

# 新型 RTV 涂料防污闪性能的实验研究

王永强, 律方成, 刘孝义

(华北电力大学电气工程学院, 河北 保定 071003)

## Experimental Study on New Type RTV Coating's Capability to Prevent Contamination Flashover

WANG Yong-qiang, LU Fang-cheng, LIU Xiao-yi

(School of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**摘要:** 室温硫化(RTV)硅橡胶长效防污闪涂料是目前我国电网主要的补救防污闪技术措施。介绍了污闪发生的条件和对策,阐述了 RTV 涂料的防污闪原理。通过闪络试验得出了结论,适当改进补强剂和添加剂后的新型 RTV 涂料达到了国家有关的闪络试验要求,具有较好的防污闪性能。

**关键词:** RTV 涂料; 污闪; 试验

**中图分类号:** TM863

**文献标识码:** A

**Abstract:** Room temperature vulcanizing (RTV) silicone rubber insulator coating is the main remedial method to prevent contamination flashover. It is made from silicone rubber, fillers and additives under special condition. The fillers and additives can strengthen silicone's physical and chemical characteristics. So through adjusting the components of fillers and additives, a new type of RTV coating is reached. Flashover tests on this type of RTV coating have been done. It is concluded that the new type of RTV coating has better capability to prevent contamination flashover than before.

**Key words:** RTV coating; contamination flashover; test

## 1 引言

电网的污闪事故随着城乡工业的发展、环境的恶化、污秽加重而频繁发生,又因为电压的升高及电网的扩大,电网的污闪事故涉及的范围也越来越大,停电时间也越来越长,甚至造成系统振荡、系统瓦解,因而造成的损失的确是触目惊心。2001年2月21日,河北南网发生大范围污闪,造成特大面积停电,仅衡水地区就波及到10条输电线路和1座220kV变电站,损失巨大。

如何防止污闪,世界各国历经了近百年的研究,工业发达国家最先在此方面立项研究,如意大利早在1907年就开始了防污闪的研究,1940年德国最早

在世界上实施污秽等级划分及其外绝缘配置的标准。我国从20世纪50年代末开始认识到污闪,70年代开始研究。但由于影响污闪的原因很多,且大多是随机性的,分散性很大,至今污闪的放电机理及其他诸多问题仍不很清楚,因此寻找一个有效而完善的防污闪技术对策仍是当今世界电力工业的一大课题<sup>[1,2]</sup>。

## 2 污闪发生的条件及对策

影响输变电设备外绝缘污闪的因素主要有设备外绝缘爬电比距、绝缘子受污染状况和气象情况。

### (1) 爬电比距

一般来说,输变电设备应有足够的爬电比距,爬电比距较小的地方往往是污闪最严重的地方,个别污染严重地区可采用爬电比距较大的防污绝缘子,或增加绝缘子串长度,增大爬电比距。

### (2) 绝缘子受污染状况

在工业密集区,环境污染严重区域及沿海地区绝缘子表面积污严重,是污闪事故的多发区段,因此在工业发达地区和沿海地区应注意防止污闪。

### (3) 气象情况

污闪多发生在大雾加毛毛雨天气,空气湿度特别大,而且多集中在一天中易凝露和相对湿度最大的子夜到凌晨之间。这时绝缘子表面污秽被严重湿润,表面污秽呈树枝状流淌。2001年2月的河北南网大面积污闪事故也说明了这一点,见表1。

传统防污闪措施主要有:清扫、调爬、加强检查等,但成本增加、维护工作量巨大又是一大问题。因

表1 2001年2月的河北南网大面积污闪事故

时间	2月10日	2月21日	2月22日	2月27日
气象情况	小雪,湿度98%,能见度500m	浓雾,毛毛雨,湿度100%,能见度20m	中雾,湿度100%,能见度200m	雨夹雪
污闪情况	3次	严重污闪	3次	无

此研究新产品,立足于不提高成本或增加较少成本提高污闪电压成为当前科技开发的热点,合成绝缘子、室温硫化(RTV)硅橡胶长效防污涂料应运而生,特别是RTV已是目前我国电网主要的补救防污技术措施。

### 3 RTV 涂料及其防污原理

RTV 防污闪涂料是由有机硅橡胶、填充剂和添加剂经化学物理过程改性制造而成。有机硅橡胶是一类以聚硅氧烷为主链的高分子化合物,其自身属于热塑性物质,没有强度,但加入一定量的填充剂补强后,再针对防污闪的技术要求引入特殊改性物质,其物理化学性能大幅提高,这时配合相应的硫化剂即可制成性能优异的RTV防污闪涂料。

憎水性和憎水迁移性是RTV涂料的两个重要指标,尤其是憎水迁移性是RTV涂料防污闪性能的关键指标。

(1)憎水性。从试验现象观察到,水滴落到物体表面时,水以小珠的形状附着于物体表面上,小水滴的球形越圆说明其憎水性越好,反之憎水性差。在工程学中,物体的憎水性是用憎水角来描述的,憎水角大于 $90^\circ$ 说明憎水,小于 $90^\circ$ 说明不憎水。水的表面临界张力是 $72.8 \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ,一般有机物的表面临界张力是 $(33 \sim 55) \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ,而有机硅的表面临界张力是 $(19 \sim 22) \times 10^{-3} \text{ N/m}$ ,是除以C-F键为特征氟碳聚合物之外的表面张力最小的物质。根据表面化学理论可知,与水的表面张力差值越大的物质憎水性越好<sup>[2]</sup>。RTV防污闪涂料是以有机硅橡胶为基料的,这就决定了其优良的憎水性。

(2)憎水迁移性。仅有憎水性的物质还不能作为防污闪涂料,还必须具有优良的憎水迁移性。RTV防污闪涂料中短分子链有机硅物质由于个体小而“灵活”,易从物质内部“蒸发”到表面上来。当污秽降落在RTV防污闪涂层表面时,“蒸发”到涂层表面的活性有机硅分子与污秽接触,爬升而附着于污秽物表面,实现对污秽物表面的整理,使其表面能和表面张力降低,即憎水性迁移到污秽物质上,使污秽也具有有机硅的憎水性。有机硅分子浸润整理污秽表面的模型见图1<sup>[2]</sup>。

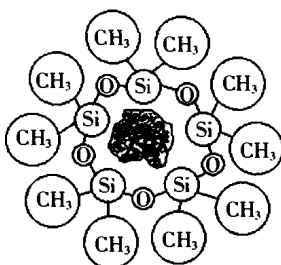


图1 RTV 浸润整理污秽表面模型

为了使RTV的憎水迁移性具有长效性,在涂料的加工过程中使用一种缓释降解的催化酶添加剂,使其在服役期内的大气环境下缓慢降解,连续生成微量的短分子链硅氧烷,并扩散释放到涂层表面。

### 4 新型RTV 涂料及其试验

在以前RTV涂料的基础上,适当改进补强剂和添加剂后的新型RTV涂料的防污闪性能,需要通过闪络试验来验证其是否在防污闪方面具有有效性<sup>[3]</sup>。试验接线见图2,主要是研究新RTV涂料对绝缘子干湿闪电压的影响,以及涂上该RTV涂料后绝缘子耐污闪性能的变化。

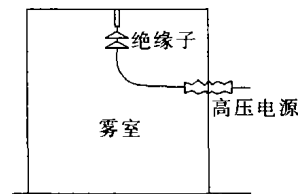


图2 试验接线图

试验绝缘子采用XP-70悬式瓷绝缘子,依据GB/T16927.1-1997《高电压试验技术》和DL/T 627-1997《电力系统用常温固化硅橡胶防污闪涂料技术条件》等标准进行如下试验项目:①无涂层瓷绝缘子的工频干湿闪试验,试验数据见表2。②有涂层瓷绝缘子的工频干湿闪试验(新型RTV涂料与瓷件粘结力较强,涂刷较为方便,将绝缘子涂上RTV涂料后需静置两天,待表面完全固化),试验数据见表2。③无涂层瓷绝缘子的工频污闪试验,试验数据见表3。④有涂层瓷绝缘子的工频污闪试验(由于刷有RTV涂层后绝缘子表面憎水性很强,涂污不是很容易,需先用棉纱沾上硅藻土在涂料表面抹一遍,将涂层抹

表2 干湿闪数据

次数	干闪电压/kV		湿闪电压/kV	
	无涂层	有涂层	无涂层	有涂层
1	130	140	85	108
2	135	139	90	110
3	137	140	88	110
4	143	141	89	105
5	150	141	90	105
平均值	139	140	88.4	107.6

注:试验时采用2片串绝缘子闪络数据,气象条件( $t=28^\circ\text{C}$ ,气压 $100.79 \text{ kPa}$ )

表3 人工污闪试验数据

种类	盐密/灰度 $/(\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2})$	试验电压/kV	平均值/kV
无涂层	0.1/1.0	24, 28, 30, 31, 30	28.6
	0.4/1.0	22, 21, 23, 25, 24	23.0
有涂层	0.1/1.0	58, 55, 60, 56, 60	57.8
	0.4/1.0	55, 54, 57, 56, 58	56.0

(下转第461页)

### 3.4 绝对湿度的换算

绝对湿度  $AH$  表示的是单位体积湿空气中水蒸气的质量,也就是水蒸气的密度,这可由气体状态方程导出:

$$AH = \frac{p_w M_w}{RT_s} = 2.195 \frac{p_w}{T_s} \quad (5)$$

式中:  $M_w$  为水的摩尔质量(18.01 g/mol);  $R$  为摩尔气体常数,  $R=0.0082 \text{ K}\cdot\text{mol}$ ;  $T_s$  为系统温度/K。

通过式(2)可以得到  $p_w$ , 根据温度传感器可以得到  $T_s$ , 直接用式(5)就可以得到气体的绝对湿度。

表2是利用该系统对在实验室内3个不同湿度的储气罐内  $\text{SF}_6$  气体湿度的测量与计算。对于电气设备内气体水分测量是一个低湿范围的测量,其相对湿度应低于30%。有的专家认为,相对湿度达到30%时固体绝缘的闪络电压已开始下降<sup>[3]</sup>,因此选择气体的相对湿度分别为5%,11%和17%。被测气体的压力为0.5 MPa,环境温度为20℃,系统存在一定的测量误差,其测量值见表2,但其最大测量误差均能满足测量准确度要求。

表2 系统对3个不同湿度气罐的测试结果

测量值(提取的特征量)			公式计算值			
相对湿度/%	温度/℃	压力/MPa	体积分数	质量分数	露点温度/℃	绝对湿度/(g·m <sup>-3</sup> )
5.5	20	0.51	232	29	-21	0.868
11.3	21	0.49	510	63	-11	1.909
17.2	20	0.49	788	97	-5.7	2.951

(上接第458页)

毛,这样使涂料表面有一层很薄的灰覆盖,然后将配好的污液涂在涂料表面,这样便可涂得均匀,另外,绝缘子涂污后,需静置4天待憎水性迁移),试验数据见表3。

由表2可见,涂RTV的绝缘子干闪电压与无涂层的绝缘子干闪电压相比没有变化;同时,涂RTV的绝缘子湿闪电压与无涂层的绝缘子湿闪电压相比提高了22%,均满足试验标准要求。

由表3可见,在0.1/1.0 (mg/cm<sup>2</sup>)的污秽下,有涂层污闪电压/无涂层污闪电压=57.8/28.6=2.03;在0.4/1.0 (mg/cm<sup>2</sup>)的污秽下,有涂层污闪电压/无涂层污闪电压=56/23=2.45,超过试验标准“相同试验条件的有涂层绝缘子的污闪电压相对无涂层绝缘子的污闪电压之比不小于1.5”的要求。所以该型号RTV达到了国家有关的闪络试验要求,具有较好的防污闪性能。经同样闪络次数作用后的新型RTV,同普通RTV相比,其表面的氧元素分布变化小。

目前,该型号RTV涂料已经在河北南网部分地区开始应用。

表3 某台110 kV断路器的测量数据

相对湿度/%	温度/℃	压力/MPa	体积分数	微水仪测得的体积分数	相对误差/%
2.9	21	0.598	121	115	5
3.1	18	0.599	107	105	2
2.7	23	0.599	129	123	5

表3是利用该系统对贵州某变电站一台110 kV三相联动断路器的测量数据,该表同时给出了利用微水仪离线测量的体积分数,由其最大相对误差可见,该系统能满足测量准确度的要求。

## 4 结语

采用高分子电容式相对湿度传感器,结合温度测量和压力测量可以实施对  $\text{SF}_6$  气体中微水含量的在线监测。

## 参考文献:

- [1] 罗学琛.  $\text{SF}_6$  气体绝缘全封闭组合电器(GIS)[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [2] 李英干,范金鹏. 湿度测量[M]. 北京:气象出版社,1990.
- [3] 张丽娜.  $\text{SF}_6$  电器设备气体湿度与绝缘[J]. 高压电器,2000(3):46-47.

作者简介:罗飞(1978-),男,研究生,从事高电压技术与电气设备在线监测方面的研究 电话:(023)65102442-8313.

## 5 结语

通过对新型RTV涂料的闪络试验,发现该型号RTV具有非常好的憎水性和憎水迁移性,试验结果表明:该型号RTV达到预期的目的,防污闪效果显著,并已开始应用于电力系统。

## 参考文献:

- [1] 四川省电力工业局,四川省电力教育协会. 电网防污闪技术[M]. 北京:中国电力出版社,1998.
- [2] J G Wankowicz, S M Gubanski, W D Lampe. Loss and Recovery of Hydrophobicity on RTV Coating Surfaces [J]. IEEE Journal on Dielectrics and Electrical Insulation, 1994(4): 604-614.
- [3] S H Kim, E A Cherney, R Hacham. Artificial Testing and Evaluation of RTV Coating in a Salt-fog Chamber [J]. IEEE Journal on Dielectrics and Electrical Insulation, 1991(4): 797-805.

作者简介:王永强(1975-),男,河北定州人,博士研究生,讲师,主要从事高电压与绝缘技术的研究。