

[五防闭锁装置]

10 kV开关柜五防闭锁装置异常的辨识方法

文/董 帅¹ 杨柳青² 夏 澍³

1. 国网上海市电力公司市北供电公司; 2. 国网上海市电力公司嘉定供电公司; 3. 国网上海市电力公司

针对中置式金属铠装封闭移开式开关柜五防闭锁装置的异常情况进行分析, 提出了一种故障辨识方法。通过分析10 kV开关柜所配置的典型五防装置及其原理, 结合大量生产现场运行数据, 提炼了闭锁装置发生故障的主要原因。为了提高排查效率, 提出了一种异常辨识排查方法。最后通过实际算例计算验证了所提方法的有效性。

电力生产中误操作是威胁电网安全稳定运行的重要因素之一, 造成设备损坏、大面积停电和人身伤亡等重大恶性事件。为了确保安全生产, 避免各种人为因素导致的误操作事故, 五防闭锁装置在运维人员的倒闸操作过程中发挥了重要作用。由于变电站所处环境比较恶劣, 且五防闭锁装置数量繁多, 工艺质量参差不齐, 接线复杂, 故障率较高; 运维人员倒闸操作时, 时间紧、任务重, 五防装置一旦发生异常, 现场排查难度大。因此, 如何快速准确地处理五防闭锁装置的故障引起了运维人员的广泛关注。

本文提出一种针对10 kV开关柜五防闭锁装置异常的辨识方法。首先给出五防闭锁装置的主要分类和变电站10 kV开关柜所配置的典型五防闭锁, 并深入分析闭锁原理; 然后根据电力公司实际运行经验, 归纳总结出10 kV开关柜五防闭锁装置故障的主要类型; 进而提出一种五防闭锁装置异常的辨识方法, 给出其流程图; 最后通过实例分析, 对所提方法的有效性进行了验证。

五防及其闭锁装置分类

1. 五防内容

为了规范倒闸操作顺序, 防止因误操作导致的

设备损坏、人身事故、大面积停电等恶性事件的发生, 我国早在1990年就提出了电气设备五防的要求, 并以法规的形式规定了防误闭锁装置的管理、运行、设计和使用原则, 保证电网的安全稳定运行。五防的主要内容:

- 1) 防止误分、合断路器。
- 2) 防止带负荷拉、合隔离开关。
- 3) 防止带电挂(合)接地线(接地开关)。
- 4) 防止带接地线(接地开关)合断路器(隔离开关)。
- 5) 防止误入带电间隔。

2. 五防闭锁装置分类

变电站的五防系统是防止电气误操作, 保证安全的重要技术措施。按闭锁原理的不同, 五防闭锁装置分为机械闭锁、电气闭锁和微机闭锁三类。

机械闭锁是利用断路器、隔离开关、接地开关等设备的机械结构, 通过相互限位和相互制约, 使设备满足指定的先后动作顺序, 达到闭锁的目的。如三工位闸刀、开关柜接地开关与后仓门之间的闭锁都是典型的机械闭锁。优点是原理简单、闭锁直观、工作可靠、不需要解锁钥匙等辅助设施。缺点是只能针对单一间隔, 无法实现与其他间隔的电气

基金项目: 国网上海市北供电公司科技项目(520914220005)

闭锁且容易发生机械卡涩。

电气闭锁是将断路器、隔离开关、接地开关等设备的辅助触头接入电动操作控制回路中构成的闭锁。当违反了操作规范时，相应设备的辅助触头切断操作设备的控制回路电源，或者通过闭锁装置（通常为一把电磁锁）将相关设备操作机构锁死，防止操作的进行，实现闭锁的目的。如设备网门的闭锁、开关柜带电显示器和接地开关之间的闭锁都是典型的电气闭锁。具有闭锁可靠、结构严谨等优点。由于接入了大量的辅助触头，接线和回路相对复杂，发生故障的概率较高，并且电磁锁易受潮锈蚀，辅助触头易接触不良，检查和维护成本高。

微机防误闭锁系统由微型计算机、模拟操作及显示屏、现场信息采集及通信系统装置、计算机钥匙、电子闭锁装置、智能专家系统软件，以及电源、打印机、键盘、鼠标等辅助设备组成。原理是将站内所有一次元件（断路器、隔离开关、接地开关、网门、接地桩）的允许操作方式录入专家系统规则库中。微机防误闭锁系统可以通过站内测控单元上传及虚位对点等方式确定站内一次元件的位置。倒闸操作时需要在防误接线图上进行模拟操作，模拟操作完成表示该倒闸操作符合专家系统规则库中的规则，不会发生违反五防的误操作。模拟操作完成即形成操作票，五防主机通过串行口将已检验过的操作票传送给计算机钥匙，现场实际操作严格强制按照预演后生成的操作票顺序步骤进行，达到防误操作的目的。

10 kV开关柜配置的典型五防闭锁

目前，中置式金属铠装开关柜（以下简称开关柜）因具有结构紧凑、占地面积小和安全等优点，已广泛应用于生产一线。

1. 断路器和隔离开关之间的闭锁

停电时，要遵循先分断路器、再分隔离开关的原则。当断路器在合闸运行位置时，通过机械闭锁使断路器无法被摇出，即隔离开关无法拉开，达到防止带负荷拉隔离开关的目的。

送电时，要遵循先合隔离开关、再合断路器的原则。当断路器在试验位置合闸后，通过机械闭锁使断路器小车无法被摇进，即隔离开关无法合上，

实现防止带负荷合隔离开关的目的。

2. 带电显示器与接地开关之间的闭锁

开关柜的接地开关操作需要先打开操作孔，再使用操作手柄合上接地开关，操作孔用电磁锁锁上，这是典型的电气闭锁，控制回路示意图如图1所示。将带电显示器的辅助开关和断路器的辅助开关串入电磁锁的控制回路中，当带电显示器显示线路侧无电且断路器触头处于分位时，两个辅助开关均闭合，接通电磁锁控制回路，使电磁锁和操作孔打开，此时可以合上接地开关。当带电显示器显示线路侧有电或者断路器触头处于合位时，电磁锁闭合，将操作孔锁住，即无法合接地开关。只有当断路器处于试验位置且带电显示器显示线路侧无电时，才允许合接地开关，达到防止带电合接地开关的目的。

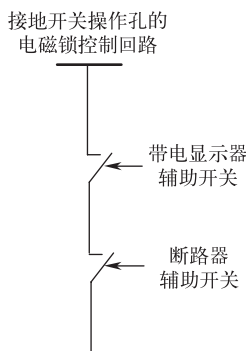


图1 接地开关操作孔的电磁锁控制回路示意图

当接地开关合上时，通过机械闭锁使隔离开关无法摇进。只有当接地开关拉开后，才能摇进隔离开关，达到防止带接地线（接地开关）合断路器（隔离开关）的目的。

3. 接地开关和电缆后仓门之间的闭锁

只有当接地开关合上后，确保线路侧不会突然来电，才能打开电缆后仓门进行检修工作。当接地开关没有合上时，通过机械闭锁使电缆后仓门无法打开，达到防止误入带电间隔的目的。

只有关闭电缆后仓门后，确保无人能接触到电缆，才能拉开接地开关，为送电做准备。否则，当电缆后仓门没有关闭时，通过机械闭锁使接地开关无法被拉开。

4. 分段开关和分段闸刀之间的联锁

五防要求：要先拉开并摇出分段开关，才能摇出分段闸刀。分段闸刀电磁锁的控制回路示意图如

图2所示,将分段开关的辅助开关串入电磁锁的控制回路中,当分段开关的触头处于分位时,其辅助开关闭合,接通电磁锁控制回路,使电磁锁打开,此时可以摇出分段闸刀。当分段开关没有被拉开和摇出时,通过电气闭锁将分段闸刀锁住,使其无法被摇出,达到防止带负荷拉隔离开关的目的。

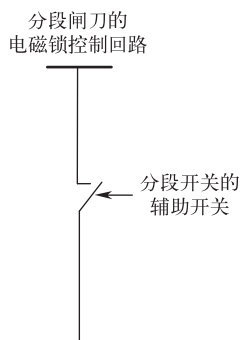


图2 分段闸刀的电磁锁控制回路示意图

反之亦然,要遵循先摇进分段闸刀,再摇进分段开关的原则。当分段开关摇进并合上时,通过电气闭锁使分段闸刀无法被摇进,达到防止带负荷合隔离开关的目的。

5. 配变仓门和高、低压侧之间的联锁

对于KTA型的开关站,配变仓门上配置有电磁锁,当电磁锁打开后,才能打开仓门进入配变间隔。图3为配变仓门的电磁锁控制回路,将高压侧和低压侧的辅助开关串入电磁锁控制回路中,只有当高压侧开关柜的接地开关接地,且低压侧开关柜的断路器分闸时,电磁锁和配变仓门才能打开,达到防止误入带电间隔的目的。

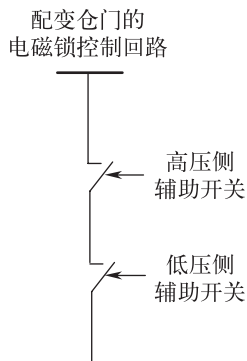


图3 配变仓门的电磁锁控制回路示意图

只有当配变仓门的电磁锁锁上时,高压侧开关柜的接地闸刀才能拉开,低压侧断路器才能合闸。

常见故障类型

通过查阅大量生产现场的运行数据记录,10 kV高压开关柜的五防闭锁装置经常出现带电显示器故障、电磁锁本体故障及机械故障等。

1. 带电显示器故障

正常情况下,当带电显示器指示线路侧不带电时,辅助开关应该闭合,接通电磁锁的控制回路,打开电磁锁操作孔。根据运行经验,辅助触头很容易因元器件老化、环境恶劣而接触不良,导致动作的可靠性降低。

当对某一出线单元进行停电操作时,拉开开关、摇出手车后,带电显示器显示线路侧无电,此时,辅助开关应该闭合,接通电磁锁控制回路,打开操作孔。而实际工作中经常遇到操作孔没有打开的情况,用万用表测量辅助开关的两端,发现其依然断路。

2. 电磁锁故障

电磁锁本体主要由电磁线圈及行程开关等组成。电磁锁所处环境比较恶劣,电磁线圈易受潮霉坏,绝缘性能降低,而行程开关由于器件磨损老化、生产工艺和材料差等原因,也易发生动作不到位、生锈等情况,增加了闭锁装置的故障率。

3. 接地开关、仓门等机械故障

电缆后仓仓门、配变仓门和接地开关操作孔等设备暴露在空气中,尤其一些地下变电站,所处环境湿度大,容易年久生锈、卡涩。另外,若运维人员操作时方法不规范、用力过猛等,还会造成仓门变形、错位等机械故障,影响五防闭锁装置的正常工作。

闭锁异常辨识方法

在倒闸操作过程中,经常遇到开关摇不进、接地开关合不上及仓门打不开等异常情况,此时,通常需要对相关设备进行排查和处理,待问题解决后,才能继续操作。

为了尽可能地减少上述故障对停电的影响,要求操作人员具有一定的快速排除故障和解决问题的能力。除去误操作和设备自身的原因外,多数情况下是闭锁装置异常所导致。现场闭锁装置种类繁多,型号各异,排查难度很大。因此,提出一种针对10 kV开关柜五防闭锁装置异常的辨识方法,快

速找到故障点，提高工作效率。

1) 判断倒闸操作是否规范。即判断操作是否顺序不当，是否违反了五防要求，是否触发了五防闭锁装置。若违反，则马上改正，然后继续操作；若没有违反，进入第二步。

2) 通过外观检查、闭锁方式和闭锁对象的判断，初步排查故障设备和与之相关的五防闭锁装置。若是设备自身的机械或电气故障，则采取相关的处理办法。若是五防闭锁装置异常，则进入第三步。

3) 判断是否带电显示器故障。通过对带电显示器进行外观检查、对相关辅助触头进行搭接线，判断其是否正常工作，相关触点是否接通，工作逻辑是否正常。若带电显示器故障，则进行紧急抢修或上报相关人员。若不是，则进入第四步。

4) 判断是否电磁锁故障。通过检查电磁锁的线圈、行程开关等辅助部件，判断线圈是否生锈损坏、行程开关是否到位。若电磁锁故障，则进行修复、更换等相关处理。若不属于电磁锁故障，则进入第五步。

5) 判断是否五防闭锁装置的机械故障。通过对仓门、操作孔等进行外观检查，判断是否是机械故障。若属于机械故障，则采用相关安全工器具对其进行校正，无法校正则立刻上报。

具体辨识方法流程如图4所示。

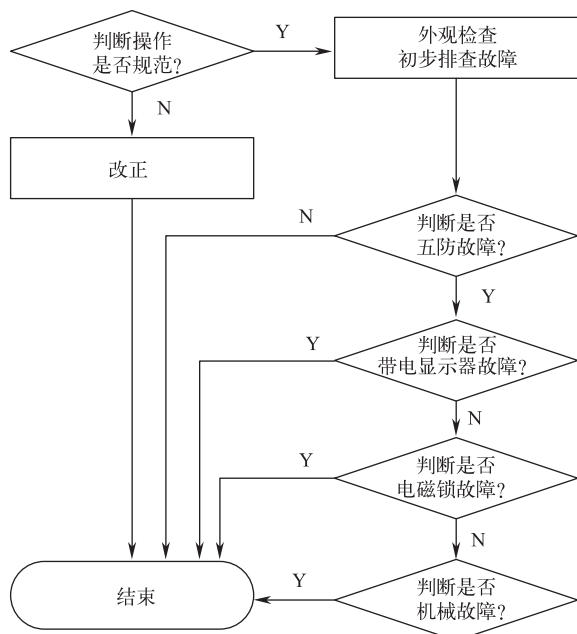


图4 辨识方法流程图

实例分析

为了验证本文所提出的五防闭锁装置故障辨识方法的有效性，对几起闭锁装置异常案例进行分析。

(1) 案例1

梅园站梅3出线及五防装置原理如图5所示。其中，五防闭锁回路主要由断路器分闸点辅助开关、带电显示器辅助开关、电磁锁和接地开关操作孔等组成。对梅3出线进行“由运行改为线路检修”操作时，拉开并摇出开关后，观察带电显示器，线路侧无电。下一步进行合接地开关操作，发现接地开关操作孔无法打开。

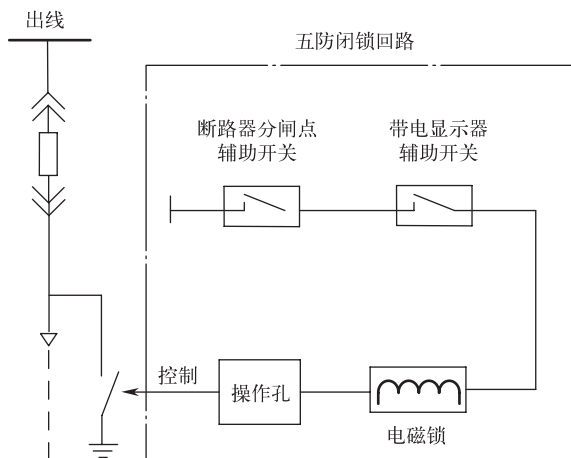


图5 案例1的五防装置原理图

运维人员首先对之前的操作进行复查，判断是否违反五防要求。在确认操作无误后，对操作孔进行外观检查，看是否卡涩、变形。经检查，外观正常。然后对带电显示器进行检查，观察到指示灯灭，表示此时线路侧无电，则其串入五防闭锁回路中的辅助开关应该闭合。用万用表的欧姆档对辅助触头进行搭接，发现断路，排查出故障原因。

(2) 案例2

俞泾港11号站的配变仓门及五防装置原理图如图6所示。其中，仓门的五防闭锁回路主要由高压侧辅助开关、低压侧辅助开关及电磁锁等组成。对1号配变进行“由运行改为变压器检修”操作时，高压侧接地且低压侧断开后，发现配变仓门无法打开。

运维人员首先对之前的操作进行复查，判断是否违反五防要求。在确认操作无误后，对配变仓门进行

外观检查，看是否卡涩、变形。经检查，外观正常。然后对高压侧带电显示器进行检查，观察到指示灯灭，表示此时高压侧已停电，用万用表的欧姆档对辅助触头进行搭接，也正常。然后对电磁锁本体进行检查，发现电磁锁线圈烧坏，排查出故障原因。

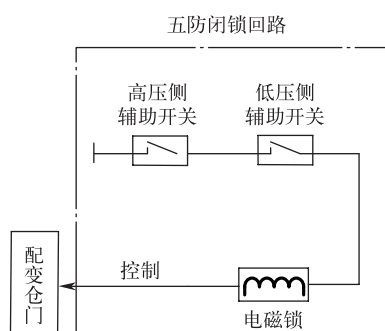


图6 案例2的五防装置原理图

(3) 案例3

对灵石站灵8出线进行“由运行改为线路检修”操作时，拉开并摇出开关后，观察线路侧无电。然后打开操作孔对接地开关进行合闸操作，发现接地开关合不上。

运维人员首先对之前的操作进行复查，判断是否违反五防要求。在确认操作无误后，对操作孔内机械零部件、后仓门等进行外观检查，看是否卡涩、变形。经检查，外观正常。操作孔能打开，说明带电显示器和电磁锁本体设备正常。然后对接地开关本体进行排查。经开关柜后仓观察孔对仓内设备仔细查验，发现接地开关的某相动触头扭曲变形，导致机械卡死。

以上三个案例证明所提出的故障辨识方法是有效的，可以快速排查出闭锁异常。

对市北公司变电运维1班所管辖的变配电站在过去一年里五防闭锁装置发生故障的类型和次数进行统计，结果见表1。统计结果证明，按本文提出的异常辨识方法可正确排查出绝大部分闭锁装置故障。

表1 五防闭锁装置故障分析结果

闭锁装置故障类型	发生次数	所占比例 (%)
带电显示器触头故障	32	56
电磁锁本体故障	15	26
仓门等机械故障	8	14
其他故障	2	4

另外，故障发生后进行报修，检修人员或者厂家人员到达现场后进行故障排查并解决问题，根据经验估算，一般需要1~2 h。而采用上述辨识方法，经过检验，一般只需要10 min就可以排查出故障，大大提高了工作效率，有效提升了现场工作人员解决此类问题的能力。

结束语

本文通过总结变配电站10 kV开关柜五防闭锁装置故障的主要类型，给出了针对10 kV开关柜五防闭锁装置异常的辨识方法。通过实例分析验证了所提方法的有效性并得出结论：

1) 带电显示器触头故障、电磁锁本体故障和机械故障是10 kV开关柜五防闭锁装置常见的三种异常类型。

2) 所提出的故障辨识方法能够快速准确地排查出10 kV开关柜五防闭锁装置可能发生的异常，大大提高了工作效率和运维人员的问题处理能力。EA

(收稿日期：2023-07-03)

参考文献

- [1] 周凡珂，葛馨远，陈剑. 10 kV配网防误操作程序化操作装置的研究和开发[J]. 机电信息，2020(3): 75-76.
- [2] 程晓娟. 论倒闸操作过程中如何防止误操作及其防范策略[J]. 中国市场，2016(1): 208-209.
- [3] 顾拥军，皮卫华，杨乘胜，等. 变电站防误闭锁应用分析[J]. 继电器，2005(2): 66-70.
- [4] 贾麦峰. 变电站防误闭锁装置现状及新技术展望[J]. 农村电气化，2018(9): 69-71. Jia
- [5] 邓佃毅，王国平. 一种跨站五防闭锁系统的方案设计[J]. 通信电源技术，2020，37(5): 56-58.
- [6] 李建军. 变电站微机五防闭锁装置存在的问题及验收[J]. 电力安全技术，2007(1): 20-22.
- [7] 李一鸣. 变电站防误装置的运行维护[J]. 通信电源技术，2019，36(9): 234-235. LI
- [8] 刘俊峰，谢学刚，舒荣，等. 变电站五防系统的实现方式探讨[J]. 中国设备工程，2021(11): 84-85.
- [9] 沈思丹. 变电站中“五防”闭锁技术的应用[J]. 科技与企业，2014(14): 136.