

# 一种配电网重构中潮流计算序列的快速建立方法

张炳达<sup>1</sup>, 李广福<sup>2</sup>

(1. 电力系统仿真控制教育部重点实验室(天津大学), 天津 300072; 2. 济南供电公司, 山东 济南 250011)

**摘要:** 为了正确地计算 10 kV 配电网的线损和优化网络结构, 一个精确的配电网模型是不可缺少的。针对精确模型的潮流计算序列庞大和创建费时的问题, 把分段开关之间的所有负荷简化为一个广义节点, 用潮流计算子序列组描述其内部结构, 提出了一种按区存储的潮流计算序列创建法。针对阶梯式负荷, 对支路交换法中的启发式规则作了修改, 设计了相应的潮流计算序列修改法。这些方法已成功应用于河南省商丘供电局的 10 kV 配网运行优化与辅助决策系统中。

**关键词:** 网络重构; 潮流计算; 拓扑搜索; 支路交换法; 启发式规则

## A rapid establishment method of power flow calculation sequence for reconfiguration of distribution networks

ZHANG Bing-da<sup>1</sup>, LI Guang-fu<sup>2</sup>

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Power System Simulation and Control (Tianjin University), Tianjin 300072, China; 2. Jinan Power Supply Company, Jinan 250011, China)

**Abstract:** An accurate model of the distribution network is indispensable to calculate line loss and optimize the structure correctly for a 10 kV distribution network. Because the power flow calculation sequence of the model is huge and time-consuming for creating, all loads between breakers are simplified by a generalized node, and its interior structure is described with the help of a group of the power flow calculation subsequences. A kind of method for creating power flow calculation sequence by district is proposed. At the same time, in view of multistep loads, the heuristic rules of the branch-exchange algorithm are modified and the method of revising power flow calculation sequence is designed. These suggestions have been adopted successfully in the system of operation optimization and assistant decision of the 10 kV distribution network, which is located in Shangqiu power supply bureau, Henan Province.

**Key words:** network reconfiguration; power flow calculation; topological search; branch-exchange algorithm; heuristic rules

中图分类号: TM744

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2010)19-0027-06

## 0 引言

配电网通常具有闭环设计、开环运行的特点, 包含大量的常合分段开关及少量的常开联络开关。在运行过程中, 通过调整开关状态来改变负荷的供电路径。这种开关状态的调整称为重构, 其目的在于降低网损、平衡负荷、提高电能质量和供电可靠性等。

配电网重构是一个大规模的开关状态组合优化问题<sup>[1-2]</sup>。常用的求解算法有两类: 传统数学优化算法, 包括支路交换法<sup>[3-4]</sup>、最优流模式法、力矩平衡法等; 人工智能算法, 包括模拟退火算法、禁忌算法、遗传算法等。然而, 无论采用何种方法, 以降低网损为目标的配电网重构都离不开潮流计算。

在配电网重构的约束条件中, 要求重构后的配

电网保持树状结构<sup>[5-6]</sup>。因此, 网络重构过程中的潮流计算可采用前推回代算法<sup>[7-9]</sup>。在前推步骤中, 假定各支路功率不变, 从树根节点开始, 计算各支路的电压降和节点的电压; 在回代步骤中, 假定各节点的电压不变, 从树梢节点开始, 计算各支路始端的电流或功率流; 不断重复前推和回代两个步骤, 直到前后两次前推或回代的误差满足要求为止。众所周知, 在进行前推回代算法之前, 必须正确地确定各支路电流和各节点电压的计算次序, 即潮流计算序列。在配电网重构中, 通过假设不同的开关状态组合寻求最佳的运行方式, 而开关状态的变化必然引起潮流计算序列的改变, 这无疑增加了配电网重构的开销。本文在分析潮流计算序列特点基础上, 提出了一种按区存储的潮流计算序列创建法。同时, 针对支路交换法的特点, 设计了一种简便的适应开

关状态变化的潮流计算序列修改法，减轻了配电网重构的计算负担。

### 1 一般的潮流计算序列

#### 1.1 配电网拓扑关系

本文用支路和节点描述配电网中的各种设备及其连接关系<sup>[10]</sup>。其中，支路是对输电线、变压器、开关等电气设备的抽象，具体属性包括支路名称、支路阻抗、支路状态、与支路端点关联的节点、支路上流过的电流和消耗的功率等；节点是对设备之间连接点的抽象，具体属性包括节点名称、所连支路的端点号、注入的功率、节点电压等。

这里，把支路中的“与支路端点关联的节点”属性表达为：

$$L_b = \sum_{j=1}^P \langle n_j, p_j \rangle \quad (1)$$

其中： $n_j$ 表示支路***b***关联的第*j*个节点； $p_j$ 表示支路***b***中与节点*n<sub>j</sub>*相连接的端点；*P*是支路***b***关联的节点总数，通常等于支路***b***的端点数。把节点中的“所连支路的端点号”属性表达为：

$$L_n = \sum_{j=1}^Q \langle b_j, p_j \rangle \quad (2)$$

其中： $b_j$ 表示节点*n*关联的第*j*条支路； $p_j$ 表示支路***b<sub>j</sub>***中与节点*n*相连接的端点；*Q*是节点*n*关联的支路总数。

由于配电网具有节点数庞大和变化频繁等特点<sup>[11]</sup>，用人工的方法给  $L_b$  和  $L_n$  赋值，不仅花费大量的时间，而且容易出错。本文用图形构件描述支路和节点，并通过检测支路端点区域是否与节点区域相交的方法给  $L_b$  和  $L_n$  赋值。具体方法是；当支路 *b* 的 *p* 端点区域与节点 *n* 的区域相交时，在  $L_b$  中增加序偶对  $\langle n, p \rangle$  和在  $L_n$  中增加序偶对  $\langle b, p \rangle$ 。

在实际工程中，人们不愿意绘制那些不关心的节点构件，同时也希望增添一些支路构件来使图形美观。对于前者，在属性  $L_b$  和  $L_n$  赋值之前，为那些无节点相交的支路端点自动产生一些节点；对于后者，在属性  $L_b$  和  $L_n$  赋值之后，删除那些因美观而增添的支路，并对属性  $L_b$  和  $L_n$  作适当的修改。

#### 1.2 潮流计算序列

潮流计算序列可表达为：

$$C = \sum_{j=1}^M \langle b_j, n_{inj}, n_{outj} \rangle \quad (3)$$

其中： $b_j$ 表示支路； $n_{inj}$ 和 $n_{outj}$ 是支路***b<sub>j</sub>***关联的两个节点， $n_{inj}$ 是首节点， $n_{outj}$ 是末节点， $n_{in1}$ 一定是电源节点，且 $n_{inj} \in n_{outi} (j > 1, j > i)$ 。

众所周知，独立的潮流计算序列数等于电源节点关联的支路数。在这里，把这些支路称为电源引出支路。由潮流计算序列的定义可知：每个潮流计算序列的第一个序偶对中的支路必定是电源引出支路，其他序偶对中的支路必与电源引出支路有拓扑上的联系。建立潮流计算序列的具体方法：把所有电源节点的已访问标志置为真，按电源引出支路数开辟潮流计算序列组的空间，并让这些支路充当各组的第一个序偶对中的支路；访问 *C* 中的序偶对  $\langle b_i, n_{inj}, n_{outi} \rangle$ ，检查  $L_{b_i}$  属性中的  $n_j$  是否已被访问，如果  $n_j$  尚未被访问，检查  $L_{n_j}$  属性中的  $b_j$ ；当  $b_j$  的状态属性为真时（只有处于分闸状态下的开关支路，其状态属性才为假），把序偶对  $\langle b_j, n_{inj}, n_{outj} \rangle$  添加到 *C* 中，且使  $n_{inj}$  等于  $n_j$ ， $n_{outj}$  等于  $b_j$  的另一个关联节点。如果采用深度优先的搜索策略，每当 *C* 中增加序偶对时就对其进行访问，直到 *C* 中无新增序偶对时才处理与  $b_i$  相关的其他节点；如果采用广度优先的搜索策略，寻找出与  $b_i$  相关的所有  $b_j$  后再访问 *C* 中的其他序偶对。虽然深度优先搜索下的序列和广度优先搜索下的不同，但它们都符合前推回代潮流计算的要求。出于编程的方便性，本文采用深度优先的搜索策略。

图1是某配电网的结构图，其中TS<sub>0</sub>、TS<sub>1</sub>、TS<sub>2</sub>、TS<sub>5</sub>、TS<sub>6</sub>开关处于合闸状态，TS<sub>3</sub>、TS<sub>4</sub>开关处于分闸状态。表1列出了针对图1配电网的潮流计算序列。

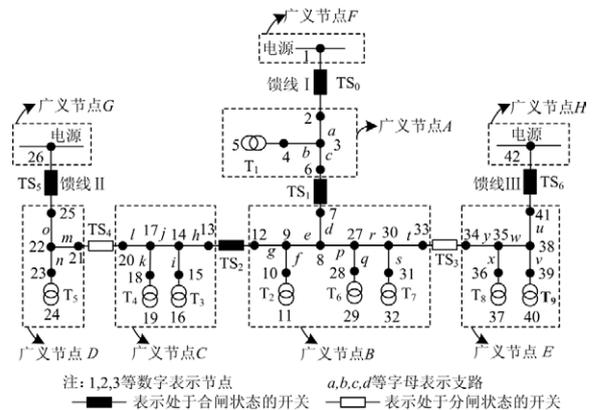


图1 某配电网的结构图

Fig.1 Structure of one distribution network

表1 一般的潮流计算序列

Tab.1 Common power flow calculation sequence

序列名	潮流计算序列
馈线 I	$\langle TS_0, 1, 2 \rangle \rightarrow \langle a, 2, 3 \rangle \rightarrow \langle b, 3, 4 \rangle \rightarrow \langle T_1, 4, 5 \rangle \rightarrow$ $\langle c, 3, 6 \rangle \rightarrow \langle TS_1, 6, 7 \rangle \rightarrow \langle d, 7, 8 \rangle \rightarrow \langle e, 8, 9 \rangle \rightarrow$ $\langle f, 9, 10 \rangle \rightarrow \langle T_2, 10, 11 \rangle \rightarrow \langle g, 9, 12 \rangle \rightarrow \langle TS_2, 12,$ $13 \rangle \rightarrow \langle h, 13, 14 \rangle \rightarrow \langle i, 14, 15 \rangle \rightarrow \langle T_3, 15, 16 \rangle \rightarrow$ $\langle j, 14, 17 \rangle \rightarrow \langle k, 17, 18 \rangle \rightarrow \langle T_4, 18, 19 \rangle \rightarrow \langle l, 17, 20 \rangle$ $\rightarrow \langle p, 8, 27 \rangle \rightarrow \langle q, 27, 28 \rangle \rightarrow \langle T_6, 28, 29 \rangle \rightarrow$ $\langle r, 27, 30 \rangle \rightarrow \langle s, 30, 31 \rangle \rightarrow \langle T_7, 31, 32 \rangle \rightarrow \langle t, 30, 33 \rangle$
馈线 II	$\langle TS_5, 26, 25 \rangle \rightarrow \langle o, 25, 22 \rangle \rightarrow \langle n, 22, 23 \rangle \rightarrow$ $\langle T_5, 23, 24 \rangle \rightarrow \langle m, 22, 21 \rangle$
馈线 III	$\langle TS_6, 42, 41 \rangle \rightarrow \langle u, 41, 38 \rangle \rightarrow \langle v, 38, 39 \rangle \rightarrow$ $\langle T_9, 39, 40 \rangle \rightarrow \langle w, 38, 35 \rangle \rightarrow \langle x, 35, 36 \rangle \rightarrow$ $\langle T_8, 36, 37 \rangle \rightarrow \langle y, 35, 34 \rangle$

## 2 按区存储的潮流计算序列

### 2.1 简化网络的拓扑关系

本文把配电网分为若干个区域, 形成简化的配电网, 其中开关是区域之间相互联系的桥梁。对于区域内的输电线和变压器, 无论分段开关和联络开关处于何种状态, 它们总是同时出现在同一个潮流计算序列中。如果把“开关支路被访问的优先权置最低”规则增添到搜索策略中, 整个潮流计算序列被分成若干个以区域为单位的子序列。表2列出了与表1条件相同的按区存储的潮流计算序列。显然, 这种序列同样符合前推回代潮流计算的要求。因此, 把区域抽象为广义节点, 用广义节点和开关支路之间的关联属性描述配电网的拓扑关系, 使配

表2 按区存储的潮流计算序列

Tab.2 Power flow calculation sequence by the district

序列名	按区存储的潮流计算序列
馈线 I	$\langle TS_0, 1, 2 \rangle \rightarrow \langle a, 2, 3 \rangle \rightarrow \langle b, 3, 4 \rangle \rightarrow \langle T_1, 4, 5 \rangle \rightarrow$ $\langle c, 3, 6 \rangle \rightarrow \langle TS_1, 6, 7 \rangle \rightarrow \langle d, 7, 8 \rangle \rightarrow \langle e, 8, 9 \rangle \rightarrow$ $\langle f, 9, 10 \rangle \rightarrow \langle T_2, 10, 11 \rangle \rightarrow \langle g, 9, 12 \rangle \rightarrow \langle p, 8, 27 \rangle \rightarrow$ $\langle q, 27, 28 \rangle \rightarrow \langle T_6, 28, 29 \rangle \rightarrow \langle r, 27, 30 \rangle \rightarrow \langle s, 30,$ $31 \rangle \rightarrow \langle T_7, 31, 32 \rangle \rightarrow \langle t, 30, 33 \rangle \rightarrow \langle TS_2, 12, 13 \rangle \rightarrow$ $\langle h, 13, 14 \rangle \rightarrow \langle i, 14, 15 \rangle \rightarrow \langle T_3, 15, 16 \rangle \rightarrow \langle j, 14, 17 \rangle \rightarrow$ $\langle k, 17, 18 \rangle \rightarrow \langle T_4, 18, 19 \rangle \rightarrow \langle l, 17, 20 \rangle$
馈线 II	$\langle TS_5, 26, 25 \rangle \rightarrow \langle o, 25, 22 \rangle \rightarrow \langle n, 22, 23 \rangle \rightarrow$ $\langle T_5, 23, 24 \rangle \rightarrow \langle m, 22, 21 \rangle$
馈线 III	$\langle TS_6, 42, 41 \rangle \rightarrow \langle u, 41, 38 \rangle \rightarrow \langle v, 38, 39 \rangle \rightarrow$ $\langle T_9, 39, 40 \rangle \rightarrow \langle w, 38, 35 \rangle \rightarrow \langle x, 35, 36 \rangle \rightarrow$ $\langle T_8, 36, 37 \rangle \rightarrow \langle y, 35, 34 \rangle$

电网重构中用于潮流计算序列的开销降低。

在广义节点内部, 可能存在多个与开关支路相连接的普通节点, 这里把它们称为端节点。正是由于广义节点可能有多个端节点, 在描述广义节点和开关支路之间的关联属性时, 必须指明开关支路的哪个端点与广义节点中的哪个端节点相连接。因此, 把  $L_b$  和  $L_n$  属性分别修正为:

$$L_b = \sum_{j=1}^p \langle n_j, p_j, q_j \rangle \quad (4)$$

$$L_n = \sum_{j=1}^q \langle b_j, p_j, q_j \rangle \quad (5)$$

其中,  $q_j$  是广义节点中的端节点。

为叙述方便起见, 把包含电源节点的广义节点称为有源广义节点, 把不包含电源节点的广义节点称为无源广义节点。

### 2.2 广义节点内的潮流计算子序列组

在按区存储的潮流计算序列中, 第一个潮流计算子序列必定属于有源广义节点的, 其他潮流计算子序列属于无源广义节点的。然后, 对于有源广义节点, 需考虑哪个端节点充当电源引出点; 对于无源广义节点, 需考虑哪个端节点充当电源引入点。因此, 无论有源广义节点还是无源广义节点, 可能使用的潮流计算子序列数目都等于其端节点数。在这里, 把潮流计算子序列组定义为:

$$S = \sum_{j=1}^q \langle q_j, c_j \rangle \quad (6)$$

其中:  $c_j$  是把  $q_j$  作为起始点的潮流计算子序列;  $Q$  是广义节点的端节点数目。

潮流计算子序列组的生成步骤: 把所有电源节点的已访问标志置为真, 且按广义节点中的端节点数开辟潮流计算子序列组的空间; 把所有开关支路的已访问标志置为真, 采用与一般潮流计算序列相同的创建方法, 构造以  $q_j$  作为起始点的潮流计算子序列  $c_j$ ; 对于有源广义节点, 把  $c_j$  改变成以电源点为起始点的  $c_i$ , 对于无源广义节点, 由  $c_j$  演绎出以其它端节点为起始点的  $c_i$ 。

潮流计算子序列的调整或者演绎的具体方法<sup>[12-13]</sup>: 把  $n_{in}$  或  $n_{out}$  等于起始点的序偶对从  $c_j$  中取出, 作为  $c_i$  的第一批序偶对, 并使这批序偶对的  $n_{in}$  等于起始点; 访问  $c_i$  中任意一个新序偶对  $\langle b_k, n_{ink}, n_{outk} \rangle$ , 把  $c_j$  中具有  $n_{in}$  或  $n_{out}$  等于  $n_{outk}$

的序偶对取出, 添加到  $c_i$  的尾部, 并使它们的  $n_{in}$  等于  $n_{outk}$ ; 用同样的方法, 把  $c_j$  中的所有序偶对全部移到  $c_i$  中去。

对于图1, 所有有源广义节点的潮流计算子序列组是空的。这种现象并不奇怪, 这是由于所有电源引出支路都是开关的缘故。表3中, 列出了图1中无源广义节点B的潮流计算子序列组, 其中第一个子序列用深度优先搜索法建立, 其他序列通过演绎方法得到。

表3 广义节点 B 的潮流计算子序列组

Tab.3 Power flow calculation subsequences of node B

起始端 节点	潮流计算子序列
7	$\langle d, 7, 8 \rangle \rightarrow \langle e, 8, 9 \rangle \rightarrow \langle f, 9, 10 \rangle \rightarrow \langle T_2, 10, 11 \rangle \rightarrow \langle g, 9, 12 \rangle \rightarrow \langle p, 8, 27 \rangle \rightarrow \langle q, 27, 28 \rangle \rightarrow \langle T_6, 28, 29 \rangle \rightarrow \langle r, 27, 30 \rangle \rightarrow \langle s, 30, 31 \rangle \rightarrow \langle T_7, 31, 32 \rangle \rightarrow \langle t, 30, 33 \rangle$
12	$\langle g, 12, 9 \rangle \rightarrow \langle f, 9, 10 \rangle \rightarrow \langle T_2, 10, 11 \rangle \rightarrow \langle e, 9, 8 \rangle \rightarrow \langle d, 8, 7 \rangle \rightarrow \langle p, 8, 27 \rangle \rightarrow \langle q, 27, 28 \rangle \rightarrow \langle T_6, 28, 29 \rangle \rightarrow \langle r, 27, 30 \rangle \rightarrow \langle s, 30, 31 \rangle \rightarrow \langle T_7, 31, 32 \rangle \rightarrow \langle t, 30, 33 \rangle$
33	$\langle t, 33, 30 \rangle \rightarrow \langle s, 30, 31 \rangle \rightarrow \langle T_7, 31, 32 \rangle \rightarrow \langle r, 30, 27 \rangle \rightarrow \langle q, 27, 28 \rangle \rightarrow \langle T_6, 28, 29 \rangle \rightarrow \langle p, 27, 8 \rangle \rightarrow \langle d, 8, 7 \rangle \rightarrow \langle e, 8, 9 \rangle \rightarrow \langle f, 9, 10 \rangle \rightarrow \langle T_2, 10, 11 \rangle \rightarrow \langle g, 9, 12 \rangle$

### 2.3 简化的潮流计算序列

针对式 (4) 和式 (5), 把式 (3) 改写成:

$$C = \sum_{j=1}^M \langle b_j, n_{inj}, q_{inj}, n_{outj}, q_{outj} \rangle \quad (7)$$

其中:  $n_{inj}, q_{inj}$  表示支路  $b_j$  关联的首广义节点及其端节点;  $n_{outj}, q_{outj}$  表示支路  $b_j$  关联的末广义节点及其端节点。

把式 (7) 描述的潮流计算序列称为简化的潮流计算序列。用一般潮流计算序列的建立方法, 构造图1配电网的简化潮流计算序列, 其结果列于表4。

这种简化潮流计算序列仅仅描述开关支路, 隐去了广义节点中的潮流计算子序列, 是对按区存储潮流计算序列的缩写。由于简化网络的支路数很少, 简化序列很容易建立。因此, 简化序列非常适用于需要频繁建立潮流计算序列的场合, 如配电网重构。

把简化潮流计算序列  $C_S$  扩展为按区存储的潮流计算序列  $C_D$  的方法: 从  $C_S$  中取出第一个序偶对

$\langle b_1, n_{in1}, q_{in1}, n_{out1}, q_{out1} \rangle$ , 把  $n_{in1}$  中与  $q_{in1}$  对应的子序列、序偶对  $\langle b_1, q_{in1}, q_{out1} \rangle$ 、 $n_{out1}$  中与  $q_{out1}$  对应的子序列依次放到  $C_D$  中; 从  $C_S$  中取出第二个序偶对  $\langle b_2, n_{in2}, q_{in2}, n_{out2}, q_{out2} \rangle$ , 把序偶对  $\langle b_2, q_{in2}, q_{out2} \rangle$ 、 $n_{out2}$  中与  $q_{out2}$  对应的子序列依次添加到  $C_D$  中; 用与访问第二个序偶对一样的方法, 访问  $C_S$  中的其他序偶对。

表4 简化的潮流计算序列

Tab.4 Simplified power flow calculation sequence

序列名	简化的潮流计算序列
馈线 I	$\langle TS_0, F, 1, A, 2 \rangle \rightarrow \langle TS_1, A, 6, B, 7 \rangle \rightarrow \langle TS_2, B, 12, C, 13 \rangle$
馈线 II	$\langle TS_5, G, 26, D, 25 \rangle$
馈线 III	$\langle TS_6, H, 42, E, 41 \rangle$

## 3 潮流计算序列修改法

### 3.1 支路交换法

支路交换法也称开关交换法, 是指利用两个开关的状态交换, 使一条馈线中的负荷转移到另一条馈线中去。支路交换法属于启发式搜索<sup>[2]</sup>, 它有两条最基本的启发式规则: 一是待合开关的两端必须有较大的电压差, 二是负荷的转移一定是从电压低的馈线转移到电压高的馈线。对于选择哪个开关作为交换对象, 有许多指导性的方法, 其中网损估算法<sup>[4]</sup>是一种常用的方法。它将负荷处理成恒定电流, 用重构前的潮流分布进行网损估计, 将最大网损下降的开关作为交换对象。

随着负荷的变化对配电网结构进行调整, 可以使得配电系统在这个时间面上更加安全经济地运行。但是, 由于负荷是连续不断变化的, 实时最优所造成的结果只能是开关频繁进行操作, 这无疑将增加系统的操作费用, 并对开关的使用寿命以及系统的稳定性和可靠性都产生不利的影响。因此, 在配电网重构问题中, 应把负荷看作为变量和增加限制开关动作次数这样一个约束条件。本文把变化负荷等效为按片段变化的阶梯式负荷, 用于实现考虑一段时间的配电网重构。

### 3.2 潮流计算序列修改法

由于负荷是阶梯式的, 必须对支路交换法中启发式规则加以修改。本文把第一条启发式规则修改为“待合开关两端的电压差保持同一方向且在某些

时刻有较大的数值”, 把第二条启发式规则修改为“待开开关是一个处在电压低馈线上的与待合开关最近的那个开关”。按照第二条规则转移负荷, 每次的负荷转移量并不一定是一个区域, 可能有几个区域。例如, 对于图1所示的运行方式, 当 $TS_1$ 的状态与 $TS_3$ 的状态交换时, 馈线 I 中的  $B$  区域和  $C$  区域都转移到馈线 III 中。

在支路交换法中, 只有与交换开关相关的潮流计算序列才会发生变化。由于待开开关和待合开关有一个公共连接的广义节点, 且被转移的序偶对必定与待开开关满足潮流计算序列规则, 所以很容易把它们从待转移负荷的潮流计算序列中辨认出来。同时, 被转移出来的序偶对可以直接放到待接受负荷的潮流计算序列中的尾部。若设开关  $b_j$  的  $L_b$  属性是  $\{\langle n_A, 1, q_a \rangle, \langle n_B, 2, q_b \rangle\}$ , 端节点  $q_a$  的电位高于端节点  $q_b$ , 且广义节点  $n_A$  和  $n_B$  分别出现在简化潮流计算序列  $C_X$  和  $C_Y$  中, 则可采用如下的潮流计算序列修改法: 把新成员  $\langle b_j, n_A, q_a, n_B, q_b \rangle$  添加到  $C_X$  中; 把  $C_Y$  中  $n_{in}$  等于  $n_B$  的成员删除; 把  $C_Y$  中  $n_{out}$  等于  $n_B$  的成员移入  $C_X$  的尾部; 把  $C_Y$  中  $n_{in}$  等于被迁走成员的  $n_{out}$  的所有成员依次移入  $C_X$  中。表 5 是在表 4 的基础上, 把  $TS_1$  的状态与  $TS_3$  的状态交换后形成的简化潮流计算序列<sup>[14]</sup>。

表5 交换后的简化潮流计算序列

序列名	简化的潮流计算序列
馈线 I	$\langle TS_0, F, 1, A, 2 \rangle$
馈线 II	$\langle TS_5, G, 26, D, 25 \rangle$
馈线 III	$\langle TS_6, H, 42, E, 41 \rangle \rightarrow \langle TS_3, E, 34, B, 33 \rangle \rightarrow \langle TS_2, B, 12, C, 13 \rangle$

## 4 结论

本文提出的按区存储的潮流计算序列创建法和修改法已经成功地应用于河南省商丘供电局的 10 kV 配网运行优化与辅助决策系统中。该系统的配电网涉及 6 个 35 kV 变电站, 40 多条 10 kV 馈线, 有 180 多个开关和 2 700 多台变压器。在这个 10 kV 配电网中, 分段开关之间平均有 15 台变压器。经工程实际计算表明: 该配电网的一般潮流计算序列创建的平均时间是简化潮流计算序列的 15 倍, 是修改法的 80 倍。因此, 在支路交换法中, 采用潮流计算序列

修改法, 在很大程度上减轻了配电网重构的计算负担。

## 参考文献

- [1] 孙宏斌, 郭焯, 张伯明. 含环状配电网的输配全局潮流分布式计算[J]. 电力系统自动化, 2008, 32 (13): 11-15.  
SUN Hong-bin, GUO Ye, ZHANG Bo-ming. Distributed global power flow calculation for whole transmission and looped distribution networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32 (13): 11-15.
- [2] Chiang H D, Jumeau R J. Optimal network reconfigurations in distribution systems: part 2 solution algorithms and numerical results[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1990, 5 (3): 1568-1574.
- [3] 毕鹏翔, 刘健, 张文元. 配电网重构的改进支路交换法[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21 (8): 98-103.  
BI Peng-xiang, LIU Jian, ZHANG Wen-yuan. A refined branch-exchange algorithm for distribution networks reconfiguration[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21 (8): 98-103.
- [4] 张栋, 张刘春, 傅正财. 配电网重构的快速支路交换算法[J]. 电网技术, 2005, 29 (9): 82-85.  
ZHANG Dong, ZHANG Liu-chun, FU Zheng-cai. A quick rbranch-exchange algorithm for reconfiguration of distribution networks[J]. Power System Technology, 2005, 29 (9): 82-85.
- [5] 张伟, 周步祥. 基于有向支路的配电网拓扑分析方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (22): 38-41.  
ZHANG Wei, ZHOU Bu-xiang. Topology analysis method of distribution network based on vector branch[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (22): 38-41.
- [6] 颜伟, 刘方, 王官洁, 等. 辐射型网络潮流的分层前推回代算法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (8): 76-80.  
YAN Wei, LIU Fang, WANG Guan-jie, et al. Layer-by-layer back / forward sweep method for radial distribution load flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (8): 76-80.
- [7] 孙健, 江道灼, 刘志华. 基于前推回代的配电网潮流改进算法[J]. 电力自动化设备, 2004, 24 (3): 81-84.  
SUN Jian, JIANG Dao-zhuo, LIU Zhi-hua. Modified power flow algorithm of distribution network based on forward / backward sweep method[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24 (3): 81-84.
- [8] 孙健, 江道灼. 一种多目标配电网重构新算法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (20): 57-61.  
SUN Jian, JIANG Dao-zhuo. A new multi-objective

algorithm for distribution network reconfiguration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (20): 57-61.

[9] 张明, 毕鹏翔, 刘健, 等. 辐射状配电网支路电流法潮流计算的收敛特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (6) : 41-44.  
ZHANG Ming, BI Peng-xiang, LIU Jian, et al. Research on convergency of branch current method based power flow calculation for radial distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23 (6) : 41-44.

[10] 陈星莺, 孙恕坚, 钱锋. 一种基于追踪技术的快速电力网拓扑分析方法[J]. 电网技术, 2004, 28(5): 22-24, 34.  
CHEN Xing-ying, SUN Shu-jian, QIAN Feng. A fast power system network topology based on tracking technology[J]. Power System Technology, 2004, 28(5): 22-24, 34.

[11] 周步祥, 刘欣宇. 基于网络图形的配电网拓扑分析方法及应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (16) : 67-70.  
ZHOU Bu-xiang, LIU Xin-yu. Network graph-based power distribution network topology analysis and its application[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (16) : 67-70.

[12] Chang G W, Chu S Y, Wang H L. An improved backward/forward sweep load flow algorithm for radial distribution systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2007, 22 (2) : 882-884.

[13] Rabih A J. Radial distribution load flow using conic programming[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21 (3) : 1458-1459.

[14] 韩学军, 陈鹏, 国新风, 等. 基于潮流计算的配电网重构方法[J]. 电网技术, 2007, 31 (17) : 60-63.  
HAN Xue-jun, CHEN Peng, GUO Xin-feng, et al. A power flow based reconfiguration method of distribution networks[J]. Power System Technology, 2007, 31 (17) : 60-63.

收稿日期: 2009-10-23

作者简介:

张炳达 (1959-), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事变电站培训仿真、配电网的运行优化、电能质量监测与控制等研究工作; E-mail: bdzhang@tju.edu.cn

李广福 (1984-), 男, 硕士研究生, 从事配电网的电压无功优化控制方面研究。E-mail: liguangfu321@126.com

(上接第 26 页 continued from page 26)

[8] 杨新林, 孙元章, 王海风. 考虑暂态稳定性约束极限传输容量的计算方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (10) : 29-33.  
YANG Xin-lin, SUN Yuan-zhang, WANG Hai-feng. An optimization approach to assess stability constrained total transfer capability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (10) : 29-33.

[9] 孙景强, 房大中. 暂态稳定约束下极限传输能力的计算[J]. 电力系统自动化, 2005, 29 (8) : 21-25.  
SUN Jing-qiang, FANG Da-zhong. Total transfer capability with transient stability constraints[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (8) : 21-25.

[10] Teo K L, et al. A unified approach to optimal control problem[M]. New York: Longman Scientific & Technical Co-published in the Unite States with John Wiley & Sons, Inc, 1991.

[11] 王建全, 王伟胜, 朱振青, 等. 电力系统最优切负荷[J]. 电力系统自动化, 1997, 21 (3) : 33-35.  
WANG Jian-quan, WANG Wei-sheng, ZHU Zhen-qing, et al. Optimal load-shedding algorithm in power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21 (3) : 33-35.

[12] 刘杨, 李林川. 一种考虑暂态稳定约束的联络线最大传输功率计算方法[J]. 电网技术, 2006, 30 (11) : 56-61.  
LIU Yang, LI Lin-chuan. A method of calculating maximum transmission capability of tie-line considering transient stability constraints[J]. Power System Technology, 2006, 30 (11) : 56-61.

收稿日期: 2009-10-29; 修回日期: 2009-12-14

作者简介:

罗明亮 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统运行与控制的研究; E-mail: brightluo@163.com

黄宇保 (1985-), 男, 硕士研究生, 主要从事电力系统运行与控制的研究;

王建全 (1963-), 男, 副教授, 主要从事电力系统运行与控制的研究。