

刀闸接触性能优化与寿命延长的研究

吴涛 韩韬

国网冀北电力有限公司秦皇岛供电公司 秦皇岛市海港区 066000

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12759

[摘要] 刀闸作为电力系统中重要的开关设备,其接触性能直接影响系统的安全稳定运行。然而,刀闸在长期运行过程中,由于接触表面磨损、高温高压环境下的性能衰减以及接触电阻增大等问题,导致其性能下降和寿命缩短。本文针对这些难题,提出了优化刀闸接触性能和延长寿命的策略,包括采用先进的接触材料与表面处理技术、改善工作环境、优化刀闸接触设计以及创新刀闸的制造工艺。通过这些措施,可以有效提高刀闸的性能和可靠性,延长其使用寿命,保障电力系统的安全稳定运行。

[关键词] 刀闸;接触性能;寿命延长

引言:

在电力系统中,刀闸作为重要的开关设备,其性能的优劣直接关系到整个系统的安全稳定运行。然而,由于长期的机械磨损、高温高压环境下的性能衰减以及接触电阻的增大,刀闸的接触性能会逐渐下降,进而影响其使用寿命。因此,研究如何优化刀闸的接触性能和延长其寿命具有重要的理论和实际意义。本文旨在探讨刀闸接触性能优化与寿命延长的难题,并提出相应的解决策略,以期为电力系统的安全稳定运行提供参考。

1. 刀闸在电力系统中的重要性

刀闸是电力系统重要的开关设备之一,在高压输电线路,配电网以及变电站等场合被广泛使用来进行线路的开关或者隔离。刀闸主要功能是保证电力系统运行的可靠性与安全性,它能迅速切断电流并保证设备与人员安全运行。在电力系统日益发展的今天,刀闸所处的环境变得更加复杂。电力系统中刀闸既承受着高电压,高电流等工作负荷又需要处理频繁运行及极端温度变化等问题。所以,刀闸接触性能,稳定性和使用寿命是保证电力系统能否正常工作的关键。如果刀闸接触性能出了问题就会对电力系统稳定性造成直接影响,甚至会造成电力中断事故。所以改善刀闸接触性能、延长刀闸使用寿命就成了电力设备制造与检修的重要任务。

2. 刀闸接触性能优化与寿命延长的难题

2.1 刀闸接触表面磨损问题

刀闸接触面经常开关操作时将面临很大摩擦力而使接触表面磨损。由于刀闸接触面直接决定着电流传输效率与稳定性,所以该问题显得尤为突出。当磨损加剧时,接触面渐趋粗糙和变形,电气接触不稳定程度增大。磨损严重时会使接触电阻变大,甚至会发生接触点断路或者产生火花等情况,从而严重影响了刀闸开关性能及电力系统运行安全。特别在高负荷,高频次运行环境中,其磨损程度将更为显著,而且很难通过定期检查与保养及时发现并进行维修。这就使刀闸接触面的磨损,成了影响刀闸使用寿命及接触性能的一大难题。另外,刀闸接触面材质选择对磨损严重程度有一定影响。传统材料经受长期电流传输及机械冲击后,往往发生疲劳破坏而进一步增加接触面磨损之速率。尽管使用高硬度合金和其他材料可以使刀闸耐磨性得到一定的改善,但是仍然不能完全避免复杂电力环境中的磨损问题。

2.2 高温、高压环境下接触性能的衰减

电力系统中刀闸运行环境一般具有温度高、电压大等特点,会使接触性能逐步衰减。高温加速了刀闸接触点材料老化,继而造成接触面金属氧化或者腐蚀,从而使电流传输效率下降。高温环境中,金属材料电阻随着温度上升而增大,不仅会影响电力系统运行效率,而且有可能造成接触点温度

过高,从而进一步加快材料损耗。另外高电压环境给刀闸接触性能带来更大的压力。电压越高,接触点受到的电场强度越大,易造成接触点电气击穿或者弧光腐蚀。甚至在没有直接接触的情况下,电弧放电也有可能引发接触点局部的加热现象,从而导致接触点表面的损伤和接触电阻的增加。这一现象在电力系统高电压,高频段运行环境下表现得尤为突出,所以高电压环境接触性能衰减问题,就成了刀闸设计与运行的一大问题。

2.3 刀闸接触电阻增大

随着刀闸工作时间的延长,接触电阻增加已是普遍而又严重的现象。接触电阻增大一般会对刀闸开关性能产生直接影响,使电能受到损耗,还会使设备温度过高,故障风险加大,甚至会发生极端条件下火灾等安全事故。引起接触电阻升高的原因有很多,其中接触表面氧化腐蚀最为普遍。随着服役时间增加,接触表面由于摩擦作用逐渐凹凸不平,接触点接触面积减小,不能形成很好的电流通路导致电阻值升高。另外,经常开关操作还会加快接触面的磨损,使接触电阻进一步提高。这一现象在造成能量损耗的同时也会使刀闸运行温度过高,从而提高设备故障发生几率。恶劣工作环境下,温度和湿度往往会对刀闸接触面造成不良影响,继而促使氧化和腐蚀,并进一步增加接触电阻。并且,因为刀闸接触部位经常长时间在高电流负载下工作,这样也会加快接触面的破坏,造成接触电阻越来越大。尤其当长期不维护与检修时,接触电阻升高的现象往往会比较严重,最后会造成刀闸开关失效,从而影响电力系统运行的稳定性与安全性。

2.4 刀闸材料选择与加工工艺的局限性

传统刀闸接触材料一般选择导电性比较好的金属材料如铜和铝,这类材料一般都能在普通工作环境中提供优良的特性,但是在温度比较高、在高压或者苛刻的工作环境中,常会发生氧化和腐蚀现象,这些现象对刀闸接触性能造成严重影响。尤其在高压和大电流工况下,接触面易受热膨胀和压力作用而使金属疲劳增强,从而加快刀闸老化。时间一长,接触材料性能降低,就会使设备寿命降低,甚至造成设备故障。尽管近几年有一些新型材料,例如高耐腐蚀合金和复合材料,已经被推荐用于刀闸设计,但这些材料的实际应用仍然是在探索阶段,并且在实际生产过程中还没有得到广泛的验证和应用。新材料在加工过程中尚存在许多不确定性与技术难题。加工时可能遇到物料不稳定,质量难以控制等情况,导致物料性能不均匀,更进一步影响刀闸可靠性及使用寿命。与此同时,一些新材料生产成本居高不下,这可能会使它们在大范围推广应用时承受经济压力。另外由于刀闸运行环境异常复杂苛刻,物料长期运行情况很难马上得到验证,需进行长时间试验及实际运行观测。所以刀闸材料选择及加工工

艺上的限制仍然是困扰刀闸接触性能及延长其使用寿命的一大问题。

3. 刀闸接触性能优化与寿命延长的策略

3.1 采用先进的接触材料与表面处理技术

刀闸开关接触性能的好坏直接影响电气设备能否正常工作, 它的性能好坏影响设备可靠性及寿命。为改善刀闸接触性能, 可采取先进接触材料及表面处理技术。就接触材料选择而言, 常规铜合金材料虽导电性能良好, 但是高电流负荷及频繁切换环境中易发生磨损, 氧化及热损伤。因此, 使用如银合金、镀银铜合金、复合材料等具备更强导电性和耐磨性的创新材料, 有助于显著提升材料的接触性能。如银合金材料接触电阻小、抗腐蚀能力强, 能有效地延长接触寿命、降低能量损耗。另外表面处理技术对改善接触性能具有至关重要的作用。常用表面处理方法有镀银, 镀金和纳米涂层。这些表面处理工艺能有效地降低接触电阻、增强抗氧化性、耐腐蚀性、降低接触表面由于氧化引起的高接触电阻以减少电弧生成及接触点损失。如利用高频激光镀银技术可实现接触表面精确镀银和提高接触质量。利用纳米涂层技术, 可以在接触点上形成一层均匀分布的保护膜, 从而进一步增强其抗磨损性能并延长其使用寿命。通过选用适当的接触材料, 配合先进的表面处理技术可显著优化刀闸接触性能, 继而提升设备运行可靠性与效率。

3.2 改善工作环境, 降低接触点的温度与电流负荷

刀闸开关接触点工作时由于电流流动会产生部分热量, 接触点温度过高会加快接触点氧化, 腐蚀和磨损, 从而影响刀闸开关寿命。所以改善工作环境和减小接触点温度及电流负荷对刀闸接触性能优化至关重要。为了有效地降低接触点的温度, 增强接触点的散热能力是一个行之有效的策略。刀闸设计中可考虑使用较好的散热材料或者增大散热面积以改善热量传导与散发能力。比如用铝合金材料、高导热塑料材料制作刀闸外壳可有效地增强散热性能。另外改进接触点接触面设计和减小接触面积同样可以有效地降低温升。合理地选择当前负荷, 对负荷进行管理, 也是一种降低接触点温度行之有效的方法。电流负荷过大会使接触点发热过大, 引起接触面损伤。通过对刀闸进行优化设计并对工作电流进行控制, 使得工作电流在合理的范围之内, 可以有效地降低温升及电流负荷。如利用分级负载技术实现了对各种负载条件下工作电流的自动调节, 使接触点温度得到了有效地控制。另外, 实际操作中刀闸开关应尽量避免频繁开关操作及超载使用, 尤其高负载时, 应采用降载措施或者加装冷却系统, 为了保证接触点能在合适温度及负载条件下运行。

3.3 优化刀闸接触设计, 减小接触电阻

接触电阻是影响刀闸开关性能最关键的因素, 大接触电阻可能造成局部发热、能量损耗增大、甚至接触点破坏。要改善刀闸开关接触性能就必须对接触进行优化设计以降低接触电阻。优化接触设计以改善接触面质量为中心。接触面粗糙度与接触压力对接触电阻有2个显著影响。采用精密加工技术使得接触面更光滑并能有效降低接触电阻。如使用高精度磨削技术或电化学抛光技术能显著提高接触面平整度以降低接触电阻。同时通过对接触点所受压力的合理设计, 保证了接触表面能紧密地接触并降低了接触电阻。提高接触材料选择的质量, 也是降低接触电阻的重点。有些特定的材料, 例如银合金和铜合金, 它们拥有相对较低的接触电阻, 这使其成为高性能刀闸开关的理想选择。将这些低电阻材料包覆或者镀覆到接触点上可明显降低接触电阻。尤其是银合金材

料不仅电阻小, 抗氧化性也很强, 能确保接触电阻的长时间稳定性。另外, 利用特殊接触面形状设计降低接触电阻。如设计为线接触或点接触的结构可以减少接触面积、增加接触压力以有效地减小接触电阻。配合合适的表面处理技术可使接触点处形成高导电性保护层并进一步降低接触电阻。通过对刀闸接触进行优化设计以及对接触材料进行合理选用, 可有效减小接触电阻、增强刀闸开关接触性能、进而提高电力设备运行效率及可靠性。

3.4 创新刀闸的制造工艺, 提高耐磨性与抗疲劳性

刀闸开关在运行中因开关操作频繁、电流流动大, 接触点易产生磨损、疲劳等问题, 从而影响刀闸长期运行稳定性及接触性能。为延长刀闸使用寿命, 需要对制造工艺进行革新, 增强刀闸耐磨性与抗疲劳性。利用先进材料及处理技术, 是改善刀闸耐磨性及抗疲劳性行之有效的方法。如采用高强度合金材料及耐磨涂层材料可显著提高刀闸耐磨性。使用硬质合金和如氮化钛、铬镀层这样的表面涂层, 可以显著增强接触表面的抗磨损能力, 从而降低其磨损程度。另外, 采用淬火、回火等热处理工艺可使材料硬度、韧性提高, 抗疲劳性能增强。对刀闸制造工艺进行了改进, 例如采用精密铸造, 激光焊接及热压成型, 可有效地控制其尺寸精度及接触点质量。尤其在接触面设计方面, 可采用精密加工及微结构调整等方法来改善接触面硬度及耐磨性。如利用激光熔覆技术可使耐磨材料直接包覆于接触面并形成均匀保护层, 从而有效地改善刀闸耐磨抗疲劳性能。另外合理的制造工艺也能增强刀闸耐腐蚀性和降低环境因素对接触表面的破坏。如利用阳极氧化处理或者包覆抗腐蚀材料等可提高刀闸表面抗腐蚀能力和使用寿命。创新制造工艺既可增强刀闸耐磨性、抗疲劳性又可增强抗腐蚀能力, 使刀闸能够长时间平稳工作。通过对刀闸制造工艺进行革新, 可显著改善刀闸耐磨性, 抗疲劳性及抗腐蚀性等性能, 显著延长刀闸使用寿命, 增强电力设备可靠性及安全性。

结束语:

通过采用先进的接触材料与表面处理技术、改善工作环境、优化刀闸接触设计以及创新刀闸的制造工艺, 可以有效提高刀闸的接触性能, 延长其使用寿命。这些措施不仅能够提升电力系统的运行效率和安全性, 而且对于降低维护成本、提高经济效益也具有重要意义。未来, 随着材料科学和制造技术的不断进步, 刀闸的性能优化与寿命延长将会有更多的创新方法和策略出现, 为电力系统的稳定运行提供更加坚实的保障。

[参考文献]

- [1] 苏健宏, 林梓衡, 黄怡茜, 林来鑫, 范子健. 一种刀闸回路故障培训装置及系统的研究[J]. 中国设备工程, 2025, (S1): 324-325.
- [2] 曾妮, 倪一洋. 变电站刀闸操作异常的分析及处理[J]. 电工技术, 2024, (24): 247-249.
- [3] 陈毅朋. 基于单片机的变电站刀闸电机驱动自动控制方法[J]. 自动化应用, 2024, 65 (24): 182-184.
- [4] 张丕沛, 孙国峰, 李杰, 汪鹏, 王江伟. SF6/N2 混合气体隔离开关接触不良时的温度分布及诊断判据研究[J]. 山东电力技术, 2024, 51 (12): 61-68+77.
- [5] 浦宗会, 毛锦荣, 周涛. 某大型水电厂励磁功率柜刀闸改造论证及运行分析[A] 2024 年电力行业技术监督专业技术交流研讨会优秀论文集[C]. 中国电力技术市场协会, 中国电力技术市场协会, 2024: 6.