

电网调度智能化检修票和操作票系统的设计与实践

张建国¹, 刘智广¹, 陆杏全², 金振东²

(1. 大庆石油管理局电力总公司, 黑龙江省大庆市 163453; 2. 国电自动化研究院/南瑞集团公司, 江苏省南京市 210003)

摘要: 针对电网检修计划安排及操作票复杂性和高可靠性的要求, 基于电网调度自动化系统 (SCADA/EMS) 平台, 开发了一体化的电网调度智能检修票和操作票系统。介绍了系统的设计原则和基本框架, 以及人机界面、推理程序、出票管理和操作票预演等设计与实现方案, 及其在大庆油田供电网中的实践。

关键词: 电网调度自动化系统; 电网运行; 检修票; 操作票

中图分类号: TM73

0 引言

电网运行中一项繁重而关键的日常工作是检修计划安排(检修票)和调度操作票的编制,特别是操作票的编制,其任何错误都会导致电网的误停电,甚至发生设备和人身事故。因此,检修票和操作票从来都是由有经验的检修计划人员和调度人员编制,还要经过严格的校核。即使如此,由于电网运行方式的千变万化,依靠人的经验总不能完全避免错误。

20 世纪 90 年代以来,国内发表了不少操作票系统的文章^[1~5],也开发了一些操作票开票系统,但多数用于厂站,针对大型供电网开发的操作票系统极少,而且大多为离线方式下用计算机辅助人工开票。国外也发表了许多操作票系统的文章^[6~9],但未见实用的报道。我们认为,这一状况主要是开票环境不易真实、转供电操作不易正确计算、实时电网图形不易维护及操作票正确性校核机理尚未解决等 4 个问题所造成。

另外,在线方式下检修计划安排的开票也未见国内文献的报道。检修票是操作票编制的先导,原理上与操作票相似,内容表达较操作票简单,但必须从安全和经济两方面考虑该项操作的可行性。与操作票不同的是,在检修票中还需确定具体的检修位置,例如线路检修的起止点、检修线路的长度、移动变电站的接入位置、线路改造的图示以及检修单位的分工、各种注意事项等,这些都必须建立在数据库中,或在人机界面上输入(如移动变电站接入位置)。

针对这些问题,本文介绍与 SCADA/EMS 一体化的面向对象的智能化检修票及操作票开票系统的设计与实现。

1 设计思想和系统框架

将电网操作票开票系统和 SCADA/EMS 一体化,利用 SCADA/EMS 支持平台,建立易于相互访问的操作票系统的数据库,以及实现从数据库、画面到网络分析应用软件一体化的维护。检修计划安排人员、电网调度员也可在与 SCADA 完全一致的电网和厂站接线图上进行开票操作。在此基础上进行本功能软件的开发,是本设计的出发点。系统结构如图 1 所示。需要指出,一体化并不是简单地从 SCADA 系统复制实时环境,SCADA/EMS 的数据库及画面也必须根据开票的要求进行补充开发。

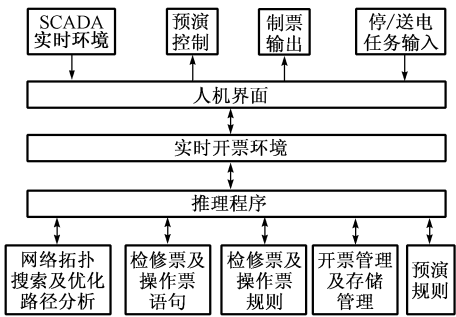


图 1 智能化检修票及操作票系统框架
Fig. 1 Scheme of the maintenance scheduling and the switching scheduling system

一体化设计的另一优点是不需要使用开票专用的硬件设备,原理上这样的设计可将开票软件包安装在 SCADA/EMS 中的任一工作站上。

编制检修计划票和调度操作票的第 1 步是建立开票环境。本设计采用进入开票系统后从 SCADA/EMS 的 SCADA 数据库、网络数据库复制实时断面,形成包括数据库和画面在内的开票数据环境,如果需要修改环境,则在 SCADA 侧修改后复制过来,以保持数据环境的一致性。

2 人机界面设计

人机界面是编制检修票和操作票的中心环节,检修计划安排人员和电网调度员都是通过人机界面进行开票操作的。其中,输入设定功能有:

a. 操作任务的设定。开票人员通过实时电网接线图和厂站接线图选择操作对象,设定操作类型(检修票、操作票),然后设定操作的目标状态(运行、热备用、冷备用、检修)。对于复合型的操作,例如变电站整段(或 2/3、1/3 段)的停/送电,则除了设定变电站内元件的目标状态外,还要设定检修线路的目标状态。

b. 出票方式的设定。出票有不同的方式,有些元件的操作步骤要求以一步方式出票(例如“由运行转检修”),有的则要求两步方式出票(例如先“由运行转冷备用”,再“由冷备用转检修”)。这需要在输入界面上设定。

c. 管理方面设定。包括停/送电时间、检修及操作单位、开票人员、审核人员、执行人员等的设定。

当检修票或操作票完成后,可从人机界面上启动输出制票。

人机界面上设有操作票预演功能键,当某项操作票开票后,若需对其正确性进行验证,则启动操作票预演热键,对该操作票进行逐项模拟操作验证。

当发现检修票或操作票由于某种原因需要人工修改时,启动修改功能键,对其内容进行人工修改。

3 推理程序设计

推理程序是操作任务确定后开票的核心。开票人员在人机界面上设定操作任务的需求后,就由推理程序自动实现开票的全过程。推理程序由以下 4 部分组成。

3.1 判断匹配推理模块

根据电网和变电站实际接线,自动判断所需操作的元件或变电站类型,判断操作性质是简单元件(开关/刀闸)操作还是涉及电网转供以至多级转供负荷的复杂操作。前者可直接调用操作票语句库中的相应语句直接出票,后者则需调用电网的拓扑分析和供电途径优化软件进行合/解环计算后决策。本模块中包括检修票和操作票的各种规则及语句。

3.2 电网拓扑分析和供电途径优化计算模块

我国供电网接线是闭环设计开环运行,为防止出现电磁环网,任一变电站一个时间段内都只有 1 路电源供电。为保证任何检修停电操作均不导致另一座(或多座)负荷变电站停电,由本模块进行拓扑搜索和合/解环分析,即在本项检修停电操作前先将受影响的负荷转至另一座变电站,但需结合遥测

数据计算后者是否会因此而导致承担转供电的变压器过载。如出现这一情况,则需将后者再转出部分负荷。如果转供的负荷可以有不同的转供途径,则需根据事先规定的优先原则进行转供途径优化选择。送电时则需进行反向的操作计算。

3.3 站间操作的顺序决策模块

多数供电网 1 项检修的停/送电任务都会涉及不止 1 座变电站的操作,特别是 110 kV 变电站的整段(即变电站的 1/2 或全部)停/送电更会涉及多座分属不同所有者、不同调度级别、不同电压等级的变电站及用户线路之间的操作。因此,1 次这样的停/送电操作需从电气逻辑到管理体系进行考虑,设计出站间操作顺序票(称为操作组织票或操作目录),这是整个操作的大纲。在大纲中,由本模块按操作次序规定了各变电站执行的该站的操作票号,同时由推理模块开出各变电站站内具体操作票。一项任务的操作票数量是不定的,例如某项停/送电任务涉及 m 个变电站的操作,就至少要开出 m 张变电站操作票,如果其中 n 个变电站要做不止 1 次的操作(例如多级转供电、不同站的消弧线圈操作等),则顺序票中就会出现至少 $m+n$ 项,亦即 1 次停/送电就要各开出至少 $m+n$ 张变电站级操作票。这一复杂的操作顺序由站间操作的顺序决策模块完成。

3.4 特殊操作规则模块

供电网是逐步发展起来的,由于变电站构成供电网接线以及管理方面的原因,实际运行中会出现许多特殊的操作规定,类型很多,但每类数量很少,很难通用。检修票和操作票必须考虑这些特殊的情况,设计特殊的操作规则。

4 检修票及操作票管理设计

大型供电网每天都可能有很多项停/送电任务。检修票是每项任务 1 张,操作票则是每项任务若干张,视操作任务而定。这些票都要统一管理。

4.1 开票人员资格管理

管理模块的第 1 项任务是由预置人员名单、口令等来进行各类开票人员、审核人员、批准人员的资格认证。

4.2 票号管理

检修票和操作票各有其顺序编号,这些票的类型众多。例如,操作票有操作顺序组织票、一般变电站操作票、双回线操作票、用户变电站操作票、安全措施票、新设备投运票等,出票时需要按票型分类编号,以便执行和检索。

4.3 出票管理

由本系统开出的检修票和操作票只有经过审核人员和批准人员签发后才有效。出票管理的任务就

是验证各类检修票和操作票的有效性,通过验证,才能打印出票。

4.4 存储管理

检修票和操作票作为供电网重要的历史档案,需要长期分类存储,并可以随时统计检索。

5 操作票预演设计

正确性是自动化开操作票的前提。操作票的正确性除了需要由有经验的人员审批外,还要由工具来验证。一般说来,对于简单的元件级停/送电操作可不进行预演,但对复杂的变电站级停/送电操作的正确性,有时即使有经验的审批人员也不一定能在短时间内做出正确判断。这种情况下,迫切需要用工具来快速验证,这就是操作票的预演。包括安全措施在内的操作票的预演是国内一直未解决的问题,本设计以停/送电任务开出的操作顺序组织票为纲,按组织票规定的顺序将所涉及的变电站的操作票逐项执行。

操作票的预演涉及与各种待检修设备相关的开关、刀闸、地线、检修标志牌的开/合、投/退全过程的动作演示,以及电网运行的相关变化,这是十分复杂的过程。根据这一要求,设计了与操作票紧密结合的专用软件,用这一软件包在人机界面上模拟启动操作票的执行,在完成出票的同时,将该项操作票中需要完成的开关操作状态同步记录于专用的预演数据库中,启动预演时将其执行结果信息的变化,包括各开关、刀闸、地线、检修标志牌的动作,以及电网潮流变化、线路和变电站元件停/送电中的拓扑着色,在人机界面上逐一显示,以帮助审核人员快速确定该项操作票的正确性。

6 在大庆油田供电网中的实践

大庆油田供电网是全国最大的企业电网,调度的电压等级从 110 kV、35 kV 至 10 kV/6 kV,包括约 300 座 110 kV 和 35 kV 变电站、350 余条输电线路,主要由黑龙江省的 220 kV 环网供电。大庆油田供电网是随着油田建设不断发展而形成的,因而电网构成复杂,运行方式和各联络线的种类很多,导致操作票类型众多,每天的检修操作任务也繁多,操作十分复杂。基于现有的 SCADA/EMS(SD-6000)一体化设计的大庆油田电网优化检修安排与实时操作票系统,目前已在现场试用。这一系统按照线路、开关、主变、母线、电压互感器、消弧线圈、旁路母线、旁路开关、变电站整段(变电站的 1/2 或 1/2 中的 2/3、1/3 段)等 9 类,进行检修、操作及采取安全措施。每一类再分若干子类,例如,线路分 110 kV、35 kV 和 10 kV/6 kV 电压等级,以及单回线、双回线、特殊双回线、充电线、T 接线等,线路检修又分单

纯线路检修、线路一侧或两侧开关结合线路检修、一侧或两侧线路刀闸和接地刀闸结合检修等。然后,整理出各种开票规则、开票语句、注意事项数百种,分别建库。用这一智能化开票系统实现了由开票人员调出实时电网接线图,在开票窗口上设定操作任务并启动后,完全自动化地开出检修票和操作票,在有设定错误时就停止执行并发出告警。开票后由审核人员通过预演功能软件检验开票的正确性。

本开票系统(包括检修票、操作票、培训、维护)分别装在 EMS 的 9 台人机工作站上,开票人员点选 SCADA 画面上的开票功能键,画面就自动转变为与当时实时系统相同画面的数据断面开票环境,各种开票人员可在自己的开票工作站上开票而互不干扰。所开出的验证有效的检修票和操作票在各自工作站上短期保存(1 星期),并在 SD-6000 系统的基于 Oracle 的历史数据库中统一保存和统计检索。

使用本系统可以在保证开票正确性和合理性的前提下大大提高效率。例如,一项较复杂的检修任务,往往涉及 10 张以上的操作票,有经验的调度人员也要用 2 h 以上才能完成。而用本系统,只需在界面上进行所需操作的设定后,即可出票,整个过程只需 2 min~3 min。

参考文献

- 1 孙 斌,董 新,唐国庆(Sun Bin, Dong Xin, Tang Guoqing). 省网开关操作管理专家系统的通用化设计及实施(Universal Design and Implementation of Provincial Network Switching Operation Management Expert System). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1995, 19(12): 29~34
- 2 陈允平,周 理(Chen Yunping, Zhou Li). 计算机生产操作票理论及实践(The Theory and Practice of the Operation Order Generated by Computer). 电网技术(Power System Technology), 1996, 20(2): 39~42
- 3 陶维青,鲍道良,叶宝喜,等(Tao Weiqing, Bao Daoliang, Ye Baoxi, et al). 面向对象的发电厂网络开关操作票专家系统(A Switching Working Order Expert System). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1997, 21(12): 65~67
- 4 汤 磊,张伯明,孙宏斌(Tang Lei, Zhang Boming, Sun Hongbin). 电网操作票专家系统的通用认知模型(General Cognitive Model of Power Network in Operating Command Expert System). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(22): 6~9, 21
- 5 庄 伟,陈 刚,张国威(Zhuang Wei, Chen Gang, Zhang Guowei). 国调智能化调度操作票管理系统(The Intelligent Dispatching Schedule Management System). 见:第 28 届中国电网调度运行会议论文选集(In: The 28th Conference of China Electric Power Control and Operation Thesis Florilegium). 北京(Beijing): 2003. 7~12
- 6 Yoshizawa J, Ogi H, Takano T, et al. An Automatic Knowledge Acquisition Method for Switching Sequences and Its Evaluation. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(2): 884~890
- 7 Kai Ju, Krost G, Rumpel D. Expert System for Interlocking and

Sequence-switching. In: Proceedings of International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems. New York: IEEE, 1996. 385~389

8 Krost G, Spanel U, Muller C. Self-Acting Expert Systems in Electric Energy System Operation. In: Proceedings of International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems. New York: IEEE, 1996. 352~356

9 Schulte R P, Larsen S L, Sheble G B, et al. Artificial Intelligence Solutions of Power System Operating Problems.

IEEE Trans on Power Systems, 1987, 2(4): 920~926

张建国(1971—),男,硕士,工程师,从事电网调度自动化工作。E-mail: zhangjg@gd.dq.cnpc.com.cn

刘智广(1963—),男,高级工程师,从事电网调度自动化工作。E-mail: lzg@dl.dq.cnpc.com.cn

陆杏全(1945—),男,教授级高级工程师,博士生导师,主要研究方向为 EMS 应用软件和数据库管理系统。

DESIGN AND PRACTICE OF THE INTELLIGENT MAINTENANCE AND SWITCHING SCHEDULING SYSTEM OF THE POWER SYSTEM

Zhang Jianguo¹, Liu Zhiguang¹, Lu Xingquan², Jin Zhendong²

(1. Daqing Oil Field Administration Bureau Electric Power Head Company, Daqing 163453, China)

(2. Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: In view of the complexity and high reliability requirements of the maintenance and switching scheduling (MSS) of the power distribution system, based on the support platform of energy management system (EMS), a new integrated intelligent MSS system is developed. The design principle and basic frame, the design and implementing scheme of the man-machine interface (MMI), the inference program, MMS tickets management and the preview of switching scheduling are described. The application practice in the Daqing Oil Field power distributing system, one of the largest power distributing systems in China, is also dealt with.

Key words: scheduling system of power system; power system operation; maintenance scheduling system; switching scheduling system