

用邻接表保存中压配电网拓扑结构

邱 生¹,张 焰¹,孙建生¹,滕乐天²,王之佩²,骆 敏²

(1.上海交通大学 电气工程系,上海 200240;2.上海市电力公司,上海 200025)

摘要:根据中压配电网的结构特点引入数据结构中邻接表来保存配电网拓扑结构。介绍了邻接表的形成方法和结构特点。给出了用邻接表保存配电网拓扑结构的实现程序以及运行方式改变后进行分析的方法。用邻接表保存中压配电网的拓扑结构,大大缩短了潮流的计算时间。
关键词:邻接表;快速;潮流计算

中图分类号: TM 734;TM 744 文献标识码: B 文章编号: 1006-6047(2005)03-0057-03

配电网为幅射状结构,在潮流计算中先给定首端节点电压,由假设其余节点电压和已知负荷计算各支路功率分布,再由给定的首端节点电压和支路电流计算各节点电压,重复以上过程直到满足收敛条件,这就是配电网潮流计算常用的前推后推法^[1,2]。前推后推法需保存配电网拓扑结构,为了能够使潮流快速收敛,同时使保存的结果在电网运行方式改变时只需进行简单修正,本文从邻接表的角度,对配电网给出一种简易、直观的拓扑保存方法。

1 对于配电网形成邻接表

以上海某小区配电网的部分示意图(见图 1,图中的实心圆与空心圆分别表示柱上开关的合上与断开状态)说明形成邻接表的方法和潮流计算方法。

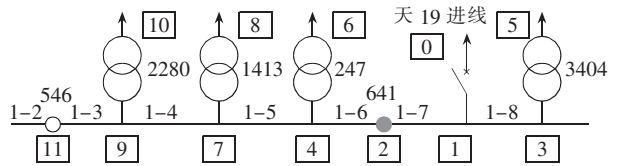


图 1 某小区配电网的部分示意图

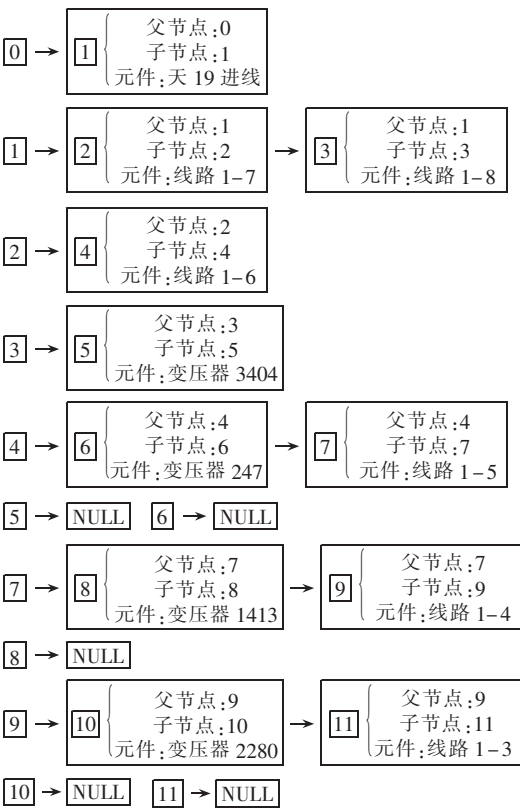
Fig.1 Part of a district distribution network

数据结构中所谓的邻接表^[3],就是对图中每个顶点建立一个链表,链表的元素就是依附于该顶点的边(在本文中就是和该顶点相连的设备)。

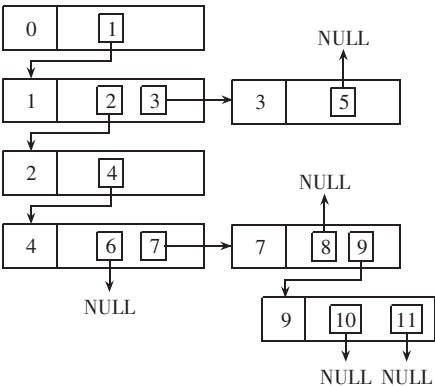
对于每个元件采用以下 C++ 的原始数据结构体进行保存。元件结构体如下:

```
{ 父节点号码;  
 子节点号码;  
 父子节点间对应的元件;  
 该元件是否有后续元件(该变量用于开关状态改变后网络拓扑的再分析);}
```

图 2 是用邻接表结构保存的网络拓扑结构,通过访问某支路结构体的子节点号得到邻接表序号,根据序号得到与此支路结构体相连的支路列表。



(a) 邻接表



(b) 邻接表简明指示图

图 2 对应图 1 的邻接表

Fig.2 The adjacency list structure relevant to figure 1
配电网的结构是闭环设计,开环运行。所以,可

认为,每条馈线的潮流分布由其本身的负荷及根节点的电压决定,与其他馈线无关。根据这个特点,配电网潮流可以馈线为单位,多条馈线并行计算。

为不失一般性,设 i 为某个父节点(对应于邻接表的序号),该父节点对应着 k 个子节点(子节点列表由邻接表的序号间接获得), j 为其中任意 1 个子节点,对于图 2,例如对于 1 这个父节点,根据邻接表图形,得到子节点分别为 2,3,对应的相连支路为线路 1-7,线路 1-8。潮流方程可以描述如下:

$$I_{ijx} = \frac{P_j U_{jx} + Q_j U_{jy}}{U_{jx}^2 + U_{jy}^2} \quad (1)$$

$$I_{ijy} = \frac{P_j U_{jy} - Q_j U_{jx}}{U_{jx}^2 + U_{jy}^2}$$

$$P_i = \sum_{j=1}^k (P_j + r_j (I_{ijx}^2 + I_{ijy}^2)) \quad (2)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^k (Q_j + x_j (I_{ijx}^2 + I_{ijy}^2))$$

$$U_{jx} = U_{ix} + x_j I_{ijy} - r_j I_{ijx} \quad (3)$$

$$U_{jy} = U_{iy} - x_j I_{ijx} - r_j I_{ijy}$$

式中 I_{ijx}, I_{ijy} 分别为以 i, j 为首末节点的支路的电流实部和虚部; r_j, x_j 分别为以 i, j 为首末节点的支路的电阻和电抗; P_i, Q_i 分别为流入节点 i 的有功和无功功率; P_j, Q_j 分别为流入节点 j 的有功和无功功率; U_{ix}, U_{iy} 为节点 i 电压的实部和虚部; U_{jx}, U_{jy} 为节点 j 电压的实部和虚部。

式(1)~(3)为一组递归方程,邻接表构造好了以后,从邻接表中链表为空的顶点(本图上为 5,6,8,10,11 顶点),利用式(1)(2)将负荷依次递推叠加到馈线上。这个过程就是“前推后推法”中的“后推”,而从馈线顶点出发,利用式(3),根据上次迭代得到的总负荷和已知的电压和各条线路的电流就可以得到本次迭代的各个节点的电压,这个过程就是“前推后推法”中的“前推”。上述过程可以非常方便的通过递归编程实现。

2 用邻接表保存配电网拓扑结构

首先根据配电网原始数据得到配电网的总电源(这里只考虑一个总电源的情况,而多电源的配电网的分析情况与此相似)。建立 3 个空列表 L_1, L_2, L_3 。 F_p, S_p 为 2 个临时变量,分别表示元件的父节点和子节点号。Head1 为列表 L_1 的头指针。先将总电源加入列表 L_1 中,与列表 L_1 中元件相连的联络线及变压器加入列表 L_2 中,而与列表 L_1 中元件相连的联络线加入列表 L_3 中。然后,将列表 L_3 的元素加入置空后的列表 L_1 中,重复上述步骤直至列表 L_3 为空。程序流程如图 3 所示。

3 运行方式改变后的拓扑结构再分析

对于配电网而言柱上开关的状态标识着相邻设备是否电气相连,所以电网运行方式的改变是通过

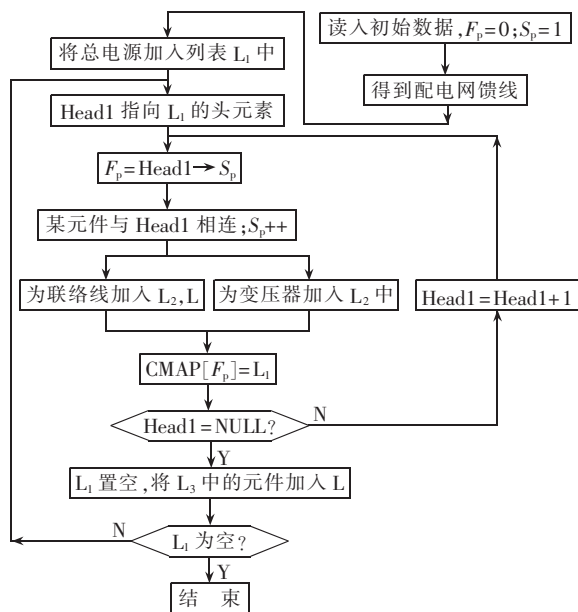


图 3 程序流程图

Fig.3 The program flowchart

改变柱上开关的状态来实现,对于每台开关设定如下参数:

- 开关运行状态;
- 相连的左设备的指针;
- 相连的右设备的指针。

每台开关的参数初始赋值可以在对初始电网进行邻接表保存时实现。而开关的状态改变只有由合入改变到断开、断开改变到合入两种状态,下面分别说明两种状态改变拓扑再分析的方法。

a. 如果图 1 中的柱上开关 641 由合入改变到断开,则 641 开关的相连设备线路 1-6,1-7 不再有电气联络,体现在邻接表上,就是邻接表的第 3 列的链表更新为 NULL。

b. 如果图 1 中的柱上开关 546 由断开改变到合入,则 546 开关的相连设备线路 1-3,1-2 出现电气联络,体现在邻接表上,就是邻接表的第 12 列的链表由 NULL 更新为线路 1-2,而线路 1-2 后的拓扑分析按照图 3 的程序流程进行。

电网运行状态改变后的拓扑再分析只需按照上述方法对原始邻接表进行简单更新,然后对于更新后的邻接表按照前述的“前推后推法”就可进行全网的潮流计算。

4 结论

本文针对中压配电网的结构特点,利用数据结构中的邻接表结构,直观地给出了配电网的保存方法,对于电网的潮流计算,可以根据保存好的邻接表利用成熟的前推后推法方便的得到,缩短了计算时间。

参考文献:

- [1] ZIMMERMAN R D, CHANG Hiao-dong. Fast decoupled power flow for unbalanced radial distribution systems

[J]. **IEEE Trans. on Power Systems**,1995,10(4): 2045-2052.

[2] 陈宏斌,张伯明,相年德. 配电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.

CHEN Hong-bin,ZHANG Bo-ming,XIANG Nian-de. Study on convergence of back/forward sweep distribution power flow[J]. **Proceedings of the CSEE**,1999,19(7):26-29.

[3] 严蔚敏,吴伟民. 数据结构(C语言版)[M]. 北京:清华大学出版社,1997.

[4] 王 丹,常宝立. 一种用于配网潮流计算的节点编号新方法[J]. 电力系统及其自动化学报,2003,15(2):22-27.

WANG Dan,CHANG Bao-li. A new method of node numbering scheme on distribution system power flow calculation [J]. **Proceedings of the EPSA**,2003,15(2): 22-27.

[5] 范文涛,薛禹胜,慕志恒. 面向对象技术及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化,1998,22(12):72-76.

FAN Wen-tao,XUE Yu-sheng,MU Zhi-heng. Object-oriented technology and its applications in power system [J]. **Automation of Electric Power Systems**,1998,22(12):72-76.

[6] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用[M]. 北京:清华大学出版社,1986.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

邱 生(1976-),男,江苏徐州人,硕士研究生,目前主要从事配电网供电可靠性研究 (E-mail:qiusheng7604@yahoo.com.cn);

张 焰(1958-),女,安徽合肥人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统规划、电力系统可靠性等方面的教学和科研工作;

孙建生(1976-),男,河南唐河人,硕士研究生,主要从事电力系统可靠性以及电压稳定等方面的研究。

Adjacency list saving topology structure of mid-voltage distribution system

QIU Sheng¹,ZHANG Yan¹,SUN Jian-sheng¹,TENG Le-tian²,WANG Zhi-pei²,LUO Min²
(1. Electrical Engineering Department,Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240,China;2. Shanghai Municipal Electric Power Company,Shanghai 200025,China)

Abstract: According to the characters of mid-voltage distribution system,the adjacency list of data structure is introduced to save its topology structure. The formation and structural features of adjacency list are described. The implementation program is provided,and the reanalysis method of topology structure after operation pattern change is offered. Using adjacency list to save topology structure in power flow calculation,the calculation time is greatly reduced.

Key words: adjacency list; fast; power flow calculation