

「电网」

电网适应性评估模型研究与应用

文/国网江苏省电力有限公司经济技术研究院 朱 磊 胡晓燕 赵宏大 徐 宁
北京清软创新科技股份有限公司 刘则男

电网适应性评估是在一定的电力负荷需求和电源装机容量基础上，对输电网输送能力进行评估。电网适应性评估反映了电网在负荷需求不断增长、电源装机容量逐渐提升的情况下的发展和适应能力。研究了在现有电网结构基础上，通过数学方法分别在考虑线路输送极限和不考虑线路输送极限两种约束条件下的潮流情况和购电费用，来评价电网线路的输送电能力，通过实例应用进一步证实了模型的有效性和实用性。

在我国电力行业当前“厂网分开”的背景下，为了适应社会发展和经济增长，满足不断增加的电力负荷需求，在电源侧建设充足的装机容量的同时，电网公司对输电网容量的合理规划建设也十分关键。

电网的建设与完善是一个长期的系统工程，电网规划是电网建设的先决条件，是电网建设满足社会和经济发展的需要的重要保证。因此，电网规划应建立在充分把握电网运行特点和电网构架、设备装备及技术水平现状的基础上，就电网运行薄弱环节进行分析，并就完善今后的电网建设项目做出规划。

适应性评估就是在一定的电力负荷需求和电源装机容量基础上，对输电网输送能力进行评估，以衡量输电网在负荷需求不断增长、电源装机容量逐渐提升的情况下的发展和适应能力，分析是否存在由于输电网的限制而降低系统运行经济性的问题。

电网适应性评估原理

本文中的适应性评估模型的是建立在现有电网结构基础上，分别在考虑线路输送极限的约束条件和不考虑线路输送极限约束条件两种情况下的购电费用之差。在两种线路输送条件下，通过改变发电机组出力的方式改变网络中的潮流情况，计算两种情况下线路潮流和系统购电费用。

潮流变化比率大的线路为电网输电瓶颈或者薄弱环节；两种情况下的购电费用之差，就是由于电网输送能力不足而导致电网需多付的购电费用，即由于输电网不能适应电力负荷需求和装机容量变化而导致的电网运营成本增加额。

在不考虑线路输送极限的约束条件时，只需考虑系统的出力与负荷平衡这个等式约束。在这种情况下，如果电网构架合理，线路不会出现阻塞，火电机组应该完全按照发电成本最低寻优，以达到最优的效果。

而在考虑线路输送极限的约束条件时，则还需要考虑系统的出力、负荷平衡、网络等约束，以及对发电计划进行调整，以发电成本最低寻优。若在这种情况下，系统无满足网络约束的解，则输出线路过载率最小的解。

核心算法流程

依据适应性评估的基本原理，拟得基本的计算流程如下：

- 1) 选择指定日期的系统负荷，确定当日联络线功率计划。
- 2) 选择指定日期的机组运行状态，确定机组出力状态和分布情况，检修机组和临时停运机组。
- 3) 在现有电网结构下，假定所有线路的输送极限均为无限大，根据机组出力，确定系统无约

束发电计划, 计算此时线路潮流, 统计无网络约束下总的购电费用, (记为case A)。

4) 利用各线路的实际输送极限, 以case A线路潮流结果为基础, 分析该结果中线路过负荷情况。然后, 在目前的电网结构下, 利用各线路的实际输送极限, 计算此时的有约束发电计划和线路潮流, 统计总的购电费用 (记为case B)。

5) 比较两种情况下的购电费用增加值 (case B - case A), 该增量就是由于电网输送能力不够引起的当日需要额外支付的购电费用。

6) 比较两种情况下线路潮流的变化比率, 按照变化比率由大到小进行排序, 排在最前面的线路是电网的输电瓶颈或者薄弱环节。

其总流程图如下:

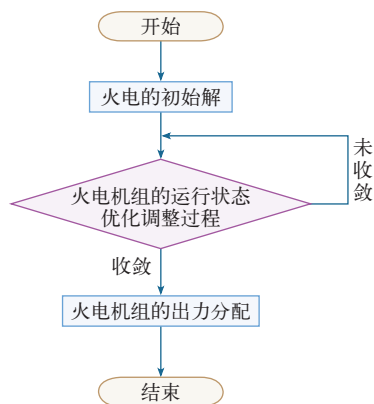


图1 算法流程图

电网适应性评估算法首先对系统内机组进行机组组合及机组出力优化计算, 确定在考虑网络约束和不考虑网络约束两种情况下系统内机组的组合和出力, 并计算两种情况下系统内线路潮流。

根据是否进行优化计算将系统内的机组分为两大部分。一部分为需要进行发电优化计算的常规火电; 另一部分为水电、燃气、燃油、区外送变电, 不参与优化计算。

常规火电发电优化的目标函数为全网运行成本最低。优化算法要考虑机组的经济、技术数据和系统安全约束, 按照优化目标, 通过优化软件计算各个时段发电机组的开停机顺序、出力大小。

1. 适应性评估算法数学模型

$$\min F = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n [u_{it} f_{it}(P_{it}) + u_{it} (1 - u_{i(t-1)}) S_i]$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n u_{it} P_{it} = \sum_{j=1}^m L_{jt} \\ \sum_{i=1}^n u_{it} (P_{i\max} - P_{it}) > R_t \end{cases}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^n u_{it} (P_{i\max} - P_{it}) > R_t \\ P_{\text{linek}} = \sum_{l=0}^N x_{kl} P_{\text{inj, busl}} \leq P_{k-\max} \\ P_{it} < P_{i\max} \\ -r_{di} * 1 < (P_{it} - P_{i(t-1)}) < r_{ri} * 1 \\ u_{it} \text{ 为 } 0 \text{ 或者 } 1 \end{cases}$$

式中, f_{it} 为机组 i 在 t 时段的发电成本; S_i 为机组 i 的启动成本; u_{it} 为机组 i 在 t 时段的运行状态参数,

$$u_{it} = \begin{cases} 1 & P_{it} \text{ 为机组 } i \text{ 在 } t \text{ 时段的出力} \\ 0 & L_{jt} \text{ 为负荷 } j \end{cases}$$

在 t 时段的负荷量; $P_{i\max}$ 为发电机组 i 的最大出力; R_t 为 t 时段系统备用要求; P_{linek} 为线路 linek 上流过的电能; x_{kl} 为第 k 根输电线路第 l 条母线的线性传输因子; $P_{\text{inj, busl}}$ 为母线 l 上的注入功率; $P_{k-\max}$ 为第 k 根输电线路的最大传输容量; r_{di} 为机组 i 最大减出力; r_{ri} 为机组 i 最大增出力。

2. 约束条件

(1) 负荷平衡约束

任何时段, 电力负荷之和必须等于发电机发电出力之和。

$$\sum_{i=1}^n u_{it} P_{it} = \sum_{j=1}^m L_{jt}$$

式中, u_{it} 为机组 i 在 t 时段的运行状态, $u_{it} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$;

P_{it} 为机组 i 在 t 时段的出力; L_{jt} 为负荷 j 在 t 时段的负荷量。

(2) 系统备用约束

任何时段, 发电机的备用容量之和必须大于系统备用要求。

$$\sum_{i=1}^n u_{it} (P_{i\max} - P_{it}) > R_t$$

式中, $P_{i\max}$ 为发电机组 i 的最大出力; R_t 为 t 时段系统备用要求。

(3) 输电线路传输容量约束

线路传输的电能必须在它的传输容量范围内。

$$P_{\text{linek}} = \sum_{l=0}^N x_{kl} P_{\text{inj, busl}} \leq P_{k-\max}$$

式中, P_{linek} 为线路 linek 上流过的电能; x_{kl} 为第 k 根输电线路第 l 条母线的线性传输因子; $P_{\text{inj, busl}}$ 为母线 l 上的注入功率; $P_{k-\max}$ 为第 k 根输电线路的最大传输容量。

(4) 发电机组出力范围约束与稳定出力范围约束

处于运行状态的发电机组的发电出力必须小于其最大发电出力,同时必须大于其最小稳定运行出力。

$$P_{i\min} < P_{it} < P_{imax}$$

式中, $P_{i\min}$ 发电机组最小稳定运行出力。

(5) 机组增降出力约束

发电机组在增加发电出力时,增加出力的速度要小于其最大增出力;发电机组在减少发电出力时,减少出力的速度要小于其最大减出力。

$$-r_{di} * 1 < (P_{it} - P_{i(t-1)}) < r_{ri} * 1$$

式中, r_{di} 为机组 i 最大减出力; r_{ri} 为机组 i 最大增出力。

线路潮流计算模型

根据直流潮流计算,系统中近似计算出系统各节点出力与负荷在网络上的分布情况,对于系统中任意线路 l ,潮流功率有

$$P_l = G_{1-l}P_1 + G_{2-l}P_2 + \dots + G_{n-l}P_n$$

式中, P_1 、 P_2 、 $\dots$ 、 P_n : 系统各节点出力; G_{1-l} 、 G_{2-l} 、 $\dots$ 、 G_{n-l} : 系统各节点发电机转移分布因

子,表示节点 i 注入单位功率时,给线路 l 带来的潮流增量。

分别计算考虑线路极限输送容量和不考虑线路极限输送容量两种情况下,同一线路中的潮流:

不考虑线路极限输送容量

$$P_l^0 = G_{1-l}P_1^0 + G_{2-l}P_2^0 + \dots + G_{n-l}P_n^0$$

$$P_l^0 \in \forall R$$

考虑线路极限输送容量

$$P_l^1 = G_{1-l}P_1^1 + G_{2-l}P_2^1 + \dots + G_{n-l}P_n^1$$

$$P_l^1 \in [-P_{l0}, P_{l0}]$$

P_{l0} 为线路 l 极限输送容量

定义变化比率 $r = \frac{P_l^0 - P_l^1}{P_l^0}$, 根据 r 值大小进行

排序,排在前面的即为投资效益高的线路。

实例验证

应用以上算法及计算模型研发了适应性评估工具,对某地电网数据进行验证可以得到如图 2~图 5 的分析和结果。这些评估结果对于指导电网建设具有重要意义。

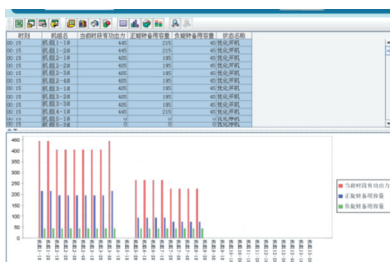


图2 时段机组出力分析

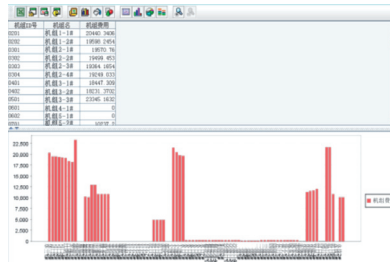


图3 机组费用分析

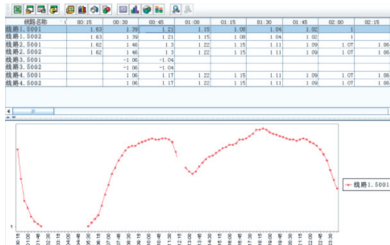


图4 越限线路分析

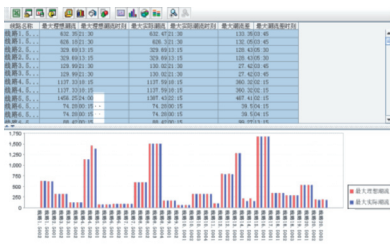


图5 线路潮流分析

结论

随着科学技术进步和社会经济的不断发展,整个社会对电能的需求量也在迅速增长。这些需求对电网的科学规划和建设提出了更高的要求。电网适应性评估作为评价电网输送能力以及适应和发展能力的重要手段,在电网建设中起着不可

忽视的作用。本次研究仅从潮流计算和购电费用的角度建立数学模型,分析了电网适应性评估的理论计算方法。但有关于电网适应性评估的课题仍需大量的研究和探索,希望大家给予更多的关注和参与。EA

(收稿日期: 2017.08.30)

(编辑: 白文亭)