

文章编号 :1671 - 6833(2002)03 - 0075 - 03

基于 GIS 和 Tabu 搜索的配电网优化规划

杨丽徙,王金凤,陈根永

(郑州大学电气工程学院 河南 郑州 450002)

摘 要 :针对传统方法求解配电网优化问题时速度慢的缺点,引入了具有快速搜索能力的 Tabu 搜索算法.为了使规划结果更加直观,又引入了地理信息系统(GIS, Geographic Information System)平台.优化模型考虑线路投资的时间价值,以计及投资和损耗费用的年费用最小为目标,以线路传输容量、配电网的辐射性等为约束条件,以备选网络的生成树作为初始解,用 Tabu 搜索算法进行寻优.算例结果表明,该方法具有一定的可行性和有效性.

关键词 :配电网规划;Tabu 搜索;地理信息系统;启发式方法

中图分类号 :TM 715 ;TP 18 **文献标识码 :**A

网架优化的目的在于根据投资及运行等费用最小的原则,确定扩建线路的类型、时间及地点,建设技术上安全可靠、经济上费用最省的电网结构.因此,网架优化是一个大规模的组合优化问题.常规的数学优化方法(除少数线性规划模型外)很难在合理时间内得到问题的最优解^[1].现代启发式方法(模拟退火算法 SA、遗传算法 GA 等)的应用为网架优化提供了新的思路,而地理信息系统平台则为优化结果的直观显示提供了方便.

在 GIS 平台上将现代启发式方法家族中另一个新兴成员——Tabu 搜索(Tabu Search, TS)引入配电网网架优化中,是本文中探讨的主要内容.在许多领域中,TS 方法已成功应用于求解复杂的组合优化问题^[2,3].

1 Tabu 搜索概述

TS 是一种亚启发式(meta-heuristic)随机搜索算法,它从一个初始可行解出发,选择一系列的特定搜索方向(“移动”)作为试探,选择实现让特定的目标函数值减少最多的“移动”.TS 方法的三个基本要素是:“移动”、Tabu 表和释放水平(Aspiration Level)函数.Tabu 搜索通过“移动”来实现,一次“移动”产生一个试验邻居解.Tabu 表用来保存最近若干次迭代过程中所实现的“移动”的反方

向“移动”,该反方向“移动”不作为下一步的搜索方向,以避免陷入局部最优解.Tabu 表中允许存储的最大的数目称为 Tabu 表规模(Tabu list size).为了尽可能不错过产生最优解的“移动”,TS 还采用“释放水平”的策略.当一个“移动”满足“释放水平”,即使它处于 Tabu 表中,这个“移动”也可以被实现.

在本文中,“移动”采用“交换移动”,Tabu 表采用先进先出的管理模式,而“释放水平”采用的是:如果一个移动作用于当前解后,可达到一个比以前所搜索到的所有解都要好的解,则称该移动满足了“释放水平”.

2 网架优化模型

本文中网架优化模型计及了资金的时间价值,按等额分付资本回收计算,以年费用最小为目标函数^[4].在分析过程中,采用 TS 算法进行优化求解.对于新建线路计及投资和运行费用,对于已存在线路仅计及运行费用,以线路传输容量、负荷需求及配电网的辐射性等为约束条件.

2.1 目标函数

$$\min F = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \left[Z + \sum_{t=0}^{n-1} \frac{C_t}{(1+i)^t} \right] \quad (1)$$

式中:Z 为方案的线路建设总投资费用; C_t 为方案第 t 年的运行费用.

收稿日期 2002 - 03 - 20 ;修订日期 2002 - 06 - 21

基金项目 河南省科技攻关资助项目(991140229)

作者简介 杨丽徙(1956 -)女,江苏省盱眙县人,郑州大学副教授,解放军信息工程大学在读博士研究生,主要从事

电力系统规划方面的教学与科研工作.
万方数据

当以水平年为目标时,设电气设备的使用寿命 n 为 25 年,贴现率 i 为 0.1,并假定使用年限内运行费用相等,则式(1)细化为

$$\min F = K_1 \sum_{i \in D_1} l_i a_i X_i + K_2 \sum_{i \in D_2} l_i a_i + K_3 \sum_{i \in D} l_i r_i \frac{P_i^2}{U_N^2},$$

(2)

式中: D_1, D_2, D 为新建、已建、总线路集; K_1, K_2, K_3 为常数; X_i 为 0-1 变量($X_i = 1$ 表示建设该线路, $X_i = 0$ 表示不建该线路); l_i 为线路长度; a_i 为单位长度的投资; r_i 为导线单位长度电阻; P_i 为线路上流过的有功功率; U_N 为线路额定电压.第一项为新建线路的投资和折旧、维护费用;第二项为已存在线路的折旧、维护费用;第三项为所有线路的运行费用.

2.2 约束条件

- (1) 辐射网结构.
- (2) 负荷要求: $AP = D$.

式中: A 为节点关联弧矩阵; P 为网络潮流; D 为负荷需求.

- (3) 线路潮流限制: $P_i \leq P_{i, \max}$.
- 式中: P_i 为支路潮流; $P_{i, \max}$ 为满足某种条件的支路最大允许容量.

3 用 Tabu 搜索算法求解配电网网架优化

在构造配电网规划方案时,线路一般只能沿城建规划部门指定的街道架设.在 GIS 中可以通过叠加操作得到街道的交汇点.引入 GIS 不仅可以较方便地考虑线路沿街道架设的约束条件,而且使规划结果更符合实际.本文中计及所有街道的交汇点,用点溶合法选取待架的线路作为初始解,并以此解为基础采用 Tabu 搜索方法进行寻优.

3.1 编码策略及初始解的产生

本文采用常规二进制编码策略,将新建可行线路的投运与否作为优化变量,即投运为 1,否则为 0.

本文利用图论的知识以备选网络的生成树作为 Tabu 搜索算法的初始解,避免了随机产生初始解时只有 $<1\%$ 的机会是可行初始解的不足^[5].由生成树的概念可知,生成树所对应的网络必为辐射网,辐射形网架的约束条件可自然满足.

- 生成树的算法^[6]如下:
- 第一步 把所有的边按自然顺序排列.
- 第二步 按边的顺序,逐次检查每一条边的始点 $D_1(i)$ 和终点 $D_2(i)$.若 $D_1(i) = D_2(i)$,则该边选做连枝,并统计一条连枝数;否则,该边选做

树枝,统计一条树枝数, $D_1(i)$ 向 $D_2(i)$ 溶化,并检查所有边的每个端点,如果 $D_1(i)$ 与 $D_2(i)$ 相同,应将其改为 $D_2(i)$.

第三步 重复第二步,直至树枝数等于网络的节点数减 1,或将所有节点溶化为一点,算法终止.

3.2 求解步骤

- 基于 Tabu 搜索的配电网规划算法如下^[3]:
- (1) 输入网络参数及 Tabu 搜索需要的参数,形成初始解 X_0 ,置最好解向量 $X_{\text{best}} = X_0$.按式(2)计算 $F(X_{\text{best}})$,设置迭代计数器 $K = 0$.
- (2) 如果 K 等于最大迭代次数 K_{\max} ,则输出 X_{best} 作为最终方案,否则,令 $K = K + 1$ 转步骤(3).
- (3) 将“交换移动”作用于当前解 X_0 ,产生一组试验邻居解 $X_1, \dots, X_{N_{\max}}$,判断辐射性,若是,计算 $F(X_i)$,令 X_{trial}^* 为其中的最好解.
- (4) 如果 $F(X_{\text{best}}) > F(X_{\text{trial}}^*)$,则令 $X_{\text{best}} = X_{\text{trial}}^*$,否则,转步骤(5).

(5) 如果 X_{trial}^* 对应的“移动”不在 Tabu 表中,或虽在 Tabu 表中但已达到其释放水平,则用 X_{trial}^* 更新 X_0 ,并将它所对应“移动”的反方向“移动”存入 Tabu 表,转步骤(2);若该解对应的“移动”在 Tabu 表中但未达到其释放水平,则考查仅次于该最好试验邻居解的另一个试验邻居解,并重复此过程.

4 算例

该例是一个具有 50 个节点、7 条现有支路和 74 条可扩展支路的 10 kV 配电网的实际系统,初始网络如图 1 所示(鉴于篇幅所限,支路数据不再一一列出).变电站节点统一编号为 1,节点数据如表 1 所示.选择最大迭代次数 $K_{\max} = 1000$,试验

表 1 节点数据

Tab.1 Data of the bus

编号	容量/kW	编号	容量/kW	编号	容量/kW	编号	容量/kW
1	0	14	116	27	600	40	500
2	720	15	800	28	200	41	855
3	110	16	300	29	250	42	960
4	200	17	450	30	530	43	150
5	850	18	230	31	630	44	750
6	200	19	340	32	101	45	300
7	100	20	840	33	300	46	200
8	450	21	630	34	500	47	400
9	200	22	220	35	200	48	200
10	280	23	250	36	300	49	400
11	450	24	100	37	200	50	615
12	100	25	100	38	200		
13	174	26	200	39	115		

邻居解个数 $N_{\max} = 20$,Tabu 表规模 $T_{\max} = 20$,所得优选方案如图 2 所示.在 586 微机上运行 2 分 37 秒,总费用 493.45 万元.算例表明:Tabu 搜索算法寻优速度较快,GIS 平台使规划结果更加直观,可以大大提高规划人员的工作效率.

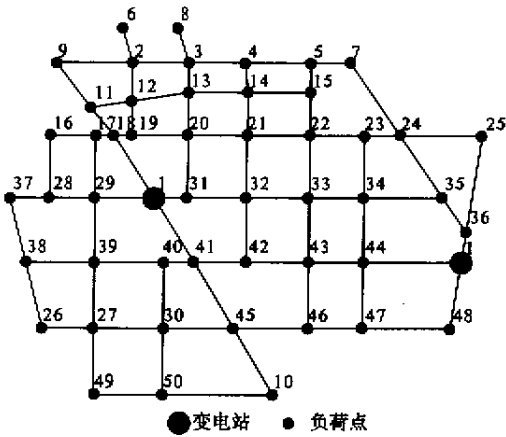


图 1 初始网络
Fig.1 Initial network

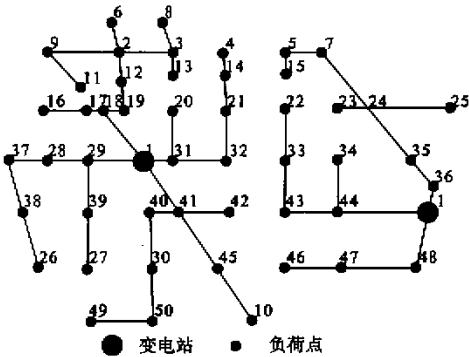


图 2 优化结果
Fig.2 Optimal network

5 结束语

本文尝试在 GIS 的平台上采用 Tabu 搜索算法求解配电网网架优化问题,建立了相应的优化模型和算法,并用算例验证了方法的有效性.

尽管 Tabu 方法有很强的寻优能力,但在某些情况下亦很难摆脱局部最优解.在现有解空间被高度密集许多代之后,解的质量没有明显提高的情况下,可以采用多样化策略来将搜索引入到未被搜索到的一个新的区域进行寻优,从而在更全面的范围内求全局最优解.

参考文献:

[1] 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.
[2] 文福拴 韩祯祥.基于 Tabu 搜索方法的输电系统最优规则[J].电网技术 ,1997 ,21(5) 2 - 7.
[3] 陈根军 李继洸 王磊,等.基于 Tabu 搜索的配电网规划[J].电力系统自动化 ,2001 ,25(7) :40 - 44.
[4] 杨期余.配电网[M].北京:中国电力出版社,1998.
[5] 王天华 王平洋 范明天.用演化算法求解多阶段配电网规划问题[J].中国电机工程学报 ,2000 ,20(3) :34 - 38.
[6] 舒贤林 徐志才.图论基础及其应用[M].北京:北京邮电学院出版社 ,1988.97 - 98.

GIS-based Optimal Planning for Distribution System by Tabu Search

YANG Li - xi , WANG Jin - feng , CHEN Gen - yong

(College of Electric Engineering , Zhengzhou University , Zhengzhou 450002 , China)

Abstract : Tabu Search algorithm is introduced into distribution network planning to overcome the low speed of traditional method and the GIS platform is introduced to make the planning results more easily understood. The optimal module takes the real - time value of capital investment into account , takes minimum annual cost as its object and feeders ' capacity and the radiation of distribution network as its restrictions. In order to improve the speed of the search , we take the spanning tree of alternative network instead of the random solution as initial solution. And then the optimal solution is obtained by Tabu search. The example demonstrates its feasibility and validity.

Key words : distribution network planning ; Tabu Search (TS) ; Geographic Information System (GIS) ; heuristic method