

# 智能变电站顺控技术工程实践

艾飞<sup>1</sup>, 茅俊<sup>1</sup>, 丁敬<sup>1</sup>, 黄继荣<sup>1</sup>, 张新来<sup>2</sup>, 徐通<sup>1</sup>, 胡冬良<sup>1</sup>

(1. 国网杭州供电公司, 浙江 杭州 310000;

2. 邯郸慧龙电力设计研究有限公司, 河北 邯郸 056000)

**摘要:** 智能变电站是智能电网的重要基础和支撑, 顺序控制是智能变电站的基本功能要求。由于智能变电站技术仍处于发展阶段, 当前使用顺控技术的变电站较少, 实际运行管理经验较欠缺。以国网杭州供电公司 220 kV 彩虹智能变电站为例, 介绍了智能变电站对顺控技术的要求, 分析了监控后台、顺控系统、操作票系统、五防系统之间的关系, 并以实际操作演示了顺控操作执行过程, 最后指出了彩虹变电站顺控系统建设方面的不足, 并提出了相应的建议。对顺控技术的分析与实践对于智能变电站顺控系统建设有一定的借鉴意义, 并可以为运行值班人员对智能变电站设备的顺控操作提供一定参考。

**关键词:** 智能变电站; 顺序控制; 工程实践; 操作票

中图分类号: TM761 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2018)02-0082-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2018.02.019

## Project Practice of Sequential Control for 220 kV Caihong Smart Substation

Ai Fei<sup>1</sup>, Mao Jun<sup>1</sup>, Ding Jing<sup>1</sup>, Huang Jirong<sup>1</sup>, Zhang Xinlai<sup>2</sup>, Xu Tong<sup>1</sup>, Hu Dongliang<sup>1</sup>

(1. State Grid Hangzhou Power Supply Company, Hangzhou 310000, Zhejiang, China;

2. Handan Huilong Electric Power Design & Research Co., Ltd., Handan 056000, Hebei, China)

**Abstract:** The construction of smart substation has an important significance for the foundation of smart grid, and the sequential control is one of basic requirements for smart substation. The quantity of smart substations is low at present, and the sequential control technique is not widely used, so there lacks experiences in operation and management of sequential control for smart substation. Taking 220 kV Caihong smart substation for example, the requirements for sequential control technique in smart substation are introduced, and the relationship among monitoring system, sequential control system, operation order and mis-operation prevention system is analyzed. The process of sequential control is also demonstrated by practical operations. The deficiency of sequential control system in 220 kV Caihong smart substation is pointed out, and the corresponding suggestions are put forward. The analysis and practice of sequential control technique for Caihong smart substation provide a reference for the construction and manipulation of smart substations.

**Key words:** smart substation; sequential control; project practice; operation order

## 0 引言

应用在变电站设备的运行操作中的顺序控制是指由顺序控制服务根据操作票对变电站设备进行系列化操作, 依据设备的执行结果信息的变化来判断每步操作是否到位, 确认到位后自动或半自动执行下一指令, 直至执行完成所有的指令<sup>[1]</sup>。

常规变电站站控层多采用 IEC103 规约, 而保护

装置站控层通信采用私有规约, 难以实现远方切换定值区、远方投退功能软压板、程序化控制等功能。其倒闸操作虽然已经实现了自动化远程操作, 但仍需操作人员参与到每一项操作中, 通过设备反馈的状态信息来判断操作是否正确, 这种操作模式消耗大量人力和时间。智能变电站是建设坚强智能电网的重要组成部分, 根据国网公司规划, 智能变电站已全面开展建设<sup>[2-3]</sup>。智能变电站最基本的智能控制包括顺序操作、智能操作票、图像联动等。而顺序控

制是变电站智能控制的基础。采用自动化系统实现倒闸操作的顺序控制,通过程序、逻辑来自动判断设备运行状态的变化,避免了操作人员的来回检查,提高了生产效率和供电可靠性,因此近年来智能变电站顺控技术得到了较大发展。

## 1 对顺序控制的要求

### 1.1 总体要求<sup>[1]</sup>

- 1) 变电站侧应具备完整顺序控制功能,并支持主站(即调度端或集控中心)顺序控制。
- 2) 远方顺序控制操作时操作票宜配置在 I 区数据通信网关机,站内顺序控制操作时操作票宜配置在监控主机中维护。
- 3) 顺序控制需经过五防逻辑校核,五防功能应由监控系统实现。
- 4) 顺序控制需具备操作合理性的自动判断功能,且每步操作步骤需有一定的时间间隔,具备人工干涉的功能。顺序控制需提供控制急停及暂停功能。
- 5) 顺序控制应具备与智能辅助控制系统接口,以支持与图像监控系统联动。

### 1.2 对设备的要求

- 1) 实现顺控操作的变电站设备应具备完善的防误闭锁功能。
- 2) 实现顺控的变电站保护设备应具备远方投退软压板及远方切换定值区功能。
- 3) 实现顺控操作的封闭式电气设备(无法进行直接验电)其线路出口应安装运行稳定可靠的带电显示装置,反映线路带电情况并具备相关遥信功能。
- 4) 实现顺控操作的变电站母联断路器操作电源应具备遥控操作功能。

## 2 彩虹智能变电站概况

彩虹智能变电站<sup>[4]</sup>(以下简称彩虹变)工程位于杭州市滨江区,目前工程规模:主变压器为 $2 \times 240$  MVA;220 kV 系统采用户内 GIS,双母接线,设专用母联,出线 6 回;110 kV 采用户内 GIS,单母分段接线,出线 6 回;35 kV 采用常规户内开关柜设备,出线 5 回。主变压器配置 2 套电气量保护和 1 套非电量保护。220 kV 母线配置 2 套母差保护,

220 kV 线路配置 2 套线路保护,220 kV 母联配置 2 套母联保护。110 kV 母线配置 1 套母差保护,110 kV 线路配置 1 套线路保护,110 kV 母分配置 1 套母分保护,110 kV 侧还配置自投 1 套。35 kV 线路、母分各配置 1 套保测一体化装置。如此大型的变电站内,断路器、隔离开关、软压板、空气开关等设备数量极大,按常规逐步操作方式,在操作每个设备时,还要求操作人和监护人输入设备代码、操作密码进行验证,耗费人力和时间巨大,且极易出错。

## 3 彩虹变顺控系统介绍

彩虹变测控装置为南瑞继保产品,保护装置为南瑞继保和四方继保产品,监控后台为南瑞公司 PCS-9700 产品<sup>[5]</sup>。全站站控层采用 IEC 61850 规约统一建模、统一配置实现智能设备互操作,采用一体化信息平台技术,支持电网实时自动控制等高级功能,全站网络按分层分布式来实现站内智能设备间的信息共享和互操作。彩虹变网络在逻辑上分为站控层、间隔层和过程层 3 层<sup>[6]</sup>。在变电站层和间隔层之间的网络通信采用抽象通信服务接口映射到制造报文规范(MMS),站控层设备与间隔层设备间采用双星型拓扑结构以太网相连,即所有测控装置、继电保护装置及监控主机、故障录波器、网络分析仪、对时系统等,均接至 MMS 网。彩虹变站控层网络结构如图 1 所示。

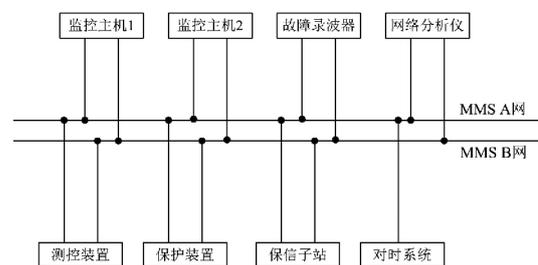


图 1 彩虹变站控层网络结构

目前,彩虹变电站侧具备顺序控制功能,操作中心和调控中心不具备该功能。监控系统集成了顺控模块,并嵌入了逻辑闭锁软件,结合间隔层测控装置的防误联锁模块,对电气设备的操作进行全程、实时的判别。在投产调试阶段已对该监控系统防误和测控装置中防误进行了验收,站内五防逻辑与顺序控制功能的交互是系统内部的交互。

顺控操作票系统分为不可修改式、可修改式和

人工逐步输入方式。不可修改式适用于典型操作，操作票一经试验、审批合格并存入系统后，操作人员无权修改，确保了操作的正确性，但缺乏灵活性。可修改式方便人工进行一定的修改、调整，具有一定的灵活性，但需管理好修改权限。人工逐步输入方式可以灵活适应一些特殊操作，但也具有一定的风险。根据“安全高于一切”的理念，彩虹变顺控典型操作票生成方式选用不可修改式。

彩虹变 35 kV 开关柜内隔离开关、接地开关以及主变压器 35 kV 侧接地刀闸由于设备原因，目前无法顺控。主变压器、消弧线圈分接头调整操作直接遥控进行，除 220 kV 母联开关的控制电源小开关外的其余“控制操作电源小开关”的操作均未列入顺控操作范围。主变压器的停复役操作是多间隔操作，已拆分为主变压器 220 kV 侧和 110 kV 侧单间隔顺序控制执行。

根据文献[1]中第 5.1.1 条“顺序控制应能完成相关设备运行、热备用、冷备用三种状态间的相互转换”的要求，彩虹变目前可实现单间隔的运行态、热备用态、冷备用态的相互转换(运行态与热备用态之间的转换只是单步操作，彩虹变顺控不实施两态之间的转换)。对于开关检修态和线路检修态，从设备情况来看，也可以实现状态的转换，但根据文献[1]中第 5.1.4 条“断开或投入操作电源开关等操作不宜列入顺序控制范围”的要求，故彩虹变未将开关检修态和线路检修态列入顺控操作。在保护和自动装置方面，彩虹变可实现跳闸态和信号态之间的转换。具体地讲，220 kV 设备顺控“态”有正母运行态、副母运行态、正母热备用态、副母热备用态、冷备用态。110 kV 设备顺控“态”有运行态、热备用态、冷备用态。220 kV 和 110 kV 保护及自动化设备“态”有跳闸态和信号态。为方便后面实例理解，对 220 kV 线路(主变压器 220 kV 侧)的相关“态”作一定的阐述<sup>[7]</sup>。

副母运行态的定义：

- 1) 开关→合位
- 2) 正母隔离开关→分位
- 3) 副母隔离开关→合位
- 4) 线路闸刀→合位
- 5) 开关母线侧接地刀闸→分位
- 6) 开关线路侧接地刀闸→分位
- 7) 线路接地刀闸→分位

- 8) 线路压变二次交流电压开关→接通
  - 9) 第一路控制直流电源小开关→接通
  - 10) 第二路控制直流电源小开关→接通
- 当间隔设备满足以上状态要求时，顺控系统就认为其处于副母运行态。

冷备用态的定义：

- 1) 开关→分位
- 2) 正母隔离开关→分位
- 3) 副母隔离开关→分位
- 4) 线路隔离开关→分位
- 5) 开关母线侧接地刀闸→分位
- 6) 开关线路侧接地刀闸→分位
- 7) 线路接地刀闸→分位
- 8) 线路压变二次交流电压开关→切断
- 9) 第一路控制直流电源小开关→接通
- 10) 第二路控制直流电源小开关→接通

当间隔设备满足以上状态要求时，顺控系统就认为其处于冷备用态。

在顺序控制的实现方式方面，彩虹变采用了集中式顺控实施方式，在发起顺控操作指令时，站端监控主机、通信网关机将操作票解析分解成单步操作指令，并根据操作顺序依次下发给测控装置执行，操作过程中的自动控制、操作条件判别和各类遥信、遥测的数据交换，都在监控主机完成。

## 4 彩虹变顺控实例

以较复杂的单间隔顺控操作为例，来说明彩虹变顺控操作的逐步实现过程。彩虹变 220 kV 线路顺控状态转换如图 2 所示。

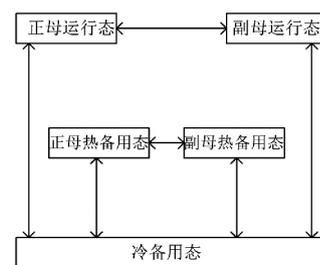


图 2 彩虹变 220 kV 线路顺控状态转换  
操作任务：XX 线由副母运行改冷备用  
操作步骤如下：

- 1) 检查监控后台运行正常，在顺控界面图 2 中“副母运行态”点亮，表示 XX 线初始状态为副母运

行。点击“冷备用态”,此时会弹出“输入操作人密码”对话框。

2) 在“输入操作人密码”对话框中输入身份验证,点击确认,若密码正确,会弹出“顺控”对话框,如图3所示。框内任务列表显示了操作任务,核对任务正确后,点击“调取”按钮,将顺控操作票从操作票数据库库存中调出,如图4所示。

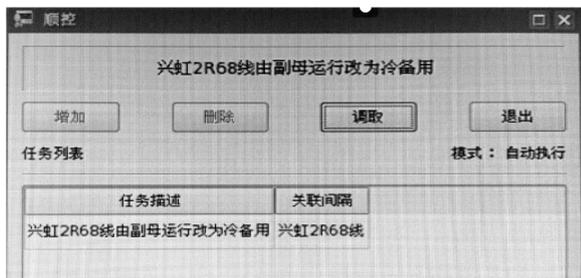


图3 彩虹变顺控对话框

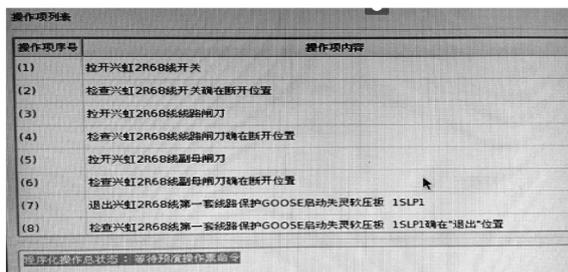


图4 彩虹变顺控操作票

3) 此时图3中的“调取”按钮变为“预演”按钮,点击“预演”按钮,程序开始模拟预演,预演过程中每一操作项都经过了五防判断,顺控界面设备状态跟随“预演”的进度实时变化,预演成功结束时图1中的“冷备用态”点亮,“顺控”框弹出“确认”对话框。如预演失败,预演程序会提示说明失败原因。

4) 预演成功点击“顺控”框弹出的“确认”后,图3中“调取”位置的按钮就变为“执行”按钮,点击“执行”按钮,程序开始按照顺序执行每一步操作及设备状态的检查。操作过程中,对于一次设备,采用双辅助接点遥信信号判断设备状态,对于软压板等数字信息则通过装置的信息回传来判断。如因各方面原因(设备、通信等)导致程序无法执行当前操作步骤或反馈条件不满足状态判断条件的情况时,程序经延时执行超时告警信号,并自动暂停操作,提示操作人员核对状态。若此时相应问题得到了解决(设备、通信等),在顺控界面点击“继续”按钮,程序将继续执行后续操作步骤。操作中每一步骤都有一定的时间间隔,当操作至“切断XX线路压变二次电压小开关”步骤时,顺控程序自动暂停,并跳出人

工操作提示,此时操作人员赴现场操作完XX线路压变二次电压小空开,再返回顺控界面,点击“继续”按钮,顺控程序继续执行后面的操作步骤。除了上述人工干预功能外,顺控画面还提供“急停”和“暂停”功能按钮,对误操作也提供了一定程度的挽救措施。

## 5 彩虹变顺控方案的不足与建议

1) 顺序控制功能未与视频图像监控系统联动,顺控过程一经开始,操作人员只能通过遥信等信息查看设备状态,建议至少在一次设备区安装图像联动系统<sup>[8]</sup>,便于操作人员在顺控执行的过程中,通过视频画面直观地观察到操作过程中设备指示的变化以及操作结果等,也便于对异常状态随时进行人工干预。

2) 顺控操作票为不可修改式,遇有特殊操作时必须借助常规操作票进行常规操作,建议完善顺控票编制和生成系统。

3) 顺控中“态”的定义没有涉及到软压板,这样的定义不完整,但如果全部参与判断,那么就对顺控“态”的判断增加了更多的条件。若任一条件不满足,就对应不到相应的“态”,程序无法识别设备状态,设备可顺控率降低。目前还没有“态”定义的相关标准,建议加快此项标准制定。

4) 对于操作后软压板状态的判断,程序只判断最终状态是需求状态就认为操作正确,假如操作前软压板就是需求状态,顺控程序照样可以进行,所以程序是否真正执行难以判断,目前只能加大操作人员的工作量,在操作前对于需要操作的软压板的原始状态进行核对。

5) 顺控过程中的人工干预操作部分,程序尚不能对所有人工操作做出识别。对于将信号、状态接入监控系统的人工操作,在程序判断出该步操作结束、位置正确后,操作人员只要点击“继续”按钮即可进行剩余顺控操作,但如果位置或状态不正确,顺控将无法进行下去。而对于一些信号、状态未接入监控系统的人工操作,程序对操作结果不加判别,操作人员只需点击“继续”按钮即可进行剩余顺控操作,有一定的安全风险。建议人工操作结束后,以对话框的形式确认该步操作结束,并再次进行身份验

(下转第89页)

#### 4.4 校验结论

从表2数据可以看出:QS-40B型绝缘油介质损耗测试仪的介质损耗示值与BS-100A型绝缘油介质损耗校验装置的介质损耗示值一致,同时计算出的绝缘油介质损耗校验装置电容值与 $100\text{ pF} \pm 1\text{ pF}$ 一致, QS-40B型绝缘油介质损耗测试仪的准确性满足要求。

### 5 结 语

为解决对电桥型绝缘油介质损耗测试仪的准确性进行校验的难题,在电桥型绝缘油介质损耗测试仪基本原理的基础上,研制了一种绝缘油介质损耗校验装置,研究了电桥型绝缘油介质损耗测试仪的校验方法,最后结合实例对QS-37、QS-40B两种典型的电桥型绝缘油介质损耗测试仪进行了校验,得到了以下结论:

1) 要明确电桥型绝缘油介质损耗测试仪的工作原理,明确介质损耗 $\text{tg}\delta$ 的读数方式和电容值 $C_x$ 的计算公式。

2) 在电路中接入绝缘油介质损耗校验装置,并通过绝缘油介质损耗校验装置选择不同的介质损耗值,通过绝缘油介质损耗测试仪得到实际的介质损耗测试结果 $\text{tg}\delta$ 和 $C_4$ ,并根据电容值 $C_x$ 的计算公式

计算出绝缘油介质损耗校验装置的电容值 $C_x$ 。

3) 判断绝缘油介质损耗校验装置的介质损耗示值与绝缘油介质损耗测试仪的介质损耗示值一致性,同时判断计算出的绝缘油介质损耗校验装置的电容值 $C_x$ 与绝缘油介质损耗校验装置标注的电容值的一致性。若两者一致,则绝缘油介质损耗测试仪的准确度满足要求。

4) 通过介质损耗校验装置对电桥型绝缘油介质损耗测试仪进行校验,可以对绝缘油介质损耗测试仪的准确性进行控制,从而保证测试数据的准确性。

#### 参考文献

[1] 全国电流计量技术委员会. 高压电容电桥检定规程: JJG 563-2004 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2004.

[2] 全国绝缘材料标准化技术委员会. 液体绝缘材料相对电容率、介质损耗因数和直流电阻率的测量: GB/T 5654-2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[3] QS37型高压电桥使用说明书, 上海沪光仪器厂 [K].

作者简介:

胡仕红(1975), 高级工程师, 从事电力用油(气)试验及研究工作;

杨健(1992), 助理工程师, 从事火电厂热工运维检修工作。

(收稿日期: 2017-12-09)

(上接第85页)

证后方可进行后续顺控, 这样虽然增加了操作时间, 但为安全操作又提供了一层保障。

### 6 结 语

在智能变电站中, 顺控技术能将传统的操作票转变为操作任务, 实现复杂任务一键完成, 节省了人力和时间, 提高了生产效率, 这在国网杭州供电公司220 kV彩虹智能变电站得到了较好的应用, 但其系统建设和使用目前还没有完整的标准, 具体生产运行中还存在着较多问题, 须根据设备情况做出及时、相应的调整。由于顺控技术的高效性和可靠性, 其必将在大规模、高电压等级的智能变电站得到广泛应用。

#### 参考文献

[1] 国家电网公司. 智能变电站顺序控制技术导则: Q/

GDW 11153-2014 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2014.

[2] 国家电网公司. 智能变电站技术导则: Q/GDW 383-2009 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

[3] 冯军. 智能变电站原理及测试技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.

[4] 艾飞. 220 kV彩虹变电站现场运行规程 [Z]. 2015.

[5] 南京南瑞继保电气有限公司. PCS-9700厂站监控系统说明书 [Z].

[6] 邱智勇, 陈健民, 朱炳铨. 基于IEC 61850标准的500 kV三层结构数字化变电站建设 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(12): 103-107.

[7] 黄继荣. 220 kV彩虹变电站顺序控制典型操作票 [Z]. 2015.

[8] 廖小君, 黄忠胜, 吕飞鹏. 智能变电站监控与视频系统联动方式研究 [J]. 四川电力技术, 2014, 37(5): 42-45.

作者简介:

艾飞(1983), 硕士、工程师、技师, 主要从事变电运维工作。

(收稿日期: 2017-12-23)