

# 电力市场的输电阻塞管理模型

戴胜坤

(湖北黄冈职业技术学院机电工程系 湖北·黄冈 438002)

摘要: 本文利用多元线性回归方法、正交变换和优化理论, 针对电力市场的输电阻塞问题建立了数学模型, 并进行了数值实验。

关键词: 电力系统 正交变换 阻塞费用 安全度

中图分类号: TM

文献标识码: A

文章编号: 1007-3973(2007)10-003-1

## 1 问题的分析

电力市场交易规则: 以 15 分钟为一个时段组织交易, 每台机组在当前时段开始时刻前给出下一个时段的报价。各机组将可用出力由低到高分成至多 10 段报价, 每个段的长度称为段容量, 每个段容量报一个价(称为段价), 段价按段序数单调不减。在最低技术出力以下的报价一般为负值; 在当前时段内, 市场交易-调度中心根据下一个时段的负荷预报每台机组的报价、当前出力和出力改变速率, 按段价从低到高选取各机组的段容量或其部分, 直到它们之和等于预报的负荷, 这时每个机组被选入的段容量或其部分之和形成该时段该机组的出力分配预案。最后一个被选入的段价(最高段价)称为该时段的清算价, 该时段全部机组的所有出力均按清算价结算。

输电阻塞管理原则: 调整各机组出力分配方案使得输电阻塞消除; 如果做不到, 还可以使用线路的安全裕度输电, 以避免拉闸限电, 但要使每条线路上潮流的绝对值超过限值的百分比尽量小; 如果无论怎样分配机组出力都无法使每条线路上的潮流绝对值超过限值的百分比小于相对安全裕度, 则必须在用电侧拉闸限电; 当改变根据电力市场交易规则得到的各机组出力分配预案时, 一些通过竞价取得发电权的发电容量不能出力; 而一些在竞价中未取得发电权的发电容量要在低于对应报价的清算价上出力, 因此, 发电商和网方将产生经济利益冲突。网方应该为因输电阻塞而不能执行初始交易结果付出代价, 网方在结算时应该适当地给发电商以经济补偿, 由此引起的费用称之为阻塞费用。网方在电网安全运行的保证下应当同时考虑尽量减少阻塞费用。

## 2 问题的假设

(1) 所给的数据基本无误差; (2) 在电力网络结构确定及投入运行各机组的出力已定的条件下, 电力系统的潮流是最优的; (3) 每个时段的负荷预报和机组出力分配计划的参照时刻均为该时段结束时刻; (4) 机组当前出力是对机组在当前时段结束时刻实际出力的预测值; (5) 假设每台机组单位时间内能增加或减少的出力相同, 该出力值称为该机组的爬坡速率; (6) 由于机组爬坡速率的约束, 可能导致选取它的某个段容量的部分。为了使得各机组计划出力之和等于预报的负荷需求, 清算价对应的段容量可能只选取部分; (7) 各线路上的有功潮流与各个机组的出力是线性关系, 在模型准备中我们会作简要的说明; (8) 各个机组按同一个报价清算; (9)

各线路上的有功潮流与各个机组的出力是线性关系。

## 3 符号说明

$A_{32 \times 8}$ : 各机组出力方案矩阵;  $B_{32 \times 8}$ : 对应于  $A_{32 \times 8}$  的各线路的有功潮流值矩阵;  $C$ : 排序选出的段容量向量;  $D$ : 排序选出的段价向量;  $F$ : 排序选出的段容量的位置向量;  $t$ : 一个时段的时间(15 分钟);  $x_i$ : 第  $i$  个机组的出力;  $y_i$ : 第  $i$  个线路的有功潮流;  $v_i$ : 第  $i$  个机组在一个时段的爬坡速率;  $C_{\#}$ : 时段清算价;  $C_{\#}$ : 序外容量中报价与清算价的差值;  $\omega_i$ : 第  $i$  个线路的潮流极限;  $u_i$ : 第  $i$  个线路的安全裕度;  $m_r$ : 第  $r$  个线路上的有功潮流的限值。

## 4 模型建立与求解

### 4.1 问题一的模型

对于问题 1, 利用统计软件 SPSS 进行多元线性回归分析, 可以得到各线路有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式,  $Y = DX + \gamma$ ,

其中  $Y = (y_1, y_2, \dots, y_6)^T$ ,  $X = (x_1, x_2, \dots, x_8)^T$ , 系数矩阵为:

$$D = \begin{bmatrix} 0.08261 & 0.04776 & 0.05279 & 0.12 & -0.02571 & 0.122 & 0.122 & -0.001518 \\ -0.05472 & 0.128 & -0.0001464 & 0.03322 & 0.08667 & -0.113 & -0.01864 & 0.09853 \\ -0.06939 & 0.06199 & -0.156 & -0.009871 & 0.125 & 0.002356 & -0.002787 & -0.201 \\ -0.03463 & -0.103 & 0.205 & -0.0288 & -0.012021 & 0.005693 & 0.145 & 0.07634 \\ 0.0003721 & 0.243 & -0.0647 & -0.0412 & -0.06545 & 0.07003 & -0.003896 & -0.00917 \\ 0.238 & -0.06069 & -0.07806 & 0.0929 & 0.04663 & -0.0002913 & 0.166 & 0.0003883 \end{bmatrix}$$

$$\gamma = (110.478, 131.325, -108.993, 77.612, 133.133, 120.848)^T.$$

### 4.2 问题二的模型与解答

#### (1) 模型 I

记  $X = (x_1, x_2, \dots, x_8)^T$ ,  $X^{(0)} = (x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_8^{(0)})^T$ ,  $X^{(1)} = (x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_8^{(1)})^T$ ,  $D = (d_1^T, d_2^T, \dots, d_6^T)^T$ ,  $a_0 = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$ ,  $a_i = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 2)$ ,  $A = (a_0^T, d_1^T, d_2^T, \dots, d_6^T)^T$  将  $a_0, a_1, \dots, a_7$  按施密特正交化过程规范正交化得正交矩阵,  $B$ , 记  $B = (b_1^T, b_2^T, \dots, b_7^T)^T$ , 根据施密特正交化过程可知, 存在下三角阵  $P$ , 满足  $D = PB$

设  $X^T = (x_1, x_2, \dots, x_8) = \beta_0 b_0 + \beta_1 b_1 + \dots + \beta_7 b_7$ ,  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_7)^T$ . 可得无阻塞的情况下的模型 I:

$$\min S = \lambda C_{\#} \sum_{i=1}^8 \frac{x_i^{(1)} - x_i + |x_i^{(1)} - x_i|}{2} + \sum_{i=1}^6 C_{\#} \frac{x_i - x_i^{(1)} + |x_i - x_i^{(1)}|}{2}.$$

$$\text{s.t. } x_1 + x_2 + \dots + x_8 = w, \quad |x_i - x_i^{(1)}| \leq v_i t, \quad 0 \leq x_i \leq \omega_i.$$

$$a_i (\beta_0 b_0^T + \beta_1 b_1^T + \dots + \beta_7 b_7^T) \leq m_i \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6).$$

#### (2) 模型

在模型 I 的基础上, 建立在“调整各机组出力分配方案无法使得输电阻塞消除”情况下的模型:

(下转第 99 页)

### 3.2 结果输出系统的建立

结果输出系统的主要功用在于输出仿真计算的数学结果,并需要根据以三维流场图像的形式真实呈现气流粉碎的整个过程。仿真计算系统得出的流场分析和粉碎结果数据,会通过系统内部的链接接口输入到结果输出系统,并在结果输出系统的输出窗口中以数字的形式显示出粉碎的最终结果,以供使用者察看。结果输出系统中的图像显示部分按照仿真计算系统给出的仿真计算数据,接近真实地显示出气流粉碎的整个过程,包括颗粒的受力情况、在流场中的运动轨迹,以及最终的粉碎粒径。在应用图像显示部分进行演示的时候,可以根据实际情况的需要,按比例调节颗粒的速度、直径和其他相关参数,以达到最佳的仿真演示效果。

考虑到与仿真计算系统的链接,结果输出系统的数字结果输出部分采用 Matlab 仿真软件编写,图像显示系统采用当前常用的三维造型动画制作软件 3ds max 制作。图像显示系统也可以采用其它三维仿真软件制作,这里由于 Matlab 软件基于 Visual C++语言开发,为实现整个系统的兼容性,方便实现两部分系统的链接,因而选择同样使用 Visual C++语言开发的 3ds max 软件。另外,3ds max 软件的 reactor 动力学模拟系统,可以实时进行刚体、弹性体碰撞模拟,能够比较真实地显示动力学动画效果。

### 3.3 系统平台的搭建

实际上,整个仿真系统由仿真计算系统和结果输出系统两部分组成。仿真计算系统使用 Access 数据库存储粉体粉碎时粉碎粒径与加工参数和物料特性的函数关系,作为仿真计算的数学依据;采用 Ansys 软件分析粉碎过程的流场情况,作为确定颗粒在流场中的运动轨迹的物理学依据。结果输出系统用 Matlab 仿真软件编写结果输出窗口,三维造型动画制作软件 3ds max 制作图像显示部分。

为实现系统最终的可视化、集成化的仿真目的,在完成了仿真计算系统和结果输出系统两部分的建立之后,需要搭建一个系统平台,将仿真系统的各个部分连接起来,使之成为一个整体的仿真系统。

实现计算处理系统和图像显示系统的连接采用嵌入式

办法。

先使用 Visual C++语言设计出一个框架程序,并将计算处理系统和图像显示系统可作为独立的运行程序整体嵌入框架程序当中。这样,就可以实现气流粉碎碰撞过程的计算、显示一体化功能。

### 4 小结

将计算机仿真技术引入气流粉碎工艺过程中,有着十分重要的意义。在仿真计算系统的建立过程中,如何实现因能量损失而无法粉碎的颗粒所占的百分比,是建立仿真计算系统的主要难点。本文采用了用总体速度降低代替部分颗粒的速度丧失的方法,经实验证明效果相同。

如何实现计算系统和图像显示系统的连接,是实现仿真系统整体功能的关键,系统平台的搭建是整个仿真系统正常运行的保证。将可视化、集成化、智能化的计算机仿真技术应用于气流粉碎过程,是未来研究气流粉碎工艺的一个重要发展方向。

本项目受上海市培养选拔优秀青年教师科研专项基金(05XPYQ49)资助

### 参考文献:

- [1] 凌维业,芮执元,杨萍. 计算机仿真在制造业的应用与发展[J]. 机械研究与应用. 2001-1-26.
- [2] 苏铭德,黄素逸. 计算流体力学基础[M]. 清华大学出版社. 1997.
- [3] 吴子牛. 计算流体力学基本原理[M]. 科学出版社. 2001.
- [4] 清宏计算机工作室. Visual C++编程技巧[M]. 机械工业出版社. 2001.
- [5] 王育坚. Visual C++面向对象编程教程[M]. 清华大学出版社. 2003.
- [6] 张航,李波. 三维动画制作高手 3ds max 6 速成教程[M]. 中国宇航出版社. 2004.

(上接第3页)

$$\min S = AC \sum_{i=1}^n \frac{x_i^{(1)} - x_i + |x_i^{(1)} - x_i|}{2} + \sum_{i=1}^n C_i \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij} - x_{ij}^{(1)} + |x_{ij} - x_{ij}^{(1)}|}{2}$$

$$s.t. \quad x_1 + x_2 + \dots + x_n = W, \quad |x_i - x_i^{(1)}| \leq \delta_i, \quad 0 \leq x_i \leq \theta_i,$$

$$a_i(\beta_0 b_i^0 + \beta_1 b_i^1 + \beta_2 b_i^2 \leq m_i(1 + \mu_i) \quad (i=1,2,3,4,5,6).$$

### 4.3 问题三的解答

利用 MATLAB 编程实现,得到最后加入的机组及相应段容量为(8,7),找到的分配预案为 S=(6,6,5,6,6,6,5,7),下一时段各机组的出力分配预案为:

(150.0 79.0 180.0 100.0 125.0 140.0 95.0 113.4)。

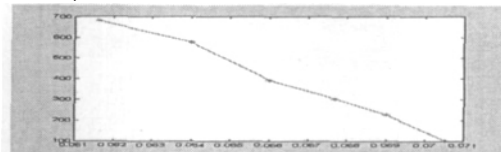
### 4.4 问题四的解答

在下一个时段预报的负荷需求是 1052.8MW 的情况下,按市场规则可以给出下一个时段各机组的出力分配方案,结果见下表:

|    | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ | $\max\{(y_i - m_i)/m_i\}$ | $\bar{x}_i$ |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------------|
| 1  | 150   | 81    | 228   | 95.5  | 135   | 144.2 | 102.1 | 117   | 0.0705                    | 103.24      |
| 2  | 150   | 81    | 225.2 | 95.5  | 138   | 147   | 99.1  | 117   | 0.0690                    | 226.8       |
| 3  | 150   | 81    | 226.2 | 95.5  | 139   | 146   | 98.1  | 117   | 0.0677                    | 302.4       |
| *4 | 150   | 81    | 228   | 95.5  | 140   | 144.2 | 97.1  | 117   | 0.066                     | 392.24      |
| 5  | 150   | 81    | 222.2 | 95.5  | 145   | 150   | 92.1  | 117   | 0.064                     | 578         |
| 6  | 150   | 81    | 228   | 95.5  | 145   | 144.2 | 92.1  | 117   | 0.0616                    | 681.24      |

模型计算过程中取  $\alpha=20\%$ ,  $u=100\%$ 。

综合考虑费用与安全的因素,给出模型五参考的近似最优解(针对于 1052.8),分配预案为(150,81,228,95.5,140,144.2,97.1,117),所对应的费用为 392.4 元,安全度为 0.066(表中带 \* 的行)。



### 参考文献:

- [1] 王锡凡. 现代电力系统分析[M]. 科学出版社, 2003.
- [2] 魏巍. Matlab 应用数学工具箱技术手册[M]. 国防工业出版社, 2004.
- [3] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析第 2 版[M]. 电子工业出版社, 2002.