

文章编号:1671-6833(2005)03-0106-03

# 配电网综合评估体系的研究

杨丽徙,包毅,张丹

(郑州大学电气工程学院,河南 郑州 450002)

**摘要:**配电网综合评估体系的研究是提高配电网建设改造管理的现代化科学化水平,深化电网改造工作的一个重要环节.以网络综合费用最小为目标函数,应用改进蚁群算法从诸多可行解中找出一组较好的解作为评估对象,以经济性、载荷率、网损、网络可靠性、短路电流水平等为评估指标,建立了基于模糊模式识别理论的综合评估体系.

**关键词:**配电网;改进蚁群算法;综合评估;模糊模式识别

**中图分类号:**TM 715 **文献标识码:**A

## 0 引言

经过近几年的城乡电网改造,我国城乡配电网已经逐步改善了设备老、事故率高、负荷过重、线路过载、可靠性差、线损严重、发展缓慢等状况.根据国家电力公司发输电部要求,通过对试点城镇评估的研究,提出与国际接轨的量化指标,提高城镇建设改造管理的现代化、科学化水平和工作效率,深化电网改造工作的一个重要环节.因此,本文从技术经济的角度出发,建立了相应的评估指标体系,并应用模糊模式识别理论实现了多目标优化的配电网综合评估.

配电网综合评估的基本思路是以网络综合费用最小为目标函数,应用改进蚁群算法从诸多可行解中找出一组较好的解作为评估对象,应用模糊模式识别理论从经济性、载荷率、网损、网络可靠性、短路电流水平等方面实现整个网络的评估过程,实现评估对象的量化优度排序.

## 1 评估对象

配电网综合评估系统中的评估对象是一组以综合费用最小为目标,从被评估网络所有可行解中选择的经济上最优、次最优、次次最优的网络规划方案.网络优化规划模型如下:

$$\min f(X) = \min \left[ \sum_{i \in n_1} \frac{C_1 L_i}{P_{*i}} + \sum_{i \in n_2} \left( \frac{C_1 L_i}{P_{*i}} + C_2 L_i \right) x_i \right] \quad (1)$$
$$V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max},$$

$$0 \leq P_i \leq P_{i \max},$$
$$\text{Radial}(\text{Net}) = \text{TRUE}.$$

式中: $n_1$ 是现有线路的集合; $n_2$ 是待选线路集; $x_i$ 为 $(0, 1)$ 量,当支路 $i$ 被选中时 $x_i = 1$ ,否则 $x_i = 0$ ;  $C_1$ 为单位长度线路的设备投资回收和折旧维修费用; $L_i$ 为支路长度,km,  $P_{*i}$ 为支路 $i$ 的载荷率;  $C_2$ 为单位长度线路的综合投资,万元/km.

为了充分利用现有网络资源,模型中假设所有现有线路均被选中并不再计及其投资费用.

在各项经济指标中,除了常规的综合投资、设备折旧维修费用以外,本文着重考虑了线路的载荷率,以便衡量各条线路的被利用程度.

假设  $P_i$  为线路 $i$ 上传输的实际有功功率,  $P_B$  为该线路的经济传输功率上限,则线路载荷率  $P_{*i}$  可以表示为

$$P_{*i} = P_i / P_B \quad (2)$$

当线路 $i$ 被选中且没有过负荷时,  $0 \leq P_{*i} \leq 1$ ; 在这种情况下,  $P_{*i}$  值越大说明线路被利用的越充分.

为了提高得到全局最优解的概率,摆脱传统优化算法中相关变量维数的限制,本文引进了改进蚁群算法对网络优化规划模型进行求解,具体方法参见参考文献[1].

## 2 相关评估指标

### 2.1 网络损耗

网络损耗的大小直接影响了电能的使用效率

收稿日期:2005-03-19;修订日期:2005-05-17

基金项目:河南省科技攻关项目(0324250075)

作者简介:杨丽徙(1956-),女,江苏省盱眙市人,郑州大学教授、博士,主要从事电力网络优化规划方面的研究工作.cnki.net

和经济效益,是网络评估的一项重要评估指标.常用的配电网损耗理论计算方法有潮流计算法、等值电阻法、最大电流法等.用自互导纳和节点电压表示的网损为<sup>[3]</sup>

$$\begin{cases} P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_i V_j G_{ij} \cos \theta_{ij} \\ Q_L = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_i V_j B_{ij} \cos \theta_{ij} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $P_L$  为电网有功功率损失; $Q_L$  为电网无功功率损失; $\theta_{ij}$  为节点电压 $V_i$  和 $V_j$  的相角 $\theta_i$  和 $\theta_j$  之差; $G_{ij}$ 、 $B_{ij}$  为网络导纳阵对应元素.本评估系统采用潮流计算法完成被评估网络的理论网损计算.

2.2 网络的安全性指标

对于满足  $N$  安全性条件的网络,是否满足  $N-1$  安全性准则,是衡量网络抵御一般性故障,运行是否灵活可靠的一个重要指标.即当网络中失去任一条线路,都不会引起其它线路超过其正常或紧急限制.

满足  $N-1$  安全性要求的网络形成的方法很多,本系统采用关键路径法来实现.

在潮流计算的基础上,对基本网络进行  $N-1$  故障排序,如果网络中某线路的退出会引起其它线路的过负荷,该线路就是关键路径<sup>[3]</sup>.网络安全性评估的基本思想是:

(1) 建立关键路径集.在确定的负荷水平下,根据潮流计算的结果,找出所有关键路径.

(2) 建立  $N-1$  网络方案集.每次移去一条关键路径,建立一个  $N-1$  网络方案集.

(3) 追加新支路形成增强方案.采用支路追加法,选择综合有效度指标最大的待选新增支路加入  $N-1$  网络,形成增强方案.假设新增支路  $k$  的有效度为  $E_{lk}$ , 则有:

$$E_{lk} = \sum_{l \in M_0} (\Delta P_{lk} / L_k) \quad (4)$$

其中: $L_k$  为线路 $k$  的长度; $\Delta P_{lk}$  为线路 $k$  加入系统后引起的线路 $l$  的潮流变化量; $M_0$  为 $N-1$  条件下的过负荷线路集.

选择综合有效度指标最大的备选线路加入电网,然后再寻找变化后网络的最严重故障情况,继续迭代分析下去,直到不出现过负荷为止.

(4) 网络安全性指标的确定.建立各被评估网络的增强方案,并根据增强方案的费用多少确定其网络安全性指标.

2.3 网络可靠性

配电网络直接与用户相连,是整个电力系统

向用户供电的重要环节,其供电可靠性的高低,直接影响着电力系统的供电质量.配电网络的可靠性评估实际上是对各被评估网络及其设备可靠性的综合评价.

本系统采用了基于最小路集法<sup>[4]</sup> 的可靠性评估方法.其基本思路是:对每一负荷,求取其最小路,根据网络实际情况,将非最小路上的元件故障对负荷点可靠性的影响折算到响应的最小路节点上,从而对于每个负荷点,仅对其最小路上的元件和节点进行计算即可得到负荷点相应的可靠性指标.具体计算分为 4 部分:

(1) 将配电网络图变换为工程计算用的方块图.由于本文只计算网络可靠性,因此变换过程当中只保留线路的等效元件,变压器、断路器等元件不予与考虑.

(2) 根据给定的可靠性判据求电源到负荷之间的所有最小供电通路;

(3) 将最小供电通路不交化;

(4) 求网络可靠性指标.

2.4 短路电流水平校验

短路电流分析也是配电网规划的一项基本内容.通过短路水平来校验各被评估网络断路器的切断能力,如果短路电流超过允许值,必须提高设备等级,将会增加网络投资.根据短路电流对系统危害的严重程度,本评估系统采用节点导纳阵法仅对三相对称短路电流进行校验,并选择各被评估网络中的最大短路电流作为评估指标.

3 综合评估系统理论及方法

系统评估就是评定被研究对象的属性,从系统整体出发,将这些属性变为客观定量的计算值.综合评价的方法很多,包括直接分析建模法、状态空间法、层次分析法、德尔菲法等<sup>[3][9]</sup>,其关键在于确定各单项指标在整个优化工作中的权重.本系统采用模糊模式识别理论<sup>[7]</sup> 完成被选方案的综合评估.

模糊模式识别的基本框架是对于被评估网络的相关指标,建立各样本集的特征矩阵,根据其相对隶属度和二元对比定性排序,确定出各评价指标的权重,通过广义权距离,将各评估网络的相关指标综合量化为优度排序,完成一个模糊模式识别过程.

3.1 指标特征值矩阵

设有需要对模糊概念或模糊子集 $A$  进行识别的  $n$  个样本组成的集合,有  $m$  指标(或目标) 特征值表示样本的整体特征,则有样本集的指标特征

值矩阵  $X$  :

$$X=[x_{ij}]_{n \times n} \tag{5}$$

式中:  $x_{ij}$  为样本  $j$  指标的特征值,  $i=1,2,3,\cdots m$  ;  
 $j=1,2,3,\cdots n$  .

3.2 相对隶属度矩阵

对于  $m$  个不同物理量纲的特征值,应根据相对隶属度、相对隶属函数的定义,采用规格化公式,确定混合型指标对优的相对隶属度  $r_{ij}$  并建立相应的相对隶属度矩阵:

$$R=[r_{ij}]_{m \times n} \tag{6}$$

对于模糊数越大越优的递减型指标,隶属度  $r_{ij}=x_{ij}/x_{i\max}$  ;对于模糊数越小越优的递增型指标,隶属度  $r_{ij}=x_{i\min}/x_{ij}$  .

3.3 二元对比定性排序标度矩阵及权重向量

对于个待评判的相关指标  $x_i$  进行两两对比,引入函数  $f(x_i,x_j)$  表征  $x_i$  与  $x_j$  之间的重要性标度.根据参考文献[7],建立正互易判断矩阵:

$$F=[f(x_i,x_j)]_{n \times n} \tag{7}$$

当该矩阵通过一致性检验时,将与  $\lambda_1$  相对应的特征向量作归一化处理,即可得到权重  $w$  向量.

3.4 评判函数

设  $w=(w_1,w_2,\cdots,w_n)$  是权重向量,  $r_{ij}$  为被评估网络的单项指标相对隶属度,则样本  $j$  的广义权距离为

$$u_j=1-\left\{1+\left\{\frac{\sum_{i=1}^m w_i(r_{ij}-1)^p}{\sum_{i=1}^m w_i r_{ij}^p}\right\}^{\frac{1}{p}}\right\} \tag{8}$$

式中:  $p$  为距离参数,  $p=1$  为海明距离,  $p=2$  为欧

氏距离.当  $p=1,2$  解得的方案排序一致时,即可确定  $n$  个样本组成的集合的相对优度,权距离越大方案越优.

4 结论

作者提出了配电网综合评估的思想和评估指标,为配电网运行规划和发展规划的网络评估奠定了基础,通过模糊模式识别理论,实现了网络方案的量化优度排序.同时,通过调整评估指标的权重,也可以为特定约束条件下网络优化规划提供决策依据.目前,一个以配电网地理信息系统为平台,具有良好性能的配电网综合评估系统的研究正在进行之中.

参考文献:

[1] 杨丽徙,张 丹,王家耀,等.配网规划中加入扰动策略的蚁群算法[J].继电器,2005,33(9):35~38.  
[2] 周全仁,张清益.电网计算与程序设计[M].长沙:湖南科学技术出版社,1983.  
[3] 孙洪波.电力网络规划[M].重庆:重庆大学出版社,1996.  
[4] 郭永基.电力系统可靠性原理和应用(上、下)[M].北京:清华大学出版社,1983.  
[5] 杨家本.系统工程概论[M].武汉:武汉理工大学出版社,2001.  
[6] 张延欣,吴 涛,王明涛,等.系统工程学[M].北京:气象出版社,1996.  
[7] 杨丽徙,王家耀,贾德峰,等. GIS 与模糊模式识别理论在变电站选址中的应用[J].电力系统自动化,2003,27(18):87~89.

Development of Comprehensive Evaluation for Power Distribution Network

YANG Li -xi , BAO Yi , ZHANG Dan

(Schod of Electrical Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China)

**Abstract :** The research of the comprehensive evaluation system of the distribution network is an important sector , which improves the scientific level in network management and deepens the distribution network transforming .This text regards total expenses minimum as the goal ,with improved Ant Colony Algorithm introduced to search a group of feasible solving as the assessing target .Several evaluation indexes such as economy load rate ,energy losses ,reliability and short circuit level are mentioned to establish the comprehensive evaluation system based on fuzzy pattern - recognition theory .  
**Key words :** distribution network ; improved ant colony algorithm ; comprehensive evaluation ; fuzzy pattern recognition theory