

高压开关柜检修中触头磨损检测与维护策略

平炯军¹ 陆 一²

1. 嘉兴市长三角人力资源开发中心经开分中心 浙江 嘉兴 314000

2. 嘉兴市恒光电力建设有限责任公司工程服务分公司 浙江 嘉兴 314000

【摘要】：高压开关柜是电力系统中起到开断和保护作用的重要装置，在使用过程中由于触头反复开闭会引起磨损、烧伤以及接触不良等现象，从而影响到整个系统的稳定性和安全性。根据触头磨损的原因及其表现形式，采用常见的检测方法比如红外热成像法、接触电阻测量以及在线监测等方式来判断触头磨损情况，进而给出分层次维修方案，即预防性检修、状态检修以及修理等，提高检修效率的同时也延长使用寿命。通过对检测技术和检修流程进行改进和完善，在出现故障前就发现并及时处理问题，保障高压开关柜的安全可靠运行。

【关键词】：高压开关柜；触头磨损；状态检测；接触电阻；维护策略

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.089

引言

随着对供电可靠性和安全性要求日益提高，高压开关柜是重要组成部分，它的工作状况直接影响整个电网的安全运行。而其中的触头是主要的导电及开断元件，在反复的操作以及负荷的变化过程中会受到磨损和老化的影响，从而导致发热或者接触不良等现象发生。传统的检修手段具有一定的滞后性，不能准确地反映设备的实际工作情况。因此对触头磨损进行监测以及维修是很有必要的，可以更好地判断触头的工作状态，从而保证设备的安全运行并且减少事故的发生率。

1 高压开关柜触头磨损的成因与影响

1.1 触头磨损的形成机制

高压开关柜触头在长期使用中，由于有电流通过而产生电弧以及发热，会使触头表面逐渐磨损。电弧是引起磨损的一个主要原因，在开关动作的一瞬间，电弧会在触头之间产生很高的温度，造成触头表面在高温高压下熔化、气化和氧化，从而使触头表面材料被消耗。随着开断次数的增多，触头表面接触电阻变大，电流流过时产生的热量又会使触头磨损加剧。除了电弧外，触头在大电流下也易受机械磨损影响。反复的机械撞击及震动会使触头表面产生细小裂纹，时间长之后这些裂纹扩大，使触头表面材料剥落，形成较严重的磨损^[1]。触头材质也是造成磨损的因素之一。材质的硬度、耐磨性、导电性都决定着它是否易磨损。比如一些合金材质在高温高压下，可能会流动甚至被烧蚀，从而导致触头表面很快磨损。

1.2 触头磨损对设备运行的影响

触头磨损不但会对高压开关柜造成不良影响，而且会对整个电力系统的安全稳定运行带来极大危害。随着磨损程度日益加重，其接触电阻越来越大，在电流流经触头的过程中所产生的热量也越来越多，从而使得触头温度上升到一定程度后就会使触头表面发生氧化、烧损以及熔化等情况，最终有可能导致高压开关柜出现故障而引发火灾。电弧反复出现对于触头表面

造成的破坏是非常严重的，容易造成设备故障率提高。触头磨损所带来的另一个明显的问题就是接触不良，从而使高压开关柜不能正常工作。接触不良会造成设备经常跳闸，设备可靠性下降，同时也容易引起系统性故障，影响电力系统的供电安全。因为高压开关柜承担着电力系统中大量的电力负荷，在由于磨损所引起的接触不良或者电弧等问题未能得到及时发现与解决的情况下，则有可能引起整个电网的不稳定甚至出现大范围停电事件。特别是在大负荷情况下，触头磨损速度很快，缩短设备寿命。所以要及时发现并解决触头磨损的问题非常重要。

2 高压开关柜触头磨损检测技术的应用与发展

2.1 常见的检测方法及其原理

高压开关柜触头磨损检测的方法主要有接触电阻测试、红外成像技术、振动检测以及电流信号分析等几种方式。接触电阻测试是一种较为常用的方法，它是根据触头表面电阻变化反映触头磨损情况，在触头磨损严重时，接触电阻增大，可定期测试发现触头磨损问题；红外成像技术利用触头发热情况判断触头磨损位置，在触头表面磨损情况下，部分区域温度较高，可通过红外成像发现这些高温区^[2]。触头表面磨损不均会造成局部过热，红外成像可有效发现这类温度异常；振动检测通过对触头部分振动频率、振幅变化来判断由磨损引起机械不平衡问题；触头磨损造成机械不规则性会使振动发生变化，而高精度振动传感器能捕捉到这类变化；电流信号分析通过对电流波形变化来反映由磨损造成的接触不良，从而判断出触头磨损状况；结合使用这些检测手段有利于从不同角度对触头磨损进行监测。

2.2 先进技术的应用与发展趋势

随着科技的发展，在高压开关柜触头磨损检测方面出现越来越多先进无损检测方法，如利用激光扫描以及光学成像技术检查触头上细微损伤情况。这种方法使用高分辨率激光扫描仪

对触头表面进行三维扫描,可以及时发现细微磨损、裂缝或者烧伤等问题,进而准确判断触头状况。近年来,基于人工智能及机器学习算法智能监控系统也被引入电力行业用于设备状态监测工作。这种系统可通过对大量数据进行处理以及建立相应模型来对设备可能出现问题进行预警并采取预防性维修措施,减少设备发生故障概率及维修费用支出。以传感器组网方式进行在线监测也是目前高压开关柜触头磨损检测常用手段之一。这些传感器会不断收集触头电流、温升以及振动等情况信息并传送到管理中心,在线监测系统会对这些信息进行持续观察并在发现有异常时给出报警提示或者发出修理通知。

3 高压开关柜触头磨损的状态评估方法

3.1 基于电气参数的评估方法

根据电气参数进行评价的方法主要是通过对触头接触电阻、电流波形以及电压等电气参数来进行判断其磨损程度。接触电阻是衡量触头是否磨损的一个常用参数,磨损越大,接触电阻就越高,进而造成电流流通不畅的问题,而定时检测触头接触电阻的变化就可以反映触头磨损的程度,在电阻超过一定限值的情况下即表示触头磨损较严重可能会出现设备运行异常或者电弧导致的损伤;电流波形分析也是判断触头磨损程度的有效手段^[3]。由于触头存在磨损时,在电流流经触头位置会出现电弧以及接触不良的情况,而这些都会在电流波形上体现为不规则波动或者跳跃,通过观察这种波动即可发现潜在磨损问题;另外还可以从电压变化来推断触头磨损状况,因为触头磨损一般都会使电流流通受阻而导致电压发生变化,所以对电压变化与电流特性进行监控就能较好地了解触头工作情况。

3.2 基于温度与振动监测的评估方法

温度监测是判断触头磨损程度的一种有效方法。当触头磨损后,接触面电阻增大,在通电过程中产生大量热量,这些热量使得触头温度上升。在触头上安装温度传感器可对触头温度进行实时监测,若温度过高,则说明触头过磨或者接触不良,预示着有故障发生。温度监测不仅可以检测触头表面温度还可以利用红外热成像技术观察整个温度场分布情况,从而准确找到温度较高部位即磨损较严重处。振动监测也是判断触头磨损情况一种重要方式。由于触头经常受到强烈撞击以及电弧影响,会造成触头轻微形变甚至开裂、局部磨损等问题,而这些都会使触头产生细微振动,用振动传感器可以记录下这种振动并根据其大小以及频率来判定触头磨损程度。触头磨损引起的机械不平衡以及接触不良都会引起振动变化,一般而言,振动变化越大说明磨损越严重。通过对振动数据分析可以及早发现磨损现象防止设备在工作中出现意外情况。同时对温度、振动进行综合分析可以更加全面了解触头工作状态,便于后续检修保养等工作开展。

4 高压开关柜触头磨损的维护策略

4.1 预防性检修与状态监控

预防性检修是以触头磨损为基础的一种定期检查和维修方法。制定合理的检修周期以及相应的检修标准可以在一定程度上避免因触头磨损造成设备故障的发生,在此期间利用接触电阻、温度、振动等多种检测方法来检查触头的状态以便尽早发现问题。对于高压开关柜而言,除了要关注触头表面磨损情况外,还要注意其电气特性改变情况,如用测量电流波形或者电压变化判断触头是否存在接触不良或电弧现象从而及早对其进行处理^[4]。状态监测是预防性检修的一个有效辅助工具,安装在线监测装置能够对触头的工作情况进行持续监视。这个系统用大量的传感器收集触头的温度、振动以及电气量等信息然后实时地分析触头磨损的变化状况一旦发现异常就会报警相关人员采取相应的措施。同时由于采用先进的信息技术如大数据和云计算等,所以系统还可以根据以往的数据和当前的数据来进行分析和预测从而更好地安排后续工作有利于提高设备寿命的同时也能节省开支。

4.2 故障诊断与修复策略

当高压开关柜触头磨损严重或故障时,对故障进行诊断并及时处理非常重要。故障诊断主要是明确造成磨损故障原因以及磨损程度,以免盲目修理或者更换。利用先进检测方法,比如振动监测、红外热成像、测量接触电阻等手段都可以迅速找到磨损位置及故障类型。如果是电气故障,通过对电流波形以及电压变化分析就可以确定是否为接触不良或者电弧引起的故障;如果是机械故障就需要用到振动传感器及温度监测来进行排查。使用相应的故障检测仪器可以在故障刚开始时就发现问题,防止故障扩大以及减少设备停机时间。对于修复方案一般根据磨损情况及磨损类型采取不同方法。对于轻微磨损触头可以简单清理、打磨或者重新镀层使其恢复正常。而对于磨损严重的或者烧损触头就需要更换或者部分修复才能使设备正常运行。对于由于触头接触不良导致电弧现象,则还需针对实际情况采取增加接触压力或更换接触材料等措施。而在修复中选用正确材料和工艺使修复后触头有良好导电性和抗磨损能力也是十分必要的。

5 高压开关柜触头磨损检测与维护技术的优化路径

5.1 检测方法与维护策略的综合优化

为了更高效准确地对高压开关柜触头磨损情况进行检测,就需要对各种检测手段以及相应的维护方案进行合理改进和完善。不同的检测方式,比如接触电阻测量法、红外热成像技术、振动监测以及电流波形分析等都需要针对触头磨损程度及其所处的工作环境来选取并综合利用。如接触电阻测量法可以周期性地监测触头的导电情况,而红外热成像技术可以发现热点进而判断出可能存在的磨损问题。将这些结合起来使用有

利于更好地了解触头的实际状况并且能够及时地了解其工作情况^[5]。从维护的角度讲,则是应用基于状态维修的思想,在线监测系统提供的信息来确定何时进行检修可以防止过多检修同时也可使设备寿命得以延长。通过对检测技术和维护方案进行优化整合可以在出现故障之前就发现隐患并及时采取相应措施,如改善工作条件或替换严重损坏的零件等,从而使整个装置发挥更大的作用以及工作效率。这样一种优化方案不但提高了检测水平而且节约了维修时间和费用也保证了电网的安全可靠运行。

5.2 提升设备运行可靠性与延长使用寿命

提高设备运行可靠性和使用寿命是高压开关柜触头磨损检测以及优化维护的目的所在,在对触头磨损进行有效监测基础上可及时发现问题并采取相应措施减少故障的发生率。而应用智能化监控手段通过对相关数据进行分析及趋势预测,可准确掌握设备情况,在触头磨损达到无法修复之前对其进行修理或者更换部件,从而避免触头过度磨损给后续生产带来不良影响。合理维修方法也是延长设备寿命的重要因素。对于轻微磨损触头可以通过局部修补方法来进行处理,例如涂抹一层保护

膜或者重新设定接触力;而对于较为严重的磨损,则需要更换新的或者更加耐磨材料来代替原有部件以延长其使用寿命。通过对磨损进行科学有效的处理方式,减少不必要的损耗及花费可以使设备长久平稳地运转。加强对设备运行情况监督与评价并且配合现代化修复技术可大大提高设备安全性同时也大大增加了设备使用寿命。

6 结语

高压开关柜触头发热监测及维修对保证电网安全可靠供电至关重要。利用不同方式进行检测,比如测量接触电阻、红外测温、听声音等,可以及时发现触头发热问题并进行预测预报。采用状态监测以及定期检修相结合的方法可以使设备始终保持良好工作状态,延长其使用寿命。在发现故障后采取合适的维修方式并合理安排检修期,可降低设备停运时间和维修费用。通过对各种检测技术和保养措施改进和完善以后,不仅可以提高设备的安全性和稳定性还可以给电力系统安全稳定运行提供有力支持。将来随着科技的进步和发展,对触头发热的检测手段将会越来越先进并且越来越智能化,从而更好地服务于设备管理工作以便电力系统长期安全可靠地运行。

参考文献:

- [1] 李卓.高压开关柜中真空断路器触头磨损诊断系统研究[J].电工技术,2026,(04):192-194+197.
- [2] 胡宗山.高压开关柜中真空断路器触头磨损诊断技术[J].今日制造与升级,2025,(02):145-147.
- [3] 张煊宇.知识驱动的高压开关柜智能运维方法研究及应用[D].华北电力大学,2024.
- [4] 马琦鑫.基于数字孪生的高压开关柜 AR 辅助检修系统设计[D].兰州交通大学,2023.
- [5] 施海灵.高压开关柜的故障诊断技术浅析[J].上海节能,2025,(05):765-769.