

# 基胶与填料对 RTV 硅橡胶防污闪涂层 憎水迁移性的影响<sup>\*</sup>

卢 明<sup>1</sup>, 胡扬宇<sup>1</sup>, 周德波<sup>2</sup>

(1. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 郑州 450052; 2. 山东山大胶体材料有限责任公司, 济南 250100)

**摘要:** 采用模拟雾霾环境污染处理实验样品, 研究了以  $\alpha, \omega$ -二羟基聚二甲基硅氧烷 (107 硅橡胶) 为基胶的硅橡胶防污闪涂层的表干时间和憎水迁移性变化规律。研究发现, 同时以高、低摩尔质量的 107 硅橡胶混合物为基胶的防污闪涂层的表干时间比单纯以其中一种 107 硅橡胶为基胶的防污闪涂层的表干时间短。调整高、低摩尔质量 107 硅橡胶的混合比例得到的防污闪涂层的憎水迁移性效果较好, 相对于单一基胶配制的防污闪涂层更优。当摩尔质量为 50 000 g/mol 及 4 000 g/mol 的 107 硅橡胶的质量比为 4:1 时, 防污闪涂层的憎水迁移性最好。添加氧化铝可以增加防污闪涂层的憎水性和憎水迁移性, 当氧化铝用量为 10% 时效果最好; 白炭黑过多添加会影响防污闪涂层的憎水性和憎水迁移性, 但在一定的范围内影响不大。白炭黑的用量为 5% 时防污闪涂层的憎水性以及憎水迁移性最好。

**关键词:** 防污闪, RTV 涂料, 憎水迁移性, 107 硅橡胶, 表干时间

**中图分类号:** TQ333.93      **文献标识码:** A      doi:10.11941/j.issn.1009-4369.2015.02.001

电力工业是关系国家安全和民生发展的基础产业。伴随我国工业和经济的发展, 能源消耗迅速增加, 同时也带来了严重的环境问题。雾霾天气经常出现, 致使电网出现的污闪事故不断增加, 有时造成严重的大面积停电事故<sup>[1-2]</sup>。室温硫化 (RTV) 硅橡胶防污闪涂层 (以下简称防污闪涂层) 具有优良的耐温性、憎水性、介电性、耐候性, 同时具有涂覆工艺简单和憎水迁移性优良的特点。RTV 硅橡胶的憎水迁移性指防污闪涂层表面积存的亲水性灰尘污秽在一定的时间后呈现憎水性, 即防污闪涂层的憎水性迁移到了污层表面。在绝缘子表面涂覆一层防污闪涂层, 能够有效提高污闪电压, 防止在自然沉积污秽和潮湿条件下电瓷瓶发生延面闪络, 确保电网的安全运行。防污闪涂层的憎水性和憎水迁移性使绝缘子表面不能形成水膜, 阻断由于湿气造成的污闪效果特别明显<sup>[3]</sup>, 涂覆 RTV 硅橡胶是目前绝缘子防污闪的有效手段之一。

憎水性和憎水迁移性是防污闪涂层的显著特点。接触角越大憎水性越好, 形成水膜的难度就越大, 绝缘子在雾霾天气下的防污闪效果越好。国内外学者对硅橡胶的憎水迁移性机理进行了广泛的研究<sup>[4-8]</sup>。研究防污闪涂层配方对其憎水性和憎水迁移性的影响将十分有价值, 为提高防污

闪涂层的憎水性和憎水迁移性提供参考; 而在涂料配方中添加低摩尔质量的 107 硅橡胶是一种有效的提高憎水迁移性的方式。本实验采用模拟雾霾环境来污染处理实验样品, 采用在高摩尔质量的 107 硅橡胶中加入低摩尔质量的 107 硅橡胶配制 RTV 硅橡胶防污闪涂层。研究了低摩尔质量的 107 硅橡胶对涂层表干时间、憎水性及憎水迁移性的影响。同时也探讨了补强剂和阻燃剂的添加量对涂层憎水迁移性的影响。

## 1 实验

### 1.1 主要原料及设备

$\alpha, \omega$ -二羟基聚二甲基硅氧烷 (107 硅橡胶): 摩尔质量 4 000 g/mol、50 000 g/mol, 美国道康宁公司; 石油醚: 富宇化工公司; 改性三氧化二铝 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): 8 000 目, 淄博永邦铝业有限公司; 改性白炭黑: ts-530, 美国卡博特公司;  $N, N$ -二乙基胺甲基三甲氧基硅烷: 自制。

收稿日期: 2014-08-29。

作者简介: 卢明 (1975—), 男, 工学硕士, 高级工程师。研究方向为架空线路防舞动、防污闪及高电压外绝缘等。E-mail: 361776581@qq.com。

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家自然科学基金 (51007083), 国网河南省电力公司电力科学研究院科研基金 (521700140004)。

静态接触角检测仪：OCA15Plus，德国 data-  
physics 公司；雾霾环境模拟仪：AC35 kV，自  
制；PM2.5 检测器：PM0101，济南乐贝经贸有

限公司。

### 1.2 样品的制备

表 1 为防污闪涂料的配方。

表 1 防污闪涂料配方

样品 编号	硅橡胶		ts - 530	交联剂	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	石油醚
	低摩尔质量	高摩尔质量				
I	13	100	5	5	10	113
II	25	100	5	5	10	125
III	50	100	5	5	10	150
IV	100	100	5	5	10	200
1	13	100	5	5	0	113
2	25	100	5	5	0	125
3	50	100	5	5	0	150
5	0	100	5	5	0	100
6	100	0	5	5	0	100
a	25	100	5	5	5	125
b	25	100	5	5	10	125
c	25	100	5	5	15	125
d	25	100	5	5	20	125
e	25	100	5	5	25	125
A	25	100	5	5	10	125
B	25	100	10	5	10	125
C	25	100	15	5	10	125

将配好的防污闪涂料均匀滴涂在载玻片上，  
让其自然流平，即得样品。

### 1.3 性能测试

表干时间：在规定条件下，将防污闪涂料样  
品涂在载玻片上，通过在样品表面放置薄膜或指  
触的方法测量其干燥程度。记录薄膜或手指上无  
粘附样品所需的时间，即为表干时间<sup>[9]</sup>。

污染处理：将制备好的试样放入雾霾模拟仪  
中，用硅藻土、自然粉尘和食盐粉作为模拟雾霾  
颗粒源，通入压缩空气将颗粒送入处理环境中，  
对试样进行污染处理，采用 PM2.5 检测器检测，  
以保证污染环境处在严重污染的程度。

憎水性：以静态接触角表征涂层的憎水性。  
采用静态接触角测量仪测量污秽层表面的静态水  
接触角。将样品置于可自动调节位置的水平台上，  
照射光源与显微镜分别位于样品两旁，调节焦距  
使三者成一条直线，用微量进样器在样品表面注  
射 3 μL 的去离子水，在 0.5 min 内拍下水滴照片，  
将所得图像传入计算机，通过计算机软件求出静

态接触角的大小，每个样品测 5 次取平均值<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 107 硅橡胶的组成对防污闪涂层表干时间的 影响

将防污闪涂料涂到载玻片上，放置后测量表  
干时间，发现样品 1、2、3、4 的表干时间在 1 h  
以内，而样品 5、6 的表干时间在 8 h 以上；样品  
I、II、III、IV、a、b、c、d、e、A、B、C 的表干  
时间均小于 1.5 h。表明使用一定比例不同摩尔质  
量的 107 硅橡胶做基胶的防污闪涂层表干时间较  
快，摩尔质量分布的分散有助于硫化交联。这是  
因为硫化初期小分子与大分子同样的反应活动性，  
随交联程度的提高，体系黏度增大，大摩尔质量  
的 107 硅橡胶链段运动受阻，而小摩尔质量的 107  
硅橡胶链段受到的影响较小，所以加入小分子的  
107 硅橡胶可以使表干时间和硫化时间缩短。如  
果全部是小分子的 107 硅橡胶链段，完全交联需  
要的交联剂较多，硫化时间较长。

2.2 107 硅橡胶组成对防污闪涂层憎水迁移性的影响

图 1 为样品 1、2、3、5、6 污染处理前后的憎水性随时间的变化。

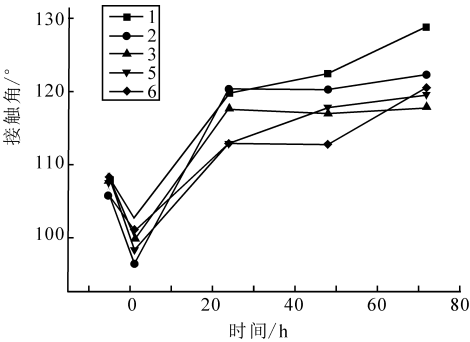


图 1 107 硅橡胶基胶组成对防污闪涂层憎水迁移性的影响

由图 1 可见，所有样品均具有憎水性。在污染处理前 5 h，憎水性基本无差别，接触角分别是 109°、106°、108°、107°、106°。当污染处理以后，憎水迁移性出现了差异。样品 1 污染处理以后水接触角最大（102°），样品 2 水接触角在第一个测量周期接触角增加的最快（接触角从 96°升到 120°），样品 3 居中（接触角从 99°升到 117°），样品 5 和样品 6 增加最慢（接触角分别从 98°升到 113°和 101°升到 113°），同时表干时间过长，因此样品 5 和样品 6 不宜作为涂料使用。可以看出 107 硅橡胶摩尔质量分布宽的样品憎水迁移性较好，憎水性迁移较快。表明适量掺入低摩尔质量的 107 硅橡胶配置的样品可以提高防污闪涂层的憎水迁移性。

为更加全面的了解 107 硅橡胶摩尔质量分布构成对憎水迁移性的影响，加入氧化铝后进行相同的污染处理和测试实验，结果见图 2。

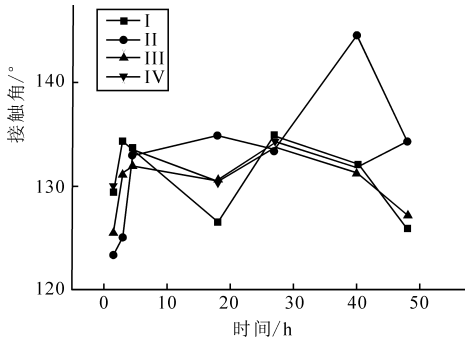


图 2 加入氧化铝对防污闪涂层憎水迁移性的影响

由图 2 可见，当样品中加入氧化铝后，样品的憎水迁移性都比较好（接触角均大于 125°），水接触角都比较大。其中样品 II 的憎水迁移性最好（接触角最大 145°）。

2.3 氧化铝用量对防污闪涂层初始接触角的影响

图 2 中，添加氧化铝后对防污闪涂层憎水迁移性有明显影响，因此选取样品 2，加入氧化铝观测其接触角随时间的变化，结果见图 3。

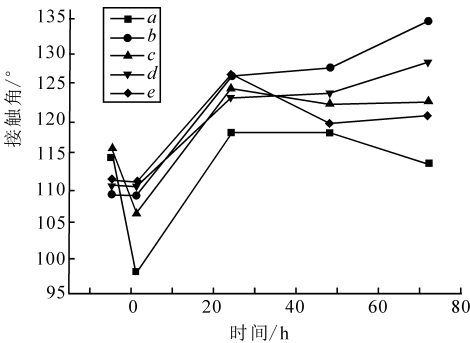


图 3 氧化铝用量对防污闪涂层憎水迁移性的影响

由图 3 可见，样品 b 的憎水迁移效果最好（接触角从 109°升到 127°），样品 a 迁移效果最差（接触角从 98°升到 118°），表明适当的添加氧化铝可以增加憎水迁移性。由于氧化铝的颗粒在一定的程度上可以增加污层表面的比表面积，比表面积的增加可以加强表面的亲水或憎水效果<sup>[11]</sup>，硅橡胶防污闪涂层是憎水性的，比表面积的增加使憎水性变强；但同时氧化铝具有亲水性，所以在一定的限度范围内，增加氧化铝可以增强涂层表面憎水性，而超过限度以后，比表面积增加程度降低，氧化铝本身的亲水性成为影响憎水性主导因素，进一步增加氧化铝的用量会降低污层表面的憎水性。本实验中氧化铝用量为 10% 的样品效果最优。

2.4 白炭黑用量对防污闪涂层的影响

白炭黑的颗粒大小和表面性质与氧化铝类似。白炭黑表面有很多羟基，不同添加量会对硅橡胶防污闪涂层憎水迁移性造成影响。

图4为白炭黑用量对防污闪涂层憎水迁移性的影响。

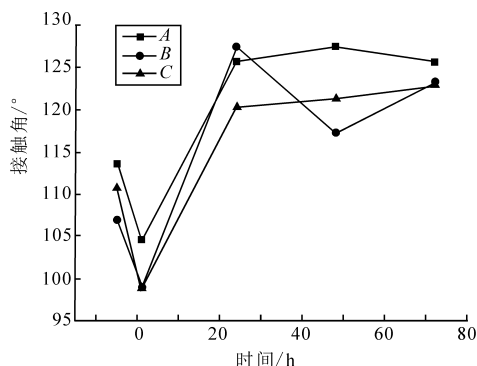


图4 白炭黑用量对防污闪涂层憎水迁移性的影响

由图4可见,样品A的憎水迁移性最好(接触角从 $104^{\circ}$ 到 $126^{\circ}$ 且保持在 $126^{\circ}$ 以上)。随着白炭黑用量的增加使得硅橡胶防污闪涂层憎水性下降<sup>[12]</sup>,表明白炭黑表面的羟基对憎水性的负面影响要大于添加相同量的氧化铝的硅橡胶防污闪涂层,但总体影响不是很大。补强剂的添加量主要由补强剂对力学性能的影响决定。本实验中白炭黑的用量为5%的样品憎水性最好。

### 3 结论

采用模拟雾霾环境污染处理实验样品,研究了以 $\alpha, \omega$ -二羟基聚二甲基硅氧烷(107硅橡胶)为基胶的硅橡胶防污闪涂层的表干时间和憎水迁移性变化规律。

研究发现,同时以高、低摩尔质量的107硅橡胶混合物为基胶的防污闪涂层的表干时间比单纯以其中一种107硅橡胶为基胶的防污闪涂层的表干时间短。调整高、低摩尔质量107硅橡胶的混合比例得到的防污闪涂层的憎水迁移性效果较好,相对于单一基胶配制的防污闪涂层更优。当摩尔质量为50 000 g/mol及4 000 g/mol的107硅橡胶的质量比为4:1时,防污闪涂层的憎水迁移性最好。添加氧化铝可以增加防污闪涂层的憎水性和憎水迁移性,当氧化铝用量为10%时效果最好;白炭黑过多添加会影响防污闪涂层的憎

水性和憎水迁移性,但在一定的范围内影响不大。白炭黑的用量为5%时防污闪涂层的憎水性以及憎水迁移性最好。

### 参考文献

- [1] 吴光亚, 钱之银, 肖勇, 等. 防污闪技术的现状与发展趋势[J]. 电力设备, 2005, 6(3): 5-9.
- [2] 陈洪波, 钟聪, 何松. 浅析RTV防污闪涂料在电力系统的应用[J]. 四川电力技术, 2003, 29(11): 39-40.
- [3] 杨子强, 王春青. 憎水迁移性是RTV涂料在电瓷防污闪中的关键特性[J]. 中国电力, 2001, 34(3): 73-75.
- [4] 鲁志伟, 杨秀媛. 硅橡胶憎水迁移机理的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(5): 51-55.
- [5] 郭慧豪, 彭海江, 文猛, 等. 硅橡胶憎水迁移性和持久性的研究[J]. 有机硅材料, 2013, 27(2): 102-105.
- [6] GORUR R S, KARADY G, TAGOTA A, et al. Aging in silicon rubber used for out door insulation[J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1992, 7(2): 525-538.
- [7] ZHANG H, HACKAM R, LAZARESEU V. Identification of LMW fluid in HTV silicone rubber[C]// Conference on electrical insulation and dielectric phenomena. IEEE, Texas, USA, 1999: 739-742.
- [8] 贾中伟, 黄山, 郭慧豪. 有机复合绝缘子人工污秽试验研究[J]. 科技与企业, 2013(17): 262.
- [9] 刘杰胜, 张宗旺, 木子佳靓, 等. 酮肟型交联剂对硅橡胶性能的影响研究[J]. 武汉工业学院学报, 2012, 31(4): 38-41.
- [10] 袁明仁, 唐政, 李自勇. 盐密、灰密对防污闪涂料憎水迁移性的影响[J]. 水电能源科学, 2010, 28(9): 148-150.
- [11] TOMA M, LOGET, G, CORM R M. Flexible teflon nanocone array surfaces with tunable superhydrophobicity for self-cleaning and aqueous droplet patterning[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2014, 14: 11110-11117.
- [12] 方苏, 高海垮, 贾志零, 等. 纳米 $\text{SiO}_2$ 对RTV硅橡胶涂料性能的影响[J]. 高压电技术, 2009, 35(1): 125-128.

## Effects of Base Rubber and Fillers on Hydrophobic-migration of RTV Silicone Rubber Anti-fouling Flashover Coatings

LU Ming<sup>1</sup>, HU Yang-yu<sup>1</sup>, ZHOU De-bo<sup>2</sup>

(1. State Grid Henan Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, Henan;

2. Shandong Shanda Colloid Material Co., Ltd., Jinan 250100, Shandong)

**Abstract:** Experimental samples were polluted by the circumstance of haze simulation. The effect of  $\alpha,\omega$ -dihydroxy polydimethylsiloxane (107 silicone rubber) with different chemical constituents on surface drying time and hydrophobicity transference of RTV anti-fouling flashover silicone coatings was investigated. Results show that the tack-free time of anti-fouling flashover coatings with 107 silicone rubber of high and low molar mass as the base rubber is shorter than those with only one as base rubber. Adjusting the mixing proportion of 107 silicone rubber of high and low molar mass in silicone coatings can improve its hydrophobicity transference, better than that with one base rubber. When the mass ratio of the 107 rubber with a molar mass of 50 000 g/mol and 4 000 g/mol is 4:1, the hydrophobicity of the coatings is the best. Alumina will improve the hydrophobicity and hydrophobic migration of the anti-fouling flashover coatings, especially when alumina is 10%. Excessive fumed silica will affect the hydrophobicity and hydrophobic migration of the coatings. When the fumed silica is 5%, the hydrophobicity and hydrophobic migration of the anti-fouling flashover coatings are the best.

**Keywords:** antifouling flashover, RTV coatings, hydrophobicity transference, 107 silicone rubber, tack-free time

# Lison

佛山市力信化工有限公司  
FOSHAN LISON CHEMICAL CO.,LTD.

专门提供美国道康宁公司有机硅功能化学品

道康宁消泡剂:

- |        |       |
|--------|-------|
| ◆金属加工液 | ◆工业清洗 |
| ◆农用化学品 | ◆化工生产 |
| ◆塑料    | ◆水处理  |
| ◆石油    | ◆发酵   |
| ◆其它工艺  |       |

道康宁脱模剂:

- |             |                 |
|-------------|-----------------|
| ◆PU鞋材用脱模剂   | ◆EVA一次注射成型拖鞋脱模剂 |
| ◆聚氨酯自结皮脱模剂  | ◆铝、镁、锌等合金压铸件脱模剂 |
| ◆模胶、塑料制品脱模剂 | ◆轮胎脱模剂          |

其它产品

DC200二甲基硅油、线性体、变压器油、Q2-5211润湿剂等有机硅功能化学品

地址: 广东省佛山市汾江南路38号东建大厦10楼 K室(528000)

电话: (0757)83638581

传真: 83638580

http: //www.lisonchem.com

基胶与填料对 RTV 硅橡胶防污闪涂层憎水迁移性的影响

作者：[卢明](#)，[胡扬宇](#)，[周德波](#)，[LU Ming](#)，[HU Yang-yu](#)，[ZHOU De-bo](#)  
作者单位：[卢明, 胡扬宇, LU Ming, HU Yang-yu\(国网河南省电力公司电力科学研究院, 郑州, 450052\)](#)  
[， 周德波, ZHOU De-bo\(山东山大胶体材料有限责任公司, 济南, 250100\)](#)  
刊名：[有机硅材料](#)[ISTIC](#)  
英文刊名：[Silicone Material](#)  
年，卷(期)：2015(2)

引用本文格式：[卢明. 胡扬宇. 周德波. LU Ming. HU Yang-yu. ZHOU De-bo 基胶与填料对 RTV 硅橡胶防污闪涂层憎水迁移性的影响\[期刊论文\]-有机硅材料 2015\(2\)](#)