

[电网负荷]

# 基于遗传算法的配电网过负荷优化问题研究

文/国家电网黄石供电局 张 良

由于电力网络的相互串联，单个线路的过负荷故障处理不好也可能导致片区连续跳闸事故的发生。当线路出现过负荷情况，必须在保证供电正常的同时，及时将过负荷线路负荷转移至邻近负荷较低的线路，保证供电连续及电力系统的安全稳定。

## 电缆运行过负荷系数

随着智能配电网概念的不断深化，配电网过负荷优化对于提高配电网的智能化水平具有显著意义。网络重构方法是一种降低配电网风险的有效控制策略。

在配电区域内，节点 $i$ 与 $j$ 间电缆的运行过负荷系数 $L_{ij}$ 为

$$L_{ij} = \frac{I_{ij}}{\gamma I_{ij\max}} (i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j) \quad (1)$$

式中， $N$ 表示配电网中节点的总数； $I_{ij}$ 是节点 $i$ 和 $j$ 之间电缆段的运行电流值； $I_{ij\max}$ 是节点 $i$ 和 $j$ 之间电缆段的最大载流量；安全系数 $\gamma$ 一般取0.8~0.9。

如果电缆运行电流值高于安全系数与最大载流量的乘积，即 $L_{ij} > 1.0$ ，则认为该电缆处于不安全状态，且 $L_{ij}$ 越大表示该段线路风险越大。配电区域内所有电缆的运行过负荷系数 $L_{ij}$ 均小于1.0才能认为该配电区域是安全的，即可以用式（2）表示该配电网的安全程度

$$L = \max \{L_{ij} (i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j)\} \quad (2)$$

## 网络重构基本原理

网络重构可以看作多目标非线性混合优化问题，通常会选用其中的一个目标作为优化的主目标，而其他目标作为约束条件。

### 1. 网络重构目标函数

配电网风险控制问题可以转化为满足网络重构约束条件下，以配电网整体安全系数最小为目标的最优化问题，因此目标函数可表示为

$$L = \max \frac{\sum_{i,j} a_{ij} L_{ij} I_{ij}}{\sum_{i,j} a_{ij} I_{ij}} (i, j = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

式中， $a_{ij}$ 表示节点 $i$ 和 $j$ 之间的拓扑关系， $a_{ij} = 1$ 表示节点 $i$ 、 $j$ 直接相连且 $i$ 是 $j$ 的供电节点，否则 $a_{ij} = 0$ 。

### 2. 网络重构约束条件

1) 容量约束：对最小配电区域 $i$ 节点和 $j$ 节点内电缆段所带负荷电流为 $I_{ij}$ 应不大于其最大载流量 $I_{ij\max}$ ，即

$$I_{ij} \leq I_{ij\max} (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (4)$$

2) 负荷平衡约束：每条线路有且只有一个电源，节点总负荷 $I_i$ 等于各分叉线路上负荷 $I_{ij}$ 之和

$$I_i = \sum I_{ij} (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (5)$$

3) 供电约束：所有线路都需要供电，即

$$I_{ij} \neq 0 (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (6)$$

4) 拓扑约束：开关和线路的连接关系 $a_{ij}$ 不变。

## 遗传算法

遗传算法（Genetic Algorithm，GA）是一种高

效的全局自适应搜索方法。基于自然选择和遗传理论，可以对搜索过程进行自适应控制，得到最优解。遗传算法步骤如下。

1) 基因编码：本文选取浮点数编码进行编码，将线路的过负荷值进行基因编码。

2) 群体初始化：随机产生 $m$ 条染色体形成群体，每个初始个体代表问题的初始解。

3) 个体适应度计算：在遗传算法优化过程中，合适的适应度函数可以指导优化的方向。取适应度函数为 $Fitness = n'/n$ ，其中： $n'$ 表示正确分类的训练实例数； $n$ 表示训练实例总数。

4) 优良个体选择：从种群中选出优良的个体为父代，适应性强的个体更有可能被选中，淘汰适应度低的个体。

5) 交叉：交叉是产生新个体的主要途径之一，本文选择分散交叉法。

6) 变异：变异是模拟生物进化中的基因突变，可以加速收敛到最优解。

## 结束语

针对配电网过负荷优化方面，根据线路运行的容量约束、负荷平衡约束和拓扑约束，基于遗传算法的自适应权值可以实现抑制冗余，结合配电网过负荷优化的约束条件，发现以最小过载系数为目标的配电网优化方法可以较好地实现对配电网的负荷优化控制。EA

(收稿日期：2019.12.16)

(编辑：朱金凤)

(上接第31页)

方案后，系统的最高频率和最低频率。最高频率的变化范围从49.68~49.85 Hz，均维持在49.7 Hz附近，稳态频率合格；最低频率的变化范围从48.75~48.79 Hz，均维持在48.8 Hz附近，这是由于自适应减载方案中追加二轮对于频率门槛值的设定为一固定值48.8 Hz，启动延时为0.2 s。

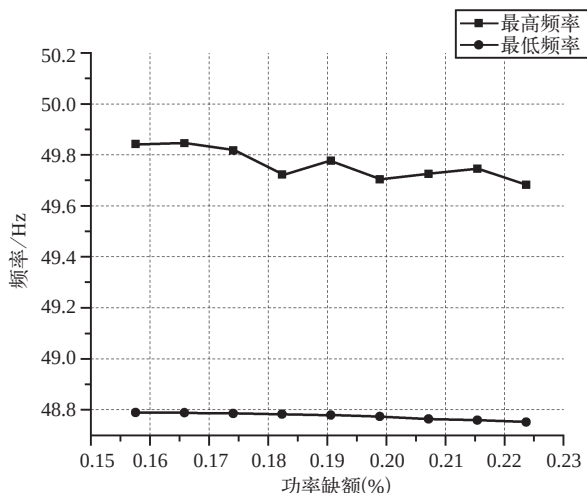


图5 基于模型一不同运行方式下的最高频率和最低频率

基于模型二不同运行方式下的减载效果可知，该场景下虽然在某些运行方式下频率恢复时

间较慢，但总体上均能够使频率快速恢复稳定。

基于模型二不同运行方式下最高频率为49.58~49.66 Hz，均维持在49.6 Hz附近，稳态频率合格（50 s）；最低频率为48.77~48.79 Hz，高于47.5 Hz，频率未失稳。

## 结束语

本文提出了一种考虑负荷特性的集中式自适应低频减载方案，该方案在分析负荷特性对负荷有功功率影响的基础上，根据在线测得的各发电机频率和本地负荷有功自动计算出系统实时的功率缺额，以该功率缺额作为减载量并合理地分配在多个轮次进行切除。仿真结果表明，与传统逐轮次低频减载方案相比，本文方案的切负荷量以及动态频率偏移相对更小，频率恢复稳定能力更强；改变系统运行方式、负荷类型，所提方案仍然能够使频率快速恢复稳定，能更好地适应负荷特性和系统运行方式的变化，有效保障受扰系统的频率稳定性，对集中式自适应低频减载方案的相关研究具有一定的借鉴意义。EA

(收稿日期：2020.01.05)

(编辑：朱金凤)