

[操作票]

基于分层结构知识库和推理机技术的电网调度智能操作票系统

文/ 中油电能供电公司信息通信中心信息室 李小强

操作票作为调度日常的生产工具，和油田电网安全生产紧密相关，基于分层结构知识库和推理机技术的电网调度智能操作票系统的研究，解决了调度智能推理、关联图形和模拟预演等复杂的技术问题，实现了操作票的图形化智能出票，保障了油田电网安全。

中国石油集团电能有限公司供电公司电力调度中心是大庆油田电网的运行指挥中心，2004年开发的操作票系统，采用离线式校核，缺乏实时性，已不能满足智能电网管理模式和繁重工作量的需要。因此，本文主要介绍一套集多功能于一体的智能电网操作票应用系统，该系统具有很好的集成性和可操作性。

技术背景

大庆油田供电公司电力调度中心主要是负责300余座变电所和700余条输电线路以及3座发电厂的运行指挥任务，每年编制停送电操作票15000余张。2004年开发的操作票系统自开发运行十几年来，对调度员降低调度操作票错误率和提高效率上有很大的帮助。但存在以下无法克服的弊端：

1) 原有的操作票系统由于调度自动化主站的改造升级，无法与新OPEN3000系统的EMS模块进行对接。

2) 操作票系统使用年限加长，数据冗余，操作界面受应用系统限制，无法达到智能调度的要求。

3) 系统没有引入SCADA实时数据，不能利用潮流数据进行智能转供负荷。

基于上述弊端，原有调度操作票系统无法适应目前油田电网的发展，对于负责的接线方式无法正确开出操作票，严重影响了电网调度的决策指挥效率，所以亟需开发一套适应油田电网发展需求的新型智能调度操作票系统。

技术原理

1. 规则制定

新的操作票系统采用分层结构进行开发，主要是将设备操作规则和调度操作规则分别开发使用，保证两个模块不受干扰。

(1) 调度操作规则的制定

电网调度操作规则的制定主要依据电网当前的运行方式，在电网中的变电站和线路进行调度时，对相应的厂站和线路使用的综合令操作票，以及电气接线间隔所执行的操作任务。电网运行方式的描述，主要是指线路转供负荷、消弧线圈和变电所之间的操作顺

序等事项，调度运行规则模块中包含了电网的拓扑结构，并能利用潮流计算来验证启动调度任务规则条件，当计算结果不一致时，会触发其他的规则，进而产生合理的操作结果。

（2）设备操作规则的制定

设备操作规则主要描述一二次设备的操作规程，操作规则中既考虑了操作设备的范围，也考虑了设备操作的合理顺序。具体变电所或电气间隔的操作任务涉及 3 个电压等级、300 多座厂站，其中，110 kV 以上变电所 46 座（包括管辖以外的）、35 kV 变电所 269 座。按照线路、开关、主变压器、母线、电压互感器（TV）和消弧线圈（PC）等九大类，而线路检修方式分为单线路检修，其包含单侧或双侧开关的线路检修和单侧或双侧刀开关的线路检修等。

2. 获取电网结构和设备模型快速建模

智能操作票系统是通过数据接口获取 OPEN3000 系统平台上的实时数据、电网结构和设备模型（遵循 IEC 61970 标准的 CIM 模型），完成变电站模型 340 个（南调 179 个厂站，北调 143 个厂站，220 kV 厂站 18 个），遥测遥信数据 25 000 条。图形采用 SVG 格式导入，这样就实现了模型的免维护。而 SCADA 系统的实时数据和状态估计数据都保存在 TH2100 系统中。用 C++ 程序根据调度操作票编制规则进行逻辑推理和编程，再在 TH2100 实时库的基础上快速建立操作票系统中的厂站、间隔、主变压器和母线。根据操作对象在电网中的功能相似性，建立操作对象原子，一个操作对象原子代表一类具有相似属性的实际操作对象。

3. 操作票的推理过程

基于分层结构的知识库和推理机技术得出操作票的推理过程。

（1）操作票系统结构

电网操作票系统采用分层知识库和推理机技术。这种结构能提高知识表达的效率和系统推理的效率，提高系统的智能性，系统结构图如图 1 所示。

（2）分层知识库的建立

分层知识库主要由低层知识库和高层知识库两个部分组成。

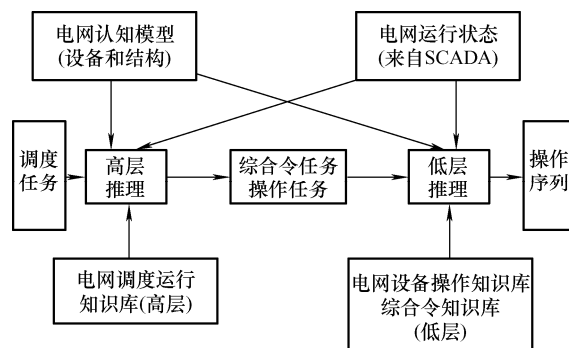


图 1 操作票系统的结构图

低层知识库主要包含电网中一二次设备操作时的重要规则，这些规则的来源是各类一二次设备操作规程。低层知识库具有较高的通用性，既能应用在电网操作票系统中，也能应用在变电站操作票系统中。

高层知识库主要包含电网在执行部分检修、停电或调整运行方式等任务时必须执行的规则，高层知识库针对电网局部的线路或个别变电站进行调度时涉及的电气接线间隔以及对间隔所执行的操作任务，它的来源主要是电网的运行方式。

（3）分层结构推理机制的流程

在高层推理中，所有的调度任务均推理为间隔的操作任务或厂站的综合令任务。

在低层推理中，推理机首先利用操作任务规则推理出需要操作的设备，然后再根据规则推理出实际的操作序列。在执行综合令任务时，推理机会启动验证程序，检查每条命令是否正确，若正确，则将变量代换的命令写入推理缓冲区。针对操作类的任务，推理机会把执行同类操作的间隔进行整合，再根据操作任务推理实际需要的设备集，最后再利用操作约束规则生产实际操作顺序，写入推理结果缓冲区。最后将得到结果按照操作票规则输出，生成操作票。

4. 操作票关联图的自动生成

关联图的定义：将电网调度操作票所涉及全部变电站的电网结构图和电网拓扑连接方式显示出来，拓扑生成关联图的流程如图 2 所示。

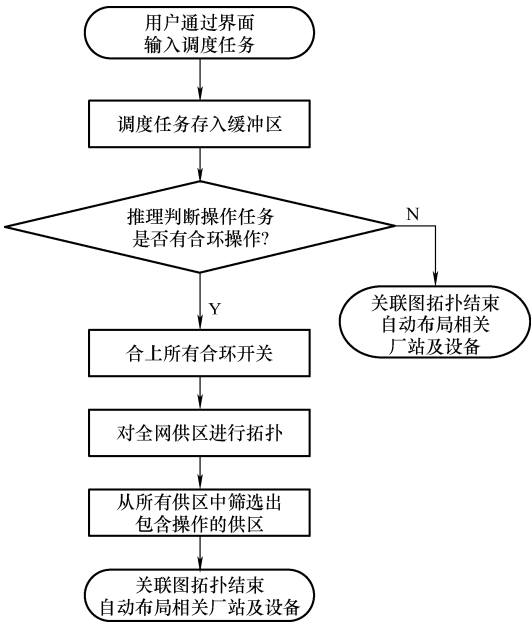


图2 拓扑生成厂站关联图

在操作票的编制、预演、审核及推理和执行的过程中，根据电网实际的运行方式，生成电网结构图。目前，油田电网变电所数量多，变电所间连线纵横交错不易分辨，在绘制的厂站图基础上，当单击线路时，能自动搜索与该线路相连的电源，按照实际的连接方式，自动生成一张新的图形，也就是关联图。关联图中只调用与该线路连接的各侧变电所向外扩展到电源一次变为止，其余部分图形全部不调用。

5. 操作票模拟预演分析

关联图生成之后，可以在关联图上进行调度指令票的预演，在预演时，每执行一步调度指令，该指令对应的操作均在图上进行显示，此过程又引入潮流分析计算，

每操作一次进行一次潮流计算，同时该指令操作完成后引起电网的潮流变化也在图上进行显示，就可以连续动态模拟整个操作票的操作，通过预演充分了解指令票操作过程中的电网潮流变化。操作票可视化预演环境通过实时数据断面与电网模型图的融合，完成了各种运行方式下图形化操作票编制预演环境的生成。

达到的效果

电网智能操作票系统由于采用了先进的分层知识库结构，依据操作规则及电网网络拓扑关系进行综合判断，符合现电网调度运行的客观规律，自动生成 651 个操作序列，智能出票共实现《操作综合令》99 种、《综合令》23 种、《安措令》27 种、《系统令》9 种和《组织令》105 种操作票的编制。

自新智能操作票系统 2015 年 9 月运行至今，经历 5 个检修周期，共开出操作票 20 000 余张，正确率达到了 100%，大大缩短了工作时间，解决了调度人员的方案制定问题。

结束语

电网调度智能操作票系统解决了调度智能推理、关联图形、模拟预演和安全校核等技术问题，能够根据系统显示的电网潮流变化，正确进行合解环操作，实现了操作票的图形化智能出票，为电网调度指挥操作提供了有力的技术支持和决策依据，保障了油田电网安全经济运行。EA

（收稿日期：2021.02.02）

（上接第 51 页）

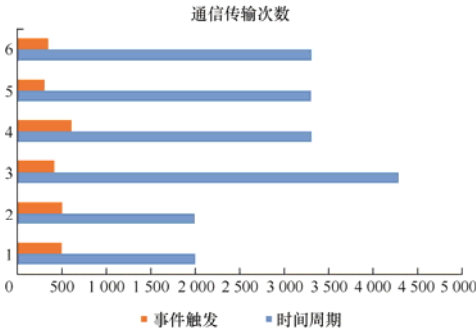


图7 微电网的通信传输

结束语

本文通过构建一个微电网系统，基于事件触发机制，提出一个分布式电压控制器。结果表明，在事件触发机制下，每个逆变器在事件发生的瞬间进行传递，而不是周期性的信息传递，避免了无用的信息交流，显著地减少了微电网的通信量，降低了通信带宽的消耗，通过仿真实例可以看出，控制器在节约资源的同时也保证了系统的稳定性，并且在无功功率分配方面与传统的周期采样准确度几乎相同。EA

（收稿日期：2020.09.30）