

# 多目标分阶段中压配电线路开关优化配置

许丹, 唐巍

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 针对我国配电网的特点, 提出了以一次性投资最小和综合费用最小相结合的多目标混合数学模型。该模型既适用于我国广大的农村地区又可以运用于城市配电网。在求解方法上根据实际情况, 基于释放负荷与隔离线路长度乘积最大原则, 结合成本效益分析法提出了断路器、隔离开关分阶段协调配置方案, 典型算例仿真结果表明, 所提算法计算速度快, 开关配置合理有效, 工程实用性强。

**关键词:** 中压配电网; 开关优化配置; 可靠性; 多目标

## Placement of optimal switch devices in radial distribution networks based on multi-stage multiple objective programming

XU Dan, TANG Wei

(School of Electrical and Information Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** According to characteristic of Chinese distribution networks, this paper proposes multiple objective mathematical model containing total cost minimization and comprehensive cost minimization. This model can be used in rural and urban distribution networks. According to practical situation, this paper proposes the program of placement of optimal switch devices based on product maximum of released numbers of loads and isolated length of line and the method of cost-benefit analysis. The testing results show that the proposed model and method are reasonable and effective.

**Key words:** distribution networks; placement of optimal switch devices; reliability; multiple objective programming

中图分类号: TM732 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)20-0047-06

## 0 引言

据统计, 电力系统故障大约80%来源于配电网, 提高配电网的可靠性可以有效地减少供电企业和用户的停电损失<sup>[1]</sup>。采用配电自动化技术, 在线路上安装分段开关、联络开关等环网设备, 达到隔离故障、减少停电时间的目的<sup>[1-9]</sup>, 是提高配电网可靠性的有效途径。因而如何科学合理地配置开关至关重要。

配电网开关的优化配置其研究的核心内容在于如何确定网络中开关安装的最优数量和位置。文献[1]引入了动态规划算法, 将开关配置位置以及类型作为动态规划的状态, 配置开关设备台数为阶段数, 实现动态规划计算, 但是动态规划算法需要各个阶段无后续行, 而开关的配置具有前后相互影响的特点, 因此算法很难得到最优解, 并且算法与执行原则过于复杂。文献[2~6]采用了遗传算法、免疫算法、人工鱼群算法等智能优化算法、智能优化

算法在求解大规模组合优化问题中具有很好的优势, 但是智能优化算法的全局最优解难以得到保证, 人工可控性差且计算速度缓慢。文献[7]提出了基于二分法的配置原则, 计算速度快, 但是它只是解决主干线分段问题, 并不是整个网络的开关优化配置。文献[8]也只是考虑了主馈线的开关优化配置。文献[9]的模型不是综合费用最小, 而是提出了基于负荷侧需求的模型, 更加突出了可靠性对用户的影响。

我国的配电网具有独特的地方, 农村配电网所占比例大且与城市配电网有着很大区别, 其突出特点在于: 线路出线比较长, 有的大大超过了供电半径要求; 线路所处的地理位置复杂, 故障定位, 检修, 各类操作困难; 线路负荷普遍较轻, 且负荷分布不均匀; 线路现有的配置相对落后, 很多线路除首端断路器外几乎没有配置任何分段开关; 用于农村电网建设的资金相对有限。这些特点决定农村中压配电网的开关配置应该给予单独考虑, 特别是对于现有的以综合费用最小为目标的规划方案, 在农

网建设资金相对有限的情况下就更加显得不尽合理了。

本文根据实际需要,提出了既适合于城市配电网又能针对农村配电网的多目标混合优化模型。在模型求解方面,根据断路器与隔离开关的不同性能给出了分阶段求解方案,基于释放负荷与隔离线路长度乘积最大原则给出了开关定位法则。仿真算例表明,该算法计算速度快,开关配置合理有效,工程实用性强。

## 1 多目标开关配置的数学模型

通常,配电网的可靠性越高,其投资相应就越大。电力公司通常面对两种选择方案,其一,在一次性投资有限的情况下只能以达到上级规定的可靠性指标为目的配置开关;其二,就是综合考虑开关总投资现值对应的等年值、设备的年运行费用、停电损失费用,以年综合费用最小为目标。现有文献基本都是以年综合费用为优化目标<sup>[1-6]</sup>。而我国大多数的农网都是面临第一种情况,因此本文将这两种情况皆予以考虑,引入了一次性投资最小为优化目标,建立了混合数学模型。

### 1.1 设备的一次性投资费用

开关设备的一次性投资费用由式(1)给出

$$C_B = n_1 e_d + n_2 e_g \quad (1)$$

式中:  $C_B$  为开关的一次性投资费用;  $n_1$  为断路器的个数,  $e_d$  为断路器的价格;  $n_2$  为安装隔离开关的个数,  $e_g$  为隔离开关的价格。

### 1.2 设备投资现值对应的等年值

在综合费用最优的模型中,需要对投资进行等年值的转换,其计算公式由式(2)给出

$$C'_B = C_B \frac{(1+i)^p \times i}{(1+i)^p - 1} \quad (2)$$

式中:  $C'_B$  为开关总投资现值对应的等年值,  $p_j$  为开关使用年限,  $i$  为贴现率。

### 1.3 运行维护费用

开关每年的运行维护费用按其投资的百分数给出:

$$C'_O = \lambda C'_B \quad (3)$$

式中:  $\lambda$  为一个固定比值,通常取 5%。

### 1.4 停电损失费用

系统每年的停电损失费用由式(4)给出:

$$C'_R = \sum_{j=1}^{n_{LP}} \sum_{t=1}^{T_j} E_{jt} C_{jt} \quad (4)$$

式中:  $C'_R$  为停电损失费用。  $E_{jt}$  为负荷  $j$  在时间  $t$  的停电容量,  $C_{jt}$  为负荷  $j$  在时间  $t$  的单位停电损失。

### 1.5 可靠性调节值

在以一次性投资最小为优化目标时,其投资只与开关数量有关,为了确保开关的安装位置最优,因此引入了可靠性调节值,由式(5)给出:

$$C_R = \beta(1-R) \quad (5)$$

式中:  $C_R$  为由于可靠性所造成的调节费用,可靠性越高,  $C_R$  越小。它由  $(1-R)$  乘以  $\beta$  系数得到。由于不同的开关配置对  $R$  影响一般为小数点后三位到四位,因此  $\beta$  系数取值可以为 10 000 左右。

### 1.6 可靠性指标的计算

系统可用度  $R$  的求解由式(6)给出

$$R = f_1(n_1, n_2, p) \quad (6)$$

式中:  $R$  为每种开关配置下的系统可用率,它与  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $p$  有关,其中  $p$  为开关配置的位置。 $R$  的求解方法很多,在此运用最常见的故障模式后果分析法<sup>[12-14]</sup>。

### 1.7 数学模型

多目标开关配置目标函数如下:

$$\min C_T = y_1(C_B + C_R) + y_2(C'_B + C'_O + C'_R) \quad (7)$$

该模型由两部分构成,与  $y_1$  进行乘积的为一次性投资最小项,与  $y_2$  进行乘积的则为综合费用最小项。

约束条件:

(1) 可靠性约束

$$R > R_0 \quad (8)$$

式中:  $R_0$  为预定达到的可靠性指标。

(2) 模型的选择

$$\begin{cases} y_1 \times y_2 = 0 \\ y_1 + y_2 = 1 \end{cases} \quad (9)$$

式中:  $y_1$ ,  $y_2$  为模型选择控制量,其取值为 0 或 1。

对于该数学模型的解释可以理解为:当  $y_1$  值取为 0 时,这时模型以一次性投资最小为优化目标,为模型 1。当  $y_2$  值为 1 时,模型以综合费用最小为优化目标,为模型 2。模型的求解就在于求出最优

的开关数量  $n_1, n_2$  值, 以及确定相应的开关位置  $p$ 。

## 2 多目标模型的求解方法

由于开关优化配置属于非线性的大规模组合优化问题, 传统的数学方法难于求解, 因此现有文献几乎全用了现代智能优化算法进行求解, 但是现代智能优化算法普遍存在以下问题: 计算量大, 容易陷入局部最优, 人机交互困难, 难于工程实用等。为了克服以上困难, 本文根据提出的开关配置准则, 采用了先配置断路器, 后添加隔离开关, 分阶段的配置方案。

### 2.1 开关配置的总体思路

现有文献在考虑开关配置时都是将断路器与隔离开关一起考虑, 其主要目的是为了获得更准确的优化结果, 但是由于配电网结构庞大而复杂, 这种操作方式通常计算量很大, 因此往往也很难获得最优解。为了减少计算量, 考虑到实际中断路器与隔离开关具有不同的作用, 其价格也相差甚远, 本文认为可以将断路器与隔离开关分别进行考虑, 提出先整体配置断路器再逐一添加隔离开关的方法。对于断路器的配置既考虑安装位置的最优性又兼顾工程实际情况, 首先根据线路情况确定断路器数量, 按照定位方法选择安装位置, 然后根据模型的约束条件逐一增加隔离开关。对于隔离开关的添加采用经济分析法中的成本效益分析法。

### 2.2 释放负荷数与隔离线路长度

为线路配置开关之所以能够提高系统的可靠性, 在于当线路故障时, 可以通过开关操作对故障进行隔离, 使得一部分负荷能够恢复供电, 从而减少停电负荷数。本文将开关隔离出的故障区域的线路总长定义为隔离线路长度, 将由于开关操作而减少的停电负荷数定义为释放负荷数。如图 1 所示, 断路器 1 的隔离线路长度为断路器 1 与断路器 2 所夹区域的线路总长, 而释放负荷数为  $L_{p1}$  到  $L_{p5}$ 。而断路器 2 的隔离线路长度为它右侧的所有线路总长, 而释放负荷数为  $L_{p6}$  到  $L_{p10}$ 。

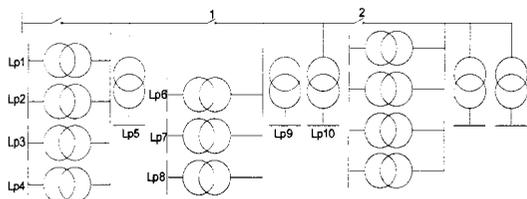


图 1 典型接线图

Fig.1 Typical distribution feeder

### 2.3 成本效益分析

所谓成本效益分析就是将投资中可能发生的成本与效益归纳起来: 利用数量分析方法来计算成本和效益的比值, 从而判断该投资项目是否可行。本文对于第二阶段的隔离开关配置若优化目标是综合费用最小, 则采用成本效益分析法。对于每一个即将添加的开关都设法使得其获得最大的效益, 当开关添加的效益已经无法弥补其投资成本时, 即停止开关添加, 从而获得最终的配置方案。

### 2.4 开关定位方法

由上一节可知, 每一个开关都有其特定的隔离线路长度与释放负荷数, 根据可靠性的评估方法, 要使得开关具有最大的效益, 就需要使得隔离线路长度与释放负荷数的乘积取得最大值。这也是本文所提出的开关定位方法的中心思想。该思想无论对于断路器还是隔离开关的定位均适用。

本文所涉及到的开关定位, 主要包括两个方面: 断路器的配置; 隔离开关的添加。两者的不同之处在于断路器的配置是多个开关的整体配置, 而隔离开关的添加是逐个开关的选址问题。

#### 2.4.1 断路器的配置

对于断路器的配置, 首先根据线路的实际情况确定安装断路器的初始个数。根据工程实际, 对于线进行两到三分段, 即需要配置 1 到 2 台断路器; 在长度超过总体线路长度  $1/5$  且绝对长度大于 8 km 的大分支的首端也可安装断路器。而后确定干线上断路器的安装位置。其核心思想仍然是如何确保隔离线路长度与释放负荷数的乘积取得最大。确定干线的断路器位置并不需要考虑各支线的具体结构, 因此本文将各支线进行等值处理, 统计出各个分支线的负荷数量与分支线总长即可。

由于线路长度与线路负荷数并不存在特定的联系, 因此不能单独根据线路长度或者负荷数量对干线进行简单的等分处理, 因此本文提出了基于分支线等效, 前后搜索的方式, 具体实现如下:

- (1) 统计整条线路的总长  $L$  与总负荷数  $N$ , 其中  $L$  不包括已经安装开关的大分支长度。
- (2) 将分支线进行等值, 即统计出分支线的负荷数量与分支线总长度。
- (3) 设  $m$  为干线分段数,  $i$  为当前配置的开关数, 令  $i=1$ , 表明开始配置第一台断路器。
- (4) 从电源点出发沿干线搜索, 逐步累加负荷个数  $n$ 。
- (5) 从线路末端出发沿干线逆向搜索, 逐步累加线路长度  $l$ 。
- (6) 当负荷累加值  $n$  达到  $i/m$  时, 停止负荷累加。当长度累加值  $l$  达到  $(1-i/m)$  时, 停止长

度累加。此时，会出现两种情况：其一，负荷累加停止点与长度累加停止点没有相交，此时将他们对夹的区域定义为开关安装预选区域；其二，负荷累加停止点与长度累加停止点已经相交背离了，此时将他们相交的区域定义为开关安装预选区域。为了确保预选区域能够包含可行的开关配置点，将预选区域两端引入区域裕度  $\Delta\sigma$  的适当延伸。

(7) 对预选区域中的点进行逐一试算，取  $m \times l$  值最大点为最终开关安置点。

(8) 令  $i = i + 1$ ，当  $i \leq m - 1$  时，循环执行过程

(4) ~ (8)。当  $i = m$  时，说明干线断路器配置已经结束，停止搜索。

### 2.4.2 隔离开关的配置

隔离开关的配置同样也包括开关安装数量与安装位置的确定。本文采取逐一添加方式，原则依然是根据隔离线路长度与释放负荷数的乘积取得最大，在确保每次安装的开关都能最大限度的提高可靠性，同时保证经济上的最优。问题的关键在于隔离开关添加的停止原则，由于本文采取的是混合模型，对于不同的模型，隔离开关的停止原则也不尽相同。当隔离开关停止安装时，其安装数量和位置都可以得到确定。隔离开关配置的具体流程如下：

(1) 根据干线断路器配置过程，可以得到每个断路器所管辖区域的线路长度与负荷数量。如果求解模型 1 则以线路长度与负荷数量乘积最大者为隔离开关安装预选区。如果求解模型 2 则以线路长度与负荷容量乘积最大者为隔离开关安装预选区。

(2) 在预选区内按照分支线等值，前后搜索的方式确定最终安装点。

(3) 计算停止条件。当以最小费用为目标时，如果系统可靠性约等于需求可靠性时，隔离开关则可停止添加；对于以综合费用最小为优化目标时，则采用成本效益分析法，当安装隔离开关而减少的停电损失已经无法弥补开关费用时则停止添加隔离开关。

(4) 如果不满足停止条件，则由于隔离开关的添加，使得原来的区域一分为二，继续循环执行过程 (1) ~ (3)；如满足停止条件，则输出计算结果。

需要注意的是：若隔离开关位于首端已有开关的分支时，这时分支具有相对独立性，则根据定位方法直接确定安装位置即可；若隔离开关位于没有任何开关的分支线首端时，它将对主干线造成影响，要重新根据断路器定位方法确定断路器位置。

### 2.5 算法流程

算法流程图如图 2。图中断路器的安装数量与定位参见 2.4.1 节；当断路器定位完成后，随即计算系统的可靠性  $R$  值，并与  $R_0$  进行比较，结果用于确定是添加隔离开关还是减少断路器初始个数；当逐一添加隔离开关时，根据求解的具体模型确定停止条件，模型 1 与模型 2 的具体解释参见 1.7 节，进而输出配置结果；隔离开关的添加方法参见 2.4.2 节。

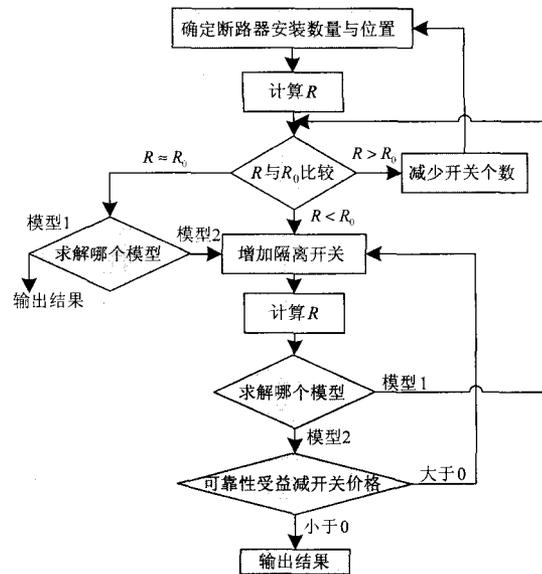


图 2 计算流程图

Fig.2 Process of calculation

### 3 算例及其分析

运用本文所提的算法对 RBTS\_BUS6 的主馈线 F4 配电系统进行了开关配置，其相关参数参见文献 [8]，接线图如图 3。采用本文方法对模型 1 的计算结果如表 1 所示（不计线路出口断路器）。对于模型 2，本文方法计算结果与文献 [1] 进行了对比，计算结果如表 2 所示。计算数据来源也参见文献 [1]，设备价格为：断路器 50 000 \$ / 组，分段开关 4 700 \$ / 组；设备的使用寿命为 20 年，每年的运行维修费用按投资的 3% 计算；贴现率  $i$  为 10%，停电损失为 2.810 43 \$ / (kWh)，预定达到可靠性 0.998 8。

表 1 模型 1 的计算结果

Tab.1 Calculation results of model 1

断路器	隔离开关	设备总投资 / \$	可靠性 ASAI
45, 53	50, 59	109 400	0.998 86

表2 模型2 的计算结果

Tab.1 Calculation results of model 2

方法	断路器	隔离开关 (线路首端)	设备总投资/\$	年综合费用/\$	可靠性 ASAI
本文算法	45, 53	41, 48, 50, 56 58, 59, 62, 64	142 300	101 799	0.999 29
文献[1]算法	45, 53	41, 48, 50, 56, 58, 59, 63	132 900	102 062	0.999 27

根据表1、表2结果,以一次性投资最小作为优化目标时比年综合费用最小为目标节省了7个隔离开关,一次性投资减少32900\$。当以年综合费用最小时,本文算法与文献[1]相比能够获得更优的解。依照本文算法虽然多装设了1个隔离开关,但是获得的可靠性收益却使得年综合费用减少了263\$。采用本文的算法,对于断路器的配置能够迅速地获得与文献[1]一样合理的结果。而隔离开关的配置只需要计算6次即可得到结果。

用了工程已有知识,将开关与可靠性的内在联系用于开关定位,都使得该问题的计算速度大大得到了提高,对于一般网络往往只需要很少的几次计算即可得到满意解。比较表明,该算法正确、有效且计算迅速。

参考文献

- [1] 谢开贵,刘柏私,赵渊,等.电网开关优化配置的动态规划算法[J].中国电机工程学报,2005,25(11):30-34.  
XIE Kai-gui, LIU Bo-si, ZHAO Yuan, et al.Placement of Optimal Switching Devices in Radical Electrical Distribution Networks Based on Dynamic Programming[J]. Proceedings of the CSEE, 2005,25(11):30-34.
- [2] Billinton R, Jonnavithula A. Ptimal Switching Device Placement in Radial Distribution Systems[J].EEE Trans on Power Delivery,1996,11(3):1646-1651.
- [3] Levitin Gregory, Mazal-Tov Shmuel, Elmakis David. Genetic Algorithm for Optimal Sectionalizing in Radial Distribution Systems with Alternative Supply[J]. Electric Power Systems Research,1995,35(15):149-155.
- [4] 谢开贵,周家启.基于免疫算法的配电网开关优化配置模型[J].电力系统自动化,2003,27(25):35-39.  
XIE Kai-gui, ZHOU Jia-qi. Model for Optimal Switching Devices Based on Immune Algorithm in Electric Distribution Networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(25):35-39.
- [5] 史燕琨,王东,孙辉,等.基于综合费用最低的配电网开关优化配置研究[J].中国电机工程学报,2004,24(9):136-141  
SHI Yan-kun, WANG Dong, SUN Hui,et al. Feeder-Switches Optimal Location Scheme for Comprehensive Cost Minimization in Distribution System[J]. Proceedings of the CSEE, 2004,24(9):136-141.
- [6] 张红霞,赵秀明,齐晓娜.基于人工鱼群算法的配电网开关优化配置研究[J].继电器,2007,35(7):27-30.  
ZHANG Hong-xia, ZHAO Xiu-ming, QI Xiao-na. Switching Optimization in Distribution Networks Based on Artificial Fish Swarm Algorithm[J]. Relay, 2007,35(7):27-30.

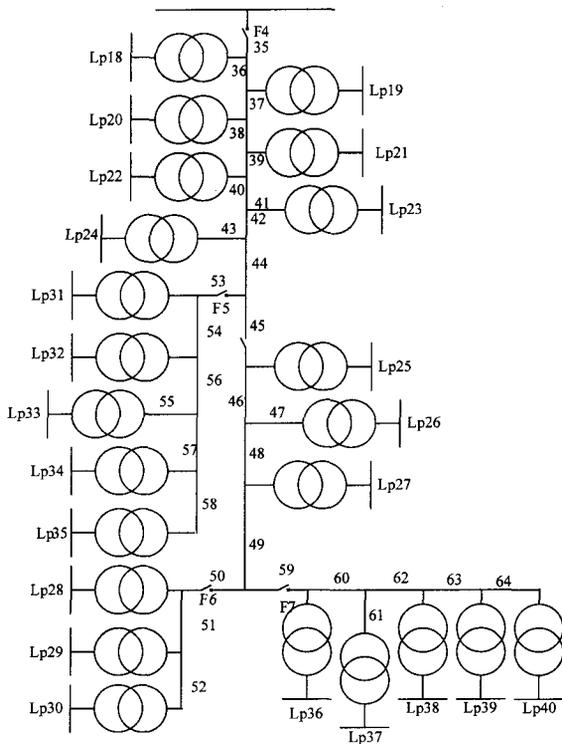


图3 RBTS Bus6的主馈线F4配电系统主接线图

Fig.3 RBTS-6-F4

4 结论

本文将开关优化配置问题与工程实践相结合,提出了将断路器与隔离开关分开考虑,断路器一次性配置,隔离开关逐一添加的方法。该方法充分运

- [7] 葛少云,李建芳,张宝贵.基于二分法的配电网分段开关优化配置[J].电网技术,2007,31(13):44-49.  
GE Shao-yun,LI Jian-fang,ZHANG Bao-gui.Optimal Configuration of Sectional Switches in Distribution Network Based on Bisection Method[J]. Power System Technology,2007,31(13):44-49.
- [8] 万国成,任震,荆勇,等.主馈线分段开关的设置研究[J].中国电机工程学报,2003,23(4):124-127.  
WAN Guo-cheng,REN Zhen,JING Yong,et al. Deployment of Disconnect Switches on Main Feeder[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(4):124-127.
- [9] Wang P, Billinton R. Demand-side Optimal Selection of Switching Devices in Radial Distribution System Planning[J]. IEEE Proceedings Online,1998,145(4):409-414.
- [10] 龙晓慧,乐秀镭,等.用于配电网开关优化配置问题的二进制PSO算法[J].电力学报,2007,22(3):319-322.  
LONG Xia-hui,LEI Xiu-fang,et al. Application of Binary PSO Algorithm to Switch Installing Optimization in Distributing Network[J]. Journal of Electric Power,2007,22(3):319-322.
- [11] Roy Billinton ,Satish Jonnavithula .A Test System For Teaching Overall Power System Reliability Assessment[J]. IEEE Trans on Power Systems,1996,11(4):1070-107.
- [12] 刘柏私,谢开贵,等.复杂中压配电网的可靠性评估分块算法[J].中国电机工程学报,2005,25(4):40-45.  
LIU Bo-si,XIE Kai-gui,et al. Section Algorithm of Reliability Evaluation for Complex Medium Voltage Electrical Distribution Networks[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(4):40-45.
- [13] 万国成,任震,吴日升,等.混合法在复杂配电网可靠性评估中的应用[J].中国电机工程学报,2004,24(9):92-98.  
WAN Guo-cheng, REN Zhen, WU Ri-sheng, et al. Hybrid Method for the Reliability Evaluation of the Complex Distribution System[J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(9):92-98.
- [14] 陆志峰,周家启,阳少华,等.多元件备用系统可靠性计算研究[J].中国电机工程学报,2002,22(6):52-55.  
LU Zhi-feng, ZHOU Jia-qi, YANG Shao-hua, et al. Study on Reliability Computation For System With Multi-Component in Reserve[J]. Proceedings of the CSEE,2002,22(6):52-55.
- [15] 王天华,王平洋,范明天.馈线自动化规划中环网开关配置的优化算法[J].电力系统自动化,1999,23(15):15-17.  
WANG Tian-hua,WANG Ping-yang,FAN Ming-tian. An Optimization Method Of Allocation of Sectionalizing Switch in Looped Networks for Feeder Automation Planning[J]. Automation of Electric Power Systems,1999,23(15):15-17.

收稿日期:2008-10-29; 修回日期:2008-11-21

作者简介:

许丹(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为配电网可靠性与开关优化配置以及GIS在配电网中的运用;E-mail: S07111259@cau.edu.cn

唐巍(1971-),女,教授,博士生导师,主要研究方向为配电自动化,电网性能分析,人工智能在电力系统的应用等。

(上接第46页 continued from page 46)

- [2] Ta-Peng,Jong-Ian Tsai.Torsional Interactions between an Electric Arc Furnace Load and a Turbine-Generator Set[A]. in:Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies(DRPT2004)[C].Hongkong (China) : 2004.627-632.
- [3] Zheng Tong-xin, Makram E B, Girgis A A.Effect of Different Arc Furnace Models on Voltage Distortion[A]. in:Proceedings of 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP'98)[C].Athens (Greece): 1998.1079-1085.
- [4] 高超,程浩忠,李宏仲,等.大容量冲击负荷对地区电网暂态稳定性的影响[J].电网技术,2008,32(1):31-35.  
GAO Chao,CHENG Hao-zhong,LI Hong-zhong, et al. Influence of High-Capacity Impact Loads on Transient Stability of Regional Power System[J].Power System Technology,2008,32(1):31-35.
- [5] 顾丹珍,艾芊,陈陈,等.冲击负荷实用建模新方法[J].电力系统自动化,2006,30(20):10-14.  
GU Dan-zhen,AI Qian, CHEN Chen, et al.A General Modeling Method for Impact Load[J].Automation of Electric Power Systems,2006,30(20):10-14.
- [6] 全国电压电流等级和频率标准化技术委员会.电压电流频率和电能质量国家标准应用手册[M].北京:中国电力出版社,2001.

收稿日期:2009-02-20; 修回日期:2009-03-18

作者简介:

刘丽霞(1981-),女,硕士,研究方向为电力系统规划和电力系统稳定分析;

岑海凤(1985-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统次同步谐振和轴系扭振。E-mail: cenhaifeng@hotmail.com