

混合系统中、长期节能调度发电计划的蒙特卡罗模拟

温丽丽¹, 刘俊勇²

(1. 四川省电力公司通信自动化中心, 四川 成都 610041; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 发电计划是电力市场运转的中心环节, 是电网调度的前提条件和重要手段, 具有十分重要的经济效益和社会效益。重点论述了节能调度下兼顾环境保护和经济效益的多目标混合电力系统发电计划模型。鉴于节能、环保的要求, 提出在节能调度下风、水、火电混合系统的中长期发电计划模型。该模型同时考虑系统能耗、氮氧化物排放量和电网购电费用三个目标。首先利用蒙特卡罗随机方法, 处理风能、水能的随机特性。然后对各个单目标确定性模型求解得到目标函数值, 其次对目标值进行一定程度的伸缩, 并且定义目标隶属函数将确定性问题模糊化。接着采用最大满意度法将多目标问题转化为单目标非线性规划问题求解, 得到火电机组的月度发电计划。仿真结果表明该策略对节能问题和经济问题的解决具有重要现实意义。

关键词: 电力市场; 节能调度; 多目标模糊优化; 蒙特卡罗随机模拟; 发电计划

Monte carlo simulation of medium and long-term generation plan in hybrid power system based on environmental/economic dispatch

WEN Li-li¹, LIU Jun-yong²

(1. Communication and Automation Center of Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, China;

2. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Generation Scheduling is the center of power market operation, and is the important precondition and measure of the gird dispatch in power system, which may bring out great benefit both in economy and in society. This paper has studied a novel bi-objective fuzzy optimal generation plan model, in which both environmental and pool purchase cost are considered. To focus on the requirement of environment protection, this paper also presents a dispatch model in integrated power system of wind-hydro-thermal. Energy consumption, gas displacement and purchase cost are considered in this model. First of all, the randomness of wind power and hydropower is deal with by Monte carlo stochastic simulation. Then each single-objective deterministic model is solved so that its objective value is got along with the results of power dispatch. Secondly, every objective function is fuzzed through defining objective membership function, then, bi-objective programming problem is reformulated into nonlinear single objective programming problem by means of fuzzy satisfaction-maximizing. The numerical results demonstrate this model can better deal with environmental and economic problems.

Key words: power market; environmental/economic dispatch; multi-objective fuzzy optimization; monte carlo stochastic simulation; generation plan

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)24-0024-06

0 引言

市场运营模式是电力市场研究领域的一个重要课题。提高能源使用效率, 节约能源, 减少环境污染, 促进能源和电力结构调整是现阶段能源利用和电力工业发展的主题^[1]。“节能降耗”从能源综合社会价值的角度对电力市场发展提出了新的要求。

目前, 大多数省份电网调度部门依据政府相关部门制定的年度发电计划, 优化月度和日度发电计划。而制定年度计划时, 通常考虑各发电主体利益、终端用户电价稳定等因素, 使各类火电机组的年利

用小时数基本相当, 未能充分体现节能降耗的要求。虽然个别地区考虑了能耗不同的机组在年利用小时数上的级差, 但因力度有限, 节能降耗作用也不是十分显著。

实际上, 机组的年度发电计划制定之后, 系统发电能源消耗总量即被基本确定。调度部门通过优化月度和日发电计划实现节能降耗的潜力有限^[2]。因此, 通过合理制定中、长期发电计划, 以节能、环保、经济为标准来确定各类发电机组的发电次序和发电时间, 节能降耗的潜力巨大。

本文提出了一种基于节能调度的中、长期发电

计划制定方法。优先安排风电、水电等清洁能源发电, 并且利用蒙特卡罗随机模拟解决风能、水能的随机特性。对于火电机组综合考虑其发电能耗量、氮氧化物排放量、发电成本等因素。能耗低、环境成本低的大容量机组优先调度上网, 从而降低系统发电的能源消耗总量, 实现节能管理。本文以年度、月度发电计划为例论述, 但该研究方法和思路可为其他市场的探索提供参考。

1 节能调度的基本原理

节能发电调度是指在保障电力可靠供应的前提下, 按照节能、环保、经济的原则, 依次调度各类能源发电, 最大限度地减少能源、资源消耗和污染物排放。

就我国的电力供需形势而言, 已基本具备了限制和淘汰耗能高、污染重的小火电机组的条件。现阶段可以通过多种方式积极实施节能减排工作。文献[3~6]分别从政策、策略、模式等方面对节能调度进行了探讨和研究。文献[7、8]阐述了同时考虑环境、经济效益的日前交易计划模型。文献[9]依据节能减排发电排序表, 采用小步长最优次序法, 提出了实时调度的优化模型。而针对基于节能调度的中、长期发电计划研究却很少。同时, 依据节能调度的要求, 风能、水能等清洁能源应优先上网发电, 而如何处理其发电的随机性因素也有待进一步研究解决。

2 节能调度发电计划的数学模型

2.1 目标函数

在节能调度环境下, 发电计划的安排不再是只重点考虑经济因素, 而应该是多个重要程度不同的目标组合。由于风能和水电属于清洁能源, 按照节能调度的基本原理, 不考虑风电和水电的运行费用时, 应首先安排其上网发电。因此, 本文以传统火电机组的能耗、排污量、以及电网购电费用三个不同权重的目标最小, 作为含风电、水电、火电机组电力系统中、长期发电计划安排的目标函数。即:

$$\min f_1 = \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (a_i Q_{it}^2 + b_i Q_{it} + c_i) \quad (1)$$

$$\min f_2 = \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (\mu_i Q_{it}^2 + \nu_i Q_{it} + \omega_i) \quad (2)$$

$$\min f_3 = \min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \rho_{it} Q_{it} \quad (3)$$

其中: 式(1)为发电燃料总耗量最小的目标函数。耗量特性用二次曲线拟合, a_i 、 b_i 、 c_i 为常数; i 为

机组编号; N 为系统中常规火电机组的个数; t 为时段, T 为时段数; Q_{it} 表示机组 i 在 t 时段的计划发电量。有害气体主要是指 SO_2 、 NO_x 、 CO 、 CO_2 等氮氧化物的排放, 目标函数采用式(2)所示的二次曲线表示。其中 μ_i 、 ν_i 、 ω_i 均为常数。式(3)为在机组上网电价已经通过合同方式确定的条件下, 电网合同电量购电费用最小的目标函数。 ρ_{it} 表示机组 i 在 t 时段的合同电量电价。

三个目标函数意义相对独立, 且具有不同的单位当量, 不能简单地进行线性累加, 因此在下文中引入基于隶属函数的模糊化处理方法, 通过最大满意度法推导出其等价多目标优化模型。

2.2 约束条件

1) 发电—负荷平衡约束

$$\sum_{i=1}^N Q_{it} + \sum_{k=1}^{N_w} Q_{kt} + \sum_{j=1}^{N_h} Q_{jt} - L_t = 0 \quad (4)$$

其中: Q_{kt} 表示风电场 k 在 t 时段的发电量; N_w 为系统内风电场数; Q_{ht} 表示水电厂 h 在 t 时段的发电量; N_h 为系统内水电机组数; L_t 为系统在 t 时段的负荷预测电量。

2) 机组最大/最小发电量约束

$$Q_{it,\min} \leq Q_{it} \leq Q_{it,\max} \quad (5)$$

$Q_{it,\max}$ 和 $Q_{it,\min}$ 分别表示机组 i 在 t 时段的发电量上、下限。机组的检修计划以及新机组投运等问题, 均可以转化为对机组发电量的限制约束。

3) 系统能耗总量约束

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (a_i Q_{it}^2 + b_i Q_{it} + c_i) \leq C_s \quad (6)$$

其中: C_s 为电网可以接受的最大能耗量。

4) 系统排放总量约束

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (\mu_i Q_{it}^2 + \nu_i Q_{it} + \omega_i) \leq G_s \quad (7)$$

其中: G_s 为电网的最大氮氧化物排放总量指标。

2.3 数学描述

本文所研究的基于节能调度的中、长期发电计划问题, 同时考虑了发电能耗、污染物排放、以及购电经济性 3 个权重不同的目标函数, 属于多目标加权优化问题^[10]。同时, 由于风能和水电的随机性, 风电和水电机组在各个时段的发电量是需要考虑的不确定性因素。由约束条件(4)可知, 本文优化问题的决策变量, 即系统内常规火电机组的发电量也是模糊数。因此, 数学模型可以描述为一个带有等式和不等式约束条件的非线性多目标加权模糊优化问题, 其数学表述如下:

$$\begin{aligned} & \min \{f_1(X), f_2(X), f_3(X)\} \\ & \text{s.t.} \begin{cases} h_i(X) = 0 \\ g_i(X) \leq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

式中： X 为代表所有火电机组发电量的向量，即决策变量 Q_{it} ； g_i 和 h_i 分别代表上节中的等式约束(4)和不等式约束(5~7)。

3 多目标加权模糊优化算法

3.1 隶属函数及等价模型

本文采用模糊算法将多目标优化转化为单一目标函数。模糊建模的关键在于隶属函数，目前隶属函数基本上是根据实验或者经验来确定。由于本文的数学模型要求在满足约束条件的前提下，能量消耗、污染气体排放、电网购电成本越小越好，有上限而无下限，因此采用降半直线形作为它们的隶属函数，如式(9)所示，相应图形参见图 1。

$$\mu(f_i(X)) = \begin{cases} 1 & f_i(X) \leq C_{0i} \\ \frac{C_{0i} + \delta_{0i} - f_i(X)}{\delta_{0i}} & C_{0i} < f_i(X) \leq C_{0i} + \delta_{0i} \\ 0 & f_i(X) > C_{0i} + \delta_{0i} \end{cases} \quad (9)$$

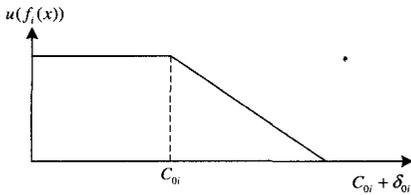


图 1 系统能耗最小隶属函数曲线

Fig.1 Membership function curve of minimum energy consumption

其中： C_{0i} ， $i=1, 2, 3$ 为分别以燃料耗量最小、氮氧化物排放量最小、电网购电费用最小为目标函数，约束条件如 2.2 节所述的单目标优化问题的最优解。 $C_{0i} + \delta_{0i}$ 表示第 i 个目标函数值可以接受的最大延伸区间。

根据多目标模糊优化理论，2.3 节中的数学模型可以转化为使满足 3 个目标及所有约束条件的隶属函数即满意度 λ 最大化问题^[11]，则本文基于节能调度的中、长期发电计划模型如式(10)，式中： α_i 为各个目标函数的权重系数，且满足 $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ 。

$$\begin{cases} \max \sum_{i=1}^3 \alpha_i \lambda_i \\ f_1(X) + \lambda_1 \delta_{01} \leq C_{01} + \delta_{01} \\ f_2(X) + \lambda_2 \delta_{02} \leq C_{02} + \delta_{02} \\ f_3(X) + \lambda_3 \delta_{03} \leq C_{03} + \delta_{03} \\ 0 \leq \lambda_i \leq 1, i=1, 2, 3 \\ \sum_{i=1}^N Q_{it} + \sum_{k=1}^{N_w} Q_{kt} + \sum_{j=1}^{N_s} Q_{jt} - L_t = 0 \\ Q_{it, \min} \leq Q_{it} \leq Q_{it, \max} \\ \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (a_i Q_{it}^2 + b_i Q_{it} + c_i) \leq C_s \\ \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [10^{-2}(\alpha_i + \beta_i Q_{it} + \gamma_i Q_{it}^2) + \xi_i \exp(\epsilon_i Q_{it})] \leq G_s \end{cases} \quad (10)$$

3.2 蒙特卡罗模拟

蒙特卡罗方法是一种以概率统计理论为指导，通过对随机数(或更常见的伪随机数)的数学模拟和统计分析，求取很多问题近似解的数值方法，属于计算数学的一个分支。

1) 风速的概率抽样

随着风力发电技术迅猛发展，其发电成本大幅下降，风力发电已成为可再生能源中发展最成熟的发电方式。依据节能发电调度原理，应该首先安排无调节能力的风电机组上网发电。系统剩余负荷电量再依次由水电机组和火电机组承担。影响风电机组发电量的主要因素是该风电场的风速特性^[12]。一些文献采用风速预测技术评估风电机组的发电量，其数据处理的工作量相当大，并且效果不佳。

由于风能的随机性和风速随时间连续变化的特点，采用蒙特卡罗仿真方法可以较为方便地模拟风速随时间变化的不确定性，从而解决含风电机组电力系统中的很多问题。对大量实测数据的统计结果表明，绝大部分地区风速的随机分布近似服从 Weibull 函数，其概率密度函数为：

$$\Phi(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (11)$$

其中： v 表示风速； k 为形状系数，取值范围在 1.8~2.3 之间，一般情况下取 $k=2$ ；参数 c 反映的是所描述地区的年平均风速大小。

风电机组输出功率与风速的关系可以用式(12)表示。其中， v_{ci} 为切入风速； v_{co} 为切出风速； v_R 为额定风速； P_R 为风电机组的额定输出功率。

$$P_w(v) = \begin{cases} 0 & v \leq v_{ci} \text{ 或 } v \geq v_{co} \\ \frac{P_R}{v_R^3 - v_{ci}^3} v^3 - \frac{v_{ci}^3}{v_R^3 - v_{ci}^3} P_R & v_{ci} \leq v \leq v_R \\ P_R & v \geq v_R \end{cases} \quad (12)$$

则风电机组在周期 T 内的发电量应为:

$$Q_{kt} = T \int_{v_{ci}}^{v_{co}} \Phi(v) \cdot P_w(v) dv \quad (13)$$

利用蒙特卡罗模拟仿真方法, 把一年分为 8760 个时段, 在每个小时段内假设系统条件不变, 由 Weibull 分布随机数发生器产生风速的概率抽样值。并计算出风电机组的有功输出功率, 从而确定其某个时段内的发电量。

2) 水电机组发电量模拟

水电能源是一种清洁能源, 污染小、费用低、可再生。但是在电力市场环境下, 为保证火电机组利益, 在夏天水电充足时, 还是存在弃水的现象。依据节能调度的基本原则, 对于无调节能力的水电机组应优先安排其上网发电, 并严格遵循“以水定电”的原则。

无调节能力的水电机组的发电量主要由来水情况决定, 具有较大的随机性^[13]。通过分析某系统的历年来水量等水文特性, 以及无调节能力水电机组的月度发电量样本序列, 可以近似认为无调节能力的水电机组的发电量可用均匀分布概率模型描述, 其概率密度函数为:

$$\Phi(Q_{ht}) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq Q_{ht} \leq b \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

其中: Q_{ht} 表示水电机组在 t 时段的发电量; a 为其发电量的下限; b 为其发电量的上限。

因此, 根据反变换法原理, 利用蒙特卡罗仿真方法, 通过随机模拟产生无调节能力水电机组在某个时段内的发电量。其原理与上节中关于风速的概率抽样相似。

4 仿真算例分析

考虑某地方电网的电源包括风电、水电及火电机组三种形式。其中风电场合计装机容量为 49.5 MW (66×0.75 MW)。无调节能力的水电站装机为: $3 \times 45 + 1 \times 22$, 即 157 MW。共有 A-F 六个火电厂 10 台火电机组。火电机组基本参数、申报数据、最大/最小有功出力、检修计划, 及系统负荷预测曲线等数据均已知。

风电机组的切入、切出、额定风速分别取为

3 m/s、25 m/s 和 12 m/s。利用蒙特卡罗随机模拟方法, 产生符合威布尔分布的无相关特性的风速序列, 并根据风机的功率曲线, 模拟得到该系统中风电场的月度发电总量如表 1 所示。

表 1 系统风电机组月度发电总量 (单位: MW.h)

一月	二月	三月	四月	五月	六月
8 790.107	9 004.5	9 218.893	9 433.286	7 932.536	6 860.572
七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
6 217.389	6 219.393	6 227.365	6 860.572	8 575.714	8 790.107

同理, 依据“以水定电”的原则, 利用蒙特卡罗仿真, 得到该系统中符合均匀分布的水电厂月度发电总量, 如表 2。

表 2 系统水电机组月度发电总量 (单位: MW.h)

一月	二月	三月	四月	五月	六月
108 577.6	97 992.7	89 102.4	167 415.4	235 645.7	227 942.9
七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
210 460.1	224 380.3	237 031.1	315 918.3	213 438.8	134 134.5

按照节能调度的基本原理, 系统年度负荷预测总量扣除上述风电和水电机组的发电量后, 应该由火电机组承担。利用本文介绍的优化算法, 分别以系统能耗最小、氮氧化物排放量最小、电网购电费用最小为目标函数, 确定火电机组的月度发电计划, 并与上述三目标模糊优化的结果进行比较, 如表 3。

表 3 各单目标决策及三目标模糊决策的目标值比较

目标函数	煤耗	排污	购电费用	三目标模糊决策
总煤耗/t	1.2043E+6	1.27E+6	1.3732E+6	1.2499E+6
总排放量/t	1470.31	1240.62	1390.25	1381.23
购电费用/元	1.3265E+9	1.2707E+9	1.2455E+9	1.2475E+9

由上表可以看出, 按照机组申报电价竞争上网的方式, 电网购电费用最低, 但能耗和污染物排量较高。这主要是由高能耗机组报价低的问题引起的。在市场环境下, 当利用该模式来确定机组合同电量时, 虽然系统购电成本低, 但能耗高, 不利于节能。当采用能耗或者污染气体排量作为优化的目标函数时, 虽然满足了节能约束条件, 但经济性降低, 电网购电费用有所增加。这部分增加的费用是因为引入能耗约束所产生的, 在市场中可称之为社会能耗成本。当采用该模式安排机组发电计划时, 这部分成本应当由高能耗用户承担。而显然, 同时考虑上述三种因素的多目标模糊决策结果, 达到了创造最大社会利益的目的。

上述 4 种模式下, 基于概率模拟的机组月度发电计划结果比较如图 2~图 4 所示。可见, 节能调度

实施后, 单位能耗和污染物排放两项指标将成为调度的最重要依据。

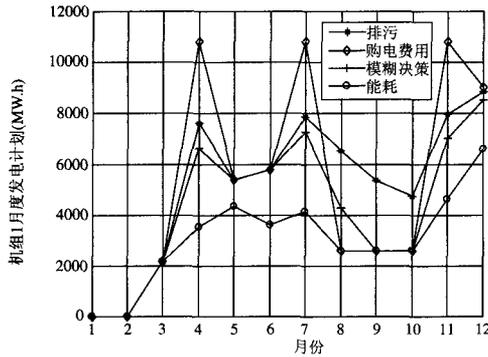


图2 机组1在各种目标函数下的发电计划曲线

Fig.2 Generation plan curve of unit one in various objective functions

同时, 在实际应用中, 可以动态地调整各个目标函数对应的权重系数, 继而合理地分配各发电机组的发电计划, 达到资源、设备的最佳组合。当权中选择为 $\alpha_1 = 0.6, \alpha_2 = 0.3, \alpha_3 = 0.1$ 时, 系统火电机组的发电计划见表4。

另外, 节能调度实施后, 大机组能力充分利用, 得到“超发电量”的实际利益。而排序靠后的发电机组(发电企业)可以充当备用和调峰作用, 在电力和电网安全仍有需求的情况下, 需要予以补偿, 以维持其全年基本生产经营的需要。

表4 三目标模糊决策机组发电计划分配结果 $\alpha = (0.6, 0.3, 0.1)$ (单位: MW·h)

Tab.4 Optimization result of generation plan based on multi-objective fuzzy decision $\alpha = (0.6, 0.3, 0.1)$

电厂机组	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
A	1	0	2160	6598.261	5400	5760	7251.941	4268.392	2592	2592	7011.848	8523.148	
	2	27061.84	26562.34	19152	22697.08	26842.35	24729.02	2736	13680	13910.36	10928.27	23565.12	26736.69
	3	16072.5	15691.85	21020.56	12746.4	9360	14294.86	13791.94	9020.856	6050.557	5184	3600	15824.79
B	4	16238.67	15878.63	0	13092.48	16080.49	14557.15	14081.45	3600	7344	7344	13718.17	16004.33
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11520
C	6	49642.78	48538.75	63993.11	39996.17	49157.62	44487.01	43028.45	29191.14	20576.56	30240	41914.58	48924.17
D	7	135002	133004	160973.4	117543.7	134124	125671.1	72000	97988.58	82398.02	70469.61	121015.7	133701.5
E	8	192407.7	183816	221936.5	172557.9	79920	79920	178797.5	150324.3	132598.3	119036	176505.5	190929
F	9	0	0	0	0	0	40327.21	39504.6	14400	26842.25	23125.03	38876.43	42829.68
	10	43200	43200	43200	7200	43200	42638.16	21600	34363.2	29702.71	26137.06	41246.57	43200
出力统计													
479625.49 466691.57 532435.57 392431.99 364084.46 392384.51 392791.88 356836.468 322014.76 295055.97 467453.918 538193.308													
负荷预测													
479625.47 466691.59 532435.50 392431.97 364084.47 392384.53 392791.84 356836.50 322014.72 295055.97 467453.88 538193.38													

5 结论

针对基于节能调度的中、长期发电计划, 本文

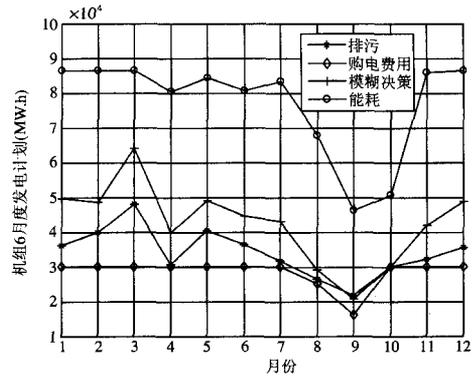


图3 机组6在各种目标函数下的发电计划曲线

Fig.3 Generation plan curve of unit six in various objective functions

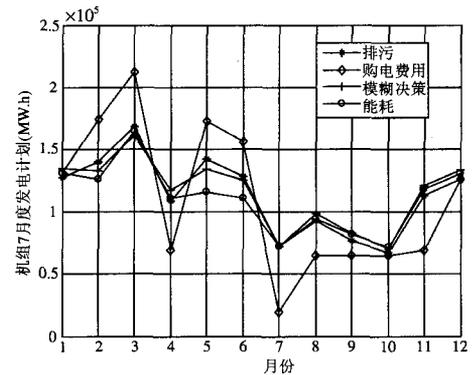


图4 机组7在各种目标函数下的发电计划曲线

Fig.4 Generation plan curve of unit seven in various objective functions

提出一种兼顾节能与经济的三目标加权模糊优化交易模型。通过对目标函数的模糊化, 采用最大满意度法将多目标问题转化为单目标非线性问题求解。

同时, 依据节能调度中优先安排可再生能源机组的原则, 考虑到风能和水电的随机性, 提出利用蒙特卡罗概率模拟仿真处理风电、水机组发电量的方法, 计算出不同目标下满足一定概率密度函数的机组中长期发电概率曲线, 取得了满意的结果。

但是从长远看, 应逐步完善考虑节能减排机制的电力市场规则, 建立发电上网电价与资源消耗及环保要求相一致的定价机制, 采用机组竞价上网的调度方式, 通过市场手段实现节能降耗的目标。

参考文献

- [1] 国务院办公厅. 关于转发发展改革委等部门节能发电调度办法(试行)的通知[Z]. 2007.
- [2] LIANG Zhi-fei, KANG Chong-qing, Member, et al. A New Multiple Objectives Optimization Model of Monthly Generation Scheduling[J]. International Conference Power System Technology[C]. 2006, 1-6.
- [3] 胥传普, 杨立兵, 刘福斌. 关于节能降耗与电力市场联合实施方案的探讨[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(23): 99-103.
XU Chuan-pu, YANG Li-bing, LIU Fu-bin. Discuss on the Union Implementation Scheme of Energy Conservation Measures and Electricity Marketability Methods[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007,31(23):99-103.
- [4] 尚金成. 兼顾市场机制的主要节能发电调度模式比较研究[J]. 电网技术, 2008, 32(4): 78-85.
SHANG Jin-cheng. Comparative Research on Main Energy-Saving Generation Dispatching Model Considering Market Mechanism[J]. Power System Technology, 2008,32(4):78-85.
- [5] 严宇, 马珂, 于钊, 等. 改进发电调度方式实施节能、环保、经济调度的探讨[J]. 中国电力, 2007, 40(6): 6-9.
YAN Yu, MA Ke, YU Zhao, et al. Primary Research on Improvement in Generation Dispatching Mode to Implement Energy Conservation and Environmental Protection and Economic Dispatching[J]. Electric Power, 2007,40(6):6-9.
- [6] 尚金成, 张立庆. 电力节能减排与资源优化配置技术的研究与应用[J]. 电网技术, 2007, 31(22): 58-63.
SHANG Jin-cheng, ZHANG Li-qing. Research and Application of Technologies in Energy-Saving, Emission-Reducing and Optimal Resource Allocation of Electric Power System[J]. Power System Technology, 2007,31(22):58-63.
- [7] 杨静, 刘巍, 贺俊杰, 等. 多时段混合优化策略在日前交易模型中的应用[J]. 现代电力, 2007, 24(3): 87-91.
YANG Jing, LIU Wei, HE Jun-jie, et al. Application of Multi-Period Mixed Optimal Algorithm to Days-Ahead Trading Model[J]. Modern Electric Power, 2007,24(3):87-91.
- [8] 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): 104-108.
MA Rui. A Novel Bi-objective Fuzzy Optimal Model of Short-time Trade Planning Considering Environmental Protection and Economic Profit in Deregulated Power System[J]. Proceedings of the CSEE, 2002,22(4):104-108.
- [9] 王超, 张晓明, 唐茂林, 等. 四川电网节能减排发电实时调度优化模型[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(4): 89-92.
WANG chao, ZHANG Xiao-ming, TANG Mao-lin, et al. Real-time Dispatching Optimization Model for Energy-saving and Emission-reduction Generation in Sichuan Grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008,32(4):89-92.
- [10] Abido M A. A novel multiobjective Evolutionary Algorithm for Environmental/economic Power Dispatch[J]. Electric Power Systems Research, 2003,65(1):71-81.
- [11] Tankut Yalcinoz, Onur Koksoy. A multi-objective Optimization Method to Environmental Economic Dispatch[J]. Electric Power and Energy Systems, 2007,29:42-50.
- [12] 陈海焱, 陈金富, 段献忠. 含风电场电力系统经济调度的模糊建模及优化算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 22-35.
CHEN Hai-yan, CHEN Jin-fu, DUAN Xian-zhong. Fuzzy Modeling and Optimization Algorithm on Dynamic Economic Dispatch in Wind Power Integrated System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(2):22-35.
- [13] 胡百林, 李晓明, 李小平, 等. 基于 ARMA 模型的水电站概率性发电量预测[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(3): 63-65.
HU Bai-lin, LI Xiao-ming, LI Xiao-ping, et al. Probabilistic Energy Production Forecasting for Hydropower Stations Based on ARMA Model[J]. Proceedings of The Csu-epsa, 2003,15(3):63-65.

收稿日期: 2008-08-28; 修回日期: 2008-10-24

作者简介:

温丽丽(1982-), 女, 硕士研究生, 从事电网调度自动化工作; E-mail: wenli113@163.com

刘俊勇(1963-), 男, 教授, 博士生导师。主要从事电力市场、分布式发电、灵活输电与电力系统可视化等方面的研究工作。