

中压开关柜五防智能闭锁系统升级与人身安全管控研究

陈跃鹏

许继电气股份有限公司 河南 许昌 461000

摘要: 中压开关柜传统机械闭锁长期运行易出现构件磨损、卡滞失效等问题,防护能力逐步衰减,难以适配当下配电作业的安全管控需求。本文结合传统闭锁的结构特征与运行短板,分析设备缺陷诱发人身安全隐患的内在机理,搭建智能化五防闭锁系统整体架构,细化硬件布局、信号传输、逻辑控制与人机交互的搭建形式。结合存量设备工况制定适配升级方案,优化多场景闭锁调控逻辑与新旧闭锁联动形式,依托智能管控体系搭建全方位的人员操作约束路径与全流程安全防护闭环,有效弥补传统闭锁防护漏洞,强化配电现场作业安全管控质量。

关键词: 中压开关柜;五防闭锁;智能升级;防护联动;安全管控

引言: 中压开关柜是电力配电系统的核心基础设备,设备运行稳定性与操作规范性直接影响配电系统可靠运行,关系现场作业人员人身安全。传统机械式五防闭锁依靠物理结构实现防误管控,结构功能较为单一,长期运行会产生各类结构故障,防护可靠性持续下降。老旧闭锁体系的防护短板,容易诱发电气误操作,滋生各类高危安全隐患。推进闭锁系统智能化升级,优化设备防护逻辑,搭建适配现场工况的人身安全管控体系,能够有效规范设备操作行为,夯实配电作业安全运行基础。

1 中压开关柜传统闭锁结构运行特征

1.1 传统机械式五防闭锁构造组成

中压开关柜搭载的传统五防闭锁属于纯机械防护体系,完全依靠实体硬件结构实现设备操作的防误管控。整套装置核心构件包含限位锁栓、传动连杆、隔离挡板、定位基座与卡位弹簧,所有部件相互搭配形成完整的机械约束体系。构件按照开关柜标准操作逻辑有序布设,精准对应断路器分合闸、隔离开关投切、接地开关操作、柜体柜门启闭等核心作业环节。各结构通过物理卡位与机械限位形成相互制约的关系,针对不规范操作形成硬性阻挡。整体结构设计紧凑精巧,能够适配开关柜内部狭小密闭的安装空间,构建起电气操作基础的机械防误屏障^[1]。

1.2 机械闭锁动作实现方式

传统机械闭锁的状态切换依托纯机械传动原理完成全程运作,无需电气元件参与控制。现场人员开展设备操作时,人工外力推动传动连杆、隔离挡板产生位移,

带动锁栓结构完成解锁或锁闭的状态转换。合规作业流程中,前置操作工序完成后,机械限位结构自动解除束缚,后续操作工序可以顺利推进。前置操作未完成的情况下,物理卡位结构持续保持锁止状态,封堵操作机构的的活动路径,从物理层面阻断违规操作行为。整套机械联动方式构成传统开关柜防误操作的核心运行逻辑。

1.3 传统闭锁结构固有局限

传统机械闭锁的固有设计形式,使其在长期运行中存在难以规避的结构短板。设备频繁启停带来的往复机械运动,会让传动构件出现磨损、松动、形变等不可逆损耗,逐步削弱闭锁动作的精准程度。配电室常年存在粉尘堆积、空气潮湿的环境特点,容易诱发构件锈蚀、卡顿等问题,频繁出现闭锁卡滞、解锁不彻底的情况。功能设计偏向单一化,仅能实现基础的机械限位,不具备设备状态感知、异常识别的基础能力。整体结构定型固化,无法适配当下配电设备智能化、精细化的安全管控需求。

1.4 闭锁缺陷诱发人身安全风险的形成机理

机械闭锁构件发生老化、锈蚀或卡滞故障后,原有设备操作的防护约束机制会持续弱化,柜体作业的安全防护屏障出现漏洞。限位约束能力缺失后,带电合闸、误投接地开关、带地线送电等危险操作具备实施可能,极易诱发电弧放电、线路短路、柜体漏电等高危电气工况。高压作业环境下,这类突发电气故障会直接冲击现场作业空间,威胁人员人身安全。隐蔽性的结构缺陷会持续弱化设备防护能力,让现场作业长期处于不稳定的安全状态。

2 五防智能闭锁系统架构构建

2.1 智能闭锁硬件单元组成

五防智能闭锁系统采用模块化集成思路搭建硬件体系,突破传统机械闭锁纯物理限位的局限。整套硬件结构涵盖状态感知模块、电动锁控模块、主控处理模块与稳压供电模块,各单元分工明确、相互配合,构成完整的智能防护载体。状态感知模块负责捕捉开关柜开关位置、柜门状态、接地机构姿态等物理信息。电动锁控模块布置在柜体关键操作点位,接收控制指令完成锁止与释放动作。主控处理模块承担数据分析与指令调度的核心工作^[2]。稳压供电模块保障系统长期稳定带电运行。集成化的硬件布局适配开关柜狭小安装空间,可精准覆盖设备全部关键操作点位,为智能防误管控提供扎实的硬件支撑。

2.2 信号采集链路布设形式

信号采集链路承担设备状态信息的拾取与传输工作,是智能闭锁系统实现精准判断的前置条件。链路布局围绕开关柜核心操作结构展开,在断路器操作机构、隔离开关点位、接地开关区域以及柜门活动位置布设采集节点。各采集点位独立工作,单独对应专属设备状态信息,规避信号重叠造成的识别偏差。链路采用分层传输结构,前端传感器完成原始信号拾取,中间传输线路完成降噪与信号净化处理,后端统一汇总至主控模块。分层布设模式可有效抵御配电室复杂电磁环境干扰,稳定传输各类设备状态信号,保障系统识别结果精准可靠。

2.3 闭锁逻辑控制架构搭建

闭锁逻辑控制架构依托分层递进的思路搭建,是规范设备操作秩序的核心框架。整体架构划分数据解析、逻辑判定、指令输出三个层级,各层级逐级衔接、闭环运行。数据解析层级筛选前端采集的状态数据,剔除异常干扰信息,整理出有效设备工况参数。逻辑判定层级内置电气防误约束规则,对照设备实时状态判别即将执行的操作是否合规。指令输出层级根据判定结果下发控制信号,驱动硬件锁单元完成状态切换。分层管控模式细化系统运行逻辑,通过程序化约束规范设备操作行为,从源头规避电气误操作隐患。

2.4 人机交互单元接入方式

人机交互单元搭建设备与作业人员的信息互通渠道,实现智能闭锁系统的可视化管控。单元采用嵌入式集成对接方式接入主控系统,通过专用通信端口完成数据交互,实现运行信息实时同步。交互界面集中展示

开关柜运行状态、闭锁点位工作情况以及可执行操作内容,清晰呈现整套系统的运行工况。界面搭载权限识别与操作引导功能,约束不规范操作行为,规范现场作业流程。直观的人机交互方式,让系统智能管控逻辑精准落地,适配现场精细化作业管控需求。

3 五防智能闭锁系统升级实现方式

3.1 原有开关柜闭锁改造适配方案

中压开关柜存量设备普遍搭载传统机械闭锁结构,整体柜体框架、安装点位已固定,全面更换设备成本偏高。升级改造工作以保留原有柜体主体结构为基础,针对老旧闭锁构件开展针对性替换与优化。拆除老化失效的机械锁栓、卡顿连杆等损耗部件,在原有安装点位适配加装模块化智能锁控硬件。结合柜体内部空间布局调整硬件安装角度与固定方式,规避线路干涉、结构碰撞等问题^[3]。改造过程保留原有合规机械限位基础结构,仅对防护薄弱、功能缺失的环节进行升级补强。适配化改造方案能够最大限度利用原有设备资源,缩短改造施工周期,让存量开关柜具备智能防误闭锁功能。

3.2 闭锁信号传输模式优化思路

传统闭锁无信息传输通道,设备状态管控依赖人工辨识,智能化升级需要搭建稳定高效的信号传输体系。摒弃单一的有线直连传输形式,采用分层分类的信号传输架构,区分设备状态信号与控制指令信号的传输通道。对原有传输线路进行规整梳理,筛选抗干扰线材替换老旧线路,强化复杂电磁环境下的信号传输稳定性。增设信号降噪与隔离处理模块,过滤配电室电磁干扰产生的杂波信号,规避信号失真、数据错乱等问题。优化后的传输体系可以稳定承载全时段设备状态采集与指令交互工作,支撑闭锁系统精准执行防误管控动作。

3.3 多工况场景闭锁逻辑调整方法

开关柜运行涵盖常规待机、设备检修、临时送电、故障复位等多种工况,单一固定的闭锁逻辑无法适配全部作业场景。结合不同工况的作业规范与安全要求,对系统内置闭锁规则进行细化调整。常规运行工况收紧闭锁管控尺度,严格限制各类违规操作行为。检修作业工况适当调整闭锁约束范围,匹配检修作业的操作流程,保障检修工序顺利开展。故障处置工况优化逻辑判定优先级,优先响应设备异常状态,锁定高危操作点位。差异化的逻辑调整方式可以适配各类作业场景的管控需求,提升智能闭锁系统的场景适配能力。

3.4 机械闭锁与智能闭锁联动模式

智能闭锁升级并非完全舍弃传统机械结构,两种闭

锁形式的有效联动是保障设备安全运行的关键。依托原有机械限位结构作为基础防护屏障,智能闭锁系统作为精细化管控载体,构建双重防护体系。机械结构负责基础物理限位,应对突发断电、系统故障等特殊情况。智能系统依托感知与逻辑判定能力,实现主动预判与精准锁控,弥补纯机械结构无感知、无预判的短板。两种闭锁方式相互补充、相互配合,形成物理限位加智能管控的双重防护机制,有效提升开关柜防误操作的整体安全等级。

4 依托智能闭锁系统的人身安全管控思路

4.1 开关柜典型误操作行为触发条件分析

中压开关柜现场误操作行为的出现,并非单一操作失误导致,而是作业环境、设备状态、人为认知多重因素叠加形成。常规电气作业场景中,带电合闸、带地线送电、误分误合设备、误入带电间隔等高危操作,都存在对应的前置诱发条件。现场作业人员对设备运行状态判断出现偏差,会在未确认工况的前提下盲目开展操作动作。老旧设备机械闭锁失效、卡滞松动,会弱化设备本身的硬性约束,让违规操作具备实施空间。作业流程简化、工序颠倒的不规范作业习惯,会打乱标准化操作节奏,逐步积累安全隐患^[4]。现场作业环境复杂、设备点位布局相近,容易造成操作点位混淆,引发错位操作。梳理各类误操作的前置诱发条件,能够精准定位人身安全管控的薄弱环节,为后续防护体系搭建提供明确的优化方向。

4.2 闭锁信号与人身防护措施联动机制

智能闭锁系统区别于传统机械闭锁的核心优势,在于可实现设备状态信号与安全防护手段的深度关联。系统采集的开关位置、柜门状态、接地状态等核心信号,可作为人身防护管控的触发依据。设备处于带电运行状态时,闭锁系统锁定全部高危操作点位,限制柜体开启与机构操作,阻断人员近距离接触带电部位的通道。系统识别到接地装置未可靠闭合时,约束送电操作执行,规避无接地送电带来的触电风险。设备出现异常工况时,系统持续锁止操作机构,配合现场警示提示,引导人员远离危险作业区域。信号联动机制打破传统人工被动防护的局限,以设备智能管控主动约束作业行为,构建信号驱动的主动防护模式。

4.3 现场作业操作行为约束路径

现场人身安全管控需要从作业源头规范人员操作行为,依托智能闭锁体系搭建全方位行为约束路径。系统内置标准化电气操作逻辑,完全匹配开关柜规范作业流程,不符合流程的操作指令无法触发设备动作。硬件锁控结构

直接限制违规操作实施,从物理层面阻断人为失误引发的危险操作。人机交互界面实时展示设备当前工况与允许操作内容,引导人员按照标准步骤完成作业。系统记录全部操作行为与状态切换轨迹,对不规范操作形成长效约束,推动人员持续维持标准化作业习惯。多重约束方式贯穿作业全程,弱化人为主观判断偏差带来的安全风险,让现场作业行为始终处于规范可控的状态。

4.4 开关柜操作全过程安全防护闭环构建

完整的人身安全防护需要覆盖作业准备、现场操作、作业收尾的全部流程,搭建无漏洞的安全防护闭环。作业开展前期,智能闭锁系统自检设备状态,核对现场工况适配性,提前排查设备隐性故障,扫除作业前置安全隐患。作业实施阶段,依托信号采集、逻辑判定、锁控执行、人机提示的完整链路,实时管控每一步操作行为,及时拦截各类危险操作。作业结束后,系统自动复位设备闭锁状态,恢复设备常规防护模式,留存完整的作业状态数据^[5]。全流程管控模式补齐传统分段防护的漏洞,将智能闭锁技术优势转化为常态化安全防护能力,持续提升中压开关柜现场作业的安全管控水平。

结束语

开关柜五防智能闭锁升级是弥补传统机械防护缺陷、强化配电作业安全水平的重要方式。通过梳理传统闭锁的运行特征与固有局限,明确智能闭锁系统的整体架构与搭建方式,形成适配存量开关柜的升级改造模式,优化不同作业工况下的闭锁调控逻辑。依托智能闭锁的信号联动与逻辑约束能力,规范现场人员操作行为,构建覆盖作业全流程的安全防护闭环,全方位完善开关柜防误操作防护体系,切实提升中压配电现场作业的安全稳定性。

参考文献

- [1] 程康桥. 五防联锁在 10kV、35kV 开关柜遥控操作中的应用 [J]. 机电信息, 2023(6):5-8.
- [2] 杨杨. 煤矿变电站开关柜五防闭锁的分析 [J]. 矿业装备, 2023(1):136-138.
- [3] 张森森, 韩东伟, 刘金柱, 等. 智能变电站间隔层五防闭锁逻辑测试仪的设计与应用 [J]. 电工技术, 2025(6):149-151.
- [4] 罗萍, 陈维, 王生鹏, 等. 基于 NFC 技术的智能五防锁研究与应用 [J]. 中国宽带, 2024, 20(3):100-102.
- [5] 谢学刚, 刘俊峰, 刘涛, 等. 智能在线五防模式自动化闭锁、解锁系统设计 [J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(6):183-186.