考虑多参量判据的智能变电站可视化顺控系统优化设计

顺序控制是智能变电站中的一项基本应用功能，其实用化对于推动变电站运维模式变革、促进无人值守的实现与普及具有重要意义。针对目前顺控功能存在的可靠性低、实用性差的问题，提出一种考虑多参量判据的智能变电站可视化顺控系统优化设计，一方面将遥信、遥测与辅控参量相结合，作为顺控操作是否执行到位的判据，提高顺控系统可靠性；另一方面重点讨论了顺控系统与智能辅助控制系统的联动方案，提出利用高清云台摄像、图像分析和角位移传感器技术获取设备运行状态，并将状态分析结果作为顺控操作的逻辑判据，从而在实现顺控操作可视的同时解决了摄像头数量过多、图像信息量大的矛盾。所提方案结构简单、经济合理，有利于促进智能变电站顺序控制功能实用化，应用前景广阔。

陈 盼[1] 叶 荣[2] 林传伟[1] 王树跃[3]/1.福建省电力勘测设计院 2.国网福建省电力有限公司经济技术研究院 3.南京磐能电力科技股份有限公司

陈 盼/工程师

关键词/Keywords
智能变电站·
多参量判据·
可视化顺控·

0 引言

智能变电站顺序控制（以下简称顺控）是指由计算机监控系统根据预先设置的程序对变电站设备进行系列化操作，并根据设备的遥测、遥信等状态信息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，直至执行完所有指令[1]。作为智能变电站的一项基本应用功能，顺控可替代传统运维模式中写票、审票、操作和检查等冗长的人工操作流程，实现了“一键操作”，大幅提高了工作效率，同时从根本上杜绝了人为因素导致的误操作。完善顺控的功能，使其实用化，尽可能减少常规的倒闸操作，有助于推动变电站无人值守的实现与普及。

1 存在的问题

自智能变电站顺控的概念被提出以来，国内各个设备制造厂商、设计院及学术研究机构对顺控的实施与应用开展了深入的讨论与研究[2-3]。目前，新建智能变电站均要求配置顺控功能，站内主要一、二次设备也基本具备远程顺控的条件，但据实际调研发现，已投运的智能变电站中，顺控功能的实际应用率不高，传统倒闸操作方式仍占主流地位。主要原因如下：

1）顺控过程中对每一步顺控操作是否执行到位判据不足，影响顺控功能的可靠性。目前，多数智能变电站的顺控程序中，判断断路器和刀开关设备程序指令是否执行到位，主要依赖于设备上传至监控系统的遥信变位状态信息，而设备提供的电气接点信号存在误报的可能。另一方面，传统的人工倒闸操作要求操作人员必须看到可靠断点，变电安规也要求“至少应有两个及以上指示已同时发生对应变化，才能确认该设备已操作到位”。因此，仅依赖于设备遥信变位信号作为判据的顺控模式，与传统运维模式在安全级别上不对等。

2）与智能辅助控制系统相结合的顺控系统摄像头配置数量过多，且通常需结合人工判断，降低了顺控执行效率。

针对上述第一点中存在设备状态返校判据单一的问题，相关文献提出将顺控系统与智能辅助控制系统相结合[4-5]，即顺控操作时视频系统联动显示被操作

设备的图像状态，再结合人工判断确定设备是否操作到位。上述方法的最大问题在于，由于变电站中设备通常相互遮挡，因此，要监控到所有设备的运行状态，摄像头配置数量将激增，设备投资和运行维护成本倍增，推广应用困难。

针对上述问题，本文提出一种考虑多参量判据的智能变电站可视化顺控系统优化设计，顺控操作过程中，分析相关遥信、遥测和辅控参量的变化，并将其作为设备操作是否到位的判据，提高顺控可靠性。优化可视化顺控功能，一方面应用角位移传感器技术检测刀开关的分合闸状态，以减少摄像头的数量，降低设备投资成本；另一方面研究顺控系统与智能辅助控制系统的联动机制，提出二者间的标准通信接口，将智能辅助控制系统的设备状态分析结果信息发送至顺控系统，参与顺控逻辑，实现顺控的全自动“一键操作”。

2 可视化顺控系统优化设计方案

2.1 系统架构

可视化顺控系统总体架构如图1所示。系统可划分为三个子网，具体如下。

调控中心、辅控系统主站端：指变电站的远程运维端，按功能、安全分区不同又可分为调控中心、辅控系统主站端。由调控中心负责管辖区域内变电站顺序控制功能的远程调控，由辅控系统主站端负责管辖区域内变电站辅控信息的采集、调阅或分发至其他系统。

站控层MMS网：可分为站控层I区和站控层II区网络（单网或双网），二者通过防火墙隔离，主要负责站端监控数据的采集与监控。其中顺控操作由站控层I区的监控主机完成，智能辅助控制系统站端后台功能由站控层II区的综合应用服务器完成。

智能辅助控制系统子网：可分为视频监控系

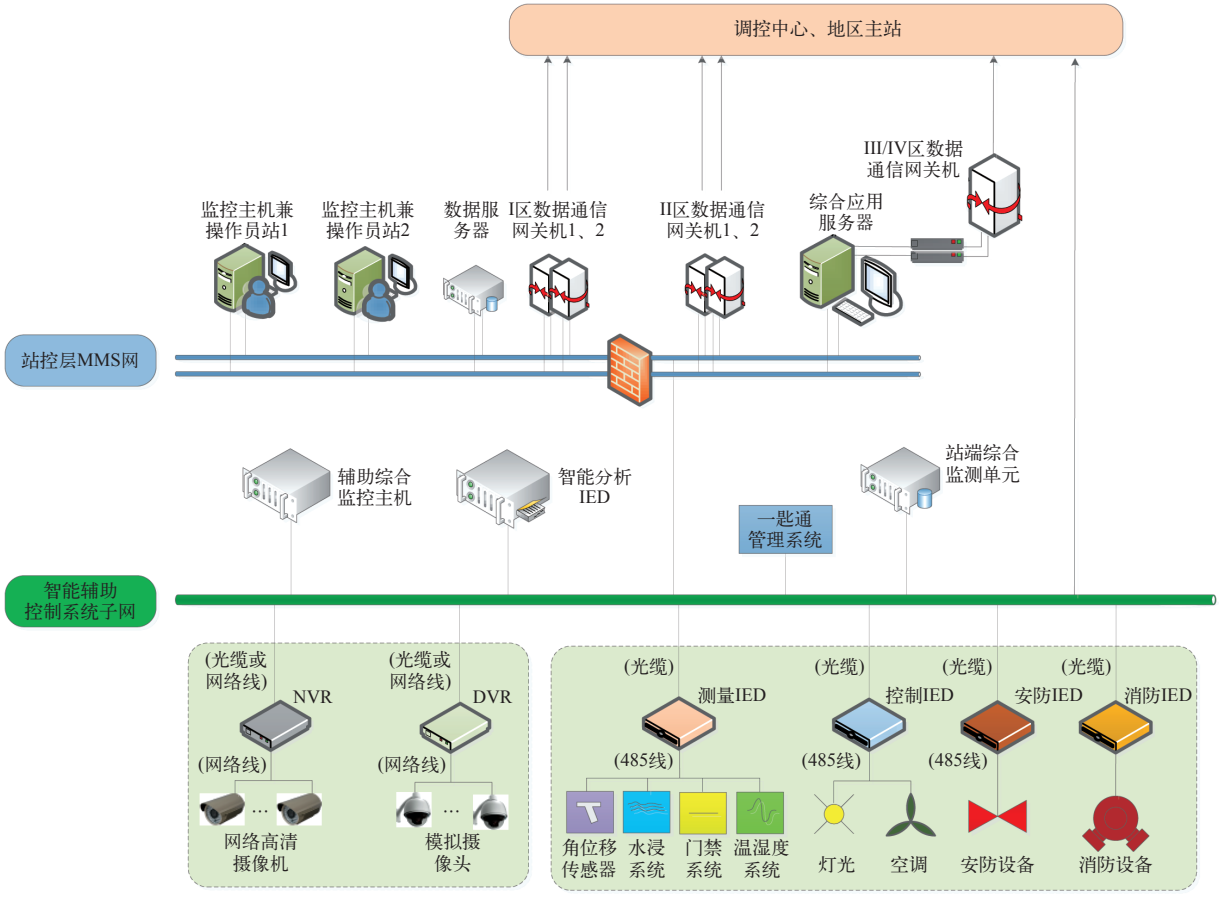

图1 可视化顺控系统总体架构

统子网、动力环境系统子网、灯光与空调系统子网、安防系统子网和消防系统子网，主要负责站内图像、环境和安防数据的采集、分析与上送。

2.2 系统操作流程

可视化顺控系统总体操作流程如图2所示。

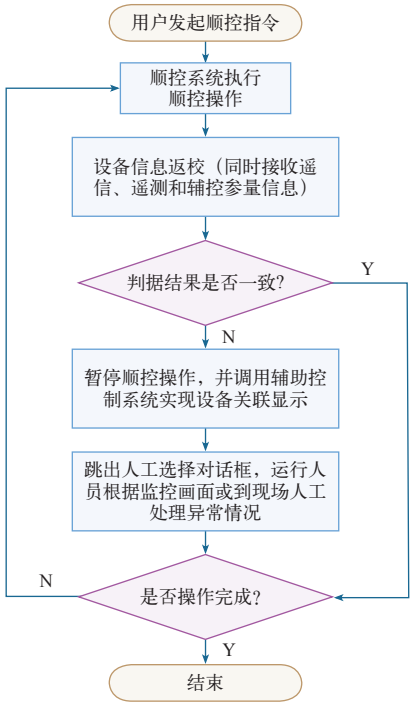

图2 可视化顺控系统总体操作流程

（1）顺控事件通知

运行人员通过身份验证完成顺控操作预演，发起顺控操作指令。

（2）顺控操作执行

顺控系统开始按步骤执行设备遥控操作。

（3）设备信息返校

每执行一步顺控操作后进行设备状态信息返校，分别接收监控系统的遥信、遥测信号和智能辅助控制系统的辅控分析信号，作为设备是否操作到位的判据。

（4）设备状态判断

如不同判据判断结果相同，则认为本步操作成功，进入步骤（6），执行下一步顺控操作；如判据判断结果不相同，则进入步骤（5），处理异常情况。

（5）异常状态处理

系统立即暂停当前顺控操作，同时向辅控系统发出视频调阅信号，并跳出“请确认上步操作是否执行到位？”的人工选择对话框，运行人员根据辅控系统的视频监控画面判断设备状态信息。如果执行到位，则确认进入步骤（6），执行下一步顺控操作；如果无法判断，则需通知人员到现场处理异常情况。

（6）顺控流程判断

判断是否已执行完全部步骤，如所有顺控指令已执行，则结束本次操作并通知运行人员；如果未执行完，则返回至步骤（2）。

3 可视化顺控系统关键技术

3.1 可视化顺控系统判据设计

顺控操作过程中，主要需要监视断路器、刀开关的运行状态。当断路器或刀开关运行状态发生改变时，相应的辅助位置触点、相关间隔电压电流、控制柜屏前指示灯以及设备机构机械位置也会相应发生变化，通过检测上述变化量，可以判定设备顺控操作是否执行到位。

辅助位置、电压电流等信号可直接从监控系统后台获取，而控制柜屏前指示灯、设备机构机械位置变化信号需通过智能辅助控制系统获取。其中控制柜屏前指标灯状态可通过设置摄像头进行图像分析获取，刀开关分合位状态可通过在刀开关机构上安装角位移传感器的方式获取，角位移传感器的具体安装方法详见文献[6]。

以线路间隔为例，线路断路器分合过程中，监控系统会接收到断路器变位信号，断路器操作机构箱分合指示位置发生变化。同时断路器断开时，线路保护电流为零；断路器合闸时，线路保护电流恢复；母线隔离刀开关在分合过程中，监控系统会接收刀开关变位信号，角位移传感器会检测到刀开关主轴旋转信号。同时由于线路保护电压是由母线电压切换而来，因此，母线隔离刀开关处于分位时，线路保护失电压；母线隔离刀开关处于合位时，线路保护电压恢复。同理，出

线隔离刀开关在分合位过程中，可同时检测到变位信号、主轴旋转信号和线路同期电压失电压或恢复信号。线路间隔接线示意图如图3所示。

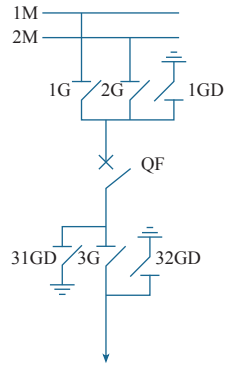

图3 线路间隔接线示意图

综上，线路间隔的顺控判据设计如表1所示。

表1 线路间隔顺控判据

设备名称	遥信量	遥测量	辅控参量
1G、2G	辅助位置信号	线路保护电压	角位移传感器分析信号
1GD	辅助位置信号	无	角位移传感器分析信号
QF	辅助位置信号	线路保护电流	分合指示图像分析信号
3G	辅助位置信号	线路保护同期电压	角位移传感器分析信号
31GD、32GD	辅助位置信号	无	角位移传感器分析信号

3.2 可视化前端设备优化设置

可视化前端设备是指智能辅助控制系统中用于获取一、二次设备运行状态的摄像机、角位移传感器等设备。因角位移传感器造价便宜（平均200元/台）、结构简单以及检测准确度高，可采用角位移传感器检测敞开式刀开关分合位的状态，以减少设备投资；对于主变压器、断路器和GIS设备运行状态的监视，可通过摄像机实现。其中摄像机种类又可分为高清云台摄像机、轨道摄像机和智能巡检机器人，考虑到轨道摄像机、智能巡检机器人若出现故障，将影响多个间隔的顺控操作，此外现阶段，它们的移动速度、定位准确度也难以满足顺控操作要求，因此，建议采用高清云台摄像机方案。根据实际工程经验，可按如下原则设置前端设备。

1）对于敞开式断路器，采用“高清云台摄像机＋图像分析”的监视方案。220 kV及以上断路器为三相分体操作时，每台断路器宜设置一台摄像机；500 kV断路器采用三列式布置型式时，每相设置一台摄像机；110 kV及以下断路器为三相联动操作时，可两台断路器设置一台摄像机。

2）敞开式刀开关采用角位移传感器监视分合闸状态，每把刀开关设置一台角位移传感器。

3）高压组合电器采用“高清云台摄像机＋图像分析”的监视方案，并按如下原则设置摄像机：①110 kV及以上户外GIS设备平均每两个间隔设置一台摄像机，少量被遮挡处单独设置摄像机；②220 kV及以上户内GIS设备每个间隔设置一台摄像机；③220 kV及以下户内GIS设备平均3～4个间隔设置一台摄像机。

3.3 顺控系统与智能辅助控制系统联动流程

顺控系统与智能辅助控制系统联动流程如图4所示。

（1）遥控事件通知

顺控系统在设备遥控开始前，通过通信协议向联动的辅控系统发送一个开始信号，通知辅控系统

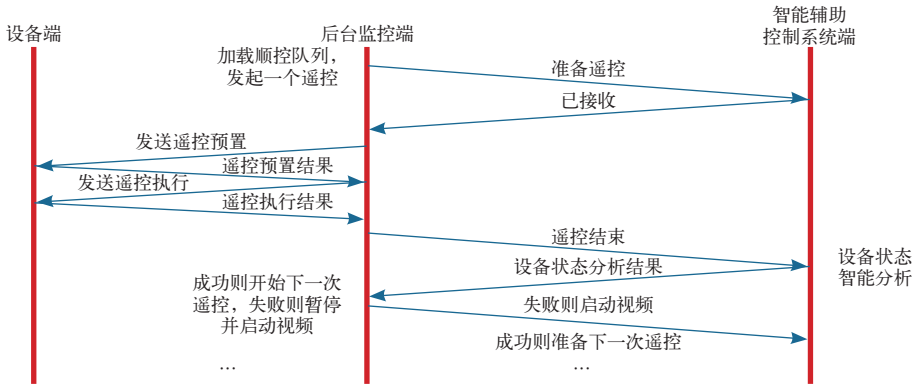

图4 顺控系统与智能辅助控制系统联动流程示意图

准备遥控，该信号中同时包括要遥控的设备信息。

（2）遥控事件确认

联动的辅控系统成功接收并解析开始信号后，起动前端设备至预置位，并向顺控系统反馈一个确认信号。

（3）遥控预置和执行

顺控系统接收到辅控系统反馈的遥控事件确认信号后，对要遥控的设备进行遥控预置，预置成功后执行遥控。

（4）遥控结束通知

遥控预置和执行后，顺控系统向联动的辅控系统发送一个结束信号，表示遥控结束。

（5）遥控结果判断

辅控系统软件通过自身的设备状态智能分析功能分析对比被操作设备的前后状态，判断设备操作是否到位。

（6）遥控结果反馈

辅控系统将设备状态智能分析结果通过通信协议以判断信号的形式反馈给顺控系统。如果联动的辅控系统判断遥信变位成功，则向顺控系统返回成功信号；如果判断遥信变位不成功，则向顺控系统返回失败信号；如果判断超时，则向顺控系统返回判断失败信号。

（7）遥控结果确认

如果辅控系统向顺控系统反馈的是遥控成功信号，且与设备的遥信、遥测判据一致，则顺控系统即开始准备下一次遥控操作；如果辅控系统向顺控系统反馈的是遥控成功信号，但与设备遥信、遥测判据不一致，或者辅控系统向顺控系统反馈的是遥控失败或无法判断的信号，则顺控系统会立即中断顺控过程，并向联动的辅控系统发送视频调阅请求信号。

（8）视频启动确认

如果顺控系统向辅控系统发送了视频调阅请求信号，则辅控系统软件的视频云台会主动切换到被操作设备的画面，供运行监控人员在其监控画面上查看对应变电站操作设备的视频监控信息，以判断遥信变位的真实状态，实现顺控操作的实时监视。

3.4 顺控系统与智能辅助控制系统通信规约与接口设计

智能变电站采用基于IEC 61850的一体化监控系统平台，监控系统和辅控系统均按照IEC 61850规范建模，以实现资源共享和不同厂家、不同系统间的互操作[7]，顺控系统与智能辅助控制系统通信采用IEC 61850规约。可将智能辅助控制系统视为一个IED装置接入后台，二者间的通信接口设计如表2所示。

表2 顺控系统与智能辅助控制系统通信接口设计

监控系统		辅控系统	
输出	准备遥控 设备状态分析 启动视频	输入	准备遥控命令 设备状态分析命令 启动视频命令
输入	准备遥控预置结果 设备状态分析结果	输出	准备遥控预置结果 设备状态分析结果

3.5 系统安全防护方案

顺控系统与智能辅助控制系统联动过程中需双向通信，而执行顺控操作的监控系统处于变电站安全I区，智能辅助控制系统处于站端安全II区，通常安全I、II区间仅允许单向通信，考虑到辅控系统向监控系统发送的仅是普通遥信，数据量不大，且不具有控制功能，故影响不大。因此，可通过设置物理防火墙，并对防火墙开通特定消息传输端口、传输内容定制等特殊设置，以保证系统安全。

4 结束语

本文分析了智能变电站顺控功能应用中存在的问题，针对性地提出了考虑多参量判据的智能变电站可视化顺控系统优化设计方案，一方面将遥信、遥测与辅控参量相结合，作为顺控操作是否执行到位的判据，提高顺控系统可靠性；另一方面重点讨论了顺控系统与智能辅助控制系统的联动方案，提出利用高清云台摄像、图像分析和角位移传感器技术获取一次设备运行状态，并将状态分析结果作为顺控操作的逻辑判据，从而实现顺控操作可视，同时解决了摄像头数量过多、

(下转第84页)

4 无功动态补偿装置节能效果分析

基于本文提出的无功动态补偿装置，将其安装在某油田某井组的一组抽油机中，井场共有6台抽油机，总功率为149 kW。无功动态补偿投入前后的各数据如下表所示。由下表可以看出，动态补偿装置投入后运行电流明显减小，功率因数提高到了0.9以上，从而节约了大量的电能。

表 动态无功补偿前后节能数据

电能指标（平均值）	投入前	投入后	变化值	变化幅度（%）
运行电流/A	112.6	40.6	−72	−64.2
功率因数	0.35	0.97	0.62	177.1
无功功率/kvar	70.3	6.2	−64.1	91.2
有功功率/kW	26.2	27.1	0.9	3.4

5 结束语

由于油田抽油机驱动电动机运行电流大、功率因数低，因此造成油田电能消耗过大，给采油企业造成了严重的经济损失，为此提出了一种基于无功动态补偿的抽油机节能装置，以DSP为控制核心完成信号的采集和处理，然后完成晶闸管控制，并利用软开关技术投切补偿电容器，通过负载变化迅速准确地完成动态补偿无功功率，利用动态补偿分级投切补偿电容，并给出了功率因数值的瞬时检测方法。最后的数据说明，该装置投入后功率因数基本可以提高到0.9以上，大大降低了抽油机电动机的无功损耗、有功损耗以及电网运行电流，为油田节约了大量的电耗。

参考文献

[1] 薄保中，龚新强．抽油机电机的节能改造 [J]．节能技术，2000，18 (2)：31-32．

[2] 殷昌华，危韧勇，穆帅，等．电力谐波智能检测 [J]．计算机测量与控制，2006，14 (1)：40-42．

[3] 尚德彬，王高明，毛伟．中原油田油区配电系统无功补偿研究与应用 [J]．电工技术杂志，2001 (3)：36-38．

[4] 程汉湘，刘建，文小玲，等．抽油机负载特性及其功率因数提高的研究 [J]．电工技术杂志，2003 (5)：55-59．

[5] 冯兴田，仉志华，肖坤．无功补偿技术在游梁式抽油机中的应用 [J]．电气应用，2008，27 (18)：28-31．

[6] 张小宁，张宝贵，陆则印，等．油田抽油机供电系统无功补偿研究与应用 [J]．电力自动化设备，2004 (4)：57-60．

[7] 仉志华．无功动态补偿及谐波抑制技术在油田配电网上的应用 [J]．电气应用，2006，25 (8)：35-37．

（收稿日期：2015－12－12）EA

(上接第69页)

图像信息量大的矛盾。所提方案结构简单、经济合理，有利于促进智能变电站顺序控制功能实用化，应用前景广阔。

参考文献

[1] 樊陈，倪益民，窦仁晖．智能变电站顺序控制功能模块化设计 [J]．电力系统自动化，2012，36 (17)：67-71．

[2] 王明科．数字化变电站程序化操作的实现 [J]．南方电网技术，2010，4 (1)：50-54．

[3] 谷月雁，司刚，刘清瑞．智能变电站中顺序控制的功能分析与实现 [J]．电气技术，2011 (1)：68-72．

[4] 梁锋，朱松林，张剑．具备可视化和交互性的变电站顺控系统：中国，102064611 B [P]．2012-12-05．

[5] 王振利，孙勇，梁涛．一种基于移动机器人的全自动变电站倒闸操作顺序控制方法：中国，102255392 B [P]．2013-07-03．

[6] 李功新，林国贤，詹银．基于物联网的隔离开关分合闸监测系统的设计 [J]．电工技术，2015 (2)：44-45．

[7] 樊陈，倪益民，窦仁晖．智能变电站一体化监控系统有关规范解读 [J]．电力系统自动化，2012，36 (19)：1-5．

（收稿日期：2016－02－18）EA