

文章编号:1000-582X(2008)03-0276-04

基于成本分析的火电厂日前市场竞价上网报价

何建华^{1,2}, 何祖威², 胡效雷³

(1. 重庆大学党委办公室, 重庆 400030; 2. 重庆大学动力工程学院, 重庆 400030; 3. 广东粤电集团公司, 广州 510630)

摘要:针对火电厂在电力市场环境下追求经济效益最大化, 优化了机组的负荷分配, 掌握企业运行成本, 并在电力市场上报出具有竞争力的上网电价。通过分析火电厂各项成本的特点, 建立了机组经济性曲线拟合的数学模型和基于序列二次规划法 (SQP 法) 的机组负荷优化分配模型, 指出完全成本加成定价法的报价方法, 确定火电厂在日前市场的报价模型, 并用算例实现了一个火电厂在 3 个典型时段的报价。

关键词: 日前交易市场; 负荷优化分配; 序列二次规划法; 报价

中图分类号: TK18

文献标志码: A

Study of Quotes on the Web for Electric Power in Market Based on Cost Analysis

HE Jian-hua^{1,2}, HE Zu-wei², HU Xiao-lei³

(1. The Party Committee Office, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 2. College of Power Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, P. R. China; 3. Guangdong Yudean Group Co., Guangzhou 510630, P. R. China)

Abstract: In order to maximize economic interests and offer competitive quotes on the web for electric power, companies must control their working cost and optimize loading distribution among units. Based on the characteristics of various working cost of electric power company and SQP method (sequential quadratic programming method), we have constructed the mathematical model for various units' economic curves and the model of optimal loading distribution respectively. Furthermore, we have obtained quoting method and model for electric power in market. Quotes of electric power in three different seasons are validated by our method.

Key words: market; optimal loading distribution; sequential quadratic programming method; quoting study

2004 年 1 月 15 日, 中国电力竞价上网系统在东北电网公司启动投入模拟试运行, 26 家电厂, 100 多台发电机组参与东北电力市场竞价模拟运行, 占东北区域电网发电装机容量的 55%, 随后包括上海、江苏、浙江、安徽、福建四省一市的华东区域电力市场也进入模拟运行。这预示着“厂网分开、竞价上网”的电力市场运营机制正在建立, 电力工业从一体化垄断经营体制转向以市场为导向的公平竞争机制。电力市场

通常由期货和期权市场、中长期合约市场、日前交易市场、实时市场和辅助市场等各部分构成^[1-2]。当电厂按照中长期合约市场竞价获得的发电曲线安排机组运行时, 必须同时考虑如何对日前市场的负荷做出准确的报价, 为企业创造更大的效益, 这就需要建立一个日前交易市场报价辅助决策系统。

通过对火电厂发电成本的分析, 确定火电厂在日前交易市场报价的决策辅助系统的总体设计思

收稿日期: 2007-11-12

基金项目: 广东省电力科技项目 (SJAK0710)

作者简介: 何建华 (1980-), 男, 重庆大学讲师, 主要从事电力市场、能源经济方向研究。何祖威 (联系人), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, (Tel) 023-65106622; (E-mail) zwhe@cqu.edu.cn。

路。以日前负荷耗量成本计算方法为依据,以机组的历史经济性数据为基础,运用二次拟合方法,确定了基于历史数据的火电厂机组经济性曲线,引入序列二次规划的方法,实现机组负荷的优化分配,同时实现对各种日前负荷下的火电厂耗量成本预测,建立基于成本的报价辅助决策模型。最后,选取某电厂3台机组的历史经济性数据,对模型进行模拟运用。

1 日前交易市场报价策略

日前交易市场投放的负荷可以说是火电厂的额外市场,因此在成本计算上主要考虑燃料费、水费和日前负荷引起的可靠性成本等可变成本。而火电厂机组的经济性曲线将随着机组的使用、维修、改造,或者工况发生变化而改变^[3],作为机组负荷优化分配的基础,如果静态化机组经济性曲线,将导致负荷优化分配的失效。因此,需要机组历史数据拟合的方法来得到每台机组的实时经济性曲线,从而得到当前最准确的机组动态经济性曲线。优化机组负荷分配作为日前交易市场报价策略的成本控制和可变成本计算环节,可以通过序列二次规划算法(SQP法)、遗传算法等有效的非线性优化方法对机组负荷优化^[4],并得到可变成本,再运用完全成本加成定价法、差别定价法、微分极值法、随行就市法等多种方法确定报价,笔者建议运用完全成本加成定价法实现报价,这样就得到了日前交易市场报价策略的整体结构框架图(如图1)。

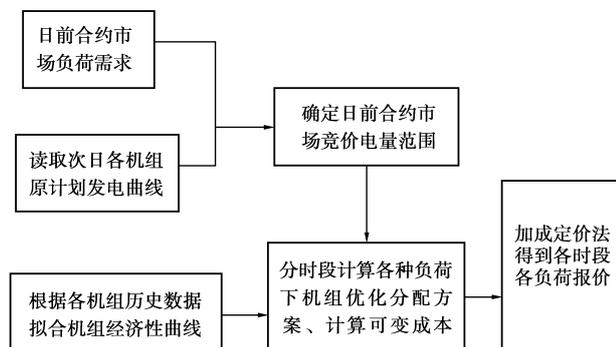


图1 日前合约市场报价策略的整体结构框架

2 日前交易市场的耗量成本分析

火电厂上网报价辅助决策需要以耗量成本为基础,这里耗量成本是指某负荷下机组单位时段内所消耗的成本,主要包括燃料费、水费、材料费、工资、职工福利费、折旧费、修理费、环境成本等。分析各项成本的特点,考虑到实际情况的复杂性,对与日前负荷相关性不强的费用,不记入日前负荷的耗量成本,简化日前负荷耗量成本的计算和预测,随着技术手段的改

进和负荷与设备可靠性关系研究的深入,在以后的研究和模型中可以增加相关项目,以期不断改进日前交易市场报价决策系统耗量成本预测的准确性。日前负荷耗量成本仅考虑燃料费、水费属于变动成本,除此以外的材料费、修理费、折旧费随负荷变动的及时性较弱,在实时发电成本中都属于固定成本。税金以及工资、职工福利费、环境成本不列入耗量成本,在最后的报价定价模型中加以体现。

3 日前交易市场报价策略的主要数学模型

3.1 机组经济性曲线拟合模型

火电厂各机组的经济性曲线是不可能完全相同的,这种经济性曲线的差异正是进行优化负荷分配的前提。为了有效优化机组负荷分配,实现火电厂经济效益最大化,需要根据火电厂历史数据来拟合经济性曲线,一般选取最近一次大修以后的数据。设火电厂共有 n 台机组,记第 i 台机组标号为 $i(i=1,2,\dots,n)$,用耗量成本 $F(P_i)$ 来表示第 i 台机组的煤耗、水耗和机组可靠性成本总和,其中 P_i 为第 i 台机组的输出功率,则 $F(P_i)$ 为机组输出功率 P_i 的函数,利用机组历史数据进行二次拟合,能构造如下经济性曲线

$$F(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (1)$$

这里 a_i, b_i, c_i 为 i 机组的特征参数,可以利用机组历史运行数据通过最小二乘法求解。

3.2 火电厂日前竞争电量范围计算模型

日前交易市场的竞争电量主要是为了弥补日前合约电量相对于短期负荷预测的不足,所以电力交易中心公布的短期负荷预测和各机组日前计划发电曲线是火电厂参与日前交易市场的基础。同时由于火电厂各机组本身存在负荷上限,并需要考虑备用容量,文献认为一般机组的旋转备用容量为机组最大负荷的7%,从而可以得到火电厂的日前竞争电量的范围 P_r ,计算模型如下

$$0 \leq P_r \leq \min\left(\sum((1-7\%)P_{i\max} - P_z), E_r\right), \quad (2)$$

其中: $P_{i\max}$ 为火电厂第 i 台机组的最大负荷; E_r 为电力交易中心公布的日前竞争电量。

3.3 机组日前负荷优化分配模型

火电厂为了保证经济效益,必然会按照最优化的机组负荷分配制定各机组发电计划。这样日前市场竞得负荷后,只要实现总负荷的最优化分配,就实现了日前市场合约负荷的最优化分配,即要求火电厂总的耗量成本 $\sum_{i=1}^n F(P_i)$ 最小^[5],所以机组负荷优化分配的目标函数为

$$\min \sum_{i=1}^n F(P_i) \quad (3)$$

火电厂从电力市场竞得全部日前竞争电量 P_r , 就必须遵守电力合同, 满足以下约束条件, 其中系统热备用容量 R_1 和系统冷备用容量 R_2 为火电厂从辅助服务市场竞得。

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_r \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n P_{imax} \geq P_r + R_1 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n P_{imax} \geq R_2 \quad (6)$$

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

这样就得到了以式(3)为目标函数, 式(4)、(5)、(6)、(7)为约束条件的火电厂机组负荷优化分配的数学模型。

3.4 成本预测模型

日前交易市场负荷成本主要考虑可变成本, 即由煤耗、水耗组成的机组耗量成本^[6]。根据机组负荷优化分配模型, 容易得到机组总的耗量成本 $F(P_i)$, 同理, 容易得到中长期合约市场负荷引起的机组耗量成本 $F(P_{z,i})$, 则由于日前负荷引起的机组耗量成本 $F(P_{r,i})$ 可以由下式计算

$$F(P_{r,i}) = F(P_i) - F(P_{z,i}) \quad (8)$$

火电厂日前交易市场竞争负荷引起的日前耗量成本 $F(P_r)$ 为

$$F(P_r) = \sum_{i=1}^n F(P_{r,i}) \quad (9)$$

3.5 火电厂日前负荷定价模型

日前交易市场主要为火电厂争取额外的经济效益, 适宜采用成本加成定价法确定报价^[7], 其中成本主要考虑可变成本, 即日前负荷引起的机组耗量成本 $F(P_{r,i})$, 不考虑固定成本。但日前交易市场火电厂的上网报价 P 必须同时考虑税金 S 、排污费 h 等各项与负荷相关的支出。

$$P = F(P_r) + S + h + f \cdot F(P_r) \quad (10)$$

现行的排污费用为排放 1 kg 二氧化硫或二氧化氮收取 0.60 元, 每燃烧 1 t 煤排放这些污染物 70 kg, 排污费则为 40 元/t, 而煤价为 350 元/t, 综合考虑水耗因素, 所以排污费 h 可以记为 $0.1 \cdot P_r$, 电力企业的综合税金 S 为电价 P 的 20% 左右, 与利润率 f 有关, 而利润率 f 为火电厂根据自身实际情况、市场情况和供电峰谷情况设定。因此简化地记税金 S 为 $0.3 \cdot P_r$, 从而得到简易报价模型为

$$P = (1.4 + f) \cdot F(P_r) \quad (11)$$

4 算例分析

某火电厂拥有 3 台火力发电机组, 通过电厂

DCS 系统采集的经济性数据, 以反平衡法和正平衡法, 计算出了不同供电负荷的煤耗, 通过煤价管理系统和水耗折算, 可以计算得到机组的历史经济性参数, 以此为依据可以得到各机组经济性曲线的特征参数和技术数据(1)。并在第 4、7 和 15 三个代表性的时段分别各取 5 个负荷点, 如表 2。对这些日前负荷点, 可以实现基于 SQP 方法的负荷优化分配, 并计算出了耗量成本, 如表 3~5。根据模型(8)、(9), 容易得到不同时段日前竞争电量和耗量成本关系曲线。根据这个成本曲线, 火电厂可以采取合适的确定利润率的方法, 调整各时段, 甚至时段内各负荷段利润率, 向电力交易中心报出符合其要求的报价曲线。运用模型(11)简化地确定固定利润率为 0.1, 计算得到各时段不同负荷点对应的报价, 并报出由 5 个分段点顺次连接而成的折线为报价曲线, 如图 2~4。

表 1 某火电厂各机组的技术数据

特征参数	a	b	c	P_{imin}/MW	P_{imax}/MW
1	0.13	82.86	7 096.86	125	445
2	0.17	28.87	19 861.73	250	520
3	0.13	59.62	13 699.02	250	550

表 2 某火电厂日前交易市场部分时段耗量成本计算负荷点

时段	最大竞争负荷	优化分配的日前负荷点/MW				
4	100	20	40	60	80	100
7	181	30	70	100	140	180
15	381	50	100	200	300	380

表 3 某火电厂日前交易市场第 4 时段日前负荷增加前后耗量成本优化计算比较

日前负荷点 /MW		$P_{z,i}$ /MW	P_i /MW	$F(P_{z,i})$ /元	$F(P_i)$ /元
20	机组 1	373	380		
	机组 2	444	450	191 455	195 071
	机组 3	463	470		
40	机组 1	373	388		
	机组 2	444	455	191 455	198 726
	机组 3	463	477		
60	机组 1	373	395		
	机组 2	444	461	191 455	202 418
	机组 3	463	484		
80	机组 1	373	402		
	机组 2	444	466	191 455	206 147
	机组 3	463	492		
100	机组 1	373	409		
	机组 2	444	471	191 455	209 915
	机组 3	463	500		

表4 某火电厂日前交易市场第7时段日前负荷增加前后耗量成本优化计算比较

日前负荷点 /MW	$P_{z,i}$ /MW	P_i /MW	$F(P_{z,i})$ /元	$F(P_i)$ /元	
30	机组1	344	355		
	机组2	422	430	177 364	182 577
	机组3	434	445		
70	机组1	344	370		
	机组2	422	441	177 364	189 660
	机组3	434	459		
100	机组1	344	380		
	机组2	422	450	177 364	195 071
	机组3	434	470		
140	机组1	344	395		
	机组2	422	461	177 364	202 418
	机组3	434	484		
180	机组1	344	409		
	机组2	422	471	177 364	209 915
	机组3	434	500		

表5 某火电厂日前交易市场第15时段日前负荷增加前后耗量成本优化计算比较

日前负荷点 /MW	$P_{z,i}$ /MW	P_i /MW	$F(P_{z,i})$ /元	$F(P_i)$ /元	
50	机组1	272	290		
	机组2	366	380	144 771	152 566
	机组3	362	380		
100	机组1	272	308		
	机组2	366	394	144 771	160 597
	机组3	362	398		
200	机组1	272	344		
	机组2	366	422	144 771	177 364
	机组3	362	434		
300	机组1	272	380		
	机组2	366	450	144 771	195 071
	机组3	362	470		
380	机组1	272	409		
	机组2	366	471	144 771	209 915
	机组3	362	500		

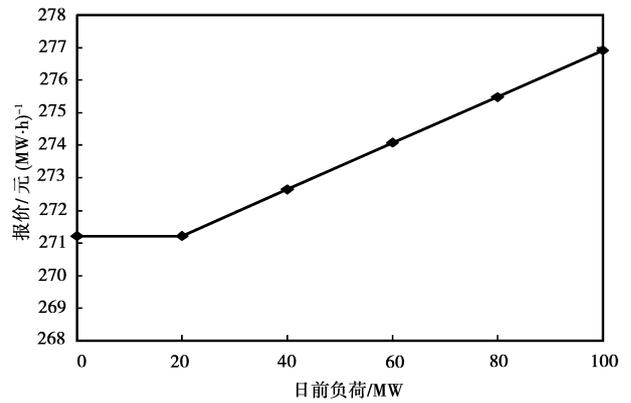


图2 第4时段火电厂报价曲线

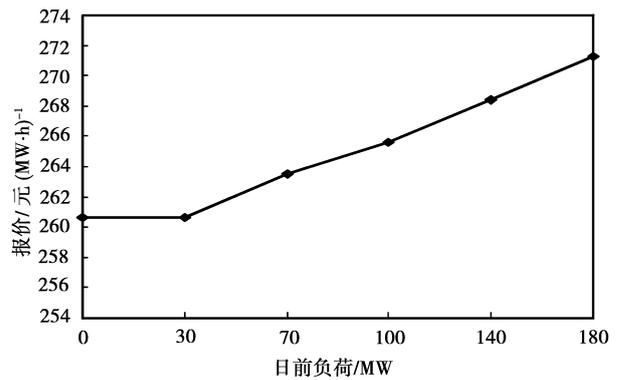


图3 第7时段火电厂报价曲线

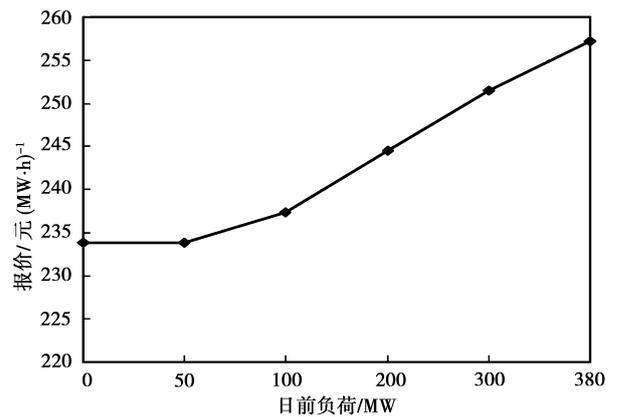


图4 第15时段火电厂报价曲线

5 结论

研究表明,以机组历史经济性数据为基础,拟合出电力企业每台机组的经济性曲线。并以其为依据,运用序列二次规划算法,在多台机组间进行最优负荷分配,得到日前市场各负荷的最优耗量成本,可以实现发电企业日前交易市场竞价上网的报价辅助决策,有助于企业在电力市场上做出正确的报价行为。

(下转第323页)

4 结 论

从理论上对载装作业装置的液压控制特性进行分析,建立了动臂油缸的数学模型,采用联合仿真技术在计算机上建立一体化仿真模型,完成了载装作业装置定角度运动的联合仿真,达到预期控制目标。采用该方法可以在物理样机加工前全面分析机械系统、液压系统和控制系统综合作用的仿真结果,使动态观测和量化评估相结合,为装载机载装作业装置控制特性的研究提供了新思路。

参考文献:

- [1] 宁芊. 机电系统虚拟样机协同建模与仿真技术研究[J]. 中国机械工程,2006(7):1404-1407.
NING QIAN. Research on virtual prototype collaborative modeling & simulation technology for mechatronic system[J]. China Mechanical Engineering, 2006(7):1404-1407.
- [2] 罗建国,陆震. 冗余驱动串并联机器人运动学联合仿真[J]. 机械设计,2007(3):4-6.

- LUO JIAN-GUO, LU ZHEN. Combined simulation research on the kinematics of serial-parallel robot with redundant drive[J]. Journal of Machine Design, 2007(3):4-6.
- [3] 潘双夏. 基于虚拟样机的挖掘机器人轨迹控制仿真和优化技术研究[J]. 中国机械工程,2005(21):1926-1930.
PAN SHUANG-XIA. Study on the techniques of simulation and optimization for a robotic excavator trajectory plan control using virtual prototyping technology[J]. China Mechanical Engineering, 2005(21):1926-1930.
- [4] 冯开林. 先进液压控制技术在装载机的应用研究[J]. 工程机械,2002(5):48-50.
FENG KAI-LIN. Application study of advanced hydraulic control technique to construction Machinery[J]. Construction Machinery and Equipment, 2002(5):48-50.
- [5] MSC. SOFTWARE. ADAMS FSP 基础培训教程[M]. 李军,陶永忠,译. 北京:清华大学出版社,2004.
- [6] VALASEK M. Software tools for mechatronic vehicles: design through modeling and simulation[J]. Vehicle System Dynamics Supplement,1999(33):214-230.

(编辑 侯 湘)

(上接第 279 页)

参考文献:

- [1] 尚金成. 电力市场理论研究与应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [2] 刘继春. 电力市场运营系统[M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [3] 胡效雷,余从容. 基于热经济学分析的经济性诊断系统[J]. 华北电力技术,2004,9(8):28-30.
HU XIAO-LEI, YU CHONG-RONG. Economical analysis system for power plant based on thermoeconomic methodology[J]. North China Electric Power,2004,9(8):28-30.
- [4] RUDOLF A, BAYREITHNER R. A genetic algorithm for solving the unit commitment problem of a hydro-thermal power system [J]. IEEE Trans On Power Systems, 1999, 14(4):1460-1468.
- [5] 王承民,关万祥,胡志勇,等. 电力市场环境下的负荷分配

- 问题的罚函数法[J]. 电力自动化设备,2002,22(1):15-18.
- WANG CHENG-MIN, GUAN WAN-XIANG, HU ZHI-YOUG, et. al. Penalty function method for generation-scheduling in power market[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(1):15-18.
- [6] 谭忠富. 电力成本综合优化的系统学方法研究——运行优化[J]. 现代电力,2001,18(3):79-86.
TAN ZHONG-FU. On systematic methods for electric power cost synthetic optimizations-operation optimization[J]. Modern Electric Power, 2001,18(3):79-86.
- [7] HUSE E S, WARGENSTEEN I. Thermal power generation scheduling by simulated competition [J]. IEEE Trans On Power Systems, 1999, 14(2):472-477.

(编辑 侯 湘)