

配电网综合规划的遗传算法

鞠 平¹ ,王 勇¹ ,李靖霞²

(1.河海大学电气工程学院 ,江苏 南京 210098 ; 2.国家电力总公司南京自动化设备总厂 ,江苏 南京 210003)

摘要 :以遗传算法为基础 ,提出一种将变电站容量、位置的选择和馈线布线综合考虑、一体优化的方法 .该方法虽然使模型结构变得更加复杂和庞大 ,但是由于考虑全面 ,模型精确 ,用遗传算法来搜索变电站的供电范围 ,能找到传统方法难以找到的优化解 .具体算例证明了本文算法的有效性 .

关键词 配电网 ;电网规划 ;遗传算法

中图分类号 :TM715 ;TM74 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2003)01-0087-04

变电站选址和馈线布线是配电网规划的重要组成部分 .目前 ,用于配电网规划的优化模型可以分为两大类^[1] ,即单阶段模型^[2~6]和多阶段模型^[7] .在一些配电网规划研究的文献中^[8,9] ,将变电站规划和馈线的优化区分开来先后进行 .在变电站规划中 ,将馈电网进行简化处理 .比如将负荷进行分区 ,以区与区之间的负荷转载能力来代表馈电网 ,再如将负荷分成一个个网格范围 ,根据区或网格的负荷大小和粗略网损优化出变电站的最优供电半径 ,在此基础上求得变电站的位置、容量 .在馈线优化规划中 ,由于变电站规划方案已定 ,可根据已选定的变电站位置和容量 ,以网络总的投资、运行费用最少为优化目标 ,优化出馈线的最优走向、长度和型号 .这样变电站规划和配电网规划先后分开进行 ,可以简化问题 ,具有应用上的方便性 ,但所得结果不一定最优 ,甚至不一定次优 .因为馈电网络的费用在配电系统中占较大部分(尤其是运行费用) ,但这些在变电站规划过程中难以得到体现 .

为此 ,本文以遗传算法为基础 ,提出一种将变电站容量、位置的选择和馈线布线综合考虑、一体优化的方法 .这样做虽然使模型结构变得更加复杂和庞大 ,但是由于考虑全面 ,模型精确 ,势必能得到更好的优化结果 .规划是一种离线的工作 ,对计算速度并没有太高的要求 ,但方案的优化却能为电力部门节省大量的建设投资和维持费用 .由此看来 ,以时间为代价换取计算的精度是合适的 .

1 综合规划的数学模型

以年费用为目标函数 ,变电站位置、容量和馈线走向、类型的综合优化规划的数学模型可描述为

$$\min Z_{cost} = \sum_{i=1}^n f_i(S_i) + \sum_{i=1}^n \sum_{j \in J_i} g_{ij}(D_{ij}(W_j) + C_{ij}(W_j)) \tag{1}$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j \in J_i} W_j \leq S_i \alpha(S_i) \cos \varphi \quad i = 1, \dots, N \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^N g_{ij} = 1 \quad g_{ij} \in \{0, 1\} \quad j \in J_i \tag{3}$$

$$\Delta V_{\min} \leq \Delta V \leq \Delta V_{\max} \tag{4}$$

其中 $f_i(S_i) = f_i(S_i) \frac{r_0(1+r_0)^m}{(1+r_0)^m - 1} + u(S_i)$

式中 : Z_{cost} ——变电站和馈线网络的年费用 ; $f_i(S_i)$ ——变电站年投资和运行费用的和 ; $u(S_i)$ ——变电站的年运行费用 ; S_i ——第 i 个待建变电站的容量 ; $\alpha(S_i)$ ——变电站内变压器的负载率 ; J_i ——由变电站 i 供电

收稿日期 2001-11-12

基金项目 国家教育部高校优秀青年教师奖励计划资助项目

作者简介 鞠平(1962—) ,男 ,江苏靖江人 ,教授 ,博士 ,主要从事电力系统模拟与控制研究 .

的负荷节点集合; W_j —— j 负荷点的有功负荷; g_{ij} ——标志 j 负荷点是否由 i 变电站供电的参数, $g_{ij}=0$ 为是, $g_{ij}=1$ 为否; n ——待建变电站的总数; m ——变电站的折旧年限; N ——已有和待建的变电站总数; r_0 ——贴现率; $f_i(S_i)$ ——第 i 个待建变电站的投资费用; $D_q(W_j), C_q(W_j)$ ——变电站二次侧网损费用和二次侧馈线投资费用, $q=1, 2, \dots, L, L$ 为可供选择的导线型号的数目; ΔV ——相应线路的电压偏差; $\cos\varphi$ ——功率因素; $\Delta V_{\min}, \Delta V_{\max}$ ——各馈线支路允许的电压偏差的下限和上限。

这是一个包括变电站位置、容量及供电范围确定和网络结构优化的大规模、非线性、复杂的优化问题,必须采用十分有效、尤其是全局性能好的求解方法。

2 求解思路与步骤

本文用遗传算法来求解以上数学模型。基本思路如下:先由各负荷点的负荷大小和位置来优化确定变电站位置(假设得到的变电站为可行的),再由费用最小原则来确定能满足负荷要求的最小的变电站容量,然后对每个变电站供电范围内的馈线类型和网络结构进行优化。

由于遗传算法针对最大化问题,而目前的问题是最小化问题,这里取适应度函数为变电站和馈线网络年费用 Z_{cost} 的倒数,即 $\text{fitness} = 1/Z_{\text{cost}}$ 。这样,适应度越大,则年费用越小。

供电范围的划分和变电站的选址是求解的关键。常用的方法是分配和选址交替迭代进行。

a. 分配步骤。对于给定的变电站坐标位置(X_i^t, Y_i^t)($i=1, 2, \dots, N, t$ 为迭代次数),确定负荷点的分配集合 J_i ,使得各负荷点分配给离它最近的变电站。

b. 选址步骤。分配步骤已将负荷点分成集合 J_i ($i=1, 2, \dots, N$),对每个负荷集合求负荷中心以确定变电站的位置(X_i^{t+1}, Y_i^{t+1}),其公式如下:

$$X_i = \frac{\sum_{j \in J_i} p_j x_j}{\sum_{j \in J_i} p_j} \quad Y_i = \frac{\sum_{j \in J_i} p_j y_j}{\sum_{j \in J_i} p_j} \quad (5)$$

式中: x_j, y_j ——负荷点的位置坐标; p_j ——负荷点的有功需求。

以上两个步骤交替进行,直至变电站的位置坐标不再改变为止。这种方法虽然简单,但只是按负荷就近分配的原则求解,不能保证得到最优的分配和选址方案。

本文利用遗传算法自动地划分供电范围,并从中寻找最佳的范围划分。进行供电范围的划分,首先要确定变电站的数目。根据规划区的电压等级、负荷率高低等具体情况,可给定几种变电站内变压器的容量和台数的组合供规划挑选。寻找其中最小的变电站容量 $S_{\min}$,假设新建的变电站全部选用容量为 $S_{\min}$ 的组合,则需建变电站的数目为

$$n_{\min} = \left\lceil \frac{\sum W - \sum P}{S_{\min} e \cos\varphi} \right\rceil + 1 \quad (6)$$

式中: $\sum W$ ——规划区内总的有功负荷; $\sum P$ ——现有变电站在规划年内允许带的总有功负荷; e ——变电站的负载率[$\times$]——取整数。

在确定了新建变电站的个数 $n_{\min}$ 后,就可以进行供电范围的划分。假设已有的可继续带负荷的变电站个数为 n_y ,那么可带新增负荷的变电站总数 N 为: $N = n_{\min} + n_y$ 。将每个负荷点随机地分配给 N 个变电站,用遗传算法中的编码方法,给每个负荷点一个优化变量,优化变量的值为变电站的编号。如果某个变电站未带任何负荷,则此变电站不用建设。不论新建还是已有的变电站,若其供电范围内的总负荷大于其自身容量(对于新建的变电站可将待选的最大的变电站组合作为自身容量),则此次范围划分视为无效,人为地将代表此次划分的个体的适应度值设置为很小的值,使其在进化过程中被自然淘汰。

对于可行的供电范围划分,需要确定新建变电站的位置。这里同样使用负荷集合中心点作为新建变电站的位置,然后选取所有满足供电范围内负荷总和的容量最小的变电站组合作为变电站内变压器台数和容量;最后对变电站供电范围内的负荷点进行网络结构优化。整个求解过程步骤如下:

a. 生成初始个体,即随机将负荷点分配给各变电站。

b. 对于每个个体计算其适应度值(a)确定变电站位置及容量(b)按文献[8]中的方法进行网络结构优

化并同时优化选择导线截面类型 (c)计算变电站和馈线投资及运行费用总和 (d)取个体的适应度为其相对应的年费用的倒数 ,即 $fitness(i)=1/Z_i$,年费用越小 ,适应度越大 ,被选作为父代的可能性越大。

- c. 进行选择、交叉和变异操作 ,产生下一代。
- d. 若满足收敛条件 ,结束 ,否则 ,回到上一步。

3 算 例

变电站的投资及损耗计算参数与文献 [9]中相同 ,线路的投资及损耗的计算参数与文献 [8]中相同。设变电站中可选的变压器容量和台数有 2 种 $2\times 10\text{ MVA}$ $3\times 10\text{ MVA}$ 。待选的导线的截面有 3 种 150 mm^2 , 180 mm^2 和 240 mm^2 。负荷节点的参数如表 1 所示。

分别用分配、选址交替迭代的方法和本文提出的方法求解该问题 ,以便比较。

a. 分配、选址交替迭代的方法。首先需要确定变电站的个数。因为各节点的负荷总和为 26.6 MVA ,至少需要 a ,b 两个变电站。变电站的位置通过分配、选址交替迭代来确定 ,而网络的结构用特殊变量遗传算法来优化得到。该算法的计算量主要集中在网络优化上 ,整个计算过程费时 11 s 。优化得到的方案 1 中的变电站位置如表 2 所示 ,接线和导线截面如表 3 所示 ,接线图如图 1(a)所示。

表 1 负荷大小及位置

Table 1 Power load and its location

节点	坐标 (x ,y)	负荷 /MVA	节点	坐标 (x ,y)	负荷 /MVA
1	(12 ,8)	2.00	6	18 ,7	3.40
2	(16 ,13)	3.65	7	14 ,14	3.53
3	(12 ,11)	2.32	8	20 ,13	3.29
4	(8 ,14)	2.00	9	20 ,11	3.29
5	(9 ,10)	2.16	10	14.5 ,11	0.96

表 2 优化方案

Table 2 Optimum solutions

优化解	方案编号	年费用/万元	变电站 a 位置	变电站 b 位置
最优解	2	131.87	(10.72 ,10.77)	(17.52 ,11.63)
次优解 1	1	132.19	(10.29 ,10.75)	(17.25 ,11.51)
次优解 2	3	137.74	(17.38 ,8.74)	(14.00 ,12.58)

表 3 优化方案接线

Table 3 Wiring in optimum schemes

方案 1				方案 2				方案 3			
线路端点	导线截面 /mm	线路端点	导线截面 /mm	线路端点	导线截面 /mm	线路端点	导线截面 /mm	线路端点	导线截面 /mm	线路端点	导线截面 /mm
a ,1	150	b ,6	150	a ,1	150	b ,2	150	a ,1	150	b ,4	150
a ,3	150	b ,7	150	a ,3	150	b ,6	150	a ,6	150	3 ,5	150
a ,4	150	b ,8	150	a ,4	150	b ,7	150	a ,9	150	b ,7	150
a ,5	150	b ,9	150	a ,5	150	b ,8	150	b ,2	150	b ,8	150
b ,2	150	b ,10	150	3 ,10	150	b ,9	150	b ,3	180	b ,10	150

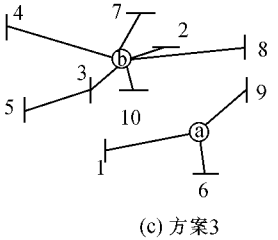
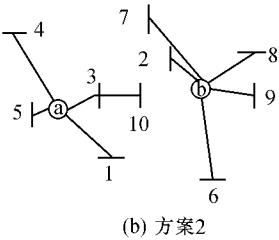
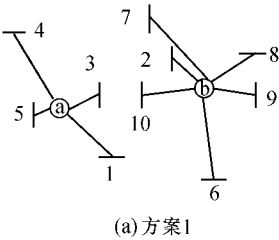


图 1 优化方案接线图

Fig.1 Wiring diagram for optimum schemes

b. 遗传算法。考虑到待建变电站数量较少 ,且负荷节点数量不多 ,可以将遗传算法中最大代数和人口数取得相应较小 ,以缩短运算时间。这里取最大代数为 10 ,每代人口数为 9 ,交叉率和变异率分别为 0.9 和 0.3。在网络结构优化中 ,为获得最优网络结构 ,最大代数和人口数取得相对大些 ,取最大代数为 100 ,人口数为 51 ,交叉率和变异率分别为 0.9 和 0.05。由于要用遗传算法优化变电站供电范围和网络结构 ,所以此算法的

计算量大于前一种算法,总共费时 130 s. 优化解如表 2 所示,在优化得到的规划方案中,需要建 a 和 b 两个变电站,其中方案 2 为最优解,接线如图 1(b). 次优解 1 为方案 1,次优解 2 为方案 3,接线如图 1(c)). 方案 2 和方案 3 的接线和导线截面如表 3 所示.

由表 2 中费用大小可知,用遗传算法求解得到的最优方案 2 优于分配与选址交替迭代法优化得到的方案 1. 在方案 2 中第 10 号节点与变电站 a 的距离为 3.79 km,与变电站 b 的距离为 3.09 km. 10 号节点的分配并非按照就近分配原则. 这表明在分配与选址交替迭代方法中按最近原则分配不一定能得到最优解. 由表 2 可知,方案 2 为遗传算法优化结果中的次优解 1. 虽然遗传算法费时较多,但能得到最优解是值得的. 在用遗传算法进行求解时,不仅可以得到最优解,还可以得到一组次优解作为决策参考. 这也体现了遗传算法的优越性.

4 结 论

针对变电站位置、容量和馈线布线综合规划问题,本文应用遗传算法划分供电范围进行寻优. 用遗传算法进行综合规划与传统的分配、选址交替迭代的算法相比,可以以较大概率找到用传统方法难以找到的最优解,还可以给出一组次优解供参考. 通过算例证明了本文算法的有效性.

参考文献:

- [1] SURSH K K, LAWRENCE C Leung. Power distribution planning: a review of models and issues[J]. IEEE Trans PWRS, 1997, 12(3): 1151—1158.
- [2] PONNAVAIKKO M, PRAKASA Rao. Optimal distribution system planning[J]. IEEE Trans PAS, 1981, 100(6): 2969—2976.
- [3] ADAMS R N, LAUGHTON M A. Optimal planning of networks using mixed integer programming[J]. Proc IEE, Part C, 1974, 121(2): 139—148.
- [4] MASUD E. An interactive procedure for sizing and timing distribution substations using optimization techniques[J]. IEEE Trans PAS, 1974, 93(5): 1281—1286.
- [5] HINDI K S, BRAMPELLER A. Design of low-voltage distribution networks: a mathematical programming method[J]. Proc IEE, Part C, 1977, 124(1): 54—58.
- [6] WILLIS H Lee, NORTHGOTE-GREEN J E D. Comparison of several computerized distribution planning methods[J]. IEEE Trans PAS, 1985, 104(1): 233—240.
- [7] GONEN T, FOOTE B L. Distribution system planning using mixed-integer programming[J]. Proc IEE, Part C, 1981, 128(2): 70—79.
- [8] 李靖霞, 鞠平. 配电网优化规划的基因算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 12—15.
- [9] 陈章潮, 唐德光. 城市电网规划与改造[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998. 80—98.

Comprehensive planning of distribution networks with genetic algorithms

JU Ping¹, WANG Yong¹, LI Jing-xia²

(1. College of Electrical Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Nanjing EPAC General Factory, State Power Corporation, Nanjing 210003, China)

Abstract: Based on genetic algorithms, an integrated method was proposed for comprehensive planning of the capacity and location of power sub-stations and feed wire arrangement. By search for the supply regions of power sub-stations, the method can find an optimum scheme that is difficult to be obtained by the conventional method. The results of a computational example show that the method is effective.

Key words: distribution network; network planning; genetic algorithms