

# IEC61970 间隔拓扑模型在地区电网综合调令票 开票系统中的应用研究

高海洋<sup>1</sup>, 张水涛<sup>2</sup>, 张焰<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240; 2. 河南省夏邑县供电局, 河南 夏邑 476400)

**摘要:** IEC61970 标准定义了 Bay(间隔)模型, 间隔是一组相关设备的集合。本文根据间隔拓扑模型构建了电网图元, 并设计了一种启发式电网拓扑分析算法应用到地区电网开票系统中。地区电网调度为综合指令票, 文中在分析地区电网综合调度指令票特点的基础上, 利用间隔模型设备集, 把间隔模型和 CIM(公共信息模型)设备关系应用到调度指令票专家系统知识库, 使得知识库的建立更具层次性和更利于搜索。通过在某地区电网调度的实践运行, 得到很高的开票正确率和较快的开票速度。对运行结果进行了简单分析。

**关键词:** 操作票; 专家系统; IEC61970; 间隔模型; 拓扑分析

## Research of the application of IEC61970 bay model in region power grid comprehensive operation system

GAO Hai-yang<sup>1</sup>, ZHANG Shui-tao<sup>2</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Xiayi Power Supply Bureau, Xiayi 476400, China)

**Abstract:** IEC61970 defines bay model. The bay is a collection of equipment within a given power station. Switching order given by regional dispatching center is comprehensive, which means an order of the paper involves in many related power equipments. Power system graphic model is set up based on the bay topology model and a heuristic power network topology parsing algorithm is designed in this paper and an expert knowledge library is set up based on bay model which tally with the features of comprehensive operation orders and also the expert knowledge library is highly scientific. Actual application in a region power grid scheduling center shows that the method is highly effective and reliable.

**Key words:** operation order; expert system; IEC61970; bay model; topology analysis

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)16-0057-04

## 0 引言

电网操作票制度是我国电网安全运行的有效保证之一, 是防止电网操作中误操作和电网事故的有效安全措施之一。文献[1~4]对操作票生成系统进行了研究, 从不同的方面为操作票生成提出了方法, 为开发操作票系统提供了参考, 从目前已发表的文章和研发的系统看, 操作票系统主要用于厂站。本文主要研究适用于地区调度的电网综合调度票, 地区电网综合调度指令票不同于厂站内部操作票, 这种调度指令对象是地区电网辖区内的各厂站, 所发指令为综合指令, 主要是对设备组的操作, 这些设备是一些相关设备的规则组合。

进入 20 世纪 90 年代以来, 国际电工委员会 IEC

为电力系统能量管理系统 EMS 制定了基于 IEC61970 的公共信息模型 CIM (Common Information Model) 公用接口规范<sup>[5-7]</sup>, 为人们在基于 EMS 系统上的第三方应用软件的开发提供了指导。该标准定义了 Bay(间隔)模型, 间隔模型是电力网络中一组相关联设备的集合。间隔模型的定义为地区电网综合调度指令票开票系统的开发提供了参考。根据对地区调度所提供的综合调度指令操作任务, 通过整理归纳, 调度指令中所涉及的设备组划分符合间隔模型的定义, 可以将间隔模型应用于地区电网操作票开票系统建模中。

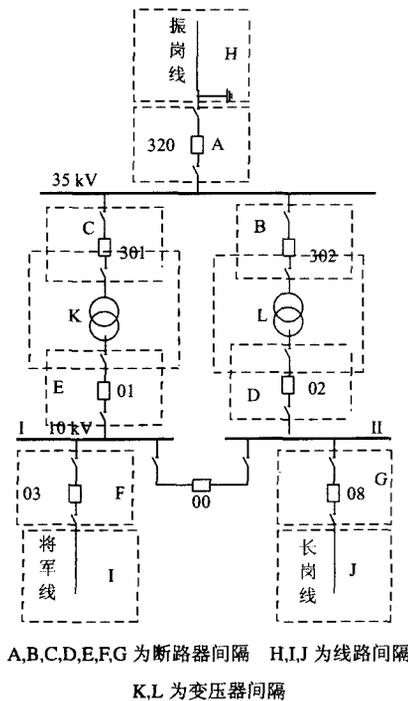
电网操作票自动开票系统中, 对电网设备的拓扑分析是一个重要环节, 如何搜索这些设备组和设备组中各设备的状态对生成正确的操作指令票至关

重要,即得到正确的间隔是生成正确操作序列的先决条件。本文根据 CIM 间隔拓扑模型构建了电力设备模型,并设计了一种电网设备节支矩阵搜索算法,解决了间隔搜索问题,并将之应用到开票系统中。专家系统知识库的组织结构是影响推理机工作效率的重要因素之一,文中将 IEC61970 对电网设备的组织结构引进,能简洁地组织专家系统知识体系。将 IEC61970 拓扑模型和间隔模型应用到地区电网综合调度票系统中,通过在某地区电网试运行,得到较好的效果。

### 1 IEC61970 定义的间隔概念

间隔 (Bay) 在 IEC61970 中给出的定义为:间隔是电力系统资源 (在一个变电站内) 的一个集合,这些集合一起完成特定的功能或者能够为应用带来方便。电力资源包括导电设备、保护继电器、测量和远程测控,间隔在 IEC61970 中推荐使用。

根据 IEC61970 的定义,间隔可以这样理解:由若干相互关联的设备与设备之间的连接而组成的设备集合。根据对间隔的理解,根据电力设备功能的不同,可以将电力设备分别组成开关间隔、线路间隔、刀闸间隔、变压器间隔和母线间隔。图 1 为对某个变电站的分析。



A,B,C,D,E,F,G 为断路器间隔 H,I,J 为线路间隔  
K,L 为变压器间隔

图 1 变电站分解

Fig.1 Division of a substation

通过分析表明,所有变电站内部设备都可以分

成若干间隔。

## 2 基于间隔拓扑模型的电网图元建模

### 2.1 间隔拓扑模型

间隔的拓扑模型如图 2 所示。

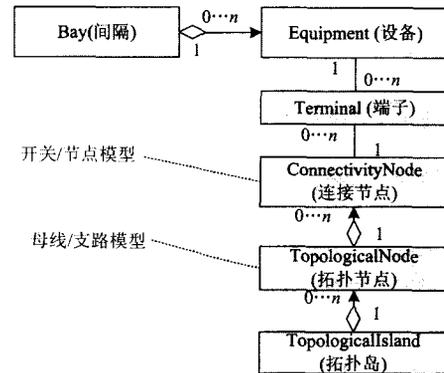


图 2 CIM 间隔的拓扑模型

Fig.2 Topology model of CIM bay

根据 CIM 拓扑包定义的电网拓扑关系类结构,电网设备 (Equipment), 端子 (Terminal), 连接节点 (ConnectivityNode) 和拓扑节点 (TopologicalNode)。Equipment 是一个抽象类,电力设备类从该类派生而来,每个 Equipment 可以拥有多个 Terminal 端子,Equipment 设备之间通过 Terminal 相连,多个 Terminal 通过零电阻连接形成 ConnectivityNode;多个 ConnectivityNode 通过闭合的开关形成 TopologicalNode。多个电网设备 (Equipment) 聚合成一个间隔 (Bay), 由拓扑包定义的这些结构模型可以表示电网的拓扑关系。

### 2.2 基于间隔拓扑模型的设备建模

根据 CIM 定义的间隔拓扑结构模型,本文为地区电网的每种电力设备建立图元类。每类元件的绘图函数重载其父类的绘图函数,其中每种设备都是具有端子结构的图元,绘图函数自动记录端子端点坐标。例如,断路器设备模型继承了其父类导电设备类,是双端子的设备,两侧为拓扑包定义的端子,端子的端点为敏感区域,能够自动判断与其他设备的连接关系。敏感区域是在每种设备图元的绘图函数的端子端点设置一个判断其周围一定圆域内是否有其他设备端子端点的函数,其中圆域半径可以调节,以改变敏感区域的敏感度。当一个设备图元的端子与另一设备的端子接近到敏感区域内时,该端子的端点变为红色的圆点,表示两个端子已确定相连接关系。

### 2.3 电网拓扑节支矩阵算法

电网设备节支矩阵用来表示设备的连接关系,

本算法主要利用 2.2 中设计的图元端子敏感区域来加快搜索速度, 避免重复搜索和对端子编号的错误。拓扑分析后, 电力设备的每个端子拥有各自编号。根据编号信息, 将电网电力设备作为节支矩阵的一列, 设备端子编号分别作为矩阵的另外两列即可形成设备节支矩阵, 节支矩阵如表 1。图 3 是电力设备端子编号算法流程。

当系统搜索设备时, 可利用深度优先算法或者广度优先算法搜索设备端子编号, 若两设备端子编号相同, 此两设备是相互连接的。

表 1 设备节支矩阵

Tab.1 Matrix of equipment node

设备 ID	端子 1 编号	端子 2 编号
设备 1	No1	No2

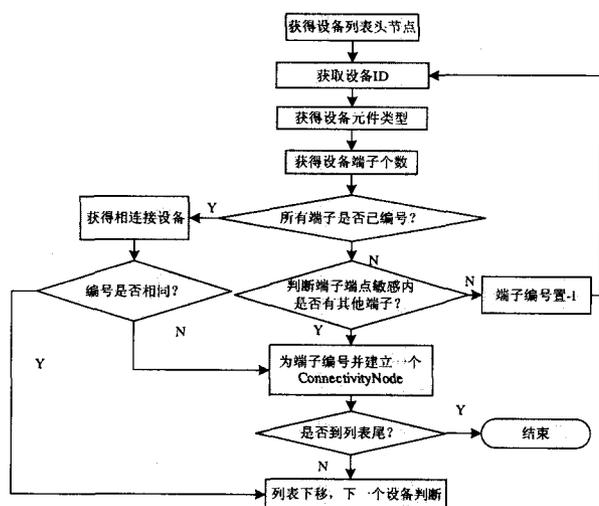


图 3 拓扑分析算法流程图

Fig.3 Flow chart of topology analyzing

需要指出的是, 在网络拓扑图改变后, 只要再次调用此拓扑分析函数, 本算法仍然适用电网图的拓扑连接分析。

### 2.4 间隔的生成

根据对间隔的理解, CIM 定义的间隔应该比较灵活。本文的间隔是指能够完成自动生成地区电网指令的设备单元组, 因此, 这些间隔的定义是操作指令票中所涉及到的发令设备组合。主要有母线间隔、开关间隔、变压器间隔、线路间隔和电容器间隔等元件间隔。2.3 算法生成了电网拓扑节支矩阵, 进一步利用深度优先算法搜索或者广度优先算法都能快速得到这些元件间隔。把间隔存入邻接表, 便于专家系统访问。

## 3 电网操作指令票专家系统知识库的构建

### 3.1 地区电网操作指令票特点

地区电网操作票为综合调令票, 调令票的操作任务主要是对设备组操作。比如对开关操作主要是四个状态之间的转换, 即将开关由运行转检修、由运行转热备用, 由热备用转检修等。因此, 地区电网操作票专家系统知识库的领域规则也应该是关于设备组的规则知识。将关于设备组的知识构建成相应的元件间隔知识, 降低了推理机的复杂程度。

专家系统采用产生式规则进行知识表示。产生式规则由条件和结论组成, 其基本形式为:

IF <条件> THEN <结论>

采用产生式规则, 对于综合调令形式的地区电网操作票规则相对比较简单, 例如:

操作任务: 线路由运行转检修。

规则: IF线路由运行转检修, THEN 将线路开关和线路均由运行转检修。

即地区电网发出的“线路由运行转检修”调令, 其实是涉及线路间隔和与之相连的断路器间隔操作, 即将线路间隔和断路器间隔均由运行转检修。

### 3.2 基于间隔模型的操作类体系

根据对地区调度中心提供的综合调度任务研究, 可以将综合调令任务分成线路间隔操作、变压器间隔操作、母线间隔操作、开关间隔操作和旁路代操作五种元件操作任务的组合。CIM 电缆包定义了电力系统设备, 并对电力设备的层次关系做了定义, 根据面向对象原则定义了设备之间的继承关系。因此, 专家系统知识库层次结构可以根据 CIM 电缆包定义的电力设备类层次关系建立。建立的知识层次结构遵从 CIM 电缆包规范, 结构如图 4 所示。

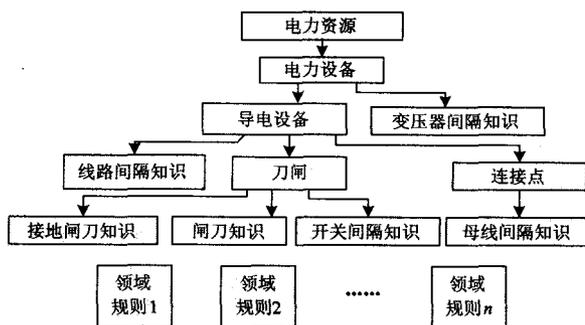


图 4 操作类体系

Fig.4 Hierarchy of operational classes

需要指出的是, 本文研究的地区电网只涉及到对交流线路的操作, 因此没有将 CIM 定义的交流线路和直流线路分开, 而直接将涉及到线路的操作知

识统称为线路间隔知识。CIM 定义中没有明确的物理母线设备定义,而是逻辑母线概念,是用来网络分析计算,即计算节点。本文将这一逻辑节点扩充定义为操作票开票时使用的物理母线。

这样建立的知识库具有规则分类,分层排列,进行了排序,且层次关系的建立与本文 1.2 绘图函数的图元类层次关系相同,方便了程序实现,避免系统推理时的全局搜索。当认为某类规则无需匹配时,越过此类规则组,使推理更具目的性和高效率。

#### 4 在实际中的应用情况

电网操作票开票系统要求具有很强的实践性,必须通过大量的测试才能证明系统是有效和实用的。将本文系统应用到某地区电网,此地区电网共有 1 座 500 kV 变电站、26 座 110 kV 变电站和 7 座 220 kV 变电站。根据地区电网调度中心提供的操作任务,改变各变电站的运行状态,应用本文设计的系统各种运行方式下对该地区电网接线图开列操作票,然后对所得操作与标准的操作票比对,得到出票合格率达 97%。从该地区电网的测试结果可以看出,本文设计的系统能够得到很高的开票正确率,能够满足地区电网调度的需要。同时,开票速度也大大提高,一张完整的操作票平均 10 分钟即可完成。从而为调度运行人员减轻了工作强度,能够保证电网的安全运行。

#### 5 结语

由于本系统图形支持系统根据《电力系统安全稳定导则》的分层分区原则构建,地区电网的高一级联络层级存在一些 T 型接线,本文设计推理机不能分析出 T 型接线的供电端和受电端,故在这部分开列操作票时出现一定误差,需要后续研究解决这个问题。

根据地区电网操作指令票的特点,构建基于间隔模型专家系统知识库体系,使得专家系统知识建立更为简洁,推理机制实现简单和快速。开票系统在开列操作票时,推理机只需搜索电网间隔,减少了搜索范围,加快了专家系统推理机的搜索速度,能够大大加快调度人员的工作速度。由于在电网中某些相互关联设备之间的操作顺序是固定的,因此将间隔模型应用到地区电网综合调令票开票系统中,还可以对设备组的非法操作进行提示,防止误操作的发生。

#### 参考文献

- [1] 杨继涛,胡明,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, et al. Design and Development of Dispatching Sheet Expert System for Power Network[J]. Relay, 2004, 32(15): 45-47.
- [2] 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.  
GUO Chuang-xin, ZHU Chuan-bai, CAO Yi-jia, et al. An Overall Anti-maloperation Strategy on Multi-agent System and Implementation of Intelligent Switching Order Generation System[J]. Power System Technology, 2006, 30(4): 50-54.
- [3] 孙斌,董昕,唐国庆. 省网开关操作管理专家系统的通用化设计及实施[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(12): 29-34.
- [4] 张建国,刘智广,等. 电网调度智能化检修票和操作票系统的设计与实践[J]. 电力系统及其自动化, 2004, 28(7): 78-81.  
ZHANG Jian-guo, LIU Zhi-guang, et al. Design and Practice of the Intelligent Maintenance and Switching Scheduling System of the Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(7): 78-81.
- [5] Draft IEC61970: Energy Management System Application Program Interface (EMS-API)- Part301: Common Information Model (CIM), Draft Revision[Z]. 2005.
- [6] Britton J P, de Vos A N. CIM-Based Standards and CIM Evolution[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(2): 758-764.
- [7] 张慎明,刘国定. IEC61970标准系列简介[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 1-6.  
ZHANG Shen-ming, LIU Guo-ding. Introduction of Standard IEC61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(14): 1-6.

收稿日期: 2007-10-11; 修回日期: 2007-11-28

作者简介:

高海洋(1982-),男,硕士,主要从事电力系统调度自动化研究工作; E-mail: haiyanggao@sjtu.edu.cn

张水涛(1969-),男,本科,工程师,从事电网规划设计和生产技术管理工作;

张焰(1958-),女,教授,博士生导师,主要从事电网规划,电力系统可靠性,电力系统稳定性的研究和教学工作。