

适合于机组组合问题的扩展优先顺序法

黎静华, 兰飞

(广西大学电气工程学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 针对传统 PL (Priority List) 方法采用单一排序指标, 即平均满负荷费用 AFLC (Average Full-Load Cost) 不能全面反映机组优先顺序的不足, 提出一种扩展优先顺序法 EPL (Extended Priority List) 解决机组组合问题。在分析 PL 方法特点的基础上, 定义 μ -Load Cost 反映机组在不同出力范围内的经济指标, 形成不同 μ 值的机组组合的邻域, 而后定义机组的效用系数 UUR (Unit Utilization Ratio) 优化机组的优先顺序。此外, 引入参数控制机组组合邻域的规模并采取策略对机组组合进行调整使其满足所有约束, 从而提高计算效率。最后采用 26 机组、38 机组以及 45 机组 24 时段等 3 个系统的测试结果来验证该方法的有效性。

关键词: 机组组合; 扩展优先顺序法; 经济调度; 机组效用系数; 邻域搜索

Extended priority list method for unit commitment problem

LI Jing-hua, LAN Fei

(School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: This paper presents a new EPL(Extended Priority List) approach for determining the unit commitment to improve the traditional PL (Priority List) method which can't provide sufficient information for determining the optimal commitment order by using single economic index AFLC(Average Full-Load Cost). A new index (μ -Load Cost) which can reflect unit's economy of different output is defined to broaden economic indexes. By using μ -Load Cost, a neighborhood of unit commitment is formed. Then Unit Utilization Ratio (UUR) is defined to optimize unit's commitment order by conjunction with μ -Load Cost. Furthermore, this paper uses some parameters to control the scale of neighborhood and adopts some heuristics strategies to fulfill operational constraints, which improve the capacity obviously. At last, the presented EPL method is verified by three test systems 26 units, 38 units and 45 units.

Key words: unit commitment; extended priority list; economic dispatch; unit utilization ration; neighborhood search

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)02-0001-07

0 引言

机组组合问题是电力部门根据预测的未来电力负荷安排发电机组启停计划, 在满足电力系统安全运行条件下, 追求发电成本最小。由于能带来显著经济效益, 机组组合问题一直是现代电力系统每天运行计划的主要优化任务。在竞争日益激烈的电力市场环境下, 其意义更加突出。迄今为止, 许多方法被应用于解决该问题, 如优先顺序法 PL (Priority List)、动态规划法 DP (Dynamic Programming)、拉格朗日松弛算法 LR (Lagrangian Relaxation)、遗传算法 GA (Genetic Algorithm) 等人工智能方法, 或是几种算法的结合使用^[1-5]。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50907012); 广西大学科研基金项目 (DD020015); 广西教育厅科研基金 (200808LX163)

其中, PL 方法简单, 易于实现, 运算时间短, 且不会存在不收敛或得不到可行解等情况, 能较快地获得满足应用的近似最优解, 因此被较多地应用于实际系统中。然而传统 PL 方法采用机组在满负荷情况下的平均耗费即 AFLC (Average Full-Load Cost) 作为机组优先排序指标, 往往不能全面地反映机组的运行费用^[6-7]。当机组不运行在满负荷的情况下或偏离满负荷运行时, 采用单一 AFLC 进行排序得到的最终解偏离最优解较大, 为此文献[8]加入机组利用系数 CUF(Commitment Utilization Factor) 作了改进, 但其只对单一的初始解进行调整, 在调整过程中很可能丢失最优解或近似最优解。基于此, 本文提出一种扩展优先顺序法 EPL (Extended Priority List), 弥补了传统的优先顺序法 PL 方法由于采用单一排序指标平均满负荷费用 AFLC 而不能全面反映机组优先顺序的不足。文中首先定义 μ -Load Cost 反映机组在不同出力范围内的经济指

标, 形成不同 μ 值下机组组合的邻域, 而后定义机组的效用系数 UUR (Unit Utilization Ratio) 优化机组的优先顺序企图获得机组的最优优先顺序。此外, 为了提高计算效率, 文中引入参数控制机组组合邻域的规模并采取策略对机组组合进行调整。

本文所提 EPL 方法解决机组组合问题主要分为三步, 第一步从两方面优化机组的优先顺序从而得到机组组合初始解的邻域。在这一步中, 只考虑了系统负荷平衡和旋转备用约束, 没有考虑机组本身的约束。第二步对所得邻域内的初始解进行调整。该步考虑了机组的最小开/停时间, 爬坡约束等。第三步对邻域内的各组合进行经济调度, 邻域中的最优解即为最终解。

1 优先顺序法 (PL) 特点

优先顺序法是将系统可调度的机组按某种经济特性指标事先排序, 根据系统负荷大小按该顺序依次投切机组。算法中机组的经济特性指标至关重要, 为了更好地改进算法, 本文对 PL 法作了研究和分析, 得到如下结论:

第一, 如果机组的单位出力所耗费用恒定, 则机组的优先顺序是可以唯一确定的, 从而可以很容易地确定机组的最优组合。

但通过研究发现, 机组在不同出力范围其单位出力耗费不同, 从而导致在基荷、腰荷和峰荷不同出力范围内机组的优先顺序发生改变。如图 1 为两台机组在不同出力情况下的平均燃煤费用。其中实线代表机组 1, 虚线代表机组 2。图中当机组出力落在 $[40, x^*]$ 时, 机组 2 比机组 1 优; 若机组出力落在区间 $[x^*, 160]$ 时, 则机组 1 更优。因此, 欲获得机组的精确优先顺序必须先确定机组的出力范围。

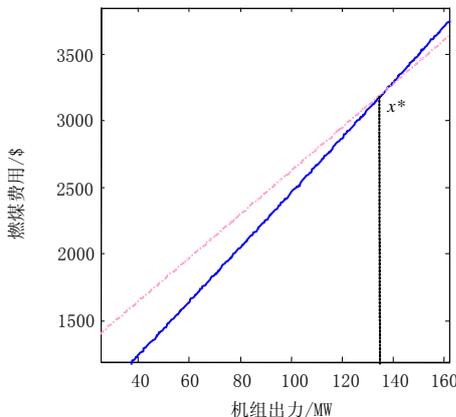


图 1 机组平均燃煤费用变化图
Fig.1 Change chart of units' average fuel cost

第二, 如果能预先确定机组的出力范围, 则可

确定机组的优先顺序。

然而机组的出力是不能预先确定的。一般情况下, 机组的出力与机组的组合是一个相互联系和相互决定的过程, 其中任一方的改变都会导致另一方的变化。图 2 为相同机组的两种组合所对应的机组出力。图中, 对于同一负荷 1 000 MW, 当机组 1~6 的状态为 $[1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1]$ 时 (如虚线所示), 相应机组的出力为 $[455\ 455\ 0\ 130\ 40\ 20]$; 而当机组状态为 $[1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0]$ (如实线所示) 时, 相应机组的出力为 $[455\ 360\ 130\ 130\ 25\ 0]$ 。可见机组的出力与机组的组合是相互关联变化的。不能预先确定机组的出力范围从而难以得到机组确定的优先顺序进而确定最优机组组合。优先顺序的不确定性最终难以保证所获得解为最优解。

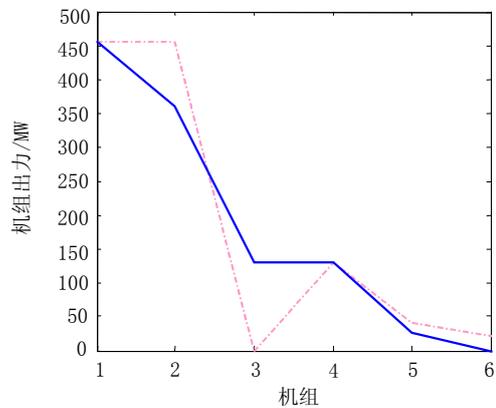


图 2 机组出力变化图
Fig.2 Change chart of units' output

第三, 如何确定机组初始组合及更准确地优化机组的优先顺序是改进优先顺序法的关键技术。

优先顺序法是通过机组优先顺序确定机组的初始组合。然后在此基础上对机组状态进行调整使其成为最终解。因此对于 PL 方法, 初始解的确定极为重要, 其直接影响到最终解。

PL 方法存在着很大的主观性, 其在调整的过程中, 采用了一系列的策略, 很有可能会忽略最优解。但是由于调整是在较好的初始解基础上进行的, 且调整的策略是依据实际经验和机组组合问题的特点相结合得到的, 因此只要能获得较准确的机组优先顺序, 往往能得到较好的解。

2 扩展优先顺序法 (EPL)

在 PL 求解机组组合的过程中, 机组的优先顺序是影响最终解质量的关键。PL 方法根据机组的排序从最经济的机组开始投运, 从最不经济的机组

开始停运从而形成机组的开停计划。本节针对传统的排序方法的不足, 提出了一种优化机组优先顺序的 EPL 方法。本节包括二部分内容, 2.1 节定义机组在不同出力范围内排序指标 $\mu-LC$, 阐述了根据不同的机组出力范围拓展排序指标的方法从而得到机组组合初始解的邻域。2.2 节定义了机组的效用系数 UUR (Unit Utilization Ratio)。并介绍了如何采用机组的效用系数 UUR 优化机组的优先顺序。

2.1 机组组合初始解邻域的形成

PL 方法根据机组的优先顺序得到接近最优解的初始开停计划, 然后在此基础上进行调整得到最终结果。可见, 机组的初始解至关重要, 利用传统 PL 方法形成初始解时, 或是采用单一的排序指标顺序投入或切除机组, 或是随机形成一些初始解, 这样往往会得不到很好的结果^[7]。与传统的 PL 方法相比, 本文扩展了单一的优先顺序, 定义了 $\mu-LC$ (μ -Load Cost) 作为排序指标, 按照一定的特点来形成多个机组的优先顺序, 从而扩展 (μ 为扩展系数) 了寻找最优解的空间, 与原来单一的解相比更有可能寻找到最好解。邻域的范围越大, 其包含最优解的概率就越大, 遗漏最优解的概率则越小。当邻域趋向于无穷大时, 将演变成穷举法, 此时最优解肯定落在邻域内。

定义 1: μ -Load Cost: $\mu-LC = \frac{F_i(P_i)}{P_i}$

式中: $P_i = \mu(\bar{P}_i + \underline{P}_i)$; μ 为扩展系数;
 $F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i$ 为机组燃煤费用函数;
 \bar{P}_i , \underline{P}_i 为机组 i 的最大出力及最小出力。

根据 μ 的取值不同, 可以得到机组不同的优先顺序, 从而得到相应的初始解。下面以 6 机组 4 时段为例, 其中有两台机组 (最大出力为 455, 最小出力为 150) 定义为基本机组不参加排序, 其余四组机组的参数如表 1 所示。

表 1 机组的参数
 Tab.1 Parameters of unit

Unit	P_{max}	P_{min}	a	b	c
1	130	20	0.002	16.6	700
2	130	20	0.002 11	16.5	680
3	162	25	0.003 98	19.7	450
4	80	20	0.007 12	22.26	370

排序指标随 μ 取不同的值而发生变化, 当

$\mu=0.1, 0.2, 0.7$ 时, 由定义 1 得到如表 2 所示的 $\mu-LC$ 值。

表 2 机组的 $\mu-LC$
 Tab.2 The $\mu-LC$ values of unit

	机组 1	机组 2	机组 3	机组 4
$\mu=0.1$	63.29	61.84	43.84	59.33
$\mu=0.2$	39.99	39.23	31.88	40.90
$\mu=0.7$	23.47	23.19	23.66	28.04

从而得到如表 3 所示的优先顺序。

表 3 机组的优先顺序
 Tab.3 Units' priority sequence table

$\mu=0.1$	机组 3	机组 4	机组 2	机组 1
$\mu=0.2$	机组 3	机组 2	机组 1	机组 4
$\mu=0.7$	机组 2	机组 1	机组 3	机组 4

假设四个时段负荷为 (850, 950, 1 000, 1 100), 则根据表 3 所示的优先顺序, 得到相应的三种初始解如图 3 所示, 斜阴影部分表示该机组状态为 1。

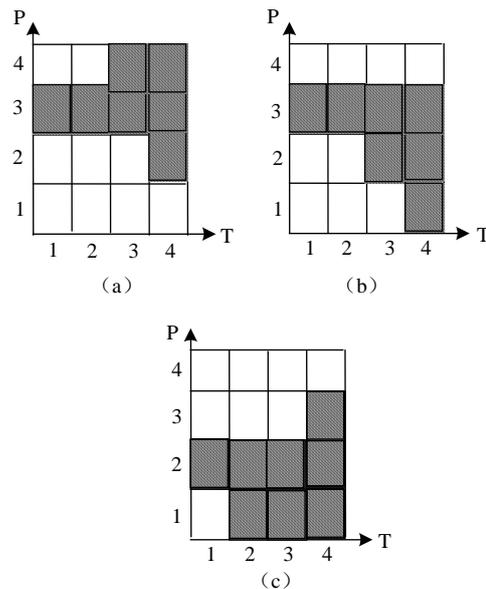


图 3 对应于表 3 的初始解

Fig.3 Initial solutions according to Tab.3

得到初始解的邻域后, 按照 2.2 节介绍的方法采用 UUR 来优化机组的优先顺序, 从而改善解的质量。

2.2 基于 UUR 邻域的形成

本节定义机组的效用系数 UUR, 结合机组的 UUR 及 $\mu-LC$ 指标来确定机组优先顺序, 提出基于 UUR 与 $\mu-LC$ 的优化方法。

$$\text{定义 2: } \underline{UUR}_i = \frac{\sum_{t=1}^T \min\{SC_i^t; \bar{P}_i \cdot U_i^t\}}{\sum_{t=1}^T \bar{P}_i \cdot U_i^t}$$

其中: U_i^t 为机组 i 在 t 时刻的状态; SC_i^t 为机组 i 在 t 时刻的所需出力的上限; $SC_i^t = t$ 时段的负荷+备用- $\sum_{i=1}^{i-1} \bar{P}_i$ 。

则基于 \underline{UUR} 与 $\mu-LC$ 的优化方法为:

Step1: 给定机组的 \underline{UUR}_i 值, 即机组效用系数的下限值。从具有最小 $\mu-LC$ 机组开始依次计算 \underline{UUR}_i ; ($i=1, 2, \dots, N$);

Step2: 比较 \underline{UUR}_i , \underline{UUR}_i ;

Step3: 若 $\underline{UUR}_i \leq \underline{UUR}_i$, 则把第 i 台机组分别与相邻的 w 台机组交换优先顺序得到具有 w 个元素的优先顺序集合;

Step4: 计算交换机组 i 与 k 后机组的 \underline{UUR} 值;

Step5: 若 $\underline{UUR}_i \geq \underline{UUR}_i$, $\underline{UUR}_k \geq \underline{UUR}_k$, 则交换成功, 否则放弃此交换;

Step6: 根据优先顺序的集合分别重新形成初始解的邻域;

Step7: 控制邻域的范围, 按式计算 $Nindex$, 从中选取 $Nindex$ 最小的 s 组。

$$Nindex = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N U_i^t \bar{P}_i$$

采用 2.1 节的所给例子进行说明。当 $\mu=0.7$ 时, 机组的优先顺序为机组 2, 机组 1, 机组 3 和机组 4。为了说明方便, 假设四个时段的系统负荷均为 280 MW, 所有机组的 \underline{UUR} 为 0.5。

Step1: 计算 $\underline{UUR}_2 = (4 \times 130) / (4 \times 130) = 1$;

$\underline{UUR}_1 = (4 \times 130) / (4 \times 130) = 1$;

$\underline{UUR}_3 = (4 \times (280 - 130 - 130)) / (4 \times 162) = 0.12$; 机组 4 处于停机状态。

Step2: 因为 $\underline{UUR}_3 < \underline{UUR}_3$, 取 $w=2$ 交换优先顺序, 即得到两组优先顺序邻域{机组 3 与机组 1 交换}, {机组 3 与机组 4 交换}。

Step3: 计算

邻域 1: $\underline{UUR}_3 = (4 \times 150) / (4 \times 162) = 0.94 > \underline{UUR}_3$;

$\underline{UUR}_1 = 0$ (机组 1 处于停机状态);

邻域 2: $\underline{UUR}_4 = (4 \times 20) / (4 \times 80) = 0.25 < \underline{UUR}_4$

$\underline{UUR}_3 = 0$ (\underline{UUR}_3 处在停机状态); 舍去该邻域; 从而得到 $\mu=0.7$ 最优优先顺序集合为: {(2134),

(2314)}; 根据该优先顺序集合和系统负荷需求重新形成初始解邻域, 本节对此不做详述。

3 机组组合的调整

上述方法得到的是接近于最优解的初始解, 其往往不满足所有约束, 本文采用一些策略对初始解进行调整, 使得其满足所有约束。

3.1 最小开/停时间的调整策略

为了使上述得到的初始解满足机组的最小开/停时间, 按如下步骤进行调整:

(1) 计算第 i 台机组在第 t 时刻的连续开机时间 $T'_{i,on}$ 和停机时间 $T'_{i,off}$;

$$T'_{i,on} = \begin{cases} T'_{i,on}{}^{t-1} + 1 & \text{if } U_i^t = 1 \\ 0 & \text{if } U_i^t = 0 \end{cases}$$

$$T'_{i,off} = \begin{cases} T'_{i,off}{}^{t-1} + 1 & \text{if } U_i^t = 1 \\ 0 & \text{if } U_i^t = 0 \end{cases}$$

(2) 令 $t=1, i=1$;

(3) 若 $U_i^t = 0, U_i^{t-1} = 1$ 且 $T'_{i,on}{}^{t-1} < T_{i,up}$ (最小开机时间), 则 $U_i^t = 1$, 更新机组开机和停机时间;

(4) 若 $U_i^t = 0, U_i^{t-1} = 1$, 且 $t + T_{i,down} - 1 \leq T, T'_{i,off}{}^{t+T_{i,down}-1} < T_{i,down}$ (最小停机时间), 则 $U_i^t = 1$, 更新机组的开机和停机时间;

(5) 若 $U_i^t = 0, U_i^{t-1} = 1$, 且 $t + T_{i,down} - 1 > T, \sum_{j=t}^T U_i^j > 0$, 则 $U_i^t = 1$, 更新机组的开机和停机时间;

(6) 若 $i < N, i = i + 1$, 转 (3);

(7) 若 $t < T, t = t + 1$, 转 (3), 否则停止。

3.2 解除冗余机组策略

通过 3.1 的调整, 可能会出现剩余负荷, 为了充分利用机组, 节省运行费用, 采用如下策略解除冗余机组:

(1) 令 $t=1$;

(2) 计算该时段的剩余负荷:

$R^t = \sum_{i=1}^N U_i^t \bar{P}_i - P_D^t - P_R^t$; (其中: P_D^t, P_R^t 分别为 t 时段的负荷和备用);

(3) 寻找该时段中可停机组集合 $OffList$;

(4) 停 $OffList$ 中优先级最低的机组, 重新计算 R^t , 若 $R^t > 0$, 则从 $OffList$ 删除该台机组, 否则转 (6);

(5) 重复步骤 (4), 直到 $OffList$ 为空;

- (6) 若 $i < N$, $i = i + 1$, 转 (3);
- (7) 若 $t < T$, $t = t + 1$, 转 (3), 否则停止。

3.3 爬坡约束的处理策略

本文处理爬坡约束依据如下原则:

- 情况 1: 当机组从停运状态变为运行状态时, 机组在该时段的出力为其最小稳定运行出力;
- 情况 2: 当机组从运行状态变为停运状态时, 机组在该时段的出力为其最小稳定运行出力;
- 情况 3: 当机组连续运行时其应满足爬坡约束

$$\text{条件} \begin{cases} P_i^t - P_i^{t-1} \leq UR_i \\ P_i^{t-1} - P_i^t \leq DR_i \end{cases}, \text{其中: } UR_i \text{ 和 } DR_i \text{ 分别为}$$

机组的最大上坡和下坡功率。

3.4 考虑机组启停费用策略

机组的启动费用分为冷启动费用和热启动费用, 冷启动费用一般比热启动费用高很多, 为了避免机组冷启动, 降低运行费用, 本文在冷启动发生之前启动机组, 即提前启动机组, 使机组的启动从冷启动转为热启动。

3.5 扩展优先顺序法步骤

综上所述, 本文提出的 EPL 方法的总体流程如图 4 所示。

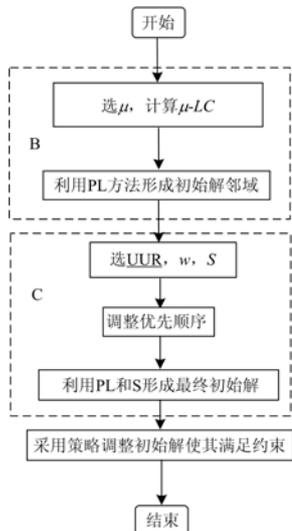


图 4 EPL 流程图

Fig.4 Flow chart of EPL

B 部分按照 2.1 节所述形成初始解的邻域, 然后进入 C 部分, 即按照 2.2 节的 Step1~Step7 完成对机组优先顺序的调整, 形成最终参与调整的解的邻域, 最后采用 3.1~3.4 的策略对机组的初始组合进行调整, 使得所得的初始解均为可行解, 通过经济调度程序计算机组的出力计划, 完成整个过程。

4 算例测试

本文采用 26-unit IEEE 系统, 38-unit Taipower 以及 45-unit mainland Spain 实际系统对 EPL 算法进行仿真测试, 并与 ILR, CLP, FO, ASSA 和 HPRGA 所得结果进行比较。测试采用 Matlab7.1 在 PC 环境下进行。

4.1 26 机组系统

该测试系统共有 26 台火电机组, 机组特性及负荷特性来自于 IEEE 稳定测试系统^[6], 其中基荷机组为机组 10 17 18 19 20 24 25 26, 腰荷机组为机组 1 2 3 4 5 6 7 8 9 11 12 13 14 15 16 21 22 23。图 5 示出了不同 μ 值 ($0.1 < \mu < 0.5$) 的耗费图。从图 5 中可以看出, 当 $\mu = 0.2 \sim 0.5$ 时耗费值为最小为 732 663.7 \$, 传统的 PL 方法耗费值为 744 381.5 \$。图 6 为机组的 UUR 的选取对耗能费用的影响, 在仿真过程中对所有机组取相同的 UUR 下限值, 从图中可以看出, 当 UUR 取 0.98 时得到的结果最优。

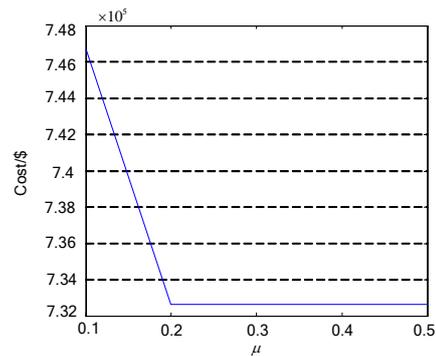


图 5 μ 对燃煤费用的影响 (26 机组)

Fig.5 Influence on cost by varying μ (26 Unit)

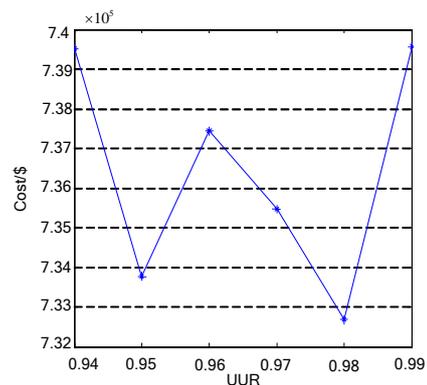


图 6 UUR 对燃煤费用的影响 (26 机组)

Fig.6 Influence on cost by varying UUR (26 Unit)

4.2 38 机组系统

该系统来自于 Taiwan 某电力系统的实际数据, 考虑了 38 机组 24 时段的机组开停计划。为了

方便与其它文献结果比较, 旋转备用为负荷的 0.1, 且机组的开机成本恒定。表 4 为本文方法与其他方法 (EPL^[6], ILR^[9], CLP^[10], FO^[11], MRCGA^[12], ASSA^[13]) 耗能费用的比较。图 7 示出了不同 μ 值 ($0.1 < \mu < 1$) 的耗能图。从图中可以看出, 当 $\mu = 0.1$ 时耗费用为最小 195 598 093.8 \$, 传统的 PL 方法耗费用为 196 411 416.7 \$。图 8 为机组的 UUR 的选取对耗能费用的影响, 在仿真过程中对所有机组取相同的 UUR 下限值, 从图中可以看出, 当 UUR 取 0.8 时得到的结果最优。

表 4 38 机组耗能费用的比较
Tab.4 Comparison of total costs for 38 unit system

方法	EPL	CLP	FO	MRCGA	ASSA	IPL-ALH
总费用 ($\times 10^6$)\$	195.6	208.1	207.8	204.6	196.7	196.31

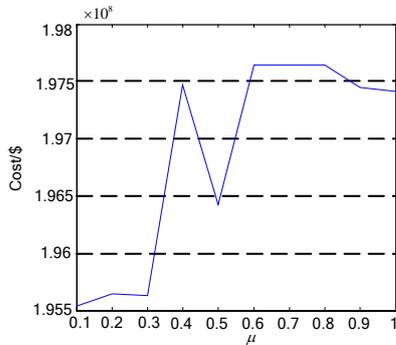


图 7 μ 对燃煤费用的影响 (38 机组)

Fig.7 Influence on cost by varying μ (38 Unit)

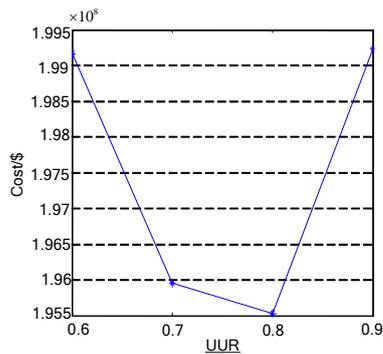


图 8 UUR 对燃煤费用的影响 (38 机组)

Fig.8 Influence on cost by varying UUR (38 Unit)

4.3 45 机组系统

该测试系统来自于 mainland Span 实际系统, 考虑 45 机 24 时段的开停计划。为了方便与其它文献结果比较, 在该测试系统中, 旋转备用为负荷的 0.1, 启动成本恒定。表 5 为本文方法与其他方法 (IPL-ALH^[6], HPGA^[14]) 耗能费用的比较。图 9

示出了不同 μ 值 ($0.1 < \mu < 1$, 包括了采用进行调整) 的耗能图。从图中可以看出, 当 $\mu = 0.2 \sim 0.5$ 时耗费用为最小为 1 030 339 793.7 \$, 传统的 PL 方法耗费用为 1 031 365 839.1 \$。图 10 为机组的 UUR 的选取对耗能费用的影响, 在仿真过程中对所有机组取相同的 UUR 下限值, 从图中可以看出, 当 UUR 取 0.6 时得到的结果最优。

表 5 45 机组系统耗能费用的比较
Tab.5 Comparison of total costs for 45 unit system

方法	EPL	HPGA	IPL-ALH
总费用/\$	1 030 339 793.7	1 032 415 327.0	1 029 104 737.4

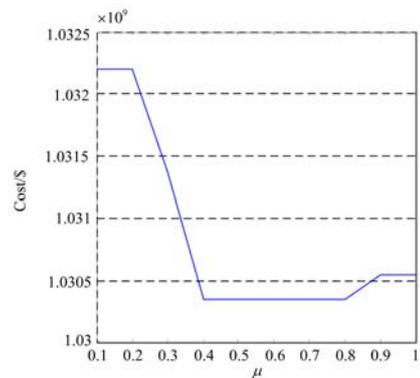


图 9 μ 对燃煤费用的影响 (45 机组)

Fig.9 Influence on cost by varying μ (45 Unit)

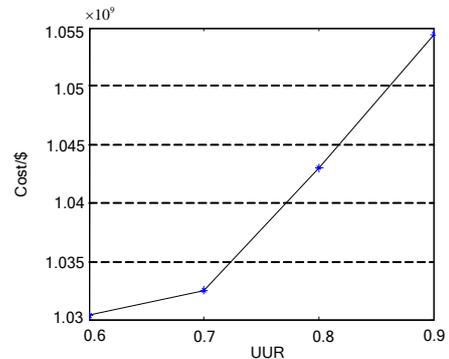


图 10 UUR 对燃煤费用的影响 (45 机组)

Fig.10 Influence on cost by varying UUR (45 Unit)

5 结论

在分析 PL 方法的特点的基础上, 本文提出一种扩展优先顺序法 EPL (Extended Priority List) 解决机组组合问题。该方法从两方面对传统 PL 方法进行改进, 弥补了传统 PL 方法由于采用单一排序指标平均满负荷费用 AFLC 不能全面反映机组优先顺序的不足。首先定义 μ -Load Cost 作为机组在不同出力范围内排序指标从而拓宽排序范围, 形成不

同 μ 值下机组组合的邻域, 而后定义机组的效用系数 UUR 优化机组的优先顺序。此外, 引入参数控制机组组合邻域的规模并采取策略对机组组合进行调整使其满足所有约束, 提高了计算效率。最后采用 26 机组、38 机组以及 45 机组 24 时段等 3 个系统的测试结果验证了该方法的有效性。

参考文献

- [1] 刘涌, 侯志俭, 蒋传文. 求解机组组合问题的改进离散粒子群算法[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (4): 35-39.
LIU Yong, HOU Zhi-jian, JIANG Chuan-wen. Unit Commitment via an Enhanced Binary Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 35-39.
- [2] 袁晓辉, 王乘, 袁艳斌, 等. 一种求解机组组合问题的新型改进粒子群方法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (1): 34-38.
YUAN Xiao-hui, WANG Cheng, YUAN Yan-bin, et al. A New Enhanced Particle Swarm Optimization Method for Unit Commitment[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(1): 34-38.
- [3] 郝晋, 石立宝, 周家启. 一种求解最优机组组合问题的随机扰动蚁群优化算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26 (23): 23-28.
HAO Jin, SHI Li-bao, ZHOU Jia-qi. An Ant Colony Optimization Algorithm with Random Perturbation Behavior for Unit Commitment Problem[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(23): 23-28.
- [4] 王民量, 张伯明, 夏清. 考虑多种约束条件的机组组合新算法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24 (6): 29-35.
WANG Min-liang, ZHANG Bo-ming, XIA Qing. A Novel Unit Commitment Method Considering Various Operation Constraints[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(6): 29-35.
- [5] 陈皓勇, 王锡凡. 机组组合问题的优化方法综述[J]. 电力系统自动化, 1999, 23 (4) :51-56; 1999, 23 (5): 51-56.
CHEN Hao-yong, WANG Xi-fan. A Survey of Optimization Based Methods for Unit Commitment[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(4): 51-56; 1999, 23(5): 51-56.
- [6] Vo Ngoc Dieu, Weerakon Ongsakul. Ramp Rate Constrained Unit Commitment by Improved Priority List and Augmented Lagrange Hopfiled Network (EB/OL). Available Online at www.sciencedirect.com.
- [7] Tomonobu Senjyu, Kai Shimabukuro, Katsumi Uezato, et al. A Fast Technique for Unit Commitment Problem by Extended Priority List[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(2):882-888.
- [8] Lee F N .A New Approach for Determining Thermal Unit Priority Commitment Order[A]. in:IEEE Conference Proceedings on Systems, Man and Cybernetics[C].
- [9] Ongsakul W, Petcharaks N. Ramp Rate Constrained Unit Commitment by Improved Adaptive Lagrangian Relocation[A].in: Proceedings of the Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia, Asian Institute of Technology[C]. 2004.
- [10] Huang K Y, Yang H T, Huang C L. A New Thermal Unit Commitment Approach Using Constraint Logic Programming[J]. IEEE Trans Power Syst, 1998,(13):936-945.
- [11] EI-Saadawi M M, Tantawi M A, Tawfik E. A Fuzzy Optimization-based Approach to Large Scale Thermal Unit Commitment[J]. Electric Power Syst, 2004, (72):245-252.
- [12] Sum L, Zhang Y, Jiang C. A Matrix Real-code Genetic Algorithm to the Unit Commitment Problem[J]. Electric Power Syst, 2006: 716-728.
- [13] Saber A Y, Senjyu T, Miyagi T, et al. Fuzzy Unit Commitment Scheduling Using Absolutely Stochastic Simulated Annealing[J]. IEEE Trans Power Syst, 2006,(21):955-964.
- [14] Arroyo J M, Conejo A J. A Parallel Repair Genetic Algorithm to Solve the Unit Commitment Problem[J]. IEEE Trans Power Syst, 2002(17):1216-1224.

收稿日期: 2009-02-24; 修回日期: 2009-04-24

作者简介:

黎静华(1982-), 女, 讲师, 研究方向为电力系统优化、人工智能在电力系统中的应用。E-mail:happyjinghua@163.com