

自然老化硅橡胶材料表面憎水性及耐受特性的研究

贺 博, 万 军, 张 刚, 高乃奎, 彭宗仁

(西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710061)

摘要: 研究硅橡胶材料的老化特性对于复合绝缘子的设计、选型及维护具有重要意义。以经过现场投样、自然老化后的复合绝缘子伞裙压片为研究对象, 详细研究了硅橡胶材料自然老化前后在憎水性迁移特性、憎水性丧失特性、憎水性恢复特性上出现的差异, 另外对材料受酸碱侵蚀后表面维持憎水性的能力也进行了研究。结果表明, 老化对于材料憎水性能的影响较明显, 上下表面由于存在日照、雨淋、积污和冲刷等因素的差异, 老化程度不同, 上表面的憎水性能表现的更差一些。

关键词: 硅橡胶; 自然老化; 憎水性; 耐受特性

中图分类号: TM852

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)05-0016-03

Study on Hydrophobicity and Withstand Characteristics of Natural Aging Silicone Rubber

HE Bo, WAN Jun, ZHANG Gang, GAO Nai-kui, PENG Zong-ren

(State Key Laboratory of Electrical Insulation and Power Equipment of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China)

Abstract: It is important for design, selection and maintenance of composite insulators, studying aging characteristic of silicone rubber materials. In this paper, the shed samples of composite insulator getting natural aging in eight different exposure fields sitting all over the china were selected for studying the hydrophobicity characteristics of silicone rubber such as hydrophobicity transferring, losing and recovering property affected by aging. Moreover, the hydrophobicity of aging silicone rubber undergoing acidic and alkaline solution soak was studied in detail too. Result shows that aging effects the hydrophobicity of silicone rubber distinctly; upside of samples has worse hydrophobicity than underside because there lay different aging factors such as sunshine, rain wash, pollution accumulating, etc. during exposure course.

Key words: silicone rubber; natural aging; hydrophobicity; withstand voltage

0 引言

与玻璃和瓷绝缘子相比, 复合绝缘子因其造价低, 重量轻, 安装方便, 耐污闪能力强的优点得到了广泛的应用。但由于复合材料较瓷或玻璃材料, 容易出现材质老化, 进而影响到绝缘子的绝缘性能, 严重时会引起事故, 有必要对复合材料的老化现象以及老化对绝缘性能的影响展开研究。目前对于复合绝缘子老化特性的研究, 大都在人工老化试验的基础上展开, 对于自然老化报道甚少^[1,2]。笔者以经过自然老化的复合绝缘子伞裙压片为研究对象, 系统研究了复合材料的老化对材质表面憎水性、压片耐受

特性、老化后材质的耐酸碱特性的影响。旨在为复合绝缘子的设计和使用提供参考。

1 实验介绍

实验试样为国内某厂家的硫化硅橡胶绝缘子伞裙压片, 试样均在 8 个不同的试验场所投放了 6 个月(2006-11-16~2007-05-16), 投放方式为采用夹具水平固定压片、露天放置, 使得压片在日照、雨淋、昼夜温差等气候条件下老化, 然后采集压片, 进行实验和分析。具体投样情况见表 1。

采用憎水性接触角测量仪测量试样表面水滴的接触角, 通过接触角值来表征试样表面憎水性的优劣。接触角越大, 说明憎水性能越好; 接触角越小, 说

收稿日期: 2009-04-09; 修回日期: 2009-06-16

基金项目: 中国博士后科学基金项目(沙尘暴环境下高压绝缘子外绝缘特性及放电规律研究, 20070411125)。

作者简介: 贺 博(1976), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为高压绝缘子外绝缘特性评估和结构优化, 绝缘子沿面放电机理及在线监测方法。

表1 投样说明

序号	地点	海拔/m	气候类型
1	广州	4.9	亚热带湿润型
2	海南	10.0	热带湿润型
3	海南	10.0	热带湿润型
4	青岛	29.0	南温带亚湿润海洋型
5	拉萨	3 648.7	亚热带高原型
6	敦煌	1 139.0	干热沙漠型
7	漠河	613.0	北寒带寒冷型
8	若姜	888.0	干热沙漠型

明憎水性能越差。为了减小误差,每组均测量5颗水滴,取其均值为测量结果,在1 min之内完成5次测量。

耐受试验为渐压工频耐受,首先在试验基础上预估出耐受电压值,然后采用渐压的方式升压。第一次将电压加至预估耐受电压值的50%,然后每次加压不超过2%,间隔时间5 s,重复测量10次,计算 $U_{50\%}$ 。试样为9 cm×1.6 cm矩形薄片,两端用铝箔纸包覆,并通过导电胶引出电极,使得外施电场在试样沿面处接近均匀分布,并减小电极形状对电场的影响。试样下表面通过双酚A型环氧树脂粘结在环氧树脂板上,以保证放电仅限于上表面沿面。

2 结果及讨论

2.1 憎水性迁移结果

对硅橡胶材料而言,存在憎水性迁移特性,迁移时间和表面积污量、污物成分有关,大概在几个小时到数十个小时内不等^[3,4]。本文的试样在经历运输、保存过程后,在时间上应该完成了憎水性迁移,为了测量迁移效果,对未经清洗的表面和清洗后表面分别进行了憎水性测量,结果见表2。

表2 憎水性迁移结果

编号	接触角/(°)			
	A	B	C	D
1号	95.83	111.46	114.86	112.26
2号	98.59	110.71	110.99	112.25
3号	97.07	112.25	112.23	111.19
4号	91.94	111.21	108.61	114.02
5号	97.27	112.27	114.21	112.22
6号	94.65	115.24	111.24	116.22
7号	97.32	115.48	113.56	113.52
8号	91.52	115.65	108.61	112.69

注:A、B、C、D依次为:未清洗上侧面、清洗后上侧面、未清洗下侧面、清洗后下侧面。

由表2测量结果可知,上表面污物表面具有憎水性,但是憎水性要比洁净表面憎水性差,这说明,

上表面在完成憎水性迁移后憎水特性较之原材料憎水性有所下降。而下表面清洗前后憎水性变化不明显。这可能是由于上表面积污比下表面严重,老化程度比下表面深。

2.2 憎水性丧失结果

将试样表面用无水乙醇清洗干净,浸泡于去离子水中一段时间后取出,向试样表面喷水,测量水滴的接触角。结果见图1、2。

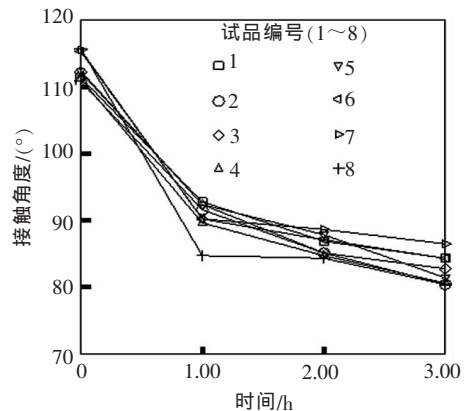


图1 上表面憎水性丧失和时间的关系

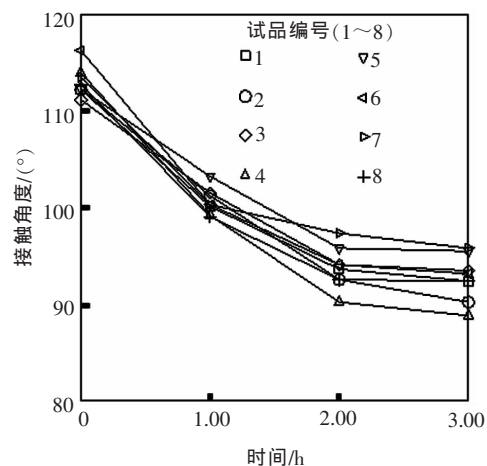


图2 下表面憎水性丧失和时间的关系

由图1、2接触角测量结果可知,上、下表面的起始接触角是相同的,说明上、下表面具有相近的憎水性,并且随着浸泡时间的延长,上、下表面的憎水性均开始下降,但下降速率随时间而逐渐减慢。上表面在浸泡1 h后,憎水性出现了明显的下降,下表面在2 h浸泡后,憎水性出现了明显下降,从接触角的变化速率来看,上表面的减小速度大约是下表面的2倍。这说明,上下表面的憎水性丧失速度存在明显差异。

2.3 憎水性恢复结果

将试样表面清洗干净,在去离子水中浸泡两天,使其憎水性完全丧失后取出,每隔一定时间,测量其

表面水滴的接触角,测量结果见图 3、4。

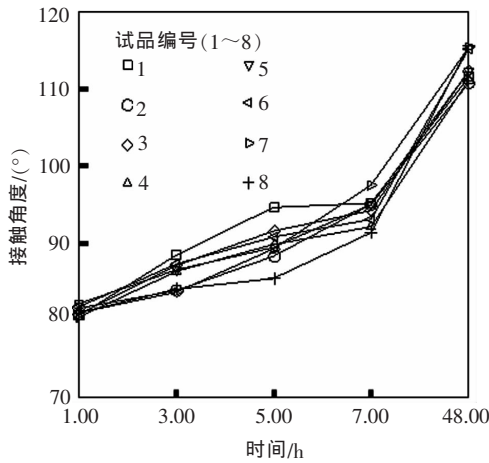


图3 上表面憎水性恢复和时间的关系

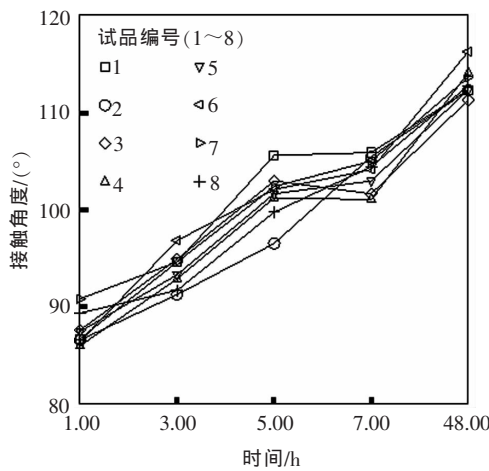


图4 下表面憎水性恢复和时间的关系

由图 3、4 的接触角测量结果可知, 经过 2 天的浸泡, 上、下表面均完全丧失了憎水性, 但是上表面的接触角总体小于下表面, 表明上表面起始憎水性更差。上、下表面的憎水性在 5 h 之内均呈现快速恢复趋势, 5 h 后, 憎水性恢复速度变得缓慢, 下表面的恢复速度大约是上表面的 2 倍左右。

2.4 酸、碱对憎水性的影响

为了研究老化后硅橡胶材料抗击酸、碱环境的能力, 笔者任取了两种试样来进行实验。方法如下: 利用氢氧化钙溶液和硫酸溶液, 配制出 PH 值分别为 8 的碱性溶液和 PH 值为 6 的酸性溶液, 将表面清洗干净的试样放入溶液浸泡一定时间后取出, 用去离子水冲洗后擦干表面水分, 然后喷水测量表面水滴的接触角, 每组测量时间控制在 1 min 内。为了和中性溶液下憎水性丧失情况进行对比, 平行安排了去离子水浸泡后的憎水性丧失实验。

图 5、6 分别为试样上、下表面经碱性溶液浸泡

后的憎水性丧失速度曲线和中性溶液浸泡后憎水性丧失速度曲线的对比, 由实验结果可知, 曲线的总体趋势和 2.2 结果是一致的, 即憎水性随浸泡时间的延长而逐渐丧失, 丧失速度逐渐变缓。但是经过碱性溶液浸泡, 试样的憎水性在 1 个小时内已经完全丧失(和水中浸泡 48 h 结果基本一致), 上表面的接触角达到 80°左右, 下表面为 90°左右, 在前 0.5 h 憎水性丧失速度很快, 0.5 h 后丧失速度趋于中性浸泡条件下。总体而言, 碱性浸泡下试样憎水性丧失速度要明显高于中性浸泡条件下, 反映在量值上, 大概呈 3 倍的数量关系。

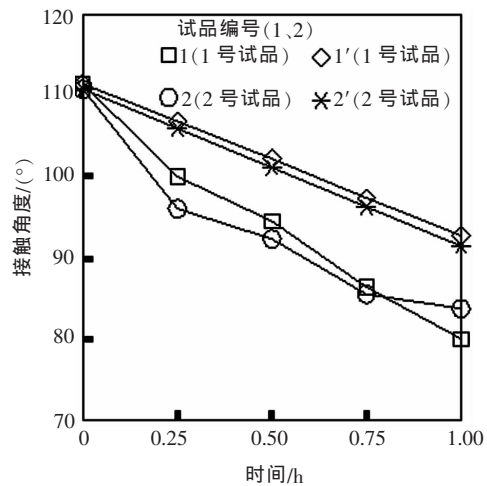


图5 碱性和中性对上表面憎水性丧失的影响对比

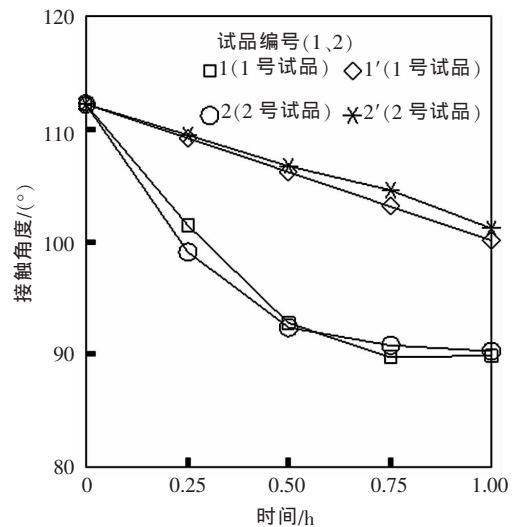


图6 碱性和中性对下表面憎水性丧失的影响对比

这一方面说明了硅橡胶材质耐碱性能比较差, 同时对于后继进行人工加速老化实验曲线的确定具有借鉴意义^[5]。

图 7、8 分别为酸性、中性溶液浸泡下憎水性丧失速度曲线对比, 显然在酸性溶液浸泡下硅橡胶的

憎水性丧失曲线总体上同碱性溶液浸泡和中性溶液浸泡一致,但是憎水性丧失速度介于碱性浸泡和中性浸泡之间,憎水性的丧失耗时2 h,在前0.5 h,憎水性丧失速度明显快于中性,0.5 h后,憎水性丧失速度和中性趋于一致。对比上下表面结果表明,上表面的憎水性丧失要比下表面的丧失速度快。

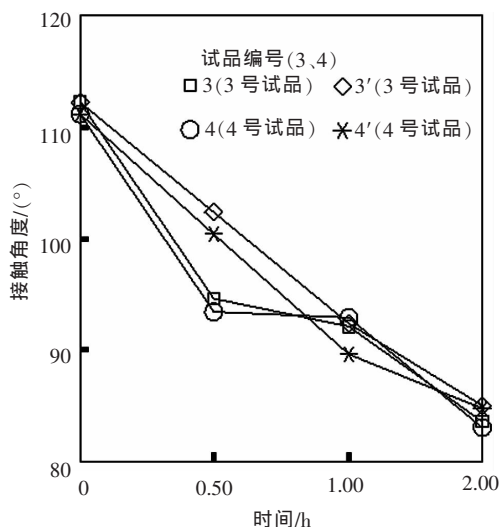


图7 酸性和中性对上表面憎水性丧失的影响对比

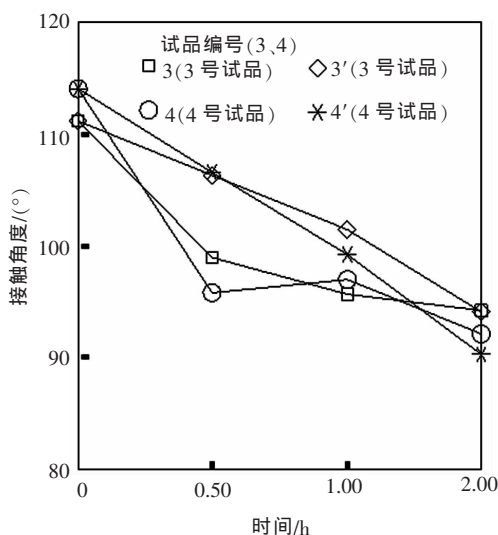


图8 酸性和中性对下表面憎水性丧失的影响对比

2.5 耐受特性对比

通过干、湿耐受实验,测量了试样的干、湿 $U_{50\%}$ 耐受电压,其中干耐受实验的主要目的是考察投样期间表面污秽对闪络电压的影响,湿耐受实验的目的是考察表面憎水性对耐受电压的影响。

干闪耐受结果表明,各试样上下表面的50%干闪电压都在30 kV左右很小的范围内波动,上下表面差异很小。所以,在干燥状态下,老化因素对于试

样的闪络电压几乎没有影响。

将制成的试样投入到去离子水中浸泡3 h,取出后擦干试样表面,然后再往试样表面喷洒去离子水进行耐受试验,结果表明,各试样间 $U_{50\%}$ 差异不大。但各试样上下表面的闪络电压差异明显,上表面 $U_{50\%}$ 的均值为25 kV,下表面为27 kV。这说明,由于试样上、下表面老化程度不同,致使其表面憎水性存在差异,上表面的憎水性要劣于下表面,最终导致了上下表面的湿耐受电压出现了明显差异(耐受电压约下降了7%)。

3 结论

(1)受老化程度不同影响,试样上下表面的憎水性迁移、憎水性丧失、憎水性恢复特性存在明显差异,上表面的憎水性丧失的较快,恢复的较慢,在量值关系上,试样的上下表面呈2倍的关系。

(2)憎水性迁移特性使得积污表面保持了一定的憎水性,但其憎水性要比洁净表面差,也就是说憎水性在迁移的同时也在丧失。

(3)硅橡胶材料耐酸碱老化的能力要比耐中性溶液的能力差,特别是碱性溶液浸泡下,憎水性的丧失速度更大。

(4)老化前后,干闪50%耐受电压没有明显变化,但是湿50%耐受电压明显存在差异,这主要是由于表面水滴形状差异造成的,憎水性差导致了湿耐受电压低。

参考文献:

- [1] 殷禹,梁曦东,李庆锋,等.复合绝缘子的人工加速老化试验[J].电网技术,2006,30(12):69-74.
- [2] 关志成.绝缘子及输变电设备外绝缘[M].北京:清华大学出版社,2006.
- [3] TKOORO T, HACKAM R. Loss and Recovery of Hydrophobicity and Surface Energy of HTV Silicone Rubber [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2001, 8(6): 2088-2095.
- [4] CHANG J W, GOUUR R S. Surface Recovery of Silicone Rubber Used for HV Outdoor Insulation [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 1994, 1(6): 1039-1045.
- [5] ASHRAF KHAN M, REUBEN HACKAM. Loss of Hydrophobicity of High Density Polyethylene [C]//IEEE Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Minneapolis, 1997: 19-22.