# 能源系统优化大作业

——基于MATLAB/CPLEX 的机组最优组合

**22153171 常悦铃**

## 机组组合优化数学模型

### 问题分析

机组组合问题要求基于已知的系统数据，求解计划时间内机组决策变量的最优组合，使得系统总成本达到最小。该问题的决策变量由两类，一类是各时段机组的启停状态，为整数变量，0表示关停，1表示启动；另一类是各时段机组的出力，为连续变量。

机组组合问题属于规划问题，即要在决策变量的可行解空间里找到一组最优解，使得目标函数尽可能取得极值。对于混合整数规划，常用的方法有分支定界法，benders分解等。CPLEX提供了快速的MIP求解方法，对于数学模型已知的问题，只需要按照程序规范在MATLAB中编写程序化模型，调用CPLEX求解器，即可进行求解。

下文介绍机组组合优化的数学模型。

### 符号说明

|  |  |
| --- | --- |
| **符号** | **说明** |
|  | 机组*i*在时段*t*的启停状态 |
|  | 机组*i*在时段*t*分段化部分的第*s*段出力 |
|  | 机组*i*在时段*t*的出力 |
|  | 机组*i*的煤耗成本 |
|  | 机组*i*的启动成本 |
|  | 机组*i*的关停成本 |
|  | 机组*i*的煤耗系数 |
|  | 节点*d*在时段*t*的负荷需求 |
|  | 机组*i*启动最大升出力 |
|  | 机组*i*停机最大降出力 |
|  | 机组*i*的最大最小出力限制 |
|  | 线路*l*的潮流约束（双向） |
|  | 热备用系数 |
|  | 机组的下/上爬坡速率 |
|  | 最小关停/开机时间 |
|  | 机组*i*的单次启动/关停成本 |
|  | 机组*i*的线性化煤耗成本函数的第*s*段斜率 |
|  | 机组*i*最低出力煤耗成本 |
|  | 机组数 |
|  | 负荷节点数 |
|  | 线性化分段数 |

### 模型建立

根据上述变量定义，建立含安全约束的机组最优组合（SCUC）模型如下：

1. 目标函数

目标函数即为最小化成本，包括发电带来的煤耗成本和机组启停产生的开停机成本。



其中，机组的煤耗函数可用出力的二次函数表述：



1. 等式约束条件

此即为系统的功率平衡约束。



1. 不等式约束条件
2. 热备用



1. 机组出力约束



1. 机组爬坡约束



1. 机组起停时间约束





1. 起停费用约束





1. 潮流安全约束



当机组启动最小出力大于爬坡速率，约束将使得所有关停的机组都无法启动，因此改写为





其中，为了简化，可以将启动最大升速率和停机最大降速率都取为



计算潮流的转移分布因子矩阵，将改写为



其中描述节点*i*的注入功率对于线路*l*产生的影响。则简化模型的变量为和，在满足潮流的约束下，最小化目标函数。（转移分布因子矩阵计算较为繁琐，开始时可先忽略此约束）

### 模型简化

由上小节构建的机组组合优化模型，煤耗成本采用二次函数，当系统规模较大时（如节点数超过1000），求解起来将消耗大量时间。因此我们可以对原模型进行线性化处理。

将煤耗函数分段线性化，分为m段，将原模型的替换为



其中，代表分段线性化后煤耗函数各段斜率，表示机组开机并以最小出力运行产生的煤耗，为机组分段的出力，满足



## 算例介绍

校验程序的算例基于IEEE-30节点标准测试系统，系统接线图如图1。系统包含30个节点，6台发电机组。要求确定系统最优机组组合，使得系统各机组总运行成本（煤耗成本+启停成本）最小化。

|  |
| --- |
|  |
| 图1. IEEE-30节点测试系统接线 |

已知：给定系统数据包括如下：（见附件system.xls）

1. 线路网络参数
2. 机组参数
3. 各节点各时段负荷曲线（24小时）

注意：附件中的数据均基于标幺化系统得到，因此电力电量参数、网络参数等都为标幺值，无量纲。还要注意附件中煤耗系数a,b,c的单位为吨，因此计算煤耗成本还需换算为价格，设燃煤价格为100$/吨。

## 计算输出结果

* 当热备用为0.2时最优机组组合结果



* 当热备用为0.05时最优机组组合结果

