

# 配电网建设项目优化模型及求解

刘文霞, 刘春雨, 高丹丹

(华北电力大学 电气与电子工程学院, 北京市 昌平区 102206)

## Optimization Model of Distribution Network Construction Project and Its Solution

LIU Wenxia, LIU Chunyu, GAO Dandan

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Changping District, Beijing 102206, China)

**ABSTRACT:** A reasonable distribution network construction project planning is favorable to improve the economy of distribution network construction. For this reason, on the basis of considering the influences of kinds of distribution network project, various constraint conditions and climate on time limit for the project, taking the minimum risk of distribution network as the objective function an optimization model of distribution network construction project is built and solved by combining complex algorithm with genetic algorithm to ensure the convergence and global search ability of algorithms. The effectiveness of the proposed optimization model and solving algorithm is verified by the results of calculation example.

**KEY WORDS:** minimum risk; distribution network construction; complex algorithm; genetic algorithm

**摘要:** 合理制定配电网建设项目计划有利于提高配电网建设的经济性, 为此在考虑配电网建设项目的种类、多种约束条件以及气候对工期的影响的基础上, 以配电网风险最低为目标建立了配电网建设项目优化模型, 并结合复合形算法与遗传算法进行模型求解, 保证了算法的收敛性和全局搜索能力。算例结果验证了优化模型及求解算法的有效性, 优化结果可为配电网规划提供参考。

**关键词:** 最低风险; 配电网建设; 复合形算法; 遗传算法

## 0 引言

随着国民经济的发展及用电负荷的快速增长, 用户对供电可靠性和电能质量的要求越来越高。为了满足日益增长的用电需求, 国家近年来加大了配电网建设的投资, 同时随着智能电网建设进度的加快, 配电网新建和改造项目越来越多, 项目的实施给供电企业带来了很大压力。项目实施时间涉及到诸多因素, 如上级电源及负荷的分布情况、征地是否顺利、行政手续是否完备等, 项目实施时间安排的不合理会延长建设工期, 降低配电网建设的经济性。项目建设计划的科学安排很大程度上可减少停

电损失, 快速满足供电需求。因此, 如何合理优化配电网建设项目计划是配电网建设管理中有待解决的问题。

目前, 配电网建设项目研究主要集中在电网建设项目本身的风险、投资、建设规模以及经济评估等方面<sup>[1-6]</sup>, 而对已经确定的配电网建设项目, 其建设计划的整体优化问题还未得到足够重视。为此, 在充分考虑各种因素的基础上, 本文建立以最低风险为目标的配电网建设项目优化模型, 并采用复合形遗传算法进行求解, 为配电网规划提供参考。

## 1 配电网建设项目优化模型

### 1.1 目标函数

配电网建设项目优化的总体目标为尽可能满足电力需求、降低企业经济损失, 因此目标模型中应该包含供电需求和可靠性 2 个因素。目标函数中供电需求和可靠性 2 个因素给电网造成的风险可通过经济损失(损失电量与电价的乘积)体现, 具体表达式为

$$F = \min(F_1 + F_2) \quad (1)$$

式中:  $F_1$  为由于项目计划安排不当可能引起的少供电量与电价的乘积;  $F_2$  为项目计划安排不当或施工引起的可靠性降低折合的停电损失电量与电价的乘积。假设电价统一, 因此目标函数可用可能损失电量代替风险, 则目标函数可改为

$$F = \min \sum_{i=1}^N (\omega_i P + \psi_i P) \quad (2)$$

式中:  $\omega_i$ 、 $\psi_i$  分别为第  $i$  个建设项目可能引起的少供电量和可靠性降低折合的停电损失电量, kW·h;  $P$  为统一电价, 元/kW·h;  $N$  为某年配电网建设计划中项目个数。

不同类型的建设项目对  $F_1$  和  $F_2$  的影响不同,

求解方法也有差别，为此，本文将建设项目分为2类：

1) 变电站中压出线工程。该类项目主要以满足负荷发展、调整重(过)载线路、完善网架及明确供电范围为目的新出线工程。

2) 中压配电网改造工程。该类项目包括开关、线路改造，网架完善等工程。

针对建设项目的分类，分别建立电量损失计算模型：

1) 变电站中压出线项目的电量损失计算模型。

变电站中压出线工程的目的是满足供电需求，同时与现有线路进行联络，提高线路的供电可靠性。因此该类项目安排不合理可能引起的风险包括：应该接入的负荷不能正常接入、现有线路可靠性未提高、施工期可能引起停电损失。

由于施工引起停电的其他线路和用户很少，该部分损失可忽略。假设新出线项目完工后，新出线路与相联线路的负载率均在接线模式和线路型号所约束的范围内，能满足“N-1”安全准则，而且线路总供负荷能够满足预测结果。

由于项目安排不合理造成负荷不能正常接入产生的负荷损失可表示为

$$p_s = \begin{cases} p_f - \eta p_n, & p_f > \eta p_n \\ 0, & p_f \leq \eta p_n \end{cases} \quad (3)$$

式中： $p_f$ 为该供电区域需要满足的预测负荷； $p_n$ 为现有线路的总额定传输功率； $\eta$ 为现有接线模式对应的线路负载率。

供电区域损失负荷如图1所示。若项目不能按时投运，在 $[T_1, T_2]$ 时段内必然造成负荷损失。

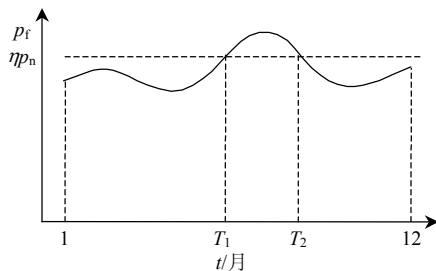


图1 供电区域损失负荷

Fig. 1 Load loss in power supply area

对于第*i*个建设项目，因损失负荷造成的电量损失为

$$\omega_i = \sum_{j=0}^{m_i} p_{sji} h_{ji} = \sum_{j=0}^{m_i} (p_{fji} - \eta p_{ni}) h_{ji} \quad (4)$$

式中： $p_{sji}$ 为少供月份*j*的少供负荷； $h_{ji}$ 为少供月份*j*的停电小时数； $m_i$ 为造成少供损失的月份总数；

$p_{fji}$ 为少供月份*j*需要满足的预测负荷。

对于项目安排不合理导致可靠性降低造成的停电损失，本文采用平均停电时间指标进行计算。对于第*i*个建设项目， $\psi_i$ 为用户停电与供电企业由于少售电而造成的损失电量之和<sup>[7]</sup>。由于项目投运前后可靠性指标(平均停电时间)发生变化，故停电损失电量 $\psi_i$ 包含项目投运前、后2部分

$$\psi_i = \psi_{1i} + \psi_{2i} = \left( \sum_{j=1}^{n_i} S_j \lambda_i \cos \varphi_i \right) [A_{IHC-1i} n_i t_i / 12 + A_{IHC-2i} n_i (12 - t_i) / 12] \quad (5)$$

式中： $\psi_{1i}$ 为1月份至项目投运月份之间的停电损失电量； $\psi_{2i}$ 为项目投运后至12月份之间的停电损失电量； $n_i$ 为线路用户数(配变数)； $S_{ji}$ 为线路第*j*台配变容量； $\lambda_i$ 为配变的平均利用率； $\cos \varphi_i$ 为配变功率因数； $A_{IHC-1i}$ 、 $A_{IHC-2i}$ 分别为项目投运前、后线路的用户平均停电时间； $t_i$ 为项目投运月份。

本文采用故障后果分析法计算用户平均停电时间，分析馈线组成元件(如开关、电缆线路、架空线路等)的各种潜在故障模式及其对系统的影响，统计各元件平均年故障率、故障时受影响的用户数、平均修复时间、负荷转移情况，进而可确定用户平均停电时间。

2) 中压配电网改造项目的电量损失计算模型。

中压配电网改造项目包括网架结构的完善，老旧设备、高损耗设备的改造等，目的是提高配电网的供电可靠性。因此改造项目损失电量的计算只考虑因安排不当导致可靠性降低带来的停电损失 $\psi$ ，计算公式如式(5)。

### 1.2 约束条件

约束条件如下。

1) 新出线投运时间与变电站投运时间约束。

针对变电站中压出线工程，新出中压线路的变电站必须为已投运或原有变电站。

$$t_r \geq b \quad (6)$$

式中： $t_r$ 、 $b$ 分别为变电站新出线投运时间和新出线所属变电站的投运时间。

2) 前期准备工作时间约束。

前期准备工作包括施工图设计及概算、施工图技术方案及概算审查、批复、施工招标、监理招标、合同签订、供材全部到货等，建设施工需满足在前期工作准备就绪的情况下进行。

$$t_b \geq p_e \quad (7)$$

式中： $t_b$ 为项目建设开始施工时间； $p_e$ 为建设项目

前期工作完成时间。

### 3) 市政规划时间约束。

若市政规划中需新修道路或道路改造,其施工时间必须与涉及到的线路、配变等设备及电缆沟的建设改造时间一致,保证电网建设线路不能因市政工程施工而耽误设备投运。

$$t_b \geq t_s \quad (8)$$

式中:  $t_b$  为项目建设开始施工时间;  $t_s$  为涉及的市政建设完成时间。

### 4) 时间调整约束。

由于受到人为或自然因素的影响,可能导致项目不能按照用户要求的时间投运,此时应调整时间限制,尽量将时间控制在合理范围内。

$$|t_a - t_r| \leq A \quad (9)$$

式中:  $t_a$  为用户或相关政策等要求的工程投运时间;  $t_r$  为建设项目实际投运时间;  $A$  为建设项目调整时间限值。

### 5) 资源限制约束。

规划部门人力、物力资源以及管理方面的限制,决定了所有建设项目不可能在同一时段进行。

$$n \leq M \quad (10)$$

式中:  $n$  为同一时段建设项目个数,  $1 \leq n \leq N$ ;  $M$  为同一时段建设项目个数限值,其取值与项目类型、实际工程要求等有关。

## 1.3 考虑惩罚机制的改进目标函数

为了在目标函数中体现约束条件的影响,本文将惩罚机制引入目标函数,改进后目标函数为

$$f = F + H = \min \sum_{i=1}^N (\omega_i P + \psi_i P + \beta_1 L_1 + \beta_2 L_2) \quad (11)$$

式中:  $H$  为惩罚值;  $L_1$ 、 $L_2$  分别为时间调整约束和资源限制约束的违反程度;  $\beta_1$ 、 $\beta_2$  为  $L_1$ 、 $L_2$  的惩罚系数。

## 1.4 受气候影响的投运时间的确定

由式(4)(5)可知,建设项目的投运时间直接影响电量损失,而建设工期又决定项目的投运时间,故为优化项目建设计划,需准确计算配电网建设项目的工期。

一般来说,电网建设项目多为户外作业,气候因素对工期的影响较大,该影响随季节的不同亦不同。根据工程量、资金投入等情况制定基本工期时,可不考虑气候因素,但需根据地区、月份制定不同的气候影响系数。

$$D = KD_b \quad (12)$$

式中:  $D$  为考虑气候影响的建设工期;  $K$  为气候影响系数;  $D_b$  为基本建设工期。

## 2 模型求解

### 2.1 复合形遗传算法

遗传算法(genetic algorithms, GA)模拟生物在自然环境中的遗传选择和自然淘汰的进化过程,为全局优化概率搜索算法。GA 可以采用二进制、整数、实值编码方式<sup>[8]</sup>。GA 实施群体搜索,不需要目标函数的导数信息,其全局搜索能力强,简单通用,广泛应用于各种复杂系统的优化问题。但 GA 也存在搜索时间长、易陷入局部最优解<sup>[9]</sup>、局部寻优能力差等缺点。复合形法具有较强的局部搜索能力,并能避免陷入局部最优解,对目标函数无特殊要求<sup>[10]</sup>。为此本文将结合复合形算法和遗传算法形成复合形遗传算法求解目标函数<sup>[11-15]</sup>。

### 2.2 求解步骤

求解步骤具体如下。

#### 1) 生成初始种群。

配电网建设计划优化问题需要对所有项目的开始时间进行编码,由于建设项目数量庞大,本文采用整数编码方式,以减小染色体长度。由于建设项目必须在一定的客观因素限制下进行,因此产生初始种群时,项目建设起始时间只能在允许范围内随机选取。

#### 2) 构建适应度函数。

本文采用式(11)作为适应度函数。

3) 采用复合形算法不断构造复合形,步步收缩,更换坏点,逐渐趋近最优解。

将初始种群中的个体作为初始复合形的  $k$  个顶点,然后计算复合形中所有顶点的适应度函数,找出最好点  $x_p$  和最坏点  $x_b$ ,然后求取映像点  $x_m$ 。

$$x_m = x + \alpha(x - x_b) \quad (13)$$

式中:  $x$  为除最坏点  $x_b$  以外所有顶点的中心点,且

$$x = \frac{1}{k+1} \sum_{i=1, i \neq b}^k x_i; \alpha \text{ 为反射系数,一般 } \alpha \geq 1。$$

检查  $x_m$  的可行性,比较  $x_m$  与  $x_b$  的适应度函数值,若  $x_m$  的适应度函数值小于  $x_b$  的适应度函数值,则用  $x_m$  替代  $x_b$ ,形成新的复合形;否则则将  $\alpha$  值缩小一半,再计算映像点  $x_m$ ,直到映像点  $x_m$  的函数值小于最坏点  $x_b$  的函数值。

当  $\alpha$  经过多次收缩达到  $\alpha(\epsilon$  为给定值,一般取  $10^{-4}$ ) 时,如果  $x_m$  的适应度函数值还是劣于  $x_b$  的适

应度函数值, 则说明映射失败, 此时, 需将次坏点替代最坏点  $x_b$ , 然后按照式(13)重新计算  $x_m$ 。

将复合形中相邻点的适应度函数值之差除以最好点  $x_p$  的适应度函数值, 并将该结果小于  $\delta$  作为迭代终止准则, 即

$$\frac{|f(x_i) - f(x_{i+1})|}{f(x_p)} \leq \delta, \quad i = 1, 2, \dots, k-1 \quad (14)$$

若满足终止迭代条件, 则输出结果, 否则转到式(13)继续执行运算。

#### 4) 交叉操作。

交叉操作中, 本文采取自适应减小交叉概率  $p_c$  的策略, 以对群体中的优良个体起到保护作用。

$$p_c = p_{c0} - (p_{c0} - p_{cmin})L_{oop} / G_{en} \quad (15)$$

式中:  $p_{c0}$  为进化初期选取的交叉概率;  $p_{cmin}$  为预先设定的小交叉概率;  $L_{oop}$  为当前进化代数;  $G_{en}$  为进化总代数。  $p_c$  的取值范围一般为 0.40~0.99。

#### 5) 变异操作。

为改变变异算子在整个寻优过程中的发散性, 在变异操作过程中自适应减小变异概率  $p_m$ 。

$$p_m = p_{m0} - (p_{m0} - p_{mmin})L_{oop} / G_{en} + \frac{p'_m f_{value}}{f_{max}} \quad (16)$$

式中:  $p_{m0}$  为进化初期选择的较大变异概率;  $p_{mmin}$  为预先设定的小变异概率;  $p'_m$  为当前进化代数的变异概率;  $f_{value}$  为当前个体的适应度函数值;  $f_{max}$  为当前群体的最大适应度函数值。  $p_m$  的取值范围一般为 0.000 1~0.010 0。

#### 6) 选择操作。

选择操作模拟生物界优胜劣汰的自然现象, 从旧种群中选择出适应性强的个体。本文选择算子采用比例选择算子, 个体  $i$  被选择的概率为

$$p_i = f_i / \sum_{k=1}^M f_k \quad (17)$$

式中:  $f_i$  为个体  $i$  的适应度;  $M$  为种群数。当个体选择概率确定后, 在  $[0, 1]$  区间产生均匀随机数来决定哪个个体参加交配。若个体选择概率大, 则能被多次选中, 其遗传基因会在种群中扩大; 若个体的选择概率小, 则将被淘汰。

#### 7) 终止条件判断。

若进化代数未达到最大迭代次数, 则转到步骤 3), 继续进化过程; 否则以进化过程中所得的具有最小适应度函数值的个体作为最优解输出, 终止运算。

复合形遗传算法流程如图 2 所示。

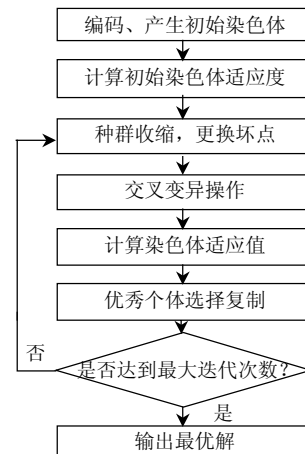


图 2 复合形遗传算法流程

Fig. 2 Flow chart of the complex genetic algorithm

## 3 算例分析

### 3.1 算例参数

南方城市某区占地面积约为 1 184 km<sup>2</sup>, 地处低纬度地区(北回归线附近), 雨量充沛, 阳光充足, 气候温和, 属于南亚热带季风气候区。该区为电子信息产业基地和传统制造业基地, 对供电可靠性要求高。

应用本文配电网建设项目优化模型, 分别采用遗传算法和复合形遗传算法对该地区供电公司 2010 年的 30 个配电网建设项目(新建项目 15 个, 改造项目 15 个)进行优化。

建设项目需考虑的约束条件如下:

1) 新出线投运时间与变电站投运时间的约束。项目 5、7 的投运时间必须在 7 月之后; 项目 14、15 的投运时间必须在 5 月之后。

2) 前期准备工作时间约束。项目 13 建设起始时间必须在 3 月之后, 项目 29 建设起始时间必须在 9 月之后。

3) 市政规划时间约束。项目 23 建设起始时间必须在 5 月之后。

4) 时间调整约束。项目 2、18 在 8 月份之前投运。

5) 资源限制约束。若建设项目中只有改造项目, 则可同时进行 6 个项目; 若同时包含新建和改造项目或者全为新建项目, 则只能同时进行 4 个项目。

假定  $P=0.5$  元/kW·h,  $\beta_1=\beta_2=100$ , 种群规模  $S_{ize}=100$ ,  $G_{en}=300$ , 染色体个数(即优化变量个数)  $C_{odel}=86$ ,  $p_{c0}=0.9$ ,  $p_{cmin}=0.4$ ,  $p_{m0}=0.01$ ,  $p_{mmin}=0.01$ ,  $\alpha=1.1$ 。

结合当地的历年气候状况及以往建设经验, 该

地区电网建设项目的的基本建设工期  $D_0$  分别为新建项目 3 个月、改造项目 1 个月。由于该地区雨量充沛,降水主要集中在汛期 4—9 月,降水量约占全年降水量的 96.0%,汛期气候影响系数  $K$  取 1.5,其他 6 个月  $K$  取 1。

### 3.2 优化结果分析

该地区 30 个建设项目的优化结果如表 1 所示。

表 1 优化结果  
Tab. 1 Optimization results

项目 序号	起始 投运				项目 序号	起始 投运				项目 序号	起始 投运			
	月份		月份			月份		月份			月份		月份	
	优 化 前	优 化 后	优 化 前	优 化 后		优 化 前	优 化 后	优 化 前	优 化 后		优 化 前	优 化 后	优 化 前	优 化 后
1	1	1	3	3	11	4	3	7	5	21	9	9	10	10
2	5	3	8	5	12	4	4	7	6	22	9	9	10	10
3	2	3	5	5	13	4	5	7	7	23	7	6	9	7
4	6	6	9	8	14	3	3	6	5	24	10	8	11	9
5	5	6	8	8	15	3	4	6	6	25	5	5	7	6
6	2	2	4	4	16	1	1	2	2	26	2	2	3	3
7	6	5	9	7	17	2	2	3	3	27	1	3	2	4
8	5	5	8	7	18	3	3	4	4	28	3	3	4	4
9	4	4	7	6	19	7	6	9	7	29	10	11	11	12
10	6	7	9	9	20	8	8	10	9	30	1	1	2	2

注:项目 1~15 为新建项目,16~30 为改造项目。

由表 1 数据及式(4)(5)可得,原始建设计划造成的损失约为 2.6 万元,而新的建设计划造成的损失约为 0.11 万元,因此优化后配电网建设项目的损失远低于原始配电网建设项目的损失,极大降低了电网运行风险。

对电网造成负荷损失较大的项目,应尽量在负荷高峰之前投运;存在设备残旧、导线截面积过小、线路负载率较重等问题的项目已经严重影响到配电网或用户的安全性、可靠性,应尽早施工,避开气候影响系数较大的月份,以缩短工期;对于网架优化等项目,短时间内不影响电网的正常运行,可适当延后,以合理分配有限的资金。

遗传算法和复合形遗传算法求解本文优化模型所得经济损失及收敛情况分别如表 2、图 3 所示。

表 2 经济损失  
Tab. 2 Economic loss 万元

算法	经济损失		
	最优值	平均值	标准差
遗传	0.45	0.75	0.0275 9
复合形遗传	0.11	0.23	0.0195 3

注:标准差=各结果与平均值之差的平均值,用来反映优化结果围绕平均值的分布密集程度。

由表 2 和图 3 可知:

1) 复合形遗传算法的标准差明显小于单纯遗传算法,由于标准差越小,优化值围绕均值的

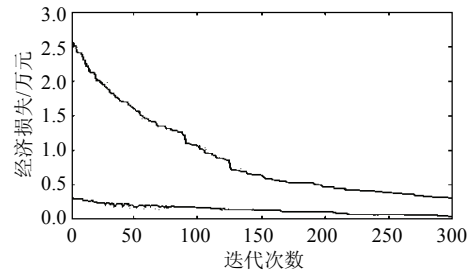


图 3 收敛曲线

Fig. 3 Convergence curves

分布越密集,均值的代表性就越好。

2) 复合形遗传算法收敛速度较快,大约迭代 200 次时就已接近最优值;而遗传算法收敛较慢速度,且搜索容易陷入局部最优。

## 4 结论

配电网建设计划优化问题的研究对提高供电公司的经济效益和竞争力具有重要现实意义。本文优化模型考虑了各种约束,并量化了气候因素对项目建设工期的影响,所建优化模型的适应性强,优化结果可为规划人员宏观把握配电网建设计划、指导配电网建设计划的合理实施提供参考。

建立合理的配电网建设项目优化模型,准确计算由停电引起的经济损失是关键。由于不同类型用户受到停电事故的影响不同,停电损失与停电发生时间有关,现有调查数据难免有偏差,并且不同类型的用户电价也存在差异,因此下一步在充分考虑上述因素后,可对所建优化模型进一步完善。

## 参考文献

- [1] 罗凤章,肖峻,王成山,等.计及电价波动的电网建设项目经济评估区间法[J].电网技术,2005,29(8):20-24.  
Luo Fengzhang, Xiao Jun, Wang Chengshan, et al. An interval economic evaluation method for projects of power system planning considering electricity price fluctuation[J]. Power System Technology, 2005, 29(8): 20-24(in Chinese).
- [2] 甘德一,张媛敏,曾鸣.电网建设项目投资优化方法研究[J].改革与战略,2009,25(189):61-63.  
Gan Deyi, Zhang Yuanmin, Zeng Ming. Optimization of investment for grid construction projects[J]. Reformayion & Strategy, 2009, 25(189): 61-63(in Chinese).
- [3] 赵会茹,王鹤,韩英豪,等.电网建设项目投资优化及辅助决策支持系统研究[J].华东电力,2007,35(6):23-25.  
Zhao Huiru, Wang He, Han Yinghao, et al. Investment optimization for grid construction projects and aid decision-making systems for grid investment[J]. East China Electric Power, 2007, 35(6): 23-25(in Chinese).
- [4] 王文山.电网建设项目投资决策评价[J].电网技术,2007,31(2):90-92.  
Wang Wenshan. Decision-making evaluation in grid construction investment[J]. Power System Technology, 2007, 31(2): 90-92(in Chinese).

- [5] 李欣然, 朱湘有, 李培强, 等. 地区电网建设规模综合评估方法研究[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2008, 35(2): 61-65.  
Li Xinran, Zhu Xiangyou, Li Peiqiang, et al. Research on the comprehensive evaluation method of planning size in district distribution power grid[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2008, 35(2): 61-65(in Chinese).
- [6] 孙薇. 电网规划项目风险评估研究[D]. 河北: 华北电力大学, 2009.
- [7] 牛雪媛, 陈根永, 谢志棠, 等. 考虑停电损失的配电网网架规划的免疫算法[J]. 继电器, 2004, 32(7): 10-13.  
Niu Xueyuan, Chen Genyong, Tse Chitong, et al. Artificial immune algorithm for distribution network structure planning with power outage cost[J]. Relay, 2004, 32(7): 10-13(in Chinese).
- [8] 雷英杰, 张善文, 李续武, 等. Matlab 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2005: 2-3.
- [9] 刘蔚, 韩桢祥. 基于最优潮流和遗传算法的配电网重构[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 29-33.  
Liu Wei, Han Zhenxiang. Distribution network reconfiguration based on optimal flow pattern algorithm and genetic algorithm [J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 29-33(in Chinese).
- [10] 王蕾, 陈义保. 改进遗传复合形算法及其在并行公差优化设计中的应用[J]. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 2006, 19(2): 130-135.  
Wang Lei, Chen Yibao. Improved genetic polygon algorithm and its application in concurrent tolerance optimization design[J]. Journal of Yantai University: Natural Science and Engineering Edition, 2006, 19(2): 130-135(in Chinese).
- [11] Ghasemi M R, Hinton E, Wood R D. Optimization of trusses using genetic algorithms for discrete and continuous variables [J]. Engineering Computations, 1999, 16 (3): 272-301.
- [12] 刘晓飞, 彭建春, 高效, 等. 基于单亲遗传算法的配电网规划[J]. 电网技术, 2002, 26(3): 52-56.  
Liu Xiaofei, Peng Jianchun, Gao Xiao, et al. Distribution network planning based on partheno-genetic algorithm[J]. Power System Technology, 2002, 26(3): 52-56(in Chinese).
- [13] 王雷, 顾洁. 中压配电网优化规划的改进单亲遗传算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(3): 72-76.  
Wang Lei, Gu Jie. Improved partheno-genetic algorithm for medium voltage distribution network optimal planning[J]. Proceedings of the Electric Power System and Automation, 2006, 18(3): 72-76(in Chinese).
- [14] 盛四清, 王浩. 用于配电网规划的改进遗传算法[J]. 电网技术, 2008, 32(17): 69-72.  
Sheng Siqing, Wang Hao. An improved genetic algorithm for distribution network planning[J]. Power System Technology, 2008, 32(17): 69-72(in Chinese).
- [15] Kurt A H, John Eddy, Kemper E L. Efficient global optimization using hybrid genetic algorithms[C]//9th AIAA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization. Atlanta: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002: 2002-5429.



刘文霞

收稿日期: 2010-10-09。

作者简介:

刘文霞(1967), 女, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统智能规划、电力系统通信, E-mail: liuwenxia001@163.com;

刘春雨(1984), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统规划与可靠性;

高丹丹(1986), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统分析、运行与控制。

(编辑 徐梅)