# B题 电力市场的输电阻塞管理

## **摘要**

本文主要解决了电力市场交易中的输电阻塞管理、优化机组出力分配问题，以及在输电阻塞发生时，分配预案如何调整，安全的输电方案如何制定等相关问题。

根据题目给出的32组实验数据，进行多元线性回归，拟合输电线路和机组出力的近似表达式，对表达式进行了相应了数据验证，证明表达式的正确性。根据输电阻塞管理原则，制定了按权重占比对发电商进行经济补偿。按照电力市场交易规则，依据实验组0给出的当前此刻出力值和各个机组爬坡速率对题目中所给的预报负荷给出一个合理的分配预案，并根据分配预案和近似表达式计算每条线路上的有功潮流值，与线路的潮流限值进行对比，判断是否发生阻塞，优化机组出力分配方案，使输电更加安全合理。

对实验数据进行多元线性回归得到线路潮流值和机组出力值的近似表达式：



根据输电阻塞管理原则，对发生输电阻塞进行了多元非线性规划，利用fmincon函数建立了三种解决方案：消除阻塞、安全裕度、拉闸限电。利用这三种方案，对题目中给出的预报负荷进行了更加优良的分配方案，具体各机组出力情况如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 982.4 | 153.00 | 88.00 | 228.00 | 90.03 | 151.27 | 95.00 | 60.10 | 117.00 |
| 1052.8 | 132.24 | 74.94 | 227.97 | 99.40 | 151.97 | 154.75 | 94.54 | 116.97 |

**关键词：**多元线性回归，多元非线性规划，

# 1 问题重述

## 1.1 问题背景

我国电力市场初期是发电侧电力市场，采取交易与调度一体化的模式。电网公司在组织交易、调度和配送时，必须遵循电网“安全第一”的原则，同时要制订一个电力市场交易规则，按照购电费用最小的经济目标来运作。市场交易-调度中心根据负荷预报和交易规则制订满足电网安全运行的调度计划——各发电机组的出力（发电功率）分配方案；在执行调度计划的过程中，还需实时调度承担AGC（自动发电控制）辅助服务的机组出力，以跟踪电网中实时变化的负荷。

设某电网有若干台发电机组和若干条主要线路，每条线路上的有功潮流（输电功率和方向）取决于电网结构和各发电机组的出力。电网每条线路上的有功潮流的绝对值有一安全限值，限值还具有一定的相对安全裕度（即在应急情况下潮流绝对值可以超过限值的百分比的上限）。如果各机组出力分配方案使某条线路上的有功潮流的绝对值超出限值，称为输电阻塞。当发生输电阻塞时，需要研究如何制订既安全又经济的调度计划。

## 1.2 问题提出

问题1：某电网有8台发电机组，6条主要线路，在某一固定机组出力方案基础上，分别改变了某组的出力情况后，得到各线路潮流值的变化情况的实验数据。根据这些数据，确定各线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式。

问题2：设计一种简明、合理的阻塞费用计算规则，除考虑上述电力市场规则外，还需注意：在输电阻塞发生时公平地对待序内容量不能出力的部分和报价高于清算价的序外容量出力的部分。

问题3：假设下一个时段预报的负荷需求是982.4MW，表3、表4和表5分别给出了各机组的段容量、段价和爬坡速率的数据，试按照电力市场规则给出下一个时段各机组的出力分配预案。

问题4：按照表6给出的潮流限值，检查得到的出力分配预案是否会引起输电阻塞，并在发生输电阻塞时，根据安全且经济的原则，调整各机组出力分配方案，并给出与该方案相应的阻塞费用。

问题5：假设下一个时段预报的负荷需求是1052.8MW，重复问题3~4的工作。

# 2 问题分析

本题主要是为了解决电力市场中输电线路上的有功潮流相关的问题。主要包括：每条线路上的有功潮流与各个发电机组的出力（发电功率）的关系问题；根据下一时段的负荷预报和交易规则制订满足电网安全运行的调度计划，即各发电机组的出力分配方案；输电线路上出现输电阻塞时的机组调整方案等。

## 2.1 问题1分析

为了研究每条线路上的有功潮流与各个发电机组的出力的关系问题。题目给出了在改变了发电机组出力后各线路潮流值的变化数据，根据这些数据，通过多元函数拟合，即可得出以8个发电机组出力为自变量，以各条线路潮流值为因变量的6个函数。

## 2.2 问题2分析

在出现线路阻塞时，网方应该给发电商一定补偿，该补偿费用成为阻塞费用。为了满足在电网安全运行的同时尽量减少阻塞费用，在此之前必须建立一个合理的阻塞费用计算规则，并且最好用公式表示，以便计算之用。

## 2.3 问题3分析

为了给出下一个时段各机组的出力分配预案，先按照各机组段价由小到大排序，再取前面若干个段价，使其与段价对应的段容量总和不小于给定的负荷预报值，即可计算出相应的各机组出力方案，再根据给定的各机组的爬坡速率求出15分钟内各机组出力的变化范围将得到的出力方案适当调整，即可得本问所求的方案。

## 2.4 问题4分析

根据问题3得到的各机组的出力方案以及问题一得到的各出力方案与各线路潮流值的关系式，可计算出该负荷下的各线路潮流值。再结合各线路的潮流限值和相对安全裕度判断是否引起输电阻塞，若出现，则需进一步给出机组调整方案，并计算调整过程中引起的阻塞费用。

## 2.5 问题5分析

当负荷增大时，重复以上问题3、问题4的步骤，可得到类似的结果。此外，随着负荷的增大，可能出现较为严重的输电阻塞问题，这时仅仅依靠调整机组的出力方案也不能解决输电阻塞问题，需要进一步根据输电阻塞管理原则进行处理。

# 3 符号说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 符号 | 含义 | 单位 |
|  | 线路潮流限值 | 单位：兆瓦，记作 |
|  | 线路潮流值 | 单位： |
|  | 预报负荷 | 单位： |
|  | 机组的出力值 | 单位： |
|  | 分配预案中机组的出力值 | 单位： |
|  | 清算价 | 单位：元/兆瓦小时，  记作元 |
|  | 机组中第段的段价 | 单位：元 |
|  | 阻塞费用 | 单位：元 |
|  | 序内容量 | 单位： |
|  | 组段的序外容量 | 单位： |
|  | 相对安全裕度 |  |
|  | 线路潮流值超过的百分比 |  |

# 4 模型的假设

1、 机组当前出力值是以方案0给出的数据为标准。

2、 所有给出的数据均准确无误。

# 5 模型建立与求解

## 5.1 各线路上有功潮流冠以各发电机组出力的近似表达式

根据围绕方案0的32组实验数据，实验数据是关于发电机组出力方案和各条线路上有功潮流，每条线路上的有功潮流值由8台发电机组出力影响。存在多组实验数据且受多个变量作用，寻求近似表达式，直接采用matlab中的多元线性回归函数regrss（）对数据进行拟合，得到各线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式如下：

问题一



以上为保留小数点后两位的结果，可以发现有一些系数小数点后两位均为0或与其他系数相比较小，可认为该自变量的影响可忽略。除去相应的项可得化简式：



下表为上式的统计学分析

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|  | 0.99951 | 0.999602 | 0.999871 | 0.999888 | 0.999588 | 0.999835 |
|  | 5861.519 | 7228.678 | 22351.74 | 25582.58 | 6971.8 | 17454.55 |
|  |  |  |  |  |  |  |

其中，为相关系数，其值越接近1拟合效果越好；为*F*统计量，是与统计量F对应的概率P，当（取0.05）时，拒绝原假设，即回归模型成立。本问中，根据表中数据可知拟合出的结果很好的满足了题意。

## 5.2 阻塞费用计算规则

根据电力交易规则：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。机组受爬坡速率影响及当前时刻的出力值的限制，当预配方案出现阻塞情况时，为了可以达到负荷要求需要增加新的段容量，这些段容量的段价必定要比清算价要高。调整预配方案时，会存在序内部分不出力和序外部分按照比段价低的清算价出力，且序内部分应该等于序外部分。

当阻塞发生时，发电商亏损部分为序内容量不出力部分和序外容量出力部分段价高于清算价的部分。亏损费用为：序内容量亏损=清算价\*序内容量 序外容量亏损=序外容量\*（段价-清算价）。为公平合理地对发电商进行经济补偿，每部分的亏损按照其亏损权重进行补偿，权重的分配由网方根据不同情况做出调整，设定序内亏损权重为a，序外亏损权重为b， a+b=1，补偿费用为 K=a\*序内亏损+b\*序外亏损。



## 5.3 分配预案

1、根据各机组当前的出力和爬坡速率计算出在下一时段最大和最小的出力值，将其相加起来得到下一时段能达到的最大和最小负荷，跟预报负荷进行比较。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 当前此刻出力值 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 最大出力值 | 153 | 88 | 228 | 99 | 152 | 155 | 102.1 | 117 |
| 最小出力值 | 87 | 58 | 132 | 60.5 | 98 | 95 | 60.1 | 63 |

2、若预报负荷大于最大负荷，所有机组出力都为最大出力值；若预报负荷小于最小负荷，所有机组出力都为最小出力值。

3、若预报负荷处于最大和最小负荷之间，根据电力市场交易规则，对所有的机组段价进行由低到高排序，按照此排序依次选取相对应的段容量，使其段容量之和等于预报负荷。各个机组被选取的段容量之和不能超过该机组在下一时段所能达到的最大负荷。

根据上述给出的分配预案处理方案，利用MATLAB计算，得到各个机组出力分配情况。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 982.4 | 150 | 79 | 180 | 99.5 | 125 | 140 | 95 | 113.9 |
| 1052.8 | 150 | 81 | 218.2 | 99.5 | 135 | 150 | 102.1 | 117 |

## 5.4 解决阻塞

根据5.3所得到的分配预案和5.1中每条线路上有功潮流值和机组出力值间的关系，得出每条线路上的有功潮流值，将其和限值进行比较，存在一条线路超过限值即为产生阻塞，就需要根据消除阻塞规则进行调整机组出力值。根据输电阻塞管理规则，建立相对应的处理方案和数学模型。

5.4.1 消除阻塞

产生阻塞时，首先调整各机组出力分配方案使得输电阻塞消除。

1、 调整过后各个机组出力值的和应该等于预报负荷

2、 每个机组的出力取值范围受到当前此刻出力值和爬坡速率的限制

3、 每条线路上的潮流绝对值不能超过限值

4、 根据5.2给出的阻塞费用规则，在调整过程中使阻塞费用最小



5.4.2 安全裕度

若无法调整出力方案使阻塞消除，可以使用线路的安全裕度输电。

1、 各个机组出力值的和等于预报负荷

2、 每个机组的出力取值范围受到当前此刻出力值和爬坡速率的限制

3、 每条线路上的潮流绝对值超出限值部分不能大于相对安全裕度

4、 使每条线路上潮流的绝对值超过限值的百分比尽量小





5.4.3 拉闸限电

无法分配各机组出力使每条线路上的潮流值超过限值的百分比小于相对安全裕度，就必须在用电侧拉闸限电

1、 各个机组出力值的和小于预报负荷

2、 每个机组的出力取值范围受到当前此刻出力值和爬坡速率的限制

3、 每条线路上的潮流绝对值超过限值的百分比不能大于相对安全裕度

4、 使各个机组出力值的和取最大值



将预报负荷982.4MW的分配预案代入线路潮流值和机组出力的关系式中，得到每条线路的潮流值，将其和每条线路的限值进行比较，下表所示：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 982.4 | 173.32 | 141.01 | -150.93 | 120.92 | 136.84 | 168.53 |
| 1052.8 | 177.26 | 141.18 | -156.17 | 129.76 | 134.85 | 167.09 |
| 限值 | 165.00 | 150.00 | 160.00 | 155.00 | 132.00 | 162.00 |

根据输电阻塞管理规则，调整各机组的出力值，使每条线路的潮流值不超过限值。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 982.4 | 153.00 | 88.00 | 228.00 | 90.03 | 151.27 | 95.00 | 60.10 | 117.00 |
| 1052.8 | 132.24 | 74.94 | 227.97 | 99.40 | 151.97 | 154.75 | 94.54 | 116.97 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 982.4 | 165.00 | 149.99 | -155.37 | 124.54 | 131.56 | 159.52 |
| 1052.8 | 175.23 | 142.45 | -154.69 | 131.73 | 132.00 | 162.00 |
| 限值 | 165.00 | 150.00 | 160.00 | 155.00 | 132.00 | 162.00 |

# 6 模型评价与推广

对于处理无法消除用电阻塞只能使用线路的安全裕度输电的问题时，我们将安全作为首选目标，让每条线路上潮流的绝对值超过限值的百分比尽量小，模型并未考虑阻塞费用补偿的问题。

# 7 考文献

[1] 颜文勇，数学建模[M]，北京：高等教育出版社，2011。

[2]

# 8 附录

## 8.1 问题1主程序

## 8.2 问题2主程序

## 8.3 问题3主程序

## 8.4 相关自定义函数

(1) get\_group函数

(5) 其他说明