

# 具有自校核功能的 配电网调度操作票生成系统

丁 鹏<sup>1</sup>, 张 焰<sup>1</sup>, 侯凤岭<sup>2</sup>, 王洪波<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学 电气工程系, 上海 200240;  
2. 合肥市供电公司, 安徽 合肥 230000)

**摘要:** 提出一种具有自校核功能的配电网调度操作票生成系统设计思想, 在设计的系统中, 电网调度运行人员在开票前可以通过人工智能模块对绘制的电网接线图进行检查和校核, 在开票过程中可以通过系统中的防误闭锁模块实现防误操作, 另外还可以通过潮流计算模块判断所开列的操作票实施的安全可行性。接线图查错和分析子模块采用框架结构表示知识, 通过智能推理判断图元连接的正确性; 防误闭锁检查子模块使用逻辑表达式实现防误操作; 潮流计算子模块采用前推回代潮流算法计算操作票可能对电网潮流造成的影响。结合实例, 给出了系统的实现方法。实际应用表明, 所设计的系统可以很好地保证电网调度操作票开票的正确性和安全性。

**关键词:** 电网操作票; 防误操作; 潮流计算; 校核

**中图分类号:** TM 734

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1006-6047(2007)02-0107-04

## 0 引言

目前, 各级电网的调度部门已开始越来越广泛地使用微机进行电网操作票的开列与管理<sup>[1-5]</sup>。这些微机开票系统在很大程度上减轻了调度人员的工作强度, 并在一定程度上体现了开票的智能性与通用性。但是, 在开票正确性的校验方面, 现有的开票系统还存在一些缺陷, 对图形化操作界面上的电网接线图缺乏应有的自动检查机制, 对于所开列的操作票的正

确性及安全性也缺乏相应的自动校核功能。目前, 这些检查校核工作仍需要依赖人工进行, 容易引起以下几个方面的问题:

- a. 电网操作票系统使用者在图形化界面上绘制电网接线图时如果绘错或者绘丢了其中某些元件, 则最后的查找将非常繁琐复杂;
- b. 电网改建或扩建后, 网络接线图和数据库中保存的图元信息也应当随之变化, 但使用者往往只是直观地修改了界面上的网络接线图, 而容易忽视数据库中图元信息的修改;
- c. 一张操作票开出后, 这张操作票是否正确, 执

收稿日期: 2006-05-08; 修回日期: 2006-09-01

行这张操作票是否会对电网运行造成不利影响,是否会引起潮流和电压越限等,这些问题仍然主要依靠调度员的经验判断。

结合人工智能学中的框架理论,研究了电网接线图自动检查以及核对图元关键参数信息的方法,介绍了操作票预演时实现防误闭锁检查的方法,并在操作票生成系统中引入潮流计算模块,对执行操作票后可能对电网造成的影响预先进行计算分析,判断其安全可行性。

通过这些途径,在电网调度操作票生成系统中建立起完整有效的自动检查校核机制。

1 电网调度操作票生成系统结构

在实现功能上可将具有自校核功能的电网调度操作票生成系统划分为 2 个相对独立的模块:操作票生成模块和检查校核模块。系统总体结构如图 1 所示。着重叙述其中检查校核功能设计与实现。

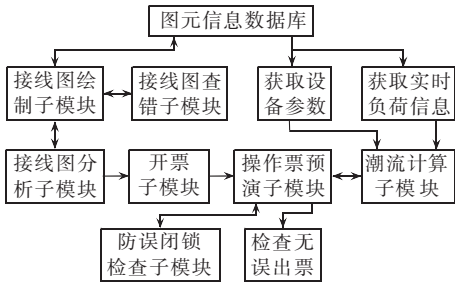


图 1 具有自校核功能的电网调度操作票生成系统的结构  
Fig.1 Structure of operation order generation system with self-check function for power network

检查校核模块包括电网接线图查错子模块、接线图分析子模块、操作票预演子模块。操作票预演子模块中又包含防误闭锁检查子模块和潮流计算子模块。其中的电网接线图查错子模块主要用于对用户绘制的接线图进行检查,找出其中的错误;电网接线图分析子模块用来分析网络图,找出图元连接和数据库中图元信息不一致的地方,并提示用户修改;操作票预演子模块使得用户可以对所开出的操作票进行预演,在预演时系统自动完成操作防误闭锁检查以及潮流计算和安全分析校核。

2 电网接线图查错子模块

为避免电网调度操作票生成系统的使用者在利用其中的接线图绘制子模块绘制电网接线图时出错,该软件系统在设计时事先把电网中一些固定的接线结构(如图 2 所示)保存起来,系统如果发现有不

符合这些结构的元件连接形式,则提示用户修改。  
对于电网中所具有的固定接线结构,软件系统设计时采用框架结构<sup>[6-7]</sup>将它们保存在数据库中。框架结构是人工智能学中一种知识表示的形式,适合于表示电网网络拓扑结构知识<sup>[8]</sup>。以母线接线结构为例,与母线直接相连的元件必然是隔离开关,则这条规则以框架形式表示为

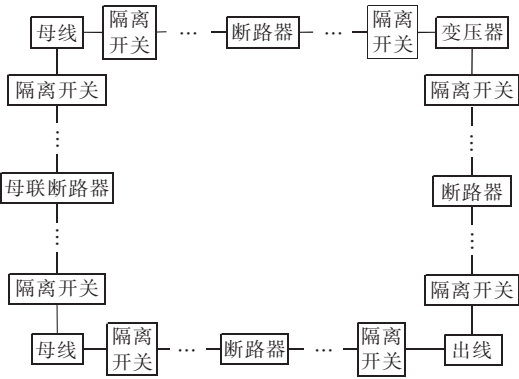


图 2 电力系统中一些固定的接线结构

Fig.2 Normal connection structure in power systems

框架名:母线接线结构

主设备:母线

从属设备:隔离开关

中间是否有隔离开关:否

母线与变压器之间必然有断路器存在,这条规则以框架形式表示为

框架名:母线、变压器接线结构

主设备 1:母线

从属设备:断路器

主设备 2:变压器

中间是否有隔离开关:是

对母线除了进行上述 2 种检查外,如果同一电压等级有多条母线,则软件系统还会自动检查任意 2 条母线间母联开关的存在。

另外,软件系统还会自动检查绘制于变压器同一电压侧的所有设备是否处于同一电压等级,以及是否存在孤立元件端脚等。当软件系统发现绘图错误时将立即提示用户进行修改。

采用框架形式表示电网中元件的固定连接结构具有简单直观的特点。此外,用户也还可通过向软件系统定义新的固定结构来增强软件的查错能力。

3 电网接线图分析子模块

接线图分析子模块可分析网络图的属性,确定某些元件的图元信息,并与数据库中保存的对应信息进行比较,如果发现不一致的情况则提示用户进行修改。例如,根据开列电网调度操作票的需要,把开关分为出线开关、母联开关、变压器开关等几类;把母线接线方式分为双母接线、单母接线、双母带旁路接线等几类,并将这些信息作为图元参数保存在数据库中。当网络图发生变化时,这些元件的类别属性也可能会发生变化需要修改,但是这些信息并不会在图形界面上直观地显示出来,因此,可由软件系统分析确定后提示用户进行修改。

同样,可以采用框架结构表示这些开关类别或是母线接线方式的特征结构,当软件系统在网络图中发现这些特征结构时,则判定该元件参数为该特征结构对应的开关类型或是母线接线方式。下面以出线开关和母联开关为例说明这个问题。两者对应的特征

结构如图 3 所示。

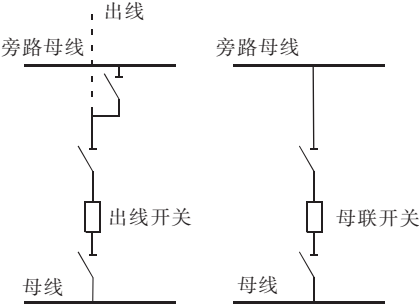


图 3 出线开关和母联开关的特征结构  
Fig.3 Characteristic structure of outlet line breaker and bus breaker

下面采用框架形式表示两者的特征结构。

- 框架名: 出线开关
- 设备 1: 断路器
- 设备 2: 隔离开关
- 设备 3: 出线
- 判断对象: 设备 1
- 框架名: 母联开关
- 设备 1: 母线
- 设备 2: 隔离开关
- 设备 3: 断路器
- 设备 4: 隔离开关
- 设备 5: 母线
- 判断对象: 设备 3

软件系统深度优先搜索网络图,当依次发现框架中所列的元件时,则判断框架中的“判断对象”为框架名对应的设备类型。如果发现与数据库中保存的对应信息不一致,则提示用户进行修改。

4 操作票防误闭锁检查子模块

防误闭锁检查子模块中的逻辑判断功能可检验操作票操作步骤的正确性。当用户对开出的张操作票在图形化界面上进行预演时,防误闭锁检查子模块将对用户操作的正确性进行检查,如果发现操作内容不符合电网调度操作规程则提示用户。软件系统将各种防误闭锁规则以逻辑表达式形式表示<sup>[9]</sup>。例如,要将 110 kV 桥式接线中的变压器(如图 4 所示)状态由运行转为检修,则按照电网调度操作规程,应该是先将变压器转为空载运行,然后转为热备用状态,最后转为检修状态。在图 4 中,如果已将 1 号主变由运行转空载运行,现在要将其转热备用,则需要拉开五一支线 101 断路器。在执行此项操作前,设备状态应满足 101 断路器为合、1013 隔离开关为合、01 断路器为开等状态,表示为逻辑表达式就是: if(1 号主变空载运行转热备用 && 101 合 && 1013 合 && 01 开) then 101 开 else 提示用户;

如果设备状态不满足执行本项操作的条件,则将提示用户出错。

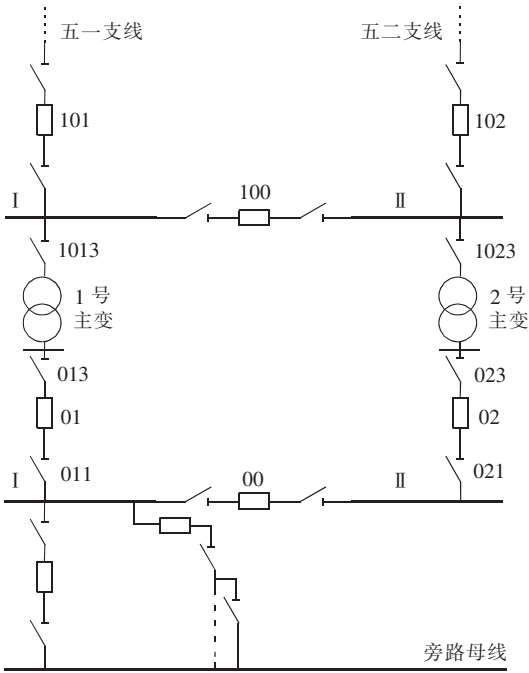


图 4 110 kV 桥式接线  
Fig.4 Bridge connection in 110 kV power system

5 基于潮流计算的安全性检查子模块

在对所开列的操作票进行操作步骤预演的过程中,可以通过潮流计算模块分析操作实施后电网运行的安全性,尤其是存在具有负荷转移的操作。通过潮流分析计算,如果软件系统发现有功率或电压越限,则会立即提示用户,并自动在图上将越限支路或节点标示出来。

针对配电网阻抗比大、环网少的特点,可以直接采用前推回代算法进行电网潮流计算。

5.1 阻抗矩阵的形成

软件系统在线路和变压器设备的参数信息中,保存有各端点所连接的母线编号。系统在进行网络图分析时,将母线作为阻抗矩阵的节点,通过遍历线路和变压器设备列表,从中读出运行设备的阻抗及其所连接的母线编号,并写入阻抗矩阵。如对于图 5 所示的六节点简单网络(其中 1~6 均为母线编号),形成的阻抗矩阵如 Z 所示,不连接的 2 个节点间阻抗为  $\infty$ 。

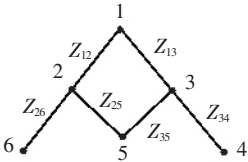


图 5 六节点简单电力网络  
Fig.5 A simple 6-node power network

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & Z_{12} & Z_{13} & \infty & \infty & \infty \\ Z_{12} & 0 & \infty & \infty & Z_{25} & Z_{26} \\ Z_{13} & \infty & 0 & Z_{34} & Z_{35} & \infty \\ \infty & \infty & Z_{34} & 0 & \infty & \infty \\ \infty & Z_{25} & Z_{35} & \infty & 0 & \infty \\ \infty & Z_{26} & \infty & \infty & \infty & \infty \end{bmatrix} \end{matrix}$$

## 5.2 对于环网的处理

使用阻抗矩阵  $Z$ , 可以方便地判断出网络中是否有环存在。对于环网, 采用文献[10]提出的叠加法处理, 将环网分解为纯辐射型网络和纯环网络, 分别进行潮流计算后将计算结果进行叠加。

## 6 结语

在配电网调度操作票生成系统中, 文中研究设计的自校核功能综合考虑了电网调度操作票开票过程中所需要的各种正确性校核, 并将它们封装成各个功能独立的模块, 可在开票前、开票中及开票后进行调用检验, 以确保开票的正确无误。在合肥地区配电网调度操作票系统中的应用表明, 采用这些校核措施可提高开票的正确性和安全性。

## 参考文献:

- [1] 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.  
ZHU Yong-li, ZHANG Jian, YANG Zi-qiang, et al. An object-oriented versatile expert system for work orders and switching orders of rural substations[J]. Power System Technology, 2003, 27(4): 27-30.
- [2] 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.  
ZHOU Ming, REN Jian-wen, LI Geng-yin, et al. A multi-agent based dispatching operation instructing system in electric power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(4): 58-62.
- [3] 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): 15-18.  
SU Sheng, LI K K, ZENG Xiang-jun, et al. Research on versatile generation method of switching orders for substations[J]. Power System Technology, 2004, 28(14): 15-18.
- [4] 杨继涛, 胡明, 吴琼, 等. 电网调度操作票专家系统的设计与开发[J]. 继电器, 2004, 32(15): 45-47.  
YANG Ji-tao, HU Ming, WU Qiong, et al. Design and development of dispatching sheet expert system for power network[J]. Relay, 2004, 32(15): 45-47.
- [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[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(11): 71-74.  
ZHOU Ming, LIN Jing-huai, YANG Gui-zhong, et al. A new-type intelligent dispatching operation order system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(11): 71-74.

- [6] 林尧瑞, 张钹, 石纯一. 专家系统原理与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 1988.
- [7] 傅京孙, 蔡自兴, 徐光祐. 人工智能及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [8] 王林川, 焦燕莉, 邓集祥. 一种新的灵活实用的操作票专家系统[J]. 继电器, 2000, 28(4): 35-37.  
WANG Lin-chuan, JIAO Yan-li, DENG Ji-xiang. A flexible and practical expert system for scheduling operating card[J]. Relay, 2000, 28(4): 35-37.
- [9] 江振华, 程时杰. 基于开关逻辑的电力系统图形和操作票自动生成系统[J]. 电力自动化设备, 1999, 19(3): 12-15.  
JIANG Zhen-hua, CHENG Shi-jie. Switching logic based graphics and operation schedule list auto-generation system for power systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, 19(3): 12-15.
- [10] 刘伟良, 黄纯, 向为, 等. 基于叠加原理和前代后代法的环状配电网潮流计算[J]. 继电器, 2005, 33(4): 17-21.  
LIU Wei-liang, HUANG Chun, XIANG Wei, et al. An improved power flow algorithm for meshed distribution networks based on superposition principle and forward/backward sweep method[J]. Relay, 2005, 33(4): 17-21.
- [11] 谢锋, 向铁元, 聂云, 等. 框架理论在操作票专家系统中的应用[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(10): 69-71.  
XIE Feng, XIANG Tie-yuan, NIE Yun, et al. Application of frame theory in operation sheet expert system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(10): 69-71.
- [12] 叶绿, 史烈. 变电所操作票图形辅助开票系统的设计与实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1999, 11(6): 512-515.  
YE Lü, SHI Lie. The design and realization of computer graphics aided operation ticket making system of transformer substation[J]. Journal of Computer Aided Design and Computer Graphics, 1999, 11(6): 512-515.
- [13] 刘蔚, 杨宛辉. 操作逻辑函数在操作票专家系统中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 1999, 11(4): 39-43, 54.  
LIU Wer, YANG Wan-hui. Application of logic functions in operation sheet expert system[J]. Proceedings of the EPSA, 1999, 11(4): 39-43, 54.

(责任编辑: 李 玲)

## 作者简介:

丁 鹏(1983-), 男, 河南汝南人, 硕士研究生, 目前主要从事电力系统自动化方面的研究(E-mail: dingpeng@sjtu.edu.cn);

张 焰(1958-), 女, 安徽合肥人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事电力系统规划、电力系统自动化等方面的教学和科研工作。

## Operation order generation system with self-check function for distribution network

DING Peng<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>, HOU Feng-ling<sup>2</sup>, WANG Hong-bo<sup>2</sup>

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Hefei Power Supply Company, Hefei 230000, China)

**Abstract:** An operation order generation system with self-check function for power distribution network is proposed. During order generation, the electric connection diagram is checked by an artificial intelligence module and the misoperation is prevented by an inter-lock module, and its security is reviewed by power flow calculation. Diagram-check module uses frames to represent knowledge and intelligent reasoning to judge the correctness of connection. Misoperation-prevention module uses logic expression to realize misoperation prevention. Power flow calculation module uses back/forward sweep algorithm to calculate the possible influence by the operations. Actual operative results show its correctness and security.

**Key words:** power network operation order; misoperation prevention; power flow calculation; check