

基于负荷转移的中压配电所综合规划

黄小鉢, 陈星莺

(河海大学 电气工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对 35 kV/10 kV 两级变电站综合规划模型, 提出了一种基于遗传算法的负荷转移方法。利用遗传算法通过两级分别规划和直接 35 kV 变电站规划这两种方式进行两级变电站供电范围的划分, 找出其中的边界负荷。对边界负荷进行有效转移求取介于两种方式间更优的供电范围划分方式并由此得到变电站规划方案。该方法综合考虑了两级变电站间供电范围的影响, 能够得到两级分别规划时难以找到的最优解。算例分析结果证明了该方法的有效性和可行性。

关键词: 配电网; 遗传算法; 变电站规划; 负荷转移

中图分类号: TM 715

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)04-0062-03

0 引言

在进行配电网规划时往往将变电站规划和馈线的优化区分开来先后进行, 以简化问题的复杂程度。国内外已有许多关于优化配电变电站站址和容量的研究成果^[1~5], 这些研究尽管各有特点, 但都是从最低的电压等级开始, 逐级向上处理。这种做法的模型比较简单, 但由于没有考虑各级之间的相互影响, 所以往往无法达到最优效果。

本文在此基础上分析了适用于 10 kV 和 35 kV 两个电压等级的变电站规划模型并提出了一种求解方法, 综合考虑两级变电站之间的供电关系, 较好地解决了分级规划中难以找到最优解的问题。

1 配电网变电站综合规划模型

以年费用为目标函数, 35 kV 和 10 kV 变电站综合规划的数学模型可描述为

$$\min C_{\text{cost}} = \sum_{i=1}^{n_1} C_{i35} + \sum_{k=1}^{n_2} C_{k10} + \sum_{k=1}^{n_2} \sum_{j \in J_k} q_{kj} \beta_1 W_j d_{kj} + \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{k \in J_i} q_{ik} \beta_2 P_k d_{ik} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in J_i} P_k \leq S_i e(S_i) \cos \varphi_i \quad i=1, 2, \dots, n_1 \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J_k} W_j \leq S_k e(S_k) \cos \varphi_k \quad k=1, 2, \dots, n_2 \quad (3)$$

$$d_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \leq R_{35i} \quad (4)$$

$$d_{kj} = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2} \leq R_{10j} \quad (5)$$

式中 n_1, n_2 分别为 35 kV, 10 kV 变电站数目; $\sum_{i=1}^{n_1} C_{i35}$ 为 35 kV 变电站建设的固定费用和运行费用; $\sum_{i=1}^{n_2} C_{i10}$ 为 10 kV 配电变压器固定费用和运行费

用; S_i, S_k 为第 i 个 35 kV 和第 k 个 10 kV 待建变电站和配变的容量; $e(S_i), e(S_k)$ 为变电站中变压器的负载系数; W_j 为第 j 个负荷的有功功率; $P_k = \sum_{j \in J_k} W_j$ 为第 k 个 10 kV 配变的总负荷; J_i 为由第 i 个 35 kV 变电站所供电的 10 kV 配电变压器的集合; J_k 为由第 k 个 10 kV 配变供电负荷点的集合; d_{ik} 为第 i 个 35 kV 变电站与第 j 个 10 kV 配变之间的距离; d_{kj} 为第 k 个 10 kV 配变与第 j 个负荷点之间的距离; q_{ik} 为保证 1 个 10 kV 配变由 1 个 35 kV 变电站供电而引入的 0-1 变量; q_{kj} 为保证 1 个负荷点由 1 个 10 kV 配变供电而引入的 0-1 变量; β_1, β_2 为二次侧线路的网损折算系数; R_{35i}, R_{10j} 为第 i 个 35 kV 变电站和第 j 个 10 kV 配变的供电半径。

2 变电站综合规划方法^[1,4~6]

求解上述模型的基本思路如下: 首先, 分别求解 10 kV 和 35 kV 电压等级的最优供电范围, 然后将得到的 10 kV 配变作为负荷, 进行 35 kV 等级的供电范围划分。这样可以得到两种 35 kV 供电范围的划分形式, 找出其中的边界负荷, 进行负荷转移, 得到目标函数的最优解。

取目标函数的倒数为适应度函数, 即

$$F = 1/C_{\text{cost}}$$

适应度越大, 年费用越小。

首先, 按下式计算各级变电所的数目:

$$n_i = \lceil \sum W / (S_i e_i \cos \varphi_i) \rceil + 1 \quad (6)$$

$$n_{\min} = \min n_i \quad (7)$$

式中 $\sum W$ 表示规划区域内总有功负荷; S_i 为变电所可选容量; e_i 为变电所负载率; $\lceil \cdot \rceil$ 表示取整数。在得到了新建变电站的初选个数后, 利用文献

[5]的方法进行供电范围的划分和变电站的优化选址。这里以两种方式进行供电范围划分,第一种方式是将两级分别考虑,这种方式也是常用的变电站规划方法:将每个负荷点随机地分配给 n_2 个 10 kV 配变,通过遗传操作,进行 10 kV 配变供电范围的划分,可以得到最优的 10 kV 等级供电范围的划分方式;再把 n_2 个 10 kV 配变当作负荷,将这 n_2 个负荷划分到 n_1 个 35 kV 变电站。第二种方式将每个负荷点随机的分给 n_1 个 35 kV 变电站,进行 35 kV 变电站供电范围的划分,可以得到最优的 35 kV 供电范围的划分。可知问题的最优解存在于这两种供电方式间的某一种。

接着通过负荷转移寻找最优解,划分出边界负荷。所谓边界负荷即两种供电方式下,属于不同 35 kV 供电区域的负荷。如图 1 和图 2 中,实线区域表示 10 kV 配变供电范围,虚线区域表示 35 kV 变电所供电范围。图 1 的 35 kV 供电范围是将 10 kV 配变作为负荷经过供电范围划分得到的,图 2 的 35 kV 供电范围是直接对负荷进行供电范围划分得到的。从而可以得到矩形区域中的边界负荷。

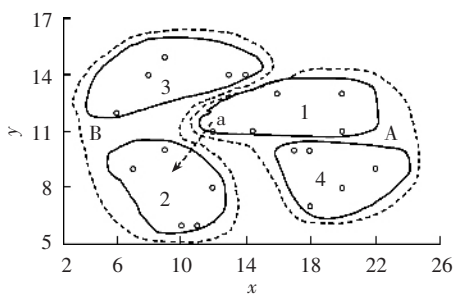


图 1 供电方式一

Fig.1 Power supply mode (I)

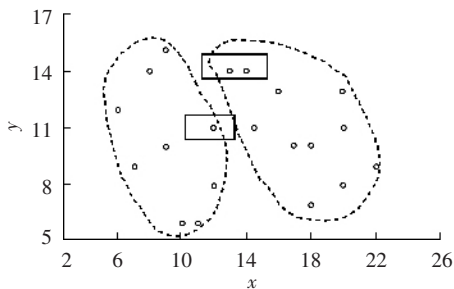


图 2 供电方式二

Fig.2 Power supply mode (II)

然后进行边界负荷转移。如图 1 所示,当负荷 a 由区域 1 转移到区域 2 时,将引起目标函数的变化。显然,负荷的转移只引起目标函数中与其相关的变电所部分的费用变化,并不会影响到其他部分。所以考虑目标函数的变化时,只要计算与其相关部分的变化量,这样可以简化计算,缩短计算时间。此目标函数的变化量主要由 4 部分组成,即

$$\Delta C_{\text{cost}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (8)$$

式中 C_1, C_2 分别表示某 10 kV 配变由于移出和移

入负荷引起的年费用变化; C_3, C_4 分别表示某 35 kV 变电所由于移出和移入负荷引起的年费用的变化。

当 $\Delta C_{\text{cost}} < 0$ 时,表示这种转移可以减小目标函数,则此次转移认为有效;如果某次转移后, $\Delta C_{\text{cost}} > 0$,表示这种转移没有减小目标函数,则此次转移无效,该负荷仍然由原变电所供电。

由上述两种供电方式的划分过程可知,供电方式一中 10 kV 供电范围的划分是最佳的,所以当负荷转移时,必然引起目标函数中第 4 部分的增加,并使式(8)中 $C_1 + C_2 > 0$,要使 $\Delta C_{\text{cost}} < 0$,则这种转移所引起的目标函数中 35 kV 部分的减少量必须大于 10 kV 部分的增加量,即要使 $\Delta C_{\text{cost}} < 0$ 的充要条件是:

$$|C_3 + C_4| > C_1 + C_2, \quad C_3 + C_4 < 0 \quad (9)$$

所以在考虑负荷转移时,首先判断 $C_3 + C_4$ 是否小于 0,如果不是则表明这种转移是无效的。

完成所有边界负荷的转移后,就完成了最佳供电范围的划分,然后根据重心法得到各变电所的位置。同时利用式(10)可以得到每个变电所的最小容量,然后根据可选设备进行配变容量的选择。

$$S_J = \sum W_J / (e \cos \varphi) \quad (10)$$

式中 $\sum W_J$ 表示该供电范围内总有功负荷。

得到变电站站址和容量后,进行供电半径的校验。首先确定一个理想供电距离 r_L ,计算每个负荷和对其供电的 10 kV 配变的距离,以及 10 kV 配变和对其供电的 35 kV 变电所的距离,同时计算每个变电所的平均供电距离 r_a 。如果存在大于供电半径的负荷,且该供电范围内 $r_a > r_L$,则增加一个 10 kV 配变,重新进行变电站的站址规划;如果小于 r_L ,则调整该变电所的位置,直到所有约束条件都满足为止。

变电站综合规划计算步骤如下:

- 计算各级变电所的初始个数;
- 进行两种方式下的供电范围划分;
- 找出边界负荷并进行负荷转移,直到所有边界负荷都处理完毕;
- 计算变电所地址并选择变电所容量;
- 进行供电半径校验;
- 如果需要增加一个 10 kV 配变,则回到 b,否则结束。

3 算例及分析

变电站的投资及损耗计算参数参考文献[7]。35 kV 变电所中可选变压器为 3×10 MW, 3×20 MW 和 4×10 MW;10 kV 变电所中可选变压器为 2×10 MW 和 3×10 MW。负荷节点参数见表 1。取最大迭代次数为 50,每代基因数为 50,交叉率为 0.6,变异率为 0.2。通过式(6)得到初始变电站数目:10 kV 变电站 4 所,35 kV 变电站 2 所。通过遗传求解,共耗时 28 s,得到优化结果如表 2 所示。其中较优解是通过第一种方式进行供电范围划分得到的结果。

表 1 负荷大小及位置

Tab.1 Loads and their locations

节点 编号	坐标 (x,y)	负荷 /MV·A	节点 编号	坐标 (x,y)	负荷 /MV·A
1	(12,8)	2.00	11	(10,6)	3.00
2	(16,13)	3.65	12	(7,9)	2.78
3	(12,11)	2.00	13	(9,15)	1.33
4	(8,14)	2.00	14	(18,10)	2.00
5	(9,10)	2.16	15	(11,6)	3.57
6	(18,7)	3.40	16	(20,8)	0.24
7	(14,14)	3.53	17	(6,12)	1.56
8	(20,13)	3.29	18	(22,9)	1.50
9	(20,11)	3.29	19	(13,14)	2.00
10	(14.5,11)	0.96	20	(17,10)	2.50

表 2 优化结果

Tab.2 The optimized results

优化对象	最优解	较优解
年费用 /10 ⁴ 元	1 484.6	1 485.4
10 kV 变电站 a 位置	(9.783,7.553)	(9.783,7.553)
10 kV 变电站 b 位置	(8.901,12.870)	(11.011,13.373)
10 kV 变电站 c 位置	(16.707,12.822)	(18.223,12.240)
10 kV 变电站 d 位置	(18.413,8.737)	(18.413,8.737)
35 kV 变电站 a 位置	(9.485,9.349)	(10.371,10.341)
35 kV 变电站 b 位置	(17.331,11.328)	(18.311,10.619)

得到的两种供电方案如图 3 和 4 所示,图中 ☆ 为负荷节点,* 为 10 kV 变电所节点,○ 为 35 kV 变电所,实线区域表示各 10 kV 变电所的供电范围,虚线区域表示各个 35 kV 变电所的供电范围。

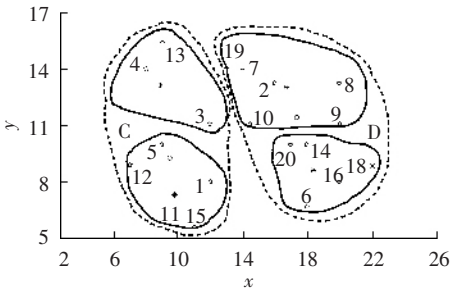


图 3 最优供电方案

Fig.3 The optimal power supply mode

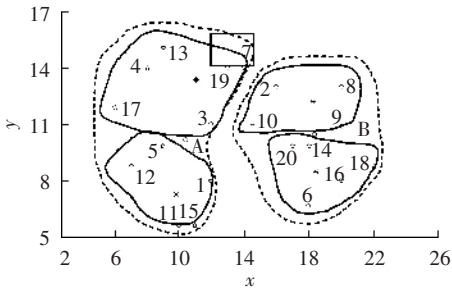


图 4 较优供电方案

Fig.4 The suboptimal power supply mode

由第一种方式进行供电范围划分得到图 4 所示区域,由第二种方式进行供电范围划分时得到图 3 中的 C、D 区域,于是可得到边界负荷 19 和 7,通过负荷转移得到图 3 所示最优解。在此过程中,目标函数第 4 部分由 34.0325×10^4 元增加到 34.3058×10^4 元,

而第 3 部分由 11.3×10^4 元减少到 10.3×10^4 元,从而总费用减小。由此可见通过两种方式下供电范围的划分并经过边界负荷转移,可取得更好的效果。

4 结论

针对 10 kV 和 35 kV 两级变电站综合规划的问题,本文采用遗传算法并用两种方式进行供电范围的划分,在此基础上进行边界负荷转移。相比常用的分级进行变电所规划的方法,本文的方法效果更好,算例也证明了本文算法的有效性和实用性。

参考文献:

[1] KHODR H M,MELIAN J A,QUIROZ A J. A probabilistic methodology for distribution substation location[J]. **IEEE Trans. on Power Systems**,2003,18(1):388-393.

[2] KHATOR S K,LEUNG L C. Power distribution planning: A review of models and issues [J]. **IEEE Trans. on Power Systems**,1997,12(3):1151-1159.

[3] AOKI K,MARA K,SATOH T. New approximate optimization method for distribution system planning [J]. **IEEE Trans. on Power Systems**,1990,5(1):126-132.

[4] 张崇见,余贻鑫,严雪飞. 中压配电变压器优化规划[J]. **电力系统自动化**,1999,23(15):10-14.

ZHANG Chong-jian,YU Yi-xin,YAN Xue-fei. An algorithm for tie lines planning of power distribution systems[J]. **Automation of Electric Power Systems**,1999,23(15):10-14.

[5] 刘孟觉. 基于 GIS 的低压电网优化规划研究[D]. 南京: 河海大学,2001.

LIU Meng-jue. Distribution optimal planning based on GIS[D]. Nanjing:Hohai University,2001.

[6] 程浩忠,张 焰. 电力网络规划的方法和应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社,2002.

[7] 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.

[8] 张李盈, 范明天. 配电网综合规划模型与算法的研究[J]. **中国电机工程学报**,2004,24(6):59-64.

ZHANG Li-ying,FAN Ming-tian. A new model and methodology for distribution network integration planning[J]. **Proceedings of the CSEE**,2004,24(6):59-64.

[9] 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 Xiao-fei,PENG Jian-chun,GAO Xiao,et al. Distribution network planning based on partheno-genetic algorithm[J]. **Power System Technology**,2002,26(3):52-56.

(责任编辑:李育燕)

作者简介:

黄小铄(1980-),男,福建闽清人,硕士研究生,主要从事配电网规划的研究;

陈星莺(1964-),女,江苏无锡人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统运行分析、配电自动化和电力市场的研究(E-mail:xychen@hhu.edu.cn)。

Integrated planning of mid-voltage distribution substation with load transfer

HUANG Xiao-shu, CHEN Xing-ying

(Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: 35 kV/10 kV substation integrated planning models are analyzed and a load transfer method based on genetic algorithm is presented. Two planning methods are applied to divide the supply areas for 35 kV and 10 kV substations; separately for each grade and straight for 35 kV substations. The margin loads are emerged. Then, by effective transfer of them, a better division of the supply areas is obtained and the planning scheme is achieved. The proposed method considers the influences on power distribution of both voltage grades and gets the optimal mode, which could be found in separate planning. The example results show its validity and feasibility.

Key words: distribution network; genetic algorithms; substation planning; load transfer