DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)08-0170-05

配网智能五防安全管控系统多级防误闭锁调试方法

陈英华, 陈远周, 范伟波

(广东电网有限责任公司清远清新供电局,广东 清远 511800)

摘　要:目前五防安全系统的防误闭锁调试方法,因未进行数据二次采集而导致调试性能较差,提出一种配网智能五防安全管控系统多级防误闭锁调试方法。首先,通过对变电站五防数据进行二次采集,获取软压板与硬压板状态量及遥信信息,确保数据库与闭锁规则的完整性;其次,利用就地压板实现系统的多级解锁与闭锁,完善防误闭锁的整体性能;在此基础上,采用软压板或硬压板模式执行防误闭锁实际操作,依次完成五防逻辑判断、站内返校、设备执行与遥信对位,形成二次闭锁的闭环控制。为便于调试,在可视化技术下利用自适应布局算法生成统一风格的防误闭锁逻辑图,根据界面高度动态调整展示效果,实现防误闭锁逻辑的可视化调试。实验结果表明,所提方法在数据接收质量(received signal strength indication,RSSI)与有效评定指标(effectiveness rate,ER)方面优于对比方法,具有更长的可靠通信距离,并在二次设备防误校核及设备可遥控状态自动辨别等工程应用中表现出良好的调试性能。

关键词:配电台区;五防;防误闭锁;闭锁调试;安全管控;可视化调试

中图分类号: TP391.4;TP273;TM73　　**文献标志码**: A　　**文章编号**: 1003-7241(2026)08-0170-05

Multi-level anti-misoperation lockout debugging method for distribution network intelligent five-prevention safety management and control system

Chen Yinghua, Chen Yuanzhou, Fan Weibo

(Qingyuan Qingxin Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Qingyuan 511800, Guangdong, China)

Abstract: At present, the anti misoperation lockout debugging method of the five prevention security system has poor debugging performance due to the lack of secondary data collection. A multi-level anti misoperation lockout debugging method for the distribution network intelligent five prevention security control system is proposed. Firstly, by collecting secondary data on the five prevention measures of the substation, the status variables and remote signaling information of the soft and hard pressure plates are obtained to ensure the integrity of the database and lockout rules; Secondly, utilizing on-site pressure plates to achieve multi-level unlockout and lockout of the system, improving the overall performance of anti misoperation lockout. On this basis, the actual operation of anti misoperation lockout is carried out using soft or hard pressure plate mode, which sequentially completes the five prevention logic judgment, on-site return to school, equipment execution and remote signal alignment, forming a closed-loop control of secondary lockout. For the convenience of debugging, an adaptive layout algorithm is used under visualization technology to generate a unified style of anti misoperation lockout logic diagram. The display effect is dynamically adjusted according to the interface height to achieve visual debugging of anti misoperation lockout logic. The experimental results show that the proposed method outperforms the comparative method in terms of data reception quality (RSSI) and effective evaluation index (ER), has a longer reliable communication distance, and exhibits good debugging performance in engineering applications such as secondary equipment error prevention verification and automatic identification of remote control status of equipment.

Keywords: distribution station area; five preventions; anti-misoperation lockout; lockout debugging; safety management and control; visual debugging

变电站系统在实际运行过程中为保证运行安全和质量[1-2],需要对其加强管理,因此必须积极进行“五防”工作,“五防”在实施的过程中,防误闭锁技术是实现“五防”的关键步骤,经过防误闭锁技术的不断更新和进步,该技术越来越贴近实际应用,同时取得十分不错的效果。

随着智能电网建设的不断推进,防误闭锁技术已成为提升变电站自动化水平和安全性的重要手段。文献[3]提出基于ZigBee Mesh网络的智能防误判系统自动开锁设计,利用ZigBee Mesh网络进行数据传输以及采用电脑钥匙与管理软件实现开锁控制等方式,实现了高精度、高安全性和高稳定性的自动开锁功能。但该方法在网络信号不稳定或存在干扰的变电站场景中,会出现开锁延迟甚至开锁失败的情况,影响操作效率和安全性。文献[4]提出变电站一二次设备防误闭锁现场自动检测方法,通过对变

收稿日期:2025-10-28;**录用日期**:2025-11-20

作者简介:陈英华(1982—),男,硕士,高级经济师,研究方向为变电、配电五防研究。

引用本文:陈英华,陈远周,范伟波. 配网智能五防安全管控系统多级防误闭锁调试方法[J]. 自动化技术与应用,2026,45(8):170-174. (Chen Yinghua,Chen Yuanzhou, Fan Weibo. Multi-level anti-misoperation lockout debugging method for distribution network intelligent five-prevention safety management and control system[J]. Techniques of Automation and Applications,2026,45(8):170-174.)

电站一二次设备的拓扑关系进行重构,生成设备状态自检表,并基于主节点的现场状态值与设备状态自检表进行比对,从而实现快速定位异常设备的位置和异常类型,保障了防误闭锁系统的安全可靠运行。但该方法在处理复杂变电站拓扑结构时,计算量较大,检测效率可能会受到影响。文献[5]通过采用电磁感应技术,实现了对高压开关柜内带电状态的非接触式检测,并结合创新的闭锁逻辑设计,有效降低了误操作风险.且通过智能闭锁机制,实现了对母线触头隔离挡板的精准闭锁。但该技术对电磁环境要求较高,在强电磁干扰环境下,可能会出现检测误差,影响闭锁的准确性。文献[6]能够自动采集变电站自动化测控装置的相关数据,包括设备状态、操作记录等,并进行预处理,为后续逻辑校验提供基础数据。但该系统在设备兼容性方面存在一定问题,适配性不足,推广应用受到限制。

为进一步加强防误闭锁技术的应用效果,本文对其调试功能展开深入研究。通过深入分析防误闭锁技术的调试原理、方法以及存在的问题,旨在提出有效的改进策略,为提升变电站系统的安全性和可靠性提供有力支持。

1 五防管控多级防误闭锁方法

为保证变电站的安全性,需要对变电站的运行加强管理,目前防误闭锁是最安全且有效地实现“五防”工作的技术,将变电站系统与防误闭锁本身的特性进行中和后得出专属配网操作的防误闭锁方法,将其称之为二次系统操作防误闭锁技术,该技术就是在基础防误闭锁技术内添加二次系统操作进而生成全新的防误闭锁策略。二次系统在实施过程中,需要提前在防误闭锁操作界面中进行模拟,当电网逻辑通过防误闭锁验证后即可进行二次防误闭锁,并同时完成远距离的遥控处理,其中二次闭锁的实际操作过程如下。

1) 将电网数据进行二次采集处理[7-8]。

2) 完善防误闭锁的解锁以及闭锁性能[9]。

3) 对电网数据进行解锁以及闭锁处理。

4) 对配电网的五防管控逻辑进行判断。

5) 若逻辑不通则验证失败,此时电网不予执行任务,且对其进行延时警告处理。

6) 当逻辑验证成功时,则在配电网站中进行返校,同时进行设备执行。

7) 在设备执行完成后,将其进行遥信对位处理,以此实现电网数据的采集,实现配网智能五防二次闭锁的循环。

1.1 电网数据的二次采集

配电网五防安全管控系统二次状态的实时数据是完成二次防误闭锁的根本,该系统的实时数据主要包含电网压板投退状态以及二次遥信信息等,而二次遥信信息可直接表示电网设备的二次工作状况,该工作情况的改变可在五防系统监控中的实时数据进行收集以及同步。

电网五防数据的采集实质就是对该系统的软压板以及硬压板两种压板状态量的采集,其采集原理如图 1 所示。

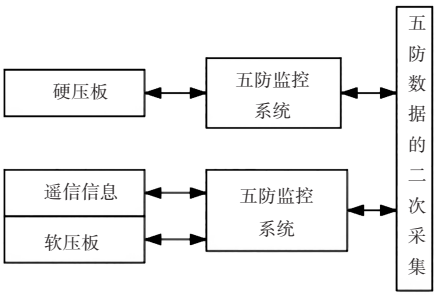


图 1 五防数据二次采集原理

Fig. 1 Principle of secondary data collection for five prevention

其中软压板状态量的采集多应用于智能变电站,在实际操作过程中将原始功能压板变换成软压板,并在实时数据库内直接提取该状态,同时提取出与状态相对应的状态量。一般情况下硬压板状态量采集数据策略应用在传统变电站出口压板位置,常规的实时数据库通常不采集硬压板的状态量,而是添加压板状态的采集附件,与此同时将压板的投退状态进行转换,并采集转换后信号量数据。

五防系统二次采集策略中较为重要的处理还包括遥信状态量收集策略,该策略的变化可直接表示出二次系统的硬件装置以及软件系统故障等状况,该策略的信息量可直接在实时数据库内进行提取和同步处理,进而提取出系统状态的对应状态量。

1.2 系统的解锁和闭锁

在防误闭锁系统中添加就地压板,利用该压板的状态进行二次系统的解锁和闭锁,从而完成五防安全管控系统的闭环以及半闭环功能。在实际操作过程中可根据自身情况进行就地压板,同时将各级压板的闭锁权限与二次解锁、闭锁相互对应实现解锁和闭锁的多级管理。就地压板对应的是一级闭锁,也是闭锁的最高权限,该权限来自于二次保护以及控制屏中的检修压板,在防误闭锁系统内需要依照间隔进行就地压板设置,即得出二级闭锁权限,该权限来自于遥信内的装置等具有缺陷的遥信信息。

1.3 防误闭锁的实际操作

在五防安全管控系统中利用防误闭锁可完成人机对话、目标选择以及电网监护等,由于防误闭锁是根据系统的实时状态选取软硬两种模式的压板操作后实现系统的自动以及人工半闭环功能[10-11]。

当利用软压板进行操作时,需要选取合适的遥控目标进行执行,经过监控工作人员的确定对其开关进行操作,将开关确认后对该操作的密钥进行验证,验证通过后将五防数据内容传输到下一级进行五防逻辑的验证,当添加二次系统后,需要确保配网设备在一次操作过程中完全正确,继而进行二次系统操作,在此过程中需要对系统的实时状态位置以及遥信信息进行检查,确保无异常后实施解锁以及闭锁操作,该模式下的操作流程图如图 2 所示。

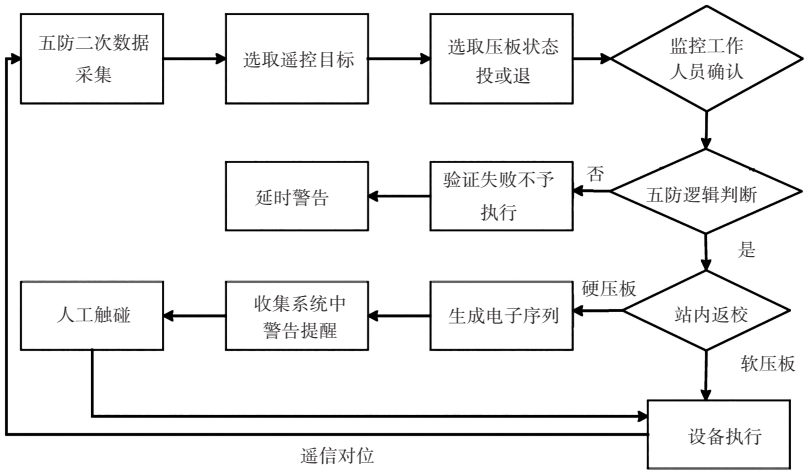


图2 防误闭锁实际操作流程

Fig. 2 Actual operation flowchart of anti misoperation lockout

实际操作过程中硬压板模式较少应用,这种模式虽可起到十分优良的五防防误效果,但该模式具有效率较低和工作人员工作量巨大的缺点,因此该模式目前仅运用在防误提示项目中,利用该模式生成电子序列信息并传送到下一级五防逻辑中,待逻辑验证通过后输入到站内并进行返校处理,从而生成可执行的电子系列信息。

1.4 五防逻辑

五防安全管控系统在接收到五防逻辑请求后,需要与一次设备和二次系统相融合,并在防误闭锁系统中设置二次系统的防误逻辑,根据实际操作流程对其进行校验,当逻辑验证通过后即可进行校返并执行该指令,若逻辑错误,则延长校验时间并对其进行警告。

1.5 站内返校

利用站内发布请求,实际操作过程中对一次设备和二次压板情况的对位得出设备的状态是否有异常。

1.6 设备执行

当配电网变电站一次设备收到遥控请求时,可远程遥控防控闭锁的开关状态,将发生变化后的开关状态上送,在二次压板收到遥控请求后,可就近进行投退压板操作,只要一次和二次设备的实时定位、防误闭锁系统定位以及五防监控后台定位完成相应的变化后即可实现防误闭锁。

2 防误闭锁逻辑的可视化

不同的配网五防安全管控运行方法得出的防误闭锁逻辑均不相同,进而导致每种运行方式的逻辑图大小均有差异,为实现防误闭锁的调试,可在可视化技术[12-13]下呈现出防误闭锁逻辑。

利用可视化技术的目的是将大小不一的防误闭锁规则统一成风格相同的可视化五防逻辑呈现在界面中,以便工作人员操作,结果呈现后为保证界面的清晰度,可自行调整界面的高度,并根据纵向大小对全图界面进行调整得出五防安全管控逻辑的自适应布局算法,从而实现防误闭锁调试,根据算法得出防误闭锁一次设备的可视化逻辑高度的表达式为

$$h = \mathrm{CH} + \mathrm{MH} + \mathrm{RS} \cdot (n - 1) + \sum_{i=1}^{n} \mathrm{rh}_i \tag{1}$$

式中,MH代表界面上下页边需要留白的高度,CH代表可视化逻辑标题的高度,rh_i代表可视化逻辑矩阵本身的高度,RS代表两界面矩形框间的间隔距离,h代表界面本身高度。

在可视化逻辑图中逻辑矩阵本身的高度表达式为

$$\mathrm{rh}_i = (m - 1) \cdot \mathrm{TS} + m \cdot \mathrm{TH} \tag{2}$$

式中,TH代表一条五防准则自身的高度,m代表逻辑图中的规则数量,TS代表两规则之间的高度距离。

在逻辑图界面中最初默认的高度为H,根据防误闭锁逻辑的特性,当实际防误闭锁展示界面超过预测的逻辑图高度,此时的可视化逻辑高度就为H,且界面宽度不变,始终为初始的固定宽度,以此可总结出可视化防误闭锁逻辑使用布局的算法过程如下。

1)根据五防安全管控系统得出防误闭锁逻辑以及界面深度,在逻辑计算优先级的基础上将防误闭锁逻辑进行分解,得到n组逻辑公式,最终对逻辑公式进一步分解,得出数量为m的单项防误闭锁准则。

2)在矩阵高度rh_i的基础上,求解每个五防逻辑矩阵框的高度,其次在高度运算的方式下得出可视化逻辑图的整体高度。

3)当界面高度h小于默认高度H,此时的逻辑界面高度定义为H,并将其视为固定高度后启动可视化技术进行逻辑布图,在布图过程中对系统的一次设备进行可视化逻辑标记,并逐渐画出五防逻辑图,将逻辑与规则进行融合即可。

4)若界面高度h大于等于默认高度H,此时直接将界面高度定义为h,同时进行可视化逻辑图的绘制。

根据上述对五防系统逻辑图的绘制可自动调试防误闭锁系统。

3 实验结果与分析

为了验证配网智能五防安全管控系统多级防误闭锁

调试方法的有效性,需对其性能进行测试,对 3 种方法的各项性能进行测试,测试结果如下所示。

3.1 系统可靠性

为检验变电站中五防安全管控的多级防误闭锁系统整体质量,可对变电站的传输系统进行测试,在系统中 S_{RSSI} 的大小直接代表电网数据传输的可靠性,进而反映出防误闭锁系统的性能,其中 S_{RSSI} 的计算公式为

$$S_{RSSI}=\frac{91\times Q_{LQI}}{255}-81 \tag{3}$$

式中,Q_{LQI} 代表五防安全系统的多级防误闭锁所能收到数据的强度以及质量,S_{RSSI} 代表整个防误闭锁系统的有效性评定指标。

随机选取系统中的两个节点,将其中一个节点视为终端,另一个视为路由节点,在这两个节点之间传输 300 个数据包,利用 S_{RSSI} 的数量计算出节点能接收到数据包的数量,通过接收到的数据包获取该系统的接收质量,3 种方法在相同环境下对数据接收后的 S_{RSSI} 和 Q_{LQI} 数值如表 1 所示。

表 1 3 种方法的 S_{RSSI} 和 Q_{LQI} 值

Tab. 1 S_{RSSI} and Q_{LQI} values for three methods

通信距离/m	S_{RSSI} / Q_{LQI} 值		
	所提方法	文献[4]方法	文献[5]方法
100	−40/115	−44/105	−47/96
110	−51/83	−52/80	−54/76
120	−56/71	−56/69	−57/66
130	−59/62	−60/59	−62/52
140	−61/56	−63/50	−64/49
150	−63/51	−65/44	−67/40
160	−67/40	−67/39	−72/39
170	−68/36	−71/29	−75/25
180	−70/31	−74/20	−75/18
190	72/26	−74/19	−75/16

Q_{LQI} 可以代表线路接收数据的丢包率,在实际通信过程中,传输距离的长度会直接影响数据的丢包率,Q_{LQI} 的大小直接影响 S_{RSSI} 的大小,即可总结出当 Q_{LQI} 越小,防误闭锁的可靠性越小,现已知当 Q_{LQI} 小于 50 时,系统的丢包率越大,其可靠性越低,且其主要影响因素是通信距离,因此对比 3 种方法 Q_{LQI} 值大于 50 的最长距离。

随着传输距离的增加,Q_{LQI} 值逐渐变小,防误闭锁的 S_{RSSI} 值逐渐降低,其可靠性也渐渐下降,根据表 1 可知,当 Q_{LQI} 值降到 50 时,只有所提方法的通信距离最长,这是因为所提方法在对五防系统进行防误闭锁过程中提前对数据进行二次采集处理,不断加强五防逻辑,完善五防系统的防误闭锁系统,进而提高系统的可靠性。

3.2 工程应用

将多级防误闭锁技术应用在 9 个可进行调度的五防安全管控系统中,在第一个安全区中连接 280 座变电站进行测试,利用所提方法对变电站中一次和二次设备进行遥控操作的防误核对,并对配网线路的变电站进行防误核对,完成防误闭锁的开关以及刀闸的可遥控状态辨别。

3.2.1 二次设备防误校核

工作人员在对变电站的线路等间隔进行冷热备用以及一次和二次设备操作时,变电站五防安全管控系统中的最优技术就是二次设备防误闭锁技术。在上述环境中进行二次约束一次校核试验,五防系统的防误闭锁调试系统在 500 kV 的变电站中进行合隔离刀闸以及开关,若双套保护功能不完整时,需要立即终止模拟操作,同时警示保护功能不完整的二次设备。

3.2.2 设备可遥控状态自动辨别

为保证变电站出现异常情况的次数降至最低,同时避免调度系统在远距离遥控中出现操作风险,防误闭锁调试系统可根据变电站二次设备的实际状态求解出每个隔间之间的开关以及刀闸可进行调度的遥控状态范围等,工作人员根据此数据提前预测倒闸的状况,以此提高远程遥控的成功率以及增强变电站安全防控性能,与此同时对以往只能以电话形式的回访作出调整,进而减少人员出现差错的情况,提高防误闭锁调试性能。

3.3 3 种方法的性能比较

对所提方法的性能与文献[4-5]方法进行比较,结果如表 2 所示。

表 2 3 种方法的优缺点比较

Tab. 2 Comparison of the advantages and disadvantages of three methods

方法	优点	缺点
所提方法	融合了所有操作票的自动生成以及防误闭锁系统,保证全部系统在同一规则下使用一样的数据库,使得所有系统的联系更加紧密; 融合了海量的数据采集设备,排除常规情况下使用的电压电流以及二次设备开断信号,同时带有实时数据的视频和语音,以及一次设备的状态检测等可采集的信息; 在深度学习的基础上构建防误闭锁专属系统的推理机,针对完全不同的拓扑在此系统中可不进行修正; 此方法中的防误系统已经全部联网,该系统可自行调试解锁和闭锁; 采集所有错误的倒闸操作,吸取经验,避免再次出现相同错误。	此方法需要大量的数据样本。
文献[4]方法	倒闸操作较为简单。	在实际操作过程中需要实时建立数据库;数据采集不够完整。
文献[5]方法	系统程序十分简单。	该方法的各个系统互不依赖,导致所有系统不能互相兼容。

4 结论

随着变电站不断发展,在保证变电站正常工作的同时也需要提高其安全性和可靠性,提出配网智能五防安全管控系统多级防误闭锁调试方法,该方法首先对变电站防误闭锁系统进行更新并实现,其次在可视化技术下对其进行调试,实现五防系统防误闭锁调试,解决了五防系统防误闭锁性能差的问题,在保证电力系统正常运行的同时大大提高其安全性。

参考文献

[1]张琬翎,金逸. 基于深度学习的智能变电站变电运维安全管控方法[J]. 电气技术与经济,2025(1):218-220.
[2]谢泽华,吴宏熊,吴俊明,等. 动态地线防误闭锁系统在电力系统中的应用[J]. 中国新技术新产品,2025(2):140-142.
[3]梅琪斌,韩偲彬,孔令考,等. 基于ZigBee Mesh网络的智能防误判系统自动开锁设计[J]. 自动化技术与应用,2024,43(9):93- 96,130.
[4]陈月卿,邱建斌,陈建洪,等. 变电站一二次设备防误闭锁现场自动检测方法[J]. 自动化与仪器仪表,2024(8):185-188.
[5]马春晖,崔雅文,刘杰. 基于高压感应电遥感检测的防误入闭锁装置[J]. 今日自动化,2024(1):137-139.
[6]Cheng G,Zhang W,Wu J J,et al. Development of an intelligent error-proofing logic verification device for automatic control and monitoring system of substation[J]. Electric Power and Energy,2025,46 (1):101-105.
[7]杨平,宋鹏,周盛锋,等. 一种变电站防误闭锁智能校验装置设计[J]. 黏接,2024,51(12):166-169.
[8]林明伟,陈建泉,庄毅. 集控型区域防误闭锁系统的研究与应用[J]. 中国设备工程,2024(18):140-142.
[9]李智欢,管霖,魏略,等. 变电站防误闭锁装置远程控制方法[J]. 数字技术与应用,2024,42(9):32-34.
[10]王孙俊. 中置柜电动接地开关防误闭锁装置解锁优化[J]. 化工生产与技术,2024,30(3):43-46,64.
[11]张韶华,何玉鹏. 基于多源数据的配电网安全防误操作系统研究[J]. 电测与仪表,2026,63(1):83-91.
[12]张炜,田洪迅,孙杨,等. 基于能耗均衡的智能变电站无线传感网分簇路由策略研究[J]. 电测与仪表,2025,62(11):176-181.
[13]罗程程. 智慧变电站防误闭锁装置远程控制方法分析[J]. 通讯世界,2024,31(4):103-105.

(上接第150页)

[22]Shi L,Yang X,Chang X,et al. An improved density peaks clustering algorithm based on k nearest neighbors and turning point for evaluating the severity of railway accidents[J]. Reliability Engineering&System Safety,2023 (233):109132-109145.
[23]Kuang B,Shi Y,Hu Y,et al. Household energy resilience in extreme weather events:An investigation of energy service importance,HVAC usage behaviors,and willingness to pay[J]. Applied Energy,2024 (363):123051-123067.
[24]Zhou W,Wang C X,Huang C,et al. Channel scenario extensions,identifications,and adaptive modeling for 6G wireless communications[J]. IEEE Internet of Things Journal,2023,11(5):7285-7308.
[25]Ren Z,Ji X. On prediction of air pollutants with Takagi-Sugeno models based on a hierarchical clustering identification method[J]. Atmospheric Pollution Research,2023,14(4):101731-101756.
[26]Yang M,Ju C,Huang Y,et al. Short-term power forecasting of wind farm cluster based on global information adaptive perceptual graph convolution network[J]. IEEE Transactions on Sustainable Energy,2024,15(3):2063-2076.