

油田配网临时变电站规划的研究

王艳松, 解飞

(中国石油大学信息与控制工程学院, 山东 东营 257062)

摘要: 以负荷分散、供电半径大的油田配电网为研究对象, 提出一种平面中位法和模拟退火算法相结合的变电站规划方法。分析规划区域的负荷分布, 通过直观法近似地给定变电站的初始位置和变电站供电范围的初始值, 应用模拟退火算法能跳出局部最优解的特点, 对给定变电站位置的供电范围进行全局寻优; 最后应用平面单中位方法确定对应其最优供电范围的变电站位置。将供电范围寻优和变电站位置的确定交替进行, 直到变电所位置变化很小, 收敛得到最优变电站规划方案。算例分析表明, 该算法进行配网变电站规划, 能快速得到有实用价值的近似最优规划方案。

关键词: 变电站规划; 模拟退火算法; 平面单中位法; 油田配网

Study on temporary substation planning for oil-field distribution network

WANG Yan-song, XIE Fei

(College of Information and Control Engineering, China University of Petroleum, Dongying 257062, China)

Abstract: A hybrid simulated annealing algorithm is proposed to resolve the substation planning problem for oil-field distribution network, which is long for supply power radius with scattered power consumer. The initial value of substation position is given directly by analysis of the power consumer distribution, and all supply power consumers are distributed approximately. Then the optimal service area is searched by simulated annealing algorithm for given substation location, which get out of partial and local optimal results. Finally, the optimal location of substation is determined by the method of single source location within its given optimal service area. The optimal substation planning is finished by alternative optimization of service area and substation location when the change of substation location is less than given value. Examples show that the substation planning is obtained rapidly by the algorithm proposed, while is effective and approximate optimal.

Key words: substation planning; simulated annealing algorithm; single source location; oil-field distribution network

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)04-0084-04

0 引言

随着油田开发的滚动式发展, 油田供电负荷不断增加, 供电范围随油井开发不断延伸, 油田配网临时变电站数量不断增加。结合油田电网供电面积大、负荷分布分散、各负荷点容量不大等特点, 为提高配电网运行的供电可靠性, 保证原油生产, 对临时变电站进行优化规划具有重大意义。

Masud 提出了配电网规划的两阶段模型^[1], 采用线性整数规划方法优化变电站容量。文献[2]以负荷矩最小为目标函数, 提出利用最短路径算法和运输问题模型求解变电站位置和容量的数学优化技术。Thompson 和 Wall^[3]用分支定界法、最短路径表和运输问题模型优化变电站的位置。文献[4]提出了综合考虑经济性和可靠性的优化规划模型, 使用了

网络流规划作为优化方法。文献[5]运用最优化理论中的非线性直接寻优法及运筹学中的最小费用最大流法, 提出了一种多约束条件下的变电站分层优化站址方法。文献[6]提出了一种变电站阶段优化规划方法, 利用试探组合和平面多中位选址算法形成初始解, 利用层次分析法获得各个站址的综合评价。文献[7]采用禁忌搜索算法求解了变电站选址和网络规划问题。文献[8]应用基于实数编码的遗传算法, 实现了新建变电站数量与选址问题的求解。文献[9]在采用遗传算法的同时, 又引入了负荷转移的思想, 对规划结果进行调整, 寻求更为合理的规划方案。文献[10-11]采用粒子群算法进行了变电所优化布点的研究。文献[12-13]采用了蚁群算法进行了配电网综合变电站和馈线的网络规划。文献[14]提出了利用 Hopfield 神经网络进行配电变电站规划的

新方法。文献[15]应用线性加权法和自适应遗传算法确定变电所的选址、主变压器的容量和台数。

1 数学模型

变电站选址定容用模型包括折算到每年的新建变电站综合投资费用和年运行费用、折算到每年的变电站馈电线路投资费用和馈电线路网络损耗费用、以及变电站电源进线费用。同时考虑变电站和负荷的容载比、用户的电压质量,建立如下数学模型。

$$\left\{ \begin{array}{l} \min C = \sum_{i=1}^n \left\{ \left[\frac{r_0(1+r_0)^m}{(1+r_0)^m - 1} \right] \cdot f(S_i) + u(S_i) \right\} + \\ a \left[\frac{r_0(1+r_0)^m}{(1+r_0)^m - 1} \right] \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k g_{ij} \sqrt{(u_i - x_j)^2 + (v_i - y_j)^2} + \\ b \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k g_{ij} P_j^2 \sqrt{(u_i - x_j)^2 + (v_i - y_j)^2} \\ \text{s.t. } \sum_{j \in J_i} P_j \leq S_i \beta_i \cos \varphi \quad i=1, 2, \dots, n \\ \Delta V_{ij} \leq \Delta V_{\max} \end{array} \right. \quad (1)$$

式中: $f(S_i)$ 为第 i 个变电站综合投资费用, 主要包括与容量 S_i 成线性关系的部分和与容量无关的部分; $u(S_i)$ 为变电站年运行费用, 通常用变电站综合投资费的百分比近似表示; n 为新建变电站数目; J_i 为变电站 i 的负荷集合; k 为用户个数; r_0 为贴现率; m 为折旧年限; P_j 为负荷点 j 的负荷大小 (kW); S_i 为新建变电站 i 的容量; β_i 为变电站 i 的负载率; $\cos \varphi$ 为变电站的功率因数; ΔV_{\max} 为线路允许最大电压降; ΔV_{ij} 为变电站 i 与负荷点 j ($j \in J_i$) 之间线路的电压降; a 为单位线路长度投资费用 (元/km); g_{ij} 为负荷与变电站之间的从属关系; (u_i, v_i) 为新建变电站 i 的位置坐标; (x_j, y_j) 为负荷点 j 的位置坐标; b 为网络损耗折算系数。

由式 (1) 可知, S_i 是离散型变量, n 、 g_{ij} 为整数变量, (u_i, v_i) 又是连续型变量, 因此, 该模型是一个多目标多决策变量、有约束、大规模的非线性优化问题。

2 变电站数量的确定

模型中变电站的数目 n 是未知的, 为了减少求解模型的规模, 在可选变电站容量集内, 按式 (2) 确定新建变电站数目最大值、最小值, 作为新建变电站数目的范围。

$$\left\{ \begin{array}{l} n_{\max} = \text{int} \left(\frac{\sum P}{S_{\min} \cos \varphi} \right) + 1 \\ n_{\min} = \text{int} \left(\frac{\sum P}{S_{\max} \cos \varphi} \right) + 1 \end{array} \right. \quad (2)$$

式中: int 为取整符号; $\sum P$ 为规划区域内所有负荷; $S_{\min} = \min \{S_i | S_i \in Q\}$; $S_{\max} = \max \{S_i | S_i \in Q\}$; Q 为可选变电站容量集合。

3 变电站规划方法

3.1 平面单中位选址法求变电站位置

变电站供电范围确定后, 由供电集合中 n 个用户的平面坐标位置 (x_j, y_j) 和负荷值 $P_j > 0$, 确定一个变电站设施位置 (u, v) , 满足目标函数:

$$\min f = \sum_{j \in J} P_j d_j \quad (3)$$

式中: $d_j = \sqrt{(u - x_j)^2 + (v - y_j)^2}$ 为新建变电站到各个用户的距离; J 为变电站供电用户的集合。

目标函数分别对 u 和 v 求偏导, 得函数取极小值条件为:

$$\left\{ \begin{array}{l} u = \frac{\sum_{j=1}^n [P_j x_j / d_j]}{\sum_{j=1}^n [P_j / d_j]} \\ v = \frac{\sum_{j=1}^n [P_j y_j / d_j]}{\sum_{j=1}^n [P_j / d_j]} \end{array} \right. \quad (4)$$

由于 d_j 中含有变量 u 和 v , 应用迭代方法求解式(4)变电站的位置 (u_i, v_i) 。

3.2 变电站位置和供电负荷范围的交替规划

分析规划油区的负荷分布, 首先通过直观法定性地给定初始可行解, 该初始解包含着每个变电站的位置 p^0 以及其供电范围 s^0 , 然后利用模拟退火算法从该初始解 s^0 出发, 以式 (1) 为目标函数寻找最优供电范围 s^* ; 以式 (3) 为目标, 应用平面单中位法确定最优供电范围的变电站最佳位置 p^* , 两个过程交替进行, 具体流程见图 1。

(1) 控制变量的编码, 用整数编码方式, 编码串的长度为负荷点的数目, 用编码的每一位表示出每个负荷所从属的变电站。例如, 有 12 个负荷点的规划区域, 拟建设 3 个变电站, 随机编码串为 [2, 1, 1, 2, 3, 2, 3, 1, 1, 2, 3, 3], 表示负荷点 2, 3, 8, 9 由 1# 变电站供电, 1, 4, 6, 10 由 2# 变电站供电, 5, 7, 11, 12 由 3# 变电站供电。每个负荷点在编码串中所对应数字为变电站号, 表示该位置负荷由此变电站供电。

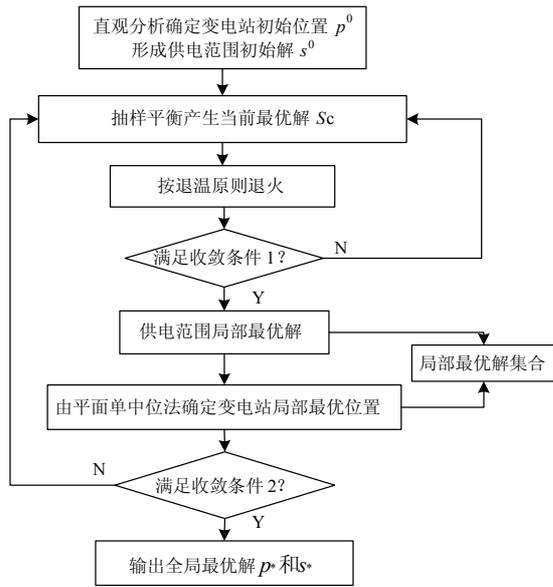


图 1 变电站规划流程图

Fig.1 Flow diagram for substation planning

(2) 新解的产生: 对当前解的编码串, 随机取一位, 从变电站编号集合中随机选择一位不同于该位的号码替换掉该位置生成一新的编码串。

(3) 操作中关于约束条件的处理。在生成新解时, 保证变电站的供电负荷集不出现空集, 对违反容量约束和电压降约束, 采取不接受该状态下的新解来满足的。

(4) 收敛条件: 收敛条件 1 为退火过程的收敛依据, 达到给定退火次数(本文取 40), 则退火过程收敛; 收敛条件 2 为规划收敛条件, 当两次迭代的变电所的位置坐标变化小于给定值(本文取 10^{-3}) 时算法结束, 得到变电站规划全局最优方案。

(5) 变电站规划最优方案是确定变电站最终站址的一个依据, 还需结合地理信息进行分析确定和调整。变电站位置如果落在不宜建站处, 将在局部最优解集合中选择次优解作为变电站规划结果, 或由专家结合现场地理状况进行修正。

4 算例分析

某油田产油区域 20 个负荷点, 随着油井的野外分布相对分散, 供电线路均采用架空线路, 各负荷点容量不大, 因此临时变电站的候选容量为 20 MVA、31.5 MVA、40 MVA 满足要求, 线路单位建设费用为 20 万元 / km, 变电站单位容量建设费用 50 元 / kVA, 固定建设费用为 50 万元。应用本文提出的算法进行临时变电站规划所得变电站数量、供电范围以及变电站的位置见表 1, 所需建设

费用见表 2。

表 1 临时变电站规划结果

Tab.1 Results of the substation planning by HSA

变电站编号	坐标 (u, v) / km	变电站容量 / MVA	所带负荷数目	供电范围(负荷点编号)
1	(14.72, 15.32)	20	4	2, 7, 11, 14, 8, 9, 12, 13, 17,
2	(22.04, 12.9)	31.5	8	18, 19, 20
3	(17.77, 7.71)	20	3	6, 15, 16
4	(10.99, 10.56)	20	5	1, 3, 4, 5, 10

表 2 变电站规划费用

Tab.2 Cost of the substation planning

电站数目	变电站容量 / MVA	线路建设总长 / km	总建设投资 / 万元
4	91.5	44.828	366.632 2

5 结论

(1) 应用模拟退火算法实现每个变电站供电范围寻优, 在最优供电范围确定的基础上, 应用平面单中位法进行变电站选址; 变电站供电范围寻优和变电站选址二者交替进行。

(2) 在新建变电站数目范围内, 对任意确定的变电站数目进行变电站优化规划, 经过比较不同数目的变电站规划总费用, 可得到最优的变电站规划方案。

(3) 应用平面中位法和模拟退火算法相结合的规划算法对油田配网临时变电站规划, 实例分析表明该算法能快速得到变电站的最佳位置和最优供电范围。

参考文献

- [1] Masud E. An Interactive Procedure for Sizing and Timing Distribution Substation Using Optimal Techniques[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1974, PAS-93 (5): 1281-1286.
- [2] Crawford D M, Holt S B. A mathematical Optimization Technique for Locating and Sizing Distribution Substation, and Deriving Their Optimal Service Areas[J]. IEEE Trans on Power Apparatus & Systems, 1975, PAS-94 (2): 230-235.
- [3] Thompson G L, Wall D L. A Branch and Bound Model for Choosing Optimal Substation Locations[J]. IEEE Trans on Power Apparatus & Systems, 1981, PAS-100 (5): 2683-2688.
- [4] Tang Y. Power Distribution System Planning with Reliability Modeling and Optimization[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1996, 11 (1): 181-189.
- [5] 刘巍. 变电站站址优化方法的研究[J]. 郑州轻工业学

- 院学报: 自然科学版, 2004, 18 (1): 31-34.
- LIU Wei. Study on a Method of Optimally Substation Position[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry: Natural Science Edition, 2004, 18 (1): 31-34.
- [6] 王成山, 魏海洋, 肖俊, 等. 变电站选址定容两阶段优化规划方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 29 (4): 62-66.
- WANG Cheng-shan, WEI Hai-yang, XIAO Jun, et al. Two-phase Optimization Planning Approach to Substation Locating and Sizing[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 29 (4): 62-66.
- [7] 陈根军, 李继洸, 王磊, 等. 基于 Tabu 搜索的配电网络规划[J]. 电力系统自动化, 2001, 25 (7): 40-44.
- CHEN Gen-jun, LI Ji-guang, WANG Lei, et al. Distribution System Planning by Tabu Search Approach[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25 (7): 40-44.
- [8] Migue E, Diaz-Dordo E, Cidras. An Application of an Evolution Strategy in Power Distribution System Planning[A]. in: IEEE Congress on Computational Intelligence[C]. Alaska(USA): 1998. 241-246.
- [9] 黄小隼, 陈星莺. 基于负荷转移的中压配电所综合规划[J]. 电力自动化设备, 2005, 25 (4): 62-64.
- HUANG Xiao-shu, CHEN Xing-ying. Integrated Planning of Mid-voltage Distribution Substation with Load Transfer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25 (4): 62-64.
- [10] 冯涛, 顾洁. 基于粒子群算法的变电所优化布点研究[J]. 供用电, 2006, 23 (6): 16-19.
- FENG Tao, GU Jie. Study on Substation Optimal Allocation Based on Particle Swarm Optimization[J]. Distribution & Utilization, 2006, 23 (6): 16-19.
- [11] 徐珍霞, 顾洁. 离散粒子群优化算法在变电站选址的应用[J]. 电气应用, 2006, 25 (4): 36-38.
- XU Zhen-xia, GU Jie. Application of Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm to Substation Location[J]. Electrotechnical Application, 2006, 25 (4): 36-38.
- [12] 高炜欣, 罗先觉. 基于蚂蚁算法的配电网网络规划[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24 (9): 110-114.
- GAO Wei-xin, LUO Xian-jue. Improved ant Algorithm for Distribution Network Planning[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24 (9): 110-114.
- [13] 林敏. 配电网优化规划中变电站站址及站间连接的选择[J]. 江苏电机工程, 2001, 20 (3): 6-9.
- LIN Min. Selection of Substation Position and Substation Connection Scheme in Distribution Net Optimum Projection[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2001, 20 (3): 6-9.
- [14] 高炜欣, 罗先觉, 朱颖. 贪心算法结合 Hopfield 神经网络优化配电站规划[J]. 电网技术, 2004, 28(7): 73-76.
- GAO Wei-xin, LUO Xian-jue, ZHU Ying. A New Distribution Substation Planning Algorithm Based on Greedy Algorithm and Hopfield Neural Network[J]. Power System Technology, 2004, 28 (7): 73-76.
- [15] 王琦, 张程学, 吴雁. 一种用于变电所优化规划的新算法[J]. 高电压技术, 2005, 31 (8): 69-71.
- WANG Qi, ZHANG Cheng-xue, WU Yan. New Methodology Applied to Optimization of Transformer Substation[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31 (8): 69-71.

收稿日期: 2009-02-10; 修回日期: 2009-03-18

作者简介:

王艳松(1965-), 女, 博士, 教授, 研究方向为配电网优化规划、配电网故障诊断和电能质量分析。E-mail: hdjd@hdpu.edu.cn

(上接第 83 页 continued from page 83)

- [12] 董涛. 基于价值链的电力设备全寿命周期成本管理(硕士论文)[D]. 北京: 华北电力大学, 2007.
- DONG Tao. Total Life Cycle Costs Management Research of Electric Power Equipment Based on Value Chain, Thesis[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2007.
- [13] 吴凯. 核电站工程项目全过程成本管理研究(硕士学位论文)[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- WU Kai. Study on Whole Course Costs Management for Nuclear Power Construction Project, Thesis[D]. Beijing: Beijing Jiao Tong University, 2007.
- [14] 曾庆禹. 变电站的寿命周期成本与新技术发展分析[J]. 中国电力, 2000, 33(12): 38-41.
- ZENG Qing-yu. The Life Cycle Cost Evaluation and Technical Development for Substation[J]. Electric Power, 2000, 33(12): 38-41.
- [15] Atanackovic D, McGillis D T, Galiana F D. The Application of Multi-Criteria Analysis to Substation Design[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(3): 1172-1178.
- [16] Substation Automation Handbook[Z]. ABB Corporation.
- [17] Implementation, Operation and Extension of Substations with Modular Compact Gas Insulated Switchgear (GIS)[R]. CEPSI, 2008.
- [18] Operational Excellence: Taking Full Advantage of Automation[A]. in: SCADA & Industrial Automation Conference[C]. 2008.

收稿日期: 2009-02-26; 修回日期: 2009-03-20

作者简介:

魏勇(1973-), 男, 硕士, 研究方向为电力信息化、数字化变电站系统方案及相关产品研发。E-mail: yongw@xjgc.com