

文章编号 :1007 - 649X(2000)04 - 0082 - 03

# 前推回代潮流算法在城网规划中的应用

臧 睿<sup>1</sup>, 杨丽徙<sup>1</sup>, 姜和恭<sup>1</sup>, 王聪蝶<sup>2</sup>

(1. 郑州工业大学电气信息工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省巩义市电业局, 河南 巩义 451200)

摘 要: 城市配电网的运行方式一般为辐射形网络. 结合城市配电网的结构特点, 应用前推回代法进行潮流计算. 处理多分支的辐射形网络时, 采用广度优先搜索策略, 对辐射状配电网分层, 以确定前推回代的顺序. 在此基础上利用前推回代潮流算法进行计算. 该方法可处理复杂的多分支辐射网, 具有收敛可靠、速度较快且编程简单的优点. 算例表明, 该方法是一种实用的城网潮流算法.

关键词: 城网规划; 潮流计算; 前推回代; 辐射网分层; 广度优先

中图分类号: TM 744 文献标识码: A

## 0 引言

城市配电网潮流计算是网络分析的基础. 城网规划、网络重构等均需要配网潮流的数据. 因此, 寻求收敛可靠、计算准确、速度较快的配网潮流算法是十分必要的.

与输电网相比, 城市电网多为辐射状网络, 具有分支较多,  $R/X$  较大等显著特点<sup>[1]</sup>, 快速解耦法不再适用. 尤其在规划等场合, 出现病态系统的机率较大, 往往会造成收敛困难.

本文介绍一种适用于辐射状配电网潮流计算的前推回代算法. 该方法遵循广度优先搜索策略对配电网进行分层, 再按层前推回代, 从而求得配电系统的潮流分布. 前推回代法具有可靠的收敛性和较快的计算速度<sup>[2]</sup>.

## 1 辐射状配电网的分层

为确定前推回代的顺序, 应从根节点开始按广度优先搜索并对配电网进行分层. 广度优先的含义就是在搜索过程中总是首先搜索下面一步的所有可能状态, 然后再进一步考虑更后面的各种情况. 实现广度优先搜索, 可采用队列作为辅助结构, 把下一步所有可能的状态都列举出来, 放在队列中, 然后顺序取出来分别进行处理. 处理过程中再把下一步的状态放在队列里, 以此类推, 直至处理完所有的状态<sup>[3]</sup>.

辐射状配电网的分层<sup>[4]</sup>, 是将根节点作为第一层, 作为父节点; 从根节点开始搜索, 将搜索到的所有子节点放入队列. 根节点的所有子节点作为第二层, 再以第二层各节点作为父节点并开始搜索, 将其所有子节点放入队列中, 并作为第三层, 依此顺序搜索直至遍历全部节点.

由于队列的操作遵循先进先出的原则, 在这个处理过程中, 只有在前一步的所有情况都处理完后, 才能处理后面一步的情况. 在搜索时, 将各层节点号存入一个数组内, 并记录各层的节点数及各节点的子节点数, 以便于前推及回代过程的处理.

如图 1 所示的配电网, 利用广度优先搜索方法将其分层, 各层的节点编号如下: 第一层: 0; 第二层: 4, 12; 第三层: 3, 5, 11, 13; 第四层: 1, 2, 6, 10; 第五层: 7, 8; 第六层: 9.

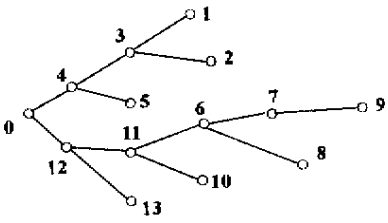


图 1 配电网前推回代潮流算法网络分层

## 2 前推回代潮流算法

对于如图 2 所示的辐射状配电馈线,  $k, i$  分

收稿日期: 2000 - 08 - 22; 修订日期: 2000 - 09 - 30

基金项目: 河南省科技攻关项目(991140229)

作者简介: 臧 睿(1971 - ), 男, 河南省郑州市人, 郑州工业大学硕士研究生.

别为父、子节点,  $i, j$  分别为父、子节点,  $C_i$  为由节点  $i$  的子节点构成的节点集。

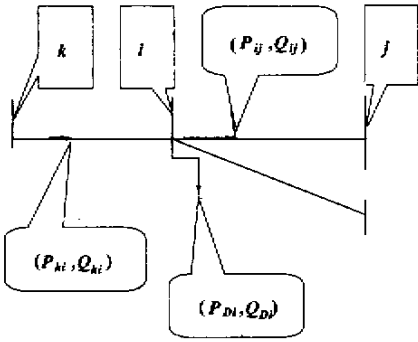


图 2 辐射状配电馈线例图

配网潮流前推回代潮流算法第  $n + 1$  步的迭代公式如下：

节点  $i$  的前推计算公式为

$$\begin{cases} \Delta P_{ki}^{n+1} = r_{ki} \cdot \left[ \left( \sum_{j \in C_i} P_{ij}^{(n+1)} + P_{Di} \right)^2 + \left( \sum_{j \in C_i} Q_{ij}^{(n+1)} + Q_{Di} \right)^2 \right] \wedge V_i^{(n)} \\ \Delta Q_{ki}^{n+1} = r_{ki} \cdot \left[ \left( \sum_{j \in C_i} P_{ij}^{(n+1)} + P_{Di} \right)^2 + \left( \sum_{j \in C_i} Q_{ij}^{(n+1)} + Q_{Di} \right)^2 \right] \wedge V_i^{(n)} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_{ki}^{(n+1)} = P_{Di} + \sum_{j \in C_i} P_{ij}^{(n+1)} + \Delta P_{ki}^{(n+1)} \\ Q_{ki}^{(n+1)} = Q_{Di} + \sum_{j \in C_i} Q_{ij}^{(n+1)} + \Delta Q_{ki}^{(n+1)} \end{cases}, \quad (2)$$

其中： $n$  为迭代次数 ( $r_{ki}, x_{ki}$ ) 为支路  $ki$  的阻抗；( $\Delta P_{ki}^{(n+1)}, \Delta Q_{ki}^{(n+1)}$ ) 为馈线支路  $ki$  上的功率损耗 ( $P_{ij}^{(n+1)}, Q_{ij}^{(n+1)}$ ) 为流经支路  $ki$  的功率；( $P_{Di}, Q_{Di}$ ) 为不计及负荷电压特性的节点  $i$  的负荷。

节点  $i$  电压的回推计算公式为

$$I_{ki}^{(n+1)} = \frac{P_{ki}^{(n+1)} - jQ_{ki}^{(n+1)}}{V_k^{*(n+1)}}; \quad (3)$$

$$V_i^{(n+1)} = V_k^{(n+1)} - I_{ki}^{(n+1)} \cdot (r_{ki} + jx_{ki}) \quad (4)$$

其中,  $V_k^*$  为节点  $k$  复电压的共轭。

在节点分层的基础上, 配电网前推回代潮流算法的迭代过程为：

① 初始化 给定配电馈线根节点电压  $V_r$ , 并为其他节点电压赋初值  $V^{(0)}, n = 0$ ;

② 前推计算 由最末一层出发, 先子节点, 后父节点, 利用式 (1) 和 (2) 逐层前推计算, 由节点电压分布  $V$  求出各支路的功率分布;

③ 回代计算 从第一层(根节点)出发, 先父节点后子节点, 用式 (3) 和 (4) 逐层回推计算, 由支路功率分布求节点电压分布  $V^{(n+1)}$ ;

④ 收敛判断 根据预先给定的收敛指标  $\epsilon$ , 判断相邻两次迭代电压差的模分量的最大值  $\max |\Delta V_i|$  是否小于  $\epsilon$ , 若是, 则停止计算, 否则,  $n = n + 1$  转步骤②。

### 3 算例

本文方法已用于实际的城网规划工作, 以下作为几个实际系统的算例, 因篇幅所限, 不再给出系统的详细参数, 仅在表 1 列出了几个配电系统的重要特征及迭代次数。

所选系统均为多分支的 10 kV 辐射网, 配电负荷为恒功率模型, 收敛精度  $\epsilon$  取 0.0001(有名词), 迭代次数随网络规模的扩大而有所增加。

表 1 配电系统特征及迭代次数

系统名	馈线数	节点数	辐射支路数	迭代次数
A	1	15	14	5
B	2	49	47	6
C	3	57	54	6

### 4 结束语

由前推回代潮流算法原理及算例分析可知, 辐射状配电网潮流的前推回代算法, 在理论上是严格的, 可以直接从网络节点方程中推出, 潮流计算的解是精确的。

此方法充分利用了网络呈辐射状的结构特点, 用广度优先搜索策略进行分层处理, 无需求节点导纳阵及其因子表, 整个过程无冗余计算, 对网络节点编号无特殊要求, 数据处理简单, 计算效率高。

本文提出的前推回代算法, 可处理复杂的多分支配电网, 收敛可靠, 速度较快, 是一种适用于城网规划的潮流算法。

### 参考文献：

- [1] 张学松, 柳 焯, 于尔铿, 等. 配电网潮流算法比较研究[J]. 电网技术, 1998, 22(4): 45-49.
- [2] 孙宏斌, 张伯明, 相年德. 配电网潮流前推回推法的收敛性研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 26-29.
- [3] 张乃孝, 裘宗燕. 数据结构[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998. 176-178.
- [4] SHIRMONHAMMADI D, HONG H W, SEMLYEN A, et al. A compensation-based power flow method for weekly

meshed distribution and transmission networks[ J ]. IEEE

Trans on Power System ,1988 ,2 ( 2 ) :753 – 762.

## Application of Back/Forward Sweep in Distribution Network Planning

ZANG Rui<sup>1</sup> , YANG Li – xi<sup>1</sup> , LOU He – gong<sup>1</sup> , WANG Cong – die<sup>2</sup>

( 1. College of Electrical & Information Engineering ,Zhengzhou University of Technology ,Zhengzhou 450002 ,China ; 2. Henan Gongyi Electrical Industry Bureau ,Gongyi 451200 ,China )

**Abstract** :Load flow calculation of distribution network is an important issue of urban distribution network planning. To deal with radial network with multiple branches , breadth – first search is applied to stratify the radial distribution system , then back/forward sweep algorithm is employed to attain power flow of the distribution system. Tests show it is a practical method with reliable convergence property and high computing speed.

**Key words** :urban distribution network planning ; load flow calculation ; back/forward sweep ; stratifying radial distribution system ; breadth – first search

万方数据