第21卷 第7期
2004年12月

工 程 数 学 学 报
CHINESE JOURNAL OF ENGINEERING MATHEMATICS

Vol. 21 No. 7
Dec. 2004

文章编号:1005-3085(2004)07-0101-08

# 电力市场的输电阻塞优化管理

樊志强， 潘姿君， 戴玉超
指导教师： 肖华勇
(西北工业大学，西安 710072)

**编者按**：本文根据爬颇能力限制将报价及对应的容量矩阵扩展成$8\times 12$的矩阵，然后通过0-1变量建立完整的0-1规划模型求解预案和调整方案，表达简洁而清晰。全文不足之处在于阻塞费用的表达式没有按报价段分段处理；安全目标中没有采用相对裕度。

**摘 要**：我们研究了电力市场的输电阻塞管理，针对目前电力市场中出现的输电阻塞，提出了阻塞费用的计算办法，机组出力分配预案的算法，以及重新调整预案的模型，得到如下结果：

问题1：根据32组试验数据，利用多元线性回归建立了6条主要线路的潮流值关于8台机组出力的线性表达式，利用SAS8软件得到回归方程都通过了显著性检验，复相关系数都不低于0.9995，最大均方误差不超过0.0395，相对误差不超过0.0267%，方案0的最大预测误差不超过0.0447%，说明该表达式很好地反映了线路潮流值与发电机组出力的关系。

问题2：我们给出了一种合理的计算阻塞费用的规则：序外容量和序内容量都按照预案清算价和新方案出力对应报价之差计算，这在一定程度上体现了对多发电方和少发电方的公平补偿，还给出了相应补偿公式和阻塞费用计算公式，并证明了阻塞费用等于方案调整后与方案调整前支付费用之差。

问题3：采用两种不同方案得到各机组出力分配预案，方案一给出了计算所有段价下各机组能完成的最大负荷的算法，该算法具有一般性，计算量小，并得到负荷需求为982.4MW时清算价是303元/MWh，购电费用74417元，各机组出力为：

$x_1=150, x_2=79, x_3=180, x_4=99.5, x_5=125, x_6=140, x_7=95, x_8=113.9$

方案二采用目标规划方法建立非线性0-1规划模型，采用lingo方便地得到任意负荷下清算价及各机组出力，计算结果与模型一相同。

问题4：检验到问题3的分配预案会引起输电阻塞，考虑约束：线路潮流值不超过限值，我们建立了以阻塞费用最小为目标的单目标规划，得到的最小阻塞费用Z=4614.386元，各机组出力方案为：

$x_1=150.688, x_2=88, x_3=228, x_4=80.059, x_5=152, x_6=96.673, x_7=70, x_8=117$

问题5：对负荷需求1052.8MW，我们采用与问题3同样的方法得到清算价为356元/MWh，购电费用93699元，各机组出力为：

$x_1=150, x_2=81, x_3=218.2, x_4=99.5, x_5=135, x_6=150, x_7=102.1, x_8=117$

检查到该预案会引起输电阻塞，用问题4的单目标模型发现潮流限值内无法调整方案，因此建立阻塞费用最小和各线路上潮流绝对值超过限值的百分比$\alpha$最小的双目标规划模型，为降低安全隐患，$\alpha$取最小值5.16%，得到的最小阻塞费用$Z=1828.4$元，该方案下各台机组出力为：

$x_1=153, x_2=88, x_3=228, x_4=92.107, x_5=152, x_6=137.354, x_7=85.339, x_8=117$

**关键词**：清算价；序内容量；序外容量；阻塞费用；多元线性回归；目标规划

**分类号**：AMS(2000) 90C29　　**中图分类号**：O221　　**文献标识码**：A

## 1 基本假设

- 所有机组在出力分配预案结束后的结算是按同一清算价；
- 负荷需求就是各机组出力之和；

- 各机组的段价计算方法按左开右闭区间方式计算，即端点上的出力值按左侧段价算；

## 2 模型的建立及求解

**问题 1**：

6条主要线路有功潮流为$y_1, y_2, \cdots, y_6$，8台机组出力为$x_1, x_2, \cdots, x_8$，采用线性回归：

$$y_i = a_{i0} + \sum_{j=1}^{8} a_{ij}x_j, \quad i = 1, 2, \cdots, 6$$

根据表1和表2中围绕方案0的$1 \sim 32$组实验数据，利用软件SAS8.0得到：

$$\begin{aligned} y_1 = & \ 110.29651 + 0.08284x_1 + 0.04828x_2 + 0.05297x_3 + 0.11993x_4 \\ & -0.02544x_5 + 0.12201x_6 + 0.12158x_7 - 0.00123x_8 \end{aligned}$$

复相关系数$R^2 = 0.9995$，均方误差RMSE=0.03599，方程显著性检验F=5861.52，概率$Prob(F > 5861.52) = 0.0001 < \alpha = 0.01$，其中$\alpha$=0.01为检验水平。故回归方程显著。

对$y_2 \cdots y_6$计算与分析同$y_1$（略）。

利用回归方程，估计6条线路的潮流值，其原始潮流值及预测潮流值见表1。

表1 6条线路原始潮流值与预测潮流值

| 线路 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 原始值 | 164.78 | 140.87 | -144.25 | 119.09 | 135.44 | 157.69 |
| 预测值 | 164.715 | 140.829 | -144.201 | 119.037 | 135.381 | 157.623 |
| 相对误差 | 0.0397% | 0.029% | 0.0337% | 0.0447% | 0.0434% | 0.0426% |

对线性回归方程，复相关系数反映自变量$(x_1, x_2, \cdots, x_8)$表达因变量$(y_1, y_2, \cdots, y_6)$的能力，其值越大说明回归越好，从上面6个回归方程来看，其复相关系数都不低于0.9995；均方误差RMSE反映回归的残差大小，越小表示回归越好，而上面6个回归方程的RMSE最大不超过0.03995，相对误差最大不超过0.0267%；从方程显著性的F检验来看，每个检验犯第一类错误概率均低于0.0001，远低于通常的检验水平$\alpha = 0.0001$。这些结果说明6个回归方程回归很好，该表达式真实反应了6条线路与8个机组出力的函数关系。

**问题 2**：

阻塞费用的计算是以电力市场规则为依据，平等对待市场参与者。多发电方的收益是预案发电量收益和序外容量补偿费用之和，少发电方的收益是少于预案的实际发电收益和序内容量补偿费用之和，预案发电收益均按清算价结算。序内容量按清算价和对应报价之差结算，序外容量按对应报价和清算价之差结算。

设$x_{i0}$表示方案调整前第$i$台机组的出力，$x_i$表示方案调整后第$i$台机组的出力。$c$表示方案调整前的清算价，$c_i$表示方案调整后的第$i$台机组对应$x_i$的报价，由上述结算规则，我们得到多发电方和少发电方的付费计算公式：

支付多发电方的发电费用：$F_1 = \sum\limits_{x_i \geq x_{i0}} x_i c + \sum\limits_{x_i \geq x_{i0}} (x_i - x_{i0})(c_i - c)$

支付少发电方的发电费用：$F_2 = \sum\limits_{x_i < x_{i0}} x_i c + \sum\limits_{x_i < x_{i0}} (x_{i0} - x_i)(c - c_i)$

序外容量的补偿费为：$Z_1 = \sum\limits_{x_i > x_{i0}} (x_i - x_{i0})(c_i - c)$

其中$(x_i - x_{i0})(c_i - c)$表示多发电的第$i$台机组总的补偿费用。

根据电力市场交易规则，容易知道：当$x_i \geq x_{i0}$时，$c_i \geq c$，因此$Z_1$中各项都为正。

序内容量补偿费为：$Z_2=\sum\limits_{x_i<x_{i0}}(x_{i0}-x_i)(c-c_i)$

当$x_i<x_{i0}$时，$c_i<c$，因此$Z_2$中各项都为正。

则阻塞费用$Z$为这两者之和，即：$Z=Z_1+Z_2$

而方案调整前后各机组出力总和不变，即：$S=\sum\limits_{i=1}^{8}x_{i0}=\sum\limits_{i=1}^{8}x_i$

容易验证：$Z=Z_1+Z_2-c\times S$

即阻塞费用等于方案调整后与方案调整前支付费用之差。

从上述补偿费用公式来看，序外容量和序内容量都按报价和预案清算价之差进行补偿。

**问题 3：**

**方案一：**递推直接计算法

该问题要求我们根据机组的段容量、段价、爬坡速率及电力市场规则给出下一时段各机组的出力分配预案。仔细分析该问题，由于段价是从低到高选取，因此在选中某个段时，只要各机组出力还未达到预报的负荷，就会将该段全部选取，但由于受爬坡速率的影响，某些段只能选到爬坡结束的位置。根据市场交易规则，当各机组出力总和达到预报的负荷时，只会在最高价（清算价）选入的段可能不能达到该段的结束点，其它段都会全选或选到爬坡能达到的最大位置处。因此我们可以反过来考虑，根据给定的任意一个价格，计算所有机组出力能完成的最大负荷。这时候所有机组出力都会选完不超过给定价的全部段或爬坡能达到的最大位置。因为所有的价格是有限的，最多不超过$8\times 10=80$种价格，而各机组出力考虑机组数、段数和由于爬坡形成的最低位置和最高位置，总共可选的各机组出力数值就只有$8\times(10+2)=96$种。因此对给定价格所有机组出力能完成的最大负荷就变成一个离散的问题，采用递推的方法可求出所有价格下各机组出力能完成的最大负荷。一旦得到该表，很容易得出任意一个负荷对应的清算价及各机组的出力。因此我们把问题变为求各价格对应的各机组出力能完成的最大负荷。

根据各机组当前出力$x_{i0}(i=1,2,\cdots,8)$，各机组爬坡速率$v_i(i=1,2,\cdots,8)$，得到各机组出力的下限$a_i(i=1,2,\cdots,8)$和上限$b_i(i=1,2,\cdots,8)$，考虑各时段时间为15分钟，则：

$$a_i=x_{i0}-15v_i,\quad b_i=x_{i0}+15v_i\quad i=1,2,\cdots,8$$

根据各机组形成的段容量矩阵$M_{8\times 10}$，逐列进行累加，得到新矩阵$M'_{8\times 10}$，其计算方法：

$$m'_{i,0}=m_{i,0},\quad m'_{i,j}=m'_{i,j-1}+m_{i,j}\quad (i=1,2,\cdots,8;j=2,3,\cdots,10)$$

$m'_{i,j}$表示第$i$个机组第$j$段的最大容量。

再将$a_i,b_i$插入矩阵$M'_{8\times 10}$的第$i$行，插入的方法是根据数值大小，当$m'_{i,j-1}<a_i\le m'_{i,j}$，则将$a_i$插入$m'_{i,j-1}$和$m'_{i,j}$之间。$b_i$也按照同样方法插入。由此得到一个考虑爬坡速率的各机组出力矩阵$T_{8\times 12}$,参考段价可获得$t_{i,j}$对应的价格，得到对应$T_{8\times 12}$的价格矩阵$P_{8\times 12}$。

$$T=\begin{bmatrix}70&70&87&120&120&120&150&150&150&150&153&190\\30&30&50&58&58&73&79&81&81&81&88&89\\110&110&132&150&150&180&180&200&228&240&240&280\\55&60&60.5&70&80&90&99.5&100&115&115&115&116\\75&80&95&95&98&110&125&125&135&145&152&155\\95&95&95&105&125&125&140&150&155&170&170&180\\50&60.1&65&70&85&95&102.1&105&110&120&123&125\\63&70&70&90&90&110&110&117&130&140&155&160\end{bmatrix}$$

$$P=\begin{bmatrix}
-505 & 0 & 124 & 124 & 168 & 210 & 252 & 312 & 330 & 363 & 489 & 489\\
-560 & 0 & 182 & 203 & 203 & 245 & 300 & 320 & 360 & 410 & 495 & 495\\
-610 & 0 & 152 & 152 & 189 & 233 & 258 & 308 & 356 & 356 & 415 & 500\\
-500 & 150 & 170 & 170 & 200 & 255 & 302 & 302 & 325 & 380 & 435 & 800\\
-590 & 0 & 116 & 146 & 188 & 188 & 215 & 250 & 310 & 396 & 510 & 510\\
-607 & -607 & 0 & 159 & 173 & 205 & 252 & 305 & 380 & 380 & 405 & 520\\
-500 & 120 & 120 & 180 & 251 & 260 & 306 & 306 & 315 & 335 & 348 & 548\\
-800 & -800 & 153 & 183 & 233 & 253 & 283 & 303 & 303 & 318 & 400 & 800
\end{bmatrix}$$

为算法描述的方便，我们引入向量$Q$和$D$，其维数为$l$，$l$表示不同价格总数，本题$l=71$。将段价中$l$个不同的价格值按从小到大赋给$D$，用$d_i$表示第$i$个价格，用$q_i$表示第$i$个价格下各机组能完成的最大负荷。其算法如下：

步骤1)：$k=1$,计算价格为$d_1$的最大负荷$q_1$

步骤2)：$q_{k+1}=q_k+(t_{i,j}-t_{i,j-1})$，其中下标$i,j$满足$p_{i,j}=d_{k+1}$

通过以上两步可算出对应各价格的最大负荷向量$Q$。步骤1)采用在出力矩阵$T_{8\times12}$中搜索的方法得到负荷向量$Q$对应价格为$d_1$的所有数值$t_{i,j}$，且要满足$a_i\le t_{i,j}\le b_i$。步骤2)中用同样的方法搜索负荷向量$Q$对应价格为$d_{k+1}$的所有数值$t_{i,j}$，这对计算机编程很容易实现的，同时还可以输出对应的各机组最大出力。对该算法采用C语言编程，得到各价格下的最大负荷，见表2（只列出后半部分价格）和图1。

表2 部分价格下各机组能完成的最大负荷表

| 价格 | 255 | 258 | 260 | 283 | 300 | 302 | 303 | 305 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 负荷 | 953 | 953 | 963 | 963 | 969 | 978.5 | 985.5 | 995.5 |
| 价格 | 306 | 308 | 310 | 312 | 315 | 318 | 320 | 325 |
| 负荷 | 1020.6 | 1022.6 | 1032.6 | 1032.6 | 1032.6 | 1032.6 | 1034.6 | 1034.6 |
| 价格 | 330 | 335 | 348 | 356 | 360 | 363 | 380 | 396~800 |
| 负荷 | 1034.6 | 1034.6 | 1034.6 | 1062.6 | 1062.6 | 1062.6 | 1067.6 | 1077.6 |

从表2中可以看出，对负荷需求982.4MW，介于最大负荷978.5 和985.5之间，说明当各机组在价格302时，能完成的最大负荷只能是978.5，而无法达到985.5，而当清算价增加到下一价格303时，可以完成不超过985.5 的任意负荷，因此对负荷需求982.4MW，清算价应为303元/MWh，购电费用74417元。对应的各机组最大出力从出力矩阵$T_{8\times12}$和价格矩阵$P_{8\times12}$很容易得到（实际中我们在程序中同时将该数据输出）：

$$x_1=150,x_2=79,x_3=180,x_4=99.5$$
$$x_5=125,x_6=140,x_7=95,x_8=117$$

由于在清算价303上只有$x_8$出力20，而各机组总出力985.5，超出负荷需求3.1，因此只需要

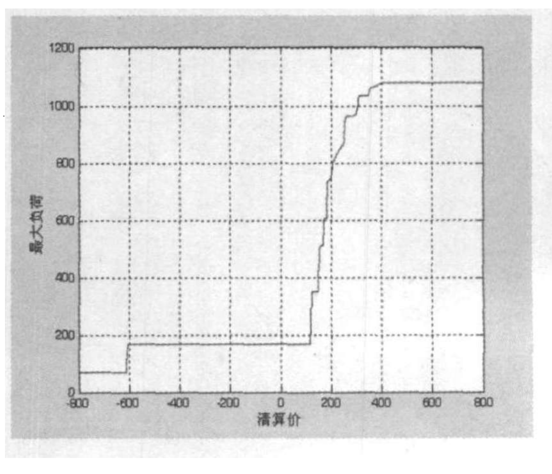


图 1: 各种价格下各机组能完成的最大负荷曲线图

从$x_8$的最后一段中减3.1，得到$x_8 = 113.9$，从而得到各机组实际出力为：

$$x_1 = 150, x_2 = 79, x_3 = 180, x_4 = 99.5, x_5 = 125, x_6 = 140, x_7 = 95, x_8 = 113.9$$

我们总结出计算任意需求负荷的清算价及各机组出力。方法如下：

设各价格$d_i$及对应最大负荷为$q_i (i = 1, 2, \cdots, l)$，其中价格是按从小到大排序，根据电力市场交易规则得到的$q_i$也是一个单调不减的序列。设需求负荷为$S$，若存在$i$，使$q_{i-1} \le S \le q_i$，则该需求负荷的清算价$c = d_i$；否则各机组无法完成该负荷需求。

对清算价$c$，根据出力矩阵$T$和价格矩阵$P$，找出各机组的出力$x_i (i = 1, 2, \cdots, 8)$。记多出的负荷$w = q_i - S$，设第$k$个机组某段段价为$c$，则只需要令$x_k = x_k - w$。

**方案二：** 优化模型方法

从上面的方案一的分析，实际上是按清算价在出力矩阵$T_{8\times12}$中各行选取一个元素，使其和不低于需求负荷$S$。故设0-1决策变量$X_{ij}$，其意义为：

$$X_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{不选取 } t_{ij} \\ 1 & \text{选取 } t_{ij} \end{cases}$$

由于出力矩阵$T_{8\times12}$中各行选取一个元素，因此满足：$\sum\limits_{j=1}^{12} X_{ij} = 1$， $i = 1, 2, \cdots, 8$

设$C_i$表示第$i$台机组的最高报价，则$C_i = \sum\limits_{j=1}^{12} X_{ij} p_{ij}$， $i = 1, 2, \cdots, 8$

考虑爬坡速率，各机组出力满足：$x_{i0} - 15v_i \le \sum\limits_{j=1}^{12} X_{ij} p_{ij} \le x_{i0} + 15v_i$， $i = 1, 2, \cdots, 8$

其中$v_i$表示第$i$台机组的爬坡速率，$x_{i0}$为方案0中第$i$台机组的出力。

各机组出力总和满足：$\sum\limits_{i}^{8} \sum\limits_{j}^{12} X_{ij} t_{ij} \ge S$

目标取各机组最大报价的最小值，$\min c = \max C_i$，得到如下优化模型：目标： $\min c = \max C_i$

$$\text{s.t} \begin{cases} \sum\limits_{j=1}^{12} X_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \ldots, 8 \\ x_{i0} - 15v_i \le \sum\limits_{j=1}^{12} X_{ij} p_{ij} \le x_{i0} + 15v_i, \quad i = 1, 2, \ldots, 8 \\ C_i = \sum\limits_{j=1}^{12} X_{ij} p_{ij}, \quad i = 1, 2, \ldots, 8 \\ \sum\limits_{i}^{8} \sum\limits_{j}^{12} X_{ij} t_{ij} \ge S \\ X_{ij} = 0\text{或}1 \end{cases}$$

利用lingo5.0得到目标值$c = 303$，此即为清算价。

决策变量$X_{1,7} = 1, X_{2,7} = 1, X_{3,7} = 1, X_{4,7} = 1, X_{5,8} = 1, X_{6,7} = 1, X_{7,6} = 1, X_{8,8} = 1$，其余为0，则从出力矩阵$T_{8\times12}$ 中得到：

$$x_1 = 150, x_2 = 79, x_3 = 180, x_4 = 99.5, x_5 = 125, x_6 = 140, x_7 = 95, x_8 = 117$$

同方案一中分析方法一样，调整$x_8$的出力为$x_8 = 113.9$, 得到各台机组出力：

$$x_1 = 150, x_2 = 79, x_3 = 180, x_4 = 99.5, x_5 = 125, x_6 = 140, x_7 = 95, x_8 = 113.9$$

**问题4：**

利用问题1中的近似表达式，由出力分配预案中各$x_i$ 值，计算6条线路的潮流值：

$$y_1 = 173.205, y_2 = 140.808, y_3 = -151.078, y_4 = 120.992, y_5 = 136.78, y_6 = 168.484$$

其中线路1超过限值4.97%，线路5超过限值3.62%，线路6超过限值4%，因此由问题3中得到

的出力分配预案会引起输电阻塞，我们调整方案，使调整后方案不会引起输电阻塞。

设$x_i(i=1,2,\cdots,8)$表示第$i$台组机组在调整后方案中的出力。

调整模型的目标是阻塞费用最小，即

$$\min\ Z=\sum_{x_i\geq x_{i0}}(x_i-xi0)(c_i-c)+\sum_{x_i<x_{i0}}(xi0-x_i)(c-c_i)$$

考虑爬坡速率的限制，有:$x_{i0}-15v_i\leq x_i\leq x_{i0}+15v_i$

负荷需求要满足：$\sum\limits_{i=1}^{8}x_i=S$

第$i$台机组出力为$x_i$时的报价：$c_i=f(x_i)$ ，$i=1,2,\cdots,6$

由题目中表3，表4得到$f(x_i)$的分段连续函数。

每条线路不能超过线路的潮流限值，有

$$|y_i|\leq e_i\ ,\ i=1,2,\cdots,6$$

其中

$$y_i=a_{i0}+\sum_{j=1}^{8}a_{ij}x_j$$

综上所述，我们得到调整的模型：

$$\min\ Z=\sum_{x_i\geq x_{i0}}(x_i-x_{i0})(c_i-c)+\sum_{x_i<x_{i0}}(x_{i0}-x_i)(c-c_i)$$

$$\text{s.t}\begin{cases}x_{i0}-15v_i\leq x_i\leq x_{i0}+15v_i\ ,\quad i=1,2,\cdots,6\\ \sum\limits_{i=1}^{8}x_i=S\\ c_i=f(x_i)\ ,\quad i=1,2,\cdots,6\\ y_i=a_{i0}+\sum\limits_{j=1}^{8}a_{ij}x_j\ ,\quad i=1,2,\cdots,6\\ |y_i|\leq e_i\ ,\quad i=1,2,\cdots,6\end{cases}$$

采用lingo5.0求解，得到各机组出力方案为:

$$x_1=150.668,x_2=88,x_3=228,x_4=80.059,x_5=152,x_6=96.673,x_7=70,x_8=117$$

阻塞费用$Z=4614.386$元

对应各线路的潮流值为:

$$y_1=165,y_2=149.4753,y_3=-155.0399,y_4=126.2642,y_5=132,y_6=159.72$$

由此可见，各线路潮流值都没超过限值，说明这个单目标规划模型可以很好解决该问题。

**问题5:**

当负荷需求1052.8MW，按照问题3中方法，得到各机组出力:

$$x_1=150,x_2=81,x_3=218.2,x_4=99.5,x_5=135,x_6=150,x_7=102.1,x_8=117$$

利用$y_i$的近似表达式，根据出力分配预案中各$x_i$值，计算6条线路的潮流值:

$$y_1=177.117,y_2=140.944,y_3=-156.337,y_4=129.883,y_5=134.786,y_6=167.016$$

其中，线路1超过限值7.34%，线路5超过限值2.11%，线路6超过限值3.1%。该方案下调整机组出力无法使所有$y_i$不超过限值，因此除考虑阻塞费用最小之外，我们把每条线路上潮流绝对值超过限值的百分比尽量小也作为优化目标。

设第$i$条线路潮流绝对值超过限值的百分比为$\alpha_i$，其计算式:

$$\alpha_i=\begin{cases}0 & |y_i|\leq e_i\\ \frac{|y_i|}{e_i}-1 & |y_i>e_i\end{cases}$$

采用最大最小原则，使$\max\alpha_i$最小。

结合问题4的模型，得到如下双目标模型：

$$\text{目标：}\begin{cases} \min\ Z = \sum\limits_{x_i \ge x_{i0}} (x_i - x_{i0})(c_i - c) + \sum\limits_{x_i < x_{i0}} (x_{i0} - x_i)(c - c_i) \\ \min\ \alpha = \max\ \alpha_i \end{cases}$$

$$\text{s.t}\begin{cases} x_{i0} - 15v_i \le x_i \le x_{i0} + 15v_i\ ,\quad i = 1, 2, \cdots, 6 \\ \sum\limits_{i=1}^{8} x_i = S \\ c_i = f(x_i)\ ,\quad i = 1, 2, \cdots, 6 \\ y_i = a_{i0} + \sum\limits_{j=1}^{8} a_{ij} x_j\ ,\quad i = 1, 2, \cdots, 6 \\ |y_i| \le e_i(1 + \alpha_i) \\ \alpha_i = \begin{cases} 0 & |y_i| \le e_i \\ \frac{|y_i|}{e_i} - 1 & |y_i| > e_i \end{cases} \end{cases}$$

采用lingo5.0求解，先给定不同水平的$\alpha$求出其对应最小费用，得到结果见表3和图2：

表3 不同$\alpha$下的最小阻塞费用

| $\alpha$ | 5.16% | 5.2% | 5.5% | 5.9% | 6.3% | 6.7% | 7.1% | 7.5% | 7.9% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Z$ | 1828.4 | 1698.4 | 1148.2 | 793.2 | 308.1 | 186.3 | 76.6 | 0 | 0 |

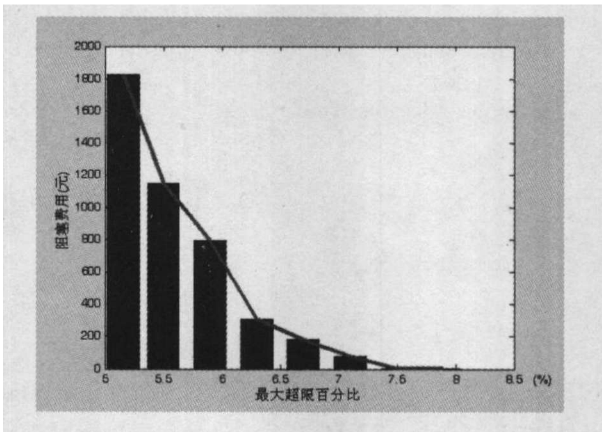


图 2: 不同$\alpha$下的最小阻塞费用

当$\alpha < 5.16\%$，模型无解；$\alpha = 5.16\%$时最小阻塞费用$Z = 1828.4$，购电费用93699元，各机组出力：

$$x_1 = 153, x_2 = 88, x_3 = 228, x_4 = 92.107, x_5 = 152, x_6 = 137.354, x_7 = 85.339, x_8 = 117$$
$$\alpha_1 = 5.16\%, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = 0, \alpha_4 = 0, \alpha_5 = 1.72\%, \alpha_6 = 1.12\%$$

由此可见，线路2,3,4潮流值未超过限值，线路1,5,6潮流值在安全裕度内。

## 参考文献：

[1] 王秀丽，甘志，雷兵，王锡凡. 输电阻塞管理的灵敏度分析模型及算法. http://www.cnki.net, 2004.9.17
[2] 姜启源，谢金星，叶俊. 数学模型（第二版）[M]. 北京：高等教育出版社，2003年8月
[3] 柯进，管霖. 电力市场下的输电阻塞管理技术. http://www.cnki.net, 2004.9.17
[4] 杨洪明，段献忠，何仰赞. 阻塞费用的计算和分摊方法. http://www.cnki.net, 2004.9.17

# Optimizing Management of Transmitting-Electricity's Jam-up in Electricity Market

FAN Zhi-qiang, PAN Zi-jun, DAI Yu-chao
Advisor: XIAO Hua-yong

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072 )

**Abstract:** We present the calculating method of jam-up fee, the algorithm of generating sets' pre-distributing contribution scheme and the model of readjusting the pre-distributing scheme in this paper: Problem 1: According to the 32 groups of experimental data, we use multiple linear regression to found the linear representations, which are the 6 main lines' tidal current values with regard to 8 generating sets' contribution and all the representations pass significance test by using SAS8 software. Problem 2: Both out-order capacity and in-order capacity are calculated according to the difference between liquidation price of pre-distributing scheme and quoted price corresponding to the contribution of re-adjusted scheme. It is proved that jam-up fee equals to the charge's difference between pre-distributing scheme and re-adjusted scheme. Problem 3: There are two methods can be used to obtain the pre-distributing contribution scheme of each generating set. One method gives the algorithm of maximum load each generating set can finish under every interval price. This method has universality and small calculating quantity. Another method is to found nonlinear 0-1 programming model by using goal programming. Problem 4: After testing the pre-distributing scheme in problem 3, we know the pre-distributing scheme will cause jam-up. Considering that the lines' tidal current should not exceed restricted value, we found single goal programming model with the target, minimizing jam-up fee. Problem 5: For the load demand 1052.8MW, we obtain the pre-distributing scheme by using the same method in problem 3. Because this scheme will cause jam-up, we found double objectives programming with one target, minimizing jam-up fee and the other target, minimizing $\alpha$ which is the percentage of excessive part, tidal current absolute value exceeding restricted value, to the given restricted value. In order to reduce potential safety hazard, we choose the minimum $\alpha$=5.16% to get our solution.

**Keywords:** liquidation price; out-order capacity; in-order capacity; jam-up fee; multiple linear regression; goal programming

---

(上接63页)

# A Profit-Oriented Microeconomic Integer Programming Model for Olympics' Mini Supermarket Allocation

XUE Fei, FU Qiang, XIE Jian
Advisor: HU Dai-qiang
( Jinan University, Guangzhou 510632 )

**Abstract:** In this paper, the specific and somewhat specious or paradoxical feature of the data provided is first prudently examined and discriminated by multivariate statistical analysis and common sense. After identified the spectators' in-and-out pattern in graph theory, a simple, straightforward and practical integer programming model, rather than a complicated, theoretical and lofty one, is established to deal with this problem in a profit-versus-cost perspective. As proved again and again by simulation of Lingo and Matlab, the result conforms to reality and relevant economic theory, which could be reasonably serve as one of the realistic plans for the allocation of Mini Supermarket for Olympics 2008 in Peking.

**Keywords:** multivariate statistical analysis; volume of flow of people; integer programming