

2004 高教社杯全国大学生数学建模竞赛题目

(请先阅读“对论文格式的统一要求”)

B 题 电力市场的输电阻塞管理

我国电力系统的市场化改革正在积极、稳步地进行。2003 年 3 月国家电力监管委员会成立, 2003 年 6 月该委员会发文列出了组建东北区域电力市场和进行华东区域电力市场试点的时间表, 标志着电力市场化改革已经进入实质性阶段。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, 这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。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。

● 电力市场交易规则:

1. 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, 表示愿意付费维持发电以避免停机带来更大的损失。

2. 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(见下面注释), 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(初始交易结果)。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。

注释:

- (a) 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。
- (b) 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。
- (c) 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。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。
- (d) 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。

市场交易-调度中心在当前时段内要完成的具体操作过程如下:

- 1、监控当前时段各机组出力分配方案的执行, 调度 AGC 辅助服务, 在此基础上给出各机组的当前出力值。
- 2、作出下一个时段的负荷需求预报。
- 3、根据电力市场交易规则得到下一个时段各机组出力分配预案。
- 4、计算当执行各机组出力分配预案时电网各主要线路上的有功潮流, 判断是否会出现输电阻塞。如果不出现, 接受各机组出力分配预案; 否则, 按照如下原则实施阻塞管理:

● 输电阻塞管理原则：

- (1) 调整各机组出力分配方案使得输电阻塞消除。
- (2) 如果(1)做不到，还可以使用线路的安全裕度输电，以避免拉闸限电（强制减少负荷需求），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。
- (3) 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。
- (4) 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（称序内容量）不能出力；而一些在竞价中未取得发电权的发电容量（称序外容量）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。

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 982.4MW，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。
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 1052.8MW，重复 3~4 的工作。

表 1 各机组出力方案（单位：兆瓦，记作 MW）

| 方案\机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|------|----|
| 0 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 1 | 133.02 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 2 | 129.63 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 3 | 158.77 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 4 | 145.32 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 5 | 120 | 78.596 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 6 | 120 | 75.45 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 7 | 120 | 90.487 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 8 | 120 | 83.848 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 9 | 120 | 73 | 231.39 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 10 | 120 | 73 | 198.48 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 11 | 120 | 73 | 212.64 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 12 | 120 | 73 | 190.55 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 13 | 120 | 73 | 180 | 75.857 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 14 | 120 | 73 | 180 | 65.958 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 15 | 120 | 73 | 180 | 87.258 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 16 | 120 | 73 | 180 | 97.824 | 125 | 125 | 81.1 | 90 |
| 17 | 120 | 73 | 180 | 80 | 150.71 | 125 | 81.1 | 90 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|----|-----|----|--------|--------|--------|--------|
| 18 | 120 | 73 | 180 | 80 | 141.58 | 125 | 81.1 | 90 |
| 19 | 120 | 73 | 180 | 80 | 132.37 | 125 | 81.1 | 90 |
| 20 | 120 | 73 | 180 | 80 | 156.93 | 125 | 81.1 | 90 |
| 21 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 138.88 | 81.1 | 90 |
| 22 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 131.21 | 81.1 | 90 |
| 23 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 141.71 | 81.1 | 90 |
| 24 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 149.29 | 81.1 | 90 |
| 25 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 60.582 | 90 |
| 26 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 70.962 | 90 |
| 27 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 64.854 | 90 |
| 28 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 75.529 | 90 |
| 29 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 104.84 |
| 30 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 111.22 |
| 31 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 98.092 |
| 32 | 120 | 73 | 180 | 80 | 125 | 125 | 81.1 | 120.44 |

表 2 各线路的潮流值（各方案与表 1 相对应，单位：MW）

| 方案\线路 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 0 | 164.78 | 140.87 | -144.25 | 119.09 | 135.44 | 157.69 |
| 1 | 165.81 | 140.13 | -145.14 | 118.63 | 135.37 | 160.76 |
| 2 | 165.51 | 140.25 | -144.92 | 118.7 | 135.33 | 159.98 |
| 3 | 167.93 | 138.71 | -146.91 | 117.72 | 135.41 | 166.81 |
| 4 | 166.79 | 139.45 | -145.92 | 118.13 | 135.41 | 163.64 |
| 5 | 164.94 | 141.5 | -143.84 | 118.43 | 136.72 | 157.22 |
| 6 | 164.8 | 141.13 | -144.07 | 118.82 | 136.02 | 157.5 |
| 7 | 165.59 | 143.03 | -143.16 | 117.24 | 139.66 | 156.59 |
| 8 | 165.21 | 142.28 | -143.49 | 117.96 | 137.98 | 156.96 |
| 9 | 167.43 | 140.82 | -152.26 | 129.58 | 132.04 | 153.6 |
| 10 | 165.71 | 140.82 | -147.08 | 122.85 | 134.21 | 156.23 |
| 11 | 166.45 | 140.82 | -149.33 | 125.75 | 133.28 | 155.09 |
| 12 | 165.23 | 140.85 | -145.82 | 121.16 | 134.75 | 156.77 |
| 13 | 164.23 | 140.73 | -144.18 | 119.12 | 135.57 | 157.2 |
| 14 | 163.04 | 140.34 | -144.03 | 119.31 | 135.97 | 156.31 |
| 15 | 165.54 | 141.1 | -144.32 | 118.84 | 135.06 | 158.26 |
| 16 | 166.88 | 141.4 | -144.34 | 118.67 | 134.67 | 159.28 |
| 17 | 164.07 | 143.03 | -140.97 | 118.75 | 133.75 | 158.83 |
| 18 | 164.27 | 142.29 | -142.15 | 118.85 | 134.27 | 158.37 |
| 19 | 164.57 | 141.44 | -143.3 | 119 | 134.88 | 158.01 |
| 20 | 163.89 | 143.61 | -140.25 | 118.64 | 133.28 | 159.12 |
| 21 | 166.35 | 139.29 | -144.2 | 119.1 | 136.33 | 157.59 |
| 22 | 165.54 | 140.14 | -144.19 | 119.09 | 135.81 | 157.67 |
| 23 | 166.75 | 138.95 | -144.17 | 119.15 | 136.55 | 157.59 |

| | | | | | | |
|----|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 24 | 167.69 | 138.07 | -144.14 | 119.19 | 137.11 | 157.65 |
| 25 | 162.21 | 141.21 | -144.13 | 116.03 | 135.5 | 154.26 |
| 26 | 163.54 | 141 | -144.16 | 117.56 | 135.44 | 155.93 |
| 27 | 162.7 | 141.14 | -144.21 | 116.74 | 135.4 | 154.88 |
| 28 | 164.06 | 140.94 | -144.18 | 118.24 | 135.4 | 156.68 |
| 29 | 164.66 | 142.27 | -147.2 | 120.21 | 135.28 | 157.65 |
| 30 | 164.7 | 142.94 | -148.45 | 120.68 | 135.16 | 157.63 |
| 31 | 164.67 | 141.56 | -145.88 | 119.68 | 135.29 | 157.61 |
| 32 | 164.69 | 143.84 | -150.34 | 121.34 | 135.12 | 157.64 |

表 3 各机组的段容量 (单位: MW)

| 机组\段 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 70 | 0 | 50 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 0 | 40 |
| 2 | 30 | 0 | 20 | 8 | 15 | 6 | 2 | 0 | 0 | 8 |
| 3 | 110 | 0 | 40 | 0 | 30 | 0 | 20 | 40 | 0 | 40 |
| 4 | 55 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 15 | 0 | 0 | 1 |
| 5 | 75 | 5 | 15 | 0 | 15 | 15 | 0 | 10 | 10 | 10 |
| 6 | 95 | 0 | 10 | 20 | 0 | 15 | 10 | 20 | 0 | 10 |
| 7 | 50 | 15 | 5 | 15 | 10 | 10 | 5 | 10 | 3 | 2 |
| 8 | 70 | 0 | 20 | 0 | 20 | 0 | 20 | 10 | 15 | 5 |

表 4 各机组的段价 (单位: 元/兆瓦小时, 记作元/MWh)

| 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 |

表 5 各机组的爬坡速率 (单位: MW/分钟)

| 机组 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|-----|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|
| 速率 | 2.2 | 1 | 3.2 | 1.3 | 1.8 | 2 | 1.4 | 1.8 |

表 6 各线路的潮流限值 (单位: MW) 和相对安全裕度

| 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% |