

基于 GIS 平台的配电网故障诊断算法

陈根永¹, 陈永华², 贾俊洁³, 王利甫², 于海³

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450000; 2. 郑州大学 信息工程学院,
河南 郑州 450000; 3. 新乡供电公司, 河南 新乡 453000)

摘要: 为了快速确定配电网故障点的位置, 并给出故障处理方案, 通过分析地理信息系统(GIS)平台配电网拓扑结构, 在基于空间搜索技术的故障诊断基础上, 引入了关键设备的简化结构及其数学模型。运用矩阵描述了开关状态及拓扑关系, 利用基于矩阵运算的电网故障诊断算法, 设计了基于 GIS 平台的故障诊断模块。工程应用中结合现有 GSM/GPRS 通信方式, 实现了开关状态的快速检测。通过 GIS 仿真平台, 可以自动生成故障处理操作票, 从而为故障的快速定位及处理提供了方便。

关键词: GIS; 电网; 故障诊断; 拓扑; 数学模型

中图分类号: TN 711; TP 13

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2011)03-0071-04

0 引言

在电网故障诊断中运用地理信息系统 GIS (Geographic Information System) 技术和现代通信技术, 建立相关的空间拓扑和数学计算模型, 能够实现故障诊断快捷、准确地定位到具体开关设备^[1]。

目前, 常用的电网故障定位主要基于调度运行模型, 此模型缺少必要的线路仿真模拟, 不提供线路负荷转移方案, 对线路的控制完全基于自然通/断电的影响, 由于开关控制状态与线路关系没有量化, 解决问题缺少相关数学模型支持, 使故障检索诊断算法在线路结构变化时效率不高, 并且没有架空线段的分档结构信息, 缺少直观形象的电网结构描述^[2]。基于 GIS 平台的电网诊断系统解决了以上问题, 在此基础上运用道路、建筑区等地图信息使故障点定位更精确直观。本文从工程应用角度论述了在 GIS 平台的线路拓扑结构的基础上, 通过引入 GSM/GPRS 通信方式, 运用故障诊断模型确定故障点信息, 并自动生成故障处理操作票等一系列流程。

1 基于 GIS 的多电源线路故障特征

多电源供电线路具有结构复杂、回路较多、不易控制的特点, 研究电网故障特征一般基于电网拓扑结构特征^[3]。由于故障信息来自线路开关位置、连接关系以及电气量, 因此结构故障分析不同于其他电力应用软件的电网分析, 一般电网特征分析(理论线损计算、潮流计算等)侧重的是一次设备的连接关系, 电网故障诊断则是局部电网的变化分析, 它只分析故

障区域内的电气设备和电网的连接关系。同时必须要建立各种二次设备(包括保护和自动装置)和一次设备以及各种设备相互关系^[4]。

因此, 选择基于 GIS 平台的研究策略能更好地实现故障分析。GIS 平台实现了电网数据的综合管理, 通过引入 SCADA 系统或基于短信告知方式实现了线路现场开关状态的自动获取^[5], 即在 GIS 平台上实现开关状态的同步、实时显示。在此背景下研究多电源环形供电线路的拓扑结构, 设计开关状态和关系数学模型, 通过运算实现 GIS 线路的故障定位。

通过本文的研究可解决通常 GIS 平台线路故障诊断效率不高的问题, 改变了常用的基于空间搜索的故障诊断算法的低效问题, 通过故障诊断结合线路拓扑动态生成现场处理故障的操作票, 实现了 GIS 环境下故障诊断、排查的仿真模拟。

2 在线监测设备与通信

当实际线路出现故障时, 线路的通/断电状态的检测是电网故障诊断的基础。本文引入基于 GSM/GPRS 模块的开关状态监测终端, 当开关断开时, 该模块向监控中心发送指令, 识别当前线路的状态。

监测终端与监控主机通过通信协议完成通信工作。设计时通信协议的制定一般以原有监控装置的信息内容为基础, 条件允许时可更改协议内容。

电网开关状态改变时, 后台监控中心的工作流程如下: GSM 模块接到短信息, 触发传送到 GIS 服务器, 系统根据约定的指令进行判断, 做相应的操作。具体流程如图 1 所示。

3 GIS 平台下电网故障诊断流程

基于 GIS 平台的电网管理提供了实际线路的拓扑结构, 通过点、线、面关系表达出线路的杆塔、开

收稿日期: 2010-04-15; 修回日期: 2010-12-06

基金项目: 2007 年国家科技型中小企业技术创新基金项目 (07C26214100627)

Project supported by the 2007 National Innovation Fund for Technology-based Firms (07C26214100627)

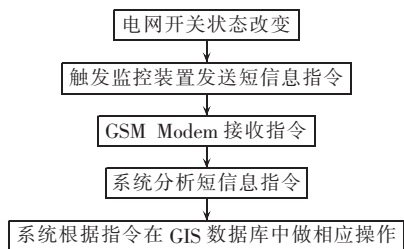


图 1 开关状态在线监测设备与控制中心通信流程

Fig.1 Flowchart of communication between online breaker state monitoring device and control center

关、架空线之间逻辑关联, GIS 平台提供一个现场仿真环境。当现场线路开关通断状态改变时, 监测终端设备会及时以 GSM/GPRS 方式传递开关的状态。GIS 平台在拓扑关系中通过诊断算法诊断出线路故障点位置, 系统会自动生成故障处理操作票, 让工作人员依照操作票现场实现故障点的隔离操作。具体程序流程如图 2 所示。

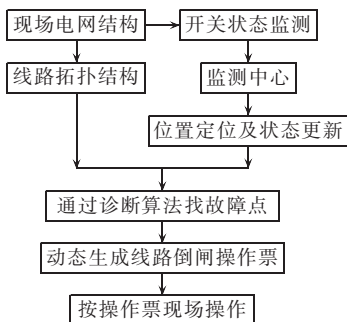


图 2 GIS 平台下配网故障诊断操作流程

Fig.2 Flowchart of distribution network fault diagnosis on GIS platform

4 电网拓扑结构描述

4.1 反映开关状态的电网拓扑结构分析

电网分析应用的拓扑结构可分为物理拓扑、逻辑拓扑、运行拓扑 3 种类型。物理拓扑体现了配电网中组成部件的物理连接状态。只要 2 根电杆之间有架空线相连, 它们的关系即可认为是连通的, 它表现电力设备之间的永久的连接关系。逻辑拓扑是一种虚拟的拓扑关系, 它的设置由运行 GIS 系统人员决定。此拓扑用于对电网运行状态的预测和调度操作的仿真^[6], 在实际操作和规划中有重要意义。运行拓扑反映电网的运行状态, 电网中各种开关的不同状态都将影响拓扑结构。运行拓扑的更新来源于 SCADA 和现场工作组反馈的数据的变化^[7]。

电网拓扑分析是结合实时状态、模拟数据或人工指定的数据而进行的网络分析的最基本功能^[8]。结合实时状态就是实时接线分析; 结合模拟数据就是模拟接线分析。

4.2 电网 GIS 拓扑的简化结构

配电网具有网状结构特征, 实际电网从简化角度考虑, 其由杆塔、架空线段、开关设备、变压器组成。GIS 平台中可通过点、线组成的结构来描述其特

征, 在计算机处理时可用图模型描述^[7], 如图 3 所示。

图 4 为对 GIS 电网结构进行拓扑后的图形, 其中 S 表示线路开关, L 表示负荷点, 即变压器。图中略去了杆塔及架空线段。

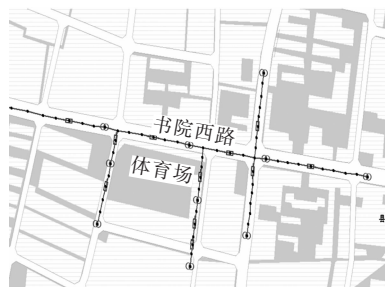


图 3 GIS 平台下显示的配电网图

Fig.3 Distribution network shown on GIS platform

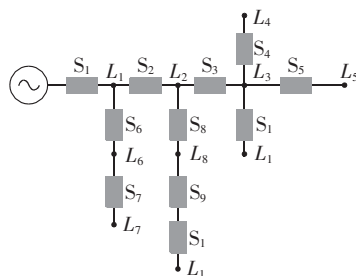


图 4 简化后配电网拓扑结构图

Fig.4 Simplified distribution network topology

4.3 基于矩阵的开关间关联关系描述

故障诊断中开关间关联关系是影响线路通/断电的条件, 通过对简化拓扑结构中开关的分析^[9], 运用矩阵模型描述开关的状态, 设开关状态组成矩阵 D 。 D 为行列相等的矩阵, 其行列数目 n 为配电网中开关总数。 $d[i, j]$ 的值表示如下: 如果第 i 个开关与第 j 个开关直接相接, 则 $d[i, j]=1$, 否则 $d[i, j]=0$ 。

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

5 配电网故障定位算法

5.1 开关运行状态的矩阵描述

GIS 配电网中的各个开关状态可通过向量 S 来描述, 设 $S = [s_1, s_2, s_3, \dots, s_n]^T$, 其中 $s_1, s_2, \dots, s_n$ 为各开关的状态, 如果开关 S_1 为闭合状态, 则 $s_1=1$, 否则 $s_1=0$; 如 $S = [1, 1, 0, \dots, 0]^T$ 说明开关 S_1, S_2 为闭合状态, $S_3, \dots, S_n$ 为断开状态。

5.2 复杂配电网的故障定位算法

配电网结构复杂, 存在大量的分支结构, 通过矩

阵模型的计算诊断出故障点位置的算法较为复杂,而无分支结构的配电网故障定位可通过若干步的矩阵运算得出相关结果,技术上是可行的,因此把整个配电网看作由若干无分支结构组成的复合网即可,在复合网中,每个分支点可看作开关,该分支通电与否对应开关的闭合状态。因此整个问题可归约为无分支结构的配电网故障定位算法^[10-11]。

5.3 无分支结构的配电网故障定位

设一分支结构的开关状态 $S=[s_1, s_2, s_3, \dots, s_n]^T$, 则

$$\text{diag}(S) = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_3 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_n \end{bmatrix}$$

设 D 为开关间关联关系矩阵, 则故障信息矩阵 P' 的求法为 $P'=D \times \text{diag}(S)$; $\text{diag}(S)$ 表示把 $1 \times n$ 的开关状态矩阵转化后的对角矩阵。

经计算后的矩阵 P' 包含了故障点的判定信息, 但最终故障的准确定位必须按以下运算进行, 最终得到故障点的位置信息:

$$P=P' \oplus (P')^T$$

其中, $\oplus$ 为位之间的异或运算。

由此可以很容易地由 P 判定故障位置, P 中值为“1”的元素, 其行列数就代表了故障区两端的开关, 如 $p[6,7]=1$, 表示故障发生在开关 S_6 和 S_7 之间。

5.4 基于 GIS 的配电网故障定位算法实例

本节通过作者研究项目的工程应用实例说明如何在 GIS 平台下通过拓扑结构图的数学模型, 依据开关状态对故障段进行诊断。具体步骤如下:

- 由电网 GIS 平台下的电网结构图得出相关的简化图, 图 5 为单分支线拓扑结构图;
- 由简化图建立对应的关系矩阵;
- 经运算得出故障信息所处的架空线段区间。

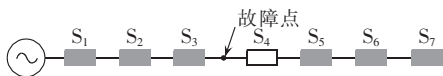


图 5 单分支线拓扑结构图
Fig.5 Single branch topology

在配电网 GIS 系统中, 线路由多档线组成, 且支线路中有多个负荷开关。其拓扑结构对应开关间的关联矩阵 D 为

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

由拓扑结构分析和故障信息向量的定义可知, 如果顶点 i 有电流通过, 则 $g[i]=1$, 反之 $g[i]=0$ 。因此 $G=[1,1,1,0,0,0,0,0]$ ^[12-14]。

由算法可知故障信息矩阵:

$$P' = D \times \text{diag}(G) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

对 P' 和其转置矩阵进行“异或”运算得到 P :

$$P = P' \oplus (P')^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

从矩阵 P 很容易判定故障位置: P 中取值为“1”的元素, 它的行和列数就代表了故障区域两端的开关节点。例如, 若 $p[3,4]=1, p[4,3]=1$, 说明故障点位于开关 S_3 和 S_4 之间。

5.5 GIS 平台下电网故障诊断模块设计

在 GIS 平台下通过引入故障诊断模型及核心算法, 设计出相应模块, 能够解决 GIS 平台下的开关定位问题。具体设计流程如图 6 所示。

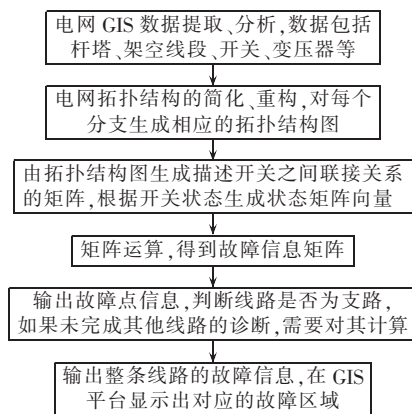


图 6 GIS 平台下电网故障诊断模块的设计流程

Fig.6 Flowchart of designed distribution network fault diagnosis module on GIS platform

5.6 现场线路故障处理

当故障点确认之后, 根据模型计算的故障信息, 系统可动态生成故障处理操作票, 工作人员根据操作票可在现场完成对应的操作^[15], 操作票格式如图 7 所示。

基于故障信息诊断的操作票流程完全通过安全操作规程实现, 各操作与 GIS 环境下线路通/断电仿真操作同步一致。

电力线路倒闸操作票

单位: 新野县城关供电所

编号: 4567

发令人		受令人	李四	发令时间:06 年 07 月 05 日 10 时 07 分
操作开始时间 99 年 12 月 30 日 00 时 12 分		操作结束时间: 年 月 日 时 分		
操作任务:新汉朝养路负荷倒至新供				
√	序号	操作项目		操作时间
	1	断开新汉线 01 断路器,位置:新汉线 020		
	2	拉开新汉线 01 断路器 01G,位置:新汉线 020		
	3	合上新汉线 40 断路器 01G,位置:新供北支010		
	4	合上新汉线 40 断路器,位置:新供北支 010		

图 7 动态生成线路操作票

Fig.7 Dynamically generated line fault removal operation order

6 结论

本文通过提取、分析 GIS 平台下的电网数据, 重新简化、构建电网拓扑结构图。在拓扑图的基础上生成矩阵模型, 使电网故障诊断建立在矩阵模型的运算上, 故障信息通过简洁的数学模型表现出来。基于数学模型运算算法的提出, 解决了 GIS 平台下空间搜索速度瓶颈问题, 实际工程应用表明提高了搜索速度和准确性, 通过 GSM/GPRS 开关状态监控, 在拓扑结构上动态反映各开关的通断状态, 为空间模型的多维处理提供了解决策略。系统自动生成线路现场操作票, 可以指导工作人员快速消除故障, 缩短停电时间, 提高供电可靠性。

参考文献:

- [1] 朱传柏, 郭创新, 曹一家. 基于调度综合数据平台的大规模电网分层故障诊断[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(1): 51-55.
ZHU Chuanbai, GUO Chuangxin, CAO Yijia. Hierarchical fault diagnosis model of a large-scale power system based on dispatch integrated information platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(1): 51-55.
- [2] 龙启峰, 陈岗, 丁晓群, 等. 基于面向对象技术的电力网络拓扑分析新算法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17(1): 73-77.
LONG Qifeng, CHEN Gang, DING Xiaoqun, et al. New method of power network topology analysis based on object-oriented technology[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2005, 17(1): 73-77.
- [3] 赵爽, 任建文. 电网故障诊断系统的一种设计与实现[J]. 华东电力, 2003, 32(11): 19-21.
ZHAO Shuang, REN Jianwen. Design and realization of a fault diagnostic system for electric power system[J]. East China Electric Power, 2003, 32(11): 19-21.
- [4] 竺炜, 穆大庆. 电力网络实时拓扑分析的两种算法的实现[J]. 长沙电力学院学报: 自然科学版, 2001, 16(2): 13-25.
ZHU Wei, MU Daqing. Two methods of power network topology analysis[J]. Journal of Changsha University of Electric Power: Natural Science, 2001, 16(2): 13-25.
- [5] 严晓蓉, 张玉洲. 地理信息系统在配电网自动化中的应用[J]. 电力自动化设备, 2000, 20(4): 52-53.
YAN Xiaorong, ZHANG Yuzhou. The application of GIS in distribution automation system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2000, 20(4): 52-53.
- [6] 张海波, 陶文伟. 地区电网设备异常和事故信号智能处理系统研究与设计[J]. 电力科学与技术学报, 2009, 22(2): 35-40.

ZHANG Haibo, TAO Wenwei. Intelligent processing system research and design for equipment abnormal and fault signals in regional power grid[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2009, 22(2): 35-40.

- [7] 刘文霞, 王志强, 马素霞. 电力系统一次接线图的自动绘制[J]. 现代电力, 2000, 17(3): 39-45.
LIU Wenxia, WANG Zhiqiang, MA Suxia. Automatic drawing for the main-line diagrams of power systems[J]. Modern Electric Power, 2000, 17(3): 39-45.
- [8] 杨以涵, 唐国庆, 高曙. 专家系统及其在电力系统的应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 53-55.
- [9] 吴欣, 郭创新. 基于贝叶斯网络的电力系统故障诊断方法[J]. 电力系统及其自动化学报, 2005, 17(4): 11-15.
WU Xin, GUO Chuangxin. Power system fault diagnosis approach based on Bayesian network[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2005, 17(4): 11-15.
- [10] 钟明慧, 周洪. 基于 GIS 的配电网络实时监控[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(12): 36-38.
ZHONG Minghui, ZHOU Hong. GIS-based real-time supervisory system for power distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12): 36-38.
- [11] 蒋雷海, 万芳茹, 徐泰山. 电力系统故障恢复方法简述[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(5): 70-73.
JIANG Leihai, WAN Fangru, XU Taishan. Review on approaches of power system restoration[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(5): 70-73.
- [12] 王飞, 孙莹. 配电网故障定位的改进矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(24): 45-46.
WANG Fei, SUN Ying. An improved matrix algorithm for fault location in distribution network of power systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(24): 45-46.
- [13] 屈刚, 李长凯. 配电网架空线路断线故障定位[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(12): 35-37.
QU Gang, LI Changkai. Fault locating of non-grounding line break in distribution network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(12): 35-37.
- [14] 张钊. 配电网故障定位的通用矩阵算法[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(5): 40-42.
ZHANG Zhao. General matrix algorithm for distribution system fault locating[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(5): 40-42.
- [15] 徐俊杰, 许先锋, 杜红卫, 等. 电网智能操作票管理系统[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(11): 98-101.
XU Junjie, XU Xianfeng, DU Hongwei, et al. Intelligent operation order management system of power network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(11): 98-101.

(编辑: 柏英武)

作者简介:

陈根永(1964-), 男, 河南禹州人, 副教授, 硕士, 主要研究方向为电力系统分析与运行(E-mail: cgyfyx@zzu.edu.cn);

陈永华(1962-), 男, 河南浉池人, 副教授, 博士, 主要研究方向为地理信息系统在电力系统中的应用、计算机图形学等(E-mail: ieyhchen@zzu.edu.cn);

贾俊洁(1982-), 女, 河南延津人, 助理工程师, 主要研究方向为电力系统运行管理;

王利甫(1982-), 男, 河南清丰人, 高级工程师, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机在电力系统中的应用;

于海(1971-), 男, 河南新乡人, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为电力系统运行管理。

Distribution network fault diagnosis algorithm based on GIS platform

CHEN Genyong¹, CHEN Yonghua², JIA Junjie³, WANG Lifu², YU Hai³

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China;

2. School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China;

3. Xinxiang Power Supply Company, Xinxiang 453000, China)

Abstract: Based on the fault diagnosis with space search technique, the simplified structure of key equipments and their mathematical models are introduced into the distribution network topology on GIS platform to quickly locate the fault and provide countermeasures. The breaker states and their topology are described by matrix and the distribution network fault diagnosis algorithm based on matrix calculation is applied to design the distribution network fault diagnosis module on GIS platform. Combined with the existing GSM/GPRS communication mode, the breaker states are quickly detected and the fault removal operation order is automatically generated on GIS simulation platform.

Key words: GIS; electric grid; fault diagnosis; topology; mathematic model