

基于交互式多目标决策方法的 水火电力系统日有功负荷优化分配

胡国强, 贺仁睦

(电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室(华北电力大学), 北京市 昌平区 102206)

Optimal Daily Active Power Load Dispatching of Hydrothermal Power System Based on Interactive Multi-Objective Decision-Making Method

HU Guo-qiang, HE Ren-mu

(Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control (North China Electric Power University), Ministry of Education, Changping District, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: Generation enterprises not only have to consider operational cost, but also social benefit and economic benefit under peak and valley time-of-use power tariff. The authors build a multi-objective optimal daily active power load dispatching model in which the lowest thermal power plants operational costs, least emission of polluted gas and maximized generation benefits of hydroelectric power stations are taken as optimal objectives; and propose an interactive multi-objective decision-making method based on objective satisfaction degree and objective comprehensive degree; by means of establishing three decision-making models the solution of multi-objective problem is transformed into those of single objective problems. Through unceasingly adjusting the satisfaction degree of single objects and objective comprehensive degree, the subjective desire of decision-maker is incarnated, thus the arbitrariness of artificially choosing objective weight can be avoided, and it makes the proposed method easy to operate and apply. Results of calculation example prove that the presented model is correct and the feasibility of interactive multi-objective decision-making method.

KEY WORDS: hydrothermal power system; multi-objective; active power load dispatching; interactive decision-making

摘要: 峰谷分时电价下, 发电企业不仅要考虑运行成本, 还应考虑社会效益和经济效益。文章建立了以火电厂运行费用最低、污染气体排放量最小和水电厂发电效益最大为目标的水火电力系统日有功负荷多目标优化分配模型, 提出了一种基于目标满意度和目标总体协调度的交互式多目标决策方法, 通过建立3个决策模型将多目标问题转化为单目标问题求解。决策者通过对各单项目标满意度和目标总体协调度的

不断调整来体现其主观愿望, 避免了人为选取目标权重的任意性, 便于实际操作应用。算例结果证明了所建立模型的正确性和交互式多目标决策方法的可行性。

关键词: 水火电力系统; 多目标; 有功负荷分配; 交互式决策

0 引言

水火电力系统日有功负荷优化分配在电力系统中发挥着重要作用^[1-2]。电力市场环境下, 发电企业不仅要考虑发电成本, 还要考虑社会效益和发电效益, 才能获得综合调度效益最佳^[3-7]。目前, 我国部分电网已经开始试点或即将实施分时上网电价政策, 其目的是通过合理的峰谷上网电价政策, 鼓励电厂积极参与调峰, 多发峰荷^[8-11]。水电厂具有启停快速的运行特点, 在电力系统中主要承担调峰任务, 因此, 如何有效发挥水电系统的运行特点, 充分利用水力资源, 达到降低火电厂运行成本的目的, 是需要深入研究的重要课题。

文献[12]对 Lagrange 松弛法求解水火电调度问题时由相同机组引起的解振荡现象进行了研究, 较好地改善了振荡现象和可行解的质量, 但罚函数的选取存在人为主观性的缺点。文献[13]采用非线性网流法求解水火联合电力系统的经济调度问题, 建立的模型和算法可用于统一调度, 其主要不足是没有考虑环境保护的因素, 不适合电力市场环境下的调度要求。文献[14]提出了一种基于进化规划的交互式满意度法, 用于求解水火电力系统经济环境负荷优化调度问题, 避免了目标权重选取的人为随意性, 主要存在优化结果严重依赖于目标隶属度函数选取

的问题。上述模型和方法均没有考虑峰谷分时上网电价因素的影响,不能有效发挥水电的运行特点。

本文建立了考虑峰谷分时上网电价的水火电力系统日有功负荷多目标优化调度模型,提出了一种基于目标满意度和目标总体协调度的交互式多目标决策方法,将多目标决策问题转化为求解3个单目标规划问题。算例结果证明了所建立模型的正确性和合理性,该模型较好地兼顾了运行成本、环境保护和发电效益的综合要求,是一种适应电力市场环境日有功负荷多目标优化分配模型。

1 交互式多目标决策方法

1.1 目标满意度和目标总体协调度

多目标决策问题一般不存在绝对最优解,决策结果与决策者的主观偏好联系紧密。交互式决策方法能充分体现决策者的主观愿望,是实用性较强的多目标决策方法^[15]。目前的一些交互式多目标决策方法存在多目标向单目标转化过程中各单目标权重确定的任意性,不便于实际操作^[16]。在前人研究的基础上,本文构建了一种基于目标满意度和目标总体协调度的交互式多目标决策方法。

多目标决策问题(multiplied objective programming, MOP)如下:

$$\begin{cases} \max & f(\mathbf{x})=[f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_m(\mathbf{x})] \\ \min & g(\mathbf{x})=[g_1(\mathbf{x}), g_2(\mathbf{x}), \dots, g_n(\mathbf{x})] \\ \text{s.t.} & h_l(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{x} \in X \end{cases} \quad (1)$$

式中: \mathbf{x} 为决策向量; $f_p(\mathbf{x})$ 和 $g_q(\mathbf{x})$ 为目标函数, $f_p(\mathbf{x})$ 是效益型目标函数, $g_q(\mathbf{x})$ 是成本型目标函数, $p=1,2,\dots,m$, $q=1,2,\dots,n$, m 、 n 分别为收益型目标和成本型目标的个数; X 为决策向量的取值区域; $h_l(\mathbf{x})$ 为等式或不等式约束条件函数, $l=1,2,\dots,L$, L 为约束条件数目。

定义 MOP 问题各单项目标达成程度的目标满意度函数^[16]为

$$m[f_p(\mathbf{x})]=\frac{f_p(\mathbf{x})-f_p^-}{f_p^+-f_p^-}, \quad p=1,2,\dots,m \quad (2)$$

$$m[g_q(\mathbf{x})]=\frac{g_q^- - g_q(\mathbf{x})}{g_q^- - g_q^+}, \quad q=1,2,\dots,n \quad (3)$$

式中: $m[f_p(\mathbf{x})]$ 和 $m[g_q(\mathbf{x})]$ 分别为目标 p 和目标 q 达成程度的目标满意度函数; f_p^+ 和 f_p^- 为目标 p 的理想值和下限值; g_q^+ 和 g_q^- 为目标 q 的理想值和上限值。

多目标决策问题除了需考虑各单项目标的目

标满意度外,还应考虑各单项目标之间相互制约、相互影响的整体效果,以实现系统目标的总体协调控制。对于给定目标理想值和上、下限值的多目标决策问题,实质上就是反复比较决策值与所给定理想值和上下限值的接近程度。欧氏距离可以度量向量间的接近程度,欧氏距离越小,两向量越相似或越接近。利用欧式距离来构造目标总体协调度函数,共定义如下3个距离表达式^[16]:

(1) 决策值与理想值间的欧氏距离:

$$d_1 = \sqrt{\sum_{p=1}^m [f_p(\mathbf{x}) - f_p^+]^2 + \sum_{q=1}^n [g_q(\mathbf{x}) - g_q^+]^2} \quad (4)$$

(2) 决策值与上(或下)限值间的欧氏距离:

$$d_2 = \sqrt{\sum_{p=1}^m [f_p(\mathbf{x}) - f_p^-]^2 + \sum_{q=1}^n [g_q(\mathbf{x}) - g_q^-]^2} \quad (5)$$

(3) 理想值与上(或下)限值之间的欧氏距离:

$$d_3 = \sqrt{\sum_{p=1}^m (f_p^+ - f_p^-)^2 + \sum_{q=1}^n (g_q^+ - g_q^-)^2} \quad (6)$$

根据 d_1 、 d_2 和 d_3 构造目标总体协调度函数:

$$I = \frac{d_1 + d_2}{d_1 + d_3} \quad (7)$$

当各单项目标值均达到理想值时,决策者最满意,目标总体协调度为1;当各单项目标都只达到目标的上限(或下限)时,决策者可以接受,但整体满意程度不高,目标总体协调度仅为0.5。对于某一具体问题, d_3 为常数, $f_p(\mathbf{x})$ 或 $g_q(\mathbf{x})$ 越接近目标的理想值, d_1 越小, d_2 越大, I 是随着 $f(\mathbf{x})$ 增大或 $g(\mathbf{x})$ 减小而增加的单调函数,因此,通过控制 I 就可以实现目标整体的总体协调。

1.2 交互式多目标决策模型

在已定义目标满意度和目标总体协调度的情况下,对多目标决策问题可以建立如下交互式多目标决策模型:

(1) 目标总体协调度最大决策模型(DM1)。满足约束条件并使目标总体协调度达到最大的决策模型为

$$\max \quad I \quad (8)$$

$$\text{s.t.} \quad h_l(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{x} \in X \quad (9)$$

这是一个单目标规划问题,该模型可以求出目标满意度的变化趋势。由此求得初始最优解 $\mathbf{x}^{(0)}$, 相应的目标方案 $f_p[\mathbf{x}^{(0)}]$ 和 $g_q[\mathbf{x}^{(0)}]$ 、目标总体协调度 $I^{(0)}$ 、目标满意度 $m[f_p(\mathbf{x}^{(0)})]$ 和 $m[g_q(\mathbf{x}^{(0)})]$ 。对于以上得出的初始方案,决策者可以根据实际情况

提出修正措施。

(2) 给定目标满意度的多目标决策模型(DM2)。对DM1模型求出的方案,决策者根据自己的主观愿望,提出各单项目标的满意度下限值 m_p^- 和 m_q^- ,于是得到如下单目标规划问题:

$$\begin{aligned} \max \quad & I \\ \text{s.t.} \quad & m[f_p(\mathbf{x})] \geq m_p^- \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & m[g_q(\mathbf{x})] \geq m_q^- \\ & h_l(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{x} \in X \end{aligned} \quad (11)$$

求解上述规划问题,便可得到满足决策者给定的各单项目标满意度的决策结果,如果一次不能达到目标,可不断调整 m_p^- 、 m_q^- ,反复交互计算,直至满足决策者要求。

(3) 满足目标满意度和目标总体协调度要求的多目标决策模型(DM3)。设决策者提出的目标总体协调度的下限值为 I^- ,各单项目标的满意度下限值分别为 m_p^- 、 m_q^- ,得到如下单目标规划问题:

$$\min \left\{ \sum_{p=1}^m |m[f_p(\mathbf{x})] - m_p^-| + \sum_{q=1}^n |m[g_q(\mathbf{x})] - m_q^-| \right\} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \quad & I \geq I^- \\ & h_l(\mathbf{x}) \geq 0, \mathbf{x} \in X \\ & m[f_p(\mathbf{x})] \geq m_p^- \\ & m[g_q(\mathbf{x})] \geq m_q^- \end{aligned} \quad (13)$$

求解上述规划问题,可得到满足决策者要求的决策结果,如果一次不能达到目标,可以不断调整 m_p^- 、 m_q^- 和 I^- ,反复计算,直至决策者满意。

1.3 单目标决策模型的最优解

1.2节中通过3个单目标决策模型将多目标规划问题转化为交互式单目标问题求解,当上述3个单目标模型的最优解是原问题的非劣解时,最优解才有实际物理意义,才是符合主客观条件的最佳满意解。以下证明DM1的最优解是MOP问题的非劣解。

证明:若 $\mathbf{x}^{(0)}$ 是DM1的最优解,而不是MOP的非劣解,则存在 $\mathbf{x}' \in X$,对于任意的 p 和 q ,有 $f_p[\mathbf{x}^{(0)}] \leq f_p(\mathbf{x}')$, $g_q[\mathbf{x}^{(0)}] \geq g_q(\mathbf{x}')$,且存在 k ,使得 $f_k[\mathbf{x}^{(0)}] < f_k(\mathbf{x}')$, $g_k[\mathbf{x}^{(0)}] > g_k(\mathbf{x}')$,由于目标总体协调度具有单调性的特点,可得出 $I[\mathbf{x}^{(0)}] < I(\mathbf{x}')$,故 $\mathbf{x}^{(0)}$ 不是DM1的最优解,这与假设相矛盾。所以,DM1的最优解是MOP问题的非劣解。

同理可以证明DM2的最优解、DM3的最优解均是MOP问题的非劣解。

因此,1.2节中的3个单目标决策模型是正确

合理的,将多目标问题转化为单目标问题求解不存在求解方法上的局限性。对于任何具有有限个目标函数的多目标决策问题,本文构建的交互式多目标决策方法将多目标决策问题分解为3个单目标决策问题,便于求解和实际操作应用。通过对上述3个单目标模型的反复交互式运算,便可得到充分体现决策者主观愿望且兼顾系统协调平衡的较为切合实际的最佳决策方案。

2 日有功负荷多目标优化分配数学模型

2.1 目标函数

$$\min F_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{R_s} \{a_{si} + b_{si}P_{si}(t) + c_{si}P_{si}^2(t) + |d_{si} \sin[e_{si}(P_{si}(t) - P_{si}^{\min})]|\} \quad (14)$$

$$\min F_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{R_s} \{a_{si} + b_{si}P_{si}(t) + g_{si}P_{si}^2(t) + h_{si} \exp[d_{si}P_{si}(t)]\} \quad (15)$$

$$\max F_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{R_h} r_j(t)P_{hj}(t)\Delta t \quad (16)$$

式中: F_1 为火电厂总运行费用; t 为计算时段; T 为计算时段数; i 为火电厂编号; R_s 为系统中火电厂个数; a_{si} 、 b_{si} 、 c_{si} 、 d_{si} 、 e_{si} 为火电厂 i 的燃料耗量特性系数; $P_{si}(t)$ 为火电厂 i 在 t 时段的有功出力; P_{si}^{\min} 为火电厂 i 有功出力的最小值; F_2 为污染气体排放量; a_{si} 、 b_{si} 、 g_{si} 、 h_{si} 、 d_{si} 为火电厂 i 的气体排放特性系数; F_3 为考虑峰谷分时电价的水电厂总发电效益; $r_j(t)$ 为水电厂 j 在 t 时段的电价; j 为水电厂编号; R_h 为水电厂个数; $P_{hj}(t)$ 为水电厂 j 在 t 时段的有功出力; Δt 为计算时段长度。

2.2 约束条件

(1) 系统负荷平衡约束:

$$\sum_{i=1}^{R_s} P_{si}(t) + \sum_{j=1}^{R_h} P_{hj}(t) = P_D(t) + P_L(t) \quad (17)$$

式中: $P_D(t)$ 为 t 时段系统总负荷; $P_L(t)$ 为 t 时段系统网损。

(2) 火电厂功率约束:

$$P_{si}^{\min} \leq P_{si} \leq P_{si}^{\max} \quad (18)$$

式中 P_{si}^{\max} 为火电厂 i 有功出力的最大值。

(3) 水电厂功率约束:

$$P_{hj}^{\min} \leq P_{hj} \leq P_{hj}^{\max} \quad (19)$$

式中 P_{hj}^{\min} 和 P_{hj}^{\max} 分别为水电厂 j 有功出力的最小值和最大值。

(4) 水电厂库容约束:

$$V_j^{\min} \leq V_j(t) \leq V_j^{\max} \quad (20)$$

式中 $V_j(t)$ 、 V_j^{\max} 、 V_j^{\min} 分别为水电厂 j 的水库库容及其上、下限值。

(5) 水电厂发电流量约束:

$$Q_j^{\min} \leq Q_j(t) \leq Q_j^{\max} \quad (21)$$

式中 $Q_j(t)$ 、 Q_j^{\max} 、 Q_j^{\min} 分别为水电厂 j 的发电流量及其上、下限值。

(6) 水电厂用水平衡约束:

$$V_j(t+1) = V_j(t) + \{q_j(t) - Q_j(t) - S_j(t) + \sum_{k=1}^{R_{uh}} [Q_k(t - T_{kj}) - S_k(t - T_{kj})]\} \Delta t \quad (22)$$

式中: $q_j(t)$ 、 $S_j(t)$ 分别为水电厂 j 在 t 时段的自然来水流量和弃水流量; k 为直接位于水电厂 j 上游的水电厂编号; R_{uh} 为直接位于水电厂 j 上游的电站个数; T_{kj} 为从水电厂 k 到水电厂 j 的水流流达时间。

(7) 水电转换关系。水电厂的发电功率 $P_{hj}(t)$ 是水库库容和发电流量的函数, 可用二次函数表示为

$$P_{hj}(t) = c_{1j} V_j^2(t) + c_{2j} Q_j^2(t) + c_{3j} V_j(t) Q_j(t) + c_{4j} V_j(t) + c_{5j} Q_j(t) + c_{6j} \quad (23)$$

式中 c_{1j} 、 c_{2j} 、 c_{3j} 、 c_{4j} 、 c_{5j} 、 c_{6j} 为水电厂 j 的发电函数系数。

3 基于交互式多目标决策方法的水火电力系统日有功负荷优化分配的决策模型

对第2节提出的多目标数学模型, 应用交互式多目标决策方法进行如下处理: 火电厂总运行费用 F_1 和污染气体排放量 F_2 是成本型目标, 越小越好; 水电厂总发电效益 F_3 是效益型目标, 越大越好。依据式(2)~(3)的定义, 可得出上述3个目标的目标满意度表达式; 同理, 依据式(4)~(7)的定义, 可得出3个欧氏距离表达式 d_1 、 d_2 、 d_3 和目标总体协调度表达式 I , 限于篇幅, 此处不列出它们的数学表达式。按照交互式多目标决策方法的决策模型规则, 构建出如下3个决策模型 DM4、DM5 和 DM6:

(1) 目标总体协调度最大决策模型(DM4):

$$\max I \quad (24)$$

约束条件为式(17)~(23)。

(2) 给定目标满意度的多目标决策模型(DM5)。决策者给出目标 F_1 、 F_2 和 F_3 的满意度下限 m_1^- 、 m_2^- 和 m_3^- , 得到的单目标规划模型为

$$\max I$$

$$\text{s.t. } m[F_1(\mathbf{x})] \geq m_1^- \quad (25)$$

$$m[F_2(\mathbf{x})] \geq m_2^- \quad (26)$$

$$m[F_3(\mathbf{x})] \geq m_3^- \quad (27)$$

约束条件还包括式(17)~(23)。

(3) 满足目标满意度和目标总体协调度要求的多目标决策模型(DM6)。设决策者提出的目标总体协调度的下限值为 I^- , 各单项目标的满意度下限值分别为 m_1^- 、 m_2^- 和 m_3^- , 得到如下单目标规划问题:

$$\min \left\{ \sum_{q=1}^2 |m[F_q(\mathbf{x})] - m_q^-| + |m[F_3(\mathbf{x})] - m_3^-| \right\} \quad (28)$$

$$\text{s.t. } I \geq I^- \quad (29)$$

约束条件还包括式(17)~(23)和式(25)~(27)。

通过上述处理, 水火电力系统日有功负荷多目标优化分配模型就转化为 DM4、DM5 和 DM6 形式的3个单目标决策问题, 通过对这3个决策模型反复交互求解, 就可以得到能充分体现决策者主观意愿的决策方案。

4 算例分析

算例为4个水电厂和3个火电厂组成的电力系统^[14], 系统数据参见文献[14]。调度周期为1d, 分为24个时段, 1h为一个计算时段。

设定发电企业实施分时上网电价政策, 峰荷时段为07:00—13:00, 18:00—20:00, 电价为0.45 USD/kWh; 平荷时段为14:00—17:00, 21:00—24:00, 电价为0.25 USD/kWh; 谷荷时段为01:00—06:00, 电价为0.12 USD/kWh。

火电厂运行成本、气体排放量、水电系统发电收益的理想值分别为44 989 USD、16 531 lb、439.83万USD; 火电厂运行成本、气体排放量的上限值分别为59 273 USD、48 754 lb, 水电系统发电收益的下限值为180.82万USD。

算例中的单目标规划问题均采用改进粒子群算法求解^[1], 决策变量的定义及编码方法、粒子群规模和迭代次数等均采用文献[1]中的方法。交互式多目标决策过程如下:

(1) 根据式(2)~(3), 得出3个目标的目标满意度表达式 $m[F_1(\mathbf{x})]$ 、 $m[F_2(\mathbf{x})]$ 和 $m[F_3(\mathbf{x})]$; 根据式(4)~(6), 可得相应的欧氏距离表达式 d_1 、 d_2 、 d_3 。

(2) 构造 DM4 模型, 求解此非线性规划问题, 得出最优解 $\mathbf{x}^{(0)}$, 相应地计算出 $F_1[\mathbf{x}^{(0)}]=$

50 531.192 USD, $F_2[\mathbf{x}^{(0)}]=16\ 949.899\ \text{lb}$, $F_3[\mathbf{x}^{(0)}]=250.235\ \text{万 USD}$, $m[F_1(\mathbf{x}^{(0)})]=0.612$, $m[F_2(\mathbf{x}^{(0)})]=0.987$, $m[F_3(\mathbf{x}^{(0)})]=0.268$, $I^{(0)}=0.945$ 。

(3) 决策者认为火电厂煤耗量太大, 水电厂发电效益太小, 提出各目标满意度的下限为 $(m_1^-, m_2^-, m_3^-)=(0.70, 0.70, 0.70)$, 构造 DM5 模型。

求解上述单目标非线性规划问题, 得出最优解 $\mathbf{x}^{(1)}$, 计算出 $F_1[\mathbf{x}^{(1)}]=49\ 259.916\ \text{USD}$, $F_2[\mathbf{x}^{(1)}]=26\ 101.231\ \text{lb}$, $F_3[\mathbf{x}^{(1)}]=365.235\ \text{万 USD}$, $m[F_1(\mathbf{x}^{(1)})]=0.701$, $m[F_2(\mathbf{x}^{(1)})]=0.703$, $m[F_3(\mathbf{x}^{(1)})]=0.712$, $I^{(1)}=0.771$ 。

(4) 决策者对水电厂发电效益不满意, 认为目标总体协调度太低, 提出如下新的要求: 各目标满意度的下限为 $(m_1^-, m_2^-, m_3^-)=(0.80, 0.75, 0.80)$, 总体协调度的下限值 I^- 为 0.80, 构造 DM6 模型。

求解上述模型, 得到最优解 $\mathbf{x}^{(2)}$, 相应地计算出 $F_1[\mathbf{x}^{(2)}]=47\ 831.516\ \text{USD}$, $F_2[\mathbf{x}^{(2)}]=24\ 554.527\ \text{lb}$, $F_3[\mathbf{x}^{(2)}]=391.913\ \text{万 USD}$, $m[F_1(\mathbf{x}^{(2)})]=0.801$, $m[F_2(\mathbf{x}^{(2)})]=0.751$, $m[F_3(\mathbf{x}^{(2)})]=0.815$, $I^{(2)}=0.806$ 。

(5) 决策者没有再提出新的要求, 认为对当前方案满意, 从而得出最满意决策方案为 $\mathbf{x}^{(2)}$ 。

从上述交互式多目标决策过程可以得出, 设定各个单项目标的满意度和目标总体协调度的限值能体现决策者的主观愿望; 目标总体协调度在整个决策过程中较好地控制了各个单项目标之间的整体平衡, 从而使决策方案趋于决策者希望的最佳方案。在计算条件和决策过程及参数相同的条件下, 对本文提出的模型在单一电价下进行计算, 单一电价取为平荷时段电价, 结果比较如表 1 所示。

表 1 单一电价和峰谷分时电价下决策结果比较
Tab. 1 Comparison of decision-making results between uniform power tariff and time-of-use power tariff

电价情况	火电厂煤耗量/ USD	污染气体排放量/ lb	水电厂发电效益/ 万 USD
单一电价	50 124.243	25 984.367	342.078
峰谷分时电价	47 831.516	24 554.527	391.913

由表 1 可以看出, 在实行分时电价政策下, 决策结果比单一电价政策下的决策结果更优, 火电厂煤耗量和污染气体排放量均有所下降, 水电厂发电效益增加了 49.835 万 USD, 提高了 14.57%, 经济效益相当可观。比较结果说明本文建立的水火电力系统日有功负荷多目标优化分配模型能充分发挥水电厂的运行特点, 减少了无益弃水, 最大限度地利用了水资源和降低了火电厂运行成本。

5 结论

(1) 本文提出的水火电力系统日有功负荷多目标优化分配模型, 兼顾了火电厂运行成本、环境保护和水电厂发电效益的因素, 能较好地适应电力市场环境下水火电力系统优化调度的要求。

(2) 交互式多目标决策方法不但能体现目标间的制约和协调, 还能充分体现决策者的主观愿望, 利用欧氏距离构造目标总体协调度函数, 解决了多目标向单目标转化过程中权值选取人为随意性的问题, 计算过程简单, 便于实际操作应用。

(3) 在优化调度模型中, 计及水电厂的调峰效益, 对粒子群算法的收敛精度和计算速度的改进, 是下一步需要研究的重点。

参考文献

- 汪新星, 张明. 基于改进微粒群算法的水火电力系统短期发电计划优化[J]. 电网技术, 2004, 28(12): 16-19.
Wang Xinxing, Zhang Ming. Short-term scheduling optimization of hydro-thermal power systems based on refined particle swarm algorithm[J]. Power System Technology, 2004, 28(12): 16-19(in Chinese).
- 韦化, 李滨, 杭乃善, 等. 大规模水火电力系统最优潮流的现代内点理论分析[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(4): 5-8.
Wei Hua, Li Bin, Hang Naishan, et al. An analysis of interior point theory for large-scale hydrothermal optimal power flow problems [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(4): 5-8(in Chinese).
- 张雪雯, 李艳君. 基于自调节粒子群算法的电力系统经济负荷分配[J]. 电网技术, 2006, 30(18): 8-13.
Zhang Xuewen, Li Yanjun. Self-adjusted particle swarm optimization algorithm based on economic load dispatch of power system [J]. Power System Technology, 2006, 30(18): 8-13(in Chinese).
- 王治国, 刘吉臻, 谭文, 等. 基于快速性与经济性多目标优化的火电厂厂级负荷分配研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(19): 86-92.
Wang Zhiguo, Liu Jizhen, Tan Wen, et al. Multi-objective optimal load distribution based on speediness and economy in power plants [J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(19): 86-92(in Chinese).
- 杨俊杰, 周建中, 吴玮, 等. 改进粒子群优化算法在负荷经济分配中的应用[J]. 电网技术, 2005, 29(2): 1-4.
Yang Junjie, Zhou Jianzhong, Wu Wei, et al. Application of improved particle swarm optimization in economic dispatching [J]. Power System Technology, 2005, 29(2): 1-4(in Chinese).
- 吴耀武, 姜素华, 张步涵, 等. 电力系统短期发电计划的伪并行粒子群算法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(25): 104-109.
Wu Yaowu, Lou Suhua, Zhang Buhuan, et al. Pseudo-parallel particle swarm optimization for short-time generation scheduling [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(25): 104-109(in Chinese).
- Dhillon J S, Parti S C, Kothari D P. Fuzzy decision-making in stochastic multiobjective short-term hydrothermal scheduling[J]. IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 2002, 149(2): 191-200.

- [8] 王雁凌, 张粒子, 杨以涵. 基于水火电置换的发电权调节市场[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(5): 131-136.
Wang Yanling, Zhang Lizi, Yang Yihan. Adjusting market of generation rights based on hydro-thermal exchange[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(5): 131-136(in Chinese).
- [9] 赵永龙, 常晓青. 电力市场模式下的水电调度探讨[J]. 中国电力, 2000, 33(11): 62-64.
Zhao Yonglong, Chang Xiaoping. Dispatching of hydropower station under power market regime[J]. Electric Power, 2000, 33(11): 62-64(in Chinese).
- [10] 姚建刚, 付维生, 陈庆祺, 等. 电力市场中电价与能源及环境保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(5): 71-75.
Yao Jiangang, Fu Weisheng, Chen Qingqi, et al. Research about pricing, energy sources and environmental protection for electricity market[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(5): 71-75(in Chinese).
- [11] 唐捷, 任震, 胡秀珍. 一种可操作的需求侧管理峰谷分时电价定价方法[J]. 电网技术, 2005, 29(22): 71-75.
Tang Jie, Ren Zhen, Hu Xiuzhen. An operable peak-valley time-of-use tariff setting method for demand side management[J]. Power System Technology, 2005, 29(22): 71-75(in Chinese).
- [12] 翟桥柱, 管晓宏, 赖菲. 具有相同机组水火电调度问题的新算法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(3): 38-42.
Zhai Qiaozhu, Guan Xiaohong, Lai Fei. A new method for scheduling hydrothermal systems with identical units[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(3): 38-42(in Chinese).
- [13] 张炜, 何光宇, 王祺, 等. 水火联合电力系统中期经济调度系统的研究[J]. 电网技术, 2002, 26(10): 6-9.
Zhang Wei, He Guangyu, Wang Zhen, et al. Research on medium-term economic scheduling system for hydro-thermal power system[J]. Power System Technology, 2002, 26(10): 6-9(in Chinese).
- [14] Basu M. An interactive fuzzy satisfying method based on evolutionary programming technique for multiobjective short-term hydrothermal scheduling[J]. Electric Power Systems Research, 2004, 69(2-3): 277-285.
- [15] 宋海洲. 基于相对目标接近度的多目标决策方法及其应用[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(5): 30-36.
Song Haizhou. A method based on objective adjacent scale for multi-objective decision-making and its application[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2004, 34(5): 30-36(in Chinese).
- [16] 张欣莉. 基于目标满意度的交互式多目标决策改进方法[J]. 系统工程, 2004, 22(9): 10-13.
Zhang Xinli. An improved method of interactive multi-objective decision-making based on objective satisfaction degree[J]. System Engineering, 2004, 22(9): 10-13(in Chinese).

收稿日期: 2007-04-02.

作者简介:

胡国强(1974—), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统运行调度、电力系统稳定分析与控制, E-mail: hu_eagle@126.com;

贺仁睦(1944—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统负荷建模、电力系统稳定分析与控制等方面的研究。

(责任编辑 沈杰)

“中国电气工程高等教育 100 周年纪念活动”即将拉开帷幕

1908 年, 邮传部上海高等实业学堂(交通大学前身, 创办时名为南洋公学)开办了我国历史上第一个“电机”专科, 由此开创了我国电气工程高等教育的先河。

沧海桑田, 百年一瞬。一个世纪的风雨兼程、薪火相传。2008 年, 我国“电气工程高等教育”将迎来她的百年华诞。应八方人士的倡议, 2007 年 4 月 21 日在北京召开的“教育部全国高校电子信息与电气学科教学指导委员会”第二次工作会议上, 决定于 2008 年 4 月举行隆重的纪念活动, 并委托“教育部全国高校电气工程及其自动化教学指导分委员会”和西安交通大学具体承办。

百年风雨沧桑, 百年磨砺奋进。100 周年纪念活动既是展示中国电气工程高等教育历史发展成就的重要时机, 也是迈向新征程开创新辉煌的重要机遇。为了弘扬传统、展示成就、面向未来、再铸辉煌, 现热忱邀请各级领导、海内外同仁、社会各界人士和朋友莅临盛会, 总结百年电气工程高等教育的精神文脉, 挖掘百年电气工程高等教育的历史积淀, 展望未来发展远景。

目前, 纪念活动筹备工作已正式启动, 其中包括纪念文集、纪念大会、学术论坛、募集资金等。“中国电气工程高等教育 100 周年纪念活动”网站已开通, 域名为 www.eehec100.com, 欢迎访问。

联系单位: 中国电气工程高等教育 100 周年纪念活动办公室

联系人: 王兆安、阎治安、薛萍 联系电话: (029)82668633 电传: (029)82668324

电子信箱: yanzhan@mail.xjtu.edu.cn, xueping@mail.xjtu.edu.cn, zawang@mail.xjtu.edu.cn

网 址: www.eehec100.com 邮政编码: 710049

通信地址: 西安市咸宁路 28 号 西安交通大学电气工程学院