

# 低压开关柜触头接触电阻异常升高的原因及处理措施

沈棋棋 徐耀杰 吴雄俊

上海送变电工程有限公司 上海 200235

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18532

**[摘要]** 低压开关柜是电力系统配电的核心设备,其触头接触电阻的稳定性直接影响到供电的安全性与可靠性。文章围绕低压开关柜触头接触电阻异常升高的原因开展分析,梳理了导致这一现象的诸多原因,并在此基础上,提出几点针对性的处理对策,给电力运维人员故障排查和保障设备稳定的运行提供更多参考。

**[关键词]** 低压开关柜;触头;接触电阻;异常升高

在工业生产与民用配电系统中,低压开关柜作为电能分配、控制和保护的核心设备,其运行可靠性直接关系到整个电力系统的安全稳定。触头作为低压开关柜内部实现电路通断与电能传输的关键部件,其接触状态直接决定了电能传输效率与设备运行安全。接触电阻是衡量触头接触性能的核心指标,正常情况下应维持在极低水平。当触头接触电阻异常升高时,会导致触头部位功率损耗增加,产生大量焦耳热,引发触头过热,严重时会造成触头熔焊、绝缘件老化碳化,甚至诱发短路故障,引发火灾等重大安全事故。因此,系统分析低压开关柜触头接触电阻异常升高的原因,并制定科学有效的处理措施,对保障电力系统安全运行具有重要的工程意义。

## 一、触头接触电阻的定义与构成

接触电阻具体是指两个导体在接触的位置所形成的附加电阻,接触电阻并不是一个单一的电阻成分,而是由收缩电阻和表面膜电阻这两个部分组成。其中收缩电阻是电流通过触头接触位置的时候,电流线发生收缩所产生的电阻。因为触头表面并不是绝对光滑的,实际接触到的仅会发生若干小的接触点之上,电流需要在这样的接触点中集中的流过,因此电流路径会出现收缩,进而产生收缩电阻。表面膜电阻则是因为触头表面存在一些氧化膜或者硫化膜、油污、灰尘等一些绝缘或者半绝缘的薄膜,电流在通过这些薄膜的时候会产生电阻<sup>[1]</sup>。在正常的运行中,收缩电阻和表面膜电阻都对于较低的水平中,会一起构成接触电阻,且不会对电路的运行产生显著的影响。但是当外界因素导致接触点的状态改变或者表面膜异常的增厚的時候,接触电阻就会显著的升高。

## 二、低压开关柜触头接触电阻异常升高的原因分析

### (一) 安装操作不规范

安装环节是有效保证触头接触良好的关键,如果安装的

操作不规范,即便触头的质量合格,也会出现接触电阻的异常升高。较为常见的不规范的安装操作主要包含:

1. 触头链接螺栓紧固力矩不足或者过大。触头和导电体一般都是由螺栓连接和固定,螺栓的紧固力矩直接的影响到触头接触的压力。如果紧固力矩不足,螺栓没有办法提供足够的压力保证触头紧密的接触,接触点之间就会出现间隙,电流通过的时候收缩电阻会增大;与此同时,如果链接松动或因为振捣出现接触点变化,从而加剧接触电阻的升高。如果紧固力矩过大,会使得触头或者螺栓出现塑性的变形,破坏触头的接触平面,或者导致触头没有弹性,进而影响接触效果。按照相关规范的要求,不同的螺栓所对应的紧固力矩为:M10螺栓的紧固力矩普遍为 $30\text{N}\cdot\text{m}$ ,如果实际的紧固力矩为 $15\text{N}\cdot\text{m}$ ,则会导致接触电阻升高3-5倍。

2. 触头接触面的清洁不到位。在安装之前如果没有彻底清洁触头的接触面,接触面之上会残留一些油污、氧化皮或者灰尘等的杂质会形成绝缘层,因此增加了表面膜的电阻。

3. 触头接触面积不足。在安装中如果触头安装的位置偏移、错位,或者触头和导电体的接触方式不符合设计的要求,则会导致实际的接触面积远远小于设计的接触面积。除此之外,有部分的安装人员在实际安装中强行的装配,导致了触头变形,也会破坏接触的面积。

### (二) 运行环境影响

低压开关柜的实际运行环境对于触头接触电阻的稳定性也有着重要的影响,在恶劣的运行环境中会加速触头性能的劣化,进而导致接触电阻的异常升高。比较常见的不利于运行环境的因素主要有:

1. 高温环境。如果开关柜安装在诸如高温车间或者锅炉房等的场所中,或者开关柜的内部通风效果不好、散热的条件比较差,则会使得触头长期的处于高温的环境中。高温会

加速触头材料的氧化反应, 导致触头表面的氧化膜加厚, 使得表面膜的电阻加大; 与此同时, 高温会使得触头的弹簧因为高热松弛, 从而弹力下降, 接触的压力也会减小, 进而收缩的电阻增大。有相关的实验数据表明, 环境的温度每升高 $10^{\circ}\text{C}$ , 触头表面的氧化膜生长速度会一起增加1倍以上, 当环境温度超过 $40^{\circ}\text{C}$ 的时候, 接触电阻的升高幅度会显著的加快。

2. 潮湿环境。如果运行的环境比较潮湿, 空气中的水分会附着在触头的表面, 从而形成水膜。水膜不仅会降低触头表面的绝缘性, 也会和触头表面的金属发生电化学的腐蚀反应, 从而生成金属氢氧化物等的绝缘性物质, 增加了表面膜的电阻。与此同时, 在潮湿的环境之下, 也会加速诸如硫化物或者氯化物等的腐蚀性气体吸附在触头表面, 加剧腐蚀的程度。

3. 污秽和腐蚀性的环境。在一些化工企业或者冶金车间及沿海地区等的场所中, 空气中都含有大量的粉尘或者油烟、硫化物或者氯化物等的污秽及腐蚀性的物质。这样的物质也会附着在触头表面中, 进而形成坚硬的污秽层或者出现化学反应形成腐蚀性的产物。污秽层及腐蚀性产物都有着比较高的电阻率, 也会明显的增加表面膜的电阻; 部分坚硬的污秽颗粒也会嵌入到触头的表面中, 进而破坏接触的平面, 进而使得接触点减少, 进而导致收缩的电阻被增大。

### (三) 长期运行损耗

低压开关柜在长期的运行中, 触头会因为电或者机械等的诸多因素出现一定的损耗, 随着运行时间的增长, 损耗也会增加, 进而导致接触电阻不断升高, 主要包含以下因素:

1. 电腐蚀损耗。在触头的通电和断电中, 会产生电弧放电的情况, 电弧释放的高温会灼伤触头的表面, 从而形成凹坑或者焦痕等, 进而破坏触头的接触平面。与此同时, 电弧也会让触头的表面金属出现融化或者蒸发的情况, 使得触头的材料流失, 进而减小接触的面积。除此之外, 电弧所产生的高温也会加速触头表面的氧化与硫化的反应, 从而形成较厚的氧化膜和硫化膜, 增加表面膜的电阻。针对一些通电和断电比较频繁的开关柜, 电腐蚀的损耗会更为严重, 接触电阻升高的速度也会因此加快。

2. 机械磨损损耗。在开关柜的实际操作中, 触头会出现相对的运动, 使得接触表面产生机械性磨损。长期的机械磨损会增加触头表面的粗糙度, 镀层也会因此脱落, 暴露出基体的金属, 从而发生氧化腐蚀。与此同时, 磨损也会让触头

的尺寸不同程度的减小, 因为接触面积不足导致收缩电阻增大。除此之外, 机械磨损也会让触头的弹簧的弹性减退, 接触压力减小, 加剧接触电阻的升高。

3. 疲劳老化损耗。触头的弹簧和连接的螺栓等的部件长期处于压力和振动之下, 会出现疲劳和老化。触头在弹簧疲劳之后弹力会下降, 没有办法给触头提供必要的接触压力; 连接螺栓疲劳之后可能会出现塑性变形或者螺纹松动, 使得触头接触松动。这些疲劳和老化的现象都会让触头的接触状态恶化, 导致接触电阻升高。一般情况之下, 触头的弹簧寿命大约在10年到15年之间, 超过这一寿命, 弹力会下降20%左右, 接触电阻也会因此出现显著升高。

## 三、低压开关柜触头接触电阻异常升高的处理措施

### (一) 安装环节的规范措施

在安装环节中, 规范操作是保证触头良好的基础, 因此, 需要从安装之前的准备工作、安装过程中的控制和安装之后的检验等多个方面采取相关措施:

1. 做好安装之前的准备工作。在安装之前, 要全面的检查开关柜和触头, 要核对触头的型号、规格和设计的要求是不是一致, 也要检查触头的外观是不是存在缺陷。与此同时, 要彻底的清洁触头的接触面, 要使用无水的乙醇或者丙酮等易会发的清洁剂来擦拭接触面, 以此去掉表面的油污和氧化皮等的杂质, 清洁之后要使用干净的白布来擦干, 保证接触面没有残留的清洁剂。对于一些存放时间比较长的触头, 如果表面有氧化膜, 可以用专用金属抛光片小心打磨, 并在去掉氧化膜之后开展清洁工作。

2. 规范触头的安装操作过程。要按照触头的实际类型和不同的连接方式, 使用适合的安装工具与安装方法。针对使用螺栓连接的触头, 要使用力矩扳手参照设计的规定紧固力矩开展紧固工作, 以此保证螺栓紧固的均匀且力矩达到要求。在实际的安装中, 要不断调整触头的位置, 以此保证触头能够对准导体, 接触面积达到设计的需求。抽屉式的开关柜的触头, 要保证插和拔的流畅, 插入的深度要符合相关的要求, 避免出现错位和卡滞等问题。

3. 保证相间距离和爬电距离。要严格的按照《低压成套开关设备》(GB·7251.1-2013)的相关要求, 以此保证开关柜的相间距离和爬电距离符合相关规定<sup>[2]</sup>。在实际的安装中, 要使用专用的测量工具进行必要检测, 如果距离不足, 可以借助调整触头的位置及增加绝缘板等方式来整改, 避免出现闪络放电的隐患。

## (二) 运行过程中的检测措施

在运行中,要通过定期检测来即时的发现触头接触电阻是否出现异常升高,并建立一个完善的检测制度,使用适合的检测方式和检测仪器,保证检测结果准确且可靠。

1. 要制定定期的检测计划。要按照开关柜的实际运行环境和额定电流与运行的年限,制定具有差异化的定期检测技术。针对运行环境较为恶劣、额定电流较大、运行年限超过了5年的开关柜,要6个月左右检测一次触头电阻的情况;如果开关柜在普通的运行环境之下,也要每年检测一次。在一些负荷高峰期或者天气较为恶劣之后,要适当的增加检测的次数,并及时的发现一些潜在的问题。

2. 选择适合的检测方式与仪器。按照开关柜现场的条件,科学的选择接触电阻的实际检测方式。如果需要现场的快速检测可以使用直流压降法,要使用专用的接触电阻测试仪,向触头通入恒定的直流电流,测量的电压降并计算基础的电阻。如果需要高精度的检测则可以使用双臂电桥法,并使用QJ44型的双臂电桥,以此保证测量的精度能够在 $\pm 0.5\%$ 。在检测之前,需要针对检测仪开展校准,保证仪器的性能正常。

3. 结合温度检测来辅助判断。触头的接触电阻升高会使触头的温度升高,所以温度检测可以成为接触电阻检测的一个辅助手段。使用红外热像仪针对开关柜的触头位置开展红外测温,并记录触头实际温度和温度升高情况。如果触头的温度超过了 $60^{\circ}\text{C}$ 或者温升超过了 $30\text{K}$ ,要及时检测接触电阻,并确认其是否存在接触电阻的异常情况。也可以在关键的触头位置安装温度的传感器,实时的检测温度情况,在发现过热故障时及时报警。

## (三) 长期运行中的维护管理措施

在长期的运行中,必要的维护和管理是保证触头接触电阻能够稳定的关键一环,因此要建立完善的维护和管理制度,并从日常的巡检、定期的维护和环境改善等多个方面采取相关对策:

1. 强化日常巡检。要制定开关柜的日常巡检计划,相关的巡检人员每天都要检查开关柜的实际情况,并主要检查触头外观,(包含有无变色、异位或者冒烟)、螺栓链接的情况(包含是不是有松动或者锈蚀等)、开关柜在运行中是否出现异常的声音等。针对安装温度传感器的开关柜,要实时的检测触头的温度,如果发现温度异常要及时的处理。在巡检的过程中,要做好相关的巡检记录,发现问题要及时的上报并安排专人处理。

2. 定期维护。要按照开关柜运行的实际情况,每一年或者两年进行一次定期的维护。其主要内容要包含:清洁开关柜内部和触头的接触位置,擦拭灰尘和油污等的杂质;检查触头表面的实际情况,重点检查是不是存在氧化、磨损和镀层脱落等的情况;要检查螺栓链接紧固情况,并使用力矩扳手抽样检查并复紧;要检查触头弹簧的实际弹力和老化的情况;要检查触头电阻及温度。针对在一些在恶劣环境中的开关柜,要按照实际情况缩短定期维护的周期。

3. 改善运行的环境。一些高温、潮湿和污秽等较为恶劣的运行环境,要用相对应的改善对策:高温环境,要给开关柜加装通风的风扇或者空调,以此保证开关柜之内的温度能够 $\leq 40^{\circ}\text{C}$ ;潮湿环境要安装除湿机或者加热装置,使其相对湿度能够在 $\leq 75\%$ ;污秽环境要强化开关柜的密封性能,定期的清洁开关柜的表面,以此防止污秽进入开关柜内部。针对在沿海或者化工腐蚀性比较强的工作环境,可以选择有防腐性能的开关柜和触头的部件。

## 结束语

低压开关柜的触头基础电阻的异常升高可能由安装、运行和维护等多个环节的因素一起作用所导致的,其危害较为严重,可能会引发设备的故障甚至安全事故。所以,要从设备的全生命周期管理的角度出发,使用“预防为主、检测及时、处理得当、长期维护”的综合措施,才能够有效的控制触头接触电阻始终保持在正常的范围中。

## [参考文献]

- [1] 孙剑,陈世臣,周凌波. 低压开关柜双夹头触头烧融原因分析及预防措施[J]. 电力设备管理, 2024, (19): 268-270.
- [2] 王义,李元鹏,马如海. 低压开关柜一次触头弹簧断裂典型案例[J]. 机电工程技术, 2021, 50 (08): 277-280+283.

作者简介: 沈棋棋,男,浙江嘉兴人,汉族,1989年8月25日,硕士,高级工程师,研究方向: 电网建设、电气设备安装与调试;

徐耀杰,男,江苏启东人,汉族,1996年10月10日,硕士,助理工程师,研究方向: 电网建设、电气设备安装与调试;

吴雄俊,男,湖北天门人,汉族,1985年7月8日,学士,高级工程师,研究方向: 电网建设、电气设备安装与调试。