

The Application of Sequence Control Based on Intelligent Operation Ticket Generating Technology

Yongxiong Yang, Fei Chen

Guangzhou Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Corp, Guangzhou

Email: swiftchen@163.com

Received: Oct. 21st, 2011; revised: Nov. 23rd, 2011; accepted: Nov. 26th, 2011.

Abstract: The concept of sequence control and three implementation schemes are introduced; also the advantages and disadvantages of each other are explained. Based on digital reconstruction project of 110 kV ChangZhou substation, the program implementation of sequence control in one electric interval and cross-interval are expounded. The intelligent reasoning mechanism which adapts system operating mode is introduced to sequence control, the functional requirements of sequence control in cross-interval are effectively solved. The engineering application in 110 kV ChangZhou substation shows that the adaptive intelligence operation ticket generating technology of sequence control has more practical significance.

Keywords: Sequence Control; Intelligent Operation Ticket; Digital Reconstruction; Monitoring System

基于智能开票技术的程序化操作的应用

杨永雄, 陈 飞

广东电网公司广州供电局, 广州

Email: swiftchen@163.com

收稿日期: 2011年10月21日; 修回日期: 2011年11月23日; 录用日期: 2011年11月26日

摘 要: 介绍了变电站程序化操作的概念及其三种实现方案, 阐述了彼此的优缺点。以 110 kV 长洲变电站数字化改造工程为例, 详述了程序化操作中的间隔内与跨间隔程序化操作的实现方法, 引入推理机制的智能开票技术能够自适应系统的运行方式, 有效的解决了跨间隔程序化操作中的功能需求。110 kV 长洲变电站的工程实践表明模式自适应的智能开票技术对程序化操作的实际运用具有更为现实的意义。

关键词: 程序化操作; 智能开票; 数字化改造; 监控系统

1. 引言

近年来, 电网规模的迅速扩张, 一方面推进了变电站自动化技术的快速发展和电气设备性能的提高^[1], 另一方面也致使电力企业运行管理环节压力加大。为整合生产资源, 优化管理流程, 提高企业运营管理水平, 变电站运行管理模式正由单站值班、集控中心管理逐步向一点监控多点巡视的值班模式转变, 生产领域集约化、专业化、精细化管理格局初步形成。在变电站倒闸操作方面, 通过程序化操作与现有运行模式的融合, 可以有效提高变电运行安全倒闸操作效率和

质量, 同时提高供电可靠性。如何实施程序化操作, 开展程序化变电站的运行管理工作, 成为目前变电运行工作者探索的一大课题^[2-4]。110 kV 长洲变电站在实现程序化操作的基础上, 开发了智能操作票生成和管理系统。

2. 程序化操作介绍

2.1. 程序化操作的概念

程序化操作又称为顺控操作, 是指在操作过程中, 所执行的控制、监视、测量、操作等工作全部通过一

个程序包，由一个完整的执行程序，通过计算机将原先需要多步才能完成的操作一步完成^[3]。

变电站的倒闸操作一般包括出票、审核、操作、检查等过程，相比程序化操作，目前常规倒闸操作的安全、效率和质量，都不同程度的受到操作票拟定审核质量、每一项操作需人为干预、人员对现场设备操作的熟悉程度、人员操作技能水平、现场设备的位置距离以及户外操作受天气变化等因素的影响。

而程序化操作具有操作步骤固定、检查项目规范细致的特点，操作票的选择、执行和操作过程的校验由站内智能电子设备自动完成，实现“一键式”操作。大大降低了操作全过程对人为因素的依赖程度，以及一些客观因素存在的影响，有效提高了安全操作效率和质量的保证。

2.2. 程序化操作的实现方案

目前，按照操作票的存储地点，程序化操作的实现方案大致包括基于主机的实现方案、基于程序化操作服务器的实现方案和基于间隔的实现方案^[2]。

2.2.1. 基于主机的实现方案

该方案以监控中心主机或变电站自动化系统主机为主体，根据变电站的典型操作票编制对应的操作序列，当运行人员选定操作任务后，计算机按照预定操作程序向相关电气间隔的测控保护装置设备发出操作指令，执行操作。

该方案的优点是无论单一间隔的操作还是跨间隔的操作都易于实现，程序化操作票可统一管理，工程实施和维护也比较方便。缺点是电气间隔的状态信息从保护测控装置设备采集后需传送到主机，降低了程序化操作的实效性和可靠性；对通信装置的可靠性要求较高。

2.2.2. 基于程序化操作服务器的实现方案

该方案在变电站内设置程序化操作服务器，变电站内所有操作票存放在该服务器中，当运行人员选择合适的操作票后，由服务器根据操作票依次向间隔层设备下发控制命令，达到程序化操作的目的。

该方案优点是操作票的日常维护较为方便，由程序化操作服务器代替主机实现批量遥控功能，但不能解决变电站扩建时操作票的验证问题。

2.2.3. 基于间隔的实现方案

该方案基于先进的间隔层设备，在对应的保护测控装置中建立程序化操作序列表，监控中心主机或变电站后台机以遥控操作命令启动保护测控单元执行程序化操作。其特点是所有的位置判定在装置上实现，避免了主控单元与间隔层装置之间频繁的命令下发和信号上传，减少了通信因素的干扰。

该方案优点是明显改善了操作的响应性能和可靠性，使操作更便捷。缺点是跨间隔程序化操作执行单位分散，工程实施和维护都较为复杂。因此进行多间隔混合操作时，只能采用基于主机的实现方案。

3. 110 kV 长洲变电站程序化操作功能的实现

3.1. 110 kV 长洲变电站程序化操作的平台

长洲变电站原是常规的 110 kV 降压变电站，于 2010 年分两期进行数字化改造后，成为广州供电局继 110 kV 三江变电站后的第二座数字化变电站。该站 110 kV 侧为线路-变压器组单元接线方式，目前运行两台双绕组变压器，10 kV 接线为常规的单母分段。全站一次设备均具有远程遥控功能，监控系统配置程序化操作模块，可实现“一键式”智能化操作。二次系统按数字化变电站设计，采用南瑞继保最新的 PCS 系列数字化保护，主变采用常规互感器与电子式互感器采样，保护、智能终端的双重化配置，10 kV 配电装置具有基于 IEC61850 的网络化备自投、过负荷联切和快速简易母线保护等功能。110 kV 长洲变电站一、二次设备的配置均符合程序化操作的要求。

3.2. 程序化操作的类型

1) 间隔内程序化操作：程序化操作的内容仅涉及到本间隔内设备的操作，输入输出信息只与本间隔保护测控装置相关。如馈线状态(运行、热备、冷备、检修)转换的程序化操作；

间隔内程序化操作对象主要是一个间隔内的保护设备、测控装置和对应的智能化操作机构，具有自封闭特征，相对独立性较高，因此在变电站改造扩建时不受任何影响，并且可靠、安全、易于推广。

2) 跨间隔的程序化操作：程序化操作的内容由多

个装置的信息组成，输入输出信息涉及到多个间隔的操作。如 10 kV 母线的停送电操作。

跨间隔的程序化操作具有全局性，不同间隔、不同电压等级设备可以实现程序化操作，对实现整个变电站的自动化操作提供了一种可能，但跨间隔的程序化操作涉及的因素较多，比如设备运行状况、变电站运行方式等，也易受到改造扩建的影响而发生变化，因此给整个实施过程带来一定的难度。

可见，跨间隔的程序化操作受到的制约因素、不确定因素以及复杂程度都较间隔内的程序化操作有着较大的不同，但跨间隔的程序化操作又将依赖于间隔内程序化操作的具体实施，因此两者既相互关联，又有着较大的差别。

3.3. 110 kV 长洲变电站程序化操作模式

3.3.1. 间隔内程序化操作

间隔设备的操作手段是实现程序化操作的基础，它决定了程序化操作可实现的程度。以 10 kV 馈线间隔为例，目前，广州供电局普遍采用移开式开关设备作为 10 kV 馈线的断路器设备，如图 1 所示。此类型设备经过改造或在设计订货时由厂方制造，具备通过电动操作可进行设备在各种运用状态间的转换，为实现程序化操作提供了良好的设备实施环境。

110 kV 长洲变电站高压室配电装置在进行设备数字化改造时，采用了厦门 ABB 公司生产的具备全电动功能的开关柜设备，配合南瑞继保公司 PCS-9600 系列保护测控一体化装置，运行人员可以在监控后台发出遥控命令，借助智能化单元，就可以驱动开关设备上的操动机构或驱动电动机，控制断路器的分合、手车的摇出摇入和接地刀闸的分合，从而实现间隔从运行到检修状态的遥控切换等。在此过程中，任意一个操作完成后，智能单元将会判断此时的设备位置，只有这些位置符合预设定的条件，才能进行下一步的自动操作。对于一个智能化间隔的所有运用状态之间的切换如图 2 所示。

以 110 kV 长洲变电站 10 kV 馈线 F1 间隔为例，按照典型操作票，将 10 KV 馈线 F1 间隔四态(运行态、热备用态、冷备用态、检修态)之间的转换操作序列表编制到监控后台的主机中，经过实际的传动验收。在进行程序化操作时，运行人员根据操作任务，进入相

应间隔分图，直接点击目标态即可生成操作序列，模拟执行，完成顺控。如图 3 所示，红色状态显示 10 kV 馈线 F1 间隔当前状态是检修态，若要将 10 kV 馈线 F1 间隔由检修转运行，只需在画面中点击“运行态”，即可生成相应操作票，进而进行程序化操作。

3.3.2. 跨间隔程序化操作

在变电站的倒闸操作任务中，除了单间隔设备状态转换操作以外，一个任务涉及多间隔状态转换的跨间隔操作也经常出现，如母线状态的转换，涉及母线上各间隔的运行方式或状态转换操作。跨间隔比单间隔操作任务要复杂，如能在此类操作中实现程序化操作，它所带来的无论是安全上还是效率上的效益将更加明显。

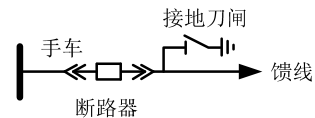


Figure 1. Equipments of feeder line interval
图 1. 馈线间隔设备

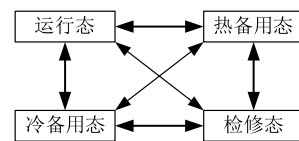


Figure 2. State transitions of interval equipments
图 2. 间隔设备的状态转换图



Figure 3. Sequence control of feeder line F1
图 3. 10 kV 馈线 F1 间隔程序化操作

3.3.2.1. 跨间隔操作在程序化实现中的难点

跨间隔程序化操作的解决难点是涉及的各间隔状态的不确定，可以理解为无法确定源态运行方式或者源态运行方式较为复杂。以 10 kV 母线为例，只要有一个间隔开关手车在运行位置，即判断母线为运行状态。要进行 10 kV 母线由运行转检修的操作，N 个间隔就有 $2^N - 1$ 种组合可能，相对应的就会有 $2^N - 1$ 张操作票。显然采用定制这些操作票实现程序化操作功能就变得异常繁琐和几乎不可能。

跨间隔程序化操作，在碰到源态不确定的情况下，一般是采用组合票的方法来解决此类问题，即提示运行人员根据运行方式选择各间隔的源态，使用组合票的方法形成跨间隔操作的操作票，进行程序化仿真。使用组合票的方法一定程度上解决了跨间隔操作的问题，为变电站倒闸操作提供了一定的方便性和灵活性。但是由于在出票阶段涉及到更多的人工干预，比如整个高压室的停电，涉及到 10 几条馈线及电容器等间隔的状态判断，调取典型票等人为干预，因此组合票没有从根本上解决现场实际运行过程中源态不确定的问题，没能完全实现程序化操作所带来的智能化效果。

3.3.2.2. 跨间隔程序化操作的功能需求

基于跨间隔程序化操作中，设备源态不确定造成典型票编制繁琐的问题，110 kV 长洲变电站改造中提出在 10 kV 电压等级实现“智能判别 + 生成操作票”的功能需求。其基本思想是开票系统能够根据现场运行方式自动适应需要进行的操作，不再需要定制每一种可能的运行方式组合票。自适应的方式：

1) 开票时根据现场运行方式自动选择需要操作的步骤，能自动判断不符合项，对已满足目标态的顺控步骤，一次设备操作自动跳过，二次设备操作(如压板之类的操作)自动改成检查项。

2) 定制高压室全停全送操作票时，先判断程序化操作中每个设备源态是否满足，若不满足，提示用户是否忽略本步操作；再判断设备的目标态是否满足，若已满足，提示用户是否忽略本步操作。

如图 4，以母线带四间隔为例，其中间隔 1 处于运行状态，间隔 2 为热备用状态，间隔 3 冷备用状态，间隔 4 为检修状态。现将母线由运行转检修。在典型票库中，已经有间隔 1~4 都处于运行状态的母线转为检修状态的操作票，进行程序化操作时，首先智能判

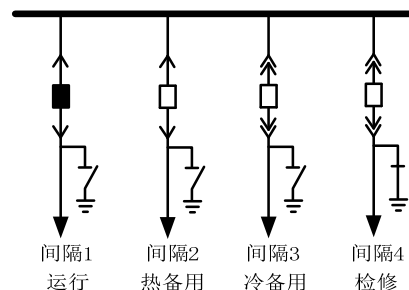


Figure 4. Complicated operation mode of bus bar
图 4. 各间隔状态复杂的母线运行状态

断各间隔状态，发现间隔 1 是运行状态，则典型票中关于间隔 1 的操作步骤不变；发现间隔 2 是热备用状态，提示运行人员是否忽略典型票库中“间隔 2 断开开关”的操作步骤；发现间隔 3 是冷备用状态，提示运行人员是否忽略典型票库中“间隔 3 断开开关，拉出小车至试验位置”的操作步骤；发现间隔 4 已是冷备用状态，提示运行人员是否忽略典型票库中关于间隔 4 的操作步骤。经过状态判别，自动屏蔽不是从当前状态开始的操作，进而形成所需运行方式下的程序化操作票。

4. 基于智能开票技术的程序化操作

由于传统程序化操作模块在无法确定源态或者源态运行方式较为复杂的情况下，实现间隔的倒闸比较复杂和困难^[5,6]。因此在实现 110 kV 长洲变电站的程序化操作功能中，根据“智能判别 + 生成操作票”的功能需求，在程序化操作模块中引入了推理机制，改进传统的 RCS9700_程序化操作模块，开发了智能操作票生成和管理系统，使其能够智能选择正确的倒闸方案，从而解决了跨间隔程序化操作中源态不确定的问题。

该系统将推理机制进入到程序化操作模块中，根据后台机所采集位置状态的开入量和模拟量，跟踪系统当前的运行方式，自动判断是否满足要求的动作条件，进而发跳合闸动作命令，完成动作逻辑。这样程序化操作模块就能够根据动作逻辑的运行条件和其自适应性要求，自动进行模式识别，自适应选择与之匹配的倒闸操作方案。其流程图如图 5 所示。

智能开票技术可以描述为在后台机画面上选择需操作的设备和操作任务，根据设备本身及相关设备的状态，通过匹配操作规则库，系统自动得出一系列的

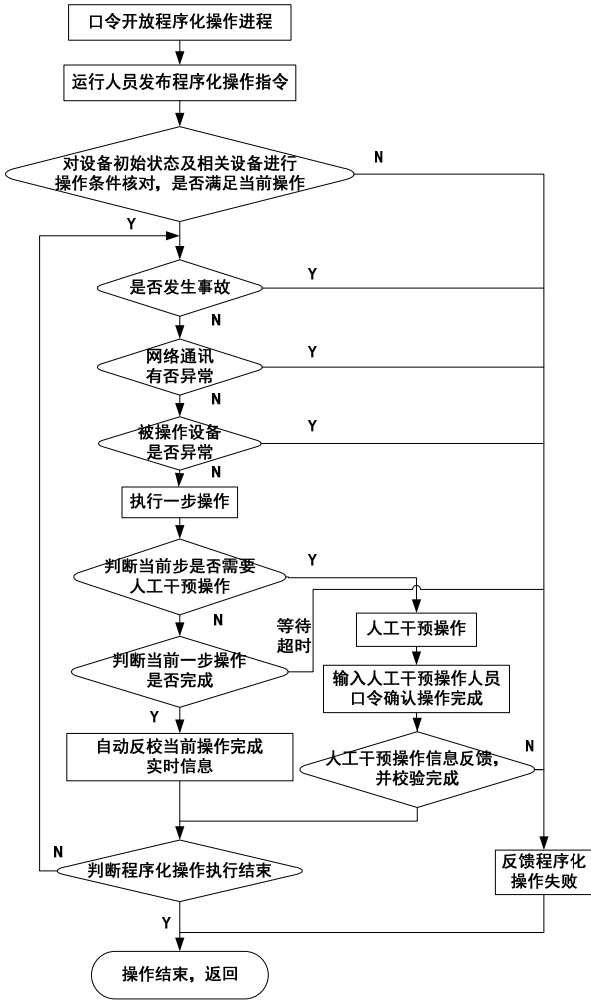


Figure 5. The flow chart of sequence control based on intelligent operation ticket generating technology
图 5. 基于智能开票技术的程序化操作流程

操作序列, 智能地生成 1 张完整的操作票^[7]。可以描述为以下 3 个步骤:

- 1) 根据操作任务到典型票库中查找, 如果匹配到典型票, 则装载典型票, 如果没有匹配到典型票, 执行第 2 步;
- 2) 根据操作任务到已校验的顺控流程定义库中查找, 如果匹配到顺控流程定义, 则装载顺控流程定义, 拟票人可根据具体任务进行编辑, 如添加提示步骤, 如果没有匹配到顺控流程定义, 执行第 3 步。

3) 根据操作任务到操作规则库中查找操作规则、操作术语, 得到这个特定任务的操作规则列表, 然后用实际设备替换操作规则列表中的模板设备, 得到一系列的实际操作列表。

该站的智能开票系统根据现场运行方式自动适应需要进行的操作, 实现了跨间隔程序化操作所需求的自适应方式判别。

5. 小结

随着程序化操作技术在变电站中的应用, 实践证明程序化操作技术的应用, 有效的实现倒闸操作安全和效率的提高。根据 110 kV 长洲变电站的运行统计, 单一馈线间隔从运行状态到检修状态的平均操作时间, 由人工操作的 7 分钟~10 分钟缩短到程序化“一键式”操作的 3 分钟左右, 对于大型复杂操作效果将更明显、优势将更为突出。自适应模式思想的运用改变了传统的程序化操作技术开发过程, 将推理机制引入程序化操作模块, 解决了因系统方式和设备运行状态多变而难以生成程序化操作序列的问题, 模式自适应的智能化开票功能对程序化操作的实际运用具有更为现实的意义。

参考文献 (References)

- [1] 唐涛. 电力系统厂站自动化技术的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 92-27.
- [2] 叶锋, 沈峻, 杨世骅等. 程序化操作在变电站自动化系统中的实现[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(21): 90-95.
- [3] 赵辉程, 孙玉文, 陈韶伟. 变电站程序化操作若干问题探讨[J]. 江苏电机工程, 2009, 28(5): 24-28.
- [4] 王文龙, 胡绍谦, 汤震宇. 程序化操作在变电站中实现的几个关键问题[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(22): 66-68.
- [5] 徐俊杰, 许先锋, 杜红卫等. 电网智能操作票管理系统[J]. 电力自动设备, 2009, 29(11): 98-101.
- [6] 陆瑞华, 孙勇, 王毅. 华东电网智能操作票系统设计[J]. 华东电力, 2009, 37(6): 948-951.
- [7] 宋健, 滕井玉. 支持程序化操作的智能操作票生成和管理系统[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(3): 59-61.