[配电网]

配电自动化终端优化布置模型

文/王光伟[1]　徐莹[2]
1. 国网湖州供电公司；2. 湖州新伦供电服务有限公司

提出一种基于人工蜂群算法的配电自动化终端优化布置模型，并通过仿真分析的方式对该优化布置模型应用效果进行分析。由仿真分析可知，相对于未优化前及传统基于遗传算法、基于蚁群算法的优化布置模型，基于人工蜂群算法的优化布置模型应用效果更加良好，有利于降低配电自动化终端的综合损失成本。

配网智能化发展的今天，越来越多的配电网开始采用配电自动化终端，显著提升了整个配电网运行效率与质量，为社会发展与人类生活提供重要帮助。但随着配电网规模的不断扩大，社会用电负荷量逐渐提高，导致现有配电自动化终端逐渐体现出一定的滞后性，在一定程度上影响配电网运行。所以，为了进一步提升配电网运行效率，电力部门应对配电自动化终端布置进行优化。基于此，介绍一种配电自动化终端优化布置模型，对提升整个配电网运行效率具有重要意义。

配电自动化终端布置影响因素分析

以图1所示常见配电网结构为例，分析配电自动化终端布置数量与位置对馈线自动化功能的影响。

1）工况1条件下，所有分段开关及联络开关各连接1个自动化终端，共7个。配电网运行过程中，当杆塔3、4之间断路，自动化终端将电流互感器FS2、FS3之间诊断为故障区间，这时，L3、L4、L9表示故障区间内节点，其余表示为故障区域外节点。整个故障发展与处理过程中，先L1与L2停电，再L5、L6、L7停电，然后L8停电，最后L3、L4、L9停电。

2）工况2条件下，只在FS1、F2、FS4及LS2连接一个自动化终端，其他区域不连接自动化终端。配电网运行过程中，杆塔3、4之间断路，停电L1、L2、L3、L4、L9停电时间与工况1相同，而其余几处失电时间明显提高，且增加了停电范围。

3）各节点处均未连接自动化终端，利用断路器对配电网控制。配电网运行过程中，杆塔3、4之间断路，在人员现场修复之前，所有节点均处于失电状态。

综合上述三种工况的分析可以发现，配电网设计时，整个配电网性能与自动化终端布置位置与数量具有紧密联系，只有确定出最佳的布置位置与数量，才可显著提高配电网性能。

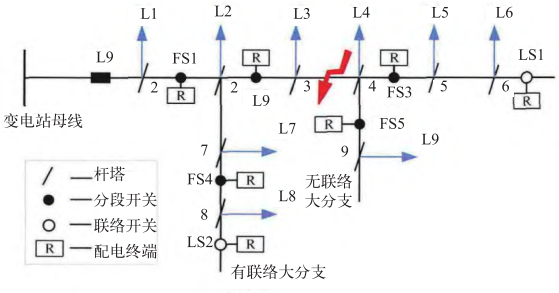

图1　常见配电网结构

配电自动化终端优化布置模型构建

1. 基于综合损失成本的优化布局模型

（1）负荷停电损失成本

当配电网出现断路等故障后，会停止向用户继续输送电负荷，从而引发区域停电现象，导致供电

部门出现停电损失。根据负荷停电位置的不同，可将其划分成两种类型，每种类型需要采用不同方式对负荷停电损失进行计算。

1）故障区内部负荷停电损失。指的是配电网出现故障后，故障区间直到配电网恢复继续供电时产生的负荷停电损失。配电网故障处理时，在自动化终端的作用下，自动确定出故障区间，并将该区间断开，因而确定停电时间时，选择的是整条线路故障修复时间的均值。首先，通过对故障区间的自动检测，推导出区间内的电荷损失总量为

$$W_{f1,j}=t_j\sum_{d\in\phi_{\text{fault-load},j}}S_d\varphi_d \tag{1}$$

式中，t_j为停电时间，单位为h；$\phi_{\text{fault-load,j}}$为配电网$j$出现故障后，故障区间中的全部负荷量；$S_{\text{d}}$为节点$d$处的标准功率，单位为MV·A；$\phi_{\text{d}}$为节点d处的功率因数。

之后以此为基础，结合当地的电价水平，推导出停电损失成本为

$$C_{\text{F}}=C_{\text{kWh}}\sum_{j\in\phi\text{line}}E_{\text{fault},j}W_{f1,j} \tag{2}$$

式中，C_{kWh}为当地电价；$\phi_{\text{line},\ j}$为配电网j中全部的线路；$E_{\text{fault},\ j}$为配电网j中一段时间内出现故障的数量。

2）故障区外负荷停电损失成本。指的是配电网CB跳闸后，直到配电网再次重启恢复供电时的非固定负荷停电成本。先通过对故障区间外的检测，推导出区间外的电荷损失总量为

$$W_{f2,j}=\sum_{d\in\phi\text{non-failt-load},j}S_d\varphi_d t_{\text{loss}.d} \tag{3}$$

式中，$\phi_{\text{non-fault-load},j}$为配电网$j$出现故障后，故障区间外全部负荷量；$t_{\text{loss},\ \text{d}}$为节点$d$处的停电时长，单位为h。

之后以此为基础，根据当地电价水平，推导出停电损失成本为

$$C_{\text{NF}}=C_{\text{kWh}}\sum_{j\in\phi\text{line}}E_{\text{fault},j}W_{f2,j} \tag{4}$$

将两种成本相加后，可得到配电网的负荷停电损失成本，即$C_{\text{Loss}}=C_{\text{F}}+C_{\text{NF}}$。

（2）投资成本

近年来，随着现代配电网智能化建设步伐的不断加快，大部分配电网已经应用了配电自动化终端，因而在自动化终端优化布置时，不用对现有自动化设备与元件更换，可将设备更换成本忽略，只考虑新设备安装成本及整个自动化终端运维管理成本即可。

1）新设备增加成本。在自动化终端优化布置时，需要根据配电网实际运行需求，在原配电网上安装一二次融合环网柜，用于对整个线路的动态监测、报警处理等，以提升配电网的智能化水平。融合环网柜安装时，总成本为

$$C_{\text{Ins}}=nC_{\text{syt}}\frac{(1+i)^s i}{(1+i)^s-1} \tag{5}$$

式中，n为新增加融合环网柜的总数量，C_{syt}表示一台融合环网柜的采购与安装成本，单位为元；i为设备的贴现率；s为融合环网柜的使用寿命。

2）设备运维管理成本。为了保证自动化终端设备安全、稳定地运行，电力部门应定期对终端设备进行运维管理，这一过程中也需要投入一定成本，计算公式为

$$C_{\text{Mnt}}=nT_{\text{E}}M_{\text{syt}} \tag{6}$$

式中，T_{E}为观察周期；M_{syt}为融合环网柜一年中的运维管理的总成本。

将两种成本相加到一起后，可得到最终的投资成本，即$C_{\text{Inv}}+C_{\text{Ins}}+C_{\text{Mnt}}$。

最后，将停电损失成本与投资成本加到一起后，可得到自动化终端优化布置的综合损失成本，即$C=C_{\text{Loss}}+C_{\text{Inv}}$。

2. 约束条件

在配电自动化终端优化布置模型计算时，为了提升计算结果的精确性，应确保模型满足以下4个约束条件：①可靠性约束，配电网实际供电可用率ASAI高于相关规定的最大值；②终端设备数量约束，终端设备数量应大于配电网中出故障总时间与配电网失电时间总和的比值；③一条线路中终端设备的数量约束，在每一条配电线路中，终端设备均不可少于1台，且不可超过终端设备的总数量；④投资成本约束，终端设备安装时总投入成本不可超过电力部门智能化改造成本。

3. 优化布局求解方法

（1）终端设备总数寻优

优化布置模型计算过程中，需要分别对整个配网、一条线路上的终端设备数量及总投资成本进行约束，可推导出配电网中终端设备的最大值与最小

值，分别记作n_{min}与n_{max}，即：$n=\{n_{min}, n_{max}\}$。之后以此为基础，根据配电网及各条线路运行要求，分别设计出多种不同的终端设备布置方案。然后依次计算出各方案条件下的综合损失成本C，通过各方案计算C值的对比，进而从中选取出最终的优化布置方案。

（2）终端布置方案寻优

现代计算机领域存在多种寻优问题计算方法，如遗传算法、蚁群算法、人工蜂群算法等，每种算法具有不同的特点。其中，人工蜂群算法全局寻优能力较好，参数设置较为简单，适用范围较为广泛，鲁棒性较强等，因而研究中，选择人工蜂群算法（ABC）寻找出配网自动化终端最优布置方案。ABC算法运算流程如下。

1）通过终端设备自动采集配电网长度、负荷水平等相关数据，并由相关工作人员向配电网智能化管理系统中设置观察周期、电价、终端设备成本费用等数据，然后以此为基础，分别按照约束条件确定出终端设备n的取值区间；

2）根据n的取值区间，分别制定出m种不同的配置方案，同时对ABC算法初始化处理，根据问题实际情况对种群规模p、迭代计算次数l及调节因子进行设置。之后根据设置参数，从空间中随机提取z个个体，并将其编码成x_i（i=1,2,…,z）。

3）分别计算出所有个体的适应度值，用于评价个体特征的优劣。按照由大到小的顺序对个体进行排列，并将个体划分成两段，其中前段作为采集个体，后段作为观察个体。

4）根据采集个体的编码情况，结合食物源所在位置，利用贪婪选择算法的方式，计算出采集个体的新位置，并将采集个体移动到新位置处。

5）从观察个体角度出发，利用轮盘赌的方式，从种群中选取采集个体，并对选取个体编码处理，利用贪婪选择的方式，再次对采集个体位置进行计算，通过计算前后个体位置的对比分析，判断是否需要对采集个体位置更新。

6）当迭代计算次数大于预设值c后，若采集个体位置没有更新，将其纳入到侦查个体集合中，并在编码处理后，计算出新位置。

7）迭代计算次数超过预设值k后，结束整个寻优计算，并将计算结果输出，以此当作配电自动化终端最优布置方案。

仿真分析

以湖州某段10 kV配电网为例，通过仿真分析的方式，对基于ABC算法的配电自动化终端优化布置模型应用效果进行分析。该配电网供电半径约为5.0 km，为B类供电区域，配电线路故障率约为0.23次/（km·年），故障恢复时间约为1 h，功率因数为0.9，电价按0.4161 kW·h元计算，将研究周期设置成20年。与此同时，分别选择原配电网及基于遗传算法（GA）、基于蚁群算法（ACO）的优化布置模型作为对照，以判断基于ABC算法优化模型的应用效果。通过仿真分析可以得到如图2所示结果。由图2可知，由于原配电网不做改进，因而无须投资成本，但负荷停电成本较高；基于GA算法优化后的停电成本最低，但投资成本较高，使得综合损失成本较高；基于ACO算法与ABC算法模型优化后的投资成本、停电成本较低，且相差并不是很大，但基于在综合损失成本方面，基于ABC算法模型略低于基于ACO算法模型。综合表明，基于ABC算法的优化布置模型应用效果更好，应将其大规模推广。

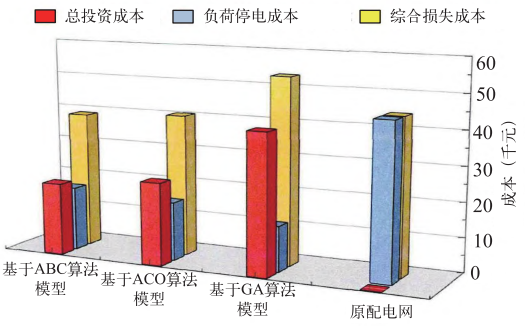

图2　仿真分析结果

结束语

综上所述，现代配网智能化建设与改造过程中，可对基于ABC算法的自动化终端优化布置模型进行应用。通过该优化模型对配网相关数据计算与分析后，能够计算出较为良好的配方布置方案，在改造成本处于较低水平的同时，降低配电网负荷停电成本，对电力领域发展具有重要意义。EA

（收稿日期：2025-03-25）