

文章编号: 1003-8337(2006)03-0018-05

高温硫化硅橡胶材料的运行特性及分析

张予¹, 吴光亚², 张锐²

(1. 华中电网公司, 湖北 武汉 430077; 2. 武汉高压研究所, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 对大量运行的高温硫化硅橡胶(HTV)绝缘子进行了憎水性试验、低温模拟试验、灰密对憎水性的影响以及耐漏电起痕及电蚀损试验, 认为高温硫化硅橡胶因老化而引起的憎水性下降、机械强度下降及积污性能下降影响其长期工作的可靠性, 所以评价复合硅橡胶的憎水性能除憎水性分级 HC 值外, 还应重点突出评价憎水性的减弱(丧失)特性、憎水性的恢复特性及憎水性的迁移特性。低温模拟试验表明, 低温下憎水性有一定程度的下降, 应针对性地开发应用于低温地区的高温硫化硅橡胶, 并制订新的判定准则。最后对硅橡胶材料老化试验方法进行了讨论, 三种试验方法各有其特点, 但在短时间内对长期运行性能进行评估, 应进一步积累实验室经验, 提出 1 000 h 盐雾法和 5 000 h 老化试验法污液盐度或流速的合理试验条件和现行标准中应规定的允许蚀损开裂数试验判据, 从而达到用人工加速老化来准确评估绝缘子长期运行性能的目的。

关键词: 高温硫化硅橡胶; 运行特性; 老化试验

中图分类号: TM216

文献标识码: A

Service Performance of HTV Rubber and Its Evaluation

ZHANG Yu¹, WU Guang-ya², ZHANG Rui²

(1. Center China Power Grid Co., Wuhan 430077, China; 2. Wuhan HV Research Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: Test of hydrophobicity low temperature simulation, effect of NSDD on hydrophobicity and tracking and erosion resistance were made on HTV insulators which being in large scale. It is considered that degradation of hydrophobicity, mechanical strength and pollution deposit which effect their long term service reliability, is caused by HTV rubber ageing. Special care shall be taken for evaluating the degradation, recovery and migration of hydrophobicity beside of its HC class. The low temperature simulation test showed degradation of hydrophobicity in some extent, therefore a HTV rubber for service in low temperature regions shall be developed and new acceptance criterion shall be worked out. Evaluation of three specific ageing test methods for HTV rubber has been discussed, laboratory experience shall be accumulated for evaluating long term service performance in short duration. Reasonable test requirements for 1 000 h salt fog test and 5 000 h ageing test pollutant salinity and velocity as well as criterion of permissible fracture number were proposed for evaluating long term service performance of insulators with artificial accelerate ageing test.

Key words: HTV rubber; service performance; ageing test

0 前言

目前, 国内外用于电力系统输变电设备的外绝

缘材料一般包括环氧树脂、乙丙橡胶、室温硫化硅橡胶及高温硫化硅橡胶。其中, 乙丙橡胶易老化龟裂, 所制成的伞裙和护套与芯棒界面易发生局部蚀

收稿日期: 2006-02-24

作者简介: 张予(1956-), 男, 湖南湘潭人, 高级工程师, 从事高压线路的技术管理工作。

损;环氧树脂伞裙表面易积污,积污后憎水性不能迁移至污层表面,且环氧树脂易吸潮;室温硫化硅橡胶具有优良的污秽性能和老化性能,主要用于变电站设备的外绝缘,较少用于架空输电线路;而高温硫化硅橡胶在抗劣化、耐漏电起痕及电蚀损、憎水性、防污性、阻燃性、耐臭氧性、耐紫外光性、耐潮湿、耐高低温和抗撕强度等方面具有突出优点,已逐渐取代了其它复合绝缘材料在高压线路和变电站中的广泛应用。

随着硅橡胶材料使用量的剧增,近年来我国有关复合硅橡胶劣化及损坏的信息也日趋增多。主要表现在硅橡胶材料憎水性下降、脆化、硬化、粉化、开裂、起痕、树枝状通道、蚀损及低温下憎水性下降等劣化现象,由此造成的闪络事故或设备损坏事故时有发生,所以掌握复合硅橡胶材料的长期运行特性至关重要。

武汉高压研究所自1994年以来,一直关注高温硫化硅橡胶的长期运行特性和可靠性。先后与多个运行部门和制造企业合作开展过复合硅橡胶材料的运行特性及可靠性的研究。笔者结合已开展的工作,对高温硫化硅橡胶材料的运行特性及运行中所出现的问题进行分析。在此基础上提出我国高温硫化复合硅橡胶材料应注意研究的问题及改进的建议。

1 高温硫化硅橡胶运行特性

高温硫化硅橡胶材料(以下简称HTV)主要用于高压线路棒形悬式复合绝缘子、支柱复合绝缘子以及各种电站设备用空心绝缘子等。由于用量大,运行中反映出的问题也较多。具体如下。

1.1 老化性能

对大量运行的HTV产品进行外观检查,发现有些硅橡胶表面出现局部放电痕迹,憎水性能减弱或消失;伞套材料脆化、硬化、粉化、开裂、破裂、蚀损、漏电起痕、树枝状放电及电弧烧伤痕迹;伞裙变形、伞裙之间粘接部位脱胶;密封破坏,明显积污。而且,不同地域所表现出的劣化程度不一样。

HTV最重要的技术要求是憎水性能。武汉高压研究所对大量运行的HTV产品进行了憎水性试验、低温模拟试验、灰密对憎水性的影响、耐漏电起痕及电蚀损试验等。

1.1.1 运行后 HTV 产品的憎水性能

大量试验表明,运行后 HTV 产品憎水性能因运行条件、制造企业的不同而差别较大,如葛-南直流华东段,运行1年的复合绝缘子的憎水性一般在HC1~HC2级,湖北段运行的部分复合绝缘子的憎水性却降低至HC5~HC6级;不论是110 kV线路,还是500 kV线路,不论是主要企业,还是小企业,除少数材料的憎水性的迁移特性还能恢复至HC2~HC4级外,大部分硅橡胶材料的憎水性的减弱(丧失)特性、憎水性的恢复特性、憎水性的迁移特性均为HC7级,表明运行后 HTV 材料的憎水性能较差。而未运行的硅橡胶具有良好的憎水性能,说明不合理配方的硅橡胶在运行条件下会造成其憎水性能下降。目前,DL/T864-2004或其他现行相关GB、DL标准,皆未对憎水性减弱特性、恢复特性及迁移特性做出规定以判定运行复合绝缘子是否适时退出运行。HTV能广泛应用,得益于其优异的憎水迁移性,因此评价其憎水性能,除憎水性分级HC值外,还应重点突出评价憎水性的减弱(丧失)特性、憎水性的恢复特性及憎水性的迁移特性。

1.1.2 低温条件下运行复合硅橡胶的憎水性能

低温模拟试验的方法是将复合硅橡胶放入所设定的低温(暂定-5℃~+5℃)条件下2h~8h,在温度充分达到平衡后取出并检查憎水性。表1是某企业的运行复合硅橡胶在低温下憎水性的测量结果,从结果可以看出存在1个低温临界点,在临界点以下无憎水性,绝缘子表面极易结冰。不同配方绝缘子的低温临界点不同,运行时间也影响低温临界点,由低温造成的憎水性丧失,其恢复时间较快。

表1 低温下复合硅橡胶憎水性测量结果

序号	绝 缘 子	试验前憎水性	0℃	-5℃
1	运行试品	HC1	HC1	HC3
2	运行试品	HC3	HC5	无
3	运行试品	HC1	HC3	HC5
4	新试品	HC1	HC1	HC5
5	新试品	HC1	HC1	HC1
6	新试品	HC1	HC1	HC2
7	新试品	HC1	HC1	HC1
8	涂料试品	HC1	HC1	HC1

试验结果表明, 低温下憎水性有一定程度的下降。我国复合绝缘子制造企业应对复合绝缘子在运行若干时间后憎水性出现不同程度的降低引起重视, 需针对不同地域和运行条件所出现的劣化进行改进并调整配方。DL / T864-2004 对憎水性的规定仅针对试验室标准环境条件(20~25)℃, 实际上我国地域辽阔, 有相当一部分复合硅橡胶是在低温下运行, 需要现场测试其憎水性, 对这些地区的

HTV 产品的憎水性评价, 仅采用 DL / T864-2004 不完全适用, 应针对性地开发应用于低温地区的复合硅橡胶, 并制订新的判定准则。

1.1.3 灰密对运行后 HTV 产品的憎水性能影响

表 2 是对 0.3 mg/cm²~2 mg/cm² 几个灰密点憎水迁移时间测量的试验结果, 盐密为 0.1 mg/cm²。为说明运行时间对憎水迁移时间的影响, 同时对某企业的 1 只新复合绝缘子进行了研究。

表2 灰密对憎水迁移性的影响

序号	绝缘子	运行时间 / a	涂灰前憎水性	灰 密 / mg·cm ⁻²					
				0.3	0.4	0.5	0.8	1.0	1.5
1	邢康 16 [#]	6	HC3	HC4/112 h	HC4/112 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h
2	衡深 8 [#]	10	HC2	HC4/88 h	HC4/88 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h
3	康王 43 [#]	10	HC1	HC4/54 h HC1/97 h	HC1/97 h	HC2/97 h			
4	某企业新绝缘子	0	HC1			HC3/5.5 h HC1/8 h		HC3/6 h HC1/8 h	
5	花韩 10 [#]	4	HC2	HC3/138 h	HC3/138 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h
6	清戈 30 [#]	4	HC3	HC4/97 h	HC4/97 h	HC4/97 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h
7	兆红 6 [#]	7	HC4		HC5/97 h	HC5/97 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h	未恢复/143 h

注: 表中数据为恢复到斜线上憎水性所用时间。若未恢复, 则说明经过了斜线下时间后憎水性未见恢复。

由表 2 可看出: 对新绝缘子, 在运行环境所带来的灰密下憎水性恢复时间很短, 恢复到 HC1 级所用时间仅为 8 h; 憎水性优良的绝缘子在不同灰密下, 憎水迁移性也较优良; 运行几年后, 随憎水性下降, 在不同灰密下, 其憎水迁移时间也较长; 不同配方的绝缘子憎水迁移时间受运行时间的影响不尽相同; 灰密在(0.3~0.5)mg/cm²时, 绝缘子憎水迁移时间基本相同。而本次研究运行的绝缘子灰密水平基本在此范围内。

料进行机械性能试验发现, 部分硅橡胶材料的机械性能不能满足现行标准的要求。表 3, 表 4 是 2004 年对某企业送检的硅橡胶运行复合绝缘子的机械性能试验结果^[1]。

表3 机械扯断强度试验结果(1 型裁刀)

试 样 编 号	1 [#]	3 [#]	7 [#]
1	2.39	4.35	2.99
扯断强度	2	3.10	3.95
/MPa	3	3.12	4.51
平均值	2.87	4.27	2.46

从表 3 可以看出, 抽取的三种硅橡胶材料中仅 3[#] 的机械扯断强度大于 3 MPa, 满足 DL / T864-2004 中对绝缘子伞套材料机械扯断强度大于 3 MPa 的标准规定。另外两个试验结果不合格。

表 4 表明, 抽取的三种硅橡胶材料试样机械撕裂强度均不满足 DL / T864-2004 中对绝缘子伞套材料撕裂强度要大于 7 kN/m 的标准规定要求, 且仅 3[#] 产品断裂伸长率满足 DL / T864-2004 规定的拉断伸长率不小于 100%的要求, 1[#]、7[#] 均不满足标准

1.1.4 运行后 HTV 产品耐漏电起痕及电蚀损性能

由试验结果可知: 部分运行后的 HTV 产品, 其耐漏电起痕及电蚀损性能仍能达到 TMA4.5 级。对于硅橡胶而言, 在任何条件下都能保持优良的憎水性能是最重要的, 一味追求复合硅橡胶的耐漏电起痕及电蚀损性能会降低其憎水性能。上述试验正好说明了该问题。因此, 建议将复合硅橡胶的耐漏电起痕及电蚀损级别保持在合理水平(比如 TMA3.5 级), 以保证良好的憎水性能。

1.2 机械性能

武汉高压研究所通过对大量运行后的硅橡胶材

要求。

表4 机械抗撕裂强度试验结果 (直角形)

试 样 编 号	1 [#]	3 [#]	7 [#]	
抗张强度 /MPa	1	5.8	6.2	3.5
	2	6.8	5.2	3.6
	3	6.2	5.6	4.2
	平均值	6.3	5.7	3.7
断裂伸长率 (%)	1	76	140	68
	2	80	124	48
	3	96	132	60
	平均值	84	132	58

硅橡胶机械试验结果表明, 运行后 HTV 产品的机械性能会出现不同程度的下降, 甚至不满足标准要求。当然, DL/T864-2004 是针对新绝缘子, 目前国内外均没有标准对运行复合绝缘子伞套材料性能评价进行规定。因此, 应对运行后 HTV 产品的机械性能出现的下降进行深入研究。

1.3 积污特性

目前, 国内外对复合绝缘子的积污特性还未开展研究。由于复合绝缘子外套属高分子有机绝缘材料, 相对瓷、玻璃绝缘子而言, 表面具有优良的憎水性、憎水迁移性等特点, 其表面的积污特性是否比瓷、玻璃绝缘子优良, 一直是人们关注的问题, 为此武汉高压研究所初步开展了复合绝缘子积污特性的研究。

武汉高压研究所曾对沧州市某公司 110 kV 不同线路运行复合绝缘子的盐密、灰密进行了三次测量^[2]。结果表明, 复合绝缘子的积污特性并不明显优于瓷、玻璃绝缘子。

2 复合硅橡胶材料的老化试验

复合硅橡胶材料能否在我国电力系统中长期可靠运行, 其耐老化性能是很关键的。因此, 提高复合硅橡胶材料的耐老化性能至关重要。而正确评定在严酷环境条件下复合硅橡胶材料老化性能的重要指标是漏电起痕及电蚀损性能, 它与绝缘子的使用寿命息息相关。自然老化考核这一指标的周期长, 正确模拟其实际运行中漏电起痕及电蚀损这一老化现象的人工加速老化过程, 在短时间内对长期运行性能进行评估, 是有待于人们去进一步研究的问题。现行国际上普遍采用的人工加速老化试验方法

有斜面法、1 000 h 盐雾法和 5 000 h 老化试验方法, 它们之间的试验条件、试验程序、试验现象、试验结果和试验评定均不相同^[3]。

a, 1000 h 盐雾法和 5 000 h 老化试验法施加系统最高工频相电压 ($U_m/\sqrt{3}$), 皆为模拟海岸等盐污地区、重污秽或严重污秽的严酷环境条件, 不同的是 5 000 h 老化试验较全面地模拟了绝缘子在使用中所遇到的强烈阳光照射、频繁的湿热变化、凝露和自然雨等环境条件, 并且循环地模拟气候(如湿热的变化)还可能产生某种程度的机械应力, 特别是在绝缘子的表面会重复出现数次凝露现象。

b, 斜法面仅模拟严酷环境条件(系指: 诸如海岸等盐害地区、化学气体、尘埃污染了的空气等特殊环境), 并分级施加电压、喷污液, 其目的是加速老化效应。

c, 从放电电弧这一角度看, 1000 h 盐雾法和 5 000 h 的老化试验法的放电电弧呈现出分散烧蚀的“热点”, 而斜面法呈现出集中电弧放电的“热点”。因此, 1000 h 盐雾法和 5 000 h 和老化试验法与实际运行复合绝缘子放电电弧特征较一致, 而斜面法是在较苛刻条件下再现了实际运行中复合绝缘子的漏电起痕及电蚀损老化现象。

d, 试验判据的评价。斜面法采取分级的方式评定老化性能, 相关标准规定至少应达到 TMA 4.5 级, 试验条件易再现, 不同实验室的试验数据具有可比性。现行 DL/T864-2004 对绝缘子耐漏电起痕及电蚀损试验判据是每只试品过流中断次数不超过三次, 不起痕, 不蚀损到芯棒, 伞裙不击穿。盐雾法实际上是一种较长时间的污秽耐受电压试验, 由于污液中的盐质量浓度为 10 kg/m³, 放电电弧分散性较大, 不易形成集中性烧蚀的“热点”, 评估漏电起痕及电蚀损老化性能试验的污液盐质量浓度或流速应调整到合理的值, 以达到在短时间内对绝缘子长期运行老化性能进行正确评估的目的。武汉高压研究所迄今为止对大量试品进行了该项试验, 结果均达到试验判据的要求, 仅出现一定数量的蚀损和开裂。目前还不能量化提出允许蚀损开裂数目, 应进一步积累试验经验, 提出与运行经验相关的判据。5 000 h 老化试验方法试验判据与盐雾法相同, 也有放电电弧分散性大的问题。此外, 按 IEC 出版物的要求循环施加人工雨, 雨水电阻率规定范围相差最大可达 15%, 淋雨的水平、垂直分

量相差也可达50%，无疑造成各实验室对绝缘子老化性能的评定出入较大。

三种试验方法各具特点，均能正确再现自然老化过程，在短时间内对长期运行性能进行评估，应进一步积累实验室经验，并结合运行经验提出1000h盐雾法和5000h老化试验法污液盐度或流速的合理试验条件和现行标准中没有规定的允许蚀损开裂数试验判据，从而达到人工加速老化来评估绝缘子长期运行性能的目的。

3 应注意和研究的问题

(1) 针对我国环境的现状，使用硅橡胶产品的数量仍将持续增多，应充分注意复合硅橡胶不同地域和运行环境条件的劣化性能。若出现DL/T864—2004《标称电压高于1000V交流架空线路用复合绝缘子使用技术条件》第10条所列举的劣化现象，应慎重选择使用。

(2) 制造企业应针对不同地域和运行环境条件下运行硅橡胶出现劣化的特征，积极改进并调整配

方，保证其长期可靠的憎水性能，以满足运行需要。并从标准上对运行硅橡胶材料的憎水性能进行规定。

(3) 运行单位应加强对复合硅橡胶积污特性监测。要强调的是武汉高压研究所初步研究证明复合硅橡胶的积污特性并不明显优于瓷、玻璃绝缘子，且粉尘污染严重，灰密高于 2 mg/cm^2 后，憎水性完全丧失。不同配方的复合硅橡胶憎水迁移时间受运行时间的影响不尽相同，势必对电气特性影响较大。

参考文献：

- [1] 武汉高压研究所. 武汉高压研究所试验报告[R]. 武汉：武汉高压研究所，2005.
- [2] 武汉高压研究所. 110kV~220kV复合绝缘子运行性能研究[R]. 武汉：武汉高压研究所，2004.
- [3] 吴光亚，雷民. 合成绝缘子人工加速老化试验方法的评价[J]. 高电压技术，1998，24(4)：42~47.

全国绝缘子避雷器标准化委员会年会暨换届大会召开

2006年3月28至31日，全国绝缘子避雷器标准化委员会年会暨换届大会在西安召开，来自全国各输变电公司、大专院校、科研院所及制造企业的约170位代表参加了会议。国家标准化管理委员会和机械工业北京电工技术经济研究院等上级部门的有关领导也参加了会议。

会议听取了两标委会第四届委员会及2005年工作总结，表彰了两标委会先进工作者，讨论并安排了两标委会2006年的工作计划，按国家标准化管理委员会标委办计划〔2005〕157号文以及标委办计划〔2005〕153号文的批复选举产生了第五届全国绝缘子标准化技术委员会（SAC/TC80）和第五届全国避雷器标准化技术委员会（SAC/TC81），圆满完成了全国绝缘子避雷器两标准化技术委员会的换届工作。审议并通过了《全国绝缘子标准化技术委员会章程》和《全国避雷器标准化技术委员会章程》，以及两标委会秘书处的工作细则。两标委会秘书处均设在西安电瓷研究所。

第五届全国绝缘子标准化技术委员会（SAC/TC80）由56名委员组成，孙西昌任主任委员，杨迎建任副主任委员，姚君瑞任秘书长，陆宠惠、崔江流、刘燕生任顾问。

第五届全国避雷器标准化技术委员会（SAC/TC81）由58名委员组成，贾东旭任主任委员，陈维江、尹天文任副主任委员，何计谋任秘书长，车文俊、季慧玉任副秘书长，颜文、崔江流、李启盛、孙林任顾问。

在3月29~30日召开的全国绝缘子标准化技术委员会五届一次会议上审查标准10个，讨论标准6个。在同时召开的全国避雷器标准化技术委员会五届一次会议上审查标准5个，讨论标准1个。会议期间，代表们对行业标准化工作提出了大量建议，对相关标准进行了广泛深入的交流和热烈的讨论，圆满地完成了预期的内容。

(赵卉)