

文章编号:1671-6833(2007)01-0030-03

## 基于网络节点编号的多智能体电网 操作票专家系统的研究

许珉, 李宏晓, 白春涛

(郑州大学 电气工程学院, 450001)

**摘 要:** 基于电力系统计算所用的节点编号, 开发了一种新型的多智能体电网操作票专家系统. 该系统直接利用节点编号描述的网络接线拓扑连接关系, 实现开票功能, 该系统可以和电网调度自动化高级应用软件共用一个图形平台, 共享计算网络和 SCADA 系统的实时数据. 在此基础上建立多智能体系统, 利用状态估计进行在线潮流计算与实时接线分析, 实现开关状态实时校核, 利用短路计算进行防误操作判断, 提高了开票的正确性.

**关键词:** 操作票; 专家系统; 节点编号; 多智能体

**中图分类号:** TM 734

**文献标识码:** A

### 0 引言

电气设备的倒闸操作是改变电网运行方式的主要手段, 误操作会造成人身伤亡和严重的停电事故, 在保证电网安全和稳定运行的原则下, 制定编写具有正确的操作步骤的操作票非常重要. 随着科技发展和电网自动化水平的提高, 操作票已从人工开票的方式, 向使用电网操作票专家系统逐步过渡, 提高了操作票的正确率和管理科学性, 显著提高了电网运行管理水平和电网的安全性和稳定性. 从 20 世纪 80 年代开始, 我国利用人工智能技术实现操作票自动生成与管理系统的研究<sup>[1-8]</sup>方兴未艾, 随着技术的不断进步, 面向对象<sup>[7]</sup>、分层链表结构、多智能体<sup>[1,3,8]</sup>、防误闭锁<sup>[3]</sup>、一体化及具有分析计算功能<sup>[4]</sup>的操作票专家系统不断出现. 目前虽然操作票专家系统的研究取得了不少成功的经验并逐步推广应用, 但仍有不尽如人意之处, 主要体现在通用性不强和用户可维护性差, 图形平台不能通用, 一般操作票专家系统都使用自己的图形平台, 新增加电网线路或变电站和设备时, SCADA 系统和其他系统都需要添加图形, 运行人员感到麻烦, 操作票专家系统与 SCADA 系统融合较差, 实现计算功能较困难. 鉴于以上原因, 笔者研究了基于网络节点编号的多智能体操作票专家系统. 本系统直接利用网络

节点编号描述电网拓扑结构, 可以和电网调度自动化高级应用软件共用一个图形平台, 共享计算网络和 SCADA 系统的实时数据, 实现了与 SCADA 系统更紧密地融合. 该系统采用 VB6.0 开发, 可以利用状态估计<sup>[9]</sup>进行在线潮流计算与实时接线分析, 实现开关状态实时校核, 利用短路计算进行防误操作判断, 提高了开票的正确性.

### 1 实现原理

#### 1.1 绘图程序中电气接线图图形信息的描述

在电力系统接线图的绘制中, 需要保存的电气图形元件信息一般有: 元件类型、所属网络、元件名称、坐标、颜色、开关状态、节点编号等, 电气元件信息直接存入数据库或文件中, 本文利用数据库文件作为数据源, 电气图形元件信息存放在数据库, 绘图程序根据这些信息, 就可以绘制出已建立的接线图. 为了加快查询速度, 增加 hlmc 字段记录所属回路名称. 电气图形元件信息存放的表结构如表 1 所示.

#### 1.2 基于节点编号的电网操作票专家系统的实现原理

节点编号表示网络接线的拓扑连接关系, 根据电气图形元件信息表可以形成计算网络, 并进行接线分析和状态估计及实现高级计算功能. 对于电网操作票专家系统也可以直接利用节点编号

收稿日期: 2006-11-07; 修订日期: 2006-11-30

作者简介: 许珉(1956-), 男, 河南开封人, 郑州大学教授, 主要从事人工智能在电力系统中的应用方面的研究.

描述的网络接线的拓扑连接关系,实现开票功能。

表 1 电气图形元件表  
Tab.1 The table of graph elements

字段	数据类型	
lx	integer	;元件类型标志
wlmc	text	;网络名称
yjmc	text	;元件名称
x1,y1	integer	;元件起点坐标,也是旋转参考点
x2,y2	integer	;两端点元件终点坐标
x3,y3	integer	;三端点元件第三点坐标
c1	integer	;颜色 1
c2	integer	;颜色 2,用于两电压等级元件
c3	integer	;颜色 3,用于三电压等级元件
zon1	integer	;开关、发电机变压器中性点接地状态
zon2	integer	;变压器中性点接地状态
i	integer	;单节点元件编号
j	integer	;双节点元件的第二节点编号
k	integer	;三节点元件的第三节点编号
m	integer	;三绕组变压器中点编号
hlmc	text	;所属回路名称
dydj	text	;电压等级
sbsx	text	;设备属性

以图 1 所示接线为例,检修 QF1 时,对线路 WL1 的不停电倒闸操作票的形成过程:首先根据操作任务,从操作规则库中取出操作规则;依线路名和开关状态,按照深度优先的搜索策略,进行操作票的推理,根据节点编号可以找出线路所连接的母线,确定旁路回路应运行的母线并接通旁路回路;再合上该线路的旁路隔离开关;最后断开 QF1 及其两侧的隔离开关。

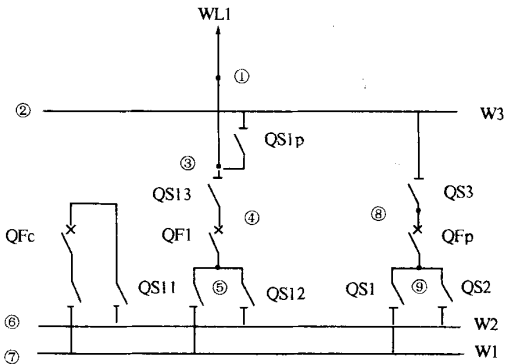


图 1 双母线带旁路接线的例图  
Fig.1 The example of double bus with bypass system

根据电气接线图的特点,利用节点编号可以实现分层网络拓扑分析与推理。由线路、母线和不进入厂站的条件,可以进行网络层的拓扑分析;以

厂站名为条件可以进行厂站拓扑关系分析;以厂站名为条件,利用主接线的特点可以进行设备层的拓扑关系分析,例如:同一电压等级的拓扑分析到变压器编号为止,与线路连接的隔离开关是线路隔离开关,不经断路器与进出线连接的母线是旁路母线,两侧均连接母线且与旁路母线连接的断路器为旁路断路器等。如果增加电压等级字段和利用设备属性字段区分负荷线路和联络线及线路、分段、母联和旁路断路器等可以使拓扑分析简洁、速度快。

2 基于节点编号的多智能体电网操作票专家系统

基于节点编号的多智能体电网操作票专家系统,由操作票智能体(数据库、规则库和推理机及知识获取模块等基本部分组成)、网络拓扑智能体、防误智能体等组成。该系统共享 SCADA 系统的实时数据,通过数据库将各模块联系起来,具有计算功能,其结构如图 2 所示。

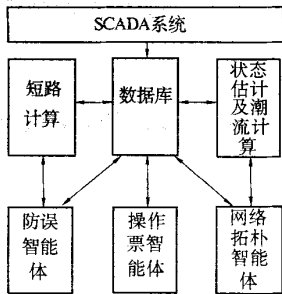


图 2 专家系统结构  
Fig.2 Structure of expert system

2.1 数据库

本软件的数据库主要存放图形信息、电网拓扑结构、计算网络、遥测信息、通信信息、状态估计和短路计算结果及其他各种中间操作步骤、存储形成的操作票。

2.2 规则库

规则库是以数据库的形式存放开列操作票的专家知识。由电网运行专家根据网络结构和操作任务及其操作要求把倒闸操作规则分类总结出来,然后存入规则库。其中带旁路母线的线路检修断路器时的不停电倒闸操作规则为:

- (1) 接通旁路回路;
- (2) 合上旁路隔离开关;
- (3) 断开线路断路器及其两侧隔离开关。

通过人机对话接口及知识获取模块为运行人

员提供了一个查看、编辑规则库的接口,运行人员可对规则进行添加修改。

### 2.3 推理机

推理机模块是开列操作票的核心模块。本软件的推理机按照基于节点编号的深度优先的搜索策略,根据用户选择的操作任务,选择对应规则库的规则,按进行操作票的推理,从而形成一张正确完善的操作票。

### 2.4 状态估计及潮流计算模块

由于操作票专家系统采用节点编号描述拓扑关系,如果从 SCADA 系统获得遥测和遥信数据,很容易实现状态估计及潮流计算功能,利用潮流计算结果,发现支路有电流但断路器是断开的出错开关量,帮助进行拓扑结构校核,提高实时在线开票的正确性。

### 2.5 短路电流计算模块

在防误智能体中加入短路电流计算,例如选择接地隔离开关的接地侧为短路点进行短路计算,进行防误操作判断,可以提高开票的正确性,对保证电网的安全可靠运行有重要意义。

## 3 结论

作者介绍了基于节点编号的多智能体电网操作票专家系统,采用节点编号来建立电网拓扑结构,可以与电网调度自动化高级应用软件共用一个图形平台,共享 SCADA 系统的实时数据,可以利用状态估计及潮流计算的结果,进行拓扑结构校核,利用短路电流计算,对倒闸操作的“五防”

要求进行校核和防误操作判断,提高开票的正确性,对保证电网的安全可靠运行有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 周明,任建文,李庚银,等.基于多智能体的电网调度操作票指导系统研究与实现[J].中国电机工程学报,2004,24(4):58-62.
- [2] 胡兆光,方燕平.智能工程及其在电力发展战略研究中的应用[J].中国电机工程学报,2000,20(3):45-49.
- [3] 郭创新,朱传柏,曹一家,等.基于多智能体的全面防误策略及智能操作票生成系统[J].电网技术,2006,30(4):50-54.
- [4] 刘强,周明,李庚银,等.具有计算分析功能的电网调度操作票系统[J].电网技术,2005,29(7):68-73.
- [5] 周明,林静怀,杨桂钟,等.新型智能电网调度操作票自动生成与管理系统的[J].电力系统自动化,2004,28(11):71-74.
- [6] 苏盛,LI K K,曾祥君,等.通用变电站操作票生成方法的研究[J].电网技术,2004,28(14):14-18,22.
- [7] 朱永利,张健,杨子强,等.面向对象的农网变电站工作票与操作票通用专家系统[J].电网技术,2003,27(4):27-30.
- [8] 刘金琨,尔联洁.多智能体技术应用综述[J].控制与决策,2001,16(2):133-140.
- [9] 于尔铿.电力系统状态估计[M].北京:水利电力出版社,1985.

## Reserch in Multi-agent ElectRICT Network Operation Order Expert System Based on Network Node Number

XU Min, LI Hong-xiao, BAI Chun-tao

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, 450001 Zhengzhou, China)

**Abstract:** The paper develops a new multi-agent operation order expert system based on node number of power system counting. This system uses node number to describe network topology connection directly, to list operation order, this system can use the same figure platform with electric network dispatching automation, and can share computing network and the real-time data of SCADA. Above all, Multi-Agent System, by using state estimation to count on-lining load flow and analyse real-time connection, can check the real-time switch state and can avoid careless operation by using short-circuit calculation so it improves the viability of the operation order.

**Key words:** operation order; expert system; node number; multi-agent system