

基于 GIS 技术的县级中压配电网架优化规划方法

黄丽华¹, 曹秀玲², 孙玉梅¹, 张志波¹, 陈俊红¹

(1. 河北农业大学机电工程学院, 保定 071001; 2. 石家庄经济学院, 石家庄 050031)

摘要: 该文运用 GIS 技术将负荷点的地理坐标转化为屏幕坐标, 并在屏幕上显示, 根据屏幕上负荷的分布密度情况, 通过人机对话方式将规划区域划分成几个小区域(分块区域)。首先对每个分块区域利用最小二乘法确定初始主干线, 在此基础上对该区域的负荷点按照最短路径法进行连接, 形成初始网架; 根据目标函数的要求不断修正主干线及相应的负荷连接, 实现了每个分块区域的最优网架; 将每个分块区域的优化网架连接, 形成该区域的优化网架。该方法将网架优化理论与 GIS 技术紧密结合, 并将复杂问题分解成简单问题。实例规划结果表明, 该优化方法智能、快速、有效。

关键词: 县级配电网架; 优化规划; GIS 技术; 分区规划; 最短路经法

中图分类号: TM 715

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2007)9-0172-04

黄丽华, 曹秀玲, 孙玉梅, 等. 基于 GIS 技术的县级中压配电网架优化规划方法[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 172-175.

Huang Lihua, Cao Xiuling, Sun Yumei, et al. Method for optimized planning of county-level mid-voltage distribution network frame based on GIS technology[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 172-175. (in Chinese with English abstract)

0 引言

中国配电网架存在着较严重的问题, 如网架薄弱、供电可靠性差、线损高及电压质量差等。因此研究配电网架, 改善配电网架的运行状况有着重要的意义。

配电网架优化规划是配电网架安全、可靠、经济运行的基础。目前, 国内外学者在配电网架优化规划方面作了大量的研究, 已经取得了许多成就。其中遗传算法^[1-4]、模拟退火^[5]及禁忌搜索算法^[6]获得了优化的配电网架, 收到了较好的规划效果, 但均属于随机优化方法, 计算量大、计算中不可行解多、优化时间长, 且理论性较强, 缺乏实用性。蚂蚁算法^[7]不会产生大量不可行解, 不需要编码, 自然形成辐射状网络, 但其“味道”数学模型等缺乏精确的理论推导。竞争算法^[8]是从电源点出发对各自可行路径上线路参数进行竞争选择, 逐步迭代直至得到满意要求, 可行路径越多, 迭代的次数越多。改进的 Prim 算法^[9]重点考虑了路径最小问题, 与目标函数结合得不够紧密。基于 GIS 的优化规划^[10, 11]具有可视化的界面, 方便用户主观做出优化方案, 但是否为最优方案尚需理论计算。文献[12]将 GIS 技术运用到规划当中, 能够自由处理数据和进行图像显示, 将空间信息与优化理论紧密地结合在一起, 得到切实可行的方案, 但优化方法仍需编码, 优化时间较长。本文运用 GIS 技术, 首先将负荷的地理坐标转化成屏幕坐标, 利用可视化的负荷分布密度为优化提供宏观决策支持, 将复杂问题分解为简单问题, 并且依靠优化理论进行网架优化, 使得该优化方法实用、智能、快速。

1 配电网架优化规划方法的依据

配电网架优化规划追求配电网架投资、检修维护费用、电能损耗所形成的综合经济指标达到最小。配电网架的线路投资大小取决于线路的截面积和长度, 同等截面积下线路越长投资越大; 线路的运行维护费用也与线路的长度有关, 线路越长运行维护费用越高; 电能损耗的大小既与负荷的大小有关也与线路的长度有关, 负荷越大、线路越长电能损耗越大; 供电可靠性与线路的长度有关, 线路越长, 故障越多, 可靠性越差。基于此, 采用最短路经法优化规划配电网架。但某个路径最短的配电网架接线方式, 并不一定就是最优网架, 最终还要满足目标函数最小, 所以总体指导原则是在路径最短的基础上, 不断修正网架, 以达到目标函数最小的目的。

2 分块区域配电网架优化规划方法

2.1 分块区域初始网架的确定

县级配电网架一般是从 10 kV 母线引出几条出线, 每条出线延伸出去构成了一条主干线, 它周围的负荷直接或间接地接在主干线上, 形成配电网架的一个辐射型分支, 各个分支的优化规划方法相同。

2.1.1 数据的获取及可视化的屏幕显示

1) 通过 GPS 获取的各个负荷点的经纬度地理坐标, 将地理坐标转化成屏幕坐标^[13], 存储到数据库中, 并在屏幕上显示出负荷点的分布及坐标位置。

2) 配电网架的节点除了电源点一般都是负荷点, 根据负荷的预测情况, 获取每一个负荷的功率大小, 用 $P + jQ$ 表示, 并存储到数据库中。

屏幕上负荷点的分布密度作为区域划分的依据, 依据屏幕显示的负荷分布将该区域划分成几个分块区域, 通过人机对话方式获取分块区域边缘坐标, 以便对每一个分块区域进行优化规划。

收稿日期: 2006-11-27 修订日期: 2007-02-26

基金项目: 河北省教育厅(2005328)

作者简介: 黄丽华(1963-), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要从事配电网及其自动化及信息处理方面的教学与科研工作。保定 河北农业大学机电工程学院, 071001。Email: bdhlh@yahoo.com.cn

2.1.2 分块区域初始主干线位置的确定

农村的地理环境与城市有所不同, 村与村之间一般都是空旷的田野, 所以主干线位置的确定一般不受街道的影响, 因此从理论上确定一条与负荷点较近的直线段即可。运用每一分块区域中负荷点的屏幕坐标, 采用最小二乘法确定线性函数, 拟合该分块区域的各个负荷点。设该主干线的函数表达式为 $y = kx + b$, 根据 k 值计算出主干线的倾斜角度 α_0 。

2.1.3 分块区域中负荷的初始连接方式

每一个负荷点的连接是这样确定的: 经过该节点作一条平行于主干线的直线, 它与主干线构成了一个平行四边形区域, 求取该节点与该平行四边形区域中的负荷点的距离及该节点与主干线之间的距离, 选取最短距离作为该负荷点的连接方式。

2.1.4 初始网架的潮流计算

首先根据负荷的大小, 不考虑线路上的功率损耗, 计算出线路的初步功率, 按容许电压损耗选择导线型号, 查找手册中对应的单位长度的参数, 从而能够求出初始网架的每段线路的参数, 为潮流计算做准备; 利用前推回代法计算网架中各个节点的电压和功率流动, 并验证是否满足以下约束条件。

1) 节点电压约束

$$U_{\min} < U_i < U_{\max} (i = 1, 2, 3 \dots)$$

2) 容量约束

$$P_{ij} < \frac{1}{2} P_{ij\max} (i, j = 1, 2, 3 \dots)$$

式中 U_{\min} 和 U_{\max} —— 各个节点电压允许的最小值和最大值; U_i —— 节点的实际电压值; P_{ij} —— i 和 j 两节点线路的计算功率; $P_{ij\max}$ —— 该支路允许的最大传输功率, 考虑到 $N-1$ 的运行方式, 决定主干线末端采用“手拉手”的联络方式^[14], 所以正常最大供电负荷只能达到该线路安全载流量的 50%。如果满足上述约束条件, 则代入下列目标函数中计算目标函数值, 如果不满足约束条件, 重新选择导线型号, 重复上述过程。

2.1.5 目标函数模型

配电网架规划的目的是根据电源发展及负荷增长情况合理地确定若干年后的目标网架结构, 使其在保证安全可靠的前提下做到最经济。因此目标函数模型中考虑了线路的年投资费用、年检修、维护费用和年网损费用。其模型如下:

$$\min J = C + \alpha \Delta A + W$$

式中 C —— 线路的年投资费用; α —— 当时的电能电价, 元/(kW·h); ΔA —— 该网架的年电能损耗费用; W —— 所有线路的年检修、维护费用。线路的年投资费用采用“现年转年值”法将其投资折算成平均分布在每年内的投资费用 C , 计算公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^n Z_i \left[\frac{r_0(1+r_0)^{n_i}}{(1+r_0)^{n_i} - 1} \right]$$

式中 Z_i —— 第 i 条线路的投资费用; n_i —— 第 i 条线路的经济适用年限; r_0 —— 电力工业投资回收率。

2.2 分块区域网架的修正

初始的主干线的确定只是依据负荷点的位置分布确定的, 实际上它的最优位置还与负荷量的大小及分布有关, 因此网架

的修正依据是负荷量的大小分布情况。

1) 主干线的修正

首先判断电源点是否在初始主干线上, 如果不在, 则平移初始主干线, 使电源点恰在主干线上, 该主干线将分块区域的负荷分成了 i 和 j 两部分, 可统计出每部分负荷的大小, 并进行比较, 若 $S_i < S_j$, 则主干线应往 j 部分旋转偏移, 否则应往 i 部分旋转偏移。设定一个较小偏移角度, 则得到一个新的直线方程 $y = k'x + b'$, 以此描述不断修正的主干线。

2) 负荷的连接方式修正

按 3) 重新完成负荷点的连接。

3) 再次重复上述潮流计算和目标函数的计算, 比较目标函数值, 保留最小数值。

4) 重复 1) ~ 3), 最终确定一个目标函数最小的第一分块区域的优化网架。

3 优化网架的实现

确定了第一分块区域的优化网架之后, 由于第一分块区域的主干线已经确定, 该主干线的末端也即下一分块区域主干线的首端, 重复上述第 2 部分内容, 依次实现相邻的各分块区域配电网架的优化, 最终形成了整个区域的配电网架的优化规划。

4 实例

以河北省某县正在运行的某 10 kV 母线的一条出线为例进行了网架优化规划, 用 Visual C++ 实现了该规划软件。运行该软件时, 首先屏幕上出现图 1 所示的负荷分布, 依据负荷的分布密度, 点击屏幕上几个点, 并确认后, 即将该区域划分成了分块区域。完成该交互操作后, 屏幕上即可出现该区域的优化网架, 如图 2 所示。本文取电能电价 $\alpha = 0.5$ 元/(kW·h), 年最大负荷利用小时数 2500 h, 功率因数 $\cos \varphi = 0.85$, 线路使用年限为 $n_i = 25$ 年, 投资回收率 $r_0 = 0.08$, 额定电压为 10 kV, 导线均采用钢芯铝绞线, 年检修、维护费用为年投资费用的 5%。将优化网架与原始网架(如图 3 所示)作比较, 结果显示在表 1 中。

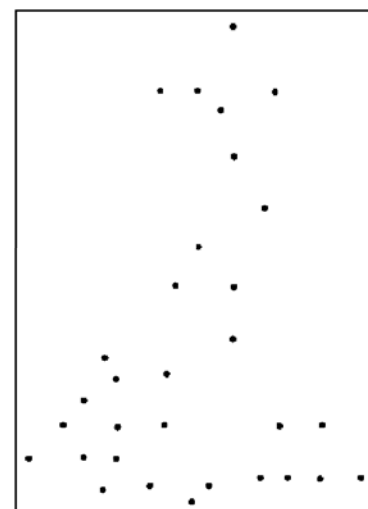


图 1 电网负荷分布

Fig. 1 Power load distribution

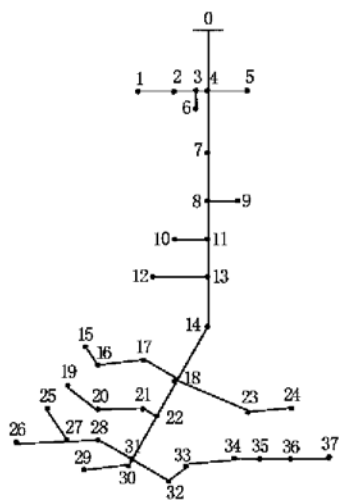


图2 优化配电网架

Fig. 2 Optimal power distribution network frame

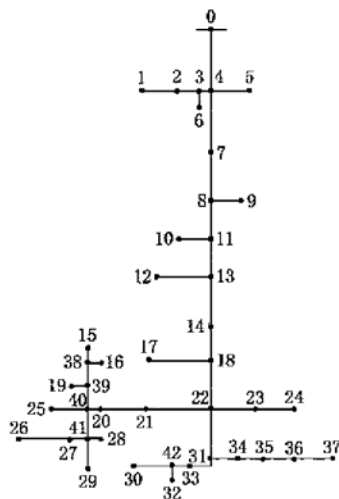


图3 原始配电网架

Fig. 3 Original power distribution network frame

表1 两种配电网架的计算结果比较

Table 1 Comparison of calculated results for two kinds of power distribution network frames

方法	年投资费用	年检修维护费用	年电能损耗	万元·a ⁻¹	
				总和	
原始网架	1.3160	0.06580	2.9396	4.3214	
优化网架	1.1844	0.05922	2.6325	3.8761	

5 结 语

1) 表1的数据为县级一台6300 kVA变电站的一条引出线

的配电网架。由数据看出,优化结果好于原始网架,因此,该方法是有有效的。

2) 该方法采用GIS技术将负荷分布可视化,为优化提供了宏观的决策支持,人为地确定了该区域的分块区间,使得由计算机很难完成的模糊问题轻松得到解决。

3) 该方法通过区域分块,将复杂问题分解为简单问题,依靠优化理论进行网架优化,并且在优化过程中有目的地趋向于最优解,自然呈辐射状。因此该方法具有智能化、计算量少,优化时间短等特点。

4) 采用具有主干线的配电网架优化规划,目的是实现整个配电网架的闭环设计,开环运行,以提高供电可靠性。

[参 考 文 献]

- [1] 周 泓,孙才新,张晓星,等. 基于多种群免疫遗传算法的配电网网架规划[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(4): 36-41.
- [2] Carvalho P M S, Ferreira L A F M, Barruncho L M F. On spanning-tree recombination in evolutionary large-scale network problems-application to electrical distribution planning[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2001, 5(6): 623-630.
- [3] 代 姚,周 泓,雷绍兰,等. 基于稳定参数控制的改进遗传算法在配电网规划中的应用[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 50-53.
- [4] 陈俊红,黄丽华. 基于配电网规划的优化算法的研究[J]. 微机计算机信息, 2006, 22(4-3): 293-295.
- [5] Bouchard D E, Salama M M A, Chikhini A Y. Optimal feeder routing and optimal substation sizing and placing using guided evolutionary simulated annealing[A]. Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering[C]. Canada, 1995: 688-690.
- [6] Nara K. A Tuba search algorithm for determining distribution tie lines[A]. Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems Applications to Power System, ISAP'96[C]. Orlando, USA, 1996: 266-270.
- [7] 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.
- [8] 杨文宇,刘 健,余健明,等. 基于竞争算法的配电网网络优化规划方法[J]. 西安理工大学学报, 2005, 21(2): 139-143.
- [9] 杨文宇,刘 健,余健明,等. 基于改进prim算法的配电网网络优化规划方法[J]. 电工技术学报, 2005, 20(3): 75-79.
- [10] 汤红卫,郭喜庆. 基于地理信息系统的农村电网规划方法的研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(2): 31-34.
- [11] 高颂九. 配电网地理信息系统在县城配电网规划与设计中的应用[J]. 电网技术, 2001, 25(12): 67-70.
- [12] 王成山,王赛一. 基于空间GIS和Tabu搜索技术的城市中压配电网网络规划[J]. 电网技术, 2004, 28(14): 68-78.
- [13] 夏一行,胡 力,周 泓,等. 电子海图应用系统中坐标变换算法的研究[J]. 工程设计学报, 2003, 10(5): 299-302.
- [14] 楼玲俊,张肖青,马 翔. 城市(镇)中压配电网典型接线分析[J]. 农村电气化, 2005, 06: 13-14.

Method for optimized planning of county-level mid-voltage distribution network frame based on GIS technology

Huang Lihua¹, Cao Xiuling², Sun Yumei¹, Zhang Zhibo¹, Chen Junhong¹

(1. *Mechanical and Electric Engineering College, Agriculture University of Hebei, Baoding 071001, China;*

2. *Shijiazhuang Economy College, Shijiazhuang 050031, China*)

Abstract: The geographic coordinates of loads are converted into screen coordinates to show on the screen by GIS technology, according to the power load distribution density condition, the plan area is divided into several small areas (partial areas) by man-machine conversation. First, the initial main trunk line is formed in every partial area making use of least square method. On the basis of that, the power loads of the area are linked according to the shortest path method, thus an initial network frame of every partial area is formed. Then the initial network frames are amended continuously to form the optimal network frames with the least aim functions. Last, an optimal network frame of the whole area is formed by linking the optimal network frames of all partial areas. The method combines optimizing theory with GIS technology closely, and decomposes complex problem into simple problems. The real example planning result indicates that the planning method is intelligent, fast and effective.

Key words: County-level distribution network frame; optimized planning; GIS technology; partial area planning; shortest path method