

# 配电自动化系统高级应用软件(PAS)及其算法

苏红峰, 魏蛟龙

(华中理工大学电子与信息工程系, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 提出了配电自动化系统的建模思路及8种高级应用软件的主要功能和算法, 并对各种算法的优缺点进行比较, 提出了其中的一些推荐算法。

**关键词:** 配电自动化; PAS; 建模; 算法

**中图分类号:** TM76; TP319 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)11-0005-04

## 1 引言

1.1 配电自动化系统的高级应用软件(简称PAS)是建立在配电网建模的基础上的。利用配电自动化系统中的SCADA子系统,采集配电网各节点的实时数据,作为PAS的高级应用计算的数据源。利用PAS,可掌握配电网当前的运行状态,拥有有利的调度工具。PAS主要包括以下几种功能模块:网络拓扑分析、网络重构、状态估计、在线配网潮流计算、负荷预报、短路电流计算、电压/无功优化、电容器投切控制、掉电管理、工作单/操作票管理、故障投诉热线电话管理、配电系统操作模拟等。本文简要介绍建模、前8个需要实用算法的模块的具体功能,并对其实现算法进行讨论。

1.2 PAS中的各软件模块都应有实时和研究2种方式;其启动方式可以选择:定时、按事件或操作员请求;各软件模块应共享1个系统模型、共享1个核心数据库;计算过程应在5s内完成,精度保证4位有效数字。

## 2 网络建模

2.1 用于建立和维护配电网数据库,为PAS软件模块定义配电网的网络结构。配电网建模不宜照搬输电网络EMS建模方法,在数据库结构中,数据或模型是按层次组织的,与EMS不同的是通过定义一些新的物理模型来描述配电馈线、馈线段、电源(输电网部分),以避免引入大量“虚电站”、“虚母线”,而且应充分考虑配电网R/X值大、辐射状馈线结构的特点,提供对其的专门描述,并为用户提供简洁的网络建模方法。此外,配电网建模还应考虑和AM/FM/GIS系统集成,以便能直接从AM/FM/GIS数据库生成网络数据库。

## 2.2 配电网数学模型参数

配电网数学模型包括:导线、变压器、开关、电容器、负荷和电源,它们按变电所和电压等级进行排列。在建立模型时需考虑下列因素:

- 根据导线的种类、线径、布置、长度等自动计算出参数;
- 开关有断路器、刀闸和熔丝之分;
- 需要考虑负荷的电压和频率特性及各种负荷所占的比例。

配电网模型(数据库)的建立和维护,必须提供专门的应用软件,这些应用软件允许用户直观填写模型和参数,并能进行自动校核。模型应考虑SCADA、LMS、AM/FM/GIS及MIS的接口。所建立的模型可供所有的网络分析功能使用。

## 2.3 配电网数学模型应具备的功能

- 网络数据库的定义与创建;
- 从实时数据库中取出数据;
- 数据库关系维护和录入数据的自动校核;
- 数据断面的存取、拷贝、管理;
- 画面生成和维护;
- 在数据库和断路器实时状态的基础上建立母线模型;
- 提供网络分析功能所需的基本拓扑信息。

## 3 PAS中8个软件模块及算法

### 3.1 网络拓扑分析

#### 3.1.1 主要功能

网络拓扑分析也称“网络结线分析”,主要功能是依据实时开关状态和网络元件状态将网络物理结点模型化为计算用母线模型,并将有电气联系的母线集合化为电岛。网络拓扑是各种应用软件的前提。可以被状态估计、调度员潮流、自动电压控制、

无功优化、安全分析和调度员模拟培训等应用软件调用。

网络拓扑分析实时处理开关信息的变化,自动划分发电厂、变电站的计算用结点数,形成新的网络结线,随之分配量测量和注入量等数据,给有关的应用程序提供新结线方式下的信息与数据。

### 3.1.2 结线分析

结线分析的主要功能是把上述由用户建立的基于结点的物理模型转换成可供配电潮流、短路计算、网络重构等使用的数学模型。网络结线分析的主要要求是可靠、快速和有效。其中的搜索过程实际上是检查某个开关变位是否导致其两端母线的对应变化。

## 3.2 网络重构

### 3.2.1 主要功能

在正常运行条件下,通过开关操作调整网络结构,强行控制网络中的有功和无功流,实现负荷转移,达到降低网损的目的。

### 3.2.2 算法

a. 算法 1: 启发式方法和数学优化技术或二者的组合。启发式方法的使用源于缩小重构问题的搜索空间的需要。数学优化技术则包括线性规划、动态规划;

b. 算法 2: 基于人工智能(AI)的方法:包括专家系统和神经网络;

c. 算法 3: 遗传算法(GA):该法尤其使用于病态优化问题,这是因为 GA 算法直接使用适应函数作为搜索方向,不需要任何数学假设就可以从一个群体开始快速完成全局搜索。缺点在于遗传的交叉操作有可能产生坏的个体,尽管有算法可去掉这些坏个体,但这不可避免地会耗费 CPU 时间。另外,编码和解码方法的复杂性也会降低算法的速度;

d. 算法 4: 基于模糊控制的进化论方法(FCEP):与 GA 算法比较而言,FCEP 使用控制参数,而非编码。FCEP 产生后代的方法是变异和竞争,而非复制、交叉。FCEP 通过使用一个基于一些启发式知识的模糊控制器调整变异率,以达到加速进化进程的目的。等式和不等式约束通过惩罚因子被嵌入到适应函数当中。

3.2.3 推荐采用算法 4。

## 3.3 状态估计

### 3.3.1 主要功能

利用 SCADA 的断路器状态(变化)和量测数据并补充母线的负荷预报的伪量测数据,检测与辨识

不良数据,估计出全配网完整、一致、可信的实时网络状态,向其它应用软件提供可靠、全面的实时运行方式。主要功能应包括以下几个方面:

a. 利用母线负荷预报、发电计划、电压调节计划等作为伪量测,保证全网的可观性;

b. 采用正交化分解算法和稀疏技术保证最佳数据的稳定性;

c. 采用基于预报残差的不良数据辨识法,保证最强的不良数据辨识能力;

d. 采用量测误差估计法,在线监视量测偏差和方差;

e. 在线网络状态监视。

### 3.3.2 算法

a. 算法 1: 基于量测变换的支路功率法:以系统化的量测变换方法为理论指导,以支路功率作为状态量,将各种功率量测变换为状态量的线形函数,大大简化了配电状态估计的求解。这种基于量测变换的支路功率法具有收敛可靠快速、估计精度高、数值条件好、量测适应性好和编程简单的优点;

b. 算法 2: 基于配电匹配潮流的算法:考虑到配电系统的实时量测冗余度低,该算法将状态估计问题转化为一种系统化的配电匹配潮流方程的求解问题。即实时量测的残差为零,被严格匹配,而对预报的负荷数据进行修正,修正量与状态估计结果中负荷伪量测的残差量一致,记为(RP,RQ),称这种严格匹配实时量测的配电潮流为配电匹配潮流。而最优匹配潮流实质上是在 RP,RQ 空间上寻优;

该算法继承了常规配电潮流前推回代法编程简单、收敛性好、数值稳定性好、计算效率高等几乎所有优点,在计算量上与常规配电潮流相当,算法性能明显优于需要矩阵运算的状态估计算法。

### 3.3.3 推荐采用算法 1。

## 3.4 在线潮流计算

### 3.4.1 主要功能

根据给定的网络结构及运行条件,求出整个网络的运行状态,其中包括各母线的电压、网络中的功率分布及功率损耗等。主要功能应包括:

a. 提供多种算法,可以选择 N-R 法、P-Q 分解法和最优乘法其中一种;

b. 数据有多种来源,可以取实时、历史和未来的各种运行方式;

c. 从网络建模取新建的运行方式;

d. 从保存的运行方式中取历史方式;

e. 从状态估计取实时方式。可人工设置系统平

衡母线,也可由程序自动选择,平衡母线上的失配功率可以按计算的需要确定调整机组和调整系数;

f. 当电力系统因故障解列成几个小系统时,可对各个子系统进行潮流分析;

g. 记录潮流迭代信息;

h. 记录残差和控制量的变化情况。

### 3.4.2 算法

潮流算法很多,主要有以下几类:

a. 算法1: 母线法:此类方法以母线的注入量为自变量列出潮流方程,可有效处理分支线、双电源问题,计算有稳定性,但算法一阶收敛;

b. 算法2: 支路法:此类方法以配网的支路数据为研究对象列出潮流方程,面向支路前推回代。典型算法有以支路电流为状态量的回路法,以支路网损为状态量的前推回代法。对分支线、双电源处理麻烦,算法一阶收敛,有稳定性;

c. 算法3: 基于节点注入电流模型的配电网潮流算法:该法与Newton法类似,可有效地处理分支馈线,可解决多回路、多电源的配电网问题,并具有二阶收敛速度,且每次迭代所需时间比Newton法少。从算法的稳定性上看,该法也比Newton法好。

### 3.4.3 推荐采用算法3。

## 3.5 负荷预报(包括系统负荷预报和母线侧负荷预报)

### 3.5.1 主要功能

利用SCADA数据在线进行超短期和短期的全网负荷预报,母线负荷预报层次模型是由网络建模软件完成,预报参数由状态估计在线修改(或人工),负荷预报为状态估计提供伪量测,为潮流提供未来的负荷数据,以组成假想方式。

### 3.5.2 算法

a. 算法1: 模糊逻辑与神经网络的混合使用算法。该算法用于提前一天进行短期负荷预测,Kohonen网在日期类型的基础上进行负荷的分类;多层传感器进一步处理从Kohonen网输出的数据,进行与气温相关的校正;这些从神经网络输出的预报数据在经过一个后信息处理机的模糊处理后,才是最终预报结果。

神经网络被成功地用于在无关联的输入输出间找出其非线性联系,并在各个训练模型间进行普遍化处理。后信息处理机在预报非正常天气时或特殊日子的日负荷曲线时特别有用,而所谓的特殊日子即无充足的历史数据供神经网络学习的时间。后信息处理机的输入包括:日期类型、日最高/最低气温、

节假日标志、节假日前/后标志。这些变量在决定模糊规则的每小时输出因子上起到关键作用。神经网络每小时的预报输出与以上输出因子相乘,“拉长”或“压缩”负荷模型,实现最正确的预报。后信息处理机提高了预报模型的鲁棒性,另外,它还避免了大量历史数据的使用和根据输入数据的变化而进行的反复训练;

b. 算法2: 基于径向基函数(RBF)的短期负荷预测算法。RBF网是一种两层前向网络,该算法采用快速混合算法有效解决了径向基函数网络的学习问题,学习样板选择时综合和考虑了日期类型、温度、天气等因素的影响;

c. 算法3: 共轭梯度ANN算法:针对传统BP算法的缺陷,提出了基于共轭梯度优化技术的ANN学习算法,ANN模型综合考虑了温度、天气的影响,且可进行工作日、一般休息日和节假日的预测;

d. 算法4: 基于ANN和模糊控制相结合的电力负荷短期预测方法:通过优化训练样本、变步长和变动量因子来改进BP算法,并采用在线自调整因子的模糊控制对预测误差进行在线智能修正,提高了预测精度。

### 3.5.3 推荐采用算法4。

## 3.6 短路电流计算

### 3.6.1 主要功能

电力系统在运行中常常受到各种突然的扰动,这些扰动使电力系统处于暂态过程中,这时运行参量可能发生较大的变化。暂态过程中运行参量的变化可能会造成对系统的危害。

电力系统故障计算是电力系统不正常运行方式的一种计算,短路电流计算是电力系统最常用的计算之一。不论选择、校验电气设备的性能,还是继电保护装置的整定计算,都需要进行短路电流计算。

具体功能应包括以下几个方面:

a. 可选用实时网络状态,进行在线短路电流计算,也可以通过历史数据或潮流计算结果,进行离线短路电流计算;

b. 通过对画面的操作,可方便地指定短路位置,或指定自动短路计算组;

c. 可以方便地通过网图、活动窗口、编辑器观察故障点及相邻母线、线路的电流、电压值以及全网电流、电压分布。

### 3.6.2 算法

a. 该算法建立了一个结点关联矩阵,该矩阵反映了线段与节点的电流分布关系,且由于采用了最

优编号法,该矩阵为一单位下三角阵,计算过程中无须再对网络化简;

b. 短路计算所需的结点阻抗矩阵各元素可由结点关联矩阵与原始数据中的线段阻抗矩阵通过公式直接求出,避免了计算节点导纳矩阵;

c. 可对配网中任意节点、线段中任意位置的不同类型的短路进行计算。

### 3.7 电压/无功优化

#### 3.7.1 主要功能

对电网内的无功调节设备,如有载调压变压器分接头挡位,补偿电容器组,发电机无功进行优化,给出这些设备运行的调整值,以满足安全约束条件下使网损最小,使电网达到安全经济运行。

电压/无功优化问题是一个典型的非线性规划问题,通常以系统电能损失为目标函数,其主要目的是在保证系统的安全性和电能质量符合要求的前提下,使系统的经济性最好,即在满足系统的负荷要求及各节点电压约束和有功、无功潮流约束条件的前提下,通过改变有载调压变压器的变比和投切补偿电容器或电抗器等手段,减少系统的电能损失。

电压/无功优化问题不仅对系统的运行条件进行了约束,而且对经济性进行了优化,从而将安全性和经济性统一起来。对地区电网来说,由于其运行特点的要求,并且因其无功功率调节设备比有功功率调节要多,因而,电压/无功优化比最优潮流更会优先采用。

#### 3.7.2 算法

a. 算法 1: 简化动态规划法。无功优化按负荷预报分阶段进行,该算法在 SCADA 的负荷预报数据基础上采用动态规划法综合优化配电站和馈线,进行调节 OLTC,投切电容器,并用启发式方法压缩求解空间,提高了运算速度;

b. 算法 2: 基于随机潮流分析(RLF)的配电系统电压/无功控制。在该算法中,所有的控制器件被分成 3 类:(1)快速动作器件:包括电压调节器、有载调压变压器。动作时间为几分钟至几小时。(2)中速动作器件:电容器组,动作时间为几小时至几天。(3)慢速动作器件:变电站中的人工调节变压器,几天至几个月。

整个电压/无功控制问题则依据上述划分被分解成 3 个子问题,即“慢速”、“中速”、“快速”子问题,每个子问题被分别处理。

而随机潮流分析则充分考虑了负荷的不确定性因素和快速动作器件的影响,各个子问题的解决通

过不断更新的随机潮流分析不断完善;

c. 算法 3: 人工神经网络—专家系统方法(ANN—ES)。考虑到输入数据的不确定性,通过使负荷输入模糊化达到无功的优化控制。但该算法有以下缺点:

从系统操作员的角度看,他们并不喜欢神经网络的黑盒子描述。

ANN 的训练过程将随着系统的扩大而异常繁琐;

d. 算法 4: 模糊装置与 ES 的集成算法。由于母线电压与电容器设置之间的互相依靠增加了问题处理的复杂性,为便于处理,电压/无功优化问题被解耦成两个子问题,由一个模糊推理系统(FIS)为这两个子问题提供处理规则。

数据库由配电网的物理辨识系统组成(电气参数、无功负荷的空间分布等),计算库则包括潮流计算、有功网损灵敏度计算、电压灵敏度计算等 FIS 和 ANN 一样,都可以找出输入输出数据的因果联系,FIS 的推理时间非常短,一般而言,在 133MHz 的奔腾机上,它只需 3~4s 就可以找出优化方案。并且,该方案可以有效克服上述算法出现的问题。

#### 3.7.3 推荐采用算法 4。

### 3.8 电容器投切控制

3.8.1 电容器投切问题可概括为目标函数不可微的混合整数规划问题。

#### 3.8.2 算法

a. 算法 1: Tabu Search(TS)法。该法是一种“现代启发式”优化技术。该技术适合于解决纯整数、混合整数优化问题,有效处理不可微的目标函数。其基本思想是利用一种灵活的记忆技术对已进行的优化过程进行记录选择,指导下一步搜索方向。为防止 TS 的搜索过程返回已经访问过的局部最优解,Tabu 表中存有已经实现了的移动的逆移动。“限制”可以防止循环的产生,但可能错过一些可能产生最优解的“移动”,所以在优化过程中 TS 对 Tabu 中的每一个元素赋予了一个“期望水平”,当某一“移动”满足了它的期望水平,这个移动将不被限制。

与以往的 GA 算法和灵敏度分析法比较,Tabu 法有计算速度上的优势;

b. 算法 2: 改进 GA 算法。提出了一种新的编码方法及改进措施。可以同时处理电容器的安装及投切问题。

(下转第 12 页)

- [3] 刘笙,汪静. 电力系统暂态稳定的能量函数分析. 上海交通大学出版社,1996.
- [4] 周良松. 在线暂态稳定分析与综合稳定控制系统的研究. 华中理工大学博士学位论文,1999,2.

**作者简介:** 周良松(1967-),博士,讲师,主要研究方向为电力系统稳定与控制,电力系统自动控制及计算机监控;彭波(1975-),男,硕士,主要研究方向为电力系统稳定与控制及管理信息系统;夏成军,男,博士研究生,主要研究方向为电力系统稳定与控制及人工智能的应用。

收稿日期: 2000-05-24; 改回日期: 2000-06-05

### Fast on-line simulation method based on system identification

ZHOU Liang-song, PENG Bo, XIA Cheng-jun, HU Hui-jun

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, 430074 China)

**Abstract:** A new method of fast predicating system stability based on system identification is presented in this paper. By means of distinguishing the stability margin of power system, stability simulation can be terminated in advance. Therefore, it is possible to realize online quasi-real-time stability control.

**Keywords:** power system stability; system identification; stability predication

(上接第8页)

#### 4 结语

配电自动化系统的建模和高级应用软件的各种算法是目前在该系统研究中的难题,随着配电网一次系统的改造到位及配电自动化系统的 SCADA 子系统和馈线自动化子系统的逐步建立,其研究和应用将日益完善。我们对文中提到的推荐算法都在实验中初步完成,并在用户现场进行了试运行,具有较高的精度和运行效率。

#### 参考文献:

- [1] 陈竟成,张学松,于尔铿. 配电管理系统(DMS)及其应

用功能. 电力系统自动化,1999,18(13).

- [2] 刘健,倪建立,邓永辉. 配电自动化系统. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [3] 黄振华,吴诚一. 模式识别. 杭州:浙江大学出版社,1991.
- [4] 徐秉铮,张百灵,韦岗. 神经网络理论与应用. 广州:华南理工大学出版社,1995.

收稿日期: 2000-05-26

**作者简介:** 苏红峰(1969-),男,硕士研究生,主要从事配电自动化系统的研究与开发工作;魏蛟龙(1965-),男,副教授,主要从事人工智能、配电网建模等方面的研究与开发工作。

### Advanced application software and its arithmetic of distribution automation

SU Hong-feng, WEI Jiao-long

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The modeling of Distribution Automation has put out, several functions and arithmetic of advanced application software are analysed and discussed, and improvement is proposed.

**Keywords:** Distribution Automation; PAS; modeling; arithmetic