before and after optimization of bidding strategy

月份 Month	优化前 Before optimization					
	电量/ kW · h Quantity			电费/ 万元 Cost		
	合同 Contract	竞价 Bidding	合计 Total	合同 Contract	竞价 Bidding	合计 Total
1	2 143.281 4	282.15	2 425.431 4	883.031 9	103.549 1	986.581 0
2	1 683.586 2	151.65	1 835.236 2	693.637 5	55.655 6	749.293 1
3	1 832.669 4	59.00	1 891.669 4	755.059 8	21.653 0	776.712 8
4	2 440.205 2	399.275 0	2 839.480 2	1 005.382 8	146.533 9	1 151.917 7
5	2 509.734 6	1 295.452 2	3 805.186 8	552.141 6	459.885 5	1 012.027 1
6	382.725 2	4 614.859 9	4 997.585 1	72.335	581.472 3	653.807 3
7	1 667.780 7	2 936.281 8	4 704.062 5	315.210 6	369.971 5	685.182 1
8	199.838 9	4 166.580 0	4 366.418 9	37.769 6	524.989 1	562.758 7
9	3 176.693 3	2 359.920 0	5 536.613 3	600.395 0	297.349 9	897.744 9
10	4 835.452 9	2 597.380 0	7 432.832 9	913.900 6	327.269 9	1 241.107 5
11	3 043.663 9	1 444.78	4 488.443 9	669.606	512.896 9	1 182.502 9
12	3 140.151 8	2.00	3 142.151 8	1 293.742 5	0.734	1 294.585 0

月份 Month	优化后 After optimization					
	电量/ kW · h Quantity			电费/ 万元 Cost		
	合同 Contract	竞价 Bidding	合计 Total	合同 Contract	竞价 Bidding	合计 Total
1	2 425.431 4	0	2 425.431 4	999.277 7	0	999.277 7
2	1 835.236 2	0	1 835.236 2	756.117 3	0	756.117 3
3	1 891.669 4	0	1 891.669 4	779.367 8	0	779.367 8
4	2 839.480 2	0	2 839.480 2	1 169.865 8	0	1 169.865 8
5	0	3 805.186 8	3 805.186 8	0	1 350.841 3	1 350.841 3
6	4 997.585 0	0	4 997.585 1	944.543 6	0	944.543 6
7	4 704.062 5	0	4 704.062 5	889.067 8	0	889.067 8
8	0	4 366.418 9	4 366.418 9	0	550.168 8	550.168 8
9	4 488.445 6	1 048.167 7	5 536.613 3	848.316 2	132.069 1	980.385 3
10	731.721 2	6 701.111 7	7 432.832 9	138.295 3	844.340 1	982.635 4
11	0	4 488.443 9	4 488.443 9	0	1 593.397 6	1 593.397 6
12	3 142.151 8	0	3 142.151 8	1 294.566 5	0	1 294.566 5

4 结 语

本文在分析现有报价决策系统研究现状和不足后,结合水电厂实际情况设计了水电厂报价决策系统。该系统具有以下特点:(1)将水电厂的成本分为固定成本和变动成本,分别进行分析。(2)将水库水情测报信息与水电厂发电成本分析结合起来,有效进行水电厂发电成本分析与预测。(3)SMP 的预测

采用基于遗传算法(GA)的人工神经网络(ANN)模型,为了使网络结构能够进行自适应调节,GA 用来同时优化 ANN 的权值和网络结构。(4)由于水电具有较强的调节能力,所以水电厂报价策略同时考虑主辅市场的竞价。(5)采用面向对象的分析方法和编程思想,软件易于扩展和维护;采用基于 Web 技术的网络编程,软件易于实现分布数据处理,具有较强的兼容性和友好的人机交互界面。

[参考文献]

- [1] 张 建,马光文,杨东方,等. 边际电价预测的三时点模型[J]. 水电能源科学,2003,21(2):87-88.
- [2] Szkuta B R, Sanabria L A, Dillon T S. Electricity price short-term forecasting using artificial neural networks[J]. IEEE Trans on PS, 1999, 14(3):851-857.
- [3] 宋 超. 小波分析与人工神经元网络的方法在电价预测中的应用[D]. 浙江杭州:浙江大学电气工程学院,2002.
- [4] 李彩华,郭志忠,王志伟. 混合式短期边际电价预测模型[J]. 电力系统自动化,2002,26(21):29-33.
- [5] 杨 朴,游大海,谢培元. 基于遗传算法和 BP 神经网络的电价预测[J]. 水电能源科学,2003,21(2):84-86.
- [6] 殷 红,郑桂环,王先甲. 发电商最优报价策略的图形决策方法[J]. 华东电力,2003,(9):22-27.

Study on bidding support system for hydroelectric plant in power market

LI Yur-xia¹, SHI Xiao-jun¹, DUAN Ling-jian², GAO Furong²

(1 College of Water Resource and Hydroelectricity Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2 Sichuan Nanyang Basin Hydropower Development Company Limited, Chengdu, Sichuan 610061, China)

Abstract :Power market of China, as well as the mode of bidding in power market, important work and main problem of hydroelectric plant are introduced briefly. Aiming at the cost analysis, system marginal price (SMP) forecasting and strategic bidding, a relatively comprehensive introduction of the current system has been made and its shortcomings were pointed out. Based on waterpower plant, a bidding support system for hydroelectric plant is built. The system takes Visual C++ . net as its development tools, which is based on Web and OOP technique.

Key words power market; hydroelectric plant; bidding support system