

基于 GIS 的配电网拓扑分析方法

郑勇¹, 周步祥², 贺琦²

(1. 西南电力设计院, 四川 成都 610021; 2. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 根据 GIS 空间数据的特点和配电网的结构特点, 在分析影响配电网拓扑结构的设备属性的基础上, 提出了基于 GIS 的配电网拓扑模型, 并由此提出了一种既能利用 GIS 强大的拓扑分析功能, 又能够实用于电力系统配电网的拓扑分析方法。同时, 还以停/供电模拟的实现算法来说明拓扑分析方法的具体应用。经过实际应用表明, 基于 GIS 的配电网拓扑分析方法具有很大的实用性和推广价值。

关键词: GIS; 配电网; 拓扑分析

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)14-0025-04

0 引言

地理信息系统 (GIS—geographical information system) 是一门新兴的交叉学科, 它主要致力于地理空间信息的描述、存贮、分析和输出的理论和方法研究。作为一种技术系统, 它是以地理空间数据库为基础, 采用空间模型分析方法, 适时提供多种空间和动态的地理信息, 为地理研究和地理决策服务的计算机技术系统^[1]。

随着地理信息系统技术的进一步成熟和推广, GIS 正大量地运用于我国的配电网中。由于 GIS 在配电网的应用, 改变了传统人为的、随意的配电网分析管理模式, 给配电网的运行和管理带来了科学性和高效性, 提高了配电网运行的可靠性, 为配电网自动化的实现打下了坚实的基础。

在当前 GIS 的配电网的建设中, 迫切需要一种将以 GIS 方式描述的空间数据的拓扑分析转化为电力系统能够处理的拓扑分析的方法——基于 GIS 的配电网拓扑分析方法。这种方法能充分地利用 GIS 的空间数据和属性数据进行直观在线分析, 运行人员能直观地判断设备地具体位置和设备的属性, 从而克服了传统的运行人员只能根据拓扑示意图进行电网模拟分析、无法定位设备、无法直观地判断用户电源等弊端, 同时也避免了目前市面上 GIS 支撑平台的拓扑分析不能运用于电网拓扑分析的尴尬局面^[2]。

本文从 GIS 的数据特点以及配电网的结构特点出发, 在研究配电网主要设备及其电气特性的基础上, 提出了一种实用的 GIS 配电网拓扑模型, 并在此基础上介绍了基于 GIS 的配电网拓扑分析算法, 它能够准确地反映配电网的拓扑关系和运行情况, 便

于配电运行人员的管理和决策, 通过实际系统的运行, 证明了该方法的实用性和推广价值。

1 配电网的设备模型

配电网主要包括配电变电站、开关站、配电线路、开关及配变等设备。图 1 给出了一个典型的配电网结构^[3]。

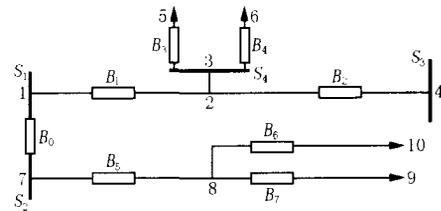


图 1 典型的配电网结构

Fig. 1 Typical structure of distribution network

根据设备在配电网中电气特性的近似性, 把配电网设备分成四部分: 电源 S_K , 开关 B_K , 线路 L_K 和用户 U_K 。在图 1 中, 连接所有开关、母线、用户的线都称为 L ; 而变电站母线、开关站等母线都称为电源 S ; 所有的断路器、分段开关甚至包含熔断器都统称为开关 B ; 所有的用户包含配变、负荷母线, 在图中没有标出, 只是用箭头表示将要接用户。因此根据上述的定义, 配电网可以表示成:

$$D = \left\{ S_i, B_j, L_l, U_m \mid i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k; l = 1, 2, \dots, n_1; m = 1, 2, \dots, n_2 \right\} \quad (1)$$

上式中: n, k, n_1, n_2 分别表示其数量。

为了进一步说明各设备的具体属性, 可以把设备的模型统一定义成如下结构^[3]:

设备名
{
SMID;

类别;
设备编号;
运行编号;
其它

}

SMID:是 GIS 系统字段,是唯一标识空间数据及其属性数据 ID 号;类别:指的是同类设备中的细分(比如:电源又包括变电站母线电源和开关站电源);设备编号:指的是根据电力系统的一定规则对设备的统一编号,这个字段在解决不同系统之间的关联很有用处,本文不作进一步的论述;其它:指的是根据用户对系统的要求可以补充定义。

2 基于 GIS 的配电网拓扑模型

文献[2]提到当前大部分配电管理系统中的所需要的电网拓扑数据都是以 GIS 空间数据为数据来源,但电力系统的拓扑描述与通常的 GIS 对拓扑关系的描述方式不一致。因此,要解决 GIS 配电网分析问题,首先得解决好上述提出的 GIS 与电力系统描述的不一致问题。本文提出了一个基于 GIS 的配电网模型,成功地克服了这个问题。

当把配电电源 S_i 、配电开关 B_j 、以及用户 U_m 都当作配网拓扑图的顶点,而 L_l 当作拓扑图中的边,同时配电网一般不允许闭环运行,因此配电网实际上是一个变结构的开环耗散网络^[4]。从这一点来说,这正是 GIS 网络拓扑数据与配电网的共性。在 GIS 系统中,网络拓扑图就是经过 GPS 采集回来的空间数据通过 GIS 的支撑平台处理后形成的以开关、电源、用户为节点(这里的节点还包括电力系统中的 T 节点,但并不完全同于电力系统中的节点),馈线为边的简单数据集,即:基于 GIS 的网络拓扑。因此基于 GIS 的配电网可以定义为:

$$D = \{ N_i, L_k \mid i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \} \quad (2)$$

N_i 指的是 GIS 拓扑网中所有的节点; L_k 指连接所有节点的馈线。

同样为了进一步描述 GIS 配电网中各元素(除了 T 节点和人为增加的连接节点以外,其它元素都是指具体的设备)的具体属性,可以统一定义成如下结构:

元素属性
{
SMID;
元素类;

元素类别;
元素名称;
元素状态;
其它

}

SMID:是 GIS 系统字段,是唯一标识空间数据及其属性数据 ID 号;元素类:是电源、开关、用户、馈线、结点(指的是 T 节点和人为增加的连接节点)五类;元素类别:具体的元素所代表的同类设备的细分,比如开关包含分段开关、联络开关、出线开关等;元素名称:是按调度规则命名的设备名称,比如花园变电站 #1 母线,而结点类不属于具体的设备,所以结点的元素名称统称为结点;元素状态:是元素所代表的设备是否运行,这对配网运行线路的着色、分析都很有用;其它:是用户额外需要增加功能还需要添加的相应属性。

如果按照文献[3]来建立模型, GIS 配网模型就需要建立节点和线模型,甚至更多。本文根据耗散网络的特点,配电网结构的变化、结构的重构、以及相关的一些计算都是因为拓扑中节点(Node)的变化而引起的,因此本文中在建立模型和拓扑分析的时候都以节点为主,而馈线在拓扑分析中可以不考虑。这样做不但充分利用了 GIS 支撑平台的拓扑分析功能,从而也使拓扑分析时元素大大地减少,而提高了搜索运行的速度。

3 基于 GIS 配电网的节点模型

由于 GIS 支撑平台不提供电力拓扑的高层分析,然而又要求在 GIS 背景中真实反映配网的结构和分析,就必须形成既实用于 GIS 也实用于配网的拓扑图。而在实际中,最关键的问题就是要保证节点的形成。

节点形成的原则:

- 1) 跟开关功能类似的所有设备都称为一个开关节点,包含:断路器、联络开关、分段开关、融断器等。
- 2) 变电站按母线的数目或分段的数目形成相应的电源节点。除此外,开关站或类似的设备都形成电源节点。
- 3) 所有的配变、负荷母线都形成相应的用户节点。
- 4) T 节点和因同条线路不同型号形成的分节点(这两种节点称为结点)。

至于具体的拓扑形成的处理过程,本文不作更

详细的介绍。根据上述原则,可以得到图 1 形成的节点拓扑图如图 2(图中标注与图 1 一一对应)。

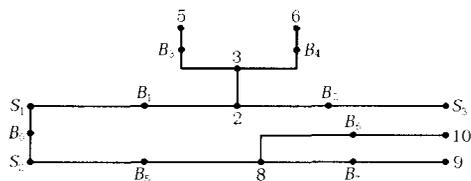


图 2 基于 GIS 的配电网拓扑图

Fig. 2 GIS based distribution topology

图 2 中的节点 2、3、8 都属于 T 节点(结点);节点 5、6、10、9 属于用户节点,其它结点就不再介绍。

为了更好地利用 GIS 拓扑图中节点的特性,节点的描述可以如下定义:

$$N = \{ SMID, Type, Name, State, Flag \} \quad (3)$$

式(3)式中 $flag$ 是一个标志, "1" 表示该元素已搜索过, "-1" 表示该元素没有被搜索过。其它属性与元素属性的定义相同。

根据上述原则形成的拓扑网络就能很方便地进行电力系统分析,又能与地理空间位置一一对应。由于该拓扑图中只有点和线,在实际操作开关的时候很难辨别哪个点代表开关、哪个点代表用户等问题。但 GIS 系统中,图是分层显示的,并且对同层中不同的对象可以根据用户需要设定特殊的图形符号来表示。这样我们就可以在开关层设定通用的开关符号、在变电站层也就设定变电站的符号以及各主要设备我们都能按人们习惯的图形显示,最后再把拓扑层加在所有图层的上面,这样我们对拓扑操作的时候就很方便明确,经过一些背景颜色的设置和图层的关联,用户感觉不到拓扑的存在,好像就跟传统的配网拓扑图一样。这样不但解决了 GIS 平台的拓扑不能进行电力高层分析的问题,同时使用户操作起来更方便、直观。

由于我国经济建设的迅猛发展,各地区、城市都在大规模的发展中,与此相应的配电网结构也随之产生经常性的变动、增加和删除一些线路。如果用传统的配电网拓扑分析方法,必须重新画出配网拓扑图,但如果在 GIS 平台的基础上来处理就相对容易。如果要在已经形成了拓扑的图中添加节点,只需要在相应的位置画上一个点,GIS 平台会根据拓扑图中点属性,自动产生该点的属性字段,用户只要根据接点的类别属性填上相应的属性即可;如果要删除一个节点,最简单的办法就是把其元素类字段的属性改成结点(结点与节点不同),因为结点只表示几条线的交点而已,如果一个结点在一条直线上,

甚至可以把结点看成是线上的一点。如果要添加线路,可以在电子地图的相应位置通过手工在已经形成了的拓扑图上采用类似添加节点的方法,如果要删除线路可以直接删除即可。尽管通过手工更改拓扑方便,但如果变更的线路过多,难免造成跟实际地理位置坐标的误差,如果经过多次的误差积累,可能就会位置错位。为了保证拓扑图位置的精确性,在增加线路时,线路的杆塔位置尽可能地通过 GPS 装置采集基础数据,最后与原始的采集数据重新拓扑一次。

4 基于 GIS 配电网的分析算法

根据定义的模型,拓扑分析中包含两类基本元素:节点和线。节点指网络拓扑中所有点,包含结点,而结点只是节点的一种。

网络拓扑中的线并不完全代表一条线路,因为在实际工程中同一条线路可能包含不同的型号,因此在进行配网分析的时候,必须把这样的线路分段,同一个线路名可能对应几条连接线,但各条线路的 SMID 号不一样,因此在程序中如果要对线路处理,常常根据 SMID 和线路名称关联。

本文提出的算法是基于 GIS 的拓扑分析,因此抛开了传统的搜索方法中的关联矩阵,这样在分析搜索的时候我们只需要借助 GIS 平台的拓扑分析函数,就可以很方便快速地实现配电网拓扑分析的系列功能。在市面上的 Arc/Info、Mapinfo 及 Supermap 等 GIS 平台都支持拓扑图的查找邻近节点、比邻节点、与点相连的线等功能。结合电力拓扑中节点的特性和程序运行的效率,在搜索过程中只需考虑节点,而线的带电与否只需要判断线是否与带电的节点相连来判断,这样大大地减少了搜索过程中的循环次数,也保证了程序的稳定性。因此,GIS 的配电网拓扑分析其实质就是拓扑节点的分析。

根据拓扑节点形成可知,节点包含 4 类:电源节点,开关节点、用户节点、结点。该算法只需要确定网络分析的搜索条件,就可以对网络实行各种配网分析。本文以停/供电分析为例,来说明节点分析法。其流程图如图 3 所示。

图 3 说明如下:

- 1) $S(1, 2, 3 \dots, m)$ 是初值为 -1, 记录所有带电节点的 SMID 号的数组;
- 2) m 是拓扑图中节点的数目;
- 3) 条件 1 是指: $S(j)$ 是否有相连的节点和与其相连的节点是否未被搜索完;

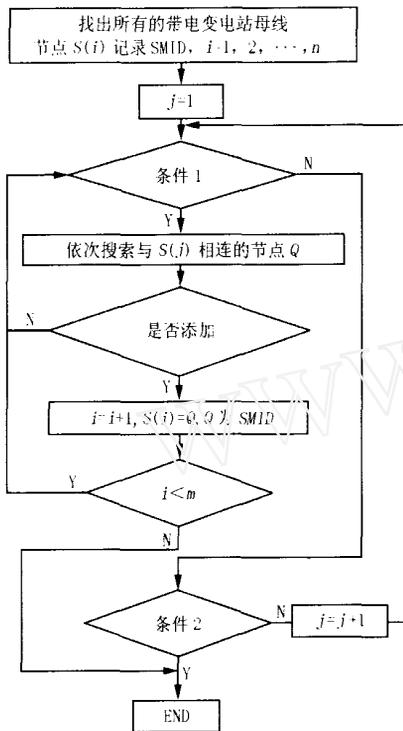


图3 搜索算法流程

Fig. 3 Flow chart of the point searching

4) 条件 2 是 $j = m$ 或 $s(j) = -1$;

5) 是否添加: 表示搜索到的节点是否加入数组 $S(m)$ 中, 具体是判断 $S(1, 2, 3, \dots, n)$ 数组中是否已有与 $S(j)$ 节点相连的节点 Q 的 SMID 号, 如有就不添加, 执行条件选择 N; 否则判断 Q 节点类型, 如果 Q 节点属于开关节点且其元素状态为 FALSE (开关断开), 那么也不需要向数组 $S(n)$ 添加, 执行条件 N, 其余的情况都需要向数组中添加节点 SMID 号, 执行条件 Y。

本文提出的 GIS 的配电网分析方法已经成功的运用于西北某地 GIS 配电网系统, 改变了已往配网管理混乱, 效率低下, 供电质量过低的弊端。

5 结论

本文提出的基于 GIS 的配电网分析方法是在全国广泛地应用 GIS 的大背景下, 经过理论研究和实际工程实践的结果, 能大大地提高配电网的管理水平、改善电能质量。

参考文献:

- [1] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎 (CHEN Shu-peng, LU Xue-jun, ZHOU Cheng-hu). 地理信息系统导论 (The Introduction of Geography Information System) [M]. 北京: 科学出版社 (Beijing: Science Press), 2000.
- [2] 杨群, 李伟, 等 (YANG Qun, LI Wei, et al). 基于 GIS 构建配电网拓扑关系的方法 (Topology Analysis of Distribution Management System Based on Geographical Information System) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(9): 79-82.
- [3] 周步祥, 刘欣宇 (ZHOU Bu-xiang, LIU Xin-yu). 基于网络图形的配电网拓扑分析方法及应用 (Network Graph-based Power Distribution Network Topology Analysis and Its Application) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(8): 67-70.
- [4] 刘健 (LIU Jian). 变结构耗散网络 (Structure Variable Dissipated Network) [M]. 北京: 中国水利水电出版社 (Beijing: Publishing House of China Water Resources and Hydropower), 1999.

收稿日期: 2003-11-12; 修回日期: 2003-12-07

作者简介:

郑勇 (1975 -), 男, 硕士研究生, 从事电力系统规划设计、调度自动化及计算机信息处理工作; E-mail: wrjzy@163.com

周步祥 (1965 -), 男, 博士, 教授, 主要从事电力系统自动化、计算机应用等方面的教学与科研工作;

贺琦 (1977 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为调度自动化及计算机信息处理。

Topology analyzing method and application for distribution network based on GIS

ZHENG Yong¹, ZHOU Bu-xiang², HE Qi²

(1. Southwest Electric Power Design Institute, Chengdu 610021, China; 2. Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: According to the characteristics of GIS and a distribution network, a GIS based distribution system model is proposed with analysing the device performances that influence the topological structure of the distribution system. A topology analyzing method for the distribution system is advanced, which can not only make use of the GIS's function in the topology analysis but also be applicable in the electric power system distribution network. It has been shown in practice that the proposed method is of fairly high practical value.

Key words: GIS; distribution network; topology analysis