

润滑技术在高压开关设备中的应用

在分析高压开关设备可靠性的基础上，提出了其润滑的必要性，开关设备润滑方法和途径，并给出了开关设备固体润滑应用方案。

韦利民/兰州长城电工股份有限公司

0 引言

高压开关设备是重要的输配电设备，其可靠性直接影响电力系统的稳定运行。由于我国在高压电器研究领域起步较晚，对基础性问题研究不够，制造技术方面距世界先进水平还有较大距离。但近年来随着高压电器的制造商和电力部门对可靠性认识的提高，高压开关设备的可靠性研究才逐步得到重视。

1 开关设备可靠性的特点

高压开关设备是电力系统最重要的组成部分，其主要任务是当电网发生故障时，能及时、安全地切断故障电网；当故障消除后，能重新将故障电网投入运行。即高压开关设备有两种工作状态：分闸状态和合闸状态。当电网发生故障，要求开关设备瞬时动作以保护其他设备时，它的工作状态会由合闸转变为分闸，这一工作状态的转换时间极短，转换信号的产生也是随机性的。

对高压开关设备的可靠性要求高于一般机械、电子产品。高压开关设备的可靠性包括电气可靠性和机械可靠性两部分：电气可靠性主要体现在其绝缘性能可以满足特定的耐压要求；机械可靠性主要体现在分闸、合闸的瞬时切换过程中机构不出现故障。高压开关与一般

机械、电子产品的工作状态不同，一般机械、电子产品，如机床等，它们的工作状态稳定，很少会有工作状态的瞬时转变。而开关设备一般情况下长期处于“静止”的状态，有些甚至长达几年、十几年。何时分闸，何时合闸，都是无法预先知道，可靠性主要体现在工作状态的瞬时转变之中。一个长期“静止”的机构在随机的状态转变中能否正常切换，传动件润滑状态无疑是确保其动作可靠性的重要因素之一。

2 研究润滑技术的必要性

对具有相对运动产生摩擦的组件和存在摩擦点的设备，推行润滑技术的目的在于使设备在设计和使用中，保障性能，减少磨损，降低能耗，延长维修周期和使用寿命，实现安全运行，提高经济效益。

在开关设备中，无论是开关柜还是断路器，有许多传动件，如滚珠轴承、滚针轴承、齿轮、凸轮、滚动螺旋副（滚珠丝杠）、钢丝绳（软轴）和转轴（轴销）等，都存在有相对运动产生摩擦，有摩擦就有磨损，有磨损就需要润滑。一台高压开关从开始装配到投入运行后，都要选用“油”或“油品”润滑。本文对运行25年后退出运行的105台老龄中压真空断路器进行了调查分析，从中发现断路器传动件失效主要表现为变形、断裂、腐蚀和磨损，而腐蚀和磨损导致传动件失效的达到78台，典型磨损情况如图1、图2和图3所示。如果正确选择润滑剂和润滑方法，可大幅提



韦利民/高级工程师

关键词/Keywords

高压开关设备 ·
可靠性 ·
润滑 ·
固体润滑 ·

高其运行可靠性，有效延长其使用寿命。由于多种原因所致，国内开关行业在润滑技术研究与应用方面尚有空白，润滑技术虽然有一定的应用，但研究不深。

在开关产品中，对一些关键部件的润滑，如：弹性流体动压润滑（滚珠轴承、滚针轴承、齿轮和凸轮）、钢丝绳（抬帘软轴）的润滑及滚动螺旋副（滚珠丝杠）的润滑等，至今没有一个明确或权威的润滑要求或规定。装配过程中，润滑油的使用随意性较大。由于在润滑问题认识上存在不同程度的盲区，选“油”用“油”和润滑的效果在同样的产品上因人而异，产品出厂后人为致“病”，结果导致在用户现场“返工”。



图1 润滑不良典型情况示例1



图2 润滑不良典型情况示例2



图3 润滑不良典型情况示例3

近十几年来，我国中压开关产品更新换代速度加快，产品市场覆盖面和分布地域也空前扩大，现场的工况更是千差万别，但润滑技术更新

速度则比较缓慢。由于润滑对设备可靠性是一种潜在的影响，不是马上见效，因此容易被设计环节、制造环节和维护环节所忽视，新型润滑技术难以及时应用。

高压开关设备操作机构及传动部件大多为开放式轴销类传动副，稀油润滑对于这一类摩擦副，由于形成的润滑油膜强度低，在开关设备出厂磨合、试验及现场调试过程中，随着操动机构的频繁振动，油膜极易流失，将影响润滑效果。而国内电器制造企业常用的“凡士林”、“钙基脂”和“锂基脂”等粘稠度较高的油脂，在产品出厂至投入运行前存放时间或存放环境不当，极易沉积和固化变质。特别是在低温时，油脂流动性越差，沉积和固化变质现象越严重，难以满足各种工况，尤其是常处于高温、潮湿、酸碱和粉尘污染等特殊工况的润滑要求，现场使用中存在较大隐患和风险。

国外开关设备及真空断路器性能优越，操作灵活可靠，与润滑有很大的关系。因此，要实现开关设备的高可靠性和免维护，推行润滑技术是今后必须解决的课题之一。

3 推行润滑技术的方法和途径

(1) 根据传动件类型合理选用润滑脂

润滑的主要作用为：①降低摩擦；②减少磨损；③冷却、防止胶合；④防止腐蚀。

开关设备中需要润滑的主要有滚珠轴承、滚针轴承、齿轮、凸轮、滚动螺旋副（滚珠丝杠）、钢丝绳（软轴）和转轴（轴销）等转动件，其各自担负的任务和负载情况不同的，动作的频次也各异。如滚动轴承、齿轮和凸轮等的润滑属于“弹性流体动压润滑”。钢丝绳（软轴）的润滑比较复杂：①润滑剂要能粘在扭绳上，不易擦掉，在温度变化时不会影响润滑效果；②良好的流动性和渗透能力，能迅速渗入扭绳内部以及衬芯进行润滑和防锈，并防止细菌在纤维上滋生；③较高的油膜强度，能在极重负载下抵抗相互接触钢丝之间存在的极高压力；④有较高的内聚力；⑤不能含有锈蚀的成分；⑥自复能力强，

钢丝绳工作时不断弯曲变形,致使其表面油膜不断受到扩展和挤压,这就要求油膜较柔并有高温润性才不致出现断裂,偶断也较易自复。

滚动螺旋副即滚珠丝杠副,一般多采用润滑脂,将脂填充在螺母内及丝杠螺纹滚道上;亦可采用滴油润滑。要求润滑油具有防锈、减摩性能。

实际应用中要根据摩擦组件的使用特性和工况条件选择不同的润滑方式和润滑油,对于断路器等操作频繁的电器元件在选用时还需特别注意“长效”。

(2) 进行摩擦学设计

摩擦学设计是运用摩擦学理论、方法、技术和数据将所设计的产品使其摩擦和磨损减少到最低程度的一种设计,其目的可节约大量能源、材料、人力和物力的消耗。要打破润滑就是加加油的传统概念,重视摩擦学研究和设计。凡需要润滑的机构零件,设计时应满足设计各种工况的润滑要求,采用先进可靠的润滑系统及相关零部件。编制产品说明书时,应附必要的润滑图表,并对润滑剂使用中清洁度、理化性和使用性能提出技术要求。现场的工况千差万别,应对产品中的摩擦副在什么负荷、频次、温度和环境介质进行分析研究。特别象钢厂、化工厂及高温、潮湿、酸碱和粉尘污染等工况,在进行润滑剂选配或润滑方式策划时,应尽量满足这些工况。

(3) 开展固体润滑技术应用的研究

说到润滑,人们常常会想起润滑油、润滑脂,很少有人会想到固体润滑材料。其实,与润滑油、润滑脂一样,固体润滑材料也是一类重要的润滑材料,人类研究和应用这一类润滑材料虽然只有半个世纪的历史,但它却以优异的性能获得了广泛的认同,其应用范围越来越广,大有与传统润滑油脂分庭抗礼的趋势。

固体润滑是将固体物质涂或镀于摩擦界面,以降低摩擦,减少磨损的措施^[1]。这是一种概念上与传统润滑材料(润滑油、润滑脂)完全不同的新型润滑材料,与传统润滑材料在摩擦界面上形成某种形式的流体或半流体膜而起到有效的润

滑作用相对应,固体润滑材料则主要是依靠材料本身或其转移膜的低剪切特性而具有优良的抗磨和减磨的作用。通常固体润滑材料是以粉末、薄膜、涂敷层或整体材料的形式使用。固体润滑材料在性能上极大地突破了传统材料的使用极限,为解决特殊工况条件下的摩擦磨损问题提供了强有力的技术支持。

固体润滑技术在机械传动部件(如轴承、齿轮、导轨、气缸和活塞等)、机械加工(如压力加工、切削加工等)及特殊工况(如极端温度环境、真空机械和高负荷条件等)等领域得到了广泛应用^[2]。

断路器机构的凸轮、齿轮和转轴等零部件,由于存在着强大的摩擦力,需要添加高强度专用润滑油来降低摩擦系数从而减少磨损以提高工件质量和延长寿命。但是,电器产品可靠性特点决定了其润滑的周期和维护不同于普通机械,仅依靠现有的传统润滑方式,难以满足当今产品轻量化、高可靠性的要求。

目前有很多方法可以提高工件表面的硬度,如表面淬火、镀硬铬和氮化处理等,但这些方法都存在着一个共同的缺点,即只能提高工件表面的硬度,却不能降低表面摩擦系数和减少摩擦力。

当凸轮、齿轮和转轴等零部件表面涂敷固体润滑材料后,在其表面形成一层完整的保护膜,这层膜由无数个固体润滑材料的极性分子定行排列而成。涂敷固体润滑材料的两个金属的相互运动实际上是铆在金属表面上的保护剂极性分子尾与尾之间的摩擦,具有良好的自润滑特性,抗咬合(粘结),可降低摩擦副之间的摩擦系数5~10倍和减少摩擦力1/3以上。国外产品在这方面做得比较好,已有以提高耐磨性为目的,对金属表面本身进行特殊被覆处理的工艺,也有此类产品投放市场。例如:德国西门子3AH,据称在正常环境条件下,几十年内既不需再次润滑,也不需再次调整。国内在自润滑耐磨方面曾做过一些探索,这可以追溯到ZN23所使用的CD10Ⅲ机构和ZN90弹簧机构的机械寿命摸底试验。由于采用了润滑

油+抗磨剂和抗磨剂表面涂敷工艺,机械寿命后的传动件磨损量都很轻微,几乎都保持在0.05 mm以内,甚至镀层依稀可见,未出现因磨损使机构失效的情况。

表面自润滑耐磨处理一般工艺流程为:前处理—清洗—预热—涂敷—晾干—烘干—冷却—检验—包装。

1) 前处理。用机械和化学方法去积尘、油污和各种腐蚀产物。

2) 清洗。用混合溶剂对被涂工件进行清洗,使工件表面干燥、清洁。确保无腐蚀物、油污及水分。

3) 预热。将清洗干净的工件放入烘箱中,在设定的温度下保温一定时间,从烘箱取出后在规定的时间内进行涂敷为宜。

4) 涂敷。将预热的工件浸入溶液中或用干净毛刷刷涂。

5) 晾干。将涂敷好的工件晾置一定时间,确保溶剂完全挥发。

6) 烘干。将晾干后的工件放入烘箱内,设定烘干温度并保温一定时间。

7) 冷却。经烘干的工件取出自然冷却。

8) 检验。用肉眼或放大镜对涂膜进行检验。涂膜应洁净、均匀、无流痕或堆积等缺陷。

表面自润滑耐磨处理技术,可以同时满足润

滑、耐磨、导电、绝缘、防潮湿、防霉菌、防盐雾、防手汗、耐冲击、防工业大气和耐高低温等16个性能指标,使用方便、成本低廉及应用广泛,在提高产品可靠性方面无疑值得加以研究和推广。

4 结束语

润滑和开关设备关系十分密切,对设备的寿命影响很大,但其影响和效果是潜在的,大多数时候并非能够立竿见影,平常人们看不见,往往容易忽视,造成产品人为致病或早期磨损,提前维修,不仅造成浪费而且直接影响企业声誉和经济效益。应进一步提高对润滑技术工作的认识,把它作为提高产品可靠性不可忽视的重要环节和重要组成部分,常抓不懈,延长开关设备机件的使用寿命和维护间隔期,使开关设备经常处于良好状态,确保电力系统安全、可靠运行。

参考文献

- [1] 严晓华,陈国需.固体润滑技术的研究现状及展望[J].能源研究与信息,2005,21(2):69-74.
- [2] 赵洋,谭业发,等.固体润滑技术及其工程应用[J].机械工程与自动化,2011(1):207-209.

(收稿日期:2016-02-17) EA



典藏技术 革新应用

专业专注

时刻关注并推动中国电气技术的发展



《电气应用》是一本拥有光荣发展历程的全国优秀科技期刊。

自1982年创刊至今,已走过了33年艰苦创业、改革发展的光辉历程。其所荣获的“全国优秀期刊、中国期刊方阵‘双奖期刊’和国家期刊奖‘百种重点期刊’、中文核心期刊”等诸多荣誉见证了编辑们的专业与勤奋,也博得了广大读者和业内专家的支持与厚爱,在众多电类专业科技期刊中颇具影响力。