

室温硫化硅橡胶防污闪涂料的研究现状分析

窦如婷¹ 冷祥彪¹ 顾 方² 牛倩倩²

(1.南方电网有限公司国际能源研究中心,广州 510080;2.中国化工信息中心,北京 100029)

摘 要 室温硫化硅橡胶(RTV)防污闪涂料具有良好的憎水性和憎水迁移性,因而被广泛应用在输电线路中来减少污闪事故的发生。然而,由于环境变化、空气污染严重、电压等级提高等问题,对防污闪涂料的性能提出了更高的要求。从 RTV 防污闪涂料的基体材料、填料、助剂等几方面入手,结合国内外防污闪涂料的研究进展,指出对 RTV 涂料改性的一些方法,为进一步开发新型防污闪涂料提供思路 and 方向。

关键词 RTV 涂料,防污闪,填料

Research on the status of RTV anti-pollution flashover coating

Dou Ruting¹ Leng Xiangbiao¹ Gu Fang² Niu Qianqian²

(1.International Energy Research Center,CSG,Guangzhou 510080;

2.China National Chemical Information Center,Beijing 100029)

Abstract RTV anti-pollution flashover coatings have excellent hydrophobicity and hydrophobicity migration,so it is widely used in transmission lines to reduce the occurrence of pollution flashover.However,the property of RTV coatings need to be improved due to the changes of environment and development of ultra-high voltage.In terms of substrate material and composition design,the research progress in anti-pollution flashover coatings at home and abroad was reviewed,and pointed out some of the methods to modify RTV coatings.

Key words RTV coating,anti-pollution flashover,filler

近年来,随着经济的飞速发展,空气污染问题也愈加严重,恶劣的天气造成电力系统污闪问题频繁发生。同时,工业水平的发展促使电网容量不断增大,额定电压等级不断提高,造成电力系统的输变电设备外绝缘污闪事故的影响更加重大。由于污闪事故造成突发、长时间、大面积的停电,不仅给居民的日常生活造成极大不便,而且经济损失十分巨大,所以防止电力系统发生污闪一直是电网系统面临的重要课题。

防止污闪的主要措施有:定期清扫绝缘子、增加绝缘子数量来调爬、涂覆室温硫化硅橡胶(RTV)涂料、使用合成绝缘子^[1-4]。实践证明,在绝缘表面涂覆 RTV 涂料能显著提高绝缘子的耐污性能,在国内外输电线路外绝缘中广泛应用。

RTV 作为硅橡胶的一种,有良好的电绝缘性、热稳定性而且无毒无味。RTV 在上世纪 60 年代问世,70 年代起美国、德国等对 RTV 涂料在电力系统的应用展开研究,80 年代中期,我国也开始进行相关研究,并逐渐将研究成果进行应用推广。

1 RTV 防污闪涂料改性研究

RTV 涂料通常由基体材料、填料和助剂组成^[5-7]。基料是一种聚硅氧烷高分子化合物,它不仅具有憎水性,还有优良的憎水迁移性,而正是这种憎水迁移性使硅橡胶具有良好防污闪能力^[8]。但是 RTV 涂料也存在着一些问题,如机械性能差、易老化、寿命较短、憎水性丧失后恢复慢等^[9]。因此,提高 RTV 防污闪涂料的综合性能,对于今后高压、特高压输电线路稳定运行十分必要。

1.1 改善基体材料

C—F 键长极短、键能高,采用含氟物质做基体,可使涂料具有良好的稳定性、高耐久性、高耐腐蚀性以及高防污憎水性。朱志平等^[10]以氟碳树脂(FEVE)为成膜物质,以金红石型纳米 TiO₂ 为填料制备新型防污闪氟碳涂料,它具有优良的耐水性、耐化学试剂性、耐盐雾性等理化性能。黄静等^[11]采用 FEVE 为成膜物,成功制备了符合国家标准的新型防污闪氟碳涂料,其憎水性良好,涂层水性接触角超

过120°。张俊双等^[12]用氟硅橡胶、气相SiO₂和耐烧蚀复合物改进防污闪涂料,解决了现有防污闪复合涂料抗寒性能较差,使用寿命较短等问题。刘江等^[13]采用复配法将质量分数为5%的聚四氟乙烯(PTFE)加入到RTV防污闪涂料中,可以有效提高涂层的耐腐蚀性,并且在一定范围内憎水性、耐热性能也有所提高,同时不影响涂层的力学性能和阻燃性能。钟炯等^[14]以FEVE为成膜剂,以改性纳米TiO₂和PTFE微粉为复合填料,制备了一种新型的有自清洁效应的纳米TiO₂/PTFE复合氟碳防污闪涂料。改性纳米TiO₂和PTFE通过化学键合作用在复合氟碳防污闪涂层表面构建了微纳复合粗糙结构,与水静态接触角达134°,涂层不仅具有优良的理化、电气绝缘性能,而且还具有有效的自清洁功能和疏水性保持性能。

1.2 填料改性

RTV涂料的填料种类很多,最常见的、最成熟的填料是白炭黑,其他填料还有碳酸钙、钛白粉、硅藻土、石英粉、云母粉等,它们的作用是赋予硅橡胶各项性能。根据其作用不同,通常分为补强填料和功能性填料两大类。

1.2.1 补强填料

顾名思义,补强填料可以增加基体材料的强度,因为未加补强的RTV涂料机械性能极低,几乎没有实际应用价值。未补强的聚二甲基硅氧烷硫化后的拉伸强度仅为0.3~0.5MPa,通过补强后其拉伸强度可超过13MPa^[15]。

卢明等^[16]通过实验证明,当白炭黑的质量分数为5%时,RTV涂料的憎水性以及憎水迁移性最好,添加过多则会影响涂料的憎水性和憎水迁移性。也可以采用补强填料和半补强填料结合使用,Hiroaki等^[17]在RTV涂料中加入白炭黑和CaCO₃后,发现RTV涂料的耐湿性、耐热性和附着强度都有改善。

1.2.2 功能性填料

为了使RTV涂料具有某些特定的性能,如耐电腐蚀、耐高低温、阻燃性等,一般会添加一些功能性填料。Wang等^[18]通过掺杂具有针状结构的 α -FeO(OH)纳米粒子,RTV涂料的热稳定性大大增加,抗老化性也有所改善。MadidiF等^[19]研究了TiO₂用量的增加对RTV涂料相对介电常数的影响,结果发现TiO₂用量越大,介电性能越好。

氧化铝作为最常见的阻燃材料,对其研究较多,卢明等^[16]发现当氧化铝质量分数为10%时,RTV

涂料的憎水性和憎水迁移性效果最好。艾国金等^[20]研究发现,当氢氧化镁/氢氧化铝的质量比为1:4时,阻燃效果最佳,垂直燃烧等级为FV-0级,拉伸强度小于4MPa。王恒芝等^[21]研究了氢氧化铝、氢氧化镁和阻燃协效剂对RTV阻燃性能的影响,最佳配方条件下制得的硅橡胶拉伸强度为2.8MPa,垂直燃烧等级为FV-0级。丘善棋等^[22]将十溴二苯醚和氢氧化铝组成复合阻燃填料,并配合少量硼酸锌,结果发现极大提高防污闪涂料的阻燃效果。防污闪涂料的垂直燃烧等级达到FV-0级,撕裂强度9.12kN/m,拉伸强度4.06MPa。夏兵等^[23]发现纳米尺寸水滑石(又称双金属氢氧化物)是一种高效、无卤、无毒、低烟的新型阻燃剂,具有良好的应用前景。

1.3 助剂改性

RTV涂料的助剂有偶联剂、交联剂、分散剂以及催化剂等。

防污闪涂料最常用的表面改性剂就是偶联剂,它是一种两性结构的物质,可以增强基体和填料之间相互作用。李清坤等^[24]采用开环共聚反应与硅氢加成反应得到一种新型含氟偶联剂,将其应用到防污闪材料中以后,有效提高了涂层的附着力、憎水性和自清洁性。Seyed Amirhossein等^[25]在RTV涂料中加入含氟颗粒和氢氧化铝后,所得涂料的接触角高于145°,而且有良好的憎水迁移性和抗老化性。周永言等^[26]比较了钛酸酯偶联剂TM-JTBT和氟硅烷偶联剂G502两种偶联剂对碳氟涂料憎水性的影响,发现采用TM-JTBT改性的涂层憎水性丧失和恢复都好于G502改性的涂层,而且价格也低,故前者替代后者具有可行性。

不同结构、性能的交联剂对提高RTV涂料的综合性能也具有重要影响,韩雁明等^[27]将POMS交联剂用作硅橡胶的固化剂,可以形成高交联密度的POMS相。Chen等^[28]使用POSS作为交联剂,硅橡胶的热稳定性和力学性能都有明显改善。

1.4 构筑微纳二重结构

Barthlott等^[29]观察植物叶片表面的微观结构后,发现超憎水表面最大的特点是具有微米和纳米级别的粗糙结构和表面蜡状物,如荷叶、鳞翅目昆虫的翅膀、水黾腿等表面,都具有超憎水憎油性和自洁性。

基于此研究基础,研究人员做了大量的研究来改善防污闪涂料的性能。如赵悦菊等^[30]采用有机-无机杂化纳米技术,通过添加不同粒径级别的纳米及微米改性无机SiO₂粒子,通过在RTV涂层表面

构筑微纳结构的方式制备了表面具有高自清洁性的防污闪涂料。刘辉等^[31]通过加入多胺基有机硅氧烷和纳米活性金属氧化物来降低涂层表面的电阻和增加涂层表面光滑度,从而提高涂料自洁性能。雷清泉等^[32]将多胺基有机活性集团改性的纳米粒子和聚乙烯基及酯基引入到聚硅氧烷分子链上,不仅降低涂料的表面电阻,而且提高了聚硅氧烷体系涂层表面的粗糙度,有利于构建疏水结构,改善了聚硅氧烷憎水、抗污能力。

2 结语

RTV 防污闪涂料虽然大范围应用在输电线路中,但其憎水性、自洁性、耐老化性、耐热性等各方面都有改善的空间。使用含氟物质作基体,可以提高涂料的憎水性和憎污性;加入不同类型的填料,可以增强涂料强度,提高涂料的阻燃性;加入交联剂、偶联剂等助剂在一定程度上也会改善涂料的性能;构筑微纳二重结构,形成超疏水涂层则会使涂料具有自清洁性。

基于上述研究,笔者认为 RTV 防污闪涂料的进一步发展要从以下两个方面入手:一是如果使用含氟物质作基体,则需要考虑含氟物质表面能低的问题,解决含氟涂料附着力差将是研究的重点,二是面对构筑微纳二重结构成本高,工艺复杂,成功率低的问题,考虑将纳米技术引入生产工艺中,构造微小粗糙度,提高涂料的疏水性。

参考文献

- [1] 高海峰,王永福,朱可能,等.憎水性对线路绝缘子耐污闪特性影响的试验分析[J].高电压技术,2011,37(2):284-289.
- [2] 王永强,律方成,刘孝义.新型 RTV 涂料防污闪性能的研究[J].高压电器,2004,40(6):457-461.
- [3] 贾志东,陆海,胡亚荣,等.高湿气候下 RTV 防污闪涂料的运行特性分析[J].电网技术,2014,38(8):2291-2297.
- [4] 贾志东,李桐,陈灿,等.广东地区室温硫化硅橡胶防污闪涂料的运行特性[J].高电压技术,2014,40(7):1963-1969.
- [5] 蔡登科,文习山,蓝磊,等.RTV 硅橡胶/层状硅酸盐纳米绝缘的力学性能[J].高电压技术,2003,29(11):3-4.
- [6] 方苏,高海峰,贾志东,等.纳米 SiO₂ 对 RTV 硅橡胶涂料性能的影响[J].高电压技术,2009,35(1):125-128.
- [7] Jia Zhidong, Fang Su, Gao Haifeng, et al. Development of RTV silicone coatings in China: Overview and bibliography[J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2008, 24(2): 28-41.
- [8] 魏劲容,陈子岩.浅谈室温硫化硅橡胶防污闪涂料在绝缘子上的应用[J].电瓷避雷器,2011(2):10-15.
- [9] 郭美霞,薛守洪.输电线路用室温硫化硅橡胶防污闪涂料研究进展[J].化学工程与装备,2013(2):135-138.
- [10] 朱志平,周艺,金红石型纳米 TiO₂ 改性纳米复合氟碳涂层的制备与性能研究[J].涂料技术与文摘,2014,35(10):14-18.
- [11] 黄静,周永言,朱志平,等.防污闪氟碳涂料的制备及应用研究[J].涂料工业,2014,44(5):25-30.
- [12] 张俊双,韩建军,宋志强,等.改进型防污闪复合涂料及其制备方法:中国,106280997A[P].2017-01-04.
- [13] 刘江,朱湘萍,海雅玲,等.聚四氟乙烯对室温硫化硅橡胶(RTV)防污闪涂料耐蚀性的影响[J].腐蚀与防护,2014,35(5):484-487.
- [14] 钟嫻,刘海,李超成,等.改性纳米 TiO₂/PTFE 复合氟碳防污闪涂层的制备及其性能[J].材料保护,2015,48(11):11-13.
- [15] 杨鑫鑫,文秀芳,皮丕辉,等.室温硫化硅橡胶的研究及其在防污闪涂料中的应用[J].涂料工业,2009,39(4):67-72.
- [16] 卢明,胡扬宇,周德波.基胶与填料对 RTV 硅橡胶防污闪涂层憎水迁移性的影响[J].有机硅材料,2015,29(2):79-83.
- [17] Cho H, Ashida Y, Nakamura S, et al. Improvement of heat-resistance of RTV silicone elastomers with reduce environmental impact by loading nano-silica and calcium carbonate[C]. International Conference on Electrical Insulating Materials. IEEE, 2014: 345-348.
- [18] Wang G, Lu M, Yang H, et al. A novel pollution flashover-resistance RTV rubber coating[C]. Properties and Applications of Dielectric Materials. IEEE, 2015: 328-331.
- [19] Madidi F, Momen G, Farzaneh M. Development of a stable TiO₂ nanocomposite self-cleaning coating for outdoor applications[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2016, 2016(1): 1-8.
- [20] 艾国金,马文石,王慧祖.无机阻燃剂对单组分室温硫化硅橡胶性能的影响[J].橡胶工业,2007,54(5):279-282.
- [21] 王恒芝,吴娜,张鹏.缩合型阻燃硅橡胶的研制[J].有机硅材料,2013,27(5):262-265.
- [22] 丘善棋,黄晓青,邓秀萍,等.阻燃防污闪涂料的研制[J].有机硅材料,2015,29(5):385-388.
- [23] 夏兵,李玉强,王国,等.刚层状双羟基氧化物对 RTV 硅橡胶阻燃性及热稳定性的影响[J].绝缘材料,2015,48(6):30-33.
- [24] 李清坤,李金辉,郭佃顺.一种含氟偶联剂的合成及其在防污闪涂料中的应用[J].化工新型材料,2013,41(7):176-183.
- [25] Seyed Amirhossein Seyedmehdi, Hui Zhang, Jesse Zhu. Superhydrophobic RTV silicone rubber insulator coatings[J]. Applied Surface Science, 2012, 258(7): 2972-2976.
- [26] 周永言,黄静,李丽,等.偶联剂对防污闪氟碳涂料性能的影响研究[J].湖南师范大学自然科学学报,2013,36(4):57-62.
- [27] 韩雁明,朱宝菊,金日光,等.新型聚甲基甲氧基硅氧烷交联剂对硅橡胶性能的影响[J].化工新型材料,2008,36(6):30-31.
- [28] Chen D Z, Yi S P, Fang P F, et al. Synthesis and characterization of novel room temperature vulcanized (RTV) silicone rubbers using octa[(trimethoxysilyl) ethyl]-POSS as cross-linker[J]. Reactive & Functional Polymers, 2010, 71(4): 502-511.
- [29] Barthlott W, Neinhuis C. The purity of sacred lotus or escape from contamination in biological surface[J]. Planta, 1997, 202(1): 1-8.
- [30] 赵悦菊,王国刚,张培林,等.硅橡胶防污闪涂料自清洁性研究[J].化工新型材料,2013,41(9):73-75.
- [31] 刘辉,沈庆河,刘怀宇.缓释型憎水防污闪涂料性能研究[J].高压电器,2017,53(4):171-175.
- [32] 雷清泉,刘洪正.改性聚硅氧烷防污闪涂料研究[J].山东电力技术,2015,42(11):1-5,24.

收稿日期:2017-08-01