

基于 ComGIS和空间数据库相结合的 电力网络拓扑分析新方法

张佰庆, 象阳, 袁荣湘, 许志鹏
(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要: 根据 GIS空间数据拓扑分析和电力网络拓扑分析的特点, 在分析 Oracle Spatial数据模型的基础之上, 提出了一种基于 GIS和空间数据库相结合的电力网络元件模型, 并在此基础上进行电力网络的拓扑分析研究。详细阐述了模型的构造过程, 并用流程图的形式分析了拓扑的整个过程, 实际的应用也表明该拓扑分析方法有很大的实用价值。

关键词: 地理信息系统; Oracle Spatial; 拓扑分析; 电力网络

中图分类号: TM71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)12-0035-04

0 引言

电力系统网络拓扑分析的任务是处理开关信息的变化, 形成新的网络接线, 为网络分析各种应用软件开发奠定基础。电网潮流、短路计算、网络重构等都需要使用网络各组成部分之间的电气联系这类信息, 显而易见电网拓扑分析的性能将直接影响到整个电力网络分析计算的运行。

目前电力网络拓扑分析主要是针对一次接线图, 虽然采用单线图符合调度人员习惯, 并且维护方便, 但随着计算机技术、空间数据库技术的迅速发展及 GIS系统技术在电力系统中的广泛应用, 如何在 GIS背景图上正确进行网络拓扑分析、着色, 为调度人员提供真实、可靠的操作环境还是一个等待解决的问题。同时空间分析恰恰是 GIS的核心, 是 GIS区别于计算机制图和其它信息管理系统的基本特征^[1], 在 GIS中进行拓扑分析有着其天然的优越性。在 GIS系统中, 其拓扑分析是基于空间连通性, 它并不区分节点的类型, 即不区分节点是断路器节点还是母线节点。目前常用的办法是建立电网一次图与 GIS系统图之间的对应关系, 将电网一次图拓扑结果映射到 GIS系统图上。但由于电力系统越来越复杂、涉及的线路和设备越来越多, 在电网 GIS系统图上映射一次接线图拓扑结果, 其处理、显示速度受限, 使得实用性受到很大的限制。因此, 寻找一种将以 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的电力系统拓扑分析方法是有可能的, 也是有前景的。

本文提出一种利用 GIS组件 MapX和专用空间

数据库接口 Oracle Spatial相结合的方法, 能够对电力系统的空间数据和属性数据进行直观在线分析, 一方面能够克服以往的只能够在拓扑示意图上进行电网模拟操作, 无法直接定位设备的缺点, 另一方面又能够发挥 GIS本身的强大空间分析功能, 加快和提高电力拓扑分析的速度和效率。

1 Oracle Spatial数据模型^[2]

数据是任何一个系统最基础的部分, GIS处理的数据分为两类: 一类主要是和空间位置、空间关系有关的数据, 称为空间数据; 一类是地理元素中非空间的属性信息, 成为属性数据。在传统的应用系统中, 往往是将上述两类数据分开存储, 即属性数据存储在关系型数据库中, 而空间数据由于其特殊性以文件形式存储。而随着空间数据库的不断发展, 各个 GIS厂商和数据库公司都发展了很多最新的空间数据和属性数据一体化存储的方式, 实现空间数据和属性数据的无缝集成和一体化存储管理。Oracle Spatial就是在 Oracle与 Mapinfo合作中推出的专用接口, 它本身具有强大的空间存储能力和操作能力, 并且和 MapX组件实现了良好的互操作。

Oracle Spatial是 Oracle 8i中内嵌的一种用来处理空间数据的工具, 它具有完成存储、输出、修改和查询的功能。Oracle Spatial支持两种表现空间元素的模型, 分别为关系模型及对象——关系模型, 本文只对对象——关系模型做一简单介绍。

Oracle Spatial的对象——关系模型的实现方法是由一组对象数据类型、一种类型的索引方法以及在这些类型上的操作符组成。具体说一个空间实体

就用一行具有 SDO_GEOMETRY 的字的记录来存储,而空间索引的创建和维护由基本的 SQL 语句完成。通过使用 Oracle Spatial 的对象——关系模型,原来需要用多行、多列存储的空间实体,现在只需要一行记录就可以完成存储,大大提高了存储的效率,方便了系统的操作。

Oracle Spatial 中的 SDO_GEOMETRY 是一个对象类型的字段,由 5 个对象属性组成,每个空间实体的所有空间信息全部存储在以上的 5 个属性中。这 5 个属性分别是:(1) SDO_gtype,描述空间实体的类型,Number 型结构;(2) SDO_srid,一般做为系统索引,也是 Number 型结构;(3) SDO_point,点对象的坐标结构,为三个 Number 型结构,值得注意的是该属性是只有当 SDO_elem_info 和 SDO_ordinates 为 null 时才有效;(4) SDO_elem_info,定义为一个可变长的数组,用来描述空间实体的几何性质;(5) SDO_ordinates,也是一个可变长的数组,用来存储组成空间实体边界的点的坐标。

使用 Oracle Spatial 的对象——关系模型有以下几点优点:(1)支持多种几何类型,如点、线、面等等;(2)创建和维护空间索引,以及空间查询的易用性改善;(3)索引由 Oracle 的数据库服务器自动维护;(4)一个空间实体的空间信息存储为一行一列,空间占用小;(5)性能较其他的模型得到极大的改善。

2 电力网络模型

传统的电力网络拓扑模型的描述和一般意义的 GIS 系统对拓扑关系的描述方式是不一致的,主要问题是如何将两者统一起来,将传统电力系统环境下的网络模型转化为 GIS 系统能够处理的拓扑数据是解决该问题的关键。

在地理信息系统中,拓扑数据是用来描述空间目标间的关系,而实际空间物体一般就被抽象成为点、线、面。因此地理信息系统研究的主要拓扑结构有三种,即连接性、多边形区域定义、邻接性。但电力系统内部应用数据的“结构化组织”是按电网运行规则完成,这种组织方式主要是基于电网结构和运行逻辑来进行的^[3],并不符合 GIS 系统的拓扑分析需要,因此本系统对电力元件拓扑模型重新进行了如下的组织以适应 GIS 拓扑分析的要求。

2.1 电力元件拓扑模型

在电力拓扑分析中,只需要了解元件的连接关系和开闭状态,那么依据 GIS 的概念,所有设备元件

均可简化成两类模型,即点图元模型和线图元模型,两类模型依照 GIS 规则分层管理。

(1)点元模型:表示以点形式存在于图形界面上的设备,如母线节点、断路器、变压器等等。则一个母线节点在 Oracle Spatial 中 SDO_GEOMETRY 字段可以用 MDSYS.SDO_GEOMETRY(2001, 5003, mdsys.sdo_Point_type(10, 10), null, null) 表示,具体含义为该母线节点为二维空间的一个点,系统 ID 为 5003, (10, 10) 为其坐标。

(2)线元模型:表示以线形式(包括折线)存在于图形界面上的设备,如电力线路等等。某一条线路的 SDO_GEOMETRY 字段可以用 MDSYS.SDO_GEOMETRY(2002, 6004, null, mdsys.sdo_elem_info_array(10, 002, 001), mdsys.sdo_ordinate_array(10, 10, 10, 15, 15, 15)) 表示。这个就表示一条折线,其关键点坐标为 (10, 10), (10, 15), (15, 15)。

根据以上两个图元的字段含义,可以用图 1 表示其空间关系:

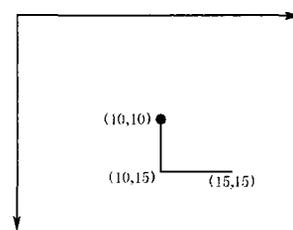


图 1 图元空间关系图

Fig 1 Spatial relation of graphic element

2.2 电力元件属性数据库模型

除了以上对于图元空间位置进行控制的空间属性之外,针对不同的高级应用,还必须对图元的其他属性进行定义。下面以本系统现有的短路电流计算功能为例,具体介绍属性数据库建库方法。分析计算条件,对于短路电流计算来说,重要的元素只有四种,即厂站(电源)、母线节点、线路及变压器。那么就将以上各种设备的铭牌参数以及程序中的各种运行、故障数据存储于属性数据库中,其数据库模型如图 2 所示。

在图 2 中标注出了各个数据表的关系和连接情况,同时属性数据库和空间数据库的连接必须依照某些特殊的参数,因此本系统对各种数据都设置了唯一的编号(Feature ID),程序和数据库的连接方案如图 3 所示。

3 拓扑分析算法流程

MapX 组件是国际 GIS 软件巨头 Map info 公司

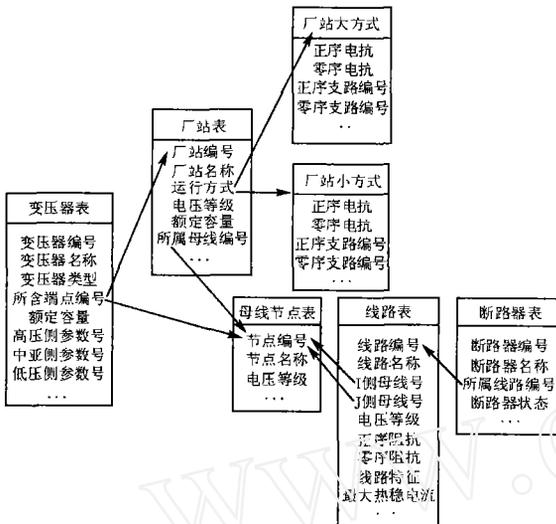


图 2 属性数据库列表

Fig 2 List of properties database

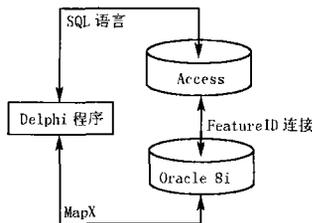


图 3 数据库连接方案

Fig 3 Connecting scheme of database

的重要产品之一,它是基于 Mapinfo Professional 的地图化技术,以组件的方式提供了真正的对象联接和嵌入式的开发方案。它的最大特点就是,开发人员可以在主流的可视化程序开发环境 (Visual Basic、Visual C ++、Delphi 等等) 当中轻松地实现一些地理信息系统的功能,在上述开发环境中,在设计阶段只要将 MapX 控件放入窗体中,并通过编程,设置属性、对事件和方法的调用,就可以很容易地实现地理空间数据的空间查询和分析功能^[4]。

对于一般的应用开发,MapX 本身已经能够完成一些简单的空间分析,但是考虑到电力系统分析软件的复杂程度和将来软件的可扩展性,我们将采用 Oracle 提供的专门空间模块 Spatial,它提供了强大的地图空间分析功能,可以完成绝大多数的复杂应用。

实际上,基于 GIS 的电力网络拓扑分析就是拓扑节点的分析。如前所述,在 GIS 软件中,对于节点和线段都只是判断其连通性,而不能判断其类型的,那么就需要在程序中将所有元件归类存放。恰好 GIS 系统中的图是分层显示的,对于不同类型的元

件将放在不同的图层中,并用不同的符号来表示。因此结合 GIS 系统和电力拓扑分析的特点,在整个拓扑分析算法中,应采用以节点和线路相交替的搜索方法。

首先从电源节点集合 Q_s 中取出一个电源节点,利用 GIS 本身的空间操作,具体为寻找相交关系元件,函数为 SDO_relate,从而得到和该电源节点的所有母线节点,存入待查母线节点集 M_p 中,再从集 M_p 中取出某个母线节点,并同时从集 M_p 中去掉刚刚取出的母线节点 M_i ,继续调用寻找相交关系函数,得出与其相连的线路集合并放入集合 L_p 中,同样取出某一条线路 l_i ,运用相关函数得出线路两端的所有节点。注意此时的节点是有类型上的差别的,比如可能是断路器节点也可能是对侧母线节点等,结果需要存放于不同的数据集中。对于 l_i 的不同类型,接下来的处理方式也是不同的, l_i 为终端线路,则直接返回 Q_s ,并取下一个电源点进行检索;若 l_i 为一般线路,则需要收集对侧母线节点集合 M_p (集合元素个数与 M_i 所连线条数一致)及其包含的线路信息进行循环分析直到 l_i 全部为终端线路,进程完毕后返回 Q_s ,并取下一个电源点进行检索。直到电源全部搜索完毕,此时拓扑分析过程也全部进行完成。

为了减少搜索重复次数,提高搜索效率,对于

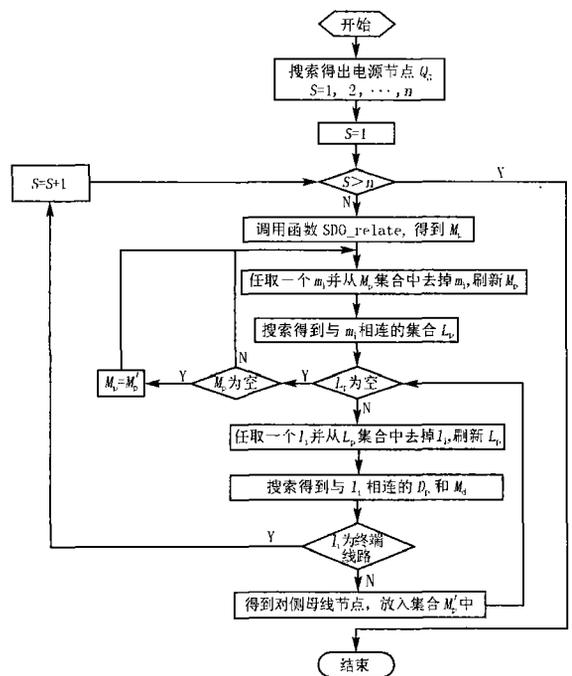


图 4 拓扑算法流程

Fig 4 Flow chart of topology arithmetic

每个元件都设置了一个搜索标示,若没有搜索过,标示设置为 0,反之设置为 1。同时在这个分析过程中可以根据断路器和母线节点的状态进行如停电分析等的进一步高级分析。其判断原则是,由母线节点两侧的断路器状态判断该母线节点的状态,线路的状态则由线路两端的母线节点状态进行判断,这样的过程是很简单的。具体拓扑流程图如图 4 所示。

4 应用实例

本文提出的拓扑分析方案已经在一个基于 GIS 的可视化短路电流计算和整定系统中成功运用,图 5 为该系统的界面。该系统可以以可视化的方法计算各种简单故障电流,并应用本文提出的拓扑分析方法进行拓扑分析,得出线路的整定顺序,并取得了良好的效果,提高了系统效率。

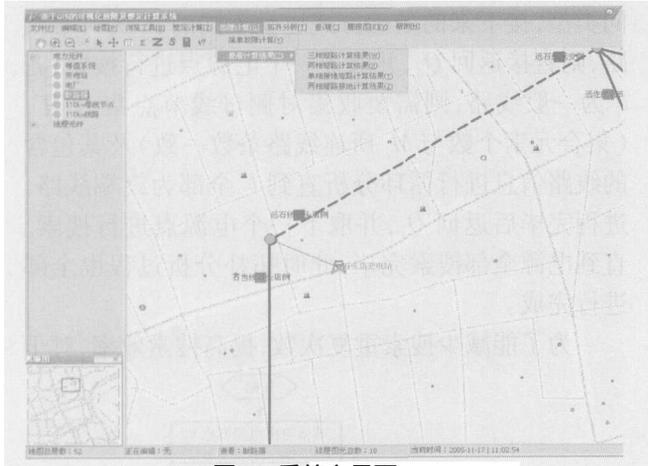


图 5 系统主界面

Fig 5 System main interface

5 结论

本文提出的基于组件式 GIS 和空间数据库的电力拓扑分析方法顺应了计算机技术、空间数据库技术的发展趋势,充分利用了 GIS 系统本身的空间分

析能力,提高拓扑分析效率,并且只需稍做改动即可进行潮流计算、停电分析等高级应用,提高了系统的重用性,并且对提高电网管理水平也起到了积极的促进作用。

参考文献:

- [1] 郭仁忠. 空间分析 [M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1997.
GUO Ren-zhong Spatial Analysis [M]. Wuhan: Wuhan Tech University of Surveying & Mapping Press, 1997.
- [2] 齐锐, 屈韶琳, 阳琳赞. 用 MapX 开发地理信息系统 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
Q I Rui, QU Shao-lin, YANG Lin-yun Develop GIS by MapX [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [3] 杨群, 李伟. 基于 GIS 构建电力网络拓扑数据的方法 [J]. 电力建设, 2002, 23 (3): 61-63.
YANG Qun, LI Wei Method to Compose the Topological Data of Power Network Based on GIS [J]. Electric Power Construction, 2002, 23 (3): 61-63.
- [4] 象阳, 许志鹏, 方力谦. 基于 MapX 的大区域多变电站的综合管理系统设计与开发 [J]. 电气应用, 2005, 24 (4): 28-30.
XIANG Yang, XU Zhi-peng, FANG Li-qian The Design and Development of Integrated Manage System of Huger-region, Multi-transformer Substation Based on MapX [J]. Electrotechnical Application, 2005, 24 (4): 28-30.

收稿日期: 2005-10-13; 修回日期: 2005-11-17

作者简介:

张佰庆 (1978-), 男, 工程硕士, 长期从事输配电网自动化方面的研究;

象阳 (1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统在电力系统中的应用; E-mail: xyhero@sina.com

袁荣湘 (1965-), 男, 博士, 副教授, 主要从事电力系统运行与控制、继电保护方面的研究和教学工作。

New method of power network topology analysis based on Com GIS and spatial database

ZHANG Bai-qing, XIANG Yang, YUAN Rong-xiang, XU Zhi-peng

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: According to the characteristics of the topology analysis on spatial data in GIS and power network and data model of Oracle Spatial, this paper proposes one kind of power network component model which unifies GIS and the spatial database, and carries on power network topology analysis on this foundation. This paper details the model structure process, and analyzes the entire process of the topology analysis by the flow chart. The real application also indicates this topology analysis method has great practical value.

Key words: GIS; Oracle Spatial; topology analysis; power network