

目录

第一章 软件概述	2
第二章 软硬件环境及设计流程.....	2
2.1 软件开发环境	2
2.2 软件使用环境	2
2.3 软件功能描述	2
第三章 软件操作说明.....	5
3.1 软件使用流程	5
3.2 关键故障分析	5
3.3 灵敏母线分析	7
3.4 优化计算	8

第一章 软件概述

以静止无功补偿器(SVC)和静止同步补偿器 (STATCOM)为代表的动态无功补偿装置应用于电力系统时,可在系统故障后动态地提供电压支撑,确保母线电压的稳定性,提高电力系统暂态稳定水平,防止因暂态电压崩溃导致的负荷损失以及大面积恶性停电事故。

要想充分发挥动态无功补偿装置作用,优化配置是前提。但是由于目前的配置成本太高,还不宜在电网中大量配置,规划者多根据经验或系统特定的薄弱环节优先配置方案,方案是否可行、恢复效果都未必能达到满意。因此,电力系统迫切地需要一套能够辅助制定动态无功补偿装置配置方案的软件,来实现经济与成本效益和电压稳定性要求最大化。

动态无功补偿装置多目标优化配置程序根据现有的电力系统分析软件,形成了一套 BPA 与排序软件分析的接口,用户只需根据 BPA 标准格式生成网络数据,便可利用该软件进行解析。

软件使用了短期电压稳定性水平和节点灵敏度作为选取关键故障和灵敏母线的指标,采用聚类分析减少变量维度,提高计算效率。在目标函数为最小补偿装置投资费用和暂态电压技术指标(暂态电压失稳风险、暂态电压跌落幅值和暂态电压恢复延时)下,利用 NSGAI, NSGAII, MOEA/D 和 SPEA2 四种多目标优化算法搜索无功补偿装置的最优配置地点和容量。用户可根据网络实际情况,选择最适合的动态无功补偿装置参数,找到最适宜本网络的安装方案。

第二章 软硬件环境及设计流程

2.1 软件开发环境

本软件采用 Python 语言作为编程语言。

本软件是在 Python 2.7 开发环境下完成的。

2.2 软件使用环境

本软件采用 Python 语言编写,自带需求的库文件,原则上,本软件可在 windows 各种操作平台上运行。内存要求尽量在 1GB 以上。

2.3 软件功能描述

程序主要功能是读取电力系统常用潮流数据文件和稳定数据文件,对系统进行关键故障分析和灵敏母线分析的预处理,在此基础上对系统动态无功补偿装置进行多目标优化配置。综合考虑无功补偿装置配置需要考虑的问题,软件可由用户设置合理的动态无功补偿装置参数和系统参数,利用多目标优化排序算法,优化动态无功补偿装置安装地点和容量。同时优化计算模块给出四种多目标优化算

法，分别是：NSGAII，NSGAIII，MOEA/D 和 SPEA2，方便用户操作。软件设计详细说明如下：

1 关键故障分析

电力系统是一个庞大的电力网络，结构复杂，母线节点数量大，支路数据多。如果考虑对网络中所有故障情况进行时域仿真，不仅仿真时间长，计算效率低，而且缺乏实际应用意义。因此，本软件针对这一问题，对系统可信三相短路故障进行扫描分析，选取忽略故障，再对其他故障进行聚类分析，聚类得到关键故障作为优化配置问题的故障备选集，从而达到减少时域仿真计算时间，提高应用效率的效果。该模块主要设计流程分为两个部分。

1) 对系统可信三相短路故障进行扫描分析，计算其短期电压稳定性，形成集合 F ，见下式：

$$F = \{f_1 |_{\Phi=n} | \forall n \in \Phi\}$$

式中， F 是所有可信三相短路故障下系统短期电压稳定性的集合； f_1 代表系统短期电压稳定性大小； Φ 是所有可信三相短路故障的集合。

2) 采用 K-means 聚类技术对集合 F 进行聚类计算，得到确定的关键故障集 Φ' ：

$$\Phi' = C(F, \Phi)$$

式中， Φ' 和 $C(\bullet)$ 分别表示关键故障集和聚类函数。

该聚类技术的基本思想是初始随机给定 K 个簇中心，按照最邻近原则把待分类样本点分到各个簇。然后按平均法重新计算各个簇的质心，从而确定新的簇心。一直迭代，直到簇心的移动距离小于某个给定的值。

2 敏感母线分析

由于优化算法性能与状态变量的维度相关，而轨迹灵敏度分析是减少待选母线数量的有效手段。因此，本软件基于灵敏度分析，采用聚类技术对待选母线集进行了聚类分析，给出系统运行过程中的敏感母线集，减少变量维度，方便监测重要节点电压的稳定性，同时提高优化过程的计算效率。

$$I'' = C(S, I')$$

式中， I' 是考虑实际情况的待选母线集； S 是计算 I' 内所有节点的灵敏度指标值形成的集合。 I'' 则是敏感母线集

3 优化计算

本软件的主要功能是进行动态无功补偿装置的多目标优化配置。配置过程中，软件设计了四种优化算法，分别是 NSGAII，NSGAIII，MOEA/D 和 SPEA2。

NSGAII 是对 NSGA 的改进版，主要在以下方面进行改进：

1) 快速的非支配排序，时间复杂度降低。

2) 种群中个体多样性的保留。原始的 NSGA 算法中使用共享函数的方法来维持物种的多样性，这种方法包含一个共享参数，该参数为所求解问题中所期望的共享范围。在 NSGAII 中使用了排挤算法和精英策略来代替共享函数算法。

NSGAIII 是对 NSGAII 的改进版，主要表现在方法对目标空间进行划分，在目标空间引入额外的参考点或者向量，在环境选择中选择与参考带最近的个体，从而辅助控制种群在目标空间的分布。

MOEA/D 是将传统的数学规划方法与进化算法结合起来，通过设计一组权重系数将高维多目标优化问题转化为单目标优化问题的算法。该算法设置了一组固定的均匀分布的目标权重向量，将问题分解成一组子问题来求解，各子问题的求解以固定的目标权重为基础，目标权重的均匀性提升了种群分布的均匀性。

SPEA2 通过裁减操作控制外部种群的数量，提出归档集的修剪策略并获得分布均匀的 Pareto 前沿。

这四种优化算法均包含在本软件中，并且用户通过自主调节算法参数，能够控制算法进程和计算效率。

本软件的整体应用流程如下图所示：

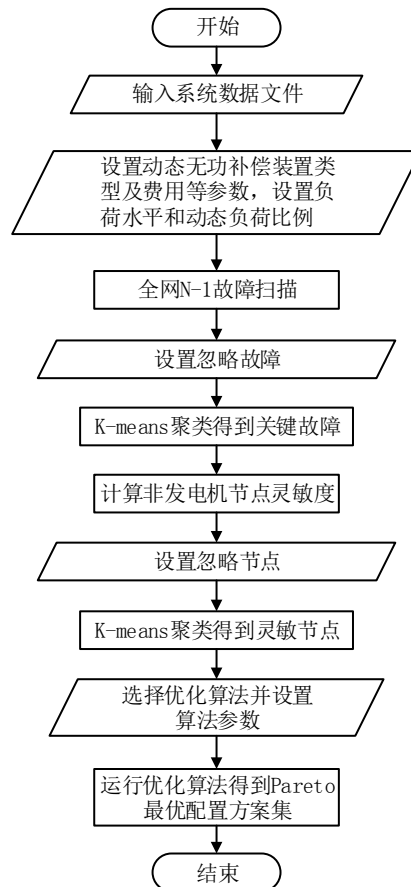


图 1

第三章 软件操作说明

3.1 软件使用流程

双击运行本软件，进入基本参数设置界面，如图 2 所示。

导入系统基本数据文件，选择 BPA 处理程序，用户可根据自身需求设置动态无功补偿装置参数和网络系统参数。

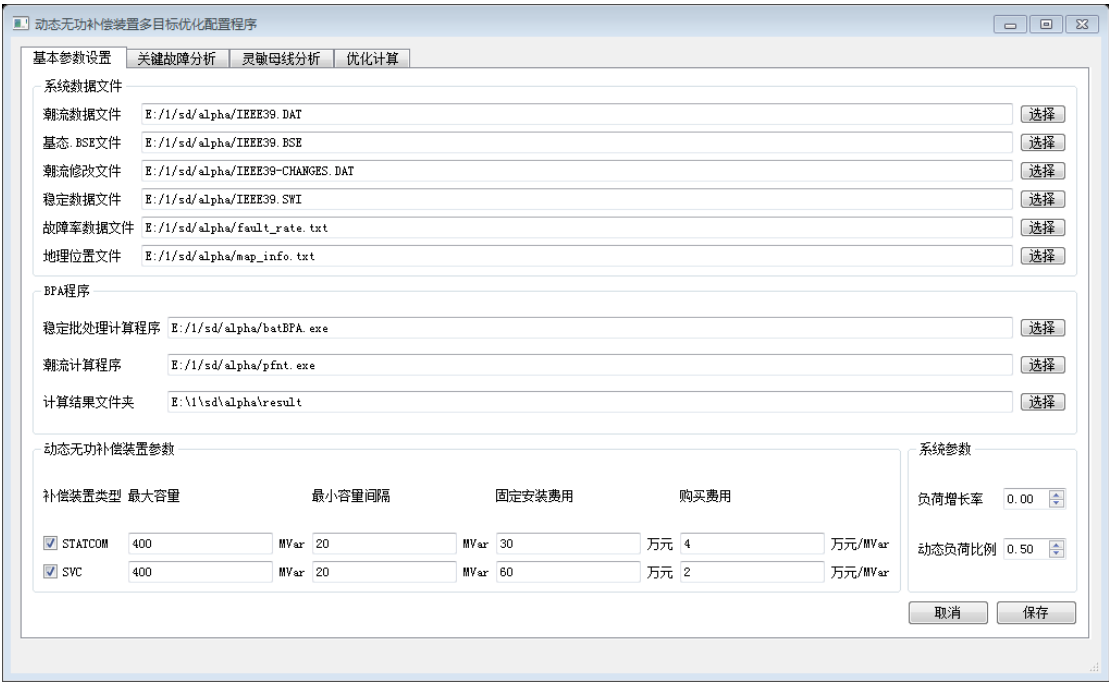


图 2

3.2 关键故障分析

该部分功能为进行全网故障扫描，选取需要忽略的故障，再采用 K-means 聚类技术分析网络中关键故障，并能显示出关键故障的地理位置信息，方便在实际电网中定位。分析结果可直接在程序中生成柱状图，便于用户直观查看。如图 3 所示，是对故障扫描分析计算后，忽略支路 31 故障情况下的程序界面。

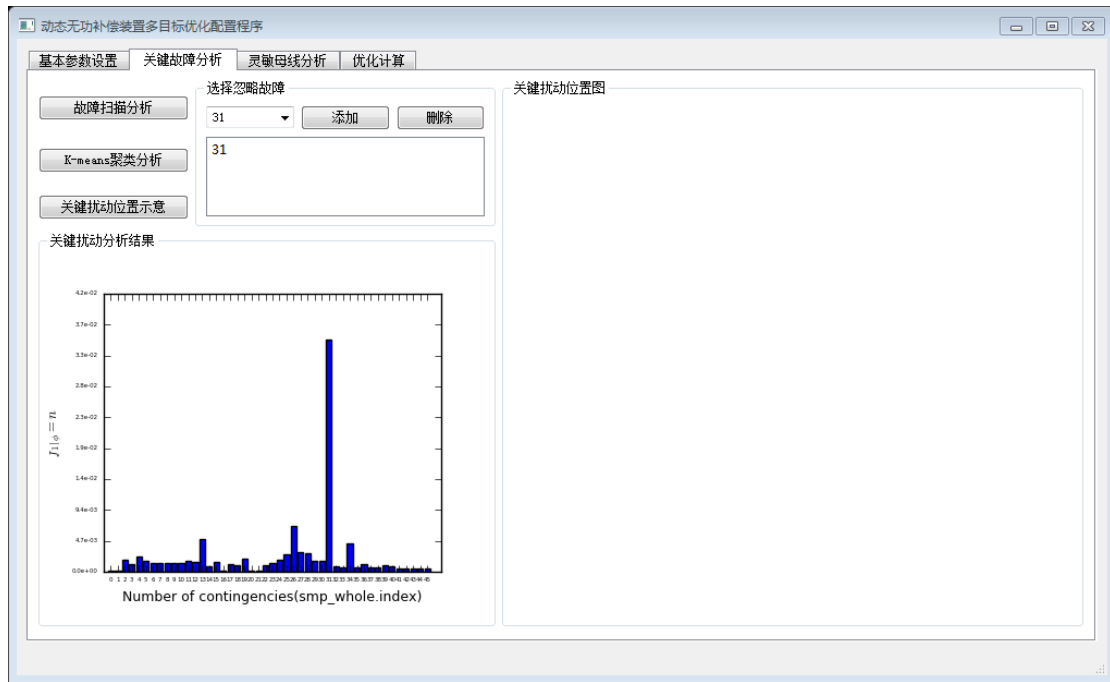


图 3

如图 4 所示，是聚类分析得到的结果，绿色条形代表故障为忽略故障，红色为聚类得到的关键故障。

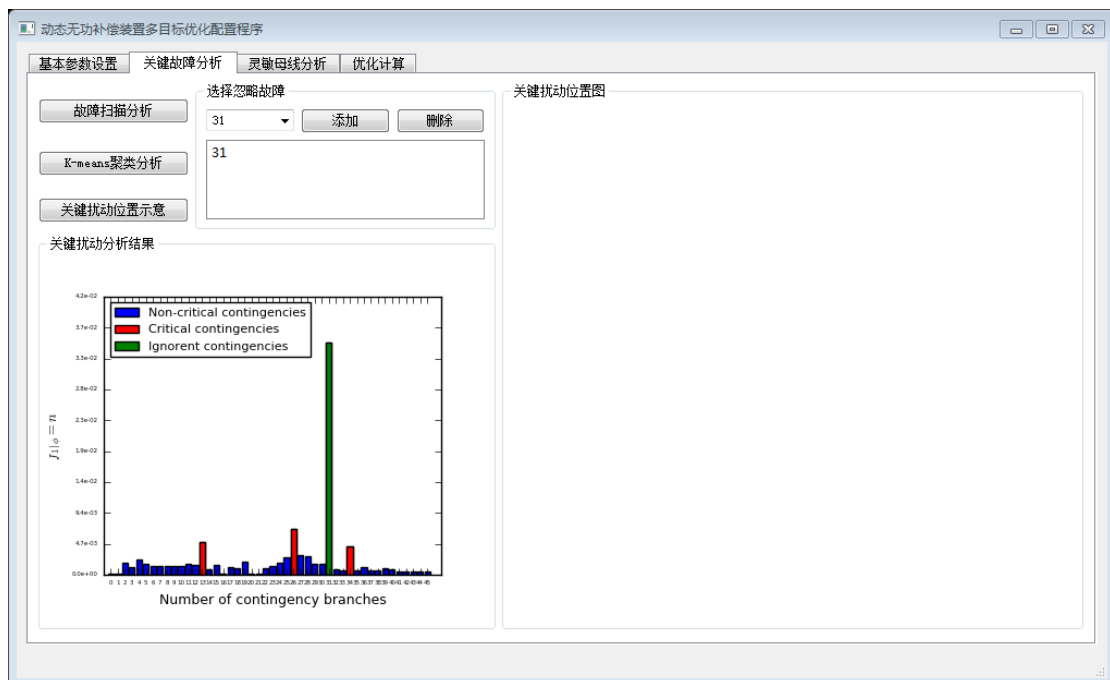


图 4

图 5 显示关键扰动位置示意图，图中红色支路表示关键扰动位置。

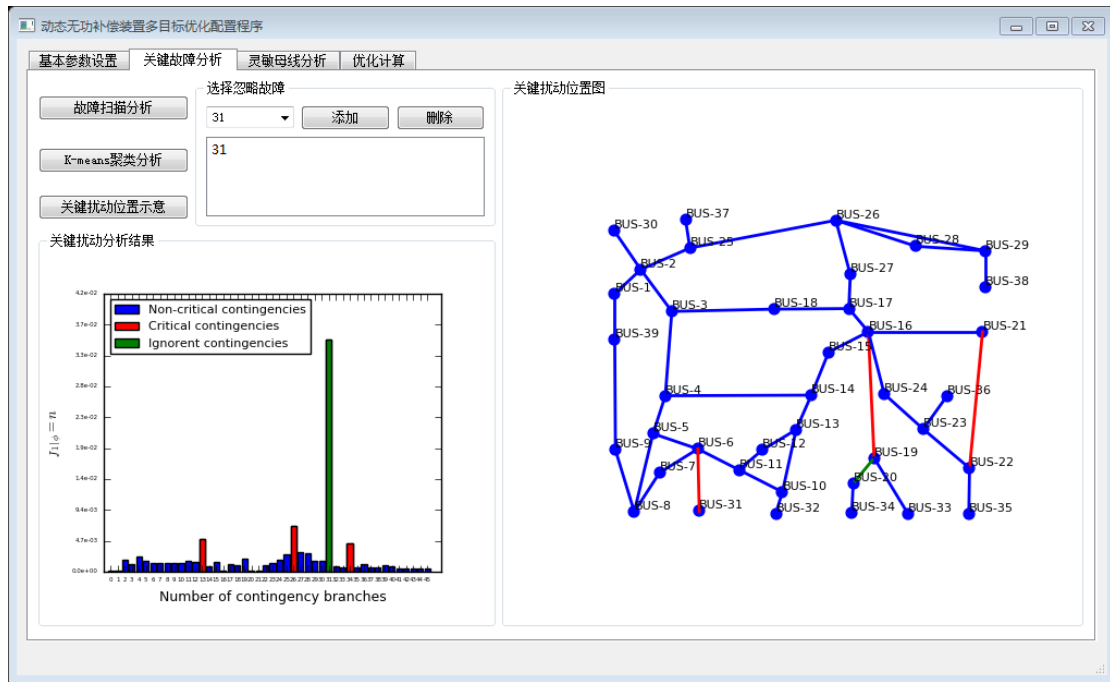


图 5

3.3 灵敏母线分析

如图 6、图 7 所示，为系统灵敏母线分析部分。图 6 中，首先对网络待选节点进行灵敏度计算，得到灵敏母线分析结果，忽略次要母线。图 7 基于 K-means 聚类技术选取灵敏母线，图中红色条形表示节点为聚类得到的灵敏节点。图 8 是灵敏节点位置示意图，显示出灵敏母线的地理位置信息，方便在实际电网中定位。

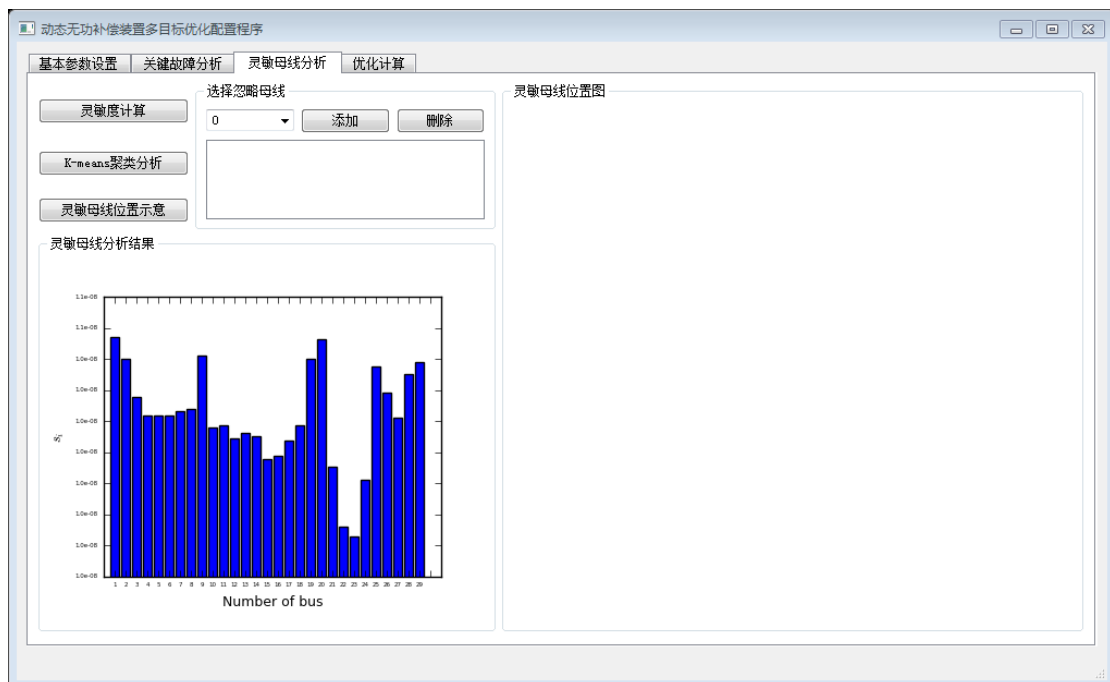


图 6

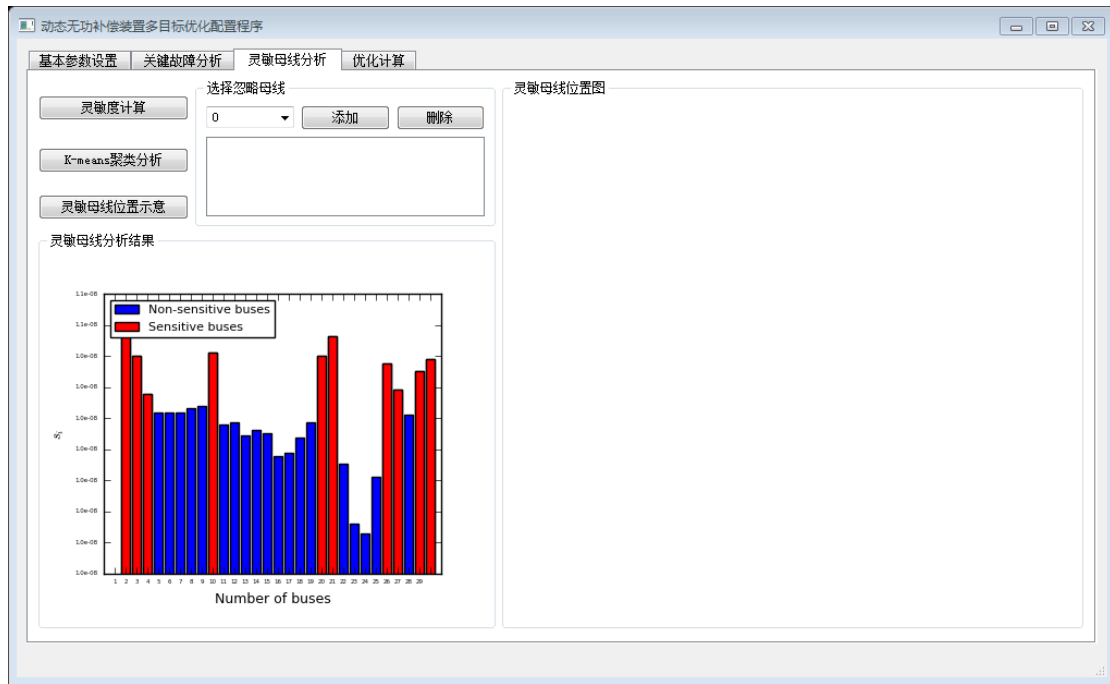


图 7

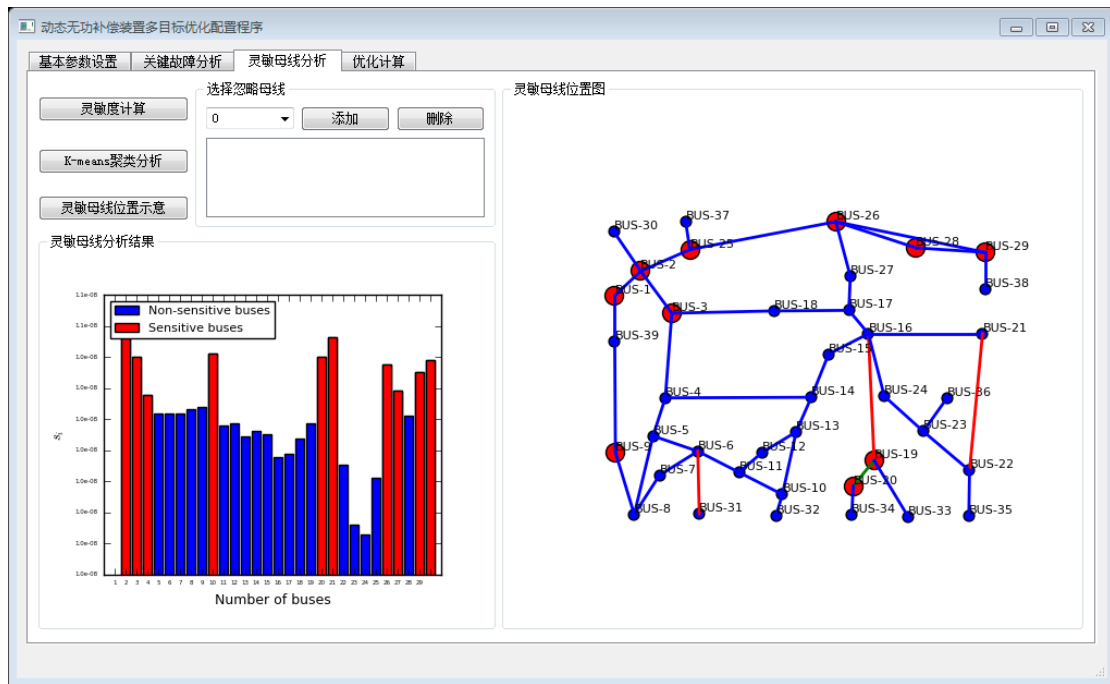


图 8

3.4 优化计算

软件程序提供四种多目标优化算法，包括：NSGAI，NSGAIII，MOEA/D 和 SPEA2，为用户提供多种选择以满足需求。算法参数如图所示，可以由用户自己选择。优化结果在程序中直接显示，并给出相应的配置方案示意图。散点图表示优化计算得到的 Pareto 最优配置方案集。在“目标函数值”下拉条中选择某一配置方案，点击“显示配置方案”按钮，即可显示出该配置方案的具体配置情况，

图中黄色三角表示 SVC，黄色方形表示 STATCOM，节点名称下方显示配置容量。

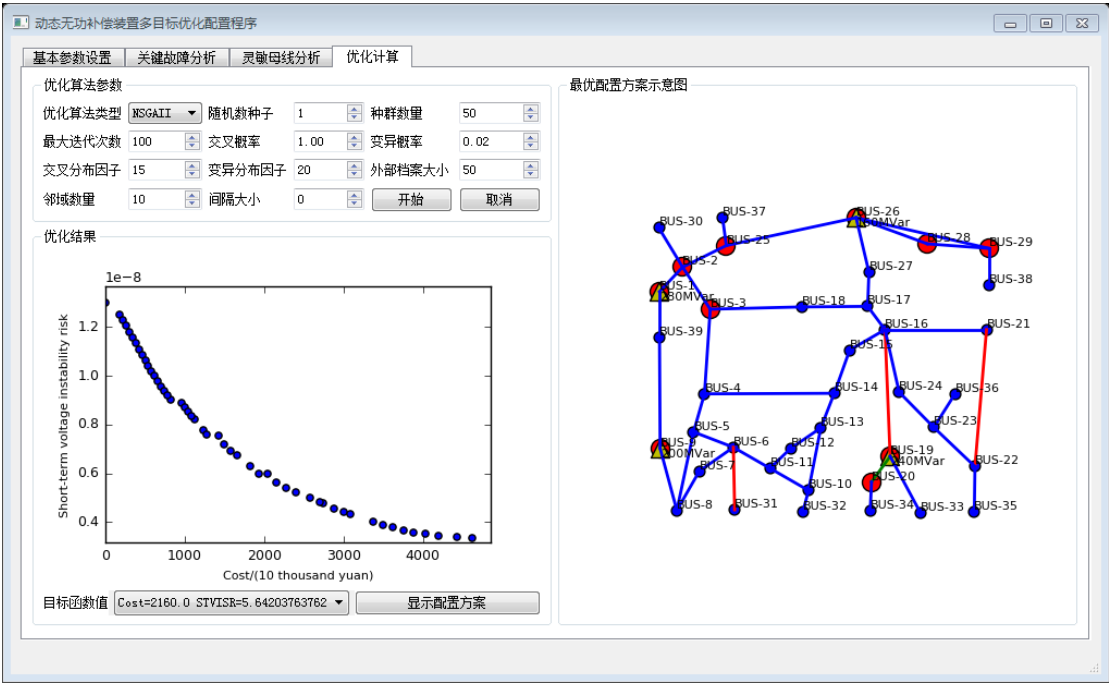


图 9