

基于地理信息系统的电力网络拓扑分析

向德军, 杨银国

(广东省电力调度中心, 广东 广州 510600)

摘要: 提出了一种基于地理信息系统 (GIS) 的电力网络拓扑算法。GIS 是实现电力系统数字化和信息化的新技术, 其应用十分广泛。针对现有 GIS 在网络分析应用程序中的局限性, 对 GIS 拓扑功能和特点进行了分析, 研究了如何基于 GIS 的拓扑数据, 构建满足电力网络分析需要的拓扑数据。该算法利用 GIS 连通性功能, 在开发的基于 GIS 的电网图形编辑平台上, 对网络元件的属性表和拓扑做了处理, 简单实用。该算法拓展了 GIS 拓扑分析在电力系统中的应用, 使得基于 GIS 拓扑分析的高级应用程序得以实现。

关键词: 地理信息系统 (GIS); 拓扑分析; 电力网络; 属性表; 算法

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897 (2006) 20-0020-04

0 引言

网络拓扑分析是电力系统网络分析应用软件的基础, 它的任务就是对网络中开关状态的变化进行处理, 形成新的网络接线, 得到拓扑数据, 供电力系统应用程序使用。拓扑分析的效果直接影响着应用程序的使用效果。

早期的网络拓扑分析是利用堆栈技术进行搜索^[1]。为了加快拓扑的速度, 出现了以下几种利用数据结构加上特定的算法来实现拓扑的改进方法:

1) 追踪网络拓扑变化^[2]。其拓扑处理方法是保存前一次网络拓扑分析的母线结构, 通过对比前后开关状态的变化, 局部修改母线编号。这种方法虽比较费时, 但拓扑分析效率有所提高。

2) 分电压等级拓扑法。该拓扑分析方法只搜索断开开关所在的厂站电压等级, 大大减小了搜索的空间, 提高了网络拓扑分析的效率^[3]。

3) 面向对象 (OO) 的电力网络拓扑。实现拓扑跟踪 OO 模型的启发式拓扑分析方法, 利用 OO 技术可扩展拓扑算法的适用范围^[4,5]。

4) 基本分析单元的有色 Petri 法。将整个电网拓扑分析问题分解为若干基本分析单元, 采用基本分析单元的有色 Petri 网模型, 只重新计算受开关状态变化影响的分析单元, 减小了搜索的空间, 可提高拓扑分析的效率^[6]。

随着电力系统自动化的深化, 地理信息系统 (以下简称 GIS) 在电网中的应用越来越广泛, 如何在 GIS 基础上构建电力网络拓扑, 已成为在 GIS 基础上构建电力系统的高级应用软件需解决的首要

问题。为了充分利用 GIS 的信息资源, 有效地利用 GIS 系统提供的网络拓扑数据, 本文提出了一种实用的基于 GIS 的电网网络拓扑分析算法。

1 GIS 中的网络拓扑功能^[7]

地理信息系统以地理空间数据库为基础, 对空间相关数据进行管理、操作、分析、模拟和显示, 提供了空间和动态的地理信息。对于容纳海量数据的地理空间数据库而言, 拓扑分析是其核心技术。

1.1 GIS 中拓扑的基本功能

根据拓扑学原理, 图形元素可以大致分为点、线、面三种基本形式, 空间实体的拓扑特征就体现为这三种基本元素的拓扑关系。所以, 对空间的拓扑分析, 就是对点、线、面三种基本元素相互之间的关系进行分析处理后提取的拓扑特征。基于结点 - 弧段 - 多边形的拓扑分析, 是建立在点集拓扑的理论基础之上的。它描述了空间实体之间的连接性和邻接性, 此即为拓扑空间关系所要描述的内容。在 GIS 中, 基础的拓扑表述方法已经集成为通用函数, 供开发使用。其中连通性分析功能便是一种带有自动拓扑功能的函数, 它根据定义的拓扑规则, 自动进行图形的拓扑分析, 得到拓扑数据。

1.2 拓扑空间数据模型

空间数据模型的基本类型起源于“Spaghetti 模型”, 如图 1 所示。

GIS 中的拓扑生成意味着给 Spaghetti 文件增加拓扑结构。图 2 为增加了拓扑结构的拓扑模型示意图。GIS 拓扑空间数据定义为空间特征数据和属性数据。空间特征数据记录的是空间实体的位置 (X,

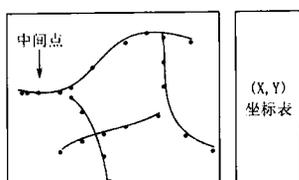


图 1 Spaghetti模型示意图

Fig 1 Sketch map of Spaghetti model

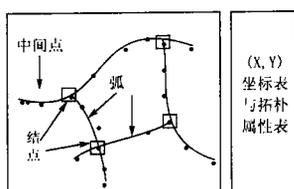


图 2 拓扑模型示意图

Fig 2 Sketch map of GIS's topological model

Y), 拓扑关系和几何特征, 是将 GIS 和其他各种数据库管理系统区分开的标志, 其拓扑关系是通过拓扑模型自动创建的; 属性特征数据, 需要按照其级别来分类以便进行属性的概括和显示, 通常用关系表的形式组织。图 2 中线 (或弧) 由结点定义, 是有方向的; 点、线、面之间的拓扑关系用若干拓扑属性表来描述。

按照分类, GIS 用一些表明实体类别的整数来代替实体原始属性的级别值, 这些整数就是 GIS 赋给实体的标识号 (OD), 这些 OD 号具有很好的完备性, 与实体一一对应, 是各个实体之间关联的桥梁。查找时, 直接在拓扑属性表中查找 OD 即可, 比 Spaghetti 模型在整个图中查找效率高。

2 GIS 拓扑分析的应用局限

现有的 GIS 拓扑分析主要用于电力系统故障点查询、停电范围的查找、着色显示等简单分析功能, 而不适用于电力系统网络分析的潮流计算、无功优化、智能操作票专家系统等高级应用。网络分析中所用到的拓扑描述方式与 GIS 对拓扑关系的描述方式并不完全相同。主要有以下几点区别:

1) 在 GIS 系统中, 其拓扑分析是基于空间连通性, 分析的是将实体经过抽象之后的点、线、面之间的空间关系。而电网分析应用程序所用的数据是以描述电网模型为主, 即主要描述电网结构和逻辑关系。

2) GIS 中的拓扑描述并不区分节点类型, 对杆塔与线路端点等一般节点在拓扑分析的时候并不加以区分, 而杆塔节点在网络分析中是不需要的。

3) GIS 中的母线是用线实体来表示, 而在网络

分析中所需的拓扑数据却是节点号。

因此, GIS 构建的拓扑数据不能够直接应用于网络分析应用程序, 应该通过一定的方法将以 GIS 方式描述的拓扑数据进行转换。除了能够提供地理空间分布信息数据外, 还可以给出网络分析用的元件参数, 包括节点号、支路数据、节点数据等等, 并对母线、连接线等零阻抗元件做正确的拓扑处理。

3 基于 GIS 的电力网络拓扑分析

电力网络拓扑一般分为两个基本步骤^[1~3]: 第一步是厂站的结线分析, 也称母线分析; 第二步是系统网络分析, 分析整个系统的母线由支路连接成多少个子系统, 也称为电气岛分析。本文在 GIS 平台上, 按照网络分析要求, 定义了各元件的属性表结构, 对母线、开关和节点编号做了有效的处理, 并依照拓扑的基本步骤和 GIS 的连通性功能, 形成了一种实用的基于 GIS 的电力网络拓扑算法。

3.1 拓扑实现的环境

由于 GIS 系统具有庞大的空间数据库系统, 直接在上面进行拓扑分析必然会影响到计算速度, 而且, 数据库中有很多数据是电网网络分析软件不需要的, 如前面提到的杆塔等。因此, 本文在 GIS 上只加载与网络分析所需数据相关的图层, 在此基础上实现拓扑分析。利用 GIS 自身强大的功能, 该平台具有和外界接口的能力, 与实际系统对接可以得到实时数据; 与其他作图软件如 AutoCAD 等对接可以直接得到电网图形及数据; 与其他数据库对接可以直接通过数据库引擎技术将获取所需的数据。

3.2 元件属性表结构

GIS 提供的实体属性表中, 含有地理空间信息及 OD 号。为满足电力网络分析软件对其提供数据的要求, 重新定义了电网中各网络元件的属性表。在原有的属性表基础上加入了网络分析所需要的数据, 如带电状态、型号等。各属性表结构如表 1 所示。由给出的结构定义可以得到各元件的网络参数, 供网络分析软件使用。

表 1 各网络元件属性结构表

Tab 1 Attribute tables of network components

属性表名	属性表字段				
线路表	OD	长度	类型	型号	带电状态
变压器表	OD	分接头位置	型号		带电状态
开关表	OD	关联线路			带电状态
电源表	OD	电压	相位	有功	无功
负荷表	OD	有功	无功	关联节点	
电容 (抗) 器表	OD	组数	容量	关联节点	

其中,带电状态可以用来进行着色显示;型号用来获取具体的参数,如在线路属性表中,得到线路的型号和长度,结合标准线路参数,就得到了线路的阻抗值。为了程序能自动给出元件的网络参数,定义了标准线路参数表和标准变压器表,专门存放各种型号对应的参数。开关元件的关联线路字段、负荷及电容器等元件的关联节点字段都是用来存放元件拓扑关系数据的,线路、变压器等都是支路,拓扑存放在“支路-节点关联表”之中,其形成在节点编号处理中给出。

3.3 母线的处理

母线是节点的集合,按照电力系统的习惯将母线定义为线状零阻抗实体,其上节点号码均相同,包括连接线等线状零阻抗实体都按照这种方式定义。对于由网络开关造成的母线模型影响,采用了一种非常简便实用的方法^[3]。开关断开后,母线分裂,分裂出一个或者多个母线,则新增母线编号排在初始母线最大编号之后;开关操作未造成母线模型的变化,或者开关闭合后,删除一个或多个母线,母线合并,采用初始母线编号。这种处理方法,实现简单,计算量小,效率高,适用于开关操作频繁的情况。

3.4 开关的处理

拓扑的主要任务是处理网络中开关状态变化所引起的接线变化,因此,开关在拓扑中的处理方式至关重要。GIS系统中,开关是图2中的中间点,通过GIS拓扑中点与线的关系,分别与所连接的线路相关联。当开关状态发生变化时,对母线模型影响的拓扑处理过程如图3所示。由开关变化的状态来确定对母线模型的影响后,再按照上文对母线的处理方法更新受影响母线模型;然后,由与线路的关联情

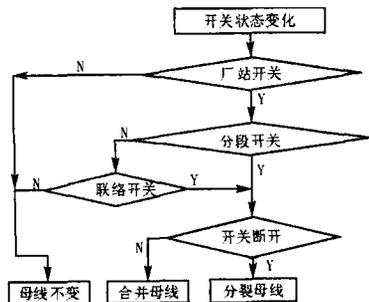


图3 开关状态变化处理图

Fig 3 Flow chart of dealing with switch's status

况,通过GIS连通性分析可以迅速形成网络接线。这个功能还可用于实现带电模拟操作、查询停电范围等功能。

3.5 节点编号

按照GIS系统的连通性所得到的拓扑编号,即实体的标识号-OD号,具有很好的数据完备性,而且不需要人工输入网络原始编号信息。同时,连通性分析是对平台上的整个网络进行分析,和拓扑分析的第二个基本步骤有相同的作用,因此,获得的OD号已经具有子系统的信息。应用程序只需要将OD号从图库中读出,按照自己的要求对OD号重新编号即可。本文对编号的处理只需要简单地将OD号变成从一开始的连续编号,无须进行复杂的编号工作。编号的简要程序流程如图4所示。

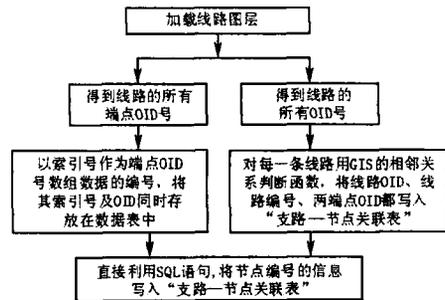


图4 节点编号流程图

Fig 4 Flow chart of node numbering

其中所有OD号由GIS原始连通性自动给出;用GIS的邻接关系判断函数将线路和节点关联,形成的关联表为初始关联表;用SQL语句将关联表中节点号更新得到编号后的关联表。当开关状态发生变化,需要进行拓扑处理的时候,直接利用此表,拓扑速度将大大提高。

3.6 算法的整体流程

算法的整体流程简图如图5所示。

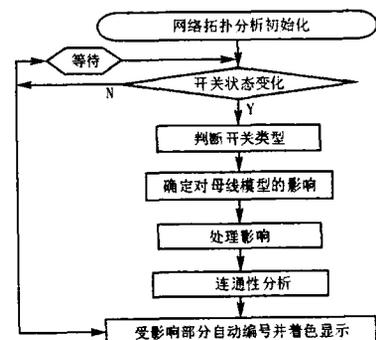


图5 算法流程图

Fig 5 Flow chart of the proposed algorithm

其中网络拓扑初始分析包括初始厂站分析、初始母线分析;自动节点编号,形成节点-支路关联表;进行初始连通性分析,得到了电气岛号。此处可以与实际的系统接口,也可以用于模拟操作。当开

关状态发生变化的时候,按照对母线的处理办法,来确定对母线模型的影响。首先对开关状态进行判断,决定是否影响母线模型,对受影响的母线进行处理,然后根据支路-节点关联表,进行连通性分析,相当于电气岛分析。分析的结果按照带电与否进行着色,显示于GIS系统之中,使拓扑的结果一目了然。整个过程均在开发的电网图形平台上进行,拓扑过程中,充分利用了GIS的连通性分析功能,使得整个过程简单易行。

4 结论

本文在分析GIS拓扑功能和特点的前提下,针对其在网络分析应用程序中的局限性,结合GIS的连通性,提出了一种实用的基于GIS的电力网络拓扑算法。该算法拓展了GIS拓扑分析在电力系统中的应用,不仅可以实现其原有的拓扑分析功能,还可以构建符合电力网络分析应用软件所需要的拓扑数据,使得基于GIS拓扑分析的高级网络分析程序得以实现,目前已应用于潮流计算、线损分析管理及无功优化、智能操作票专家系统等高级应用软件。

参考文献:

- [1] 于尔铿. 电力系统状态估计 [M]. 北京:水利电力出版社, 1985.
YU Er-keng Status Estimate of Power System [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.
- [2] Prais M, Bose A. A Topology Processor That Tracks Network Modifications Over Time [J]. IEEE Trans on PWRs, 1998, 3 (3): 992-997.
- [3] 朱文东,刘广一,于尔铿,等. 电力网络局部拓扑的快速算法 [J]. 电网技术, 1996, 20 (3): 30-33.

- ZHU Wen-dong, LIU Guang-yi, YU Er-keng, et al The Fast Calculation Method of Local Power Network Topology [J]. Power System Technology, 1996, 20 (3): 30-33.
- [4] 董张卓,秦红霞,孙启宏,彭俊松. 采用面向对象技术和方法的电力系统网络拓扑的快速跟踪(一、二) [J]. 中国电机工程学报, 1998, 18 (3): 178-181.
DONG Zhang-zhuo, QIN Hong-xia, et al Objectoriented to Fast Tracking of Topology for Power Systems (Part I and II) [J]. Proceedings of the CSEE, 1998, 18 (3): 178-181.
- [5] 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): 14-18.
WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming A Graphic Database Based Network Topology and Its Application [J]. Power System Technology, 2002, 26 (2): 14-18.
- [6] 赖晓平,周鸿兴. 电力系统网络拓扑分析的有色 Petri 网模型 [J]. 电网技术, 2000, 24 (12): 5-10.
LAI Xiao-ping, ZHOU Hong-xing Coloured Petri-net Models for Topology Analysis of Power Networks [J]. Power System Technology, 2000, 24 (12): 5-10.
- [7] 陈述彭,鲁学年,周成虎. 地理信息系统导论 [M]. 科学出版社, 1999.
CHEN Shu-peng, LU Xue-nian, ZHOU Cheng-hu Geographical Information System [M]. Beijing: Science Press, 1999.

收稿日期: 2006-07-24; 修回日期: 2006-09-05

作者简介:

向德军 (1977 -),男,硕士,主要从事电力系统自动化方面的研究; Email: dejunxiang@sohu.com

杨银国 (1980 -),男,硕士,主要从事电网分析方面的研究。

Topology analysis of power system network based on geographical information system

XIANG De-jun, YANG Yin-guo

(Guangdong Power Dispatch Center, Guangzhou 510600, China)

Abstract: A practical algorithm of electric power system network topology based on geographical information system (GIS) is proposed. GIS is a new technique to realize the digitalization and informatization of electric power system. Now it's widely used in electric power system. For the limitation of GIS's application to network analysis program, this paper analyses the geographical information system topological techniques and features, and studies how to get the data that satisfies network analysis based on topological data given by the GIS. Based on the platform of electric grid graphic edition developed by GIS, the algorithm simply and effectively deals with attribute tables and topology of network components using the connectivity of GIS. With the proposed algorithm, the applications of GIS in electric power system are developed. Some advanced application programs of power system, such as power flow, reactive power optimization and expert system of operation ticket, can be realized on GIS.

Key words: geographical information system (GIS); topology analysis; electric power network; attribute table; algorithm