

基于几何网络的配电网拓扑分析方法及其应用

徐学军, 冯晓良

(华中科技大学水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 配电网拓扑结构复杂, 配电设备变更频繁, 不易描述, 利用 Geodatabase 数据模型中的几何网络对配电拓扑结构进行描述, 可以将 GIS 与配电网拓扑统一起来, 又可以充分利用几何网络强大的拓扑分析功能, 提高搜索的效率。文中提出了一种基于几何网络的配电网拓扑分析新方法, 详细阐述了怎样基于几何网络来描述配电网, 结合南阳配电 GIS 项目给出了在网络分析的挂牌操作功能中成功应用这种新方法, 并给出了具体的实现算法和流程。

关键词: Geodatabase 数据模型; 几何网络; 网络拓扑分析; 挂牌操作; 闭锁

Topology analysis of distribution network based on geometric network and application for listing simulation operation

XU Xue-jun, FENG Xiao-liang

(School of Hydroelectricity & Digitalization Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The topology of distribution network is not easily described because of its complex structure and frequent changes in equipment. Geometric network in Geodatabase data model describes distribution topology exactly, which not only unifies the topology of GIS and distribution but also takes full advantage of the powerful geometric topology network analysis functions to improve search efficiency. This paper proposes a new distribution analysis method based on geometric topology. The method details how to describe the distribution network based on geometric network. With the project of Nanyang distribution network GIS, the new method is applied successfully in the listing simulation operation function. In the end part, the paper gives the implement arithmetic and flow chart concretely.

Key words: Geodatabase data model; geometric network; network topology analysis; listing operation; lock out

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)19-0027-04

0 引言

电力系统网络拓扑分析主要是处理开关信息的变化, 形成新的网络接点, 在网络发生变更的时候进行网络重构, 为网络分析各种应用奠定基础。配电网与地理信息密切相关, 结构复杂且变更频繁, 给管理上带来了很大不便^[1]。随着 GIS 技术的发展和完善, 它正被越来越多地应用于配电 GIS 系统中, 给配电网运行带来了科学性和高效性, 提高了配电网运行的可靠性^[2]。

在配电 GIS 系统中需要有一种基于 GIS 的配电网拓扑分析方法, 而传统的 GIS 平台对空间数据的网络拓扑描述和配电网的拓扑描述不一致, 导致不能直接将 GIS 拓扑应用于配电网拓扑分析中^[3], 本文提出了一种基于几何网络的配电网拓扑分析方法, 一方面可以克服以往只能在电力拓扑图上的配电网模拟操作, 无法直接定位配网设备地理位置的缺点; 另一方面这种模型能够充分利用 GIS 强大的分析功能, 提高配电网拓扑分析的效率。

1 Geodatabase 数据模型

Geodatabase 数据模型是 ESRI 公司在 ArcGIS8.3 之后推出的一种新的数据模型, 它是一种面向对象的数据模型, 能很好地建立各对象间的拓扑关系, 并能描述非面向对象模型不能支持的流量叠加、对象约束等特殊行为。

Geodatabase 数据模型的对象关系图见图 1。从图中可以看到 Geodatabase 包括 4 种类型的地理数据, 而表示矢量数据的又分成 4 种: Feature Dataset, Feature Class, Table, 和 Relationship Class。要素集 (Feature Dataset) 中可以存储空间实体 (要素)、非空间实体 (对象) 以及它们之间的关联 (Relationship)。几何网络 (Geometric network) 和拓扑 (Topology) 工具体现了要素之间的空间拓扑关系。另外 Geodatabase 中还存储了属性验证规则 (validation rule) 和域 (domain), 可以确保对要素创建或者更新操作时, 数据库数据的完整性。本文中只涉及到矢量数据类型, 故对 Geodatabase 的其

他模型不做详细的介绍, 只着重介绍下要素集及几何网络。

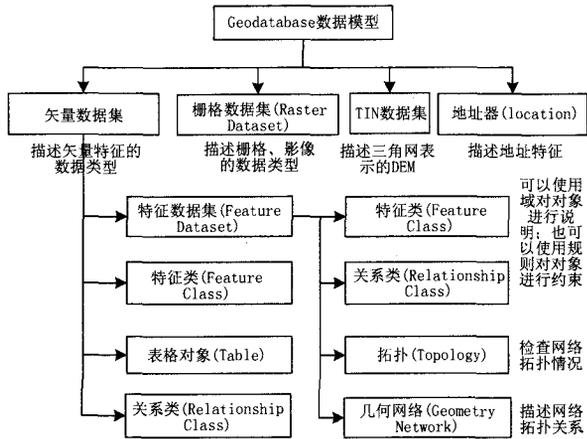


图 1 Geodatabase 数据模型图

Fig.1 Data model diagram for Geodatabase

1.1 要素集

要素数据集是具有相同坐标系统的要素类的集合, 可以选择在要素集内部或者外部组织简单要素类, 但是当我们要组织拓扑要素类时就必须要在要素集内部进行, 因为要保证拓扑要素类具有相同的坐标系统。复杂对象之间一般具有拓扑联系, 要描述这种拓扑关系, 在进行建模时大都采用要素集模型。要素集中可以包含简单要素类或拓扑要素类, 线拓扑用几何网络来描述, 多边形拓扑则可以通过动态拓扑编辑来实现^[4]。

在实际的配电 GIS 系统建模过程中, 将整个配电系统用配电要素集来描述, 配电系统中的设备分别用点要素和线要素来描述, 配电系统的网络拓扑关系则用要素集下的几何网络来描述。

1.2 几何网络

几何网络模型是对交通和其它网络的模拟实践后提出的, 可以使我们对现实世界中复杂的基础设施的模拟达到新的水平。

几何网络中能模拟网络中复杂的设备, 如开关, 环网柜等。可以使编辑过程简化并能使这些设备在网络中表达简单。ArcGIS 提供了简单和复杂网络分析的一些解决方案, 可供用户参考, 这些网络分析方法相对于传统的方法分析速度更快。

Geodatabase 对线性网络系统有两种描述模型: 几何网络模型 (geometric network) 和逻辑网络模型 (logical network)。一个几何网络模型总是对应着一个逻辑网络模型, 几何网络模型是从要素集合的角度来看网络的, 而相对的, 逻辑网络则是从元素集合的角度来看的。当对几何网络进行编辑时,

逻辑网络会自动更新。几何网络模型是要素的集合, 由边线和交汇点相连组成的系统, 我们可以制定相应的规则来约束他们之间的连接。描述边线和点的要素被统称为网络要素 (network features), 几何网络就是由这些网络要素通过一定的连接关系建立起来的。几何网络模型图见图 2。

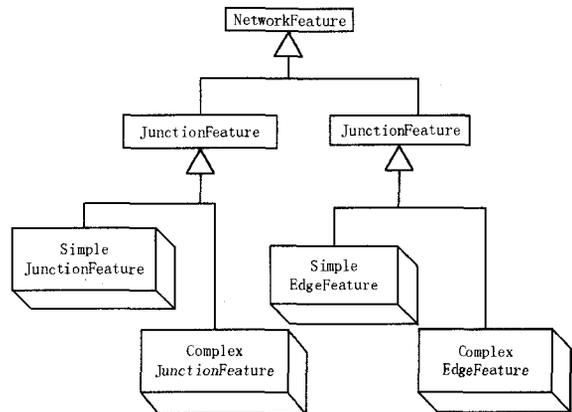


图 2 几何网络模型

Fig.2 Geometric network model

一个网络要素类是可以包含四种网络要素类型, 简单点要素 (Simple Junction Feature), 复杂点要素 (Complex Junction Feature), 简单边要素 (Simple Edge Feature), 复杂边要素 (Complex Edge Feature), 它可以描述几何网络中一个给定的拓扑关系。其中简单点要素对应可以抽象成单个点的简单设备; 简单边要素对应可以抽象成一条边的简单线路; 复杂边要素对应逻辑网络中成链式结构的一定数量的边, 但在物理上是不可分的。如在配电线路中, 虽然是一条线路, 但由于其型号不同将其分成若干条线路, 就可以用复杂边要素来描述; 复杂点要素与逻辑网络中边和节点的集合相对应, 这些边和节点的集合以各种拓扑结构连接, 而这些拓扑结构只是复杂节点的内部网络。由于拓扑结构的复杂性和多样性, 对于不同的应用会有不同的复杂点模型, ArcGIS 并没有提供直接创建复杂节点要素的方法, 用户必须通过类扩展框架对原来的模型进行扩展后才能使用。比如配电系统中的环网柜实际上就是一个微型网络, 它有自己的内部拓扑和连通规则, 就可以用复杂节点来描述。

2 网络拓扑分析方法

2.1 传统的网络拓扑分析方法

传统的网络分析方法有邻接矩阵法和树搜索法两种。邻接矩阵法用矩阵表达两点之间的连通关系,

直观性比较好, 但是对于复杂的配电网, 由于其节点个数多, 计算量大, 这种方法的搜索速度就比较慢; 相对来说, 树搜索法速度就比较快, 但是也存在问题, 就是它对变电站和环状网络的适应性较差^[5,6]。由于传统的配电网拓扑的描述和一般意义上 GIS 对网络拓扑的描述不一致, 导致 GIS 的拓扑分析功能不能应用于配电网, 而几何网络则可以很好地解决这一问题, 将配电网拓扑与 GIS 拓扑结合到了一起^[7]。首先几何网络能够对整个配电网进行多方位的描述, 不存在对网络适应性差的问题, 其次在进行网络分析时可以采用 ArcGIS 提供的接口和方法来构建自己的算法, 大大提高了搜索效率。

2.2 基于几何网络的网络拓扑分析方法

上文已经提到了这种方法相对于传统网络拓扑分析方法的好处, 下面就具体给出了基于几何网络拓扑分析方法的步骤:

1) 首先是对配电系统进行建模, 建立一个能描述整个配电网的配电要素数据集 (Distribution Feature Dataset), 然后将配电设备按照点、线模型, 分成建立各自的要素类, 属性项可以根据用户的需求和网络分析功能的需要进行添加。

2) 对配电网拓扑进行建模, 也就是通过在要素数据集中建立几何网络的方式对配电网拓扑进行描述。选择有网络电气联系的要素类添加建立几何网络, 因为主要是为网络分析功能服务, 所以对于没有电气连接的设备不必放入几何网络中, 如电杆层。在建立几何网络的过程中, 将变电站设置成源点 (Source), 变压器设置成汇点 (Sink), 这样就可以在线路中实时的显示电流的流向。

3) 几何网络建立之后, 通过 ArcMap 的网络分析功能 Connect 检查是否存在几何上的连接错误, 检查完毕后就是通过 AE 编程实现具体的网络分析功能。

3 应用及实现

在基于几何网络的拓扑分析方法上, 配电网的一些主要的网络分析功能都可以实现, 并且搜索速度比起以前的算法都有改进。

在 AE 编程实现时用到的主要 AE 类库是网络分析类库 esriNetworkAnalysis, 主要接口有 ITraceFlowSolver, ITraceFlowSolver2, INetSolver, INetWork 等。实现的主要方法有 FindPath、FindSource、FindFlowElements、GetAdjacentEdge 等^[8]。

3.1 网络拓扑分析功能

1) 搜索电源点: 对于配电网中的每一个设备, 在运行时都有其特定供电电源, 此功能就是通过网络追踪的方法 (FindSource) 分析出供电电源, 并给出此设备和电源的电气连接通路。

2) 模拟开关的倒闸操作: 模拟开关的闭合和断开操作以及由此引起的线路供电状态的变化。这是配电网 GIS 中基本的网络分析功能, 为高级的分析功能停电分析和计划停电决策做基础。当开关闭合操作时需要考虑闭锁的情况: 判断是否有与开关相连的保护挂牌点; 判断开关闭合是否能造成闭合环路。

3) 显示变电站的供电范围: 对某一个特定的变电站, 用找连通路的方法 (FindFlowElements) 进行搜索, 将与其相连的配电设备、配电线路显示出来。

4) 显示整个配电网的供电状况: 将所有的变电站放入点集 m_ipPoints1 中, 依次从点集中取出, 用函数 SolvePath_FindFlowElements 将每个变电站的供电设备都搜索一遍, 并存入 PolyLine 集中, 最后将这个 PolyLine 集渲染显示即可。

5) 挂牌操作: 在配电网的日常工作中需要对某些设备或线路进行特殊标志, 表示设备所处的状况, 如正在检修、设备锁定、分类代码等。挂牌操作分为保护性挂牌和提示性挂牌两种情况, 提示性挂牌只是作为设备标示用, 不需要分析判断设备带电状态, 可直接挂牌; 而保护性挂牌主要是用于设备检修, 要保证工作人员的安全, 操作的设备必须处于无电状态, 因此要具有闭锁功能。当某设备处于保护挂牌状态时, 与其具有电气联系的开关不能闭合, 只有保护挂牌撤销后才能进行闭合操作。这些分析功能都可以通过几何网络的拓扑分析方法实现, 具体的实现思路及流程见应用实例。

3.2 应用实例

本文提出的基于几何网络的拓扑分析方法, 已经应用于南阳电力 GIS 项目中, 并取得了很好的效果。下面以保护挂牌操作为例, 说明其实现的思路及流程, 流程图见图 3。

1) 在程序初始化的时候先搜索一遍保护挂牌表, 看是否有挂牌点 (还没有摘牌记录的) 存在, 若有, 则取出存入点集 M_ipPoints1 中。

2) 区一体化保护挂牌要求与挂牌设备相连的开关必须是断开状态, 否则不能进行挂牌。搜索要挂牌的设备点与各个电源点是否有通路 (FindPath 方法), 定义点集 M_ipPoints 来存储挂牌点与电源点, 依次对电源点进行更新 (UpdatePoint 方法), 用模块函数 SolvePath_FindPath 搜索要挂牌的设备与电源之间有电气联系的要素并存入 PathPolyLine

中, 如果结果集 PathPolyLine 为空则可以挂牌, 否则不能挂牌, 给出有电警示。

3) 上一步中如果可以挂牌, 则将该设备的挂牌类别修改为保护挂牌, 成功后, 将挂牌点添加到点集 M_ipPoints1 中, 并在数据库的保护挂牌表中添加相应的新的挂牌记录。

4) 摘牌: 在摘除挂牌时, 要在保护挂牌表中找到相应的记录, 更新摘牌时间。

```
strGP2 = "update " & transfstr & " set 挂牌类别=0
where 运行编号=" & strYXBH & ""
```

```
string4 = "update 保护挂牌表 set 摘牌时间=" &
strTime & " where ID=" & string1 & " and isnull(摘牌时间)=true"
```

此外, 摘牌时还要把当前的挂牌点从 M_ipPoints1 这个点集中清除出去, 以便解除相邻开关的闭锁条件。

```
If m_ipPoints1.PointCount > 0 Then
  For i = 0 To m_ipPoints1.PointCount - 1
    If
      m_ipPoints1.Point(i).Compare(pFeatGPBH.Shape) =
      0 Then
        m_ipPoints1.RemovePoints i, 1
      Exit Sub
    End If
  Next i
End If
```

5) 由于有了保护性挂牌的存在, 开关在进行闭合操作时就要考虑到相应的闭锁条件。

闭锁条件一: 判断有无与该开关相连通的挂牌点; 先将要进行开关闭合操作的开关点放入点集 M_ipPoints2 中; 再从存储挂牌点的点集 M_ipPoints1 中依次取出各点放入点集 M_ipPoints2 中, 用模块 SolvePath_FindPath 来判断这两者之间是否有通路, 若有, 则不能闭合; 若遍历整个点集 M_ipPoints1 还没有通路则说明没有与之相连的挂牌点, 该开关可以闭合。

闭锁条件二: 判断该开关闭合后会不会使整个配电网出现环路。

将要闭合的开关点加入到点集 M_ipPoints 中, 然后再将原有存储在 M_ipPoints 中的电源点依次更新, 看是否有通路, 有几条通路 (计数 m), 若 m>1, 则该开关与至少两个电源点都有通路, 说明有环路, 开关不能闭合。

4 结论

本文提出的基于几何网络的拓扑分析方法已经

应用于南阳配电 GIS 系统中, 对配电生产、调度自

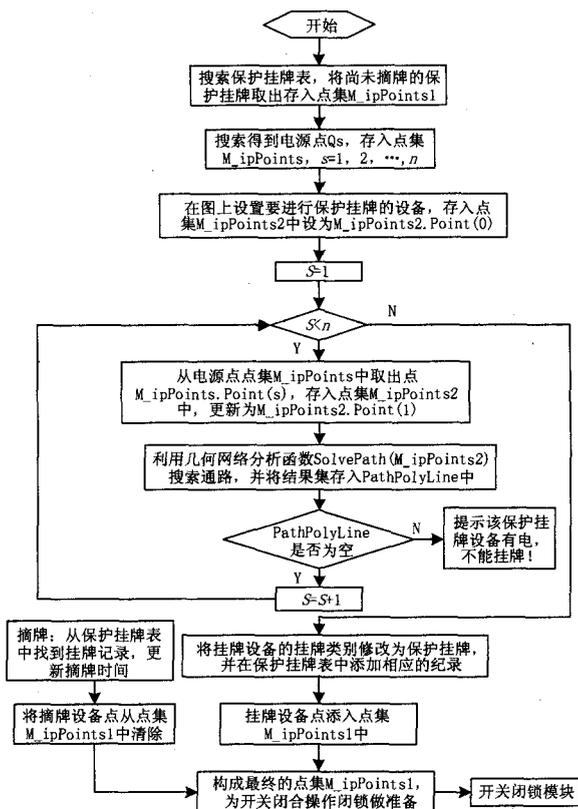


图 3 保护挂牌操作流程

Fig.3 Flow chart of protective listing operation

动化起了良好的作用, 充分利用了 GIS 的拓扑分析功能, 提高了拓扑分析的效率, 并为潮流计算、停电分析等高级功能打下了良好的基础, 对改善配电网管理水平有很大的促进作用。

参考文献

[1] 张佰庆, 象阳, 袁荣湘, 等. 基于 ComGIS 和空间数据库相结合的电力网络拓扑分析新方法[J]. 继电器, 2006, 34 (6): 35-38.
ZHANG Bai-qing, XIANG Yang, YUAN Rong-xiang, et al. New Method of Power Network Topology Analysis Based on ComGIS and Spatial Database[J]. Relay, 2006, 34 (12): 35-38.

[2] 孙才新, 周源, 刘理峰, 等. 电力地理信息系统及其在配电网中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
SUN Cai-xin, ZHOU Quan, LIU Li-feng, et al. Power GeoGraphical Information System and Application for Distribution Network[M]. Beijing: Science Press, 2003.

[3] 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 (9): 79-82.

(下转第 33 页 continued on page 33)

系统可查询全局、分站、分线的 10 kV 线损各类损耗、线损率统计数据以及线路变压器损耗的详细信息,还可以在地理信息系统中实现线损查询。

系统还提供统计图查询,可查询分站、分线的线路损耗、变压器铜损、铁损的饼图,实际线损与理论线损各月对比直方图、曲线图,供电量与售电量的各月直方图、曲线图,使供电企业能够得到线路供电运行的趋势,分析线损变化方向,从而为制定供电计划和线损指标提供依据。

报表的打印一直是用户非常关心的问题,由于以往的报表系统难以实现用户打印的各种要求,本系统除提供常规线损综合统计报表外,还可以将结果数据导出,存为带有分割符的文本文件或 Excel 格式文件,这样,用户就可以用 Excel 打开,将结果数据任意组合、定义,实现自己想要的报表。

4 系统实现框架图

线损分析系统的实现框架如图 3 所示。

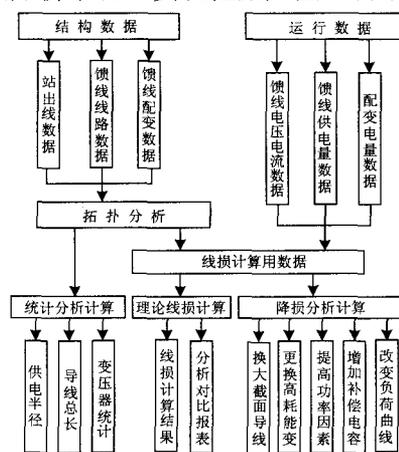


图 3 线损分析系统框架图

Fig.3 Framework of distribution system loss analysis

5 结束语

本文结合 MIS 系统开发,设计了可满足配电网管理和电气分析计算需求的综合数据库。给出了线损分析系统与 MIS 其它子系统的数据库交换示意图,以及计算分析结果输出的方法和线损分析系统整体实现框架。用 PowerBuilder 结合 ORACLE 数据库开发了基于 MIS 的配电网线损分析系统。

参考文献

- [1] 张铁峰. 基于 MIS 的配电网线损分析系统(硕士学位论文)[D]. 保定: 华北电力大学, 2001.
ZHANG Tie-feng. Distribution System Loss Analysis Based upon MIS, Thesis[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2001.
- [2] 张铁峰, 苑津莎, 刘建新. 计及多种因素的配电网线损实用计算方法[J]. 华北电力大学学报, 2005, 32(3): 5-7, 31.
ZHANG Tie-feng, YUAN Jin-sha, LIU Jian-xin. Practical Method in Consideration of Multifactor for Calculating Line Loss of Distribution Network[J]. Journal of North China Electric Power University, 2005, 32(3): 5-7, 31.
- [3] 杨秀台. 电力网线损的理论计算和分析[M]. 北京: 水利电力出版社, 1985.
YANG Xiu-tai. Calculation and Analysis of Power System Theoretical Energy Loss[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1985.

收稿日期: 2007-02-09;

修回日期: 2007-05-21

作者简介:

张铁峰(1974-), 男, 博士, 讲师, 从事信息分析与处理、配电网辅助决策研究等; E-mail: ncepuztf@126.com

王江涛(1981-), 男, 硕士, 助理工程师, 从事配电网自动化工作等;

苑津莎(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 从事信息分析与处理、计算机通信网研究等。

(上接第 30 页 continued from page 30)

YANG Qun, LI Wei, Lü Guo-nian. Topology Analysis of Distribution Management System Based on GeoGraphical Information System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(9): 79-82.

[4] Zeiler M. Modeling Our World[M]. ESRI Press, 2000.

[5] 郑勇, 周步祥, 贺琦. 基于 GIS 的配电网拓扑分析方法[J]. 继电器, 2004, 32(7): 25-28.

ZHENG Yong, ZHOU Bu-xiang, HE Qi. Topology Analyzing Method and Application for Distribution Network Based on GIS[J]. Relay, 2004, 32(7): 25-28.

[6] 廖卫列, 刘军, 于海玉. 基于地理信息系统的配电网拓扑分析及其应用[J]. 电网技术, 2006, 30(1): 85-88.

LIAO Wei-lie, LIU Jun, YU Hai-yu. Distribution Network Topological Analysis and Apply Based on GIS Platform[J]. Power System Technology, 2006, 30(1): 85-88.

[7] 邵永社, 李晶. Geodatabase 数据模型及其几何网络的拓扑分析应用[J]. 测绘工程, 2005, 14(3): 17-19.

SHAO Yong-she, LI Jing. The Topology Analysis Application of the Data Model of Geodatabase and the Geometric Network[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2005, 14(3): 17-19.

[8] ESRI. ArcGIS Developer Help[M]. ESRI Press, 2000.

收稿日期: 2006-11-21;

修回日期: 2007-06-20

作者简介:

徐学军(1964-), 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为配电网自动化, 3S 技术的应用;

冯晓良(1982-), 男, 博士研究生, 研究方向为基于地理信息系统的配电网管理信息系统。E-mail: yaobao511@126.com