文章编号：1003-8337(2007)02-0025-05

复合外套避雷器在电力系统中的应用

张育华[1]，金强[2]

(1. 广东电网公司深圳供电局，广东 深圳 518020；2. 西安电瓷研究所，陕西 西安 710077)

摘　要：复合外套避雷器的运行特性、维护及监测方法直接关系到电力系统的安全运行。指出复合外套的主要材料是高温硫化硅橡胶和液态硅橡胶，其耐电痕化和蚀损试验主要用于评定在严酷环境条件下电气绝缘材料的耐污性能，复合外套避雷器选用耐漏电起痕3.5级的绝缘材料一般就可以满足用户部门对避雷器的污秽等级要求。介绍了几种复合外套避雷器的监测方法，综合评价了泄漏电流法、红外测温法、超声波检测法、紫外成像法、双AT法的优缺点，提出了复合外套避雷器在运行维护及技术管理方面的建议。

关键词：复合外套避雷器；耐漏电起痕；蚀损试验

中图分类号：TM862　　**文献标识码**：A

Application of Polymeric Surge Arrester in Power System

ZHANG Yu-hua[1], JIN Qiang[2]

(1. Shenzhen Supply Bureau of Guangdong Power GRID Corporation, Shenzhen 518020, China;

2.Xi'an Electroceramic Research Institute, Xi'an 710077, China)

Abstract: The service performance maintenance and monitoring method of CMOA have a immediate impact on service safety for power system. As the polymeric housing is mainly made of HTV and RTV rubber, the tracking and erosion test is used for evaluating the pollution withstand performance of insulating material under service surrounding conditions. Material having tracking resistance capacity of 3.5 class can be used for CMOA housing to meet the requirements of utilities for service at polluted conditions. Some monitoring methods for CMOA are appraised such as leakage current measuring, temperature measuring with infrared method, ultrasonic detecting and dual-AT method. Recommendations are made in respect of service maintenance and technical management.

Key words: polymeric surge arresters; tracking resistance; erosion test

0 引言

避雷器在电力系统中可以快速、有效地抑制雷电、操作过电压及其它暂态过电压，从而保护电力网络中其它设备不受损坏，确保电力系统的正常运行。自从美国通用电气公司(GE公司)于1979年研制出了配电系统用复合外套型避雷器以来，由于其集合了复合绝缘子与金属氧化物避雷器的优点，具有非线性性能优异、抗污能力强、重量轻等特点，复合外套金属氧化物避雷器(也称硅橡胶外套金属氧化物避畦器)得到了日益广泛的应用。

1 复合外套避雷器的特点

复合外套金属氧化物避雷器是由硅橡胶复合外套、环氧管、电阻片、内腔填充物和连接金具等组件构成的综合体，见图1。其工作机理与传统瓷

收稿日期：2007-01-04

作者简介：张育华 (1968-)，男，安徽太湖人，工程师，主要从事电力网生产运行与管理工作。

外套避雷器是一致的，都是当有一个过电压出现时，根据避雷器自身氧化锌电阻片的电气特性，将吸收一个大电流并限制过电压到某一值，当过电压大部份能量被吸收后，电流迅速下降，同时电压恢复到正常状态。

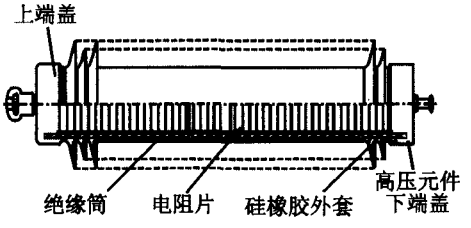

图1　复合外套避雷器结构示意图

复合外套金属氧化物避雷器集中了复合绝缘子和金属氧化物避雷器的综合优点。复合外套避雷器按使用场合的不同可分为电站型和线路型两大类。由于复合外套避雷器具有体积小、重量轻、耐污性能优异等方面的优点，更适用于输电线路防雷。

根据寿命的对比试验，高温硫化硅橡胶(HTV)和液态硅橡胶(LSR)已成为复合外套材料的首选。与瓷外套产品相比，复合外套优点主要表现在以下几方面。

a，硅橡胶是一种具有弹性又坚固而致密的有机材料。因此，用它制成的外套不易破碎，方便运输及安装。

b，硅橡胶材料具有憎水性外表面，即排斥水珠的性能，不易形成连续水膜，因此，就不像在其它物体表面一样能形成连续水膜使电流容易传导。

c，硅橡胶材料较瓷材料轻，密度1.5 g/cm^3~1.7 g/cm^3，用它代替瓷材料就大大减轻了避雷器的重量。复合外套避雷器的重量可以减少到原瓷外套避雷器的50%。很大程度上方便了运输和安装，因此，复合外套避雷器无论在杆塔上安装、固定，还是在输电线路悬挂都非常简单安全。

d，硅橡胶表面具有耐污性和自洁性，当有积污时，雨水冲刷便可起到清洁作用。

e，优异的电气性能、耐日光、紫外线照射和阻燃性。添加了一定比例填料的硅橡胶复合外套具有良好的电气性能、耐日光、紫外线照射和阻燃性，因此能克服电蚀的损坏[1]。

2　复合外套避雷器在系统中的应用

电站型复合外套避雷器与传统的电站用瓷外套避雷器在使用方法及保护性能上基本相同。以下主要针对线路型复合外套避雷器在输电线路防雷中的应用进行一些阐述。

2.1　输电线路防雷

输电线路防雷一般采用的是减少避雷线屏蔽角，增加绝缘子绝缘长度、多重屏蔽、双回路差接绝缘和降低杆塔接地电阻等技术措施，这些措施中唯有降低杆塔接地电阻值是最为灵活，较为经济，容易实施，效果明显的一种手段，但对经过山区和长距离的输电线路，难免会遇到土壤电阻率高的地段，故使降低杆塔接地电阻值较为困难，所以对这些杆塔采用线路型复合外套避雷器是防止雷害，提高线路耐雷水平的最有效方式。

2.2　线路避雷器防雷的基本原理

雷击杆塔时，一部分雷电流通过避雷线流到相邻杆塔，另一部分雷电流经杆塔流入大地，杆塔接地电阻呈暂态电阻特性，一般用冲击接地电阻来表征。

雷击杆塔时塔顶电位迅速提高，其电位值为

$$U_t=iR_d+L\cdot di/dt \tag{1}$$

式中 i 为雷电流；R_d 为冲击接地电阻；$L\cdot di/dt$ 为暂态分量。

当塔顶电位 U_t 与导线上的感应电位 U_l 的差值超过绝缘子串50%的放电电压(U_{50})时，将发生由塔顶至导线的闪络。即 $U_t-U_l>U_{50}$，如果考虑线路工频电压幅值 U_m 的影响，则 $U_t-U_l+U_m>U_{50}$ [2]。因此，线路的耐雷水平与三个重要因素有关，即线路绝缘子的50%放电电压、雷电流强度和塔体的冲击接地电阻。一般来说，线路的50%放电电压是一定的，雷电流强度与地理位置和大气条件相关，不加装避雷器时，提高输电线路耐雷水平往往是采用降低塔体的接地电阻，在山区，降低接地电阻是非常困难的，这也是为什么输电线路屡遭雷击的原因。

加装避雷器以后，当输电线路遭受雷击时，雷电流的分流将发生变化，一部分雷电流从避雷线传入相邻杆塔，一部分经塔体入地，当雷电流超过一定值后，避雷器动作，加入分流。大部分的雷电流从避雷器流入导线，传播到相邻杆塔。雷电流在流经避雷线和导线时，导线间的电磁感应作用，将分别在导线和避雷线上产生耦合分量。避雷器的分流远远大于从避雷线中分流的雷电流，这种分流的耦合作用将使导线电位提高，使导线和塔顶之间的电

位差小于绝缘子串的闪络电压，绝缘子不会发生闪络，因此，线路避雷器具有很好的钳电位作用，这也是线路避雷器进行防雷的明显特点。避雷器动作时(雷电流为200 kA)，塔顶电位和导线电位变化波形见图2。

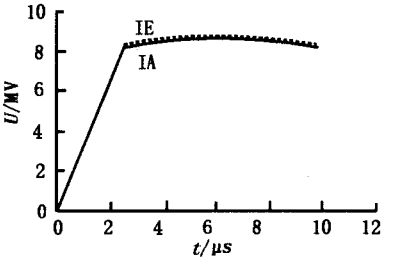

图2　塔顶IE和导线IA的电位波形图

以往输电线路防雷主要采用降低塔体接地电阻的方法，在平原地带相对较容易，对于山区杆塔，则往往在4个塔脚部位采用较长的辐射地线或打深井加降阻剂，以增加地线与土壤的接触面积降低电阻率，在工频状态下接地电阻会有所下降。但遭受雷击时，因接地线过长会有较大的附加电感值，雷电过电压的暂态分量会加在塔体电位上，使塔顶电位大大提高，更容易造成塔体与绝缘子串的闪络，反而使线路的耐雷水平下降。因为线路避雷器具有钳电位作用，对接地电阻要求不太严格，对山区线路防雷比较容易实现，加装避雷器前后线路的耐雷水平与杆塔冲击接地电阻的关系见图3，从图中不难发现加装线路避雷器对防雷效果是十分明显的。

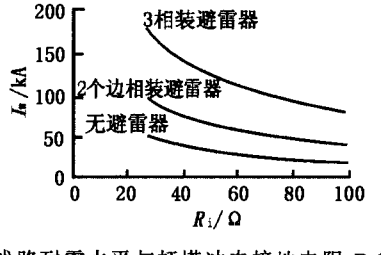

图3　线路耐雷水平与杆塔冲击接地电阻 R_i 的关系

3　复合外套避雷器的监测

3.1 复合外套耐电痕化和蚀损试验

复合外套避雷器在研制期，应对其选用的绝缘材料进行耐电痕化和蚀损试验，该试验主要用于评定在严酷环境条件下电气绝缘材料的耐污性能。

3.1.1　试验的准备

除另有规定外，试验应在环境温度(23±2)℃下进行，每种材料试验五个试样，装试样时，无光泽的试验面向下，使之与水平面成45°角，两电极之间相距(50±0.5)mm。

试验开始前，首先将污染液注入滤纸衬垫中使滤纸充分湿润。调节污染液流速，至少观察流动10 min，确保污染液在两极间的试样表面上稳定地流下。

3.1.2　试验方法

在污染液以规定的流速均匀流下时，合上开关，并将电压升到2.5 kV、3.5 kV或4.5 kV中一个较为合适的电压值，并开始计时，应保持电压恒定6 h。

如果还需要在更高或更低的电压下试验，则对于每一个优选的试验电压再另选取一组五个试样进行试验。

3.1.3　评定标准

如果五个试样均能耐受2.5 kV电压6 h，而且在3.5 kV下任一试样在6 h以内破坏，则该材料为耐漏电起痕2.5级；

如果五个试样均能耐受3.5 kV电压6 h，而且在4.5 kV下任一试样在6 h以内破坏，则该材料为耐漏电起痕3.5级；

如果五个试样均能耐受4.5 kV电压6 h，则该材料为耐漏电起痕4.5级；

对于没有特殊要求的使用环境，复合外套避雷器选用耐漏电起痕3.5级的绝缘材料就可以满足用户部门对避雷器的污秽等级要求[3]。

3.2 复合外套避雷器的在线监测

经过几年的推广与应用，现在已有大量的线路复合外套避雷器在网上运行，但是其自身的性能优劣又成为影响线路输电安全的又一隐患。以下介绍几种能够在线监测线路复合外套避雷器 (以下简称MOA) 的方法，仅供参考。

3.2.1　利用在线监测仪进行在线监测

在运行电压作用下，避雷器的总泄露电流包含阻性电流(有功分量)和容性电流(无功分量)。在正常运行情况下，流过避雷器的主要为容性电流，阻性电流只占很小的一部分，为10%~20%。研究表明：MOA老化、受潮、内部绝缘部件受损及表面严重污秽时，容性电流变化不多，而阻性电流却大大增加，因此监测泄露电流尤其是阻性电流可以有效地反映MOA的绝缘状况。

目前MOA普遍装设在线监测仪对MOA进行

长期带电监控，监测仪具备计数功能和在运行中指示泄漏电流功能，它用来连续地监测MOA的全电流，有些检测仪还可监测MOA的阻性电流，能基本反映MOA的故障情况，运行人员能对MOA进行全天候的实时监测。常用的在线监测仪有JSH型避雷器漏电流及动作记录器和JCQ型在线监测仪。使用在线监测仪监测泄漏电流时应注意：①在线监测仪对监测数据的影响。在线监测仪损坏、安装错误等都会使监测数据异常。如某MOA在运行中发现监测仪全电流指示数值满刻度，随即进行带电测试，结果正常。停电更换监测仪后，监测仪全电流指示数值正常。又如某MOA在运行中发现监测仪全电流无指示数值，检测发现是在线监测仪安装错误的原因。所以一旦发现监测仪泄漏电流有异常时，应及时做带电测试或停电做常规试验，另外，应定期对在线监测仪进行校验。②要求加强运行人员对MOA的巡视检查力度，特别是在雷雨后应增加巡视检查次数[4]。

3.2.2　利用红外测温技术进行测试

借用红外测温手段，对运行中的MOA进行检测。基本原理：MOA在正常运行时有一定的阻性电流流过，因此要消耗一定功率，使本体有轻微发热，而MOA整体温度分布均匀，同一相设备的温度相当均匀或呈现上下端温度稍偏低，而中部稍高的现象，但总的最大温差仅在1 K范围内。当避雷器内部存在缺陷时，如元件老化、受潮，阻性电流明显增大，则避雷器整体发热现象会出现异变，温度分布不均匀，温差增大，温升也显著增高，故障相的最低温度比正常相的高。也有局部过热或局部温度过低的反常现象。据此，可判断设备存在缺陷。

红外测温技术检测MOA具有远距离和非接触测量、灵敏度高、测量精度和准确度高以及不受电磁场干扰等优点，但因仪器价格昂贵等原因而没有在运行单位推广应用。

3.2.3　利用紫外成像仪进行在线监测

紫外成像仪是一种独有的能在日光下探测高压设备电晕情况的仪器，该仪器使检测人员能在任何时间进行监测，无需像以前必须在弱光的环境下进行监测，大大提高了运行监测的方便性。

紫外成像仪可以准确定位非陶瓷绝缘护套的高压区域、无线电干扰源和污染部位。能准确定位非陶瓷绝缘护套的击穿脱落部位。监视和分析环境改变对避雷器造成的影响。

该测量技术与红外测温技术一样具有远距离和非接触测量、灵敏度高、测量精度和准确度高以及不受电磁场干扰等优点，但因仪器价格昂贵等原因也没有在运行单位推广应用。

3.2.4　双AT法

该法仍是监测MOA的泄漏电流。一个AT传感器采样，另一个AT测量在过电压情况下冲击大电流的峰值以记录MOA动作次数，并根据2.5 kA和20 kA的参考电流值来区分MOA动作原因(如区分雷击或操作过电压等)，信号经A/D转换后进行数字信号处理，用光纤所取电压信号来判断电网谐波对测量泄漏电流阻性分量的影响。为了区别泄漏电流的增大是否由温度引起，设置了一个温度传感器，取MOA附近的环境温度。

双AT法依靠强大的支持软件来实现在线监测功能，同时考虑了来自电网的谐波和温度的影响，实现功能较强大，比目前已有的在线监测完善。但经济性不够好，对于高压MOA来说，一般可运行约20年，其长期稳定性还有待时间检验[5]。

3.2.5　基于温度的测量法

温度主要受MOA能量吸收能力和老化或受潮导致的能量损耗的影响。正常运行条件下，能量吸收大于能量损耗，温度变化很小，出现过电压时，温度可能暂时会有所上升，但会慢慢恢复。在老化或受潮时，温度会逐步上升。虽然测量温度不是一种了解运行状态的直接方法，但温度可影响MOA运行状态参数的综合结果，在持续运行电压下MOA的过热直接与能量损失相关，而与运行电压的质量及外界干扰等无直接关系。

德国开发了声表面波(SAW)温度传感器，无需电源，其在线监测系统的原理是，由振荡器发出高频信号(频率30 MHz~30 GHz)，再由放在电阻片间的SAW传感器接收该信号，并反射出带有温度信息的信号，再由现场接收装置收集该高频信号，经数字信号处理，参照环境温度后得到相关的温度信号波形。

这种无源SAW传感器一般做成类似电阻片形状，放在MOA中部的电阻片之间。其发射和接收信号为特高频，受现场干扰很少，且对污秽较严重地区运行的MOA，可监测到MOA表面污秽泄漏电

流等导致的过热，便于对其局部加强防污措施。该法对于正在制造且准备安装在线监测的MOA很有用，但对已投入电网安全运行的MOA无法应用。

实现对MOA的检测，测量其泄漏电流及阻性分量是目前发展的重点。从泄漏电流角度出发，方法很多，但考虑到相间干扰、表面泄漏、系统谐波干扰、外界温度等因素和长期监测的经济实用性，应尝试从其它角度进行监测。

“双AT法”是一种较完备的在线监测方法，其监测系统需要软件支持，但对于可长期稳定运行的MOA投资较大，其检测元件的长期稳定性有待实践检验。

温度监测法是一种全新方法，简单、实用。目前开发的MOA在线监测技术主要针对高压MOA(>110 kV电压等级)。但对于事故频发的配电网MOA(10 kV系统)，开发简单、价格低廉、易于在线监测的装置还需深入研究。

4 结论

(1) 复合外套避雷器在我国经过近二十年的运行，以其耐污性能好、重量轻、体积小，安装方便，适宜线路悬挂等优点，赢得用户的好评。

(2) 复合外套避雷器多数应用在电力输电线路上，运行检测比较困难，因此电力运行部门应加强对复合外套氧化锌避雷器的技术管理工作，即对运行在网上的每一只避雷器建立技术档案，对出厂报告、定期测试报告及在线监测仪的运行记录均要存入技术档案，直至该避雷器退出运行。

参考文献：

[1] 谢泽民．合成绝缘子外绝缘材质成分分析测定报告[R]. 北京：中国科学院化学研究所有机硅室，1998.

[2] 李凡，施围．线路避雷器的设计和试验[J]. 电网技术，2004，28(4)：38-42.

[3] 周龙．氧化锌避雷器的监测方法分析[J]. 武汉工业学院学报，2000，(4)：72-75.

[4] 蒋国雄，邱毓昌．避雷器及其高压试验[M]. 西安：西安交通大学出版社，1989.

[5] 丁品南，钟雅风．氧化锌避雷器阻性电流测量仪的研制及其应用[J]. 中国电力，2000，33(2)：48-50.

(上接第24页)

parison of existing and newly developed procedure [J]. IEEE Trans. On Power Delivery，2001，16(1)：138-143.

[3] 屠幼萍，何金良，廖冬梅．ZnO避雷器运行状况的判断方法[J]. 高电压技术，2000，26(1)：22-26.

[4] 陈继东，周龙．MOV老化与受潮特性的试验研究[J]. 电瓷避雷器，1996(6)：30-32.

[5] 常越，钱家骊．几种检测氧化锌避雷器阻性泄漏电流方法的分析[J]. 电瓷避雷器，1992(4)：56-59.

[6] 丁钊，韩伟强．天广直流输电系统双极运行情况总结[J]. 电网技术，2003，27(9)：49-54.

[7] 颜湘莲．电力系统中金属氧化物避雷器的监测与诊断[J]. 电力自动化设备，2003，23(2)：79-82.

[8] 刘兵，毛慧明．金属氧化物避雷器带电检测方法综述[J]. 高电压技术，2000，26(3)：15-16.

[9] 张金波，范梅荣，王俊，等．金属氧化物避雷器阻性泄漏电流无线检测方法的设计[J]. 高压电器，2006，42(1)：1-3.

[10] 颜湘莲，文远芳，易小羽．MOV避雷器检测技术的分析与研究[J]. 电瓷避雷器，2002(2)：37-40.

[11] 李红蕾，桑建平，姜伟军，等．浅析MOA泄漏电流测试方法[J]. 电瓷避雷器，2006(2)：40-43.

[12] 浙江大学发电教研组直流输电科研组．直流输电[M]. 北京：水利电力出版社，1985.

[13] 肖遥．广州换流站交流滤波器的设计问题及最佳配置方案探讨[J]. 电力设备，2004，5(11)：14-17.

[14] 常越，钱家骊．判断氧化锌避雷器运行状况方法的研究[J]. 高电压技术，1995，21(4)：35-36.

[15] 高锡明，段卫国，李文涛．广州换流站高压直流设备防污闪措施探讨[J]. 高电压技术，2004，30(11)：

欢　迎　投　稿　　欢　迎　订　阅