

复合绝缘子劣化性能研究

通过对北京地区所辖220 kV和110 kV输电线路中所使用的复合绝缘子进行的现场调查和抽样试验研究，结合国内其他地区已有复合绝缘子的运行经验，对其老化特性和影响安全可靠运行的关键因素进行了分析，重点对运行复合绝缘子的劣化性能做了研究，包括对抽样绝缘子的外观检查和憎水性特性研究。综合运行复合绝缘子的劣化、电气及机械性能，并结合国内其他地区复合绝缘子的运行经验，对北京地区所辖220 kV和110 kV输电线路中所使用的复合绝缘子的运行老化状况给出了评价。

赵留学 蓝骞 雷蕾/国网北京检修公司



赵留学/工程师

关键词/Keywords

复合绝缘子·劣化·可靠运行·机械性能·

0 引言

北京地区输电线路中复合绝缘子得到了大面积推广应用。复合绝缘子在长期运行中，伞裙护套、芯棒及密封材料等都不可避免地会发生劣化。近年来国内有关复合绝缘子在运行中发生的各类故障也日趋严重，主要有表面闪络、绝缘机械强度降低、绝缘击穿、芯棒脆断及外力破坏等，影响了线路的可靠运行。因此，有必要对北京电网当前挂网复合绝缘子劣化性能进行研究。

1 复合绝缘子伞裙护套材料劣化机理和外观表现

1.1 伞裙护套材料的劣化机理

由于良好的憎水性、耐蠕变性、热老化、紫外线（UV）老化、高压漏电以及吸水性，在各地电网中，中高压线路的复合绝缘子都采取高温硫化硅橡胶（HTV）作为绝缘材料，其中又以甲基乙

基硅橡胶应用最为广泛。

研究发现，硅橡胶材料的憎水性随着紫外老化的进行而逐渐降低。研究人员通过红外等测试结果认为，憎水性的降低主要是由于材料表面极性基团（如羧基）的生成以及疏水性基团（如甲基）的丧失。UV老化会降低硅橡胶的耐漏电性，可能是在UV老化过程中，硅橡胶表面的憎水性损失的结果。通过接触角的测试表明，随着水分盐度的增加，聚合物的憎水性下降。

复合绝缘子挂网运行需面对的主要老化问题如图1所示。由图1可看出，绝缘老化主要由于材料生产工艺、外部环境、机械作用等外力作用，以及电气、温度等内部作用两个方面。上述两方面造成的绝缘老化主要为绝缘材料的氧化、腐蚀、分解以及产生电弧、漏电等。

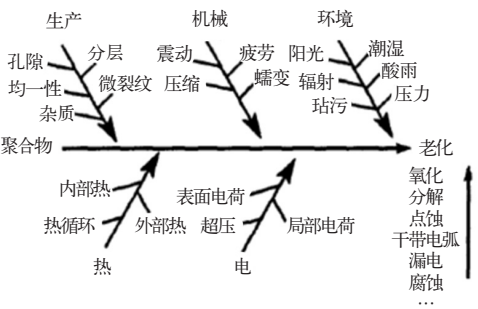


图1 高压户外复合绝缘子的主要老化问题

1.2 复合绝缘子劣化的外观表现

伞裙护套的主要作用是有效提高绝缘子的爬电距离，保护内部环氧玻璃纤维棒不受外部环境和绝缘表面漏电流的侵蚀。在运行过程中，复合绝缘子伞裙护套在潮湿、表面放电、紫外线及温度等因素的综合作用下，明显出现硬化、脆化、粉化、开裂、起痕、暗纹通道、

外绝缘蚀损和憎水性下降；出现密封不合格、局部区域发热及机械强度下降的现象都可称为劣化。根据GB/T 19519—2004《标称电压高于1 000 V的交流架空线路用复合绝缘子——定义、试验方法及验收准则》，几种主要劣化现象定义如下。

1) 起痕是由于在绝缘材料的表面上形成通道并且发展形成的一种不可逆的劣化现象，起痕在干燥的情况下也可以导电。可能出现在与空气接触的绝缘子表面，也可能出现在不同绝缘材料之间的界面上。

2) 树枝状通道是由材料内部形成的微细通道，是一种不可逆的劣化现象，这种通道可能导电也可能不导电，这些微通道能够在整个材料上逐渐延伸直至产生电气破坏。

3) 蚀损是在复合绝缘子表面上出现的绝缘材料缺失，损失是不可逆、不导电的劣化现象。蚀损可能是均匀存在的、也可能是局部树枝状的。

4) 粉化是伞套材料填充物的某些颗粒形成粗糙或粉状表面的现象。

5) 裂纹是指深约0.01~0.1 mm的表面微小裂缝。

6) 开裂指深度超过0.1 mm的任何表面裂缝。

2 运行复合绝缘子伞套材料试验研究

2.1 外观检查

对抽样绝缘子进行逐只外观检查，DL/T 864—2004规定对运行复合绝缘子进行如下检查（其中第4条为论文研究所加），目的在于更直观地判断复合绝缘子硬化情况。检查内容如下。

1) 伞裙护套是否出现褪色、粉化或破损开裂等现象。

2) 伞裙护套表面有否蚀损、漏电起痕、树枝状放电或电弧烧伤痕迹。

3) 伞裙有否变形，伞裙之间粘接部位有否脱胶等现象。

4) 伞裙对折是否开裂，手工能否撕裂伞裙。

5) 端部金具是否存在滑移，绝缘密封是否已经被损坏。

6) 钢脚或钢帽是否锈蚀、电弧烧损。

由抽样检查结果可以看出，经过10多年的运行，复合绝缘子已经出现了老化，表现在伞裙变

硬。对折容易开裂，运行在恶劣气象条件下的绝缘子出现了伞裙护套的蚀损、护套的开裂和钢脚蚀损，此外部分产品出现了密封开裂的现象。

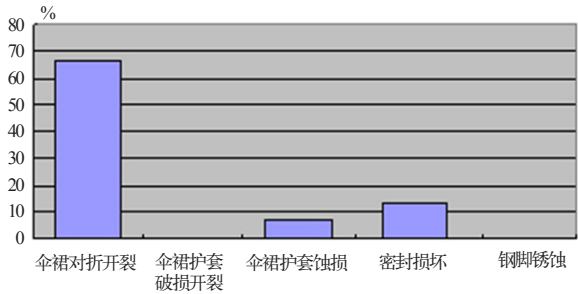


图2 220 kV运行复合绝缘子各种老化类型占绝缘子抽样数的比例

抽样调查结果如图2所示。伞裙对折开裂表明绝缘子已轻度硬化，在运行10多年的绝缘子中这种现象最为明显，而运行4年左右的绝缘子则没有出对折开裂，这说明随着运行年限的增加，复合绝缘子老化情况加重，统计表明220 kV等级复合绝缘子中伞裙对折开裂的绝缘子数占抽样总数的67%。早期复合绝缘子密封技术不成熟，经过10多年运行后密封劣化出现开裂，密封开裂会导致外部酸雨经裂开的缝隙直接渗透到芯棒裸露部位，缓慢腐蚀芯棒截面，造成绝缘子机械强度降低，设置导致绝缘子掉串引发严重的事故，本次抽样绝缘子中，220 kV等级绝缘子中有2支，应引起重视。复合绝缘子长期在电场作用下的外绝缘表面，在污湿环境下运行会产生电蚀老化问题，伞裙电蚀老化会引起复合绝缘子电气性能下降，而护套电蚀可能导致水汽进入到芯棒引起芯棒腐蚀，甚至导致芯棒脆断，本次抽样试验中，220 kV等级绝缘子中有1支护套蚀损至芯棒外露。外观检查情况如图3所示。



(a) 护套开裂



(b) 护套蚀损



(c) 金具锈蚀



(d) 密封开裂

图3 外观检查

2.2 憎水性测试

绝缘子憎水性测量包括伞套材料的憎水性、憎水性迁移特性、憎水性恢复时间、憎水性的丧失与恢复特性。目前，对复合绝缘子的憎水性测量有两种方法，分别为静态接触角法（CA法）和喷水分级法（HC法）。

1) 静态接触角法。将5 μl的水滴滴在材料表面，用专业测试仪器和分析软件测出水滴和接触面的接触角，根据接触角的大小可判断材料憎水性的好坏。

2) 喷水分级法。又称为HC法，即用喷壶向

涂有RTV涂料的喷水。DL/T 864—2004规定的憎水性喷水分级法测试方法和要求如下。

憎水性等级测量（见图4）结果表明，绝缘子的憎水性处于需要加强检测的范围，对憎水性等级处于HC2~HC3的绝缘子，经过3年左右要对其憎水性抽样检测一次。



(a) HC2



(b) 伞裙下表面的憎水性



(c) HC3



(d) HC4

图4 憎水性测量

憎水性迁移特性的检测憎水性迁移先使用乙醇擦拭绝缘子表面,使用水进行全面冲洗,单独干燥后,放置在防尘容器内,在标准环境条件下,在实验室内至少保存24 h。采用定量涂刷法,盐密和灰密分别为 0.1 mg/cm^2 , 0.5 mg/cm^2 。涂污后的试品置于实验室标准环境条件下的防尘容器内进行憎水性迁移,迁移时间为4 d,憎水性迁移4 d后的试品中,任选3个,顺序测量其静态接触角 θ 及HC值。

憎水性丧失特性的检测是在试验室环境下,先使用乙醇擦拭绝缘子表面,使用水进行全面冲洗,单独干燥后,放置在防尘容器内,在标准环境条件下,在实验室内至少保存24 h。将5片清洁试品放在有水的容器内,用水浸泡清洁试品96 h,水要完全淹没试品吗,不能将试品露出。在浸泡完成后,将试品从水中拿出,清除试品表面遗留的水珠,用过滤纸吸干水分。从5个样品中任意选择3个试品,测量3个试品的静态接触角 θ 及HC值,对剩余的另外两个试品只测量HC值,不测量 θ 值。

3 劣化性能总结及运行维护建议

3.1 影响因素

大气环境对复合绝缘子的憎水性有较大影响,应重点监测处于重污秽区域的运行绝缘子的巡检。

1) 复合绝缘子的憎水性会随着环境温度的降低出现不同程度的非线性衰减,尤其是低温发生于积污期,易导致污闪事故的发生。研究表明在 $0\sim 10^\circ\text{C}$ 范围内全部的新旧绝缘子在内憎水性上均有不同程度降低,但是厂家差异、配方差异在温度下降相同的情况下受影响程度不同。

2) 附灰密度对运行复合绝缘子的憎水迁移性能影响很大,在绝缘子附灰密度大于 1.0 mg/cm^2 的时候,复合绝缘子憎水性能衰退基本上无法恢复;试品憎水性恢复特性还与附盐密度有一定的关系,在相同附灰密度的情况下,盐密越小,憎水性恢复越快。

3) 复合绝缘子圆锥形伞裙下表面容易积污,

在污湿环境下运行时,在伞裙下表面易形成不易浸润表面的球形污秽水珠,形成电晕放电,时间长而引起表面电蚀腐蚀,导致绝缘子电蚀老化。比较运行的复合绝缘子伞裙上、下表面出现的老化现象差异可知,运行复合绝缘子外绝缘表面污秽水珠电晕老化远远大于日光紫外线照射的老化程度。

3.2 运行与维护

线路运行检修时,如复合绝缘子出现了以下缺陷,可以断定缺陷复合绝缘子外绝缘材料已严重劣化,并已失效,应立即进行更换消缺。

- 1) 伞套出现严重脆化、粉化,或者已经出现破裂。
- 2) 伞套出现漏电起痕,漏电起痕的长度和大于复合绝缘子爬电距离的 $1/10$ 或蚀损深度大于蚀损所处位置的绝缘材料厚度的 $3/10$ 。
- 3) 复合绝缘子各个联接部位密封不严、失效,密封处出现开胶、明显裂缝和滑移情况。
- 4) 绝缘闪络后伞裙表面已被电弧灼伤的绝缘子。
- 5) 复合绝缘子的钢脚、钢帽等部件严重锈蚀,钢脚出现弯曲、电弧烧伤等问题。

参考文献

- [1] 张秀敏,张晓东.高压户外复合绝缘子外绝缘材料的研究与应用进展[J].绝缘材料,2006(2).
- [2] 汪涛,吴光亚,张锐,等.运行中复合绝缘子的状态评价及试验研究[J].电网技术,2008.
- [3] 郑小江.河北南网输变电设备防污闪实施措施的研究及应用[J].华北电力大学(河北),2002.
- [4] 张锐,吴光亚,周国华.棒形悬式复合绝缘子在变电站的应用及前景[J].电瓷避雷器,2006.

作者简介

赵留学(1987-),本科,从事架空输电线路运维管理工作。

(收稿日期:2015-12-10) EA

(编辑:杨得润)