

动态无功补偿装置多目标优化配 置软件说明书

2016 年 04 月 03 日

目录

1 软件概况.....	2
2 软件程序步骤说明	4
3 软件流程图	6
3 软件程序数据说明	7
3.1. 系统数据	7
3.2. 外部程序数据	7
3.3. 动态无功补偿装置数据及其他规划参数.....	7
3.4. 优化算法数据	7
4 软件程序主要函数说明	7
4.1 基本参数保存函数	7
4.2 支路 N-1 故障扫描函数.....	8
4.3 忽略故障设置函数	8
4.4 关键故障聚类函数	8
4.5 标记关键故障函数	8
4.6 节点灵敏度计算函数	8
4.7 忽略节点设置函数	8
4.8 灵敏节点聚类函数	8
4.9 标记灵敏节点函数	8
4.11 多目标优化配置函数	9
4.12 显示配置方案函数	9
5 附图.....	9
5.1 IEEE39 节点标准系统图.....	9

1 软件概况

近年来，为解决日益突出的空气问题污染问题，我国北方一些大中型城市陆续减少了城市内部的电厂数量，系统的受端电网特征更加显著。另外，系统负荷成分中动态负荷比例也越来越大，特别是某些大城市的夏季高峰负荷中，空调负荷成分甚至能达到 40%。以上两方面因素均使系统的暂态电压稳定问题愈加突出。与静态电压稳定问题不同，系统中普遍使用的并联电容器无法解决暂态电压稳定问题，而基于电力电子技术的静止无功补偿器（Static VAR compensator, SVC）和 静止同步补偿器（Static synchronous compensators, STATCOM）等动态无功补偿装置由于能够在故障后快速提供无功补偿，被广泛应用于提高系统的暂态电压稳定性。相比并联电容，动态无功补偿装置造价较为昂贵，而动态无功补偿装置的类型、安装位置及安装容量均会影响对暂态电压稳定性的改善效果。因此，对动态无功补偿装置优化配置进行研究具有重要意义。

动态无功补偿装置多目标优化配置软件基于多目标优化算法，结合关键故障分析、灵敏节点分析技术，对动态无功补偿装置的类型、安装位置及安装容量进行优化配置，得到以投资费用最小和暂态电压失稳风险最小为目标的 Pareto 最优解集，以供规划人员进一步根据工程实际确定最终配置方案。软件主要具有以下特点：

1. 代码结构性强。程序的编写过程参照结构化编程方法，将大段复杂代码按照功能模块进行分类。每个功能只完成自己的计算目的，只与调用它的主体程序交互信息而不与其他功能模块交互，这使得程序的测试、排错、维护、升级工作能够顺序进行。。
2. 数据规范严格。程序输入数据基于电力系统中广泛使用的中国版 BPA 软件格式数据，保证了数据的规范性，且有利于工程推广。
3. 应用灵活。软件得到的最优配置方案为 Pareto 最优解集，保证规划人员可在软件计算完成后根据工程实际或考虑其他目标函数进行最终的方案选取。软件中的关键故障分析和灵敏节点分析功能模块也可灵活运用于解决其他运行规划问题中。
4. 计算过程自动化程度高。软件自动调用成熟的电力系统稳定计算软件 BPA，每次 BPA 软件计算完成后自动对生成的文本文件进行处理计算，此外，对关键故障的灵敏节点的基于聚类算法，整个过程除了用户只需设置基本的计算参数及点击相应的功能按钮即可。
5. 可视化程度高。软件运行过程中的结果均由图形显示，如利用柱状图显示关键故障和灵敏节点的分析结果，同时在系统的单线图中标出关键故

障和灵敏节点，利用散点图显示优化得到的 Pareto 最优解并可在系统单线图中显示各最优配置方案。

程序以 Windows 7 + Python2.7 为开发环境。

2 软件程序步骤说明

步骤 1：对系统进行关键故障分析，计算得到系统的若干关键故障。

步骤 2：对系统各非发电机节点进行灵敏度分析，计算得到系统的若干灵敏节点。

步骤 3：将优化计算中的系统故障集和候选安装节点分别设置为步骤 1 和步骤 2 中得到的关键故障和灵敏节点。

步骤 4：调用选择的多目标优化算法进行优化计算，得到最优 Pareto 解集。

步骤 1 中，由于只关心对系统暂态电压稳定最严重的故障场景，故只计及三相接地短路永久性故障一种故障类型，对系统所有支路进行该故障类型下的 N-1 故障扫描。

计算得到各故障的暂态电压失稳指标后，根据系统实际情况设置忽略故障，所忽略故障一般为对应暂态电压失稳风险指标较大而无法通过加装动态无功补偿装置降低失稳风险的故障场景，为降低后续优化过程中的计算量，建议预先选择出该类故障，但如不选择也不会影响最终的优化配置结果。

利用 K-means 聚类算法生成系统的关键故障集，聚类结果通过软件界面中的条形图显示，同时也可更加直观地在系统单线图中显示出系统的关键故障。

步骤 2 中，对系统各非发电机节点的灵敏度进行分析，该灵敏度指标反映系统暂态电压稳定水平对某节点动态无功补偿增量的灵敏度。具体计算方法为分别所有非发电机节点安装相同较小容量（如 10MVar）的同种动态无功补偿装置，对安装后的暂态电压失稳风险进行计算，进一步计算各非发电机节点的灵敏度指标。

根据系统实际情况选择灵敏度值较大而不具备安装动态无功补偿装置条件的节点，选择完成后调用 K-means 聚类算法得到灵敏节点集。

步骤 3 中，为了保证在可接受的计算时间内得到最优解以及提高多目标优化算法的寻优能力，将步骤 1 和步骤 2 中得到的关键故障和灵敏节点分别作为优化计算中的系统故障集和候选安装节点。

步骤 4 中，调用多目标优化算法进行优化计算，得到 Pareto 最优解集。此步骤中，可选择不同的多目标优化算法进行计算，包括 NSGAII、NSGAIII、SPEA2 和

MOEA/D 三种多目标优化算法。可采用默认的优化算法参数设置，也可自定义优化算法参数。

现以 IEEE-39 节点系统为算例，对软件程序步骤进行说明。

算例包含 39 个节点，10 台发电机，12 台变压器和 46 条输电线路。首先按步骤 1 对系统进行关键故障分析，分析结果如图 1 所示。图中，横坐标表示故障支路编号，纵坐标表示暂态电压失稳风险。图中绿色条形对应的支路 31 故障为聚类分析前选出的忽略故障，该故障对应的暂态电压失稳风险很大，但该故障对应的场景为一台发电机和与该发电机相连的一个负荷节点从系统的切除，故障后被切除的两个节点发生电压崩溃而系统其余部分迅速恢复到正常的电压水平，该故障一般通过增强系统网架结构解决而非加装动态无功补偿装置。进一步采用聚类算法进行聚类分析，得到图中红色条形对应的支路 13、26、34 为关键故障。

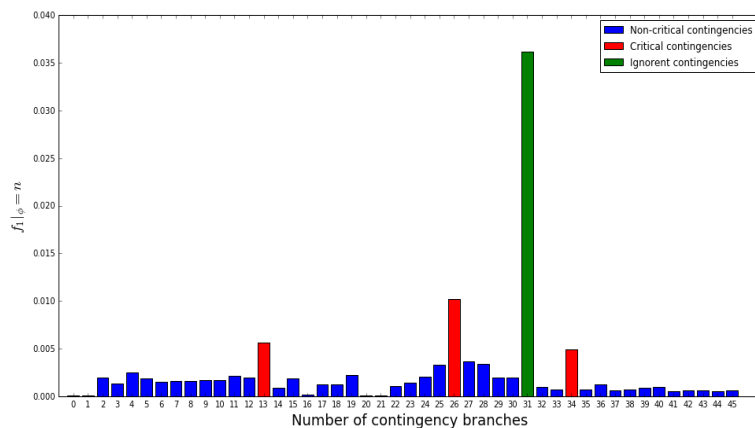


图 1 关键故障分析结果

按步骤 2 进行灵敏节点分析，分析结果如图 2 所示，图中横坐标为非发电机节点编号，纵坐标表示灵敏度指标。利用聚类算法计算后得到灵敏母线如图中红色条形所示，即选择节点 1、9、19、25、28、29 作为灵敏节点。

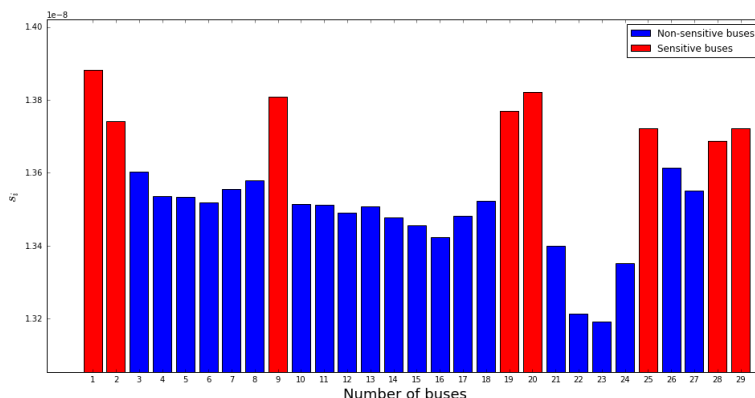


图 2 灵敏母线分析结果

按步骤 3，将优化计算中的故障集设置为步骤 1 得到的支路 13、26、34 故障，将优化计算中的候选节点集设置为步骤 2 得到的节点 1、9、19、25、28、29。进一步，步骤 4 中采用 NSGAII 算法进行优化计算，算法参数设置如表 1 所

示，优化结果如图 3 所示。图 3 中每一点分别代表一种配置方案，规划人员可进一步根据对暂态电压稳定水平的要求以及投资条件选择最终的配置方案。

表 1. NSGAI 算法参数设置

种群大小	迭代次数	交叉概率	交叉系数	变异概率	变异系数	随机种子
30	100	10	15	0.0333	20	1

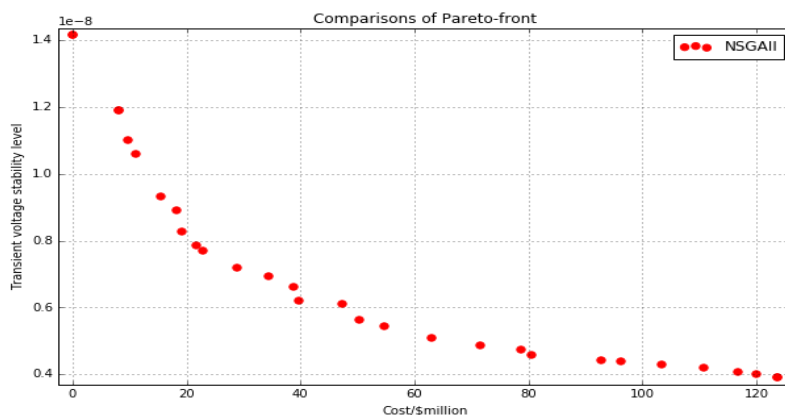


图 3. 优化算法运行结果

3 软件流程图

本软件的流程图请见下图 4。

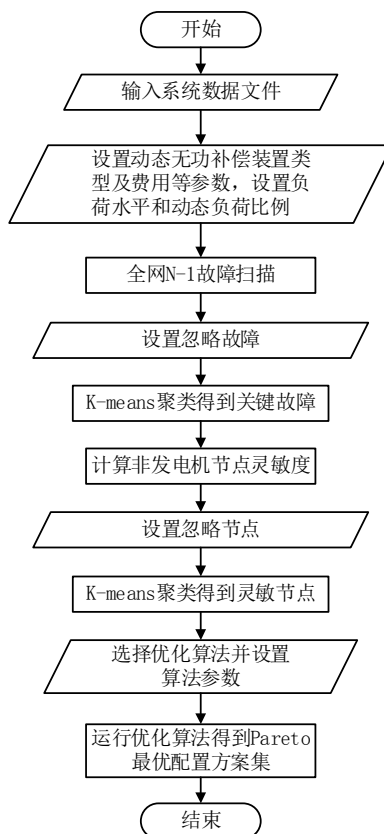


图 4 动态无功补偿装置多目标优化配置软件流程图

3 软件程序数据说明

3.1. 系统数据

系统潮流计算文件	中国版 BPA 程序.DAT 格式文件，存储系统潮流计算数据
系统稳定计算文件	中国版 BPA 程序.SWI 格式文件，存储系统稳定计算数据
系统潮流修改文件	中国版 BPA 程序.DAT 格式文件，用于修改负荷水平
支路故障数据文件	.TXT 格式文件，存储支路名称和对应的故障率数据
节点位置数据文件	.TXT 格式文件，存储节点名称和对应的地理位置信息

3.2. 外部程序数据

潮流计算程序	中国版 BPA 的 pfnt.exe 程序
稳定批处理计算程序	中国版 BPA 的 batBPA.exe 程序
计算结果文件	存储 batBPA.exe 运行生成的中间结果文件

3.3. 动态无功补偿装置数据及其他规划参数

补偿装置类型	可选 SVC、STATCOM 中任意一种或两者均选
补偿装置最大容量	单位为 MVAR
补偿装置容量最小间隔	单位为 MVAR
补偿装置安装费用	单位为万元
补偿装置购买费用	单位为万元/MVAR
负荷增长率	考虑规划年的负荷增长情况，基准值为给定潮流计算文件中的负荷量
动态负荷比例	考虑规划年的动态负荷比例变化情况，基准值为 1

3.4. 优化算法数据

优化算法类型	可选择 NSGAI、NSGAIII、PSEA2 和 MOEA/D 中的任意一种
种群数量	优化算法中种群数量大小，建议设置 30~100
最大迭代次数	优化算法迭代次数等于该次数时终止
随机数种子	设置相同的随机数种子可保证生成相同的初始种群
交叉概率	遗传操作参数，建议设置为 1
交叉分布因子	遗传操作参数，建议设置为 15
变异概率	遗传操作参数，建议设置为 1/种群数量
变异分布因子	遗传操作参数，建议设置为 20
外部档案大小	仅在优化算法类型为 PSEA2 时需设置该参数
间隔大小	仅在优化算法类型为 NSGAIII 时需设置该参数
邻域数量	仅在优化算法类型为 MOEA/D 是需设置该参数

4 软件程序主要函数说明

4.1 基本参数保存函数

声明: `def saveparameter_c(self);`

说明: 保存设置的基本参数, 包括潮流数据文件路径、潮流计算结果二进制文件路径、稳定数据文件路径、潮流修改文件路径、支路故障率信息文件路径、节点地理位置信息路径、潮流计算程序路径、稳定批处理计算文件路径、结果文件夹路径、动态无功补偿参数、系统负荷增长率及动态负荷比例。

4.2 支路 N-1 故障扫描函数

声明: `def faultanalyse(self);`

说明: 分别设置各支路的三相永久性短路故障, 计算相应的暂态电压失稳风险指标, 并将计算结果绘制成条形图显示。

4.3 忽略故障设置函数

声明: `def add_fault(self);`

说明: 设置忽略故障。

4.4 关键故障聚类函数

声明: `def kmeansfault(self);`

说明: 利用K-means聚类算法聚类生成关键故障, 并在条形图中显示。

4.5 标记关键故障函数

声明: `def mapfault(self);`

说明: 根据节点地理位置文件和潮流数据文件绘制系统单线图, 并在图中标记出关键故障对应的支路。

4.6 节点灵敏度计算函数

声明: `def senscompute(self);`

说明: 对各非发电机节点的灵敏度进行计算, 计算结果以条形图的形式显示。

4.7 忽略节点设置函数

声明: `def add_bus(self);`

说明: 设置忽略节点

4.8 灵敏节点聚类函数

声明: `def senskmeans(self);`

说明: 利用 K-means 聚类算法聚类生成灵敏节点, 并在条形图中显示。

4.9 标记灵敏节点函数

声明: `def mapsens(self);`

说明：在系统单线图中标记出灵敏节点的位置。

4.11 多目标优化配置函数

声明：`def optim_alpha(self):;`

说明：采用选择的多目标优化算法进行优化配置计算，并将优化计算结果以散点图的形式显示。

4.12 显示配置方案函数

声明：`def map_allocation(self):;`

说明：将选中的配置方案显示在系统单线图中。

5 附图

5.1 IEEE39 节点标准系统图

