

# 基于多座变电站区域防误技术研究与应用

吴兆彬<sup>1</sup> 张学文<sup>2</sup> 张汉瑞<sup>3</sup> 焦志强<sup>4</sup> 张云琴<sup>5</sup>

(国网白银供电公司 甘肃省白银市 730900)

**摘要:**通过构建集控站区域防误系统,并融入视频智能巡检与数字化操作票技术,我们成功地将人员信息、操作行为以及设备状态等关键要素实现了有效整合与关联,从而极大地提升了操作过程的安全性与工作效率。随着电网调度自动化水平的不断提高,对操作系统和信息采集的精准度要求也日益严格。现在,我们不仅能够在线监控变电站的接地刀闸、断路器、隔离开关等关键设备,还能实时追踪接地线的状态。

**关键词:**区域;五防;变电站;操作票;防误;

## 1 前言

近年来,计算机技术的飞速发展使电力系统的智能化、自动化改造提供了强大的技术支撑。在这种背景下,变电站正在从有人值班变电站转为少人或无人值班的变电站。在无人值守变电站中,调度自动化系统需要能够实时监控变电站的各项运行参数和设备状态,确保电力系统的稳定运行。例如,能在线监控变电站的接地刀闸、断路器、隔离开关和接地线<sup>[1]</sup>。微机五防系统作为变电站操作中的重要防误闭锁装置,对防误技术的研究能够使其更有效的防止变电站操作过程中的错误。

随着新一代集控站设备监控系统试点在不断推进,传统方式运行的单站防误已经无法满足集中监控的要求,存在传统单站防误管理模式对变电运维管理的人力资源配置压力较大的缺陷。具体地,传统单站防误信息孤立,当基础数据发生变化后,只能派人到站端进行维护,数据维护效率不高,而且各变电站操作次数叠加累积,随之产生的业务数据分散化,尚未实现集中化管理。大部分变电站地处偏远,遥控操作设备无法监控,如有事故发生难以及时获取现场的实际情况<sup>[2]</sup>。

随着智能电网建设的不断深入,区域五防技术吸引了研究者的高度重视。目前,区域五防技术已经广泛应用于各类变电站和电网调度中心,通过采用先进的微机五防系统,结合视频监控、智能巡检、数字化操作票等技术手段,实现了对人员信息、操作行为、设备状态等的全面监控和有效管理<sup>[3]</sup>。因此本文对区域防误技术研究,不仅弥补单站防误的缺陷,还能够提升防误闭锁装置的有效性。

## 2 常规防误闭锁方式

### 2.1 机械闭锁

机械闭锁是在户外刀闸或开关柜的操作部位之间用互相制约和联动的机械机构来达到先后动作的闭锁要求<sup>[4]</sup>。

该设计的核心优势体现在其直观和安全的操作流程上。它能根据操作顺序逐步解锁,无需额外辅助,大大提升了操作的便捷性。同时,在遇到误操作时,它能够迅速自动闭锁,有效防止了恶性误操作的发生,保障了操作的安全<sup>[4]</sup>。此外,该机械闭锁不仅能满足正向闭锁要求,还能满足反向闭锁需求,具备直观、耐用和操作简

便等特点<sup>[5]</sup>。然而,需要注意的是,机械闭锁的操作场景相对有限,它一般只能实现简单的防误功能。其主要局限是在与机械动作相关的部位,如开关柜内部和户外刀闸等。对于与电器元件动作之间的关联,机械闭锁则无法实现有效闭锁。

### 2.2 程序闭锁

程序锁(机械程序锁)是用钥匙随着操作程序传递或置换而达到先后开锁操作的要求<sup>[6]</sup>。优点是钥匙传递不受距离的限制,应用范围较广。程序锁在操作过程中有钥匙的传递和钥匙数量变化的辅助动作功能,符合操作票中开锁条件的操作顺序的要求,并且与操作票中规定的顺序相同,所以操作人员更加容易接受它<sup>[7]</sup>。

程序锁在电力系统和设备控制中确实提供了一种灵活的闭锁方式,尤其在处理复杂接线时展现出其优势。然而,它也存在一些显著的不足之处,这些需要在实际应用中加以考虑。首先,程序锁在设计中通常需要设置母线倒排锁,这一要求在一定程度上增加了操作的复杂性。对于操作人员来说,需要额外注意和遵循这些复杂的程序步骤,这可能会增加误操作的风险,并降低操作效率。其次,某些程序锁的设计缺乏横向闭锁功能,这限制了它们在更广泛接线方式下的应用。在复杂的电力系统中,设备之间的互锁关系至关重要,缺乏横向闭锁功能的程序锁可能无法满足这一需求。此外,程序锁通常无法直接控制按钮,这在隔离开关采用按钮控制电动机正反转的场合下显得尤为不便。这种限制可能导致在特定操作条件下,程序锁无法有效发挥其闭锁作用。程序锁在使用中还需要大量的程序钥匙,这增加了管理的难度和复杂性。如果安装不规范或生产工艺及材料质量不佳,程序锁可能会出现氧化锈蚀、卡涩等问题,严重影响其闭锁功能。另外,程序锁的使用过程需要重新开始且不能间断,这要求操作人员在整个操作过程中保持高度的集中和警惕。任何中断或错误都可能导致整个闭锁方案的失效,从而增加事故的风险。

### 2.3 电气闭锁

电气闭锁作为一种关键的防护机制,其核心功能是通过电磁线圈内的电磁机构运作来实现的。它为操作人员提供了无需额外辅助的便捷锁闭与解锁方式,旨在防

止人员误入带电区域，确保工作安全。然而，尽管电气闭锁在实际应用中表现出诸多优点，但其实施过程仍存在一些不足与挑战。

首要问题在于，电磁锁在独立运行时仅能实现电气解锁功能，而缺乏独立的闭锁机制。为实现正反向的完全闭锁效果，电磁锁必须与电气联锁电路协同工作，这在一定程度上限制了其应用的灵活性。此外，电磁锁的结构设计相对复杂，特别是当电磁线圈被安装在户外环境时，其易受潮气和腐蚀的影响，导致线圈绝缘性能下降，进而增加了直流系统故障的风险。在电气闭锁系统的运行中，操作机构的辅助触点也扮演着重要角色。然而，长期的工作实践表明，这些辅助触点容易因接触不良而影响操作机构的可靠性，给系统带来潜在的安全隐患。另外，电气闭锁系统的实施还需要进行电缆的铺设工作，这无疑增加了项目的工作量。在断路器控制开关等关键设备上，也往往缺乏相应的锁闭措施，这进一步增加了误操作的风险。

### 3 微机防误闭锁方式

微机防误闭锁装置是一种采用计算机技术,用于防止电气设备误操作的装置。通常由主机、电脑钥匙、模拟屏、电气编码锁、机械编码锁等组成<sup>[5]</sup>。微机防误的设备有隔离开关、开关、接地线、遮栏网门。它的基本原理是通过编辑好的逻辑来自动判断需要操作的设备是否满足闭锁的条件。运行人员按照操作逻辑进行开票,模拟预演正确后,将操作内容传送到电脑钥匙中,传送完毕后进行开编码锁操作,最后回传给钥匙改变状态。

(1) 微机防误系统共享由变电站监控系统采集的各种实时数据,包括各类设备的遥信量,遥测量等。

(2) 微机防误系统向变电站监控系统发送由电脑钥匙采集的五防虚遥信。

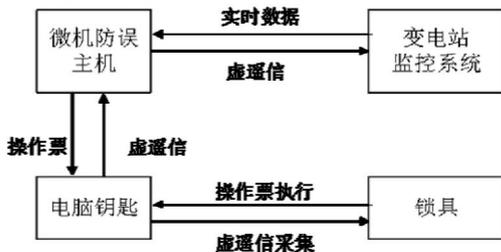


图 1 微机防误闭锁方式图

## 4 区域防误技术

### 4.1 遥控防误

通过与监控操作系统接口，实现设备遥控开（闭）锁指令下发。集控中心对设备进行远程遥控操作时，向防误系统发出操作询问，防误系统通过安全校核手段，结合当前设备实时状态，智能分析判断操作可行性，并把校核结果反馈给监控系统，只有通过安全校核后才允许监控系统进行设备远控操作。系统具备以下监控防误功能：

(1) 站间、线路间操作防误。站间、线路间设备状态实时反馈，监控操作时进行跨站设备状态安全校核，

防止站间设备监控误操作。

(2) 设备监控操作“软”闭锁。监控操作步骤只有在防误系统中通过安全校核，才发送监控操作允许指令到或调度监控系统，进行设备监控操作。

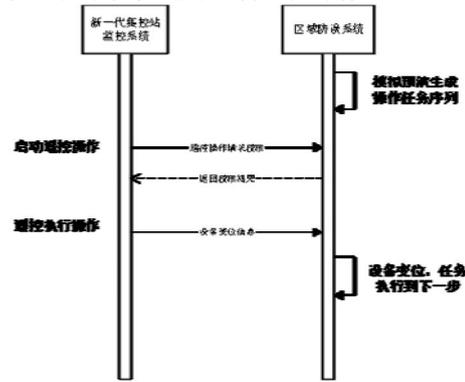


图 2 遥控防误方式图

### 4.2 站间防误

具备多个倒闸操作任务之间的相互闭锁功能，并可实现站间设备操作的防误闭锁功能。

### 4.3 接地线挂/拆位置监控

通过地线身份识别闭锁套件，实现对各站地线挂/拆情况统一管理，有效防止站间带地线合刀闸事件的发生，套件由地线管理控制器、智能地线夹、带状态地线锁等组成，具备以下功能：

(1) 地线管理控制器。安装在专用地线柜内，当防误倒闸操作票中涉及地线的挂接时，根据接收到防误系统下发的地线解锁指令，执行对应智能闭锁桩的解锁操作，供运维人员取用地线至现场操作。

(2) 智能地线夹。安装在临时接地线上，对临时接地线的身份进行定义，实现对地线库位的强制性闭锁管理，并作为地线挂接身份和实际拆除的技术判断措施。

(3) 带状态地线锁。安装在设备区域现场的临时接地点处，通过专用技术手段输出地线挂/拆除的状态信息至防误系统。

### 4.4 集中开票

集控防误工作站系统具备强大的功能，它允许在集控中心创建并生成适用于任意子站的操作票。通过先进的网络技术，这些操作票能够迅速、准确地传送到目标子站进行执行。此外，该系统还支持从子站回传详细的操作记录，为集控中心提供实时的操作反馈。在应对临时操作任务时，集控防误工作站系统展现出了极高的灵活性，它支持远程开具操作票，并通过网络进行实时传输，从而实现对操作任务的追加和更新。这一流程不仅提高了工作效率，也确保了操作过程的安全性和准确性。

### 4.5 数字化操作票

通过移动应用代替纸质操作票的技术实现方式。以移动终端作为电子操作票的载体，与区域防误系统共同配合完成操作票创建、审核、执行、归档等流程。

(1) 基础数据管理

主要包括有变电站图模、操作票、人员权限等基础数据的管理,根据实际使用情况进行数据维护更新。

(2) 操作票逐级审核

接收由防误系统通过隔离装置推送的操作票,操作票需要逐级完成审核,审核人员可对操作票填写审核意见,操作票审核通过后才能执行。

(3) 模拟预演

如有临时操作任务,运行人员可直接在移动终端上查阅变电站一次接线图形,进行模拟预演,模拟预演结束自动创建待审核的操作票,由审核人员对操作票进行逐级审核。

(5) 操作过程监控

已完成三级审核的操作票,可在管理后台中查看操作票的执行情况,包括操作票每项操作内容的进度和完成时间,设备操作项在操作过程如有拍照,支持查看已上传的现场照片。

(6) 执行全程录音

操作票执行全程录音,操作途中如暂停录音,则需要重新启动录音后才能继续执行,对运维人员倒闸操作过程进行强制录音,规范操作票的执行。

(7) 逐项执行打勾

电子操作票必须按票面顺序逐项执行,不允许跳项操作,若存在跳项操作时系统自动提醒,确保操作票按序执行,确认当前操作步骤执行完成,系统自动在当前操作项后打勾。

(8) 操作完成归档

所有操作步骤都已完成,电子票自动加盖“已执行”红色签章,保持与纸质操作票执行完成的一致性,已完成的操作票推送至移动作业平台服务,最终由移动作业平台将操作票归档至 PMS 系统,实现闭环管理。

4.6 远程维护

当需要对变电站防误数据进行维护时,不需要维护人员去相应的变电站进行维护,在集控中心可对集控防误系统任一变电站防误数据进行远程维护,避免了维护滞后性,减少了数据更新备份的工作量<sup>[8]</sup>。

4.7 黑匣子功能

防误系统可记录的实际操作(含未遂误操作)情况,所有资料保存数据库,失电情况下不改变、不丢失,只能阅读和打印,不可修改或删除,可为考核运行人员或事故分析提供依据<sup>[9]</sup>。

4.8 操作过程可视化

通过与变电站视频系统的硬盘录像机接口,实现视频联动,在变电站进行倒闸操作过程中,自动将摄像机调整到待操作设备,在运维站可通过大屏幕实时观看现场操作过程。

4.9 开闭锁逻辑优化

(1) 图形开票。操作人接到操作任务后,可在防误系统一次接线图上对设备按照任务内容模拟开票,图形开票需按照五防逻辑进行判断,当发生错误操作时,系

统强制性禁止模拟。

(2) 逻辑防误。系统预先储存变电站所有设备的操作规则,通过对一次设备加装锁具对其操作实施强制闭锁,只有经模拟预演检验无误后以正确的顺序进行操作方可解锁操作,从而实现五防功能,满足五防要求。

(3) 操作票项定义。操作人完成开票后,可对已生成操作票进行重点项、两分钟思考项电子签章,提交监护人、值班长审核,如审核未通过,驳回由操作人重新拟票及票项定义,操作票进入开始执行状态后电子签章不能修改。

(4) 作业安全分析单管理。作业安全分析单编辑、典型作业安全分析单管理。

(5) 解锁任务。对检修范围已隔离开关可实现临时授权解锁操作,可实现多步操作,执行完成系统需同步变位设备状态。

(6) 开锁任务。实现对单开关间隔网门/机构箱门开锁或全站网门/机构箱门开锁功能,执行完成系统同步变位设备状态。

5 多站点独立组网技术

遵循国网公司信息安全防护总体框架体系、国家信息系统安全等级保护要求和《国家电网公司管理信息系统安全防护技术要求》(Q/GDW 1594—2014),按照“纵向加密、横向隔离、分区分域、安全接入、动态感知、全面防护”的安全策略,制定平台层应用安全防护等级。从物理安全、边界安全、应用安全、数据安全、主机安全、网络安全及终端安全等方面对系统进行安全防护设计,最大限度保障平台层的安全、可靠和稳定运行。

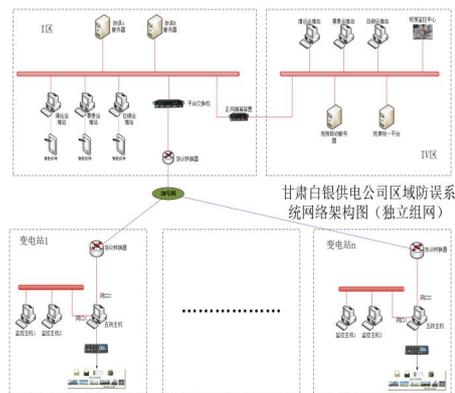


图 3 区域防误系统网络机构图

5.1 主机安全

(1) 操作系统安全:区域防误数据服务器均安装经过国家安全部门检测、认证的国产凝思安全操作系统 V6.0.80 变电站通用版系统,变电站五防工作站安装经过安全检测的国产中标麒麟

(2) 系统漏洞扫描:在操作系统安装之后,通过第三方漏洞扫描软件对区域防误数据服务器、视频服务器、变电站五防工作站进行漏洞扫描,对发现的安全漏洞进行修复,确保操作系统的安全。

(3) 应用安全

对部署在安全 I 区的区域防误系统应用软件已通过信息安全 3 级测试，对软件的身份鉴别、访问控制、安全审计、剩余信息保护、通信完整性、通信保密性、抗抵赖、软件容错、资源控制等进行安全测试，满足信息安全 3 级标准。

5.2 数据流图

变电站五防系统与区域防误系统间交互数据包括：图模数据、操作票数据、运行态数据、配置态数据四类，如下图：

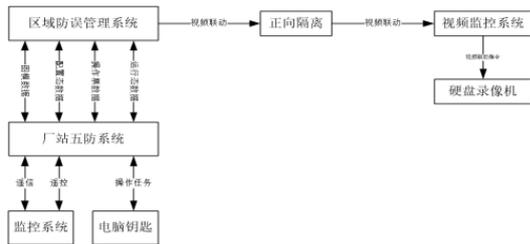


图 4 数据交互图

5.3 数据控制

为保证调度数据网的正常通讯，对变电站五防系统与区域防误服务器交互的数据带宽进行限制，防止区域防误系统上传、下载数据时数据网带宽占用较大的情况发生，区域防误系统需要对上传、下载传输速度进行约束。

围绕“无人值守+集中监控”变电运维新模式，构建新一代集控站区域防误系统，将变电站防误闭锁装置联网形成区域五防，采集个变电站五防系统实时数据，对远程监控系统操作功能进行防误闭锁，倒闸操作过程与视频监控/电子操作票移动终端进行关联，实现指挥中心五防与各变电站五防数据同步，实现指挥中心对所辖变电站五防系统集中在线管控的区域化防误管理模式和站间闭锁，保证两端防误系统设备状态一致。完善监控端倒闸操作防误校核功能，从而保障远程操作的安全性；通过集控站区域防误系统，能够对下辖任意子站进行模拟预演并开具倒闸操作票，并流转至倒闸操作票系统进行审核、执行、确保集控站操作的正确性，涉及就地操作运行人员可携移动数字化倒闸操作票至站端就地操作，区域防误的完善，将更有效促进倒闸操作过程的集中化防误安全管控。

5.4 视频智能联动

集控站区域防误系统进行模拟操作设备和正式操作设备的过程中，视频系统能够显示出对相应设备画面，进行自动实时视频跟踪，让运行人员能够及时发现模拟和操作过程中的异常情况；

在进行远方遥控操作时，根据操作任务序列在集控站监控系统操作前，发送下一步需要操作的设备视频联动指令，达到操作前视频跟踪效果；

在当发生事故报警时，运行人员在主控室可以通过视频工作站查看到现场的图像，便于在第一时间获取现场的实际情况，为后续的事故判断、事故处理、事

故分析提供信息。系统应用流程如下示：

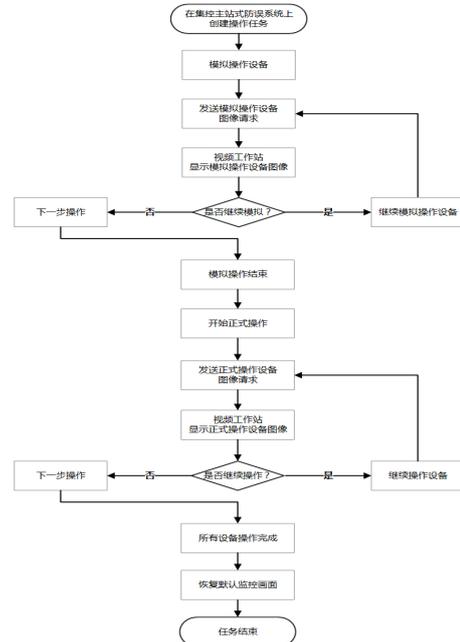


图 5 系统应用流程图

参考文献：

[1]童丽莹.防误闭锁装置在变电站中的应用研究[J].南昌大学, 2011.DOI:10.7666/d.y2042357.  
 [2]杨建文,张少尉,张志伟.浅谈变电站监控中心应用遥控操作安全约束系统的必要性[J].科技致富向导, 2013(6):2.  
 [3]高建琨,徐怡山,克潇,等.集控系统技术发展趋势分析[J].电力系统保护与控制, 2010(11):3.DOI:10.3969/j.issn.1674-3415.2010.11.032.  
 [4]张春元.浅谈智能监控装置在开关柜中的应用[J].2021.  
 [5]陈冬冬.浅谈变电站中的防误闭锁系统[J].中国证券期货, 2011(5X):2.DOI:CNKI:SUN:ZQQH. 0.2011-05-157.  
 [6]冯玉红.常规五防技术浅析[J].电子世界, 2013(2):2. DOI:CNKI:SUN:ELEW.0.2013-02-053.  
 [7]张进,柳成华,张益林.钥匙联锁在核电站应急柴油发电机组的应用[J].引文版:工程技术, 2016, 000(004): P.247-247.  
 [8]陈冬冬.浅谈变电站中的防误闭锁系统[J].中国证券期货, 2011(5X):2.  
 [9]江东林,刘青丽,王峰皓,等.新型一体化五防系统在变电站的应用[J].四川电力技术, 2018, 41(6):6.DOI:CNKI:SUN:SCDL.0.2018-06-019.  
 [10]肖明.长湖水电厂微机防误闭锁装置升级改造[J].小水电, 2008, 000(001):42-44.DOI:10.3969/j.issn. 1007-7642.2008.01.015.