

「电力系统」

结合免疫粒子群算法的水火发电机组组合优化研究

文/三峡大学电气与新能源学院 齐贵广

结合现有文献成果,以电网中一天24个时段购电成本最小建立数学模型。针对粒子群算法本身存在的缺陷,将免疫算法与粒子群算法相结合,提出了改进的免疫粒子群算法。提高了系统抵抗干扰的能力,增强了火电系统中水电的优化配置问题。

水火发电机组组合的短期优化运行的数学模型主要包括目标函数和约束条件两个部分,目标函数主要描述了人们对系统的优化所要达到的目的,随着人们对环境要求日益重视以及资源的日益减少,目标函数结构变得更加复杂,所含有的参数更多。约束条件是客观上不能达到的或不利于环境和资源利用的。由于水电站机组中包含梯级水电站机组或抽水蓄能机组,这就使得系统具有动态的、有时延的复杂非线性约束的系统。

水火发电机组组合的数学模型

构建有效、正确的各个参数组成的数学模型是解决水火发电机组组合问题的主要途径,模型建立直接决定了计算结果的准确性。传统意义上的水火电经济优化是在各机组约束条件下,使得各电厂间每台机组的负荷达到合理分配,最终使得系统所使用的总的燃料费用最低的目的。在国家新能源战略和政策下,针对传统形式下的水火发电机组的联合运行提出了新的要求。本文满足负荷要求前提下,在综合考虑峰谷分时电价在各个时段的整体负荷分配,以全网购电成本最小为目标函数,构建了水火发电机组组合的数学模型。

免疫粒子群算法的原理

免疫粒子群算法是采用自然界中生物体自身的免疫机制导入到算法,用免疫机制中的抗原来

取代所见模型中所求解的问题,问题中的可行解与免疫机制中的抗体相对应,免疫算法中的亲和度是用粒子群算法适应度来衡量,亲和度主要是反映所构建数学模型中目标函数和约束条件两者之间的满足的限度。而免疫体中的亲和力反映了粒子群之间的不同性和多样性。粒子群中的每个粒子有各自的速度和定位,并且明确全局的最优值和个体的最优值。在迭代计算中每个粒子在接近个体极值和全局的极值,知道了整个种群运行的方向。整个种群朝向最优解的方向移动,使得整个算法的收敛速度加快。

水火发电机组组合的目标函数

$$F = \min \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^m c_i(t) P_i(t) u_i(t) \Delta t + \sum_{j=1}^n k_j(t) P_j(t) \Delta t \right]$$

式中, F 为整个系统全天的购电费用; $c_i(t)$ 为火电系统 t 时刻的电价; $P_i(t)$ 为第 i 台火力发电机组在 t 时刻的有功功率; $u_i(t)$ 为第 i 台火力发电机组在 t 时刻的状态; $k_j(t)$ 为第 j 级水电站在 t 时刻的电价; $P_j(t)$ 为第 j 级水电站在 t 时刻的出力; Δt 为计算时间段为 1 h; T 为系统的调度周期,以 24 h 为一个周期; m 为火电机组数; n 为水电机组数。

水火发电机组组合模型的约束条件

1) 系统的功率平衡约束

$$\sum_{i=1}^T C_i' P_i' - I_s' P_s + P_G' = D'$$

式中, D^t 为时段 t 系统的总负荷; I_s^t 为 t 时段梯级水电站机组数量; $I_s^t = 0, 1, \dots, I$; I 为梯级水电站总的机组台数; P_s 为梯级水电站水泵的额定功率; P_G^t 为 t 时段梯级水电站的发电功率。

2) 正负旋转备用约束

$$\sum_{i \in N} C_i^t (P_{i,max}^t - P_i^t) + \bar{P}_{pump} \geq R^t D^t$$

$$\sum_{i \in N} C_i^t (P_i^t - P_{i,min}^t) + \underline{P}_{pump} \geq R^t D^t$$

式中, $t \in T$; $P_{i,max}^t$ 为在 t 时段第 i 台火力发电机组输出有功最大值; $P_{i,min}^t$ 为在 t 时段第 i 台火力发电机组的输出有功最小值; R_t 为旋转备用率, 一般为5%; $\bar{P}_{pump}$ 和 $\underline{P}_{pump}$ 分别为梯级水电站的正负旋转备用, 有

$$\bar{P}_{pump} = I_G^t P_h - P_G^t$$

$$\underline{P}_{pump} = P_G^t - I_G^t P_{G,min}$$

式中, I_G^t 为 t 时段梯级水电站发电机台数, $I_G^t = 0, 1, \dots, I$; I 为梯级水电站总的机组台数; P_h 为第 h 级水电站机组输出功率额定值; $P_{G,min}$ 为梯级水电站机组出力的下限。

3) 爬坡速率约束

$$\sum_{i \in N} C_i^t P_{i,max}^t r_i^{up} + P_{pump}^{up} \geq \sum_{i \in N} C_i^t P_i^t + P_i^t$$

$$\sum_{i \in N} C_i^t P_{i,max}^t r_i^{down} + P_{pump}^{down} \leq \sum_{i \in N} C_i^t P_i^t + P_i^t$$

式中, r_i^{up} 和 r_i^{down} 为第 i 台为火电机组的出力速率增大、减少; P_{pump}^{up} 和 P_{pump}^{down} 分别为梯级水电站出力能

力上升、下降。

4) 常规机组特性约束

$$C_i^t P_{i,min}^t \leq P_i^t \leq C_i^t P_{i,max}^t$$

$$(X_{i,on}^t - T_{i,on}^t)(C_i^{t-1} - C_i^t) \geq 0$$

$$(X_{i,off}^t - T_{i,off}^t)(C_i^t - C_i^{t-1}) \geq 0$$

$$-r_i^{down} \Delta T \leq P_i^t - P_i^{t-1} \leq r_i^{up} \Delta T$$

$$\sum_{t \in T} |C_i^t - C_i^{t-1}| \leq M_i$$

式中, $i \in N$, $t \in T$; $T_{i,on}$ 为第 i 台机组的连续工作时间最小值; $X_{i,on}$ 、 $X_{i,off}$ 为第 i 台机组时段 t 的连续工作、停运时间; ΔT 为调度的时间间隔。

算法所用的原始数据

本文采用2级水电站构成的混合系统; 算法的部分数据如下^[3]: 调度周期按一天24 h计算, 每1 h为一个时段。根据各个时段系统负荷情况把一个调度周期分成出谷时段为[1:00, 8:00], 平时段为[17:00, 19:00]和[23:00, 24:00], 峰时刻为[9:00, 17:00]和[20:00, 22:00], 水电上网电价按谷、峰、平时段划分为160元/MW·h、220元/MW·h和370元/MW·h, 火电按谷、峰、平时段上网电价分别设为220元/MW·h、300元/MW·h和430元/MW·h。在本文算法中各参数的取值为: 最大迭代次数为300次, 免疫粒子群的规模 $N=20$, 系统输出的最大和最小功率分别为350 MW和1 500 MW。交叉因子的取值范围为: [0.2, 0.9]。

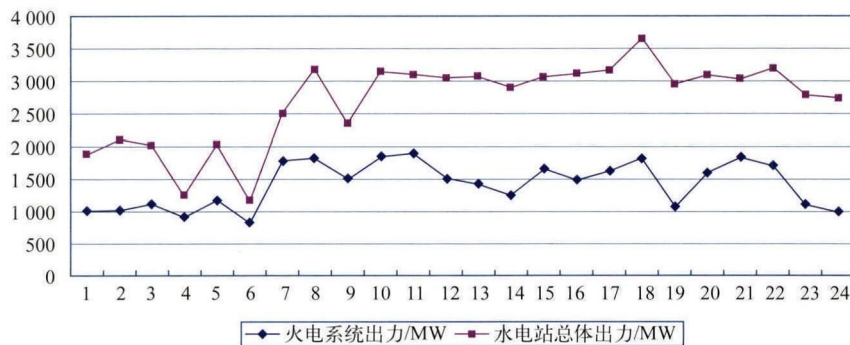


图1 免疫粒子群算法优化的水、火电系统总出力分配

求解结果如下表所示。

表 两种算法购电费用比较

算法	费用/万元		
	最大费用	最小费用	平均费用
IAPSO	2 471.17	2 450.49	2 460.08
PSO	2 496.25	2 470.20	2 483.23

通过对免疫粒子群算法的优化结果, 我们得

到了系统在考虑峰谷电价的基础上, 对水火电机组进行优化处理, 在一个运行周期内, 相比于粒子群算法, 免疫粒子群算法优化的最终的结果使得系统发电平均购电费用比粒子群算法少出23.15万元, 有相当客观的经济效益。**EA**

(收稿日期: 2016.07.18)

(编辑: 白文亭)