

# 电力系统低频减载分析软件包的开发和应用

王冲<sup>1</sup>,解大<sup>1</sup>,陈陈<sup>1</sup>,俞旭峰<sup>2</sup>

(1.上海交通大学电气工程系,上海 200030; 2.上海电力调度通信中心,上海 200010)

**摘要:** 低频减载是控制电力系统一般故障及大面积复杂故障重要而有效的手段。合理而快速地切除负荷或解列,可以使整个电网在最短的时间内恢复至稳定运行状态,切负荷的整定计算必须合理精确,以最小的切负荷量在最短的时间内使系统频率恢复正常。文中的切负荷软件包由系统数据库建立、数据转换和导入、频率计算和分析以及切负荷方案优化等模块组成,能根据系统的参数特性和运行要求给出最优方案,且具有友好的人机界面和便于维护更新的系统数据库,在上海电网的应用及仿真表明了上述优点。

**关键词:** 低频减载; 频率分析; 数据池

**中图分类号:** TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)13-0055-04

## 0 引言

电力系统发生大面积严重复杂故障时必须采取紧急控制,第三道防线就是应对的策略,低频减载<sup>[1]</sup>是重要而有效的手段,在一般的系统运行状态下也是有效的控制手段。必须有计划、合理而快速地切除负荷或解列,在分区内迅速调整发电出力,使发电、输电、用电之间形成新的稳定匹配,以维持整个电网的稳定运行。切负荷的整定计算和方案确定要合理而精确,以最小的切负荷量在最短的时间内使系统频率重新恢复至正常范围。本软件中切负荷分析只是其中一个功能,软件由建立系统数据库、系统数据转换和导入、分析计算、方案的选择和优化等部分组成。数据库的建立是将分析系统的网架数据、节点、发电机、变压器等信息填入各表,形成数据库的基本信息。数据导入部分,是将BPA等仿真软件的计算数据源文件通过数据转换处理再导入数据池,并可以进行不同数据格式之间的转换,也会在数据库中形成表,储存节点电压、功率、相角等信息。分析计算部分可进行频率分析,分析选定系统或机组的机端频率特性、校验切负荷方案是否能够在系统中安全运行,并进行方案优化,这是软件中的主要部分。

## 1 软件的系统框架和计算原理

### 1.1 软件的数据库结构

电力系统数据庞大复杂,而且一般的电力运行部门和科研院所都具有某些大型仿真软件的数据源文件或数据卡,如BPA,NETOMAC等。针对这些情况,在进行该软件的系统数据库架构时引入了数

据池的概念:已有的数据源文件可以作为数据库的导入源,而且各种仿真软件都可与这种特殊形式的数据库方式交互,这种数据导入、维护和更新较为特殊的数据库结构就是数据池。电力系统多仿真软件数据池<sup>[2]</sup>是一个针对电力系统各种常用仿真软件的数据集合,这个数据集合是以电力系统仿真软件的数据源文件为基础,根据电力系统的基本关系和表达式、约束条件以及人工干预,建立起相对完整的电力系统计算数据集合,从而实现了从数据源文件读取、辨识、转换成各种分类数据库,如系统节点数据库、发电机数据库等等。同时,为自行研究开发软件提供结构化的便于查询的系统数据库。

对应于电力系统多种仿真软件,考虑建立一个可以包括基本数据的数据集合,以及包括对应于不同系统的特殊的数据集合,两个数据集之间,采用关系型数据库结构进行联系。一般说来,数据基库应该包含固定产品的信息,例如,发电机的数据可以进入基本数据库,在基本数据库中,保存各种发电机的型号、容量、额定电压、额定功率因数以及各种电抗和时间常数等,这些数据表示了电力系统应包括的基本信息。针对于不同系统的集合中的数据则具有特殊性,此数据库主要包括该电力系统的特殊信息,例如,对于发电机的数据,需要提供节点名称和节点编号,需要提供相应的出力、功率因数等等,这些数据主要描述了该电力系统的拓扑结构和系统的运行状态等。

可以建立数据系统总体结构如下图1所示。

以上述数据池为基础,将电力运行部门提供的仿真软件如BPA的数据源文件,导入数据池,在SQL-Sever数据库中建立相应的数据表,通过Del-

phi6 强大的数据库管理功能,读取相应的表,按条件查询读取相应的数据用于分析计算。

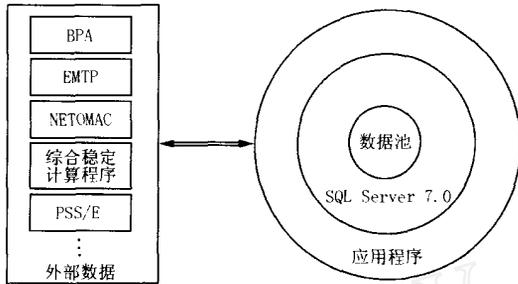


图1 数据系统总体结构示意图

Fig. 1 Overall structure of data system

## 1.2 计算分析流程

在上述的系统数据转换、导入和数据库的建立完成后,就可对所要分析的电网进行频率特性的计算、低频切负荷计算。流程图见图2。

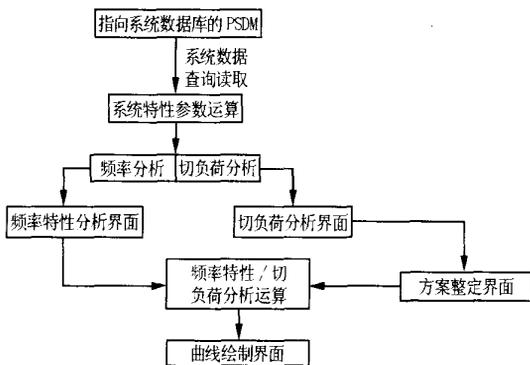


图2 计算流程图

Fig. 2 Calculation procedure

其中,PSDM 作为程序读取物理数据库的中间桥梁,是一个数据库构件的集合,其中所包含的数据库构件指向了各种数据表,如系统节点数据表、发电机数据表,负荷数据表等,程序中与系统相关的参数数据都是通过这些构件从 SQL - Sever 的一系列表中读取。然后,可计算所研究系统的负荷、出力和系统惯性常数  $M^{[3]}$ 。根据不同要求,在频率特性分析界面和切负荷分析界面中进行分析设置和计算绘图。

图中的流程和界面将在后面详细提到。

## 2 软件的功能和界面

应上海市电力调度中心的要求,编写软件仿真分析上海电网现行低频减负荷方案,判断上海电网分层分区运行后,能否起到稳定防线的作用。

本软件采取 Delphi6 构件界面,SQL - Server 组建数据库,将上海电力调通中心提供的 BPA 格式

数据导入数据池,并转化为可用格式,通过读取数据库,统计计算出需要的数据,如分区有功出力、有功负荷以及系统惯性常数  $M$  等,再依据要求的算法程序,计算出频率曲线。

### 2.1 软件的功能要求

低频减负荷软件的具体要求为:

1) 能够为研究功率缺额情况下切负荷量、轮次、频率之间的关系提供方法,分述如下:

a. 在给定系统切负荷量、轮次的条件下,可以给出频率变化曲线;

b. 在给定切负荷量和频率要求的条件下,计算切负荷的轮次,并能够优化;

c. 在给定频率要求的条件下,计算推荐切负荷的总量,并分配轮次;

d. 在满足国家标准的情况下,不考虑机组调速器的作用,如果不能满足国家标准,考虑等价机组调速器的作用,模型依据为《国家标准》<sup>[4]</sup>和经典模型两种情况,此时:

可以依据国外推荐的经典参数计算;

可以由人机对话界面给出合适的参数计算;

由调研的情况,综合上述两种参数,确定参数进行计算。

e. 本软件不考虑多机组调速器的影响。

以上的计算需要做到完全的人机对话功能。上述的计算所采用的依据为《中华人民共和国电力行业标准:DL 428 - 91》(所采用的计算公式为第一章(5)、(12)),其中负荷的频率调节系数依据国家标准的推荐值,程序将记录每次低频事故过程分析的结果,提出合适系统的推荐值。

2) 为区域电力系统切负荷量的分配提供方法,详细如下:

a. 实现上海地区各个电力公司的负荷划分、负荷总量统计、负荷一览表等;

b. 实现上海地区某一情况下功率缺额的计算,应用软件功能 1) 中 c 子项计算出切负荷量;

c. 分配上述切负荷量到上海各个分区,形成打印报表;

d. 分配上述切负荷量到上海各个电力公司,形成打印报表;

e. 在上述切负荷方案不能满足频率要求的情况下,推荐上海系统的解列点;

在给定分区系统或推荐分区系统的情况下,计算上述的各种指标。

根据以上要求,经分析,在程序中分别在以下两



到 Excel 文件中。整定完成后,点击“方案确定”按钮回到低频切负荷分析界面,点击“系统推荐”按钮,进行系统出力,有功负荷以及 M 等的计算;点击“绘制曲线”,弹出绘图页面,并绘出图形,页面与图 4 中相仿。

### 3 上海地区电网算例

#### 3.1 上海电网特性分析

本软件在完成构架,设计界面,编写代码和调试后,以上海地区电网为算例进行频率和相关分析。

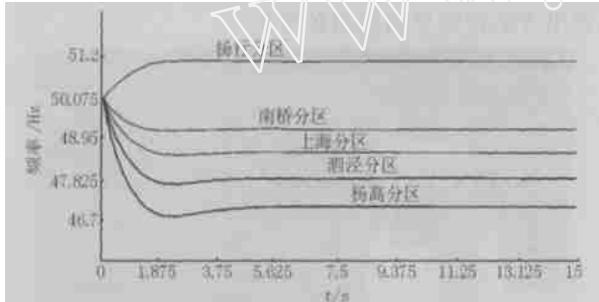


图 7 上海及其下属分区的计及调速器模型

Fig. 7 Governor-related models of Shanghai and its subordinate areas

通过在频率特性分析界面中的设置,分析了上海与华东电网解列,以及上海各个下属分区解列时的频率状况,其中上海所属 5 个子分区中的黄渡分区因无有功出力,无法进行频率分析;而杨行分区因有功出力大于该分区的总负荷,而使其孤立后的频率上升。图 7 给出了计及调速器模型下的频率特性的仿真曲线,可见以上各系统除杨行分区外孤立后频率都降至允许范围以下,需进行相应切负荷操作。

#### 3.2 上海电网切负荷方案分析

表 1 给出 2002 年上海电网的基本参数。表中参数基于数据库的统计计算,是上海电网与华东网断开时,系统各分区运行数据总和。由表中可得,系统出力远小于负荷,功率缺额占系统总负荷的 21%。根据使系统最终频率恢复到 49.5 Hz 以上的原则,建议切负荷量在表 1 中给出。

表 1 上海电网基本参数

Tab. 1 Fundamental parameters of Shanghai power network

出力/MW	负荷/MW	功率缺额/MW	M	建议切负荷量/MW
9460	12084	2624	77512.8750	2537.64

根据以上数据,进行切负荷方案的选择和优化,基本轮动作 4 步,后备轮动作 1 步,共切除负荷

23.5%。仿真计算系统频率的变化,得到如下曲线图 8,频率值如表 2。

表 2 上海电网切负荷频率值

Tab. 2 Frequency value of load shedding in Shanghai power network

	频率值/Hz	时间/s
最低频率	47.768	4.5625
最终频率	50.703	50

从图 8 的仿真结果可见,系统频率在 4.5625 s 时降到最低点 47.768 Hz,并不再下降,开始回升,并在后备级的作用下,直至终值 50.703 Hz。虽然初始动作频率为 49 Hz,但是由于存在时延 0.5 s,切负荷装置直到低于 48.5 Hz 时才动作,切去第一步负荷,系统频率继续下降,4 轮后,频率到达最小值并开始回升,并在一轮后备轮的动作下,回升至 50 Hz 以上。

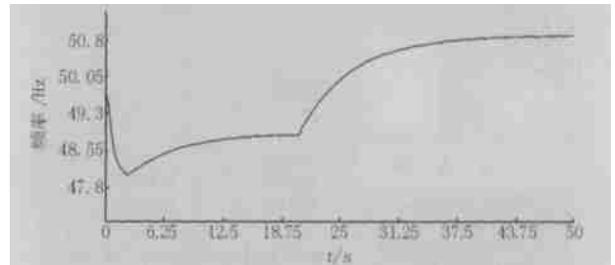


图 8 上海电网频率变化图

Fig. 8 Frequency response of Shanghai network

## 4 结论

低频减载作为系统运行中有效的控制手段,必须有准确而最佳的整定方案。本软件采用了独特的数据池结构,直接从标准的数据源文件读取、转换和形成数据库,具体实施则借助了高级可视化语言 Delphi 6.0 强大全面的数据库管理功能和计算绘图功能,为运行人员提供了准确快速的频率特性分析、切负荷方案选择和优化,并能高效地维护更新系统数据库。在与上海电力调度中心的合作开发和仿真表明,本软件为运行人员调度和年度运行方案提供了科学合理的参考和指导。

### 参考文献:

- [1] 杨博,解大,陈陈,等(YANG Bo, XIE Da, CHEN Chen, et al). 电力系统低频减载的现状和应用(Current Status of Low Frequency Load Shedding in Power System and Its Application) [J]. 华东电力(East China Electric Power), 2002, (9): 14-18.

(下转第 67 页 continued on page 67)

- [3] 栗然,卢锦玲,盛四清(LI Ran, LU Jir-ling, SHENG Si-qing). 基于关系数据库的电网结构知识表示(Power System Structure Knowledge Expression Based on Relationship Database)[J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems),2002,26(9):71-74.
- [4] 党德玉,张炜(DANG De-yu, ZHANG Wei). 一种基于动态数据库的电网接线实时显示系统(A Realtime Display System of Electrical Power Network Topology Based on Dynamic Databases)[J]. 计算机应用研究(Application Research of Computers),2002,19(3):91-93.
- [5] 卢学军,缪思恩,王一欧,等(LU Xue-jun, MIAO Si-en, WANG Yi-ou, et al). 故障诊断专家系统知识处理及知

识库管理方法研究(Knowledge Management of Fault Diagnosis Expert System)[J]. 计算机工程与应用(Computer Engineering & Application),2001,37(24):167-169.

收稿日期: 2003-09-24; 修回日期: 2004-10-24

作者简介:

刘丽芳(1977-),女,硕士研究生,从事电力系统稳定控制、计算机应用的研究;E-mail: llf1949-cn@sina.com

邓长虹(1963-),女,副教授,博士,硕士生导师,主要研究领域为电力系统稳定控制、电力系统仿真、人工智能在电力系统中应用等。

### Application of Microsoft.NET for user application software of transient stability control in power networks

LIU Li-fang, DENG Chang-hong

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

**Abstract:** This paper introduces Microsoft.NET framework and C# language, compares them with other frameworks and languages, and indicates their bright future. Combined with the developing experience of Central China power system transient stability user application software, the advantages of developing a user application software of transient stability control in power networks by Microsoft.NET is described. The software is noticeable in: powerful function to handle datadase expediently, plentiful User Controls to design component easily, the OOP language fitting for developing expert system and applications of Web service. The practice has verified that Microsoft.NET framework is a very good choice for Windows interface deviser.

**Key words:** .NET framework; C# language; database; power system stability

(上接第 58 页 continued from page 58)

- [2] 徐凤,李政道,解大,等(XU Feng, LI Zheng-dao, XIE Da, et al). 电力系统多仿真软件数据池在华东电网的应用(Data Pool of Power System Simulation Package and Its Application in ECPN)[J]. 华东电力(East China Electric Power),2001,(12):1-3,73.
- [3] Prabha Kundur. Power System Stability and Control [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),2001.
- [4] 中华人民共和国电力行业标准(Electric Power Industry Standard of China). 电力系统自动低频减负荷技术规范

(Rules of Automatic Low-frequency Technology for Electric Power System)[S].

收稿日期: 2003-10-20; 修回日期: 2003-11-18

作者简介:

王冲(1978-),男,硕士研究生,方向为电力系统 FACTS 研究,电力系统仿真;E-mail: sjtuchong@163.com

解大(1969-),男,副教授,主要从事电力系统仿真和电力系统 FACTS 研究;

陈陈(1938-),女,教授,博士生导师,IEEE 高级会员,研究方向为电力系统稳定控制。

### Development and application of power system under-frequency load shedding analysis software package

WANG Chong<sup>1</sup>, XIE Da<sup>1</sup>, CHEN Chen<sup>1</sup>, YU Xufeng<sup>2</sup>

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Electric Power Dispatching & Communication Center, Shanghai 200010, China)

**Abstract:** Under-frequency load shedding is an important and effective means to control common faults and large-scale complicated faults in power system. Cutting load correctly and quickly can make the whole system return to stable state in the shortest time, and the setting calculation of load cutting must be reasonable and precise to achieve the goal with minimal quantity of load cutting within shortest time. The proposed software package is composed of database foundation, data conversion and input, frequency computation and analysis, and load-cutting scheme optimization. The package can offer improved solution according to system parameters and regulation request, and it has convenient interface and easily-maintained and renewable database. Such superiorities are verified via the application and simulation in Shanghai power system.

**Key words:** under-frequency load shedding; frequency analysis; database pool