

智能变电站一键式顺序控制系统研究与应用

梁 锋, 潘洪湘, 张海滨, 王海峰

(国网电力科学研究院/国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘 要: 智能变电站将是未来变电站的发展方向 and 必然趋势。本文对传统的程序化操作进行了分析, 设计了一种应用于智能变电站一键式顺序控制系统。系统完善了传统的操作票开票方式, 并提出智能开票的概念, 对顺控操作票的操作内容进行标准化建模, 并引入了智能操作票模板到实例的映射方法。提出了顺序化控制与监控中心、调度中心的互动, 增加保护软压板的控制和保护定值区切换等保护信息管理能力, 并在顺序控制引入智能视频系统的接入, 实现了顺序控制可视化。研究结果在国内多个智能变电站示范工程中得到应用, 对推广智能变电站调控一体化有积极意义。

关键词: 一键式顺控; 智能开票; 调度互动; 可视化; 智能变电站

0 引言

智能变电站为智能电网^[1-2]提供支撑, 是智能电网的重要组成部分。智能变电站采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备, 以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求, 自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能, 并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能^[3-6]。

一键式顺序控制(以下简称顺控)是智能变电站高级应用的基本功能之一。顺控也称程序化操作, 是指在变电站原有标准化操作的前提下, 由变电站自动化系统自动按照操作票规定的顺序执行相关运行方式变化的操作任务, 一次性地自动完成多个控制步骤的操作。

本文提出一种具备可视化^[7]和交互性的智能变电站一键式顺序控制系统, 其在传统程序化操作的基础上进行了完善和扩展, 包括建立基于IEC 61850标准的顺序控制接口; 增加与变电站内的视频监控系统或智能视频系统的互动, 增加控制端的可视化操作; 增加与监控中心、调度中心的协同互动, 实现调度主站端对顺序控制的实时监视, 并能够控制整个顺序控制的过程; 根据网络拓扑和操作规则智能生成顺控操作任务, 减轻顺序控制的组态调试工作量等, 并且增加了二次设备的遥控和保护定值相关的控制操作, 尽可能地减少人工操作, 从而达到一键式顺序控制的目的。

1 系统分析与总体设计

1.1 传统的程序化操作分析

传统程序化操作是指操作人员从当地后台或监控中心发出一条操作指令, 该指令可以按照程序预先设定好的控制逻辑去操作多个控制对象^[8]。

随着国网公司建设具有信息化、自动化、互动化特征的坚强智能电网的发展目标, 对信息的可靠性和准确性有了更高的要求。传统的程序化操作的缺点越来越明显, 主要表现在以下方面:

(1) 传统程序化操作的操作票是由人工方式开票为主, 开票数量多, 压力大, 不能满足智能变电站的需求。

(2) 顺序控制应能实现统一化、标准化的数据建模、通信方式。智能变电站要求以 IEC 61850 标准作为变电站通讯网络标准, 作为站内不同厂家设备和系统的通讯规范。传统程序化操作不支持 IEC 61850 规范。

(3) 顺序控制与调度主站或监控中心的协同互动。调控一体化和变电站无人值守的逐步推行需要在调度主站或监控中心进行顺序控制, 传统程序化操作尚未建立支持调度主站的顺序控制, 没有形成与调度协同互动的统一标准。

(4) 顺序控制操作母线保护需投软压板, 投单母、投充电、投过流、保护定值区切换等。传统程序化控制不支持保护相关功能的控制。

(5) 顺序控制进行刀闸操作后, 需要检查现场

机械指示。例如：电机传动的主杆、分杆连接是否完好。受一次设备影响，如果电机传动的主杆、分杆连接分离，单间隔可能造成刀闸未合开关先合上；倒母线可能造成带负荷拉母线刀闸。顺控受制于一次设备及其辅助接点可靠性的影响。传统程序化操作对于该信号无法识别上送。

综上所述，亟待解决的问题是，传统程序化操作功能单一，智能化程度不高，无法满足智能变电站的需求。

1.2 系统总体设计

针对上述问题，我们设计了一种应用于智能变电站的一键式顺序化控制系统。如图 1 所示：本系统主要包括顺控操作票组态模块和一键式顺控执行两个模块。

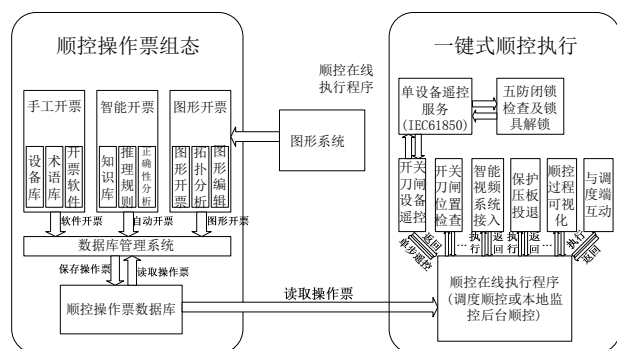


图 1 一键式顺序控制系统框图

顺控操作票组态模块用于顺控操作票的编辑，生成顺控操作顺序，本系统在沿用了传统程序化操作的手工开票和图形开票方式，满足了传统变电站运行人员的操作习惯，并设计了一种智能开票技术，解决传统程序化操作开票数量多，压力大的问题。生成的操作票保存至操作票系统数据库，供一键式顺控系统调用执行。

一键式顺序控制执行系统在以下技术上取得了突破：

(1) 设计了基于 IEC 61850 标准的通讯接口，解决了顺序化控制不同厂家接口规范的问题，实现了各种异型数据的无缝融合。

(2) 系统引入了与视频监控系统和智能巡视系统的联动，执行顺序控制的过程中，可以通过智能巡视系统对开关、刀闸执行操作后的图像信息或真实的开关变位信息反馈给操作员。解决了一次设备机械指示真实状态检查的问题。

(3) 系统集成了保护信息管理接口，在顺序控

制过程中实现保护信息管理功能，解决了保护软压板的投退、保护定值区修改的问题。

(4) 系统实现了变电站与调度主站或监控中心的协同互动流程，满足了调控一体化和变电站无人值守的需求。

执行顺序化控制时，顺控系统接收调度端或本地后台下发的顺控任务，读取操作票并执行该票，完成操作票内容。

本系统旨在提高程序化执行的准确性，减轻运行人员的工作压力，提供更加直观、可视化的一键式顺序控制。保证每部执行操作前符合五防规章，遥控执行后保证每步操作执行结果正确。

2 分系统设计与实现

本系统通过预先设定的程序对变电站设备进行系列化操作，系统发出的操作指令指明控制的目的状态，根据设备的遥测、遥信、甚至遥视的相应变化来判断操作是否到位，只有确认该步操作到位的情况下才进行下一步操作。每个控制对象同一时刻只允许以一种方式控制。为防止程序化控制过程中出现各种异常情况，在操作过程中自动化系统提供了暂停、继续、以及紧急停止、取消操作等应急处理措施。

2.1 智能开票系统

变电站倒闸顺控操作票由于数量庞大，编辑这些操作耗费了运行人员大量的工作量。智能开票功能可以有效的提高顺控票开票的效率。

2.1.1 智能开票系统建模

各级调度、供电局都有操作倒闸顺序的操作规则的规程。本系统设计了一种与具体变电站设备无关的智能操作票生成系统。按照变电站的变电站电气接线类型、间隔类型、一次设备类型、设备子类型、操作类型固定通用的操作票操作序列。一旦确定一个操作票序列模板，就可以根据变电站实际的类型以及操作任务类型生成所有具体的操作票。

如图2所示，智能操作票定义了该操作票的常量类型，包括：变电站电气接线类型、间隔类型、一次设备类型、设备子类型、操作任务类型，所述字典常量类型可扩充。如图1所示，是建立智能操作票的基本数据模型。

(1) 一次接线类型常量

主要包括：单母线接线、单母线分段接线、单母线加旁路接线、单母线分段加旁路接线、双母线

接线、双母线分段接线、双母线加旁路接线、双母线分段加旁路接线、三母线接线、三母线分段接线、三母线分段加旁路接线、3/2接线、3/2分段接线、4/3接线、内桥接线、外桥接线、复式桥形接线、三角形接线、四角形接线、多角形接线。

(2) 间隔类型常量

主要包括：高压进线设备组、中压出线设备组、低压馈(出)线设备组、主变设备组、变高侧设备组、变中侧设备组、变低侧设备组、高压容抗器设备组、中压容抗器设备组、低压容抗器设备组、高压母线设备组、中压母线设备组、低压母线设备组、高压旁路设备组、中压旁路设备组、低压旁路设备组、高压母联设备组、中压母联设备组、低压母联设备组、发电机设备组。

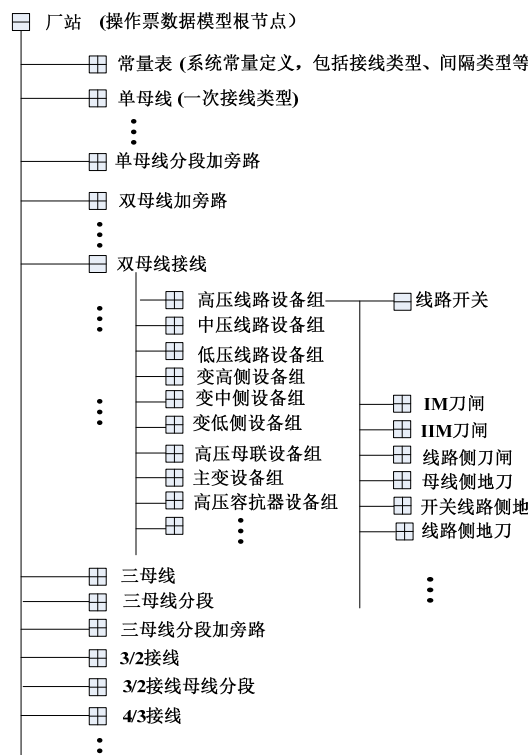


图2 智能操作票的数据模型

(3) 一次设备类型常量

主要包括：开关、刀闸、手车、临时接地线；

(4) 设备子类型常量

主要包括：开关、I母刀闸、II母刀闸、主变侧刀闸、线路侧刀闸、正母压变刀闸、副母压变刀闸、主变侧地刀、线路侧地刀、母线侧地刀、开关I母侧地刀、开关II母侧地刀、开关线路侧地刀、开关主变侧地刀、正母压变地刀、副母压变地刀、I母地刀、

II母地刀、手车。

(5) 操作类型常量

主要包括：拉开、合上、同期合、无压合、合环合、遥调升档、遥调降档、取下、放上、检查在分开位、检查在合上位置等、检查在放上位置、检查在取下位置等。

2.1.2 模板票到普通票的映射

举例说明一张模板操作票的内容如下：

任务名：将双母线接线方式进线设备组进线开关由运行转为冷备用。

(1) 步骤名：拉开进线设备组进线开关，延时：5s；

(2) 步骤名：检查进线设备组进线开关在分开位置，延时：2s；

(3) 步骤名：拉开进线设备组线路侧刀闸，延时：5s；

(4) 步骤名：检查进线设备组线路侧刀闸确在分开位置，延时：2s；

(5) 步骤名：拉开进线设备组 I 母刀闸，延时：5s；

(6) 步骤名：检查进线设备组 I 母刀闸确在分开位置，延时：2s；

(7) 步骤名：拉开进线设备组 II 母刀闸，延时：5s；

(8) 步骤名：检查进线设备组 II 母刀闸确在分开位置，延时：2s。

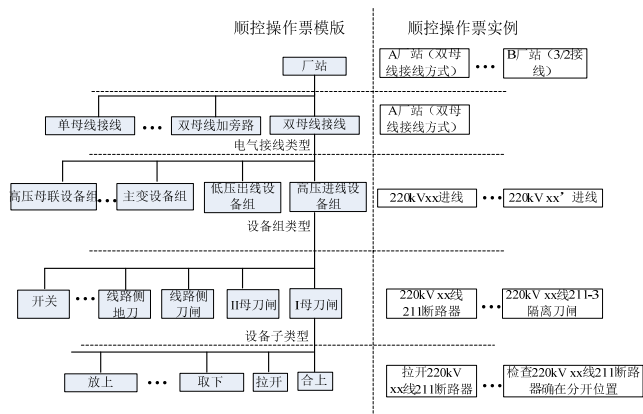


图3 智能操作票模板映射实例

智能开票时将模板票内容映射到变电站的实际间隔及设备，根据电气接线类型、间隔类型、一次设备类型、设备子类型、操作任务类型进行逐层匹配，形成一张新的操作票，如图3所示。

任务名：将 220kV xx 线 211 断路器由运行转为冷

备用, 票号: 20110700007, 间隔名: 220kV xx 线。

(1) 步骤名: 拉开 220kV xx 线 211 断路器, 延时: 5s;

(2) 步骤名: 检查 220kV xx 线 211 断路器确在分开位置, 延时: 2s;

(3) 步骤名: 拉开 220kV xx 线 211-3 隔离刀闸, 延时: 5s;

(4) 步骤名: 检查 220kV xx 线 211-3 隔离刀闸确在分开位置, 延时: 2s;

(5) 步骤名: 拉开 220kV xx 线 211-1 隔离刀闸, 延时: 5s;

(6) 步骤名: 检查 220kV xx 线 211-1 隔离刀闸确在分开位置, 延时: 2s;

(7) 步骤名: 拉开 220kV xx 线 211-2 隔离刀闸, 延时: 5s;

(8) 步骤名: 检查 220kV xx 线 211-2 隔离刀闸确在分开位置, 延时: 2s。

在本例中, 将“双母线接线方式进线设备组”映射为“220kV xx 线”; 将“进线开关”映射为“211 断路器”; 将“I 母刀闸”映射为“211-1 隔离刀闸”; 将“II 母刀闸”映射为“211-2 隔离刀闸”等。票号 11007 是当生成新的操作票时, 由操作票系统自动分配。

对于已经处于“合上”或者“拉开”的设备, 将原本要合上或拉开操作票步骤根据当前实际状态变更为“检查开关在合上位置”或“检查开关在拉开位置”。经过智能推理后形成的操作票符合设备实时状态, 提高顺序控制的准确性。

2.2 基于 IEC 61850 的顺序控制

IEC61850 标准用了面向对象的方法对一次设备、二次设备的逻辑功能进行了数据的建模; 定义了和具体的通讯实现分开的通讯服务; 并且定义了通用配置语言; 实现了设备间的开放无缝的互联。本一键式顺序控制系统以 IEC61850 标准作为变电站内的通信标准, 包括符合 IEC 61850 标准的测控设备、保护设备、通信接口设备、数据通信及处理单元等。实现了对跨间隔、跨装置的顺序控制, 通过在后台系统或集控中心下发一个综合遥控令, 即可按照要求顺序完成断路器、隔离刀闸、接地刀闸的分(合)功能。

IEC61850 规定了 4 种控制服务实现的方法, 分别为: 常规安全的直接控制、常规安全的带选择的控制、加强安全的直接控制、加强安全的带选择的

控制, IEC61850 虽然规定了上述 4 种控制模式, 但是没有具体规定那种方式应该在什么方式下用。本顺序化控制系统采用了其中的两种控制服务: 第一是常规安全的直接控制, 用于保护装置的复归、变压器的调档; 第二是加强安全的带选择控制, 用于开关的控制于软压板的投切。

IEC61850 将各种开关位置信号、保护动作信号等统一定义成状态类数据, 各种状态类数据按照其功能不同, 分散在不同功能的逻辑节点中, 比如说断路器 XCBR 逻辑节点包含断路器位置信号数据, 隔离开关 XSWI 逻辑节点包含隔离开关位置信号数据, 各保护逻辑节点中包含保护动作信息数据等等, 所有需要上送的遥信信号组成一个遥信类数据集。

2.3 与调度和当地监控系统后台的协同互动

智能变电站的顺控系统须满足无人值班及区域监控中心站管理模式的要求, 可接收和执行监控中心、调度中心和本地自动化系统发出的控制指令, 经安全校核正确后, 自动完成符合相关运行方式变化要求的设备控制。

本系统设计了顺控系统与调度主站之间的通讯过程, 调度端顺控操作执行流程如图 4 中所示。

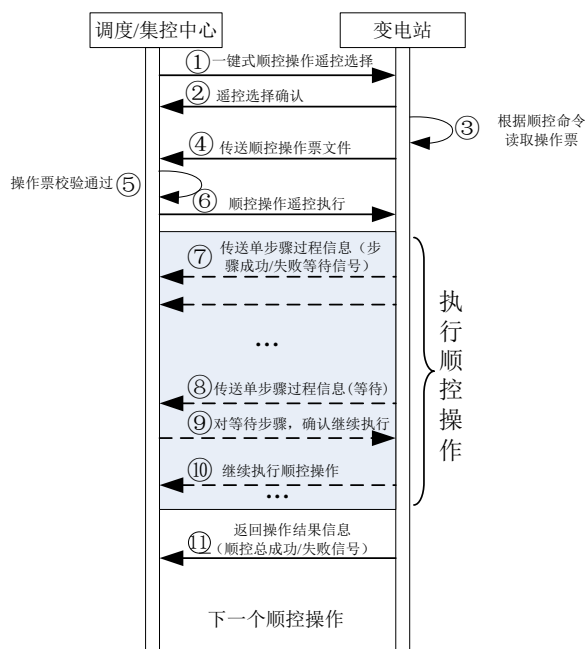


图 4 与调度互动的顺控操作流程

第 1、2 步, 顺控执行命令由调度端发起, 通知顺控服务器要执行顺控任务, 顺控服务器确认该操作任务并响应调度端。

第3、4、5、6步，顺控服务器根据调度编号读取操作票，并翻译成调度端可识别的文本，上传至调度端，调度端审核操作票无误后，向顺控服务器发送执行操作票的命令。

第 7、8 步，顺控服务器每执行完一步操作，向调度端返回执行结果，如果执行失败，上送失败原因，并停止当前操作票的执行。在执行到第 9 步时，调度端随时可以发送中止命令，中断该顺控执行过程。第 11 步，操作票执行结束，顺控服务器向调度端返回执行操作票执行总结果信息。

在调度端实现顺序化控制，大大减轻了调度运行人员的工作量，节约了人力资源。

从监控系统后台执行顺序化控制的流程如图 5 所示。监控后台顺序化控制从监控后台画面触发顺控命令, 经身份认证后开始执行。与调度顺序化控制流程相似, 顺序化控制返回每一步执行返回的结果。每一步控制操作都需要经过五防服务程序的闭锁逻辑校验, 校验不通过时, 不允许执行顺控。

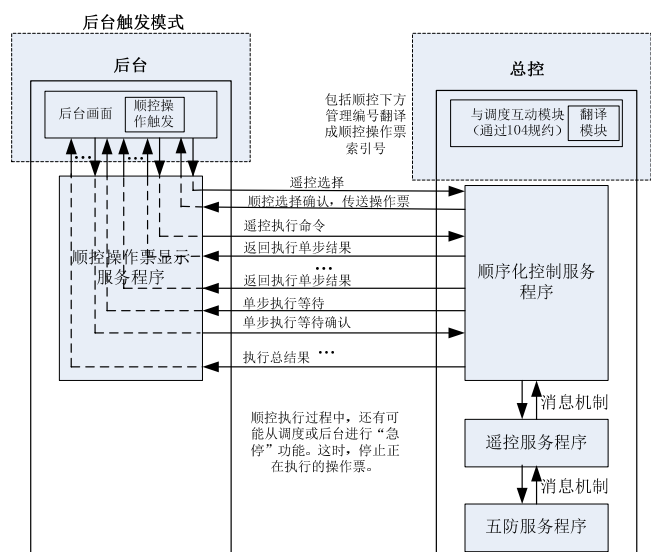


图 5 与监控系统后台互动的顺控操作流程

顺序化控制系统与监控系统及远方调度实现了实时互动,实时监视顺序化控制执行过程,实现了强互动性,为顺序化控制的可视化提供了基础保证。

2.4 顺序控制保护信息管理设计

当前很多智能变电站设置了保护功能软压板。在保护逻辑（即保护算法中）中该软压板逻辑上与保护功能硬压板为“串联”关系，即当软、硬压板状态均投入时，保护功能才投入，当软、硬压板有一个退出时，相应的保护功能退出。正常运行时保

护功能硬压板处于投入状态，运行时保护功能的投退或在一键式顺序化控制过程中保护功能的投退均通过投退软压板来实现。

本顺序化控制系统不仅可以完成对开关、刀闸等一次设备的控制，而且可以完成保护信息管理功能，例如对保护压板的投退操作、对保护定值区的切换操作和对当前保护定值的召唤校对等。

运行时当需要投退功能软压板时，其实现过程类似于遥控操作，也是利用类似遥控过程实现的，所不同的是，由于软压板投退通常是程序化操作的一部分，为保证程序化操作的正确性和操作效率，当软压板投退完成后，保护装置会以 GOOSE 方式向客户端上送软压板的状态。

在 IEC61850 中保护装置定值分为编辑区定值、运行区定值两种。编辑区定值、运行区定值分别由编辑区定值区号和运行区定值区号来控制。对定值的读写是通过 IEC61850 的读写服务来实现的，在读取修改定值前要先选择定值区，当要对定值进行修改时则需要先修改编辑区定值然后再通过确认的命令将编辑区定值放入运行区定值中。

一键式顺序化控制操作票可以完成带压板控制的倒母线操作,也可以完成单独针对保护装置进行顺控的二次安措票。

任务名: 将 220kV #1 母联开关过流解列保护由信号改为跳闸 (采用定值 I)

(1) 检查 220kV #1 母联开关过流解列保护确在“信号”状态;

(2) 将 220kV #1 母联开关过流解列保护定值区从“2 区”切至“1 区”;

(3) 检查 220kV #1 母联开关过流解列保护确为“1 区”定值:

(4) 放上 220kV #1 母联开关过流解列保护充电
过流保护投入压板 LP2;

(5) 放上 220kV #1 母联开关过流解列保护跳闸出口压板 GT1:

(6) 检查 220kV #1 母联开关过流解列保护确在“跳闸”状态。

由操作票步骤可知,第(2)步是对保护定值区的切换操作,切换后紧接着第(3)步召唤该定值区的区号并判断当前定值区号是否为目的区号。第(4)、(5)步是对保护装置的压板进行投退操作。通过一键式顺序化控制直接完成保护信息管理操作,简化了运行人员的工作方式。如果从调度端直接进行顺控操

作就可以实现由调度端完成召唤定值、召唤测量值、召唤开关量、修改定值、切换定值区、投退软压板等功能。

2.5 顺序控制的视频联动设计

现有常规操作票执行的特点是设备状态确认人工干预。执行一张顺控操作票的过程中,可以通过智能视频系统对开关、刀闸执行操作后的图像信息或真实的开关变位信息上送给操作员确认。

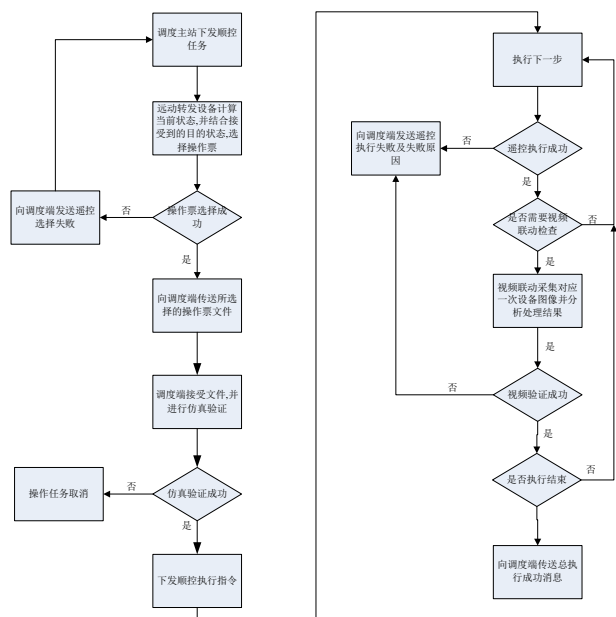


图 6 调度中心执行带视频联动的顺序控制

为提高顺控执行速度,可将顺控系统智能化改造新增的智能视频系统结合起来。如图 6 所示为调度中心执行带视频联动的顺序控制流程图,当操作某个一次设备时,由自动控制视频系统获取设备图像,通过图像识别技术判断出此设备的状态,进行自动判断确认后通过网络通讯方式将相应设备的状态传送给顺控系统,顺控系统根据测控采集的信息(遥测、遥信量)以及视频系统返回的信息综合判断设备的状态,确保可靠操作,实现高效的准确的顺序控制。

由于视频系统对设备状态进行准确的判断涉及到图形识别技术,能否做到准确识别还需要通过实践进行验证,作为备选措施视频系统可以将相关设备的图像自动传送回主控室,由运行人员判断设备状态,节省了运行人员到现场查看设备状态的过程,实现了顺序化控制过程的可视化。

顺序化控制接入视频系统为调度端提供了直观的一次设备状态信息,避免了因一次设备动作不到

位或者二次设备信号不准确而引发的电力事故的可能性。

3 结束语

顺序控制作为智能变电站的基本高级应用之一,本文开发的智能变电站一键式顺序化控制系统顺应国网公司提出的具有信息化、自动化、互动化特征的统一坚强智能电网的发展目标。体现了集成一体化、信息标准化、协同互动化发展的智能变电站特征。

本文设计的智能变电站一键式顺序化控制系统已经在国内第一批智能变电站试点项目的多个工程中得到应用,对国网公司推广调控一体化的发展方向具有积极的推动作用。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 2009 年国家电网公司 2009 年年中会议上的讲话[N]. 国家电网报, 2009-07-21.
- [2] 舒逸石, 马丽丽, 于培杰. 智能电网中智能后台的功能实现[J]. 电工技术, 2011(06): 18-19.
- [3] 国家电网公司.Q/GDW 383-2009 智能变电站技术导则[Z]. 北京: 国家电网公司, 2009.
- [4] Q/GDW 393-2010, 110(66)kV-220kV 智能变电站设计规范[S]. 北京: 国家电网公司.
- [5] 吴罡, 李琳, 李翔, 等. 110kV 智能变电站设计方案初探[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(02): 31-35.
- [6] 黄灿, 肖驰夫, 方毅, 等. 智能变电站中采样值传输延时的处理[J]. 电网技术 2011(01): 5-10.
- [7] 杨德昌, 李勇, Christian Rehtanz 等. 智能输电系统在中国的发展[J]. 电网技术, 2010, 34(05): 1-5.
- [8] 李杨, 郭小龙, 周建邦. 基于传统综合自动化变电站的程序化操作实现[J]. 四川电力技术, 2011(08): 83-86.
- [9] 陈素芳, 王凯. 基于多智能体的电网操作票自动生成系统[J]. 电力系统自动化, 2008, (15): 49-53.

作者简介:

梁 锋(1983—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事智能变电站相关工作. E-mail: liangfeng2@sgepri.sgcc.com.cn;
张海滨(1976—), 男, 高级工程师, 主要从事智能变电站相关工作. E-mail: zhanghaibin@sgepri.sgcc.com.cn;
王海峰(1973—), 男, 高级工程师, 主要从事电力系统自动化工作. E-mail: wanghaifeng@sgepri.sgcc.com.cn.