

声发射技术在绝缘子污秽放电监测中的应用

高 强¹, 魏 星², 崔鹏程²

(1. 江苏省 500 kV 输变电运检中心有限公司, 江苏 南京 210028; 2. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

Application of Acoustic Emission Technique in Insulator Contaminant Discharge Monitoring

GAO Qiang¹, WEI Xing², CUI Peng-cheng²

(1. Jiangsu Province 500 kV Transmission and Substation Operation & Repairment Center Co. Ltd, Nanjing 210028, China;
2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

摘要:通过分析现行绝缘子污秽监测方法的一些弊端,在这个基础上,研究了绝缘子污秽放电存在的声发射现象,提出了一种基于声发射技术监测绝缘子污秽放电的方法。研制了污秽放电监测装置并进行了大量试验。通过分析绝缘子污秽放电过程以及伴随放电出现的声发射现象,揭示出污秽放电的严重程度和声信号之间的关系,证明了通过监测绝缘子污秽放电发出的声信号可以实现对绝缘子污秽的在线监测。

关键词: 声发射; 污秽放电; 绝缘子

中图分类号: TM855

文献标识码: A

abstract: The disadvantages of current monitoring method for insulator contaminant are examined. A method for monitoring insulator contaminant discharge is proposed based on the acoustic emission phenomenon. Monitoring device has been developed, and a large number of experiments are carried out. By analyzing the discharge process of polluted insulator accompanying with acoustic emission phenomenon, the characteristics of acoustic signal are studied. The relationship between discharge and acoustic signal is revealed, and a new method of insulator discharge monitoring based on the acoustic emission technique is put forward.

Key words: acoustic emission; contaminant flashover; insulator

1 引言

绝缘子污秽放电是由于悬浮在空气中的微粒在风力、重力和电场力的作用下沉积在绝缘子表面,形成污秽层,遇到合适的天气因素(如雾、露、毛毛雨),污秽受潮后形成一层薄薄的导电层,使绝缘子的绝缘水平下降,在绝缘子表面发生闪络^[1-2]。由于绝缘子污秽放电对电力系统的危害极大,对绝缘子污秽监测方法的研究一直受到电力部门和研究机构的重视。

2004 年江苏省运检中心共发生 3 次污闪故障,分别为:2004 年 2 月 19 日 6 时 15 分,9 时 20 分,±500 kV 龙政线极 I 发生 2 次闪络,电压几乎降为零。经登塔查找,故障塔号为 1979 号(耐张),1983 号(耐张),分析为绝缘子污闪。当天上午,长江下游地区大雾弥漫,常州和无锡境内包括溧阳、武进、宜兴地区能见度只有 30 m,龙政线大号侧沿线能见度仅有不到 20 m,空气湿度很大。

2004 年 11 月 8 日 6 时 49 分,500 kV 东武 5264 线 B 相跳闸,重合成功。经登塔查找,确定故障点为 254 号 B 相跳串。当时江苏境内久晴无雨,大量的污秽物质悬浮在空中,而钟罩式玻璃瓷瓶本身有易积污的特点。11 月 7 日立冬,江苏迎来首场大雾,8 日凌晨再度发生,早上 8 时能见度约 40 m。故障塔 254 号位于宜兴市范道镇镇东 2 km,污秽本身比较严重,在大雾天气里,跳线悬垂串发生了闪络,导致线路跳闸。以上 3 次污闪均发生在初春和秋末,正是污闪的高发季节。针对污闪对线路安全的影响,利用年度大修的机会对以上线路进行了技改(通过喷涂 RTV 涂料和更换为合成绝缘子的方法),现运行状况良好。

传统的绝缘子污秽放电监测方法主要有^[1]:
①等值盐密法(ESDD)。即以一定量的蒸馏水,将清洗下来的绝缘子表面的污秽物收集于干净的容器内,搅拌溶解后,再测量污液的电导率 γ 和污液温度 t ,然后计算得到等值盐密。该方法虽普遍使用,但只能在线路停电时取下绝缘子进行测量,且工作量和误差较大,有时不能完全反映现场的污秽等级;
②表面污层电导率法(SPLC)。表面污层电导率是指绝缘子表面污层的电导值,它通常分为积分电导率和局部表面电导率。该方法是把绝缘子表面的污层看作

收稿日期:2005-10-16

作者简介:高 强(1976-),男,工程师,从事超高压线路运行管理工作。

具有电阻率 ρ 或电导率 γ 的导电膜, 在受潮情况下测量绝缘子表面污秽层的电导, 根据表面电导和绝缘子外形计算得到污秽层的表面电导率。该方法的缺点是对测量仪器和操作人员的要求较高, 测量结果受形状影响较大, 稍有不慎就会得出不合理的结果; ③ 泄漏电流法。通过测量泄漏电流的脉冲次数, 记录工作电压作用下的污秽绝缘子在指定时间内超过一定幅值的泄漏电流脉冲次数。泄漏电流是真正的动态参数, 能够反映污闪的全过程, 能用于在线监测, 可用作报警。在阳东线上安装了 2 台绝缘子在线监测装置, 经过一段时间的使用, 发现效果不很理想。首先, 它只能反映所安装塔位的绝缘子污秽情况, 不能代表全线的污秽等级; 其次, 对电信网络要求高, 如果安装地点移动通信信号较弱, 则存储的数据不能及时下载到中央计算机; 再次, 需要对绝缘子进行改造, 以便加装电流传感器。现场安装调试复杂, 且造价较高。

针对上述监测方法的不足, 提出了基于声发射技术的绝缘子污秽放电监测方法, 简称声学监测法, 并通过大量的试验分析了污秽放电的严重程度和声信号之间的关系, 证明了该方法的可行性。

2 绝缘子污秽放电的声发射现象

已有的研究成果表明, 污秽绝缘子在运行电压下发生沿面闪络的物理过程包括: 污层湿润形成导电层、伴随干燥带的形成而产生局部电弧、局部电弧沿绝缘子表面发展直到跨越绝缘子整个表面完成闪络^[1-2]。在这个过程中, 一直伴随有热、声、光等物理现象, 笔者所关注的是声信号的特征。

在污秽放电的起始阶段, 在绝缘子的钢脚等泄漏电流分布密集的地方产生干区, 电压集中分布在干区上产生放电现象。这时, 首先从绝缘子钢脚根部沿瓷表面发出一些淡紫色细丝状放电, 并伴有轻微的电晕声, 接着铁帽边缘与瓷件连接处出现淡紫色短小电弧, 钢脚处的放电演变为紫色刷状放电, 夹杂有黄色或白色的小火星, 同时放电声响增大; 随着干区的继续扩大, 帽缘和下伞面钢脚处出现桔黄色短电弧放电, 电弧密集, 放电持续发生, 声响很大; 随着受潮程度的加深, 原来钢脚处密集的短电弧被频率较低但强度明显加大的桔黄色电弧代替, 最后出现红色的主电弧贯穿整个泄距, 发生闪络。

在污秽放电发展的整个过程中, 放电的出现是间歇的, 时强时弱的, 但它的总趋势是确定的, 即由微弱的辉光放电到强烈的局部电弧。在这个过程中, 声信号由弱到强, 从开始的轻微的电晕声, 到后面嗡嗡的电弧声, 都是污秽放电在 20 Hz~20 kHz 频段内发出的声信号被人的耳朵接收后产生的效果。通过这种放电声就可以判断出绝缘子是否即将闪

络。同样, 用声传感器代替人耳, 也可用来判断绝缘子的工作状态。

3 声发射技术监测绝缘子污秽放电的基本原理

绝缘子污秽放电期间, 声波发射信号由弱到强, 该声波信号可看成点声源, 在空气介质中以球面波的形式向外传播。该声波信号的能力必然是污秽放电所释放能量的一部分。文[3]认为声能与放电释放的能量之间是成比例的, 文[4]也以实验证明了这一点。虽然在实际中, 由于放电受各种因素影响使得这个比例不确定, 但从统计的角度来看, 二者之间的比例关系是确定的。因此, 通过检测绝缘子污秽放电产生声信号的特征, 判断污秽放电的强度以及对系统威胁的大小, 就可以在污秽程度较轻, 仅出现微弱的放电时, 发现它并采取措施, 将事故的苗头消灭, 避免更大的损失。因此, 设计了灵敏度较高的聚焦声传感器, 其作用是提取污秽放电所产生的声波信号并将声信号转换为电信号。从已有的试验结果来看, 声发射信号的能量主要集中在 30~50 kHz 之间, 但高频段声波信号在空气中传播时的衰减极大, 因此选择了 40 kHz 的频率作为传感器的中心频率。该传感器是声发射信号监测装置的重要元件, 其结构见图 1。绝缘子污秽放电监测原理见图 2。

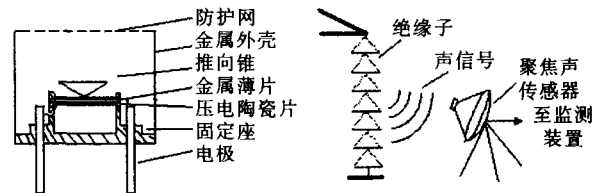


图 1 声波传感器结构示意图

图 2 污秽放电监测原理图

安装在杆塔上的传感器可以捕捉到放电产生的声信号并转换为电信号送到监测装置进行处理; 监测装置具有信号放大、补偿信号随距离的衰减、A/D 转换、信号处理和通信等功能。将数据传输至监测中心进行处理或在本地进行处理, 根据处理结果判断放电的强弱并发出相应的报警信息, 提醒工作人员采取相应的处理措施, 避免污闪发生。

4 污秽试验及结果分析

在实验室进行了污秽放电试验。污秽试验采用固体层法, 使用的试验装置主要有雾室、试验变压器、调压器, 试验接线见图 3。

试品为 XP3160 型瓷质悬式绝缘子。人工雾的制造是使用一个大功率的电热炉给水加热产生水蒸气, 水蒸气通过喷嘴进入雾室, 加热约 10 min 后水蒸气充满整个雾室, 就产生了人工雾。试验电压经穿墙套管从室外的试验变压器引入, 然后经电容分压器引出, 用电压表观测。

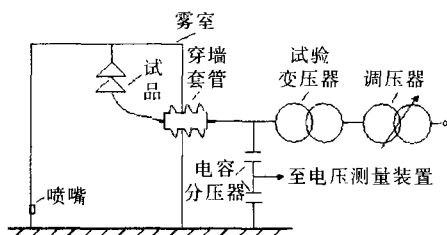


图3 交流污秽试验接线示意图

将两片污秽度为0.03的绝缘子悬挂在雾室中,待污层充分湿润后,匀速升压直至闪络,同时采集升压过程中的声发射信号。污闪放电的声波信号见图4。

图4显示了声发射信号的幅值随试验电压变化的趋势,可以看出,随着电压的升高,声发射信号的

幅值增大,但是信号的增大并不是完全单调的。图5~图8为不同电压等级下的绝缘子污秽放电声发射信号。

经过多次试验得到的结果均相同,由此可以得出以下结论:①声信号幅值的大小与试验电压有关,

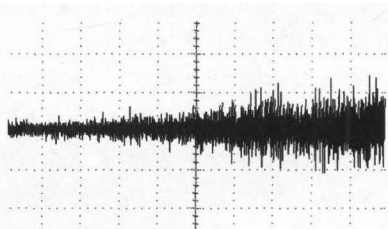


图4 电压由0V升到15kV过程中声信号波形

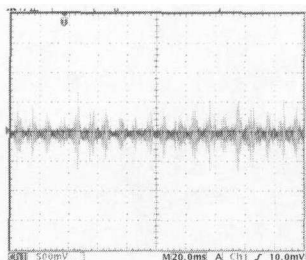


图5 10kV电压下的声发射信号

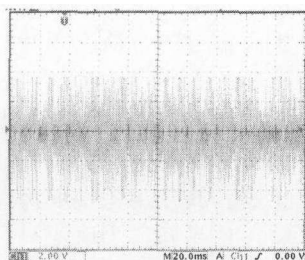


图6 20kV电压下的声发射信号

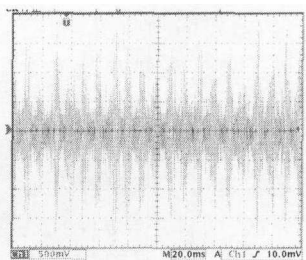


图7 30kV电压下的声发射信号

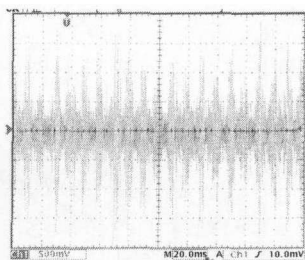


图8 40kV电压下的声发射信号

其变化的总趋势是随着试验电压的升高,声发射信号幅值增大;②在试验电压较低时,污秽放电较弱,声信号幅值较小,而且有明显的过零点存在,周期规律明显;③当试验电压较高时,污秽放电很强,信号幅值很大,没有过零点,周期规律不明显。由试验结果可以看出,随着污闪的临近,声波信号脉冲的幅值逐渐增大,频率逐渐增高。因此,通过监测污秽放电产生的声波发射信号,即可监测绝缘子的污闪过程,实现对绝缘子污闪的预警。

5 结语

(1)声波信号可以反映出绝缘子是否发生了污秽放电,根据声波信号的变化可以判断污秽放电的发展趋势,可以实现绝缘子污秽放电的监测和预警。

(2)基于声发射技术的绝缘子污秽放电监测方法是非接触测量,与绝缘子无电气上的接触,也无需对绝缘子进行改造。操作简单方便,适用于现场作业。

(3)该方法目前尚处于试验阶段,监测装置的性能指标和功能还有待进一步改善,有些实际的调试和安装问题还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 张仁豫. 绝缘污秽放电[M]. 北京: 水力电力出版社, 1994.
- [2] 孙才新, 司马文霞, 舒立春. 大气环境与外绝缘 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [3] Lundgaard L. E. Partial discharge XIV: A Coustrie Partial Discharge Detection-practical Application [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 1992, 8(5): 34-43.
- [4] 袁易全. 局部放电超声特性实验研究 [J]. 电工技术学报, 1992, 18(2): 17-19.

(上接第59页)

改造前后冷却装置消耗功率差: $\Delta P = P - P^* = 12.8 \text{ kW}$,冷却装置更换后,每年减少有功功率损耗 $W = 8760 \text{ h} \times 12.8 \text{ kW} = 102128 \text{ kW} \cdot \text{h}$,可见,冷却装置本身的直接节能效果十分明显。

6 结语

由于冷却装置的更换和改造减少了风机和油泵的数量,也就减少了设备的渗漏油点个数和冷却电源运行功率,同时,降低电力变压器运行温度,从而引起线圈直流电阻下降,导致电力变压器运行负载

损耗的减少。既节省能源,创造较高的经济效益,又提高了变压器运行的可靠性,达到了事半功倍的效果。各电力企业有必要对运行时间长、冷却效率低的变压器冷却装置实施改造。

参考文献:

- [1] DL/T572-1995. 电力变压器运行规程[S].
- [2] GB/T13462-1992. 工矿企业电力变压器经济运行导则[S].
- [4] GB/T15164-1994. 油浸式电力变压器负载导则[S].
- [3] GB1094.2-1996. 电力变压器[S].