

# 基于 GIS的配电网供电可靠性定量评估系统研究

陶鹏,张焰,邱生

(上海交通大学电子信息与电气工程学院,上海 200030)

**摘要:** 重点研究如何设计基于 GIS的配电网供电可靠性定量评估系统。传统的配电网供电可靠性定量评估系统往往是孤立的系统,不便于进行数据获取以及计算结果的输出与管理。现在 GIS在配电网管理方面的广泛应用不仅大大提高了配电网的管理效率,而且还可以方便地直接为各种配电网计算与分析系统提供网络信息与设备信息。基于此,该文提出并实现了以 GIS作为数据和管理的开发平台,将传统的配电网供电可靠性定量评估系统有机地构建其上,不仅使原有的系统具备了更高的灵活性,而且方便了配电网供电可靠性评估结果的分析和管理,同时也符合目前在配电网管理中各系统相互融合与实现信息共享的趋势。该文的设计思路对于基于 GIS的其他配电网计算和分析系统也具有一定参考价值。

**关键词:** 地理信息系统; 配电网; 可靠性

**中图分类号:** TM715

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2006)13-0067-05

## 0 引言

地理信息系统 GIS (Geography Information System) 是一种以计算机技术为基础的新兴软件平台。它以地理空间数据库为基础,采用空间模型分析方法,提供多种空间和动态的地理信息<sup>[1]</sup>。GIS目前已开始应用于我国的配电网管理系统中,给配电网的运行和管理带来了科学性和高效性,为配电网自动化的实现打下了坚实基础。

配电网供电可靠性定量评估是指根据配电网的网络拓扑结构、设备电气参数和可靠性参数,应用电力系统可靠性理论来分析计算衡量配电网供电可靠性水平的各指标的过程。由于其在计算过程中需要大量数据,包括配电网拓扑数据、各类设备电气参数和可靠性参数以及电网运行状态等,因此可以借助配电网 GIS的强大功能,将传统的配电网供电可靠性分析计算软件<sup>[2]</sup>与 GIS进行有机结合,形成更方便也更具实用性的配电网供电可靠性定量评估系统。

## 1 基于 GIS的配电网供电可靠性定量评估系统特点

基于 GIS的配电网供电可靠性定量评估系统将具有以下几个特点:

(1)可以利用 GIS系统作为数据转换、补充和发送的“容器”,可以方便地获取存储在 GIS或电力企业的自动绘图及设施维护系统 (AM/PM)中的、用

于可靠性定量评估所需要的数据,包括配电网拓扑数据、各类设备电气参数和部分运行信息等,避免了传统的人工输入方式所存在的数据输入错误和不完整等缺陷,提高了正确率和工作效率。

(2)可以在 GIS上直观地录入停电记录,利用网络拓扑和地理数据自动或辅助地给出受停电影响的不同电压等级的各类用户,并按所包含的空间信息和拓扑条件进行处理分析,以及按用户自定义或系统缺省的标准格式给出统计报表。此外,还可以将配电网供电可靠性定量评估的结果通过 GIS进行集中管理,方便评估结果的考察与分析。

(3)可以在 GIS中通过更改网络结构和设备参数以及设备运行状态来相应地重新评估配电网的可靠性,预测网络结构和设备参数及状态改变后的电网供电可靠性,为电网规划或运行管理人员采取措施提高供电可靠性提供科学的决策依据。

## 2 系统设计

建立在 GIS基础上的配电网供电可靠性定量评估系统较之传统的评估系统在设计上所不同的是,首先要考虑充分利用 GIS的强大功能,特别是获取可靠性分析计算所需的各类数据,要设计合理的 GIS接口,使已有的评估系统与 GIS有机融合,达到既要能通过 GIS系统获取所需要的数据,又不会因评估系统的使用对 GIS本身造成干扰,同时评估结果和报告可通过 GIS系统进行集中管理的目的。

### 2.1 系统接口设计

基于 GIS的配电网供电可靠性定量评估系统主

要涉及到传统的可靠性评估系统与 GIS 的接口设计,分为三个部分:

### (1) 图形数据接口

本文对于图形数据接口采用复制局部电网图形的方法,即使用者在 GIS 上选定所需评估的某一区域之后, GIS 系统将根据区域中的图元信息从图形数据库中提取图形数据并形成新的用于可靠性评估的配电网图,此外,使用者还可以根据需要在此新图上进行修改图元、删除图元等操作,最终确定的配电网图即作为图形数据供可靠性分析计算程序调用。

### (2) 设备电气参数读取接口

设计设备电气参数接口的作用是为可靠性分析计算程序提供计算所需要的电气参数。本文在设计中采取了在图形数据中依次提取设备唯一编号并依此编号从设备台账数据库中读取相关参数的方法。

### (3) 设备可靠性参数读取接口

设备可靠性参数读取接口设计与电气参数接口设计类似,所不同的是可靠性参数是从设备的可靠性统计数据库中提取,这些数据将更为真实地反映设备本身的可靠性水平。

## 2.2 系统功能设计

系统在功能设计方面,将基于 GIS 的配电网供电可靠性定量评估系统分为:配电网可靠性评估、提高配电网可靠性的成本/效益分析、配电网在不同运行方式下的可靠性对比三部分,如图 1 所示。

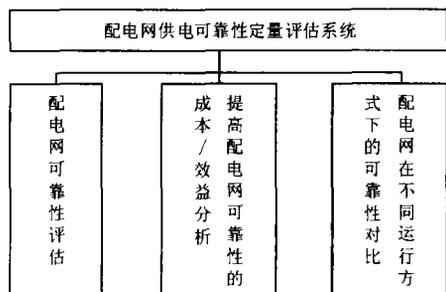


图 1 系统功能设计

Fig 1 Functional model of the system

其中的可靠性评估为基本功能,而提高可靠性的成本/效益分析和不同运行方式下的可靠性对比功能因需利用可靠性计算结果而构建于可靠性评估功能模块之上。

在三个功能模块中将根据需要,又会涉及到配电网潮流计算、配电网预想事故分析、电网改造或建设投资费与所产生的效益计算以及供电可靠性指标计算等功能。

## 2.3 系统流程设计

为了便于计算结果的比较分析,本系统在设计过程中建立了“计算项目”的概念。所谓“计算项目”是指将需要进行评估的配电网、所有计算所需要的数据和评估结果视为一个项目。使用者在进行配电网供电可靠性定量评估前,在 GIS 系统中划定所需评估的区域网络,系统则会根据此区域网络为计算过程建立一整套所需要的文件集,包括图形数据文件、设备电气参数文件、设备可靠性数据文件和配电网可靠性定量评估结果文件等。在启动可靠性分析计算程序之前,使用者可以根据需要通过可视化人机界面更改设备状态、设备参数等,在确定上述数据无误之后即可启动分析计算程序得出可靠性定量评估结果,并将整个计算文件包括结果文件等保存以便于分析和管理工作。系统的流程设计见图 2。

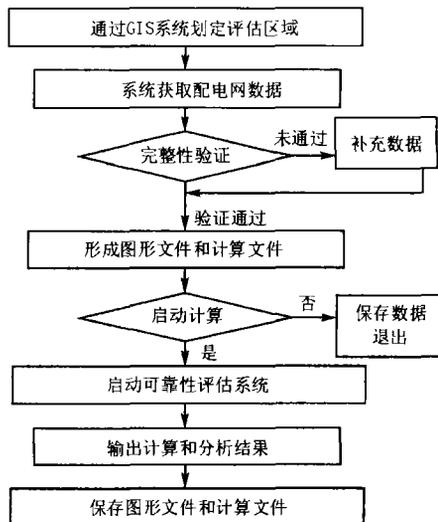


图 2 系统的流程设计

Fig 2 Flow chart of the system

## 3 各功能模块设计和关键问题处理

### 3.1 供电可靠性定量评估计算模块

由于在系统设计中采用了“计算项目”的概念,因此从操作过程的角度看,可分为新建计算项目和管理以往计算项目两部分。所谓新建计算项目指的是使用者根据需要在 GIS 中划定待评估的配电网区域,然后依照图 1 所示的流程完成计算过程。而管理以往计算项目指的是使用者在进行配电网供电可靠性定量评估之后,可以将整个计算项目保存,在积累了一定的计算项目之后即可对其进行分析比较。例如使用者可以对同一地区网络结构进行模拟调整,然后进行计算,其结果可与调整前的配电网进行

对比分析。

### 3.1.1 待评估区域的划定

在GIS中已经存储了配电网信息,如果待进行供电可靠性定量评估的区域为整个配电网中的某一部分,则需在评估之前选定所评估的区域。区域选定过程可以通过如区域选择、线路选择等手段在GIS界面上直接完成,所选中的区域经过系统处理形成一幅新的配电区域图,该图以一定格式保存为所选择区域的图形文件。正是依赖这一图形文件所提供的配电网信息,建于GIS基础上的配电网供电可靠性评估系统才可以依照设备唯一编号在各数据库系统中获取分计算所需的各种数据。

### 3.1.2 电气设备的重新分类

在GIS中,各种电气设备的分类非常细致详尽,虽然非常真实地反映了电网实际情况,但也使得构建其上的分析计算程序无法直接依照其分类建立计算模型。在配电网供电可靠性定量评估中,主要考虑的电气设备是变压器、线路、开关等,而GIS直接提供的设备分类却更为详细,如线路设备还包括变电站内的电缆段、站外的电缆段、配电线路等等。由于在可靠性定量评估系统中采用了面向对象的设计方法,所以必须在系统中加入了一个称之为“设备映射”的子过程。其含义是将GIS中各种设备类型重新划归为数种较为简单的设备类型,如站内电缆段等设备映射为线路设备,将杆刀等设备映射为开断设备等。在重新分类完成设备之后,系统即可根据网络拓扑结构和设备类型建立计算模型。

### 3.1.3 数据的完整性检测

配电网供电可靠性评估系统构建在GIS之上后,理论上,分析计算所需的全部数据都可以通过GIS或AM/EM直接获取。但在实际应用过程中,考虑到数据来源方直接提供的数据可能出现不完备的情况,因此在进行计算之前,系统将对所需的数据进行完整性检测,检测的主要内容包括网络拓扑信息、设备电气参数、设备状态和可靠性参数等。检测之后如果发现数据缺失,系统将自动给出提示,允许使用者通过人工设定的方式补充各缺失数据。

### 3.1.4 供电可靠性定量评估的计算过程

评估配电网供电可靠性的指标包括电力用户点指标和配电网系统指标,主要有用户平均停电持续时间指标(CADI)、用户平均停电频率指标(CAIFI)、系统平均停电频率指标(SAIFI)、系统平均停电持续时间指标(SADI)、系统平均供电可用率指标(ASAI)。其计算过程如下:

从GIS中读入配电网数据。

进行预想事故分析:对每台设备,枚举相应的故障事件。

从故障设备的两端进行深度搜索,得到由故障引起的停电区域,并区分可操作恢复供电区域和不可操作恢复供电区域;对于可操作恢复供电区域为可以先行模拟恢复送电,对于不可操作恢复供电区域,因受故障点直接影响,待设备检修好后才能恢复送电的区域。

对可操作恢复供电区域求取负荷可转移的路径。

通过广度搜索得到模拟负荷转移可能引起潮流变动的线路。

进行潮流计算,如果负荷转移成功则进入下一步,否则返回求取新的负荷转移路径。

根据故障后的可操作恢复供电区域和不可操作恢复供电区域进行可靠性指标计算。

检查预定的故障事件是否枚举完毕,没完成,则进入。

### 3.1.5 评估结果的管理

管理评估结果的目的是帮助使用者更为有效地利用这些计算结果。主要功能包括查询以往计算项目或者提取多个计算项目进行对比分析等。例如,在进行实际的配电网改造之前,可以在系统中模拟改变配电网结构并进行计算,或对数个改造方案进行对比分析,所得到的结果可以作为选定改造方案的参考依据。同时,由于GIS和电力系统中其它数据系统有逐步融合的趋势,因此,配电网可靠性定量评估结果可以在各级管理系统中方便地查询,有利于电力企业的可靠性管理。

### 3.2 提高配电网供电可靠性的成本效益分析模块

本系统中所设计的成本效益分析模块是建立在前面所述的可靠性评估计算模块基础之上的。在GIS系统中划分出待评估区域后,使用者可根据需要直接在图形化界面上通过增加或删除设备来模拟地改变配电网结构,以及通过改变设备参数和输入配电网改造成本来模拟地形成配电网改造方案,则系统将根据方案形成新的图形文件和计算文件来进行为:提高配电网供电可靠性而产生的成本效益分析分计算<sup>[2]</sup>,其中的效益用停电量的减少来衡量,主要与ENS和AENS这两个可靠性指标的计算有关。在形成数个改造方案和计算结果后,使用者即可进行对比分析,以决策何种改造方案最好。

### 3.3 配电网不同运行方式对比模块

此模块的设计原理和成本效益分析模块类似,主要目的是在不同的负荷水平下,通过在图形化界面上直接改变开关状态来模拟地改变配电网运行方式,计算不同运行方式下的配电网供电可靠性,以供运行调度人员参考。

## 4 应用举例

为了验证系统设计的合理性和实用性,本文在上海某地区配电网 GIS系统中选取了如图 3所示的局部 10kV 配电网图,其中一部分经放大后如图 4所示。

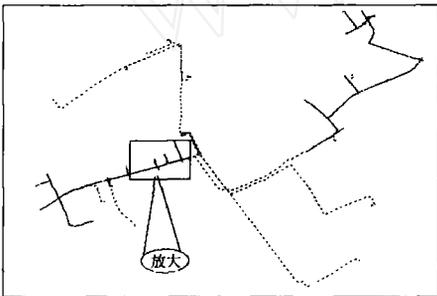


图 3 某 10 kV 配电网局部网图

Fig 3 One part of a 10 kV distribution system

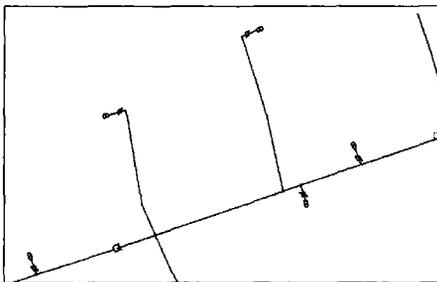


图 4 配电网的局部放大图

Fig 4 A magnified figure of the distribution system

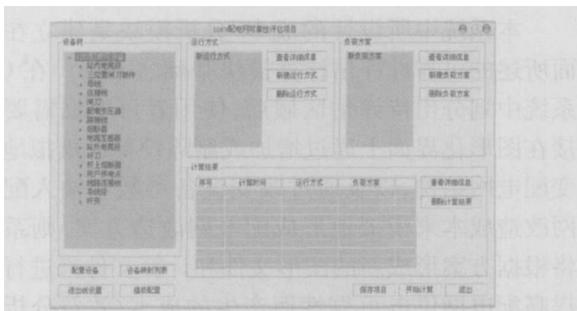


图 5 配电网可靠性定量评估系统主界面

Fig5 Main interface of the quantitative assessment system for distribution network reliability

在选取上述配电网图之后,系统将自动从 GIS

数据库获取分析计算用的配电网数据,并出现如图 5所示的界面。在界面上分布有设备树等一系列信息窗口。通过此界面,使用者可以方便地更改数据,例如对负荷数据进行修正等。

启动可靠性计算程序之后,若不出现数据不完整的情况,则系统将给出评估结果,见表 1。

在如图 6所示的界面上,将给出评估计算的基本信息如配网图名称、运行方式等,其计算结果包含系统供电可靠性指标和预想事故分析结果。

表 1 算例结果

Tab 1 Calculation results of the example

可靠性指标	计算结果
SAIFI	14.491556次/户·年
SADII	3.594375小时/户·年
CADII	10.913425小时/停电户·年
ASAI	99.961251%
ENS	25.378862 MWh/年
AENS	1.409937 MWh/年·户

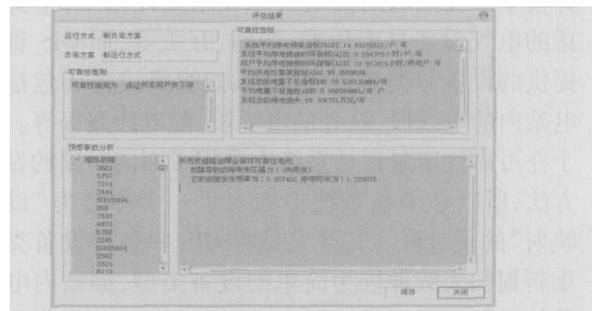


图 6 配电网可靠性定量评估系统评估结果界面

Fig 6 Result interface of the quantitative assessment system for distribution network reliability

## 5 结语

通过构建基于 GIS的配电网供电可靠性评估系统,可以方便地由 GIS系统获得配电网电气接线图及计算用数据,从而实现对配电网(尤其是复杂的大规模配电网)供电可靠性进行评估和进行成本效益分析等。由于采用 GIS能够随时提供与现场情况相一致的数据,因此构建在此平台上的可靠性评估系统能够对指定的配电网进行准确的分析与评估。电网规划人员可以以可靠性计算结果和成本效益分析结果作为合理制定配电网规划方案或改造方案时的技术经济衡量指标;电网运行管理人员可以根据计算结果找出配电网供电可靠性的薄弱环节以及最佳运行方式,为及时采取措施提高配电网供电可靠性提供科学决策依据。

## 参考文献:

- [1] 陈述彭,鲁学军,周成虎. 地理信息系统导论 [M]. 北京:科学出版社, 2000.  
CHEN Shu-peng, LU Xue-jun, ZHOU Cheng-hu The Basic Theory of Geography Information System [M]. Beijing: Science Press, 2000
- [2] 邱生,张焰,陶鹏,等. 配电网可靠性定量评估及成本效益分析软件包研究 [J]. 华东电力, 2004, 32(12): 18-21.  
QU Sheng, ZHANG Yan, TAO Peng, et al Study of Quantitative Assessment and Cost/benefit Analysis Software Package for Distribution Network Reliability [J]. East China Electric Power, 2004, 32(12): 18-21.
- [3] 贾小云,王立梅. 配电网管理 GIS系统设计方案 [J]. 高电压技术, 2005, 31(1): 75-76  
JIA Xiao-yun, WANG Limei Design of Management System for Electrical Power Distribution Network Based on GIS [J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(1): 75-76
- [4] 倪建立,孟令奎,王宇川,等. 电力地理信息系统 [M]. 中国电力出版社, 2004.  
NI Jian-li, MENG Ling-kui, WANG Yu-chuan, et al Geography Information System for Electrical Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [5] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 1986  
GUO Yong-ji Principle and Application of Power System [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1986
- [6] Lockwood D M. Distribution Reliability Cost/benefit Analysis Software [Z]. IEEE, 1995.

收稿日期: 2005-09-19; 修回日期: 2005-11-21

## 作者简介:

陶鹏 (1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统可靠性和人工智能在电力系统中的应用; E-mail: taop99@sjtu.edu.cn

张焰 (1958-),女,教授,博士生导师,主要从事电力系统规划及电力系统可靠性等方面的教学和研究工作。

### Research of quantitative assessment system for distribution network reliability based on GIS

TAO Peng, ZHANG Yan, QU Sheng

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** The paper focuses on how to design a quantitative assessment system for distribution network reliability based on GIS. The traditional quantitative assessment system usually is an isolated system and inconvenient to get data and to manage the results. With the broad application of GIS in the management system of distribution, it has not only improved efficiency of the distribution management, but also provides original data to different kinds of analysis systems. Based on the status, the paper puts forward and realizes a quantitative assessment system for distribution network reliability using GIS as a data and management platform, which possesses more flexibility and makes the management of results more convenient, while it is suitable for the trend of amalgamation and information sharing for all management systems. It has also a reference value for other GIS-based distribution network calculation and analysis.

**Key words:** GIS; distribution network; reliability

(上接第 24 页 continued from page 24)

### Time delay impact on the performance of the power system stabilizer

SHI Jie, WANG Cheng-shan

(School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** Damping of low frequency inter-area oscillations using Power System Stabilizer (PSS) may require remote signals. In this case, time delays are associated with the signal transmission. Long delays may be detrimental to the performance of PSS. In this paper, PSS loops are chosen according to the controllability and observability and PSS parameters are coordinated by means of evolutionary strategy. Pade approximation is used to approximate and written in the form of state space, by which the impact of time delays can be gauged by regular approach. The method has been applied on a 4-machine test system and the simulation results verify the validity.

This project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50595412).

**Key words:** power system stabilizer; inter-area oscillation mode; remote signals; time delay; evolutionary strategy; Pade approximation