

基于优化分区的城市配电网架规划

宋蒙¹, 刘健², 刘玑权²

(1. 西安理工大学电气工程系, 陕西 西安 710048; 2. 西安科技大学银河自动化研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 提出了一种城市配电网优化分区的启发式方法, 以街区为最小的负荷块, 在选定核心街区的基础上, 以各个分区的负荷最均匀为目标, 以供电半径的限制为约束条件, 通过将若干相邻街区合并和调整实现负荷优化分区。所得各个分区的负荷值相近, 有利于减少备用容量。在各分区内采用最小生成树算法生成各自的辐射状配电网架, 并采用遗传算法进行分段开关和联络开关规划, 得到最终的网架规划结果。实例表明提出的方法是可行的。

关键词: 配电网; 优化规划; 地理信息系统

中图分类号: TM715 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)23-0031-05

0 引言

城市配电网规划既是城市总体规划的一部分, 也是电力系统规划的重要组成部分。中压配电网是城市配电网的骨架, 近年来人们对中压配电网进行了大量的研究, 但大多集中于中压网架重构及优化方面^[1,2], 对中压配电网的供电范围分区却鲜有人探讨。

《城市中低压配电网改造技术导则》和《城市电力网规划设计导则》均指出城市中压配电网应根据高压变电所布点、负荷密度和运行管理的需要划分成若干个相对独立的分区配电网。中压配电网中每一线路都应有明确的供电范围, 一般不应交错重叠。根据以上原则在进行城市配电网规划时, 应该对所规划区域先进行配电网分区, 然后再在每个分区内进行辐射状配电网架的设计, 最后再将各个辐射状分区网架相互联络构成网格状网架结构。而以往的配电网分区主要是依靠人工经验, 根据待规划城区的地理状况以及负荷分布情况, 由规划者人工完成。这样往往无法考虑到所有的情况, 误差较大得不到最优的结果, 从而或多或少影响到后面的规划。本文基于计算机技术和 GIS (Geographic Information System) 提出一种启发式分区算法, 并在各分区内采用最小生成树算法形成了各自的辐射状配电网架, 在此基础上采用遗传算法进行分段开关和联络开关规划, 得到最终的网架规划结果。

1 配电网分区启发式算法

1.1 基本原理

城市配电网一般沿街道布线, 按道路的分布情

况进行网架建设。为了便于管理, 一般都以街区为最小的负荷块进行供电, 不宜再进行分割。每个街区的负荷值等于位于该街区内的所有用户负荷值的总和。

比如第 k 个街区的负荷值 B_k 为:

$$B_k = \sum_{i \in k} U_i \quad (1)$$

其中: k 为第 k 个街区内用户的集合; U_i 为第 i 个用户的负荷值。

假设第 m 个分区所包含的街区的集合为 m , 则该分区的负荷值 D_m 为:

$$D_m = \sum_{i \in m} B_i \quad (2)$$

规划区域的总负荷 L 为:

$$L = \sum_{i=1}^N D_i \quad (3)$$

其中: N 为规划区域的分区个数。

根据上述特点, 本文提出了一种通过合并适当街区来进行配电网优化分区的启发式算法。该算法根据等负荷原则进行分区, 目标函数是使得负荷值最小分区与负荷值最大分区的负荷之比 D_{\min}/D_{\max} 尽可能大, 这样做有利于在故障时对受影响负荷进行转带, 即每条馈线按照 50% 的容载比选型即可。

该算法包括核心街区选定、街区合并和分区调整三个步骤。

1.2 核心街区选定

假设期望将规划区域分为 N 个分区, 则可先选定 N 个街区分别作为这 N 个分区的核, 称为核心街区。以核心街区为核, 通过分别合并其周围的其他街区来实现配电网分区。核心街区可以任意选择, 也可以依照某种原则选择, 例如可以选择具有最大

负荷值的 N 个街区,也可以将 N 个核心街区选择在不同的方位,还可以根据电缆沟的实际情况进行选择。

1.3 街区合并

街区合并是以核心街区为核,合并其周围的其他街区,从而达到初步分区目的的过程。

第 1 步:开辟 N 个街区集合 $1 \sim N$,把各个核心街区分别放入对应的分区集合中,各分区集合的负荷值就是相应核心街区的负荷值,找出负荷值最小的分区 min 。

第 2 步:找出与 min 中的街区相邻的未合并的街区,把其中的负荷值最大者放入 min 中,并将其负荷值与 min 当前负荷值的和作为 min 的新负荷值。

第 3 步:判断街区是否都被合并完,如果已合并完则合并街区过程结束, $1 \sim N$ 中就分别包含了 $1 \sim N$ 个分区所包含的街区,反映了 N 个分区的划分;如果街区没有被合并完,则重新衡量 $1 \sim N$ 的负荷值,找出负荷值最小的街区 min ,返回第 2 步。

1.4 分区调整

初步分区后,最小分区与最大分区的负荷之比 D_{min}/D_{max} 一般仍不能令人满意,需要进一步进行调整,具体步骤如下。

第 1 步:找出具有最小负荷值的分区 min 和具有最大负荷值的分区 max 。

第 2 步:最小分区增容。

1) 找到与 min 相邻的具有最大负荷值的街区 max 及其所在的分区 tem 。

2) 如果 $B_{max} < D_{tem} - D_{min}$ 并且 tem 不会因失去 max 而分为两部分,则把 max 从 tem 中分离合并到 min 中,令 $h_1 = 1$,结束此步增容;否则进行 3)。

3) 判断与 min 相邻的街区是否全都搜索过了,若是则令 $h_1 = 0$,增容结束;否则找到与 min 相邻的未搜索过的街区中具有最大负荷值的街区作为 max ,返回 2)。

第 3 步:最大分区减容。

1) 挑出 max 中与其它分区相邻的街区,找到其中的最大者 max 以及与 max 相邻的分区 tem ,如果相邻的分区不止一个则选其中的负荷值最小者。

2) 如果 $B_{max} < D_{max} - D_{tem}$ 并且 max 不会因失去 max 而分为两部分,则把 max 从 max 中分离而合并到 tem 中,令 $h_2 = 1$,结束此步减容;否则进行 3)。

3) 判断 max 中与其他分区相邻的街区是否全部搜索完毕,若是则令 $h_2 = 0$,减容结束;否则找 max 中与其他分区相邻的未搜索过的街区中具有最大负荷

值的街区作为 max ,返回 2)。

第 4 步:若 $h_1 = 0$ 并且 $h_2 = 0$,则分区调整结束;否则返回第一步。

1.5 约束条件

为了确保供电质量,要根据各个分区的负荷密度,满足相应供电半径的要求^[5],即

$$r = \frac{\sqrt{K}}{2\sqrt[3]{P}} \quad (4a)$$

$$K = \frac{P}{\sqrt[3]{r}} \quad (4b)$$

式中: r 为中压配电线路经济供电半径 (km); P 为中压变电站经济容量 (kVA); K 为与中压配电线路及中压变电站建设投资有关的系数; ρ 为地区负荷密度 (kW/km²)。一般,大中城市中压配电系统架空线路的 K 值是 2 800^[5]。

2 基于 GIS 的配电网优化分区

GIS 是城市电网优化规划的良好工具,国内外进行了大量基于 GIS 的电网规划研究^[6~9],但是基本上都未涉及城市配电网分区问题。

为了在 GIS 基础上实现配电网优化分区,我们采取了下列措施:

1) 在待规划地区的地图上添加负荷图层和街道图层,反映负荷的大小和实际地理分布。为了便于展现规划结果还添加了线路图层。

2) 根据地图生成街区,判断负荷的街区归属并计算各个街区的负荷值。但是地图往往是手工绘制,可能出现围成的街区不封闭的现象并且有些负荷由于给的不规范而不能确定其所在街区,如图 1 所示,图中标明了负荷点的位置和负荷值,“s”为自管变,“ ” 为公用变。本文设计了一个简化的街道图层来解决上述问题,如图 2 所示,图中标出了各点的点号。该图层中的街道沿原街道的中心走线(称作轮廓线),使得给在街道上的负荷更便于划分到其所对应的街区中。由街道生成街区的具体步骤如下。

a 街道基本拓扑生成:判断一条街道与其他街道是否相交,若相交则找到交点。搜索出所有交点作为图的顶点并依次编号和记录各个顶点之间的邻接关系,两个相邻顶点之间的轮廓线作为边,并将该轮廓线的长度作为权。

b 街区生成:用 Dijkstra 算法^[10]找出两个相邻顶点之间的最短路和次短路,该最短路和次短路围

成的区域就是一个街区。对于所有的相邻顶点进行上述处理,然后删除重复的街区,就得到最终的街区划分结果。例如图2中顶点 v_1 与顶点 v_2 相邻, v_1 与 v_2 之间的最短路为边 $e_{1,2}$,次短路由边 $e_{1,11}$ 、 $e_{1,10}$ 、 $e_{10,3}$ 、 $e_{3,2}$ 构成,则边 $e_{1,2}$ 、 $e_{1,11}$ 、 $e_{1,10}$ 、 $e_{10,3}$ 、 $e_{3,2}$ 就围成了一个街区。对所生成街区依次编号并记录下街区之间的邻接关系。

c 根据各个负荷的位置坐标判断其所归属的街区。计算各个街区的负荷值。

3)采用第2节提出的启发式分区算法,得到分区的优化规划结果。

4)把分区结果在地图上展现出来,如果规划人员认为需要调整,例如认为某一条主要街道需要单独作为一个分区,则可以在地图上进行标记,然后重新计算。计算机自动剔除所标记街区,生成新的优化分区方案。

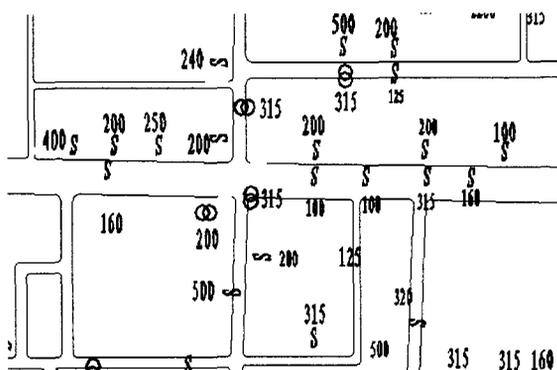


图1 城市道路图层和负荷变压器图层

Fig 1 Street map and load map

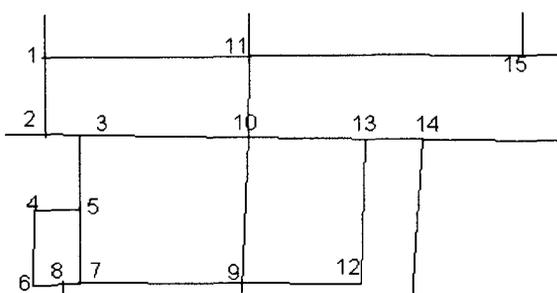


图2 简化的街道图层

Fig 2 Simplified street map

3 配电网架规划

3.1 各分区内辐射状网架的生成

生成各分区内的辐射状网架可采用作者在文献[11]提出的最小生成树算法。该方法将电源点和负荷点当作顶点,将各个顶点间可能架设线路的路

径当作边。将各条边上线路的材料费用和施工费用之和作为权,从而将配电网规划论域转化为一个加权图 G 。采用prim算法获得最小生成树作为总建设费用最小的配电网架规划方案。

prim算法^[10]的基本思路是:假设 $G=(V,E)$,其中 V 为顶点集合, E 为边的集合。设置集合 U 存放最小生成树中的顶点,集合 T 存放最小生成树的边。令 U 的初值为 $U=\{u_1\}$ (u_1 为电源点), T 的初值为空。从所有 $u \in U, v \in V-U$ 的边中,选取具有最小权值的边 (u,v) ,将顶点 v 加入 U 中,将边 (u,v) 加入 T 中,如此不断反复,直到 $U=V$ 为止。

在实际中往往会遇到路径交叉点,对此可以这样处理:开始时将所有交叉点都不当作顶点,并且只将两个顶点间的最短边当作待选路径(可以采用Dijkstra算法获得)。随着prim算法的进行,当两个顶点间的一条最短边被选中后,若该最短边上有交叉点,则将这些交叉点都当作顶点,然后继续prim算法直至所有顶点都已连接完毕为止。

为了考虑线路的运行费用和导线截面的调整,还需要将上述因素补充到边的权中,并采用迭代的方法反复调用最小生成树算法直至满意为止^[11],本文不再赘述。

3.2 分段和联络的优化规划

根据《城市中低压配电网改造技术导则》和《城市电力网规划设计导则》以及经验,初步明确分段开关数量和联络开关数量的若干种组合方案,针对每一种方案,分别采用文献[12]提出的遗传算法获得供电可靠性(ASA)最高的规划结果^[12],在确保供电可靠性满足要求的前提下,从中选择建设费用最低的规划方案作为最终的规划结果。

4 算例

图3是X市一环内部分城区图,现把它当作待规划区域,用上述方法对其进行分区,然后在每个分区内用改进的最小生成树算法形成各自的中压配电网架。

图3中共有30个街区,总负荷为52700kVA,各街区中标出了其所含的负荷值和街区号,“*”为电缆沟的出线位置,也即可以作为电源点的位置。现将其分为4个配电分区,由计算机随机选取21#、13#、9#、27#街区为核心街区,按照本文提出的启发式分区算法进行计算,得到的结果如图4所示。分区1的总负荷为13070kVA,分区2的总负荷为13035kVA,分区3的总负荷为13555kVA,分区4

的总负荷为 13 110 kVA,最大分区负荷与最小分区负荷之比 $D_{min}/D_{max}=0.9616$ 。

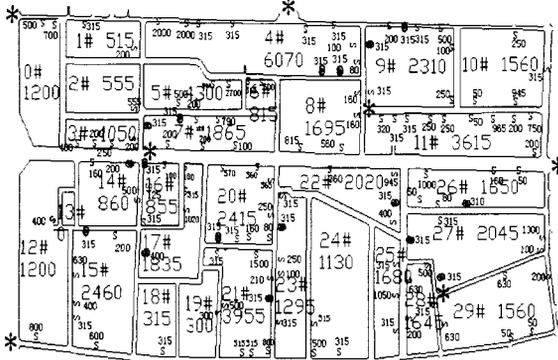


图 3 X市部分城区图

Fig 3 Map of a part of X - city

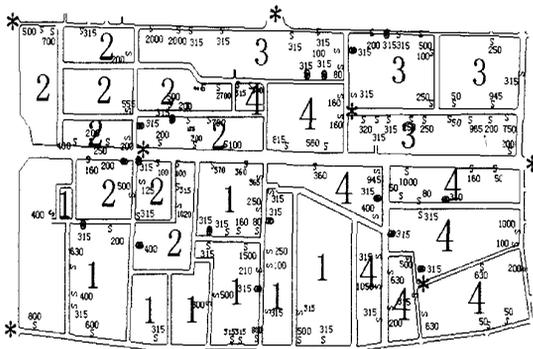


图 4 启发式优化分区方案 1

Fig 4 Devison planning of heuristic optimization

图 5是另以 0#, 17#, 4#, 11#街区为核心街区的分区结果图。分区 1的总负荷为 13 070 kVA,分区 2的总负荷为 13 265 kVA,分区 3的总负荷为 12 680 kVA,分区 4的总负荷为 13 755 kVA,最大分区负荷与最小分区负荷之比 $D_{min}/D_{max}=0.9218$ 。

可以看出,选择不同的核心街区所得到的分区结果是不同的。在实际规划时可适当地多选几次核心街区,得到多个分区结果。由规划人员根据实际情况,选择一个最优的方案。对于本例,共需要 4 个电源点。在方案 1 中,各个分区分别包含至少一个可能的电源点。在方案 2 中,分区 1 包含三个电源点,而分区 2 则没有包含任何电源点,在对分区 2 进行网架建设时会增加额外的费用用来引入电源。因此选择方案 1 更好一些。

根据方案 1 的分区结果,在每个分区内采用最小生成树算法形成各自的辐射状网架,然后采用遗传算法进行分段和联络,得到最终的网架规划结果如图 6 所示,图中“□”为联络开关,“ ”为分段开

关,“*”为电源点。

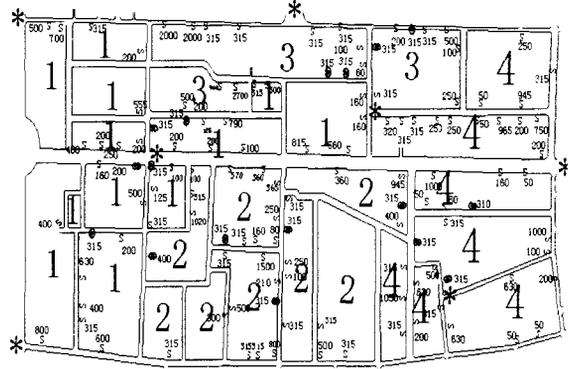


图 5 启发式分区结果 2

Fig 5 Another result of planning

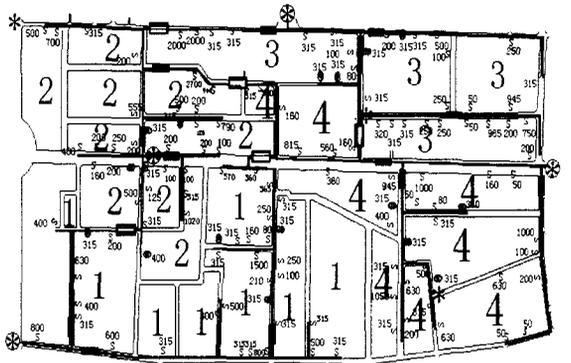


图 6 各个分区的中压网架结构

Fig 6 Planning results of grids in the four distribution sections

5 结论

本文提出的启发式配电网优化分区算法,以街区为最小的负荷块,以各个分区的负荷最均匀为目标,通过将若干相邻街区合并和调整实现负荷优化分区,为中压网架的规划奠定了基础。所得各个分区的负荷值相近,有利于减少备用容量,提高设备利用率。在各个分区内用改进的最小生成树算法,考虑了道路交叉点,能够快速有效地形成中压配电网架。利用地理信息系统(GIS)可以更加直观地开展配电网优化分区并展现获得的规划结果。实例表明提出的方法是可行的。

参考文献:

[1] 周新娟,刘永强,吴捷. 基于计算机辅助决策系统的层次化配电网规划[J]. 继电器, 2004, 32(13): 43-46
 ZHOU Xin-juan, LU Yong-qiang, WU Jie Structural Distribution Planning Based on Computer Assistant Decision Making System[J]. Relay, 2004, 32(13): 43-46

[2] 牛雪媛,陈根永,谢志棠. 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
 NU Xue-yuan, CHEN Gen-yong, XIE Zhi-tang Artificial Immune Algorithm for Distribution Network Structure Planning with Power Outage Cost[J]. Relay, 2004, 32(7): 10-13
- [3] 能源部, 建设部. 城市电力网规划设计导则[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993
 Ministry of Energy for the P. R. China and Ministry of Construction for the P. R. China Design Code for Urban Power Network Planning[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1993
- [4] DL/T 599-1996, 城市中低压配电网改造技术导则[S].
 DL/T 599-1996, Techniques Code for Urban Mid-low Voltage Distribution Network[S].
- [5] 刘健, 等. 城乡电网建设与改造[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
 LU Jian, et al Construction and Refomation of Urban Power Network[M]. Beijing: China Water Power Press, 2001.
- [6] Zmijarevic Z, Krajcar S, Sklec D. GIS Enhanced Long Term Planning of MV Distribution Networks[J]. Proc of the 6th ASTED Multi-Conference Transmission and Distribution Marina del Ray (USA): 2002 13-15.
- [7] Skok M, Skrlec D, Krajcar S. Genetic Algorithm and GIS Enhanced Long Term Planning of Large Link Structured Distribution Systems[J]. Proceedings of the Large Engineering Systems Conference on Power Engineering, IEEE 2002
- [8] 顾洁, 程浩忠, 张焰, 等. 基于地理信息系统的配电网软件包的开发[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(5): 4-6
 GU Jie, CHENG Hao-zhong, ZHANG Yan, et al Development of Distribution Network Planning Software Package Based on GIS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(5): 4-6
- [9] 王春生, 赵凯, 彭建春. 基于地理信息系统和遗传算法的配电网优化规划[J]. 电力系统自动化, 2000, 25: 48-58
 WANG Chun-sheng, ZHAO Kai, PENG Jian-chun GIS Based Optimal Planning for Distribution System Using GA[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 25: 48-58
- [10] 卢开澄, 卢华明. 图论及其应用(第二版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998
 LU Kai-cheng, LU Hua-ming Graphics Theory and Its Applications, Second Edition[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998
- [11] 刘健, 杨文宇, 余健明, 等. 一种基于改进最小生成树算法的配电网架优化规划[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 103-108
 LU Jian, YANG Wen-yu, YU Jian-ming, et al An Improved Minimum-cost Spanning Tree Based optimal Planning of Distribution Networks[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(10): 103-108
- [12] 杨文宇, 刘健, 余健明, 等. 配电网分段和联络开关的优化规划[J]. 中国电力, 2004, 37(2): 50-54
 YANG Wen-yu, LU Jian, YU Jian-ming, et al Optimal Allocation of Sectionalizing and Loop Switches in Distribution Networks[J]. Electric Power, 2004, 37(2): 50-54

收稿日期: 2005-04-05; 修回日期: 2005-05-25

作者简介:

宋蒙(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为配电网架规划; E-mail: songmeng126@126.com

刘健(1967-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向主要为电力系统自动化;

刘巩权(1971-), 男, 高级工程师, 主要从事配电网架信息系统的开发与研究工作。

Urban distribution network planning based on optimal partitioning

SONG Meng¹, LU Jian², LU Gong-quan²

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: A heuristic method to optimally divide an urban distribution network into several distribution sections is put forward. A street division is considered as the minimum unit. The coal street division is selected. The index of load balance in the distribution sections is used. The limitation of supplying radius is introduced as a constraint. The main procedure of partitioning of distribution network is merging the adjacent street division and making adjustment on the results. The load in each distribution section is guaranteed to be closed. Consequently, the reserve capacity of electrical apparatus can be decreased. A minimum-spanning-tree based approach is adopted in each distribution section to obtain a radial grid. The sectionalizing switches and loop switches are planned by a genetic algorithm. An example is given to show the feasibility of the proposed method.

Key words: distribution network; optimal planning; geographic information system (GIS)