**电力市场的输电阻塞管理**

**摘要**

本文讨论了电力市场的输电分配问题，利用线性拟合和线性规划，在求解出有功潮流关于出力的近似表达式和阻塞费用计算规则的基础上，为给定的下一时段预报负荷需求设计出力分配预案。

对于问题1，我们以各机组相对于当前出力的变化值作为自变量，以各线路关于对应机组的有功潮流相对于与当前的变化值为因变量，进行一次拟合，得到48个出力变化值关于有功潮流变化值的函数，将每条线路下8台机组对应的8个函数进行累加，得到6条线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式。

对于问题2，

对于问题3，我们建立了以机组购电总费用最小的目标规划模型，求出了下一时段预报负荷需求为982.4时的清算价为303元，最终求得各机组出力分配预案，结果如下表所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 计划出力 | 150 | 80 | 180 | 99.5 | 125 | 140 | 95 | 113.9 |

对于问题4，先根据问题1中算出的近似表达式，求得输电阻塞的线路为1、5、6；我们再在问题3的目标规划模型的基础上，增加有功潮流限值这一约束条件进行求解，调整后的出力分配预案见下表：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 调整出力 |  |  |  |  |  |  |  |  |

对于问题5，我们用问题3中建立的目标规划模型，求得清算价为356元，初始的出力分配预案如下表：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 计划出力 | 150 | 81 | 218.2 | 99.5 | 135 | 150 | 102 | 117 |

根据问题1中算出的近似表达式，求出输电阻塞的线路为1、5、6。我们再在问题4的基础上增加了使各线路有功潮流中超出安全限值之和最小的目标函数，建立双目标规划模型，调整后的出力分配预案见下表：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 调整出力 |  |  |  |  |  |  |  |  |

**关键词：线性拟合 目标规划 输电阻塞**

1. **问题重述**

我国电力正积极、稳步地进行系统的市场化改革。可以预计，随着我国用电紧张的缓解，电力市场化将进入新一轮的发展，同时，给有关产业和研究部门带来了可预期的机遇和挑战。

电力从生产到使用的四大环节——发电、输电、配电和用电是瞬间完成的。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，即各发电机组的出力分配方案；在执行调度计划的过程中，还需实时调度承担AGC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。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。

题目给出了电力市场交易规则、市场交易-调度中心在当前时段内要完成的具体操作过程和输电阻塞管理原则。

你需要做的工作如下：

1. 某电网有8台发电机组，6条主要线路，表1和表2中的方案0给出了各机组的当前出力和各线路上对应的有功潮流值，方案1~32给出了围绕方案0的一些实验数据，试用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。
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。
3. 假设下一个时段预报的负荷需求是982.4*MW*，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。
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。
5. 假设下一个时段预报的负荷需求是1052.8*MW*，重复3~4的工作。
6. **基本假设**
7. 假设题目中所给的数据都是真实可靠的；
8. 假设每条线路上的有功潮流的影响因素只有电网结构和各发电机组的出力两个因素；
9. 假设电网的发电机组8台发电机组、6条线路之间互不影响；
10. 假设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；
11. 假设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；
12. 清算价对应的段容量可能只选取部分。

1. **符号说明和名词解释**

**3.1符号说明**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **符号** | **含义** | **单位** |
|  | 线路序号 | — |
|  | 机组序号 | — |
|  | 第个机组当前出力 |  |
|  | 第条线路当前有功潮流 |  |
|  | 第个机组对线路的实验出力 |  |
|  | 第条线路关于第个机组的实验有功潮流 |  |
|  | 第个机组对线路的实验出力与当前出力之差 |  |
|  | 第条线路关于第个机组有功潮流实验值与当前值之差 |  |
|  | 第个机组下一阶段的出力 |  |
|  | 第条线路下一阶段的有功潮流 |  |
|  | 购电总费用 | 元 |
|  | 阻塞费用 | 元 |
|  | 一个时段的时长 |  |
|  | 第个机组的爬坡速率 |  |
|  | 下一个时段预报的负荷需求 |  |
|  | 相对安全裕度 |  |
|  | 段的序号 | — |
|  | 第个机组第个段容量被选入的百分比 |  |
|  | 第条线路的安全限值 |  |

**3.2名词解释**

1.最低技术出力：发电机组在保证连续、安全、稳定运行的条件下所允许的最小出力。

1. **问题分析**
   1. **问题1分析**

问题1要求我们根据题目所给数据，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。为了分析出力值关于有功潮流值的变化，先以每个机组的出力相对于方案0当前值的变化量作为自变量，以相对应的各条线路上有功潮流相对于方案0当前值的变化量作为因变量，控制8个不同自变量的变化情况，使用最小二乘法进行一次拟合，得到各条线路有功潮流关于各机组出力的线性方程。将每条线路上8个方程累加，得到近似表达式。

**4.2 问题2分析**

问题2要求我们考虑多方面因素，设计一种简明、合理的阻塞费用计算规则。为消除输电阻塞，各机组重新分配处理方案会导致机组出力的增加或减少，于是将机组出力增加和不变分为一类，减少分为一类。增加出力的机组因为要按清算价出力，而实际多出力的段容量的段价高于清算价，因此电网要补偿差价；而少出力的机组，原来可以按清算价出售相应段容量，但是应为减少了该段段容量，因此也要补上差价。两者之和就是阻塞费用。

**4.3 问题3分析**

问题3要求我们给出下个阶段的处理分配预案，就要综合考虑现阶段的出力方案，各机组的段容量、段价和爬坡速率。由题目中方案0可知现阶段各机组的出力，各机组的爬坡速率决定了该机组在下个时间段（15min）内可以增加或减少的出力，因此下一时段段容量的选取受到爬坡速率的约束。依照按段价从低到高选取各机组段容量的思想，将个段容量按照段价由低到高排序，在不超过爬坡速率决定的容量变化区间内，选取各机组对应的段容量，直到总段容量达到下一个时段的预报负荷。

**4.4 问题4分析**

问题4要求我们要检查得到的处理分配预案是否会引起输电阻塞，就要利用问题1求出各机组与各线路之间的线性关系求解出各线路的实际潮流值。因此利用问题一的近似表达式求出潮流值，结合问题三中得出的各机组分配预案得出实际各线路的潮流值，然后与表六的潮流限值比较，看是否会有输电阻塞情况产生。没有就按原预案执行，有，就在各线路潮流值不超过潮流限值的情况下，寻求各机组出力调整，令调整后出力总费用最低。阻塞费用利用问题二的模型求解。

**4.5 问题5分析**

问题5要求重复问题3-4的步骤，首先由问题三的思想求解出下个时段的各机组的初始出力预案，然后求解出各线路在初始预案下的潮流值，与潮流限值比较。因为主要是在安全的情况下，寻求阻塞费用最低的调整方案。考虑到会有不可避免超过潮流限值的情况发生，所以令各线路超过潮流限值在潮流限值与潮流裕度区间所占的百分比之和最小为目标，来寻找阻塞费用最小的出力方案。为体现出安全第一的原则，将安全赋予较大权值，用一个加权函数表示双目标。

1. **模型的建立与求解**

**5.1问题1的建模与求解**

**5.1.1.模型的建立**

1. 模型分析

令为线路编号，为机组编号，其中

令方案0中各个机组当前出力值为，方案1~32中机组对线路的实验出力为；

令方案0中各个线路当前有功潮流值为，方案1~32中线路关于机组的实验有功潮流为。

根据题目中的数据，我们首先画出中机组1对线路1的实验出力值相对于方案0中当前值的变化值关于其对应的线路1有功潮流变化值的图形。发现线路1的有功潮流变化值几乎呈直线上升，我们通过分析决定用一次拟合。

利用Matlab软件拟合出机组1的出力变化值关于线路1的有功潮流变化值的函数。拟合函数图像如图1：



图1 线路1变化值关于机组1变化值的拟合曲线

其他的机组出力变化值与其对应的线路的有功潮流变化值也同样具有上述的线性关系。因此，我们使用一次拟合的方法，对第条线路有功潮流变化值关于机组出力变化值的函数表达式求解。

2.模型建立

以方案1~32中机组对线路的实验出力与当前出力之差作为自变量，

即，

以机组对应的线路有功潮流实验值与当前潮流值之差作为因变量，

即，

建立如下模型来求解第条线路有功潮流变化值关于机组出力变化值的近似表达式：

， 公式（1）

其中均为未知参数

**5.1.2模型的求解**

利用最小二乘法，求解模型：

当时，给定的值，

构造次多项式：

；

并且使下式取得最小值：

；

在最小二乘意义上有：

；

其中

利用软件中的函数进行求解，得出：



得到线路1有功潮流变化值关于机组1出力变化值的近似表达式为：



同理，赋予不同值，即可得到各线路有功潮流值对应的参数值，如表1和表2所示：

**表1 值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组  线路 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 0.0814 | -0.055 | -0.068 | -0.0355 | -0.003 | 0.2346x |
| 2 | 0.0482 | 0.1264 | 0.0627 | -0.1046 | 0.2408 | -0.0619x |
| 3 | 0.0523 | -0.0009 | -0.1565 | 0.2048 | -0.0662 | -0.0790x |
| 4 | 0.1197 | 0.0331 | -0.0099 | -0.0207 | -0.0414 | 0.0930x |
| 5 | -0.0277 | 0.0860 | 0.1258 | -0.0140 | -0.0662 | 0.0447x |
| 6 | 0.1187 | -0.1149 | 0.0040 | 0.0042 | 0.0689 | -0.0028x |
| 7 | 0.1259 | -0.0170 | -0.0039 | 0.1472 | -0.0021 | 0.1677x |
| 8 | -0.0021 | 0.0988 | -0.1994 | 0.0743 | -0.0104 | -0.0011x |

**表2 值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组  线路 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | -0.0284 | -0.0337 | +0.0008 | -0.0203 | -0.0532 | +0.0104 |
| 2 | -0.0664 | -0.0275 | +0.0321 | -0.0207 | -0.0280 | -0.0478 |
| 3 | -0.0415 | -0.0129 | +0.0410 | -0.0342 | +0.0010 | -0.0271 |
| 4 | -0.0512 | -0.0276 | +0.0396 | -0.0554 | -0.0410 | -0.0703 |
| 5 | -0.0113 | -0.0253 | +0.0140 | +0.0040 | -0.0362 | -0.0160 |
| 6 | -0.0082 | -0.0026 | +0.0113 | -0.0175 | -0.0341 | -0.0182 |
| 7 | -0.0012 | -0.0169 | +0.0227 | -0.0132 | -0.0262 | -0.0425 |
| 8 | -0.0490 | -0.0480 | +0.0009 | +0.0022 | -0.0275 | -0.0296 |

将对应的和值带入公式（1），即得第条线路有功潮流变化值关于机组出力变化值的近似表达式。因为自变量为八台机组的出力变化值，因此，每条线路有功潮流变化值有八个表达式。

忽略1~8台发电机组的交互影响，将每条线路有功潮流变化值的八个表达式累加，即得各线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式。

因此，各线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达公式为：

； 公式（2）

由题目中所给数据可知各线路的当前潮流值为：



将当前潮流值代入公式（2），即可得到**各线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式，如表3所示：**

**表3 近似表达式**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 线路 | 近似表达式 | 线路 | 近似表达式 |
| 1 |  | 4 |  |
| 2 |  | 5 |  |
| 3 |  | 6 |  |

* 1. **问题2的建模与求解**

**5.2.1阻塞费用的定义**

令购电费最小时确定的时段清算价为：

各机组按初始交易结果的出力分别为：

则初始交易结果的购电总费用为：



由输电阻塞管理原则可知，为了阻止输电阻塞产生，需要改变各机组的出力分配预案，有的机组出力会减少，有的机组出力会增大，且更改后一些序内容量不能出力；而一些序外容量要在低于对应报价的清算价上出力。

因此，我们对阻塞费用和序外容量的单价定义如下：

1.阻塞费用是更改出力方案后的购电总费用与初始交易结果的购电总费用的差值，即：



其中，表示阻塞费用；表示更改出力方案后的购电总费用；表示初始交易结果的购电总费用。

1. 序外容量的单价为初始交易结果的清算价格。

**5.2.2阻塞费用的计算规则**

当线路发生输电阻塞时，采用使购电总费用最小的目标函数，重新调整初始交易结果中各机组的出力，使输电阻塞消除或尽可能小，我们将调整后的机组分为两类：

1. 对于调整后出力增大或不变的机组：

增加的出力值为：

因为出力增大需要增加的出力费用单价为清算价与该机组出力的段价之差，令其为：

因此，调整后出力增大或不变的机组购电总费用为上述两者乘积与该机组初始交易结果的购电总费用之和，即：





其中，表示调整后出力增大的购电总机组费用；表示第个机组调整后的出力值；表示第个机组初始交易结果的出力值；表示清算价与第个机组出力的段价之差；表示购电费用最小时确定的时段清算价。

1. 对于调整后出力减少的机组：

减少的出力值为：

因为出力减少需要补偿给发电商的每单位出力的差价为：

因此，调整后出力减少的机组购电总费用为上述两者乘积与该机组初始交易结果的购电总费用之和，即：





其中，表示调整后出力减少的机组购电总费用；表示第个机组初始交易结果的出力值；表示第个机组调整后的出力值；表示清算价与第个机组出力的段价之差；表示购电费用最小时确定的时段清算价。

**综上所述，阻塞费用的计算规则为：**



其中，表示阻塞费用；表示调整后出力增大或不变的机组购电总费用；表示调整后出力减少的机组购电总费用；初始交易结果的购电总费用。

**5.3 问题3的建模与求解**

**5.3.1模型的建立**

问题3要求我们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，由于我们需要在使下一个时段预报的负荷需求为982.4的基础上，得到尽可能小的清算价，并且各机组的出力分配受段容量、段价和爬坡速率三种因素的影响，因此我们对出力分配预案进行分布求解。我们先将清算价的计算简化为对8个机组计划出力状态下最终段价的求解，建立一个单目标规划模型：

1. 决策变量

我们引入一决策变量，它表示第个机组在下一阶段出力分配预案中的计划出力。由电力市场规则，计划出力计算公式如下：



1. 目标函数

将单个机组的购电费用求解简化为对段价与出力之积的求和，则购电总费用为8个机组购电费用之和。因此使清算价尽可能小的问题转化为在下一时段负荷需求固定的情况下，将下一时段出力分配预案的购电总费用控制的尽可能小，即：



其中，表示下一时段出力分配预案的购电总费用；表示机组下一时段的购电费用。

1. 约束条件

①由题目所给的爬坡速率定义，下一时段机组计划出力值应满足关于当前机组出力值的范围，即



其中，表示机组当前出力；表示机组的爬坡速率；表示一个时段的时长，即。

②下一个时段预报的负荷需求为8个机组的计划出力之和，即



其中为下一个时段预报的负荷需求，即。

③下一时段各机组的计划出力值必然不为负数，且小于8个机组计划出力中的最大值，即



**综上所述，我们得到出力预案分配模型（模型（1））为：**

目标函数： 

约束条件：

**模型中的关键符号解释：**

表示第个机组在下一阶段出力分配预案中的计划出力；表示机组当前出力；表示一个时段的时长，即；表示机组的爬坡速率；为下一个时段预报的负荷需求，即；表示相对安全限值；表示段的序号；表示第个机组第个段容量被选入的百分比

**5.3.2模型的求解**

当前负荷需求为：

计划负荷需求为：

则各线路需要在当前负荷需求的基础上增加的出力值总和为：



依次选择剩余段价的最小值，将其对应的段容量累加，直至累加和为108.3，段价选择结果如表4所示：

**表4 机组段价选择表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组\段 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | -505 | 0 | **124** | 168 | 210 | 252 | 312 | 330 | 363 | 489 |
| 2 | -560 | 0 | 182 | 203 | **245** | 300 | 320 | 360 | 410 | 495 |
| 3 | -610 | 0 | 152 | 189 | **233** | 258 | 308 | 356 | 415 | 500 |
| 4 | -500 | 150 | 170 | **200** | 255 | 302 | 325 | 380 | 435 | 800 |
| 5 | -590 | 0 | 116 | 146 | 188 | **215** | 250 | 310 | 396 | 510 |
| 6 | -607 | 0 | 159 | **173** | 205 | 252 | 305 | 380 | 405 | 520 |
| 7 | -500 | 120 | 180 | **251** | 260 | 306 | 315 | 335 | 348 | 548 |
| 8 | -800 | 153 | **183** | 233 | 253 | 283 | 303 | 318 | 400 | 800 |

说明：①加粗字体标注的段价对应各机组当前出力状态下的最后被选入的段容量

②下划线字体标注的段价为应机组出力状态为0的段价

③双下划线字体标注的段价对应各机组计划出力最后被选入的段容量

最后一个被选入的段价为303，则清算价格为303。

利用Lingo软件中的min()与for()语句进行求解，**得到下一个时段各机组出力分配预案，结果见表5**：

**表5 下一个时段各机组的出力分配预案表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 计划出力 | 150 | 79 | 180 | 99.5 | 125 | 140 | 95 | 113.9 |

**5.4 问题4的建模与求解**

**5.4.2模型分析**

由题目所给的输电阻塞管理规则，当第条线路上当前有功潮流值绝对值超过安全限值，即：



则可认定第条线路上发生输电阻塞。

将表5出力分配预案中各机组的计划出力值，代入问题1表3的各线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式，得到各条线路的有功潮流值如表6所示：

**表6 各线路有功潮流值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 线路 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 限值 | 165 | 150 | 160 | 155 | 132 | 162 |
| 当前值 | 173.1294 | 140.7980 | 150.6096 | 120.6760 | 136.4826 | 168.2388 |

可见，线路1,5,6的当前有功潮流值超过安全限值，会发生输电阻塞。

因此，应在问题3中所建模型（1）的基础上增加约束条件，使网方给发电商的阻塞费用最少。

**5.4.1模型的建立**

问题4在问题3的基础上增加了潮流限值这一要求，使各机组在保证安全的基础上，得到的清算价尽可能小。

因此，我们在问题3中模型（1）的基础上，增加一个约束条件，令各线路下一个时段的有功潮流值不能超过该线路的潮流限值，即：

 其中

其中，表示线路下一阶段的有功潮流；表示线路的有功潮流限值。

**因此，将模型（1）改进成模型（2），如下所示：**

目标函数： 

约束条件：

**5.4.2模型的求解**

用Lingo软件中的min()与for()语句对其进行求解，**得到调整后的下一个时段各机组出力分配预案，结果见表7**：

**表7 问题4下一个时段各机组的出力分配预案表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 调整出力 |  |  |  |  |  |  |  |  |

**5.4.3模型的改进**

初始分配预案的模型略简陋，需要细化。

考虑阻塞费用模型，用调整后的价格减去调整前的价格，四分之一是表示一个时间段15min的阻塞费用，题目中是给的一个小时的价格。

将目标函数改进为：



**5.5问题5的建模与求解**

问题5将下一个时段预报的负荷需求增至1052.8，沿用上述两问的思路进行分析。

**5.5.1初始出力分配预案**

根据问题3中模型（1），令下一阶段的负荷需求，利用Lingo软件中的min()与for()语句求得清算价为356元，**最终求得各机组出力分配方案如表8所示：**

**表8 问题5出力分配预案**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 计划出力 | 150 | 81 | 218.2 | 99.5 | 135 | 150 | 102 | 117 |

**5.5.2调整后的出力分配预案**

**5.5.2.1模型的建立**

将表8出力分配预案中各机组的计划出力值，代入问题1表3的各线路上有功潮流关于各发电机组出力的近似表达式，得到各条线路的有功潮流值如表9所示：

**表9 问题5各线路有功潮流值**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 线路 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 限值 | 165 | 150 | 160 | 155 | 132 | 162 |
| 安全裕度 | 13% | 18% | 9% | 11% | 15% | 14% |
| 最大限值 | 186.45 | 177 | 174.4 | 172.05 | 151.8 | 184.68 |
| 当前值 | 176.9475 | 140.9476 | -155.9047 | 129.5004 | 134.4309 | 166.6396 |

发现线路1,5,6的当前有功潮流值超过安全限值，会发生输电阻塞。

因此对问题4的模型（2）进行优化求解。

1. 目标函数

我们得到的初始分配方案中，有部分线路甚至超出相对安全裕度所规定的最的限制。因此，除了使总购电费用最小外，还应增加目标函数，将各线路超出安全限值的比例最小化问题转化为各线路中超出安全限值之和最小，即：



其中，表示第条线路的安全限值；表示相对安全裕度。

2.约束条件

由相对安全裕度的定义，下一个时段的有功潮流值不能超过该线路的相对安全裕度，将模型2中第四个约束条件优化为：



**因此，将模型（2）改进成模型（3），结果如下所示：**

目标函数：

 

约束条件：

其中，表示第条线路的安全限值；表示第个机组第个段容量被选入的百分比；表示第个机组在下一阶段出力分配预案中的计划出力；表示机组当前出力；表示一个时段的时长，即；表示机组的爬坡速率；为下一个时段预报的负荷需求，即；表示相对安全裕度；表示段的序号；表示第个机组第个段容量被选入的百分比

**5.5.2.2模型的求解**

我们用一个目标函数结合现有的双目标。根据题，意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，因此，我们赋予安全更大的权值，所以我们**用一个加权目标函数表示双目标，即将模型改进成如下所示：**

目标函数：

约束条件：

用Lingo软件中的min()与for()语句对其进行求解，**得到调整后的下一个时段各机组出力分配预案，结果见表10**：

**表10 问题5下一个时段各机组的出力分配预案表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 调整出力 |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. **模型的评价与推广**

**6．1模型的评价**

**6,1.1模型的优点：**

1、为使计算阻塞费用更简便，直接通过调整后的最低购电价格减去调整前的最低购电价格进行求解。

2、在建立目标规划模型时，以既安全又经济的要求为前提，通过对目标函数分别加权，在安全（即各线路超过安全限值的百分比之和最低）第一的情况下，寻求经济最优的方案。

3、在求解出力分配预案时，考虑到问题5的重复，因此将模型细化，通过出力分配预案就可以求解出调整后的分配预案，算法更加简便。

**6.2.2.模型的缺点：**

1、由于时间紧迫，我们对模型没有检验，可能会使准确度降低。

**七、参考文献**

[1]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/kcms/detail/detail.aspx?filename=DLZS200205003&dbcode=CJFQ&dbname=cjfd2002&v=" \t "http://www.cnki.net/kcms/detail/_blank)，电力自动化设备，2002年

[2]司守奎，孙兆亮.，数学建模算法与应用，北京：国防工业出版社，2015年

[3]余胜威，MATLAB数学建模经典案例实战，北京：清华大学出版社，2015年

[4]曹旭东，数学建模原理与方法，北京：高等教育出版社，2014年

**附 录**

**（一）程序**

**问题一matlab程序：**

x=[0;13.02;9.63;38.77;25.32]';

y=[0;1.03;0.73;3.15;2.01]';

a1=polyfit(x,y,1);

x1=[0:50];

y1=a1(2)+a1(1)\*x1;

%plot(x,y,'\*');

%hold on

%plot(x1,y1);

p1=polyval(a1,x);

fprintf('y=%.4fx+%.4f\n',a1(1),a1(2));

**问题三Lingo程序：**

110 0 40 0 30 0 20 40 0 40

55 5 10 10 10 10 15 0 0 1

75 5 15 0 15 15 0 10 10 10

95 0 10 20 0 15 10 20 0 10

50 15 5 15 10 10 5 10 3 2

70 0 20 0 20 0 20 10 15 5;

P0=

120 73 180 80 125 125 81.1 90;

V=2.2 1 3.2 1.3 1.8 2 1.4 1.8;

A0=164.5228 140.6755 144.0876 118.9349 135.1948 157.4489;

A=

0.0814 0.0482 0.0523 0.1197 -0.0277 0.1187 0.1259 -0.0021

-0.055 0.1264 -0.0009 0.0331 0.0860 -0.1149 -0.0170 0.0988

0.068 -0.0627 0.1565 0.0099 -0.1258 -0.004 0.0039 0.1994

-0.0355 -0.1046 0.2048 -0.0207 -0.014 0.0042 0.1472 0.0743

-0.003 0.2408 -0.0662 -0.0414 -0.0662 0.0689 -0.0021 -0.0104

0.2346 -0.0619 -0.079 0.093 0.0447 -0.0028 0.1677 -0.0011;

L=

165 150 160 155 132 162;

enddata

min=@sum(LINK(I,J):C(I,J)\*K(I,J)\*B(I,J));

@sum(POWER(I):(@sum(PERPRICE(J):C(I,J)\*K(I,J))))=982.4;

@for(POWER(I):@sum(PERPRICE(J):K(I,J)\*C(I,J)-P0(I))>=-15\*V(I));

@for(POWER(I):@sum(PERPRICE(J):K(I,J)\*C(I,J)-P0(I))<=15\*V(I));

@FOR(ROUT(I):@sum(POWER(J):A(I,J)\*@sum(PERPRICE(X):K(J,X)\*C(J,X)))+A0(I)<L(I));

@FOR(LINK(I,J)|J #NE#1:@bnd(0,K(I,J),1));

@for(POWER(I):K(I,1)\*C(I,1)=C(I,1));

End

（二）问题1机组出力变化值和线路有功潮流变化值

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 方案 | 出力变化值 | 线路1变化值 | 线路2变化值 | 线路3变化值 | 线路4变化值 | 线路5变化值 | 线路6变化值 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 13.02 | 1.03 | -0.74 | -0.89 | -0.46 | -0.07 | 3.07 |
| 2 | 9.63 | 0.73 | -0.62 | -0.67 | -0.39 | -0.11 | 2.29 |
| 3 | 38.77 | 3.15 | -2.16 | -2.66 | -1.37 | -0.03 | 9.12 |
| 4 | 25.32 | 2.01 | -1.42 | -1.67 | -0.96 | -0.03 | 5.95 |
| 5 | 5.596 | 0.16 | 0.63 | 0.41 | -0.66 | 1.28 | -0.47 |
| 6 | 2.45 | 0.02 | 0.26 | 0.18 | -0.27 | 0.58 | -0.19 |
| 7 | 17.487 | 0.81 | 2.16 | 1.09 | -1.85 | 4.22 | -1.1 |
| 8 | 10.848 | 0.43 | 1.41 | 0.76 | -1.13 | 2.54 | -0.73 |
| 9 | 51.39 | 2.65 | -0.05 | -8.01 | 10.49 | -3.4 | -4.09 |
| 10 | 18.48 | 0.93 | -0.05 | -2.83 | 3.76 | -1.23 | -1.46 |
| 11 | 32.64 | 1.67 | -0.05 | -5.08 | 6.66 | -2.16 | -2.6 |
| 12 | 10.55 | 0.45 | -0.02 | -1.57 | 2.07 | -0.69 | -0.92 |
| 13 | -4.143 | -0.55 | -0.14 | 0.07 | 0.03 | 0.13 | -0.49 |
| 14 | -14.042 | -1.74 | -0.53 | 0.22 | 0.22 | 0.53 | -1.38 |
| 15 | 7.258 | 0.76 | 0.23 | -0.07 | -0.25 | -0.38 | 0.57 |
| 16 | 17.824 | 2.1 | 0.53 | -0.09 | -0.42 | -0.77 | 1.59 |
| 17 | 25.71 | -0.71 | 2.16 | 3.28 | -0.34 | -1.69 | 1.14 |
| 18 | 16.58 | -0.51 | 1.42 | 2.1 | -0.24 | -1.17 | 0.68 |
| 19 | 7.37 | -0.21 | 0.57 | 0.95 | -0.09 | -0.56 | 0.32 |
| 20 | 31.93 | -0.89 | 2.74 | 4 | -0.45 | -2.16 | 1.43 |
| 21 | 13.88 | 1.57 | -1.58 | 0.05 | 0.01 | 0.89 | -0.1 |
| 22 | 6.21 | 0.76 | -0.73 | 0.06 | 0 | 0.37 | -0.02 |
| 23 | 16.71 | 1.97 | -1.92 | 0.08 | 0.06 | 1.11 | -0.1 |
| 24 | 24.29 | 2.91 | -2.8 | 0.11 | 0.1 | 1.67 | -0.04 |
| 25 | -20.518 | -2.57 | 0.34 | 0.12 | -3.06 | 0.06 | -3.43 |
| 26 | -10.138 | -1.24 | 0.13 | 0.09 | -1.53 | 0 | -1.76 |
| 27 | -16.246 | -2.08 | 0.27 | 0.04 | -2.35 | -0.04 | -2.81 |
| 28 | -5.571 | -0.72 | 0.07 | 0.07 | -0.85 | -0.04 | -1.01 |
| 29 | 14.84 | -0.12 | 1.4 | -2.95 | 1.12 | -0.16 | -0.04 |
| 30 | 21.22 | -0.08 | 2.07 | -4.2 | 1.59 | -0.28 | -0.06 |
| 31 | 8.092 | -0.11 | 0.69 | -1.63 | 0.59 | -0.15 | -0.08 |
| 32 | 30.44 | -0.09 | 2.97 | -6.09 | 2.25 | -0.32 | -0.05 |