

计及环保与需求响应的多目标中短期交易计划修正

侯贺飞¹, 刘俊勇¹, 刘友波¹, 尹利君²

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 四川省电力公司, 四川 成都 610061)

摘要: 考虑需求侧对电力市场交易的影响, 提出了一种考虑环保和需求响应的多目标中短期交易计划修正模型。采用修正 β 参数的灰色模型分口径预测需求侧月峰、平、谷电量, 结合考虑购电费用、环保和网损最小确定计划发电量。当电价变化后, 利用电量电价弹性矩阵(B 矩阵)计算出新的决策月峰、平、谷口径电量, 得出考虑需求响应的修正月交易计划。提出奖惩费用, 使得当修正电量波动到某一程度时购电价格随之变动, 从而通过影响全网购电费用进一步影响交易计划。所提模型对交易中心具有辅助决策意义。

关键词: 灰色模型; 电量电价弹性矩阵; 节能调度; 惩罚费用; 中短期交易

Multi-objective medium and short-term trade planning revision considering environmental protection and demand response

HOU He-fei¹, LIU Jun-yong¹, LIU You-bo¹, YIN Li-jun²

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Sichuan Electric Power Corporation, Chengdu 610061, China)

Abstract: Considering the effects on electricity market demand side, a revised model for medium and short-term trade planning is presented. It firstly forecasts the industry electric quantity of peak, flat, valley monthly on the demand side using the parameter-modified grey model and considers the minimum of power purchase cost, environmental protection and the network loss to determine the generation scheduling. With the fluctuation of electricity price, the price elasticity matrix computes the new industry electric quantity of peak, flat, valley monthly and gets the revision trade planning of the month. Then it gives the penalty cost, when the correction value reaches a certain level the electricity price will change with it, thus influences the trade planning by impact on the all-network power purchase cost. The model proposed can be used as an auxiliary decision-making for the trading center.

This work is supported by Special Fund of the National Basic Research Program of China(No.2004CB217905).

Key words: grey model; price elasticity matrix; energy-saving dispatch; penalty cost; medium and short-term trading

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)12-0007-06

0 引言

电力市场交易机制已在电力市场体系中得到广泛应用, 目前电力市场中短期交易计划模型多采用交易中心购电费用最小为目标, 并对此进行大量研究, 取得较好效果^[1-2], 该模型是电厂以低发电成本竞价, 向用户提供较低的电能成本。市场化后兼顾经济和环保的多目标优化问题日益得到重视^[3-5], 制定兼顾经济、环保的交易计划有十分重要的意义,

同时, 由于市场化后, 利益团体多元化, 电力系统决策的准确性直接关系着市场公平性, 因此应定量评估发电侧和需求侧对交易情况的影响, 提出更加符合竞争环境下电力系统实际情况的交易计划。

本文提出了一种既考虑全网购电费用、网损和排污量最小, 又兼顾了需求响应的多目标中短期交易计划修正模型。首先对需求侧建立修正 β 参数的GM(1, 1)灰色预测模型, 预测月峰、平、谷口径电量, 进而通过交易模型得出月峰、平、谷交易计划。考虑惩罚费用对购电费用影响, 通过计及环保与需求响应的优化模型修正交易计划。为使数学模型表述简便, 对于环保模型只考虑NO_x的排放情形。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(973项目)(2004CB217905)

1 口径电量预测及需求侧 E 矩阵

1.1 修正 β 参数的 GM (1, 1) 灰色预测模型

灰色预测^[6-7]是通过将原始数据进行处理, 将原始数据整理成规律性较强的序列, 再用微分拟合法建立微分方程来描述序列规律, 最终通过对其预测、还原来实现预测。建模得到的灰微分方程如下:

$$x^{(0)}(k+1) + az^{(1)}(k+1) = u \quad (k=1, 2, \dots, n-1) \quad (1)$$

$$\beta = \frac{1}{a} - \frac{1}{e^a - 1} \quad (2)$$

其中: a 称为灰系数; u 称为灰作用量; $z^{(1)}(k+1)$ 称为白化背景值; $x^{(0)}(k+1)$ 称为灰导数。

模型中如果确定 β 值, 则可得到 $z^{(1)}(k+1)$, 再根据式 (1) 求出 a 和 u 常数的估计值 \hat{a} 和 \hat{u} , 最后进行累减还原即得到原数列的灰色预测模型:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (e^{-\hat{a}} - 1)(x^{(0)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}})e^{-\hat{a}k} \quad (3)$$

当 $\beta=0.5$ 时称为普通 GM (1, 1) 模型。但这时预测误差较大。为改善 GM (1, 1) 模型的预测效果, 可将现有 a 值代入式 (2), 重新求解 β 值, 得到新估计值 \hat{a} 和 \hat{u} , 不断重复至求解出的 \hat{a} 和 \hat{u} 之差小于某一小定值 ε , 停止迭代, 利用最终的估计值 \hat{a} 和 \hat{u} 进行预测。此过程就称为修正 β 参数的 GM (1, 1) 灰色建模, 其具有更好的数据适应性和预测效果。

按照该方法得到时段 t 行业口径 k 的预测电量 $Q_{1, k, t}$, $k=1, 2, \dots, M$, 其中 M 为行业口径的个数, t 代表峰、平、谷时段。

1.2 计及需求侧 E 矩阵的购电模型

电量电价弹性矩阵 (E 矩阵) 是指电价变动所引起的电能需求量的相对变动^[8], 即在某时段内用电量变化率与相应价格变化率之比, 该值常用于量化中短期需求侧响应。由于用户不仅是简单降低用电量, 更多情况是通过重新安排生产计划将负荷从高电价时段转移到低电价时段, 因此 E 矩阵中包含了自弹性系数与交叉弹性系数, 数学模型为^[9]:

$$\varepsilon_{ii} = \frac{\partial q_i / q_i}{\partial \lambda_i / \lambda_i}, \quad \varepsilon_{ij} = \frac{\partial q_i / q_i}{\partial \lambda_j / \lambda_j} \quad (4)$$

式中: ε_{ii} 为用户自弹性矩阵; ε_{ij} 为交叉弹性矩阵。

对于某时段 $1-n$, 有公式^[10]

$$\begin{bmatrix} \partial q_1 / q_1 \\ \partial q_2 / q_2 \\ \vdots \\ \partial q_n / q_n \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} \partial \lambda_1 / \lambda_1 \\ \partial \lambda_2 / \lambda_2 \\ \vdots \\ \partial \lambda_n / \lambda_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\text{式中: 矩阵 } E = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \cdots & \varepsilon_{1n} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \cdots & \varepsilon_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \varepsilon_{ij} & \varepsilon_{ij} & \cdots & \varepsilon_{ij} \end{bmatrix} \text{ 即为需求侧 } E \text{ 矩阵。}$$

文献[11]给出了基于该矩阵的电量电价变化量代数关系, 即

$$\frac{\partial q_i}{q_i} = \sum_{l=-m}^{+m} \varepsilon_l \frac{\partial \lambda_{i+l}}{\lambda_{i+l}} \quad (6)$$

式中: ε_l 为相应弹性系数; m 表示对 i 时刻电量有影响的时刻范围。

根据式 (6) 计算电量电价弹性系数 ε_l , 求出实际电价变动后引起的时段 t 行业口径 k 的电量变动 $\Delta Q_{2, k, t}$, 进而得到电价变动后在时段 t 口径 k 的决策电量 $Q_{2, k, t}$, 其中 $k=1, 2, \dots, M$, M 为行业口径的个数, t 代表峰、平、谷时段。

2 电力交易修正模型

2.1 环保约束模型

在电力市场和节能调度环境下, 发电计划的安排应该按照节能调度的基本原理引入排污量的目标最小。

考虑环保性的目标函数:

$$\min H = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N H_{i,t}(Q_{i,t}) \quad (7)$$

式中: T 为计划周期内的总时段数, 这里取峰、平、谷三个时段, 1 代表峰, 2 代表平, 3 代表谷; N 为电厂个数; $Q_{i,t}$ 为修正后电厂 i 在时段 t 的发电量, $Q_{i,t} = Q'_{i,t} + \Delta Q_{i,t}$, 其中 $Q'_{i,t}$ 为电厂 i 在时段 t 的计划发电量, $\Delta Q_{i,t}$ 为电厂 i 在时段 t 的修正量; $H_{i,t}(Q_{i,t})$ 为电厂 i 在时段 t 的排污量, 表达式如式 (8):

$$H_{i,t}(Q_{i,t}) = \alpha_i Q_{i,t}^2 + \beta_i Q_{i,t} + \gamma_i \quad (8)$$

其中: 排污量用电厂发电量的二次函数模拟; α_i 、 β_i 、 γ_i 为电厂 i 的排污系数。

约束条件为系统排放总量约束

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N H_{i,t}(Q_{i,t}) \leq H_{\max} \quad (9)$$

式中: H_{\max} 为电网的月最大氮氧化物排放总量指标。

2.2 网损约束模型

B 系数法 (网损系数法) 以其计算简单、实用和计算速度高等特点, 至今在国内外仍然广泛应用。用 B 系数法计算网损时, 网损是发电厂有功出力的二次函数。任意第 i 个电厂和第 j 个电厂之间都有 B 系数矩阵中的某一元素与之对应。

用 B 系数法来量化这种影响:

$$P_{L,t}(Q_t) = Q_t B_{GG} Q_t^T + B_{GO} Q_t^T + B_{OO} \quad (10)$$

式中: P_L 为系统网损; Q_t 为电厂的发电量行矢量, $Q_t = [Q_{1,t}, Q_{2,t}, \dots, Q_{N,t}]$; B_{GG} 为 $I \times I$ 维矩阵; B_{GO} 为 I 维行矢量; B_{OO} 为常数。按照月网损最小安排发电。

考虑网损目标函数为:

$$\min P_L = \sum_{t=1}^T P_{L,t}(Q_t) \quad (11)$$

其中:

$$Q_{i,t} = Q'_{i,t} + \Delta Q_{i,t} \quad (12)$$

约束条件为网损约束

$$|P_L(Q_{i,t}) - P_L(Q'_{i,t})| \leq \Delta P_{L,\max} \quad (13)$$

其中: $P_{L,\max}$ 为修正前后网损变化的限度。

2.3 惩罚费用模型

交易中心在修正交易计划后, 交易电量允许有一个波动范围, 当修正后交易电量的波动大于所允许的波动时, 为了维持电力市场的公平性, 购电费用将适当增加作为惩罚。电厂 i 在时段 t 修正后的交易电量可以用式 (14) 表示:

$$Q_{i,t} = Q'_{i,t} + \Delta Q_{i,t} \quad (14)$$

按照图 1 的惩罚思想, 也可以用式 (15) 表示^[12]:

$$Q_{i,t} = x_{i,t} + y_{i,t} + z_{i,t} \quad (15)$$

其中: $x_{i,t}$, $y_{i,t}$, $z_{i,t}$ 为辅助变量。

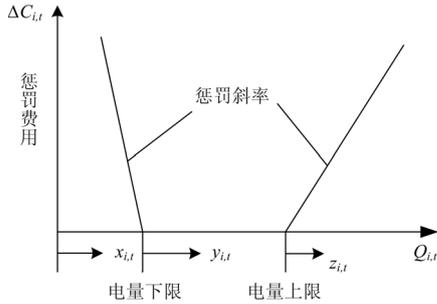


图 1 惩罚费用示意图

Fig.1 Penalty cost schematic diagram

$$x_{i,t} \leq Q_{i,t}^{\min} = 95\% Q'_{i,t} \quad (16)$$

$$y_{i,t} \leq Q_{i,t}^{\max} - Q_{i,t}^{\min} = 10\% Q'_{i,t} \quad (17)$$

$$z_{i,t} \leq M_1 - Q_{i,t}^{\max} = M_1 - 105\% Q'_{i,t} \quad (18)$$

$$0 \leq x_{i,t}, y_{i,t}, z_{i,t} \quad (19)$$

当计划电量 $Q_{i,t}$ 低于 $Q_{i,t}^{\min}$ 或高于 $Q_{i,t}^{\max}$ 时产生惩罚费用, 因此 $Q_{i,t}^{\max}$ 和 $Q_{i,t}^{\min}$ 为产生惩罚费用的电量上

下限。 M_1 为一充分大常数, 这里取 $2Q_{i,t}^{\max}$ 。

电厂 i 在时段 t 的惩罚费用的表达式为:

$$\Delta C_{i,t} = \omega_{1,i}(Q_{i,t}^{\min} - x_{i,t}) + \omega_{2,i}z_{i,t} \quad (20)$$

式中: $\omega_{1,i}$, $\omega_{2,i}$ 分别为上限、下限惩罚斜率。

所有电厂总的月惩罚费用为:

$$\Delta C = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \Delta C_{i,t} \quad (21)$$

在惩罚费用与合同电价购电费用的共同作用下, 得到交易计划修正后全网的总购电费用。

2.4 交易计划修正模型

由以上分析可知, 计及环保与需求响应的交易计划修正模型为全网购电费用最小、排污量最小及网损最小的多目标规划模型, 其目标函数为:

$$\min C(\Delta Q_{i,t}) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [\lambda_{i,t} Q_{i,t} + \Delta C_{i,t}] \quad (22)$$

$$\min H(\Delta Q_{i,t}) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N H_{i,t}(Q_{i,t}) \quad (23)$$

$$\min P_L = \sum_{t=1}^T P_{L,t}(Q_t) \quad (24)$$

其中:

$$Q_{i,t} = Q'_{i,t} + \Delta Q_{i,t} \quad (25)$$

$$Q_{i,t} = x_{i,t} + y_{i,t} + z_{i,t} \quad (26)$$

$$\Delta C_{i,t} = \omega_{1,i}(Q_{i,t}^{\min} - x_{i,t}) + \omega_{2,i}z_{i,t} \quad (27)$$

$$H_{i,t}(Q_{i,t}) = \alpha_i Q_{i,t}^2 + \beta_i Q_{i,t} + \gamma_i \quad (28)$$

$$P_{L,t}(Q_t) = Q_t B_{GG} Q_t^T + B_{GO} Q_t^T + B_{OO} \quad (29)$$

模型的约束条件包括:

1) 发电负荷平衡约束

$$\sum_{i=1}^N (Q'_{i,t} + \Delta Q_{i,t}) = \sum_{k=1}^M Q_{k,t} + \sum_{i=1}^N P_{L,i,t}(Q_{i,t}) \quad (30)$$

2) 电厂发电量约束

$$0 \leq \sum_{t=1}^T (Q'_{i,t} + \Delta Q_{i,t}) \leq Q_{i,\max} \quad (31)$$

3) 系统排放总量约束

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N H_{i,t}(Q_{i,t}) \leq H_{\max} \quad (32)$$

4) 网损约束

$$|P_L(Q_{i,t}) - P_L(Q'_{i,t})| \leq \Delta P_{L,\max} \quad (33)$$

5) 惩罚约束

$$x_{i,t} \leq Q_{i,t}^{\min} = 95\% Q'_{i,t} \quad (34)$$

$$y_{i,t} \leq Q_{i,t}^{\max} - Q_{i,t}^{\min} = 10\%Q_{i,t}' \quad (35)$$

$$z_{i,t} \leq M_1 - Q_{i,t}^{\max} = M_1 - 105\%Q_{i,t}' \quad (36)$$

$$0 \leq x_{i,t}, y_{i,t}, z_{i,t} \quad (37)$$

式中： $C(\Delta Q_{i,t})$ 为全网购电费用， $i=1, 2, \dots, N$ ，代表第 i 个电厂； T 为计划周期内的总时段数，这里取峰、平、谷三个时段； t 取 1, 2, 3 分别代表峰、平、谷； $\lambda_{i,t}$ 为时段 t 电厂 i 的合同电价； $Q_{i,t}^{\max}$ 代表电厂 i 月发电量上限； H_{\max} 为电网的月最大氮氧化物排放总量指标。

3 修正交易模型与求解

3.1 修正交易模型结构

计及环保与需求响应的交易计划修正模型综合考虑了环保约束，同时兼顾需求响应。首先应用改进的 GM (1, 1) 方法预测月峰、平、谷口径电量，通过该模型计算出没有电价变化时的月计划峰、平、谷发电量。当电价变化后，利用 E 矩阵计算出新的决策需求电量，同时考虑计惩罚的全网购电费用通过修正模型修正交易计划。结构流程如图 2。

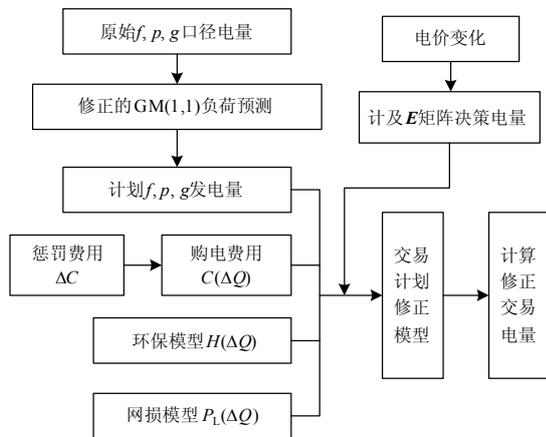


图 2 修正交易模型结构

Fig.2 Revised trading model structure

3.2 修正交易模型求解

本修正模型算例采用某地区 2005 年 1 月~2007 年 12 月的部分峰、平、谷口径电量及其电价为原始数据，用改进的 GM (1, 1) 方法预测出该地区 2008 年 3 月部分口径电量，进而求得部分电厂的计划发电量。在电价调整后，利用 E 矩阵计算出新的决策需求电量，并对该地区 2008 年 3 月的交易计划采用本模型进行修正。在计及惩罚费用时，引入了辅助变量 $x_{i,t}, y_{i,t}, z_{i,t}$ ，把计划电量分段函数转化成用辅助变量表达的连续函数式 (14) ~ (19)，方便求解。这里使用 Matlab 工具箱中的目标达到法，将多

目标问题转化为标准的最优化问题。

4 算例仿真及分析

4.1 原始数据

本文算例模型的输入数据以月为单位。时段划分见表 1，环保参数见表 2，网损 B 系数矩阵数据见表 3。

表 1 峰平谷时段划分

名称	时段
峰时段	8:00-11:00, 18:00-21:00
平时段	6:00-8:00, 11:00-18:00, 21:00-22:00
谷时段	22:00-6:00

表 2 环保参数

电厂 i	1	2	3	4	5
$\alpha_i \times 10^{-2}$	6.490	5.63	3.38	3.380	5.15
$\beta_i \times 10^{-2}$	-6.554	-3.45	-4.05	-3.550	-3.15
$\gamma_i \times 10^{-2}$	0	2.85	3.33	0	6.57

表 3 系统网损 B 系数矩阵数据

B 矩阵	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5
$B_1 \times 10^{-7}$	9.8	3.1	2.9	3.6	7.8
$B_2 \times 10^{-7}$	3.1	1.8	2.8	2.7	3.2
$B_3 \times 10^{-7}$	2.9	2.8	1.7	3.4	4.4
$B_4 \times 10^{-7}$	3.6	2.7	3.4	1.28	4.6
$B_5 \times 10^{-7}$	7.8	3.2	4.4	4.6	2.9
B_{G0}	-0.45	-0.23	7.04	-8.68	1.82

4.2 仿真结果

表 4 为根据修正 β 参数的 GM (1, 1) 负荷预测模型得到各行业口径电量预测结果，表 5 为电价

表 4 口径电量负荷预测

口径 k	f	p	g
农林业	4 346.23	6 376.64	4 817.42
工业	639 763.18	938 638	709 121.56
建筑业	8 125.04	11 920.77	9 005.896 138
交通运输业	18 968.67	27 830.16	21 025.11
信息传输业	7 795.78	11 437.69	8 640.94
商业	49 516.32	72 648.59	54 884.51
金融业	75 361.03	110 567.05	83 531.12
公共事业	50 083.74	73 481.10	55 513.45

调整后计及 E 矩阵需求侧决策电量, 表 6 为计及惩罚费用前后考虑环保与需求响应的月峰平谷交易量与计划交易的比较情况。

表 5 计及 E 矩阵后口径电量
Tab.5 Industry electric quantity for matrix E

口径 k	f	p	g
农林业	4 222.6	6 319.2	5 144.7
工业	621 570	930 190	757 290
建筑业	7 327.5	11 241	11 075
交通运输业	17 107	26 242	25 855
信息传输业	7 030.6	10 785	10 626
商业	48 108	71 995	58 613
金融业	67 964	104 260	102 720
公共事业	48 659	72 820	59 285

表 6 修正前后交易计划比较
Tab.6 Comparison of the trade planning before and behind the revision

i		1	2	3	4	5
计划交易量	f	264 155	144 314	177 653	195 168	202 299
	p	431 193	234 591	287 378	315 794	235 836
	g	320 396	161 952	196 283	218 742	226 219
计及惩罚后修正计划	f	224 500	136 961	130 735	172 168	163 042
	p	444 823	248 299	284 070	305 882	246 255
	g	406 327	182 120	204 518	211 120	235 143
不计惩罚的修正计划	f	205 492	114 884	124 902	154 767	157 210
	p	500 705	255 209	289 903	278 328	192 508
	g	400 417	208 777	217 292	240 519	245 709

4.3 算例分析

由表 4 和表 5 可以看到, 在计及 E 矩阵后, 电价的变动使得需求侧的负荷有了一些调整, 总体向谷期负荷移动。如建筑业、金融业等对电价反应敏感的行业, 削峰填谷的趋势比较明显。虽然工业等行业对电价反映不是很敏感, 但由于其负荷所占比例较大, 轻微的变动也会对减轻峰期负荷压力有较大作用。

根据表 7 可以知道, 在采用计及环保与需求响应的修正交易计划后, 该地区不计惩罚时的月购电费用为 20.22 亿元, 在增加了惩罚费用后, 月购电费用为 20.535 元。增加了惩罚之后, 月购电费用增加了 0.315 亿元。但相比计划交易月购电费用 24.726 亿元减少了 4.191 亿元。计及惩罚费用后, 发电排污量减少, NO_x 的月排放量减少了 519 万吨, 比起不计及惩罚的排污量减少了 131 万吨。但是计及惩

罚费用后网损却增加了 3 260 MWh, 不过还是较不计惩罚费用增加的少。由此可以看出, 本文提出的同时考虑环保和需求响应的交易计划修正后结果达到了创造最大社会效益的目的。

表 7 修正前后目标量比较

Tab.7 Comparison of the objective before and behind the revision

目标	购电费用/亿元	网损 / MWh	排污量 / 万吨
计划交易	24.726	413 450	13 894
计及惩罚修正交易	20.535	416 710	14 413
不计惩罚修正交易	20.22	427 450	14 544

由表 5 可知电价调整后, 需求侧口径电量按一定规律进行了调整, 主要表现在谷期需求量有所增加, 峰期需求量有所减少, 峰谷差减小。显然峰平谷交易计划要相应调整。在调整交易计划时, 本文考虑了惩罚费用, 当调整量过多或过少时都会有一定的费用惩罚, 来控制调整量不至于过大, 保证市场的公平性。在表 6 中, 电厂 2 修正后计及惩罚费用前后的月峰期负荷分别为 114 884 MWh 和 136 961 MWh, 相对于计划交易量分别减少了 29 430 MWh 和 7 353 MWh, 都起到了削峰的效果, 但由于有惩罚费用的控制, 使峰期负荷不至于削减的过低; 计及惩罚费用前后的谷期负荷分别为 208 777 MWh 和 182 120 MWh, 相对于该电厂计划交易量分别增加了 46 825 MWh 和 20 168 MWh, 使谷期负荷不至于被填充的过大。

由图 3 和图 4 可以看出计及惩罚费用后修正量的绝对值较不计惩罚费用的修正量绝对值普遍要小, 也就是说增加了惩罚费用后交易计划修正量的波动要小。这说明, 各行业口径虽然根据电价的调整影响了交易计划, 但由于惩罚费用的限制, 不会轻易产生较大的变动。这样既保证了电厂发电计划不会由于电价变动出现较大调整, 又适当降低了峰谷差, 保证电网安全。说明本文提出的多目标修正计划, 兼顾环保、需求响应, 以及惩罚费用的影响,

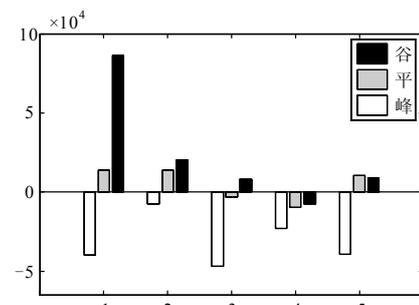


图 3 各电厂计及惩罚费用修正量

Fig.3 Correction value of each power plant with penalty cost

提高了电力市场的公平性, 平缓了电厂出力曲线, 确定了较合理的交易计划。

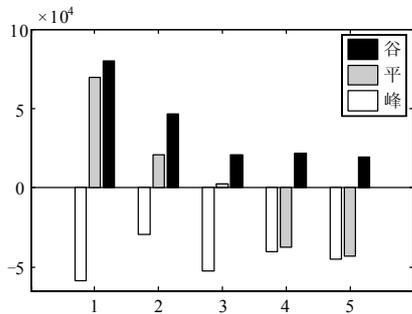


图4 各电厂不计惩罚费用修正量

Fig.4 Correction value of each power plant without penalty cost

5 结论

(1) 针对市场交易提出了计及环保与需求响应的多目标中短期交易计划修正, 在满足购电费用、排污量和网损最小的同时, 利用惩罚费用修正交易计划。通过算例表明, 所建模型能更好地协调交易中心制定交易计划, 且更加符合实际情况。

(2) 利用 E 矩阵得到电价调整后需求侧口径电量, 并考虑惩罚费用修正购电费用得到修正后的交易计划。充分表明电价在电力市场中杠杆的作用。说明计及电价后, 有助于交易中心制定更合理的交易计划。

(3) 后续工作将是引入 CO_2 , SO_2 等排污量因素, 使环保考虑更加充分; 同时应该考虑增加环保惩罚因子, 确保交易计划增加后对发电排污也能有效控制, 真正实现节能减排。此外, 在进行多目标优化时, 存在较大的主观性, 因此应考虑更为合理的多目标优化方法, 寻求最优解。

参考文献

- [1] 于尔铿, 周京阳, 张学松. 电力市场竞争模型与原理[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (1): 24-27.
YU Er-keng, ZHOU Jing-yang, ZHANG Xue-song. Bidding model and bidding principle for power markets[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (1): 24-27.
- [2] 沈瑜, 夏清, 江健健. 电力市场短期交易计划新模型及其求解策略研究[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (18): 12-16.
SHEN Yu, XIA Qing, JIANG Jian-jian. A novel model of short term trade planning in a deregulated system[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23 (18): 12-16.
- [3] 马瑞. 电力市场中兼顾环境保护和经济效益的双目标模糊优化短期交易计划新模型[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22 (4): 104-106.
MA Rui. A novel bi-objective fuzzy optimal model of short-term trade planning considering environmental protection and economic profit in deregulated power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22 (4): 104-106.
- [4] Abido M A. Environmental/economic power dispatch using multi-objective evolutionary algorithms[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2003, 18 (4): 1529-1537.
- [5] 马瑞, 贺仁睦, 王鹏, 等. 计及负荷静态电压特性的多目标交易研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (9): 125.
MA Rui, HE Ren-mu, WANG Peng, et al. Multiobjective optimization transaction model incorporating load static voltage characteristics[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (9): 125.
- [6] 牛东晓, 曹树华, 等. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 165-187.
NIU Dong-xiao, CAO Shu-hua, et al. Power load forecasting technology and its application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998: 165-187.
- [7] 张俊芳, 吴伊昂, 吴军基. 基于灰色理论负荷预测的应用研究[J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (5): 24-27.
ZHANG Jun-fang, WU Yi-ang, WU Jun-ji. Application of gray system theory in load forecasting[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24 (5): 24-27.
- [8] 王建新, 彭巨, 吴战江. 电力市场营销分析中的两类建模问题[J]. 电力需求侧管理, 2001, 3 (2): 24-27.
WANG Jian-xin, PENG Ju, WU Zhan-jiang. Two kinds of modeling in electric power market analysis[J]. Power DSM, 2001, 3 (2): 24-27.
- [9] He Y Q, David A K. Time-of-use electricity pricing based on global optimization for generation expansion planning[C].//Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management. London: 1997.668-673.
- [10] Rasanen M, Ruusunen J, Hamalainen R P. Identification of consumers' price responses in the dynamic pricing of electricity[C].//Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics-Intelligent Systems for the 21st Century. New York: 1995.1182-1187.
- [11] 秦祯芳, 岳顺民, 余贻鑫, 等. 零售端电力市场中的电量电价弹性矩阵[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(5): 16-19.

(下转第18页 continued on page 18)

5 结论

传统故障定位方法主要以保护开关量作为信息量,在时限上不能满足广域自适应后备保护的要求。在 PMU 广泛应用的实际背景下,本文将广域信息量引入到故障定位领域,利用模糊 C 均值法和系统聚类法进行最优分类,对比这两种方法的特点,结合使用这两种方法实现了故障元件以及故障区域的界定。通过 BPA 仿真验证,两种方法结合使用能够快速、准确地定位出故障元件和故障区域。

参考文献

- [1] 许树楷, 谢小荣, 辛耀中. 基于同步相量测量技术的广域测量系统应用现状及发展前景[J]. 电网技术, 2005, 29 (2): 45-49.
XU Shu-kai, XIE Xiao-rong, XIN Yao-zhong. Present application situation and development tendency of synchronous phase measurement technology based wide area measurement system[J]. Power System Technology, 2005, 29 (2): 45-49.
- [2] 常乃超, 兰洲, 甘德强, 等. 广域测量系统在电力系统分析及控制中的应用综述[J]. 电网技术, 2005, 29 (10): 46-50.
CHANG Nai-chao, LAN Zhou, GAN De-qiang, et al. A survey on applications of wide-area measurement system in power system in power system analysis and control[J]. Power System Technology, 2005, 29 (10): 46-50.
- [3] 王冬青, 苗世洪, 林湘宁, 等. 基于光纤网的后备保护系统的研制[J]. 电网技术, 2006, 30 (7): 77-81.
WANG Dong-qing, MIAO Shi-hong, LIN Xiang-ning, et al. Development of a novel backup protection system based on optic fiber network[J]. Power System Technology, 2006, 30 (7): 77-81.
- [4] 徐慧明, 毕天姝, 黄少锋, 等. 基于潮流转移因子的广域后备保护方案[J]. 电网技术, 2006, 30 (15): 69-75.
XU Hui-ming, BI Tian-shu, HUANG Shao-feng, et al. A wide area backup protection scheme based on flow transferring relativity factor[J]. Power System Technology, 2006, 30(15): 69-75.
- [5] 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
ZHANG Yao-ting, FANG Kai-tai. Introduction of multivariate statistical analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [6] 高新波. 模糊聚类分析及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
GAO Xin-bo. The analysis and application of fuzzy cluster[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2004.
- [7] 顾洁, 崔旻. 电力系统中长期负荷预测的最大模糊熵模型研究[J]. 电力自动化设备, 2003, 21 (8): 55-60.
GU Jie, CUI Min. Study on maximum fuzzy entropy model of mid-and long-term load forecast in power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 21 (8): 55-60.

收稿日期: 2009-08-20; 修回日期: 2009-11-20

作者简介:

徐岩 (1976-), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事电力系统继电保护, 变电站综合自动化方面的教学和研究; E-mail: xy19761001@yahoo.com.cn

刘金生 (1986-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护方面的研究; E-mail: liujinsheng322@yahoo.com.cn

张亚刚 (1978-), 男, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护和非线性复杂系统理论。

(上接第 12 页 continued from page 12)

QIN Zhen-fang, YUE Shun-min, YU Yi-xin, et al. Price elasticity matrix of demand current retail power market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (5): 16-19.

- [12] Conejo A J, Carrion M. Risk-constrained electricity procurement for a large consumer[J]. IEE Proc-Gener, Transm, and Distrib, 2006,153(4).

收稿日期: 2009-07-23; 修回日期: 2009-11-19

作者简介:

侯贺飞 (1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事电力市场与电力交易优化研究; E-mail: houhefei86@163.com

刘俊勇 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力市场、电力系统稳定与控制。