

一种配电网网络拓扑快速增量建模方法

宋久旭¹, 刘健², 刘巩权²

(1. 西安石油大学电子工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 西安科技大学银河自动化研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 将配电网中的开关和 T 接点看作节点、将馈线段当作边, 采用邻接表描述节点和边的连接关系, 用从属关系反映配电变压器与边的连接关系。提出一个 14 列的拓扑编辑表记录编辑操作, 每行反映一次编辑操作。详细描述了节点添加、节点删除、节点类型变更、边的添加和删除等基本编辑操作的处理方法, 论述了拓扑变更后边与配电变压器从属关系调整方法, 论述了根据拓扑编辑表进行配电网网络拓扑的快速增量建模的方法, 结合实例对提出的方法进行了分析和说明, 结果表明提出的方法是可行的。

关键词: 配电网; 网络拓扑; 建模

中图分类号: TM72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)09-0021-06

0 引言

在配电自动化和配电管理系统中, 配电网网络拓扑是配电网分析和优化的基础。配电网是一种和地理信息密切相关的网络, 线路的走向以及配电设备和用户的分布具有地理特征, 生产管理中的实际操作(如线路改造、停电检修等)也依赖于长度、范围、距离、相对位置等地理因素, 地理信息系统在配电网中的应用提高了配电网的管理水平, 基于地理信息系统(GIS)的配电网拓扑分析成为人们最关注的问题之一。

大量的文献对配电网拓扑分析和建模进行了研究, 早期的方法主要通过特定的数据结构来记录配电网设备和线路的连接关系^[1~3], 这种方法的通用性和可扩充性差。后来发展到先基于矢量图自动生成配电网的原始拓扑^[4], 再转化为适合电力应用的拓扑数据, 有学者提出在配电网的主站内部将母线合并为一个节点, 对主站外部的线路进行分段处理^[5], 也有学者提出将配电网抽象为节点(母线节点、T接点和末梢点)和线路(连接两个节点的馈线段)^[6], 还有学者提出采用面向对象的技术抽象配电网拓扑模型, 将闭合开关联合在一起的结点集合抽象为母线, 将线路和变压器连接在一起的母线抽象为电气岛^[7,8], 这些处理方法在生成配电网接线关系后还要进行第二次的搜索才能生成配电网的模型, 且对配电网在局部变化时如何快速的生成配电网的模型并未见相关的报道。

在配电网的设计和规划中往往需要频繁地对配电网进行局部的修改, 并重新进行配电网拓扑分析, 如果每次修改和变动都采用全局拓扑分析和建模,

则比较烦琐而且占用时间较长, 影响人机响应速度造成配电网的规划、设计工作效率低下。

本文探讨在配电网局部发生变化时, 对变更的部分采用增量建模的方法来快速生成配电网的模型。

1 基本原理

1.1 配电网的模型

作者在文献[9]中提出一种配电网的简化模型, 将配电网看作图, 将馈线上的开关和 T 接点看作是节点, 而将馈线段和配电变压器综合看作是边。对于一个具有 N 个节点的配电网, 采用 N 行 5 列的邻接表 DT 来描述其连接关系, 其中, d_{i1} 描述节点类型, 其取值可以为 0、1、2 或 3, 分别表示该节点是开关节点、T 接点、源点(出线开关)或末梢点; d_{i2} 描述各顶点是否过负荷用于故障区域判断, 在本文中并没有用到; d_{i3} 、 d_{i4} 、 d_{i5} 填写和节点 V_i 邻接节点的编号, 空闲的元素填写 -1。

将节点间的馈线段看作是边, 一条边由其两个端点的节点编号描述。

利用 GIS 中的从属关系描述连接在边上的变压器与该边的关系, 在配电地理信息系统中, 设备是分层存储与管理的, 在存储变压器的图层中建立两个字段用来存储该变压器所属边起点和终点的编号。

1.2 配电网局部拓扑变化的影响范围

1.2.1 拓扑编辑表

在配电网局部拓扑变化的时候, 确定其影响范围是配电网增量建模的基础。

配电网局部拓扑变化的影响范围可以采用变化节点和变化边的集合来反映。我们定义一个具有

14列的拓扑编辑表 T,其每一行反映一次编辑操作,每次编辑操作可以是节点编辑操作(删除第一个节点、删除第二个节点、添加第一个节点、添加第二个节点、类型变更前的节点、类型变更后的节点)和边编辑操作(删除第一条边、删除第二条边、删除第三条边、删除第四条边、删除第五条边、添加第一条边、添加第二条边、添加第三条边)。各列中的元素分别由 p 和 q 两部分构成。对于前 6 列(节点编辑信息)中, p 表示所编辑节点的编号, q 表示节点类型;对于后 8 列(馈线段编辑信息)中, p 和 q 分别表示所编辑边的两个端点的编号。节点编号从 1 开始,因此 T 中所有空闲的位置填写 -1, T 中各个元素的 p 和 q 的初值均填 0。

我们分别用 $t_{k,i}(p)$ 和 $t_{k,i}(q)$ 表示第 k 次编辑操作下第 i 列元素的 p 和 q 值。

各个节点的坐标由地理信息系统平台自动维护。

拓扑编辑表 T 按照时间的顺序清楚地记录了各次编辑操作的内容,因此很容易实现“后悔”操作,退回若干次编辑操作前的状态。当撤消上一次编辑操作的影响时,只须将该次编辑操作中对应项目的添加改为删除、删除改为添加、变更类型用变更前的节点类型取代变更后的节点类型。

1.2.2 节点的添加

新添节点的编号在当前最大节点编号基础上依次顺序生成。若新添节点的编号为 V_e ,则节点添加操作表示为 $A dV(V_e)$,根据所添加节点类型的不同,处理方法各不相同,即

1) 添加源点(出线开关)

除了添加节点外,还要再增添一条与该源点相连的边,其端点为 V_h ,类型为末梢点,即

$$t_{k,3}(p) = V_e \quad t_{k,3}(q) = 2 \quad (1-a)$$

$$t_{k,4}(p) = V_h \quad t_{k,4}(q) = 3 \quad (1-b)$$

$$t_{k,12}(p) = V_e \quad t_{k,12}(q) = V_h \quad (1-c)$$

例如添加源点 1,则必须同时添加一条与之相连的边,其端点为末梢点 2,如图 1(a)所示。将其添加到拓扑编辑表 T 中,即

$$t_{k,3}(p) = 1 \quad t_{k,3}(q) = 2$$

$$t_{k,4}(p) = 2 \quad t_{k,4}(q) = 3$$

$$t_{k,12}(p) = 1 \quad t_{k,12}(q) = 2$$

2) 在边 (V_m, V_n) 中间添加开关节点 V_e

除了添加节点外,还要将边 (V_m, V_n) 删去,并添加两条边 (V_m, V_e) 和 (V_e, V_n) ,即

$$t_{k,3}(p) = V_e \quad t_{k,3}(q) = 0 \quad (2-a)$$

$$t_{k,7}(p) = V_m \quad t_{k,7}(q) = V_n \quad (2-b)$$

$$t_{k,12}(p) = V_m \quad t_{k,12}(q) = V_e \quad (2-c)$$

$$t_{k,13}(p) = V_e \quad t_{k,13}(q) = V_n \quad (2-d)$$

例如在边 $(1, 2)$ 中间添加开关 3,还必须同时删除边 $(1, 2)$ 、添加边 $(1, 3)$ 和 $(3, 2)$,如图 1(b)所示。将其添加到拓扑编辑表 T 中,即

$$t_{k,3}(p) = 3 \quad t_{k,3}(q) = 0$$

$$t_{k,7}(p) = 1 \quad t_{k,7}(q) = 2$$

$$t_{k,12}(p) = 1 \quad t_{k,12}(q) = 3$$

$$t_{k,13}(p) = 3 \quad t_{k,13}(q) = 2$$

3) 在边 (V_m, V_n) 中间添加 T 接点 V_e

T 接点需要三个邻接节点,因此在边中间添加 T 接点时除了像在边中间添加开关节点那样将原馈线段变为两条边外,还要再增添一条与该 T 接点相连的馈线段,其端点为 V_h ,类型为末梢点,即

$$t_{k,3}(p) = V_e \quad t_{k,3}(q) = 1 \quad (3-a)$$

$$t_{k,4}(p) = V_h \quad t_{k,4}(q) = 3 \quad (3-b)$$

$$t_{k,7}(p) = V_m \quad t_{k,7}(q) = V_n \quad (3-c)$$

$$t_{k,12}(p) = V_m \quad t_{k,12}(q) = V_e \quad (3-d)$$

$$t_{k,13}(p) = V_e \quad t_{k,13}(q) = V_n \quad (3-e)$$

$$t_{k,14}(p) = V_e \quad t_{k,14}(q) = V_h \quad (3-f)$$

例如在边 $(3, 2)$ 中间添加 T 节点 4,除了删除边 $(3, 2)$ 、添加边 $(3, 4)$ 和 $(4, 2)$ 外,还要再增添一条与该 T 接点相连的边,其端点为末梢点 5,如图 1(c)所示。将其添加到拓扑编辑表 T 中,即

$$t_{k,3}(p) = 4 \quad t_{k,3}(q) = 1$$

$$t_{k,4}(p) = 5 \quad t_{k,4}(q) = 3$$

$$t_{k,7}(p) = 3 \quad t_{k,7}(q) = 2$$

$$t_{k,12}(p) = 3 \quad t_{k,12}(q) = 4$$

$$t_{k,13}(p) = 4 \quad t_{k,13}(q) = 2$$

$$t_{k,14}(p) = 4 \quad t_{k,14}(q) = 5$$

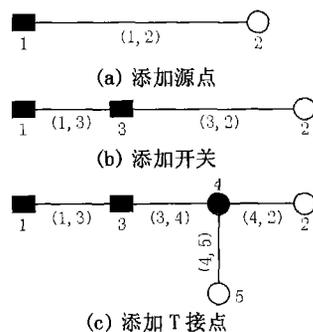


图 1 节点的添加过程

Fig 1 Process of node adding

1.2.3 变更节点类型

节点类型变更操作表示为 $R dV(V_e)$,根据所变

更节点类型的不同,处理方法各不相同,即将一个末梢点 V_e 变更为开关节点时,除节点类型变更外,还要求再增添一条与该开关节点相连的馈线段,其端点为 V_h ,类型为末梢点,即

$$k_{k,3}(p) = V_h \quad k_{k,3}(q) = 3 \quad (4-a)$$

$$k_{k,5}(p) = V_e \quad k_{k,5}(q) = 3 \quad (4-b)$$

$$k_{k,6}(p) = V_e \quad k_{k,6}(q) = 0 \quad (4-c)$$

$$k_{k,12}(p) = V_e \quad k_{k,12}(q) = V_h \quad (4-d)$$

将一个末梢点 V_e 变更为 T 接点时,除了节点类型变更外,还要求再增添两条与该开关节点相连的馈线段,其端点分别为 V_h 和 V_l ,类型均为末梢点,即

$$k_{k,3}(p) = V_h \quad k_{k,3}(q) = 3 \quad (5-a)$$

$$k_{k,4}(p) = V_l \quad k_{k,4}(q) = 3 \quad (5-b)$$

$$k_{k,5}(p) = V_e \quad k_{k,5}(q) = 3 \quad (5-c)$$

$$k_{k,6}(p) = V_e \quad k_{k,6}(q) = 1 \quad (5-d)$$

$$k_{k,12}(p) = V_e \quad k_{k,12}(q) = V_h \quad (5-e)$$

$$k_{k,13}(p) = V_e \quad k_{k,13}(q) = V_l \quad (5-f)$$

将一个开关节点 V_e 变更为 T 接点时,除节点类型变更外,还要求再增添一条与该开关节点相连的馈线段,其端点为 V_h ,类型为末梢点,即

$$k_{k,3}(p) = V_h \quad k_{k,3}(q) = 3 \quad (6-a)$$

$$k_{k,5}(p) = V_e \quad k_{k,5}(q) = 0 \quad (6-b)$$

$$k_{k,6}(p) = V_e \quad k_{k,6}(q) = 1 \quad (6-c)$$

$$k_{k,12}(p) = V_e \quad k_{k,12}(q) = V_h \quad (6-d)$$

将一个开关节点 V_e 变更为末梢点时,除节点类型变更外,还要求再删除一条与该开关节点相连的馈线段,其端点为 V_h ,即

$$k_{k,1}(p) = V_h \quad k_{k,1}(q) = 3 \quad (7-a)$$

$$k_{k,5}(p) = V_e \quad k_{k,5}(q) = 0 \quad (7-b)$$

$$k_{k,6}(p) = V_e \quad k_{k,6}(q) = 3 \quad (7-c)$$

$$k_{k,7}(p) = V_e \quad k_{k,7}(q) = V_h \quad (7-d)$$

将一个 T 接点 V_e 变更为开关节点时,除节点类型变更外,还要求再删除一条与该 T 接点相连的馈线段,其端点为 V_h ,即

$$k_{k,1}(p) = V_h \quad k_{k,1}(q) = 3 \quad (8-a)$$

$$k_{k,5}(p) = V_e \quad k_{k,5}(q) = 1 \quad (8-b)$$

$$k_{k,6}(p) = V_e \quad k_{k,6}(q) = 0 \quad (8-c)$$

$$k_{k,7}(p) = V_e \quad k_{k,7}(q) = V_h \quad (8-d)$$

将一个 T 接点 V_e 变更为末梢点时,除节点类型变更外,还要求再删除两条与该 T 接点相连的馈线段,其端点分别为 V_h 和 V_l ,即

$$k_{k,1}(p) = V_l \quad k_{k,1}(q) = 3 \quad (9-a)$$

$$k_{k,2}(p) = V_h \quad k_{k,2}(q) = 3 \quad (9-b)$$

$$k_{k,5}(p) = V_e \quad k_{k,5}(q) = 1 \quad (9-c)$$

$$k_{k,6}(p) = V_e \quad k_{k,6}(q) = 3 \quad (9-d)$$

$$k_{k,7}(p) = V_e \quad k_{k,7}(q) = V_h \quad (9-e)$$

$$k_{k,8}(p) = V_e \quad k_{k,8}(q) = V_l \quad (9-f)$$

源点和 T 节点和开关节点间的变更需要经过两次编辑操作,先将其删除,然后再添加期望类型的节点。

1.2.4 节点的删除

节点删除操作表示为 $CM(V_e)$,根据所删除节点类型的不同,处理方法各不相同,即

1) 开关节点 V_e 的删除

除删除 V_e 外,还将与其相连的两条边 (V_m, V_e) 和 (V_e, V_n) 删除,新添一条边 (V_m, V_n) ,即

$$k_{k,1}(p) = V_e \quad k_{k,1}(q) = 0 \quad (10-a)$$

$$k_{k,7}(p) = V_m \quad k_{k,7}(q) = V_e \quad (10-b)$$

$$k_{k,8}(p) = V_n \quad k_{k,8}(q) = V_e \quad (10-c)$$

$$k_{k,12}(p) = V_m \quad k_{k,12}(q) = V_n \quad (10-b)$$

2) 源点 V_e (出线开关) 的删除

源点只有在其邻接节点是末梢点时才可以删除,除了删除 V_e 外,末梢点 V_f 和边 (V_e, V_f) 也会被删除,即

$$k_{k,1}(p) = V_e \quad k_{k,1}(q) = 2 \quad (11-a)$$

$$k_{k,2}(p) = V_f \quad k_{k,2}(q) = 3 \quad (11-b)$$

$$k_{k,7}(p) = V_f \quad k_{k,7}(q) = V_e \quad (11-c)$$

3) 末梢点与 T 接点的删除

不能单独删除末梢点或 T 接点,而必须将其连接的边全部删除,相应的末梢点或 T 接点将自动随之删除,具体处理方法见边的删除。

1.2.5 节点的移动

一个节点可以在不影响与其相邻节点的邻接关系的情况下移动其位置,移动不影响配电网的模型,所以不参与增量建模。

1.2.6 边的添加

在本文论述的方法中,边的添加是伴随着节点的添加、删除和类型变更进行的,具体处理已在 1.2.2~1.2.4 节描述,本节不再赘述。

1.2.7 边的删除

将边 (V_m, V_n) 删除的操作可以表示为 $CIE(V_m, V_n)$,首先要对选中的边作删除操作,即

$$k_{k,7}(p) = V_m \quad k_{k,7}(q) = V_n \quad (12-a)$$

接下来要将该边两端的节点删除:

若 V_m 是 T 接点,与之相邻的另外两个节点分别为 V_h 和 V_l ,则删除该 T 接点,将与之相连的两条边合并为一条边,即

$$k_{k,1}(p) = V_m \quad k_{k,1}(q) = 1 \quad (12-b)$$

$$t_{k,8}(p) = V_h \quad t_{k,8}(q) = V_m \quad (12 - c)$$

$$t_{k,9}(p) = V_m \quad t_{k,9}(q) = V_l \quad (12 - d)$$

$$t_{k,12}(p) = V_h \quad t_{k,12}(q) = V_l \quad (12 - e)$$

若 V_n 也是 T 接点, 与之相邻的另外两个节点分别为 V_a 和 V_b , 则删除该 T 接点, 将与之相连的两条边合并为一条边, 即

$$t_{k,2}(p) = V_n \quad t_{k,1}(q) = 1 \quad (12 - f)$$

$$t_{k,10}(p) = V_a \quad t_{k,10}(q) = V_n \quad (12 - g)$$

$$t_{k,11}(p) = V_n \quad t_{k,11}(q) = V_b \quad (12 - h)$$

$$t_{k,13}(p) = V_a \quad t_{k,13}(q) = V_b \quad (12 - i)$$

若 V_n 是开关节点, 则将其变更为末梢点, 即

$$t_{k,5}(p) = V_n \quad t_{k,5}(q) = 0 \quad (12 - j)$$

$$t_{k,6}(p) = V_n \quad t_{k,6}(q) = 3 \quad (12 - k)$$

若 V_n 是末梢点, 则将其删除即可, 即

$$t_{k,2}(p) = V_n \quad t_{k,2}(q) = 3 \quad (12 - l)$$

若 V_n 是源点, 则将其删除即可, 即

$$t_{k,2}(p) = V_n \quad t_{k,2}(q) = 2 \quad (12 - m)$$

1.3 拓扑变更后边与配电变压器从属关系调整

通过添加源点或 T 接点、将末梢点变更为开关节点或 T 接点、将开关节点变更为 T 接点的情形得到的新增的边 (V_e, V_h) 和 (V_e, V_l) , 可以通过 GIS 的选择操作将指定范围内的配电变压器与该边建立从属关系。

删除一条边后, 其上的配电变压器与之的从属关系被解除。

通过删除开关节点或删除与 T 接点相连的一条边, 造成两条边合并成为一条边, 则原来从属于这两条边的配电变压器都从属于合并后的边。

通过在一条边中间添加节点, 造成一条边被分成两条边, 则必须把原来从属于一条边的配电变压器分配到两条边上, 此时必须考虑边的走向, 具体地:

在添加节点处沿线段的法方向作一条直线, 将空间分为 A 和 B 两个部分, 新得到的两条边分别落在两个子空间中分别称作 e_a 和 e_b , 原来从属于一条边的配电变压器也被分为两个部分, 则落在子空间 A 中的配电变压器从属于边 e_a , 落在子空间 B 中的配电变压器从属于边 e_b 。

1.4 配电网拓扑的快速增量建模

在进行了若干次编辑后, 可以根据拓扑编辑表 T, 将所编辑的内容追加到配电网的模型 (DT 邻接表) 中, 实现增量建模。建模过程中, 按行和列的顺序依次进行, 具体方法为:

1) 删除节点

若 $t_{k,i}(p) = e$ ($i=1$ 或 2), 则

$$d_{e,j} = -1 \quad (j=1 \sim 5) \quad (13)$$

2) 添加节点

为了利用已经删除的节点标号, 减少 DT 表的空隙, 首先作 DT 表空隙检查和添加节点编号调整, 具体地:

若 $t_{k,i}(p) = e$ ($i=3$ 或 4), 检查 DT 表中的第 1 列, 若有 $d_{f,1} = -1$ (即节点 V_f 已被删除), 则将第 k 条记录的 1~13 列中所有节点 e 的编号都修改为 f ; 否则再判断: 若 $e > N + 1$ (N 为 DT 表的当前行数), 则 $e = N + 1$, $N = e$, 并将第 k 条记录之后 (包括第 k 条记录) 的 1~13 列中所有节点 e 的编号都进行相应的修改。

接下来修改 DT 表:

$$d_{c,1} = t_{k,i}(q) \quad (14)$$

其中 $c = t_{k,i}(p)$ ($i=3$ 或 4)。

3) 变更节点

若 $t_{k,6}(p) = e$, $t_{k,6}(q) = g$ ($g=0 \sim 3$), 则 $d_{e,1} = g$ 。

4) 删除边

若 $t_{k,i}(p) = m$, $t_{k,i}(q) = n$ ($i=7 \sim 11$), 则:

$$d_{m,j} = \begin{cases} -1 & (\text{若 } d_{m,j} = n) \\ d_{m,j} & (\text{若 } d_{m,j} \neq n) \end{cases} \quad j=3 \sim 5 \quad (15 - a)$$

$$d_{n,j} = \begin{cases} -1 & (\text{若 } d_{n,j} = m) \\ d_{n,j} & (\text{若 } d_{n,j} \neq m) \end{cases} \quad j=3 \sim 5 \quad (15 - b)$$

5) 添加边

对于每次编辑操作, 由于对节点的操作记录在前 5 列, 因此在对边增量建模之前已经完成了节点的增量建模, 即涉及到的节点已经添加到 DT 表中了。

若 $t_{k,i}(p) = m$, $t_{k,i}(q) = n$ ($i=12 \sim 14$), 则:

$$d_{m,j} = \begin{cases} n & (\text{若 } d_{m,j} = -1 \text{ 且 } d_{m,l} \neq n) \\ d_{m,j} & (\text{其它}) \end{cases} \quad j=3 \sim 5 \quad l=3 \sim 5 \text{ 且 } l < j \quad (16 - a)$$

$$d_{n,j} = \begin{cases} m & (\text{若 } d_{n,j} = -1 \text{ 且 } d_{n,l} \neq m) \\ d_{n,j} & (\text{其它}) \end{cases} \quad j=3 \sim 5 \quad l=3 \sim 5 \text{ 且 } l < j \quad (16 - b)$$

2 实例

以 H 县城关配电网为例对本文提出的方法进行说明。该配电网的规模为配电站 4 个、节点 573 个 (其中开关节点 117 个、T 接点 138 个、末梢点 218

个)、线路 25 条、配电变压器 788 台。

图 2 所示为该配电网的局部,对其进行的编辑过程如下:

第 1 步:在边 (216, 271) 上添加 T 接点 574, 将边 (216, 271) 分割为两条边 (216, 574) 和 (271, 574), 并增加了末梢点 575 和边 (574, 575)。根据在 T 接点 574 处作边 (216, 271) 的法线, 将原来从属于边 (216, 271) 的配电变压器, 分成两部分分别分配给边 (216, 574) 和 (574, 271), 即配电变压器 10403 和 10404 从属于边 (216, 574), 配电变压器 10402 从属于边 (574, 271)。上述操作在拓扑编辑表中的记录为: $t_{1,3}(p) = 574, t_{1,3}(q) = 1; t_{1,4}(p) = 575, t_{1,4}(q) = 3; t_{1,7}(p) = 216, t_{1,7}(q) = 271; t_{1,12}(p) = 216, t_{1,12}(q) = 574; t_{1,13}(p) = 574, t_{1,13}(q) = 271; t_{1,14}(p) = 574, t_{1,14}(q) = 575。$

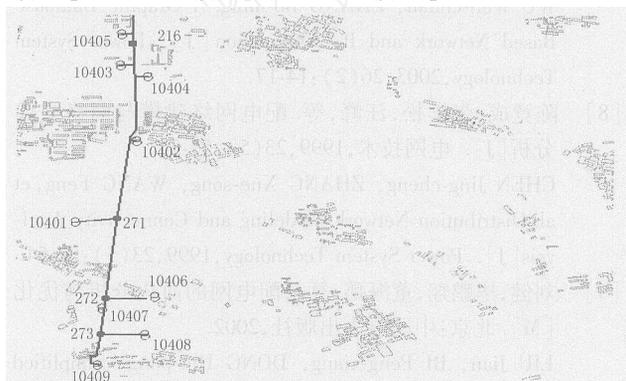


图 2 一个配电网的局部

Fig 2 A partial distribution grid

第 2 步:将末梢点 575 的类型变更为开关节点, 添加末梢点 576 和边 (575, 576), 上述操作在拓扑编辑表 T 中的记录为: $t_{2,3}(p) = 576, t_{2,3}(q) = 3; t_{2,5}(p) = 575, t_{2,5}(q) = 3; t_{2,6}(p) = 575, t_{2,6}(q) = 0; t_{2,12}(p) = 575, t_{2,12}(q) = 576。$

第 3 步:将末梢点 576 的类型变更为 T 接点, 除了将节点 576 的类型变更为 T 接点外, 还要添加末梢点 577、578 和边 (576, 577)、(576, 578)。新添加的配电变压器 10791 从属于线路 (576, 577); 新添加的配电变压器 10789、10790 从属于线路 (576, 578)。当前编辑操作在拓扑编辑表 T 中的记录为: $t_{3,3}(p) = 577, t_{3,3}(q) = 3; t_{3,4}(p) = 578, t_{3,4}(q) = 3; t_{3,5}(p) = 576, t_{3,5}(q) = 3; t_{3,6}(p) = 576, t_{3,6}(q) = 1; t_{3,12}(p) = 576, t_{3,12}(q) = 577; t_{3,13}(p) = 576, t_{3,13}(q) = 578。$

图 3 为按上述编辑操作后进行增量建模的结果。增量建模的过程如下:

第 1 步:根据拓扑编辑表 T 的第 1 行可以得到在编辑操作的第 1 步中添加 T 接点 574、末梢点 575、删除边 (216, 271)、添加边 (216, 574)、(574, 271) 和 (574, 575)。将它们依次追加到配电网模型 (DT 邻接表) 中, 对 DT 的修改为: $d_{574,1} = 1, d_{575,1} = 3, d_{216,4} = -1, d_{271,5} = -1, d_{216,4} = 574, d_{574,3} = 216, d_{574,4} = 271, d_{271,5} = 574, d_{574,5} = 575, d_{575,3} = 574。$

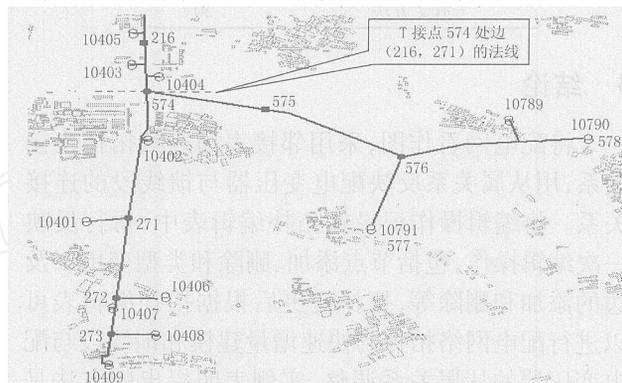


图 3 配电网增量建模后的结果

Fig 3 Incremental modeling result of distribution network

第 2 步:根据拓扑编辑表 T 的第 2 行可以得到在编辑操作的第 2 步中末梢点 575 变更为开关节点, 添加末梢点 576, 添加边 (575, 576)。将它们依次追加到配电网模型中, 对 DT 的修改为: $d_{575,1} = 0, d_{576,1} = 3, d_{575,4} = 576, d_{576,3} = 575。$

第 3 步:根据拓扑编辑表 T 的第 3 行可以得到在编辑操作的第 3 步中末梢点 576 变更为 T 接点, 添加末梢点 577、578, 添加边 (576, 577)、(576, 578)。将它们依次追加到配电网模型中, 对 DT 的修改为: $d_{576,1} = 1, d_{577,1} = 3, d_{578,1} = 3, d_{576,4} = 577, d_{577,3} = 576, d_{576,5} = 578, d_{578,3} = 576。$

经过上述对 DT 的修改将所编辑的内容追加到了配电网的模型中。

通过对上面的实例的分析可见, 由于拓扑编辑表 T 保存了配电网局部拓扑变化影响范围内的原始拓扑, 在增量建模过程中将其追加到配电网的原有模型中快速生成配电网的模型, 避免了全局拓扑分析、建模过程中重新生成配电网的原始拓扑且进行二次搜索的繁杂工作。对本算例分别采用全局拓扑分析和建模与增量建模进行计算得到了相同的模型 (DT 邻接表), 表 1 对它们所需要的时间进行了比较。计算采用的计算机规格为 PIII733, 内存为 256 M, 程序采用 MapX4.5 为 OCX 控件、以 VC++6.0 开发。

由表 3 可见, 本文提出的增量建模方法与采用全局拓扑分析和建模相比, 可以节省 99.9445% 的

时间,可见局部拓扑变化时采用增量建模具有很高的效率。

表 1 本文方法与全局拓扑分析和建模法的比较

Tab 1 Comparison of the proposed approach and the method of modeling the total grid

配电网建模方法	花费的时间 /ms
全局拓扑分析和建模	36062
本文方法	20

3 结论

将配电网看作图,采用邻接表描述其拓扑连接关系,用从属关系反映配电变压器与馈线段的连接关系。将编辑操作记录在拓扑编辑表中,每行反映一次编辑操作,包括节点添加、删除和类型变更以及边的添加和删除等,拓扑变更后根据拓扑编辑表可以进行配电网拓扑的快速增量建模和馈线段与配电变压器的从属关系调整,实例表明提出的方法是可行的。

参考文献:

- [1] Fleeman, Paul GIS Based Modeling of Electricity Networks[A]. Proceedings of the 1997 14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, CIREL. 1997. 2-5.
- [2] Wei X G, Sumic Z, Venkata S S ADSM——an Automated Distribution System Modeling Tool for Engineering Analysis[A]. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference 1994. 46-52.
- [3] 王湘中,黎晓兰.基于关联矩阵的电网拓扑辨识[J].电网技术,2001,25(2):10-13.
WANG Xiang-zhong, LI Xiao-lan Topology Identification of Power Network Based on Incidence matrix[J]. Power System Technology, 2001, 25(2): 10-13.
- [4] 祝滨,仇晋.基于矢量坐标搜索法的地区电网网络拓扑方法的研究[J].电力自动化设备,2003,23(2):63-65.
ZHU Bin, QIU Jin Research of a Network Topology Method Based on Vector Coordinates[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(2): 63-65.
- [5] 杨群,李伟,闫国年.基于GIS构建配电网拓扑关系的方法[J].电力系统自动化,2003,27(18):79-82.
YANG Qun, LI Wei, LÜ Guo-nian Topology Analysis of Distribution System Based on Geographical Information System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(18): 79-82.
- [6] 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.
- [7] 吴文传,张伯明.基于图形数据库的网络拓扑及其应用[J].电网技术,2002,26(2):14-17.
WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming A Graphic Database Based Network and Its Application[J]. Power System Technology, 2002, 26(2): 14-17.
- [8] 陈竟成,张学松,汪峰,等.配电网建模与网络结线分析[J].电网技术,1999,23(5):52-54.
CHEN Jing-cheng, ZHANG Xue-song, WANG Feng, et al Distribution Network Modeling and Connectivity Analysis[J]. Power System Technology, 1999, 23(5): 52-54.
- [9] 刘健,毕鹏翔,董海鹏.复杂配电网的简化分析与优化[M].北京:中国电力出版社,2002.
LIU Jian, BI Peng-xiang, DONG Hai-peng Simplified Analysis and Optimization of Complicated Distribution Networks[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002.

收稿日期: 2004-09-03; 修回日期: 2004-11-11

作者简介:

宋久旭(1979-),男,硕士研究生,主要研究方向为基于地理信息系统的配电网建模; E-mail: songjiuxu@126.com;

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

刘玑权(1971-),男,高级工程师,主要从事配电网地理信息系统的开发与研究工作。

A fast incremental approach to distribution network modeling

SONG Jiu-xu¹, LIU Jian², LIU Gong-quan²

(1. Xi'an Shiyong University, Xi'an 710065, China; 2. Xi'an University of Science & Technology, Xi'an 710054, China)

(下转第 53 页 continued on page 53)

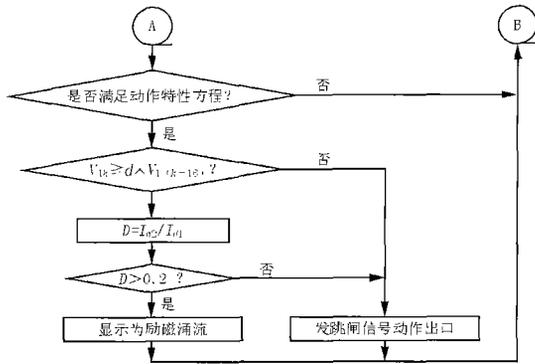


图 7 励磁涌流判别算法流程图

Fig 7 Arithmetic flow chart of excitation inrush current distinguishing

容量 100 MVA,电压等级 230 $\pm 2 \times 5\%$ / 110 kV, $Y_0/D-11$ 接线。

通过 PSCAD4.0.1/EMTDC 仿真得到原始数据,主算程序用 C 语言编制(考虑其高效性),经过电流校正、滤波及判别,所提出的自适应方案在合理的时间内能够正确识别励磁涌流状态。

参考文献:

- [1] 葛耀中. 自适应继电保护及其前景展望 [J]. 电力系统自动化, 1997, 21(9): 42-46
GE Yao-zhong Adaptive Protection Relay and Its Prospect of Development [J]. Automation of Electric Power Systems, 1997, 21(9): 42-46

- [2] 吕继绍. 电力系统继电保护原理与运行分析 [J]. 北京: 中国电力出版社, 1998
LÜ Ji-shao. Theory and Function Analysis of Electric Power System Protection [J]. Beijing: China Electric Power Press, 1998
- [3] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998
WANG Wei-jian. The Application of Generator Transformer Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998
- [4] 唐跃中,等. 变压器保护中几种励磁涌流判别方法的分析和评价 [J]. 电力自动化设备, 1995, 15(1): 1-7.
TANG Yue-zhong, et al Analysis and Evaluation of Several Magnetizing Inrush Distinguishing Methods in Transformer Protection [J]. Electric Power Automation Equipment, 1995, 15(1): 1-7.
- [5] Maheshwari R P, Vema H K Adaptive Digital Differential Relay of Parabolic Characteristic for Transformer Protection [J]. Electric Machines and Power System, 1997, 25: 459-473.

收稿日期: 2004-08-19; 修回日期: 2004-11-10

作者简介:

莫耀赐 (1950 -),男,副教授,主要从事电力系统继电保护教学和自适应保护研究工作; E-mail: cc975@163.com
崔杨 (1980 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统自动控制技术。

Application of adaptive algorithm in tap-changeable transformer differential protection

MO Yao-ci, CUI Yang

(School of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: There are two aspects of applications of self-adaptive principle in differential protection of transformer with taps. Firstly, by analyzing problems caused by tap-changing, an adaptive algorithm is proposed. It can eliminate the influence of CT unbalanced current online. Then for excitation inrush current distinguishing, another adaptive algorithm based on voltage increment is put forward. Simulation instance has tested their availabilities of CT currents correction and inrush discrimination. It provides discrimination between faults and excitation inrush.

Key words: adaptive; differential protection; transformer tap; excitation inrush current

(上接第 26 页 continued from page 26)

Abstract: Switches and tapping nodes are regarded as nodes. Feeder lines are regarded as edges. The connection of nodes and edges is described by adjacent table. Distribution transformers are subordinate to the corresponding edges. A topology editing table with fourteen columns is put forward to record the editing steps. Each line of the table is a record of one editing step. The ways to add a node, eliminate a node, change the type of a node, add an edge and eliminate an edge are detailed. The method of adjusting the subordinate relationship between distribution transformers and edges is also discussed. The fast incremental modeling of distribution networks based on the topology editing table is described. A practical example is given to demonstrate the proposed method, which shows its feasibility.

Key words: distribution networks; network topology; modeling