

热电厂热电联产日效益最大化的应用研究

通过对华能集团重庆分公司一台热电联产机组一天供热、供电情况的分析，提出了热电联产机组的日效益最大化问题，该问题是研究一天时间内，热电厂获得利润最大时的热电厂运行方式和热电厂获得的利润值。通过把一天的供热和供电分成多个时段，建立离散的热电厂日效益数学模型，并通过蚁群算法分析，分别求出每个时段的最大效益，并仿真得到日效益最大化运行曲线。

夏 葵/中国华能集团重庆分公司 贺彦钧/重庆大学通信学院



夏 葵/工程师

热电厂日效益最大化问题是研究一天时间内，热电厂获得利润最大时的热电厂运行方式和热电厂获得的利润值。该问题是一个连续时间的优化问题，很难找出最优化的解。

通过建立离散模型，把一天时间分为若干时段，并引入计算机处理技术和蚁群优化算法可以求出该模型下的最大日效益。模型的准确度取决于离散时段值的大小，时段值越小，准确度越高。

蚁群算法的基本原理

蚁群优化算法模拟了真实的蚂蚁行为。众所周知蚂蚁能够在没有任何视觉线索的情况下找到从食物源到蚁穴的最短路径，并且能够适应环境的改变。

蚂蚁个体利用独有的信息素进行信息交流，从而决定选择哪一条路径。蚂蚁在运动过程中能够在它经过的路径上沉积一定的信息素，而且蚂蚁在运动过程中能够感知这种物质的存在及其强度，并以此指导自己的运动方向。蚂蚁倾向于朝着该物质强度高的方向移动，因此由大量蚂蚁组成的蚁群集体行为便表现出一种信息正反馈现象。

蚁群算法是一种迭代算法，每次迭代都利用以前的迭代信息，形成一个正反馈机制。蚁群每次的选择都受到期望值和信息素的影响。选择每条可能路径的概率如下

$$p_{kl}(m,u)=\begin{cases} 0 & \\ \frac{[\tau_{kl}(m)]^\alpha[\eta_{kl}(u)]^\beta}{\sum_{l \notin u, (k,l) \in A} [\tau_{kl}(m)]^\alpha[\eta_{kl}(u)]^\beta} & (1) \\ 0 & \text{若 } l \notin u \text{ 且 } (k,l) \in A \end{cases}$$

式中， $p_{kl}(m,u)$ 为蚂蚁的转移概率； $\tau_{kl}(m)$ 为路径上的信息素因子，经过该路径的蚂蚁越多，信息素因子越大； $\eta_{kl}(u)$ 为路径的期望因子，路径越短，期望因子越大； α 、 β 为匹配参数，用来匹配信息素因子和期望因子的比值，防止信息素因子比例太大，路径过早收敛或者期望因子比值太大，蚂蚁贪婪局部最短路径。

蚁群每 m 只蚂蚁寻找路径完毕后，更新信息素。蚁群算法的全局信息素更新规则如下

$$\tau_{kl}(t+m) = \rho\tau_{kl}(t) + \Delta\tau_{kl} \quad (2)$$

$$\Delta\tau_{kl} = \sum_{i=1}^m \Delta\tau_{kl}(i) \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{kl}(i) = \begin{cases} \frac{Q}{L_i} & \text{如果蚂蚁 } i \text{ 走过路径 } kl \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中， Q 为一匹配常数，定义为每次蚂蚁的信息素含量； L_i 为蚂蚁 i 在本次循环中走过的路径长度； $\Delta\tau_{kl}(i)$ 表示蚂蚁 i 在 kl 路径上的信息素增量； ρ 为信息素挥发速度； $\tau_{kl}(t)$ 为 t 时刻 kl 路径的信息素含量； $\tau_{kl}(t+m)$ 为下一次迭代时 kl 路径的信息素含量。

关键词/Keywords

热电厂·
热电联产·
日效益·
蚁群算法·

在蚁群算法中, 参数 Q 、 ρ 、 α 和 β 以及迭代次数 N 都需要用实验的方法确定最优值。

热电厂热电联产日效益的相关因素

热电厂热电联产日效益的影响因素众多, 其中最主要, 影响最大的因素有: 发电效益、发热效益、电网对电厂的发电约束、燃料费用和机组爬坡速率。

1) 发电效益。热电厂通过向电网输送电负荷, 可以得到来自电网的费用。不同时段, 电网付给电厂的电价不同, 有峰谷电价的区别。

2) 供热。热电厂通过向热网输送热负荷, 可以得到来自热网的费用, 供热是热电厂的主要任务, 热电厂需要优先满足热网的热负荷需要, 这也是以热定电、热电联产的基本要求。

3) 机组爬坡速率。机组爬坡速率是影响热电厂日效益的重要因素。可以影响机组下个时段状态的转换。

4) 电网超额供电惩罚。电网中心每天零点会下发当天发电参考曲线给热电厂, 参考曲线由电网综合考虑周边电厂情况后定制, 上网电量低于电网调度中心提供的数据, 不会罚款, 高于电网调度中心提供的数据, 电网将会对电厂进行罚款惩罚。惩罚只针对超额发电部分。电网下发的参考曲线由48个点组成, 每30 min一个点, 组成一天24 h的数据。

5) 燃料费用。热电厂正常运行时将会消耗一定量的燃料, 满负荷运行时和部分负荷运行时的燃料费用是不一样的。在计算热电厂日效益时, 需要把热电厂每天的燃料成本计算进去。

热电联产建模分析

1. 蚁群模型建模分析

热电厂热电联产日效益问题和多阶段最优决策问题十分类似。热电厂日效益模型可以通过把一天24 h均分为48段, 每30 min一段, 以此形成一个多阶段问题。每个阶段的决策量取决于当前的电厂负荷, 电厂负荷从50%负荷到100%负荷均分为6份, 分别为50%、60%、70%、80%、

90%和100%负荷。因此每个阶段最多有6个决策数量。这样, 热电厂热电联产日效益问题就变成了一个多阶段最优决策问题, 问题描述如图1所示。

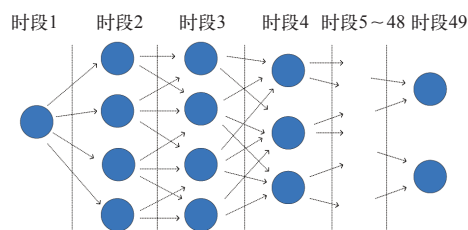


图1 多阶段最优决策图

图1中, 当前时刻和下一时刻间的时间称为一个时段, 49个时刻共形成48个时段。路径定义为每30 min电厂获得的效益, 效益越大, 路径越小。状态节点定义为决策值, 也就是电厂负荷值。状态节点的转换规则定义为30 min内负荷的变化规则, 由于机组爬坡速率有限, 某些时刻的状态并不能在30 min内转换为所有允许状态, 因此决策数并不总是为最大决策数。

模型的相关公式如下。

1) 路径公式

$$R(t) = C / F(t) \quad (5)$$

式中, $R(t)$ 为 t 时段某一路径长度; C 为一匹配常数; $F(t)$ 为 t 时段状态转换获得利润。

2) 发热与发电关系

$$W(t) = \{467.34 - [0.225 \times S(t) - 4.68]\} \times L(t) \quad (6)$$

3) 某一阶段效益公式

$$F = \begin{cases} \{aW(t) + bS(t) - cL(t) - d \times [W(t) - R(t)]\} \times 0.5 & W(t) > R(t) \\ [aW(t) + bS(t) - cL(t)] \times 0.5 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中, $W(t)$ 为 t 时段发电量; $S(t)$ 为 t 时段发热量; $R(t)$ 为电网在 t 时段对电厂的发电要求; $L(t)$ 为 t 时段电厂负荷。

2. 算例分析

建立热电厂热电联产日效益模型后, 用C++ (VS2008) 编制了相应的程序, 并选取蚁群算法进行仿真分析。

电网对热电厂当天的发电要求如表1所示, 每30 min一个数据。

表1 电网要求电量数据表 (单位: MW)

230.25	241.31	260.52	230.31	260.56	310.72	230.56
220.45	245.77	234.12	260.43	220.15	270.36	260.57
280.98	230.75	261.17	239.86	221.45	160.78	158.89
177.69	190.56	179.67	168.43	196.28	203.45	220.89
278.01	230.79	198.57	179.77	201.76	222.82	174.47
195.67	310.57	134.78	198.67	202.12	157.78	180.22
157.43	159.11	170.24	168.94	178.89	169.93	

热网对热电厂当天的发热要求数据如表2所示, 每30 min一个数据。

表2 热网要求热量数据表 (单位: t)

340	340	340	340	340	340	340
340	340	340	340	340	340	340
340	340	340	340	340	340	340
340	340	340	225	225	225	225
225	225	225	225	225	225	225
225	225	225	225	225	225	225
225	225	225	225	225	225	225

模型中其他仿真数据如下: 上网电价定义为0.77元/(kW·h), 惩罚电价定义为0.20元/(kW·h), 上网热价定义为180元/t, 模型中机组的总负荷为467.340 kW, 机组爬坡速率参数设置为4.5%/min, 满负荷时燃料费用为246 116 元/h。其余负荷情况下按比例下降。

机组优先满足热负荷, 其次满足效益最大化, 电网要求电量仅在计算效益最大化时起参考作用。

假定模型的起始状态同时满足热负荷和效益最大化两个条件。

蚁群算法优化热电厂日效益仿真曲线如图2所示, 热电厂日效益出力曲线如图3所示。横坐标为

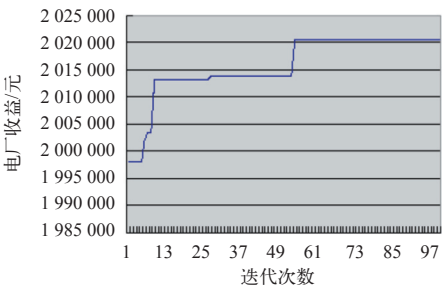


图2 蚁群算法仿真图

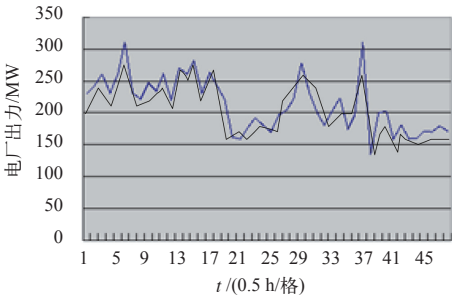


图3 热电厂优化后的发电曲线图

把一天24 h均分为48段。
从图2中可以看出, 蚁群算法是逐次迭代得出最优解的, 在迭代到61代时已经稳定下来。图3中蓝色曲线为优化后的发电曲线, 黑色曲线为未优化发电曲线, 从整体图表中能看到经过优化总体的发电有所提高。从图3中可以看出, 在电网的惩罚电价偏低时, 电网对电厂发电的约束作用不大。模型中所有数据, 均是通过对真实数据做部分改变得到, 并不保证是电厂使用的真实数据。

结束语

利用热电厂日效益最大化问题与多段图最优路径的相似性, 把热电厂日效益问题设计成为多段图最优路径问题。提出用蚁群算法求解日效益最大化的问题, 为热电厂日效益问题的解决提供了一个崭新的思路。

参考文献

[1] 杨斌, 姜兆华. 蚁群算法及其在多段图中的应用[J]. 软件导刊, 2008 (3): 47.

[2] 王振铭. 我国热电联产的新发展[J]. 电力技术经济, 2007, 19 (2): 47-49.

[3] 郝晋, 石立宝, 周家启, 等. 基于蚁群优化算法的机组最优投入[J]. 电网技术, 2002, 26 (11).

[4] 管建春. 小型热电联产生产成本分析和实例[J]. 能源工程, 1999 (2): 47-49.

[5] Ouyang Z, Shahidehpour S M. A multi-stage intelligent system for unit commitment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1992, 7 (2).

(收稿日期: 2014-04-14) EA